

# 大容量 IP バックボーンネットワークを実現する フォトニック MPLS ルータ (HIKARI ルータ) - 管理と制御 -

渡辺 篤† 島野 勝弘† 岡本 聡† 滝川 好比郎†

† 日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと研究所  
〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 1-1

E-mail: † {atsushi, shimano, okamoto, takigawa}@exa.onlab.ntt.co.jp

あらまし IP ネットワークと光ネットワークの統合を目指し、フォトニック MPLS ルータ (HIKARI ルータ) を実現した。フォトニック MPLS ルータは、電気技術による IP ルーティング部に、光技術による波長ルーティング部を付加して実現される次世代大容量 IP ルータシステムであり、電気技術では対応しきれない大容量 IP ネットワークを構築することができる。本稿では、開発の背景、実現したフォトニック MPLS ルータにおける管理制御の概要、MPLS 技術を適用してオプティカルパス制御を実現する MPLS、光ネットワーク管理について述べる。

キーワード インターネット、ラベルスイッチング、オプティカルパス、波長ルーティング

## Photonic MPLS Router (HIKARI Router) to Realize Large Capacity IP Backbone Networks - Management and Control -

Atsushi WATANABE †, Katsuhiko SHIMANO †, Satoru OKAMOTO †, and Yoshihiro TAKIGAWA †

† NTT Network Innovation Laboratories, NTT Corporation  
1-1 Hikari-no-oka, Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-0847 Japan

E-mail: † {atsushi, shimano, okamoto, takigawa}@exa.onlab.ntt.co.jp

**Abstract** Photonic MPLS routers (HIKARI routers) have been developed to integrate IP and optical networks. The photonic MPLS router is a next generation large capacity IP router system that consists of the IP routing unit and wavelength routing unit. This router will be used to construct large capacity and large-scale IP backbone networks. This paper introduces the background, the concepts needed to manage and control the photonic MPLS routers, the MPLS technique (based on optical path switching with MPLS signaling), and a photonic network management scheme.

**Key words** Internet, Label Switching, Optical Path, Wavelength Routing

## 1. はじめに

インターネットはWWW (World Wide Web)による広域情報システムの開発ならびにブラウザの開発、低価格PC (Personal Computer)の開発などにより爆発的に普及し、近年インターネットを中心としたデータトラフィックは爆発的に増加した。またNTTでは、「光ならではの」新しいサービス (光ソフトサービス[1]) の実現に取り組んでいる。この光ソフトサービスは、様々な分野での利用を対象としており、(i)デジタルコンテンツの配信サービスのための基盤である光コンテンツサービス、(ii)現実のeコマースを実現するための基盤である光コマースサービス、(iii)高臨場感空間を共有し協調作業を可能とするサービス基盤である光コミュニティ・コラボレーションサービス、といった3つのカテゴリサービスから成る。こういった新しいサービスを含めたトラフィック増加に対応するためには、ノードの処理能力並びにリンク伝送容量の増加が必要である。

リンク伝送技術としてはWDM (Wavelength Division Multiplexing) 伝送技術の進展により、リンクの大容量化が実現されつつある。一方、ノードに関しては、インターネットトラフィック増加量は、電気の処理速度の発展に関する経験則である「ムーアの法則」を凌駕しており、予想をはるかに上回る勢いであるため、従来のIPルータの電気処理技術の延長線上では、インターネットトラフィックの処理に関するボトルネックの問題が顕在化してくる。

このノード処理ボトルネックを打破するために、途中のノードで任意の波長を自由に分岐あるいは挿入するシステム、光信号を電気信号に変換することなく光のまま波長ルーティング (クロスコネクション) 等の処理を行う、シンプルでスケラブルな新しいパラダイムの光ネットワーク (フォトニックネットワーク[2]) 構築技術の研究開発が各国で進められている。IPネットワークとフォトニックネットワークを組み合わせることにより、途中のノードでのパケットごとの電気処理を最小限にして、そのノードのスループットの大幅な向上が図れる光直結型のフォトニックIPネットワークへの進化が可能になる。

我々は、ノード処理技術の限界を抜本的に解決し、大容量IPバックボーンネットワークを構築するために、電気技術によるIP技術及びMPLS (Multi-Protocol Label Switching) 技術[3]と、光技術により光信号をラベルとして適用するフォトニックMPLS技術[4][5]を統合化したフォトニックMPLSルータの研究開発を進めてきた[6]。

今回、我々は、フォトニックMPLS技術の実現のファーストステップとして波長ラベルをストリーム信号に適用するMP $\lambda$ S (Multi-Protocol Lambda Switching) 技術[7]、を実装したフォトニックMPLSルータ (HIKARIルータ)を実現し[5][8]-[10]、本年6月に米国アトランタで開催された展示会SuperComm2001で動態展示を行った。

本稿では、実現したフォトニックMPLSルータにおける管理制御の概要について述べる。

## 2. IPバックボーンネットワーク技術の進展

### 2.1 トラフィックエンジニアリングとパス技術

大規模で高信頼なネットワークを構築するためには、トラフィックエンジニアリング機能が必須であり、これを効率的に実現する手段としてパスの概念が重要である。

IPバックボーンネットワーク技術の進展の様子を、各レイヤにおけるルーティング・フォワーディング機能に焦点を当て、図1に模式的に示す。

IP over SDH, IP over WDM (SDH)では網内のルーティングは基本的にルータのみが行い、IPヘッダ情報に基づくホップ・バイ・ホップのパケット転送が行われる。これに対し、IP over ATM, MPLS, IP over Optical Path (IP over Photonic [11]), フォトニックMPLSではトラフィックエンジニアリング並びに転送におけるIPレイヤのカットスルーのためにパスの概念を導入し、前二者においては電気処理によりパス機能を実現し、後二者においては光領域でパス機能を実現したものと見える。

図2(a), (b)にそれぞれ、IP over Optical PathとフォトニックMPLSの構成を示す。IP over Optical Pathでは、IPルータからはOXC (Optical Cross-Connect) 等の光レイヤ装置の存在は認識せず、End-to-End IPルータ間がオプティカルパスで直結されているように見える。この結果、途中のノードではIP処理が不要になるため、途中のノードでのIP処理能力の低減を図ることができる。一方、フォトニックMPLSは、波長をラベルとして使用するMPLS技術であり、同一対地へ伝送されるパケットのストリームに同じ波長ラベルを付与したイメージでとらえられる。フォトニックMPLSはIP over Optical Pathのメリットを活かしたまま、さらにIPルータで培われたMPLS制御技術をより低位レイヤの光領域に拡張したフォトニックMPLS制御技術により、IPトラフィックの変動に応じたダイナミックなオプティカルパスの設定変更が可能となる。

## 2.2 フォトニック MPLS

QoS の確保の点から、コネクションレス型の IP ネットワークにコネクション制御の概念を導入し、経路、帯域、QoS を制御することで通信品質要求の多様化に対応するパケット転送制御方式が MPLS 技術である。ラベルによってスイッチングされるパスは LSP (Label Switched Path) として定義される。MPLS によるスイッチングも高位レイヤにおける電気処理技術であるため、処理能力の点では、その改善効果に限界がある。

抜本的に解決するためには、MPLS の考え方を、より低位レイヤへ拡張、発展させていくことが不可欠である。このように、より一般的なラベルで識別されるパスの切替制御を実現する技術が G-MPLS (Generalized MPLS)[12]であり、世界中で研究開発が行われている。G-MPLS のうち、ビットストリームに波長をラベルとして付与する場合を特に MPλS[7]と呼ぶ。フォトニック MPLS は、MPλS から、光信号のラベルヘッダを光パースト/パケットに付加するような将来の光 IP 技術までを網羅するコンセプトである。

フォトニック MPLS ルータでは、同一対地に向けた LSP 群に対して波長をラベルとしてスイッチングする OLSP (Optical LSP) を割り当てる。LSP と OLSP に MPLS の LSP 階層化と Label Stacking 技術[13]を適用し、LSP 構成を階層化することで、例えば電気の MPLS 技術により粒度の細かな制御 (Mbps, Kbps 程度) を行い、フォトニック MPLS により粒度の粗い制御 (数百 Mbps 以上) を行うことで、きめ細かい要求に柔軟かつ経済的に対応可能なネットワークを構築することができる。また、この階層化の概念を適用することにより、フォトニック MPLS により構築されたネットワークにおける管理対象 LSP/OLSP 数は、大規模 IP/MPLS ルータで構築したネットワークにおける管理対象 LSP 数と比較して低減され、運用性の向上を図ることも可能となる。

## 2.3 管理制御プレーン

IP ネットワークと光ネットワークの統合動作の実現に向け、オーバーレイモデルとピアモデルの2つについて盛んに議論されている(図3)。オーバーレイモデルでは、光ネットワークをサーバレイヤ、IP ネットワークをクライアントレイヤとし、各レイヤに閉じたネットワーク運用・管理を行う。IP ネットワークと光ネットワークとは、OIF (Optical Internetworking Forum) で制定中の O-UNI (Optical User Network Interface)[14]を介して接続される。一方、ピアモデルは光クロスコネクタ等

の光ネットワークエレメントと IP ルータとが対等 (ピア) な関係にあるネットワークモデルである。このモデルでは、光と IP のドメイン間でシグナリング、ルーティングが共有され、LSP はシームレスに統合管理される。

## 3. フォトニック MPLS ルータ

フォトニック MPLS ルータは、IP ルータ、MPLS スイッチ、フォトニック MPLS スイッチを統合化し、一元的なネットワーク管理・運用を行うことを実現し、フォトニック MPLS 技術を実装した次世代大容量 IP ルータシステムである。

・フォトニック MPLS ルータによる網構成を図4に示す。フォトニック MPLS ルータは、ハードウェアとしてのフォトニック MPLS ルータ (IP ルーティング部+波長ルーティング部)、および管理制御プレーンソフトウェアとしての NE (Network Element) マネージャから構成される。

MPLS で用いられている LSP に対し、フォトニック MPLS で用いられているオプティカルパスを OLSP (Optical LSP) と定義する。IP ルーティング部に入力された IP パケットは、IP ルーティング部で MPLS 技術を用いて LSP に収容されたあと、波長ルーティング部で OLSP に収容され、OLSP の経路設定により目的地に伝達される。

フォトニック MPLS による OLSP 設定/切替機能を用いて、隣接するフォトニック MPLS ルータ間で制御メッセージのやりとりを行い、ネットワーク内で分散的な制御により、OLSP の設定を行う。

実現したフォトニック MPLS ルータの波長ルーティング部の主要諸元を表1に示す[5][8]-[10]。光スイッチ部は PLC (Planar Lightwave Circuit) による石英系熱光学スイッチ技術[15]を用いて実現した。波長ルーティング部には光スイッチに加えて WDM 伝送機能及び波長変換機能を備えている。IP ルーティング部は、市販の IP/MPLS ルータを用いて実現した。

フォトニック MPLS ルータは大容量 IP ルータシステムであり、2.3 節で述べたピアモデルの発展形態である。ピアモデル的な運用の他に、IP 以外のクライアントへの対応や、波長 VPN (Virtual Private Network) サービスへの対応できるように、オーバーレイモデル的な運用をも実現する。

## 4. 管理制御部の実装

### 4.1 MPλS

ITU-T 勧告 G.872[16]のアーキテクチャである

OTN (Optical Transport Network) においては、オプティカルパスの考え方は SONET/SDH と同様に双方向パスである。一方、MPLS では、LSP は単方向パスであり、上り方向と下り方向のパスを同時に設定する必要はない。したがって、OLSP を設定するための MP $\lambda$ S を MPLS ベースに実現する場合、従来の MPLS で用いられているシグナリングプロトコル双方向パス用に拡張する必要がある。今回の実装では、ストリームベースのオプティカルパス信号を OLSP として取り扱う MP $\lambda$ S の実現手法として、既存の CR-LDP (Constraint-based Routing Label Distribution Protocol) [17] を双方向 OLSP 用に拡張したものを実装した。これにより、従来のような集中制御ではなく、ネットワーク内での分散的な制御により OLSP (オプティカルパス) の設定制御が実現できる。また、双方向 OLSP への拡張に伴い、両側からの同時パス設定要求の排除する機能拡張も行った。図 5 に OLSP を設定する際のシグナリング例を示す。標準の CR-LDP シグナリングとほぼ同一である。

#### 4.2 光ネットワーク管理

フォトニック MPLS ルータ網では、IP ネットワークとフォトニックネットワークとを、LSP と OLSP を階層化する手法を用いて統合的に扱うこと、「分散的管理手法」を大幅に取り入れることにより、管理をシンプルにし、効率的な設備投資を実現することができると思われる。したがって、LSP/OLSP の管理のみならず、OCh (Optical Channel = オプティカルパス)、OMS (Optical Multiplex Section)、OTS (Optical Transmission Section) の 3 レイヤから構成される光ネットワーク [16] の管理も必要である。光ネットワークに関して、分散制御に適した NE 管理、トレイル管理、波長変換を含めたクロスコネクション管理、警報管理、性能情報管理等を実現するための MIB (Managed Information Base) を NE マネージャ上に実装した。この MIB は外部端末から SNMP (Simple Network Management Protocol) を介したアクセスにより遠隔操作・表示が可能である。光ネットワークに関する MIB は、本ルータにおける波長ルーティング部に相当する PTS (Photonic Transport System) により構築される光ネットワークの集中制御型ネットワーク運用管理を実現するために既に開発した MO (Managed Object) [18] を流用し、再定義することで実現した。

光ネットワークにおいて高機能な OA&M (Operation, Administration and Maintenance) を実現するために、表 2 に示すオーバーヘッド(OH)を各

レイヤに実装した。実装した OH により、フォトニック MPLS ルータは、これまでの PTS [18] で実現されている網的切替機能、故障/劣化区間同定機能と同等のロバスト性を備えている。網的切替機能として、OCh-OH に定義した APS (Automatic Protection Switching) チャンネルを用いた OCh 1+1 プロテクション、1:1 プロテクション (Extra traffic あり) を実装した。OCh 信号フォーマットは、ITU-T G.707 SDH 拡張フォーマット [18] を使用した。OSC (Optical Supervisory Channel) 信号フォーマットは SONET OC-3 信号フォーマットを流用した。OMS-/OTS-OH は、SONET OC-3 フレームの Section-/Line-OH 領域に格納し、転送する。なお、OC-3 フレームのペイロード部は NE マネージャ間通信チャンネルとして用いる。

#### 5. まとめ

フォトニック MPLS ルータ (HIKARI ルータ) の開発背景、及び実現したフォトニック MPLS ルータにおける管理制御について述べた。

フォトニック MPLS 技術を実装したフォトニック MPLS ルータにより、IP ネットワークと光ネットワークの統合化を図り、IP トラフィック需要に対応してダイナミックにオプティカルパスの設定/解除を実現することで、次世代大容量 IP バックボーンネットワークを経済的に構築することが可能となる。

今回、MP $\lambda$ S 技術を適用し実現したフォトニック MPLS ルータは、フォトニック MPLS 技術実現の重要なファーストステップであり、今後これらの分野を含むフォトニックネットワークの研究開発は一層加速されると考えられる。

#### 文 献

- [1] 岡田和比古, “光ソフトサービスビジョン,” NTT 技術ジャーナル, Vol. 13, No. 4, pp. 10-14, Apr. 2001.
- [2] K. Sato, S. Okamoto, and H. Hadama, “Network Performance and Integrity Enhancement with Optical Path Layer Technologies,” IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 12, pp. 159-170, Jan. 1994.
- [3] E. Rosen, A. Viswanathan, and R. Callon, “Multiprotocol Label Switching Architecture,” IETF RFC, RFC3031, Jan. 2001.
- [4] S. Okamoto, “A proposal of the Photonic MPLS Network,” OIF contribution, OIF2000.017, Jan. 2000.
- [5] 岡本聡, 滝川好比郎, 古賀正文, “フォトニック MPLS ルータによる IP 網構成,” 電子情報通信学会フォトニックネットワークをベースとするインターネット技術(PNI)研究会, PNI2001-5, July, 2001.
- [6] Y. Yamabayashi, M. Koga, and S. Okamoto, “Autonomously Controlled Multiprotocol Wavelength Switching Network for Internet Backbones,” IEICE Trans. Commun., Vol. E83-B, No. 10, pp.2210-2215, Oct. 2000.

- [7] D. O. Awduche, Y. Rekhter, J. Drake, and R. Coltun, "Multi-Protocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control with Optical Crossconnects," IETF Internet Draft, draft-awduche-mpls-te-optical-03.txt, (work in progress), Apr. 2001.
- [8] 佐藤健一, 滝川好比郎, 古賀正文, "テラビット級「Hikari」ルータ (フォトニック MPLS ルータ) を開発," NTT 技術ジャーナル, Vol. 13, No. 8, pp.41-45, Aug. 2001.
- [9] 吉田英二, 古賀正文, 滝川好比郎, "フォトニック MPLS ルータの試作," 2001 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-10-107, Sep. 2001.
- [10] 島野勝弘, 佐原明夫, 河合武司, 高橋哲夫, 渡辺篤, 吉田英二, 狩野文良, 岡本聡, 野口一博, 古賀正文, 滝川好比郎, 佐藤健一, "フォトニック MPLS ルータによる IP と光ネットワークの結合," 2001 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, SB-13-4, Sep. 2001.
- [11] A. Watanabe, S. Okamoto, and K. Sato, "Robust IP Backbone Network Utilizing WDM Optical Paths," IEICE Trans. Commun. Vol. E-82B, No.8, pp. 1115-1120, Aug. 1999.
- [12] P. Ashwood-Smith, D. Awduche, A. Banerjee, D. Basak, L. Berger, G. Bernstein, J. Drake, Y. Fan, D. Fedyk, G. Grammel, K. Kompella, A. Kullberg, J. P. Lang, F. Liaw, T. D. Nadeau, D. Papadimitriou, D. Pendarakis, B. Rajagopalan, Y. Rekhter, D. Saha, H. Sandick, V. Sharma, G. Swallow, Z. B. Tang, J. Yu, and A. Zinin "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture," IETF Internet Draft, draft-ietf-ccamp-gmpls-architecture-00.txt, (work in progress), June 2001.
- [13] E. Rosen, D. Tappan, G. Fedorkow, Y. Rekhter, D. Farinacci, T. Li, and A. Conta. "MPLS Label Stack Encoding," IETF RFC, RFC3032, Jan. 2001.
- [14] OIF, "User Network Interface (UNI) 1.0 Signaling Specification," OIF contribution, OIF2000.125.5, June 2001.
- [15] 郷隆司, 柴田知尋, 渡辺俊夫, 奥野将之, 杉田章夫, "大規模集積石英系熱光学スイッチ," NTT R&D, Vol. 50, No. 4, pp. 272-280, Apr. 2001.
- [16] ITU-T, "Architecture of Optical Transport Networks," ITU-T Recommendation, G.872, 1999.
- [17] O. Aboul-Magd, L. Andersson, P. Ashwood-Smith, F. Hellstrand, K. Sundell, R. Callon, R. Dantu, L. Wu, P. Doolan, T. Worster, N. Feldman, A. Fredette, M. Girish, E. Gray, J. Halpern, J. Heinanen, T. Kilty, A. Malis, and P. Vaananen, "Constraint-Based LSP Setup using LDP," IETF Internet Draft, draft-ietf-mpls-cr-ldp-05.txt, (work in progress), Feb. 2001.
- [18] S. Okamoto, M. Koga, H. Suzuki, and K. Kawai, "Robust Photonic Transport Network Implementation with Optical Cross-Connect Systems," IEEE Communications Magazine, Vol. 38, No. 3, pp. 94-103, Mar. 2000.

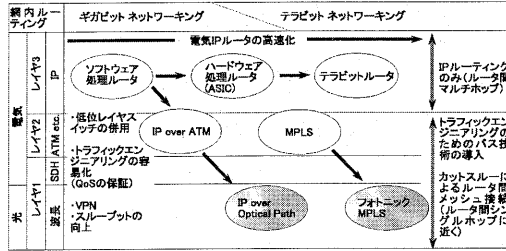
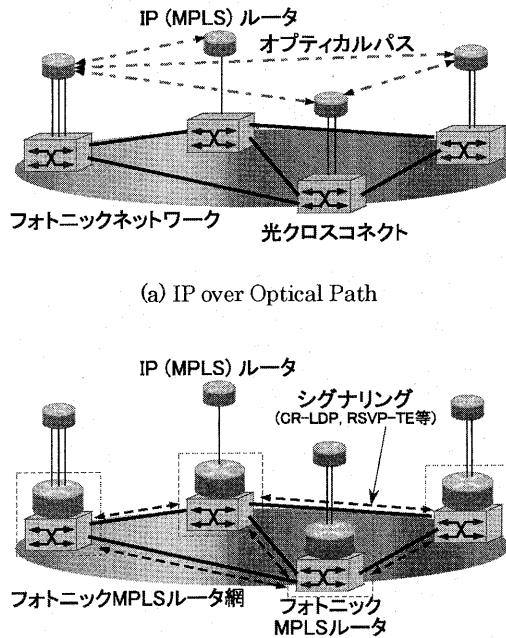
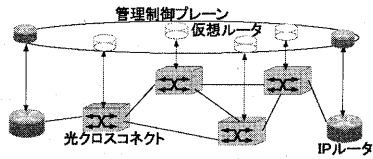


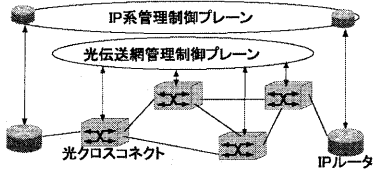
図1 IP バックボーンネットワーク技術の進展



(a) IP over Optical Path  
(b) フォトニック MPLS  
図2 光技術によるパス機能の実現



(a) オーバレイモデル



(b) ピアモデル

図3 管理制御プレーンモデル

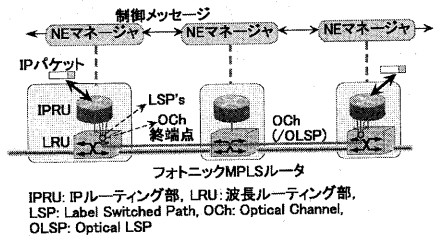


図4 フォトニック MPLS ルータによる網構成

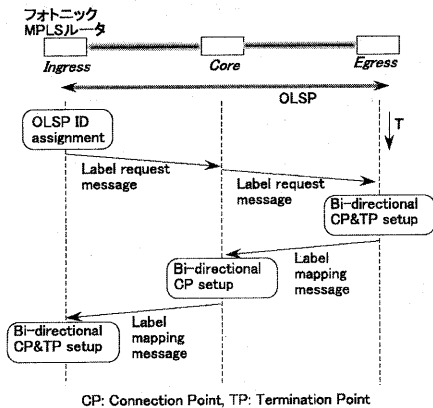


図5 OLSP 設定シグナリング例

表1 波長ルーティング部主要諸元

項目	仕様
光スイッチ	PLC 導波路型熱光学効果スイッチ
主信号波長帯	1550nm 帯 (Cバンド)
オプティカルパス容量	2.5 Gbit/s (10 Gbit/s まで対応)
最大波長多重数	32
最大 WDM 伝送用光ファイバ数	8 対
最大収容オプティカルパス数	双方向 128 パス (片方向換算 256 パス)
スイッチ規模	256×256
システム容量	640 Gbit/s (2.5 Tbit/s まで対応)
波長変換機能	あり

表2 光レイヤ・オーバーヘッド情報

レイヤ	名称	備考
OCh	フレーム同期	BIP
	OCh 誤り監視	導通監視
	OCh トレイルトレース	警報上流転送
	OCh ステータス	プロテクション
CMS	OTM レベル	主信号波長多重数
	OCh-FDI/BDI	警報下流/上流転送
OTS	OSC フレーム同期	BIP
	OSC 誤り監視	
	OTS-FDI/BDI	警報下流/上流転送

APS: Automatic Protection Switching, BDI: Backward Defect Indication, BIP: Bit Interleaved Parity, FDI: Forward Defect Indication, OTM: Optical Transport Module.