

MPLS + GMPLS マルチリージョンネットワークにおける相互接続実験

島崎 大作^{†,††} 大木 英司^{†,††} 西岡 到^{†††,††} 武藤 大^{††††,††} 近藤 龍一^{††††,††}
田辺 基文^{†††††,††}

† 日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと研究所 〒 180-8585 東京都武蔵野市緑町 3-9-11

††† 日本電気株式会社 〒 216-8555 神奈川県川崎市宮前区宮崎 4-1-4

†††† 古河電気工業株式会社 〒 254-0016 神奈川県平塚市東八幡 5-1-9

††††† 三菱電機株式会社 〒 247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1

† フォトニックインターネットラボ (PIL) 〒 180-8585 東京都武蔵野市緑町 3-9-11

URL: <http://www.pilab.org/>

E-mail: †{shimazaki.daisaku, oki.eiji}@lab.ntt.co.jp, †††i-nishioka@cb.jp.nec.com,

†††††{dai, kondo}@inf.furukawa.co.jp, ††††††motofumi@isl.melco.co.jp

あらまし 近年，インターネットを流れるトラフィック量は，年間４倍程度のペースで急速に増加しており，これを支えるフォトニックネットワークの普及は急務である．次世代フォトニックネットワークを制御するプロトコル Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) の標準化が The Internet Engineering Task Force (IETF) を中心に進められている．GMPLS の利用により，IP，SDH，波長，ファイバといった複数レイヤを統合的に管理することが可能となるが，反面，複雑となったプロトコルの普及には，複数レイヤ，複数ベンダ間での十分な相互接続性の検証が必要となる．また，GMPLS の標準化が進むにしたがって，GMPLS ネットワークと既存の MPLS ネットワークとのインタワーキングの検討も重要になってくる．フォトニックインターネットラボ (PIL) は GMPLS のシグナリングとルーティングを連携した複数ベンダ間での相互接続実験を実施するとともに，MPLS ネットワークとのインタワーキング実験に成功した．本論文では，PIL が行った GMPLS 相互接続実験の内容，結果について述べる．

キーワード 相互接続, GMPLS, MPLS, インタワーキング, ルーティング, シグナリング, OSPF, RSVP-TE

MPLS + GMPLS Multi-Region Network Interoperability Test

Daisaku SHIMAZAKI^{†,††}, Eiji OKI^{†,††}, Itaru NISHIOKA^{†††,††}, Dai MUTO^{††††,††}, Ryuichi KONDO^{†††††,††}, and Motofumi TANABE^{†††††,††}

† NTT Network Innovation Laboratories, NTT Corporation,

3-9-11 Midori-cho, Musashino-shi, Tokyo, 180-8585, Japan

††† Networking Research Laboratories, NEC Corporation,

4-1-4 Miyazaki, Miyamae-ku, Kawasaki, Kanagawa, 216-8555, Japan

†††† Fitel network laboratory, The Furukawa Electric Corporation,

5-1-9 Higashi-Yahata, Hiratsuka-Shi, Kanagawa, 254-0016, Japan

††††† MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa, 247-8501, Japan

† Photonic Internet Laboratory, 3-9-11 Midori-cho, Musashino-shi, Tokyo, 180-8585, Japan

E-mail: †{shimazaki.daisaku, oki.eiji}@lab.ntt.co.jp, †††i-nishioka@cb.jp.nec.com,

††††††{dai, kondo}@inf.furukawa.co.jp, ††††††motofumi@isl.melco.co.jp

Abstract Recently there has been an increasing interest and considerable progress in the area of photonic networking. Internet Engineering Task Force (IETF) has developing its Generalized MPLS (GMPLS) to manage photonic network effectively. GMPLS protocol must be tested by some vendors for assuring interoperability. This new GMPLS network must also interwork with conventional IP/MPLS network. Some multi-vendor GMPLS interoperability testing, signaling, routing, cooperation between routing and signaling and GMPLS/MPLS interworking were undertaken by Photonic Internet lab (PIL). In this paper, we propose GMPLS/MPLS interworking architecture and summarize these interoperability tests.

Key words Interoperability test, GMPLS, MPLS, Interworking, Routing, Signaling, OSPF, RSVP-TE

1. はじめに

1.1 GMPLS

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), FTTH (Fiber To The Home) などのブロードバンドアクセス網の高速化が急激に進む中、ブロードバンドアクセス網を支える基幹ネットワークの大容量化が急務となってきた。大容量伝送を実現する技術の1つとして WDM (Wavelength Division Multiplexing) に代表されるフォトニックネットワーク技術の研究、開発が進んでいる [1] - [9]。

次世代フォトニックネットワークを制御するプロトコルとして、Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) が注目されている。GMPLS は Multi-Protocol Label Switching (MPLS) のネットワーク設計の柔軟性、拡張性をさらに一般化したプロトコルであり、IP、レイヤ2 スイッチ、TDM (Time Division Multiplexing)、波長 (WDM)、ファイバ、すべてのレイヤを统一的に扱うプロトコルである。GMPLS によりネットワークのオペレーションが統一されると、複数のレイヤ機能を1台の装置に実装したマルチレイヤスイッチが可能になり、複数装置の統一によりネットワーク管理の効率化が期待される。また、パスを設定するときに、ネットワークの全レイヤで、最適なネットワークリソースの配置をすることにより、ネットワーク運用コストの経済化も期待できる。例えば、下位レイヤによるカットスルーにより、上位レイヤでの処理を減らし、転送の高速化とネットワークコストの経済化を図ることが可能である。GMPLS のプロトコル群は、The Internet Engineering Task Force (IETF) などを中心として、標準化が進められている。これらのうち、GMPLS のシグナリングプロトコルの基本機能は、2003年2月に正式な標準仕様案 (Proposed Standard) として認定され、RFC3471 - 3473 [10] - [12] として登録された。現在は、実用的なプロトコルとして完成させるために、詳細なプロトコルの標準化と、実際に装置に搭載されるプロトコルコードの開発が世界的に進められている。

1.2 Photonic Internet Lab

次世代フォトニックネットワークによって、新しいインターネットの時代を切り拓くことを目標とし、世界標準を目指したフォトニックネットワーク制御技術の研究開発を推進することを目的として、2002年9月にフォトニックインターネットラボ (PIL) [13] が創設され、日本で次世代フォトニックネットワークの研究開発・標準化活動を行っている7社で活動している。PIL では、新たなフォトニックネットワーク・サービスの創出につながる先端技術を検討し、標準プロトコルを拡張し標準化団体に提案する「標準化戦略ワーキンググループ (WG)」と各社の研究開発中の実装コードを検証する「技術検証 WG」の2つのWGを中心に、研究開発の推進を行っている。

次世代ネットワーク制御プロトコルは、International Telecommunications Union - Telecommunication standardization sector (ITU-T), IETF, Optical Internetworking Forum (OIF) などで標準化が議論されている。近年のインターネット技術標準化の活動においては、単に技術提案をするだけではデファクト標準をリードすることはできず、標準化提案と同時に Running Code を実装し、実際の・実用的な技術であることを示すことが必要である。PIL 技術検証 WG では、各社が研究開発を進めている既存の標準実装コードを上回る機能を有し、次世代の標準を目指した実装コード (Leading Edge Code) を互いに持ち寄り、実装コードの技術の検証を実施している。

PIL 技術検証 WG での、Leading Edge Code 検証として、GMPLS ルーティングとマルチレイヤシグナリングの連携をN

E C、古河電工、三菱電機、NTTの4社で実施した。また、この検証用ネットワークを用いて、GMPLS と MPLS との連携についても検証を行った。実施に当たっては、実際のネットワーク環境を想定した検証系を考察し、各実装コード間での相互接続手順を作成した。本論文では、この接続検証実験の概要、検証結果を示す。

2. マルチレイヤネットワークにおけるルーティングとシグナリングの連携

代表的なルーティングプロトコルとして、Open Shortest Path First (OSPF) を挙げるができる [14]。OSPF はノード同士でリンクステートを交換してネットワークトポロジデータベースを同期させる分散型のプロトコルである。このようなネットワークで Traffic Engineering を行うために、OSPF に対して必要なパラメータを広告するための拡張が行われている [15]。

GMPLS ネットワークでは、図1に示すように、各レイヤのパス label switched path (LSP) が階層構造を構成するという特徴を持つ。このとき、任意のレイヤにおいて LSP を設定すると、この LSP の両端のノードは LSP によって隣接しているとみなすことができるため、この LSP を Forwarding Adjacency Label Switched Path (FA-LSP) と呼ぶ。また、上位のレイヤからみると、FA-LSP によって二つのノードが隣接している状態は、ノードがリンクによって接続され隣接しているとみなすことができる。このため、FA-LSP を上位レイヤからみて Traffic Engineering Link (TE-Link) と呼ぶ。この他に、Control Plane (C-plane) と Data Plane (D-plane) との分離も GMPLS の特徴である。

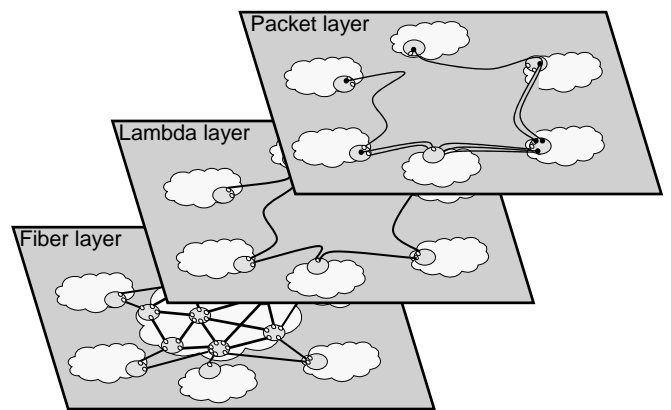


図1 ネットワークの階層構造

このような GMPLS ネットワークでのルーティングを可能にするために、OSPF に対して GMPLS 拡張が行われている [16], [17]。OSPF に GMPLS 拡張が施されることで、上記の FA-LSP の広告が可能となる。これによって、各ノードはマルチレイヤトポロジを構成する。このトポロジをベースに、Ingress ノードは Egress ノードまでの経路を計算することが可能となる。

GMPLS ネットワークで用いられるシグナリングプロトコルとして、Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) が挙げられる [10], [12]。オペレータは経路を明示的に指定することで、RSVP-TE によって、Ingress ノードから Egress ノードまで LSP を設定する。

上記 RSVP-TE と OSPF を連携させることによって、オペレータがネットワークのトポロジを把握しなくても、LSP の設定を行うことが可能となる。例えば、オペレータが、Ingress ノードと Egress ノードなどの LSP 設定制限条件を指定すると、RSVP-TE は経路計算部に対して条件に見合う経路を要求する。経路計算部は OSPF によって管理されているネットワークトポロジをベースに、条件を満たす経路を計算し、RSVP-TE に渡す。RSVP-TE は渡された経路にしたがって LSP の設定を行う。以上のように、RSVP-TE と OSPF が連携したシーケンスを実行することで、複雑なネットワークでも容易に LSP の設定を行うことが可能となる。

3. GMPLS/MPLS インタワーキング

本節では、IP/MPLS ネットワークと GMPLS ネットワークとのインタワーキングアーキテクチャについて、ルーティング、及び、シグナリングの面から検討を行った [18] - [20]。ここではルーティングプロトコルとして OSPF を、シグナリングプロトコルとして RSVP-TE を検討する。

図 2 は、IP/MPLS と GMPLS のネットワーク構成を示している。図 2 中のノードの記号は以下の通りである。G: GMPLS 機能を備えたノード。R: IP/MPLS 機能のみを備えたノードであり、GMPLS 機能を備えていない。また、図 2 中で G ノード同士を接続している線は、GMPLS ネットワークにおける TE-Link を示している。TE-Link の Switching Capability は明記していない。この TE-Link は、従来の IP/MPLS ネットワークではサブネットワークとして表現されるものであり、point-to-point, broadcast, NBMA (Non-Broadcast Multiple Access), point-to-multipoint ネットワークがある。

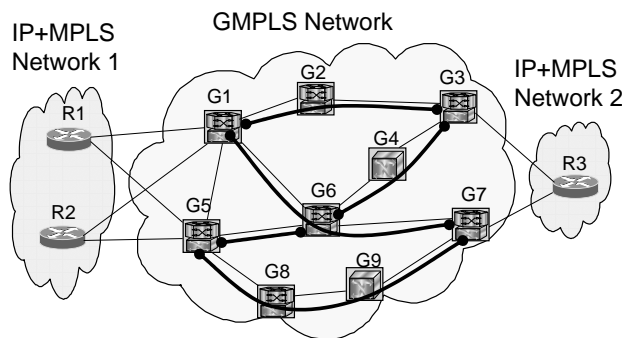


図 2 IP/MPLS and GMPLS ネットワーク構成

3.1 GMPLS/MPLS インタワーキング要求条件

本稿では、IP/MPLS ネットワークと GMPLS ネットワークが接続される際に、ネットワークの利用効率が向上するようなネットワークアーキテクチャを提案する。このためには、以下に挙げるような要求条件を満たす必要がある。

- IP/MPLS ノードのアップグレードが必要ない

既存の IP/MPLS ネットワークに、シームレスに GMPLS ノードを導入するためには、既存ノードに対するアップグレードが極力行われないことが望まれる。このため、提案アーキテクチャでは、GMPLS 拡張のない OSPF や RSVP-TE を利用することが必要である。

- Traffic Engineering のサポート

ネットワークの利用効率を向上させるために、IP/MPLS ノードは Traffic Engineering を行う。このとき、IP/MPLS ノードは GMPLS ネットワーク内のトポロジを知る必要がある。この

ため、GMPLS ノードはネットワーク内で広告されているトポロジ情報を、IP/MPLS ノードが理解可能な方法で IP/MPLS ネットワークに広告する必要がある。

- ネットワーク規模、レイヤ数のスケーラビリティ

GMPLS 拡張 OSPF は拡張なしの OSPF と比較して、広告頻度が多く処理負荷が高くなる可能性がある。このため、GMPLS ネットワーク内で広告されているリンクステート情報をすべて IP/MPLS ネットワークに広告することは、既存の IP/MPLS ノードの処理能力から見て適切ではない。このため、GMPLS ネットワークで広告されるリンクステートを選別して、必要な情報のみを IP/MPLS ネットワークに広告することが必要。

3.2 提案ネットワークアーキテクチャ

本提案では、GMPLS ネットワーク中の任意のノードを IP/MPLS ルータとして外部に広告する。これによって、IP/MPLS ネットワーク中のノードは、アップグレードをせずに GMPLS ノードを IP/MPLS ノードとして認識が可能となる。また、全ノードではなく一部のノードのみを外部広告することで、IP/MPLS にかかる負荷を低減することが可能となる。IP/MPLS ネットワーク中のノードは、GMPLS ノードが IP/MPLS ノードに変換された情報をもとに、ネットワークトポロジを構築することが可能となり、TE を行うことも可能となる。

GMPLS ネットワークでは、LSP の設定を行った場合、これを TE-Link として広告する。これを IP/MPLS ネットワークにも IP リンクとして広告することで、IP/MPLS ノードからも GMPLS 内部のトポロジを認識することが可能となる。この際、TE-Link すべてを IP/MPLS ネットワークに広告するのではなく選択的に広告することによって、IP/MPLS ノードが処理する制御パケット量を削減することが可能となる。この手法を用いることで、GMPLS ネットワーク中の任意のノード、任意のリンクを IP/MPLS ネットワークに広告することが可能となり、これらのトポロジ情報をもとに、IP/MPLS ノードは TE を実行することが可能となる。

3.3 ルーティング

IP/MPLS ネットワークにおいては C-plane と D-plane は分離しておらず、このリンク情報は OSPF の Router-LSA (Link State Advertisement) で広告される。この情報をもとに各ノードはそれぞれネットワークトポロジを構築する。

一方、GMPLS ネットワークでは C-plane と D-plane が分離しており、それぞれのリンク情報は C-plane を経由して広告される。このとき、C-plane のリンク情報は IP/MPLS ネットワークと同様に OSPF の Router-LSA を用いて広告される。D-plane のリンク情報及び TE-Link 情報は OSPF の Opaque-LSA を用いて広告される。

GMPLS と IP/MPLS のインタワーキングの要求条件として、図 2 において、R は GMPLS プロトコルに影響されないことである。また、R は、GMPLS ネットワークを介して、異なる IP/MPLS ネットワークと通信しなければならず、さらに、TE を行うために GMPLS ネットワーク内のトポロジ情報を受け取る必要がある。

このため、IP/MPLS と GMPLS のインタワーキングのはじめの段階では、GMPLS ネットワークの C-plane を、IP/MPLS が理解可能な OSPF の Router-LSA で広告する。これによって、GMPLS ネットワークをはさんで接続されている IP/MPLS network 1 と IP/MPLS network 2 との接続性を確保することが可能となる。

また、GMPLS の TE-Link 情報の中で、IP/MPLS ネットワークへの広告を希望する情報は、R が理解できるリンク

として、IP/MPLS ネットワークに広告する必要がある。通常、図 2 の G 間で TE-Link として設定されたパケット LSP は Opaque-LSA で GMPLS ネットワークに広告される。この Opaque-LSA をそのまま IP/MPLS ネットワークに広告しても、外部の IP/MPLS ノードは理解できず、TE-Link を含めたネットワークポロジを構築することは不可能である。このため、IP/MPLS ネットワークへの広告を希望する TE-Link を IP のリンクとして Router-LSA に変換して広告する。または、MPLS の TE-Link として MPLS の opaque LSA に変換して広告する。このとき、このパケット LSP は GMPLS ネットワーク内で TE-Link として認識する必要もあるため、同時に従来の Opaque-LSA も広告する。こうして広告される GMPLS Opaque-LSA も IP/MPLS ノードまで転送されてしまうが、認識できないため使われない。

以上のようなルーティングにより、図 3 に示すようにトポロジ情報が交換される。

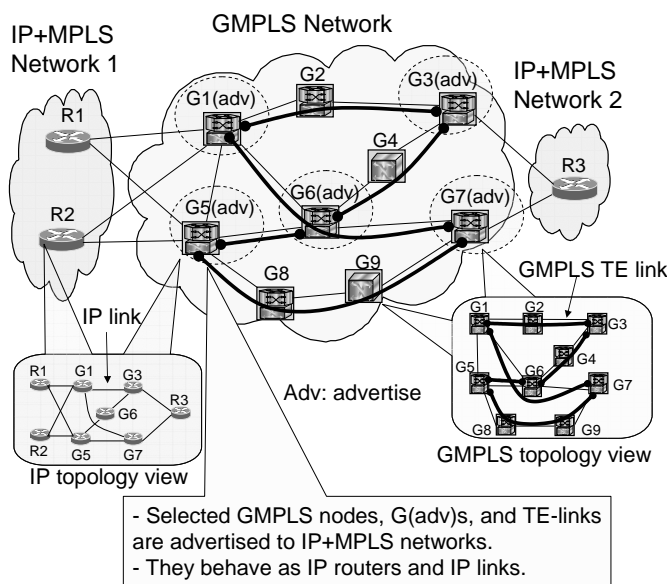


図 3 IP/MPLS and GMPLS インタワーキング

3.4 シグナリング

IP/MPLS ノードに Router-LSA のみからなるトポロジを持つことが可能になったネットワークにおいて、MPLS LSP 設定のシグナリングを行う。本検討ではシグナリングプロトコルとして RSVP-TE を用いる。

IP/MPLS ノードから転送されて来る PATH message, RESV (Reserve) message などの RSVP-TE の制御パケットを、GMPLS ネットワークのエッジノードにおいて処理する方法として、Tunnel 法と Stitch 法 [21] の 2 種類がある。一般的に、Tunnel 法では、リンクをトンネルとして扱い、このトンネルを通ず形で新たな LSP の設定を行う。Stitch 法では、中継ノードで二種類の LSP の接続を行う。このとき制御パケットの変換を行う。

以上、2 種類の方式を IP/MPLS ネットワークと GMPLS ネットワークとのインタワーキングに適用する。Tunnel 法は、GMPLS ネットワーク中に設定された PSC (Packet Switching capability) LSP 中に MPLS LSP を設定する方法である。MPLS LSP PATH message は GMPLS ネットワークの D-plane に設定されている PSC LSP 中を転送される。また、これによって設定される MPLS LSP も PSC LSP 中に設定される。

Stitch 法は GMPLS ネットワークのエッジノードにおいて、MPLS LSP と PSC LSP を接続する方式である。MPLS LSP

PATH message は GMPLS エッジノードにおいて GMPLS PSC LSP の PATH message に変換され、C-plane を転送される。また、これによって設定される MPLS LSP は D-plane に設定される。

IP/MPLS ネットワークでは、RSVP-TE パケットはパス設定のみでなく、設定した LSP の正常性チェックにも用いられるため、RSVP-TE パケットが D-plane をとおり、さらに、GMPLS エッジノードでメッセージの変換を必要としない Tunnel 法による LSP 設定を選択した。図 4 に示すように、GMPLS をサポートするノードでは C-plane/D-plane は分離されていることが一般的である。このとき、GMPLS ネットワークでは RSVP-TE パケットは C-plane のインタフェイスにフォワーディングされる。しかしながら、IP/MPLS ネットワークでは C-plane/D-plane は一体である。このため、IP/MPLS ネットワークから転送された RSVP-TE パケットを GMPLS ノードが C-plane に転送すると、GMPLS ネットワークの C-plane に IP/MPLS LSP が設定されることになる。一般的に GMPLS の C-plane は制御パケットをやり取りするためのものであるため、D-plane に LSP が設定されることが望ましい。

	Tunnel method	Stitch method
特徴	GMPLS PSC LSP 中に MPLS LSP を設定	GMPLS PSC LSP と MPLS LSP を GMPLS エッジノードで接続
MPLS LSP PATH message	D-plane に転送	C-plane に転送
MPLS LSP の正常性チェック	既存の RSVP-TE を用いて実施可能	MPLS の枠組みでは不可能。GMPLS ネットワークの管理方式に依存

表 1 Tunnel 法と Stitch 法との比較

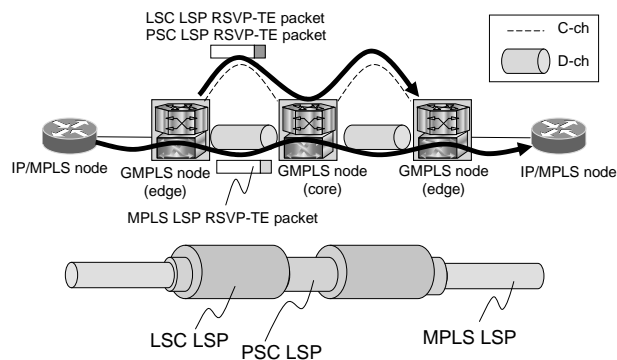


図 4 RSVP-TE PATH Message の経路の違い

4. 相互接続実験

PIL では、2003 年 2 月 19 日に開催された PIL ワークショップ 2003 において、マルチベンダ間でのマルチレイヤシグナリング実験の成功を報告している [22], [13]。この実験では、4 種類のスイッチングケーパビリティ (LSC, FSC, PSC, TDM) を含むマルチレイヤネットワークにおいて、Ingress ノードが、Egress ノードまでの全ての経路の明示的な指定を行った。経路指定は REVP-TE の Explicit Route Object を用いて行った。

これに対して、今回の実験では、前回のシグナリング実験に加えて、OSPF を用いたルーティング実験、ルーティングとシグナリング連携の実験を行った。また、これに加えて GMPLS

ネットワークと MPLS ネットワークとのインタワーキング実験も行った。実験ネットワークを図 5 に示す。

ルーティング実験では、マルチベンダ間で OSPF のメッセージの交換を行い、ネットワーク中の全ノードのマルチレイヤトポロジ情報の共有を行い、これに成功した。このルーティング実験は、その後の、シグナリングとルーティングの連携や、GMPLS/MPLS インタワーキングにもつながるものである。

シグナリングとルーティングの連携実験では、OSPF により共有されたマルチレイヤネットワークトポロジ情報をもとにして、図 5 上部に示すような、階層化 LSP の設定を行うことに成功した。LSP 設定には RSVP-TE を用い、下位レイヤから上位レイヤへとシグナリングが行われた。具体的には、Node 2 - Node 4 間に LSC LSP が設定されたあと、Node 1 - Node 5 間に PSC LSP が設定された。また、Node 7 - Node 3 - Node 8 間に LSC LSP が設定された後、Node 2 - Node 7 - Node 8 - Node 4 間に TDM LSP が設定され、Node 1 - Node 2 - Node 4 - Node 5 間に PSC LSP が設定された。

GMPLS/MPLS インタワーキング実験は、GMPLS ネットワークでルーティングが行われていることを前提としている。MPLS ノードは、GMPLS ネットワークトポロジ情報の一部を共有する。このとき、GMPLS ネットワーク内に設定されたパスを MPLS ノードが認識して、Node 1 - Node 5 間に設定された PSC パスの中を通る形で、Node 0 - Node 6 間に MPLS パスを設定することに成功した。

5. MPLS2003 デモンストレーション

第 4 節で述べた実験を、MPLS2003 の展示会において、PIL ブースでデモンストレーションした。MPLS2003 は、米国ワシントン DC で 2003 年 10 月 27, 28 日に開催された。参加者は、ルータベンダやキャリアの技術者が中心である。特に、IETF などプロトコルを提案・検証しているキーパーソンの技術者が多く参加している。そのため、MPLS2003 は、VPLS (Virtual Private LAN Service)、ポイントツーマルチポイント MPLS、信頼性技術、及び GMPLS など次世代 MPLS 技術について、その技術の方向性や課題について議論する場になっている。

PIL ブースのデモンストレーションでは、実際に GMPLS ルーティング、シグナリング動作を実施するとともに、GMPLS プロトコル動作表示装置を用いて、RSVP メッセージ、OSPF メッセージが転送されている状況を視覚的に表示できるようにした。また、LSP が設定されると、レイヤごとに LSP 設定の状況を視覚的に表現した。図 6 に、GMPLS プロトコル動作表示装置の画面の例を示す。GMPLS プロトコル動作表示装置により、IP/MPLS ネットワークと GMPLS ネットワーク連携、及び、マルチリージョンシグナリング・ルーティング連携のプロトコルが動作している様子がわかる。図 7 に PIL ブースにおけるデモンストレーションの様子を示す。IP/MPLS ネットワークと GMPLS ネットワーク連携、及び、マルチリージョンシグナリング・ルーティング連携の相互接続実験は今回が世界で初めてである、本デモンストレーションに関して、多くの参加者から関心を集めた。

6. ま と め

本稿では、PIL が実施した、マルチレイヤ GMPLS ネットワークにおけるマルチベンダのルーティングとシグナリングの連携実験、及び、GMPLS/MPLS のインタワーキング実験の検証結果について示した。相互接続検証を通して、ルーティングを利用したマルチレイヤネットワークトポロジを構築し、このデータベースをもとにした、複数レイヤにまたがるシグナ

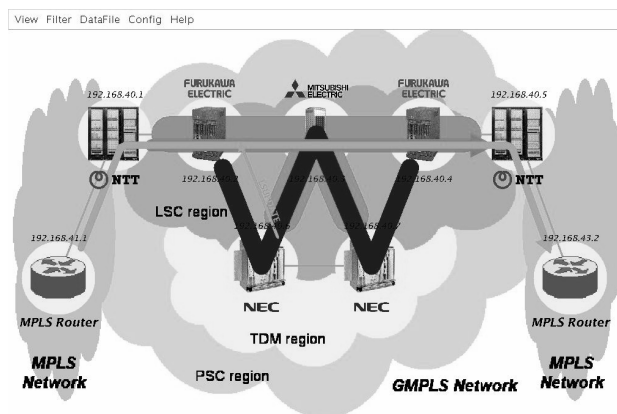


図 6 GMPLS プロトコル動作表示装置の画面

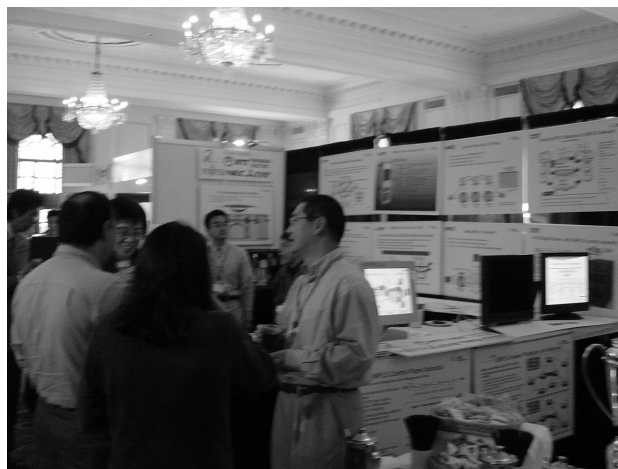


図 7 MPLS2003 デモ風景

リングによるパス設定を複数ベンダ間で成功させた。また、この検証ネットワークを用いて、GMPLS ネットワークと MPLS ネットワークとのルーティング情報の交換を可能にし、MPLS ネットワークと GMPLS ネットワークが連携して、パスの設定を行うことに成功した。

7. 謝 辞

本論文をまとめるにあたって有益な議論をしていただいたフォトニックインターネットラボ (PIL) の関係者各位に感謝いたします。PIL は、総務省戦略的情報通信研究開発制度の国際技術獲得型研究プログラムのサポートを受けて運営されています。

文 献

- [1] K. Sato, N. Yamanaka, Y. Takigawa, M. Koga, S. Okamoto, K. Shiomoto, E. Oki, and W. Imajuku, "GMPLS-based photonic multilayer router (Hikari router) architecture: an overview of traffic engineering and signaling technology," IEEE Commun. Mag., Vol. 40, No. 3, pp. 96 - 101, March 2002.
- [2] S. Okamoto, E. Oki, K. Shiomoto, A. Sahara, and N. Yamanaka, "Demonstration of the Highly Reliable HIKARI Router Network Based on a Newly Developed Disjoint Path Selection Scheme," IEEE Commun. Mag., Vol. 40, No. 11, pp. 52 - 59, November 2002.
- [3] 小崎 成治 ほか, "オール光ネットワークに対応した光クロスコネクタ装置," 信学技報 PS2002-13, 2002 年 4 月.

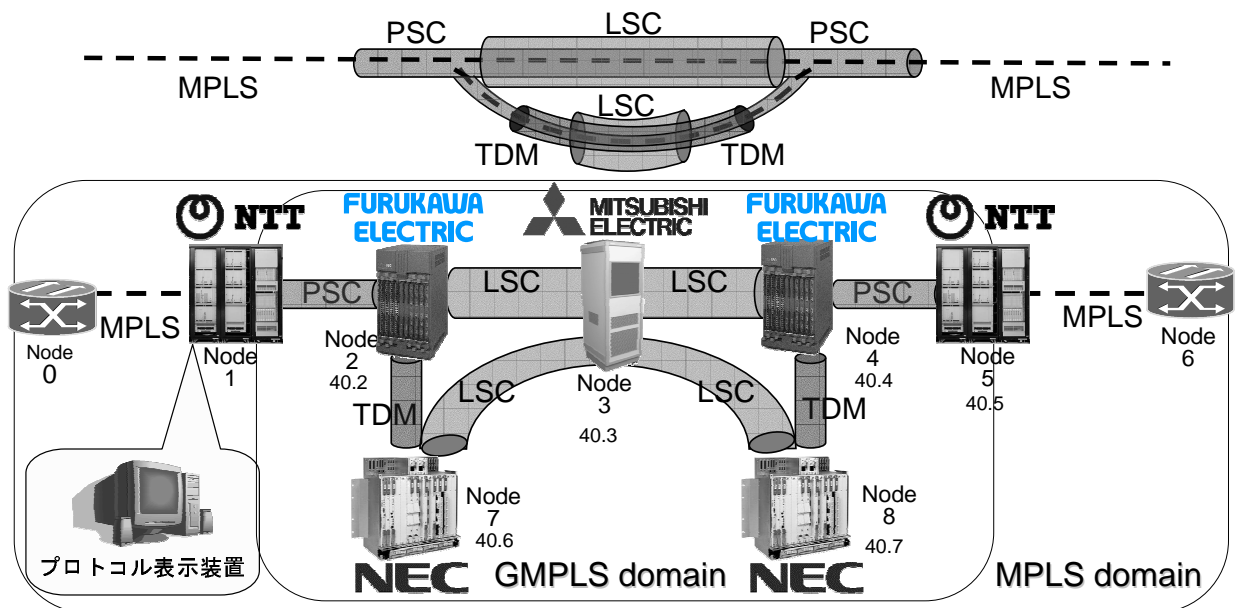


図 5 実験ネットワーク

- [4] S. Kano et al., "A Study of GMPLS Architecture in Photonic IP Networks," Proc. HPSR2002, pp. 3A-3-1 - 3A-3-5, May 2002.
- [5] 武藤 大 ほか, "動的帯域割当を実現するシグナリング方式について," 信学技報 CS2001-124, pp. 81 - 85, 2001 年 12 月.
- [6] I. Nishioka et al., "Monolithic Control of Multi-layer Optical Networks," Proc. ECOC2002, S204, September 2002.
- [7] M. Vigoureux, K. Shiomoto, D. Brungard, J. L. Roux, "Generalized MPLS Architecture for Multi-Region Networks," IETF Internet Draft draft-vigoureux-shiomoto-ccamp-gmpls-mrn-03.txt, October 2003 (work in progress).
- [8] E. Oki, K. Shiomoto, S. Okamoto, W. Imajuku, and N. Yamanaka, "A heuristic multi-layer optimum topology design scheme based on traffic measurement for IP + photonic networks," Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, pp. 17 - 22, March 2002.
- [9] E. Oki, D. Shimazaki, K. Shiomoto, N. Matsuura, W. Imajuku, and N. Yamanaka, "Performance of Distributed-Controlled Dynamic Wavelength-Conversion GMPLS Networks," Optical Communications Networks, No. 1, pp. 355 - 358, November 2002.
- [10] L. Berger, "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description," IETF RFC, RFC3471, January 2003.
- [11] P. Ashwood-Smith and L. Berger, "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Constraint-based Routed Label Distribution Protocol Extensions," IETF RFC, RFC3472, January 2003.
- [12] L. Berger, "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions," IETF RFC, RFC3473, January 2003.
- [13] <http://www.pilab.org/>
- [14] J. Moy, "OSPF Version 2," IETF RFC, RFC 2328, April 1998.
- [15] D. Katz, K. Kompella, and D. Yeung, "Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2," IETF RFC 3630, September 2003.
- [16] K. Kompella and Y. Rekhter, "Routing Extensions in Support of Generalized MPLS," IETF Internet Draft draft-ietf-ccamp-gmpls-routing-09.txt, October 2003 (work in progress).
- [17] K. Kompella and Y. Rekhter, "OSPF Extensions in Support of Generalized MPLS," IETF Internet Draft draft-ietf-ccamp-ospf-gmpls-extensions-12.txt, October 2003 (work in progress).
- [18] E. Oki, "GMPLS and IP/MPLS Interworking Architecture," IETF Internet Draft draft-oki-ccamp-gmpls-ip-interworking-01.txt, October 2003 (work in progress).
- [19] 大木, 島崎, 塩本, 山中, "GMPLS と IP/MPLS のインタワーキングネットワークアーキテクチャ," 信学会ソサイエティ大会, 2003 年 9 月.
- [20] 島崎, 大木, 塩本, 山中, "GMPLS と IP/MPLS のインタワーキング実験," 信学会ソサイエティ大会, 2003 年 9 月.
- [21] A. Ayyangar, "Inter-region MPLS Traffic Engineering," IETF Internet Draft draft-ayyengar-inter-region-te-01.txt, October 2003 (work in progress).
- [22] 武藤, 西岡, 加納, 堀内, 松浦, 三澤, "マルチレイヤ統合網における GMPLS シグナリングの相互接続実験," 信学技報 PNI2003-WS-02, pp. 9 - 15, 2003 年 5 月.