

CISCO CRS-1 のハイ アベイラビリティ

Cisco® Carrier Routing System-1 (CRS-1) は、自己回復型ネットワークを実現可能にする、自動的かつ継続的なシステム運用によってハイエンド ルーティング テクノロジーおよびハイ アベイラビリティ ネットワーキングに新しい時代を築きます。

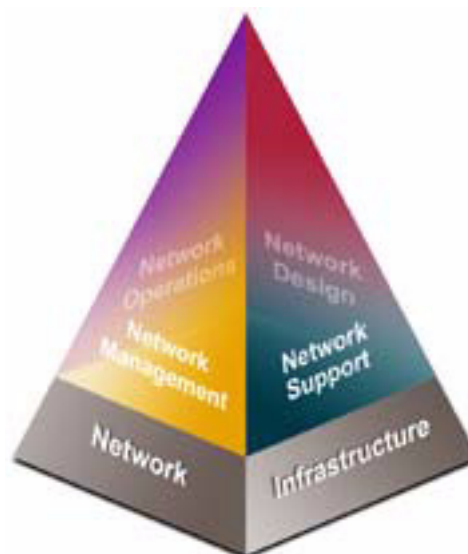
常時稼働システムへの課題

顧客の立場からすると、アベイラビリティとは単純に「必要なときにいつでもネットワーク サービスが利用できるかどうか」ということとなります。

しかしサービス プロバイダーにとっては、アベイラビリティははるかに複雑な問題です。基本的な Service-Level Agreement (SLA; サービス レベル契約) を満たすだけで十分とは言えず、ネットワーク全体のサービスアベイラビリティも考慮する必要があり、それと同時に、アベイラビリティを維持するためのコストも問題となります。コスト削減の第一歩は、すべてのネットワーク サービスのサポートを継続しつつ、複数のネットワークを 1 つのネットワークに統合することです。この統合された新しいパケット通信型 IP/Multiprotocol Label Switching (MPLS) コアは、音声、ATM、およびフレームリレー ネットワークに要求されるレベル (またはそれ以上) の耐障害性機能を持っている必要があります。

シスコシステムズはネットワーキング ソリューションのマーケット リーダーとして、ハイアベイラビリティを達成する各種ソリューションの開発に取り組んでいます。その最前線に位置付けられるのが、Cisco High Availability Networking (HAN) Blueprint であり、互いに連携する次の要素を結集したネットワーク中心型のアプローチです (図 1)。

図 1
Cisco HAN



- 強化されたネットワーク インフラストラクチャ
- 現実に即したネットワーク設計
- 最適化されたネットワーク運用
- リアルタイムでのネットワーク管理
- 卓越したネットワーク サポート

このモデルの基盤である強化されたネットワーク インフラストラクチャは、サービスと運用性を重視したアーキテクチャによって、システム、ネットワーク、およびサービスの各レベルで耐障害性を提供する、信頼性の高いハードウェアとソフトウェアで構成されます。

コア ルーティングは、様々なサービスを提供する統合型 IP/MPLS ネットワーク インフラストラクチャの重要な要素です。高度なサービスや対話型アプリケーションが増加し、遅延が小さく、動的かつ集中的な帯域への要求が高まっていますが、コア ルーティング プラットフォームはそういった高いニーズに対応できるものでなければなりません。このような高度なインターネット サービスへの需要が高まっている状況では、コア ルータとそのネットワークに障害が発生すると、従来以上に多くの顧客にダウンタイムという形で影響が出ることになり、サービスプロバイダーの収益性が大きく損なわれます。

今日のルータは、確かにシステム レベルおよびネットワーク レベルではハイ アベイラビリティを提供していますが、音声スイッチでサポートされるシステムの常時稼働のレベルには達していません。そのため、サービスプロバイダーは常時稼働を達成するために、冗長ルータおよび冗長パスを使用したネットワーク設計を採用しています。その結果、サービスを提供するための設備及び運用費用が増加し、また、ネットワークと管理の複雑さに起因する障害のリスクも大きくなっているのが現状です。

Cisco HAN のベスト プラクティスの実装を通じて高いサービス アベイラビリティを追求するサービスプロバイダーのために、シスコでは Cisco HAN をさらに進化させ、運用費用を抑えて新しいサービスニーズに対応できる、新しいソリューションの開発を続けています。その事業の一環として、シスコは、システム レベルおよびネットワーク レベルでの耐障害性の強化、ネットワーク インフラストラクチャの統合、運用プロセスの効率化に対応する、コア ルーティング ソリューション — Cisco Carrier Routing System-1 (CRS-1) を提供します。

Cisco キャリア ルーティング システム

Cisco CRS-1 (図 2) は、分散型のモジュラ式 Operating System (OS; オペレーティング システム) Cisco IOS® XR をベースとするマルチテラビット、マルチシャーシのルーティング システムです。Cisco CRS-1 は、1 スロットあたり OC-768、システム キャパシティ 92 Tbps (テラビット / 秒) まで拡張可能であり、動的かつ高い帯域を必要とするサービス向けの卓越したスケーラビリティを提供します。分散型ルート プロセッサ、Application-Specific Integrated Circuit (ASIC; 特定用途向け IC) ベース Silicon Packet Processor (SPP) などのプログラマブルレイヤ 3 フォワーディング コンポーネント、および 3 ステージ Benes スイッチ ファブリックによって、ラインレートによる機能の使用と 1 スロットあたり 40 Gbps のパケット処理が可能です。

図 2
Cisco キャリア ルーティング システム



コア ルーティングの新しい規準である CRS-1 アーキテクチャは、音声、ATM、およびフレームリレー スイッチに要求される以上のアベイラビリティを達成するように設計されています。Cisco CRS-1 は、次の特性によってシステムの常時稼働と Cisco HAN Blueprint をサポートします。

- システムの耐障害性
- ネットワークの耐障害性
- 統合型ネットワーク インフラストラクチャ
- 効率的な運用プロセス

Cisco CRS-1 によるシステム耐障害性の強化

耐障害性とハイ アベイラビリティを実現するコア ルーティング システムの基本的な設計目標は、計画されたダウンタイムと計画外のダウンタイムの両方にうまく対処し、サービスの中断時間をできるだけ短縮することです。計画されたダウンタイムとは、一般に新しい機能やサービスの追加、コンフィギュレーションやポリシーの変更、エラーの修正、システム アップグレードなど、ソフトウェアとハードウェアのメンテナンス作業によるダウンタイムを指します。計画外のダウンタイムは、一般にソフトウェアまたはハードウェアの障害、コンフィギュレーション エラー、リソース不足の問題、またはセキュリティ違反の結果であり、自然災害もこれに含まれます。

ハイアベイラビリティインフラストラクチャの最も基本的な設計概念は、シングルポイント障害の回避です。Cisco CRS-1は次のような特性を備えており、何百万もの顧客インターフェイスからなる大規模なネットワーク環境でこの目標を達成します。

- モジュラ性
- コントロールプレーン、データプレーン、およびマネジメントプレーンの分離
- プロセスの独立性と再起動性
- 障害処理
- リソース不足の管理
- 冗長性
- アップグレード能力

Cisco CRS-1 ハイアベイラビリティインフラストラクチャは、分散型のモジュラ設計を特色とする CRS-1 の OS である Cisco IOS XR によってもたらされます。

Cisco IOS XR ソフトウェア

Cisco IOS XR ソフトウェアは、Symmetric Multiprocessing (SMP) ハードウェアアーキテクチャと組み合わせたプリエンティブマイクロカーネルを使用することによって、高いアベイラビリティとフレキシビリティを備えたモジュラ式サービスを高いパフォーマンスで提供します。

Cisco IOS XR マイクロカーネルアーキテクチャは、きめの細かい障害分離、保護、およびスムーズな回復機能を提供し、MTTR (平均修理時間) を低く抑えます。システムインフラストラクチャのプロセス (たとえば TCP/IP スタック) に障害が発生しても、ルートプロセッサ、ラインカード、またはシステム全体の障害を引き起こすことはありません。

真の分散型アーキテクチャである Cisco IOS XR では、すべての CRS-1 カード上で OS のコピーがそれぞれ個別に実行されます。その結果、いずれかのカードでカーネルがクラッシュしても、他のカードに影響はありません。個々のソフトウェアコンポーネント (サブシステム) は、それぞれ保護されたアドレススペースで動作する独自のプロセスとして実装されているので、1つのサブシステムで障害やメモリ破壊が発生しても、他のサブシステムに悪影響を及ぼすことはありません。ほとんどの場合、カードまたはシステムをダウンさせずに、パケットの Nonstop Forwarding (NSF) をサポートしたまま、デバイスドライバおよびプロトコルスタックを再起動できます。

モジュラ性と分散

計画されたイベントに備え、なおかつ計画外のイベントへの対策を講じる上で、モジュラ性は重要な属性です。計画外のダウンタイムを防ぐ目的では、今日のほとんどのルータでハードウェア冗長性、障害処理、およびフェールオーバー機能が提供されています。しかし、これらのルータはメンテナンスサイクル全体でのシステムの常時稼働をサポートしていないので、サービスダウンタイムが生じ、修復作業に時間がかかるために運用コストが高くなる可能性があります。

Cisco CRS-1 は、モジュラ式のハードウェアと、次のような機能を備えた Cisco IOS XR ソフトウェア設計によって、計画の有無を問わず、ダウンタイムを無くし、システムの常時稼働をサポートします。

- **リリースのモジュラ性** — 後述の「アップグレード能力」で説明するように、Cisco IOS XR は、各機能をコンポーネント単位で構成した開発モデルをベースとしています。これらのコンポーネントをインストレーションパッケージおよびコンポジットとしてまとめることで、それらを個別にアップグレードすることができ、また、サービスプロバイダーネットワークでの使用に先立ってテストおよび確認が行われます。

- **実行時のモジュラ性** — 展開された機能およびコンポーネントはプロセスに分割され、細かいレベルでも障害の分離、再起動、およびアップグレードに対応します。Cisco IOS XR ソフトウェアは、パラレルに動作する複数のスレッドをサポートすることによって、パフォーマンス ペナルティを回避し、CRS-1 の SMP アーキテクチャを強化します。
- **コンポーネントの物理的な分散** — ソフトウェア コンポーネントは複数のライン カードおよびルート プロセッサに分散および複製され、障害の隔離と優れた耐障害性を可能にします。
- **分散型 In Memory Database (IMDB)** — すべてのコンフィギュレーションおよび運用データが分散型 IMDB に保管され、データベースに関する耐障害性が強化されます。IMDB は必要に応じてアプリケーションに対するグローバルおよびローカルプレーン アクセスをサポートし、システムに関する単一のビューを提供します。
- **コンポーネントの論理的な分散** — Cisco IOS XR はソフトウェアを 3 つのプレーン（コントロール、マネジメント、およびデータ プレーン）に分離しています。計画されたものであるかどうかを問わず、いずれかのプレーンにダウンタイムが発生しても、他のプレーンでのサービスには影響がありません。

プレーンの分離

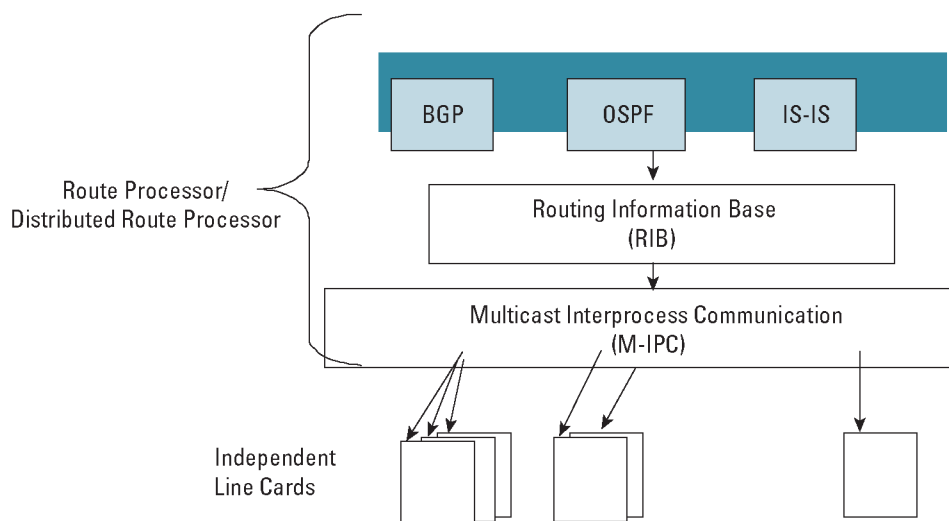
コントロール、データ、およびマネジメント トラフィックの耐障害性は、システムの耐障害性に直結しています。コントロール プレーンに障害が発生すると、ルータがネットワークとの同期を失い、ルーティング ループ、すなわち「ブラックホール」を引き起こす可能性があります。プロセスの分離機能がないシステムでは、コントロール プレーンの障害によってデータ プレーンの障害を引き起こされる可能性があり、結果的にエンド ユーザへのサービス配信が不可能になります。さらに、これらの障害がマネジメント プレーンに波及すると、問題を検出して解決することが不可能になります。

障害を局地化してすみやかに回復できるようにするために、Cisco IOS XR では、ソフトウェアとその回復機能を 3 つのプレーン（コントロール、マネジメント、およびデータ プレーン）に分離しています。

- **コントロール プレーンとデータ プレーンの分離** — Cisco CRS-1 のコントロール プレーン プロセスは、モジュラ式アーキテクチャによってデータ プレーン プロセスから切り離されています。このため、どちらかのプレーンに障害が発生しても、もう一方のプレーンは処理を続行できます。

図 3 は、ルーティング プロトコルとフォワーディング プレーンとの相互作用を図解したものです。各ルーティング プロトコルは個別のプロセスとして動作し、1 つのルーティング プロトコルに起因する他のルーティング プロトコルの障害が防止されます。たとえば、Intermediate System-to-Intermediate System (IS-IS) プロセスで障害が発生しても、Border Gateway Protocol (BGP) プロセスは正常な動作を続行します。同様に、Routing Information Base (RIB) は、すべての RIB テーブルを管理するルート プロセッサ上で動作する独立したプロセスです。RIB プロセスは、FIB テーブルを管理する（すべてのトランジット トラフィック用の）ライン カード上で動作する Forwarding Information Base (FIB) プロセスから切り離されています。RIB プロセスは、プロセス間マルチキャスト通信を使用して、FIB テーブルにプレフィクス情報を効率的に入力します。FIB は RIB 障害（およびルート プロセッサ障害）に影響なく対処することができ、RIB またはルート プロセッサの再起動時にすべてのルートが抹消されることはありません。このような設計になっているので、コントロール プレーン（たとえば RIB またはプロトコル プロセス）に障害が発生しても、フォワーディング プレーンまたはデータ プレーン（たとえば FIB）には影響がありません。

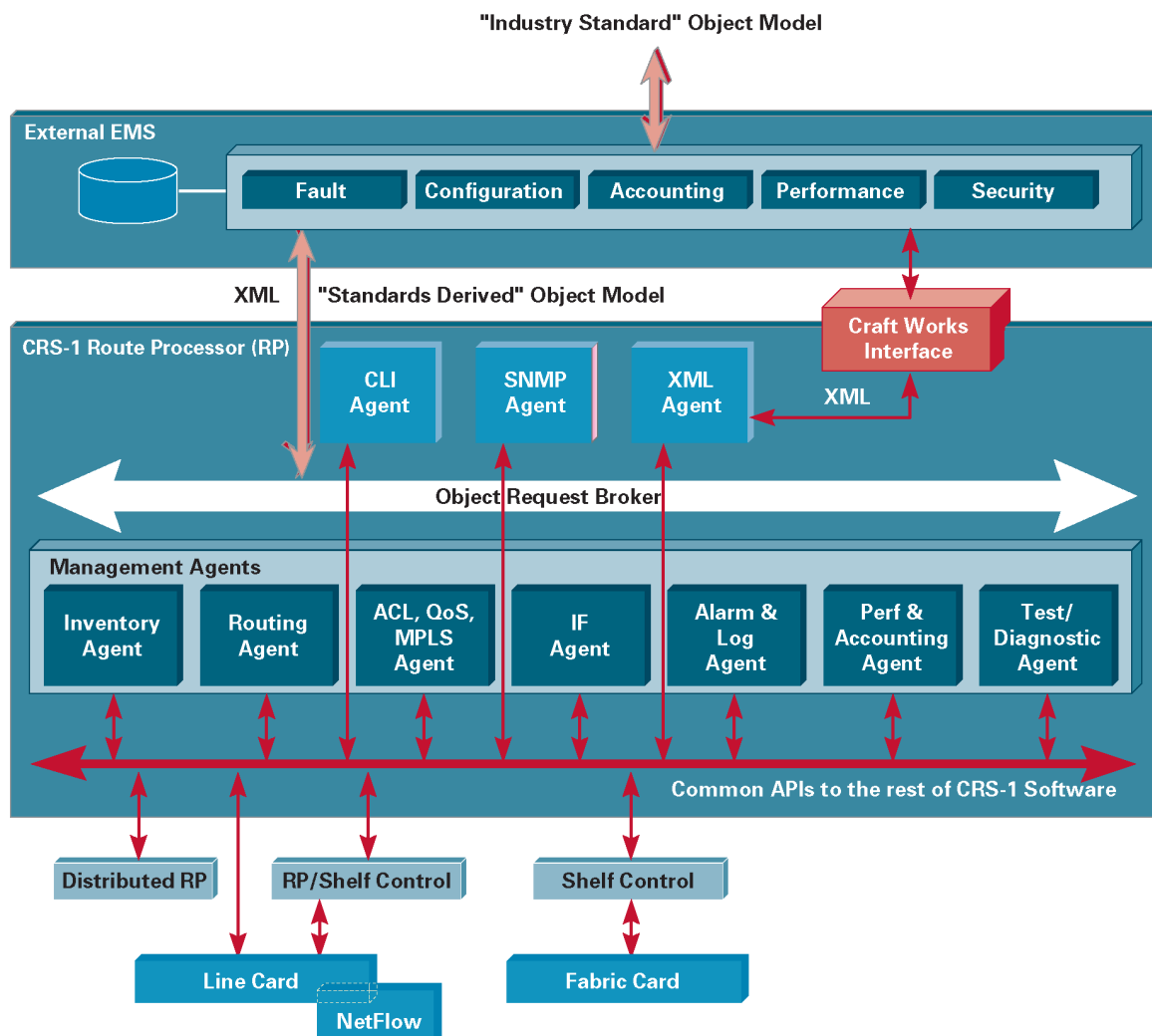
図 3
Cisco CRS-1 におけるコントロールプレーンとデータプレーンの分離



CRS-1 上でのルーティング プロトコル間の高度な分離は、ネットワークの安定性を強化します。Cisco CRS-1 では、ルーティング プロトコル、インフラストラクチャ、およびユニキャスト / マルチキャスト トラフィック用のルーティング テーブルおよびフォワーディング テーブルもそれぞれ分離されます。つまりマルチキャスト トラフィックに問題が起こっても、ユニキャスト トラフィックには影響がありません。

- **コントロールプレーンとマネジメントプレーンの分離** — Cisco CRS-1 は、モジュラ式の管理アーキテクチャによって、コントロールプレーンとマネジメントプレーン間で厳密にプロセスを分離します (図 4)。

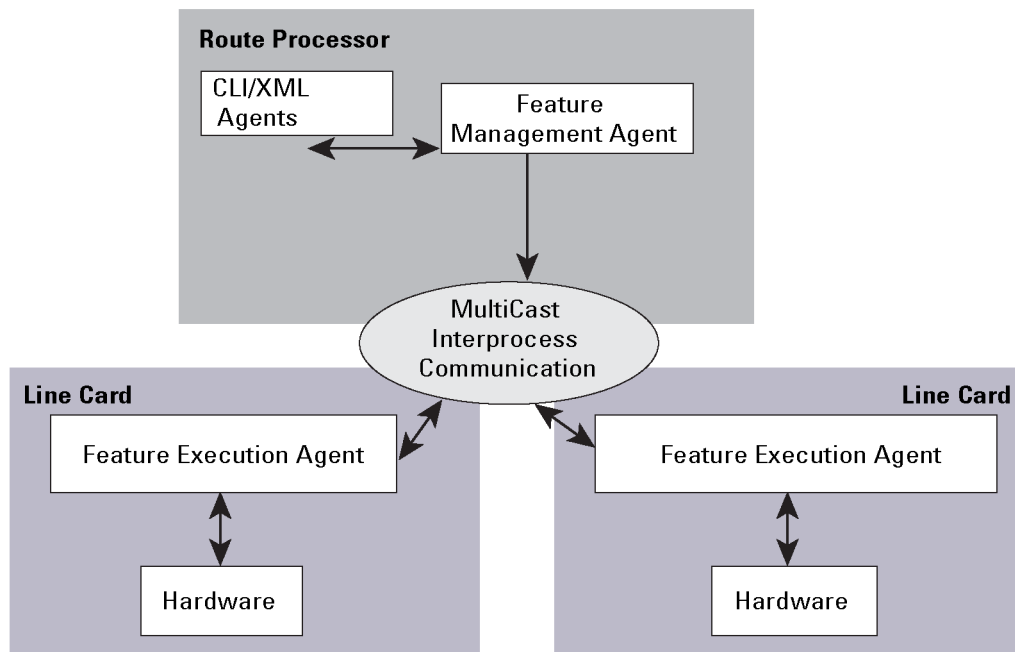
図 4
Cisco CRS-1 の管理アーキテクチャ



管理プロセス（たとえばインターフェイス エージェント、インベントリ エージェント、CLI [コマンドライン インターフェイス] シェル、Simple Network Management Protocol [SNMP; 簡易ネットワーク管理プロトコル] エージェントなど）は、API を使用してルーティング プロトコル プロセスおよびアプリケーションから切り離されます。管理プロセスに障害が発生しても、システムの他の部分には影響がありません。API は、障害からプロセスをスムーズに回復させる役割も果たします。

- **データプレーンとマネジメントプレーンの分離**— Cisco CRS-1 は、データプレーンとマネジメントプレーン間でプロセスを厳密に分離します。データプレーンのプロセスは、機能管理エージェントと機能実行エージェントの間で分割されます。図 5 に示すように、機能管理エージェントは CLI、Extensible Markup Language (XML) などの管理プロセスと情報をやりとりします。機能実行エージェントはハードウェアをプログラミングして機能を実行します。

図 5
Cisco CRS-1 におけるデータ プレーンとマネジメント プレーンの分離



このアーキテクチャでは、機能実行エージェントと機能管理エージェントが、それぞれの障害からスムーズに回復することができます。また、管理プロセスと機能管理エージェントは API を通じてやりとりができるので、障害によって相互に影響を受けることはありません。

プロセスの独立性と再起動性

今日のネットワーク OS では、プロトコル スタック、管理インターフェイス、コントロールプレーン機能、ファイルシステム、デバイスドライバなど、重要なサービスや機能を実装するために、何百万行ものコードが必要になっています。いずれかのプロセスに障害が発生した場合に、他のプロセスへの影響を最小限に抑えるには、各プロセスがそれぞれ独自の保護されたメモリスペースで動作していることが必要であり、また、プロセス間の通信は、適切に定義されバージョン管理された安全な API を通じて行う必要があります。

システムの常時稼働をサポートし、稼働中のソフトウェアアップグレードを可能にするとともに、プロセスまたはプロトコルに障害が発生しても顧客への影響やトラフィックの中断を最小限にして、すみやかに回復できるようにするには、サービスへの影響を最小限に抑えながら、システムのあらゆるプロセスを再起動できることが必要です。ソフトウェアのアップグレード時にきめ細かくプロセスを再起動できる能力があれば、システム運用者は OS 全体を構成する何百万行ものコードではなく、数千行のコードを再起動するだけで済みます。アップグレード中にもサービスが続行できれば、最低限の作業でメンテナンスを行え、運用コストの削減につながります。また、OS は（一般に音声スイッチに見られるような）ステートチェックポイント方式を使用して、重要なコンフィギュレーションおよび運用ステートを、プロセスの再起動を経ても維持するためのメカニズムをサポートする必要があります。

分散型でモジュラ式のマイクロカーネル OS である Cisco IOS XR では、プロセスの独立、再起動、メモリおよび運用ステートのメンテナンスが可能です。TCP/IP スタック、ファイルシステム、デバイスドライバ、ルーティングプロトコルなどのシステムプロセスごとに保護されたメモリ スペースを提供するため、障害とアップグレードへのきめ細かな対応が可能です。

- **きめ細かい再起動** — Cisco IOS-XR ソフトウェアでは、システムの他のカードに影響せずに、個別のカード（ルートプロセッサ、ラインカード、スイッチファブリックカード）コンポーネントまたはカード全体をリセットできます。必要がないかぎりカードがリセットされたりトラフィックが中断されることがないので、CRS-1 ラインカードは NSF に対応できます。運用データにチェックポイントを設けることによって、同一ノードまたは冗長ノードを使用してプロセス障害から迅速に回復することができます。

（カード全体をリセットしなくても、ほとんどのソフトウェアプロセスを再起動できますが、マイクロカーネルや低レベルコンポーネントなどの障害では、カード全体のリセットによって、より迅速に回復できる場合があります。）

- **グレースフルリスタート** — コントロールプレーン障害からスムーズに回復するために、Cisco IOS XR ソフトウェアは、IETF によって規格化されているシグナリングおよびグレースフルリスタート拡張機能をサポートしています。グレースフルリスタートでは、コントロールプレーンの短時間のダウンタイム中にロスなしでトラフィックフォワーディングが続けられます。その後、ルーティングプロトコルが再コンバージェンスした時点で、フォワーディングデータの正確性が検証され、一貫性が保たれます。

CRS-1 は、プロセスのきめ細かい再起動とグレースフルリスタートの実装に加えて、システムのすべてのカードのシステムイメージ、コンフィギュレーション、および運用ステートを維持する分散型 IMDB アーキテクチャをサポートしています。これによって障害発生後の迅速な処理および回復が可能になります。関連情報は永続的メモリに保存され、システムとカードの迅速な再起動に役立てられます。

障害処理

高品質の設計によって障害件数を減らすことは可能ですが、予期せぬイベントの持つ性質上、ネットワーク運用では障害対策を避けて通るわけにはいきません。これらの状況に対応し、MTTR を低く抑えるには、ハイアベイラビリティインフラストラクチャが単独および複数のシステムコンポーネントまたはネットワークの障害に対し迅速かつ効率的に反応して、サービスの中断を最小限に抑える必要があります。重大な障害にローカルで対処できない場合に備えて、堅牢な障害検出、修正、フェールオーバー、およびイベント管理機能をシステムで提供する必要があります。

- **障害の検出と修正** — Cisco CRS-1 の障害検出および修正機能は、ハードウェアとソフトウェアの両面でサポートされています。ハードウェアでは、Error Correcting Code (ECC) で保護されたメモリと、ラインカードシェルフとファブリックカードシェルフを相互接続する光ファイバリンクの Read Solomon 方式 Forward Error Correction (FEC; 前方エラー修正) 機能によって保護されます。メモリが壊れた場合、最小限の影響で問題を解決するために、関係するプロセスだけが自動的に再起動されます。それでも問題が続く場合には、CRS-1 はスイッチオーバーと活性挿抜 (OIR; ホットスワップ) 機能をサポートしているので、システムの他のコンポーネントに影響を与えることなく、サービスを中断せずに故障したハードウェアを交換できます。

同様に、Cisco IOS XR ソフトウェアは、リソース不足やステートまたはバージョンの不一致に起因する問題を検出することができます。また、これらの問題を修正するための自動ツールやメカニズムも提供します。

- **スイッチオーバー設計** — Cisco IOS XR ソフトウェアでは、TCP/IP スタック、デバイスドライバ、ルーティングプロトコル、シグナリングスタックなどのシステムプロセスを、個々のルートプロセッサまたはラインカード上でサービスを中断することなく再起動できます。

障害が発生した個々のハードウェアまたはソフトウェアコンポーネント間で、プロセスの依存関係が分散している場合には、回復に長い時間がかかる可能性があります。継続的なシステム運用を維持するために、CRS-1 はラインカードの保護メカニズムがイネーブルの場合、高速スイッチオーバーを実行します。また、迅速かつフレキシブルなルートプロセッサスイッチオーバー構成で、冗長ルートプロセッサを使用する

ことによって NSF を確保し、各サービスの規模、パフォーマンス、およびアベイラビリティ要件に応じて、最適なモード（アクティブまたはスタンバイ）を設定できます。サポートされるスイッチオーバー モードは、次のとおりです。

- **コールド スタンバイ** — スタンバイ ルート プロセッサで複製されたアプリケーションを実行できます。正常な稼働時には高度なパフォーマンスが得られますが、アクティブ ルート プロセッサに関する十分なステート情報がないので、回復には時間がかかります。
 - **ウォーム スタンバイ** — スタンバイ ルート プロセッサでアプリケーションを実行し、アクティブ ルート プロセッサに関するある程度のステート情報を維持します。ある程度のシステム パフォーマンスを提供し、回復時間も比較的短いモードです。
 - **ホット スタンバイ** — スタンバイ ルート プロセッサが複製されたアプリケーションを実行し、アクティブ ルート プロセッサに関する完全なステート情報を維持するので、回復時間が最も短いモードです。ただし正常な稼働時には、パフォーマンスを低下させる可能性があります。
- **イベント管理** — 他のネットワーク デバイスと同様、障害処理には自動的な対応だけでなく、診断機能と運用管理機能も必要です。

Cisco CRS-1 には、ハードウェアとソフトウェアの両面で管理機能が組み込まれています。たとえばハードウェアでは、CRS-1 ASIC がフォールト インジェクション テストをサポートしているので、サービス プロバイダー ネットワーク上で障害が判明する前に、ラボ テストの段階でハードウェア障害を検出できます。

ソフトウェアでは、Cisco IOS XR がサポートするいくつかの診断ツールによって、障害の根本原因を特定できます。システム ウォッチドッグ メカニズムは、障害のあるプロセスを発見します。Route Consistency Checker などのツールは、ルーティング テーブルとフォワーディング テーブル間の矛盾を診断します。Route Consistency Checker を使用すると、ルーティング テーブルとフォワーディング テーブルの同期をチェックして正確性を検証し、発見された問題点および矛盾点に関するレポートを表示できます。このアプリケーションは、運用者が必要に応じて実行することも、スケジュールに基づいてバックグラウンドで実行することもできます。Cisco IOS XR ソフトウェアは、問題の診断に役立つさまざまなカウンタおよび統計情報を表示する show コマンドもサポートしています。

そして最後に、組み込みの Cisco CRS-1 イベント マネージャは、自律的なイベントの関連付けとフィルタリング機能をサポートし、何十万もの CRS-1 インターフェイスから外部のイベント管理システムへのイベント フラッディングを防止します。ユーザ側で定義するイベント フィルタリングおよび関連付けポリシーにより、イベントの集約も可能です。システム回復タスクの起動（たとえばルート プロセッサのスイッチオーバー）など、イベント発生時の自動的なアクションや、ユーザ側で作成する Tool Command Language (TCL) スクリプトによって、MTTR をさらに短縮することができます。

リソース不足の管理

ルート プロセッサ メモリや CPU リソースの不足は、ルータがダウンする原因として、ごく一般的なものですが、ルータ プロセッサの CPU 使用率が 100% に近づくと、ルータはネットワーク イベントに応答することができず、トラフィックを廃棄する可能性があり、ルータを再起動せずにネットワークを回復することが不可能になります。同様に、ルート プロセッサのメモリ使用率が 100% に近づくと、コントロール パケットの生成または応答のためにメモリを割り当てることができなくなり、ルータの再起動とネットワークの再コンバージェンスが必要な状況になりかねません。

Cisco CRS-1 は、リソース不足に次のように対処しています。

- **リソースの拡大** — リソース不足を回避するために、CRS-1 はコントロールプレーンおよびフォワーディング エンジン用に拡張された CPU およびメモリ リソースを用意しています。Cisco CRS-1 のルート プロセッサは、2 つの PowerPC CPU を SMP（対称型マルチプロセッサ）構成で使用し、メモリは最大 4 GB です。ラインカードには、1 つの PowerPC CPU と 2 GB のメモリが搭載されています。

- リソースの分散** — Cisco CRS-1 の分散型アーキテクチャは、リソースの配分と負荷分散を可能にします。たとえば、コントロールプレーン処理が各ルート プロセッサに分散されるので、個々のルート プロセッサの負荷が最大に達した時点でルート プロセッサのリソースを追加し、システムをスムーズに拡張することができます。データプレーンおよび一部のコントロールプレーン処理をラインカード CPU に分散させることによって、何百万ものポートおよびサブポートに対応できます。

CRS-1 は障害処理機能の一環として、リソース不足への対応を改善するために、CPU およびメモリの利用状況に関するリソース スレッシュホールドのモニタリングをサポートしています。スレッシュホールド条件に達するか超過した場合に、システムは OOR アラームを生成して運用者に通知します。その後、システムは自動的に回復を試み、運用者は組み込みのイベント マネージャを使用して柔軟にポリシーを設定できます。また、最悪の OOR 条件が発生したときに運用者がログインしてシステムのクリーニングを実行できるよう、ある程度のシステム メモリが予約されています。このように対処療法的ではなくプロアクティブなソリューションによって、ルータのリセットとネットワークの再コンバージェンスを回避できます。

冗長性

初期のルーティング設計では、中央集約的なフォワーディング アーキテクチャに基づき、単一のフォワーディング エンジンおよびルート プロセッサカードが複数のラインカードをサービスしていました。したがって、ルート プロセッサまたはフォワーディング エンジンに障害が発生すると、すべてのラインカードでサービスが中断される結果になりました。比較的新しいルーティング設計では、分散型アーキテクチャをサポートし、分散型の非同期フォワーディング エンジンおよびルート プロセッサ機能によって、シングルポイント障害を回避するようになりました。

次世代のルーティングプラットフォームである Cisco CRS-1 は、プロセスの回復だけでは対応しきれない極端なケースに対応できるよう、いくつかの冗長機能を追加しています。

- ルート プロセッサ** — 冗長ルート プロセッサ、分散型ルート プロセッサ、およびシェルフ コントローラを、アクティブおよびスタンバイ構成で配置しています。
- 電源装置とファン** — 冗長電源装置、冗長電源バス バー、およびファンを、ロードバランス構成で配置しています。
- ラインカード** — 従来、ラインカードの冗長性を達成する方法としては、1 枚のラインカードの全ポートを別のラインカードのポートでミラーリングする方法が採られていました。これに対し、CRS-1 では、複数のラインカードのポートをバンドルして保護し、より多くの障害を処理できるようになっています。Cisco CRS-1 では、4 つの帯域境界上にあるラインカードおよびシャーシ間で最大 32 のレイヤ 2 インターフェイスを、1 つの論理レイヤ 3 接続にバンドルすることで、ラインカードの冗長性をサポートしています。いずれかのポートに障害が発生すると、バンドル内のポートで迅速にフェールオーバーが実行されるため、単純なラインカード冗長性よりも高度なフレキシビリティと経済性がもたらされます。バンドル内のポート間では、スイッチオーバー時間が 50 ミリ秒のフローベースのハッシュを通じて負荷分散が実行されます。また、従来のラインカード冗長構成では、ラインカードの障害にしか対処できず、2 つのラインカードが別々のラックに搭載されていないかぎりラック障害は処理されません。一方、CRS-1 のポート レベル冗長性を利用すると、サービス プロバイダーはラック障害、ラインカード障害、あるいは顧客 SLA など、さまざまな次元に基づいてシステムを保護できます。
- スイッチ ファブリック** — Cisco CRS-1 のスイッチ ファブリックには、稼働中のアップグレードおよび修理を可能にする、負荷分散された冗長性が組み込まれています。このスイッチ ファブリックは 8 つの論理プレーンに分割され、そのうち 7 つのプレーンだけで、Internet Multiservice Interchange (IMIX) トラフィックをフル ラインレートのスループットで処理できます。また、4 プレーンまでスループットを低下させていくグレースフルデグレージョンもサポートされています。
- OS** — システムのすべてのカードにインフラストラクチャ コンポーネントが分散され、使用状況に基づいて関連データが各カードに複製されます。その結果、シングルポイント障害が回避されるだけでなく、リソース アベイラビリティに基づくアプリケーションの分散が可能でです。

アップグレード能力

次世代ルータは、ダウンタイムの回避と短縮の必要性から、ルーティングシステム、顧客、ピア、またはトラフィックに影響を与えずに、ハードウェアの追加や交換、新しい機能やサービスのインストール、ソフトウェアへのパッチやアップグレードの適用など、計画に基づくメンテナンス作業を実行するためのメカニズムを組み込んでいる必要があります。

Cisco CRS-1 は、障害や新しいサービスにすみやかに対応できる高度なアップグレード能力を備えています。その結果、プラットフォームの可用性だけでなく使用期間も延長されます。「プロセスの独立性と再起動性」でも説明したように、CRS-1 のアップグレード能力は、分散型のモジュラ式アーキテクチャと次のような機能によって実現されています。

- **OIR** — 障害処理に対応するだけでなく、ハードウェアの容量、機能、またはパフォーマンスをアップグレードする際、システムをフルキャパシティで稼働させたまま、ルートプロセッサ、ラインカード、ファブリックカードなど、システムコンポーネントのホットスワップを実行できます。
- **プログラマブル SPP** — サービス提供の迅速化、システムの使用期間延長による投資対効果の向上と運用コストの削減、また MTTR の最小化に対応するため、Cisco CRS-1 のラインカードは、プログラマブル SPP により、ソフトウェアで機能をアップグレードすることができます。
- **In-Service Software Upgrade (ISSU)** — Cisco IOS XR ソフトウェアリリースのモジュラ性によって、ソフトウェアアップグレードのインストール時にもシステムの可用性が維持されます。ISSU または Hitless Software Upgrade (HSU) を利用することにより、展開済みのサービスにほとんど影響せずに、Cisco CRS-1 の大部分のソフトウェア機能をアップグレードできます。特定の機能をまとめたソフトウェアパッケージまたはコンポジットに基づいて、特定のシステムコンポーネントのアップグレードを実行できます。これらのパッケージまたはコンポジットは、システムとの互換性を確保するよう、シスコによって事前設定およびテストされます。

ソフトウェアのインストール時には、システムのセキュリティと整合性を保つために、Cisco IOS XR ソフトウェアによってインストールするパッケージの認証が行われ、新しいパッケージと稼働中のパッケージのバージョンの互換性が確認されます。これら 2 つのチェックにパスすると、パッケージによって変更されたプロセスだけが再起動されます。その結果、MTTR が短縮され、システム可用性が向上します。

Cisco IOS XR ソフトウェアでは、コンポーネントレベルで不具合箇所の修正を簡単に適用できるようにするために、Software Maintenance Upgrade (SMU) を採用しています。SMU はアップグレード内容によっては、複数のパッケージにわたって実行できます。一般に SMU は暫定的な修正であり、メンテナンスリリースに永続的な修正が反映されます。

Cisco CRS-1 によるネットワーク耐障害性の強化

ネットワークの耐障害性とは、継続的なシステム運用を維持するシステムの耐障害性という基盤の上に、継続的なネットワーク運用を可能にするために必要な諸要件を追加したものです。これらの要件としては、ネットワークのコントロールプレーンの一時的なダウンからの回復、長期の障害からの迅速な回復、および最も重要なネットワークトラフィックの優先的な保護及び回復があります。Cisco CRS-1 と Cisco IOS XR ソフトウェアは、次のような機能によってネットワークの耐障害性を強化します。

- **NSF** — Cisco IOS XR ソフトウェアは、IETF 規格のグレースフルリスタート拡張機能に対応するシグナリングおよびルーティングプロトコルの実装を通じて、コントロールプレーンの一時的な中断時にトラフィックロスのないフォワーディングをサポートします。規格準拠に加えて、Cisco IOS ソフトウェアおよび他社製 OS との互換性がテスト済みです。

グレースフルリスタートによる Cisco IOS XR ソフトウェアの NSF 機能を使用すると、システムは最初に（規格のプロトコル拡張機能を使用して）、グレースフルリスタートメカニズムをサポートすることをピアに通知します。その結果、ピアは、システムが障害直後に RIB および FIB を削除せず、ネゴシエートされ

たタイムアウト期間だけ、フォワーディングを継続します。プロトコルプロセスがエラーになると、セッションのリセットまたは hello タイムアウトになるので、ピアによって障害が発見されます。その後、ピアは障害が発生したシステムからアドバタイズされたすべてのルートを **stale** としてマークし、タイマーを起動します。システムが障害から回復しないうちにタイマーが満了になると、ピアはそのシステムからアドバタイズされたすべてのルートを削除し、レイヤ 3 の再コンバージェンスを開始します。

タイムアウトする前にシステムが障害から回復した場合は、トラフィックは廃棄されず、ネットワークは動作を続けます。Cisco IOS XR ソフトウェアは、グレースフル リスタートのほかに、チェックポイント、ミラーリング、ルート プロセッサ冗長構成などの耐障害性機能を使用して、タイムアウトする前に回復し、ネットワークの再コンバージェンスが原因のサービス ダウンタイムを回避します。

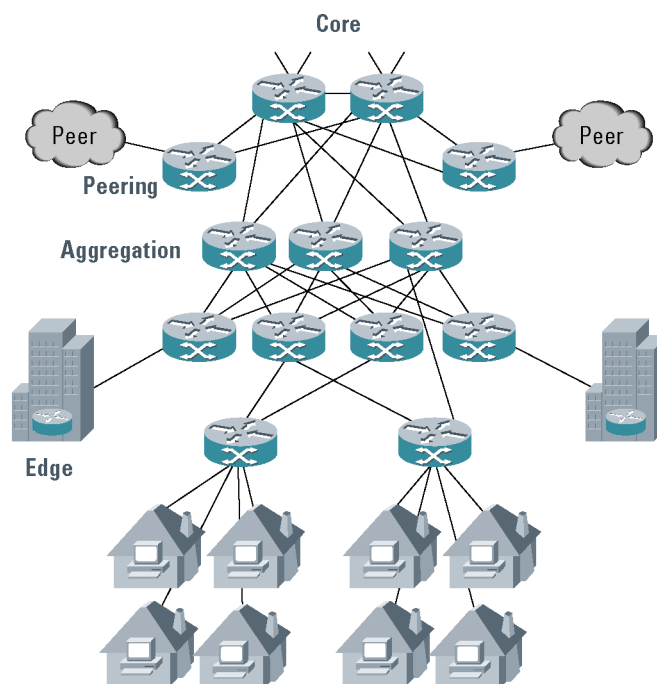
- **ノード保護** — Cisco IOS XR ソフトウェアは、次の標準的なルータ保護プロトコルをサポートしています。
 - Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP)
 - Hot Standby Router Protocol (HSRP)
 - MPLS Fast Reroute (FRR)
 - レイヤ 3 イコール コスト マルチパス
 - SONET Automatic Protection Switching (APS; 自動保護スイッチング)
- **ネットワーク パフォーマンス** — Cisco CRS-1 は、プロトコル処理の高速化とルーティング コンバージェンス時間の短縮を達成するために、SMP (対称型マルチプロセッサ) 構成の最新 PowerPC プロセッサを内蔵した強力なルート プロセッサによる高性能アーキテクチャを採用しています。スイッチ ファブリックでのマルチキャストがサポートされることにより、異なる ノード上のすべての受信者への FIB の同時ダウンロードなどが可能となり、ルーティング コンバージェンス時間が短縮されます。また、Cisco IOS XR ソフトウェアは、障害発生後の Interior Gateway Protocol (IGP) および BGP プロトコルの高速コンバージェンスをサポートするソリューションを提供します。これらのソリューションでは、重要なプレフィクスの回復が優先的に行われ、サービス中断が短縮されます。
- **Quality of Service (QoS; サービス品質)** — Cisco CRS-1 は、階層型のキューイング アーキテクチャを使用しており、各方向 (入力側と出力側) にそれぞれ 2 つのキューイング ASIC を配置しています。このキューイング ASIC は、入力側で 2 レベル、出力側で 3 レベルの階層に割り当て可能な 8000 のキューをサポートし、フレキシブルな QoS を実現します。これによってコントロールプレーン トラフィックを優先し、コントロールプレーンに対する DDoS (分散型 DoS) などの攻撃を軽減します。そして、重度の輻輳が発生したときでもコントロールプレーン トラフィックおよび低遅延 トラフィックを常に優先することを保証します。Cisco IOS XR ソフトウェアでは、業界をリードする Cisco Modular QoS CLI (MQC) API を使用して QoS サービスを設定できます。従来のフィーチャ セットが引き続きサポートされているため、Cisco IOS ソフトウェアで培われた専門知識を活用することができます。

Cisco CRS-1 によるネットワーク インフラストラクチャの統合

サービスが中断される原因としてよくあるのが、スケーラビリティに欠けるネットワーク設計のために、需要に対して十分かつ動的に対応できないという問題です。予測以上に需要が増えた場合、ネットワークのパフォーマンスとアベイラビリティが損なわれます。また、今日のルータは、システムの常時稼働を実現するような設計になっていないため、継続的なサービス運用をサポートするには冗長なネットワーク リソースに頼らざるを得ません。

スケーラビリティに関しては、ほとんどのサービス プロバイダーが階層型の Point of Presence (POP) およびネットワーク設計を採用し、コア、アグリゲーション、およびアクセス機能を区分しています (図 6)。そしてハイアベイラビリティを達成するために、この階層構造のすべてのレベルで冗長パスを構築し、障害箇所を迂回してトラフィックを再ルーティングできるようにしています。

図 6
一般的なメッシュ状の階層型アーキテクチャ

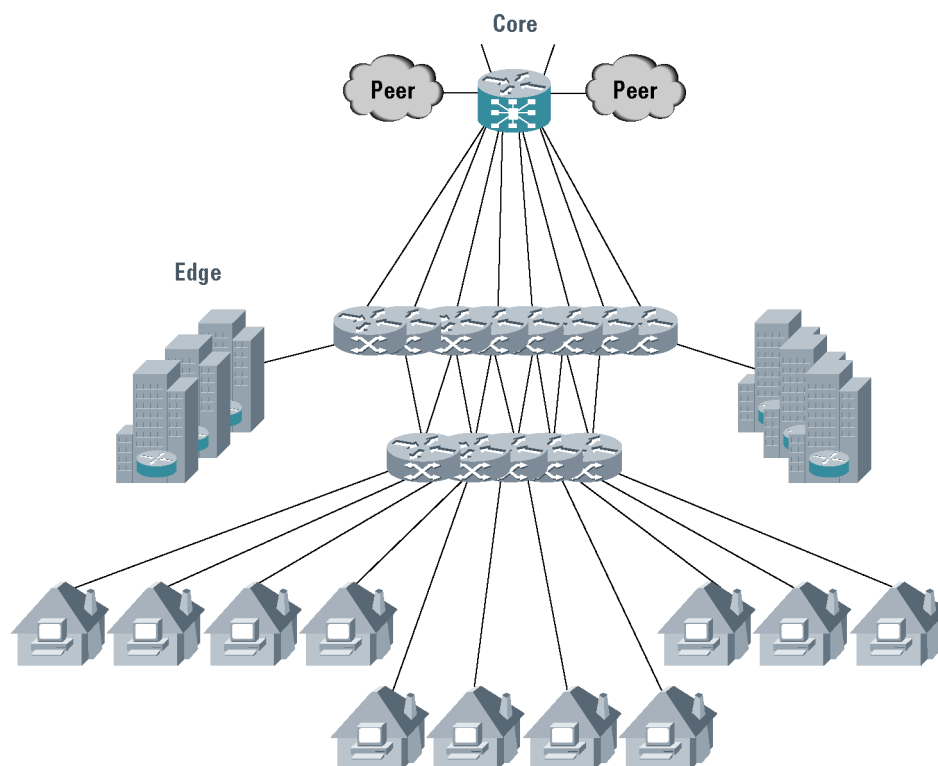


階層型の冗長アーキテクチャは、スケーラビリティに優れ、なおかつ良好な耐障害性を提供できるとはいえ、高いコストおよび複雑化という負担を伴います。必要なキャパシティが増えるたびに POP にルータを増設するので、相互接続とネットワークへの接続が増え、結果的に運用費用と設備投資、およびサービス ダウンタイムの増大を招きます。

Cisco CRS-1 は、次のような特長によってサービスプロバイダー ネットワークの統合をサポートし、スケーラビリティと冗長性に関わるコストと複雑化の問題を解決します。

- 物理的な統合** — Cisco CRS-1 のマルチシャーシ アーキテクチャは、スケーラブルで冗長化されたネットワークを、従来の階層型ネットワークよりも低いコストで実現し、複雑性を緩和します。Cisco CRS-1 は物理的なルータを統合し、レイヤを少なくして (図 7)、相互接続メカニズムを排除します。ネットワークの複雑性が抑えられるので、ネットワークとサービスが中断される主な原因である、運用者によるエラーの可能性が低くなります。
- スケーラブルなキャパシティ** — Cisco CRS-1 のスイッチ ファブリックは、システム内のすべてのラインカード間のトラフィックを、豊富な機能を提供しながら、ノンブロッキングかつラインレートで転送します。その結果、POP 間リンクよりもはるかに大きいキャパシティが提供されます。
- プログラマブル ライン カード** — Cisco CRS-1 のライン カードは、プログラマブル SPP およびモジュラー インターフェイスにより、新しい機能ソフトウェアでアップグレードすることができます。その結果、1 つのライン カードで広範囲のフィーチャ セットおよびインターフェイス タイプに対応することができ、高度なフレキシビリティが提供されます。
- システムの常時稼働** — 障害の分離と耐障害性、冗長性、負荷分散、輻輳管理メカニズム、ISSU など、Cisco CRS-1 の高度な機能によって、階層型の冗長ネットワーク アーキテクチャと比べてより高い柔軟性、管理上の複雑さの軽減、および継続的なシステム アベイラビリティがもたらされます。

図 7
スケーラビリティの向上と複雑さの軽減



Cisco CRS-1 の効率的な運用プロセス

セキュリティ違反に起因するダウンタイムは、大部分がネットワーク外部のソースに端を発しています。しかし、運用者によるサービスの設定および管理を支援する、改善されたツール、トレーニング、およびサポートが欠けているために、組織内部からダウンタイムが引き起こされる場合も多くあります。効率的な運用は、コストを抑えてネットワーク アベイラビリティを維持するための重要な要素です。これにはさまざまな要素が関係しますが、運用者の管理、ネットワーク マネジメント コントロール、セキュリティ メカニズム、トレーニング、およびサポートが特に重要です。

- **運用者の管理** — サービス プロバイダーは通常、ネットワーク エlement に対するアクセス、設定、およびアップグレードに関する厳密なプロセス ポリシーを適用することによって、サービスの管理とプロビジョニング、およびサポートを簡易化しています。

Cisco CRS-1 は、タスクまたはロールベースのユーザ Authentication, Authorization, Accounting (AAA; 認証、許可、アカウントリング)、ISSU、および、組み込み型の、FCAPS (障害、設定、アカウントリング、パフォーマンス、およびセキュリティ) 管理機能などを提供しています。これらの機能によって、サービス プロバイダーは固有のニーズに応じたスケーラブルでカスタマイズ可能なシステム管理プロセスを展開できます。

- **ネットワーク マネジメント コントロール** — IP/MPLS ネットワークで提供されるサービスへの需要が増大するにつれ、そのペースに見合う次世代ルーティングおよび管理ツールの進化が必要になっています。

Cisco IOS XR ソフトウェアは、組み込み型の測定機能、インターフェイス (XML など)、およびアプリケーション サービスによって、革新的な管理ソリューションを提供します。

Cisco IOS XR ソフトウェアに組み込まれた障害およびパフォーマンス モニタリング管理機能を使用すると、イベント管理およびシステム パフォーマンス スレッシュホールドのモニタリングを自動的にまたはユーザ定義に基づいて実行することができます。これらの機能が連携して、システム障害や差し迫った OOR 条件などをアラームで運用者に事前に通知します。また、「障害処理」で説明したように、イベント マネージャはイベント発生時のアクションをサポートし、自己回復型の OS によるシステムの常時稼働を実現します。

Cisco IOS XR ソフトウェアには、コンフィギュレーションの構文チェック、トランザクション ベースのコンフィギュレーション、コンフィギュレーション ファイルのバージョンングおよびロールバックといった最新の設定ユーティリティが用意されているため、コンフィギュレーション管理を簡単に行うことができます。Route Policy Language (RPL)、フレキシブルな ACL 設定、および Cisco MQC のサポートを通じて、モジュラ方式のメリットがルーティング設定に取り入れられています。

Cisco IOS XR ソフトウェアでサポートされる Craft Works Interface (CWI) では、直観的でわかりやすい GUI を通じて、コンフィギュレーションおよびシステム ステータスに関するシステム全体のビューを提供し、マルチシェルフ管理を簡単に行うことができます。NetFlow、XML、SNMP など、規格準拠の各種インターフェイスがサポートされているので、課金システムやプロビジョニング システムなど、サービス プロバイダーの既存の OSS アプリケーションに CRS-1 の管理を簡単に組み込むことができます。

セキュリティ メカニズム

サービス プロバイダーにとってセキュリティ上の脅威は重大な問題です。セキュリティ違反によってネットワークが停止すると、SLA を達成できないだけでなく、生産性や信用面でも莫大な損失となります。

Cisco CRS-1 のコントロール、データ、およびマネジメント プレーンでは、次のように高度なセキュリティ メカニズムをサポートしています。これらの機能はデフォルトで使用可能になっています。

- **コントロール プレーン** — Cisco IOS XR ソフトウェアは、標準準拠のルーティングおよびシグナリング プロトコル認証をサポートしています。フローベースのコントロール プレーン パケット保護メカニズムがデフォルトで使用可能になっています。これらの保護メカニズムは、コントロール プレーン トラフィックをポリシングし、どのサービスに DDoS 攻撃が発生しても、ルート プロセッサやライン カードの CPU が機能停止に陥らないようにします。攻撃が発生すると、コントロール パケットのインテリジェント ルーティング機能がレイヤ 4 のポート レベル情報を使用して、信頼できるインバウンドのコントロール セッションを適切なルート プロセッサにルーティングし、信頼できないフローについてはポリシングを実行するか廃棄します。この機能によって DDoS 攻撃の発生時にもサービス アベイラビリティが確保され、運用者がセキュリティ上の脅威について診断し対策を講じる時間が与えられます。
- **データ プレーン** — データ プレーンは、QoS メカニズム、ACL、Reverse Path Forwarding (RPF) など、ハードウェアにプログラミングされた機能によって保護されます。これらの機能は、ハードウェアによってラインレート パフォーマンスで実行されます。
- **マネジメント プレーン** — Cisco CRS-1 は、物理インターフェイスとソフトウェア インターフェイスの両面でマネジメント プレーンのアクセスを保護します。ルーティング可能なイーサネット管理ポートは、ACL のほかに IP Security (IPSec)、Secure Shell (SSH; セキュア シェル) プロトコル、Secure Socket Layer (SSL)、SNMPv3 などのセキュリティ メカニズムに従って動作し、侵入を防止します。高度な AAA メカニズムで不正アクセスを防止するとともに、広範囲で詳細な監査追跡を行います。

トレーニングとサポート

効率的な運用プロセスを維持し、サービスの中断を防ぐには、効果的なトレーニングとサポートが常に重要な役割を果たします。シスコは 20 年にわたるネットワーク開発とサービス展開の経験に基づいて、最高水準のサポート体制を提供しています。製品およびテクノロジーに関するコース別トレーニングの完備と、CCIE® などの技術者認定制度を通じて、次世代ネットワークの構築とサポートに必要な Cisco IOS ソフトウェア CLI および Cisco ツールを熟知した、ネットワーク技術者のコミュニティが成立しています。

トレーニング時間を短縮してコストを節約するために、Cisco IOS XR ソフトウェアの表示形式および設計には、業界に浸透している Cisco IOS ソフトウェアの要素が活かされています。Cisco IOS XR CLI には、Cisco IOS XR ソフトウェアのあらゆる機能と要素について、コンテキスト センシティブ ヘルプとオンライン マニュアルが用意されています。Cisco CWI を使用すると、扱いやすい GUI と強力なコンフィギュレーション エディタを通じて、サービスの管理を簡単に行うことができます。

自己回復型ネットワーク

シスコはネットワーク ソリューションのマーケット リーダーとして、HAN ソリューションの開発と設計に取り組んできました。Cisco CRS-1 は Cisco HAN の大きな成果であり、コアルーティングの新しいパラダイムとして、次の特性によってシステムの常時稼働を実現します。

- モジュラ性
- コントロールプレーン、データプレーン、およびマネジメントプレーンの分離
- プロセスの独立性と再起動性
- 障害処理
- リソース不足の管理
- 冗長性
- 稼働中のハードウェアおよびソフトウェアのアップグレード

サービスプロバイダーは常時稼働するコアルーティングプラットフォームによって、個々のサービスの分離という要件を満たしながら、サービスアーキテクチャを統合させることができます。Cisco CRS-1 のスケラビリティによって階層型の POP アーキテクチャを単純化させることにより、サービスプロバイダーは、コストの高い相互接続および運用の複雑さを排除し、設備投資と運用費用を抑え、収益性の高い次世代ネットワークを実現できるのです。

©2004 Cisco Systems, Inc. All rights reserved.

Cisco、Cisco Systems、および Cisco ロゴは米国およびその他の国における Cisco Systems, Inc. の商標または登録商標です。
この文書で説明した商品、サービスはすべて、それぞれの所有者の商標、サービスマーク、登録商標、登録サービスマークです。
この資料に記載された仕様は予告なく変更する場合があります。



シスコシステムズ株式会社

URL: <http://www.cisco.com/jp/>

問合せ URL: <http://www.cisco.com/jp/go/contactcenter/>

〒 107-0052 東京都港区赤坂 2-14-27 国際新赤坂ビル東館

TEL: 03-6670-2992

電話でのお問合せは、以下の時間帯で受付けております。

平日 10:00 ~ 12:00 および 13:00 ~ 17:00

お問合せ先