

# 沸騰水型原子力発電所用自動燃料交換システム

## Automatic Refueling Platform for BWR Power Plant

沸騰水型原子力発電所用の燃料交換機は、毎年1回行なわれるプラント定期点検の炉停止時に、炉心の燃料を新燃料と取り替えるのに使用される装置である。在来燃料交換機は手動方式で運転員が機上で操作していたが、作業能率の向上、省力化及び作業環境の改善のため、その遠隔自動化が望まれていた。今回開発した自動燃料交換システムは、プロセス計算機により、燃料把握機の4次元(走行、横行、昇降、回転)の速度及び位置決めを自動的に高精度に行なうものであり、これにより、遠隔操作室からの簡単な指令により、燃料交換作業を迅速、かつ安全に行なうことができる。このシステムは、東京電力株式会社福島第一原子力発電所4号機に納入され、現地総合試験の結果、所期の性能、操作性を満足することが確認された。

上下利男\* Jôge Toshio  
服部紀明\*\* Hattori Noriaki  
坂中忠雄\*\*\* Sakanaka Tadao  
中島正明\*\*\* Nakajima Masaaki

### 1 緒 言

沸騰水型原子力発電所に設けられる燃料交換機は、従来は機上手動方式であり、熟練者が細心の注意を払って運転していた。今回開発した自動燃料交換システムは、作業時間の短縮、放射線被曝の低減及び省力化を目的に、制御用計算機を導入し遠隔自動化したシステムであり、この1号機は東京電力株式会社福島第一原子力発電所4号機に納入され、現地総合試験の結果、所期の性能が確認された。

本報では、自動燃料交換システムの計算機制御内容を中心に、その概要について紹介する。

### 2 燃料交換作業と遠隔自動化システム設計方針

燃料交換作業は、図1に示すように原子炉建屋最上階の運転階に設置された燃料交換機を使用して、炉心と使用済み燃料貯蔵ラックにわたり水中で燃料集合体を移送する作業である。燃料交換機は、走行台車、横行台車、燃料ホイス、伸縮管式燃料把握機、補助ホイスなどから構成される。走行台車は、炉心プールと使用済み燃料貯蔵プールにわたって敷設された走行用レール(約30m)上を走行し、横行台車は、走行台車上の横行用レール(約11m)上を横行する。横行台車には燃料把握機が備えられており、燃料ホイスにより昇降される。また、燃料把握機は燃料装荷角度に応じて回転できるものとなっている。在来機を使った燃料交換作業は、台車上の運転台より目視により手動操作し、水中約16m下の炉心セルに燃料を規定角度で装荷、あるいはセル内の燃料を取り出さねばならない。この作業は、熟練した数名の運転員が3直交代で、約2週間かかって行なわれる。

今回開発した自動燃料交換システムは、作業時間の短縮によるプラント稼働率の向上、運転員の放射線被曝の低減及び省力化を目的として開発したもので、その設計方針及び重点項目を図2に示す。

### 3 燃料交換機本体

燃料交換機本体は、遠隔自動化のため特に位置決め精度の向上及び安全対策の充実を主眼として、先行在来機の設計を大幅に改良、あるいは新設計を行なった。本体の主要仕様を表1に、また現地試運転中の外観を図3に示す。

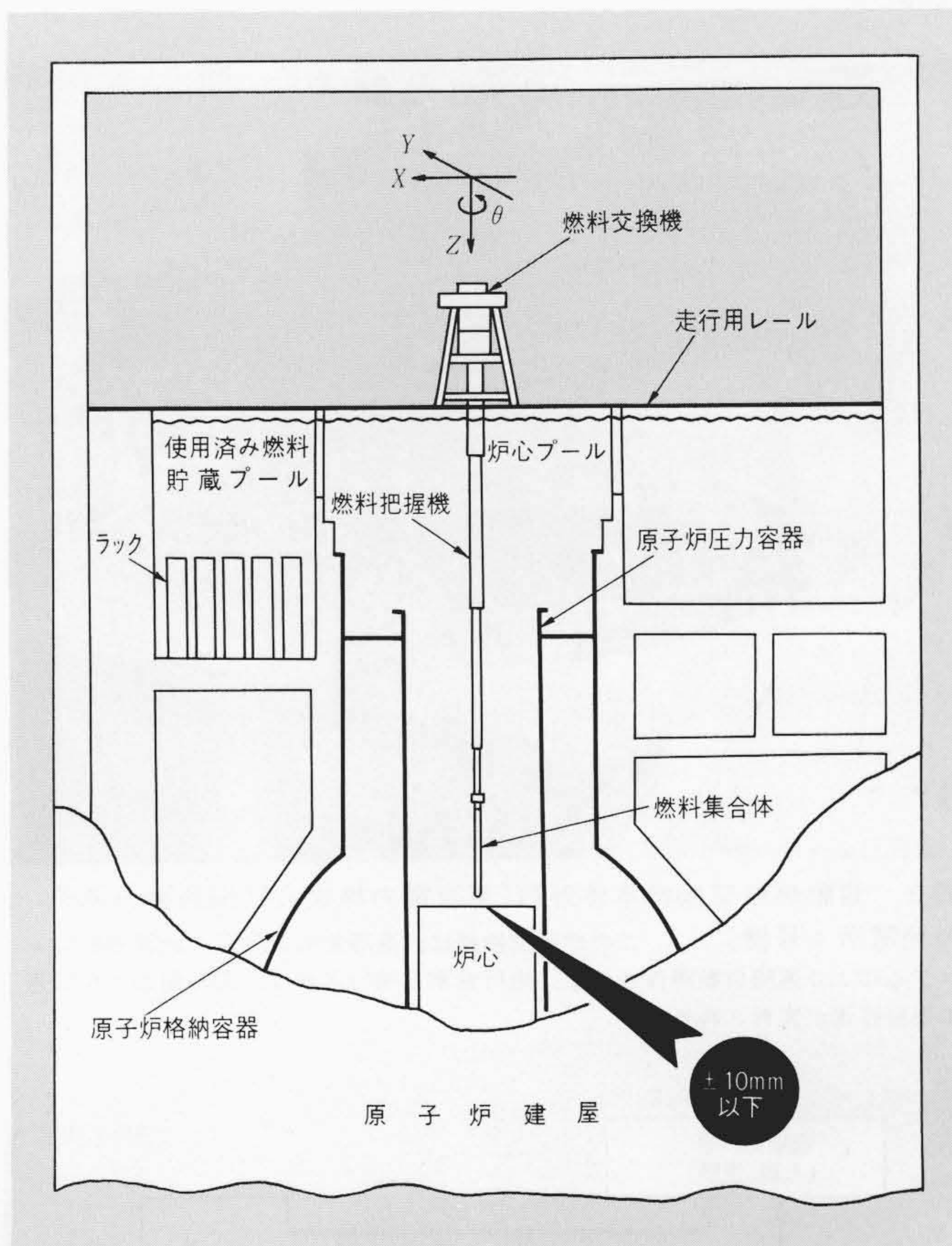


図1 燃料交換作業の説明図 燃料交換作業は、燃料交換機を使って水面下16mの炉心と使用済み燃料貯蔵ラック間で燃料を移送する作業で、熟練者が長時間かかって行なっている。位置決め精度は、炉心上部で±10mm以下が要求される。

### 4 遠隔自動化システム

#### 4.1 システム構成

このシステムの概略構成を図4に示す。システムは3種の

\* 日立製作所電力事業本部 \*\* 日立製作所日立工場 \*\*\* 日立製作所大みか工場

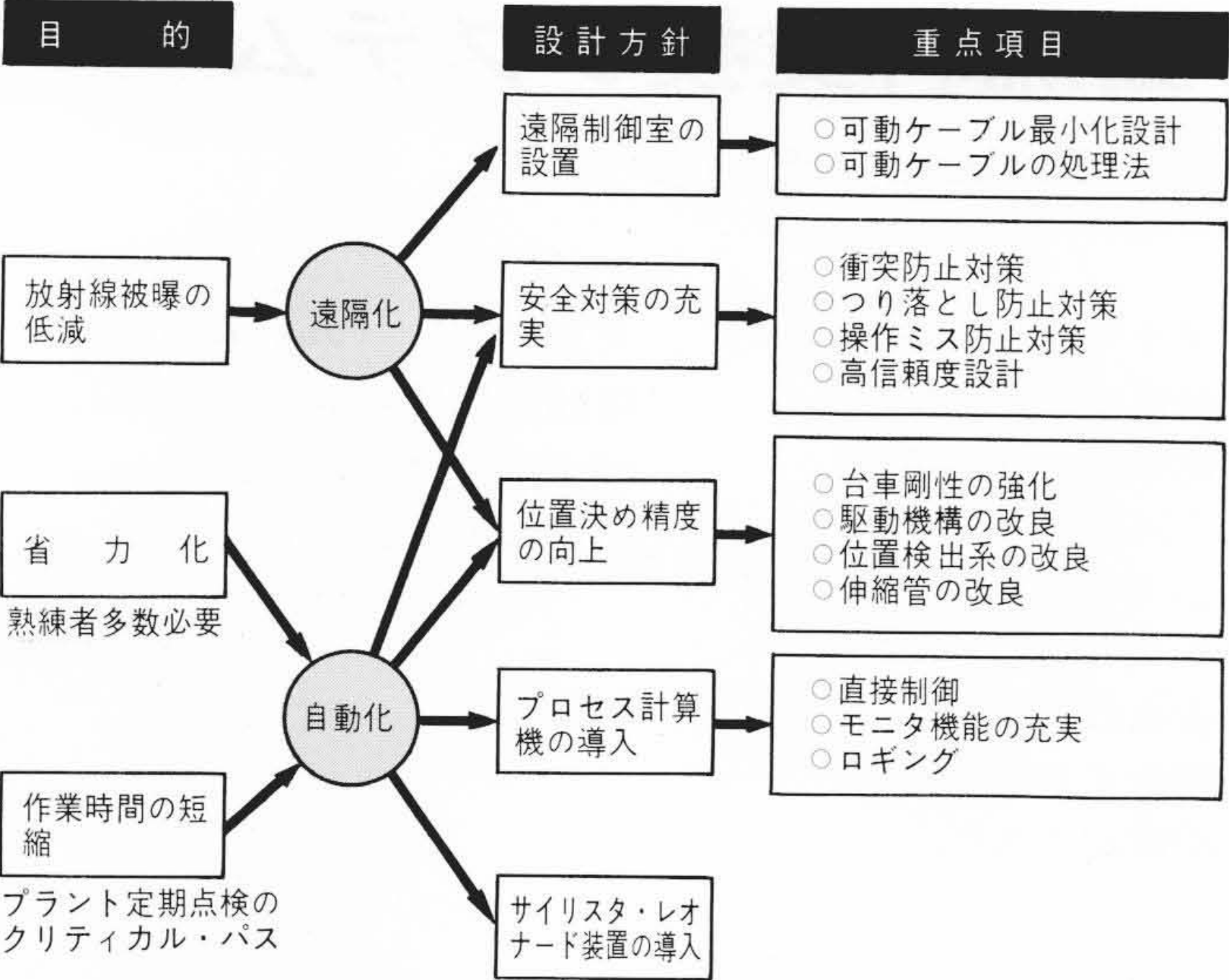


図2 燃料交換機遠隔自動化の設計方針と重点項目 燃料交換機の遠隔自動化に当たっては、特に位置決め精度の向上と安全対策の充実に重点を置いた。

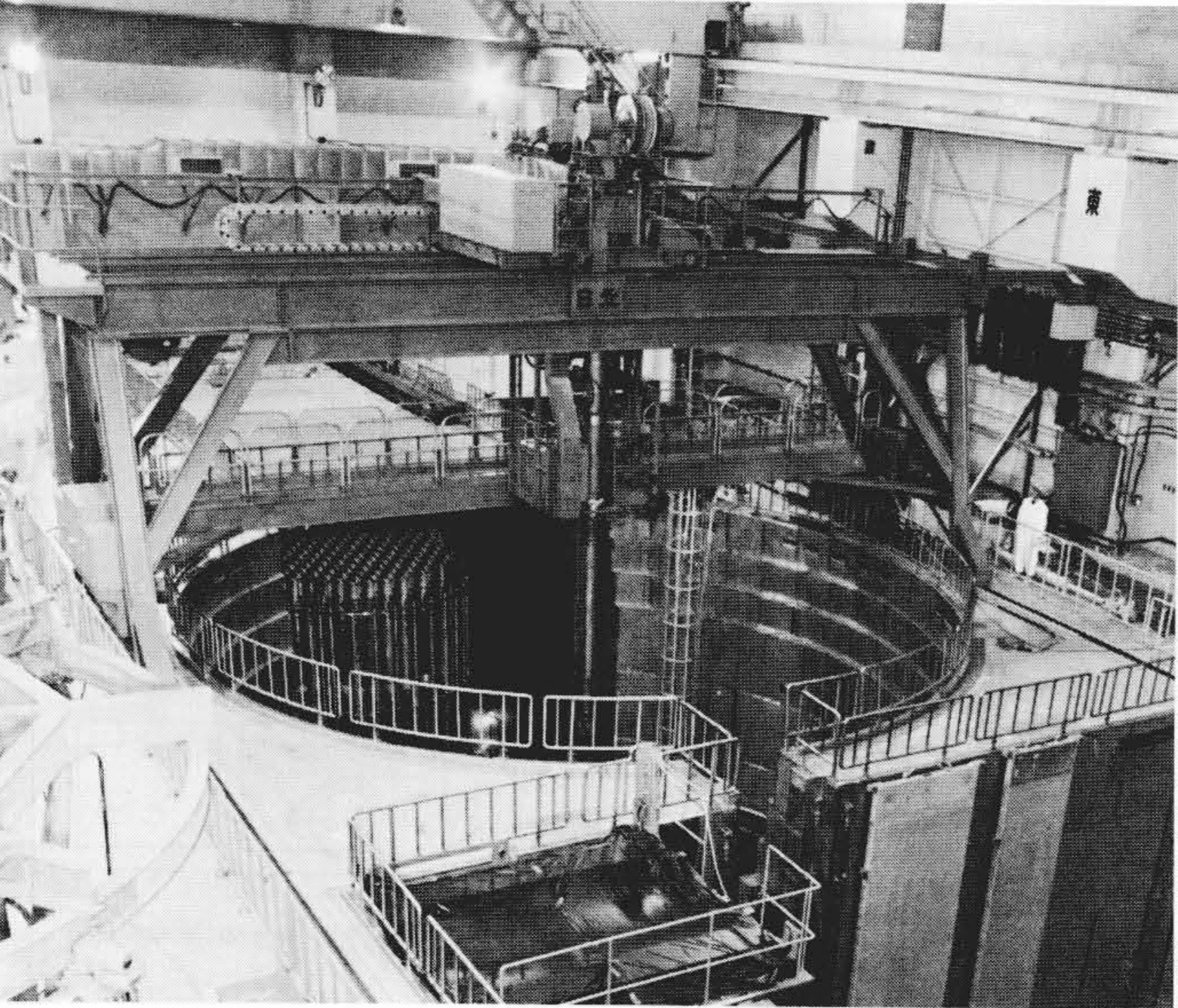


図3 自動燃料交換機本体外観(東京電力株式会社福島第一原子力発電所4号機) この燃料交換機は、遠隔制御室設置の計算機制御システムにより遠隔自動操作される。走行台車と横行台車は、同時制御され高速で燃料移送が実行される。

表1 燃料交換機本体の主要仕様 この燃料交換機は、重量約30tとコンパクトな設計で、燃料把握機はワイヤロープ2本つりの多重丸管垂直収納式を採用している。

| 項目       | 主要仕様                                                                       |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|
| 主要寸法及び重量 | レールスパン：13,360mm<br>全長：14,535mm<br>幅：4,736mm<br>高さ：7,670mm<br>重量：約30t       |
| 走行台車     | 駆動方式：歯車直結駆動<br>駆動電動機：DC 220V, 2.2kW<br>速度：0.5～10m/min<br>制御範囲：29.6m        |
| 横行台車     | 駆動方式：歯車直結駆動<br>駆動電動機：DC 220V, 0.5kW<br>速度：0.5～10m/min<br>制御範囲：11.0m        |
| 燃料ホイス    | ワイヤロープ2本つり<br>駆動電動機：DC 220V, 3.8kW<br>速度：0.5～10m/min<br>制御範囲：16.9m         |
| 燃料把握機    | 多重丸管垂直収納方式、振れ止め用ダンパ付<br>回転電動機：AC 200V, 0.4kW<br>回転速度：18°/s<br>制御範囲：±135度以上 |

運転モード(自動モード、遠隔手動モード及び機上手動モード)を備えており、機上手動モードでは機上操作盤から、自動モード及び遠隔手動モードでは遠隔操作盤からそれぞれ操作できるようになっている。制御対象は走行台車(X)、横行台車(Y)、燃料ホイス(Z)、燃料把握機回転( $\theta$ )で、X、Y、Zの速度制御は計算機からの速度指令に基づき、サイリスタ・レオナード装置で行なわれる。位置検出はシンクロ発信器—S/Dコンバータで行ない、位置決め制御は計算機による直接制御としている。

制御装置は、信頼性、保守性を考慮して機上補助盤などの一部を除いて、ほとんどを運転階と独立して換気空調された遠隔制御室に設置している。図5に遠隔制御室に設置された遠隔操作盤及びタイプライタを示す。

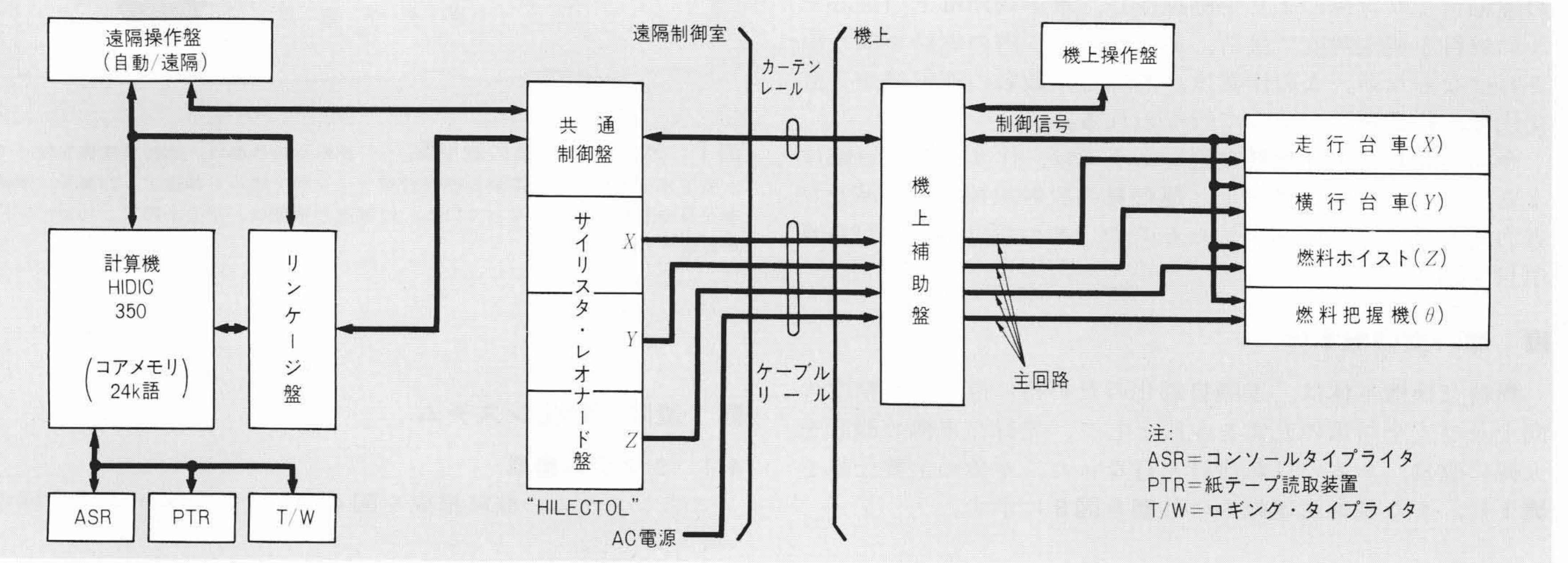


図4 燃料交換機遠隔自動化システムの構成 燃料交換機は、サイリスタ・レオナード装置で速度制御され、計算機による直接制御で位置決めされる。ほとんどの制御装置は信頼性、保守性を上げるため遠隔制御室設置としている。



図5 遠隔制御室に設置された操作盤 この操作盤より、簡単な作業指令を与えることによって燃料移送が自動的に行なわれ、作業記録がタイプライタに打ち出される。

## 4.2 システム動作

このシステムは3種の運転モードをもち、モード選択は遠隔操作盤上のキー・スイッチで行なう。ここでは、自動モードでのシステム動作と計算機制御内容を中心に説明する。

図6に1制御サイクルの燃料交換自動運転の説明図を示す。1制御サイクルは、Z上昇制御、XY制御、 $\theta$ 制御及びZ下降制御から成り、次の手順で実行される。

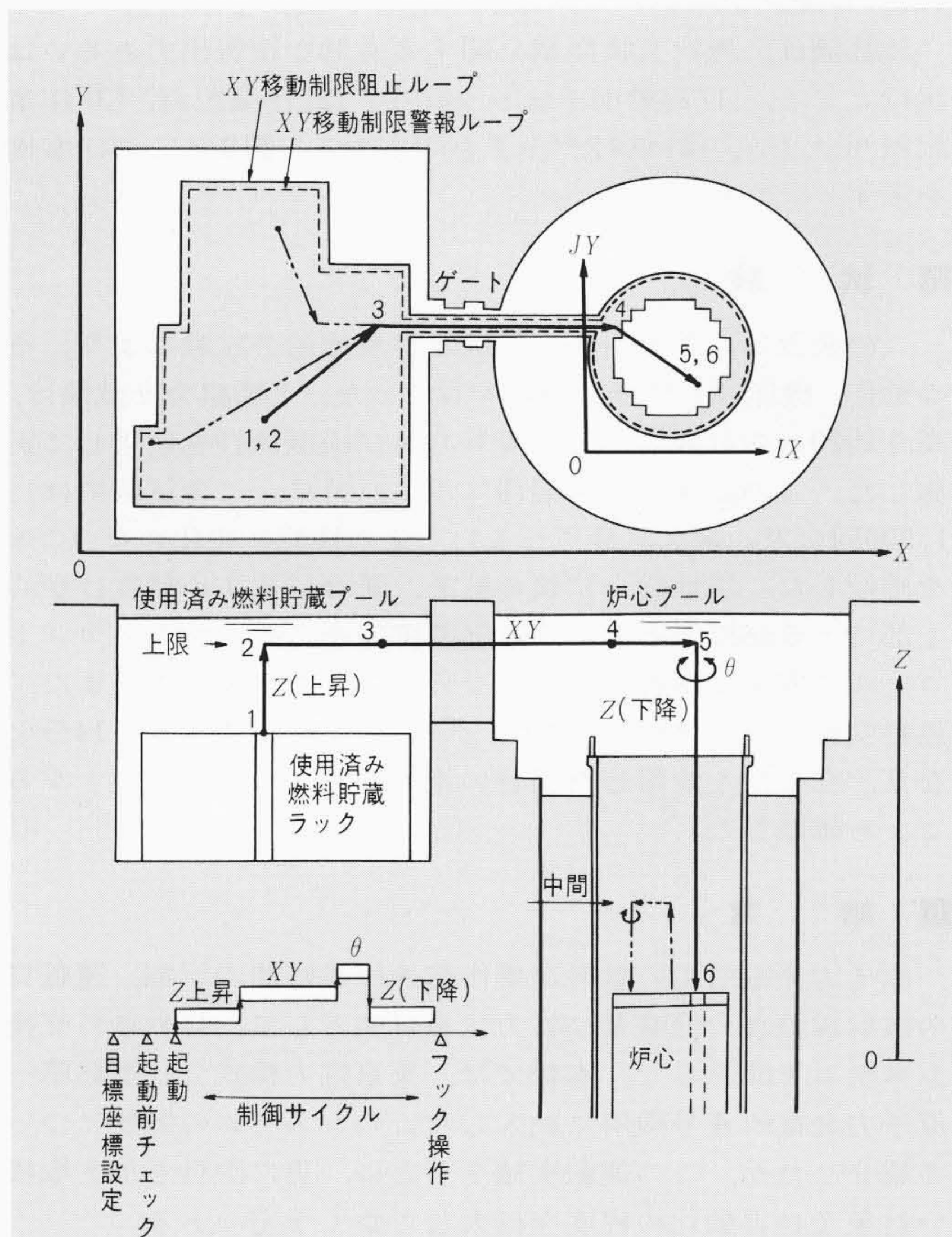


図6 燃料交換機の自動運転説明図 計算機は目標位置、移送ルート及び速度を計算し、1制御サイクルを自動的に実行する。この間種々のモニタを行ない、異常を検出すると直ちに安全停止させる。

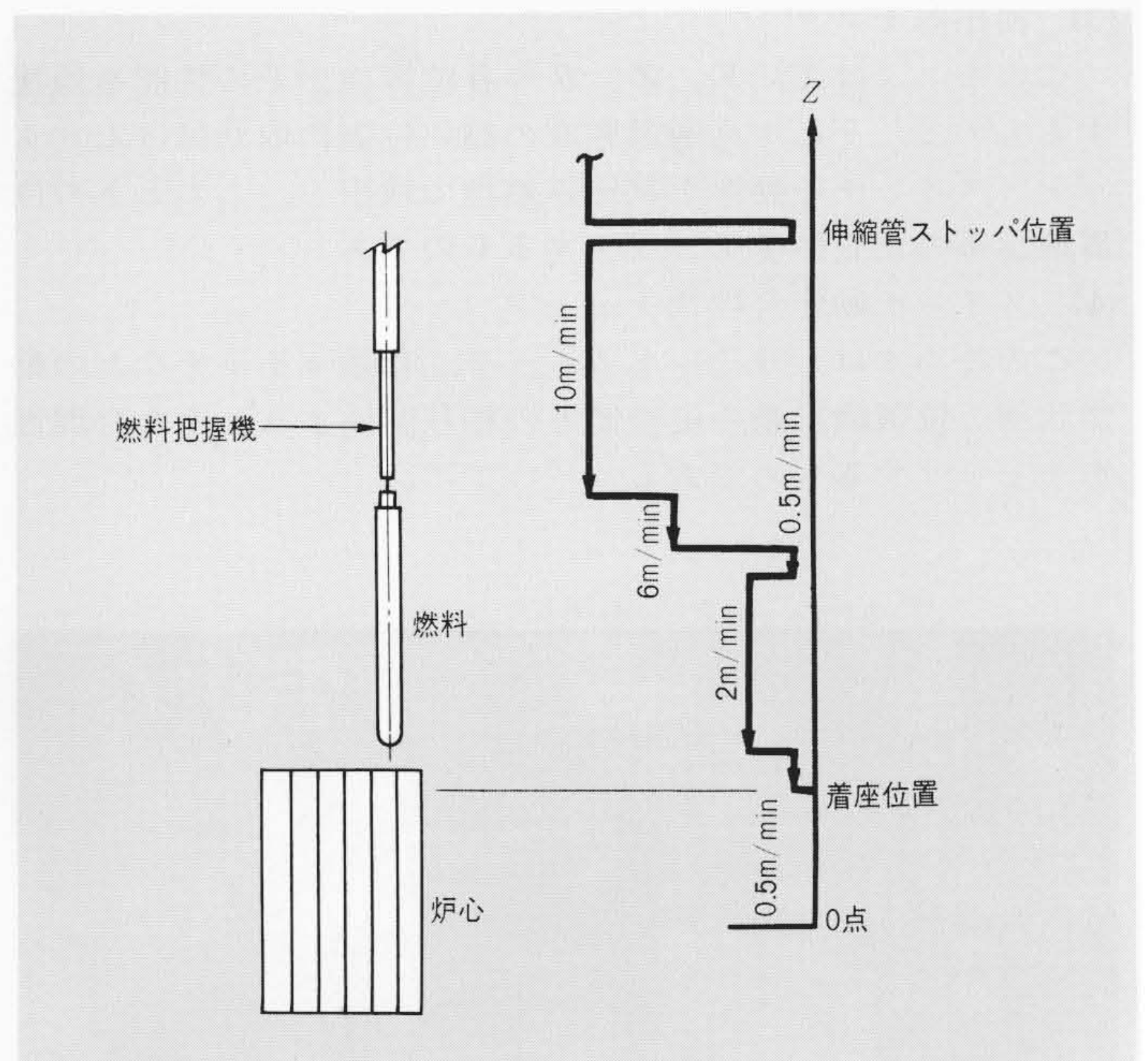


図7 Z速度パターンの一例 計算機は種々の速度パターンを記憶しており、現在位置に応じて速度指令をサイリスタ・レオナード速度制御装置に出力する。

- (1) 目標ID(Identification)番号をディジタル・スイッチにセットし、「目標座標設定」押しボタンを押す。計算機は目標位置 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $\theta$ を計算し、ディジタル表示器( $X$ 、 $Y$ )及び表示ランプ( $Z$ 、 $\theta$ )に表示する。
- (2) 「起動前チェック」押しボタンを押す。計算機は燃料交換機の状態、現在位置と目標位置の燃料装荷状況などを総合的にチェックし、このオペレータ・リクエストが妥当か否かを決定し、もし妥当でない場合は目標位置表示をすべてblankするとともに、次の起動操作を自動的に阻止する。
- (3) 「自動起動」押しボタンを押す。計算機は、現在位置と目標位置との関係から移動ルート、速度パターンを計算し、1制御サイクルを自動的に実行し、目標位置に燃料を装荷、あるいは燃料ハンドルに着座して停止する。計算機は、燃料把握機の現在位置に応じて速度制御を行なうが、この一例の速度パターンを図7に示す。
- (4) 以上の動作完了で、燃料把握機のフック開閉操作を操作スイッチで行なう。

## 4.3 モニタ機能

燃料交換機は核燃料を取り扱う装置であり、その安全対策には特に留意しなければならない。このシステムでは、衝突防止装置(図8参照)、燃料吊り落とし防止対策などの種々のハードウェアによる安全対策のほか、計算機によるモニタ機能を充実させている。以下、代表的モニタにつき述べる。

### (1) 移動範囲モニタ

このモニタは、上記衝突防止装置の冗長系として、燃料あるいは燃料把握機がプール壁やプール内構造物に誤って衝突することを防止するため、燃料把握機が安全かつ自由に動けるXY範囲(図6参照)を計算機に記憶させておき、燃料把握機がこの範囲を越えると台車駆動阻止を行なうものである。

### (2) 燃料スティックモニタ

このモニタは、燃料を炉心又はラックに装荷するとき、燃料把握機の位置決め不良などにより、燃料下端が炉心あるいはラックの上部にスティックする現象を検出し、燃料把握機の下降阻止を行なうものである。

(3) 検出器モニタ

このモニタはX、Y、Z、θの各位置検出系の性能を監視するもので、それぞれ通過頻度の高い位置に取り付けたリミット・スイッチの動作を割込み処理で検出し、このときの位置検出系の走査値をチェックするものである。

(4) スイッチ動作合理性チェック

このモニタは、リミットスイッチ、荷重スイッチなどの動作状態と位置検出系の走査値との相互関係より、その合理性をチェックするものである。

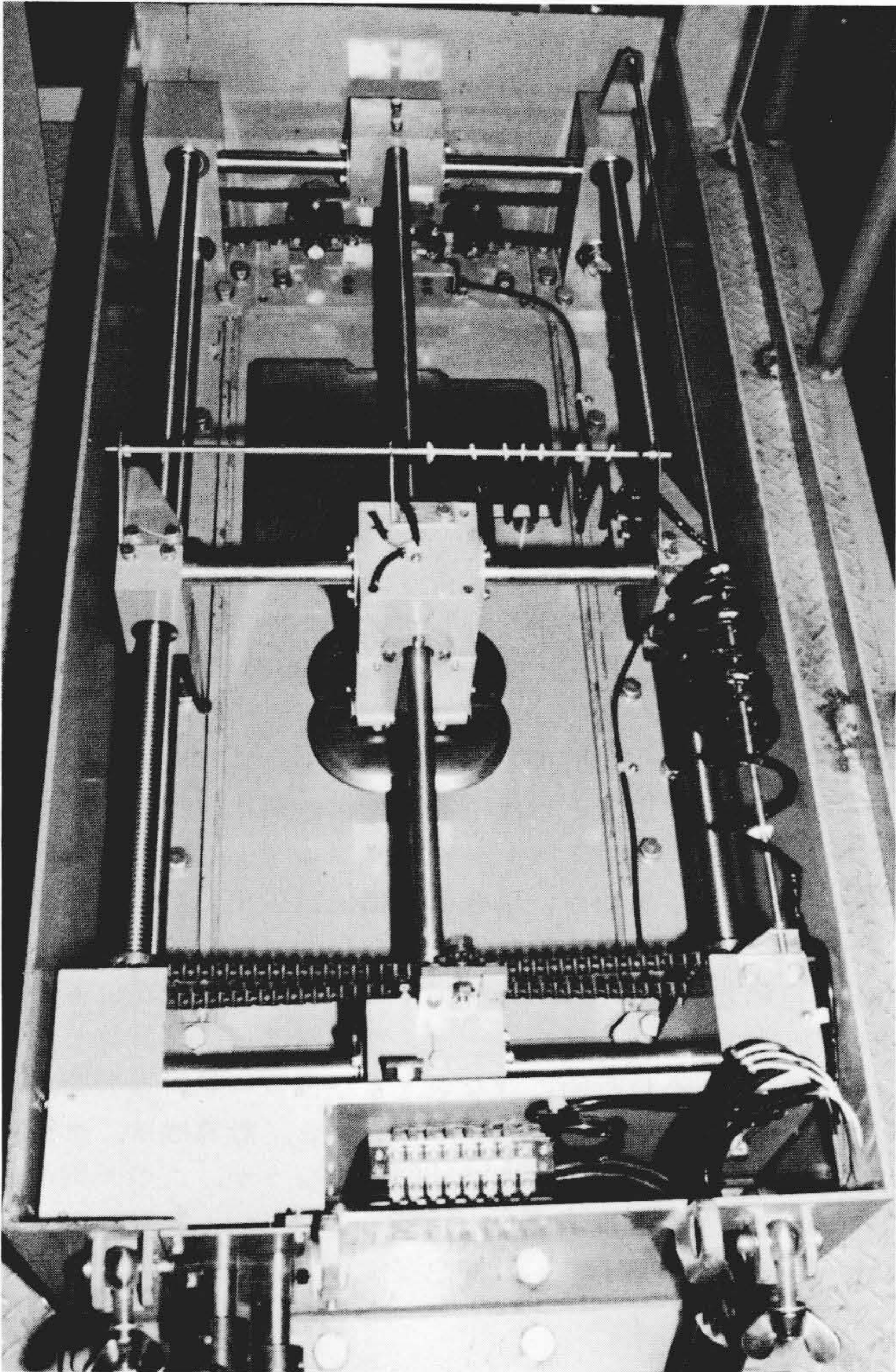


図8 衝突防止装置の外観 XY移動許可範囲に縮小したプレート上を、マイクロスイッチ4個を取り付けた移動子が燃料把握機の動きに応じて動き、プレート上から外れると阻止信号を発する。

| F4 - TITLE    | TIME  | FUEL ID | FROM   | TO     | HOOK  | MESSAGE |
|---------------|-------|---------|--------|--------|-------|---------|
| CPU-INITIAL   | OK    | 13:53   |        |        |       |         |
| DDC-RESET     | OK    | 13:56   |        |        |       |         |
| OPERATION     | 13:57 | F4-X100 | C25-24 | C25-26 | CLOSE | C*-C    |
| REFUEL RECORD | 14:03 | F4-X100 | C25-24 |        | OUT   |         |
| REFUEL RECORD | 14:08 | F4-X100 | C25-26 |        | IN    |         |
| OPERATION     | 14:09 | F4-X100 | C25-26 | C25-24 | CLOSE | C*-C    |
| REFUEL RECORD | 14:11 | F4-X100 | C25-26 |        | OUT   |         |
| REFUEL RECORD | 14:17 | F4-X100 | C25-24 |        | IN    |         |

図9 起動前チェックと作業記録の印字出力例 起動前チェック結果及び作業記録が自動的に打ち出され、運転操作を確実にする手段として有効活用される。

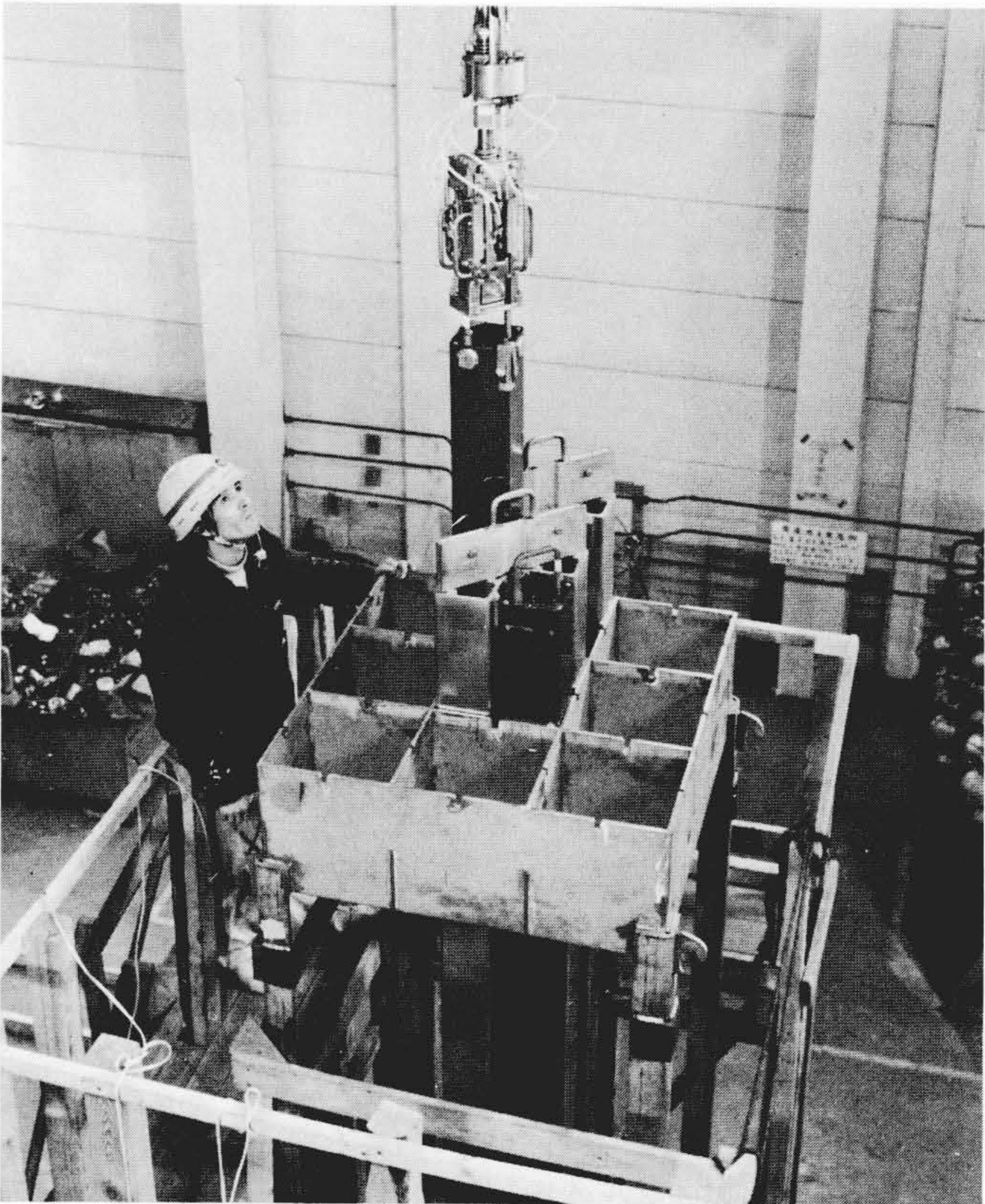


図10 模擬炉心と模擬燃料を使用した工場組合せ試験 高さ約20mの試験塔で実炉を模擬して組合せ試験を実施し、その性能と耐久性を確認した。

4.4 ロギング

計算機は、燃料交換作業に関する有効な情報出力あるいは記録として、(1) 起動前チェック印字、(2) 作業記録、(3) 作業記録サマリー、(4) 燃料データを印字する。図9にこの印字例を示す。

5 試 験

この装置は、工場組合せ試験及び現地総合試験により、その動作、機能及び性能の確認を行なった。工場組合せ試験は、高さ約20mの試験塔で、模擬炉心及び模擬燃料を使用して実施した。この試験状況を図10に示す。特に、この試験では、1,500回に及ぶ耐久試験を行ない、その性能に変化のないことを確認した。現地総合試験の結果、総合位置決め精度は炉心上部で±5mm以下となり、遠隔制御室からワンマン・コントロールで安全に燃料移送が行なえることを確認した。また、燃料交換ステップ(2制御サイクル)の所要時間は8～14分となり、在来機を使用した場合に比べ約30%の時間短縮となることを確認した。

6 結 言

原子力発電所での燃料交換作業の作業時間の短縮、運転員の放射線被曝の低減及び省力化を目的として、自動燃料交換システムを開発した。本報では、東京電力株式会社福島第一原子力発電所4号機用に納入したこのシステムの概要について紹介したが、この運転実績をもとに、更に改良を加え取扱い対象及び自動化の程度を拡大してゆく予定である。

終わりに、このシステムの開発に当たり、終始御指導をいただいた東京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。