

科学観測用海底ケーブルネットワーク技術報告書

ネットワークの概要（案） ver. 1.0

目次

- 2. 1 はじめに
- 2. 2 ケーブルネットワークの構成
- 2. 3 技術的要求条件
- 2. 4 ケーブルネットワークのモデル化
- 2. 5 消費電力とデータ容量および同期精度
- 2. 6 テクニカルターム

2. ケーブルネットワークの概要

2.1 はじめに

本章ではまず2.2でARENA構想の全般的な構想を示す。ここで示すのはその概要であり、詳細なケーブルルートや陸揚げ地点は今後さらに検討を進める必要がある。

ここで示すような、大規模なシステムの技術的検討を行うためには、まずその技術的要求条件を明確にすることが重要である。そこで2.3ではARENAに対する技術的な要求条件を明確にする。また、ケーブル長やそのトポロジーは今後の検討により変化するものである。そこで、現時点で技術的検討を進めるためには、検討の対象とするネットワークを単純化し、モデル化するのが有効である。そのため、2.4ではネットワークのモデル化を行う。さらに、2.5では各観測点に配置されるセンサの洗い出しを行い、その消費電力と所要データ伝送容量、必要な同期精度を見積もる。

2.2 ケーブルネットワークの構成

第1章で述べたように、ここで構想している科学観測用海底ケーブルネットワークは、多くの学術分野で利用できる多目的のネットワークである。しかし、日本列島は地殻を構成するプレートの境界上にあり、そのプレート境界付近では巨大な地震が周期的に発生していること、地震に関する研究は科学観測用海底ケーブルネットワークの主要な研究テーマであることを考慮すると、海底ケーブルネットワークはプレート境界に沿って展開するのが合理的と考えられる。

図2-1はARENAで想定する将来のネットワーク構想を示したものである。海底ケーブルはプレート境界に沿って展開している。複数の陸揚げ局を持つことにより、海底ケーブル障害に対する耐久性と信頼性を高めている。また、海底ケーブルシステムをセグメントに分けているので、各セグメントごとに建設を進め、建設を終えたセグメントから順次観測を開始することができる。

三陸沖合いでは、プレート境界を挟んで2本の海底ケーブルを想定している。このような構成にすることにより、プレートの運動をプレート境界の両側から観測することが可能となる。また、観測機器も2次元的に配置されるので、より多くの情報を取得することが可能となる。特に、地震の観測では、地震計等の観測機器を2次元的に広範



図2-1 ARENAで想定する将来のネットワーク構造

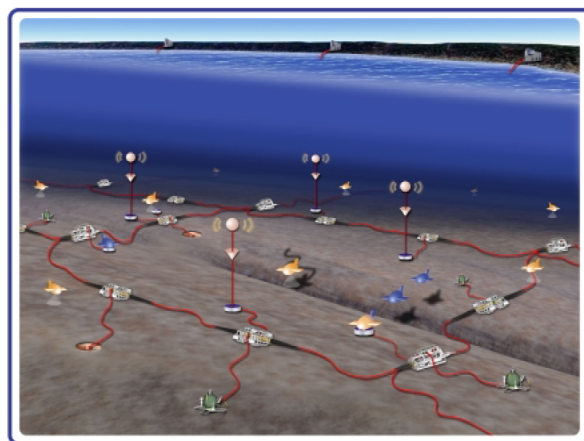


図2-2 ネットワークのイメージ

囲に配置することが重要である。

図2-2はネットワークのイメージを描いた図である。ネットワークには、海底地震計のほか、津波計、傾斜系、流向流速計、温度計、測地用音響トランスポンダ、テレビカメラ、放射能センサ、各種科学センサなど多様な測定器が接続される。これらの測定器は水中着脱式コネクタにより、システムに接続される。このようにすることにより、万一センサに障害が発生したときに、全体システムを停止することなく、故障したセンサを交換し、修理することが可能となる。また、将来新しいセンサが開発されたときに、システムに追加接続することが可能となる。このように、水中着脱式コネクタを使用することにより、柔軟なシステムを実現することができる。

ARENAには海底ケーブルに直接接続される観測機器だけでなく、AUVやROV、ブイによる係留システムも接続される。また、海底の掘削孔に設置される孔内観測所にも接続される。

AUVは海底のドッキングステーションから電力の供給を受け、内蔵の電池を充電するとともに、信号の送受を行う。たとえば、定期的にドッキングステーションの近傍を巡回し、周辺の状況を観測する使い方や、地震や海底火山の噴火などのイベントが生じたときに、その周辺を臨時に調査する使い方もある。また、海底ケーブルや観測機器の設置状況の確認作業や障害が発生した場合の障害状況調査などへの応用も期待される。

ROVは海底ケーブルから電力の供給を受け、陸上から制御される。マニピュレータを持ち、複雑な作業を行う。海底を各種の実験が行える研究室に変えるものである。必要な実験器具は母船で運搬される。将来はAUVで運搬することも考えられる。

各観測機器と陸上のデータ管理センターの間は光ファイバを使ったネットワークで結ばれる。また、データ管理センターと研究室との間は、インターネットで結ばれる。観測機器の中には、直接研究室から制御されるものもある。このように、研究室と海底を直結するのがARENAの大きな特徴の一つである。

2.3 技術的要求条件

以下に技術的な要求条件を整理する。なお、ここでは重要な要求条件のみをまとめ、個々のシステムの要求条件は、それぞれの章でまとめる。

(1) コスト

コストと信頼性は相反する。宇宙用や通信用海底ケーブルシステム用の高信頼性の部品を使えば装置の信頼性は高くなるが、このような高信頼性の部品は高コストである。また、部品の種類は限定されており、新たに開発する場合には膨大な費用が必要となる。そのため、汎用の部品を使用しつつシステム全体としての信頼性を高めることが重要である。

(2) 信頼性

給電システムや伝送システムに障害が発生すると、全体の観測ケーブルシステムに大きな影響を与える。特に、海中システムは修理や交換が容易でないため、海中に設置する電源には高い信頼性が要求される。例えば、通信用の海底ケーブルシステムでは、システム全体で設計寿命である20年間に1～2回程度の故障発生率を確保するように設計されている。しかし、科学観測用海底ケーブルネットワークは通信用海底ケーブルシステムより複雑であり、通信用海底ケーブルシステム並みの信頼性

を全ての海中機器に要求することは困難である。従って、重要な海中機器には冗長性を持たせることによりシステム全体の信頼性を高めるなどの工夫が必要である。また万一、海中機器に障害が発生しても、影響を受ける区間を最小限に留めることが必要がある。

（３）拡張性

目標とする大規模な科学観測用ケーブルネットワークは一度に連続的に作るよりも、数年に分けて順次構築していく方が、現実的である。従って、ケーブルネットワークは容易に拡張できることが要求される。

（４）障害位置探知機能

海底ケーブルや海中観測機器や通信機器に障害が発生した場合、障害を迅速に修理するためには、障害発生位置を速やかに探知する機能が必要である。

（５）敷設・設置工事への対応

海底ケーブルの敷設には、２本の海底ケーブルを同時にハンドリングする機能を持つ海底ケーブル敷設船を用いることが想定される。海中機器の寸法、重量は、このようなケーブル敷設船で扱うことができるものとする必要がある。また、万一工事中に海中機器に障害が発生した場合には、これを船上に回収する必要がある。海中機器は、海底ケーブル敷設船による回収も考慮した設計とする必要がある。

（６）修理工事への対応

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。海底ケーブルの修理にはケーブル敷設船の利用が避けられないと考えられるが、観測機器の設置や保守は一般の作業船でも行えるようにする必要がある。

（７）陸上地震観測網との整合性

陸上では、気象庁により地震観測網がきめ細かに整備されており、その観測データも一括して管理されている。ARENA で建設する海底地震計も陸上の地震観測網との整合性を図ることが必要がある。

（８）融通性の高いデータ管理と運用

ARENA には多様な観測機器が接続されるが、運用方法やデータの管理方法、データの配信方法など、観測の性質に対応できるよう、融通性の高いシステムを構築する必要がある。観測の性質から観測を大別すると、以下のように分けることができる。

（a）定常的な観測

定常的な観測としては、次のようなものが考えられる。

（イ）地震計測

データは一括して連続管理する必要があり、また、気象庁による地震観測網へ遅延や欠

測がなく転送する必要がある。

(ロ) カメラ

広帯域の信号が連続的に送られてくる。大量の信号を連続的に記録する必要がある。

(ハ) その他の定常的観測

孔内計測や海洋物理化学観測などがこれに相当する。定常的な観測と一括したデータ管理が必要である。

これらの観測データは、欠測やがないように管理される必要がある。このようなデータと観測機器は一括して管理され、必要に応じて研究機関や研究者に配信されるのが望ましい。

(b) 非定常的な作業と観測

測地観測や AUV、ROV による観測がこれに相当する。特に AUV、ROV では、高度でかつ複雑な作業が必要となる。これらの作業と観測は非定常的なものであり、専門的な知識と経験を要するため、運用には高度な技術と経験を持つ専門家の支援が不可欠である。

(c) 先端的な観測機器

新しく開発した観測機器や観測手法を試験的に使う場合である。観測機器の運用には専門的な知識と経験を要するため、高度な技術と経験を持つ専門家の支援が不可欠である。これらの観測機器の開発と管理には、専門家が積極的に関与する必要がある。

(9) 共通のインターフェイスと管理

センサの健康状態、消費電力、電源の ON/OFF 等は、システム全体で共通に管理する必要がある。このことは、上記の柔軟性と相反する部分もあるので、注意深く扱う必要がある。また、システムに柔軟性を持たせるためには、観測機器のインターフェイスを共通化することも重要である。さらに、観測機器が共通のインターフェイスに適合することを実証するための試験設備も必要である。

2.4 ケーブルネットワークのモデル化

前述したように、ARENA のケーブルルートや陸揚げ地点は今後の検討により変更されるものである。そのため、現時点で技術的検討を行うためには、検討の対象とするネットワークを単純化し、モデル化するのが有効である。そこで、**図 2-1** で示したケーブルルート構想の中から最も構成が複雑な三陸沖のケーブルネットワークを想定し、**図 2-3** に示す単純化したケーブルネットワークモデルを作成した。**図 2-3** のモデルでは、メッシュ状のネットワークを構成する。海底ケーブル状には観測ノードを 50km 間隔でケーブルに配置する。全体で 66 カ所の観測ノードを想定する。他の海域のケーブルネットワーク構成は、探柔な楕形の構造を持っているため、三陸沖のケーブルネットワークに適応可能な給電方式は、他の海域にも適応可能である。

各観測ノードには、複数の観測点が配置される。観測ノード内の構成は、5章の海中システムで扱う。

2.5 消費電力とデータ容量および同期精度

各観測ノードに配置される観測点の消費電力の見積もりを表 2-1 に示す。地震観測点は、各観測ノードに 2 カ所ずつ配置される。システム全体の消費電力としては、このほかに海中機器内に配置される電源の変換効率と、海底ケーブルの電力伝送効率などを考慮する必要がある。すべての観測点における消費電力の合計は約 18.2kW であり、66 箇所のノードで平均すると、一ノード当たり約 303W になる。

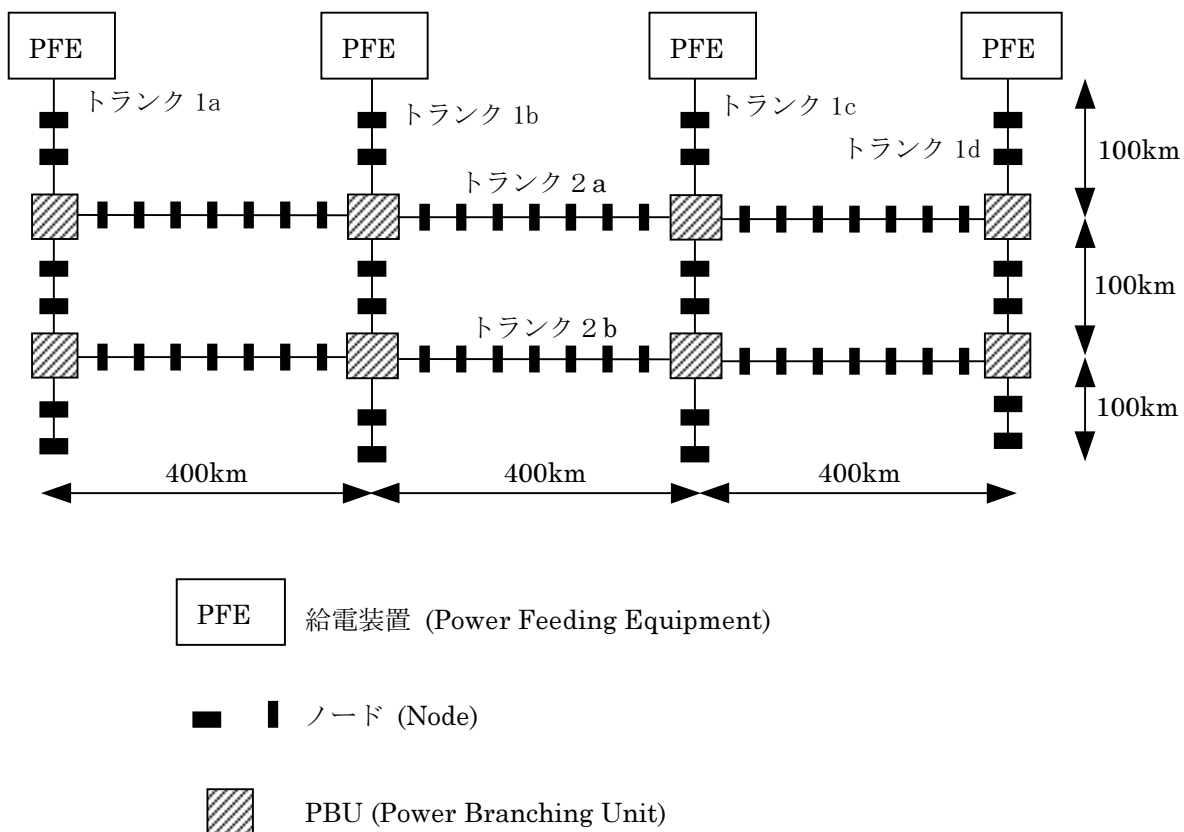


図 2- 3 モデル化した科学観測用ケーブルネットワーク

表 2-1 各観測点の消費電力見積もり

構成センサ	平均電力 W	再大電力 W	データ kbps	同期精度 msec
総計	5,443	3,162	105,197	
地物観測点	1,996	2,323	1,426	
広帯域地震計	3	4	7	1
津波計	1		1	1
重力計	9	14	1	
ヒートフロー	2		1	
合計	15	18	11	
坑内計測観測点	138	149	352	
広帯域地震計	3	4	14	1
ひずみ計	6	7	14	
傾斜計	2	3	1	
地磁気電位差計	3		1	
重力計	9	61	1	
ヒートフロー	2		1	
放射線	12		1	
サ)	16		12	
サ)	16		130	0.010
合計	69	75	176	
海洋物理化学観測点	1,229	218	824	
ADCP	84	308	0	
ハイドロフォン	4	6	50	0.010
CTD	4		5	
流向流速計	3		5	
地磁気電位差計	3		10	
重力計	9	14	1	
金属イオンセンサ			1	
クロフィルセンサ	2		1	
pHセンサ	0		1	
溶存酸素センサ	0		1	
透過度計	0		1	
地中温度計	1	2	1	
放射線センサ	12		5	
合計	123	22	82	
測地観測点	696	400	2,511	0.001
音響トランスポンダ	5	5	1	0.001
傾斜計	2	3	1	
音響測距計	1	1	1	0.001
ハイドロフォン	4		50	
CTD	4		5	
合計	16	9	58	
光アレイ観測点	0	0	0	
光ハイドロフォンアレイ	0	0		
光地震計アレイ	0	0		
合計	0	0	0	
カメラ観測点	545	72	46	
カメラ	12		23	
ステージ		36		
コーデック	60			
ライト	200			
透過度計	0			
合計	272	36	23	
AUV観測点	600	0	100,000	
充電	60			
合計	60	0		
音響トモグラフィ	240	0	38	
温暖化監視システム	60		10	
合計	60	0	10	
信号伝送装置				
光アンプ	10			
監視制御回路	10			
Ethernet Switch				
100Mbps	47	49		
1000Mbps	160	180		

2.6 テクニカルターム

