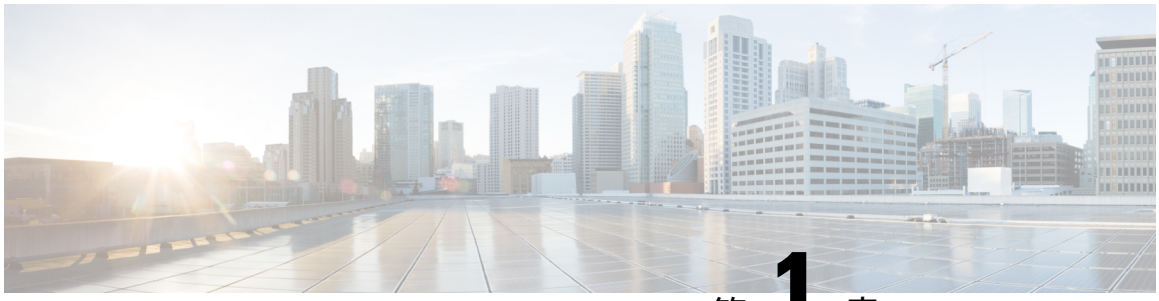
Cisco IOS XE 17 セグメントルーティング設定ガイド（アクセスルータおよびエッジルータ用）

初版：2020 年 4 月 28 日

最終更新：2023 年 8 月 21 日

シスコシステムズ合同会社
〒107-6227 東京都港区赤坂9-7-1 ミッドタウン・タワー
http://www.cisco.com/jp
お問い合わせ先：シスコ コンタクトセンター
0120-092-255 （フリーコール、携帯・PHS含む）
電話受付時間：平日 10:00～12:00、13:00～17:00
http://www.cisco.com/jp/go/contactcenter/

目 次



第 1 章

最初にお読みください

重要事項

（注） Cisco IOS XE Bengaluru 17.6.1a 以降のリリースでの CUBE 機能のサポート情報については、Cisco Unified Border Element IOS-XE コンフィギュレーション ガイドを参照してください。

（注） この製品のマニュアルセットは、偏向のない言語を使用するように配慮されています。このドキュメントセットでの偏向のない言語とは、年齢、障害、性別、人種的アイデンティティ、民族的アイデンティティ、性的指向、社会経済的地位、およびインターセクショナリティに基づく差別を意味しない言語として定義されています。製品ソフトウェアのユーザインターフェイスにハードコードされている言語、RFP のドキュメントに基づいて使用されている言語、または参照されているサードパーティ製品で使用されている言語によりドキュメントに例外が存在する場合があります。

機能情報

機能のサポート、プラットフォームのサポート、およびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

参考資料

- Cisco IOS コマンド リファレンス、全リリース

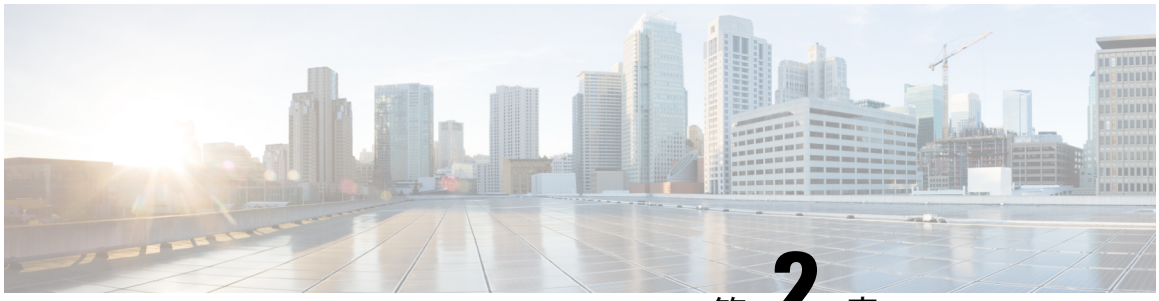
マニュアルの入手方法およびテクニカル サポート

- シスコからタイムリーな関連情報を受け取るには、Cisco Profile Manager でサインアップしてください。
- 重要な技術によりビジネスに必要な影響を与えるには、Cisco Services [英語] にアクセスしてください。

- サービス リクエストを送信するには、Cisco Support [英語] にアクセスしてください。
- 安全で検証済みのエンタープライズクラスのアプリケーション、製品、ソリューション、およびサービスを探して参照するには、Cisco Marketplace にアクセスしてください。
- 一般的なネットワーク、トレーニング、認定関連の出版物を入手するには、Cisco Press にアクセスしてください。
- 特定の製品または製品ファミリの保証情報を探すには、Cisco Warranty Finder にアクセスしてください。

• Short Description （2 ページ）

Short Description



第 2 章

セグメント ルーティングの概要

この章では、セグメントルーティング（SR）の概念を次のセクションに分けて紹介します。

セグメントルーティングに関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *1:* セグメントルーティングに関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
セグメントルーティングの概要	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	セグメントルーティング（SR）は、送信元ルーティングを実行するための柔軟でスケーラブルな方法です。

セグメント ルーティングの概要

セグメント ルーティングの概要

セグメント ルーティング（SR）は、送信元ルーティングを実行するための柔軟でスケーラブルな方法です。送信元がパスを選択し、セグメントの番号付きリストとしてパケットヘッダー内で暗号化します。セグメントは、すべてのタイプの命令の識別子です。各セグメントを識別するセグメント ID（SID）は、フラットな 32 ビットの符号なし整数で構成されます。次のようなセグメント命令があります。

- 最短パスを使用してノード N へ移動する
- ノード M への最短パスを介してノード N に移動した後にレイヤ 1、レイヤ 2、レイヤ 3 のリンクをたどる
- サービス S を適用する

セグメントルーティングを使用すると、ネットワークでアプリケーションごとやフロー状態ごとに管理する必要がなくなります。代わりに、パケット内に指定されている転送命令に従います。

セグメント ルーティングは、シスコの Intermediate System-to-Intermediate System（IS-IS）および Open Shortest Path First（OSPF）プロトコルのいくつかの拡張機能に依存しています。MPLS（マルチプロトコル ラベル スイッチング）または IPv6 データ プレーンで動作でき、レイヤ 3 VPN（L3VPN）、仮想プライベート ワイヤ サービス（VPWS）、仮想プライベート LAN サービス（VPLS）、イーサネット VPN（EVPN）などの、さまざまなマルチサービス機能と統合されます。

セグメント ルーティングは、転送プレーンを変更することなく、マルチプロトコル ラベル スイッチング（MPLS）アーキテクチャに直接適用できます。セグメント ルーティングは従来の MPLS ネットワークよりも効率的にネットワーク帯域幅を利用し、遅延を低減します。セグメントは MPLS ラベルとしてエンコードされます。セグメントの番号付きリストはラベルのスタックとしてエンコードされます。処理するセグメントは、スタックの一番上にあります。セグメントの完了後に関連するラベルがスタックからポップします。

セグメントルーティングは、新しいタイプのルーティング拡張ヘッダーを使用して、IPv6 アーキテクチャに適用できます。セグメントは、IPv6 アドレスとしてエンコードされます。セグメントの順序付きリストは、ルーティング拡張ヘッダー内の IPv6 アドレスの順序付きリストとしてエンコードされます。処理するセグメントは、ルーティング拡張ヘッダー内のポインタによって示されます。ポインタは、セグメントの完了後にインクリメントされます。

セグメントルーティングは自動トラフィック保護を提供しますが、トポロジ上の制約事項はありません。ネットワークがリンク障害やノード障害からトラフィックを保護し、ネットワーク内での追加シグナリングは必要ありません。既存の IP 高速再ルート（FRR）技術と、セグメント ルーティングの明示的なルーティング機能を組み合わせると、最適なバックアップ パスを備えた完全な保護適用範囲が保証されます。トラフィック保護には、他のシグナリング要件は適用されません。

セグメント ルーティングの仕組み

セグメント ルーティング ネットワーク内のルータは、明示的な最短パスか、または内部ゲートウェイ プロトコル（IGP）の最短パスかどうかにかかわらず、トラフィックを転送するパスを選択できます。セグメントは、ネットワークの宛先への完全なルートを形成するためにルータを組み合わせることができるサブパスを表しています。各セグメントには識別子（セグメント識別子）があり、新しいIGP拡張機能を使用してネットワーク全体に配布されます。この拡張機能はIPv4およびIPv6のコントロール プレーンに等しく適用されます。従来のMPLSネットワークとは異なり、セグメント ルータ ネットワーク内のルータにLabel Distribution Protocol（LDP）やResource Reservation Protocol（RSVP）、つまり、セグメント識別子の割り当てや通知を行い、それらの転送情報をプログラミングするトラフィック エンジニアリング（RSVP-TE）は必要ありません。

各ルータ（ノード）と各リンク（隣接関係）には関連付けられたセグメント識別子（SID）があります。ノードセグメント識別子はグローバルに一意であり、IGPで決定されたルータへの最短パスを表します。ネットワーク管理者は各ルータに予約済みブロックからノードIDを割り当てます。一方、隣接関係セグメントIDはローカルで有効なものであり、出力インターフェイスなどの隣接ルータに固有の隣接関係を表します。ルータは、ノードIDの予約済みブロック外の隣接関係識別子を自動的に生成します。MPLSネットワークでは、セグメント識別子はMPLSラベル スタック エントリとしてエンコードされます。セグメントIDは指定したパスに沿ってデータを移動します。次の2種類のセグメントIDがあります。

- **プレフィックス SID**：サービスプロバイダーのコア ネットワーク内でIGPが計算したIPアドレスプレフィックスが含まれるセグメントID。プレフィックスSIDはグローバルに一意です。プレフィックスセグメントは、特定のプレフィックスに到達する最短パス（IGPが計算）を表します。ノード セグメントは、ノードのループバック アドレスに結合された特殊なプレフィックス セグメントです。これは、インデックスとしてノード固有のSRグローバル ブロック（SRGB）にアドバタイズされます。
- **隣接関係 SID**：ネイバーに対するアドバタイジングルータの隣接関係（アジャセンシー）が含まれるセグメントID。隣接関係SIDは2つのルータ間のリンクです。隣接関係SIDは特定のルータに関連しているため、ローカルに一意となっています。

ノードセグメントはマルチホップパスになり得ますが、隣接関係（アジャセンシー）セグメントはワンホップパスです。

セグメント ルーティングの例

次の図は、セグメント ルーティング、IS-IS、ノードID用に100 ～ 199のラベル範囲、および200以上の隣接IDを使用する、5台のルータを含むMPLSネットワークについて示しています。IS-ISは、ネットワーク全体にセグメントID（MPLSラベル）とともにIPプレフィックスの到達可能性を配布します。

図 *1:* セグメント ルーティングを使用する *5* 台のルータを含む *MPLS* ネットワーク

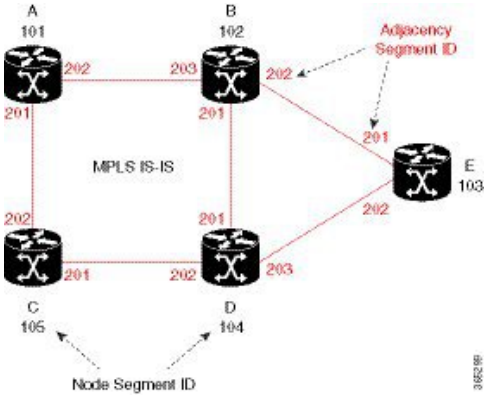
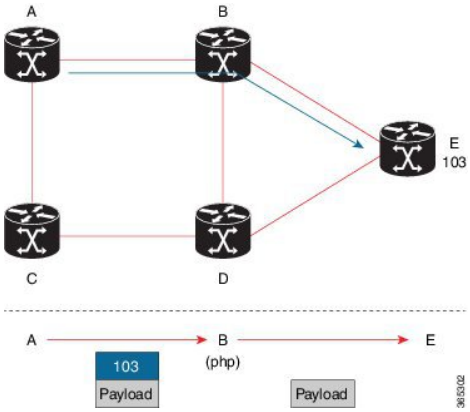


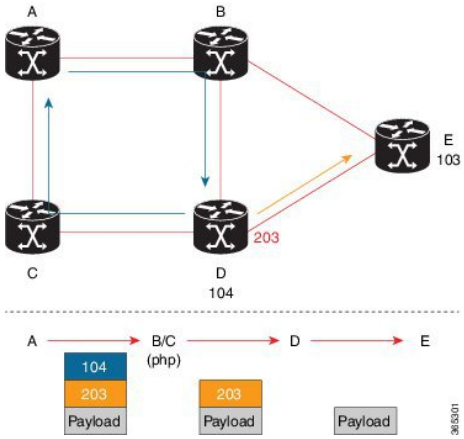
図 1 では、ルータ E にトラフィックを送信しているルータは、ラベル 103（ルータ E ノードセグメント識別子）をプッシュし、IS-IS 最短パスを使用してトラフィックを転送します。各ホップでの MPLS ラベルスワッピング操作は、パケットが E に到着するまでラベル 103 を保持します（図 2）。一方、隣接関係セグメントの動作は異なります。たとえば、パケットが 203（D 対 E の隣接関係セグメント識別子）のスタックトップの MPLS ラベルを持つルータ D に到着する場合、ルータ D はラベルをポップし、ルータ E にトラフィックを転送します。

図 *2: MPLS* ラベルスワッピング操作



セグメント識別子は、トラフィック エンジニアリングを実行するための順序付きリストとして組み合わせることができます。セグメント リストには、転送要件に応じて複数の隣接関係セグメント、複数のノードセグメント、または両方の組み合わせを含めることができます。前の例では、ルータ A は、ラベル スタック（104、203）を代わりにプッシュし、最短パスとルータ D に該当するすべての ECMP を使用し、次に宛先への明示的なインターフェイスを通って、ルータ E に到達することができます（図 3）。ルータ A は新しいパスをシグナリングする必要がなく、状態情報はネットワーク内で一定に保たれます。ルータ A は、最終的に特定のパス経由でルータ E 宛てのどのフローを切り替えるかを決定する転送ポリシーを適用します。

図 *3* : ルータ *E* の宛先パス



セグメント ルーティングの利点

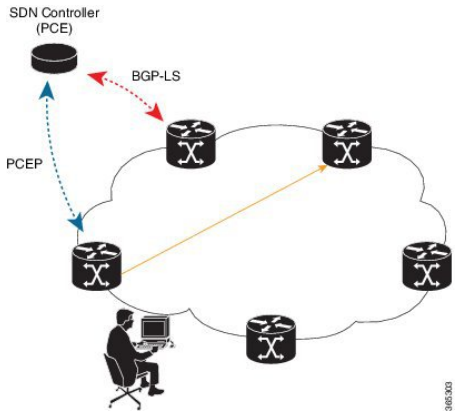
- **SDN の準備**：セグメントルーティングは、ソフトウェア定義型ネットワーク（SDN）の採用を構想した魅力的なアーキテクチャであり、アプリケーション対応ルーティング（AER）の基盤です。これは、自動リンクおよびノード保護などのネットワークベースの分散インテリジェンスと、トラフィック最適化などのコントローラベースの集中型インテリジェンスとの間のバランスをとります。

  厳格なネットワーク パフォーマンス保証、ネットワーク リソースの効率的な使用、およびアプリケーションベースのトランザクションに対する非常に高いスケーラビリティを提供することができます。ネットワークは、これらの要件を満たすために最小限の状態情報を使用します。セグメント ルーティングは、コントローラベースの SDN アーキテクチャと簡単に統合できます。

  次の図は、コントローラが帯域幅アドミッションコントロールなどの集中最適化を実行する SDN シナリオの例を示しています。このシナリオでは、コントローラがネットワークトポロジとフローの全体像をもっています。ルータは、遅延、帯域幅、ダイバーシティなど、特定の特性を持つ宛先へのパスを要求できます。コントローラは最適なパスを計算し、MPLS ラベル スタックなどの対応するセグメント リストを要求元ルータに返します。その時点で、ルータはネットワークに追加のシグナリングなしでセグメント リストとともにトラフィックを注入できます。

  さらに、セグメント リストを使用すると、ネットワークにアプリケーションの状態を追加することなく、完全なネットワーク仮想化を実現できます。状態は、セグメントのリストとしてパケットにエンコードされます。ネットワークはセグメント状態を維持するだけなので、ネットワークに負荷をかけることなく、大量で高頻度のトランザクションベースのアプリケーション要求をサポートできます。

図 *4 : SDN* コントローラ



- **運用のシンプル化**：
  - MPLS データ プレーンに適用された場合、セグメント ルーティングは、IGP（ISIS または OSPF）以外のプロトコルを使用せずに、入力プロバイダー エッジから出力プロバイダー エッジへの MPLS サービス（VPN、VPLS、および VPWS）をトンネリングする機能を提供します。
  - ラベル配布用に別のプロトコルを使用しない単純な動作です（たとえばLDPやRSVPが不要）。
  - トラブルシューティングを行うための複雑な LDP または IGP 同期はありません。
  - ECMP に対応した最短パス転送（ノード セグメント ID を使用）により、設置済みインフラストラクチャの使用率を向上し、設備投資（CapEx）を削減します。
- **高速再ルーティング（FRR）のサポート**：任意のトポロジに対して自動化 FRR を提供します。ネットワーク内でリンクまたはノード障害が発生した場合、MPLS はFRR メカニズムを使用してコンバージェンスを行います。セグメント ルーティングでは、コンバージェンス時間は 50 ミリ秒以下です。
- **大規模データセンター**：
  - セグメント ルーティングでは、ボーダー ゲートウェイ プロトコル（BGP）RFC 3107（トップオブラック/リーフ/スパイン スイッチ間の IPv4 ラベル付きユニキャスト）を使用して、MPLS 対応のデータセンター設計を簡素化します。
  - BGP は、IGP ノード SID と同等のノード セグメント ID を配布します。
  - トポロジ内のノードは、同じスイッチに同じ BGP セグメントを割り当てます。
  - IGP ノード SID：ECMP および自動 FRR（BGP PIC（プレフィックス独立コンバージェンス））の場合と同じ利点が提供されます。
  - これは、トラフィック エンジニアリング（SR TE データセンター ファブリックの最適化）のためのビルディング ブロックです。

- **デュアルプレーン ネットワーク**：
  - セグメントルーティングは、プレーンが分割されていない限り、特定のプレーンからエッジの宛先へのルートがプレーン内に留まるデュアルプレーン ネットワークでのディスジョイントネスを強制するための簡単なソリューションを提供します。
  - 追加の SID エニーキャストセグメント ID により、「ノード Z に向けてノード A に投入されたフロー 1 は、プレーン 1 を経由しなければならない」、「ノード Z に向けてノード A に投入されたフロー 2 は、プレーン 2 を経由しなければならない」といったマクロポリシーの表現が可能になります。
- **集中型トラフィック エンジニアリング**：
  - コントローラとオーケストレーション プラットフォームは、WAN 最適化などの集中型の最適化のために、セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングと対話することができます。
  - 輻輳などのネットワーク変更により、アプリケーションがセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング トンネルの配置を最適化（再計算）することをトリガーできます。
  - セグメント ルーティング トンネルは、PCE のようなサウスバウンド プロトコルを使用してオーケストレータからネットワーク上に動的にプログラムされます。
  - セグメント ルーティング トンネルは中間点およびテール エンド ルータでのシグナリングおよびフローごとの状態を必要としないため、アジャイル ネットワーク プログラミングが可能です。
- **出力ピアリング トラフィック エンジニアリング（EPE）**：
  - セグメント ルーティングは集中型 EPE を可能にします。
  - コントローラは、特定の出力プロバイダーのエッジと特定の外部インターフェイスを使用して宛先に到達するように、入力プロバイダーのエッジとコンテンツ ソースに指示します。
  - BGP ピアリングセグメント ID は、ソースルーティングされたドメイン間パスを表すために使用されます。
  - コントローラは、BGP リンクの状態（BGP-LS）EPE ルートを介して、BGP ピアリング SID と出力境界ルータの外部トポロジを学習します。
  - コントローラは、必要なパスを使用して入力ポイントをプログラムします。
- **プラグアンドプレイ展開**：セグメントルーティング トンネルは、既存の MPLS コントロールプレーンおよびデータプレーンと相互運用可能で、既存の展開に実装できます。

セグメント ルーティング グローバル ブロック

セグメント ルーティング グローバル ブロック（SRGB）は、セグメント ルーティングに予約されたラベルの範囲のことです。SRGB は、セグメント ルーティング ノードのローカル プロパティです。MPLS アーキテクチャでは、SRGB はグローバル セグメントに予約済みの一連のローカル ラベルです。セグメント ルーティングでは、各ノードを異なる SRGB で設定できます。そのため、IGPプレフィックスセグメントに関連付けられた絶対SIDはノードごとに変更できます。

SRGB のデフォルト値は 16000 ～ 23999 です。SRGBは、次のように設定できます。

```
Device(config)# router isis 1
Device(config-isis)#segment-routing global-block 45000 55000
```

隣接関係セグメント識別子

隣接関係セグメント識別子（adj-SID）は、特定のインターフェイスとそのインターフェイスからの次のホップを指す、ローカル ラベルです。adj-SID を有効にするために必要な特定の設定はありません。アドレスファミリに対して IS-IS でセグメント ルーティングを有効にすると、IS-IS が実行されるあらゆるインターフェイスで、そのアドレスファミリは自動的にそのインターフェイスからのすべてのネイバーに adj-SID を割り当てます。

（注） IPV4 アドレスファミリのみが adj-SID の割り当てをサポートします。

プレフィックス セグメント識別子

プレフィックスセグメント識別子（SID）は、プレフィックスによって表される宛先につながるセグメント ルーティング トンネルを識別します。プレフィックス SID の最大値は 2^16 - 1 です。

プレフィックス SID は、セグメント ルーティング グローバル ブロック（SRGB）から割り当てられます。プレフィックスSID値は、値が下記に示すように計算されるローカルMPLSラベルに変換されます。

- プラットフォームが 100 万ラベル以上をサポートしている場合、プレフィックス SID 値に対応する MPLS ラベルは 90 万 + *SID* 値です。
- プラットフォームでサポートされるラベルが 100 万未満の場合、プレフィックス SID 値に対応する MPLS ラベルは最大サポート ラベル値 - 2^16 + *SID* 値です。

プレフィックス SID 値 *x* を設定すると、プレフィックス SID は、*x* + SRGB の下限境界に相当するラベル値に変換されます。たとえば、デフォルトのSRGBが使用される場合、100万MPLSラベル以上をサポートするプラットフォームでは、IPv4 アドレス 10.0.0.1/32 を使用したイン

ターフェイス ループバック 0 に対して 10 のプレフィックス SID を設定すると、ラベル 900001016010 がプレフィックス 10.0.0.1/32 に割り当てられます。

BGP プレフィックス セグメント識別子

BGP プレフィックスに関連付けられたセグメントは、BGP プレフィックス SID と呼ばれます。

- BGP プレフィックス SID は、セグメント ルーティングまたは BGP ドメイン内で常にグローバルです
- BGP プレフィックス SID は、所定のプレフィックスに対して BGP によって計算された ECMP 対応のベスト パス上のパケットを転送する命令を識別します

セグメント ルーティングでは、セグメント ルーティング グローバル ブロック（SRGB）を使用して BGP スピーカーを設定する必要があります。一般的に SRGB は、ラベルの範囲、SRGB = [SR_S, SR_E] として構成されます。

- SR_S = 範囲の開始
- SR_E = 範囲の終わり

各プレフィックスには、固有のラベル インデックスが割り当てられます。

次の例では、route-policy **name** コマンドを使用して、set label index という BGP ルート ポリシーが定義されます。

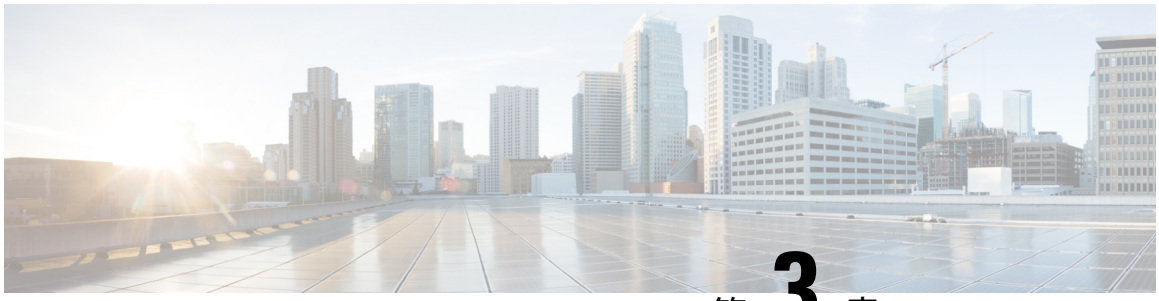
BGP でセグメント ルーティング グローバル ブロック（SRGB）を設定します。ルート ラベル パスにラベルインデックス属性があり、SRGB が設定されている場合、ローカル ラベル ルートは SRGB から割り当てられます。ルートポリシーを使用して再配布されたルートにラベルインデックスが追加されると、BGP はルートとともに属性としてラベルインデックスを提示します。

```
router bgp 100
 bgp log-neighbor-changes
 neighbor 192.0.2.1 remote-as 100
 neighbor 192.0.2.1 update-source Loopback0
 neighbor 192.0.23.3 remote-as 300
 !
 address-family ipv4
  segment-routing mpls
  neighbor 192.0.2.1 activate
  neighbor 192.0.2.1 send-label
  neighbor 192.0.23.3 activate
 exit-address-family
```

セグメント ルーティングに関する追加情報

関連資料

関連項目	マニュアル タイトル
動画	• シスコ セグメント ルーティングの概要（YouTube） • シスコ セグメント ルーティングの概要（CCO）



第 3 章

IS-IS v4 ノード SID によるセグメントルーティング

この章では、セグメントルーティング（SR）が IS-IS でどのように機能するかについて、次のセクションに分けて説明します。

IS-IS v4 ノード SID によるセグメントルーティングに関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

IS-IS v4 ノード SID によるセグメントルーティングに関する制約事項

- ルーティング プロトコルの構成をそのルータ構成のサブ モードで許可する前に、セグメント ルーティングを最上位レベルで設定する必要があります。

- IS-IS プロトコルの SR コマンドは、トポロジごと（IPv4 アドレス ファミリ）に基づいています。
- 有効な Cisco IOS-XE リリース 3.16 では、ISIS は IPv4 に対してのみセグメント ルーティングをサポートしています。

IS-IS v4 ノード SID によるセグメントルーティングに関する情報

セグメント ルーティング IS-IS v4 ノード SID

セグメント ルーティングは、シスコの Intermediate System-to-Intermediate System（IS-IS）および Open Shortest Path First（OSPF）プロトコルのいくつかの拡張機能に依存しています。ルーティング プロトコル インスタンスのセグメント ルーティングを有効にするには、2 つのレベルの構成が必要です。セグメント ルーティング インフラストラクチャ コンポーネントによって管理される最上位のセグメント ルーティング構成では、セグメント ルーティングが可能になり、一方、ルータ レベルでのセグメント ルーティング構成では、ルーティング プロトコル インスタンスの特定のアドレスファミリに対してセグメントルーティングが可能になります。セグメント ルーティングの状態には、次の 3 つがあります。

- SR_NOT_CONFIGURED
- SR_DISABLED
- SR_ENABLED

IGP 下のセグメント ルーティング構成は、SR の状態が SR_DISABLED または SR_ENABLED のいずれかである場合にのみ許可されます。SR_ENABLED 状態は、少なくとも MFI によって正常に予約済みの有効な SRGB 範囲にあることを示します。コマンドを使用して、ルータ設定サブ モードで IGP のセグメント ルーティングを有効にすることができます。ただし、IGP セグメント ルーティングは、グローバル SR が設定された後にのみ有効になります。

SR_ENABLED は、SR を有効にするためにすべてのプロトコルに必要な状態ですが、プロトコル インスタンスの SR を有効にするには十分ではありません。その理由は、IS-IS にセグメント ルーティング グローバル ブロック（SRGB）情報に関する情報がまだないことです。SRGB に関する情報を受信する要求が正常に処理されると、IS-IS SR の動作状態が有効になります。

セグメントルーティングでは、各ルータが、セグメントルーティングデータプレーン機能と、グローバル SID が割り当てられている場合にセグメント ルーティングに使用される MPLS ラベル値の範囲をアドバタイズする必要があります。データプレーン機能とラベル範囲は、RFC4971 で定義されている、IS-IS ルータ機能 TLV-242 に挿入される SR 機能サブ TLV を使用してアドバタイズされます。

ISIS SR 機能サブ TLV には、すべての予約済み SRGB 範囲が含まれます。ただし、シスコの実装でサポートされる SRGB 範囲は 1 つだけです。サポートされている IPv4 プレフィックス SID サブ TLV は、TLV-135 および TLV-235 です。

リモートルータからのラベルスイッチドパスで受信するプレフィックス SID

到達可能性 TLV（TLV 135 および 235）を使用してラベル スイッチド パス（LSP）で受信したプレフィックス SID は、次の条件が満たされている場合にのみ、プレフィックス VPN ラベルごとの BGP ダウンロードと同じ方法でルーティング情報ベース（RIB）にダウンロードされます。

- トポロジとアドレスファミリに対してセグメント ルーティングが有効。
- プレフィックス SID が有効。
- MFI へのローカル ラベルのバインドが成功している。

（注）
- 指定された SID 範囲に収まらない SID の場合、RIB の更新時にラベルは使用されません。SID が SID の範囲内には収まるが、ネクストホップのネイバー SID の範囲には収まらない場合は、そのパスに関連付けられているリモート ラベルはインストールされません。
- 到達可能性 TLV（TLV 135 および 235）を使用して LSP で受信されたノード SID は、対応するアドレスファミリでセグメント ルーティングが有効になっている場合にのみ RIB にダウンロードされます。
- 複数のベスト ネクスト ホップの場合は、すべてのネクスト ホップがセグメント ルーティングをサポートしていないと、ISIS は同じプレフィックスに割り当てられた一致しないラベルに類似したインスタンスを処理します。つまり、IS-IS がラベルを無視し、すべての ECMP パスについてラベルのないパスをグローバル RIB にインストールすることを意味します。

セグメント ルーティング隣接関係 SID アドバタイズメント

Cisco IOS XE リリース 3.17 では、IS-IS によるセグメント ルーティング隣接関係 SID のアドバタイズメントのサポートが有効です。隣接関係セグメント識別子（Adj-SID）は、セグメント ルーティングにおけるルータ隣接関係を表します。

セグメントルーティング対応ルータは、隣接関係ごとに Adj-SID を割り当てることができ、この SID を隣接関係 TLV で伝送するように Adj-SID サブ TLV が定義されます。IS-IS 隣接関係は、次のいずれかのネイバー TLV を使用してアドバタイズされます。

- TLV-22 [RFC5305]
- TLV-23 [RFC5311]

IS-IS は、IS-IS 隣接関係状態がアップであり、IS-IS セグメント ルーティングの内部動作状態が有効になっている場合にのみ、IS-IS ネイバーごとに隣接関係 SID を割り当てます。ラベル リソースの不足が原因で隣接関係 SID の割り当てに失敗した場合、IS-IS は、デフォルトの間隔（30 秒）で定期的に Adj-SID の割り当てを再試行します。

隣接関係（アジャセンシー）SID

Cisco IOS XE リリース 3.18 では、複数の隣接関係 SID がサポートされています。保護された P2P/LAN 隣接関係のそれぞれに対して、IS-IS は 2 つの Adj-SID を割り当てます。バックアップ Adj-SID は、インターフェイス上で FRR（ローカル LFA）が有効になっているときにのみ割り当てられ、アドバタイズされます。FRR が無効になっている場合は、バックアップ隣接関係 SID が解放されます。フォワーディング プレーンでの保護された adj-SID の永続化はサポートされます。プライマリ リンクがダウンしている場合、IS-IS は、遅延タイマーが期限切れになるまでバックアップ Adj-SID の解放を遅らせます。これにより、フォワーディング プレーンは、ルータがコンバージされるまで、バックアップ パスを経由してトラフィックを転送し続けることができます。

Cisco IOS XE リリース 3.18 では、フォワーディング プレーンがプロトコル固有のレベルを認識しないので、IS-IS Adj-SID はレベルごとに変更されます。割り当てられ、アドバタイズされたバックアップ Adj-SID は、**show isis neighbor detail** および **show isis data verbose** コマンドの出力で表示できます。

セグメント ルーティング マッピング サーバー

セグメント ルーティング マッピング サーバー（SRMS）を使用すると、プレフィックス SID マッピング ポリシー エントリの構成と保守を行うことができます。Cisco IOS XE リリース 3.17 では、IGP は SRMS のアクティブ ポリシーを使用して、フォワーディング プレーンのプログラミング時に SID 値を決定します。

SRMS は、ネットワークの SID/ラベル マッピング ポリシーにプレフィックスを提供します。一方、IGP は、プレフィックス SID/ラベル バインディング TLV を介して SID/ラベル マッピング ポリシーにプレフィックスをアドバタイズする役割を担います。アクティブ ポリシー情報と変更は、アクティブ ポリシー情報を使用して転送情報を更新する IGP に通知されます。

接続されたプレフィックス SID

場合によってはルータは、LSP にアドバタイズするものとは異なる SID を持つプレフィックスをインストールすることがあります。たとえば、複数のプロトコルまたは複数の IGP インスタンスが、異なる SID を持つ同じプレフィックスを SRMS にアナウンスしている場合、SRMS は競合を解決し、ローカル インスタンスと同じでない可能性がある競合に勝ったプレフィックスと SID をアナウンスします。その場合、IGP は、常にソース LSP から学習した内容をアドバタイズしますが、その LSP で学習したものとは異なる可能性がある SID のインストールを試みます。これは IGP が別のプロトコルまたは別のプロトコル インスタンスから SID を再配布することを防ぐために行われます。

SRGB 範囲の変更

IS-IS セグメント ルーティングが設定されている場合、IS-IS は、IS-IS SR の動作状態を有効にする前に SRGB とのインタラクションを要求する必要があります。SRGB 範囲が作成されていない場合、IS-IS は有効になりません。

SRGB 変更イベントが発生した場合、IS-IS は、そのサブブロック エントリで対応する変更を行います。また IS-IS は、SR 機能サブ TLV で新しく作成または拡張された SRGB 範囲をアドバタイズし、プレフィックス SID サブ TLV アドバタイズメントを更新します。

（注） Cisco IOS XE リリース 3.16 では、変更に対して 1 つの SRGB 範囲と SRGB 拡張機能のみがサポートされます。

SRGB の削除

IS-IS が SRGB 削除イベントを受信すると、IS-IS は、IS-IS SRGB キューのリストで SRGB エントリを検索します。SRGB エントリが存在しない場合、IS-IS は保留中の SRGB が作成されたイベントがないことを確認します。保留中の SRGB 作成イベントが見つかった場合、IS-IS は SRGB 作成イベントを削除し、SRGB の削除処理を完了します。

IS-IS SRGB キューで SRGB エントリが見つかった場合、IS-IS は SRGB をロックし、RIB を再配布し、保留中の削除 SRGB 範囲内の SID の値を持つすべてのプレフィックス SID をアドバタイズせず、SR 機能サブ TLV から SRGB 範囲をアドバタイズしません。IS-IS は SRGB の削除処理を完了すると、SRGB のロックを解除し、その SR サブブロック エントリから SRGB を削除します。

SRGB の削除後に有効な SRGB がない場合、IS-IS SR の動作状態が無効になります。

インターフェイスでの MPLS 転送

セグメント ルーティングがインターフェイスを使用する前に、MPLS 転送を有効にする必要があります。IS-IS は、インターフェイスでの MPLS 転送を有効にする役割を担います。

セグメント ルーティングが IS-IS トポロジに対して有効になっている場合、または IS-IS セグメント ルーティングの動作状態が有効になっている場合、IS-IS は、IS-IS トポロジがアクティブである任意のインターフェイスに対して MPLS を有効にします。同様に、IS-IS トポロジのセグメント ルーティングが無効になっている場合、IS-IS は、そのトポロジのすべてのインターフェイスで MPLS 転送を無効にします。

セグメント ルーティングと LDP の設定

コマンド **sr-label-preferred** により、転送インターフェイスは、トポロジ内のすべてのプレフィックスに対して、セグメント ルーティング ラベルを LDP ラベルより優先させることができます。

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの通知

IS-IS は、少なくとも 1 つのレベルに対して IS-IS SR と TE の両方が有効になっていることを検出した場合、セグメントルーティング情報を TE に通知します。IS-IS は、TE が設定されているレベルから取得された情報のみをアナウンスします。

同様に IS-IS は、セグメントルーティングが有効になっていないこと、または TE がどのレベルでも設定されていない状態になったことを検出した場合、すべての通知を削除するように TE に指示します。

IS-IS v4 ノード SID によるセグメントルーティングの設定方法

セグメント ルーティングの設定

始める前に

セグメント ルーティングをサポートするように IS-IS を設定する前に、最初にグローバル コンフィギュレーション モードでセグメント ルーティング機能を設定する必要があります。

手順の概要

1. **enable**
2. **configure terminal**
3. **segment-routing mpls**
4. **connected-prefix-sid-map**
5. **address-family ipv4**
6. **10.1.1.1/32 index 100 range 1**
7. **exit-address-family**

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**enable** 例： `Device# enable`	特権 EXEC モードを有効にします。パスワードを入力します（要求された場合）。
ステップ 2	**configure terminal** 例： `Device# configure terminal`	グローバル コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 3	**segment-routing mpls** 例： `Device(config-sr)# segment-routing mpls`	MPLS データ プレーンを使用してセグメント機能を有効にします。

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 4	**connected-prefix-sid-map** 例： `Device(config-srmpls)# connected-prefix-sid-map`	ローカル プレフィックスと SID のアドレス ファミリ固有のマッピングを設定できるサブモードを開始します。
ステップ 5	**address-family ipv4** 例： `Device(config-srmpls-conn)# address-family ipv4`	IPv4 アドレス プレフィックスを指定します。
ステップ 6	**10.1.1.1/32 index 100 range 1** 例： `Device(config-srmpls-conn-af)# 10.1.1.1/32 100 range 1`	SID 100 にアドレス 1.1.1.1/32 を関連付けます。
ステップ 7	**exit-address-family** 例： `Device(config-srmpls-conn-af)# exit-address-family`	アドレス ファミリを終了します。

IS-IS ネットワークでのセグメントルーティングの設定

始める前に

IS-IS ネットワークでセグメント ルーティングを設定するには、その前にネットワークで IS-IS をイネーブルにする必要があります。

手順の概要

1. **router isis**
2. **net network-entity-title**
3. **metric-style wide**
4. **segment-routing** mpls
5. **exit**
6. **show isis segment-routing**

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**router isis** 例： `Device(config-router)# router isis`	IS-IS ルーティング プロトコルをイネーブルにし、ルータ コンフィギュレーション モードを開始します。

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 2	**net network-entity-title** 例： `Device(config-router)# net 49.0000.0000.0003.00`	ルーティング インスタンスの Network Entity Title（NET）を設定します。
ステップ 3	**metric-style wide** 例： `Device(config-router)# metric-style wide`	ワイド リンク メトリックだけを生成および受け入れるようにデバイスを設定します。
ステップ 4	**segment-routing** mpls 例： `Device(config-router)# segment-routing mpls`	セグメントルーティングの動作状態を設定します。
ステップ 5	**exit** 例： `Device(config-router)# exit`	セグメントルーティングモードを終了し、コンフィギュレーション端末モードに戻ります。
ステップ 6	**show isis segment-routing** 例： `Device# show is-is segment-routing`	（任意）IS-IS セグメント ルーティングの現在の状態を表示します。

例

次の例は、IS-IS のセグメント ルーティングに関する **show isis segment-routing state** コマンドからの出力を示しています。

```
Device# show isis segment-routing

ISIS protocol is registered with MFI
ISIS MFI Client ID:0x63
Tag 1 - Segment-Routing:
   SR State:SR_ENABLED
   Number of SRGB:1
   SRGB Start:16000, Range:8000, srgb_handle:0x4500AED0, srgb_state: created
   Address-family IPv4 unicast SR is configured
     Operational state:Enabled
```

IS-IS のプレフィックス SID の設定

このセクションでは、各インターフェイスでプレフィックスセグメント識別子（SID）のインデックスを設定する方法について説明します。

始める前に

セグメント ルーティングを対応するアドレス ファミリでイネーブルにする必要があります。

手順の概要

1. **enable**
2. **configure terminal**
3. **segment-routing mpls**
4. **connected-prefix-sid-map**
5. **address-family ipv4**
6. **10.1.1.1/32 index 100 range 1**
7. **exit**

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**enable** 例： `Device# enable`	特権 EXEC モードを有効にします。
ステップ 2	**configure terminal** 例： `Device# configure terminal`	グローバル コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 3	**segment-routing mpls** 例： `Device(config)# segment-routing mpls`	セグメント ルーティング MPLS モードを設定します。
ステップ 4	**connected-prefix-sid-map** 例： `Device(config-srmpls)# connected-prefix-sid-map`	ローカル プレフィックスと SID のアドレス ファミリ固有のマッピングを設定できるサブモードを開始します。
ステップ 5	**address-family ipv4** 例： `Device(config-srmpls-conn)# address-family ipv4`	IPv4 アドレス ファミリを指定し、ルータ アドレス ファミリ コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 6	**10.1.1.1/32 index 100 range 1** 例： `Device(config-srmpls-conn-af)# 10.1.1.1/32 100 range 1`	SID 100 にアドレス 1.1.1.1/32 を関連付けます。

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 7	**exit** 例： `Device(config-router)# exit`	セグメントルーティングモードを終了し、コンフィギュレーション端末モードに戻ります。

プレフィックス属性 N-Flag の設定

デフォルトでは、ループバックアドレスに関連付けられた SID をアドバタイズするときに、IS-IS によって N-flag と呼ばれるフラグが設定されます。このフラグをクリアするには、明示的な設定を追加します。

手順の概要

1. **enable**
2. **configure terminal**
3. **interface loopback3**
4. **isis prefix n-flag-clear**

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**enable** 例： `Device# enable`	特権 EXEC モードを有効にします。パスワードを入力します（要求された場合）。
ステップ 2	**configure terminal** 例： `Device# configure terminal`	グローバル コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 3	**interface loopback3** 例： `Device(config)# interface loopback3`	インターフェイス ループバックを指定します。
ステップ 4	**isis prefix n-flag-clear** 例： `Device(config-if)# isis prefix n-flag-clear`	プレフィックス N-flag をクリアします。

明示的 Null 属性の設定

penultimate-hop-popping（PHP）を無効にし、明示的ヌル ラベルを追加するには、explicit-null オプションを指定する必要があります。オプションを指定すると、IS-IS は、プレフィックス SID サブ TLV に E フラグを設定します。

デフォルトでは、ループバック アドレスに関連付けられたプレフィックス SID をアドバタイズするときに、IS-IS によって E-flag（明示的ヌル フラグ）と呼ばれるフラグが 0 に設定されます。このフラグを設定するには、明示的な設定を追加します。

手順の概要

1. **enable**
2. **configure terminal**
3. **segment-routing mpls**
4. **set-attributes**
5. **address-family ipv4**
6. **explicit-null**
7. **exit-address-family**

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**enable** 例： `Device# enable`	特権 EXEC モードを有効にします。パスワードを入力します（要求された場合）。
ステップ 2	**configure terminal** 例： `Device# configure terminal`	グローバル コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 3	**segment-routing mpls** 例： `Device(config)# segment-routing mpls`	セグメント ルーティング MPLS モードを設定します。
ステップ 4	**set-attributes** 例： `Device(config-srmpls)# set-attributes`	属性を設定します。
ステップ 5	**address-family ipv4** 例： `Device(config-srmpls-attr)# address-family ipv4`	IPv4 アドレス ファミリを指定し、ルータ アドレス ファミリ コンフィギュレーション モードを開始します。

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 6	**explicit-null** 例： `Device(config-srmpls-attr-af)# explicit-null`	explicit-null ラベルを有効化します。
ステップ 7	**exit-address-family** 例： `Device(config-srmpls-attr-af)# exit-address-family`	アドレス ファミリを終了します。

セグメント ルーティング Label Distribution Protocol 優先順位の設定

手順の概要

1. **enable**
2. **configure terminal**
3. **segment-routing mpls**
4. **set-attributes**
5. **address-family ipv4**
6. **sr-label-preferred**
7. **exit-address-family**

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**enable** 例： `Device# enable`	特権 EXEC モードを有効にします。パスワードを入力します（要求された場合）。
ステップ 2	**configure terminal** 例： `Device# configure terminal`	グローバル コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 3	**segment-routing mpls** 例： `Device(config)# segment-routing mpls`	セグメント ルーティング MPLS モードを設定します。
ステップ 4	**set-attributes** 例：	属性を設定します。

	コマンドまたはアクション	目的
	`Device(config-srmpls)# set-attributes`	
ステップ 5	**address-family ipv4** 例： `Device(config-srmpls-attr)# address-family ipv4`	IPv4 アドレス ファミリを指定し、ルータ アドレス ファミリ コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 6	**sr-label-preferred** 例： `Device(config-srmpls-attr-af)# sr-label-preferred`	LDP より優先される SR ラベルを指定します。
ステップ 7	**exit-address-family** 例： `Device(config-srmpls-attr-af)# exit-address-family`	アドレス ファミリを終了します。

IS-IS SRMS の設定

次のコマンドは、IS-IS SRMS を有効にして、IS-IS がローカル マッピング エントリをアドバタイズできるようにします。IS-IS は、SRMS ライブラリにリモート エントリを送信しません。ただし、IS-IS は、ローカルに設定されたマッピング エントリのみに基づいて計算される SRMS アクティブ ポリシーを使用します。

```
[no] segment-routing prefix-sid-map advertise-local
```

IS-IS SRMS クライアントの設定

デフォルトでは、IS-IS SRMS クライアント モードが有効になっています。IS-IS は、常に SRMS に LSP を通じて受信したリモート プレフィックス SID マッピング エントリを送信します。SRMS アクティブ ポリシーは、ローカルおよびリモートのマッピング エントリに基づいて計算されます。

次のコマンドを実行すると、プレフィックス SID マッピング クライアント機能が無効になり、受信者側で設定されます。

```
segment-routing prefix-sid-map receive [disable]
```

IS-IS SID バインド TLV ドメイン フラッディングの設定

デフォルトでは、IS-IS SRMS サーバーは、ルーティング ドメイン内の SID バインディング エントリをフラッディングしません。Cisco IOS-XE リリース 3.18 以降、IS-IS SRMS サーバーモー

ドコマンドにオプションのキーワード **domain-wide** が追加され、SID およびラベルバインド TLV フラッディング機能が有効になります。

```
segment-routing prefix-sid-map advertise-local [domain-wide]
```

キーワード **domain-wide** を使用すると、IS-IS SRMS サーバーは、ルーティング ドメイン全体で SID バインド TLV をアドバタイズできます。

（注） このオプションは、IS-IS SRMS が SRMS サーバー モードで実行する場合にのみ有効です。

セグメント ルーティングの設定例：IS-IS v4 ノード SID

例：IS-IS ネットワークでのセグメント ルーティングの設定

次の例では、各インターフェイスでプレフィックスセグメント ID（SID）を設定する方法について説明します。

```
Device(config)#segment-routing mpls
 Device(config-srmpls)#connected-prefix-sid-map
  Device(config-srmpls-conn)#address-family ipv4
   Device(config-srmpls-conn-af)#10.1.2.2/32 index 2 range 1
  Device(config-srmpls-conn-af)#exit-address-family
 Device(config-srmpls-conn-af)#end
```

例：明示的 Null 属性の設定

明示的な Null 属性を設定する例を次に示します。

```
Device(config)# segment-routing mpls
Device(config-srmpls)# set-attributes
 Device(config-srmpls-attr)# address-family ipv4
  Device(config-srmpls-attr-af)# explicit-null
 Device (config-srmpls-attr-af)# exit-address-family
```

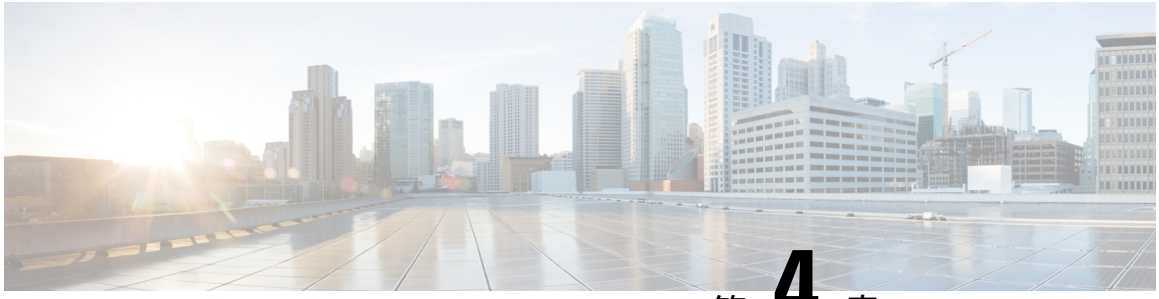
IS-IS v4 ノード SID によるセグメントルーティングに関する追加情報

関連資料

関連項目	マニュアル タイトル
IP ルーティング ISIS コマンド	Cisco IOS IP ルーティング ISIS コマンド

RFC

RFC	タイトル
RFC4971	『Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Extensions for Advertising Router Information』
RFC5305	『IS-IS Extensions for Traffic Engineering』。IPv4 用のルータ ID のアドバタイズメントを定義します。
RFC6119	『IPv6 Traffic Engineering in IS-IS』。IPv6 用のルータ ID のアドバタイズメントを定義します。



第 4 章

IS-IS リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティング

このドキュメントでは、セグメントルーティング（SR）のトポロジに依存しないループフリー代替（TI-LFA）リンク保護を使用した IP 高速再ルーティング機能（IPFRR）の機能性と IS-IS の実装について説明します。

IS-IS リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの機能情報

表 *2 : IS-IS* リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの機能情報

機能名	リリース	機能情報
IS-IS リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティング	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	次のコマンドが導入または変更されました。 **fast-reroute ti-lfa {level-1 | level-2} [maximum-metric value]**、isis fast-reroute ti-lfa protection level-1 disable、**isis fast-reroute ti-lfa protection {level-1 | level-2} [maximum-metric value]**、**show running all | section interface interface-name**、**show running all | section router isis**。

IS-IS リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの前提条件

- すべてのノードで TI-LFA を有効にしてから、TI-LFA 用の SR-TE を設定してください。

```
mpls traffic-eng tunnels
!
segment-routing mpls
 connected-prefix-sid-map
  address-family ipv4
   10.1.1.1/32 index 11 range 1
  exit-address-family
 !
interface Loopback1
 ip address 10.1.1.1 255.255.255.255
 ip router isis 1
!
interface Tunnel1
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name IP_PATH segment-routing
!
interface GigabitEthernet2
 ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
 ip router isis 1
 negotiation auto
 mpls traffic-eng tunnels
 isis network point-to-point
!
interface GigabitEthernet3
 ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
 ip router isis 1
 negotiation auto
 mpls traffic-eng tunnels
 isis network point-to-point
!
router isis 1
 net 49.0001.0010.0100.1001.00
 is-type level-1
 metric-style wide
 log-adjacency-changes
 segment-routing mpls
 fast-reroute per-prefix level-1 all
 fast-reroute ti-lfa level-1
 mpls traffic-eng router-id Loopback1
 mpls traffic-eng level-1
!
ip explicit-path name IP_PATH enable
 next-address 10.4.4.4
 next-address 10.5.5.5
 next-address 10.6.6.6
```

- プライマリとセカンダリのパス切り替えの場合で、ルータ間でマイクロループが作成された場合は、コンバージェンス時間を減らす必要があります。**microloop avoidance rib-update-delay** コマンドを使用して、コンバージェンス時間を減らします。

```
router isis ipfrr
net 49.0001.0120.1201.2012.00
is-type level-2-only
metric-style wide
log-adjacency-changes
segment-routing mpls
segment-routing prefix-sid-map advertise-local
fast-reroute per-prefix level-2 all
fast-reroute ti-lfa level-2
microloop avoidance rib-update-delay 10000
```

- 高可用性（HA）切り替え後のトラフィック損失を削減または最小化するために、MPLS-TE ノンストップ ルーティング（NSR）と IS-IS ノンストップ フォワーディング（NSF）を有効にします。グローバル EXEC モードで **mpls traffic-eng nsr** コマンドを使用します。

```
mpls traffic-eng nsr
```

IS-IS で **nsf** コマンドを使用します。

```
router isis
nsf cisco
nsf interval 0
```

IS-IS リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングについて

ローカル LFA およびリモート LFA が有効になっている場合、保護すべきプレフィックスのカバレッジは良好になります。ただし、PQ インターセクト ノードを持たないいくつかのまれなトポロジでは、ローカルおよびリモート LFA のどちらも、失敗したリンクを保護するために解放ノードを見つけることに失敗します。さらに、2 つのアルゴリズムには LFA のコンバージェンス後の特性についての知識がないため、コンバージェンス後の経路を優先する方法はありません。

上記の制限を克服するために、有効な Cisco IOS-XE リリース 3.18 では、トポロジに依存しない LFA（TI-LFA）が SR 対応ネットワークでサポートされます。

トポロジに依存しないループ フリー代替

TI-LFA は以下のためのサポートを提供します。

- リンク保護：LFA はリンクの障害のための修復パスを提供します。
- ローカル LFA：コンバージェンス後のパスのローカル LFA が利用可能であるときはいつでも、ローカル LFA は修復パスのための追加 SID を必要としないので、TI LFA より優先されます。つまり、PQ ノードのラベルは、リリース ノードには必要ありません。
- 拡張 P スペースのローカル LFA：拡張 P スペースのノードの場合、ローカル LFA は今でも修復パスのための最も経済的な方法です。この場合、TI-LFA は選択されません。

- PQ 交差ノードへのトンネル：これは、修復パスが TI-LFA を使用してコンバージェンス後のパスで保証されることを除いて、リモート LFA と類似しています。
- PQ 分離ノードへのトンネル：ローカルおよびリモート LFA が修復パスを見つけられない場合には、この機能は TI-LFA に固有です。
- プラットフォームのサポートされている最大ラベル数までの、複数の交差または分離 PQ ノードを通過するトンネル：TI-LFA は、すべてのプレフィックスの完全なカバレッジを提供します。
- 保護されたリンクのための P2P インターフェイス：TI-LFA は P2P インターフェイスを保護します。
- 非対称リンク：ネイバー間の ISIS メトリックは同じではありません。
- マルチホーム（エニーキャスト）プレフィックス保護：同じプレフィックスが複数のノードによって発信される場合があります。
- 保護されたプレフィックスのフィルタリング：ルートマップは、保護するプレフィックスのリストと、リリース ノードまでの最大修復距離を制限するオプションを含めるかまたは除外します。
- タイブレーカー：TI-LFA に適用可能な既存のタイブレーカーのサブセットがサポートされています。

トポロジに依存しないループ フリー代替タイブレーク

ローカルおよびリモート LFA は、プレフィックスを保護するために複数のパスがある場合、デフォルトまたはユーザー設定のヒューリスティックを使用してタイブレークします。この属性は、ロード バランシングの前に、TI-LFA リンク保護計算の終了時に修復パスの数を削減するために使用されます。ローカル LFA およびリモート LFA は次のタイブレーカーをサポートします。

- Linecard-disjoint：ライン カード分離修復パスを優先します
- Lowest-backup-path-metric：最小の合計メトリックを持つ修復パスを優先します
- Node-protecting：修復パスを保護するノードを優先します
- SRLG-disjoint：SRLG 分離修復パスを優先します
- Load-sharing：リンクとプレフィックスの間で均等に修復パスを分配します

特定のプレフィックスに対して 2 つの修復パスがある場合、プライマリ ポートのものとは異なるライン カードの出力ポートであるパスが、修復パスとして選択されます。TI-LFA リンク保護の場合、次のタイブレーカーがサポートされています。

- Linecard-disjoint：ライン カード分離修復パスを優先します。
- LC disjoint index：修復パスの両方がプライマリ パスのものと同じライン カード上にある場合、両方のパスが候補と見なされます。パスの 1 つが別のライン カード上にある場合は、そのパスが修復パスとして選択されます。
- SRLG index：両方の修復パスがプライマリ パスのものと同じ SRLG ID を持つ場合、両方のパスが候補と見なされます。パスの 1 つが異なる srlg id を持つ場合、そのパスが修復パスとして選択されます。

- Node-protecting：TI-LFA ノード保護の場合、コンバージェンス後の最短パスを計算するときに保護ノードが削除されます。修復パスは、保護されたノードの周囲のトラフィックを指示する必要があります。

SRLG ID は、各インターフェイスに対して構成できます。プレフィックスに対して 2 つの修復パスがある場合、修復パスに設定された SRLG ID は、プライマリ パス SRLG ID のものと比較されます。セカンダリ パスの SRLG ID がプライマリのものと異なる場合、そのパスが修復パスとして選択されます。このポリシーが有効になるのは、プライマリ パスが SRLG ID で構成されている場合のみです。同じインターフェイスまたは同じプロトコル インスタンスに対して、ノードと SRLG の両方の保護モードを設定することができます。その場合、追加の TI-LFA ノード SRLG の組み合わせ保護アルゴリズムが実行されます。TI-LFA ノード SRLG の組み合わせアルゴリズムは、コンバージェンス後の SPT を計算するときに、保護されたノードと、同じ SRLG グループを持つインターフェイスのすべてのメンバーを削除します。

インターフェイス高速再ルーティング タイブレーカー

インターフェイス高速再ルーティング（FRR）タイブレーカーは、TI-LFA ノードおよびSRLG 保護にも必要です。インターフェイスおよびプロトコル インスタンス FRR タイブレーカーの両方が設定されている場合、インターフェイス FRR タイブレーカーはプロトコル インスタンスよりも優先されます。インターフェイス FRR タイブレーカーが設定されていない場合、インターフェイスは、プロトコル インスタンス FRR タイブレーカーを継承します。

以下のインターフェイス FRR タイブレーカー コマンドは、特定のインターフェイスにのみ適用されます。

```
isis fast-reroute tie-break
[level-1 | level-2] linecard-disjoint
priority
isis fast-reroute tie-break
[level-1 | level-2] lowest-backup-metric
priority
isis fast-reroute tie-break
[level-1 | level-2] node-protecting
priority
isis fast-reroute tie-break
[level-1 | level-2] srlg-disjoint
priority
isis fast-reroute tie-break
[level-1 | level-2] default
```

同じインターフェイス上のタイブレーカーのデフォルトと明示的なタイブレーカーは、相互に排他的です。

以下のタイブレーカーは、すべての LFA でデフォルトで有効になっています。

- linecard-disjoint
- lowest-backup-metric
- srlg-disjoint

Cisco IOS XE リリース 3.18 では、ノード保護タイブレーカーはデフォルトで無効になっています。

IS-IS リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの設定方法

リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングを設定するには、以下のステップを実行します。

トポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの設定

次の 2 つの方法のいずれかを使用して、TI-LFA を有効にすることができます。

1. **プロトコルの有効化**：すべての IS-IS インターフェイスに対してルータ isis モードで TI-LFA を有効にします。必要に応じて、インターフェイス コマンドを使用して、TI-LFA を無効にするインターフェイスを除外します。

   たとえば、すべての IS-IS インインターフェイスに対して TI-LFA を有効にするには次を実行します。

   ```
   router isis 1
   fast-reroute per-prefix {level-1 | level-2}
   fast-reroute ti-lfa {level-1 | level-2} [maximum-metric value]
   ```

   （注） **isis fast-reroute protection level-x** コマンドはローカル LFA を有効にし、TI-LFA の有効化を要求されます。

2. **インターフェイスの有効化**：各インターフェイスで TI-LFA を選択的に有効にします。

   ```
   interface interface-name
   isis fast-reroute protection {level-1 | level-2}
   isis fast-reroute ti-lfa protection {level-1 | level-2} [maximum-metric value]
   ```

   maximum-metric オプションは、ノードがリリース ノードとして適格であると見なされる最大修復距離を指定します。

   インターフェイスとプロトコルの両方で TI-LFA が有効になっている場合、インターフェイス設定はプロトコル設定より優先されます。TI-LFA はデフォルトでは無効になっています。

   特定のインターフェイスで TI-LFA を無効にするには、次のコマンドを使用します。

   ```
   interface interface-name
   isis fast-reroute ti-lfa protection level-1 disable
   ```

マッピング サーバーを使用したトポロジに依存しないループ フリー代替の設定

構成を理解するために、次のトポロジを検討してください。

- IXIA-2 は ISIS のプレフィックスを注入し、IXIA-1 は一方向のトラフィックを IXIA-2 に送ります

  .
- R1 10,000 プレフィックスはセグメントルーティング マッピングサーバーで設定されます。

R1 の設定は次のとおりです。

```
configure terminal
segment-routing mpls
global-block 16 20016
!
connected-prefix-sid-map
address-family ipv4
10.11.11.11/32 index 11 range 1
exit-address-family
!
!
mapping-server
!
prefix-sid-map
address-family ipv4
10.0.0.0/24 index 2 range 1 attach
203.0.113.1/24 index 1 range 1 attach
192.168.0.0/24 index 100 range 10000 attach
exit-address-family
!
!
!
!
interface Loopback0
ip address 10.11.11.11 255.255.255.255
ip router isis ipfrr
!
interface GigabitEthernet0/1/0
ip address 10.14.0.1 255.255.255.0
ip router isis ipfrr
negotiation auto
isis network point-to-point
!
interface GigabitEthernet0/1/2
ip address 10.0.0.1 255.255.255.0
ip router isis ipfrr
negotiation auto
isis network point-to-point
!
```

```
interface GigabitEthernet0/1/4
ip address 203.0.113.2 255.255.255.0
ip router isis ipfrr
negotiation auto
isis network point-to-point
!
router isis ipfrr
net 49.0001.0110.1101.1011.00
is-type level-2-only
metric-style wide
log-adjacency-changes
nsf cisco
segment-routing mpls
segment-routing prefix-sid-map advertise-local
fast-reroute per-prefix level-2 all
fast-reroute ti-lfa level-2
microloop avoidance rib-update-delay 10000
```

R2 の設定は次のとおりです。

```
configure terminal
!
!
segment-routing mpls
!
connected-prefix-sid-map
address-family ipv4
10.12.12.12/32 index 12 range 1
exit-address-family
!
!
interface Loopback0
ip address 10.12.12.12 255.255.255.255
ip router isis ipfrr
!
interface GigabitEthernet0/1/0
ip address 10.12.0.1 255.255.255.0
ip router isis ipfrr
negotiation auto
isis network point-to-point
!
interface GigabitEthernet0/1/1
ip address 10.11.0.2 255.255.255.0
ip router isis ipfrr
negotiation auto
isis network point-to-point
!
router isis ipfrr
net 49.0001.0120.1201.2012.00
is-type level-2-only
metric-style wide
log-adjacency-changes
nsf cisco
segment-routing mpls
segment-routing prefix-sid-map advertise-local
fast-reroute per-prefix level-2 all
fast-reroute ti-lfa level-2
microloop avoidance rib-update-delay 10000
!
```

R3 の設定は次のとおりです。

```
configure terminal
```

```
!
mpls traffic-eng tunnels
!
segment-routing mpls
!
connected-prefix-sid-map
address-family ipv4
10.13.13.13/32 index 13 range 1
exit-address-family
!
!
interface Loopback0
ip address 10.13.13.13 255.255.255.255
ip router isis ipfrr
!
interface GigabitEthernet0/0/4
ip address 10.13.0.1 255.255.255.0
ip router isis ipfrr
load-interval 30
speed 1000
no negotiation auto
isis network point-to-point
!
interface GigabitEthernet0/0/5
ip address 10.12.0.2 255.255.255.0
ip router isis ipfrr
negotiation auto
isis network point-to-point
!
router isis ipfrr
net 49.0001.0130.1301.3013.00
is-type level-2-only
metric-style wide
log-adjacency-changes
nsf cisco
segment-routing mpls
segment-routing prefix-sid-map advertise-local
fast-reroute per-prefix level-2 all
fast-reroute ti-lfa level-2
microloop avoidance rib-update-delay 10000
!
```

R4 の設定は次のとおりです。

```
configure terminal
!
mpls traffic-eng tunnels
!
segment-routing mpls
!
connected-prefix-sid-map
address-family ipv4
10.14.14.14/32 index 14 range 1
exit-address-family
!
!
interface Loopback0
ip address 10.14.14.14 255.255.255.255
ip router isis ipfrr
!
interface GigabitEthernet0/0/0
ip address 10.14.0.2 255.255.255.0
ip router isis ipfrr
negotiation auto
```

```
isis network point-to-point
!
interface GigabitEthernet0/0/3
ip address 10.13.0.2 255.255.255.0
ip router isis ipfrr
speed 1000
no negotiation auto
isis network point-to-point
!
interface GigabitEthernet0/0/5
ip address 10.120.0.1 255.255.255.0
ip router isis ipfrr
speed 1000
no negotiation auto
isis network point-to-point
!
router isis ipfrr
net 49.0001.0140.1401.4014.00
is-type level-2-only
metric-style wide
log-adjacency-changes
nsf cisco
segment-routing mpls
segment-routing prefix-sid-map advertise-local
fast-reroute per-prefix level-2 all
fast-reroute ti-lfa level-2
microloop avoidance rib-update-delay 10000
!
```

例：IS-IS リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの設定

例 1：次の例では、ローカル LFA が linecard-disjoint と srlg-disjoint タイブレーカーで設定されています。Linecard-disjoint は、srlg-disjoint（11）よりも低い優先順位値（10）で優先されます。

```
router isis access
 net 49.0001.2037.0685.b002.00
 metric-style wide
 fast-flood 10
 max-lsp-lifetime 65535
 lsp-refresh-interval 65000
 spf-interval 5 50 200
 prc-interval 5 50 200
 lsp-gen-interval 5 5 200
 log-adjacency-changes
 nsf ietf
 segment-routing mpls
 fast-reroute per-prefix level-1 all – configures the local LFA
 fast-reroute per-prefix level-2 all
 fast-reroute remote-lfa level-1 mpls-ldp - enables rLFA (optional)
 fast-reroute remote-lfa level-2 mpls-ldp
 fast-reroute ti-lfa level-1 - enables TI-LFA
 microloop avoidance rib-update-delay 10000
 bfd all-interfaces
```

例 2：優先度 100 のすべての ISIS レベル 2 インターフェイスで、TI-LFA node-protecting タイブレーカーを有効にします。その他のタイブレーカーはすべて無効になります。

```
router isis
fast-reroute per-prefix level-2 all
fast-reroute ti-lfa level-2
fast-reroute tie-break level-2 node-protecting 100
```

例 3：すべての IS-IS レベル 2 インターフェイスで、優先度 100 の TI-LFA node-protecting タイブレーカーと、優先度 200 の TI-LFA SRLG 保護を有効にします。node-protecting タイブレーカーが設定されているため、他のすべてのタイブレーカーは無効になります。

```
router isis
fast-reroute per-prefix level-2 all
fast-reroute ti-lfa level-2
fast-reroute tie-break level-2 node-protecting 100
fast-reroute tie-break level-2 srlg-disjoint 200
```

例 4：Ethernet0/0 を除くすべての ISIS レベル 2 インターフェイスで、優先度 100 の TI-LFA node-protecting タイブレーカーを有効にします。これらの IS-IS インターフェイスでは、他のすべてのタイブレーカーは無効になります。Ethernet0/0 は継承を上書きし、linecard-disjoint、lowest-backup-path-metric、srlg-disjoint を有効にしたタイブレーカーのデフォルト セットを使用します。

```
router isis
fast-reroute per-prefix level-2 all
fast-reroute ti-lfa level-2
fast-reroute tie-break level-2 node-protecting 100
!
interface ethernet0/0
ip router isis
isis fast-reroute tie-break level-2 default
```

例 5：Ethernet0/0 以外のすべての IS-IS インターフェイスで、デフォルトのタイブレーカーを使用して TI-LFA を有効にします。Ethernet0/0 で、優先度 100 の TI-LFA node-protecting を有効にし、他のすべてのタイブレーカーを無効にします。

```
router isis
fast-reroute per-prefix level-2 all
fast-reroute ti-lfa level-2
!
interface ethernet0/0
ip router isis
isis fast-reroute tie-break level-2 node-protecting 100
```

例 6：すべての ISIS レベル 2 インターフェイスで、優先度 200 の TI-LFA node-protecting タイブレーカーおよび優先度 100 の linecard-disjoint tie-breaker タイブレーカーを有効にします。その他のタイブレーカーはすべて無効になります。

```
router isis
fast-reroute per-prefix level-2 all
fast-reroute ti-lfa level-2
fast-reroute tie-break level-2 linecard-disjoint 100
fast-reroute tie-break level-2 node-protecting 200
```

タイブレーカーの確認

インターフェイスで有効になっているタイブレーカーを表示するには、次のコマンドを使用します。

show running all | section interface *interface-name*

ルータ モードで有効になっているタイブレーカーを表示するには、次のコマンドを使用します。

show running all | section router isis

プライマリおよび修復パスの確認

この例では、10.1.1.1 は保護ネイバーであり、10.4.4.4 は保護リンク上のネイバーです。

```
Router#
show ip cef 10.1.1.1
10.1.1.1/32
  nexthop 10.1.1.1 GigabitEthernet0/2/0 label [explicit-null|explicit-null]() - slot 2
is primary interface
    repair: attached-nexthop 10.24.0.2 TenGigabitEthernet0/3/0 - slot 3 is repair interface

  nexthop 10.24.0.2 TenGigabitEthernet0/3/0 label [explicit-null|explicit-null]()
    repair: attached-nexthop 10.1.1.1 GigabitEthernet0/2/0
Router#
show ip cef 10.4.4.4
10.4.4.4/32
  nexthop 10.4.4.4 GigabitEthernet0/2/3 label [explicit-null|16004]() - slot 2 is primary
 interface
    repair: attached-nexthop 10.5.5.5 MPLS-SR-Tunnel2
Router# show ip cef 10.4.4.4 int
10.4.4.4/32, epoch 3, RIB[I], refcnt 6, per-destination sharing
  sources: RIB, Adj, LTE
  feature space:
    IPRM: 0x00028000
    Broker: linked, distributed at 4th priority
    LFD: 10.4.4.4/32 2 local labels
    dflt local label info: global/877 [0x3]
    sr local label info: global/16004 [0x1B]
        contains path extension list
        dflt disposition chain 0x46654200
          label implicit-null
          FRR Primary
            <primary: IP adj out of GigabitEthernet0/2/3, addr 10.4.4.4>
        dflt label switch chain 0x46654268
          label implicit-null
          TAG adj out of GigabitEthernet0/2/3, addr 10.4.4.4
        sr disposition chain 0x46654880
          label explicit-null
          FRR Primary
            <primary: TAG adj out of GigabitEthernet0/2/3, addr 10.4.4.4>
        sr label switch chain 0x46654880
          label explicit-null
          FRR Primary
            <primary: TAG adj out of GigabitEthernet0/2/3, addr 10.4.4.4>
  subblocks:
    Adj source: IP adj out of GigabitEthernet0/2/3, addr 10.4.4.4 464C6620
      Dependent covered prefix type adjfib, cover 10.0.0.0/0
```

```
  ifnums:
    GigabitEthernet0/2/3(11): 10.4.4.4
    MPLS-SR-Tunnel2(1022)
  path list 3B1FC930, 15 locks, per-destination, flags 0x4D [shble, hvsh, rif, hwcn]
    path 3C04D5E0, share 1/1, type attached nexthop, for IPv4, flags [has-rpr]
      MPLS short path extensions: [rib | lblmrg | srlbl] MOI flags = 0x21 label
explicit-null
      nexthop 10.4.4.4 GigabitEthernet0/2/3 label [explicit-null|16004](), IP adj out
of GigabitEthernet0/2/3, addr 10.4.4.4 464C6620
        repair: attached-nexthop 10.5.5.5 MPLS-SR-Tunnel2 (3C04D6B0)
    path 3C04D6B0, share 1/1, type attached nexthop, for IPv4, flags [rpr, rpr-only]
      MPLS short path extensions: [rib | lblmrg | srlbl] MOI flags = 0x1 label 16004
      nexthop 10.5.5.5 MPLS-SR-Tunnel2 label 16004(), repair, IP midchain out of
MPLS-SR-Tunnel2 46CE2440
  output chain:
    label [explicit-null|16004]()
    FRR Primary (0x3B209220)
      <primary: TAG adj out of GigabitEthernet0/2/3, addr 10.4.4.4 464C6480> - primary
path
      <repair:  TAG midchain out of MPLS-SR-Tunnel2 46CE22A0
                label 16()
                label 16003()
               TAG adj out of TenGigabitEthernet0/3/0, addr 10.24.0.2 46CE25E0> - repair
 path
```

IS-IS セグメント ルーティングの設定の確認

```
Router# show isis segment-routing
 ISIS protocol is registered with MFI
 ISIS MFI Client ID:0x63
 Tag Null - Segment-Routing:
   SR State:SR_ENABLED
   Number of SRGB:1
   SRGB Start:14000, Range:1001, srgb_handle:0xE0934788, srgb_state: created
   Address-family IPv4 unicast SR is configured
     Operational state: Enabled
```

コマンドでキーワード **global-block** を指定すると、SRGB と、LSP の範囲を表示します。

```
Router# show isis segment-routing global-block
IS-IS Level-1 Segment-routing Global Blocks:
System ID             SRGB Base    SRGB Range
nevada                  20000        4001
arizona               * 16000        1000
utah                    40000        8000
```

show isis segment-routing prefix-sid-map コマンドでキーワード **advertise** を指定すると、ルータがアドバタイズするプレフィックス SID マップを表示します。

```
Roouter# show isis segment-routing prefix-sid-map adv
IS-IS Level-1 advertise prefix-sid maps:
Prefix               SID Index    Range        Flags
10.16.16.16/32       101          1
10.16.16.17/32       102          1            Attached
```

show isis segment-routing prefix-sid-map コマンドでキーワード **receive** を指定すると、ルータが受信するプレフィックス SID マップを表示します。

```
Router #sh isis segment-routing prefix-sid-map receive
IS-IS Level-1 receive prefix-sid maps:
Host                 Prefix               SID Index    Range        Flags
utah                 10.16.16.16/32       101          1
                     10.16.16.17/32       102          1            Attached
```

LSP で見つかった、マッピング サーバー コンポーネントに渡される接続 SID を表示するには、**show isis segment-routing connected-sid** コマンドを使用します。

```
Router# show isis segment-routing connected-sid
IS-IS Level-1 connected-sids
Host                  Prefix               SID Index    Range        Flags
nevada              * 10.1.1.2/32          1002         1
                      10.2.2.2/32          20           1
                      10.1.1.10/32         10           1
colorado              10.1.1.3/32          33           1
                      10.1.1.6/32          6            1
IS-IS Level-2 connected-sids
Host                 Prefix               SID Index    Range        Flags
```

IS-IS トポロジに依存しないループ フリー代替トンネルの確認

```
Router# show isis fast-reroute ti-lfa tunnel
Fast-Reroute TI-LFA Tunnels:
Tunnel  Interface  Next Hop         End Point        Label      End Point Host
MP1     Et1/0      10.30.1.4        10.1.1.2          41002     nevada
MP2     Et0/0      10.19.1.6        10.1.1.6          60006     colorado
                                    10.1.1.2          16        nevada
MP3     Et0/0      10.19.1.6        10.1.1.6          60006     colorado
                                    10.1.1.2          16        nevada
                                    10.1.1.5          70005     wyoming
```

トポロジに依存しないループ フリー代替構成によるセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの確認

```
Router# show mpls traffic-eng tunnels tunnel1
Name: PE1                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type explicit IP_PATH (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 7  7   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: TE (default)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 0 [0] bw-based
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 4 hours, 25 minutes
```

```
      Time since path change: 4 hours, 21 minutes
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 37
    Current LSP: [ID: 37]
      Uptime: 4 hours, 21 minutes
  Tun_Instance: 37
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Node]: 10.4.4.4, Label: 16014
    Segment1[Node]: 10.5.5.5, Label: 16015
    Segment2[Node]: 10.6.6.6, Label: 16016
Router# show isis fast-reroute ti-lfa tunnel

Tag 1:
Fast-Reroute TI-LFA Tunnels:
Tunnel  Interface  Next Hop         End Point        Label     End Point Host
MP1     Gi2        192.168.1.2      10.6.6.6         16016     SR_R6
MP2     Gi3        192.168.2.2      10.6.6.6         16016     SR_R6
Router# show frr-manager client client-name ISIS interfaces detail
TunnelI/F : MP1
  Type : SR
  Next-hop : 192.168.1.2
  End-point : 10.6.6.6
  OutI/F : Gi2
  Adjacency State : 1
  Prefix0 : 10.6.6.6(Label : 16016)
TunnelI/F : MP2
  Type : SR
  Next-hop : 192.168.2.2
  End-point : 10.6.6.6
  OutI/F : Gi3
  Adjacency State : 1
  Prefix0 : 10.6.6.6(Label : 16016)
Router# show ip cef 10.6.6.6 internal

10.6.6.6/32, epoch 2, RIB[I], refcnt 6, per-destination sharing
  sources: RIB, LTE
  feature space:
    IPRM: 0x00028000
    Broker: linked, distributed at 1st priority
    LFD: 10.6.6.6/32 1 local label
    sr local label info: global/16016 [0x1A]
        contains path extension list
        sr disposition chain 0x7FC6B0BF2AF0
          label implicit-null
          IP midchain out of Tunnel1
          label 16016
          FRR Primary
            <primary: label 16015
                      TAG adj out of GigabitEthernet3, addr 192.168.2.2>
        sr label switch chain 0x7FC6B0BF2B88
          label implicit-null
          TAG midchain out of Tunnel1
          label 16016
          FRR Primary
            <primary: label 16015
                      TAG adj out of GigabitEthernet3, addr 192.168.2.2>
  ifnums:
    Tunnel1(13)
  path list 7FC6B0BBDDE0, 3 locks, per-destination, flags 0x49 [shble, rif, hwcn]
    path 7FC7144D4300, share 1/1, type attached nexthop, for IPv4
      MPLS short path extensions: [rib | prfmfi | lblmrg | srlbl] MOI flags = 0x3 label
 implicit-null
      nexthop 10.6.6.6 Tunnel1, IP midchain out of Tunnel1 7FC6B0BBB440
  output chain:
    IP midchain out of Tunnel1 7FC6B0BBB440
```

```
label [16016|16016]
FRR Primary (0x7FC714515460)
  <primary: label 16015
            TAG adj out of GigabitEthernet3, addr 192.168.2.2 7FC6B0BBB630>
  <repair:  label 16015
            label 16014
            TAG midchain out of MPLS-SR-Tunnel1 7FC6B0BBAA90
            label 16016
            TAG adj out of GigabitEthernet2, addr 192.168.1.2 7FC6B0BBBA10>
```

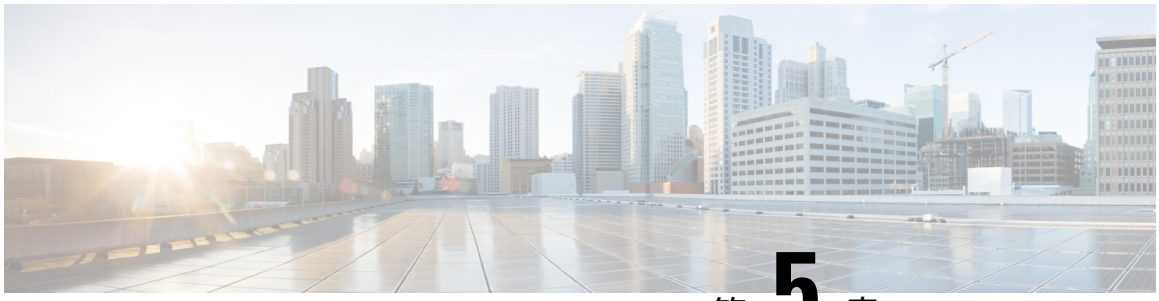
（注） TI-LFA を使用して 50 ミリ秒未満のトラフィック保護を保証するには、ダイナミック パス オプションを指定した SR-TE でバックアップ隣接関係 SID を使用する必要があります。

ダイナミック パス オプションを指定して SR-TE を作成するには、トポロジ内のすべてのルータで次の設定を使用します。

```
router isis 1
fast-reroute per-prefix level-1 all
```

トンネルのヘッドエンド ルータ：

```
interface Tunnel1
ip unnumbered Loopback1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel destination 10.6.6.6
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 dynamic segment-routing
tunnel mpls traffic-eng path-selection segment-routing adjacency protected
```



第 5 章

IS-IS のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング

この章では、IS-IS を使用してセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）を導入する方法について、次のセクションに分けて説明します。

IS-IS によるセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングに関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *3: IS-IS* によるセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングに関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
IS-IS によるセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	次のコマンドが導入または変更されました。 • **mpls traffic-eng nsr** • **show mpls traffic-eng tunnels tunnel1** • **show isis fast-reroute ti-lfa tunnel** • **show frr-manager client client-name ISIS interfaces detail** • **show ip cef 6.6.6.6 internal**

IS-IS によるセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングに関する制約事項

- SR-TE は、ブロードキャスト インターフェイスではサポートされていません。ポイントツーポイント インターフェイスのみサポートしています。
- 特定の時点で、TE に対して有効にする必要があるプロトコルのインスタンスは 1 つだけです。
- verbatim キーワードは、明示パス オプションが設定されたラベル スイッチド パス（LSP）でだけ使用できます。
- verbatim LSP では、再最適化はサポートされていません。

IS-IS によるセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングに関する情報

トラフィック エンジニアリング（TE）トンネルは、トンネルの入力とトンネルの宛先との間でインスタンス化された TE LSP のコンテナです。TE トンネルは、同じトンネルに関連付けられた 1 つ以上の SR-TE LSP をインスタンス化できます。SR-TE LSP パスが宛先ノードへの同じ IGP パスに必ずしも従うとは限りません。この場合、SR-TE パスは、プレフィックス SID のセット、またはノードの隣接関係 SID、あるいはその両方と、SR-TE LSP によってトラバースされるリンクによって指定することができます。

ヘッドエンドは、トンネルを通して伝送される発信パケットに、対応する MPLS ラベル スタックを課します。SR-TE LSP パスに沿った各通過ノードは、パケットが最終的な宛先に到達するまで、着信トップ ラベルを使用してネクストホップを選択し、ラベルをポップまたはスワップし、ラベル スタックの残りの部分を使用して次のノードにパケットを転送します。SR-TE LSP

パスを定義するホップまたはセグメントのセットは、演算子によってプロビジョニングされます。

SR-TE LSP のインスタンス化

トラフィック エンジニアリング（TE）トンネルは、1 つ以上のインスタンス化された TE LSP のコンテナです。SR-TE LSP は、TE トンネルのパスオプションで「segment-routing」を設定することによってインスタンス化されます。トンネルにマップされたトラフィックは、プライマリ SR-TE のインスタンス化 LSP を介して転送されます。

同じトンネルの下で複数のパスオプションを設定することもできます。各パスオプションには、プリファレンスインデックスまたはパスオプションインデックスが割り当てられていて、プライマリ LSP をインスタンス化するためのより有利なパスオプションを決定するために使用されます。パスオプションのプリファレンスインデックスが低いほど、パスオプションがより有利になります。同じ TE トンネルにおける他のあまり有利ではないパスオプションは、セカンダリ パスオプションと見なされ、（たとえば、パス上の障害が原因で）現在使用されているパスオプションが無効になった場合に使用されることがあります。

（注） フォワーディング ステートは、プライマリ LSP に対してのみ維持されます。

SR-TE LSP の明示的ヌル

MPLS-TE トンネルのヘッドエンドは、スタックの最下部に明示的ヌルを課しません。penultimate hop popping（PHP）が SR プレフィックス SID に対して有効になっている場合、または隣接関係 SID が SR-TE LSP の最後のホップである場合、パケットはトランスポート ラベルなしでテールエンドに到着する可能性があります。ただし、場合によっては、パケットが明示的ヌル ラベルでテールエンドに到着することが望ましいため、このような場合、ヘッドエンドはラベル スタックの最上部に明示的ヌル ラベルを課すことになります。

SR TE LSP のパス検証

SR-TE トンネル機能では、ヘッドエンドがトンネル パスの初期検証と、その後のトンネル テールエンドおよび通過セグメントの到達可能性の追跡を実行する必要があります。

SR-TE LSP パスのパス検証は、トポロジの変更または SR SID の更新について MPLS-TE で通知されるたびにトリガーされます。

SR-TE LSP 検証手順は、以下のチェックで構成されています。

トポロジ パスの検証

ヘッドエンドは、TE トポロジに対する接続性について SR-TE LSP のパスを検証します。MPLS-TE ヘッドエンドは、隣接関係 SID に対応するリンクが TE トポロジで接続されているかどうかをチェックします。

新たにインスタンス化された SR-TE LSP の場合、ヘッドエンドが SR-TE パスの任意のリンクで不連続性を検出すると、そのパスは無効であると見なされ、使用されません。有効なパスを持つ他のパスオプションがトンネルにある場合、これらのパスを使用してトンネルLSPをインスタンス化します。

既存のインスタンス化された SR-TE LSP がある TE トンネルでは、ヘッドエンドがリンク上の不連続性を検出すると、ヘッドエンドはそのリンクで障害が発生したと見なします。この場合、IP FRR などのローカル修復保護が有効になります。隣接関係がしばらく失われた後、IGP は保護された隣接関係ラベルと関連付けられた転送を維持し続けます。これにより、同じ障害の影響を受けない別のパスにトンネルを再ルーティングするのに十分な時間が、ヘッドエンドで可能になります。ヘッドエンドは、リンク障害を検出した後、有効なパスを持つ他の使用可能パスオプションにトンネルの再ルーティングを試みるために、トンネル無効化タイマーを開始します。

TE トンネルが、障害の影響を受けない検証済みの他のパスオプションを使用して設定されている場合、ヘッドエンドは、これらのパスオプションの1つを使用して、影響を受けないパスを使用してトンネルの新しいプライマリLSPをインスタンス化することによって、トンネルを再ルーティングします。

同じトンネルの下に他の有効なパスオプションが存在しない場合、または TE トンネルが障害の影響を受けるパスオプションを 1 つだけで設定されている場合、ヘッドエンドは無効タイマーを開始し、その後トンネルの状態を「ダウン」にします。このアクションにより、影響を受ける SR-TE LSP 上を流れるトラフィックとともに Null ルートが送信されるのを回避でき、トンネルを通過するサービスはヘッドエンドで利用できる異なるパスを経由して再ルーティングできるようになります。無効化ドロップ構成は、トンネルを「アップ」のままにしますが、無効化タイマーが満了したときにトラフィックをドロップします。

エリア内 SR-TE LSP では、ヘッドエンドは LSP パス上で完全な可視性を持ち、最終的な LSP 宛先へのパスを検証します。ただし、エリア間 LSP の場合、ヘッドエンドには LSP パスに対する部分的な可視性があります（最初の ABR までのみ）。この場合、ヘッドエンドは、入力から最初の ABR へのパスのみを検証できます。最初の ABR ノードを超える LSP に沿った障害は、ヘッドエンドからは見えず、LSP を介した BFD など、そのような障害を検出するその他のメカニズムが想定されます。

SR SID の検証

SR-TE LSP の SID ホップは TE トンネルの SR-TE LSP を介して運ばれる発信パケットに課される発信 MPLS ラベル スタックを決定するために使用されます。グローバルおよびローカルの隣接関係 SID のデータベースは、IGP から受信した情報から取り込まれ、MPLS-TE で維持されます。MPLS TE データベースで利用できない SID を使用すると、明示的パスを使用するパスオプションが無効になります。この場合、パスオプションは、SR TE LSP のインスタンス化には使用されません。また、MPLS の SID データベースで SID を取り消す、追加する、または変更すると、MPLS-TE ヘッドエンドは、SR パスオプション（使用中またはセカンダリ）を持つすべてのトンネルを確認し、適切な処理を呼び出します。

LSP 出力インターフェイス

SR-TE LSP が最初のパス ホップの隣接関係の SID を使用するとき、TE は隣接関係 SID および SR-TE LSP が出力するノードに関連付けられているインターフェイス状態および IGP 隣接関係

状態を監視します。インターフェイスまたは隣接関係がダウンした場合、TE は SR-TE LSP パスで障害が発生したと仮定し、前のセクションで説明したのと同じリアクティブアクションを実行できます。

（注） SR-TE LSP が最初のホップのプレフィックス SID を使用するとき、TE はトンネルが出力するインターフェイスを直接推測できません。TE は、プレフィックスの IP 到達可能性情報に基づいて、最初のホップへの接続が維持されるかどうかを判断します。

IP 到達可能性の検証

MPLS-TE では、SR パスを有効と宣言する前に、プレフィックス SID に対応するノードが IP 到達可能であることを検証します。MPLS-TE は、SR-TE LSP パスの隣接関係またはプレフィックス SID に対応する IP プレフィックスのパス変更を検出します。リンクまたはノードの障害が原因で、特定の SID をアナウンスするノードが IP の到達可能性を失う場合、MPLS-TE はパス変更（パスなし）の通知を受けます。MPLS-TE は、現在の SR-TE LSP パスを無効にすることによって反応し、もしあれば有効なパスを持つ他のパスオプションを使用して新しい SR-TE LSP をインスタンス化する場合があります。

（注） IP-FRR は（SR-TE LSP パスに沿ったプレフィックス SID の失敗など）SR-TE LSP が通過しているノードの障害に対する保護を提供しないため、ヘッドエンドは、トンネル状態を「ダウン」に設定することによってプレフィックス SID ノードの IP ルートの到達可能性の損失にすぐに反応し、影響を受けるトンネルに対して有効なパスを持つパスオプションが他にない場合は、トンネル転送エントリを削除します。

トンネル パス アフィニティの検証

トンネル パスのアフィニティは、トンネル インターフェイスで **tunnel mpls traffic-eng affinity** コマンドを使用して指定することができます。

ヘッドエンドは、指定された SR パスが設定されたアフィニティに準拠していることを検証します。これにより、SR パスの各セグメントのパスは、指定された制約に照らして検証される必要があります。パスの少なくとも 1 つのセグメントが設定されているアフィニティを満たさない場合、そのパスは設定されているアフィニティ制約に対して無効として宣言されます。

トンネル パス リソース回避の検証

SR-TE トンネルパケットの通過から除外されたことを検証するアドレスのセットを指定できます。これを実現するために、ヘッドエンドはセグメントごとの検証チェックを実行し、指定されたノード、プレフィックス、またはリンク アドレスが SR パスのトンネルから実際に除外されていることを検証します。以下のコマンドを使用して、トンネル リソース回避チェックをパスごとに有効にすることができます。除外されるアドレスのリストが定義され、リストの名前がパスオプションで参照されます。

```
interface tunnel100
```

```
 tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name EXCLUDE segment-routing
ip explicit-path name EXCLUDE enable
 exclude-address 192.168.0.2
 exclude-address 192.168.0.4
 exclude-address 192.168.0.3
!
```

Verbatim パス サポート

通常、MPLS TE LSP を使用する場合は、ネットワーク内のすべてのノードで TE の IGP 拡張がサポートされていて、TE が認識されるように設定されている必要があります。ただし、TE の IGP 拡張をサポートしないが、TE の RSVP 拡張はサポートするノードを通過する TE LSP を構築する機能を必要とするネットワーク管理者もいます。Verbatim LSP は、ネットワーク内のすべてまたは一部の中間ノードで TE の IGP 拡張がサポートされていない場合に役立ちます。

この機能をイネーブルにすると、IP 明示パスの TE トポロジ データベースに対するチェックは行われません。TE トポロジ データベースの検証が行われないため、IP 明示パス情報を持つ Path メッセージは、IP ルーティング用の Shortest Path First（SPF）アルゴリズムを使用してルーティングされます。

SR-TE トラフィックのロード バランシング

SR-TE トンネルは、次のロードバランシング オプションをサポートします。

ポート チャネル TE リンクのロード バランシング

ポート チャネル インターフェイスは SR-TE LSP トラフィックを運びます。このトラフィック負荷は、ポート チャネル メンバー リンクと、SR-TE LSP の先頭または中間のバンドル インターフェイス上でバランスをとります。

単一トンネルでのロード バランシング

同じコストのマルチパス プロトコル（ECMP）を使用している間、特定のプレフィックス SID へのパスが複数のネクストホップを指す場合があります。さらに、SR-TE LSP パスが、ECMP を持つ 1 つ以上のプレフィックス SID を通過する場合、SR-TE LSP トラフィック負荷は、SR-TE LSP パスに沿ってヘッドエンドまたは中間点の通過したノードから通過した各プレフィックス SID の ECMP パスでバランスをとります。

複数トンネルでのロード バランシング

スタティック ルートを設定するか、同じ宛先に対して複数の並列トンネルを自動ルート アナウンスをすると、複数の TE トンネルを特定の IP プレフィックスへのルーティングのためのネクストホップ パスとして使用することができます。このような場合、トンネルはトラフィック負荷を均等に共有するか、複数の並列トンネル上でトラフィックをロード バランシングします。トンネル ヘッドエンドでトンネルごとの明示的な設定を使用して不等なロード バランシング（UELB）を許可することも可能です。この場合、トンネルのロードシェアは MPLS-TE からフォワーディング プレーンに渡されます。

トンネルのロードシェア機能は、SR-TE LSP をインスタンス化する TE トンネルで引き続き機能します。

SR-TE トンネルの再最適化

TE トンネルの再最適化は、ヘッドエンドが、現在使用しているパスよりも最適な利用できるパスがあると判断した場合に発生します。たとえば、SR-TE LSP パスに沿って障害が発生した場合、ヘッドエンドは再最適化をトリガーすることによって、より最適なパスを検出し復帰することができます。

SR-TE LSP をインスタンス化するトンネルは、トンネルを通して運ばれるトラフィックに影響を与えずに再最適化できます。

再最適化は、次の理由で発生します。

- プライマリ SR-TE LSP 明示的パスによって使用される明示的なパスホップが変更された。
- トポロジパスが切断されているか、明示的パスで指定されている SID データベースで SID が見つからないため、現在使用しているパスオプションは無効であるとヘッドエンドが判断した。
- より有利なパスオプション（より低いインデックス）が利用可能になった。

ヘッドエンドは、SR-TE LSP が通過する保護された SR 隣接関係 SID で障害を検出すると、無効化タイマーを開始します。タイマーが期限切れになり、別のパスで再ルーティングできないために失敗したパスをヘッドエンドがまだ使用している場合、Null のルートがトラフィックとともに送信されないように、トンネル状態が「ダウン」になります。トンネルがダウンすると、トンネル上のサービスは、異なるパスを使用するために収束します。

次に手動の再最適化の例で出力されるサンプルを示します。この例では、パスオプションが **10** から **20** に変更されます。

```
Router# mpls traffic-eng reoptimize tunnel 1 path-option 20
The targeted path-option is not in lock down mode. Continue? [no]: yes
Router# show mpls traffic-eng tunnels tunnel1
Name: R1_t1                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 20, (SEGMENT-ROUTING) type explicit IP_PATH (Basis for Setup)
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type dynamic
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 20 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours, 9 minutes
      Time since path change: 14 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1819
    Current LSP: [ID: 1819]
      Uptime: 17 seconds
      Selection: reoptimization
```

```
    Prior LSP: [ID: 1818]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: reoptimization completed
  Tun_Instance: 1819
  Segment-Routing Path Info (isis level-1)
    Segment0[Node]: 10.4.4.4, Label: 114
    Segment1[Node]: 10.5.5.5, Label: 115
    Segment2[Node]: 10.6.6.6, Label: 116
```

ロックダウンオプション付き SR-TE

lockdown オプションは、SR-TE がより良いパスに再最適化することを防ぎます。ただし、新しいパスの存在をシグナリングすることは防げません。

```
interface Tunnel1
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 segment-routing lockdown
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10                          (Tunnel1) Destination:
10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (LOCKDOWN) type segment-routing (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: enabled  Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: segment-routing path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: enabled   Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours, 22 minutes
      Time since path change: 1 minutes, 26 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1822
    Current LSP: [ID: 1822]
      Uptime: 1 minutes, 26 seconds
      Selection: reoptimization
    Prior LSP: [ID: 1821]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1822
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Node]: 10.6.6.6, Label: 116
```

SR-TE トンネル保護

SR TE トンネルの保護は、次のいずれかの代替手段で行うことができます。

IP-FRR ローカル修復保護

SR-TE LSP ヘッドエンドまたはミッドポイント ノードでは、IP-FRR はプレフィックス SID または隣接関係 SID ラベルのためのバックアップ保護パスを計算し、プログラムするのに使用されます。

IP-FRR を使用すると、バックアップ修復パスは、リンクまたはノードの障害が発生する前に IGP によって事前に計算されプログラムされます。リンクが失敗すると、TE トポロジからの即時の取り消し（リンク アドバタイズメントの取り消し）がトリガーされます。これにより、ヘッドエンドは、失敗した隣接関係 SID を通過する SR-TE LSP の障害を検出することができます。

保護された隣接関係 SID が失敗した場合、失敗した隣接関係 SID ラベルとそれに関連する転送は、すべての SR TE トンネルのヘッドエンドが障害を検出して対応できるように、指定した時間（5 ～ 15 分）機能し続けます。隣接関係 SID ラベルを使用するトラフィックは、バックアップ修復パスを変更するその後のトポロジ更新がある場合でも、FRR 保護され続けます。この場合、IGP は FRR がアクティブになっている間にバックアップ修復パスを更新し、新しく計算されたバックアップ パス上のトラフィックを再ルーティングします。

保護されたプレフィックス SID のプライマリ パスが失敗すると、PLR はバックアップ パスに経路を再ルーティングします。ヘッドエンドは障害に対してトランスペアレントなままであり、引き続き SR-TE LSP を有効なパスとして使用します。

IP-FRR は、リンク障害に対してのみ隣接関係およびプレフィックス SID を保護します。

トンネル パス保護

パス保護とは、単一の TE トンネルのプライマリ LSP の障害から保護するために、1 つまたは複数のスタンバイ LSP をインスタンス化することです。

パス保護では、同じトンネルのプライマリ パスオプションによってさまざまな障害のセカンダリ パスを事前に計算し、事前プロビジョニングすることで、障害から保護します。この保護は、プライマリ LSP が通過するプレフィックス SID および隣接関係 SID を除外するパスを計算するか、またはプライマリ SR-TE LSP パスの SRLG を除外するパスを計算することによって実現します。

プライマリ SR-TE LSP に障害が発生した場合、トンネルには少なくとも 1 台のスタンバイ SR-TE LSP が使用されます。複数のセカンダリ パスオプションをスタンバイ SR-TE LSP パスとして使用するように設定できます。

アンナンバード サポート

アンナンバード リンクの IS-IS の説明には、リモート インターフェイス ID 情報は含まれません。アンナンバード リンクのリモート インターフェイス ID には、SR-TE トンネルの一部としてアンナンバード リンクを含める必要があります。

IS-IS によるセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの設定方法

次の手順を実行して、IS-IS でのセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）を設定します。

TE トンネルのパスオプションの設定

稼働中の SR トンネルのパスオプション タイプが SR から非 SR（たとえば **dynamic**）に変更されると、トンネルの既存の転送エントリが削除されます。

セグメントルーティングは、既存のセカンダリまたは使用中のパスオプションで有効または無効にすることができます。トンネルでシグナリングされた RSVP-TE の明示的パスオプションが使用され、そのトンネルでセグメントルーティングが有効になっている場合、RSVP-TE LSP は切断され、SR-TE LSP が同じパスオプションを使用してインスタンス化されます。逆に、プライマリ LSP によって使用されているパスオプションでセグメントルーティングが無効になっている場合、トンネルは断続的にダウンし、新しい RSVP-TE LSP は同じ明示的パスを使用してシグナリングされます。

セグメントルーティング パスオプションがセカンダリ パスオプションで有効になっている（すなわち、トンネルのプライマリ LSP によって使用されていない）場合、新しく指定された SR-TE LSP パスオプションが有効で、トンネルのプライマリ LSP に使用するのがより有利であるかどうかを評価するためにトンネルがチェックされます。

```
Device(config)# interface tunnel 100
Device(config-if)# tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name foo segment-routing
Device(config-if)# tunnel mpls traffic-eng path-option 2 dynamic segment-routing
Device(config-if)# tunnel mpls traffic-eng path-option 3 segment-routing
```

SR 明示パス ホップの設定

SR-TE では次の明示的パスホップがサポートされています。

- IP アドレス
- MPLS ラベル
- IP アドレスと MPLS ラベルの混在

エリア内 LSP では、明示的パスを IP アドレスのリストとして指定できます。

```
Device(config)# ip explicit-path name foo
Device(config-ip-expl-path)# index 10 next-address 10.1.1.1 node address
Device(config-ip-expl-path)# index 20 next-address 10.12.12.2 link address
```

（注） IP アンナンバード インターフェイスを使用する場合、ネクスト ホップ アドレスを明示的パスのインデックスとして指定することはできません。これは、ノードアドレスまたはラベルである必要があります。

明示的パスは、セグメントルーティング SID として指定することもできます。

```
Device(config)# ip explicit-path name foo
Device(config-ip-expl-path)# index 10 next-label 20
```

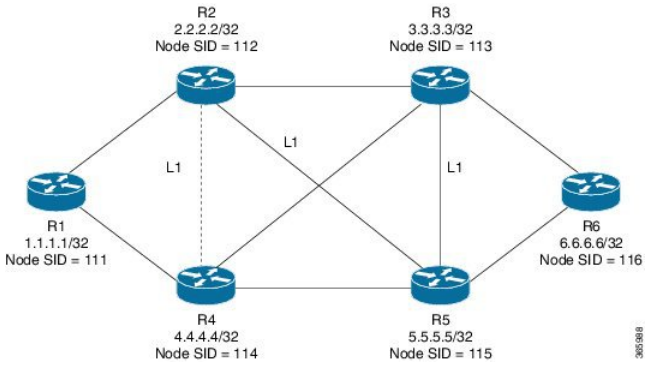
インターフェイスのアフィニティの設定

インターフェイスでアフィニティを設定するには、次の手順を実行します。

```
interface GigabitEthernet2
 ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
 ip router isis 1
 negotiation auto
 mpls traffic-eng tunnels
 mpls traffic-eng attribute-flags 0x1
 isis network point-to-point
 ip rsvp bandwidth
```

使用例：セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの基本設定

SR-TE の構成を理解するには、次のトポロジを検討してください。



ヘッドエンド ルータで設定するには、R1 で次を実行します。

```
!
mpls traffic-eng tunnels
!
segment-routing mpls
connected-prefix-sid-map
  address-family ipv4
   10.1.1.1/32 index 111  range 1
```

```
  exit-address-family
!
set-attributes
  address-family ipv4
  sr-label-preferred
exit-address-family
!
interface Loopback1
ip address 10.1.1.1 255.255.255.255
ip router isis 1
!
int gig0/0
ip address 10.11.11.1 255.255.255.0
ip router isis 1
mpls traffic-eng tunnels
isis network point-to-point
!
router isis 1
net 49.0001.0010.0100.1001.00
is-type level-1
metric-style wide
segment-routing mpls
segment-routing prefix-sid-map advertise-local
mpls traffic-eng router-id  Loopback1
mpls traffic-eng level-1
!
end
```

SR-TE の明示的パス（ノード SID ベース）を有効にするには、R1 で次の CLI を有効にします。

```
Head end SR-TE configuration R1#
!
interface tunnel1
ip unnumbered Loopback1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel destination 10.6.6.6
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name Node_PATH segment-routing
!
ip explicit-path name Node_PATH
 next-label  16114
next-label  16115
next-label  16116
```

R1 上の SR-TE トンネル 1 の正常な動作を確認するには、次の CLI を有効にします。

```
Tunnel verification on (R1)# show mpls traffic-eng tun tun 1 detail
Name: R1_t1                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type explicit Node_PATH (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
Verbatim: disabled
Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1815
    Current LSP: [ID: 1815]
      Uptime: 2 seconds
Removal Trigger: configuration changed
    Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Node]: 10.4.4.4, Label: 16114
```

```
    Segment1[Node]: 10.5.5.5, Label: 16115
    Segment2[Node]: 10.6.6.6, Label: 16116
```

テールエンド ルータで設定するには、R6 で次を実行します。

```
interface GigabitEthernet2
ip address 10.101.1.1 255.255.255.0
ip router isis 1
negotiation auto
mpls traffic-eng tunnels
router isis 1
 net 49.0001.0060.0600.6006.00
 ispf level-1
 metric-style wide
 log-adjacency-changes
 segment-routing mpls

segment-routing prefix-sid-map advertise-local
 mpls traffic-eng router-id Loopback1
 mpls traffic-eng level-1
```

明示パス SR-TE トンネル 1

トンネル 1 を IP アドレスのみに基づいて考慮します。

```
ip explicit-path name IP_PATH1
 next-address 10.2.2.2
 next-address 10.3.3.3
 next-address 10.6.6.6
!
interface Tunnel1
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name IP_PATH1 segment-routing
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10
end
```

明示パス SR-TE トンネル 2

トンネル 2 をノードの SID に基づいて考慮します

```
ip explicit-path name IA_PATH
 next-label 114
 next-label 115
 next-label 116
!
interface Tunnel2
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng bandwidth 10000 class-type 1
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name NODE_PATH segment-routing
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
```

```
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10
end
```

明示パス SR-TE トンネル 3

トンネル 3 は IP アドレスとラベルの組み合わせに基づいていることを考慮します

```
ip explicit-path name MIXED_PATH enable
 next-address 10.2.2.2
 next-address 10.3.3.3
 next-label 115
 next-label 116
!
interface Tunnel3
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name MIXED_PATH segment-routing
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10
```

（注） パスが混在している場合、パスでノード SID を使用した後に IP ネクストホップを使用することはできません。次のパスは有効ではありません。

```
ip explicit-path name MIXED_PATH enable
next-label 115
next-label 116
next-address 10.2.2.2
```

動的パス SR-TE トンネル 4

トンネル 4is は隣接関係 SID に基づいていることを考慮します

```
interface Tunnel4
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng bandwidth 10000 class-type 1
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 dynamic segment-routing
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10
end
```

動的パス SR-TE トンネル 5

トンネル 5 はノード SID に基づいていることを考慮します

```
 interface Tunnel5
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
```

```
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 segment-routing
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10
```

SR-TE トンネルの構成の確認

show mpls traffic-eng tunnels *tunnel-number* コマンドを使用して、SR-TE トンネルの構成を確認します。

トンネル 1 の確認

```
Name: R1_t1                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type explicit IP_PATH (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours
      Time since path change: 2 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1814
    Current LSP: [ID: 1814]
      Uptime: 2 seconds
      Selection: reoptimization
    Prior LSP: [ID: 1813]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1814
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Node]: 10.4.4.4, Label: 114
    Segment1[Node]: 10.5.5.5, Label: 115
    Segment2[Node]: 10.6.6.6, Label: 116
```

トンネル 2 の確認

```
Name: R1_t2                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type explicit IA_PATH (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
```

```
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours, 1 minutes
      Time since path change: 1 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1815
    Current LSP: [ID: 1815]
      Uptime: 1 seconds
    Prior LSP: [ID: 1814]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1815
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[ - ]: Label: 114
    Segment1[ - ]: Label: 115
    Segment2[ - ]: Label: 116
```

トンネル 3 の確認

```
Name: R1_t3                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type explicit MIXED_PATH (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours, 2 minutes
      Time since path change: 2 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1816
    Current LSP: [ID: 1816]
      Uptime: 2 seconds
      Selection: reoptimization
    Prior LSP: [ID: 1815]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1816
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Node]: 10.2.2.2, Label: 112
    Segment1[Node]: 10.3.3.3, Label: 113
    Segment2[ - ]: Label: 115
    Segment3[ - ]: Label: 116
```

トンネル 4 の確認

```
Name: R1_t4                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type dynamic (Basis for Setup, path weight 30)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: dynamic path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours
      Time since path change: 2 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1813
    Current LSP: [ID: 1813]
      Uptime: 2 seconds
    Prior LSP: [ID: 1806]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1813
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Link]: 192.168.2.1 - 192.168.2.2, Label: 17
    Segment1[Link]: 192.168.4.2 - 192.168.4.1, Label: 25
    Segment2[Link]: 192.168.8.1 - 192.168.8.2, Label: 300
```

トンネル 5 の確認

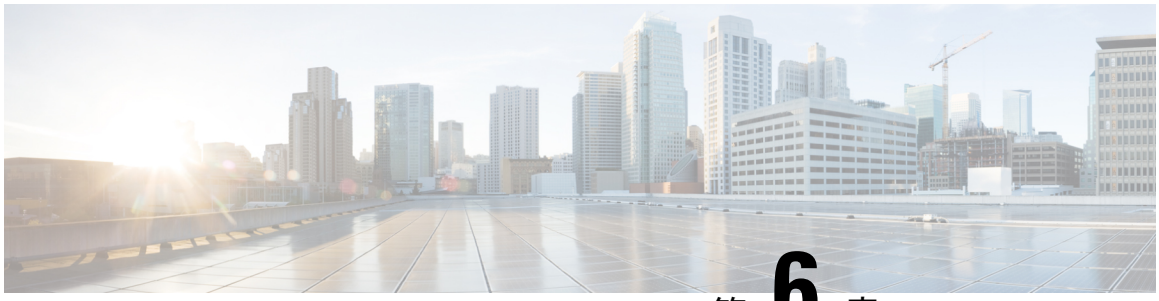
```
Name: R1_t5                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, type segment-routing (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: segment-routing path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours, 4 minutes
      Time since path change: 14 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1817
    Current LSP: [ID: 1817]
      Uptime: 14 seconds
      Selection: reoptimization
    Prior LSP: [ID: 1816]
```

```
    ID: path option unknown
    Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1817
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Node]: 10.6.6.6, Label: 116
```

Verbatim パス サポートの確認

適切な動作と SR-TE トンネル状態を確認するには、次の CLI を使用します。

```
R6#sh mpl traffic-eng tunnels tunnel 4

Name: R6_t4                                (Tunnel4) Destination: 10.11.11.11
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 1, (SEGMENT-ROUTING) type explicit (verbatim) multihop (Basis for Setup)


  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 7  7   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: TE (default)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-selection Tiebreaker:
      Global: not set   Tunnel Specific: not set   Effective: min-fill (default)
    Hop Limit: disabled [ignore: Verbatim Path Option]
    Cost Limit: disabled
    Path-invalidation timeout: 10000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: disabled LockDown: disabled Loadshare: 0 [0] bw-based
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 1 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: enabled

  History:
    Tunnel:
      Time since created: 16 minutes, 40 seconds
      Time since path change: 13 minutes, 6 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 13
    Current LSP: [ID: 13]
      Uptime: 13 minutes, 6 seconds
      Selection: reoptimization
    Prior LSP: [ID: 12]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed (severe)
  Tun_Instance: 13
  Segment-Routing Path Info (IGP information is not used)
    Segment0[First Hop]: 10.0.0.0, Label: 16003
    Segment1[ - ]: Label: 16002
    Segment2[ - ]: Label: 16001
```



第 6 章

OSPFv2 ノード SID のセグメント ルーティング

この章では、セグメント ルーティングが OSPFv2 ノード SID でどのように機能するかについて説明します。

OSPFv2 ノード SID のセグメント ルーティングに関する機能情報

表 *4 : OSPFv2* ノード *SID* のセグメント ルーティングに関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
OSPF によるセグメント ルーティング	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	セグメント ルーティング OSPFv2 ノード SID 機能は、OSPF ネットワークでのセグメント ルーティングのサポートを提供します。 次のコマンドが導入または変更されました。**connected-prefix-sid-map**、 **show ip ospf 10 segment-routing**、 **sr-label-preferred**、 **ip ospf prefix-attributes n-flag-clear**

OSPFv2 ノード SID のセグメント ルーティングに関する情報

セグメント ルーティングは、Open Shortest Path First（OSPF）プロトコルのいくつかの拡張機能に依存しています。ルーティング プロトコル インスタンスのセグメント ルーティングを有効にするには、2 つのレベルの構成が必要です。セグメント ルーティング インフラストラクチャ コンポーネントによって管理される最上位のセグメント ルーティング構成では、セグメント ルーティングが可能になり、一方、ルータ ospf レベルでのセグメント ルーティング構成では、ospfインスタンスに対してセグメントルーティングが可能になります。セグメントルーティングの状態には、次の 3 つがあります。

- SR_NOT_CONFIGURED
- SR_DISABLED
- SR_ENABLED

IGP 下のセグメント ルーティング構成は、SR の状態が SR_DISABLED または SR_ENABLED のいずれかである場合にのみ許可されます。SR_ENABLED 状態は、少なくとも予約済みの有効な SRGB 範囲にあることを示します。コマンドを使用して、ルータ設定サブ モードで IGP のセグメント ルーティングを有効にすることができます。ただし、IGP セグメント ルーティングは、グローバル SR が設定された後にのみ有効になります。

SR_ENABLEDは、SRを有効にするためにすべてのプロトコルに必要な状態ですが、プロトコル インスタンスの SR を有効にするには十分ではありません。その理由は、OSPF にセグメント ルーティング グローバル ブロック（SRGB）情報に関する情報がまだないことです。SRGB に関する情報を受信する要求が正常に処理されると、OSPF SR の動作状態が有効になります。

セグメントルーティングでは、各ルータが、セグメントルーティングデータプレーン機能と、グローバル SID が割り当てられている場合にセグメント ルーティングに使用される MPLS ラベル値の範囲をアドバタイズする必要があります。データプレーン機能とラベル範囲は、OSPF ルータ情報不透明 LSA に挿入される SR 機能サブ TLV を使用してアドバタイズされます。

OSPF SR 機能サブ TLV には、すべての予約済み SRGB 範囲が含まれます。ただし、シスコの実装でサポートされる SRGB 範囲は 1 つだけです。

リモートルータからのラベルスイッチドパスで受信されたプレフィックス SID

OSPF は、その不透明な拡張プレフィックス LSA 内の拡張プレフィックス サブ TLV を使用して、接続されたプレフィックスに関連付けられたプレフィックスSIDを送信します。到達可能性がある LSA で受信したプレフィックス SID は、次の条件が満たされている場合にのみ、プレフィックス VPN ラベルごとの BGP ダウンロードと同じ方法でルーティング情報ベース（RIB）にダウンロードされます。

- トポロジとアドレスファミリに対してセグメント ルーティングが有効。

- プレフィックス SID が有効。
- MFI へのローカル ラベルのバインドが成功している。

（注） 指定された SID 範囲に収まらない SID の場合、RIB の更新時にラベルは使用されません。SID が SID の範囲内には収まるが、ネクストホップのネイバー SID の範囲には収まらない場合は、そのパスに関連付けられているリモート ラベルはインストールされません。

セグメント ルーティング隣接関係 SID アドバタイズメント

Cisco IOS XE リリース 3.17 では、OSPF によるセグメント ルーティング隣接関係 SID のアドバタイズメントのサポートが有効です。隣接関係セグメント識別子（Adj-SID）は、セグメント ルーティングにおけるルータ隣接関係を表します。

セグメントルーティング対応ルータは、隣接関係ごとにAdj-SIDを割り当てることができ、この SID を拡張不透明リンク LSA で伝送するように Adj-SID サブ TLV が定義されます。

OSPF は、OSPF 隣接関係が 2 つの方法または完全な状態にある場合、各 OSPF ネイバーに隣接関係 SID を割り当てます。OSPF は、セグメント ルーティングが有効になっている場合にのみ隣接関係 SID を割り当てます。隣接関係 SID のラベルは、システムによって動的に割り当てられます。これにより、ローカルでしか有効でないため、設定ミスの可能性がなくなります。

複数の隣接関係 SID

Cisco IOS XE リリース 16.3 では、複数の隣接関係 SID がサポートされています。OSPF の隣接関係ごとに、OSPF は拡張リンク LSA で伝送される隣接関係 SID、非保護および保護された Adj-SID を割り当てます。保護された隣接関係 SID（またはバックアップ Adj-SID）は、ルータで FRR が有効になっている場合のみ、また SR がシステムで有効になっているインターフェイスでのみ、割り当てられてアドバタイズされます。FRR または SR が無効になっている場合、保護された Adj-SID は解放されます。

フォワーディング プレーンでの保護された adj-SID の永続化はサポートされます。プライマリ リンクがダウンしている場合、OSPF は、遅延タイマー（30 秒）が期限切れになるまでバックアップ Adj-SID の解放を遅らせます。これにより、フォワーディング プレーンは、ルータがコンバージされるまで、バックアップ パスを経由してトラフィックを転送し続けることができます。

割り当てられ、アドバタイズされたバックアップ Adj-SID は、 **show ip ospf neighbor detail** および **show ip ospf segment-routing protected-adjacencies command** の出力で表示できます。

セグメント ルーティング マッピング サーバー

セグメント ルーティング マッピング サーバー（SRMS）を使用すると、プレフィックス SID マッピング ポリシー エントリの構成と保守を行うことができます。Cisco IOS XE リリース 3.17

では、IGP は SRMS のアクティブ ポリシーを使用して、フォワーディング プレーンのプログラミング時に SID 値を決定します。

SRMS は、ネットワークの SID/ラベル マッピング ポリシーにプレフィックスを提供します。一方、IGP は、プレフィックス SID/ラベル バインディング TLV を介して SID/ラベル マッピング ポリシーにプレフィックスをアドバタイズする役割を担います。

アクティブ ポリシー情報と変更は、アクティブ ポリシー情報を使用して転送情報を更新する IGP に通知されます。

接続されたプレフィックス SID

ルータが LSP にアドバタイズしたものとは異なる SID を持つプレフィックスをインストールする場合、たとえば、複数のプロトコルまたは複数の IGP インスタンスが、異なる SID を持つ同じプレフィックスを SRMS にアナウンスしている場合、SRMS は競合を解決し、ローカル インスタンスと同じでない可能性がある競合に勝ったプレフィックスと SID をアナウンスします。その場合、IGP は、常にソース LSP から学習した内容をアドバタイズしますが、その LSP で学習したものとは異なる可能性がある SID のインストールを試みます。これは IGP が別のプロトコルまたは別のプロトコル インスタンスから SID を再配布することを防ぐために行われます。

SRGB 範囲の変更

OSPF セグメント ルーティングが設定されている場合、OSPF は、OSPF SR の動作状態を有効にする前に SRGB とのインタラクションを要求する必要があります。SRGB 範囲が作成されていない場合、OSPF は有効になりません。

SRGB 変更イベントが発生した場合、OSPF は、そのサブブロック エントリで対応する変更を行います。また OSPF は、SR 機能サブ TLV で新しく作成または拡張された SRGB 範囲をアドバタイズし、プレフィックス SID サブ TLV アドバタイズメントを更新します。

インターフェイスでの MPLS 転送

セグメント ルーティングがインターフェイスを使用する前に、MPLS 転送を有効にする必要があります。OSPF は、インターフェイスでの MPLS 転送を有効にする役割を担います。

セグメント ルーティングが OSPF トポロジに対して有効になっている場合、または OSPF セグメント ルーティングの動作状態が有効になっている場合、OSPF は、OSPF トポロジがアクティブである任意のインターフェイスに対して MPLS を有効にします。同様に、OSPF トポロジのセグメント ルーティングが無効になっている場合、OSPF は、そのトポロジのすべてのインターフェイスで MPLS 転送を無効にします。

SID エントリの競合処理

SID エントリと関連付けられているプレフィックス エントリの間に競合がある場合は、次のいずれかの方法を使用して競合を解決します。

- システムが同じプレフィックスに対して 2 つの SID エントリを受信すると、より高いルータ ID で受信したプレフィックスが、プレフィックスに対応する SID として扱われます。プレフィックスは、上位のルータ ID によってアドバタイズされた SID エントリを使用してインストールされます。
- システムが、1 つは OSPF プロトコル、他方は IS-IS プロトコルによる 2 つの SID エントリを受信すると、OSPF プロトコルによって受信した SID エントリが有効な SID として扱われます。プレフィックスは、OSPF プロトコルによって受信した SID エントリを使用してインストールされます。
- 2 つのプレフィックスが同じ SID エントリでアドバタイズされると、上位のルータ ID によってアドバタイズされたプレフィックスが SID エントリを使用してインストールされ、もう一方のプレフィックスは SID エントリなしでインストールされます。

理想的な状況では、各プレフィックスに一意の SID エントリが割り当てられている必要があります。

OSPFv2 ノード SID のセグメント ルーティングの設定方法

OSPFv2 ノード SID を使用してセグメント ルーティングを設定するには、次の手順を実行します。

OSPF のセグメント ルーティングの設定

始める前に

セグメント ルーティングをサポートするように OSPF を設定する前に、最初にグローバル コンフィギュレーション モードでセグメント ルーティング機能を設定する必要があります。

手順の概要

1. **enable**
2. **configure terminal**
3. segment-routing mpls
4. connected-prefix-sid-map
5. address-family ipv4
6. 10.1.1.1/32 index 100 range 1
7. exit-address-family

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**enable** 例：	特権 EXEC モードを有効にします。 • パスワードを入力します（要求された場合）。

	コマンドまたはアクション	目的
	`Device# enable`	
ステップ 2	**configure terminal** 例： `Device# configure terminal`	グローバル コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 3	segment-routing mpls 例： `Device(config-sr)# segment-routing mpls`	mplsデータ プレーンを使用してセグメント機能を有効にします。
ステップ 4	connected-prefix-sid-map 例： `Device(config-srmpls)# connected-prefix-sid-map`	ローカル プレフィックスと SID のアドレス ファミリ固有のマッピングを設定できるサブモードを開始します。
ステップ 5	address-family ipv4 例： `Device(config-srmpls-conn)# address-family ipv4`	IPv4 アドレス プレフィックスを指定します。
ステップ 6	10.1.1.1/32 index 100 range 1 例： `Device(config-srmpls-conn-af)# 10.1.1.1/32 100 range 1`	SID 100 にアドレス 1.1.1.1/32 を関連付けます。
ステップ 7	exit-address-family 例： `Device(config-srmpls-conn-af)# exit-address-family`	アドレス ファミリを終了します。

OSPF ネットワークでのセグメント ルーティングの設定

始める前に

OSPF ネットワークでセグメント ルーティングを設定する前に、ネットワーク上で OSPF を有効にする必要があります。

手順の概要

1. **router ospf 10**
2. **router-id**<*id*>
3. **segment-routing mpls**

4. **segment-routing area** <*area id*> **mpls**
5. **show ip ospf 10 segment-routing**

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**router ospf 10** 例： `Device(config)# router ospf 10`	OSPF モードを有効にします。
ステップ 2	**router-id**<*id*> 例： `Device(config-router)# router-id 10.0.0.0`	OSPF ルートを設定します。
ステップ 3	**segment-routing mpls** 例： `Device(config-router)# segment-routing mpls`	セグメント ルーティング MPLS モードを設定します。
ステップ 4	**segment-routing area** <*area id*> **mpls** 例： `Device(config-router) # segment-routing area 0 mpls`	特定の領域にセグメントルーティングMPLSモードを設定します。

ステップ 5	**show ip ospf 10 segment-routing**
	例：
	`Device# show ip ospf 10 segment-routing`
		OSPFの下でSRを設定するための出力を示します。
		次の例は、OSPF のセグメント ルーティングに対する show ip ospf segment-routing state コマンドからの出力を表しています。
		`Device#show ip ospf 10 segment-routing`
		`OSPF Router with ID (10.0.0.1) (Process ID 10)`
		`Global segment-routing state: Enabled`
		`Segment Routing enabled:`
		`Area Topology name Forwarding`
		`0 Base MPLS`
		`1 Base MPLS`
		`SR Attributes`
		`Prefer non-SR (LDP) Labels`
		`Do not advertise Explicit Null`
		`Local MPLS label block (SRGB):`
		`Range: 16000 - 23999`

	コマンドまたはアクション	目的
		State: Created Registered with SR App, client handle: 3 Connected map notifications active (handle 0x4), bitmask 0x1 Active policy map notifications active (handle 0x5), bitmask 0xC Registered with MPLS, client-id: 100 Bind Retry timer not running Adj Label Bind Retry timer not running

OSPF のプレフィックス SID の設定

ここでは、各インターフェイスでプレフィックスセグメント ID（SID）を設定する方法について説明します。

始める前に

セグメント ルーティングを対応するアドレス ファミリでイネーブルにする必要があります。

手順の概要

1. enable
2. configure terminal
3. segment-routing mpls
4. connected-prefix-sid-map
5. address-family ipv4
6. 10.1.1.1/32 index 100 range 1
7. exit

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	enable 例： `Device# enable`	特権 EXEC モードを有効にします。
ステップ 2	configure terminal 例： `Device# configure terminal`	グローバル設定モードを開始します。
ステップ 3	segment-routing mpls 例：	セグメント ルーティング MPLS モードを設定します。

	コマンドまたはアクション	目的
	`Device(config)# segment-routing mpls`	
ステップ 4	connected-prefix-sid-map 例： `Device(config-srmpls)# connected-prefix-sid-map`	ローカル プレフィックスと SID のアドレス ファミリ固有のマッピングを設定できるサブモードを開始します。
ステップ 5	address-family ipv4 例： `Device(config-srmpls-conn)# address-family ipv4`	IPv4 アドレス ファミリを指定し、ルータ アドレス ファミリ コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 6	10.1.1.1/32 index 100 range 1 例： `Device(config-srmpls-conn-af)# 10.1.1.1/32 100 range 1`	SID 100 にアドレス 1.1.1.1/32 を関連付けます。
ステップ 7	exit 例： `Device(config-router)# exit`	セグメント ルーティング モードを終了し、コンフィギュレーション端末モードに戻ります。

プレフィックス属性 N-flag-clear の設定

OSPF は、その不透明 LSA に拡張プレフィックス TLV を介してプレフィックス SID をアドバタイズします。これはプレフィックスのフラグを伝送します。そのうちの1つはNフラグ（ノード）で、プレフィックスに沿って送信されたトラフィックが、LSAを発信するルータ宛てであることを示します。このフラグは通常、ルータのループバックのホスト ルートをマークします。

手順の概要

1. **enable**
2. **configure terminal**
3. interface loopback3
4. ip ospf prefix-attributes n-flag-clear

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**enable** 例：	特権 EXEC モードを有効にします。 • パスワードを入力します（要求された場合）。

	コマンドまたはアクション	目的
	`Device# enable`	
ステップ 2	**configure terminal** 例： `Device# configure terminal`	グローバル コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 3	interface loopback3 例： `Device(config)# interface loopback3`	インターフェイス ループバックを指定します。
ステップ 4	ip ospf prefix-attributes n-flag-clear 例： `Device(config-if)# ip ospf prefix-attributes n-flag-clear`	プレフィックス N-flag をクリアします。

OSPF での明示的ヌル属性の設定

penultimate-hop-popping（PHP）を無効にし、明示的ヌル ラベルを追加するには、explicit-null オプションを指定する必要があります。このオプションを指定すると、OSPF は、拡張プレフィックス SID TLV の E フラグをその LSA に設定します。

デフォルトでは、ループバック アドレスに関連付けられたプレフィックス SID をアドバタイズするときに、OSPF によって E-flag（明示的ヌル フラグ）と呼ばれるフラグが 0 に設定されます。このフラグを設定するには、明示的な設定を追加します。

手順の概要

1. **enable**
2. **configure terminal**
3. segment-routing mpls
4. set-attributes
5. address-family ipv4
6. explicit-null
7. exit-address-family

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**enable** 例：	特権 EXEC モードを有効にします。 • パスワードを入力します（要求された場合）。

	コマンドまたはアクション	目的
	`Device# enable`	
ステップ 2	**configure terminal** 例： `Device# configure terminal`	グローバル コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 3	segment-routing mpls 例： `Device(config)# segment-routing mpls`	セグメント ルーティング MPLS モードを設定します。
ステップ 4	set-attributes 例： `Device(config-srmpls)# set-attributes`	属性を設定します。
ステップ 5	address-family ipv4 例： `Device(config-srmpls-attr)# address-family ipv4`	IPv4 アドレス ファミリを指定し、ルータ アドレス ファミリ コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 6	explicit-null 例： `Device(config-srmpls-attr-af)# explicit-null`	明示的ヌルを指定します。
ステップ 7	exit-address-family 例： `Device(config-srmpls-attr-af)# exit-address-family`	アドレス ファミリを終了します。

OSPF のセグメント ルーティング Label Distribution Protocol 優先順位の設定

手順の概要

1. **enable**
2. **configure terminal**
3. segment-routing mpls
4. set-attributes
5. address-family ipv4
6. sr-label-preferred

7. exit-address-family

手順の詳細

	コマンドまたはアクション	目的
ステップ 1	**enable** 例： `Device# enable`	特権 EXEC モードを有効にします。 • パスワードを入力します（要求された場合）。
ステップ 2	**configure terminal** 例： `Device# configure terminal`	グローバル コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 3	segment-routing mpls 例： `Device(config)# segment-routing mpls`	セグメント ルーティング MPLS モードを設定します。
ステップ 4	set-attributes 例： `Device(config-srmpls)# set-attributes`	属性を設定します。
ステップ 5	address-family ipv4 例： `Device(config-srmpls-attr)# address-family ipv4`	IPv4 アドレス ファミリを指定し、ルータ アドレス ファミリ コンフィギュレーション モードを開始します。
ステップ 6	sr-label-preferred 例： `Device(config-srmpls-attr-af)# sr-label-preferred`	LDP より優先される SR ラベルを指定します。
ステップ 7	exit-address-family 例： `Device(config-srmpls-attr-af)# exit-address-family`	アドレス ファミリを終了します。

OSPF SRMS の設定

次のコマンドは、OSPF SRMS を有効にして、OSPF がローカル マッピング エントリをアドバタイズできるようにします。OSPF は、SRMS ライブラリにリモート エントリを送信しません。ただし、OSPF は、ローカルに設定されたマッピング エントリのみに基づいて計算される SRMS アクティブ ポリシーを使用します。

```
[no] segment-routing prefix-sid-map advertise-local
```

OSPF SRMS クライアントの設定

デフォルトでは、OSPF SRMS クライアント モードが有効になっています。OSPF は、常に SRMS に LSA を通じて受信したリモート プレフィックス SID マッピング エントリを送信します。SRMS アクティブ ポリシーは、ローカルおよびリモートの両方のマッピング エントリに基づいて計算されます。

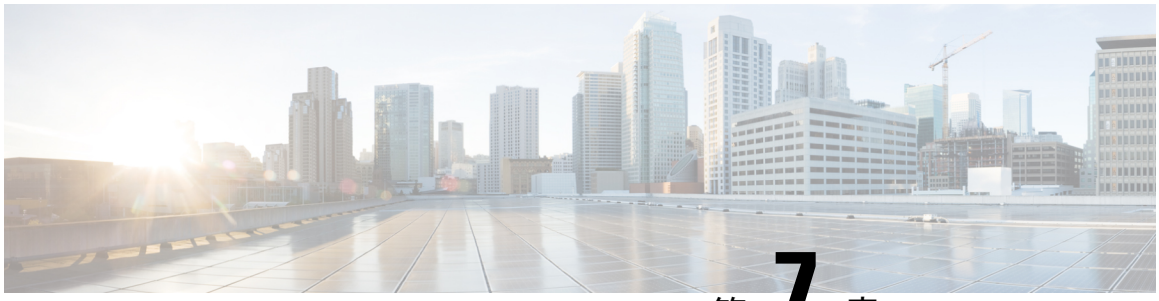
次のコマンドを実行すると、プレフィックス SID マッピング クライアント機能が無効になります。これは受信側で設定されます。

```
segment-routing prefix-sid-map receive [disable]
```

OSPFv2 ノード SID のセグメント ルーティングに関する追加情報

関連資料

関連項目	マニュアル タイトル
IP ルーティング ISIS コマンド	Cisco IOS IP ルーティング ISIS コマンド



第 7 章

OSPFv2 リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティング

このドキュメントでは、TI-LFA（トポロジに依存しないループ フリー代替）を使用した IP 高速再ルーティング機能（IP FRR）の OSPFv2 の実装について説明します。

OSPFv2 リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *5 : OSPFv2* リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの機能情報

機能名	リリース	機能情報
OSPFv2 リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティング	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	トポロジに依存しないループ フリー代替（TI-LFA）は、セグメント ルーティングを使用して、他の高速再ルーティング技術が保護を提供できないトポロジでリンク、ノード、および共有リスク リンク グループ（SRLG）保護を提供します。TI-LFA の目的は、リンク障害によるトポロジ変更後にルータがコンバージェンスする間に結果として生じるパケット損失を減らすことです。 次のコマンドが導入または変更されました。 **fast-reroute per-prefix ti-lfa [area <area> [disable]]**、**fast-reroute per-prefix tie-break node-protecting index <index>**、**fast-reroute per-prefix tie-break node-protecting required index <index>**、**fast-reroute per-prefix tie-break srlg index <index>**、**fast-reroute per-prefix tie-break srlg required index <index>**、**ip ospf fast-reroute per-prefix protection disable**、**ip ospf fast-reroute per-prefix candidate disable**、**show ip ospf fast-reroute ti-lfa tunnels**。

トポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの制約事項

- TI-LFA は OSPFv2 でのみサポートされています。
- TI-LFA トンネルは、ルータが SR をサポートし、プレフィックス SID を使用して設定されている場合だけ作成されます。プレフィックス（または）ノード SID は、接続された SID として設定（または）SRMS（セグメント ルーティング マッピング サーバー）を使用してアドバタイズできます。
- TI-LFA は、マルチ ポイント インターフェイスへの OSPF ポイントではサポートされません。
- TI-LFA は、マルチ トポロジ ルーティング（MTR）をサポートしません。
- TI-LFA は、仮想リンク、シャム リンク（または）TE トンネルを使用して修復パスを作成しません。
- TI-LFA トンネルは、トンネルが通過する必要があるノード（または）修復ノードのセットを明示的に指定することによって構築され、プログラムされます。

OSPFv2リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングについて

トポロジに依存しないループフリー代替（TI-LFA）は、セグメントルーティングを使用して、RLFA（リモートループ フリー代替）などの他の高速再ルーティング技術が保護を提供できないトポロジでリンク、ノード、および共有リスク リンク グループ（SRLG）保護を提供します。TI-LFA の目的は、リンク障害によるトポロジ変更後にルータがコンバージェンスする間に結果として生じるパケット損失を減らすことです。急速な障害修復（50ミリ秒未満）は、分散ネットワーク コンバージェンス プロセスが完了するまで、ループフリーで安全に使用できる事前計算済みのバックアップ パスを使用することによって達成されます。

TI-LFA を使用する主な利点を次に示します。

- すべてのプレフィックスの 100% のカバレッジと 50 ミリ秒以内のリンクおよびノードの保護を提供します。
- コンバージェンス後のパスを活用することで、一時的な輻輳と最適でないルーティングを防ぎます。
- ラベル配布プロトコル（LDP）と IP トラフィックも保護します。

IP 高速再ルーティングおよびリモート ループ フリー代替

IP高速再ルーティング（FRR）は、ネットワーク内の障害が発生したリンクまたは障害が発生したノードの周囲の IP トラフィックを、非常に短時間（50 ミリ秒未満）で再ルーティングできるようにする一連の手法です。使用される手法の 1 つは、OSPF プロトコルを使用して実装されるループ フリー代替（LFA）です。OSPF は現在、プレフィックスごとの直接接続されたLFA およびリモートLFA（RLFA）をサポートします。これらのLFAアルゴリズムの問題はトポロジ依存性です。LFAアルゴリズムはすべてのトポロジに対してネットワークを通してループ フリー代替パスを見つけることはできません。

プレフィックスごとの直接接続されたLFA（DLFA としても知られています）はほとんどの三角形のトポロジに対してループフリー代替パスを提供しますが、長方形または円形のトポロジに対しては優れたカバレッジを提供しません。再ルーティングされたトラフィックを中間ノードにトンネリングするためにLDP シグナリングとともにMPLS フォワーディングを使用するリモートLFA実装（RLFA）は、リングまたは長方形トポロジのIPFRRカバレッジを拡張します。各リンクについて、RLFA はP スペース（保護対象リンクを横断せずに計算ノードから到達可能なノードのセット）とQスペース（保護対象リンク自体を横断せずに保護されたリンク上のネイバーに到達できるノードのセット）を定義します。PおよびQスペースの両方に属するノードは、PQ ノードと呼ばれ、保護対象トラフィックの中間ノードとして使用できます。RLFA は、PQ ノードを対象にしたLDP セッションを形成し、RLFA トンネルを構成します。ただし、PスペースとQスペースが分離されているトポロジでは、R-LFAはそれらのプレフィックスを保護しません。

トポロジに依存しない高速再ルーティング

トポロジに依存しない高速再ルーティング（TI-FRR）は、トポロジ内のリンクのメトリックが対称であると仮定して、セグメントルーティングを使用して任意のトポロジでリンク保護を提供する技法です。TI-LFA は、単一リンクの帯域幅が非対称である場合のバックアップを保証しません。TI-LFA は、コンバージェンス後のパス上にあるループフリー修復パスのみを考慮します。これは、ネットワークのより優れたキャパシティ計画を行うのに役立ちます。

TI-LFA アルゴリズムは、ネットワークを通して完全な明示的パスを作成することを可能にします。完全に指定されたパスを使用すると、パスに沿ったセグメントの数が原因で、大きなトポロジで問題が発生する可能性があります。ただし、パス全体を指定する必要はなく、トラフィックを保護ノードにループバックしない中間ノード（リリース ノード）にトラフィックを伝送するために必要なのはパスのサブセットのみです。TI-LFA アルゴリズムは、修復パスとして SR トンネルを構築します。TI-LFA トンネルは、トンネルが通過する必要があるノード（または）修復ノードのセットを明示的に指定することによって構築され、プログラムされます。トラフィックは（プライマリ パスが失敗した場合）トンネルで伝送され、コンバージェンス後パスでも伝送されます。

トポロジに依存しないループ フリー代替

ローカル LFA およびリモート LFA が有効になっている場合、保護すべきプレフィックスのカバレッジは良好になります。ただし、PQ インターセクト ノードを持たないいくつかのまれなトポロジでは、ローカルおよびリモート LFA のどちらも、失敗したリンクを保護するために解放ノードを見つけることに失敗します。さらに、2 つのアルゴリズムには LFA のコンバージェンス後の特性についての知識がないため、コンバージェンス後の経路を優先する方法はありません。

上記の制限を克服するために、トポロジに依存しない LFA（TI-LFA）が SR 対応ネットワークでサポートされ、次のサポートを提供します。

- **リンク保護**：LFA はリンクの障害のための修復パスを提供します。
- **ローカル LFA**：コンバージェンス後のパスのローカル LFA が利用可能であるときはいつでも、ローカル LFA は修復パスのための追加 SID を必要としないので、TI LFA より優先されます。つまり、PQ ノードのラベルは、リリース ノードには必要ありません。
- **拡張 P スペースのローカル LFA**：拡張 P スペースのノードの場合、ローカル LFA は今でも修復パスのための最も経済的な方法です。この場合、TI-LFA は選択されません。
- **PQ 交差ノードへのトンネル**：これは、修復パスが TI-LFA を使用してコンバージェンス後のパスで保証されることを除いて、リモート LFA と類似しています。
- **PQ 分離ノードへのトンネル**：ローカルおよびリモート LFA が修復パスを見つけられない場合には、この機能は TI-LFA に固有です。
- **複数の交差または分離 PQ ノードを通過するトンネル**：TI-LFA は、プラットフォームのサポートされている最大ラベル数まで、すべてのプレフィックスの完全なカバレッジを提供します。
- **保護対象リンクのための P2P およびブロードキャスト インターフェイス**：TI-LFA は P2P およびブロードキャスト インターフェイスを保護します。

- **非対称リンク**：ネイバー間の OSPF メトリックは同じではありません。
- **マルチホーム（エニーキャスト）プレフィックス保護**：同じプレフィックスが複数のノードによって発信される可能性があり、TI-LFA はコンバージェンス後の修復パスを提供することによってエニーキャスト プレフィックスも保護します。
- **保護されたプレフィックスのフィルタリング**：ルートマップは、保護するプレフィックスのリストと、リリース ノードまでの最大修復距離を制限するオプションを含めるかまたは除外します。
- **タイブレーカー**：TI-LFA に適用可能な既存のタイブレーカーのサブセットがサポートされています。

トポロジに依存しないループ フリー代替タイブレーク

ローカルおよびリモート LFA は、プレフィックスを保護するために複数のパスがある場合、デフォルトまたはユーザー設定のヒューリスティックを使用してタイブレークします。この属性は、ロード バランシングの前に、TI-LFA リンク保護計算の終了時に修復パスの数を削減するために使用されます。

ローカル LFA およびリモート LFA は次のタイブレーカーをサポートします。

- **Linecard-disjoint**：ライン カード分離修復パスを優先します。
- **Node-protecting**：修復パスを保護するノードを優先します。
- **SRLG-disjoint**：SRLG 分離修復パスを優先します。
- **Load-sharing**：リンクとプレフィックスの間で均等に修復パスを分配します。

特定のプレフィックスに対して2つの修復パスがある場合、プライマリ ポートのものとは異なるライン カードの出力ポートであるパスが、修復パスとして選択されます。

- **LC-disjoint-index**：修復パスの両方がプライマリ パスのものと同じライン カード上にある場合、両方のパスが候補と見なされます。パスの 1 つが別のライン カード上にある場合は、そのパスが修復パスとして選択されます。

- **SRLG-disjoint**：SRLG 分離修復パスを優先します。

SRLG ID は、各インターフェイスに対して構成できます。プレフィックスに対して 2 つの修復パスがある場合、修復パスに設定された SRLG ID は、プライマリ パス SRLG ID のものと比較されます。セカンダリ パスの SRLG ID がプライマリのものと異なる場合、そのパスが修復パスとして選択されます。

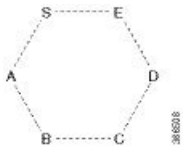
Cisco IOS XE リリース 3.18 では、ノード保護タイブレーカーはデフォルトで無効になっています。同じインターフェイス上のタイブレーカーのデフォルトと明示的なタイブレーカーは、相互に排他的です。以下のタイブレーカーは、すべての LFA でデフォルトで有効になっています。

- linecard-disjoint
- lowest-backup-metric
- SRLG-disjoint

P スペース

S-E を通過せずに最短パス ツリー上の S から到達できるルータのセットは、リンク S-E に関して、S の P スペースと呼ばれます。

図 *5:* 単純なリング トポロジ



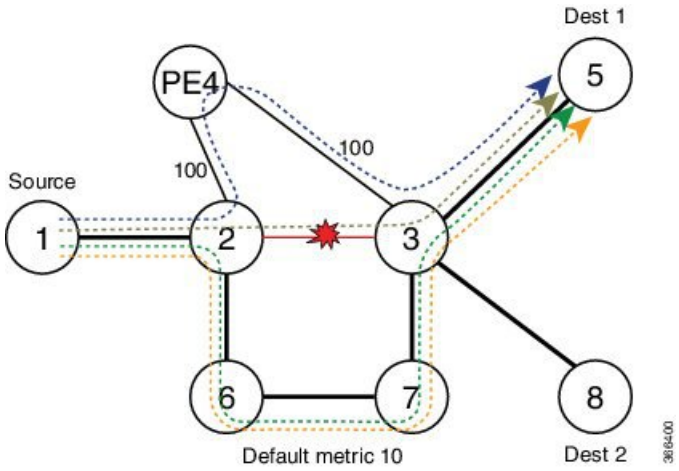
Q スペース

リンク S-E を通過することなく通常のフォワーディングによってノード E に到達できるルータのセットは、リンク S-E に関して、E の Q スペースと呼ばれます。

コンバージェンス後のパス

コンバージェンス後のパスは、OSPF がリンク障害の後に使用するパスです。TI-LFA は常に、コンバージェンス後のパスである修復パスを計算します。障害発生時にトラフィックを伝送するために、コンバージェンス後のパスを計画してサイズを合わせることができます。TI-LFA は、コンバージェンス後のパスをセグメントのリストとしてエンコーディングすることによって適用します。次の図は、コンバージェンス後のパスを使用した TI-LFA の例を示しています。

図 *6:* コンバージェンス後のパスを使用した *TI-LFA*

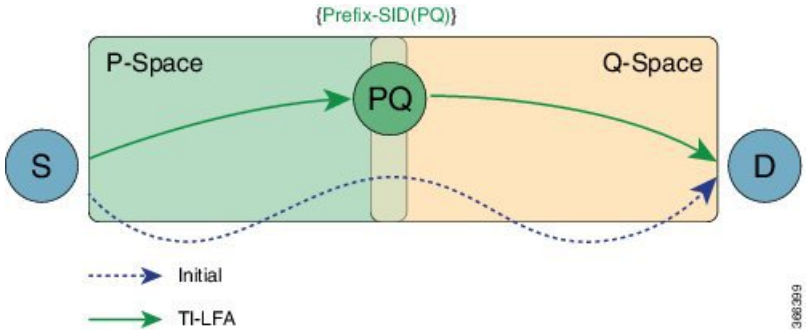


- これは、リンク 2-3 の障害に対してノード 2 の宛先ノード 5 を保護します。
- ノード 2 は、コア リンクを介してノード 5 宛てのすべてのトラフィックをスイッチします。

宛先ごとのリンク保護

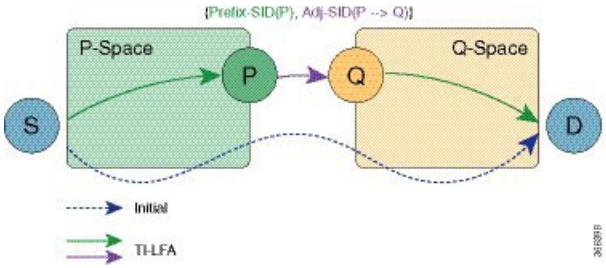
TI-LFA の実装は、基盤となるハードウェアによってサポートされるセグメント（ラベル）の数で宛先ごとのリンク保護を提供します。次の図は、TI-LFA の実装を示しています。

図 *7 : TI-LFA* : *{プレフィックス SID（PQ）}*



PQ が S の直接ネイバーである場合、追加セグメントをプッシュする必要はありません。

図 *8 : TI-LFA* : *{プレフィックス SID（P）、隣接関係 SID（P -> Q）}*



インターフェイスごとのループ フリー代替の使用可能性

- TI-LFA は、エリアごとに有効にすることができます。
- TI-LFA バックアップ パスが計算されるのは、保護対象のプライマリ インターフェイスで TI-LFA 保護が有効になっている場合だけです。デフォルトでは、すべてのインターフェイスで保護が有効です。
- TI-LFA 修復パスは、ハードウェアによってサポートされるラベルの数によって制限されます。ハードウェアが 2 つのラベルだけをサポートする場合、TI-LFA 修復パスは、2 つ以下のセグメントによって保護できるそれらのプレフィックスだけを保護できます。2 つ以上のセグメントを必要とするそれらのプレフィックスは、未保護のままになります。

プレフィックス処理

すべてのリンクについて TI-LFA パスが計算されると、プレフィックス処理が開始されます。デフォルトでは、エリア内およびエリア間のプレフィックスのみが保護されます。外部プレ

フィックスを保護するには、OSPF レベルでグローバルにセグメント ルーティングを有効にする必要があります。

プライマリ パスと修復パスは、保護されているプレフィックスと同じルート タイプである必要があります。つまり、エリア内を保護する必要がある場合、TI-LFA修復パスは、プレフィックスが一意であっても（または）エニーキャストプレフィックスであっても、同じエリア内プレフィックスについても計算します。

エニーキャスト プレフィックス処理

またOSPF TI-LFAは、エニーキャストプレフィックスのための修復パスを計算します。エニーキャストプレフィックス（または）デュアルホームのプレフィックスは、複数のルータによってアドバタイズされたプレフィックスです。エリア内、エリア間、またはエリア外プレフィックスである可能性があります。エニーキャスト プレフィックスのための TI-LFA 修復パスの計算は以下のとおりです。

- プレフィックス P1 がルータ R1 および R2 によってアドバタイズされると仮定します。両方のルータによってアドバタイズされたプレフィックスは、同じルート タイプである必要があります。つまり、R1 と R2 の両方で、プレフィックスをエリア内プレフィックス（またはエリア内もしくはエリア外）としてアドバタイズする必要があります。
- プライマリ パスは、コストが低いため R1 に向けて計算されます。
- TI-LFA がバックアップ パスを計算するときに、コンバージェンス後のパスを計算します。したがって、コンバージェンス後のパスは R1 向けである必要はありません。R2（コンバージェンス後）に到達するためのコストがより短い場合、TI-LFA アルゴリズムは R2 向けのコンバージェンス後パスを選択します。TI-LFA トンネルは R2 に向けて形成されます。
- R2 がプレフィックスをアドバタイズしない場合、TI-LFA アルゴリズムは R1 向けの修復パスについて再計算されます。

プレフィックスごとのループ フリー代替タイブレーク

IP FRR には、以下に示す順序で下記のタイ ブレーク ルールがあります。最適なパスを選択できる複数の修復パスがある場合は、次のタイブレーク ルールが適用されます。複数のパスがすべてのタイブレーク ルールに一致する場合、すべてのパスが修復パスとして使用されます。

- **Post Convergence**：コンバージェンス後のパスであるバックアップ パスを優先します。これはデフォルトで有効になっていて、ユーザーはこれを変更できません。
- **Primary-path**：ECMP セットからのバックアップ パスを優先します。
- **Interface-disjoint**：ポイントツーポイント インターフェイスには、プライマリ ゲートウェイで障害が発生した場合、再ルーティングのための代替のネクストホップはありません。interface-disjoint 属性を設定すると、このような修復パスの選択を防ぐことができるため、インターフェイスが保護されます。

- **Lowest-backup-metric**：最小の合計メトリックを持つバックアップ パスを優先します。TI-LFA は常に最低のコストであるバックアップ パスを選択するので、これは TI-LFA には適用されません。
- **LC-disjoint**：プライマリ パスとは異なるライン カードにあるバックアップ パスを優先します。
- **Broadcast-interface-disjoint**：LFA 修復パスは、修復パスと保護されたプライマリ パスが異なるネクストホップ インターフェイスを使用するときにリンクを保護します。ただし、ブロードキャスト インターフェイスでは、LFA 修復パスがプライマリ パスと同じインターフェイスを介して計算され、ネクストホップ ゲートウェイが異なる場合、ノードは保護されますがリンクは保護されないことがあります。broadcast-interface-disjoint 属性を設定すると、プライマリ パスがポイントするブロードキャスト ネットワークを修復パスが経由しない（つまり、インターフェイスと、これに接続されるブロードキャスト ネットワークを使用できない）ように指定することができます。
- **Load Sharing**：上記のルールに一致する修復パスが複数ある場合は、バックアップ パスをロード シェアします。このルールは、ユーザーが変更することもできます。

（注） ユーザーは、要件に応じてタイブレーク ルールを変更および定義できます。このようにして、ユーザーはシーケンスの優先順位を変更したり、必要のないタイ ブレーク インデックスの一部を削除したりすることができます。

（注） TI-LFA は常に最低コストのバックアップ パスのみを選択するので、Lowest-backup-metric ポリシーは TI-LFA には適用されません。

上記のルールは、次のコマンドを使用して確認できます。

```
R2#show ip ospf fast-reroute

            OSPF Router with ID (10.2.2.200) (Process ID 10)

Microloop avoidance is enabled for protected prefixes, delay 5000 msec

Loop-free Fast Reroute protected prefixes:

           Area        Topology name   Priority   Remote LFA Enabled     TI-LFA Enabled
              0                Base        Low                   No                Yes
    AS external                Base        Low                   No                Yes

  Repair path selection policy tiebreaks (built-in default policy):
      0  post-convergence
     10  primary-path
     20  interface-disjoint
     30  lowest-metric
     40  linecard-disjoint
     50  broadcast-interface-disjoint
    256  load-sharing
```

```
OSPF/RIB notifications:
 Topology Base: Notification Enabled, Callback Registered

Last SPF calculation started 17:25:51 ago and was running for 3 ms.
```

TI-LFA の導入によって、次の 2 つのタイブレーク ルールが拡張されます。

- node-protection
- srlg-protection

上記の2つのタイブレーク ルールは、デフォルトでは有効になっていません。ユーザーは、前述のタイブレーク ポリシーを設定する必要があります。

ノード保護

TI-LFA ノード保護は、ノード障害からの保護を提供します。ノードを保護する TI-LFA は、特定のネクストホップへのリンクだけでなく、特定のネクストホップの障害に対して保護するコンバージョン後の修復パスの計算を試みます。

ノード保護は、ローカル LFA の実装でもタイブレーカーとして使用されます。ただし、これが TI-LFA と組み合わされると、バックアップ パスはノード保護パスとのコンバージェンス後に計算されます。プレフィックスごとの TI-LFA ノード保護はデフォルトで無効になっています。IPFRR TI-LFA ノード保護機能は、対応するタイブレークが TI-LFA 機能とともに有効になると有効になります。つまり、

```
router ospf 10
   [no] fast-reroute per-prefix ti-lfa [area <area> [disable]]
   [no] fast-reroute per-prefix tie-break node-protecting index <index>
   [no] fast-reroute per-prefix tie-break node-protecting required index <index>
```

ノード保護を有効にする場合、他のすべてのタイ ブレーク ルールも手動で設定する必要があります。ノード保護はリンク保護上に構築されます。

node-protecting と **node-protecting required** の違いは、バックアップ パスの選択です。**node-protecting required** を設定すると、選択されたバックアップは、ノード（保護しているリンクの一部）を通過しないパスでなければなりません。このようなパスが使用できない場合は、バックアップ パスとしてパスが選択されません。

共有リスク リンク グループ保護

共有リスク リンク グループ（SRLG）は、同時に障害が発生する可能性が高い修復パスおよび保護されたプライマリ パスのネクストホップ インターフェイスのグループです。OSPFv2 ループフリー Fast Reroute 機能では、コンピューティング ルータでローカルに設定された SRLG のみがサポートされます。TI LFA の導入によって、SRLG グループ ID をプライマリ パス インターフェイスと共有しないコンバージェンス後のパスが選択されます。このようにして、プライマリ リンクが失敗するたびに、ユーザーは SRLG 保護を確認します。

IPFRR TI-LFA SRLG 保護機能は、対応するタイブレークが Ti-LFA 機能とともに有効になると有効になります。つまり、

```
router ospf 10
   [no] fast-reroute per-prefix ti-lfa [area <area> [disable]]
   [no] fast-reroute per-prefix tie-break srlg index <index>
   [no] fast-reroute per-prefix tie-break srlg required index <index>
```

SRLG 保護を有効にすると、他のすべてのタイ ブレーク ルールを手動で設定する必要があります。**srlg-protecting** と **srlg-protecting required** の違いは、バックアップ パスの選択です。**srlg-protecting required** を設定すると、選択されたバックアップは、保護されているプライマリ リンクと SRLG ID を共有しないパスでなければなりません。このようなパスが使用できない場合は、バックアップ パスとしてパスが選択されません。

一方、**srlg-protecting** を単独で設定すると、SRLG 保護パスが使用できない場合は、リンク保護パスがバックアップ パスとして選択されます。SRLG 保護パスが使用可能な場合、SRLG 保護パスへのスイッチオーバーが行われます。

ノード共有リスク リンク グループ保護

ノードと SRLG の保護タイ ブレークの両方を一緒に設定できます。これは、バックアップ パスがノード保護と SRLG 保護の両方の基準を満たす必要があることを意味します。その場合、追加の TI-LFA ノード SRLG の組み合わせ保護アルゴリズムが実行されます。TI-LFA ノード SRLG の組み合わせアルゴリズムは、コンバージェンス後の最短パスツリー（SPT）を計算するときに、保護されたノードと、同じ SRLG グループを持つインターフェイスのすべてのメンバーを削除します。

ノードおよび SRLG の保護タイ ブレークを一緒に有効にするには、次のコマンドを使用します。

```
router ospf 10
   [no] fast-reroute per-prefix ti-lfa [area <area> [disable]]
   [no] fast-reroute per-prefix tie-break node-protecting index <index>
   [no] fast-reroute per-prefix tie-break srlg index <index>
```

次の show コマンドは、タイ ブレーク ポリシーを表示するために使用されます。

```
R3#show ip ospf fast-reroute

            OSPF Router with ID (10.3.3.33) (Process ID 10)

Loop-free Fast Reroute protected prefixes:

           Area        Topology name   Priority   Remote LFA Enabled     TI-LFA Enabled
              0                Base        Low                  No                 No
              1                Base        Low                  No                 No
           1000                Base        Low                  No                 No
    AS external                Base        Low                  No                 No

  Repair path selection policy tiebreaks:
      0  post-convergence
     60  node-protecting
     70  srlg
    256  load-sharing

OSPF/RIB notifications:
 Topology Base: Notification Disabled, Callback Not Registered
```

```
Last SPF calculation started 00:00:06 ago and was running for 2 ms.
```

トポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの設定方法

トポロジに依存しないループフリー代替高速再ルーティングの有効化

デフォルトでは、TI-LFA は無効になっています。プロトコルの有効化を使用して、TI-LFA を有効にすることができます。

プロトコルの有効化：すべての OSPF エリアに対して、ルータ OSPF モードで TI-LFA を有効にします。TI-LFA FRR を有効にするには、次の手順を実行します。

```
[no] fast-reroute per-prefix ti-lfa [ area <area> disable]
```

```
router ospf <process>
fast-reroute per-prefix enable area <area> prefix-priority {low | high}
fast-reroute per-prefix ti-lfa [ area <area> disable]
```

また、インターフェイス コマンドを使用して、特定のインターフェイスで IP FRR を有効または無効にすることもできます。

```
interface <interface>
ip ospf fast-reroute per-prefix protection disable
ip ospf fast-reroute per-prefix candidate disable
ip ospf fast-reroute per-prefix protection ti-lfa [disable]
```

（注）
- TI-LFA が OSPF ルータおよび広域で設定されるとき、エリア特定の設定が優先します。
- 外部プレフィックスを保護するには、TI-LFA はグローバルに有効にする必要があります。

トポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングの設定

このタスクでは、リンク、ノード、および SRLG の障害に関するトラフィック フローを収束させるために、プレフィックスごとのトポロジに依存しないループフリー代替（TI-LFA）の計算を有効にする方法について説明します。TI-LFA は、より低いレベルによって継承されたインスタンスまたはエリア レベルで設定することができます。TI-LFA にも適用されるインターフェイス レベルごとのプレフィックス FRR ごとに有効または無効にできます。

設定を開始する前に、次のトポロジ要件を満たしていることを確認してください。

- ルータ インターフェイスがトポロジごとに設定されている。
- ルータが OSPF で設定されている。

- セグメント ルーティングが OSPF レベルでもグローバルでも有効である。

1. 指定されたルーティング プロセスの OSPF ルーティングを有効にして、ルータ コンフィギュレーション モードを開始します。

```
Device(config)# router ospf 10
```

2. FRR を有効にします。

```
Device(config-router)# fast-reroute per-prefix enable prefix-priority low
```

3. TI-LFA を有効にします。

```
Device(config-router)# fast-reroute per-prefix ti-lfa
```

4. 特定のエリアで TI-LFA を有効にします。

```
Device(config-router)# fast-reroute per-prefix ti-lfa area 0
```

5. TI-LFA モードを終了します。

```
Device(config-router)# exit
```

6. インターフェイス モードに入ります。

```
Device(config)#interface ethernet 0/0
```

7. 特定のインターフェイスで FRR を有効にしたくない場合は、protection disable コマンドを使用します。

```
Device(config-if)#ip ospf fast-reroute per-prefix protection disable
```

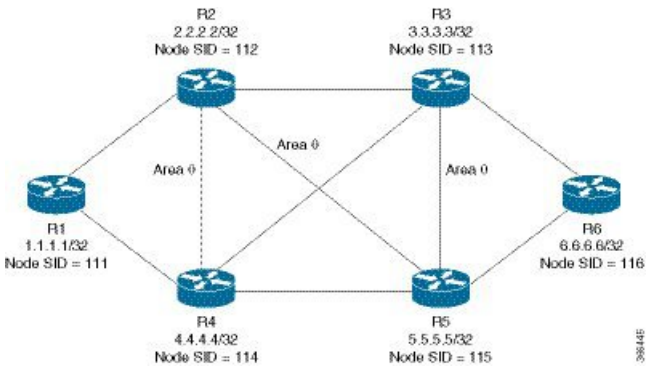
8. 特定のインターフェイスを修復パスとして有効にしたくない場合は、candidate disable コマンドを使用します。

```
Device(config-if)#ip ospf fast-reroute per-prefix candidate disable
```

トポロジに依存しない高速再ルーティング タイブレーカーの設定

すべてのノードのプレフィックス SID が設定されているすべてのルータで、セグメント ルーティングを有効にする必要があります。構成を理解するには、次のトポロジを参照として使用してください。

図 *9 :* 設定例



R2 と R3 の間のリンクを保護するデバイス R2 を考えます。R2 での設定：

```
router ospf 10
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority low
fast-reroute per-prefix ti-lfa
segment-routing mpls
segment-routing area 0 mpls
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority low
fast-reroute per-prefix ti-lfa
fast-reroute per-prefix ti-lfa area 0
fast-reroute per-prefix tie-break node-protecting index 60
fast-reroute per-prefix tie-break srlg index 70
mpls traffic-eng router-id Loopback1
mpls traffic-eng area 0

interface GigabitEthernet4   //interface connecting to the router 4
ip address 10.101.4.4 255.255.255.0
ip ospf 10 area 0
ip ospf network point-to-point
srlg gid 10
negotiation auto

interface GigabitEthernet3  //interface connecting to the router 3
ip address 10.101.3.3 255.255.255.0
ip ospf 10 area 0
ip ospf network point-to-point
srlg gid 10
negotiation auto

interface GigabitEthernet5   //interface connecting to the router 2
ip address 10.101.5.5 255.255.255.0
ip ospf 10 area 0
ip ospf network point-to-point
srlg gid 20
negotiation auto



interface loopback2
ip address 10.2.2.2/32
ip ospf 10 area 0
```

（注） 他のすべてのデバイスでは、セグメント ルーティングの構成と、接続されたプレフィックス SID の割り当てを行う必要があります。

ノード保護の仕組み：例として同じトポロジを使用し、R2 と R3 の間のリンクと R6 からのプレフィックスも保護している場合を考えてみましょう。その場合、プレフィックスのプライマリ パスが R2-R3 経由であると想定してみましょう。したがってプライマリ パスは R2---R3---R6 であり、リンク R2---R3 を保護しています。

このシナリオでは、リンク保護のみが設定され、有効になっています。OSPF プロセスの下で TI-LFA を有効にすると、すべてのパスのコストが等しいという条件で次のパスが得られます。

R2----R4----R5---R6

R2---R5----R3---R6

R2----R5---R6

リンク保護のみを設定している場合は、3 つのパスがすべて選択され、それらの間で負荷が共有されます。

ノード保護を構成する場合は、バックアップ パスに保護対象のノードが含まれないようにバックアップが計算されます。この例では、バックアップのノード R3 は必要ありません。その結果、次の 2 つのパスのみがバックアップ パスとして選択されます。

R2----R4----R5---R6

R2----R5---R6

R2---R5---R3---R6 のコストは上記の 2 つのパスよりも小さい可能性があります。しかし、ノード保護が設定されているため、上記の 2 つのパスのみが考慮されます。

SRLG 保護の仕組み：SRLG 保護は、プライマリ パスとバックアップが同じ SRLG ID を共有しないような方法で、バックアップ パスをさらに排除します。次のバックアップ パスが使用可能であるとします。

R2----R4----R5---R6

R2----R5---R6

次に、（R2----R4）と（R2----R5）の SRLG ID が、10 であるプライマリ インターフェイス（R2----R3）と比較されます。インターフェイス R2----R5 のみが、異なる SRLG ID である 20 を持つことに注意します。したがって、バックアップ パス R2---R5---R6 のみが選択されます。

トポロジに依存しない高速再ルーティング トンネルの確認

次のコマンドを使用して、TI LFA トンネルを確認することができます。

```
Device#show ip ospf fast-reroute ti-lfa tunnels


            OSPF Router with ID (10.2.2.200) (Process ID 10)

                        Area with ID (0)

                    Base Topology (MTID 0)


Tunnel                 Interface         Next Hop          Mid/End Point    Label
------------------------------------------------------------------------------
MPLS-SR-Tunnel2        Et1/1             10.7.0.7          10.1.1.1         16020
MPLS-SR-Tunnel6        Et0/3             10.8.0.0          10.3.3.3         16003
MPLS-SR-Tunnel7        Et1/1             10.7.0.7          10.1.1.1         16020
                                                           10.5.5.5         16005
                                                           10.3.3.3         16003
MPLS-SR-Tunnel5        Et0/3             10.8.0.0          10.5.5.5         16005
MPLS-SR-Tunnel1        Et1/1             10.7.0.7          10.1.1.1         16020
                                                           10.5.5.5         16005
MPLS-SR-Tunnel3        Et1/1             10.7.0.7          10.6.6.6         16006
```

次のコマンドを使用して、プライマリおよび修復パスを持つOSPFルーティングテーブル内のルートを確認できます。

```
Device#show ip ospf rib 10.6.6.6


            OSPF Router with ID (10.2.2.200) (Process ID 10)


                Base Topology (MTID 0)

OSPF local RIB
Codes: * - Best, > - Installed in global RIB
LSA: type/LSID/originator

*>  10.6.6.6/32, Intra, cost 31, area 0
     SPF Instance 19, age 02:12:11
      contributing LSA: 10/10.0.0.0/10.6.6.6 (area 0)
     SID: 6
     CSTR Local label: 0
     Properties: Sid, LblRegd, SidIndex, N-Flag, TeAnn
     Flags: RIB, HiPrio
      via 10.7.0.7, Ethernet1/1 label 16006
       Flags: RIB
       LSA: 1/10.6.6.6/10.6.6.6
      PostConvrg repair path via 10.3.3.3, MPLS-SR-Tunnel6 label 16006, cost 81, Lbl cnt
 1
       Flags: RIB, Repair, PostConvrg, IntfDj, LC Dj
       LSA: 1/10.6.6.6/10.6.6.6
```

次のコマンドを使用して、IP ルーティング テーブルにルートを表示できます。

```
Device#show ip route 10.6.6.6
Routing entry for 10.6.6.6/32
  Known via "ospf 10", distance 110, metric 31, type intra area
  Last update from 10.7.0.7 on Ethernet1/1, 00:25:14 ago
 SR Incoming Label: 16006
  Routing Descriptor Blocks:
  * 10.7.0.7, from 10.6.6.6, 00:25:14 ago, via Ethernet1/1, merge-labels
      Route metric is 31, traffic share count is 1
      MPLS label: 16006
      MPLS Flags: NSF
      Repair Path: 10.3.3.3, via MPLS-SR-Tunnel6
```

トポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティングのデバッグ

次のコマンドを使用して、TI-LFA FRR をデバッグすることができます。

```
debug ip ospf fast-reroute spf

debug ip ospf fast-reroute spf detail

debug ip ospf fast-reroute rib

debug ip ospf fast-reroute rib [<access-list>]
```

例：OSPFv2 リンク保護のトポロジに依存しないループ フリー代替高速再ルーティング

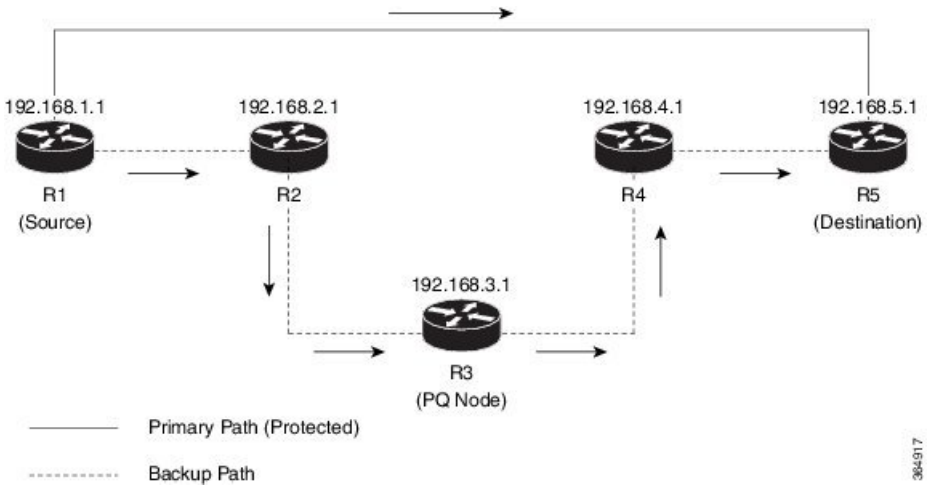
OSPFv2 リンク保護 TI-LFA FRR の例を次に示します。

例：トポロジに依存しないループフリー代替高速再ルーティングの設定

この例では、単一またはディスジョイントの PQ ノードを使用してセグメント ルーティング TE トンネルに TI-LFA を設定する方法を示します。次に、使用される 2 つのトポロジを示します。

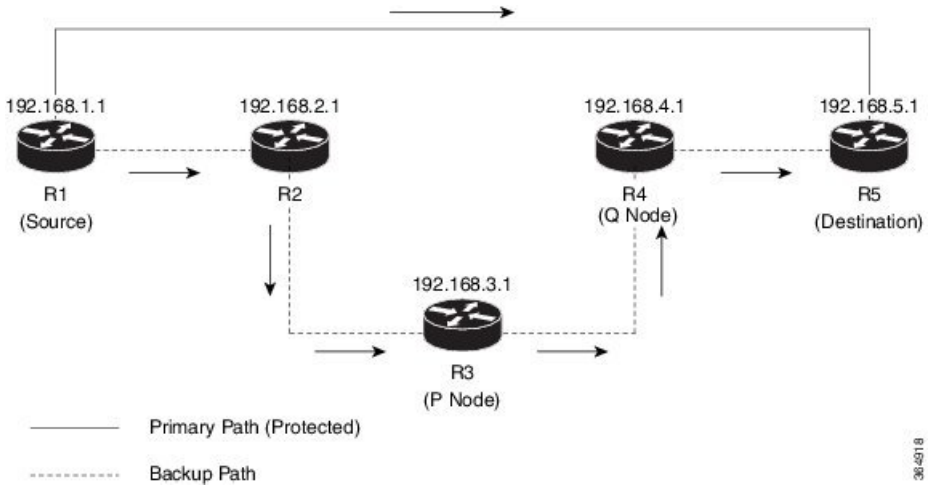
- トポロジ 1：単一の PQ ノードであり、2 つの SID を持ちます。送信元ルータ R1 から PQ ノードを経由して宛先ルータ R5 に送信されます。

  図 *10*：トポロジ *1*：単一の *PQ* ノード



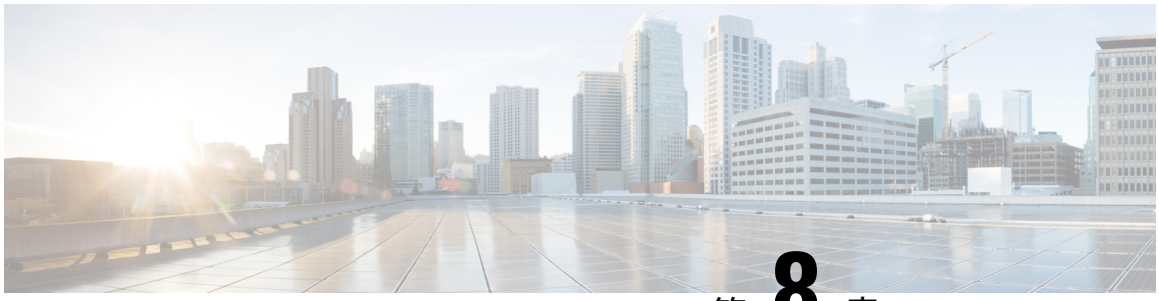
- トポロジ2：ディスジョイント PQ ノードであり、3 つの SID で構成されます。送信元ルータ R1 から P ノードおよび Q ノードを介して宛先ルータ R5 に送信されます。

図 *11 :* トポロジ *2*：ディスジョイント *PQ* ノード



宛先ルータ（R5）に接続する送信元ルータ（R1）インターフェイスで OSPF 用に TI-LFA を設定します。

```
Device(config)# router ospf 10
Device(config-router)# fast-reroute per-prefix enable prefix-priority low
Device(config-router)# fast-reroute per-prefix ti-lfa
Device(config-router)# fast-reroute per-prefix ti-lfa area 0
Device(config-router)# exit
```



第 8 章

OSPF のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング

この章では、OSPF を使用してセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングを実装する方法について説明します。

OSPF のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェア イメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *6 : OSPF* のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの機能情報

機能名	リリース	機能情報
OSPF のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	トラフィック エンジニアリング（TE）トンネルは、トンネルの入力とトンネルの宛先との間でインスタンス化された TE LSP のコンテナです。TE トンネルは、同じトンネルに関連付けられた 1 つ以上の SR-TE LSP をインスタンス化できます。 次のコマンドが追加または修正されました。 **show mpls traffic-eng tunnels**、**tunnel mpls traffic-eng path-option 10 dynamic segment-routing**、**tunnel mpls traffic-eng path-option 10 segment-routing**、**tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name MIXED_PATH segment-routingtunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name IP_PATH1 segment-routingtunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name NODE_PATH segment-routing**。

OSPF のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの制約事項

- セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングは、OSPFv2 でのみサポートされています。
- SR-TE は、ブロードキャスト インターフェイスではサポートされていません。ポイントツーポイント インターフェイスのみサポートしています。
- 特定の時点で、TE に対して有効にする必要があるプロトコルのインスタンスは 1 つだけです。

OSPF のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングに関する情報

トラフィック エンジニアリング（TE）トンネルは、トンネルの入力とトンネルの宛先との間でインスタンス化された TE LSP のコンテナです。TE トンネルは、同じトンネルに関連付けられた 1 つ以上の SR-TE LSP をインスタンス化できます。SR-TE LSP パスが宛先ノードへの同じ IGP パスに必ずしも従うとは限りません。この場合、SR-TE パスには、SR-TE LSP が通過するノードおよび/またはリンクのプレフィックス SID および/または隣接関係 SID のセットを指定することができます。

ヘッドエンドは、トンネルを通して伝送される発信パケットに、対応するMPLSラベル スタックを課します。SR-TELSPパスに沿った各通過ノードは、パケットが最終的な宛先に到達するまで、着信トップラベルを使用してネクストホップを選択し、ラベルをポップまたはスワップし、ラベル スタックの残りの部分を使用して次のノードにパケットを転送します。OSPF は、トポロジおよびSR に関連する情報を TE に提供します。SR 関連情報には、ネットワーク内で SR が有効になっているすべてのノード/リンクの SRGB/プレフィックス/隣接関係 SID が含まれます。

OSPF のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングを使用する利点

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングは、次のような役に立つすべての最適化と制約を包括的にサポートしています。

- 遅延
- 帯域幅
- ディスジョイントネス
- リソース回避

OSPFv2 は、SR-TE に以下の機能を提供します。

- OSPFv2 は、TE モジュールに SR 情報とともに TE トポロジ情報を提供します。
- TE では、この情報を使用し、プレフィックスおよび/または隣接関係セグメントの組み合わせを使用して、1 つ以上のセグメントで構成されるSR TEパス/トンネルを構築します。
- TE が関連するプレフィックスの場合、OSPF はフォワーディング プレーンをセットアップするためのファースト ホップの解決策を提供します。
- また、SR TE トンネルは、SR-TE トンネル上のトラフィックを即転送するために OSPF（RSVP TE トンネルなど）に再度アドバタイズされます。

OSPFv2 セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング機能

OSPFv2 は、SR-TE のために以下の機能を実行します。

- OSPFv2 は、TE モジュールに SR 情報とともに TE トポロジ情報を提供します。
- TE では、この情報を使用し、プレフィックスおよび/または隣接関係セグメントの組み合わせを使用して、1 つ以上のセグメントで構成されるSR TEパス/トンネルを構築します。
- TE が関連するプレフィックスの場合、OSPF はフォワーディング プレーンをセットアップするためのファースト ホップの解決策を提供します。
- また、SR TE トンネルは、SR-TE トンネル上のトラフィックを即転送するために OSPF（RSVP TE トンネルなど）に再度アドバタイズされます。

保護された隣接関係 SID

セグメント ルーティングは、ポイント ツー ポイント インターフェイスおよびブロードキャスト インターフェイスに対して保護された隣接関係 SID を作成します。セグメント ルーティングは、それらを保護されていない隣接関係 SID とともに、拡張リンク ステート アドバタイズメント（LSA）にアドバタイズします。保護された隣接関係 SID は修復パスを持つことができますが、修復パスを持つことが保証されるわけではありません。

トラフィック エンジニアリング インターフェイス

SR-TE 機能をサポートするため、TE は、TE トポロジに関する情報を配布および受信するためのさまざまなコンポーネントや IGP（OSPF および ISIS）と連携します。SR-TE サポートの場合、OSPF は、さまざまな LSA を通じて受信した SR 情報を TE に追加で提供する必要があります。

- ルータ情報 LSA
- 拡張プレフィックス LSA
- 拡張リンク LSA

TE インターフェイスは、TE 用に設定されたリンクに関連付けられた、帯域幅リソース、制約、機能、その他の属性などの情報を配布します。リンク情報は、不透明な LSA を使用して他のルータに配布され、TE によってローカル トポロジ データベースを作成するために使用されます。トポロジ データベースは、TE が LSP を確立するための適切な制約ベースのパスを計算できるようにするための鍵となる要素です。TE は IGP とも連携し、ルーティング パケット用に TE ヘッドエンド インターフェイスを考慮できる場合に通知します。

アンナンバード サポート

アンナンバード リンクの IS-IS の説明には、リモート インターフェイス ID 情報は含まれません。アンナンバード リンクのリモート インターフェイス ID には、SR-TE トンネルの一部としてアンナンバード リンクを含める必要があります。

隣接関係転送のためのセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング サポート

MPLS TE 転送隣接機能は、OSPF でサポートされます。この場合、TE トンネルは IGP ネットワーク内のリンクと見なされます。TE トンネル インターフェイスは、他のリンクと同様に、IGP ネットワーク内にアドバタイズされます。その後、ルータはこれらのリンクを使用して最短パス ツリー（SPT）を計算できます。

（注） この機能は、SR-TE トンネルではサポートされていません。

自動ルート アナウンスのためのセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング サポート

MPLS TE 自動ルートアナウンス機能は、TE トンネルをファーストホップとして使用する OSPF によって、ノードがそのトンネル経由で到達可能な場合にサポートされます。これにより、TE トンネルのテールエンドへ向かう下流方向のノードへのトラフィックがトンネルを通って流れます。OSPF では、RSVP を使用した MPLS TE トンネル設定と同様に、SR-TE トンネル上での自動ルートをサポートします。

SR-TE LSP をインスタンス化する TE トンネルは、IGP のショートカットとして IGP（OSPF および ISIS）に自動ルート アナウンス（AA）することができます。IGP はネクスト ホップとして TE トンネルを使用し、最短パスが TE トンネルの宛先よりも遅くなるすべての IP プレフィックスに対して RIB にルートをインストールします。TE トンネルの自動ルート アナウンスは、IPV4 プレフィックスを運ぶためにサポートされています。

自動ルート アナウンス IP2MPLS

SR トンネルのための自動ルート IP2MPLS 機能は、SR-TE トンネルのヘッドエンド/入力と、ヘッドエンド/入力にパケットを指定/ルーティングして戻すノードとの間で、潜在的なパケットが無限にループするのを回避するために導入されました。

このソリューションは、SR-TE トンネルにマッピングされるプレフィックスに対して 2 セットのパスを転送するヘッドエンドプログラミングで構成されています。1 つ目は、発信インターフェイスをトンネルインターフェイスとして持ち、マッピングされているプレフィックスの純粋な IP ルートです。これにより、IP トラフィックをトンネル経由で直接マッピングできます。2 つ目は、トンネルにマップされたプレフィックスの MPLS パスです。この場合プレフィックス SID ラベルは IGP の最短パス発信インターフェイス、つまり非トンネル出力インターフェイスでプログラムされます。

SR-TE LSP のインスタンス化

トラフィック エンジニアリング（TE）トンネルは、1 つ以上のインスタンス化された TE LSP のコンテナです。SR-TE LSP は、TE トンネルのパスオプションで「segment-routing」を設定することによってインスタンス化されます。トンネルにマップされたトラフィックは、プライマリ SR-TE のインスタンス化 LSP を介して転送されます。

同じトンネルの下で複数のパスオプションを設定することもできます。各パスオプションには、プリファレンスインデックスまたはパスオプションインデックスが割り当てられていて、プライマリ LSP をインスタンス化するためのより有利なパスオプションを決定するために使用されます。パスオプションのプリファレンスインデックスが低いほど、パスオプションがより有利になります。同じ TE トンネルにおける他のあまり有利ではないパスオプションは、セカンダリ パスオプションと見なされ、（たとえば、パス上の障害が原因で）現在使用されているパスオプションが無効になった場合に使用されることがあります。

（注） フォワーディング ステートは、プライマリ LSP に対してのみ維持されます。

トンネル パス アフィニティの検証

トンネル パスのアフィニティは、トンネル インターフェイスで **tunnel mpls traffic-eng affinity** コマンドを使用して指定することができます。

ヘッドエンドは、指定された SR パスが設定されたアフィニティに準拠していることを検証します。これにより、SR パスの各セグメントのパスは、指定された制約に照らして検証される必要があります。パスの少なくとも 1 つのセグメントが設定されているアフィニティを満たさない場合、そのパスは設定されているアフィニティ制約に対して無効として宣言されます。

SR-TE トラフィックのロード バランシング

SR-TE トンネルは、次のロードバランシング オプションをサポートします。

ポート チャネル TE リンクのロード バランシング

ポート チャネル インターフェイスは SR-TE LSP トラフィックを運びます。このトラフィック負荷は、ポート チャネル メンバー リンクと、SR-TE LSP の先頭または中間のバンドル インターフェイス上でバランスをとります。

単一トンネルでのロード バランシング

同じコストのマルチパス プロトコル（ECMP）を使用している間、特定のプレフィックス SID へのパスが複数のネクストホップを指す場合があります。さらに、SR-TE LSP パスが、ECMP を持つ 1 つ以上のプレフィックス SID を通過する場合、SR-TE LSP トラフィック負荷は、SR-TE LSP パスに沿ってヘッドエンドまたは中間点の通過したノードから通過した各プレフィックス SID の ECMP パスでバランスをとります。

複数トンネルでのロード バランシング

スタティック ルートを設定するか、同じ宛先に対して複数の並列トンネルを自動ルート アナウンスをすると、複数の TE トンネルを特定の IP プレフィックスへのルーティングのためのネクストホップ パスとして使用することができます。このような場合、トンネルはトラフィック負荷を均等に共有するか、複数の並列トンネル上でトラフィックをロード バランシングします。トンネル ヘッドエンドでトンネルごとの明示的な設定を使用して不等なロード バランシング（UELB）を許可することも可能です。この場合、トンネルのロードシェアは MPLS-TE からフォワーディング プレーンに渡されます。

トンネルのロードシェア機能は、SR-TE LSP をインスタンス化する TE トンネルで引き続き機能します。

SR-TE トンネルの再最適化

TE トンネルの再最適化は、ヘッドエンドが、現在使用しているパスよりも最適な利用できるパスがあると判断した場合に発生します。たとえば、SR-TE LSP パスに沿って障害が発生した場合、ヘッドエンドは再最適化をトリガーすることによって、より最適なパスを検出し復帰することができます。

SR-TE LSP をインスタンス化するトンネルは、トンネルを通して運ばれるトラフィックに影響を与えずに再最適化できます。

再最適化は、次の理由で発生します。

- プライマリ SR-TE LSP 明示的パスによって使用される明示的なパスホップが変更された。
- トポロジパスが切断されているか、明示的パスで指定されている SID データベースで SID が見つからないため、現在使用しているパスオプションは無効であるとヘッドエンドが判断した。
- より有利なパスオプション（より低いインデックス）が利用可能になった。

ヘッドエンドは、SR-TE LSP が通過する保護された SR 隣接関係 SID で障害を検出すると、無効化タイマーを開始します。タイマーが期限切れになり、別のパスで再ルーティングできないために失敗したパスをヘッドエンドがまだ使用している場合、Null のルートがトラフィックとともに送信されないように、トンネル状態が「ダウン」になります。トンネルがダウンすると、トンネル上のサービスは、異なるパスを使用するために収束します。

次に手動の再最適化の例で出力されるサンプルを示します。この例では、パスオプションが **10** から **20** に変更されます。

```
Router# mpls traffic-eng reoptimize tunnel 1 path-option 20
The targeted path-option is not in lock down mode. Continue? [no]: yes
Router# show mpls traffic-eng tunnels tunnel1
Name: R1_t1                           (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 20, (SEGMENT-ROUTING) type explicit IP_PATH (Basis for Setup)
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type dynamic
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 20 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours, 9 minutes
      Time since path change: 14 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1819
    Current LSP: [ID: 1819]
      Uptime: 17 seconds
```

```
    Selection: reoptimization
  Prior LSP: [ID: 1818]
    ID: path option unknown
    Removal Trigger: reoptimization completed
Tun_Instance: 1819
Segment-Routing Path Info (isis level-1)
  Segment0[Node]: 10.4.4.4, Label: 114
  Segment1[Node]: 10.5.5.5, Label: 115
  Segment2[Node]: 10.6.6.6, Label: 116
```

ロックダウンオプション付き SR-TE

lockdown オプションは、SR-TE がより良いパスに再最適化することを防ぎます。ただし、新しいパスの存在をシグナリングすることは防げません。

```
interface Tunnel1
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 segment-routing lockdown
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10                          (Tunnel1) Destination:
10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (LOCKDOWN) type segment-routing (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: enabled  Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: segment-routing path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: enabled   Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours, 22 minutes
      Time since path change: 1 minutes, 26 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1822
    Current LSP: [ID: 1822]
      Uptime: 1 minutes, 26 seconds
      Selection: reoptimization
    Prior LSP: [ID: 1821]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1822
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Node]: 10.6.6.6, Label: 116
```

SR-TE トンネル保護

SR TE トンネルの保護は、次のいずれかの代替手段で行うことができます。

IP-FRR ローカル修復保護

SR-TE LSP ヘッドエンドまたはミッドポイント ノードでは、IP-FRR はプレフィックス SID または隣接関係 SID ラベルのためのバックアップ保護パスを計算し、プログラムするのに使用されます。

IP-FRR を使用すると、バックアップ修復パスは、リンクまたはノードの障害が発生する前に IGP によって事前に計算されプログラムされます。リンクが失敗すると、TE トポロジからの即時の取り消し（リンク アドバタイズメントの取り消し）がトリガーされます。これにより、ヘッドエンドは、失敗した隣接関係 SID を通過する SR-TE LSP の障害を検出することができます。

保護された隣接関係 SID が失敗した場合、失敗した隣接関係 SID ラベルとそれに関連する転送は、すべての SR TE トンネルのヘッドエンドが障害を検出して対応できるように、指定した時間（5～15 分）機能し続けます。隣接関係 SID ラベルを使用するトラフィックは、バックアップ修復パスを変更するその後のトポロジ更新がある場合でも、FRR 保護され続けます。この場合、IGP は FRR がアクティブになっている間にバックアップ修復パスを更新し、新しく計算されたバックアップ パス上のトラフィックを再ルーティングします。

保護されたプレフィックス SID のプライマリ パスが失敗すると、PLR はバックアップ パスに経路を再ルーティングします。ヘッドエンドは障害に対してトランスペアレントなままであり、引き続き SR-TE LSP を有効なパスとして使用します。

IP-FRR は、リンク障害に対してのみ隣接関係およびプレフィックス SID を保護します。

トンネル パス保護

パス保護とは、単一の TE トンネルのプライマリ LSP の障害から保護するために、1 つまたは複数のスタンバイ LSP をインスタンス化することです。

パス保護では、同じトンネルのプライマリ パスオプションによってさまざまな障害のセカンダリ パスを事前に計算し、事前プロビジョニングすることで、障害から保護します。この保護は、プライマリ LSP が通過するプレフィックス SID および隣接関係 SID を除外するパスを計算するか、またはプライマリ SR-TE LSP パスの SRLG を除外するパスを計算することによって実現します。

プライマリ SR-TE LSP に障害が発生した場合、トンネルには少なくとも 1 台のスタンバイ SR-TE LSP が使用されます。複数のセカンダリ パスオプションをスタンバイ SR-TE LSP パスとして使用するように設定できます。

SR TE LSP のパス検証

SR-TE トンネル機能では、ヘッドエンドがトンネル パスの初期検証と、その後のトンネル テールエンドおよび通過セグメントの到達可能性の追跡を実行する必要があります。

SR-TE LSP パスのパス検証は、トポロジの変更または SR SID の更新について MPLS-TE で通知されるたびにトリガーされます。

SR-TE LSP 検証手順は、以下のチェックで構成されています。

トポロジ パスの検証

ヘッドエンドは、TE トポロジに対する接続性について SR-TE LSP のパスを検証します。MPLS-TE ヘッドエンドは、隣接関係 SID に対応するリンクが TE トポロジで接続されているかどうかをチェックします。

新たにインスタンス化された SR-TE LSP の場合、ヘッドエンドが SR-TE パスの任意のリンクで不連続性を検出すると、そのパスは無効であると見なされ、使用されません。有効なパスを持つ他のパスオプションがトンネルにある場合、これらのパスを使用してトンネル LSP をインスタンス化します。

既存のインスタンス化された SR-TE LSP がある TE トンネルでは、ヘッドエンドがリンク上の不連続性を検出すると、ヘッドエンドはそのリンクで障害が発生したと見なします。この場合、IP FRR などのローカル修復保護が有効になります。隣接関係がしばらく失われた後、IGP は保護された隣接関係ラベルと関連付けられた転送を維持し続けます。これにより、同じ障害の影響を受けない別のパスにトンネルを再ルーティングするのに十分な時間が、ヘッドエンドで可能になります。ヘッドエンドは、リンク障害を検出した後、有効なパスを持つ他の使用可能パスオプションにトンネルの再ルーティングを試みるために、トンネル無効化タイマーを開始します。

TE トンネルが、障害の影響を受けない検証済みの他のパスオプションを使用して設定されている場合、ヘッドエンドは、これらのパスオプションの 1 つを使用して、影響を受けないパスを使用してトンネルの新しいプライマリ LSP をインスタンス化することによって、トンネルを再ルーティングします。

同じトンネルの下に他の有効なパスオプションが存在しない場合、または TE トンネルが障害の影響を受けるパスオプションを 1 つだけで設定されている場合、ヘッドエンドは無効タイマーを開始し、その後トンネルの状態を「ダウン」にします。このアクションにより、影響を受ける SR-TE LSP 上を流れるトラフィックとともに Null ルートが送信されるのを回避でき、トンネルを通過するサービスはヘッドエンドで利用できる異なるパスを経由して再ルーティングできるようになります。無効化ドロップ構成は、トンネルを「アップ」のままにしますが、無効化タイマーが満了したときにトラフィックをドロップします。

エリア内 SR-TE LSP では、ヘッドエンドは LSP パス上で完全な可視性を持ち、最終的な LSP 宛先へのパスを検証します。ただし、エリア間 LSP の場合、ヘッドエンドには LSP パスに対する部分的な可視性があります（最初の ABR までのみ）。この場合、ヘッドエンドは、入力から最初の ABR へのパスのみを検証できます。最初の ABR ノードを超える LSP に沿った障害は、ヘッドエンドからは見えず、LSP を介した BFD など、そのような障害を検出するその他のメカニズムが想定されます。

SR SID の検証

SR-TE LSP の SID ホップは TE トンネルの SR-TE LSP を介して運ばれる発信パケットに課される発信 MPLS ラベル スタックを決定するために使用されます。グローバルおよびローカルの隣接関係 SID のデータベースは、IGP から受信した情報から取り込まれ、MPLS-TE で維持されます。MPLS TE データベースで利用できない SID を使用すると、明示的パスを使用するパスオプションが無効になります。この場合、パスオプションは、SR TE LSP のインスタンス化には使用されません。また、MPLS の SID データベースで SID を取り消す、追加する、または

変更すると、MPLS-TE ヘッドエンドは、SR パスオプション（使用中またはセカンダリ）を持つすべてのトンネルを確認し、適切な処理を呼び出します。

LSP 出力インターフェイス

SR-TE LSP が最初のパス ホップの隣接関係の SID を使用するとき、TE は隣接関係 SID および SR-TE LSP が出力するノードに関連付けられているインターフェイス状態および IGP 隣接関係状態を監視します。インターフェイスまたは隣接関係がダウンした場合、TE は SR-TE LSP パスで障害が発生したと仮定し、前のセクションで説明したのと同じリアクティブアクションを実行できます。

（注） SR-TE LSP が最初のホップのプレフィックス SID を使用するとき、TE はトンネルが出力するインターフェイスを直接推測できません。TE は、プレフィックスの IP 到達可能性情報に基づいて、最初のホップへの接続が維持されるかどうかを判断します。

IP 到達可能性の検証

MPLS-TE では、SR パスを有効と宣言する前に、プレフィックス SID に対応するノードが IP 到達可能であることを検証します。MPLS-TE は、SR-TE LSP パスの隣接関係またはプレフィックス SID に対応する IP プレフィックスのパス変更を検出します。リンクまたはノードの障害が原因で、特定の SID をアナウンスするノードが IP の到達可能性を失う場合、MPLS-TE はパス変更（パスなし）の通知を受けます。MPLS-TE は、現在の SR-TE LSP パスを無効にすることによって反応し、もしあれば有効なパスを持つ他のパスオプションを使用して新しい SR-TE LSP をインスタンス化する場合があります。

（注） IP-FRR は（SR-TE LSP パスに沿ったプレフィックス SID の失敗など）SR-TE LSP が通過しているノードの障害に対する保護を提供しないため、ヘッドエンドは、トンネル状態を「ダウン」に設定することによってプレフィックス SID ノードの IP ルートの到達可能性の損失にすぐに反応し、影響を受けるトンネルに対して有効なパスを持つパスオプションが他にない場合は、トンネル転送エントリを削除します。

トンネル パス リソース回避の検証

SR-TE トンネルパケットの通過から除外されたことを検証するアドレスのセットを指定できます。これを実現するために、ヘッドエンドはセグメントごとの検証チェックを実行し、指定されたノード、プレフィックス、またはリンク アドレスが SR パスのトンネルから実際に除外されていることを検証します。以下のコマンドを使用して、トンネル リソース回避チェックをパスごとに有効にすることができます。除外されるアドレスのリストが定義され、リストの名前がパスオプションで参照されます。

```
interface tunnel100
 tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name EXCLUDE segment-routing
ip explicit-path name EXCLUDE enable
```

```
 exclude-address 192.168.0.2
 exclude-address 192.168.0.4
 exclude-address 192.168.0.3
!
```

SR-TE LSP の明示的ヌル

MPLS-TE トンネルのヘッドエンドは、スタックの最下部に明示的ヌルを課しません。penultimate hop popping（PHP）が SR プレフィックス SID に対して有効になっている場合、または隣接関係 SID が SR-TE LSP の最後のホップである場合、パケットはトランスポート ラベルなしでテールエンドに到着する可能性があります。ただし、場合によっては、パケットが明示的ヌル ラベルでテールエンドに到着することが望ましいため、このような場合、ヘッドエンドはラベル スタックの最上部に明示的ヌル ラベルを課すことになります。

Verbatim パス サポート

通常、MPLS TE LSP を使用する場合は、ネットワーク内のすべてのノードで TE の IGP 拡張がサポートされていて、TE が認識されるように設定されている必要があります。ただし、TE の IGP 拡張をサポートしないが、TE の RSVP 拡張はサポートするノードを通過する TE LSP を構築する機能を必要とするネットワーク管理者もいます。Verbatim LSP は、ネットワーク内のすべてまたは一部の中間ノードで TE の IGP 拡張がサポートされていない場合に役立ちます。

この機能をイネーブルにすると、IP 明示パスの TE トポロジ データベースに対するチェックは行われません。TE トポロジ データベースの検証が行われないため、IP 明示パス情報を持つ Path メッセージは、IP ルーティング用の Shortest Path First（SPF）アルゴリズムを使用してルーティングされます。

OSPF のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの設定方法

次の手順を実行して、OSPF でのセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングを設定します。

OSPF のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの有効化

OSPF セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングは、mpls トラフィック エンジニアリングとともにセグメントルーティングが有効になっている場合に有効になります。エリア内で SR と MPLS TE を有効にした場合、そのエリア内で SR-TE のサポートがオンになります。

```
router ospf 10
 router-id 10.10.10.2
 segment-routing mpls
  mpls traffic-eng area 0
```

TE トンネルのパスオプションの設定

稼働中の SR トンネルのパスオプション タイプが SR から非 SR（たとえば **dynamic**）に変更されると、トンネルの既存の転送エントリが削除されます。

セグメントルーティングは、既存のセカンダリまたは使用中のパスオプションで有効または無効にすることができます。トンネルでシグナリングされた RSVP-TE の明示的パスオプションが使用され、そのトンネルでセグメントルーティングが有効になっている場合、RSVP-TE LSP は切断され、SR-TE LSP が同じパスオプションを使用してインスタンス化されます。逆に、プライマリ LSP によって使用されているパスオプションでセグメントルーティングが無効になっている場合、トンネルは断続的にダウンし、新しい RSVP-TE LSP は同じ明示的パスを使用してシグナリングされます。

セグメントルーティング パスオプションがセカンダリ パスオプションで有効になっている（すなわち、トンネルのプライマリ LSP によって使用されていない）場合、新しく指定された SR-TE LSP パスオプションが有効で、トンネルのプライマリ LSP に使用するのがより有利であるかどうかを評価するためにトンネルがチェックされます。

```
Device(config)# interface tunnel 100
Device(config-if)# tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name foo segment-routing
Device(config-if)# tunnel mpls traffic-eng path-option 2 dynamic segment-routing
Device(config-if)# tunnel mpls traffic-eng path-option 3 segment-routing
```

SR 明示パス ホップの設定

SR-TE では次の明示的パスホップがサポートされています。

- IP アドレス
- MPLS ラベル
- IP アドレスと MPLS ラベルの混在

エリア内 LSP では、明示的パスを IP アドレスのリストとして指定できます。

```
Device(config)# ip explicit-path name foo
Device(config-ip-expl-path)# index 10 next-address 10.1.1.1 node address
Device(config-ip-expl-path)# index 20 next-address 10.12.12.2 link address
```

（注） IP アンナンバード インターフェイスを使用する場合、ネクスト ホップ アドレスを明示的パスのインデックスとして指定することはできません。これは、ノードアドレスまたはラベルである必要があります。

明示的パスは、セグメントルーティング SID として指定することもできます。

```
Device(config)# ip explicit-path name foo
Device(config-ip-expl-path)# index 10 next-label 20
```

トンネル パス アフィニティの検証の設定

トンネル パスのアフィニティは、トンネル インターフェイスで **tunnel mpls traffic-eng affinity** コマンドを使用して指定することができます。

ヘッドエンドは、指定された SR パスが設定されたアフィニティに準拠していることを検証します。これにより、SR パスの各セグメントのパスは、指定された制約に照らして検証される必要があります。パスの少なくとも 1 つのセグメントが設定されているアフィニティを満たさない場合、そのパスは設定されているアフィニティ制約に対して無効として宣言されます。

```
interface Tunnel1
 no ip address
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.5.5.5
 tunnel mpls traffic-eng priority 5 5
 tunnel mpls traffic-eng bandwidth 100
 tunnel mpls traffic-eng affinity 0x1 mask 0xFFFF
        tunnel mpls traffic-eng path-option 10 dynamic segment-routing
Router# show tunnel ??
Name: R1_t1                             (Tunnel1) Destination: 10.5.5.5
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type dynamic (Basis for Setup, path weight 20)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 100      kbps (Global)  Priority: 5  5   Affinity: 0x1/0xFFFF
    Metric Type: TE (default)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-selection Tiebreaker:
      Global: not set   Tunnel Specific: not set   Effective: min-fill (default)
    Hop Limit: disabled
    Cost Limit: disabled
    Path-invalidation timeout: 10000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: disabled LockDown: disabled Loadshare: 100 [0] bw-based
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: dynamic path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  Node Hop Count: 2
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 10 minutes, 54 seconds
      Time since path change: 34 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 55
    Current LSP: [ID: 55]
      Uptime: 34 seconds
    Prior LSP: [ID: 49]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: tunnel shutdown
  Tun_Instance: 55
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Link]: 192.168.2.1 - 192.168.2.2, Label: 46
    Segment1[Link]: 192.168.4.2 - 192.168.4.1, Label: 49
```

インターフェイスのアフィニティの設定

インターフェイスでアフィニティを設定するには、次の手順を実行します。

```
interface GigabitEthernet2
 ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
 ip router isis 1
 negotiation auto
 mpls traffic-eng tunnels
 mpls traffic-eng attribute-flags 0x1
 isis network point-to-point
 ip rsvp bandwidth
```

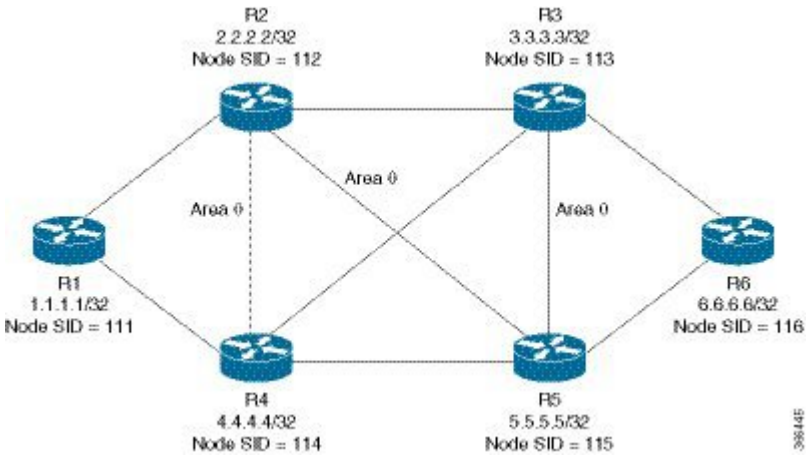
OSPF のセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの設定

OSPF で SR-TE を設定するには、次のエリア間およびエリア内の使用例を考慮してください。

エリア内トンネルの設定

エリア内トンネルを設定するには、次のトポロジを検討してください。

図 *12 :* エリア内トンネル



すべてのルータは、同じエリアである、エリア 0 内で設定されています。

ヘッドエンド ルータ R1 の構成

```
router ospf 10
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority low
fast-reroute per-prefix ti-lfa
segment-routing mpls
mpls traffic-eng router-id Loopback1
mpls traffic-eng area 0

interface GigabitEthernet2   //interface connecting to the router 2
ip address 10.101.1.1 255.255.255.0
ip ospf 10 area 0
ip ospf network point-to-point
negotiation auto
mpls traffic-eng tunnels

interface GigabitEthernet4  //interface connecting to the router 4
ip address 10.101.1.1 255.255.255.0
```

```
ip ospf 10 area 0
ip ospf network point-to-point
negotiation auto
mpls traffic-eng tunnels

interface loopback1
ip address 10.1.1.1/32
ip ospf 10 area 0
```

テールエンド ルータ R6 の構成

```
router ospf 10
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority low
fast-reroute per-prefix ti-lfa
segment-routing mpls
mpls traffic-eng area 0
mpls traffic-eng router-id Loopback1
interface GigabitEthernet2   //interface connecting to the router 3
ip address 10.101.2.1 255.255.255.0
ip ospf 10 area 0
ip ospf network point-to-point
negotiation auto
mpls traffic-eng tunnels

interface GigabitEthernet4  //interface connecting to the router 5
ip address 10.101.2.1 255.255.255.0
ip ospf 10 area 0
ip ospf network point-to-point
negotiation auto
mpls traffic-eng tunnels

interface loopback1
ip address 10.6.6.6/32
ip ospf 10 area 0
```

明示パス SR-TE トンネル 1

トンネル 1 を IP アドレスのみに基づいて考慮します。

```
ip explicit-path name IP_PATH1
 next-address 10.2.2.2
 next-address 10.3.3.3
 next-address 10.6.6.6
!
interface Tunnel1
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name IP_PATH1 segment-routing
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10
end
```

明示パス SR-TE トンネル 2

トンネル 2 をノードの SID に基づいて考慮します

```
ip explicit-path name IA_PATH
 next-label 114
 next-label 115
```

```
 next-label 116
!
interface Tunnel2
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng bandwidth 10000 class-type 1
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name NODE_PATH segment-routing
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10
end
```

明示パス SR-TE トンネル 3

トンネル 3 は IP アドレスとラベルの組み合わせに基づいていることを考慮します

```
ip explicit-path name MIXED_PATH enable
 next-address 10.2.2.2
 next-address 10.3.3.3
 next-label 115
 next-label 116
!
interface Tunnel3
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name MIXED_PATH segment-routing
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10
```

（注） パスが混在している場合、パスでノード SID を使用した後に IP ネクストホップを使用することはできません。次のパスは有効ではありません。

```
ip explicit-path name MIXED_PATH enable
next-label 115
next-label 116
next-address 10.2.2.2
```

動的パス SR-TE トンネル 4

トンネル 4is は隣接関係 SID に基づいていることを考慮します

```
interface Tunnel4
 ip unnumbered Loopback1
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.6.6.6
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
 tunnel mpls traffic-eng bandwidth 10000 class-type 1
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 dynamic segment-routing
 tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
 tunnel mpls traffic-eng load-share 10
end
```

動的パス SR-TE トンネル 5

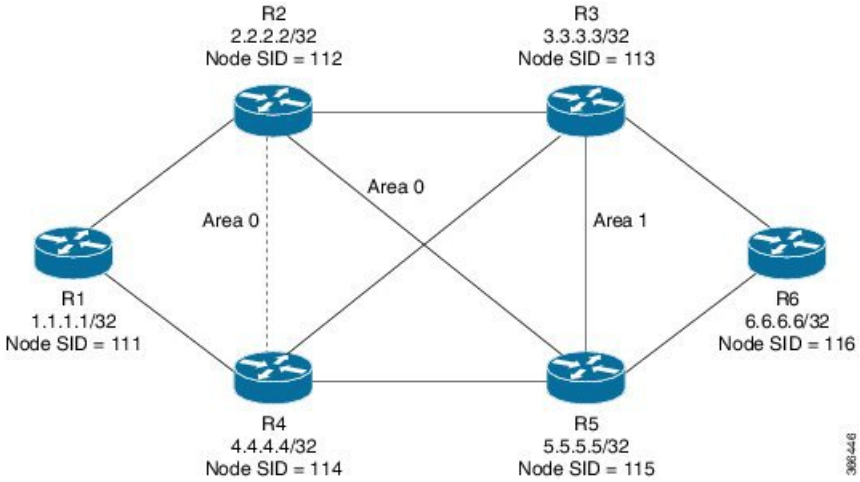
トンネル 5 はノード SID に基づいていることを考慮します

```
interface Tunnel5
ip unnumbered Loopback1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel destination 10.6.6.6
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
tunnel mpls traffic-eng path-option 10 segment-routing
tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
tunnel mpls traffic-eng load-share 10
```

エリア間トンネルの設定

エリア間トンネルを設定するには、次のトポロジを検討してください。

図 *13 :* エリア間トンネル



エリア 1 内で設定されている R6 を除き、すべてのルータは同じエリアであるエリア 0 内で設定されています。

ヘッドエンド ルータ R1 の構成

```
router ospf 10
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority low
fast-reroute per-prefix ti-lfa
segment-routing mpls
mpls traffic-eng router-id Loopback1
mpls traffic-eng area 0

interface GigabitEthernet2   //interface connecting to the router 2
ip address 10.101.1.1 255.255.255.0
ip ospf 10 area 0
ip ospf network point-to-point
negotiation auto
mpls traffic-eng tunnels

interface GigabitEthernet4  //interface connecting to the router 4
ip address 10.101.1.1 255.255.255.0
```

```
ip ospf 10 area 0
ip ospf network point-to-point
negotiation auto
mpls traffic-eng tunnels

interface loopback1
ip address 10.1.1.1/32
ip ospf 10 area 0
```

テールエンド ルータ R6 の構成

```
router ospf 10
fast-reroute per-prefix enable prefix-priority low
fast-reroute per-prefix ti-lfa
segment-routing mpls
mpls traffic-eng area 1
mpls traffic-eng router-id Loopback1
interface GigabitEthernet2   //interface connecting to the router 3
ip address 10.101.2.1 255.255.255.0
ip ospf 10 area 1
ip ospf network point-to-point
negotiation auto
mpls traffic-eng tunnels

interface GigabitEthernet4  //interface connecting to the router 5
ip address 10.101.2.1 255.255.255.0
ip ospf 10 area 1
ip ospf network point-to-point
negotiation auto
mpls traffic-eng tunnels

interface loopback1
ip address 10.6.6.6/32
ip ospf 10 area 1
```

エリア間トンネルの設定に関する制約事項

エリア間トンネルの設定に関する制約事項は次のとおりです。

- ノードおよび隣接関係 SID を持つ動的オプションはサポートされていません。
- ラベルのみおよび/または IP アドレスとラベルを含む明示的パスを使用して、エリア間トンネルを設定できます。

（注） IPアドレスは、エリア境界ルータ（ABR）までのみ使用でき、その後はラベルのみを指定する必要があります。

明示パス SR-TE トンネル 1

トンネル 2 はノード SID に基づいていることを考慮します。

```
ip explicit-path name IA_PATH
next-label 114
next-label 115
next-label 116
!
```

```
interface Tunnel2
ip unnumbered Loopback1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel destination 10.6.6.6
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
tunnel mpls traffic-eng bandwidth 10000 class-type 1
tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name NODE_PATH segment-routing
tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
tunnel mpls traffic-eng load-share 10
end
```

明示パス SR-TE トンネル 2

トンネル 3 は IP アドレスとラベルの組み合わせに基づいていることを考慮します。

```
ip explicit-path name MIXED_PATH enable
next-address 10.2.2.2
next-address 10.3.3.3
next-label 115
next-label 116
!

interface Tunnel3
ip unnumbered Loopback1
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel destination 10.6.6.6
tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
tunnel mpls traffic-eng priority 6 6
tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name MIXED_PATH segment-routing
tunnel mpls traffic-eng path-selection metric igp
tunnel mpls traffic-eng load-share 10
```

SR-TE トンネルの構成の確認

show mpls traffic-eng tunnels *tunnel-number* コマンドを使用して、SR-TE トンネルの構成を確認します。

トンネル 1 の確認

```
Name: R1_t1                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type explicit IP_PATH (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
```

```
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours
      Time since path change: 2 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1814
    Current LSP: [ID: 1814]
      Uptime: 2 seconds
      Selection: reoptimization
    Prior LSP: [ID: 1813]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1814
  Segment-Routing Path Info (ospf 10  area 0)
    Segment0[Node]: 10.4.4.4, Label: 114
    Segment1[Node]: 10.5.5.5, Label: 115
    Segment2[Node]: 10.6.6.6, Label: 116
```

•

トンネル 2 の確認

```
Name: R1_t2                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type explicit IA_PATH (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours, 1 minutes
      Time since path change: 1 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1815
    Current LSP: [ID: 1815]
      Uptime: 1 seconds
    Prior LSP: [ID: 1814]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1815
  Segment-Routing Path Info (ospf 10  area 0)
    Segment0[ - ]: Label: 114
    Segment1[ - ]: Label: 115
    Segment2[ - ]: Label: 116
```

トンネル 3 の確認

```
Name: R1_t3                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type explicit MIXED_PATH (Basis for Setup)
```

```
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours, 2 minutes
      Time since path change: 2 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1816
    Current LSP: [ID: 1816]
      Uptime: 2 seconds
      Selection: reoptimization
    Prior LSP: [ID: 1815]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1816
  Segment-Routing Path Info (ospf 10  area 0)
    Segment0[Node]: 10.2.2.2, Label: 112
    Segment1[Node]: 10.3.3.3, Label: 113
    Segment2[ - ]: Label: 115
    Segment3[ - ]: Label: 116
```

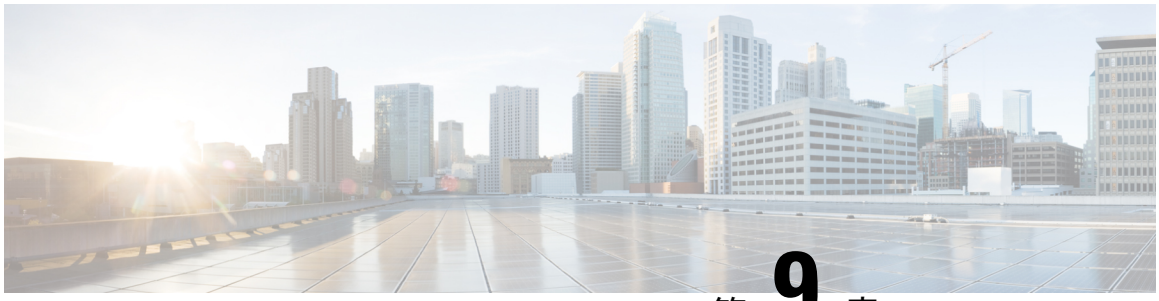
トンネル 4 の確認

```
Name: R1_t4                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) type dynamic (Basis for Setup, path weight 30)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: dynamic path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours
      Time since path change: 2 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1813
    Current LSP: [ID: 1813]
      Uptime: 2 seconds
    Prior LSP: [ID: 1806]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1813
  Segment-Routing Path Info (ospf 10  area 0)
    Segment0[Link]: 192.168.2.1 - 192.168.2.2, Label: 17
```

```
  Segment1[Link]: 192.168.4.2 - 192.168.4.1, Label: 25
  Segment2[Link]: 192.168.8.1 - 192.168.8.2, Label: 300
```

トンネル 5 の確認

```
Name: R1_t5                             (Tunnel1) Destination: 10.6.6.6
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, type segment-routing (Basis for Setup)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 6  6   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-invalidation timeout: 45000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 10 [200000000]
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: segment-routing path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 6 days, 19 hours, 4 minutes
      Time since path change: 14 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1817
    Current LSP: [ID: 1817]
      Uptime: 14 seconds
      Selection: reoptimization
    Prior LSP: [ID: 1816]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: configuration changed
  Tun_Instance: 1817
  Segment-Routing Path Info (ospf 10  area 0)
    Segment0[Node]: 10.6.6.6, Label: 116
```



第 9 章

BGP ダイナミック セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング

ボーダー ゲートウェイ プロトコル（BGP）はデータセンター（DC）ネットワークのルーティングプロトコルとして一般的な選択となっています。BGPによって開始されるセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）パスを設定する機能により、DC ネットワークの動作が簡素化されます。

BGP ダイナミック セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの機能情報

表 *7: BGP* ダイナミック セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの機能情報

機能名	リリース	機能情報
BGP ダイナミック セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	BGP ダイナミック SR-TE では、定義済みの基準とポリシーが満たされると、ラベル スイッチド パス（LSP）がオン デマンドで有効になります。 次のコマンドが導入または変更されました。 **mpls traffic-eng lsp attribute** *name*

セグメントルーティングの制約事項：トラフィック エンジニアリング ダイナミック BGP

- エニーキャストの場合、BGP-TE を動作させるために SID サポートで前に付加（Prepend）機能を設定する必要があります。
- BGP ダイナミック SR-TE では、SR-TE で障害が発生した場合、フォワーディングが中断されます。

セグメントルーティングに関する情報：トラフィック エンジニアリング ダイナミック BGP

BGP ダイナミック SR-TE では、定義済みの基準とポリシーが満たされ、それが手動で有効になっている SR-TE と BGP ダイナミック SR-TE 間の主な違いである場合、ラベル スイッチド パス（LSP）がオンデマンドで有効になります。たとえば、低遅延パス、最小コストパスなどのポリシーは、BGP によって伝送され、特定の顧客プレフィックスで一致します。自動検出とシグナリングのために BGP を使用する L3VPN または仮想プライベート LAN サービス（VPLS）に使用される SR-TE トンネルは、BGP-TE ダイナミックと呼ばれます。

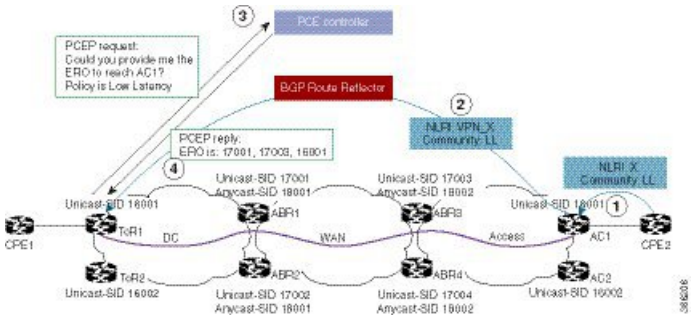
BGP SR-TE ダイナミックは、オンデマンドの自動トンネルが単一の IGP ドメインに存在することを前提としています。この場合、パスの計算は IGP を介して行われます。BGP からの要求に基づいて作成された SR-TE 自動トンネルはダイナミック SR-TE トンネルです。つまり、トンネルパス情報またはラベル スタックが、BGP ネクストホップおよび TE 属性設定に基づいて計算されます。BGP ダイナミック SR-TE は、オンデマンド LSP（自動トンネル）をトリガーする機能を備えています。機能は次のとおりです。

- ルート マップ設定を介してコミュニティ（コミュニティ リスト）を使用して、顧客プレフィックス（IPv4 または L3VPN VRF）にタグを付けます。
- 各コミュニティを TE の属性セットまたはプロファイルに関連付けます。

SR-TE プロファイルは、遅延、分離パスなどの特定の SR-TE パラメータを定義するために、属性設定でローカルに設定されます。BGP 顧客プレフィックスが SR-TE プロファイルにマップされると、プレフィックスと関連付けられている指定された各 BGP ネクストホップおよび属性セットのペアに対して、属性セットで定義されたパラメータを使用してトンネルが動的に作成されます（自動トンネルまたはオン デマンド ラベル スイッチド パス（LSP））。バインディング SID は、各 SR-TE 自動トンネルに関連付けられていて、BGP に渡されます。バインディング SID またはバインディング ラベルは、ルーティング情報ベース（RIB）および転送情報ベース（FIB）にインストールされます。FIB は、オン デマンド SR-TE 自動トンネルを経由して転送するバインディング SID またはバインディング ラベルによって BGP パスを解決します。バインディング SID は、SR-TE LSP 上の顧客トラフィックを制御するためにも使用されます。

BGP はこの場合は SR-TE ポリシーのみを伝送し、パスの計算は単一の IGP ドメインで IGP を介して行われることに注意する必要があります。単一の IGP ドメインでは、ヘッドエンド ノードはエンド ツー エンド パスとトポロジ エンジニアリング データベース（トラフィック エンジニアリング データベースまたは TED）の完全な可視性を持っています。また、BGP 動的 SR-TE ですべてのノードが単一の AS と単一の IGP ドメイン内に存在することを前提とします。

図 *14 : BGP-TE* ダイナミック ワークフロー



上の図は、複数のルーティング ドメインを使用した BGP-TE ダイナミック ワークフローの使用例を示しています。

1. 顧客宅内機器 2（CPE）は、プレフィックス X に対して BGP アップデートを送信し、LL コミュニティ（100:333 など）を追加します。
2. AC1 は LL コミュニティを持つプレフィックス X のための VPN ルートをアナウンスします。
3. VPN ルート マッチング コミュニティ LL の BGP アップデートを受信した後、ToR1 は低遅延の TE ポリシーを使用して AC1 に向かう LSP パスに対して PCE コントローラに要求を送信します。
4. パス計算要素（PCE）コントローラは、ラベル スタックで応答します（たとえば、17003、1600）。
5. ToR1 は SR-TE 自動トンネルを作成し、この VPN の VRF のプレフィックス X のためのルートをインストールします。

TE ラベル スイッチド パス属性セット

TE-LSP 属性セットは、LSP のプロパティを設定するために使用されます。これは、オートトンネルを作成するために使用される、帯域幅、アフィニティの包含と除外、リンク/ノード/SRLG の包含と除外、メトリック、パスの分離度、グループなどの TE プロファイルまたはポリシーについて記述します。

TE ラベル スイッチド パス属性セットの設定方法

TE ラベル スイッチド パス属性セットの設定

コマンド **mpls traffic-eng lsp attribute** <*name*> を使用して、TE-LSP 属性を設定することができます。次のオプションを使用できます。

```
Mpls traffic-eng lsp attribute name
   affinity      Specify attribute flags for links comprising LSP
   lockdown      Lockdown the LSP--disable reoptimization
   priority      Specify LSP priority
```

TE-LSP 属性コマンドは、拡張して 2 つのオプション **pce** と **path-selection** の設定をサポートすることができます。次のように設定できます。

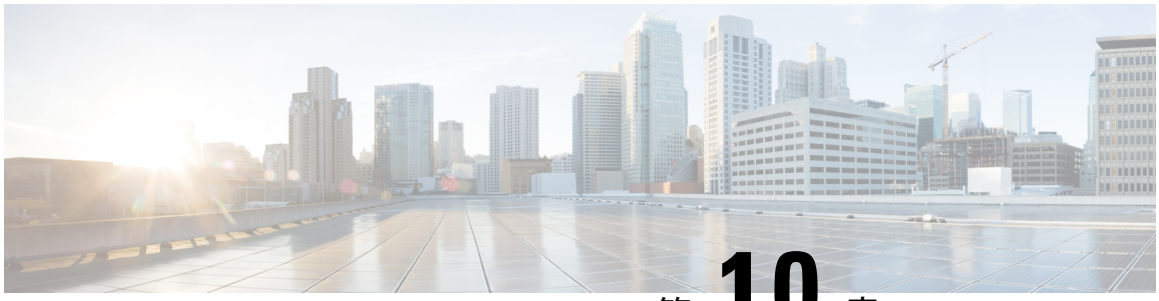
```
mpls traffic-eng lsp attribute name <test>
    path-selection
       metric <te/igp>
       invalidation <time-out> <drop/tear>
       segment-routing adjacency <protected/unprotected>
```

- pce オプションが TE 属性で設定されている場合、ダイナミック パスは pce によって計算されます。それ以外の場合、パスは TE PCALC（パス計算）エンティティによってローカルに計算されます。後者の場合、IGP を設定する必要があり、BGP ネクストホップが IGP によってアドバタイズされ、IGP ルートを経由してローカル ノードから到達可能である必要があります。
- オプションの path-selection メトリックは、パスの計算が TE のメトリックまたは IGP メトリックに基づいているかどうかを示します。このオプションが設定されていない場合は、mpls traffic-eng path-selection メトリックで設定されたグローバル値が使われます。
- オプションの **path-selection invalidation** は、LSP がネットワークからのソフト障害にどのように反応するかの動作を設定します。LSP パスにリンクまたはノード障害に対する IGP からの保護パスがある場合、リンクまたはノードへの障害はソフト障害と見なされます。
- オプション **path-selection segment-routing adjacency** は、LSP ラベル スタックを計算する際に、IGP 保護の有無にかかわらず隣接関係 SID を選択するかどうかを示します。
- オプション **pce disjoint-path** は、トンネル LSP が disjoint-path グループのメンバーであることを示します。同じ disjoint-path グループ内の LSP は、そのパス内のリンク、ノード、または SRLG などの同じリソースを通過しません。これは、分離パスを持つ 2 つ以上のトンネル LSP を作成するために使用されます。

BGP-TE ダイナミックの場合、TE 属性名は次のように BGP ルートマップ セット拡張に関連付けられます。

```
route-map <name>
    match community <name>
         set attribute-set  <name>
```

BGP は文字列 **attribute-set** <*name*> をその BGP ネクストホップとともに使用して、SR-TE 自動トンネルを要求します。



第 10 章

L3/L3VPN 用のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップ

ドメイン全体にルーティング情報を再配布すると、マルチドメイン サービス（L2VPN と L3VPN）のプロビジョニングにそれ自体の複雑性と拡張性の問題が発生します。オン デマンド ネクスト ホップ（ODN）は、再配布を行わずに制約やポリシーなど、PCE コントローラへのエンドツーエンド LSP の計算の委任をトリガーします。次に、サービスが Forwarding Information Base（FIB）へ移行する間に応答されたマルチドメイン LSP をインストールします。

L3/L3VPN のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップに関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *8 : L3/L3VPN* のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップに関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
L3/L3VPN用のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップ	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	オンデマンド ネクスト ホップ（ODN）は、再配布を行わずに制約やポリシーなど、PCE コントローラへのエンドツーエンド LSP の計算の委任をトリガーします。 次のコマンドが導入または変更されました。 **route-map BGP_TE_MAP permit**、**mpls traffic-eng tunnels**、**sh bgp li li summary**、**sh pce client peer**、**sh pce ipv4 peer**、**sh ip route vrf sr**、**sh ip bgp vpnv4 vrf sr**、**sh ip cef label-table**、**sh mpls traffic-eng tunnels**、**sh pce client lsp brief**、**sh pce lsp summ**、**sh pce lsp det**、**routing-default-optimize**

L3/L3VPNのセグメントルーティングオンデマンドSR PFP ODN 自動ステアリング（PCE 委任）に関する制約事項

- オン デマンド ネクスト ホップ（ODN）エニーキャスト SID はサポートされていません。
- IPv6 の ODN はサポートされていません。
- SR ODN トンネルは、BGP ノンストップ ルーティング（NSR）ではサポートされていません。BGP ノンストップ フォワーディング（NSF）でのみサポートされています。

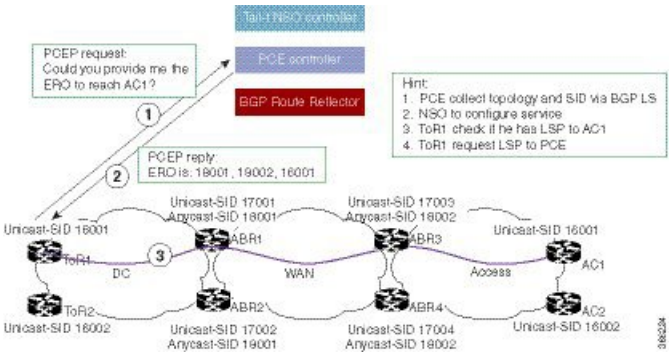
  BGP NSF を有効にするには、次のコマンドを使用します。

```
bgp grace-full restart
neighbor 10.0.0.2 ha-mode graceful-restart
```

L3/L3VPNのセグメントルーティングオンデマンドSR PFP ODN 自動ステアリング（PCE 委任）に関する情報

オンデマンドの SR PFP ODN 自動ステアリング（PCE 委任）は、BGP ダイナミック SR-TE 機能を活用し、要件に基づいてエンドツーエンドパスを検索しダウンロードするパス計算（PCE）機能を追加します。ODN は定義された BGP ポリシーに基づいて SR-TE 自動トンネルをトリガーします。下の図に示すように、ToR1 と AC1 間のエンド ツー エンドパスは、低遅延あるいは VRF（L3VPN）または IPv4 サービスの他の基準に基づいて両端から確立できます。ODN のワークフローは次のようにまとめられます。

図 *15 : ODN* 操作



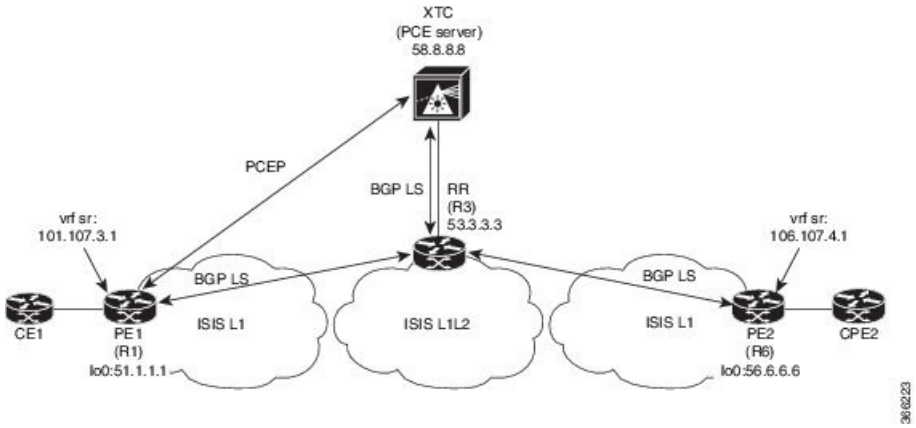
1. PCE コントローラは、BGP リンク ステート（BGP-LS）を介してトポロジと SID の情報を収集します。BGP-LS の詳細については、「BGP Link-State」を参照してください。
2. NSO コントローラが有効になっている場合、L3VPN VRF または IPv4 プレフィックスが設定され、要求が ToR1 および AC1 に送信されます。
3. ToR1 と AC1 は、お互いに対する LSP が存在するかどうかをチェックします。ない場合は、PCE コントローラに要求が送信され、BGP 経由で伝送される SR-TE ポリシーに一致する SR-TE パスが計算されます。
4. PCE コントローラはパスを計算し、ラベル スタック（ToR1 の例では 18001、18002、16001）で応答します。
5. ToR1 と AC1 は、SR-TE の自動トンネルを作成し、VRF または IPv4 用の LSP がアップであり稼働中であることを示す返信を NSO コントローラに返します。

L3/L3VPN のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップの設定方法

L3/L3VPN のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップの設定

SR-TE のオンデマンド ネクスト ホップを設定するには、次のステップを実行します。設定ステップを説明するため、次の図を参考として使用します。

図 *16 : ODN* 自動トンネル セットアップ



1. VRF インターフェイスを使用してルータ（R6 テール エンド）を設定します。

```
interface GigabitEthernet0/2/2
 vrf forwarding sr
 ip address 10.0.0.1 255.0.0.0
 negotiation auto

interface Loopback0
 ip address 192.168.0.1 255.255.0.0
 ip router isis 1
```

2. R6（テール エンド）での BGP コミュニティを持つ VRF プレフィックスをタグ付けします。

```
route-map BGP_TE_MAP permit 9
 match ip address traffic
 set community 3276850

ip access-list extended traffic
 permit ip 10.0.0.1 255.255.0.0 any
```

3. R6（テールエンド）およびR1（ヘッドエンド）上のBGPを有効にしてVRF SRプレフィックスをアドバタイズおよび受信し、R6（テールエンド）上のコミュニティ設定で一致させます。

```
 router bgp 100
 bgp router-id 172.16.0.1
 bgp log-neighbor-changes
 bgp graceful-restart
 no bgp default ipv4-unicast
 neighbor 10.0.0.2 remote-as 100
 neighbor 10.0.0.2 update-source Loopback0

 address-family ipv4
  neighbor 10.0.0.2 activate
  neighbor 10.0.0.2 send-community both
  neighbor 10.0.0.2 next-hop-self
 exit-address-family

 address-family vpnv4
  neighbor 10.0.0.2 activate
  neighbor 10.0.0.2 send-community both
```

```
  neighbor 10.0.0.2 route-map BGP_TE_MAP out
 exit-address-family

 address-family link-state link-state
  neighbor 10.0.0.2 activate
 exit-address-family

 address-family ipv4 vrf sr
  redistribute connected
 exit-address-family

route-map BGP_TE_MAP permit 9
 match ip address traffic
 set community 3276850

ip access-list extended traffic
 permit ip 10.0.0.1 255.255.0.0 any


router bgp 100
 bgp router-id 192.168.0.2
 bgp log-neighbor-changes
 bgp graceful-restart
 no bgp default ipv4-unicast
 neighbor 10.0.0.2 remote-as 100
 neighbor 10.0.0.2 update-source Loopback0


address-family ipv4
  neighbor 10.0.0.2 activate
  neighbor 10.0.0.2 send-community both
  neighbor 10.0.0.2 next-hop-self
 exit-address-family

 address-family vpnv4
  neighbor 10.0.0.2 activate
  neighbor 10.0.0.2 send-community both
  neighbor 10.0.0.2 route-map BGP_TE_MAP in
 exit-address-family

 address-family link-state link-state
  neighbor 10.0.0.2 activate
 exit-address-family

 address-family ipv4 vrf sr
  redistribute connected
 exit-address-family

route-map BGP_TE_MAP permit 9
 match community 1
 set attribute-set BGP_TE5555

ip community-list 1 permit 3276850

mpls traffic-eng lsp attributes BGP_TE5555
 path-selection metric igp
 pce
```

4. R1 で PCE および自動トンネル設定を有効にします。

```
mpls traffic-eng tunnels
mpls traffic-eng pcc peer 10.0.0.3 source 10.0.0.4 precedence 255
mpls traffic-eng auto-tunnel p2p tunnel-num min 2000 max 5000
```

5. SR-TE 構成ですべてのコア リンクを有効にし、ポイント ツー ポイント インターフェイスとして有効になっていることを確認します。

```
mpls traffic-eng tunnels

interface GigabitEthernet0/2/0
 ip address 10.102.6.1 255.255.255.0
 ip router isis 1
 mpls traffic-eng tunnels
 isis network point-to-point

interface GigabitEthernet0/3/1
 vrf forwarding sr
 ip address 10.107.3.1 255.255.255.0
 negotiation auto

end
```

6. R3（RR）を有効にして、BGP-LS によって TED を PCE サーバーにアドバタイズします。

```
router isis 1
 net 49.0002.0000.0000.0003.00
 ispf level-1-2
 metric-style wide
 nsf cisco
 nsf interval 0
 distribute link-state
 segment-routing mpls
 segment-routing prefix-sid-map advertise-local
 redistribute static ip level-1-2
 mpls traffic-eng router-id Loopback0
 mpls traffic-eng level-1
 mpls traffic-eng level-2

router bgp 100
 bgp router-id 10.0.0.2
 bgp log-neighbor-changes
 bgp graceful-restart
 no bgp default ipv4-unicast
 neighbor 10.0.0.3 remote-as 100
 neighbor 10.0.0.3 update-source Loopback0

 address-family ipv4
 neighbor 10.0.0.3 activate
 exit-address-family
```

7. PCE サーバーの設定を有効にし、RR によって BGP-LS セッションが正しく確立されていることを確認します。

```
Device# sh bgp li li summary
BGP router identifier 10.0.0.3, local AS number 100
BGP generic scan interval 60 secs
Non-stop routing is enabled
BGP table state: Active
Table ID: 0x0   RD version: 1436
BGP main routing table version 1436
BGP NSR Initial initsync version 1 (Reached)
BGP NSR/ISSU Sync-Group versions 0/0
BGP scan interval 60 secs
BGP is operating in STANDALONE mode.
Process       RcvTblVer   bRIB/RIB   LabelVer  ImportVer  SendTblVer  StandbyVer
Speaker            1436       1436          1436       1436           1436
           0
```

```
Neighbor        Spk    AS MsgRcvd   MsgSent   TblVer  InQ  OutQ  Up/Down  St/PfxRcd
10.0.0.2          0      100   19923       17437        1436       0     0
  1w2d        103

Device# sh pce ipv4 topo | b Node 3
Node 3
  TE router ID: 10.0.0.2
  Host name: R3
  ISIS system ID: 0000.0000.0003 level-1

  ISIS system ID: 0000.0000.0003 level-2
  Prefix SID:
    Prefix 10.0.0.2, label 20011 (regular)
```

L3/L3VPN のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップの確認

ODN の検証は、L3VPN VRF プレフィックスに基づいています。

1. R1（ヘッドエンドと PCE サーバー）間の PCEP セッションが確立されていることを確認します。

```
Device# sh pce client peer
PCC's peer database:
--------------------
Peer address: 10.0.0.3 (best PCE)
  State up
  Capabilities: Stateful, Update, Segment-Routing
```

2. すべてのピア間（PCC）で PCEP セッションが確立されていることを確認します。

```
Device# sh pce ipv4 peer
PCE's peer database:
--------------------
Peer address: 10.0.0.4
  State: Up
  Capabilities: Stateful, Segment-Routing, Update
Peer address: 172.16.0.5
  State: Up
  Capabilities: Stateful, Segment-Routing, Update
```

3. R1（ヘッドエンド）に、R6ループバック アドレスへの可視性がないことを確認します。

```
Device# sh ip route 192.168.0.1
% Network not in table
```

4. VRF プレフィックスが R1 VRF SR ルーティング テーブルの MP-BGP によって注入されることを確認します。

```
Device# sh ip route vrf sr
Routing Table: sr
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
```

```
       a - application route
       + - replicated route, % - next hop override, p - overrides from PfR
Gateway of last resort is not set
     10.0.0.6/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       10.0.0.7/24 is directly connected, GigabitEthernet0/3/1
L       10.0.0.7/32 is directly connected, GigabitEthernet0/3/1
      10.0.0.8/24 is subnetted, 1 subnets
B       10.0.0.9 [200/0] via binding label: 865, 4d21h
```

5. BGP がポリシーとバインディング SID を VRF プレフィックスと正しく関連付けていることを確認します。

```
Device# sh ip bgp vpnv4 vrf sr 10.107.4.0
BGP routing table entry for 100:100:10.107.4.0/24, version 3011
Paths: (1 available, best #1, table sr)
  Not advertised to any peer
  Refresh Epoch 4
  Local
    192.168.0.1 (metric 10) (via default) from 10.0.0.2 (10.0.0.2)
      Origin incomplete, metric 0, localpref 100, valid, internal, best
      Community: 3276850
      Extended Community: RT:100:100
      Originator: 192.168.0.1, Cluster list: 10.0.0.2
      mpls labels in/out nolabel/1085
      binding SID: 865 (BGP_TE5555)
      rx pathid: 0, tx pathid: 0x0
```

6. バインディング ラベルの VRF プレフィックスとの関連付けを確認します。

```
Device# sh ip route vrf sr 10.107.4.0
Routing Table: sr
Routing entry for 10.107.4.0/24
  Known via "bgp 100", distance 200, metric 0, type internal
  Routing Descriptor Blocks:
  *  Binding Label: 865, from 10.0.0.2, 4d22h ago
      Route metric is 0, traffic share count is 1
      AS Hops 0
      MPLS label: 1085
      MPLS Flags: NSF
```

7. VRF プレフィックスが ODN 自動トンネルによって転送されることを確認します。

```
Device# sh ip cef label-table
Label               Next Hop             Interface
0                    no route
865                  attached             Tunnel2000

     Device# sh ip cef vrf sr 10.107.4.0 detail
10.0.0.8/24, epoch 15, flags [rib defined all labels]
  recursive via 865 label 1085
    attached to Tunnel2000
```

8. ODN 自動トンネルの状態を確認します。

```
Device# sh mpls traffic-eng tunnels
P2P TUNNELS/LSPs:
Name: R1_t2000                  (Tunnel2000) Destination: 192.168.0.1 Ifhandle:
0x6F5 (auto-tunnel for BGP TE)
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected---□
auto-tunnel 2000
    path option 1, (SEGMENT-ROUTING) (PCE) type dynamic (Basis for Setup, path
weight 10)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 7  7   Affinity: 0x0/0xFFFF
```

```
    Metric Type: IGP (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-selection Tiebreaker:
      Global: not set   Tunnel Specific: not set   Effective: min-fill (default)
    Hop Limit: disabled
    Cost Limit: disabled
    Path-invalidation timeout: 10000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: disabled LockDown: disabled Loadshare: 0 [0] bw-based
    auto-bw: disabled
    Attribute-set: BGP_TE5555---□ attribute-set
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: dynamic path option 1 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
  PCEP Info:
    Delegation state: Working: yes   Protect: no
    Working Path Info:
      Request status: processed
      Created via PCRep message from PCE server: 10.0.0.3--□ via PCE server
      PCE metric: 30, type: IGP
    Reported paths:
      Tunnel Name: Tunnel2000_w
       LSPs:
        LSP[0]:
         source 10.0.0.4, destination 192.168.0.1, tunnel ID 2000, LSP ID 1
         State: Admin up, Operation active
         Binding SID: 865
         Setup type: SR
         Bandwidth: requested 0, used 0
         LSP object:
           PLSP-ID 0x807D0, flags: D:0 S:0 R:0 A:1 O:2
         Metric type: IGP, Accumulated Metric 0
         ERO:
           SID[0]: Adj, Label 2377, NAI: local 10.102.6.1 remote 10.0.0.10
           SID[1]: Unspecified, Label 17, NAI: n/a
           SID[2]: Unspecified, Label 20, NAI: n/a
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 4 days, 22 hours, 21 minutes
      Time since path change: 4 days, 22 hours, 21 minutes
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1
    Current LSP: [ID: 1]
      Uptime: 4 days, 22 hours, 21 minutes
  Tun_Instance: 1
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Link]: 10.102.6.1 - 10.0.0.10, Label: 2377
    Segment1[ - ]: Label: 17
    Segment2[ - ]: Label: 20
```

9. R1（ヘッドエンド）で ODN 自動トンネル LSP の状態を確認します。

```
Device# sh pce client lsp brief
PCC's tunnel database:
----------------------
 Tunnel Name: Tunnel2000_w
   LSP ID 1
 Tunnel Name: Tunnel2000_p

R1# sh pce client lsp detail
PCC's tunnel database:
----------------------
Tunnel Name: Tunnel2000_w
 LSPs:
```

```
 LSP[0]:
  source 10.0.0.4, destination 192.168.0.1, tunnel ID 2000, LSP ID 1
  State: Admin up, Operation active
  Binding SID: 865
  Setup type: SR
  Bandwidth: requested 0, used 0
  LSP object:
    PLSP-ID 0x807D0, flags: D:0 S:0 R:0 A:1 O:2
  Metric type: IGP, Accumulated Metric 0
  ERO:
    SID[0]: Adj, Label 2377, NAI: local 10.102.6.1 remote 10.0.0.10
    SID[1]: Unspecified, Label 17, NAI: n/a
    SID[2]: Unspecified, Label 20, NAI: n/a
```

10. PCE サーバーで ODN LSP の状態を確認します。

```
Device# sh pce lsp summ

PCE's LSP database summary:
--------------------------------
All peers:
 Number of LSPs:         1
  Operational: Up:       1 Down:                 0
  Admin state: Up:       1 Down:                 0
  Setup type: RSVP:      0 Segment routing:      1


Peer 10.0.0.4:
 Number of LSPs:         1
  Operational: Up:       1 Down:                 0
  Admin state: Up:       1  Down:                 0
  Setup type: RSVP:       0 Segment routing:      1
```

11. PCE サーバーで詳細な LSP 情報を確認します。

```
Device# sh pce lsp det
PCE's tunnel database:
----------------------
PCC 10.0.0.4:
Tunnel Name: Tunnel2000_w
 LSPs:
  LSP[0]:
   source 10.0.0.4, destination 192.168.0.1, tunnel ID 2000, LSP ID 48
   State: Admin up, Operation active
   Binding SID: 872
   PCEP information:
     plsp-id 526288, flags: D:1 S:0 R:0 A:1 O:2
   Reported path:
     Metric type: IGP, Accumulated Metric 0
      SID[0]: Adj, Label 885, Address: local 10.0.0.9 remote 10.0.0.10
      SID[1]: Unknown, Label 17,
      SID[2]: Unknown, Label 20,
   Computed path:
     Computed Time: Tue Dec 20 13:12:57 2016 (00:11:53 ago)
     Metric type: IGP, Accumulated Metric 30
      SID[0]: Adj, Label 885, Address: local 10.0.0.9 remote 10.0.0.10
      SID[1]: Adj, Label 17, Address: local 10.0.0.12 remote 10.0.0.13
      SID[2]: Adj, Label 20, Address: local 10.0.0.14 remote 10.0.0.14
   Recorded path:
     None
```

12. VRF SR に接続されているインターフェイスをシャットダウンして、プレフィックスが MP-BGP によってアドバタイズされなくなるようにします。

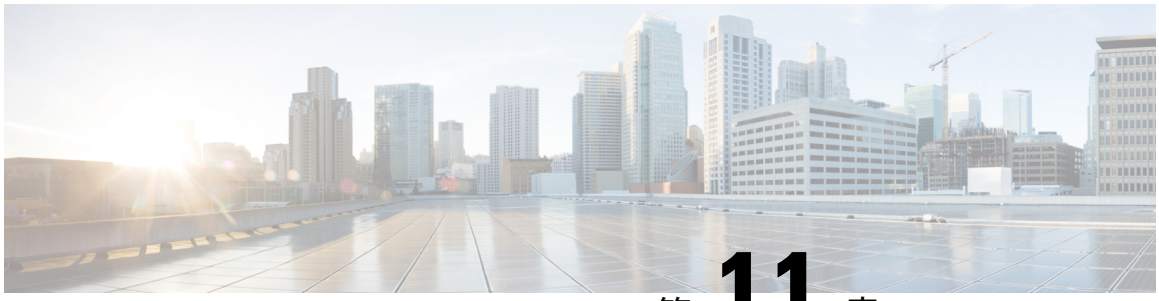
```
Device# int gig0/2/2
Device(config-if)#shut
```

13. VRF プレフィックスが R6（テールエンド）を介して R1（ヘッドエンド）にアドバタイズされなくなったことを確認します。

```
Device# sh ip route vrf sr
Routing Table: sr
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       a - application route
       + - replicated route, % - next hop override, p - overrides from PfR
Gateway of last resort is not set
      10.0.0.6/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C        10.0.0.7/24 is directly connected, GigabitEthernet0/3/1
L        10.0.0.8/32 is directly connected, GigabitEthernet0/3/1
```

14. ODN 自動トンネルが存在しないことを確認します。

```
Device# sh mpls traffic-eng tunnels
P2P TUNNELS/LSPs:
P2MP TUNNELS:
P2MP SUB-LSPS:
```



第 11 章

L2VPN/VPWS のセグメント ルーティング オン デマンド

レイヤ 2 VPN（L2VPN）のためのオンデマンド ネクスト ホップ（ODN）は、セグメント ルーティング（SR）トラフィック エンジニアリング（TE）自動トンネルを作成し、擬似回線データプレーンのために自動トンネルを使用します。

L2VPN/VPWS のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップに関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェア イメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *9 : L2VPN/VPWS* のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップに関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
L2VPN/VPWS のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップ	Cisco IOS XEAmsterdam 17.3.2	L2VPN の ODN は、SR TE 自動トンネルを作成し、擬似回線データプレーンの自動トンネルを使用します。ピア IP アドレスはトンネルの宛先であり、TE LSP 属性によってトンネルのパスが決定されます。 次のコマンドが追加または修正されました。 **sh mpls l2 vc**、**sh mpls l2 vc detail**、**sh l2vpn atom preferred-path**、**sh l2vpn atom vc**、**sh mpl traffic-eng tun tun 2000**、**sh mpls ldp discovery**、**sh mpl ldp nei**、**sh int pseudowire 4243**、**sh xconnect all**。

L2VPN/VPWS のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップの制約事項

- レイヤ 2 VPN/VPWS（仮想プライベート ワイヤ サービス）オン デマンド ネクスト ホップ（ODN）は擬似回線（PW）クラスではサポートされません。
- L2VPN または VPWS のためのオン デマンドのセグメント ルーティングは、BGP シグナル/ADVPWS または仮想プライベート LAN サービス（VPLS）ではサポートされません。
- 属性セットを使用して L2VPN 用にサポートおよび作成されるのは、セグメント ルーティング TE トンネルのみです。
- TE の属性セットが設定されている場合、L2VPN 優先パス帯域幅関連の設定は有効になりません。
- LDP シグナリングを使用した L2-VPN ODN VPWS のみがサポートされています。

L2VPN/VPWS のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップに関する情報

L2VPN のオン デマンド ネクスト ホップ（ODN）は SR TE 自動トンネルを作成し、擬似回線データプレーンの自動トンネルを使用します。ピア IP アドレスはトンネルの宛先であり、TE LSP 属性によってトンネルのパスが決定されます。場合によっては、擬似回線接続は複数の内

部ゲートウェイ プロトコル（IGP）エリアにまたがる必要がありますが、LDP はシグナリング プロトコルとして使用されます。擬似回線エンドポイント プロバイダー エッジ（PE）のループバック アドレスは、IGP エリアの境界を越えて配布されません。この場合、ある PE がその RIB 内に擬似回線接続のピア PE に到達するためのデフォルト ルート（または完全一致ルート）を持たない可能性があります。したがって、擬似回線接続は LDP によってシグナルを受けることができません。この問題に対処するために、LSP 属性の下に新しいオプション **autoroute destination** が導入されました。この **autoroute destination** コマンドを使用して LSP 属性が設定されている場合、自動トンネルは LSP 属性を使用して、自動トンネル インターフェイスをネクスト ホップとしてトンネル宛先のスタティック ルートを自動的に作成します。このスタティック ルートにより、LDP は LDP セッションを確立し、2 つの擬似回線エンドポイント間でラベル マッピング メッセージを交換することができます。

（注） LDP シグナリング L2VPN によって使用される LSP 属性の設定にのみ autoroute destination コマンドを使用します。これは BGP シグナリング レイヤ 3 VPN ODN には必要ありません。

AToM マネージャ

Any Transport over MPLS（AToM）マネージャは、属性セットとピア IP アドレスのペアで自動トンネルのデータベースを維持します。AToM マネージャは擬似回線インターフェイス（VC）の SR TE 自動トンネルを追加または削除できます。

同じ属性セットまたはピアで設定された VC は、同じ自動トンネルを使用します。すべての擬似回線インターフェイスで属性セットまたはピアのペアが使用されなくなった場合、TE サービスを使用して自動トンネルをデータベースから削除できます。

エリア間 L2VPN ODN

LDP がシグナリング プロトコルとして使用され、擬似回線接続が複数の内部ゲートウェイ プロトコル（IGP）にまたがる場合、擬似回線エンドポイント PE のループバック アドレスは IGP エリア境界を越えて配布されません。この場合、ある PE がその RIB 内に擬似回線接続のピア PE に到達するためのデフォルト ルート（または完全一致ルート）を持たない可能性があります。したがって、擬似回線接続は LDP によってシグナルを受けることができません。

L2VPN/VPWS のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップの設定方法

L2VPN/VPWS を設定するには、擬似回線インターフェイス コマンドまたはテンプレート メソッドのいずれかを使用できます。

Pesudowire インターフェイス コマンドを使用した、L2VPN/VPWS のオン デマンド ネクスト ホップでのセグメント ルーティングの設定

1. ヘッドエンド ノード（R1）で次のコマンドを実行します。

```
R1#
!
mpls traffic-eng auto-tunnel p2p tunnel-num min 2000 max 2002
!
interface GigabitEthernet0/3/1
 no ip address
 negotiation auto
 service instance 300 ethernet
  encapsulation dot1q 300
!
interface pseudowire4243
 encapsulation mpls
 neighbor 10.6.6.6 300
 preferred-path segment-routing traffic-eng attribute-set L2VPNODN
!
l2vpn xconnect context foobar
 member GigabitEthernet0/3/1 service-instance 300
 member pseudowire4243
!
mpls traffic-eng lsp attributes L2VPNODN
 priority 7 7
 path-selection metric te
!
end
```

2. テール エンド（R2）で次のコマンドを実行します。

```
R2#
!
mpls traffic-eng auto-tunnel p2p tunnel-num min 2000 max 2002

interface pseudowire4243
 encapsulation mpls
 neighbor 10.1.1.1 300
 preferred-path segment-routing traffic-eng attribute-set L2VPNODN
!
interface GigabitEthernet0/2/2
 no ip address
 negotiation auto
 service instance 300 ethernet
  encapsulation dot1q 300
!
l2vpn xconnect context foobar
 member GigabitEthernet0/3/1 service-instance 300
 member pseudowire4243
!
mpls traffic-eng lsp attributes L2VPNODN
 priority 7 7
 path-selection metric te
!
end
```

テンプレートコマンドを使用したL2VPN/VPWSのセグメントルーティング オン デマンド ネクスト ホップの設定

1. ヘッドエンド ノード（R1）で次のコマンドを実行します。

```
R1#
template type pseudowire test
 encapsulation mpls
 preferred-path segment-routing traffic-eng attribute-set L2VPNODN
!
interface GigabitEthernet0/3/1
 no ip address
 negotiation auto
 service instance 400 ethernet
  encapsulation dot1q 400
!
l2vpn xconnect context foobar2
 member 10.6.6.6 400 template test
 member GigabitEthernet0/3/1 service-instance 400
```

2. テール エンド（R2）で次のコマンドを実行します。

```
R2#
!
template type pseudowire test
 encapsulation mpls
 preferred-path segment-routing traffic-eng attribute-set L2VPNODN
!
interface GigabitEthernet0/2/2
 no ip address
 negotiation auto
 service instance 400 ethernet
  encapsulation dot1q 400
!
l2vpn xconnect context foobar2
 member 10.1.1.1 400 template test
 member GigabitEthernet0/2/2 service-instance 400
!
end
```

前に付加オプションを使用した L2VPN/VPWS のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップの設定

LSP のパスを制御するために前に付加（Prepend）オプションを有効にすることができます。前に付加オプションは、エリア内でのみサポートされ、ラベル付きパスのみをサポートします。前に付加オプションを有効にするには、次の CLI を使用します。

```
R1(config-lsp-attr)#path-selection segment-routing prepend
R1(config-lsp-attr-sr-prepend)#?
Segment-routing label prepend commands:
  exit   Exist from segment-routing prepend config mode
  index  Specify the next entry index to add, edit or delete
```

```
  list   List all prepend entries
  no     Delete a specific entry index
R1(config-lsp-attr-sr-prepend)#index ?
  <1-10>  Entry index number
  last-hop    Indicates the end of label list
  next-label  Specify the next MPLS label in the path
```

（注） ラストホップ オプションがテール エンド ノードを示している場合。このオプションを使用する場合は、LSP パスの制御を行うことはできません。

L2VPN/VPWS のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップの優先パスの設定

パスが失敗したか、コマンドが削除されたことが原因である、LSPに障害が発生した場合に仮想回線（VC）をダウンさせるには、フォールバック モードを無効にします。

```
preferred-path segment-routing traffic-eng attribute-set L2VPNODN
disable-fallback  disable fall back to alternative route
```

L2VPN/VPWS のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップの自動ルート宛先の設定

エリア間宛先の場合、IPアドレスがヘッドエンドにインストールされていない可能性があります。L2-VPN VPWS の対象となる LDP セッションを有効にするには、宛先 IP アドレスがインストールされている必要があります。L2VPN VPWS の対象となる LDP セッションを有効にするには、属性セットの下に自動ルートの宛先を設定します。

```
Device#
mpls traffic-eng lsp attributes L2VPNODN
 priority 7 7
 path-selection metric te
 pce
 autoroute destination
!
end
```

宛先アドレスはスタティック ルートとしてL2-VPN ODN LSPによってインストールされます。

次のコマンドを実行して、自動ルート宛先の設定を確認します。

```
Device#sh ip route 10.6.6.6
Routing entry for 10.6.6.6/32
  Known via "static", distance 1, metric 0 (connected)
  Routing Descriptor Blocks:
```

```
  * directly connected, via Tunnel2000------------------------ L2-VPN ODN LSP
      Route metric is 0, traffic share count is 1


Device#sh mpls for 10.6.6.6
Local      Outgoing             Prefix          Bytes Label      Outgoing   Next Hop

Label      Label               or Tunnel Id     Switched          interface

25          [T]  Pop Label    10.6.6.6/32      0                 Tu2000     point2point
```

L2VPN/VPWS のセグメント ルーティング オン デマンド ネクスト ホップの確認

1. **sh mpls l2 vc**

```
Device#sh mpls l2 vc
Local intf     Local circuit              Dest address    VC ID      Status
-------------  -------------------------- --------------- ---------- ----------
Gi0/3/1        Eth VLAN 300               10.6.6.6        300        UP
```

2. **sh mpls l2 vc detail**

```
Device# sh mpls l2 vc detail
Local interface: Gi0/3/1 up, line protocol up, Eth VLAN 300 up
  Interworking type is Ethernet
  Destination address: 10.6.6.6, VC ID: 300, VC status: up
    Output interface: Tu2000, imposed label stack {23 17 20}----- 20 is the VC label
 assigned by R6
    Preferred path: Tunnel2000,  active
    Default path: ready
    Next hop: point2point
  Create time: 00:15:48, last status change time: 00:15:38
    Last label FSM state change time: 00:15:38
  Signaling protocol: LDP, peer 10.6.6.6:0 up
    Targeted Hello: 10.1.1.1(LDP Id) -> 10.6.6.6, LDP is UP
    Graceful restart: not configured and not enabled
    Non stop routing: not configured and not enabled
    Status TLV support (local/remote)   : enabled/supported
      LDP route watch                   : enabled
      Label/status state machine        : established, LruRru
      Last local dataplane   status rcvd: No fault
      Last BFD dataplane     status rcvd: Not sent
      Last BFD peer monitor  status rcvd: No fault
      Last local AC  circuit status rcvd: No fault
      Last local AC  circuit status sent: No fault
      Last local PW i/f circ status rcvd: No fault
      Last local LDP TLV     status sent: No fault
      Last remote LDP TLV    status rcvd: No fault
      Last remote LDP ADJ    status rcvd: No fault
    MPLS VC labels: local 2032, remote 20
    Group ID: local 20, remote 25
    MTU: local 1500, remote 1500
    Remote interface description:
  Sequencing: receive disabled, send disabled
  Control Word: On (configured: autosense)
  SSO Descriptor: 10.6.6.6/300, local label: 2032
```

```
  Dataplane:
    SSM segment/switch IDs: 10198/6097 (used), PWID: 1001
  VC statistics:
    transit packet totals: receive 0, send 0
    transit byte totals:   receive 0, send 0
    transit packet drops:  receive 0, seq error 0, send 0
```

3. sh l2vpn atom preferred-path

```
Device#  sh l2vpn atom preferred-path
Tunnel interface    Bandwidth Tot/Avail/Resv         Peer ID         VC ID
------------------       ---------------------------------         ---------------
     ----------
Tunnel2000                                                           10.6.6.6
    300
!
end
```

4. sh l2vpn atom vc

```
Device# sh l2vpn atom vc
Interface Peer ID         VC ID      Type   Name                       Status
--------- ---------------      ----------     ------ -------------------------
----------
pw4243    10.6.6.6        300        p2p    foobar                         UP
!
end
```

5. sh mpl traffic-eng tun tun 2000

```
Device# sh mpl traffic-eng tun tun 2000
Name: R1_t2000                 (Tunnel2000) Destination: 10.6.6.6 Ifhandle: 0x7EE
(auto-tunnel for atom)
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
   path option 1, (SEGMENT-ROUTING) (PCE) type dynamic (Basis for Setup, path weight
 30)
  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 7  7   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: TE (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-selection Tiebreaker:
      Global: not set   Tunnel Specific: not set   Effective: min-fill (default)
    Hop Limit: disabled
    Cost Limit: disabled
    Path-invalidation timeout: 10000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: disabled LockDown: disabled Loadshare: 0 [0] bw-based
    auto-bw: disabled
    Attribute-set: L2VPNODN
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: dynamic path option 1 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
PCEP Info:
    Delegation state: Working: yes   Protect: no
    Delegation peer: 10.8.8.8
    Working Path Info:
      Request status: processed
      Created via PCRep message from PCE server: 10.8.8.8
      PCE metric: 30, type: TE
```

```
    Reported paths:
      Tunnel Name: Tunnel2000_w
       LSPs:
        LSP[0]:
         source 10.1.1.1, destination 10.6.6.6, tunnel ID 2000, LSP ID 4
         State: Admin up, Operation active
         Binding SID: 20
         Setup type: SR
         Bandwidth: requested 0, used 0
         LSP object:
           PLSP-ID 0x807D0, flags: D:0 S:0 R:0 A:1 O:2
         Metric type: TE, Accumulated Metric 30
         ERO:
           SID[0]: Adj, Label 19, NAI: local 10.104.1.1 remote 10.104.1.2
           SID[1]: Adj, Label 23, NAI: local 10.104.12.2 remote 10.104.12.1
           SID[2]: Adj, Label 17, NAI: local 10.106.13.1 remote 10.106.13.2
       PLSP Event History (most recent first):
         Tue Jun 20 10:04:48.514: PCRpt create LSP-ID:4, SRP-ID:0, PST:1,
METRIC_TYPE:2, REQ_BW:0, USED_BW:0
         Tue Jun 20 10:04:48.511: PCRep RP-ID:9
         Tue Jun 20 10:04:48.505: PCReq RP-ID:9, LSP-ID:4, REQ_BW:0
  History:
    Tunnel:
      Time since created: 18 minutes, 26 seconds
      Time since path change: 17 minutes, 9 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 4
    Current LSP: [ID: 4]
      Uptime: 17 minutes, 9 seconds
  Tun_Instance: 4
  Segment-Routing Path Info (isis  level-2)
    Segment0[Link]: 10.104.1.1 - 10.104.1.2, Label:  19--------□ will not be shown
in sh mpls l2 vc output
    Segment1[Link]: 10.104.12.2 - 10.104.12.1, Label: 23
    Segment2[Link]: 10.106.13.1 - 10.106.13.2, Label: 17
!
end
```

6. sh mpls ldp discovery

```
Device# sh mpls ldp discovery
Local LDP Identifier:
    10.1.1.1:0
    Discovery Sources:
    Targeted Hellos:
        10.1.1.1 -> 10.6.6.6 (ldp): active/passive, xmit/recv
            LDP Id: 10.6.6.6:0
```

7. sh mpl ldp nei

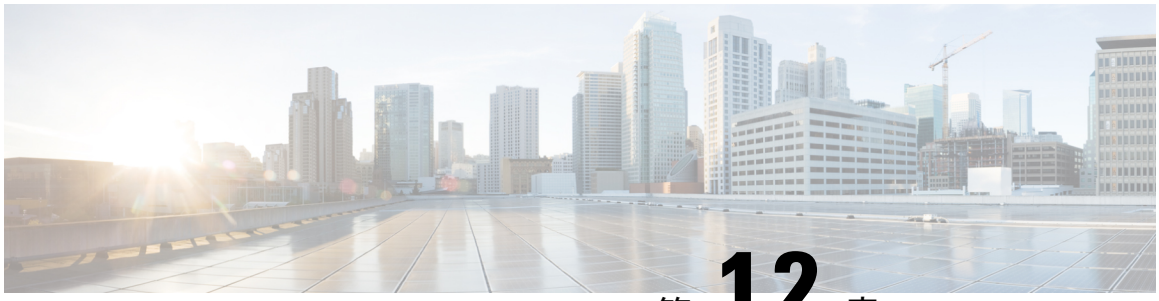
```
Device# sh mpl ldp nei
Peer LDP Ident: 10.6.6.6:0; Local LDP Ident 10.1.1.1:0
        TCP connection: 10.6.6.6.38574 - 10.1.1.1.646
        State: Oper; Msgs sent/rcvd: 43/42; Downstream
        Up time: 00:19:33
        LDP discovery sources:
          Targeted Hello 10.1.1.1 -> 10.6.6.6, active, passive
        Addresses bound to peer LDP Ident:
          10.106.2.2      10.106.13.2     10.6.6.6
!
```

8. sh int pseudowire 4243

```
Device# sh int pseudowire 4243
pseudowire4243 is up
    MTU 1500 bytes, BW not configured
    Encapsulation mpls
    Peer IP 10.6.6.6, VC ID 300
    RX    0 packets 0 bytes 0 drops
    TX    0 packets 0 bytes 0 drops
!
```

9. sh xconnect all

```
Device# sh xconnect all
Legend:    XC ST=Xconnect State  S1=Segment1 State  S2=Segment2 State
  UP=Up       DN=Down            AD=Admin Down      IA=Inactive
  SB=Standby  HS=Hot Standby     RV=Recovering      NH=No Hardware

XC ST  Segment 1                                    S1 Segment 2
      S2
------+-----------------------------------+--+-----------------------------------+--
UP pri   ac Gi0/3/1:300(Eth VLAN)        UP mpls 10.6.6.6:300                 UP
```



第 12 章

高速コンバージェンスのデフォルト最適化

高速コンバージェンスのデフォルトの最適化機能は、すべてのプロトコルのデフォルトの設定を、高速コンバージェンスの推奨されるデフォルト値に変更します。

高速コンバージェンスのデフォルト最適化の機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *10*：高速コンバージェンスのデフォルト最適化の機能情報

機能名	リリース	機能情報
高速コンバージェンスのデフォルト最適化	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	高速コンバージェンスのデフォルトの最適化機能は、すべてのプロトコルのデフォルトの設定を、高速コンバージェンスの推奨されるデフォルト値に変更します。 新しく追加または変更されたコマンドはありません。

高速コンバージェンスのデフォルト最適化に関する情報

高速コンバージェンスのデフォルトの最適化機能は、すべてのプロトコルのデフォルトの設定を、高速コンバージェンスの推奨されるデフォルト値に変更します。IS-IS および OSPF の両方についてデフォルトを事前の高速コンバージェンス設定に戻すには、**no routing-default-optimize** コマンドを使用します。このコマンドは、信号をその IS-IS および OSPF に送信し、これらのプロトコルのデフォルト設定を変更します。

デフォルトでは、高速コンバージェンス設定が有効になっているため、ソフトウェアをアップグレードすると、新しい動作が自動的に表示されます。これにより、マルチベンダー展開でのデバイスの統合が容易になり、コンバージェンスの低下によるサポートケースが減少します。

デフォルトの最適化を無効にすると、既存のプロトコルのデフォルト設定が使用されます。デフォルトの最適化を有効にすると、新しいプロトコルのデフォルト値が使用されます。show running configurations は、デフォルト設定が使用されている場合でも、デフォルト設定の設定行を表示しません。

プロトコルの設定はデフォルトよりも優先されますが、デフォルトの最適化への変更は設定を上書きしません。

次に、IS-IS での **spf-interval** コマンドの出力例を示します。

```
Device(config-if)# router isis
Device(config-router)# spf-interval 10 5500 5500
```

デフォルト値以外が設定されている場合は、show running configuration の出力に表示されます。

```
Device(config-router)# spf-interval 5 50 200
Device(config-router)# do show run | inc spf-interval
 spf-interval 5 50 200
```

デフォルト値を設定するか、デフォルト以外の設定を削除することによって、デフォルト値に戻すことができます。

IS-IS のデフォルト最適化値

次の表は、デフォルト最適化の影響を受ける設定の概要を示します。

IS-IS コマンド	パラメータ	デフォルト最適化が無効	デフォルト最適化が有効
fast-flood			
	# of lsps flooded back-back	無効	10
spf-interval			

IS-IS コマンド	パラメータ	デフォルト最適化が無効	デフォルト最適化が有効
	初期（ミリ秒）	5500	50
	セカンダリ（ミリ秒）	5500	200
	最大（秒）	10	5
prc-interval			
	初期（ミリ秒）	2000	50
	セカンダリ（ミリ秒）	5000	200
	最大（秒）	5	5
lsp-gen-interval			
	初期（ミリ秒）	50	50
	セカンダリ（ミリ秒）	5000	200
	最大（秒）	5	5
log-adjacency-changes		disabled	enabled

OSPF のデフォルト最適化値

次の表は、OSPFv2/v3 のデフォルト最適化の影響を受ける設定の概要を示します。

OSPF コマンド	パラメータ	デフォルト最適化が無効	デフォルト最適化が有効
timers throttle spf			
	初期（ミリ秒）	5000	50
	セカンダリ（ミリ秒）	10000	200
	最大（ミリ秒）	10	5
timers throttle lsa all			
	初期（ミリ秒）	0	50
	セカンダリ（ミリ秒）	5000	200
	最大（ミリ秒）	5	5
timers lsa arrival			

OSPF コマンド	パラメータ	デフォルト最適化が無効	デフォルト最適化が有効
	milliseconds	1000	100

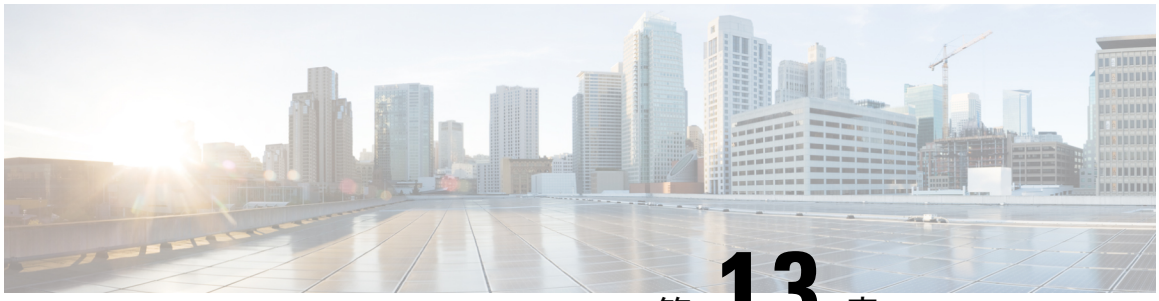
以下は、デフォルト最適化値を使用した OSPFv2 の **show ip ospf** コマンドの出力例です。

```
Device# show ip ospf
 Routing Process "ospf 10" with ID 10.1.1.1
 Start time: 00:00:01.471, Time elapsed: 03:00:34.706
 Supports only single TOS(TOS0) routes
 Supports opaque LSA
 Supports Link-local Signaling (LLS)
 Supports area transit capability
 Supports NSSA (compatible with RFC 3101)
 Supports Database Exchange Summary List Optimization (RFC 5243)
 Event-log enabled, Maximum number of events: 1000, Mode: cyclic
 Router is not originating router-LSAs with maximum metric
 Initial SPF schedule delay 50 msecs
 Minimum hold time between two consecutive SPFs 200 msecs
 Maximum wait time between two consecutive SPFs 5000 msecs
 Incremental-SPF disabled
 Initial LSA throttle delay 50 msecs
 Minimum hold time for LSA throttle 200 msecs
 Maximum wait time for LSA throttle 5000 msecs
Minimum LSA arrival 100 msecs
LSA group pacing timer 240 secs
Interface flood pacing timer 33 msecs
Retransmission pacing timer 66 msecs
EXCHANGE/LOADING adjacency limit: initial 300, process maximum 300
Number of external LSA 18. Checksum Sum 0x075EB2
Number of opaque AS LSA 0. Checksum Sum 0x000000
Number of DCbitless external and opaque AS LSA 0
Number of DoNotAge external and opaque AS LSA 0
Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
Number of areas transit capable is 0
External flood list length 0
IETF NSF helper support enabled
Cisco NSF helper support enabled
Reference bandwidth unit is 100 mbps
    Area BACKBONE(0)
        Number of interfaces in this area is 4 (2 loopback)
        Area has RRR enabled
        Area has no authentication
        SPF algorithm last executed 02:27:23.736 ago
        SPF algorithm executed 20 times
        Area ranges are
        Number of LSA 94. Checksum Sum 0x321DCF
        Number of opaque link LSA 0. Checksum Sum 0x000000
        Number of DCbitless LSA 0
        Number of indication LSA 0
        Number of DoNotAge LSA 0
        Flood list length 0
```

以下は、デフォルト最適化値を使用した OSPFv3 の **show ospf** コマンドの出力例です。

```
Device# show ospfv3
 OSPFv3 10 address-family ipv6
 Router ID 10.11.11.11
 Supports NSSA (compatible with RFC 3101)
```

```
Supports Database Exchange Summary List Optimization (RFC 5243)
Event-log enabled, Maximum number of events: 1000, Mode: cyclic
Router is not originating router-LSAs with maximum metric
Initial SPF schedule delay 50 msecs
Minimum hold time between two consecutive SPFs 200 msecs
Maximum wait time between two consecutive SPFs 5000 msecs
Initial LSA throttle delay 50 msecs
Minimum hold time for LSA throttle 200 msecs
Maximum wait time for LSA throttle 5000 msecs
Minimum LSA arrival 100 msecs
LSA group pacing timer 240 secs
Interface flood pacing timer 33 msecs
Retransmission pacing timer 66 msecs
Retransmission limit dc 24 non-dc 24
EXCHANGE/LOADING adjacency limit: initial 300, process maximum 300
Number of external LSA 0. Checksum Sum 0x000000
Number of areas in this router is 1. 1 normal 0 stub 0 nssa
Graceful restart helper support enabled
Reference bandwidth unit is 100 mbps
RFC1583 compatibility enabled
    Area BACKBONE(0)
        Number of interfaces in this area is 2
        SPF algorithm executed 7 times
        Number of LSA 3. Checksum Sum 0x012426
        Number of DCbitless LSA 0
        Number of indication LSA 0
        Number of DoNotAge LSA 0
        Flood list length 0
```



第 13 章

ルーティング情報ベースのサポート

ルーティング情報ベース（RIB）拡張は、ルート再配布およびオンデマンドネクストホップ要件をサポートします。

ルーティング情報ベースのサポートの機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *11* : ルーティング情報ベースのサポートの機能情報

機能名	リリース	機能情報
ルーティング情報ベースのサポート	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	ルーティング情報ベース（RIB）拡張は、ルート再配布およびオンデマンド ネクストホップ要件をサポートします。 新しく追加または変更されたコマンドはありません。

機能名	リリース	機能情報
OSPF ノード SID 再配布のサポート	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	以前のケースとは異なり、OSPF が他の IGP から再配布されたプレフィックスを受信した場合、およびその逆の場合は、プレフィックスのセグメント識別子（SID）もアドバタイズされます。IGP ドメイン間で SID を学習するには、BGP LS（または）セグメント ルーティング マッピング サーバー（SRMS）のサポートが必要です。 この機能のために、**show ip ospf rib redistribution detail**、**show ip ospf segment-routing local-prefix**、**show ip ospf segment-routing sid-database**、**show ip route 3.3.3.3** コマンドが導入または変更されました。

ルート再配布のためのルーティング情報ベースのサポート

Cisco IOS XE Everest 16.5.1 では、プレフィックスに関連付けられたラベルを再配布するための要件が導入されています。再配布の要件をサポートするために、プレフィックスごとのローカル ラベルのストレージが RIB でサポートされます。

異なる SRGB を使用する可能性のあるさまざまなプロトコルでの使用を容易にするために、SID の代わりにローカル ラベルが保存されます。宛先プロトコルによって割り当てられた SID は、送信元プロトコルに関連付けられた SID と同じではない場合があります。

プレフィックス到達可能性アドバタイズメントまたは SRMS アドバタイズメントは、SID のソースです。SRMS アドバタイズでは、再配布の宛先プロトコルは、アドバタイズメントのソースが SRMS ではないことを他のネットワーク ノードで示すことによって競合の解決を変更するため、そのプレフィックス到達可能性アドバタイズメントで SID をアドバタイズしません。

OSPF ノード SID 再配布のサポート

Cisco IOS XE 16.7.1 では以前のケースとは異なり、OSPF が他の IGP から再配布されたプレフィックスを受信し、その逆にプレフィックス セグメント識別子（SID）もアドバタイズされます。IGP ドメイン間で SID を学習するには、BGP LS（または）セグメント ルーティング マッピング サーバー（SRMS）のサポートが必要でした。

ユーザーが OSPF で再配布を有効にすると、プレフィックス エントリに関連付けられたプレフィックス SID エントリが OSPF に提供されます。これは OSPF によってそのすべてのネイバーにアドバタイズされます。OSPF のアドバタイズ方法は、ネットワーク内の OSPF の役割によって異なります。

OSPF ノード SID 再配布のサポートに関する情報

NSSA ASBR

Not-So-Stubby Area 自律システム境界ルータ（NSSA ASBR）の OSPF で **redistribute ISIS** *instance* **ip** を有効にすると、SID エントリとともに IS-IS で学習された IP ルーティング情報ベース（RIB）からのすべてのプレフィックスを取得します。OSPF は、エリアとして範囲と、プレフィックスの RTYPE_NSSA1 または RTYPE_NSSA2 としてルート タイプを持つ拡張プレフィックス LSA（EPL）を生成し、そのすべてのネイバーにアドバタイズします。同様に、再配布が設定されていない場合（または）プレフィックスが使用できなくなったときに、OSPF は EPL を取り消します。再配布されたルートが非接続ルートである場合、OSPF は No-PHP フラグを設定しますが、明示的な NULL フラグは設定されません。ただし、再配布されたルートが接続済みルートである場合、OSPF は、SR ポリシーで行われた設定に従って明示的な NULL および No-PHP フラグを設定します。

NSSA ABR が EPL を受信すると、ABR は LSA を不透明 AS EPL に変換し、そのすべてのネイバーにフラッディングします。

ABR でも ASBR でもない NSSA ルータが EPL を受信すると、SID エントリとともにプレフィックスを学習し、同じエリア内のすべてのネイバーにフラッディングします。

非 NSSA ASBR

通常の ASBR ルータである OSPF でユーザーが **redistribute ISIS** *instance* **ip** を有効にすると、SID エントリとともに IS-IS によって学習された IP RIB からのすべてのプレフィックスを取得します。OSPF は、自律システム（AS）として範囲と、プレフィックスの RTYPE_EXTERN1 または RTYPE_EXTERN2 としてルート タイプを持つ EPL を生成し、そのすべてのネイバーにアドバタイズします。同様に、再配布が設定されていない場合（または）プレフィックスが使用できなくなったときに、OSPF は再び EPL を AS 範囲とともに取り消します。再配布されたルートが非接続ルートである場合、OSPF は No-PHP フラグを設定しますが、明示的な NULL フラグは設定されません。ただし、再配布されたルートが接続済みルートである場合、OSPF は、SR ポリシーで行われた設定に従って明示的な NULL および No-PHP フラグを設定します。ルータは AS 範囲を持つ EPL を受信すると、SID エントリとともにプレフィックスを学習し、すべてのエリアのすべてのネイバーにフラッディングします。

プレフィックスの再配布

IS-IS で OSPF ルートの再配布が有効になっている場合、プレフィックスが SID 情報とともに与えられ、プレフィックスが SID 値を持つ他のドメインに到達するようになります。他のドメインへの OSPF プレフィックスの再配布を理解するには、以下のトポロジを参照してください。

図 *17 : OSPF* プレフィックスの再配布

R1 および R2 は OSPF が有効になっています。R2 および R3 は IS-IS が有効になっています。IS-IS および OSPF の両方ともセグメント ルーティングが有効になっています。R2 では、IS-IS

および OSPF の両方とも設定されています。設定されているプレフィックスは次のとおりです。

1. R1 の 10.1.1/32（SID 1 による OSPF に対して有効）
2. R2 の 10.2.2/32（SID 2 による OSPF に対して有効）
3. R3 の 10.3.3/32（ISIS SID 3 に対して有効）

R2 で SID 再配布を有効にすると、プレフィックス 10.3.3.3/32 が R1 に再配布されます。したがって、R1 はプレフィックス R3 に到達する SID を知っています。

```
conf trouter isis 10 net 49.0001.0000.0000.0001.00 metric-style wide distribute link-state
 segment-routing mpls router ospf 10 router-id 10.2.2.2 segment-routing mpls distribute
 link-state
```

OSPF ルートへの ISIS の再配布を有効にするには次を実行します。

```
conf t router ospf 10 redistribute isis 10 ip
```

OSPF ノード SID 再配布の確認

show ip ospf rib redistribution detail コマンドを使用して、OSPF が IS-IS からプレフィックスを再配布しているかどうかを確認します。

（注） C8xxx=C8200/C8300/C8500 または C8000v

```
c8xxx# show ip ospf rib redistribution  detail
OSPF Router with ID (10.2.2.2) (Process ID 10)

               Base Topology (MTID 0)

OSPF Redistribution
10.3.3.3/32, type 2, metric 20, tag 0, from IS-IS Router
  Attributes 0x1000000, event 1, PDB Index 4, PDB Mask 0x0
  Source route metric 20, tag 0
  SID 1003, SID Flags NP-bit, EPX Flags None
   via 10.9.0.9, Ethernet0/0
```

show ip ospf segment-routing local-prefix コマンドを使用して、SID エントリがそのネイバーにアドバタイズされているかどうかを確認します。

```
c8xxx# show ip ospf segment-routing local-prefix

           OSPF Router with ID (10.2.2.2) (Process ID 10)
Area 0:
 Prefix:            Sid:   Index:          Type:      Source:
10.2.2.2/32         2      10.0.0.0        Intra      Loopback0
AS external:
Prefix:            Sid:   Index:          Type:      Source:
10.3.3.3/32        3      10.0.0.1        External   Redist
```

show ip ospf segment-routing sid-database コマンドを使用して、SID が受信されているかどうかを確認します。

```
Device# show ip ospf segment-routing sid-database

            OSPF Router with ID (10.1.1.1) (Process ID 10)
OSPF Segment Routing SIDs

Codes: L - local, N - label not programmed,
       M - mapping-server

SID             Prefix              Adv-Rtr-Id       Area-Id  Type
--------------  ------------------  ---------------  -------  ----------
1               10.1.1.1/32          10.1.1.1         0        Intra
2               10.2.2.2/32          10.2.2.2         0        Intra
3               10.3.3.3/32          10.2.2.2         -        External
```

show ip route 10.3.3.3 コマンドを使用して、再配送されたルートに対して IP ルーティング エントリが設定されているかどうかを確認します。

```
c8xxx# show ip route 10.3.3.3
Routing entry for 10.3.3.3/32
  Known via "ospf 10", distance 110, metric 20, type extern 2, forward metric 20
  Last update from 10.2.0.2 on Ethernet0/1, 00:00:01 ago
 SR Incoming Label: 16003
  Routing Descriptor Blocks:
  * 10.3.1.3, from 10.2.2.2, 00:00:01 ago, via Ethernet1/1, merge-labels
      Route metric is 20, traffic share count is 1
      MPLS label: 16003
      MPLS Flags: NSF
```

オンデマンドネクストホップのためのルーティング情報ベースのサポート

オンデマンドネクストホップ（ODN）要件の場合、RIBは、ルーティングプロトコル（BGP）をサポートすることによって提供されるバインディング ラベルと呼ばれるネクスト ホップをサポートします。FIB は、バインディング ラベルを使用してネクスト ホップを動的に解決します。

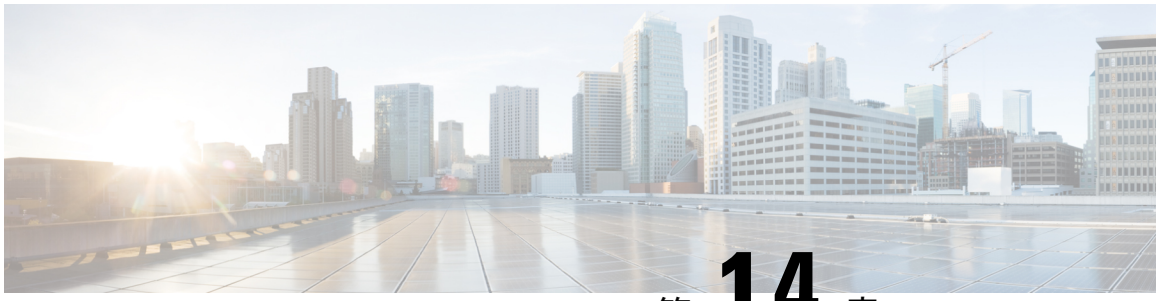
ルートプロデューサは、ネクストホップに関連付けられたODNトンネルパスを識別するローカル バインディング ラベルをインストールします。ラベル付きトラフィックは、トンネルを介して送信され、ラベルは既存のアウトラベルとは区別されます。

次に、各ネクスト ホップがバインディング ラベルを表示するように更新される **show ip route** コマンドの出力例を示します。

```
Device# show ip route 10.10.10.2

Routing entry for 10.10.10.2/32
  Known via "isis", distance 115, metric 10, type level-1
  Redistributing via isis
  Last update from 10.200.200.2 on Ethernet0/0, 00:00:14 ago
  Incoming Label: 16100
  Routing Descriptor Blocks:
  * 10.200.200.2, from 10.10.10.2, 00:00:14 ago, via Ethernet0/0
      Route metric is 10, traffic share count is 1
```

```
* Binding Label 4020, from 10.2.2.2, 00:00:14 ago,
Route metric is 10, traffic share count is 1
```

（注） 受信ラベルは、SID の再配布が有効になった後にのみ表示されます。



第 14 章

SR-TE オン デマンド LSP

SR TE オン デマンド LSP 機能は、宛先へのスタティック ルートを経由してメトロ アクセス リングを接続する機能を提供します。スタティック ルートは明示的なパスにマップされ、宛先へのオン デマンド LSP をトリガーします。SR TE オン デマンド LSP 機能は、メトロ アクセス リング間の VPN サービスの転送に使用されます。

SR-TE オン デマンド LSP の機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *12 : SR-TE* オン デマンド *LSP* の機能情報

機能名	リリース	機能情報
SR-TE オン デマンド LSP	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	SR TE オン デマンド LSP 機能は、宛先へのスタティック ルートを経由してメトロ アクセス リングを接続する機能を提供します。スタティック ルートは明示的なパスにマップされ、宛先へのオン デマンド LSP をトリガーします。SR TE オン デマンド LSP 機能は、メトロ アクセス リング間の VPN サービスの転送に使用されます。 **mpls traffic-eng auto-tunnel** コマンドが変更されました。

SR-TE オン デマンド LSP の制約事項

- セグメントルーティング自動トンネル スタティック ルートは ECMP をサポートしていません。
- IP 明示的パスのメトリクスおよび自動トンネル SRTE スタティック ルートのアドミニストレーティブ ディスタンスの変更はサポートされていません。
- MPLS トラフィック エンジニアリング（TE）ノンストップ ルーティング（NSR）は、ステートフル スイッチオーバー（SSO）のためにアクティブ ルート プロセッサ（RP）で設定する必要があります。これは、スタティック ルート自動トンネル設定を削除して再設定しない限り、SSO の後に SR スタティック自動トンネルが起動しなくなるためです。
- IP アンナンバード インターフェイスは動的パスをサポートしません。
- IP アンナンバード インターフェイスを使用する場合、ネクスト ホップ アドレスを明示的パスのインデックスとして指定することはできません。これは、ノードアドレスまたはラベルである必要があります。

SR-TE オン デマンド LSP に関する情報

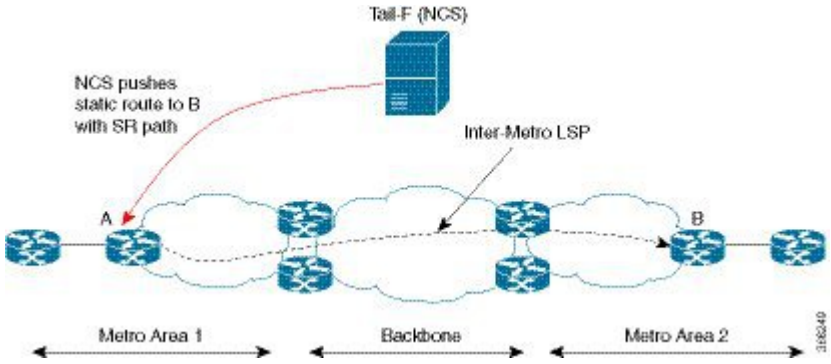
SR TE オン デマンド LSP 機能は、宛先へのスタティック ルートを経由してメトロ アクセス リングを接続する機能を提供します。

SR-TE：スタティック ルートとして LSP をセットアップする

アジャイル キャリア イーサネット（ACE）ソリューションは、統合 VPN サービスのためにセグメント ルーティングベースのトランスポートを活用します。メトロ リング アーキテクチャでは、アクセス リングはルーティング トポロジを互いに共有しません。

SR TE オン デマンド LSP 機能は、宛先へのスタティック ルートを経由してメトロ アクセス リングを接続する機能を提供します。スタティック ルートは明示的なパスにマップされ、宛先へのオン デマンド LSP をトリガーします。SR TE オン デマンド LSP 機能は、メトロ アクセス リング間の VPN サービスの転送に使用されます。

図 *18 : ACE* ソリューションにおけるメトロ間 *LSP*



メトロ間 LSP には、次のような側面があります。

- 送信元パケットが宛先デバイスの IP アドレスを知らない可能性があります。
- 既存のセグメント ルーティング機能を LSP に適用できます。

バインディング SID は、SR-TE トンネル内のトラフィックをステアリングするのに役立ちます。つまり、バインディング SID を持つ入力 MPLS パケットは、特定の SR-TE トンネルを介して転送されます。

アンナンバード インターフェイス上のスタティック SRTE

前のセクションで説明したように、LSP をスタティック ルートとして設定して、IP 明示的パスを指定することで自動トンネルを作成できます。

明示パスとは、IP アドレス（または）IP アドレスとラベルの組み合わせです。また、アンナンバードインターフェイス上でスタティック SRTE トンネルを設定することもできます。ナンバード インターフェイスに対するアンナンバード インターフェイスの制限はほとんどありません。

- IP 明示パス オプションでネクスト ホップ インターフェイス アドレスではなく、ノードの IP アドレスを指定する必要があります。
- 明示パス オプションで隣接関係 SID を指定することはできません。つまり、明示パス オプションには、ノードの IP アドレス（/32 マスク）とプレフィックス SID ラベルのみが含まれている必要があります。

SR-TE オン デマンド LSP の設定方法

SR-TE のオン デマンド LSP を設定するには、次のステップを実行します。

スタティック ルートとしての LSP の設定

SR TE による RP スイッチオーバー後のパケット ドロップを回避するには、次のコマンドを使用することをお勧めします。

```
mpls traffic-eng nsr
```

ISIS が設定されている場合は、次のコマンドを使用します。

```
router isis
 nsf cisco
 nsf interval 0
```

セグメント ルーティング自動トンネル スタティック ルートの有効化

このタスクを実行して、次のように自動トンネル スタティック ルートを設定します。

- IP 明示パスを設定します
- IP 明示パスを持つ自動トンネルをスタティック ルートに関連付けます
- ピアツーピア（P2P）自動トンネルサービスを有効にします

```
ip explicit-path name path1
 index 1 next-label 16002
 index 2 next-label 16006
 exit
ip route 172.16.0.1 255.240.0.0 segment-routing mpls path name path1
mpls traffic-eng auto-tunnel p2p
mpls traffic-eng auto-tunnel p2p config unnumbered-interface loopback0
mpls traffic-eng auto-tunnel p2p tunnel-num min 10 max 100
```

セグメント ルーティング自動トンネル スタティック ルートの確認

コマンド **show mpls traffic-eng service summary** は、TE 自動トンネルを使用するすべての登録済み TE サービス クライアントおよび統計を表示します。

```
Device# show mpls traffic-eng service summary

Service Clients Summary:
  Client: BGP TE
    Client ID                 :0
    Total P2P tunnels         :1
    P2P add requests          :6
    P2P delete requests       :5
    P2P add falis             :0
    P2P delete falis          :0
    P2P notify falis          :0
    P2P notify succs          :12
    P2P replays               :0
  Client: ipv4static
    Client ID                 :1
    Total P2P tunnels         :1
    P2P add requests          :6
    P2P delete requests       :5
    P2P add falis             :0
    P2P delete falis          :0
    P2P notify falis          :0
```

```
    P2P notify succs          :85
    P2P replays               :0
```

コマンド **show mpls traffic-eng auto-tunnel p2p** は、ピアツーピア（P2P）自動トンネルの設定と操作状態を表示します。

```
Device# show mpls traffic-eng auto-tunnel p2p

State: Enabled
  p2p auto-tunnels: 2 (up: 2, down: 0)
  Default Tunnel ID Range: 62336 - 64335
  Config:
   unnumbered-interface: Loopback0
   Tunnel ID range: 1000 - 2000
```

コマンド **show mpls traffic-eng tunnel summary** は、P2P 自動トンネルの状態を表示します。

```
Device# show mpls traffic-eng tunnel summmary

Signalling Summary:
    LSP Tunnels Process:            running
    Passive LSP Listener:           running
    RSVP Process:                   running
    Forwarding:                     enabled
    auto-tunnel:
        p2p    Enabled  (1), id-range:1000-2000
    Periodic reoptimization:        every 3600 seconds, next in 1265 seconds
    Periodic FRR Promotion:         Not Running
    Periodic auto-bw collection:    every 300 seconds, next in 66 seconds
    SR tunnel max label push:       13 labels
    P2P:
      Head: 11 interfaces,   5234 active signalling attempts, 1 established
            5440 activations,  206 deactivations
            1821 failed activations
            0 SSO recovery attempts, 0 SSO recovered
      Midpoints: 0, Tails: 0
    P2MP:
      Head: 0 interfaces,   0 active signalling attempts, 0 established
            0 sub-LSP activations,  0 sub-LSP deactivations
            0 LSP successful activations,  0 LSP deactivations
            0 SSO recovery attempts, LSP recovered: 0 full, 0 partial, 0 fail
      Midpoints: 0, Tails: 0
Bidirectional Tunnel Summary:
    Tunnel Head: 0 total, 0 connected, 0 associated, 0 co-routed
    LSPs Head:   0 established, 0 proceeding, 0 associated, 0 standby
    LSPs Mid:    0 established, 0 proceeding, 0 associated, 0 standby
    LSPs Tail:   0 established, 0 proceeding, 0 associated, 0 standby

AutoTunnel P2P Summary:
    ipv4static:
        Tunnels: 1 created, 1 up, 0 down
    Total:
        Tunnels: 1 created, 1 up, 0 down
```

コマンド **show mpls traffic-eng tunnel auto-tunnel** は、TE サービス自動トンネルのみを表示します。

```
Device# show mpls traffic-eng tunnel auto-tunnel detail

 P2P TUNNELS/LSPs:
```

```
Name: R1_t1000                             (Tunnel1000) Destination: 10.0.0.0 Ifhandle:
0x17 (auto-tunnel for ipv4static)
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 1, (SEGMENT-ROUTING) type explicit (verbatim) path202 (Basis for Setup)

  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 7  7   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: TE (default)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-selection Tiebreaker:
      Global: not set   Tunnel Specific: not set   Effective: min-fill (default)
    Hop Limit: disabled [ignore: Verbatim Path Option]
    Cost Limit: disabled
    Path-invalidation timeout: 10000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: disabled LockDown: disabled Loadshare: 0 [0] bw-based
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: explicit path option 1 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: enabled

  History:
    Tunnel:
      Time since created: 33 days, 20 hours, 29 minutes
      Time since path change: 10 days, 19 hours, 45 minutes
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1646
    Current LSP: [ID: 1646]
      Uptime: 10 days, 19 hours, 45 minutes
    Prior LSP: [ID: 1645]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: signalling shutdown
  Tun_Instance: 1646
  Segment-Routing Path Info (IGP information is not used)
    Segment0[First Hop]: 10.0.0.0, Label: 16002
    Segment1[ - ]: Label: 16006
```

コマンド **show mpls traffic-eng tunnel brief** は、自動トンネルの情報を表示します。

```
Device# show mpls traffic-eng tunnel brief

Signalling Summary:
    LSP Tunnels Process:            running
    Passive LSP Listener:           running
    RSVP Process:                   running
    Forwarding:                     enabled
    auto-tunnel:
        p2p    Enabled  (2), id-range:1000-2000

    Periodic reoptimization:        every 3600 seconds, next in 406 seconds
    Periodic FRR Promotion:         Not Running
    Periodic auto-bw collection:    every 300 seconds, next in 107 seconds
    SR tunnel max label push:       13 labels

P2P TUNNELS/LSPs:
TUNNEL NAME                     DESTINATION      UP IF     DOWN IF   STATE/PROT
R1_t1                           10.66.66.66      -         -         up/down
R1_t2                           10.66.66.66      -         -         up/up
R1_t3                           10.66.66.66      -         -         up/up
R1_t10                          10.66.66.66      -         -         up/up
SBFD tunnel                     10.33.33.33      -         -         up/up
```

```
SBFD Session configured: 1       SBFD sessions UP: 1
```

スタティック ルーティング向けネイティブ UCMP の設定

トラフィックが2つ以上のリンクで負荷分散されているネットワークでは、リンク上で等価メトリックを設定すると、Equal Cost Multipath（ECMP; 等コスト マルチパス）ネクスト ホップが作成されます。ロードバランシング中にリンクの帯域幅が考慮されないため、より高い帯域幅のリンクが十分に活用されません。この問題を回避するには、より高い帯域幅のリンクがリンクの容量に比例してトラフィックを伝送するように、不等コスト マルチパス（UCMP）をローカル（ローカルUCMP）またはネイティブ（ネイティブUCMP）で設定できます。UCMPは、IPv4 および IPv6 のスタティック VRF ルートをサポートしています。

ローカル UCMP

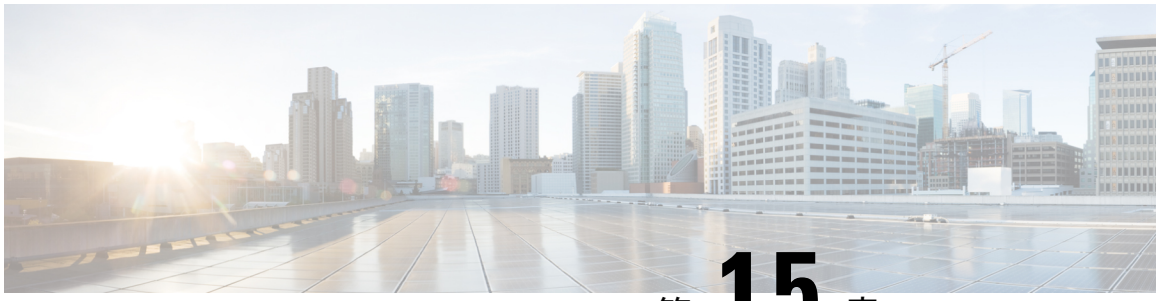
静的ルートはすべて同じリンクメトリックで設定されます。スタティック IGP は、リンクの帯域幅に基づいて負荷メトリックを計算し、リンク上のトラフィックを負荷分散します。ただし、ローカル UCMP では、（複数ホップ離れた）宛先に近いリンク間のロード バランシング時に帯域幅を考慮しません。

ネイティブ UCMP

より高い帯域幅のリンク上の静的ルートは、より低いリンクメトリックで設定し、より低い帯域幅のリンク上のルートより優先されるようにします。スタティック IGP は、リンクの帯域幅に基づいて負荷メトリックを計算し、より高い帯域幅のリンクおよびより低い帯域幅のリンクから出るトラフィックの割合を決定します。設定されたリンク メトリックとエンドツーエンドの使用可能な帯域幅を照合することで、ネイティブ UCMP は、（複数ホップ離れた）宛先に近いリンク間でトラフィックを効果的に負荷分散できます。

設定例

次の図のトポロジについて考えます。ルータ A1 からのトラフィックのロード バランシングでは、ローカル UCMP が使用されている場合、10G と 100G の両方のリンクには等しいリンク メトリックが設定されます。負荷メトリックが高いため、スタティック IGP は 100G リンクからより多くのトラフィックを送信することを決定します。ただし、ルータ A2 からのトラフィックのロード バランシングでは、ローカル UCMP はルータ C1 および C2 へのリンク上でのみ機能します。ルータ C1 からルータ A1 およびルータ C2 からルータ A1 へのトラフィックのロード バランシングでは、ネイティブ UCMP が推奨されます。その結果、ローカル UCMP はシングル ホップの宛先でのみ使用され、ネイティブ UCMP はマルチホップの宛先で使用されます。



第 15 章

セグメント ルーティング MPLS OAM のサポート

セグメントルーティング保守運用管理（OAM）は、ネットワークの障害検出とトラブルシューティングに役立ちます。これを使用することで、サービス プロバイダーはラベル スイッチド パス（LSP）をモニターしてフォワーディングの問題を迅速に隔離できます。セグメント ルーティング OAM 機能では、Nil-FEC（フォワーディング等価クラス）LSP Ping および Traceroute、IGP プレフィックス SID FEC タイプ、および SR-TE 機能のための部分的な IGP 隣接関係 SID FEC タイプのサポートを提供します。

セグメント ルーティング OAM サポートの機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *13 :* セグメント ルーティング *OAM* サポートの機能情報

機能名	リリース	機能情報
セグメント ルーティング OAM サポート	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	セグメントルーティング OAM 機能では、Nil-FEC（転送等価クラス）LSP Ping および Traceroute 機能のサポートを提供します。 Nil-FEC LSP ping および traceroute の操作は、単に通常の MPLS ping および traceroute の拡張機能です。

セグメントルーティング OAM MPLS サポートの制約事項

- Ping と traceroute は、SR-TE スタティック自動トンネル、BGP ダイナミック TE、およびオンデマンド ネクスト ホップ自動トンネルではサポートされていません。
- Strict-SID オプションは、OSPF によってインストールされたパスではサポートされません。
- MPLS traceroute は、1 つのノードで 2 つの明示的ヌル ラベルのポップをサポートしません。
- IP ルーティングの宛先が MPLS FEC ではないため、レイヤ 3 VPN を使用せずに、MPLS セグメント経由で IP へのパスを再ルーティングすることはサポートされていません。

セグメントルーティング MPLS OAM サポートに関する情報

セグメント ルーティング OAM サポート

Nil-FEC LSP ping および traceroute の操作は、通常の MPLS ping および traceroute の拡張機能です。Nil-FEC LSP Ping/Trace 機能は、セグメント ルーティングと MPLS スタティックをサポートしています。また、他のすべての LSP タイプに対する追加の診断ツールとしても機能します。この機能は、オペレータがラベル スタックをテストして以下を指定できるようにします。

- ラベル スタック
- 発信インターフェイス
- ネクストホップ アドレス

セグメント ルーティングの場合、ルーティング パスに沿った各セグメント ノード ラベルおよび隣接関係ラベルは、イニシエータのラベル スイッチ ルータ（LSR）からのエコー要求メッ

セージのラベル スタックに入れられます。MPLS データ プレーンは、このパケットをラベル スタック ターゲットに転送し、ラベル スタック ターゲットはエコー メッセージを送り返します。

セグメント ルーティング OAM サポートの利点

- この機能により、トラフィックが SR-TE トンネルまたはネイティブ SR フォワーディングを介してエンジニアリングされるセグメント ルーティング ネットワークの MPLS OAM 機能が有効になります。
- 従来の MPLS ネットワークでは、ソース ノードは、LDP または RSVP-TE のようなホップバイ ホップ シグナリング プロトコルに基づいてパスを選択します。セグメント ルーティング ネットワークでは、パスは IGP プロトコル（現在は OSPF および ISIS）によってアドバタイズされるセグメントのセットによって指定されます。
- SR を使用して提供されるサービスの量が増加するため、オペレータが本質的に SR アーキテクチャの接続検証と障害分離を行うことができることが重要です。
- セグメントの割り当ては、従来の MPLS ネットワークのようにホップバイホップのプロトコルに基づいていないため、切断された中継ノードによって Null ルートが生まれ、望ましくないトラフィック動作を引き起こす可能性があります。
- SR と SR-TE はどちらもロード バランシングをサポートしていて、ソース ルータとターゲット ルータの間で利用可能なすべての ECMP パスをトレースすることが重要です。この機能は、TE とネイティブ SR パスの両方に対してマルチパスの traceroute をサポートします。
- セグメント ルーティング OAM サポートの主な利点は次のとおりです。
  - **運用**：ネットワークのモニタリングおよび障害管理。
  - **管理**：ネットワークの検出と計画。
  - **メンテナンス**：訂正および予防のアクティビティにより、障害の発生と影響を最小限に抑えます。

セグメント ルーティング MPLS Ping

MPLS ping および traceroute は設計によって拡張可能です。SR サポートを追加するには、新しい FEC および/または追加の検証手順を定義します。MPLS ping は MPLS データ パスを検証し、次を実行します。

- エコー要求パケットを MPLS ラベルにカプセル化します。
- 低密度ラウンド トリップ時間を測定します。
- 低密度ラウンド トリップ遅延を測定します。

セグメント ルーティング MPLS Traceroute

MPLS ping および traceroute は設計によって拡張可能です。SR サポートを追加するには、新しい転送等価クラス（FEC）および/または追加の検証手順を定義します。MPLS traceroute は、LSP の各ホップでフォワーディング プレーンおよびコントロール プレーンを検証して、障害を切り分けます。traceroute は、TTL 1 から始まり単調増加する存続可能時間（TTL）で MPLS エコー要求を送信します。TTL の有効期限が過ぎると、中継ノードはソフトウェアで要求を処理し、ターゲット FEC と目的の中継ノードへの LSP があるかどうかを確認します。中継ノードは、検証が成功した場合、ネクストホップに到達するための上記の検証とラベルスタックの結果を指定するリターンコードと、宛先に向かうネクストホップの ID を含むエコー応答を送信します。発信元は、TTL + 1 を含む次のエコー要求をビルドするためにエコー応答を処理します。宛先が FEC の出力であると応答するまで、プロセスが繰り返されます。

Nil FEC ターゲットに対する LSP Ping 操作

LSP Ping/Traceroute は LSP 破損の識別に使用されます。nil-fec ターゲット型は、既知のラベルスタックの接続性をテストするために使用できます。既存の LSP ping 手順に従います（詳細については、「MPLS Lsp ping/Traceroute」を参照してください）。ただし以下を変更します。

- 指定されたラベル スタックを使用してエコー要求パケットをビルドします。
- ラベル スタックの下部に明示的 null ラベルを追加します。
- ターゲットの FEC Nil FEC とラベルの値が明示的 null であるラベル スタックの下部のラベルに設定されているエコー要求 FTS TLV をビルドします。

LSP Ping およびトレース ルート Nil FEC ターゲットを使用してセグメント ルーティングを診断する方法

Nil FEC ターゲットに対する LSP Ping の使用

Nil FEC LSP の ping および traceroute の運用は、単に通常の MPLSの ping および traceroute の拡張機能です。ping mpls コマンドに **nil-fec labels <label, label…>** が追加されています。このコマンドは、指定に応じて MPLS ラベル スタックを使用してエコー要求メッセージを送信し、スタックの最下部に別の明示的ヌルを追加します。

```
ping mpls nil-fec labels <comma separated labels> output interface <tx-interface> nexthop
 <nexthop ip addr>
[repeat <count>]
[size <size> | sweep <min_size> <max_size> <increment>]
[timeout <seconds>]
[interval <milliseconds>]
[destination <addr_start> [<addr_end> [<addr_incr_mask> | <addr_incr>]]]
[source <addr>]
[exp <exp-value>]
```

```
[pad <pattern>]
[ttl <ttl>]
[reply [mode [ipv4 | router-alert | no-reply]]
[dscp <dscp-bits>]
[pad-tlv]]
[verbose]
[force-disposition ra-label]
{dsmap | ddmap [l2ecmp]} [hashkey {none | {ipv4 | ipv4-label-set {bitmap <bitmap_size>}}]
```

詳細については、「ping mpls」を参照してください。

Nil FEC ターゲットに対する LSP Traceroute の使用

```
trace mpls nil-fec labels <comma separated labels> output interface <tx-interface>}
nexthop <nexthop ip addr>
[timeout <seconds>]
[destination <addr_start> [<addr_end> [<addr_incr_mask> | <addr_incr>]]]
[source <addr> ]
[exp <exp-value>]
[ttl <ttl-max>]
[reply [mode [ipv4 | router-alert | no-reply]]
[dscp <dscp-bits>]
[pad-tlv]]
[flags {fec | ttl}]
[hashkey ipv4 | ipv4-label-set {bitmap <bitmap_size>}]
```

詳細については、「traceroute mpls」を参照してください。

LSP Ping Nil FEC ターゲットのサポートの例

```
Node loopback IP address: 10.1.1.3              10.1.1.4               10.1.1.5
         1.1.1.7
Node label:                                      16004                   16005
        16007
Nodes:                     Arizona ---------------- Utah  ---------------- Wyoming
--------------- Texas
Interface:                      Eth1/0        Eth1/0
Interface IP address:          10.30.1.3      10.30.1.4

Device#sh mpls forwarding-table
Local      Outgoing   Prefix           Bytes Label   Outgoing   Next Hop
Label      Label      or Tunnel Id     Switched      interface
16         Pop Label  3333.3333.0000-Et1/0-10.30.1.3   \
                                       0             Et1/0      10.30.1.3
17         Pop Label  5555.5555.5555-Et1/1-10.90.1.5   \
                                       0             Et1/1      10.90.1.5
18         Pop Label  3333.3333.0253-Et0/2-102.102.102.2   \
                                        0             Et0/2      10.102.102.2
19         Pop Label  10.9.9.4/32       0             Et0/2      10.102.102.2
20         Pop Label  10.1.1.5/32       0             Et1/1      10.90.1.5
21         Pop Label  10.1.1.3/32       0             Et1/0      10.30.1.3
22         Pop Label  10.16.16.16/32    0             Et1/0      10.30.1.3
23         Pop Label  10.16.16.17/32    0             Et1/0      10.30.1.3
24         Pop Label  10.17.17.17/32    0             Et1/0      10.30.1.3
25         20         10.9.9.3/32       0             Et1/0      10.30.1.3
26         21         10.1.1.6/32       0             Et1/0      10.30.1.3
27         24         10.1.1.2/32       0             Et1/0      10.30.1.3
```

```
           28          10.1.1.2/32       0             Et1/1      10.90.1.5
28         18          10.1.1.7/32       0             Et1/1      10.90.1.5
29         27          10.9.9.7/32       0             Et1/1      10.90.1.5
30         Pop Label   10.55.1.0/24      0             Et1/1      10.90.1.5
31         Pop Label   10.19.1.0/24      0             Et1/0      10.30.1.3
Local      Outgoing    Prefix            Bytes Label   Outgoing   Next Hop
Label      Label       or Tunnel Id      Switched      interface
32         Pop Label   10.1.1.0/24       0             Et1/0      10.30.1.3
33         Pop Label   10.100.100.0/24   0             Et1/0      10.30.1.3
34         Pop Label   10.1.1.0/24       0             Et1/0      10.30.1.3
35         28          10.1.1.0/24       0             Et1/0      10.30.1.3
36         29          10.101.101.0/24   0             Et1/0      10.30.1.3
37         29          10.65.1.0/24      0             Et1/1      10.90.1.5
38         33          10.104.104.0/24   0             Et1/0      10.30.1.3
           39          10.104.104.0/24   0             Et1/1      10.90.1.5
39         30          10.103.103.0/24   0             Et1/1      10.90.1.5
16005      Pop Label   10.1.1.5/32       1782          Et1/1      10.90.1.5
16006      16006       10.1.1.6/32       0             Et1/0      10.30.1.3
16007      16007       10.1.1.7/32       0             Et1/1      10.90.1.5
16017      16017       10.17.17.17/32    0             Et1/0      10.30.1.3
16250      16250       10.9.9.3/32       0             Et1/0      10.30.1.3
16252      16252       10.9.9.7/32       0             Et1/1      10.90.1.5
16253      Pop Label   10.9.9.4/32       0             Et0/2      10.102.102.2
17000      17000       10.16.16.16/32    0             Et1/0      10.30.1.3
17002      17002       10.1.1.2/32       0             Et1/0      10.30.1.3
           17002       10.1.1.2/32       0             Et1/1      10.90.1.5

Device#ping mpls nil-fec labels 16005,16007 output interface ethernet 1/0 nexthop 10.30.1.4
 repeat 1
Sending 1, 72-byte MPLS Echos with Nil FEC labels 16005,16007,
     timeout is 2 seconds, send interval is 0 msec:

Codes: '!' - success, 'Q' - request not sent, '.' - timeout,
  'L' - labeled output interface, 'B' - unlabeled output interface,
  'D' - DS Map mismatch, 'F' - no FEC mapping, 'f' - FEC mismatch,
  'M' - malformed request, 'm' - unsupported tlvs, 'N' - no label entry,
  'P' - no rx intf label prot, 'p' - premature termination of LSP,
  'R' - transit router, 'I' - unknown upstream index,
  'l' - Label switched with FEC change, 'd' - see DDMAP for return code,
  'X' - unknown return code, 'x' - return code 0

Type escape sequence to abort.
!
Success rate is 100 percent (1/1), round-trip min/avg/max = 1/1/1 ms
 Total Time Elapsed 0 ms


Device#traceroute mpls nil-fec labels 16005,16007 output interface ethernet 1/0 nexthop
 10.30.1.4
Tracing MPLS Label Switched Path with Nil FEC labels 16005,16007, timeout is 2 seconds

Codes: '!' - success, 'Q' - request not sent, '.' - timeout,
  'L' - labeled output interface, 'B' - unlabeled output interface,
  'D' - DS Map mismatch, 'F' - no FEC mapping, 'f' - FEC mismatch,
  'M' - malformed request, 'm' - unsupported tlvs, 'N' - no label entry,
  'P' - no rx intf label prot, 'p' - premature termination of LSP,
  'R' - transit router, 'I' - unknown upstream index,
  'l' - Label switched with FEC change, 'd' - see DDMAP for return code,
  'X' - unknown return code, 'x' - return code 0

Type escape sequence to abort.
  0 10.30.1.3 MRU 1500 [Labels: 16005/16007/explicit-null Exp: 0/0/0]
L 1 10.30.1.4 MRU 1500 [Labels: implicit-null/16007/explicit-null Exp: 0/0/0] 1 ms
L 2 10.90.1.5 MRU 1500 [Labels: implicit-null/explicit-null Exp: 0/0] 1 ms
```

```
! 3 10.55.1.7 1 ms
```

セグメント ルーティング ネットワークのパス検証

MPLS OAM メカニズムは、MPLS エコー要求パケットで運ばれて FEC 検証のためにレスポンダによって使用されるさまざまなターゲット FEC スタックサブ TLV の使用によって、MPLS データプレーン パスのための障害検出および分離に役立ちます。新しいサブ TLV をセグメント ルーティングに割り当てる必要があることは明らかですが、セグメント ルーティング アーキテクチャの固有の性質により、パスの検証に関して追加の運用上の考慮が必要になります。

隣接関係セグメント ID の転送セマンティックは、セグメント ID をポップし、特定のリンクを介して特定のネイバーにパケットを送信することです。誤動作しているノードは、隣接関係セグメント ID を使用して、誤ったネイバーへまたは誤ったリンク上でパケットを転送することがあります。（誤って転送された隣接関係セグメント ID の）リスクにさらされているセグメント ID では、目的の厳格なトラバーサルが壊れているにもかかわらず、パケットが目的の宛先に到達できる可能性があります。MPLS traceroute はそのような逸脱の検出の役に立つ場合があります。

次のセグメント ID サブ TLV の形式は、ラベル スタック内の各ラベルに対応する FEC を運ぶターゲット FEC スタック TLV の原理に従います。これにより、ターゲット FEC スタック TLV に要求先ノードで受信したラベル スタックよりも多くの FEC が含まれている場合に LSP ping/traceroute 操作を機能させることができます。ターゲット FEC スタック TLV（タイプ 1）、リバースパス ターゲット FEC スタック TLV（タイプ 16）、および応答パス TLV（タイプ 21）には、3 つの新しいサブ TLV が定義されています。

sub-Type	Value Field
34	IPv4 IGP-Prefix Segment ID
35	IPv6 IGP-Prefix Segment ID
36	IGP-Adjacency Segment ID

IGP プレフィックス SID FEC タイプ用の MPLS Ping および Traceroute

プレフィックス SID 用の MPLS ping および traceroute の操作は、次のようなさまざまな IGP シナリオでサポートされています。

- IS-IS レベルまたは OSPF エリア内
- IS-IS レベルまたは OSPF エリア間
- IS-IS から OSPF へ、および OSPF から IS-IS へのルート再配布

MPLS LSP ping 機能を使用して、LSP に沿った入力ラベル スイッチ ルータ（LSR）と出力 LSR 間の接続を確認します。MPLS LSP ping は、Internet Control Message Protocol（ICMP）のエコー要求メッセージと応答メッセージと同様に、LSP の検証に MPLS エコーの要求メッセージと応答メッセージを使用します。MPLS エコー要求パケットの宛先 IP アドレスは、ラベル スタックの選択に使用されるアドレスとは異なります。

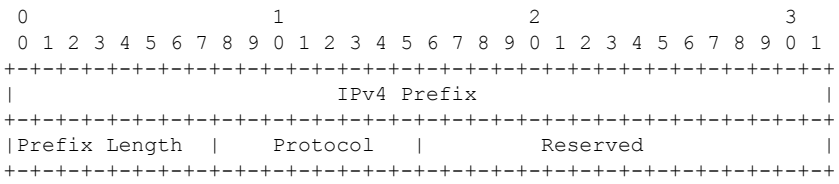
MPLS LSP traceroute 機能を使用して、LSP の障害ポイントを隔離します。これはホップバイホップ エラーのローカリゼーションとパス トレースに使用されます。MPLS LSP traceroute 機能は、エコー要求を伝送するパケットの存続可能時間（TTL）値の期限切れに依存します。MPLSエコー要求メッセージが中継ノードを見つけるとTTL値をチェックし、期限が切れている場合はコントロールプレーンにパケットが渡されます。それ以外の場合は、メッセージが転送されます。エコー メッセージがコントロール プレーンに渡されると、要求メッセージの内容に基づいて応答メッセージが生成されます。

MPLS LSP ツリー トレース（traceroute マルチパス）操作は、IGP プレフィックス SID でもサポートされています。MPLS LSP ツリー トレースでは、LSP のすべての可能な等コスト マルチパス（ECMP）ルーティング パスを検出して宛先プレフィックスSIDに到達する手段が提供されます。エコー要求パケットにエンコードされたマルチパスデータを使用して、ロードバランシング情報が照会されます。これにより、発信者は各ECMPの実行を許可される場合があります。パケット TTL が応答ノードで期限切れになると、ノードはダウンストリーム パスのリストとマルチパス情報を返します。これにより、オペレータはMPLSエコー応答内の各パスを実行できるようになります。この操作は、すべてのECMPが検出されて検証されるまで、TTL値が増加しながら各パスのホップごとに繰り返し実行されます。

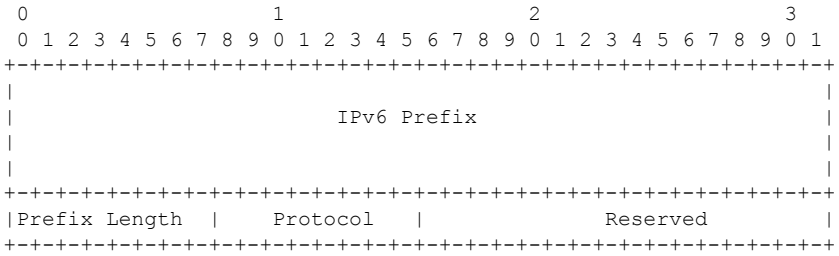
MPLS エコー要求パケットは、ターゲット FEC スタック サブ TLV を伝送します。ターゲット FEC サブ TLV は、レスポンダによって FEC 検証のために使用されます。IGPIPv4 プレフィックス サブ TLV がターゲット FEC スタック サブ TLV に追加されました。IGP IPv4 プレフィックス サブ TLV には、プレフィックス SID、プレフィックス長、およびプロトコル（IS-IS または OSPF）が含まれています。

ノード セグメント ID をアドバタイズしたネットワーク ノードは、PHP（Penultimate Hop Popping）が有効かどうかに関係なく、ノード セグメント ID の pop 操作タイプを持つ FEC スタック変更サブ TLV を生成します。

IPv4 IGP プレフィックス セグメント ID の形式は次のとおりです。



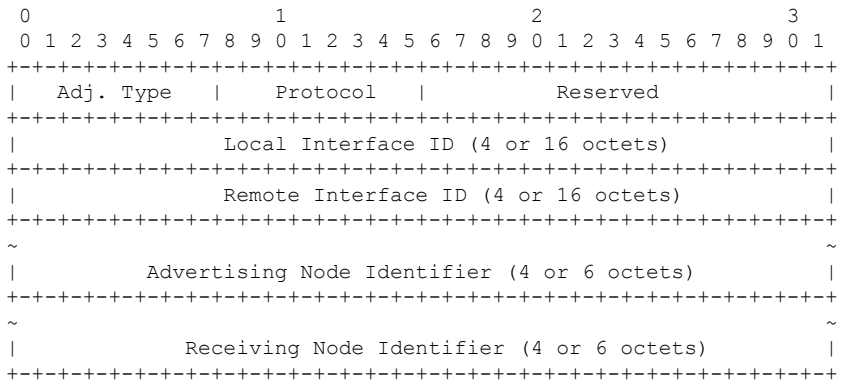
IPv6 IGP プレフィックス セグメント ID の形式は次のとおりです。



IGP 隣接セグメント ID 用の MPLS Ping および Traceroute

隣接関係セグメント ID をアドバタイズしたノードのすぐ下流にあるネットワーク ノードは、隣接関係セグメント ID の「POP」操作のための FEC スタック変更サブ TLV を生成します。

IGP 隣接関係 SID の形式は次のとおりです。



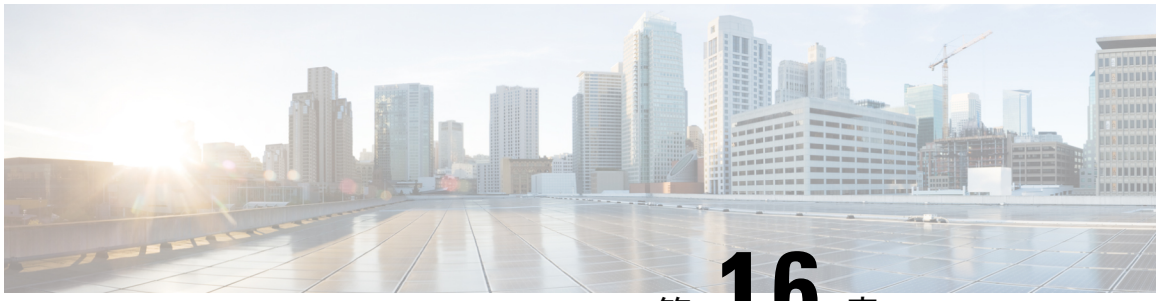
MPLS Ping および Traceroute 用のセグメント ルーティング MPLS トラフィック エンジニアリングの設定

```
ping mpls traffic-eng tunnel <tun-id>
[repeat <count>]
[size <size> | sweep <min_size> <max_size> <increment>]
[timeout <seconds>]
[interval <milliseconds>]
[destination <addr_start> [<addr_end> [<addr_incr_mask> | <addr_incr>]]]
[source <addr>]
[exp <exp-value>]
[pad <pattern>]
[ttl <ttl>]
[reply [mode [ipv4 | router-alert | no-reply]]
[dscp <dscp-bits>]
[pad-tlv]]
[verbose]
[output {interface <tx-interface>} [nexthop <nexthop ip addr>]]
[{dsmap | ddmap [l2ecmp]} [hashkey {none | {ipv4 | ipv4-label-set {bitmap <bitmap_size>}}]

traceroute mpls [multipath] traffic-eng <tunnel-interface>
[timeout <seconds>]
[destination <addr_start> [<addr_end> [<addr_incr_mask> | <addr_incr>]]]
[source <addr> ]
[exp <exp-value>]
[ttl <ttl-max>]
[reply [mode [ipv4 | router-alert | no-reply]]
[pad-tlv]]
[output {interface <tx-interface>} [nexthop <nexthop ip addr>]]
[flags {fec | ttl}]
[hashkey ipv4 | ipv4-label-set {bitmap <bitmap_size>}]
```

MPLS Ping および Traceroute 用のセグメント ルーティング MPLS IGP の設定

```
ping mpls ipv4 <prefix/prefix_length> [fec-type [ldp | bgp | generic | isis | ospf]]
[sr-path-type [ip | sid | strict-sid]]
[destination <addr_start> [<addr_end> [<addr_incr_mask> | <addr_incr>]]]
[source <addr>]
[exp <exp-value>]
[pad <pattern>]
[ttl <ttl>]
[reply [mode [ipv4 | router-alert | no-reply]]
[dscp <dscp-bits>]
[pad-tlv]]
[verbose]
[output {interface <tx-interface>} [nexthop <nexthop ip addr>]]
[{dsmap | ddmap [l2ecmp]} [hashkey {none | {ipv4 | ipv4-label-set {bitmap <bitmap_size>}}]

traceroute mpls [multipath] ipv4 <prefix/prefix_length> [fec-type [ldp | bgp | generic
| isis | ospf]] [sr-path-type [ip | sid | strict-sid]]
[timeout <seconds>]
[destination <addr_start> [<addr_end> [<addr_incr_mask> | <addr_incr>]]]
[source <addr> ]
[exp <exp-value>]
[ttl <ttl-max>]
[reply [mode [ipv4 | router-alert | no-reply]]
[pad-tlv]]
[output {interface <tx-interface>} [nexthop <nexthop ip addr>]]
[flags {fec | ttl}]
[hashkey ipv4 | ipv4-label-set {bitmap <bitmap_size>}]
```

- fec-type：IPv4 ターゲット FEC タイプ。デフォルトでヘッド エンド自動検出 FEC タイプを使用します。
- sr-path-type：セグメント ルーティング パスのタイプの選択アルゴリズム。オプションが指定されている場合は、IP インポジション パスを使用します。



第 16 章

セグメント ルーティングでのシームレス BFD の使用

セグメント ルーティング TE 機能は、シームレスな双方向フォワーディング検出（S-BFD）のための情報サポートを提供します。

セグメントルーティングでのシームレス BFD に関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *14 :* セグメント ルーティング *TE* 機能の機能情報

機能名	リリース	機能情報
セグメント ルーティング TE の機能	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	シームレス双方向フォワーディング検出（S-BFD）は、ネゴシエーションの側面の大部分が排除されたBFDを使用する単純化されたメカニズムであり、迅速なプロビジョニング、ネットワーク ノードが開始するパスの監視の制御と柔軟性の向上などの利点を提供します。 次のコマンドが導入または変更されました。**address-family ipv4 strict-spf**、**bfd-template single-hop**、**index range**、**sbfd local-discriminator**、**show bfd neighbor**、**show isis segment-routing**、**show mpls forwarding-table**、**show mpls traffic tunnel**、**show mpls traffic-engineering**。

セグメントルーティングでのシームレスBFD使用の制約事項

シームレス双方向フォワーディング（S-BFD）の制約事項

- シームレス双方向フォワーディング（S-BFD）は、セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）では IPv4 のみをサポートしています。IPv6 はサポートされていません。
- シングル ホップの S-BFD セッションのみサポートされています。
- RSVP-TE は、S-BFD をサポートしていません。

セグメントルーティングでのシームレスBFDに関する情報

双方向フォワーディング検出とシームレス双方向フォワーディング検出（S-BFD）

双方向フォワーディング検出（BFD）は、すべてのメディアタイプ、カプセル化、トポロジ、およびルーティングプロトコルのために短時間での転送パス障害検出を提供するために設計された検出プロトコルです。

BFDは高速転送パス障害検出に加えて、ネットワーク管理者向けの整合性のある障害検出方法を提供します。ネットワーク管理者はBFDを使用して、ルーティングプロコル毎に異なるhello

メカニズムの多様な検出時間でなく、一定の検出時間で転送パスの障害を検出できるため、ネットワーク プロファイリングおよびプランニングが容易になります。また、再コンバージェンス時間の整合性が保たれ、予測可能になります。

シームレス双方向フォワーディング検出（S-BFD）は、ネゴシエーションの側面の大部分が排除された BFD を使用する単純化されたメカニズムであり、迅速なプロビジョニング、ネットワーク ノードが開始するパスの監視の制御と柔軟性の向上などの利点を提供します。

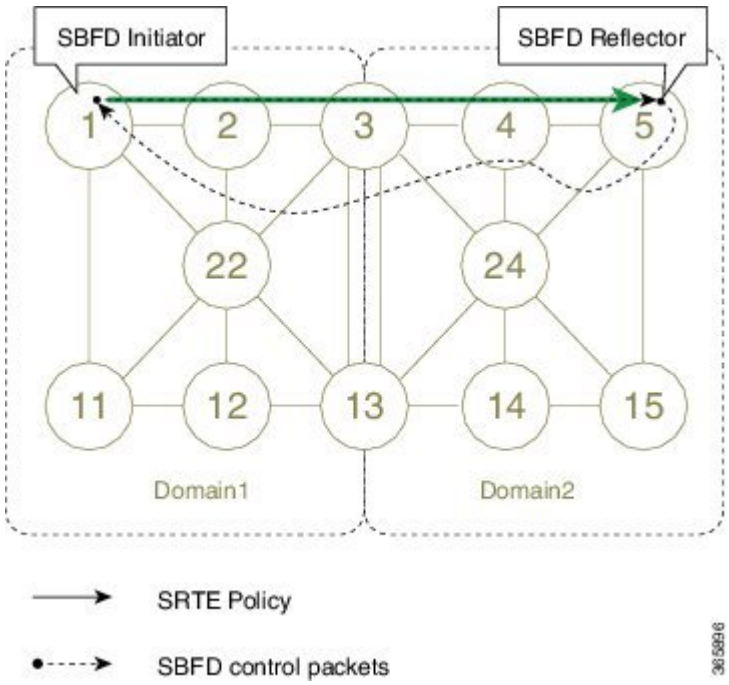
SBFDセッションが失敗した場合、S-BFDはSR-TEセッションをダウンさせます。また、S-BFDは、制御パケットの交換が少ないため、より高速なセッションの起動を提供します。S-BFDはSR-TE と関連付けられ、セッションを迅速に起動します。BFD 状態はヘッド エンドでのみ維持され、それによってオーバーヘッドが減少します。

S-BFD は、セグメント ルーティングで RFC 7880、RFC 7881 のサポートを実装しています。

イニシエータとリフレクタ

SBFD はイニシエータとリフレクタを使用して非対称的な動作をします。次の図は、SBFD イニシエータとリフレクタの役割を示しています。

図 *19 : SBFD* イニシエータとリフレクタ



イニシエータは、ネットワーク ノード上の SBFD セッションであり、SBFD パケットを送信することによってリモートエンティティへの連続性テストを実行します。イニシエータは、SBFD パケットをセグメントルーティング トラフィックエンジニアリング（SRTE）ポリシーに挿入します。イニシエータは、SBFDセッションをトリガーし、BFD状態およびクライアントコンテキストを維持します。

リフレクタは、ローカル エンティティへの着信 SBFD 制御パケットをリッスンし、応答 SBFD 制御パケットを生成するネットワーク ノード上の SBFD セッションです。リフレクタはステートレスで、SBFD パケットのみをイニシエータに反映します。

ノードはイニシエータとリフレクタの両方になることができるため、異なる SBFD セッションを設定できます。

S-BFD は SR-TE IPv4 で有効でありサポート対象ですが、IPv6 はサポートされていません。SR-TE の場合、S-BFD 制御パケットは、前方向および逆方向にラベル スイッチされます。S-BFD の場合、テール エンドはリフレクタ ノードです。その他のノードをリフレクタにすることはできません。SR-TE で S-BFD を使用するとき、フォワードとリターンの方向がラベル スイッチド パスである場合は、S-BFD をリフレクタ ノードで設定する必要はありません。

セグメントルーティングでのシームレス BFD の設定方法

セグメント ルーティングのシームレス双方向フォワーディング検出（S-BFD）の設定

S-BFD は、イニシエータとリフレクタの両方のノードで有効にする必要があります。

（注） SR-TE で S-BFD を使用するとき、フォワードとリターンの方向がラベル スイッチド パスである場合は、S-BFD をリフレクタ ノードで設定する必要はありません。

リフレクタ ノードでのシームレス双方向フォワーディング検出（S-BFD）の有効化

リフレクタ ノードで S-BFD を設定するには、このタスクを実行します。

```
sbfd local-discriminator 10.55.55.55
```

イニシエータ ノードでのシームレス双方向フォワーディング検出（S-BFD）の有効化

イニシエータ ノードで S-BFD を設定するには、このタスクを実行します。

```
bfd-template single-hop ABC
 interval min-tx 300 min-rx 300 multiplier 10
```

シームレス双方向フォワーディング（S-BFD）でのセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング トンネルの有効化

```
interface Tunnel56
 ip unnumbered Loopback11
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.55.55.55 */IP address of Reflector node/*
 tunnel mpls traffic-eng path-option 1 dynamic segment-routing
 tunnel mpls traffic-eng bfd sbfd ABC
!
end
```

S-BFD 設定の確認

手順の概要

1. **show mpls traffic-engineering tunnel** *tunnel-name*
2. **show bfd neighbors**

手順の詳細

ステップ 1 **show mpls traffic-engineering tunnel** *tunnel-name*

SR TE の状態と、S-BFD セッションの状態を確認します。

例：

```
Router# sh mpls traffic-eng tunnel tunnel 56

    Name: R1_t56                              (Tunnel56) Destination: 10.55.55.55
      Status:
        Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
        path option 1, (SEGMENT-ROUTING) type dynamic (Basis for Setup, path weight 12)

      Config Parameters:
        Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 7  7   Affinity: 0x0/0xFFFF
        Metric Type: TE (default)
        Path Selection:
         Protection: any (default)
        Path-selection Tiebreaker:
          Global: not set   Tunnel Specific: not set   Effective: min-fill (default)
        Hop Limit: disabled
        Cost Limit: disabled
        Path-invalidation timeout: 10000 msec (default), Action: Tear
        AutoRoute: disabled LockDown: disabled Loadshare: 0 [0] bw-based
        auto-bw: disabled
        Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No

      SBFD configured with template: ABC
        Session type: CURRENT        State: UP       SBFD handle: 0x3
        LSP ID: 1
        Last uptime duration: 3 minutes, 35 seconds
        Last downtime duration: --
          Active Path Option Parameters:
        State: dynamic path option 1 is active
        BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled
      Node Hop Count: 2
          History:
        Tunnel:
          Time since created: 4 minutes, 3 seconds
          Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1
        Current LSP: [ID: 1]
          Uptime: 3 minutes, 36 seconds
      Tun_Instance: 1
      Segment-Routing Path Info (isis  level-2)
        Segment0[Link]: 10.12.12.1 - 10.12.12.2, Label: 48
        Segment1[Link]: 10.25.25.2 - 10.25.25.5, Label: 35 !
```

ステップ 2 **show bfd neighbors**

BFD ネイバーが正しく確立されていることを確認します。

例：

```
Router# show bfd neighbors

    MPLS-TE SR Sessions
    Interface      LSP ID(Type)                  LD/RD         RH/RS     State
    Tunnel56          1 (SR)                  4097/926365495  Up        Up
```

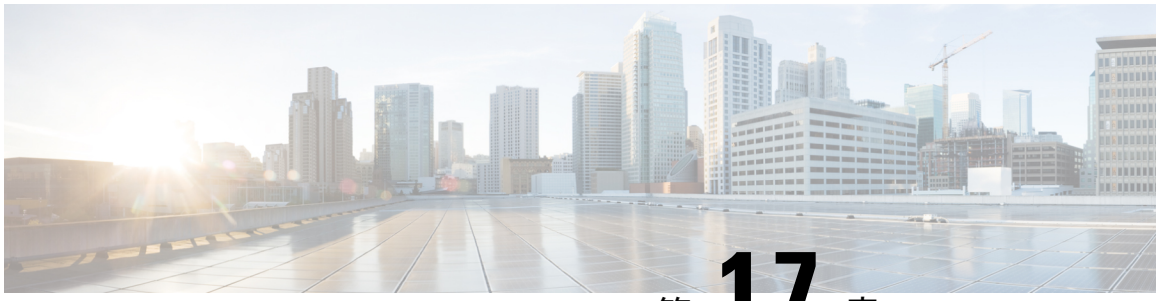
セグメントルーティングでのシームレスBFDに関する追加情報

関連資料

関連項目	マニュアル タイトル
セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの設定	セグメント ルーティング - トラフィック エンジニアリング

表 *15 :* 標準および *RFC*

標準/RFC	タイトル
draft-akiya-bfd-seamless-base-03	シームレス双方向フォワーディング検出（S-BFD）
draft-ietf-isis-segment-routing-extensions-07	セグメント ルーティング対応の IS-IS 拡張
draft-ietf-spring-segment-routing-09	セグメント ルーティング アーキテクチャ
RFC 7880	シームレス双方向フォワーディング検出（S-BFD）
RFC 7881	IPv4、IPv6、および MPLS 用のシームレス双方向フォワーディング検出（S-BFD）



第 17 章

セグメント ルーティングでの SSPF の使用

セグメント ルーティング TE 機能は、厳格な最短パス優先（SPF）の情報サポートを提供します。

セグメント ルーティングでの SSPF に関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *16* : セグメント ルーティング *SSPF* 機能の機能情報

機能名	リリース	機能情報
セグメント ルーティング TE の機能	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	セグメント ルーティング TE 機能は、厳格な最短パス優先（SPF）の情報サポートを提供します。 次のコマンドが導入または変更されました。**address-family ipv4 strict-spf**、**bfd-template single-hop**、**index range**、**sbfd local-discriminator**、**show bfd neighbor**、**show isis segment-routing**、**show mpls forwarding-table**、**show mpls traffic tunnel**、**show mpls traffic-engineering**。

セグメント ルーティングでの SSPF に関する情報

厳格な最短パス優先

セグメント ルーティングは、次の 2 つのアルゴリズムをサポートします。

- アルゴリズム 0：これは、リンク メトリックに基づく最短パス優先（SPF）アルゴリズムです。この最短パスアルゴリズムは、内部ゲートウェイ プロトコル（IGP）によって計算されます。
- アルゴリズム 1：これは、リンク メトリックに基づく厳格な最短パス優先（SSPF）アルゴリズムです。アルゴリズム 1 はアルゴリズム 0 と同じですが、パスに沿ったすべてのノードが SPF ルーティングの決定を遵守することを必要とします。ローカル ポリシーは、転送の決定を変更しません。たとえば、パケットはローカルに設計されたパスを通じて転送されません。

アルゴリズムごとに異なる SID が同じプレフィックスに関連付けられます。

厳格な最短パス優先はデフォルトでサポートされていますが、厳格な SID を、セグメント ルーティングをサポートする各ノードで少なくとも 1 つのノードアドレスに対して設定する必要があります。

厳格な最短パス優先を設定するためのアプローチ

厳格な SFP を設定するには、次の 2 つの方法があります。

- **connect-prefix-sid-map** コマンドを使用する：厳格な SFP はすべてのノードでグローバルに設定されます。ネットワークを厳格な SFP 対応にする（つまり、ISIS で厳格な SPF を入力するため）場合、すべてのノードをローカルの厳格な SFP SID で設定する必要があります。
- セグメント ルーティング マッピング サーバーを使用する：ネットワーク内の 1 つのノードがマッピング サーバーとして設定され、残りのノードはクライアントとして機能します。

セグメント ルーティングでの SSPF の設定方法

厳格な最短パス優先（SPF）の設定

connect-prefix-sid-map コマンドを使用した厳格な最短パス優先の有効化

プロバイダーエッジ デバイスでの最短パス優先の有効化

connect-prefix-sid-map コマンドを使用して厳格な最短パス優先を有効にする場合は、最初にプロバイダーエッジデバイスで、次にノードデバイスで、厳格な最短パス優先（SPF）を設定する必要があります。次に示すのは、プロバイダーエッジデバイスで厳格な最短パス優先を有効にするための設定コード スニペットのサンプルです。

```
segment-routing mpls
connected-prefix-sid-map
  address-family ipv4
   10.10.10.10/32 index 100 range 1
  exit-address-family
  address-family ipv4 strict-spf
   10.10.10.10/32 index 1000 range 1 ------------------configure strict SPF locally
  exit-address-family
```

ノード デバイスでの最短パス優先の有効化

次に示すのは、ネットワーク内のノードで厳格な最短パス優先を有効にするための設定コード スニペットのサンプルで、ネットワーク内のすべてのノードで有効にする必要があります。

```
segment-routing mpls
connected-prefix-sid-map
  address-family ipv4
   10.20.20.20/32 index 110 range 1
  exit-address-family
  address-family ipv4 strict-spf
   10.20.20.20/32 index 1100 range 1
  exit-address-family
```

セグメント ルーティング マッピング サーバーを使用した厳格な最短パス優先の有効化

セグメント ルーティング マッピング サーバーとしてのノードの設定

次に示すのは、ノードをセグメント ルーティング マッピング サーバーとして設定するための設定コード スニペットのサンプルです。

```
segment-routing mpls
mapping-server
  prefix-sid-map
   address-family ipv4
    10.10.10.10/32 index 100 range 1
    10.20.20.20/32 index 110 range 1
    10.30.30.30/32 index 120 range 1
    10.40.40.40/32 index 130 range 1
    10.50.50.50/32 index 140 range 1
```

```
exit-address-family
address-family ipv4 strict-spf
 10.10.10.10/32 index 1000 range 1
 10.20.20.20/32 index 1100 range 1
 10.30.30.30/32 index 1200 range 1
 10.40.40.40/32 index 1300 range 1
 10.50.50.50/32 index 1400 range 1
 10.100.100.100/32 index 2000 range 1
exit-address-family
```

ローカル プレフィックスをアドバタイズおよび受信するようにセグメント ルーティング マッピング サーバーの設定

次に示すのは、ローカルプレフィックスをアドバタイズおよび受信するようにセグメントルーティング マッピング サーバーを設定するための設定コード スニペットのサンプルです。

```
router isis SR
segment-routing mpls
 segment-routing prefix-sid-map advertise-local
 segment-routing prefix-sid-map receive
```

ISIS の SID のアドバタイズの確認

次に示すのは、ISIS が SID をアドバタイズしていることを確認するための設定コード スニペットのサンプルです。

```
Router# show isis segment-routing prefix-sid-map advertise strict-spf
Tag SR:
IS-IS Level-1 advertise prefix-sid maps:
Prefix               SID Index    Range        Flags
10.10.10.10/32       1000         1
10.20.20.20/32       1100         1
10.30.30.30/32       1200         1
10.40.40.40/32       1300         1
10.50.50.50/32       1400         1
10.100.100.100/32    2000         1
Tag SR:
IS-IS Level-2 advertise prefix-sid maps:
Prefix               SID Index    Range        Flags
10.10.10.10/32       1000         1
10.20.20.20/32       1100         1
10.30.30.30/32       1200         1
10.40.40.40/32       1300         1
10.50.50.50/32       1400         1
10.100.100.100/32    2000         1
```

次に示すのは、プロバイダーエッジデバイスが SRMS サーバーから厳格な最短パス優先の SID を受信することを確認するための設定コード スニペットのサンプルです。

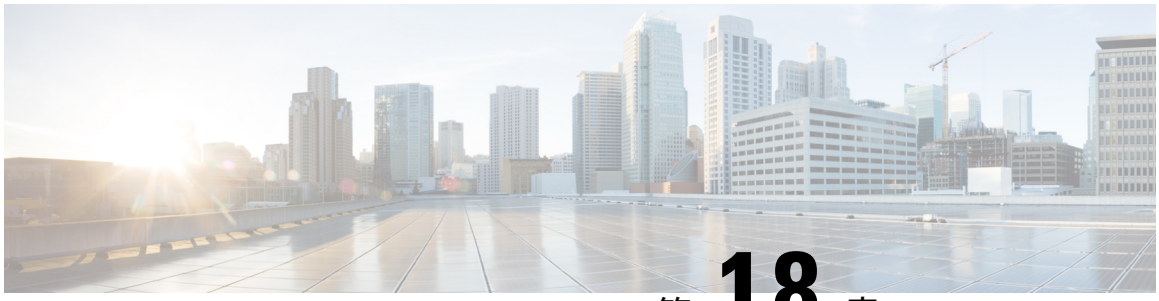
```
Router# show isis segment-routing prefix-sid-map receive strict-spf

Tag SR:
IS-IS Level-1 receive prefix-sid maps:
Host                  Prefix               SID Index    Range        Flags
P1                    10.10.10.10/32       1000         1
                      10.20.20.20/32       1100         1
                      10.30.30.30/32       1200         1
                      10.40.40.40/32       1300         1
                      10.50.50.50/32       1400         1
                      10.100.100.100/32    2000         1
Tag SR:
IS-IS Level-2 receive prefix-sid maps:
Host                  Prefix               SID Index    Range        Flags
```

```
P1                      10.10.10.10/32       1000         1
                        10.20.20.20/32       1100         1
                        10.30.30.30/32       1200         1
                        10.40.40.40/32       1300         1
                        10.50.50.50/32       1400         1
                        10.100.100.100/32    2000         1
```

セグメント ルーティングでの SSPF の追加情報

関連資料

関連項目	マニュアル タイトル
セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリングの設定	セグメント ルーティング - トラフィック エンジニアリング



第 18 章

ダイナミック PCC

ステートフル パス計算要素プロトコル（PCEP）により、ルータはステートフル パス計算要素（PCE）に対して、Resource Reservation Protocol（RSVP）プロトコルまたはセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）のいずれかを使用して確立されたラベル スイッチド パス（LSP）をレポートし、必要に応じて委任することができます。

PCE に委任された LSP は、PCE によって更新でき、ステートフル PCE はパス計算クライアント（PCC）に LSP のパスを計算して提供することができます。

SR-TE および RSVP-TE LSP では、OSPF や ISIS などのリンクステート ルーティング プロトコルによって、トラフィック エンジニアリング トポロジを配布および学習する必要があります。ステートフル PCE では、BGP リンクステート プロトコルを使用してトラフィック エンジニアリング トポロジを学習できます。ネットワーク内のすべてまたは一部の中間ノードで TE の IGP 拡張がサポートされていない場合は、verbatim パス オプションを使用できます。

ダイナミック PCC に関する情報

パス計算要素プロトコル関数

パス計算要素プロトコル（PCEP）セッションは、プロトコル メッセージを使用した PCC と PCE の間の TCP セッションです。PCEP 関数は PCC 関数に基づいて検証されます。構成と検証により、要求が受け入れられ、クライアントからの PCReq メッセージに基づいてパスの計算が提供されることが示されます。パッシブ レポートでは、ルータは PCE に委任するのではなく、トンネルをレポートすることができます。PCEは、トンネルを変更できなくてもトンネルを認識しています。

PCEP 関数は、ルータが制御するトンネルと PCE 委任トンネルの両方ともネットワークにある場合に便利です。PCEは両方のトンネルを認識し、パス計算の正確な決定を行うことができます。

冗長パス計算要素

冗長性のために、冗長 PCE サーバーの展開が必要になる場合があります。PCC は、LSP を委任するためにステートフルな PCE を選択するのに優先順位を使用します。優先順位は 0 から 255 の間の任意の値を取ることができます。デフォルトの優先順位は 255 です。アクティブな PCEP セッションを持つ複数のステートフル PCE がある場合、PCC は最も低い優先順位値を持つ PCE を選択します。プライマリ PCE サーバー セッションがダウンした場合、PCC ルータは次に利用可能な PCE サーバーにすべてのトンネルを再委任します。冗長 PCE の場合は、以下の CLI を使用できます。

```
R2(config)#mpls traffic-eng pcc peer 10.77.77.77 source 10.22.22.22 precedence 255
R2(config)#mpls traffic-eng pcc peer 10.88.88.88  source 10.22.22.22 precedence 100
!
end
```

上記の例では、IP アドレス 10.88.88.88 を持つ PCE サーバーは、優先順位値が低いため、プライマリ PCE サーバーです。

ダイナミック PCC の設定方法

ダイナミック PCC のグローバルな設定

ダイナミック PCC をグローバルに設定するには、次のタスクを実行します

```
enable
configure terminal
mpls traffic-eng tunnels
mpls traffic-eng pcc peer 10.0.0.1    ----□(10.0.0.1 is the PCE server address)
mpls traffic-eng pcc report-all
end
```

（注） **mpls traffic-eng pcc report-all** は、PCE/PCC 基本運用委任トンネルに必須ではありません。ローカルで計算された LSP を PCE サーバーにレポートする必要があります。

インターフェイスでのダイナミック PCC の設定

インターフェイス上でダイナミック PCC を設定するには、次のタスクを実行します

```
interface Tunnel1
 ip unnumbered Loopback0
```

```
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.7.7.7
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng priority 5 5
 tunnel mpls traffic-eng bandwidth 200
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 dynamic pce segment-routing
end
```

Verbatim パス オプションを使用したダイナミック PCC の設定

verbatim パス オプションを使用してダイナミック PCC を有効にするには、SR-TE トンネル インターフェイスの下で次の CLI を使用します。

```
R1#
interface Tunnel2
ip unnumbered Loopback11
tunnel mode mpls traffic-eng
tunnel destination 10.66.66.66
tunnel mpls traffic-eng autoroute destination
tunnel mpls traffic-eng path-option 1 dynamic segment-routing pce verbatim
```

ダイナミック PCC の確認

次に、**show pce client peer detail** コマンドの出力例を示します。

```
Device# show pce client peer detail

PCC's peer database:
--------------------

Peer address: 10.1.1.1
  State up
  Capabilities: Stateful, Update, Segment-Routing
  PCEP has been up for: 23:44:58
  PCEP session ID: local 1, remote: 0
  Sending KA every 30 seconds
  Minimum acceptable KA interval: 20 seconds
  Peer timeout after 120 seconds
  Statistics:
    Keepalive messages: rx    2798 tx    2112
    Request messages:   rx       0 tx      32
    Reply messages:     rx      32 tx       0
    Error messages:     rx       0 tx       0
    Open messages:      rx       1 tx       1
    Report messages:    rx       0 tx      57
    Update messages:    rx      72 tx       0
```

次に、LSP の詳細を表示する **show mpls traffic-eng tunnels tunnel 1** コマンドの出力例を示します。

```
Device# show mpls traffic-eng tunnels tunnel 1

Name: d1_t1                           (Tunnel1) Destination: 10.7.7.7
  Status:
```

```
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 10, (SEGMENT-ROUTING) (PCE) type dynamic (Basis for Setup, path weight
0)

  Config Parameters:
    Bandwidth: 200      kbps (Global)  Priority: 5  5   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: TE (default)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-selection Tiebreaker:
      Global: not set   Tunnel Specific: not set   Effective: min-fill (default)
    Hop Limit: disabled
    Cost Limit: disabled
    Path-invalidation timeout: 10000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 200 [10000000] bw-based
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
    State: dynamic path option 10 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled

  PCEP Info:
    Delegation state: Working: yes   Protect: no
    Current Path Info:
      Request status: processed
      Created via PCRep message from PCE server: 10.1.1.1
    Reported paths:
      Tunnel Name: csr551_t2001
       LSPs:
        LSP[0]:
         source 10.2.2.2, destination 10.7.7.7, tunnel ID 1, LSP ID 5
         State: Admin up, Operation active
         Setup type: SR
         Bandwidth: signaled 0
         LSP object:
           PLSP-ID 0x807D1, flags: D:0 S:0 R:0 A:1 O:2
         Reported path:
           Metric type: TE, Accumulated Metric 0

  History:
    Tunnel:
      Time since created: 34 minutes, 3 seconds
      Time since path change: 1 minutes, 44 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 5
    Current LSP: [ID: 5]
      Uptime: 1 minutes, 44 seconds
    Prior LSP: [ID: 3]
      ID: path option unknown
      Removal Trigger: path verification failed
  Tun_Instance: 5
  Segment-Routing Path Info (isis  level-1)
    Segment0[Node]: 10.3.3.3, Label: 20270
    Segment1[Node]: 10.6.6.6, Label: 20120
    Segment2[Node]: 10.7.7.7, Label: 20210
```

次に、**show pce client lsp detail** コマンドの出力例を示します。

```
Device# show pce client lsp detail

PCC's tunnel database:
----------------------
Tunnel Name: d1_t1
 LSPs:
```

```
  LSP[0]:
   source 10.2.2.2, destination 10.7.7.7, tunnel ID 1, LSP ID 5
   State: Admin up, Operation active
   Setup type: SR
   Bandwidth: signaled 0
   LSP object:
     PLSP-ID 0x807D1, flags: D:0 S:0 R:0 A:1 O:2
   Reported path:
     Metric type: TE, Accumulated Metric 0
```

次に、トンネルの委任を示す **show pce lsp detail** コマンドの出力例を示します。

```
Device# show pce lsp detail

Thu Jul  7 10:24:30.836 EDT

PCE's tunnel database:
----------------------
PCC 10.103.2.1:

Tunnel Name: d1_t1
 LSPs:
  LSP[0]:
   source 10.2.2.2, destination 10.7.7.7, tunnel ID 1, LSP ID 5
   State: Admin up, Operation active
   Binding SID: 0
   PCEP information:
     plsp-id 526289, flags: D:1 S:0 R:0 A:1 O:2
   Reported path:
     Metric type: TE, Accumulated Metric 0
      SID[0]: Node, Label 20270, Address 10.3.3.3
      SID[1]: Node, Label 20120, Address 10.6.6.6
      SID[2]: Node, Label 20210, Address 10.7.7.7
   Computed path:
     Metric type: TE, Accumulated Metric 30
      SID[0]: Node, Label 20270, Address 10.3.3.3
      SID[1]: Node, Label 20120, Address 10.6.6.6
      SID[2]: Node, Label 20210, Address 10.7.7.7
   Recorded path:
     None
```

次に、レポートされたトンネルについての **show pce client lsp detail** コマンドの出力例を示します。

```
Device# show pce client lsp detail

PCC's tunnel database:
----------------------
Tunnel Name: d1_t2
 LSPs:
  LSP[0]:
   source 10.2.2.2, destination 10.7.7.7, tunnel ID 2, LSP ID 1
   State: Admin up, Operation active
   Setup type: SR
   Bandwidth: signaled 0
   LSP object:
     PLSP-ID 0x807D2, flags: D:0 S:0 R:0 A:1 O:2
   Reported path:
     Metric type: TE, Accumulated Metric 30
```

次に、トンネルが委任されていないことを示す **show pce lsp detail** コマンドの出力例を示します。

```
Device# show pce lsp detail

Thu Jul  7 10:29:48.754 EDT

PCE's tunnel database:
----------------------
PCC 10.0.0.1:

Tunnel Name: d1_t2
 LSPs:
  LSP[0]:
   source 10.2.2.2, destination 10.7.7.7, tunnel ID 2, LSP ID 1
   State: Admin up, Operation active
   Binding SID: 0
   PCEP information:
     plsp-id 526290, flags: D:0 S:0 R:0 A:1 O:2
   Reported path:
     Metric type: TE, Accumulated Metric 30
      SID[0]: Adj, Label 74, Address: local 172.16.0.1 remote 172.16.0.2
      SID[1]: Adj, Label 63, Address: local 172.17.0.1 remote 172.17.0.2
      SID[2]: Adj, Label 67, Address: local 172.18.0.1 remote 172.18.0.2
      SID[3]: Node, Label unknownAddress 10.7.7.7
   Computed path:
     None
   Recorded path:
     None
```

ダイナミック PCC を使用した Verbatim パス オプションの確認

verbatimパス オプションを使用して適切な操作を確認するには、次のコマンドを使用します。

```
R1#sh mpl tr tun tun 2
Name: R1_t2                                (Tunnel2) Destination: 10.66.66.66
  Status:
    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected
    path option 1, (SEGMENT-ROUTING) (PCE) type dynamic (verbatim) (Basis for Setup)

  Config Parameters:
    Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 7  7   Affinity: 0x0/0xFFFF
    Metric Type: TE (interface)
    Path Selection:
     Protection: any (default)
    Path-selection Tiebreaker:
      Global: not set   Tunnel Specific: not set   Effective: min-fill (default)
    Hop Limit: disabled [ignore: Verbatim Path Option]
    Cost Limit: disabled
    Path-invalidation timeout: 10000 msec (default), Action: Tear
    AutoRoute: disabled LockDown: disabled Loadshare: 0 [0] bw-based
    AutoRoute destination: enabled
    auto-bw: disabled
    Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
  Active Path Option Parameters:
```

```
    State: dynamic path option 1 is active
    BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: enabled

  PCEP Info:
    Delegation state: Working: yes   Protect: no
    Delegation peer: 10.77.77.77
    Working Path Info:
      Request status: processed
      Created via PCRep message from PCE server: 10.77.77.77
      PCE metric: 4, type: TE
    Reported paths:
      Tunnel Name: Tunnel2_w
       LSPs:
        LSP[0]:
         source 10.11.11.11, destination 10.66.66.66, tunnel ID 2, LSP ID 1
         State: Admin up, Operation active
         Binding SID: 17
         Setup type: SR
         Bandwidth: requested 0, used 0
         LSP object:
           PLSP-ID 0x80002, flags: D:0 S:0 R:0 A:1 O:2
         ERO:
           SID[0]: Adj, Label 24, NAI: local 10.12.12.1 remote 10.12.12.2
           SID[1]: Adj, Label 26, NAI: local 10.25.25.2 remote 10.25.25.5
           SID[2]: Adj, Label 22, NAI: local 10.56.56.5 remote 10.56.56.6

  History:
    Tunnel:
      Time since created: 39 days, 19 hours, 9 minutes
      Time since path change: 1 minutes, 3 seconds
      Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1
    Current LSP: [ID: 1]
      Uptime: 1 minutes, 3 seconds
  Tun_Instance: 1
  Segment-Routing Path Info (IGP information is not used)
    Segment0[Link]: 10.12.12.1 - 10.12.12.2, Label: 24
    Segment1[Link]: 10.25.25.2 - 10.25.25.5, Label: 26
    Segment2[Link]: 10.56.56.5 - 10.56.56.6, Label: 22
!
end
```

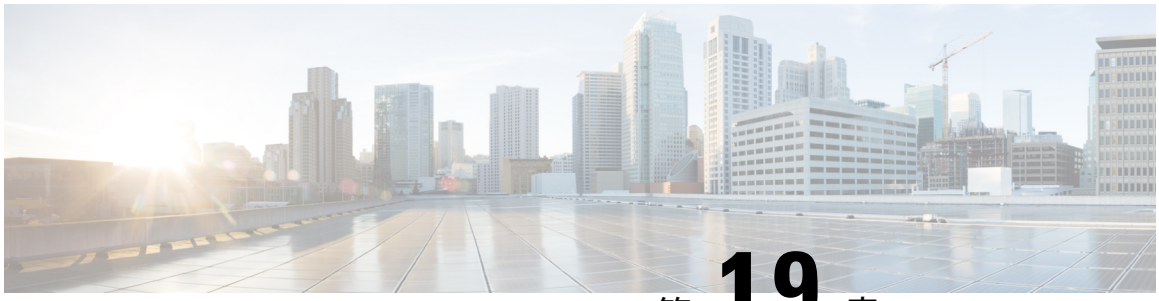
ダイナミック PCC の機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *17:* ダイナミック *PCC* の機能情報

機能名	リリース	機能情報
ダイナミック PCC	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	動的パス計算クライアント（PCC）機能は、パス計算要素（PCE）に委任された LSP をサポートします。ダイナミック PCC は、RSVP-TE と SR-TE の両方をサポートします。 次のコマンドが追加または修正されました。 **show pce client peer detail**、 **show mpls traffic-eng tunnels tunnel 1**、 **show pce client lsp detail**、**show pce lsp detail**。



第 19 章

SR：PCE 開始の LSP

SR：PCE 開始の LSP 機能は、セグメント ルーティング ネットワーク上のステートフル PCE モデルで PCE によって開始される LSP をサポートします。

SR の前提条件：PCE 開始の LSP

- ダイナミック PCC 機能を設定する必要があります。
- 自動トンネルを PCC で有効にする必要があります。

SR の制約事項：PCE 開始の LSP

- SR：PCE 開始 LSP 機能は、基本的な LSP の生成のみをサポートし、TE の属性をサポートしていません。

SR に関する情報：PCE 開始の LSP

パス計算要素プロトコルの概要

draft-ietf-pce-stateful-pce-21 で説明されているステートフル パス計算要素プロトコル（PCEP）により、ルータはステートフル パス計算要素（PCE）に対して、Resource Reservation Protocol（RSVP）プロトコルまたはセグメントルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）のいずれかを使用して確立されたラベル スイッチド パス（LSP）をレポートし、必要に応じて

SR：PCE 開始の LSP

委任することができます。PCE に委任された LSP は、PCE によって更新でき、ステートフル PCE はパス計算クライアント（PCC）に LSP のパスを計算して提供することができます。

ステートフル PCE モデル（draft-ietf-pce-pce-initiated-lsp-11）において PCE 開始 LSP 設定のための PCEP 拡張は、RFC4657 に準拠した PCEP セッション全体で TE LSP のステートフルな制御を可能にするために、PCEP に対する一連の拡張を規定しています。**ステートフル PCE モデルで PCE 開始 LSP 設定のための PCEP 拡張は**、次の情報を提供します。

- PCC での LSP の設定
- PCE への LSP の制御の委任

SR：PCE 開始の LSP

SR：PCE 開始 LSP 機能を使用すると、クライアントは PCE サーバーから LSP を作成、セットアップ、制御、削除することができます。これは PCE 開始メッセージを介して PCC 上で LSP の作成と削除を制御します。PCE 開始 LSP は、LSP を開始した PCE サーバーに自動的に委任されます。PCE クライアントは LSP 開始メッセージを処理します。LSP 開始メッセージを使用することにより、PCE クライアントは LSP を作成または削除することができます。

ルートプロセッサ（RP）でフェールオーバーが発生すると、フェールオーバーによって RP がネットワークから切断されます。接続を再確立するには、PCE サーバーは、クライアント上で PCE 開始 LSP を回収するために LSP 開始メッセージを再送する必要があり、そうしないとクライアントが作成した PCE 開始 LSP が自動的に削除されます。

PCC との PCEP セッションを確立するために **pce** コマンドを使用する必要があります。**force auto-route** コマンドは、自動ルート アナウンス メッセージを介してエリア内で、および自動ルート宛先メッセージを介してエリア間で LSP をアドバタイズするために使用されます。自動ルート アナウンスを使用するかまたは自動ルート宛先を使用するかの決定は、宛先 IP アドレスに応じてデバイスによって実行されます。開始された LSP に対して **force auto-route** コマンドを有効にすると、スタティック ルートを手動で設定してトラフィックをルーティングするのではなく、TE トンネル経由でトラフィックを自動的にルーティングできます。自動ルート アナウンス メッセージは、宛先ルータおよびダウンストリーム ルータによってアナウンスされたルートを、トンネルを介して到達可能なヘッドエンド デバイスのルーティング テーブルにインストールします。

PCC 構成には、各 PCE の IP アドレス（プライマリとスタンバイの両方、またはさらにその他）が含まれます。各 PCE の優先順位を明示的に指定することができます。2 つの PCE の優先順位が同じである場合、小さい IP アドレスを持つ PCE の方が優先順位が高くなります。

単一および冗長 PCE 操作

SR：PCE 開始 LSP 機能は、単一および冗長 PCE 操作をサポートしています。単一 PCE 操作では、PCE が失敗すると、PCC は状態がタイムアウト（60 秒）するまで待ち、LSP を削除します。

冗長 PCE 操作では、タイマーの満了前に Representational state transfer（REST）呼び出しがスタンバイ PCE に対して開始された場合は、開始された LSP が保持され、そうでない場合は LSP が削除されます。

（注） プライマリ PCE が失敗した場合は、スタンバイ PCE に対して REST コールをもう一度開始する必要があり、コールにスタンバイ PCE の IP アドレスが含まれる必要があります。

冗長 PCE 操作では、PCC 構成は LSP のためのプライマリおよびスタンバイ IP アドレスの両方を含み、より低い優先順位の IP アドレスがプライマリ PCE になります。同じ優先順位の場合は IP アドレスが比較されます。

SR の設定方法：PCE 開始の LSP

PCC との PCEP セッションの確立

このタスクを実行して、PCEP セッション PCE サーバー XR ベースの XTC サーバーを設定します。

```
configure terminal
pce
 address ipv4 192.0.2.1
end
```

IP アドレス 192.0.2.1 は、トランスポート コントローラの IP アドレスです。

ネットワークでの LSP のアドバタイジング

```
configure terminal
 mpls traffic-eng pcc peer 192.0.2.1 source 203.0.113.1 force-autoroute
 end
```

上のコード スニペットでは、192.0.2.1 は PCE IP アドレスで、203.0.113.1 は PCEP セッションを確立するための PCC 送信元アドレスです。

PCC に対する PCE の優先順位の指定

```
configure terminal
mpls traffic-eng pcc peer 192.0.2.1 source 203.0.113.1 force autoroute precedence 255
mpls traffic-eng pcc peer 192.0.2.2 source 203.0.113.1 force-autoroute precedence 100
end
```

上記のコード スニペットでは、100 はデフォルトの優先順位である 255 よりも低い優先順位です。したがって、IP アドレス 192.0.2.2 を持つデバイスがプライマリ PCE になり、192.0.2.1 を持つデバイスがスタンバイ PCE になります。

PCE サーバー優先順位の再評価のトリガー

PCE サーバーの優先順位の変更は、PCE サーバーの障害とは見なされません。したがって、優先順位の変更によって、再委託タイムアウトが発生したり、または PCC で PCE サーバーへの LSP 委任の再評価がトリガーされることはありません。

CLI 再構成後の PCE サーバーへの LSP 委任の再評価は、TE 再最適化タイマーによって制御されます。デフォルトでは、TE 再最適化タイマーは 3600 秒に設定されています。

PCE サーバーの優先順位を変更した後、または新しい PCE サーバーを追加した後で、PCC から PCE サーバーへの LSP 委任の再評価を高速化することができます。これを行うには、特権 EXEC モードで次のコマンドを使用して、TE 再最適化を手動でトリガーします。

```
mpls traffic-eng reoptimize
```

LSP 構成の確認

手順の概要

1. **show pce ipv4 peer detail**
2. **show pce lsp detail**
3. **show pce client peer**
4. **show mpls traffic-eng tunnel tunnel** *number*

手順の詳細

ステップ 1 **show pce ipv4 peer detail**

このコマンドを使用して、PCE で PCEP セッションの詳細を確認します。この例では、インスタンス化という用語は、PCE が開始された LSP をサポートすることを示します。

```
Device# show pce ipv4 peer detail


PCE's peer database:

--------------------

Peer address: 10.2.2.2----' PCC IP address

               State: Up

  Capabilities: Stateful, Segment-Routing, Update, Instantiation
```

ステップ 2 **show pce lsp detail**

このコマンドを使用して、PCE で開始された LSP を確認します。

```
Device# show pce lsp detail


PCE's tunnel database:

----------------------

PCC 10.52.2.2 ----' PCC IP address


Tunnel Name: Test1--------' tunnel name set by REST Call

LSPs:

  LSP[0]:

   source 10.52.2.2, destination 10.57.7.7, tunnel ID 2000, LSP ID 1

   State: Admin up, Operation active

   Binding SID: 26

   PCEP information:

     plsp-id 526288, flags: D:1 S:0 R:0 A:1 O:2 C:1

   LSP Role: Single LSP

   State-sync PCE: None

   PCC: 10.52.2.2

   LSP is subdelegated to: None

   Reported path:

     Metric type: TE, Accumulated Metric 2

      SID[0]: Adj, Label 25, Address: local 10.105.3.1 remote 10.105.3.2

      SID[1]: Adj, Label 24, Address: local 10.104.8.2 remote 10.104.8.1

      SID[2]: Adj, Label 38, Address: local 10.107.10.1 remote 10.107.10.2

   Computed path: (Local PCE)

     None
```

```
    Computed Time: Not computed yet

  Recorded path:

    None

  Disjoint Group Information:

    None
```

ステップ 3 **show pce client peer**

このコマンドを使用して、PCC での PCEP セッション出力を確認し、**force-autoroute** コマンドが有効かどうかを確認します。

```
Device# show pce client peer


PCC's peer database:

------------------------------

Peer address: 10.51.1.1, Precedence: 255

  State up

  Capabilities: Stateful, Update, Segment-Routing,Force-autoroute
```

ステップ 4 **show mpls traffic-eng tunnel tunnel** *number*

このコマンドを使用して、PCC で開始された LSP トンネルの出力を確認します。

```
Device# show mpls traffic-eng tunnel tunnel 2000


Name: Test1                               (Tunnel2000) Destination: 10.57.7.7 Ifhandle: 0x11E
(auto-tunnel for pce client)

  Status:

    Admin: up         Oper: up     Path: valid       Signalling: connected

    path option 1, (SEGMENT-ROUTING) (PCE) type dynamic (Basis for Setup)


  Config Parameters:
```

```
  Bandwidth: 0        kbps (Global)  Priority: 7  7   Affinity: 0x0/0xFFFF
  Metric Type: TE (default)
  Path Selection:
   Protection: any (default)
  Path-selection Tiebreaker:
    Global: not set   Tunnel Specific: not set   Effective: min-fill (default)
  Hop Limit: disabled
  Cost Limit: disabled
  Path-invalidation timeout: 10000 msec (default), Action: Tear
  AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 0 [0] bw-based
  auto-bw: disabled
  Fault-OAM: disabled, Wrap-Protection: disabled, Wrap-Capable: No
Active Path Option Parameters:
  State: dynamic path option 1 is active
  BandwidthOverride: disabled  LockDown: disabled  Verbatim: disabled


PCEP Info:
  Delegation state: Working: yes   Protect: no
  Delegation peer: 10.51.1.1
  Working Path Info:
    Request status: delegated
    SRP-ID: 1
    Created via PCInitiate message from PCE server: 10.51.1.1-----' IP address
    PCE metric: 2, type: TE
  Reported paths:
```

```
     Tunnel Name: Test1

      LSPs:

       LSP[0]:

        source 10.52.2.2, destination 10.57.7.7, tunnel ID 2000, LSP ID 1

        State: Admin up, Operation active

       Binding SID: 26

        Setup type: SR

        Bandwidth: requested 0, used 0

        LSP object:

          PLSP-ID 0x807D0, flags: D:0 S:0 R:0 A:1 O:2

        Metric type: TE, Accumulated Metric 2

        ERO:

          SID[0]: Adj, Label 25, NAI: local 10.105.3.1 remote 10.105.3.2

          SID[1]: Adj, Label 24, NAI: local 10.104.8.2 remote 10.104.8.1

          SID[2]: Adj, Label 38, NAI: local 10.107.10.1 remote 10.107.10.2

      PLSP Event History (most recent first):

        Mon Jul 17 08:55:04.448: PCRpt update LSP-ID:1, SRP-ID:1, PST:1, METRIC_TYPE:2, REQ_BW:0,
USED_BW:0

        Mon Jul 17 08:55:04.436: PCRpt create LSP-ID:1, SRP-ID:1, PST:1, METRIC_TYPE:2, REQ_BW:0,
USED_BW:0

 History:

   Tunnel:

     Time since created: 2 hours, 42 minutes

     Time since path change: 2 hours, 42 minutes

     Number of LSP IDs (Tun_Instances) used: 1

   Current LSP: [ID: 1]
```

```
    Uptime: 2 hours, 42 minutes

Tun_Instance: 1

Segment-Routing Path Info (isis  level-2)

  Segment0[Link]: 10.105.3.1 - 10.105.3.2, Label: 25

  Segment1[Link]: 10.104.8.2 - 10.104.8.1, Label: 24

  Segment2[Link]: 10.107.10.1 - 10.107.10.2, Label: 38
```

SR の追加情報：PCE 開始の LSP

標準および RFC

標準/RFC	タイトル
draft-ietf-pce-pce-initiated-lsp-11	ステートフル *PCE* モデルでの *PCE* 開始 *LSP* 設定の *PCEP* 拡張機能
RFC 5440	パス計算要素（*PCE*）通信プロトコル（*PCEP*）
RFC 8231	パス計算要素（*PCE*）通信プロトコルの一般要件

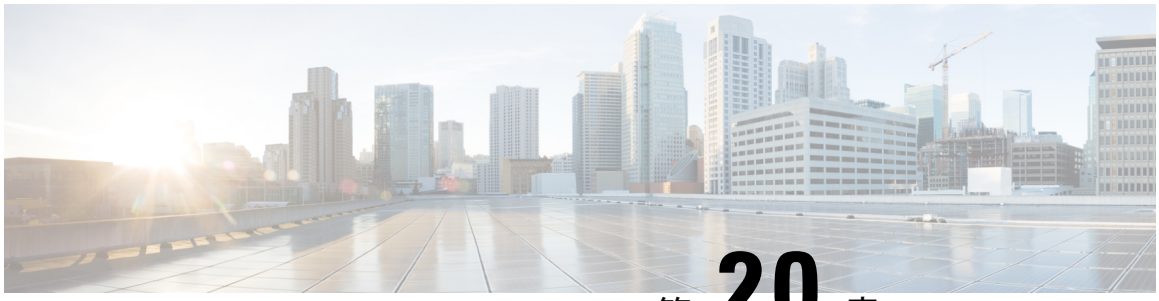
SR の機能情報：PCE 開始の LSP

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェアリリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *18 : SR* の機能情報：*PCE* 開始の *LSP*

機能名	リリース	機能情報
SR：PCE 開始の LSP	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	SR：PCE 開始 LSP は、セグメント ルーティング ネットワーク上のステートフル PCE モデルで PCE によって開始される LSP をサポートします。 次のコマンドが導入または変更されました。**mpls traffic-eng pcc**、**pce**、**show mpls traffic-eng tunnel**、**show pce client peer**、**show pce ipv4 peer**、**show pce lsp**



第 20 章

ISIS - SR：uLoop 回避

ISIS - SR：uLoop 回避機能により、ISIS ローカル マイクロループ保護機能が拡張され、リンクダウン イベントまたはリンクアップ イベント後のネットワーク コンバージェンス時にマイクロループが発生するのを防ぐことができます。

ISIS - SR の前提条件：uLoop 回避

- ISIS - SR：uLoop 回避機能はデフォルトで無効になっています。トポロジに依存しないループフリー代替（TI-LFA）機能が設定されている場合、この機能は自動的に有効になります。詳細については、IS-IS モジュールでのセグメント ルーティングの使用の「トポロジに依存しない LFA」のセクションを参照してください。

ISIS - SR の制約事項：uLoop 回避

- ISIS - SR：uLoop 回避機能は LAN ネットワークで同じサブネットの 2 ノードをサポートします。

ISIS - SR に関する情報：uLoop 回避

マイクロループ

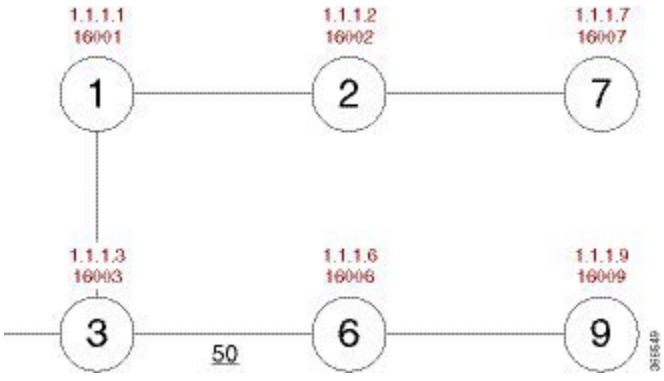
リンクまたはネットワーク デバイスで発生した障害や復旧のためにネットワーク トポロジに変更が生じると、IP Fast Reroute によって迅速なネットワーク コンバージェンスが行われます。このとき、定期的なコンバージェンス機能によってトラフィックが新しく計算されたベストパス（別名、ポスト コンバージェンス パス）へ移動されるまで、事前に計算されていたバックアップ パスにトラフィックが移動されます。このネットワーク コンバージェンスにより、トポロジ内で直接または間接的に接続された2台のデバイス間で、マイクロループが短期間発生する可能性があります。マイクロループは、ネットワーク内の異なるノードが異なるタイミングで互いに別々に代替パスを計算したときに発生します。たとえば、あるノードがコンバージェンスを実行し、ネイバー ノードにトラフィックを送信したときに、そのネイバー ノードでまだコンバージョンが完了していないと、その2つのノードでトラフィックがループする可能性があります。

マイクロループによってトラフィックが損失する場合も、損失しない場合もあります。マイクロループが発生している期間が短ければ、つまりネットワークのコンバージェンスが迅速に行われれば、存続可能時間（TTL）が期限切れになるまでの短い期間、パケットがループする可能性があります。最終的には、パケットは宛先に転送されます。マイクロループの期間が長くなる、つまりネットワーク内のいずれかのルータでコンバージェンスに時間がかかっていると、パケットで TTL が期限切れになったり、パケット レートが帯域幅を超過したり、パケットの順番が狂ったり、パケットがドロップされたりする場合があります。

障害が発生したデバイスとそのネイバーとの間で形成されたマイクロループはローカル ユーループと呼ばれます。また複数ホップ離れたデバイスとの間で形成されるマイクロループはリモート ユーループと呼ばれます。ローカル ユーループは、通常はローカルのループフリー代替（LFA）パスが使用できないネットワークで見られます。このようなネットワークでは、リモート LFA によってネットワークのバックアップ パスが提供されます。

上で説明した情報は、次の図に示すようにトポロジ例を参考にして示すことができます。

図 *20 :* マイクロループのトポロジの例



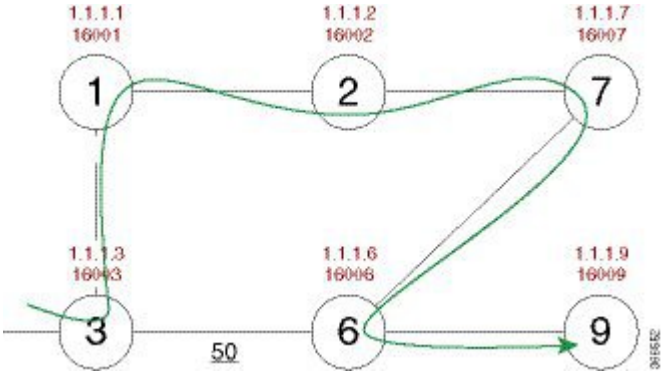
この例の前提条件は次のとおりです。

- デフォルトのメトリックは、メトリックが 50 であるノード 3 とノード 6 間のリンクを除き、各リンクごとに 10 です。各ノードでの SPF バックオフ遅延の収束順序は次のとおりです。
  - ノード 3：50 ミリ秒
  - ノード 1：500 ミリ秒
  - ノード 2：1 秒
  - ノード 2：1.5 秒

ノード 3 からノード 9（宛先）に送信されたパケットは、ノード 6 経由で通過します。

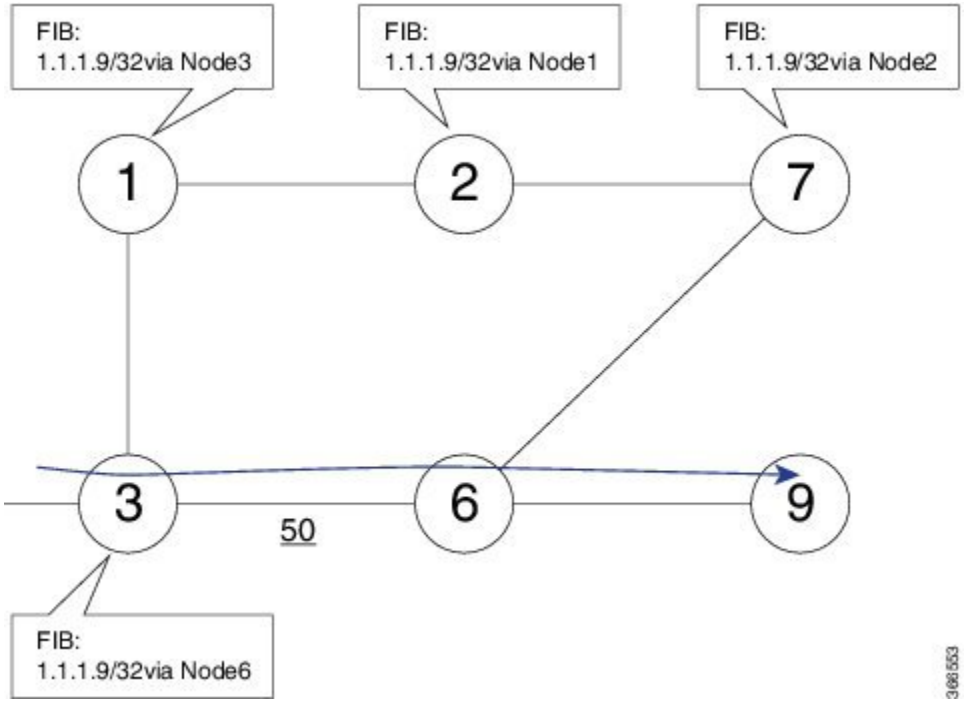
ノード 6 とノード 7 の間でリンクが確立されている場合、パケットが宛先であるノード 9 に到達する前のノード 3 からノード 9 へのパケットの最短パスは、ノード 1、ノード 2、ノード 7、およびノード 6 になります。

図 *21* : マイクロループのトポロジの例：最短パス



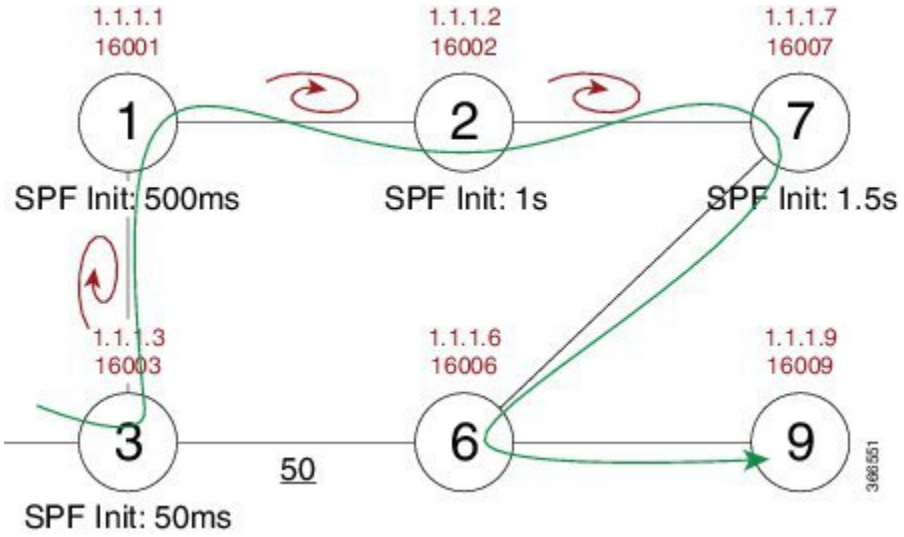
次の図は、ノード 6 とノード 7 間のリンクが確立される前の各ノードの転送情報ベース（FIB）テーブルを示しています。FIB エントリには、宛先ノード（ノード 9）のプレフィックスとネクスト ホップが含まれます。

図 *22 :* マイクロループのトポロジの例：*FIB* エントリ



ノード6とノード7間のリンクがアップすると、各ノードのコンバージェンスの順序に基づいて、マイクロループがリンクに対して発生します。この例では、ノード3は最初にノード1で収束し、その結果ノード3とノード1の間にマイクロループが発生します。その後、ノード1が次に収束し、その結果ノード1とノード2の間にマイクロループが発生します。次に、ノード2が次に収束し、その結果ノード2とノード7の間にマイクロループが発生します。最後に、次の図に示すように、ノード7はマイクロループの解決を収束し、パケットが宛先ノード9に到達します。

図 *23 :* マイクロループのトポロジの例：マイクロループ



SPF コンバージェンス遅延を追加すると、マイクロループは 1.5 秒間（ノード 7 に指定されたコンバージェンス期間）接続を失うことになります。

セグメント ルーティングとマイクロループ

ISIS - SR：uLoop 回避機能は次のシナリオをサポートします。

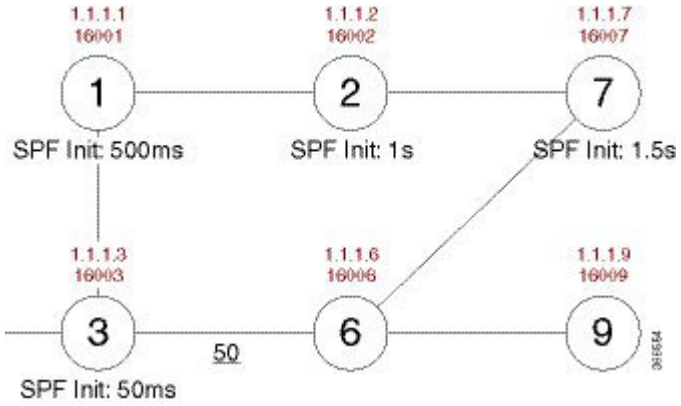
- ポイントツーポイント リンクのリンクアップまたはリンクダウンと 2 つのノードを持つ LAN セグメント
- オーバーロード ビットが設定または設定解除されているためにノードがアップまたはダウンした場合のリンク コストの減少または増加

マイクロループを防ぐために、ノードで **microloop avoidance segment-routing** コマンドを有効にする必要があります。

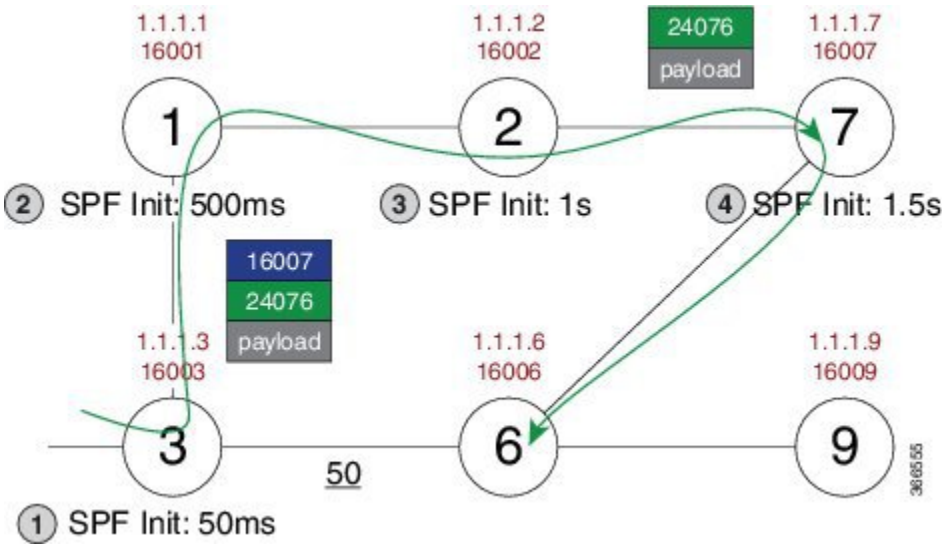
セグメント ルーティングがマイクロループを防ぐ仕組み

このセクションでは、マイクロループの説明に使用した例を使用して、セグメント ルーティングがマイクロループを防ぐ方法について説明します。この例のノード 3 は、**microloop avoidance segment-routing** コマンドで有効になっています。ノード 6 とノード 7 間のリンクがアップした後、ノード 3 はネットワーク上の新しいマイクロループを計算します。

図 *24 :* マイクロループのトポロジの例：セグメント ルーティング



FIB テーブルを更新する代わりに、ノード 3 は、ノード 7 のプレフィックス セグメント ID（SID）である 16007 を含むセグメント ID のリストと、ノード 6 の隣接関係セグメント ID（SID）である 24076 を使用して、宛先（ノード 9）のダイナミック ループフリー代替（LFA）SR TE ポリシーを構築します。



したがって、SR TE ポリシーにより、ノード 3 からのパケットが宛先ノード 9 に到達することが可能になり、ネットワークが収束するまでマイクロループのリスクがなくなります。最後に、ノード 3 は新しいパスの FIB を更新します。

microloop avoidance segment-routing コマンドで protected キーワードを使用すると、保護するプレフィックスに対してのみマイクロループ回避が有効化されます。**microloop avoidance rib-update-delay** *milliseconds* コマンドを使用して、ノードのフォワーディング テーブルを更新する前にノードが待機する遅延時間をミリ秒単位で設定し、マイクロループ回避ポリシーの使用を停止することができます。RIB 遅延のデフォルト値は 5000 ミリ秒です。

ISIS - SR を有効にする方法：uLoop 回避

マイクロループ回避の有効化

マイクロループ回避を有効にするための構成コード スニペットの例を次に示します。

```
router isis
 fast-reroute per-prefix level-2 all
 microloop avoidance segment-routing
 microloop avoidance rib-update-delay 3000
```

マイクロループ回避の確認

修復パスが存在するかどうかを確認するには、**show isis rib** および **show ip route**コマンドを使用します。

```
Router# show isis rib 10.20.20.0 255.255.255.0

IPv4 local RIB for IS-IS process sr

IPV4 unicast topology base (TID 0, TOPOID 0x0) ==================
Repair path attributes:
```

```
 DS - Downstream, LC - Linecard-Disjoint, NP - Node-Protecting
 PP - Primary-Path, SR - SRLG-Disjoint


10.20.20.0/24 prefix attr X:0 R:0 N:0 prefix SID index 2 - Bound (ULOOP EP)
 [115/L2/130] via 10.77.77.77(MPLS-SR-Tunnel5), from 10.44.44.44, tag 0,
LSP[2/5/29]
 prefix attr: X:0 R:0 N:0
 SRGB: 16000, range: 8000 prefix-SID index: None
 (ULOOP_EP)(installed)
 - - - - - -
 [115/L2/130] via 10.16.16.6(Ethernet2/0), from 10.44.44.44, tag 0, LSP[2/5/29]
 prefix attr: X:0 R:0 N:0
 SRGB: 16000, range: 8000 prefix-SID index: None
 (ALT)
Router# show ip route 10.20.20.0

Routing entry for 10.20.20.0/24
 Known via "isis", distance 115, metric 130, type level-2
 Redistributing via isis sr
 Last update from 10.77.77.77 on MPLS-SR-Tunnel5, 00:00:43 ago
 SR Incoming Label: 16002 via SRMS
 Routing Descriptor Blocks:
 * 10.77.77.77, from 10.44.44.44, 00:00:43 ago, via MPLS-SR-Tunnel5,
 * prefer-non-rib-labels, merge-labels
 Route metric is 130, traffic share count is 1
 MPLS label: 16002
 MPLS Flags: NSF
```

ISIS - SR の追加情報：uLoop 回避

関連資料

関連項目	マニュアル タイトル
「Segment Routing and IS-IS」	『*Using Segment Routing with IS-IS*』
IS-IS の概念の概要	『"IS-IS Overview and Basic Configuration" module in the *IP Routing: ISIS Configuration Guide*』
ISIS でのローカル マイクロループからの保護	『"ISIS Local Microloop Protection" module in the *IP Routing: ISIS Configuration Guide*』

標準/RFC

標準/RFC	タイトル
draft-francois-rtgwg-segment-routing-uloop-00	*Loop avoidance using Segment Routing*

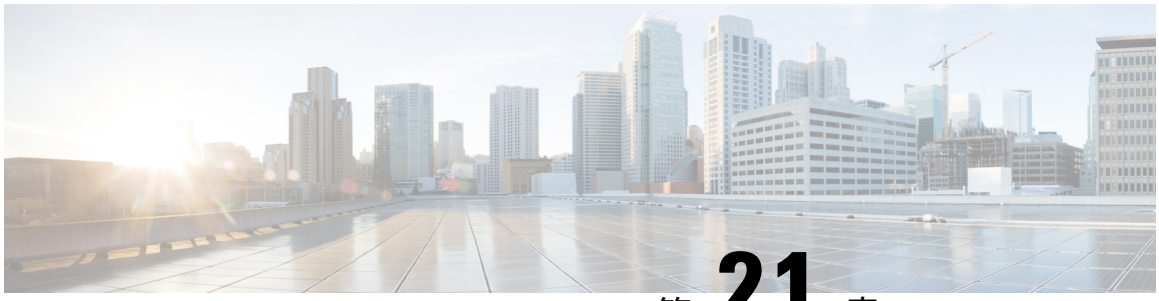
ISIS - SR の機能情報：uLoop 回避

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *19 : ISIS - SR* の機能情報：*uLoop* 回避

機能名	リリース	機能情報
ISIS - SR：uLoop 回避	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	ISIS - SR：uLoop 回避機能により、ISIS ローカル マイクロループ保護機能が拡張され、リンクダウン イベントまたはリンクアップ イベント後のネットワーク コンバージェンス時にマイクロループが発生するのを防ぐことができます。 次のコマンドが導入または変更されました。**microloop avoidance**、**microloop avoidance rib-update-delay**、**show mpls traffic tunnel**。



第 21 章

BGP-SR：BGP プレフィックス SID の再配布

BGP - SR：BGP プレフィックス SID 再配布機能は、セグメント ルーティング — BGP ネットワークにおいて IPv4 プレフィックスで BGP プレフィックス SID をサポートします。

BGP - SR の前提条件：BGP プレフィックス SID の再配布

- マルチプロトコル ラベル スイッチング（MPLS）が設定されている必要があります。

BGP - SR に関する情報：BGP プレフィックス SID の再配布

セグメント ルーティングと BGP

セグメント ルーティングでは、マルチプロトコル ラベル スイッチング（MPLS）ラベルを使用して、ネットワーク内のパケットをガイドするパスを作成します。セグメントルーティングを使用すると、MPLS ラベル範囲はMPLS転送インフラストラクチャ（MFI）で予約されます。このラベル範囲は、セグメント ルーティング グローバル ブロック（SRGB）と呼ばれます。プレフィックスに割り当てられたプレフィックス SID は、SRGB の拡張機能です。

セグメント ルーティングをサポートするためには、Border Gateway Protocol（BGP）が BGP プレフィックスのセグメントID（SID）をアドバタイズできなければなりません。BGPプレフィックス SID は、BGP ネットワークを使用したセグメント ルーティングにおける BGP プレフィッ

クス セグメントのセグメント識別子です。また BGP プレフィックス SID は、BGP によって計算された ECMP 対応のベストパス上のパケットを関連するプレフィックスに転送する命令でもあります。BGP ノードがネットワーク内のネイバーノードと通信するとき、BGP アップデート（ネイバーノードに送信されるメッセージ）には、ラベル付きユニキャスト NLRI のプレフィックス SID ラベルと、プレフィックス SID 属性と呼ばれる新しい属性のプレフィックス SID インデックスが含まれます。

トラフィック エンジニアリングの転送パスをサポートするには、転送パスが最適パスと異なっていることが必要な場合があります。したがって、各 BGP ノードはネイバーにローカル ラベルを割り当て、BGP -- リンク ステート アップデートによってローカルラベルを隣接関係 SID としてアドバタイズします。

BGP - SR：BGP プレフィックス SID 再配布機能は、セグメント ルーティング MPLS コンフィギュレーション モードで **connected-prefix-sid-map** コマンドを使用して有効にすることができます。さらに、各アドレス ファミリに対してルータ コンフィギュレーション モードでも **segment-routing mpls** コマンドを有効にする必要があります。

（注） Cisco IOS XE Everest 16.6.1 では、IPv4 プレフィックスのみサポートされています。

ローカル ソース ルートのセグメント ルーティング

ローカル ノードで設定されたインターフェイス ホスト ルートは、ローカル ソース ルートとして知られています。セグメント ルーティングが有効になっている場合、BGP ノードは、プレフィックス SID ラベルおよびプレフィックス SID 属性として明示的または暗黙的 null を含み、プレフィックスをネイバー ノードにアドバタイズします。

ネイバーに明示的 null が設定されていない場合、MPLS 暗黙的 Null ラベル（3）がネイバー ノードにアドバタイズされます。ネイバーに明示的 null が設定されている場合、プレフィックスのアドレス ファミリに対応する MPLS 明示的 Null ラベルがネイバー ノードにアドバタイズされます（IPv4 の場合は 0）。

受信したプレフィックスのセグメント ルーティング

通信を介してネイバー ノードからプレフィックス SID 属性を受信する BGP ノードは、ルートが RIB に追加されたときに、プレフィックスとして発信ラベルにラベルを追加します。ローカル ラベルおよびプレフィックス SID インデックスは RIB に含まれます。

再配布ルートのセグメント ルーティング

BGP ノード上のソース プロトコルは、受信したプレフィックス SID インデックスおよびローカル ノードで使用可能な SRGB に応じて、ローカル ラベルを割り当てます。ソース プロトコルは、プレフィックス SID インデックスと派生したローカル ラベルを RIB に提供します。BGP は、ネイバー ノードに送信されるラベル付きユニキャスト更新のラベルとして RIB からのローカル ラベルを使用します。

BGP--MFI インタラクション

BGP はクライアントとして MFI に登録し、プレフィックスのローカル ラベル（これを使用してトラフィックが到着することが予期される）としてSIDインデックスおよびSRGBから派生したラベルをバインドします。

BGP - SR を有効にする方法：BGP プレフィックス SID の再配布

BGP-Prefix-SID の有効化

```
segment-routing mpls
 connected-prefix-sid-map */--------> Configures Prefix to SIDIndex Map that can be
queried by BGP/IGP /*
 address-family ipv4
 10.0.0.1/255.0.0.0 index 10 range 10.11.0.1
```

セグメント ルーティング用の BGP の有効化

```
router bgp 2
 address-family-ipv4
  segment-routing mpls
```

BGP - SR の確認：BGP プレフィックス SID の再配布

このセクションでは、ネットワーク例の助けを借りて、BGP - SR：BGP プレフィックス SID 再配布機能を確認する方法を示します。セグメント ルーティングを使用して設定されているデバイスは、ボーダー ゲートウェイ プロトコル（BGP）を使用して設定されている 2 つのデバイスに接続されます。各デバイスで、**show segment-routing mpls** コマンドを使用して設定を表示します。

次に、セグメント ルーティングを使用して設定されているデバイスの構成を示します。

```
segment-routing mpls
global-block 10000 13000
!
connected-prefix-sid-map
  address-family ipv4
   10.12.1.1/32 index 3 range 1
  exit-address-family
!
  segment-routing mpls


interface Loopback0
ip address 10.12.1.1 255.255.255.255

router bgp 1
neighbor 10.1.1.2 remote-as 2
!
```

```
address-family ipv4
  redistribute connected
  segment-routing mpls
  neighbor 10.1.1.2 activate
  neighbor 10.1.1.2 send-label
exit-address-family
```

次に、BGP を使用して設定されている最初のデバイスの設定を示します。

```
segment-routing mpls

router bgp 2
neighbor 10.1.1.1 remote-as 1
neighbor 10.11.1.2 remote-as 3
!
address-family ipv4
  redistribute connected
  neighbor 10.1.1.1 activate
  neighbor 10.1.1.1 send-label
  neighbor 10.11.1.2 activate
  neighbor 10.11.1.2 send-label
exit-address-family
```

次に、BGP を使用して設定されている 2 台目のデバイスの設定を示します。

```
segment-routing mpls

router bgp 3
neighbor 10.11.1.1 remote-as 2
!
address-family ipv4
  redistribute connected
  neighbor 10.11.1.1 activate
  neighbor 10.11.1.1 send-label
exit-address-family
```

BGP - SR の追加情報：BGP プレフィックス SID の再配布

関連資料

標準および RFC

標準/RFC	タイトル
RFC3107	『*Carrying Label Information in BGP-4*』

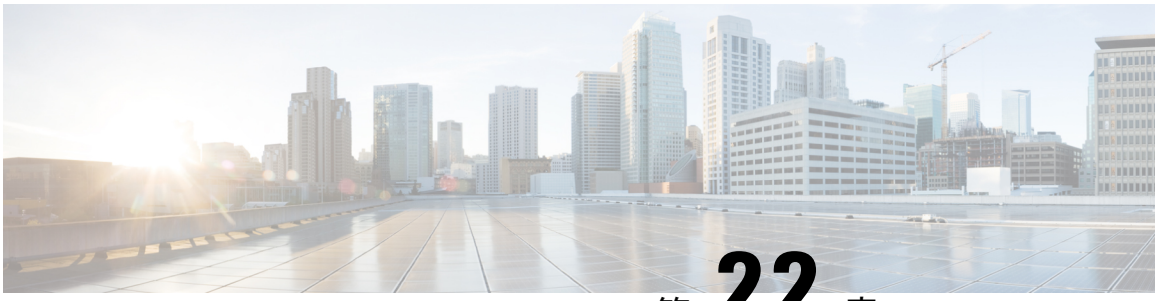
BGP - SR の機能情報：BGP プレフィックス SID の再配布

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *20 : BGP - SR* の機能情報：*BGP* プレフィックス *SID* の再配布

機能名	リリース	機能情報
BGP-SR：BGP プレフィックス SID の再配布	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	BGP - SR：BGP プレフィックス SID 再配布機能は、セグメント ルーティング — BGP ネットワークにおいて IPv4 プレフィックスで BGP プレフィックス SID をサポートします。 次のコマンドが導入または変更されました。**connected-prefix-sid-map**、**segment-routing**。



第 22 章

IS-IS および OSPF によって最大 SID 深度を BGP-LS にアドバタイズする

セグメントルーティング（SR）が有効になっているネットワークでは、SR トンネルをプログラムする集中型コントローラが、適切な深度の SID スタックをプッシュするために、ノードのヘッドエンドでサポートされる最大セグメント識別子（SID）の深度（MSD）および/またはリンクの細分性を認識する必要があります。MSD は、SR トンネルまたはバインディング SID アンカーノードのヘッドエンドに関連していて、バインディング SID の拡張によって新しい SID スタックが作成される可能性があります。

IS-IS および OSPF による最大 SID 深度の BGP-LS へのアドバタイズに関する制約事項

- IOS-XE ではライン カードがないため、リンク MSD はアドバタイズされません。

IS-IS および OSPF による最大 SID 深度の BGP-LS へのアドバタイズに関する情報

（注） この機能は、デフォルトで有効に設定されています。この機能を有効にするために固有の設定は不要です。

最大 SID 深度

次の方法により、IGP を使用して、ノードの MSD または集中型コントローラへのリンクをシグナリングすることができます。

- ノード - MSD をそのピアにアドバタイズする。
- MSD 情報を BGP-LS に提供する。

パス計算要素プロトコル（PCEP）SR 拡張は、SR PCE 能力 TLV の MSD およびメトリック オブジェクトをシグナリングします。ただし、PCEP が SR トンネルのヘッドエンドでサポート/設定されていないか、またはバインディング SID アンカー ノードとコントローラが IGP ルーティングに参加しない場合、ノードの MSD を学習する方法はありません。BGP-LS は、トポロジならびにそのトポロジ内のノードの関連する属性および機能を、集中型コントローラに公開する方法を定義します。通常、BGP-LS は、必ずしもヘッドエンドとして機能するとは限らない少数のノードで設定されます。ネットワーク内のすべての SR 対応ノードについて BGP-LS から MSD をシグナリングするために、MSD 機能をネットワーク内のすべての IGP ルータによってアドバタイズする必要があります。

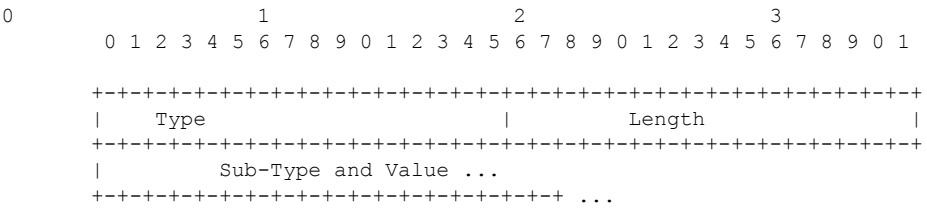
判読可能なラベル深度機能（RLDC）は、適切な深度でエントロピーラベル（EL）を挿入するためにヘッドエンドによって使用され、このためトランジット ノードで読むことができます。MSD は逆に、特定の深度の SID のスタックをプッシュするために機能を通知します。

タイプ 1 の MSD（IANA レジストリ）は、ノードがパス計算要素/コントローラによって使用されるように課すことができる SID の数を通知するために使用されます。これは、計算の結果として作成されたスタックの一部にのみ関係します。MSD は、サービス ラベルの数に関係なく、ノードが課すことができるラベルの合計数をアドバタイズします。

ノードの最大 SID 深度のアドバタイズメント

ノード MSD TLV と呼ばれる本文内の新しいタイプ/長さ/値（TLV）は、ルータ情報（RI）リンク状態アドバタイズメント（LSA）を発信するルータのプロビジョニングされた SID 深度を伝送するために定義されます。ノード MSD は、ノードがサポートする最も低い MSD です。

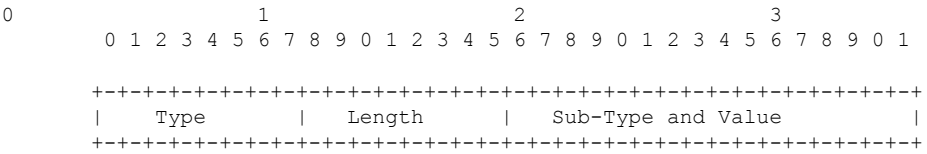
OSPF のノードの最大 SID 深度のアドバタイズメント



この TLV のタイプ（2 バイト）は 12 です（これは IANA によって割り当てられることが推奨されている値です）。長さは可変（最小 2、2 オクテットの倍数）であり、値フィールドの合計長を表します。値フィールドは 1 オクテットのサブタイプ（IANA レジストリ）と 1 オクテット値で構成されます。

サブタイプ 1、MSD、および値フィールドには、RI LSA を発信するデバイスの最大 MSD が含まれます。ノードの最大 MSD は、0 ～ 254 の範囲内です。0 は、任意の深度の MSD をプッシュする能力がないことを表します。その他の値は、ノードのその能力を表します。この値は、ノードによってサポートされる最小値を表す必要があります。

IS-IS のノードの最大 SID 深度のアドバタイズメント



ノード MSD は、TLV 242 のサブ TLV です。このサブ TLV のタイプは 23 です。長さは可変です（最小値は 2、2 オクテットの倍数）。

サブタイプ 1、MSD、および値フィールドには、RI LSA を発信するデバイスの最大 MSD が含まれます。ノードの最大 MSD は、0 ～ 254 の範囲内です。0 は、任意の深度の MSD をプッシュする能力がないことを表します。その他の値は、ノードのその能力を表します。この値は、ノードによってサポートされる最小値を表す必要があります。

ハードウェアからのノード MSD の取得

IS-IS および OSPF は、基盤となるハードウェアからのノードの最大 SID 深度について更新されます。IS-IS と OSPF はこれに基づいて、その TLV の値を更新します。

BGP LS への MSD のアドバタイジング

lGP は LSLIB に情報を送信して、MSD 情報を BGP-LS で使用できるようにします。これはノード MSD 情報またはリンク MSD 情報の可能性があります。また、MSD を動作させるためには、IS-IS で **distribute linkstate** を設定する必要があります。配布リンクの状態を設定するには、次の手順を実行します。

```
Device# configure terminal
```

```
Device(config)# router isis
Device(config-router)# distribute link-state
```

IS-IS および OSPF による最大 SID 深度の BGP-LS へのアドバタイズの確認

IS-IS を使用した最大 SID 深度のアドバタイズの確認

次の show コマンドはノード MSD TLV を確認するのに使用されます。

```
Device# show isis database verbose
Router CAP:   10.10.10.1, D:0, S:0
    Segment Routing: I:1 V:0, SRGB Base: 16000 Range: 8000
       Segment Routing Algorithms: SPF, Strict-SPF
      Router CAP:   10.2.2.2, D:0, S:0
    Segment Routing: I:1 V:0, SRGB Base: 16000 Range: 8000
    Segment Routing Algorithms: SPF, Strict-SPF
    Node-MSD
      MSD: 16
```

OSPF を使用した最大 SID 深度のアドバタイズの確認

次の show コマンドはノード MSD TLV を確認するのに使用されます。

```
Device# show ip ospf database opaque-area type router-information
TLV Type: Segment Routing Node MSD
   Length: 2
     Sub-type: Node Max Sid Depth, Value: 16
```

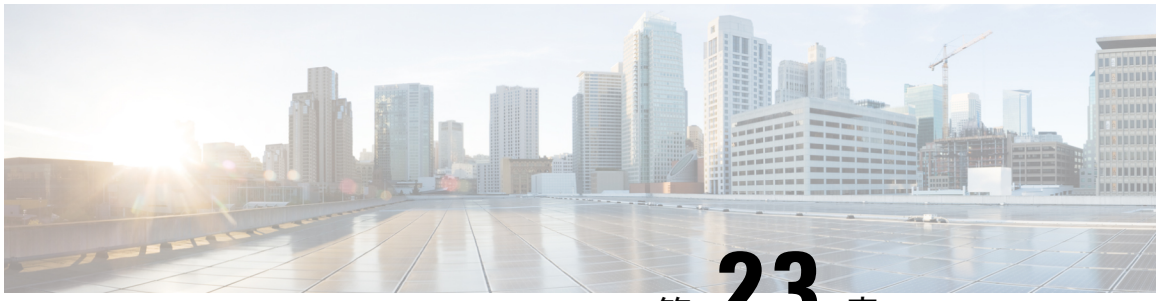
IS-IS および OSPF による最大 SID 深度の BGP-LS へのアドバタイズに関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *21 : IS-IS* および *OSPF* による最大 *SID* 深度の *BGP-LS* へのアドバタイズに関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
IS-IS および OSPF によって最大 SID 深度を BGP-LS にアドバタイズする	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	セグメント ルーティング（SR）が有効になっているネットワークでは、SR トンネルをプログラムする集中型コントローラが、適切な深度の SID スタックをプッシュするために、ノードのヘッドエンドでサポートされる最大セグメント識別子（SID）の深度（MSD）および/またはリンクの細分性を認識する必要があります。MSD は、SR トンネルまたはバインディング SID アンカー ノードのヘッドエンドに関連していて、バインディング SID の拡張によって新しい SID スタックが作成される可能性があります。 この機能により、次のコマンドが導入または変更されました。**distribute link-state**、**show isis database verbose**、**show ip ospf database opaque-area type router-information**



第 23 章

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング AutoTunnel を使用した RSVP-TE の保護

このドキュメントでは、バックアップ セグメントルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）自動トンネルを使用した、ネクストホップ（NHOP）保護とも呼ばれるリンク保護のサポートについて説明します。これはRSVP トラフィック エンジニアリング（RSVP-TE）トンネルが通過するリンクを保護します。

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング AutoTunnel を使用した RSVP-TE の保護に関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだ

けを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *22*:セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング *AutoTunnel* を使用した *RSVP-TE* の保護に関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング AutoTunnel を使用した RSVP-TE の保護	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	この機能は、バックアップ セグメントルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）自動トンネルを使用した、ネクストホップ（NHOP）保護とも呼ばれるリンク保護をサポートします。これは RSVP トラフィック エンジニアリング（RSVP-TE）トンネルが通過するリンクを保護します。 この機能により、次のコマンドが導入されました。**ip explicit-path name path1 enable**、**show mpls traffic-eng tunnels tunnel 65436**、**show ip explicit-paths**、**show mpls traffic-eng tunnels tunnel 65436 | show Segment-Routing Path Info**、**show mpls traffic-eng fast-reroute database**、**show ip rsvp fast-reroute sh mpls traffic-eng auto-tunnel backup**。

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング AutoTunnel を使用した RSVP-TE の保護に関する前提条件

SR-TEバックアップ自動トンネルを有効にする前に、セットアップで次のテクノロジーが構成されていることを確認してください。

- IS-IS ネットワーク ポイント ツー ポイント インターフェイス
- セグメント ルーティング

さらに、次のテクノロジーに関する事前知識が必要です。

- MPLS トラフィックエンジニアリング
- RSVP トラフィックエンジニアリング
- Fast Reroute

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング AutoTunnel を使用した RSVP-TE の保護に関する制約事項

- SR-TE バックアップ自動トンネルは、帯域幅保護のために使用することはできません。
- SR-TE バックアップ自動トンネルは、RSVP-TE トンネル保護のバックアップとしてのみ使用できます。

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング AutoTunnel を使用した RSVP-TE の保護に関する情報

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング AutoTunnel を使用した RSVP-TE の保護の利点

ネットワークの複雑さが増すにつれて、複雑なシグナリングを伴う RSVP-TE トンネルのメンテナンスや、ネットワーク内のルータでの高いオーバーヘッドにより、スケーラビリティが問題になります。バックアップ自動トンネル機能は、セグメントルーティング（SR）ネットワークの複雑さを軽減するのに役立ちます。自動トンネルバックアップ機能には、次の利点があります。

- バックアップ トンネルは自動的に構築されるため、ユーザーが各バックアップ トンネルを事前に設定し、保護対象のインターフェイスにそのバックアップ トンネルを割り当てる必要はありません。
- バックアップ トンネルを設定すると、保護エリアが拡張されます。高速再ルーティング（FRR）は、TE トンネルを使用しない IP トラフィックや LDP ラベルの保護は行いません。
- バックアップ SR-TE 自動トンネルでは、RSVP-TE トンネルを通過する既存のトラフィックを中断することなく、SR ネットワークへの追加の移行手段が可能になります。

バックアップ AutoTunnel

ルータでのバックアップ 自動トンネルは、必要に応じて動的バックアップ トンネルを構築するのに役立ちます。これにより、静的 SR-TE トンネルの作成が防止されます。

静的SR-TE トンネルが存在しない場合にラベルスイッチドパス（LSP）を保護するには、次の手順を実行する必要があります。

- 各バックアップ トンネルを事前に設定します。
- 保護対象のインターフェイスにバックアップ トンネルを割り当てます。

LSP は、次の状況でリソース予約プロトコル（RSVP）FRR からのバックアップ保護を要求します。

- 最初の RSVP Resv メッセージを受信した場合。
- LSP が保護属性なしで確立された後、保護属性付きの RSVP パス メッセージを受信した場合。
- レコード ルート オブジェクト（RRO）の変更を検出した場合。

LSP で使用されているインターフェイスを保護するバックアップ トンネルが存在しない場合、LSP は非保護のままになります。バックアップ トンネルが利用できない理由には、次のようなものがあります。

- スタティック バックアップ トンネルが設定されていない。
- 静的バックアップ トンネルは設定されているが、使用可能な帯域幅が不足しているか、トンネルが別のプールを保護しているか、またはトンネルが利用できないため、LSP を保護できない可能性があります。

バックアップ トンネルが使用可能でない場合、次の 2 つのバックアップ トンネルがダイナミックに作成されます。

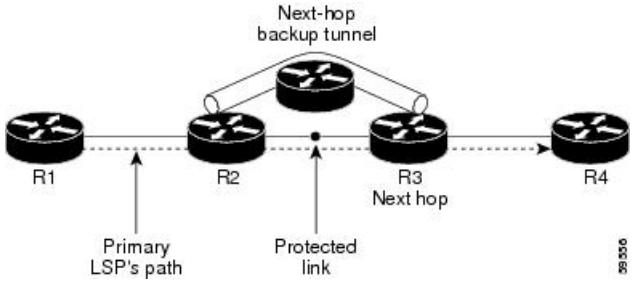
- NHOP：リンク障害から保護
- NNHOP：ノード障害から保護

（注） 最後から 2 番めのホップには、NHOP バックアップ トンネルだけが作成されます。

リンク保護

LSP のパスの単一リンクだけをバイパスするバックアップ トンネルが、リンク保護を提供します。パス上のリンクに障害が発生した場合、バックアップ トンネルは、LSP のトラフィックをネクスト ホップにリルートする（障害の発生したリンクをバイパスする）ことによって LSP を保護します。これらは、障害ポイントの向こう側にある LSP のネクスト ホップで終端するため、NHOP バックアップ トンネルと呼ばれます。

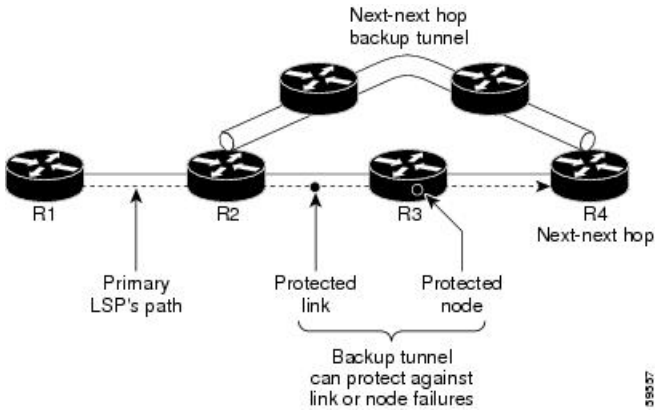
図 *25 :* ネクストホップ バックアップ トンネル



ノード保護

LSP パスに沿ったネクストホップ ノードをバイパスするバックアップ トンネルは、LSP のネクストホップ ノードの次のノードで終端して、結果としてネクストホップ ノードをバイパスするため、NNHOP バックアップ トンネルと呼ばれます。リンク障害またはノード障害のノード アップストリームで、障害を避けて LSP とトラフィックがネクストホップ ノードにリルートされるようにすることにより、LSP が保護されます。また、NNHOP バックアップ トンネルは、障害の発生したリンクおよびノードをバイパスするため、リンク障害からの保護も提供しています。

図 *26 :* ネクストネクスト ホップ バックアップ トンネル



明示パス

明示パスを使用して、次のようにバックアップ自動トンネルが作成されます。

- NHOP では、保護されたリンクの IP アドレスが除外されます。
- NNHOP では、NHOP ルータ ID が除外されます。
- 明示パス名は、_auto-tunnel_tunnel*xxx* です。ここで、*xxx* は、ダイナミックに作成されたバックアップ トンネル ID と一致します。

バックアップ自動トンネルの範囲

バックアップ自動トンネルのトンネル範囲は設定可能です。デフォルトでは、最後の100個のTE トンネル ID（つまり、65,436 ～ 65,535）が使用されます。自動トンネルは、割り当てられている最も小さい番号で始まるトンネル ID を検出します。

たとえば、1000 ～ 1100 の範囲内でトンネルを設定するとします。また、静的に設定されたTE トンネルも同じ範囲に入るため、ルータはこれらの ID を使用しません。これらのスタティック トンネルが削除されると、MPLS-TE ダイナミック トンネル ソフトウェアでこれらの ID を使用できるようになります。

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング AutoTunnel を使用した RSVP-TE の保護の設定方法

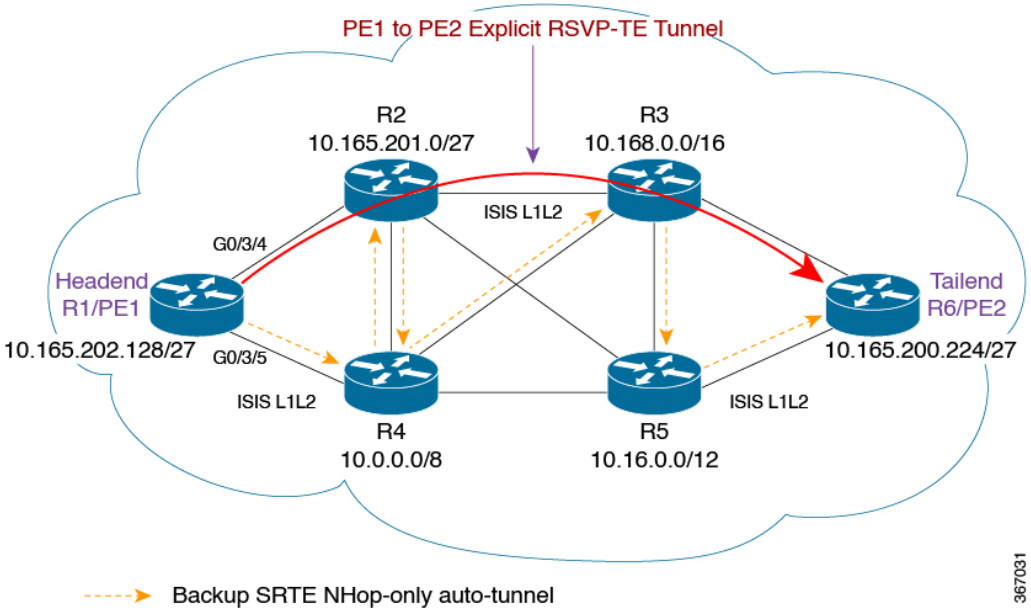
ポイントツーポイント ネットワーク タイプの明示パスの設定

SR-TE 自動トンネル バックアップ機能を動作させるには、インターフェイスがポイントツーポイント ネットワーク タイプである必要があります。

```
interface Loopback0
 ip address 10.51.1.1 255.255.255.255
 ip router isis 1
end
!
interface GigabitEthernet0/2/0
 ip address 10.102.6.1 255.255.255.0
 ip router isis 1
 negotiation auto
 mpls traffic-eng tunnels
 isis network point-to-point
 ip rsvp bandwidth
end
!
interface GigabitEthernet0/2/4
 ip address 10.104.1.1 255.255.255.0
 ip router isis 1
 negotiation auto
 mpls traffic-eng tunnels
 isis network point-to-point
 ip rsvp bandwidth
end
```

FRR での明示的 RSVP-TE トンネルの設定

図 *27* : 明示的 *RSVP-TE* トンネル



1. ルータ R2 と R3 を通過する R1/PE1 から R6/PE2 への明示的パスを設定します。

```
ip explicit-path name path1 enable
 index 1 next-address 10.165.202.128
 index 2 next-address 10.165.201.0
 index 3 next-address 10.168.0.0
 index 4 next-address 10.165.200.224
```

2. 明示的 RSVP-TE トンネルを設定します。

```
interface Tunnel1
 ip unnumbered Loopback0
 tunnel mode mpls traffic-eng
 tunnel destination 10.165.200.224
 tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
 tunnel mpls traffic-eng path-option 10 explicit name path1
 tunnel mpls traffic-eng record-route
end
```

3. プライマリ RSVP-TE トンネル 1 を FRR で設定して、保護プロセスをアクティブにします。

```
interface tunnel 1
 tunnel mpls traffic-eng fast-reroute
```

4. SR-TE 自動トンネルを使用してリンク保護を有効にするには、グローバル コマンドを設定します。

```
mpls traffic-eng auto-tunnel backup segment-routing nhop-only
```

（注） このコマンドは、リンク保護を必要とするすべてのノードで使用可能である必要があります。

プライマリ RSVP/TE トンネルは、ヘッドエンド R1/PE1 から宛先 R6/PE2 に初期化され、次のノード R2 などを通過するように保護する必要があります。この場合、R1/PE1 はローカル修復点（PLR）であり、R2 は中間点（MP）です。リンク保護によって、SR-TE バックアップ自動トンネルは、パス R1/PE1 -> R4 および R4 -> R2 を通過することによって R1/PE1 から R2 へのリンクに保護を提供するため、MP に収束します。

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング AutoTunnel を使用した RSVP-TE の保護の確認

show interfaces Tunnel コマンドを使用して、SR-TE 自動トンネルが生成され、アップになっているかどうかを確認します。

```
Device#show interfaces Tunnel65436
Tunnel65436 is up, line protocol is up
```

show mpls traffic-eng tunnels コマンドを使用して、バックアップ自動トンネルが SR-TE トンネルであるかどうかを確認します。

```
Device#show mpls traffic-eng tunnels tunnel 65436
Name: R1_t65436 (Tunnel65436) Destination: 10.165.201.0
 Status:
  Admin: up Oper: up Path: valid Signalling: connected
  path option 1, (SEGMENT-ROUTING) type explicit __dynamic_tunnel65436 (Basis for
Setup, path weight 20)
```

show ip explicit-paths コマンドを使用して、SR-TE バックアップ トンネルがノードに到達するためにセカンダリ パスを使用しているかどうかを確認します。

```
Device#show ip explicit-paths
PATH __dynamic_tunnel65436 (strict source route, path complete, generation 49, status
non-configured)
1: exclude-address 10.102.5.1
```

show mpls traffic-eng tunnels tunnel 65436 | s Segment-Routing Path Info コマンドを使用して、バックアップ トンネルがパス R1/PE1 から R4 へ、および最終的に中間点である宛先 R2 を通過しているかどうかを確認します。

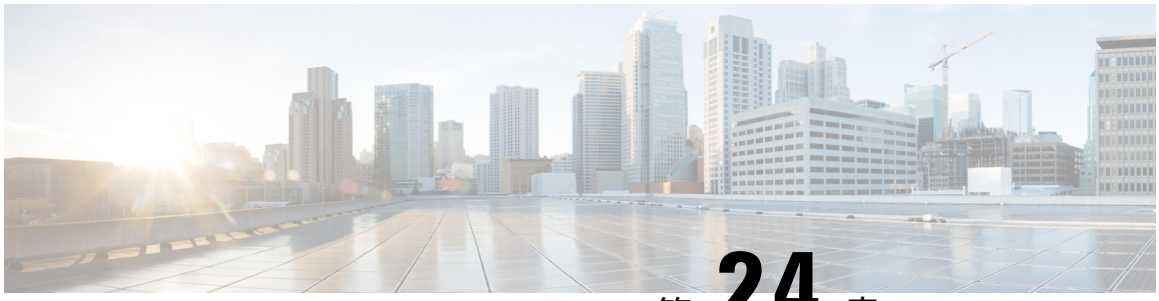
```
Device#show mpls traffic-eng tunnels tunnel 65436 | s Segment-Routing Path Info
Segment-Routing Path Info (isis level-1)
 Segment0[Link]: 10.104.1.1 - 10.104.1.2, Label: 19
 Segment1[Link]: 10.104.6.2 - 10.104.6.1, Label: 18
```

show mpls traffic-eng auto-tunnel backup コマンドを使用して、自動トンネル バックアップの状態が正しいかどうかを確認します。

```
Device#show mpls traffic-eng auto-tunnel backup
State: Enabled
 Auto backup tunnels: 1 (up: 1, down: 0)
 Tunnel ID Range: 65436 - 65535
 Create Nhop Only: Yes
 Check for deletion of unused tunnels every: 3600 Sec
 SRLG: Not configured

Config:
 unnumbered-interface: Loopback0
  Affinity/Mask: 0x0/0xFFFF
```

show mpls traffic-eng fast-reroute database コマンドを使用して、RSVP-TE LSP が通過するプライマリ リンクが保護されているかどうかを確認します。

```
Device#show mpls traffic-eng fast-reroute database
P2P Headend FRR information:
Protected tunnel In-label Out intf/label FRR intf/label Status
--------------------------- -------- -------------- -------------- ------
Tunnel1 Tun hd Gi0/3/4:30 Tu65436:30 ready


Device#show ip rsvp fast-reroute
P2P Protect BW Backup
Protected LSP I/F BPS:Type Tunnel:Label State Level Type
------------- ------- -------- ------------- ------ ----- ------
R1_t1 Gi0/3/4 0:G Tu65436:28 Ready any-unl Nhop
```



第 24 章

ISIS 手動隣接関係 SID

統合された Intermediate System-to-Intermediate System（IS-IS）の手動隣接関係 SID 機能は、手動でプロビジョニングされた隣接関係 SID に関する情報を提供します。

ISIS 手動隣接関係 SID の機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *23 : ISIS* 手動隣接関係 *SID* の機能情報

機能名	リリース	機能情報
ISIS 手動隣接関係 SID	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	統合された Intermediate System-to-Intermediate System（IS-IS）の手動隣接関係 SID 機能は、手動でプロビジョニングされた隣接関係 SID に関する情報を提供します。 この機能により、次のコマンドが追加されました。 **adjacency-sid [absolute | index]**<*value*> **[protected]**。 .

ISIS 手動隣接関係 SID に関する情報

セグメント ルーティング（SR）ネットワークでは、多くの場合、ネットワーク上で特定のトラフィックが通過するパスに影響を与えるためにSR トラフィック エンジニアリング（SR-TE）を使用します。SR-TE トンネルはトンネル ヘッドで手動でプロビジョニングできますが、多くの場合、中央コントローラによって計算およびプロビジョニングされます。多くの場合ネットワークのオペレータは、トラフィックに特定のノードやリンクを経由させたいと考えます。

SR ネットワーク オペレータの特定のノードをトラフィックに経由させるために、ノードによってアドバタイズされるプレフィックス SID を使用できます。多くの場合、複数のノードが同じプレフィックス SID を共有する特定の場所を通過するようにトラフィックに強制するエニーキャスト プレフィックス SID が使用されます。

トラフィックに特定のリンク上を通過させるためには、隣接関係 SID（Adj-SID）が使用されます。既存の Adj-SID の実装の問題は、手動でプロビジョニングされたプレフィックス SID とは対照的に、動的に割り当てられた値であるということです。Adj-SID が動的に割り当てられているということは、一連の問題をもたらします。

- この値は、リロードまたはプロセスの再起動に対して永続的ではありません。
- この値は事前にわからないので、IGP によってフラッディングされた情報（ネイティブまたは BGP-LS）にアクセスしない限り、コントローラが使用することはできません。
- 各リンクには一意の Adj-SID 値が割り当てられているため、複数のリンクで同じ Adj-SID を共有することはできません。

上記の問題に対処するために、adj-SID が拡張され、以下が可能になりました。

- リロードと再起動に対して永続的な、手動でプロビジョニングされた adj-SID をサポートします。
- 同じネイバーへの複数の隣接関係に対してプロビジョニングされる同じ adj-SID をサポートします。
- 異なるネイバーへの複数の隣接関係にプロビジョニングされる同じ adj-SID をサポートします。
- 1 つの隣接関係に対して複数の手動 Adj-SID を設定できます。

手動隣接関係 SID

新しい永続的な Adj-SID の要件をサポートするために、動的に割り当てられた Adj-SID に使用されている既存の IS-IS Adj-SID インフラストラクチャが拡張されます。新しい CLI コマンドも導入され、ポイントツーポイントリンクのためにAdj-SID値を手動で割り当てることができます。単一のポイントツーポイントインターフェイスで複数のAdj-SIDをプロビジョニングできます。同じAdj-SIDを、同じまたは異なるネイバーにつながる複数のポイントツーポイントインターフェイスでプロビジョニングできます。

すべての手動 Adj-SID は、セグメント ルーティング ローカル ブロック（SRLB）と呼ばれるラベルの範囲から割り当てられます。デフォルトの SRLB の範囲は 15000 ～ 15999 です。

手動の Adj-SID は、インデックスまたは絶対値として設定できます。インデックスとして設定されている場合、絶対ラベルはインデックス + SRLB 開始ラベルとして計算されます。たとえば、56 を手動 Adj-SID のインデックスとして設定した場合、絶対ラベルは 15000 + 56 = 15056 になります。絶対値として設定されている場合、ラベル自体が絶対値になります。たとえば、56 を絶対手動 Adj-SID として設定した場合、絶対ラベルは 56 のみになります。ラベル（インデックスと絶対の両方）は、保護または非保護として設定できます。デフォルトでは、すべてのラベルは非保護です。

隣接関係 SID のアドバタイズメント

手動で設定された adj-SID は、ISIS SR 拡張機能の草案で定義される既存の ISIS adj-SID サブ TLV を使用してアドバタイズされます。S フラグは、同じ Adj-SID 値が複数のインターフェイスにプロビジョニングされている場合に adj-SID サブ TLV に設定されます。手動で設定された SID の場合、P フラグは常に設定されます。

プロビジョニングされた adj-SID がプロテクトとして設定済みの場合は、B フラグも設定されます。

隣接関係 SID は常にラベル値としてアドバタイズされます。adj-SID の設定にインデックスが使用されている場合でも、インデックスとしてはアドバタイズされません。

隣接関係 SID のフォワーディング

adj-SID の値が 1 つのインターフェイスでのみ設定される場合、ISIS は手動で割り当てられた adj-SID のフォワーディング エントリをインストールします。任意の Adj-SID のプライマリ パスは、Adj-SID が割り当てられているポイントツーポイント インターフェイス上の POP 操作です。割り当てられた adj-SID がバックアップの対象となり、バックアップ パスが利用可能であれば、IS-IS はバックアップ パスもプログラムします。Adj-SID のバックアップ パスは、ネイバー ルータ ID アドレスに対して計算されたバックアップ パスと同じです。

複数のリンクで同じ adj-SID 値が設定されている場合、次のような転送が発生します。

- この値を使用して adj-SID が設定されている各リンクを経由して、POP 操作を含むプライマリ パスがインストールされます。
- 各プライマリ パスについて、Adj-SID がプライマリ インターフェイスで保護されるように設定されていて、バックアップが利用可能な場合、バックアップ パスがインストールされます。バックアップ パスは、ネイバー ルータ ID アドレスに関連付けられたバックアップ パスとして表されます。

設定要件

- セグメント ルーティングがグローバルに設定されていることを確認します。

• セグメント ルーティングが IS-IS を使用して設定されていることを確認します。

手動隣接関係 SID の設定

```
Device#configure terminal
Device(config)#interface ethernet0/1
Device(config-if)#isis adjacency-sid [absolute | index] <value> [protected]
```

[index]：（オプション）隣接関係 SID が SRLB 範囲のインデックスとして設定されている場合に使用されます。index キーワードが使用されていない場合、値はラベルの絶対値を表すことが期待されます。

[absolute]：（オプション）隣接関係 SID が絶対値として設定されている場合に使用されます。

<*value*>：adj-SID ラベルの値またはインデックスを表します。プログラムおよびアドバタイズされる adj-SID では、値/インデックスは有効な SRLB の範囲である必要があります。

[protected]：（オプション）手動の adj-SID を保護するために使用されます。デフォルトでは、手動 Adj-SID は保護されていません。

セグメント ルーティング ローカル ブロック（SRLB）範囲の変更

```
Device#configure terminal
Device(config)#segment-routing mpls
Device(config-srmpls)#local-block 7000 7999
```

手動隣接関係 SID の確認

SR アプリ データベースでのラベルの確認

```
Device#show segment-routing mpls lb assigned-sids
Adjacency SID Database
 C=> In conflict
 S=> Shared
 R=> In range
SID  STATE       PROTOCOL     TOPOID      LAN      PRO NEIGHBOR    INTERFACE
15378 R
                 ISIS         0           N        N   10.0.0.3     Ethernet0/1
```

MPLS 転送でのラベルの確認

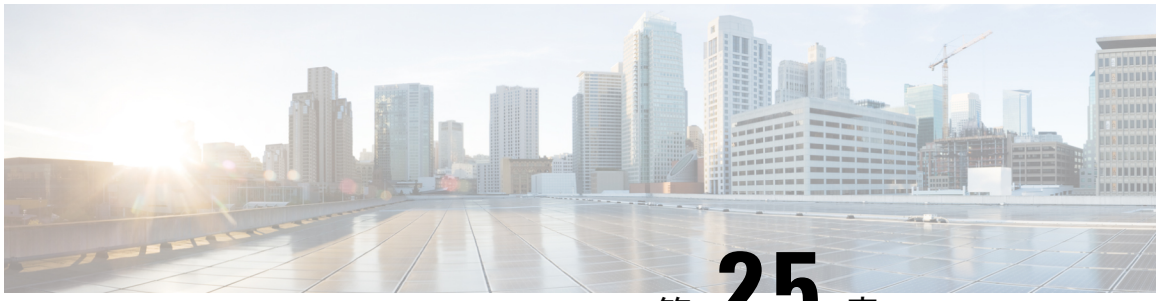
```
      Device# show mpls forwarding-table
      Local      Outgoing        Prefix               Bytes Label      Outgoing
 Next Hop
      Label      Label           or Tunnel Id         Switched         interface
      15378      Pop Label       0.0.60.18-A          0                Et0/0
   10.0.0.2 □== Configured only for interface e0/0
```

共有ラベルの確認

```
       Device# show mpls forwarding-table
       Local      Outgoing       Prefix               Bytes Label      Outgoing
Next Hop
       Label      Label          or Tunnel Id         Switched         interface
       15378      Pop Label      0.0.60.18-A          0                Et0/0
  10.0.0.2  □== Same Label is configured for 2 interfaces
                  Pop Label      0.0.60.18-A          0                Et0/1
  10.0.0.3  □==
```

ISIS LSP の確認

```
       Device# sh isis database verbose R1.00-00
       xxxxxx
       xxxxxx
       Adjacency SID Value:15378 F:0 B:0 V:1 L:1 S:1 P:1 Weight:0 □== P (Persistent)
flag is always 1 if it is Manual Adj-SID
       xxxxxx

       P -> Persistent Flag (0 for Dynamic Adj-SID and 1 for Manual Adj-SID)
       S -> Shared Flag (1 if label is shared by multiple adjacencies)
```



第 25 章

OSPF手動隣接関係（アジャセンシー）SID

OSPF 手動隣接関係（アジャセンシー）SID機能は、OSPFv2によるセグメントルーティングの静的隣接関係 SID の設定をサポートしています。

OSPF 手動隣接関係（アジャセンシー）SID に関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェアリリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *24 : OSPF* 手動隣接関係（アジャセンシー）*SID* に関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
OSPF 手動隣接関係（アジャセンシー）SID	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	OSPF 手動隣接関係（アジャセンシー）SID 機能は、OSPFv2 によるセグメントルーティングの静的隣接関係 SID の設定をサポートしています。 この機能により、次のコマンドが導入されました。 **adjacency-sid index** 値 **[protected]**

OSPF 手動隣接関係（アジャセンシー）SID に関する情報

セグメントルーティング（SR）ネットワークでは、多くの場合、ネットワーク上で特定のトラフィックが通過するパスに影響を与えるために SR トラフィック エンジニアリング（SR-TE）を使用します。SR-TE トンネルはトンネルヘッドエンドで手動でプロビジョニングできます。そうしない場合は、中央コントローラによって計算およびプロビジョニングされます。

トラフィック エンジニアリングの場合、ネットワークのオペレータは、トラフィックが特定のノードやリンクを経由するよう強制できる必要があります。トラフィックに SR ネットワーク上の特定のノードを経由させるために、オペレータはノードによってアドバタイズされるプレフィックス SID を使用できます。エニーキャスト プレフィックス SID は、複数のノードが同じプレフィックス SID をアドバタイズする場合に、トラフィックを特定のノードにルーティングするために使用できます。

トラフィックに特定のリンクを経由させるために、オペレータはリンクの隣接関係（アジャセンシー）SID を使用できます。手動で設定する隣接関係 SID がサポートされていない場合、隣接関係 SID は動的に割り当てられます。動的に割り当てられた SID には、トラフィック エンジニアリングに関して次のような欠点があります。

- 動的な値は、リロードやプロセスの再起動を行うと維持されない。
- 動的な値は事前にわからないため、コントローラは（ネイティブにまたは BGP-LS を介して）IGP がフラッディングした情報にアクセスできない場合、これを使用できない。
- 各リンクには、一意の隣接 SID 値が割り当てられる。そのような割り当てでは、同じ隣接関係（アジャセンシー）SID を複数のリンクに割り当てることができない。

OSPF 手動隣接関係 SID 機能は、手動で設定する隣接関係 SID のサポートを導入します。手動で設定された静的隣接関係 SID では、

- プロビジョニングされた隣接関係 SID が、リロードや再起動を行っても維持されます。
- 1 つの隣接関係に対して複数の隣接関係 SID を設定できます。

OSPF 手動隣接関係（アジャセンシー）SID の前提条件

- セグメントルーティングはグローバルに設定する必要があります。
- セグメントルーティングは、OSPF インスタンスに対して設定する必要があります。

OSPF 手動隣接関係（アジャセンシー）SID に関する制約事項

- 静的隣接関係（アジャセンシー） SID は、ポイントツーポイントのリンクにのみ設定でき、ブロードキャストリンクには設定できません。
- 複数のリンクに同じ隣接関係 SID を割り当てないでください。グループ隣接関係 SID はサポートされていません。

- 複数の IGP または IGP インスタンスで同じ静的隣接関係 SID を設定しないでください。そのような設定はサポートされておらず、シナリオの競合処理メカニズムはまだ導入されていません。
- 静的隣接関係 SID をセグメント ルーティング ローカル ブロック（SRLB）のインデックスとして指定します。静的隣接関係 SID は、SRLB のラベルの絶対値として指定できません。

手動隣接関係（アジャセンシー）SID

静的隣接関係（アジャセンシー） SID は、OSPFv2 でポイントツーポイントのリンクに設定できます。

手動隣接関係 SID は、SRLB から割り当てる必要があります。デフォルトの SRLB ラベルの範囲は 15000 ～ 15999 です。**local-block** *range-start range-end* コマンドを使用して SRLB 範囲を変更できます。

静的隣接関係 SID をインデックスとして SRLB に割り当てることができます。割り当てられたインデックスに基づいて、隣接関係 SID のラベルは、`ラベル = SRLB_range_start + index_value` として計算されます。

デフォルトでは、静的隣接関係 SID は保護されないため、設定時に静的隣接関係 SID を保護する必要があるかどうかを指定できます。

手動隣接関係（アジャセンシー）SID のアドバタイズメント

静的隣接関係（アジャセンシー） SID は、「セグメントルーティングの OSPF 拡張機能」で定義されているように、拡張リンク LSA の既存の Adj-SID Sub-TLV を使用してアドバタイズされます。

静的隣接関係 SID では、P フラグ（永続フラグ）が Adj-SID Sub-TLV に設定されます。

静的隣接関係 SID が保護されている場合、B フラグは Adj-SID Sub-TLV に設定されます。

静的隣接関係 SID は常にラベルとしてアドバタイズされます。静的隣接関係 SID がインデックスとして設定されている場合、ラベルの絶対値が計算され、ラベル値がアドバタイズされます。

手動隣接関係（アジャセンシー） SID の転送

静的隣接関係（アジャセンシー） SID がポイントツーポイント インターフェイスに設定されている場合、OSPFv2 は手動で割り当てられた隣接関係 SID の転送エントリをインストールします。隣接関係 SID のプライマリパスは、隣接関係 SID が割り当てられているポイントツーポイント インターフェイス上の POP 操作です。

手動で割り当てられた隣接関係 SID がバックアップの対象で、バックアップパスが利用できる場合、OSPFv2 はバックアップパスもプログラムします。手動で割り当てられた隣接関係 SID のバックアップパスは、ネイバールータに対して計算されるバックアップパスです。

OSPF 手動隣接関係（アジャセンシー）SID の設定方法

セグメント ルーティング ローカル ブロック範囲の変更

```
Device#configure terminal
Device(config)#segment-routing mpls
Device(config-srmpls)#local-block range-start range-end
```

range-start と *range-start* は、セグメント ルーティング ローカル ブロック（SRLB）の変更された範囲境界を示します。

OSPF は、ルータ情報（RI）Opaque LSA の SR ローカルブロック TLV で SRLB をアドバタイズします。

SRLB では 1 つの範囲のみがサポートされます。SR ローカル ブロック TLV に複数の範囲がある場合、受信側ルータは TLV を無視します。

```
Device#configure terminal
Device(config)#segment-routing mpls
Device(config-srmpls)#local-block 7000 7999
```

OSPF 手動隣接関係（アジャセンシー）SID の設定

```
Device#configure terminal
Device(config)#interface <interface>
Device(config-if)#ip ospf adjacency-sid index <sid_value> [protected]
```

<sid_value> は SRLB に対するインデックスである必要があります。絶対ラベル値としての隣接関係（アジャセンシー） SID の設定はまだサポートされていません。

[protected]（オプション）：このキーワードは、手動隣接関係 SID を保護するために使用されます。デフォルトでは、手動隣接関係 SID は保護されません。

OSPF 手動隣接関係（アジャセンシー）SID の確認

コマンド **show ip ospf segment-routing adjacency-sid** および **show ip ospf segment-routing adjacency-sid detail** を使用して、隣接関係（アジャセンシー）に割り当てられた SID と、SID が静的か動的かを確認できます。いずれかのコマンドの出力には、隣接関係（アジャセンシー）を介してリンクされているネイバー、隣接関係が保護されているかどうか、保護されている隣接関係のバックアップネクストホップとインターフェイスなどの追加情報も表示されます。

- `router#show ip ospf segment-routing adjacency-sid`

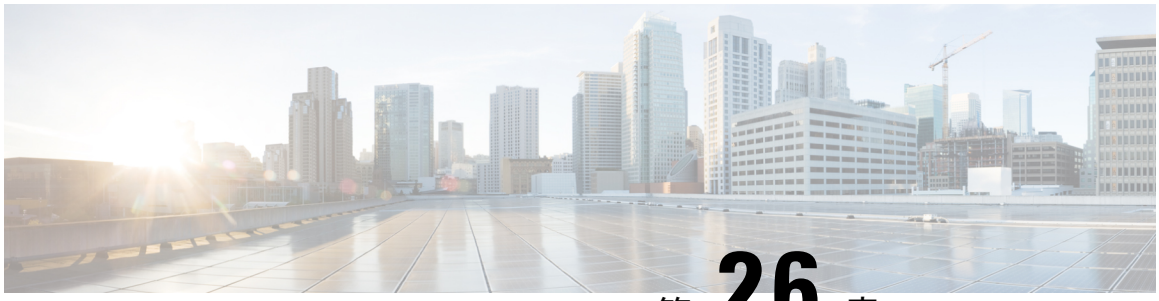
```
            OSPF Router with ID (10.2.0.0) (Process ID 1)
    Flags: S - Static, D - Dynamic,  P - Protected, U - Unprotected, G - Group, L -
 Adjacency Lost

Adj-Sid  Neighbor ID     Interface          Neighbor Addr   Flags   Backup Nexthop
 Backup Interface
-------- --------------- ------------------ --------------- ------- ---------------
 ------------------
```

```
16       10.3.0.0        Et0/2.3          10.3.3.3        D U
17       10.3.0.0        Et0/2.1          10.3.1.3        D U
24       10.3.0.0        Et0/2.1          10.3.1.3        D P     10.3.2.3
    Et0/2.2
25       10.1.0.0        Et0/0            10.2.0.1        D U
26       10.1.0.0        Et0/0            10.2.0.1        D P     10.3.1.3
    Et0/2.1
27       10.3.0.0        Et0/2.2          10.3.2.3        D U
28       10.3.0.0        Et0/2            10.3.0.3        D U
29       10.3.0.0        Et0/2            10.3.0.3        D P     10.4.0.4
    Et0/1
30       10.4.0.0        Et0/1            10.4.0.4        D U
34       10.4.0.0        Et0/1            10.4.0.4        D P     10.3.1.3
    Et0/2.1
15010    10.1.0.0        Et0/0            10.2.0.1        S P     10.3.1.3
    Et0/2.1
15210    10.1.0.0        Et0/0            10.2.0.1        S U
15230    10.3.0.0        Et0/2            10.3.0.3        S P     10.4.0.4
    Et0/1
15240    10.4.0.0        Et0/1            10.4.0.4        S U
15800    10.3.0.0        Et0/2.1          10.3.1.3        S U
15801    10.3.0.0        Et0/2.2          10.3.2.3        S U
15802    10.3.0.0        Et0/2.3          10.3.3.3        S U
15810    10.3.0.0        Et0/2.1          10.3.1.3        S P     10.3.2.3
    Et0/2.2
```

- `router#show ip ospf segment-routing adjacency-sid detail`

```
            OSPF Router with ID (10.2.0.0) (Process ID 1)
Label 16, Paths 1, Dynamic
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.3.3 on Et0/2.3, Unprotected
Label 17, Paths 1, Dynamic
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.1.3 on Et0/2.1, Unprotected
Label 24, Paths 1, Dynamic
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.1.3 on Et0/2.1, Protected, Nbr Prefix 10.33.33.33
      Primary path: via 10.3.1.3 on Et0/2.1, out-label 3
      Repair path: via 10.3.2.3 on Et0/2.2, out-label 3, cost 31, labels 0
Label 25, Paths 1, Dynamic
   Nbr id 10.1.0.0, via 10.2.0.1 on Et0/0, Unprotected
Label 26, Paths 1, Dynamic
   Nbr id 10.1.0.0, via 10.2.0.1 on Et0/0, Protected, Nbr Prefix 10.1.1.1
      Primary path: via 10.2.0.1 on Et0/0, out-label 3
      Repair path: via 10.3.1.3 on Et0/2.1, out-label 16001, cost 31, labels 0
Label 27, Paths 1, Dynamic
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.2.3 on Et0/2.2, Unprotected
Label 28, Paths 1, Dynamic
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.0.3 on Et0/2, Unprotected
Label 29, Paths 1, Dynamic
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.0.3 on Et0/2, Protected, Nbr Prefix 10.3.3.3
      Primary path: via 10.3.0.3 on Et0/2, out-label 3
      Repair path: via 10.4.0.4 on Et0/1, out-label 16003, cost 21, labels 0
Label 30, Paths 1, Dynamic
   Nbr id 10.4.0.0, via 10.4.0.4 on Et0/1, Unprotected
Label 34, Paths 1, Dynamic
   Nbr id 10.4.0.0, via 10.4.0.4 on Et0/1, Protected, Nbr Prefix 10.4.4.4
      Primary path: via 2.4.0.4 on Et0/1, out-label 3
      Repair path: via 10.3.1.3 on Et0/2.1, out-label 16004, cost 31, labels 0
Label 15010, Paths 1, Static
   Nbr id 10.1.0.0, via 10.2.0.1 on Et0/0, Protected, Nbr Prefix 10.1.1.1
      Primary path: via 10.2.0.1 on Et0/0, out-label 3
      Repair path: via 10.3.1.3 on Et0/2.1, out-label 16001, cost 31, labels 0
Label 15210, Paths 1, Static
   Nbr id 10.1.0.0, via 10.2.0.1 on Et0/0, Unprotected
Label 15230, Paths 1, Static
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.0.3 on Et0/2, Protected, Nbr Prefix 10.3.3.3
```

```
      Primary path: via 10.3.0.3 on Et0/2, out-label 3
      Repair path: via 10.4.0.4 on Et0/1, out-label 16003, cost 21, labels 0
Label 15240, Paths 1, Static
   Nbr id 10.4.0.0, via 10.4.0.4 on Et0/1, Unprotected
Label 15800, Paths 1, Static
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.1.3 on Et0/2.1, Unprotected
Label 15801, Paths 1, Static
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.2.3 on Et0/2.2, Unprotected
Label 15802, Paths 1, Static
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.3.3 on Et0/2.3, Unprotected
Label 15810, Paths 1, Static
   Nbr id 10.3.0.0, via 10.3.1.3 on Et0/2.1, Protected, Nbr Prefix 10.33.33.33
      Primary path: via 10.3.1.3 on Et0/2.1, out-label 3
      Repair path: via 10.3.2.3 on Et0/2.2, out-label 3, cost 31, labels 0
```



第 26 章

OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF

OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な最短パス優先（SPF）機能では、厳格な SPF セグメント識別子（SID）に関する情報を提供します。

OSPFv2セグメントルーティングの厳格なSPFに関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェアリリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *25 : OSPFv2* セグメント ルーティングの厳格な *SPF* に関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF 機能は、厳格な最短パス アルゴリズムをサポートするためのプロビジョニングを提供します。パケットが SPF アルゴリズムに従って転送されることを強制し、SPF 決定を上書きする可能性のあるローカル ポリシーを無視するようにパス内のルータに指示します。 次のコマンドが追加または修正されました。 **address-family ipv4 strict-spf**。

OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF の制約事項

- OSPF エリア内のすべてのノードが厳格な SPF に対応していなければならず、セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）と連携する厳格な SPF ソリューションのために各ノードに少なくとも 1 つの厳格な SPF SID が必要です。
- 厳格な SPF SID の再配布はサポートされていません。

OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF に関する情報

セグメント ルーティング（SR）アーキテクチャは、複数のプレフィックス SID アルゴリズムをサポートするためのプロビジョニングを提供します。現在、2 つのアルゴリズムが定義されています。

- **アルゴリズム 0**：これは最短パス アルゴリズムであり、デフォルトでサポートされています。
- **アルゴリズム 1**：これは厳格な最短パス アルゴリズムです。パケットが SPF アルゴリズムに従って転送されることを強制し、SPF 決定を上書きする可能性のあるローカル ポリシーを無視するようにパス内のルータに指示します。厳格な最短パス アルゴリズムでアドバタイズされた SID により、パケットが取得しようとしているパスは、変更後の SPF パスではなく、予期したパスになります。セグメント ルーティングをサポートする各ノードで、厳格な SPF SID を構成する必要があります。

  アルゴリズム 1 はアルゴリズム 0 と同じですが、パスに沿ったすべてのノードが SPF ルーティングの決定を遵守することを必要とします。ローカル ポリシーは、転送の決定を変更しません。たとえば、パケットはローカルに設計されたパスを通じて転送されません。

厳格な SPF を使用する理由

トンネルパスでリンクまたはノード障害が発生した場合、トラフィックが修復パスに即転送されると、SR-TE トンネルを介してルーティングされた MPLS トラフィックが中間チェーンからトンネル ヘッド エンドに再ルーティングされる可能性があります。ヘッドエンドが SR-TE トンネル経由でこの MPLS トラフィックを再びルーティングした場合は、利用可能な宛先への代替 IGP 最短パスが存在する場合でも、同じ MPLS トラフィックが、TTL が満了するまでトンネルに沿ってループすることがあります。

厳格な SPF SID を使用すると、SR-TE トンネルを介したトラフィックのループを防ぐことができます。厳格な SPF のサポートにより、すべてのルータは、デフォルト SID、つまり SID0 と厳格な SPF SID、つまり SID1 の両方を持つように設定されます。トンネル トラフィックがヘッドエンドにルーティングされ戻された場合、アクティブ ラベルとして厳格な SPF SID を持つヘッドエンドに到着して非トンネル IGP 最短パス（ネイティブ パス）経由で転送されるため、SR-TE トンネルに沿ってループを壊します。エリア/トンネル パス内のすべてのノードが厳格な SPF に対応している場合は、SRTE トンネルのデフォルトのプレフィックス SID よりも、厳格な SPF プレフィックス SID が優先されます。

厳格な SPF 機能のアドバタイズメント

OSPF は、セグメント ルーティングがグローバルまたは特定のエリアで有効になっている場合に、ルータ情報（RI）Opaque リンク状態アドバタイズメント（LSA）の SR アルゴリズム TLV で厳格な SPF 機能をアドバタイズします。OSPF には、SR アルゴリズム TLV のアルゴリズム 0（SPF）とアルゴリズム 1（厳格な SPF SID）の両方が含まれています。

受信されると、OSPF はルータ情報 Opaque LSA を解析して、SR アルゴリズム TLV を検出します。TLV が見つからないか、またはアルゴリズム 1 が TLV に含まれていない場合、OSPF はアドバタイズメント ルータからのすべての厳格な SPF SID アドバタイズを無視します。

OSPF は引き続き単一の SRGB のみをサポートします。同じ SRGB が、通常の SID と厳格な SPF SID の両方に使用されます。通常の SID と同様に、OSPF では、SRGB 範囲の厳格な SPF SID を使用しないでください。

拡張プレフィックス LSA での厳格な SPF SID アドバタイズメント

OSPF は、拡張プレフィックス Opaque LSA の OSPF 拡張プレフィックス TLV で 1 に設定されたアルゴリズムを使用して、プレフィックス SID サブ TLV の厳格な SPF SID 接続マップをアドバタイズします。同じプレフィックスに対してデフォルト SID と厳格な SPF SID の両方が同じ LSA でアドバタイズされます。OSPF は、通常の SID と厳格な SPF SID に対して、個別の明示的 NULL をアドバタイズします。両方の SID は、同じアタッチ フラグを共有します。

OSPF は、拡張プレフィックス Opaque LSA の OSPF 拡張プレフィックス範囲 TLV で、1 に設定されたアルゴリズムを使用して、プレフィックス SID サブ TLV の厳格な SPF SID マッピング サーバー エントリをアドバタイズします。同じプレフィックスに対して、デフォルト SID と厳格な SPF SID の両方がアドバタイズされる場合があります。同じプレフィックスに対して同じアルゴリズムの複数の SID がアドバタイズされている場合、受信側のルータは最初のエン

コード済み SID を使用します。OSPF は、通常の SID と厳格な SPF SID に対して、個別の明示的 NULL をアドバタイズします。両方の SID は、同じアタッチ フラグを共有します。通常の SID では、アタッチ フラグの設定が異なる場合に優先順位を引き継ぎます。

SR アルゴリズム TLV が見つからないか、またはアルゴリズム 1 が TLV に含まれていない場合、OSPF はアドバタイズメント ルータからのすべての厳格な SPF SID アドバタイズを無視します。同じプレフィックスに対して同じアルゴリズムの複数の SID を受信した場合、受信側のルータは最初のエンコード済み SID を使用します。明示的 NULL およびアタッチ フラグがプレフィックスの受信 SID0 および SID1 と異なる場合、SID0 のフラグが優先順位を引き継ぎます。

SR-TE およびルータ情報ベースとのインタラクション

デフォルトの SID と同様に、厳格な SPF SID も、SR と TE の両方がそのエリアに対して有効になっている場合にのみ SR-TE と通信します。厳格な SPF SID に関連する SR-TE では、次の 3 つの形式の通信が発生する可能性があります。

- OSPF は、そのエリアが厳格な SPF に対応しているかどうかを SR-TE にアナウンスします。エリア内のすべてのノードが厳格な SPF に対応しているいて、各ノードに少なくとも 1 つの厳格 SPF SID が設定されている場合、そのエリアは厳格な SPF に対応しています。
- OSPF は、すべてのプレフィックスおよび登録されたプレフィックス パスについての厳格な SPF SID を SR-TE にアナウンスします。
- SR-TE は、ラベル スタックに対して厳格な SPF SID を優先します。OSPF は、自動ルート アナウンス トンネル リストのリストが変更されたときに、SR-TE からトンネル リストを受信します。各トンネルについて、SR-TE は、トンネルが厳格な SPF の SID またはデフォルトの SID を使用して作成されているかどうかを示します。OSPF は、更新されたトンネル リストが SR-TE から受信されるたびにフル SPF を実行し、トンネル エンドポイント経由で到達可能なプレフィックスの RIB パスをトンネルのネクスト ホップに置き換えます。

厳格な SPF SID は、ルータ情報ベース（RIB）にはインストールされていません。RIB にインストールされているプレフィックスの発信ラベルとしてインストールされるのは、デフォルトの SID のみです。SR-TE トンネル タイプは両方とも RIB にインストールされています。

OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF の有効化および無効化

セグメントルーティング mpls が OSPF およびグローバル モードの下で設定される場合、厳格な SPF 機能はデフォルトで有効になっています。これを有効または無効にする個別の CLI はありません。

OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF SID の設定

OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF を設定するには、次の手順を実行します。

```
segment-routing mpls
 connected-prefix-sid-map
  address-family ipv4
   10.0.0.0/8 2
   172.16.0.0/8 3
  address-family ipv4 strict-spf
   10.0.0.0/8 22
   172.16.0.0/8 23
  exit-address-family
```

OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF の確認

次のコマンドを使用して、OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF を確認します。

OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF SID の確認

```
Device#show ip ospf database opaque-area type ext-prefix

            OSPF Router with ID (10.0.0.4) (Process ID 10)

                Type-10 Opaque Area Link States (Area 0)

  LS age: 40
  Options: (No TOS-capability, DC)
  LS Type: Opaque Area Link
  Link State ID: 10.7.0.3
  Opaque Type: 7 (Extended Prefix)
  Opaque ID: 3
  Advertising Router: 10.0.0.2
  LS Seq Number: 80000003
  Checksum: 0xFB42
  Length: 56

    TLV Type: Extended Prefix
    Length: 32
      Prefix    : 10.0.0.6/32
      AF        : 0
      Route-type: Intra
      Flags     : N-bit

      Sub-TLV Type: Prefix SID
      Length: 8
        Flags : None
        MTID  : 0
        Algo  : SPF
        SID   : 100

      Sub-TLV Type: Prefix SID
      Length: 8
        Flags : None
        MTID  : 0
```

```
        Algo  : Strict SPF
        SID   : 101

Device#show ip ospf segment-routing sid-database


            OSPF Router with ID (10.0.0.4) (Process ID 10)

OSPF Segment Routing SIDs

Codes: L - local, N - label not programmed,
       M - mapping-server

SID             Prefix              Adv-Rtr-Id       Area-Id  Type      Algo
--------------  ------------------  ---------------  -------  --------  ----
2               10.0.0.2/32          10.0.0.2          0        Intra     0
4       (L)     10.0.0.4/32          10.0.0.4          0        Intra     0
7               10.0.0.7/32          10.0.0.5          0        Intra     0
9               10.0.0.8/32          10.0.0.2          0        Intra     0
20              10.0.2.20/32         10.2.2.2          0        Intra     0
21              10.0.22.21/32        10.2.2.2          0        Intra     1
22      (M)     10.0.2.22/32                                    Unknown   0
29      (M)     10.0.22.29/32                                   Unknown   1
33              10.0.33.33/32        10.3.3.3          0        Intra     1
38      (M)     10.0.3.38/32                                    Unknown   0
39      (M)     10.0.33.39/32                                   Unknown   1
77              10.77.77.77/32       10.5.5.5          0        Inter     0
92      (M)     10.1.2.92/32                                    Unknown   0
99              10.99.99.99/32       10.9.9.9          0        Intra     0
100             10.0.2.100/32        10.2.2.2          0        Intra     0
101             10.0.2.100/32        10.2.2.2          0        Intra     1
120             10.3.3.120/32        10.3.3.3          0        Intra     0
121             10.3.3.120/32        10.3.3.3          0        Intra     1

Device#show ip ospf segment-routing mapping-server

            OSPF Router with ID (10.0.0.4) (Process ID 10)

Advertise local: Enabled
Receive remote: Enabled

Flags: i - sent to mapping-server, u - unreachable,
       s - self-originated

10.0.2.22/32 (R), range size 1
   Adv-rtr        Area          LSID          SID    Type    Algo
i  10.2.2.2        0            10.0.0.4       22     Intra   0
s  10.4.4.4        24           10.0.0.1       22     Inter   0

10.1.2.92/32 (R), range size 1
   Adv-rtr        Area          LSID          SID    Type    Algo
i  10.2.2.2        0            10.0.0.5       92     Intra   0
s  10.4.4.4        24           10.0.0.2       92     Inter   0

10.0.3.38/32 (R), range size 1
   Adv-rtr        Area          LSID          SID    Type    Algo
i  10.3.3.3        0            10.0.0.2       38     Intra   0
s  10.4.4.4        24           10.0.0.3       38     Inter   0

10.3.3.48/32 (R), range size 1
   Adv-rtr        Area          LSID          SID    Type    Algo
i  10.3.3.3        0            10.0.0.3       48     Intra   0
s  10.4.4.4        24           10.0.0.4       48     Inter   0
```

```
10.0.22.29/32 (R), range size 1
   Adv-rtr        Area          LSID          SID    Type    Algo
i  10.2.2.2        0            10.0.0.6       29     Intra   1
s  10.4.4.4        24           10.0.0.5       29     Inter   1

10.1.22.99/32 (R), range size 1
   Adv-rtr        Area          LSID          SID    Type    Algo
i  10.2.2.2        0            10.0.0.7       99     Intra   1
s  10.4.4.4        24           10.0.0.6       99     Inter   1

10.0.33.39/32 (R), range size 1
   Adv-rtr        Area          LSID          SID    Type    Algo
i  10.3.3.3        0            10.0.0.4       39     Intra   1
s  10.4.4.4        24           10.0.0.7       39     Inter   1

10.3.33.49/32 (R), range size 1
   Adv-rtr        Area          LSID          SID    Type    Algo
i  10.3.3.3        0            10.0.0.5       49     Intra   1
s  10.4.4.4        24           10.0.0.8       49     Inter   1
```

```
Device#show ip ospf segment-routing local-prefix
            OSPF Router with ID (10.0.0.7) (Process ID 10)
Area 0:
 Prefix:             Sid:   Index:          Type:      Algo: Source:
 10.2.2.2/32          2      10.0.0.0         Intra      0     Loopback0
                      22     10.0.0.0         Intra      1     Loopback0
 10.23.23.4/32        233    10.0.0.1         Intra      1     Loopback3
```

OSPFv2 セグメント ルーティングの厳格な SPF 機能の確認

```
Device#show ip ospf database opaque-area type router-information self

            OSPF Router with ID (10.0.0.4) (Process ID 10)

                Type-10 Opaque Area Link States (Area 0)

  LS age: 1692
  Options: (No TOS-capability, DC)
  LS Type: Opaque Area Link
  Link State ID: 10.4.0.0
  Opaque Type: 4 (Router Information)
  Opaque ID: 0
  Advertising Router: 10.4.4.4
  LS Seq Number: 80000002
  Checksum: 0x72B
  Length: 60

    TLV Type: Router Information
    Length: 4
    Capabilities:
      Graceful Restart Helper
      Stub Router Support
      Traffic Engineering Support

    TLV Type: Segment Routing Algorithm
    Length: 2
      Algorithm: SPF
      Algorithm: Strict SPF

    TLV Type: Segment Routing Range
    Length: 12
```

```
      Range Size: 8000

      Sub-TLV Type: SID/Label
      Length: 3
        Label: 16000

    TLV Type: Segment Routing Node MSD
    Length: 2
      Sub-type: Node Max Sid Depth, Value: 10
```

OSPF ローカル RIB データベースで使用される厳格な SPF ラベルの確認

```
Device#show ip ospf rib 10.0.0.8

            OSPF Router with ID (10.0.0.6) (Process ID 10)


                Base Topology (MTID 0)

OSPF local RIB
Codes: * - Best, > - Installed in global RIB
LSA: type/LSID/originator

*>  10.0.2.100/32, Intra, cost 21, area 0
     SPF Instance 28, age 00:01:19
      contributing LSA: 10/10.7.0.3/10.2.2.2 (area 0)
     SID: 100, Properties: Sid, LblRegd, SidIndex, N-Flag, TeAnn
     Strict SPF SID: 101, Properties: Force, Sid, LblRegd, SidIndex, N-Flag
     Flags: RIB, HiPrio
      via 10.6.0.3, Ethernet0/1, label 16100, strict label 16101
       Flags: RIB
       LSA: 1/10.2.2.2/10.2.2.2
      PostConvrg repair path via 10.6.0.5, Ethernet0/3, label 16100, strict label 16100,
 cost 31
       Flags: RIB, Repair, PostConvrg, IntfDj, BcastDj
       LSA: 1/10.2.2.2/10.2.2.2
```

厳格な SPF TILFA トンネルの確認

```
Device#show ip ospf fast-reroute ti-lfa tunnels internal

            OSPF Router with ID (10.0.0.2) (Process ID 10)

                        Area with ID (0)

                    Base Topology (MTID 0)


TI-LFA Release Node Tree:

TI-LFA Release Node 10.4.4.4 via 10.2.0.1 Ethernet0/0, instance 12, metric 20
  Interface MPLS-SR-Tunnel2
    Tunnel type: MPLS-SR (strict spf)
    Tailend router ID: 10.4.4.4
    Termination IP address: 10.4.4.4
    Outgoing interface: Ethernet0/0
    First hop gateway: 10.2.0.1
    instance 12, refcount 1
      rn-1: rtrid 10.4.4.4, addr 10.4.4.4, strict node-sid label 16044

TI-LFA Release Node 10.4.4.4 via 10.3.0.3 Ethernet0/1, instance 12, metric 20
```

```
  Interface MPLS-SR-Tunnel1
    Tunnel type: MPLS-SR (strict spf)
    Tailend router ID: 10.4.4.4
    Termination IP address: 10.4.4.4
    Outgoing interface: Ethernet0/1
    First hop gateway: 10.3.0.3
    instance 12, refcount 1
      rn-1: rtrid 10.4.4.4, addr 10.4.4.4, strict node-sid label 16044


TI-LFA Node Tree:

TI-LFA Node 10.1.1.1 via 10.2.0.1 Ethernet0/0, abr, instance 12, rspt dist 0
  not-in-ext-p-space, in-q-space, interesting node 1
  Link Protect strict Path-1: via 10.3.0.3 Et0/1, parent 1/10.4.4.4, metric:30,
rls-pt:10.4.4.4 at dist:20
  repair:y, rn-cnt:1, first-q:10.4.4.4, rtp-flags:Repair, PostConvrg, IntfDj
    rn-1: rtrid 10.4.4.4, addr 10.4.4.4, strict node-sid label 16044
    Protected by: MPLS-SR-Tunnel1, tailend 10.4.4.4, rls node 10.4.4.4
    instance 12, metric 20, refcount 1


TI-LFA Node 10.3.3.3 via 10.3.0.3 Ethernet0/1, instance 12, rspt dist 0
  not-in-ext-p-space, in-q-space, interesting node 1
  Link Protect strict Path-1: via 10.2.0.1 Et0/0, parent 1/10.4.4.4, metric:30,
rls-pt:10.4.4.4 at dist:20
  repair:y, rn-cnt:1, first-q:10.4.4.4, rtp-flags:Repair, PostConvrg, IntfDj
    rn-1: rtrid 10.4.4.4, addr 10.4.4.4, strict node-sid label 16044
    Protected by: MPLS-SR-Tunnel2, tailend 10.4.4.4, rls node 10.4.4.4
    instance 12, metric 20, refcount 1

TI-LFA Node 10.4.4.4 via 10.2.0.1 Ethernet0/0, abr, instance 12, rspt dist 10
  in-ext-p-space, in-q-space, interesting node 1
  Link Protect strict Path-1: via 10.3.0.3 Et0/1, parent 1/10.3.3.3, metric:20,
rls-pt:10.3.3.3 at dist:10
  repair:y, rn-cnt:0, first-q:10.4.4.4, rtp-flags:Repair, PostConvrg, IntfDj, PrimPath
    Protected by: directly connected TI-LFA

TI-LFA Node 10.4.4.4 via 10.3.0.3 Ethernet0/1, abr, instance 12, rspt dist 10
  in-ext-p-space, in-q-space, interesting node 1
  Link Protect strict Path-1: via 10.2.0.1 Et0/0, parent 1/10.1.1.1, metric:20,
rls-pt:10.1.1.1 at dist:10
  repair:y, rn-cnt:0, first-q:10.4.4.4, rtp-flags:Repair, PostConvrg, IntfDj, PrimPath
    Protected by: directly connected TI-LFA


TI-LFA Protected neighbors:

  Neighbor 10.2.0.1 Ethernet0/0, ID 10.1.1.1, Dist 10, instance 12
    TI-LFA Required, TI-LFA Computed, RLFA not Required
    TI-LFA protection Required: link

  Neighbor 10.3.0.3 Ethernet0/1, ID 10.3.3.3, Dist 10, instance 12
    TI-LFA Required, TI-LFA Computed, RLFA not Required
    TI-LFA protection Required: link
```

厳格な SPF SR-TE トンネルの確認

```
Device#show mpls traffic-eng segment-routing ospf summary
IGP Area[1]:  ospf 10  area 0, Strict SPF Enabled:
Nodes:
```

```
IGP Id: 10.1.1.20, MPLS TE Id: 10.1.1.1, OSPF area 0
   2 links with segment-routing adjacency SID
IGP Id: 10.2.0.0, MPLS TE Id: 10.2.2.2, OSPF area 0
   2 links with segment-routing adjacency SID
IGP Id: 10.3.0.0, MPLS TE Id: 10.3.3.3, OSPF area 0
   3 links with segment-routing adjacency SID
IGP Id: 10.4.4.4, MPLS TE Id: 10.4.4.4, OSPF area 0
   3 links with segment-routing adjacency SID
IGP Id: 10.5.0.0, MPLS TE Id: 10.5.5.5, OSPF area 0
   2 links with segment-routing adjacency SID
Prefixes:
10.1.1.1/32, SID index: 1, Strict SID index: 11
10.2.0.2/32
10.2.2.2/32, SID index: 2, Strict SID index: 22
10.2.2.22/32, SID index: 222, Strict SID index: 2222
10.3.3.3/32, SID index: 3, Strict SID index: 34
10.3.3.33/32, SID index: 333, Strict SID index: 1333
10.4.4.4/32, SID index: 4, Strict SID index: 444
10.5.5.5/32, SID index: 5, Strict SID index: 555
10.6.6.6/32, SID index: 6
10.7.7.7/32, SID index: 7
Total:
  Node Count         : 5
  Adjacency-SID Count: 17
  Prefix-SID Count   : 10
Grand Total:
  Node Count         : 5
  Adjacency-SID Count: 17
  Prefix-SID Count   : 10
  IGP Areas Count    : 1
```

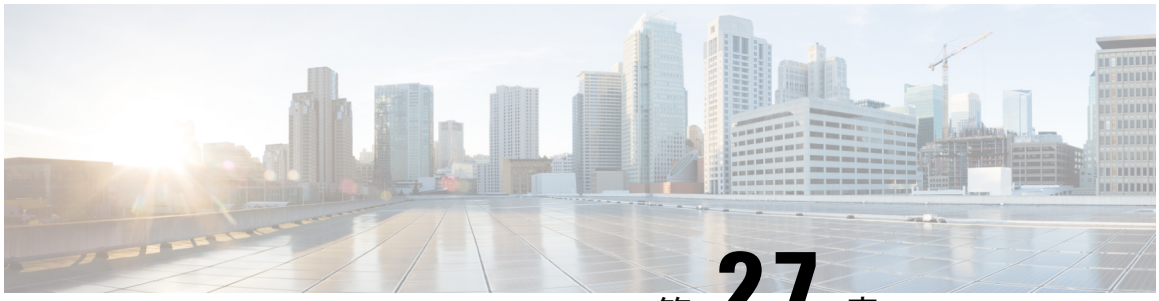
厳格な SPF 修復パスを使用して保護された adj-SID の確認

```
Device#sh ip ospf segment-routing protected-adjacencies detail

            OSPF Router with ID (10.0.0.0) (Process ID 10)

                        Area with ID (0)

Nbr id 10.0.0.1, via 10.0.0.2 on Ethernet0/1, Label 26
  Primary path: via 10.0.0.2 on Et0/1, out-label 3
  Repair path: via 10.0.0.3 on Et0/2, out-label 13222, cost 31, labels 0
  Nbr Prefix 10.0.0.4, Strict
Nbr id 10.0.0.5, via 10.0.0.3 on Ethernet0/2, Label 25
  Primary path: via 10.0.0.3 on Et0/2, out-label 3
  Repair path: via 10.0.0.2 on Et0/1, out-label 12333, cost 21, labels 0
  Nbr Prefix 10.0.0.5, Strict
```

セグメント ルーティング グローバル ブロックの確認

```
Device#show ip ospf segment-routing global-block

            OSPF Router with ID (10.0.0.0) (Process ID 10)

OSPF Segment Routing Global Blocks in Area 0

  Router ID:      SR Capable: SR Algorithm: SRGB Base: SRGB Range:  SID/Label:

 *10.0.0.0         Yes         SPF,StrictSPF 16000      8000         Label
  10.0.0.1         Yes         SPF,StrictSPF 16000      8000         Label
  10.0.0.2         Yes         SPF,StrictSPF 16000      8000         Label
```

```
  10.0.0.3        Yes         SPF           16000      8000         Label
  10.0.0.4        Yes         SPF,StrictSPF 16000      8000         Label
  10.0.0.5        No
  10.0.0.6        Yes         SPF           16000      8000         Label
Device#
```



第 27 章

セグメント ルーティング OSPFv2 マイクロループ回避

この機能により、IS-IS や OSPF などのリンクステート ルーティング プロトコルを使用して、トポロジ変更後のネットワーク コンバージェンス中に発生するマイクロループを防止または回避することができます。

セグメント ルーティング OSPFv2 マイクロループ回避に関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *26 :* セグメント ルーティング *OSPFv2* マイクロループ回避に関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
セグメント ルーティング OSPFv2 マイクロループ回避	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	セグメントルーティングマイクロループ回避により、IS-IS や OSPF などのリンクステート ルーティング プロトコルを使用して、トポロジ変更後のネットワーク コンバージェンス中に発生するマイクロループを防止または回避することができます。 この機能により、次のコマンドが導入または変更されました。**microloop avoidance segment-routing**。

セグメント ルーティング OSPFv2 マイクロループ回避に関する情報

マイクロループは、トポロジの変更（リンク ダウン、リンク アップ、またはメトリック変更イベント）後にネットワークで発生する短いパケットループです。マイクロループは、ネットワーク内の異なるノードの非同時コンバージェンスによって引き起こされます。ノードが収束し、収束していないネイバー ノードにトラフィックを送信すると、これら2つのノード間でトラフィックがループし、パケット損失、ジッター、および順不同パケットが発生する可能性があります。

セグメント ルーティング マイクロループ回避機能によってトポロジの変更が検出されると、セグメントのリストを使用して宛先へのループフリー パスが作成されます。

マイクロループ

リンクまたはネットワーク デバイスで発生した障害や復旧のためにネットワーク トポロジに変更が生じると、IP Fast Reroute によって迅速なネットワーク コンバージェンスが行われます。このとき、定期的なコンバージェンス機能によってトラフィックが新しく計算されたベストパス（別名、ポスト コンバージェンス パス）へ移動されるまで、事前に計算されていたバックアップ パスにトラフィックが移動されます。このネットワーク コンバージェンスにより、トポロジ内で直接または間接的に接続された2台のデバイス間で、マイクロループが短期間発生する可能性があります。マイクロループは、ネットワーク内の異なるノードが異なるタイミングで互いに別々に代替パスを計算したときに発生します。たとえば、あるノードがコンバージェンスを実行し、ネイバー ノードにトラフィックを送信したときに、そのネイバー ノードでまだコンバージョンが完了していないと、その2つのノードでトラフィックがループする可能性があります。

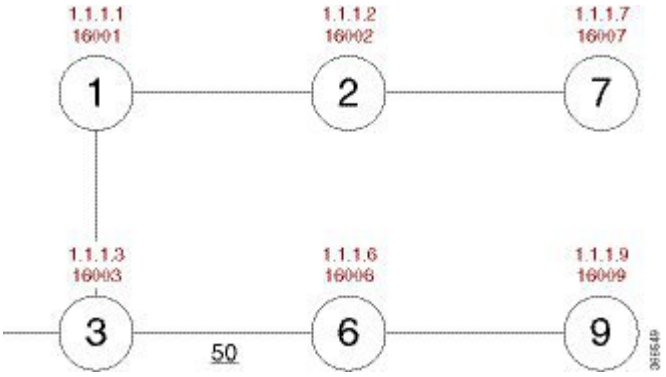
マイクロループによってトラフィックが損失する場合も、損失しない場合もあります。マイクロループが発生している期間が短ければ、つまりネットワークのコンバージェンスが迅速に行われれば、存続可能時間（TTL）が期限切れになるまでの短い期間、パケットがループする可能性があります。最終的には、パケットは宛先に転送されます。マイクロループの期間が長く

なる、つまりネットワーク内のいずれかのルータでコンバージェンスに時間がかかっていると、パケットで TTL が期限切れになったり、パケット レートが帯域幅を超過したり、パケットの順番が狂ったり、パケットがドロップされたりする場合があります。

障害が発生したデバイスとそのネイバーとの間で形成されたマイクロループはローカル ユーループと呼ばれます。また複数ホップ離れたデバイスとの間で形成されるマイクロループはリモート ユーループと呼ばれます。ローカル ユーループは、通常はローカルのループフリー代替（LFA）パスが使用できないネットワークで見られます。このようなネットワークでは、リモート LFA によってネットワークのバックアップ パスが提供されます。

上で説明した情報は、トポロジ例を参考にして示すことができます。

図 *28 :* マイクロループのトポロジの例



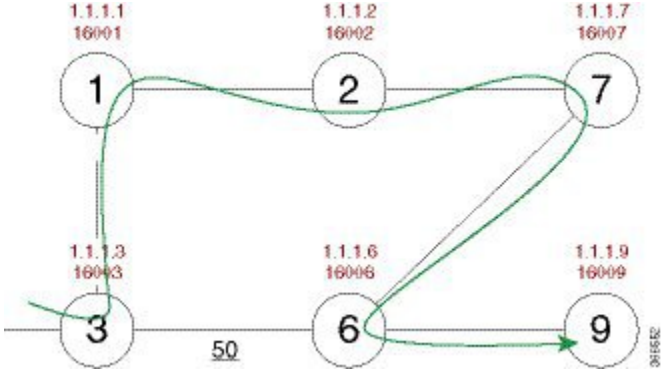
この例の前提条件は次のとおりです。

- デフォルトのメトリックは、メトリックが 50 であるノード 3 とノード 6 間のリンクを除き、各リンクごとに 10 です。各ノードでの SPF バックオフ遅延の収束順序は次のとおりです。
  - ノード 3：50 ミリ秒
  - ノード 1：500 ミリ秒
  - ノード 2：1 秒
  - ノード 7：1.5 秒

ノード 3 からノード 9（宛先）に送信されたパケットは、ノード 6 経由で通過します。

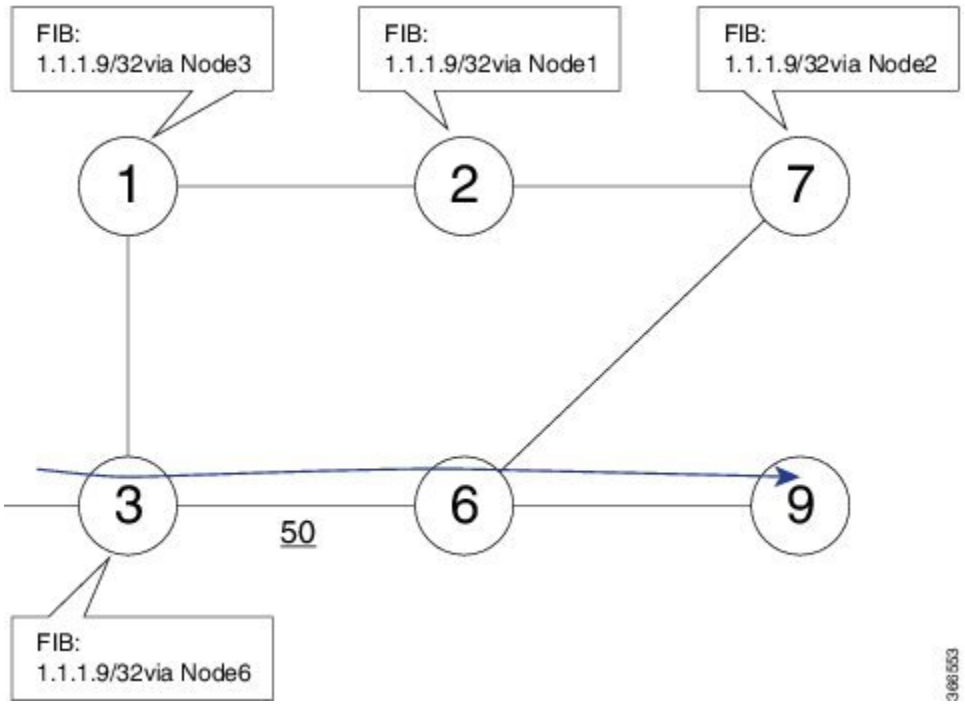
ノード 6 とノード 7 の間でリンクが確立されている場合、パケットが宛先であるノード 9 に到達する前のノード 3 からノード 9 へのパケットの最短パスは、ノード 1、ノード 2、ノード 7、およびノード 6 になります。

図 *29 :* マイクロループのトポロジの例：最短パス



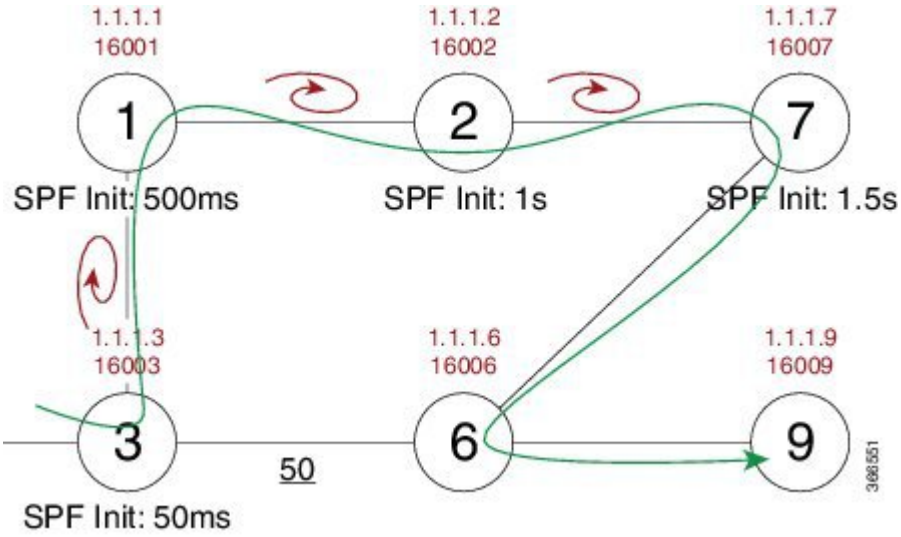
次の図は、ノード6とノード7間のリンクが確立される前の各ノードの転送情報ベース（FIB）テーブルを示しています。FIB エントリには、宛先ノード（ノード 9）のプレフィックスとネクスト ホップが含まれます。

図 *30 :* マイクロループのトポロジの例：*FIB* エントリ



ノード6とノード7間のリンクがアップすると、各ノードのコンバージェンスの順序に基づいて、マイクロループがリンクに対して発生します。この例では、ノード3は最初にノード1で収束し、その結果ノード3とノード1の間にマイクロループが発生します。その後、ノード1が次に収束し、その結果ノード1とノード2の間にマイクロループが発生します。次に、ノード2が次に収束し、その結果ノード2とノード7の間にマイクロループが発生します。最後に、次の図に示すように、ノード7はマイクロループの解決を収束し、パケットが宛先ノード9に到達します。

図 *31 :* マイクロループのトポロジの例：マイクロループ

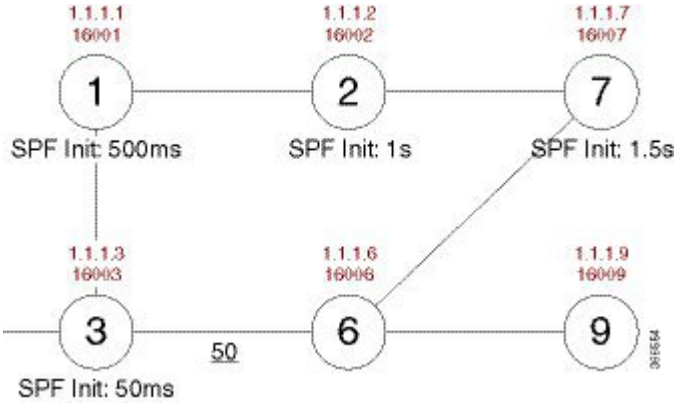


SPF コンバージェンス遅延を追加すると、マイクロループは 1.5 秒間（ノード 7 に指定されたコンバージェンス期間）接続を失うことになります。

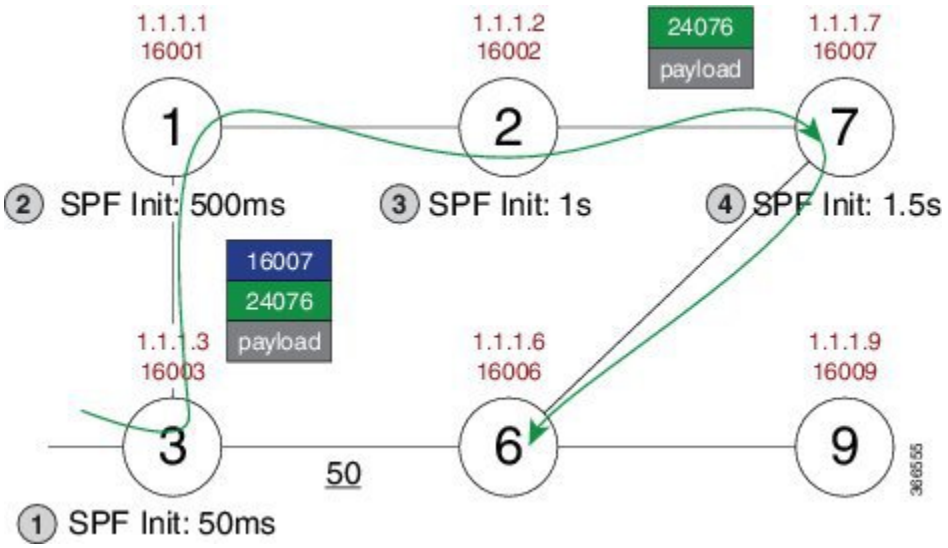
セグメント ルーティングを使用したマイクロループの防止

このセクションでは、例を使用して、セグメント ルーティングがマイクロループを防ぐ方法について説明します。この例のノード 3 は、**microloop avoidance segment-routing** コマンドで有効になっています。

図 *32 :* マイクロループのトポロジの例：セグメント ルーティング



FIB テーブルを更新する代わりに、ノード 3 は、ノード 7 のプレフィックス セグメント ID（SID）である 16007 を含むセグメント ID のリストと、ノード 6 の隣接関係セグメント ID（SID）である 24076 を使用して、宛先（ノード 9）のダイナミック ループフリー パスを構築します。



したがって、ノード 3 からのパケットが宛先ノード 9 に到達することが可能になり、ネットワークが収束するまでマイクロループのリスクがなくなります。最後に、ノード 3 は新しいパスで FIB を更新します。

セグメント ルーティング OSPFv2 マイクロループ回避の前提条件

SR マイクロループ回避を設定する前に、セグメント ルーティングが OSPF ルータ モードでグローバルに設定されていることを確認してください。

```
router ospf process
segment-routing mpls
```

セグメント ルーティング OSPFv2 マイクロループ回避の制約事項

- セグメント ルーティング OSPFv2 マイクロループ回避は、マルチ トポロジ ルーティング（MTR）をサポートしていません。MTID 0 のみをサポートしています。
- コンバージェンス後のパスに沿ったセグメント ID のリストは、リスト内のノードが SR に対応していて、ノード SID が少なくとも 1 つある場合にのみ使用されます。それ以外の場合、OSPF はコンバージェンス後のパスをただちにインストールします。
- SR マイクロループ回避は、ポイントツーポイント インターフェイスと 2 つのネイバーのみのブロードキャスト インターフェイスのリンク アップ、リンク ダウン、およびリンク メトリック変更イベントに使用されます。

- SRマイクロループ回避は、1つのトポロジ変更に対してのみ使用できます。複数のトポロジ変更が発生すると、OSPF はコンバージェンス後のパスをすぐにインストールします。

セグメント ルーティング OSPFv2 マイクロループ回避の設定

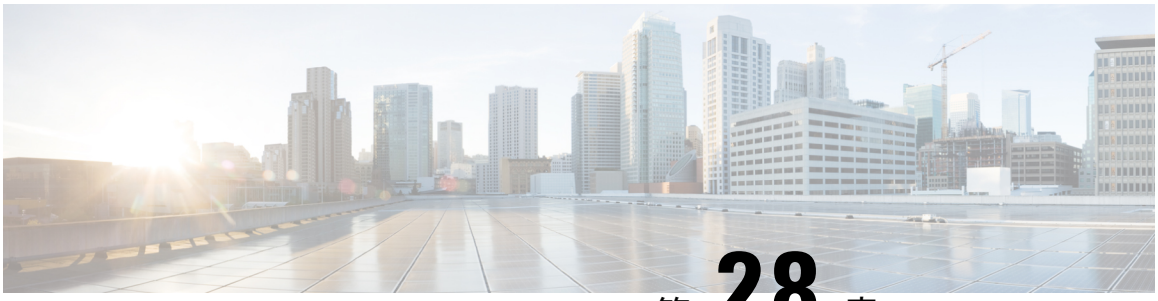
すべてのプレフィックスのセグメント ルーティング マイクロループ回避を有効にします。

```
router ospf
 microloop avoidance segment-routing
 microloop avoidance rib-update-delay delay-time
```

microloop avoidance rib-update-delay *delay-time* コマンドを使用して、ノードのフォワーディングテーブルを更新する前にノードが待機する遅延時間をミリ秒単位で設定し、マイクロループ回避の使用を停止します。RIB 遅延のデフォルト値は 5000 ミリ秒です。

セグメント ルーティング OSPFv2 マイクロループ回避の確認

show ip ospf segment-routing microloop avoidance コマンドを使用して、SR マイクロループ回避が有効かどうかを確認します。



第 28 章

トラフィックエンジニアリングのパフォーマンス測定

パケット損失、遅延、遅延変動（ジッター）、帯域幅使用率などのメトリックは、ネットワークのパフォーマンスを評価するのに役立ちます。これらのメトリックをトラフィックエンジニアリング（TE）の入力として使用し、サービスレベル契約（SLA）に準拠するようにネットワークを通過するトラフィックのフローを誘導できます。この機能を使用すると、TE のリンク遅延メトリックの測定とアドバタイズメントを設定できます。

トラフィックエンジニアリングのパフォーマンス測定に関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *27:* トラフィック エンジニアリングのパフォーマンス測定に関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
リンク遅延測定	Cisco IOS XE Bengaluru 17.4	パケット損失、遅延、遅延変動（ジッター）、帯域幅使用率などのメトリックは、ネットワークのパフォーマンスを評価するのに役立ちます。これらのメトリックをトラフィックエンジニアリング（TE）の入力として使用し、サービスレベル契約（SLA）に準拠するようにネットワークを通過するトラフィックのフローを誘導できます。この機能を使用すると、TE のリンク遅延メトリックの測定とアドバタイズメントを設定できます。

トラフィック エンジニアリングのパフォーマンスメトリックに関する情報

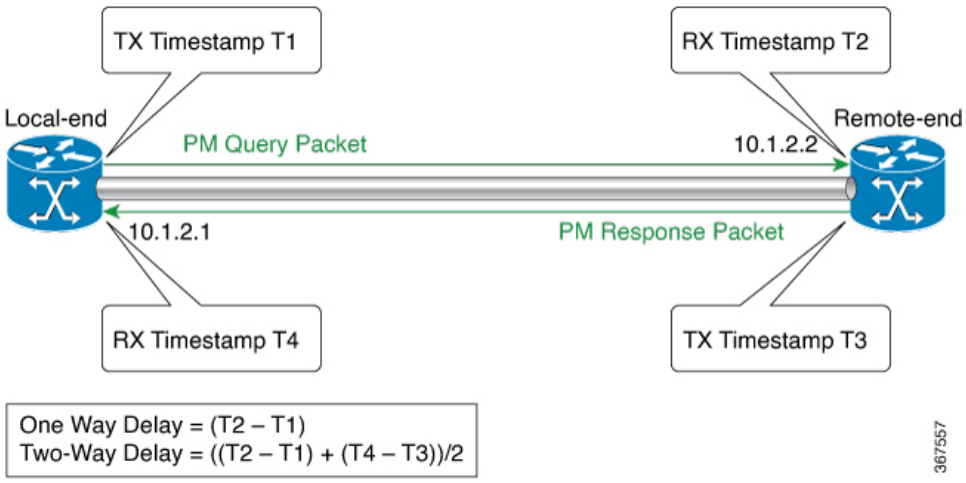
リンク遅延測定の概要

リンク遅延は、RFC 6374 で定義されている形式の PM クエリパケットを使用して測定されます。パケット形式をサポートするには、リモートラインカードがMPLS対応である必要があります。

（注） 双方向リンク遅延測定のみがサポートされています。

リンク遅延測定では、MPLS マルチキャスト MAC アドレスを使用して、遅延測定プローブパケットをネクストホップに送信します。リンクのネクストホップのアドレスを設定する必要はありません。リモート側のラインカードは、MPLS マルチキャスト MAC アドレスをサポートしている必要があります。

次の図は、PM クエリおよび応答パケットを使用したリンク遅延の測定を示しています。



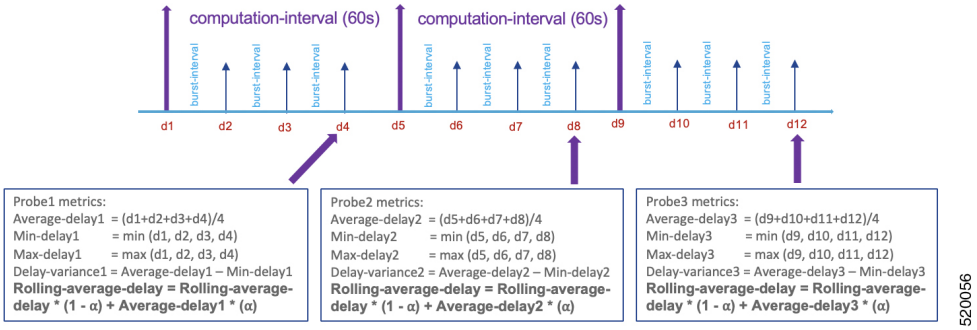
1. ローカルエンドルータは、設定されたインターバルでリモートエンドルータに PM Query パケットのバーストを送信します。パケットには、送信前にタイムスタンプ（T1）が付けられます。
2. リモートエンドルータでは、受信時にパケットにタイムスタンプ（T2）が付けられます。
3. リモートエンドルータは、タイムスタンプ（T1 および T2）を含む PM パケットをローカルエンドルータに送り返します。パケットには、送信前にタイムスタンプ（T3）が付けられます。
4. ローカルエンドルータでは、受信時にパケットにタイムスタンプ（T4）が付けられます。
5. ローカルエンドルータでは、PM パケットのタイムスタンプを使用して双方向リンク遅延が測定されます。

計算間隔のリンク遅延メトリック

ローカルエンドルータは、設定されたバースト間隔で、設定された数の PM クエリパケットをリモートエンドルータに送信します。ローカルエンドルータは、リモートエンドルータに送信してタイムスタンプとともに返される PM クエリパケットのバーストごとに、双方向リンク遅延を測定します。

設定されたプローブまたは計算間隔ごとに、PM パケットの複数のバーストが送信され、リンク遅延が測定されます。そのインターバルについて、最小、最大、平均のリンク遅延、および遅延バリアンスが計算されます。これらのメトリックは、インターバル中に送信されたバーストについて測定されたリンク遅延を使用して計算されます。

次の図は、計算間隔の遅延メトリックの計算を示しています。この例では、計算間隔は 60 秒で、バースト間隔は 15 秒です。



アドバタイズメントのリンク遅延メトリック

遅延メトリックの計算とアドバタイズメントは、定期的、高速、またはその両方で設定できます。リンク遅延メトリックのアドバタイズメントは、ISIS、OSPF、およびBGP-LSプロトコルでサポートされます。ISIS、OSPF、およびBGP-LSプロトコルを介してリンク遅延メトリックをフラッディングするために、追加の設定は必要ありません。

定期アドバタイズメント

定期アドバタイズメントはデフォルトで有効になっています。定期アドバタイズメントのインターバルは、1つ以上の計算またはプローブ間隔で構成されます。リンク遅延メトリックは、各計算間隔の終了時に計算されます。定期アドバタイズメントのインターバルでは、最後の計算間隔の後、リンクについて計算した最小遅延が以前にアドバタイズした値と比較されます。値の変動が設定された制限を超えている場合、リンクのすべての遅延メトリックがアドバタイズされます。値の変動が設定された制限内にある場合、リンクの遅延メトリックはアドバタイズされません。

- 定期アドバタイズメントのインターバルがN個の計算間隔で構成されているとすると、計算間隔 *i* の終了時に、次のメトリックが計算されます。
  - ローリング平均遅延

    ローリング平均遅延 = ローリング平均遅延(i-1) * 0.5 + 平均遅延(i) * 0.5
  - Minimum delay

    最小遅延 = 最小 [最小遅延（1）、...、最小遅延（i-1）、最小遅延（i）]
  - 最大遅延

    最大遅延 = 最大 [最大遅延（1）、…、最大遅延 （i-1）、最大遅延（i）]
  - 遅延バリアンス

    遅延バリアンス = 平均 [遅延バリアンス（1）、…、遅延バリアンス（i-1）、遅延バリアンス（i）]
- 定期アドバタイズメントのインターバルの最後の計算間隔の後、リンクの最小遅延は、その前の間隔の後にアドバタイズした値と比較されます。

- ケース 1：2 つの値の間の変化が、設定したしきい値と最小変化を超えている。この場合、最新の定期アドバタイズメントのインターバルの後にリンクについて計算したすべての遅延メトリックがアドバタイズされます。
- ケース 2：2 つの値の間の変化が、設定したしきい値と最小変化の範囲内である。この場合、遅延メトリックはアドバタイズされません。

高速アドバタイズメント

デフォルトでは、高速アドバタイズメントは無効になっています。高速アドバタイズメントを有効にすると、計算間隔の後にリンクについて計算した最小リンク遅延が、その前にアドバタイズした値と比較されます。値の変動が設定された制限を超えている場合、リンクのすべての遅延メトリックがアドバタイズされます。値の変動が設定された制限内にある場合、リンクの遅延メトリックはアドバタイズされません。

リンク遅延メトリックが高速でアドバタイズされると、定期アドバタイズメントのインターバルがリセットされます。このリセットにより、最新のアドバタイズメントと次の定期アセスメントの間に設定された時間間隔が確保されます。

リンクの状態が変化した場合のリンク遅延メトリック

リンクが DOWN 状態になると、リンク遅延メトリックが最大値でアドバタイズされます。最小、最大、平均のリンク遅延と遅延バリアンスは、16.7 秒（0xFFFFFF）の値でアドバタイズされます。最大メトリック値がアドバタイズされると、リンクが UP 状態になったときに、ルーティングおよび SR-TE パス計算で古いメトリック値が使用されることはありません。

グローバルリンク遅延プロファイル

リンク遅延メトリックの測定用にグローバルプロファイルを設定できます。プロファイルは、リンク遅延メトリックの計算とアドバタイズメントを制御するパラメータを定義し、デフォルト設定を置き換えます。グローバルであるため、プロファイルはすべてのインターフェイスのリンク遅延測定に適用されます。

グローバルプロファイルの一部として次のパラメータを設定できます。

表 *28 :* グローバルリンク遅延プロファイルのパラメータ

項目	パラメータ	説明
プローブ	間隔	デフォルトのプローブまたは計算間隔は30秒です。範囲は30 ～ 3600 秒です。
	protocol	プローブの送信に使用されるプロトコル。デフォルトであり、かつサポートされる唯一のプロトコルは pm-mpls です。MPLS カプセル化を使用したRFC 6374 に基づくリンク遅延測定です。
バースト	count	デフォルト値は10で、範囲は1 ～ 30 です。
	間隔	デフォルト値は 3000 ミリ秒で、範囲は 30 ～ 15000 ミリ秒です。
定期アドバタイズメント	間隔	デフォルト値は 120 秒で、インターバルの範囲は30 ～ 3600 秒です。
	threshold	定期アドバタイズメントのしきい値のデフォルト値は 10% です。
	minimum-change	デフォルト値は1000マイクロ秒で、範囲は 0 ～ 10000 マイクロ秒です。
	無効	定期アドバタイズメントはデフォルトで有効になっています。
高速アドバタイズメント	threshold	デフォルト値は 20% で、範囲は 0 ～ 100% です。
	minimum-change	デフォルト値は1000マイクロ秒で、範囲は 1 ～ 100000 マイクロ秒です。

リンク遅延測定の利点

平均遅延、最小遅延、最大遅延、遅延バリアンスなどのリンク遅延メトリックを使用して、ネットワーク遅延を判断できます。リンク遅延メトリックを使用すると、遅延問題のトラブルシュートや、サービスレベル契約（SLA）を満たすためのトラフィックエンジニアリング（TE）ソリューションの適用ができます。たとえば次のようなことができます。

- 遅延が許容可能な SR ポリシーの設定
- 提供している SR ポリシーの遅延パフォーマンスが許容限度を超えて低下した場合の、代替 SR ポリシーを介したトラフィックのステアリング

リンク遅延測定に関する制約事項

IOS XE リリース 17.1.x の制約事項

- 双方向リンク遅延の測定のみがサポートされています。
- PM リンク遅延測定は RFC 6374 に基づいており、PM パケットは MPLS/GAL カプセル化を使用します。
- しきい値チェックには、最小遅延値のみが使用されます。
- リンク遅延プローブプロトコルパケットのパケットサイズおよび TOS/DSCP/EXP は設定できません。
- 2 秒を超えるリンク遅延値は廃棄されます。

トラフィック エンジニアリングのパフォーマンス測定の設定方法

グローバルリンク遅延プロファイルの設定

インターフェイス遅延プロファイルモードを開始して、グローバルリンク遅延プロファイルのパラメータを設定します。

```
performance-measurement
    delay-profile
        interfaces    ---> Global default profile for link delay measurement
            probe
                interval <seconds>  (range:30-3600 seconds; default:30 seconds)
                burst
                    count <num-of-packets>  (range:1-30; default: 10)
                    interval <milliseconds>  (range:30-15000 milliseconds; default:3000 milliseconds)
                protocol
                   pm-mpls                   SR Policy delay measurement using RFC6374 with MPLS encapsulation
```

```
advertisement
    periodic                        (default: enabled)
        disabled
        interval <seconds>             (range:30-3600 seconds; default:120 seconds)
        threshold <percentage>         (range:0-100%; default:10%)
        minimum-change <microseconds>  (range:0-100000 microseconds; default: 1000 microseconds)
    accelerated                 (default: disabled)
        threshold <percentage>         (range:0-100%; default: 20%)
        minimum-change <microseconds>  (range:0-100000 microseconds; default: 1000 microseconds)
```

インターフェイスのリンク遅延測定の設定

インターフェイスのリンク遅延測定の有効化

次のように、インターフェイスの遅延測定を有効にします。

```
performance-measurement
    interface <interface-name>
        delay-measurement
```

インターフェイスのリンク遅延測定の無効化

次のように、インターフェイスの遅延測定を無効にします。

```
performance-measurement
    interface <interface-name>
        no delay-measurement
```

インターフェイスのリンク遅延の設定

インターフェイスのリンク遅延を次のように設定します。

```
performance-measurement
    interface <interface-name>
        delay-measurement
            advertise-delay <microseconds>    (range: 0-16777215 microseconds)
```

アドバタイズ遅延がインターフェイスに設定されている場合、

- 関連付けられたリンクの最小、最大、および平均遅延が、アドバタイズ遅延値に設定されます
- リンクの遅延バリアンスはゼロに設定されます
- リンク遅延メトリックはすぐにアドバタイズされます

計算間隔中に、PM クエリおよび応答パケットが交換され、リンク遅延メトリックが計算されます。これらのメトリックは履歴バッファに保存され、コマンド**show performance-measurement history interfaces** [**name** *interface-name*] [**adv** | **aggr** | **probe**]。ただし、アドバタイズ遅延が設定されている場合、しきい値チェックは実行されません。したがって、計算されたメトリックはアドバタイズされません。

次のように、インターフェイスのリンク遅延設定を削除します。

```
performance-measurement
    interface <interface-name>
```

```
    delay-measurement
        no advertise-delay <microseconds>    (range: 0-16777215 microseconds)
```

インターフェイスのリンク遅延設定が削除されると、

- 遅延メトリックは、IGP から TLV を削除することで非公開になります。
- その後のアドバタイズメントのインターバル終了時に、しきい値チェックが実行されます。しきい値チェックに基づいて、必要に応じてリンク遅延メトリックがアドバタイズされます。

モニタリングモードの有効化

モニタリングモードでは、計算された遅延メトリックは、履歴バッファに保存されます。ただし、メトリックはIGPまたはBGP-LSによってアドバタイズされません。履歴バッファ内のメトリックは、**show performance-measurement history interfaces** [**name** *interface-name*] [**adv** | **aggr** | **probe**] コマンドを使用して表示できます。

モニタリングモードを有効にするには、リンク遅延メトリックの定期アドバタイズメントと高速アドバタイズメントの両方を無効にします。

（注） 高速アドバタイズメントはデフォルトで無効になっています。

次のように、定期アドバタイズメントを無効にします。

```
performance-measurement
    delay-profile
        interfaces    ---> Global default profile for link delay measurement
            advertisement
                periodic                          (default: enabled)
                    disabled
```

モニタリングモードを有効にすると、

- リンク遅延メトリックは、システムのインターフェイスマネージャ属性を介して公開されません。
- リンク遅延メトリックは、IGPによってネットワーク内でフラッディングされたり、BGP-LSによってアドバタイズされたりすることはありません。

リンク遅延設定の確認

リンク遅延の設定を表示するには、**show performance-measurement summary** [**detail**] コマンドを使用します。

例

```
router#show performance-measurement summary
Total interfaces                  : 2
Maximum PPS                       : 100 pkts/sec
```

```
Interface Delay-Measurement:
  Total sessions                    : 2
  Profile configuration:
    Measurement Type                : Two-Way
    Probe interval                  : 30 seconds
    Burst interval                  : 3000 mSec
    Burst count                     : 10 packets
    Protocol                        : MPLS RFC6374
    HW Timestamp Supported          : Yes
    Periodic advertisement          : Enabled
      Interval                      : 120 (effective: 120) sec
      Threshold                     : 10%
      Minimum-Change                : 1000 uSec
    Advertisement accelerated       : Disabled
    Threshold crossing check        : Minimum-delay
  Counters:
    Packets:
      Total sent                    : 289588
      Total received                : 289588
    Errors:
      Total sent errors             : 23
      Total received errors         : 21
        .
        .
        .
```

インターフェイスのリンク遅延情報の表示

インターフェイスのリンク遅延測定に関する情報を表示するには、**show performance-measurement interfaces** [**name** *interface-name*] [**detail**] コマンドを使用します。

例

```
router#show performance-measurement interfaces name gigabitEthernet 0/0/7 detail
Interface Name: GigabitEthernet0/0/7 (ifh: 0xF)
  Delay-Measurement           : Enabled
  Local IPV4 Address          : 10.100.1.1
  Local IPV6 Address          : ::
  State                       : Up

  Delay Measurement session:
    Session ID                : 1

    Last advertisement:
      Advertised at: 13:53:11  28 2019 (434548 seconds ago)
      Advertised reason: Periodic timer, min delay threshold crossed
      Advertised delays (uSec): avg: 4011, min: 4033, max: 4050, variance: 4

    Next advertisement:
      Check scheduled in 2 more probes (roughly every 120 seconds)
      Aggregated delays (uSec): avg: 4040, min: 4035, max: 4054, variance: 5
      Rolling average (uSec): 4040

    Current Probe:
      Started at 14:35:38  02 2019 (1 second ago)
      Packets Sent: 1, received: 1
      Measured delays (uSec): avg: 4035, min: 4035, max: 4035, variance: 0
      Probe samples:
              Packet Rx Timestamp Measured Delay
                14:35:38  02 2019 4035081
      Next probe scheduled at 14:36:08  02 2019 (in 29 seconds)
      Next burst packet will be sent in 2 seconds
```

その他のコマンド

show コマンド

表 *29 :* ローカルエンドルータ（クエリア）の ***show*** コマンド

コマンド	説明
show performance-measurement summary [**detail**]	設定、セッションデータ、カウンタなど、PM リンク遅延情報を表示します。
show performance-measurement interfaces [**name** *interface-name*] [**detail**]	インターフェイスの PM リンク遅延情報を表示します。
show performance-measurement history interfaces [**name** *interface-name*] [**adv** | **aggr** | **probe**]	• **probe** ：インターフェイスの PM リンク遅延プローブ履歴を表示します。 • **adv** ：インターフェイスの PM リンク遅延アドバタイズメント履歴を表示します。リンク遅延メトリックのアドバタイズされる値は、ISIS、OSPF、または BGP を使用してフラッディングされた値です。 • **aggr** ：インターフェイスの PM リンク遅延集約履歴を表示します。
show performance-measurement counters interfaces [**name** *interface-name*] [**detail**]	PM リンク遅延セッションカウンタを表示します。
show performance-measurement sessions interface [*session-id*] [**detail**]	リモート側からプローブクエリを受信したインターフェイスに関する情報を表示します。

表 *30 :* リモートエンドルータ（レスポンダ）の ***show*** コマンド

コマンド	説明
show performance-measurement responder summary	リモートエンドルータ（レスポンダ）のリンク遅延サマリーの PM を表示します。
show performance-measurement responder interfaces [**name** *interface-name*]	リモートエンドルータ上のインターフェイスの PM リンク遅延設定情報を表示します。
show performance-measurement responder counters interface [**name** *interface-name*]	リモートエンドルータ上の PM リンク遅延セッションカウンタを表示します。

clear コマンド

表 *31 :* ローカルエンドルータ（クエリア）の ***clear*** コマンド

コマンド	説明
clear performance-measurement all	アドバタイズされた遅延メトリックを含む、すべてのパフォーマンス測定データをクリアします。このコマンドを使用すると、IGP またはBGP を使用してフラッディングされたすべての遅延メトリックが取り消されます。
clear performance-measurement delay interfaces [**name** *interface-name*]	インターフェイスの PM 遅延情報をクリアします。 （注） このコマンドを使用すると、クリアされたインターフェイスの以前にアドバタイズされた遅延が取り消されます。このコマンドの使用には注意が必要です。
clear performance-measurement counters interfaces [**name** *interface-name*]	PM インターフェイスカウンタをクリアします。
clear performance-measurement counters summary	PM サマリーカウンタをクリアします。

表 *32 :* リモートエンドルータ（レスポンダ）の ***clear*** コマンド

コマンド	説明
clear performance-measurement responder counters interfaces [**name** *interface-name*]	レスポンダの PM インターフェイスカウンタをクリアします。
clear performance-measurement responder counters summary	レスポンダの PM サマリーカウンタをクリアします。

debug コマンド

表 *33 :* ローカルエンドルータ（クエリア）の ***debug*** コマンド

コマンド	説明
debug performance-measurement query [**errors** | **entry** | **packet-errors** | **packets** | **queues** | **timers**]	クエリアでデバッグメッセージを有効化します。

表 *34 :* リモートエンドルータ（レスポンダ）の ***debug*** コマンド

コマンド	説明
debug performance-measurement responder [**errors** | **entry** | **packet-errors** | **packets** | **queues** | **timers**]	クエリアでデバッグメッセージを有効化します。

show tech-support コマンド

コマンド	説明
show tech-support perf_measure	パフォーマンス測定関連情報を表示します。
show tech-support monitor event-trace perf_measure	パフォーマンス測定に関連するトレース情報を表示します。

その他の参考資料

標準および **RFC**

標準/RFC	タイトル
RFC 6374	MPLS ネットワークのパケット損失と遅延の測定

第 29 章

パフォーマンス測定の設定

表 *35 :* 機能の履歴

機能名	リリース情報	説明
RFC5357（TWAMP ライト）を使用したセグメント ルーティング パフォーマンス測定の遅延測定	Cisco IOS XE Bengaluru 17.4	この機能により、ハードウェアタイムスタンプが有効になります。リンク遅延のパフォーマンス測定（PM）は、RFC 5357 の付録 I で定義されている IP および UDP を介した双方向アクティブ測定プロトコル（TWAMP）の軽量バージョンを使用します。TWAMP は、RFC 6374 を使用していない場合の相互運用性の代替手段を提供します。
GRE-IPSec トンネルのセグメントルーティング絶対的一方向リンク損失測定	Cisco IOS XE Dublin 17.10.1a	この機能は、指定した損失基準を満たすパスを識別するために、ポイントツーポイント GRE-IPSec トンネルのリンク損失測定メカニズムを提供します。

パケット損失、遅延、遅延変動、帯域幅使用率などのネットワーク評価指標は、サービスプロバイダー ネットワーク内のトラフィック エンジニアリング（TE）の重要な評価基準です。これらの評価指標は、パフォーマンス評価のためにネットワークの特性に関する情報をネットワークオペレータに提供し、サービスレベル契約に準拠するようにします。サービスプロバイダーのサービスレベル契約（SLA）は、これらのネットワーク評価指標を測定および監視する能力によって異なります。ネットワークオペレータは、パフォーマンス測定（PM）機能を使用して、リンクのネットワークメトリックとともに、エンドツーエンドの TE ラベルスイッチドパス（LSP）もモニターできます。

次の表では、リンクまたは SR ポリシーの遅延を測定するためにパフォーマンス測定機能でサポートされている機能について説明します。

表 *36 :* パフォーマンス測定機能

機能	詳細（Details）
プローブとバーストのスケジューリング	プローブをスケジュールし、遅延測定用のメトリック アドバタイズメント パラメータを設定します。
メトリック アドバタイズメント	設定されたしきい値を使用して測定メトリックを定期的にアドバタイズします。また、設定されたしきい値を使用した高速アドバタイズメントもサポートします。
測定履歴とカウンタ	パケットの遅延および損失の測定履歴と、セッションカウンタおよびパケット アドバタイズメント カウンタも維持します。

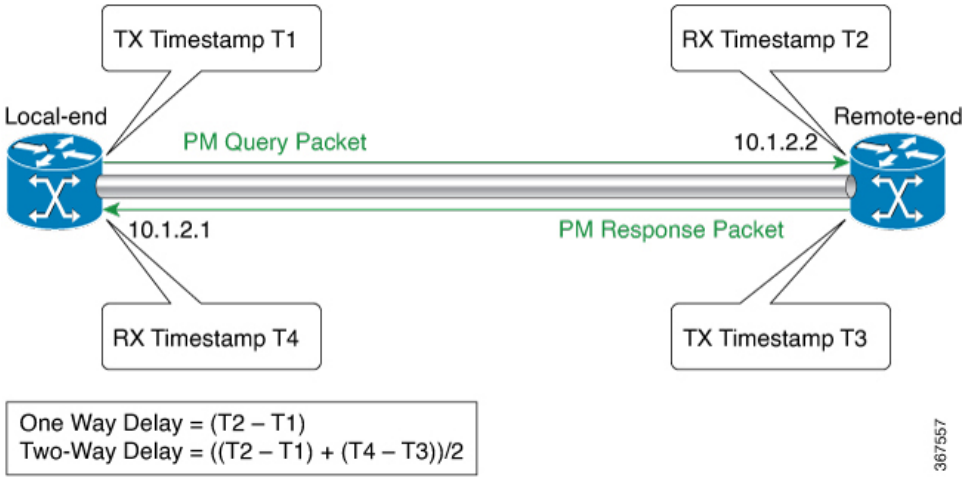
- リンク遅延測定 （284 ページ）
- エンドツーエンド遅延測定 （289 ページ）
- 一方向リンク損失測定 （293 ページ）
- show コマンドの例 （303 ページ）

リンク遅延測定

リンク遅延の PM は、RFC 5357 の付録 I で定義されている、IP および UDP を介した Two-Way Active Measurement Protocol（TWAMP）の軽量バージョンを使用します。したがって、TWAMP テストセッションのみが実装され、TWAMP 制御プロトコルは実装されません。TWAMP は、RFC 6374 を使用していない場合の相互運用性の代替手段を提供します。TWAMP パケットは、IP および UDP を介して伝送されます。したがって、MPLS データプレーンへの依存関係が解消されます。

次の図で、リンク遅延の PM クエリと応答について説明します。

図 *33* : リンク遅延のパフォーマンス測定



リンク遅延の PM クエリと応答は、次の手順で説明できます。

1. ローカルエンドルータは、ルータの出力ラインカードがパケットにタイムスタンプを適用すると、リモート側に PM クエリパケットを定期的に送信します。
2. リモートエンドルータの入力ラインカードは、それを受信するとすぐにパケットにタイムスタンプを適用します。
3. リモートエンドルータは、タイムスタンプを含む PM パケットをローカルエンドルータに送り返します。リモートエンドルータは双方向測定のために、送信する直前にパケットにタイムスタンプを付けます。

リンク遅延に関する PM の制約事項および使用上のガイドライン

異なるリンクのリンク遅延機能の PM には、次の制約とガイドラインが適用されます。

- ブロードキャストリンクでは、ポイントツーポイント（P2P）リンクのみがサポートされます。値のフラッディングには、IGP での P2P 設定が必要です。
- ASR 1000 プラットフォームは PTP 1588v2 クロックをサポートしていないため、（T2-T1）を使用して一方向遅延値を計算することはできません。したがって、双方向遅延値を 2 で除算して一方向遅延値を計算します。
  - 双方向遅延 = (T2 – T1) + (T4 – T3)
  - 一方向遅延 = ((T2 – T1) + (T4 – T3))/2

PM リンク遅延：さまざまなパラメータのデフォルト値

リンク遅延に関する PM のさまざまなパラメータのデフォルト値は次のとおりです。

- probe：プローブのデフォルトモードは双方向遅延測定です。

- interval：デフォルトのプローブ間隔は 30 秒です。範囲は 30 ～ 3600 秒です。
- burst count：デフォルト値は 10 で、範囲は 1 ～ 30 です。
- burst interval：デフォルト値は 3000 ミリ秒で、範囲は 30 ～ 15000 ミリ秒です。
- periodic advertisement：定期的なアドバタイズメントはデフォルトで有効になっています。
- periodic-advertisement interval：デフォルト値は 120 秒で、インターバルの範囲は 30 ～ 3600 秒です。
- periodic-advertisement threshold：定期的なアドバタイズメントのしきい値のデフォルト値は 10% です。
- periodic-advertisement minimum：デフォルト値は 1000 マイクロ秒（usec）で、範囲は 0 ～ 100000 マイクロ秒です。
- accelerated advertisement：拡張アドバタイズメントはデフォルトで無効になっています。
- accelerated-advertisement threshold：デフォルト値は 20% で、範囲は 0 ～ 100% です。
- accelerated-advertisement minimum：デフォルト値は 1000 マイクロ秒で、範囲は 1 ～ 100000 マイクロ秒です。

設定例：リンク遅延の PM

この例では、リンク遅延のパフォーマンス測定機能をグローバル デフォルト プロファイルとして設定する方法を示します。

```
R1(config)#performance-measurement
R1(config-perf-meas)# delay-profile interfaces

R1(config-pm-dm-intf)#advertisement
R1(config-pm-dm-intf-adv)# accelerated // Default: Disabled
R1(config-pm-dm-intf-adv-acc)#threshold 40 //Default 20%
R1(config-pm-dm-intf-adv-acc)#minimum-change 1000 //Default 1000uSec
R1(config-pm-dm-intf-adv)#periodic
R1(config-pm-dm-intf-adv-per)#interval 100 //Default 120seconds
R1(config-pm-dm-intf-adv-per)#threshold 40 //Default 10%
R1(config-pm-dm-intf-adv-per)#minimum-change 1000 //Default 1000 uSec
R1(config-pm-dm-intf)#probe

R1(config-pm-dm-intf-probe)#computation-interval 40 // Def: 30s
R1(config-pm-dm-intf-probe)#burst-interval 40 // Def: 3000 mSec
R1(config-perf-meas)#delay-profile sr-policy
R1(config-pm-dm-srpol)#advertisement
R1(config-pm-dm-sr-adv)#accelerated // Default: Disabled
R1(config-pm-dm-sr-adv-acc)#threshold 40 //Default 40%
R1(config-pm-dm-sr-adv-acc)#minimum-change 4000 // Def: 500 uSec
R1(config-pm-dm-sr-adv)#periodic

R1(config-pm-dm-srpol-adv-per)#interval 100 // Def: 120 sec
R1(config-pm-dm-srpol-adv-per)#threshold 40 // Def: 10%
R1(config-pm-dm-srpol-adv-per)#minimum-change 2000 // Def: 500 uSec
R1(config-pm-dm-srpol)#probe
R1(config-pm-dm-srpol-probe)#computation-interval 40 // Def: 30s
```

```
R1(config-pm-dm-srpol-probe)#burst-interval 40 // Def: 3000 mSec
R1(config-pm-dm-srpol-probe)#exit

R1(config-pm-dm-srpol)#exit

R1(config-pm-dm-srpol-adv-per)#exit
R1 R1(config-pm-dm-intf-probe)#exit
R1(config-pm-dm-intf-adv)#exit

R1(config-pm-dm-intf)#exit

R1(config-perf-meas)#exit
```

この例では、インターフェイス上のリンク遅延に対して PM を有効にする方法を示します。

```
R1(config)#performance-measurement
R1(config-perf-meas)#interface GigabitEthernet 0/0/1
R1(config-pm-intf)#delay-measurement
R1(config-pm-intf-dm)#exit
R1(config-pm-intf-dm)#next-hop ipv4 10.50.62.1
R1(config-pm-intf)#exit
```

検証：PM リンク遅延設定

この例では、**show performance-measurement summary** [**detail**] コマンドを使用してリンク遅延設定の PM を確認する方法を示します。

```
R1#show performance-measurement summary detail
Total interfaces                              : 3
Maximum PPS                                   : 100 pkts/sec

Interface Delay-Measurement:
  Total sessions                              : 3
  Profile configuration:
    Measurement Type                          : Two-Way
    Computation interval                      : 30 seconds
    Burst interval                            : 3000 mSec
    Burst count                               : 10 packets
    Protocol                                  : TWAMP-Lite Unauth
    HW Timestamp Supported                    : No
    Periodic advertisement                    : Enabled
      Interval                                : 30 (effective: 30) sec
      Threshold                               : 100%
      Minimum-Change                          : 100000 uSec
    Accelerated advertisement                 : Enabled
      Threshold                               : 100%
      Minimum-Change                          : 100000 uSec
    Threshold crossing check                  : Minimum-delay
  Counters:
    Packets:
      Total sent                              : 293020
      Total received                          : 293016
    Errors:
        TX:
          Total interface down                : 0
          Total no MPLS caps                  : 0
          Total no IP address                 : 0
          Total other                         : 19
        RX:
          Total negative delay                : 144
```

```
          Total delay threshold exceeded      : 0
          Total missing TX timestamp          : 0
          Total missing RX timestamp          : 0
          Total probe full                    : 0
          Total probe not started             : 0
          Total control code error            : 0
          Total control code notif            : 0
    Probes:
      Total started                           : 29306
      Total completed                         : 29155
      Total incomplete                        : 148
      Total advertisements                    : 3

Global Delay Counters:
  Total packets sent                          : 293020
  Total query packets received                : 293016
  Total invalid session id                    : 0
  Total no session                            : 0

HW Support for MPLS-GAL [RFC6374] timestamp   : No
HW Support for TWAMP [RF5357] timestamp       : No
HW Support for 64 bit timestamp               : No
HW Support for IPv4 UDP Cheksum               : No
```

この例では、**show performance-measurement interfaces** [*interface-name*] [**detail**] コマンドを使用してリンク遅延設定の PM を確認する方法を示します。

```
R1#show performance-measurement interfaces detail
Interface Name: GigabitEthernet0/2/3 (ifh: 0xA)
  Delay-Measurement           : Enabled
  Local IPV4 Address          : 10.50.62.2
  Local IPV6 Address          : ::
  State                       : Up

  Delay Measurement session:
    Session ID                : 1

    Last advertisement:
      Advertised at: 09:21:08  12 2019 (439879 seconds ago)
      Advertised reason: Advertise delay config
      Advertised delays (uSec): avg: 2000, min: 2000, max: 2000, variance: 0

    Next advertisement:
      Check scheduled at the end of the current probe (roughly every 30 seconds)
      No probes completed
      Rolling average (uSec): 3146

    Current Probe:
      Started at 11:32:17  17 2019 (10 seconds ago)
      Packets Sent: 4, received: 4
      Measured delays (uSec): avg: 1999, min: 1500, max: 2499, variance: 499
      Probe samples:
              Packet Rx Timestamp Measured Delay
                11:32:17  17 2019 1999999
                11:32:20  17 2019 1500000
                11:32:23  17 2019 2499999
                11:32:26  17 2019 1999999
      Next probe scheduled at 11:32:46  17 2019 (in 19 seconds)
      Next burst packet will be sent in 1 seconds
R1#
```

次のコマンドを使用して、ローカルエンドルータのリンク遅延の PM を確認することもできます。

コマンド	説明
show performance-measurement history interfaces [name*interface-name*] probe	インターフェイスの PM リンク遅延プローブ履歴を表示します。
show performance-measurement history interfaces [name*interface-name*] aggr	インターフェイスの PM リンク遅延集約履歴を表示します。
show performance-measurement counters interface [name*interface-name*] [detail]	PM リンク遅延セッションカウンタを表示します。
show performance-measurement responder interfaces [name*interface-name*]	リモートエンドルータ上のインターフェイスのリンク遅延の PM を表示します。
show performance-measurement responder counters interface [name*interface-name*]	リモートエンドルータ上の PM リンク遅延セッションカウンタを表示します。

エンドツーエンド遅延測定

表 *37* : 機能の履歴

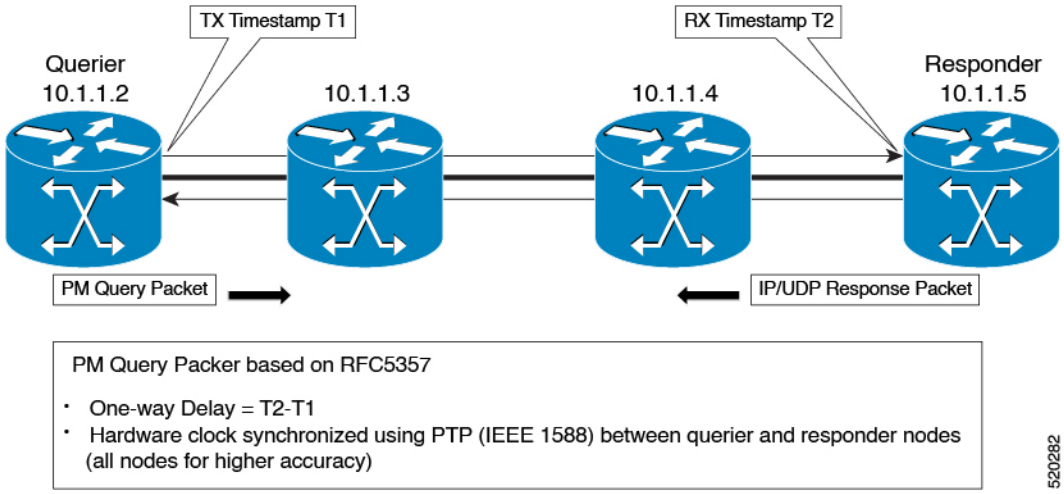
機能名	リリース情報	説明
セグメント ルーティング パフォーマンス測定のエンドツーエンド遅延測定	Cisco IOS XE Bengaluru 17.4	この機能を使用すると、セグメント ルーティング ポリシーを介して送信されるトラフィックで発生するエンドツーエンド遅延をモニターできます。この機能により、遅延が指定したしきい値を超えたり、SLA に違反したりすることがなくなります。この機能を使用して、拡張 TE リンク遅延メトリック（最小遅延値）を適用し、最適化メトリックまたは累積遅延境界としてセグメント ルーティング ポリシーのパスを計算します。

Cisco IOS XE リリース 17.4.1 以降、セグメント ルーティング パフォーマンス管理にエンドツーエンド遅延測定機能が導入されています。この機能を使用して、セグメント ルーティング ポリシーを介して送信されるトラフィックで発生するエンドツーエンド遅延をモニターします。この機能により、遅延が指定したしきい値を超えたり、SLA に違反したりすることがなくなります。転送テーブル内のセグメント ルーティング ポリシーの候補パスやセグメントリストを

アクティブにする前に、エンドツーエンド遅延値を確認できます。また、エンドツーエンド遅延値を使用して、転送テーブル内のセグメント ルーティング ポリシーのアクティブな候補パスやセグメントリストを非アクティブにすることもできます。この機能を使用して、拡張 TE リンク遅延メトリック（最小遅延値）を適用し、最適化メトリックまたは累積遅延境界としてセグメント ルーティング ポリシーのパスを計算します。

次の図は、エンドツーエンド遅延測定の PM クエリと応答について説明しています。

図 *34* : エンドツーエンド遅延測定のパフォーマンス測定



エンドツーエンド遅延測定の PM クエリと応答は、次の手順で説明できます。

1. ルータの出力ラインカードがパケットにタイムスタンプを適用すると、クエリアルータは PM クエリパケットをレスポンダルータに定期的に送信します。
2. レスポンダルータの入力ラインカードは、受信時にパケットにタイムスタンプを適用します。
3. SR ポリシーのエンドツーエンド遅延値は、ルータ内のキューイング遅延などのいくつかの要因により、パス計算結果（TE リンク遅延メトリックの合計）とは異なります。
4. リモートエンドルータは、タイムスタンプを含む PM パケットをローカルエンドルータに送り返します。リモートエンドルータは、双方向測定のため、パケットを送信する直前にパケットにタイムスタンプを付けます。
5. ローカルエンドルータは、双方向測定のため、パケットを受信するとすぐにパケットにタイムスタンプを付けます。

設定例：エンドツーエンドの遅延管理用の PM

下記の例では、エンドツーエンドの遅延管理用のオンデマンド セグメント ルーティング ポリシーを設定する方法を示します。

```
#show running-config | s on-demand color 800
on-demand color 800 ----------------------------------------------------------> SR ODN
```

```
Policy
authorize
performance-measurement ----------------------------------------------------> SR PM CLI
delay-measurement ----------------------------------------------------------> SR PM CLI
candidate-paths
preference 1
constraints
segments
dataplane mpls
!
!
dynamic
pcep
metric
type delay
!
!
!
#

#show segment-routing traffic-eng policy name *10.216.216.216|800

Name: *10.216.216.216|800 (Color: 800 End-point: 10.216.216.216)
Owners : BGP
Status:
Admin: up, Operational: up for 01:27:24 (since 11-29 04:41:36.053)
Candidate-paths:
Preference 1 (BGP):
Dynamic (pce 10.12.12.12) (active)
Weight: 0, Metric Type: DELAY
Metric Type: DELAY, Path Accumulated Metric: 330
16011 [Prefix-SID, 10.205.205.205]
1133 [Adjacency-SID, 10.50.72.1 - 10.50.72.2]
16009 [Prefix-SID, 10.216.216.216]
Attributes:
Binding SID: 1218
Allocation mode: dynamic
State: Programmed
IPv6 caps enabled
#
```

この例では、エンドツーエンドの遅延管理のパフォーマンス測定機能をグローバルデフォルトプロファイルとして設定する方法を示します。

```
R1(config)#performance-measurement
R1(config-perf-meas)#delay-profile sr-policy

R1(config-pm-dm-srpol)#probe
R1(config-pm-dm-srpol-probe)#computation-interval 40

R1(config-pm-dm-srpol-probe)#burst-interval 40

R1(config-pm-dm-srpol-probe)#protocol twamp-light
R1(config-pm-dm-srpol-probe-protocol)#exit

R1(config-pm-dm-srpol-probe)#exit
R1(config-pm-dm-srpol)#advertisement periodic

R1(config-pm-dm-srpol-adv-per)#interval 100
R1(config-pm-dm-srpol-adv-per)#threshold 20

R1(config-pm-dm-srpol-adv-per)#minimum-change 500
```

```
R1(config-pm-dm-srpol-adv-per)#exit

R1(config-pm-dm-sr-adv)#exit

R1(config-pm-dm-srpol)#advertisement accelerated

R1(config-pm-dm-sr-adv-acc)#threshold 40

R1(config-pm-dm-sr-adv-acc)#minimum-change 1000

R1(config-pm-dm-sr-adv-acc)#exit
R1(config-pm-dm-sr-adv)#exit

R1(config-pm-dm-srpol)#exit

R1(config-perf-meas)#exit
```

検証：PM エンドツーエンド遅延管理設定

この例では、**show performance-measurement summary** コマンドを使用してエンドツーエンド遅延管理設定の PM を確認する方法を示します。

```
R1#show performance-measurement summary
Total interfaces                              : 6
Total SR Policies                             : 1
Maximum PPS                                   : 1000 pkts/sec

SR Policy Delay-Measurement:
  Total sessions                              : 1
  Profile configuration:
    Measurement Type                          : Two-Way
    Computation interval                      : 30 seconds
    Burst interval                            : 3000 mSec
    Burst count                               : 10
    Protocol                                  : TWAMP-Lite Unauth
    HW Timestamp Supported                    : Yes
    Periodic advertisement                    : Enabled
      Interval                                : 30 (effective: 30) sec
      Threshold                               : 15%
      Minimum-Change                          : 600 uSec
    Accelerated advertisement                 : Enabled
      Threshold                               : 25%
      Minimum-Change                          : 900 uSec
    Threshold crossing check                  : Minimum-delay
  Counters:
    Packets:
      Total sent                              : 334
      Total received                          : 0
    Errors:
      Total sent errors                       : 0
      Total received errors                   : 0
    Probes:
      Total started                           : 33
      Total completed                         : 0
      Total incomplete                        : 33
      Total advertisements                    : 0

Global Delay Counters:
  Total packets sent                          : 1251
  Total query packets received                : 917
```

```
  Total invalid session id                    : 0
  Total no session                            : 0

HW Support for MPLS-GAL [RFC6374] timestamp   : No
HW Support for TWAMP [RF5357] timestamp       : Yes
HW Support for 64 bit timestamp               : Yes
HW Support for IPv4 UDP Cheksum               : No
R1#
```

一方向リンク損失測定

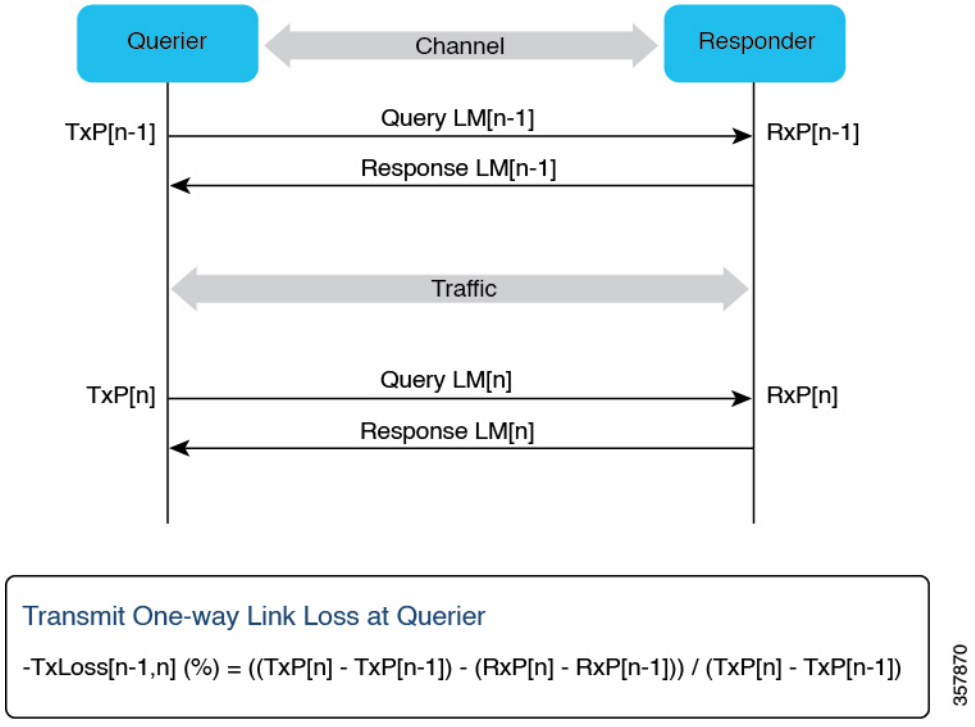
Cisco IOS XE リリース 17.10.1a 以降、ポイントツーポイント GRE-IPSec トンネルのリンク損失を測定するために、デュアルカラー損失測定メカニズムが実装されています。

一方向リンク損失測定に関する情報

ネットワーク全体で計算されるパスは、特定の SLA を達成するために、指定された損失要件を満たす必要があります。一方向リンク損失測定機能は、既存のネットワークパフォーマンス測定機能を拡張して、リンク損失を測定し、SLA の損失要件を満たすための基準として使用します。

これを実現するために、ユーザー データグラム プロトコル（UDP）による IP を介したシンプルな双方向直接損失測定（*SDLM*）の基本プロトコルを活用する、絶対一方向パッシブメカニズムが導入されています。

図 *35*：一方向リンク損失測定の概要



一方向リンク損失測定に関する制約事項

- デュアルカラーの GRE 一方向リンク損失測定のみがサポートされます。
- デュアルカラーの損失測定メカニズムは、ポイントツーポイントGRE-IPSecトンネルリンク損失の測定にのみ使用できます。
- クエリアとレスポンダは、同じ querier-dst-port UDP ポートを使用する必要があります。
- 設定するクエリア宛先ポート（querier-dst-port）とクエリア送信元ポート（querier-src-port）は異なっている必要があります。
- オーバーレイ宛先 IP アドレスは、測定された GRE-IPSec トンネルのネクストホップとして設定する必要があります。
- すべての測定対象インターフェイスは、クエリア側とレスポンダ側の両方で同じ GRE を使用する必要があります。
- サポートされる最大セッション数は下記のとおりです。
  - BFD および IS-IS を使用した GRE-IPSec トンネル：500
  - パフォーマンスの測定：500
- 内部ゲートウェイプロトコル（IGP）としてサポートされるのは IS-IS のみです。

一方向リンク損失測定でサポートされるプラットフォーム

Cisco IOS XE 17.10.1a 以降、一方向リンク損失測定は次のプラットフォームで使用できます。

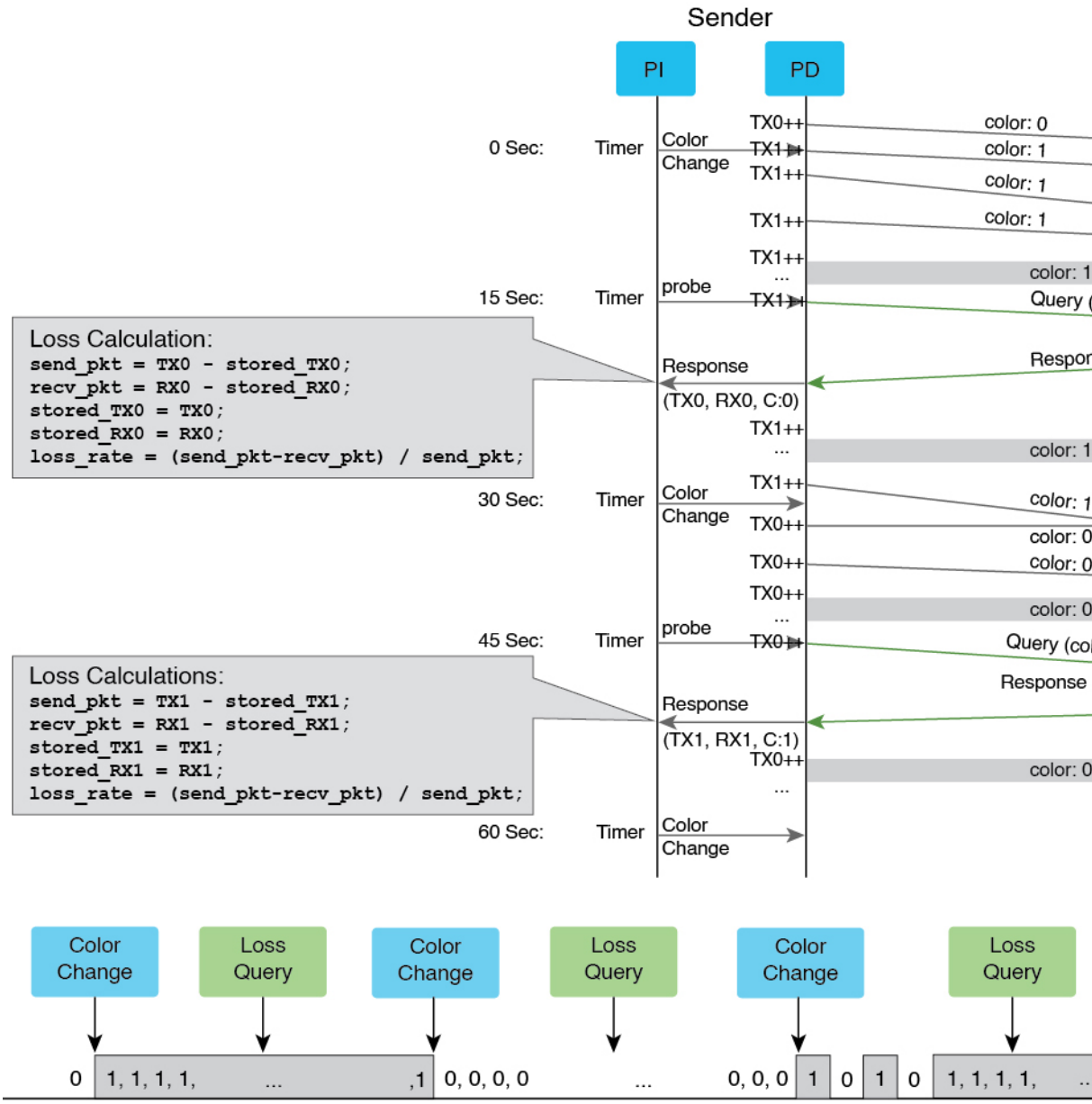
- Cisco 1000 シリーズ アグリゲーション サービス ルータ（ASR）
- Cisco Catalyst 8300 シリーズ エッジ プラットフォーム
- Cisco Catalyst 8500 シリーズ エッジプラットフォーム
- Cisco Catalyst 8000V Edge ソフトウェア

GRE-IPSec トンネルのデュアルカラー損失測定

デュアルカラー損失測定メカニズムは、リアルタイムトラフィックのGRE-IPSecトンネルリンク損失を測定するために導入されています。未使用のビット（**[フラグ（Flags）]**フィールドの9～12）の1つを、デュアルカラーリング用のGREヘッダー（RFC 1701）の**[カラー（Color）]**フィールドとして使用します。明示的に設定されていない場合、デフォルト値は 9 です。

デュアルカラー損失測定メカニズムを実装するため、**color-type** コマンドに新しいキーワード（**dual-color gre**）が導入されます。

図 *36* : デュアルカラー損失測定メカニズム



デュアルカラーメカニズムは次のように実装されます。

- トラフィックは、GRE ヘッダーの [カラー（Color）] フィールドのカラー値（0 または 1）でタグ付けされ、カラー値は一定の間隔で 0 と 1 が交互に切り替わります。
- カラー付きのトラフィックがインターフェイスごとにカラー別でカウントされます。
- UDP プロトコルによる IP 経由の非認証 SDLM 形式は、SDLM プローブパケットと SDLM 応答プローブパケットをエンコードするために使用されます。これらのパケットは、非アクティブな TX または RX カウンタを伝送し、クエリア側で損失を計算します。

リンク損失測定に関する IGP IS-IS アドバタイズメント

IGP は、セグメント ルーティング パフォーマンス測定（SR-PM）からの A ビットの有無にかかわらず、拡張トラフィック エンジニアリング リンク損失メトリックをパーセンテージでアドバタイズします。このアドバタイズメントを有効化するために IS-IS で追加の設定を行う必要はありません。

- SR-PMが測定したリンク損失値が、設定したしきい値と最小変更値に違反した場合、SR-PMは値をパーセンテージとしてIS-ISに送信し、この値はIS-ISドメインでアドバタイズされます。
- **異常（A）ビット**は、設定した下限値と上限値をチェックすることで測定されたリンク損失値をアドバタイズする新しい方法を提供するために導入されています。
  - 測定されたリンク損失値が上限値を超えており、**A ビット**が設定されていない場合、SR-PMはアドバタイズのために、**A ビット**が設定された状態でその値をパーセンテージとして IS-IS に送信します。
  - 測定されたリンク損失値が下限値を下回っており、**A ビット**が設定されている場合、SR-PMはアドバタイズのために、**A ビット**が設定されていない状態でその値をパーセンテージとして IS-IS に送信します。

測定されたリンク損失に対する IGP IS-IS メトリック ペナルティ オプション

IS-IS は、ISIS インターフェイスの下に新しい CLI を追加することでメトリックペナルティのメカニズムを導入し、A ビットが設定されている場合に測定されたリンクの IGP、TE、または IGP と TE の両方のリンクメトリックを増やす、あるいは A ビットが設定されていない場合にそれを減らすというオプションを提供します。

isis metric fallback anomaly loss <*options*>

設定例：一方向リンク損失測定

クエリアでの設定

次に、GRE-IPSec トンネルに対してリンク損失測定を有効にし、ネクストホップを設定したクエリア側の設定の例を示します。測定したリンク損失値をIGPにアドバタイズする定期間隔は120秒に設定され、プローブ間隔は30秒に設定されます。異常基準の下限と上限は、デフォルト設定では 0.5 と 1.0 に設定され、サンプル設定では 1.0 と 2.0 に設定されます。

デフォルトの損失測定プローブのカラータイプは単色です。次に、損失測定機能を有効にするようにデュアルカラー GRE を設定する例を示します。IS-IS 損失異常ペナルティは、**[増分（Increment）]**、**[最大（Maximum）]**、**[乗数（Multiplier）]** のいずれかのオプションに設定できます。

デフォルト設定

```
loss-profile interfaces
  advertisement
   periodic
    interval 120
```

```
    threshold 10.000000
    minimum-change 0.100000
   anomaly-check
    lower-bound 0.500000 upper-bound 1.000000
   !
  probe
   tx-interval 30
   color-type
    dual-color gre
  !
```

設定例

```
performance-measurement
      protocol sdlm-light
        measurement loss
          unauthenticated
            querier-dst-port 6634
      dual-color gre-flags bit-position 9
      interface Tunnel55
        loss-measurement
          loss-profile name Profile1
      loss-profile name Profile1
        advertisement
          periodic
            interval 120
            threshold 10.0
            minimum-change 0.1
          anomaly-check
               lower-bound 1.0 upper-bound 2.0
        probe
          tx-interval 30
          color-type
            dual-color gre

interface Tunnel55
    ip address 10.0.0.10 10.255.255.0
    ip router isis 1
    mpls ip
    mpls traffic-eng tunnels
    tunnel source GigabitEthernet3
    tunnel destination 10.0.0.20
    tunnel protection ipsec profile gre_profile
    isis metric fallback anomaly loss maximum level-1
```

レスポンダの設定

次の例は、レスポンダ側の設定を示しています。

```
performance-measurement
  protocol sdlm-light
   measurement loss
    unauthenticated
     querier-dst-port 6634
  dual-color gre-flags bit-position 9
```

設定例：SR-MPLS ポリシーの設定

次の例で、静的セグメントルーティングポリシーとオンデマンドセグメントルーティングポリシーの設定方法を示します。

```
segment-routing traffic-eng
 policy static-policy
```

```
 color 100 end-point 10.12.12.12
 candidate-paths
  preference 100
   constraints
    segments
     dataplane mpls
    !
   !
   dynamic
    metric
     type igp
    !
   !
  !
 !
!
on-demand color 100
 candidate-paths
  preference 100
   constraints
    segments
     dataplane mpls
    !
   !
   dynamic
    metric
     type igp
    !
   !
  !
 !
    !
```

（注） 静的またはオンデマンド セグメント ルーティング ポリシーのいずれかを設定できます。

検証：一方向リンク損失測定

リンク損失測定設定のパフォーマンス測定パラメータに関する情報を提示するには、クエリア側で **show performance-measurement summary** コマンドを使用します。

```
show performance-measurement summary
Total interfaces                              : 1
Total SR Policies                             : 0
Total endpoints                               : 0
Maximum PPS                                   : 2000 pkts/sec
Dual-color gre bit-position                   : 9

Interface Delay-Measurement:
  Total sessions                              : 0
  Counters:
    Packets:
      Total sent                              : 0
      Total received                          : 0
    Errors:
      Total sent errors                       : 0
      Total received errors                   : 0
    Probes:
      Total started                           : 0
```

```
      Total completed                         : 0
      Total incomplete                        : 0
      Total advertisements                    : 0

SR Policy Delay-Measurement:
  Total sessions                              : 0
  Counters:
    Packets:
      Total sent                              : 0
      Total received                          : 0
    Errors:
      Total sent errors                       : 0
      Total received errors                   : 0
    Probes:
      Total started                           : 0
      Total completed                         : 0
      Total incomplete                        : 0
      Total advertisements                    : 0

Endpoint Delay-Measurement:
  Total sessions                              : 0
  Counters:
    Packets:
      Total sent                              : 0
      Total received                          : 0
    Errors:
      Total sent errors                       : 0
      Total received errors                   : 0
    Probes:
      Total started                           : 0
      Total completed                         : 0
      Total incomplete                        : 0
      Total advertisements                    : 0

Interface Loss-Measurement:
  Total sessions                              : 1
  Counters:
    Packets:
      Total sent                              : 22
      Total received                          : 10
    Errors:
      Total sent errors                       : 0
     Total received errors                    : 0
    Probes:
      Total started                           : 6
      Total completed                         : 2
      Total incomplete                        : 3
      Total advertisements                    : 6

Global Counters:
  Total packets sent                          : 22
  Total query packets received                : 10
  Total invalid session id                    : 0
  Total no session                            : 0

HW Support for MPLS-GAL [RFC6374] timestamp    : Yes
HW Support for IPv4 TWAMP [RF5357] timestamp   : Yes
HW Support for IPv6 TWAMP [RF5357] timestamp   : Yes
HW Support for 64 bit timestamp                : No
HW Support for IPv4 UDP Cheksum                : Yes
```

リンク損失測定設定のパフォーマンス測定セッションに関する詳細情報を提示するには、**show performance-measurement sessions detail** コマンドを使用します。

```
show performance-measurement sessions detail
Transport type              :Interface
Measurement type            :Loss Measurement
Interface name              :Tunnel100
Nexthop                     :100.0.0.2

Loss Measurement session:
  Session ID                :1
  Profile name              :loss1

  Last advertisement:
    Advertised at: 17:48:05 10-25 2022 (14 seconds ago)
    Advertised reason: First advertisement
    Advertised anomaly: INACTIVE
   Advertised loss(%) [Capped @ 50.331642%]: avg: 0.000000, min: 0.000000, max: 0.000000,
 variance: 0.000000

  Next advertisement:
    Check scheduled at the end of the current probe (roughly every 40 seconds)
    No probes completed
    Rolling average (%): 0.000000

  Current Probe:
    Started at 17:48:05 10-25 2022 (14 seconds ago)
    Packets Sent: 1, received: 1
   Measured loss(%) [Capped @ 50.331642%]: avg: 0.000000, min: 0.000000, max: 0.000000,
 variance: 0.000000

Probe samples:
Rx Timestamp          Last TX     TX       Last RX     RX        Co Loss(0-100%)
17:48:10 10-25 2022   677         680       11         14        0  0.000000

Next probe scheduled at 17:48:45 10-25 2022 (in 26 seconds)
    Next burst packet will be sent in 1 seconds

  Liveness Detection:
    Session Creation Timestamp :10-25 17:32:00.699
    Session State: Up
    Last State Change Timestamp :10-25 17:47:40.761
    Missed count [consecutive] :0
    Received count [consecutive] :5
    Backoff                     :1
    Unique Path Name            :Path-1
    Loss in Last Interval       :0 % [TX: 1 RX: 1]
```

インターフェイスのパフォーマンス測定プロファイルの損失を表示するには、クエリア側で **show performance-measurement profile loss interface** コマンドを使用します。

```
show performance-measurement profile loss interface
Default Interface Loss Measurement:
  Profile configuration:
    Measurement Type                          : One-Way
    Tx interval                               : 10 sec
    Protocol                                  : SDLM-Lite Unauth
    ToS DSCP value                            : 48
    Anomaly-check:
      lower-bound                             : 0.500000%
      upper-bound                             : 5.000000%
    Color-type:
      Dual-color:
        gre                                   : Enabled
    Periodic advertisement                    : Enabled
      Interval                                : 120 (effective: 120) sec
```

```
      Threshold                             : 15.000000%
      Minimum-Change                        : 0.200000
```

特定のインターフェイスのリンク損失や遅延などのパフォーマンス測定の詳細を表示するには、クエリア側で **show performance-measurement interfaces name** <*name*> **detail** コマンドを使用します。

```
show performance-measurement interfaces name tunnel100 detail

sh performance-measurement interfaces name Tunnel100 det
Interface Name: Tunnel100 (ifh: 0x11)
  Delay-Measurement           : Disabled
  Loss-Measurement            : Enabled
  Local IPV4 Address          : 100.0.0.1
  Local IPV6 Address          : ::
  State                       : Up

  Loss Measurement session:
    Session ID                : 1
    Profile name              : Not configured

    Last advertisement:
      Advertised at: 10:23:40 10-25 2022 (32 seconds ago)
      Advertised reason: Periodic timer, avg loss threshold crossed
      Advertised anomaly: ACTIVE
      Advertised loss(%) [Capped @ 50.331642%]: avg: 9.458820, min: 9.997998, max:
10.002333, variance: 0.002499

    Next advertisement:
      Check scheduled at the end of the current probe (roughly every 40 seconds)
      No probes completed
      Rolling average (%): 9.458820

    Current Probe:
      Started at 10:23:40 10-25 2022 (32 seconds ago)
      Packets Sent: 3, received: 3
     Measured loss(%) [Capped @ 50.331642%]: avg: 6.667149, min: 0.000000, max: 10.002120,
 variance: 6.667149

      Probe samples:

Rx Timestamp          Last TX    TX       Last RX    RX        Col  Loss(0-100%)
10:24:05 10-25 2022   153911     153917   138520     138526    0    0.000000
10:23:55 10-25 2022   149505     177779   134556     160002    1    10.002120
10:23:45 10-25 2022   123899     153911   111509     138520    0    9.999333

      Next probe scheduled at 10:24:20 10-25 2022 (in 8 seconds)
      Next burst packet will be sent in 3 seconds

    Liveness Detection:
      Session Creation Timestamp: 10-25 10:09:56.898
      Session State: Up
      Last State Change Timestamp: 10-25 10:19:05.803
      Missed count   [consecutive]: 0
      Received count [consecutive]: 32
      Backoff                     : 1
      Unique Path Name            : Path-1
      Loss in Last Interval       : 0 % [TX: 3 RX: 3]
```

設定したインターフェイスのパフォーマンス測定プローブ履歴を表示するには、クエリア側で **show performance-measurement history interfaces probe** コマンドを使用します。

```
show performance-measurement history interfaces probe
```

```
Interface Name: Tunnel1 (ifh: 0x10)
 Loss-Measurement history (%):
    Session ID: 1
    Probe Start Timestamp     Pkt(TX/RX) Average   Min       Max
    23:28:56 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:28:16 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:27:36 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:26:56 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:26:16 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:25:36 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:24:56 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:24:16 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:23:36 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:22:56 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:22:16 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:21:36 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:20:56 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:20:16 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:19:36 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:18:56 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:18:16 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:17:36 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:16:56 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:16:16 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:15:36 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:14:56 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:14:16 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:13:36 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:12:56 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:12:16 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:11:36 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:10:56 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:10:16 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
    23:09:36 08-04 2022       4/4        0.000000  0.000000  0.000000
```

IS-IS トラフィック エンジニアリング アプリケーション情報を表示するには、**show isis teapp** コマンドを使用します。

```
show isis teapp

Tag 200:
Tag 100:
Tag 1:
      ISIS TE Attr PM Information:
       Tu100: IDB num:14 Min:0 Max:0 Min-max-anomaly:0 Avg:0 Avg-anomaly:0 Var:0
 Is-Loss-set:1, Loss:533333 Loss-anomaly:1
       Tu200: IDB num:15 Min:0 Max:0 Min-max-anomaly:0 Avg:0 Avg-anomaly:0 Var:0
 Is-Loss-set:1, Loss:633333 Loss-anomaly:1
```

その他のshowコマンドを表示するには、検証：PMリンク遅延設定（287ページ）を参照してください。

一方向リンク損失測定のデバッグとトラブルシューティング

- INPUT_PM_DUAL_COLOR_LM（レスポンダ側）およびOUTPUT_PM_DUAL_COLOR_LM（クエリア側）が有効になっているかどうかを確認するには、show platform hardware qfp active interface if-name <*interface name*> | i PM コマンドを使用します。
- GRE ビット位置を確認するには、show platform hardware qfp active feature sr client grebit-pos コマンドを使用します。

- 送信元および宛先 UDP ポートを確認するには、show platform hardware qfp active feature sr client udp-ports コマンドを使用します。
- 現在のカラーを確認するには、show platform hardware qfp active feature sr client dualcolor <*interface name*> コマンドを使用します。
- パフォーマンス測定の設定とデータをクリアするには、次のコマンドを使用します。

```
clear performance-measurement
all                 clear all data
counters            clear pm querier counters
delay               clear pm querier delay
errors              clear internal errors
loss                clear pm querier loss
responder           clear responder data
```

- パフォーマンス測定の設定をデバッグするには、次のコマンドを使用します。

```
debug performance-measurement
 all                 Performance Measurements all categories
 global              Global
 ha                  HA
 query               Query debugs
 responder           Responder debugs
```

show コマンドの例

```
R1#show performance-measurement interfaces detail
Interface Name: GigabitEthernet2 (ifh: 0x8)
Delay-Measurement : Enabled
Local IPV4 Address : 10.0.0.74
Local IPV6 Address : ::
State : Up
Delay Measurement session:
Session ID : 2
Last advertisement:
Advertised at: 06:45:50 02 2020 (214 seconds ago)
Advertised reason: First advertisement
Advertised delays (uSec): avg: 227, min: 198, max: 263, variance: 29
Next advertisement:
Check scheduled in 1 more probe (roughly every 160 seconds)
Aggregated delays (uSec): avg: 250, min: 208, max: 301, variance: 38
Rolling average (uSec): 254
Current Probe:
Started at 06:49:14 02 2020 (10 seconds ago)
Packets Sent: 3, received: 3
Measured delays (uSec): avg: 243, min: 230, max: 265, variance: 13
Probe samples:
Packet Rx Timestamp Measured Delay
06:49:22 02 2020 265500
06:49:18 02 2020 230000
06:49:14 02 2020 233500
Next probe scheduled at 06:49:54 02 2020 (in 30 seconds)
Next burst packet will be sent in 2 seconds
```

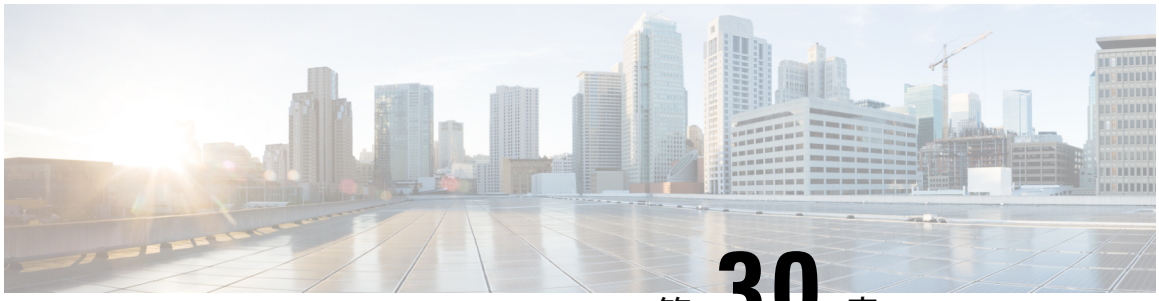
```
R1#show performance-measurement history interfaces name Gi2 probe
Interface Name: GigabitEthernet2 (ifh: 0x8)
  Delay-Measurement history (uSec):
        Probe Start Timestamp Pkt(TX/RX) Average   Min       Max
            06:48:34  02 2020 10/10      254       216       301
```

```
            06:47:54  02 2020 10/10      246       208       282
            06:47:14  02 2020 10/10      262       182       380
            06:46:34  02 2020 10/10      278       201       360
            06:45:54  02 2020 10/10      274       202       364
            06:45:14  02 2020 10/10      227       198       263

R1#show performance-measurement history interfaces name Gi2 aggr
Interface Name: GigabitEthernet2 (ifh: 0x8)
  Delay-Measurement history (uSec):
        Aggregation Timestamp Average   Min       Max       Action
            06:47:50  02 2020 259       182       380       NONE


R1#show performance-measurement counters interface name Gi2 detail
Interface Name: GigabitEthernet2 (ifh: 0x8)
  Delay-Measurement:
    Packets:
      Total sent                            : 67
      Total received                        : 67
    Errors:
        TX:
          Total interface down              : 0
          Total no MPLS caps                : 0
          Total no IP address               : 0
          Total other                       : 0
        RX:
          Total negative delay              : 0
          Total delay threshold exceeded    : 0
          Total missing TX timestamp        : 0
          Total missing RX timestamp        : 0
          Total probe full                  : 0
          Total probe not started           : 0
          Total control code error          : 0
          Total control code notif          : 0
    Probes:
      Total started                         : 6
      Total completed                       : 6
      Total incomplete                      : 0
      Total advertisements                  : 1


R1#show segment-routing traffic-eng policy all
Name: *10.2.2.2|100 (Color: 100 End-point: 10.2.2.2)
  Owners : BGP
  Status:
    Admin: up, Operational: up for 03:14:11 (since 12-02 03:36:05.290)
  Candidate-paths:
    Preference 100 (BGP):
      Dynamic (active)
        Metric Type: TE, Path Accumulated Metric: 30
          16002 [Prefix-SID, 10.2.2.2]
  Attributes:
    Binding SID: 40
      Allocation mode: dynamic
      State: Programmed
  IPv6 caps enabled


R1#show performance-measurement sr-policy name *10.2.2.2|100 detail
SR Policy name: *10.2.2.2|100
  Color                         : 100
  Endpoint                      : 10.2.2.2
  Source                        : 10.9.9.9
  Number of candidate-paths     : 1

  Candidate-Path:
```

```
    Preference                    : 100
    Protocol-origin               : BGP
    Discriminator                 : 0
    Active:                       : Yes
    Number of segment-lists       : 1
    Number of atomic paths        : 1
    Max Pkts per Burst            : 4000
    Max Pkts per Probe            : 40000
    AP Min Run per Probe          : 3
    Round-robin bursts            : 1
    Round-robin probes            : 1
    Last advertisement:
      Advertised at: 06:45:52  02 2020 (271 seconds ago)
      Advertised delays (uSec): avg: 860, min: 740, max: 946, variance: 120
    Next advertisement:
      Check scheduled in 1 more probe (roughly every 160 seconds)
      Aggregated delays (uSec): avg: 935, min: 795, max: 1146, variance: 140
    Last probe:
      Packets Sent: 10, received: 10
      Measured delays (uSec): avg: 910, min: 844, max: 1013, variance: 66
    Current Probe:
      Packets Sent: 8, received: 8
      Measured delays (uSec): avg: 949, min: 851, max: 1065, variance: 98

    Segment-List:
      Name                        : SegmentList0
      Number of atomic paths      : 1
      Last advertisement:
        Advertised at: 06:45:52  02 2020 (271 seconds ago)
        Advertised delays (uSec): avg: 860, min: 740, max: 946, variance: 120
      Next advertisement:
        Aggregated delays (uSec): avg: 935, min: 795, max: 1146, variance: 140
      Last probe:
        Packets Sent: 10, received: 10
        Measured delays (uSec): avg: 910, min: 844, max: 1013, variance: 66
      Current probe:
        Packets Sent: 8, received: 8
        Measured delays (uSec): avg: 949, min: 851, max: 1065, variance: 98

R1#show performance-measurement sr-policy name *10.2.2.2|100 private
SR Policy name: *10.2.2.2|100
  Color                           : 100
  Endpoint                        : 10.2.2.2
  Source                          : 10.9.9.9
  Number of candidate-paths       : 1

  Candidate-Path:
    Preference                    : 100
    Protocol-origin               : BGP
    Discriminator                 : 0
    Active:                       : Yes
    Number of segment-lists       : 1
    Number of atomic paths        : 1
    Max Pkts per Burst            : 4000
    Max Pkts per Probe            : 40000
    AP Min Run per Probe          : 3
    Round-robin bursts            : 1
    Round-robin probes            : 1
    Last advertisement:
      Advertised at: 06:45:52  02 2020 (284 seconds ago)
      Advertised delays (uSec): avg: 860, min: 740, max: 946, variance: 120
    Next advertisement:
      Check scheduled in 4 more probes (roughly every 160 seconds)
      Aggregated delays (uSec): avg: 935, min: 795, max: 1146, variance: 140
```

```
    Last probe:
      Packets Sent: 10, received: 10
      Measured delays (uSec): avg: 963, min: 851, max: 1083, variance: 112
    Current Probe:
      Packets Sent: 1, received: 1
      Measured delays (uSec): avg: 925, min: 925, max: 925, variance: 0

R1#show performance-measurement sr-policy name *10.2.2.2|100 verbose
SR Policy name: *10.2.2.2|100
  Color                          : 100
  Endpoint                       : 10.2.2.2
  Source                         : 10.9.9.9
  Number of candidate-paths      : 1

  Candidate-Path:
    Preference                   : 100
    Protocol-origin              : BGP
    Discriminator                : 0
    Active:                      : Yes
    Number of segment-lists      : 1
    Number of atomic paths       : 1
    Max Pkts per Burst           : 4000
    Max Pkts per Probe           : 40000
    AP Min Run per Probe         : 3
    Round-robin bursts           : 1
    Round-robin probes           : 1
    Last advertisement:
      Advertised at: 06:45:52  02 2020 (290 seconds ago)
      Advertised delays (uSec): avg: 860, min: 740, max: 946, variance: 120
    Next advertisement:
      Check scheduled in 4 more probes (roughly every 160 seconds)
      Aggregated delays (uSec): avg: 935, min: 795, max: 1146, variance: 140
    Last probe:
      Packets Sent: 10, received: 10
      Measured delays (uSec): avg: 963, min: 851, max: 1083, variance: 112
    Current Probe:
      Packets Sent: 3, received: 3
      Measured delays (uSec): avg: 911, min: 882, max: 925, variance: 29

PE3#show performance-measurement history sr-policy name *10.2.2.2|100  probe
SR Policy name: *10.2.2.2|100
  Candidate-Path:
    Preference                 : 100
    Protocol-origin            : BGP
    Discriminator              : 0
    Active                     : Yes
        Probe Start Timestamp Pkt(TX/RX) Average   Min       Max
            06:49:54  02 2020 10/10      963       851       1083
            06:49:14  02 2020 10/10      910       844       1013
            06:48:34  02 2020 10/10      896       795       1019
            06:47:54  02 2020 10/10      1000      882       1146
            06:47:14  02 2020 10/10      990       909       1135
            06:46:34  02 2020 10/10      931       735       1080
            06:45:54  02 2020 10/10      911       768       1087
            06:45:14  02 2020 10/10      860       740       946
    Segment-list:
      Name                     : SegmentList0
          Probe Start Timestamp Pkt(TX/RX) Average   Min       Max
              06:49:54  02 2020 10/10      963       851       1083
              06:49:14  02 2020 10/10      910       844       1013
              06:48:34  02 2020 10/10      896       795       1019
              06:47:54  02 2020 10/10      1000      882       1146
              06:47:14  02 2020 10/10      990       909       1135
              06:46:34  02 2020 10/10      931       735       1080
              06:45:54  02 2020 10/10      911       768       1087
```

```
          06:45:14  02 2020 10/10      860       740       946
    Atomic path:
      Hops                 : 10.2.2.2
      Labels               : 16002
      Outgoing Interface   : GigabitEthernet2
      Next Hop             : 10.0.0.73
      Destination          : 10.2.2.2
      Session ID           : 1
          Probe Start Timestamp Pkt(TX/RX) Average   Min       Max
              06:49:54  02 2020 10/10      963       851       1083
              06:49:14  02 2020 10/10      910       844       1013
              06:48:34  02 2020 10/10      896       795       1019
              06:47:54  02 2020 10/10      1000      882       1146
              06:47:14  02 2020 10/10      990       909       1135
              06:46:34  02 2020 10/10      931       735       1080
              06:45:54  02 2020 10/10      911       768       1087
              06:45:14  02 2020 10/10      860       740       946

R1#show performance-measurement history sr-policy name *10.2.2.2|100  aggr
SR Policy name: *10.2.2.2|100
  Candidate-Path:
    Preference               : 100
    Protocol-origin          : BGP
    Discriminator            : 0
    Active                   : Yes
        Aggregation Timestamp Average   Min       Max       Action
            06:50:32  02 2020 942       795       1146      NONE
            06:47:52  02 2020 922       735       1135      NONE
    Segment-list:
      Name                   : SegmentList0
          Aggregation Timestamp Average   Min       Max       Action
              06:50:32  02 2020 942       795       1146      NONE
              06:47:52  02 2020 922       735       1135      NONE
      Atomic path:
        Hops                 : 10.2.2.2
        Labels               : 16002
        Outgoing Interface   : GigabitEthernet2
        Next Hop             : 10.0.0.73
        Destination          : 10.2.2.2
        Session ID           : 1
            Aggregation Timestamp Average   Min       Max       Action
                06:50:32  02 2020 942       795       1146      NONE
                06:47:52  02 2020 922       735       1135      NONE
```



第 30 章

SR-TE フロー別（クラス）ODN と自動化されたステアリング（PCE 委任）

この章では、セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）がフロー別ポリシー（PFP）のオンデマンドネクストホップ（ODN）および自動ステアリング（フロー別 ODN/AS）メカニズムと連携する仕組みについて説明します。この章は、次の項で構成されています。

SR-TE フロー別（クラス）ODN と自動化されたステアリング（PCE 委任）に関する機能情報

表 *38 :* 機能の履歴

機能名	リリース	説明
RIB パスによる PFP のサポート	Cisco IOS XE 17.9.1a	この機能により、ルーティング情報ベース（RIB）パスオプションを使用して、フローごとのポリシーで転送クラスを設定できます。宛先ごとのポリシーを設定する代わりに、RIB オプションはポリシーの宛先への IGP 最短パスを使用します。

機能名	リリース	説明
BGP VRF への拡張カラーコミュニティのアタッチ	Cisco IOS XE 17.7.1a Cisco IOS XE 17.11.1a	この機能は、拡張カラーコミュニティをプレフィックスにアタッチする新しい方法を導入します。カラーコミュニティは、プレフィックスに送信されるトラフィックの帯域幅または遅延レベルのインジケータです。それらをプレフィックスにアタッチする新しい方法は次のとおりです。 • VRF エクスポートのカラーリング • VRF インポートのカラーリング • BGP でのルート再配布のカラーリング • ネイバー着信のカラーリング Cisco IOS XE 17.11.1a 以降、この機能は次のプラットフォームに拡張されています。 • Cisco Catalyst 8300 シリーズエッジプラットフォーム • Cisco Catalyst 8500 シリーズ エッジプラットフォーム • Cisco Catalyst 8000V Edge ソフトウェア
SR-TE フロー別（クラス）ODN と自動化されたステアリング（PCE 委任）	Cisco IOS XE Amsterdam 17.4	この機能を使用すると、パケットの QoS マーキングに基づき SR-TE PFP を使用してトラフィックをステアリングできます。トラフィックはその後、パケットの転送クラスに基づいて適切なパスにスイッチされます。

SR-TE フロー別（クラス）ODN と自動化されたステアリング（PCE 委任）に関する情報

自動ステアリング（フロー別 ODN/AS）によるセグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）フロー別ポリシー（PFP）オンデマンドネクストホップ（ODN）は、パケットの属性に基づくセグメント ルーティング ポリシーでのトラフィックのステアリングを可能にするメカニズムです。自動ステアリング（フロー別 ODN/AS）による SR-TE PFP ODN は、パケットの属性に基づく SR ポリシーでのトラフィックのステアリングを可能にするメカニズムです。パケットはシスコのモジュラ QoS CLI（MQC）フレームワークを使用して分類され、転送クラス（FC）と呼ばれる内部タグを使用してマークされます。PFP はその後、FC とそれに対応するパス間のマッピングに基づく、マークされたパケットのルーティングに使用されます。これは、トラフィックがその QoS マーキングに基づいてステアリングされ、パケットの FC に基づいて適切なパスにスイッチされることを意味します。

PFP は <*color, endpoint*> によって識別されます。これは、最大 8 つのエントリを含むフロー別転送クラステーブルで設定され、各エントリは FC によってインデックスが付けられ、宛先別ポリシー（PDP）を指し示します。

（注） サポートされる機能は次のとおりです。

- 250 PFP+PDP（組み合わせ）
- 6 PE および 6 VPE
- 10k VPNV4 プレフィックス制限
- SR PFP の L3VPN Inter AS オプション B
- PFP を介した IPv6

SR-TE フロー別（クラス）ODN と自動化されたステアリング（PCE 委任）に関する制約事項

- Quality of Service（QoS）ポリシーの動的変更はサポートされていません。
- SR-TE トンネルの PIC エッジを介した PIC コアはサポートされていません。
- SR-TE を介した VPLS はサポートされていません。
- 設定転送クラスを 0 に設定して、非転送クラスのデフォルトパスを取得します。
- BGP ラベル付きユニキャスト（BGP-LU）（RFC 3107）は、SR ODN PFP 自動ステアリングではサポートされていません。

- PFP トンネルを介した L2VPN はサポートされていません。
- PFP を介したパフォーマンス測定はサポートされていません。
- PFP を介した MPLS の Ping または Traceroute はサポートされていません。
- PFP または PDP を介した自動ルート通知はサポートされていません。
- PIC は PFP ではサポートされていません。

BGP カラー拡張コミュニティと VRF プレフィックスのカラーリング

セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング メカニズムでは、SR-TE ルーティングパスを必要とするプレフィックスは、カラー拡張コミュニティ（プレフィックスにカラーを割り当てる属性）に関連付けられます。BGP には現在、neighbor コマンドのルートマップアウトバウンド設定のみに基づいてカラー拡張コミュニティをアタッチする機能があります。送信元 VRF、宛先 VRF、CE ネイバー、送信元プロトコルなどの属性に基づいてプレフィックスをカラーリングするために、カラーをアタッチする次のような方法が導入されています。

- VRF エクスポートのカラーリング
- VRF インポートのカラーリング
- BGP へのルート再配布カラーリング
- ネイバー インバウンド カラーリング

さらに、17.7.1a より前の Cisco IOS XE リリースでは、プレフィックスにアタッチされた新しいカラー拡張コミュニティが、プレフィックスで使用可能な既存のカラー拡張コミュニティを置き換えます。置き換えるのではなく、新しいカラー拡張コミュニティをカラー拡張コミュニティの既存のリストに追加できるように、Cisco IOS XE 17.7.1a の一部としてキーワード **additive** が **route-map** コマンドに追加されています。

```
route-map SRTE-color-map permit
set extcommunity color < 1-4294967295> [additive]
```

（注） 複数のカラー拡張コミュニティを含む BGP アップデートを受信すると、リスト内の最高のカラー値が SR ポリシーの作成に使用され、その SR ポリシーに対応するバインディング SID が、受信した BGP パスのルーティングパスとして使用されます。最高のカラーに対応する SR ポリシーが使用できない場合、BGP はアップデートのルーティングパスとしてインターフェイスを使用します。

サポートされるプラットフォーム

Cisco IOS XE 17.7.1a 以降、この機能は下記でサポートされます。

- Cisco ASR 1000 シリーズ プラットフォーム

Cisco IOS XE 17.11.1a 以降、この機能は下記でサポートされます。

- Cisco Catalyst 8300 シリーズ エッジ プラットフォーム
- Cisco Catalyst 8500 シリーズ エッジ プラットフォーム
- Cisco Catalyst 8000V Edge ソフトウェア

カラー拡張コミュニティのアタッチ

カラー拡張コミュニティをアタッチするには、次の方法を使用できます。

- VRF エクスポートカラーリング：次の設定では、VRF に関連付けられたエクスポートルートマップのカラー拡張コミュニティにしたがって、カラー拡張コミュニティを VPN プレフィックスにアタッチします。これにより、VPN プレフィックスの送信元 VRF に基づいてカラー拡張コミュニティの関連付けができます。

```
route-map SRTE-color-map permit
set extcommunity color < 1-4294967295> [additive]
vrf def SRTE-VRF
rd 1:1
!
address-family ipv4
export map SRTE-color-map
exit-address-family
!
address-family ipv6
export map SRTE-color-map
exit-address-family
```

- VRF インポートカラーリング：次の設定では、VRF に関連付けられたインポートルートマップのカラー拡張コミュニティにしたがって、カラー拡張コミュニティをインポートされた VRF プレフィックスにアタッチします。これにより、プレフィックスがインポートされる VRF に基づいて、カラー拡張コミュニティをプレフィックスにアタッチできます。

```
route-map SRTE-color-map permit
set extcommunity color < 1-4294967295> [additive]
vrf def SRTE-VRF
rd 1:1
!
address-family ipv4
import map SRTE-color-map
exit-address-family
!
address-family ipv6
import map SRTE-color-map
exit-address-family
```

- BGP へのルート再配布カラーリング：次の設定では、再配布ルートの一部としてカラー拡張コミュニティを BGP にアタッチします。これにより、プレフィックスを所有する送信

元プロトコルに基づいて、カラー拡張コミュニティがプレフィックスに関連付けられます。

```
route-map SRTE-color-map permit
set extcommunity color < 1-4294967295> [additive]
router bgp <ASnum>
address-family ipv4
redistribute <source-protocol> route-map SRTE-color-map
or
network <address> mask <network-mask> route-map SRTE-color-map
exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf <vrf-name>
redistribute <source-protocol> route-map SRTE-color-map
or
network <address> mask <network-mask> route-map SRTE-color-map
exit-address-family
!
address-family ipv6
redistribute <source-protocol> route-map SRTE-color-map
or
network <address>/masklen route-map SRTE-color-map
exit-address-family
!
address-family ipv6 vrf <vrf-name>
redistribute <source-protocol=> route-map SRTE-color-map
or
network <address>/masklen route-map SRTE-color-map
exit-address-family
```

- ネイバー インバウンド カラーリング：次の設定では、ネイバーにアタッチされているインバウンドルートマップ処理の一部として、カラー拡張コミュニティをアタッチします。これにより、プレフィックスをアドバタイズするネイバーに基づいてカラー拡張コミュニティがアタッチされます。

```
route-map SRTE-color-map permit
set extcommunity color < 1-4294967295> [additive]
router bgp <ASnum>
address-family ipv4
neighbor <address> route-map SRTE-color-map in
exit-address-family
!
address-family vpnv4
neighbor <address> route-map SRTE-color-map in
exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf <vrf-name>
neighbor <address> route-map SRTE-color-map in
exit-address-family
!
address-family ipv6
neighbor <address> route-map SRTE-color-map in
exit-address-family
!
address-family vpnv6
neighbor <address> route-map SRTE-color-map in
exit-address-family
!
address-family ipv6 vrf <vrf-name>
neighbor <address> route-map SRTE-color-map in
exit-address-family
```

RIB パスによる PFP のサポート

PFP はバンドル出力チェーン要素（OCE）で構成され、バンドル OCE の各ハッシュは PDP ポリシー（PDP トンネル）で構成されます。このシナリオでは、デフォルトの IGP または RIB 学習パスに対して PDP ポリシーが作成されます。つまり、デフォルトの IGP または RIB 学習パスごとに個別の PDP ポリシーが作成されます。したがって、この実装は最終的にポリシーの数を増やすものであり、拡張するものではありません。

Cisco IOS XE 17.9.1a 以降では、RIB パスオプションを使用して PFP で転送クラスを設定できます。PDP を設定する代わりに、RIB オプションはポリシー宛先への IGP 最短パスを使用します。

PFP には、PDP と同様のバインディング SID があります。トラフィックステアリングのメカニズムも PDP と同じで、BSID または RIB のいずれかを介します。

PFP は、次の条件に基づいて動作状態が UP になります。

- デフォルトの FC が PDP で設定されており、その動作状態が UP である。
- デフォルトの FC が RIB パスで設定され、解決されている。

（注） デフォルト以外の FC の状態は、PFP の状態に影響しません。

パケットが PFP でステアリングされた後、入力時にモジュラ QoS CLI（MQC）によってマークされた FC に従って、次のシナリオはパケットのパスを示します。

- PFP が Down 状態の場合、パケットはドロップされます。
- パケットに FC がアタッチされていない場合、パケットは PFP のデフォルト FC を使用して転送されます。
- 解決された RIB パスまたは動作可能な PDP を指すパケットに FC がアタッチされている場合、パケットはそこに転送されます。
- パケットにアタッチされている FC が、存在しない未解決の RIB パスまたは動作していない PDP を指している場合、パケットはデフォルトの FC に転送されます。

例：RIB パスによる PFP の設定

次の例で、RIB パスとカラーの両方を使用して PFP を設定する方法を示します。

```
segment-routing traffic-eng
  policy PERFLOW
   color 10 end-point 1.1.1.1
   binding-sid mpls 15001
   candidate-path
    preference 1
     per-flow
```

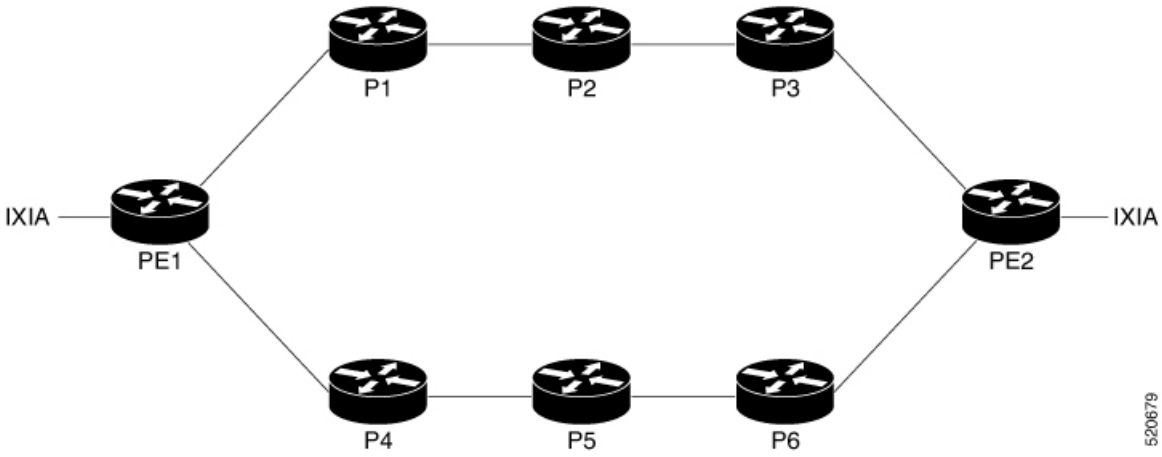
```
      forward-class 0 rib
      forward-class 1 color 20
      forward-class 2 color 30
```

次の例で、RIB パスとカラーの両方を使用して ODN PFP を設定する方法を示します。

```
segment-routing traffic-eng
 on-demand color 10
  candidate-path
   preference 1
    per-flow
     forward-class 0 rib
     forward-class 1 color 20
     forward-class 2 color 30
```

SR-TE フロー別クラス（ODN）と自動化されたステアリング（PCE 委任）の設定

次のトポロジを検討します。



PFP の ODN を設定するには、次の手順を実行します。

1. PE1 で QoS を設定します。

```
class-map DSCP
        match DSCP AF41
```

   - クラスマップで転送クラスを設定します。

```
policy-map per-flow
 class DSCP
 set forward-class 1
```

   - 対応するインターフェイスにポリシーマップをアタッチします。

```
interface GigabitEthernet0/0/3
 service-policy type epbr input PFP
```

2. PE1 で SR-TE PFP を設定します。

- PFP で転送クラスを設定します。

```
on-demand color 4500
 authorized
candidate-paths
  preference 2
    per-flow
        forward-class 0 color 100
        forward-class 0 rib
        forward-class 2 color 102
```

- セグメントリストを PDP にアタッチします。

```
policy  perflow_pdp
color 100 end-point 10.5.5.5
candidate-paths
 preference 2
  explicit segment-list srte1 weight 10
  !
  constraints
    segments
      dataplane mpls
```

- セグメントリストを SR-TE に設定します。

```
segment-routing traffic-eng
  segment-list name srte1
       index 1 mpls label 16002
       index 2 mpls label 16005
```

3. PE2 で SR-TE PFP を設定します。

```
ip prefix-list pfp seq 5 permit 10.35.0.0/16 le 32
```

- ルートマップを PFP にアタッチします。

```
route-map pfp permit 10
 match ip address prefix-list pfp
 set extcommunity color 4500
```

- BGP ルートをアクティブにします。

```
router bgp 100
!
 address-family vpnv4
  neighbor 10.1.1.1 activate
  neighbor 10.1.1.1 send-community extended
  neighbor 10.1.1.1 route-map pfp out
```

4. PFP の出力を表示します。

```
show segment-routing traffic-eng policy name *6.6.6.6|4090 detail

Name: *6.6.6.6|4090 (Color: 4090 End-point: 6.6.6.6)
Owners : BGP
Status:
Admin: up, Operational: up for 01:29:41 (since 06-21 14:09:05.510)
Candidate-paths:
Preference 1 (BGP):
Per-flow Information (active):
Forward PDP PDP BSID RW
Class Color Status Status
-------- ---------- ------- --------
0 rib n/a n/a
```

```
1 129 up Done
2 130 up Done
3 131 up Done
4 132 up Done
Default Forward Class: 0
Attributes:
Binding SID: 39
Allocation mode: dynamic
State: Programmed
IPv6 caps enabled
Tunnel ID: 65568 (Interface Handle: 0x26)
Per owner configs:
BGP
Binding SID: dynamic
Stats:
5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
Packets: 500524 Bytes: 88056352

Event history:
Timestamp Client Event type Context: Value
--------- ------ ---------- -------: -----
06-21 14:09:05.489 BGP Policy created Name: BGP
06-21 14:09:05.490 BGP Set colour Colour: 4090
06-21 14:09:05.490 BGP Set end point End-point: 6.6.6.6
06-21 14:09:05.490 BGP Set dynamic pce Path option: per flow
06-21 14:09:05.510 BGP BSID allocated FWD: label 39
06-21 14:09:05.510 FH Resolution Policy state UP Status: PFP RESOLVED CP: 1
06-21 14:09:05.551 FH Resolution REOPT triggered Status: REOPTIMIZED CP: 1
06-21 14:09:05.576 FH Resolution REOPT triggered Status: REOPTIMIZED CP: 1
06-21 14:09:05.602 FH Resolution REOPT triggered Status: REOPTIMIZED CP: 1
06-21 14:09:05.626 FH Resolution REOPT triggered Status: REOPTIMIZED CP: 1
```

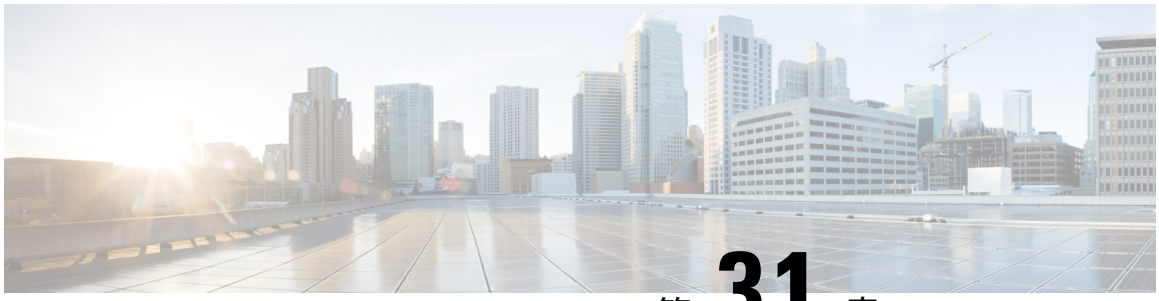
SR-TE フロー別クラス（ODN）と自動化されたステアリング（PCE 委任）の確認

SR-TE フロー別クラス（ODN）と自動化されたステアリング（PCE 委任）を確認するには、次のコマンドを使用します。

show segment-routing traffic-eng policy name *10.5.5.5|4500

```
Name: *10.5.5.5|4500 (Color: 4500 End-point: 10.5.5.5)
Owners : BGP
Status:
Admin: up, Operational: up for 00:03:50 (since 09-07 16:07:02.938)
Candidate-paths:
Preference 2 (BGP):
Per-flow Information (active):
Forward PDP PDP BSID RW
Class Color Status Status
-------- ---------- ------- --------
0 100 up Done
1 101 up unknown Pending
2 102 up unknown Pending
Default Forward Class: 0
Attributes:
Binding SID: 72
Allocation mode: dynamic
State: Programmed
IPv6 caps enabled
```

```
Tunnel ID: 65675 (Interface Handle: 0x2D)
Per owner configs:
BGP
Binding SID: dynamic
Stats:
5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
Packets: 9 Bytes: 584
```



第 31 章

複数のISISドメインでの境界ルータのループバックプレフィックスSIDのアドバタイズメント

境界ルータは、複数の ISIS ドメインの同じループバック インターフェイス プレフィックスおよび関連するプレフィックスセグメント識別子（SID）をアドバタイズできます。

複数の ISIS ドメインでの境界ルータのループバックプレフィックス SID のアドバタイズメントに関する機能情報

表 *39* : トラフィック エンジニアリングのパフォーマンス測定に関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
複数の ISIS ドメインでの境界ルータのループバックプレフィックス SID のアドバタイズメント	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.2	境界ルータは、複数の ISIS ドメインのループバック インターフェイス プレフィックスおよび関連するプレフィックスセグメント識別子（SID）をアドバタイズできます。このようなアドバタイズメントにより、関連付けられた各ドメイン内のルータは、同じプレフィックスとプレフィックス SID を使用して境界ルータと通信できます。

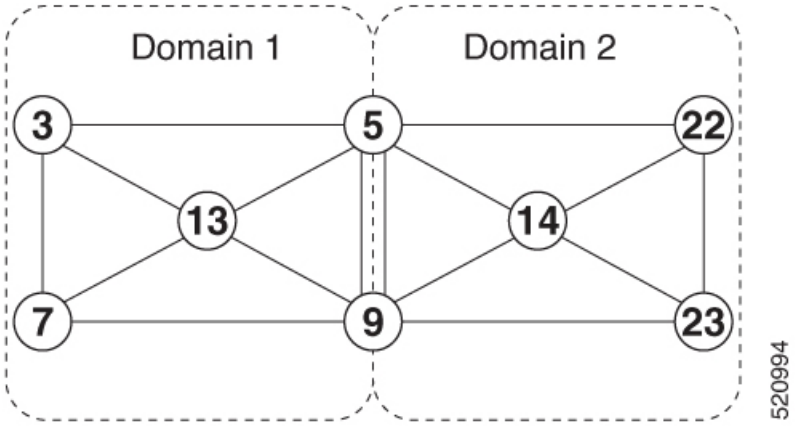
複数の ISIS ドメインでの境界ルータのループバックプレフィックス SID のアドバタイズメントに関する情報

複数の ISIS ドメインでの境界ルータのループバックプレフィックス SID のアドバタイズメントの概要

複数の ISIS ドメインを持つセグメントルーティング展開では、境界ルータが、関連付けられた各ドメインのループバック インターフェイス プレフィックスとプレフィックス SID をアドバタイズすると便利です。このようなアドバタイズメントにより、関連付けられた各ドメイン内のルータは、同じプレフィックスとプレフィックス SID を使用して境界ルータと通信できます。

この機能により、境界ルータは、プレフィックスとプレフィックス SID を複数の ISIS ルーティングプロセスにアドバタイズすることで、さらにそれを関連する各ドメインにアドバタイズできるようになります。

たとえば、次の図に示すトポロジでは、境界ルータであるルータ 5 とルータ 9 は、ドメイン 1 とドメイン 2 の両方でプレフィックスとプレフィックス SID をアドバタイズできます。ルータ 3 のようなドメイン 1 のルータとルータ 22 のようなドメイン 2 のルータは、同じプレフィックス SID を使用してトラフィックを送信し、いずれかの境界ルータにトラフィックを送信できます。



複数の ISIS ドメインでの境界ルータのループバックプレフィックス SID のアドバタイズメントの設定方法

複数の ISIS ドメインでの境界ルータのループバックプレフィックス SID のアドバタイズメントの設定

複数の ISIS ドメインの境界ルートのループバックプレフィックスおよびプレフィックス SID をアドバタイズするには、境界ルータで、各ドメインの ISIS ルーティングプロセスに **passive-interface** *loopback-interface-name* コマンドを発行します。

```
router isis 1
  passive-interface loopback 0
router isis 2
  passive-interface loopback 0
```

複数の ISIS ドメインでの境界ルータのループバックプレフィックス SID のアドバタイズメントの確認

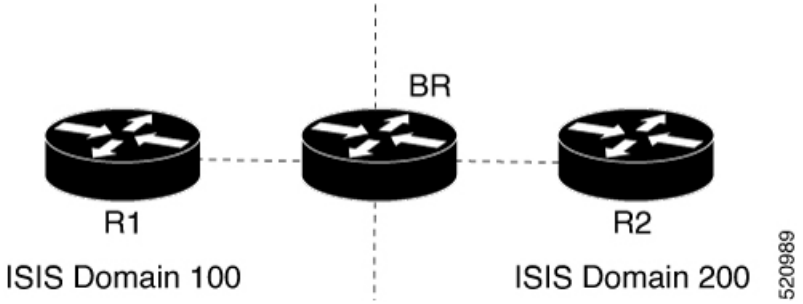
```
Router#show isis database verbose

Tag 1:
IS-IS Level-1 Link State Database:
LSPID                 LSP Seq Num  LSP Checksum  LSP Holdtime/Rcvd      ATT/P/OL
Router.00-00        * 0x00000013   0xDCD8                469/*         0/0/0
  Area Address: 49.0001
  NLPID:        0xCC
  Router CAP:   10.0.0.0, D:0, S:0
    Segment Routing: I:1 V:0, SRGB Base: 16000 Range: 8000
    Segment Routing Local Block: SRLB Base: 15000 Range: 1000
    Segment Routing Algorithms: SPF, Strict-SPF
    Node-MSD
      MSD: 16
  Hostname: Router
  Metric: 0          IP 10.2.2.2/32
    Prefix-attr: X:0 R:0 N:0
  Metric: 0          IP 10.1.1.1/32
    Prefix-attr: X:0 R:0 N:0
    Prefix-SID Index: 1, Algorithm:SPF, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
IS-IS Level-2 Link State Database:
LSPID                 LSP Seq Num  LSP Checksum  LSP Holdtime/Rcvd      ATT/P/OL
Router.00-00        * 0x00000014   0xDAD9                469/*         0/0/0
  Area Address: 49.0001
  NLPID:        0xCC
  Router CAP:   10.0.0.0, D:0, S:0
    Segment Routing: I:1 V:0, SRGB Base: 16000 Range: 8000
    Segment Routing Local Block: SRLB Base: 15000 Range: 1000
    Segment Routing Algorithms: SPF, Strict-SPF
    Node-MSD
      MSD: 16
  Hostname: Router
  Metric: 0          IP 10.2.2.2/32
    Prefix-attr: X:0 R:0 N:0
```

```
  Metric: 0          IP 10.1.1.1/32
    Prefix-attr: X:0 R:0 N:0
    Prefix-SID Index: 1, Algorithm:SPF, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0

Tag 2:
IS-IS Level-1 Link State Database:
LSPID                 LSP Seq Num  LSP Checksum  LSP Holdtime/Rcvd      ATT/P/OL
Router.00-00        * 0x00000012   0xC68A               1179/*         0/0/0
  Area Address: 39.0002
  NLPID:        0xCC
  Router CAP:   10.1.1.1, D:0, S:0
    Segment Routing: I:1 V:0, SRGB Base: 16000 Range: 8000
    Segment Routing Local Block: SRLB Base: 15000 Range: 1000
    Segment Routing Algorithms: SPF, Strict-SPF
    Node-MSD
      MSD: 16
  Hostname: Router
  IP Address:   10.1.1.1
  Metric: 0          IP 10.1.1.1/32
    Prefix-attr: X:0 R:0 N:1
    Prefix-SID Index: 1, Algorithm:SPF, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
IS-IS Level-2 Link State Database:
LSPID                 LSP Seq Num  LSP Checksum  LSP Holdtime/Rcvd      ATT/P/OL
Router.00-00        * 0x00000011   0xC889               1184/*         0/0/0
  Area Address: 39.0002
  NLPID:        0xCC
  Router CAP:   10.1.1.1, D:0, S:0
    Segment Routing: I:1 V:0, SRGB Base: 16000 Range: 8000
    Segment Routing Local Block: SRLB Base: 15000 Range: 1000
    Segment Routing Algorithms: SPF, Strict-SPF
    Node-MSD
      MSD: 16
  Hostname: Router
  IP Address:   10.1.1.1
  Metric: 0          IP 10.1.1.1/32
    Prefix-attr: X:0 R:0 N:1
    Prefix-SID Index: 1, Algorithm:SPF, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
```

例：複数の ISIS ドメインでの BR のループバックプレフィックス SID の設定

次の例で、複数のドメインで BR およびプレフィックス SID の関連付けを設定する方法を示します。

2 つの異なる ISIS ドメインにルータ R1 と R2 があり、両方のドメインに属する境界ルータ BR がある次のトポロジについて考えます。

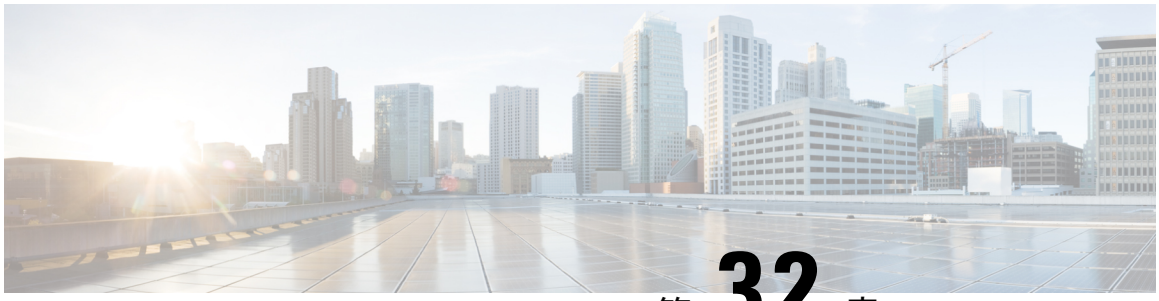


デバイス	ループバック アドレス	プレフィックス SID
R1	10.1.1.1/32	101
R2	10.2.2.2/32	202
BR	10.3.3.3/32	303

境界ルータ BR で次の設定を行うと、ルータは、接続されている両方の ISIS ドメインのループバック インターフェイス アドレスおよび関連するプレフィックス SID をアドバタイズします。この設定例は、ループバック インターフェイスの定義、プレフィックス SID とループバック インターフェイスの関連付け、およびループバック インターフェイス アドレスのアドバタイズメントと、ISIS ドメインの ISIS 100 および ISIS 200 で関連付けられているプレフィックス SID を示しています。

```
BR>enable
BR#configure terminal
BR(config)#interface loopback 0
BR(config-if)#ip address 10.3.3.3 255.255.255.255
BR(config-if)#exit
BR(config)#segment-routing mpls
BR(config-srmpls)#connected-prefix-sid-map
BR(config-srmpls-conn)#address-family ipv4
BR(config-srmpls-conn-af)#10.3.3.3/32 index 303 range 1
BR(config-srmpls-conn-af)#exit-address-family
BR(config-srmpls-conn-af)#end
BR#configure terminal
BR(config)#router isis 100
BR(config-router)#passive-interface loopback 0
BR(config-router)#exit
BR(config)#router isis 200
BR(config-router)#passive-interface loopback 0
BR(config-router)#end
```

例：複数の ISIS ドメインでの BR のループバックプレフィックス SID の設定



第 32 章

無効なパスのドロップによるトラフィックステアリング

SR-TEポリシーに有効なパスが定義されていない場合、パスはドロップされ、ポリシーを介してステアリングされているトラフィックはデフォルト（制約のないIGP）の転送パスにフォールバックします。また、ベストエフォート型トラフィックを伝送するSR-TEポリシーに障害が発生すると、トラフィックは再ルーティングされ、プレミアムトラフィックのSLA（サービスレベル契約）に影響します。

SR-TEポリシーの障害の問題を解決するために、データプレーンのトラフィックはドロップされますが、コントロールプレーンには保持されます。したがって、プレミアムトラフィックを伝送している可能性がある他のセグメント ルーティング ポリシーは影響を受けません。

無効なパスのドロップによるトラフィックステアリングに関する機能情報

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェア リリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *40 :* トラフィック エンジニアリングのパフォーマンス測定に関する機能情報

機能名	リリース	機能情報
無効なパスのドロップによるトラフィックステアリング	Cisco IOS XE Bengaluru 17.5	SR-TE ポリシーに不具合があると、データプレーンのトラフィックはドロップされますが、コントロールプレーンに保持されます。したがって、プレミアムトラフィックを伝送する可能性のある他のセグメントルーティングポリシーは影響を受けません。

概要

SR-TEポリシーに有効なパスが定義されていない場合、パスはドロップされ、ポリシーを介してステアリングされているトラフィックはデフォルト（制約のないIGP）の転送パスにフォールバックします。また、ベストエフォート型トラフィックを伝送する SR-TE ポリシーに障害が発生すると、トラフィックは再ルーティングされ、プレミアムトラフィックのSLA（サービスレベル契約）に影響します。

SR-TEポリシーの障害の問題を解決するために、データプレーンのトラフィックはドロップされますが、コントロールプレーンには保持されます。したがって、プレミアムトラフィックを伝送している可能性がある他のセグメント ルーティング ポリシーは影響を受けません。

この機能は、**path-invalidation drop** コマンドを使用して設定できます。

はじめる前に

セグメントルーティング BFD またはパフォーマンス活性モニタリングをすでに設定している場合は、この機能を有効にしないでください。この機能が有効になっている場合、セグメントルーティング BFD やパフォーマンス活性通知は無視されます。このようなシナリオでは、セグメントルーティング BFD またはパフォーマンス活性イベントのロギングや syslog 通知は生成されません。

SR-TE ポリシーが DOWN 状態でこの機能が設定されている場合、SR-TE ポリシーの状態は影響を受けないことに注意してください。

利点

- この機能を設定すると、プレミアムトラフィックをルーティングするように設定されている他のセグメント ルーティング ポリシーが影響を受けないようになり、その結果 SLA ガイドラインが影響を受けないようになります。

機能制限

- この機能は、セグメントルーティングBFDまたはパフォーマンスモニタリング活性チェックと組み合わせて有効にすることはできません。

無効なパスのドロップによるトラフィックステアリングの設定方法

PCC プロファイルの設定

この設定により、PCE が開始したポリシーで、設定された値と一致するプロファイル ID でインスタンス化されたポリシーに対してパス無効化機能が有効になります。

```
segment-routing traffic-eng
  pcc
   profile <number >
    steering
     path-invalidation drop
```

静的ポリシーの設定

この設定により、セグメントルーティング静的ポリシーのパス検証ドロップが設定されます。

```
segment-routing traffic-eng
  policy <name>
   steering
    path-invalidation drop
```

SR-TE ポリシーのオンデマンドネクストホップの設定

この設定により、特定のカラーのオンデマンド セグメント ルーティング ポリシーの設定パス検証ドロップが発生します。

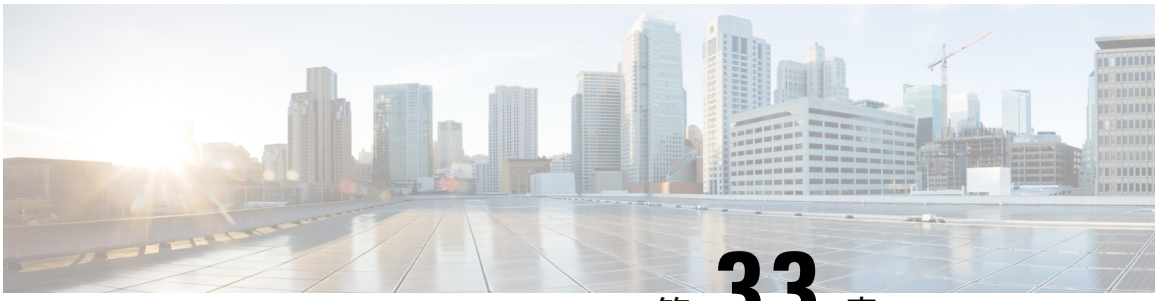
```
segment-routing traffic-eng
  on-demand color <>
   steering
    path-invalidation drop
```

コマンドの表示

パス無効化イベントのタイプおよび無効化ドロップのステータスを表示するには、**show segment-routing traffic-eng policy name** コマンドを使用します。

```
device#show segment-routing traffic-eng policy name foo detail
  Name: foo (Color: 10 End-point: 192.168.0.8)
    Owners : CLI
    Status:
      Admin: up, Operational: up for 00:00:08 (since 09-17 10:19:54.536)
```

```
    Candidate-paths:
      Preference 100 (CLI):
        Dynamic (active)
          Status: Invalidation drop
          Metric Type: TE
    Attributes:
      Binding SID: 20
        Allocation mode: dynamic
        State: Programmed
      Autoroute:
        Include all
    Tunnel ID: 65536 (Interface Handle: 0x9)
    Per owner configs:
      CLI
        Binding SID: dynamic
    Stats:
      5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
      Packets: 0   Bytes: 0

    Event history:
      Timestamp            Client              Event type              Context: Value
      ---------            ------              ----------              -------: -----
      09-17 10:19:54.536   CLI                Policy created           Name: CLI
      09-17 10:19:54.537   CLI                Path Invalidation        Drop: Configured
      09-17 10:19:58.744   CLI                Set colour               Colour: 10
      09-17 10:19:58.744   CLI                Set end point            End-point:
192.168.0.8
      09-17 10:19:58.752   CLI                Set dynamic              Path option:
dynamic
      09-17 10:19:58.753   CLI                BSID allocated           FWD: label 20
      09-17 10:19:58.755   FH Resolution      Policy state UP          Status: PATH
RESOLVED CP: 100
     09-17 10:19:58.760   FH Resolution     REOPT triggered         Status: REOPTIMIZED
 CP: 100
     09-17 10:19:58.780   CLI               Path Invalidation       Drop: Unconfigured

      09-17 10:19:59.537   CLI                Path Invalidation        Drop: Set
      09-17 10:20:00.853   FH Resolution      Path Invalidation        Status: Drop
      09-17 10:20:01.853   FH Resolution      Path Invalidation        Status: No Drop
      09-17 10:20:02.853   FH Resolution      Path Invalidation        Status: Drop
```



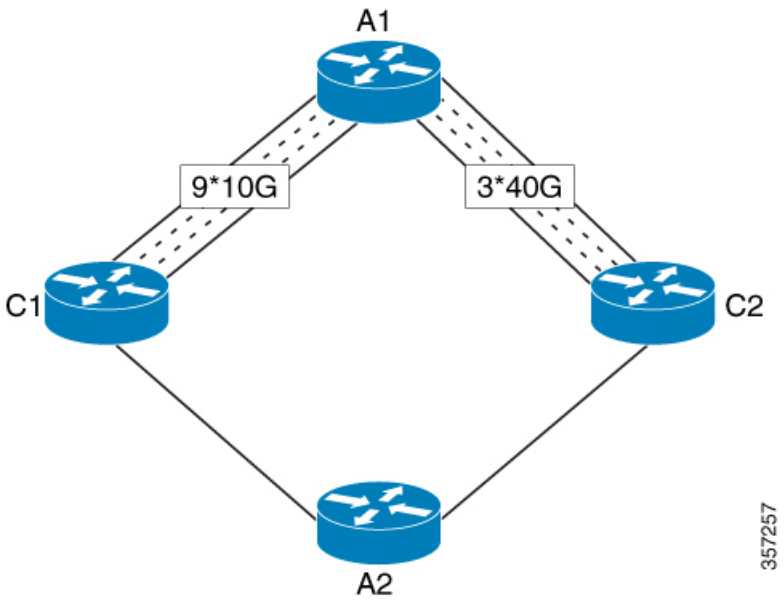
第 33 章

Cisco IS-IS ローカル不等コストマルチパス（UCMP）の設定

Cisco IOS XE ISIS ローカル UCMP 機能を使用すると、ネットワーク内の A1-C1 および A1-C2 からのすべてのリンク間で、A1 から A2 へのトラフィックのロードバランシングができます。すべてのリンクで同じメトリックを設定すると、等コストマルチパス（ECMP）パスが作成されます。ただし、高帯域幅リンクが低帯域幅リンクと同じトラフィックを伝送するため、高帯域幅リンクが十分に活用されません。この問題を回避するために、すべてのリンクで設定されたメトリックが同じであっても、帯域幅に基づいてリンク全体にトラフィックが均等に分散されるように、すべてのリンクを設定できます。

次の図で、トポロジについて説明します。

図 *37* : ローカル不等コストマルチパストポロジ



• debug コマンド （333 ページ）
• セグメントルーティングに関する機能情報：IS-IS UCMP （333 ページ）

不等コストマルチパス（UCMP）ローカルの設定

ucmp local を設定するには、次のタスクを実行します。

```
router isis
 ucmp local [prefix-list <prefix-list-name>]
router isis
 address-family ipv6
 ucmp local [prefix-list <prefix-list-name>]
```

不等コストマルチパス（UCMP）ローカルの確認

この機能を確認するには、次の show コマンドを使用します。

- **show interface <name> counters**
- **show ip route**
- **show ipv6 route**
- **show ip cef**
- **show mpls forwarding-table labels detail**
- **show mpls infrastructure lfd lte**

例：show コマンド

次に、不等コストマルチパス（UCMP）ローカルの show ip route の出力例を示します。

```
Device#show ip route 10.138.1.3
Routing entry for 10.138.1.0/24
Known via "isis", distance 115, metric 50, type level-1
Redistributing via isis Ring#1
Advertised by isis Ring#1 (self originated)
Last update from 10.148.1.1on FortyGigabitEthernet0/5/1, 00:24:51
ago
Routing Descriptor Blocks:
* 10.198.1.1, from 10.1.1.1, 00:24:51 ago, via GigabitEthernet0/0/0
 Route metric is 50, traffic share count is 6
 10.148.1.1, from 10.1.1.1, 00:24:51 ago, via
FortyGigabitEthernet0/5/1
 Route metric is 50, traffic share count is 25
```

（注） トラフィック共有数がインターフェイス帯域幅にしたがって計算されているかどうかを確認する必要があります。

次に、不等コストマルチパス（UCMP）ローカルの show interface counter の出力例を示します。

```
Device#show interface fo0/5/1 counters
Port      InOctets    InUcastPkts InMcastPkts InBcastPkts
Fo0/5/1    22883          0           17           0
Port      OutOctets   OutUcastPkts OutMcastPkts OutBcastPkts
Fo0/5/1    16242883      57513        17           0
PE12#show interface gi0/0/0 counters
Port       InOctets   InUcastPkts InMcastPkts InBcastPkts
Gi0/0/0     26388         26           19           0
Port       OutOctets   OutUcastPkts  OutMcastPkts OutBcastPkts
Gi0/0/0     81944464     264216       195          0
```

（注） 計算されたトラフィック共有数にしたがって発信トラフィックが分割されているかどうかを確認できます。

debug コマンド

ローカル UCMP に関する問題をトラブルシュートするには、次のデバッグコマンドを使用します。

- **debug isis mfi**
- **debug ip routing detail**
- **debug ipv6 routing**

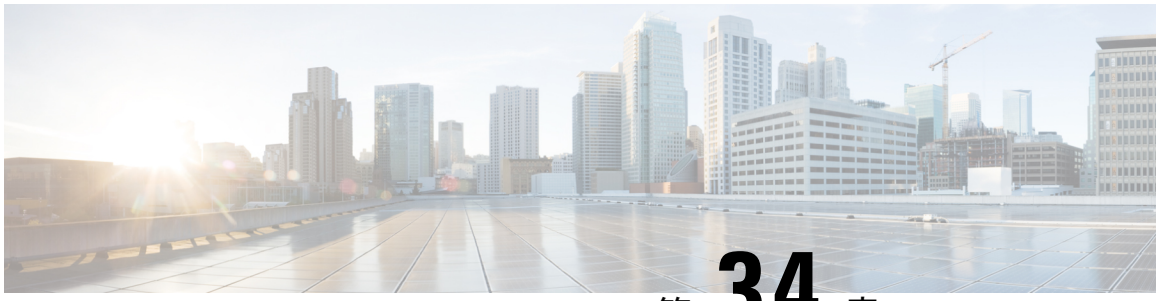
セグメントルーティングに関する機能情報：IS-IS UCMP

次の表に、このモジュールで説明した機能に関するリリース情報を示します。この表は、ソフトウェア リリース トレインで各機能のサポートが導入されたときのソフトウェア リリースだけを示しています。その機能は、特に断りがない限り、それ以降の一連のソフトウェアリリースでもサポートされます。

プラットフォームのサポートおよびシスコ ソフトウェアイメージのサポートに関する情報を検索するには、Cisco Feature Navigator を使用します。Cisco Feature Navigator にアクセスするには、www.cisco.com/go/cfn に移動します。Cisco.com のアカウントは必要ありません。

表 *41* : セグメントルーティングに関する機能情報：*IS-IS UCMP*

機能名	リリース	機能情報
セグメントルーティング：IS-IS UCMP	Cisco IOS XE 17.5.1	セグメントルーティング：IS-IS UCMP 機能を使用すると、インターフェイスの帯域幅に比例して、すべての IGP ECMP パス間で発信トラフィックのロードバランシングを行うことができます。



第 34 章

セグメント ルーティング フレキシブル アルゴリズムの有効化

セグメントルーティングフレキシブルアルゴリズムを使用すると、オペレータは、独自のニーズに応じてIGP最短パス計算をカスタマイズできます。オペレータは、リンクコストベースのSPFよりも優れた転送を実現するために、カスタムのSRプレフィックスSIDを割り当てることができます。結果として、フレキシブルアルゴリズムにより、IGPから到達可能なあらゆる宛先へのトラフィック エンジニアリングに基づくパスをIGPで自動的に計算できます。

SRアーキテクチャでは、パスの計算方法を定義するアルゴリズムにプレフィックスSIDが関連付けられます。フレキシブルアルゴリズムにより、ユーザーが定義したメトリックタイプと制約の組み合わせに基づいてIGPでパスを計算する、ユーザー定義のアルゴリズムを実現できます。

機能の履歴

表 *42 :* 機能の履歴

機能名	リリース情報	機能説明
IS-IS フレキシブルアルゴリズムの TE メトリックサポート	Cisco IOS XE Dublin 17.11.1a	フレキシブルアルゴリズムにより、内部ゲートウェイプロトコル（IGP）がメトリックタイプ（パス最適化の目的）と制約のユーザー定義による組み合わせに基づいてパスを計算する、ユーザー定義のアルゴリズムを実現できます。この機能により、IS-IS フレキシブルアルゴリズム機能のメトリックタイプとしてのTEメトリックのサポートが追加されます。これにより、最短パスの計算を実行するときに、IGPおよび遅延メトリックとともにTEメトリックを使用できるようになります。
セグメントルーティングフレキシブル アルゴリズムのプレフィックス SID 再配布	Cisco IOS XE Cupertino 17.8.1	この機能を使用すると、プレフィックスが再配布されるときに、サポートされているすべてのアルゴリズムに対してプレフィックス SID が提供されます。この機能は、厳格な、またはフレキシブルなアルゴリズムの SID を使用するルートの再配布を設定すると、自動的に有効になります。

機能名	リリース情報	機能説明
アフィニティサポートを含む IS-IS フレキシブルアルゴリズム	Cisco IOS XE Bengaluru 17.6.1	この機能は、IS-IS で **include-any** および **include-all** アフィニティをサポートしています。Cisco IOS XE Bengaluru 17.6.1 リリースより前は、フレキシブルアルゴリズムのアフィニティ **exclude-any** のみがサポートされていました。
セグメントルーティング フレキシブル アルゴリズム	Cisco IOS XE Bengaluru 17.4.1	TI LFA および uLoop 回避：ループフリー代替（LFA）パスの計算を可能にします。IS-IS 向けの、フレキシブルアルゴリズムのプライマリパスの計算と同じ制約を使用する TI-LFA バックアップパスです。
セグメントルーティング フレキシブル アルゴリズム	Cisco IOS XE Amsterdam 17.3.1	セグメントルーティング フレキシブル アルゴリズムを使用すると、オペレータは、独自のニーズに応じて IGP 最短パス計算をカスタマイズできます。オペレータは、リンクコストベースの SPF よりも優れた転送を実現するために、カスタムの SR プレフィックス SID を割り当てることができます。結果として、フレキシブルアルゴリズムにより、IGP から到達可能なあらゆる宛先へのトラフィック エンジニアリングに基づくパスを IGP で自動的に計算できます。 アフィニティ **exclude-any** をサポートしています。

フレキシブルアルゴリズムの前提条件

フレキシブルアルゴリズム機能をアクティブ化する前に、ルータでセグメントルーティングを有効にする必要があります。

フレキシブルアルゴリズムに関する制約事項

- 最大 20 の IS-IS フレキシブル アルゴリズム セッションがサポートされます。
- IS-IS では、フレキシブル アルゴリズム アフィニティ「exclude-any」、「include-any」、および「include-all」がサポートされています。

セグメント ルーティング フレキシブル アルゴリズムの構成要素

このセクションでは、IS-IS および OSPF で SR フレキシブルアルゴリズム機能をサポートするために必要な構成要素について説明します。

フレキシブルアルゴリズムの定義

ネットワーク上のパスを計算するために、考えられる多くの制約が使用される可能性があります。一部のネットワークは複数のプレーンを使用して展開されます。単純な形の制約は、特定のプレーンを使用することである場合もあります。より洗練された形の制約には、[RFC8570] で説明されているように、遅延など、一部の拡張メトリックが含まれる可能性があります。さらに高度なケースでは、パスを制限し、特定のアフィニティを持つリンクを回避することも考えられます。また、これらを組み合わせて使用することも可能です。最大限の柔軟性を得られるように、ユーザーは、アルゴリズム値とその意味の間のマッピングを定義できます。ドメイン内のすべてのルータで、特定のアルゴリズム値が持つ意味について共通の認識が確立されている場合、アルゴリズムの計算は一貫性のあるものとなり、トラフィックがループすることもありません。つまり、アルゴリズムの意味が標準によってではなく、ユーザーによって定義されるため、フレキシブルアルゴリズムと呼ばれます。

フレキシブルアルゴリズムのサポートのアドバタイズメント

アルゴリズムは、IGP によるベストパスの計算方法を定義します。ルータは、ノード機能としてアルゴリズムのサポートをアドバタイズします。プレフィックス SID もアルゴリズム値とともにアドバタイズされ、アルゴリズム自体と密接に結び付けられます。

アルゴリズムは 1 つのオクテット値です。128 ～ 255 までの値が、ユーザー定義の値用に予約されており、フレキシブルアルゴリズムの表現に使用されます。

フレキシブルアルゴリズムの定義のアドバタイズメント

特定のフレキシブルアルゴリズムで計算されたパスについてループフリーの転送を実現するためには、ネットワーク内のすべてのルータでフレキシブルアルゴリズムの同じ定義を共有する必要があります。これは、各フレキシブルアルゴリズムの定義をアドバタイズする専用ルータ

によって実現されます。このようなアドバタイズメントでは、優先度を設定して、フレキシブルアルゴリズムごとに一貫した 1 つの定義がすべてのルータで適用されるようにします。

フレキシブルアルゴリズムの定義には以下が含まれます。

- メトリックタイプ
- アフィニティ制約

特定のフレキシブルアルゴリズムの定義をルータからアドバタイズできるようにするには、**advertise-definition** コマンドを使用します。エリア内の少なくとも 1 つのルータ、または可能であれば冗長性を確保するために 2 つのルータで、フレキシブルアルゴリズム定義をアドバタイズする必要があります。有効な定義がアドバタイズされない場合、フレキシブルアルゴリズムは機能しません。

フレキシブルアルゴリズムのプレフィックス SID のアドバタイズメント

フレキシブルアルゴリズム固有のパスでトラフィックを転送するため、フレキシブルアルゴリズムに参加するすべてのルータは、フレキシブルアルゴリズム固有のプレフィックス SID の MPLS ラベル付きパスをインストールします。このフレキシブルアルゴリズム固有のプレフィックス SID は、プレフィックスに対してアドバタイズされます。フレキシブルアルゴリズム固有のプレフィックス SID がアドバタイズされるプレフィックスだけが、フレキシブルアルゴリズム固有の転送の対象となります。

エリア間リーク

Cisco IOS XE Bengaluru 17.4.1 では、フレキシブルアルゴリズムの SID とプレフィックスが IS-IS エリア間でリークされます。ただし、レベル 1 またはレベル 2 のパスによって到達可能なプレフィックスのみがリークされます。同様に、特定のフレキシブルアルゴリズムで到達可能な SID のみがリークされます。

たとえば、以下のようなプレフィックス P があるとします。

- レベル 1 で発生し、レベル 2 にリークされる
- フレキシブルアルゴリズム 128 での SID 値 = 128、フレキシブルアルゴリズム 129 での SID 値 = 129
- レベル 1 パスが SID 値 = 128 にのみ存在し、SID 値 = 129 には存在しない

上記の条件の結果として、SID 128 のみがレベル 1 からレベル 2 にリークされ、SID 129 はリークされません。

フレキシブル アルゴリズム パスの計算

ルータは、複数のフレキシブルアルゴリズムのパスを計算できます。このようなフレキシブルアルゴリズムのパスを計算する前に、特定のフレキシブルアルゴリズムをサポートするように

ルータを設定する必要があります。このようなフレキシブルアルゴリズムを使用する場合は、あらかじめ、フレキシブルアルゴリズムの有効な定義をルータで確立しておく必要があります。

特定のフレキシブルアルゴリズムの最短パスツリーを計算する場合は、次のようなプロセスになります。

- このようなフレキシブルアルゴリズムのサポートをアドバタイズしないすべてのノードは、トポロジからプルーニングされます。
- 除外されるアフィニティがフレキシブルアルゴリズム定義に含まれている場合、そのようなアフィニティのいずれかがアドバタイズされるすべてのリンクは、トポロジからプルーニングされます。
- ルータは、フレキシブルアルゴリズム定義の一部であるメトリックを使用します。特定のリンクに対してメトリックがアドバタイズされていない場合、そのリンクはトポロジからプルーニングされます。

OSPF および IS-IS では、フレキシブルアルゴリズムのループフリー代替（LFA）パスと TI-LFA バックアップパスは、そのフレキシブルアルゴリズムのプライマリパスの計算と同じ制約を使用して計算されます。これらのパスでは、特にそのフレキシブルアルゴリズム用にアドバタイズされたプレフィックス SID を使用してバックアップパスを適用します。

フレキシブル アルゴリズム パスの転送エントリの組み込み

フレキシブルアルゴリズム用にアドバタイズされたプレフィックス SID を使用して、あらゆるプレフィックスに対するフレキシブル アルゴリズム パスを転送エントリにインストールする必要があります。フレキシブルアルゴリズムのプレフィックス SID が不明な場合は、そのプレフィックスの転送にフレキシブル アルゴリズム パスはインストールされません。

フレキシブル アルゴリズム パスの MPLS から MPLS へのエントリのみが組み込まれます。IP から IP へのエントリまたは IP から MPLS へのエントリは組み込まれません。これらは、デフォルトのアルゴリズムと通常の IGP メトリックに基づいて計算されたネイティブ IPG パスに従います。

configuration コマンド **distribute-list** *filter name* **in** を使用して、MFI にインストールされているパスを選択的にフィルタ処理できます。設定例については、選択的なパスのフィルタ処理の設定を参照してください。この機能は、IS-IS フレキシブルアルゴリズムに対してのみサポートされます。

フレキシブルアルゴリズムのプレフィックス SID の再配布

Cisco IOS XE 17.8 より前では、プロトコル間でプレフィックスが再配布される場合、SR アルゴリズム 0（通常の SPF）のプレフィックス SID のみが使用可能でした。

Cisco IOS XE 17.8 では、プレフィックスが再配布される場合、サポートされているすべてのアルゴリズムのプレフィックス SID を提供するためのサポートが追加されています。この機能は、セグメント ルーティング フレキシブル アルゴリズムのプレフィックス SID 再配布と呼ばれます。この機能は、厳格な、またはフレキシブルなアルゴリズムの SID を使用するルートの再配布を設定すると、自動的に有効になります。

OSPF が ISIS に再配布する場合は、すべてのアルゴリズムプレフィックスを再配布し、ISIS がそれを処理します。ISIS が OSPF に再配布する場合は、基本的なアルゴリズムプレフィックスだけが OSPF によって処理されます。その他のフレキシブルアルゴリズムのプレフィックスの再配布は、OSPF ではサポートされていません。たとえば、OSPF 10 は ISIS 30 に再配布され、厳格な SID とフレキシブルアルゴリズムの SID は ISIS によって処理されます。しかし、ISIS 30 が OSPF 10 に再配布される場合は、厳格な SID のみが OSPF によって処理されます。

OSPF は、厳格な SPF とフレキシブルアルゴリズムをサポートしています。ただし、再配布はサポートしていません。たとえば、OSPF 10 と OSPF 20 は、厳格な SPF とフレキシブルアルゴリズムを持つ 2 つのインスタンスです。OSPF 10 が OSPF 20 に再配布される場合、OSPF 20 は OSPF 10 の厳格な SID とフレキシブルアルゴリズムの SID を処理しません。

アルゴリズム情報の表示

show mpls forwarding-table コマンドを使用すると、ゼロ以外のアルゴリズム固有のプレフィックス SID ラベル MPLS 転送情報を表示できます。コマンド構文は次のとおりです。

show mpls forwarding <*ip*> <*mask*> [**algo** <*algo-number*>]

詳細については、フレキシブルアルゴリズムの設定の確認（350ページ）を参照してください。

フレキシブルアルゴリズムのプレフィックスメトリックアドバタイズメント

セグメントルーティングのフレキシブル アルゴリズム プレフィックス メトリックを使用すると、オペレータは、プレフィックスのレベル間リークまたはドメイン間再配布中に、特定のフレキシブルアルゴリズムで計算されたメトリックをプレフィックスに関連付けることができます。これは、最適なレベル間またはドメイン間パスを計算するのに役立ちます。プレフィックスメトリックをサポートするようにフレキシブルアルゴリズムを設定すると、ISIS フレキシブルアルゴリズム定義フラグのサブ TLV でプレフィックス メトリック フラグ（M フラグ）がアドバタイズされます。サブ TLV は、レベル 1 およびレベル 2 ルータによってのみアドバタイズされます。プレフィックス メトリック フラグ（M フラグ）を表示するには、**show isis database verbose** コマンドを使用します。詳細については、フレキシブルアルゴリズムの設定の確認（350 ページ）を参照してください。

特定の Flex Algo アルゴリズム（128 ～ 255）で Flex Algo プレフィックスメトリック（FAPM）の使用が指定されている場合、プレフィックスに関連付けられたメトリックは、そのプレフィックスを他のレベル/エリアにアドバタイズする ABR が、そのアルゴリズム固有の FAPM サブ TLV を使用してアドバタイズする必要があります。フレキシブルアルゴリズム定義で FAPM

（M フラグ）の使用が指定されている場合、アルゴリズム固有の FAPM アドバタイズメントを持つプレフィックスのみが、アルゴリズム固有のトポロジで到達可能と見なされます。

（注） Cisco IOS XE は、プレフィックスのレベル間リーク時にのみフレキシブルアルゴリズムのプレフィックスメトリック挿入をサポートし、ドメイン間再配布時はサポートしません。

ISIS フレキシブル アルゴリズム プレフィックス メトリック サブ TLV は、特定のプレフィックスアドバタイズメントに関連付けられたフレキシブルアルゴリズム固有のプレフィックスメトリックのアドバタイズメントをサポートしています。

フレキシブル アルゴリズム プレフィックス メトリックのアドバタイズメントを有効にするには、次のコマンドを使用します。

```
router isis 1
flex-algo 128
  advertise-definition
  prefix-metric

# show isis 1 rib redistribution level-2
IPv4 redistribution RIB for IS-IS process 1
IPV4 unicast base topology (TID 0, TOPOID 0x0) ==================
====== Level 2 ======
10.1.1.1/32
  [ISIS/20] isis prefix-SID index: 1, R:1 N:1 P:1 E:0 V:0 L:0
  flex-algo 128 SID index: 11, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0 map 0x0
    prefix-metric: 20, advertised
```

このコマンドの出力では、有効になっている場合のみプレフィックスメトリックがアドバタイズされることがわかります。

フレキシブルアルゴリズムの設定

このセクションでは、SR フレキシブルアルゴリズム機能をサポートするために必要となるさまざまな設定について説明します。

表 *43*：フレキシブルアルゴリズムの設定

タスク	プロトコル	モード	コマンド
フレキシブルアルゴリズムの設定	IS-IS および OSPF	IS-IS および OSPF 設定のサブモード	**flex-algo** *algorithm number* *algorithm number*：128 ～ 255 の値

タスク	プロトコル	モード	コマンド
メトリックタイプの設定	IS-IS および OSPF	フレキシブルアルゴリズムのサブモード	

タスク	プロトコル	モード	コマンド
			[IS-IS] **metric type {delay | te}** （注） デフォルトでは、通常の IGP メトリックが使用されます。遅延メトリックが有効になっている場合、リンク上でアドバタイズされた遅延が、フレキシブルアルゴリズム計算のメトリックとして使用されます。 TE メトリックが有効になっている場合、リンク上でアドバタイズされる TE メトリックがフレキシブルアルゴリズム計算の

タスク	プロトコル	モード	コマンド
			メトリックとして使用されます。 **[OSPF]** **metric-type {delay | te-metric | igp-metric}**
アフィニティの設定	IS-IS および OSPF	フレキシブルアルゴリズムのサブモード	**[IS-IS]** **affinity {exclude-any | include-any | include-all} name** *affinity-name* **[OSPF]** **affinity {exclude-any | include-any | include-all} name** *affinity-name* *affinity-name*：アフィニティマップの名前
優先順位の設定	IS-IS および OSPF	フレキシブルアルゴリズムのサブモード	**[IS-IS および OSPF]** **priority** *priority value* *priority-value*：フレキシブルアルゴリズム定義の選択時に使用される優先順位

タスク	プロトコル	モード	コマンド
IS-IS および OSPF でフレキシブルアルゴリズム定義のアドバタイズメントを有効にします。 アフィニティマップは、拡張管理者グループのビットマスク内の特定のビット位置に名前を関連付けます。	IS-IS および OSPF		**[IS-IS]** **affinity-map** *affinity-name* **bit-position***bit number* **[OSPF]** **affinity-map name** *affinity-name* **bit-position***bit number* *affinity-name*：アフィニティマップの名前 *bit number*：拡張管理者グループのビットマスク内のビット位置
アフィニティのインターフェイスへの関連付け	IS-IS および OSPF		**[IS-IS]** **isis affinity flex-algo name** *affinity-name* **[OSPF]** **ip ospf affinity flex-algo name** *affinity-name* *affinity-name*：アフィニティマップの名前

Cisco IOS XE リリース 17.11.1a 以降、IS-IS フレキシブルアルゴリズムに新しいメトリック **TE** が導入されています。このメトリックには、**isis flex-algo metric-type** コマンドの新しいキーワードが含まれています。

isis *instance* **flex-algo** *algo* **metric-type {delay | te}**

このキーワードは、Cisco ASR 1000 シリーズのプラットフォームで使用できます。

（注） デフォルトでは、IGP メトリックはフレキシブルアルゴリズム計算に使用されます。遅延または TE メトリックが有効になっている場合、リンク上でアドバタイズされる遅延または TE メトリックは、フレキシブルアルゴリズム計算のメトリックとして使用されます。

フレキシブルアルゴリズム設定でのプレフィックス SID のコマンド

特定のフレキシブルアルゴリズムに関連付けられたプレフィックス SID を定義するために、接続されたプレフィックス SID マップとマッピングサーバーの両方に関して、セグメントルーティングの下に新しいコマンドが追加されています。

```
segment-routing mpls
connected-prefix-sid-map
address-family ipv4algorithmflex-algo
ip addressmask [index | absolute] sid range range of SIDs

segment-routing mpls
mapping-server
prefix-sid-map
address-family ipv4algorithmflex-algo
ip addressmask [index | absolute] sid range range of SIDs
```

IS-IS フレキシブルアルゴリズムの設定

次に、IS-IS フレキシブルアルゴリズムの設定例を示します。

```
router isis 1
 net 49.0002.0000.0001.00
 is-type level-1
 metric-style wide
 log-adjacency-changes
 nsf cisco
 distribute link-state
 segment-routing mpls
 segment-routing prefix-sid-map advertise-local
 affinity-map blue bit-position 8
 affinity-map green bit-position 201
 affinity-map red bit-position 65

 fast-reroute per-prefix level-1 all
 fast-reroute tie-break level-1 node-protecting 100
 fast-reroute tie-break level-1 srlg-disjoint 50
 fast-reroute ti-lfa level-1
 fast-reroute ti-lfa level-2
 microloop avoidance segment-routing
 microloop avoidance rib-update-delay 10000

flex-algo 129
  advertise-definition
  metric-type delay
  priority 120
  affinity
   exclude-any
    name red
   !
```

（注） TI LFA を無効にするには、**fast-reroute disable** コマンドを使用します。

次の例で、メトリックタイプを TE として IS-IS フレキシブルアルゴリズムを設定する方法を示します。

```
router isis 1
net 49.0002.0000.0001.00
is-type level-1
metric-style wide
log-adjacency changes
nsf cisco
distribute link-state
segment-routing mpls
segment-routing prefix-sid-map advertise-local
```

```
affinity-map blue bit-position 8
affinity-map green bit-position 201
affinity-map red bit-position 65

fast-reroute per-prefix level-1 all
fast-reroute tie-break level-1 node-protecting 100
fast-reroute tie-break level-1 srlg-disjoint 50
fast-reroute ti-lfa level-1
fast-reroute ti-lfa level-2
microloop avoidance segment-routing
microloop avoidance rib-update-delay 10000

flex-algo 129 advertise-definition
metric-type te
  priority 120
affinity exclude-any name red
!
```

次の例で、インターフェイスに IS-IS TE メトリックを設定する方法を示します。

```
interface Ethernet0/0
ip address 10.12.12.1 255.255.255.0
ip router isis 1
ipv6 address 2001:20::1/112
ipv6 router isis 1
isis network point-to-point
isis te-metric flex-algo 500
```

IS-IS の再配布

次の例で IS-IS を再配布する方法を示します。

```
router isis 2
router-id Loopback0
metric-style wide
segment-routing mpls
segment-routing prefix-sid-map advertise-local
flex-algo 128
advertise-definition
redistribute isis 1 ip level2 <-----
passive-interface Loopback0
mpls traffic-eng level-1
mpls traffic-eng level-2
```

SRTE-ODN の関連付けの設定

次の例で、SR トラフィック エンジニアリングと ODN の関連付けを設定する方法を示します。

```
segment-routing traffic-eng
 on-demand color 100
  authorize
  candidate-paths
   preference 100
    constraints
     segments
      dataplane mpls
      algorithm 129
     !
    !
    dynamic
     metric
```

```
      type delay
    !
  !
```

フレキシブルアルゴリズム用のインターフェイスの設定

次の例で、フレキシブルアルゴリズム用のインターフェイスを設定する方法を示します。

```
interface GigabitEthernet0/0/6
 ip address 10.11.11.1 255.255.255.0
 ip router isis 1
 mpls ip
 mpls traffic-eng tunnels
 bfd template pw_bfd
 isis network point-to-point
 isis affinity flex-algo
  name red
  !
```

BGP の設定

次の例で、BGPを設定する方法を示します。

```
router bgp 100
 bgp router-id 10.1.1.1
 bgp log-neighbor-changes
 bgp graceful-restart
 neighbor 10.2.2.2 remote-as 100
 neighbor 10.2.2.2 ha-mode sso
 neighbor 10.2.2.2 update-source Loopback1
 !
 address-family ipv4
  neighbor 10.2.2.2 activate
 exit-address-family
 !
address-family vpnv4
  neighbor 10.2.2.2 activate
  neighbor 10.2.2.2 send-community both
  neighbor 10.2.2.2 route-map BGP_TE_MAP out
 exit-address-family
 !
 address-family ipv4 vrf SR
  redistribute connected
  neighbor 10.132.1.1 remote-as 101
  neighbor 10.132.1.1 activate
 exit-address-family
!
```

選択的なパスのフィルタ処理の設定

次の例で、MPLS 転送インフラストラクチャ（MFI）にインストールされているパスを選択的にフィルタ処理する方法を示します。

```
Prefix-source
=====================
interface Loopback1
```

```
ip address 10.1.1.1 255.255.255.255
ip router isis
 isis tag 111

Remote router configured for selective path filtering
 ================================================
route-map block deny 10
match tag 111
!
route-map block permit 100
!
router isis 1
!
flex-algo 135
!
distribute-list route-map block in
```

PCE 委任による SR ポリシーの設定

次の例で、パス計算要素（PCE）委任を使用して SR ポリシーを設定する方法を示します。

```
policy p-delay
  color 1111 end-point 10.6.6.6
  candidate-paths
   preference 1
    constraints
     segments
      dataplane mpls
      algorithm 128
     !
    !
    dynamic
     pcep
```

フレキシブルアルゴリズムの設定の確認

次に、IS-IS フレキシブルアルゴリズムに関するすべての情報を表示する **show isis flex-algo** *value* コマンドの出力例を示します。

```
show isis flex-algo 129
Tag 1:
IS-IS Flex-Algo Database
 Flex-Algo count: 7

Flex-Algo 129:
    IS-IS Level-1
      Definition Priority: 222
      Definition Source: R2-RSP3-2015.00, (Local)
      Definition Equal to Local: Yes
      Definition Metric Type: Delay
      Definition Flex-Algo Prefix Metric: No
      Disabled: No
      Microloop Avoidance Timer Running: No
   Local Priority: 222
   FRR Disabled: No
   Microloop Avoidance Disabled: No
```

次に、メトリックタイプ TE を表示する **show isis flex-algo** コマンドの出力例を示します。

```
show isis flex-algo 129 Tag 1:
IS-IS Flex-Algo Database Flex-Algo count: 7

Flex-Algo 129:
IS-IS Level-1
Definition Priority: 222
Definition Source: R2-RSP3-2015.00, (Local) Definition Equal to Local: Yes
Definition Metric Type: TE
Definition Flex-Algo Prefix Metric: No Disabled: No
Microloop Avoidance Timer Running: No Local Priority: 222
FRR Disabled: No
Microloop Avoidance Disabled: No
```

次に、すべての IS-IS ローカル RIB 情報を表示する **show isis rib flex-algo** *value* コマンドの出力例を示します。

```
show isis rib flex-algo 129
IPv4 local RIB for IS-IS process 1

IPV4 unicast topology base (TID 0, TOPOID 0x0) ================= Repair path attributes:
DS - Downstream, LC - Linecard-Disjoint, NP - Node-Protecting PP - Primary-Path, SR -
SRLG-Disjoint

Flex-algo 129

10.1.1.1/32 prefix attr X:0 R:0 N:1 source router id: 10.1.1.1 SID index 38 - Bound
[115/L1/113] via 10.11.11.1(GigabitEthernet0/4/6) R1-ASR920-2011.00-00, from 10.1.1.1,
tag 0
LSP 6/6/351(351), prefix attr: X:0 R:0 N:1 Source router id: 10.1.1.1
Prefix-SID index: 38, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
label: implicit-null
repair path: 10.20.20.2 (GigabitEthernet0/4/7) metric: 117 (DS,SR) local LFA
label: implicit-null
repair source: R1-ASR920-2011, LSP 6

10.2.2.2/32 prefix attr X:0 R:0 N:1 source router id: 10.2.2.2 SID index 39 - Bound
[115/L1/24] via 10.13.13.2(GigabitEthernet0/1/5) R4-RSP3-2036.00-00, from 10.2.2.2, tag
 0
LSP 2/3/345(345), prefix attr: X:0 R:0 N:1 Source router id: 10.2.2.2
Prefix-SID index: 39, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
label: 17039
repair path: 10.4.4.4 (MPLS-SR-Tunnel4) metric: 170 (DS,NP,SR) next-hop: 10.20.20.2
(GigabitEthernet0/4/7)
TI-LFA node/SRLG-protecting, SRLG-protecting
SRGB: 17000, range: 7000 prefix-SID index: 39, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
label: 17039
P node: R3-RSP2-2013[10.4.4.4], label: 17221
repair source: R6-RSP3-2038, LSP 3

10.4.4.4/32 prefix attr X:0 R:0 N:1 source router id: 10.4.4.4 SID index 221 - Bound



[115/L1/172] via 10.13.13.2(GigabitEthernet0/1/5) R4-RSP3-2036.00-00, from 10.4.4.4, tag
0
LSP 2/7/24(24), prefix attr: X:0 R:0 N:1 Source router id: 10.4.4.4
Prefix-SID index: 221, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
label: 17221
repair path: 10.20.20.2 (GigabitEthernet0/4/7) metric: 184 (DS,NP,SR) local LFA
label: 17221
repair source: R3-RSP2-2013, LSP 7
```

```
10.5.5.5/32 prefix attr X:0 R:0 N:1 source router id: 10.5.5.5 SID index 222 - Bound
[115/L1/17] via 10.13.13.2(GigabitEthernet0/1/5) R4-RSP3-2036.00-00, from 10.5.5.5, tag
 0
LSP 2/2/347(347), prefix attr: X:0 R:0 N:1 Source router id: 10.5.5.5
Prefix-SID index: 222, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
label: implicit-null
repair path: 10.4.4.4 (MPLS-SR-Tunnel4) metric: 170 (DS,SR) next-hop: 10.20.20.2
(GigabitEthernet0/4/7)
TI-LFA SRLG-protecting
SRGB: 17000, range: 7000 prefix-SID index: 222, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
label: 17222
P node: R3-RSP2-2013[10.4.4.4], label: 17221
repair source: R4-RSP3-2036, LSP 2

10.6.6.6/32 prefix attr X:0 R:0 N:1 source router id: 10.6.6.6 SID index 333 - Bound
[115/L1/122] via 10.13.13.2(GigabitEthernet0/1/5) R4-RSP3-2036.00-00, from 10.6.6.6, tag
0
LSP 2/4/351(351), prefix attr: X:0 R:0 N:1 Source router id: 10.6.6.6
Prefix-SID index: 333, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
label: 17333
repair path: 10.4.4.4 (MPLS-SR-Tunnel4) metric: 170 (DS,NP,SR) next-hop: 10.20.20.2
(GigabitEthernet0/4/7)
TI-LFA node/SRLG-protecting, SRLG-protecting
SRGB: 17000, range: 7000 prefix-SID index: 333, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
label: 17333
P node: R3-RSP2-2013[10.4.4.4], label: 17221
repair source: R5-ASR920-2012, LSP 4
```

次に、中間システムへの IS-IS パスに関する情報を表示する **show isis topo flex-algo** *value* コマンドの出力例を示します。

```
show isis topo flex-algo 129
Tag 1:
IS-IS TID 0 paths to level-1 routers
Flex-algo 129
System Id            Metric     Next-Hop             Interface   SNPA
920_1                3          RSP2_2               Gi0/15/0    e8ed.f3b8.f804
RSP3_R1              **
RSP2_1               2          RSP2_2               Gi0/15/0    e8ed.f3b8.f804
RSP3_R2              **
RSP2_2               1          RSP2_2               Gi0/15/0    e8ed.f3b8.f804
RSP3_R3              --
```

次に、IS-IS TI-LFA トンネルに関する情報を表示する **show isis fast-reroute ti-lfa tunnel** コマンドの出力例を示します。

```
show isis fast-reroute ti-lfa tunnel
Tag null:
Fast-Reroute TI-LFA Tunnels:
Tunnel  Interface  Next Hop         End Point        Label     End Point Host
Tag 1:
Fast-Reroute TI-LFA Tunnels:

Tunnel  Interface  Next Hop         End Point        Label     End Point Host

MP2     Gi0/0/6    10.12.12.2       10.2.2.2          17019     RSP3_R3

MP5     Gi0/0/5    10.11.11.2       10.2.2.2          17019     RSP3_R3

MP3     Gi0/0/6    10.12.12.2       10.6.6.6          17333     RSP2_2

                                    10.2.2.2          16        RSP3_R3
```

```
MP9     Gi0/0/5    10.11.11.2       10.2.2.2          17039     RSP3_R3

MP1     Gi0/0/6    10.12.12.2       10.6.6.6          20333     RSP2_2

                                    10.2.2.2          16        RSP3_R3

MP6     Gi0/0/5    10.11.11.2       10.2.2.2          17049     RSP3_R3
```

次に、リンクステートアドバタイズメント（LSA）からコンパイルされたノードとリンクの情報を表示する **show ip ospf topology** コマンドの出力例を示します。

```
R1#show ip ospf topology
        Process OSPF-10

  Instance : global
   Router ID : 10.1.1.1
    Area :  (8 nodes)
      Node : 10.2.0.2 (pseudo) (2 links)
        Link : 10.1.1.1 10.0.0.0 Transit
        Link : 10.1.1.2 10.0.0.0 Transit
      Node : 10.1.1.1 (root) (3 links) ABR
        Algos supported: 128, 129
        Flex Algo Definition: 128
        Flex Algo Definition: 129
        Link : 10.1.1.6 10.0.0.2 Point-to-point
        Link : 10.1.1.6 10.6.1.1 Point-to-point
        Link : 10.2.0.2 10.2.0.1 Transit
      Node : 10.1.1.2  (3 links)
        Algos supported: 128
        Link : 10.1.1.3 10.3.0.2 Point-to-point
        Link : 10.1.1.54 10.5.0.2 Point-to-point
        Link : 10.2.0.2 10.2.0.2 Transit
      Node : 10.1.1.3  (2 links)
        Algos supported: 128
        Link : 10.1.1.2 10.3.0.3 Point-to-point
        Link : 10.1.1.4 10.4.0.3 Point-to-point
      Node : 10.1.1.4  (3 links) ABR, ASBR
        Algos supported: 128, 129
        Link : 10.1.1.3 10.4.0.4 Point-to-point
        Link : 10.1.1.9 10.0.0.3 Point-to-point
        Link : 10.1.1.54 10.5.0.4 Point-to-point
      Node : 10.1.1.6  (4 links)
        Algos supported: 129
        Link : 10.1.1.1 10.0.0.2 Point-to-point
        Link : 10.1.1.1 10.6.1.6 Point-to-point
        Link : 10.1.1.54 10.6.0.6 Point-to-point
        Link : 10.1.1.54 10.6.1.6 Point-to-point
      Node : 10.1.1.9  (1 links) ABR
        Link : 10.1.1.4 10.0.0.3 Point-to-point
      Node : 10.1.1.54  (4 links)
        Algos supported: 129
        Link : 10.1.1.2 10.5.0.5 Point-to-point
        Link : 10.1.1.4 10.5.0.5 Point-to-point
        Link : 10.1.1.6 10.6.0.5 Point-to-point
        Link : 10.1.1.6 10.6.1.5 Point-to-point
    Area :  (2 nodes)
      Node : 10.1.1.1 (root) (1 links) ABR
        Algos supported: 128, 129
        Flex Algo Definition: 128
        Flex Algo Definition: 129
        Link : 10.1.1.8 10.8.0.1 Point-to-point
      Node : 10.1.1.8  (1 links)  ASBR
        Link : 10.1.1.1 10.8.0.8 Point-to-point
```

次に、LSA からコンパイルされたノードとプレフィックスの情報を表示する **show ip ospf topology prefix** コマンドの出力例を示します。

```
R1#show ip ospf topology prefix
        Process OSPF-10

  Instance : global
   Router ID : 10.1.1.1
    Area :  (8 nodes)
      Node : 10.2.0.2 (pseudo) (2 links)
      Node : 10.1.1.1 (root) (3 links) ABR
        Algos supported: 128, 129
        Flex Algo Definition: 128
        Flex Algo Definition: 129
      Node : 10.1.1.2  (3 links)
        Algos supported: 128
      Node : 10.1.1.3  (2 links)
        Algos supported: 128
        Prefix : 10.1.1.34/32
      Node : 10.1.1.4  (3 links) ABR, ASBR
        Algos supported: 128, 129
        Prefix : 10.1.1.4/32
        Prefix : 10.1.1.34/32
        Prefix : 10.1.1.45/32
      Node : 10.1.1.6  (4 links)
        Algos supported: 129
      Node : 10.1.1.9  (1 links) ABR
      Node : 10.1.1.54  (4 links)
        Algos supported: 129
        Prefix : 10.1.1.54/32
    Area :  (2 nodes)
      Node : 10.1.1.1 (root) (1 links) ABR
        Algos supported: 128, 129
        Flex Algo Definition: 128
        Flex Algo Definition: 129
      Node : 10.1.1.8  (1 links)  ASBR
```

次に、ルート計算に基づいて計算されたルートのパス情報を表示する **show ip ospf topology route** コマンドの出力例を示します。

```
R1#show ip ospf topology route
 Route Table of OSPF-10 with router ID 10.1.1.1 (VRF global)

  10.1.1.4/32
    Algo 128, Metric 31, SID 132, Label 16132
      10.2.0.2, from 10.1.1.2, via Ethernet0/1
    Algo 129, Metric 31, SID 133, Label 16133
      10.1.1.6, from 10.1.1.6, via Ethernet0/0
      10.6.1.6, from 10.1.1.6, via Ethernet0/3
  10.1.1.34/32
    Algo 128, Metric 21, SID 43, Label 16043
      10.2.0.2, from 10.1.1.2, via Ethernet0/1
  10.1.1.45/32
    Algo 129, Metric 31, SID 4294967295, Label 1048577
      10.1.1.6, from 10.1.1.6, via Ethernet0/0
      10.6.1.6, from 10.1.1.6, via Ethernet0/3
  10.1.1.54/32
    Algo 129, Metric 21, SID 45, Label 16045
      10.1.1.6, from 10.1.1.6, via Ethernet0/0
      10.6.1.6, from 10.1.1.6, via Ethernet0/3
```

次に、ゼロ以外のアルゴリズム固有のプレフィックス SID ラベル MPLS 転送情報を表示する **show mpls forwarding-table** コマンドの出力例を示します。

```
#show mpls forwarding-table 10.23.23.23 255.255.255.255 algo 20
Local      Outgoing   Prefix           Bytes Label   Outgoing   Next Hop
Label      Label      or Tunnel Id     Switched      interface
18         16023      0-10.23.23.23/32-4 (10:30:20:1)   \
                                       0             Et1/1      10.1.1.2
```

プレフィックスまたはトンネル ID 列には、メトリックに関する情報（0-10.6.6.6/32-4（4:50:128:0）など）が表示されます。

プレフィックスの横にある 4 つの部分は次のとおりです。

- pdb-index=4
- metric 50
- algo=128
- via-srms=0

via-srms フィールドは、ラベルの送信元がプレフィックス到達可能性アドバタイズメント（0）またはマッピングサーバーアドバタイズメント（1）のどちらであるかを示します。再配布されたルートが再配布の宛先プロトコルによってアドバタイズされる場合、マッピングサーバーアドバタイズメントから取得したラベルはアドバタイズされません。

pdb-index フィールドは、プロトコルインスタンスを示します。次のコマンド出力は、さまざまなプロトコルとその値を示しています。

```
# show ip protocols summary
Index Process Name
0 connected
1 static
2 application
3 nat-route
4 isis 1
```

次に、再配布されたプレフィックスを表示する **show isis rib redistribution** コマンドの出力例を示します。

```
# show isis rib redistribution

IPv4 redistribution RIB for IS-IS process 1

IPV4 unicast base topology (TID 0, TOPOID 0x0) ==================
====== Level 1 ======
====== Level 2 ======
10.3.3.3/32
  [Connected/0]  prefix-SID index: 31, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
  strict-SPF SID index: 32, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0
  flex-algo 128 SID index: 33, R:0 N:1 P:0 E:0 V:0 L:0 map 0x1
    prefix-metric: 0, not advertised
10.4.4.4/32
  [ISIS/0] external interarea  prefix-SID index: 41, R:1 N:0 P:1 E:0 V:0 L:0
  strict-SPF SID index: 42, R:1 N:0 P:1 E:0 V:0 L:0
  flex-algo 128 SID index: 43, R:1 N:0 P:1 E:0 V:0 L:0 map 0x0
    prefix-metric: 40, not advertised
  prefix attr: X:1 R:0 N:0
```

この例では、厳格な SID またはフレキシブルアルゴリズムのプレフィックス SID を確認できます。再配布されたプレフィックスはエリア間ルートとして示され、X フラグが設定されます。

次に、ISIS フレキシブルアルゴリズム定義フラグのサブ TLV でアドバタイズされるプレフィックス メトリック フラグ（M フラグ）を表示する **show isis database verbose** コマンドの出力例を示します。

```
# show isis database verbose
..
Router CAP:   10.1.1.1, D:0, S:0
    Segment Routing: I:1 V:0, SRGB Base: 16000 Range: 8000
    Segment Routing Local Block: SRLB Base: 15000 Range: 1000
    Node-MSD
      MSD: 16
    Flex algorithm: 150 Metric-Type: IGP Alg-type: SPF Priority: 128
    Segment Routing Algorithms: SPF, Strict-SPF, Flex-algo 128
    Segment Routing Algorithms: Flex-algo 150
    Flex algorithm: 128 Metric-Type: IGP Alg-type: SPF Priority: 128
      Flex-Algo Definition Flags:
       M:1.
```

第 35 章

SR-TE 優先パス上の L2VPN

表 *44*：機能の履歴

機能名	リリース情報	説明
フレキシブルアルゴリズムでの SR-TE 優先パスを使用した L2VPN トラフィックステアリング	Cisco IOS XE Bengaluru 17.6.1	この機能により、フレキシブルアルゴリズムを使用して、SR ポリシーを VPWS または VPLS 疑似回線の優先パスとして設定できます。同じ PE 間の VPWS または VPLS 疑似回線は、要件に基づき異なる SR ポリシーを介してルーティングできます。このリリースより前は、IPv4 トラフィックを宛先疑似回線（IGP または BGP-LU 経由）にルーティングするための SR ポリシーを使用してトラフィックをステアリングできるのみでした。

仮想プライベート LAN サービス（VPLS）により、企業では、サービスプロバイダーから提供されたインフラストラクチャを介して、複数のイーサネットベースの LAN をまとめてリンクすることが可能になります。

VPLS はサービスプロバイダーのコアを使用して企業の複数の接続回線をまとめ、仮想ブリッジをシミュレートします。VPLS のトポロジは、企業からは認識されません。すべてのカスタマーエッジ（CE）デバイスは、サービスプロバイダーのコアによってエミュレートされた論理ブリッジに接続されているように見えます。

Cisco IOS XE Bengaluru リリース 17.6.1 より前では、SR ポリシーを介した L2VPN（VPLS または VPWS）トラフィックをステアリングできませんでした。IPv4 トラフィックを宛先疑似回線（IGP または BGP-LU 経由）にルーティングするための SR ポリシーを使用して、IPv4 トラフィックをステアリングできるのみでした。

次に、フレキシブルアルゴリズムを使用して、SR ポリシーをVPWS または VPLS 疑似回線の優先パスとして設定します。同じ PE 間の VPWS または VPLS 疑似回線は、異なる SR ポリシーを介してルーティングすることもできます。

フォールバックオプションの無効化

フォールバックの無効化オプションは、優先パスの SR ポリシーがダウンしたときに、ルータがデフォルトのパスを使用しないようにします。

機能制限

- オンデマンド（ODN）ポリシーを優先パスに追加することはできません。
- SR-TE 優先パスを介した L2VPN は、SR 宛先別ポリシー（PDP）でのみサポートされ、SR フロー別ポリシー（PFP）ではサポートされません。
- SR-TE 優先パスを介した L2VPN は、疑似回線インターフェイスを使用してのみ設定できます。
- この機能は、IS-IS プロトコルでのみサポートされています。

フレキシブルアルゴリズムでの SR-TE 優先パスを使用した L2VPN トラフィックステアリングの設定

Flex Algo で IS-IS を設定するには、次の手順を実行します。

```
router isis 1

affinity-map green bit-position 0
affinity-map red bit-position 1
affinity-map yello bit-position 2
flex-algo 128
  advertise-definition
  metric-type delay
  priority 200
  affinity
   exclude-any
    name red
    name yellow
!
flex-algo 129
```

```
  advertise-definition
  priority 200
  affinity
   exclude-any
    name green
    name red



interface Tunnel100
isis affinity flex-algo
  name green
  !
interface Tunnel101
isis affinity flex-algo
  name yellow
 !
interface Tunnel102
isis affinity flex-algo
  name red



segment-routing traffic-eng
 policy p-2000
  color 2000 end-point 10.4.4.4
  performance-measurement
   delay-measurement
  candidate-paths
   preference 10
    constraints
     segments
      dataplane mpls
      algorithm 128
     !
     !
    !
    dynamic
```

MPLS ラベルの SR 静的ポリシーを作成するには、次の手順を実行します。

```
configure terminal segment-routing traffic-eng
segment-list name segment-name
index 1 mpls label first hop label
index 2 mpls label second hop label !
policy policy-name
color color-code end-point destination IP Address candidate-paths
preference preference
explicit segment-list segment-name
constraints
segments dataplane mpls
```

次の SR 静的ポリシーを作成することもできます。

- MPLS 隣接関係（アジャセンシー）
- MPLS プレフィックス

SR-TE 優先パスを介した L2VPN は、次の方法で設定できます。

- 非テンプレートベースの設定

- テンプレートベースの設定

非テンプレートベースの設定：

- **疑似回線の作成**

  疑似回線を作成するには、次の手順を実行します。

```
interface pseudowire 1
 encapsulation mpls
 neighbor peer-address vc-id
```

- **優先パスを使用したポリシーのアタッチ**

  優先パスを使用してポリシーをアタッチするには、次の手順を実行します。

```
interface pseudowire1
 preferred-path segment-routing traffic-eng policy policy-name [disable-fallback]
```

テンプレートベースの設定：

- **テンプレートタイプの疑似回線の作成**

  テンプレートタイプの疑似回線を作成するには、次の手順を実行します。

```
template type pseudowire name
 encapsulation mpls
 preferred-path segment-routing traffic-eng policy name [disable-fallback]
```

- **優先パスを使用したポリシーのアタッチ**

  優先パスを使用してポリシーをアタッチするには、次の手順を実行します。

```
interface pseudowire 1
 source template type pseudowire name
```

設定例 1：SR-TE 優先パス上の VPWS 疑似回線

```
!
interface
gi0/0/1
service instance 1000
ethernet encapsulation
dot1q 1000 !
template type pseudowire l2vpntest
 encapsulation mpls
preferred-path Segment-Routing traffic-eng policy p106
l2vpn xconnect context l2vpn-test
member 10.6.6.6 1000 template
l2vpntest member gi0/0/1
service-instance 1000  !
```

設定例 2：SR-TE 優先パス上の VPWS 疑似回線

```
!
!
interface gi0/0/1
```

```
service instance 1000 ethernet
 encapsulation dot1q 1000
 !
template type pseudowire
l2vpntest encapsulation mpls
preferred-path Segment-Routing traffic-eng policy p106 !

interface pseudowire1000
 source template type pseudowire l2vpntest
encapsulation mpls  neighbor 10.1.1.1 1000 !

l2vpn xconnect context l2vpn-test
member pseudowire 1000
 member gi0/0/1 service-instance 1000
```

設定例 3：SR-TE 優先パス上の VPLS 疑似回線

```
interface gi0/0/1

service instance 1000
ethernet   encapsulation
dot1q 1000 !

interface pseudowire106
encapsulation mpls
 neighbor 10.6.6.6 1000

 preferred-path Segment-Routing traffic-eng policy p106 !
interface pseudowire104
 encapsulation mpls
  neighbor 10.4.4.4 1000

preferred-path Segment-Routing traffic-eng policy p104
 !
l2vpn vfi context VC_1000   vpn id 1000  member
 pseudowire106  member pseudowire104
!

bridge-domain 1000

member gi0/0/1 service-instance
 1000 member vfi VC_1000
```

SR-TE 優先パス上の L2VPN の設定確認

ポリシー設定を確認するには、**show segment-routing traffic-eng policy name** *policy name* **detail** コマンドを使用します。

```
Router#show segment-routing traffic-eng policy name CE11-PE12 detail

Name: CE11-PE12 (Color: 50 End-point: 10.12.12.12)
  Owners : CLI
  Status:
    Admin: up, Operational: up for 70:04:00 (since 08-17 07:55:36.536)
  Candidate-paths:
    Preference 100 (CLI):
      Explicit: segment-list IntraDomain (active)
```

```
        Weight: 1, Metric Type: TE
16005
16008
16010
Attributes:
    Binding SID: 20
      Allocation mode: dynamic
      State: Programmed
  Tunnel ID: 65538 (Interface Handle: 0x20)
  Per owner configs:
    CLI
      Binding SID: dynamic
  Stats:
    Packets: 0  Bytes: 0

  Event history:
    Timestamp                  Client                  Event type              Context:
 Value
    -----------------           ------                  --------------
---------: ---------
    10-28 04:05:37.028          L2VPN                   Policy created           Name:
L2VPN
    10-28 04:05:37.048          L2VPN                   BSID allocated           FWD:
label 20
    10-28 04:05:37.494          L2VPN                   Client removed           Owner:
 Destroyed
    10-28 04:05:37.494          CLI                      Set colour
Colour: 230
    10-28 04:05:37.494          CLI                      Set end point
End-point: 12.12.12.12
    10-28 04:05:37.496          CLI                     Set explicit path       Path
option: IntraDomain
    10-28 04:08:22.873          FH Resolution           Policy state UP         Status:
 PATH RESOLVED
    10-28 04:08:45.630          FH Resolution           REOPT triggered         Status:
 REOPTIMIZED
```

show mpls l2transport vc 1000 detail コマンドを使用して、SR-TE 優先パスを介した L2VPN を確認します。

```
Router#show mpls l2transport vc 1000 detail
Local interface: VFI VC_1000 vfi up
  Interworking type is Ethernet
  Destination address: 10.12.12.12, VC ID: 1000, VC status: up
    Output interface: tu65538, imposed label stack {16005 16008 16010 32}
    Preferred path: not configured
    Default path: active
    Next hop: 10.168.1.1
  Create time: 1w4d, last status change time: 22:50:57
    Last label FSM state change time: 22:51:46
  Signaling protocol: LDP, peer 10.1.1.1:0 up
    Targeted Hello: 10.2.2.2(LDP Id) -> 10.1.1.1, LDP is UP
    Graceful restart: not configured and not enabled
    Non stop routing: not configured and not enabled
    Status TLV support (local/remote)   : enabled/supported
      LDP route watch                   : enabled
      Label/status state machine        : established, LruRru
      Last local dataplane   status rcvd: No fault
      Last BFD dataplane     status rcvd: Not sent
      Last BFD peer monitor  status rcvd: No fault
      Last local AC  circuit status rcvd: No fault
      Last local AC  circuit status sent: No fault
      Last local PW i/f circ status rcvd: No fault
      Last local LDP TLV     status sent: No fault
```

```
    Last remote LDP TLV    status rcvd: No fault
    Last remote LDP ADJ    status rcvd: No fault
  MPLS VC labels: local 26, remote 21
  Group ID: local n/a, remote 16
  MTU: local 9000, remote 9000
  Remote interface description:
  MAC Withdraw: sent:0, received:301
Sequencing: receive disabled, send disabled
Control Word: On (configured: autosense
```

第 36 章

IGP 自動ルート通知により COE-PCE が開始する SR ポリシー

表 *45 :* 機能の履歴

機能名	リリース情報	機能説明
IGP 自動ルート通知により PCE が開始する SR ポリシー	Cisco IOS XE Bengaluru 17.7.1a Cupertino	この機能により、IGP がポリシーエンドポイントの宛先のダウンストリームにポリシーを自動的に使用するステアリングメカニズムが有効になります。

戦術的な TE ソリューションの一部として、パス計算要素（PCE）は、セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）ポリシーをプロビジョニングしてリンクの輻輳を軽減できます。

自動ルート通知は、IGP がポリシーエンドポイントの宛先のダウンストリームにポリシーを自動的に使用するステアリングメカニズムです。自動ルート通知は、Cisco Crossworks Optimization Engine（COE）を使用して実行されます。COE は、リアルタイムでネットワークを最適化することで、オペレータがネットワーク使用率を効果的に最大化し、サービス速度を高められるようにします。

PCE はさまざまなネットワーク情報を収集し、リンク輻輳の原因となっているトラフィックフローを特定します。PCE は、それらのフローを迂回させて輻輳を軽減するための適切なパスを計算します。次に、PCE は SR-TE ポリシーを展開し、ステートフルなパス計算要素プロトコル（PCEP）を使用して輻輳の原因となるトラフィックを迂回させ、ポリシーをプロビジョニングします。輻輳が緩和されると、SR-TE ポリシーは削除されます。

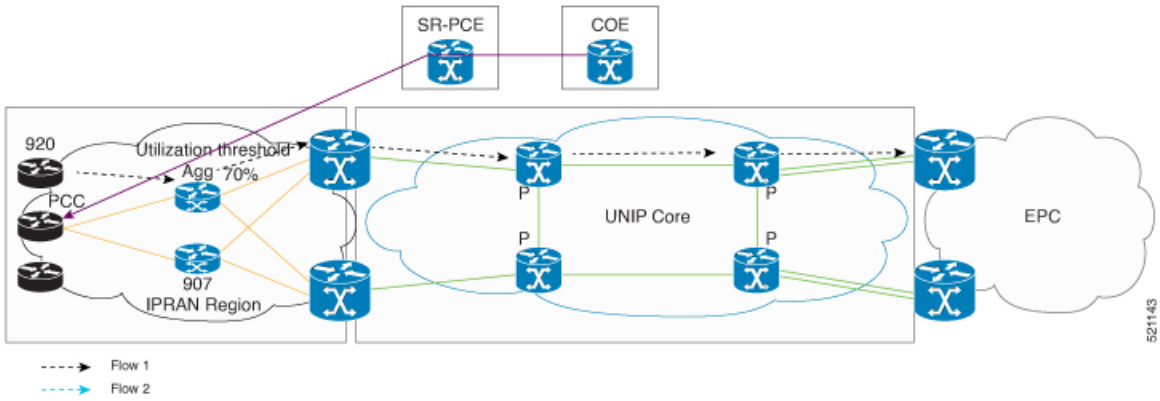
PCEP メッセージには、ヘッドエンドによって展開される SID リストが含まれています。パス計算クライアント（PCC）プロファイルでは、プロファイル ID を使用して、PCEP によってプロビジョニングされたポリシーに対する自動ルート通知をアクティブ化できます。PCE と PCC のプロファイル ID は一致する必要があります。一致しない場合、ポリシーはプロビジョニングされません。たとえば、PCE がプロファイル ID 1 のポリシーをプロビジョニングし、ポリシーがプロビジョニングされているヘッドエンドにも自動ルート通知が設定された PCC プロ

ファイル ID 1 がある場合、COE-PCE が開始した SR ポリシーはそのポリシーに対してアクティブ化されます。

- COE-PCE が開始する SR ポリシー （366 ページ）
- SR-TE を介した ECMP （367 ページ）

COE-PCE が開始する SR ポリシー

図 *38 : COE-PCE* が開始する *SR* ポリシー



上記のトポロジは、SR-PCE ポリシーを COE から開始する仕組みを示しています。

- SR ポリシーは、プロファイル ID を使用して COE で設定されます。
- COE は SR ポリシーを PCE にプッシュし、PCE は SR ポリシーを PCC に転送します。
- PCC のプロファイル ID は、COE-PCE のプロファイル ID と一致します。
- IGP 自動ルート通知は PCC で設定されます。
- ポリシーがプロビジョニングされます。
- データトラフィックは、COE からプッシュされた SR ポリシーに準拠するようになりました。
- 完全な SR ポリシーの操作は、COE でのみ発生します。

PCE が開始する SR ポリシーに関する制約事項

- 最大 500 の ACE がサポートされます。
- ネイティブ COE のみがサポートされます。
- Cisco IOS XE Bengaluru 17.5.1 では、SR 戦術ポリシーに基づく帯域幅の最適化が RSP3 でサポートされています。
- COE を使用した帯域幅の最適化はサポートされていません。

- PIC コアは SR-TE トンネルではサポートされていません。
- SR-TE を介した PIC エッジはサポートされていません。
- Cisco IOS XE Bengaluru 17.5.1 では、SR-TE を介した ECMP が RSP3 でサポートされています。
- 6PE および 6VPE は、3 つおよび 4 つのトランスポートラベルではサポートされません。
- IPv6 はサポートされていません。
- 最大 10,000 の VPNv4 プレフィックス制限がサポートされています。
- BGP LU（RFC 3107）は、AS 内および AS 間ではサポートされません。

SR-TE を介した ECMP

表 *46 :* 機能の履歴

機能名	リリース情報	機能説明
SR-TE ポリシーを介した ECMP	Cisco IOS XE Bengaluru 17.5.1	この機能を使用すると、SR-TE ポリシーを介した ECMP を設定できます。複数のパスの場合、この機能により、ロードバランシングによるローカル輻輳の緩和が可能になります。 この機能は、Cisco ASR 900 RSP3 モジュールのみでサポートされています。

次のセクションでは、ローカルの輻輳を軽減する方法と、ロードバランシングを実現するために SR-TE ポリシーを介して ECMP を展開する方法について説明します。

（注） 複数のパスでロードバランシングされるトラフィックは、HW ロードバランシングされます。

SR-TE ポリシーを介した ECMP に関する制約事項

Cisco ASR 900 RSP3 モジュールは、**sr_5_label_push_enable** および **sr_pfp_enable** テンプレートをサポートしています。さまざまなテンプレートの組み合わせには、次の制約が適用されます。

sr_5_label_push_enable テンプレートの場合：

- 3 つまたは 4 つの TE ラベルを持つ SR-TE トンネルを介した LB では、1 つのサービスラベルのみがサポートされます。このサービスラベルには、L3VPN、L2VPN、6PE、6VPE、および RFC 3107 BGP-LU ラベルが含まれます。
- 6PE および 6VPE は、3 つおよび 4 つの SR-TE トンネルラベルではサポートされません。
- セグメントルーティングは、**enable_portchannel_qos_multiple_active** テンプレートではサポートされません。
- L2VPN/EVPN の宛先に SR-TE トンネルを介して設定された静的ルートがある場合、L2VPN/EVPN サービスの HW ロードバランシングはサポートされません。

sr_pfp_enable テンプレートの場合：

- SR PM HW タイムスタンプはサポートされません。
- VLAN COS マーキングはサポートされません。
- HW ロードバランシングはサポートされません。
- 入力でのポリサーベースの階層型 QOS はサポートされません。
- ショートパイプ トンネリング モードはサポートされません。

その他の制約事項：

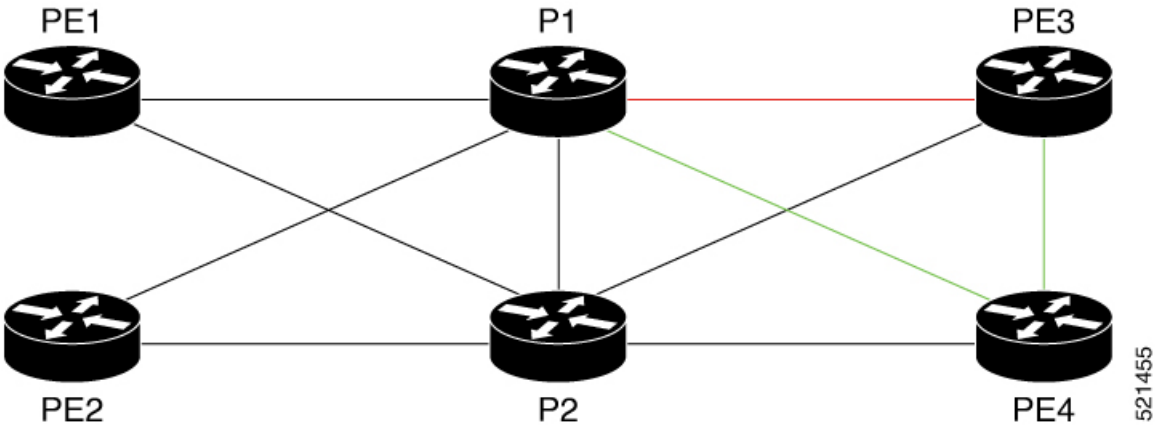
- SR-TE を介した ECMP は、COE ではサポートされません。
- SR-TE トンネルを介した PIC コアはサポートされません。
- SR TE トンネルを介した PIC エッジはサポートされません。
- SR TE トンネルを介した PIC エッジマルチパスはサポートされません。
- W-ECMP はサポートされません。
- ネクストホップ ECMP は SR ポリシー内ではサポートされません。
- ローカル輻輳緩和（LCM）は、ベストエフォート型トラフィックにのみ適用されます。遅延の影響を受けやすい他のすべてのトラフィックは、安全な SID（Flex Algo 128）を使用します。遅延の影響を受けやすいトラフィックは、LCM トンネルを使用してリダイレクトされません。

ローカル輻輳の緩和

現在のネットワーク展開では、ネットワーク内のすべてのルータが、出入りするトラフィックの量に基づいて輻輳を回避するようにトラフィックをプロビジョニングする機能を備えていることが重要です。この輻輳緩和をプロビジョニングするには、ルータが等コストマルチパス（ECMP）のロードバランシングをサポートしている、つまり、宛先に到達するために使用可能なパスの数に基づいてトラフィックを分散している必要があります。

輻輳緩和は、ルータが戦術的 SR ポリシーを使用して、特定のトラフィックを現在のパスとは異なるパスに移動するのに役立ちます。リンク輻輳のしきい値を超えると、インターフェイスカウンタに基づいてリンクの輻輳をモニターする COE（Cisco Optimization Engine）は、PCE を使用してこれらの戦術的ポリシーをプッシュします。ローカル輻輳緩和（LCM）に使用されるこれらの PCE 開始戦術ポリシーは、必要に応じて展開され、ベストエフォート型トラフィックのみがこれらの戦術的 SR-TE ポリシーでロードバランシングされます。

図 *39 :* ローカル輻輳緩和の解説



上記のトポロジで、PE1 および PE2 から宛先 PE3 に向かうベストエフォート型トラフィックが P1 に着信し、P1 と PE3 の間のリンクが輻輳していると仮定します。P1 と PE3 の間の輻輳を軽減するには、P1 と PE3 からの ECMP パスが必要です。これはセグメントルーティングでは、P1 から PE3 に複数の戦術的 SR ポリシーを展開し、1 つは直接接続されたリンク P1-PE3 を通し、もう 1 つはパス P1-PE4-PE3 を通すことで実現されます。これらのポリシーは戦術的ポリシーと呼ばれ、これらを介してベストエフォート型トラフィックのロードバランシングを行うことで、ローカル輻輳緩和を回避するために使用されます。LCM はベストエフォート型トラフィックにのみ適用されます。遅延の影響を受けやすい他のすべてのトラフィックは、安全な SID（Flex Algo 128）を使用します。遅延の影響を受けやすいトラフィックは、LCM トンネルを使用してリダイレクトされません。発信元トラフィックは非 LCM トンネルに送られ、safe-SID を持つ中継トラフィックは通常のラベルエントリトラフィックとして扱われ、それに応じて転送されます。

上記のトポロジでは、任意のノードが LCM の戦術的トンネルを展開し、特定のリンク上の輻輳を軽減する場合があります。これらのノードは、LCM トンネルのエンドポイントへ、さらにはトンネルのエンドポイントを越えて、トラフィックを中継したり、場合によっては発信したりします。

PE ノードがトラフィックを発信しており、P ノードが他の場所から発信されたトラフィックの中継ノードであると仮定します。これらの組み合わせに基づいて、考慮する必要があるトラフィックのタイプは次のとおりです。

PE ノードとして、

- L3VPN ベストエフォート型トラフィック
- L2VPN ベストエフォート型トラフィック

- グローバルトラフィック

P ノードとして、

- 非フレキシブルアルゴリズム 0 ラベルに着信するトラフィックは、ラベルルックアップのエントリスワップとして扱われます。
- フレキシブルアルゴリズム 0 ラベルに着信するトラフィックは、スワップケースとして扱われるか、輻輳に基づいてその発信リンク用に作成された LCM がある場合、ラベルのポップおよびプッシュスタックに変換される可能性があります。

LCM トンネルがプッシュする必要のある TE ラベルの数に基づいて、TE ラベルの外側のラベルの数は 1 または 2のいずれかになります（サービスラベル）。

ロード バランシング

ヘッドエンドでロードバランシングの対象となるさまざまなタイプのトラフィックを下記に示します。ここでのトラフィックタイプには、ベストエフォートと遅延の影響を受けやすいものの両方が含まれます。

PE ノードとして、

- L3VPN トラフィック
- L2VPN トラフィック
- グローバルトラフィック

P ノードとして、

- 着信トラフィックは、ラベルルックアップに基づいて処理されます。

自動ルート通知

自動ルート通知または帯域幅最適化は、輻輳したリンクからトラフィックをステアリングし、ネットワークをより有効に活用するために使用します。

PCEP メッセージには、ヘッドエンドによって展開される SID リストが含まれています。パス計算クライアント（PCC）プロファイルでは、プロファイル ID を使用して、PCEP によってインスタンス化されたポリシーに対する自動ルート通知をアクティブ化できます。たとえば、PCE がプロファイル ID 1 のポリシーをインスタンス化し、ポリシーがインスタンス化されているヘッドエンドに自動ルート通知が設定された PCC プロファイル ID 1 がある場合、PCE が開始した SR ポリシーはそのポリシーに対してアクティブ化されます。

自動ルート通知は、厳密な SID で作成されたポリシーと厳密でない SID で作成されたポリシーの両方で設定できます。厳密な SID（A とする）と厳密でない SID（B とする）で作成されたポリシーでの自動ルーティング設定の主な違いは、A ではルックアップエントリが RIB でのみプログラムされるのに対し、B ではルックアップエントリが RIB と柔軟なアルゴリズムラベル 0 の LFIBでプログラムされることです。

スタティック ルートの設定

同じエンドポイントを持つ異なるトンネルを使用して同じ宛先への静的ルートを追加することで、設定したトンネルを介したルートのロードバランシングが形成されます。これは、すべてのタイプのトラフィックに適用されます。

SR ポリシー内のネクストホップ ECMP

一連の SID を持つ宛先に対して作成された SR ポリシーがあり、その SR ポリシーのヘッドエンドにネクストホップに到達するための複数の等しいパスがある場合、SR ポリシー内のネクストホップに到達するための ECMP は形成されません。

IGP 自動ルート通知により の の設定

```
pce
    address ipv4 10.13.13.13
segment-routing traffic-eng
   peer ipv4 10.1.1.1
    segment-list name ss1

    policy 100
     binding-sid mpls 15999
     color 100 end-point ipv4 10.12.12.12
     candidate-paths
      preference 10
       dataplane mpls
 profile-id 100
```

ここで、PCE が開始した OSPF 自動ルート通知を PCE から PCC にプッシュするには、PCE と PCC のプロファイル ID を一致させる必要があります。次の設定は PCC 設定を示しており、プロファイル ID が PCE と一致しているため、自動ルート通知が有効になっています。

```
segment-routing traffic-eng

  pcc
  pce address 10.13.13.13 source-address 10.1.1.1
  profile 100
   autoroute
    include all
```

自動ルート通知による SR ポリシーの確認

```
ASR903-R1#show segment-routing traffic-eng policy all

Name: *10.12.12.12|100 (Color: 100 End-point: 10.12.12.12)
Owners : PCEP
Status:
Admin: up, Operational: up for 66:41:16 (since 09-18 16:56:50.444)
Candidate-paths:
Preference 10 (PCEP):
PCC profile: 100
Dynamic (pce 10.13.13.13) (active)
Metric Type: TE, Path Accumulated Metric: 5
16003 [Prefix-SID, 10.3.3.3]
16012 [Prefix-SID, 10.12.12.12]
Attributes:
Binding SID: 15999
```

```
Allocation mode: explicit
State: Programmed
Autoroute:
Include all
```

IGP の ISIS 自動ルートの確認

IGP の ISIS 自動ルートを確認するには、次の 2 つのコマンドを使用します。

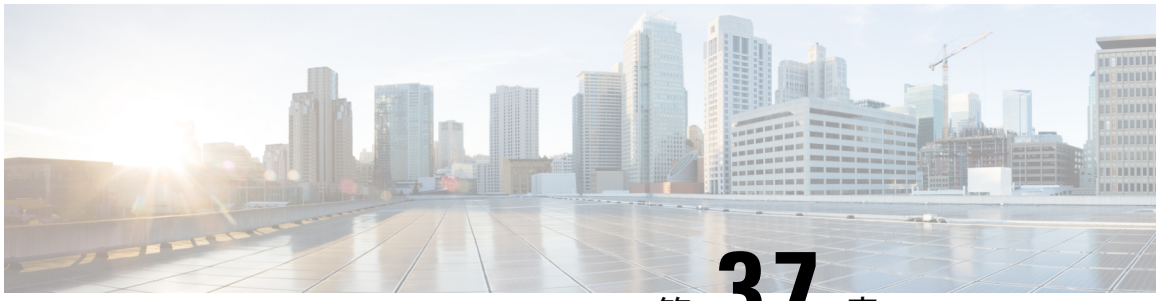
```
ASR903-R1#show ip cef 10.12.12.12 -------------□IGP ROUTE
10.12.12.12/32
nexthop 10.12.12.12 Tunnel65536 ------------□Tunnel pushed for IGP ROUTE
```

```
ASR903-R1# show ip cef 10.12.12.12 internal
10.12.12.12/32, epoch 3, RIB[I], refcnt 6, per-destination sharing
  sources: RIB
  feature space:
    IPRM: 0x00028000
    Broker: linked, distributed at 1st priority
    LFD: 10.12.12.12/32 0 local labels
        contains path extension list
  ifnums:
    Tunnel65536(64)
  path list 3C97B678, 3 locks, per-destination, flags 0x49 [shble, rif, hwcn]
    path 3E393010, share 1/1, type attached nexthop, for IPv4
      MPLS short path extensions: [rib | lblmrg | srlbl] MOI flags = 0x1 label
implicit-null
      nexthop 10.12.12.12 Tunnel65536, IP midchain out of Tunnel65536 2FFE3D00
  output chain:
    IP midchain out of Tunnel65536 2FFE3D00
    label [16012|16012]
    FRR Primary (0x3D9D4CE0)
      <primary: TAG adj out of Port-channel1, addr 10.100.0.2 3C9559C0>
      <repair:  TAG adj out of BDI1110, addr 10.111.0.2 3C954FC0>
```

SR ポリシーのトンネル ID の確認

```
ASR903-R1# show segment-routing traffic-eng policy name margin detail
Name: Margin (Color: 1000 End-point: 10.12.12.12)
  Owners : CLI
  Status:
    Admin: up, Operational: up for 00:50:52 (since 09-16 11:00:06.697)
  Candidate-paths:
    Preference 10 (CLI):
      Dynamic (pce 10.13.13.13) (active)
        Metric Type: TE, Path Accumulated Metric: 5
          16012 [Prefix-SID, 10.12.12.12]
  Attributes:
    Binding SID: 15900
      Allocation mode: explicit
      State: Programmed
  IPv6 caps enabled
  Tunnel ID: 65536 (Interface Handle: 0x15B)
  Per owner configs:
    CLI
      Binding SID: 15900
  Stats:
    Packets: 535473  Bytes: 805338440
Event history:
    Timestamp            Client          Event type          Context: Value
    ---------            ------          ----------          -------: -----
    09-16 11:00:06.377   CLI             Policy created      Name: CLI
    09-16 11:00:06.418   CLI             Set colour          Colour: 1000
```

```
09-16 11:00:06.418   CLI             Set end point        End-point: 10.12.12.12
09-16 11:00:06.446   CLI             Set binding SID      BSID: Binding SID set
09-16 11:00:06.577   CLI             Set dynamic          Path option: dynamic
09-16 11:00:06.620   CLI             BSID allocated       FWD: label 15900
09-16 11:00:06.637   FH Resolution   Policy state UP      Status: PATH RESOLVED
09-16 11:00:06.697   FH Resolution   Policy state DOWN    Status: PATH NOT RESOLVED

09-16 11:00:06.706   CLI             Set dynamic pce      Path option: dynamic pce
09-16 11:00:07.240   FH Resolution   Policy state UP      Status: PATH RESOLVED
09-16 11:00:09.520   FH Resolution   REOPT triggered      Status: REOPTIMIZED
```



第 37 章

IPv6 を介したセグメント ルーティング

セグメントルーティング（SR）は、MPLS データプレーンおよび IPv6 データプレーンの両方に適用できます。Cisco IOS XE 17.12.1a 以降、Segment Routing over IPv6（SRv6）は IPv6 データプレーンを介してセグメントルーティングのサポートを拡張します。

IPv6 を介したセグメント ルーティング

IPv6 を介したセグメント ルーティング

機能情報

表 *47 : SRv6* の機能情報テーブル

機能名	リリース	説明
IPv6 データプレーンを介したセグメントルーティング	Cisco IOS XE リリース 17.12.1a	セグメントルーティング（SR）は現在、マルチプロトコル ラベル スイッチング（MPLS）データプレーンに適用できます。Cisco IOS XE 17.12.1a 以降、SR は次のプロトコルの IPv6 データプレーンを介してサポートされています。 • 内部ゲートウェイプロトコル（IS-IS のみ） • Border Gateway Protocol（BGP） さらに、IPv6 データプレーンを介したセグメントルーティングでは、次の機能を使用できます。 • セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング ポリシー • スタティックルート • パフォーマンス管理 • 運用、管理、およびメンテナンス（OAM）

SRv6 に関する制約事項

- Cisco IOS XE は、32 ビット uSID ブロックと 16 ビット uSID ID（3216）を持つ uSID をサポートしています。この形式は、SRv6 uSID ドメインの uSID ロケータに使用する必要があります。

- Cisco IOS XE は、最大 10 個の uSID ロケータをサポートします。
- Cisco IOS XE は、次の SRv6 uSID の動作とバリアントをサポートしています。
  - PSP/USD を備えた uN
  - PSP/USD を備えた uA
  - uDT4
  - uDT6
  - uDT46
- Cisco IOS XE は、**H.Encaps.Red** SRv6 ポリシーヘッドエンドの動作をサポートしています。

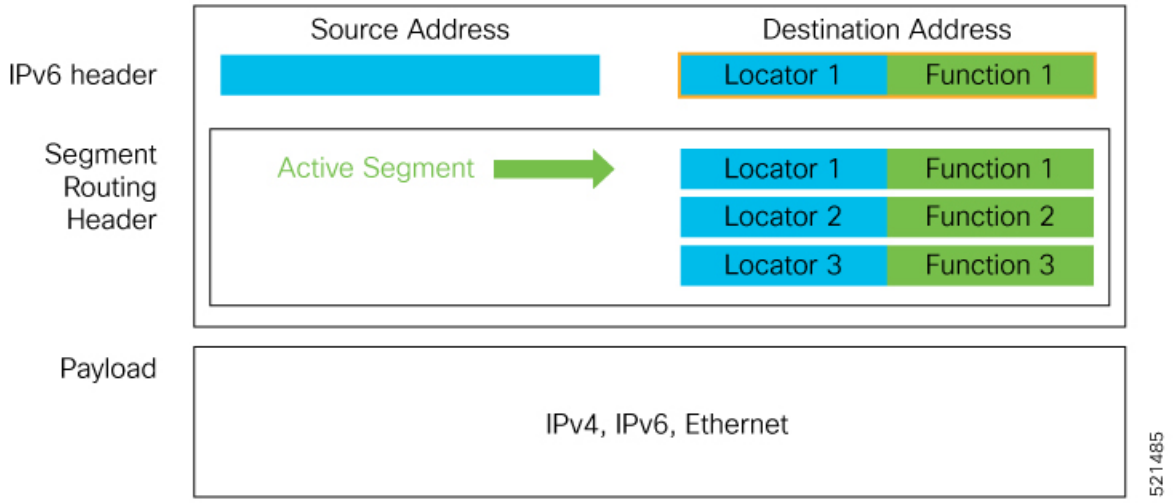
SRv6 に関する情報

SR-MPLS 対応ネットワークでは、MPLS ラベルは命令を表します。送信元ノードでは、パケットヘッダーの宛先へのパスがラベルのスタックとしてプログラムされます。

SRv6 にはネットワーク プログラミング フレームワークが導入されており、IPv6 パケットヘッダー内の一連の命令をエンコードすることで、ネットワークオペレータまたはアプリケーションがパケット処理プログラムを指定できます。各命令は、ネットワーク内の 1 つまたは複数のノードに実装され、パケット内の SRv6 セグメント識別子（SID）によって識別されます。SRv6 ネットワーク プログラミング フレームワークは、IETF RFC 8986 SRv6 ネットワークプログラミングで定義されます。

SRv6 では、IPv6 アドレスは命令を表します。SRv6 では、命令の順序付きリストをエンコードするために、セグメント ルーティング ヘッダー（SRH）と呼ばれる新しいタイプの IPv6 ルーティング拡張ヘッダーが使用されます。アクティブセグメントはパケットの宛先アドレスによって示され、次のセグメントは SRH のポインタによって示されます。

図 *40* : パケットヘッダーのネットワークプログラム



SRv6 SRH は、IETF RFC 8754 IPv6 セグメント ルーティング ヘッダー（SRH）に記載されています。

SRv6 ノードロール

SRv6 ノードロールは、IETF RFC 8754 IPv6 セグメント ルーティング ヘッダー（SRH）に記載されています。

SRv6 ヘッドエンドの動作

カプセル化を使用した SRv6 ヘッドエンドの動作は、IETF RFC 8986 SRv6 ネットワークプログラミングに記載されています。

SRv6 エンドポイントの動作

SRv6 エンドポイントの動作は、IETF RFC 8986 SRv6 ネットワークプログラミングに記載されています。

SRv6 エンドポイントの動作のバリアント

SRv6 エンドポイントの動作のバリアントは、IETF RFC 8986 SRv6 ネットワークプログラミングに記載されています。

SRv6 マイクロセグメント（uSID）

複数の SRv6 uSID は、uSID キャリアと呼ばれる単一の 128 ビット SID 内でエンコードされる場合があります。

SRv6 uSID は、IETF ドラフトの「NetworkProgramming extension: SRv6 uSID instruction」および「Compressed SRv6 Segment List Encoding in SRH」に記載されています。

この章では、SRv6 マイクロセグメントを **uSID** と呼びます。

SRv6 uSID の用語

SRv6 uSID の用語は、「Network Programming extension: SRv6 uSID instruction」に記載されています。

uSID ブロック内の SRv6 uSID の割り当て

SRv6 uSID の割り当ては、「Network Programming extension: SRv6 uSID instruction」に記載されています。

uSID に関連付けられた SRv6 エンドポイントの挙動

SRv6 uSID エンドポイントの挙動は、「Network Programming extension: SRv6 uSID instruction」に記載されています。

SRv6 の導入

SRv6 設定を有効にするために、Cisco IOS XE 17.12.1a では新しいコマンド **segment-routing srv6** が 導入されました。

```
segment-routing srv6
    encapsulation
        source-address {ipv6-addr}
        hop-limit [propagate | <value>]
        traffic-class [propagate | <value>]
    locators
        locator <name>
        format usid-f3216
        prefix <locator-ipv6-prefix/prefix-len>
    sid holdtime <value>
    explicit-sids
        sid <SRv6-SID> behavior {end-dt46 | end-dt4 | end-dt6}
            forwarding
                path <1>
                    decap-and-lookup [vrf-name <vrf>]
```

このコマンドのパラメータは次のとおりです。

SRv6 ロケータ名、プレフィックス、および uSID 関連パラメータ

このセクションでは、**segment-routing SRv6** コマンドの設定可能なキーワードについて説明します。

locator *name*	SRv6 ロケータを設定します。
locator *name* **prefix** *locator*	ロケータプレフィックス値を設定します。
locator *name* **format** *usid-f3216*	ロケータをマイクロセグメント（uSID）として指定します。

SRv6 カプセル化パラメータ

このセクションでは、設定可能な SRv6 カプセル化パラメータについて説明します。これらのオプションのパラメータには、次のものが含まれます。

encapsulation source-address ipv6-addr	外部カプセル化 IPv6 ヘッダーの送信元アドレス。カプセル化のデフォルトの送信元アドレスは、最下位のループバック インターフェイスの最下位のグローバルユニキャスト IPv6 アドレスです。ループバックアドレスと静的カプセル化送信元アドレスが設定されていない場合、送信元アドレスは未割り当て（0::0）のままです。
encapsulation hop-limit {*count* | <*propagate*>}	外部カプセル化 IPv6 ヘッダーのホップ制限。*count* の範囲は 1 ～ 255 で、ホップ制限のデフォルト値は 64 です。（着信パケット/フレームからの）伝播によるホップ制限値を設定するには、**propagate** を使用します。
encapsulation traffic-class {*value* | <*propagate*>}	IPv6 ヘッダーのトラフィック クラス フィールドの設定。トラフィッククラスの値（2 つの 16 進数ニブル）を指定します。有効な値は 0x0 ～ 0xff です。デフォルト値は 0 です（着信パケット/フレームからの）伝播によってトラフィッククラス値を設定するには、**propagate** を使用します。

SRv6 SID パラメータ

このセクションでは、設定可能な SRv6 SID パラメータについて説明します。

sid holdtime *minutes*	古いまたは解放された SID のホールド時間。*minutes* の範囲は 0（無効）～ 60 分です。
sid <*SRv6-SID*> **behavior** {*end-dt46* | *end-dt4* | *end-dt6*}	SID アドレスと動作コンテキストを指定して、静的 SID を設定します。

サポートされるプラットフォーム

Cisco IOS XE 17.12.1a リリース 以降、SRv6 は以下のプラットフォームでサポートされています。

- Cisco ASR1000 RP3 + ESP100-X、ASR1001-HX、ASR1002-HX
- Cisco Catalyst 8000V Edge ソフトウェア
- Cisco Catalyst 8200 シリーズ エッジ プラットフォーム

- Cisco Catalyst 8300 シリーズ エッジ プラットフォーム
- Cisco Catalyst 8500 および 8500L シリーズ エッジ プラットフォーム

SRv6 の設定

SRv6 の設定

SRv6 を有効にするには、次の高度な設定手順を実行します。

- ロケータを使用したグローバル SRv6 の設定
- オプションの SRv6 パラメータの設定

ロケータを使用したグローバル SRv6 の設定

次の例で、SRv6 をグローバルに有効化し、ロケータを設定する方法を示します。

```
Router(config)# segment-routing srv6
Router(config-srv6)# locators
Router(config-srv6-locator)# locator myLoc1
Router(config-srv6-locator)# format usid-f3216
Router(config-srv6-locator)# prefix 2001:0:8::/48
```

オプションの SRv6 パラメータの設定

次の例で、オプションの SRv6 パラメータを設定する方法を示します。

```
Router(config)# segment-routing srv6
Router(config-srv6)# encapsulation
Router(config-srv6-encap)# source-address 1::1
Router(config-srv6-encap)# hop-limit 60
Router(config-srv6-encap)# traffic-class propagate
Router(config-srv6-encap)# exit
Router(config-srv6)# sid holdtime 10
```

SPv6 の設定の確認

次の例を使用して、SRv6 の設定を確認します。

例 1：この例では、ロケータの設定とその動作ステータスを確認する方法を示します。

```
router# show segment-routing srv6 locator
Name            Algo     Prefix                    Format              Status
----            ----     ------                    ------              ------
loc1            0        FC01:101:2::/48           usid-f3216          Up
```

例 2：次の例では、プラットフォームの機能とパラメータを表示する方法を示します。

```
router# show segment-routing srv6 capabilities-parameters
Platform Capabilities:
```

```
 SRv6:Yes
 PFP:Yes
 TILFA:No
 Endpoint behaviors:
  uN (PSP/USD)
  uA (PSP/USD)
  uDT6
  uDT4
  uDT46
  Transit.ENCAP.RED
 Encap Parameters:
  Max-SL :16
  Encap :Collapsed
  Hop-limit propagate :Yes
  Traffic-class propagate :Yes
Parameters in-use:
 Encap Parameters:
  Source Address: 2001::1:1:1:2, Loopback1 (Default)
  Hop-Limit: 64 (Default)
  Traffic-class: 0 (Default)
```

```
router# show srv6 capabilities-parameters
Platform Capabilities:
 SRv6:Yes
 PFP:Yes
 TILFA:No
 Endpoint behaviors:
  uN (PSP/USD)
  uA (PSP/USD)
  uDT6
  uDT4
  uDT46
  Transit.ENCAP.RED
 Encap Parameters:
  Max-SL :16
  Encap :Collapsed
  Hop-limit propagate :Yes
  Traffic-class propagate :Yes
Parameters in-use:
  Encap Parameters:
    Source Address: A001::1, Loopback0 (Default)
    Hop-Limit: 64 (Default)
    Traffic-class: 0 (Default)
```

例 3：次の例では、SID の概要と詳細を表示する方法を示します。

```
router# show segment-routing srv6 sid
SID                  Locator      Behavior          Context               Owner
---                  -------      --------          -------               -----
FC01:101:2::          loc1         uN (PSP/USD)
SID-MGR
FC01:101:2:E000::     loc1         uDT4              ce1
router bgp
FC01:101:2:E001::     loc1         uDT6              ce1
router bgp
FC01:101:2:E002::     loc1         uA (PSP/USD)      Ethernet2/0 2001::99:2:3:3
router isis sr
FC01:101:2:E003::     loc1         uA (PSP/USD)      Ethernet2/1 2001::100:2:3:3
router isis sr
FC01:101:2:E004::     loc1         uA (PSP/USD)      Ethernet3/0 2001::99:2:4:4
router isis sr
FC01:101:2:E005::     loc1         uA (PSP/USD)      Ethernet3/1 2001::100:2:4:4
router isis sr
```

```
FC01:101:2:E006::     loc1         uA (PSP/USD)      Ethernet4/0 2001::99:2:5:5
router isis sr
FC01:101:2:E007::     loc1         uA (PSP/USD)      Ethernet4/1 2001::100:2:5:5
router isis sr
```

```
router# show segment-routing srv6 sid FC01:101:2:: detail
SID: FC01:101:2::   Type: DYNAMIC
 Behavior: uN (PSP/USD) (48)
 Context:
    interface: (not-set)
    vrf: (not-set), v4-topo-id: 0xFFFF, v6-topo-id: 0xFFFF
    next-hop: (not-set)
    policy: (not-set)
    distinguisher: (not-set)
 Stats:
    Packets: 0  Bytes: 0
 User list:
    User:Refcount        Locator:Refcount
    -------------        ----------------
    SID-MGR(2):1         loc1:1
 Event history:
    Timestamp            Client           Event type
    ---------            ------           ----------
    04-15 05:44:43.992   SID-MGR(2)       ALLOC
```

例 4：次の例では、古い SID を表示する方法を示します。

```
router# show segment-routing srv6 sid stale
SID                       Locator         Behavior             Context
          Owner
---                       -------         --------             -------

FC01:101:2:E002::          loc1           uA (PSP/USD)         Ethernet2/0 2001::99:2:3:3


router# show segment-routing srv6 sid stale detail
SID: FC01:101:2:E002::
 Behavior: uA (PSP/USD) (57)
 Context:
    interface: Ethernet2/0
    vrf: (not-set), v4-topo-id: 0xFFFF, v6-topo-id: 0xFFFF
    next-hop: 2001::99:2:3:3
    policy: (not-set)
    distinguisher: (not-set)
 Event history:
    Timestamp            Client           Event type
    ---------            ------           ----------
    04-15 06:58:13.961   router isis sr(3 ALLOC
    04-15 07:24:49.831   router isis sr(3 DEALLOC
```

例 5：次の例では、設定済みの IPv6 ルートとルータプレフィックスを表示する方法を示します。

```
router# show ipv6 route
(snip)
C   FC01:101:2::/48 [0/0]
     via SR0, directly connected
L   FC01:101:2::/128 [0/0]
     via SR0, receive
I2  FC01:101:3::/48 [115/10]
     via FE80::A8BB:CCFF:FE02:8F02, Ethernet2/0
     via FE80::A8BB:CCFF:FE02:8F12, Ethernet2/1
```

```
I2  FC01:101:4::/48 [115/10]
     via FE80::A8BB:CCFF:FE01:C901, Ethernet3/0
     via FE80::A8BB:CCFF:FE01:C911, Ethernet3/1
I2  FC01:101:5::/48 [115/10]
     via FE80::A8BB:CCFF:FE03:A404, Ethernet4/0
     via FE80::A8BB:CCFF:FE03:A414, Ethernet4/1
```

```
router# show ipv6 route FC01:101:2::/48
Routing entry for FC01:101:2::/48
  Known via "connected", distance 0, metric 0, type connected
  Route count is 1/1, share count 0
  Routing paths:
    directly connected via SR0
      Route metric is 0, traffic share count is 1
      Last updated 00:37:54 ago
```

例 6：この例では、設定済みエクスプレス転送パス（CEF）を表示する方法を示します。

```
router# show ipv6 cef FC01:101:2::/48  internal
FC01:101:2::/48, epoch 0, flags [att, cnn, srsid], RIB[C], refcnt 5, per-destination
sharing
  sources: SRv6-SID, RIB
  feature space:
    IPRM: 0x00038004
    Broker: linked, distributed at 2nd priority
  subblocks:
    SRv6 SID: FC01:101:2::/48
     Block-len:32 Node-len:16 Func-len:0 Arg-len:0
     END Flags:0x1 OCE:
      End OCE stats:
        packet count:  0
        byte count:    0
        punt packet count:  0
        punt byte count:    0
        error count:   0
     SRv6 end 0x80007FF32CFA6F38, 4 locks [Flags: clean]
       Lookup in input interface's IPv6 table
  ifnums: (none)
  path list 7FF32C863280, 21 locks, per-destination, flags 0x65 [shble, hvsh, rcrsv,
hwcn]
    path 7FF32C85D978, share 1/1, type recursive, for IPv6
     recursive via ::[IPv6:Default], fib 7FF32C87D000, 1 terminal fib, v6:Default:::/127

      path list 7FF32C8631D0, 2 locks, per-destination, flags 0x61 [shble, rcrsv, hwcn]
          path 7FF32C85D8A8, share 1/1, type recursive, for IPv6, flags [dsnt-src-via,
cef-intnl]
           recursive via ::/127<nh:::>[IPv6:Default], fib 7FF32C3592D8, 1 terminal fib,
 v6:Default:::/127
            path list 7FF32C2F5860, 5 locks, per-destination, flags 0x41 [shble, hwcn]
                path 7FF32BF8ED50, share 1/1, type special prefix, for IPv6
                  discard
  output chain:
    SRv6 end 0x80007FF32CFA6F38, 5 locks [Flags: clean]
      Lookup in input interface's IPv6 table
```

IS-IS での SRv6

IS-IS での SRv6

Intermediate System-to-Intermediate System（IS-IS）プロトコルは、MPLS データプレーン（SR-MPLS）によるセグメントルーティングをすでにサポートしています。Cisco IOS XE 17.12.1a以降、IS-ISは、IPv6データプレーン（SRv6）によるセグメントルーティングをサポートするように拡張されています。拡張機能には、ノード、ノードセグメント、および隣接セグメントの SRv6 機能を SRv6 SID としてアドバタイズすることが含まれています。

IS-IS での SRv6 に関する情報

IS-IS の SRv6 は、次の機能を実行します。

- ローカルのロケータプレフィックスを学習するための SID マネージャとの対話と、IGP ドメイン内のロケータプレフィックスの通知。
- 他の IS-IS ネイバールータからのリモートのロケータプレフィックスの学習と、学習したリモートのロケータ IPv6 プレフィックスの RIB へのインストール。
- プレフィックス SID および隣接関係（アジャセンシー）SID の割り当てまたは学習、ローカル SID エントリの作成、および IGP ドメインでのそれらのアドバタイズ。

IS-IS での SRv6 の設定

次の例に示すように、**segment-routing srv6** コマンドを **router isis** コマンドの下で使用して、IS-IS IPv6 アドレスファミリで SRv6 を有効にします。**level** {**1**| **2**} キーワードを使用して、指定した IS-IS レベルでのみロケータをアドバタイズします。

基本的な SRv6 の設定については、SRv6 の設定セクションを参照してください。

次の例で、IS-IS で SRv6 を設定する方法を示します。

```
Router(config)# router isis core
Router(config-isis)# address-family ipv6 unicast
Router(config-isis-af)# router-id Loopback0
Router(config-isis-af)# segment-routing srv6
Router(config-isis-af-srv6)# locator loc5
Router(config-isis-af-srv6-locator)# level 1
Router(config-isis-srv6-locator)# exit
```

次の例で、IS-IS で複数の SRv6 ロケータを割り当てる方法を示します。

```
Router(config)# router isis core
Router(config-isis)# address-family ipv6 unicast
Router(config-isis-af)# segment-routing srv6
Router(config-isis-srv6)# locator myLocBestEffort
Router(config-isis-srv6-loc)# exit
Router(config-isis-srv6)# locator myLocLowLat
Router(config-isis-srv6-loc)# exit
```

IS-IS の設定の詳細については、『*Cisco IP Routing Configuration Guide*』の「IS-IS Overview and Basic Configuration」の章を参照してください。

（注） **router-id** キーワードによって、SRv6 ポリシーが使用できるようになります。

SRv6 IS-IS の設定の確認

例 1：**show segment-routing srv6 locator** コマンドを使用して、IS-IS 設定で SRv6 を確認します。

```
Router# show segment-routing srv6 locator

Name                    ID     Algo     Prefix              Status     Flags

myLoc1                  3      0        2001:0:8::/48         Up         U
myLocBestEffort         5      0        2001:0:1::/48         Up         U
```

例 2：**show isis srv6 locators** コマンドを使用して、SID ロケータを表示します。

```
router# show isis srv6 locators
ISIS SRv6 Locators:
Tag sr:
Name              Prefix                       Level
----              ------                       -----
loc1              FC01:101:2::/48              2

router# show isis srv6 locators detail
ISIS SRv6 Locators:
Tag sr:
Name              Prefix                        Level
----              ------                        -----
loc1              FC01:101:2::/48               2

Level-1 metric: 0
 Level-2 metric: 0
 End-SIDs:
   FC01:101:2::
```

SRv6 BGP ベースのサービス

SRv6 BGP ベースのサービス

機能名	リリース	説明
デュアルスタック L3VPN サービス（IPv4、IPv6）（SRv6 マイクロ SID）	Cisco IOS XE リリース 17.12.1a	この機能により、VPNV4 および VPNv6 VRF のサポート SRV6 が導入されます。同じインターフェイス、サブインターフェイス、または VRF 上の uDT4 および uDT6 ベースの SRv6 サービスがサポートされます。

IETF ドラフトの BGP/MPLSIP 仮想プライベートネットワーク（VPN）で定義されているメッセージと手順に基づいて構築された BGP は、SRv6 ネットワークを介して次のサービスを提供するように拡張されています。

- IPv4 レイヤ 3 VPN
- IPv6 レイヤ 3 VPN

IETF ドラフトの SRv6 BGP ベースのオーバーレイサービスで定義されているメッセージと手順に基づいて、BGP は対応する BGP アップデートのプレフィックス SID 属性で SRv6 サービス SID をエンコードし、それを IPv6 BGP ピアにアドバタイズします。

BGP の詳細については、『*Cisco IP Routing Configuration Guide, Cisco IOS XE 17.x*』の「Cisco BGP の概要」の章を参照してください。

SRv6 BGP ベースのサービスに関する制約事項

- 次の SRv6 BGP ベースのサービスがサポートされています。
  - IPv4 L3VPN
  - IPv6 L3VPN
- L3VPN の uDT4、uDT6、および uDT46 がサポートされています。
- BGP は、uDT46 の割り当てとアドバタイズメントをサポートしていません。

SRv6 BGP ベースのサービスに関する情報

SRv6 ロケータの継承ルール

SRv6 ロケータは、BGP ルーティングプロセス内のさまざまなレベルで割り当てることができます。BGP は、次の継承ルールにしたがって、設定したロケータスペースから SRv6 サービス SID を割り当てます。

1. サービスで定義されているロケータを使用する。特定のサービスで定義されていない場合は、次のようにする。
2. 対応するアドレスファミリで定義されているロケータを使用する。対応するアドレスファミリで定義されていない場合は、次のようする。
3. BGP でグローバルに定義されているロケータを使用する。

BGP の下には、ロケータが指定されている場所が複数あります。

- グローバル（最も汎用）
- VPN AF
- VRF AF（最も限定的）

特定のロケータが設定されていない場合は、上位レベルのロケータ設定が次の順序で継承されます。

グローバル -> VPN-AF -> VRF-AF

（注） デフォルトの SRv6 SID 割り当てモードはなく、SRv6 SID 割り当てモードなしでロケータモードを設定することはできません。ロケータが設定または継承されていない場合、BGP は SID を割り当てません。

SID マネージャロケータの変更の BGP 処理

BGP で設定したロケータが SID マネージャに存在しない場合、

- BGP 設定は受け入れられますが、アクティブにはなりません。
- BGP は syslog を生成します。
- BGP は、SID マネージャからのロケータ設定通知をリッスンします。

BGP で設定したロケータが SID マネージャで作成された場合、

- SID マネージャが BGP に作成を通知します。
- BGP は、一致するロケータ設定があればそれをアクティブにします。
- BGP は該当するプレフィックスの SID を割り当て、それらをアドバタイズします。

BGP で設定したロケータが SID マネージャから削除された場合、

- SID マネージャが BGP に削除を通知します。
- BGP は、一致するロケータ設定があればそれを非アクティブにします。
- BGP は該当するプレフィックスの SID の割り当てを解除し、それらを取り消します。

BGP で設定したロケータが SID マネージャで変更された（つまりロケータプレフィックスが変更された）場合、

- SID マネージャは BGP に変更を通知します。
- BGP は、以前のロケータプレフィックスに関連付けられているすべての SID を解放します。
- BGP は、新しいロケータプレフィックスに新しい SID を割り当て、更新されたプレフィックスをアドバタイズします。

SRv6 ロケータの設定方法の詳細については、SRv6 の設定セクションを参照してください。

SRv6 ベースの L3VPN

このセクションでは、SRv6 ネットワーク上の L3VPN（VPNv4 および VPNv6）について説明します。

SRv6 ネットワーク上の L3VPN には、次の制約が適用されます。

- VRF 単位の割り当てモードのみがサポートされる（uDT4 および uDT6 の動作）。
- 等コストマルチパス（ECMP）はサポートされ、不等コストマルチパス（UCMP）はサポートされない。
- MPLS L3VPN および SRv6 L3VPN インターワーキング ゲートウェイはサポートされない。

SRv6 ベースの L3VPN の設定

SRv6 ベースの L3VPN を有効にするには、BGP で SRv6 を有効にし、ロケータを指定し、SID 割り当てモードを設定する必要があります。ロケータの割り当ては、**ルータ bgp** 設定のさまざまな場所で実行できます。SRv6 ロケータの継承ルールセクションを参照してください。

BGP での SRv6 のグローバルな有効化

BGP ルーティングプロセスで SRv6 をグローバルに有効にするには、**router bgp as-number** コマンドの下で **segment-routing srv6** コマンドを使用します。*as-number* の範囲は 1 ～ 65535 です。

```
router bgp 65000
 segment-routing srv6
  locator loc1
 exit-srv6
 !
```

SRv6 IPv4 L3VPN の設定

この例は、SRv6 ベースの IPv4 L3VPN の完全な設定を示しています。

```
router bgp 65000
 !
 bgp router-id interface Loopback1
 no bgp default ipv4-unicast
 neighbor 2001::1:1:1:4 remote-as 65000
 neighbor 2001::1:1:1:4 update-source Loopback1
 address-family vpnv4
  !
  segment-routing srv6
   locator loc1
   alloc-mode per-vrf
  exit-srv6
  !
  neighbor 2001::1:1:1:4 activate
  neighbor 2001::1:1:1:4 send-community both
```

SRv6 IPv6 L3VPN の設定

この例は、SRv6 ベースの IPv6 L3VPN の完全な設定を示しています。

```
router bgp 65000
 !
 bgp router-id interface Loopback1
 no bgp default ipv4-unicast
 neighbor 2001::1:1:1:4 remote-as 65000
 neighbor 2001::1:1:1:4 update-source Loopback1
 address-family vpnv6
  !
  segment-routing srv6
   locator loc1
   alloc-mode per-vrf
  exit-srv6
  !
  neighbor 2001::1:1:1:4 activate
  neighbor 2001::1:1:1:4 send-community both
```

SRv6 IPvx VRF L3VPN の設定

この例は、アドレスファミリ IPvx VRF の SRv6 ベースの L3VPN の完全な設定を示しています。

```
router bgp 65000
 !
 bgp router-id interface Loopback1
 no bgp default ipv4-unicast
 neighbor 2001::1:1:1:4 remote-as 65000
 neighbor 2001::1:1:1:4 update-source Loopback1
 address-family ipv4 vrf ce1
  !
  segment-routing srv6
   locator loc1
   alloc-mode per-vrf
  exit-srv6
  !
  neighbor 99.1.2.1 remote-as 65001
  neighbor 99.1.2.1 activate
  neighbor 99.1.2.1 send-community both
```

```
address-family ipv6 vrf ce1
 !
 segment-routing srv6
  locator loc1
  alloc-mode per-vrf
 exit-srv6
 !
 neighbor 1002::1 remote-as 65002
 neighbor 1002::1 activate
 neighbor 1002::1 send-community both
```

BGP MPLS と SRv6 の共存

MPLS ネイバーと SRv6 ネイバーの両方を持つデュアル接続 PE は、送信元/CE ルートのローカル MPLS ラベルと SRv6 SID を同時に割り当てます。

制約事項

- SRV6 が BGP AFI VRF に対して有効になっている場合、MPLS ラベル割り当ては無効になります。
- **mpls alloc enable** コマンドは、MPLS ラベル割り当てを有効にする、デフォルトの割り当てモードです。SRV6 と MPLS の両方の割り当てが有効で、MPLS がデフォルトの割り当てモードになっています。
- MPLS と SRv6 の共存設定では、MPLS ラベルはデフォルトでネイバーにアドバタイズされます。
- SRv6 SID をネイバーにアドバタイズするには、**neighbor <> encap srv6** コマンドが必要です。

L3VPN の MPLS と SRv6 の共存設定

次に、L3VPN の MPLS と SRv6 の共存を有効にする設定の例を示します。

```
router bgp <instance>
    address-family [ipv4 | ipv6] unicast vrf <vrf-name>
        segment-routing srv6
              mpls alloc enable           >>>>> required for MPLS/SRv6 coexistence
  address-family vpnv4/vpnv6
                 neighbor <A>               >>>>> can send any kind of update
                 neighbor <B> encap srv6    >>>> SRv6 only neighbor
```

（注） MPLS と SRv6 の共存が有効になっている VRF からの送信元プレフィックスまたは CE プレフィックスは、MPLS ラベルとともに送信されます。

SRv6 の状態の確認

SRv6 BGP の設定を確認するには、次の show コマンドを使用します。

例 1：**show segment-routing srv6 sid**

```
device# show segment-routing srv6 sid
SID                   Locator     Behavior          Context
Owner
---                   -------     --------          -------
-----
FC01:101:2::          loc1        uN (PSP/USD)
SID-MGR
FC01:101:2:E000::     loc1        uDT4              ce1
router bgp
FC01:101:2:E001::     loc1        uDT6              ce1
router bgp
FC01:101:2:E002::     loc1        uA (PSP/USD)      Ethernet2/0 2001::99:2:3:3
router isis sr
FC01:101:2:E003::     loc1        uA (PSP/USD)      Ethernet2/1 2001::100:2:3:3
router isis sr
FC01:101:2:E004::     loc1        uA (PSP/USD)      Ethernet3/0 2001::99:2:4:4
router isis sr
FC01:101:2:E005::     loc1        uA (PSP/USD)      Ethernet3/1 2001::100:2:4:4
router isis sr
FC01:101:2:E006::     loc1        uA (PSP/USD)      Ethernet4/0 2001::99:2:5:5
router isis sr
FC01:101:2:E007::     loc1        uA (PSP/USD)      Ethernet4/1 2001::100:2:5:5
router isis sr
```

例 2：**show segment-routing srv6 sid <*SID*> detail**

```
device# show segment-routing srv6 sid FC01:101:2:E000:: detail
SID: FC01:101:2:E000::   Type: DYNAMIC
 Behavior: uDT4 (63)
 Context:
    interface: (not-set)
    vrf: ce1, v4-topo-id: 0x1, v6-topo-id: 0xFFFF
    next-hop: (not-set)
    policy: (not-set)
    distinguisher: (not-set)
 Stats:
    Packets: 0  Bytes: 0
 User list:
    User:Refcount        Locator:Refcount
    -------------        ----------------
    router bgp(5):1      loc1:1
 Event history:
    Timestamp            Client           Event type
    ---------            ------           ----------
    04-15 07:24:08.165   router bgp(5)    ALLOC
```

例 3：**show ip bgp srv6 locator**

```
device# show ip bgp srv6 locator
 Locator-1
   Name:  loc1
   Active:  Yes
   Refcount:  3
```

例 4：**show ip bgp srv6 sid**

```
device# show ip bgp srv6 sid
 SID-1
```

```
   locator : loc1
   alloc-mode : 0
   status : ALLOCATED
   state : 1
   ref_count : 5
   topoid : 0x1E000001
   sid_value : FC01:101:2:E001::
   prefix_length : 64
   block_length : 32
   node _length : 16
   function _length : 16
   arg_length : 0
   behaviour : 62
 SID-2
   locator : loc1
   alloc-mode : 0
   status : ALLOCATED
   state : 1
   ref_count : 5
   topoid : 0x1
   sid_value : FC01:101:2:E000::
   prefix_length : 64
   block_length : 32
   node _length : 16
   function _length : 16
   arg_length : 0
   behaviour : 63
```

例 5：**show ipv6 cef <*prefix*> internal**

```
device# show ipv6 cef FC01:101:8:E006:: internal
FC01:101:8:E006::/128, epoch 0, flags [att, srsid], refcnt 4, per-destination sharing
  sources: SRv6-SID
  subblocks:
    SRv6 SID: FC01:101:8:E006::/128
     Block-len:32 Node-len:16 Func-len:16 Arg-len:0
     END-DT4 Flags:0x5 OCE:
      End OCE stats:
        packet count:  20
        byte count:    2280
        punt packet count:  0
        punt byte count:    0
        error count:   0
     SRv6 end 0x80007FD05D9BC970, 4 locks [Flags: clean decap]
       Lookup in table IPv4:ce2
  ifnums: (none)
  path list 7FD05BD3F530, 21 locks, per-destination, flags 0x65 [shble, hvsh, rcrsv,
hwcn]
    path 7FD05BD2D578, share 1/1, type recursive, for IPv6
     recursive via ::[IPv6:Default], fib 7FD05BD43C60, 1 terminal fib, v6:Default:::/127

      path list 7FD05BD3F480, 2 locks, per-destination, flags 0x61 [shble, rcrsv, hwcn]
          path 7FD05BD2D4A8, share 1/1, type recursive, for IPv6, flags [dsnt-src-via,
cef-intnl]
           recursive via ::/127<nh:::>[IPv6:Default], fib 7FD056DAB760, 1 terminal fib,
 v6:Default:::/127
            path list 7FD054328EF8, 5 locks, per-destination, flags 0x41 [shble, hwcn]
                path 7FD05AF52578, share 1/1, type special prefix, for IPv6
                  discard
  output chain:
    SRv6 end 0x80007FD05D9BC970, 5 locks [Flags: clean decap]
      Lookup in table IPv4:ce2
```

例 6：**show isis database verbose**

```
device# show isis database verbose
pe3.00-00          0x00000025   0xEF58                742/1198      0/0/0
  Area Address: 49
  NLPID:        0xCC 0x8E
  Topology:     IPv4 (0x0)
                IPv6 (0x2)
  Router ID:    1.1.1.8
  Router CAP:   1.1.1.8, D:0, S:0
    SRv6 Oflag:0
    Segment Routing: I:1 V:0, SRGB Base: 16000 Range: 8000
    Segment Routing Algorithms: SPF, Strict-SPF
    Segment Routing Local Block: SRLB Base: 30000 Range: 10000
    Node-MSD
      MSD: 16
  Hostname: iolpe3
(snip)
 SRv6 Locator: (MT-IPv6) FC01:101:8::/48 Metric:0 Algorithm:0
    End SID: FC01:101:8:: uN (PSP/USD)
      SID Structure:
        Block Length: 32, Node-ID Length: 16, Func-Length: 0, Args-Length: 0
```

例 7：**show ipv6 route <*prefix*>**

```
device# show ipv6 route FC01:101:8::/48
Routing entry for FC01:101:8::/48
  Known via "isis sr", distance 115, metric 30, type level-2
  Route count is 4/4, share count 0
  Routing paths:
    FE80::A8BB:CCFF:FE01:E411, Ethernet3/1
      Route metric is 30, traffic share count is 1
      From FE80::A8BB:CCFF:FE01:E411
      Last updated 01:03:27 ago
    FE80::A8BB:CCFF:FE03:F504, Ethernet4/0
      Route metric is 30, traffic share count is 1
      From FE80::A8BB:CCFF:FE03:F504
      Last updated 01:03:27 ago
    FE80::A8BB:CCFF:FE03:F514, Ethernet4/1
      Route metric is 30, traffic share count is 1
      From FE80::A8BB:CCFF:FE03:F514
      Last updated 01:03:27 ago
    FE80::A8BB:CCFF:FE01:E401, Ethernet3/0
      Route metric is 30, traffic share count is 1
      From FE80::A8BB:CCFF:FE01:E401
      Last updated 01:03:27 ago
```

例 8：**show bgp [vpnv4|vpnv6] rd <*rd*> <*prefix*>**

VPNv4 の出力例：

```
device# show bgp vpnv4 uni rd 1:1 22.22.22.22

BGP routing table entry for 1:1:22.22.22.22/32, version 13
Paths: (1 available, best #1, table red)
Not advertised to any peer
Refresh Epoch 1
3, imported path from 2:2:22.22.22.22/32 (global)
2023:1::1 (via default) from 1.1.1.3 (1.1.1.3)
Origin incomplete, metric 0, localpref 100, valid, internal, best
Extended Community: RT:1:1 RT:2:2
```

```
Originator: 11.1.1.1, Cluster list: 1.1.1.3
srv6 out-sid: FCCC:CCC1:AA88:E000::
rx pathid: 0, tx pathid: 0x0
Updated on Jun 28 2023 11:29:52 PST
```

VPNv6 の出力例：

```
device# show bgp vpnv6 uni rd 1:1 2222::1/128

BGP routing table entry for [1:1]2222::1/128, version 11
Paths: (1 available, best #1, table red)
Not advertised to any peer
Refresh Epoch 1
3, imported path from [2:2]2222::1/128 (global)
2023:1::1 (via default) from 1.1.1.3 (1.1.1.3)
Origin incomplete, metric 0, localpref 100, valid, internal, best
Extended Community: RT:2:2
Originator: 11.1.1.1, Cluster list: 1.1.1.3
srv6 out-sid: FCCC:CCC1:AA88:E001::
rx pathid: 0, tx pathid: 0x0
Updated on Jun 28 2023 11:29:52 PST
```

例 9：**show ip route vrf <*vrf*> <*prefix*>**

```
device# show ip route vrf ce1 1.1.1.10
Routing Table: ce1
Routing entry for 1.1.1.10/32
  Known via "bgp 65000", distance 200, metric 0
  Tag 65010, type internal
  Last update from FC01:101:8:E006:: 08:51:34 ago
  Routing Descriptor Blocks:
  * FC01:101:8:E006:: (default:ipv6), from 1.1.1.4, 08:51:34 ago
      opaque_ptr 0x7FF32E0B9640
      Route metric is 0, traffic share count is 1
      AS Hops 1
      Route tag 65010
      MPLS label: none
```

例 10：**show ipv6 route vrf <*vrf*> <*prefix*>**

```
device# show ipv6 route vrf red 2222::1/128

Routing entry for 2222::1/128
Known via "bgp 1", distance 200, metric 0
Tag 3, type internal
Route count is 1/1, share count 0
Routing paths:
FCCC:CCC1:AA88:E001::%default
Route metric is 0, traffic share count is 1
From ::FFFF:1.1.1.3
opaque_ptr 0x7FF38CDB6848
Last updated 00:03:16 ago
```

例 11：**show ip cef vrf <*vrf*> <*prefix*> internal**

```
device# show ip cef vrf red 22.22.22.22 internal

22.22.22.22/32, epoch 0, flags [rnolbl, rlbls], RIB[B], refcnt 5, per-destination sharing

  sources: RIB
  feature space:
```

```
    IPRM: 0x00018000
  VPN-SID(s) on: 1/0:v4-rcrsv-FCCC:CCC1:AA88:E000::
  Path: v4-rcrsv-FCCC:CCC1:AA88:E000:: (VPN-SID: FCCC:CCC1:AA88:E000::)
    Flags: 00000004 [vpn-sid]
    IPv6 TC: 0   Hop Limit: 64
      Src: C02:1::7
      Dst: FCCC:CCC1:AA88:E000::
      Via: FCCC:CCC1:AA88:E000::
    Segment List (1)
      FCCC:CCC1:AA88:E000::
    Flow-based Encap Chains: 1
     IPV6 adj out of Ethernet0/0, addr FE80::A8BB:CCFF:FE00:3300 from FCCC:CCC1:AA88::/48
 <= SRv6 SID List OCE 0x7FF38D329078 (5) 1 Segments
  ifnums:
    Ethernet0/0(2): FE80::A8BB:CCFF:FE00:3300
  path list 7FF38CCDE0D8, 7 locks, per-destination, flags 0x8269 [shble, rif, rcrsv,
hwcn, bgp, sb-oce]
    path 7FF38CCDB128, share 1/1, type recursive, for IPv4, flags [vpn-sid],
vpn-sid:FCCC:CCC1:AA88:E000::
      recursive via FCCC:CCC1:AA88:E000::[IPv6:Default], fib 7FF38CDA31B0, 1 terminal
fib, v6:Default:FCCC:CCC1:AA88::/48
      path list 7FF38CCDDE18, 2 locks, per-destination, flags 0x69 [shble, rif, rcrsv,
hwcn]
          path 7FF38CCDADE8, share 1/1, type recursive, for IPv6, flags [dsnt-src-via,
cef-intnl]
            recursive via FCCC:CCC1:AA88::/48<nh:FCCC:CCC1:AA88:E000::>[IPv6:Default],
fib 7FF38CDA3D78, 1 terminal fib, v6:Default:FCCC:CCC1:AA88::/48
            path list 7FF38CCDE658, 5 locks, per-destination, flags 0x49 [shble, rif,
hwcn]
                path 7FF38CCDB7A8, share 1/1, type attached nexthop, for IPv6
                  nexthop FE80::A8BB:CCFF:FE00:3300 Ethernet0/0, IPV6 adj out of
Ethernet0/0, addr FE80::A8BB:CCFF:FE00:3300 7FF38CDE1848
  output chain:
    SRv6 SID List OCE 0x7FF38D329078 (8) 1 Segments
      Segment List (1)
        FCCC:CCC1:AA88:E000::
    PushCounter(SRv6 Encap) 7FF386CF0E58
    SRv6 Encap OCE 0x7FF38D328BE8 (4) fwd-id:0 FCCC:CCC1:AA88:E000::
      Flags: 00000004 [vpn-sid]
      IPv6 TC: 0   Hop Limit: 64
        Src: C02:1::7
        Dst: FCCC:CCC1:AA88:E000::
    IPV6 adj out of Ethernet0/0, addr FE80::A8BB:CCFF:FE00:3300 7FF38CDE1848
```

例 12：**show ipv6 cef vrf <*vrf*> <*prefix*> internal**

```
device# show ipv6 cef vrf red 2222::1/128 internal

2222::1/128, epoch 0, RIB[B], refcnt 4, per-destination sharing
  sources: RIB
  feature space:
    IPRM: 0x00018000
  VPN-SID(s) on: 1/0:v6-rcrsv-FCCC:CCC1:AA88:E001::
  Path: v6-rcrsv-FCCC:CCC1:AA88:E001:: (VPN-SID: FCCC:CCC1:AA88:E001::)
    Flags: 00000004 [vpn-sid]
    IPv6 TC: 0   Hop Limit: 64
      Src: C02:1::7
      Dst: FCCC:CCC1:AA88:E001::
      Via: FCCC:CCC1:AA88:E001::
    Segment List (1)
      FCCC:CCC1:AA88:E001::
    Flow-based Encap Chains: 1
     IPV6 adj out of Ethernet0/0, addr FE80::A8BB:CCFF:FE00:3300 from FCCC:CCC1:AA88::/48
```

```
 <= SRv6 SID List OCE 0x7FF38D329018 (6) 1 Segments
  ifnums:
    Ethernet0/0(2): FE80::A8BB:CCFF:FE00:3300
  path list 7FF38CCDDD68, 9 locks, per-destination, flags 0x8269 [shble, rif, rcrsv,
hwcn, bgp, sb-oce]
    path 7FF38CCDAD18, share 1/1, type recursive, for IPv6, flags [vpn-sid],
vpn-sid:FCCC:CCC1:AA88:E001::
      recursive via FCCC:CCC1:AA88:E001::[IPv6:Default], fib 7FF38CDA2E10, 1 terminal
fib, v6:Default:FCCC:CCC1:AA88::/48
      path list 7FF38CCDDCB8, 2 locks, per-destination, flags 0x69 [shble, rif, rcrsv,
hwcn]
          path 7FF38CCDAC48, share 1/1, type recursive, for IPv6, flags [dsnt-src-via,
cef-intnl]
            recursive via FCCC:CCC1:AA88::/48<nh:FCCC:CCC1:AA88:E001::>[IPv6:Default],
fib 7FF38CDA3D78, 1 terminal fib, v6:Default:FCCC:CCC1:AA88::/48
            path list 7FF38CCDE658, 5 locks, per-destination, flags 0x49 [shble, rif,
hwcn]
                path 7FF38CCDB7A8, share 1/1, type attached nexthop, for IPv6
                  nexthop FE80::A8BB:CCFF:FE00:3300 Ethernet0/0, IPV6 adj out of
Ethernet0/0, addr FE80::A8BB:CCFF:FE00:3300 7FF38CDE1848
  output chain:
    SRv6 SID List OCE 0x7FF38D329018 (9) 1 Segments
      Segment List (1)
        FCCC:CCC1:AA88:E001::
    PushCounter(SRv6 Encap) 7FF386CF0DC8
    SRv6 Encap OCE 0x7FF38D328B48 (4) fwd-id:0 FCCC:CCC1:AA88:E001::
      Flags: 00000004 [vpn-sid]
      IPv6 TC: 0   Hop Limit: 64
        Src: C02:1::7
        Dst: FCCC:CCC1:AA88:E001::
    IPV6 adj out of Ethernet0/0, addr FE80::A8BB:CCFF:FE00:3300 7FF38CDE1848
device#
```

SRv6 BGP のトラブルシューティングとデバッグ

次の BGP コマンドを使用して、BGP アップデートをデバッグできます。

- **debug bgp <> updates**
- **debug bgp <> addpath**

SRv6 に関連するイベントをデバッグするために、次の新しいコマンドが導入されました。

- **debug ip bgp srv6**

SRv6 トラフィック エンジニアリング ポリシー

SRv6トラフィック エンジニアリング ポリシー

Cisco IOS XE 17.12.1a以降、セグメント ルーティング トラフィック エンジニアリング（SR-TE）メカニズムが Segment Routing over IPv6（SRv6）に拡張されています。

SRv6-TE ポリシーに関する制約事項

- ローカルパスのみがサポートされます。パス計算の PCE 委任はサポートされません。
- ダイナミック セグメント リストのみがサポートされます。明示的なセグメントリストはサポートされません。
- SRv6 バインディング SID はサポートされません。
- オンデマンドネクストホップ（ODN）はサポートされません。
- SR-TE を介した L2VPN はサポートされません。
- PFP または PDP を介した自動ルート通知はサポートされません。

SRv6-TE ポリシーに関する情報

SRv6 トラフィック エンジニアリング（SRv6-TE）では、ネットワークを介してトラフィックをステアリングする SRv6 ポリシーを使用します。SRv6 ポリシーにはフロー別ポリシー（PFP）と宛先別ポリシー（PDP）が含まれており、どちらもサポートされています。

ePBR ポリシーは、トラフィックを分類して転送クラス（FC）に関連付ける方法を定義するために、入力インターフェイスに適用されます。PFP は、最大 8 エントリのフロー別転送クラステーブルで設定されます。各エントリは FC によってインデックス化され、PDP を指し示します。

PFP では、パケットは入力インターフェイスで分類され、ePBR による分類に基づいて同じ宛先に転送するためにさまざまな PDP パスを選択します。

SRv6-TE の設定

次の例は、SRv6-TE の設定方法を示しています。

PDP の設定

```
segment-routing traffic-eng
    policy SRV6PM
      color 1 end-point C02:1::1
      candidate-paths
       preference 1
        constraints
         segments
          dataplane srv6
         !
        !
        dynamic
        !
       !
      !
       preference 2
        constraints
         segments
          dataplane srv6
         !
         affinity
          exclude-any
```

```
          name blue
         !
        !
       !
       dynamic
          metric
             type delay
        !
       !
      performance-measurement
       delay-measurement
        liveness-detection
         invalidation-action down
        !
       !
      !
```

PFP の設定

```
segment-routing traffic-eng
    policy PFP
      color 100 end-point C02:1::1
      candidate-paths
       preference 1
        per-flow
         forward-class 0 color 1
         forward-class 1 color 2
         forward-class 2 color 3
         forward-class 3 color 4
         forward-class 4 color 5
```

ePBR の設定

```
policy-map type epbr PFP
 class FC1
  set forward-class 1
 class FC2
  set forward-class 2
 class FC3
  set forward-class 3
 class FC4
  set forward-class 4
 class class-default
  set forward-class 0

interface TenGigabitEthernet2/2/0.1000
 encapsulation dot1Q 1000
  vrf forwarding vpn-1000
   ip address 17.0.0.1 255.255.255.0
   ipv6 address 1700::1/64
   service-policy type epbr input PFP
```

スタティック ルートの設定

1. プレフィックスの IPv6 静的ルート、NO SR ポリシー、およびオプションの VPN SID

   ```
   ipv6 route vrf blue 1002:1::/64 2001:1::2 nexthop-vrf default sid-list h-encaps-red
    FCCC:CCC1:C3:E005::
   ```

2. オプションの SR ポリシーと VPN SID を介してステアリングされるトラフィックを持つプレフィックスの IPv6 静的ルート

```
ipv6 route vrf blue 1002:1::/64 segment-routing srv6 via policy PFP sid-list
h-encaps-red FCCC:CCC1:C3:E005::
```

3. オプションの SR ポリシーと VPN SID を介してステアリングされるトラフィックを持つプレフィックスの IPv4 静的ルート

```
ip route vrf blue 2.2.2.2 255.255.255.255 segment-routing srv6 via policy PFP sid-list
 h-encaps-red FCCC:CCC1:C3:E004::
```

（注） プレフィックスの IPv4 静的ルート、NO SR ポリシー、およびオプションの VPN SID はサポートされていません。

SRv6-TE の設定の確認

例 1：**show segment-routing traffic-eng policy name** コマンドを使用して、PDP および PFP を使用した SRv6-TE の設定を確認します。

```
router# show segment-routing traffic-eng policy name SRV6PM detail

Name: SRV6PM (Color: 1 End-point: C02:1::1)
  Owners : CLI
  Status:
    Admin: up, Operational: up for 70:55:04 (since 04-11 12:10:05.054)
  Candidate-paths:
    Preference 2 (CLI):
      PM State: Up
      Constraints:
        Affinity:
          exclude-any:
           blue
      Dynamic (active)
        Metric Type: DELAY, Path Accumulated Metric: 40
          FCCC:CCC1:AA22:: [Node-SID]
          FCCC:CCC1:AA33:: [Node-SID]
          FCCC:CCC1:AA11:: [Node-SID]
          FCCC:CCC1:AA11:E001:: [Adjacency-SID]
    Preference 1 (CLI):
      PM State: Unknown
      Dynamic (inactive)
        Inactive Reason: Perf Measure State Change to Pending
        Metric Type: TE, Path Accumulated Metric: 10
          FCCC:CCC1:C3:: [Node-SID]
  Attributes:
  Forwarding-ID: 16777217
  Per owner configs:
    CLI
      Binding SID: not configured
      Performance-measurement:
        liveness-detection
        invalidation-action down
  Stats:
    Packets: 0  Bytes: 0
  PM profile: Not configured

router# show segment-routing traffic-eng policy name PFP

Name: PFP (Color: 100 End-point: C02:1::1)
  Owners : CLI
```

```
  Status:
    Admin: up, Operational: up for 00:03:00 (since 04-17 10:46:06.552)
  Candidate-paths:
    Preference 1 (CLI):
      Per-flow Information (active):
        Forward        PDP     PDP  BSID RW
          Class      Color  Status   Status
       -------- ---------- ------- --------
              0          1      up  Pending
              1          2      up  Pending
      Default Forward Class: 0
  Attributes:
```

例 2：**show ip cef label-table <label> internal** コマンドを使用して、PFP ラベルの詳細を表示します。

```
router# show ip cef label-table 16777218 internal
Label-FIB is Enabled
VRF Default
 3 prefixes (3/0 fwd/non-fwd)
 Table id 0x30000000
 Database epoch:        0 (3 entries at this epoch)

16777218 , epoch 0, refcnt 8, per-destination sharing
  sources: RR, Bnd-Lbl-SRv6-Pol
  subblocks:
    1 RR source [no flags]
    Binding Label SRv6 Policy: 16777218
      Policy-Name: PFP (16777218)  è PFP Policy Name
      Path: 0
        Flags: 00000000
        IPv6 Header Parameters
          TC: 0   Flow: 0       Hop Limit: 0
          Src: C01:1::1
          Dst: 16777217
        Segment List (0)
      Path: 1
        Flags: 00000000
        IPv6 Header Parameters
          TC: 0   Flow: 0       Hop Limit: 0
          Src: C01:1::1
          Dst: 16777217
        Segment List (0)
      Path: 2
        Flags: 00000000
        IPv6 Header Parameters
          TC: 0   Flow: 0       Hop Limit: 0
          Src: C01:1::1
          Dst: 16777217
        Segment List (0)
      Path: 3
        Flags: 00000000
        IPv6 Header Parameters
          TC: 0   Flow: 0       Hop Limit: 0
          Src: C01:1::1
          Dst: 16777217
        Segment List (0)
      Path: 4
        Flags: 00000000
        IPv6 Header Parameters
          TC: 0   Flow: 0       Hop Limit: 0
          Src: C01:1::1
          Dst: 16777217
```

```
  Segment List (0)
Path: 5
  Flags: 00000000
  IPv6 Header Parameters
    TC: 0   Flow: 0       Hop Limit: 0
    Src: C01:1::1
    Dst: 16777217
  Segment List (0)
Path: 6
  Flags: 00000000
  IPv6 Header Parameters
    TC: 0   Flow: 0       Hop Limit: 0
    Src: C01:1::1
    Dst: 16777217
  Segment List (0)
Path: 7
  Flags: 00000000
  IPv6 Header Parameters
    TC: 0   Flow: 0       Hop Limit: 0
    Src: C01:1::1
    Dst: 16777217
  Segment List (0)
```

例 3：**show segment-routing traffic-eng cspf** コマンドを使用して、CSPF の詳細を表示します。

```
router# show segment-routing traffic-eng cspf ipv6 source A001::1 destination A006::1
metric-type delay

Path:
  HOP0: SRv6 NODE SID=F:1:6::
Path Cost = 10

CSPF result: Shortest Path Success (rc=8)
```

例 4：show prefix コマンドを使用して、BGP プレフィックスパスに関連付けられたカラーとバインディング SID を表示します。

```
router# show bgp vpnv4 unicast vrf red 22.22.22.22
BGP routing table entry for 1:1:22.22.22.22/32, version 14
Paths: (1 available, best #1, table red)
Advertised to update-groups:
3
Refresh Epoch 1
3, imported path from 2:2:22.22.22.22/32 (global)
2023:1::1 (via default) from 1.1.1.3 (1.1.1.3)
Origin incomplete, metric 0, localpref 100, valid, internal, best
Extended Community: RT:1:1 RT:2:2 Color:10
Originator: 11.1.1.1, Cluster list: 1.1.1.3
binding SID: 16777217 (color - 10) (state - UP)
srv6 out-sid: FCCC:CCC1:AA88:E000::
rx pathid: 0, tx pathid: 0x0
Updated on Jun 12 2023 15:33:20 PST

router# show bgp vpnv6 unicast vrf red 2222::1/128
BGP routing table entry for [1:1]2222::1/128, version 13
Paths: (1 available, best #1, table red)
Advertised to update-groups:
3
Refresh Epoch 1
3, imported path from [2:2]2222::1/128 (global)
2023:1::1 (via default) from 1.1.1.3 (1.1.1.3)
```

```
Origin incomplete, metric 0, localpref 100, valid, internal, best
Extended Community: RT:2:2 Color:10
Originator: 11.1.1.1, Cluster list: 1.1.1.3
binding SID: 16777217 (color - 10) (state - UP)
srv6 out-sid: FCCC:CCC1:AA88:E001::
rx pathid: 0, tx pathid: 0x0
Updated on Jun 12 2023 15:33:20 PST
```

SRv6-TE のトラブルシューティングとデバッグ

SRv6TE をトラブルシュートするには、次のコマンドを使用します。

- **debug ip bgp sr-policy**
- **debug segment-routing traffic-eng**
  - **forwarding**：SR 転送のデバッグ
  - **ha**：SR ハイアベイラビリティ デバッグ
  - **path**：SR パスのデバッグ
  - **pcalc**：SR pcalc のデバッグ
  - **policy**：SR ポリシーのデバッグ
  - **topology**：SR トポロジのデバッグ

```
router# debug ip bgp sr-policy
*Apr 10 17:35:48.773: BGP(4): 2023:1::3 rcvd UPDATE w/ attr: nexthop 2023:1::1, origin
?, localpref 100, metric 0, originator 11.1.1.1, clusterlist 1.1.1.3, merged path 3,
AS_PATH , extended community RT:1:1 RT:2:2 Color:10, PrefixSid attribute: SRV6 SID
FCCC:CCC1:AA88::
*Apr 10 17:35:48.773: BGP(4): 2023:1::3 rcvd 2:2:22.22.22.22/32, label 2162163712
(0x80E00000)
*Apr 10 17:35:48.773: BGP SRv6 SID ATTR: blk 32 node 16 fun 16 arg 0 pos 16 off 48
*Apr 10 17:35:48.774: BGP-SR Policy (7F7911708510): Binding SID 10/2023:1::1/ request
*Apr 10 17:35:48.774: BGP(4): Revise route installing 1 of 1 routes for 22.22.22.22/32
-> 0.0.0.0(red) to red IP table
```

SRv6 のパフォーマンス測定

SRv6 のパフォーマンス測定

機能名	リリース情報	説明
IPv6 を介したセグメントルーティングのパフォーマンス測定	Cisco IOS XE Dublin 17.12.1a	この機能は、IPv6 データプレーンを介したセグメントルーティング設定にパフォーマンス測定の活性を拡張します。

SRv6 のパフォーマンス測定の活性

Cisco IOS XE 17.12.1a 以降、パフォーマンス測定の活性は、IPv6 データプレーンを介したセグメントルーティングに拡張されます。

この機能により、PM プローブを使用して、転送テーブルに存在するすべての候補パスのすべてのセグメントリストで SR ポリシーのパフォーマンス測定（PM）の活性を検出できるようになります。トラフィックパスをモニターし、ケーブルやハードウェアの不具合または設定ミスによるトラフィックのドロップを効率的に検出できます。

前提条件

- SRv6 の PM を設定する前に、すべてのノードで SRV6 を有効にする必要があります。

制約事項

- デフォルトでは、プローブは 3 秒ごとに送信されます。バースト間隔パラメータ（*）を使用してインターバルを延ばすことができます。プローブ間隔を 3 秒未満に短縮することは推奨されません。

SRv6 の PM 活性の設定

SRv6 の PM 活性を設定するには、次の例を使用します。

- SRV6 ポリシーで **liveness-detection** 設定を使用して、SRV6 パスの状態を継続的にモニターします。このオプションはモニタリングのみを行います。 ポリシーマネージャによるアクションは実行されません。
- **invalidation-action down** 設定を使用して、ポリシーマネージャを次のように設定します。
  - PM プローブで検証された後にのみ、HW でパスをプログラムする。
  - パスを継続的にモニターする。
  - PM プローブが機能しなくなった場合は、別の CP に再最適化する、

    または

    他のパスが使用できない場合は、ポリシーを停止する。

ポリシーでの SRv6-TE PM 活性の設定

```
policy SRV6PM
  performance-measurement
   delay-measurement
    liveness-detection
     invalidation-action down
```

活性のデフォルト遅延プロファイルの設定

```
performance-measurement
 delay-profile sr-policy
```

```
  probe
   liveness-detection
    multiplier 3
```

次のセクションでは、スケーリング展開の推奨設定について説明します。

すべての PE ノードの PM パントポリサーの設定

```
platform punt-policer sr-twamp-probe 3000
platform punt-policer sr-twamp-probe 3000 high
performance-measurement
  max-pps 3000
```

ヘッドエンドおよびエンドポイントノードでの WAN インターフェイスのインターフェイス キューの設定

```
interface Tunnel121
  hold-queue 10000 in
```

または

```
interface GigabitEthernet0/0/1
  hold-queue 10000 in
```

（注） WAN インターフェイスには、物理インターフェイスと GRE-TP トンネルが含まれます。

SRv6 のパフォーマンス測定の確認

SRv6 の PM 設定を確認するには、次の show コマンドを使用します。

例 1：**show performance-measurement sr-policy name <name>**

```
device# show performance-measurement sr-policy name SRV6PM
SR Policy name: SRV6PM
  Color                           : 1
  Endpoint                        : C02:1::1
  Source                          : C01:1::1
  Profile name                    : Not configured
  Policy Update Timestamp         : 04-11 12:12:51.658
  Number of candidate-paths       : 2
  Candidate-Path:
    Preference                    : 1
    Protocol-origin               : CLI
    Discriminator                 : 0
    Number of segment-lists       : 1
    Number of atomic paths        : 1
    Number of live UP atomic paths: 0
    Number of live Unknown atomic : 0
    Max Pkts per Burst            : 1500
    Max Pkts per Probe            : 15000
    AP Min Run per Probe          : 3
    Round-robin bursts            : 1
    Round-robin probes            : 1
    Last advertisement:
      Advertised at: 12:12:06 04-11 2023 (516007 seconds ago)
Atomic path:
        Hops                      : C2:1::1, C3:1::1, C1:1::1
                                  : 2021:2::1
```

```
  Labels                    : FCCC:CCC1:AA22:AA33:AA11:E004::
  Outgoing Interface        : Ethernet0/2
  Max IP MTU                : 1500
  Next Hop                  : FE80::A8BB:CCFF:FE00:FA10
  Destination               : C02:1::1
  Session ID                : 8
  Last advertisement:
    No advertisements have occured
  Next advertisement:
    Aggregated delays (uSec): avg: 2744, min: 1480, max: 21676, variance: 1172
    Rolling average (uSec): 2744
  Last probe:
    Packets Sent: 10, received: 10
    Measured delays (uSec): avg: 1666, min: 1480, max: 1853, variance: 186
  Current probe:
    Packets Sent: 2, received: 2
    Measured delays (uSec): avg: 6192, min: 1619, max: 10765, variance: 4573
  Probe samples:
    Packet Rx Timestamp       Measured Delay (nsec)
    11:37:29 04-17 2023       1619000
    11:37:26 04-17 2023       10765000
```

例 2：**show performance-measurement sr-policy name <name> d p v | s Liveness**

```
device# show performance-measurement sr-policy name SRV6PM d p v | s Liveness
  Liveness Detection:
    Session Creation Timestamp: 04-11 12:10:49.981
    Session State: Down
    Last State Change Timestamp: 04-11 12:12:51.656
    Missed count   [consecutive]: 84752
    Received count [consecutive]: 0
    Backoff                     : 1
    Unique Path Name            : Path-10
    Loss in Last Interval       : 100 % [TX: 7 RX: 0]
  Liveness Detection:
    Session Creation Timestamp: 04-11 12:12:36.636
    Session State: Up
    Last State Change Timestamp: 04-11 12:12:36.728
    Missed count   [consecutive]: 0
    Received count [consecutive]: 84717
    Backoff                     : 0
    Unique Path Name            : Path-12
    Loss in Last Interval       : 0 % [TX: 7 RX: 7]
  Liveness Detection:
    Session Creation Timestamp: 04-11 12:12:36.636
    Session State: Up
    Last State Change Timestamp: 04-11 12:12:36.728
    Missed count   [consecutive]: 0
    Received count [consecutive]: 84717
    Backoff                     : 0
    Unique Path Name            : Path-13
    Loss in Last Interval       : 0 % [TX: 7 RX: 7]
```

例 3：**show segment-routing traffic-eng policy all type per-destination**

```
device# show segment-routing traffic-eng policy all type per-destination
Name: SRV6PM (Color: 1 End-point: C02:1::1)
  Owners : CLI
  Status:
    Admin: up, Operational: up for 70:55:04 (since 04-11 12:10:05.054)
  Candidate-paths:
    Preference 2 (CLI):
```

```
      PM State: Up
      Constraints:
        Affinity:
          exclude-any:
           blue
      Dynamic (active)
        Metric Type: DELAY, Path Accumulated Metric: 40
          FCCC:CCC1:AA22:: [Node-SID]
          FCCC:CCC1:AA33:: [Node-SID]
          FCCC:CCC1:AA11:: [Node-SID]
          FCCC:CCC1:AA11:E001:: [Adjacency-SID]
    Preference 1 (CLI):
      PM State: Unknown
      Dynamic (inactive)
        Inactive Reason: Perf Measure State Change to Pending
        Metric Type: TE, Path Accumulated Metric: 10
          FCCC:CCC1:C3:: [Node-SID]
  Attributes:
```

例 4：**show performance-measurement history interfaces adv**

```
device# show performance-measurement history interfaces adv
Interface Name: Ethernet0/0 (ifh: 0x2)
  Delay-Measurement history (uSec):
    Session ID: 1
    Advertisement Timestamp   Average   Min       Max       Action
    12:10:05 04-11 2023       10        10        10        CFG
Interface Name: Ethernet0/1 (ifh: 0x3)
  Delay-Measurement history (uSec):
    Session ID: 2
    Advertisement Timestamp   Average   Min       Max       Action
    12:10:05 04-11 2023       15        15        15        CFG
Interface Name: Tunnel100 (ifh: 0x15)
  Delay-Measurement history (uSec):
    Session ID: 3
    Advertisement Timestamp   Average   Min       Max       Action
    13:10:55 04-13 2023       603       307       969       PER-MIN
    13:04:46 04-13 2023       8696      1384      18908     PER-MIN
    10:31:05 04-13 2023       6897      377       38335     PER-MIN
    10:26:56 04-13 2023       6792      1802      13778     PER-MIN
    12:12:26 04-11 2023       3018      363       14081     FIRST
Interface Name: Tunnel101 (ifh: 0x16)
  Delay-Measurement history (uSec):
    Session ID: 4
    Advertisement Timestamp   Average   Min       Max       Action
    12:12:16 04-11 2023       1841      263       8400      FIRST
```

例 5：**show performance-measurement history sr-policy liveness-notification**

```
device# show performance-measurement history sr-policy liveness-notification
SR Policy name: pdp-voice
  Candidate-Path:
    Preference                : 10
    Protocol-origin           : CLI
    Discriminator             : 0
    Active                    : No
    Segment-list:
      Name                    : SL13
      Atomic path:
        Hops                  : A006::1
        Labels                : ::
        Outgoing Interface    : Tunnel16
```

```
        Next Hop              : 1634::6
        Destination           : A006::1
        Delay-Measurement:
          Session ID          : 16
          Liveness state change timestamp                   New State
          04:20:25 01-15 2023                               Up

  Candidate-Path:
    Preference                : 50
    Protocol-origin           : CLI
    Discriminator             : 0
    Active                    : No
    Segment-list:
      Name                    : SL12
      Atomic path:
        Hops                  : ::, ::, 5646::5
        Labels                : F:1:2:5:E003::
        Outgoing Interface    : Tunnel12
        Next Hop              : 1211::2
        Destination           : A006::1
        Delay-Measurement:
          Session ID          : 23
          Liveness state change timestamp                   New State
          04:30:19 01-15 2023                               Up

  Candidate-Path:
    Preference                : 100
    Protocol-origin           : CLI
    Discriminator             : 0
    Active                    : Yes
    Segment-list:
      Name                    : SL11
      Atomic path:
        Hops                  : ::, ::, 5631::5
        Labels                : F:1:4:5:E002::
        Outgoing Interface    : GigabitEthernet2
        Next Hop              : FE80::5054:FF:FE1A:DD62
        Destination           : A006::1
        Delay-Measurement:
          Session ID          : 14
          Liveness state change timestamp                   New State
          04:20:17 01-15 2023                               Up
```

例 6：**show isis teapp**

```
device# show isis teapp
Tag null:
   ISIS TEAPP Information: Topology(ID:0x0) Type:SRTE, Enabled:1, Router ID:0.0.0.0 IPv6
 Router ID:C01:1::1
 Topology Id:0x0 Teapp_type:SRTE
   Interface(hdl:0x2): Ethernet0/0
    Affinity: set 1, affinity_bits 8
    TE Metric: set 1, te_metric 1000
    Extended Affinity: set 1, length 1, ext_affinity_bits: 8
 Topology Id:0x0 Teapp_type:SRTE
   Interface(hdl:0x3): Ethernet0/1
    Affinity: set 1, affinity_bits 8
    TE Metric: set 1, te_metric 1000
    Extended Affinity: set 1, length 1, ext_affinity_bits: 8
   ISIS TE Attr PM Information:
    Et0/0: IDB num:2 Min:10 Max:10 Min-max-anomaly:0 Avg:10 Avg-anomaly:0 Var:0
          Is-Loss-set:0 Loss:0 Loss-anomaly:0
    Et0/1: IDB num:3 Min:15 Max:15 Min-max-anomaly:0 Avg:15 Avg-anomaly:0 Var:0
```

```
          Is-Loss-set:0 Loss:0 Loss-anomaly:0
    Tu100: IDB num:21 Min:307 Max:969 Min-max-anomaly:0 Avg:603 Avg-anomaly:0 Var:109
          Is-Loss-set:0 Loss:0 Loss-anomaly:0
    Tu101: IDB num:22 Min:263 Max:8400 Min-max-anomaly:0 Avg:1841 Avg-anomaly:0 Var:1042

          Is-Loss-set:0 Loss:0 Loss-anomaly:0
device#
```

例 7：**show performance-measurement responder summary**

```
device# show performance-measurement responder summary
  Total interfaces                              : 5
  Total query packets received                  : 509200
  Total reply packets sent                      : 509200
  Total reply packets sent errors               : 0
  Total URO TLV not present errors              : 0
  Total invalid port number errors              : 0
  Total no source address errors                : 0
  Total no return path errors                   : 0
  Total unsupported querier control code errors : 0
  Total unsupported timestamp format errors     : 0
  Total timestamp not available errors          : 0
  Total unsupported mandatory TLV errors        : 0
  Total invalid packet errors                   : 0
  Total loss probe color errors                 : 0
  Current rate                                  : 1 pkts/sec
  Rate high water mark                          : 3 pkts/sec
```

例 8：**show monitor event-trace perf_measure all**

```
device# show monitor event-trace perf_measure all
Perf Measure error events:
Perf Measure event events:
*Apr 11 17:10:05.115: PM-TRACE-IGP-ADV :flood Ethernet0/0 10 10 10
*Apr 11 17:10:05.116: PM-TRACE-IGP-ADV :flood Ethernet0/1 15 15 15
*Apr 11 17:12:16.492: PM-TRACE-IGP-ADV :flood Tunnel101 263 8400 1841
*Apr 11 17:12:26.582: PM-TRACE-IGP-ADV :flood Tunnel100 363 14081 3018
*Apr 13 15:26:56.861: PM-TRACE-IGP-ADV :flood Tunnel100 1802 13778 6792
*Apr 13 15:31:05.510: PM-TRACE-IGP-ADV :flood Tunnel100 377 38335 6897
*Apr 13 18:04:46.608: PM-TRACE-IGP-ADV :flood Tunnel100 1384 18908 8696
*Apr 13 18:10:55.245: PM-TRACE-IGP-ADV :flood Tunnel100 307 969 603
interrupt context allocation count = 0
```

例 9：**show performance-measurement summary**

```
device# show performance-measurement summary
Total interfaces                                : 4
Total SR Policies                               : 2
Total endpoints                                 : 0
Maximum PPS                                     : 2000 pkts/sec
Dual-color gre bit-position                     : 9 - Failed, last success 0
Interface Delay-Measurement:
  Total sessions                                : 4
  Counters:
    Packets:
      Total sent                                : 338865
      Total received                            : 338861
    Errors:
      Total sent errors                         : 14
      Total received errors                     : 0
    Probes:
```

```
      Total started                          : 33892
      Total completed                        : 33884
      Total incomplete                       : 4
      Total advertisements                   : 8
SR Policy Delay-Measurement:
  Total sessions                             : 4
  Counters:
    Packets:
      Total sent                             : 339076
      Total received                         : 169602
    Errors:
      Total sent errors                      : 0
      Total received errors                  : 0
    Probes:
      Total started                          : 33912
      Total completed                        : 16964
      Total incomplete                       : 16948
      Total advertisements                   : 243
```

SRv6 OAM

SRv6 の運用、管理、およびメンテナンス

Cisco IOS XE 17.12.1a 以降、運用、管理、およびメンテナンス（OAM）機能は、セグメントリストと SRv6 ポリシーを使用して SRv6 によってサポートされます。

SRv6 に関する制約事項

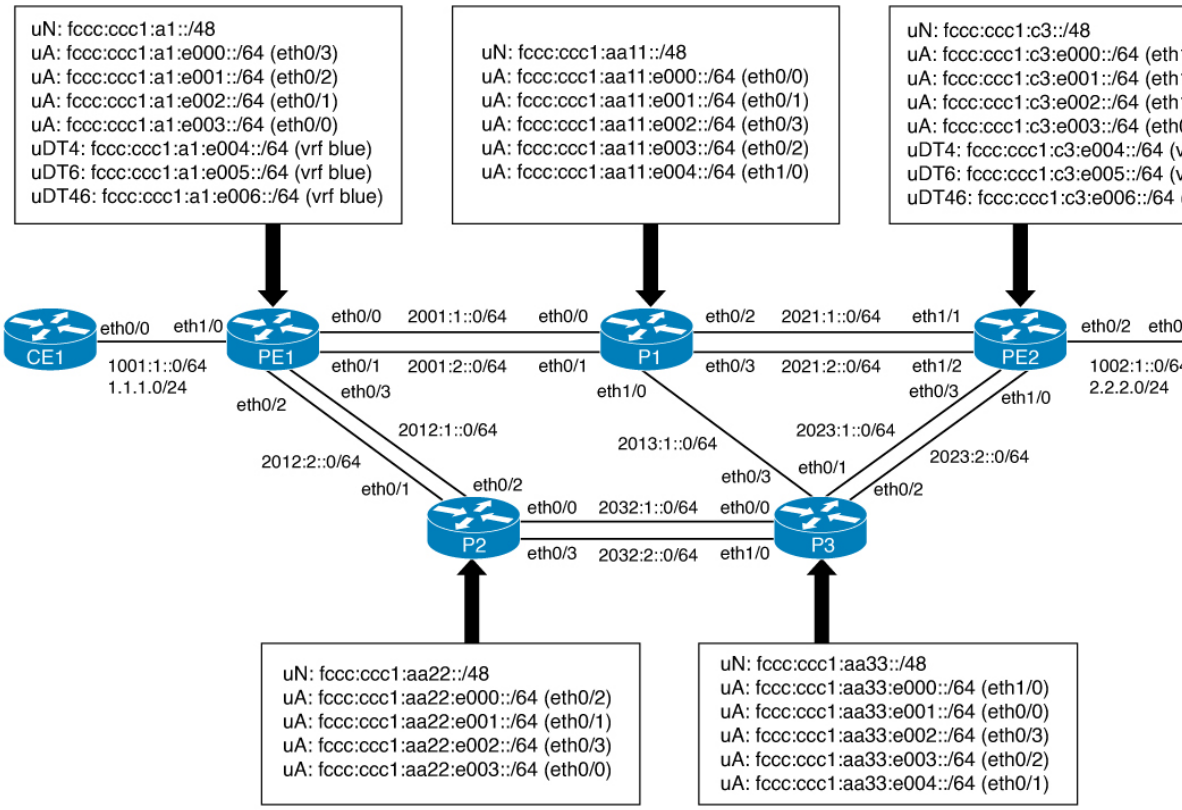
- IPv4 VRF へのトレースルートでは、コア PE ノードは表示されません。
- カスタム SID リストを使用した Ping または Traceroute IPv4 VRF はサポートされていません。

SRv6 OAM に関する情報

運用、管理、およびメンテナンス（OAM）により、サービスプロバイダーはSRv6パスをモニターして転送の問題を迅速に隔離し、ネットワークの異常検出とトラブルシューティングを支援できます。

次の図に、SRv6 OAM のトポロジの例を示します。

図 *41 : SRv6 OAM* トポロジの例



SRv6 OAM の操作

SRv6 OAM には次の操作が含まれます。

- SRv6 コアを介した IPv6 Ping/Traceroute CE-CE
- SRv6 コアを介した IPv4 Ping/Traceroute CE-CE
- SRv6 コアを介した IPv6 Ping/Traceroute PE-CE
- SRv6 コアを介した IPv4 Ping/Traceroute PE-CE
- IPv6 SID Ping/Traceroute
- カスタム SID を使用した IPv6 VRF Ping/Traceroute

次の例は、図 x のトポロジを参照しています。

SRv6 コアを介した IPv6 Ping/Traceroute CE-CE の操作

Ping/Traceroute CE-CE 接続された IPv6 インターフェイス IP を操作するには、次の例を使用します。

```
CE1#ping 1002:1::2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 1002:1::2, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/2/7 ms
CE1#

CE1#traceroute 1002:1::2 probe 1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 1002:1::2
  1 1001:1::1 1 msec
  2 1002:1::2 1 msec
CE1#
```

SRv6 コアを介した IPv4 Ping/Traceroute CE-CE の操作

Ping/Traceroute CE-CE 接続された IPv4 インターフェイス IP を操作するには、次の例を使用します。

```
CE1#ping 2.2.2.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2.2.2.2, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/1 ms
CE1#

CE1#traceroute 2.2.2.2 probe 1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 2.2.2.2
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
  1 1.1.1.1 1 msec
  2 2.2.2.2 1 msec
CE1#
```

SRv6 コアを介した IPv6 Ping/Traceroute PE-CE の操作

SRv6 コアを介して PE の VRF インターフェイスから Ping/Traceroute CE の IPv6 インターフェイスを操作するには、次の例を使用します。

```
PE1#ping vrf blue 1002:1::2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 1002:1::2, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/1 ms
PE1#

PE1#traceroute vrf blue 1002:1::2 probe 1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 1002:1::2
  1 2001:1::2 1 msec
  2 2021:2::2 1 msec
  3 1002:1::2 1 msec
PE1#
```

SRv6 コアを介した IPv4 Ping/Traceroute PE-CE の操作

SRv6 コアを介して PE の VRF インターフェイスから Ping/Traceroute CE の IPv4 インターフェイスを操作するには、次の例を使用します。

```
PE1#ping vrf blue 2.2.2.2
Type escape sequence to abort.
```

```
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2.2.2.2, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/2 ms
PE1#

PE1#traceroute vrf blue 2.2.2.2 probe 1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 2.2.2.2
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
  1  *
  2  *
  3 2.2.2.2 1 msec
PE1#
```

（注） IPv4 ping は IPv6 ホップの代わりに「*」を表示します。

IPv6 SID Ping/Traceroute の操作

PE1 から Ping/Traceroute PE2 のノード SID SRv6 SID を操作するには、次の例を使用します。

```
PE1#ping FCCC:CCC1:C3::
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to FCCC:CCC1:C3::, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/1 ms
PE1#

PE1#traceroute FCCC:CCC1:C3:: probe 1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to FCCC:CCC1:C3::
  1 2001:1::2 0 msec
  2 2021:2::2 0 msec
PE1#
```

カスタム SID を使用した IPv6 VRF Ping/Traceroute の操作

カスタム SRv6 SID リストを使用して PE1 から Ping/Traceroute CE2 IPv6 インターフェイスを操作するには、次の例を使用します。

このトレースルートの SID は、PE1 から P1、P2、および P3 を介して PE2 に向かい、最後に CE2 に移動します。

- 最初の SID は PE1 から P1 です。
- P1 から P2 への次の SID は、P3 を介した ECMP パスです（P1 -> P3 -> P2）。
- VPN-SID PE2 に到達する次の SID は、P2 -> P3 -> PE2 です。
- 最後の SID は、PE2 から CE2 に到達することです（PE2 -> CE2）。

```
PE1#ping srv6 vrf blue 1002:1::2 via segment-list FCCC:CCC1:AA11:AA22:C3:E005::
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 1002:1::2 via [
 FCCC:CCC1:AA11:AA22:C3:E005::], timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/1 ms
PE1#
```

```
PE1# traceroute srv6 vrf blue 1002:1::2 via segment-list FCCC:CCC1:AA11:AA22:C3:E005::
probe 1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 1002:1::2 via [
 FCCC:CCC1:AA11:AA22:C3:E005::]
  1 2001:1::2 1 msec
  2 2013:1::2 1 msec
  3 2032:2::1 1 msec
  4 2032:1::2 1 msec
  5 2023:1::1 1 msec
  6 1002:1::2 1 msec
PE1#
```

翻訳について
このドキュメントは、米国シスコ発行ドキュメントの参考和訳です。リンク情報につきましては、日本語版掲載時点で、英語版にアップデートがあり、リンク先のページが移動/変更されている場合がありますことをご了承ください。あくまでも参考和訳となりますので、正式な内容については米国サイトのドキュメントを参照ください。