

多機能型地震観測装置の概要 Earthquake Versatile Observation System

原田 智史¹
Satoshi HARADA¹

(Received July 26, 2006; Accepted October 13, 2006)

1 はじめに

P 波の到達後数秒で地震の震源位置や規模を推定し、早期に情報を出すことのできる緊急地震速報の実用化を主たる目的として、気象庁では、平成 15 年度から平成 17 年度にかけて、多機能型地震観測装置（以下、多機能型と称する）を全国に展開した。ここでは、この多機能型の特徴と、多機能型の整備による観測網等の変化について述べる。

2 多機能型の種類

多機能型は平成 17 年度終了時現在、全国で 203 点に整備されており、大きく分けて 2 種類ある。

ひとつは検知網型と呼ばれるもので、これは平成 5 年に整備された、津波地震早期検知網（以下、検知網と称する）観測局装置のセンサー部や筐体を流用し、テレメータや通信関係の装置を更新したものである。検知網型は、平成 16 年に移設修理を行った三宅島の検知網観測点を除く、すべての検知網観測点（平成 5 年以降に 88 型小地震観測装置を検知網観測装置に更新したものを含む計 176 点）に展開されている。多機能の整備時に残存していた、館山・宮古・長崎の 88 型小地震観測装置も、同時に多機能型に更新され、小地震観測装置は平成 17 年度ですべて更新された。

もうひとつは官署型と呼ばれるもので、これは気象官署に整備された計測震度計の一部を更新したものである。官署型は、札幌・仙台・大阪・福岡の各管区气象台と沖縄气象台、および東京・大阪・福岡管内の一部の地方气象台、測候所、特別地域気象観測所の計 27 点に整備されている。表 1 に、検知網

型・官署型の設置点一覧を示す。

そのほか観測局装置とは別に、各観測局からの波形や処理結果を受信し配信を行ったり、各種設定を遠隔処理で行うための中枢局装置が、気象庁本庁、各管区气象台および沖縄气象台の各地震観測中枢に設置されている。

各年度の整備状況は図 1 の通りである。平成 15 年度および平成 17 年度については、それぞれ前年度の補正予算で、平成 16 年度においては本予算により整備された。平成 15 年度は主として東京・大阪管内、16 年度は主として札幌・仙台管内、17 年度は主として福岡・沖縄管内の観測点を対象に多機能化が行われた。

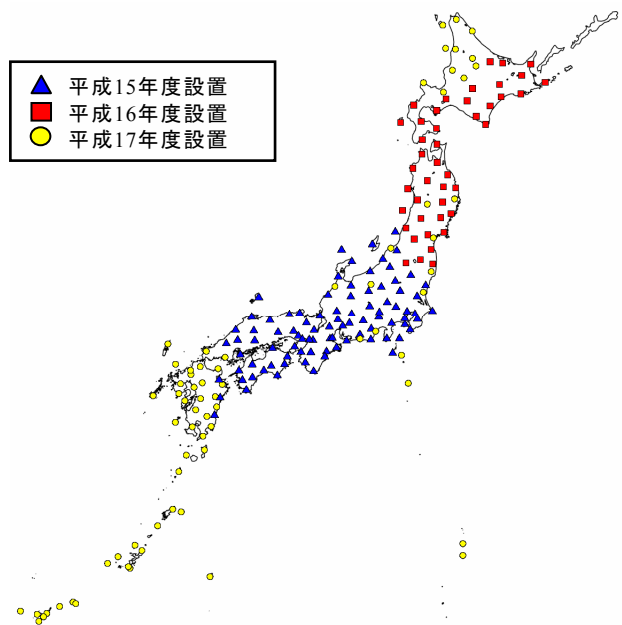


図 1 多機能型地震観測装置（観測局）の整備状況

表 1 多機能型地震観測装置（検知網型）設置点（*は長周期地震計設置観測点）

| | |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 札幌管内（30） | 芦別，厚岸，網走常呂，浦河野深，恵庭*，えりも*，奥尻松江，渡島知内，渡島南茅部，渡島八雲，音別，上川，上川朝日*，初山別，後志島牧，後志積丹，宗谷枝幸，空知北竜，十勝足寄，十勝忠類，中標津，根室豊里，登別，平取，丸瀬布，南富良野，焼尻島，羅臼，利尻島，稚内恵北 |
| 仙台管内（26） | 青森岩崎，青森大畑，青森市浦，青森天間林*，青森南郷，一関舞川，岩手葛巻，岩手田野畑，岩手大迫，大船渡猪川，宮古長沢，石巻大瓜，仙台大倉，宮城丸森*，秋田比内，秋田雄和，秋田六郷，男鹿，飛島，山形温海，山形金山，山形白鷹，いわき水石山，福島大玉，福島川内，福島柳津 |
| 東京管内（47） | 茨城八郷*，常陸太田，足利，栃木塩原，群馬片品，群馬六合，埼玉両神，飯能，千葉長柄，千葉三芳，銚子天王台，伊豆大島差木地，神津島，父島三日月山*，東京，八丈島三根*，母島中ノ平，小田原，横須賀，粟島，佐渡島銀山*，上越中ノ俣，新潟出雲崎，新潟笹神，新潟広神，富山立山，加賀，珠洲，羽咋，舢倉島，福井美浜，山梨下部，長野坂井，長野高遠，長野泰阜，岐阜黒川*，岐阜丹生川，岐阜美山，下田，静岡黒俣，静岡相良*，浜松滝沢，愛知渥美，愛知小原，伊勢，津片田薬王寺，三重紀北 |
| 大阪管内（30） | 滋賀永源寺，京都弥栄，京都和知*，淡路島津名，加西，兵庫香住，三木，奈良平群，和歌山高野，和歌山古座川，和歌山南部川，倉吉，隠岐島後，江津，島根匹見，松江西生馬，岡山英田，広島倉橋，広島西城*，広島上下，広島豊平，徳島相生，坂出，愛媛丹原，愛媛長浜，愛媛広見，高知窪川，高知物部*，土佐清水，室戸吉良川 |
| 福岡管内（29） | 下松，山口豊田，福岡赤池，福岡板屋，佐賀嬉野，耆岐，対馬上県*，長崎野母崎，福江島富江，本渡，玉名，熊本泉，白杵，大分中津江*，大分国見，串間奈留，宮崎北方，宮崎高崎，宮崎都農，奄美大島竜郷，大口，鹿児島錫山*，鹿児島田代，喜界島，口永良部島，下甌島，種子島西之表，徳之島，中之島， |
| 沖縄管内（14） | 栗国島，石垣島新川，伊平屋島，西表島船浮，沖縄城辺，沖縄黒島，沖縄国頭*，沖縄玉城，久米島仲里，多良間島，波照間島多阿原，南大東島池之沢*，宮古島西仲宗根，与那国島* |

表 2 多機能型地震観測装置（官署型）設置点

| | |
|-----------------|--------------------------------------------|
| 札幌管内（1） | 札幌 |
| 仙台管内（1） | 仙台 |
| 東京管内（14） | 水戸，千葉，三宅島，横浜，新潟，金沢，甲府，長野，岐阜，静岡，浜松，名古屋，尾鷲，津 |
| 大阪管内（6） | 京都，大阪，神戸，和歌山，徳島，高知 |
| 福岡管内（4） | 福岡，大分，油津，延岡 |
| 沖縄管内（1） | 沖縄 |

3 多機能型の特徴

多機能型の特徴は，以下に述べる通りである．検知網型および官署型について，従前の検知網および計測震度計との比較を表 3・表 4 に示す．

3.1 ナウキャスト演算機能

多機能型は，その名前が示す通り，テレメータに搭載された CPU により多機能に渡る制御を行うことができる．その最大の特徴であり，主たる整備目的が，ナウキャスト演算機能の付加である．ナウキ

ャスト演算機能とは，P 波エンベロープ形状を用いた早期地震諸元推定法（東田ほか,2004）等の方法により，単独観測点で地震の規模や震源の位置を推定する機能である．ナウキャスト演算の処理結果は波形とは別に電文の形で本庁の中核局装置に伝送される．各観測局でも処理を行うことで，震源決定における負荷分散を図ることが可能になっている．なお，複数観測点からの波形を収集した後の緊急地震速報処理については，（芦谷ほか,2002）等，他の文献を参照されたい．

表 3 検知網観測局と多機能（検知網型）の比較

| | 検知網 | 多機能型 | |
|-----------|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 速度データ | 100Hz/20bit | 20・100Hz/24bit | |
| 加速度データ | 20Hz/24bit | 20・100Hz/24bit | |
| 長周期データ | 20Hz/24bit | 20・100Hz/24bit | 100Hz は未使用 |
| 変位データ | 20Hz/24bit | 20・100Hz/24bit | 100Hz は未使用 |
| 変位計算 | 蓄積収録装置 (加速度 2 段階) | テレメータ本体 (加速度 2 段階) | |
| 波形データ蓄積 | 蓄積収録装置 (メモリーカード) | テレメータ本体 (CF) | パラメータも CF に 保存 |
| 時刻付け | 中枢 | 観測局 (GPS/NTP) | |
| 伝送経路 | 専用回線 | FR 回線 | |
| 伝送フォーマット | 独自フォーマット | WIN フォーマット | |
| タッチパネル | あり | なし (設定はリモート) | |
| テレメータ装置電源 | AC・DC 共用 (バックアップ: バッテリ) | AC (バックアップ: UPS) | 停電時の稼働時間が 減少 (2.5 時間程度) |

表 4 計測震度計と多機能（官署型）の比較

| | 計測震度計 | 多機能型 | |
|----------|---------|------------|-------------------|
| 伝送経路 | L/A 回線 | FR 回線 | |
| 波形常時伝送 | なし | あり | |
| 伝送フォーマット | — | WIN フォーマット | |
| 波形データ蓄積 | メモリーカード | CF | パラメータも CF に 保存 |

3.2 IP 化の実現

地震波形は、国内の地震波形流通において一般的となりつつある WIN フォーマットを採用し、パケットによる配信を行う。WIN フォーマットには、時刻・サンプリング周波数などの付加情報が付属しているため、処理装置側での正確な波形の再現が容易である。また波形伝送のプロトコルには TCP/IP を採用しており一時的な伝送障害時の波形再送が容易に行われる。

3.3 FR 網によるデータの収集

データの伝送に FR(Frame Relay)網を利用することで、これまでの観測局と該当中枢局との 1 対 1 の伝送形態から、複数中枢への伝送形態に移行した。このため、気象庁本庁と大阪については各観測局から直接データを受信するようになり、中枢局装置や中枢間通信の障害による多地点欠測の危険性が減少

した。また、FR 回線での通信が不能になった場合は、自動的に INS(Information Network System)回線を使った伝送に切り替わる。また通信状態については中枢局にて確認でき、障害箇所の特定制も容易になっている。

3.4 GPS による時刻校正

観測局装置に設置された GPS 時計装置により常に時刻校正を行い、時刻情報を WIN パケットに含めた形で中枢に伝送するため、従前のように中枢において伝送遅延による時刻校正を行う必要がなくなった。また、GPS の受信状態が不良の際には、5 分後に NTP(Network Time Protocol)による時刻校正に切り替わり、常に高い時刻精度が保証されている。

3.5 中枢局からの監視・制御

観測局の各種パラメータを取得・変更したり、観

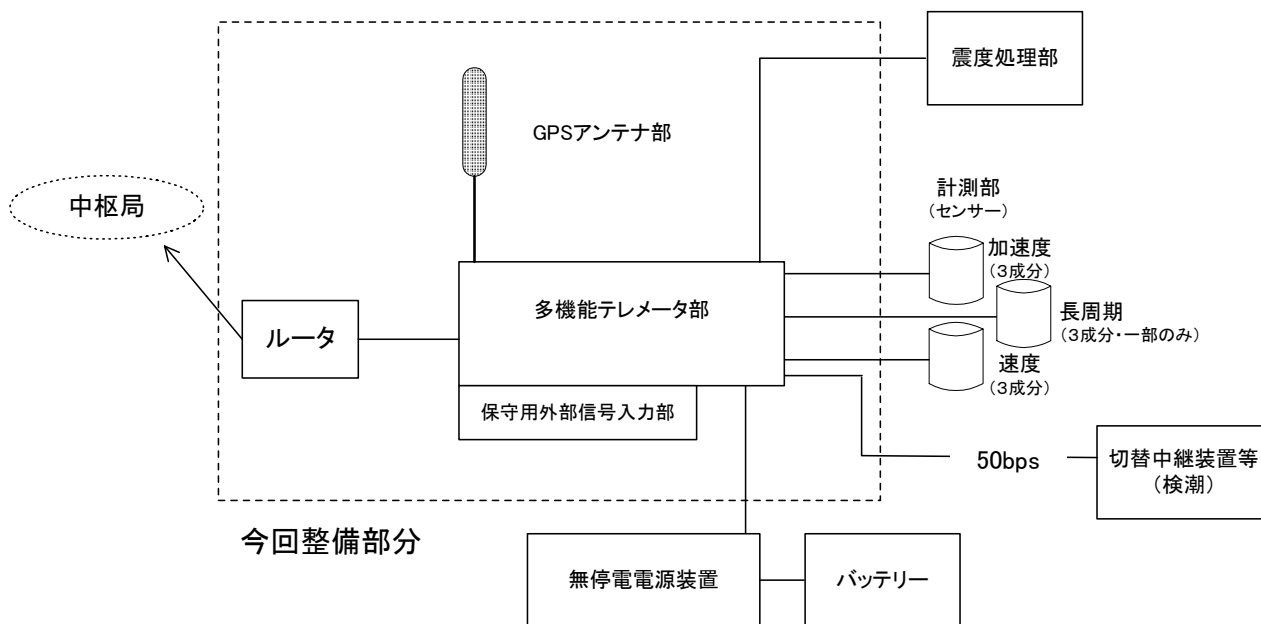


図 2 多機能（検知網型）装置概念図

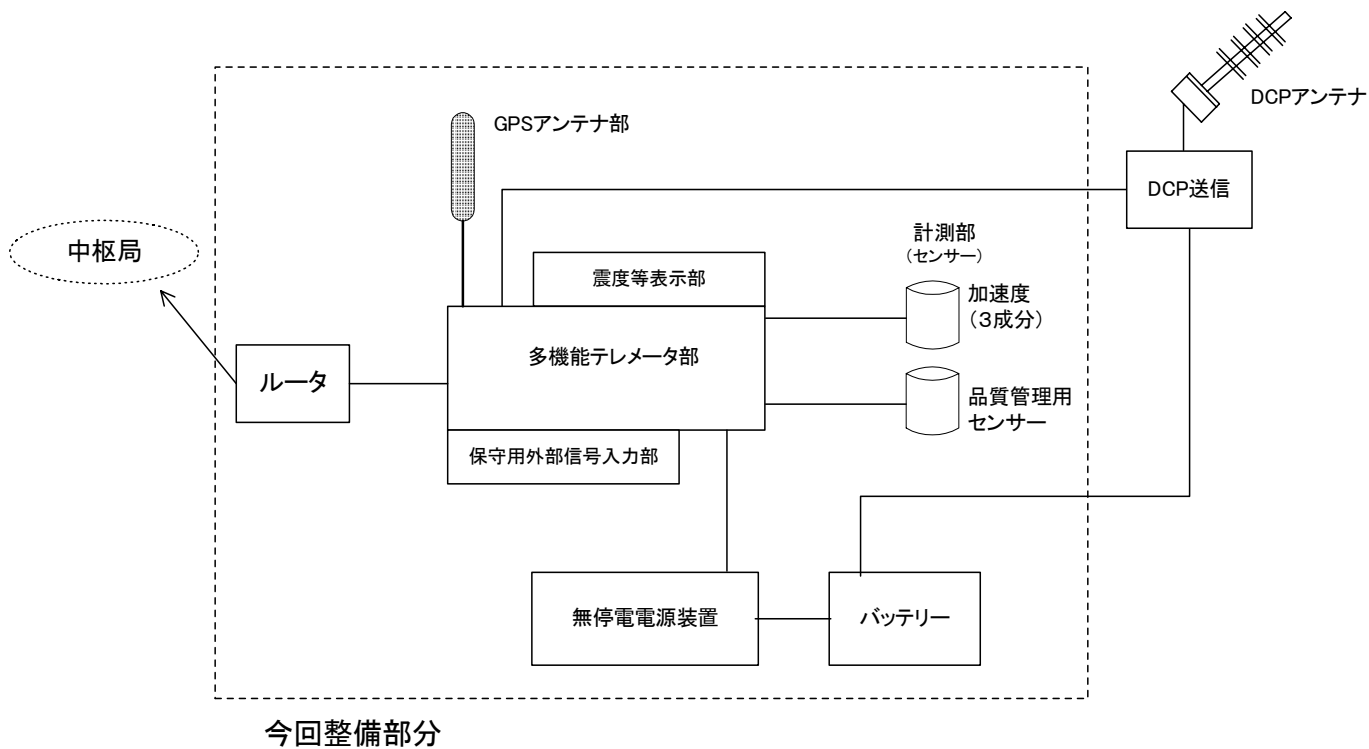


図 3 多機能（官署型）装置概念図

測局テレメータのプログラムの更新を行ったりということが、中枢局から IP 通信により容易に行うことができる。中枢局装置の基本機能については、4 章にて述べる。

4 装置の概要

4.1 観測局装置

多機能の観測局装置は、2 章で述べたように、検知網型と官署型に分けられる。検知網型と官署型の装置構成概要を、それぞれ図 2・図 3 に示す。

4.1.1 観測局装置（検知網型）

検知網型の観測局装置は、2章で触れたように、従前の検知網の主要部分についてはそのまま流用している。すなわち、従前の検知網における各センサー（速度型・加速度型・長周期型）、UPS、収容筐体についてはそのまま利用し、蓄積収録装置、専用回線モデム、テレメータ装置用のバッテリーは撤去され、新たにルータ、HUB、GPS 時計、SV インターフェース（停電発生や温度上昇などの異常を知らせる保守用外部信号を取り込む装置）などが用意された。テレメータ装置は多機能型のものに更新された。

波形データの蓄積のほか、パラメータ保存用にはCFカードが使われている。検知網型の機器整備概要を表5に示す。

表5 多機能（検知網型）の機器整備概要

| | |
|----|----------------|
| 新規 | GPS 時計 |
| | SV インターフェース |
| | FR ルータ |
| | INS ルータ |
| | HUB |
| 更新 | テレメータ装置 |
| 既設 | 速度計 |
| | 加速度計 |
| | 長周期地震計 |
| | 震度処理装置 |
| | UPS |
| | 収容架 |
| 撤去 | 蓄積収録装置 |
| | 専用回線モデム |
| | バッテリー（テレメータ装置） |

4.1.2 観測局装置（官署型）

官署型の観測局装置は、基本的には官署に設置された震度計の一部装置を更新する形で実現している。DCPや免震架は従前のものを使用するが、計測部・処理部・時計アンテナ・外部電源装置は更新され、新たにルータ、HUB、品質管理センサーが設置された。品質管理センサーとは、もともと加速度センサーしか無い震度計に対して、ノイズ等によるナウキャスト演算の誤動作を避けるために用意された速度

型センサーで、加速度計および品質管理センサーの両方で揺れを検知したときのみナウキャスト演算を開始する仕様になっている。官署型の機器整備概要を表6に示す。

表6 多機能（官署型）の機器整備概要

| | |
|----|--------------|
| 新規 | FR ルータ |
| | INS ルータ |
| | HUB |
| | 品質管理センサー |
| 更新 | 計測部 |
| | 処理部 |
| | 時計アンテナ |
| | 外部電源装置(UPSに) |
| 既設 | DCP |
| | 免震架 |

4.2 中枢局装置

中枢局装置は、地震・検潮波形やナウキャスト演算の処理結果を受信処理する観測データ受信装置と、震度情報を受信処理する震度データ受信装置、および各装置の運用状況やデータの疎通状況の監視・制御を行う監視制御装置、およびこれらを相互に接続するHUB、データ受信用のルータやTA、職員が各種状態を監視するための端末装置等で構成されている。また本庁においては、緊急地震速報処理においてエラーの原因につながるような障害発見を容易に行えるようにするための、波形状態監視装置を平成17年度に整備している。本庁および各管区气象台における中枢局装置の構成概要をそれぞれ図4・図5に示す。

4.2.1 観測データ受信装置

観測データ受信装置は、各観測装置から送信されるWINフォーマットの地震・検潮波形データ、およびナウキャスト演算の処理結果を受信可能であり、必要に応じてフォーマット変換を行った後、情報処理を行うEPOS^{*1}・ETOS^{*2}・REDC^{*3}等の装置にデータ送信を行う。WINフォーマット等、主要なフォーマットの内容については、験震時報第68巻1～2号「新EPOSの紹介」(尾崎,2004)等を参照されたい。

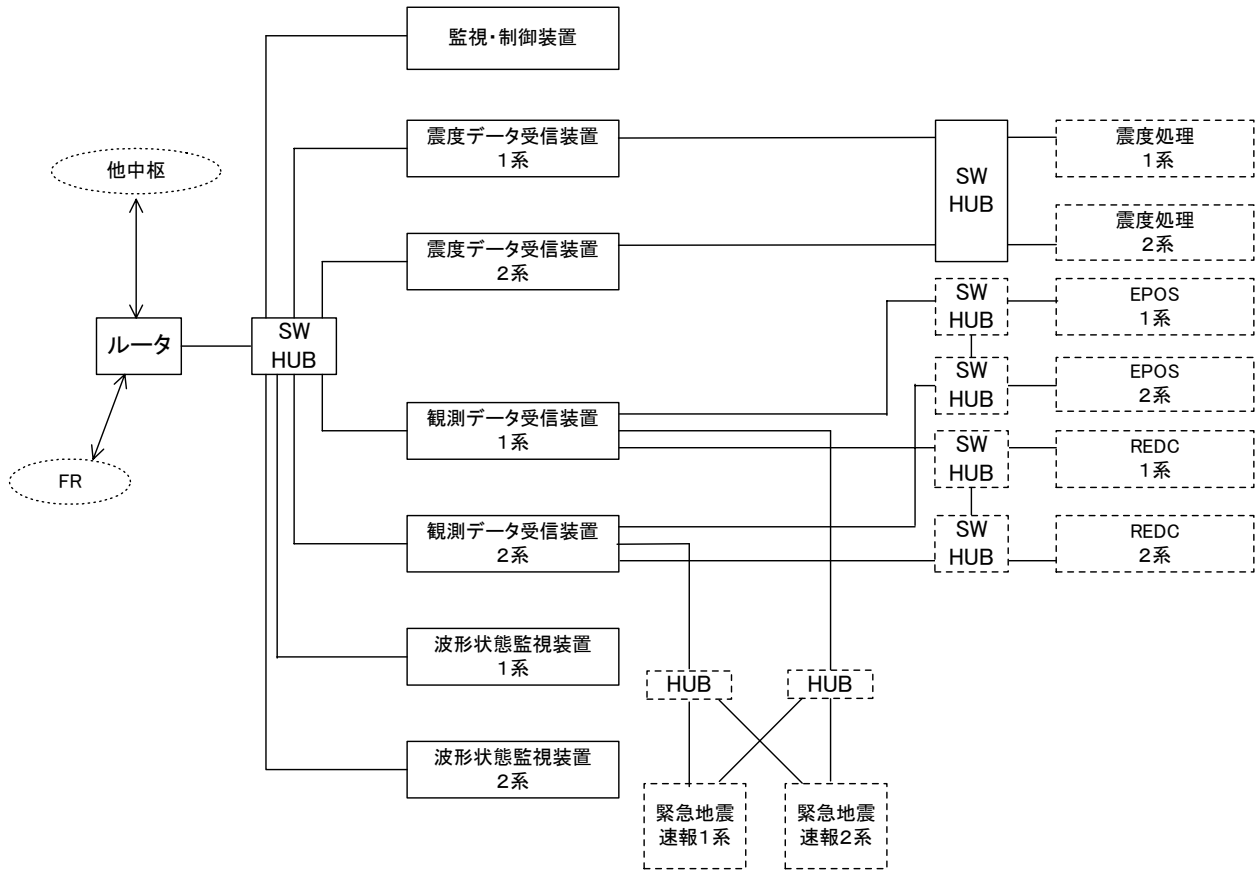


図 4 多機能中枢局（本庁）機器構成概念

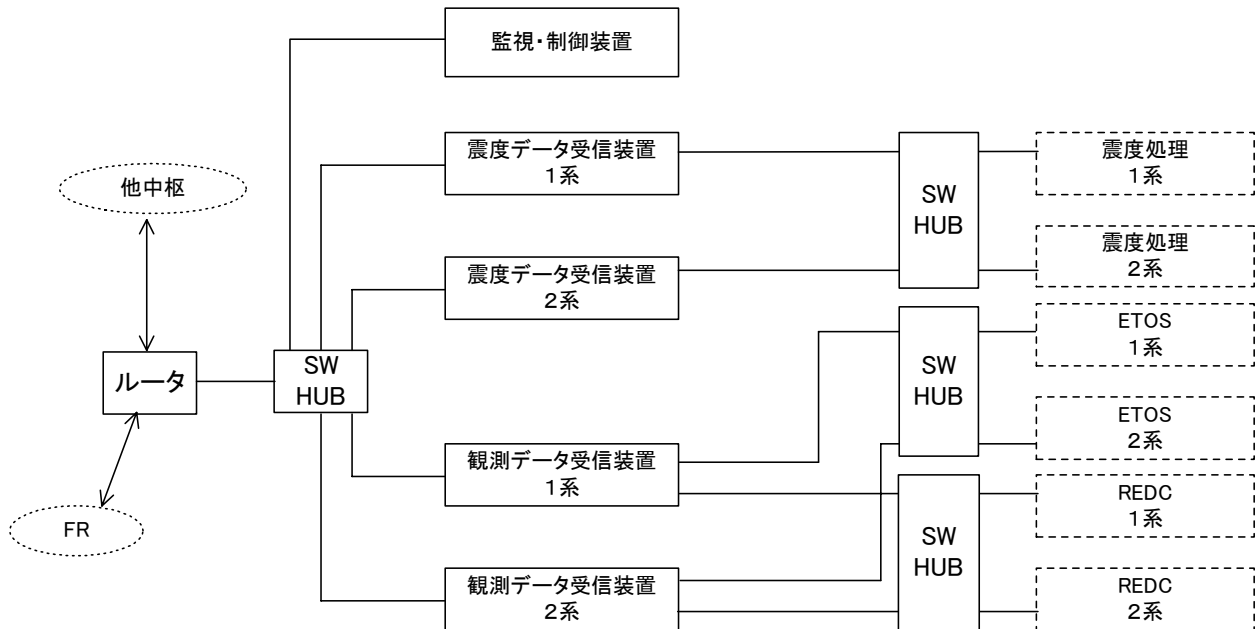


図 5 多機能中枢局（管区・沖縄）機器構成概念

*1 EPOS (Earthquake Phenomena Observation System):地震活動等総合監視システム。本庁において、地震発生時の震源決定、津波予報等の作業を行ったり、東海地震の監視を行う装置。

*2 ETOS (Earthquake and Tsunami Observation System):地震津波監視システム。各管区・沖縄気象台において、地震発生時の震源決定、津波予報等の作業を行う装置。

*3 REDC (Regional Earthquake information Data Center system):地域地震情報データセンター処理システム。本庁・各管区気象台において、他機関の地震データ等とあわせて詳細な震源決定を行う装置。

観測データ受信装置は、負荷分散と障害対策を兼ねて2機構成で運用されている。各多機能観測点からのデータは、地域的に偏らないようにそれぞれデフォルトの接続装置(系)が決められ、通常運用時にはデフォルトの系にデータを送信している。保守や障害等で片系が利用不能になった場合は、データ送信先がもう片方の系に自動的に移行する。

観測データ受信装置は、WIN パケットで伝送される各種データを総合的に管理することが可能であることから、今後 IP 化された観測データは、多機能観測点データ同様に、多機能の中枢局装置に集約され、データ交換が行われることが予想される。平成 17 年度末現在、多機能観測点データのほか、精密型水位計の水位データ、柿岡の地磁気観測データを直接受信するほか、アデス経由で受信する気象庁検潮データ、および海上保安庁の検潮データについても、この中枢局装置を経由しデータ交換が行われている。

4.2.2 震度データ受信装置

震度データ受信装置は、各観測装置から送信される震度データを編集し、震度データ編集装置(全国の震度データを収集処理する装置)に震度データを配信する。また、震度データ編集装置から各観測局装置に対するコマンドを受信し、観測局装置に対しコマンドを送信する。

4.2.3 監視・制御装置

監視・制御装置は、中枢局装置を構成する各機器の運用状況、データの疎通状況の監視や、観測局装置を含めた各装置の監視・制御を行う。

主な基本性能を以下に列挙する。

(1) 蓄積データ等収集機能：観測局装置に蓄積されている蓄積波形を収集する。収集操作は GUI を使用したコマンドによって行われ、時刻別・震度別の波形収集が可能である。収集データは、観測データ受信装置・震度データ受信装置内の HDD に収録し、ネットワークより取り出すことが可能である。

(2) 収集データ表示機能：各データ受信装置内に一定期間蓄積されているデータを表示することが可能である。

(3) コマンドログ表示機能：監視・制御装置より出力したコマンド、震度データ編集装置より出力されたコマンドを一定期間蓄積し、オペレータの要求により表示することが可能である。

(4) 各種設定機能：中枢局装置、観測局装置、ネットワーク機器の通信諸設定を行うことが可能である。なお、観測局装置のパラメータ変更の際には、実際にパラメータが反映されたかの確認を行うことができ、かつ操作により 1 世代前のパラメータに戻すことも可能である。

(5) 異常通知：通信等の異常時等には、設定により、段階的なアラームメッセージ機能およびログ表示を行うことが可能である。

(6) 集中監視：汎用監視プロトコルにより、中枢局装置・ネットワーク機器・観測局装置の各構成機器の稼働状態、障害の発生、データの疎通状況やデータ量を集中的に監視表示する機能を持つ。

(7) リモート操作：震度演算およびナウキャスト演算等について、停止及び再起動、試験をリモートで行うことが可能である。

(8) 再起動：観測局機器の再起動をリモートで行うことが可能である。

(9) 時刻校正：中枢局装置・観測局装置の NTP サーバ機能を持つ。

(10) パラメータ変更ログ：パラメータ変更履歴として変更内容を一定期間保存できる。

(11) モジュール更新機能：観測局装置の震度(既設震度計を除く)やナウキャスト演算機能の演算モジュールのリモートインストール機能を持つ。コマンドにより、観測局の保存されている検定用の波形または中枢局からインストールした波形を用いて、アプリケーションの動作確認を行う機能を持つ。

(12) 障害および稼働状況ログ：システムの動作状況のログや、各装置間のデータ量等についての記録

表 7 各種入出力データの変換と伝送の内容

| 入力波形 | 変換方法 | 出力波形 | ch 数 | 自中枢 | 本庁 | 大阪 |
|-----------|------------|-----------|------|-----|----|----|
| 加速度 100Hz | (変換なし) | 加速度 100Hz | 3 | | ○ | |
| 加速度 100Hz | →フィルタ | 加速度 20Hz | 3 | ○ | ○ | ○ |
| 加速度 100Hz | →二階積分 | 変位 100Hz | 3 | 未使用 | | |
| 加速度 100Hz | →二階積分→フィルタ | 変位 20Hz | 3 | ○ | ○ | ○ |
| 速度 100Hz | (変換なし) | 速度 100Hz | 3 | ○ | | |
| 速度 100Hz | →間引き | 速度 20Hz | 3 | | ○ | ○ |
| 長周期 100Hz | (変換なし) | 長周期 100Hz | 3 | 未使用 | | |
| 長周期 100Hz | →フィルタ | 長周期 20Hz | 3 | ○ | ○ | ○ |
| 検潮 1Hz | (変換なし) | 検潮 1Hz | 1 | ○ | ○ | ○ |

を一定期間収集・保存することが可能である。

(13) コマンド送信機能：各観測局へのヘルスチェック・メンテナンス情報等のコマンド送信を行うことが可能である。

5 伝送波形

多機能型地震計は、それぞれ 15 チャンネル分の波形データを同時に送信することができる。(その後テレメータの改良により、最大 21 チャンネルに拡大。)

波形については、速度・加速度・長周期とも 24bit・100Hz で記録される。

波形データは IP 化により、時刻情報を付与した WIN フォーマットで伝送され、FR 網により、1 観測点から複数の中枢に向けてデータの伝送が可能になっている。基本的に、各観測点からは、1.5Mbps の回線により、自中枢、本庁、大阪向けにそれぞれ直接に波形を伝送している。ただしバックアップ回線としての INS の場合は、2 回線をそれぞれ自中枢と本庁向けに割り当てられている。

また、それぞれ隣接中枢の観測点の波形を受信できるように、中枢間にも FR/INS 回線を設定し、波形伝送を行っている。

速度波形については、自中枢向けに 100Hz データを送信し、他中枢へは 20Hz データを送信している。中枢間の隣接パスで交換されるデータについては、100Hz データをテレメータで 20Hz に変換(間引き)して送信している。

加速度については、本庁にのみ、緊急地震速報用に 100Hz データを送信している。また、自中枢・本庁・大阪の REDC 用に、フィルタ処理により 20Hz

にしたデータを送信している。REDC においては、システムで積分して生成した変位波形を使用している。

変位については、100Hz 加速度データを現地で積分し、それをフィルタ処理により 20Hz にしたものを、EPOS・ETOS 用に送信している。100Hz 変位データについては現在のところ利用していない。

このほか、長周期センサーのある観測点については、100Hz データをフィルタ処理により 20Hz データに変換したものを送信している。100Hz データについては現在のところ利用していない。

速度データの 100Hz から 20Hz への変換は単純な間引きによるが、加速度・変位・長周期データの 100Hz から 20Hz への変換には、遮断周波数 6Hz の低域透過型の 8 次バターワース特性のフィルタを使用している。その際、波形立ち上がり位置のずれを補正するために、リサンプリング補正値を 0.1 秒に設定している。また、長周期側については、長周期地震計での利用を考慮し、全データとも遮断周波数 0.001Hz のフィルタを使用している。

また、検潮データの中継している観測点については、検潮データ(BCD コード+ステータス情報)1Hz データの送信に 1 チャンネルを割り当てている。また、いずれの観測点においても各種機器状態情報を送るためのチャンネルを 1 チャンネル割り当てている。

各種入出力データの変換と伝送の内容をまとめると、表 7 のようになる。

6 課題

6.1 波形の品質管理

緊急地震速報は、1 点の観測データにより情報を自動的に発信する性格上、加速度波形については、誤った地震判定を行うような波形の異常（極端なシフト、波形のがたつき、パルスノイズ等）を極力排する必要がある。そのため、多機能化以前に比べより厳しい品質管理と厳密な保守を行う必要がある。

6.2 長時間駆動可能な UPS の整備

多機能型はすべて AC 電源により駆動する。そのため、バックアップ電源はバッテリーから UPS に変更になっているが、内部で高度な処理を行うための CPU が入り、消費電力が増大したこともあり、商用電源の停止時の駆動時間は、検知網の時よりも短くならざるを得ない。従前の検知網では、徐々に機能を縮小しつつ、震度に関しては停電後最大 24 時間駆動・伝送可能であったが、多機能型地震計については、2.5～3 時間でテレメータが停止しすべてのデータが伝送できなくなってしまう。今後バックアップ電源の増強などの措置を取るなどの対策が必要である。

謝辞

多機能型の整備にあたっては、仕様の作成、整備計画の策定・調整、現地設置作業の立会いおよび並行して行われる各種の設定変更等、多岐に渡る作業が必要であった。これについては、気象庁地震火山部各課、各管区气象台・沖縄气象台の地震火山課および業務課はじめ、多くの方の協力なしには実現できなかった。記してここに感謝の意を表す。また、丁寧に査読をしていただいた横山博文氏の意見は本稿の改善にあたり大いに参考となった。あわせてここに感謝の意を表す。

文献

- 芦谷公稔・小高俊一・東田進也・横田崇・加藤孝志・上垣内修 (2002) : ナウキャスト地震情報とその早期地震警報への活用, 物理探査, **55**, 6, 485-494.
- 尾崎友亮 (2004) : 新 EPOS(Earthquake Phenomena Observation System : 地震活動等総合監視システム)の紹介, 験震時報, **68**, 57-75.
- 東田進也・小高俊一・芦谷公稔・大竹和生・野坂大輔

(2004) : P 波エンベロープ形状を用いた早期地震諸元推定法, 地震 2, **56**, 351-361.