

原子力発電所供用期間中検査用 遠隔自動・半自動超音波探傷装置

Remote Controlled Automatic and Semi-Automatic Ultrasonic Flaw Detection System for In-Service Inspection of Nuclear Power Plants

原子力発電所の最も重要な機器である原子炉圧力容器の健全性を、定期的に確認するためのISIでは、被ばく低減、効率向上、信頼性向上などを図ることを目的として、自動化機器の導入が進められている。

このたび、日立製作所独自の技術によって、国産初の遠隔自動・半自動超音波探傷装置を東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機に納入し、昭和57年9月～昭和58年1月のPSIに適用して多大な効果を得た。

本装置は、世界初の一体型軌道を採用した胴体用駆動装置をはじめとする各種駆動装置、コンピュータ内蔵の制御装置、データ収録装置及びオフライン方式によるデータ処理装置などから構成され、多くの特長を持っている。

成瀬 明輔* Akisuke Naruse
杉山 栄** Sakae Sugiyama
佐々木 荘二*** Sôji Sasaki
柿沼 行雄**** Yukio Kakinuma
樋口 真一* Shin'ichi Higuchi

1 緒 言

原子力発電所では、RPV(原子炉圧力容器)、配管などの主要機器の耐圧溶接部の健全性を確認するため、定期的(1回/年)にISI(供用期間中検査)が行なわれている。しかし、本検査は放射線下、狭隘部の作業のため、検査員の被ばく低減、検査効率の向上、検査の信頼性の向上などが大きな課題¹⁾であり、これらの解決を図るため、遠隔自動装置及び半自動装置²⁾の導入が進められている。

日立製作所は、原子力発電所のISIに適用することを目的として、昭和47年から遠隔自動・半自動超音波探傷装置の開

発を進めてきた^{3)~5)}。昭和54年には国産初の配管用半自動超音波探傷装置を日本原子力発電株式会社東海第二発電所の第1回ISIに試用後納入し、第2回から適用を開始し、その後本格的に適用している。更に昭和57年には、東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機に遠隔自動・半自動超音波探傷装置一式を納入し、PSI(供用前検査)に適用した。

本装置はRPV胴体の縦、周溶接部(原子炉遮蔽壁で被われた部分)の自動探傷を可能としたターンテーブル付一体型胴体用軌道、及び探傷アームシフト機構付胴体用駆動装置をはじ

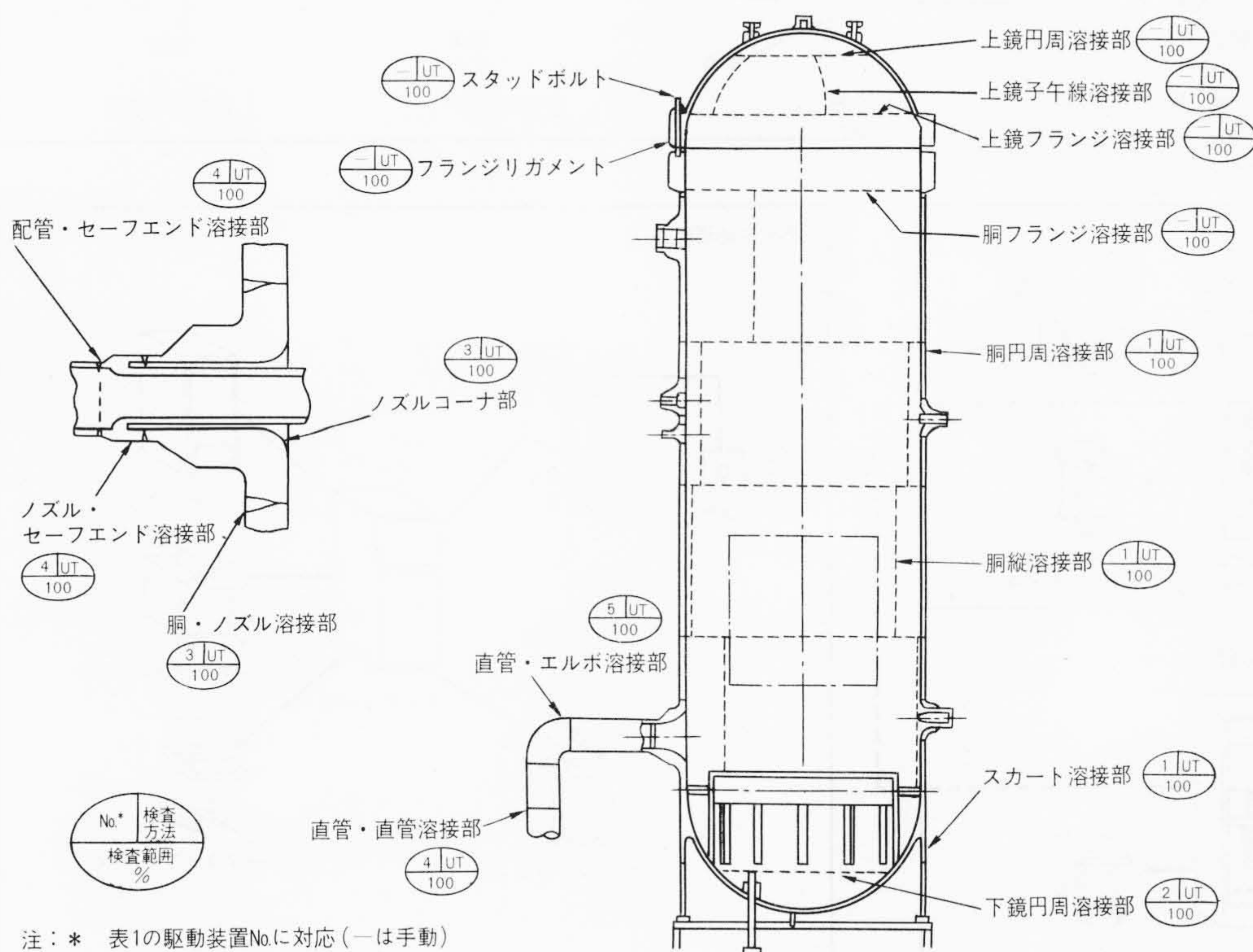


図1 ASME Code Sec. XI要求の検査内容と駆動装置 原子炉圧力容器、ノズル、配管などの耐圧溶接部に要求される検査内容と適用する駆動装置を示す。

めとする各種駆動装置(下鏡用、ノズル用、配管用自動、配管用半自動)、コンピュータコントロール式制御・データ収録装置、マルチビーム探触子、オフライン式データ処理装置など随所に日立独自の技術を採用することによって、当初の目的を達成したものである。

本報告では、上述の遠隔自動・半自動超音波探傷装置の構成、機能、特長などについて述べる。

2 原子力発電所のISI

原子力発電所のISIは、日本電気協会、電気技術規程⁶⁾(JEAC4205)及びASME(American Society of Mechanical Engineers)Code Sec. XIなどに基づいて行なわれている。

図1にASME Code Sec. XI要求の検査内容と駆動装置との関係を示す。PSI, ISIで要求される検査方法には体積検査、表面検査、肉眼検査があるが、RPV胴体、ノズル、配管などの耐圧溶接部は一般に体積検査が要求され、同図に示すように、主としてUT(超音波探傷試験)が適用される。なお、検査範囲は10年間の検査量を示している。これらの検査量は電気出力1,100MW級原子力発電所RPV胴体の場合には溶接線長で約220mである。

これらの検査対象に適用される駆動装置は、検査対象部の形状に応じて、表1に示すように各種の駆動装置が適用される。

表1 ASME Code Sec. XI要求の検査対象と駆動装置 検査対象とそれに適用される駆動装置を示す。

No.	駆動装置名称	検査対象	制御方式	軌道	探触子
1	胴体用	圧力容器胴(縦, 周)溶接部, スカート溶接部	自動	恒久	マルチ
2	下鏡用	下鏡円周溶接部	自動	恒久	マルチ
3	ノズル用	胴・ノズル溶接部 ノズルコーナ部	自動	仮設	マルチ 特殊
4	配管用自動	直管・直管溶接部 ノズル・セーフエンド溶接部	自動	仮設	マルチ
5	配管用半自動	直管・エルボ溶接部	半自動	仮設	マルチ

注: 1. マルチは、マルチビーム探触子(詳細は本文4・1節参照のこと。)
2. No.は、図1の*印に対応。

3 装置の構成

遠隔自動・半自動超音波探傷装置の構成を図2に示す。本装置は各種駆動装置、制御・データ収録装置、データ処理装置などから構成される。

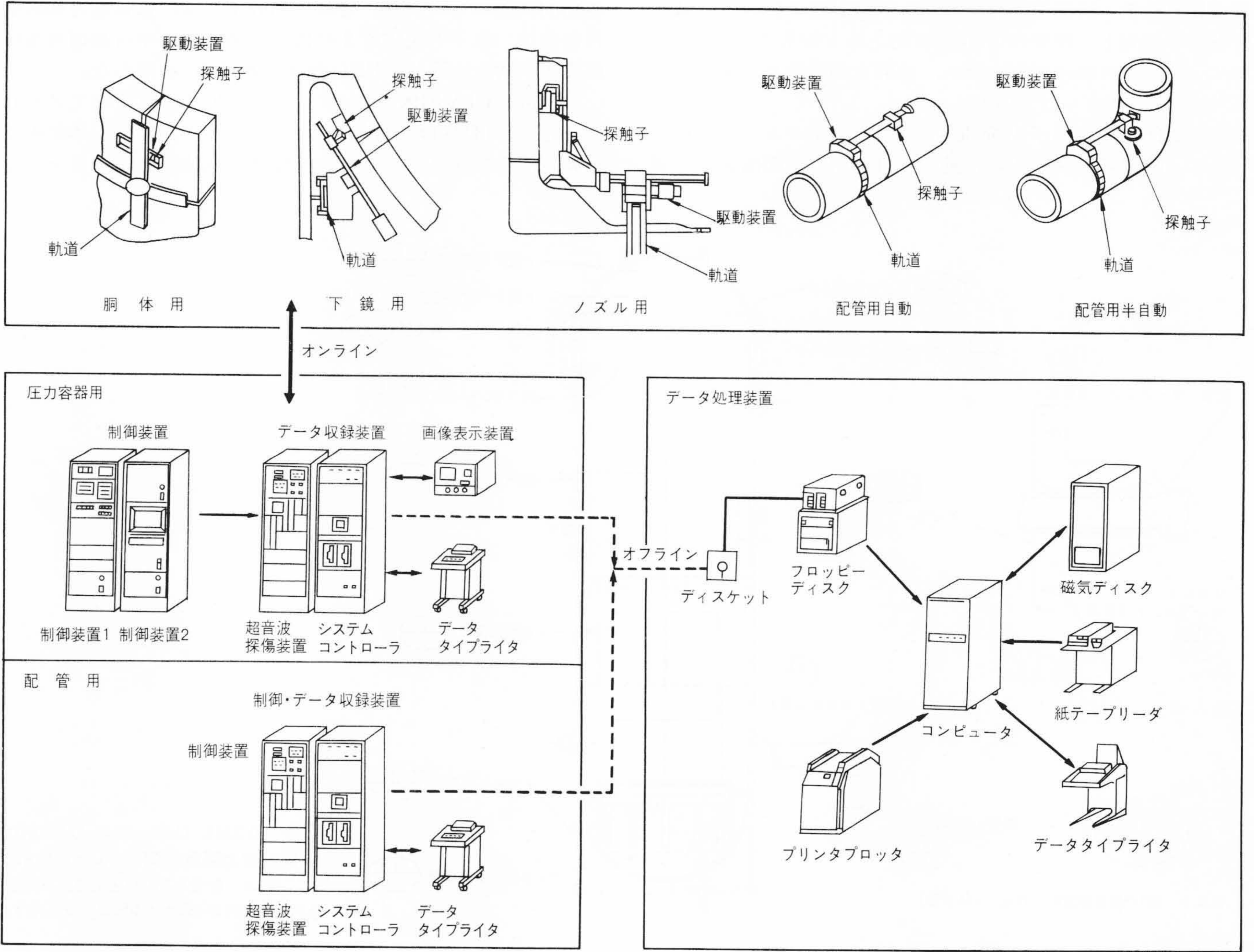


図2 遠隔自動・半自動超音波探傷装置の構成 探傷現場で使用する各種駆動装置、検査室内に設置される制御・データ収録装置、及び非管理区域に設置可能なデータ処理装置から構成される。

探傷箇所に搬入される各種駆動装置、仮設軌道などは、特に小型・軽量化に留意して設計、製作されており、検査員による持ち運びが容易で、被検体部への取付け、取外しは簡単な操作によって短時間で行なえる。超音波探触子が駆動装置によって走査されると、超音波エコー、探触子位置信号などはそれぞれ超音波探傷装置、制御装置を経てデータ収録装置に収録される。これらの制御・データ収録装置などは探傷実施箇所付近に設けられた検査室内に設置され、駆動装置などの探傷箇所に搬入した機器とはケーブルで接続される。

データ収録装置によって収録された探傷データは、データ処理装置で解析、処理され、平面図、断面図、エコー高さ表示図、評価リストなどの各種図表として出力される。データ処理装置はオフライン方式のため、サービス建屋などの非管理区域に設置することができ、1台のデータ処理装置で複数のデータ収録装置のデータ処理が可能なることから、複数プラントで共用することもできる。また、探傷作業と独立してデータ処理が可能なることから、データ処理装置の稼働率向上にもつながる。

4 装置の特長及び機能

4.1 マルチビーム探触子

マルチビーム探触子は、図3に示すように一つの探触子にASME Codeで要求されている3角度(0度、45度、60度)の超音波ビーム送受信子を組み込んだものであり、1回の走査で3角度の同時探傷を行なうことができる。本探触子はRPV用と配管用(同図は配管用)があるが、それぞれの駆動装置に搭載される。

4.2 駆動装置

4.2.1 胴体用駆動装置

胴体用駆動装置は、原子炉遮蔽壁で囲まれたRPVの縦溶接部及び周溶接部(放射線量が高く、検査員の接近が困難な部分)を外表面から探傷するものであり、図4に示すように縦溶接部、周溶接部に沿って保温材の内側に恒久設置された胴体用軌道を案内として探傷走行する。

胴体用軌道は、縦軌道と周軌道を連結し原子炉遮蔽壁から支持する一体型構造とした。本構造は、プラントの運転、停止に伴う温度変化(常温～約290℃)による軌道の熱膨張を吸

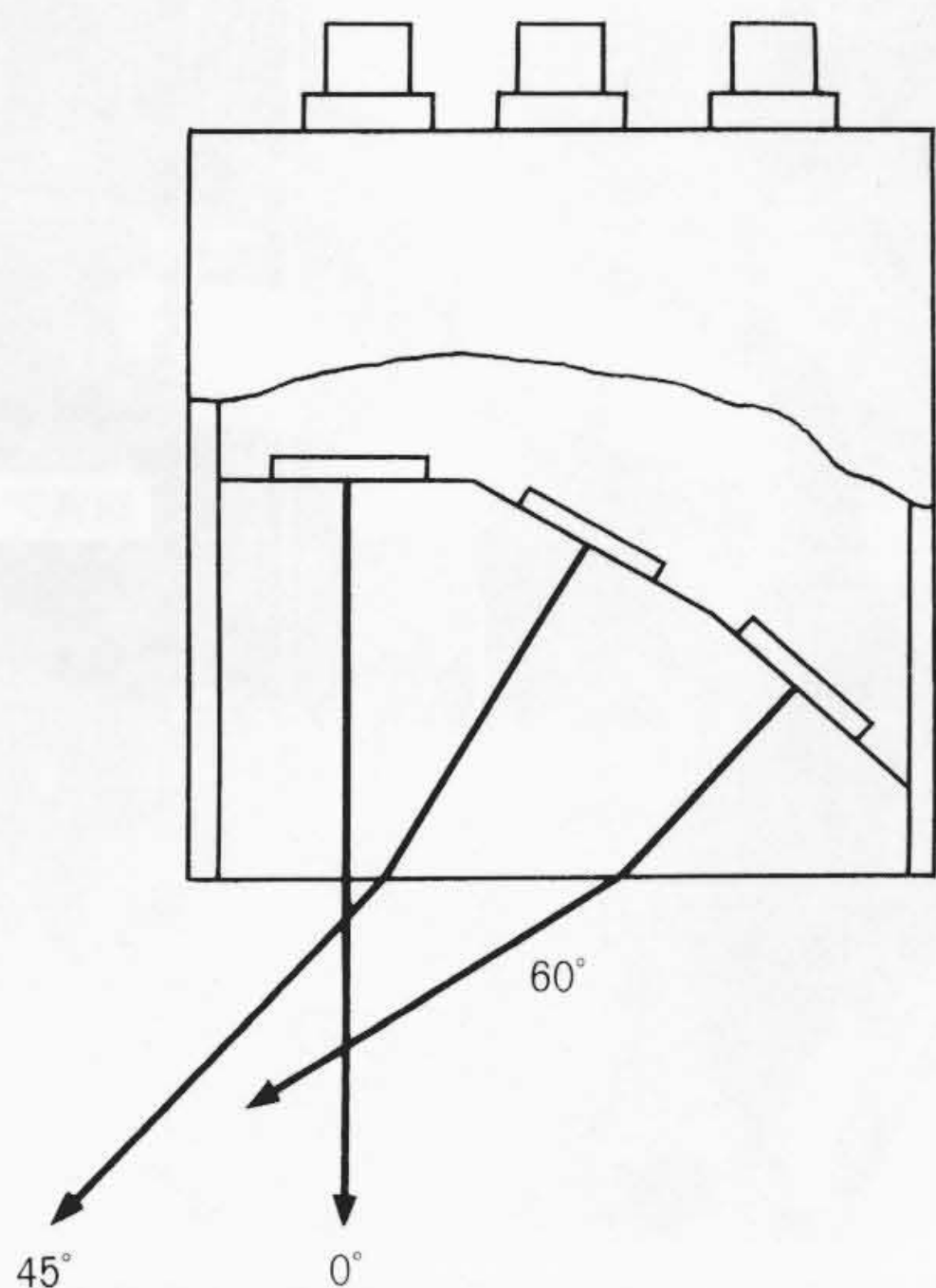


図3 マルチビーム探触子 一つの探触子で3角度(0度、45度、60度)の超音波ビームを送受信する。

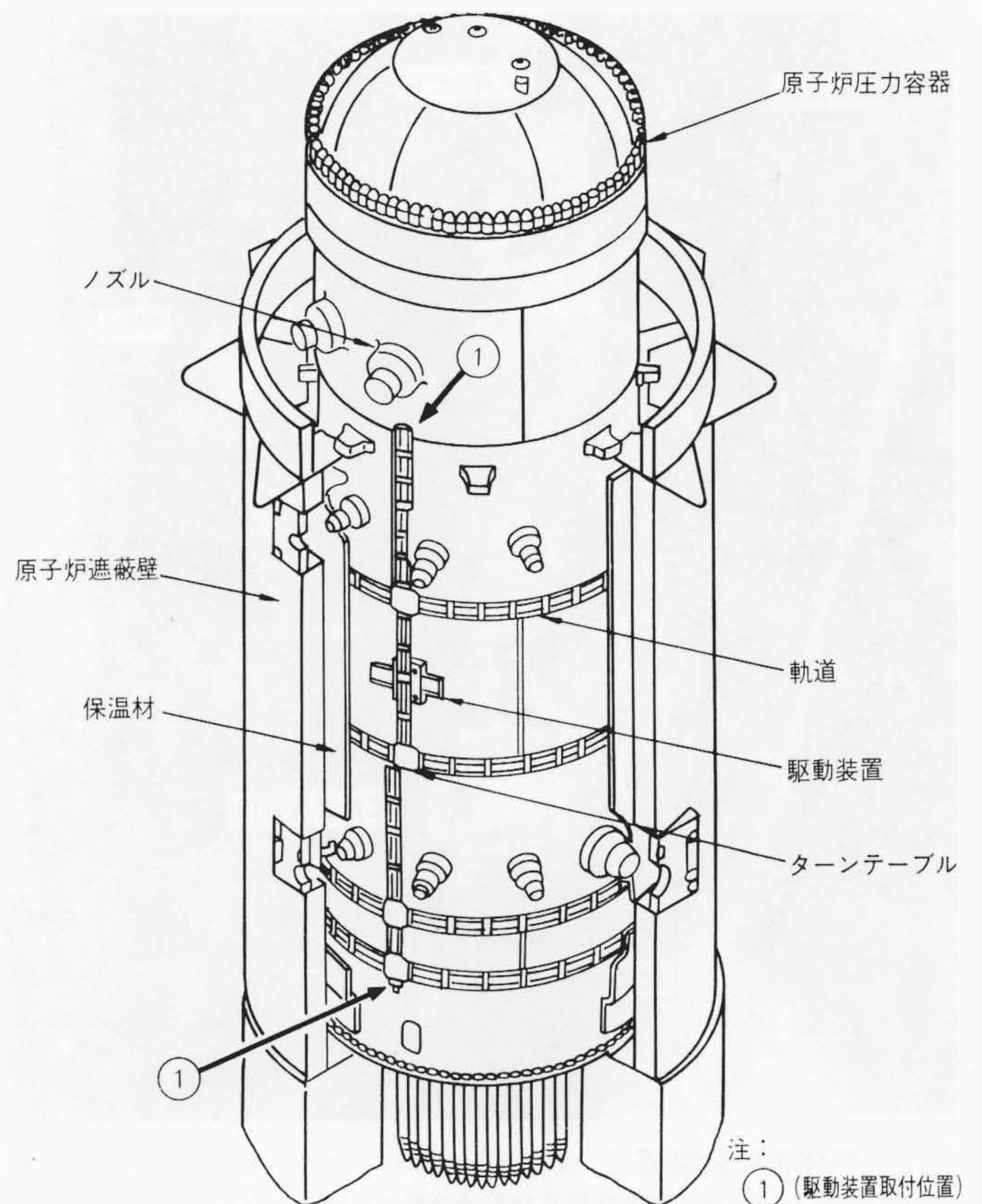


図4 原子炉圧力容器及び胴体用駆動装置 原子炉圧力容器と保温材の隙間に、恒久設置された一体型軌道を案内として探傷走行する駆動装置は、①で取り付けターンテーブルを操作するだけで軌道全域の走行が可能である。

収し、ISI時(停止時)には常に一定の位置に復元するとともに、耐震性についても優れた構造となっている。更に、縦軌道、周軌道の交点にはターンテーブルを設け、ターンテーブルの回転操作によって駆動装置は進行方向を変え、縦軌道、周軌道上を相互に乗り換え走行できるものとした。本機構によって駆動装置は放射線量の低い軌道上端もしくは下端(図4中①)で取り付けただけで軌道全域を走行でき、検査員の放射線被ばく量を大幅に低減することができる。なお、ターンテーブルの回転は原子炉遮蔽壁の外側から開口部を通しハンドルを用いて行なう。

胴体用駆動装置は、図5に示すように軌道と直角方向に長い探傷アームをもち、本アーム上で探触子の走査を行なうが、ノズルなどの狭隘部を通過するときは探傷アームを左右にシフト(平行移動)し、干渉を回避する機構をもっている。

4.2.2 下鏡用駆動装置

下鏡用駆動装置は、RPV下鏡部の円周溶接部を探傷するものであり、支持スカート内側に恒久設置された下鏡用軌道を案内として探傷走行する。

4.2.3 ノズル用駆動装置

ノズル用駆動装置は、RPVノズル部の胴・ノズル溶接部及びノズルコーナR部を探傷するものである。本駆動装置は軌道(仮設方式)、駆動装置本体、探傷ユニット(胴・ノズル溶接部用、ノズルコーナR部用)に分けたユニット構造とし、運搬、取付けを容易とした上に適用箇所に合わせ、軌道及び探傷ユニットを交換して使用できる特長をもっている。

軌道は内径調整機構をもち、大径用、小径用の2種類で全

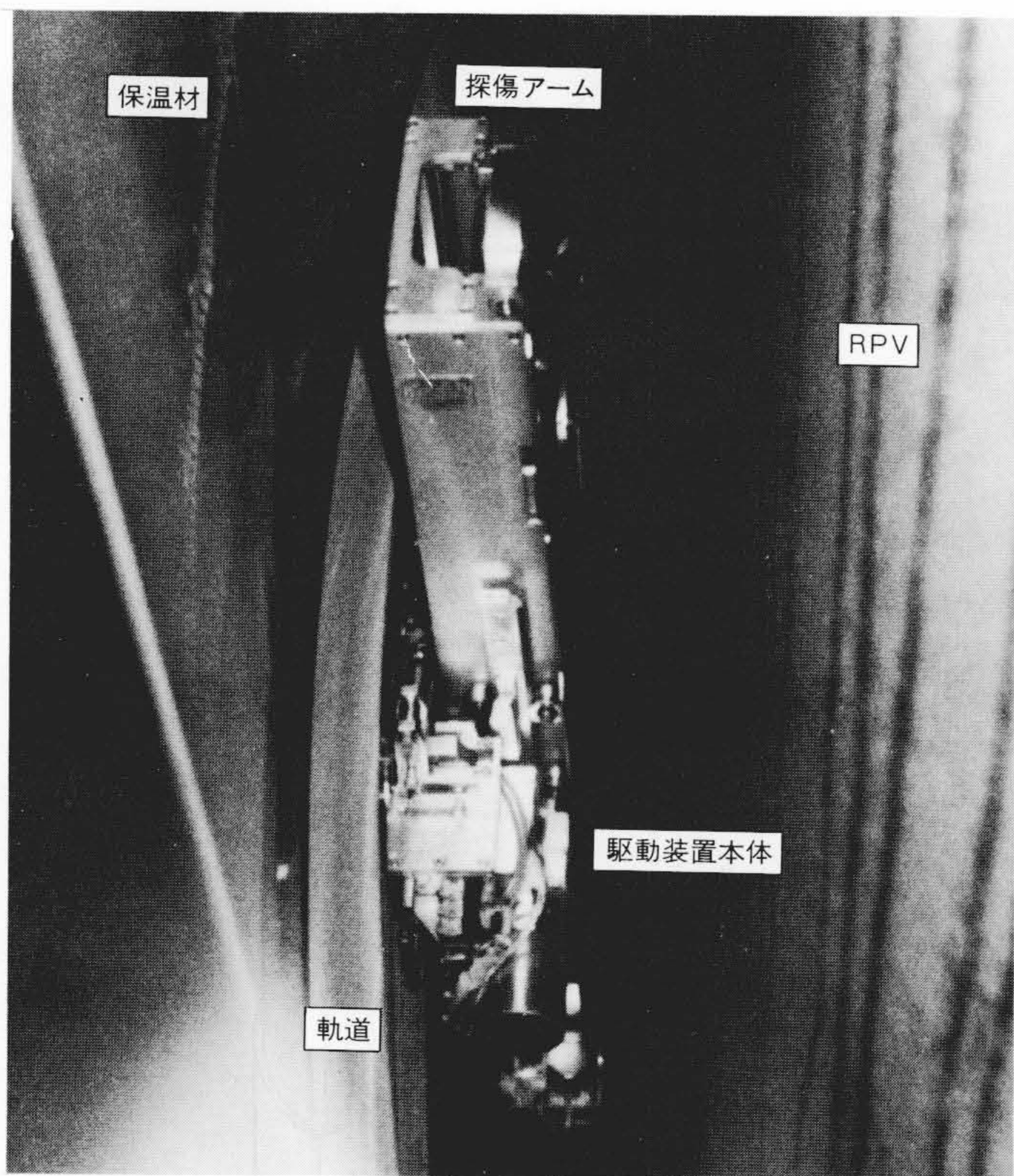


図5 胴体用駆動装置 保温材の内側に恒久設置された胴体用軌道(周軌道)上を走行しながら、縦溶接部及び周溶接部を探傷する駆動装置である。

4.2.4 配管用自動駆動装置

配管用自動駆動装置は、配管の直管・直管溶接部、ノズル・セーフエンド溶接部などを探傷するものである。

4.2.5 配管用半自動駆動装置

配管用半自動駆動装置は、主に配管の直管・直管溶接部及び直管・エルボ溶接部を探傷するものである。本駆動装置も配管用自動駆動装置と同様にユニット構造となっており、軌道は自動駆動装置と共用できる。図8は配管用半自動駆動装置によって直管・エルボ溶接部を探傷している状態を示すも

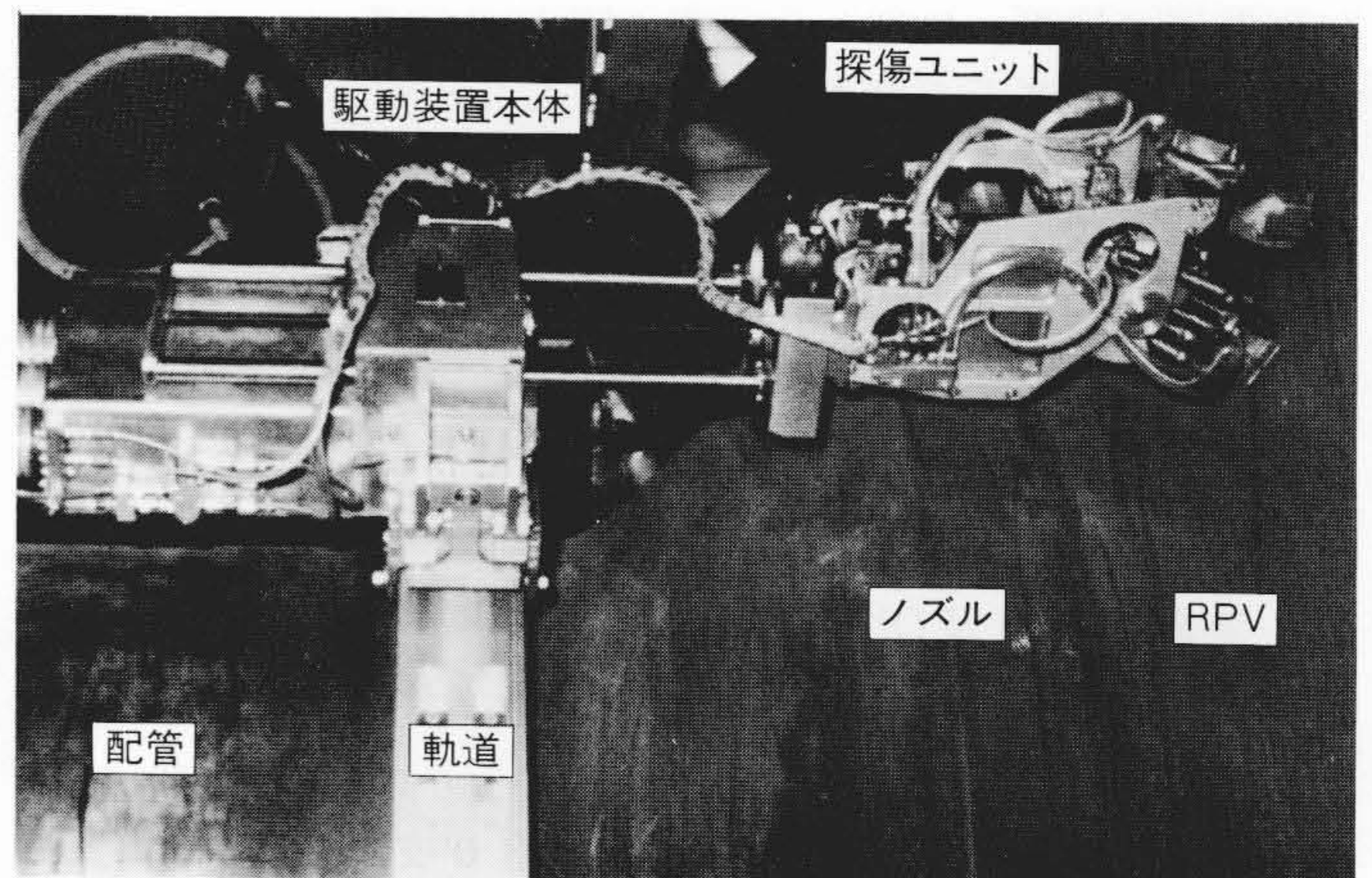


図7 ノズル用駆動装置(ノズルコーナR部用探傷ユニット) ノズル配管側に仮設された軌道を案内として、ノズルコーナR部を探傷する駆動装置である。

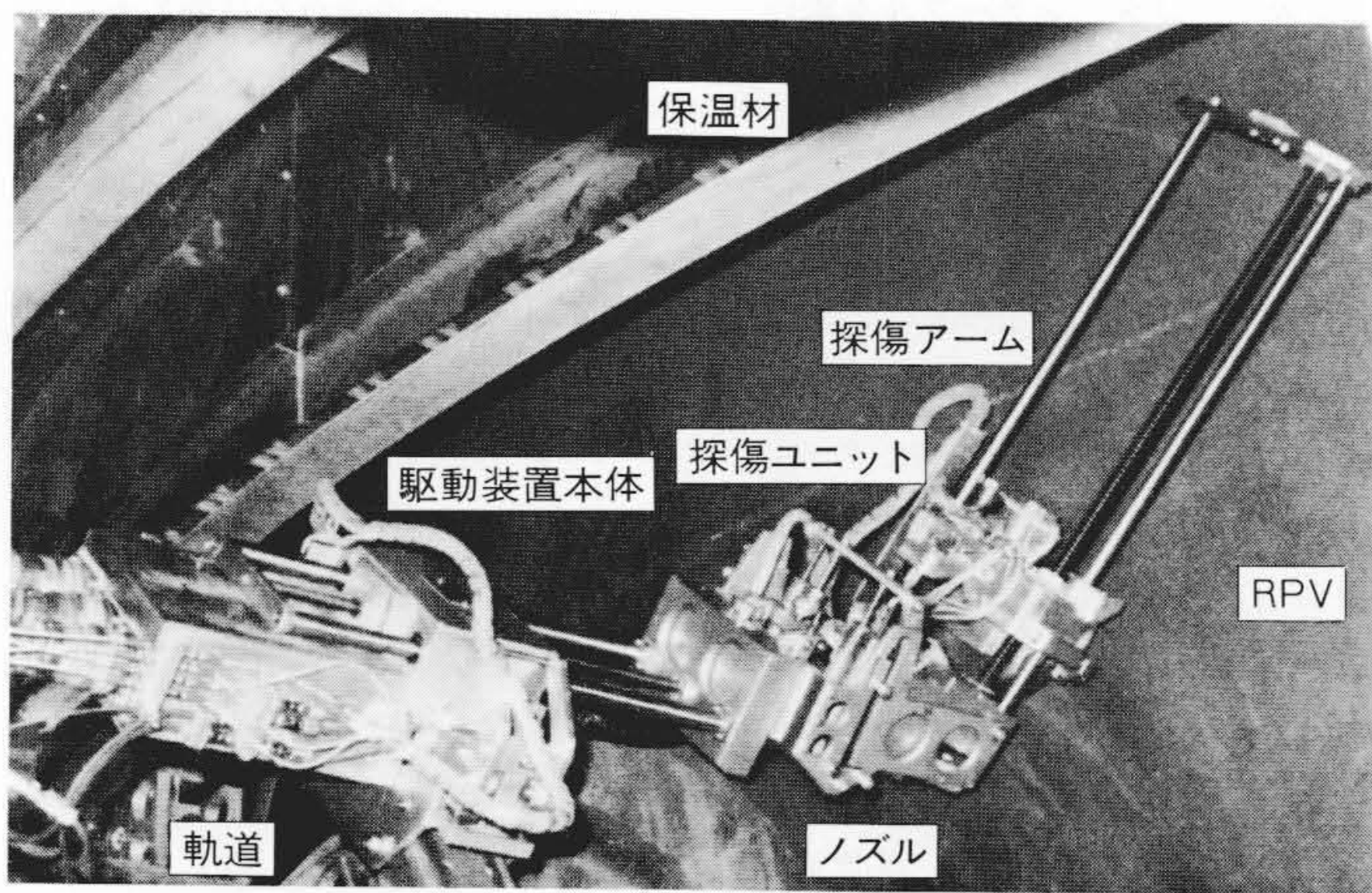


図6 ノズル用駆動装置(胴・ノズル溶接部用探傷ユニット) ノズル配管側に仮設された軌道を案内として、胴・ノズル溶接部を探傷する駆動装置である。

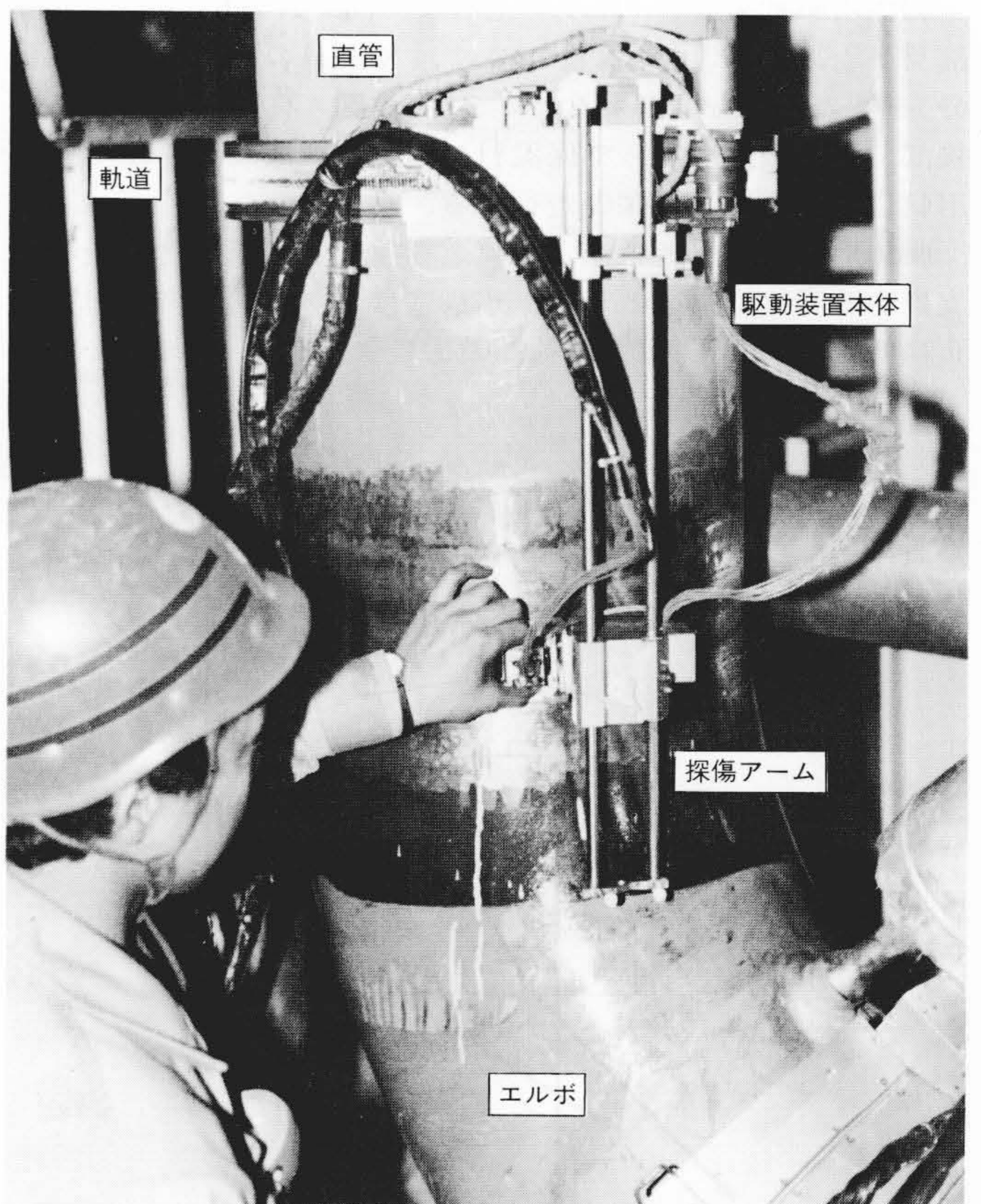
ノズル(電気出力1,100MW級BWRで6種類)に適用できる。

(1) 胴・ノズル溶接部用探傷ユニット

胴・ノズル溶接部用探傷ユニットを装着した駆動装置を図6に示す。本探傷ユニットは軌道半径方向に長い探傷アームをもち、本アーム上で探触子の走査を行なう。探傷アームはノズルのくち型形状にならうように同時2軸制御されている。

(2) ノズルコーナR部用探傷ユニット

ノズルコーナR部用探傷ユニットを装着した駆動装置を図7に示す。本探傷ユニットもノズルくち型形状に追従するようならい制御されている。また、超音波入射ビームを機械的に振ることによって、ノズルコーナR部全域の体積検査を可能とした。



注：写真は、供用前検査で探傷中のものである。

図8 配管用半自動駆動装置 直管部に仮設された軌道を案内とし、直管・エルボ溶接部を探傷する駆動装置である(PSI時の写真)。



図9 圧力容器用制御装置及びデータ収録装置 左から圧力容器用制御装置2及び1, 超音波探傷装置, システムコントローラ, 並びにデータタイプライタを示す。

のである(PSI時の写真)。探傷アームは駆動装置本体を中心として上下に扇形回転が可能な構造となっており、直管・エルボ溶接部のエルボ側からの探傷も可能である。

探触子のアーム方向の走査は手動で行ない、軌道方向の走査は電動機によって行なう。また、探触子の位置データ(X, Y座標)及び超音波探傷データの収録は自動で行なう。

4.3 制御装置

(1) 圧力容器用制御装置

圧力容器用制御装置は、胴体用、下鏡用、ノズル用(胴・ノズル溶接部用、ノズルコーナR部用)駆動装置の4機種を1台で制御するもので、探傷条件の設定は、コンピュータと対話形式によって行なう。

特に、胴体用駆動装置の場合は、探傷アームのシフト(4.2.1.項参照)、ターンテーブルの走行など複雑な走査が行なわれるが、あらかじめ組み込まれたプログラムに従って制御する。本制御装置は探触子の位置、探傷アームのシフト量をデジタル量で表示するとともに、胴体用駆動装置の位置、方向などはパネル面表示する。圧力容器用制御装置を図9に示す。



図10 データ処理装置 オフラインによりデータを処理する。左からプリンタプロッタ, フロッピーディスク, 紙テープリーダー, データタイプライタ, コンピュータ及び磁気ディスクを示す。

(2) 配管用制御装置

配管用制御装置は配管用自動駆動装置、配管用半自動駆動装置の制御に用いる。本装置もコンピュータを内蔵し、圧力容器用と同様にプログラム制御する。

4.4 データ収録装置

データ収録装置は超音波探傷条件、探傷データを記録し、探触子の走査軌跡を表示するもので、圧力容器用と配管用がある。圧力容器用データ収録装置を図9に示す。

4.5 データ処理装置

データ処理装置は圧力容器用及び配管用データ収録装置によって収録された超音波探傷データをオフラインにより入力し、解析、処理して各種の図表として出力する。

本装置はコンピュータ、フロッピーディスク、紙テープリーダー、データタイプライタ、磁気ディスク、プリンタプロッタなどから構成される。図10にデータ処理装置を示す。

4.6 出力図表

収録された探傷データは、データ処理装置によって各種の図表として出力するが、その一例として平面図(図11)、極座

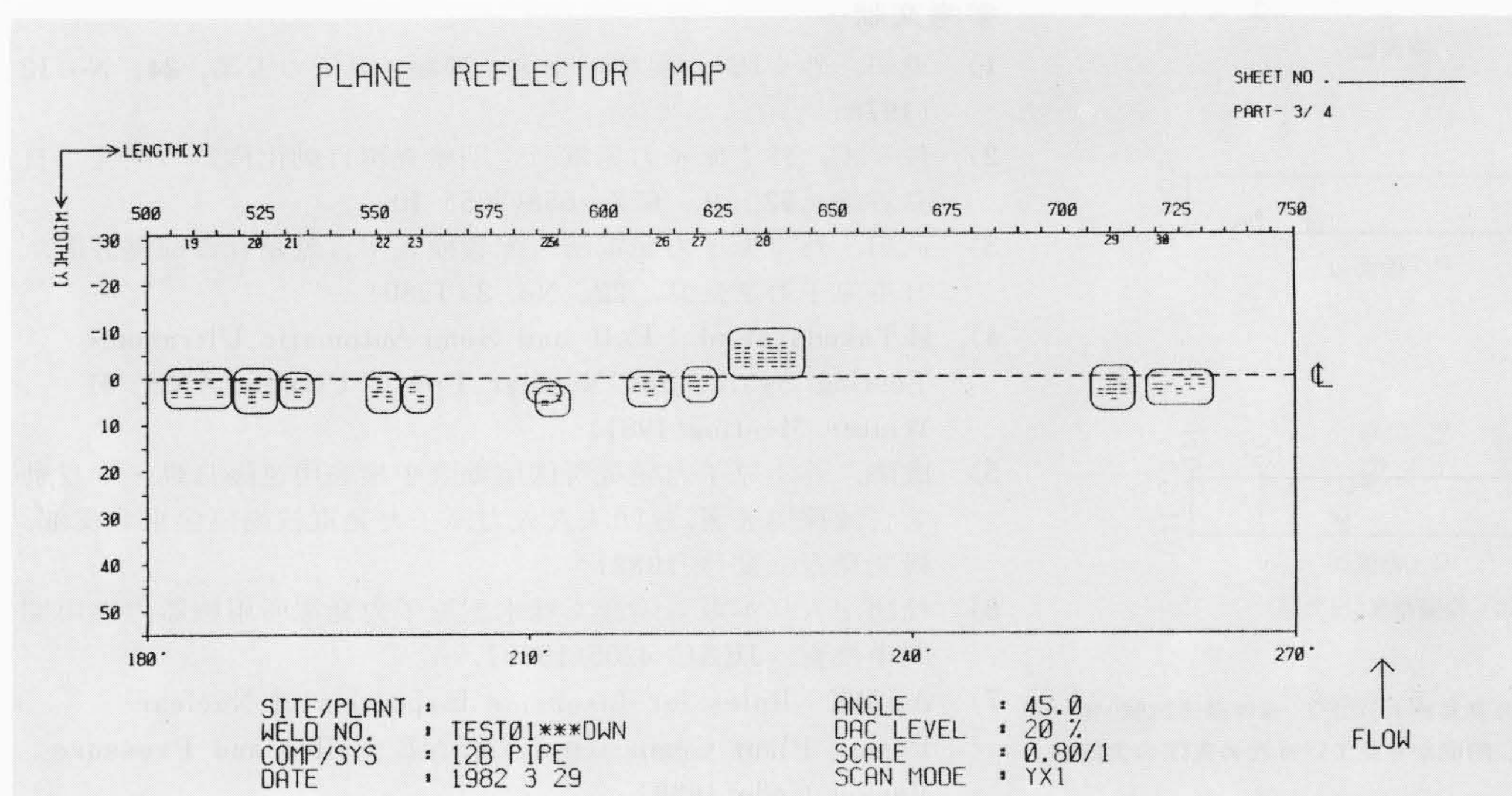
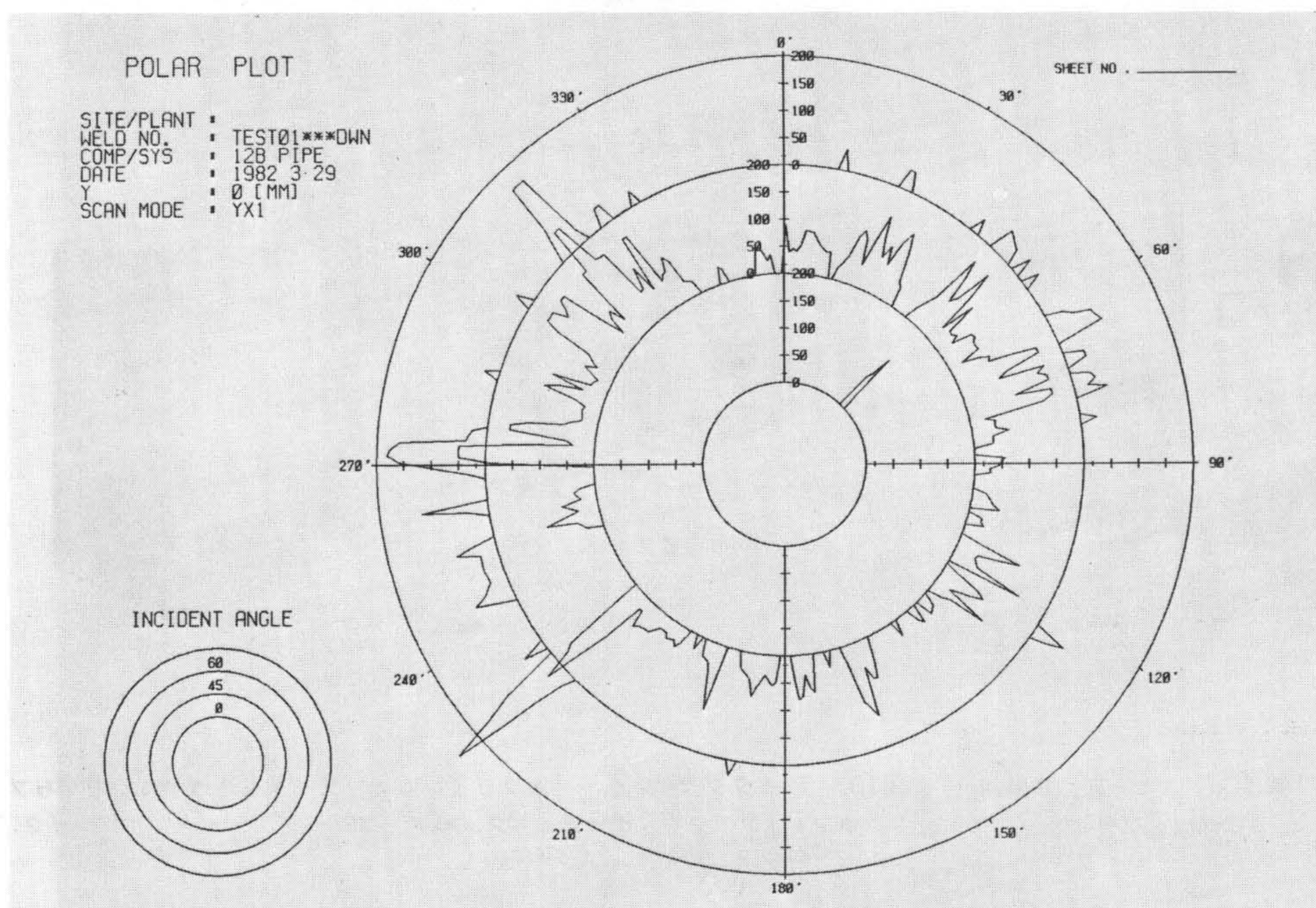


図11 平面図 エコー位置を平面に投影して表示する。横軸に配管周方向長さを、縦軸に配管長手方向長さをとり、点線は溶接線中心を示す。同一反射体からのエコーは枠で囲んで表示する。

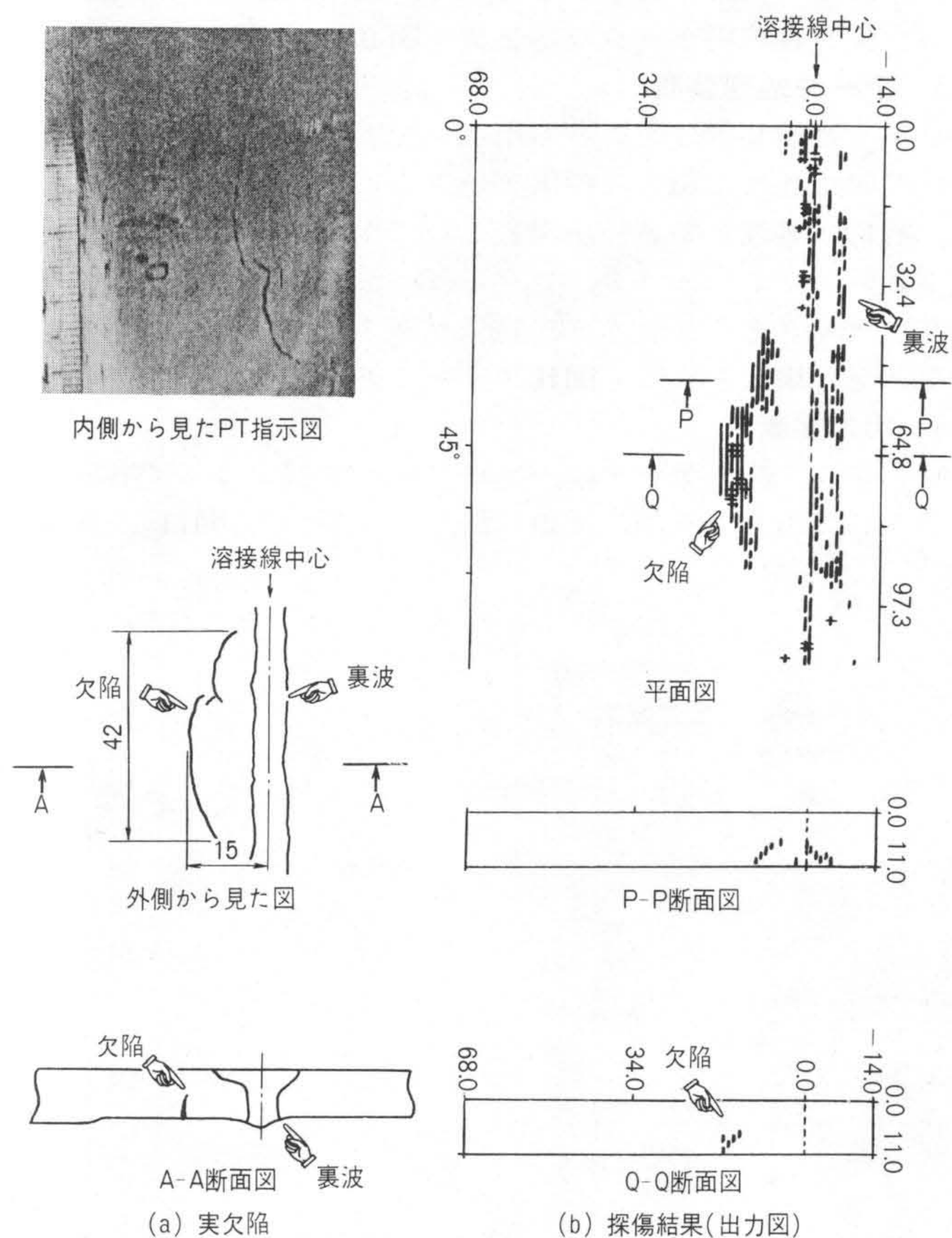


標図(図12)に示す。

その他、反射体を三角図法で表示する単一反射体マップ、ノズルコーナR図、走査軌跡図、探傷条件リストなどを出力することができる。

4.7 実欠陥探傷例

実プラントでの配管のSCC(応力腐食割れ)のPT(液体浸透



試験)指示, 及び本装置による探傷結果(出力図)を図13に示す。

5 結 言

国産初の原子力発電所ISI用遠隔自動・半自動超音波探傷装置を開発し、東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機に納入してPSIに適用した。

本装置はマルチビーム探触子、RPVターンテーブル付一体型胴体用軌道、コンピュータコントロール式制御・データ収録装置、オフライン式データ処理装置など、多くの特徴をもち、被ばく低減、効率向上、信頼性向上に大きく寄与できるものと考えている。

今後は、本装置の標準化、簡素化を図り、いっそうの信頼性向上を図るべく努力してゆく考えである。

最後に本装置の開発に関しては、電力会社との共同研究によるもので、終始御指導、御協力をいただいた中国電力株式会社、東北電力株式会社、東京電力株式会社、日本原子力発電株式会社及び中部電力株式会社の関係各位に対し、深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 薦田，外：ISIの現状と今後の課題，原子力工業，24，No. 12 (1978)
- 2) 佐々木，外：原子力発電所定期検査用自動化機器の開発，日立評論，62，9，653～658(昭55-10)
- 3) 武田，外：原子力発電所の配管検査用自動超音波探傷装置，日本原子力学会誌，22，No. 2 (1980)
- 4) H.Takeda et al. : Full- and Semi-Automatic Ultrasonic Testing System for Nuclear Power Plants, ANS '81 Winter Meeting(1981)
- 5) 成瀬，外：原子力発電所供用期間中検査用遠隔自動・半自動超音波探傷装置，社団法人火力原子力発電技術協会東北支部，研究発表会要旨(1982)
- 6) 社団法人日本電気協会：軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査，JEAC 4205(1980)
- 7) ASME : Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components, ASME Boiler and Pressure Vessel Code(1980)