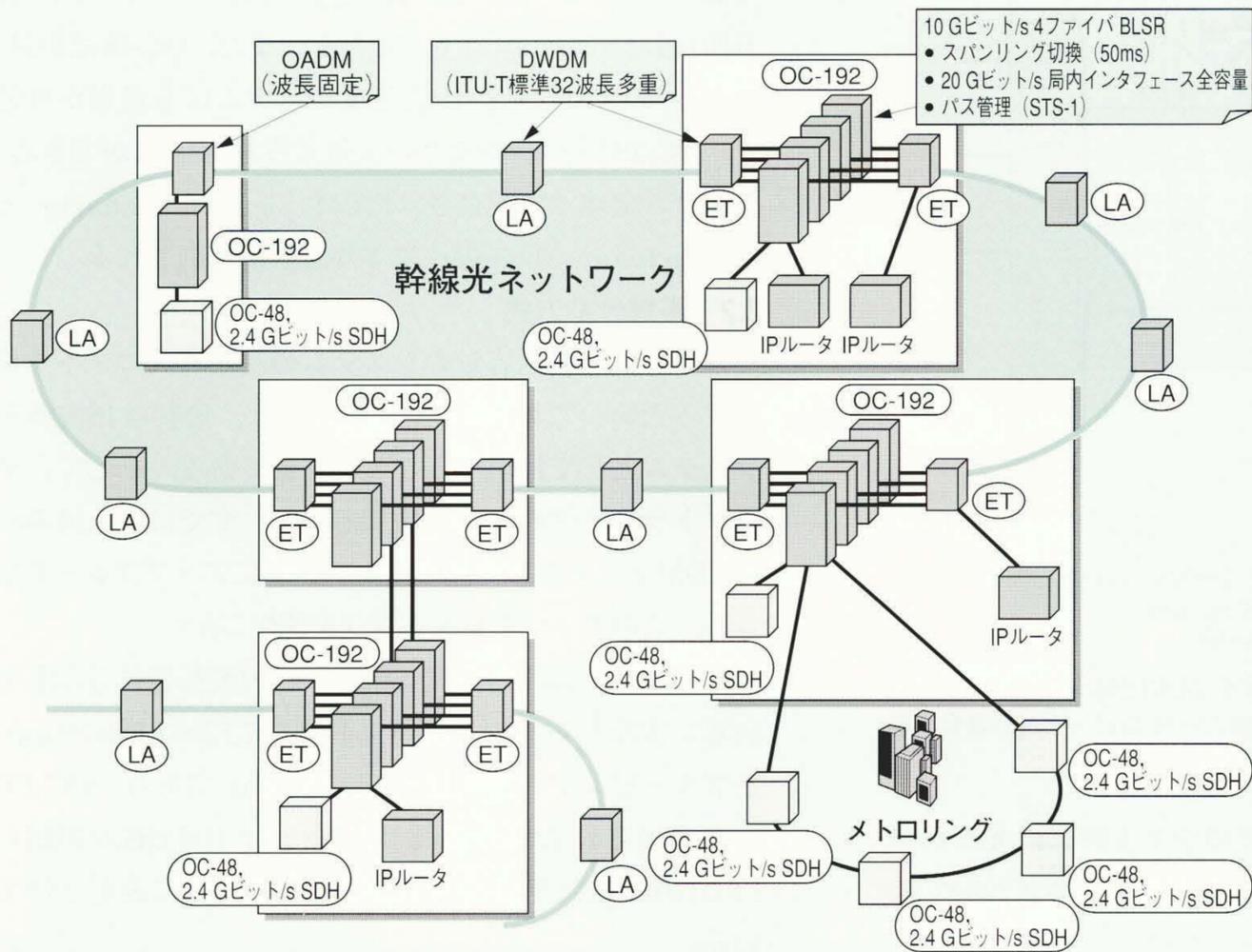


高密度波長多重による光ネットワークシステム

Dense Wavelength Division Multiplexing Optical Network System

尾島正啓 Masahiro Ojima 佐々木慎也 Shin'ya Sasaki
中野博行 Hiroyuki Nakano 花谷昌一 Shôichi Hanatani



注：略語説明

- OADM (Optical Add-Drop Multiplexer)
- DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)
- ITU-T (国際電気通信連合電気通信標準化部門)
- BLSR (Bidirectional Line Switched Ring)
- STS-1 (Synchronous Transport Signal-1)
- LA (Line Amplifier)
- ET (End Terminal)
- SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
- IP (Internet Protocol)
- SONET (Synchronous Optical Network)

DWDMとOC-192を用いた幹線光ネットワークシステムの構成例

OC-192の4ファイバリングネットワークがDWDMで波長多重された構成を示す。OC-192にはOC-48や2.4 Gビット/s SDH、IPルータが接続される。IPルータをDWDMに直接接続することも可能である。

32波長多重、10 Gビット/s波長、総伝送容量320 Gビット/sのDWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing：高密度波長多重)光ネットワークシステムを開発した。ITU-T(国際電気通信連合電気通信標準化部門)標準波長の光送信器を搭載したOC-192端局装置が、DWDMシステムに直接接続される。キー部品である光増幅器では、利得平坦度±1 dB以下、最大光出力+21.5 dB/m、各波長の光パワーは、DWDM入力部で同一レベルになるように、EDFA(Er-Doped Fiber Amplifier)によって制御される。

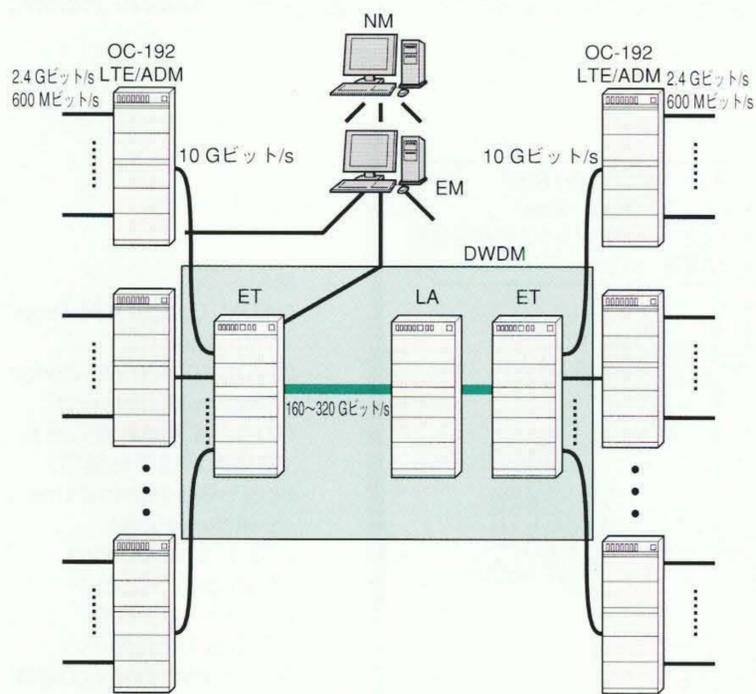
さらに、日立製作所は、次世代DWDMシステム用に、128波長多重、総容量1.28 Tビット/sの伝送、光クロスコネクタや光分岐挿入などの光ネットワーク機能を開発している。光スイッチマトリックスを用いた光リングにより、復旧回復時間50 ms以内の、高信頼な「IP over WDM(Internet Protocol over Wavelength Division Multiplexing)ネットワーク」が構築できる。

1 はじめに

インターネットによるさまざまな情報・通信が爆発的な勢いで増加しており、国家規模の幹線光ファイバネットワークに対して、伝送容量増加の要求が高まっている。DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing：高密度波長多重)は、1本の光ファイバに複数の異なる波長のレーザー光をまとめて送り込んで伝送する、多重方式である。従来の多重方式であるTDM(Time Division

Multiplexing：時分割多重)は、数十ギガビット毎秒以上では技術的に困難と考えられるため、DWDMは、幹線光ネットワークの容量増大の要求にこたえるものと考えられる。DWDMを採用することにより、光ファイバを新たに布設することなく、10から100倍の容量増大が可能である。

ここでは、日立製作所の最新製品である32波長多重、波長当たり10 Gビット/sの伝送装置と組み合わせた総伝送容量320 Gビット/sのDWDMシステム^{1), 2)}と、現在開



注：略語説明 NM (Network Manager), EM (Element Manager)
 LTE (Line-Terminating Equipment)
 ADM (Add-Drop Multiplexer)

図1 端局装置“OC-192”を多重するDWDMシステムの構成
 16~32波長多重、波長チャンネル当たり10 Gビット/sの場合、総伝送容量は160~320 Gビット/sとなる。

発中の次世代DWDM技術，その中でも特に，光クロスコネクタを用いた光復旧回復リングシステムについて述べる。

2 320 Gビット/s DWDMシステム

2.1 システム構成

“OC-192”の端局装置であるLTE/ADMを多重する

DWDMシステムの構成を図1に示す。

DWDMシステムは，数か所に設置されたET (End Terminal：端局装置)と，LA (Line Amplifier：中継増幅装置)で構成する。最大伝送容量は，ファイバ1本(片方向)当たり320 Gビット/sである。また，OC-48 (2.4 Gビット/s)のような低い伝送速度システムにも適用が可能で，OC-192とOC-48などの伝送速度混在伝送ができる。システム全体は，統合されたEM (Element Manager)とNM (Network Manager)により，監視制御される。

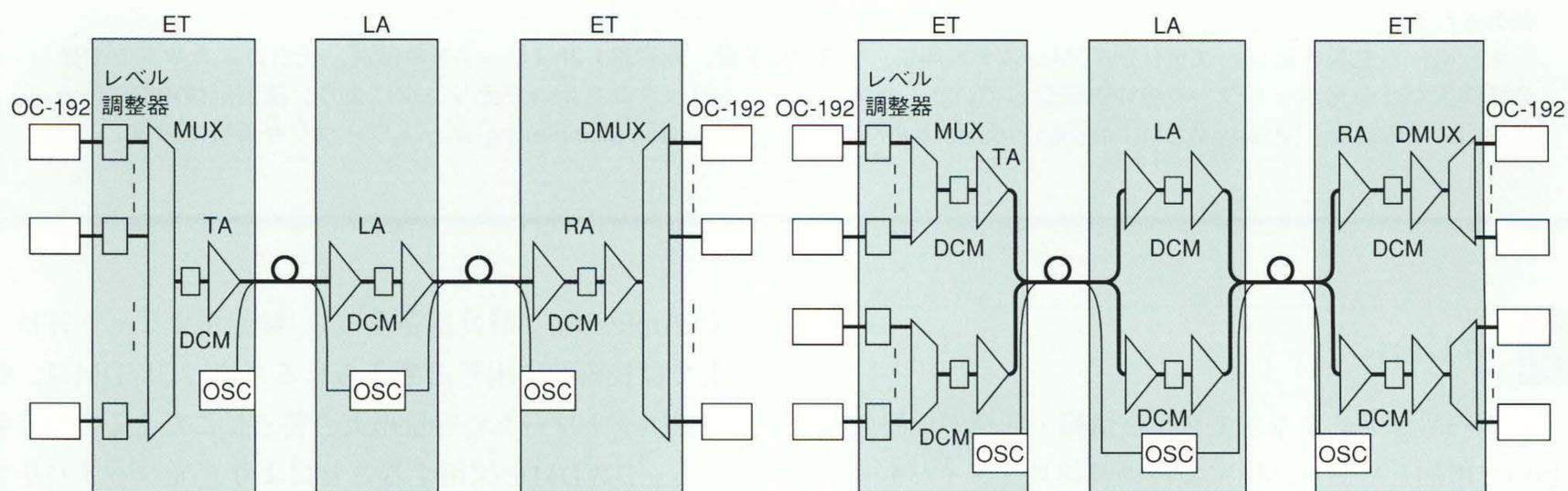
2.2 帯域分割方式

この膨大な伝送容量のシステムの初期導入コストを低減するため，このDWDMシステムは，最初は16波多重システムとして使用することが可能である。そして，データトラヒックの需要増加に応じて，すでに導入済みのDWDMシステムを32波多重システムにアップグレードできる。このアップグレード方式を図2に示す。

この方式では，信号波長帯を二つの波長帯に分割している。すなわち，レッドバンド (1,547.72~1,559.79 nm)とブルーバンド (1,531.12~1,542.94 nm)である。OC-192から発出される信号波長は，0.8 nm (100 GHz)間隔のITU (国際電気通信連合)標準のグリッドに設定されている。

2.3 伝送特性の安定化技術

チャンネル当たり10 Gビット/sの安定な光伝送特性を達成するため，チャンネル当たりの光パワーは，正確に制御される。各光増幅器〔TA (Transmitting Amplifier)，



(a) 16チャンネルOC-192 DWDMシステムの構成

(b) 32チャンネルOC-192 DWDMシステムの構成

注：略語説明 MUX (Multiplexer), DMUX (Demultiplexer), TA (Transmitting Amplifier), RA (Receiving Amplifier)
 DCM (Dispersion Compensating Module), OSC (Optical Supervisory Channel)

図2 DWDMシステムでの波長バンドのアップグレード方式(16チャンネル→32チャンネル)
 初期導入の16チャンネルシステム(a)から，インサーブスで32チャンネルシステム(b)へ拡張される。

LA, RA (Receiving Amplifier)には, ALC (Automatic Level Control)回路を適用している。チャンネル当たりの光パワーは, チャンネル(波長)数にかかわらず, 一定値に制御される。このALCは, チャンネル数に応じて異なるレベルに自動制御できるからである。チャンネル数は, ET側(マルチプレクサの入力部)で検出され, 主信号と同一のファイバで伝送する波長1,510 nmのOSC (Optical Supervisory Channel)信号を通し, すべての場所の光増幅器に転送される。

波長マルチプレクサの入力部では, 簡略化されたEDFA (Er-Doped Fiber Amplifier)によるレベル調整器により, 各チャンネルのパワーがある一定値に自動制御される。この機能は, TA出力の送信光パワーの等化を可能とする。DWDMに入力される光送信機のパワーばらつきやコネクタ損失の偏差などが, ここで相殺できる。必要に応じて, 多重光信号の遠隔プリエンファシス制御も可能となる。

2.4 システム特性の概要

DWDMシステムの主要諸元を表1に示す。これらの特性により, 最大スパン損失伝送として22 dB×5スパンを実現でき, これは, 約400 km (80 km×5)の総容量320 Gビット/s伝送(128チャンネルのOC-48/STM16伝送と等価)に相当する。長距離光伝送を実現するために, DCMをLAおよびRAの中間段と, TAの入力段にそれぞれ挿入して用いている。DCMの局舎配置は, 計算機シミュレーションで作成したデータベースによって決定される。これは, 通常分散ファイバ, ノンゼロ分散シフトファイバ, また, 場合によっては分散シフトファイバなど, どのタイプのファイバに対しても準備されている。

3 光クロスコネクシステム

日立製作所は, 次世代DWDMネットワーク技術の開発にも取り組んでいる。開発の方向には二つあり, 一つは波長多重数のいっそうの増大であり, もう一つの方向は, 波長単位での処理機能の向上である。

きたるべき“IP over WDM (Internet Protocol over Wavelength Divison Multiplexing)”の時代には, 種々のプロトコルを持つトラヒックがWDMシステム上を流れることになる。日立製作所は, これらに対応するため, 波長チャンネル単位での光スイッチングによる障害復旧用OXC (Optical Cross-Connect: 光クロスコネク)アーキテクチャを新たに提案, 開発した。今後は, 光スイッチの持つ伝送速度とプロトコルフリー, 波長無依存性を有

表1 32チャンネルDWDMの主要諸元

波長帯域は, 16チャンネル(レッドバンド)導入後に16チャンネル(ブルーバンド)を追加して, 32チャンネルに拡張することができる。

項目	特性・機能
波長(チャンネル)数	最大32
チャンネル波長間隔	100 GHz (0.8 nm)
チャンネル当たり伝送速度	10/2.4 Gビット/s
波長帯域	レッドバンド: 1,547.72~1,559.79 nm ブルーバンド: 1,531.12~1,542.94 nm
出力チャンネルパワー	+6.5 dB/m (自動レベル制御)
全チャンネル出力パワー	最大+21.5 dB/m
最大利得	26 dB
利得平坦度	<±1 dB

効に活用する必要がある。このタイプのOXCでは, データ系伝送システムの基本となる2地点間接続システムの復旧機能を, リング形ネットワークを構築して実現する。復旧用容量はリング上で共有し, 帯域使用効率を上げる。波長チャンネル単位となる光スイッチ機能ブロックは, SDH/SONET (Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Network)の4ファイバBLSR (Bidirectional Line Switched Ring)同様のスパンとリング切換機能を持つ。これにより, 従来のBLSRと同等またはそれ以上のネットワーク信頼性が実現する。障害復旧時間は, 50 ms以下とすることが可能である。既設ネットワーク構成を変更することなく, BLSRネットワークとこのOXCによるリングネットワークをDWDM上に共存または拡張させることができる。したがって, 現状のSDH/SONET用システムからSDH/SONETとIP over WDM混在システムへの進展が, ニーズに合わせて, むだなく実現できる。

IP over WDM用に開発したOXCプロトシステムについて, 米国MCI Worldcom社のグラス近郊ファイバ網を用いてフィールドテストを行った。フィールドテストしたネットワーク構成を図3に示す。2リング構成から成るテストネットワークは, リングインターコネクションと復旧容量共有機能を持つ。OC-48やOC-192のSONET伝送信号だけでなく, ギガビットルータとイーサネット^{*)}, さらに40 Gビット/s伝送信号をこのOXCを通じて伝送し, OXCによる障害復旧機能を確認した。さらに, IPのMPEG, インターネットテレビ, IPデータと音声などのアプリケーションの高品質供給の実現性も確認できた。OXCによる障害復旧時間50 ms以下も実験的に確認した。これらフィールドテストから, OXC光リングネット

*) イーサネットは, 富士ゼロックス株式会社の商品名称である。

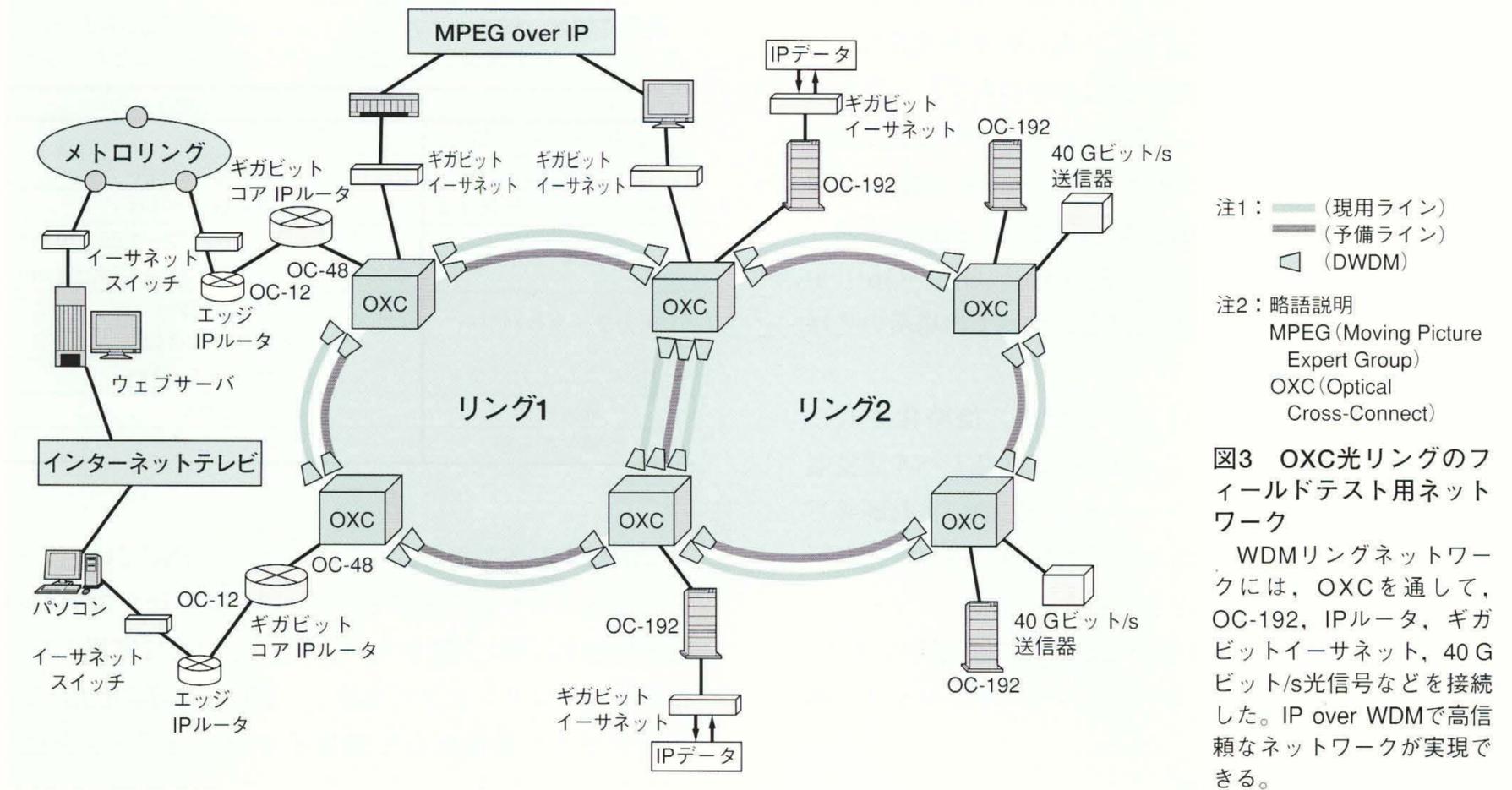


図3 OXC光リングのフィールドテスト用ネットワーク
WDMリングネットワークには、OXCを通して、OC-192、IPルータ、ギガビットイーサネット、40 Gビット/s光信号などを接続した。IP over WDMで高信頼なネットワークが実現できる。

ワークを用いた光レイヤ上での障害復旧が、IP over WDM用ネットワークの高信頼化に有効であることを実証できた。

4 おわりに

ここでは、日立製作所が開発した32波長多重、総伝送容量320 Gビット/sの高密度波長多重DWDM光ネットワークシステムについて述べた。このネットワークシステムでは、各波長の光パワーは、新たに開発した光ファイバ増幅器利用のパワーレベル制御で同一レベルに制御される。

また、光クロスコネクトを用いた光障害復旧リングが、高信頼なIP over WDMネットワーク構築に有効であることをフィールド実験で示した。さらに、次世代DWDMネットワークシステム用に、128波長多重や光パスネットワーク機能を開発中である。

参考文献

- 1) 中野, 外: バックボーンネットワーク用10 Gビット/s光伝送システム, 日立評論, 81, 9, 591~594(平11-9)
- 2) T. Mori, et al.: Ultra High-Speed SONET Fiber-Optic Transmission System, Hitachi Review, Vol. 47, No. 2, 79-84(1998)

- 3) H. Tsushima, et al.: Optical Cross-Connect System for Survivable Optical Layer Networks, Hitachi Review, Vol. 47, No. 2, 85-90(1998)

執筆者紹介

- 尾島正啓**
1977年日立製作所入社, 情報・通信グループ 通信システム事業本部 光伝送本部 所属
現在, DWDM光ネットワークシステムの開発に従事
工学博士
電子情報通信学会会員, 応用物理学会会員
E-mail: masahiro_ojima@cm.tcd.hitachi.co.jp
- 中野博行**
1981年日立製作所入社, 情報・通信グループ 通信システム事業本部 光伝送本部 所属
現在, DWDM光ネットワークシステムの開発に従事
工学博士
電子情報通信学会会員, IEEE会員
E-mail: hiroyuki_nakano@cm.tcd.hitachi.co.jp
- 佐々木慎也**
1980年日立製作所入社, 中央研究所 オプトエレクトロニクス研究部 所属
現在, 光ネットワークシステムの研究開発に従事
工学博士
電子情報通信学会会員, IEEE会員
E-mail: s-sasaki@crl.hitachi.co.jp
- 花谷昌一**
1982年日立製作所入社, 日立テレコム(USA), Inc. Dallas Advanced System Center 所属
現在, 光ネットワークシステムの開発に従事
電子情報通信学会会員, IEEE会員
E-mail: shanatan@hitel.com