

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

武藤 大⁽¹⁾ 西岡 到⁽²⁾ 加納 慎也⁽³⁾ 堀内 栄一⁽⁴⁾ 松浦 伸昭⁽⁵⁾ 三澤 明⁽⁵⁾

フォトニックインターネットラボ技術検証ワーキンググループ

(1)古河電気株式会社 〒254-0016 神奈川県平塚市東八幡 5-1-9

(2)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

(3) 株式会社富士通研究所 〒211-8588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4-1-1

(4)三菱電機株式会社 〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1

(5)日本電信電話株式会社 〒180-8585 東京都武蔵野市緑町 3-9-11

E-mail: ⁽¹⁾dai@inf.furukawa.co.jp, ⁽²⁾i-nishioka@cb.jp.nec.com, ⁽³⁾kanoh@flab.fujitsu.co.jp, ⁽⁴⁾eiichi@isl.melco.co.jp,
⁽⁵⁾{matsuura.nobuaki, misawa.akira}@lab.ntt.co.jp

URL: <http://www.jk.ws32.arena.ne.jp/>

あらまし 急激な高速化が進むインターネットを支えるフォトニックネットワークの普及は急務であり、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「GMPLS」(Generalized MultiProtocol Label Switching)の標準化が IETF (The Internet Engineering Task Force)を中心に進められている。GMPLS の利用により、マルチレイヤ (IP, SDH, 波長, ファイバ)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、マルチレイヤ、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。

フォトニックインターネットラボ (PIL) は GMPLS のシグナリングの複数ベンダ間での相互接続実験を実施し、RSVP-TE を改良したシグナリングプロトコルによるマルチレイヤにまたがるパスの設定、解除に成功した。本論分では、PIL が行った GMPLS 相互接続実験の内容、結果について述べ、実験結果の考察を通して得ることのできた、PIL の考えるプロトコルの問題点とその解決方法を提案する。

キーワード 相互接続, GMPLS, シグナリング, RSVP-TE, フォトニックネットワーク

GMPLS signaling protocol interoperability test in multilayer network

Dai Muto⁽¹⁾, Itaru Nishioka⁽²⁾, Shinya Kano⁽³⁾, Eiichi Horiuchi⁽⁴⁾, Nobuaki Matsuura⁽⁵⁾, and Akira Misawa⁽⁵⁾

(1)Fitel network laboratory, The Furukawa Electric Corporation, 5-1-9 Higashi-Yahata, Hiratsuka-shi, Kanagawa 254-0016 Japan

(2)Networking Research Laboratories, NEC Corporation, 4-1-4 Miyazaki Miyamae-ku Kawasaki-shi, Kanagawa 216-8555 Japan

(3)FUJITSU LABORATORIES LTD. 1-1, Kamikodanaka, 4-chome, Nakahara-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 211-8588 Japan

(4)MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, 5-1-1 Ofuna, Kamakura-shi, Kanagawa 247-8501 Japan

(5) NTT Corporation, 9-11, Midori-Cho 3-Chome Musashino-Shi, Tokyo 180-8585 Japan

E-mail: ⁽¹⁾dai@inf.furukawa.co.jp, ⁽²⁾i-nishioka@cb.jp.nec.com, ⁽³⁾kanoh@flab.fujitsu.co.jp, ⁽⁴⁾eiichi@isl.melco.co.jp,
⁽⁵⁾{matsuura.nobuaki, misawa.akira}@lab.ntt.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 been developing Generalized MPLS (GMPLS) to control photonic network effectively. First multi-vendor GMPLS interoperability testing was undertaken by Photonic Internet lab (PIL). In this paper we summarize these interoperability test results and some recommendations that may solve interoperability problems

Keyword Interoperability Test, GMPLS, Signaling, RSVP-TE, Photonic Network

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 [1-6]。

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、GMPLS (Generalized Multi protocol Label Switching) が注目されている。GMPLS は 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、すべてのレイヤを統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、IETF (The Internet Engineering Task Force) 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 [7-9] 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) [10] 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、ITU-T (International Telecommunications Union - Telecommunication standardization sector)、IETF、OIF (Optical Internetworking Forum) 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、最初の Leading Edge Code 検証として、GMPLS シグナリングを古河電工、NEC、富士通研究所、三菱電機、NTT の5社で実施した。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。また、その検証結果についての考察、PIL 技術検証 WG からの標準ドラフトの記述の追加や実装推奨などの提案について述べる。

2. GMPLS シグナリング検証

2.1. 検証の目的

GMPLS RSVP-TE によるパスの設定、削除のシグナリング手順が GMPLS プロトコル技術の基本となること、前述したように IETF での標準化が進んだことから、筆者らが所属する PIL 技術検証 WG は、GMPLS RSVP-TE から最初の接続検証実験を始めた。

従来プロトコルになかった GMPLS の特徴であるマルチレイヤ、およびプロトコルの普及期には重要なマルチベンダでの相互接続を今回の接続検証実験の目的とした。

(1) マルチレイヤ (多様なスイッチングケーパビリティ)

- パケット (PSC: Packet Switch Capable)
- TDM (TDM Switch Capable)
- 波長 (LSC: Lambda Switch Capable)
- ファイバ (FSC: Fiber Switch Capable)

これまでは、同じレイヤのパス (LSP: Label Switched Path) が複数あった場合、例えば、2つの波長パス (LSC-LSP) の経路があった場合に、トラヒックの空いている経路を選択するなどして、同一レイヤ上では最

適な経路を選択することはできた。しかし、一方が TDM のパス(TDM-LSP)で、他方が LSC-LSP であるような場合には、統一的に扱えなかった。今回の検証実験では、GMPLS 技術を用いて1つのノードから複数のレイヤのパス設定・解除が可能な制御機能を実装し、そこから複数のレイヤの多数の経路の中から最適な経路を選択することができた。この機能により、アプリケーションの違いやトラフィックの混雑具合と連動して最適経路を探すことも可能となる。

(2) マルチベンダ

複数のベンダによる検証を進めて、プロトコルの曖昧さ、実装の細かな違い等による相互接続の問題点を明確にする。

2.2. 検証系

接続検証実験は、GMPLS 固有の以下の特徴を中心に検証をすすめた。

構成

もともと MPLS による NW 制御は、C-ch(制御信号を転送するインタフェース)と D-ch(主信号を転送するインタフェース)を区別しない、いわゆる in-band で行われることが想定されていた。しかし、Link Bundling のコンセプトが導入されたことから、C-ch と D-ch が一対一に対応するという条件は必ずしも成り立たないと考えられるようになった。さらに GMPLS では、パケットを認識しない波長やファイバをインタフェースの単位として扱うため、C-ch と D-ch が異なる、out-of-band のシグナリングが必然となった。

また、GMPLS では、制御対象となるリンクの種類と数が増えるので、それらすべてに IP アドレスを割り当てるのは現実的でなく、IP アドレスを持たない、Unnumbered Links をサポートすることが必要となる。

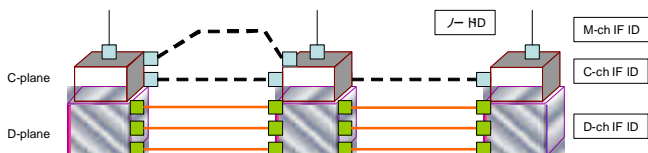


図 1：検証ネットワーク (out-of-band)

- ✓ out-of-band シグナリング：
C-ch と D-ch が物理的に分離
- ✓ Unnumbered Links：
IP アドレスを持たないリンクのサポート

プロトコル仕様

- ✓ ERO (Explicit Route Object)：
送信者から受信者までの経路を、パス設定を開

始する Ingress のノードが経路中の全ノードを明示的に指定することにより、決定する機能

検証は、シングルレイヤでの基本検証系とマルチレイヤでの統合検証系で行った。

基本検証系では、図 2 に示す Ingress(パスの始点ノード)、Transit(パスの経路上のノード)、Egress(パスの終点ノード)の3台からなる構成を作成し、矢印で示される Path メッセージ、矢印で示される Resv(Reservation request)メッセージによる一連のパス設定手順、PAPathTear メッセージから開始されるパスの解放手順を C-Plane(D-plane を制御する制御信号転送用ネットワーク)上に接続されたプロトコルアナライザで観測し、Ingress、Transit、Egress、それぞれの機能を確認した。今回は D-Plane(主信号を転送用ネットワーク)上のデータ転送は検証実験の対象外とし、擬似的に D-Plane インタフェースの情報を設定することで検証を進めた。

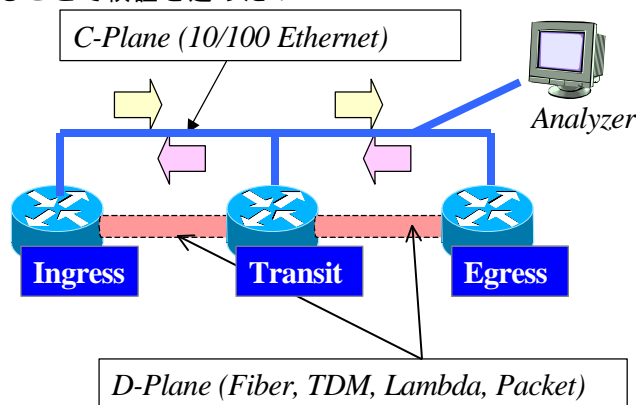


図 2：検証ネットワーク (基本検証)

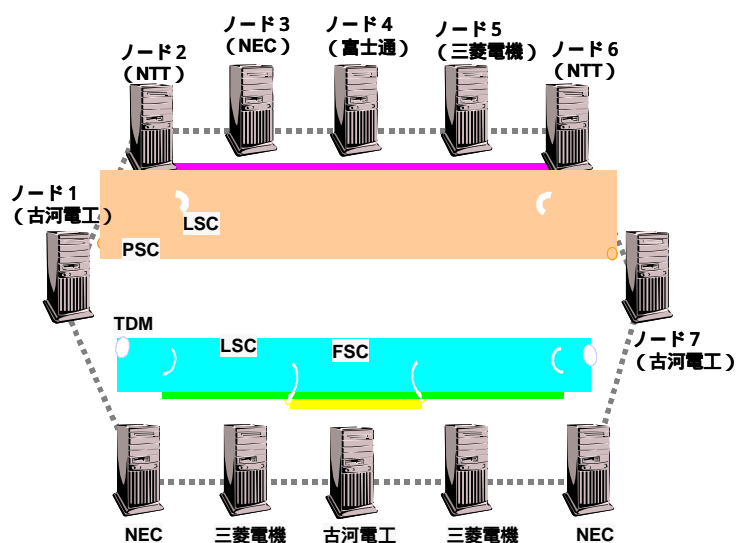


図 3：検証ネットワーク (マルチレイヤ)

統合検証系では、図3で示す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の評価をした。

図4に、LSC-LSPをまず設定し、次にLSC-LSPを通してPSC-LSPを設定するシーケンス例を示す。

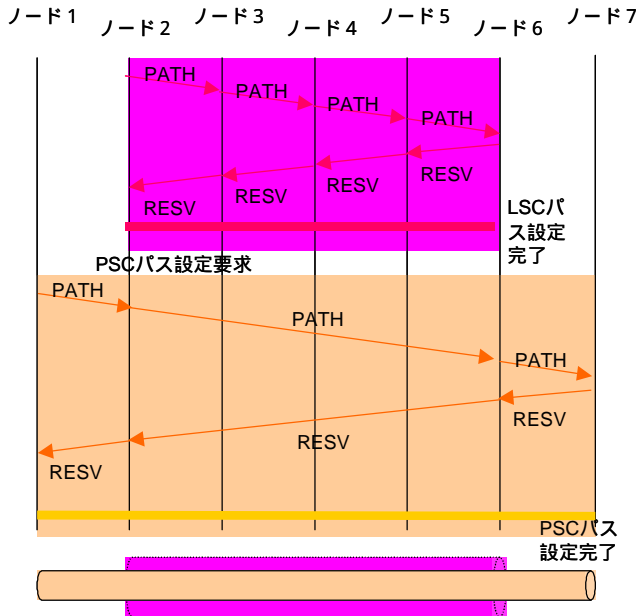


図4: シグナリングシーケンス図

3. 検証結果と課題

本検証実験では、世界で初めて、複数の経路でマルチレイヤのLSPの設定、解除を行うシグナリングの実験に成功した。

検証において、問題となった点を以下に示す。

3.1. C-plane とD-Plane のアドレッシング

GMPLSシグナリングの、RSVPプロトコルのメッセージは、raw IP(もしくはUDP)で送受される。また前述の通り、GMPLSではC-chとD-chが異なるのが一般的である。

C-chとD-chの分離に起因して、D-chを明示的に示すために、シグナリングのパラメータとして、IPアドレスとインタフェース識別子(Interface ID)の組み合わせで表現するという仕組みが用いられる。また、この仕組みはUnnumbered Linksのサポートにも用いられる。このIPアドレスは、RSVPメッセージを送受するためのC-Planeアドレスとしてではなく、Routerを識別するためのD-Planeアドレス(Router ID)として定義されている。したがってGMPLSでは、C-planeとD-plane

とが、アドレス空間によって分離されると考えることができる。検証にあたっては、これらのアドレスについて決めておく必要があった。

RSVPメッセージを送受するC-Plane IPアドレスは、C-planeの実現形態によらず、reachableなアドレスでなければならない。また、D-planeのRouter IDにも同じIPアドレスを用いることにすれば、C-PlaneとD-Planeのマッピングが不要になる。そこで、今回の接続実験では、C-planeを単一のサブネットで構成するとともに、D-planeのアドレスとしても各ノードでC-planeと同じ単一のIPアドレスを用いた。

3.2. TTLの扱い

RSVPメッセージは、IPヘッダとRSVP共通ヘッダそれぞれにTTL(Time To Live)を持っている。このTTLの扱いに関し異なる2つ実装が考えられる。

- 実装1(図5): 受信したIPヘッダのTTL(IP TTL)を減算し、送信時RSVP共通ヘッダのTTL(RSVP TTL)にIP TTLをコピーする。
- 実装2(図6): 受信したRSVP TTLは減算し、IP TTLは初期値にリセットする。

実装1はRFC2205[11]で規定された方式であり、資源予約を行うRSVP非対応ルータの存在を検査する機能である。RFC2205ではin-bandシグナリングを想定しているため、この機能が必要であった。さらに、RSVPメッセージの転送経路とLSPの経路が同一であるため、IP TTLを用いてRSVPメッセージの到達性検査を行うのみで十分であった。しかし、out-of-bandシグナリングも想定されるGMPLSでは、RSVPメッセージの到達性検査だけでなく別途LSPのループ経路検査が必要となる。また、LSP上の各ノードがRSVPメッセージを必ず受信するため、RSVP非対応ルータの検出は必ずしも必要ない。実装2では、IP TTLでNext/Prev HOPノードへのRSVPメッセージの到達性検査を行い、RSVP TTLでLSPにループ経路検査を行うことができる。このことから実装2の処理が望ましいと考える。

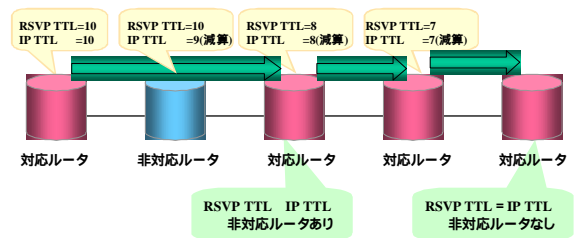


図5: in-bandでの制御(RFC2205, 実装1)

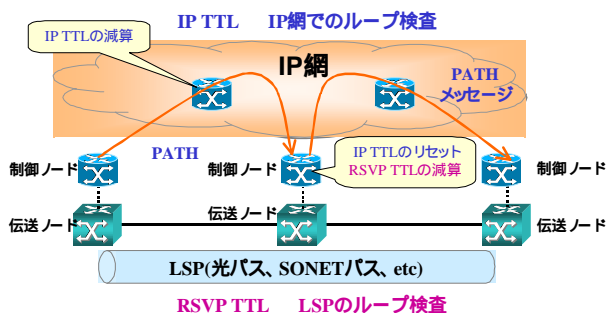


図 6 : out-of-band での制御 (実装 2)

3.3. ERO による経路指定

今回の相互接続実験では、動的な経路制御は対象外として、シグナリングを開始する始点となるノードが、終点のノードまでの経路中の全ノードの情報を明示的に指定する方法をとった。RSVP-TEでは、ERO (Explicit Route Object)オブジェクトにより指定できる。また、GMPLS においては、WDM や TDM のような膨大な数のインタフェースをもつネットワークの場合、インタフェース毎に IP アドレスを持たない Unnumbered 型の実装が一般的である。ERO にはそのための拡張 (Unnumbered Interface ID サブオブジェクト)が行われている。

今回の実験では、当初、Unnumbered Interface サブオブジェクトにリンクの接続相手側の “Router ID” と “Interface ID” を使う実装と、リンクの接続元側を使う実装が存在した。これは、実装の基準とした IETF ドラフト “Signaling Unnumbered Links in RSVP-TE” の版数による違いのためであった。相互接続性、ノードの中継テーブル作成のために必要なパラメータを考慮して、RFC として標準化された[12]に従い、リンクの接続相手側の値を使うべきである。

3.4. LIH のインタフェース値

前述したように、Unnumbered 型のネットワーク構成と、C-Plane, D-Plane が分離した out-of-band でのシグナリングが可能とするために、GMPLS 用の RSVP-TE は、多くの拡張がなされている。シグナリングで送受信されるメッセージ中のオブジェクトで指定されるインタフェースの値も、その各オブジェクトの使用目的に応じて、C-Plane か、D-Plane かが正しく指定されなければならない。RSVP_HOP メッセージ中の Logical Interface Handle (LIH)のインタフェース値は IETF ドラフトで明確に定義されていないため、C-Plane(図 7 の If:1)と D-Plane (図 7 の If:3)の値を使う 2 種類の実装が考えられる。

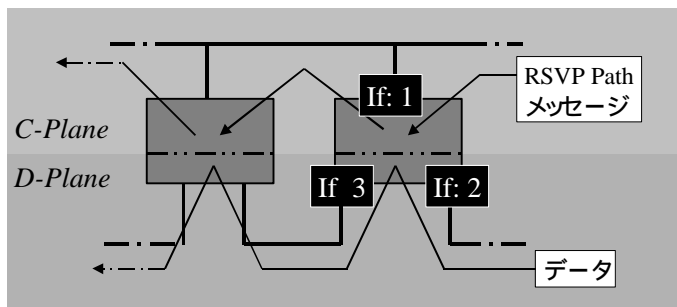


図 7 : C-Plane と D-Plane のインタフェース

RSVP_HOP に D-Plane のインタフェースを通知できるフィールド (Interface Index TLV [7])が拡張されていることから、C-Plane の値を使うことが推奨される。これにより、受信した Resv メッセージの LIH のインタフェース値と実際にメッセージを受信した C-Plane のインタフェースの比較により、C-Plane の経路制御に誤りがないか確認できる。

3.5. Traffic Parameter の形式

T-SPEC Object を記述する Traffic Parameter は LSP の Encoding Type に応じて使い分けるべきである(図 8)。

現在のドラフトの仕様では、ラベル形式に応じて Traffic Parameter の形式を決めている。例えば、SONET/SDH では、ラベル形式が SUKLM 書式の場合に SONET/SDH Traffic Parameter を使用すると明記している[13]。また、G.709 の場合も同じである[14]。

しかしながら、ラベル形式がこれら以外の場合についての明記はないため、例えば、LSP の Encoding Type が SONET/SDH の場合においては、SONET/SDH Traffic Parameter を使うか、IntServ[15]を使うかは実装依存になっているのが現状である。このため、相互接続性の確保が困難になっている。相互接続性を確保するために IntServ で統一したとすると、IntServ には帯域情報しか記述することができないため、SONET/SDH フレームの形式に特化した機能を C-Plane で設定することが困難になる。このような特定機能の例として、SONET/SDH の Transparency 機能が挙げられる。

このような理由から、LSP の Encoding Type に応じて、それに見合った Traffic Parameter を使うべきである。また、全光パス/Ethernet の場合を考えると、それにあつた Traffic Parameter など今後決めていく必要がある。

従来のドラフト

Label形式	Traffic Parameter
SONET/SDH	SONET/SDH Traffic Parameter
g.709	g.709 Traffic Parameter
他のラベル(Port ID, 波長)	Int Serv系 Traffic Parameter

問題例

現状では, SONET/SDHフレームフォーマットで, ラベルが波長の場合, Traffic ParameterはInt-Serv形式となる. この形式では, 帯域しか記述できないので, TransparencyなどといったSONET/SDH特有の機能を利用できない.

Recommendation

Encoding Type	Traffic Parameter
SONET/SDH	• SONET/SDH Traffic Parameter
g.709	• g.709 Traffic Parameter
Lambda	• 全光パスの属性 (到達性など) を考慮したParameter定義
その他	• Encoding Typeの特定機能に応じたTraffic Parameterを定義 • 特定機能がなければ, Int-Servを用いる.

図 8 : Traffic Parameter

3.6. Graceful deletion の PathErr における Error Code

図 9 は ,Path の Admin_Status オブジェクトと ,PathErr の Path_State_Removed Flag を使ったパス削除(Graceful deletion)のシグナリング手順の例である. この手順の接続実験において, 運用上の正常な LSP 削除を意味する Error Code が ,IETF ドラフト上定義されていないことが判明した. 実験においては, Error Code の値を精査せずに LSP 削除を実施した. しかし, 現状のドラフト上定義されている Error Code の範囲では, 本シグナリング手順を用いて ingress ノードからの要求により LSP を削除したのか, 異常発生等により LSP が削除されてしまったのかを運用上区別することが出来ないため, 本シグナリング手順による正常な Graceful deletion を意味する Error Code の値を新たに定義すべきである. また, PathErr 受信時は, Error Code の値に関係なく, LSP の削除が行われるべきである.

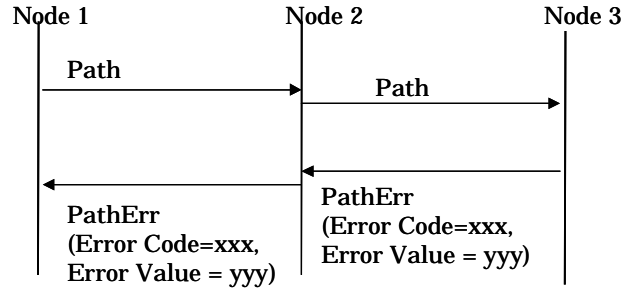


図 9 : LSP 削除のシグナリング手順

3.7. LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID の位置

複数のレイヤ間で階層化された LSP 設定を扱うために, LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID を使用して LSP 設定を行った. この LSP 設定の接続実験において, 一方が送信する Resv メッセージを, 実装の違いにより, 他方にて正常にデコード処理ができない場合があった. LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID の挿入位置は, IETF ドラフト上の規定が無く, 図 10 の例 1 のように, Resv の最後に LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID を挿入する例が考えられる. しかし, GMPLS RSVP-TE のベースとなっているプロトコルである RSVP の規定では, <STYLE> <flow descriptor list> が Resv の最後にならなければならないと規定されている [8]. 実験においては, 図 10 の例 2 のように, LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID を <STYLE> より前に挿入して送信することにより, 正常な接続が出来た.

相互接続性の確保のために, LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID の受信時は順序に依存せず処理可能としたほうが望ましい. しかし, このオブジェクトは [8] の成立当時にはなかったため, LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID の挿入位置についてのガイドラインが与えられるべきである.

例 1 LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID を Resv の最後に配置

```
<Resv Message> ::= <Common Header>
    <SESSION> <RSVP_HOP>
    <TIME_VALUES>
    <RESV_CONFIRM>
    <STYLE> <FLOWSPEC> <FILTER_SPEC>
    <LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID>
```

例 2 LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID を STYLE の前に配置

```
<Resv Message> ::= <Common Header>
    <SESSION> <RSVP_HOP>
    <TIME_VALUES>
    <RESV_CONFIRM>
    <LSP_TUNNEL_INTERFACE_ID>
    <STYLE> <FLOWSPEC> <FILTER_SPEC>
```

図 10 : Resv メッセージ

4. まとめ

フォトリックインターネットラボ (PIL) は GMPLS のシグナリングの複数ベンダ間での相互接続実験を実施し, RSVP-TE を改良した GMPLS シグナリングプロトコルによるマルチレイヤ(IP, SDH, 波長, ファイバ)にまたがるパスの設定, 解除に成功した。

本論分では, 相互接続実験の検証系, 検証結果を示し, 実験結果の考察を通して得ることのできた, 筆者ら (PIL 技術検証 WG) の考えるプロトコルの問題点とその解決方法を提案した。

GMPLS によるフォトリックネットワークの効率的な管理技術の普及のためには, 今回実施した基本シグナリング以外に経路制御, リストレーション・プロテクション, リンク管理などが重要である。PIL は引き続き相互接続実験を通してこれらの技術検証を進め, 各種標準化活動に検証結果をフィードバックしていく予定である。

5. 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リ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. Shiimoto, 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. Shimano, 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。
- [4] Shinya 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] Itaru Nishioka et al., "Monolithic Control of Multilayer Optical Networks," Proc. ECOC2002, S204, September 2002.
- [7] L. Berger, Ed., "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional", RFC3471, March 2003.
- [8] P. Ashwood-Smith, Ed., L. Berger, Ed., "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Constraint-based Routed Label Distribution Protocol) Extensions, RFC3472, March 2003.
- [9] L. Berger, Ed., "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions", RFC3473, March 2003.
- [10] <http://www.jk.ws32.arena.ne.jp/>
- [11] R. Braden, Ed., L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin, "Resource Reservation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification," RFC2205, September 1997.
- [12] K. Kompella, Y. Rekhter, "Signaling Unnumbered Links in Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering (RSVP-TE)", RFC3477, January 2003.
- [13] E. Mannie, D. Papadimitriou, "Generalized Multi-Protocol Label Switching Extensions for SONET and SDH Control," draft-ietf-ccamp-gmpls-sonet-sdh-08.txt, February 2003.
- [14] D. Papadimitriou, "Generalized MPLS Signaling Extensions for G.709 Optical Transport Networks Control," draft-ietf-ccamp-gmpls-g709-03.txt, November 2002.
- [15] J. Wroclawski, "The Use of RSVP with IETF Integrated Services," RFC2210, September 1997.