

# 原子力発電所の予防保全活動

## Preventive Maintenance Activities for Nuclear Power Station

原子力発電所の信頼性確保、稼働率向上のために、電力会社は運転保守、定期整備を行なうとともに設備の改善を行なっている。原子力プラントメーカーはプラント全体の予防保全計画に積極的に協力するとともに、電力会社の依頼による定期検査作業や設備改善のための改造工事を行なっている。

現在、日立製作所が行なっている原子力発電所の保全活動は、(1)原子力プラントサービスセンターを中心とした保全支援サービス活動、(2)定期検査時の保全作業、(3)運転・保守データを分析し、予防保全情報を提供する保全エンジニアリングサービス、(4)保全作業の自動化や被曝低減のための作業ロボットの開発など広範囲にわたっている。本稿はこれらの保全活動について紹介する。

米納 惇\* Atsushi Komeno  
 中村日出雄\* Hideo Nakamura  
 大沢康男\*\* Yasuo Ôsawa  
 佐々木正祥\*\*\* Masayoshi Sasaki

### 1 緒言

原子力発電所の故障を無くし、安定な電力を供給することは、経済性を向上させるとともに、原子力発電所が電源として信頼され、社会に受け入れられるためにも極めて重要であり、電力会社と原子力プラントメーカーに期待されている最も重要な課題である。国内原子力発電所の稼働実績をみると、昭和51年前後は長期停止して改造する発電所があり、低い稼働率(42~53%)にとどまったが、最近2年間は漸次改善され高い稼働率(61~62%)を示している。このように改善された稼働率を維持し、更に向上させていくことが今後の課題である。これには原子力発電所の故障を未然に防止するための保全活動を適切に行なっていくことが特に重要である。

原子力発電所で通常行なわれている予防保全は、図1に示すように運転中及び計画停止時の保全作業、これらを統括する保全計画、そのベースとなる運転・保守データの収集と分析などから成り、電力会社の計画に基づき実施される。プラントメーカーは、電力会社の依頼により保全作業や設備の改善工事を行なうほか、保全計画策定に対する協力、運転・保守データ分析などの保全エンジニアリングサービス、保全用作業ロボットの開発なども担当している。ここでは、日立製作所が力を注いでいる保全支援サービス活動、定期検査時の保全活動の状況、運転・保守データ分析によるプラント保全手法及び保全用作業ロボットの開発状況について述べる。

### 2 日立製作所における保全活動

現在、日立製作所が行なっている保全活動の主な項目は表1に示すとおりであり、以下に、これらの活動の状況について述べる。

#### 2.1 保全支援サービス活動

電力会社での保全計画に協力する保全支援サービスのため、NPSC(Nuclear Plant Service Center：原子力プラントサービスセンター)が日立製作所工場内に設置され、納入プラントごとに担当責任者(課長クラス以上)が置かれ、保全サービスが一貫した計画のもとに実施されるように努力している。

NPSCの主な活動の一つである原子力保全研修会は、保全に関する技術研修(1週間コース)であり、電力会社の係長・主任クラスを対象に年2回開催している。研修内容は主要機

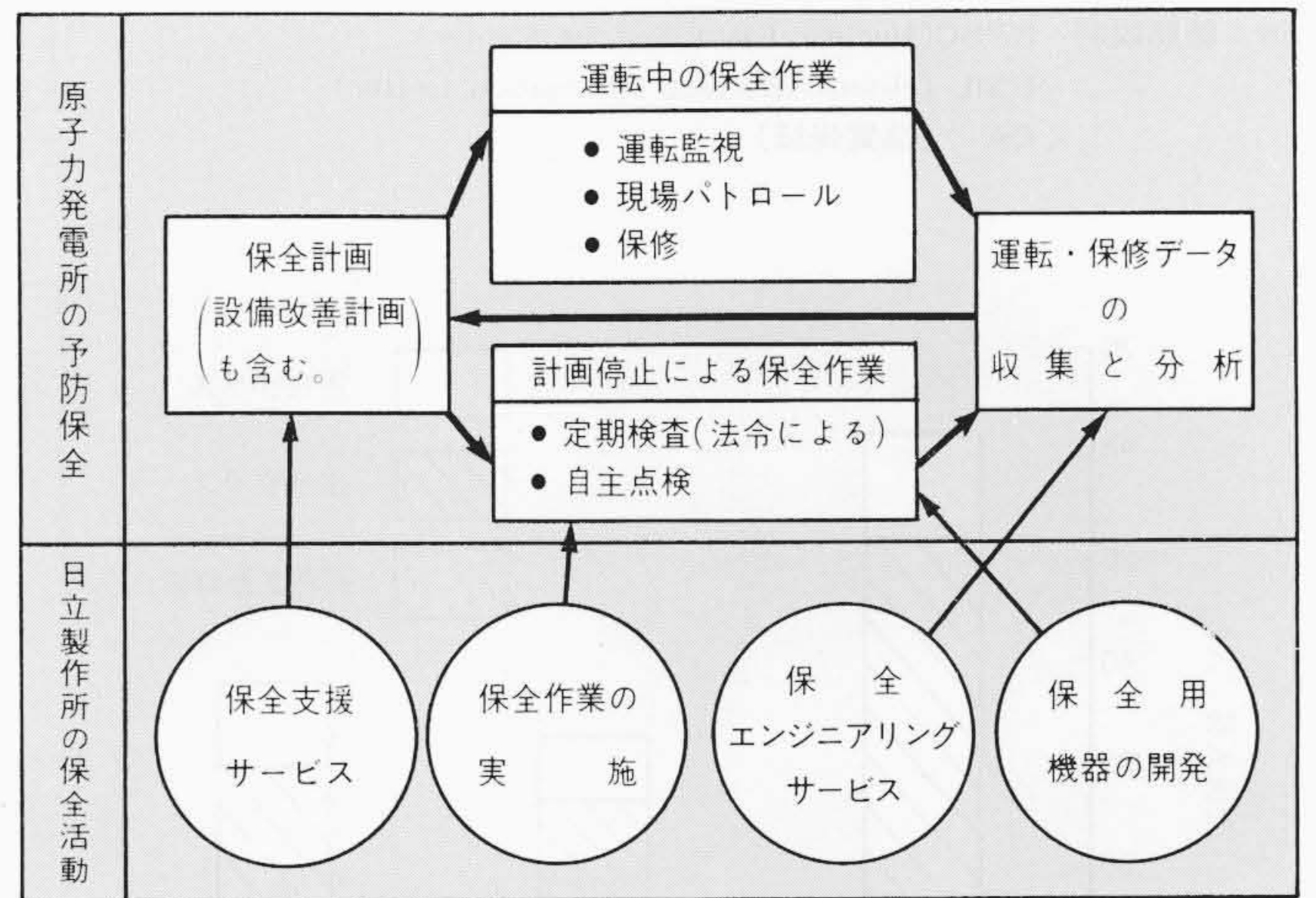


図1 原子力発電所の予防保全 原子力発電所の予防保全活動は、電力会社の計画に基づき実施されるが、日立製作所は、電力会社の保全計画を支援するサービスや運転データ分析などにも力を入れ、プラントの稼働率向上に努めている。

器の保守、品質管理などの説明から非破壊検査の実習、保守に関する討論、開発製品の紹介などを盛り込んだものとなっている。本研修会には図2に示すように、現在までに約130人の参加者があり、毎回盛況を呈している。

このほか、NPSCは、保全作業用自動化機器の紹介、設備改善の提案などを記載したHSIL(Hitachi Service Information Letter：日立保全情報)を発行するとともに、電力会社からの保全に関する相談にも積極的に応じ、トラブル処理や設備改善の提案などの推進を図っている。図3にHSIL資料と原子力保全研修会用テキストの例を示す。

#### 2.2 保全作業の実施

原子力プラントメーカーは、電力会社の依頼により定期検査時の保全作業や設備改善のための改造工事を行なっている。その主なものは、原子炉の開放・閉鎖工事、制御棒駆動機構など原子炉の重要機器の分解点検、タービン・発電機の開放点検などの保全作業、新技術に対応した改造工事などである。これらは運転プラントの稼働率確保のための重要な作業であ

\* 日立製作所日立工場 \*\* 日立製作所エネルギー研究所 工学博士 \*\*\* 日立製作所日立工場



表1 日立製作所における保全活動 プラント故障の経年的分析, それによる系統的保全と改善の提案を行なうエンジニアリングサービスと電力会社の保全計画エンジニアとの保全技術の交換, 研鑽に努めている。

分類	主な保全活動	備考
保全支援サービス (原子力プラントサービスセンター「NPSC」の活動)	1. 原子力保全研修会の開催	電力会社の係長・主任クラスを対象に年2回開催
	2. 日立保全情報「HSIL」の発行	—
	3. 保全に関する相談	—
保全作業の実施	1. 定期検査時の保全作業及び改造工事の実施	原子炉重要機器の分解点検作業, タービン・発電機の開放点検作業など
	2. 定期検査時の現地QA活動	—
	3. 定期検査時の現地総点検	—
	4. 「原子力訓練センター」での教育訓練	日立製作所工場内に設置
保全エンジニアリングサービス	1. 原子力発電所故障情報検索システムによる保全計画情報の提供	運転・保守データは電力会社から提供されることが必要
	2. プラント保全手法の開発	保全効果コストの評価など
保全用機器の開発	保全用作業ロボットの開発	—

注: 略語説明 NPSC(Nuclear Plant Service Center)  
HSIL (Hitachi Service Information Letter)  
QA (品質保証)

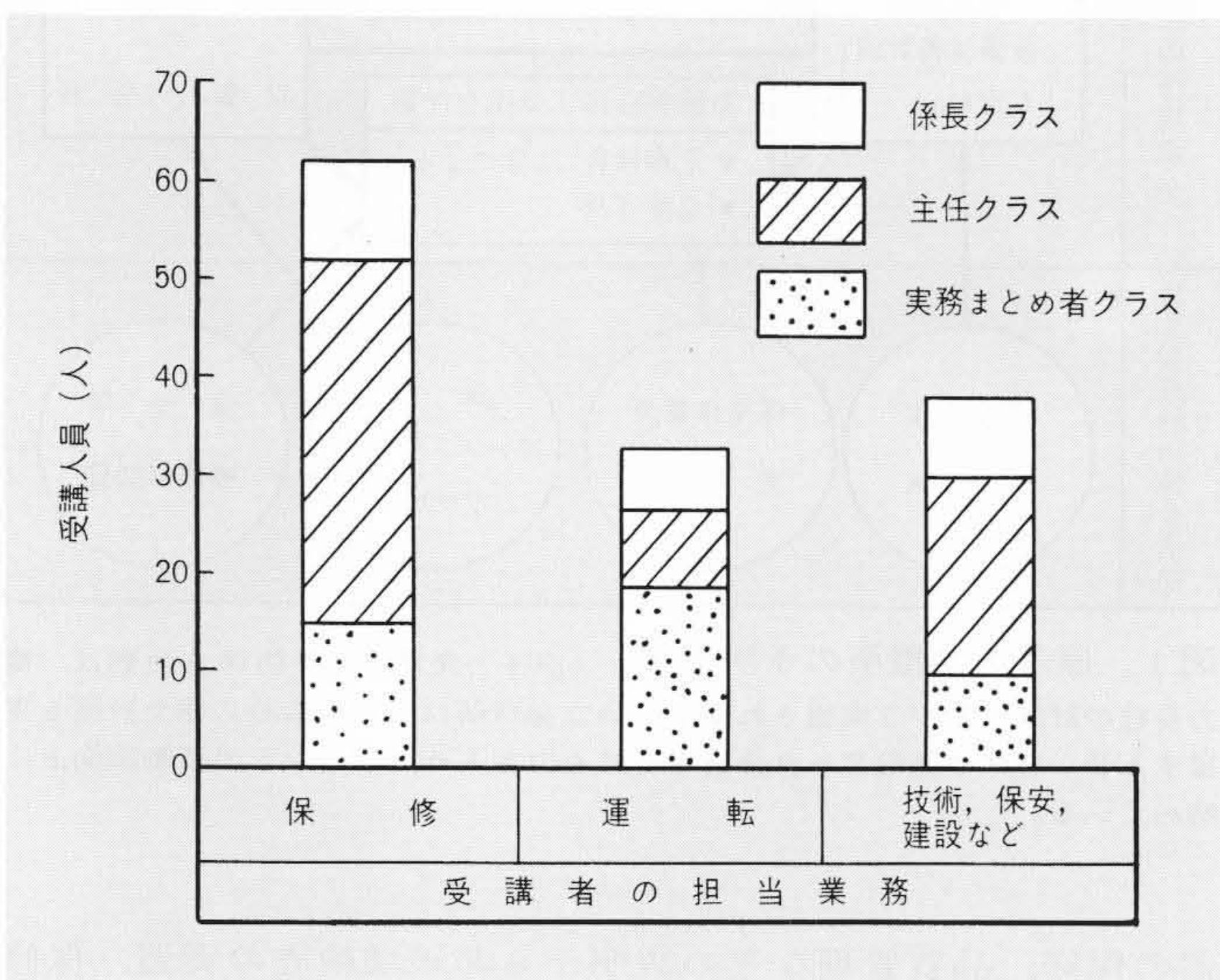


図2 原子力保全研修会の受講状況 昭和55年1月から2年間に受講した人員を受講生の担当業務別に分類した。保守計画担当者が半数を占めるが, 運転など保安関係者の意見や提案からも改善点が見いだされる。

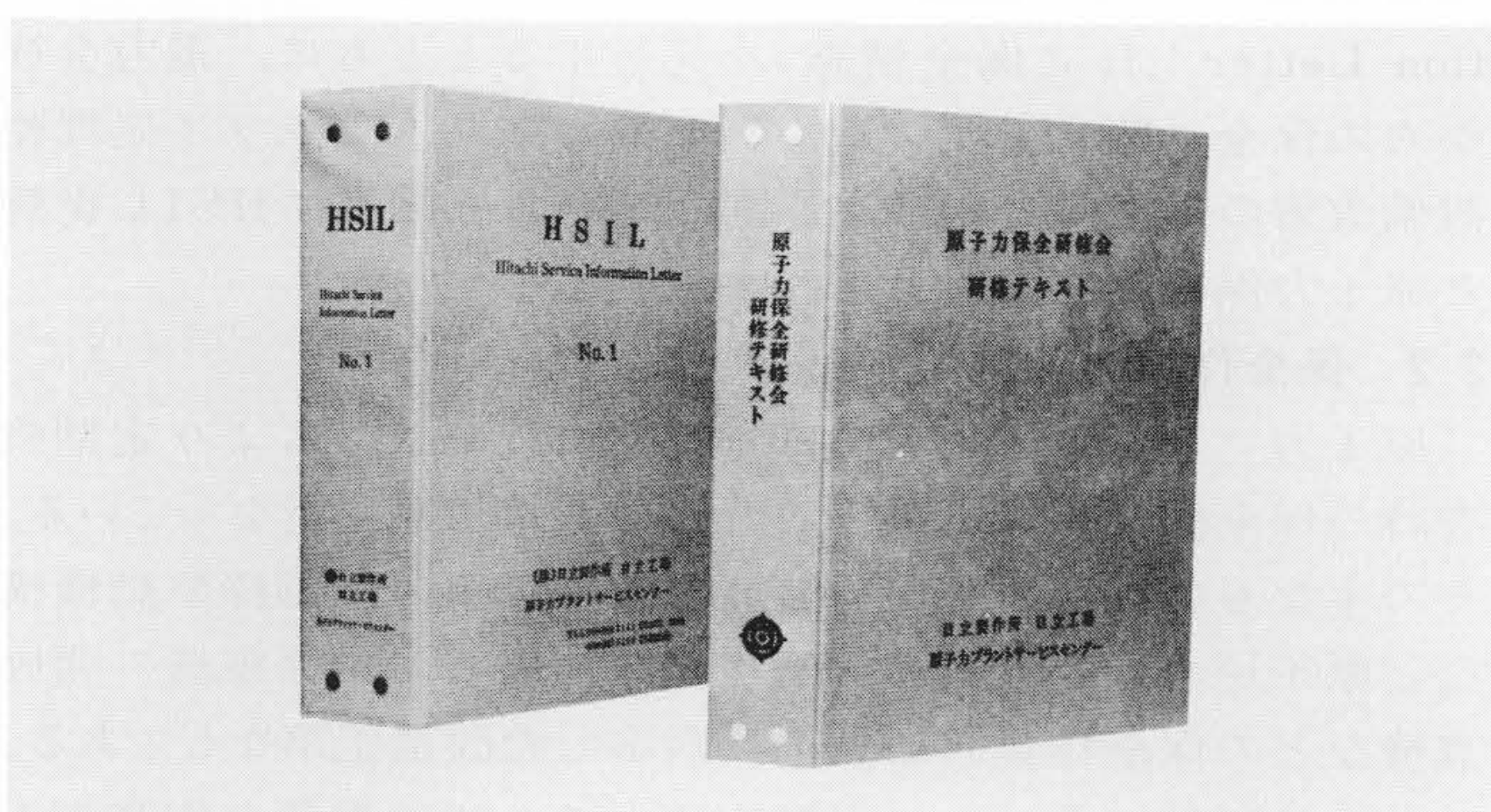


図3 原子力保全研修会用テキスト及びHSIL資料 右側は原子力保全研修会で使用しているテキストで, 研修会ごとに見直し, 現在約400ページのものに標準化されている。左側はHSIL資料で, 一貫番号のもとに資料発行ごとに追加ファイルできるようになっている。

り, その実施に当たっては, 現地でのQA(品質保証)活動, 設備点検によるプラントの健全性診断, 作業指導員や作業員の教育訓練などが大切である。

定期検査時の現地でのQA活動を積極的に行なうために, 所長のもとにQAセンタが設けられ, QAセンタは文書管理や作業管理に対するQA指導, 作業指導員や監督者を対象としたQA教育, 作業グループごとのQA監査などを行なっている。

プラントの健全性を診断するための現地総点検として, 定期検査時のプラント出力降下中, 停止中及び再起動中に設備点検を実施し, 故障の予防処置を行なっている。このために関係工場から設計者及び担当専門エンジニアが現地に派遣され, 指導員と一緒に総点検団を編成し, 点検を行なっている。

社内作業指導員などの教育訓練のために「原子力訓練センター」が日立製作所工場内に設置され, 放射線管理, 電気計装作業などの基本訓練から高放射線下での特殊作業の訓練まで幅広く行ない, 徹底を図っている。

### 3 運転データ分析によるプラント保全手法

表1に示した保全エンジニアリングサービスについて以下に述べる。

#### 3.1 運転データの収集分析

日立製作所は運転データの収集分析のために原子力発電所故障情報検索システム(以下, 検索システムという。)を開発した。図4に検索システムの概要を示す。現在, この検索システムが収録している運転データは, 米国原子力規制委員会が公表した米国発電所[BWR(沸騰水型原子炉)とPWR(加圧水型原子炉)]の故障データ及び一部国内発電所の故障データ合わせて約1万件である。同図に示すように, これらの故障データは10種のキーワードに分類され, 内容の概要を付けて計算機に記憶される。利用者はキーワードの組合せにより検索要求をし, 故障事例とともに故障件数やその経年変化などの情報を取り出すことができる。

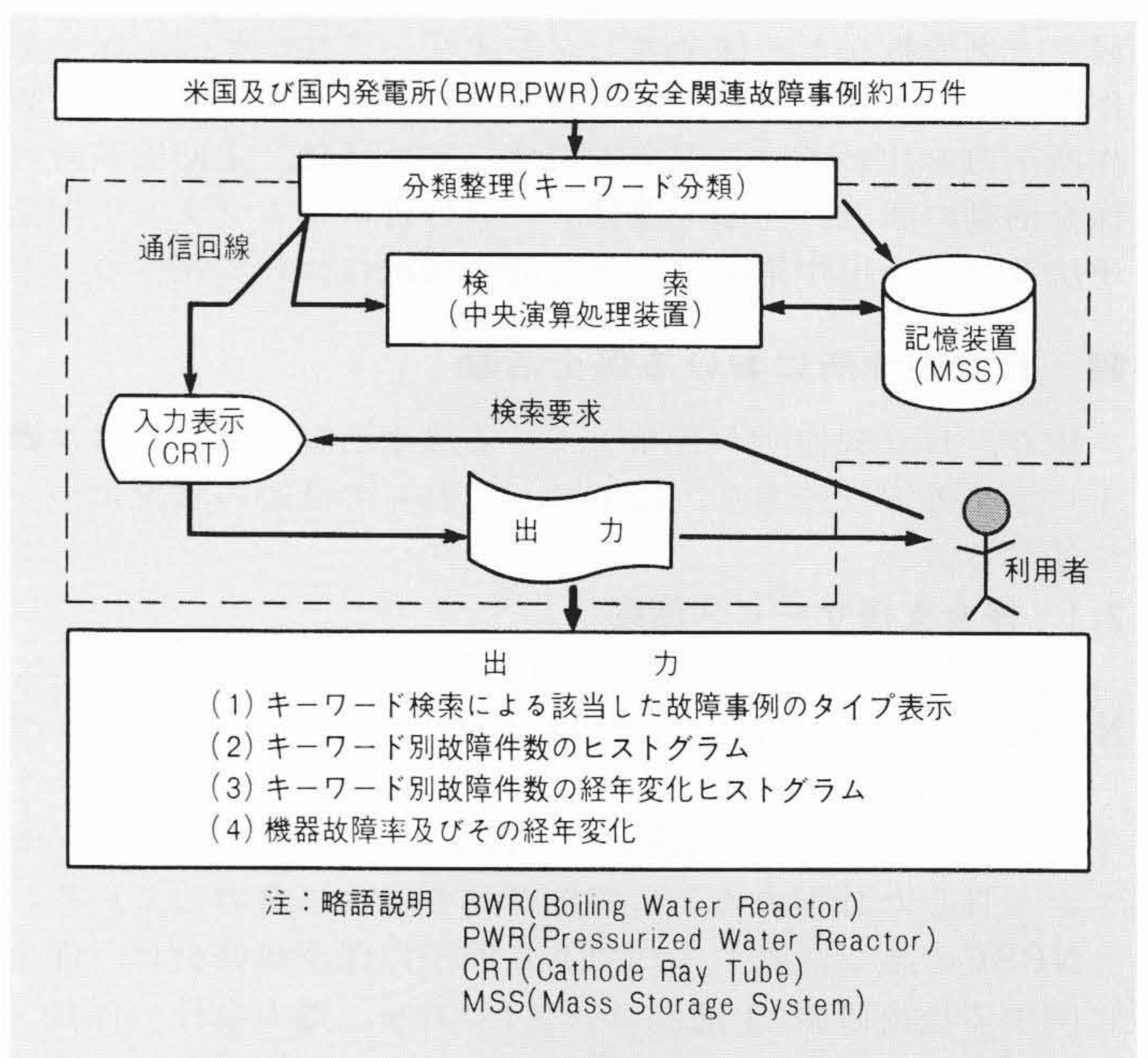


図4 原子力発電所故障情報検索システムの概要 利用者の要求に応じて検索, 分析したアウトプットを出すことが可能で, 予防保全すべき機器の名称, 予想すべき故障などを知ることができる。



### 3.2 分析に基づく保全計画

図5は運転データの分析に基づく保全計画立案のプロセスを示す一例である。これにより以下に示すように、保全対象の重点化及び保全方針の決定を行なうことができる。

- (1) 図5に示すように、検索システムから得られる機器別の故障件数の分析及び故障率の算出結果をもとに、故障発生件数が相対的に多く、経年的に増加傾向にあるものを重点化の対象とする。
- (2) 保全方針の決定には、種々の点を考慮する必要があるが、前項で摘出した機器をどのように保全を行なえばよいか、また、これによる経済効果はどの程度かという点を検討し、この結果を実際に保全計画に取り入れることになる。前述の検索システムから頻度の多い故障原因と故障現象が得られるので、これを用いて保全を行なうべき項目が求められる。図5

表2 原子力用作業ロボットの現状 開発済み及び納入済みの作業ロボットの代表例をそのロボット化の目的とともに示す。

No.	区分	名称	ロボット化の目的			現状	
			定検短縮	被曝低減	省力化	開発済み	納入済み
1	交換装置	自動燃料取替機	○	—	○	—	●
2		制御棒駆動機構遠隔自動交換装置	○	○	○	—	●
3		中性子検出器交換装置	○	○	—	—	●
4	検査用装置	耐圧形主蒸気ラインプラグ	○	○	—	—	●
5		I6体形自動シッピング装置	○	—	○	—	●
6		半自動配管超音波探傷システム	—	○	○	—	●
7		RPV自動超音波探傷システム	—	○	○	—	●
8		移動式自動点検装置	—	○	○	●	—
9	除染装置	キャスク自動洗浄装置	—	○	○	—	●
10		水中真空掃除機	—	○	○	—	●
11		RPV内外除染装置	—	○	○	—	●
12	加工機	配管自動加工溶接機	—	○	○	—	●
13		使用済み燃料チャンネルボックス切断機	—	○	○	—	●

注：略語説明 RPV(Reactor Pressure Vessel)，定検(定期検査)

の例では、弁は動作不良に対する点検保守の改善の対象となる。このようにして得られた保全方針を採用した場合の経済的な効果は、次式によって算定することができる。

$$\begin{aligned}
 (\text{保全による利益}) &= (\text{保全による故障減少, 運転効率向上, 工数低減などコスト/年}) \\
 &\times (\text{プラント運転予定期間, 年}) \\
 &- (\text{保全費, 改造費など})
 \end{aligned}$$

ここで大きな項目としては保全による計画外停止の減少、プラントの運転効率の向上、保守作業の工数低減などの効果を考え、この結果得られる利益を総合評価して、保全方針が最終的に決定されるべきである。

### 4 保全用機器の開発

#### 4.1 原子力用作業ロボットの現状

定期検査期間の短縮、放射線被曝低減、省力化などを目的として、各種の作業ロボット(遠隔自動化装置)を開発してきた。その主要例を表2に示す。同表に示すように、原子力用作業ロボットは次の4種類に大別される。

- (1) 原子炉本体、又は付属装置の部品交換を目的とする交換装置
- (2) 原子炉運転中のプラント状態の監視、又は原子炉停止中の検査作業に使用される検査装置
- (3) 原子炉機器の放射線量低減を目的とする除染装置
- (4) 原子炉機器の改造、又は保守作業を目的とする加工機

#### 4.2 日立式原子力用作業ロボットの特徴と使用実績

以下に実際の作業に適用している主要機の実績について述べる。

##### (1) 自動燃料取替機

燃料取替作業は、定期検査作業の主要クリティカルパスと

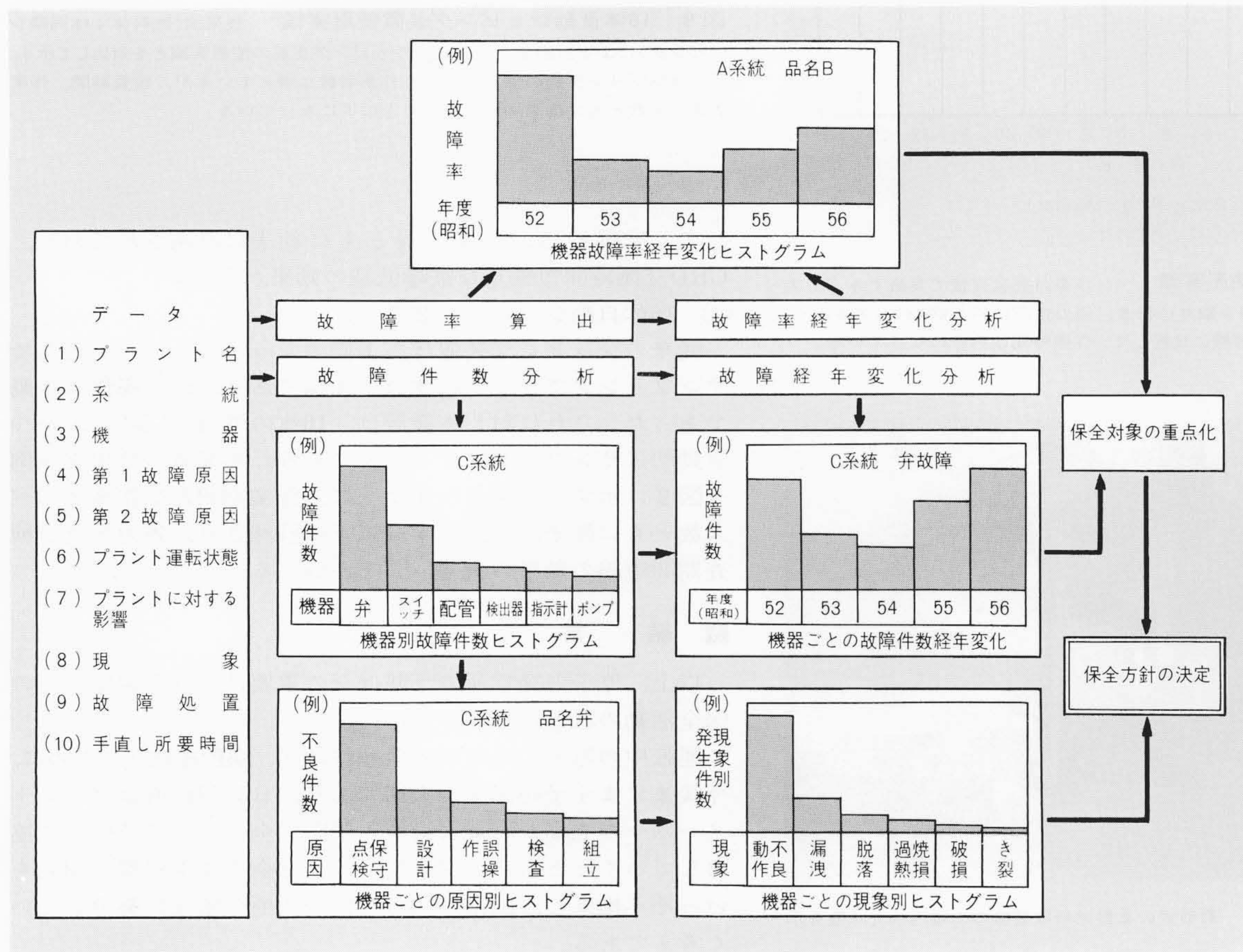


図5 運転データ分析に基づく保全計画立案のプロセス 米国の故障報告例が多く保全計画の参考となるが、我が国でのシステム、機器による故障データの蓄積が必要であり、それなくしては我が国のプラントに適した保全計画は難しい。また、プラントごとのデータにより、そのプラントの保全計画をするのが最も有効である。



なっているため、従来の手動操作式燃料取替機では、運転者の目視確認と機敏な操作に細心の注意が要求されていたが、計算機直接制御による自動燃料取替機の開発により、本作業は画期的に改善された。自動燃料取替機の使用実績例を図6に示す。本機の性能を燃料集合体などの取扱いステップ数で示すと、1日当たり最高78ステップ、平均60ステップとなっている。使用済み燃料貯蔵プールと炉心間の燃料移動所要時間は10~12分であり、手動方式運転のおよそ半分の時間で作業が可能である。最新式の燃料取替機の外観を図7に示す。本機は100ステップのデータをあらかじめインプットし、自動運転できるものである。

(2) CRD(制御棒駆動機構)遠隔自動交換装置

原子炉直下の原子炉圧力容器ペDESTAL室内への立入作業を最小限とするCRD遠隔自動交換装置は、被曝低減と作業の信頼性向上に大きく寄与している。本装置の使用実績例を図8に示す。第1日目は装置の調整と作業員訓練のため長時間を要しているが、2日目以降は所要時間及び被曝線量ともにしだいに低減している。従来の手動式のCRD交換装置に比較

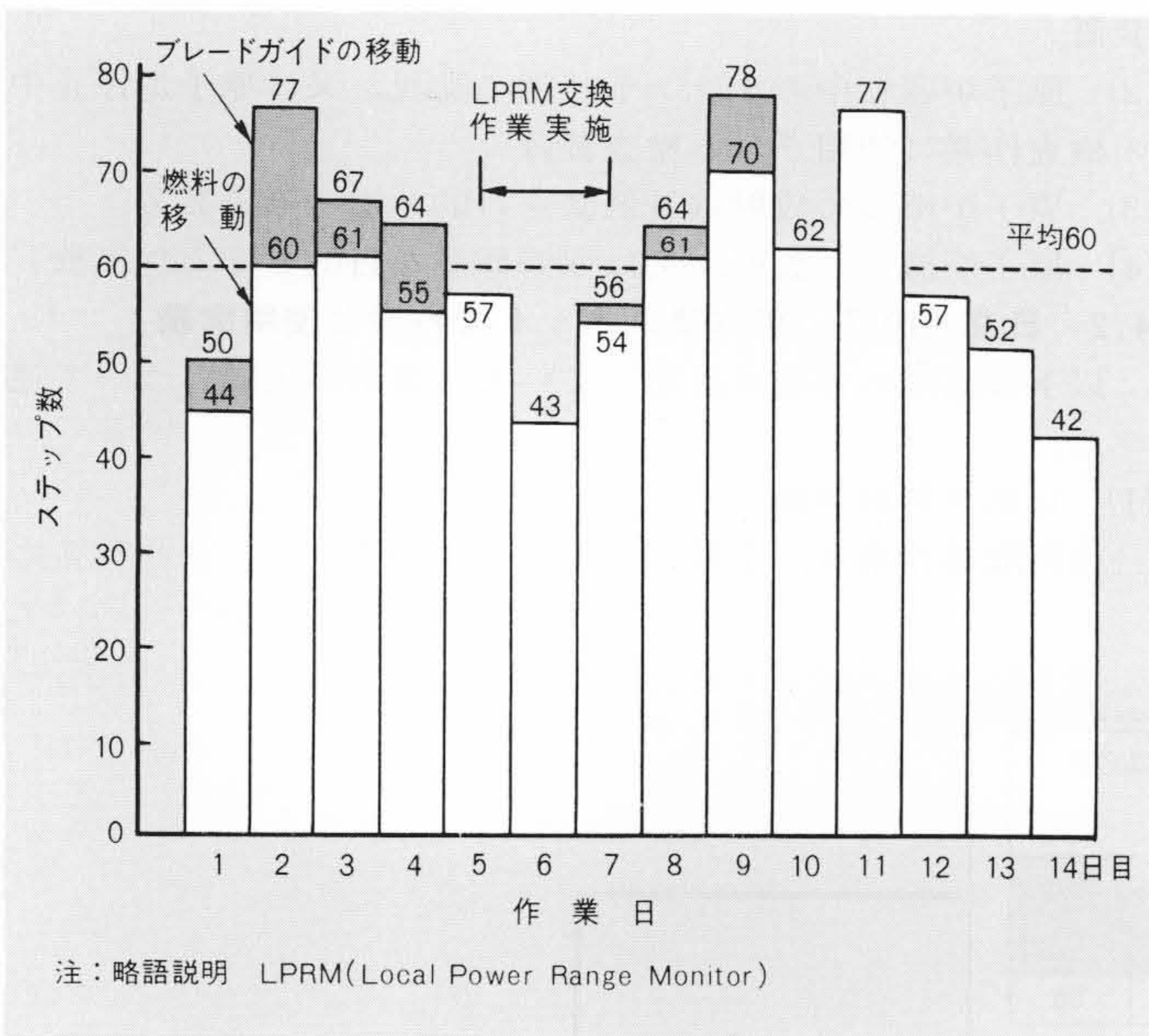


図6 自動燃料取替機使用実績 (1)作業は昼夜交替で実施する。1ステップとは、目標とする燃料を取りに行き、他の位置に移し終わるまでをいう。(2)従来の手動操作式燃料取替機に比較して、作業時間は約半になっている。



図7 自動燃料取替機 最新式の自動燃料取替機の工場内組立状態を示す。

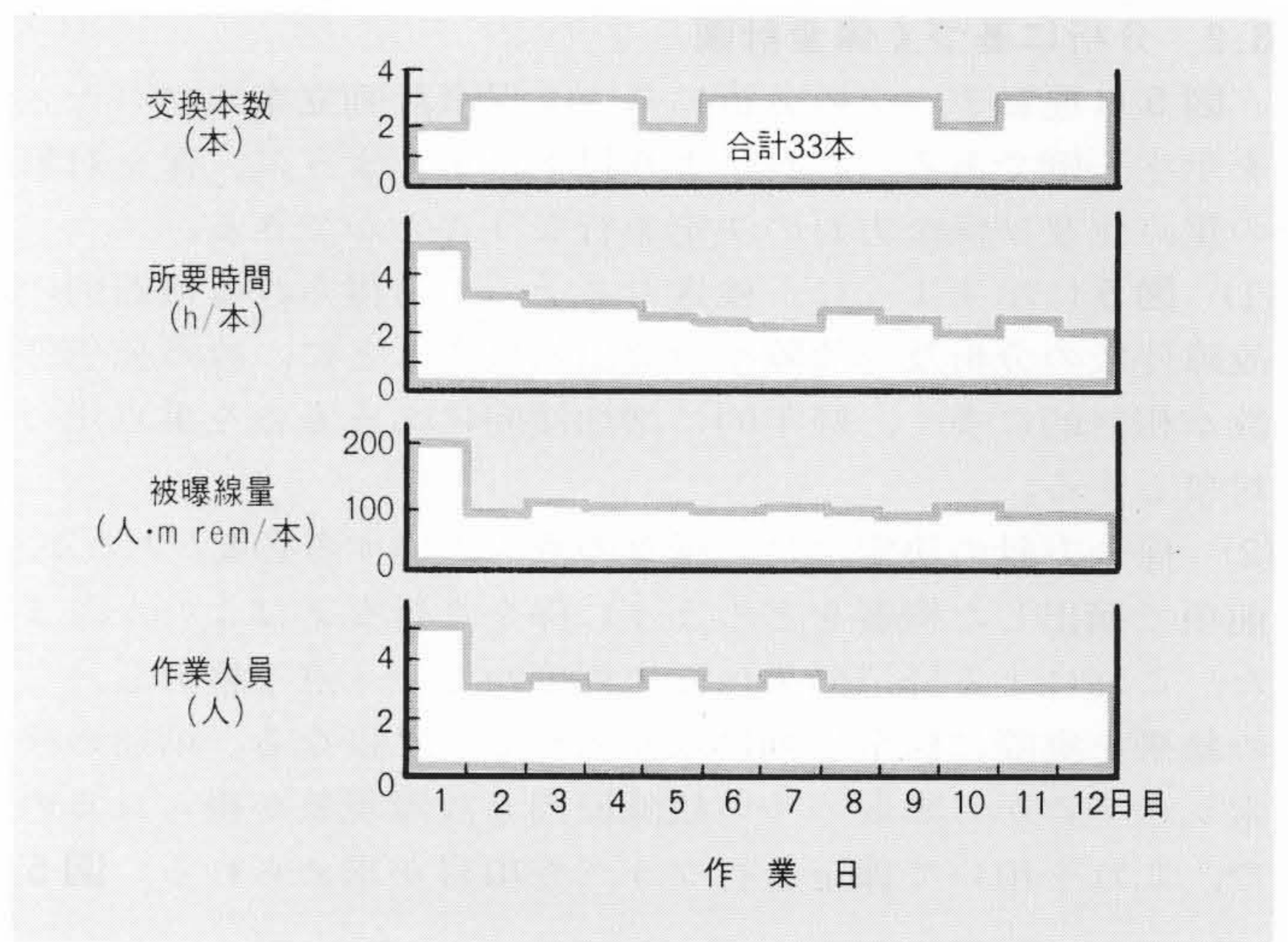


図8 CRD遠隔自動交換装置使用実績 CRD(制御棒駆動機構)交換装置の使用実績を示す。同一発電所で手動式と比較して、被曝線量、作業人員ともに約半になっている。

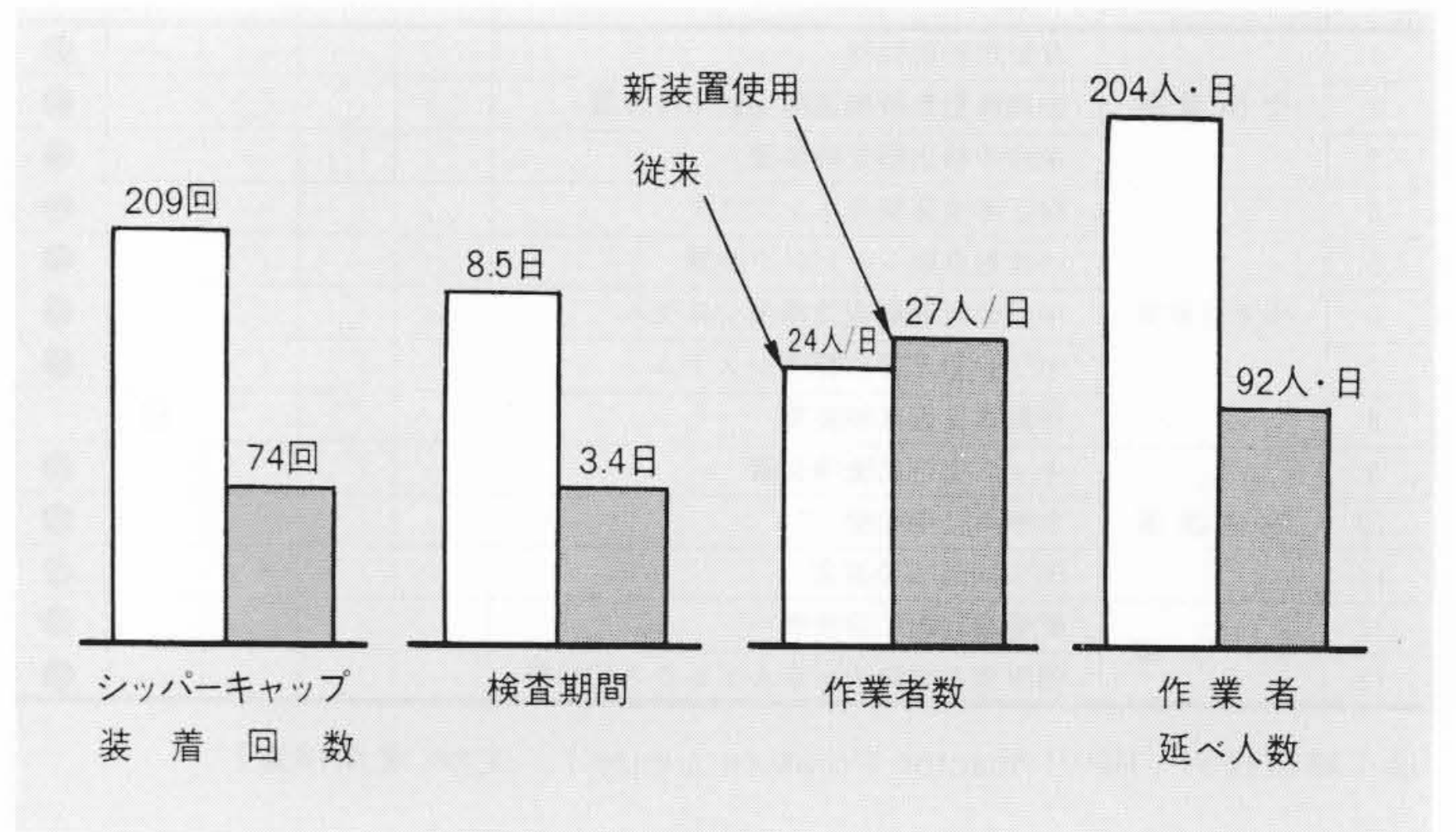


図9 16体自動 SHIPPING 装置使用実績 従来法(燃料体4体同時 SHIPPING)による計画値と16体自動 SHIPPING 装置の使用実績とを対比して示す。同時サンプリング数の増加により、作業人数は増えているが、検査期間、作業延べ人数ともに従来法に比較して半以下になっている。

して、被曝線量、作業人員ともに約半に低減されており、CRD交換時間短縮及び被曝低減の効果が大きい。

(3) 16体自動 SHIPPING 装置

従来の SHIPPING 装置は、1回のシッパーキャップ装着でサンプリングできる燃料体数は4体であり、かつ操作は手動であった。これに対し本装置は、16体の燃料を同時に、かつ自動的にサンプリングするものである。本装置の使用実績例を図9に示す。同図に示すように、作業期間及び作業延べ人数ともに従来法に比べ半以下に低減され、省力化及び検査期間短縮の効果の大きいことが分かる。

5 結 言

以上、原子力発電所の予防保全の重要性と日立製作所での保全活動の状況について述べた。

運転中の原子力発電所の信頼性確保、稼働率向上のために、今後ますます予防保全が大切であり、日立製作所はプラントメーカーの立場から電力会社の予防保全に対して積極的に協力していくとともに、保全技術及び保全作業用機器の開発をいっそう推進し、国情にあった保全技術の確立に努力していく考えである。