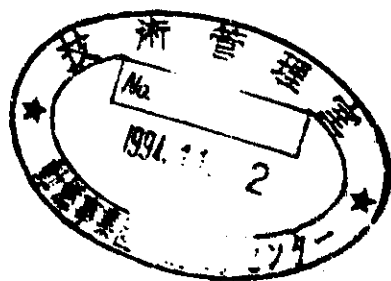


分置

ATRのISIロボット開発

1994年7月



動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

システム開発推進部

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-machi, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-Ken 311-13, Japan.

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1994

ATRのISIロボット開発

成 尾 一 輝

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター
システム開発推進部 新型転換炉実証炉技術評価Gr.

目 次

1. はじめに	1
2. ATR一次冷却系の概要	1
3. ATRのISI環境・条件	1
4. ISIロボット開発の目的	1
5. 「ふげん」用ISIロボット	2
6. ISIロボット開発のポイント	5
7. おわりに	11
参考文献	12

1. はじめに

新型転換炉（ATR）ふげん発電所（「ふげん」）の一次冷却系機器・配管は、原子炉の一次冷却系圧力バウンダリーを構成する重要なものである。

このため電気技術規定JEAC4205「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査」に準拠した供用期間中検査（ISI：Inservice Inspection）を行い、機器・配管の健全性を確認している。

原子炉機器・配管のうち、一部のものについては、放射線レベルが高い場所や狭い場所に設置してあることから、人が近付けないものがある。これらの機器・配管のISIを行うために、遠隔操作で検査が行えるATR用ISIロボットの開発が進められている。

2. ATR 一次冷却系の概要

ATRの一次冷却系は図1に示すように、炉心部の圧力管集合体（224体）、及び再循環系の主な機器である蒸気ドラム、下部ヘッダー、再循環ポンプ、マニホールド、並びにこれらの機器を接続する、入口管（224本）、出口管（224本）、下降管等で構成されている。

3. ATRのISI環境・条件

ISIロボットを使用して検査を行う機器・配管の環境・条件は次のとおりである。

	〈圧力管集合体〉	〈再循環系機器・配管〉
放射線 (ガンマ線)	$2 \times 10^5 \text{R/h}$	数十～数百mR/h
環境	水中（純水）	空気中
温度	10℃～40℃	室温

4. ISIロボット開発の目的

ATR用ISIロボットを開発する目的は、次のとおりである。

- (1) 検査員のひばくの低減化
- (2) 検査期間の短縮化
- (3) 高精度で信頼性の高い検査の実現

5. 「ふげん」用 ISI ロボット

「ふげん」用 ISI ロボットは、検査対象箇所形状、寸法に応じて種々のものが開発（一部開発中）されている。図 2～図 4 に ISI 装置の全体の概要を示す。

検査項目は、超音波探傷検査、目視検査、寸法測定検査等である。

なお、放射線レベルが低く、人が容易に接近できるスペースがあり、短時間で検査が行なえる部分については、人手による検査を行っている。

5.1 手動式 ISI ロボット

(1) 主蒸気管ノズル部 ISI 装置

本装置（図 2 (a)）は放射線レベルが比較的低い場所において、検査箇所が多いとか、検査箇所は少ないが人手による検査では長時間を要し、許容ひばく値を越える恐れのある場合等に対して、簡便な方法により、ひばくを低減させるために開発された装置である。

人手による検査の場合は、一般的に次の手順で超音波探傷検査が行われる。

- (a) 検査対象箇所の保温材の取外し。
- (b) 検査対象箇所への、接触媒体（グリセリン、油、水等）の塗布。
- (c) 探傷検査
 - (c-1) 超音波探触子を手で管の表面に密着させながら、走査する。
 - (c-2) この走査を行いながら、超音波探傷器のオシロスコープ画面を注意深く観察し、疵や疵らしき信号が観測された場合、その信号の強さ、波形等をオシロスコープ画面から読みとり、記録する。
 - (c-3) 同時に信号が得られた位置（回転方向、前後方向）を、スケールにより測定し、記録する。
- (d) 接触媒体をふきとる。
- (e) 配管保温を復旧する。

以上の作業においては、(c-2) 及び (c-3) の作業で長時間を要する。このため、(c-2) 及び (c-3) の部分についてのみ自動化し、少しでもひばくを低減しようという考えを基に、この装置は開発された。

本装置は、超音波探触子、ポジショナー、超音波探傷器、データ処理装置等で構成される。

この装置による検査手順を説明すると次のようである。

ポジショナーを検査対象箇所の近くに取付ける。ポジショナーには、超音波探触子が前後方向及び回転方向に移動できるように取付けられているので、検査員が手で超音波探触子を走査する。このとき、超音波探触子の位置（前後方向及び回転方

向) はポジショナーに組み込まれた位置検出器により検出され、超音波探傷信号と同期をとって、超音波探傷器のフロッピーディスクに収録される。

探傷走査が終了すると、ポジショナーを取外し、検査員は放射線環境場所から離れる。そしてデータ処理装置を用いてフロッピーディスクに収録された探傷信号の分析や評価を、じっくり時間をかけて行うことができる。

この装置を用いることにより、ひばくが低減できるだけでなく、従来 (c-2) (c-3) の作業は非破壊検査技術の資格を有する限られた数の技能者でしか行えなかったものが、資格を持たない一般の作業員でも行えるようになる。また、詳細な探傷データが容易に保存できるようになる。

(2) 中口径配管 (6B) ISI 装置

本装置は、前項5.1 (1) の主蒸気管ノズル部 ISI 装置と全く同じ考えに基づいて、6インチの配管溶接部の検査に適用したものである。装置の概要を図2 (b) に示す。

5.2 半遠隔操作式 ISI ロボット

半遠隔操作式 ISI ロボットは、検査対象箇所放射線レベルがやや高い場所で ISI を行なう際の、ひばく低減を図るために開発された装置である。

(1) 主蒸気管セーフエンド部 ISI 装置

本装置 (図2 (c)) は探触子アッセンブリ、駆動装置、水槽、超音波探傷器、操作盤等から構成される。

検査の際には、検査対象箇所への装置の取付・取外し作業を人手によって行い、超音波探傷検査は、操作盤からの遠隔操作で行うものである。水槽は、接触媒体に水を用い探触子を水浸状態にして探傷するために設けてある。

(2) 下降管セーフエンド部 ISI 装置

本装置 (図2 (d)) は、前項5.2 (1) 主蒸気管セーフエンド部 ISI 装置と同じ考えに基づいて、下降管セーフエンド部の超音波探傷用に開発したものである。水受が探触子アッセンブリの下方にあるのは、接触媒体に使う水を、探触子と検査材料表面の接触部分に注入しながら探傷する方式を採用しているため、その水を受けためである。

(3) 入口管・出口管管群外周部 ISI 装置

本装置 (図2 (e)) は前項5.2 (1) 主蒸気管セーフエンド部 ISI 装置と同じ考えに基づいて、入口管・出口管管群の外周にある管の超音波探傷を行うために開発

されたものである。

この装置は、装置の検査対象箇所への取付・取外しが、ワンタッチで行えるようになっており、より一層のひばく低減が図れるようになっている。

(4) 入口管・出口管管群内 ISI 装置

本装置（図 2 (f)）は、入口管・出口管管群内の管のように、人が接近するスペースのない検査対象の超音波探傷を行うために開発されたものである。

図 2 (f) に示すように、UTヘッドが取付けられた UTヘッド移動用レールを人手によって管群内に取付ける。その後遠隔操作によって超音波探傷を行う。前項 5.2 (1), (2), (3) に示す装置と異なる点は、管群内の複数の検査対象箇所に遠隔操作で、UTヘッドを移動接近させることができることである。

本装置に関しては、装置の動き等の詳細について説明したビデオが制作されている。

5.3 遠隔操作式 ISI ロボット

遠隔操作式 ISI ロボットは、検査対象箇所の放射線レベルが高い場所や、構造上人が接近することのできない場所等の検査を行うために開発されたものである。

(1) 圧力管検査装置

圧力管集合体は「ふげん」の炉心を構成する機器であり、一次冷却系を構成する最重要機器である。圧力管集合体は内径118mm、長さ約9mの長尺管であることと、内部が非常に高い放射線環境下（ 2×10^5 R/h）にあるため、人手による検査は不可能である。

このため「ふげん」の燃料交換機を利用して、遠隔操作で ISI 装置を圧力管集合体に取り付けて検査が行える装置を開発した。その概要を図 3、図 4 に示す。この装置は超音波探傷検査だけでなく、内径測定、内表面観察等種々の検査が行える。

本装置に関しては、装置の動き等の詳細について説明したビデオが制作されている。

(2) 出口管 ISI 装置

「ふげん」の出口管のように、同一口径で同一間隔に並んだ配管を自走して移動してゆき、検査を行う ISI 装置である。

図 2(g) に示すように、本装置は渦流探触子、小型テレビカメラ、ヨーク、クランプ機構、制御装置等で構成される。

装置を移動させるときは、ヨーク 1、ヨーク 2 にそれぞれ 1 組（2 コ）のクラン

ブ機構が取付けられているので、先ず片方のヨークのクランプ機構で2本の管をつかみ、装置を固定しておく。次に、もう一方のヨークのクランプ機構を解除した状態でスイングさせ、隣の管へ移動し、クランプ機構で管をつかむ。この一連の動作を繰り返す、装置を目的の管に取付ける。

この装置は、現在開発中である。

(3) 入口管ノズル-配管溶接部ISI装置

前項5.3 (1) で説明した圧力管検査装置の技術を基に、圧力管と入口管の接続部であるノズル溶接部の超音波探傷を行なうための装置である。

本装置 (図2(h)) は、装置本体、超音波探触子、三点支持ローラー、制御盤等で構成されている。

装置本体は、燃料交換機により遠隔操作で検査対象の溶接部がある圧力管に取付けられる。次に制御盤からの遠隔操作で、三点支持ローラーにより超音波探触子を溶接部へ送り出し、超音波探傷を行なう。三点支持ローラーは、曲管に沿って移動できるようにフレキシブル構造になっている。

この装置は、現在開発中である。

6. ISIロボット開発のポイント

ISI ロボットを開発・実用化する際には、一般的に図5に示す開発フローに従って業務が展開される。図5の開発フローの各局面における要点の概要は、次のとおりである。

(1) テーマの設定

現状の課題を発見し、問題点を分析して明確にする。そして開発の目的及び必要性を明らかにしてテーマを設定する。さらに、開発が成功したときの効果を明らかにする。

(2) 環境条件・制限条件・必要検査性能の明確化

ISI ロボットが実際に使用される環境・制限条件・必要検査性能等を調査して、明確にする。ISI ロボット開発の難易度は、これによって大きく左右されるので、重要事項を見逃さない。

ここで言う環境条件、制限条件、必要検査性能とは、次のようなものである。

環 境 : 温度、圧力、放射線、周囲環境 (水、空気、ナトリウム等)、その他

制限条件 : ISI対象部分の構造・寸法・形状・材質・表面状態、移動スペー

ス、障害物、距離、接近方法、装置の保守・管理、その他
必要検査性能： 疵検出性能、疵観察性能、寸法測定精度、その他

(3) 開発目標の設定

上記(1)(2)を基に開発目標を設定する。開発目標を明確にすることにより、下記(5)項の方式の決定について具体的に検討できるようになる。また、せっかく開発したものが使用されないという状況もなくなる。

(4) 情報収集

情報収集により、開発の対象となる ISI ロボットに関する既知の情報を得ると共に、未開発部分について明らかにする。

運の良い場合は、情報収集だけで、すでに他の機関で類似のものが開発されていることが判ったり、市販品の部分改良で問題解決できることが判ったりし、開発費用の大幅な節約が可能となる。

(5) 方式の決定

収集した情報や担当者の経験等を基に、技術検討を行い、開発目標が達成できると考えられる ISI ロボットの概念を検討し、そのうち総合的に最も良いと考えるものを1つないし2つ選ぶ。

ここでは方式の概念を明確にしておき、細部については開発の進展に基づいて順次決めてゆく。

(6) 開発課題及び達成目標の設定

上記(5)で決定した方式を実用化するにあたって、現時点で未知の事項を分析・整理して明らかにし、開発課題として設定する。そして各開発課題は、どのレベルまで開発する必要があるのかを明確にし、各項目毎に達成目標を設定する。

達成目標は可能な限り、定量的・具体的に設定する。

(7) 部分試作・試験、検査・計測開発試験

全体試作を行うにあたって、情報収集の結果、設計パラメーターが全く得られなかった部分については、全体試作の前に、各部の部分試作・試験、検査計測技術の開発試験等を行い、全体試作のための設計パラメーターを得る。

全体試作の設計を先に行えば、この部分の試験の要否がより明らかになる。

なお、この部分の試験データは、基礎・基盤技術として他の ISI ロボットの開発にも利用されることが多い。

(8) 全体試作・試験

収集した情報や部分試験の成果、技術検討結果等を基に全体試作を行い、試作した ISI ロボットを対象に、試験設備を用いて試験を行う。

上記 (7) 項及び本 (8) 項に関し、今までに実施してきた ATR 用 ISI ロボット開発の成果の中から、役立ちそうな技術情報を参考として次に列挙する。

(1) ISI ロボットシステム

放射線が非常に強い場所や、人が接近するスペースの無い場所に使用するロボットについては、万一故障したときでも、回収できる機能を含める。

(2) 機械系

(a) 限られた狭いスペースに多数の部品を収める必要がある場合には、部品の強度余裕には最適設計が要求される。特に駆動機構部の部品の耐久性を検討する際、材質と寸法のみでの検討では十分な耐久性が得られないケースが多々あるが、このときには、仕上精度を高めることにより耐久性を向上することができる。駆動機構を作動させたとき、大きな騒音や振動が発生する場合は、エネルギー損失が大きいことを示しており、実機として信頼できる耐久性は得られないと考えた方がよい。

(b) 水中で使用する装置は、電子回路および一部の駆動機構が密閉された容器に収められることがある。この容器のシール部分に、駆動軸のシール部が含まれていると、完全なシールをするのが難しくなる。従って水の浸入を防ぐため、容器内部に水圧よりやや高い (水圧 + 1 kg/cm²G 程度) 圧力の乾燥ガス (窒素又は空気) を封入する。放熱効果を考慮してヘリウムガスを用いることも良いが、目視検査装置において、耐放射線性向上のため撮像管に石英ガラスを用いている場合は、撮像管に悪影響を及ぼすので、ヘリウムガスを封入してはならない。

また、駆動部で水に接する部分は、摺動部に潤滑剤が使用できない。この部分は材質の組合せを考慮すると共に、摺動部の角は R 面仕上とし、カジリを防止する。

(c) 検査対象物に損傷を与えない構造・材質とする。装置のうち、検査対象物と接触するコーナー部はゆるい R 面仕上とした上、検査対象物の材料とカジリを生じない材料を選ぶとか、検査対象物より柔らかい材料を選ぶとかの対策を施す。

(d) 装置には普通、電力・信号伝送用ケーブルが設けられる。装置が移動するとき、このケーブルが装置の構造材や検査対象物と接触してケーブルが損傷したり、ケ

ケーブルの重みや接触抵抗で、装置が動かなくなったりすることがある。従って、ケーブル処理機構を設ける等、ケーブル処理には特別の配慮を払う必要がある。ケーブルによるトラブルは意外と多いので、注意を要する。

(h) システムのS/Nを確保する。

装置の狭いスペースの中に多数のアナログおよびデジタル信号処理・伝送系や電力処理・伝送系が混在する場合には、測定信号および制御信号に電気ノイズが混入する。このため、シールド、フィルター等の対策をきちんと施す。

モーターをパルス状電力で駆動する場合、この電力が強いノイズ源となり上記対策では処理できないケースがある。このときは、モーター用電力と測定信号や制御信号との同期をとり、測定信号や制御信号の取り込み中には、モーター用電力を送らないようにする。なお、微細欠陥の検査等で信号そのものが非常に小さい場合には、特別に信号の解析・処理装置を設ける必要がある。

(二) 放射線対策

(a) 耐放射線性データの無い電子部品および電子回路は、照射試験を行う。圧力管ISI装置のように、放射線レベルが非常に高い場合は、部品の放射線損傷だけでなく、放射線によって電子回路が誤動作することがある。また、同じ部品でも通電しない状態で照射されても損傷しないが、通電した状態で照射されると損傷するものがある。

従って使用実績の無い電子回路については、部品単体(部品に通電しない状態)の照射試験だけでなく、電子回路に通電した状態で照射しながら、電子回路の動作特性を確認しておくことを忘れてはならない。照射試験を行う施設は、原研高崎研究所のコバルト60照射施設が適している。

(b) 照射試験時の注意事項

(i) 試料がある程度大きい場合は、距離に伴う減衰と試料そのものの遮蔽効果によって、試料の各部で線量率の違いが生じる。このため最も線量率の低い部分で所定の線量率が得られるように試料を設置する。

(ii) 実際に照射された線量を確認する(試験の信頼性を高める)ために、ガラス線量計を試料の各部に取り付けておき、照射終了時に測定する。

(iii) 同じ線量の照射でも、線源がCo60の場合は燃料の場合よりダメージが小さいと言う報告もあるので、Co60線源を用いる時には、所定の線量より高めの照射を行うことが望ましい。

(iv) 照射試験は、やり直しが効かない。従って、試験の効率を高めるためには、準備を入念に行うと共に、試験結果の考察が具体的、定量的かつ詳細に行える

よう、十分のデータを収録しておくことが大切である。

(c) 放射線環境下で使用できる部品のうち、主なものは次の通りである。

(i) 電子部品

抵抗、コンデンサー、コイル、トランジスター、TTL-IC、ビニル絶縁
電線、モーター、磁気式エンコーダー

(殆んどのLSIに使用されているMOS-ICは放射線に弱い)

(ii) 高分子材料

ポリイミド樹脂、エチレンプロピレンゴム

(iii) ガラス

石英ガラス

(ホ) 計測系

高精度の寸法測定が必要になる部分については、熱膨張による誤差が問題となる
ので、注意を要する。

(9) 実機設計・製作 (実機転用)

試作試験等の成果を基に、実機の設計・製作を行う。試作したISIロボットの部
分手直して実機の製作が可能な場合は、経費軽減のために試作機を実機転用する。

(10) 評価

各開発段階において、試験結果等の評価を行い、開発の進め方等について調整して
ゆく。

評価を行う際の判断基準は、開発の初期に定めた開発目標及び開発課題の達成目標
とする。

(11) 改良

試験結果等の評価結果に基づき、改良事項を明確にして改良を行う。

(12) 試験設備の設計・製作

6.(2)項で明らかになった、環境条件・制限条件が模擬できる試験設備の設計・製作
を行う。設計製作にあたっては、これらの条件について実際の条件の中で最もきびし
い条件値が、それぞれ模擬できるようにする。

放射線条件については、設備が大規模になるので、原研等の照射施設を活用するこ
とを考える。

ISIロボットの性能のうち、検査精度、測定精度、位置決め精度等は、実際の使

用時には確認できない事項が多いので、試験設備を用いた試験の際に明確にする。これらの精度を測定する測定器や基準ゲージ、試験体等については、ISI ロボットの精度より良いものが必要であり、一般的には一桁程度高い精度のものを準備すれば十分である。

試験設備の規模は目的に応じて、簡易なものから大規模なものまで様々である。

(13) 技術検討・創意工夫

技術検討・創意工夫は開発局面の全般に亘って必要になるものであり、自動化、ルーチン化が難しい部分である。また開発の成否のカギを握る重要な部分でもある。この部分に十分な時間と労力がかけられるよう、他の部分は極力自動化、ルーチン化を図る必要がある。

課題解決案の作成等は、ここで成される。

(14) 特許・実用新案申請

開発テーマが、従来存在しない全く新しいロボットである場合において、技術検討、創意工夫の結果、技術的問題点を解決又は改善できる方策が見出された際には、これらはすべて特許・実用新案の対象になり得ると考えてよい。

(15) メーカーの選定

動燃は、ロボットの製作設計・製造部門を有していないので、試作等についてはメーカーに外注することになる。メーカーの選定にあたっては次の事項を基準に選定するとよい。なお、企業の大きさは、あまり重要な判断基準とはならない。

- (イ) 同種技術の経験・情報を有する
- (ロ) 新技術の開発へチャレンジする意欲がある
- (ハ) その他

(16) データ収録・処理・整理

データの収録・処理・整理は開発業務のうち重要な部分であり、かなりの時間と労力を要する。

近年パソコンの性能が飛躍的に向上しており、市販のソフトでこれらの作業の大部分がルーチン化できるようになった。開発業務を効率的に進めるには、パソコンの利用は不可欠と考えられる。また、パソコンにより情報をデジタル化できるので、データベース化が容易になる。

特別の解析コードを用いて、解析を行う必要がある場合には、解析コードを動かす大型計算機等にパソコンをネットワーク接続して、パソコンから大型計算機等を

働かせ、解析結果を再びパソコンに取り込みデータ処理整理することによって、データ整理が容易になる。

なお、ロボット開発試験で得られるデータは、数値のみでなく、写真、映像、波形、図、文字といった種々のデータがあるので、マルチデータが扱えるMacintoshやMS-WINDOWS対応パソコンが適している。

(17) データベース化

技術開発の成果をデータベース化することにより、情報を共有化することができる。これによって情報の多重利用が可能となる。これは動燃の技術開発の効率向上に計り知れない効果があるので、第三者が理解し易い形に整理して、データベース化する。

(18) その他

研究開発は一般的にそうであるように、ISI ロボットの開発においても、開発目標が高ければ高い程、途中段階における部分的な失敗や試行錯誤を伴い、相当ストレスもたまる。従って開発を成功に導くためには技術的な面だけでなく精神的な面も重要である。

特に大切なのは、直面した問題から目をそらさないことと、楽観的な気持ちを持ち続けることである。

7. おわりに

ATR 「ふげん」においては、原子炉一次冷却系機器・配管の健全性確認のために義務付けられたISI を実施してゆくのに必要な ISI ロボットは実用化され、原子炉の安全運転に寄与している。

しかし、今までの ISI ロボットの開発は、安全性を確保するために必要に迫られて実用化されてきたと言える。そして ISI と言えば費用と労力がかかるだけで、ISI の実施そのものが直接経済性向上に結び付くことが少なかった。

今後は ISI の実施が安全性向上だけでなく、直接原子力発電の経済性向上に結び付くような技術開発を行う必要がある。

例えば、機器・配管の寿命評価を定量的に行うための検査データを得る ISI (モニタリング) ロボットを開発して、健全性を十分確認したうえで原子炉の使用期間が30年であったのを50年に延ばしトータルコストを低減するとか、材料の劣化度を定量的に調べて、十分な余裕をもって適切な補修計画が立てられるようにするといった、

一歩進んだISIロボットの開発が重要であると考られる。

幸いにも、今後、ロボット関係、非破壊検査、エレクトロニクス、マイクロメカニズム、コンピューター、AI、レーザー等、ISIロボットの開発に不可欠な要素技術は、ますます進歩する様相を呈しており、これらの技術は原子力発電の経済性向上を目的としたISIロボットの实用化に対し、大きな支えになると考えられる。

参考文献

- (1) K.Naruo,T.Nakamura,Development of Pressure-tube Inspection Equipment and Experience in "FUGEN"(ATR), Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.30,No.7,July(1993)
- (2) K.Naruo,T.Nakamura,Development of Pressure-tube Inspection Equipment and Experience in FUGEN (ATR), The 1st JSME/ASME Joint International Conference on Nuclear Engineering, e-20,November 4-7,1991
- (3) 金子 淳、尾嶋弘行、谷本健一、江橋政明 : 「ふげん」のISI装置の開発と使用実績、動燃技報 No.58、資料番号58-1、1986年6月
- (4) 成尾一輝、谷本健一、: ふげん発電所の運転実績(その2-B) 圧力管モニタリング装置の開発と使用実績、原子力学会昭和60年秋の分科会E48、1985年10月
- (5) 成尾一輝、谷本健一、太田猛男、中村孝久、今泉清、: 「ふげん」の圧力管検査装置の開発と使用実績、動燃技報 52、資料番号52-1、1984年12月

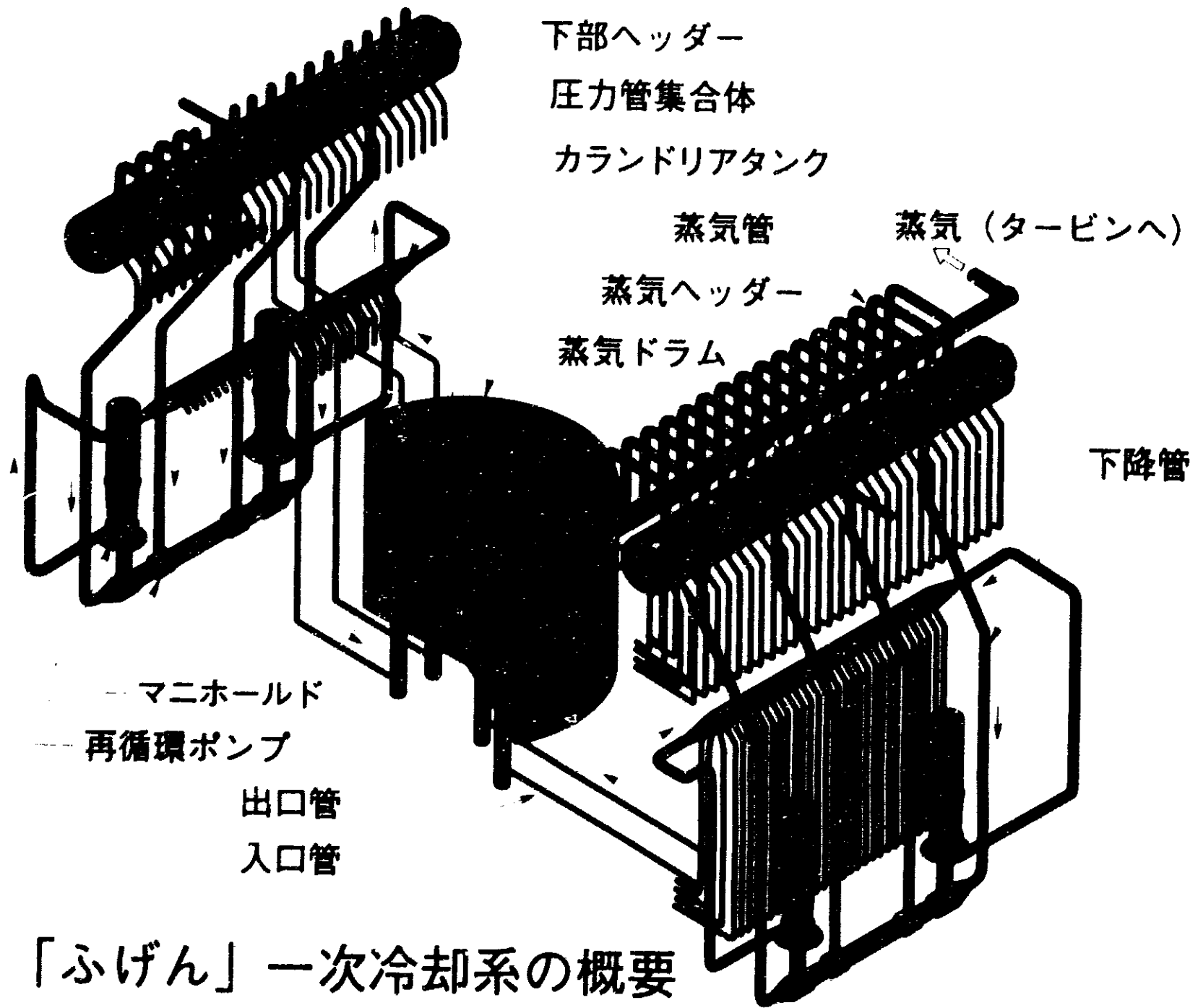


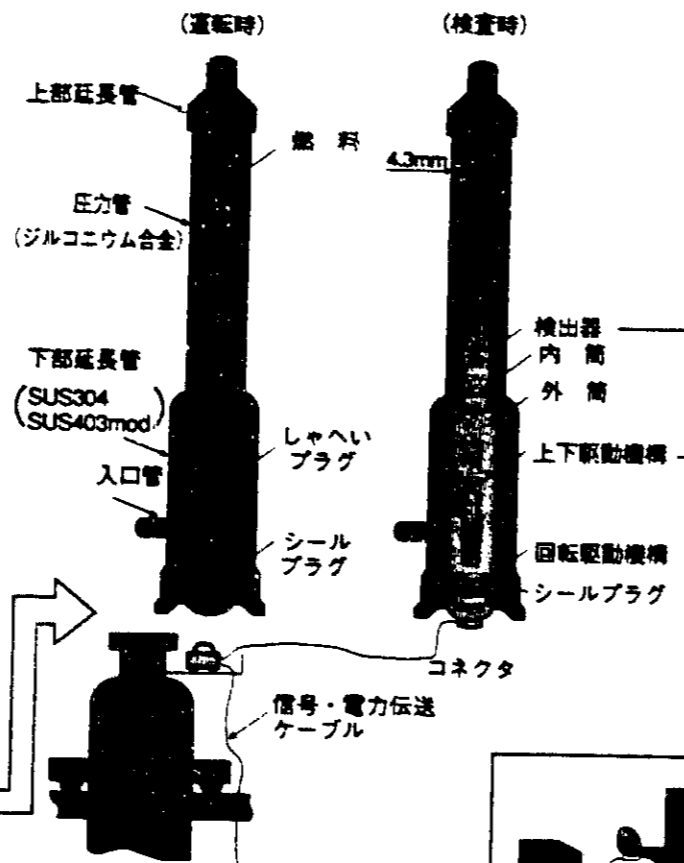
図1 「ふげん」 一次冷却系の概要

新型転換炉「ふげん」の圧力管供用期間中検査 (ISI) 装置開発

概要

新型転換炉 (ATR) の圧力管集合体は、原子炉の炉心を構成する重要機器です。このため原子炉供用期間中に、その健全性を確認するために、供用期間中検査 (ISI) を行うことが義務付けられています。圧力管集合体は、ジルコニウム合金製の圧力管とその上部・下部に接続されたステンレス鋼製の延長管から成る全長約9 mの長尺管であること、内部が高放射線環境下にあることから、人手による検査が行えません。そこで、検査員がひばくせずに、短期間に、高精度の検査が行えるようにすることを目的に、各種の圧力管ISI装置の開発を行っています。

圧力管 ISI 装置は、原子炉に備えられている燃料交換機を利用して、検査装置の圧力管への取付及び圧力管からの取外しが遠隔操作で行えるよう、燃料集合体と同じ大きさまで小型化しました。また、検査は制御盤からの遠隔操作で行えるようにしました。これにより、ひばくせずに短期間にISIが行えるようになりました。



1. 超音波探傷-内径・形状測定装置 内表面観察装置

内径・形状測定センサー
超音波探傷センサー

- 超音波探傷
周波数: 5MHz, 10MHz
入射角: 26度
検出性能: 長さ5mm
X幅0.1mm
X深さ0.1mm
- 内径測定
測定精度: ±20µm
測定範囲: 117.5mm
~120mm
- 形状測定
測定精度: ±30µm

方式: ITVカメラ (白黒)
観察性能: 長さ2mm
X幅0.1mm
X深さ0.2mm

2. ロールジョイント(RJ)部超音波探傷・圧力管伸び測定装置

- ロールジョイント部
超音波探傷
周波数: 10MHz
入射角: 26度
検出性能: 長さ3mm
X幅0.07mm
X深さ0.05mm
- 圧力管伸び測定
測定精度: ±1.0mm
測定範囲: 4780mm
~4815mm
- 長さ測定センサー
超音波探傷センサー

3. 下部延長管超音波探傷装置

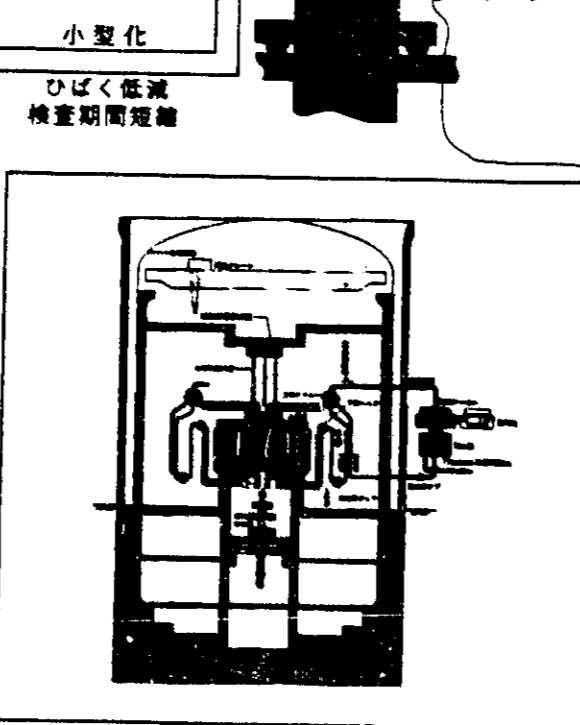
周波数: 2.25MHz
入射角: 20度
検出性能: 長さ10mm X 幅0.2mm
X深さ0.5mm
(材料肉厚28mm)
15mm

上下駆動機構

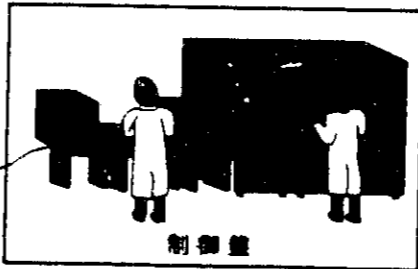
駆動方式: ラック&ピニオン方式
ストローク: 約2.6m (最長)
位置検出精度: ±2mm



供用前検査 (PSI) 装置



新型転換炉ふげん発電所



制御盤

圧力管ISI装置

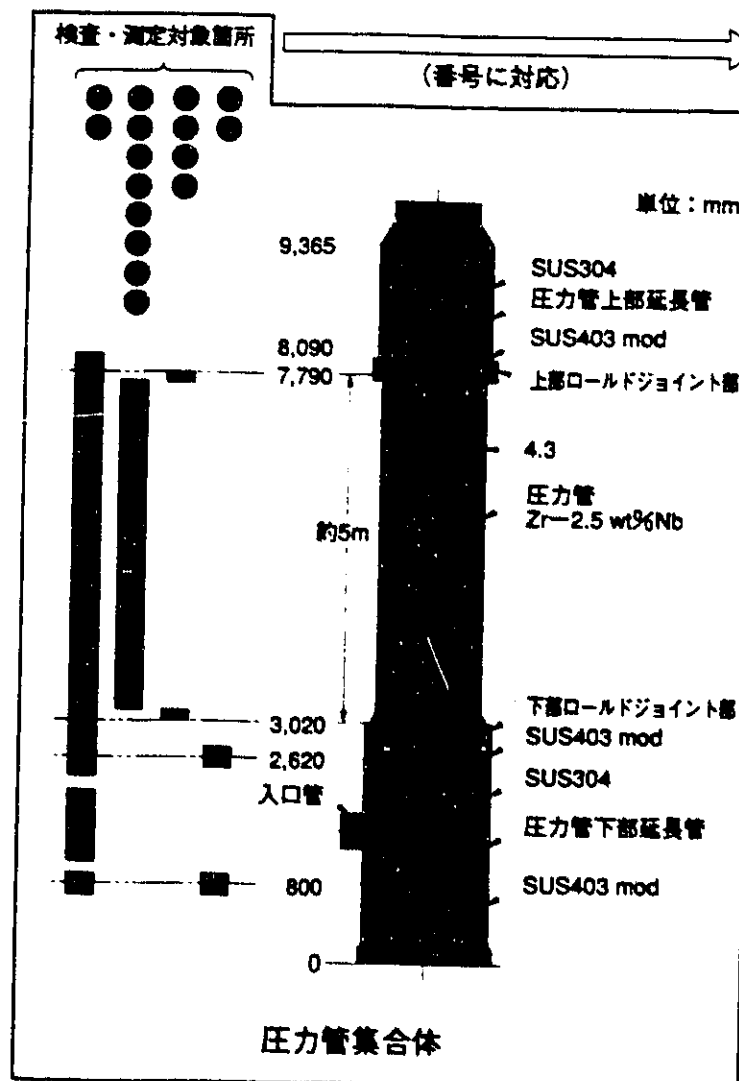
圧力管ISI装置の仕様

項目	装置		超音波探傷-内径・形状測定装置	内表面観察装置	RJ部超音波探傷-圧力管伸び測定装置	下部延長管超音波探傷装置
	測定方式	測定方式	超音波	テレビカメラ	超音波	超音波
上下駆動機構	方式	方式	ラック&ピニオン式	同左	同左	同左
	速度	速度	30~300mm/分	200~800mm/分	180mm, 300mm/分	120~600mm/分
回転駆動機構	方式	方式	歯車式	同左	同左	同左
	速度	速度	0.1~1回転/秒	1回転/分	2回転, 4回転/分	2~4回転/分
使用条件 (各装置共通)	放射線: 約3×10 ³ SV/h 環境: 軽水 温度: 10℃~40℃ 圧力: 最高4Kg/cm ²					

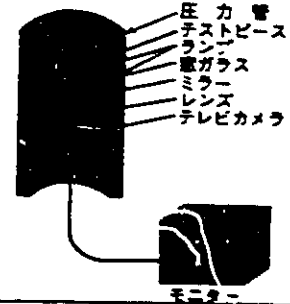
新型転換炉「ふげん」の圧力管検査測定技術開発

概要

新型転換炉(ATR)の炉心を構成する圧力管集合体の、健全性評価及び余寿命評価のために必要なデータが得られるよう、圧力管集合体の検査・計測が、遠隔操作により、高放射線環境下の中で、高精度に、非破壊法で行える技術の開発を行っています。ここで開発した技術は圧力管ISI装置に搭載して使用することを前提として、開発を進めています。

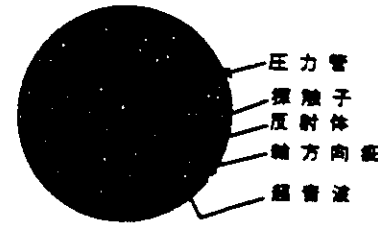


原理: テレビカメラ式(高放射線性白黒及びカラーテレビカメラ)
観察性能: 長さ2mm×幅0.1mm×深さ0.2mm



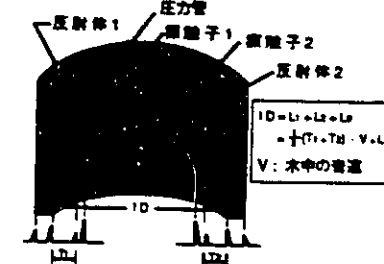
① 内表面観察検査

原理: 超音波法(パルスエコー式水浸斜角探傷法)
周波数: 5MHz, 10MHz
入射角: 26度
探検出能: 長さ5mm×幅0.1mm×深さ0.1mm



② 圧力管超音波探傷検査

原理: 超音波法(非接触)
周波数: 15MHz
測定精度: ±20µm
測定範囲: 117.5mm~120mm



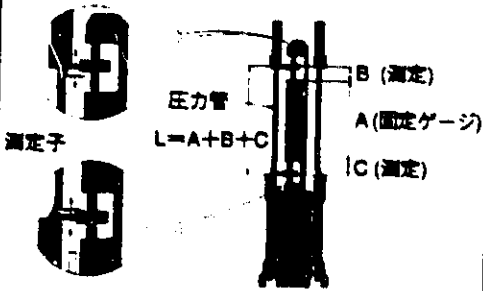
③ 圧力管内径測定

原理: 超音波法(パルスエコー式水浸斜角探傷法)
周波数: 10MHz
入射角: 26度
探検出能: 長さ3mm×幅0.7mm×深さ0.05mm



④ ロールドジョイント部超音波探傷検査

原理: 固定ゲージ+パルスエンコーダー
精度: ±1.0mm
測定範囲: 4785mm~4815mm



⑤ 圧力管伸び測定

原理: 超音波法(パルスエコー式水浸斜角探傷法)
周波数: 2.25MHz, 5MHz
入射角: 20度
探検出能: 長さ10mm×幅0.2mm×深さ0.5mm



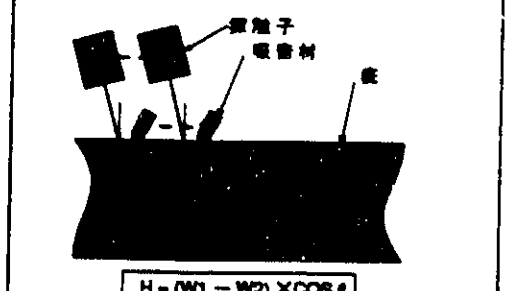
⑥ 下部延長管超音波探傷検査

原理: 半径及び測定位置(角度)を測定し、圧力管円周方向断面形状を測定。
測定精度: ±30µm



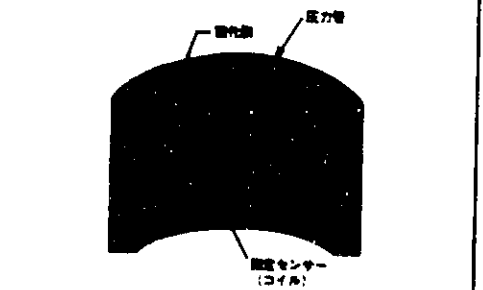
⑦ 圧力管形状測定

原理: 超音波法(パルスエコー法)
精度: ±0.5mm (圧力管の自然歪)



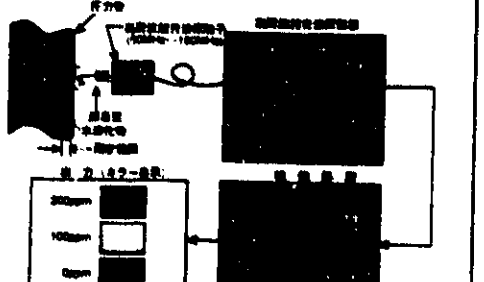
⑧ 疵深さ測定

原理: 電磁誘導法
精度: ±10µm
測定範囲: 0~200µm



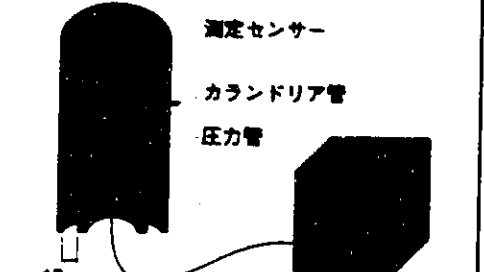
⑨ 圧力管酸化膜厚さ測定

原理: 高周波超音波法
精度: ±10ppm (目標)
測定範囲: 30~300ppm (目標)



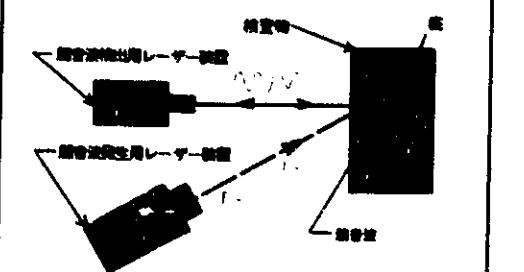
⑩ 圧力管水素化物測定

原理: 電磁誘導法
精度: ±1.0mm (目標)
測定範囲: 0~15mm (目標)



⑪ 圧力管-カランドリア管ギャップ測定

原理: レーザー光で検査対象物に超音波を発生させ、そこから返ってくる超音波を別のレーザー光で検出する。
探検出性能: 従来法と同等 (目標)



⑫ レーザー法超音波探傷

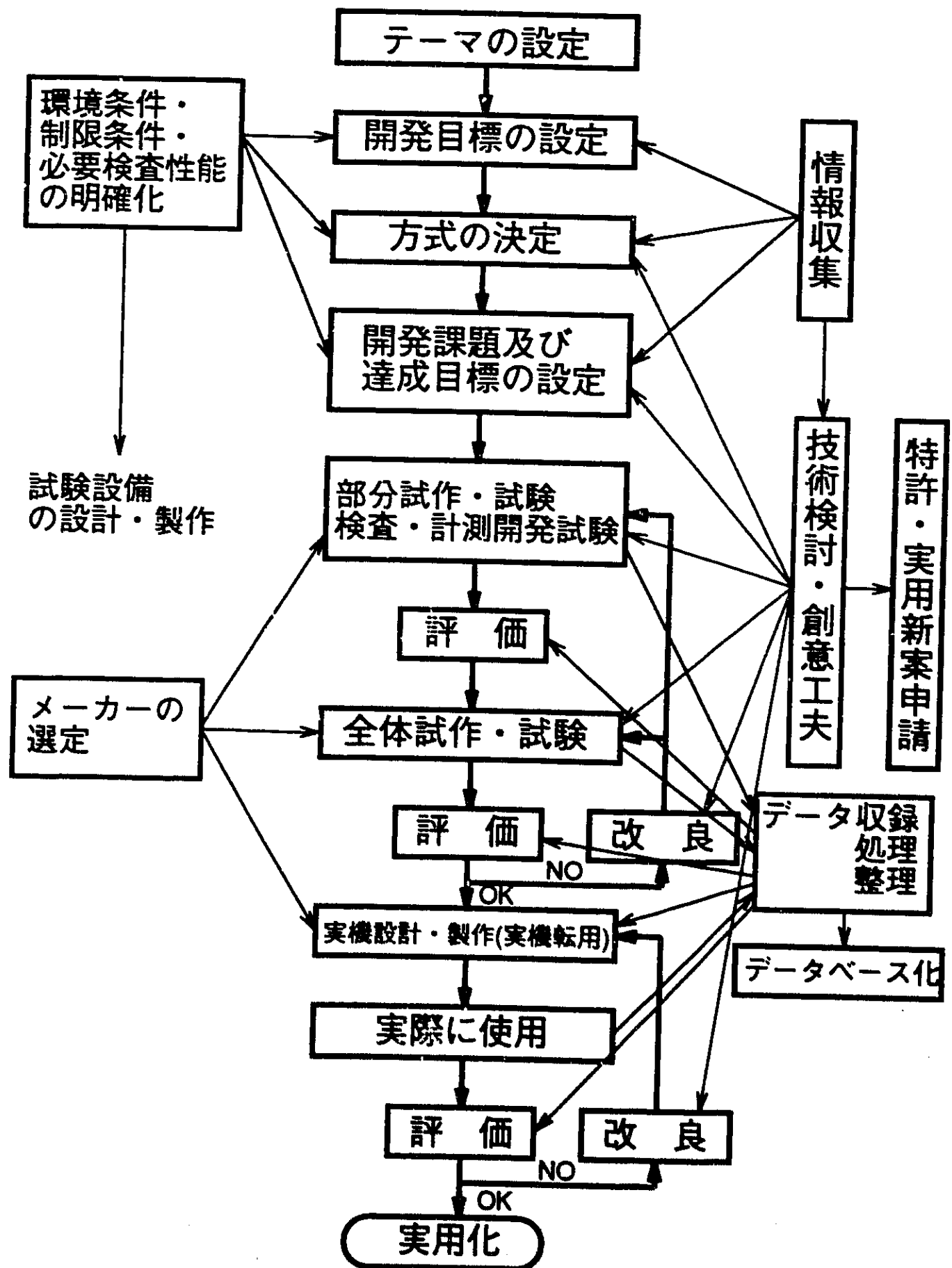


図5 ISIロボット実用化のフロー