

グローバルな通信ネットワークを提供する 海底光通信システム

Submarine Optical Communications System Providing Global Communications Network

あらまし

インターネットの急速な拡大に伴う通信トラフィックの増大により、グローバルなネットワークの大容量化が進んでいる。富士通は、大容量で時間遅延の少ない通信インフラの構築を可能とする海底光通信システムをキャリアに提供している。急速なトラフィック需要の増大に対応するための容量拡大の手法としては、新規システムの建設と既存システムの波長増設がある。後者において、既設の端局装置と新規の端局装置を結合して波長増設する方法（カプラ挿入法）を確立した。この方法は海底ケーブルの部分そのまま使い、端局装置のみに変更を加えるもので、コストとリードタイムの点で優れている。さらに増設容量拡大のために、受信感度に優れるRZ-DPSKトランスポンダを採用し、既存の大洋横断システムの増設プロジェクトに適用した。

Abstract

The capacity of the global communications network has been increasing significantly to handle the rapid growth in telecommunication traffic brought about by the Internet. Fujitsu supplies optical submarine cable systems that can provide the required huge capacity and short transmission delay. There are two ways to increase the capacity: construct a new submarine cable system or upgrade the existing one. For the latter, in particular, coupler insertion technology has been established. This allows the existing submarine line terminal equipment (SLTE) and new SLTE to co-exist in one system. As the existing submarine portion will continue to be used unchanged, this technology can reduce the amount of work done at sea and contribute to cost and lead-time reductions. Fujitsu has chosen to use return-to-zero differential phase shift keying (RZ-DPSK) technology to improve the upgradeable capacity and has applied it to some trans Pacific projects.



中元 洋 (なかもと ひろし)
海底事業部方式部 所属
現在、海底光通信システムの開発に
従事。



杉山 晃 (すぎやま あきら)
海底事業部方式部 所属
現在、海底光通信システムの開発に
従事。



内海敦彦 (うつみ あつひこ)
海底事業部方式部 所属
現在、海底光通信システムの開発に
従事。

まえがき

インターネットの急速な拡大に伴う通信トラフィックの増大により、国際間のグローバルなネットワークの大容量化が進んでいる。富士通は、大容量で時間遅延の少ない通信インフラの構築を可能とする海底光通信システムをキャリアに提供している。富士通のシステム納入実績を図-1に示す。旺盛なトラフィック増大の要望に応えるために、相次いでシステムの導入が進んでいる。

近年は急速な容量増大の要求に迅速に応えるために、新規にシステムを建設するよりも短期間で容量増大が図れる既存システムの波長増設の要求が増えている。波長増設によって容量を拡大した例を表-1に示す。

本稿では、このような波長増設の取組みと、今後の展開について述べる。

表-1 波長増設の一例

	初期設計	増設後
波長数	16	41 (最大)
総容量	160 Gbps	410 Gbps

通信容量拡大への取組み

● 波長増設の必要性

通信容量の需要が急速に増加するため、通信キャリアは需要の増大に応じて、通信インフラの容量を増大させる必要がある。

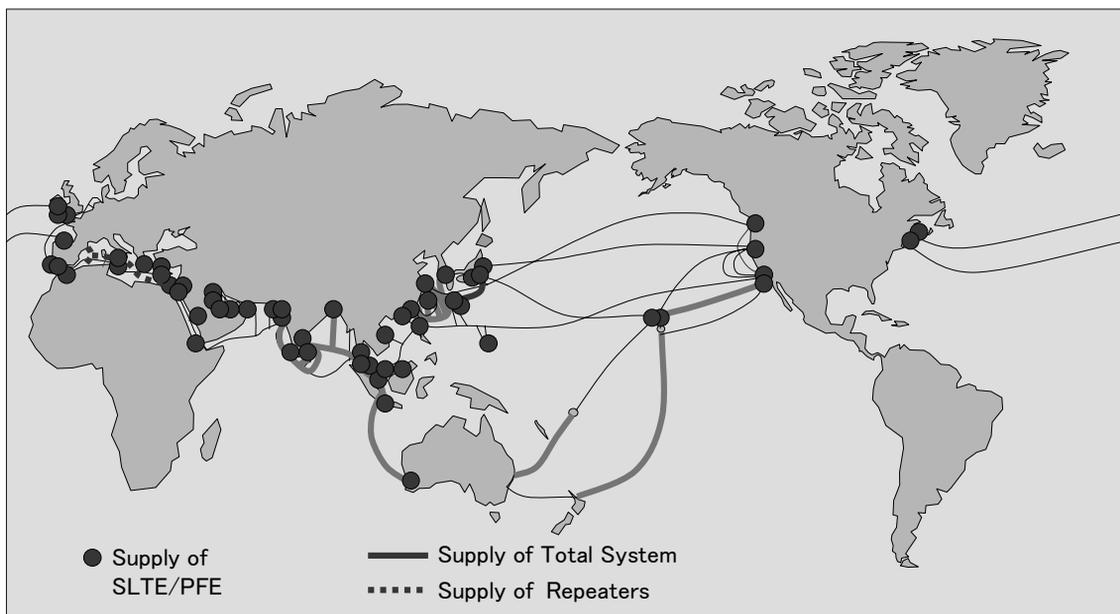
海底光通信システムで通信容量を増大させる手段には大きく分けて次の二つの方法がある。

- (1) 新規システムの建設
- (2) 既存システムの波長増設

前者は海底光ケーブル、海底中継器、送受信端局から成るシステム全体を新たに導入するものであり、導入時の最先端の技術を使うことができるため、優れた特性のシステムを提供できるという利点がある。一方、サービス提供までのリードタイムが長くなり、通信キャリアの短期間で容量増大という要求に対応できないという課題がある。

後者は波長多重システムの特徴として、既存システムの伝送特性にマージンがある場合に波長を増設するものである。新規システムを導入する場合に比べ、短期間で増設でき、比較的低価格で行うことができる。

とくに、この分野では、意欲的に新技術の適用が



SLTE: Submarine Line Terminal Equipment
PFE: Power Feeding Equipment

図-1 納入した海底光通信システム
Fig.1-Delivered submarine communication system.

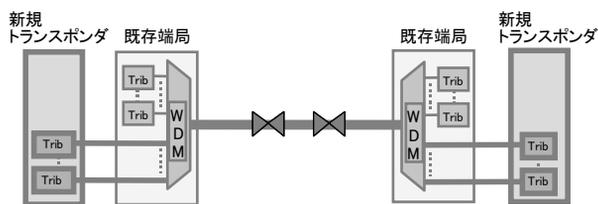


図-2 トランスポンダ増設
Fig.2-Transponder slot increase.

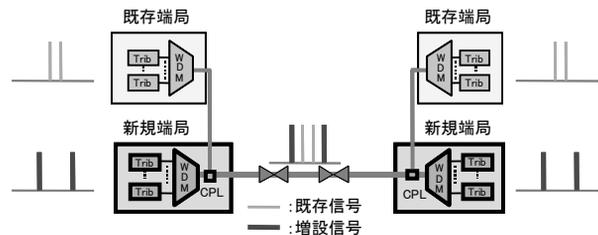


図-3 カプラ挿入法
Fig.3-Coupler insertion method.

行われており、既存プラットフォームでの増設よりも、最新のプラットフォームと結合させることにより、価格面で有利であるだけでなく、初期の設計以上の容量が実現できるという利点がある。既存と新規のプラットフォームのシステム提供者は同一である必要はなく、技術の優れた別の提供者が、増設を行うことが可能である。

● 波長増設の方法

既存と新規のプラットフォームを結合させて波長増設する方法はWDM（Wavelength Division Multiplexing）装置の構成から次のようなものがある。

- (1) トランスポンダ増設（図-2）
- (2) 光カプラ（CPL）で既存と新規のプラットフォームを接続する方法（図-3）

(1) はトランスポンダ部分を追加するものであり、新しい技術を用いたトランスポンダを使うものである。増設に伴うハードウェアの規模は小さいが、光系と制御系のインタフェースが、個別案件によって異なり、ハードウェアとファームウェアの再設計が必要なため、コスト低減とリードタイム短縮が難しくなる傾向がある。

(2) は新規の端局装置を用意して、既存の装置の出力を新規の装置の信号と光カプラで合波して海底ケーブルに送出し、受信側では光カプラで分岐し、既存と新規の装置に入力させるものである。カプラ

を挿入して新規の端局を導入することから、この方法を「カプラ挿入法」と呼んでいる。最大容量は新規システムの導入には劣るものの、短期間に顧客の望む容量増大を提供できる構成である。次章ではこの方法を用いた波長増設法について説明する。

カプラ挿入法

カプラ挿入法は海底ケーブルに接続している既存端局の光出力をいったん切断し、新規端局に設けた光カプラに接続することで、増設波長を合波して海底ケーブルに送出し、受信側では光カプラで光信号を分岐し、既存・新規の端局で信号を受信するものである。

この場合、既存信号と新規信号との光送信パワー比率の調整は、送信側カプラに接続した可変光アッテネータで行う。受信側でのインタフェースレベルの調整は受信側カプラに接続した可変光アッテネータで行う。

このような光カプラ、可変光アッテネータを海底光通信端局FLASHWAVE S650^(a)に実装した。

● 伝送品質設計

波長増設後に所定の信号品質を確保するには、既存信号と増設信号のOSNR（Optical Signal to Noise Ratio）確保および伝送劣化の見積もりが必要である。このため、設計情報として、増設するシステムの利得波長特性、OSNR、既存信号の信号品質（Q値）、既存信号の伝送品質マージン、伝送路情報（波長分散、非線形劣化）を調査し、これらを考慮して、増設可能波長数を設計する。

● 増設手順

カプラ挿入を行う場合、既存信号をいったん断状態にする必要があるため、お客様と綿密な打合せを行い、必要があれば、既存のチャンネルに乗っているデータ信号を別ルートに迂回してもらう。

まず、既設の装置と海底ケーブルとの接続を切り、それらを増設端局に接続する。つぎに、既存信号側のレベル調整を行って、既存信号の信号疎通を確認する。その後、新規増設信号を立ち上げ、光パワーレベル調整、波長分散補償調整を行い、特性確認後、データ信号をもとに戻す。

● 既存システムの置換え

増設には既存信号の古いトランスポンダの信号を撤去して、新規のトランスポンダに変更する場合は

ある。例えば2.5 Gbpsの信号を撤去して、10 Gbpsの信号を配置する場合がある。

このようなケースでは既存側の信号を一度に抜くと、光中継器が出力一定制御のため、残された信号の光パワーレベルが上がり、伝送劣化が大きくなる可能性があるため、新規増設信号のレベルを調整して、ほかのチャンネルへの影響を低減しながら、既存信号の撤去と新規信号の増設を行う。

RZ-DPSK

● RZ-DPSKによる大容量化

陸上10 Gシステムでは変調方式としてNRZ (Non Return to Zero) -OOK (On Off Keying) が用いられており、陸上40 GシステムではRZ (Return to Zero) -DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), NRZ-DPSK (Differential Phase Shift Keying) が用いられている。海底10 Gシステムでは、従来から伝送特性に優れたRZ-OOKが使われている。海底光通信システムにおいても更に感度の優れたRZ-DPSKの採用が進んでいる。

RZ-DPSKはRZ-OOKに比べ、感度が3 dB程度改善するため、一定の信号品質のために必要なOSNRが低下する。このことを利用すると、新規ケーブルシステムでは、中継器間隔を広げて、光中継器台数を30%低減でき、システムの大幅な価格低下が可能である。またRZ-DPSKにはRZ-OOKよりも、ファイバ非線形劣化の一つであるSPM-GVD (Self Phase Modulation - Group Velocity Delay) の影響を受けにくいという特長がある。この二つの特長は増設システムに適用した場合でも有効である。

長距離伝送のために多段に接続された光中継器の利得帯域には制限があり、この範囲の中にWDMの信号を配置する必要がある。一般に利得帯域の短波長側、長波長側では利得が小さくなり、信号の増幅が十分に行われなため、OSNRが不足しがちであるが、RZ-DPSKは必要とするOSNRが小さいのでこのような場所にも配置できる。さらに、ファイバの分散スロープ (波長分散が波長によって異なること) のために、短波長側、長波長側では伝送路で累積する波長分散が大きくなり、SPM-GVDによる劣化が大きくなることが予想されるが、RZ-DPSKはこの劣化が小さいのでRZ-OOKよりも適用可能領

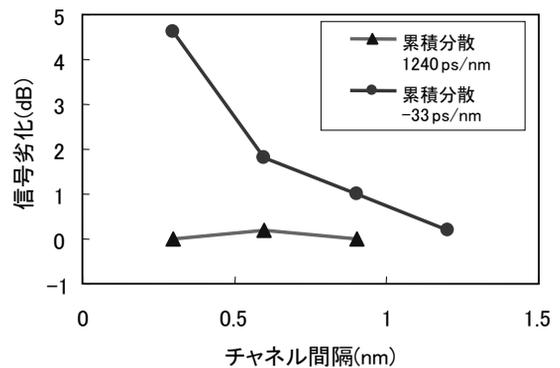


図-4 8000 km伝送後の伝送劣化のチャンネル間隔依存性
Fig.4-Channel spacing dependence of signal degradation.

域が広がり、大容量化が可能になる。

● RZ-DPSKのNZ-DSF伝送

海底光通信システムの伝送ファイバとしては、NZ-DSF (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber) またはDMF (Dispersion-Managed Fiber) が使われている。

RZ-DPSKのような位相変調方式では、光中継器から発生する雑音が位相雑音となって信号を劣化させることが知られている²⁾ これはNZ-DSFの波長分散の小さい零分散領域で、比較的長い距離を伝送した場合に特に大きくなる。この場合の対策として零分散近辺では、このような劣化のないRZ-OOKを配置し、それ以外の領域にRZ-DPSKを配置することで、信号品質を確保することができる。

また、RZ-DPSKの波長の近くにRZ-OOKの波長を配置した場合、RZ-OOKの強度信号が位相信号に変換され、位相変調の信号に雑音となって加わり、信号品質を劣化させる。この劣化はRZ-DPSKとRZ-OOKの速度差 (累積分散量と波長間隔の積に比例) に関係している。NZ-DSFの8000 km伝送例を図-4に示す。累積分散が大きい場合は、ペナルティがほとんど発生しないのに対し、累積分散が小さい場合には二つの信号の波長間隔が小さいと大きなペナルティが生じており、間隔を大きく設定することで、劣化を抑圧できる³⁾

● RZ-DPSKのDMF伝送

DMFは中継区間の光増幅器の直後に、正の波長分散を持ち、有効コア断面積が大きく非線形効果を起こしにくく、損失の小さいファイバ (+Dファイバ: plus D fiber) を配置し、このファイバの後に、

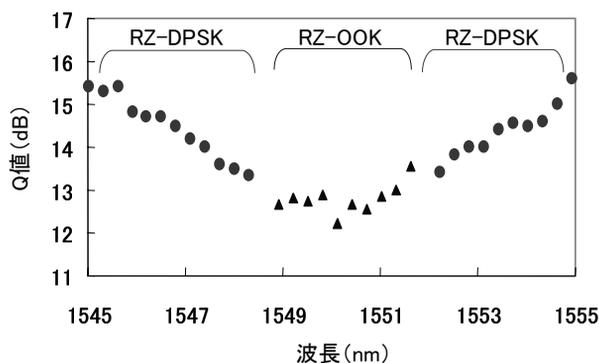


図-5 Q値のチャネル依存性
Fig.5-Channel dependency of Q value.

有効コア断面積は少し小さいが、+Dファイバの波長分散の波長依存性（分散スロープ）を補償するファイバ（-Dファイバ：minus D fiber）を組み合わせたものである。非線形効果を起こしにくい+Dファイバを通過して、光パワーの損失を受けた後、-Dファイバに入射するので、-Dファイバ内での非線形劣化も小さく抑えることができ、伝送特性に優れたファイバである。RZ-OOKに対して良好な伝送路であるが、RZ-DPSKに対しても良好な特性である。また正分散ファイバと負分散ファイバを伝送するので、NZ-DSFのように零分散近辺のみを伝送することがないので、零分散近辺の位相雑音による信号劣化も少ない。

● RZ-DPSKを用いた波長増設

増設を行うに当たって、既存伝送路はNZ-DSF、既存信号の変調方式はRZ-OOKであることが多く、上記NZ-DSF伝送時と同じ、二つの課題がある。上記と同様にRZ-DPSKとRZ-OOKを近接して設定する場合には速度差が大きくなるようにチャンネル間隔を広げ、零分散領域の長距離伝送にはRZ-OOKを用いることで対処が可能である。

RZ-DPSKとRZ-OOKを用いたNZ-DSF伝送のQ値特性を図-5に示す。零分散近辺（波長1550 nm近辺）にRZ-OOKを配置し、それ以外の領域にRZ-

DPSKを用いることで、良好な特性を得ている。

今後の展開

海底光通信システムでは、新規ケーブルの建設に莫大な費用がかかることから、限られた信号帯域での容量最大化の検討が進められている。現在用いられている37.5 GHz（0.3 nm）間隔から、さらに高密度な25 GHz（0.2 nm）間隔以下とすることにより、高密度システムが実現できる。

また、陸上システムで採用されている40 Gbps伝送、および適用が検討されているデジタルコヒーレント技術についても、長距離海底システムへの適用の検討・開発を進めている。

む す び

海底光通信システムはグローバルな通信インフラを提供しており、トラフィック需要の変化に迅速に対応するための増設手法としてカプラ挿入法を確立した。また、さらなる増設容量拡大のためRZ-DPSKトランスポンダを開発し、大洋横断の増設システムに適用した。

今後は更なる大容量システムの開発により、信頼性に優れた海底光通信システムを提供し、ブロードバンドサービスの拡充に貢献していきたい。

参考文献

- (1) 笈川 浩ほか：次世代光海底通信システムを支える高性能端局装置：FLASHWAVE S650. *FUJITSU*, Vol.57, No.4, p.384-389 (2006).
- (2) H. Kim : Cross-phase-modulation-induced nonlinear phase noise in WDM direct-detection DPSK systems. *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, Vol.21, No.8, p.1770-1774 (2003).
- (3) H. Nakamoto et al. : Study of Upgradeability Using the RZ-DPSK Format on Existing WDM Transmission System. *SubOptic 2007*, ThB1.5.