

バックボーンネットワークの技術動向

漆谷 重雄^{†a)} 山田 茂樹^{†b)}

Technology Trends in Backbone Networks

Shigeo URUSHIDANI^{†a)} and Shigeki YAMADA^{†b)}

あらまし 本論文では、近年新たな構築の動きのある高速大容量バックボーンネットワークの技術動向に関して解説する。国内外のキャリア系ネットワーク並びに学術系ネットワークの動向から最新ネットワークに求められる要求条件の明確化を行うとともに、これらの要求条件に対応するためのネットワーク技術を幅広く概説する。また、先端的で多様なアプリケーションを収容している日本の新学術情報ネットワーク (SINET3) を例にとり、ネットワーク技術の適用方法を詳細に説明するとともに、現時点での先端ネットワーク技術の実用化レベルを明確にする。最後に、今後の展望について述べる。

キーワード マルチレイヤ, MPLS, GMPLS, VPN, QoS

1. ま え が き

近年, NGN (Next Generation Network) [1] を中心としたキャリア系ネットワーク [2] ~ [5] やハイブリッドネットワークを中心とした学術系ネットワーク [6] ~ [8] など, 新しいネットワークの構築の動きが活発である。キャリア系では主に VoIP や IPTV などのマスユーザ向けの通信サービスを中心に, 学術系では主に大容量データ転送や VPN などの先端学術研究や大学間連携のサポートを中心にネットワークアーキテクチャを検討し, 現時点での最適のネットワーク技術を導入している。これらのネットワークの違いは主に核となるレイヤ技術とその制御技術により生じており, 前者は IP 技術を中心に, 後者はレイヤ 1 技術と IP 技術の組合せを中心に実現され, 個々のネットワーク間では, サービス統合手法などの点で違いがある。しかし, 組合せ方の違いはあっても, 適用している技術は共通的なものが多い。したがって, 各種ネットワークに求められる要求条件を明確にし, 現時点での実用的ネットワーク技術を適切な観点から整理を図り, 要求条件に応じた適用方法を考察することは, 今後のネッ

トワークの設計や将来のネットワークの方向性を検討する上で極めて有益である。

本論文では, まず, 国内外のキャリア系ネットワーク並びに学術系ネットワークの動向から最新ネットワークに求められる要求条件の明確化を行う。また, これらの要求条件に対応するために適用可能なネットワーク技術を幅広く概説し, 上記のネットワークへの適用方法について述べる。また, 先端的で多様なアプリケーションを収容している新学術情報ネットワーク (SINET3) [8], [9] を例にとり, 詳細な技術の適用方法を説明するとともに, 現時点での先端ネットワーク技術の実用化レベルを明確にする。最後に, 今後のネットワークの方向性についての展望を述べる。

2. ネットワークへの要求条件

本章では, キャリア系及び学術系ネットワークにおけるサービス要求条件並びにネットワーク要求条件の整理を行う。

2.1 キャリア系ネットワーク

キャリア系ネットワークは, これまでサービスごとに構築してきた個別ネットワークを, IP 技術を核として統合する動きが顕著である [2] ~ [5]。NGN では, PSTN や ISDN を含むマルチメディアサービスの提供をはじめとして, IPTV, 固定系とモバイル系のシームレスサービス (FMC: Fixed Mobile Convergence) の提供を目指している [1]。すべての通信サービスが

[†] 国立情報学研究所, 東京都

National Institute of Informatics, 2-1-2 Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo, 101-8430 Japan

a) E-mail: urushi@nii.ac.jp

b) E-mail: shigeki@nii.ac.jp

NGN アーキテクチャで提供されるとは限らないこと、重きを置くサービスが異なること、統合化へのスケジュールが異なることなどから、各キャリアネットワークが目指す統合度は様々である。例えば、BT では、電話、インターネットに加え、ATM、専用線等のサービスを MPLS (Multi-Protocol Label Switching), SIP (Session Initiation Protocol) を核技術として統合ネットワーク上で提供することを目指している [4]。Verizon は、IPTV サービスの高度化を目指しつつ、MPLS 技術を用いてパケット系サービスを統合し、将来的にはハイブリッドスイッチによりパケット系と専用線系のサービスの統合収容を目指している [5]。日本では、NTT や KDDI が SIP 技術等を核にサービス統合収容を検討しているが [2], [3], 直近のサービスとしては、地上波再送信などの映像系サービスと電話の収容と思われる。ここで、キャリア系のサービスは、サービスごとに SLA (Service Level Agreement) 条件、信頼性、サービス提供事業部のポリシーが異なるため、統合化には、サービス提供単位を考慮した統合機能が必要になると推察される。

また、電話や映像サービスを課金して提供することから、ユーザ単位の通信品質制御が大きなポイントになり、更に、電話というライフラインを移行収容することから、高い信頼性と確実なオペレーションが求められる。電話では通信に必要な帯域は少ないものの、エンドツーエンドで帯域を保証し、また電話呼のふくそう制御機能も必要になる。更に、移行ユーザ数の増加に応じて、コスト見合いでスケラブルにネットワークを拡大する必要がある。このように電話を移行させるだけで技術的難易度は飛躍的に増大する。当然ながら従来よりも安価なサービスを提供するため、ネットワークの経済性が求められる。ただし、サービスにより技術的難易度や収益性が大きく異なることを考慮すると、サービスに応じた経済性を求めるものと推察される。

以上、キャリア系ネットワークへの要求条件をまとめると、表 1 の左欄ようになる。

2.2 学術系ネットワーク

学術系ネットワークでは、パケット (IP, Ethernet) 系のサービスに加えて、動的にサーキット (専用線) 系サービスを提供する動きが活発である [6] ~ [8]。大容量データ転送が必要な先端的な学術アプリケーション (eVLBI [10], グリッド [11] 等) を多く抱え、また、遠隔教育や遠隔医療では高精細映像がポピュラーになっ

表 1 ネットワークへの要求条件
Table 1 Requirements for networks.

		キャリア系ネットワーク	学術系ネットワーク
対象サービス		PSTN/ISDN, IPTV, 固定系・移動系融合, データ, 専用線, 等	IP, Ethernet, 専用線, 高精細映像, 大容量データ転送, VPN, NW情報提供, 等
サービス統合収容		サービス提供単位を考慮した統合収容	極力全てのサービスを統合収容
品質制御	粒度	小 (ユーザ毎)	大 (優先度毎)
	帯域	小～中	中～大
信頼性		電話網並みの高信頼性	高信頼性
運用性		確実なオペレーション	柔軟なオペレーション
スケラビリティ		高いスケラビリティ	NW規模はほぼ固定
経済性		サービスに応じた経済性	高い経済性

てきている [12]。また、閉域の共同研究環境を確保する VPN (Virtual Private Network) や通信トラヒック等のネットワーク情報を提供するサービスが重要である。キャリア系に比べてサービス要求条件が複雑であり、多様なサービスを提供しつつも、サービスを極力統合収容して高い経済性を実現することが求められる。ここで、パケット系とサーキット系サービスの統合は技術的な難易度が高いため、米国の Internet2 network [6] や欧州の GEANT2 [7] では別々の回線を用いているが、SINET3 では両サービスの同一回線への統合収容を実現している [8], [9]。

基本的に課金を行わないため、パケット系サービスでは通信品質制御は必要性に応じた対応となっており、アプリケーションごとに優先度を定める程度の制御である。例えば、GEANT2 では、高優先、Best Effort、Less than Best Effort の 3 種類、SINET3 もユーザ向けには、最高優先、高優先、Best Effort の 3 種類の品質クラスを設定している。エンドツーエンドで帯域を保証するサーキット系サービスでは、一つのフローに必要な帯域がキャリア系に比べると大きい。例えば、eVLBI では最大 2.4 Gbit/s の帯域を用いている。ただし、課金がない分、サービスは期間限定 (米国では 2 週間以内) で、リソース確保はベストエフォートの対応となっている。また、学術系ネットワークといえどもインフラとしての認識は強く、高い信頼性が求められる一方で、学術コミュニティの意向に応じた柔軟な経路制御や迅速な機能追加など柔軟なオペレーションも求められる。ネットワークの規模はほぼ固定であり、トラヒックの増加に応じた回線速度増加程度のスケラビリティでよい。

以上、学術系ネットワークへの要求条件をまとめる

と、表 1 の右欄のようになる。

3. 要求条件とネットワーク技術

本章では、前述の要求条件のうち、技術的な解決が主となるサービス統合収容、通信品質制御、高信頼化を中心に適用可能なネットワーク技術について説明する。前提とするネットワークのモデルを図 1 に示す。ここでは、ネットワークを大きく、ユーザを直接収容して集約するアクセス系と大容量のデータ転送を行うバックボーン系に分類した。学術系ネットワークにおいては、ユーザを収容する大学の学内 LAN 等がアクセス系に相当する。バックボーン系は、ユーザを識別しサービス特有の機能を終端するエッジ転送システム、大容量データ転送に専念するコア転送システム、サービス制御やネットワーク制御を行うサービス・ネットワーク制御システムに分類した。本論文では、現在の市場動向を考慮して、エッジ転送システムとして、L2 スイッチ、IP ルータ、次世代 SDH/SONET (Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Network) 装置、ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer)、コア転送システムとして、IP ルータ、次世代 SDH/SONET 装置、OXC (Optical Cross Connect) を想定する。前述の各ネットワークは、これらの組合せ、あるいは、これらの入れ子構造でほぼ整理できる。サービス・ネットワーク制御システムは、例えば、SIP サーバ、帯域管理サーバ (RACS: Resource and Admission Control System)、経路計算サーバ (PCE: Path Computation Element [29]) 等が挙げられる。本論文では、これらのうち、エッジ・コア転送システムの技術を中心に説明する。

3.1 サービス統合収容機能

サービス統合収容機能としては、複数のサービスを同一ネットワーク上に統合収容する機能とサービスご

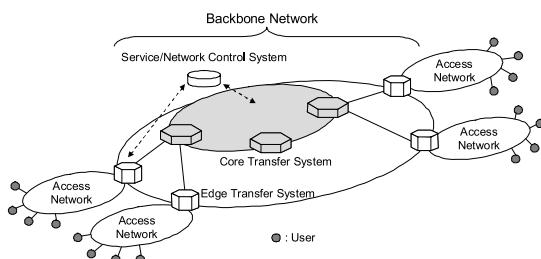


図 1 基本ネットワークモデル

Fig. 1 Basic network model.

との独立性を確保するためのネットワークリソースの仮想分離機能の両方が必要である。

サービスを統合収容する技術としては、各レイヤでのサービスの多様化とマルチレイヤ化の両方に対応する技術が必要になるが、各システムでは、現在のサービス提供インタフェースの主流である Ethernet 系機能の取込みを中心に統合機能の実装が進んでいる。例えば、L2 スイッチは、Ethernet 系インタフェースで IP サービスを拡張し、IP ルータは MPLS 技術により Ethernet/FR/ATM サービスを収容し、次世代 SDH/SONET 装置は L2 多重機能の実装が進んでいる。

ネットワークリソースの仮想分離には、リンクリソースとシステムリソースの仮想分離がある (図 2)。リンクリソースは、例えば、L2 スイッチは VLAN (Virtual LAN) による仮想分離、IP ルータは MPLS での仮想分離、次世代 SDH/SONET 装置は Virtual Container による帯域分離、ROADM や OXC では波長やファイバによる物理的分離が可能である。システムリソースの仮想分離としては、IP ルータにおいて、複数の論理ルータあるいは仮想ルータを設定する技術の実装が進んでおり、サービスごとの独立管理が可能になってきている。各論理ルータは各々独自のプロトコルを交換し、各々高信頼化機能をもつ。例えば、IPv4/IPv6 サービス用と IP-VPN サービス用に異なる論理ルータを設定し、独立のサービス管理を行うことなどが可能である。

BT や Verizon は MPLS 技術を核としてサービス統合収容を行う計画であり、Verizon は将来的にはハイブリッドスイッチにより更なる統合を目指している。学術系では、例えば、GEANT2 ではパケット系は MPLS 技術による統合収容、サーキット系は次世代 SDH/SONET 装置で収容している。Internet2 ネットワークでは、同様の収容機能に加え、OXC を用いて、

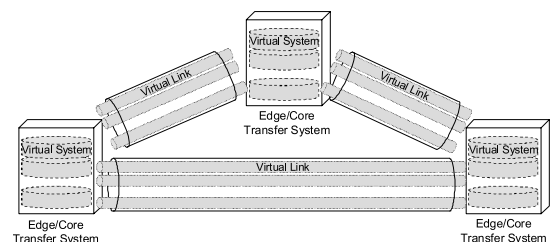


図 2 ネットワークリソースの仮想分離

Fig. 2 Virtual separation of network resources.

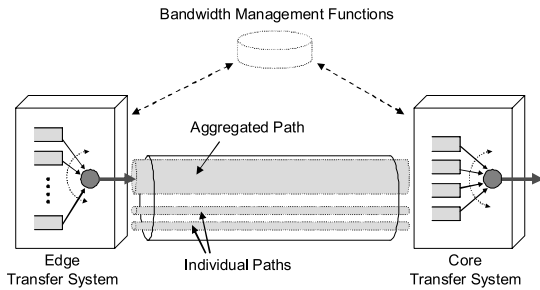


図3 通信品質制御機能
Fig. 3 QoS control functions.

IP ルータの数を削減する回線収容方法をとっている。SINET3 では、回線費用がネットワーク費用の支配項であることから、同一の回線上に両サービスを収容する完全統合収容方法をとっている（後述）。

3.2 通信品質制御機能

パケットレベルの品質制御機能 [27] については、機能や性能の差はあるものの、ほとんどの L2 スイッチ、IP ルータ、次世代 SDH/SONET の L2 多重機能の中に実装されている。品質制御は、L2 機能では IEEE802.1p 規定の User Priority 値、IP 機能では DSCP (Differentiated Services Code Point) 値、MPLS 機能では EXP 値を識別して行われる。

通信品質をユーザごとに管理するのかサービスごとに管理するのかで、帯域制御や優先制御に必要な転送キューの数は大きく異なる（図3）。キャリア系ネットワークで VoIP サービスのようにユーザごとに課金を行う場合には、ユーザごとに転送キューをもつ必要があり、エッジの L2 スイッチや IP ルータには、数千以上の単位でユーザごとに品質を管理・制御する機能が必要になる。一方、コア側では、エッジ側でのユーザごとの帯域の絞り込み（シェーピング）を前提として、優先度レベルでの優先制御、例えば、3~4 程度のキューで優先制御を行うのが一般的である。一方、学術系ネットワークは課金を行わないことから、大まかに、例えば、遠隔講義や遠隔医療の高精細映像の優先度を上げるといった 3~4 程度のキューでの優先制御が一般的である。

また、次世代のネットワークでは、エンドツーエンドで帯域を割り当てる機能が重要である。キャリア系ネットワークでは、例えば VoIP サービスにおいて、SIP サーバでの呼の受付制御を行う際に帯域管理サーバと連動して帯域管理を行う。ただし、エンドツーエンドで必要とする帯域が小さいため、呼ごと

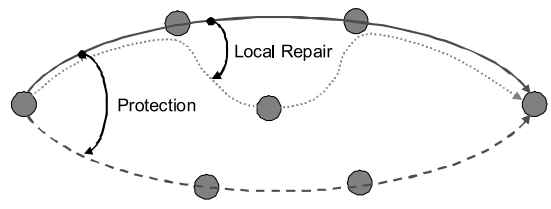


図4 高信頼化機能
Fig. 4 High-availability functions.

にどの程度まで帯域管理を行うかや MPLS の帯域制御機能とどこまで連携させるかなどはキャリアの運用ポリシーに依存する。また、本格的に電話網を移行させる場合には、帯域管理に加え、ふくそう時に段階的な呼制御を行う TCS (Traffic Control System) 的な機能も必要となる。一方、学術系ネットワークでは、キャリア系に比べてより大きな帯域のエンドツーエンドパスが必要になる。帯域の割当は、MPLS や GMPLS (Generalized MPLS) のシグナリング機能 [20], [21] により行う。IP ルータではパケット単位で、次世代 SDH/SONET 装置では Ethernet 系 IF に対して VC-3/VC-4 (48.384 Mbits/149.76 Mbit/s) 単位で、ROADM や OXC では波長単位で帯域を割り当てることが可能である。Internet2 では、次世代 SONET 装置を用いて L1 パスを独自開発の GMPLS で制御する方向を目指している。GEANT2 では GMPLS による L1 パス設定に加え、各国内の MPLS パスと接続する機能を開発中である。SINET3 では、IP/Ethernet 系サービスと同じ回線上に L1 パスを動的に設定するのが特徴であり、帯域を無瞬断（パケットロスなし）で変更する LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme) [15] と L1 パスを設定する GMPLS 機能を組み合わせて使用している（後述）。

3.3 高信頼化

高信頼化には、システムの高信頼化とネットワークの高信頼化がある。前者は、パッケージの冗長構成化、プロセッサパッケージの無瞬断切換、ソフトウェア更新時のノンストップ転送などの機能がある。後者では、ネットワーク内での経路の冗長化を前提として、故障箇所を迂回させる機能が重要である（図4）。

IP ルータの迂回機能としては、IP 経路再計算に基づき迂回させる機能（部分的経路計算等による高速化も進んでいる）と、MPLS 技術を用いて高速に迂回させる機能の二つがある。後者は IP ネットワークの高信頼化だけのために入れるケースは少なく、基本的に

MPLS 技術を用いたサービス (VPN, Ethernet/FR 收容等) の高信頼化に使用される。エンドツーエンドでプライマリとセカンダリの二つのパスを事前に設定し故障時にパスを切り換える Protection 機能と故障箇所だけを迂回してローカルリペアを行う Fast Reroute (FRR) 機能があり [22], [23], MPLS ラベルを張り替えるかラベルをプッシュすることで行われる。

L2 スイッチは、高速迂回機能がないところがコアに導入する際の難点であったが、最近では、MPLS 技術と同様の効果を目指して、PBT (Provider Backbone Transport) 技術等 [25], [26] が検討されている。

次世代 SDH/SONET 装置, ROADM, OXC では、エンドツーエンドでの迂回機能として、現用パスと予備パス間の切換を行う GMPLS Protection 機能と故障時に迂回リソースを確保する GMPLS Restoration 機能がある [24]。また、次世代 SDH/SONET 装置では、VCAT (Virtual Concatenation) 機能 [14] により異経路で帯域を確保し、故障時は LCAS 機能 [15] により正常経路の帯域のみで通信を継続させる機能が実装されてきている。

以上の高信頼化機能は、キャリア系ネットワークにとっては必須の機能である。学術系ネットワークでは、故障時だけのために予備のリソースを確保するのは困難であるが、極力マルチループ化を図って冗長経路を確保し高信頼化を図るのが一般的である。SINET3 では、マルチループ化を図り、マルチレイヤでの迂回機能 (IP, MPLS, GMPLS 機能) を導入している (後述)。

3.4 その他

ネットワークの経済化対策として、最近では、大容量 IP ルータの価格低減傾向が鈍っていることから、IP ルータはコア部のみに配備するケースが増えている。また、インタフェースの高速化の動向として、SDH/SONET 系では 40 Gbit/s (STM256/OC768c) インタフェースが実用化されており、Ethernet 系では現時点での最高速度は 10GE であるが、2010 年ごろには 40GE や 100GE の製品出荷が期待されている [28]。現時点の傾向としては、低価格化が進んでいる 10GE を極力活用したネットワークの設計が重要と考えられる。

以上、本章で説明したバックボーン技術をまとめると、表 2 のとおりとなる。

表 2 各転送システム装置の機能
Table 2 Capabilities of each transfer system.

	L2スイッチ	IPルータ	次世代SDH	ROADM, OXC	
收容可能レイヤ	L2/L3	L2/L3	L1/L2	L1	
リソース分離手段	VLAN	MPLS, 論理ルータ	VCAT	波長	
品質制御	識別子	VLAN User Priority	IP DiffServ, MPLS EXP	Time slot	波長
	単位	パケット	パケット	VC-3/VC-4	波長
	シグナリング	-	MPLS	GMPLS	GMPLS
高信頼化	PBT	経路再計算, MPLS	GMPLS, VCAT+LCAS	GMPLS	
経済性	◎	△	○	○	
高速IF	10GE	10GE, STM256	10GE, STM256	10GE, STM256	

4. SINET3 での最新技術導入例

本章では、SINET3 を例にとり、前章で紹介したネットワーク技術の適用方法に関して詳細に説明する。

4.1 SINET3 のサービス・ネットワーク要求条件

4.1.1 サービス要求条件

SINET3 は、従来の学術情報ネットワークに比べて、格段に多様なサービスを提供することに特徴がある。具体的には、マルチレイヤ (IP, Ethernet, 専用線) サービスを提供し、IP サービスは Native IPv6, マルチキャスト, IPv4 フルルートの提供までを行う。また、ネットワークを用いた多様な共同研究を支援するために、マルチレイヤでの VPN サービス (IPVPN, L2VPN, VPLS, L1VPN [19]) を提供する。また、高精細映像等の転送性能に敏感なアプリケーションを安定的に收容するために品質制御サービスを提供する。更には、eVLBI 等の超大容量データ転送や超高品質データ転送等のために帯域オンデマンドサービスを提供する。

4.1.2 ネットワーク要求条件

回線をキャリアから調達し、かつ、ネットワーク費用における回線費用の比率が高いことから、すべてのサービスを同一回線に收容する必要がある。品質制御は、パケットレベルは優先度程度でよいが、エンドツーエンドでの割当帯域は、e-VLBI 等を対象とするため大きくとる必要がある。また、700 以上の利用機関を收容し、推定 200 万人以上のユーザを抱える大規模ネットワークであることから、高い信頼性が求められる。また、昨今の厳しい財政状況から経済性が強く求められる。

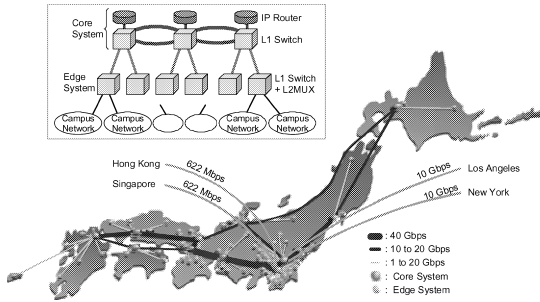


図 5 SINET3 のネットワーク構成
Fig. 5 Network structure of SINET3.

4.2 エッジ・コア転送システムとネットワーク構成
システム構成並びにネットワーク構成を図 5 に示す。SINET3 では、レイヤ 1 から 3 までのサービスを収容するため、エッジ・コア転送システムの適切な選定が必要であった。IP 系と Ethernet 系の両サービスを収容し高い信頼性と高い経済性が必要、という点から、IP ルータをコア部のみへ導入することとした。また、大きな帯域のエンドツーエンドサービスを提供するため、次世代 SDH/SONET 装置（以下 L1 スイッチと呼ぶ）をエッジとコアに設置し、パケット系サービスは L2 多重により IP ルータまで転送しサービス処理を行うこととした。

ネットワーク全体でエッジは 63 箇所、コアは 12 箇所に設置し、エッジ-コア間はスター状、コア間はマルチループ構成で冗長ルートを確保した。エッジ-コア間の回線速度は 1~20 Gbit/s、コア間は 10~40 Gbit/s とし、20 Gbit/s 区間は STM64 回線のマルチリンク、40 Gbit/s 区間は日本で初めて実運用する STM256 回線で構成した。

4.3 ネットワーク技術導入例

4.3.1 サービス統合収容方式

SINET3 では、レイヤ 1 から 3 までのサービスを統合収容するために、L2 多重の VLAN 機能、IP ルータの MPLS 機能と論理ルータ機能、L1 スイッチの GFP/VCAT/LCAS 機能と GMPLS 機能を組み合わせ用いている（図 6）。

エッジシステムは、IP サービスと Ethernet サービスを Ethernet 系インタフェースで収容し、SINET3 内部で用いる VLAN タグを付与して L2 多重する。L2 多重された IP/Ethernet トラヒックは、L1 スイッチの GFP/VCAT 機能 [13], [14] により中継回線に VC-4 の整数倍の帯域の IP/Ethernet 用パスに収容され

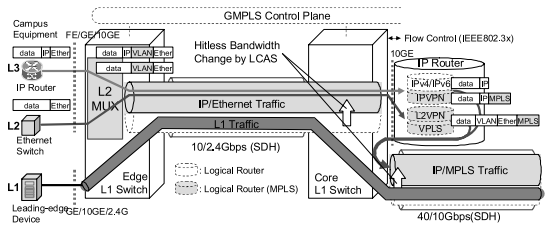


図 6 SINET3 のサービス収容方式
Fig. 6 Accommodation of multiple services in SINET3.

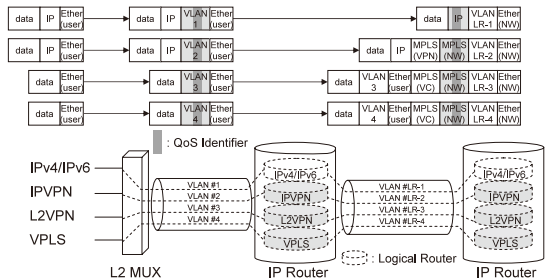


図 7 SINET3 のパケット系品質制御方式
Fig. 7 QoS control for packet services in SINET3.

る。IP ルータでは、各 IP パケットと Ethernet フレームを内部 VLAN タグにより識別し、IP パケットはそのまま、IPVPN パケットは MPLS ラベルを付与して [16]、Ethernet フレーム（L2VPN, VPLS）は MPLS ラベルを付与して [17], [18] 転送する。ここで、各 VPN サービスの運用管理上の独立性を高めるために、サービスごと（IPv4/IPv6 dual stack, IPVPN, L2VPN, VPLS）に論理ルータを設定し、隣接の論理ルータ間は VLAN により結合した（図 7）。一方、L1 サービスは、エッジ L1 スイッチ間のパスに収容し、IP/Ethernet/MPLS トラヒックとは帯域を分離して同一回線に収容する。また、L1 パス設定のための GMPLS プロトコル用に独立の制御プレーンを構築した。

ここで、マルチレイヤのトラヒックを需要に応じて柔軟に収容するために、IP/Ethernet/MPLS トラヒック用のパス帯域を、必要に応じて LCAS 機能 [15] により VC-4 単位で無断断（パケットロスなし）に変更する。この際、IP ルータからのトラヒックを変更後のパス帯域に収容するために、IP ルータと L1 スイッチ間で IEEE802.3x のフロー制御機能を用いる。

2008 年 2 月末現在で、上記で述べた機能は、サービスごとの論理ルータ機能、LCAS 機能、GMPLS 機能含めて、すべて SINET3 上での動作確認を完了し、

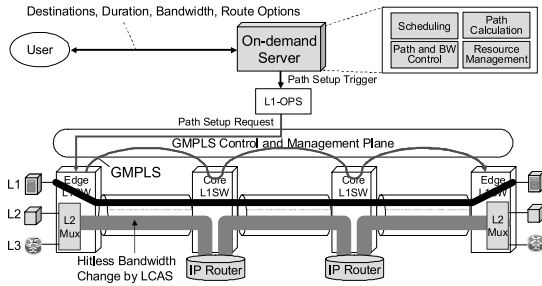


図 8 L1 帯域オンデマンドサービス提供方式

Fig. 8 Architecture for L1 bandwidth-on-demand services.

現在，安定した運用を行っている．

4.3.2 品質制御方式

SINET3 では，パケット系サービスとサーキット系サービスの両方を提供するが，前者を L2 多重の品質制御機能と IP ルータの品質制御機能の連携により，後者を L1 スイッチにより実現している．

(1) パケット系サービス

四つの転送クラス (EF : Expedited Forwarding, NC : Network Control, AF : Assured Forwarding, BE : Best Effort) を設け，ユーザ向けには，EF, AF, BE のクラスを提供する．エッジの L2 多重において，IP サービスは IP ヘッダ，Ethernet サービスは Ethernet ヘッダの内容により優先度が判断され，User Priority 値にマーキングされる．IP ルータでは，その User Priority 値を，IPv4/IPv6 パケットに対しては DSCP 値に，VPN パケットに対しては EXP 値にマッピングを行い，品質制御を行う (図 7)．これらの品質制御は，前述の IEEE802.3x のフロー制御と連携動作する必要があるが，パラレルリンク条件においても正常に動作することを確認済みである．

(2) サーキット系サービス

SINET3 のサーキット系サービスでは，予約ベースで L1 パスの設定を行うため，オンデマンドサーバの開発を行った (図 8)．ユーザは，オンデマンドサーバを通じて，接続対地，開始・終了時刻 (15 分単位)，帯域 (VC-4 単位)，経路オプション (最小遅延経路/指定なし) を指定可能である．オンデマンドサーバは，ユーザからの予約要求受付後，リソース利用状況や経路指定条件等を考慮してパスの経路計算を行い，受付の可否を判断する．オンデマンドサーバはスケジューリングに応じて発側のエッジ L1 スイッチにパス設定のトリガを出し，発側エッジ L1 スイッチは GMPLS

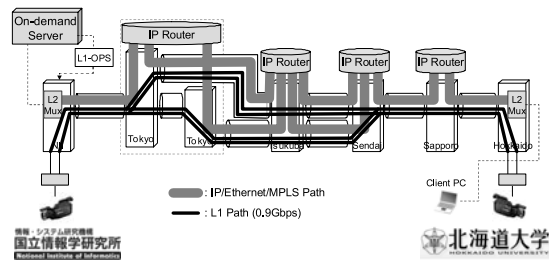


図 9 L1 帯域オンデマンドサービスの Demo 構成

Fig. 9 Demonstration of L1 bandwidth-on-demand capabilities.

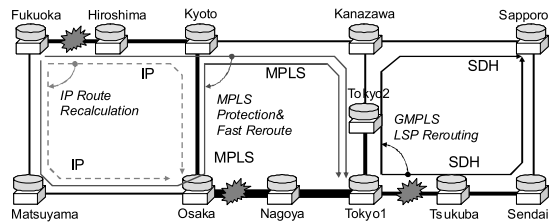


図 10 SINET3 の高信頼化機能

Fig. 10 High-availability functions in SINET3.

シグナリングプロトコルにより着側エッジ L1 スイッチに向けてパスを設定する．ここで，L1 パス設定時に L2/L3 用パスの帯域変更が必要な場合には，オンデマンドサーバ側からの指示により LCAS で帯域を変更する．

帯域オンデマンドサービスは，2008 年 2 月 1 日の北海道大学と NII との間でのデモを経て，試行サービスが提供可能となっている (図 9)．デモでは，SINET3 上の 7 台の L1 スイッチと 4 台の IP ルータ間で，まず，各区間の IP/Ethernet/MPLS 用パスの帯域を，LCAS により無瞬断で 9.6 Gbit/s から 7.8 Gbit/s へ (あるいは 19.2 Gbit/s から 17.4 Gbit/s へ) と 1.8 Gbit/s 分減少させ，その後，北海道側のクライアント端末により，帯域が 0.9 Gbit/s の L1 パスを GMPLS により 2 本設定した．L1 パス設定完了後，無圧縮 HDTV 映像を用いて，現時点の実用技術で実現可能な最高のコミュニケーション環境下で会議を実施した．

4.3.3 高信頼化方式

SINET3 では，故障の影響が大きいバックボーンは，マルチループ構成により冗長経路を確保しており，L1 スイッチでの故障検出をトリガとして，各サービストラフィックを迂回させることができる (図 10)．

L1 スイッチは，故障を検出した際には，L1 スイッチ側でのプロテクション動作や VCAT 構築時間等を

考慮し、ガードタイムを設定して IP ルータ側に強制リンク断により故障通知を行う。IP ルータは、この故障通知をトリガに、IPv4/IPv6 サービスに対して OSPF による経路の再計算、VPN サービス (IPVPN, L2VPN, VPLS) に対して MPLS の Fast Reroute/Protection により、高速に他経路へ迂回させる。L1 サービスではユーザごとに GMPLS LSP を迂回させる方式を検討している。現時点で、L1 サービスの迂回機能を除く機能が動作可能となっており、高速動作性を確認している。

5. む す び

キャリア系ネットワーク並びに学術系ネットワークに求められる要求条件を明確化するとともに、その要求条件に対応する実用的ネットワーク技術を整理し、適用例について説明を行った。また、SINET3 を例にとり、最新ネットワーク技術の適用例並びに実用化レベルを明確にした。SINET3 では、最新技術 (サービスごとの論理ルータ, LCAS, GMPLS 等) をベンダの協力を得て世界に先駆けて適用し、新しいサービスの提供や高いサービス統合収容性を実現している。

今後の動向としては、キャリア系ネットワークにおいて、トラヒックの増大とともに、更に ROADM の導入が進み、それに伴って OXC の導入も進むものと考えられ、実用ネットワークのアーキテクチャの変化が進んでいくことが想定される [30]。また、パケット系とサーキット系サービスの統合収容が本格的に実施される際、新しい統合化システムが台頭してくる可能性があり、これを契機に、学術系ネットワークも更なる発展が期待できると考える。また、更にネットワークのトラヒックが増大し、コア転送システムの超大容量化が求められる際、波長多重機能を有する光転送システムの導入により、光技術の特色を生かした新しいネットワークアーキテクチャが発展する可能性が高い [31]。これらの研究開発のよりいっそうの発展に期待したい。

謝辞 SINET3 計画の具体化に御協力頂いた学術情報ネットワーク運営・連携本部の各委員、SINET3 の詳細設計に御協力頂いた NTT コミュニケーションズ (株)、(株) インターネットイニシアティブ、日本電気 (株)、日商エレクトロニクス (株)、ジュニパーネットワークス (株)、NTT ネットワークサービスシステム研究所、NTT アドバンステクノロジー (株)、国立情報学研究所ネットワークグループの方々に深く感謝の意

を表します。

文 献

- [1] N. Morita and H. Imanaka, "Introduction to the functional architecture of NGN," IEICE Trans. Commun., vol.E90-B, no.5, pp.1022-1031, May 2007.
- [2] NTT Presentation, "Promoting NTT group's medium-term management strategy," http://www.ntt.co.jp/ir/events_e, Nov. 2005.
- [3] Y. Misawa, "All-IP migration of telephone network and further evolution toward fixed-mobile network convergence," ITU-T Workshop, April 2006.
- [4] Y. Kim, "BT's 21CN - Platform for transformation," TTC 20th Symposium, Nov. 2005.
- [5] M. Wegleitner, Plenary Speech in Globecom2007, Nov. 2007.
- [6] R. Summerhill, "The new Internet2 network," 6th GLIF Meeting, Sept. 2006.
- [7] M. Campanella, "Development in GEANT2: End-to-end services," 6th GLIF Meeting, Sept. 2006.
- [8] S. Urushidani, S. Abe, K. Fukuda, J. Matsukata, Y. Ji, M. Koibuchi, and S. Yamada, "Architectural design of nextgeneration science information network," IEICE Trans. Commun., vol.E90-B, no.5, pp.1061-1070, May 2007.
- [9] S. Urushidani, J. Matsukata, K. Fukuda, S. Abe, Y. Ji, M. Koibuchi, S. Yamada, K. Shimizu, T. Takeda, I. Inoue, and K. Shiimoto, "Layer-1 bandwidth on demand services in SINET3," Globecom 2007, Dec. 2007.
- [10] N. Kawaguchi, "Optical fiber connected VLBI network in Japan," 4th eVLBI Workshop, July 2005.
- [11] T. Kudoh, "Network service interface for Grid and application users, and an experiment over a GMPLS network," iPOP2006, June 2006.
- [12] S. Shimizu, "Remote medical activity over APAN," Spring 2006 Internet2 Member Meeting, April 2006.
- [13] ITU-T Recommendation G.7041, "Generic framing procedure (GFP)," Aug. 2005.
- [14] ITU-T Recommendation G.707, "Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)," Dec. 2003.
- [15] ITU-T Recommendation G.7042, "Link capacity adjustment scheme (LCAS) for virtual concatenated signals," March 2006.
- [16] E. Rosen and Y. Rekhter, "BGP/MPLS IP virtual private networks (VPNs)," RFC4364, Feb. 2006.
- [17] L. Martini, E. Rosen, N. El-Aawar, and G. Heron, "Encapsulation methods for transport of Ethernet over MPLS networks," RFC4448, April 2006.
- [18] K. Kompella and Y. Rekhter, "Virtual private LAN services using BGP," draft-ietf-l2vpn-vpls-bgp-08, June 2006.
- [19] T. Takeda, "Framework and requirements for layer 1 virtual private networks," draft-ietf-l1vpn-framework-05, Jan. 2007.

- [20] L. Berger, "GMPLS signaling resource ReserVation protocol: Traffic engineering," RFC3473, Jan. 2003.
- [21] E. Mannie and D. Papadimitriou, "GMPLS extensions for SONET and SDH control," RFC3946, Oct. 2004.
- [22] V. Sharma and F. Hellstrand, "Framework for multi-protocol label switching (MPLS)-based recovery," RFC3469, Feb. 2003.
- [23] P. Pan, G. Swallow, and A. Atlas, "Fast reroute extensions to RSVP-TE for LSP tunnels," RFC4090, May 2005.
- [24] E. Mannie and D. Papadimitriou, "Recovery (protection and restoration) terminology for generalized multi-protocol label switching," RFC4427, March 2006.
- [25] P. Bottorff and D. Allan, "Provider backbone transport overview," document in IEEE802.1, Nov. 2006.
- [26] I. Busi, "Ethernet services over transport MPLS (TMPLS)," ITU-T Workshop, April 2006.
- [27] R. Guerin and V. Peris, "Quality-of-service in packet networks: Basic mechanisms and directions," Comput. Netw., vol.31, no.3, pp.169-189, 1999.
- [28] J. D'Ambrosia, et al., "An overview: The next generation of Ethernet," IEEE802 Plenary Tutorial, Nov. 2007.
- [29] A. Farrel, J.P. Vasseur, and J. Ash, "A path computation element (PCE) based architecture," draft-ietf-pce-architecture-05, April 2006.
- [30] K. Shiimoto, I. Inoue, R. Matsuzaki, and E. Oki, "Research and development of IP and optical networking," NTT Technical Review, vol.5, no.3, pp.48-53, March 2007.
- [31] K. Sato, "Recent developments in and challenges of photonic networking technologies," IEICE Trans. Commun., vol.E90-B, no.3, pp.454-467, March 2007.

(平成 20 年 3 月 4 日受付, 4 月 5 日再受付)



山田 茂樹 (正員)

昭 47 北大・工・電子卒。昭 49 同大大学院修士課程了。同年 NTT に入社。交換ノード用プロセッサ, 交換用超並列システム, 分散ネットワークシステム等の研究開発に従事。昭 56-57 カリフォルニア大学ロサンゼルス校客員研究員。平 12 国立情報学研究所教授。平 18 国立情報学研究所学術ネットワーク研究開発センター長併任。博士(工学)。情報処理学会会員, IEEE シニア会員。



漆谷 重雄 (正員)

昭 60 神戸大大学院修士課程了。同年 NTT 入社。以来, ATM ネットワーク, 高度 IN, IP/MPLS ネットワーク, 光 IP ネットワーク, 並びに, ハイエンドネットワークシステムの研究開発・事業導入に従事。平 10 学術情報センター客員助教授, 平 16 国立情報学研究所客員教授を経て, 平 18 国立情報学研究所教授。工博(東大)。昭 63 本会論文賞, 平 2 本会学術奨励賞受賞。IEEE 会員。