

VENUS 計画における海底作業システムの開発

川口 勝義*¹ 門馬 大和*¹ 岩瀬 良一*¹ 白崎 勇一*²

VENUS (Versatile Ecomonitoring Network by Undersea Cable System) 計画では、運用を停止した通信用海底同軸ケーブルを用い、地震をはじめとする地球環境を総合的に観測するセンサーネットワークを海底に展開する。これには深海底に敷設されているケーブルを「しんかい 6500」を用い切断、回収する作業が必要となる。有人潜水船でのこのような海底作業を行った例は過去に無く、また「しんかい 6500」もこの作業を行う機器を装備していないため、本計画を遂行するにあたり、潜水船の安全と、作業のシナリオを十分に考慮した海底作業システムの開発を行った。海底作業システムは、ケーブルカッター、ケーブルグリップ及び動力源である油圧ポンプユニットから構成され、「しんかい 6500」のペイロードとして搭載できる形状、重量及び消費電力とした。開発された海底作業システムは高圧実験水槽を用いた加圧下連続動作試験、ケーブル切断試験、マニピュレーターを用いたハンドリング試験を行い、性能、安全性ともに仕様を十分に満足することを確認した。

キーワード：VENUS 計画，ケーブルカッター，ケーブルグリップ，油圧ポンプユニット

An Underwater Works System for VENUS Project

Katsuyoshi KAWAGUCHI*³ Hiroyasu MOMMA*³ Ryoichi IWASE*³
Yuichi SHIRASAKI*⁴

Ocean bottom observatories utilizing retired submarine cables have been very attractive for oceanographic measurement and scientific survey. Schemes of deployment of observatories require cable recovery system which has an ability to cut and draw the submarine cable on the sea floor. In the Japan Marine Science and Technology Center (JAMSTEC), a cable recovery system which is operated by manned submersible, is designed and manufactured as a part of the operation system for VENUS (Versatile Ecomonitoring Network by Undersea-cable System) project.

Key words : VENUS Project, Cable Cutter, Cable Gripper, Hydraulic Pump Unit

* 1 海洋科学技術センター深海研究部

* 2 国際海洋エンジニアリング(株)

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

* 4 Kokusai Marine Engineering Co.

1. はじめに

1.1 VENUS 計画

地球科学的諸現象を総合的に解釈する必要が求められている現在、地球表面の7割を占める海洋及び海洋底から得られる情報は、現象を正確に把握する上で重要である。特に地球規模のタイムスケールでの変化をとらえる観測網の構築手法に関しては、いまだ明確な指針がない。近年、大陸間の通信に用いられてきた海底同軸ケーブル網は光ファイバのケーブル網に置き換わり、同軸ケーブルの運用は停止されつつある。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)(Momma et al. 1997, Shirasaki et al. 1997, Iwase et al. 1997)は、1994年に運用を停止した沖縄-グアム間の同軸ケーブル TPC-2 を利用し、海底に長期観測点を設置する技術を確認することを目的としている。TPC-2 のケーブルルート上には、海溝(南西諸島海溝)、ミッドプレート(沖の鳥島沖)、背弧海盆(マリアナトラフ)など、プレート上で発生すると考えられる多くの地学的現象が観測できる条件が整っていると考えられるため、このルートを用いて設置技術を確認し観測ネットワークを構築することにより地球科学に関する研究の推進に大きく寄与することができる。

1.2 海底作業システム

観測ネットワークの構築に先立ち、既存の海底ケーブルに観測装置を接続するための分岐点を設ける技術及び観測機器を海底において接続、交換する技術の開発が必要となる。一般的な海底ケーブルの保守方法においては、海底ケーブルに中継器を割り入れるような場合、敷設船から錨(グラブネルアンカー)のついた回収装置を降ろし、これによりケーブルを切断し吊り上げる。この手法を取る場合、切断されたケーブルの両端は破損し、再敷設するためには水深の2倍の長さのケーブルを新たに割り入れる必要がある。TPC-2 はすでに運用を停止しているため、割り入れ用の予備ケーブルは少なく、ケーブルルート上に観測点を設けるのに十分な量を確保することは難しい。さらに今後も獲得が期待される海底同軸ケーブルも同様の条件であるので、揚収するケーブルの損傷を最小限に食い止めるために、海底においてケーブルの切断及び回収の作業を可能にする海底作業システムを開発する必要が急務となる。観測目標点となる南西諸島海溝域(門馬ほか, 1996)は4,200 m の水深があり、現在この水深で確実に作業をこなせる海中機器は「しんかい6500」しかない。VENUS 計画においてはこ

の海底作業に「しんかい6500」を用いることを提案し(門馬ほか, 1996, Kawaguchi et al. 1997), 有人潜水船のペイロードとして搭載使用可能なケーブルカッター(切断装置)、ケーブルグリップ(揚収用把持金物)及びその駆動装置である油圧ポンプユニットからなる海底作業システムを開発した。

2. シナリオ

開発した海底作業システムは「しんかい6500」を用い、次に示すシナリオを行うのに十分な性能を持つように設計されている。海底作業は大きく5つのステージに分けることができる(図1)。それらは、a)深海底でのケーブルカッターを用いた海底同軸ケーブル切断作業、b)切断したケーブル端へのグリップの接続作業、c)ケーブル端の敷設船上への揚収及び端末処理、d)海底への再敷設、及びe)再敷設したケーブル両端の海底でのつなぎ込みである。c)~e)のシナリオは既存の技術もしくは潜水船での一般的なオペレーションでカバーすることができるが、a)及びb)の作業は特殊なため、海底作業システムを新たに開発する必要があった。

3. 海底作業システムの開発

海底作業システムは油圧ポンプユニット、ケーブルカッター、及びケーブルグリップからなり、「しんかい6500」のペイロードとして海底に持ち込める性能をもたなくてはならない。図2に作業システムの構成図、表1に「しんかい6500」ペイロード用電源及びインターフェースの仕様を示す。

3.1 油圧ポンプユニット

油圧ポンプユニット(写真1)はケーブルカッター及びケーブルグリップの作動に必要な油圧を発生するための装置である。本ユニットは動力源として「しんかい6500」から給電を受け、均圧構造としたユニットから油圧を発生させる構造を持つ。さらに内部にバルブユニットを内蔵し、潜水船内に搭載する制御ユニットを操作することにより、2系統2方向のポートへの分配が可能となる。性能一覧を示す(表2)。

3.2 ケーブルカッター

ケーブルカッター(写真2)は油圧ポンプユニットからの油圧を動力源に動作し、目標となる海底同軸ケーブルを切断する性能を有する。ケーブルの諸元を表3に示す。試作段階の試験結果より、海底作業システムにおいて提案したせん断方式のケーブルカッターを用いる場合、静的に80 kgf 以上のせん断応力をかければケーブ

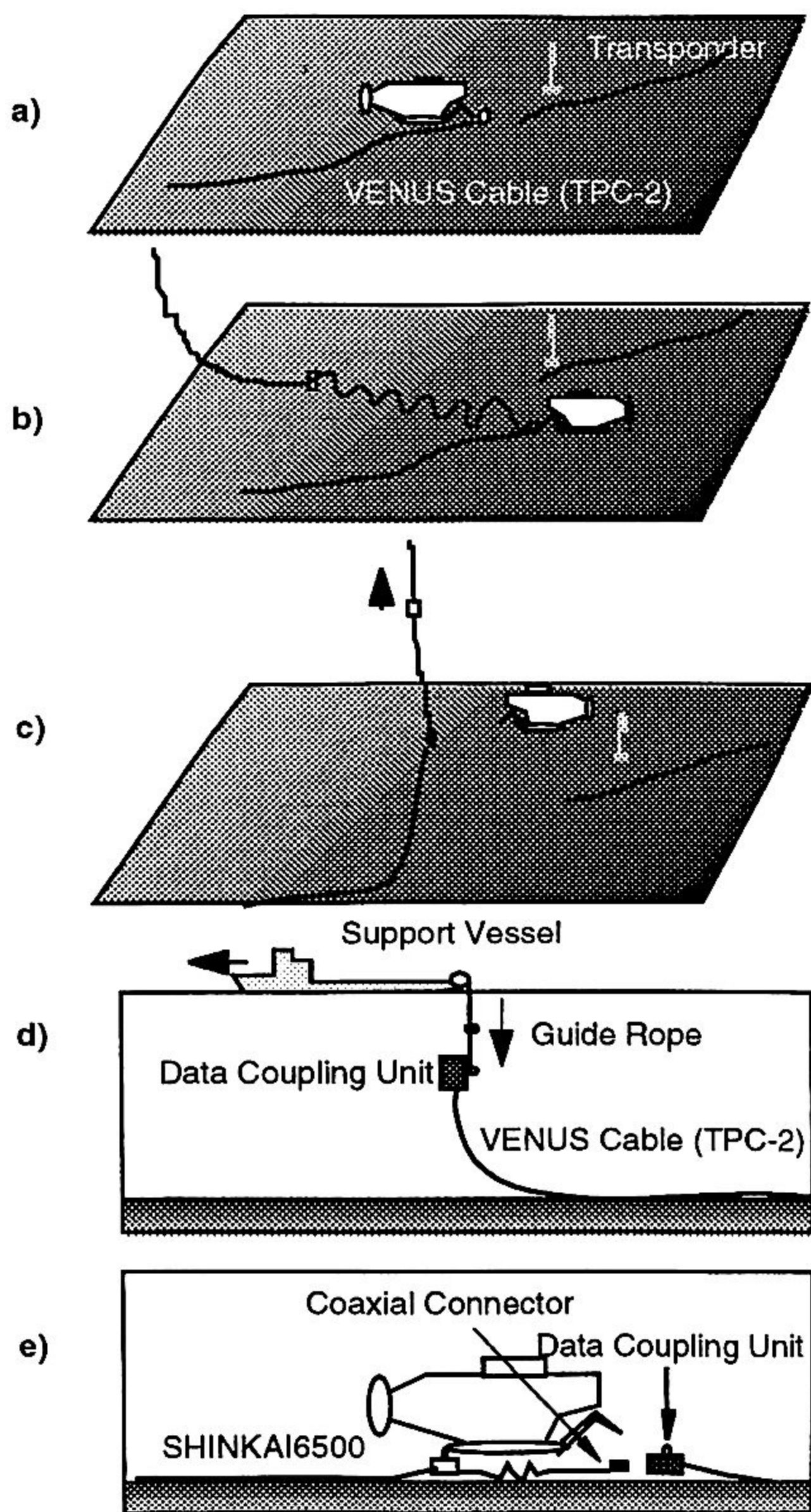


図 1 海底作業システム作業シナリオ

a) 予定地点においてケーブルカッターを用いてケーブルを切断, b) 切断したケーブル端にケーブルグリップを装着, c) ケーブル端を作業船に揚収, d) 作業船上においてケーブル端を処理し海底に再設置, さらにケーブルの別端も同様に揚収, 処理, 再敷設, e) 再敷設したケーブル両端を水中で接続

Fig. 1 Mission Scenario of VENUS Work System

a) Search the VENUS cable to aim at pre-installed transponder and conduct cutting operation. b) Set cable gripper to both ends of the cable. c) Draw up and recover the cable to put data coupling unit. d) Deploy the cable with data coupling unit. e) Connect the sensor and equipment.

ルは切断されることが確認されている。従って油圧ポンプユニットから供給される 150 kgf の油圧で動作する本カッターは、切断作業に際し十分な性能を持っていると

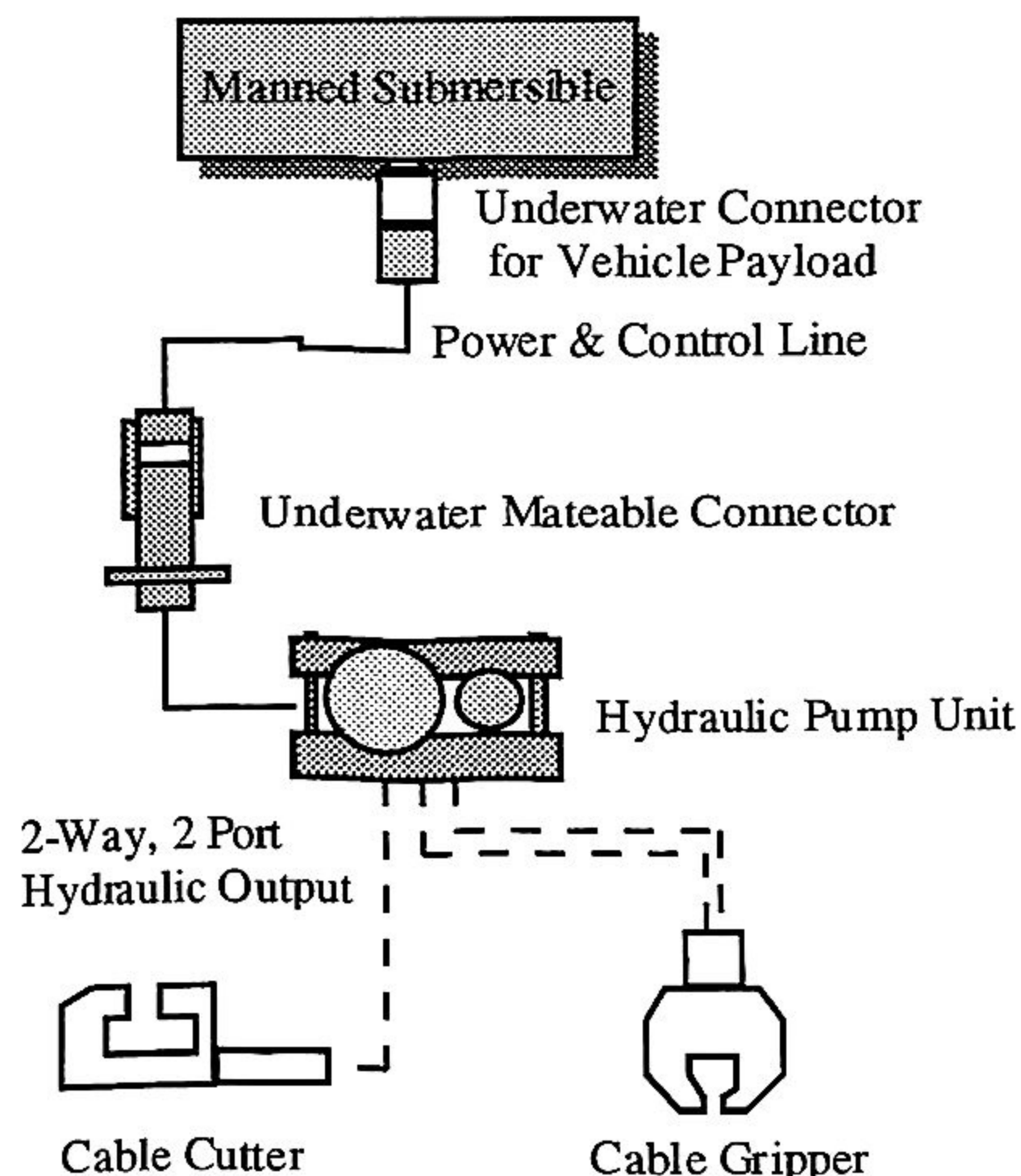


図 2 海底作業システム構成図

Fig. 2 System Arrangement for Venus Work System.

言える (表 4)。また、ケーブルカッターの使用にあたり、潜水船の行動は一時的にケーブルに束縛されるため、潜水船の安全を確保するために次に示す対策を講じた。

a) カッターの動作は開閉の 2 方向制御とし、切断に失敗してもケーブルを離せる構造とする。

b) 油圧ポンプユニットは潜水船と水中着脱式コネクタ一本で接続されており、これを外すことにより、作業システム全体を海中に切り離すことができる。

以上の対策より、ケーブル切断作業中不測の事態が起こっても潜水船の安全は保障される。

3.3 ケーブルグリップ

ケーブルグリップ (写真 3) は海底ケーブルを海面に揚収する際、必要となるケーブルの握り手のことで、水深分の海底ケーブルの水中重量を十分な余裕を持って把持できる性能が必要となる。把持力に関しては先に示した海底ケーブルの性能より安全率を考え約 5ton を把持できる能力をもつ (表 4)。この装置は駆動機構と最終的に動力源を切り離す切り離し機構からなる。本機器を海底ケーブルに装着することはカッターと同様に意図的とはいえず、潜水船の行動がケーブルに束縛されることを意味する。この状態を安全に回避するために、グリップの操作においては以下の安全対策を施してある。

表 1 「しんかい 6500」ペイロード用インターフェース一覧
Table 1 Specifications of Interfaces and Payload of 'Shinkai 6500'.

Electrical Interfaces	1 x RMK-8 (Brantner)
	4 x RMG-4
	3 x RMG-3
	2 x RMG-2
Electric Services	AC 100V/10A Single Phase 60Hz with 5A Fuse
	DC12V/5A
	DC24V/5A
Max. Payload Weight in Water	80 kg (Actuator Controllable)
	100 kg (Payload)
Max. Payload Weight in Air	80 kg (Actuator Controllable)
	150 kg (Payload)

表 2 油圧ポンプユニット性能表
Table 2 Specifications of Hydraulic Unit.

Design for High Pressure	Pressure Compensate
Weight in Air	>50 kg
Weight in Water	>30 kg
Flux	>0.75 l/min
Pressure	150 kg-cm
Power	AC 100V / 5A Max.

表 3 海底同軸ケーブル TPC-2 性能表
Table 3 Specifications for VENUS (TPC-2) Cable.

Exterior	
1) Type of Cable	SF (Light Weight) Cable
2) Diameter	44.45 mm
3) Weight in Air	2.1 kg/m
4) Weight in Water	0.5 kg/m
Structure	
5) Jacket	Polyethylene
6) Outer Conductor	Copper
7) Inner Conductor	Copper
8) Insulator	Polyethylene
9) Tension Member	Steel Wire

表 4 ケーブルカッター性能表
Table 4 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	150 kg

- ケーブルを把持した金物は、ポンプユニットからの別系統の油圧で切り離し機構よりポンプユニットから切り離される。
- 切り離し機構が動作しない場合ケーブルグリップと油圧ユニットを結ぶ油圧ラインの中間に設けた手動切り離し機構をマニピュレーターにより操作することにより切り離しが可能である。
- この機構も動作しない場合、ケーブルカッターと同様に作業システム全体を海中に切り離すことができる。

以上のように、海底作業システムは、最悪の場合システム全体を潜水船から取り外し海底に放置することにより潜水船の安全を完全に確保している。

4. 検証試験

海底作業システムを開発するにあたり潜水船への接続試験、カッターを用いたケーブル切断試験及び油圧ポンプユニットの加圧下動作確認試験を行った。

4.1 潜水船への接続試験

開発した作業システムの潜水船とのインターフェースの確認及び消費電力、突入電流の影響を確認するため、油圧ポンプユニットを潜水船に接続しカッター、グリップ

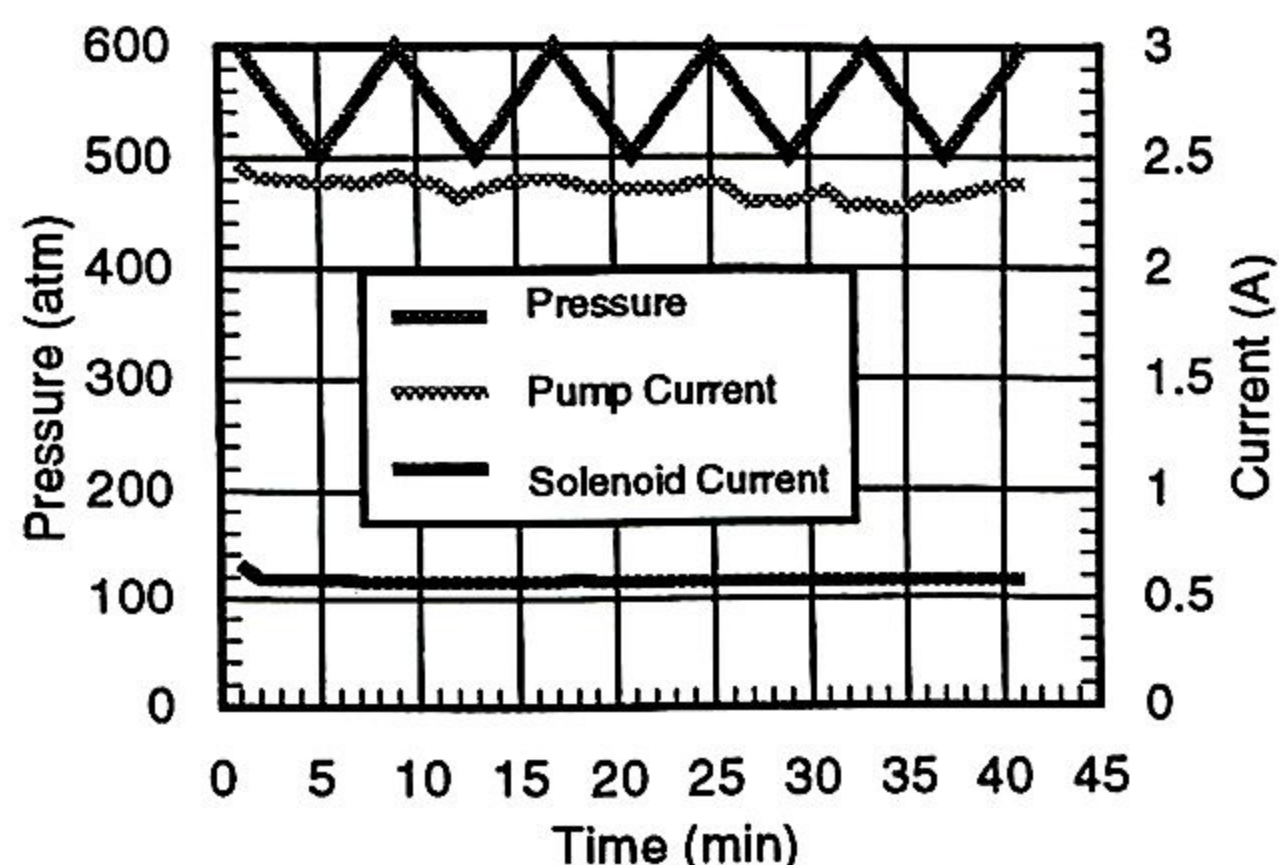


図 3 油圧ポンプユニット加圧試験結果
Fig. 3 Result of Apply Pressure Test for Hydraulic Pump Unit using JAMSTEC Pressure Test Tank.

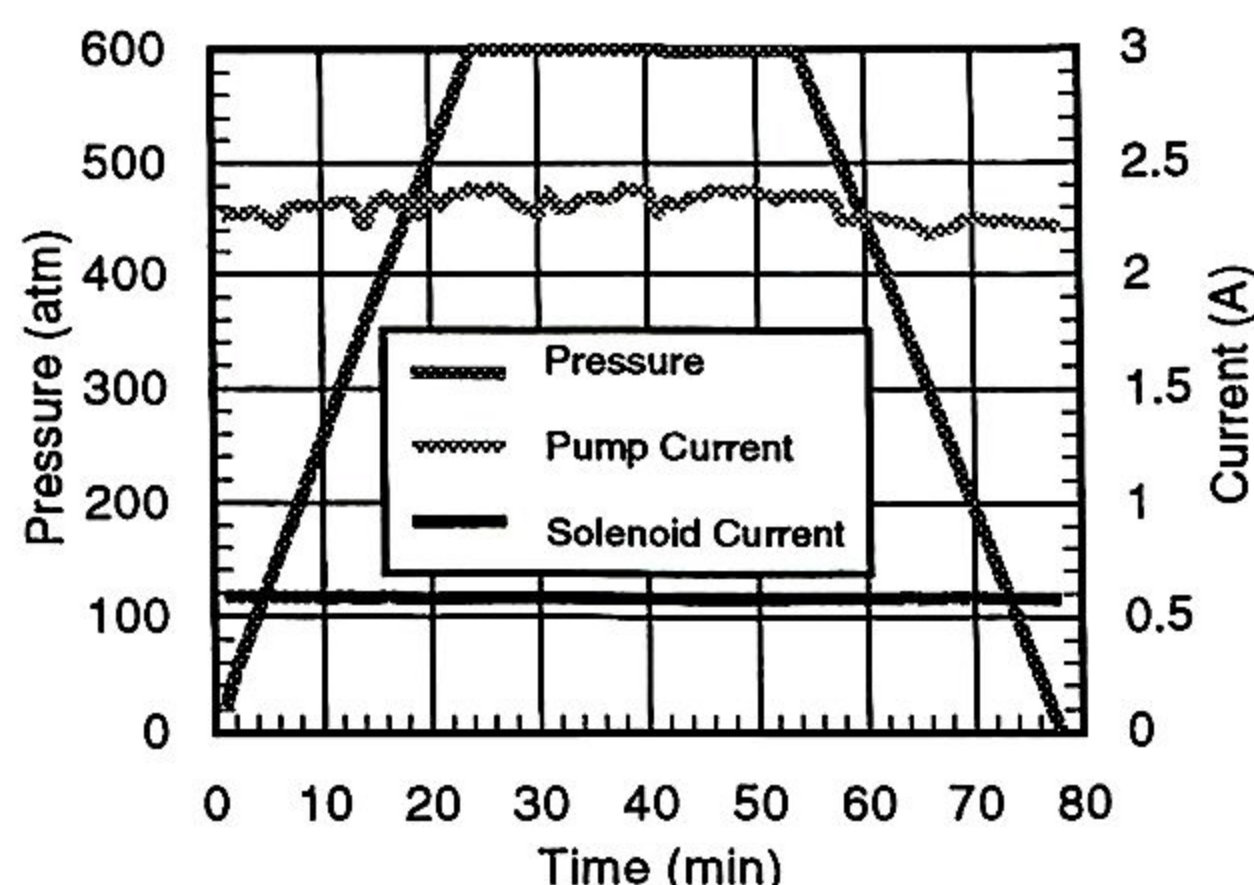


図 4 油圧ポンプユニット連続加圧試験結果
Fig. 4 Result of Apply Pressure Test (Reitate) for Hydraulic Pump Unit using JAMSTEC Pressure Test Tank.

パの代わりに 150 kgf の負荷をかけて潜水船の動力源を用いて作動確認試験を行った (写真 4)。その結果、ポンプユニットの動作は潜水船に影響を及ぼすことなく設計値の性能を出せることが確認できた。

4.2 ケーブル切断試験

ケーブルカッターを開発するにあたり、切断目標となる海底同軸ケーブルのせん断強度を知る必要がある。油圧を用いた切断方式は非常にゆっくりしたせん断速度を持つので、ケーブルの静的なせん断強度を知る必要がある。陸上で、カッター試作器を用いて切断試験を行った。その結果今回開発を行った刃形状のカッターでは、静的に 80 kgf/cm 以上の圧力をかけることによりケーブルを切断することができることがわかった。写真に切断された試供品を写真 5 に示す。本試験より開発を

表 5 ケーブルグリップ性能表
Table 5 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
Hight	660 mm
Hydraulic Pressure	150 kg

表 6 吐出量測定試験結果
Table 6 Result of Flux test for Hydraulic Pump Unit.

Flux in Air	110 ml
Flux Under Pressure (600kgf/cm ²)	100 ml

行った 150 kgf/cm の吐出圧力を持つ油圧ポンプユニットで動作するケーブルカッターは、ケーブルを切断するのに十分な性能を持つことが確認できた。

4.3 圧力試験

油圧ポンプユニットは、均圧構造を持ち、高圧下でも大気圧下と同じ動作を保証しているが、使用している材質の不均一さによる破壊の可能性、設計上の問題点を洗い出すこと、性能の確認を目的として、海洋科学技術センター中型高圧試験水槽を用いて試験を行った。試験は設計水深である 600 気圧までの加圧減圧及び同圧力下での連続動作確認試験及び 500-600 気圧の繰り返し加圧試験である。連続動作確認試験の試験結果を図 3 に、繰り返し加圧試験の試験結果を図 4 に示す。試験では電圧一定とし、電流量を評価することによりモーターにかかる負荷の変化を計測した。試験結果より開発された油圧ポンプユニットは構造及び部材に問題もなく設計水深下で、安定な動作することが確認できた。また高圧下と大気圧下での一定時間当たりの吐出量を比較した結果、高圧下でも陸上と同等の吐出量が得られることも確認できた (表 5)。

5. ま と め

開発した海中作業システムは、有人潜水船の安全を考

慮した設計思想の元, VENUS 計画において予定する海中での作業を遂行できる能力を有することが確認できた。本システムは平成9年度中に, 南西諸島海溝域において, 実際に「しんかい6500」によって使用される予定である。

謝 辞

本研究は, 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)を用いて行った。

海底作業システムの開発及び試験にあたり, 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」運航チーム, 兵頭船長をはじめとする「よこすか」乗組員の方々, 高圧水槽を用いた試験にご協力いただいた施設・設備課松尾氏, 及び藤本氏をはじめとする広和株式会社に対し, 感謝の意を表します。

引用文献

- Momma, H., Shirasaki, Y. and Kasahara, J. (1997): The VENUS Project-Instrumentation and Underwater Work System. Proceedings of International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables, 103-108.
- Shirasaki, Y., Kojima, J. and Kato, Y. (1997): The VE-

NUS Project-Data Transmission and Distribution System. Proceedings of International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables, 109-113.

- Iwase, R., Momma, H. and 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.

門馬大和・岩瀬良一・満澤巨彦・海宝由佳・藤原義弘・網谷泰孝・青木美澄 (1996): 南西諸島深海曳航調査 (K95-07-NSS), JAMSTEC 深海研究, 第12号, 195-210.

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.

Kawaguchi, K., Momma, H., Shirasaki, Y. and Iwase, R. (1997): Development of a Submarine Cable Recovery System for Manned Submersible. Proceedings of International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables, 169-171.

(原稿受理: 1997 年 7 月 7 日)

(注) 写真は次のページ以降に掲載

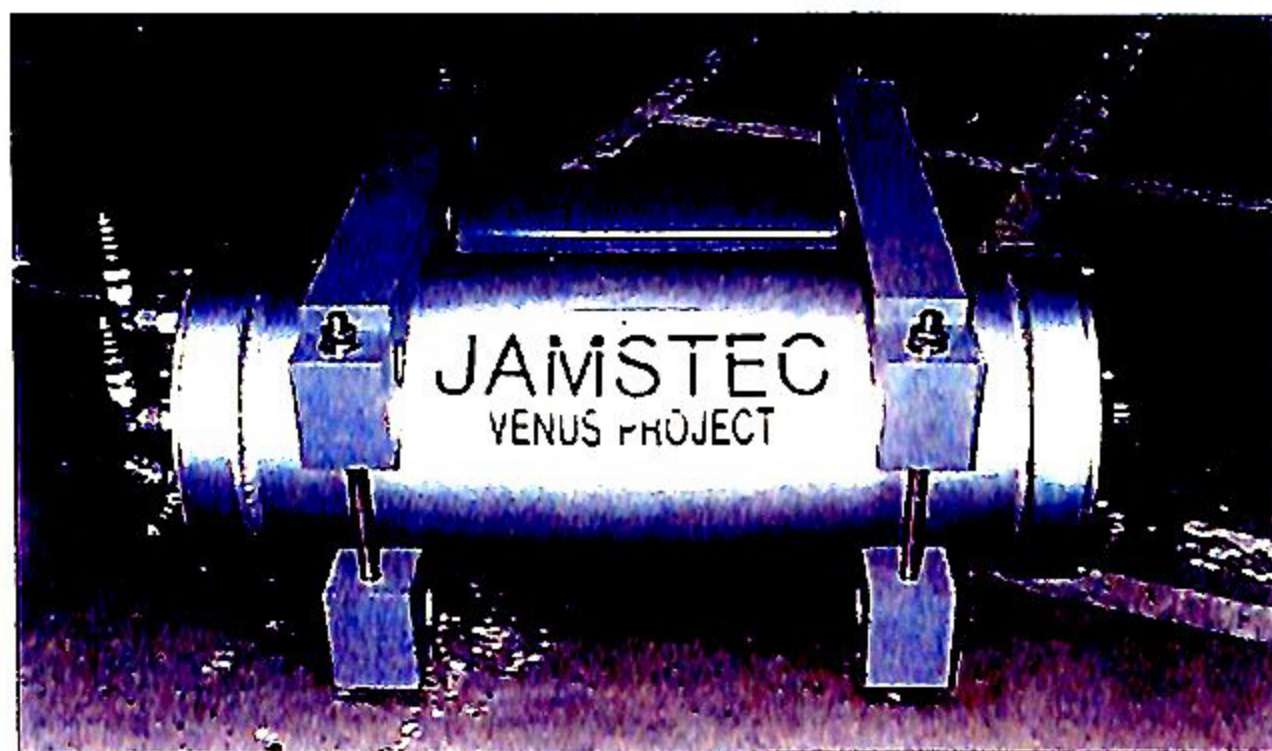


写真 1 海底作業システム用油圧ポンプユニット
Photo 1 Hydraulic Pump Unit for VENUS Work System.

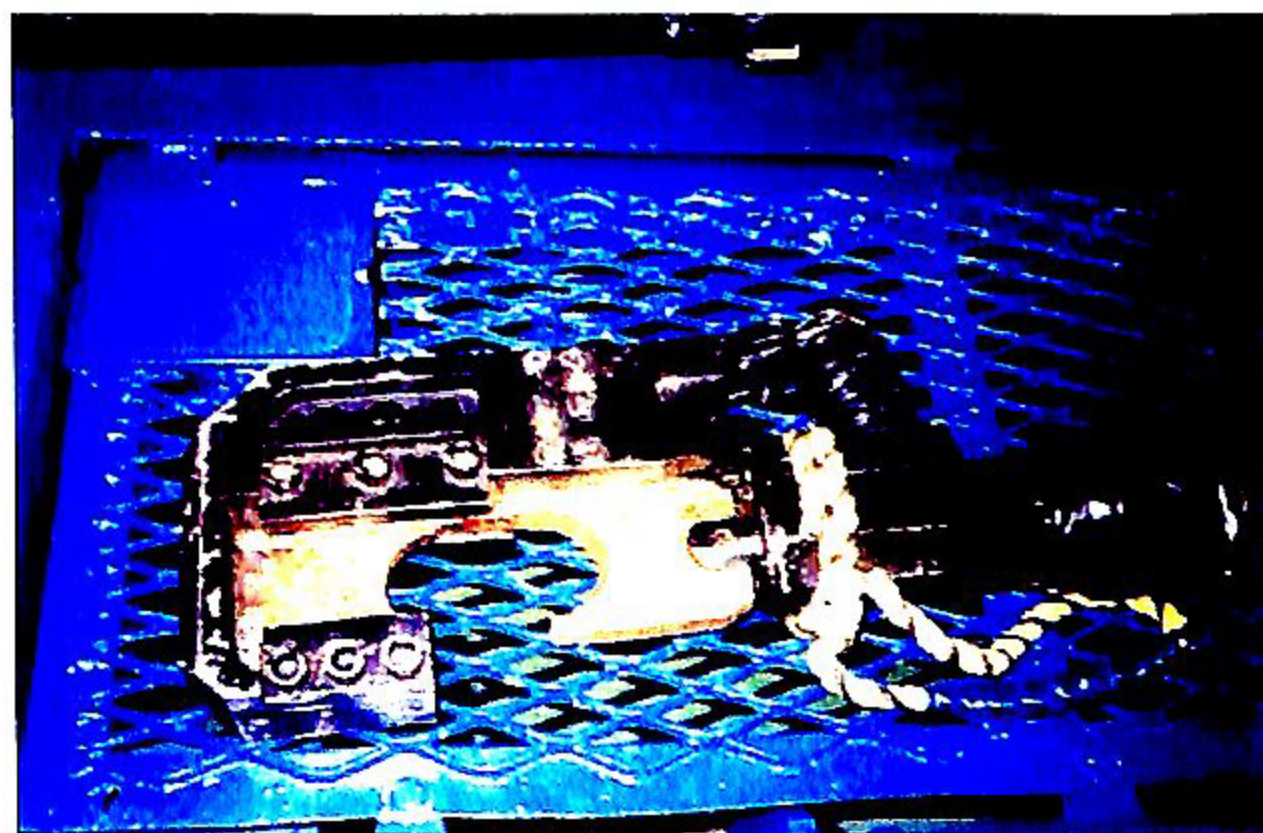


写真 2 海底作業システム用ケーブルカッター
Photo 2 Cable Cutter for VENUS Work System

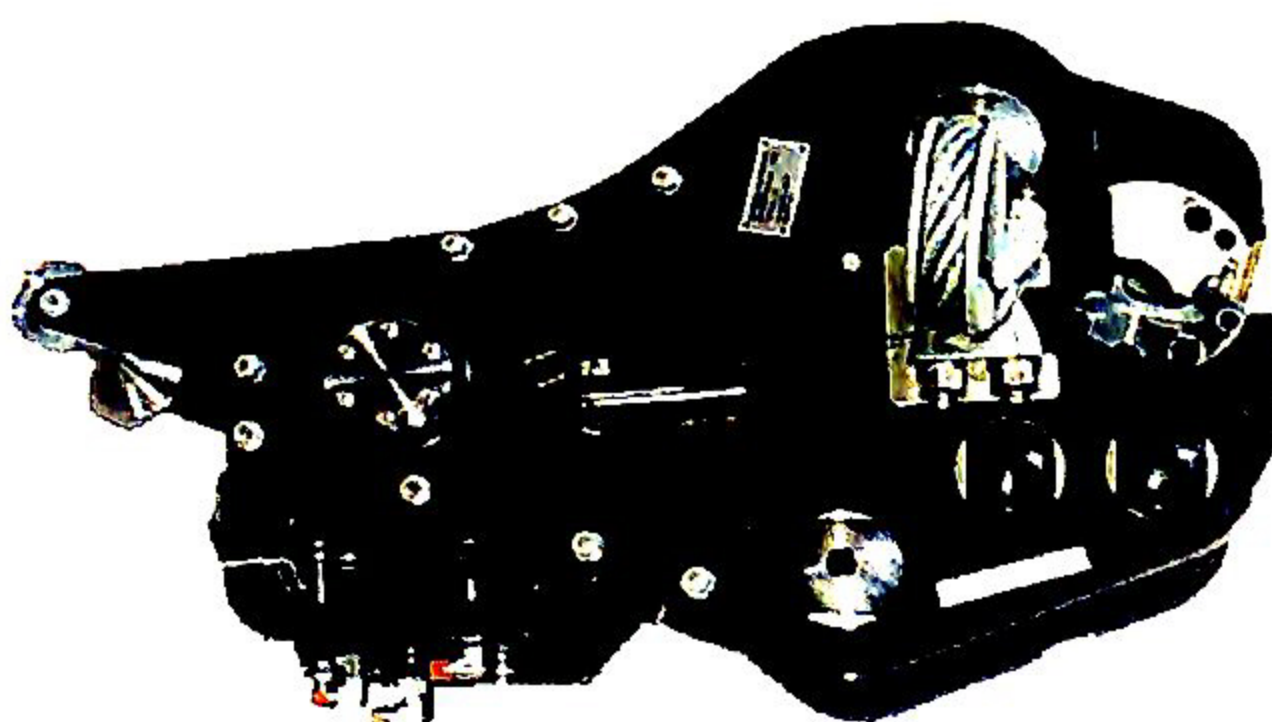


写真 3 海底作業システム用ケーブルグリップ
Photo 3 Cable Gripper for VENUS Work System

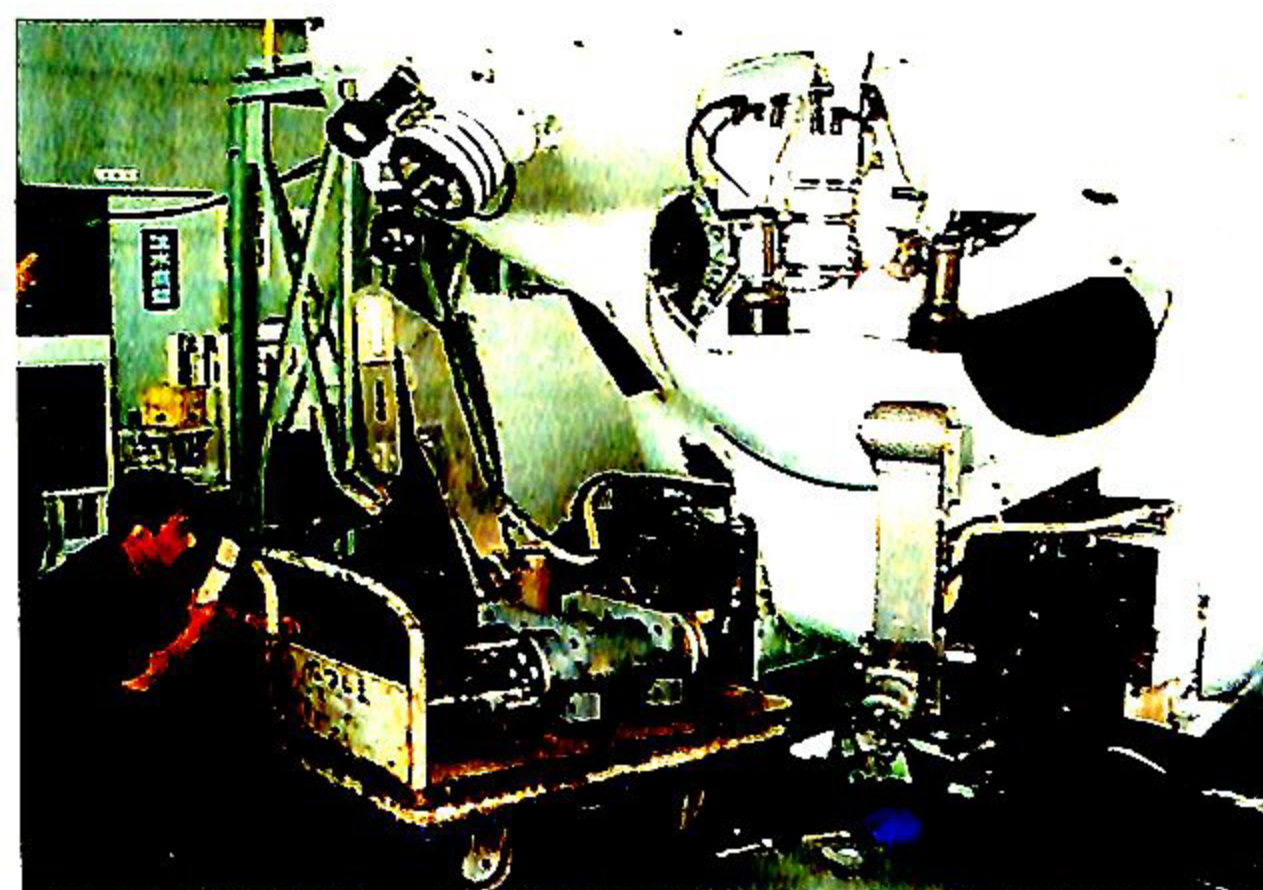


写真 4 「しんかい 6500」, 油圧ポンプユニット接続試験
Photo 4 Connecting Test between 'Shinkai 6500' and Hydraulic Pump Unit.

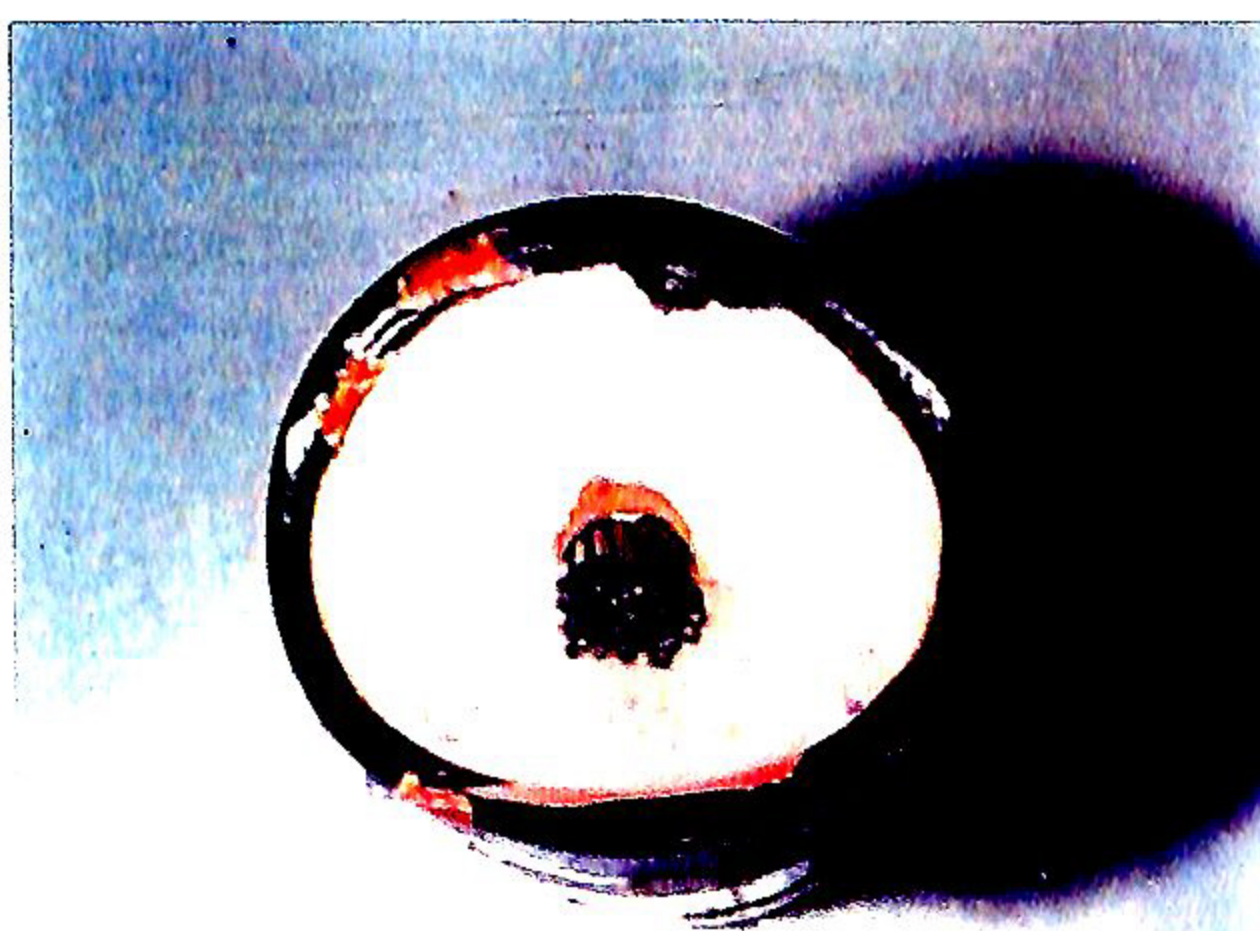


写真 5 ケーブル切断試験において切断された海底同軸ケーブル試供片の切断面
Photo 5 Section View of Coaxial Submarine Cable Test Piece Which Has Cut by VENUS Cable Cutter.