

原 著

DONET – 海底におけるリアルタイム長期連続モニタリング手法の確立 –

川口勝義*¹ 荒木英一郎*¹ 金田義行*¹

*¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, 〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15

2012年1月6日受付, 2012年2月6日採録

Abstract

The DONET (Dense Ocean-floor Network system for Earthquakes and Tsunamis) is a submarine cabled real-time seafloor observation infrastructure which is designed to realize the precise monitoring of earthquakes and tsunamis on seafloor for long period. The observation target of DONET is Nankai trough where the one of the highest concern region of mega-thrust earthquake outbreak at this moment. The development of subsea system was started in 2006 and successfully deployed twenty set of state-of-arts observatories in 2011. An unprecedented revolutionary subsea construction technologies using ROV (Remotely Operated Vehicle) was established as a part of DONET project and carried out to make this complex observation system come true. This paper summarized the designing approach and key components of submarine cabled seafloor network system, construction method and engineering tools for ROV operation, and evaluation of the performance of observatory and network refers to some observation results.

Keywords : DONET, Observatory, Real-time, Earthquake, Tsunami

1. はじめに

2011年3月11日に日本の太平洋三陸沖を震源として発生した東北地方太平洋沖地震は、巨大な津波の発生を伴った東日本大震災を引き起こした。この震災は人々に日本の島弧は地球規模で運動を続ける4つのテクトニックプレートの交差点に位置し、収束するプレート境界で周期的に発生する海溝型巨大地震やそれに伴い発生する可能性がある津波の脅威にさらされていることを改めて認識させた。また、陸上において地震活動をモニタリングするために構築された観測網とそれらを用いて整備される緊急地震速報等の社会基盤が、海域で発生する巨大地震や津波に対し、いまだに十分であるとはいえないという現実を示すこととなった。地震活動の観測能力や津波の予測精度を今以上に向上させるためには海域観測点の拡充が不可欠である一方、地震発生震源域である海底への観測網の展開はその技術的困難さから着実に進展しているとはいえないのが現状である。このような海底における大規模な観測ネットワークを長期間運用するための技術を確認するため、2006年度より高密度地震・津波リアルタイム観測ネットワークの開発整備計画DONET (Development of Ocean-floor Network for Earthquakes and Tsunamis) が開始された。この計画においては過去に成しえなかった海底での大規模で多面的なリアルタイム長期連続モニタリング手法を検証することを目的とし、海溝型巨大地震発生帯の一つである三重県及び和歌山県の沖合、熊野灘の海底に広がる南海トラフを観測対象として画期的な観測インフラストラクチャーを整備し観測を開始している。

2. 観測ネットワークのデザイン

海中海底におけるシステム構築が陸上のシステム構

築と比べ大きく異なる点として、システムの維持に必要な保守管理の実施が技術的・時間的・経費的に非常に困難ことがあげられる。過去に海中に展開されてきたシステムはこれらの問題点への対策として可能な限り故障の発生を抑えるための高信頼性をもったシステム設計を行ってきたが、このことが逆にシステムの導入コストが陸上のものと比べ高額となる、もしくは開発設計の柔軟性が低いと言ったネガティブな印象をユーザーに与えてきた。現在検討されている海域の観測計画においては陸上と同等規模の高密度リアルタイム観測網の整備が期待されており、外的要因を含めた故障の発生を完全に回避することは確率論的には不可能であることから、高信頼性設計に代わる新たな海中システムのデザインが求められた。開発を行ったリアルタイム観測ネットワークDONET (Dense Ocean-floor observatory Network for Earthquakes and Tsunamis) では、観測海域を網羅するために、最大40点規模の観測拠点を管理し、それぞれの拠点で複数の機器による観測を行える機能の実現を目指した。このような過去に類を見ない大規模な観測網を海底に構築するために、今まで不可分に構成されてきた海底ケーブルシステムと観測装置を海中で集線装置(コンセンレーター)の役目を果たす拡張用分岐装置(ノード)を用いることにより分離し、海中ロボットによる自在な観測点展開と追加変更・修理交換等の海中保守の技術を確認することでこの問題の解決を試みた。海中部のシステム構成機器はその信頼性設計基準において、高信頼性設計を維持することが可能な基幹ケーブルシステム、信頼性に関する十分な設計検討と評価、構成部品のスクリーニング等を実施し信頼性に関する見積もりが明らかなノード、初期不良等を排除した上で高信頼性設計をされていない民生品の採用を許す観測装置と

いう3つのコンポーネントに分離することで、観測網に要求される保守性の確保と高い観測能力の実現及びその維持を可能にした (Fig. 1, 川口2007, Kawaguchi *et al.* 2007, 2008)。

3. 基幹ケーブルシステム

基幹ケーブルシステムは海底に設置される観測装置と陸上の制御装置との間に伝送路と給電路を提供するDONETのバックボーンである。システムはケーブル両端を陸揚げしリング型のトポロジーをとることで各端から逆極性で直流定電流給電をかけることを可能にすることで給電路の障害に対する冗長性を持たせる。さらに、伝送路に関しては隣り合うノードの状態が影響し合うバス型のトポロジーを排し、陸と専用の光ファイバ経路でPtoP (Pier to Pier) 接続されるノードと、これを中心に放射状に展開する観測装置とからなるスター型のネットワークトポロジーを採用し、ノードに集められたデータをケーブルシステム両端の端局それぞれに配信を行うことで冗長構成を実現し障害に対する頑健性 (Robustness) と拡張性 (Scalability) を確保している。DONETの基幹ケーブルシステムは約320キロメートル長の海底ケーブル、6台の伝送中継器 (Repeater)、5台の分岐装置 (BU: Branching Unit) と各分岐装置の先に用意される終端装置 (TU: Termination Unit: 水中で着脱可能な光電気複合コネクタを装備したノードのイ

ンターフェース) から構成される。各要素は通信用海底ケーブルシステムのために開発された伝送技術及び給電技術を用い、商用通信システムと同等の信頼性を確保する。ただし、観測ネットワークを構築するための固有の機能としてシステムを構築する上で必要となる、BU内で給電路を自在に切り替えるためのバス制御回路、BUと終端装置間に必要となる導体を2系統持つLWケーブル (Double Conductor Lightweight Cable)、終端装置に必要となるOリングをシールに用いた円筒形気密耐圧筐体については、中継器の信頼性基準や通信用海底ケーブルのITU (International Telecommunication Union) Recommendation等を満足する高信頼性部品として開発及び評価を行いシステムに導入を行っている。

4. 拡張用分岐装置 (ノード)

ノードは基幹ケーブルシステムと観測装置をつなぐコンセンレーターとなるもので、海中で基幹ケーブルシステム終端装置に水中着脱コネクタを用いて接続する。陸上からの供給電力を複数の観測装置に分配する給電分配機能と、端局との双方向通信と時刻情報の配信を行う伝送制御機能を持ち、さらに、観測装置を接続するための光電気複合水中着脱インターフェースを搭載する。各ノードは約400 Wの受電能力を有し、8式搭載された観測装置用の接続インターフェース毎に最大45 Wの電力を出力することが可能である。出力段の電力は観測点ま

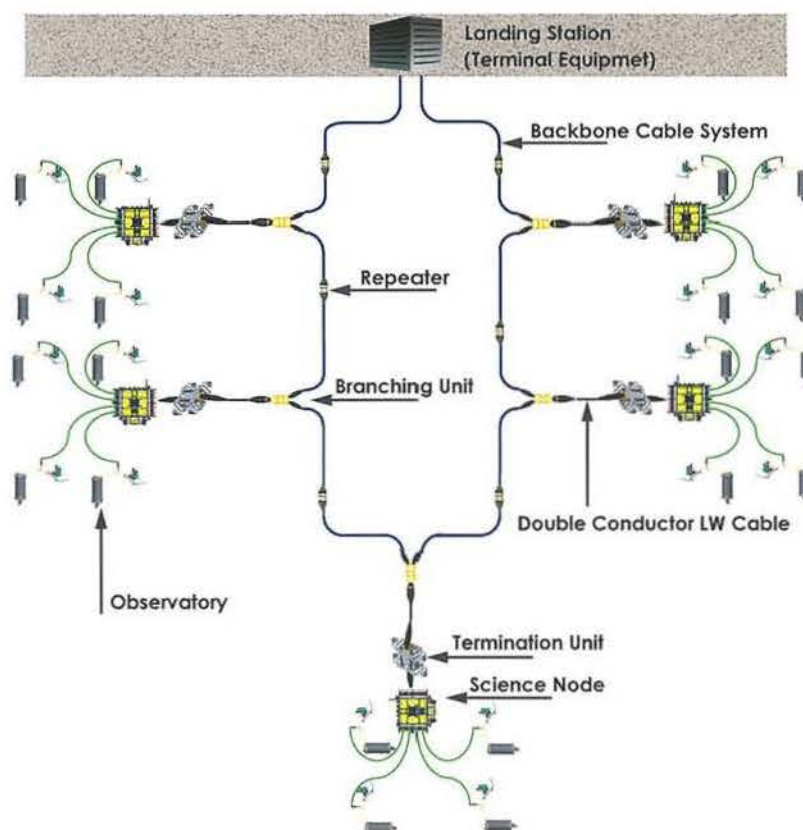


Fig. 1 DONET subsea components

The DONET subsea infrastructure consists of three major components of a backbone cable system, science nodes and observatories.

での長距離電送を想定することから、高効率の直流定電流給電方式を採用する。また、ノード構成機器の起動及び停止、観測装置の増減、不測の障害による負荷変動等が全体システムに及ぼす影響を軽減するために、ノードの2次側電源回路にはスロースタート機能と平衡型コンバータシステムを採用し、ノードに接続される負荷が変動しても消費電力の変動をノード内で吸収することで端局から見たノードの消費電力が一定となるような回路構成を採用している。具体的には Fig. 2 において第一のコンバータに接続された負荷 $W1$ が変動すると定電流化回路への入力電圧 $V2$ が変動する。この変動を監視する電圧検出器から出される信号をもとに制御回路及びスイッチング回路を用いて $V2$ を一定とするフィードバックを第一のコンバータ1次側回路にかける。1次側回路は定電流回路であるため負荷変動に応じて電圧 $V1$ が変動しようとするが、ここで $V1$ を第二のコンバータに分圧する。第二のコンバータでは $V1$ の変動を第一のコンバータに搭載されたものと同等のフィードバック回路により疑似負荷(余剰電力を熱として消費するための抵抗体)に負荷分散することで、 $W1$ の変動に伴う $V2$ の変動が発生しても $V1$ が一定となるようにシステムが平衡する回路を構成することを実現している。

システム内のデータ流通は伝送方式として Fig. 3 に

示すように SDH (Synchronous Digital Hierarchy) を採用している。観測装置で取得されたデータは一つの VC (Virtual Container)-3 に格納され (51 Mbps), 各観測装置とノード間の STM-1 (155.5 Mbps) の伝送路に乗せられる。ノードは8つの観測装置用インターフェースから受信した VC-3 を MUX (multiplex) し、ノードと端局間を結ぶ STM-4 (622 Mbps) の伝送路を介して配信する。電送路はファイバーペアによる双方向通信であり、観測装置の制御等は、陸上の端局装置で STM-4 に MUX された各観測装置用制御データを送信し、ノードで DMUX (demultiplex) し、観測装置用インターフェース毎に割り振られた STM-1 伝送路に乗せ換えることで行われる。また、観測用のシステムにおいては各観測点間の高精度の時刻同期が不可欠となることから、DONET では陸上端局の GPS レシーバーで受信した時刻情報と 1 pps (Pulse Per Second) の基準信号を、STM のヘッダー情報に埋め込んでノード及び観測装置に配信し、さらに、端局-ノード間の基幹ケーブル長のループバック遅延計測及びノード-観測装置間のケーブル長ループバック遅延計測を行う機能を搭載し、これらの計測情報も併せてヘッダー情報に組み込むことで、各観測点のデータ間に 1 μ sec より高精度の同期精度を持たせることを実現した。

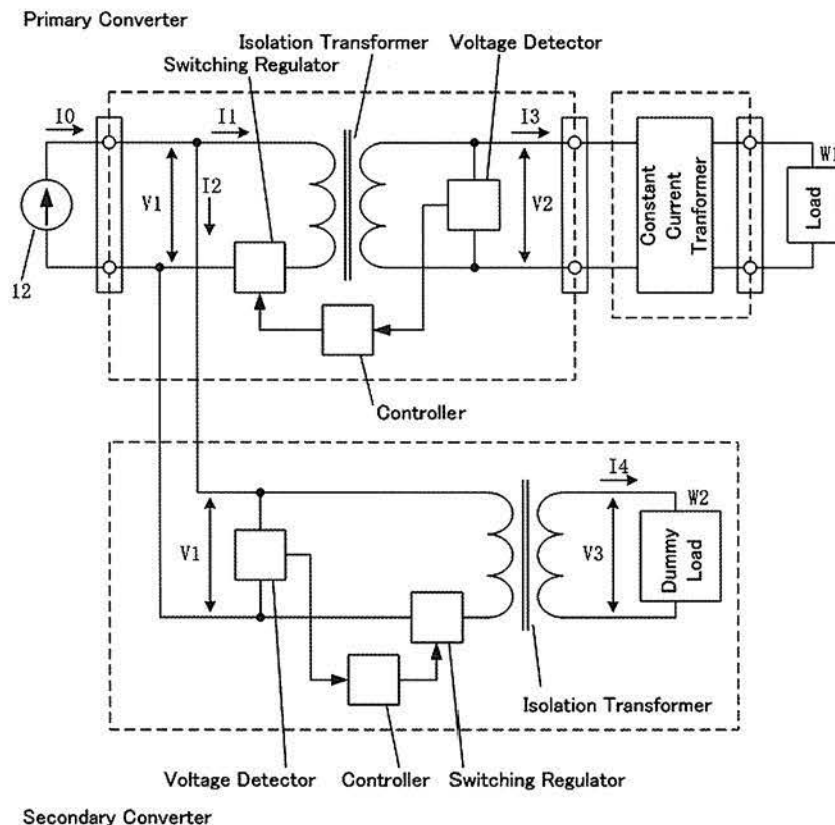


Fig. 2 Schematic diagram of power distribution system for DONET Science Node.

Power distribution system is a balanced CC-CC (constant current to constant current) DC power converter system to share the electricity from landing station to observatories on seafloor. This system equipped two feedback power controllers and a dummy load to keep the primary power input continuously constant to protect the observatories from load variation. The power distribution capacity of each observatory interface is 45 watts maximum.

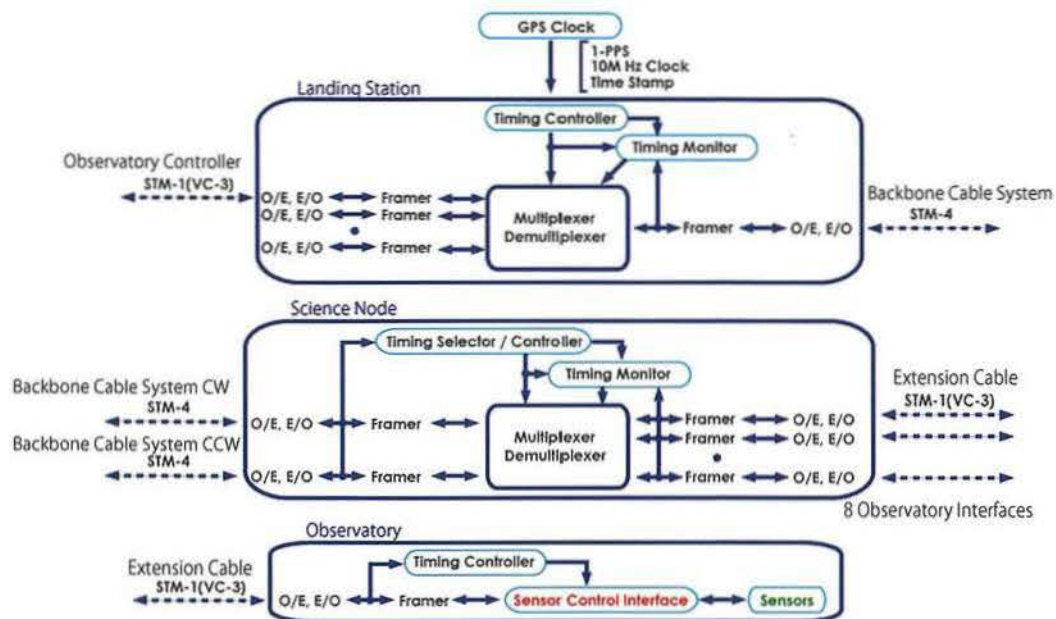


Fig. 3 Block diagram of data transmission and time synchronization control system

A SDH (Synchronous Digital Hierarchy) network management protocol is used for communicating digital information in this system over optical fiber. Data transmission capacity between terminal equipment on land and a science node on seafloor is approximately 622 Mbps. A 51 Mbps bidirectional data transmission capability is secured between science node and each observatory. Precise timing information and time stamp are embedded in the SDH section overhead for time synchronization control. The time synchronization control system can provide the less than 1 microsecond of time synchronizing accuracy among the components of the network system.

5. 観測装置

観測ネットワークは多様な観測装置の接続を可能としており、伝送方式の制約と給電電力の上限以外で観測の多様性に制限を設けるものではないが、DONETの整備計画では標準の観測装置として、地動センサー（地震・地殻変動観測）及び水圧センサー（津波観測）から構成される観測装置（Fig. 4）を20式展開した。各観測を高精度・広帯域・広ダイナミックレンジで行うため、地動の観測については広帯域地震計と強震計をジンバルステージ上に組み込んだシステムとしている。水圧の観測は絶対水圧の計測を行う水晶水圧計と、時間的な水圧変化を観測するハイドロフォンと微差圧計を組み合わせで構成し、さらに圧力センサーのピックアップとして用いられる水晶発信子が影響を受ける環境温度変化を正確に計測することを目的として圧力センサーに内蔵された校正用温度計とは別の精密温度計を装備する。これらセンサーのパッケージングにおいては海底とのカップリングや環境雑音の低減等に配慮したものを採用している（Araki *et al.* 2008）。加えて、観測装置はノードや基幹ケーブルシステム等、上位システムの障害による給電路もしくは伝送路の途絶を想定し、一定期間観測装置の機能を維持しデータを自己取得するための無停電機能とストレージ機能およびセンサーの保護機能を搭載する。また、海中ロボット作業による観測装置とノード間の給電路及び伝送路の確保のために、φ6 mmの細径光電気複合海底ケーブルを設計し、10 km長のケーブル両端に水中着脱式光電気複合コネクタを装備しこれをボビンに搭載した接続ケーブルシステムを開発した。

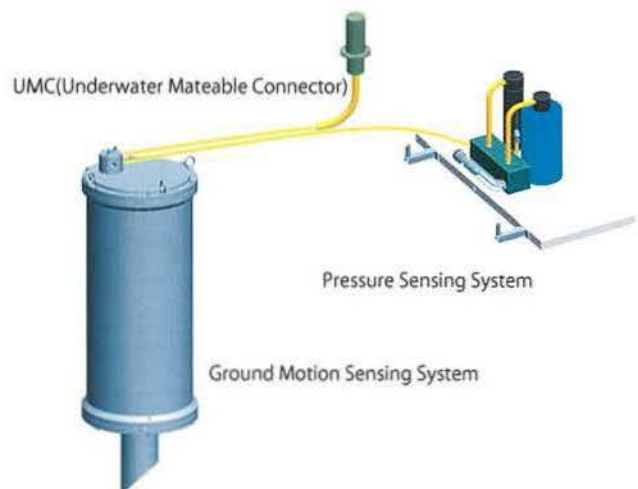


Fig. 4 Configuration of DONET observatory

The observatory consists of a ground motion sensing system and pressure sensing system to aim for precise earthquake, geodetic and tsunami observation. The ground motion sensing system is made up of a broadband seismometer, a strong motion accelerometer, and a gimbal stage. The constituent of the ground motion sensing system is assembled in a titanium alloy pressure vessel. The pressure sensing system is composed of a pressure gauge, a differential pressure gauge, a hydrophone, and a thermometer. All components of the pressure sensing system are put in an oil filled container to protect the sensors from damage by the infiltration of seawater.

6. 観測ネットワーク構築のシナリオ

DONET で提案する交換や拡張が可能な観測網の構築、運用及び保守においては海中における多様な作業の実施が必要となる。DONET の構築シナリオはまず基幹ケーブルシステムの展開を商用の通信用海底ケーブルシステム構築に用いられるケーブル敷設作業により実施し、その後 ROV (Remotely Operated Vehicle) 等の海中ロボットによるノードの設置と基幹ケーブルへの接続、観測装置設置、ノード–観測点間の細径光電気複合海底ケーブルの展張及び接続等を実施し観測点を 1 点ずつ起動していくというものである (Fig. 5)。さらに観測装置の設置においては、海底の流れや水温変動から起因する環境雑音の影響を極力低減するために、海底に観測装置設置用の孔 (海底ケーシング) を整備し、その中に地動センサーシステムを挿入し固定していくという作業が必要となる (Fig. 6, Kaneko *et al.* 2009)。観測を計画する海域も沖合までに及ぶことから作業水深も 2000 m から 4500 m までと大深度での重作業が要求される。

7. ペイロード

観測点構築のシナリオを実現するために、ROV は海中においてノード、観測装置及び接続ケーブルシステムを容易に取り扱う能力を持つ必要がある。一方で ROV の作業能力には制限があることから各ペイロードの開発においては ROV による取り扱いを十分考慮した寸法、重量、形状等の作り込みが必要となる。ノードは給電分配ユニット、伝送制御ユニットおよび水中着脱コネクタ群から構成される。これら要素は水深 5000 m までの海底における長期的な運用を想定して、チタン合金製の耐圧筐体に収容しチタン製のフレーム構造体に搭載される (Photo 1)。外形寸法は $1700 \times 1743 \times 804$ (mm) であり、気中で 4.12 kN 海水中 (海水比重を 1.03 とする) で 1.80 kN の重量となる。観測装置は地動センサーシステムと圧力センサーシステムからなる。地動センサーシステムの構成機器は円筒形耐圧容器に収容され海底に持ち込まれる。耐圧容器は $\phi 380 \times 944$ (mm) で気中において 1.53 kN 海水中にて 0.67 kN の重量となる。圧力センサーシステムの構成機器は海水に暴露されないように油漬の均圧容器に収容する。パッケージの形状は $885 \times 525 \times 475$ (mm) で、気中において 0.60 kN 海水中にて 0.20 kN の重量となる。これら二つの構成機器は 10 m 長の油漬けケーブルで不可分に接続されている (Photo 2)。細径光電気複合海底ケーブルはケーブルポビンに巻き取られ接続ケーブルシステムという形で収容されその両端には水中着脱コネクタが装備される。ケーブルポビンの形状は $\phi 1000 \times 1703$ (mm) であり、重量は気中で 1.35 kN 海水中で 0.44 kN となる。搭載される細径光電気複合海底ケーブルは気中で 0.46 kN/km 海水中で 0.16 kN/km 着脱コネクタは気中で 0.26 kN 海水中で 0.13 kN、接続ケーブルシステム (Photo 3) の全体重量は 10.6 km 長の細径光電気複合海底ケーブルを含めて気中で 6.52 kN 海水中で 2.28 kN となる。

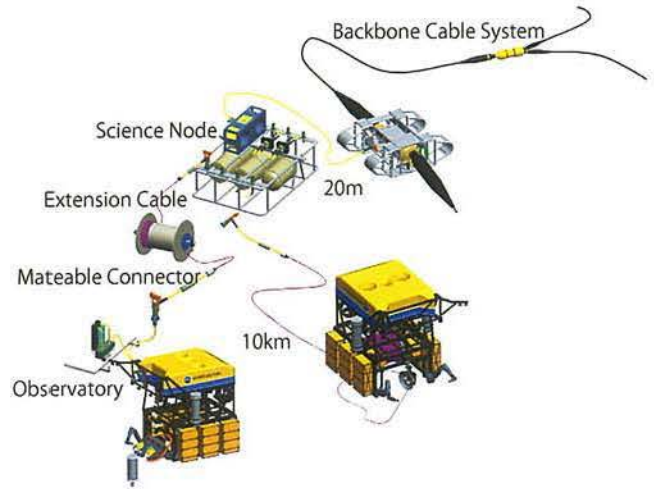


Fig. 5 Scenario of DONET observatory construction by ROV
The DONET backbone cable system is installed to the seafloor by conventional cable laying method by cable laying ship. The science node and observatory are constructed by the ROV on the seafloor after the backbone cable installation.



Fig. 6 Buried Observatory (Ground Motion Sensing System)
The ground motion sensing system is buried in a sediment layer to reduce the background noise level from seafloor environment.

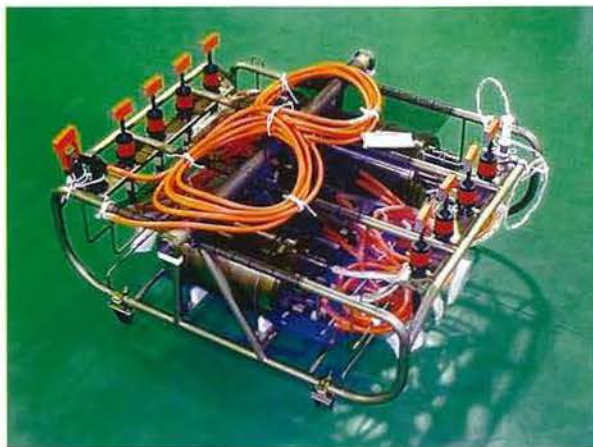


Photo 1 DONET Science Node



Photo 2 General DONET observatory

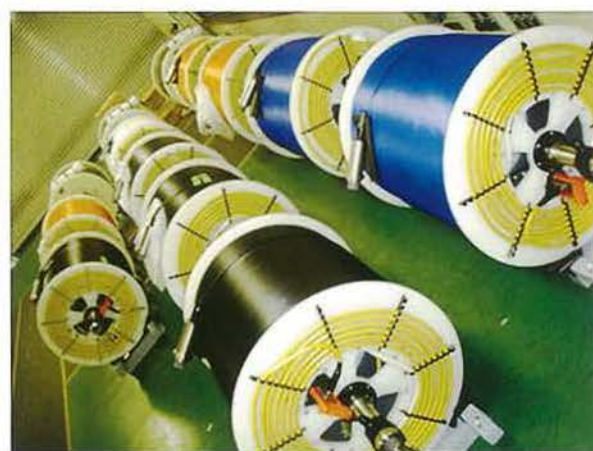


Photo 3 Extension cable system

8. 作業ツール

海中作業を実現するために DONET の開発計画においては観測ネットワーク本体の開発整備にとどまらず、これらの海中作業を実現できる ROV の改造整備も併せて実施している (Kawaguchi *et al.* 2009, 2010). 具体的には ROV の耐圧性能の向上と要求される作業を実施することが可能な機能を持つ ROV への追加パッケー

ジ (ツールスキッド) の開発である。開発を行ったツールスキッドは予定される作業の中で最も実施が困難な ROV による細径光電気複合海底ケーブル敷設 (展張) の実現を中心に構成することから展張装置と呼ぶ。展張装置には ROV 本体の油圧動力源によって制御される複数の油圧アクチュエーターが搭載される。展張装置には 10.6 km の細径光電気複合海底ケーブルが搭載された接続ケーブルシステムからケーブルを繰り出す機能、展張装置に接続ケーブルシステムを装脱着するための昇降機能及び、装着した接続ケーブルシステムを装置内に固定するための機能が必要となる。細径光電気複合海底ケーブルを繰り出す機構は繰り出しシーブ (Fig. 7) とボビンアクチュエーター (Fig. 8) と呼ぶ 2 つのアクチュエーターから構成されケーブルの繰り出し量を調整しながら複雑な海底地形上にケーブルを展張することができる。海底においては環境圧の影響により細径光電気複合海底ケーブルに体積変化が起こり多層に巻いたケーブルに巻隙が起こることによって接続ケーブルシステム内のケーブルが行き詰まる可能性がある。そこでこれらアクチュエーターを用い細径光電気複合海底ケーブルを繰り出す際に必ず一定の張力をかけることでトラブルの発生を防止する。一方で使用する細径光電気複合海底ケーブルは作業中の ROV が拘束されることがないように低張力 (設計破断強度が 1 kN) で確実に破断するように設計されていることから、繰り出し張力が細径光電気複合海底ケーブルの破断強度を超えないよう、300 N 以上の繰り出し張力がかかるとケーブルがスリップしケーブル破断強度を超えずに確実な展張ができるような機構を有している。ボビンエレベーター (Fig. 8) は陸上及び海中において必要量の細径光電気複合海底ケーブルを搭載した接続ケーブルシステムを確実に昇降させることを実現するために 10 kN の吊上げトルクを発生する機構としている。吊上げて展張装置内に収容される接続ケーブルシステムはスタブロッドを用いて展張装置に固定することでボビンアクチュエーターと接続され展張作業が実施可能となる。展張終了後にはこのスタブロッドを抜くことで接続ケーブルシステムを展張装置から切り離し海底に設置することが可能である。同様にノードの海底設置もこのスタブロッドを用いて行われる。さらに荒天や機器トラブル等による作業の中断・再開もしく必要に応じて展張した細径光電気複合海底ケーブルを回収するというような状況の発生も想定してこれに対応可能なシステムとなっている。また、作業時の装置状況を確実に把握するために複数の監視カメラを各所に配し ROV の制御室において動作を確認することが可能である。観測点の構築に必要な埋設孔整備のためのサクシオンポンプシステム (DOROTHY) と観測装置設置装置は展張装置の簡易搭載可能な追加機器として開発した。DOROTHY は油圧モーターで作動する渦巻ポンプで最大 1000 L/min の吐出量を持つ。この流量を用いて吸引力を発生させ事前に海底に打ち込んだケーシング (地動センサーシステム設置部寸法: $\phi 450 \times 830$ mm) 内の堆積物を完全に

取り除き地動センサーシステムを設置するための孔を整備する。観測装置設置装置はボビンアクチュエーターを駆動源として ROV 前頂部より地動センサーシステムパッケージを昇降させ埋設孔内に設置するシステムである (Fig. 9)。地動センサーシステムは DONET で使用を想定している ROV マニピュレーターを用いて取り扱える

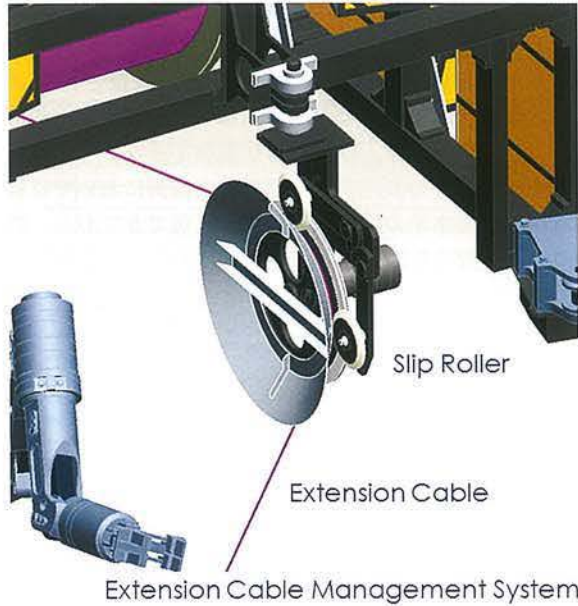


Fig. 7 Drawing of Extension Cable Management System
The extension cable management system controls the cable payout speed voluntarily. The slip roller mechanically managed the cable payout tension 300 N maximum.

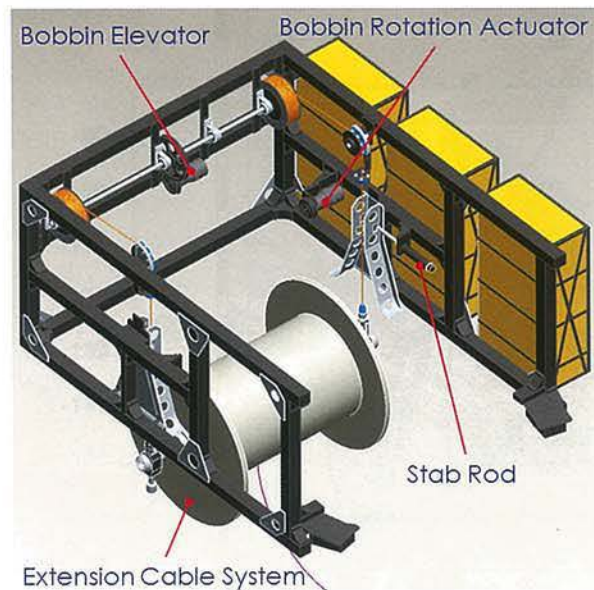


Fig. 8 Drawing of Bobbin Elevator
The bobbin elevator make possible to lift up and down the cable bobbin with 10 km length of extension cable in air and water. The mechanism uses for the extension cable system set up on board or suspend / resume the 10 km distance cable laying operation on seafloor.

重量を超えていることからこのようなサポートシステムの採用が必要となる。浮力調整装置 (VBCS: Variable Buoyancy Control System) は準備する空の容器に海水を注排水することで、海中における ROV の重量を調整する装置である (Fig. 10)。システムは 4500 m の使用に耐える耐圧容器、ソレノイドバルブ、高圧ポンプから構成される。注水はソレノイドバルブを開閉することにより海中の環境圧を用いての自然注水、排水は油圧高圧ポンプによる強制排水となる。使用を予定する ROV は海中で鉛直方向のスラスターを用いることにより 1.5 kN の浮力変化を補償することができるが、DONET の構築作業においては海中で最大 2.2 kN の浮力変化が発生することから、1 kN の浮力調整が可能 (耐圧容器容量が 100 L) な VBCS を搭載することにより DONET の全作業を確実に実施することを可能とする。

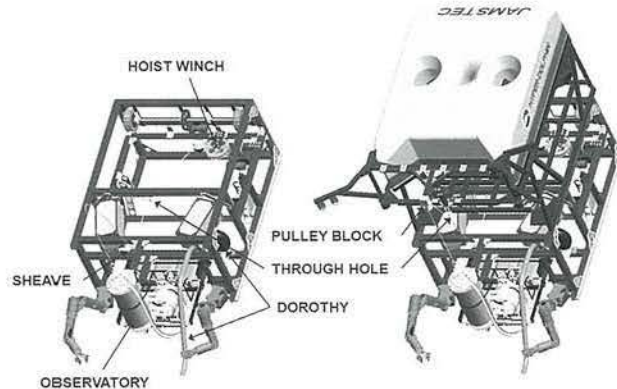


Fig. 9 Drawings of observatory elevator and DROTHY suction pump system
The observatory elevator and a suction pump system (named DOROTHY) are prepared to observatory construction. These are additional bolt-on accessories on the cable laying system.



Fig. 10 Variable Buoyancy Control System
The VBCS is a system able to adjust the buoyancy of the ROV by pouring or draining seawater to the pressure resist water tank. It is equipped a pair of 50 L volume pressure resisted water tanks to compensate the 1 kN of buoyancy additionally in water to maintain the mobility of the ROV in cable laying operation.

9. 観測網の構築

DONETの構築は2010年初頭より開始された。2010年3月に基幹ケーブルシステムのケーブル敷設船による海底に設置を完了し、同月末に海洋研究開発機構の所有するR/V「なつしま」とこれに搭載したROV「ハイパードルフィン」を用いてノードと観測装置の初めての海底設置と接続を実施しDONETの構築作業を本格化した。2010年末には海上における船舶点保持能力が高いR/V「かいよう」のROV支援母船への改造や、「ハイパードルフィン」の潜航能力を3000 mから4500 mに変更する等の機能向上を行い、2011年7月までに合計7航海、航海日数110日、潜航回数81潜航を実施し当初計画において予定された20観測点の構築を完了し観測網の本格的な運用を開始した(Fig. 11)。

10. 観測データと機能検証

各観測点に設置された地動センサーシステムと圧力センサーシステムからは広帯域地震計、強震計、津波計、微差圧計、ハイドロフォン、温度計のデータセットによる観測が行われ各データが三重県尾鷲市古江町に整備された陸上局舎を経由してリアルタイムで海洋研究開発機構横浜研究所に送信されるとともに、地震計と津波計データが気象庁や各研究機関向けに配信されている。Fig. 12にブラウザに表示された地動センサーシステム広帯域地震計鉛直成分の観測例を示す。設置された20台の地動センサーシステム内に搭載された広帯域地震計のパフォーマンスは、様々な海底環境を反映してノイズの多少はあるものの、これまでの海底観測においては得られなかった水準の低ノイズ観測が実現できており、開発時の目標設定を満足するシステムであることが検証さ

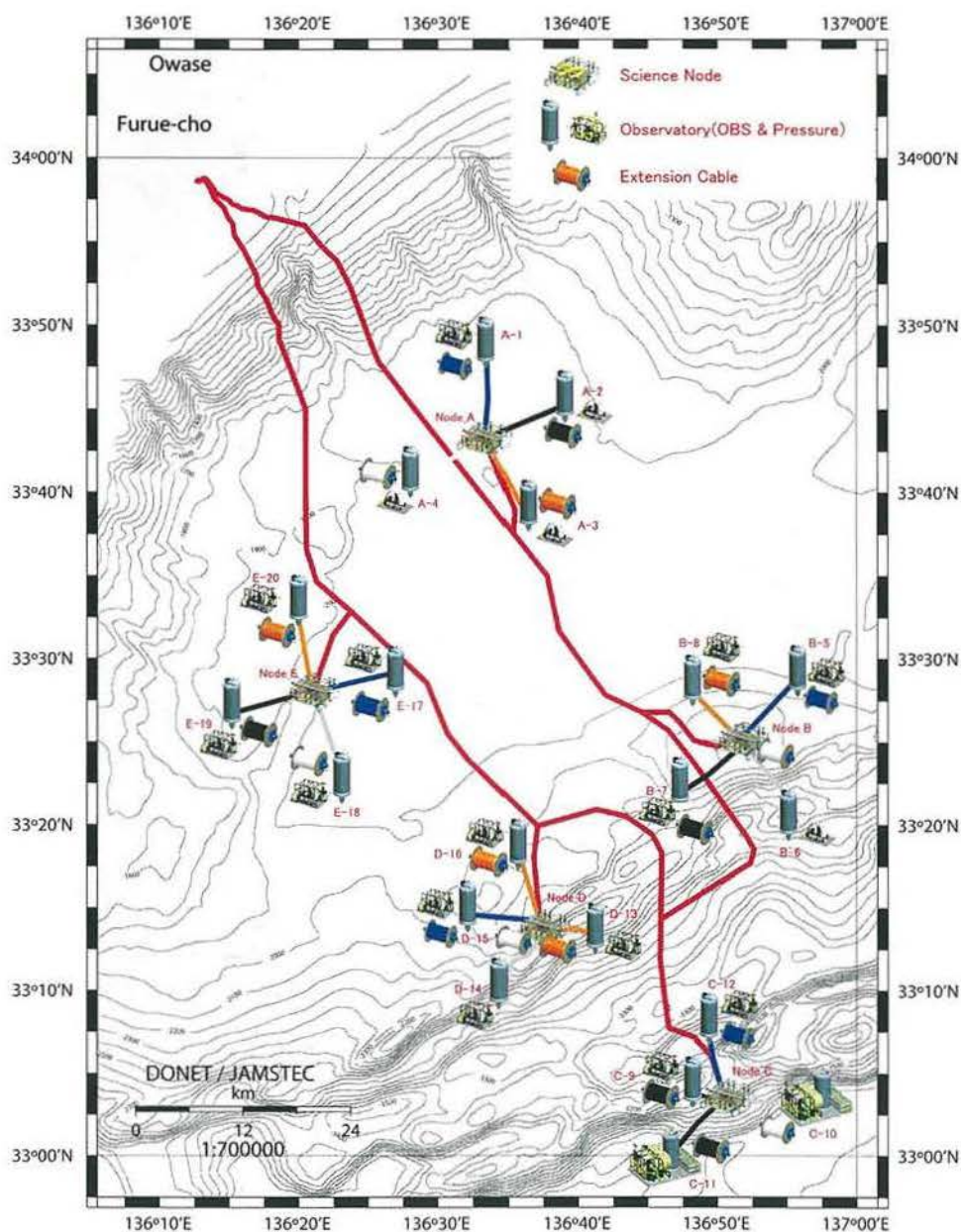


Fig. 11 A plane view of completed DONET observatory network

れた (Fig. 13 に B-6 観測点の背景ノイズスペクトラムを例示する)。また、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の際にはすでに稼働していた 10 か所の観測点で地震とそれに伴う津波が明瞭に観測された (Fig. 14, Nakamura *et al.*, 2011)。これらの観測データは熊野

灘周辺に展開されている GPS 波高計や港湾の潮位計等の既設設備からのデータと比較し速報性能に関する明確な優位性が確認されていることから、設置海域である東南海地震の想定震源域の監視能力の強化が期待できる。

11. まとめ

DONET は過去に類を見ない海底の大規模高性能観測ネットワークである。このシステムの開発と ROV を用いた海中作業技術の確立により、2011 年までに東南海地震の想定震源域に 20 の観測点からなる観測網の構築を実施し、今まで困難であるとされていた陸上に匹敵する観測点密度と観測能力を持つ海底地震観測網の実現が可能であることを実証した。また、今まで成し得なかった、リアルタイム海底津波観測網を構築したことで、現状の想定シミュレーションをもとにした津波予測に加え将来的に地震と同様の実観測データを用いた津波予測技術を確立するための基礎を築いた。今後は現在稼働中の 20 の観測点の運用を主軸にさらに観測範囲を広げるための観測点の拡充、高精度の観測が期待される掘削孔に設置された孔内観測点の接続、新たな観測装置の開発等、海底でのリアルタイム長期観測手法の開発に検証の場を提供し、海域で発生する現象を多様な視点で把握することができシステムの実現に向けて開発を進めていく。さらに取得データの流通等に関するポリシーと環境を拡充し、DONET データを用いたリアルタイム解析研究の推進、地震津波研究にとどまらない多様なユーザーへのデータ配信による研究成果の創出を実現するための基盤の整備を行い、多目的観測プラットフォームとしての運用体制の構築を目指す。

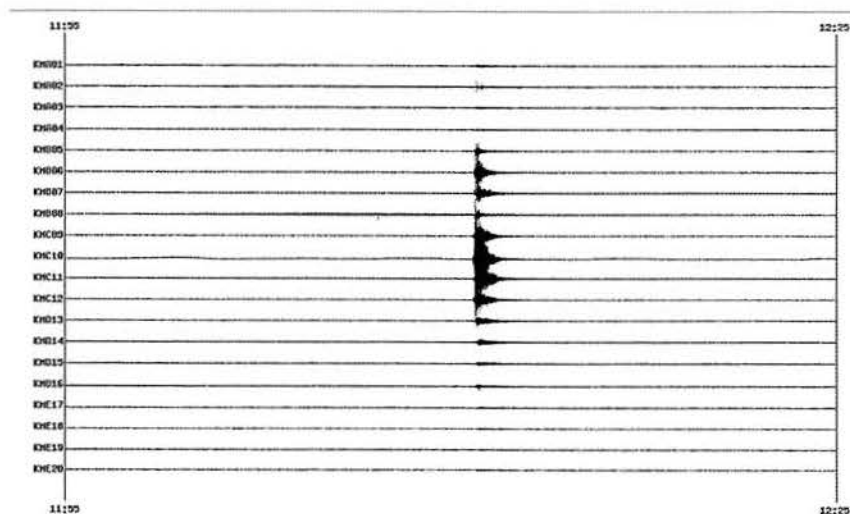


Fig. 12 Captured figure from DONET WEB data browser. The figure shows the local micro seismic event observed twenty broad band seismometers (browser shows vertical axis data) in the ground motion sensing system.

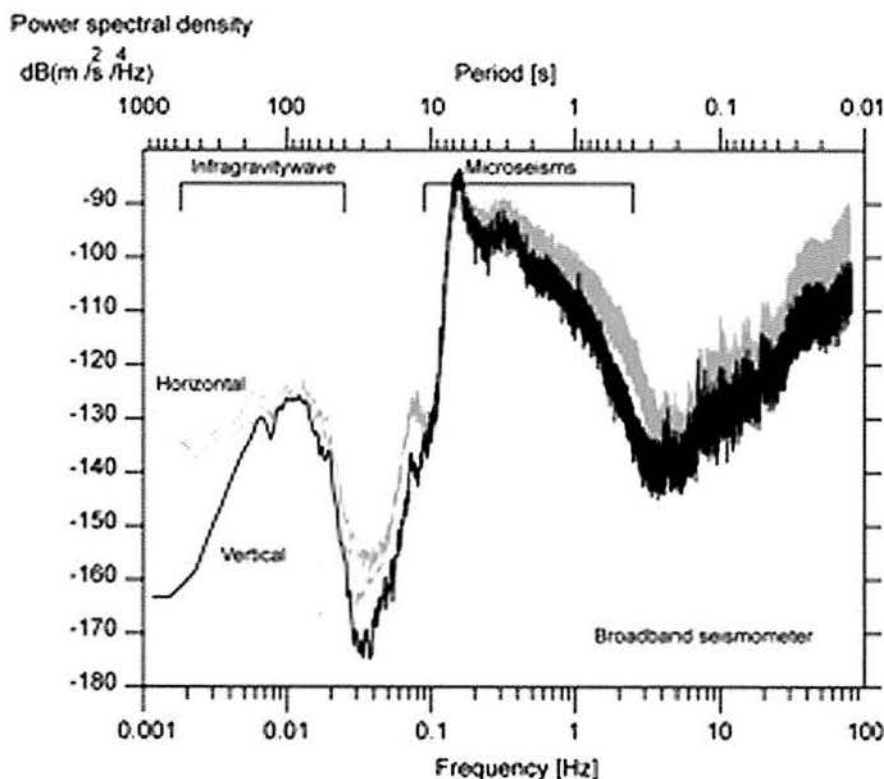


Fig. 13 Background noise power spectrum density of broad band seismometer in the ground motion sensing system.

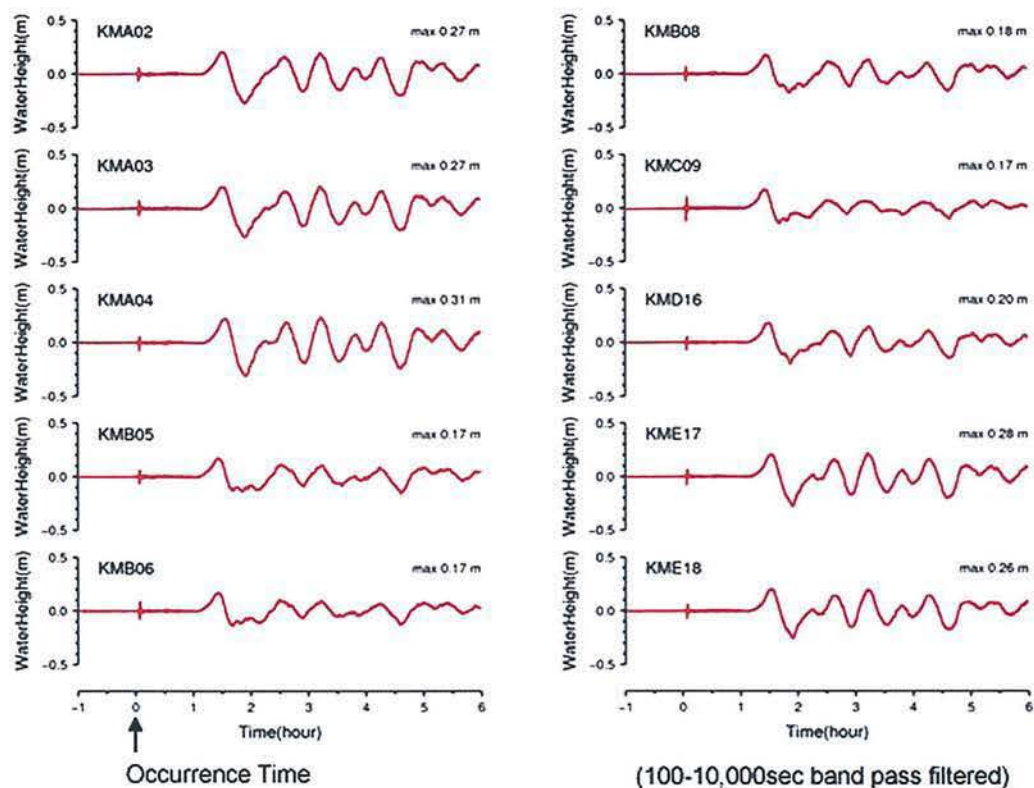


Fig. 14 Observed Tsunami event from the 2011 earthquake off the Pacific coast of Tohoku

The first tsunami wave arrival was 75 min after the main shock. This is 20 minutes faster than the tsunami arrival at the local shore line. DONET observed approximately 30 cm sea level different at the 4300 m depth of seafloor and it was grown up 90 cm height at the costal tidal gauge station.

謝 辞

「地震・津波観測監視システムの構築」は文部科学省からの受託研究として、独立行政法人海洋研究開発機構が中心となり実施した。本システムの実現にあたり飯田直久氏、藤原法之氏をはじめとする日本電気株式会社の方々、小嶺哲也氏、金子将氏をはじめとする日油技研工業株式会社の方々、西田孝人氏をはじめとする株式会社 OCC の方には多大なご尽力をいただいた、また、観測網の構築にあたっては、敷設船作業の実施にあたった国際ケーブルシップ株式会社の方々、JAMSTEC 所属調査船の船長はじめ乗組員の方々、ROV「Hyper Dolphin」の運用チームの方々の協力なしではなしえなかった。ここに DONET 実現にご協力いただいた皆様に深く感謝を申し上げる。

参考文献

- E. Araki, K. Kawaguchi, S. Kaneko and Y. Kaneda, "Design of deep ocean submarine cable observation network for earthquakes and tsunamis", Proceedings of OCEANS'08 MTS/IEEE KOBE-TECHNO-OCEAN '08 (OTO'08) 2008, April 8-11, Kobe, JAPAN.
- S. Kaneko, E. Araki, K. Kawaguchi, *et al.* "Installation

method of high-quality seismic observation in the seafloor", Proceedings of OCEANS'09 IEEE Bremen 2009, May 11-14, Bremen, Germany.

- 川口勝義, 金田義行, 荒木英一郎, 2007, 海底高密度リアルタイム観測ネットワークのデザインコンセプト, 海洋理工学会誌 Vol.13 No.1, pp79-86.
- K. Kawaguchi, E. Araki, and Y. Kaneda, 2007, "A Design Concept of Seafloor Observatory Network for Earthquakes and Tsunamis", Proceedings of International Symposium on Underwater Technology 2007 / International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies 2007.
- K. Kawaguchi, Y. Kaneda, and E. Araki, 2008, "The DONET: A real-time seafloor research infrastructure for the precise earthquake and tsunami monitoring.", Proceedings of OCEANS'08 MTS/IEEE KOBE / TECHNO-OCEAN '08 (OTO'08) 2008.
- K. Kawaguchi, S. Kaneko, T. Nishida and T. Komine, 2009, "Cable Laying ROV for Real-time Seafloor Observatory Construction", Proceedings of OCEANS'09 IEEE Bremen.

- K. Kawaguchi, E. Araki, S. Kaneko, T. Nishida and T. Komine, 2010, "Subsea Engineering ROV and Seafloor Observatory Construction", Proceedings of International Symposium on Underwater Technology 2010 / International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies 2010.
- T. Nakamura, T. Baba, R. Iwase, M. Nakano, H. Matsumoto, N. Takahashi, S. Tsuboi, and Y. Kaneda, 2011, "The 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake and tsunami observed by

* * * * *

Establishment of a method for real-time and long-term seafloor monitoring.

Katsuyoshi Kawaguchi^{*1}, Eiichirou Araki^{*1} and Yoshiyuki Kaneda^{*1}

^{*1} Japan Agency for Marine Earth Science and Technology : JAMSTEC, 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237-0061 Japan

Received : January, 6. 2011, Accepted : February, 6. 2011