

フォトニックトランスポートネットワーク アーキテクチャと制御管理技術

アクセスネットワークで集約したユーザトラフィックを目的地まで転送するためのネットワークが、フォトニックトランスポートネットワークです。我々が重要と考えるフォトニックトランスポートネットワーク技術の方向性として、「ポイント・ツー・ポイント伝送システムからリング・メッシュネットワークへ」「電気再生中継器を削減して光信号のまま転送するトランスペアレント領域を拡大」「集中管理・集中制御から、集中管理・分散制御へ」「ICTリソースの連携」を紹介します。

じん の まさひこ いまじゅく わたる
神野 正彦 / 今宿 亙

さめじま やすのり たから ひでひこ
鮫島 康則 / 高良 秀彦

ひらの あきら まつだ かずひろ
平野 章 / 松田 和博

やまだ かずひさ
山田 一久

NTT未来ねっと研究所

今後のフォトニックトランスポートネットワークの要件

フォトニックトランスポートネットワークの役割は、アクセスネットワークを介して到着したユーザトラフィックを、同一の目的地域ごとに集約して1本の波長パスに収容し、波長多重伝送技術や光クロスコネクタ技術を利用して、目的地域まで転送することです。ブロードバンド環境の整備など最近の環境変化によって、フォトニックトランスポートネットワークに求められる性能や機能は、ますます高度になってきています⁽¹⁾。この項ではまず、フォトニックネットワークに求められる要件について説明します。

ブロードバンドのアクセス環境がビジネスユースのみならず、一般家庭まで普及するとともに、企業におけるICT利用の大幅な拡大、動画係系に代表される新サービスの相次ぐ出現により、ルータやスイッチの間の回線には、ギガビット毎秒を優に超える容量が必要になってきています。これらの新サービスは需要の長期的な予測が難しく、またいったん始まると需要が急速に拡大するという特徴があります。このため、

フォトニックトランスポートネットワークは、ギガビットを超える超大容量の波長パスを、トラフィック需要に即応して迅速に提供することが求められます。また、ICTが社会インフラとして浸透し、社会生活のライフライン、企業のビジネス活動の根幹となっていること、フォトニックトランスポートネットワークは集約された大容量トラフィックを運んでいることから、いったんネットワークが故障するとその影響は従来に増して深刻です。したがって、災害等でネッ

トワークが切断されても、速やかに故障区間を特定し、トラフィックを迂回経路に切り替える機能を備える必要があります。さらに、団塊世代の大量退職や少子化による労働人口の減少を見据え、自動化による遠隔操作を進め、オペレーションコストを削減していくことも重要です(図1)。

このような要求条件を満足するためには、ユーザトラフィックが物理的に流れるデータプレーン(Dプレーン)だけでなく、ネットワークを制御するコン

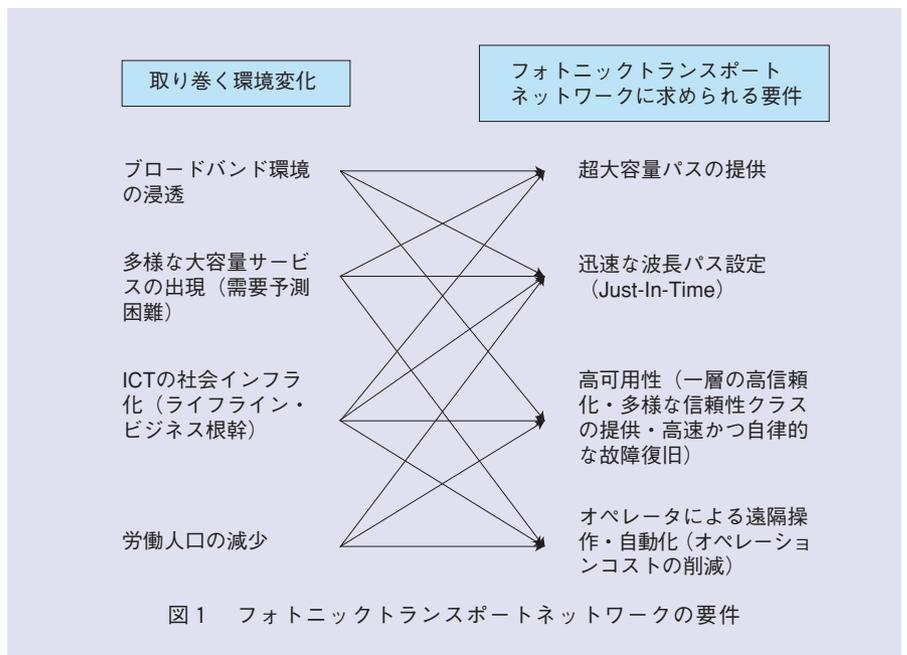


図1 フォトニックトランスポートネットワークの要件

トロールプレーン (Cプレーン)、ネットワークを管理するマネジメントプレーン (Mプレーン) を含めたネットワーク全体を最適にデザインすることが必須となります。

ネットワークアーキテクチャ

我々が重要と考えるフォトニックトランスポートネットワークのアーキテクチャ上の4つの方向性を図2に示します。

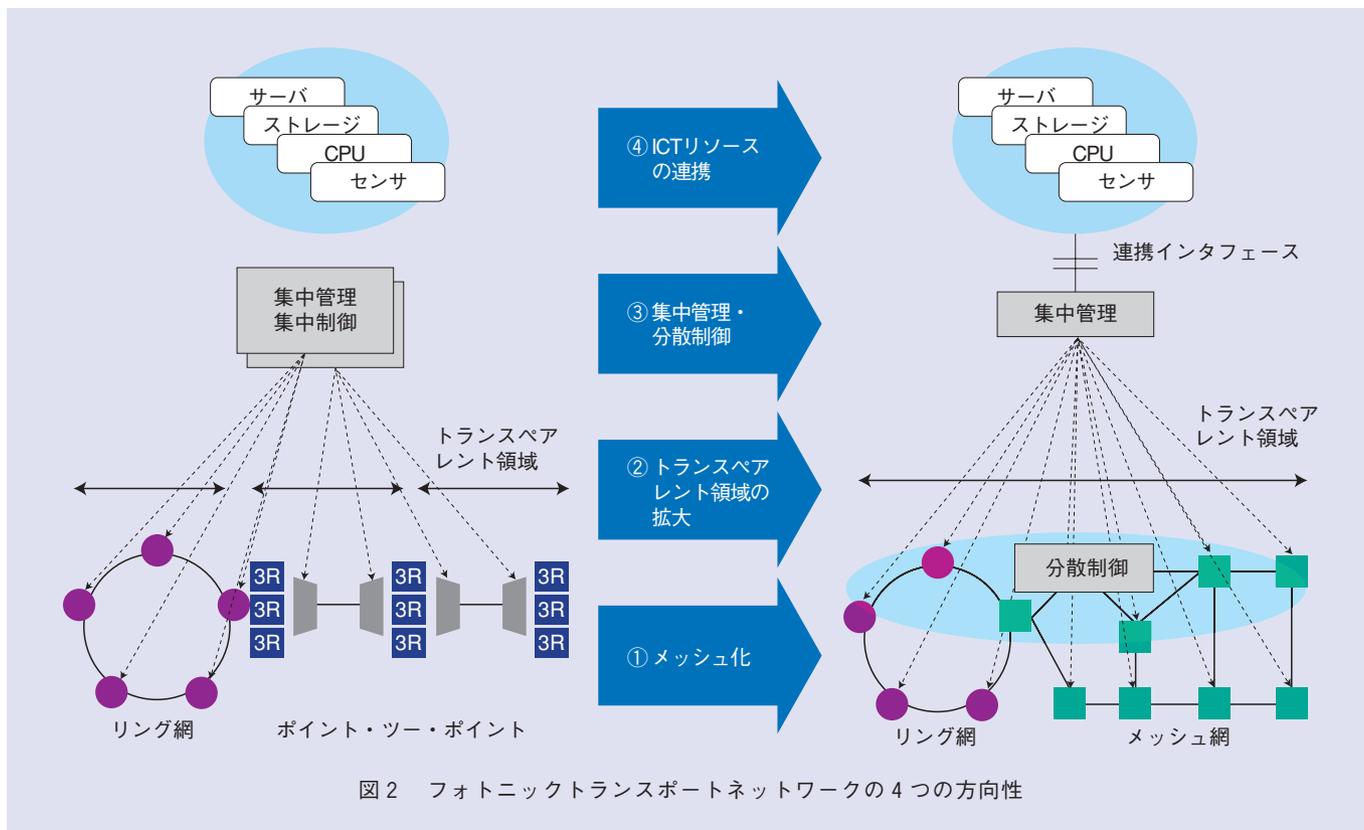
(1) メッシュネットワーク化

波長の異なる複数の光信号を1本のファイバに光領域で多重化して送る波長多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 伝送技術は、まず2地点間を結ぶWDMポイント・ツー・ポイントシステムに導入され、ついで光スイッチを備えた光ノードをリング状に配置したメトロエリアのROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer) リングネッ

トワークへと発展しました⁽¹⁾。現在、バックボーンネットワークは、複数のWDMポイント・ツー・ポイントシステムを、電気再生中継器 (3R中継器) を介して波長ごとに手動で接続することで構築されていますが、今後、接続点に、多方路 (3以上) 切替機能を有する光ノード、OXC (Optical Cross Connect) を導入することで、ポイント・ツー・ポイントからメッシュ状の面的に広がりのあるバックボーンネットワークに展開されていくと考えられます。

これによって、OXCを遠隔操作することで、ネットワークの共有波長リソースから必要な波長リソースを接続して、必要な地点間に迅速に波長パスを設定することが可能になります。また災害や事故等により光ファイバが切断された場合にも、予備波長リソースを使って、迂回経路にすばやく切り替えることが可能になります。

(2) トランスペアレント領域の拡大
 前述の電気再生中継器は、長距離伝送中に累積する雑音や波形歪により劣化した光信号をデジタル再生するために用いられますが、波長ごとに必要なことから、装置コストや設置スペースの大きな割合を占め、またパス需要が発生するたびに、現地で人手による設置作業が必要です。したがって、電気再生中継を介さず、光信号のまま転送されるネットワークを実現できれば、パスの始点から終点までの全区間にわたって、遠隔操作による迅速な波長パスの設定が可能になり、サービスリードタイムの短縮とオペレーションコストの削減が可能になります。また、大幅な装置経済化、省スペース化、省電力化など、大きな効果が期待できます。このようなネットワークは、「透明」という意味で、「トランスペアレント」ネットワークと呼ばれます。トランスペアレントネットワークは、メトロエリア



ではROADMリングネットワークとして実現されていますが、今後は電気再生中継なしで転送可能なオプティカルリーチを1 000 km～2 000 kmに伸ばすとともに、適用可能なネットワークトポロジをリングからメッシュに拡張していくことが重要となります。このためには、超長距離伝送⁽²⁾や広帯域低損失OXC⁽³⁾の研究開発を進めることに加えて、これまでの伝送システムと同等の保守運用性を確保するための、トランスペアレントメッシュネットワーク監視制御技術を確立していくことが必須となります。

(3) 集中管理と分散制御

現状の伝送系システムは、キャリアによるサービスの提供を前提に、設定するパスとパスを構成する設備の「管理」、パスの設定ならびに削除、切替といった「制御」は、いずれも網管理システム(NMS: Network Management System)にて集中的に実施され、CプレーンとMプレーンの明確な区別はありませんでした。これに対し、IP系システムは、複数の管理ドメインをまたがったグローバルなリーチャビリティやサバイバビリティの確保が優先されるため、トポロジ情報の収集や経路の計算などが自律分散的に行われます。なお、制御信号を転送するCプレーンは、主信号を転送するDプレーンと同一のネットワーク上に構築されています。一方、IP系システムの運用高度化を目的に、LSP(Label Switched Path)と呼ばれるパスの概念を導入したMPLS(Multi Protocol label Switching)技術が開発されました。NTT研究所では、このMPLS技術を、パケット系のパスの制御だけでなく波長パスやTDM(Time Division Multiplexing)パスの制御にも適用可能なように拡張したGMPLS

(Generalized MPLS)技術^{(4),(5)}の研究開発を推進するとともに、標準化へ貢献してきました。IETF(Internet Engineering Task Force)ではGMPLS技術の3つの主要プロトコル、ルーチング・シグナリング・リンク管理プロトコルの標準化が、ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication sector)においては、シグナリングを利用して自律的にパスの設定を行う光ネットワークASON(Automatic Switched Optical Network)の標準化が、それぞれ完了しています。

なお、IPベースの制御信号をDプレーン上で処理できないレイヤ1ノードもあることから、CプレーンはDプレーンと物理的に分離して構築されます。GMPLS技術を導入したフォトニックトランスポートネットワークでは、オペレータによるパス・設備の集中管理の利点と、トポロジ情報やネットワークリソースのリアルタイム収集、パス設定の自動化、故障時の自律的な迂回経路計算・パス切替などの分散制御の利点を組み合わせることで、高度の運用性と迅速性、信頼性を両立できるものと期待されます。

さらに、GMPLSを用いることで、IPレイヤとTDMレイヤ、波長レイヤを同一のフレームワークで統合して運用制御することが可能になります。このような光IPネットワーク技術については、本誌2007年1月号の特集『光IPネットワーク技術の展望と最新動向』で詳しく紹介されています^{(6)~(9)}。

(4) ICTリソース連携

近年、複数のサーバ、ストレージ、CPU、計測器、ディスプレイ等のコンピューティングリソースを連携させて1つのサービスとして提供する「グリッ

ドコンピューティング技術」が注目を集めています。また、高精細動画像など帯域や遅延特性などに敏感なハイエンド・アプリケーションが次々に出現しています。従来、コンピューティングリソースやアプリケーションとネットワークは、固定的な接続関係で結ばれ、また品質保証も必ずしも十分ではありませんでした。今後は、コンピューティングリソース間を必要な期間だけ、必要な帯域とトポロジで結ぶ、あるいはアプリケーションの状況に応じて帯域や品質を適応させるなど、ネットワークとの連携を密にした高付加価値サービスの創出が求められます。

次項からは、以上のアーキテクチャ上の方向性の中で、特にフォトニックネットワークの制御と管理、ならびにコンピューティングリソースとの連携について、詳しく説明します。

ネットワーク制御管理技術

図3は、GMPLS技術を導入したフォトニックトランスポートネットワークにおけるMプレーンとCプレーン、Dプレーンの連携モデルとその利点について説明した図です。

まず、各OXCはリンク管理プロトコルにより、互いの隣接関係やリンク状態を自動認識し、NMSに通知します(図3①)。これにより、NMSでは随時最新のネットワークリソース状態(マルチレイヤ環境では各レイヤのパスの収容関係)を把握することができます。パス設定時には、NMSにてパスを定義(パス始点・パス終点、パスの冗長クラスなど)し、パス始点のOXC(A)に対してパス設定指示を送信します(図3②)。パス設定時の経路計算については、NMSで集中的に実施するモデルとパス端のOXCで自律分散的に実施するモデルの2つが考えられ

ます⁽⁸⁾。パス始点のOXC (A) はCプレーンを使って、パス経路上のOXC (B), (C) に向かってOXCのコネクション設定のシグナリングを創出し (図3③)、パス設定完了後、パス設定状態をNMSに通知します (図3④)。パスや設備の状態管理や検索などの機能は従来どおり、NMSにて提供されます。

一方、光ファイバ断などの故障発生時には、パス始点のOXC (A) が故障検出後直ちに、自律的に迂回経路を計算して、迂回パス設定のシグナリングを発出し (図3⑦)、切替完了後、迂回パスの状態をNMSに通知します (図3⑧)。なお、運用ポリシーによっては、迂回経路の適否と切替の可否をオペレータに確認する手順が踏まれます (図3⑥)。

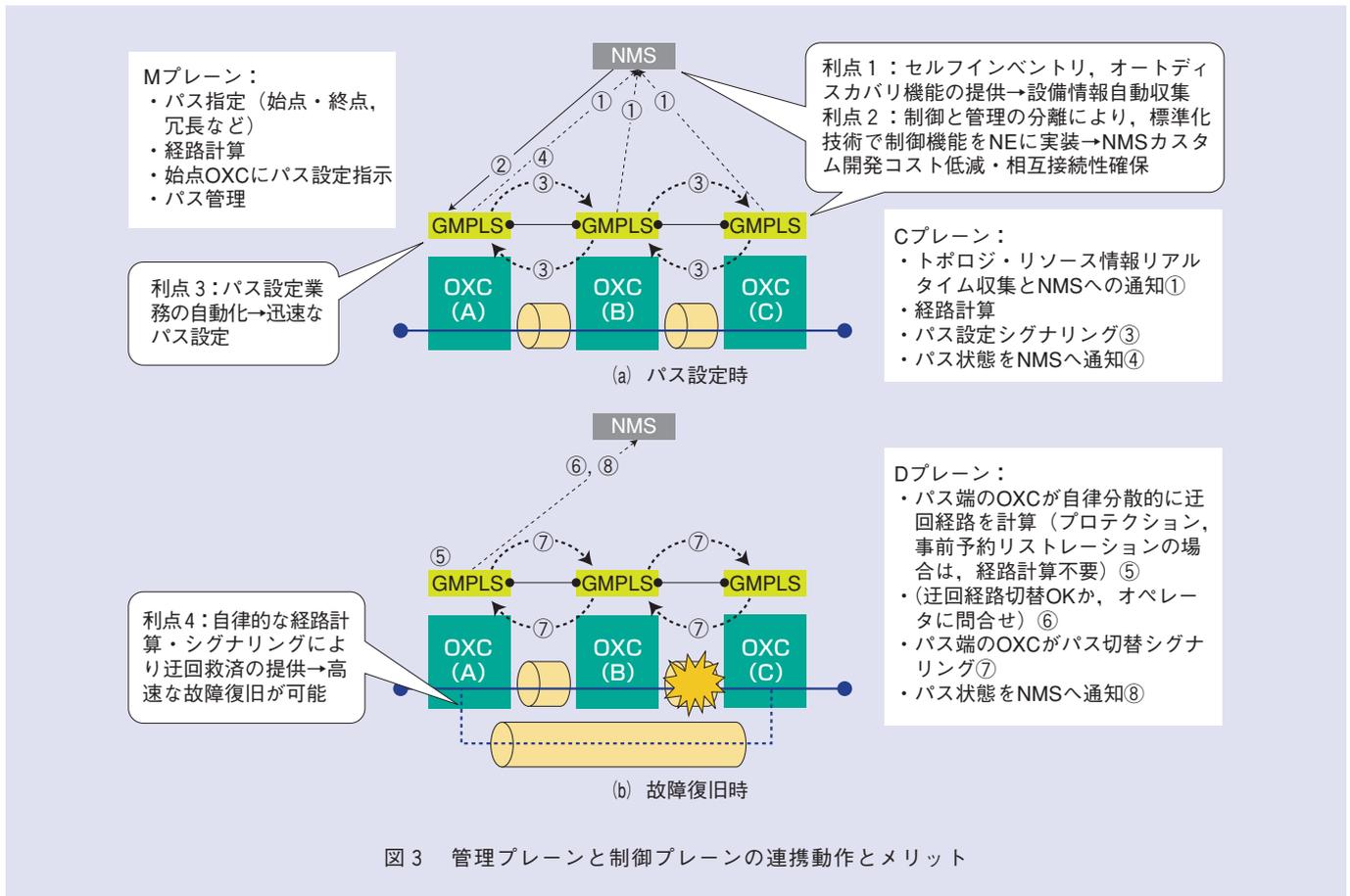
このように、従来NMSが担ってきた制御機能を、GMPLS標準技術に

よって装置側に分散的に実装することで、「セルフインベントリ、オートディスカバリ機能の提供」「NMSカスタム開発コスト低減」「パス設定業務の自動化」「激甚災害時等の大規模故障時においても高速の自律的な故障復旧が可能」といったメリットを提供することができます。CプレーンとMプレーンが連携動作することで、NMSでは常に最新のネットワーク状態を把握することが可能です。

図4で、多重故障発生時にも、運用ポリシーに応じて柔軟に故障復旧することを可能とする技術について紹介します。図4 (a) は単一故障時の復旧動作を示しています。青実線と赤実線で示した2つのパス、A-DとB-Cは、区間B-Cに故障が発生すると、それぞれのパスの始点OXC (A), (B) からの自律分散的なシグナリングにより、

直ちにあらかじめ計算しておいた予備経路 (AIJED, BIJC) へ切り替えられます (図4では予備経路を、経路重複がない他のパスH-F, G-Fと共有することで予備リソースを節約する場合を記載しています)。

多重故障等により迂回した経路にも故障が発生した場合は、始点OXC (A), (B) は利用可能な空き波長リソースから第3の迂回経路をそれぞれ自律分散的に探索します。この際、運用ポリシーに応じて多彩な救済方式が選択可能です。例えば、重要パスA-Dを優先的に救済する (図4 (b))、あるいはそれぞれのパスの帯域を絞って (波長パスの場合は波長数, TDMパスの場合は帯域)、どちらのパスのコネクティビティも確保する (図4 (c)) などのポリシーが考えられます。



ICTリソースの連携技術

フォトニックトランスポートネットワークのメッシュ網化、トランスペアレント化、GMPLS制御による敏捷性向上により、ネットワークオペレータは遠隔操作により、ネットワーク全体の波長リソースプールから必要なリソースを利用して、任意の地点間に素早く波長パスを設定することができます。これは、ネットワークの仮想化技術ととらえることができます(図5(a))。近年、サーバ、ストレージ、CPU、計測器、ディスプレイ等の仮想化技術が進展しており、ネットワークの仮想化と連携させることで、これらのICTリソース間を必要な期間だけ必要なトポロジで接続し、1つの仮想的なサービスとして提供するなど、新たな高付加価値のネットワークサービス創出の可

能性が出てきました。このような技術は「ラムダグリッド」と呼ばれています(図5(b))。

ラムダグリッド技術に基づくネットワークサービスが広く商用に供されるためには、コンピューティングリソースを管理するGRS(Grid Resource Scheduler)とネットワークリソースを管理するNRM(Network Resource Manager)の連携の枠組みを規定し、ネットワークリソース予約のためのインタフェースを策定、普及させていくことが重要です。このため、NTT研究所では、産業技術総合研究所グリッド研究センター、情報通信研究機構、KDDI研究所と連携して、G-lambdaプロジェクト⁽¹⁰⁾を推進しています。プロジェクトでは、汎用的なWeb Service技術に基づくインタフェース規定GNS-WSI(Grid Network

Service-Web Service Interface)を策定し、2006年9月、これを使った日米間にまたがるITCリソース連携実験に成功しました。また、イリノイ大学シカゴ校と協力して、同校が開発した大規模動画画像描画アプリケーション(SAGE the Scalable Adaptive Graphics Environment)とフォトニックネットワークの連携実験を実施し、有効性を確認しました⁽¹¹⁾。

今後の展開

フォトニックトランスポートネットワーク技術は、メッシュ化、トランスペアレント化、インテリジェント化、コンピューティングリソースとの密連携の方向で発展していくものと期待され、キャリアネットワークの革新のみならず、インターネットエクスチェンジ(IX: Internet eXchange)の光化に

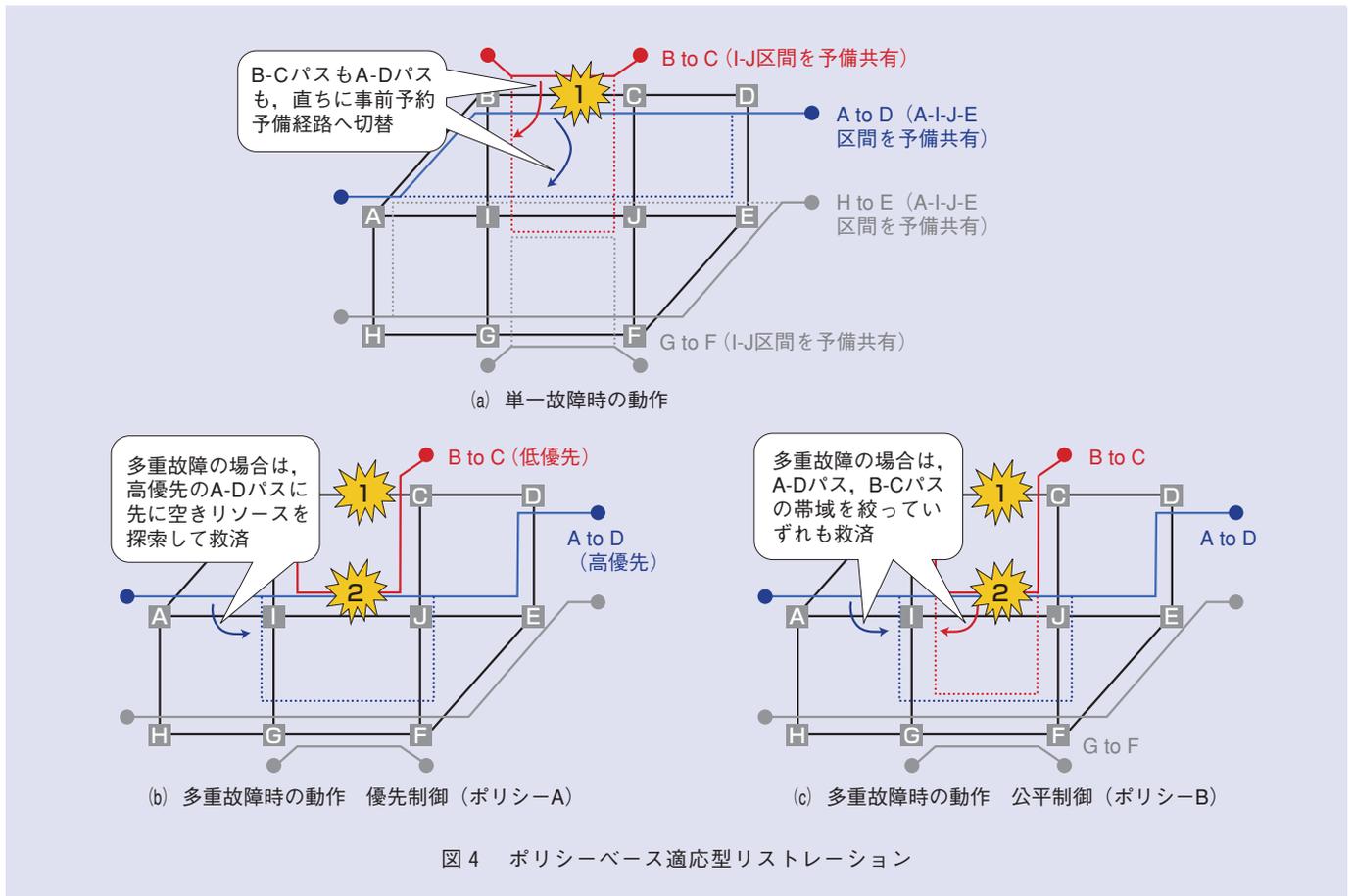


図4 ポリシーベース適応型リストレーション

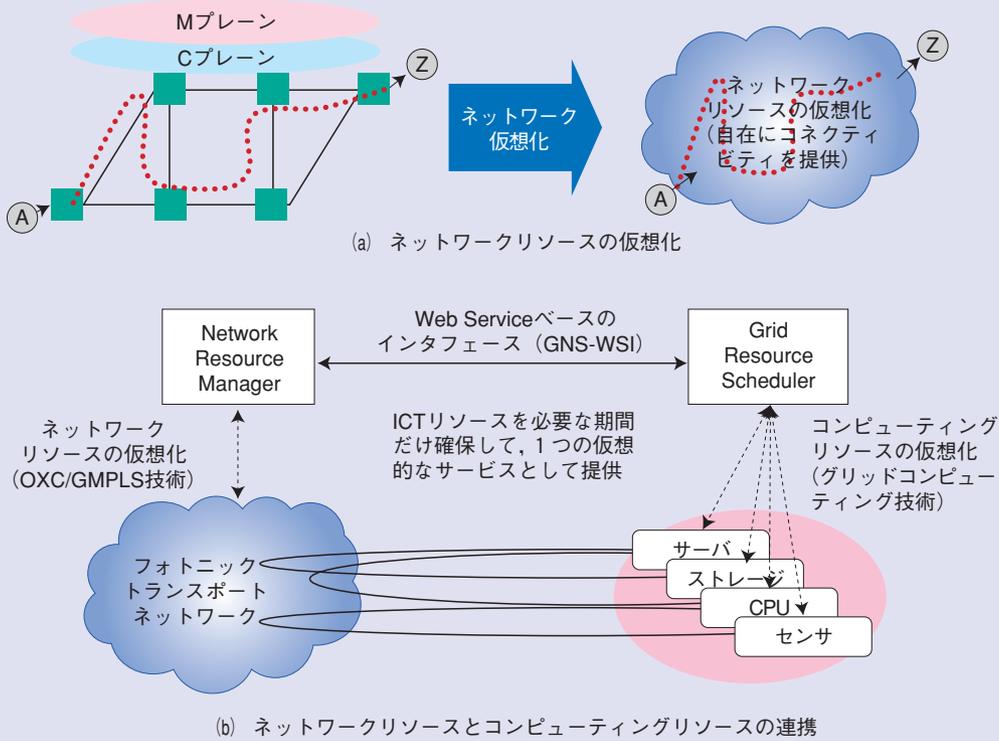


図5 グリッド技術利用による他のITCリソースとの連携

よる大容量化・高信頼化・フレキシブル化にも大いに貢献するものと期待されます。今後、NMSとの高度連携技術、高度な故障救済技術、トランスペアレントネットワーク対応技術、TDMやパケットスイッチとの統合制御技術などの確立を目指して、研究開発を進めていきます。

■参考文献

(1) 日比野・坪川・神野・高田・宮本：“最新フォトニックネットワーク技術の概要,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.10, pp.8-13, 2007.
 (2) 宮本・佐野・増田・吉田：“10 Tbit/sを超える超大容量フォトニックトランスポート技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.10, pp.30-34, 2007.
 (3) 高田・高橋・社家：“フォトニックノード技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.10, pp.26-29, 2007.
 (4) 佐藤・滝川・古賀：“次世代ブロードバンドIP網を実現するフォトニックMPLSルータ,” NTT R&D, Vol.50, No.10, pp.738-749, 2001.
 (5) 島野・高橋・古賀・滝川：“次世代ネットワーク構築に向けたフォトニックネットワーク技術の高度化,” NTT R&D, Vol.52, No.3, pp.173-181, 2003.
 (6) 塩本・井上・松崎・大木：“IPオプティカルネットワークング技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.1, pp.8-12, 2007.

(7) 小島・清水・井上・塩本：“マルチレイヤサービスネットワークアーキテクチャとその実現方式,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.1, pp.13-17, 2007.
 (8) 大木・島崎・松崎・井上・塩本：“IPオプティカルネットワークにおける光IP連携サーバによるマルチレイヤトラフィックエンジニアリング,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.1, pp.18-21, 2007.
 (9) 武田・松崎・井上・塩本：“L1VPN——サービスコンセプトと実現技術,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.1, pp.22-26, 2007.
 (10) <http://www.g-lambda.net/>
 (11) 築島・平野・神野：“アプリケーションと連動したフォトニックネットワークの自律制御技術の北米フィールドトライアル,” NTT技術ジャーナル, Vol.19, No.2, pp.51-54, 2007.



(左から) 松田 和博/ 平野 章/
 神野 正彦/ 山田 一久/
 鮫島 康則/ 高良 秀彦/
 今宿 亙

フォトニックトランスポートネットワーク技術は、将来の超大容量でフレキシブルなバックボーンネットワークを経済的に構築するうえで要となる技術です。光のポテンシャルを最大限まで引き出すためには、Dプレーンから、Cプレーン、Mプレーンまで含めたフォトニックトランスポートネットワークのアーキテクチャ最適化と制御技術の高度化が、ますます重要になってきます。今後も世界を牽引する技術の研究開発に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTT未来ねっと研究所
 フォトニックトランスポートネットワーク研究部
 ネットワーキング方式研究グループ
 TEL 046-859-3107
 FAX 046-859-5541
 E-mail jinno.masahiko@lab.ntt.co.jp