

# 原子力プラントの経年化対策と予防保全

## Aging Management and Preventive Maintenance for Nuclear Power Plants

別所 東一\* Tôichi Bessho 佐川 渉\*\* Wataru Sagawa  
小山田 修\*\* Osamu Oyamada 内田 俊介\*\*\* Shunsuke Uchida



日立製作所のBWR予防保全技術センター

原子炉建屋の作業床から原子炉圧力容器下部までを実寸大で模擬した設備であり、原子炉機器の補修作業時の施工条件の確認に活用している。

原子力発電は、長期にわたって電力供給の基幹を担っていくことが期待されている。そのためには、運転中の原子力プラントに適切な予防保全を行い、高い信頼性および稼働率を維持していくことがきわめて重要である。特に、毎年行われる定期検査を効率よく遂行し、短縮化を図って稼働率を向上させること、および運転年数の長くなった経年化プラントの的確な保全によって信頼性を維持することが強く要請されている。

定期検査の効率化・短縮化については、至近年度での実現を目指し、電力会社の指導のもとに準備を

進めており、さらに定期検査の最適化に向けた長期的な手法・技術の開発に取り組んでいる。

経年化プラントの信頼性確保のためには、機器・材料の経年変化メカニズムの把握と寿命評価により、適切な検査・診断と補修・取り替えなどの対策を図っていくことが重要である。特に、接近の容易でない原子炉圧力容器や炉内機器の保全技術の開発に注力し、実際のBWR(沸騰水型原子炉)プラントの構造を模擬した実規模モックアップ設備により、遠隔装置の機能確認や施工条件の確立を図っている。

\* 日立製作所 原子力事業部 \*\* 日立製作所 日立工場 \*\*\* 日立製作所 電力・電機開発本部 工学博士

## 1 はじめに

わが国の運転中の原子力発電の設備容量は、平成6年末で4,036.6万kWとなり、全発電量の約30%を担うまでになっている。

このうち、運転開始後20年以上経過したBWRプラントの設備容量は206万kWであり、プラント基数としては4基である。これらの値は、当然ながら次第に増加していくことになり、経年化への対応がますます重要になっている。

一方で新しいプラントも次々と参入し、プラント数も増大していく。

したがって今後の原子力プラントの保全サービスは、経年化の程度や設計世代の相違を考慮し、各プラントのそれぞれの事情を勘案し、的確に計画された内容とすることが求められる。その基盤となるところは、安心して運転できるように信頼性を維持することであり、加えて原子力発電を取り巻く要因を多面的に評価しなければならない。

ここでは、これらの課題に対する日立製作所の取組みについて述べる。

## 2 保全サービスにおける課題

保全サービスに求められる課題は、図1に示すように多岐にわたっている。特に電力の安全・安定供給と経済性向上を両立させることが、従来以上に強い社会的要請となっている。とりわけ、運転プラントの基数の増大とともに、多数プラントの定期検査(以下、定検と略す。)を

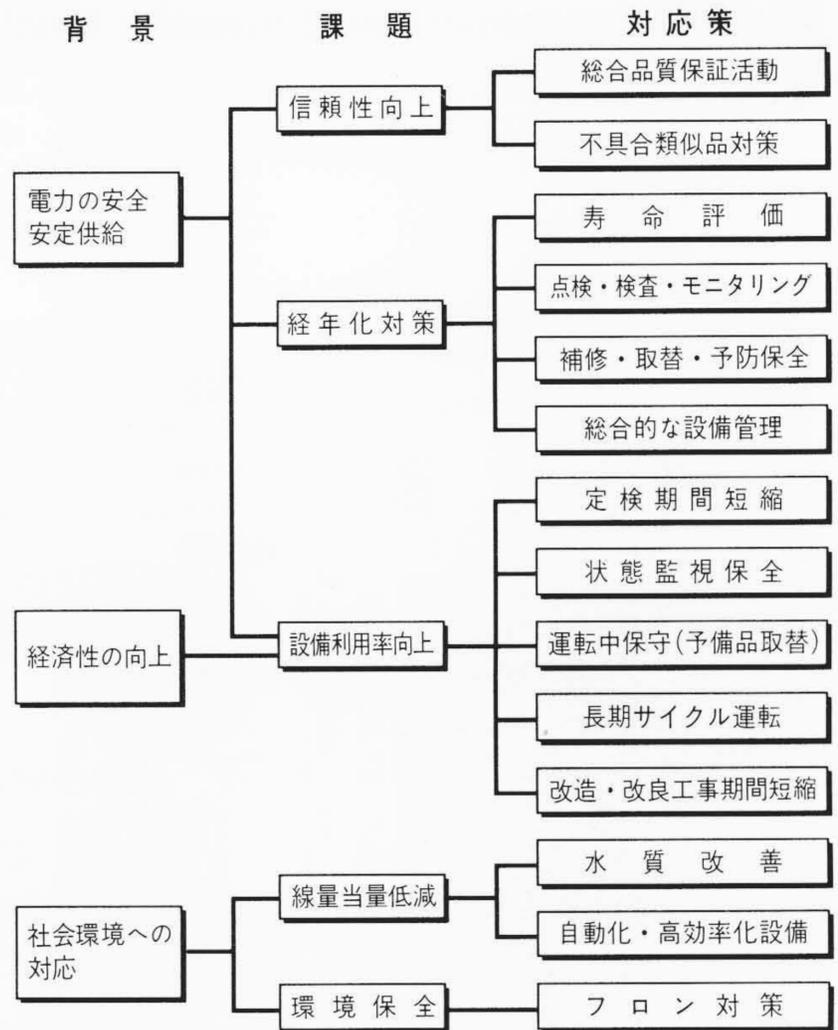


図1 保全サービスにおける課題と対応  
電力の安全・安定供給とともに、経済性の向上が求められている。

効率よく遂行し、原子力プラントの稼働率を向上させること、また運転年数の長くなった経年設備・機器の的確な保全を進めることが重要な使命となっている。

## 3 信頼性向上への活動と成果

わが国では、国・電力会社・プラントメーカーが協力

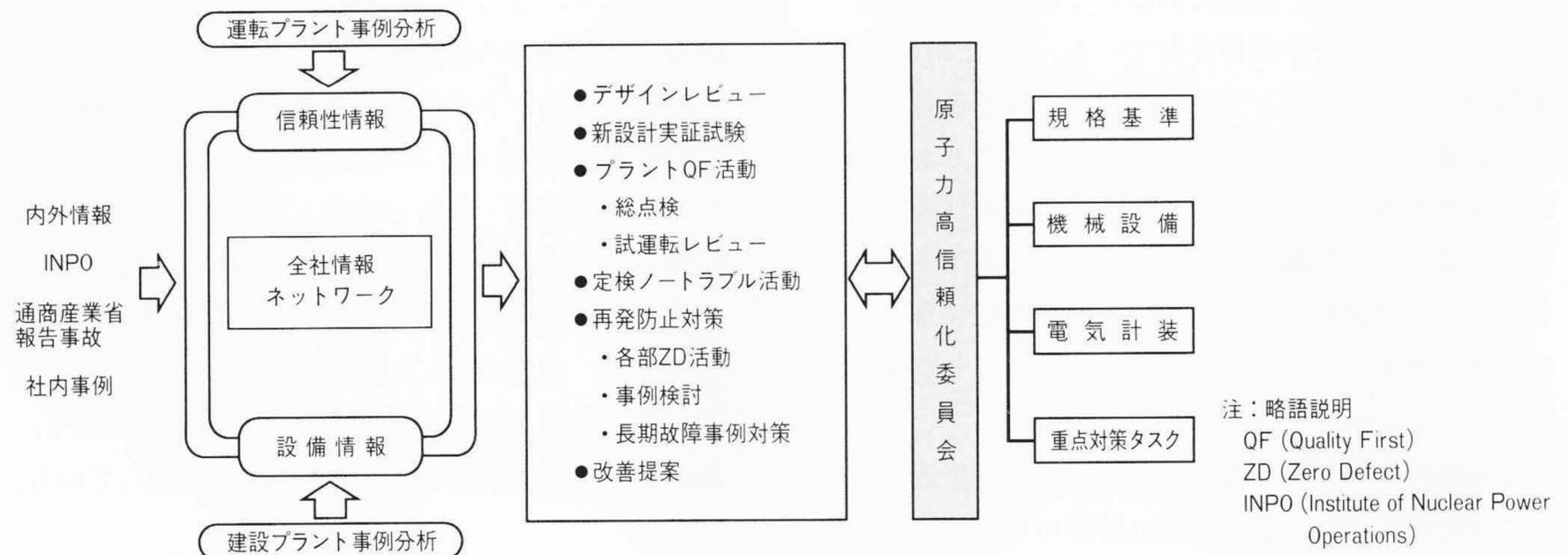


図2 日立製作所の原子力信頼性向上への取組み  
建設から運転保守に至るまで、一貫して全社一体となった品質保証活動に取り組んでいる。

し、改良標準化をはじめとした信頼性向上活動に取り組んできた結果、今日では世界でトップレベルの運転実績をあげている。

日立製作所は、プラント建設段階から予防保全サービス段階に至るまで、一貫して全社一体となった品質保証活動を展開している(図2参照)。計画・設計段階でのデザインレビューや実証試験による徹底した新設計の検証、建設中プラントの品質向上活動(プラントQF: Quality First)の推進とともに、コンピュータを利用した全社情報ネットワークにより、国内外の運転経験やトラブルの原因究明・再発防止対策の徹底を図り、建設・運転中プラントの信頼性向上に努めている。こうした活動の社内統括のため、原子力高信頼化委員会を定期的開催し、規格基準の整備や重点課題の検討を図っている。

こうした活動は実際のプラントの運転性向上や信頼性向上に寄与し、わが国の計画外停止件数の低減、設備利用率の向上に少なからず結び付いているものと考えている(図3参照)。今後さらに経済性の向上を目指して、定検の短縮というニーズにこたえながら、高信頼性の維持を図っていく。

#### 4 定検の効率化と期間短縮

##### 4.1 定検と設備利用率

原子力はベースロードを担っており、設備利用率を上げることが重要である。原子力発電設備の定検では、法令による官庁・第三者機関の立会検査のほか、電力会社の自主点検および改良改善工事などが行われている。プラント停止期間はこれらの検査、工事内容によって変わり、平均して90日強(最近の5年間平均)となっている。

これらの点検・保守活動は、諸外国に比べても広範かつ入念であり、これがわが国の原子力プラントの高い信頼性を築く要因となってきたが、一方この期間は設備の不稼働期間となっている。設備利用率向上のためには、定検を極力効率よく行って短縮すること、または定検から定検までの運転期間を長くする、いわゆる長期サイクル運転が有効と考えられている。

##### 4.2 定検の効率化と期間短縮への取り組み

定検時での保守点検性の向上、作業者の線量当量低減、および定検期間の短縮は、当初から原子力発電の定着化のための大きな課題であり、昭和50年代に官民協力して行われた改良標準化計画の中で、定検支援設備などの改善が行われ、大きな成果が得られた。

さらに、最近の設備利用率向上の要求に対応し、大き

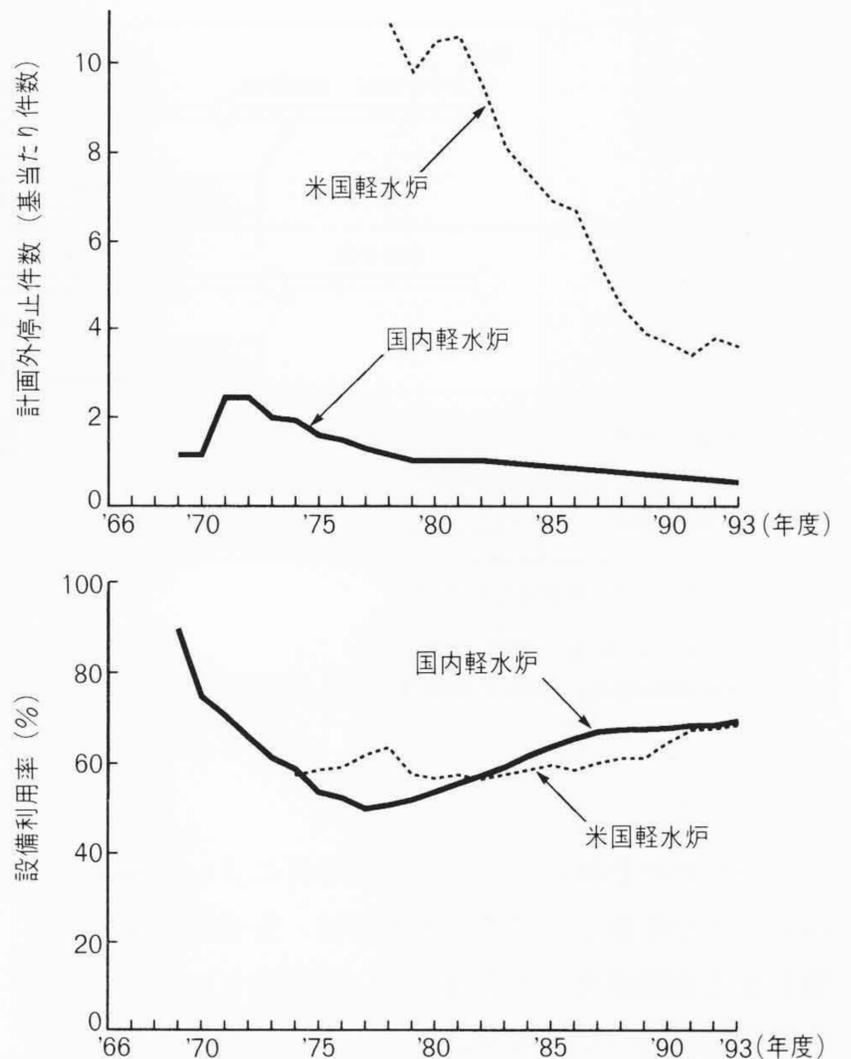


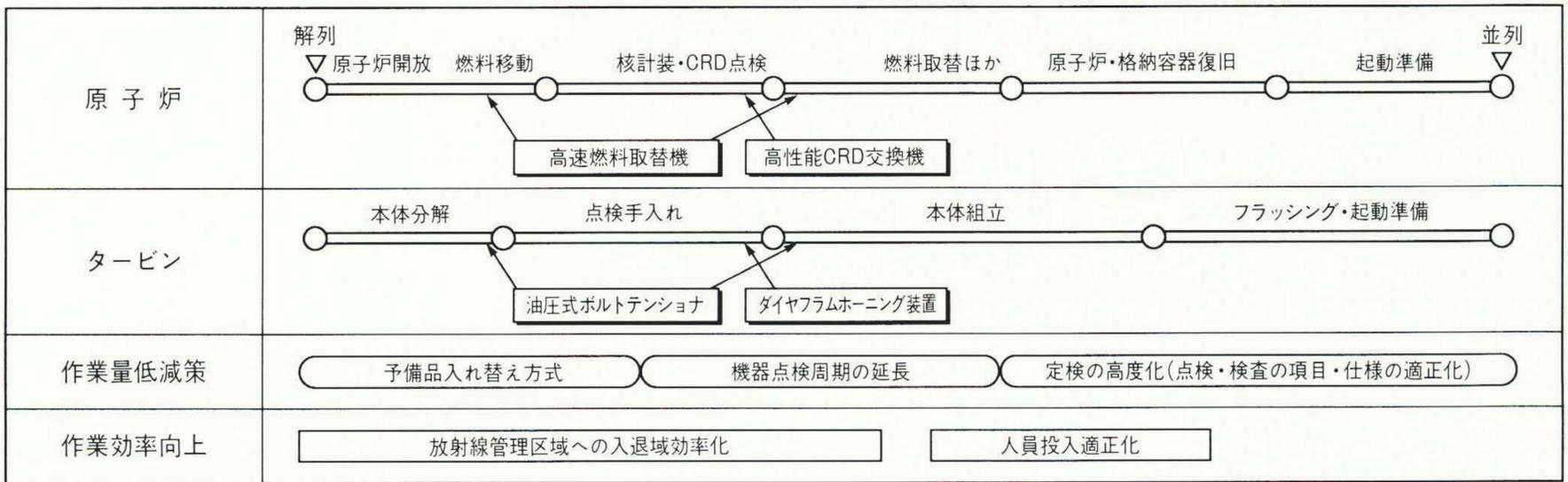
図3 計画外停止件数、設備利用率の推移

日立製作所は、一貫した品質保証活動などにより、わが国の計画外停止件数の低減、設備利用率の向上に寄与している。

な改造・改良工事のない標準的な定検を約2週間短縮し、平成7年度実施予定の定検で、110万kW級BWRプラントでは国内最短の60日で実施するように準備を進めている。将来的には、高機能設備の導入、国の定検高度化検討などによる合理的な短縮を目指しているものの、当面の具体策としては原子炉関連工事、タービン分解点検、海水系機器の点検など、多岐にわたるクリティカル・サブクリティカル工程の作業分析を行い、人員の適正投入、作業方法の改善、および予備品使用の最適化の検討を図っている。また、全体的な効率向上を図るため、原子力発電所に特有な放射線管理区域の入退域に伴うロス時間を最小限に抑えるため、電力会社と協力してこの改善に取り組んでいる。これらの具体策を図4に示す。

##### 4.3 定検の最適化と長期サイクル運転

これまでの定検のやり方は、経験的に定められた時間周期ごとに機器の分解・点検を行う、いわゆる時間計画保全であるが、機器の性能・信頼性が改善されている最近のプラントに対しては、過剰になっているとの指摘もされている。したがって、信頼性のレベルを維持しながら、検査内容・周期(頻度)を最適化していくことが求め



注：略語説明 CRD (制御棒駆動機構)

図4 定検の効率化・短縮化対応策

高機能設備の導入、国の定検高度化等への取組みとともに、予備品入れ替え、作業方法の改善などの具体化を図っている。

られている。

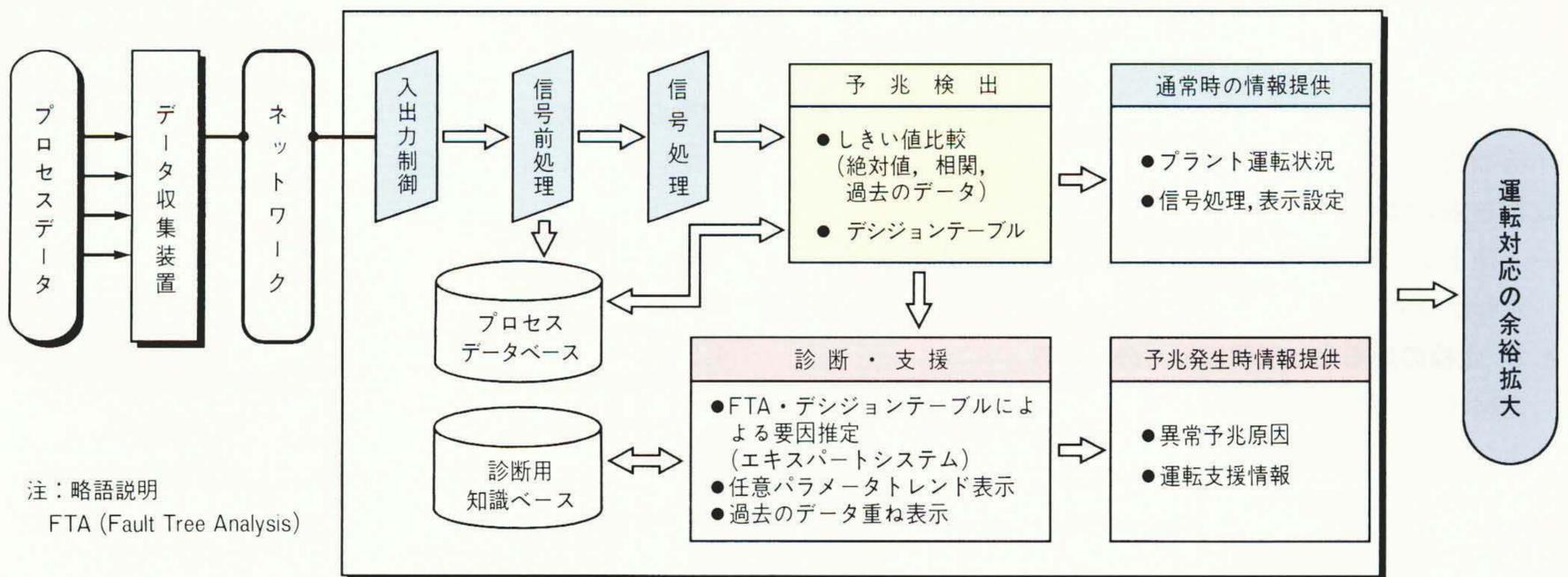
このための手法として、信頼性解析によって機器の故障モードを評価し、プラント運転性・安全性に重大な影響を与える故障モードを抽出し、信頼性とコスト、効果の最適化を図った保全方法を決定する信頼性重視保全方式の活用に取り組んでいる。

信頼性重視保全は、効果の少ない保全作業の削除や、保全方法の選定および保全頻度の最適化にあたって有効な手法と考えられている。これにより、故障モードの発生防止に有効な保全作業、周期などを具体的に決定するとともに、運転状態を監視し兆候を検出診断して、適切な保全を行う状態監視保全への移行を図ることが期待できる。

このための予兆検出・診断・支援を目的としたプラン

ト監視診断技術を継続して開発中である。このシステムの一例を図5に示す。プラントのプロセスデータをデータ収集装置で収録し、絶対値や相関値の監視によって異常を予兆の段階で検出し、AI、パターンマッチング手法などによる異常発生個所の診断、対応処置の支援を行う。また通常時には、適切なサンプリング時間ごとにプラント正常時のデータを収集し、圧縮して保存し、異常の判定に用いる。

定検から定検までの運転期間は、国内では12か月が標準となっているが、海外では18ないし24か月の長期サイクル運転が行われている。今後、国内でも運転サイクルが長期化される方向にあり、これに備えた燃料やポンプのシールのような機器の取替部品の開発がすでに完了し



注：略語説明  
FTA (Fault Tree Analysis)

図5 プラント総合監視診断システム

プロセスデータを周期的に取り込み、異常を予兆の段階で検出して原因を診断する。

ている。

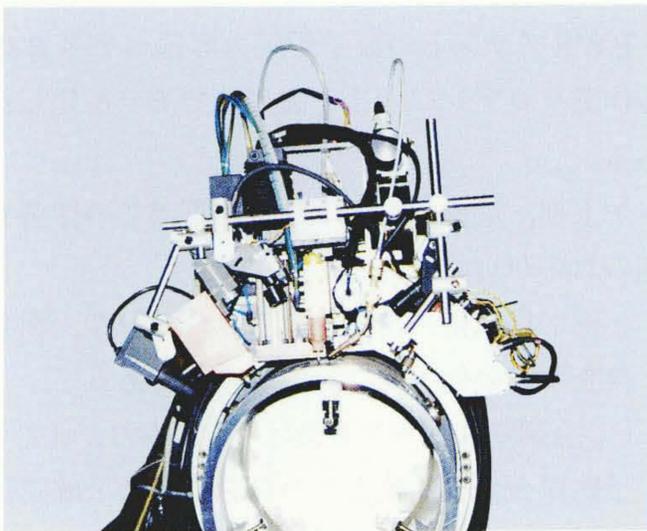
#### 4.4 大型改造工事期間の短縮

最近の予防保全工事計画の動向を考慮すると、定検の期間が、短期-短期-長期といった、数年間を見通したあるパターンで計画される傾向にある。このため、大型の改造工事は長期の定検時に集約して実施されることになるが、その中でもこの長期定検をいっそう短縮し、できるかぎり短い期間で実施する必要がある。

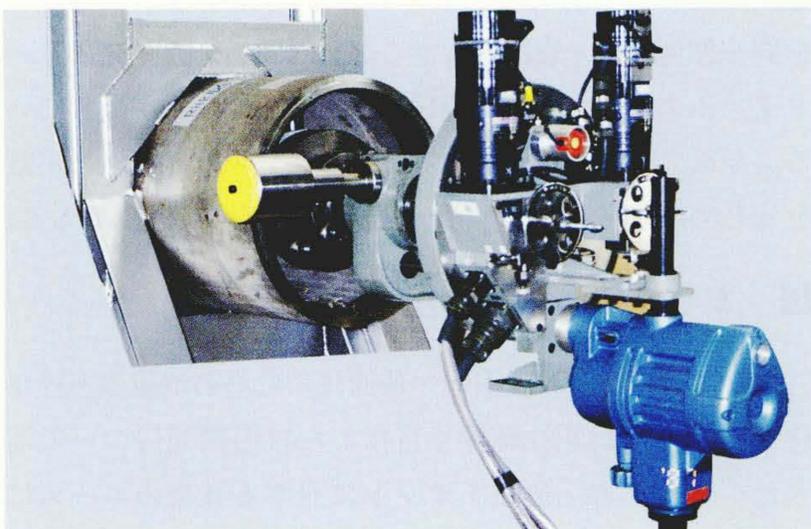
このようなニーズに対応するため、工事の一部を事前に定検前に実施しておく工事手法の改善、現地工事用自動化設備の開発と有効活用、ブロックモジュール化の導入などの手法、工法、設備の改善に取り組んでいる。これらの工事用設備の一例を図6に示す。現場ニーズに合わせた小型、軽量で使い勝手の良い設備の開発と活用で効果を上げるようにしている。

### 5 経年化プラント信頼性確保への取組み

'70年代初期に運転を開始したプラントは、すでに20年



(a) 全自動溶接装置



(b) 遠隔NC配管加工機

図6 工事用自動化設備の例  
現場ニーズに合わせた使い勝手の良い設備を開発している。

以上を経過している。これらの経年化プラントの安全性・信頼性の確保のためには、機器・材料の経年変化メカニズムの把握と寿命評価により、適切な検査・診断と補修・取替などの対策を図っていくことが重要である。これまでわが国では、海外先行プラントの運転経験などから、早目に取替等の予防保全を実施してきたが、今後は、取替が容易に行えない原子力压力容器や炉内機器の適切な保全がますます重要となっており、日立製作所はこのための技術開発に取り組んでいる。

#### 5.1 炉内主要機器の寿命評価

補修・取替などの作業とその準備に時間のかかる炉内機器に対しては、不具合の発生を事前に予測し、必要に応じて的確な予防保全を施して、先手管理によって不具合の未然防止を図ることが重要である。

このためには、各機器、各部材を構成する材料の経年変化メカニズムを明確にし、寿命を定量的に評価することが重要である。この結果に基づき、各機器、各部材での問題発生の可能性だけでなく、発生する可能性のある時期を予測して、該当部材の使用環境で最も効果的な劣化抑制策を提案する。さらに、その効果と実施までに許容される時間的余裕を推定したうえで、必要に応じてモックアップ装置を使用し、施工技術を確認する。以上のプロセスを図7に示す。

日立製作所は機器材料の応力腐食割れ(SCC)による損傷可能性を予測するため、材料、応力、環境についての

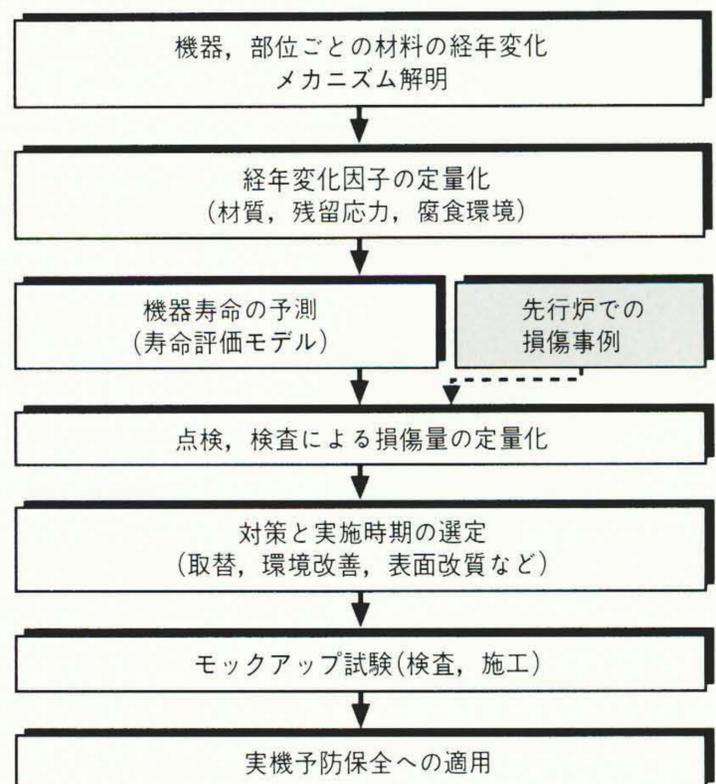


図7 BWR炉内機器、構造の寿命評価と対策  
寿命予測に基づく先手管理の手順を確認し、予防保全に適用している。

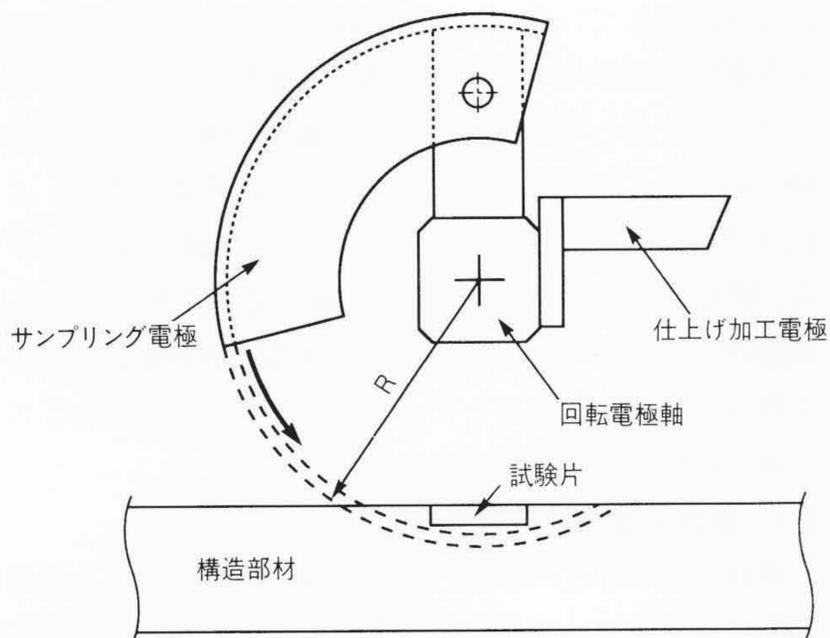


図8 放電加工によるサンプリング

純水中で微小試験片をサンプリングするための加工電極の構造を示す。

8種類の因子を取り込んだ「寿命評価指数」と呼ぶ手法を開発した。すでに、炉内のステンレス鋼、インコネル合金を対象とした損傷評価ツールとして実際に活用している。

今後、機器・材料のいっそうの定量的な寿命評価が重要になると考えられる。このためには、損傷の発生・進展の定量的把握と、材料自体の中性子照射などによる劣化を取り入れた寿命評価が必要になる。

## 5.2 炉内機器の点検・補修・予防保全技術

### (1) 検査・診断技術

これまでに、BWRの供用中検査技術高度化の一環として、原子炉圧力容器の溶接部を内面から検査可能な超音波探傷技術を開発してきた。しかし、炉内機器を対象とした非破壊検査では、狭隘(あい)部が多く近接が困難であること、高い放射線レベルによるセンサの劣化などの新たな問題が存在することなどのため、さらに高度な技術が要求される。

そのため日立製作所は、走行機構と形状可変のアームを持ち、複雑かつ狭隘な部位にもアクセス可能な超音波探傷装置を開発した。また、センサの耐水性、耐放射線性についても評価し、実プラントに十分適用できることを確認した。

また、炉内機器については、照射や熱による経年変化を定量的に診断することも要求される。経年変化を高い精度で診断する場合は、構造部材そのものから微小試験片をサンプリングする方法が優れていると考えられている。

日立製作所は、純水中で放電加工により、微小試験片をサンプリングできる技術を開発した(図8参照)。

これら検査・診断技術の向上は、予防保全工法などの実機適用時へ施工条件を決定するために有用なことを考えている。

### (2) 炉内機器の補修・予防保全技術

これまで日立製作所は予防保全技術として、環境改善策では水素注入技術を、応力改善策では誘導加熱式応力改善法およびウォータージェットピーニング法を、材料表面改質法としてはハウジング内面を対象としたTIGクラッド法などを開発してきた。これらに加え、さらにレーザー表面改質法などの開発を進めている。

また、炉内機器に関する各種の補修・取替工法の実機適用技術の開発も進めている。

### (3) 実規模炉内模擬試験設備

これまでに述べてきた各種の技術を実機に適用する場合には、実際の環境を極力忠実に模擬した設備を使い、機能確認および実機を念頭に置いたトレーニングを十分に実施しておくことが不可欠である。日立製作所はこの目的のために、BWR予防保全技術センターを建設し、各種試験に使用を開始した(43ページの写真参照)。

このセンターの特徴は次のようにまとめられる。

- (a) BWRプラントの原子炉圧力容器ペDESTAL下部から作業フロアレレベルまで実規模でモデル化した設備である。
- (b) 炉上部、炉内はもとより、炉下部での作業も伴う各種の対応が可能である。
- (c) ピットは余裕を持って設計されており、開発、試験、検査などの効率的な対応が可能である。

さらに、会議室スペースも設けられており、研究者・設計者・予防保全工事関係者との打ち合わせ・確認作業やデザインレビューなども行える。複数機器の開発・試験を同時並行的に行えたとともに、予防保全工事の全工程を同一個所、同一条件で行うことにより、研究開発のリードタイムの短縮や施工品質の向上も図れるようにしている。今後、この設備を用いて各種の補修・取替工法の実証をはじめ、試験、トレーニングを実施していく計画である。

## 6 おわりに

ここでは、定検の短縮化・最適化のための取組みと経年化プラントの信頼性確保を目指した技術開発について述べた。今後とも、運転プラントに対する社会のニーズにこたえるため、電力会社をはじめ関係各位のご指導を得ながら技術の開発、および保全サービスの充実に取り組んでいく考えである。