



MPLS トラフィック エンジニアリングの実装

従来の IP ルーティングは、トラフィックをできるだけ速く宛先に転送することを重視しています。その結果、ルーティングプロトコルは、ネットワーク内の各宛先へのメトリックに従って最小コストのルートを見つけ出し、すべてのルータが宛先 IP アドレスに基づいてパケットを転送し、パケットはホップバイホップで転送されます。したがって、従来の IP ルーティングでは、リンクの利用可能な帯域幅は考慮されません。これにより、一部のリンクが他のリンクと比べて過剰に使用され、帯域幅が効率的に利用されなくなる可能性があります。トラフィックエンジニアリング (TE) は、ネットワークリソースへのトラフィックストリームの非効率的なマッピングによって問題が生じる場合に使用されます。トラフィックエンジニアリングでは、データパケットが追従するパスを制御し、自動的に計算された宛先ベースの最短パスでは不可能であろう、輻輳したリンクから輻輳していないリンクにトラフィックフローを移動させることができます。

ラベルスイッチング機能を備えたマルチプロトコルラベルスイッチング (MPLS) により、IP ルートの検索の必要がなくなり、仮想回線 (VC) スwitching機能が提供されます。これにより企業は、フレームリレーや非同期転送モード (ATM) などの従来のネットワークの場合と同様のパフォーマンスを IP ベースのネットワークサービスで実現できます。MPLS トラフィックエンジニアリング (MPLS-TE) は MPLS バックボーンに依存し、レイヤ 2 ATM およびフレームリレーネットワークの TE 機能を複製および拡張します。

MPLS TE はトポロジとネットワーク内で使用可能なリソースを学習し、帯域幅などのリソース要件とネットワークリソースに基づいてトラフィックフローを特定のパスにマッピングします。MPLS TE では、ラベルスイッチドパス (LSP) の形で送信元から宛先への単方向トンネルが構築され、その後トラフィックの転送で使用されます。トンネルが開始される場所はトンネルのヘッドエンドまたはトンネルの送信元と呼ばれ、トンネルが終了するノードはトンネルのテールエンドまたはトンネルの宛先と呼ばれます。トンネルが通過するルータをトンネルの中点と呼びます。

MPLS は、Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS) や Open Shortest Path First (OSPF) などのリンクステートベースの内部ゲートウェイプロトコル (IGP) の拡張機能を使用します。MPLS は、必要なリソースと利用可能なリソースに基づいて、LSP ヘッドで TE トンネルを計算します (制約ベースのルーティング)。設定されている場合、IGP はこれらの LSP にトラフィックを自動的にルーティングします。通常、MPLS-TE バックボーンを通過するパケッ

トは、入力ポイントと出力ポイントを接続する単一のLSP上を伝送されます。MPLS TEでは、Resource Reservation Protocol (RSVP) を使用して、MPLS ネットワーク上でLSPを自動的に確立および維持します。

- [MPLS-TE 機能の概要 \(2 ページ\)](#)
- [MPLS-TE の制約事項 \(3 ページ\)](#)
- [MPLS-TE の動作の仕組み \(3 ページ\)](#)
- [MPLS-TE の設定 \(4 ページ\)](#)
- [MPLS-TE 機能の詳細 \(19 ページ\)](#)

MPLS-TE 機能の概要

MPLS トラフィック エンジニアリングでは、IGP 拡張によって TE 情報がネットワーク全体にフラディングされます。IGP がリンク属性と帯域幅情報を配信すると、ヘッドエンドルータは MPLS-TE トンネルの先頭から末尾までのベストパスを計算します。このパスは明示的に設定することもできます。パスが計算されると、RSVP-TE を使用して TELSP (ラベル付きスイッチパス) が設定されます。

トラフィックを転送するには、自動ルート、転送隣接関係、またはスタティックルーティングを設定します。自動ルート機能は、テールエンドルータによって割り当てられたルートとそのダウンストリームルートをヘッドエンドルータのルーティングテーブルに通知し、トンネルはトンネルに直接接続されたリンクと見なされます。

転送隣接関係が有効になっている場合、MPLS-TE トンネルは IGP ネットワーク内にリンクとしてアドバタイズされ、リンクのコストが関連付けられます。TE ドメインの外側にあるルータは、TE トンネルを参照し、その TE トンネルを使用して、ネットワーク全体でトラフィックをルーティングするための最短パスを計算します。

MPLS-TE は、障害時のパケット損失を最小限に抑えるために、Fast Reroute と呼ばれる保護メカニズムを提供します。Fast Reroute 用に、バックアップトンネルを作成する必要があります。自動トンネルバックアップ機能により、ルータは、各バックアップトンネルを事前に設定するのではなく、バックアップトンネルを必要なときに動的に構築し、保護されたインターフェイスにバックアップトンネルを割り当てることができます。

DiffServ 対応トラフィックエンジニアリング (DS-TE) を使用すると、MPLS 対応インターフェイスで複数の帯域幅制約を設定して、さまざまなサービスクラス (CoS) をサポートできます。これらの帯域幅は、その制約を使用してトラフィッククラスの要件に基づいて扱うことができます。

MPLS トラフィックエンジニアリング自動トンネルメッシュ機能を使用すると、最小の MPLS トラフィックエンジニアリング設定で TE トンネルのフルメッシュを自動的に設定できます。MPLS-TE の自動帯域幅機能により、トラフィックの中断なしでトラフィックパターンに基づいて帯域幅を自動的に調整できます。

MPLS-TE エリア間トンネリング機能を使用すると、複数の内部ゲートウェイプロトコル (IGP) エリアとレベルにまたがる TE トンネルを確立できます。そのため、ヘッドエンドおよびテールエンドルータが単一のエリアに存在しなければならないという要件がなくなります。

MPLS-TE 機能の詳細については、[MPLS-TE 機能の詳細](#) を参照してください。

MPLS-TE の制約事項

- MPLS-TE 統計はサポートされていません。

MPLS-TE の動作の仕組み

MPLS-TE では、RSVP を使用して、バックボーン上でラベルスイッチドパス (LSP) を自動的に確立および維持します。LSP で使用されるパスは、LSP リソース要件とネットワーク リソース (帯域幅など) によって決まります。利用可能なリソースは、リンクステートに基づく内部ゲートウェイプロトコル (IGP) の拡張機能によってフラッドイングされます。MPLS-TE トンネルは、必要なリソースと使用可能なリソースの適合の度合いに基づいて LSP ヘッドエンドルータで計算されます (制約ベースのルーティング)。IGP は、これらの LSP にトラフィックを自動的にルーティングします。通常、MPLS-TE バックボーンを通過するパケットは、入力ポイントと出力ポイントを接続する単一の LSP 上を伝送されます。

次の項では、MPLS-TE のコンポーネントについて説明します。

トンネルインターフェイス

レイヤ 2 の観点では、MPLS トンネルインターフェイスは LSP のヘッドエンドを表します。これは、帯域幅要件、メディア要件、プライオリティなどの一連のリソース要件を使用して設定されます。レイヤ 3 の観点では、LSP トンネルインターフェイスはトンネル宛先への単一方向仮想リンクのヘッドエンドです。

MPLS-TE パス計算モジュール

この計算モジュールは LSP ヘッドエンドで動作します。このモジュールは、LSP で使用するパスを決定します。パス計算では、フラッドイングされたトポロジおよびリソース情報を含むリンクステート データベースが使用されます。

TE 拡張機能を備えた RSVP

RSVP は各 LSP ホップで動作し、計算されたパスに基づいて LSP のシグナリングおよび維持のために使用されます。

MPLS-TE リンク管理モジュール

このモジュールは各 LSP ホップで動作し、RSVP シグナリングメッセージに対するリンク コールアドミッションを実行して、フラッドイングされるトポロジおよびリソース情報を追跡します。

リンクステート IGP

Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS) または Open Shortest Path First (OSPF) のいずれかを IGP として使用できます。これらの IGP は、リンク管理モジュールからトポロジおよびリソース情報をグローバルにフラッドングするために使用されます。

ラベルスイッチング フォワーディング

この転送メカニズムは、レイヤ 2 と類似の機能をルータに提供し、RSVP シグナリングによって確立された LSP の複数のホップを経由してトラフィックを誘導できるようにします。

MPLS-TE の設定

MPLS-TE では、複数のグローバル ネイバー ルータ間で調整が必要です。RSVP、MPLS-TE、および IGP は、MPLS トラフィック エンジニアリング ネットワークのすべてのルータとインターフェイスで設定されます。明示パスおよび TE トンネルインターフェイスは、ヘッドエンドルータでのみ設定されます。MPLS-TE には、この項で説明するいくつかの基本的な設定作業が必要です。

MPLS-TE トポロジの作成

MPLS-TE トポロジを構築し、MPLS-TE トンネルを作成するための環境を設定します。この手順には、MPLS-TE を有効にするための基本的なノードおよびインターフェイスの設定が含まれています。制約ベースのルーティングを実行するには、OSPF または IS-IS を IGP 拡張として有効にする必要があります。

はじめる前に

MPLS-TE トポロジの構築を開始する前に、次の前提条件が必要です。

- リンクを正常に行うには、リンクのいずれかの側に安定したルータ ID が必要です。ルータ ID を割り当てない場合、デフォルトでグローバルルータ ID に設定されます。デフォルトのルータ ID は変更されることがあり、不安的なリンクの原因となる可能性があります。
- ポート インターフェイス上の RSVP を有効にします。

例

次の例では、ノード上で MPLS-TE を有効にしてから、MPLS-TE の一部であるインターフェイスを指定します。ここで、OSPF は情報配信のための IGP 拡張プロトコルとして使用されます。

```
RP/0/RP0/CPU0:router # configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# mpls traffic-eng
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# interface HundredGigabitEthernet0/0/1/0
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# router ospf area 1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-ospf)# area 0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-ospf-ar)# mpls traffic-eng
RP/0/RP0/CPU0:router(config-ospf-ar)# interface HundredGigabitEthernet0/0/1/0
```

```
RP/0/RP0/CPU0:router(config-ospf-ar-if)# exit
RP/0/RP0/CPU0:router(config-ospf)# mpls traffic-eng router-id 192.168.70.1
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

例

次の例では、ノード上でMPLS-TEを有効にしてから、MPLS-TEの一部であるインターフェイスを指定します。ここで、IS-ISは情報配信のためのIGP拡張プロトコルとして使用されます。

```
RP/0/RP0/CPU0:router# configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# mpls traffic-eng
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# interface HundredGigabitEthernet0/0/1/0
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# router isis 1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-isis)# net 47.0001.0000.0000.0002.00
RP/0/RP0/CPU0:router(config-isis)# address-family ipv4 unicast
RP/0/RP0/CPU0:router(config-isis-af)# metric-style wide
RP/0/RP0/CPU0:router(config-isis-af)# mpls traffic-eng level 1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-isis-af)# exit
RP/0/RP0/CPU0:router(config-isis)# interface HundredGigabitEthernet0/0/1/0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-isis-if)# exit
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

関連項目

- [MPLS-TE の動作の仕組み](#)
- [MPLS-TE トンネルの作成](#)

MPLS-TE トンネルの作成

MPLS-TE トンネルの作成は、ご使用のネットワーク トポロジに合うようにトラフィック エンジニアリングをカスタマイズするプロセスです。MPLS-TE トンネルは、ヘッドエンドルータで作成されます。TE LSP の宛先とパスを指定する必要があります。

トラフィックをトンネルに誘導するには、次の方法を使用できます。

- スタティック ルーティング
- 自動ルート通知
- Forwarding Adjacency (FA)

はじめる前に

次に、MPLS-TE トンネルを作成するための前提条件を示します。

- 隣接ルータにはルータ ID が必要です。
- リンクを正常に行うには、リンクのいずれかの側に安定したルータ ID が必要です。ルータ ID をルータに割り当てない場合、デフォルトでグローバルルータ ID に設定されます。デフォルトのルータ ID は変更されることがあり、不安的なリンクの原因となる可能性があります。

設定例

次の例では、宛先 IP アドレス 192.168.92.125 を持つヘッドエンドルータに MPLS-TE トンネルを設定します。トンネルの帯域幅、パスオプション、およびトンネルの転送パラメータも設定されます。スタティックルーティング、自動ルート通知、または Forwarding Adjacency (FA) を使用して、トラフィックをトンネルに誘導できます。

```
RP/0/RP0/CPU0:router # configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface tunnel-te 1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# destination 192.168.92.125
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# ipv4 unnumbered Loopback0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 1 dynamic
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# autoroute announce or forwarding adjacency
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# signalled-bandwidth 100
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

確認

次のコマンドを使用して、MPLS-TE トンネルの設定を確認します。

```
RP/0/RP0/CPU0:router# show mpls traffic-engineering tunnels brief

Signalling Summary:
  LSP Tunnels Process:  running
    RSVP Process:      running
      Forwarding:      enabled
Periodic reoptimization: every 3600 seconds, next in 2538 seconds
Periodic FRR Promotion:  every 300 seconds, next in 38 seconds
Auto-bw enabled tunnels: 0 (disabled)
  TUNNEL NAME           DESTINATION           STATUS  STATE
-----
tunnel-te1           192.168.92.125      up    up
Displayed 1 up, 0 down, 0 recovering, 0 recovered heads
```

関連項目

- [MPLS-TE の動作の仕組み](#)
- [MPLS-TE トポロジの作成](#)

Fast Reroute の設定

Fast Reroute (FRR) は、LSP にリンク保護を提供し、リンクで障害が発生した LSP によって送信されたトラフィックを、障害を避けて再ルーティングできるようにします。再ルーティングの決定は、障害の発生したリンクに接続されているルータによって、ローカルに制御されます。トンネルのヘッドエンドルータには、IGP または RSVP からリンク障害が通知されます。リンク障害を通知されると、ヘッドエンドルータは、障害をバイパスする新しい LSP を確立しようとします。これによって、障害が発生したリンクを再確立するためのパスが提供され、データ転送が保護されます。バックアップ トンネルのパスには、IP 明示パス、動的に計算されたパス、または準動的のパスを使用できます。Fast Reroute の概念的な詳細については、次の項を参照してください。 [MPLS-TE 機能の詳細](#)

はじめる前に

次に、MPLS-TE トンネルを作成するための前提条件を示します。

- 隣接ルータにはルータ ID が必要です。
- リンクを正常に行うには、リンクのいずれかの側に安定したルータ ID が必要です。ルータ ID をルータに割り当てない場合、デフォルトでグローバルルータ ID に設定されます。デフォルトのルータ ID は変更されることがあり、不安的なリンクの原因となる可能性があります。

設定例

次の例では、MPLS-TE トンネル上に Fast Reroute を設定します。ここで、**tunnel-te 2** はバックアップトンネルとして設定されています。**protected-by** コマンドを使用すると、別のパスで保護されている明示パスに対してパス保護を設定できます。

```
RP/0/RP0/CPU0:router # configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface tunnel-te 1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# fast-reroute
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# exit
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# mpls traffic-eng
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# interface HundredGigabitEthernet0/0/1/0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-if)# backup-path tunnel-te 2
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface tunnel-te 2
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# backup-bw global-pool 5000
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# ipv4 unnumbered Loopback0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# destination 192.168.92.125
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 1 explicit name backup-path protected by 10
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 10 dynamic
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

確認

show mpls traffic-eng fast-reroute database コマンドを使用して、Fast Reroute 設定を確認します。

```
RP/0/RP0/CPU0:router# show mpls traffic-eng fast-reroute database
```

```
Tunnel head FRR information:
Tunnel      Out intf/label          FRR intf/label      Status
-----
tt4000      HundredGigabitEthernet 0/0/1/0:34          tt1000:34           Ready
tt4001      HundredGigabitEthernet 0/0/1/0:35          tt1001:35           Ready
tt4002      HundredGigabitEthernet 0/0/1/0:36          tt1001:36           Ready
```

関連項目

- [MPLS-TE の設定](#)
- [自動トンネルバックアップの設定](#)
- [ネクストホップバックアップトンネルの設定](#)
- [MPLS-TE 機能の詳細](#)

自動トンネルバックアップの設定

MPLS トラフィック エンジニアリング自動トンネルバックアップ機能を使用すると、ルータは、MPLS-TE トンネルを静的に構築するのではなく、MPLS TE トンネルを使用して設定されたインターフェイス上でバックアップ トンネルを動的に構築できます。

MPLS-TE 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。
- 保護は拡張されます。ただし、TE トンネルを使用していないIPトラフィック、またはTE トンネルを使用していないラベル配布プロトコル（LDP）ラベルはFRRで保護されません。

一連の TE トンネル属性を指定する TE Attribute-set テンプレートは、自動トンネルのヘッドエンドでローカルに設定されます。コントロールプレーンは、対応する TE トンネルの自動プロビジョニングをトリガーします。そのトンネルの特性がそれぞれの Attribute-set で指定されます。

設定例

次の例では、インターフェイスに自動トンネルバックアップを設定し、自動トンネル用の attribute-set テンプレートを指定します。この例では、未使用のバックアップ トンネルは、タイマーを使用して 20 分ごとに削除され、トンネルインターフェイス番号の範囲も指定されています。

```
RP/0/RP0/CPU0:router # configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# mpls traffic-eng
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# interface HundredGigabitEthernet0/0/1/0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-if)# auto-tunnel backup
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-if-auto-backup)# attribute-set ab
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# auto-tunnel backup timers removal unused 20
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# auto-tunnel backup tunnel-id min 6000 max 6500
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

確認

次の例に、自動バックアップ トンネル設定のサンプル出力を示します。

```
RP/0/RP0/CPU0:router# show mpls traffic-eng tunnels brief
```

TUNNEL NAME	DESTINATION	STATUS	STATE
tunnel-te0	200.0.0.3	up	up
tunnel-te1	200.0.0.3	up	up
tunnel-te2	200.0.0.3	up	up
tunnel-te50	200.0.0.3	up	up
*tunnel-te60	200.0.0.3	up	up
*tunnel-te70	200.0.0.3	up	up
*tunnel-te80	200.0.0.3	up	up

関連項目

- [Fast Reroute の設定](#)
- [ネクストホップバックアップトンネルの設定](#)
- [MPLS-TE 機能の詳細](#)

ネクストホップバックアップトンネルの設定

LSP パスの単一リンクのみをバイパスするバックアップトンネルは、障害ポイントを超えた LSP のネクストホップで終了するため、ネクストホップ (NHOP) バックアップトンネルと呼ばれます。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。

設定例

次の例では、インターフェイスにネクストホップバックアップトンネルを設定し、自動トンネル用の `attribute-set` テンプレートを指定します。この例では、未使用のバックアップトンネルは、タイマーを使用して 20 分ごとに削除され、トンネルインターフェイス番号の範囲も指定されています。

```
RP/0/RP0/CPU0:router # configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# mpls traffic-eng
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# interface HundredGigabitEthernet0/0/1/0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-if)# auto-tunnel backup nhop-only
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-if-auto-backup)# attribute-set ab
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# auto-tunnel backup timers removal unused 20
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# auto-tunnel backup tunnel-id min 6000 max 6500
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

関連項目

- [自動トンネルバックアップの設定](#)
- [Fast Reroute の設定](#)
- [MPLS-TE 機能の詳細](#)

SRLG ノード保護の設定

MPLS トラフィック エンジニアリング内の共有リスク リンク グループ (SRLG) は、ネットワーク内のリンクが共通のリソースを共有する状況を指します。これらのリンクには、共有リスクがあります。つまり、1つのリンクで障害が発生すると、グループ内の別のリンクでも障害が発生する可能性があります。

OSPF と IS-IS は、サブタイプ、長さ、値 (サブ TLV) を使用して、SRLG 値情報 (帯域幅のベイラビリティやアフィニティなどの他の TE リンク属性を含む) をフラグディングして、ネットワーク内のすべてのルータが各リンクの SRLG 情報を持つようにします。

MPLS-TE SRLG 機能は、バックアップ トンネルの作成中に保護しているインターフェイスと同じ SRLG 内のリンクを使用しないようにすることで、バックアップ トンネルパスの選択を強化します。

設定例

次の例では、バックアップ トンネルを作成し、保護されたノードの IP アドレスを明示パスから除外します。

```
RP/0/RP0/CPU0:router # configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# mpls traffic-eng
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# interface HundredGigabitEthernet0/0/1/0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-if)# backup-path tunnel-te 2
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-if)# exit
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface tunnel-te 2
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# ipv4 unnumbered Loopback0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 1 explicit name backup-srlg
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# destination 192.168.92.125
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# exit
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# explicit-path name backup-srlg-noddep
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# index 1 exclude-address 192.168.91.1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# index 1 exclude-srlg 192.168.92.2
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

関連項目

- [Fast Reroute の設定](#)
- [MPLS-TE 機能の詳細](#)

柔軟な名前ベースのトンネル制約の設定

MPLS-TE の柔軟な名前ベースのトンネル制約は、MPLS-TE トンネルのパスを計算するために、リンク属性とパス アフィニティを簡単かつより柔軟に設定する方法を提供します。

従来の TE では、リンクは、Open Shortest Path First (OSPF) などの内部ゲートウェイ プロトコル (IGP) を使用して、TE リンクステート パラメータでフラグgingされる **attribute-flags** で設定されます。

MPLS-TE の柔軟な名前ベースのトンネル制約を使用すると、32 ビットの 16 進数値の代わりに、アフィニティと **attribute-flag** 属性のために最大 32 個のカラー名を割り当てる (マップする) ことができます。マッピングの定義後に、対応するカラー名で属性を参照することができます。

設定例

次の例では、トンネルをアフィニティ制約に関連付ける方法の割り当てを示しています。

```
RP/0/RP0/CPU0:router# configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# mpls traffic-eng
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# affinity-map red 1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# interface HundredGigabitEthernet0/0/1/0
```

```
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-if)# attribute-names red
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface tunnel-te 2
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# affinity include red
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

自動帯域幅の設定

自動帯域幅では、測定されたトラフィックに基づいて帯域幅予約を動的に調整できます。MPLS-TE の自動帯域幅は、トンネルインターフェイスのトラフィック レートを監視し、トンネルインターフェイスの帯域幅のサイズを変更して、トンネル内のトラフィックと厳密にそるえます。MPLS-TE 自動帯域幅は、すべてのヘッドエンドルータで個々のラベルスイッチドパス (LSP) 上で設定されます。

次の表に、自動帯域幅設定の一部として設定できるパラメータを示します。

表 1: 自動帯域幅パラメータ

帯域幅のパラメータ	説明
適用の頻度	トンネル帯域幅をトンネルごとに変更する頻度を設定します。デフォルト値は 24 時間です。
帯域幅制限	トンネルに設定する最小および最大自動帯域幅を設定します。
帯域幅収集頻度	自動帯域幅を調整しないで帯域幅収集をイネーブルにします。デフォルト値は 5 分です。
オーバーフローしきい値	トンネルのオーバーフロー検出を設定します。
調整しきい値	調整をトリガーするトンネル帯域幅変更しきい値を設定します。

設定例

次の例では、MPLS-TE トンネル インターフェイスで自動帯域幅をイネーブルにし、次の自動帯域幅変数を設定します。

- 適用の頻度
- 帯域幅制限
- 調整しきい値
- オーバーフロー検出

```
RP/0/RP0/CPU0:router# configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface tunnel-te 1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# auto-bw
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if-tunte-autobw)# application 1000
```

```
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if-tunte-autobw)# bw-limit min 30 max 1000
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if-tunte-autobw)# adjustment-threshold 50 min 800
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if-tunte-autobw)# overflow threshold 100 limit 1
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

確認

show mpls traffic-eng tunnels auto-bw brief コマンドを使用して、自動帯域幅設定を確認します。

```
RP/0/RP0/CPU0:router# show mpls traffic-eng tunnels auto-bw brief
```

Tunnel Name	LSP ID	Last appl BW (kbps)	Requested BW (kbps)	Signalled BW (kbps)	Highest BW (kbps)	Application Time Left
tunnel-tel		5	500	300	420	1h 10m

関連項目

- [MPLS-TE 機能の詳細](#)

自動トンネルメッシュの設定

MPLS-TE 自動トンネルメッシュ（自動メッシュ）機能を使用すると、最小の MPLS トラフィック エンジニアリング設定で TE ポイントツーポイント（P2P）トンネルのフルメッシュを自動的に設定できます。1 つまたは複数のメッシュグループを設定でき、各メッシュグループでは、宛先が示されている宛先リスト（IPv4 Prefix-List）が必要です。これは、そのメッシュグループにトンネルを作成するための宛先として使用されます。

MPLS TE 自動メッシュタイプ **attribute-set**（テンプレート）を設定して、メッシュグループに関連付けることができます。ラベルスイッチングルータ（LSR）は、この **attribute-set** で定義されたトンネルプロパティを使用してトンネルを作成できます。

自動トンネルメッシュ設定によって、ネットワークの初期設定が最小限に抑えられます。これらの LSR 間でさらに TE トンネルのフルメッシュが作成される TE LSR で、トンネルプロパティテンプレートとメッシュグループまたは宛先リストを設定できます。新しい TE LSR がネットワークで追加されるたびに TE トンネルのフルメッシュを確立するために、既存の各 TE LSR を再設定する必要がなくなります。

設定例

次の例では、自動トンネルメッシュグループを設定し、メッシュグループ内のトンネルに属性を指定します。

```
RP/0/RP0/CPU0:router # configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# mpls traffic-eng
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# auto-tunnel mesh
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-auto-mesh)# tunnel-id min 1000 max 2000
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-auto-mesh)# group 10
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-auto-mesh-group)# attribute-set 10
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-auto-mesh-group)# destination-list dl-65
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te)# attribute-set auto-mesh 10
```

```
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-attribute-set)# autoroute announce
RP/0/RP0/CPU0:router(config-mpls-te-attribute-set)# auto-bw collect-bw-only
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

確認

show mpls traffic-eng auto-tunnel mesh コマンドを使用して、自動トンネル メッシュ設定を確認します。

```
RP/0/RP0/CPU0:router# show mpls traffic-eng auto-tunnel mesh
```

```
Auto-tunnel Mesh Global Configuration:
  Unused removal timeout: 1h 0m 0s
  Configured tunnel number range: 1000-2000

Auto-tunnel Mesh Groups Summary:
  Mesh Groups count: 1
  Mesh Groups Destinations count: 3
  Mesh Groups Tunnels count:
    3 created, 3 up, 0 down, 0 FRR enabled

Mesh Group: 10 (3 Destinations)
  Status: Enabled
  Attribute-set: 10
  Destination-list: dl-65 (Not a prefix-list)
  Recreate timer: Not running
  -----
  Destination      Tunnel ID      State  Unused timer
  -----
  192.168.0.2      1000          up    Not running
  192.168.0.3      1001          up    Not running
  192.168.0.4      1002          up    Not running
  Displayed 3 tunnels, 3 up, 0 down, 0 FRR enabled

Auto-mesh Cumulative Counters:
  Last cleared: Wed Oct  3 12:56:37 2015 (02:39:07 ago)
  Total
  Created:          3
  Connected:        0
  Removed (unused): 0
  Removed (in use): 0
  Range exceeded:   0
```

MPLS トラフィック エンジニアリング エリア間トンネリングの設定

MPLS TE エリア間トンネリング機能を使用すると、複数の内部ゲートウェイプロトコル (IGP) のエリアとレベルにまたがる MPLS TE トンネルを確立できます。この機能により、トンネルのヘッドエンドルータとテールエンドルータの両方が同じエリア内になければならないという制限がなくなります。IGP は、Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS) または Open Shortest Path First (OSPF) のいずれかになります。エリア間トンネルを設定するには、ヘッドエンドルータで、LSP が `next-address loose` コマンドを使用して通過する必要がある各エリア境界ルータ (ABR) を識別するトンネル ラベル スイッチド パス (LSP) への緩やかにルーティングされた明示パスを指定します。指定した明示パス上のヘッドエンドルータと ABR は、ルーズ ホップを展開し、それぞれが次の ABR またはトンネル宛先へのパス セグメントを計算します。

設定例

次の例では、ABR をヘッドエンドルータにルーズアドレスとして設定した IPv4 明示パスを設定します。

```
RP/0/RP0/CPU0:router# configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# explicit-path name interareal
RP/0/RP0/CPU0:router(config-expl-path)# index 1 next-address loose ipv4 unicast
172.16.255.129
RP/0/RP0/CPU0:router(config-expl-path)# index 2 next-address loose ipv4 unicast
172.16.255.131
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface tunnel-te1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# ipv4 unnumbered Loopback0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# destination 172.16.255.2
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 10 explicit name interareal
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit
```

関連項目

- [MPLS-TE 機能の詳細](#)

ポリシーベース トンネル選択の設定

PBTS の設定は、着信トラフィックを分類基準（DSCP）に基づいて特定の TE トンネルに誘導するプロセスです。トラフィック転送の決定は、分類されたトラフィッククラスと宛先ネットワーク アドレスに基づいて行われます。次の項では、MPLS-TE トンネル ネットワーク上で PBTS を設定する手順を示します。

1. 分類基準に基づいてクラスマップを定義します。
2. 分類されたトラフィックのルールを作成して、ポリシーマップを定義します。
3. 各タイプの入力トラフィックに転送クラスを関連付けます。
4. このサービスポリシーを適用して、入力インターフェイスで PBTS を有効にします。
5. 宛先に 1 つ以上の出力 MPLS-TE トンネルを作成します（優先順位に基づいてパケットを伝送するため）。
6. 出力 MPLS-TE トンネルを転送クラスに関連付けます。

PBTS の詳細については、「[MPLS トラフィック エンジニアリングの実装](#)」の章の [ポリシーベース トンネル選択](#) を参照してください。

設定例

次のセクションでは、PBTS の実装を示しています。

```
RP/0/RP0/CPU0:router#configure
/* Class-map; classification using DSCP */
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# class-map match-any AF41-Class
RP/0/RP0/CPU0:router(config-cmap)# match dscp AF41
RP/0/RP0/CPU0:router(config-cmap)# exit

/* Policy-map */
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# policy-map INGRESS-POLICY
RP/0/RP0/CPU0:router(config-pmap)# class AF41-Class
/* Associating forward class */
```

```

RP/0/RP0/CPU0:router(config-pmap-c)# set forward-class 1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-pmap-c)# exit
RP/0/RP0/CPU0:router(config-pmap)# exit

RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface GigabitEthernet0/0/0/1
/* Applying service-policy to ingress interface */
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# service-policy input INGRESS-POLICY
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# ipv4 address 10.1.1.1 255.255.255.0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# exit

/* Creating TE-tunnels to carry traffic based on priority */
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface tunnel-te61
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# ipv4 unnumbered Loopback0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# signalled-bandwidth 1000
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# autoroute announce
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# destination 10.20.20.1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# record route

/* Associating egress TE tunnels to forward class */
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# forward-class 1
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 1 explicit identifier 61
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# exit

```

確認

show mpls forwarding tunnels コマンドを使用して、PBTS 設定を確認します。

```

RP/0/RP0/CPU0:ios# show mpls forwarding tunnels 10 detail
Tue May 16 01:18:19.681 UTC

Tunnel          Outgoing    Outgoing    Next Hop      Bytes
Name            Label       Interface   Address       Switched
-----
tt10            Exp-Null-v4 Te0/0/0/16   20.20.17.21   0
Updated: May 11 19:31:54.716
Version: 483, Priority: 2
Label Stack (Top -> Bottom): { 0 }
NHID: 0x0, Encap-ID: N/A, Path idx: 0, Backup path idx: 0, Weight: 0
MAC/Encaps: 14/18, MTU: 1500
Packets Switched: 0

Interface:
Name: tunnel-te10 (ifhandle 0x0800005c)
Local Label: 64016, Forwarding Class: 1, Weight: 0

Packets/Bytes Switched: 0/0

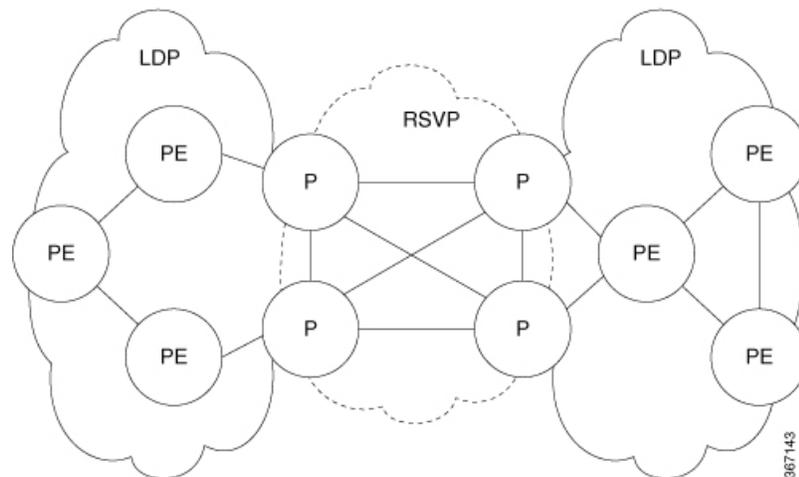
```

LDP over MPLS-TE の設定

LDP および RSVP-TE は、MPLS ネットワークで LSP を確立するために使用されるシグナリング プロトコルです。LDP は設定が簡単で信頼性が高いですが、トラフィックの輻輳を回避するのに役立つ RSVP のトラフィック エンジニアリング機能はありません。LDP over MPLS-TE 機能は、LDP と RSVP 両方の利点を組み合わせています。LDP over MPLS-TE では、LDP シグナリング ラベルスイッチドパス (LSP) が RSVP-TE を使用して確立された TE トンネルを通過します。

次の図は、LDP over MPLS-TE の使用例を示しています。この図では、プロバイダー エッジ (PE) ルータとプロバイダー (P) ルータ間のシグナリングプロトコルとして LDP が使用されています。RSVP-TE は、P ルータ間のシグナリングプロトコルとして LSP を確立するために使用されます。LDP は RSVP-TE LSP 上でトンネリングされます。

図 1: LDP over MPLS-TE



LDP over MPLS-TE の制約事項とガイドライン

Cisco IOS-XR リリース 6.3.2 では、この機能に次の制限事項とガイドラインが適用されます。

- BGP ネイバーが TE トンネルのヘッドまたはテールノードにある場合、LDP over MPLS-TE 経由の MPLS サービスがサポートされます。
- TE ヘッドエンドルータがそのサービスの通過ポイントとして機能している場合、LDP over MPLS-TE 経由の MPLS サービスがサポートされます。
- TELS ヘッドエンドから MPLS サービスが発信されていても、TE トンネルが BGP ピアより前に終了している場合、LDP over MPLS-TE 機能はサポートされません。
- **hw-module fib mpls ldp lsr-optimized** コマンドを使用して LDP 最適化を有効にした場合は、次の制限が適用されます。
 - EVPN はサポートされません。
 - 任意のプレフィックスまたはラベルに対して、すべての発信パスを LDP 対応にする必要があります。

設定例

次の例に、MPLS-TE トンネルをプロバイダー ルータ P1 ~ P2 に設定し、LDP over MPLS-TE を有効にする方法を示します。この例では、P1 からのトンネルの宛先は P2 のループバックとして設定されています。

```
RP/0/RP0/CPU0:router # configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface tunnel-te 1
```

```

RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# ipv4 unnumbered Loopback0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# autoroute announce
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# destination 4.4.4.4
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 1 dynamic
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# exit
RP/0/RP0/CPU0:Router(config)# mpls ldp
RP/0/RP0/CPU0:Router(config-ldp)# router-id 192.168.1.1
RP/0/RP0/CPU0:Router(config-ldp)# interface TenGigE 0/0/0/0
RP/0/RP0/CPU0:Router(config-ldp-if)# interface tunnel-te 1
RP/0/RP0/CPU0:Router(config-ldp-if)# exit

```

MPLS-TE パス保護の設定

パス保護は、MPLS-TE トンネルのエンドツーエンド障害回復メカニズムを提供します。セカンダリラベルスイッチドパス（LSP）をあらかじめ確立しておくこと、トンネルのTEトラフィックを伝送する保護LSPを障害から保護できます。保護されたLSPに障害がある場合、送信元ルータは、トンネルのトラフィックを一時的に伝送するセカンダリLSPをすぐにイネーブルにします。フェールオーバーは、LSPヘッドエンドに送信されたRSVPエラーメッセージによってトリガーされます。ヘッドエンドはこのエラーメッセージを受信すると、セカンダリトンネルに切り替えます。セカンダリLSPで障害が発生した場合は、セカンダリパスの障害がクリアされるまでトンネルのパス保護は機能しなくなります。パス保護は、単一のエリア（OSPFまたはIS-IS）、外部BGP（eBGP）、およびスタティックルート内で使用できます。明示的および動的なパスオプションはどちらも、MPLS-TEパス保護機能がサポートされています。保護されたオプションで同じ属性または帯域幅の要件が設定されていることを確認する必要があります。

はじめる前に

パス保護を有効にするには、次の前提条件が必要です。

- ネットワークでMPLS-TE、Cisco Express Forwarding、およびIntermediate System-to-Intermediate System（IS-IS）またはOpen Shortest Path First（OSPF）がサポートされることを確認する必要があります。
- ルータでMPLS-TEを設定する必要があります。

設定例

次の例では、mpls-te トンネルにパス保護を設定する方法を設定します。パス保護を設定するには、プライマリパスオプションが必要です。この構成では、R1はヘッドエンドルータであり、R3はトンネルのテールエンドルータであり、R2とR4は中間ルータです。この例では、6つの明示パスと1つの動的パスがパス保護用に作成されています。プライマリパスに対して最大8つのパス保護オプションを設定できます。

```

RP/0/RP0/CPU0:router # configure
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# interface tunnel-te 0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# destination 192.168.3.3
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# ipv4 unnumbered Loopback0
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# autoroute announce
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-protection
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 1 explicit name r1-r2-r3-00 protected-by 2
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 2 explicit name r1-r2-r3-01 protected-by 3

```

```

RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 3 explicit name r1-r4-r3-01 protected-by 4
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 4 explicit name r1-r3-00 protected-by 5
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 5 explicit name r1-r2-r4-r3-00 protected-by
6
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 6 explicit name r1-r4-r2-r3-00 protected-by
7
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# path-option 7 dynamic
RP/0/RP0/CPU0:router(config-if)# exit
RP/0/RP0/CPU0:router(config)# commit

```

確認

show mpls traffic-eng tunnels コマンドを使用して、MPLS-TE パス保護設定を確認します。

```

RP/0/RP0/CPU0:router# show mpls traffic-eng tunnels 0
Fri Oct 13 16:24:39.379 UTC
Name: tunnel-te0 Destination: 192.168.92.125 Ifhandle:0x8007d34
  Signalled-Name: router
  Status:
    Admin:    up Oper:    up Path:    valid Signalling: connected
    path option 1, type explicit r1-r2-r3-00 (Basis for Setup, path weight 2)
      Protected-by PO index: 2
    path option 2, type explicit r1-r2-r3-01 (Basis for Standby, path weight 2)
      Protected-by PO index: 3
    path option 3, type explicit r1-r4-r3-01
      Protected-by PO index: 4
    path option 4, type explicit r1-r3-00
      Protected-by PO index: 5
    path option 5, type explicit r1-r2-r4-r3-00
      Protected-by PO index: 6
    path option 6, type explicit r1-r4-r2-r3-00
      Protected-by PO index: 7
    path option 7, type dynamic
  G-PID: 0x0800 (derived from egress interface properties)
  Bandwidth Requested: 0 kbps CT0
  Creation Time: Fri Oct 13 15:05:28 2017 (01:19:11 ago)
  Config Parameters:
    Bandwidth:      0 kbps (CT0) Priority:  7 7 Affinity: 0x0/0xffff
    Metric Type: TE (global)
    Path Selection:
      Tiebreaker: Min-fill (default)
    Hop-limit: disabled
    Cost-limit: disabled
    Delay-limit: disabled
    Path-invalidation timeout: 10000 msec (default), Action: Tear (default)
    AutoRoute: enabled LockDown: disabled Policy class: not set
    Forward class: 0 (not enabled)
    Forwarding-Adjacency: disabled
    Autoroute Destinations: 0
    Loadshare:      0 equal loadshares
    Auto-bw: disabled
    Fast Reroute: Disabled, Protection Desired: None
    Path Protection: Enabled
    BFD Fast Detection: Disabled
    Reoptimization after affinity failure: Enabled
    Soft Preemption: Disabled
  History:
    Tunnel has been up for: 01:14:13 (since Fri Oct 13 15:10:26 UTC 2017)
    Current LSP:
      Uptime: 01:14:13 (since Fri Oct 13 15:10:26 UTC 2017)
    Reopt. LSP:
      Last Failure:
        LSP not signalled, identical to the [CURRENT] LSP
        Date/Time: Fri Oct 13 15:08:41 UTC 2017 [01:15:58 ago]

```

```
Standby Reopt LSP:
  Last Failure:
    LSP not signalled, identical to the [STANDBY] LSP
    Date/Time: Fri Oct 13 15:08:41 UTC 2017 [01:15:58 ago]
    First Destination Failed: 192.3.3.3
  Prior LSP:
    ID: 8 Path Option: 1
    Removal Trigger: path protection switchover
  Standby LSP:
    Uptime: 01:13:56 (since Fri Oct 13 15:10:43 UTC 2017)
  Path info (OSPF 1 area 0):
    Node hop count: 2
    Hop0: 192.168.1.2
    Hop1: 192.168.3.1
    Hop2: 192.168.3.2
    Hop3: 192.168.3.3
  Standby LSP Path info (OSPF 1 area 0), Oper State: Up :
    Node hop count: 2
    Hop0: 192.168.2.2
    Hop1: 192.168.3.1
    Hop2: 192.168.3.2
    Hop3: 192.168.3.3
  Displayed 1 (of 4001) heads, 0 (of 0) midpoints, 0 (of 0) tails
  Displayed 1 up, 0 down, 0 recovering, 0 recovered heads
```

MPLS-TE 機能の詳細

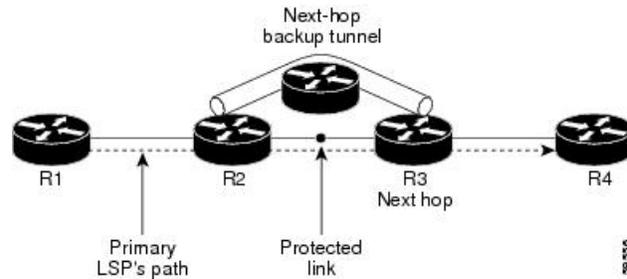
MPLS TE Fast Reroute リンクおよびノード保護

高速リルート（FRR）は、リンクおよびノードの障害から MPLS TE LSP を保護するためのメカニズムです。具体的には、障害ポイントの LSP をローカルに修復し、その LSP 上でのデータフローを停止することなく、LSP のヘッドエンドルータを新しく置き換えるエンドツーエンド LSP の確立を試行します。FRR は、保護対象 LSP を、障害が発生したリンクまたはノードをバイパスするバックアップトンネル経由でリルートすることにより、LSP をローカルに修復します。

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。これらのトンネルは、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、ネクストホップ（NHOP）バックアップトンネルと呼ばれます。

以下の図は、リンク保護を図示したものです。

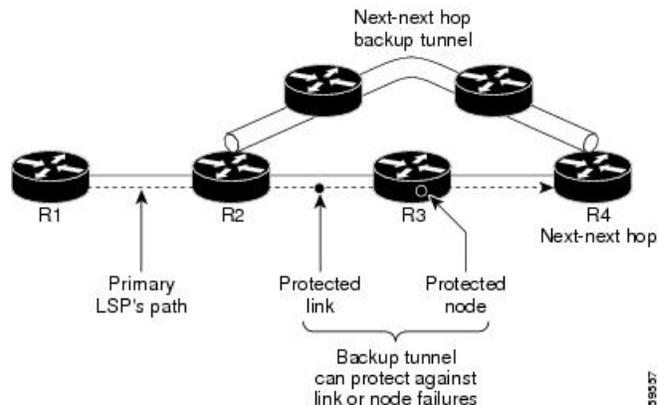
図 2: リンク保護



FRR により、LSP に対するノード保護が提供されます。LSP パス上のネクストホップ ノードをバイパスするバックアップトンネルは、LSP パスのネクストホップ ノードの次のノードで終端して、ネクストホップノードをバイパスするため、ネクストネクストホップ (NNHOP) バックアップトンネルと呼ばれます。LSP パス上のノードに障害が発生した場合は、NNHOP バックアップトンネルが LSP を保護します。具体的には、障害のアップストリームにあるノードをイネーブルにして、障害の発生したノードの周囲の LSP とそのトラフィックをネクストネクストホップにリルートします。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。

以下の図は、ノード保護を図示したものです。

図 3: ノード保護



MPLS-TE 転送隣接

MPLS-TE 転送隣接により、TE ラベルスイッチドパス (LSP) トンネルを、最短パス優先 (SPF) アルゴリズムに基づいた内部ゲートウェイプロトコル (IGP) ネットワーク内のリンクとして処理できます。Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS) と Open Shortest Path First (OSPF) の両方が IGP としてサポートされています。転送隣接は、ネットワーク内でのルータのロケーションに関係なく、ルータとルータの間に作成できます。ルータとルータは、間に何個かホップを入れて配置できます。

この結果、TE トンネルは IGP ネットワーク内にリンクとしてアドバタイズされ、トンネルのコストが関連付けられます。TE ドメインの外側にあるルータは、TE トンネルを参照し、その TE トンネルを使用して、ネットワーク内でトラフィックをルーティングするための最短パス

を計算します。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。これにより、ルータは、IGP 内のこれらのアドバタイズメントを使用して SPF を計算できるようになります。このことは、これらのアドバタイズメントがいずれかの TE トンネルのヘッドエンドでない場合も同様です。

自動帯域幅

自動帯域幅では、測定されたトラフィックに基づいて帯域幅予約を動的に調整できます。MPLS-TE 自動帯域幅は、すべてのヘッドエンドルータで個々のラベルスイッチドパス (LSP) 上で設定されます。MPLS-TE の自動帯域幅は、トンネル インターフェイスのトラフィック レートを監視し、トンネル インターフェイスの帯域幅のサイズを変更して、トンネル内のトラフィックと厳密にそろえます。

MPLS-TE 自動帯域幅は、次の機能を実行できます。

- トンネル出力レートの定期的なポーリングをモニタします
- 一定の期間に測定された最大のレートを調整することで、トンネル帯域幅をサイズ変更します。

自動帯域幅用に設定された、トラフィック エンジニアリングを実行済みのすべてのトンネルで、設定可能なさまざまなパラメータに基づいて平均の出力レートがサンプリングされます。その後、特定の期間に通知された最大の平均出力レート、または設定されている最大帯域幅の値のいずれかに基づいて、トンネル帯域幅が自動的に再調整されます。

新しい帯域幅で LSP を再最適化すると、新しいパス要求が生成されます。新しい帯域幅が使用不可の場合、直前の適切な LSP が引き続き使用されます。この方法では、ネットワークでトラフィックの中断は発生しません。トンネルの最小または最大の帯域幅の値が設定されている場合、自動帯域幅によってシグナリングされる帯域幅は、これらの値の内に収まります。

トンネルでの出力レートは、MPLS-TE 自動帯域幅 インターフェイス コンフィギュレーション モードで **application** コマンドを使用して設定された定期的な間隔で収集されます。適用期間タイマーが期限切れになったとき、および測定された帯域幅と現在の帯域幅の間の差分が調整しきい値を超えたときに、トンネルが再最適化されます。その後、帯域幅サンプルがクリアされ、次の間隔の新しい最大出力レートが記録されます。トンネルがシャットダウンされ、後で再度起動された場合、調整された帯域幅は失われ、トンネルは初期設定の帯域幅でアップ状態に戻ります。トンネルが復帰すると、適用期間がリセットされます。

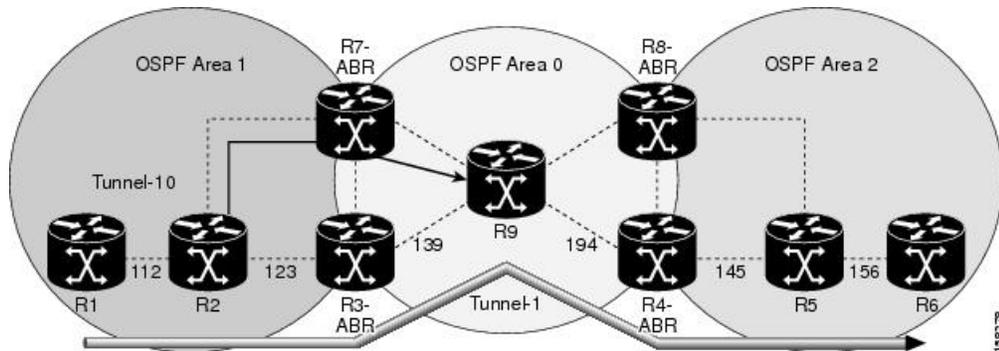
MPLS トラフィック エンジニアリングのエリア間トンネリング

MPLS-TE エリア間トンネリング機能を使用すると、複数の内部ゲートウェイプロトコル (IGP) エリアとレベルにまたがる TE トンネルを確立できます。そのため、ヘッドエンドおよびテールエンドルータが単一のエリアに存在するという要件がなくなります。

エリア間サポートでは、複数のエリアにまたがる TE LSP を設定できます。この場合、ヘッドエンドおよびテールエンドラベルスイッチドルータ (LSR) は異なる IGP エリア内にあります。(主に拡張性の理由から) 複数の IGP エリアバックボーンを実行するお客様は、マルチエリアとエリア間 TE が必要です。これにより、フラグgingされる情報の量が制限され、SPF 期間が短くなり、特に複数のエリアで大きい WAN バックボーンが分割されているエリア内のリンクまたはノード障害の影響が少なくなります。

次の図は、OSPF を使用した典型的なエリア間 TE ネットワークを示しています。

図 4: エリア間 (OSPF) TE ネットワークの図



次の図は、典型的なレベル間 (IS-IS) TE ネットワークを示しています。

図 5: レベル間 (IS-IS) TE ネットワーク構成図

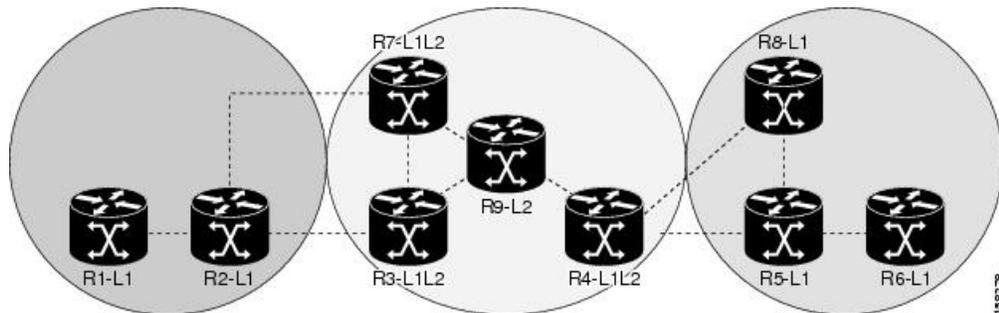


図 5: レベル間 (IS-IS) TE ネットワーク構成図 (22 ページ) に示されているように、R2、R3、R7、および R4 では、ルーティングと TE 情報に関する 2 つのデータベースが保持されます。たとえば、R3 では、R2 に関連する TE トポロジ情報はレベル 1 IS-IS LSP からフラッディングされ、R4、R9、および R7 に関連する TE トポロジ情報はレベル 2 IS-IS リンクステート PDU (LSP) (および独自の IS-IS LSP) からフラッディングされます。

ルーズホップ最適化を使用すると、複数のエリアにまたがるトンネルを再最適化でき、LSP のヘッドエンドの OSPF エリアおよび IS-IS レベル内にはないホップを MPLS-TE LSP が通過させるときに発生する問題が解決されます。エリア内 MPLS-TE を使用すると、パス沿いにある ABR のルーズソースルートを指定することで、エリア内トラフィック エンジニアリング (TE) ラベルスイッチドパス (LSP) を設定できます。その後、(ヘッドエンドに指定されている) ネクストホップ ABR に到達するために、次のエリア内で TE LSP 制約に従うパスを見つけるのは、(両方のエリアを全体的に把握する) ABR の責任になります。テールエンド LSR に到達するために、テールエンドエリアに接続されている最後の ABR によって同じ操作が実行されます。

ルーズホップ最適化を使用する場合は、次の考慮事項に注意する必要があります。

- (ABR のリンク アドレスとは対照的に) ABR ノードのルータ ID を指定する必要があります。

- サブエリアが含まれているマルチエリアをネットワーク内に配置する場合、ルーズホップの指定時にパスを見つけるために、TEのサブエリアでMPLS-TEをイネーブルにする必要があります。
- エリア間トンネルの到達可能な明示パスを指定する必要があります。

ポリシーベース トンネル選択

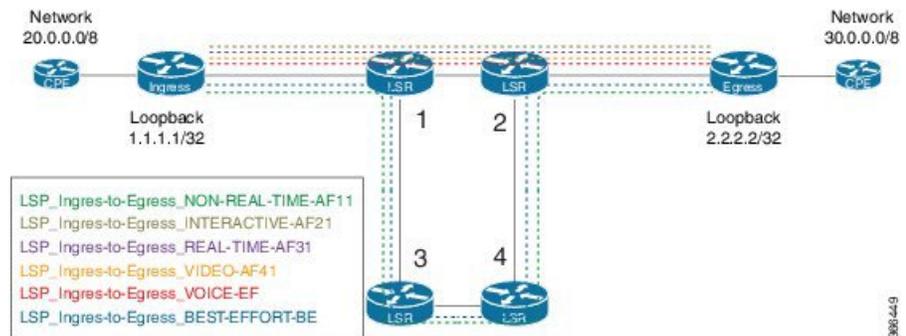
ポリシーベース トンネル選択 (PBTS) は、さまざまな分類基準に基づいて特定の TE トンネルにトラフィックを転送できるメカニズムです。PBTS は、MPLS および MPLS/VPN ネットワーク経路で音声およびデータトラフィックを伝送するインターネットサービスプロバイダー (ISP) や、最適化された音声サービスを提供するためにこのトラフィックをルーティングする必要がある ISP にとって役立ちます。

PBTS は、着信パケットの分類基準に基づいてトンネルを選択することで機能します。これらの基準は、パケットの IP プレシデンス、Differentiated Services Code Point (DSCP; DiffServ コードポイント)、またはタイプオブサービス (ToS) フィールドに基づいています。トラフィック転送の決定は、宛先ネットワークのみを考慮するのではなく、トラフィッククラスおよび宛先ネットワークアドレスに基づいて行われます。

パスに設定されたデフォルトクラスは常にゼロ (0) です。所定の転送クラスに対してTEが存在しない場合は、デフォルトクラス (0) が試行されます。デフォルトクラスがない場合、パケットは設定された最も低い転送クラスのトンネルに対して試されます。PBTS は、1つのTEトンネルに関連付けられている最大7までのEXP値 (exp 1 ~ 7) をサポートしています。

次の図に PBTS ネットワーク トポロジを示します。

図 6: ポリシーベース トンネル選択の実装



- トンネルは、LSR 1-2 および LSR 1-3-4-2 パスを介して入力ノードと出力ノード間に作成されます。
- 優先順位の高いトラフィックは、入力 -> LSR1 -> LSR2 -> 出力というパスをとります。
- 優先順位の低いトラフィックは、入力 -> LSR1 -> LSR3 -> LSR4 -> LSR2 -> 出力というパスをとります。

PBTS 機能の詳細

次の PBTS 機能は、Cisco NCS 540 シリーズ ルータでサポートされています。

- PBR 設定を使用してルールを作成することで、入力トラフィックをさまざまなクラスに分類する。
- IPv4 および IPv6 トラフィックの両方について DSCP/IP プレシデンスを使用してパケットを分類する。
- 分類後、目的の転送クラスを各タイプの入力トラフィックに設定する。
- トンネル設定を使用して、宛先に 1 つまたは複数の MPLS-TE トンネルを定義する。
- トンネル設定で MPLS-TE トンネルを特定の転送クラスに関連付ける。
- 設定された分類ルールを使用するサービスポリシーを適用して、入力インターフェイスで PBTS を有効にする。

次のリストは、PBTS のサポート情報を示しています。

- PBTS は、Ipv4/Ipv6 着信トラフィックでのみサポートされます。
- 宛先プレフィックス 1 つあたり最大 8 つの転送クラスがサポートされます。
- 各転送クラス内に最大 64 の TE トンネルがサポートされます。
- 最大 64 の TE トンネルを所定の宛先に設定できます。
- 着信ラベル付きトラフィックはサポートされていません。
- L2VPN/L3VPN トラフィックによる PBTS はサポートされていません。

PBTS 転送クラス

クラスマップは様々なタイプのパケットに対して定義され、これらのクラスマップは転送クラスに関連付けられます。クラスマップは特定のタイプのトラフィックを分類するための一致基準を定義し、転送クラスはこれらのパケットが取るべき転送パスを定義します。

クラスマップがポリシーマップ内の転送クラスに関連付けられた後、クラスマップに一致するパケットはすべて、ポリシーマップで定義されたとおりに転送されます。パケットが各転送クラスに対して取るべき出力トラフィック エンジニアリング (TE) トンネルインターフェイスは、TE インターフェイスを明示的に（またはデフォルト値の場合は暗黙的に）転送グループに関連付けることによって指定されます。

TE インターフェイスが転送クラスに関連付けられている場合は、**auto-route** コマンドを使用してルーティングプロトコルモジュールにエクスポートできます。これにより、FIB データベース内のルートがこれらのトンネルに関連付けられます。TE インターフェイスが転送クラスと明示的に関連付けられていない場合は、デフォルトクラス (0) に関連付けられます。すべての非 TE インターフェイスは、ルーティングプロトコルによってフォワーディングプレーンにルーティングされます（転送クラスはデフォルトクラスに設定されます）。