

## 科学観測用海底ケーブルネットワーク技術報告書

### 海中システム（案） ver. 1.51

#### 目次

- 5.1 はじめに
- 5.2 海中システムに対する要求条件
- 5.3 観測ノードの構成
- 5.4 海中システムの構成要素と信頼性
  - 5.4.1 水中着脱式コネクタ
  - 5.4.2 Oリング
  - 5.4.3 その他の機器
- 5.5 建設工法
  - 5.5.1 NBUの敷設工法案
  - 5.5.2 PBU（海中4分岐）の敷設工法案
- 5.6 修理工法
  - 5.6.1 NBUの修理工法案
  - 5.6.2 PBU（海中4分岐）の修理工法案
- 5.7 保守・運用
  - 5.7.1 建設・保守支援用海中作業システムの概念
  - 5.7.2 検査装置

#### APPENDIXES

- S-1 基幹海底ケーブル
- S-2 フィードスルー
- S-3 水中着脱式コネクタ
- S-4 通信用海中分岐装置の設置工法
- S-5 VENUS方式
- S-6 展張工法
- S-7 通信用海底ケーブルシステムの障害修理工法
- S-8 建設・保守支援用海中作業システム

## 5.1 はじめに

本章では、海中システムに対する要求条件を明確にし、さらに観測ノードの構成、海中システムを構成する主要な構成要素とその信頼性、海中給電分岐装置(PBU: Power Branching Unit)及び海中ノード分岐装置(NBU: Node Branching Unit)の敷設・修理工法、建設と保守の支援に必要な機器について検討する。海中機器を構成する構成要素は多岐にわたるが、ここでは、そのうちシステム全体の信頼性に大きな影響を与える機器を中心に検討を行なう。尚、本システム構築における既存技術については、APPENDIXES にまとめた。

観測ノードは、観測用のセンサ群、センサのハブとなる海中ハブ装置(UHU: Underwater Hub Unit)、基幹海底ケーブルとUHUのインターフェイスを行うNBU、およびNBUとUHUの間の分岐ケーブルで構成される。センサは一つのまとまった地点に配置される場合や10~20km離れた複数の地点に分配される場合も考えられる。このような機器の物理的な構成方法と接続方法は建設工法や修理工法にも大きな影響を与える。そこで、「5.3 観測ノード」ではおもに観測ノードの構成方法について検討し、最適な構成方法を提案する。

海中機器の信頼性は、科学観測用海底ケーブルネットワークを開発する上で、技術的に重要なポイントである。海中機器の修理は容易ではなく、多額の費用と相当の修理準備期間と修理時間を要する。そのため、海底に設置する機器には高度な信頼性が要求される。例えば、通信用光海底ケーブルでは、25年の設計寿命の間にケーブル修理船による修理回数は数回程度以下になるように設計されている。しかし、このような高い信頼性を確保するためには、使用する全ての部品に対して高度な信頼性評価試験と品質管理を行う必要がある。例えば、海底ケーブル通信システム用海底中継器では数fit(1fitは $10^9$ 時間=114,155年に1回の故障率を表す。)以下の信頼性を持つ電子部品が使われている。しかし、このような高信頼性を持つ部品の種類は限定され、価格も高価なものとなるため、科学観測用ケーブルネットワークシステム全体に、通信用海底ケーブルシステムのような高信頼性を求めるのは現実的でない。給電システムや信号伝送システムでは冗長性を高めたり、故障が生じてもその影響が波及する範囲が限定されるシステムを構築することにより、この問題に対処することができる。しかし、海底ケーブルや耐圧容器、水中着脱式コネクタ、シーリングについては、冗長性を持たせることは困難であり、その劣化はシステム全体の劣化に直結する。そこで、「5.4 海中システムの構成要素と信頼性」では、これらの機械的に重要な構成要素について、現状技術の調査を行い、解決すべき問題点を明確にする。なお、耐圧容器については、チタンやベリリウム銅製耐圧容器の信頼性が確立されているので、ここでは扱わない。

工法については、PBUとNBUの建設工法と修理工法の検討を行う。参考のため、従来の通信用海中分岐装置の設置工法をAPPENDIX S-4にVENUS方式分岐装置の設置工法をAPPENDIX S-5に記載する。また、海洋観測船等による各装置及び延長ケーブルの設置方法については、釧路沖地震計システムでの実績があり、APPENDIX S-6に記載した。APPENDIX S-7には通信用海底ケーブルの修理工法を記載した。

提案する科学観測用海底ケーブルネットワークでは、最大水深6,000mでのセンサの展開を想定している。このような大水深に観測機器を効率的に展開するためには、従来に無い大型の水中作業機器が必要となる。

「5.7 保守・運用」ではこのような観点から新しい重作業ROVシステムを提案する。また、観測機器等の障害においては、障害箇所の特定及び原因を船上に機器を引揚げないで海中にて検査可能な装置についても検討する。

## 5.2 海中システムに対する要求条件

海中システムは海底ケーブル、PBU、NBU、UHU、センサなど多くの機器から構成される。これらのシステムは、低コストを維持しつつ、高い信頼性を確保することが重要である。

以下にコストと信頼性、保守についてその重要な要求事項をまとめた。

### (1) コスト・パフォーマンス

多くのシステムを広範囲に展開するためには、低コストで信頼性の高いシステムを構築することが重要である。また、多くのシステムを展開することにより、さらなるコストの低減も期待できる。

### (2) システムの信頼性

#### (a) 障害に強いシステム

センサや通信装置、電源、海底ケーブルなどに障害が発生しても、基幹伝送路、基幹給電路やその他の機器に与える影響を最小限に留めるように、システムを構成する必要がある。

#### (b) 基幹部分の信頼性

基幹伝送路や基幹給電路に障害が発生すると、その影響が広範囲に及ぶため、基幹部分に対しては、センサやUHUに比較して、高い信頼性が必要である。

#### (c) 信頼性の評価

海中機器に関しては、可能な限り、その信頼性を把握する必要がある。

### (3) 拡張性

#### (a) システムの拡張性

新たなセンサを追加したり、ケーブルネットワークを拡張できるようなシステムとする必要がある。

#### (b) 交換が容易なセンサ

センサ技術は日進月歩であり、最新のセンサを使う必要がある。また、個々のセンサに極めて高い信頼性を求めるより、故障したセンサを交換できるようにしたほうが合理的である。そこでセンサの接続には水中着脱式コネクタを使用し、容易に交換できるようにする。

### (4) 建設と保守

#### (a) 既存敷設船による建設

検討しているネットワークは複雑な構造を持つため、建設工法も従来と異なったものになる。しかし、設置する機器の重量・寸法と既存のケーブル敷設船や作業船の能力を十分に考慮する必要がある。さらに、作業に要する時間も考慮する必要がある。

#### (b) 作業船による保守

海底ケーブル専用の敷設船はその数が限定されているうえ、運用コストも高い。そこで、ケーブル敷設船を使わずにセンサの交換やUHUの修理が行なえるようにすることも検討する必要がある。

### 5.3 観測ノードの構成

図 5-1 は観測ノードの基本的な構成を示したものである。NBU は基幹海底ケーブルにおよそ 50km ごとに挿入される。NBU には分岐ケーブルが接続され、その先には UHU が接続されている。NBU は基幹海底ケーブルから電力と信号を分岐する。UHU は、各センサのハブとして動作するもので、延長ケーブル(Extension Cable)を介して、さらに他の UHU に接続することもできる。この構成は、スイッチを利用した Ethernet と類似である。このような構成にすることにより、NBU を中心に半径約 10km の範囲に複数の観測点を設け、センサを配置することが可能となる。この構成には、表 5-1 に示すように、いくつかのオプションが考えられる。

NBU 内には、給電用の DC/DC コンバータを内蔵するものと、内蔵しないものが考えられる。このうち、DC/DC コンバータ非内蔵型の場合は電力線と光ファイバを物理的に分岐し、UHU に直接接続する(図 5-2)。この場合、定電流給電方式を想定した場合、分岐ケーブルには 2 本以上の電力線が必要となるが、後述するように分岐ケーブルに 2 本以上の高電圧給電線を用いることは、技術的問題が多い。したがって、NBU は DC/DC コンバータ内蔵とし、UHU へは低電圧で電力を供給するのが望ましい。

図 5-1 の NBU には直接センサは接続されていないが、直接センサを接続する構成も考えられる。この場合、NBU にセンサ接続用の水中着脱式コネクタを用いる必要が出てくるため、NBU の信頼性は低下する。NBU を修理する場合は、基幹ケーブルの給電を停止する必要があり、システム全体に大きな影響を及ぼす。基幹海底ケーブル内に挿入する海中機器の信頼性は高度なものが要求されるが、水中着脱式コネクタの長期信頼性は確立されていない。そのため、NBU に水中着脱式コネクタを使用することは上記の要求条件と相反する。また、NBU の信頼性を高めるためには、NBU の機能を限定し、その電子回路規模を小さくすることが望ましい。したがって、NBU に直接複数のセンサを接続することは、推奨されない。

基幹海底ケーブルおよび分岐ケーブルと NBU の接続方法には、フィードスルーによる方法と水中コネクタによる方法が考えられる。信頼性の観点から見ると、フィードスルーの信頼性は Oリングを用いる水中コネクタと比較して長期信頼性に勝っている。(APPENDIX S-2 参照)したがって、接続方法としては、フィードスルーによる方法が推奨される。NBU 内の給電装置と通信装置に関しては、それぞれ給電システムと伝送システムの章で扱う。

NBU には複数の UHU を接続することが考えられる。しかし、上述したように、NBU には比較的高い信頼性が要

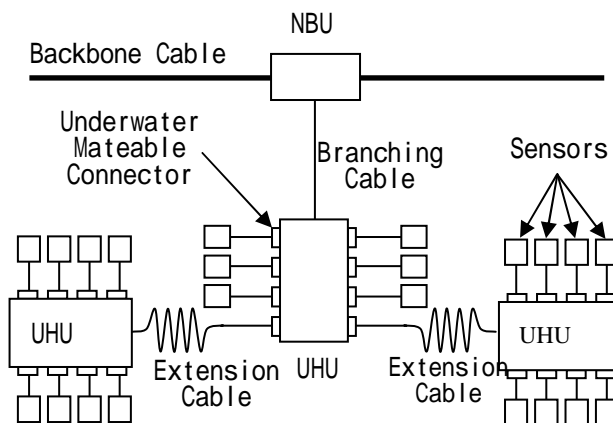


図 5-1 観測ノードの基本的構成

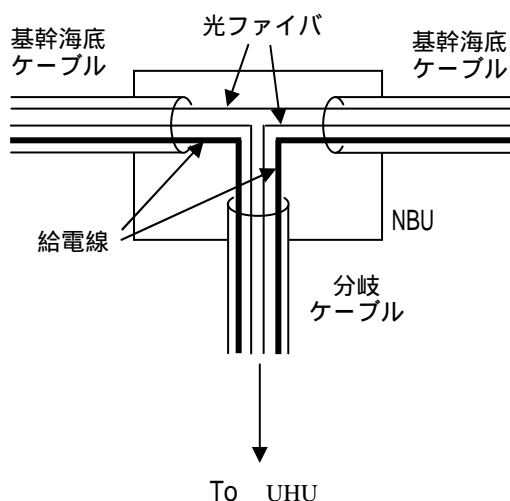


図 5-2 直接分岐型の NBU の構成

求されること、また、複数のフィードスルーを用いることにより、形状が大きく複雑になり、取り扱いが容易でなくなることが予想される。また、内部の DC/DC コンバータ等の数量が増すことにより、信頼性も低下する。したがって、接続する UHU は一台とすることが望ましい。

分岐ケーブルとしては、通信用光海底ケーブルを流用する方法と、2 芯以上の電力線と複数本の光ファイバを用いる方法が考えられる。通信用光海底ケーブルには、構造が単純で高い信頼性が保証されていること、最大水深 8,000m までの敷設と回収が可能なこと、高電圧に耐えること、低コストであること、修理工法が確立されていることなどの特徴がある。しかし、電力線が 1 本しかないため、海水を電流帰路として用いる必要があり、アース電極と電食の問題に十分注意する必要がある。

一方、多芯電力線の複合ケーブルの場合、電圧が低い場合には細径化が可能であり、ドラムに巻いて自由に展張することが可能である。展張ルートの制御も容易である。また、アース電極と電食の問題にも注意を払う必要がない。釧路沖システムなどでの使用実績もある。しかし複合ケーブルの場合、NBU に用いるフィードスルーを新たに開発する必要がある。また、ケーブル敷設船から大水深へ敷設した実績はない。ケーブル接続を含む修理技術も新たに開発する必要があるなどの問題が残されている。分岐ケーブルの基本構造はさらに比較検討を続ける必要がある。

分岐ケーブルと UHU の接続には、フィードスルーを用いる方法と水中着脱式コネクタを用いる方法が考えられる。NBU にはフィードスルーを用いることを推奨したが、分岐ケーブルの両端にフィードスルーを用いると、釧路沖システムで利用したようなドラムを利用した展張工法を用いることができない。また、ケーブル敷設ルートや UHU の設置位置の精密な制御も容易でなく、敷設工法が複雑なものになる。

一方、水中着脱式コネクタを用いることにより、信頼性は低下するが、UHU の設置位置の精密制御も容易となる。NBU にはフィードスルーを用いることを前に述べたが、NBU と分岐ケーブルの接続には水中着脱式コネクタを用いることが望ましい。

以上の検討から推奨される観測ノードの構成を図 5-3 に示す。NBU の中には、DC/DC コンバータとイーサネットスイッチが挿入され、UHU に低電圧の電力が供給される。分岐ケーブルの構造は、さらなる検討が必要である。

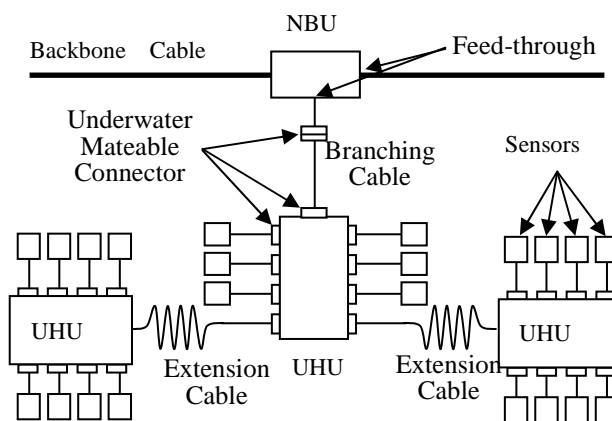


図 5-3 推奨される観測ノードの構成

表 5-1 観測ノードの構成に関するオプション

項目	利点・問題点	
NBU		
DC/DC コンバータ		
	内蔵型(推奨)	2芯以上の給電線を持つ特殊な高耐電圧の分岐ケーブルを開発する必要がない
	非内蔵型	NBUの信頼性が向上 2芯以上の給電線を持つ特殊な高耐電圧の分岐ケーブルが必要
センサの直接接続		
	なし(推奨)	部品数が減少し、信頼性が向上する
	あり	水中着脱式コネクタなどを用いることにより、信頼性が低下する
分岐ケーブルの接続		
	フィードスルー(推奨)	高信頼性が得られる
	水中コネクタ	多数の接続が容易 長期信頼性の検証が容易でない
UHUの接続数		
	1(推奨)	UHU 1台のみ接続 構造が簡単で信頼性が高く、修理も容易
	複数	内部の部品点数等が増えることから、信頼性が低下する 形状が大きく複雑になり、取り扱いも難しくなる
分岐ケーブル(NBU-UHU間)		
基本構造		
	通信用光海底ケーブル型	高信頼性が得られ、比較的安価で工事も容易 接続技術が開発済み 電力線が1本しかないアースと電食の問題を解決する必要がある
	多芯電力線の複合ケーブル(推奨)	2芯以上の電力線が得られる 高電圧の多芯複合ケーブルの開発は容易でないが、低電圧は可能 ドラムを用いた精密な展張が可能 使用実績がある ケーブル敷設船からの敷設実績はない フィードスルーと接続工法などを開発する必要がある
UHUとの接続		
	水中コネクタ(推奨)	UHUの精密な設置が容易 UHU-NBU間の距離が短縮できる
	フィードスルー	信頼性は向上する UHU-NBU間に水深1.5倍以上の距離が必要 高強度を有する分岐ケーブルが必要

## 5.4 海中システムの構成要素と信頼性

海中システムを構成する技術は、通信用海底ケーブルシステムの既存技術を多岐に渡り応用することができる。しかし、システムの拡張性を考慮すると、信頼性が明確になっている既存技術のみではシステムを構成することはできない。例えば、水中着脱式コネクタや O リングなどは、その信頼性について十分に検討する必要がある。そこで本章においては、水中着脱式コネクタと O リングを中心に信頼性の検討を行う。なお、通信用海底ケーブル及びフィードスルー等の既存技術については、APPENDIX S-1、S-2 に記載した。

### 5.4.1 水中着脱式コネクタ

NBU や UHU、接続機器との接続においては、水中着脱式コネクタが必須であり、その信頼性はシステム全体の信頼性を決めるキーポイントの一つである。水中着脱式コネクタは、VENUS プロジェクトや釧路・十勝沖システム等での使用実績はあるものの、メーカーでの商用化から 4 年しか経っておらず、長期信頼性が保証されているとは言いがたい。特に次の項目に対し、評価方法も含め信頼性を確認する必要がある。

- (1) 長期的耐久性 (漏洩電流による腐食、絶縁劣化等の評価、加速試験方法の検討が必要)
- (2) 濁海水中での繰返し着脱 (マニピュレータによるハンドリングを想定した着脱条件。特にコネクタに土砂等が付着した場合の絶縁及び光損失の評価)
- (3) ケーブルを接続した状態での振動の影響 (トラック輸送と海中での降下・揚収時の振動を想定)
- (4) 均圧油に対する電線被覆とチューブの耐久性

水中着脱式コネクタメーカーでの仕様及び信頼性評価結果等についての現状を APPENDIX S-3 に記載する。

### 5.4.2 O リング

O リングは、密封構造を簡素化、小型化できることから広く用いられているシールであるが、その密封性能をゴムの弾性に頼っているため、長期間にわたる信頼性については十分に検証する必要がある。海底観測システムにおいても、水中コネクタなど O リングを使用せざるを得ない部分もあり、O リングの信頼性評価は避けて通れない問題である。また、信頼性が十分に評価されれば O リングの適用範囲も拡大して装置構造の簡素化を図ることができる。

#### (1) 水に適用可能な O リング

O リングに使用されるゴム材料では代表的なものとして、ニトリルゴム、ふっ素ゴム ("バイトン")、シリコンゴム、ウレタンゴム、エチレン・プロピレンゴム、などが挙げられる。それぞれの特徴を表 5-2 に示す。

ゴム材質は、接触液体、環境などの条件に適合したものを選択する必要がある。水、海水に対しては、ウレタンゴムを除く下表(表 5-2)の材質が使用可能であるが、特にエチレン・プロピレンゴムが適しているとされる。

表 5-2 Oリングの材質とその特徴

材質	特徴
ニトリルゴム(NBR)	最も一般的 / 機械的強度：大 / 耐圧縮永久歪性：良好 耐候性：悪い
ふっ素ゴム(FKM)	耐熱性、耐候性、耐薬品性：優良 / 耐圧縮永久歪性：優良 耐寒性：やや悪い
シリコンゴム(MQ,他)	耐熱性、耐寒性、耐候性：優良 機械的強度：小 / ガス透過性：大
ウレタンゴム(AU,EU)	機械的強度：大 耐薬品性、耐水性：悪い
エチレン・プロピレンゴム (EPM,EPDM)	耐候性：優良 / 耐圧縮永久歪性：良好 / 耐水性：良好 耐油性：悪い

### (2) Oリングの長期信頼性と加速試験

Oリングの密封機能は、取付溝内で押しつぶされて発生するゴムの弾性による反発力(接触圧力)によって得られる。漏れの主たる原因は、つぶし代不足やゴム弾性不足などによる面圧の不足か、取付面の傷や腐食などの接触面不良である。特に長期間にわたり連続的に使用する場合の密封耐久性は、Oリングの材質の劣化によるゴム弾性不足によって失われる。長期信頼性についてはこの点に関して検証する必要がある。

空気中におけるOリングの長期信頼性については、幾つかの事例が報告されている。図5-4はその一例で、Oリングの残留歪みと圧縮日数の関係を両対数でプロットしたものである。このように、材質と使用環境を選択すれば、低温下では長期に渡る使用が可能である。また、その寿命は温度に依存し、加速試験も可能である。

一方、海水中においては、数年間の利用に関しては、多くの実績があるものの、長期的な使用に関しては、報告が見あたらない。また、海水中はオゾンや紫外線がなく、温度も低温で安定していることなど、有利な条件があるものの、海水に溶解しているイオンが合成樹脂と反応し、その劣化を加速する可能性も考えられる。そのため、空気中におけるデータをそのまま利用することは問題が多く、新たにデータを取得する必要がある。また、均圧油を用いる場合には、使用する油に対する長期耐久性も評価する必要がある。

### (3) グリースの問題

グリースは、主にOリングを組み込む際に摩擦を低減し、擦れや咬み込みなどを防止することを目的として使用される。

グリースとOリングの材質の組み合わせによっては、Oリングに害を及ぼす場合があるので、Oリングの材質に適合するグリースを選択して使用する必要がある。



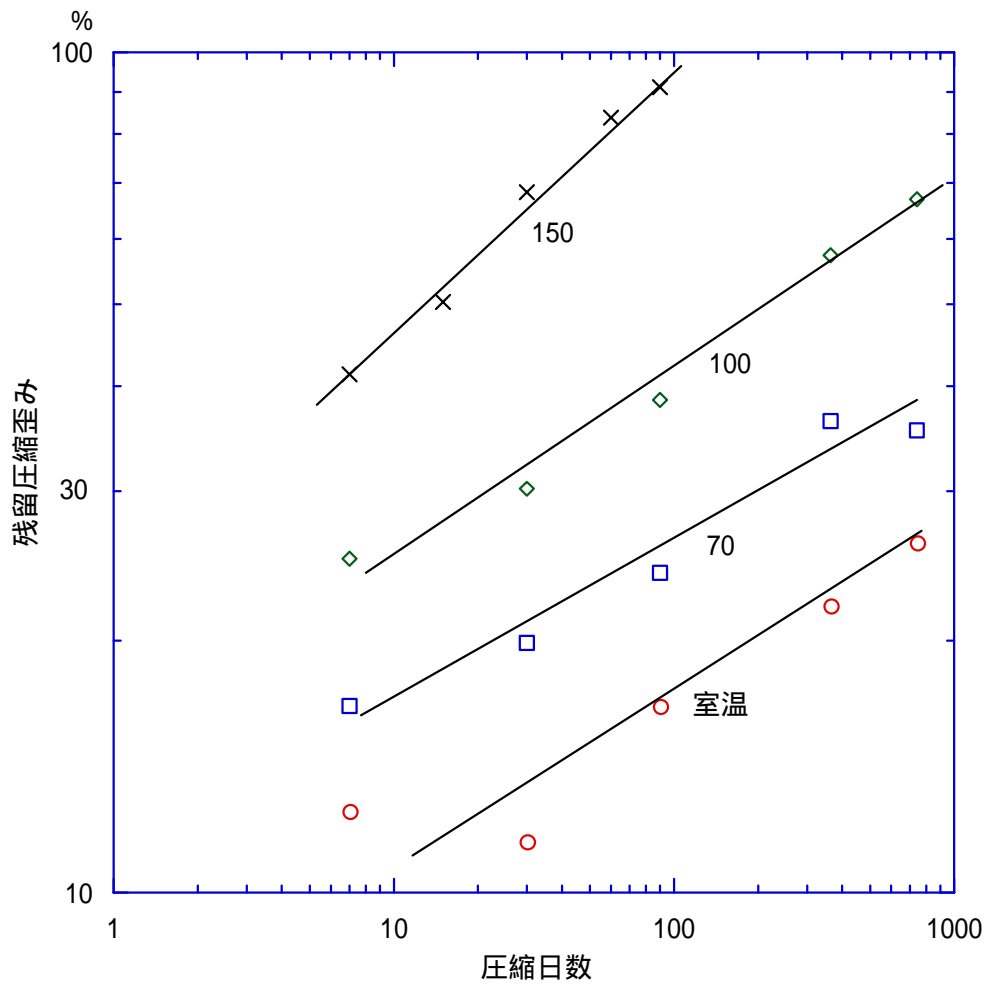


図 5-4 空気中における残留圧縮歪みと圧縮日数の関係の一例

三菱電線工業(株)資料より。材質はエチレンプロピレンゴム(2104-70)、断面径 5.33mm、内径 37.46mm。経験上、80%の残留圧縮歪みまで使用可能と言われている。

### 5.4.3 その他の機器

海中システムを構成する構造体の信頼性に関しては、水中着脱式コネクタとOリング以外に、以下の点を考慮する必要がある。

#### (1) 異種金属間の電食

海水中に異種金属が接近して置かれていると、電氣的に接触していなくても腐食が進行すると言われている。海中機器では主にチタン合金が使われると予想されるが、一部には海底ケーブルカップリングにベリリウム銅が使われる可能性がある。いずれも耐食性に優れた材料であるが、同時に使用された場合の腐食についてはデータが見あたらない。同時に使用する場合にはこの問題を明確にする必要がある。また、同じチタンを主体とした材料であっても、組成が異なる素材が電氣的に接触している場合の腐食についても、確認する必要がある。アルミ合金等、異種材料の使用は避けるべきである。

#### (2) 水中ケーブル

水中ケーブルの外被の海水に対する耐久性や、油漬け水中ケーブルの場合は均圧油に対するチューブと電線の耐久性を検討する必要がある。

#### (3) 海中電極

電流の帰路として海水を利用する場合、海中にアース電極を設ける必要が生じる。このとき、腐食の可能性がない陰極電極を用いた場合にも、観測機器を構成するフレームなどに迷走電流が流れ、一部に陽極反応が生じる可能性がある。従って、電極の位置、迷走電流の流れ方、迷走電流による電食の発生の有無などを検討し、評価する必要がある。

#### (4) 隙間腐食の防止

金属とプラスチック、ゴムなどの接触面の微細な隙間に腐食が生じる。

隙間腐食を防止するためには、隙間のない構造とする、プラスチック、ゴムは吸水性の小さい材料を使用する、などの方法がある。

## 5.5 建設工法

本システムの建設においては、ケーブル敷設船による基幹海底ケーブル、PBU、NBU の敷設と海洋観測船等による UHU、延長ケーブル、観測装置の設置とに大きく 2 つに分類される。ケーブル敷設船による基幹海底ケーブルの敷設には、通信用海底ケーブルシステムの既存建設技術を応用することができるが、50km 毎に配置される NBU の敷設及び海中 4 分岐の PBU の敷設に関しては、敷設実績がないので、本章で敷設工法案を考察する。

### 5.5.1 NBU の敷設工法案

敷設工法を検討する場合、敷設するものの形状、重量が重要な要素になる。しかし、形状、重量は現在検討中であるため、ここでは、VENUS プロジェクトで開発した分岐装置程度のもを想定して検討を進める。なお、この分岐装置は現状のケーブル敷設船で扱える限界に近いものと考えられる。最大水深は 6,000m とする。

NBU の敷設工法の一案を図 5-5 に示す。

分岐ケーブル B の長さは水深の 1.5 倍程度とする。このような分岐ケーブル B を用いることにより、UHU および水中着脱式コネクタの修理時に NBU を回収する必要がなくなる。

敷設工事では、基幹海底ケーブル A を先に敷設しておき、先端にブイを付けて放置しておく。次に分岐ケーブル B を敷設しながら同ブイを回収し、基幹海底ケーブル C を接続する。引き続き基幹海底ケーブル A と分岐ケーブルの敷設を続行する。

分岐ケーブル B 先端の保護枠の中には、ケーブルの先端をコイル状に巻き込んでおく。ROV によりコイル状に巻き込んだケーブルを引き出し、接続先である UHU までさらに展張する。

NBU を船外に繰り出すときには、基幹海底ケーブル A に補助ロープ(図 5-5 には描かれていない)を接続し、その張力を同ロープに移し替え、NBU をフリーの状態にする。NBU が船外に出た時点で補助ロープにかかっていた荷重を基幹海底ケーブル C に移し替え、補助ロープを切離す。

水深を 6,000m とし、NBU の空中重量を 1,000kg、基幹海底ケーブル A は LW ケーブルと仮定し、分岐ケーブル B の海中重量は LW ケーブルと同等と仮定すると、APPENDIX S-4 (1)式より基幹海底ケーブル C に加わる最大荷重はおよそ 70kN になる。この場合、基幹海底ケーブル C には高張力ケーブル(NOTS 98kN)を用いる必要がある。(APPENDIX S-1 参照)

基幹海底ケーブル C に高張力ケーブルが使用できない場合、設置用ロープによる方法(図 5-6)が考えられる。なお、NBU の形状については、さらに検討を進める必要がある。すなわち、ここで想定した VENUS 型の NBU はケーブルエンジンを通すことができない。しかし、既存のケーブル敷設船では、多くの NBU の保管スペースを船尾に設けるためには大規模な改造が必要となり、現実的でない。また、船内に保管する場合も、その保管場所について慎重に検討をする必要がある。また、ケーブルエンジンを通さないで船尾まで移動する方法についてもさらに慎重に検討を加える必要がある。

これらの問題を解決するためには、NBU をケーブル敷設船で扱うのに適した外形にすることが望ましい。これにより、船内の保管場所の問題と工事期間の問題が解決される。

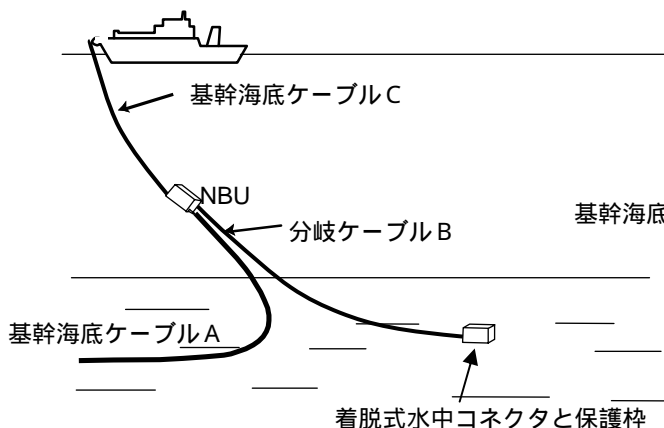


図 5.5 NBU の敷設工法案 1

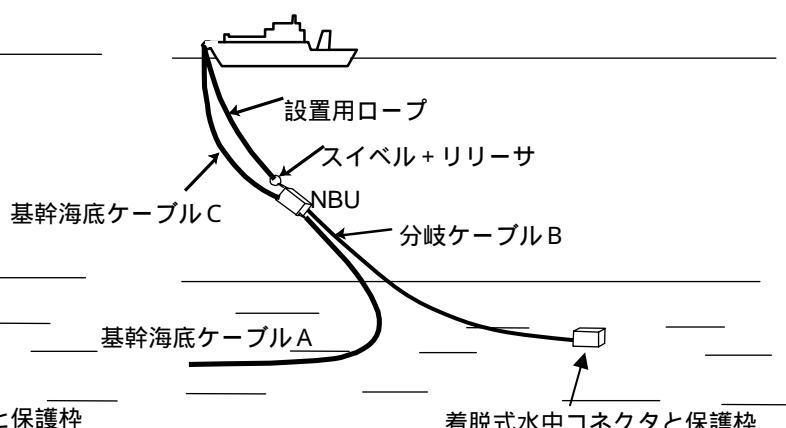


図 5.6 NBU の敷設工法案 2

### 5.5.2 PBU（海中給電分岐装置（海中4分岐））の敷設工法案

図 5-7 に分岐装置に 4 本の海底ケーブルが接続される PBU（海中分岐給電装置）の敷設工法案を示す。

ここでは、基本的に NBU と同じ工法で PBU を船外に繰り出す工法を提案する。PBU 繰出し後は、2 本の海底ケーブル(C, D)を 2 台のケーブルエンジンにより同時に繰出す。PBU 着底後、海底ケーブル 2 本(C, D)のうち 1 本(C)を浮標設置またはストリーミング敷設し、他の 1 本(D)を敷設することになる。

本工法は、水深 6000m への大型装置の敷設や、2 本のケーブルエンジンによる長尺ケーブルの同時敷設など、従来にない新しい工法であり、その実績はどこにもない。したがって、本工法を採用するためには、事前に敷設実験を行うなど、慎重な検討が必要である。また、通信用分岐装置のような 3 分岐装置を 2 台組み合わせた構成にすれば、NBU 敷設工法で対応できることから、PBU の構造についてもさらに検討する必要がある。

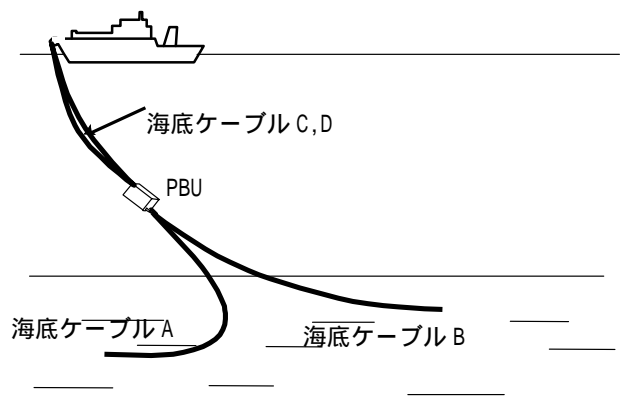


図 5-7 PBU の敷設工法案

### 5.6 修理工法

本章では、建設と同様に従来の既存技術では、対応が難しい NBU、PBU の修理工法について、新たな修理工法案として提案する。尚、既存の通信用海底ケーブルシステムでの障害修理工法について APPENDIX S-7 に

記載した。

### 5.6.1 NBU(海中3分岐)の修理工法案

(案-1)

NBUを回収する場合には、分岐ケーブルBとUHUを接続する水中着脱式コネクタを事前にROVにより切り離しておく。さらに、海底ケーブル探線機により海底ケーブルCを探線、切断し、NBU側の海底ケーブル端を船上に回収する。NBUが修理船のシーブを通過する時には、NBUに張力がかからないよう、海底ケーブルAと分岐ケーブルBに補助ロープを取り付け、張力を補助ロープに移し変える必要がある。海底ケーブルAと補助ロープの接続は、事前に水中で行う必要がある。

なお、敷設時に使用した補助ロープが利用できる場合には、新たに補助ロープを接続する必要はない。この場合、補助ロープの耐久性などを事前に評価しておく必要がある。

再敷設は設置工事とほぼ同じ手順で行うことができる。切断した海底ケーブルを再接続するためには、水深のほぼ2倍の割り入れケーブルを挿入する必要がある。

(案-2)

回収に先立ち、分岐ケーブルBとUHUを接続する水中着脱コネクタを事前にROVにより切り離しておく。次にROVにより海底ケーブルAをNBUの近くで切断しておく。海底ケーブルCを探線切断し、NBU側の端末を引き上げる。引き続き海底ケーブルCを回収する。

再敷設は以下の手順で行う。

分岐ケーブルBを敷設しながら、海底ケーブルAの断端を回収し接続する。以後の手順は、NBUの敷設手順と同じである。

### 5.6.2 PBU(海中4分岐)の修理工法案

(案-1)

海中給電分岐装置の回収工法は、NBUの回収工法と同様な方法が考えられる。

回収に先立ち、海底ケーブルC、Dのうち一本(ここでは切断する海底ケーブルをDとする)をPBUの近くで切断しておく必要がある。PBU近くでの海底ケーブルの切断には、ROVが必要である。

次に、海底ケーブルCを探線、切断し、PBU側の海底ケーブル端を船上に回収する。引き続き海底ケーブルCを回収する。海底ケーブルCは高張力ケーブルとする必要がある。PBUが修理船のシーブを通過する時には、PBUに張力がかからないよう、海底ケーブルAとBに補助ロープを取り付け、張力を補助ロープに移し変える必要がある。海底ケーブルと補助ロープの接続は、事前に水中で行う必要がある。海底ケーブルAとBには補助ロープが容易に取り付けられるような仕掛けが必要である。

再敷設は回収と逆の手順で行う。

本工法は、PBUの敷設工法と同様に、これまでに経験のない新しい工法であり、その実績はどこにもない。したがって、本工法を採用するためには、事前に実験を行うなどの慎重な検討が必要である。なお、敷設工

法の項で述べたように、3分岐装置を2台組み合わせた構成にすればNBUの修理工法と同様な工法で対応できる。

(案-2)

回収に先立ち、海底ケーブルC、Dのうち一本とA、Bのうち一本(ここではDとBとする)をROVにより切断しておく。

次に、海底ケーブルCを探線、切断し、PBU側の海底ケーブル端を船上に回収する。引き続き基幹海底ケーブルCを回収する。PBUが修理船のシーブを通過する時には、PBUに張力がかからないよう、基幹海底ケーブルAに補助ロープを取り付け、張力を補助ロープに移し変える必要がある。海底ケーブルと補助ロープの接続は、事前に水中で行う必要がある。海底ケーブルAには補助ロープが容易に取り付けられるような仕掛けが必要である。

## 5.7 保守・運用

提案する科学観測用ケーブルネットワークシステムでは、最大6,000mでの観測機器の展開を想定している。このような大水深において観測機器を効率的に建設・保守を行うには、従来にない大型の水中作業機器が必要となる。本項では、海中作業システムの概念を提案し、更に観測機器等の障害において、障害箇所の特定及び原因を海中で検査可能な装置について検討する。また、海中作業システムの提案に当たり、建設・保守作業の各段階における作業分析、既存の支援ツールの調査、従来技術の改善点等についての検討をAPPENDIX S-8に記載する。

### 5.7.1 建設・保守支援用海中作業システムの概念

建設・保守作業の効率化を目的とし、従来の深海曳航体とROVの機能を併せ持つ多機能型の大深度海中作業システムの概念を提示する。作業条件を表5-3に従来の海洋観測装置、機器を表5-4に示す。

#### (1)コンセプト

観測機器を設置するとともに、設置位置の調整、UHU～観測機器のケーブル敷設及び接続を行うことが、1工程・1潜航の中で実施可能であること。また、起伏がある海底での延長ケーブル(UHU～UHU、UHU～観測機器)の敷設が可能なこと。

#### (2)機能

- ・十分なペイロード  
作業ステーション：2,000kg  
作業ビークル：300kg
- ・作業用ウインチ：吊り上げ力2,000kg
- ・高機能重作業マニピュレータ：7自由度、取扱荷重150kg
- ・ペイロード作業装置

ウオタージェット式ケーブル埋設機、センサ埋設機

- ・高性能位置測定並びに位置制御が行える運動性能 - 作業ステーションにもスラストを装備(アクティブステーション)
- ・ケーブル敷設等におけるペイロード変動時の安定した運動性能

(3)特徴

- ・重作業と精密作業が一度の潜航で実施可能
- ・装置・機器を軟着底 海底設置機器の設計条件(耐衝撃特性)の大幅緩和  
(VENUSでは最大30Gの耐衝撃特性を要求)
- ・海底地形、底質に左右されず作業が可能

(4)開発課題

- ・重量物設置切り離し時の荷重変動への対応
- ・重作業時の姿勢安定
- ・掘削孔利用システム試験機での知見に加えてアクティブヒーブコンペンセータ等の検討
- ・ケーブル敷設時の定張力繰り出し制御

表 5-3 作業条件

項 目		条 件	
最大水深		6000m	
潮流分布	水深	表層	4kts
		表層～500m	4kts～1kts
		500m～4,000m	1kts
		4,000m～6,000m	0.5kts
取扱荷重	設置・回収荷重	2,000kg	
	スレブアーム 最大持上げ荷重	300kg(両腕)	
位置制御 (観測機器及びケーブルの敷設精度)		数m以下	
作業海底環境		平坦な海底に限らず、起伏の大きな岩場や傾斜地、軟弱地においても作業可能なこと。	

表 5-4 海洋観測装置・機器

海洋観測装置・機器	空中重量 / 水中重量	寸法又は容積
観測ステーション		
・室戸システム 先端観測装置	約 1,800kg / 約 1,500kg	2.85m 長 × 2.69m 幅 × 2.69m 高
・釧路・十勝沖システム 先端観測装置	約 1,800kg / 約 1,500kg	3.09m 長 × 2.62m 幅 × 2.67m 高
B-MUX	約 1,200kg / 約 1,000kg	1.915m 長 × 2.65m 幅 × 0.70m 高
J-MUX	470kg / 25kg	2.20m 長 × 2.05m 幅 × 1.33m 高
Battery Pack	885kg / 25kg	2.20m 長 × 1.65m 幅 × 1.65m 高
地震計(in-line type)	304kg/211kg	1.7m 長/0.26m
(Package type)	208kg / 30kg	
津波計(in-line type)	327kg / 245kg	2.35m 長/0.26m
・初島システム	約 880kg / 約 680kg	2.89m 長 × 2.4m 幅 × 1.93m 高
掘削孔跡利用観測ステーション	約 3,600kg / 約 2,500kg	2.3m 径 × Max.3.2m 高
VENUS システム		
分岐中継器	820kg / 630kg	2.45m 長 × 1.26m 幅 × 1.263m 高
ハイドロフォンアレイ	2,100kg/km / 867kg/km	長さ 3km のケーブル
マルチセンサ	1030kg / 600kg	
地磁気電位差計	800kg / 540kg	3.8m 長 × 2.0m 幅 × 1.2m 高
精密測距計	175kg / 150kg	1.2m 長 × 1.2m 幅 × 1.3m 高
ケーブルグリッパ	49.2kg / 37.2kg	43.6 cm 長 × 35 cm 幅 × 38.3 cm 高
油圧モータ	10.6kg / 8.6kg	18 cm 径 × 42.8 cm 長
カッタ	30kg / 23.6kg	68 cm 長 × 30.5 cm 幅 × 16 cm 高
油圧プースタ	17.5kg / 14.1kg	12.8 cm 径 × 73.5 cm 長
地球観測海底ケーブルシステム		
NBU (海中ノード分岐装置)	約 1,200kg / 約 1,000kg	
UHU (海中ハブ装置)	470kg / 25kg	
海中観測所	Max. 1,800kg / 1,500kg	
地震計	Max. 350kg / 250kg	
津波計	Max. 350kg / 250kg	
二重鎧装ケーブル	11,000kg/km / 8,400kg/km	海浜近傍
無鎧装ケーブル	900kg/km / 500kg/km	
高張力ケーブル	1,860kg/km / 730kg/km	
UMC の着脱力 (1ピン当たり)	着 5lbs/脱 2.5lbs	現状最多 12ピン



### 5.7.2 検査装置

科学観測用ケーブルネットワークシステムの検査装置はネットワーク構成要素の信頼性の維持・管理、障害発生時の障害箇所の特定、発生原因の解明、障害発生時の波及範囲の調査等を目的として開発する必要がある。検査は、設置前の船上での作動確認試験段階、海底設置後のケーブル接続前の作動試験段階、運用段階、トラブル発生段階で実施するため、多種多様な検査設備が必要となる。

海底設置後に観測機器等にトラブルが発生し、障害箇所が特定できていない段階においては、無闇に観測機器等を船上に回収して調査する方法は効率的でなく、多大なコストを要することになる。本項においては、陸上からの検査設備で障害箇所が特定できない場合、船上に海中システム機器を回収せずに海中で検査し、障害箇所及び原因を特定する検査方法について表 5-5 に整理した。

表 5-5 検査項目一覧表

項	検査項目	検査対象	検査方法
1	敷設状況/外観調査	海中システム構成要素	専用の ROV または AUV を用い、TV カメラにより目視確認。
2	電氣的検査	水中着脱コネクタ 海中ハブ装置 各種センサ	水中テストにより、水中着脱式コネクタのピン間の絶縁抵抗を測定する他、水中テストに内蔵しているバッテリーにより、UHU や各種センサに電源供給して給電電圧、消費電流を計測する。
3	光学的検査 OTDR	光延長ケーブル	ケーブル先端の水中着脱式コネクタに水中テストを接続して船上に引き込み、OTDR で光伝送路を検査する。
4	電気・光信号測定 アナライザ・レベルメータ 等	海中ハブ装置 各種センサ	水中テストを介して船上に引き込み、市販のデータ・アナライザ等によってデータ・コミュニケーション状態や信号レベル等を測定する。また、センサの動作状況を確認する。
5	超音波試験	超音波使用観測機器	水中ハイドロホン等の超音波を使用した観測機器の音波レベル等を測定する。
6	海底ケーブル障害点探査	海底ケーブル	磁気センサを利用して、海底ケーブル中を流れる直流および交流電流の測定を測定し、障害位置を探査する。ROV または AUV を用いる。