

# 科学観測用海底ケーブルネットワークシステム(ARENA)

## 技術報告書

伝送システム Ver.0.7

2002年12月

## 目次

4.1	はじめに	3
4.2	伝送システムに対する要求条件	3
4.3	HDTV 信号伝送	4
4.3.1	カメラ	4
表 4-1	さまざまな動画撮影方法において発生するデータ量	5
4.3.2	HDTV 信号伝送方式	5
4.4	時刻同期	6
4.5	光信号伝送システム	11
4.5.1	ネットワーク設計	11
4.5.2	バックボーン伝送方式	14
4.5.3	サイエンスレイヤ伝送方式	14
4.6	伝送プロトコル	19
4.6.1	伝送プロトコル	19
4.6.2	データフォーマット	20
4.7	センサインターフェイス	20
4.8	データ利用、処理、公開	23
4.8.1	データの処理	23
4.8.2	データの公開	25
4.9	システムの運用管理	27
4.9.1	陸上システムの概要	27
4.9.2	陸上システムの条件	27
4.9.3	陸上システムの構成	28
4.9.4	監視	28

## 4.1 はじめに

本章では、まず、ARENA で提案する観測ネットワークに対する要求条件を提示し、この仕様を満足する伝送システムを提示する。

付録3に示すとおり、ARENA に接続される基本セットの観測装置からのデータ総量は約 2Gbps となる。しかしながらこのデータ総量のほとんどは映像を主体とした「カメラ観測点」からのものであり、それ以外の観測システムからのデータの総計は約 4.5Mbps でカメラ観測点からの映像信号と比較して非常に小さい。そのため、伝送系を検討する場合にも、映像信号とその他のセンサから送られる観測データと制御データを区別して扱う必要がある。そのほか、測地観測では、1  $\mu$  sec 以下の高精度の時刻同期が必要とされる。このような高精度で全ネットワークの時刻同期を行うためには、時刻同期専用の回線が必要となる。本章では、これらの性質の異なる 3 種類の信号を統合して伝送するシステムを検討する。

## 4.2 伝送システムに対する要求条件

以下に、伝送システムに対する基本的な要求条件をまとめる。

### (1) 伝送信号と帯域

ARENA システムに接続される HDTV から送られるデータ量は、データ圧縮を行わない場合、1 台あたり 1.5Gbps であるのに対し、それ以外の観測装置からのデータ総量は約 4.5Mbps である。これら容量差のあるデータを柔軟に送受信できるシステムとする必要がある。

### (2) 陸上伝送路

陸揚げ局とサーバ間のデータ伝送コストを考慮した伝送システムとする必要がある。

### (3) 時刻精度

毎年数 cm の速度で移動している海底プレートの移動状況を測定するためには、数 mm 程度の測定精度が必要である。測定には、水中音響が利用されるが、水中の音波の移動速度は約 1,500m/sec であるので、測地観測には 1  $\mu$  sec の精度のタイミング信号が必要となる。

### (4) 信頼性

信頼性はコストとの兼ね合いになるが、基幹伝送路に障害が発生した場合には改修に莫大な費用が必要となる。よって、基幹伝送路に障害が発生するリスクを最小限とする必要がある。また、信頼性が懸念される光送受信器およびイーサネットスイッチについては十分な検討をする必要がある。

### (5) コスト

本システムに使用される部品は可能な限り汎用品を用いてコストを下げるのが望ましい。また伝送用ファイバ本数および WDM(Wavelength Division Multiplexing、波長分割多重方式)を用いた場合の波長数は最適化して必要限度とする必要がある。

#### (6) 拡張性

本システムには今後研究の発展に伴い、様々なタイプの先進的な観測機器が接続される。これらの観測機器を容易に追加したり、交換したりできるシステムとする必要がある。また、システムは部分部分が順次建設されていくため、新しく建設したネットワークと既存のネットワークが接続しやすいシステムとする必要がある。

#### (7) インターネットとの親和性

現在、多くのデータ通信はインターネットプロトコル(IP)をベースに行われている。IP を用いることにより、既存の多くの設備やソフトが利用可能になる。従って、開発するシステムは、IP との親和性を十分考慮する必要がある。

#### (8) 消費電力

給電システムの負担を低減するためには、海中に設置する機器は低消費電力であることが要求される。給電システムとの整合性が重要である。

### 4.3 HDTV 信号伝送

4.2 章(1)で示した通り、ARENA システムに接続される観測装置からのデータ量のほとんどを占めるのが映像を主体としたカメラ観測点からのものである。従って、伝送システムを検討する場合、特にHDTV (高精細テレビ、High Definition TeleVision) による信号伝送を十分考慮する必要がある。

この章では候補となるカメラの種類、及びデータ伝送方式について述べる。また、HDTV 信号伝送だけでなく、高品質の海底画像を得る他の手段についても検討を行う。

#### 4.3.1 カメラ

##### (1) 超高感度 HDTV カメラ (Super-HARP カメラ)

NTSC(National Television System Committee)規格のビデオカメラは一般民生向け製品も市場に多く供給されているが、現時点では HDTV カメラは業務用あるいは産業用など限られた範囲で使用されているだけである。しかも、Super-HARP カメラはその中でもきわめて限定された範囲で使われているだけである。しかし、Super-HARP カメラは極め高い解像度と感度を持っているため、深海における限られた人工照明下でも科学的観察に利用できる高画質の画像を得ることができる。そのため、科学的観測用として、Super-HARP カメラは重要な観測機器の一つとなっている。参考として、付録 4 に JAMSTEC のハイパードルフィンに搭載されている「超高感度深海ハイビジョン TV カメラ」の仕様を示す。

##### (2) HDTV カメラ

感度が低い分 Super-HARP カメラに比して被写界深度が浅くなりピントが合う距離範囲が狭くなる難点があるが、海底定点観測用として動きの遅い被写体 (チムニーなどの地形そのものや貝類等)

を撮影する場合には安価で CCU を含めて小型化された製品があり選択肢が増える。

映像信号の外部 I/F については HD-SDI (HD シリアルデジタルインターフェイス) (1.5Gbps) が一般的であり、伝送量は 1.5Gbps の Super-HARP カメラとデータ量は同じである。

### (3) 高解像度デジタルスチルカメラによる動画撮影

1920 × 1080 以上の解像度を持つ CCD を用いたデジタルスチルカメラで撮影すると HDTV 解像度と同等の静止画像が得られる。さらに一定量のバッファメモリや遅延メモリを持つなどの工夫を施した上で毎秒 30 コマで連写することによって Motion-JPEG データとして数秒間のハイビジョン画質の動画データを得ることができる。

通常は NTSC 解像度 (640 × 480) やモノクロ、コマ落しでデータ量を大幅に減らした状態でモニタリングし、陸上にて動画監視システムによるイベント起動によって高解像度のカラー動画ショットを得る。連写速度とバッファメモリが許す場合はイベント起動によって高速度カメラとしても動作させられる。モニタリング用途には NTSC 解像度カメラの MPEG2 エンコードデータ (6Mbps 程度) を用いることもできる。

各々の場合に発生するデータ量を表 4-1 に示す。

HDTV 画像を 3 色で 30 コマ/秒で取る場合、データ量は約 1.5Gbps となる。一方、NTSC の場合は 3 色 30 コマ/秒で 211Mbps となる。複数の観測点の HDTV 画像を圧縮せずにそのまま伝送する場合は 10Gbps 以上の光速の Ethernet が必要となるし、データを圧縮する場合には海底機器として利用できるような小型で低消費電力の MPEG2 エンコーダが必要となる。

表 4-1 さまざまな動画撮影方法において発生するデータ量

	X	Y	色	毎秒コマ数	Data 量 (Mbps)	Data 量 (MB/秒)
HDTV	1920	1080	3	30 非圧縮時	1424	178
HDTV	1920	1080	1	15 モニタリング用	237	30
NTSC	640	480	3	30 非圧縮時	211	26
NTSC	640	480	1	15 モニタリング用	35	4
NTSC	640	480	3	200 高速撮影	1406	176
NTSC	640	480	3	30 MPEG2 標準解像度エンコード	6	0.75

#### 4.3.2 HDTV 信号伝送方式

現在、日本の BS デジタル放送はベースバンド (非圧縮) の HDTV 信号 (1.5Gbps) を MPEG2 エンコーダでリアルタイムに約 24Mbps に圧縮して放送衛星経由で配信している。そしてそのデジタル映像は最大約 28.2Mbps の転送レートの HS モードを持つ家庭用 D-VHS レコーダで記録再生が可能となった。パソコンによるテレビ画像録画などで近年非常に安価で小型になった SDTV (NTSC 画質) 用 MPEG2 エンコーダ/デコーダと違い、HDTV 用の MPEG2 エンコーダとなると、現時点では放送用機器等の大型の装置しかなかったが、専用の LSI 開発がなされつつあり海底機器としても利用できるような小型で省電力の MPEG2 エンコーダ実現の可能性が出てきた。

HDTV の非圧縮の映像データとなると他のセンサと比較した場合に桁違いに大容量であるため、デジタル化された観測データと混在させて Ethernet で伝送するためには、10Gbps 以上の高速の伝送路とスイッチやルータなどの機器が必要となり、デメリットが少なくない。

そのほかの伝送方式としては、後述するような光波長多重方式を用いて HDTV 信号専用の伝送路を設けることが考えられる。また HDTV による連続画像と、高精細度のスチルカメラによるイベントトリガ型映像を併用するという方式も十分考えられる。

表 4-2 にカメラ方式も考慮した比較表を示す。

表 4-2 カメラ方式も考慮した、データ伝送方式の比較

特徴 方式	映像 IP 変換器	観測データと 独立性、安定性	映像の多 CH 化 柔軟性	コスト
同一の Ethernet 系統で観測データと一緒に伝送	必要 (MPEG2 エンコーダ)	観測データの伝送に影響大		
映像専用の Ethernet 系統を CH (帯域合計) 分確保	必要 (MPEG2 エンコーダ)			IP スイッチ規模大
サイエンスノード毎に映像専用の波長を割り当て伝送路を確保 (WDM)	不要			× 波長多重数が増えコスト大
特定のサイエンスノードにのみ映像専用の波長を割り当て伝送路を確保 (WDM)	不要			波長多重数が減りコストが抑えられる
映像専用のファイバを確保し時分割多重で伝送 (TDM)	不要		P-To-P 接続に限定される	構成が簡単
高解像度スチルカメラによるイベントトリガ型映像 (データ量は少ない)	必要 (JPEG) 安価	イベント発生時にトラフィックが急増	安価なカメラを多数設置可能 スチル、動画、高速撮影など自在	JPEG エンコーダコスト小 カメラも安価

なお、付録 5 に MPEG 画像伝送についてのまとめを示す。

#### 4.4 時刻同期

ARENA で現在接続を検討している機器を付録 3 の観測点構成表に示す。観測項目に必要とされる時刻同期精度は様々である。観測した時刻のみが必要な観測対象もあれば、観測機器間の取得時間差が直接精度に影響を及ぼす対象もある。例えば、ADCP は海中の流向流速を測る機器であり、観測時刻は海中の流れが生じた時刻を明確にするために必要である。観測精度に時刻同期精度は影響しないため、1sec の精度で十分である。

一方、ARENA の重要な観測機器の一つである測地観測では、プレート運動を観測することを目標と

している。その変動量は1年あたり数 cm なので、数 mm 程度の測定精度が必要とされる。測定には水中超音波が利用されるが、その伝搬速度は約 1,500m/sec なので、結局、1  $\mu$  sec 程度の時刻同期精度が必要となる。

基準となる時刻としては、GPS 時刻が妥当と考えられる。

これらの時刻同期に要求される条件をまとめると、次のようになる。

- (1) 全長約 1000km の水中ネットワークに接続される観測機器を同一クロック（時間）環境で動作させる。
- (2) 時刻の基準は、GPS とする。
- (3) 時刻精度は 1  $\mu$  sec とする。

時刻同期を実現する上での、ネットワーク構成概略を図 4-1 に示す。時刻同期手法としては、基準信号方式と、NTP の併用を提案する。基準信号方式は、時刻同期精度が 1  $\mu$  sec まで得られるが、ネットワーク上で別システムとする必要があるため、装置は大掛かりになる。NTP は精度的には約 10msec であるが、観測機器によってはこの精度で十分である。方式は観測機器利用者が、時刻同期要求精度に合わせて選択する。なお、相対時刻精度として更に高精度が必要な場合に関しては、観測機器側で対応する。図 4-1 内の陸上側の基準信号 Server 及び NTP Server の絶対時刻の基準としては、GPS を用いる。基準信号系は精度を確保するために、TCP/IP とは別システムで伝送する必要がある。NTP は、TCP/IP に包含されるプロトコルであるため、データ通信上で配信される。

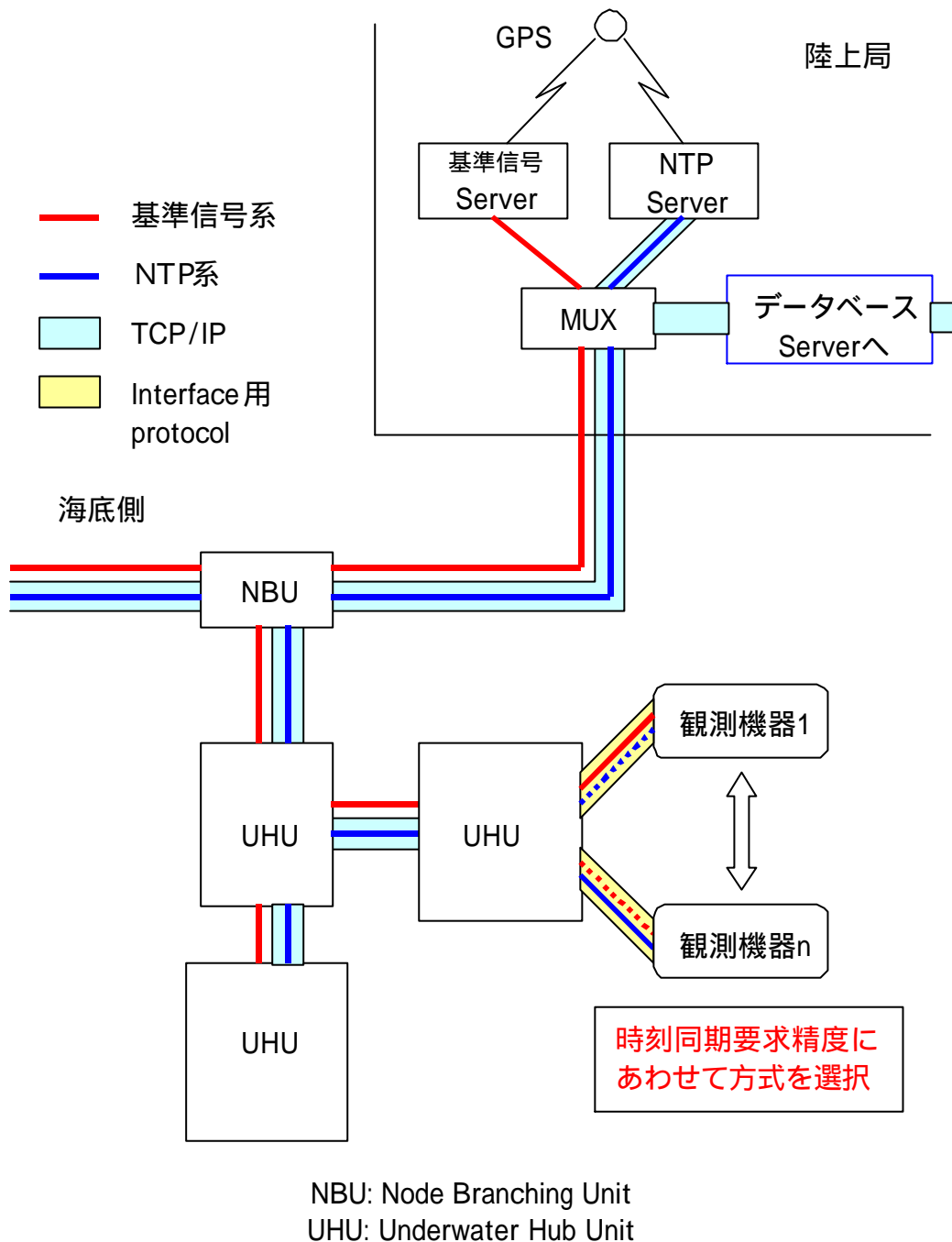


図 4-1 時刻同期ネットワーク構成概略

NTP は、計算機を階層状に接続し、自分が属する階層内か 1 つ上の階層の NTP サーバにのみアクセスし、時刻同期のための通信を 1 つのサーバに集中しないように考えられた技術である。NTP の概略を図 4-2 に示す。NTP では、NTP サーバの時刻と、各ノードから NTP サーバまでの往復に要する時間から時刻を補正する。この方式は TCP/IP の中では広く用いられている方法で、実効的に 10msec の時刻同期精度になる。この精度で問題がない観測項目に関しては、ハードウェア構成が簡単になるため、メリットがある。



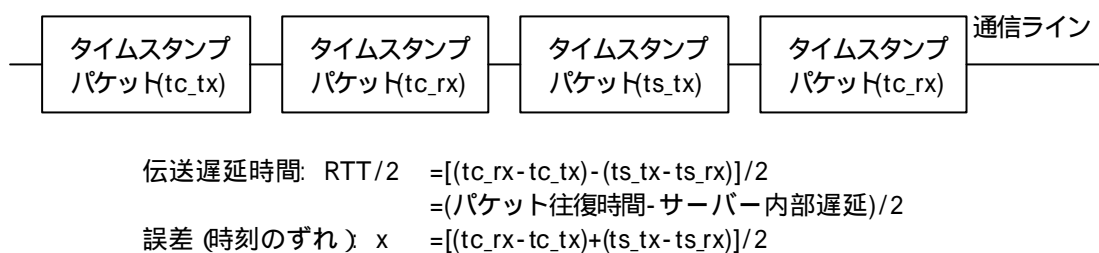


図 4-2 NTP の時刻同期方法概略

測地計測のように、さらに高精度の時刻同期が必要な観測機器に関しては、基準信号を用いた高精度な方法が必要である。プロトコルとしては、Time Code、PPS もしくは PPS + 遅延情報方式を用いることになる。付録 7 の(1)に Time Code での IRIG 時刻コード規格を、(2)に PPS 方式での時刻コード案を、(3)に時刻同期に遅延情報を含めた場合のコード規格案を示す。これらの方式は全ての方法とも、IP とは別系統の専用線を引く必要がある。Time Code による方法は、基準信号内に絶対時刻の情報が含まれている。PPS 方式は、専用線に精度が確保された毎正秒のパルスを送送する。PPS+遅延情報では、PPS 信号の他に毎正秒のパルス間に絶対時刻及び遅延情報を伝送する。Time Code を用いる方法では遅延情報を、PPS を用いる方法では、時刻及び遅延情報を別系統で送ることが必要である。なお、遅延情報は、別途取得する必要がある。観測機器は海底に固定され、伝送路による遅延は、急激には変化しないと考えると、時刻及び遅延情報は TCP/IP 上で送ることが可能である。PPS 方式は、GPS 衛星から送られてくる信号と基本的に同じであり、高精度の時刻同期が必要な場合は、良く用いられる方法である。遅延情報を含めた規格の場合、専用線のみで時刻補正ができるというメリットはあるが、サイエンスノード毎に時刻同期を行う点が、時刻同期 Server の負荷を増やすことになる。各方式の特徴を、表 4-3 にまとめる。また、ここで、提案した基準信号を用いる方法は、全て要求される時刻同期精度を満たすことができ、大きな優劣の差は無いが、基準時計である GPS との親和性を考慮すると、PPS 信号を送る方式が有力である。

表 4-3 時刻同期方法の比較

方式	NTP	基準信号方式		
		Time Code	PPS	PPS + 遅延情報
仕様環境	NW環境	一方通行	一方通行	一方通行
測定器での時計の有無	必要 自分の時計との比較により時刻同期	遅延分補正用時計必要 時刻受信 (内部時計あり)	遅延分補正用時計必要 時刻受信 (内部時計あり)	必要
時刻入手方法	サーバーとの応答	時刻情報のみ受信 遅延分は端末側で保持	時刻情報のみ受信 遅延分は端末側で保持	時刻及び遅延分を受信
必要ライン	IPラインのみ	1ラインを占有 遅延情報はIPライン使用	1ラインを占有 時刻・遅延情報はIPライン	1ラインを占有
精度	10msec程度 ただしネットワークに依存	1 μ sec	1 μ sec	1 μ sec
規格	RFC-1305	IRIG-A ~ G		なし
汎用性				×
データラインとの親和性	TCP/IP変換	干渉しない	干渉しない	干渉しない
基準時刻GPSとの親和性				
NW上の管理				
総合評価				

## 4.5 光信号伝送システム

既存の通信用光海底ケーブルシステムでは基本的に2地点陸揚げポイント間の通信を行っており、複数のケーブルシステムを用いることでネットワークを構成している。これに対して、ARENAのケーブルシステムは海底に2次元的に配置された複数の観測ポイントからの測定データを欠損なくリアルタイムに陸上に送信する必要があることから、リングネットワークをメッシュ状に構成し、複数の観測ポイントと陸揚げポイントとの間でデータの送受信を行う必要がある。

このようなネットワークは陸上に構成する場合は比較的容易に実現が可能である。しかし、海中に構成する場合には海底に設置する送受信器やネットワーク機器の信頼性について十分検討する必要がある。ここでは、本章の冒頭で述べた伝送システムへの要求条件を踏まえた上で、最適な光信号伝送方式について比較検討を行う。

### 4.5.1 ネットワーク設計

#### (1) ネットワークの階層化

本伝送ネットワークは、海底観測機器からの観測データ(サイエンスデータ)を陸揚局に伝送するサイエンスレイヤと陸揚局に伝送したサイエンスデータを中央サーバに転送するバックボーンレイヤの2つの階層を持ったネットワークとして設計することが有効と考えられる。本ケーブルネットワークのリソースを有効利用することで、観測機器からの観測データの伝送だけでなく、陸揚局から中央サーバへの大容量の観測データの転送やサーバ間のミラーリングを、陸上の専用線網等を使用することなく実現することが可能であると考えられる。

#### (2) ネットワーク構成

ネットワーク構成は、信頼性、障害時のプロテクション、ネットワークの拡張性の観点から、図4-3に示すように2地点の陸揚局を拠点とした複数のリングネットワークにより構成することが好ましい。この構成の場合、1リング内では伝送路は1本であるため基幹伝送装置に回路規模が大きいルータを設ける必要がないので、信頼性を確保するのが容易である。リングネットワークとしたことで障害時にも伝送路内のデータは2地点の陸揚局のいずれかで受信することができる。また、それぞれのリングは独立したネットワークであるため、リング数を増やすことで他のネットワークに影響を与えることなく容易にネットワークの拡張が可能である。ただし、例えば中央の陸揚局2への伝送路に障害が発生した場合、陸揚げ局1とその他の陸揚げ局間のバックボーン伝送が不可能となることから、陸揚局同士が孤立してしまうためバックボーン伝送が不可能となることから複数の陸揚局にデータサーバを配置する必要がある。

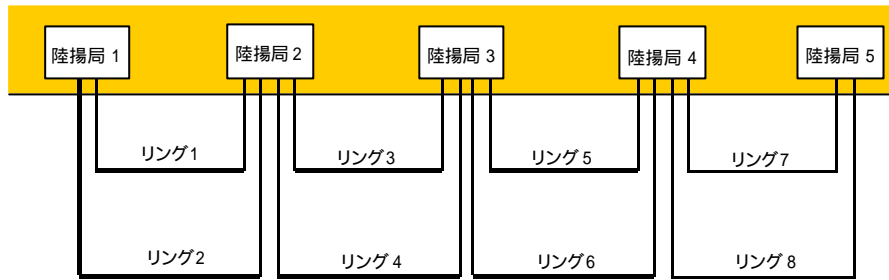


図 4-3 複数リングによるネットワーク A

これに対し、図 4-4 に示すように外側のリングを陸揚局 1 と 3 の間に設けた場合には、陸揚局が孤立することはないが、拡張する際にネットワークが複雑となる。

一方、2 つの陸揚局の確保ができずリングを構成できない場合、ケーブルの障害によって障害地点以降の通信は途絶してしまうという問題点がある。これを回避するためには、図 4-5 に示すように分岐点に光スイッチや L3-EthernetSW などの高機能の回線切替装置を配置する必要がある。そのため、ネットワーク規模が大きくなり、信頼性の確保が難しくなるとともに、プロトコルが複雑化し、システムの運用・管理方法を複雑となる。例えば IP ベースのデータ転送では、物理層の単純な切替でリンクを救済しても上位レイヤでのプロトコル処理が正常に行われる保証はないため、所望のプロテクション時間を考慮した設計が必要となる。

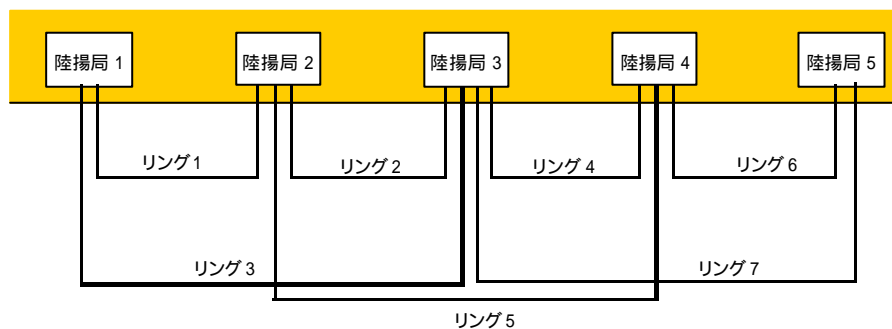


図 4-4 複数リングによるネットワーク B

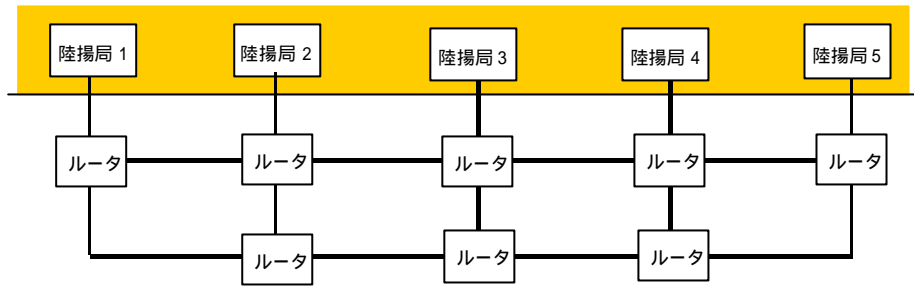


図 4-5 回線切替(ルータ)を用いたネットワーク

上記ネットワーク構成の比較表を表 4-4 に示す。表に示すように現時点では複数リングによってネットワークを構成するのが最も良いと考えられる。図 4-6 に ARENA システムを複数リング A で構成した場合のネットワークの構成を示す。ARENA システムでは 6~7 個のリングによりネットワークを構成することが可能である。

表 4-4 ネットワーク構成比較表

		複数リング A	複数リング B	回線切替
障害時の プロテクション	サイエンレイヤ			: 伝送ルート自由度が 高い
	バックポー ンレイヤ	: 陸揚局毎にデータサ ーバが必要		: 伝送ルート自由度が 高い
信頼性				× : 回線切替装置の信頼 性が低い
拡張性				
コスト		-	-	-
その他		-	-	・プロトコル設計の複雑化 ・伝送ルートがルータに依存
総合				

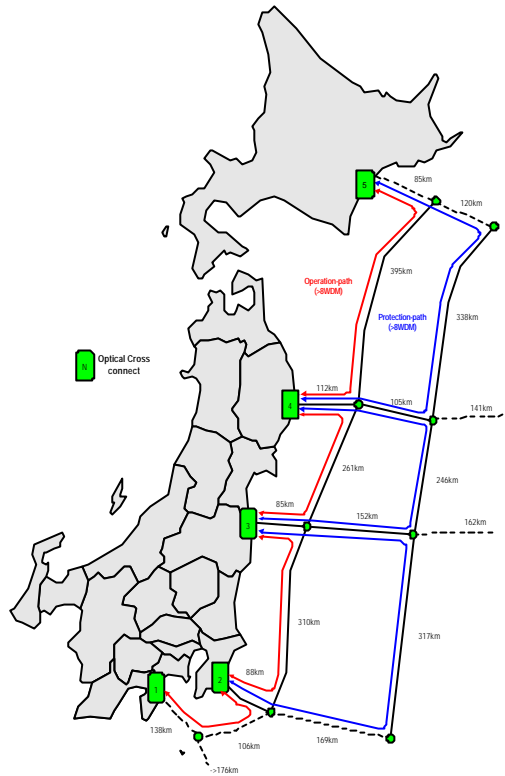


図 4-6 ARENA システムにおける細分化リングネットワーク

#### 4.5.2 バックボーン伝送方式

バックボーンの伝送方式としては陸上に新たに回線を設ける方式とサイエンスデータ伝送路の一部をバックボーン伝送路とする方式が考えられる。このうち、バックボーンの伝送方式としては大容量伝送が可能な海底ケーブルネットワークの余剰リソースを利用するのがコスト的に現実的である。海底のリソースを使用せず、陸上に設置する場合は専用線よりは VPN を利用したフレームリレー回線を使用することが考えられる。

サイエンスデータ伝送路を利用する方法としては、ファイバペアを追加する方式と WDM により波長を割り当てる方式が考えられる。

ファイバペアを追加する場合、バックボーンデータ伝送路はサイエンスデータ伝送路と完全に分離している。OADM を用いることによる利得の変動の影響を受けることがないため波長を割り当てる方式と比較して伝送品質および信頼性が高い。しかし、伝送路として 2 本の光ファイバを追加する必要があるためコストが割高となる。

波長を割り当てる場合はファイバを追加する方式と比較して伝送品質では劣るが、ファイバ数が少ないことからコストの面では優れている。

#### 4.5.3 サイエンスレイヤ伝送方式

サイエンスレイヤの構成方式として、波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)と光波長アッドドロップ回路(OADM: Optical Add/Drop Multiplexer)を組み合わせたリング方式が考えら

れる。図 4-7 にネットワーク構成を示す。この場合、光送受信器やイーサネットスイッチなどの信頼性に実績のないデバイスを海中ノード分岐装置内に設置しない構成とすることができるため、基幹伝送路の信頼性を高めることができる。

また、本方式の場合、バックボーン用の波長を割り当てることで容易にバックボーンネットワークを構成することも可能である。以下 OADM を用いたネットワークについての詳細について検討する。

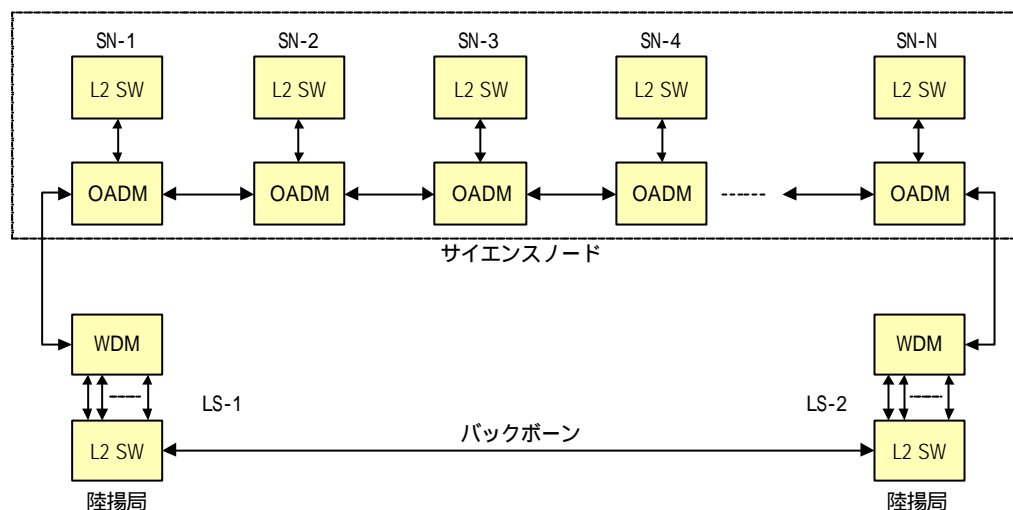


図 4-7 OADM を用いたリングネットワーク

波長の割り当てについては各海中分岐ノードへ 1 波長ずつを割り当てるのが最も単純であるが、先の基本的要求条件で示したように、本ネットワークのトラフィックは映像・画像データが非圧縮の場合で HDTV 1 台あたり 1.5Gbps、1/30 に圧縮した場合でも 50Mbps と全データの大部分を占めている。その他のデータは全てあわせても 4.5Mbps 程度である。このことから、単純に 1 ノードに 1 波長を割り当てるのではなく映像・画像データなどの大容量データに専用波長を割り当て、その他のデータについては少ない波長数でまかなう方法も考えられるため、これらの方式について比較検討した。また、検討の前提条件としてネットワーク構成は複数リング方式とし、基幹伝送路の信頼性を確保を容易にするため NBU 内には L2-SW などの大規模な装置は入れないこととした。

#### (1) 1 ノード/1 波長方式

図 4-8 に各ノードのデータ伝送用に 1 波長を割り当てた場合の波長割り当てと海中分岐ノード (NBU: Node Branching Unit) と海中ハブ装置 (UHU: Underwater Hub Unit) の概略の構成案を示す。まず、複数リングネットワークでは 1 ネットワークあたりの NBU 数は現状の計画ではおよそ 5~8 台であることから、1 ネットワークあたりの NBU 数の最大値を 10 台とし、サイエンスレイヤに 10 波長を割り当てた。またバックボーンレイヤは予備波長を含めて 2 波長とし、監視用 (OTDR、光ループパッ

ク、ネットワーク機器の監視制御)に 2 波長、時刻同期信号用に 1 波長、予備ラインとして 1 波長分の余裕を残した。全波長数 16 波の WDM である。

この方式では、データ伝送要の他、時刻同期信号用と監視用の信号が各 UHU に送られる。また、UHU のセンサ接続ポートのどこにどのようなデータ容量のセンサを接続してもよい構成となっていることから拡張性(柔軟性)にも優れる。

伝送路の障害に対する耐久性を高めるために、各 UHU は両側の陸揚げ局からアクセスできるようになっている。従って、リングネットワークの一方所に障害が発生しても、給電が行われる限り、陸揚げ局からすべての UHU にアクセスすることができる。

デメリットとしては、1 波長あたりの伝送容量を 1.6Gbps としても全体の伝送容量は 25.6Gbps となり、伝送するデータ量に対して伝送容量が大きくなりすぎることである。また、HDTV 信号を Ethernet で送る必要があるため、データを圧縮しない場合には 10Gbps 以上の高速の Ethernet が必要であり、また、データ圧縮を行うためには、海底機器として利用できる小型で高い信頼性を持つエンコーダが必要になる。これらの技術が利用できるのは、しばらく先のことになりそうである。HDTV 信号伝送に関しては、4.3 で詳しく扱っている。



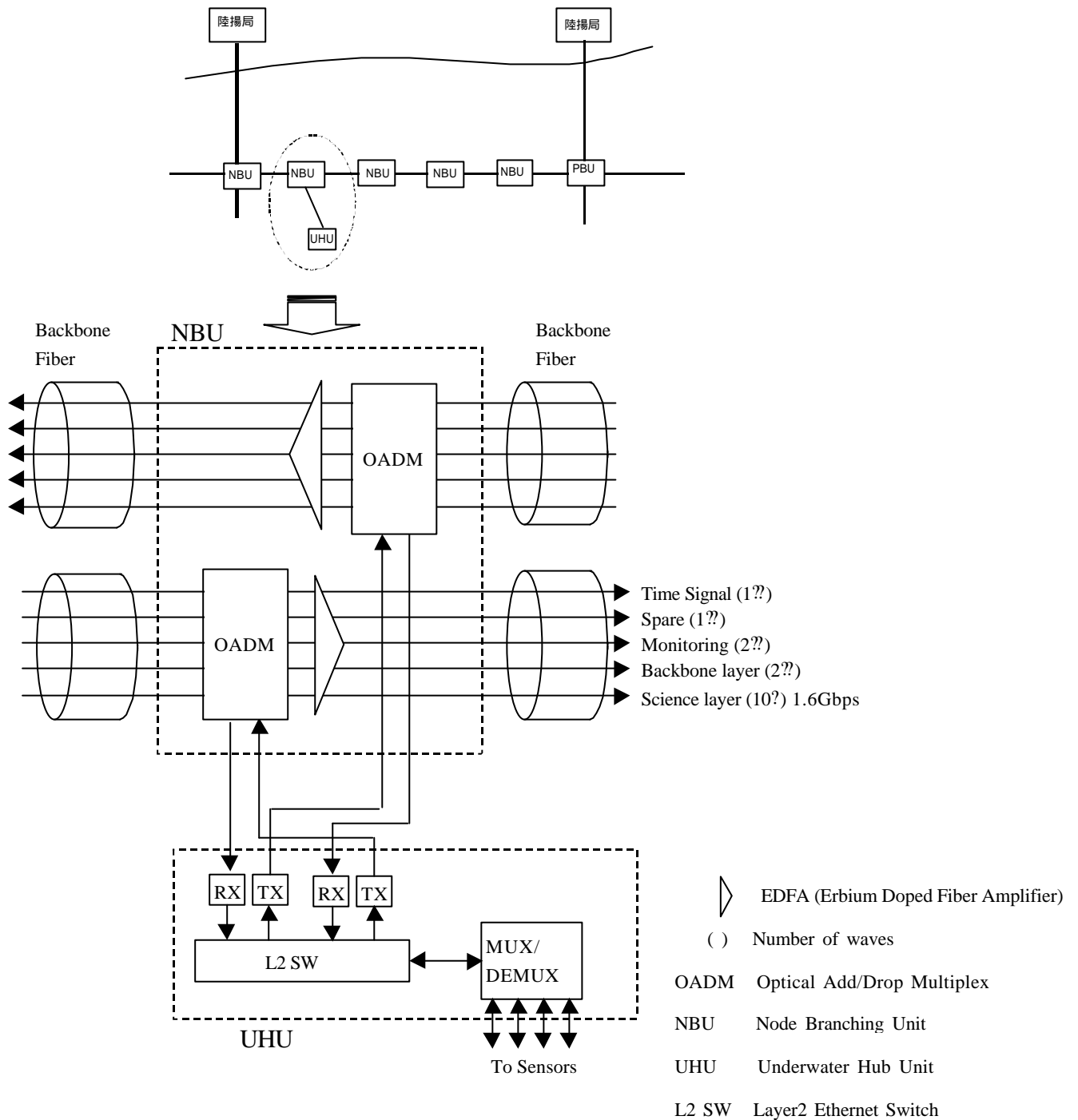


図4-8 1ノード/1波長方式での概略機器構成

## (2)大容量データ専用波長方式

図 4-9 に HDTV などの大容量データを専用波長に割り当てた場合の構成を示す。サイエンスデータ用として 1 波長を割り当てた。この波長は全てのノードで Add/Drop されてサイエンスデータを伝送する。本例では大容量データの伝送路として 10 波長を割り当てた。これらの波長はそれぞれのノード

ドから送信される大容量データを伝送する。よって全てのノードに大容量センサを接続することが可能である。

この方式の場合、2 波長を Add/Drop する必要があるため OADM と送受信器の数は 1 ノード/1 波長の倍の 2 組が必要となる。よって、構成要素が増えてコストおよび信頼性で 1 ノード/1 波長方式に対して劣る。また、拡張性に関しても UHU のセンサポートは大容量データ用は専用ポートとなり拡張性(柔軟性)についても乏しい。

このほか、ネットワーク内で大容量データを扱えるノード数を制限する方法が考えられる。例えば大容量データ用の波長を 1 波長に制限して、各ノードで Add/Drop した場合、ノードのシステム構成は変わらないが、波長数の合計は 8 波長となるため、波長多重数が減少して陸揚局の構成が簡単となりコストが減少する。また、波長間隔が広がるため、送信器 LD の波長温度依存性などの WDM にかかわる問題について十分なマージンを持って設計することができる。

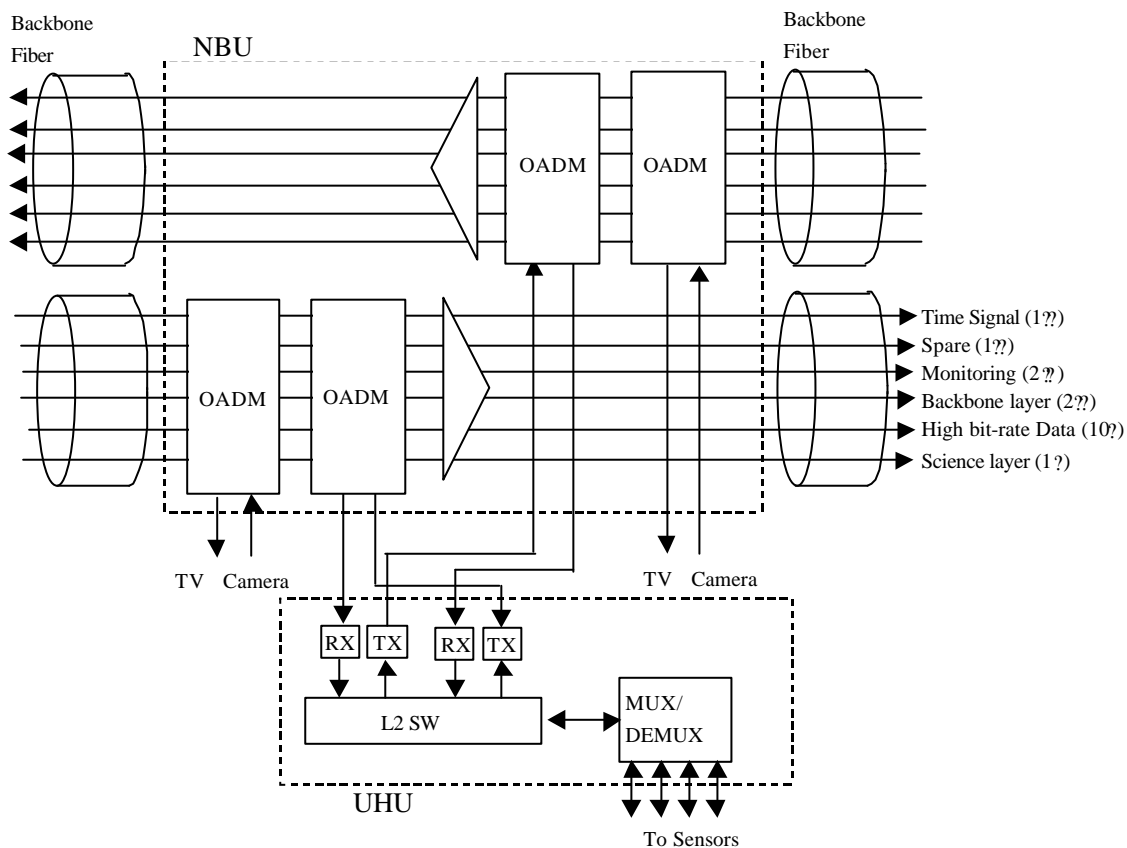


図4-9大容量データ専用波長(全ノード接続可能)方式

## 4.6 伝送プロトコル

この章では実際に伝送するためのプロトコル構成を考察する。

### 4.6.1 伝送プロトコル

伝送プロトコルについては世間で幅広く使用されている OSI の 7layer など、標準化された技術に立脚した上で構築を行うことを考える。OSI をふまえたプロトコル構成例を表 4-5 に示す。

表 4-5 プロトコル構成

機能		計測	伝送	解析
アプリケーション層	アプリケーション層	ストリーミング伝送プロトコル AD&デジタルフィルタ センサ/カメラ制御アプリケーション	SNMP、FTP、TELNET、XML、 ストリーミング伝送プロトコル	ストリーミング伝送プロトコル 解析・表示・WEB アプリケーション
プレゼンテーション層				
セッション層				
トランスポート層		専用プロトコル、TCP、UDP	TCP、UDP	TCP、UDP
ネットワーク層	インターネット層	専用プロトコル、IP/IPv6	IP/IPv6	IP/IPv6
データリンク層	ネットワークインターフェイス層		Ethernet	Ethernet
物理層		センサ固有のインターフェイス	光ファイバー	光ファイバー Gigabit Ethernet

この構成図では、OSI 参照モデルの各層の中でどのようなプロトコルを使用するかを記述している。例えば海底データ伝送において物理層は光ファイバーを使用し、データリンク層では Ethernet を使用することを考えている。また、この図のように、データ伝送には TCP/IP などを用い、アプリケーションで用途に応じてさまざまな機能を持たせるということが考えられる。

XML は計測、伝送、解析にわたってのネットワーク監視等の処理に使用されルートということを表示するために、システムインフラとして全体にわたって表示させている。

データ伝送に UDP を使うか、TCP を使うかはそれぞれメリットとデメリットがあるので、どちらを使用するかは目的に応じて採用をする必要がある。

なお、OSI 参照モデルとは別に、計測、伝送、受信解析全体にわたったインフラとして、ネットワーク監視機能及び時刻同期機能がある。ネットワーク監視機能については 4.7 章及び 4.9.4 章に、時刻同期機能については 4.4 章に記述されている。

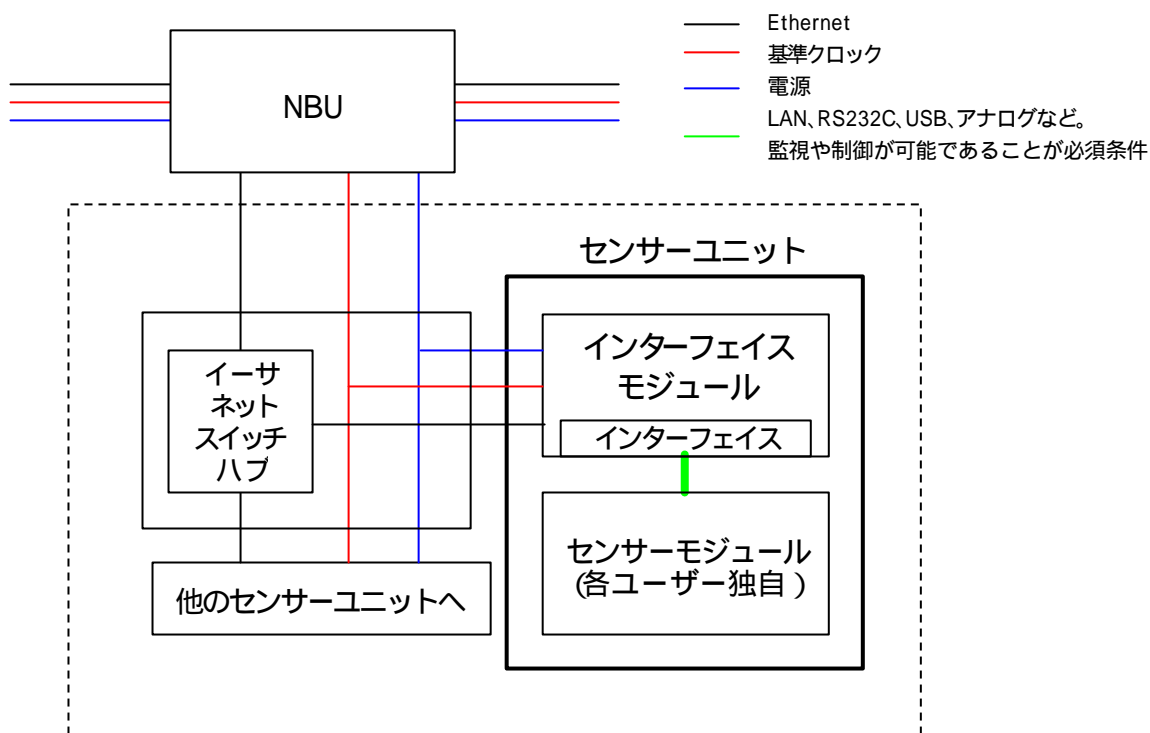
ARENA では付録 3「観測点構成表」にあるように、多種多様のセンサがある。データ伝送手段においては「データ処理、利用、公開」の章にもある通り、他との整合性を考える上でも TCP/IP をインフラとすべきである。

#### 4.6.2 データフォーマット

伝送手段が TCP/IP ベースであり、それに乗せられるものであればデータフォーマットについては、制限をしない。むしろ既存のシステムとの整合性のあるフォーマットにする必要がある。例えば地震データについては、気象庁にデータを即時に流さなくてはならない業務的な側面があることなどから、日本で流通している WIN 形式フォーマットにすべきである。一方、アメリカでは SEED 形式フォーマットが主流であり、NEPTUNE とのデータ情報交換等を考える場合には WIN-SEED 変換等のアプリケーションが必要である。WIN-SEED 変換については 2002 年 10 月現在 JAMSTEC 坪井先生が XML を用いたデータ変換や情報配信システム等を構築しようとしている。なお、付録 6 に地震についてのデータフォーマットを表示し、付録 7 にその中の WIN 形式についての詳細を表示した。地震データ以外の測地、画像、熱量等のデータ、さらに新規観測手段の開発等の研究的なものなど、それぞれが測定するデータにおいて状況に応じての使い分けが必要である。

#### 4.7 センサインターフェイス

ARENA では多種多様のセンサを使用するため、それらのデータを伝送するためにイーサネットスイッチハブに接続する際にインターフェイスを統合する必要がある。模式図を図 4-10 に示す。



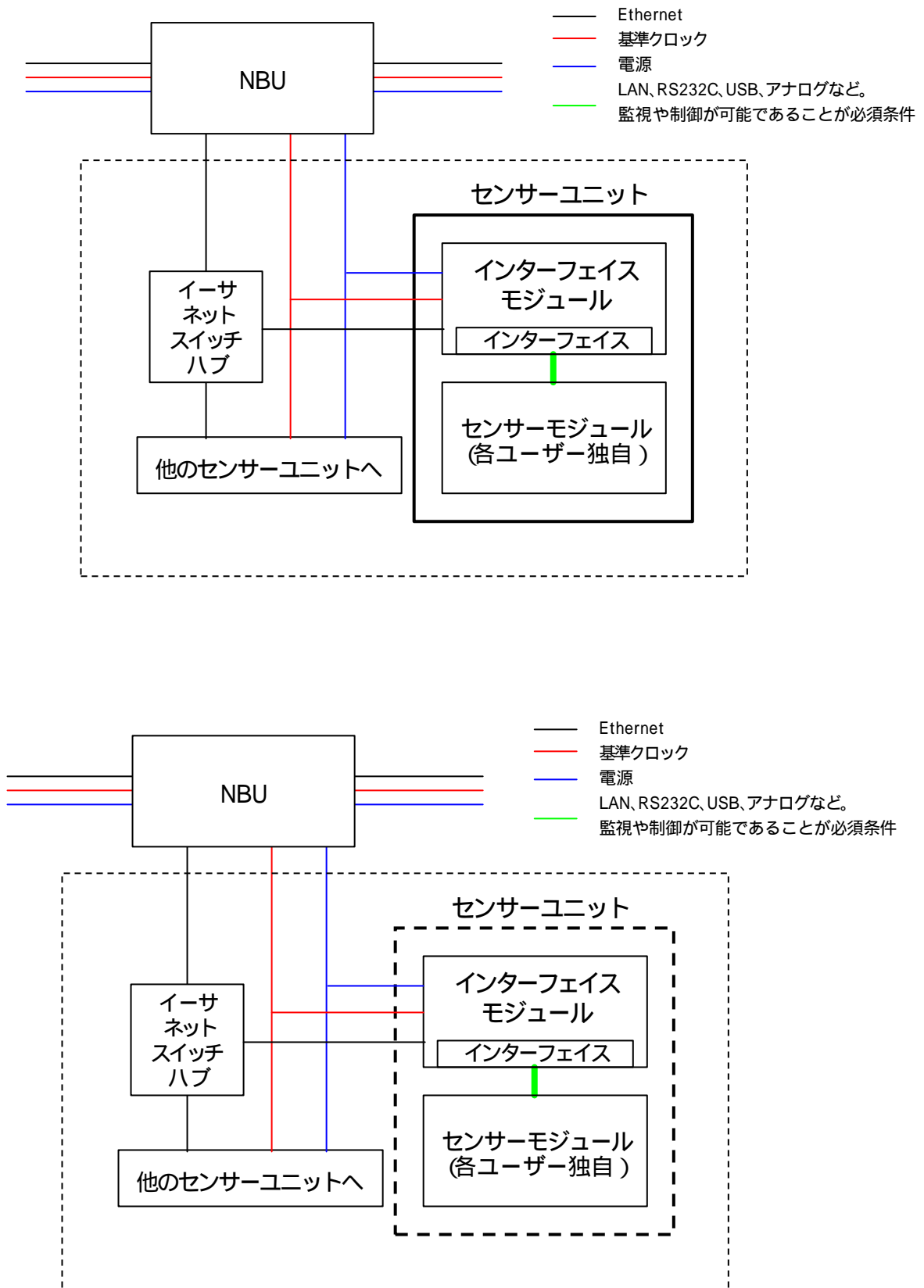


図 4-10 インターフェイスの模式図

センサユニットについては、2つの構成に分けることができる。イーサネットスイッチハブとセンサモジュールを取り持つインターフェイスモジュール、そして、各ユーザーが独自で開発するセンサモジュールである。ここで注意しなければならないのは、センサモジュールは既存のものがある可能性が高いことから、ユーザー側に追加の負荷をかけないことが本システムの利用増につながると考える。そのため、本システムとユーザー側のインターフェイスについては、インターフェイスモジュールがキーとなる要素と考える。

このインターフェイスモジュールについては、基板にて提供する場合とSPECを公開し、ユーザー側が独自にセンサモジュール側に取り込めるような拡張性に富んだフレキシブルな対応が重要である。また、このインターフェイスモジュールは、陸上からセンサへの制御、センサの管理（特定）、故障診断の検出（センサモジュールについて）に関し、重要な役割をするものである。すなわち、センサとの情報をやり取りするスマートセンサの仕組みを考えるべきである。

また、センサモジュールとインターフェイス間を接続する規格を比較した表を表4-6に示す。

表 4-6 デジタル化された後の主要なインターフェイスの比較

新しい規格は高機能で便利ではあるが将来性と信頼性に不安が残る。

	RS-232C	USB2.0	LAN (IP)	IEEE488	IEEE1394	IEEE1451
オープン性						
スケーラブル性(伝送距離、機器接続台数等)				(20m、15ノード)	(63ノード)	
信頼性						
低コスト						
伝送性能			Gigabit		400Mbps	
多機能性						高機能
プラグアンドプレイ機能	x		IPv6	x		
電源供給機能			x	x		?
将来性						
総合評価						

NEPTUNE プロジェクトではセンサ毎に異なる各種インターフェイスをIEEE1451を用いて共通化するプロトコル変換ボックスを検討している。この「スマート・トランスデューサ・インターフェイス・モジュール」はセンサ及びアクチュエータをネットワークに接続する場合のインターフェイスの標準仕様を定めたものであり、IEEEの標準規格となっている。この規格ではスマート・トランスデューサ・インターフェイス・モジュール(STIM)をネットワークに接続する通信インターフェイス(NCAP: Network Capable Processor)の通信プロトコルと、STIMに格納するトランスデューサ電子データシート(TEDS: Transducer Electronic Data Sheet)の形式が定められている。TEDSは、トランスデューサの新しい通信プロトコルによるインターフェイスで使用するデータフォーマットで、センサのID、感度、校正値などのデジタル情報を保存した半導体チップがセンサに内蔵されており、TEDSをサポートした計測機器とセンサを使用することによりセンサの仕様情報が計測システムに自動的に読みこまれ感度が自動的に設定されるため、セットアップ時間の短縮やコストの削減につながる。但し、現状でIEEE1451に対応している機器は少ない。付録8にNeptuneのセンサインターフェイスについて簡略に示しておく。

システムインターフェイスを決定する上では、センサの制御ができる仕組みを構築できるようにする必要がある。制御の方式としては SNMP の拡張機能（ユーザー領域の利用）や XML 等既存のプロトコルを利用するか、新たに専用のプロトコルを構築するかの 2 つの方式が考えられるが、後者の場合は、通信部分から開発する必要があるので、開発費及び開発期間を考慮すると通信部分は既存の部分が流用できる既存のプロトコルを使用する方がよい。但し、これらのプロトコルを利用してセンサの制御を行うためには、図 4-10 のセンサユニット内のインターフェイスモジュールに SNMP の拡張機能のコマンドを受信及び認識し、その情報をセンサモジュールに伝達するプログラム及び回路を事前に組み込んでおく必要がある。

付録 9 に各種インターフェイスモジュールの仕様を示す。

## 4.8 データ利用、処理、公開

### 4.8.1 データの処理

#### (a) センサからのデータ受信

ARENA で設置されるセンサは多種多様であるため、4.7 章にあげたとおり、センサ種類ごとに IP を割り振ってデータを送信する方法がデータ受信後の処理や公開が容易になる。センサから送信されたデータは、ネットワーク負荷軽減、各サーバの負荷軽減のため、複数のデータベースサーバで受信する分散処理方式が妥当である。また、分散処理方式にすることによりシステムの追加、削減、更新等容易に行うことができる。具体的な方法を図 4-11 を使用して説明する。

- (1) UHU 接続されるセンサに固定の個別 IP アドレスを付与する。
- (2) センサのデータ送信先のサーバアドレスを付与する。例えば、地震計 A の場合、送信先 IP アドレスを [ 192.168.0.1 ] に設定することにより、データベースサーバ I にデータが送られる。
- (3) 同様に、地震計 C の場合、送信先 IP アドレスを [ 192.168.0.2 ] に設定することにより、データベースサーバ II にデータが送られる。

以上のようにデータの送信先を IP アドレスで制御することにより効率的な分散処理を行うことが可能となる。また、受信されたデータは、事前に登録した IP アドレスと一般ユーザー名の対比表とセンサから送信される個別 IP アドレスを比較することにより、送られてきたデータの種類、設置場所、センサ保有者名を特定することができる。

また、例えば地震データは数秒以内の遅延で気象庁に送付しなければならないという条件と整合性を取るシステムを構築する必要がある。

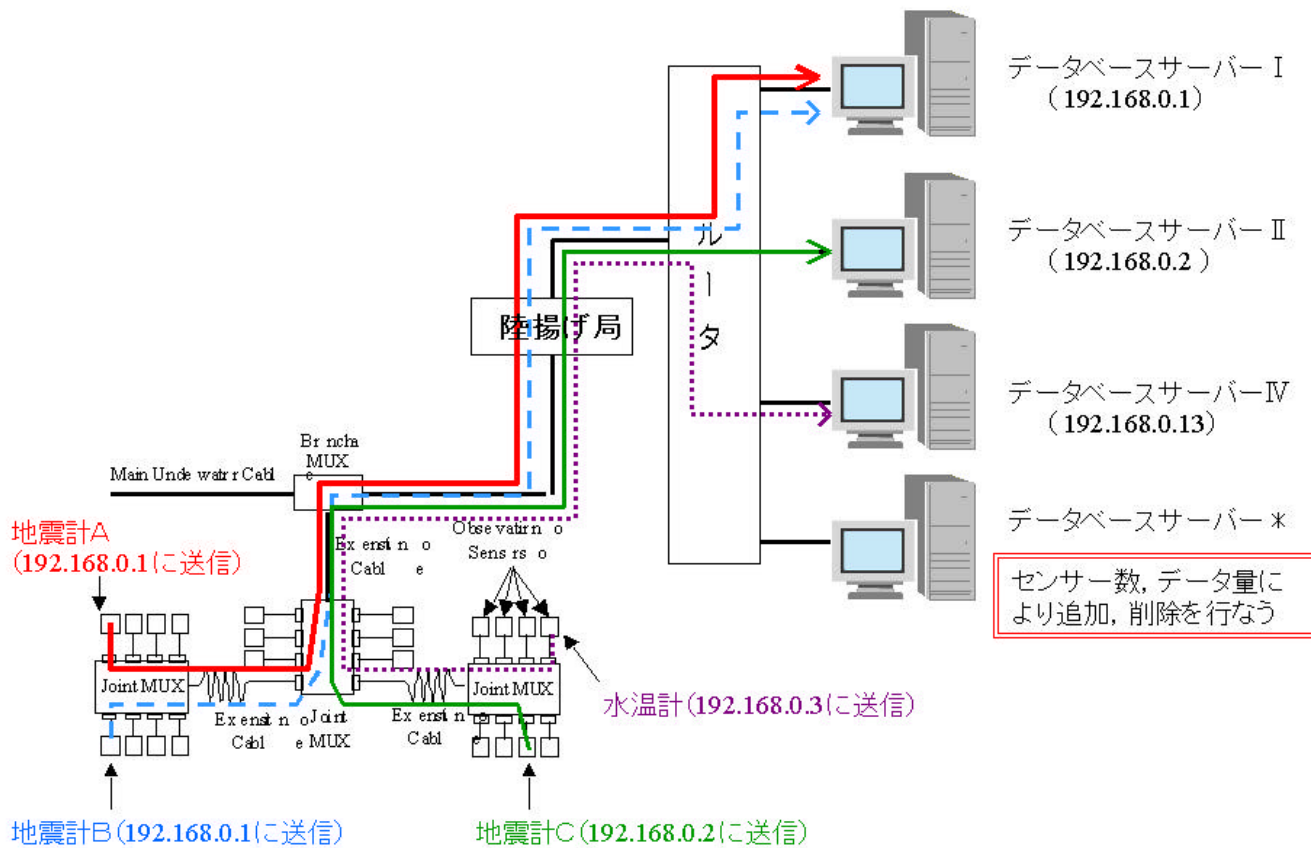


図 4-11 センサからのデータ受信

(b) データの処理と管理方法

陸上システムで受信されたデータは、運用者の管理下（データ構造がわかっているもの）にあるものと、センサを保有するユーザー側の管理下にあるものの2種類存在し、それぞれのデータ処理がことなるため処理系統はわけて行うことが最適である。（図 4-12 参照）

(i) 運用者側専用データの処理

運用者側専用データを受信後、一次処理において、データ種類毎及び時系列での振り分け作業を行ない、メインのデータベースにデータを登録する。ここで、登録されるデータは加工を行なわない。



(ii) 運用者側専用データ以外の処理

運用者側専用データ以外のデータを受信後、送信側の IP アドレスからセンサの保有者を特定及び保有者ごとにデータの振り分けを行なう一次変換処理を実施後、各センサを保有するユーザーへは、受信データを加工せずに配信を行ない、各ユーザーが個別にデータ処理及び管理を行なう。但し、運用者側でも必要なデータについては、データの抽出を自動的に行ない、運用者側のメインデータベースに登録する。なお、データの抽出を自動で行うために必要なパラメータは、各センサの保有者から提示してもらう必要がある。

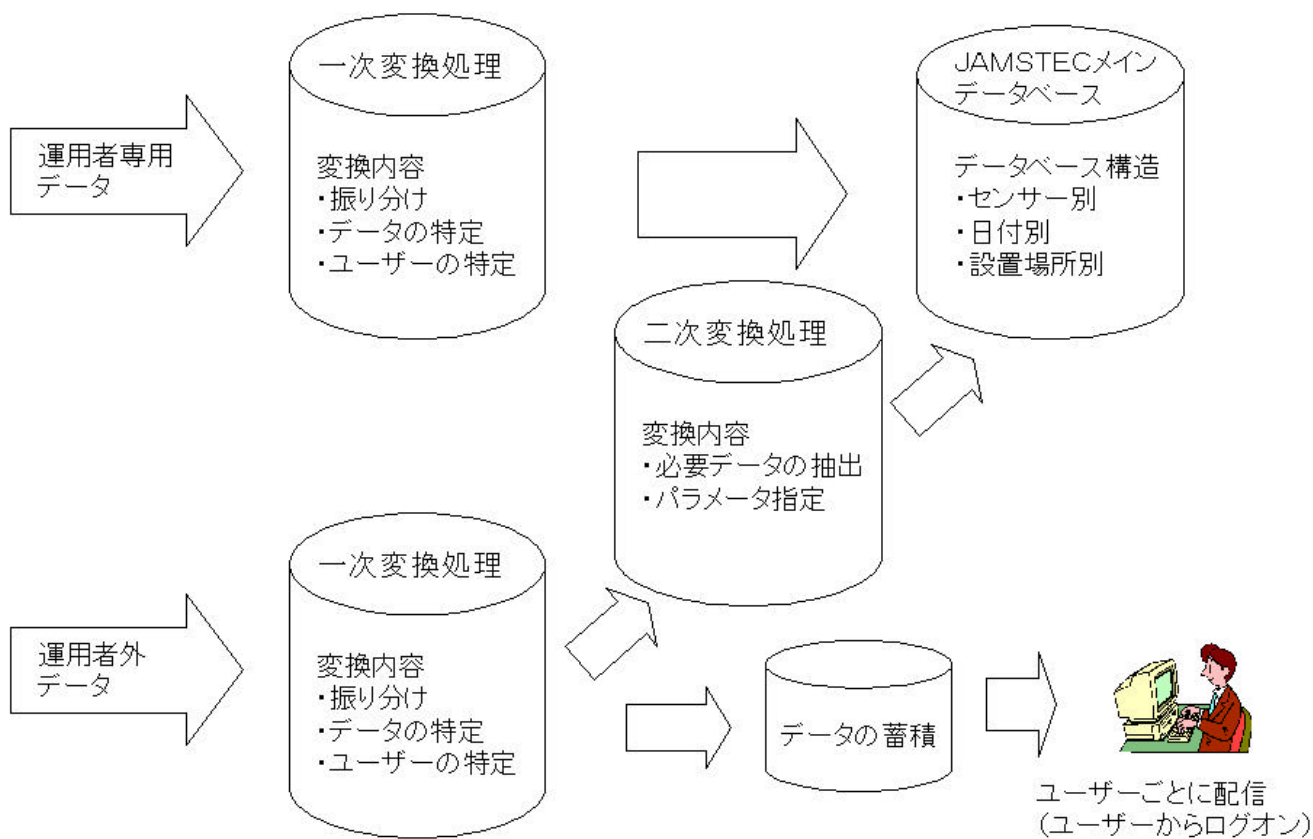


図 4-12 データの処理と管理方法

4.8.2 データの公開

(a) セキュリティ

本システムはオープンなシステムのため、一般ユーザーからの外部接続も考慮したシステムにす

る必要がある。ユーザーの種類は大きく 2 種類ある。1 つめはセンサを海底に設置して、データを取得し解析するユーザー、もう一つは公開されたデータを web 等で見取取得するユーザーである。

データの公開に関係しているのは後者のユーザーである。このような不特定多数のユーザーに対して外部接続を許可するということは、外部からの悪質なアクセスに対する対応も検討しておく必要がある。対応方法としては公開用専用サーバを置いて、その公開用サーバと他のシステムの間とのセキュリティを強化しておくということが考えられる。

また、前者のユーザーについては、他のユーザーや運用者が管理する領域への制限をあらかじめかけておくことはもちろんのこと、この ARENA システムの主要な一部分に入る必要があるため、それなりの認証チェックが必要になる。方法としては、

- (i) パスワードによる認証
- (ii) 指紋による認証
- (iii) IC カード情報による認証

などが考えられる。

#### (b) 公開の種類

公開の種類としては、一般ユーザーに WWW でフリーに公開するものと、各センサを保有する一般ユーザーへの個別データ公開（データ配信）の 2 種類が考えられる（WWW 上で一部データについては認証後の公開方式は可能）。WWW で公開する情報は、地震データ等運用者の管理するセンサの情報の他、付録 4 にあるような一般ユーザーのセンサ情報の一部である。各センサを保有する一般ユーザーについては、生データを配信することを基本とする。配信するデータは、途中で改ざん、盗聴されないよう VPN 等で保護する必要がある。もしくはユーザー単位でデータをまとめておくサーバを立ち上げておき、それぞれのサーバをそれぞれのユーザーに自由に使えるようにするという方法も考えられる。

## 4.9 システムの運用管理

### 4.9.1 陸上システムの概要

陸上システムでは、以下に示す処理が要求される。

まず、各センサからのデータの受信が第1にあげられる。海底では光ケーブルを使用し、画像データを含めると全体で数10Gbpsのデータが送信されてくる。そのため、そのデータ量を伝送するための仕組みを構築する必要がある。次に、海底システム内LAN(ネットワーク)及び各ユニット及び各センサの状態監視、及び海底に設置した各システムについてのリセット操作などのコマンド送信があげられる。

受信したデータについては、まずそれらの処理及び解析があり、さらに各ユーザーへのデータ配信とWWWによる情報公開がある。

ユーザーは、業務や研究、開発等さまざまなレベルが想定され、それに応じて運用や管理を想定する必要がある。そのため、さまざまなレベルでの認証が必要となる。例えばセンサ操作するための認証、データを参照するための認証などが考えられる。

### 4.9.2 陸上システムの条件

海底からの膨大なデータかつ複数の異なったデータを非同期及び連続に送られてきたデータを受信及び処理を行ない、かつ20年以上の長期運用、設置個所の拡張に対応したシステムの運用を行う場合、下記のような条件を考慮に入れてシステムの構築を行う必要がある。

- (a) 状況に合わせて、機器の増設，削除や技術革新による新規器材にも対応出来るよう  
拡張性に富んだフレキシブルなシステム
- (b) システムの運用者だけでなく、一般の科学者，技術者が手軽に利用できるような  
オープンなシステム
- (c) 観測したデータは、固有ユーザーのみが使用できるのではなく、フォーマット変換  
等の簡単な方法で、加工，整理できるように公開の整合性がとれるシステム
- (d) 海底システムの状況の監視制御が容易であるシステム
- (e) 例えば地震津波データは数秒以内に気象庁に流さなくてはならないなど、データの種別に応じて、  
各ユーザーの要求にこたえうるシステム
- (f) データ容量やデータ蓄積期間などについてよく考慮されたシステム
- (g) 機器が故障した場合でも、その影響を最小限に抑えることができる信頼性の高い  
システム

#### 4.9.3 陸上システムの構成

陸上システムの構成としては、インターフェイスモジュールまでは IP でデータ伝送を想定していることや、IP アドレスによるデータ管理方法の容易さやオープンなシステムの考え等を含めて、IP アドレスによるデータの管理（データ分散型システム）と構築することが妥当であると考えられる。この場合、センサからのデータを指定した IP アドレスのサーバに直接送ることができるので受信側のサーバを並列に設置することができる。サーバを並列に設置することにより受信データを分散処理できるので、1 台のサーバに負荷が集中することを防ぐことができる。また、受信側のサーバの追加、削除も容易である。

例として、付録 12 にシステム構成例を示す。

#### 4.9.4 監視

システムの監視には、

- (a) ネットワークの障害監視
- (b) 構成機器の障害監視

が必要である。ネットワークの監視には、ネットワーク管理の国際標準である、SNMP を使用することが汎用性からみても妥当である。SNMP によるネットワーク監視により、

- ・ネットワークの切断
- ・ルータ、ネットワークモジュールの障害

を随時監視することができる。