

# 光海底ケーブルシステムの現状と動向

光海底ケーブルシステムは現在の国際的なブロードバンドネットワークを支えるバックボーンとして不可欠なものとなっています。本稿では、海底ケーブルシステムの技術の変遷、光海底ケーブルシステムの概要、現在の主要な適用技術とそれらに基づいたシステムについて紹介するとともに、今後の動向についても概説します。

ブロードバンドネットワーク事業本部  
海洋システム事業部  
グループマネージャー

**緒方 孝昭**

## 1 はじめに

海底ケーブルシステムの歴史は非常に長く、世界最初の海底ケーブルが1850年にドーバー海峡に敷設されて以降、現在に至るまで世界の国々を結ぶ通信インフラとして重要な役割を果たしています。NECは1968年に海底ケーブルシステム事業をスタートし、これまでに数多くの敷設実績を有しています。

図1に、1970年以降の海底ケーブルシステムの技術の変遷を示します。70年代の海底ケーブルは同軸ケーブルに電気信号を

伝送させる方式が用いられており、減衰した電気信号を増幅するための増幅中継器が数kmごとに数多く配置され、その伝送容量も数十Mbps程度と小規模なものでした。80年代に入り、光ファイバ及び半導体レーザが実用化されると、光再生中継器を用いた光海底ケーブルが主流となり、光ファイバの低損失性、広帯域性を生かした大容量伝送が可能となりました。更に、90年代に、光直接増幅技術と波長多重伝送技術を組み合わせた大容量光海底ケーブルシステムが実用に供されるようになると、ケーブル1本当たりの伝送可能容量を飛躍的に増加させることが可能になり、現在のインターネットを始めとする国際間大容量データ伝送を支えるバックボーンとして不可欠なものとなっています。本稿では、光海底ケーブルシステムの現状と今後の動向について紹介します。

## 2 光海底ケーブルシステムの概要

図2に、光海底ケーブルシステムの概要を示します。光海底ケーブルシステムには、太平洋、大西洋などの大洋横断に適用する有中継システム、大陸と島もしくは島と島を結ぶ短距離用途に対応した無中継システムの2つの方式があります。

有中継システムでは、光信号を数千kmにわたって伝送させる

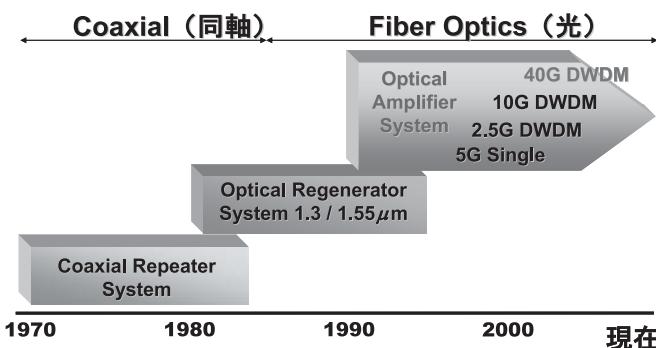


図1 海底ケーブルシステムにおける技術の変遷

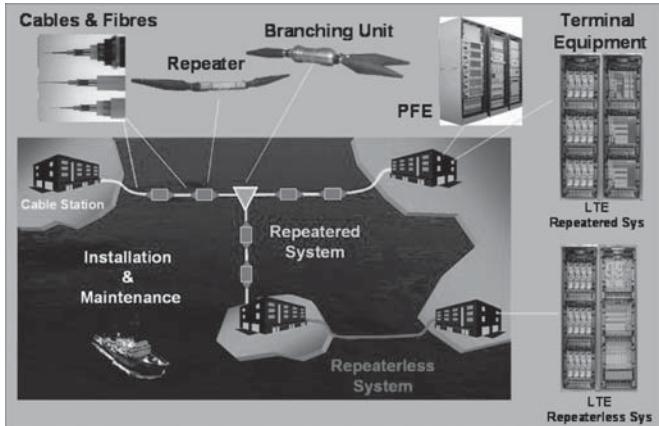


図2 光海底ケーブルシステムの概要

ために、海底ケーブルの途中に海底中継器を一定の周期で配置し、光ファイバの損失により減衰した光信号を繰り返し増幅しながら伝送させます。陸揚げ局にはサービストラフィック用の光信号を扱う端局装置、海底中継器に電力を供給する給電装置、各装置並びにネットワーク全体を管理する監視装置が設置されます。また、海底ケーブルの途中に海底分岐装置を配置することにより、海底ケーブルの中に収容された複数の光ファイバを異なるルートの海底ケーブルに分岐し、複数の局を効率的に結ぶことが可能になります。

これに対して無中継システムでは、海底区間に海底ケーブルのみを配置し、陸揚げ局に高出力な光信号を扱うことのできる端局装置を設置します。

NECは有中継、無中継の両システムを数多く建設しており、海底ケーブルを含め各構成機器についてもすべて自社にて開発から製造まで行っています。

### 3 光海底ケーブルシステムの現状

現在、大部分の光海底ケーブルシステムではビットレート10Gbpsの波長多重信号が用いられており、光送受信技術、波長多重技術、光増幅技術、及び光ファイバ技術の著しい進展により、光ファイバ1本当たり1Tbpsを超える超大容量の伝送が商用システムにおいても提供が可能になっています。

光海底ケーブルシステムの伝送距離と伝送容量を制限する要因としては、光ファイバ内の波長分散と非線形光学効果による光信号の波形劣化、海底中継器に搭載された光増幅器から放出されるASE雑音光累積によるSN比劣化を主なものとして挙げることができます。NECは、これらの制限要因を克服するため

に10Gbps波長多重システムに関する技術開発に10年以上取り組んでいます。その主な技術について以下に紹介します。

#### (1) 光送受信技術

光海底ケーブルシステムでは、伝送に伴うSN比劣化や波形歪が生じた光信号においても高品質な伝送特性を得ることが重要となります。この手段として、SN比耐力の優れた光変復調技術及び高利得な符号誤り訂正技術を適用しています。光変復調技術としては、陸上システムで一般的に用いられているNRZ (Non-Return-to-Zero) 符号に対して、海底システムではRZ (Return-to-Zero) 符号が広く用いられています。これは、RZ符号はNRZ符号に比べて同じ平均パワーにおいてもピーク値が理論上3dB高くできるため、低いSN比においても優れた伝送品質を得ることが可能になるためです。最近では、NRZやRZのように光の強度に情報を載せるOn-Off-Keying方式に対して、光の位相に情報を載せるPhase-Shift-Keying方式のRZ-DPSK符号を適用した光送受信機を開発し実用化しています。RZ-DPSK変調方式は、RZ符号から更に優れたSN比耐力、波長分散耐力を有しているために、太平洋横断のような超長距離システムに欠かすことのできない技術となっています。

符号誤り訂正技術としては、初期の光直接増幅システムには、一般的なリードソロモン符号を使った符号誤り訂正技術が広く用いられていましたが、NECでは符号訂正能力を向上させたAdvanced FEC LSIを開発し実用化しています。このLSIには、BCH接続符号を適用し、従来のリードソロモン符号を使用したものに対して、3dB以上高い符号訂正能力を実現しています。

#### (2) 波長多重技術

一般的に、陸上システムでは、波長多重における波長間隔として100GHzもしくは50GHzの間隔が適用されています。しかし光海底ケーブルシステムでは、海底ケーブルに収容できる光ファイバの本数に制限があるために（最大16本）、1本の光ファイバに入射し伝送させる波長多重信号の多重数を限界まで高めることが重要になっています。NECは波長多重分離における光フィルタリング技術及び光送信機の光源レーザの波長安定化技術の開発を進め、現在では最小波長間隔25GHzの超高密度波長多重技術を実用化しています。

#### (3) 光増幅技術

海底中継器に搭載される光増幅器にはEr<sup>3+</sup> ドープ光ファイバアンプ (EDFA) が使用されています。EDFAは1.55ミクロン帯の信号光を増幅するEr<sup>3+</sup> ドープ光ファイバとEr<sup>3+</sup> ドープ光ファイバを励起するための励起レーザによって構成

されています。EDFAは、広帯域、高出力、低雑音という優れた光学特性とシンプルな構成による高い信頼度特性を併せ持っているため、大容量、長距離かつ高信頼が要求される光海底ケーブルシステムを支える最も重要な技術に位置付けられます。NECは長年にわたり、このEDFAの高性能化に向けた技術開発を行っています。広帯域化に向けては、高精度な光増幅帯域の利得等化技術を確立し、帯域36nm以上にわたって利得偏差0.1dB以下の優れた特性を実現しています。また、高出力化、低雑音化に向けては、高出力な980nm帯励起レーザを実用化することにより、出力+16dBm以上、雑音指数4.5dB以下の光増幅特性を実現しています。

#### (4) 光伝送路技術

光海底ケーブルシステムの伝送路としては、光ファイバが使用されています。光ファイバは、低損失、広帯域という優れた特徴を持っています。しかし、伝送速度の高速化、波長多重の高密度化を図る上では、光ファイバ内の波長分散、非線形光学効果による光信号波形歪みを極力抑圧するための光ファイバ伝送路設計が重要となります。NECはシステムごとに異なる伝送距離、伝送容量の要求に応えるために、波長分散特性、非線形光学特性を考慮して最適な光ファイバを選択、配置を行う光伝送路設計技術を確立しています。例えば、太平洋横断に相当する9,000km以上の超長距離伝送においては、全波長帯域にわたってフラットな波長分散特性を有する分散

マネジメントファイバを適用し、高品質な伝送特性の実現を可能にしています。

NECはこれらの技術開発成果を適用し、地域内の中規模システムから国際間の大西洋横断大規模システムまで、最適なシステムの提供を行っています。

## 4 今後の動向

今後の光海底ケーブルシステムの動向としては、更なる大容量化、ネットワーク構成の柔軟化に向けた技術開発が進められていくものと思われます。

図3は伝送容量の進展の様子を適用技術と併せて示しています。この図に示すように、現在の10G方式による伝送容量はほぼ帯域限界の約2Tbpsにまで達しており、更なる伝送容量に向けては40G方式の実用化が期待されています。しかし、周波数利用効率の観点から、現在の10G方式を上回るために多値変調技術、偏波多重技術の実用化開発が重要になるものと考えられます。NECは、40G信号を用いた太平洋横断クラスの9,000km伝送システムについて研究段階の検証を既に完了しており、現在は実用化に向けた技術開発を進めています。

ネットワーク構成の柔軟化については、図4に示すように、各局を1つの輪のように結ぶリングネットワークから、各局同士を直接結ぶメッシュネットワークを構成するための技術開発

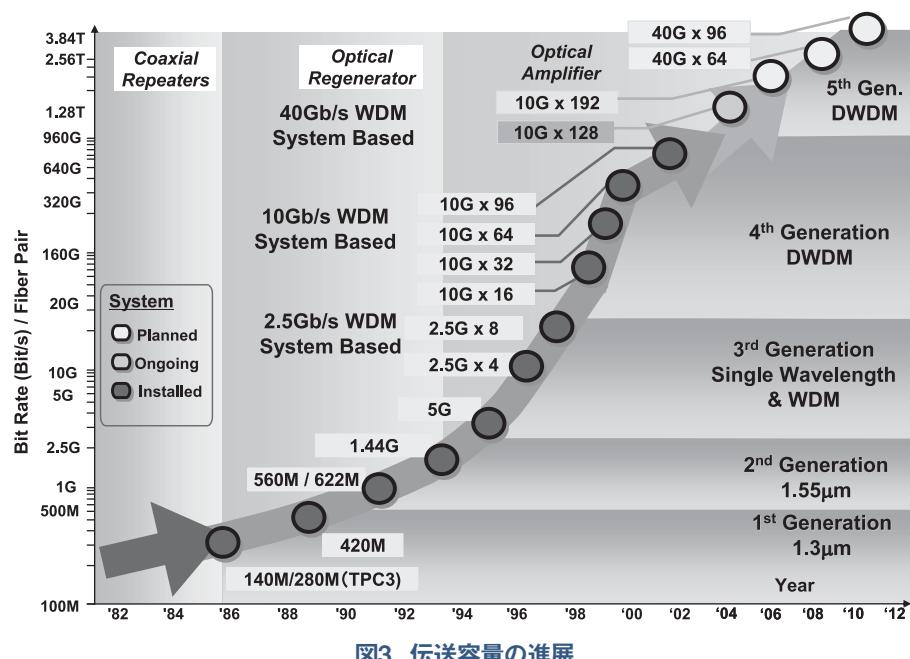


図3 伝送容量の進展

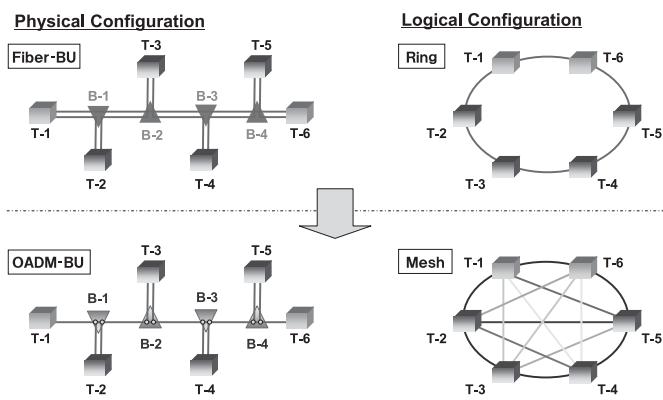
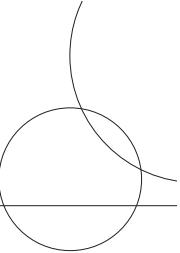


図4 ネットワークの進展

ています。NECは約40年の間に蓄積した経験と実績をもとに、更なる技術開発に努め、光海底ケーブルシステムの提供を通して、世界の国々を結ぶネットワークの発展に貢献していきます。

が必要になっていくものと思われます。現在、多くの大規模光海底ケーブルシステムは、図4（上）のリングネットワーク構成を採用しています。このリングネットワークでは、海底ケーブル内に直行ルート用光ファイバと分岐ルート用光ファイバを収容しておき、単純な光ファイバ分岐タイプの海底分岐装置で直行ルート用と分岐ルート用を分岐することで、光ファイバで各局を順次結ぶリングネットワークを構成しています。このリングネットワーク構成の適用により、ある局間に通信障害が発生した場合においても、通信をバックアップルートで維持することが可能になります。しかし、この構成の場合、一律で全信号が各局を回っていくことになるため、各国間の回線需要や冗長優先度に対応した回線設計に制約がありました。

これに対して、図4（下）のように、光信号を光ファイバ単位で物理的に分岐する代わりに、波長領域で分岐するOptical Add/Drop Multiplexing技術（OADM）を用いることにより、個別波長単位で分岐先を設定し、各局同士を直接結ぶことできるメッシュネットワークを構成することが可能になります。このメッシュネットワークの実用化により、各国の回線需要やその回線の冗長優先度に対して、柔軟なネットワークの提供が可能になるものと期待されます。NECはこのメッシュネットワークの基盤技術となるOADM機能を搭載した海底分岐装置及びネットワーク構成管理技術の実用化を進めており、大容量化とともに柔軟な光海底ケーブルシステムの提供を目指していきます。

## 5 おわりに

光海底ケーブルシステムは現在の国際的なブロードバンドネットワークを支えるバックボーンとして不可欠なものとなっ