特集論文

40G／100Gbps大容量光通信装置

能松　忍*　　石田和行**
渋谷麻美子*
小口和海**

40G／100Gbps Large Capacity Optical Communication Equipment

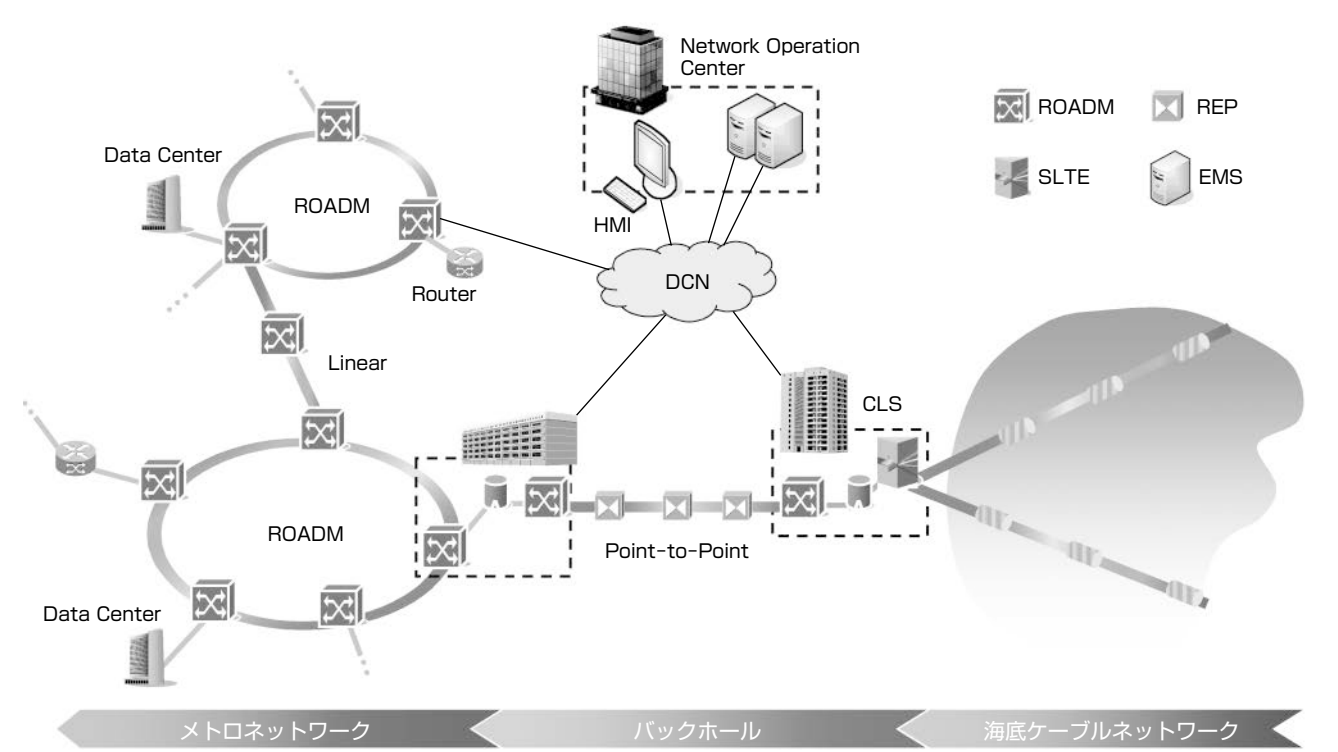
Shinobu Nomatsu, Mamiko Shibuya, Kazuumi Koguchi, Kazuyuki Ishida

要　旨

スマートフォンに代表される大容量通信端末の普及に伴い，ネットワーク全体のトラフィックが急増している。これは世界規模での潮流であり，基幹系のメトロネットワーク，グローバルな国際通信を担う海底ケーブルネットワーク等様々なエリアにおける波長多重伝送装置（Wavelength Division Multiplexing：WDM）の大容量化・高信頼性化の要求が高まり続けている。

海底ケーブルネットワークでは，１波長あたりの伝送速度が，従来の10Gbpsから，40Gbpsへ移行し始めている。メトロネットワークでは100Gbpsの導入が検討されている。40Gbpsや100Gbps化では，10Gbpsに比べて，高度な長距離多重伝送技術，高密度実装技術，低消費電力化技術，放熱設計技術等が要求される。これらの技術的課題を解決することが，大容量光通信装置の実現のポイントとなる。

本稿では，まず，大容量化を実現するために三菱電機が取り組んでいる高密度実装プラットフォーム技術，大容量伝送設計・検証技術，大容量ネットワーク高信頼監視技術について述べる。次に，大容量伝送設計・検証技術の適用例としての海底ケーブル向けWDM光通信装置の概要と特長を述べる。40Gトランスポンダは高効率なマルチサービス収容を実現し，プロトコルやデバイスに依存せず最適化可能な光プロテクション技術でシステムの高信頼化を実現している。最後に，40G／100Gbpsインタフェース信号を収容するメトロネットワーク向けWDM光通信装置の概要と特長を述べる。100Gbps伝送では，デジタルコヒーレント方式に適用する軟判定符号と硬判定符号を組み合わせた３重連接符号の誤り訂正機能を実現することで，伝送性能を大幅に改善した。また，低消費電力化技術によって経済性と省電力性を実現している。



ROADM：Re-configurable Optical Add/Drop Multiplexer, HMI：Human Machine Interface, EMS：Equipment Management System
DCN：Data Communication Network, SLTE：Submarine Line Terminating Equipment, CLS：Cable Landing Station, REP：REPeater

WDMシステム

WDMシステムは，1本の光ファイバに複数の異なる波長の光信号を多重して伝送する。1本のファイバを複数の波長で共有するため，大容量通信を低コストで実現することができる。また，通信需要に応じて波長数を増減することもできる。

*コミュニケーション・ネットワーク製作所　**情報技術総合研究所

1. まえがき

メトロネットワークや国際通信を担う海底ケーブルネットワークでは急激な通信需要の増加に対応するため，通信容量の大容量化と装置の高信頼性への要求が高まっている。これらの要求にこたえるためには，１波長あたり40Gbps又は100Gbpsの大容量伝送機能を装置に高密度実装する大容量伝送設計・検証技術，大容量ネットワーク高信頼監視技術，サービス断時間を最小化する光プロテクション技術が不可欠である。

本稿では，大容量・高信頼化技術を適用した海底ケーブル向けＷＤＭ光通信装置及びメトロネットワーク向けWDM光通信装置について述べる。

2. 大容量・高信頼化技術

2.1 高密度実装技術

光通信装置に適用されるデバイスは集積化が進み，発熱源はますます局所化している。これを解決するため，構造熱設計の最適化を行った。新変調方式を実現するデジタルアナログ混在大規模LSI(Large Scale Integration)からの発熱を**図１**に示すヒートパイプによって放出する。発熱源のレイアウト最適化とあわせ，放熱効果については従来比25%増を達成した。なお，40Gbps，100Gbpsのトランスポンダは，海底ケーブル向け，メトロネットワーク向けWDM光通信装置とで共通化を図っており，これらの技術を適用している。従来の10Gbps用の高密度実装光通信架に40Gbpsマックスポンダや40Gbpsトランスポンダカードを実装可能とし，同一筐体(きょうたい)サイズで２倍の伝送容量収容を実現，100Gbpsトランスポンダでは，３倍の伝送容量収容を実現した。**図２**に海底ケーブルネットワーク向けWDM光通信装置の高密度実装光通信架及び主要諸元を示す。

2.2 大容量伝送設計・検証技術

従来の10Gbps光通信システムと同等の伝送距離で，高ビットレート化と波長多重数の増加による大容量化を実現するために，40Gbpsや100Gbpsの伝送特性を検証する長距離伝送評価設備を開発した。**図３**に評価設備を用いて40Gbpsの波長信号を9,000km伝送したときのスペクトル波形を示す。この評価設備を用いて実サービス環境における光ファイバ種別，信号波長帯域，伝送距離等様々な条件を模擬することで，設計段階における高精度の伝送性能評価を可能とした。

2.3 大容量ネットワーク高信頼監視技術

伝送装置の故障や，伝送路の品質をモニタする監視制御装置(Equipment Management System：EMS)は，ネットワークの大容量化に伴い，更に高い信頼性が要求されている。

EMSの故障による伝送装置の監視停止を防止するため，EMSに使用するサーバをホットスタンバイ方式によって冗長化し，監視断時間が発生しないようにした。

また，地震や火災等，不可抗力によるEMSの破損にも対応できるシステムを構築するため，冗長化したサーバ間の遠隔配置を可能とした。一般にホットスタンバイ方式では，冗長化したサーバ間の同期を頻繁に行うため，サーバ間の伝送帯域を十分に確保する必要がある。サーバ内では，大きく分けて伝送装置の状態を管理する情報と，サーバ自身の状態や利用者を管理する情報を保持している。このうち伝送装置の状態を管理する情報は，各構成部品の設定・

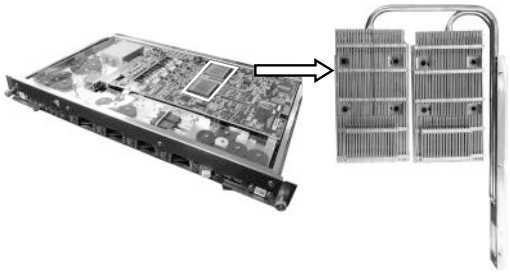


図１．トランスポンダ搭載ヒートパイプ

項目	諸元
電源電圧	DC48V
動作温度範囲	5～40℃
波長収容数	最大15波@40Gマックスポンダ/架 最大9波@40Gトランスポンダ/架
筐体サイズ	2,200(H)×600(W)×400(D) (mm)

図２．高密度実装光通信架と主要諸元

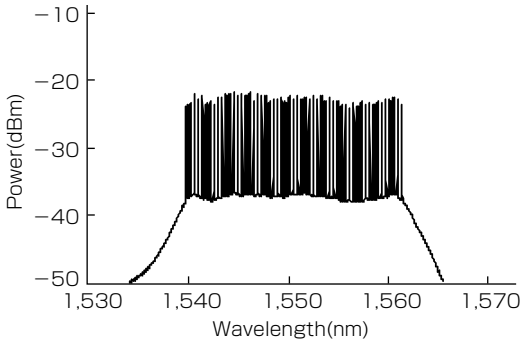


図３．長距離伝送評価設備(上段)と9,000km伝送後の波長多重スペクトル(下段)

故障の情報や，過去に遡った故障や伝送品質測定の情報を保持しているため，容量が大きい。遠隔配置を実現するため，冗長化した現用・予備の各サーバはそれぞれ独立して伝送装置と通信し情報の更新を行うことで，伝送装置の管理情報をサーバ間で直接通信しないようにした。サーバ間の直接通信では，サーバ自身の情報のみを取り扱うことによって，サーバ間で伝送する同期データ伝送量を低減した。これによって，サーバ間の伝送帯域が十分に確保できない環境下での，ホットスタンバイ方式のサーバ冗長化を実現した。

初期据付け時に近接配置して冗長化したサーバを，一方のサーバを運用継続したまま，もう一方のサーバを例えば500km以上離れた遠隔地に移設することも可能である。冗長化したEMSサーバの遠隔配置は，海底ケーブルやメトロネットワークで運用中である。

3. 海底ケーブル向けWDM光通信装置

海底ケーブルシステムでは，国際間の大容量で様々な速度のデータ通信トラフィックを扱うため，高い信頼性と柔軟性を持つシステム設計が求められる。この要求にこたえるべく，10Gbpsと40Gbpsの異種クライアントを同時収容するマルチサービス対応40Gマックスポンダを開発した。さらにシステム全体の稼働率を向上させるため，各インタフェースの種別に依存せずに切換え可能な光プロテクション装置を開発した。

3.1 マルチサービス対応40Gマックスポンダ

異種クライアント信号の混在収容が可能な40Gマックスポンダを開発した。**図4**に外観を，**表1**に主要諸元を示す。

40Gマックスポンダでは，異なる信号速度のサービスであるSTM-64，10GbE，OTU2を最大4チャネルまで混在収容可能である。クロックとデータパスを柔軟に変更可能なハードウェア設計を実現しており，OTU2e／OTU1eなどのインタフェースについてもソフトウェアアップグレードによって対応可能としている。

3.2 高信頼光プロテクション装置

海底ケーブルのトラフィックのデータ種別に依存せずに予備系に移行して保護する光プロテクション技術もインタフェースの多様化に対応しなければならない。今回，40Gマックスポンダの異種混在インタフェースに対応した光プロテクション装置を開発した。**図5**に外観を，**表2**に主要諸元を示す。

海底ケーブルで伝送されるN本の波長に対し1本の予備波長を設けるN：1光プロテクション方式を採用した。切換え方式は，ITU-T（International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization sector）G.845標準を拡張したOTN（Optical Transport Network）オーバヘッドによるAutomatic Protection Switching（APS）プロトコルをベースとし，光スイッチにてN：1切換えを実施する。4多重された10Gbpsクライアント信号

図4．マルチサービス対応マックスポンダの外観

表1．マルチサービス対応マックスポンダの主要諸元

項目	諸元
ライン側インタフェース	
伝送速度	OTU3v（50Gbps）
FEC	Ultra FEC（高効率誤り訂正符号）
クライアント側インタフェース	
対応インタフェース	STM-64，10GbE，OTU2
その他	
電源電圧	DC-48V
動作温度範囲	5～40℃
波長収容数	最大9波@40G TPND/架（3ユニット/架）

OTU ：Optical channel Transport Unit
FEC ：Forward Error Correction
STM ：Synchronous Transfer Mode
GbE ：Gigabit Ethernet
TPND：TransPoNDer

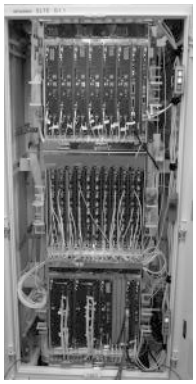


図5．光プロテクション装置の外観

表2．光プロテクション装置の主要諸元

項目	諸元
最大プロテクション波長数	最大64波長
切換え時間	100ms以下（Fast Mode） 11～20s（Slow Mode）
切換えモード	Fast Mode Slow Mode Disabled Mode
切換えコマンド	Lockout of Protection（LP） Forced Switch（FS） Manual Switch（MS）
自動切り戻し	あり
優先処理	2段階の優先設定が可能 高優先のトランスポンダを優先的に切り換える

図6．メトロネットワーク向け40Gトランスポンダの外観

の100m秒以内の同時切換えを実現している。

100m秒以内の同時切換えを実現するため，トランスポンダとスイッチの各ブロックの応答速度にあわせて信号転送方式と検出時間を設定し最適化した。また，40Gトランスポンダへの拡張のため，OTU3オーバヘッド領域を利用してAPSプロトコルを拡張することによって，OTU3インタフェースを提供可能である。

4. メトロネットワーク向けWDM光通信装置

メトロネットワークの大容量化に対応するため40Gbps×40波を伝送可能なWDM光通信装置を開発した。高密度実装，低消費電力化，放熱設計技術を適用している。また，今後の更なる大容量化に向けて，波長あたり100Gbps伝送を実現する100Gトランスポンダを収容可能としている。

4.1 省電力40Gトランスポンダ

図6にメトロネットワーク向けに開発した40Gトランスポンダの外観を示す。高密度実装と徹底した回路集積によって，伝送容量あたりの装置収容効率は，従来の2倍を達成した。

4.2 100Gトランスポンダ

トラフィック需要の増大と100Gbpsルータの登場で要求が高まっている100Gbpsでの長距離伝送を実現するために，デジタルコヒーレント技術と，新規に開発した誤り訂正技術を採用した。デジタルコヒーレントは，光の多値位相と直交する2つの偏波によって情報を伝送し，受信側でデジタル信号処理によって復調する方式である。周波数利用効率と送受信特性に優れているため，大容量化の実現技術として注目されている。また，高速A／Dコンバータとデジタル信号処理を用いるため，軟判定誤り訂正技術との親和性が高い。今回，デジタルコヒーレント方式に適用する軟判定LDPC(Low Density Parity Check)符号を開発した。これに2つの硬判定符号を組み合わせた3重連接符号の誤り訂正性能を**図7**に示す[1]。ネット符号化利得は10.8dB(@1E-15)であり，ITU-T標準G.975のRS(Reed-Solomon)符号より4.6dB性能向上している。これらの技術を適用した100Gトランスポンダの機能ブロックを**図8**に示す。

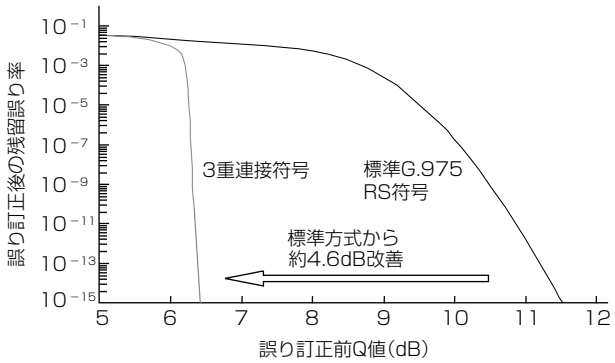


図7．3重連接符号の性能

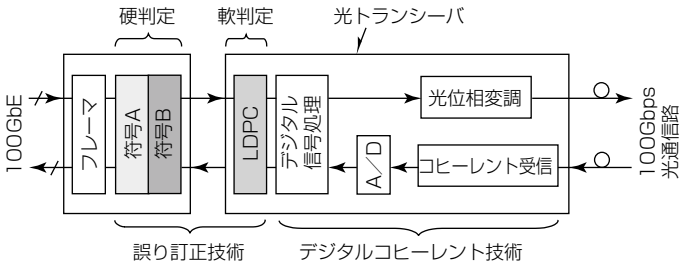


図8．100Gトランスポンダの機能ブロック

5. むすび

大容量・高信頼化技術を適用した，海底ケーブル向けWDM光通信装置，メトロネットワーク向けWDM光通信装置について述べた。これらが，光通信ネットワークの大容量化と高信頼化に寄与することを期待する。

この研究開発の一部は，平成21年度から平成23年度に実施した総務省の委託研究“超高速光伝送システム技術の研究開発(デジタルコヒーレント光送受信技術)”及び“超高速光エッジノード技術の研究開発”の成果である。

参考文献

(1) Miyata，Y.，et al.：A triple-concatenated FEC using soft-decision decoding for 100 Gb/s optical transmission, OFC/NFOEC2010，OThL3（2010）