



Title	海洋開発用水中ケーブルシステムの開発
Author(s)	畑, 良輔; 伊藤, 哲二; 山口, 正義 他
Citation	電気材料技術雑誌. 1999, 8, p. 12-17
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/81574
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

海洋開発用水中ケーブルシステムの開発

畑 良輔^{*1}、伊藤 哲二^{*2}、山口 正義^{*3}、浅尾 芳久^{*1}

住友電気工業株式会社 ^{*1}…電力システム技術研究所 ^{*2}…電力事業部
^{*3}…システムエンジニアリング事業部

^{*1,2} 〒554-0024 大阪市此花区島屋1丁目1番3号

^{*3} 〒107-8468 東京都港区元赤坂1丁目3番12号

Development of Optical/Electric Umbilical Cable System for Deep Ocean
Ryousuke Hata^{*1}, Tetsuji Ito^{*2}, Masayoshi Yamaguchi^{*3}, Yoshihisa Asao^{*1}

^{*1}:Electric Power System Technology Research Laboratories

^{*2}:Power Cable Division

^{*3}:Systems Integration & Engineering Division

Sumitomo Electric Industries, Ltd.,

^{*1,2}:1-1-3 Shimaya, Konohana-ku, Osaka 554-0024, Japan

^{*3}:1-3-12 Motoakasaka, Minato-ku, Tokyo 107-8468, Japan

The development of submarine working system and surveying system is progressing in the ocean development field. In these systems, the cable, so-called composite fiber-optic electric-power umbilical cable, is generally used for electrical power transmission and bi-directional communication between main vessel and submarine equipment at deep sea. The umbilical cable system is required to have good resistance to repetitive bending, twisting, and other external forces and to be able to withstand high water pressure.

Research and development for a manganese nodule mining system had been conducted by the Agency of Industrial Science and Technology, MITI. In this project, Sumitomo Electric industries developed the umbilical cable system. The cable system successfully passed mechanical, electrical and optical tests, and the ocean experiments for a manganese nodule mining have proved that the cable system can present satisfactory performance.

キーワード：光／電力複合ケーブル、海洋開発、マンガン団塊、海洋資源

1. はじめに

海洋資源開発をはじめとする海洋開発分野において、海中作業・調査機器が種々開発されている。これらの海中機器は、一般に海上の支援船と水中ケーブルによって結ばれており、ケーブルを介して電力の供給や制御・計測信号の送受が行われている。

このため、水中ケーブルは電力供給用の電力線と制御・計測信号伝送用の光ファイバが複合された光／電力複合ケーブルとなり、水中ケーブルには支援船上のケーブルハンドリング装置や船体揺動等の機械力が作用するのに加え、水

深数千mという深海で使用されるため高水圧も作用し、機械的な使用環境は非常に過酷なものと言える。

このように、海洋開発分野において電力・情報伝送路として重要な構成要素であり、かつ過酷な環境下で使用される水中ケーブルの開発について、本報告では、マンガン団塊採鉱システム用水中ケーブルシステムを例に挙げ、紹介する。

2. マンガン団塊採鉱システムについて

「マンガン団塊採鉱システムの研究開発」は

通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発制度に基づくプロジェクトとして1981年に発足し、要素技術開発、海洋実験機器の詳細設計・製作を経て、1997年に海洋実験を実施し、所期の目的を達成してプロジェクトは終了した¹⁾。

本プロジェクトの目的は、そのほとんどを輸入に依存している主要非鉄金属（銅、ニッケル、コバルト、マンガン）の安定供給確保を図るため、マンガン団塊と呼ばれる上記非鉄金属を高品位に含んだ大きさ2～6 cmの鉱物の固まりを水深数千mという深海底から採鉱する技術を確認することにある。全体システムの概要は図1に示すとおりであり、深海底に賦存するマンガン団塊を集鉱機で集め、揚鉱管と呼ばれるパイプの中を通して、海上の採鉱船に吸い上げるシステムである。

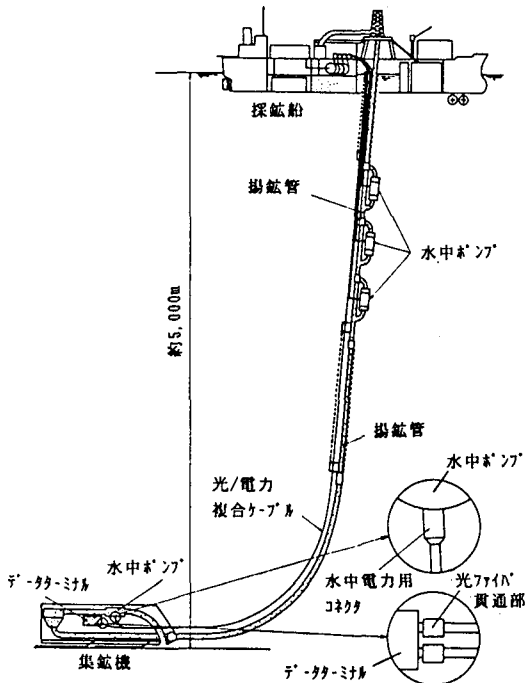


図1. マンガン団塊採鉱システムの概要

Fig.1 Outline of a manganese nodule mining system

当社は本プロジェクトに参画し、光／電力複合ケーブル、水中電力用コネクタ、光ファイバ貫通部、さらに光データ伝送を行うデータターミナルから成る水中ケーブルシステムの開発を行い、海洋実験において十分な性能を有することを確認できた。

3. 水中ケーブルシステムの開発

水中ケーブルシステムは、集鉱機あるいは揚鉱管に取り付けられた水中ポンプ等の水中装置への電力供給と計測・制御信号伝送を受け持つもので、そのトラブルは全システムの作動に影響を与える。

このため、光／電力複合ケーブル等の各構成要素の開発²⁾、さらにケーブルシステムとしての機能確認を行った。

3.1 光／電力複合ケーブルの開発

(1) 試験内容

ケーブルを試作し、各種性能評価試験を実施した。図2に実機ケーブルの断面構造を示す。

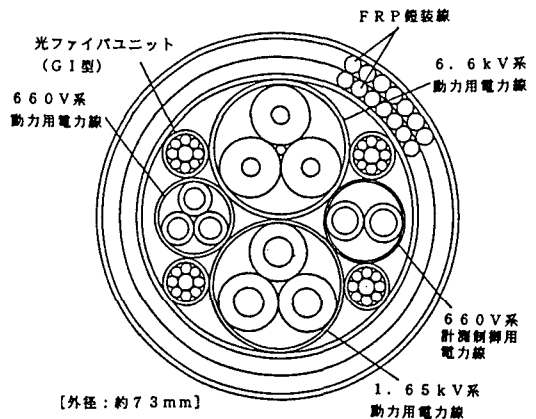


図2. ケーブル断面構造

Fig.2 Cross section of cable

試験に使用した試作ケーブルは実機ケーブルと若干異なるが、以下に示す本ケーブルの構造上の特徴は同様である。

- 大水深によるケーブル重量増加を軽減するため、被装線として鋼線の代わりにケブラーFRP線を採用した。またケーブル製造方法に、ケブラーFRP線を未架橋の状態では被装した後、ケーブルを熱湯中に引き通し架橋を行う方法を採用し、被装線に巻付加工による弾性変形応力が残存せずケーブルの保形性を向上させた。
- 高水压下で光ファイバに加わる水压が不均一となることによる光損失増加を低減するため、ケーブルコアに外部シースを設けず、光ファイバユニット周囲に水压が均等に加わる構造とした。

- 動力系電力線に、この種の水中ケーブルとしては高電圧となる6.6kV系を採用した。

実施した評価試験は表1に示すとおりであり、一般的な機械／電気試験の他、水中ケーブルとして特有の耐水圧試験やケーブルハンドリングに対する疲労試験も実施した。

表1. 性能評価試験内容
Table 1 performance test items

試験項目	確認事項
機械特性	
曲げ剛性試験	ケーブル基本性能
引張り試験	"
引張り破断試験	"
耐水圧試験	高水圧(水深6,000m)性能
疲労特性	
引張り繰返し曲げ試験	船上シーブ部しごきに対する性能
立体繰返し曲げねじり試験	ケーブル水中挙動に対する性能
電気特性	
裸電試験	高電圧(6.6kV)送電性能(雷放試験)

(2) 試験結果

表1に示した各種性能確認試験の中で水中ケーブルとして特徴的な試験の結果を以下に示す。

a) 耐水圧試験

水圧試験装置で各電力線(約1m)に60MPa(水深約6,000m相当)の水圧をかけ、試験後の電力線を解体調査し、異常のないことを確認した。

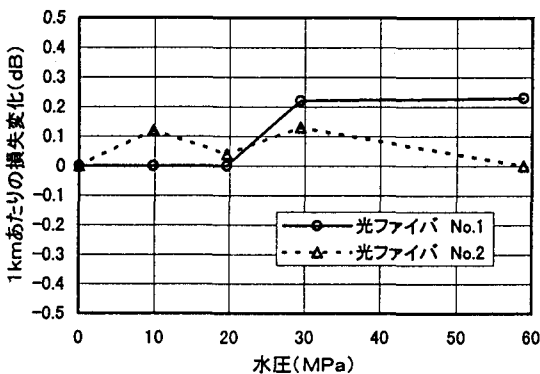


図3. 水圧に対する光ファイバ'伝送損失測定結果
Fig.3 Optical loss under water pressure

光ファイバユニットについては、長さ約6,000mのユニットに60MPaの水圧をかけ、光損失を測定し、その損失変動が実使用上問題ないことを確認した。水圧に対する光損失測定結

果を図3に示す。

b) 引張り繰返し曲げ試験

ケーブルハンドリング時の支援船上シーブにおける側圧と曲げに対する疲労特性を、模擬シーブを用い評価した。試験においてケーブルには49kNの張力を加え、5,000回の繰返し曲げを行った。

図4に示すとおり、引張り繰返し曲げに対し光特性は幾分光損失増加傾向があるものの、その増加量は全く問題のないレベルであり、試験後のケーブル解体調査でも異常は認められなかった。

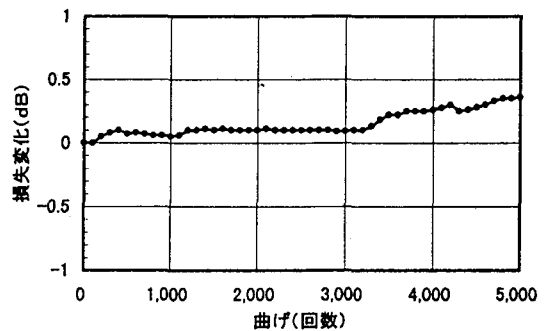


図4. 引張り繰返し曲げ試験における光ファイバ'伝送損失測定結果
Fig.4 Optical loss under repeted bending

c) 立体繰返し曲げねじり試験

ケーブルハンドリング時の、支援船の揺動や水中機器運動によるケーブルの立体的な曲げねじりに対する疲労特性を、図5および写真1に示す試験装置を用い評価した。

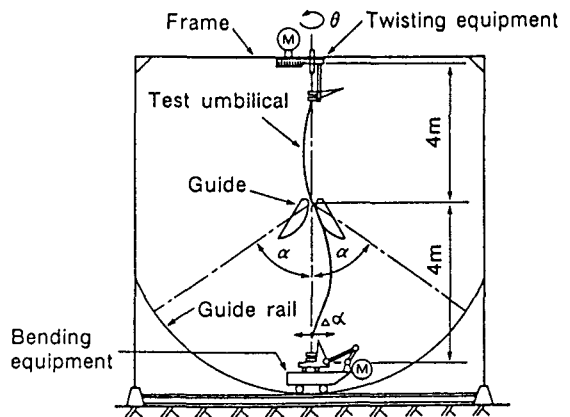


図5. 立体繰返し曲げねじり試験装置構成
Fig.5 Bending and twisting test fixture

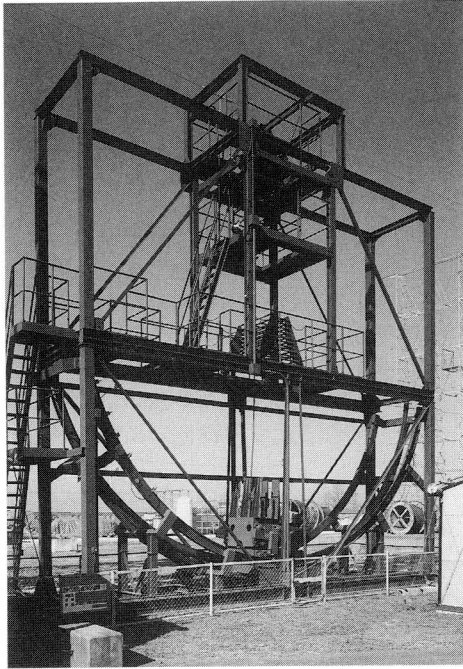


写真 1. 立体繰返し曲げねじり試験装置外観

Photo 1 Bending and twisting test fixture

曲げねじりの試験条件は、ねじり θ (± 35 度, 20,000 回)、大曲げ α (± 55 度, 10,000 回)、微小曲げ $\Delta\alpha$ (± 2.5 度, 266,000 回)である。

図 6 に示すとおり、実規模の曲げとねじりを複合した機械試験条件に対し光特性に異常は認められず、試験終了後のケーブル解体調査でも、外観に異常はないことを確認した。

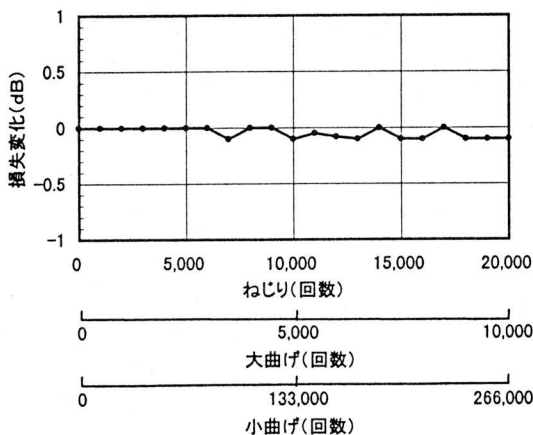


図 6. 立体繰返し曲げねじり試験における光力伝送特性測定結果

Fig.6 Optical loss under repeted bending and twisting

3.2 ケーブルシステム機能確認実験

上述のケーブルの他、水中電力用コネクタ、光ファイバ貫通部、さらにデータターミナル等水中ケーブル構成要素個々の特性評価を行ったが、実際に海洋で使用した場合に、陸上での評価では予測しがたい要素が残っている可能性がある。

そこで、海洋でケーブルハンドリング実験を行い、水中ケーブルシステムの機能確認を行った。

(1) 試験内容

実験システムの構成を図 7 に示す。ケーブルは巻取ウインチからテンショナー、釣車（シーブ）を介して、海中にハンドリングされる。ケーブルの先端には水深計測用の深度センサとデータターミナル（光信号伝送装置）が取り付けられている。

実験はケーブルを繰り出しながら（最大繰り出し長 6,000m）、光ファイバの伝送損失測定およびデータターミナルのデータ伝送試験を行った。

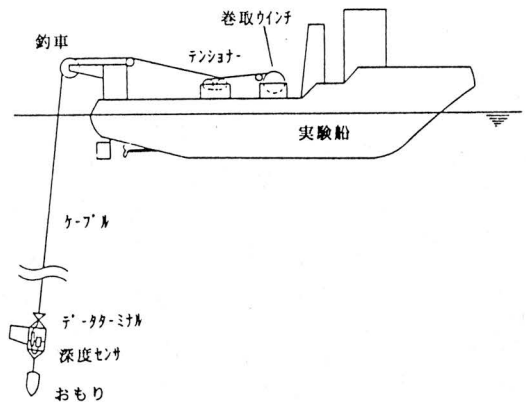


図 7. 実験システム構成

Fig.7 Experimental system arrangement

(2) 試験結果

光ファイバの伝送損失は表 2 に示すとおり、繰り出し長や水深さらには漂流速度や波高により、ほとんど変化せず、実海域でも問題なくケーブルハンドリング可能であることがわかった。

一方、データターミナルのデータ伝送特性についても、上表に示す水深データの伝送が正常であったことに加え、符号誤り測定器による誤り発生率にも変化がなく、良好なデータ伝送特性が確保されていることを確認した。

表2. 光ファイバ伝送損失測定結果
Table 2 Optical loss during cable handling

ケーブル 繰出長 (m)	水深 (m)	1kmあたりの損失変化(dB)		漂流速度	波高
		光ファイバ (A)	光ファイバ (B)		
0	0	0	0	停泊	—
120	107	0.01	-0.04	ほぼ停止	—
3000	2200	0.03	-0.03	—	2.5m
3000	2800	0	-0.05	0.5kt	2.5
3000	550	0.01	-0.03	3.0	—
5000	1960	0.02	-0.03	2.0	2.0
5000	2050	0.02	-0.04	2.0	—
6000	2600	0.05	-0.03	1.5~2.0	—
6000	2390	0.03	-0.02	1.5~1.8	—
6000	1860	0.03	-0.02	2.5	3.0
6000	1860	0.03	-0.02	2.5	3.0

4. 海洋実験結果

水中ケーブルシステムを含む、採鉱システムの実証試験として、マンガン団塊が賦存する水深約 2,200m の海域で、集鉱機によるマンガン団塊集鉱(貯鉱)実験が行われた。採鉱システム(集鉱機)の外観を写真2に示す。

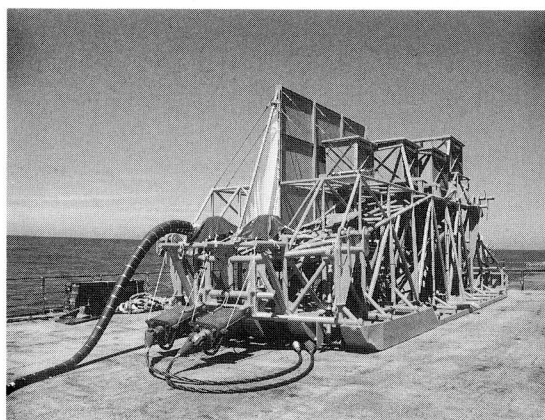


写真2. 採鉱システム(集鉱機)の外観

Photo 2 Mamganese nodule mining system (collecting device)
(Dimension:13m L × 5m W × 5m H)

実験は2回実施され、合計約7トンのマンガン団塊採鉱に成功したとともに、水中ケーブルシステムについても、その外観に異常が無く、計測・制御信号の光伝送および水中機器への電力供給も以下のとおり良好な結果が得られた。

(1) 光信号伝送特性

水中TVカメラによる映像をはじめ、集鉱機

姿勢等の各種計測・制御信号が、常時良好に伝送されることにより、集鉱機の海底面着地、集鉱操作がスムーズに行われ、ケーブルのみならず、発熱、振動および小型化を考慮し開発したデータターミナル(光信号伝送装置)は十分な性能を有していることが確認された。

なお、実験の間、光受信レベルを常時モニタリングした結果、光ファイバ貫通金具等の付属品を含むケーブルシステム全体の光受信レベル変動は約2dB(LD,PD等光送受信器の変動含む)と、光信号伝送マージン(10dB以上)に対し問題のない値であり、実験後もケーブル中の光ファイバに損失異常点が無いことを、光ファイバアナライザ(OTDR)により確認した。

(2) 電力供給

マンガン団塊集鉱用水中ポンプ(6.6kV)をはじめとする各負荷機器の正常作動によって電力供給に異常が無いことを確認したとともに、実験前後に実施した1000Vメガーによる絶縁抵抗測定でも異常が無いことを確認した。

5. おわりに

水中ケーブルシステムは海洋実験にて十分な性能を有することが確認された。このような大規模かつ失敗の許されない海洋実験の成功に結びついたのは、信頼性の高いシステム構築を目指し、各種性能確認試験と経験を積み重ね開発を進めたことによるものと考えられる。

本報告では、マンガン団塊採鉱システムを例に光/電力複合ケーブルを中心に述べたが、水中ケーブルシステムの主要構成要素である光データ伝送装置についても、大容量・高速データ伝送のニーズに応えるべく開発を進めており、海洋科学技術センターの10,000m級深海無人探査機「かいこう」³⁾、福井県水産試験場の細径ケーブル無人潜水機「げんたつ500」⁴⁾等、種々の海洋機器への展開を図っている。

以上のとおり紹介した深海用水中ケーブルシステムが、今後、海洋資源開発分野をはじめ、海洋環境調査分野等にも適用されていくことを期待する。

最後に、本開発にあたり、多大な御助言、御支援をいただきました通商産業省工業技術院ならびに新エネルギー・産業技術総合開発機構に謝意を表します。

参考文献

- 1) 猪熊、岡田、尾山：総説 国家プロジェクト「マンガ
ン団塊採鉱システム」、資源と素材、Vol.112、No.14、
pp974-983(1996)。
- 2) 三井、五味、伊藤、牛谷、山口：深海採鉱用光／電力
複合ケーブルの開発、住友電気、第 124 号、pp30-36
(1984)。
- 3) 青木、古川、中江、山口、浅尾、井口、福田、阿部：
10,000m 級深海無人探査機「かいこう」用超高速水中デ
ータ伝送装置の開発、住友電気、第 148 号、pp24-31
(1996)。
- 4) 古川、益尾、伊藤、中江：細径ケーブル無人潜水機シ
ステムの開発、住友電気、第 141 号、pp15-20 (1992)。

(1999年9月25日受理)



畑 良輔

昭和20年12月6日生。昭和45年3月東
京大学工学部電子工学科卒業。同年4月
住友電気工業株式会社入社。電力ケー
ブルの製造、設計、研究に従事。現在同社
電力システム技術研究所長。電気学会会

員、IEEE会員



伊藤 哲二

昭和26年7月5日生。昭和53年3月大
阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修
了。同年4月住友電気工業株式会社入社。
電力機器の製造、設計に従事。現在同社
電力事業部機器部長。電気学会会員



山口 正義

昭和31年7月22日生。昭和56年3月大
阪大学大学院工学研究科修士課程修了。
同年4月住友電気工業株式会社入社。光
計測、光システム機器等の開発に従事。
現在同社システムエンジニアリング事業
部技術部課長。電気学会会員、応用物理学会会員



浅尾 芳久

昭和41年11月18日生。平成3年3月神
戸大学大学院工学研究科修士課程修了。
同年4月住友電気工業株式会社入社。海
洋開発関連の水中ケーブルや光伝送装置
の開発に従事。電気学会会員