

原子力発電所用機器診断装置の開発

Development of Equipment Diagnosis System for Nuclear Power Plant

原子力発電所の安全性確保と稼働率向上のため、所内の各機器の健全性を常に確認し、万一異常発生の場合、速やかにそれを検知して早期に対策を全うすることが望まれる。この目的のために、運転中の機器診断装置として、移動式点検装置と原子炉音響振動監視装置を開発した。

移動式点検装置は、放射線下での機器点検作業を遠隔操作により行なうもので、特に、運転中人の立入り困難な格納容器内を点検できる装置であり、格納容器と同等な雰囲気内で耐環境試験を実施し、格納容器内の環境条件に十分耐え、実プラントへ適用が可能であることを確認した。

原子炉音響振動監視装置は、原子炉压力容器内に混入した金属異物や炉内構造物の異常振動を検出するため、压力容器以外に音響振動検出器を設置し、その信号を処理、判定、分析する装置である。本試験装置を実プラントに据え付けて試験を行なった結果、衝撃位置の推定などが十分可能であることが確認された。

中村日出雄*
野口跡見**
道口由博***
富沢文雄***
佐々木正祥****

Hideo Nakamura
Atomi Noguchi
Yoshihiro Michiguchi
Fumio Tomizawa
Masayoshi Sasaki

1 緒言

原子力発電所を安全に運転して高稼働率を保つためには、所内の機器の健全性を常時確認する必要がある。このためには、運転員による巡回点検や検出器による常時監視を従来から行なってきた。しかし、格納容器内機器のように運転中に巡回点検の困難なものや、炉内構造物のように直接検出器の取付けが困難なものについては、点検・監視の盲点となっており、改善が強く望まれていた。

これらの要望にこたえるため、機器点検作業を遠隔操作化した移動式点検装置と、原子炉压力容器内の金属異物の混入や構造物の異常振動を検出する原子炉音響振動監視装置を開発したので、これら装置の構成、内容、試験結果などについて以下に述べる。

2 原子力発電所用移動式点検装置の開発

2.1 移動式点検装置

原子炉建屋内の機器は、通常、運転員の巡回点検及び定期試験により、その動作状態を確認している。移動式点検装置は、この機器点検作業と異常時での状態把握を遠隔操作化し、原子力発電所の点検・保守に伴う放射線被曝量の低減と発電所内機器・環境の点検強化による稼働率の向上を目標としている。

移動式点検装置としては、床面走行形¹⁾と、空間走行形の2機種を開発中である。ここでは、格納容器内機器の監視を目的とした、空間走行形の格納容器内点検装置について述べる。

格納容器の内部は、移動式点検装置を導入する環境として厳しく、次のような解決すべき課題がある。

- (1) 原子炉運転中の格納容器内部の温度は70℃以上になることもあり、この温度に耐えること。
- (2) 格納容器の内部は多くの機器が輻湊しており、点検装置が移動するために使える空間は少ない。したがって、小形、

特に通過断面積の小さい構造であること。

2.2 格納容器内点検装置

2.2.1 点検項目

格納容器内には原子炉周辺の主要機器が配置されているが、運転中に点検のために立ち入ることはできない。表1に、主要機器に対する運転中の点検要求項目を示す。これらの点検を実施するために必要な検出器は、テレビジョンカメラ、温度計、マイクロホン及び放射線線量率計である。

表1 格納容器内の主要機器に対する点検要求項目 これらの項目を点検するには、テレビジョンカメラ、温度計、マイクロホン及び放射線線量率計が必要である。

	系 統 名*	点 検 対 象	点 検 項 目
1	原子炉再循環系	(1)再循環ポンプ (2)再循環ポンプモータ (3)入 口 弁 (4)出 口 弁	○電動機油面確認 ○異音点検 ○漏れ点検 ○き裂破損点検 ○放射線線量率
2	主 蒸 気 系	(1)主蒸気隔離弁 (2)逃し安全弁	○弁開閉状態確認 ○リミットスイッチ作動状態点検 ○異音点検 ○漏れ点検 ○き裂破損点検 ○放射線線量率
3	制 御 棒 駆 動 系	(1)原子炉ペデスタル室内** (2)制御棒駆動系	○核計装炉心挿入状態点検 ○制御棒シール漏れ点検 ○ペデスタル床への漏れ点検 ○放射線線量率

注： * 系統だけではなく、その周辺も示す。
** 原子压力容器下方にある。

* 日立製作所電力事業本部 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所エネルギー研究所 **** 日立製作所日立工場

2.2.2 装置の構成

格納容器内点検装置の構成を図1に示す。装置はテレビジョンカメラなどの検出器を積載し走行する移動ステーション、移動ステーションを牽引するトロリチェーン、装置全体を遠隔操作するコンソール及び機器点検結果などの管理を行なうプロセス計算機などから成る。

移動ステーションは、テレビジョンカメラ車(低温車)、コントロール車などのように機能ごとに分割し、これらを縦列接続したトレイン構造とすること、及び移動ステーションの走行方式を自走方式でなく、トロリチェーンによる牽引方式を採用することで、通路断面積の縮小を図った。また、テレビジョンカメラなど耐温度性のない部品は低温車に積載し、低温車を電子冷却と蓄冷材の併用により、内部温度を40℃以下に保持し、装置全体の耐環境性を高めた。

コンソールは、中央制御室あるいは原子炉建屋内に設置し、移動ステーションを遠隔制御し、映像及び点検結果を運転員に表示する。

移動ステーションへの電力は、複合ケーブル内の1対の電力線により供給する。また、移動ステーションとコンソール間に授受される信号は、複合ケーブル内の1本の同軸ケーブルにより多重伝送される。

サブコンソールは、移動ステーションとコンソール間の信号中継器である。コンソールからの制御信号は、ここで移動ステーションと駆動制御装置との制御信号に分割される。また、移動ステーションと駆動制御装置からの状態信号は、ここで合成されてコンソールに送られる。

駆動制御装置は、コンソールからの指令によりチェーン駆動装置を回転させ、トロリチェーンを移動させて、移動ステ

ーションの走行制御を行なう。

ケーブル着脱機構は、複合ケーブルを移動ステーションの走行に同期して、トロリチェーンに一定間隔で装着しているケーブルクランプに着脱する装置である。

図1では、格納容器壁面の貫通ケーブルを減少するため、サブコンソール、駆動制御装置を格納容器内に設置しているが、保守面から考えて、これらを格納容器外に設置することも可能である。

2.2.3 開発機の概要

格納容器内点検装置の第一段階として、弁、ポンプ類からの蒸気漏れ、水漏れ点検を主要目的とした、テレビジョンカメラだけを積載した移動ステーションを開発した(図2参照)。

図3に開発機のコンソールを示す。

移動ステーションは、テレビジョンカメラを主体とした低温車と、信号伝送器、電源回路及び制御回路から成るコントロール車の2台で構成されている。走行路を含めた移動ステーションの通過断面積は、縦580mm×横370mmである。移動ステーションの走行速度は10m/minであり、その旋回半径は上下方向に0.8m、左右方向に0.6mである。

格納容器内の温度雰囲気模擬する高温実験架(幅5.5m×奥行5m×高さ5m)の中に、全長約40m、上下落差4.1m、最大登坂斜度90度から成る走行路を敷設した。高温実験架には、走行路のほかに、チェーン駆動装置、サブコンソール駆動制御装置及びケーブルリール制御装置を設置し、主として、移動ステーションの耐温度試験、温度サイクル試験及び装置全体の耐久試験を実施した。

移動ステーションは耐環境性試験の結果、格納容器内の通常運転時の雰囲気中で連続運転が可能であり、実プラントへ適

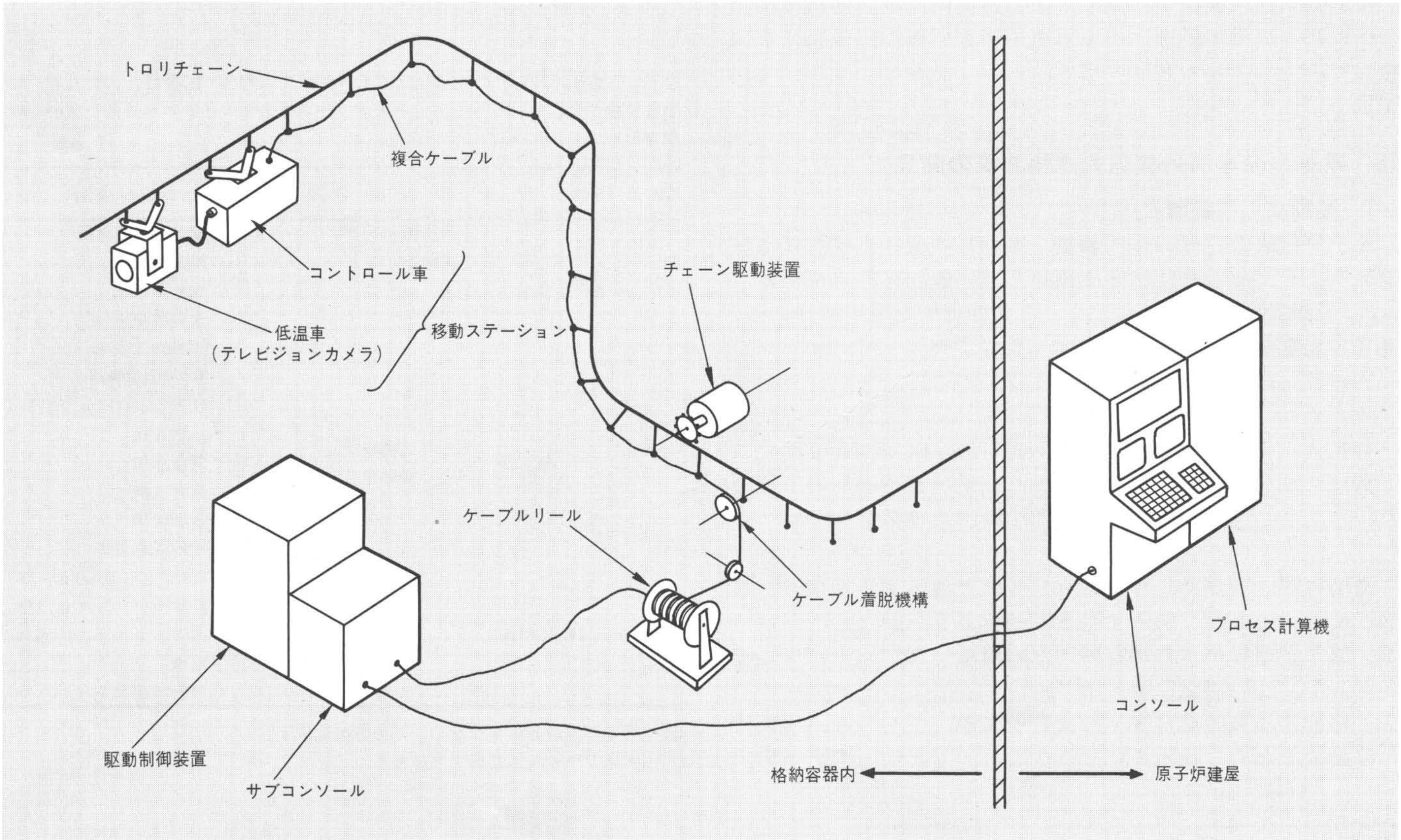


図1 格納容器内点検装置の構成 格納容器内の機器の点検を目的とした、移動式点検装置の構成を示す。この装置は、移動ステーション、トロリチェーン、コンソール、プロセス計算機などから成る。



図2 格納容器内点検装置開発機の移動ステーション 前側が低温車(テレビジョンカメラ)、後ろ側がコントロール車である。走行路は、2本の走行レールとトロリチェーンを内蔵するガイドチェーンから成る。移動ステーションは、トロリチェーンにより牽引され走行する。

用できることを確認した。

3 原子炉音響振動監視装置の開発

本装置は、原子炉圧力容器内に混入した金属異物(ルースパーツと呼ばれる。)や炉内構造物の異常な振動を検出する装置である。原子炉稼動時にルースパーツが発生すると、冷却材流動でルースパーツが移動し、最悪の場合、炉内構造物に損傷を与える。また、炉内構造物の損傷や緩みに起因する異常な流動振動は、その健全性を確保する上で問題となる。このため、ルースパーツや異常振動の発生を早期に検知する必要がある。しかし、検出器を炉内構造物に直接設置できないため、圧力容器外部に設置した音響検出器により、内部のルースパーツや振動の発生を検知することになる。この場合、冷却材の流動雑音やポンプ、制御棒などの機器動作音、電気雑音などが検出信号に混入し、ルースパーツや異常振動による音響信号とを区別する信号処理技術が必要である。また、音響信号の発生位置や発生原因を推定できる機能も必要である。

今回開発した装置は、上記の必要機能をもっており、実際の原子炉への適用を通して、その有効性を明らかにした。以下に、開発した装置の構成、機能及び試験について述べる。

3.1 装置の構成と機能

図4に開発した原子炉音響振動監視装置の概略構成図を、図5にその外観を示す。本装置は、原子炉圧力容器外部に設置した最大16個までの音響検出器信号を処理し、音響信号の発生検知と詳細な分析が可能である。本装置は、その機能上、音響信号の処理、判定を行なう基本ユニットと、詳細分析を行なう分析ユニットに大別される。

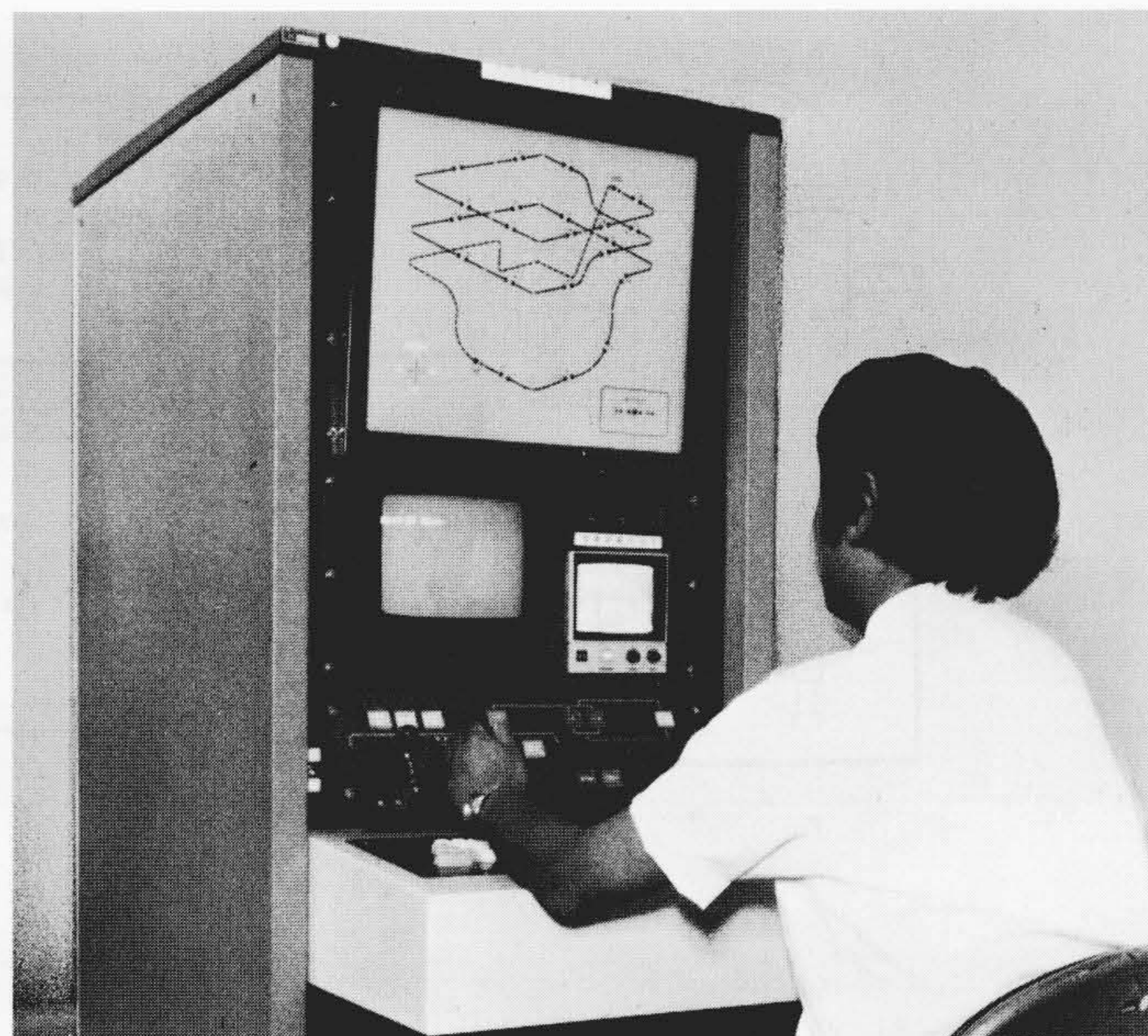


図3 格納容器内点検装置開発機のコンソール コンソールは、マイクロコンピュータを内蔵し、移動ステーションの走行、テレビジョンカメラの旋回など、一連の動作を自動的に遠隔制御する。

3.1.1 基本ユニット

基本ユニットは、警報表示記録部、アナログ処理部、信号判定部及び増幅部のほか、打点レコーダ、データレコーダなどで構成されている。本ユニットの主な機能は次のとおりである。

- (1) 音響検出器信号の増幅、S/N比向上のためのフィルタリング、検波などのアナログ処理。
- (2) 複数検出信号に混入する電気雑音の除去。
- (3) 音響信号の検出をブザー音、点滅ランプなどで表示、及び検出した時刻や検出器番号のプリント出力。
- (4) 音響信号検出時、データレコーダを自動起動し、音響信号を一定時間収録。
- (5) 定常雑音レベルを打点レコーダで記録。

3.1.2 分析ユニット

分析ユニットは、波高-時間差分析装置、周期分析装置、オシロスコープ、X-Yレコーダ、プリンタ、フロッピディスク装置などで構成される。主な機能は、検出した音響信号の詳細な分析を行なうことにある。以下、その分析法について述べる。

(1) 波高-時間差分析

主にルースパーツ検出に用いる分析法である。マイクロコンピュータで構成された波高-時間差分析装置を用い、検出信号の波高値を最大のもので規格化した相対波高値と、検出信号間の時間差を求める。各検出点で求めた結果を、縦軸を相対波高値、横軸を時間差とする平面上に表示する。分析結果は、

- (a) ルースパーツなどによる同一点の衝撃に対し、ほぼ同一のパターンとなる。
- (b) 電気雑音は、時間差ゼロの軸上に並ぶ。

などの特徴がある。このため、分析結果から衝撃発生位置の推定が可能で、また、電気雑音による誤判定を完全に除去できる。分析結果は、オシロスコープ、プリンタなどで表示できるほか、フロッピディスクに保存できる。

(2) 周期分析

炉内構造物の異常振動により、構造物相互の摩擦や衝撃で

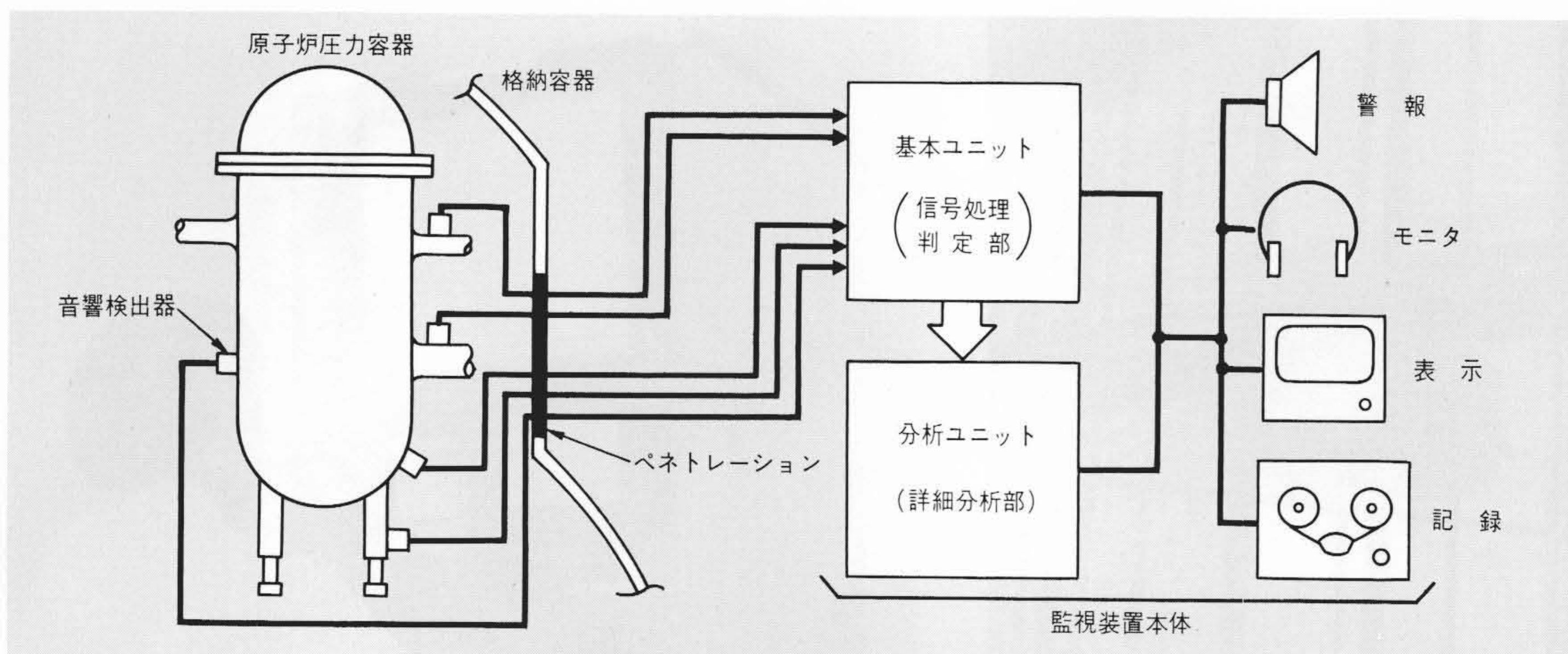


図4 原子炉音響振動監視装置の概略構成
原子炉圧力容器外壁や配管に取り付けられた音響検出器の信号を処理し、容器内のルースパーツ、振動を検知する。



図5 音響振動監視装置の外観 本体だけの外観を示すもので、左が基本ユニット、右が分析ユニットである。

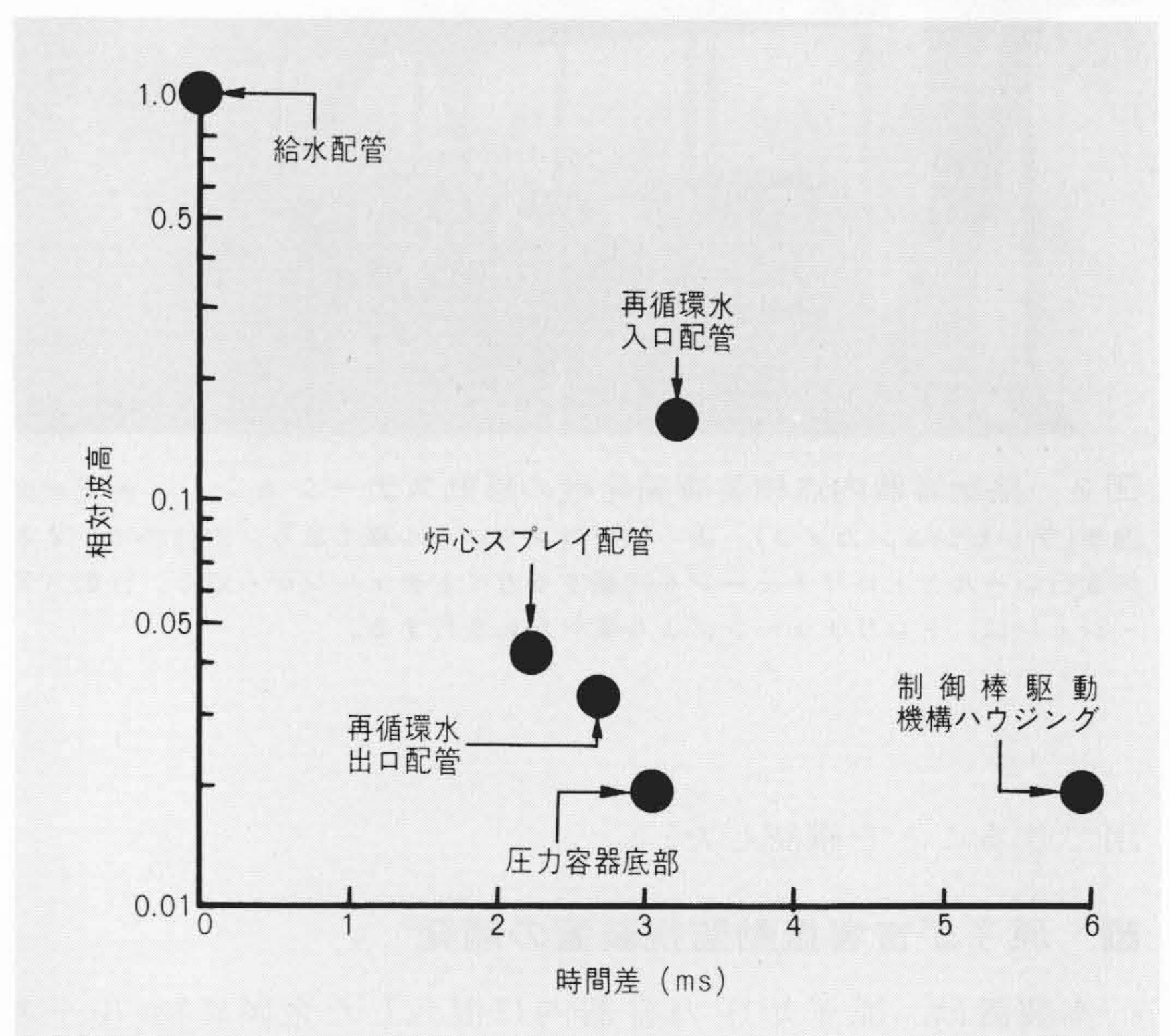


図6 音響信号の波高-時間差分析結果 給水配管に与えた人為的衝撃音を、圧力容器外の各部で検出した信号の波高-時間差分析結果を示す。この図形は、同一箇所の音源に対し、同一パターンとなる。

発生する音響信号の発生周期を分析する。振動による音響信号の発生には周期性があるため、周期分析により、振動発生の検知と振動数の推定が行なわれる。この振動数と炉内構造物の固有振動数との対応づけにより、振動を発生している構造物の推定が可能となる。

3.2 実機試験

中国電力株式会社島根原子力発電所1号炉(沸騰水型、電気出力460MWe)で、原子炉音響振動監視装置の実機試験を実施した。検出器は、給水配管、再循環水入口配管など8箇所を設置した。ルースパーツによる衝撃を模擬するため、人為的に配管に衝撃を与え、装置の機能を確認した。

図6に、給水配管に対する衝撃音の波高-時間差分析結果を示す。同図に示すパターンは、音源が同一位置であれば、衝撃のエネルギーが異なってもほぼ同一のパターンを示す。したがって、あらかじめ人為的な衝撃を圧力容器の各部に与えて求めたパターンとの対比から、衝撃位置を推定することができる。

このほか、実機炉心の一部を模擬した装置で振動検知が可

能なことも確認しており、開発した原子炉音響振動監視装置の有効性を実証した。

4 結 言

機器の異常を早期に検知する装置は、原子力発電所の稼働率向上の点から今後ますます必要となるものと予想される。本稿は、移動式点検装置及び原子炉音響振動監視装置の課題と、それを解決するための開発状況について述べた。今後更に、各種試験や検討を重ねて、信頼性と性能のいっそうの向上に努めていく考えである。

終わりに本開発に当たり終始絶大な御指導と御援助をいただいた東京電力株式会社、中部電力株式会社、中国電力株式会社及び日本原子力発電株式会社の関係各位に対し、感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 張間, 外: 原子力発電所へのロボット技術の応用, 日立評論, 59, 901~905 (昭52-11)