

## 科学観測用海底ケーブルネットワーク ARENA の フィージビリティスタディ

浅川 賢一 海洋科学技術センター  
白崎 勇一 東京大学生産技術研究所海中工学研究センター  
西田 孝人 (株)OCC  
吉田 稔 白山工業(株)  
川口 勝義 海洋科学技術センター  
三ヶ田 均 海洋科学技術センター  
「地球観測海底ケーブルネットワーク検討委員会」委員

### Feasibility Study on Scientific Submarine Cable Network ARENA

ASAKAWA, Kenichi Japan Marine Science and Technology Center  
SHIRASAKI, Yuichi University of Tokyo  
NISHIDA, Takato OCC Corporation  
YOSHIDA, Minoru Hakusan Corporation  
KAWAGUCHI, Katsuyoshi Japan Marine Science and Technology Center  
MIKADA, Hitoshi Japan Marine Science and Technology Center  
Member of committee on submarine cable network for globe monitoring

#### Abstract

It is well known that huge catastrophic earthquakes occur periodically on the plate boundary near Japanese archipelago. It is also well known that ocean has large influence on the climate of the world. In order to mitigate natural hazard and conserve the global environment, long-term, continuous and real-time observation of ocean is very important.

Seafloor observation using the underwater telecommunication cable is the most reliable and efficient ways to secure the above observation of ocean. IEEE OES (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Oceanic Engineering Society) Japan Chapter has conducted the feasibility study on the new scientific submarine cable network and published a technical white paper. The proposed scientific cable network named ARENA has the following feature. (1) mesh-like cable network configuration covering vast research area with 3,600km of total cable length, (2) over 66 observation nodes with 50km intervals, (3) robust against failures, (4) wideband optical transmission system capable of transmitting plural HDTV (High definition Television) signal and synchronizing signal with accuracy of one micro-second, (5) system extensibility, (6) exchangeability of sensors. This paper will describe the outline of ARENA and its historical background.

#### 1 初めに

日本列島周辺のプレート境界では周期的に大規模な地震が発生する。このような地震に関する研究の推進と被害の低減を目的として、日本の周辺には Fig.1<sup>(1)</sup> に示すようにこれまでに8本の海底ケーブル式観測システムが建設されている。これらの海底ケーブル式地震計を用いることより、震源の推定精度や測定感度が向上し、海底下で発生する地震に関する多くの情報を取得できることが確認されている。

海底ケーブル式観測システムは、海底ケーブルを介して観測装置に電力の供給と信号伝送を行うことにより、長期間に渡って連続的な観測を実時間で行うことを可能とする。様々なセンサを接続することにより、地震の観測だけでなく、

海洋生物の観測、海洋環境の観測、海洋における熱や物質移動の観測など多くの観測を行うことができる。後述する VENUS システムや海洋科学技術センターで開発した初島沖システム、室戸沖システムでは、テレビカメラや超音波流向流速計などを装備した総合観測ステーションを接続し、多目的の観測を行っている。

海外においても海底ケーブル式観測システムには大きな期待が寄せられている。米国とカナダは北西太平洋に全長3,000kmに渡る新しいケーブル式観測システム NEPTUNE<sup>(2)</sup>を建設する計画を進めている。

一方、周辺技術も最近急激に進歩してきた。1987年に実用化された通信用光海底ケーブルは、その後光増幅技術や光波長多重技術などのブレイクスルーを経て、その通信容

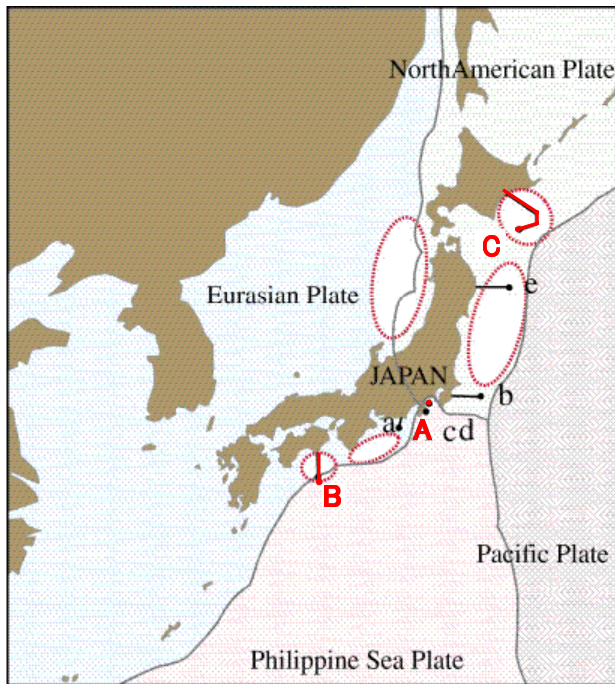


Fig. 1 Cabled observatory systems around Japan

a) JMA Off-Suruga, b) JMA Off-Boso, c) ERI East Off-Izu Peninsula, d) NIED Sagami-Trough, e) ERI Off-Sanriku, A) JAMSTEC Hatsushima Engineering Development, B) JAMSTEC Off-Muroto, and C) JAMSTEC Off-Tokachi-Kushiro systems. Circled water areas were advocated by the Headquarters of Earthquake Research Promotion that the real-time observations are necessary for future potential of catastrophic earthquakes.

量は初期のもの約 10,000 倍になるとともに、柔軟なネットワークを構築することが可能になった。コンピュータやインターネットなどの技術も著しく発展している。また、次章で述べるように海底における観測技術もこの数年間に飛躍的に発展してきた。

このような周辺技術の利用することにより、従来にはない新しい特徴を持つ海底ケーブル式観測システムを実現することが可能となってきた。そこで、IEEE OES 日本支部では 2002 年 2 月に「地球観測海底ケーブルネットワーク検討委員会」を設けて、フィージビリティスタディを開始した。委員会には、全国の大学、研究機関、民間企業から 45 名の技術者が参加した。委員会は電源供給、信号伝送、海中システムのワーキンググループに分かれて検討を行い、2003 年 1 月に新しい科学観測用海底ケーブルネットワーク ARENA を提案した。その内容は白書としてまとめられており、ホームページで公表される予定である。

本論文では国内のケーブル式観測システムの現状を紹介したのち、ARENA の概要を説明する。

## 2 国内の代表的な海底ケーブル式観測システム

### 2.1 VENUS システム<sup>③</sup>

利用を停止した通信用海底ケーブルも科学観測用に利用することができる。これらの旧式の通信用海底ケーブルは、最新の光海底ケーブルに比較して通信容量が極めて少なく、公衆通信用としての利用価値はほとんどなくなっているが、

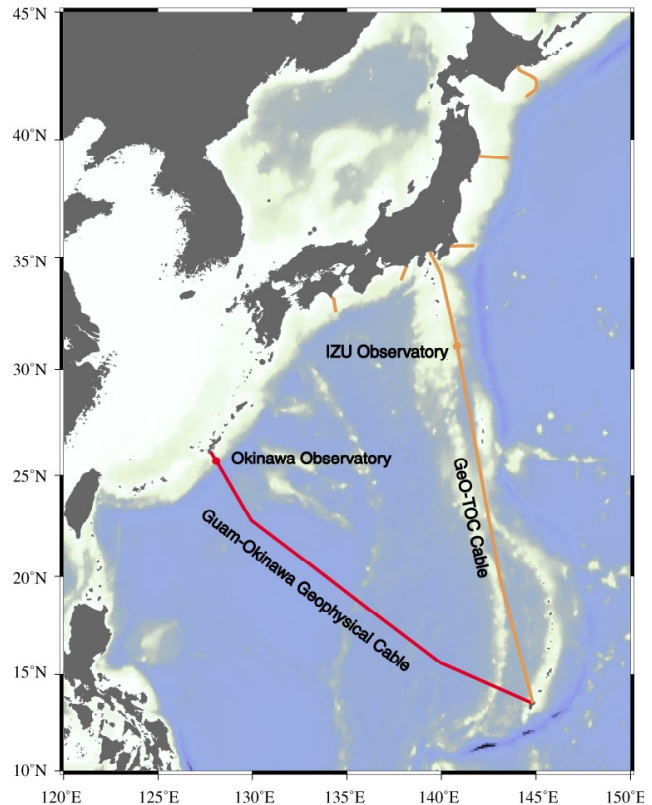


Fig. 2 Re-use of the retired underwater telecommunication cables

Two cables were used for scientific purposes. The Guam-Okinawa Geophysical Cable (former TPC-2: Co-axial cable with transistor amplifiers, constructed in 1976) was utilized to experimentally install a multidisciplinary observatory in the VENUS project. Two other sites in the GEO-TOC cable (former TPC-1: Co-axial cable with vacuum tube amplifiers, constructed in 1964) have been planned for future installation of a seismometer and geophysical observations.

科学観測用には十分な通信容量を持っている。しかも、通信用海底ケーブルは極めて高い信頼性と長い寿命を持っており、再利用に十分耐えることができる。利用を停止した通信用海底ケーブルを再利用することにより、低コストで科学観測用海底ケーブル式観測システムを建設することができる。

1999 年に科学振興調整費により、東京大学が所有する Guam-Okinawa Geophysical Cable (旧 TPC-2 Trans-Pacific Cable-2) の沖縄沖に多目的観測システム (VENUS: Versatile Eco-monitoring Network by Undersea-cable System) (Fig2.~3) が実験的に建設された。観測システムは、Fig.3 に示したオープンフレーム構造の分岐装置フレームを中心に、広帯域地震計、津波計、地殻変動観測用精密測距計、電位差計、3 軸フラックスゲートセンサ、プロトン磁力計、ビデオカメラ、地中温度計、CTD センサ、濁度計、電磁流速計、ハイドロフォンアレイ、臨時観測装置とデータ伝送装置から構成される。これらのセンサの多くは、水中着脱式コネクタにより接続される。このことは、修理のためにセンサを回収することができることと、新しいセンサが開発されたときに交換できることを意味している。そ

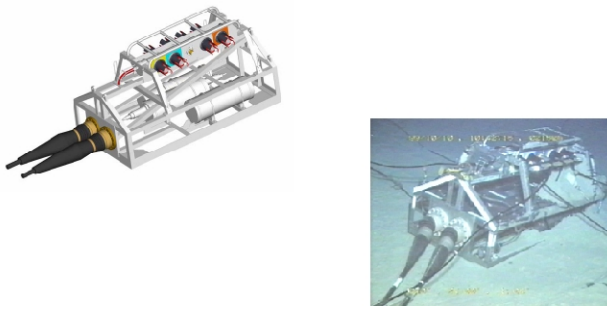


Fig. 3 A junction box developed for the VENUS project.

The junction box provides electric power and data transmission line to multiple sensors including wide-band seismometer, tsunami sensor, geomagnetic and electric field observation system, hydrophone arrays, seafloor acoustic ranging system and television camera.

のため、センサは海底ケーブルシステムと同様な高度な信頼性と長い寿命が必要とされない。コネクタの障害により通信が遮断されるまで、VENUS システムは海底から連続的なデータを陸上に送り続けた。

同様なプロジェクトが VENUS プロジェクトと同時期に行われており、ハワイ・カリフォルニア間を結ぶ通信用同軸海底ケーブルに観測所 (Hawaii 2 Observatory)<sup>(4)</sup> が設置され、現在も稼働している。

これらのプロジェクトにより、利用を停止した通信用海底ケーブルを利用して海底で多目的の長期連続観測を行えることが実証された。

## 2. 2 釧路・十勝沖システム

1999 年に設置された釧路・十勝沖システム<sup>(5)</sup>では、移動型観測システム<sup>(6)</sup>が実用化された。この観測システムでは Fig.4 に示すように、水中着脱式コネクタと展長ケーブルを用いて、移動型観測システムを主ケーブルに接続するものである。最大 10km までのケーブル展長が可能である。このシステムでは光ファイバだけの分岐を行っており、観測装置は電池で駆動される。電力の分岐は今後の課題である。移動型観測システムは 2001 年に初めての試験観測に成功した。

移動型観測システムを用いることにより、海底ケーブルに直接接続することが難しい広帯域地震計を接続することが可能となるほか、複数の地震計を 2 次的に配置して、震源の推定精度を向上することが可能となる。

## 2. 3 地震学への貢献

Fig.5 は室戸沖システムで観測した地震の震源分布を表したもので、海底に設置した地震計のデータを利用する前と利用した後の推定震源を比較している。この図より、海底地震計を利用することにより、特に深さ方向の震源推定精度が高まることが確認できる。精密で正確な震源分布を測定することにより、地震の発生メカニズムをより詳細に理解することが可能となる。同様な震源推定精度の向上が釧路・十勝沖システムでも確認されている。

## 3. ARENA の概要

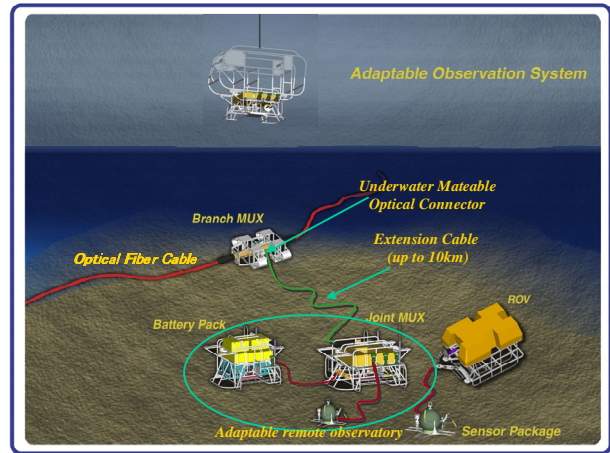


Fig.4 An adaptable observation system off the coast of Kushiro-Tokachi

The expansion cable, that connects the branch MUX on the trunk cable and the adaptable remote observatory, was deployed using a deep-tow system and a ROV. The adaptable remote observatory consists of a joint MUX, sensors and battery pack which were connected by using underwater mateable connectors.

まえばきにも述べたように、周辺技術の発展により、新しい柔軟な科学観測用海底ケーブルシステムを構築する基盤技術が整ってきた。光増幅技術は、伝送容量を拡大するだけでなく、ビットフリーな光増幅を提供するため、伝送方式の自由度も大幅に高まった。増幅装置も単純なものとなり、コストも低減した。光波長多重技術は、伝送容量を拡大するだけでなく、伝送路の分岐と集合を容易にし、複雑な構造のネットワークを実現することを可能とした。IP (Internet Protocol) による通信技術は陸上の伝送コストを低減するとともに、柔軟なネットワークの構築を可能とした。さらに、コンピュータ技術や半導体技術、前章で述べた海洋観測技術の発展も以下に説明する次世代の科学観測用海底ケーブルシステム ARENA を実現可能とする重要なポイントである。

ARENA は上述の新しい周辺技術を最大限に取り込んだものであり、次のような特長を持っている。

- (1) 広い研究海域を二次元的にカバーする全長 3,600km のメッシュ型のケーブルネットワーク構造を持つ。
- (2) 50km 間隔設置可能な観測ノードに様々なセンサを接続することができ、多くの分野で利用することができる。
- (3) 障害に対して高い抵抗力を持っている。
- (4) 複数の HDTV 信号の伝送を可能とする広帯域伝送と、1 マイクロ秒の高精度での時刻同期が可能。
- (5) システムの拡張性に富んでいる。
- (6) センサの交換や追加が可能である。

Fig.6 は ARENA のイメージを示したものであり、Fig.7 は将来の ARENA のネットワーク構想を示したものである。

前述したように、地震観測では震源の推定精度を高めるとともに、微小地震の観測能力を高めるために多くの地震計を海底に 2 次的に配置する必要がある。そこで、ARENA ではメッシュ状の海底ケーブルに 50km 間隔で観

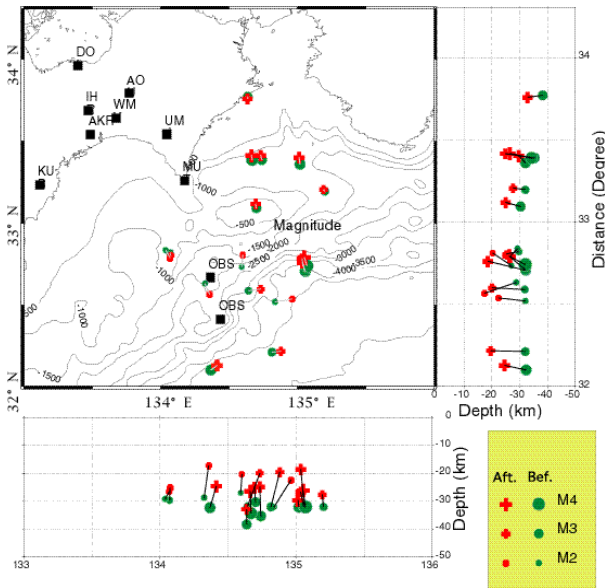


Fig. 5 An example of the estimated earthquake hypocenters

Vertical cross sections along NS and EW directions are respectively shown at the right and the bottom. Cross marks and solid circles represent estimated hypocenters after and before the inclusion of data from the cabled seismometers. The Off Muroto cable system is used for the comparison. It is shown that underwater seismometer constrain the estimated depth of the seismic events.

測ノードを配置するとともに、ケーブル展長技術を利用することにより、20~50km 間隔で地震計を配置することを可能としている。

海中システムに万一障害が発生すると修理には相当の時間と費用を要することになる。そのため、信頼性の確保は海中システムの重要なポイントである。しかし、高信頼を持つ海中システムは高額なものとなる。また、利用できる部品の種類も限定される。そのため、海底ケーブル式科学観測システムを構成する全ての海中機器に、信用海底ケーブルや宇宙衛星のような高度な信頼性を求めるのは現実的でない。そこで ARENA では、ネットワークを構成する基幹海底ケーブルシステムには通信用光海底ケーブルで商用化されている高度な信頼性を持つ機器を利用する一方、各観測ノードを構成する機器には一般的に利用されている機器を利用し、コストを下げる。観測ノードを構成する機器に障害が発生しても、基幹海底ケーブルシステムや他の観測ノードにその影響が及ばないので、システム全体への影響を最小限に留めることができる。また、メッシュ状のネットワーク構造であるため、各観測ノードは複数の陸揚げ局からアクセスし、電源を供給することができる。そのため、万一基幹海底ケーブルシステムや陸揚げ局に障害が発生して陸揚げ局との間の通信と電力給電が途絶えても、他の陸揚げ局との間で電力と信号伝送を行うことにより、観測を継続することができる。ARENA ではこのように、コストを抑えたままでシステム全体の信頼性と障害に対する耐力を高めている。大地震が発生し、システムの一部に障害が発生した場合にも貴重なデータを連続的に取得できることが重要である。

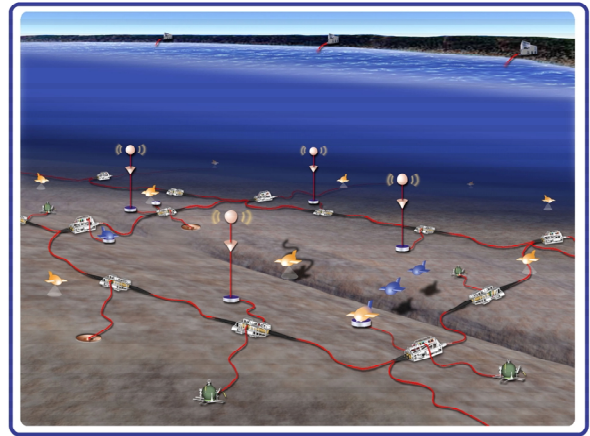


Fig. 6 An artistic image of ARENA

Multiple observatories are two-dimensionally distributed across plate boundaries, and many kinds of sensors are connected to the trunk cables. The cable system has mesh-like topology in order to deploy observatories in wide area, and to increase the reliability and redundancy of the whole system. Some observatories are for borehole monitoring that is used to explore the inner of the earth crust and get seismic data from underground. AUVs (Autonomous Underwater Vehicles) play an important role to enlarge the observation area. They are stationed on platforms to get electric power and to send/receive data. They explore the surroundings periodically, or are dispatched in case of special events.

Fig.8 は観測ノードの構成を表したものである。基幹海底ケーブルに挿入される NBU (Node Branching Unit) 内には電源と光伝送路の分岐装置が内蔵される。観測装置は UHU (Underwater Hub Unit) に水中着脱式コネクタを使って接続される。UHU は Ethernet のハブと同じように、増設することができる。また、展長ケーブルを用いて離れた地点に設置することも可能である。UHU やセンサに障害が発生しても、他の観測ノードには影響を及ぼさない。また、回収して修理することが可能である。

#### 4 電力供給システム

電力供給システムは、メッシュ状のケーブルネットワークを実現するための最大の技術的ポイントである。通信用海底ケーブルシステムでは、定電流給電システムが使われている。これは、海底ケーブルの両端から定電流給電を行うことにより、海底ケーブルに短絡障害が発生した場合にも連続して電力を供給することが可能であること、海底ケーブルに挿入される中継器内の電力回路が単純で海水との間の絶縁が容易であること、海中部分の電気系全体が海水から絶縁されるため、海底ケーブルに発生した障害点の探査が容易であることなどの利点を持つためである。しかしこれまで、定電流給電方式を用いてメッシュ状の海底ケーブルに給電を行った例はない。

そこで、フィージビリティスタディでは従来技術にとらわれずに最適な電力給電方式を見出すために、(1) 定電流給電方式、(2) 定電圧給電方式、(3) 定電流と定電圧を混合したハイブリッド給電方式について比較検討を行った<sup>7)</sup>。なお、前述の NEPTUNE では、給電の分岐が容易であるという利点を持つ定電圧給電システムを採用すること



Fig. 7 Future cable network of ARENA

The proposed cable route of ARENA is located along the plate boundaries. Off Sanriku area, two trunk cables are placed across the plate boundary.

を計画している<sup>(8)</sup>。

このような検討を行う場合、要求条件を明確にしておくことが重要である。そこで、給電ワーキンググループでは接続が想定される観測機器の所要電力とその数量を調査した。調査結果を Table 1 に示す。また給電方式の定量的な検討を行うために、Fig. 9 に示すモデルを想定した。このモデルでは Fig. 7 の三陸沖ネットワークを想定し、全長 3,600km の海底ケーブルに 50km 間隔で 66 の観測ノードを配置する。2本の基幹海底ケーブルを日本海溝を挟んで敷設することにより、プレート境界の両側にセンサを配置する。

定電流給電方式は前述したように様々な利点を持つものの、定電流を2つの定電流に分岐する技術が実現されていないことが最大の問題である。定電圧給電方式は、電力を分岐することは容易であるが、海底ケーブルに短絡障害が発生した場合、障害点を切り離さないと給電線全体の電位が低下し、電力の給電が困難になる問題がある。定電圧給電方式に適応した障害位置の検知方法と障害区間の切り離し方法を実現する必要がある。また、各観測ノードでは数KVの電源から数十Vの直流電源を作り出す必要があるが、水中の耐圧容器に収容可能な小型の電源を作ることは簡単ではない。電源回路内には海水と同電位の回路が導入され

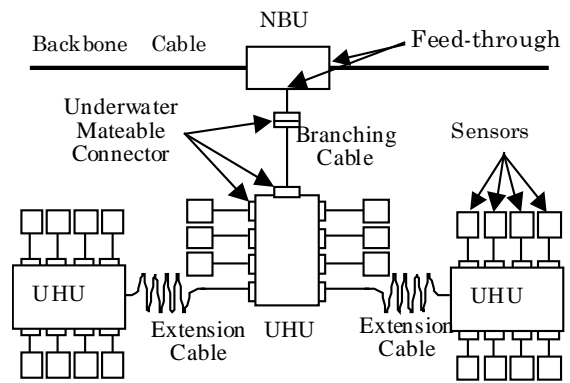


Fig. 8 Basic structure of the observation node

The observation node consists of a NBU (Node Branching Unit), an UHU (Underwater Hub Unit), a branching cable, extension cables and sensors. The UHU acts like an Ethernet hub or Ethernet switch. These devices are connected with underwater mateable connectors.

るため、絶縁にも注意する必要がある。ハイブリッド方式は両方の利点を巧みに取り入れた方式ではあるが、各観測ノードには定電圧用と定電流用の2種類の電源を用意する必要があり、コストの点で問題がある。

3つの方式を詳細に比較検討した結果、給電ワーキンググループでは定電流方式により最適な電源供給システムが実現可能との結論に至った。電力分岐については、新しい電流/電流変換器を提案した。Fig.10 にその基本回路構成を示す。本回路は構成が単純であり、負帰還などの制御を行っていない。構成部品が少ないため、信頼性の確保も容易であり、高い変換効率も期待できる。

提案した電流/電流変換器は Fig.9 に示された PBU (Power Branching Unit) 内の定電流源に用いられる。海底ケーブルセグメントの両端に2台の定電流源を対向して配置することにより、冗長性を高めるとともに、海底ケーブルの障害に対する耐性を高めることができる。また、出力電力を高めるためには、定電流源の内部で複数の電流/電流変換器を直列に接続し、出力電圧を高める必要がある。そのためには、各電流/電流変換器の出力電流が精密に一致する必要がある。現在、海洋科学技術センターでは、これらの問題を解決するために電流/電流変換器のプロトタイプを試作し、その評価を行っている。その結果は別途報告する予定である。

## 5 光信号伝送システム

Fig.11 は提案された光信号伝送装置の全体構成を示すもので、波長多重通信方式と光増幅方式および IP 通信技術を組み合わせたものである。本方式では各観測ノードに少なくとも一つの波長が割り当てられる。伝送プロトコルにはインターネットプロトコルを採用したため、陸上の IP ネットワークとの相性が良く、観測ノード内の伝送システムにもコストが低いインターネット関連の製品が利用できる。各観測ノードにはレベル2のイーサネットスイッチが配置され、波長多重通信方式により直接陸上局に接続される。基幹信号伝送路は光増幅器や波長号分配器など、通信用光海底ケーブルで商用化されている部品のみを利用する

Table1 Estimated number of observatories and power consumption

	Average power (W)	Number of observatorie	Subtotal (W)
Geophysical observatory	15	132	1,980
Downhole observatory	69	2	138
observatory	121	10	1,210
Geodetic observatory	11	43	473
Array sensors	4	2	8
Biological observatory	212	2	424
AUV station	60	10	600
Acoustic tomography	60	4	240
Transmission and poer system	200	66	13,200
Total			18,273

ため、高い信頼性を確保することができる。万一、イーサネットスイッチに障害が発生しても、ほかの観測ノードには影響が及ばない。波長多重数を増やすことにより観測ノードの数も増やすことができるため、システムの拡張も柔軟にできる。

波長の割り当ての一例を Fig.12 に示す。2本の光ファイバを利用することにより、各観測ノードは2カ所の陸揚げ局からアクセスすることができ、ケーブルの障害に対す

る耐力を高めることができる。広帯域を必要とするHDTV(High-Definition Television) 信号伝送には他の専用波長を割り当てることもできる。その他の波長には、1マイクロ秒の高精度の時刻同期信号伝送路、データ伝送システムの監視用伝送路、陸揚げ局同士を直接結ぶバックボーン伝送路、予備伝送路が割り当てられる。

## 6 まとめ

本論文では国内における代表的な海底ケーブル式観測システムを紹介したのち、IEEE OES 日本支部が設けた「地球観測海底ケーブルネットワーク検討委員会」が提案した新しい海底ケーブル式観測システム ARENA の概要を紹介した。

従来の国内における海底ケーブル式観測システムは主に地震観測を目的としたものであった。それに対し、ARENA は多目的の観測を目指している。ARENA には最新の光通信技術と海洋観測技術を取り入れることにより、コストパフォーマンスに優れた海底ケーブル式観測システムを提案している。地震観測では震源の推定精度を高めるために、多数の地震計を海底に面的に配置する必要がある。この要求を満たすため、ARENA ではメッシュ型のケーブル構造を提案した。メッシュ型のケーブル構造を実現するための最大の技術的課題は給電である。ARENA では定電流を分岐するための新たな電流/電流変換器を提案した。

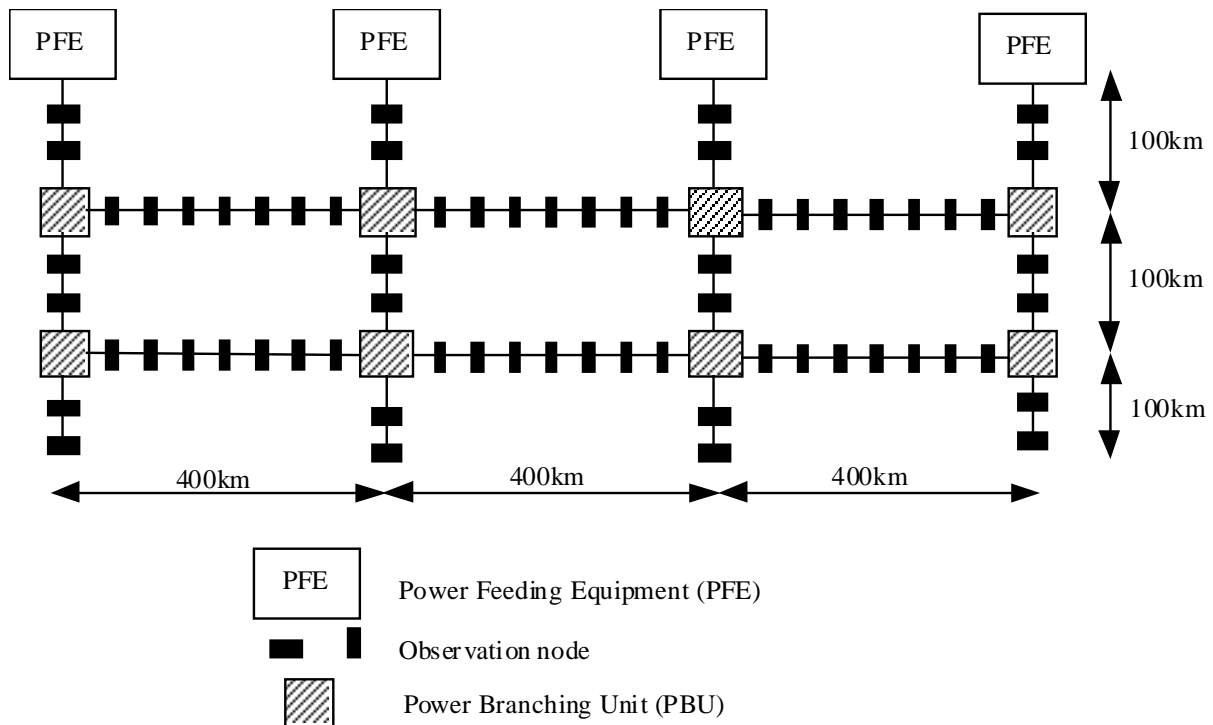


Fig. 9 Engineering model of ARENA

This engineering model was made to analyze the power feeding system. In this model, the network has four landing point and mesh-like topology corresponding to the off Sanriku area in Figure 7 where two backbone cables are placed on both side of the plate boundary. 66 observation nodes are placed with 50km intervals. PBUs (Power Branching Unit) receive electric power from PFEs (Power Feeding Equipment) on the landing stations, and provide electric power to the laterally stretching cables.

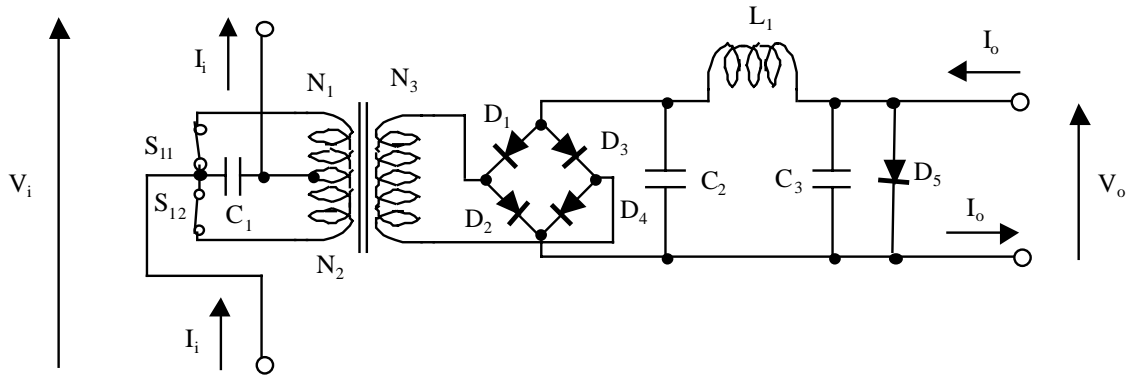


Fig. 10 Basic electric circuit of the current to current converter

At the input stage the input constant current  $I_i$  is converted to AC current with switching devices such as MOS-FET, and fed into the transformer. The output of the transformer is rectified and filtered to make output DC current  $I_o$ .

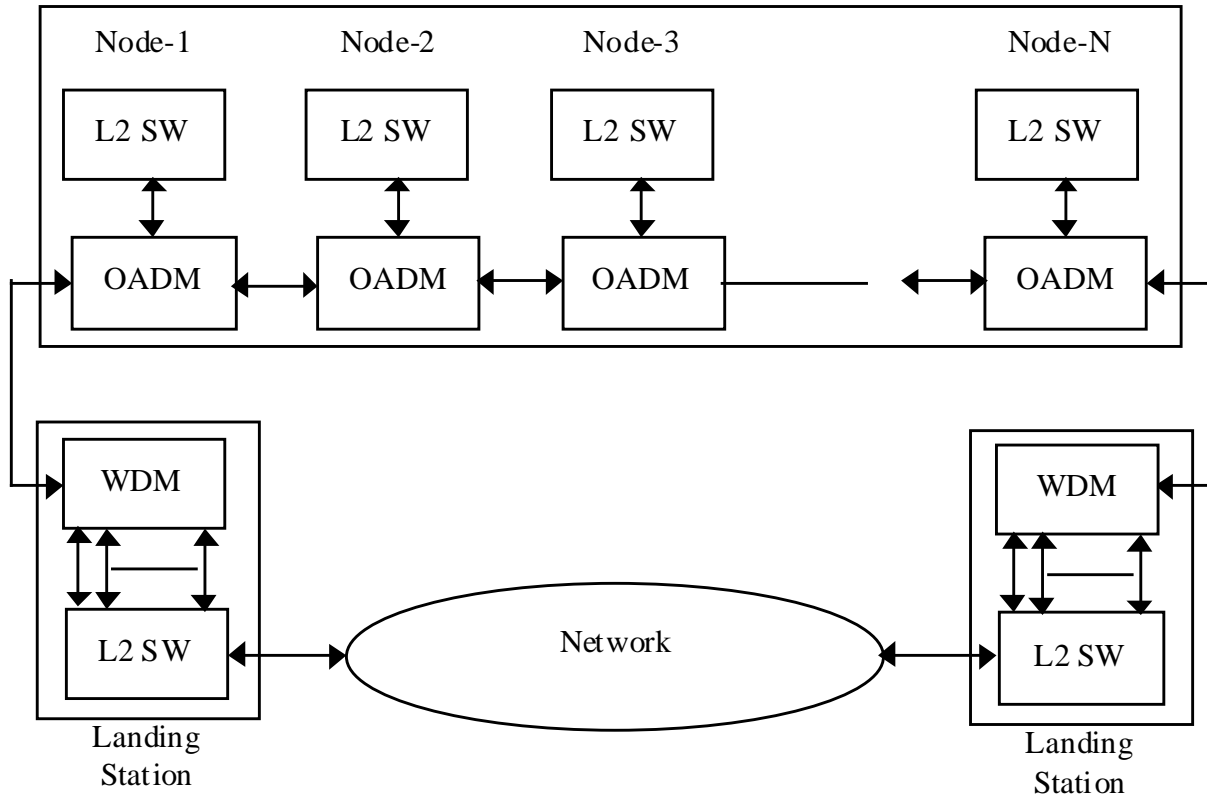


Fig. 11 Ring network with OADM (Optical Add/Drop Multiplexer)

海中機器の障害修理には多額の費用と時間が必要となる。しかし、全ての海中機器に対して高度な信頼性を持たせることは現実的でない。そこで ARTENA では高度な信頼性が実用化されている通信用海底ケーブルの技術を基幹海底ケーブルシステムに利用する一方、観測機器等は修理と交換が可能のように、水中着脱式コネクタで接続する。また、観測機器等に万一障害が発生しても、他の観測ノードには影響を及ぼさない構造とすることで、全体システム

の信頼性を確保する。さらに、メッシュ状のネットワーク構造とすることで、海底ケーブル障害に対する耐力を高めている。

信号伝送システムについては、最新の波長多重技術や光増幅技術、IPプロトコルを取り入れることにより、柔軟な構造を持つ大容量の光信号伝送システムを提案した。

今後、電流/電圧変換器などの要素技術の研究を進めていく予定である。

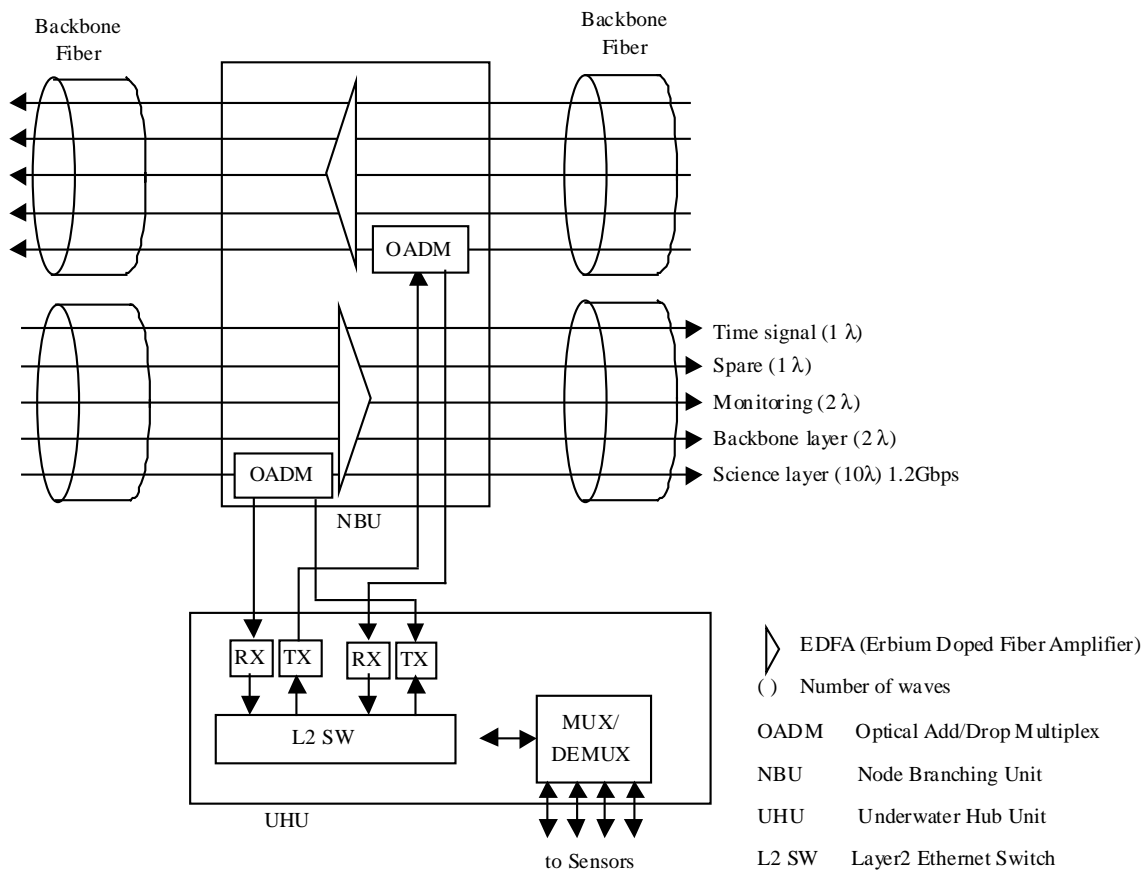


Fig. 12 Wavelength assignment to each observation node

Other OADMs inserted in the monitoring and time signal line are not depicted in the Figure.

### References

- (1) K. Kawaguchi, H. Momma, R. Iwase, K. Hirata, Y. Kaiho and H. Mikada, "Scientific Submarine Cable Systems in JAMSTEC", Proc. of SubOptic 2001, pp.184-187, 2001
- (2) A. D. Chave, H. Kirkham, A. R. Maffei, G. Massion, H. Frazier, A. M. Bradley, S. J. Gaudet, W. Wilcock, D. H. Rodgers, P. M. Beauchamp, J. C. Madden and B. M. Howe, "The NEPTUNE Scientific Submarine Cable Systems", Proc. of SubOptic 2001, pp.188-191, 2001
- (3) H. Momma, R. Iwase, K. Kawaguchi, Y. Shirasaki, and J. Kasahara, "The VENUS Project - Instrumentation and Underwater Work System-", Proc. of Underwater Technology • 8, pp437-441, 1998
- (4) A. D. Chave, R. Butler, R. A. Pettitt, Jr., D. R. Yoerger, F. B. Wooding, A. D. Bowen, L. E. Freitag, J. Catipovic, F. K. Duennebier, D. Harris, A. H. Dodeman and S. T. Brewer, "H2O : The Hawaii-2 Observatory", Proc. of International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables, pp114-118, 1997
- (5) K. Hirata, M. Aoyagi, H. Mikada, K. Kawaguchi, Y. Kaiho, R. Iwase, S. Morita, I. Fujisawa, H. Sugioka, K. Mitsuzawa, K. Suyehiro, H. Kinoshita and N. Fujiwara, "Real-time Geophysical Measurements on the Deep Seafloor Using Submarine Cable in the Southern Kurilew Subduction Zone", IEEE J. of Oceanic Eng., Vol 27, pp.170-181, 2002
- (6) K. Kawaguchi, K. Hirata, T. Nishida, S. Obana and H. Mikada, "A New Approach for Mobile and Expandable Real-Time Deep Seafloor Observation - Adaptable Observation System", IEEE J. of Oceanic Eng., Vol 27, pp.182-192, 2002
- (7) K. Asakawa, et. al., "Feasibility Study on Real-Time Seafloor Glove Monitoring Cable-Network - Power Feeding System -", Underwater Technology 2000, pp.116-122, 2002
- (8) H. Kirkham, B. M. Howe, V. Vorperian and P. Bowerman, "The design of the NEPTUNE Power System", Proc. of OCEANS 2001, 2001