

放射性核種自動分析装置の開発

Development of Automated Radionuclide Analysis Equipment

原子力発電所では、プラントの健全性確認、従業員の健康確保、放射性物質の系外放出の監視などのために、低レベルの放射能測定作業が多くの人手を要しており、自動化が望まれてきた。この要求にこたえて、マイクロコンピュータによる自動化と放射性物質の付着防止による無保守化を目標に、電力会社と日立製作所とが共同で、イオン交換樹脂カラム方式による原子炉水の放射性核種自動分析装置、銀-アルミナ捕集器を使用したヨウ素ガスモニタ、非接触通水方式によりバックグラウンド放射能の上昇を抑えた改良形排水モニタを開発した。

石塚 昭* Akira Ishizuka
水野雄弘** Katsuhiko Mizuno
甲斐孝明*** Takaaki Kai
綿引一男**** Kazuo Watahiki
北口博司***** Hiroshi Kitaguchi

1 緒 言

原子力発電所での放射能測定では、人手を要する γ 核種分析の自動化及び低レベルの全 γ 放射能測定技術が望まれている。

低レベルの γ 核種分析では、妨害核種の影響を除くために、イオン交換樹脂などにより選択的濃縮を行ない計測しているが、特に多試料を取り扱う燃料検査時では、イオン交換樹脂カラム作製及び測定作業に多大な労力¹⁾を要している。このたび東京電力株式会社と日立製作所が協力して、カラム作製から計測、データ処理までを自動化した原子炉水の放射性核種自動分析装置²⁾を開発した。この装置は、燃料検査時の炉水ヨウ素測定に威力を発揮するほか、炉停止時のヨウ素スパイク測定、通常運転時のヨウ素測定、更に、カラムを変えることにより陽イオン核種測定も可能となり、幅広い用途に適用できる。

同様に、東京電力株式会社との協力のもとで開発したガス

中ヨウ素自動分析装置は、建屋内空気中のヨウ素放射能測定及び換気系排気中のヨウ素測定に使用でき、きめの細かい放射線管理を可能とした。

また、発電所から放出される排水中の放射能レベルは低く、測定系内のバックグラウンド放射能が問題となっていたが、東北電力株式会社をはじめ、東京電力株式会社、中部電力株式会社及び中国電力株式会社の協力を得て、非接触通水方式の改良形排水モニタ³⁾を開発し、長期にわたって安定した性能が維持できることを確認した。

2 原子炉放射性核種自動分析システム

原子力発電所での一次冷却水の放射能分析業務は、燃料管理、水質管理上不可欠である。しかし、この分析業務の多くは、手分析、手作業で実施しているため、放射線被曝量低減、

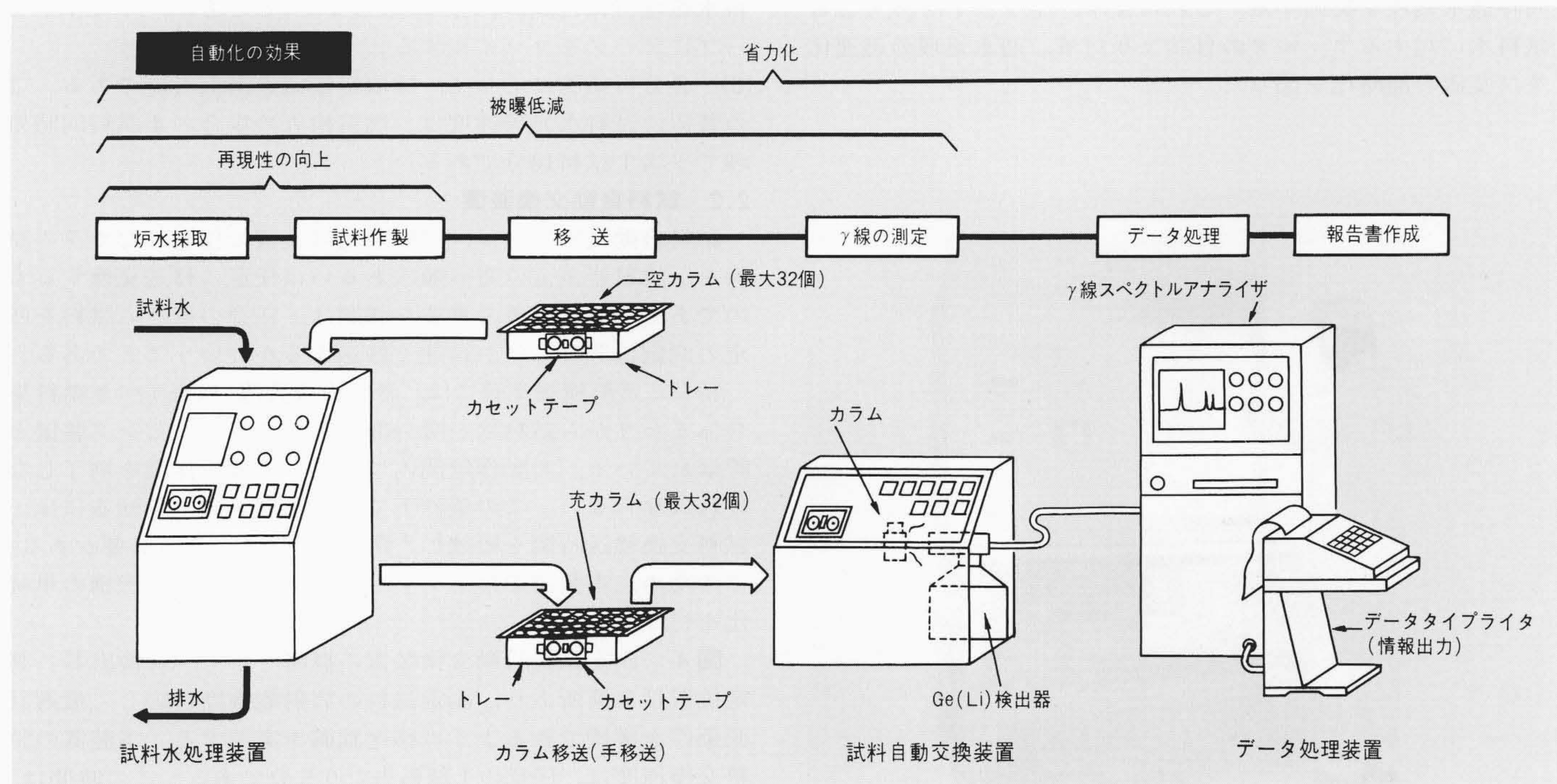


図1 原子炉水放射能自動分析システムの構成 原子炉水の自動採取から放射能分析業務の報告書作成までの、全自動化を可能にする。

* 東京電力株式会社原子力開発研究所

** 日立製作所大みか工場

*** 日立エンジニアリング株式会社

**** 日立製作所電力事業本部

***** 日立製作所エネルギー研究所

省力化の観点から改善の余地が多い。特に、定期検査時の燃料検査のように、分析サンプルが集中して発生する場合には、分析自動化の必要性が高い。このようなニーズにこたえるため、今回、放射能分析業務の自動化システムを開発した。本システムの構成を図1に示す。本システムの特長は、試料の採取から報告書作成までの一連の分析業務のうち、処理済み試料の移送を除くすべての作業を一貫して自動化したこと、更に、試料を濃縮捕集し、低濃度試料も精度良く分析できるようにしたことである。本システムでは、これらの作業を試料水処理装置、試料自動交換装置及びデータ処理装置の三つの装置により自動化した。これらの相互関係を図1下段に示す。以下、個々の装置について述べる。

2.1 試料水処理装置

試料水処理装置は、放射能分析の分析試料を作製する装置であり、試料水処理の方法や機能が、直接本分析システムの性能に影響する。この装置の設計で最も重要視した点は、分析対象核種の低濃度分析を可能にすることである。このため、本装置では、分析対象核種を分析対象外の妨害核種と分離し、イオン交換樹脂に濃縮捕集する方式を取り上げて開発した。

試料水処理装置の外観を図2に、また試料水処理装置のフローシートを図3に示す。本装置の処理工程は、原子炉水の採取定量、ロール状ミリポアフィルタによる汙過、イオン交換樹脂カラムへの通水と分析対象核種の濃縮捕集、装置内の洗浄に分けられ、起動信号に従って全工程を自動的に実施する。本装置の主な特長は以下に述べるとおりである。

- (1) 任意に移動可能であり、サンプリング場所の近くに適宜配置できる(寸法幅750cm×奥行100cm×高さ180cm)。
- (2) 装置はすべてマイクロコンピュータで自動制御し、定常運転時、原子炉停止時及び燃料検査時に必要なシーケンス処理プログラムを格納している。
- (3) 汉過とイオン交換樹脂カラムの通水に圧縮空気を用いて、同時通水処理を実施する。これにより、クラッドを多く含む試料水に対するフィルタの目詰まり対策、通水処理の迅速化及び装置の簡略化を図った。



図2 試料水処理装置の外観 スタートスイッチを押す操作だけで、放射能測定試料のイオン交換樹脂カラムを作製する。スタート信号は容易に外部装置(一例として、燃料検査の SHIPPING 装置)と同期を取ることができる。

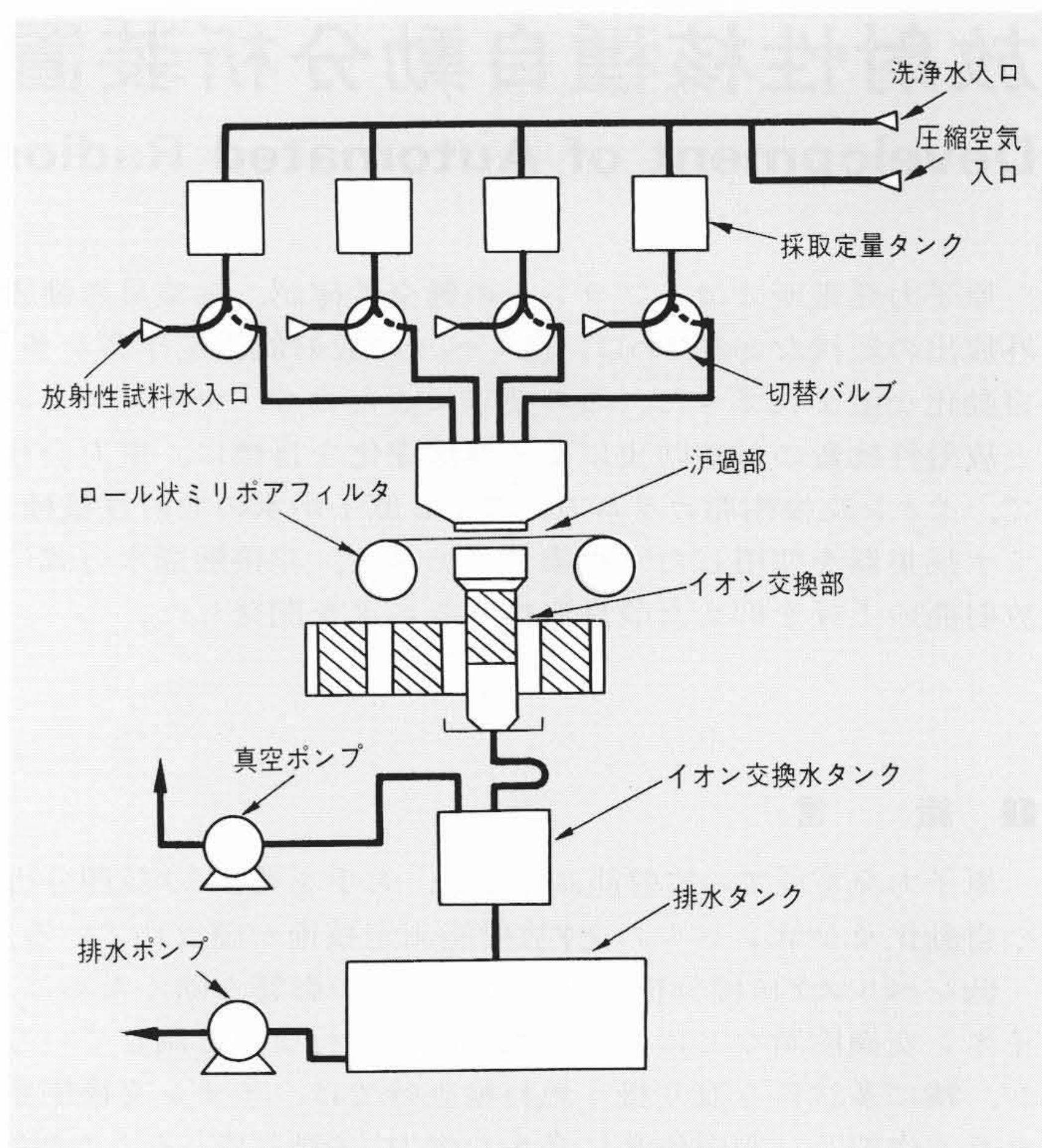


図3 試料水処理装置のフローシート クラッドの除去(汉過)と放射性核種のイオン交換樹脂への捕集を同時に実施し、試料水の迅速処理を可能にしている。

- (4) 試料水の処理は、トレイ単位に収納される32カラム(32試料)まで連続処理が可能である。
- (5) 燃料検査時には、分析試料番号(カラム I・D)に対応した検査燃料のバンドル番号が入力可能であり、それ以外の試料水処理情報(採取時刻、採取量など)とともに、カセットテープにデータをファイルする。
- (6) 各分析業務に応じて、採取定量値を選択可能である。この装置の試料水処理速度は、燃料検査の場合の4試料同時処理で平均1試料10分である。

2.2 試料自動交換装置

試料自動交換装置は、試料水処理装置で作製したカラム試料を、放射能測定位置へ順次あるいは任意に移送交換するものである。この装置の重要な課題は、任意のカラム試料を所定の測定位置へ、いかに速く移送するかということである。

特に、燃料検査業務では、燃料検査装置(検査すべき燃料集合体まわりから試料水を吸い取る装置で、SHIPPING 装置と呼ばれる。)の動作時間内に遅滞なく分析作業を終了しなければならない。この条件下で測定精度を向上させるには、試料交換移送時間を短縮し、測定時間を長くとる必要がある。このため、本装置ではアクチュエータの高速化と機構の単純化を行なった。

図4に測定試料自動交換装置の概略を示す。Ge検出器の測定位置は3箇所あり、測定試料の放射能強度に応じて最適計測条件を維持できるように移送制御を実施する。本装置の試料交換速度は、任意の1試料当たり5分である。この時間は、最適測定位置を選定するための予備測定時間10秒と本測定時間200秒を含めたものである。したがって、本装置とGe検出器1台の組み合わせで、前述した試料水処理装置2台分の試料を測定可能とした。

その他、本装置ではカセットテープのデータファイルリ

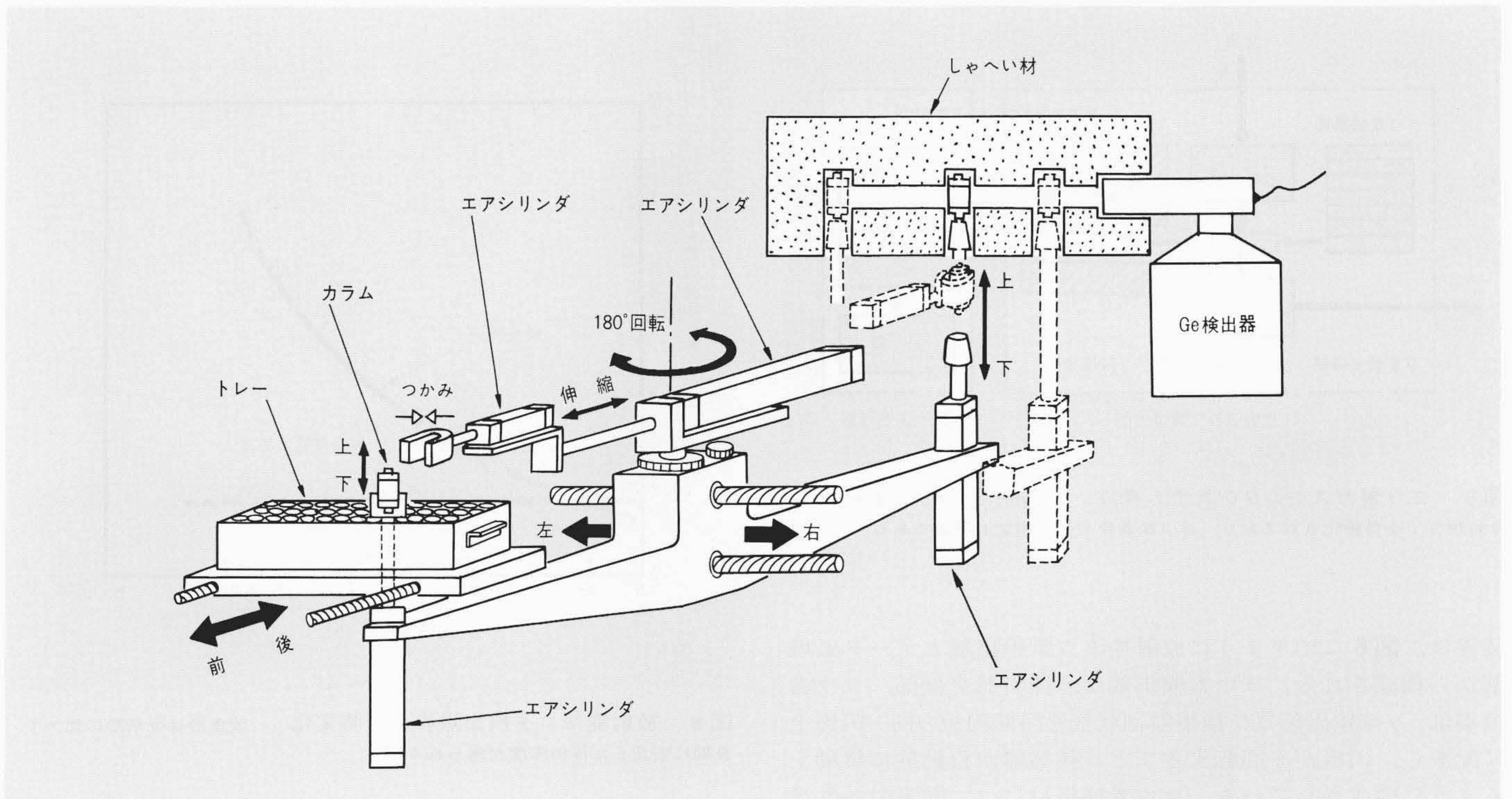


図4 試料自動交換機構の概略 トレーに収納してあるカラムの位置座標を交換制御信号とし、カラムのランダム交換を容易にしている。

ダや、交換移送、測定などのグラフィック状態表示を完備し、操作性の向上を図った。

2.3 データ処理装置

データ処理装置は、試料自動交換装置と放射線測定器に制御指令を与え、任意試料の放射能測定、 γ 線スペクトル解析、報告書の作成を自動的に実施する。このデータ処理装置の特長は、放射能の測定処理以外に、各分析業務固有の処理も実現できるようにしたことである。例えば、燃料検査の場合には、分析結果に基づき、検査燃料の「破損なし」、「破損の疑いあり」、「破損あり」の判定処理まで実施できる。更に、カセットテープから伝達されるファイルデータに基づき、燃料バンドル番号と対応付けた報告書の作成も可能とした。

2.4 性能試験結果

本システムの分析精度を決める要因は、試料採取時の定量誤差、イオン交換樹脂による捕集効率のばらつき、放射能測定時の統計誤差などが主要なものである。複数の試料を連続分析する場合には、以上のほかに、試料処理ごとに実施する系の洗浄の不完全さによるメモリ効果に基づく誤差がある。データ処理装置に出力される分析結果の精度は、これらの誤差を総合したもので決まる。図5に開発したシステムの性能試験結果を示す。試験は2段階に分け、前半では同一濃度の試料水の繰返し分析、後半では異なる濃度の2種類の試料水を交互に分析し、メモリ効果をも含めた分析誤差を確認した。いずれの場合も、分析誤差は5%以下であり、十分、現行の手分析に代わり得ることを確認した。

以上、放射性核種自動分析システムの構成と性能について述べたが、本システムを燃料検査時の分析に適用した場合を想定すると、現行、1直8人で実施している分析を4人で実施可能であり、3直交代制の場合には12人の分析要員を削減できる。したがって、本システムにより、分析要員の個人差の排除による分析精度向上、放射線被曝量の低減に加えて、省力効果についても十分期待できる。

3 ヨウ素ガスモニタ

放射性ヨウ素については従業員の内部被曝管理のために、安定、かつ低レベル濃度の測定を定期的に行なう必要がある。従来、原子力プラント建屋内の放射性ヨウ素の検出には活性炭を使用し、その交換と計測部への着脱などはすべて分析員により手動で行なわれていた。しかし、ヨウ素濃度の異常上昇の早期検出とこれに対応した汚染地域の拡大防止を図る必要があるために、ヨウ素の捕集から捕集器の交換、測定及びデータの処理までを、すべて自動化した装置を開発した。本

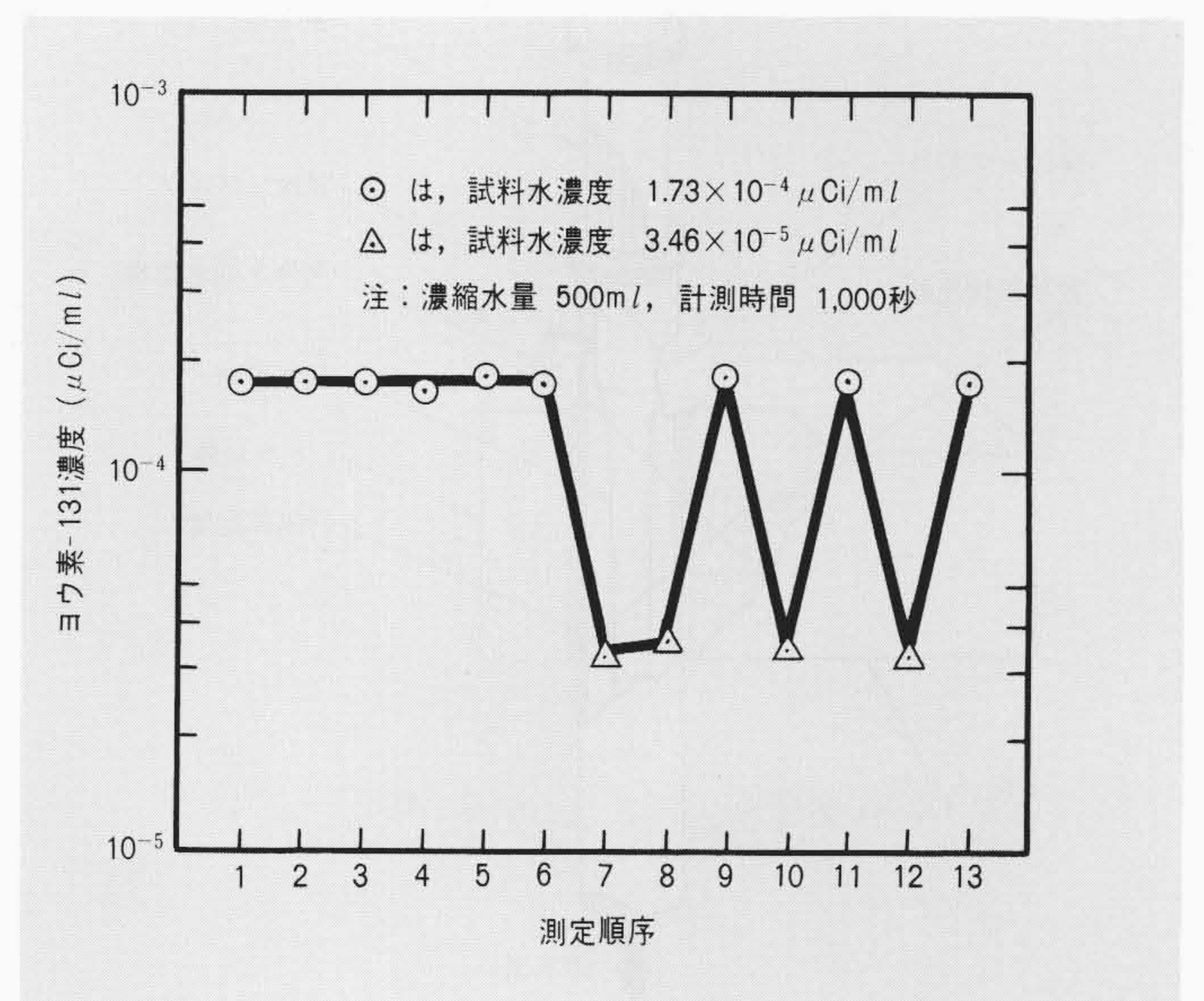


図5 放射性核種自動分析システムの放射能分析再現性試験結果 本システムの放射能分析精度を評価する再現性試験結果を示す。濃度の異なる試料水を交互に処理する場合でも、±5%変動幅以内に性能維持ができる。

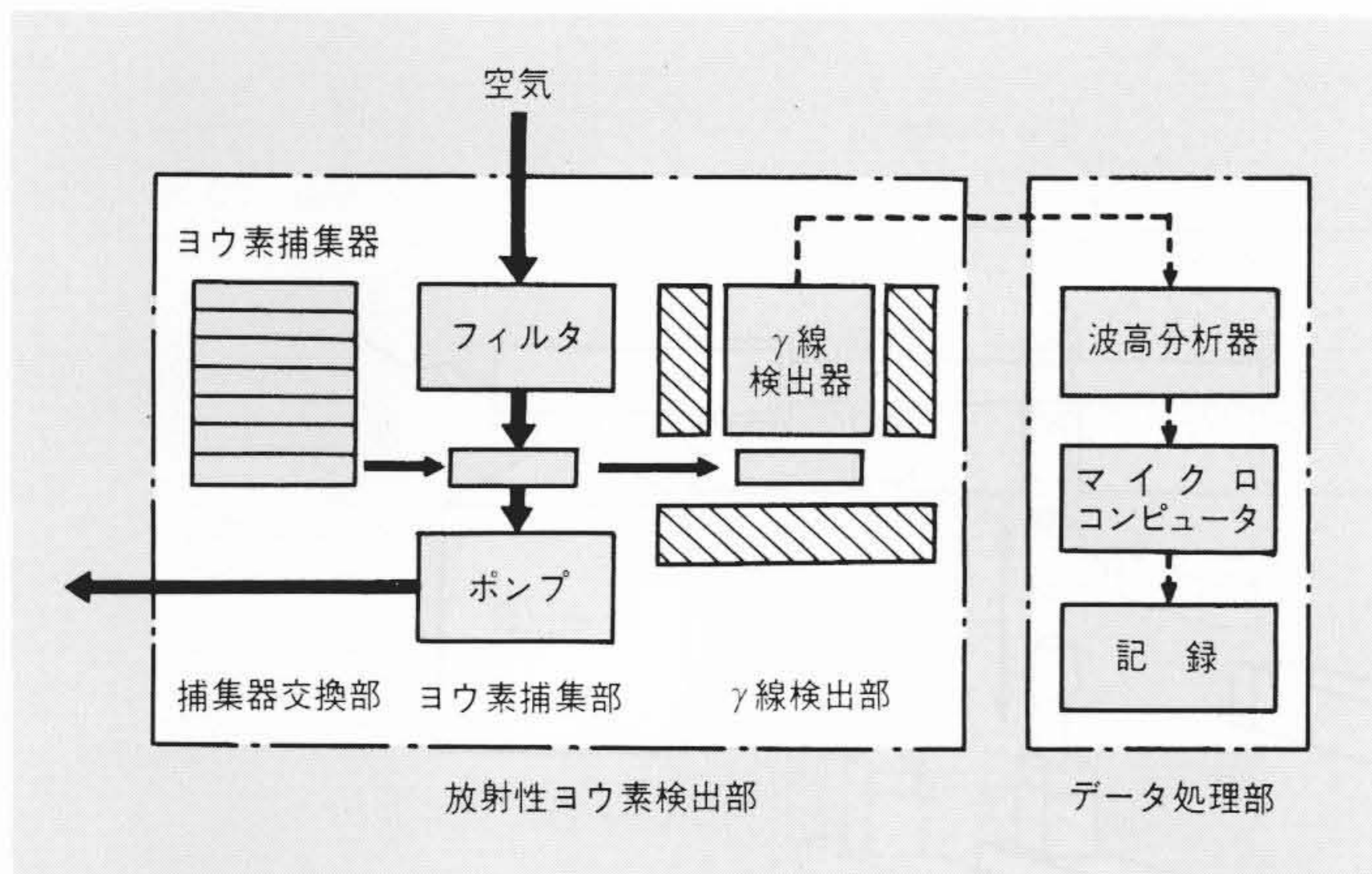


図6 ヨウ素ガスモニタシステム構成 放射性ヨウ素の捕集からデータ処理まで全自動化されており、ヨウ素濃度の連続測定も可能である。

装置は、図6に示すように放射性ヨウ素検出部とデータ処理部から構成される。ヨウ素検出部は、捕集器交換部、ヨウ素捕集部、γ線検出部及び捕集器回収部を回転円板の同一円周上に配置し、円板が1回転するごとに捕集器が自動的に移動するように構成されている。ヨウ素捕集材には、従来の活性炭に代わる銀-アルミナを使用することにより、湿度90%の条件でも90%以上の高い捕集効率を確保することができ、かつ希ガスを吸着しないため、計測前の希ガスパージを省くことができる。また、使用済みの捕集材は回収し、ヨウ素減衰後に再使用が可能である。検出器にNaI(Tl)シンチレーションカウンタを使用し、波高分析器とマイクロコンピュータから成るデータ処理装置により、法令で定められた測定下限濃度 $2 \times 10^{-13} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ (最小計測頻度1週間に1回)を検出することができる。

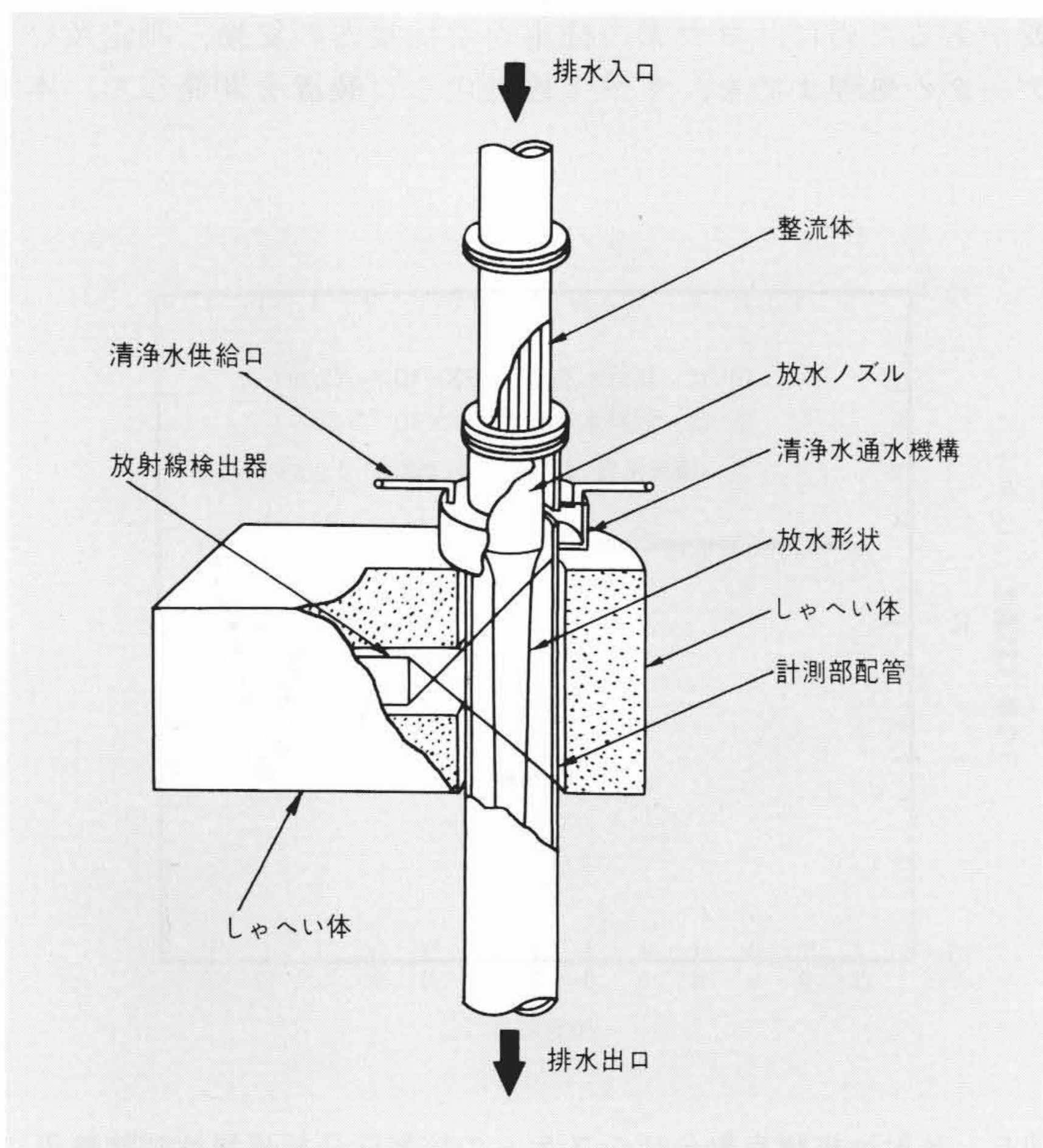


図7 改良形排水モニタ検出部の外観 整流体とノズルによる放水の安定化及び清浄水通水により、放射能汚染防止を図っている。

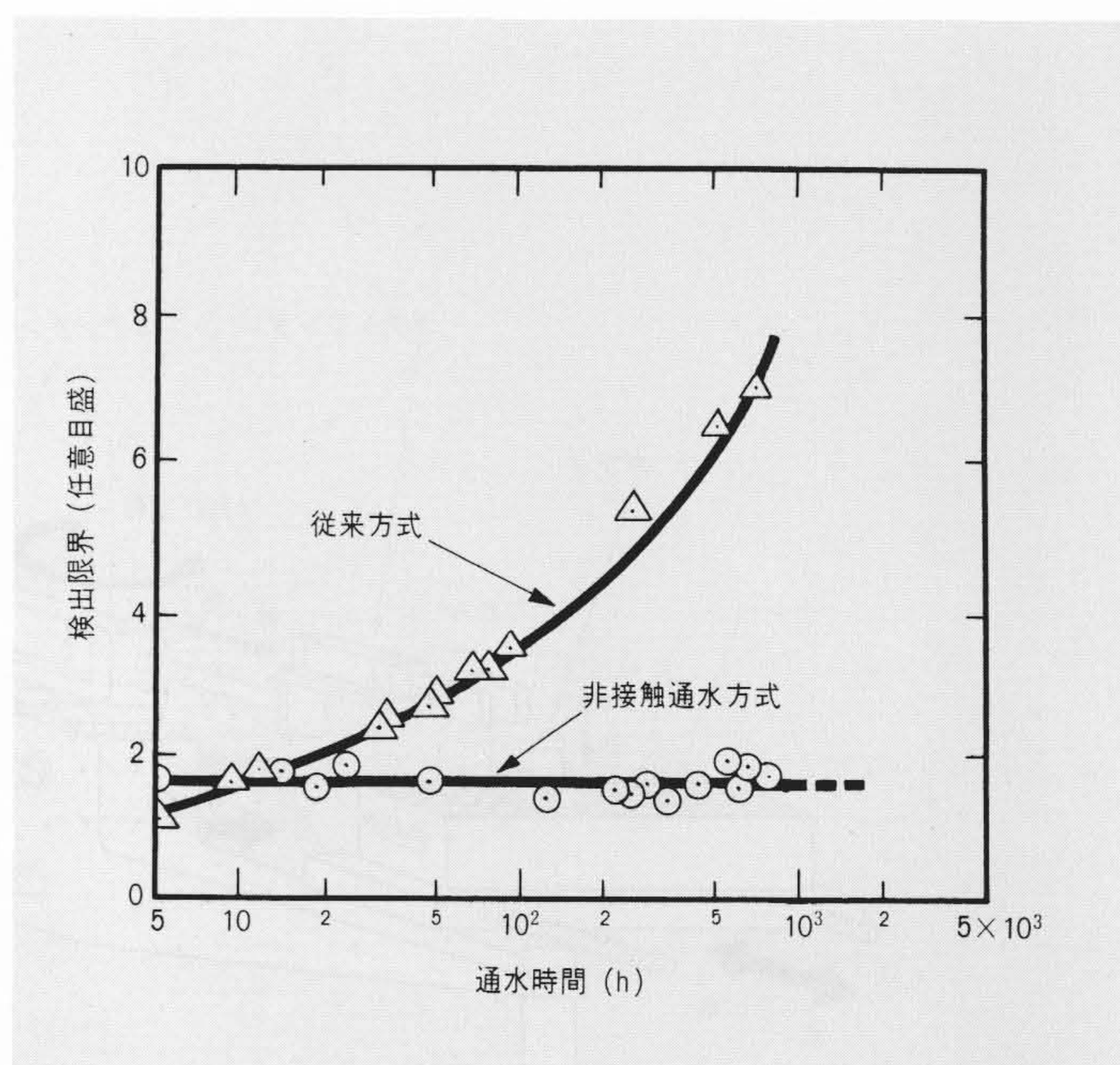


図8 放射能モニタ検出限界の経時変化 改良形は従来形に比べて、長期に安定した検出感度が得られる。

4 改良形排水モニタ

従来の排水モニタは、計測部配管内壁面へ排水自身に含まれる放射性物質が付着してバックグラウンド放射能となり、低レベル排水の監視が困難となっている。非接触通水方式の改良形排水モニタは、計測部の配管内壁に排水が触れることなく流れる画期的な方法で、この問題を解決した。

検出部構造を図7に示す。整流体を通した排水は、放水ノズルから安定した放水形状で、一回り大きい計測部配管内を落下する。したがって、排水自身による計測部配管内壁の放射能汚染は、原理的に発生しにくい。更に、排水の通水開始時や停止時の放水形状が乱れるときは、計測部配管内壁に清浄水を流して、たとえば放射能を含む排水が飛び散ったとしても、直ちに洗い流してしまうので付着を防止することができる。このようにして、計測部配管の外側に、しゃへい体とともに設置した計測器で検出する本モニタでは、長期にわたって安定した低レベル排水の監視が可能である。

性能維持の実験例を図8に示す。

5 結 言

原子力発電所での運転員及び作業員の放射線被曝低減と省力化を目的として、イオン交換樹脂カラム式の炉水核種自動分析装置、銀-アルミナ捕集器を使用したヨウ素ガスモニタ、非接触通水方式による改良形排水モニタを開発した。

等価試験の結果、所期の目的を達成していることが確認できた。今後は、実プラントへの適用を拡大してゆく計画である。

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 (昭和52-11)
- 2) 床井, 外: イオン交換樹脂カラムを用いた炉水放射性核種自動分析装置の開発, 日本原子力学会, 昭和54年秋の分科会予稿集, B46 (昭和54-10)
- 3) 北口, 外: 排水放射能モニタの改良, 日本原子力学会年会要旨集, D56 (昭和54-3)