



プレート境界型地震監視計画

通信用光海底ケーブル を再利用した豊橋沖 観測システムの概要

浅川 賢一
横引 貴史
後藤 忠徳
荒木 英一郎
木下 正高

Outline of the off-Toyohashi seafloor
observation system utilizing a decommissioned
underwater optical telecommunication cable

Kenichi Asakawa • Takashi Yokobiki •
Tadanori Goto • Eiichiro Araki • Masataka
Kinoshita

海洋研究開発機構

愛知県豊橋沖に敷設されている約 60km 長の通信用光海底ケーブルを再利用したケーブル式観測システムの建設が進んでいる。ケーブル先端に接続予定の分岐装置には、5 個の水中着脱式コネクタが固定されており、水中で海底地震計などのセンサーを接続することができる。センサーによる観測と同時に、給電電流を変化させることによりケーブルを 60km の能動的アンテナとして利用し、海底下の構造を電磁氣的に観測する予定である。このように海底ケーブルを能動的アンテナとして利用するとともに、観測とセンサーによる観測を同時に行うのは、世界で初めての試みである。その他、イーサネットによる信号伝送を行うこと、精密時刻同期システムを開発し組み込むなど、世界でも初めての試みを行う。本稿ではシステムの概要を紹介する。

1. はじめに

地球表面の約 7 割を占める海洋および海底における自然現象を観察し理解するためには、長期連続観測が重要であることは言うまでもない。特に我が国においては、巨大地震が周期的に発生するプレート境界の大部分が海底下に存在するため、防災の観点からも海底における長期地震・地殻変動観測が重用視されている。また、海洋における長期連続観測は、長期的な地球環境変動や海洋の生態系を理解するためにも重要である。

このような海洋における長期連続観測を行う手段の一つとして、海底ケーブル式観測システムが注目されている。これまでに、国内においては 8 本の科学観測用海底ケーブルシステムが建設され、運用されている^[1]。最近では米国における ORION 計画、欧州における ESONET 計画など意欲的な計画が実施されようとしている。日本においても熊野灘沖に 20 箇所の観測点を持つ地震・津波観測監視システムの開発が、文部科学省からの委託により、JAMSTEC で開始された^[2, 3]。

上述したシステムは、いずれも新たに科学観測用海底ケーブルを建設するものであるが、運用を停止した通信用海底ケーブルが再利用できる場合

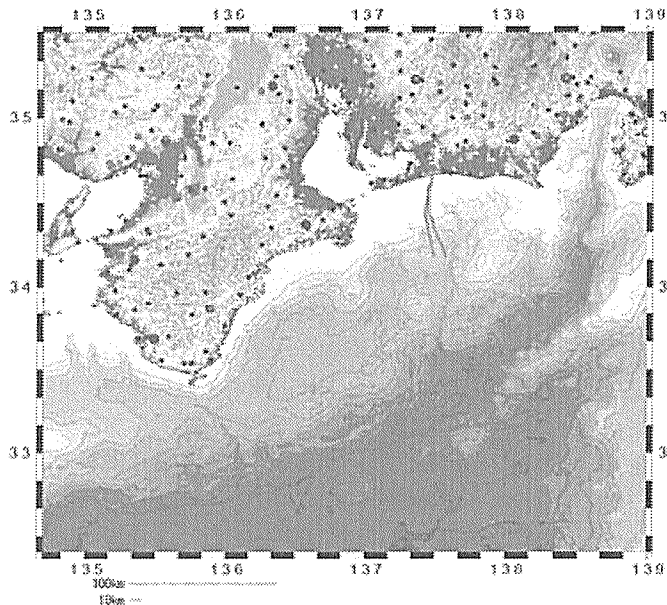


図1 科学的観測に再利用する豊橋沖光海底ケーブルのルート図. 先端の水深は約1,500mである.

には、その建設コストを大幅に低減することができる。これまでも、日本の GeO-TOC^[4] や VE-NUS^[5]、米国の H2O^[6] などて運用を停止した通信用海底ケーブルが再利用され、その後のプロジェクトにつながる成果を上げてきた。これらはいずれも通信用同軸海底ケーブルを再利用したものである。

本稿では、愛知県豊橋沖に設置されている通信用光海底ケーブルを科学観測用に再利用する計画の技術的側面を、システム構成と給電方式を中心に紹介する。その科学的目的や背景は、本冊子において、別に紹介されている^[7]。

2. プロジェクトの概要と特長

利用する光海底ケーブルは、KDD により建設された JIH (Japan Information Highway) ケーブルの一部で、豊橋の陸揚げ局から全長約 60km の 2 条の光海底ケーブルである。JIH ケーブルは、本州、四国、九州を一周する通信用光海底ケーブルとして建設された。今回利用する海底ケーブルは、豊橋から志摩と二宮/千倉に延びていたもの一部である。その敷設ルートを図 1 に、JIH ケーブルの主要項目を表 1 に示す。高密度波長分割多重通信技術と光増幅技術を用いた最新の光海

表 1 JIH ケーブルの主要項目。

商用開始	1999 年 4 月 1 日
陸揚げ局数	17
ケーブルシステム全長	10,300 km
光伝送方式	高密度波長分割多重方式
1 波長あたりの伝送速度	10 Gbits/s
波長数	24
光ファイバペア数	3
波長帯域	1,555 +/- 10nm
中継間隔	約 50km
給電電流	DC 0.92A

底ケーブルである。

JIH ケーブルは 1999 年 4 月に運用を開始されたが、2004 年 2 月に豊橋沖の東側ケーブルに地絡障害が発生した。通信の早急な復旧を行うため、KDDI は漁業に影響がない沖合で東西から敷設されている 2 本の光海底ケーブルを接続して、ケーブルを修復した。その結果、図 1 に示す約 60km 長の 2 本の光海底ケーブルが不要となった。このケーブルは東海地震の予想される震源域の上に敷設されており、海底における科学的観測が必要な場所でもある。また、最新の光波長多重技術と光増幅技術を用いているため、大容量でフレキシブ

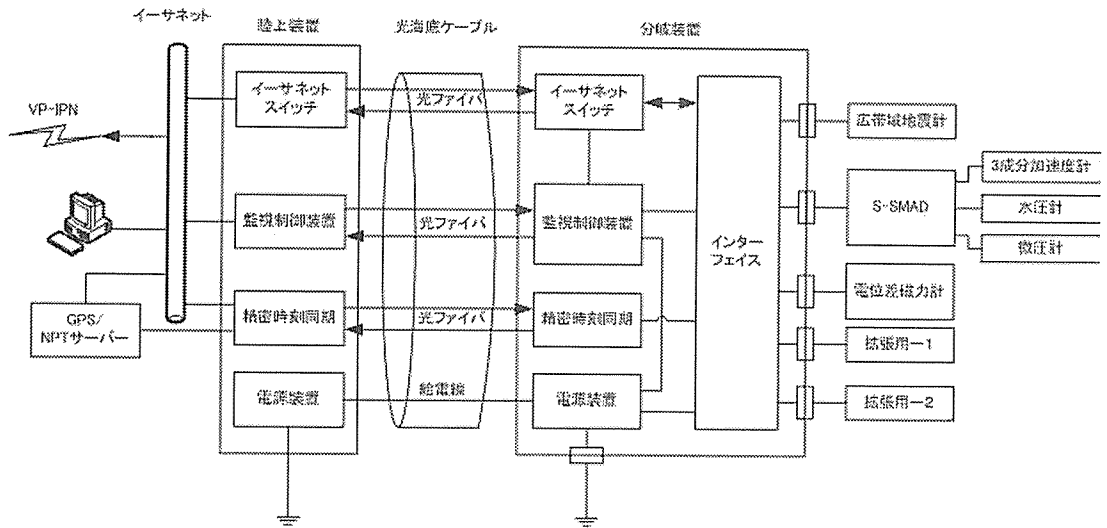


図2 全体システムの構成。分岐装置には、広帯域地震計、3成分加速度計、水圧計、微圧計、電位差磁力計を接続する。その他、拡張用のポートが2つ設けられている。S-SMADはセンサとの通信及びデータの一時保存を行う。何らかの原因で通信システムに障害が発生した場合にも、データの欠落を防止することができる。

ルな通信システムを容易に構築することができる。そこで、JAMSTECは科学的観測に再利用するために、2006年7月にこの2本の光海底ケーブルをKDDIから譲り受けた。

本プロジェクトでは、西側海底ケーブルの先端に分岐装置を接続して、複数のセンサーを設置するほか、海底ケーブル自体を長尺の能動的電氣的アンテナとして利用する。すなわち、給電電流を低周波数で変化させ、周辺海底の電磁場を別途設置する海底電位差計で観測する。周辺の電磁場は海底下の地殻の電気伝導度を反映するので、周辺の電磁場の変動を観測することにより、地殻の電気伝導度の分布や変化を観測することができる。長尺の海底ケーブルを用いるため、海底地下深くの電気伝導度分布/変動の観測が期待できる。このように、海底ケーブルの先端に観測装置を接続すると共に、海底ケーブルを長尺の能動的アンテナとして利用し、海底での電磁氣的観測を行うのは、世界で初めての試みである。

筆者らはこの目的を達するため、給電電圧・電流の可変範囲が大きい給電システムを開発した。センサとの通信には、イーサネットを選択できるようにし

た。イーサネットを用いたことにより、陸上の情報ネットワークを介して、海底観測機器と陸上の研究室を容易に結ぶことができるようになる。運用を停止した通信用光海底ケーブルを利用したことにより、新たに建設する場合よりコスト/パフォーマンスが大幅に改善される。

ケーブル式観測システムの主要な応用の一つに、GPS/Acoustic 測地システムや音響を用いた地殻変動測位装置とのリンクが提案されている。これらの観測システムをケーブル式観測システムに接続することにより、電源や通信ライン、精密なGPS時刻信号の供給を受けることができるようにだけでなく、AUVやブイシステムとリンクすることにより、長期連続的な海底測地観測を行うことが可能となる。そこで、我々は精密なGPS時刻とクロックを供給する精密時刻同期システムを開発し、組み込んだ。

以下は、本システムの特長をまとめたものである。

(a) ケーブルの先端の分岐装置を介して複数の観測機器を接続するだけでなく、ケーブル自身を長尺の電氣的アンテナとして利用することにより、海底地殻の電磁氣的な変動を観測する。

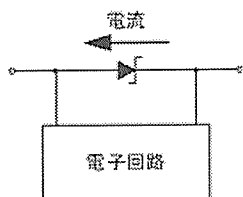


図3 海底中継器内部の基本的な電気等価回路。

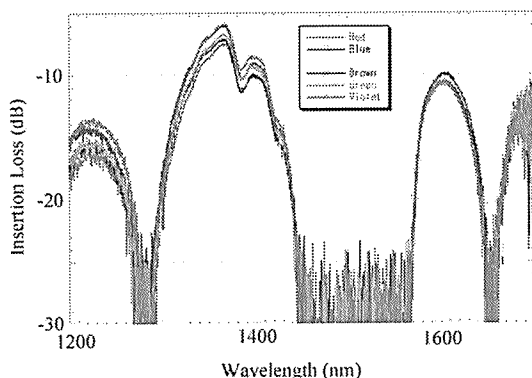


図4 海底中継器の光損失特性の一例。

(b) 上記の目的を達成するため、広い入力電圧電流範囲を持つ電源システムを開発した。

(c) 10nsec のオーダーの精度を持つ時刻同期システムを開発して組み込んだ。音響的な測地システムに十分な精度の時刻信号を供給することができる。

(d) 観測機器の通信に IP ネットワークを採用した。これにより、陸上の IP ネットワークと整合性が取れた通信ネットワークの構築が可能となった。

(e) 分岐装置と観測機器の接続は、すべて水中着脱式コネクタにより行う。これにより、観測機器のメンテナンスが可能になる。

(f) 通信用海底ケーブルを再利用することにより、その建設コストを大幅に低減した。開発コストの増加を防ぐため、電源や光コンバータは可能な範囲で市販品を利用した。

3. システムの構成

観測には、障害がない西側の光海底ケーブルを

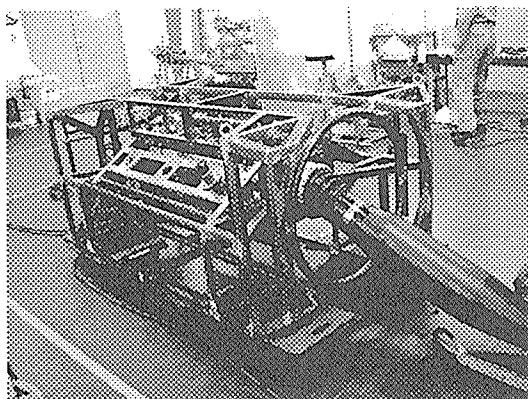


図5 海中分岐装置。海底ケーブルとの接続は、ジンバルジョイントを用いている。

利用する。全体のシステム構成を図2に示す。図には示していないが、陸揚げ局から約9.7kmの所に海底中継器が挿入されている。給電電圧電流の可変範囲を広げるために、海底中継器には通常の給電方向とは逆極性の給電を行なう。海底中継器内部電源の電気的等価回路は、図3に示すように、ツェナーダイオードの両端から定電圧を取り出すようになっている。そのため、逆極性の給電を行えば、ツェナーダイオードの両端に電圧が生じないので、海底中継器内の光増幅器は働かない。そのため、海底中継器で規定された電流値に束縛されず、給電電流範囲を広げることができる。しかし、この場合海底中継器は光を増幅せず、減衰させる。図4に示すように、1,440～1,560nmを中心に大きな損失があるが、1,611nm付近に損失が少ない窓がある。そこで、筆者らは1,611nmの波長を信号伝送に利用することにした。

光/電気変換器は市販品を利用した。1,611nmはITU G.694.2で規定されている低密度波長分割多重伝送方式(CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing)の波長の一つであるので、汎用品が利用できる。海底中継器で約10dBの損失があるものの、十分な伝送マージンを見込むことができる。

信号伝送には、図2に示したように、3対の光ファイバを用いる。それぞれ、イーサネット、電

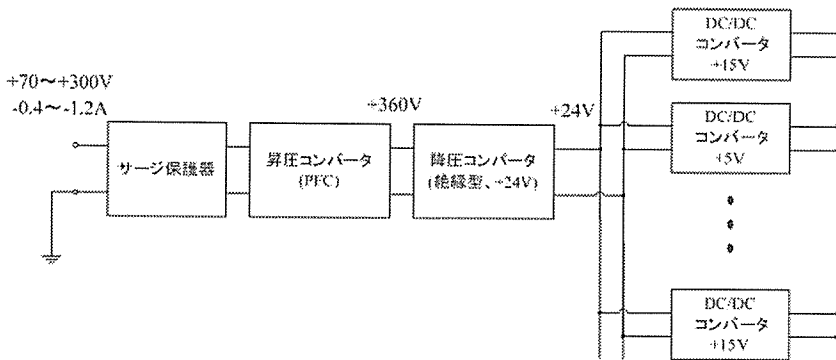


図6 海中部電源システムの構成。

源システム制御監視用のRS422、および時刻同期信号用デジタル信号を伝送する。

センサとの通信には、イーサネットとRS422を選択することができる。RS422の信号は、イーサネット信号に変換され、陸上局に伝送される。陸上局は、IP-VPNを用いてJAMSTECの横浜研究所内にあるケーブルデータセンターと接続される。

海底ケーブルの先端には、センサを接続するための分岐装置(図5)を取り付ける。分岐装置内には5個の水中着脱式コネクタレセプタクルが固定されている。この水中着脱式コネクタには、遠隔操縦式の水中ロボットにより、水中でセンサが接続される。分岐装置内の耐圧容器内には、電源ユニット、光/電気変換器、時刻同期システム水中ユニット、電源監視制御装置、温度計のほか、分岐装置の姿勢を監視するための傾斜計が実装されている。

4. 海中部電源システム [8]

前述したように、本システムでは給電電圧・電流を陸上から制御することが特長の一つである。そのために、入力電圧・電流範囲が広い電源システムを開発した。図6はその構成を示したものである。通信用光海底ケーブル内部に挿入されている給電線は一本で、電流の帰路には海水が利用される。そのため、図6に示すように、入力的一端を海水に接地する。

入力電圧・電流範囲を拡大するために、筆者ら

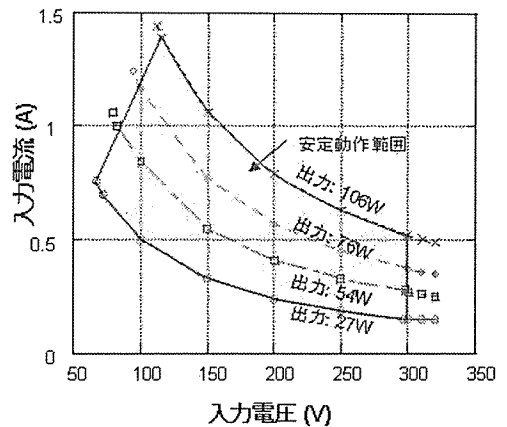


図7 入力段昇圧コンバータの安定入力動作範囲。

は入力段にPFC(Power Factor Controller)を用いた昇圧コンバータを利用している。このコンバータにより、入力電圧を360Vまで昇圧する。制御用ICには新日本無線(株)のPower Factor Controller IC NJM2375を用いた。図7は昇圧コンバータが安定して動作する入力電圧・電流範囲を示したものである。最大で106Wの出力を安定して連続的に供給できることを確認した。

昇圧コンバータの出力は、降圧コンバータにより24Vに変換する。この降圧コンバータは入出力絶縁型である。従って、出力の電源は全て海水からは絶縁されている。このことにより、漏れ電流による耐圧容器の腐食を未然に防止することが

できる。出力段には、複数の DC/DC コンバータが並列に接続されている。これらの DC/DC コンバータも入出力が絶縁されている。各観測機器には個別に DC/DC コンバータが割り当てられており、+15V の電圧が供給される。拡張用ポートへの最大供給電流はそれぞれ 1A である。

各コンバータの出力には、図示していないが、電圧と電流のモニタ回路が接続されており、監視制御装置を介して陸上から監視と記録を行うことができる。また、観測機器への出力は陸上から ON/OFF の制御を行うことができる。

5. まとめ

本稿では、愛知県豊橋沖に敷設されている通信用光海底ケーブルを再利用した観測システムの技術的概要を紹介した。

本プロジェクトでは、運用を停止した通信用光海底ケーブルを再利用することにより、システムの建設コストを大幅に低減することができた。この光海底ケーブルが科学的観測に重要な地域に敷設されていること、最新の光波長多重技術と光増幅技術を用いていることも、大きなポイントである。開発コストの増加を防ぐため、電源や光コンバータは可能な範囲で市販品を利用している。

海底ケーブル先端の分岐装置に接続するセンサによる観測だけでなく、海底ケーブルの給電線を能動的なアンテナとして活用することも、従来の海底ケーブル式観測システムにはない独創的な機能である。そのために、本プロジェクトでは入力電圧・電流範囲が広い電源システムを新たに開発した。

センサに精密なクロックと時刻同期信号を配信する時刻同期システムも開発した。詳細は別途報告する予定である。さらに、信号伝送にイーサネットを用いたことも新しい試みである。陸上の情報ネットワークと接続することにより、海底観測機器と陸上の研究室を容易に結ぶことができ、ローコストでフレキシブルな海底観測網が実現する。

現在、分岐装置の製造と陸上評価をすでに終了した。本年 2 月には光海底ケーブル先端への接続と設置工事を行う予定である。また、4 月には電

位差磁力計、3 成分加速度計、水圧計、微圧計の接続を予定している。

謝辞：本プロジェクトでは、光海底ケーブルの再利用に関し、KDDI の海底線関係者から多大のご協力を頂いた。また、KDDI R&D 研究所の小島氏には、給電システムや光通信システムの開発などで多大なご協力を頂いた。ここに記して深謝致します。

参考文献

- [1] Kiyoshi Suychiro, Hitoshi Mikada and Kenichi Asakawa (2003) : "Japanese Seafloor Observing Systems : Present and Future," MTS Jour., Vol.37, No.3, pp. 102-114.
- [2] Yoshiyuki Kaneda, Katsuyoshi kawaguchi, Eiichiro Araki, Hiyoruki Matsumoto, Takeshi Nakamura, Shinichiro Kamiya, Takane Hori and Toshitaka Baba (2007) : "Precise real-time observatory and simulating phenomena of earthquakes and tsunamis around the Nankai Trough - Towards the understanding of mega thrust earthquakes-," proc. of Int. Symp. on Underwater Technology 2007/Int. Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies 2007, pp.299-300.
- [3] Katsuyoshi kawaguchi, Eiichiro Araki and Yoshiyuki Kaneda (2007) : "A Design Concept of Seafloor Observatory Network for Earthquakes and Tsunamis," proc. of Int. Symp. on Underwater Technology 2007/Int. Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies 2007, pp.211-216.
- [4] Junzo Kasahara, Hisashi Utada, Toshinori Sato and Hajimu Kinoshita (1997) : "A submarine cable OBS by use of the retired submarine telecommunication cable ; GeO-TOC program," proc. of International Workshop on Scientific User of Submarine Cables, pp. 91-102.
- [5] Junzo Kasahara, *et al.* (2000) : "Multi-disciplinary Geophysical Measurements on the Ocean Floor using ecommissioned Submarine Cables : VENUS Project," J. of IEEE ocean Eng. 25 (1), pp. 111-120.
- [6] A. D. Chave, *et al.* (1997) : "H2O : The Hawaii-2 Observatory," proc. of International Workshop on Scientific User of Submarine Cables, pp. 114-117.
- [7] 後藤忠徳, 笠谷貴史, 木下正高, 荒木英一郎, 浅川賢一, 横引貴史, 原田誠, 中島崇裕, 長尾大道, 佐柳敬造 (2007) : 「豊橋沖海底ケーブルを用いた能動・受動的な海底電磁気モニタリング」, 月刊地球, 29, 511-515.
- [8] K. Asakawa, T. Yokobiki, T. Goto, K. Furukawa, A. Yamaguchi and K. Tazaki (2006) : "Power Supply System for Toyohashi Cabled Observatory with Wide Input-range," Proc. of Oceans' 06 MTS/IEEE.

