

経済的なコア・メトロネットワークを実現する 超高速大容量光トランスポートネットワーク技術

NTT未来ねっと研究所では、経済的なコア・メトロネットワークを実現するため光トランスポートネットワークの研究開発を精力的に進めています。本稿では、安心・安全で多種多様なサービスを経済的に提供する、光バスをベースとした高機能、大容量、経済的な超高速大容量光トランスポートネットワーク技術を紹介します。

まつおか しんじ

松岡 伸治

NTT未来ねっと研究所

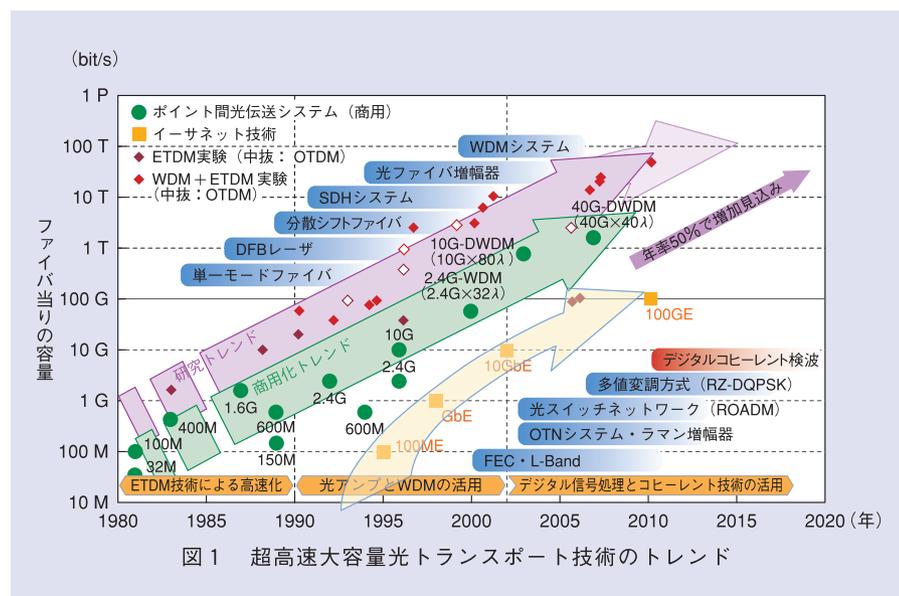
通信ネットワークと光トランスポート技術の現状

インターネットの普及、携帯電話からスマートフォン、YouTube・ニコニコ動画など映像配信の浸透、地上波デジタルに3D TV、オンラインショッピングに電子政府など、あらゆるサービスがネットワークを介して実現し、通信ネットワークサービスは予想を超えて発展し続けています。このようなブロードバンドサービスは、2010年3月に契約数が1500万を超え、まさしく家庭にも「光」の時代をもたらせた

FTTH（Fiber To The Home）や、2010年12月に開始した70 Mbit/s以上の通信速度を可能とするSuper3GのLTE（Long Term Evolution）など、陸上系・無線系の通信ネットワークが支えています。そして、これら通信ネットワークの構築には、年率約1.5倍もの勢いで増加するトラフィックを経済的に収容する超高速大容量光トランスポート技術が大きく貢献しています。図1は、これまでの超高速大容量光トランスポート技術のトレンドを示したものです。

トランスポートネットワークは、全国

の大都市間を大東の回線で接続するコアネットワーク、県単位で主要エリアを接続するメトロネットワーク、それと加入者との接続を行うアクセスネットワークに大別されます。特に、コアネットワークとメトロネットワークでは大容量の信号を接続する必要があり、超高速光伝送技術等の最先端光トランスポートネットワーク技術により経済的なトランスポートネットワークを構築してきました。現在では、40 Gbit/sの光信号を1本の光ファイバに40波長多重して伝送可能な1.6 Tbit/sのDWDM（Dense Wavelength Division Multiplexer）^{*1}伝送システム⁽¹⁾、10 Gbit/sの光信号をAdd/Drop（挿入・除去）して光リングネットワークを構成する800 Gbit/s（10 Gbit/s×80波）のROADM（Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer）^{*2}伝送システムが導入され、経済化・低消費電力化が実現されています。しかしながら、これらのシステムでも、図2



*1 DWDM：高密度波長分割多重方式の略。光ファイバを使った通信技術の1つ。波長の違う複数の光信号を同時に利用することで、光ファイバを多重利用する方式。

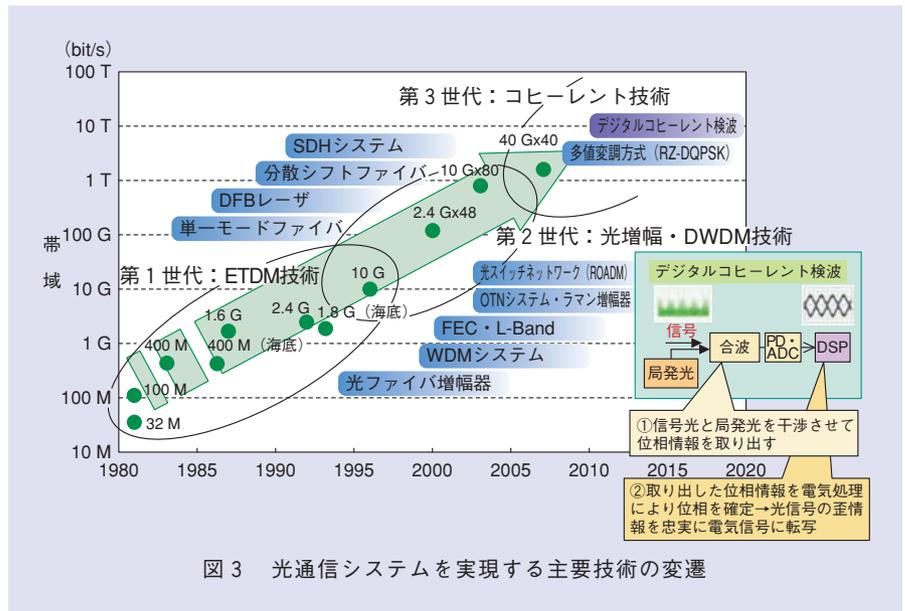
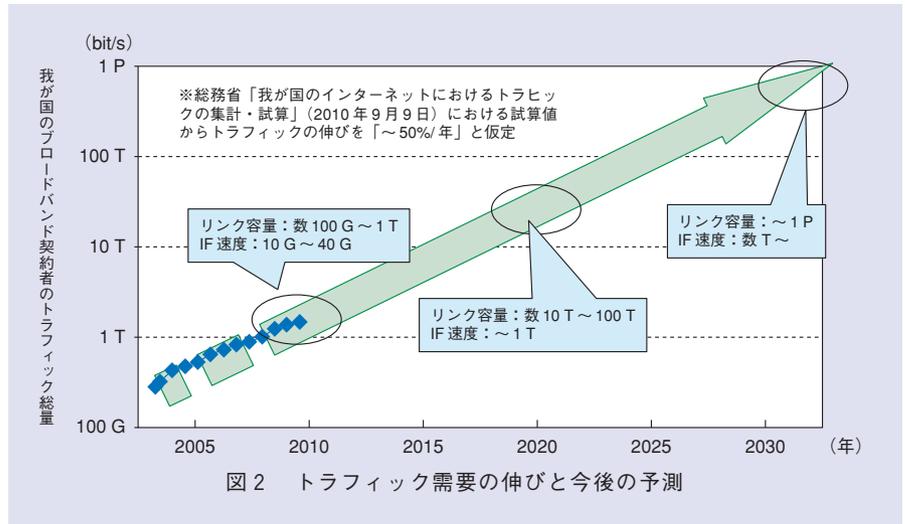
*2 ROADM：波長多重方式とバス管理の技術を組み合わせ、超高速・大容量の伝送ネットワークをうまく運用するための技術。

に示されるように今後急増するトラフィックに十分耐え得ることは難しく、さらなる経済的・低消費電力の光トランスポートネットワーク技術が求められています。

本特集では、次世代の光トランスポートネットワーク技術について、要素技術の概要、標準化動向、研究開発のねらい等を中心に紹介します。また、後半では10年～20年後といった将来へ向けた光トランスポート技術の一部も紹介します。

超高速大容量光トランスポート 最新技術動向

通信ネットワークに光技術が取り込まれて30年近くになりますが、この間に光ネットワーク技術は、伝送容量で4桁、伝送技術の指標となる帯域・距離積で6桁以上も向上し、めざましい発展を遂げてきました。これらの技術開拓にはいくつか大きな世代がありました。まずはETDM (Electrical Time Division Multiplexing)^{*3} 技術を中心とした第1世代、そしてEDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)^{*4} 光増幅技術やDWDM技術を中心とした第2世代、そして現在は、無線ネットワークに広く使われている波の性質を用いたコヒーレント技術 (光の波を用いた信号伝送) を中心とした第3世代に位置付けられています (図3)。特に、デジタル信号処理 (DSP: Digital Signal Processing) 技術と融合したデジタルコヒーレント技術は、今後の光通信を支える主要技術であり主要研究機関で鋭意研究開発が進められています。この技術は、従来技術よりもSNR (Signal to Noise Ratio)^{*5} が向上するだけでなく、光の位相を用いたQPSK (Quadrature Phase Shift Keying)^{*6} や



QAM (Quadrature Amplitude Modulation)^{*7} などの多値伝送や偏波を用いた多重などこれまでにない大容量伝送を実現するトランスポート技術です。さらに、伝送路である光ファイバで発生した波長分散や偏波モード分散に対する補償も可能となり、従来以上に長距離伝送が可能となるだけでなく、従来リンク間に用いられていた分散補償用の特殊な光ファイバ (DCF: Dispersion Compensated Fiber) が必要なく、受信側で経路変化にも柔軟に変更しながら一括で補償できるなど大きな利点があります。NTT先端技術総

合研究所では、国内の主要ベンダと共同で総務省委託を受けデジタルコヒーレント主要技術の研究開発を加速しています⁽²⁾。

- *3 ETDM: 電気時分割多重の略。複数の回線を束ねて1つの回線を共用するデジタル多重化技術の1つ。
- *4 EDFA: 光ファイバのコア部にエルビウム・イオンを添加した光増幅器で、主にDWDMの光増幅に利用。
- *5 SNR: 信号量と雑音量の比。SNRが高ければ伝送における雑音の影響が小さくなります。
- *6 QPSK: 搬送波の4つの位相に4値を対応させ、1回の変調 (シンボル) で2bitを伝送する多値変調方式。
- *7 QAM: 無線などで用いられるデジタル変調方式の1つ。

光トランスポートネットワークノード技術と高効率ネットワーク

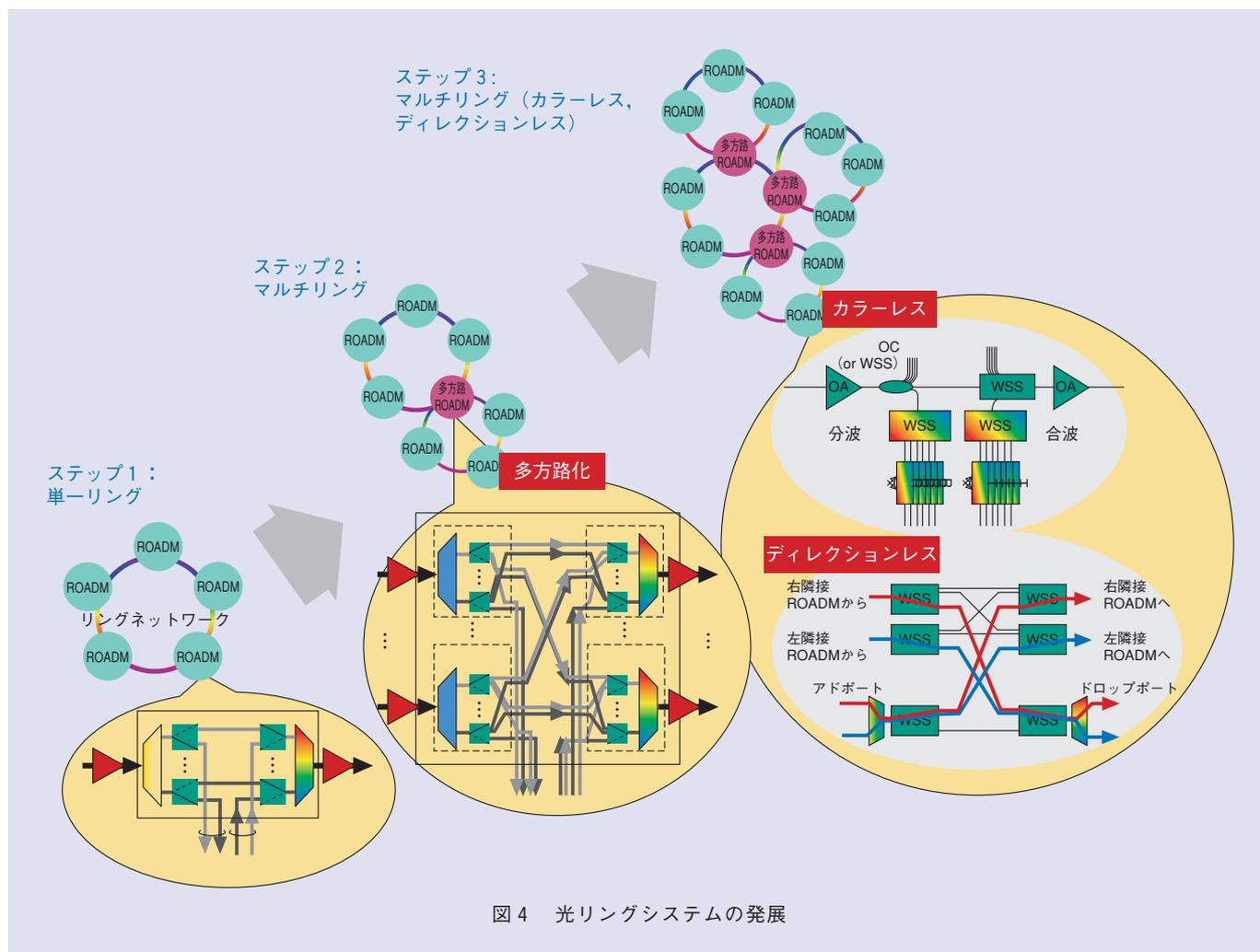
一方、デジタルコヒーレント技術等の進展で従来以上の大容量信号を長距離に伝送することが可能となり光領域が拡大するにつれ、光レベルでの効率的な設計や運用が重要となってきます。図4は光トランスポートネットワークのアーキテクチャの展開を示したものです。リングネットワークが基本のメトロコア領域では、現在光レベルで分岐・挿入を行うROADM伝送システムによる光単一リングシステムが主流ですが、ROADMに用いられる光スイッチの規模拡大により複数リングを光レベルで接続可能な光マルチリング

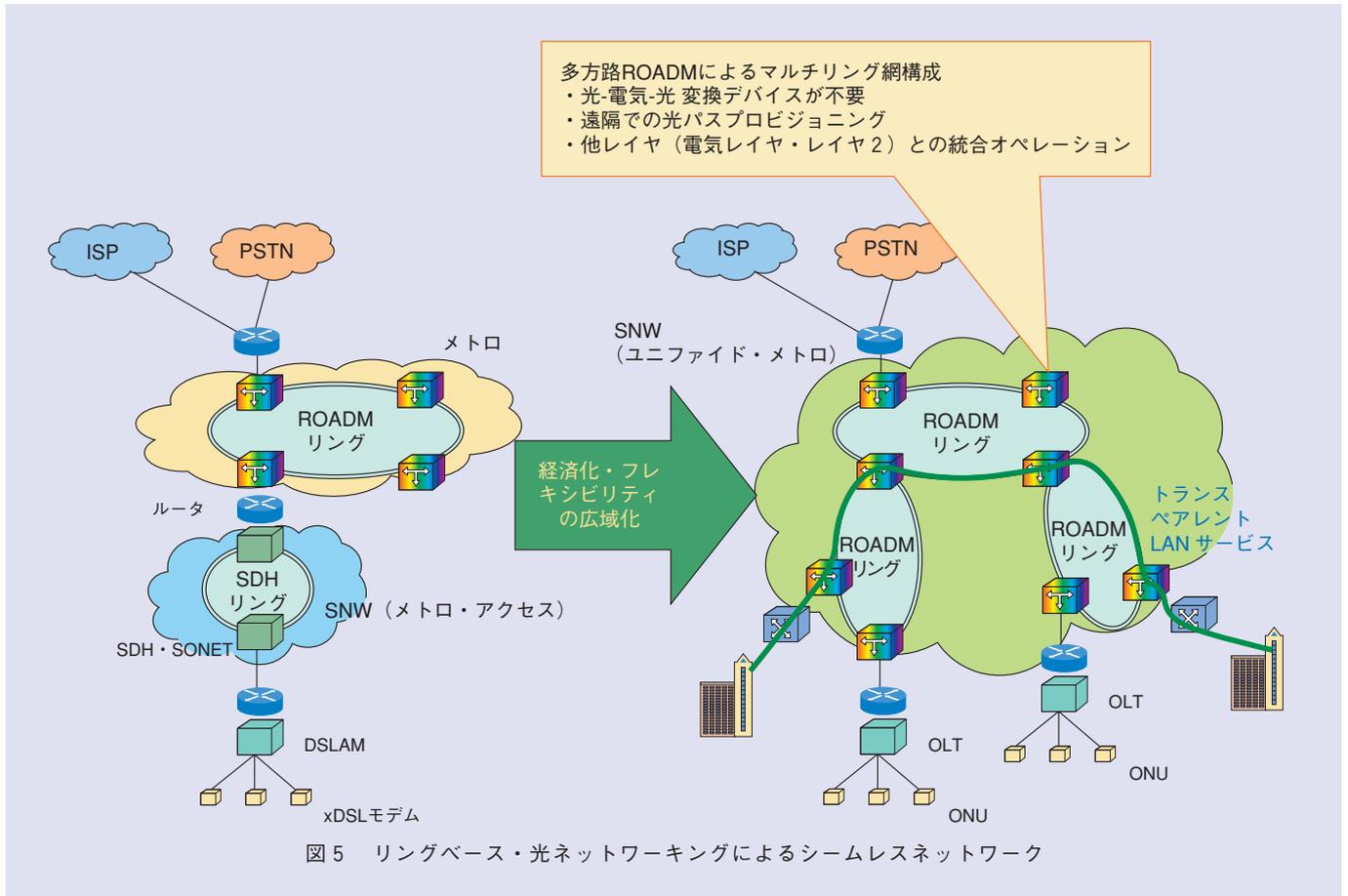
システムへと拡張していき、電気再生中継せず光信号のまま転送することで飛躍的に経済化が実現できます(図5)。また、WSS(Wavelength Selective Switch)等の光スイッチを工夫することで、カラーレスやディレクションレスといった色(波長)を気にせず運用を可能とする新たな技術も研究開発が進んでいき、図5に示すように、光ネットワークによる光レベルでの高度化が進みます。

光領域の拡大に伴い、光パスと電気パスとの連携を強化することによるトランスポートネットワーク全体の高度化も重要となります。データセンタ等の大都市エリアでの超高速サービス対応、LTE等の超高速モバイルパッ

クホール、ルーラルエリアでの中小規模トラフィックのアグリゲーション、従来電話網のマイグレーション等、トランスポートネットワークの果たす役割は従来以上に多様化が求められます。このため、複数方路を有する光パスレイヤ、OTN(Optical Transport Network)における大容量ODU(Optical-channel Data Unit)パスレイヤ、そしてMPLS-TP(Multi Protocol Label Switching - Transport Profile)^{*8}などのレイヤ2トランスポートレイヤの3階層を、ネットワーク規模に応じて適切に用いる(レイヤ間統

*8 MPLS-TP: MPLSの一部の機能を流用して、通信事業者が求める品質を実現するための要求条件を追加して最適化を図ったもの。





合) ことで従来以上の効率化が図られ、経済的なトランスポートネットワーク実現が期待されます。また、今後進展が進むクラウドネットワークの基盤網としての役割も果たしていくことでしょう。

光トランスポートネットワーク実現に向けた標準化の役割

グローバル化が進む光通信分野にとって、経済的なシステム構築には技術革新に加え世界市場を見据えた標準化によるデジュール化・デファクト化が欠かせません。従来の電話サービスに加えブロードバンドサービスなどさまざまなデータを統合的に収容し光パネットワークで効率良く転送するためのOTN技術、電話サービスからIP (Internet Protocol) 系サービスへと移り変わるにつれ高速化した高速イー

サネット技術、ネットワークを効率的に運用するGMPLS (Generalized MPLS)*⁹に代表されるネットワーク制御技術等、ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector), IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers), OIF (Optical Internetworking Forum) といった標準化機関での活発な議論が光トランスポートネットワーク技術の普及には欠かせません。

将来に向けた光トランスポートネットワーク技術

現在、1波長100 Gbit/s技術を用いた光ファイバ当り10 T級システムが実用段階にあります。研究レベルでは100 T級の研究がさかに行われ

ています。2010年3月には多値変調や偏波多重を駆使し光ファイバ当り69.1 Tbit/sの世界記録を実現しました⁽³⁾。おそらく10年以内には既存光ファイバを用いた100 T級の実用システムが実現されると予想されます。しかし、さらなる超高速大容量には、現状技術の限界、すなわちシャノン限界*¹⁰、NF (Noise Figure: 雑音指数) 限界、ショット雑音限界*¹¹、パワー限界 (光・電気) を打破する革新

*9 GMPLS: パケットレイヤにおいてラベルをベースにしたデータの転送をサポートするために定義されたMPLS技術を、TDMレイヤ、光レイヤといった下位レイヤにも適用できるように、ラベルの概念を一般化ならびに拡張した技術。

*10 シャノン限界: 通信チャネルが持つSNRと周波数帯域幅によって決まる、これ以上データ伝送速度を上げられない伝送容量の限界のこと。

*11 ショット雑音限界: 回路ノイズの一種。光強度や電流の平均値に比例して大きくなります。

的光トランスポートネットワーク技術が必要です。現在世界中で導入されている光ファイバを用いた光伝送は、その入力光パワー限界から100 Tbit/s級が限界と思われ、このため、10～20年を視野に、光ファイバ1心に非線形効果を抑えつつ高入力の光パワーを注入することが可能なマルチモードファイバやマルチコアファイバの検討等、従来技術を変革する多重化技術・変復調技術に加え光ファイバ自体の研究も加速しています⁽⁴⁾。

一方、急増するトラフィック需要を支えるトランスポートネットワーク技術として、光ファイバの光スペクトル資源をトランスポートネットワークで効率良く利用する新たな取り組みも検討開始しています。これまでは光ファイバの帯域は実効的に無限と思われ、決められた位置（周波数グリッド）に情報データを配置するなど固定的に光スペクトルを扱ってきましたが、最近では必要となしに必要な分だけ適応的に光スペクトル資源を割り当てる「エラスティック光パスネットワーク」の研究が開始されています。OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)^{*12}技術などの帯域可変トランスポンダと帯域を柔軟に変更する光スイッチにより、情報データを転送するのに必要かつ最小限の光スペクトル資源を割り当てることが可能となり、一層の効率化・経済化が図ることができそうです。

まとめ

インターネット普及による急速なブロードバンド化、LTE等の高速モバイルの出現で、光トランスポートネットワークも従来の電話網から大きく変革

していきます。デジタルコヒーレント技術に代表される新たな光伝送技術、光マルチリングシステム等の光トランスペアレントネットワークノード技術、多階層にまたがるマルチレイヤ管理制御技術、そして経済化に欠かせない標準化等により、これらの変革を支えています。また、急増するトラフィック需要を考慮すると10～20年後へ向けた基礎研究も欠かせません。

本特集では、今後の経済的な大容量ネットワークを実現する超高速大容量光トランスポートネットワーク技術を総括しており、本稿に続き、5つの論文で下記の内容についてより詳細に紹介します。

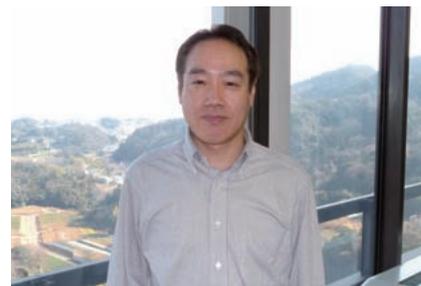
- ・「大容量デジタルコヒーレント光伝送技術」
- ・「光トランスペアレントネットワークノード技術」
- ・「高効率フォトニックネットワーク技術」
- ・「光トランスポートネットワークの国際標準化と実現技術」
- ・「将来の革新的光トランスポートネットワーク技術」

今後、これらの方式技術とフォトニックデバイス技術が発展することにより、より一層安心・安全で快適な通信ネットワーク構築が実現されると期待しています。

参考文献

- (1) 松田・松岡：“東名阪基幹伝送路に導入した40G-DWDMシステムの開発,” NTT技術ジャーナル, Vol.20, No.4, pp.58-61, 2008.
- (2) http://www.soumu.go.jp/main_content/000068987.pdf
- (3) A. Sano, H. Masuda, T. Kobayashi, M. Fujiwara, K. Horikoshi, E. Yoshida, Y. Miyamoto, M. Matsui, M. Mizoguchi, H. Yamazaki, Y. Sakamaki, and H. Ishii: “69.1-Tb/s (432×171-Gb/s) C- and Extended L-Band Transmission over 240 km Using PDM-16-QAM Modulation and Digital Coherent Detection,” OFC/NFOEC2010, PDPB7, San Diego, USA, March 2010.
- (4) 盛岡：“光通信インフラの飛躍的な高度化に向けて,” 2009信学ソ大, BS-7-1, 2009.

- (5) M. Jinno, H. Takara, B. Kozicki, Y. Tsukishima, Y. Sone, and S. Matsuoka: “Spectrum-efficient and scalable elastic optical path network: architecture, benefits, and enabling technologies,” IEEE Comm. Mag., Vol.47, No.11, pp. 66-73, Nov. 2009.



松岡 伸治

多種多様なブロードバンド・ユビキタスサービスを経済的に提供するコア・メトロネットワークの実現に向け、今後も超高速大容量光トランスポートネットワーク基盤技術の研究開発に積極的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

TEL 046-859-3010

FAX 046-859-5541

E-mail matsuoka.shinji@lab.ntt.co.jp

*12 OFDM：直交周波数分割多重の略。無線などで用いられるデジタル変調方式の1つ。