

マレーシア国
クアンタンーコタキナバル
海底ケーブル建設計画調査
報告書

第三分冊
—システムの基本設計—

昭和62年1月

国際協力事業団

LIBRARY

開 二
86 - 139

マレーシア国
クアタナーコタキナバル
海底ケーブル建設計画調査
報告書

第三分冊
—システムの基本設計—

JICA LIBRARY



1031306[2]

昭和62年1月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '87. 3. 26	11.3
登録No. 16060	64.7
	SDS

目 次

第Ⅳ編 システムの基本設計	1
第1章 概 要	1
第2章 海底ケーブルシステムの選定	3
2.1 システムの回線容量	3
2.2 光ファイバー海底ケーブルシステムの推奨	3
2.3 光ファイバー海底ケーブル方式開発の現状	4
第3章 システムの設計条件	9
3.1 システムの回線容量	9
3.2 システムの寿命および信頼性	9
3.3 システムインターフェイス	9
3.4 伝送規格	10
3.5 損失配分	10
3.6 修理余裕	10
3.7 陸上部ケーブルの設計	11
3.8 給電用接地システムの設計	11
3.9 浅海部におけるケーブルの保護	16
3.10 システムの保守および監視	16
3.11 システムの構成	16
3.12 各装置および設備の機能	18
第4章 システム形態の推奨例	21
4.1 概 要	21
4.2 システム構成図	21

4.3	海中設備の品目別必要量	24
4.4	基本的な端局構成	24
4.5	両陸揚局における端局装置および電力設備の配置	27
4.6	陸上部ケーブルの管路および海洋接地設備の設計	28
第5章	OS-280M方式の概要	35
5.1	概 要	35
5.2	OS-280Mシステムの要点	35
5.3	OSの海中設備および端局装置	38

表 目 録

表Ⅳ-1	開発中の光海底ケーブルシステムの主要目
表Ⅳ-2	品目別海中設備所要量
表Ⅳ-3	OS-280Mシステム設計要目
表Ⅳ-4	光ファイバーユニットの物理的要目
表Ⅳ-5	光ファイバーケーブル化後の伝送要目
表Ⅳ-6	無外装ケーブルの機械的特性
表Ⅳ-7	一重外装ケーブルの機械的特性
表Ⅳ-8	二重外装ケーブルの機械的特性
表Ⅳ-9	OS中継器の設計要目

目 録

- 図Ⅳ－１ 両陸揚地点における大地比抵抗
- 図Ⅳ－２ 推奨給電用接地システム
- 図Ⅳ－３ システム構成図
- 図Ⅳ－４ フロー・レイアウト・プラン
- 図Ⅳ－５ クァンタン局舎における端局装置および電力設備の配置
- 図Ⅳ－６ コタキナバル局舎における端局装置および電力設備の配置
- 図Ⅳ－７(1/2) 陸上部ケーブルの管路および海洋接地設備の設計（クァンタン）
- 図Ⅳ－７(2/2) 陸上部ケーブルの管路および海洋接地設備の設計（コタキナバル）
- 図Ⅳ－８ OSシステム海中設備
- 図Ⅳ－９ ケーブルの断面
- 図Ⅳ－10 光ファイバーユニットの断面
- 図Ⅳ－11 無外装ケーブルの構造
- 図Ⅳ－12 一重外装ケーブルの構造
- 図Ⅳ－13 二重外装ケーブルの構造
- 図Ⅳ－14 OS中継器の形状
- 図Ⅳ－15 中継器回路ブロックダイアグラム
- 図Ⅳ－16 ケーブル終端装置の外観
- 図Ⅳ－17 給電装置を中心としたOS端局装置の概要
- 図Ⅳ－18 給電装置の外観および特徴
- 図Ⅳ－19 伝送端局装置の外観
- 図Ⅳ－20 伝送端局装置のブロックダイアグラム
- 図Ⅳ－21 SVシステムの基本形態
- 図Ⅳ－22 監視装置の外観

第1章 概 要

第Ⅳ編 システムの基本設計

第1章 概 要

クアantanとコタキナバルを結ぶ海底ケーブルシステムの基本設計は、本報告書の第Ⅱ編でのべられているケーブル陸揚地および海洋部の調査ならびに第Ⅲ編でのべられているトラヒック予測および回線需要の調査結果を基に実施した。

クアantan-コタキナバル海底ケーブルシステムに必要な回線数は、このシステムの寿命の終期、すなわち西暦2015年において5,641の電話回線とテレビジョン(TV)2回線となっている。然し、システム設計においてその耐用寿命の終期を目標にシステムの回線容量を決めることは、投資効果からみて不経済であることから、一般的にシステム耐用寿命の中間期の回線需要を目標にそのシステムを設計する方法がとられている。この観点から本ケーブルシステムの回線数を算定すると、3,200電話回線とTV2回線が必要となる。

現在前述のような大容量を疎通できる海底ケーブルシステムは光ファイバーシステム以外にはない。従って、調査団はクアantan-コタキナバル海底ケーブルに光ファイバーシステムを適用することとした。

光ファイバー海底ケーブルは、現在主要国で技術開発が進められており、1988年には最初の長距離商用システムが建設される予定である。そこで調査団は光ファイバー海底ケーブル方式の各国における開発状況の要約を本報告に記述した。

また、本ケーブルシステムの設計に要求される条件は、1つの国のシステムにこだわることなく前述の各国における光海底ケーブルシステムの技術開発状況を基礎として設定した。

光ファイバーをとおして伝送される光信号の減衰を再生するために、再生器を実装した中継器が一定区間長の光海底ケーブルに挿入される。

本ケーブルシステムの基本設計の結果、海中部のケーブルスラックおよび陸上部ケーブルを含むシステム長はそれぞれ約2.7%、1,489.84km(804.45nm)である。

本調査団は、現在日本において技術開発が進められているOS-280Mシステムの概要を記述すると共に、このシステムをクアantan-コタキナバル海底ケーブルに適用した場合のシステム構成図(32個の中継器を含む)を参考のために作成した。

第2章 海底ケーブルシステムの選定

第 2 章 海底ケーブルシステムの選定

2.1 システムの回線容量

本ケーブルシステムの設計に必要なトラヒック予測および回線需要は、第Ⅲ編でのべたとおり GDP の伸びを年率 4 % とみた場合、システムの寿命の終期である 2015 年において電話回線に換算して 5,641 となっている。然しながら、本ケーブルシステムを経済的に使用するためには、システム完成後 10 ~ 15 年における回線容量を持つものとするのが望ましい。

また、クアンタンークチン間既設同軸海底ケーブルは、2005 年に耐用寿命に達するので、本システムのトラヒック予測にはこの既設ケーブルのトラヒックを収容することも必要である。さらに J T M は本ケーブルシステムに T V 2 回線を、疎通する計画を持っている。

以上のべたような点を考慮すると、本ケーブルシステムの回線容量は次のとおりとなる。

- | | |
|--------------|-------------------|
| (1) 電 話 | 3,200 回線 (2003 年) |
| (2) T V 2 回線 | 1,920 電話回線 |
| (3) 計 | 5,120 回線 |

2.2 光ファイバー海底ケーブルシステムの推奨

現在開発が進められている光ファイバー海底ケーブルシステムは近い将来に商用化される。このシステムは 1.3 μ m の光ファイバーを通して、280 Mbps 高速デジタル信号を伝送し、約 4,000 電話回線を疎通できる。

光ファイバー海底ケーブルシステムの特徴は次のとおりである。

- (1) 光ファイバーの伝送損失は極めて低い。
- (2) 高速度のデジタル信号を長い距離にわたって伝送できる。
- (3) 海底ケーブルシステムの伝送容量の増大に有効である。
- (4) 光ファイバー海底ケーブルシステムの建設費は、従来の同軸海底ケーブルに比較して割高である。然し、光ファイバーの回線容量は同軸ケーブルに比べて大きいから、回線当りの建設費は同軸ケーブルより低い。
- (5) デジタル伝送技術を適用した光ファイバーの信号伝送方式は世界の回線網に広く使

われつつある。

- (6) 光ファイバー方式の回線容量はデジタル多重技術を適用することにより、数倍に増加することが可能である。

マレーシア国内通信網の新しいデジタル信号伝送システムは、既存システムの容量増大および旧システムの置換のために逐次建設されつつある。このことから、近い将来デジタル伝送は主要およびローカル回線網に使用されることはあきらかである。従って、光ファイバー海底ケーブルシステムは陸上のデジタル伝送路に接続することは容易である。

以上のべたような諸点を考慮に入れて光海底ケーブル方式がクアソタンとコタキナバルを結ぶ海底ケーブルに適合していると考えられる。

2.3 光ファイバー海底ケーブル方式開発の現状

2.2項で述べたとおり、光ファイバー海底ケーブル方式は日本、U.S.A.、U.K.およびフランスで技術開発が進められつつある。各国の現状は次のとおりである。

(1) 日本

光ファイバー海底ケーブルシステムの開発はNTTとKDDで行われている。すなわちNTTは国内用短距離区間用システムの、また、KDDは国際用長距離区間用システムの開発を進めている。

NTTは1.3 μ m単一モードファイバーを使用した400Mbpsシステムの開発を1978年にスタートした。このシステムの海洋実験は1980年11月および1981年1月に実施され、最初の商用システムは本州～北海道間に1986年8月に建設された。

KDDはおなじく1.3 μ m単一モードファイバーを使用した280Mbpsシステムの開発を1976年にスタートした。1980年4月には光ファイバー海底ケーブルの機械的特性を確認するため、KDD丸によって琉球海溝7,000mの深海での海洋実験を実施し、さらに1981年11月に光ファイバー海底ケーブルの電気的特性を確認するため、神奈川県二宮沖合、水深500mの地点で海洋試験を実施した。この試験では中継器1個が50kmの光ケーブル区間に挿入された。システムの商用試験は1986年内に実施される予定である。このシステムは、350kmの光海底ケーブルと7個の中

継器で構成され、また、敷設海域は日本海溝の水深8,000mの部分である。KDDが開発中のこのシステムはOS-280Mシステムと呼ばれ、1988年には第3太平洋横断ケーブル(TPC-3)に使用される。

(2) U. S. A.

U.S.A.における光ファイバー海底ケーブルシステムの開発はAT & Tの総括のもとで、ベル電話研究所(BTL)が実施している。BTLによって開発が進められているシステムはSLシステムと呼ばれ、1.3μmのファイバーを用いて280Mbpsの伝送速度を持っている。SLシステムの商用試験は1985年11月にキャナリー諸島において120km(3中継器)に敷設された。このSLシステムは1988年にTPC-3/HAWAII-4およびTAT-8に使用される。

(3) U. K.

U.K.における光ファイバー海底ケーブルシステムの開発は、1976年以来British Telecom(B.T.)によっておこなわれている。1980年2月、10kmの試験システムがスコットランドの西部に敷設され、1980年5月にはこのシステムに中継器1台が挿入され、140Mbpsの伝送試験が実施された。B.T.が開発中のシステムはNL-2システムと呼ばれ、1988年にTAT-8に使用される。

(4) フランス

フランスにおける光ファイバー海底ケーブルシステムの開発は、1979年からCentre National d'Etudes des Telecommunications(CNET)によっておこなわれている。試験システムは1981年に敷設された。CENTが開発しているシステムはS-280システムと呼ばれ、1988年にTAT-8に使用される。

各国が開発を進めている光海底ケーブルシステムの主要目を表IV-1に示す。同表でも

表Ⅳ-1 開発中の光海底ケーブルシステムの主要目

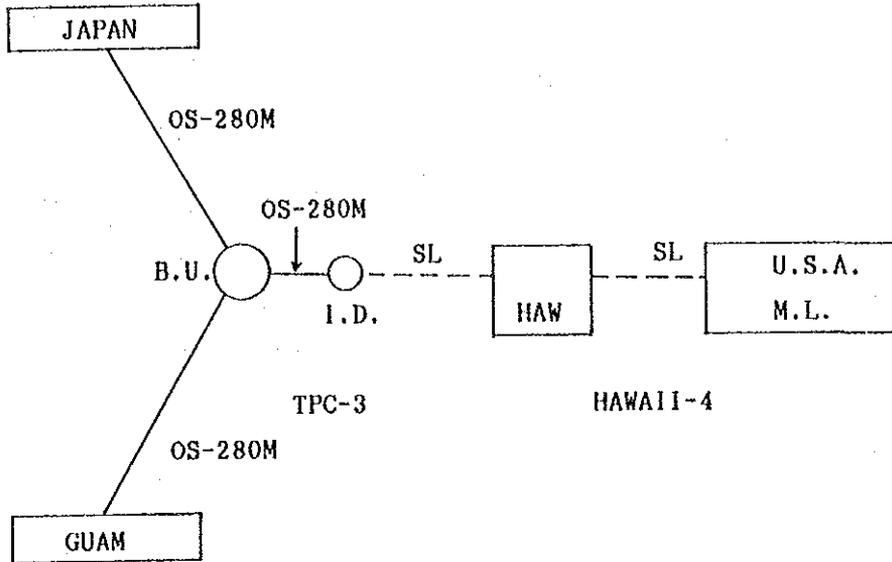
Country Item	Japan		U.S.A. BTL(SL)	U.K. BT(NL-2)	France CNET(S-280)
	KDD(OS-280M)	NTT			
Transmission Speed	280 Mbps	400 Mbps	280 Mbps	(140), 280 Mbps	(140), 280 Mbps
Number of Fiber Pair	1 - 3	1 - 3	1 - 3	1 - 3	1 - 3
Max. System Length	8,000 km	1,000 km	8,000 km	7,500 km	7,500 km
Max. Sea Depth	8,000 m	8,000 m	7,500 m	7,500 m	6,500 m
Repeater Span	30-53 km	32-42 km	30-50 km	40-50 km	50 km
Wavelength	1.3 μ m	1.3 μ m	1.3 μ m	1.3 μ m	1.3 μ m
Fiber	SMF	SMF	SMF	SMF	SMF
Power Supply	± 1.6 A	± 1.8 A	± 1.6 A	± 1.6 A	± 1.6 A
System Life	25 years	20 years	25 years	25 years	25 years
Reliability	MTBF 10 years	MTBF 10 years	MTBF 8 years	MTBF 10 years	Unknown

(1986.2.)

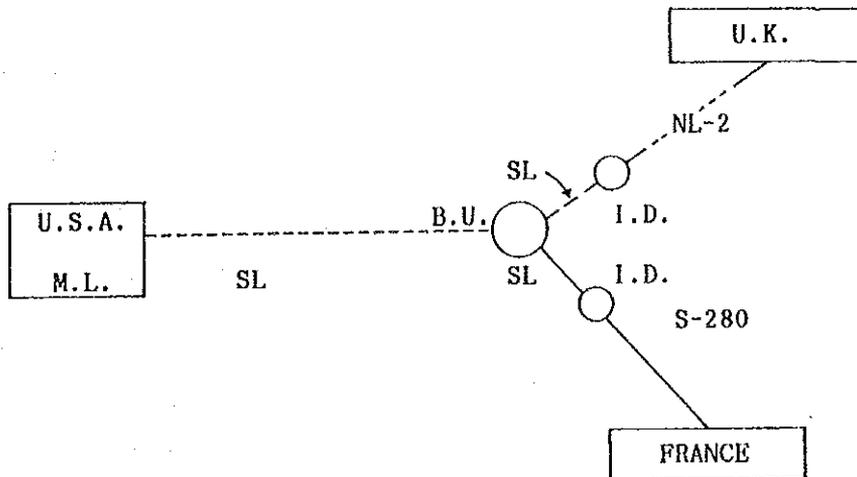
明らかなように各システムの設計はCCITT 140Mbps のデジタル信号ストリームに準拠しているため、主要目は相似している。

1988年に大西洋と太平洋に光海底ケーブルシステムによる大洋横断ケーブルが敷設される予定である。この時には日本のOS-280Mシステムと米国のSLシステムが相互接続して使用され、また米国のSLシステムと、英国のNL-2システムおよびフランスのS-280システムが太平洋および大西洋においてそれぞれ次のように接続される。

TPC-3/HAWAII-4



TAT-8



B.U.: Branching Unit

I.D.: Integration Device

第3章 システムの設計条件

第3章 システムの設計条件

3.1 システムの回線容量

現在実用化が進められているすべての長距離用光海底ケーブルシステムは、CCITT勧告の140Mbpsデジタル入・出力ポートに準拠するように設計されている。1つの140Mbpsデジタルストリームは64kbpsの電話回線1,920または放送用カラーTV2回線を伝送できる。

本報告の2.1項で述べた所要回線数によればクアンタンとコタキナバルを結ぶ本システムでは3つの140Mbpsデジタルストリームが必要となる。現段階の光海底ケーブルシステムの開発状況から、 3×140 Mbps (3ファイバーペア) または、 280 Mbps + 140 Mbps (2ファイバーペア) のシステムが適当であるが、これらは 2×280 Mbps (2ファイバーペア) のシステムに比較してそれほど建設費は節減にはつながらない。従って、クアンタン-コタキナバルのシステムには 280 Mbps $\times 2$ を推奨する。これによれば、残余の 140 Mbps $\times 1$ は将来の新サービスあるいは、ケーブルシステムの拡張による需要の増加のために保有することができる。

3.2 システムの寿命および信頼性

現在開発されている最大区間長8,000kmの長距離システムは、25年の耐用寿命を持つように設計されており、また主要伝送路である海中設備の信頼性はシステム寿命である25年間にシステムを構成する部品の故障による修理が3回以下であるとされている。

クアンタン-コタキナバルを結ぶ光ファイバー海底ケーブルのシステム長は約1,500kmであることから、前記長距離システム用として設計された海中設備をそのまま適用すれば、システム寿命および信頼性は次のとおりとなる。

- (1) システム寿命 25年
- (2) 信頼性 システムを構成する部品の故障による修理は寿命期間中に1回以下

3.3 システムインターフェイス

本システムに接続される国内線連絡線システムは、140Mbpsデジタルストリームが計画されている。従って、海底ケーブルシステムとのインターフェイスは139,264kbps

のデジタル・ディストリビューションフレームとなる。従って、端局装置の139,265 kbpsの入・出力ポートはCCITTの勧告に準拠するものとする。

3.4 伝送規格

各デジタルラインの伝送規格はCCITT勧告G921 (Red Book, Volum Ⅱ, Fascicle Ⅲ, 3)に定められている特性に準拠しなければならない。また各デジタルラインは、四季の温度変化、通常のケーブル局の温度変化およびケーブルとシステムの修理による変動を考慮して、システムの寿命期間中規格を維持するよう設計されなければならない。

3.5 損失配分

3.4項で述べた伝送規格をシステム寿命期間中維持するために、次のような損失配分が各中継区間に考慮されねばならない。

$$\begin{aligned} & \text{中継器出力レベル} - (\text{ケーブル損失} + \text{ファイバー接続損失} + \text{システム余裕} + \text{修理余裕}) \\ & = \text{中継器入力レベル} \end{aligned}$$

上記のシステム余裕は、設計誤差、敷設効果、ケーブル経年変化、入・出力伝送装置の経年変化等を含んでいる。

3.6 修理余裕

次のような修理余裕がシステム保守のために必要とされる。

(1) 深海部 (水深 1,000 m 以上)

この部分ではケーブル障害が起こった場合、1中継区間を挿入して修理されるので修理余裕をみる必要はない。

(2) 浅海部 (水深 1,000 m 以下)

この部分ではケーブル障害修理による伝送損失の増加を補償するために、中継間隔を標準の深海部の間隔よりも短くする必要がある。光海底ケーブルシステムの場合、修理による伝送損失の増加は約1 dBと算定されるが、この値はケーブル2.2 Kmの損失に相当する。またケーブル障害が起る可能性は、水深200 m以下の大陸棚部分の方が、大陸棚から深海部に達する斜面(水深200 m～1,000 m)より高い。

これらのことを考慮して、修理余裕は次のような状況が必要とされる。

大陸棚部分（水深 200 m 以下） 1 中継区間に対し 4 ケーブル接続（修理 2 回）

大陸棚斜面（水深 200 m ～ 1,000 m） 1 中継区間に対し 2 ケーブル接続（修理 1 回）

3.7 陸上部ケーブルの設計

通信用陸上部ケーブルおよび海洋接地用アースケーブルのルート調査をクアンタン（チェラチン）およびコタキナバル（タンジュンアルー）両陸揚地で実施した。その結果は第 2 編第 7 章に示されるとおりである。両陸揚地における陸上部ケーブル設計に対する基本的要求は次のとおりである。

(1) クアンタン（チェラチン）陸揚地

既存のクアンタンークチンおよび M.S.T ケーブルの陸上部および接地ケーブルは管路に収容されている。この既設管路は現在 3 本分が未使用であり、本ケーブルシステムの海岸から陸揚局までの陸上部および接地ケーブルを収容することは可能である。

(2) コタキナバル（タンジュンアルー）陸揚地

陸上部ケーブルおよび海洋接地用アースケーブルは、放棄された SEACOM ケーブルのそれらに沿って敷設することができる。

陸上部ケーブルを、人為障害、外力、タンジュンアルー地区の地域開発による影響から保護するため、海岸から局舎までを地下 1 m 以上の深さを持つケーブル管路を新設し、これに収容することが望ましい。

この管路の設置に当たっては、クアンタンーコタキナバル海底ケーブル、将来計画ケーブルおよび予備を含め 4 本の構成とすることを推奨する。また、この管路には陸上部ケーブルと海側ケーブルを接続するための海岸マンホールを、陸上部ケーブルを敷設するための屈曲点に 2 ～ 3 個のマンホールを各々設置することが必要である。なお、管路および陸上部ケーブルの建設に先立って、コタキナバルヨットクラブ構内の地下障害物すなわち電力線、水道管等の有無を調査する必要がある。

3.8 給電用接地システムの設計

光ファイバー海底ケーブルシステムでは、中継器を作動させるために 1.6 アンペアーの

定電流が必要とされる。この定電流を中継器に供給する給電装置のために、陸揚局の周辺に安定した接地抵抗を有する接地システムの設置が必要である。一般にこの接地システムには1Ω以下の接地抵抗が要求される。また、この接地システムが故障した場合、直ちに局舎アースに切替えられるような自動切替装置を準備する必要がある。

調査団はこの接地システムを設計するために必要な大地比抵抗の測定を両陸揚地の海岸で実施し、その結果は第Ⅱ編、7.2項にのべたとおりである。この結果を分析して得られた両陸揚地の測定ラインにおける大地抵抗は図Ⅳ-1に示すとおりである。この大地比抵抗をベースとして両陸揚地における接地システムを検討した結果、次のような要目が適当と考えられる。

(1) 電 極

光海底ケーブルの場合、給電電流は1.6アンペアである。この値は同軸海底ケーブルの0.5アンペア以下であるのに比較して非常に高い。それ故、電極の消耗を防ぐために、電極は銅製のかわりにシリコンアイアン製のものの使用を推奨する。この電極の概要は次のとおりである。

- 寸 法 : 直径670 mm, 長さ2,134, 肉厚10 mm
- 重 量 : 28.5 Kg
- 消 耗 : 16.0 Kg/1.6アンペア(25年)

(2) コタキナバルにおける接地システム

コタキナバル陸揚地においては、図Ⅳ-2に示すとおり土壌抵抗率(ρ)が5.25Ωmの場所、すなわち地下5mに2本の電極を設置することを推奨する。この場合に得られる接地抵抗は次のとおりである。

$$R = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left(I_n \frac{8 \times L}{D} - 1 \right) = \frac{5.25 \Omega \text{ cm}}{2 \times \pi \times 600 \text{ cm}} \times \left(I_n \frac{8 \times 600 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1 \right) = 0.62 \Omega$$

R : 接地抵抗 (Ω)

ρ : 土壌抵抗率 (Ωcm)

L : 電極(バックフィル)の長さ(cm)

D : 電極(バックフィル)の直径(cm)

(3) クアンタンにおける接地システム

クアンタン陸揚地においては、図Ⅳ-2に示すとおり、土壌抵抗率(ρ)が18.0Ωmの

場所、すなわち地下5 mに6本の電極を設置することを推奨する。この場合に得られる接地抵抗は次のとおりである。

$$\begin{aligned} R &= \frac{\rho}{2 \times \pi \times L \times N} \times \left[\ln \frac{8 \times L}{D} - 1 + \frac{2 \times L}{S} \times \ln (0.656 \times N) \right] \\ &= \frac{1,800 \Omega \text{ cm}}{2 \times \pi \times 600 \text{ cm} \times 3} \times \left[\ln \frac{8 \times 600 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1 + \frac{2 \times 600 \text{ cm}}{750 \text{ cm}} \times \ln (0.656 \times 3) \right] \\ &= 0.89 \Omega \end{aligned}$$

S : 電極 (設置孔) の間隔

N : 電極孔の数

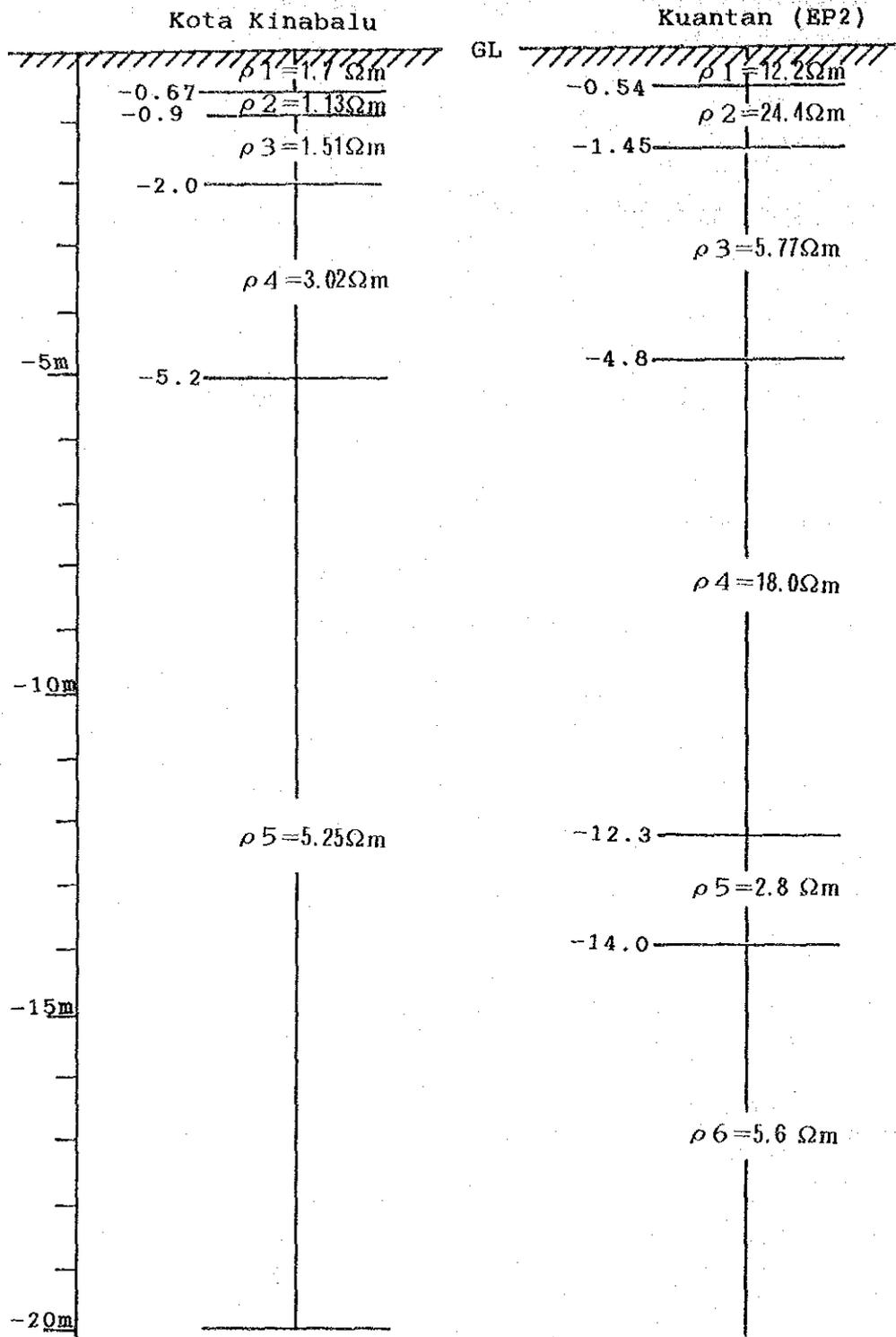
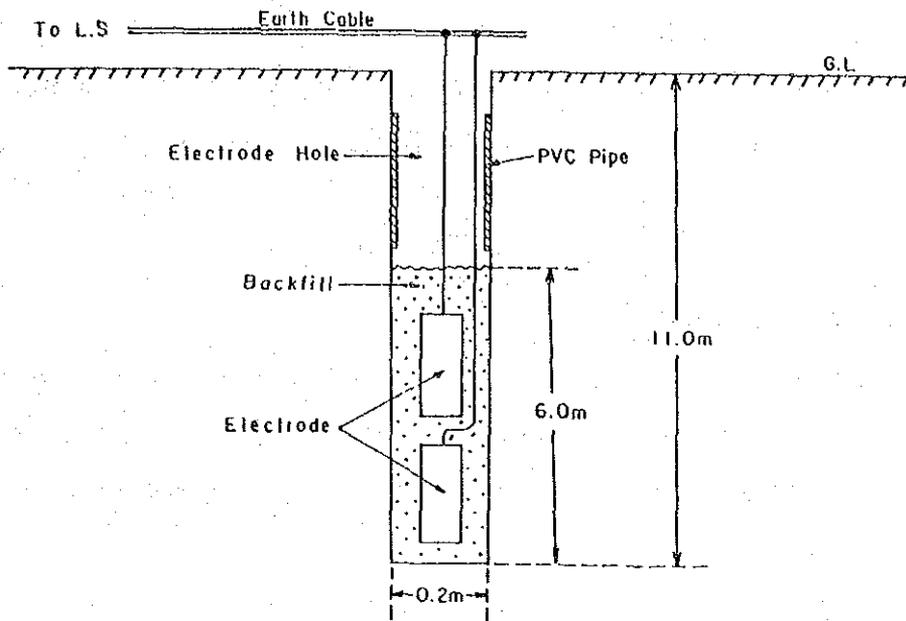
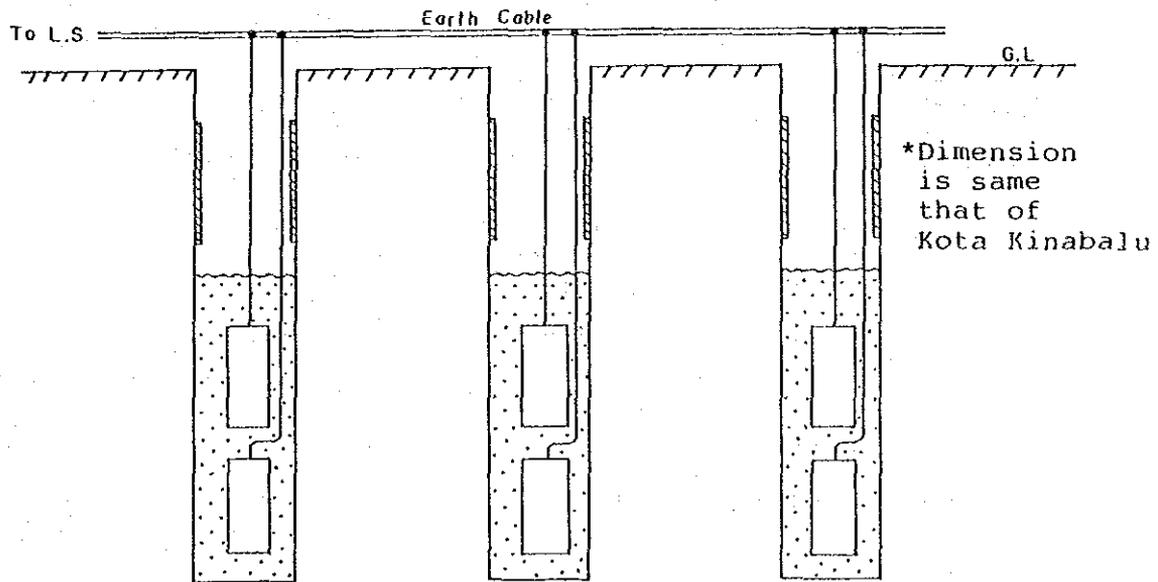


図 IV - 1 両陸揚地点における大地比抵抗

(1) Kota Kinabalu



(2) Kuantan



図IV-2 推奨給電用接地システム

3.9 浅海部におけるケーブル保護

海洋部調査中に多くの漁船、漁網が推奨ケーブルルートの周辺で観察された。また、ケーブルルートは両ケーブル陸揚地沖合で石油生産地域に近接している。したがって、浅海部ケーブルを漁業活動、船舶の投錨、石油生産活動による被害から防ぐため、漁具および小型船アンカーの海底貫入度を考慮して、ケーブルを海底下1 m以上に埋設することが必要である。

3.10 システムの保守および監視

本システムを保守し監視するため、システムにはCCITTの標準的な要求に準拠した警報情報と、これにつづく各種作動機能を持たせることが肝要である。このためには効率的な保守および監視が行えるコンピュータ化された警報・モニター情報処理システムの準備が必要である。

各中継器に内蔵されているインサーブスエラーモニターおよびアウトオブサービス光ループバックシステムは、ケーブル陸揚局に設備されているコンピュータ化された自動ホームスーパーバイズ装置(HSU)により作動し、システムの故障位置を即時かつ正確に知ることができる。(図Ⅳ-21参照)

3.11 システムの構成

光ファイバー海底ケーブルシステムは次の装置および設備によって構成されている。

(1) 海中設備

- 光ファイバー海底ケーブル
- 中継器

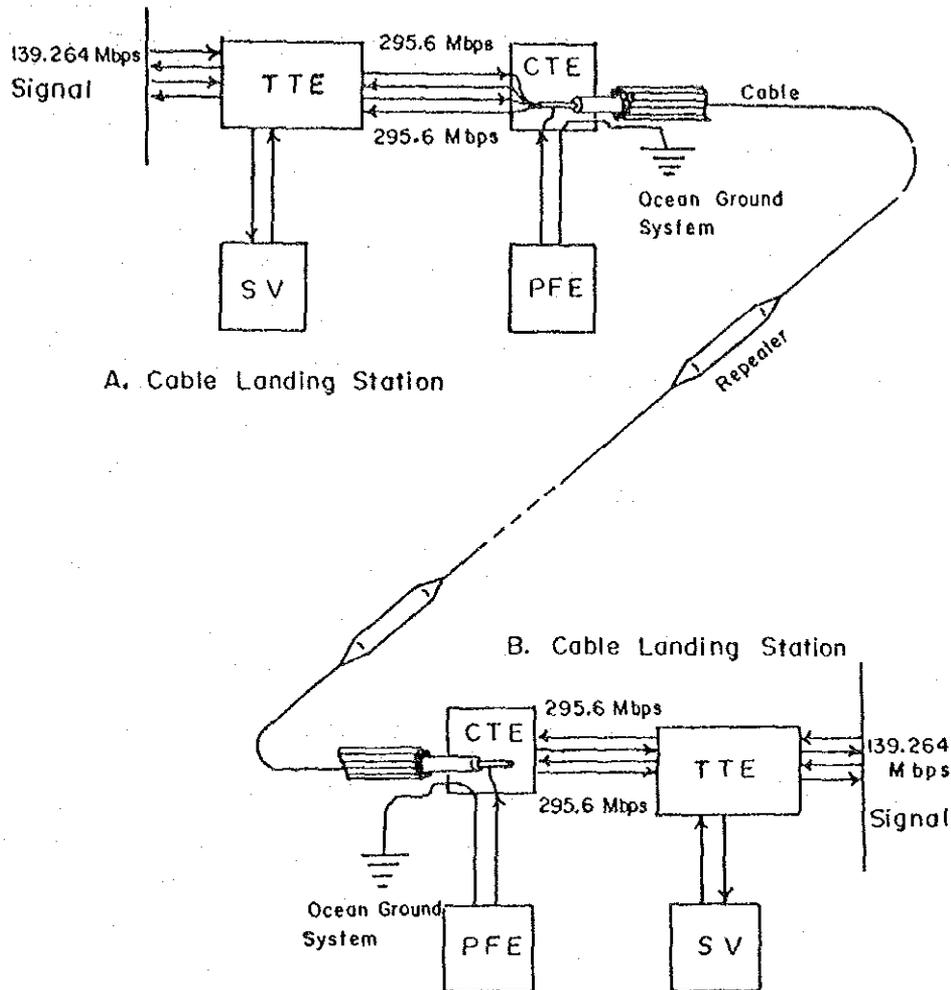
(2) 端局装置

- ケーブル終端装置 (CTE)
- 伝送端局装置 (TTE)
- 監視装置 (SV)
- 給電装置 (PFE)

(3) 海洋接地システム

上記各装置および設備の代表的な構成は次のとおりである。

また、これ等設備および装置の機能については 3.1 2 項で述べる。



3.1.2 各装置および設備の機能

(1) 光海底ケーブル

本システムに使用される光ファイバー海底ケーブルは、一重外装ケーブル（SA）、二重外装ケーブル（DA）および無外装ケーブル（UA）からなっている。これらのケーブルは25年のシステム設計寿命に適合するよう設計されねばならない。また-10℃から+40℃までの温度において格納、輸送および工事のための取扱いが可能でなければならない。

光海底ケーブルの特性は次のとおりである。

(a) 光特性

- ・減衰 : 0.45 dB/km以下(1.30~1.32 μ m)
- ・光の分散 : ± 2.0 ps/nmkm (")
- ・温度変化に対する減衰量の変化 : 0.02 dB/km以下(0~30℃)

(b) 電気的特性

- ・直流抵抗 : 1.0 Ω /km以下
- ・絶縁抵抗 : 2×10^{11} Ω /km以上
- ・耐圧 : 12 kV

(c) 機械的特性

- ・抗張力 : DA = 42 tons, SA = 20 tons, UA = 10 tons
- ・最小曲率半径 : DA = 1.5 m, SA = 1.0 m, UA = 1.0 m
- ・繰り返し曲げ : 半径1 mで30回くりかえし曲げても、ファイバーが切断しないこと
- ・耐水圧 : 500 kg/cm²以上
- ・海水の浸透 : 浅海部においては両方向に250 m以内
(水深1,000 m以下, 2週間で)
深海部においては両方向に1,000 m以内
(水深1,000 m以上, 2週間で)

(2) 中継器

本システムに使用される中継器は、25年のシステム寿命に適合するよう設計されねばならない。また、-10℃から+40℃までの温度において格納、輸送および工事のた

めの取扱いが可能でなければならない。

各光信号再生器は本システム設計要求に示す伝送基準に一致しなければならない。また、中継器内の1つの光信号再生器の故障が他のそれに影響を与えてはならない。

中継器は4,500ボルト以上のサージ電圧に耐え得ると共に、その筐体は500kg/cm²以上の水圧に耐えられるものでなくてはならない。

中継器の特性は次のとおりである。

(a) 入 力

- パルスビットレート 2 95.6Mbps ± 3 ppm
- 波 長 1.30 ~ 1.32 μm
- 平均光入力 -32 dBm ± dBm

(b) 出 力

- 光 出 力 -4 dBm 以上

(c) 直流電圧降下

給電電流が1.6アンペア±2%のときに
70ボルト以下

(d) 絶縁体強度

4,500ボルトD.C以上(1分間)

(e) 絶縁抵抗

2,000 MΩ以上(1,000ボルトD.C)

(3) ケーブル終端装置

ケーブル終端装置は海底ケーブルを成端し、局内光ファイバーと海底ケーブル光ファイバーを接続する。また、中継器を作動させる電力もこの装置をつうじてケーブルに供給される。ケーブル終端装置は、地電圧のモニター、電力供給ラインの切替およびサージ電圧の保護等の機能を持っている。

(4) 給電装置

給電装置の機能は、25年間のシステム寿命期間中、直流1.6アンペアの定電流を海中設備に供給する機能を持っている。最大出力電圧は±7,000Vで、高信頼性を保つために完全二重化方式がとられている。

(5) 伝送端局装置

伝送端局装置は送信部、受信部および付属としてのモニター、警報、故障検出および

スピーカ装置を包含する。送信部はデジタルライン部分のインターフェイス信号を海底ケーブル部分へ伝送するための定められた形状にアッセンブルする機能を持ち、また、受信部はその逆の機能を持っている。

(6) 監視装置

監視装置はコンピュータ制御による2つのサブシステムによって構成されている。

(a) サービス中断時のモニターおよび制御システム

(b) サービス中のモニターおよび制御システム

これら2つのサブシステムにより、監視装置は次の2つの状況におけるシステムのモニターができる。

(a) レーザー故障時における各再生中継器内の予備レーザーへの自動切替

(b) 再生中継器でおこなわれるデジタル伝送品質のエラーモニター

第4章 システム形態の推奨例

第 4 章 システム形態の推奨例

4.1 概 要

調査団は、KDDが技術開発を進めているOS-280M光ファイバー海底ケーブルシステムについて調査をおこない、このシステムのパラメータを基本として、クアンタソコタキナバル海底ケーブルシステム形態を策定した。

OS-280Mシステムの特徴は第5章の表Ⅳ-3に述べるとおりである。

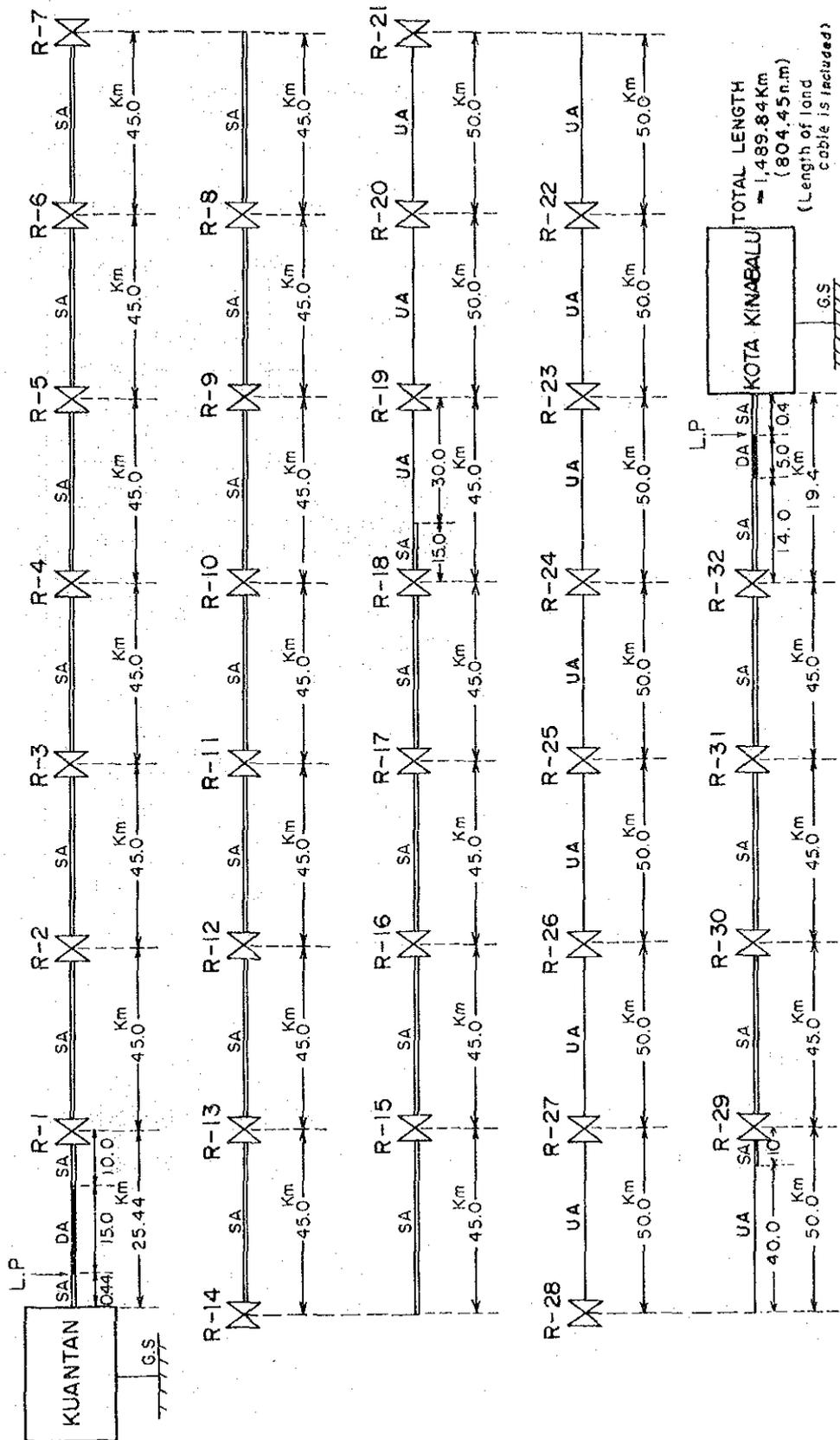
4.2 システム構成図

陸上部ケーブルおよびスラック量、中継器を挿入した海中部ケーブルを示した本システムの構成図を図Ⅳ-3に示す。

このシステム構成図を設計するに当って考慮に入れた事項は次のとおりである。

- (1) ケーブルルート長は、1,451.47 kmとする。
- (2) 深海部における中継器間隔は、世界で開発されているシステムの中継区間長を考慮して50 kmとした。
- (3) 浅海部における中継器間隔は、将来の修理による損失の増加を考慮に入れて45 kmとした。
- (4) 浅海部ケーブルを保護するため、第Ⅱ編第4章で述べられている埋設不能部分には一重外装ケーブル(SA)の使用が適用である。
ケーブルが埋設可能な浅海部においても、次のような理由で一重外装ケーブルを使用することが適切である。
 - (a) 無外装ケーブルの場合、薄い絶縁層が原因でケーブル埋設装備によるケーブル損傷の可能性があること。
 - (b) ケーブル障害が埋設部分で発生した場合、その修理のため引き揚げる際に切断の可能性のあること。
- (5) 各中継区間の損失配分は次表のとおり設計した。

項 目	深 海 部	浅 海 部
中継器出力レベル	- 4.0 dBm	- 4.0 dBm
ケーブル損失	2 2.5 dB (0.4 5 dB/km)	2 0.3 dB (0.4 5 dB/km)
ファイバー接続損失	0.5 dB	0.5 dB
中継器入力レベル	- 3 6.2 dBm	- 3 6.2 dB
システム余裕	9.2 dB (合計)	1 1.4 dB (合計)
設計誤差	1.5 dB	1.5 dB
敷設効果	0.7 dB	0.7 dB
ケーブル経年変化	2.6 dB	2.6 dB
出力部経年変化	1.5 dB	1.5 dB
入力部経年変化	1.7 dB	1.7 dB
修理余裕	0 dB	2.0 dB
残留余裕	1.2 dB	1.4 dB



G.S: Ground System DA: Double Armoured Cable SA: Single Armoured Cable UA: Unarmoured Cable R: Repeater
L.P: Landing Point

図 IV-3 システム構成図

4.3 海中設備の品目別必要量

本システムのための品目別海中設備所要量は表Ⅳ-2に示すとおりである。

表Ⅳ-2 品目別海中設備所要量

Type of Submersible Plant	Construction Use	Spare	Total
Double Armoured (DC) Cable	20.00 km	5.00 km	25.00 km
Single Armoured (SA) Cable	939.84 km	(Three Rep. Sections) 135.00 km	1,074.84 km
Unarmoured (UA) Cable	530.00 km	(Two Rep. Sections) 100.00 km	630.00 km
Repeater	32	3	35
Junction Box (For Repair)	0	10	10

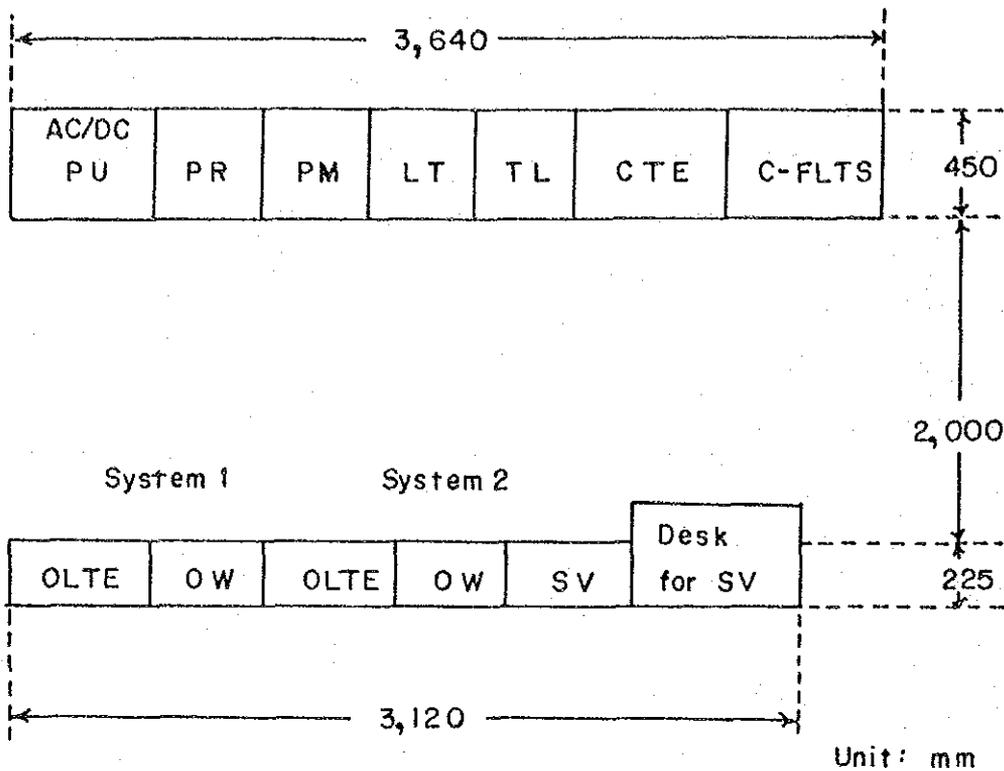
4.4 基本的な端局構成

OS-280Mシステムの端局装置はケーブル終端装置、給電装置、伝送端局装置、監視装置等で構成される。各陸揚局において必要な端局装置の量、および各装置の架サイズを次表に示す。

端局装置の必要量および各架サイズ

Name	No. of Bay	Size of Bay (mm)		
		H	W	D
Optical Line Terminal Equipment	2	2750	520	225
Order-Wire Equipment	2	"	"	"
Power Regulator Bay	1	2750	520	450
Power Monitor Bay	1	"	"	"
Load Transfer Bay	1	"	"	"
Test Load Bay	1	"	"	"
AC/DC Power Unit Bay	1	"	"	"
Cable Termination Equipment	1	2350	520	450
Cable Fault Localization Test Set	1	2000	520	450
Supervisory Equipment	1 Desk 1	1700	520	450

上表に示す端局装置の各陸揚局における配置は、各陸揚局の端局室のスペースによって決められなければならない。しかしながら、これ等装置の代表的な配置を示せば図Ⅱ-1のとおりである。



Legend (Equipment to be installed)

1. C-FLTS: Cable Fault Localization Test Set
2. CTE: Cable Termination Equipment
3. TL(PFE): Power Feeding Equipment (Test Load Bay)
4. LT("): Ditto (Load Transfer Bay)
5. PM("): Ditto (Power Monitor Bay)
6. PR("): Ditto (Power Regulator Bay)
7. AC/DC PU: Ditto (AC/DC Power Unit Bay)
(")
8. SV: Supervisory Equipment
9. OW: Order-Wire Equipment
10. OLTE: Optical Line Terminal Equipment

図IV-4 フローレイアウトプラン

4.5 両陸揚局における端局装置および電力設備の配置

両陸揚局における端局装置および電力設備の配置の一例を示せば、図Ⅳ-5、Ⅳ-6のとおりである。

陸揚局に準備される電力設備は、安定で高信頼の電力を供給できるものでなければならない。

商用電源の受電容量は、陸揚局における通信用電源、付帯用電源の負荷容量で決定される。

海底中継器に電力を送る直流電源は、給電装置例と端局装置例の雑音干渉があってはならないことから端局用の電源と分離する。

各陸揚局におけるOS-280Mシステムを使用する本システムおよび国内連絡線設備の電力消費量は、次のとおりと見込まれる。

種 類	容 量	用 途	
直 流	-48V	34.0kVA	海底ケーブル給電装置
	-48V	3.4kVA	OS端局装置(海側)
		18.7kVA	OS端局装置(陸側)
		7.5kVA	国内連絡線設備
		1.5kVA	打合回線設備
交 流	100V/115V	0.1kVA	海底ケーブル給電装置
		4.4kVA	OS端局装置(海側)
		10.0kVA	OS端局装置(陸側)
		0.8kVA	国内連絡線設備
		3.0kVA	打合回線設備
	200V/220V	1.0kVA	
合 計	84.4kVA		
必 要 容 量	84.4kVA × 2.0(力率) = 168.8kVA		

商用電源が停電した場合、ディーゼル機関またはガスタービン発電装置が適切である。

本システム，照明および空調設備に対する非常用発電機が各ケーブル陸揚局に必要であり，その容量は次のとおりと見込まれる。

ケーブル陸揚局	クアータン	コタキナバル
通信システム用電力消費	170 kVA	170 kVA
陸揚局照明および空調設備	—	200 kVA
合計	170 kVA	370 kVA

4.6 陸上部ケーブルの管路および海洋接地設備の設計

調査団は両陸揚地における陸上部ケーブルの管路および海洋接地設備の設計を図Ⅳ-7(1/2)および(2/2)のとおりおこなった。

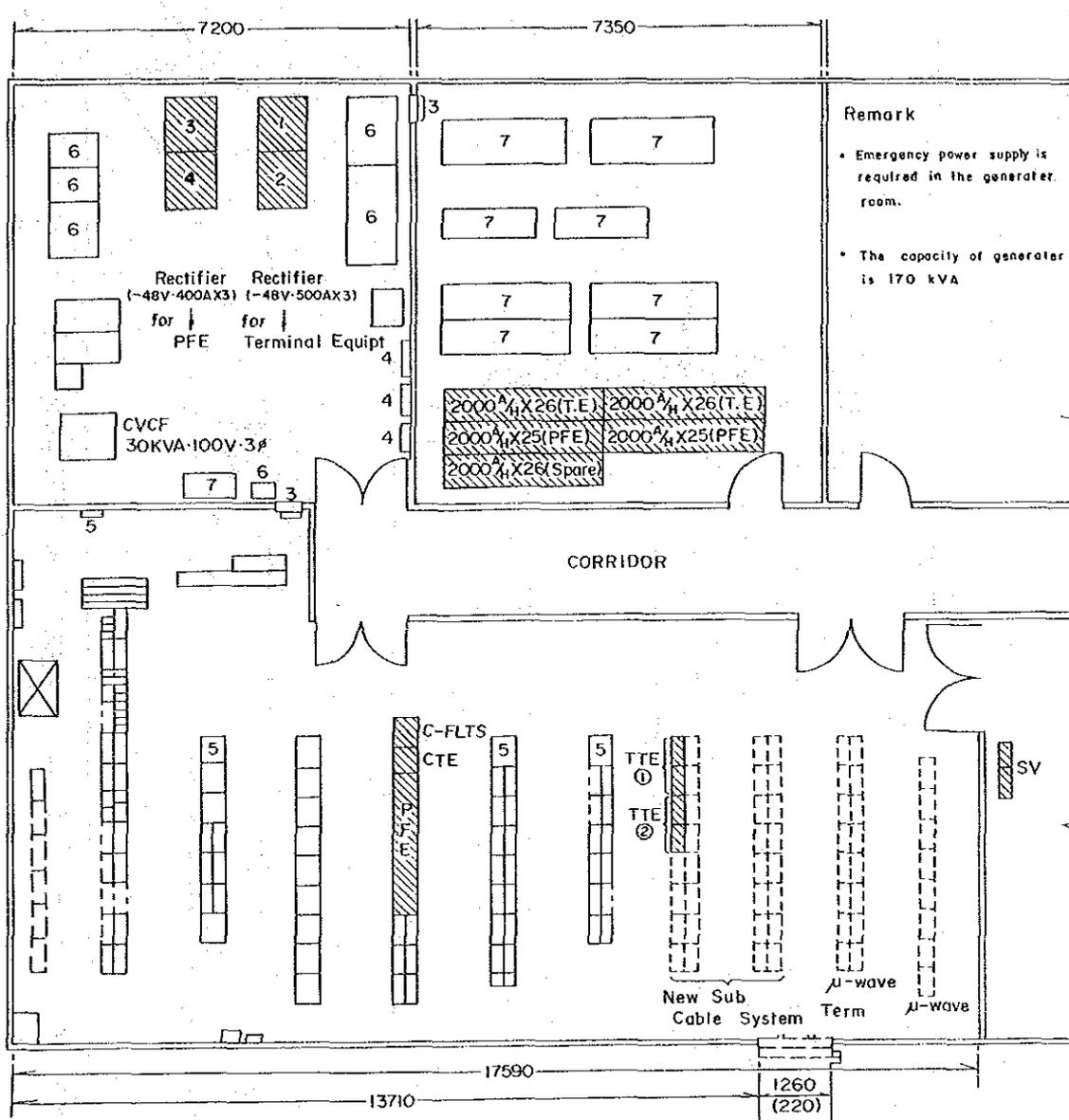


図 IV - 5 クアンタン局舎における端局装置および電力設備の配置

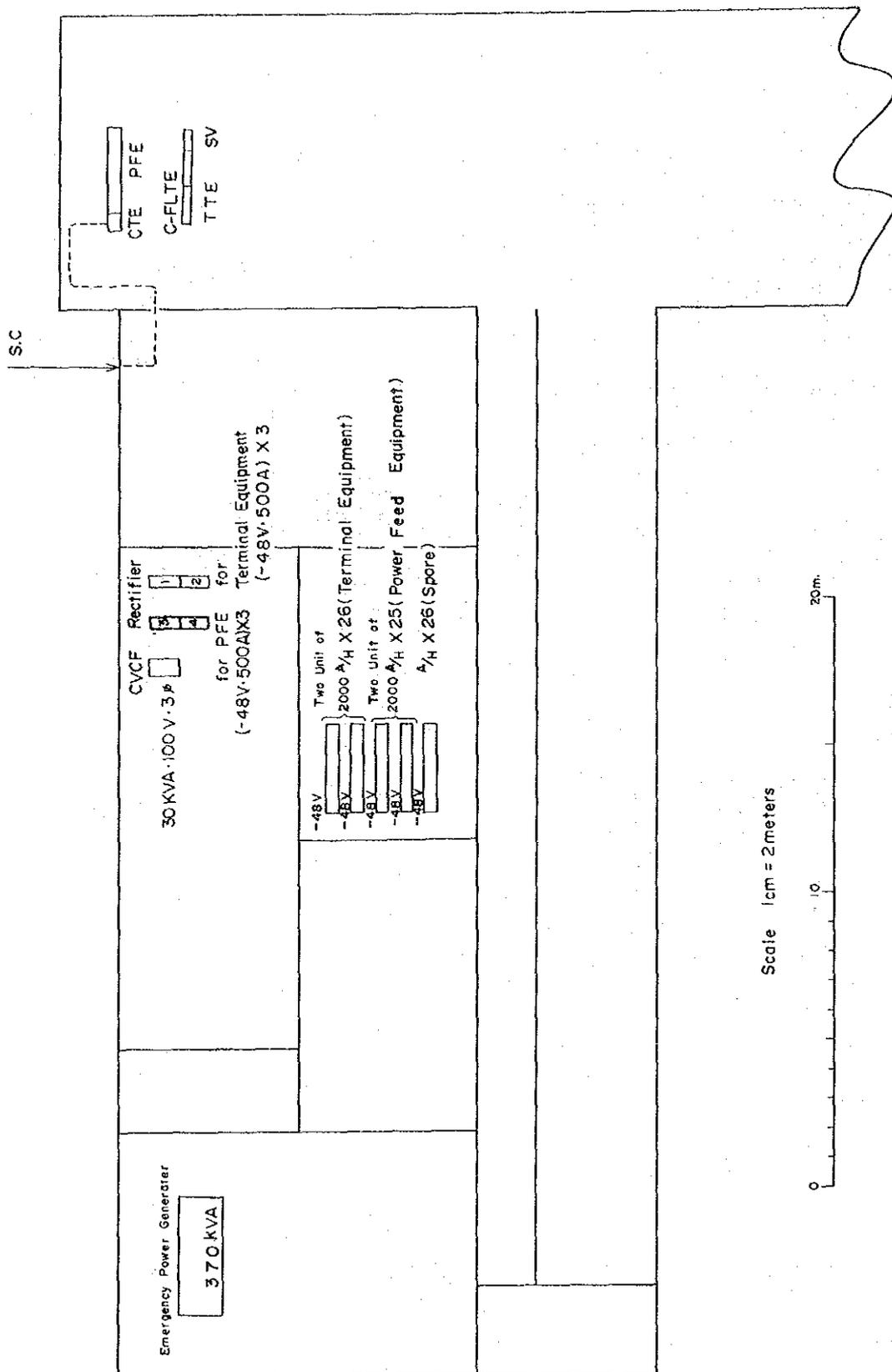
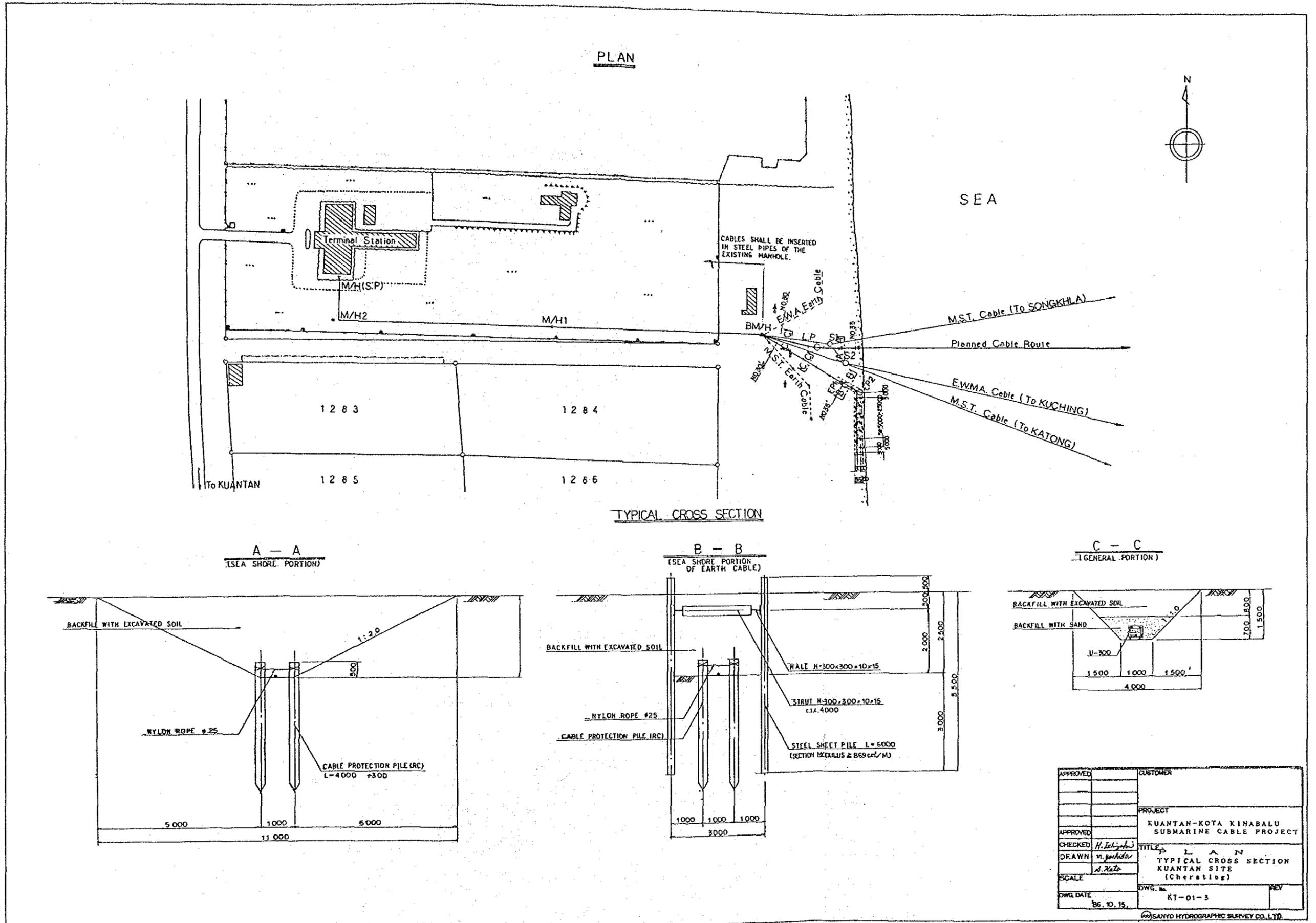


図 IV-6 コタキナバル局舎における端局装置および電力設備の配置



図IV-7(1/2) 陸上部ケーブルの管路および海洋接地設備の設計(クアantan)

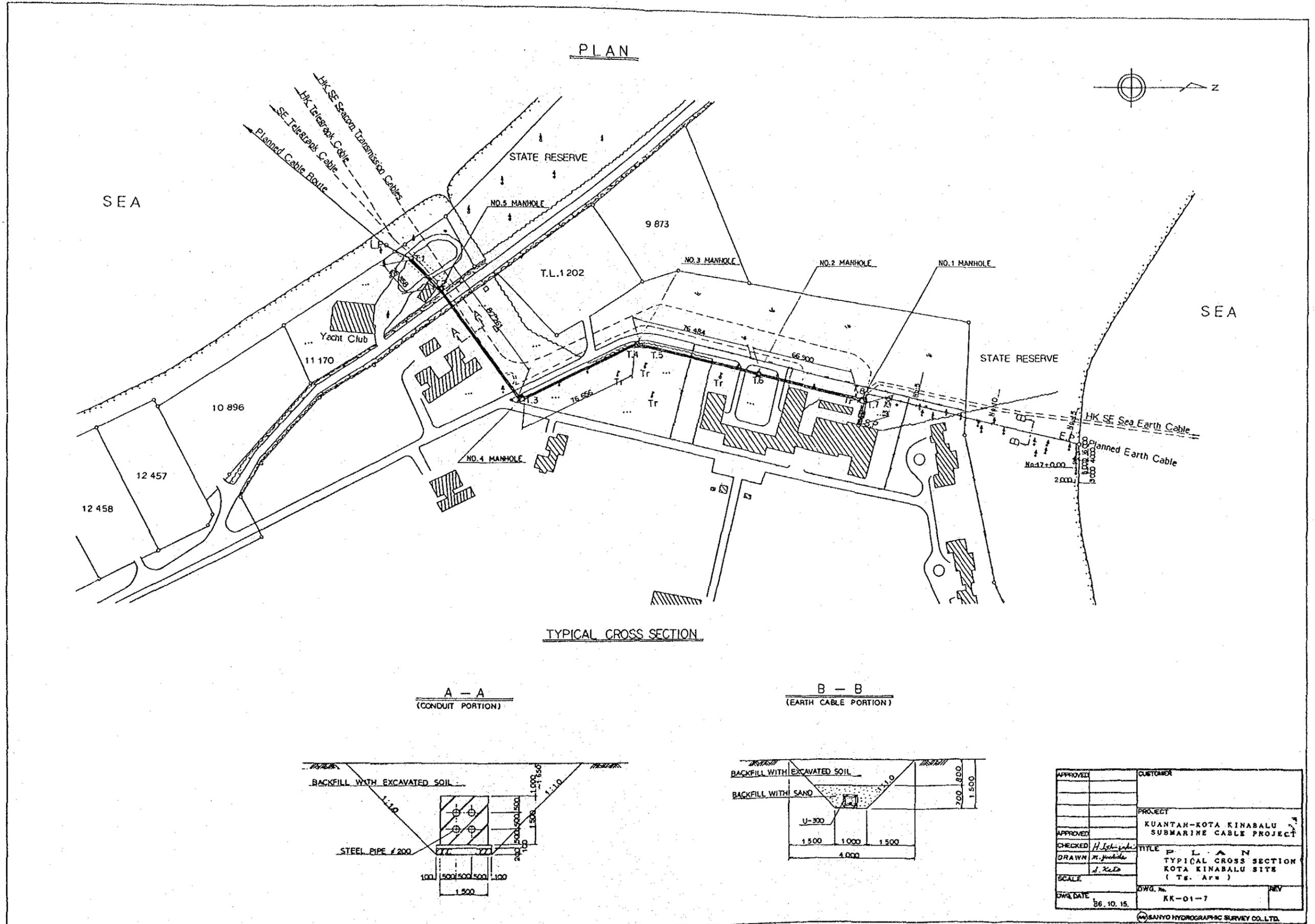


図 IV - 7 (2 / 2) 陸上部ケーブルの管路および海洋接地設備の設計 (コタキナバル)

第5章 OS-280M方式の概要

第 5 章 OS-280M方式の概要

5.1 概 要

調査団は、KDDが技術開発をおこなっているOS-280M光海底ケーブルシステム（OSシステム）について調査をおこなった。そこで、このシステムの概要を紹介した一例としてクアンタノーコタキナバル海底ケーブルシステムにOSシステムを適用した場合のシステム構成について述べる。

5.2 OS-280Mシステムの特徴点

OSシステムは、通信用2対のファイバーケーブル、4個の再生器を持つ中継器および端局装置により構成される。CCITT規格の140Mbpsの2つのデジタルストリームは295.6Mbpsのデジタルストリームに編成、多重化され、TTE（伝送端局装置）で1.3 μ mの光デジタル信号に変換される。光信号は光ファイバーをとおして伝送され、適当な間隔で挿入される各中継器で再生される。中継器を作動する直流電力は、ケーブルの導体をとおして中継器に供給される。すべてのOS端局装置は、関連したCCITT標準に適合するよう設計されている。

表IV-3にOSシステムの設計要目を示す。OSシステムの特徴点は次のとおりである。

(1) 信頼性

システム全体の信頼性は、耐用25年間にケーブルシップによる修理が3回以下であることを目標とする。

OSシステムは、二重化の回路、高信頼性を持った部品および厳重に管理された製造工程によって、十分な余裕をとることにより、この目標を満足することができる。

(2) 区間減衰量の配分

標準の中継間隔は深海部で53kmである。修理余裕を持たないこの長さは、未知および予測することのできない影響に対し相当の余裕を持つよう減衰量の配分に配慮がなされている。また、浅海部については、いくらかの修理余裕が考えられている。

(3) 保守および監視

OSシステムは、関連する CCITT 標準規格に準拠している警報情報と対応動作機能を備えている。コンピュータ化された警報およびモニター情報処理システムが効果的な保守作業のために用意されている。

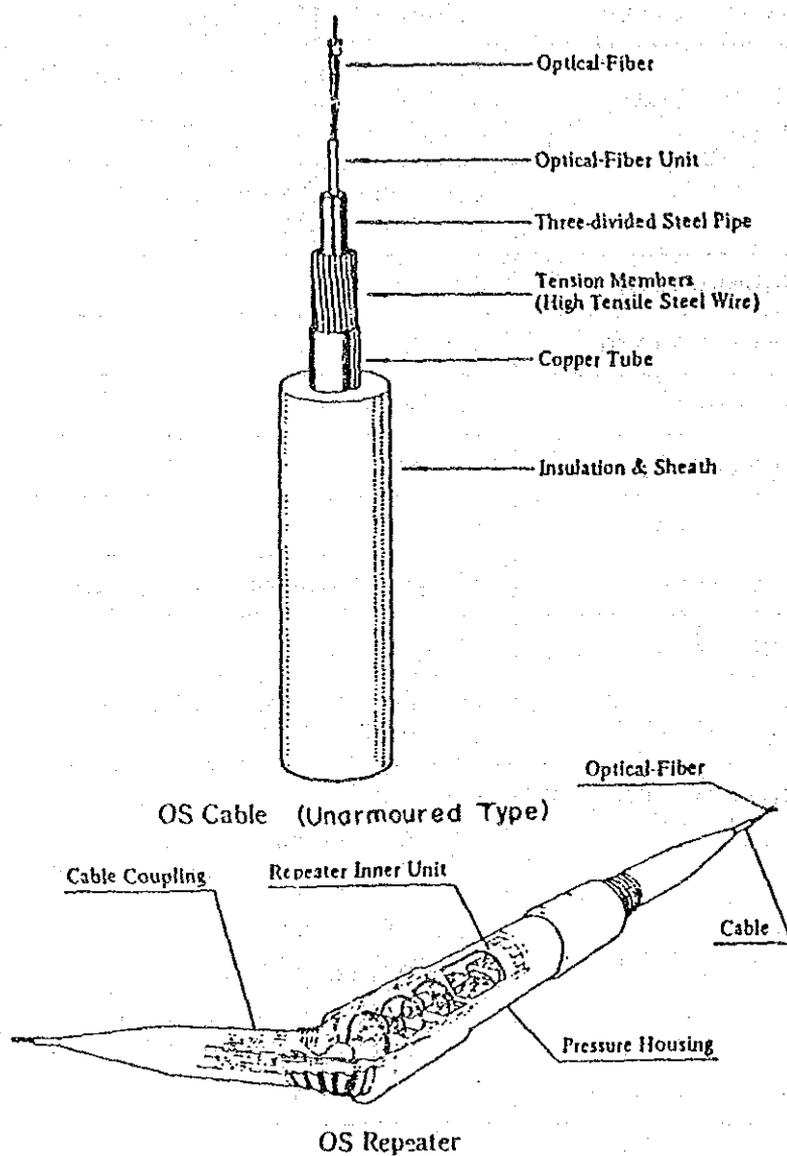
各中継器におけるシステム稼働中のエラーモニタおよびシステム非稼働中の光折返しシステムは、ケーブル陸揚局にあるコンピュータ化された Home Supervisory Unit (HSU) により制御され、即時かつ正確に故障点の位置を発見することができる。

表Ⅳ-3 OS-280Mシステム設計要目

Item	Parameters
Line Bit Rate	295.6 Mbps
Transmission Capacity	7,560 ch (64 kbps) 2-subsystem
Line Code	24 B1P Scrambled binary NRZ
Bit Error Rate	Less than 4.4×10^{-8} /7,400 km
Jitter	Meet the CCITT Rec. G703 at 140 Mbps ports
Number of Subsystems	2
Maximum System Length	8,000 km
Maximum Sea Depth	8,000 m
Nominal Repeater Spacing	53 km
Optical Wavelength	1.31 μ m
Optical-Fiber Type	Single-mode optical-fiber
System Design Life	25 years
Reliability	Not more than 3 ship repairs in 25 years
Repeater Supervision for Fault Location and Monitoring	In-service; <ul style="list-style-type: none"> o Bit error rate o Internal laser switching Out-of-service; <ul style="list-style-type: none"> o Optical loopback o Remote laser switching and operating laser detection o APD bias
Power:	
Constant Direct Current	± 1.6 A
Maximum Voltage	$\pm 7,000$ V

5.3 OSの海中設備および端局装置

OS海中設備の外観は図IV-8に示すとおりである。



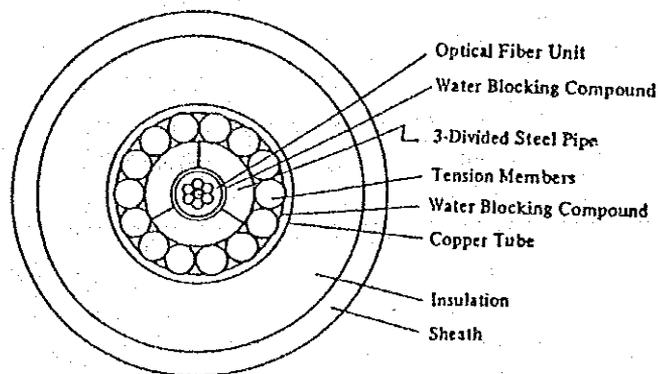
図IV-8 OSシステム海中設備の外観

(1) OSケーブル

OSケーブルの技術的な特色は次のとおりである。

- (a) 3対の単一モード光ファイバーを各ケーブルは保有する。
- (b) 光ファイバーは樹脂に埋込まれ、ケーブルの内側はやわらかいコンパウンドが充てんされている。
- (c) 3つ割りの鉄パイプの抗張力メンバーは機械的外力から光ファイバーを保護する。
- (d) 抗張力メンバーの外側にある溶接された銅のチューブは、湿気の進入を防ぐとともに電力導体の役目をする。
- (e) ポリエチレンは給電ラインの絶縁体ともなる。

ケーブルの断面は図Ⅳ-9に示すとおりである。

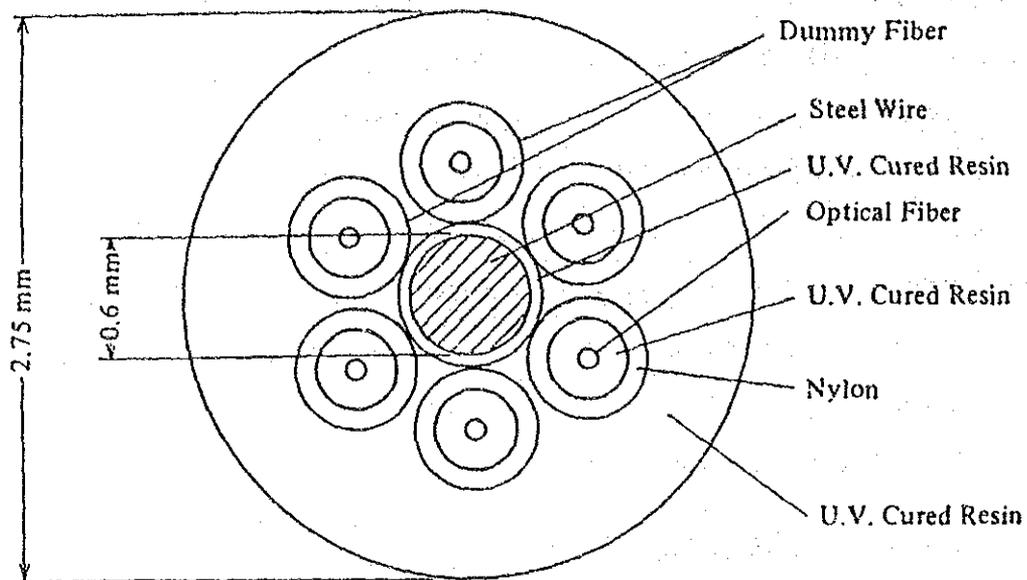


図Ⅳ-9 ケーブルの断面

(1)-1 光ファイバー

図Ⅳ-10に示す光ファイバーを包含する光ファイバーユニットは無外装(UA)、一重外装(SA)および二重外装(DA)と呼ばれる3種類の光海底ケーブルに用いられる。

光ファイバーの物理的要目およびケーブル化したのちの伝送要目を表Ⅳ-4、および表Ⅳ-5に示す。



図Ⅳ-10 光ファイバーユニットの断面

表Ⅳ-4 光ファイバーの物理的要目

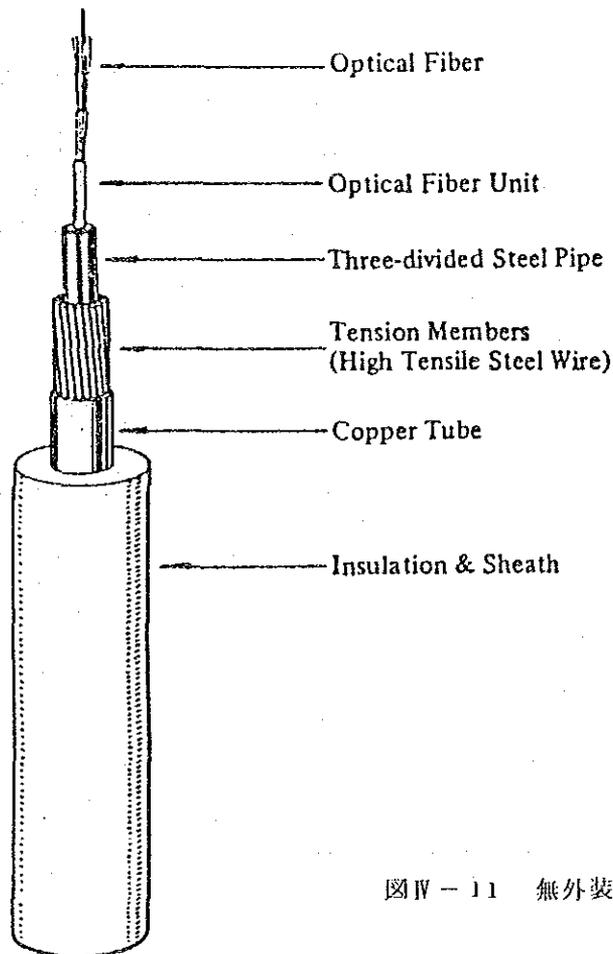
Item		Parameters
Optical-Fiber	Mode Field Diameter	10 μm
	Diameter	125 μm
Inner & Outer Coatings	Material	UV-cured Resin
	Diameter	Nominal 0.4 mm
Sheath	Material	Nylon
	Diameter	Nominal 0.6 mm
Elongation Proof Level for Normal Optical-Fibers		$\geq 2\%$
Elongation Proof level for Splice Point		$\geq 2.5\%$

表Ⅳ-5 光ファイバケーブル化後の伝送要目

Item		Parameters
Optical Attenuation	1.30 μm to 1.32 μm	≤ 0.45 dB/km
Chromatic Dispersion	1.30 μm to 1.32 μm	± 2.0 ps/nm km
Zero Dispersion Wavelength (typical value)		1.31 μm
Cut-off Wavelength		< 1.30 μm

(1)-2 無外装ケーブル (UA)

UAケーブルの構造を図Ⅳ-11に、また機械的な特性を表Ⅳ-6に示す。



図Ⅳ-11 無外装ケーブルの構造

表Ⅳ-6 無外装ケーブルの機械的特性

Item		Parameters
Maximum Sea Depth		8,000 m
Diameter		22 mm
Weight	In Air	0.9 ton/km
	In Water	0.5 ton/km
Cable Tensile Strength		10 ton
Strength/Weight in Water		More than 20 km
Minimum Bending Radium		1 m
Water Ingress		Less than 2 km/2 weeks, at 7,500 m Less than 1 km/2 weeks, at 5,500 m Less than 0.25 km/2 weeks, at 1,000 m
Temperature Character- istics of Attenuation		0.006 dB/km (+50°C to -2°C)
D.C. Resistance		0.71 Ω/km
Insulation Resistance		2×10^6 MΩ/km
Maximum Voltage		12 kV
Number of Optical-Fibers		4 (Maximum 6)
Optical Attenuation		0.45 dB/km (3°C)

(1)-3 一重外装ケーブル (SA)

SA の構造および機械的特性を図 IV-12 および表 IV-7 にそれぞれ示す。

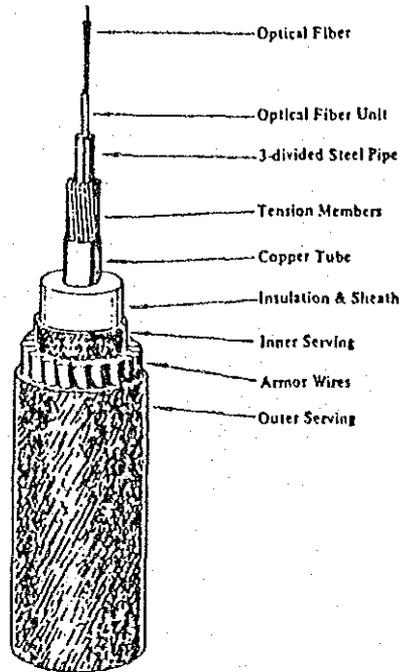


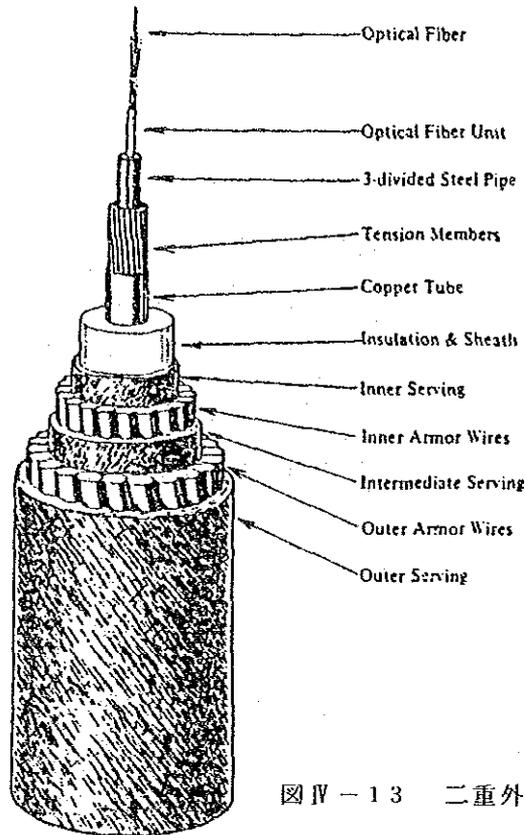
図 IV-12 一重外装ケーブルの構造

表 IV-7 一重外装ケーブルの機械的特性

Item		Parameters
Diameter		41 mm
Diameter & Number of Armour Wires		5 mm x 18
Weight	In Air	4.1 ton/km
	In Water	2.8 ton/km
Cable Tensile Strength		More than 21 ton
Cable Torque		About 2 kg-m/ton
Minimum Bending Radius		1 m

(1)-4 二重外装ケーブル (DA)

DAの構造および機械的特性を図IV-13および表IV-8にそれぞれ示す。



図IV-13 二重外装ケーブルの構造

表IV-8 二重外装ケーブルの機械的特性

Item		Parameters
Diameter		58 mm
Diameters & Number of Armour Wires	Inner wire	5 mm x 18
	Outer Wire	7 mm x 20
Weight	In Air	10.7 ton/km
	In Water	8.1 ton/km
Cable Tensile Strength		More than 42 ton
Cable Torque		About 3 kg-m/ton
Minimum Bending Radius		1.5 m

(2) OS中継器

OS中継器の技術的特色は次のとおりである。

- (a) 光ケーブルで伝送された光信号の再生
- (b) 高性能な単一結晶片集積回路およびレーザーの二重化技術を使用することによって得られた高信頼性設計
- (c) 保守・修理のモニター機能

In-Service (システム稼働中)

*エラー基準モニター

*内部レーザーの切替

Out-of-Service (システム非稼働中)

*光折返しシステム

*受光素子 (APD) バイアスのモニター

*レーザーの切替, 動作中のレーザーの監視

- (d) 中継器筐体は高い水圧および外力から回路を保護するように設計されている。

図Ⅳ-14および図Ⅳ-15にOS中継器の形状と中継器回路ブロックダイアグラムをそれぞれ示す。また, 表Ⅳ-9にOS中継器の設計要目を示す。

表Ⅳ-9 O S中継器の設計要目

Item		Parameters
Line Bit Rate		295.6 Mbps
Line Code		24 B1P Scrambled Binary NRZ
Source		InGaAsP/InP, Laser
Photo Detector		Ge-APD
Optical Wavelength		1.31 μm
Output Optical Power		More than -4 dBm
Receiving Level		Less than -36.2 dBm (at BER = 10^{-11})
Over Load Level		More than -13.2 dBm
Receiving Dynamic Range		More than 23 dB
Jitter		Less than 1° (RMS) and less than 15° (P-P)
Repeater Supervisory		In-service and out-of-service supervisory
Repeater Span		Nominal 53 km
Power Feed Current		D.C. $\pm 1.6\text{A} \pm 2\%$
D.C. Voltage Drop		31 V (at 2-System) Except voltage drop of cable
Power Consumption		Less than 50 W
Surge Resistivity		More than D.C. $\pm 12\text{ kV}$
High Voltage Resistivity		More than D.C. $\pm 12\text{ kV}$
D.C. Insulation Resistance		More than 2,000 M Ω
Design Life		25 years
Reliability		Less than 64 Fits (at 2-System)
Redundancy		1 LD spare cold standby
Quality of Housing		Beryllium Copper Alloys
Dimensions*		265 mm ϕ x 1,480 mm
Weight*		Less than 400 kg
Pressure Strength		More than 800 kg/cm ²
Shock Strength		No damage on peak 50 G
Vibration Strength		No damage on vibration frequency 5 to 55 Hz/amplitude 1.5 mm
Temperature Condition	In Use	0 to 30°C
	In Storage	-10 to 40°C

* Excluding cable couplings.

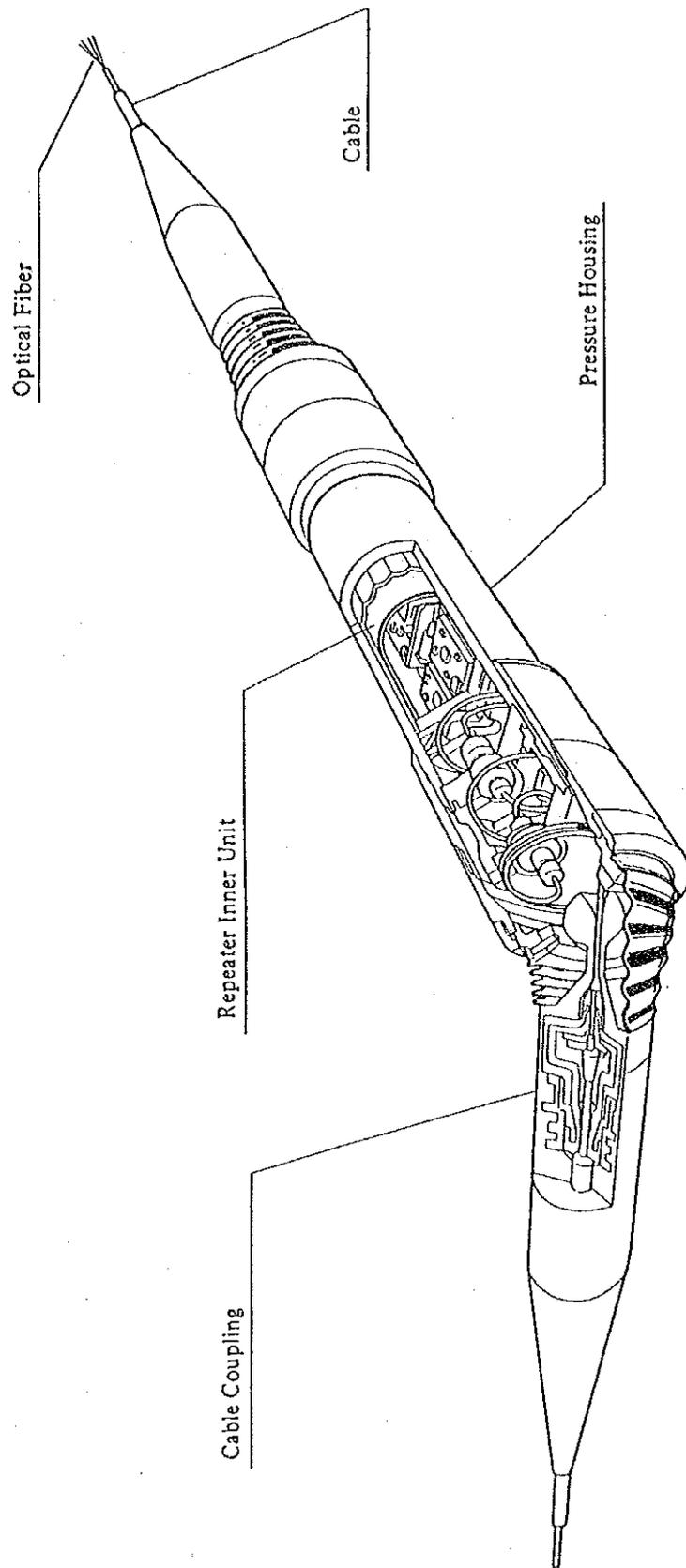
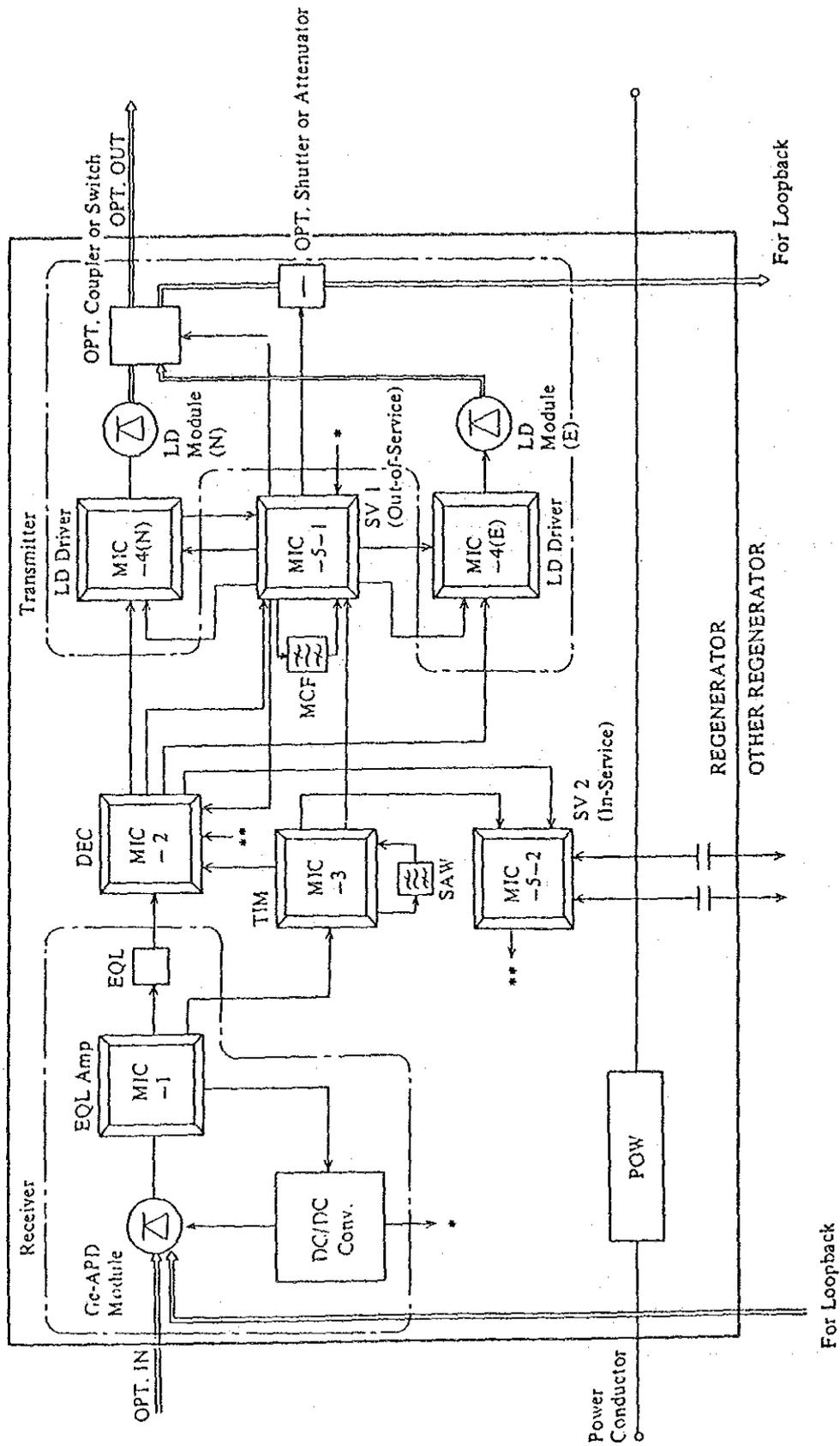


図 IV - 14 O S 中継器の形状



図IV-15 中継器回路ブロックダイヤグラム

(3) OS 端局装置

OS 端局装置は、CTE (ケーブル終端装置)、PFE (給電装置)、TTE (伝送端局装置) およびSV (監視装置) で構成されている。

(3)-1 CTE (ケーブル終端装置)

CTE は海底ケーブルを成端し、海底ケーブルの光ファイバーを局内光ファイバーに接続する。

CTE は、アース電圧電流のモニター、給電線の海洋接地から局舎アースへの切替および電圧の変動に対する給電システムの保護に関する機能を有する。

CTE の外観は図Ⅳ-16 に示すとおりである。

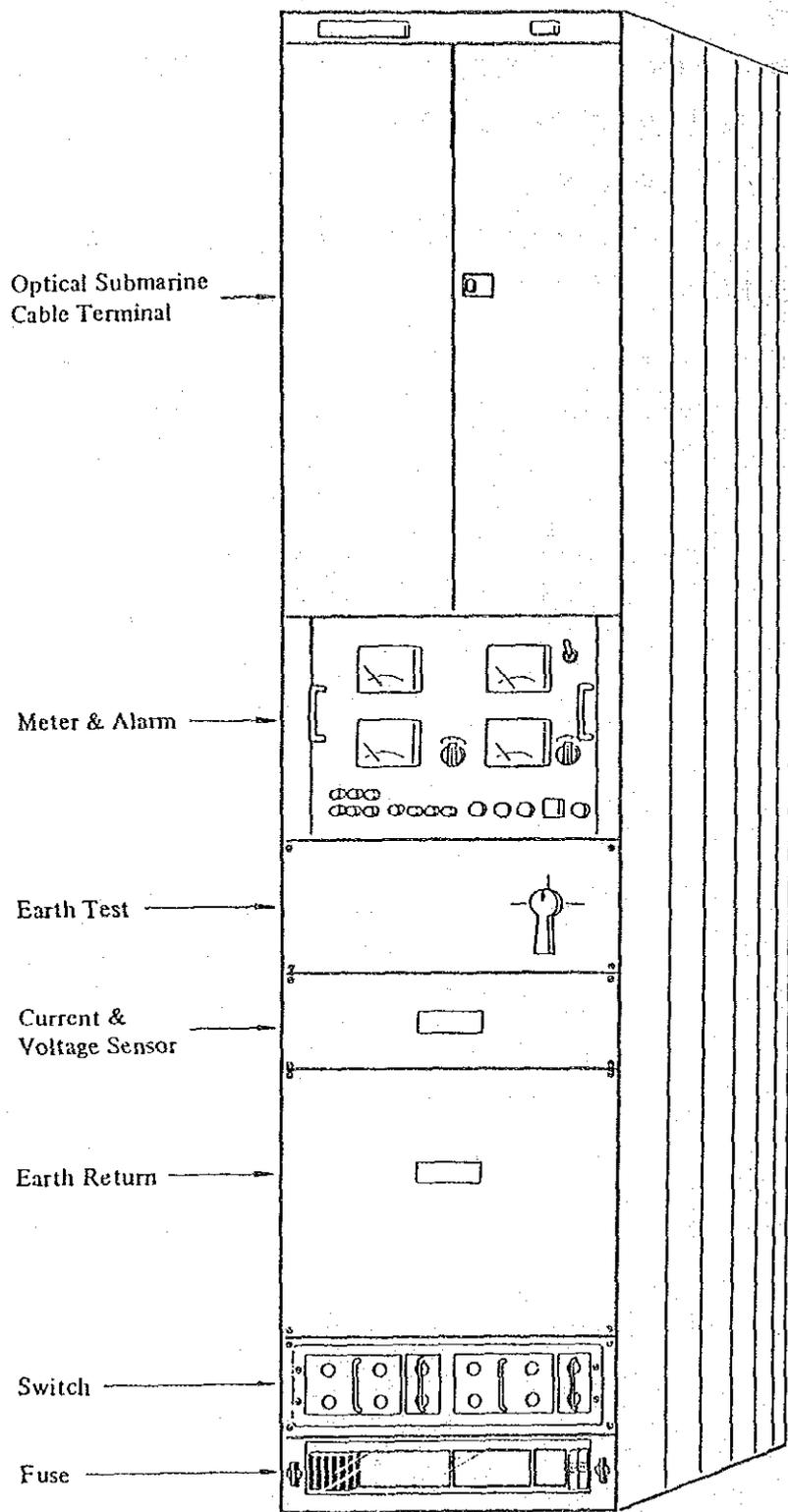


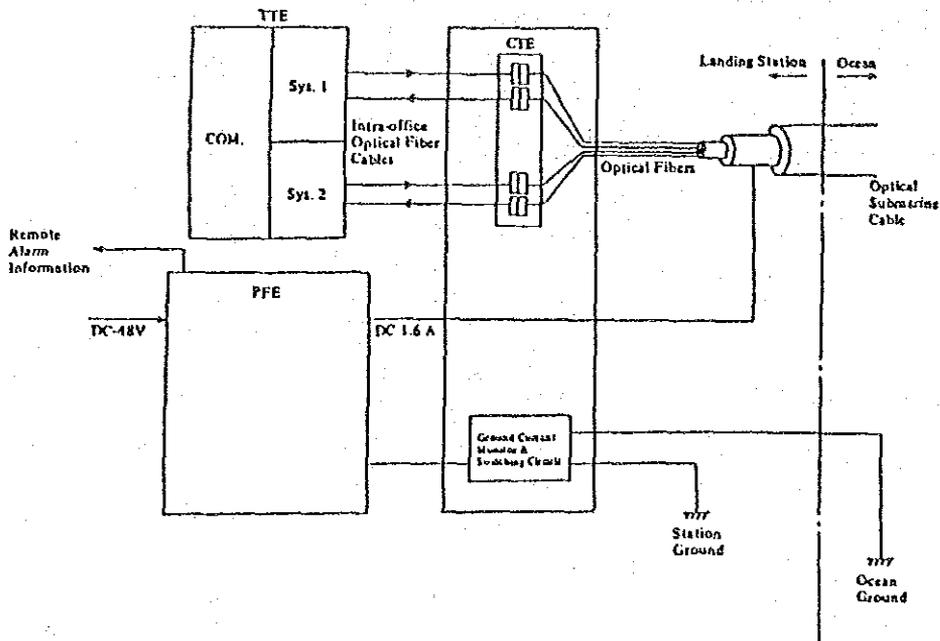
図 IV - 16 ケーブル終端装置の外観

(3) - 2 P F E (給電装置)

P F Eの機能は、DC ± 1.6アンペアの定電流をシステム寿命期間中(25年間)海中設備に供給することにある。給電できる最高電圧は± 7000 Vで高信頼度を得るために完全な二重設備とする必要がある。

高能率化されたコンバータを使用することにより、装置の小形化と電力消費の減少がなされている。また、人命保護のための装置は同軸ケーブルにおけるP F Eと同様の技術が使われている。

給電装置を中心としたOS端局装置の概要は図IV-17のとおりであり、また、給電装置の外観は図IV-18に示すとおりである。



図IV-17 給電装置を中心としたOS端局装置の概要

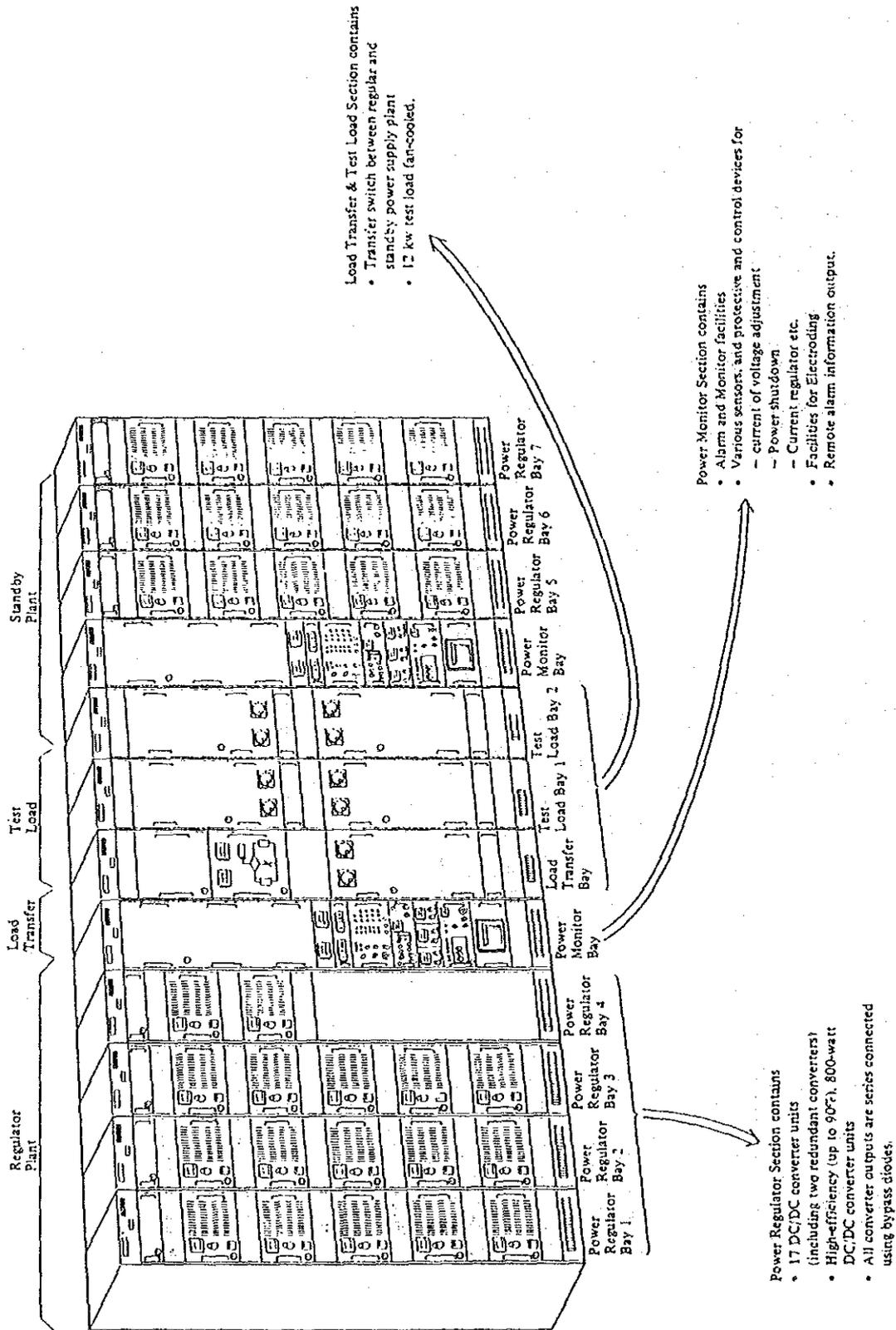


図 IV - 1 8 給電装置の外観および特徴

(3)-3 TTE (伝送端局装置)

TTEの機能はCCITTの関連規格に準拠している。

完全二重化および機能低下検知のためのビット毎のエラー比較機能は高信頼性を保証している。TTEの主な機能は次のとおりである。

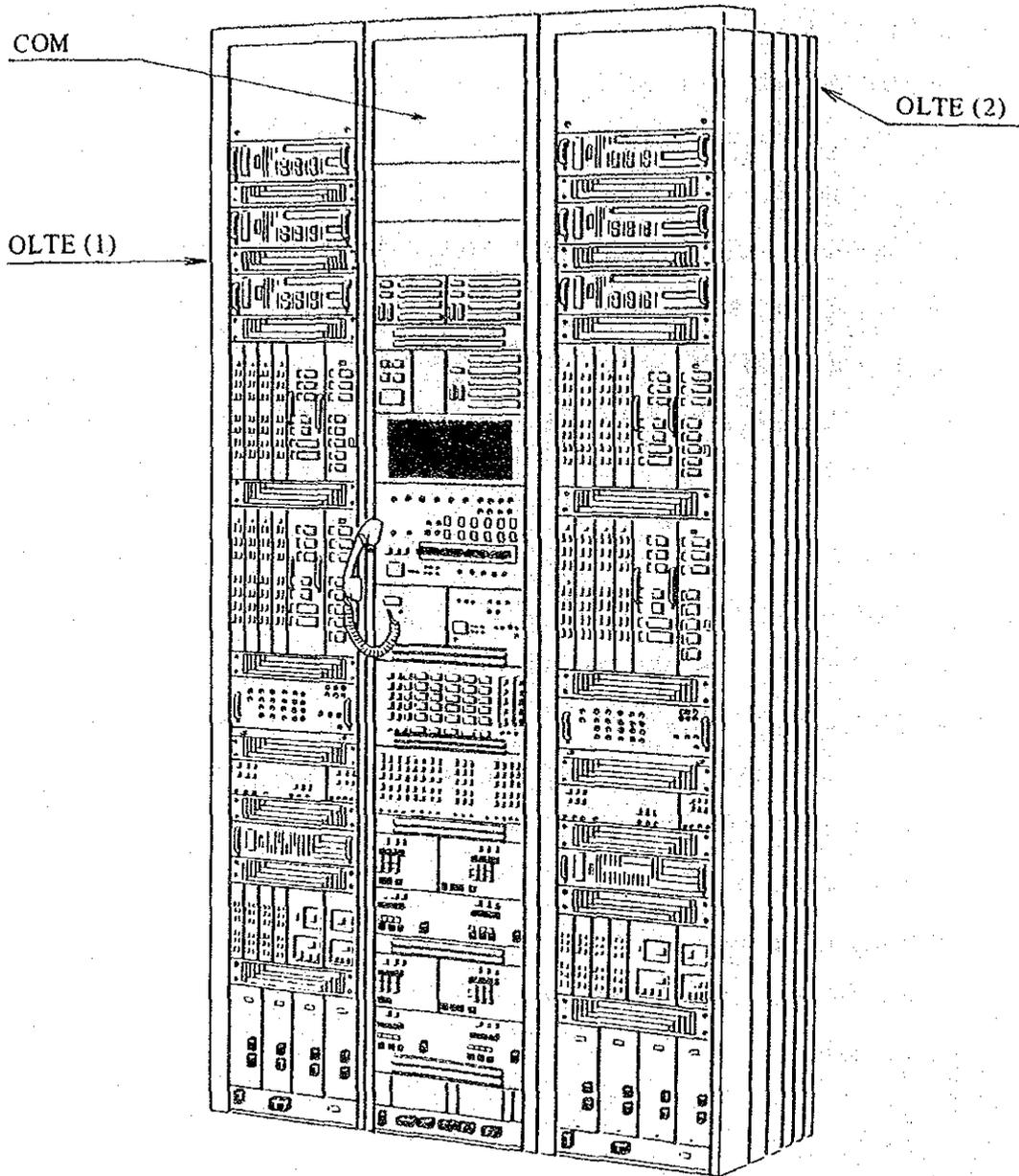
- (a) CCITT規格の140Mbpsデジタルストリームと多重化し、295.6Mbpsのデジタルストリームを構成する。
- (b) 電気から光、光から電気へのデジタル信号の変換
- (c) 必要なオーダーワイヤー回線および端局間のテレメトリー回路の設定
- (d) 必要なHSUのインターフェイスの準備
- (e) 障害状況の検知および警報の標示と信号の発生
- (f) パリティビットの挿入および伝送状況のモニターの手段としてパリティ誤りの検知

TTEは図IV-19に示すとおり光ライン端局装置(OLTE)と共通装置(COM)の2装置で構成されている。TTEは海底ケーブルシステムの2組のトラヒック伝送用光ファイバーのための2台のOLTEと1台のCOMからなっている。

* 2組の139.264Mbps信号を295.6Mbpsのシステムライン信号に合成し、また、その逆の動作をするMULDEX(多重化および多重解除装置)

* 多重化された電気信号を光信号に変換し、また、その逆の動作をする端末光信号送・受信機

COMはTTEのステータスメッセージ処理装置として2組のトラヒック伝送用光ファイバーの共通装置となっている。TTEのブロックダイアグラムを図IV-20に示す。



図Ⅳ-19 伝送端局装置の外観

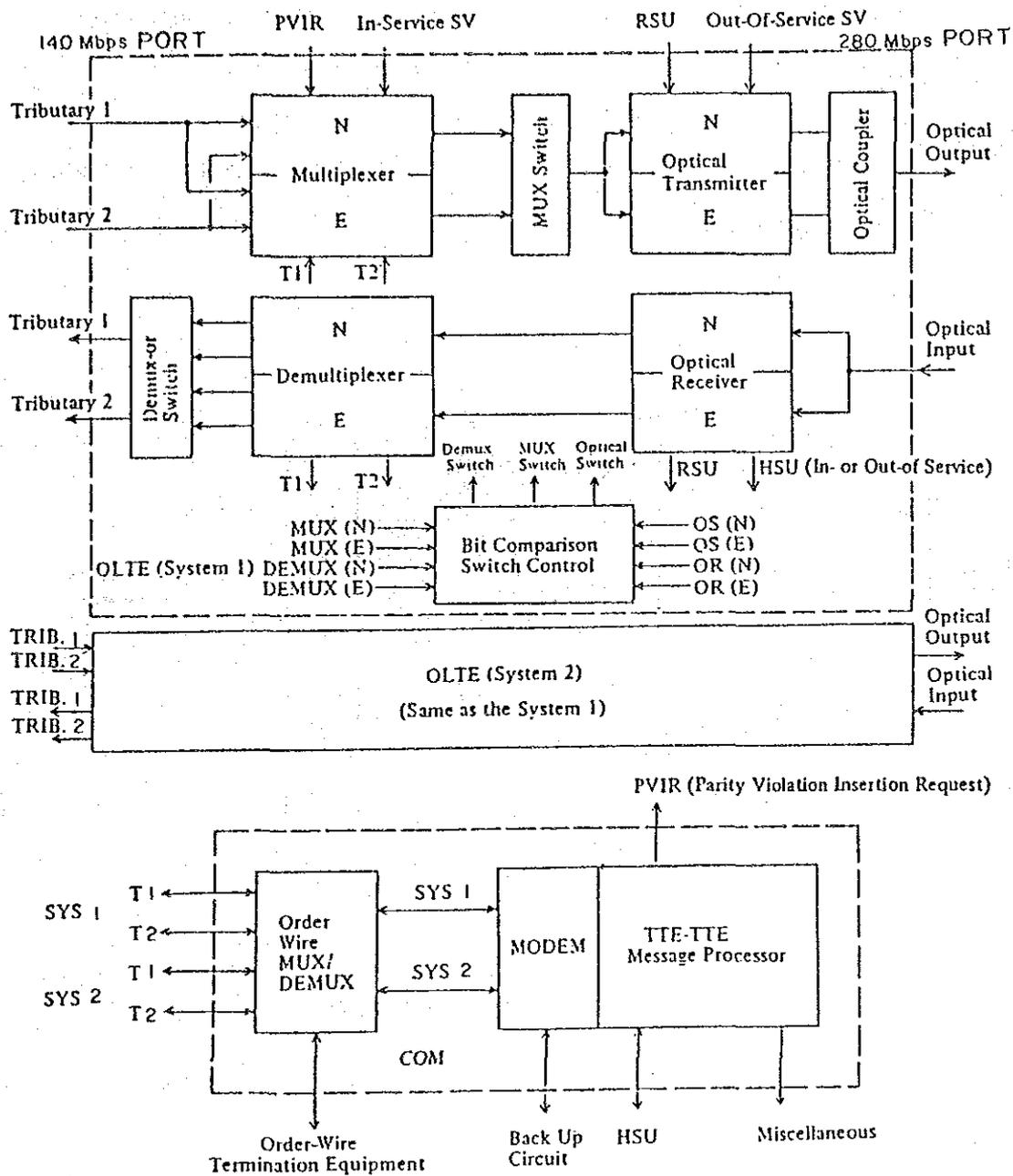
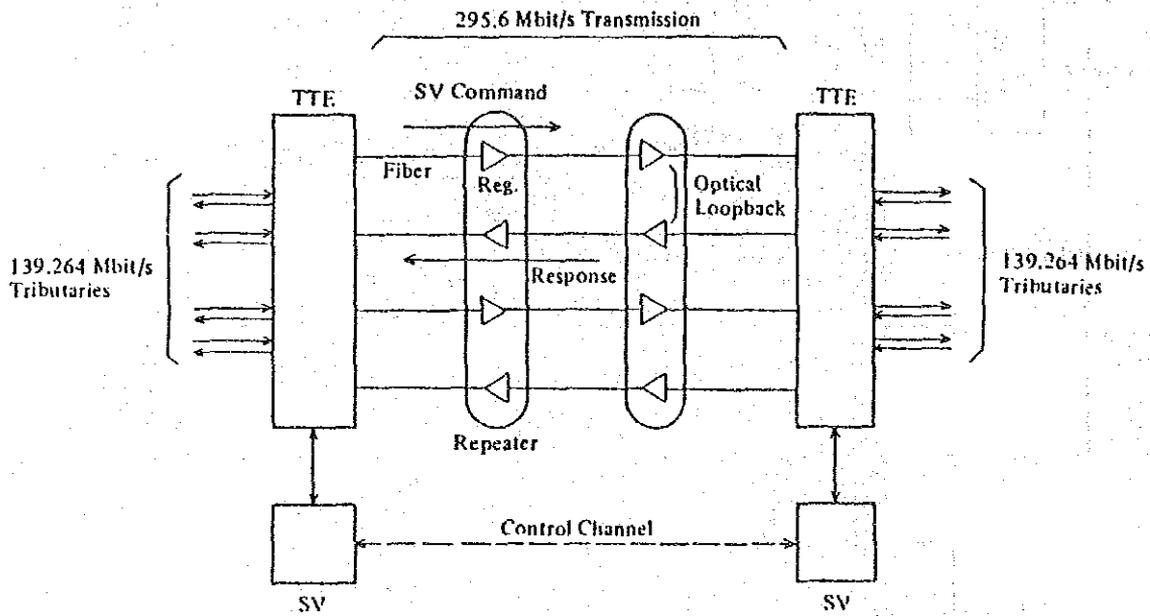


図 IV - 20 伝送端局装置のブロックダイアグラム

(3)-4 SV (監視装置)

SVは故障箇所を正確に検出するよう設計されたHSU (Home Supervisory Unit) で構成されており、その主な機能は次のとおりである。

- (a) システム作動中および作動停止中の中継器モニター回路の制御
- (b) 端局間のテレメトリーおよびダイヤル回路をとおしての共同監視SVシステムの基本形態を図IV-21に、また、その外観を図IV-22に示す。



図IV-21 SVシステムの基本形態

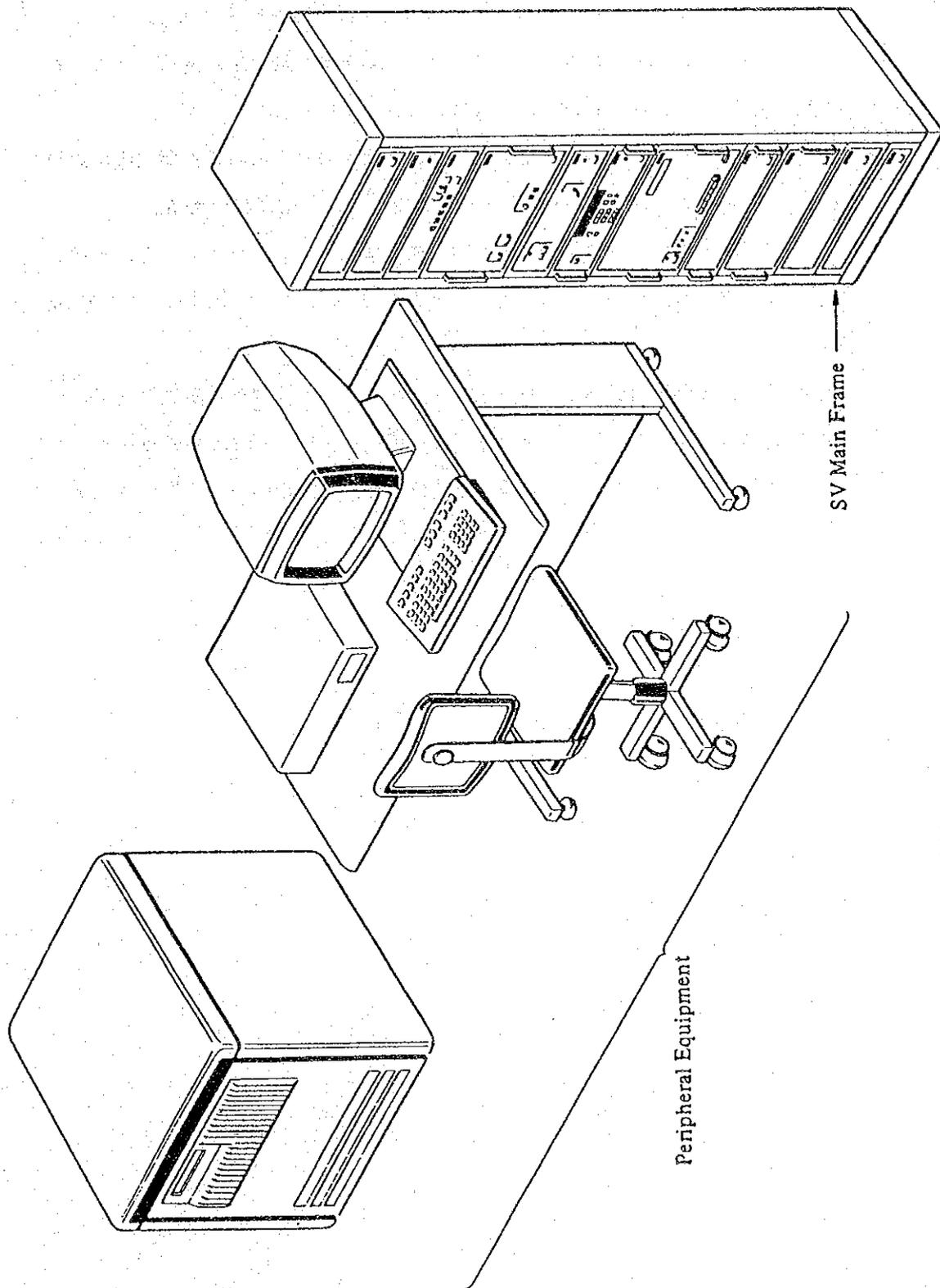


図 IV - 22 監視装置の外観

(4) ケーブル障害位置測定

S V装置が利用できないケーブル障害位置の測定方法は次のとおりである。

- (a) ケーブル断線障害の場合の位置測定には、静電容量測定法が適用される。この場合の確度は、8,000 kmのシステム長において1%である。
- (b) ケーブル障害抵抗が低い障害位置測定には、低電圧DC電流による測定法が適用される。この場合の確度は、8,000 kmのシステムで1中継区間である。
- (c) 光ファイバーの切断または損失増加箇所の発見にはバックスキヤター方法が使われる。この測定確度は陸揚局から第1中継器までの間(30~40 km)で10 km以内である。
- (d) 電極による障害位置探査は、給電ラインがアースしている場所を海底ケーブル障害位置探索ビークルでみつけるために、陸揚局から15~25 Hzの電流をケーブルに流すことによっておこなわれる。この位置探査は陸揚局から300 kmまで有効である。

JICA