

長距離大容量光伝送システム

杉原浩平* 近森 峻†
 澤田和重** 井上隼平†
 島倉泰久***

Long-haul and Large Capacity Optical Transmission Systems

Kohei Sugihara, Kazushige Sawada, Yasuhisa Shimakura, Shun Chikamori, Junpei Inoue

要 旨

海底ケーブルシステムは国際通信を支える主要な通信ネットワークであり、近年のIP (Internet Protocol) 通信のブロードバンド化に伴い、通信需要が急伸している。現在の海底ケーブルシステムでは、1990年代後半に実用化された波長多重伝送方式(Wavelength Division Multiplexing : WDM)が広く用いられてきたが、急速な通信需要の増加に対応するために、波長間隔を高密度化し多重度を高めて通信容量を増加させる新規技術の導入が求められている。

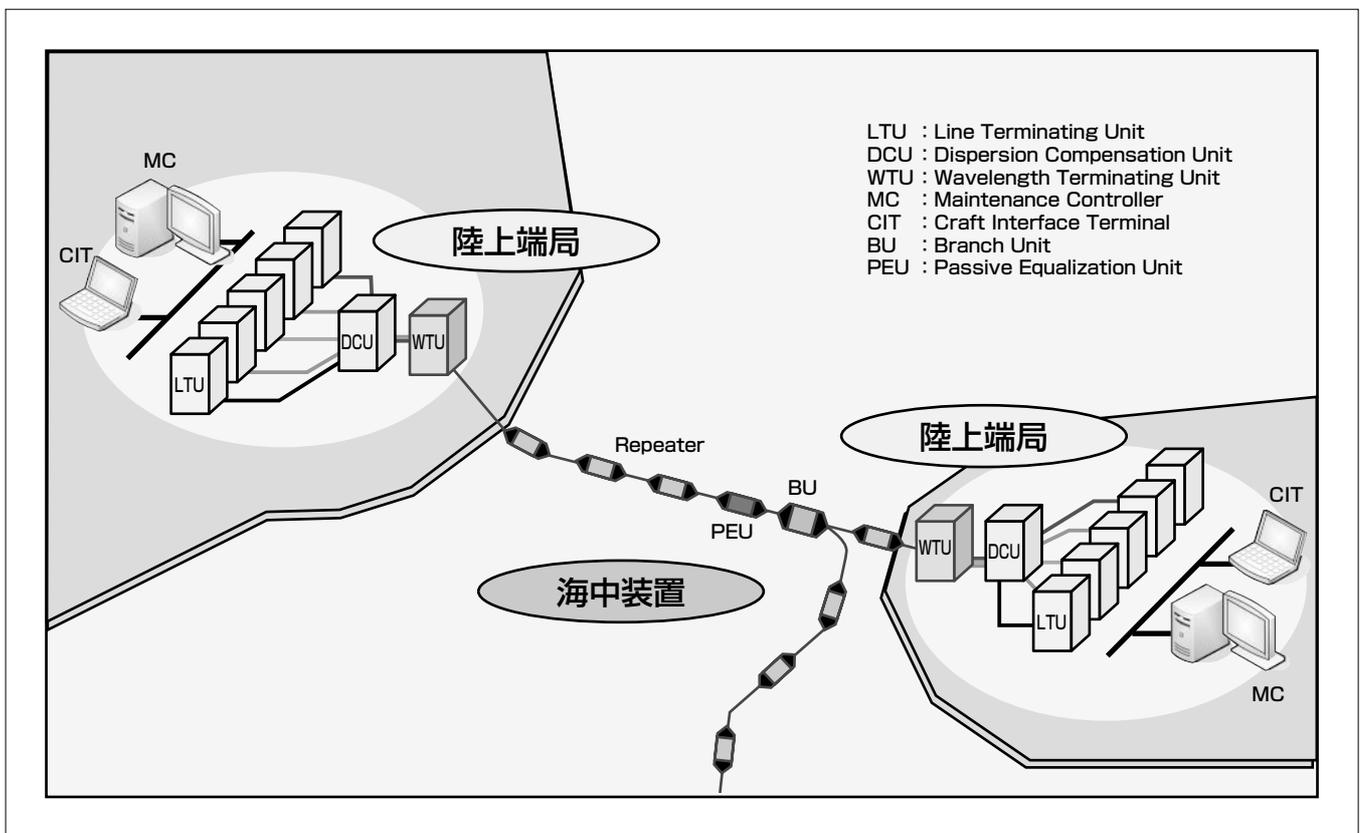
本稿では、三菱電機が海底ケーブルシステム向けに開発した長距離大容量光伝送システムの概要と、新たに導入した3つの主要技術の特長を述べる。

(1) 差動位相変調 (Differential Phase Shift Keying :

DPSK) トランスポンダの導入によって、3,000km超の長距離システムで、良好な伝送品質を維持したまま、波長多重度を最大132波長まで増加可能

(2) インタリーバの導入によって、波長間隔を従来の37.5GHzから25GHzまで狭める高密度化を実現。また、モニタ機能の充実した光アンプ、偏波スクランブラ、合分波ブロックなど、各種機能カードをそろえることによって、合分波構成を柔軟に変更でき、ネットワークに最適なレベルダイア設計と分散マネジメントが可能

(3) 操作性を向上させた統合監視システムの導入によって、大容量化のため大規模化し、複雑化した光伝送システムの容易かつ効率良い統合監視が可能



大陸間を結ぶ長距離大容量光伝送システム

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方式で、1本のファイバを複数の波長で分割して利用するため、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。

1. ま え が き

近年のアクセス系通信ネットワークのブロードバンド化に伴い、国際通信を担う基幹ネットワークである海底ケーブルシステムでも、通信容量の急速かつ大幅な増加が要求されている。波長多重伝送方式を採用している既存システムを低コストで大容量化するためには、波長間隔の高密度化による最大波長多重数の増加が最も有効な手段である。

本稿では、当社が開発した海底ケーブルシステム向け陸上端局装置と、新たに導入した主要技術であるDPSKトランスポンダ、合分波方式、統合監視システムについて、それぞれの概要と特長について述べる。

2. 海底ケーブルシステム向け陸上端局装置

海底ケーブルシステムでは波長多重伝送方式を採用した陸上端局装置が導入されている。当社は1990年代中盤から海底ケーブルシステム向けに、振幅変調方式による2.5Gbpsの波長多重伝送システムを製品化し、市場に供給してきた。1990年代後半からは10Gbpsのシステムが主流となり、その後は、高密度実装による省スペース化、低消費電力化、FEC (Forward Error Correction) 能力の向上による高性能化や、パソコンベースの制御端末による性能パラメータのモニタに代表される高機能化を進めてきた。近年の更なる大容量化、高機能化の要求を受け、当社は、陸上端局装置“MF-1320GWS”を開発した。MF-1320GWSは、最大132波を波長多重し、3,000km以上の伝送を実現する長距離大容量光伝送システムであり、運用システムに適用されている。主要諸元を表1に示す。

表1. MF-1320GWSの主要諸元

項目	諸元
LINE側インタフェース	
最大波長数	132波 (Typ)
波長間隔	25GHz
波長安定度	+/- 3 GHz
波長範囲	1,538~1,567nm (Typ)
伝送速度	11.0Gbps, 11.4Gbps
主信号変調方式	NRZ-OOK/RZ-OOK/DPSK
Client側インタフェース	
対応インタフェース	STM-64 10GbE LAN PHY & WAN PHY STM-16×4Ch OTU2/OTU2e
その他	
電源電圧	DC-48V
動作温度範囲	5~40℃
波長収容数	最大18波/架
筐体(きょうたい)サイズ	1,800(h)×795(w)×600(d) (mm)

NRZ-OOK : Non-Return-to-Zero-On-Off-Keying
 RZ-OOK : Return-to-Zero-OOK
 STM : Synchronous Transport Module
 GbE : Gigabit Ethernet^(注1)
 PHY : PHYSical layer
 (注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

高密度実装によって1架あたり18波長を収容可能であり、陸揚げ局の省スペース化に貢献できる。クライアントインタフェースは、STM-64に限らず、10GbE LAN PHY/WAN PHYやSTM-16×4ch多重、OTU2/OTU2eと様々なインタフェース種別に対応しており、多様な市場ニーズへの適用が可能である。

MF-1320GWSの構成と、LTU、DCUとWTUの装置外観をそれぞれ図1と図2に示す。LTUは各種トランスポンダカードを収容し、クライアント信号を波長多重伝送できる光信号に変換する。LTUが送受信する各波長の光信

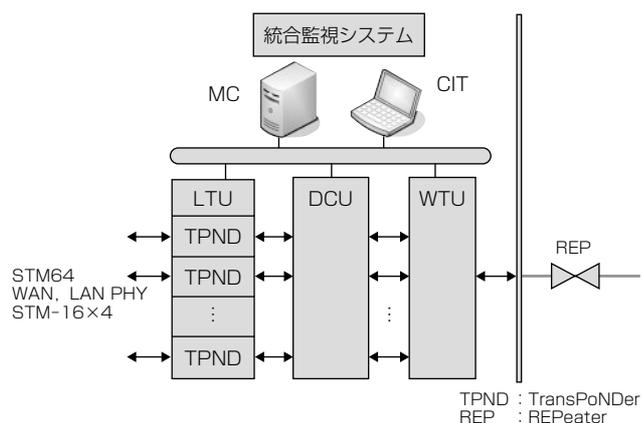


図1. MF-1320GWSの構成

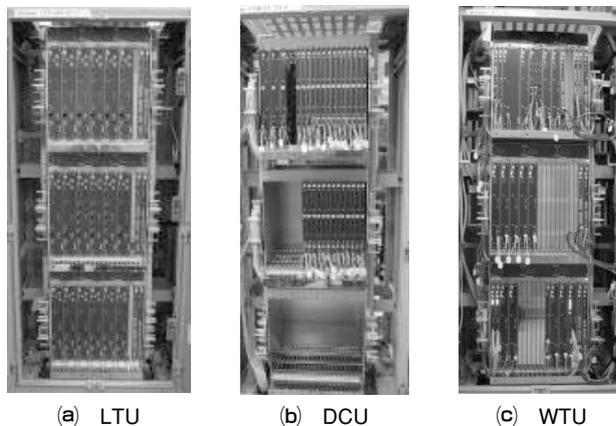


図2. LTU, DCU, WTUの装置外観



図3. 統合監視システム

号は、分散補償ファイバを収容するDCUを経て、WTUで合分波され、海底ケーブルで伝送される。各装置はシェルフ単位の増減設が可能であるため、必要な通信容量に合わせて、柔軟に装置構成を変更できる。統合監視システムの外観を図3に示す。統合監視システムは、LTUやWTUの性能情報や警報を統合的に監視するものである。

3. 主要技術

3.1 DPSKトランスポンダ

波長多重数を増加させるためには、各波長の光信号強度を低減する必要があるため、光雑音耐力の確保が重要な課題となる。波長多重数を増加させつつ良好な伝送品質を確保するために、当社は、光雑音耐力が従来の振幅変調方式に比べ、約3dB高い利点を持つ10G DPSK変調方式を採用し、10G DPSKトランスポンダを開発した。図4に外観を示す。

DPSKトランスポンダは、次の特長を持つ。

- (1) 送信部は、Cバンドの全波長領域に対応した波長可変レーザを用いており、ITU(International Telecommunications Union)-TG.691勧告に準拠して25GHzの間隔で送信波長を選択可能である。これによって、トランスポンダの保守運用コストを低減することができる。
- (2) 受信部では、DPSK信号を振幅変調光に復調する1ビット干渉計の波長特性を常に最適条件に自動制御するアルゴリズムを開発し、良好な伝送品質を実現した。
- (3) クライアント側は、ユーザーの多種多様なニーズに対応するため、STM-64、10GbE LAN PHY/WAN PHY、STM-16×4chやOTU2/OTU2eのインタフェースが収容可能なマルチレート対応とし、クライアントインタフェースに応じて、11.0Gbpsと11.4Gbpsの2種類の速度でDPSK信号を送受信できる。
- (4) 誤り訂正能力の高いFEC方式を採用することによって、伝送距離を延伸化している。

3.2 合分波方式

光海底ケーブルシステムを大容量化するには、波長間隔の高密度化によって、最大波長多重数を増加させることが有効である。従来、当社では、37.5GHzの波長間隔までを製品化していたが、今回、更なる大容量化に対応するために、25GHz波長間隔での超高密度波長多重を実現し、3,000kmを超える長距離伝送で最大132波長の大容量化を実現した。132波長多重の光スペクトルを図5に示す。

25GHz間隔で波長多重された全波長で良好な伝送品質を

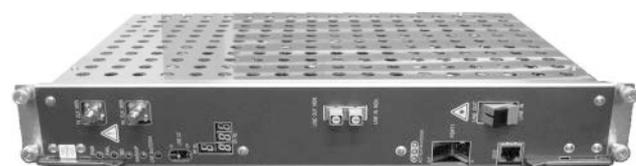


図4. 10G DPSKトランスポンダの外観

実現するために、伝送路特性及び伝送距離に応じて合分波構成を最適化しており、WTUは以下の特長を持つ。

- (1) 海底区間からの受信レベルが変動した場合でも、各トランスポンダの受信レベルを一定に制御することによって、伝送品質の変動を抑圧できる。
- (2) DCUを通過した光信号の損失を補填(ほてん)する光増幅器で、レーザを冗長化し、1台のレーザが故障してもシステムとしては正常動作させることによって、高い信頼性を実現した。
- (3) 波長を増減設する際には、既設波長の受信レベルが変動しうるため、光増幅器の利得調整機能を高速化して、影響を抑圧している。
- (4) 光増幅器は全波長範囲をカバーする広帯域設計とし、柔軟に変更可能なシステム構成と、保守用品数の削減を実現している。
- (5) 合分波カップラやレベル調整の各種機能カードを備えることによって、MF-1320GWSが導入されていない海底ケーブルシステムの波長増設でも、既設波長への影響を最小限に抑えている。

3.3 統合監視システム

海底ケーブルシステムの各陸揚げ局に、陸上端局装置を監視するEMS(Equipment Management System)を配備し、WTU、LTUを統合監視している。統合監視システムは、次の特長を持つ。

- (1) 各EMSはDCN(Data Communication Network)を用いて全局と接続されており、NOC(Network Operation Center)による中央集中監視や各局分散型の管理など、柔軟な監視システムを提供する。
- (2) クライアント・サーバ方式のEMSの採用によって、監視システムの負荷を分散している。また、クライアントは直感的な監視・制御が可能なGUI(Graphical User Interface)を提供している(図6)。
- (3) 発生中警報や警報履歴を一覧で表示するとともに、警報重要度による色分け表示、ソート/フィルタ機能を具備し、故障原因の特定・解析を容易にしている。
- (4) 障害の発生箇所とその波及箇所を容易にするため、ITU-TG.709に準拠した障害管理機能を備えている。

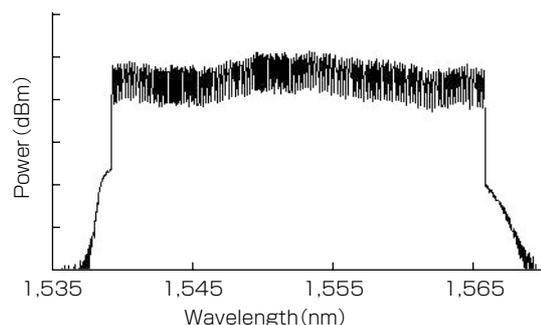


図5. 132波長多重の光スペクトル

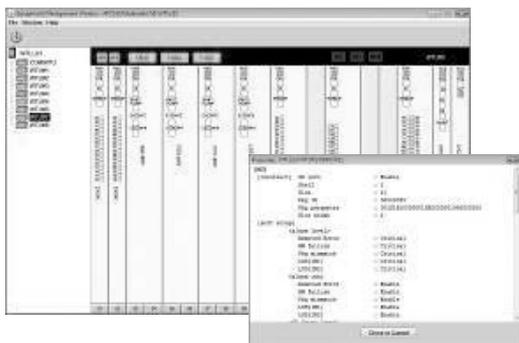


図 6. EMSクライアント画面表示例



図 8. フロアマップ例

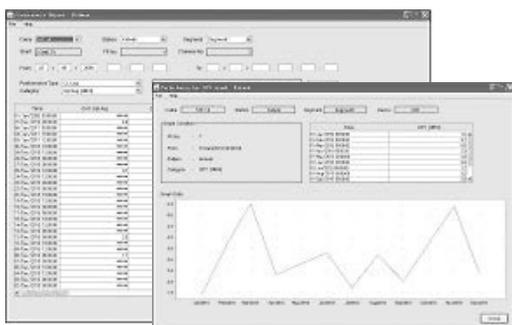


図 7. 性能情報画面表示例

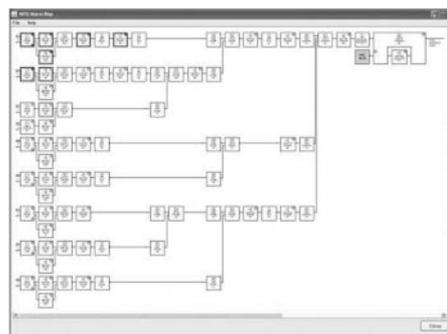


図 9. 機能ブロック図例

- (5) 回線の性能情報を定期収集し、サーバデータベースに蓄積している。クライアントで日、月、年単位での最大、最小、平均、標準偏差の値やグラフ表示が可能であり、運用保守を容易にしている(図7)。
- (6) 装置を設置したフロアマップから故障箇所を特定できる機能や(図8)、装置の機能ブロック図から故障箇所を特定できる機能(図9)を備えており、大容量化のため機器間接続が複雑化した装置のメンテナンスを容易にしている。

4. む す び

海底ケーブルシステムの更なる大容量化の市場要求に対応するために、当社が開発したMF-1320GWSの概要とその主要技術の特長を述べた。このシステムの導入によって、新規の海底ケーブルシステムはもとより、フレキシブルな装置構成によって既存システムへの波長増設も低コストで対応でき、海底ケーブルシステムの大容量化が可能となった。