

海底同軸ケーブルを再利用した 海底長期観測点構築のための海底作業

川口 勝義*1 門馬 大和*2 岩瀬 良一*1 白崎 勇一*3

運用を停止した海底同軸ケーブル周辺に複数の観測装置からなる観測点を展開するためには敷設船による在来工法のみでは実現困難である。海洋科学技術センターでは、海底同軸ケーブルを利用した最初の多目的観測点となるVENUS計画沖縄観測点を構築するために、既存の敷設船工法に加え、潜水船やROVなどを用いた海底作業を導入した観測点構築手法を提案した。さらに、この手法を実現するために、海底作業システムの開発を行った。観測点構築作業は、潜水調査船「しんかい6500」と、母船「よこすか」により、構築予定地点である沖縄本島南東海域で行った。この行動では、作業機器の海底への展開と海底ケーブルの切断を含む、海底作業が行われた。この結果をもとに、観測点構築手法の検証が行われ、提案された手法を用いて観測点の構築が可能ことが確認された。さらに、システムの一部は今回の作業結果を受けて改良が施される。

キーワード：VENUS計画、海底作業システム、海底作業、「しんかい6500」

Underwater Operation for Complex Seafloor Observatory Using Demission Submarine Cable.

Katsuyoshi KAWAGUCHI*4 Hiroyasu MOMMA*5
Ryoichi IWASE*4 Yuichi SHIRASAKI*6

Development of real time seafloor observatory using demission submarine cables have been attractive for scientific survey and natural hazards (such as earthquakes and tsunamis). The VENUS observatory is a foremost complex observatory which is installed to demission coaxial submarine cable for overseas telecommunication. To measure essential scientific data, it is necessary to install the sensors to the exact location on deep seafloor. Observatory installation for the VENUS project requires precise cable position control but it is impossible to conduct by using conventional cable recovery and installation method by cable laying ship. To solve the problem, JAMSTEC developed a new technology which has a performance to realize the precise cable position control under the back-up of underwater vehicles. The Underwater work system which is a particular equipment for the operation was designed to fit for submersible payload and developed in the fiscal year of 1996. The first operation for develop the observatory was conducted by "Shinkai 6500" at 2,200m depth seafloor in March 1998. A part of the performance

*1 海洋科学技術センター深海研究部

*2 海洋科学技術センター海洋技術研究部

*3 国際海洋エンジニアリング (株)

*4 Japan Marine Science and Technology Center, Deep Sea Research Department

*5 Japan Marine Science and Technology Center, Marine Technology Department

*6 Kokusai Marine Engineering Co.

of the new method was confirmed by this operation. The observatory will be develop and operate in the fiscal year of 1999.

Keywords : VENUS Project, Underwater Work System, Underwater Operation, "SHINKAI 6500"

1. はじめに

海洋におけるリアルタイムでの科学計測は地球科学的諸現象を解明する上で非常に重要である。特に海底ケーブルを用いた深海底での計測は、地震や津波などの自然災害の観測にも役立つため大きな期待が寄せられている。運用を停止した国際通信海底同軸ケーブルを利用した、リアルタイムでの多目的観測は、地震等をはじめとする地球物理観測のための海底長期観測点の需要及び、敷設されている海底同軸ケーブルの再利用の観点から今後の海洋でのリアルタイム観測の大きな流れの一つである。沖縄グアム間に敷設されている国際通信ケーブル TPC-2 は 1994 年 3 月に運用を停止し、KDD より東京大学地震研究所に科学的再利用を目的に移管された。科学技術庁振興調整費による「海底ケーブルを用いた地震等多目的地球環境モニタネットワークの開発に関する研究」(VENUS 計画) (Momma et al. 1997, Shirasaki et al. 1997, Iwase et al. 1997, Kasahara et al. 1998) では、9 つの研究機関 (海洋科学技術センター、海上保安庁水路部、気象庁、KDD 研究所、工業技術院地質調査所、工業技術院電子総合研究所、東京大学地震研究所、郵政省通信総合研究所、琉球大学理学部) による、8 つのシステムからなる多目的観測装置が 1999 年度までに、このケーブルを用いて稼働を予定している。

2. 観測点構築のシナリオ

複数のシステムからなる多目的観測を可能にするためには、海底ケーブルに観測装置を接続するための分岐装置を設け、各システムは海底においてこの分岐装置に接続する必要がある。一般的な海底ケーブルの保守作業においては、敷設船と、探線アンカーを用いて、ケーブルの切断、切断端の水面への回収、船上での延長ケーブルの接続、機器の割入れと、切断された両端の接続、及び海底への再敷設を行うが、この方式を用いると海底ケーブルに複数の観測装置を接続することはできない。また再敷設のためには、水深の 2 倍以上の再設置用延長ケーブルが必要となるので、設置の際の位置精度の保証ができず、目標とする観測点に観測機器を設置することは不可能である。分岐装置を目標とする点に設置するためには、敷設船を用いたケーブルの揚収、再敷設の他に、海

底の任意の位置でのケーブルの切断と、再敷設後のケーブル及び観測機器の接続を海底において行う必要がある。海底でのケーブルの接続が可能になれば、切断した両端を船上で再接続する必要がなくなり、再設置用延長ケーブルが必要なくなる。さらに海底ケーブルを任意 (観測予定点) の位置で切断できれば、引揚げ時に設置予定地点までに必要となるケーブル長が明らかになり、位置精度の高い設置が期待できる。VENUS 計画では、センター所属の潜水船や ROV 等の海中機器に搭載し、最大水深 5,000m までの海域に於いて観測点構築作業を可能にするための海底作業システムと、同軸ケーブルの水中着脱を可能にする、コネクタを開発し、敷設船との共同作業により多目的観測点を構築する (門馬ほか, 1996, 1997) (図 1)。

3. 同軸コネクタ

幹線である同軸ケーブルの海中での着脱を可能にする同軸コネクタを開発した (写真 1)。同軸コネクタはケーブルシステムの信頼性を損なわないだけの信頼性が要求される (表 1)。本コネクタは潜水船等海中機器のマニピュレーターで操作可能な外部構造を持つ。水中着脱式の同軸コネクタは世界初の試みであり、現在の海底同軸ケーブル再利用の流れから見ても、今後、重要性を増すものと考えられる。

4. 海底作業システム

海底作業システムは、動力源となる電動の油圧ポンプユニット、ケーブルを切断するためのケーブルカッター及びケーブル引き揚げに使用するケーブルグリップからなり、潜水船「しんかい 6500」のペイロードとして搭載可能な性能を持つ (川口ほか, 1997, Kawaguchi et al. 1998) (図 2)。さらに、制御用のインターフェイスを変更することにより ROV「かいこう」にも、装備することが可能である。油圧ポンプユニット (表 2) は海中機器より給電され、均圧構造としたユニットから 2 系統の油圧を発生させる。制御系は「しんかい 6500」では、船内の制御箱からの電氣的制御、「かいこう」を使用する場合は RS422 シリアルインターフェイスを用いる。ケーブルカッター (表 3) は VENUS 計画の対象となる無外

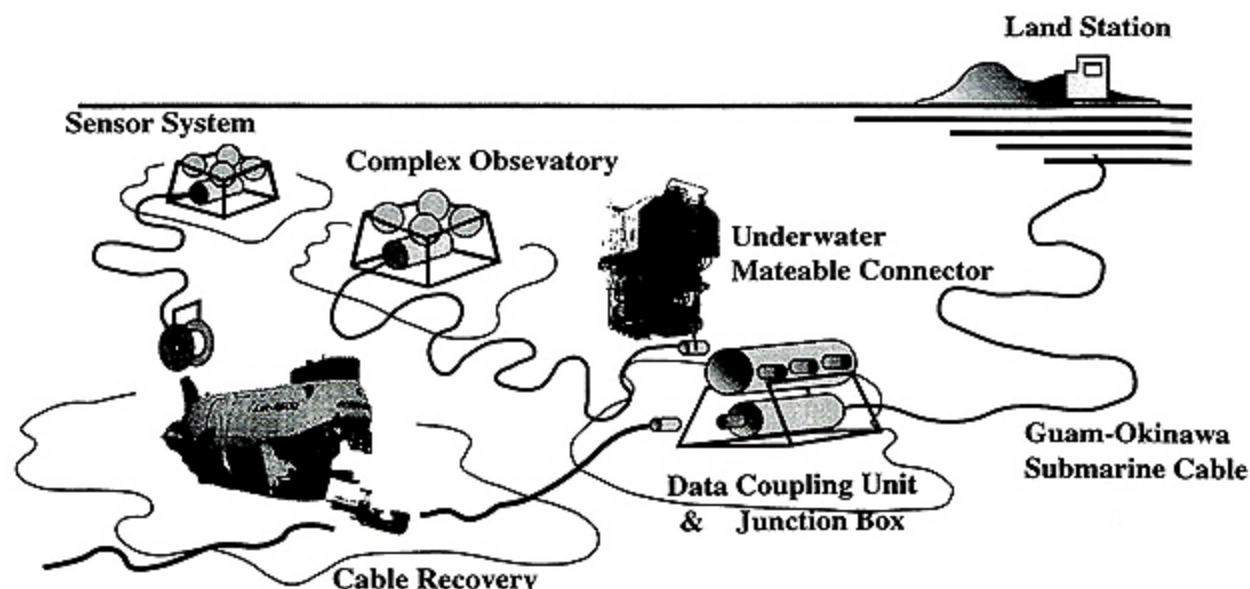


図1 海底同軸ケーブルを再利用した海底長期観測点の構築作業

Fig. 1 A image of Underwater Operation to Construct Scientific Sensor Network Using Demission Coaxial Submarine Cable

表1 水中着脱式同軸コネクタ性能表

Table 1 Specification of Underwater Mateable Coaxial Connector.

Pressure Rating	-0.68 to 680 atm
Current Rating	20 amps/circuit
Voltage Rating	6000 VDC
Electrical Resistance	1 gigohms between circuits and seawater at 1000 VDC
Contact Resistance	<0.01 ohms / circuit
Mating Force	< 15kg
Demating Force	45kg +10/-5 kg
Temperature Rating	-2 to +50 °C
Mating Cycle Lifetime	100 matecycles maximum

装同軸ケーブル（SFケーブル）専用に開発し、油圧ポンプユニットを動力源とし、開閉の動作を行い、ケーブルを切断することができる。ケーブルグリッパ（表4）はケーブルを引き揚げの際、ケーブルの引き留め金具として使用するもので、ケーブルカッターと同様に開閉の動作を行うことができ、さらに油圧によるポンプユニットからの離脱機構を有する。これらの装置は作業の安全性を考え、非常の場合は水中着脱式コネクタを用いて海中機器から分離、投棄できるよう設計されている。

表2 油圧ポンプユニット性能表

Table 2 Specifications of Hydraulic Pump Unit.

Design for High Pressure	Pressure Compensate
Weight in Air	>50 kg
Weight in Water	>30 kg
Flux	>0.75 l/min
Pressure	15 MPa
Power	AC 100V / 5A Max.

5. 観測点構築のための海底作業

VENUS計画観測点設置予定地点は、「よこすか」による、マルチナロービームを用いた地形調査と、深海曳航カメラを用いたケーブルルート調査（YK98-02）の結果より下記の点に決定した。

25°43.802'N, 128°02.819'E

この点には音響マーカーとして複数のトランスポンダを設置した。「しんかい6500」による観測点構築作業は、「よこすか」調査航海YK98-04南西諸島海溝潜航調査として、平成10年3月11日から3月21日の期間行われた。

5.1 ケーブル切断

海底ケーブルの観測点近傍での切断作業は、平成10年3月17日、「しんかい6500」の第411潜航において行

表3 ケーブルカッター性能表
Table 3 Specifications of Cable Cutter.

Target Cable	SF Cable (44.45 mm)
Design for High Pressure	Pressure Compensate
Weight in Air	30 kg
Weight in Water	23.6 kg
Length	680 mm
Width	160 mm
Height	350 mm
Hydraulic Pressure	15 MPa
Maximum Sharing Pressure	75 kN

表4 ケーブルグリップ性能表
Table 4 Specifications of Cable Gripper.

Target Cable	SF Cable (44.45 mm)
Design for High Pressure	Pressure Compensate
Weight in Air	35 kg
Weight in Water	25 kg
Length	380 mm
Width	250 mm
Height	660 mm
Hydraulic Pressure	15 MPa

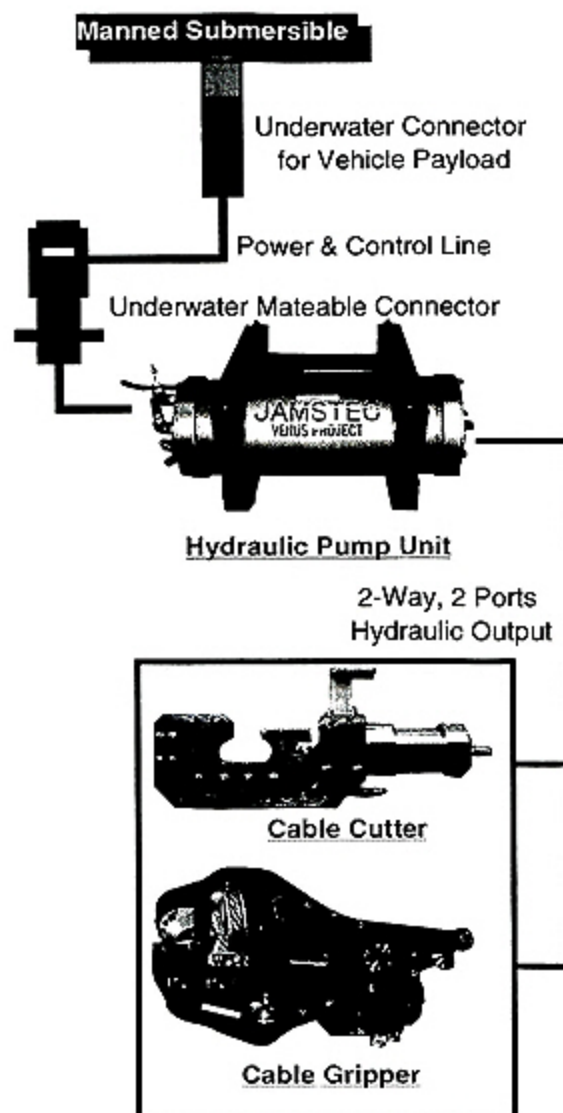


図2 海底作業システム構成図
Fig. 2 Diagram for Underwater Work System

われた、潜水船は深海曳航カメラを用いて事前に設置した音響マーカを目標にケーブルに接近、着底後13分でマーカとその近傍の海底ケーブルを目視確認した(写真2)。その後、ケーブル近傍に着底、26分かけてケーブルカッターを海底ケーブルにセットし切断を行った(写真3, 4)。切断に要した時間は約1分である。

5.2 揚収用ロープの展張

揚収用ロープは、海底ケーブルの引揚げ時に、引揚用ロープの終端と引き留め金具を海底で接続するために使用する300mの長さを持ったロープである。このロープは引揚用ロープの終端の設置用ケージに収納され、LBL(ロングベースライン)音響測位支援のもと、事前に敷

設船により海底ケーブル近傍に設置される。海底作業として「しんかい6500」は、設置用ケージから引き留め金具取付位置まで、ロープを展開する必要がある。この展張作業は平成10年3月18日、「しんかい6500」の第412潜航に於いて行われた。海上より設置した設置用ケージにはターゲットとして音響マーカが取り付けられてあり、これを目標に第411潜航の時と同様に着底後4分でこのケージを目視確認した(写真5)。ケージの設置されていた地点は引き留め金具の取付予定地点(切断されたケーブル端より50mの位置)より53m離れており(音響マーカ距離データ)、「しんかい6500」はケージよりロープを取り出すのに20分、ロープを展開するのに16分を要した。

5.3 ケーブルグリッパの接続

切断した海底ケーブルへの揚収用引き留め金具（ケーブルグリッパ）の接続は、平成10年3月18日、「しんかい6500」の第412潜航に於いて揚収用ロープの展張のあと行われた。潜水船は揚収用ロープを展張しつつ目標に接近、ケーブル直近に着底し、着底後41分かけて、海底ケーブルへの金具の取付と、動力源である油圧ポンプユニットからの切離し及び金具への揚収用ロープの接続を行った（写真6）。

6. まとめ

VENUS計画で予定されている海中機器を使用した観測点構築手法は世界的にも類を見ない大規模な大深度での海底作業である。このような作業手法が確立されれば、今後、多岐にわたる変化に富んだ観測や計測を行うことが可能になる。今回行われた、海底同軸ケーブルへの作業の一部は、天候やケーブルグリッパの不具合から当初予定していた、全行程を終了することができなかったが、第411及び412で計画され実施された海底ケーブルへの作業は、LBL音響測位を用いた支援作業、音響マーカーを用いた目標確認、ロープの展張、海底作業システムを使用した作業など、当初計画したシナリオを効率的に行うことができた。この成果は、今後増加が予想される海中機器を用いた水中での作業に大きな可能性を開いたと考える。さらに、今回開発した海底作業システムは海中機器のペイロード用装置として、十分な性能を持つことが確認できた。このシステムを応用することにより海中機器で利用できる機器の幅が広がり、多種多様な観測、作業を行うことができる道が開けたといえる。また、今回不具合が発生したケーブルグリッパなどの装置に関しては、今回の作業結果をもとに対策を講じ、VENUS計画の次行動に反映させる。

謝 辞

本研究は、科学技術庁の平成9年度、科学技術振興調整費による「海底ケーブルを用いた地震等多目的地球環境モニタネットワークの開発に関する研究」（VENUS計画）の一環として行った。

「しんかい6500」による、海底作業を行うにあたり、

多大なご協力をいただいた、井田司令をはじめとする「しんかい6500」運行チーム、田中船長をはじめとする「よこすか」乗組員の方々に、感謝の意を表します。

参考文献

- Iwase, R., Momma, H., Kawaguchi, K., (1997): The real-time and long term deep-sea floor observation using the multisensor. Proceedings of International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables, 160-162.
- Kasahara, J., Momma, H., Shirasaki, Y., (1998): VENUS Project Overview: Multi-Disciplinary Geophysical Measurements at Ocean Bottom Using Demission Submarine Cables. Proceedings of The 1998 International Symposium on Underwater Technology, 389-394.
- 川口勝義, 門馬大和, 岩瀬良一, 白崎勇一 (1997): VENUS計画における海底作業システムの開発, JAMSTEC 深海研究, 第13号, 769-775
- Kawaguchi, K., Momma, H., Iwase, R., (1998): VENUS Project-Submarine Cable Recovery System. Proceedings of The 1998 International Symposium on Underwater Technology, 448-452.
- Shirasaki, Y., Kojima, J., Kato, Y., (1997): The VENUS Project-Data Transmission and Distribution System. Proceedings of International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables, 109-113.
- Momma, H., Shirasaki, Y., Kasahara, J., (1997): The VENUS Project-Instrumentation and Underwater Work System. Proceedings of International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables, 103-108.
- 門馬大和, 白崎勇一 (1996): VENUS計画におけるケーブル海底接続技術と海底作業. 月刊海洋, Vol. 28, No. 4, 1996, 224-230
- 門馬大和, 川口勝義, 岩瀬良一, 田代省三 (1997): VENUS計画における機器の接続と設置技術. 月刊海洋, Vol. 19, No. 12, 1997, 774-782

(原稿受理: 1998年7月21日)

(注) 写真は次ページ以降に掲載

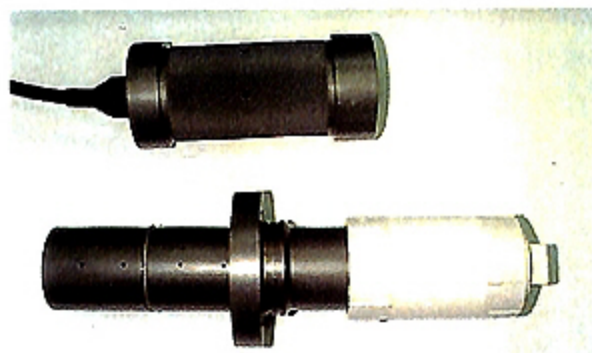


写真1 水中着脱式同軸コネクタ
Photo 1 Coaxial Underwater Mateable Connector.



写真4 切断された海底ケーブル
Photo 4 The VENUS Cable Amputated by Underwater Work System.



写真2 海底ケーブル直近に設置された音響マーカー
Photo 2 A Acoustic Target installed beside the VENUS Submarine cable.



写真5 海底に設置された揚収用ロープと設置用ケージ
Photo 5 Lift Rope Cage on Seafloor.

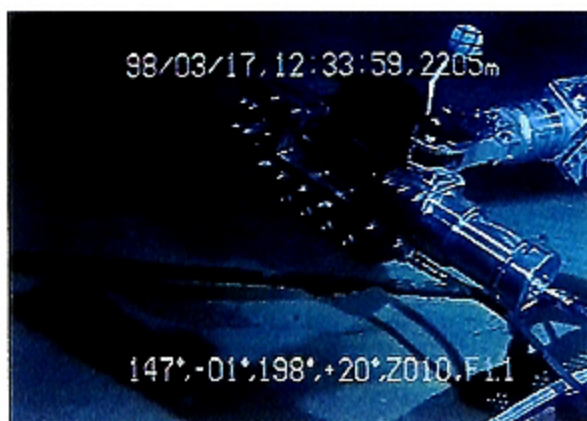


写真3 ケーブル切断作業
Photo 3 Cable Amputation.



写真6 ケーブルグリップの接続作業
Photo 6 Cable Gripping Operation