

光海底ケーブル給電装置

Power Feeding Equipment for Optical Submarine Cable Networks

長谷川 浩之
HASEGAWA Hiroyuki

長谷川 哲也
HASEGAWA Tetsuya

岩崎 英俊
IWASAKI Hidetoshi

光海底ケーブル給電装置は、海底ケーブルシステムの海中区間に敷設される多数の光増幅器に電力を供給する。波長多重技術などの導入による光海底ケーブルの大容量化ニーズにこたえるべく、9,000 V/700 mAまで設定可能な直流高電圧定電流型の給電装置を開発した。特長は、運用開始後の波長多重数の増加に即応できる柔軟性の向上、複数の冗長方式の組合せによる高い信頼性の実現、コンポーネントの統合化などによる装置架数の削減、Qインタフェースを介した遠隔操作の実現、更に操作員に対する安全保護機能の充実などである。

この装置は、太平洋横断ケーブルシステム(JAPAN US, PC 1)や大西洋横断海底ケーブルシステム(TAT 14)など、多くのシステムに採用され、2000年から順次サービスが開始される。

Power feeding equipment for optical submarine cable networks is used to feed electric power to submerged optical amplifiers. Recently, requirements for power feeding equipment have changed as the transmission capacity of networks has increased with the use of wavelength division multiplexing (WDM) technology.

In response to these requirements, Toshiba has developed power feeding equipment with high reliability and high efficiency. This power feeding equipment is about to start operating in various optical submarine cable networks around the world, including the Japan-US Cable Network, Pacific Crossing-1(PC-1), and Trans Atlantic Cable Network-14(TAT-14) networks.

1 まえがき

インターネットを代表とする国際通信トラフィックの急増に伴って、光海底ケーブルシステムの建設が相次いでいる。光海底ケーブルシステムのような長区間光伝送では、数十kmごとに光増幅器を挿入し減衰した光信号を増幅する⁽¹⁾。この光増幅器に陸揚げ局から電力供給するのが光海底ケーブル給電装置(PFE: Power Feeding Equipment)である。

当社は、第1世代光海底リング型伝送システム(p.33 論文参照)と位置づけられるTPC-5(第5次太平洋横断)や宮崎 - 沖縄, JIH(Japan Information Highway)など、多数の光海底ケーブルシステムにPFEを納めてきた。今般、よりいっそうの大容量化ニーズにこたえるため第2世代システム(p.37論文参照)の開発と導入が進められているが、これに合わせてPFEも運用上の柔軟性の向上や監視制御機能の充実などを図るため設計の全面的な見直しを行い、新シリーズ商品として製品化した。

以下に、給電システムの概要と給電装置に対する要求事項を明らかにしたうえで、開発した給電装置の特長を中心にその概要を述べる。

2 給電システムの概要と給電装置に対する要求事項

2.1 給電システムの概要

海底ケーブルシステムの給電方法を図1に示す。海底ケ

ーブルは、数本の光ファイバ心線の周囲を導電部が覆い、その外周をポリエチレンなどの絶縁物で覆う構造になっている。ケーブルの静電容量による電力損失などを避けるため、直流定電流方式によって給電を行うのが一般的である。

陸揚げ局A(正極給電)からの電流は、海底ケーブルの導電部を流れ、対向局の陸揚げ局B(負極給電)から大地及び海中を流れて元の陸揚げ局Aに戻る。9,000 kmにも及ぶ太平洋横断ケーブルでは、200~300台もの光増幅器が挿入され、導電部からの直流電力を受けて減衰した光信号を所定

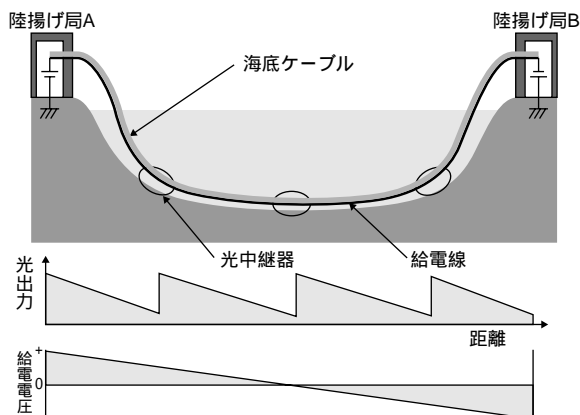


図1 海底ケーブルシステムの給電方法 長距離光伝送を行う海底ケーブルシステムでは、陸上から光中継器への給電が必要となる。
Power feeding to submarine cable network

の信号レベルに増幅する。

電力給電の視点から、区間長が約1,000 km未満のものを短距離ケーブルシステム、これより長いものを長距離ケーブルシステムと大別し、前者に対して低電圧タイプ、後者には高電圧タイプの給電装置を適用するのが一般的である。

2.2 要求事項

給電装置開発に際しての主な要求事項を以下に整理する。

- (1) 供給電流の再設定 給電電流は、波長多重数などの光増幅器の動作特性に依存する。通信トラフィックの増加割合によっては、運用開始後に波長多重数を増やす可能性がある。このため、供給電流を運用開始後に再設定できることが求められる。第一世代システムにはなかった新たな要求事項である。
- (2) 高信頼性化 光海底ケーブルシステムのシステム寿命は25年以上が求められ、PFEにも相応の高信頼性が要求される。
- (3) 監視制御機能の充実 海底ケーブルシステムは、通信システムの管理システムとして標準化されている

TMN(Telecommunication Management Network)に従って監視制御されているが、給電装置もこれに準じている。また、これまではPFEの保守管理操作は海底ケーブルシステム全体への影響が大きいため操作員が直接実施してきたが、他の装置と同様に外部からの遠隔操作が求められるようになってきた。

- (4) 操作員に対する安全保護 9,000 Vという高電圧で動作するため、操作員に対する保護を十分に配慮した装置とする必要がある。

3 光海底ケーブル給電装置

3.1 給電装置

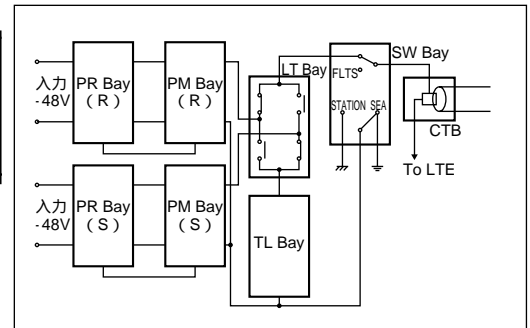
高電圧及び低電圧タイプのPFEの構成を図2に、また高電圧タイプの外観を図3に、更に主な装置仕様を表1に示す。

PFEは、直流入力DC・48Vをケーブルシステムに必要な高電圧に変換する給電部(冗長可能)と出力切替え部、電圧や電流を記録するペンレコーダ部、操作監視部及び疑似負

PR1-R	PR2-R	PM-R	LT	SW	TL1	TL2	PM-S	PR1-S	PR2-S
COM	COM	CURR CONT	LOAD TRF	SW & RETURN	FAN	FAN	CURR CONT	COM	COM
CONV(1)	CONV(6)	OPE & MONI		RECORDER	TEST LOAD	TEST LOAD	OPE & MONI	CONV(1)	CONV(6)
CONV(2)	CONV(7)	C/V SENSOR	COMN	EARTH TEST	TEST LOAD	TEST LOAD	C/V SENSOR	CONV(2)	CONV(7)
CONV(3)	CONV(8)							CONV(3)	CONV(8)
CONV(4)	CONV(9)							CONV(4)	CONV(9)
CONV(5)	CONV(10)							CONV(5)	CONV(10)

注：CONVユニットとTL架の数は、各陸揚げ局の要求電圧と給電構成により異なる。

架構成

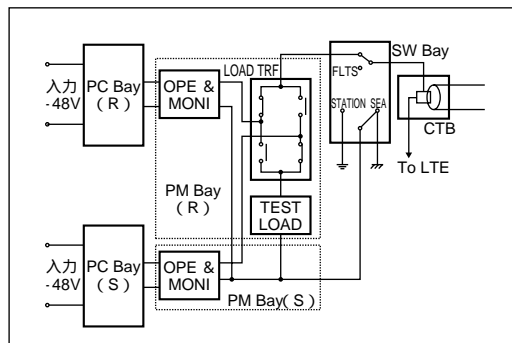


ブロック構成

(a)高電圧タイプHV PFE(冗長構成時)

PC(R)	PM(R)	SW	PM(S)	PC(S)
C/V SENSOR	LOAD TRF	SW & RETURN	OPE & MONI	C/V SENSOR
CURR CONT	OPE & MONI	RECORDER		CURR CONT
CONV(1)	TEST LOAD	EARTH TEST		CONV(1)
CONV(2)		COMN		CONV(2)
CONV(3)				

架構成



ブロック構成

(b)低電圧タイプLV PFE(冗長構成時)

Bay：架(1台ずつの筐体)
 PR：Power Regulator
 PM：Power Monitor
 LT：Load Transfer
 TL：Test Load(疑似負荷)
 SW：Switch
 R：Regular
 S：Standby
 CTB：Cable Termination Box
 LTE：Line Terminal Equipment
 FLTS：Fault Location

STATION：端局
 OPE & MONI：操作・監視
 LOAD TRF：負荷切替え
 COM：出力共通化ユニット
 CONV：DCコンバータ
 CURR CONT：電流設定・調整
 C/V SENSOR：電流/電圧センサ(モニタ)
 SW & RETURN：接地(EARTH)切替え
 PC：Power Control
 COMN：COMuNication
 (Q3インタフェースの通信用ユニット)

図2. 海底ケーブル給電装置の構成 DC・48V入力から必要電圧に昇圧するPR Bay又はPC Bay、及び出力電圧/電流を調整モニタするPM Bayを主体に構成される。

System configuration of power feeding equipment for submarine cable system



図3 . 海底ケーブル給電装置(高電圧タイプ) 従来製品に比べて、約20%の小型化を実現した。

Power feeding equipment for high-voltage type system

表1 . 海底ケーブル給電装置の主な仕様

System specifications of power feeding equipment

項目	仕様
設定電流範囲	DC400 mA ~ 700 mA
最大給電電圧	HV PFE : 9,000 V(最大) LV PFE : 2,000 V(最大)
エレクトロレーディング	0 ~ 80 mA/4 ~ 50 Hz(In-service mode) 0 ~ 200 mA/4 ~ 50 Hz(Out-of-service mode)
消費電力(最大)	HV PFE DC : 13,000 W , AC : 1,050 VA LV PFE DC : 3,000 W , AC : 350 VA
外形寸法(架)	1,800(高さ)mm x 795(幅)mm x 600(奥行き)mm
質量	約350 kg/架
構成架数	非冗長構成時 LV PFE 3架 HV PFE 5架 ~ 7架(給電電圧により変動)
	冗長構成時 LV PFE 5架 HV PFE 7架 ~ 10架(給電電圧により変動)

荷部から構成される。

特に給電部は、DCコンバータを1,000 V単位に積み重ねているが、各コンバータの出力電流を400 mAから700 mAまで10 mAステップでソフトウェア的に設定できる構成とした。これによって、前述した運用開始後の波長多重数の増加に柔軟に対応することが可能になる。また、DCコンバータ出力を監視する出力電圧・電流モニタ回路があり、操作監視部への表示や警報出力を可能にしている。

なお、上述の電流設定機能に加え、出力電圧を従来の7,500 Vから9,000 Vまでカバーできるようにしたが、各種コンポーネントの統合により、架数は従来製品と同じにすることができた。これは、従来製品に対し約20%の小型化を実現したことに相当する。

3.2 給電システムの高信頼化

PFEに要求される主要性能の中で、もっとも重要なのは信頼性である。光増幅器への電力供給が停止すれば、給電停止した区間のケーブルシステムの通信機能が停止するので、瞬断のない安定な連続給電機能を持つことが必要となる。

これを実現するために、PFEでは以下の冗長方式を組み合わせることで適用することができる。

- (1) 給電システムレベルでの冗長
- (2) 装置構成での冗長
- (3) コンポーネント単位での冗長

(1)は、短距離ケーブルシステムに適用可能なもので、対向するPFEの片方が停止しても、他方のPFEでシステム全体に必要な電力を供給し続ける方式である。この具体的な実現方式は、同一のPFEをケーブルの両端に配置し、互いに逆極性に直列接続する。逆極性に直列接続することで、PFE装置1台当たりの出力電圧を低くでき、またケーブルに印可される絶対電圧値も小さくできる。

例として、PFE Aは正極性、PFE Bを負極性に設定し、また、2台のPFE間を結ぶケーブル区間に必要な給電電圧を1,000 Vとする。通常時はPFE・A、PFE B共に動作しており、2台のPFE間で給電電流を一定に保ちながら、PFE Aは+500 V、PFE Bは-500 Vを出力し、ケーブルには1,000 Vの電圧が給電される(図4)。

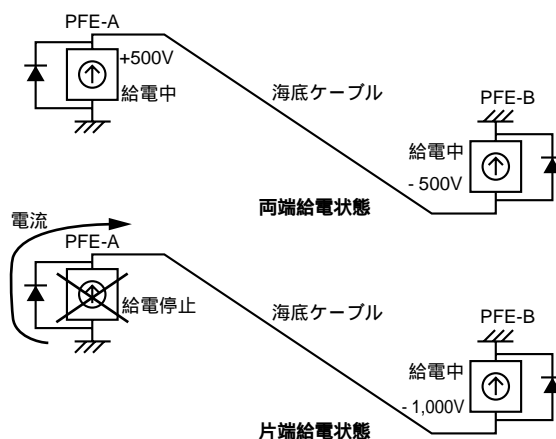


図4 . 対向給電方式 区間を挟んで対向する海底ケーブル給電装置で給電電圧を共有する。PFE 2台で電圧を分担する両端給電状態と、PFE 1台で全給電電圧を供給する片端給電状態がある。

Double-end feeding system

かりに何らかの理由でPFE Aが停止した場合、PFE Bは-1,000 Vを出力するように自動的に調整し、ケーブルには1,000 Vの電圧が印可され続けるため、この区間の海底ケーブルシステムは停止することなく運用を継続することができる。このように両端から給電して、電圧を2台のPFEで分担しながら動作している状態を両端給電状態と呼び、片側のPFEでケーブル区間に必要な全電圧を供給している状態を片端給電状態と呼ぶ。

(2)は、PFEの給電部にスタンバイ系を持たせる方式で、給電部に障害が発生した場合、スタンバイ系へ給電を切り替えることで海底ケーブルシステムへの給電が維持可能となる。(1)が適用できない長距離システムに有効である。

(3)は、PFEの給電維持に関わる給電部を構成する以下の

コンポーネントを冗長構成にすることである。

- (a) DCコンバータのN+1運転
- (b) 電流制御部の3冗長構成
- (c) 電流・電圧検出部の3冗長構成

(a)は、複数のDCコンバータにより並列に給電を行い、その中の1台に障害が発生した場合でも残りのコンバータで給電を維持する方式である。

(b)及び(c)は、いずれも独立して制御する回路を3系統持つことであり、1系統が故障した場合でも残り2系統で制御を継続する。いずれも故障が発生した場合に、給電を継続しながらの故障部分を交換保守することが可能であり、高い信頼性並びに稼働率を実現している。

3.3 監視制御機能

前述のようにPFEの監視制御機能は、TMNの標準インタフェースであるQインタフェースを介して外部の管理システムとの接続を可能にしている。図5に示すように、障害管理、構成管理、性能管理の三つに分類でき、以下にその概要を述べる。

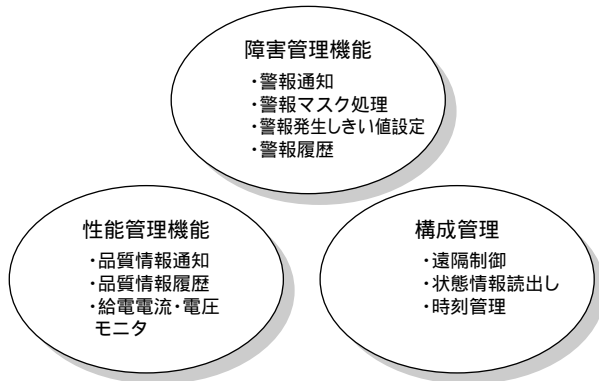


図5. PFEの監視制御機能 ITU T (International Telecommunication Union - Telecommunication standardization sector) 規定のQインタフェースを介したPFEの監視制御機能で、障害管理、構成管理、性能管理の三つで構成される。

Administrative functions of power feeding equipment

(1) 障害管理機能 PFEの警報は、機器の障害警報や給電電圧及び給電電流の異常警報だけでなく、人命尊重の観点から運用者の高電圧部へのアクセスに対しても警報を発生させている。Qインタフェースを介して外部の管理システムへ通知される警報情報には、警報の発生位置、発生時刻、発生原因、重大度などが含まれる。また、これらの警報をPFE内にて履歴として最大300件分蓄積し、外部の管理システムから読出しができる。

また、PFEでは、ある障害発生により波及して発生する二次的な警報(例えば、給電のシャットダウン発生

による給電電流・電圧警報)を隠ぺいする警報マスキング処理により不要な警報の発生を防ぐなど、運用に対して配慮した設計になっている。このほか、給電電流や電圧の警報を発生する基準となるしきい値を設定する警報しきい値設定機能などを提供し、性能劣化に対する警報判定基準のユーザーによるカスタマイズが可能である。

(2) 性能管理 PFEでは、給電電圧、給電電流、給電の帰路電流であるアース電流などについて毎時0分、15分、30分、45分に15分間の最大値、最小値、平均値を算出しており、これらを品質情報としてQインタフェースを介して外部の管理システムへ通知する。これらの品質情報は、その傾向を見ることにより異常の兆候の発見に利用することができる。また、これらの品質情報をPFE内にて履歴として最大100件分蓄積し、外部の管理システムから読み出すことも可能である。

このほか、PFEではケーブルへ給電している電流・電圧のモニタ値を1秒ごとに更新しており、外部からリアルタイムに給電電流・電圧を読み出すことができる。

(3) 構成管理 前述したようにPFEの保守操作は、操作員が直接装置に対して実施していたが、最近ではPFEについても管理を陸揚げ局の外部の管理システムに統合し、遠隔からPFEを管理しようとする形態に変化してきている。このため、開発したPFEでは、Qインタフェースを介して緊急シャットダウンや給電開始・停止、エレクトロローディング(海底ケーブルの保守時にケーブル位置の探索用としてPFEから供給する低周波の交流信号)の開始・停止、保守状態を外部の管理システムから制御・設定を可能とする遠隔制御機能を搭載した。

このほか、PFEの状態情報として、給電部が冗長構成をとる場合、次のような情報がQインタフェースを介して外部の管理システムから読出しができる。

- (a) レギュラー系とスタンバイ系のどちらがケーブルに給電しているかを示すケーブル接続情報
 - (b) 片端給電か両端給電かを示す片端/両端給電設定情報
 - (c) 給電電流の帰路となるアース設定情報などの情報
- また、同様にQインタフェースを介して、タイムスタンプ(発生事象の時刻記録)に使用する時刻の管理及び設定ができる。

3.4 安全・保護機能

給電装置は、最大で直流9,000Vの高電圧を出力するので、装置を扱う保守者に対する高い安全性を確保するために、次のような保護機構を設けている。

高電圧を入出力するユニットは高圧部の露出を防ぐための保護カバーで覆い、保護カバーごとに異なるインタロック

キーを用いて機械的に施錠する。インタロックキーを格納するかぎ保管ユニットはメインキーにて施錠する。メインキーは給電中、操作・モニタパネルに挿入される。このように、給電中には高圧保護カバーを開けられない構造だが、万一これらのかぎシステムが故障し、高圧カバーが開くと自動的に給電を停止する二重の保護機能を備えている。

4 あとがき

従来製品で培った技術を基に、波長多重伝送、安全性要求など最近のシステムニーズに対応する各種給電装置を開発した。これにより、従来に増してシステム構成に柔軟な対応ができるものが商品化できた。

今後は、光伝送の波長多重度増大による設定電流の増大など、市場ニーズをとらえた対応を進めていきたい。

謝 辞

この装置の開発にあたり、ご指導、ご協力いただいたKDD海底ケーブルシステム(株)の関係各位に深く感謝の意を表します。

文 献

- (1) 大山 昇, 他. 光海底ケーブル通信. 東京, KDDエンジニアリング・アンド・コンサルティング, 1991, p.46 - 47.



長谷川 浩之 HASEGAWA Hiroyuki

情報・社会システム社 通信システム事業部 通信システム技術部主任。海底ケーブル給電システムのエンジニアリング業務に従事。

Telecommunications Systems Div.



長谷川 哲也 HASEGAWA Tetsuya

情報・社会システム社 小向工場 電波応用設計部。海底ケーブル給電装置の設計・開発に従事。

Komukai Operations



岩崎 英俊 IWASAKI Hidetoshi

情報・社会システム社 日野工場 伝送通信システム部主務。海底ケーブル給電装置のソフトウェア設計・開発に従事。電子情報通信学会会員。

Hino Operations