

柔軟な光幹線系ネットワークを実現する CDCG-ROADM

CDCG-ROADM to Bring Flexibility to Optical Trunk Line Network

● 菅谷 靖 ● 前田卓二 ● 鈴木裕一 ● 坂本 剛 ● 伊藤洋之
● 大井寛己 ● 木村 岳

あらまし

近年のデータセンターやモバイルネットワークの急激なトラフィック増加により、これらを支える光幹線系ネットワークでは高速・大容量・長距離・信頼性がますます必須となってきた。更に、光幹線系ネットワークを柔軟に再構築する様々なアプリケーションも議論されてきており、光レベルでの柔軟性・高可用性が求められている。富士通は、光の方路スイッチの役割を担う再構成可能な光分岐挿入装置(ROADM: Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer)の開発において、柔軟性・遠隔操作性・大容量化など通信キャリアのお客様のニーズに対応するCDCG(Colorless/Directionless/Contentionless/Gridless)機能の実用化に注力している。

本稿では、CDCG-ROADMを実現する各種キーデバイスや要素技術、およびCDCG-ROADMの機能について述べる。更に、CDCG-ROADMによる将来の光幹線系ネットワークについても紹介する。

Abstract

Recent years have seen a rapid increase in the amount of data traffic passing through data centers and mobile networks. The optical trunk line networks, which support this traffic volume, thus require enhanced transmission speed, bandwidth, distance and reliability more than ever. Meanwhile, there have been discussions on various applications that make it possible to flexibly reconfigure the optical trunk networks and they highlight the demand for flexibility and high availability in optical communication technology. At Fujitsu, we have been developing a re-configurable optical add/drop multiplexer (ROADM) which functions as an optical directional switch. And in particular, we are focusing on the practical application of the CDCG (colorless, directionless, contentionless, gridless) feature to meet the needs of telecommunication carriers. This paper describes various key devices and component technologies employed in realizing the CDCG-ROADM, with accounts of CDCG-ROADM's functions. It also offers the vision for the future optical trunk line network based on CDCG-ROADM.

ま え が き

LTEなどのブロードバンドサービスの普及、高解像度の映像の配信の影響によってデータセンター間のトラフィック需要は急激に増大している。また、IoT (Internet of Things)、およびM2M (Machine to Machine) といった技術革新の実現に伴い、光幹線伝送網におけるトラフィックも爆発的な増加が予想される。光幹線系ネットワークでは、大容量化を実現するための手段として、従来より、DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing: 高密度波長分割多重) 技術を採用しており、1波長あたりの伝送速度の向上や、波長多重数の増加により、更なる大容量化を進めている。2015年度の商用敷設ファイバーにおける1ファイバーあたりの最大伝送容量は、陸上光幹線基幹網で9.6 Tbps (100 Gbps×96波長) 程度となっている。

一方、光幹線系ネットワークの形態は1990年代の単純なPoint to Point型、2000年代にはリング型、2010年以降はメッシュ型へと複雑化が進んでいる。そのため、ネットワークの再構築にはルート切替えなどの保守・運用の煩雑やコスト増大といった課題が生じる。更に、震災などによりネットワーク障害が発生した際に、瞬時に迂回ルートに切り替えることで通信の孤立を防ぐなどの社会的な要求も強まってきている。このようなルート切替え時の波長配置やパス設定を遠隔で実施できるようにするために、小型光スイッチ技術を用いたROADM (Re-configurable Optical Add/Drop Multiplexer: 再構成可能な光分岐挿入装置) の実用化が進められてきた。しかし、当初のROADMは、光波長が固定であるため、例えば再構築の際に同じ波長のパスがぶつかる (Blocking) など、運用時の柔軟性に関わる課題があった。

このような大容量かつ柔軟なネットワークを運用するために、新しいROADM技術が登場しており、通信キャリア (電気通信事業者) のお客様からも本技術適用の要求が高まってきている。そこでColorless, Directionless, Contentionless, Gridlessという四つの機能をROADMに組み合わせたCDCG-ROADM技術が実用化されてきている。また、このCDCG-ROADMをネットワーク全

体で統合制御するためのSDN (Software-Defined Networking) 制御方式の検討も進められており、ハードウェア、ソフトウェア両面でのフレキシブルネットワークの実用化に向けた動きが加速してきている。

本稿では、CDCG-ROADMの要素技術、および本技術を搭載した富士通の製品について述べる。また、本技術のネットワークへの適用効果と将来の展望についても述べる。

CDCG機能と要素光デバイス

CDCG-ROADM装置は、各種要素光デバイス (波長選択スイッチ (WSS: Wavelength Selectable Switch), マルチキャストスイッチ (MCS: Multicast Switch), アレイ光増幅器など) によって構成される (図-1)。本章では、CDCG-ROADM機能とそれを実現する要素光デバイスについて紹介する。

● CDCG機能

(1) Colorless機能

ROADMノード内部における信号経路が、信号の波長 (色: Color) に制限を与えず、多重される波長の制限がない (任意の波長でDWDMに多重できる)。

(2) Directionless機能

ROADM装置の対向先の方路に制限がない (任意の方路に接続できる)。

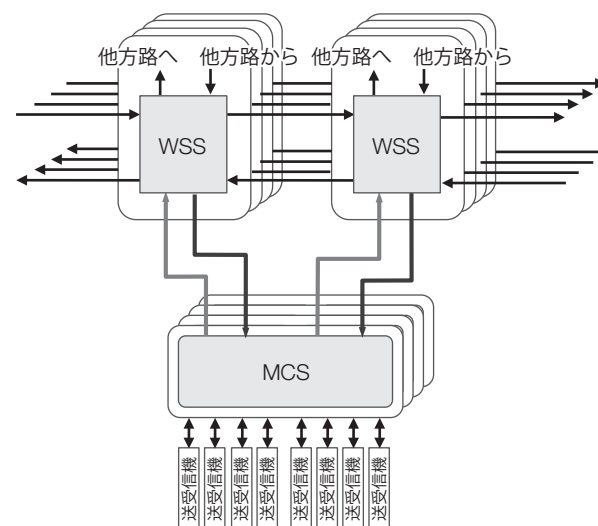


図-1 CDCG-ROADM装置構成

(3) Contentionless機能

同一ROADMノード内で、別方路に割り当てられる光信号の波長競合(Contention)がない(ROADM装置内で任意の同一波長が複数存在できる)。

(4) Gridless機能

ITU-Tに準じた等間隔の光周波数(波長)グリッド上の波長多重ではなく、任意の光波長に光源を設定し、方路の割当てができる。

CD {上記(1)のColorlessと(2)のDirectionlessを合わせ持つ機能}, CDC {上記(1)と(2), および(3)のContentionlessを合わせ持つ機能}により、障害時のパス切替えやネットワーク収容率の向上など、フレキシブルなネットワーク構築が可能となる。⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾一方、上記(4)のGridless機能により、**図-2**に示すよう、1波長あたり400 Gbps ~ 1 Tbpsといった更なる大容量化に向けた対応もROADMの機器を入れ替えることなく実現可能となる。

● 要素光デバイス

(1) WSS

WSSは、各波長のパワー調整とスイッチ機能を持ち、複数のリングからWDMの個々の波長の光経路を切り替える。つまり、CD機能を実現する一要素となる。更に、帯域可変機能を持つことからGridless機能を実現する。

WSSの構成を**図-3**に示す。入力されるWDM信号を回折格子が波長を分離し、各波長の方向がミラー素子の可動により決定付けられる。その結果、コリメータとの光結合位置にて波長単位での自動光パワーマネジメントと任意波長の任意ポートへの割当てを実施する。また、ミラー素子にLCoS (Liquid Crystal on Silicon) 技術を用いることにより、従来のITU-Tの規定に準じた50 GHz, 100 GHz間隔といった固定グリッドから柔軟に帯域幅を変更できるGridless機能を実現する。⁽⁷⁾

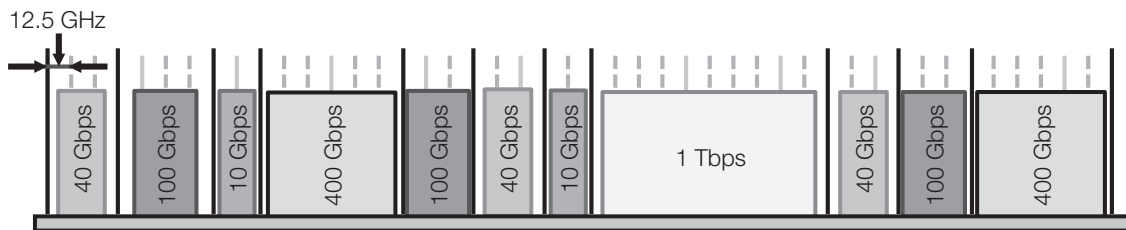


図-2 Gridless機能による大容量化に向けた波長配置例

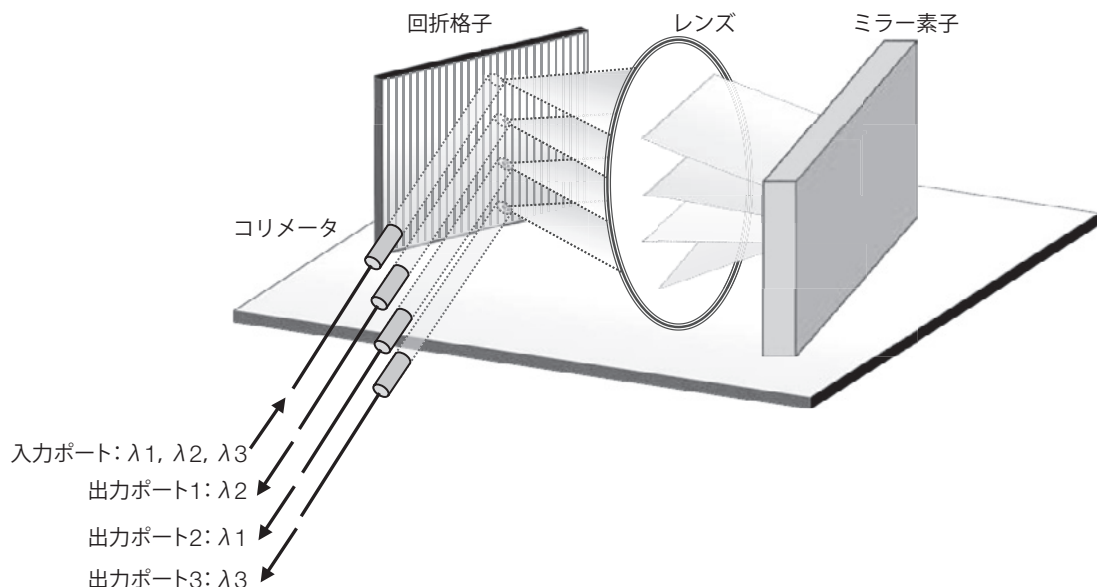


図-3 WSSの構成

(2) MCS

MCSもCD機能を実現する一要素である。また、複数の同一波長光信号に対して任意の方路を割り当てることが可能、つまり波長競合制限のないContentionlessも可能とする光デバイスである。

MCSの構成を図-4に示す。図の左のように、WSSから受信機へ導くDrop（分波）側のMCSでは、ROADMの各方路から入力されたWDM信号を、それぞれ $1 \times N$ 光スプリッタ（SPL）で分配し、その中の所望の1方路からのWDM信号を $M \times 1$ 光スイッチ（SW）によって方路選択する。このため、受信機側へ出力する光信号と同一波長で入力方路が異なる光信号は、 $M \times 1$ 光スイッチによって遮断され、別出力ポートの $M \times 1$ 光スイッチで出力側へ導かれる。したがって、受信機側へ出力されるポートで波長が競合することはない。

次に図の右のように、送信機からWSSへ導くAdd（合波）側のMCSでは、送信機から送信された光信号が $1 \times M$ 光スイッチで所定の出力方路へ導かれ、 $N \times 1$ 光カプラ（CPL）で異なる波長の光信号が合波された後に、ROADMの各方路へ接続される。この構成によって、送信機からの任意の波長を任意の方路へ出力できる。⁽⁸⁾

MCSは、PLC（Planer Lightwave Circuit：平面光波導波路）技術やMEMS（Micro-Electro-Mechanical Systems：微小電気機械素子）技術を用いた小型の光デバイス（光スプリッタや光カプラ、光スイッチ）の組合せで構成できる。光スプリッタにより原理的に大きな分岐損失を生じるため、

次項のアレイ光増幅器を用いて損失を補償する。

(3) アレイ光増幅器

前項のMCSにより、送信機からWSSへ導かれるAdd側の光信号、およびWSSから受信機へ導かれるDrop側の光信号の双方が減衰し、光パワーが不足する。その損失補償のためにアレイ光増幅器を配備する。装置の高密度化を図るため、一つのモジュールにAdd/Drop側双方向を組み込んだアレイ光増幅器を開発した。光増幅用の小型ポンプレーザの適用、および全体の低消費電力化を図ることなどにより、高密度実装を実現する。

FLASHWAVE 9500のCDCG-ROADM機能

富士通では、パケット統合光伝送システムFLASHWAVE 9500において、CDCG-ROADMを実装した製品を展開している（図-5）。本装置は、拡張性の高いプラットフォームを持ち、以下のような機能を有している。

(1) CDC機能

任意のクライアントポートから任意の方路、および波長に接続できるスイッチング機能を備える。これにより、物理的に光ファイバーの接続を変更することなく、遠隔操作により所望の光信号を所望のポートへ接続を設定し変更できる。更に、装置立上げや波長増設時に送受信機をいずれのポートにも自由に接続できるため、接続ミスやオペレーションの煩雑さを低減し、装置の立上げ作業時間の短縮を実現する。

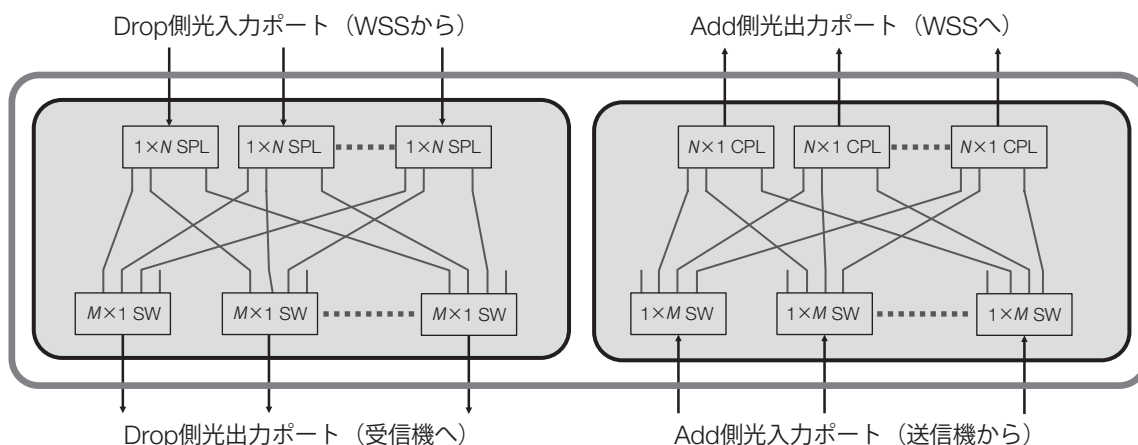


図-4 MCSの構成

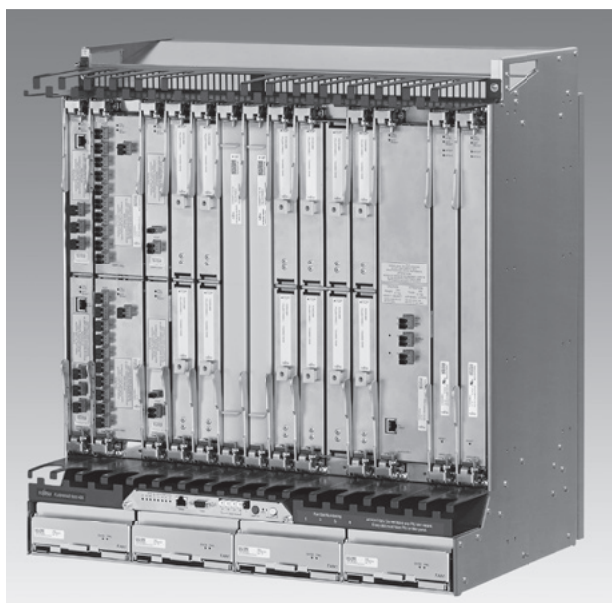


図-5 FLASHWAVE 9500 CDCG-ROADM装置

(2) Gridless機能

WSSのGridless機能や優れた光通過帯域特性により、これまでより狭い37.5 GHz帯域幅の100 Gbps信号やスーパーチャネル（400 Gbpsや1 Tbps）のサポートを可能とし、最大128波まで拡張できる。これにより、周波数利用効率の向上、および低コストでの大容量通信を実現できる。

(3) 光レベル制御機能

400 Gbps/1 Tbpsの光信号や様々な変調方式の光信号に対して、変調方式や信号種類ごとに最適な光パワーレベルに自動で調整する制御機能を持つ。

(4) ILAとの連携機能

本製品は、光増幅機能のみを持つILA（線形中継増幅装置）を同一プラットフォームで実現している。このILAと装置間通信チャネルを使い、接続しているILAの数をROADMが自動で判断し、最適な光パワーレベルに自動制御する機能を備えている。これにより、メトロ網から2000 kmを超える超長距離網といった広範囲なネットワークを同一プラットフォームでサポートする。

(5) システム要求に応じた拡張機能

MCSやアレイ光増幅器などの要素光デバイスは、Add/Dropする光信号の増設、方路の増設に応じて追加することが可能であり、かつサービスに影響なく拡張できる。将来、多ポートのWSSと組み合わせることで16方路まで拡張可能な装置構成である。

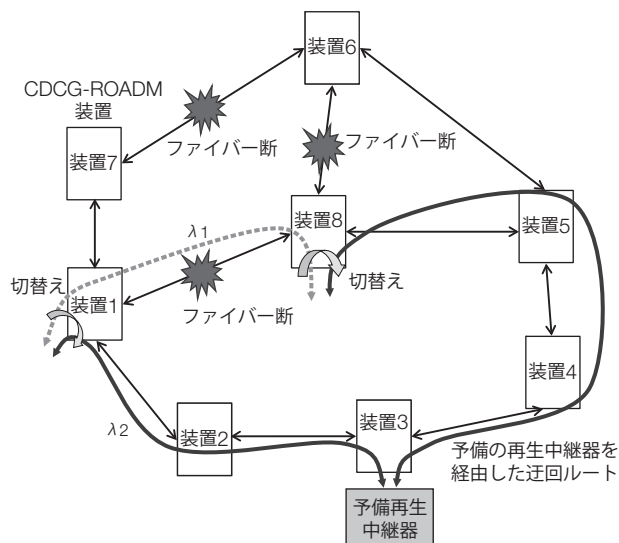


図-6 障害復旧(パッシブストレージ機能)

ネットワーク適用効果

CDCG-ROADMのネットワーク適用効果について説明する。

(1) 多方路・波長柔軟性による高度な経路障害復旧

従来の2方路間での信号の障害復旧機能だけでなく、それ以上の方路間で障害復旧機能を持たせることが可能となる。したがって、複数の光ファイバーが同時に断線する激甚災害対策（Disaster Recovery）としても有効であり、従来に比べて高い信頼性を確保できる。その際、柔軟に波長を選択できることから、空き帯域波長を有効利用でき、予備経路のための送受信機を削減できる。

更に、変調方式を変えて伝送容量を増加できる送受信機と再生中継器（受信機と送信機の組合せによる光信号再生中継装置）を組み合わせ、距離制約のない大容量の迂回路を提供できる（図-6）。

図-6は、装置1に3方路間（装置7、8、2）での信号の障害復旧機能を有する例を示す。装置1ー装置8間で障害発生時に、λ1からλ2への波長変更、および装置8から装置2へ方路を切り替えて障害復旧している。

(2) ネットワーク容量の効率的な使用

ROADMネットワークの容量は波長帯域幅で制限される。CDCG-ROADMでは、波長や帯域幅（変調方式）を変更することで光信号の波長最適配置

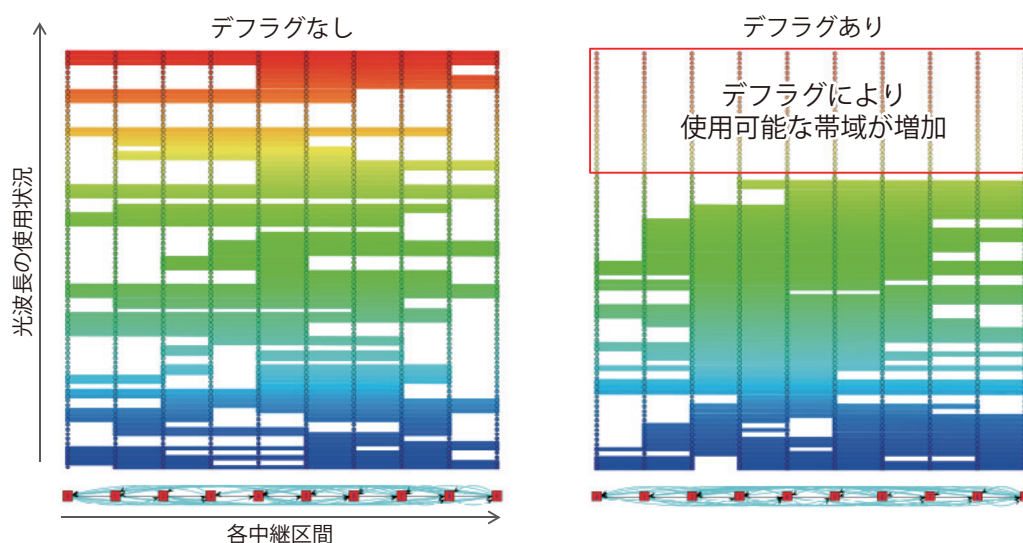


図-7 デフラグ機能による効果

(デフラグ)が可能となり、ネットワークで断片化された波長を、空いている帯域の波長に変更して、波長の使用効率を上げることができる(図-7)。(4)

将来への展望

今後のCDCG-ROADMの開発について述べる。

(1) 多ポートデバイスの適用

多入力ポート、多出力ポートを有するWSSなどの新規デバイスの実現により、多数の光デバイスに分かれているCDC-ROADMを集約し、CDCG-ROADMノードを更に低コスト化、小型化できる可能性がある。

(2) 高機能モニタの適用

光信号対雑音比(OSNR)などの光信号品質を検出する光パフォーマンスモニタ(OPM)⁽⁹⁾の実現により、例えば、光信号品質情報を集約し、CDC-ROADMによって、光パスや光波長の設定機能を連携することで増設波長の伝送性能を最大化するようなシステム適用が可能となる。このような次世代SDNと連携させて多機能化や性能の向上につなげられる可能性がある。

む す び

光幹線系ネットワークの規模や容量の拡大、および複雑化に伴い、通信キャリア各社では、ネットワークの障害や効率化などの課題も増大してきている。このような課題に応える技術として

ROADMへの期待が高まってきている。

本稿で紹介したFLASHWAVE 9500は、柔軟性・拡張性を兼ね備えており様々なネットワークに対応可能な製品である。本装置は、これから更にSDNとの連携や周辺デバイスによるネットワーク全体の飛躍的な高付加価値化につながると考えられる。富士通は、今後も拡大・多様化する光幹線系ネットワーク環境に対して、更なる柔軟性・高付加価値化・小型化などを追求した製品の開発を進めていく。

参考文献

- (1) I. Kim et al. : Shared Mesh Restoration in ROADM Based Service Velocity Network. OFC/NFOEC 2013, NW4I.3.
- (2) Q. She et al. : CAPEX Benefits of Colorless Directionless ROADM in WDM Transport Networks. OFC/NFOEC 2013, NTh4J.3.
- (3) Q. Zhang et al. : Shared Mesh Restoration for OTN/WDM Networks Using CDC-ROADMs. ECOC 2012, Tu.4.D.4.
- (4) X. Wang et al. : A Hitless Defragmentation Method for Self-optimizing Flexible Grid Optical Networks. ECOC 2012, P5.04.
- (5) X. Wang et al. : Utilization Entropy for Assessing Resource Fragmentation in Optical Networks. OFC/NFOEC 2012, OTh1A.2.

(6) Fujitsu network communications : White paper
(Next-Generation ROADM Architectures & Benefits).
[http://www.fujitsu.com/us/Images/
Fujitsu-NG-ROADM.pdf](http://www.fujitsu.com/us/Images/Fujitsu-NG-ROADM.pdf)

(7) 松元宏之ほか：次世代WDMシステム. FUJITSU,
Vol.57, No.4, p.378-383 (2006).
<http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol57-4/>

paper07.pdf

(8) 渡辺俊夫ほか：ROADMの運用性を向上させるマルチキャストスイッチ技術. NTTジャーナル, Vol.25, No.11, p.25-28 (2013).

(9) 青木泰彦：フレキシブル光ノードアーキテクチャとその要素技術. 電子情報通信学会信学技報, Vol.113, No.395, p.113-117 (2014).

著者紹介



菅谷 靖 (すがや やすし)

ネットワークプロダクト事業本部第一
オプティカルシステム事業部 所属
現在, 次世代WDM光伝送システムの
開発に従事。



伊藤洋之 (いとう ひろゆき)

ネットワークプロダクト事業本部第一
オプティカルシステム事業部 所属
現在, 次世代WDM光伝送装置の開発
に従事。



前田卓二 (まえだ たくじ)

ネットワークプロダクト事業本部第一
オプティカルシステム事業部 所属
現在, 次世代WDM光伝送システムの
開発に従事。



大井寛己 (おおい ひろき)

ネットワークプロダクト事業本部第一
オプティカルシステム事業部 所属
現在, 次世代光伝送方式の設計に従事。



鈴木裕一 (すずき ゆういち)

共通開発本部ローコスト・コンポーネ
ント統括部 所属
現在, 光部品の採用, 品質評価および
開発に従事。



木村 岳 (きむら がく)

ネットワークプロダクト事業本部第一
オプティカルシステム事業部 所属
現在, 次世代WDM光伝送システムの
製品企画に従事。



坂本 剛 (さかもと たけし)

ネットワークプロダクト事業本部第一
オプティカルシステム事業部 所属
現在, 次世代WDM光伝送装置の開発
に従事。