

国際光海底ケーブルシステムにおいては、ここ数年インターネットによる急速な需要の拡大と、この要求を実現する大容量高速伝送技術の発展とあいまって、21世紀の情報通信世界のバックボーンとして、多くの大容量光海底ケーブルシステムの建設が続いている。豊富な情報交換ができることは、ビジネスチャンスの増加、ビジネスの形態の変容をもたらし、この要求が技術を加速し、また、技術の進展が需要を喚起する相乗効果で加速的に大容量化が進んでいる。この進展は、技術予測をはるかに上回る速度で展開されている。

ここでは、ネットワーク総容量数百Gビット級の光海底ケーブルシステムの根幹を成す、大容量を実現する光技術、ネットワーク障害に対処する高信頼で高効率なネットワークプロテクション技術、ネットワーク監視技術についてその動向を紹介する。

In the domain of optical submarine cable systems for international networks, the construction of large-capacity systems has been continuously undertaken as a backbone for the information society of the 21st century. This has taken place due to the rapid growth in demand for the Internet over the past several years, coupled with the advancement of technologies for large-capacity, high-speed transmission which have made it possible to realize this demand. Abundant information exchange increases business opportunities and changes the forms of conducting business. This demand pushes technology advancement, which also creates new demand causing a mutual accelerating effect, so that capacity expansion is progressing with increasing speed. This progress is advancing much faster than the prospects for our technical progress.

This paper presents recent trends in technologies for realizing large-capacity optical transmission as the basis of optical submarine cable systems having a total network capacity of several hundred Gbps, as well as network protection technology of high reliability and high efficiency which deals with network failure, and network supervising technology.

光海底ケーブル通信の発展

海底ケーブル通信は、第1世代の同軸ケーブルによる同軸方式、第2世代の光ファイバによる光方式、そして第3世代の、異なる波長の光を多重して光ファイバに信号を通す波長多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)方式と発展してきた。

第1世代である同軸方式は、1950年代半ばに大西洋に敷設されたのが最初である。同軸方式は、伝送速度が高速になると伝送損失が増加するため、大容量化が困難である。

第2世代の光方式は80年代後半から伝送速度が280 Mbps、560 Mbpsのものが敷設された。光ファイバは、同軸ケーブルに比べ伝送損失が非常に少なく、広帯域であるため、伝送容量を大きくできる。

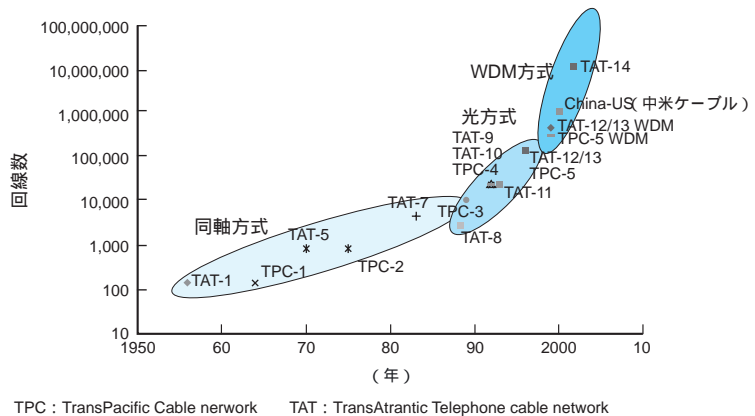


図1. 光海底システムの発展 光海底システムは、同軸方式、光方式、WDM方式と新しい技術の発展とともに、飛躍的に通信容量が増加した。
Progress of optical submarine systems

更に、光方式が進展したのは、90年代に光信号を電気信号に変換せず増幅する光増幅技術が開発され、光中継器ができたためである。90年代半ばに建設された第5次太

平洋ケーブルネットワーク(TPC-5)、及び第12/13次大西洋ケーブルシステム(TAT-12/13)では、世界に先駆け光増幅方式の中継器を採用し、ネットワーク形態は従来の対向通信の

形態より信頼性の高い5 Gbpsのリング型システムが採用された⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

第3世代のWDM方式は90年代末以降、伝送速度2.5～10 Gbps、波長数16～64波を使用する高密度波長多重DWDM(Dense WDM)方式へと発展している。

発展と経緯を図1に示す。

■大容量・長距離化の光技術

伝送の大容量化を実現する光技術として、特に重要な三つの技術がある。これは、①光を電気に変換せずに光のまま直接増幅する光増幅器の技術、②数多くの波長を1本の光ファイバに多重するDWDM技術、③多波長多重することで光ファイバ内の光電力が高くなることによって生ずる光非線形を補償する光非線形補償技術、である。

■光増幅器の技術

ファイバにEr(エルビウム)を添加して信号光の波長1.5 μmより短い0.98 μm、1.48 μmの励起光を加えると、信号光が増幅されるのが光増幅器の原理である。

光増幅器では、多波長の光を一度に増幅できるとともに、信号の速度に依存しない特長がある。

■高密度波長多重技術

DWDMを実現するためには、低雑音光増幅器、利得フラットな光増幅器、波長安定化技術、狭帯域の合分波が重要である。

多波長伝送するために、波長ごとの信号レベルのばらつきを補償した高出力、低雑音の光増幅器が開発され実用に供されている。また、光増幅器で増幅できる帯域は有限のため、多波長多重するには波長間隔を狭くすることが重要である。波長間隔を狭くするためには、波長安定化技術、波長分波技術が必要である。現在、波長間隔として0.8 nm、0.4 nm間

隔のシステムが実用化されている。

■光非線形補償技術

DWDM伝送方式では、波長ごとの分散値や分散の傾き(分散スロープ)を小さくすることが重要となる。また、光電力が大きくなると光非線形が発生する。多重した光の周波数差の成分が発生する四光波混合(four wave mixing)や、相互位相変調と呼ばれる非線形現象が発生して信号品質が劣化する光ファイバは、波長によって伝搬速度が若干異なる波長分散の性質がある。

この現象は、ゼロ分散波長近傍で著しく発生する。このため、DWDM伝送方式では、例えば正の分散の光ファイバと負の分散の光ファイバを組み合わせ、伝送路の平均分散値と平均分散スロープをゼロにする分散スロープマネージメント手法などを用い、非線形現象を改善することが行われている。

■大容量リング型ネットワーク

2000年までに運用開始あるいは運用開始予定の光海底ケーブルシステムでの信号伝送速度は2.5～10 Gbpsで、1ファイバペア当たり、波長数8～16波を数ペアの光ファイバに通すことでシステム容量として、数十から数百Gbpsのものを実現している。更に、21世紀初頭には伝送速度40 Gbpsで波長数64が実用化され、ネットワーク総容量が数T(テラ)bps以上のシステムへと変身を遂げて、新しい情報社会の基盤となっていくと思われる。

このように通信容量が非常に大きくなってきたため、ネットワーク障害が発生して通信が途絶えるとインパクトも非常に大きいものとなる。また、一つのシステムで扱う通信容量が大きいため、障害時に他のネットワークにトラヒック(通す信号)を迂回(うかい)させるのは容量的、回避時間的に困難である。この問題を解決するため

光海底ネットワーク アーキテクチャ

光海底システムは、インターネットなどの進展でGbps(毎秒 10^9 ビット)からTbps(毎秒 10^{12} ビット)の伝送容量のものが建設又は計画されている。大容量ネットワークで障害が発生し通信が中断すると、そのインパクトが大きい。そこで高信頼なネットワークアーキテクチャとしてリング型構成とネットワークでの障害を瞬時に迂回する機構が不可欠となる。

リング型ネットワーク構成

ネットワーク信頼性を向上するために2ルート化が図れるリング型構成が、Gbps以上の光海底システムでは主流となっている。

リング型に適した迂回方式

ネットワーク距離が長い大洋をまたぐ海底システムでは、各ノードでの自律分散制御により迂回時間が最小となる迂回機構を持つNPEが多く導入されている。このリング型に適した迂回方式は、ITU-TでG.841として勧告化された。

に、ネットワークポロジ(ネットワークの形状)も従来の2地点間の対向型でなく、リング型を採用しネットワーク障害時にトラヒックが切れないように迂回をさせて、通信の信頼性を確保している(囲み記事参照)。

ITU-T(International Telecommunication Union - Telecommunication standardization sector)で国際標準化されたリング型に適した迂回方式には、次の二つがある。

- (1) 当社製網切替装置(NPE: Network Protection Equipment)で採用しているMSSPRing(Multiplex Section Shared Protection Ring transoceanic application)方式(以下、NPE方式と略記)
- (2) SNC-PC(Sub-Network Connec-

tion Protection)方式

両者のネットワーク障害時の迂回方式と特長を図2に示す。

SNC-P方式は、リング型ネットワークに常時右回りと左回りに信号を通しておき、障害で一方の信号がなくなったとき他方の信号を選択することで、障害の迂回を実施する方式である。この方式は、受信端で現在使用している信号がなくなったとき、他方を選択することにより実現できるので、制御が簡単なことが特長である。しかし、一つの情報を送るのにネットワークに常時二つの信号を通しておかなければならないため、ネットワークの効率は半減する。

一般的に障害の発生頻度は低いことから伝送容量が大きい場合には、ネットワーク障害回避用の冗長系リソース負担が無視できない。また、冗長系のリソースの有効活用は通信コストの低減につながる。このような観点から考えられた方式がNPE方式である。

これは、ネットワーク障害が発生したとき、この部分を通過しているトラフィックを最短ルートで迂回させる方式である。すなわち、障害のときだけ迂回させるので、障害のない大部

分の時間は冗長系に冗長保護しないトラフィック(図2の破線のトラフィック)を通すことができ、海底部分のリソースの有効活用が図れる画期的なシステムである。

この方式では、ネットワークを構成している各ノード装置(NPE)がトラフィックを最適に迂回させる必要がある。各ノードでは自律分散処理を瞬時に行うため、高度なソフトウェアのリアルタイム処理が必要である。このため、SNC-Pに比較して処理は高度になるが、回線の利用効率が数倍以上に向上できる大きな特長がある。このような新しい技術導入で経済的に大容量ネットワークが実現できる。

当社製NPEは、上記特長を持つITU-T勧告に完全に適合させて実運用されている唯一のシステムである。更に、NPEのリング型ネットワークを相互にリング間接続してネットワークを拡張できる特長がある。

情報化社会に向けて

当社では、本格的な情報化社会を加速する基盤技術として、光海底ケーブル通信の分野で高速通信技術と高度なソフトウェア技術力を駆使し、

いち早くNPEネットワークを提供するとともに、これら大規模ネットワークの監視やマルチベンダー機器の監視を行える監視装置も開発し運用に供している。今後も、最先端の光技術を活用し経済性が図れる新しいシステムを開発することで、光海底ケーブル通信システムの課題を解決し、要求を実現できるシステムについて、構築を含めてトータルで提案・提供できるソリューションの実現を目指していく。

文献

- (1) W.C.Barnett, et al. The TPC-5 Cable Network. IEEE Commun. Mag. 34, 1, 1996, p.36 - 40.
- (2) P.Trischitta, et al. The TAT-12/13 Cable Network. IEEE Commun. Mag. 34, 1, 1996, p.24 - 28.
- (3) Takehara, J., et al. 4-Fiber Ring System for Long Distance Transocean Cable Network. IEEE Commun. Mag. 34, 1, 1997, p.319 - 325.

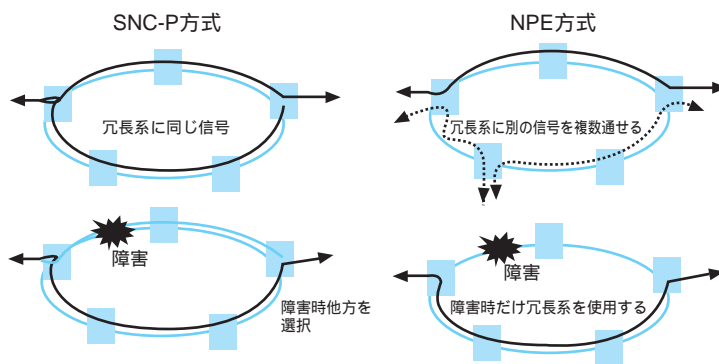


図2 . SNC-PとNPEの障害迂回方式 SNC-P方式では、障害時にトラフィックが途絶えないように常時ネットワークの両方向に信号を送り、受信側で選択する。NPE方式では障害時だけ冗長系を使用するのでネットワーク効率が良い。 Restoration methods of sub-network connection protection (SNC-P) and network protection equipment (NPE)



柴垣 太郎

SHIBAGAKI Taro, D.Eng.

情報・社会システム社 日野工場 伝送通信システム部主幹、工博。光海底ネットワークシステム用装置の設計・開発に従事。電子情報通信学会、IEEE会員。

Hino Operations



藤間 晴美

FUJIMA Harumi

情報・社会システム社 日野工場 伝送通信システム部参事。光海底ネットワークシステム用装置・監視装置システムの設計・開発に従事。電子情報通信学会会員。

Hino Operations



近藤 利徳

KONDO Toshinori

情報・社会システム社 日野工場 伝送通信システム部参事。光海底ネットワークシステム用装置の設計・開発に従事。

Hino Operations