

光海底中継装置及び関連技術

山口 祥平・見上 聰
間 竜二・長澤 敏秀

要 旨

高度化（大容量化・長距離化・多地点接続など）する海底ケーブルシステムへの要求を実現するために、海底区間に配置される光海底中継器・利得等化装置・海底分岐装置の設計にどのように導入・実現するかは大きな鍵となります。ここでは、これらの装置の機能及び適用技術について紹介します。

キーワード

●海底中継器 ●利得等化 ●分岐装置 ●EDFA ●遠隔制御 ●OADM

1. はじめに

国際通信の需要は、インターネットによる画像配信などの新規ビジネスの出現により急激に拡大しています。この市場要求に応えるため、長距離光信号伝送システムの大容量化技術が研究・開発され、最新の技術を適用した光海底ケーブルが次々と計画・建設されています。

本稿ではこの海底ケーブルシステムのキーとなる装置である光海底中継器・利得等化装置・海底分岐装置に適用される技術及びその性能について説明します。

2. 光海底中継器

光海底中継器は海底に設置されることからメンテナンスフリーを要求されます。このため下記に示す技術を適用し、高信頼度を実現しています。

写真に装置外観を表に主要諸元を示します。

- 1) 光直接増幅：本中継器はエルビウムドープファイバ（EDF）と高信頼度980nm励起レーザー（LD）を用いた光増幅器を採用しています。励起LDは冗長構成とすることにより信頼性向上を図っています。



写真 光海底中継器外観

- 2) 高信頼度：高度なLSI技術と高信頼度部品の適用により、中継器の高信頼度を実現しています。

- 3) 高耐水圧特性と高性能封止技術：海底中継器筐体は、8,000mの水圧に耐えるように設計されています。また高性能な封止技術は、同軸システム用海底中継器の長年の経験により実現されたものです。

- 4) 全光監視方式：高信頼度な監視方式実現のため海底中継器内部の電気回路が不要な全光監視方式を採用しています。

図1にシステムユニットの機能ブロック図を示します。システムユニットは上り/下りの信号を増幅するための2つの光増幅器で構成されています。

高出力の980nm励起LDを用いた前方励起方式の採用により、光出力+15dBm、雑音指数の4.7dBの高出力・低雑音光増幅器を

表 光海底中継器諸元

項目	仕様
波長範囲	1538.48 - 1567.13nm
收容システム数	最大8システム(8ファイバペア)
雑音指数	4.7dB (Typical値)
光出力電力	+15dBm 以上
PDL	0.3dB以下
励起LD	980nm × 2/システム
直流電圧降下	≤34V (4システム)、≤68V(8システム)
給電電流	1.10A +/- 2%
耐電圧特性	DC 12kV
監視方式	全光監視方式/COTDR
動作温度	0 ~ 35°C
最大適用水深	8,000m
耐衝撃/耐振動特性	100G, 5-55Hz/振幅1.5mm
筐体材料	ベリリウム銅合金

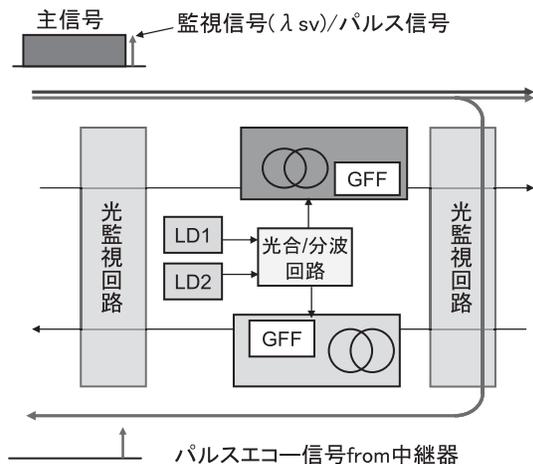


図1 システムユニット機能ブロック図

実現しています。また、EDF長の最適化及び個別利得等化器（GFF）の採用により、最大40nmの広帯域を実現しています。2つの励起LDは冗長構成となっており、その出力は光カプラで合成・分波され、上り/下りのEDFへ注入されます。おのおの励起LDは、その出力が一定となるよう制御されています。2つの励起LDのうち1つが故障しても伝送路特性が維持されるようシステム設計がなされます。

光海底中継器の動作状態は、専用波長の監視光を用いてモニタされます。図1に示す通り、端局装置より送信された全波長の中から監視信号光（λsv）のみが中継器光監視回路内反射型光フィルタにより対向回線へループバックされます。ループバックされた監視信号光を端局装置で受信し、この監視信号光のレベルから各中継区間利得を解析し、海底ケーブルロス増障害、光海底中継器障害を検出判定します。

3. 利得等化装置

利得等化装置は、多段接続される海底ケーブルシステムの広帯域化を実現するために、約10中継区間ごとに配置されます。利得等化装置には、光海底中継器及びケーブルの利得波長特性を補償する利得シェイプ等化器（Shape Equalizer：SEQ）と、中継器出力レベル及びケーブル損失のバラツキにより発生する利得傾斜を補償するための傾斜等化器（Tilt Equalizer：TEQ）に類別されます。利得等化技術については「大洋横断有中継光海底ケーブルシステムの建設技術」の第4

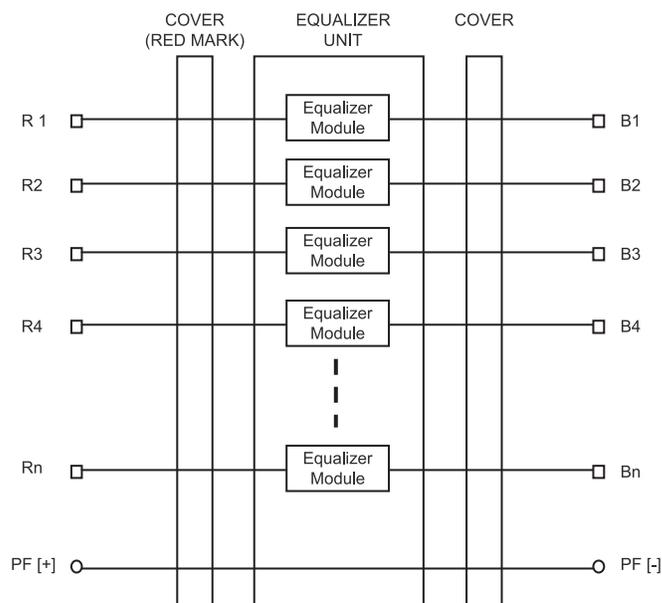


図2 利得等化モジュールブロック図

章第1節に記載の通りです。

図2に利得等化装置のブロック図を示します。

TEQは光海底中継器及びケーブルの製造実績より、システムとして想定される利得傾斜のズレを補償するために数種類のモジュールを準備します。

4. 海底分岐装置

海底分岐装置は、3つ以上の陸揚げ局を結ぶシステムに適用され、局間の給電経路及び伝送路を構成する機能を有します。

4.1 給電経路設計

海底分岐装置の電気回路は、給電経路固定型タイプと給電経路切替型タイプの2タイプがあります。給電経路切替型には、経路切替スイッチとして高耐電圧性を有する真空リレーを用いますが、この真空リレーの切替を制御する手段によって、海底ケーブルシステムの給電電流による給電電流制御型と、端局装置からの制御信号による遠隔制御型があります。

給電経路切替型は、海底ケーブル障害発生時に給電系を再構築する機能を有しています。図3に給電経路切替型海底分

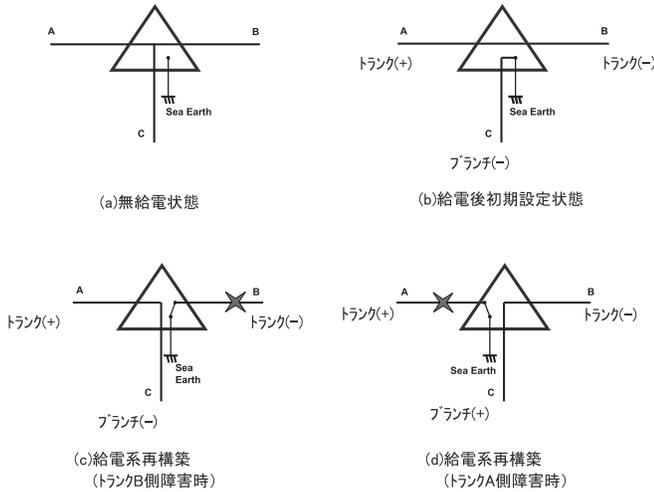


図3 給電経路切替

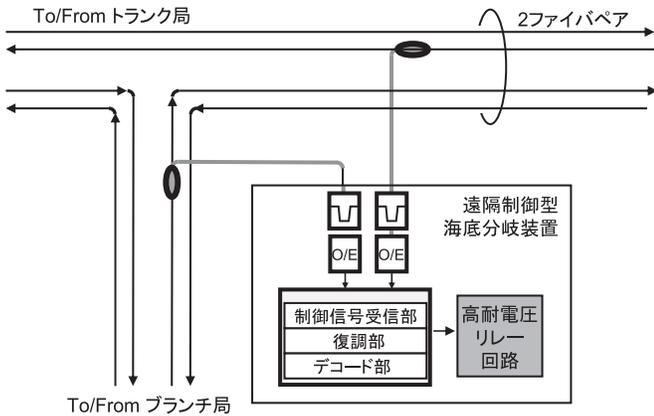


図4 遠隔制御型海底分岐装置構成例

岐装置の設定状態を示します。下記4つの接続設定ができる機能を有します。

- (a)無給電状態
- (b)初期状態：トランクA+給電-B-給電、ブランチC-給電-シーアース
- (c)トランクB障害状態：トランクA+給電-ブランチC-給電
- (d)トランクA障害状態：トランクB+給電-ブランチC-給電

ケーブル敷設完了時点で、海底ケーブルに地絡などの異常がないことを確認するため、無給電状態では、海底分岐装置のA、B、Cが相互に接続され、シーアースとは切り離されて

います。運用初期状態では、トランクA-B間で両端給電を実施し、ブランチCはシーアース間で給電経路を構成します。トランクラインAあるいはBで障害が発生した場合、トランクの給電確保のためにトランクA-ブランチC、トランクB-ブランチC間で給電できるよう海底分岐装置で、給電経路の再構築を行います。

給電経路切替用真空リレーは、当初給電電流により制御していましたが、4局以上を接続するシステムでは、制御が非常に困難であり、障害モードによっては給電切替が不可能となります。このため、端局からの信号により、真空リレーを設定する遠隔制御方式が開発されています。また、上述の通り、給電電流制御型用真空リレーは非保持タイプですが、遠隔制御型では保持型リレーも適用し、障害発生時でも給電系を保持し通信の確保及びその後の修理作業を可能としています。

図4に遠隔制御型海底分岐装置の構成例を示します。端局からの制御信号は、光信号に制御信号キャリアをASKあるいはFSK方式で重畳し、情報を伝送させます。制御信号で指定された海底分岐装置の真空リレーが任意に制御されます。制御信号を重畳する光信号は、図4の例では専用波長を用いる方式を示しています。またケーブル障害を考慮し、トランク局及びブランチ局双方から1つ以上の制御パスが必要となります。

4.2 伝送系設計

海底分岐装置の光回路は、信号をファイバ単位で分岐するファイバ分岐タイプと波長単位で分岐するOADM (Optical Add Drop Multiplexer) タイプがあります。

OADM海底分岐装置では、システム要求に応じ、光フィル

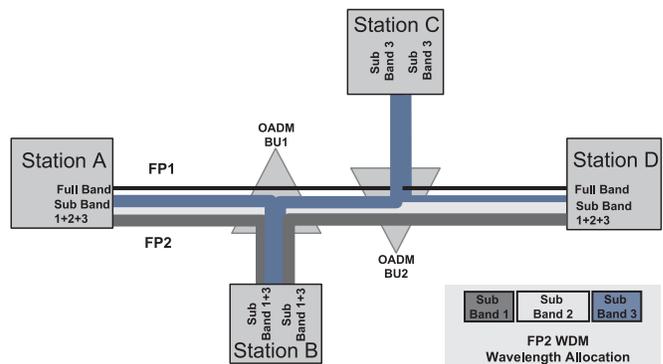


図5 OADM/海底分岐システム構成例

タの組合せによりフレキシブルに波長の合分波を実現します。

図5にOADM海底分岐装置を適用したシステム構成例を示します。全伝送波長帯域を複数のサブバンドに分割し、おのこのサブバンドを各局間の通信に割り当てています。ファイバペア1 (FP1) はA局-D局間をフルバンドで接続し、ファイバペア2 (FP2) にはOADM機能を適用し、ブランチ局とトランク局及びブランチ局間の接続を実現しています。本機能により、海底ケーブルシステムも現状のリングネットワークからメッシュネットワークの実現が可能となっています。

5. 海底機器構造

海底機器は海水から守るための耐圧筐体と耐圧筐体に実装される内部ユニットから構成されます。

(1) 内部ユニット

海底機器構造設計における最も重要な要素は放熱設計です。最適な熱伝導を得るために、電気回路と海底中継器ユニットを介した耐圧筐体間の熱接触抵抗を最小としています。このため、光海底中継器に搭載される励起LDのような高出力の部品はサブユニットの金属ケースに直接実装されています。内部ユニットは耐圧筐体内でゴムクッションと金属バネで固定し、低熱抵抗及び外部からの衝撃緩和を実現しています。

(2) 耐圧筐体

図6に同軸海底中継器技術を基礎として設計された耐圧筐体構造を示します。主に次の2つの部品で構成されています。

- 1) シリンダと2つのカバー組立
- 2) ケーブルカップリングとシリンダを接続する2つのジョイントリング

耐圧筐体の主要材料は強い引張強度と優れた腐食耐力のあ

るベリリウム銅合金です。耐圧筐体の封止設計は海水からの水やガスの浸入から海底中継器ユニットを完全に保護しています。封止設計は以下に示す技術で実現しています。

1) シリンダとカバーは電子ビーム溶接によって封止

2) 光ファイバ (フィードスルー) : はんだ封止

ファイバ封止に用いているはんだ封止は長時間安定に保たれ、耐圧筐体内の相対湿度ははんだ封止によって25年間20%以下となっています。また、フィードスルーの封止は、例えば海底機器の近くのケーブルが切れても、水やガスの浸入を完全に防ぎます。気密性と耐水圧性を確実にするため、耐圧筐体は海底システムの最大水深と同等の圧力でヘリウムガスでの試験を実施しています。輸送及び敷設時の衝撃・振動は光海底中継器筐体と海底中継器ユニット間に配置されたゴムクッションと金属バネによって緩衝されます。

光海底中継器とケーブルカップリングの接続はジョイントリング端にクランプリングで固定することで実現されます。海底分岐装置の耐圧構造設計は、上述の中継器の基本設計を踏襲しています。ただし、給電切替機能実現のため、光海底中継器とは異なり筐体内部で高耐電圧が要求されることなどから、一般的には、光海底中継器より大型の耐圧筐体が適用されています。

6. まとめ

海底機器は敷設した後に障害が発生した場合、その修理のために莫大なコストが必要となります。NECこれまで3,000台以上の機器を市場に提供していますが、1台の故障も発生していません。これからもこの高信頼・高性能な設計を維持し、業界のリーディングカンパニーとして、国際・国内の海底ネットワーク構築に貢献してまいります。

執筆者プロフィール

山口 祥平
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
マネージャー

間 竜二
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
主任

見上 聡
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
マネージャー

長澤 敏秀
NECエンジニアリング
基盤テクノロジー事業部
第一構造開発部
主任

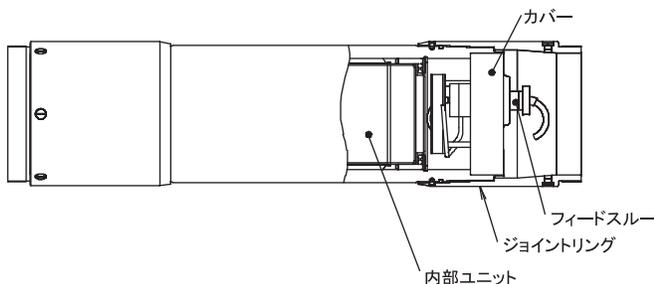


図6 耐圧筐体構造図