

# 高速・高信頼IPバックボーンを 実現するギガビットルータ

情報処理  
最前線

(株) 日立製作所

林 謙治 相本 毅 三木 和穂

knhaya@kanagawa.hitachi.co.jp

takeshi.aimoto@hitachi.com

kazuho@crl.hitachi.co.jp

GR2000は、日立製作所が開発した高速IPバックボーン用のギガビットルータである。GR2000は増え続けるトラフィックに対応するため、ハイエンドサーバやスーパーコンピュータ向けに開発したLSI技術やパイプライン処理技術を取り入れ、2.4Gbit/秒の超高速回線の収容、最大4000万パケット/秒の実効性能を実現した。またQoS (Quality of Service)、MPLS (Multiprotocol Label Switching)、IPマルチキャスト等の最新標準技術を高速回線にまで適用するため、新たに制御アーキテクチャを開発し、専用ハードウェアに実装した。さらに、通信回線障害時の自動切換え等の高信頼化機能、次世代通信プロトコルのIPv6にも対応している。本稿では、GR2000の開発コンセプト、アーキテクチャと基本仕様、QoSとMPLSの実現方式等について述べる。

## 日立ギガビットルータGR2000シリーズ



GR2000-2S



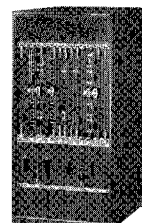
GR2000-4S



GR2000-6H



GR2000-10H



GR2000-20H

### ■次世代IPバックボーンの要件

インターネット技術の適用領域が拡大していく中で、IPネットワークのトラフィックは年間数倍という勢いで増加している。このようなトラフィック量の増加や変動の影響もあって、回線帯域を超えるトラフィックが発生したIPネットワークは輻輳状態となり、パケット転送遅延や廃棄等を起こしている。

一方で、IPネットワーク上のアプリケーションは、旧来からの電子メール、WWW等による情報伝達に加えて、電子商取引や基幹業務、電話や動画等のリアルタイム通信にも普及し始めた。これらはそれぞれ要求する最低帯域、許容遅延時間等の通信特性が異なる。従来のベストエフォート型IPサービスではこれらの通信特性を管理できず、IPネットワークに輻輳状態が発生すると利用者の求める通信サービス品質に大きな影響を及ぼす懸念があった。

これらの新たな課題を解決するために登場したのがQoS管理型IPサービスやIP-VPN (Virtual Private Network) サービスである。

ますます高速化・大規模化する次世代のIPバックボーンでは、これらQoS技術やIP-VPN技術を適用し、変化する利用者側のニーズやコスト判断に柔軟に対応して、新たな通信サービスを迅速に展開することが求められている。この新たな通信サービスでは、通信事業者がユーザに対してサービス品質を保証する制度であるSLA (Service Level Agreement) を管理・遵守する必要がある。この枠組みの確立も課題となっている。

### ■GR2000の概要

#### 開発コンセプトと適用

GR2000の開発コンセプトは、次世代IPネットワーク環境で求められる高い実効性能や信頼性を実現しつつ、個々

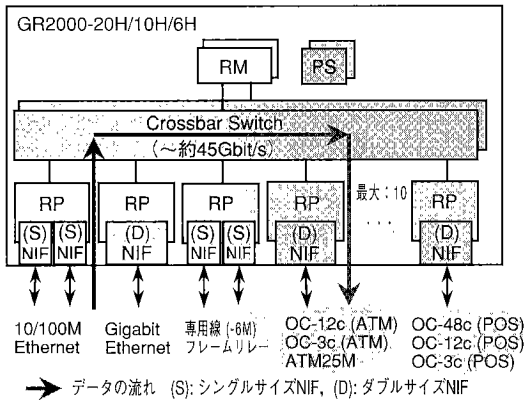


図-1 GR2000のハードウェア構成 (二重化)

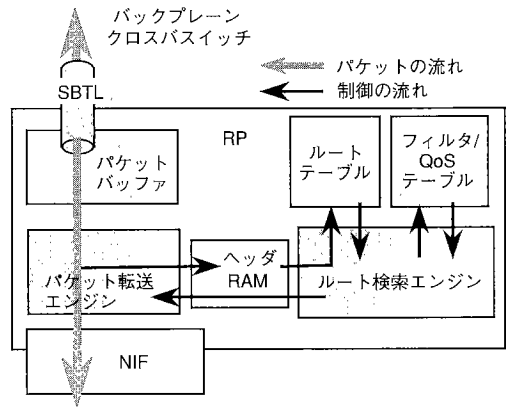


図-2 パケット転送エンジンとルート検索エンジン

の利用者の要求に合わせてネットワークのトラフィック特性を柔軟にカスタマイズできる強力なQoS機能やIP-VPN機能を提供することである。

GR2000は平成11年2月より出荷を開始し、インターネットやIP-VPNのコアルータ、アクセス集約ルータ、超高速アクセス系ルータ、およびイントラネットのセンタールータ、リモートルータ等の基幹IPネットワークの広い範囲に適用され、実運用が行われている。

### システムアーキテクチャ

GR2000のハードウェア構成を図-1に示す。

GR2000は、制御部RM (Routing Manager) と複数の転送部RP (Routing Processor) からなり、各々が独立動作可能となっている (分散ルーティングアーキテクチャ)。制御部RMでは、各種ルーティングプロトコルの実行や最適ルートの計算、ネットワーク管理・設定等をソフトウェア処理で行う。転送部RPでは、制御部RMから受け取った情報に基づいて、受信IPパケットのルート選択と転送をハードウェア処理で行う。処理能力や回線対応部NIF (Network Interface) の数に応じて、転送部RPを複数搭載し並行動作させることができる。RP間を跨る通信については、高速のクロスバスイッチ経由でデータを交換する。

転送部RPには、新たに開発したパケット転送エンジンとルート検索エンジンの2種の専用LSIを備える (図-

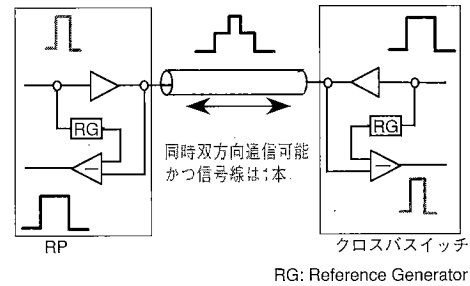


図-3 SBTLの動作概念図

2). パケット転送エンジンは複数のパケットを並列にパイプライン処理することにより、高速化を実現している。また、ルート検索エンジンは経路情報、QoS情報、フィルタリング情報の検索制御を行う。検索は16分木アルゴリズムによる高速な方式をハードウェア化した。転送部RPはこれらのLSIにより、IPパケットの基本的な転送処理を400万パケット/秒の性能で実行する。経路テーブル、フィルタ/QoSテーブルは、制御部RMで経路変更を検出したり、設定変更が行われるとすぐに更新される。IPマルチキャストパケットの転送処理は、複数経路への分岐処理 (コピー処理) を含めてハードウェアで実現している。そのほかDiffserv (Differentiated Services) <sup>1)</sup>等のQoS制御やフィルタリング、IP-VPNを実現するMPLS (Multiprotocol Label Switching) <sup>2)</sup>も高速回線上では専用LSIで高速に処理する実装となっている。

### 【用語の概要】

- IETF (Internet Engineering Task Force) : TCP/IP関連の技術標準化を行う業界組織。
- Diffserv : ユーザやアプリケーションごとの通信サービス品質を制御する標準アーキテクチャ。IETFで規格化されている。
- IP-VPN : 実ネットワーク上で特定のユーザ間でのみIP通信を可能とする仮想的な閉域網。
- MPLS : IPパケットをカプセル化してIP-VPNやQoS制御、トラフィックの負荷分散、障害ルートの迂回などを実現するプロトコル。カプセル化は、IPパケットにラベルと呼ばれる経路やQoSに関する情報をヘッダとして付加する。IETFで標準化が進められている。LDP、CR-LDPはMPLSのラベルに関する情報を配布するプロトコル。
- ホットスタンバイ : 現用系装置が故障したときにすみやかに予備系装置が通信サービスを引き継ぐ機能。

- 輻辳状態 : ネットワークで処理できる能力以上のトラフィックが発生し、パケットの遅延、廃棄が発生したり、接続ができなくなる状態。
- SONET (Synchronous Optical Network) : 光ファイバを用いた高速デジタル通信方式のITU-T規格であるSDH (Synchronous Digital Hierarchy) の北米での呼称。
- SLA : ユーザと通信事業者の間で交わすサービス品質に保証に関する取り決めや制度のこと。
- OC-192c/OC-48c : SONETの伝送レート系列で約10Gbit/s/約2.4Gbit/sの速度を表す。OCはOptical Carrierの略。
- POS (Packet (PPP) over SONET/SDH) : IPパケット/PPPフレームを直接SONET伝送フレームにのせる高速回線用の通信方式。IETFで標準化されている。

		GR2000-20H	GR2000-10H	GR2000-6H	GR2000-4S	GR2000-2S
バックプレーン交換能力	クロスバスイッチ (全二重容量)	約45Gbit/s	約25Gbit/s	約15Gbit/s	—	—
	内部バス	—	—	—	約4Gbit/s (2Gbit/s×2)	
インタフェースカード搭載可能枚数		20	10	6	4	2
ルーティング処理機構搭載可能枚数		10	5	3	1	—
インタフェース	WAN	高速デジタル回線 (基本, 1次群, 2次群), 専用回線 (V.24, V.35, X.21), フレームリレーほか				
		OC-48cPOS (2.4Gbit/s, 2/40/80km)				
		OC-3cPOS (150Mbit/s), OC-12cPOS (600Mbit/s), T3				
	ATM	25Mbit/s, OC-3c (150Mbit/s)				
		OC-12c (600Mbit/s)				
	LAN	10BASE-T/100BASE-TX 100BASE-FX (2/15/40km), 1000BASE-SX, 1000BASE-LX, 1000BASE-LH (40/80/100km)				
プロトコル		IPv4, IPv6, IPX, RIP, RIP2, OSPF, CIDR, BGP4, RIPng, BGP4+, PPP, スタティックルーティング, マルチキャスト (PIM, DVMRP, IGMP) ほか				
ブリッジ機能		スパンニングツリー, トランスベアレント, トランスレーション, フィルタリング				
ネットワーク機能		QoS制御 (優先制御, 帯域制御, 廃棄制御, Diffserv), フィルタリング, ロードバランス機能, オーバロード機能ほか MPLS				
運用管理		SNMP (エージェント機能), MIB-II, RMON, IPv6MIBほか, IPv6移行支援機能 (IPv4/IPv6, IPv6/IPv4トンネル), コマンド・ライン・インタフェース, ブラウザ操作ほか				
高信頼化機構		共通部二重化可, 電源部冗長構成可, 回線冗長機能 (APS: Automatic Protection Switching)			電源部二重化可	—
		回線バックアップ (ISDN等), ホットスタンバイ (VRRP)				

表-1 GR2000の仕様

る。上記のような各種処理のハードウェア化は、ソフトウェア処理では問題となる性能上の課題を解決した。

また、クロスバスイッチには、ハイエンドサーバ向けに開発したSBTL (Simultaneous Bidirectional Transceiver Logic) 技術<sup>3)</sup>を採用した。SBTLは、3値論理による論理回路実装技術で、図-3に示すように1本の回路で双方向の通信を実現する技術である。SBTL技術により、クロスバスイッチとRPを接続するパラレルインタフェース信号線網を単純化して、LSI数、プリント基板枚数を削減し、コンパクトな実装で高い性能を実現することができた。

GR2000の上位モデルは、電源 (PS)、共通部 (RM、クロスバスイッチ等) が二重化可能であり、障害時には自動切替えにより通信サービスを継続する。また、ISDNによる回線バックアップ、高速回線の冗長構成、複数台並設によるホットスタンバイ、ロードバランス機能 (複数経路へのトラフィック負荷分散)、オーバロード機能 (溢れたトラフィックを別経路へ迂回) といった耐障害性や過負荷状態への対応機能を持つ。さらに、メンテナンスやネットワーク拡張時にもネットワークの稼働を続けられるようにモジュールのホットスワップ機能もサポートしている。

GR2000シリーズの各モデルは統一アーキテクチャを採用しており、ソフトウェアはモデルによる基本的な違いはない。このため、機能、操作性、相互接続性等が共通である。対応プロトコルは、表-1に示すように、基幹IPネットワーク向けのプロトコルを中心に開発している。

また、次世代IPネットワークへの対応として、IPv6の基本機能とIPトンネル等のIPv4からの移行支援機能を実装している。IPv6は64kbit/sから2.4Gbit/sまでの回線、LANに対応している。

## ■ QoS制御アーキテクチャ

### QoS保証サービス

インターネット上のアプリケーションの種類はますます増えている。日立製作所では“Every Service on IP with QoS”を目標に、Diffserv等QoS機能の実用化に早くから注力してきた<sup>4)</sup>。

GR2000ではQoSサービスのクラスを以下のように分類している。(1) ストリームタイプは、インターネット電話や放送等の実時間トラフィックに対し低遅延・低揺らぎ時間を保証する。(2) トランザクションタイプは、商取引トランザクション・網管理情報等の高信頼トラフィックに対し低遅延・低廃棄率を保証する。(3) ブロックタイプは、Webホームページからのマルチメディアデータの転送等に対し、平均的な帯域保証を行う。(4) ベストエフォートタイプは、電子メール等に対するもので、ブロックタイプよりもさらに遅延やパケット廃棄・再送が許される。

最近では、これら各種クラスごとのQoS制御を行いつつ、さらにクラス内の個別ユーザに対する通信サービス品質を保証することがSLAによって求められている。GR2000で

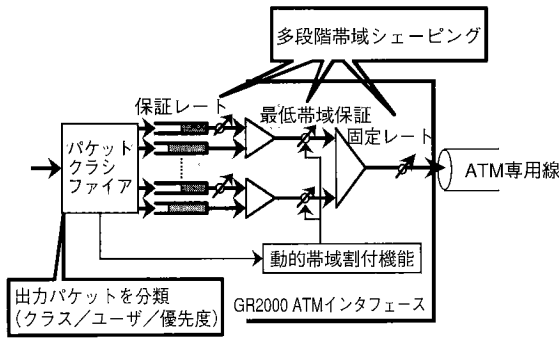


図-4 GR2000のATMインタフェース

はこの課題を最重要と位置付けている。次に個別ユーザに対する最低帯域保証機能を例にとって説明する。

**QoS制御機能**

GR2000のDiffserv等の標準機能<sup>5)</sup>と、SLAとしてユーザごとの最低帯域を保証するトラフィック機能<sup>6)</sup>について説明する。Diffservはクラスごとの通信品質制御を網全体で効率的に実現するための仕様である。Diffservに関して、2つのサービスクラスや、エッジルータとコアルータの機能分担がIETFで決まっている。GR2000はエッジルータとして的高速なパケットクラシファイアを備え、ユーザからの入力パケットのヘッダと帯域をチェックし、サービスクラスに分類する。さらに対応するDiffserv Code Point (DSCP) 値をヘッダにマークする。コアルータとして的高速なパケット転送機能も備え、このDSCP値に従って対応するサービスクラスの転送動作を行う。さらに、網全体を管理するポリシーサーバとGR2000のDiffserv機能はダイナミックに連携することができ、サービスクラスの設定・変更等の一元的な管理が可能になる。

次に、個別ユーザに対する最低帯域保証機能について述べる。GR2000では、ユーザが指定した重要パケット(トランザクションタイプ等)を保証帯域内で優先的に転送する機能も実装している。これらの機能は低速フレームリレー(128kbit/s)から高速SONET回線(2.4Gbit/s)までの各種回線インタフェースで、高速・高精度に実現されている。ここではATM(Asynchronous Transfer Mode)インタフェースの例を図-4で説明する。

パケットクラシファイアは入力パケットをクラス/ユーザ/優先度に従ってそれぞれのキューに分類する。優先度はユーザごとに指定可能である多段階帯域シェーピングは、優先パケットに保証帯域を優先的に割り当て、個別ユーザごとの最低帯域を保証する。動的な帯域割り当て機能は、回線の余剰帯域を個別ユーザに割り振り、帯域の有効活用を行う。

これらのトラフィック機能は後述するMPLSと連動させることにより、VPNサービス向けの通信品質制御にも大きな効果を発揮する。

要求条件	GR2000による技術	特徴
柔軟な網設計	トラフィックエンジニアリング	明示的な経路/パス設定による網内負荷分散
多様なサービス品質	QoS保証	Diffservとの連携によるQoS保証パス
ユーザごとの個別サービス提供	IP-VPN	ユーザごとのテーブル分離と高速カプセル化処理、レイヤ2連携

表-2 GR2000のMPLSで提供する技術

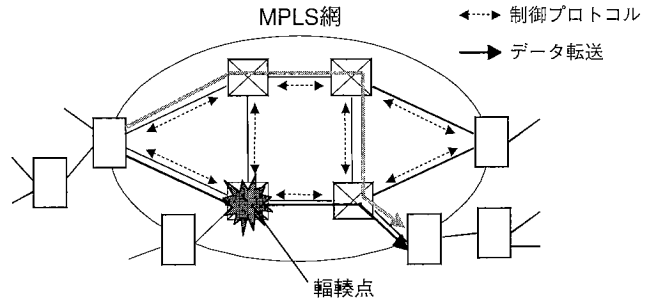


図-5 明示的ルーティングによるトラフィック分散

**MPLSアーキテクチャ**

**MPLSによるソリューション技術**

GR2000は、従来のIPネットワークに加えて、網内での経路を明示的に制御したり、個別ユーザごとにサービスを提供するような、MPLS網を構築可能とする。MPLS網では、入口(エッジノード)でユーザからのデータトラフィックをまとめ、網内にパスを設定する。このパスは転送が行われる前に設定されることから、パケットがMPLS網内でどの経路を転送されるかの予測が可能であり、ネットワークの設計や制御が容易になる。またMPLS網はMPLSヘッダによりカプセル化された階層的ネットワークであることから、各ユーザごとにパスを設定することにより、IP-VPNのような個別サービスをユーザに提供することも可能となる。

このようなMPLS網の特徴を生かすためには、エッジノードにおけるパケット転送の高速化や、Diffserv等QoS制御との連携、ATMなど下位レイヤとの連携等が重要なポイントとなる。GR2000では、エッジノードにおけるMPLSカプセル化、デカプセル化のハードウェア処理はじめ、これらの機能を具備しており、表-2に示されるような次世代IPネットワークに求められる要求条件に対して、適切なソリューションを提供することができる。

**トラフィックエンジニアリングとQoS制御**

GR2000は、2種類のMPLSネットワークを可能とする。1つはLDP(Label Distribution Protocol)により、ルーティングアルゴリズムで得られる経路に対応して各経路ノードごとにパスを設定する方式であり、

	カプセル化	暗号化
閉域性確保手段	網のエッジでユーザ識別し、ユーザごとにカプセル化	データ暗号化
通信速度	高速 (~2.4Gbps)	低速 (~数十Mbps)
サービス適用例	網事業者によるIP-VPNサービス	企業網への遠隔ログイン
技術例	MPLS, IP in IP, ATM	IPSec

表-3 IP-VPNの分類

もう1つは、CR-LDP (Constraint-based Routing LDP) 等により、エッジノードで経路を明示的に設定する方式である。GR2000では、後者の明示的な経路/パス設定により、たとえばトラフィックの輻輳点を回避してパケットを転送したり、トラフィックを明示的に分散させることで、有限なネットワークインフラの有効利用を可能とする(トラフィックエンジニアリング、図-5)。本技術により、通信事業者は、手動でPVC (Permanent Virtual Circuit) を設定するIP over ATMでのトラフィック分散に比べてより簡易にネットワークレベルでの設計・制御を行うことが可能となる。

また、GR2000では、エッジノードとエッジノードの間にパスを設定する際に、相手が同じトラフィックを複数のトラフィッククラスに分類して、それぞれにサービスクラスを設定するようなQoS制御が可能となる。たとえば前述のGR2000ならではのDiffservをはじめとする多様なハードウェア高速QoS機能を、MPLS機能と組み合わせることにより、サービスクラスごとのパス振分けや、IP-VPNユーザごとの帯域保証等、多様なQoS制御が効果的に実現可能である。

IP-VPN

GR2000によるMPLSソリューションのもう1つの大きな例がIP-VPNである。IPネットワークにおけるVPNの主な実現手段には、カプセル化と暗号化があるが(表-3)、カプセル化は、専用線ルータを接続する場合と同程度のセキュリティを確保することが可能である上、暗号化に比べて高速処理が可能であり、またユーザ間での相互接続性に依存することもない。つまり大規模通信事業者がVPNサービスを提供する際には、カプセル化方式が適している。GR2000では、このカプセル化方式をMPLSにより実現する。

IP-VPNを実現するために、図-6に示すように、MPLS網のエッジノードにGR2000を配置する。このGR2000の転送部RPにおいて、ユーザ対応にルーティングテーブルを分離し、独立のテーブルを運用することにより、ユーザ企業に対してIPネットワーク上でのVPN構築を可能としている。この際、テーブルがユーザごとに独立で、カプセル化されたMPLSヘッダもユーザごとに独立であるこ

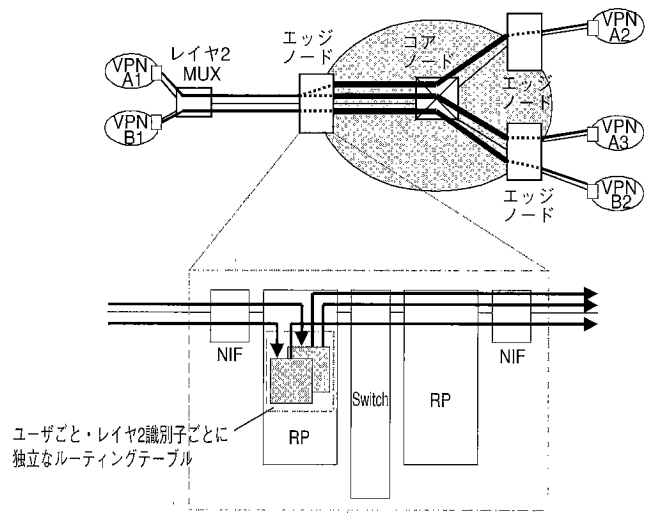


図-6 GR2000によるIP-VPN

とから、IPネットワーク上でプライベートアドレスを通すことが可能となり、企業のイントラネット構築が行いやすくなる。また、GR2000においてはエッジノードにおいてOSIレイヤ2レベル(ATMのVC等)の情報でユーザを識別することが可能であるため、通信事業者にとっては低コストで多くのユーザを収容することも可能である。さらに、パケット転送もハードウェアにより高速に実現しているため、大規模で高速なVPNソリューションを提供することが可能である。

■あとかぎ

本稿では、GR2000の概要と実現技術、QoS, MPLSアーキテクチャ等を述べた。今後のエンハンスとしては、次世代の基幹IPネットワークに向けたさらなる高速化と高機能化を図っており、OC-192c (10Gbit/s) インタフェースへの対応や、IPv6の機能を強化し、高速処理化する開発等も進めている。

GR2000は、すでに多くの通信事業者や企業で実運用していただいている。また大学・研究機関での研究・評価もいただいている。これらの方々からの貴重なご意見をフィードバックして、IPネットワークのさらなる発展に寄与していく所存である。

参考文献

- 1) Blake, S. et al.: An Architecture for Differentiated Services, RFC2475 (Dec. 1998).
- 2) Callon, R. et al.: A Framework for Multiprotocol Label Switching, draft-ietf-mpls-framework-05.txt (Sep. 1999).
- 3) Ishibashi, K. et al.: Simultaneous Bidirectional Transceiver Logic, IEEE MICRO (Jan. 1999).
- 4) Aimoto, T., Yazaki, T. and Sugai, K.: QoS Control Mechanism in IP Router, Internet Conference '98, Kyoto, Japan, pp.151-152 (Dec. 1998).
- 5) Aimoto, T. and Miyake, S.: Overview of Diffserv Technology: Its Mechanism and Implementation, IEICE TRANS. INF & SYST., Vol.E83-D, No.5 (May 2000).
- 6) 上月, 相本, 矢崎, 阪田: GFRサービス向けシェーピング装置, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-6-6 (1999).

(平成12年10月5日受付)

