U.D.C. 621. 315. 28:621. 315. 223. 3: [621. 315. 5+681. 7. 068. 2]

アブダビ石油株式会社向け 光・電力複合海底ケーブル

Optical Fiber Power Composite Submarine Cable for ABU DHABI OIL CO., LTD.

光ファイバ・電力複合海底ケーブル及び両端末の制御通信システム一式をアブダ ビ石油株式会社ムバラス油田用として設計,製造し,1982年4月に無事布設を完了 した。

納入に当たっては, 光ファイバの寿命, 機械特性の基礎データをもとにファイバ ユニットを開発し、続いて電力線心、鉄線外装によりファイバユニットを機械的に 保護するように複合ケーブルを設計、試作し、中間接続部を含め布設、修理時に予 想される諸条件から厳しい一連の機械試験によって検証を重ねた。

この結果、本品は従来の海底ケーブル1)と同等の過酷な取扱いに耐えられることが 実証され、本番製造、布設を成功裏に完遂するとともに、更にコイル取り試験の成 功によって将来の長尺複合海底ケーブルへの道を開いた。

白瀬莧人*	Hiroto Momose
天野隆喜**	Takayoshi Amano
阿部典元**	Norimoto Abe
伊藤芳男**	Yoshio Itoo

言 1 緒

光ファイバの無誘導,無漏話,広帯域,低損失などの特長

を最大限に生かして、 光ファイバを電力ケーブルと複合化で きれば、従来のメタル通信線では得られない高品質の通信が 可能になると同時に、ケーブル(伝送路)費用、布設費用など 大幅な低減が期待できる。陸上ケーブル2)ではこのような試み は既にある程度実用化されているが、海底ケーブルではその 取扱い条件が一段と過酷なところから, 実用例は世界に数例 があるだけでいずれも比較的短距離(2~3km)であり、しかも 布設条件もさほど厳しいものではない。

数年前から光ファイバと電力ケーブルの複合化2),3)の検討を 進めてきていたが、このたびアブダビ石油株式会社ムバラス 油田の新油田生産設備用として, 遠隔制御及び電力供給シス テムに光ファイバ・電力複合海底ケーブルを適用することに なり、両端末の光デバイス、制御システム一式を含めて1982 年4月に無事布設を完了した。本ケーブルはアブダビ市沖合 約70kmの海域に布設されルート長は約6kmである。

海底ケーブルでの光ファイバと電力ケーブルの複合化では, 光ファイバそのものが海底ケーブルの過酷な布設取扱い条件 に機械的に耐えられるか否かが急所であるところから、製品 の設計, 製造, 布設に先だって各種の試作, 及び一連の機械 試験を実施した。更に, 複合海底ケーブルの海上接続部につ いても事前に海上で種々の実験を行なった。将来に備えて, 可とう接続部についてもコイル取り試験を含めた各種の試験 を実施した。

本稿では、各種の試作、試験、実験の結果と、光制御シス テムの概要及びケーブルの布設について述べる。

2 光・電力複合海底ケーブル

2.1 要求される機械的性能



ケーブル布設場所,ルートの概要 X アラビア湾のアブダビ市沖 約70kmに位置し、過去には数多くの海底ケーブルが布設され稼動中である。今 回初めて光・電力複合海底ケーブルが布設された。

での約6kmを結ぶものである。既設の電力設備及び新プラッ トフォームの必要電力から電力線心としては8kV3心80mm² のガス架橋ポリエチレン絶縁ケーブルが使用される。このケ ーブルの予想仕上り外径は約80mm, 重量は約12t/kmとなる。

布設場所, ルートの概要を図1に, ケーブル布設ルートの レイアウトを図2に示す。この光・電力複合海底ケーブルは, 既設プラットフォームAAから新設プラットフォームMR-1ま

6kmを1条で出荷する場合は風袋込み重量約80tのコイルと なり、海上輸送、現地積替え、ケーブル布設船のサイズなど の点から不都合を来し経済性が失われる。したがって、今回

57

* アブダビ石油株式会社常務取締役 工学博士 ** 日立電線株式会社日高工場

690 日立評論 VOL. 64 No. 9(1982-9)



図2 ケーブル布設ルートのレイアウト 天候の急変が予想されるアラビア湾での海上中間接続部組立て作業は、時間短縮が最大のポイントとなった。

は中間に現地接続部1個を入れ、ケーブルは3km2条とし、 それぞれドラム巻きで出荷することにした。

制御通信回線としての光ファイバは,電力線心3心をより 合わせた間に収納されることになるが,前述のとおり光ファ イバを電力線心と複合化する上での急所は,光ファイバその ものが海底ケーブルに要求される厳しい取扱い条件に耐え, 本来の高品質の伝送特性を長期にわたって維持できるかどう かにある。海底ケーブルに要求される機械的性能をまとめて **表1**に示す。 にさらされ,また使用場所が海底であることから,水分も考 慮しておかなければならない。

図3は60°C, 100%RH雰囲気中で, 光ファイバが破断に至るまでの寿命推定を行なったものであり, 横軸は残留ひずみ, 縦軸は寿命, パラメータ α はプルーフ荷重 σ_p と残留荷重 σ_{fs} との比である。

光ファイバはいうまでもなく繊細な製品であり,剛性の大きい複合海底ケーブルで,それ自体が応力を分担できるものではないので,設計,製造上のポイントは光ファイバ自体にいかにしてひずみが加わらないように工夫するかにある。このほかに,電力線心から発生される熱に耐えられる高温特性,万一のアンカー事故の際の耐水圧特性,マイクロベンドの防止なども同時に要求される。

2.2 光ファイバの破断に至るまでの寿命⁴⁾

光・電力複合海底ケーブルで,光ファイバに加わる機械的 ひずみには,布設後の海底ケーブルの残留張力,ファイバ被 覆材の熱応力などに起因する残留ひずみと,布設,接続,修 理の際の取扱いに起因する一時的ひずみとがある。他方,光 ファイバは電力線心から発生される熱により高温(60~80℃)

表1 海底ケーブルに要求される機械的性能 海底ケーブルの製造, 布設時だけでなく事故時の修理を想定した場合に,表記の諸現象に耐えられる ものでなくてはならない。

項	93	目	目的	要求性能
引	張	ŋ	ケーブル布設時,引上げ時の張力に	- 耐える。 最大張力3t
L	î,	き	ケーブル布設時,引上げ時にケーブ ブを通過する際の外力に耐える。	ルがシー 通過時,最大 張力 3t
屈		曲	取扱い時の屈曲に耐える。	最小曲径1.8m
ね	じ	ŋ	取扱い時のねじれに耐える。	360°/12m
+	~	2	ケーブル布設時の不測のキンクに而	また。 最小キンク径 1.5m
横		圧	ケーブル布設時のブレーキカに耐え	る。 最大横圧 3t/50mm
衝曳 (短睛	峰引 5 寺間 5	脹り 脹力)	布設船操船中の衝撃に耐える。	最大衝撃引張力 (短時間張力) 6t
コイル取り		取り	長尺ケーブルの場合, コイル取りに	:耐える。 3.5m

光ファイバの残留ひずみが0.1%の場合に、25年の寿命を 保証するためには、 $\alpha \ge 3.4$ 、プルーフ荷重としては340g以上 となる。残留ひずみと一時的ひずみの間に直接の因果関係は ないが、一時的ひずみとしては経験的に0.25%を許容値とす るのが安全だと考えられた。

以上の検討結果,及び過去の電力海底ケーブルの経験から 今回の光・電力複合海底ケーブルの設計では,光ファイバに 加わる機械的ひずみとして,それぞれ残留ひずみ0.1%,一 時的ひずみ0.25%以下に抑えることを目標とした。なお実際 に使用する光ファイバは,安全をみてプルーフ荷重500gで全 量プルーフテストを実施した。

2.3 ファイバユニット5)の特長

光ファイバユニットの基本構造としては,種々の検討結果 を踏まえてスペーサ形を採用した。その構造を図4に示す。



58



図4 4心光ファイバユニットの構造 光ファイバはスペーサ溝内に 収納され、ある程度自由に動ける構造となっている。溝の構造と回転ピッチは、 ケーブル曲げなどで光ファイバに極力ひずみが残らぬように工夫されている。

その目的は、ユニットに外圧が加わっても光ファイバ自体に は直接ひずみが加わらないこと、及びスペーサの溝の中で光 ファイバは自由に移動できるようにして、複合ケーブルに張 力、屈曲、ねじれなどの外力が加わっても、光ファイバの移 動でそのひずみを緩和することにある。この目的のために、 溝の構造とピッチには特に工夫を施した。

光ファイバ^{6),*)}4心を収納したスペーサには、その上に断熱層が施され、更に完全水密構造とするために鉛被が施されている。

この構造のファイバユニットについて, 引張り, 屈曲, ね



注: $8kV3 \times 80mm^2 + 4C$ 光ファイバ+2Q×16AWG

じり、キンク、横圧、水圧と各種の過酷な機械試験を実施したが、光ファイバは4心共に健全で、破損、損失増加などの 異常は一切認められなかった。

2.4 光・電力複合海底ケーブルの機械特性

光・電力複合海底ケーブルの構造を図5に示す。このケー ブルには、4心ファイバユニット1本のほかに1カッドメタ ル通信線心2本が収納されている。このメタル通信線心は、 プラットフォーム上の既設設備との兼合いから、不測の事態 が発生した場合の制御系のバックアップを目的としている。 光・電力複合海底ケーブルの設計では、ケーブルに張力、 曲げ、ねじれ、キンクなどの外力が加っても、光ファイバ自 体に許容限度以上のひずみが加わらないようにしなければな らない。

したがって、前述(2.3)の工夫に加えて、通常の海底ケー

表2 複合海底ケーブルの機械試験結果 各種機械試験で光ファイバの健全性を,(1)光ファイバ断線,損傷及び伸び,(2)光伝送損失の増加の2点で検証した。

試験項目	試 験 条 件	試験結果
引張り試験	鉄線あり:最大張力 5t 鉄線なし:最大張力2.5t	ケーブルの伸び:0.05% ケーブルの伸び:0.25% 光ファイバ異常なし, 損失増加なし
しごき試験	シーブ径:3m, 最大張力4.3t しごき回数:3回	光ファイバ異常なし, 損失増加なし
屈曲試験	最小曲径:1m, 30往復	"
ねじり試験	最大ねじれ: 360°/8m	"
キンク	最小キンク径:0.6m	"
横圧試験	最大横圧:3t/50mm	"
衝撃引張り (短時間張力) 試験	最大衝擊引張力(短時間張力):8t	"
コイル取り	可とう接続部(工場内作業)を含むケー ブル:150m, 最小コイル径:3.5m	"

図5 光・電力複合海底ケーブルの構造 光ファイバユニットは、電力線心及び鉄線によって守られており、張力の大部分はこれらによって分担され、光ファイバユニットには張力負担がほとんどかからない構造となっている。

ブルよりも電力線心のより合せピッチを短く,かつ外装鉄線 のピッチを大きくした。製品の製造に先立って,本設計の健 全性を確認するため光・電力複合海底ケーブル200mを試作し て,海底ケーブルの布設,接続,修理の際の過酷な取扱いを 模擬した一連の機械試験を行なった。表2にその結果を示す。 これらの試験は非常に過酷なものであったが,光ファイバ自 体には破損,損失増加などの異常は全く認められなかった。 この結果から,十分に配慮して設計,製造された光・電力複 合海底ケーブルは従来の電力海底ケーブルと同等の取扱い条 件に十分に耐えられることが確認された。

納入品として製造された光・電力複合海底ケーブルの外観 を図6に示す。



図 6 光・電力複合海底ケーブルの外観 光ファイバは電力線心,鉄線 に比べると毛髪のように細く,複合ケーブルに製造されるまで特に細心の注意 が必要である。

59

692 日立評論 VOL. 64 No. 9(1982-9)



図7 ファイバユニッ ト接続部の構造 ファ イバの接続は余裕をみて数 回の接続作業ができるよう にたるみをとっており、こ の余長はループ状にボビン 内に収められている。

3 接続部

一般に海底ケーブルで接続が必要となるケースとしては, 次の3ケースがある。

(1) 長尺ケーブルを一連続長で出荷するために工場内で接続 する場合

(2) 現地で海上接続する場合

(3) 布設後のケーブルが何らかの理由で損傷を受け,修理のために海上接続する場合

通常,上記(2),(3)のケースではボックス形接続部が,(1)のケースでは可とう接続部が用いられる。

図7にファイバユニット接続部の構造を示す。中心のテン ションメンバを鋼スリーブによって接続した外周に,光ファ イバ接続部及び光ファイバの余長を収容するためのボビンを 配置してある。ボビンの外周には高い圧縮強度をもつ保護管 を施し,外被には耐食性の優れた鉛管を用いた。鉛管とファ イバユニット鉛被とは完全水密性を保持するために溶接によ り接続し,その上からエポキシとガラステープで補強した。

このファイバユニット接続部の機械試験の結果を表3に示 す。この結果から明らかなように,非常に過酷な試験条件の もとでも十分な機械強度を示しており,損失増加などの異常 は一切認められなかった。

光・電力複合海底ケーブルの場合には,電力線心の接続に ついては既に確立された技術がそのまま適用できるが,光フ ァイバの接続については特に機械的な面で多くの開発を必要 とする。

前述のとおり,今回は中間の海上接続部としてボックス形 接続部1個を入れる基本設計としているが,将来の長尺ケー ブルへの適用も加味して,光ファイバの接続法としてはボッ クス形接続部・可とう接続部の両方に適用できる方法を開発 した。

3.1 ファイバユニットの接続部7)

ファイバユニットの接続部に要求される性能としては,第 一に海底ケーブルの受ける取扱い条件に機械的に耐えられる こと,第二に接続部で伝送特性を損わないこと,の2点である。

表3 ファイバユニット接続部の機械試験結果 接続部とケーブル 部では剛性が異なるため、曲げ、ねじりなどで異常が発生しやすい。接続部を 中心に設けたケーブル試料を使って上記試験を行ない、性能を確認した。

試験項目	試験条件	試験結果
引張り試験	標 点 長 さ :3.8m 伸 び :最大0.84%	接 続 部 損 傷 な し 光ファイバ異常なし
圧 縮 試 験	最大圧縮荷重:4.5t	接 続 部 損 傷 な し 光ファイバ異常なし 損 失 増 加 な し
屈曲試験	曲 げ 半 径 :1.35m 屈 曲 回 数 :19往復	接 続 部 損 傷 な し 光ファイバ異常なし 損 失 増 加 な し
ねん回試験	試料長:2.38m 軸方向荷重:30kgf ねん回回数:6回	接 続 部 損 傷 な し 光ファイバ異常なし 損 失 増 加 な し
水圧試験	最大水圧:40kgf/cm ²	接 続 部 損 傷 な し 光ファイバ異常なし 損 失 増 加 な し

また,光ファイバ接続部の伝送損失の温度変化による影響 についても検証した。光ファイバ自体の伝送損失も温度依存 性があるが,接続部では余長は小さなコイルに曲げられてい ること,及び溶接時の熱などによって伝送損失に異常が生じ ていないかが懸念された。図8にこの測定方法を示す。ファ イバユニット接続部を含む試料の端末で光ファイバ4心を折 り返し,ダミーファイバ約1kmを介して反対端からLED(発 光ダイオード)光源を入射して各温度での出力を測定した。 測定結果の一例を図9に示すが,これからも明らかなように, -20~80℃の温度範囲での光ファイバ接続部の損失変化は1 箇所当たり0.02dB以下で,通常の光ファイバと同程度である ことを確認した。

3.2 光・電力複合ケーブルの海上接続部及び可とう接続部
(工場内作業)

光・電力複合ケーブルの接続部では、ファイバユニット接続部1箇所を電力線心接続部3箇所の間に配置するわけであ



光パワーメータ 接続部 恒温槽 注:略語説明 LED(発光ダイオード)

図8 ファイバユニット接続部伝送損失,温度変化の関係測定方法 ファイバ4コアを両端でループにして, I連続コアとしたのち測定を行なった。ダミーケーブルを入れることにより,短尺による測定誤差を小さくするよう配慮した。

60



図 9 ファイバユニット接続部の伝送損失,温度変化の関係 アラビア湾の水温は20°C以上である。本図から光ファイバ接続部の損失変化は 通常の許容値0.02dB/箇所以内であることが確認できた。

表4 遠方監視制御装置の主な仕様 設置される環境条件が,高温多 湿のためキュービクルを密閉構造とするとともに,内部の温度上昇を極力小さ くするように回路設計を工夫した。 るが,海上接続部及び可とう接続部(工場内作業)それぞれの 特長に合わせて設計上工夫を施した。

海上接続部は前述のとおりボックス形であるが,天候の変 化の激しい海上での接続作業を容易に,かつ迅速に行なえる ように,ファイバユニット接続部と電力線心接続部とは部分 的に同時作業ができるように配置した。また,接続作業完了 後,接続部を海底につり下ろす際に,ファイバユニット接続 部に直接外力が加わらないようにするため,ボックス内でフ ァイバユニットにたるみをもたせる構造とした。

可とう接続部(工場内作業)では,接続部の仕上り外径を極 カ小さく維持すると同時に,曲げ,ねじれなどに対する接続 部の剛性を滑らかに保ち,更に張力,横圧など外力の影響が ファイバユニット接続部に直接加わらないように工夫した。 海上接続部については,引張り,曲げ,ねじり,キンク, つり上げ,つり下ろしの各試験を,可とう接続部(工場内作 業)については,引張り,曲げ,キンク,しごき,コイル取り の各試験を実施したが,その結果では,いずれも光ファイバ 及び光ファイバ接続部の破損,損失増加などの異常は全く認 められなかった。

4 光ファイバ伝送による遠方監視制御システム

本システムは、プラットフォームMR-1(遠方端局-子局)の ポンプを監視・制御するもので、常用回線として光ファイバ

No.		項	目		仕様	
Ι.	環	境	条	件	温度:0~50°C,湿度:30~100%	8
2.	電			源	AC100V ±10%	
3.	発う	七・弓	受光 秉	長子	LED/PIN-PD($\lambda \cong 0.85 \mu\text{m}$)	
4.	許	容伝	送損	人	光 回 線:25dB(λ≅0.85μm) メタル回線:20dB	l b
5.	伝	送	容	皇里	監視項目:10項目 制御項目:10項目の [*] ON″と [*] OFF″制御	
6.	変	調	方	式	光 回 線:PWM-IM方式 メタル回線:FS方式	
7.	伝	送	方	式	伝送フォーマット:電気学会44ビットフォーマッ 伝 送 速 度:1,200bps 誤 り 検 定:反転2連送,パリティチェック) 定マーク検定の組合せ	ト ⁸⁾ 及び
8.	装	置	寸	法	制 御 局:幅710×奥行630×高さ2,065(mm)(屋外 被制御局:幅600×奥行520×高さ2,000(mm)(屋内	形) 形)

注:略語説明

PIN-PD(PIN-ホトダイオード) PWM-IM方式(パルス幅変調方式-光強度変調方式) FS方式(周波数変移方式) をバックアップ回線としてメタル通信線を伝送路としている。 ブロック図を図10に、遠方監視制御装置の主な仕様を表4に 示す。装置の環境条件が過酷であることから、キュービクル を密閉構造とするとともに、内部の発熱を少なくするように 論理回路はCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)を主体とした低消費電力設計とした。

監視情報(SV IN: Supervisory Input)及び制御情報 (RC IN: Remote Control Input)はそれぞれ複数のリレ ー接点信号であり、遠方端局(子局)及び主端局(親局)で時分 割多重され、直列信号としてサイクリックに伝送路へ送出さ れる。これらの直列信号は、伝送途中での誤りを防ぐために 送信側でパリティビットを付加し、更に送信すべき情報の反 転した情報を付加する冗長性をもった信号としている。受信 側では送信側と全く逆の処理を行なうことによって元の情報 が再生できる。これによって格段に信頼性が高められた。監 視情報の伝送は上記の手順による単方向伝送であるが、制御 情報の伝送では更に冗長性が多くなり、主端局(親局)及び遠 方端局(子局)で選択確認信号の送・受信が行なわれた後、制

61



図10 遠方監視制御システムブロック図 監視情報及び制御情報は、伝送途中での誤りを防ぐため冗長性をもった直列信号へ変換され、光ファイバケー ブルに送出される。相手局へ到達した直列信号は、送信する際の処理とは全く逆の処理を受け、元の情報が再生される。 694 日立評論 VOL. 64 No. 9(1982-9)

御動作に入る自動2挙動方式をとっており, 誤動作の可能性 は皆無である⁸⁾。

設 5 布

5.1 ケーブル布設

今回のケーブル布設ルートは、アブダビ市沖合70kmに位置 する海底油田であり、前掲の図2に示すとおり、既設プラッ トフォームAAから新設プラットフォームMR-1に至る6kmで ある。

布設ルートの概況は水深20m, 最大潮流2kt, 底質は砂質 シルトで起伏も少なく一見問題はないように思われるが、特 に冬季には天候が変わりやすく,いったん荒天になると非常 な荒海となる点で著名な海域である。

前述のとおり今回は3kmのケーブル2条を布設した後、海 上接続する方法が採用された。光・電力複合海底ケーブル3 kmを巻いたドラム(重量45t)は貨物船で現地まで輸送され, そこで現地調達された布設船に積み替えられた。

光・電力複合海底ケーブルの布設は世界でも新しい試みで あるところから、ケーブル送出部、ブレーキ部、シュートな どの布設船の艤装及び布設中の操船と布設張力コントロール には特に配慮が払われた。その結果, 1982年4月に3km2条 のケーブルの布設を無事完了した。布設の状況を図11に示す。

5.2 海上接続



図12 船上での光ファイバ接続作業 ファイバの接続は顕微鏡でファ イバコアの整合を確認して行なうため、足元が揺れると作業がしにくく、また 船酔いの原因ともなる。

れて、22時間で全接続作業を無事に完了することができた。 船上での光ファイバ接続作業の状況を図12に示す。今回開発 された光・電力複合海底ケーブルの海上接続の成功は、将来 の不測の事故の際の修理作業にもそのまま適用できるもので ある。

布設完了した光・電力複合海底ケーブルを含む遠隔制御通 信システム、及び電力系統は1982年4月に竣工試験に合格す ると同時に,実用運転に入った。

62

前述のように天候の急変が予想される荒海で、短時間に海 底ケーブルの海上接続を行なうことは相当の困難が伴う。加 えて, 光ファイバの接続は顕微鏡でファイバコア接続部の整 合を確認しながら行なうため、足元が揺れると作業がしにく く,また船酔いの原因ともなる。したがって,次の2点を目 標とした十分な事前検討が必要となった。

(1) 波高1m以下であれば,船上で光ファイバの接続を完全に 行なえること。

(2) 光・電力複合ケーブルの接続作業所要時間は、合計で一 昼夜(24時間)以内に抑えること。

上記(1)の目標に対しては、日立市近海の海上で練習を繰り返 して技能の習熟を図った。また(2)の目標に対しては、設計上、 接続工法上の改良を加えると同時に,工場内で何回も実ケー ブルによるリハーサルを実施した。

実際の接続作業では, 天候の予測が最大の問題となったが, 幸いにも好天に恵まれるとともに、事前検討の効果が発揮さ



6 結 言

光・電力複合海底ケーブルを、海上接続・可とう接続(工場 内作業)などの関連技術を含めて、本格的に実用化したのは世 界でも新しい試みである。

光ファイバと電力海底ケーブルとの複合化によって,光フ ァイバの機械特性, 伝送特性を何ら損うことなく, 光ファイバ 本来の高品質の通信を可能にすると同時に、布設工事の面で も光・電力複合海底ケーブルは、従来の電力海底ケーブルと 機械的に全く同等に取り扱えることが確認された。

本例は海底油田の生産設備用として実用化されたものであ るが、光・電力複合海底ケーブルによって、高品質の通信が 低コストで得られるところから, 今後新たな分野への適用が 期待される。

終わりに、今回の開発、実用化に当たって、種々御教示、 御指導をいただいた関係各位に対し,心から感謝の意を表わ す次第である。

参考文献

- 1) 天達,外:海底油田生産設備用海底ケーブルの布設,日立評 論, 56, 11, 1117~1121 (昭49-11) など
- 2) 矢内,外:CVケーブル複合光ファイバの諸特性,電子通信学 会総合全国大会講演論文集, p.341 (昭55-3)
- 3) 久保田, 外: 光ファイバ複合架空地線の基礎的特性, 電子通 信学会通信部門全国大会講演論文集, p.125 (昭55-9)
- 4) 坂口,外:光ファイバの動疲労に及ぼす温湿度の影響,日本 通信技術株式会社技術報告, NS-14862 (昭56)
- 5) 阿部,外:光/電力複合海底ケーブル光ユニットの検討,電子 通信学会総合全国大会講演論文集, p.308 (昭57-3) 6) 梶岡:長波長帯光ファイバケーブルの伝送特性,日立評論, 63, 9, $609 \sim 612$ (昭56-9) 7) 阿部,外:光/電力複合海底ケーブル接続法の検討,電子通信 学会総合全国大会講演論文集, p.330 (昭57-3) 8) 大石,外:サイクリックディジタル情報伝送装置仕様規準, 電気学会技術報告,第49号(昭44)

図11 光・電力複合海底ケーブルの布設状況 ケーブルの布設方法 は,基本的には従来と同じである。布設中,光損失を連続して測定記録し,不 測の事故時の場合その原因対策を検討できるように万全の体制を整えた。