

原子力発電運転プラントの予防保全技術開発と設備の高度化

Development of Preventive Maintenance Technology and Advanced Service Equipment for Operating Nuclear Power Plants

日立製作所は原子力発電プラントの供給メーカーとして、建設段階でのプラント計画、保全性設計から運転・保守段階での予防保全計画、作業に至るまで一貫した総合予防保全活動を実施し、プラントの稼働率および信頼性向上のために努めている。そのためには、地道な信頼性向上活動を全社レベルで展開するとともにコンピュータによる予防保全計画、管理の合理化、AIを応用したロボットなどの開発を行っている。

設備面での高度化技術として、ボロンラック、長寿命制御棒などを開発し実用化を図っている。また、将来へ向けてSQUID(超電導量子干渉素子)による材料劣化などの診断技術の開発を進めている。

阿部和宏* *Kazuhiro Abe*
 荒川忠男** *Tadao Arakawa*
 住川雅晴*** *Masaharu Sumikawa*
 平川博将* *Hiromasa Hirakawa*
 長谷川邦夫**** *Kunio Hasegawa*
 加藤監治***** *Kanji Katô*

1 緒言

日立製作所はプラント建設段階での保全性設計の折り込み、運転・保守段階での予防保全の計画、保守作業の実施など総合的な予防保全活動を展開し、プラントの稼働率および信頼性の向上のために努めている。今後、さらにいっそうこれらの向上を図ってゆくためには、より充実した予防保全計画とその保全活動を着実に実施してゆくとともに、設備に対する高度化を進める必要がある。これらの実施にあたっては徹底した信頼性向上活動を展開するとともに、コンピュータ支援による予防保全計画業務の質的高度化、インテリジェント化したロボットの導入、新技術を折り込んだプラントサービス設備などの開発を進めており、一部はすでに運用に入っている。本稿は、これらに関する主な項目について論述するものである。

2 日立製作所での予防保全活動

2.1 プラントサービスへの取り組み

日立製作所は電力会社のニーズを踏まえて、図1に示すような原子力発電所の計画・建設段階での予防保全設計から運転・保守段階での予防保全活動に至るまで一貫した総合サービスを実施してきている。プラント計画、建設段階では保守性向上設計を行うとともに、設備面では交換装置、点検装置など保守用装置およびプラント・機器の長寿命化技術の開発

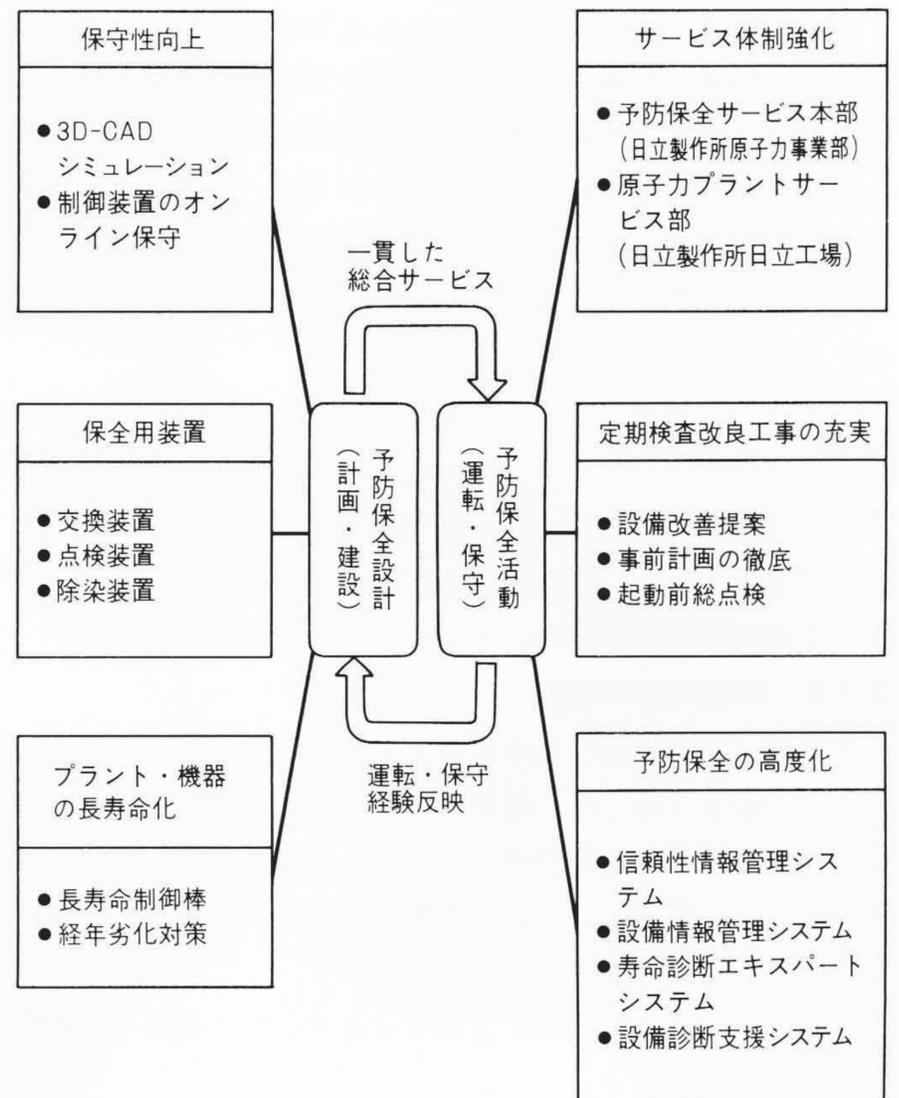


図1 プラントサービスへの取り組み 日立製作所は、プラント建設から運転・保守まで一貫した総合予防保全活動を実施している。

* 日立製作所 日立工場 ** 日立製作所 原子力事業部 *** 日立製作所 日立工場 工学博士 **** 日立製作所 機械研究所 工学博士 ***** 日立製作所 エネルギー研究所

に取り組んでいる。運転・保守段階では予防保全サービス体制を強化し、プラントの信頼性をより高めるため各電力会社に対する積極的な設備改善提案活動を推進するとともに、施工の事前計画の早期着手を目標に、定期検査工事の充実を図ってきている。また、予防保全の高度化技術として、設備データベースシステム、および各種診断システムの開発、運用を行ってきている。

さらに、特殊熱処理によるチャンネルボックスやボロン添加材料を用いた燃料ラックなど、設備面での高度化も図ってきている。これらの結果は、新設プラントの計画および保全性設計にフィードバックするとともに、高度予防保全システムを活用した支援体制を整備して、運転・保守性の向上にいっそう努めている。

2.2 信頼性向上活動

日立製作所では、原子力発電プラントの計画・設計、建設、保守の各段階にわたって一貫した品質保証体系の下に信頼性向上活動を実行し、安全性・信頼性の高い原子力発電プラントの建設・保守に努めている。信頼性向上活動の概要を図2に示す。以下、運転プラントサービスでの主要な活動具体例について述べる。

2.2.1 品質意識の高揚

信頼性向上活動の基本には、日立製作所の伝統である「落穂拾いの精神」がある。これは過去の貴重な教訓を田畑に落ちた稲穂に例え、これを拾い集め製品の品質向上および顧客との信頼関係の向上に役立てようという考え方である。この精神を基に、信頼性意識高揚としてのクオリティファースト運動を、各事業所や建設および定期検査サイトへ全社的に展開し、信頼性の絶対確保に努めている。

これまで、実施してきた活動例を以下に述べる。

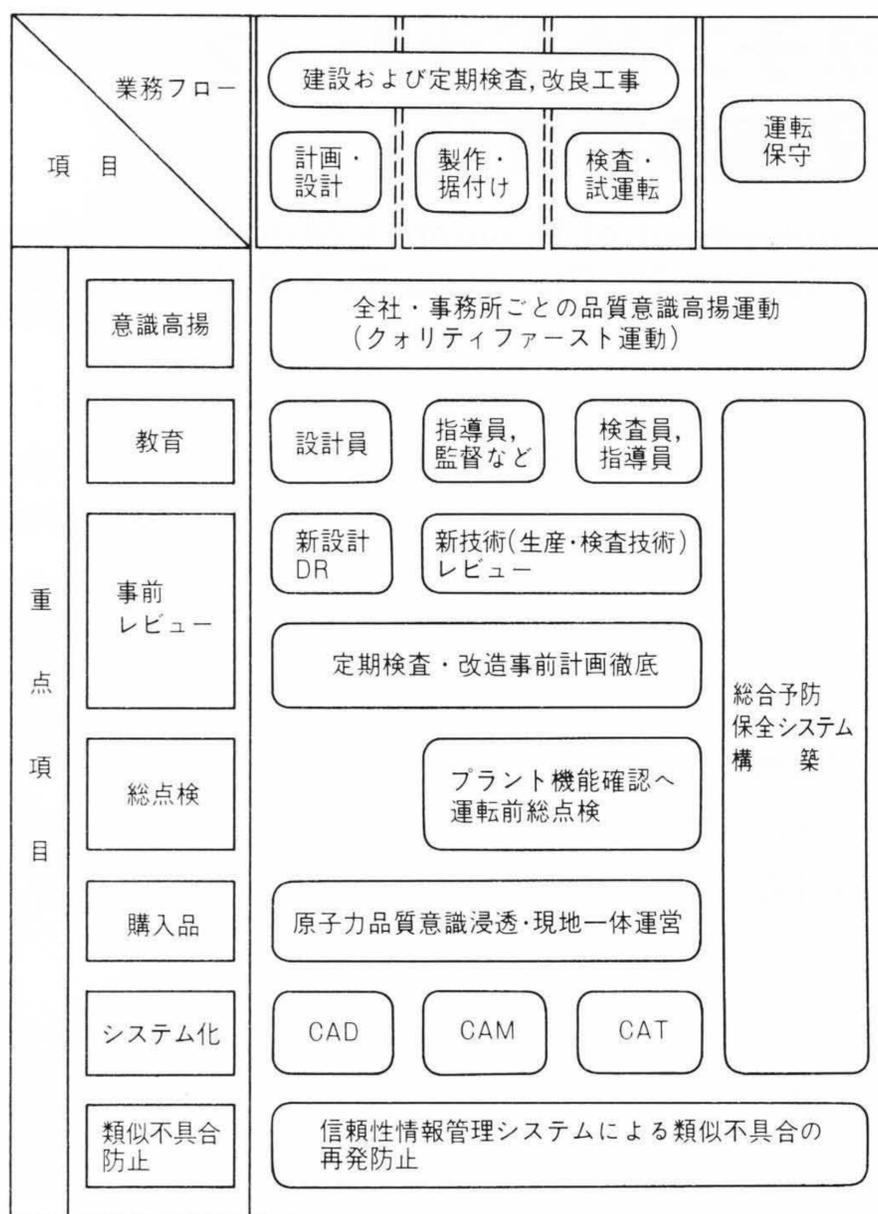
- (1) 原子力システムエンジニア教育
- (2) 作業員・監督などの定期的教育および技量認定
- (3) 小集団活動による業務改善提案
- (4) 信頼性強調月間運動による啓蒙(もう)など

2.2.2 事前計画の充実

約1年ごとに実施される原子力発電プラントの定期検査時の種々の改良工事では、運転プラントとしての制約を配慮し、十分な事前計画が信頼性確保上重要である。日立製作所では、各電力会社に協力し、改良工事施工の2年前計画着手を原則に、設計・作業の充実を図っている。

事前計画項目には下記を含めることとして、品質・信頼性の確保を図っている。

- (1) 改良工事に伴う系統アイソレーション法
- (2) 現地試験での確認項目
- (3) 放射線管理
- (4) 既発不具合対策の反映ほか



注：略語説明 CAT (Computer Aided Test)
DR (Design Review)

図2 原子力信頼性向上活動 日立製作所は、原子力発電プラントの計画から保守段階にわたって、一貫した品質保証体系のもとに信頼性向上活動を展開している。

2.2.3 類似不具合の再発防止

計画・設計から保守までの各段階で共通して重要なのは、発生した不具合に対して原因を究明して的確な対策を講ずるとともに、類似の不具合を他の設備や他のプラントでも発生させないよう類似品対策を徹底することである。このために、図3に示すように信頼性情報管理システムを用いて、再発防止対策会議を毎月実施し、類似品対策の徹底を図っている。

3 予防保全技術開発

予防保全計画業務の高度化を図る目的で、日立製作所はコンピュータ支援によるシステムの開発を進めており、一部は運用に入っている。その一例を表1に示す。これらのシステム技術の主なものは、日立製作所工学技術研究誌「日立評論」の1990年8月号⁹⁾で述べているので、本稿ではそこで触れなかったシステムについて述べる。

3.1 保守作業支援システム

プラント運転中に、機器の点検や補修を行う場合、プラント運転に対する影響や作業間の干渉が発生しないように、あ

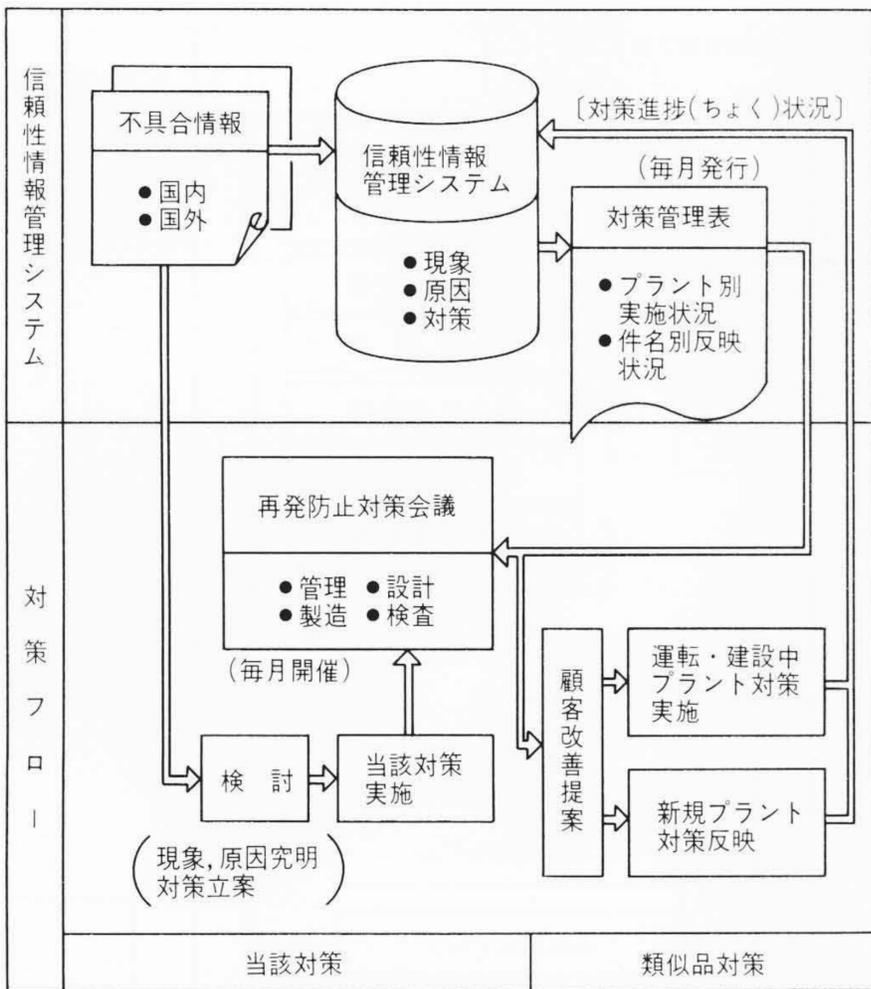


図3 類似の不具合再発防止管理 信頼性情報管理システムにより、類似不具合の再発防止管理が行われる。

表1 日立総合予防保全システム一覧表 日立製作所では、予防保全計画業務の高度化を図る目的でコンピュータ支援によるシステムを開発している。

No.	システム名	機能
1	設備情報管理システム	プラント機器仕様を収納したデータベースで、類似品の検索などに用いる。
2	点検履歴管理システム	機器の30年間にわたる点検履歴データを収納して、予防保全計画時に点検履歴情報の提供を行う。
3	信頼性管理システム	国内外での原子力プラントの信頼性情報の収納と、日立製作所納入プラントに対する対策の実施管理を行う。
4	予防保全総合計画支援システム	電力会社に対するプラント設備の改善提案、および点検・推奨を行うシステム
5	予防保全総合管理支援システム	予防保全の設計から現地での工事まで、一貫して管理するシステム
6	余寿命診断エキスパートシステム	ポンプ、制御棒駆動装置、電動弁などの余寿命を診断するシステム
7	原子力図書管理システム	プラントの全図書を収納管理し、予防保全計画時などに瞬時に検索して取り出せるシステム
8	設備診断支援システム	運転中のプラントの各機器のデータをモニタリングしながら、プラント状況を監視・診断するシステム(開発中)

らかじめ作業計画を立案しておかなければならない。この作業計画立案は、現状ではプラントの運転・保守の専門家が、大量の図書を参照しながら実施しており、負担の大きい作業となっている。そこで日立製作所では、保守作業の計画立案から復旧作業までの一連の業務を支援する、保守作業支援システムを開発している。

(1) システム構成

システム全体の基本構成を図4に示す。このシステムは、作業内容データ、機能概略モデルなどの知識ベースと、干渉判定、計画作成などのルール群とによって作業計画を推論しながら作成する部分と、データ入力や処理結果を表示する部分の二つから成る。系統構成データなど、データ量が多いものはCADデータベースから編集プログラムを介して機械的に入力する。また、作業現場との通信は、ハンディターミナルを用いて行う。

(2) システムの処理内容と出力

このシステムは、作業項目、優先度、必要人員などのデータを入力すると、おのおのの保守点検作業が、プラントまたは他の作業に与える影響を、対象系統の簡単なモデルを用いて推論する。例えば、プラント運転に対する影響の処理手順は、図5に示すとおりである。考慮する影響の範囲は、弁の開閉などによるプロセス量の変動のような機械的なものと、スイッチ状態変更などの電氣的なものを含む。影響が許容できないときは、隔離操作によって回避するか、または作業時

間の調整によって回避する。システムは、そのためのアイソレーションリスト、作業手順リストおよび作業中に監視を強化すべきプラントパラメータのリストを出力する。また、作業開始後は、進行状況を入力することにより、作業が遅延した場合の影響を判定し、必要であれば計画修正を促す。

以上のように保守作業支援システムは、作業のプラントに与える影響と作業間の干渉判定、最適作業計画作成および作業進行監視の機能を持っており、保守作業の計画段階から復旧までにわたって支援することにより、作業の迅速化、確実化に有効である。

3.2 原子炉格納容器内監視装置

日立製作所では、原子力発電所の主に原子炉格納容器内の各機器の健全性の確認を無人化し、かつ定量化することを目的とした原子炉格納容器内監視装置を開発中である。

この装置は、テレビジョンカメラ、赤外線センサおよびマイクロホンを搭載し、発電所内の機器の状態を目視点検するとともに、機器の温度分布の変化、音響分布の変化を自動認識する機能を持っている。

温度変化の認識は発電所内機器の運転温度分布を赤外線センサでとらえ、正常時の温度分布データベースと比較しその温度変化を自動認識することにより、正常であるか否かを確認する機能である。

一方、音響分布変化の認識は発電所内機器の運転音が正常であることを確認する機能である。これは、正常時のプラン

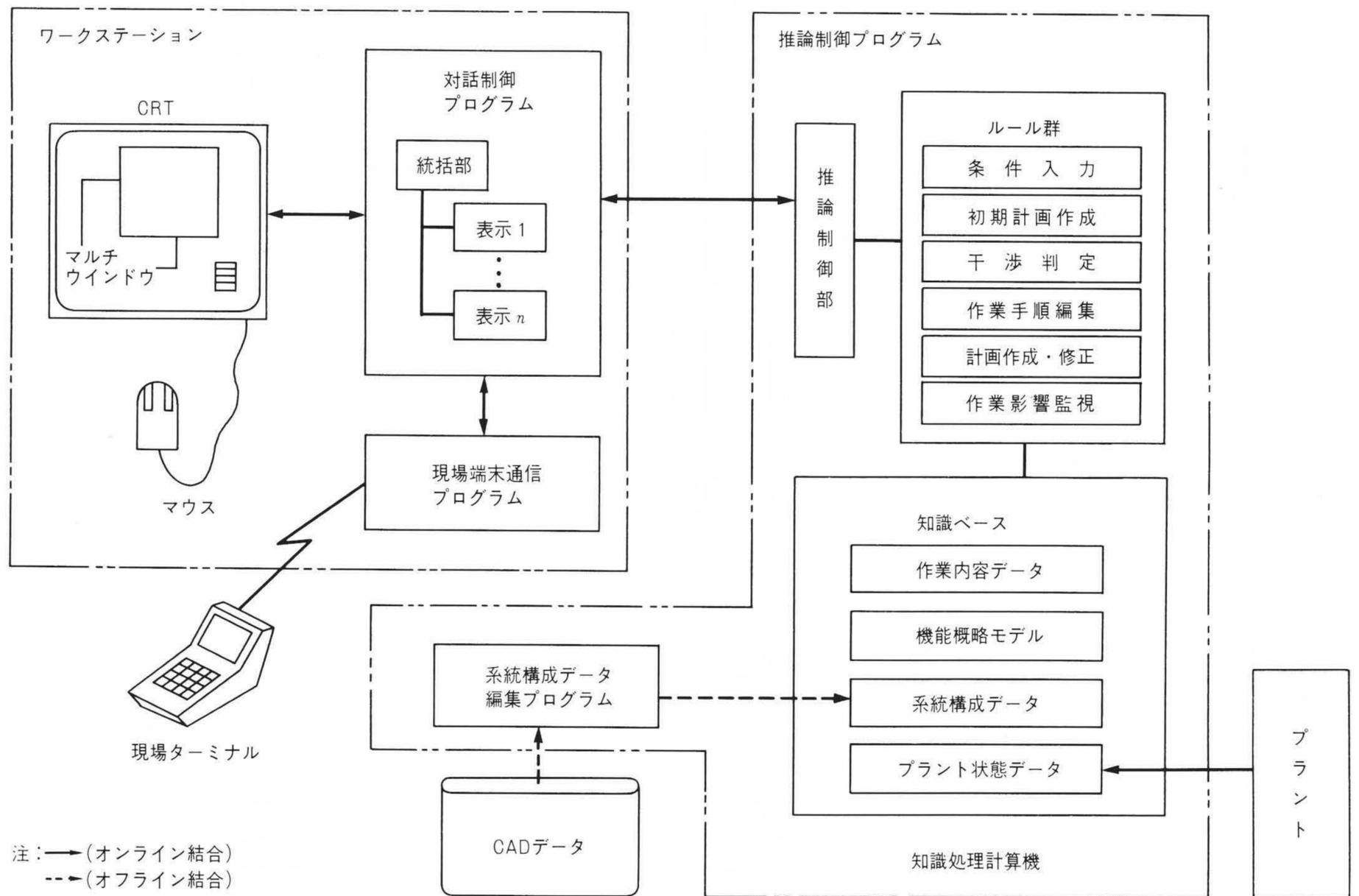


図4 保守作業支援システムの基本構成 システムは、知識ベースとルール群で作業計画を行う推論プログラムと、データの入力、表示を行う対話制御プログラムで構成している。

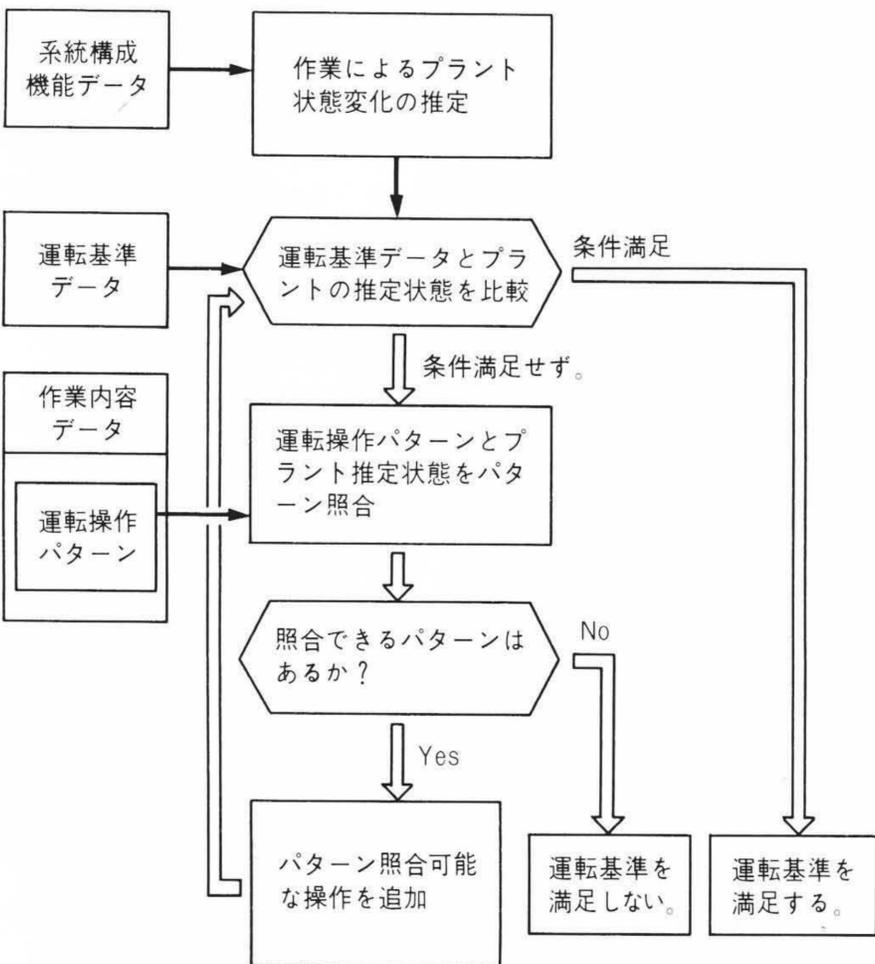


図5 プラント運転状態との干渉判定・回避の処理手順 保守点検作業のプラント運転に対する影響の判定は、運転基準を満足するかどうかで処理される。

ト内の音響の周波数解析を行い、その場所の音響のばらつきを統計処理することにより、正常時の音響分布データベースを自動生成し、次に、測定時の音響と比較を行うことで、音響分布変化を自動認識するものである。

現在、試作装置による工場試験を完了している。試作機を図6に示す。今後発電所で現地確認試験を行い、その性能、効果を確認する予定である。

3.3 無軌道式超音波探傷装置

原子炉压力容器などの容器胴体溶接部の超音波探傷作業の自動化範囲拡大を目的として、無軌道式超音波探傷装置を開発した。

本装置は図7に示すように、各種センサ・駆動機構を備えた本体部、超音波探触子走査用アーム、装置移動用磁気クローラで構成している。装置の特徴は、(1)クローラを構成する各磁石片をガイドレールを介して支持し、容器表面に吸い着くときの負荷を分散させ、(2)ガイドレールにサスペンション機構を設けることにより、円筒状容器表面で無軌道で自在に走行・旋回できるようにした点である。装置位置制御は、表面波とエンコーダを併用して行っている。装置のおおよその寸法は幅780 mm×長さ750 mm×高さ80 mm、質量は約25 kg

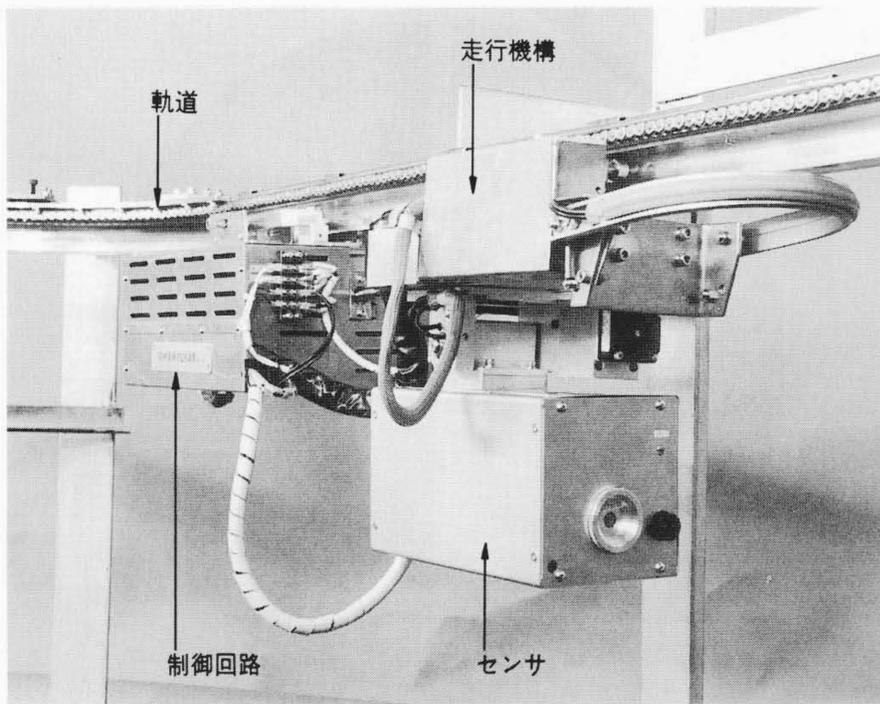


図6 原子炉格納容器内監視装置の外観 軌道に懸垂され走行する。この装置は、可視画像、温度および音響をとらえるセンサと、走行機構、制御回路で構成している。

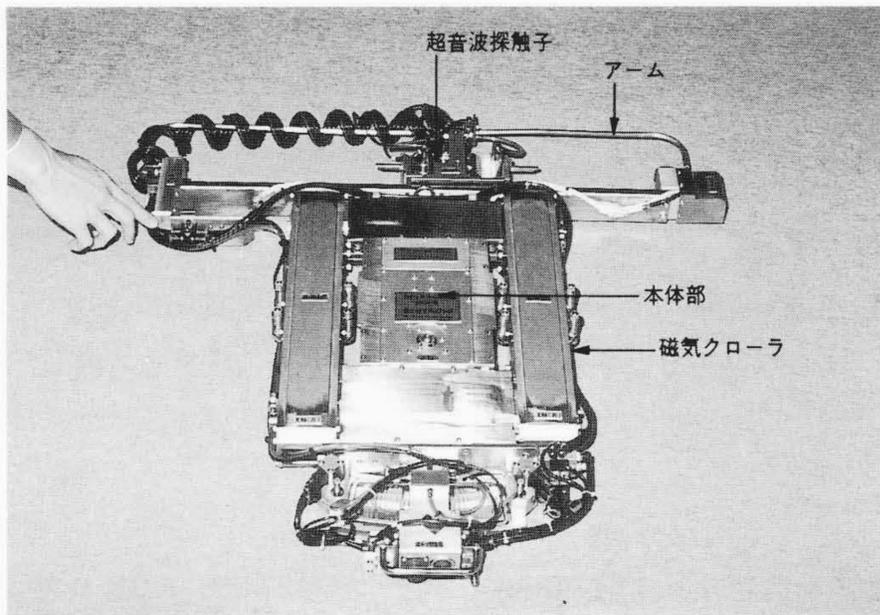


図7 無軌道式超音波探傷装置の外観 磁気クローラにより、容器胴体部に吸い着いて走行しながら超音波探傷を行う。

と、従来の軌道走行式装置と同等で、運搬・取り扱いも容易である。

本装置の実用化により、容器胴体溶接部の超音波探傷作業の自動化範囲の拡大および省力化が期待できる。

3.4 AI応用マニピュレーション要素技術

原子力発電所などでの点検・保守・補修作業用マニピュレーション技術の高度化を目的とし、定形作業に適用するAI応用マニピュレータの要素技術を開発した²⁾。

人工知能としては、(1)作業環境・手順を効率よくマニピュレータに指示する知識データベース、(2)マニピュレータを既知の障害物を避けながら作業対象物に接近させるアーム軌道生成ソフト、(3)マニピュレータと作業対象物の位置ずれを、自律的に補正する外界センサ処理ソフトを作成した。これらと7自由度のマニピュレータとを組み合わせ、弁のボルトの締緩作業を対象とした評価実験を行った。評価実験の一例を図8に示す。これにより、締緩作業を自律的に実施できることを確認し、実作業への適用の見通しを得ることができた。

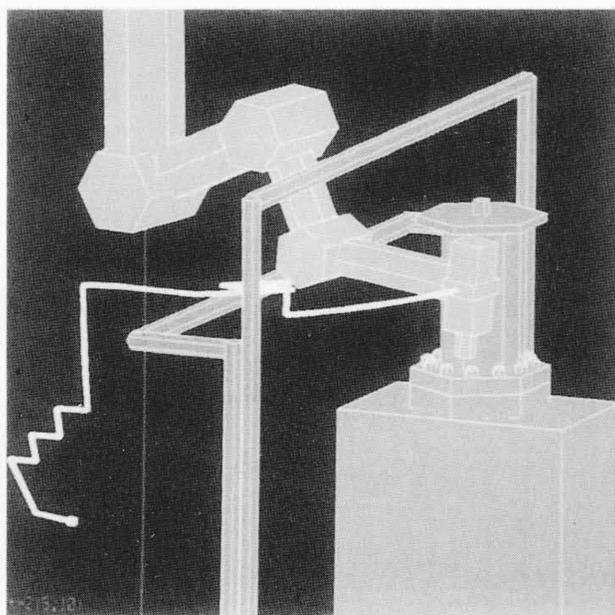
3.5 予防保全の将来技術

(1) アトムプローブによる劣化材微視機構解明

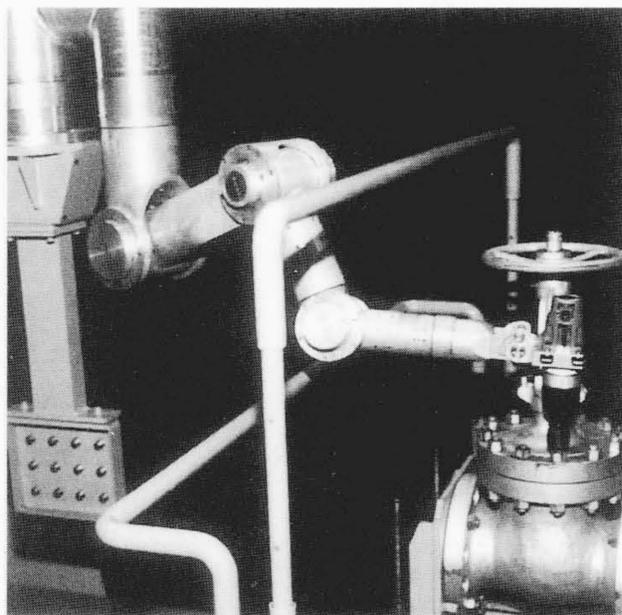
原子力発電プラントの安全性と信頼性を確保しながら運転を行ってゆくためには、設備の状態を定量的に評価し、保全に反映できる精度の高い診断技術が要求される。このためには、機器材料の供用期間中での強度特性変化と、この変化を非破壊的に検出する技術が必要である。

日立製作所では独自に開発したアトムプローブを用い、強度変化の原因となる材料中の微小析出物の構造を解析中である。アトムプローブはオンゲストロームオーダの分析ができる装置で、微小な金属サンプルから原子の濃度分布が明らかとなる。

二相ステンレス鋼のCr濃度の分析結果を図9に示す。同図



(a) 軌道探索シミュレーション結果



(b) 7自由度マニピュレータ動作例

図8 AI応用マニピュレータの評価実験例 AIで探索した障害物回避軌道[(a)図の白太線]に従って、7自由度マニピュレータが自律的に移動し、作業を実施した例を(b)図に示す。

は二相ステンレス鋼中のフェライト相を分析したものである。フェライト相中のCr濃度は、時効前で約30%を中心に10~40%の範囲でばらついているが、450℃で1,035時間の熱時効を与えると、Cr濃度の揺らぎが5~60%と大きくなることがわかった。すなわち、フェライト相は熱時効を受けることによって、高Cr濃度と低Cr濃度の二つの領域に分離してゆく傾向が得られた。

時効材の電界イオン顕微鏡像を図10に示す。材料は二相ステンレス鋼中のフェライト相を模擬したFe-28%Cr-5%Niフェライト系ステンレス鋼である。時効前の像の中に見える白い斑点はFe原子である。この材料を450℃で5,000時間の熱時効を与えると白い斑点が集まってくる。換言すれば、熱時効によってFeとCrがそれぞれの高濃度領域に分離したためである。

上述のように、アトムプローブによって熱時効による材料の原子の移動挙動が明らかになったが、さらに微小析出物の構造を解析してゆく。

(2) SQUIDによる材料劣化診断

機器の劣化を非破壊的に検出する方法としては、従来、電気的、電気化学的、音響的および磁気的方法があげられる。日立製作所では、超高感度磁気センサであるSQUID(超電導量子干渉素子)を用いた材料の損傷検出技術を開発した(図11参照)。このセンサは、極微弱磁気計測としてすでに生体磁気の計測に用いられているが、工業分野では初めての試みである。

種々のひずみを与えたオーステナイト系ステンレス鋼SUS 316のSQUIDセンサによる計測結果を図12に示す。試験片は

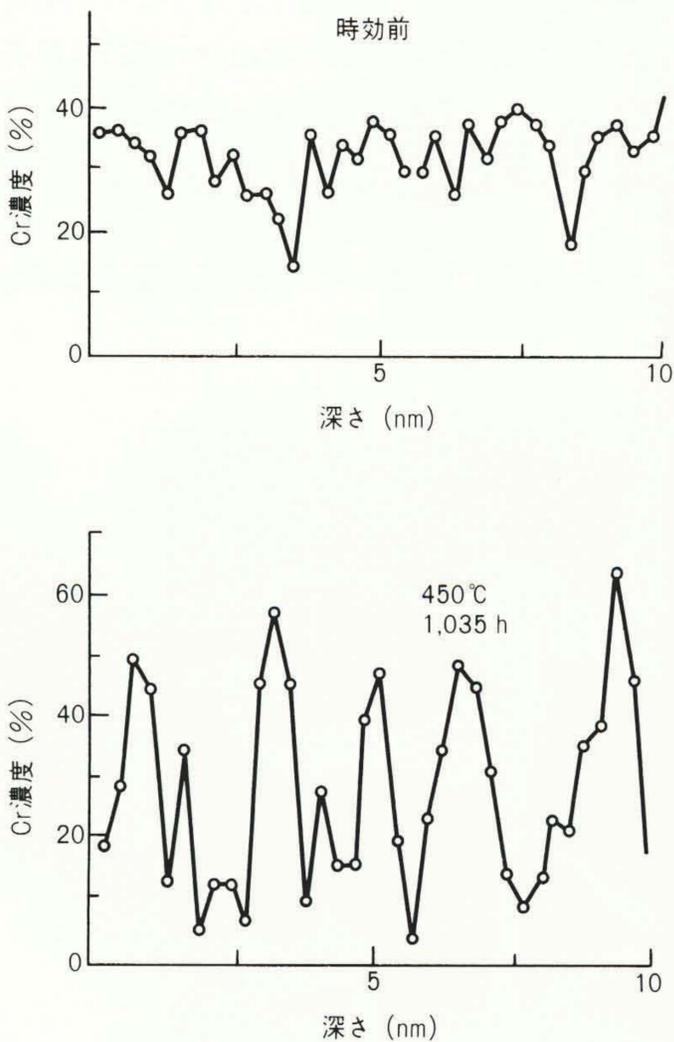


図9 二相ステンレス鋼のCr分析結果 二相ステンレス鋼に450℃、1,035時間の熱時効を与えると、Crが高濃度と低濃度の二つの領域に分離する。

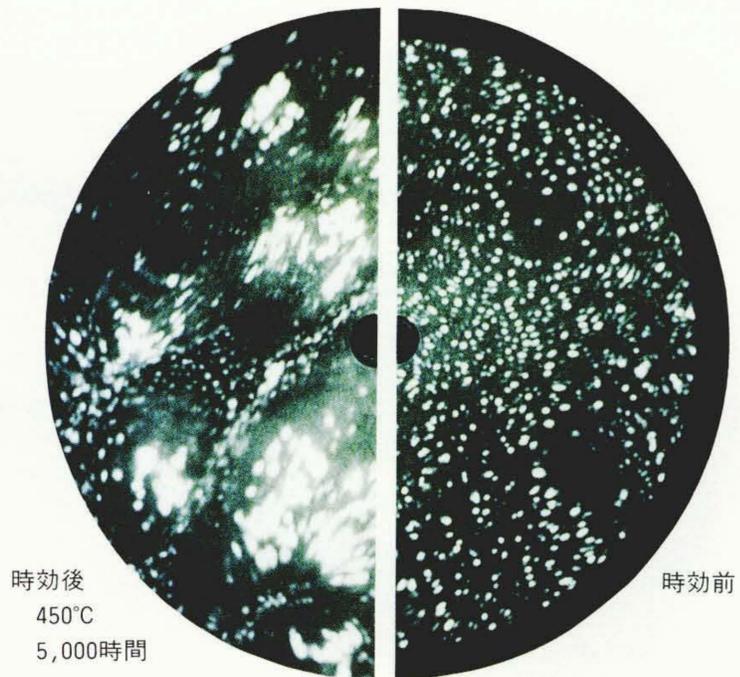


図10 Fe-28Crフェライト系ステンレス鋼の電界イオン顕微鏡像 像の中の白い斑点はFe原子である。時効によってこれらが集まってくるが、これはCrが高、低濃度に分離したことによるものである。

子干渉素子)を用いた材料の損傷検出技術を開発した(図11参照)。このセンサは、極微弱磁気計測としてすでに生体磁気の計測に用いられているが、工業分野では初めての試みである。

SQUIDセンサは4.2 Kの液体ヘリウム中に置き、地磁気や周辺の磁気ノイズをキャンセルさせるとともにシールドし、材料の磁気変化だけをSQUIDセンサで感知するようにした。

種々のひずみを与えたオーステナイト系ステンレス鋼SUS 316のSQUIDセンサによる計測結果を図12に示す。試験片は

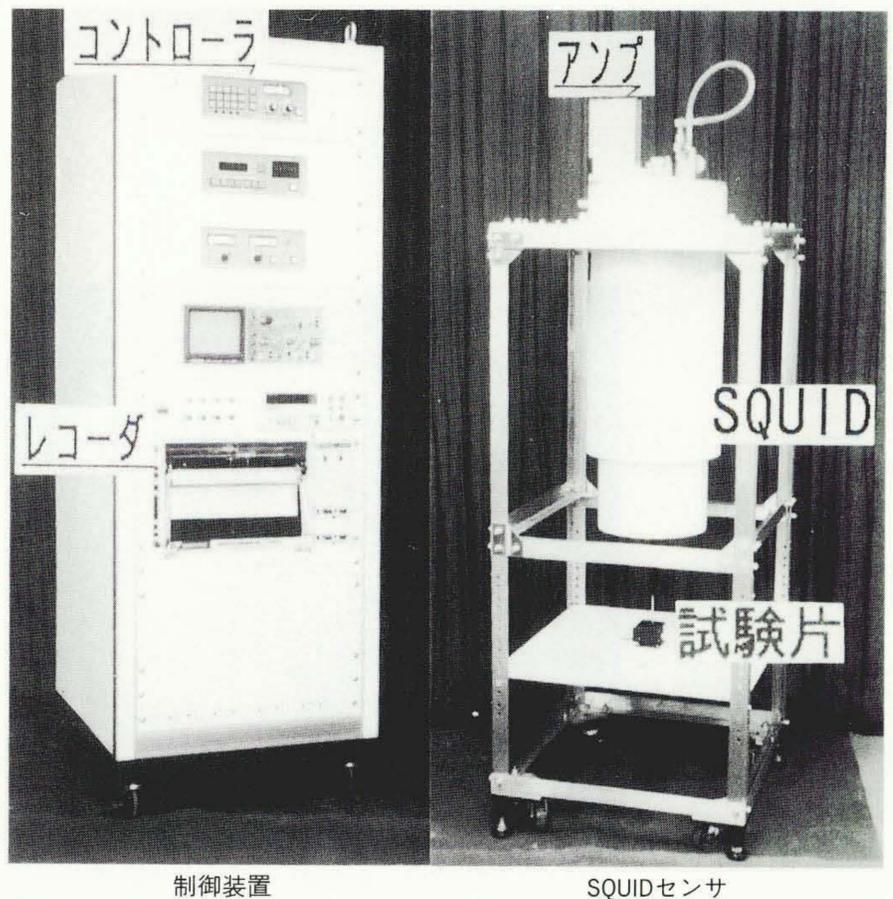


図11 SQUIDを応用した材料劣化診断装置 診断装置はコントローラ、レコーダから成る制御部と、SQUID(超電導量子干渉素子)とアンプから成るセンサ部で構成している。

φ 6 mm×170 mmの丸棒で、装置から150 mm離して測定した。図12に示すように非磁性体であっても塑性ひずみ変化を離れたところからSQUIDセンサで計測できることがわかる。このことから、SQUIDセンサによる材料の損傷検知はきわめて有力な方法であり、非破壊検査の分野で力を発揮するものと期待される。

4 プラント設備の高度化

4.1 総合炉心管理支援システム

このシステムは原子力発電プラントの炉心仕様および運転実績に基づいて、炉心三次元シミュレーション解析を行い、炉心管理計画を総合的に支援するものである。本システムでは、対話形で炉心運転計画条件を設定してゆくことで、炉心特性解析結果(出力分布など)を三次元カラーグラフィック上で視覚的に確認しながら、最適な運転計画・燃料取り替え計画を短時間で立案することが可能である。

4.2 燃料移動計画支援システム

このシステムは原子炉停止時の燃料配置から、次サイクルの新炉心燃料配置までの燃料移動計画を支援するもので、ベテラン技術者の専門知識をシステム内に組み込んでいる。このシステムは対話型でこれら計画の条件を設定してゆくことで、複雑な燃料移動計画を短時間で立案することが可能である。

また、炉心と燃料貯蔵プール間の燃料移動をグラフィックでシミュレーション表示ができ、作成された燃料移動データは自動燃料取り替え機の入力データとしても利用できる。燃料

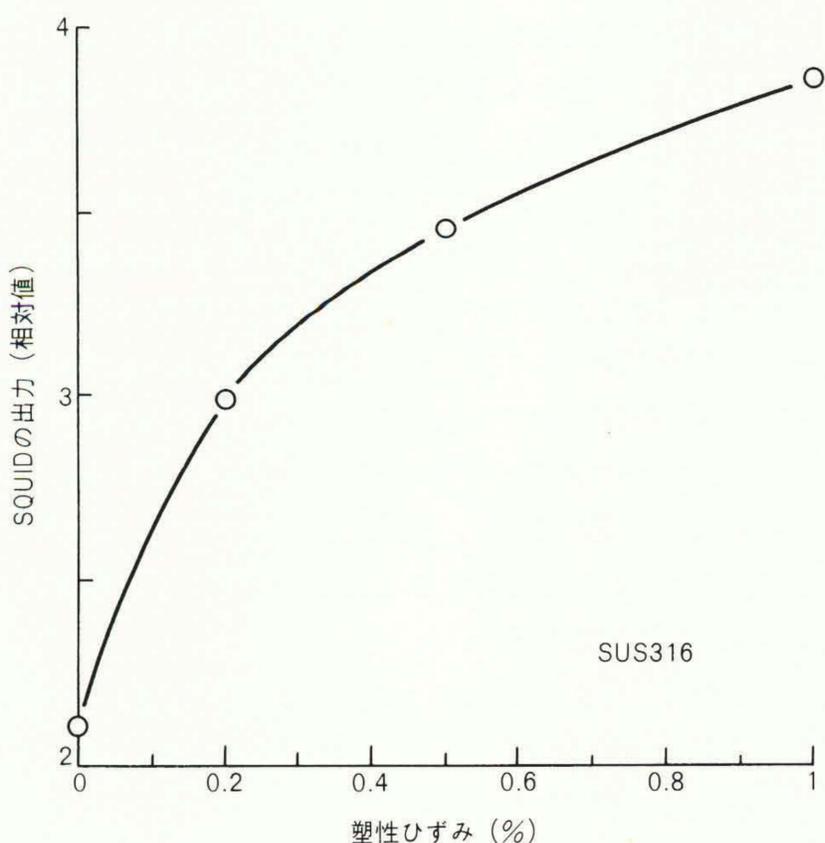


図12 ひずみに対するSQUID出力変化 供試体に塑性ひずみを与えてゆくと、SQUIDの出力値がある曲線で増大してゆくことがわかる。

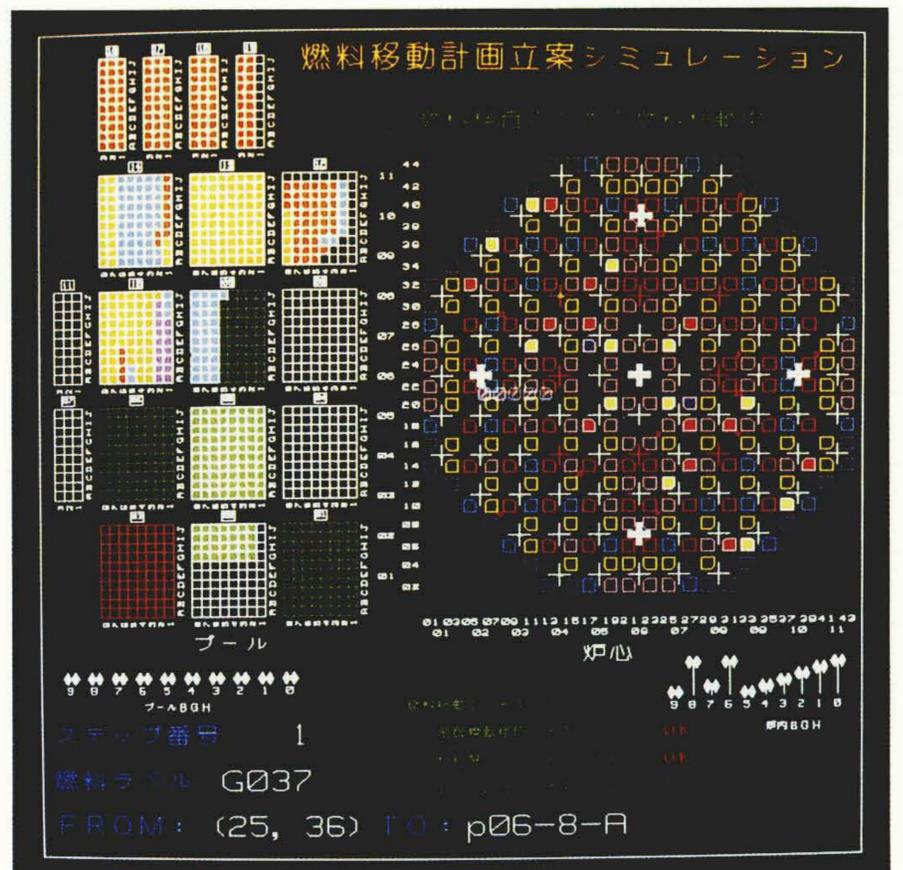


図13 燃料移動計画立案シミュレーション出力例 炉心と燃料貯蔵プール間の燃料移動シミュレーションが視覚的に表示される。

取り替え機運用の最適化を図るルールをこれに盛り込むことにより、燃料移動ステップ数を削減することもできる(図13)。

4.3 チャンネルボックス炉心最適運用システム

チャンネルボックスの炉内運用の信頼性を向上させ、長期間の使用を図るため、チャンネルボックス炉心最適運用システムを開発し、運用支援技術として実用化している。このシステムはチャンネルボックスの炉内変形についての膨大なデータを基に、実際の運転実績と運転計画から各運転サイクルでのチャンネルボックス変形量を予測し、全炉心の個々のチャンネルボックスについて運用評価を行うものである。本システムでは、対話型で運転計画条件を設定してゆくことで、チャンネルボックス運用の最適化処理を行うことができる。

このシステムの出画面面例を図14に示す。

4.4 チャンネルボックス

チャンネルボックスはジルカロイ製の角筒管構造をしており、燃料体に装着されて燃料体の剛性維持、冷却材の流路形成および制御棒挿入のガイド機能を持つ重要な機器である。チャンネルボックスは実炉で、高温、高照射の状態で使用されるため、使用中の腐食や変形が重要な課題である。

そのため日立製作所では、チャンネルボックスを角筒管の状態を高周波加熱と冷却により、急熱急冷($\alpha + \beta$ 焼入れ)してマトリックス中での添加元素を均一化し、耐食性を向上させる方法を開発した。その外観を図15に示す。この特殊熱処理をしたチャンネルボックスは1981年から実用化しており、今までに約3,800本の製品を納入している。特殊熱処理チャンネルボックスは実炉で良好な性能が確認され、製品の信頼性に対する

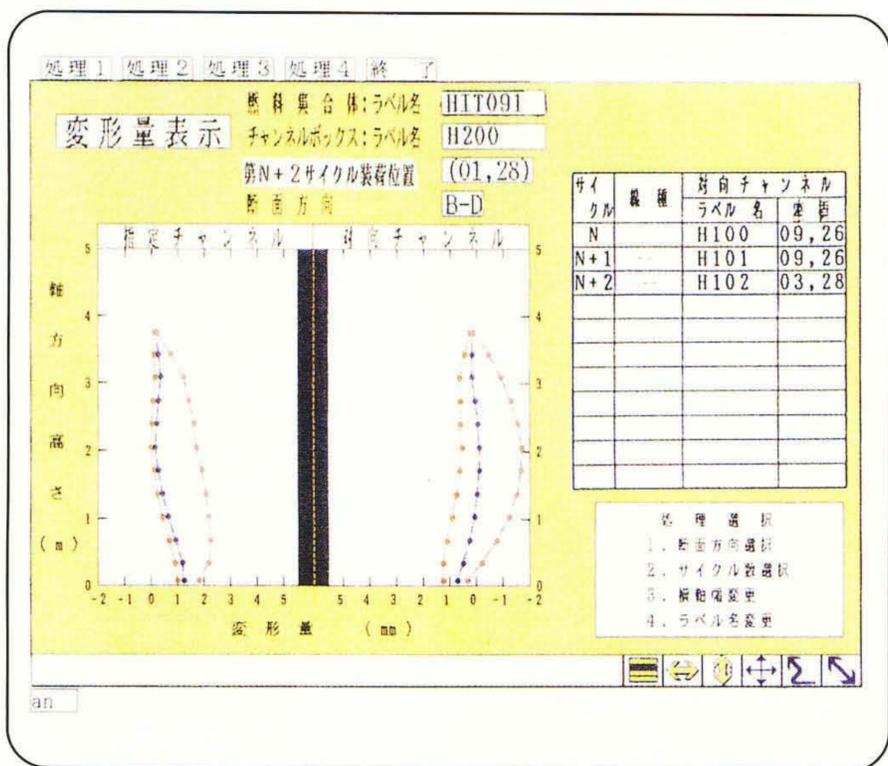


図14 チャンネルボックス炉心最適運用システム画面表示(例)
この画面は炉心内の任意のチャンネルボックスの変形量を隣接チャンネルボックスの変形量と合わせて表示したものである。炉心内全チャンネルボックスの変形量評価および炉心運用の最適化を図ることができる。

顧客の高い評価が得られている。

また、燃料体の高燃焼度化に伴うチャンネルボックスの使用期間延長および燃料サイクルコストの低減を目的とした新型チャンネルボックスの開発をさらに現在進めている。その外観を図16に示す。

従来のチャンネルボックスは均一肉厚構造をしているが、構造を最適化(コーナ部厚肉, 平たん部薄肉)することにより、従来と同等の強度を維持しながら、(1)制御棒との間げき増加による寿命延長、(2)ジルカロイ量低減による中性子経済性向上、(3)バイパス部水領域増加による炉心安定性の向上を図ることができる。その効果を十分に生かした新型チャンネルボッ

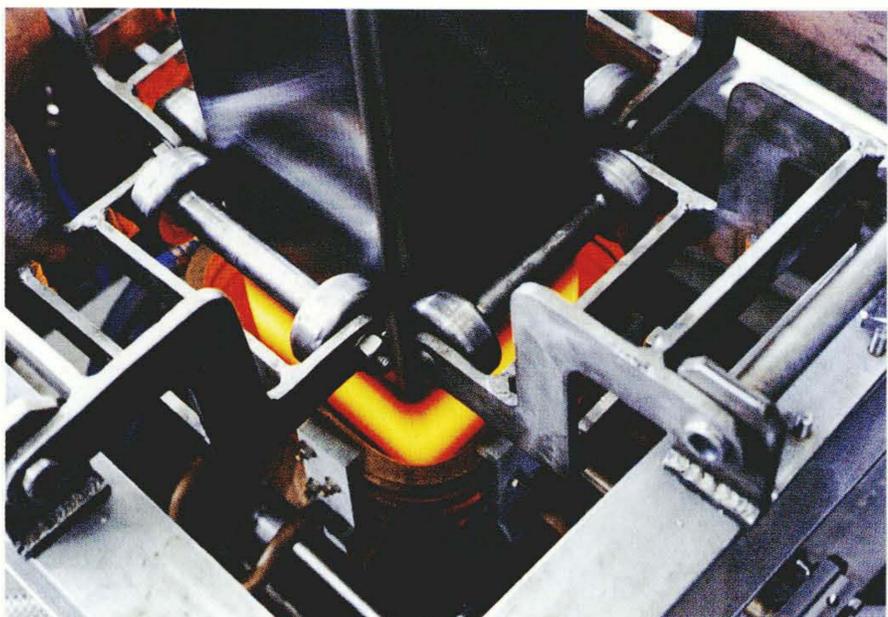


図15 特殊熱処理チャンネルボックス チャンネルボックスの特殊熱処理工程を示す。チャンネルボックスを長手方向に移動しながら、高周波加熱および水冷却による $\alpha + \beta$ 焼入れ処理を行い、耐食性を改善する。



図16 新型チャンネルボックス 新型チャンネルボックスは、コーナ部厚肉, 平たん部薄肉の角筒管構造をしており、使用期間の延長および燃料サイクルコストの改善が図れる。

クスの構造設計を完了し、現在、実用化のための量産製造技術の確立および性能確認試験を進めている。

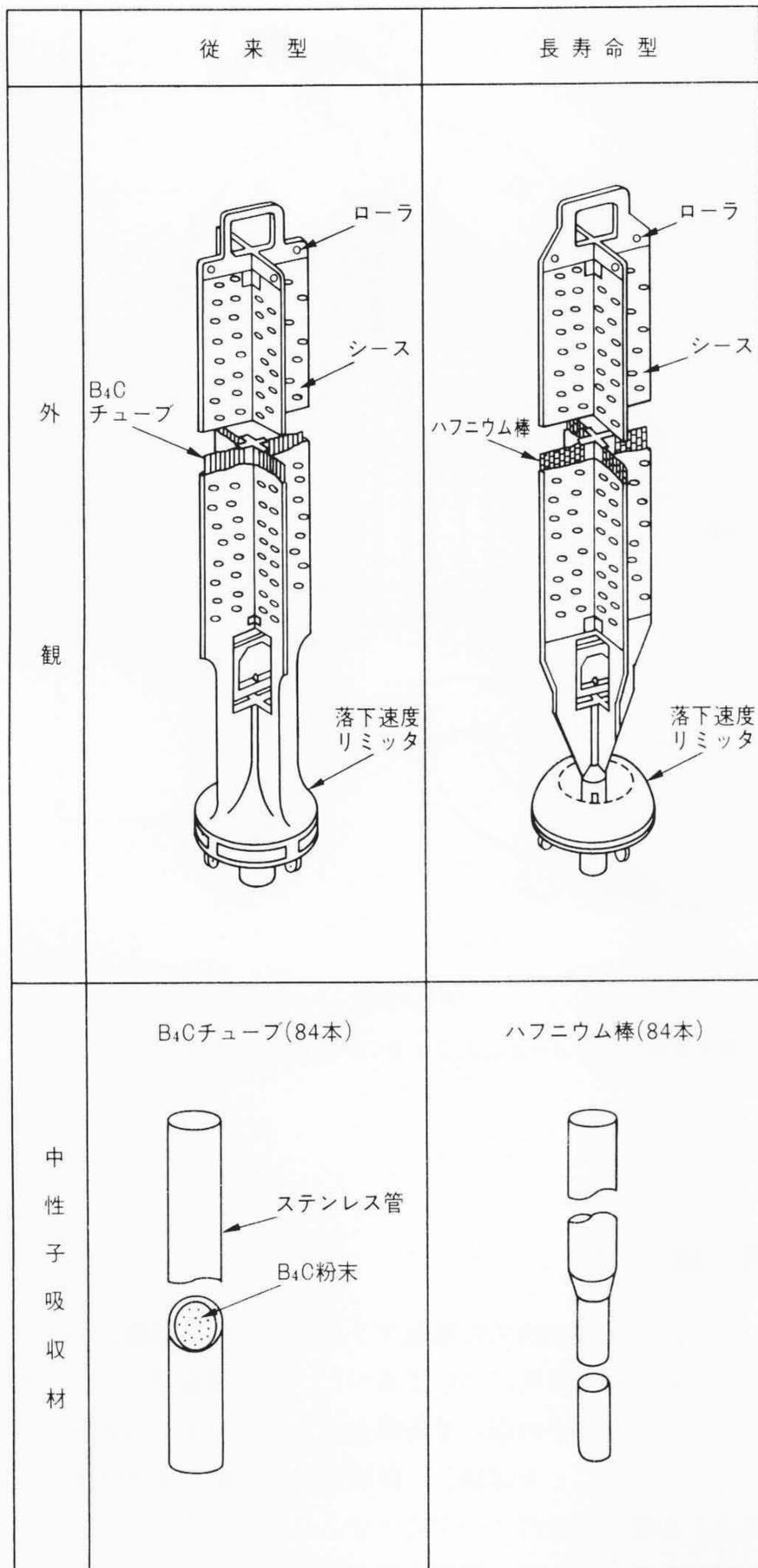
4.5 長寿命制御棒

制御棒は従来はステンレス製のチューブに B_4C (ボロンカーバイド)の粉末を中性子吸収材として充てんし使用してきた。近年、燃料の高燃焼度化への対応、廃棄物量の低減、定期検査期間の短縮を図るために、 B_4C 制御棒よりも寿命の長い制御棒が求められてきた。そのため、核的寿命の長さ原子炉での使用実績を考慮してHf(ハフニウム)を使用した長寿命制御棒を開発した。Hfは同位体が Hf^{174} から Hf^{182} まで数多く存在し、一度中性子を吸収して生ずる質量数の一つ多い次の同位体が、また中性子を吸収する性質を持つ吸収核連鎖型の核種であり、 B_4C に比べて約3~4倍の核的寿命を持っている。また、Hfは耐食性に優れており、機械的強度も十分で、金属のまま制御棒材料として使用することが可能である。長寿命制御棒の外観を図17に示す。

この制御棒は、スクラム試験、地震時挿入試験、落下速度試験などを行い、各仕様値を満足することを確認し、現在、各電力会社で採用されている。

4.6 ボロンラック

日立製作所では、使用済み燃料の貯蔵効率向上を目的とし



注：B₄C (ボロンカーバイト)

図17 制御棒の比較 長寿命型に使用しているハフニウム棒は、ボロン材に比べ比重が5倍と大きく、軽量化のため中性子照射量分布によって下部径を細くしている。

て、ボロン添加ステンレス鋼を用いた使用済み燃料貯蔵ラックを開発した。ボロン添加ステンレス鋼は、従来用いられているSUS304に比べ中性子吸収能力が大きいため、ラック材として用いると燃料の貯蔵ピッチを縮めることができる。この特性を有効に活用し、ボロン添加ステンレス鋼角管を最も高密度化が図られる市松模様状に配列し、隣接する角管どうしを連結するラック構造とした。これにより、貯蔵密度が高く、軽量で、しかも耐震性に優れた燃料ラックを提供することが

可能である。ボロンラックの実規模大モックアップ試験品の外観を図18に示す。

4.7 中空糸膜フィルタ

沸騰水型原子力発電所の復水浄化装置としては、復水中のクラッド除去性能が良く、二次廃棄物が少ないなどの特徴を備えたものが望ましく、中空糸膜フィルタを開発してきた。

中空糸膜濾過器の鳥観図および中空糸膜の写真を図19に示す。中空糸膜は外径約1mm、全長約2mの中空糸の高分子で、均一な微細孔が全面に分布した多孔膜構造によって濾過の働きをしている。この中空糸膜を数千本束ねたモジュールは、取り扱いの容易なカートリッジ方式になっており、全体が有機物なので焼却が可能である。濾過器はこのモジュール約100本で構成され、コンパクトでありながら復水中クラッドを99%以上除去できる点が特徴である。

この中空糸膜フィルタは、現在、78万kWクラス原子力発電所に納入され、運転を継続している。このフィルタを設置した一次系系統図を図20に示す。起動前浄化運転時流量に相当する約1,500 t/hの処理能力(復水流量約4,500 t/hの $\frac{1}{3}$)を持つ中空糸膜フィルタ設備を復水脱塩装置の上流側に設置した。1987年1月から運転を開始し、以下に述べるような主な実績を得ている。

- (1) 従来の復水脱塩装置単独時での起動前浄化運転期間約20日間を約4日程度まで短縮できた。
- (2) 復水流量の約 $\frac{1}{3}$ を常時処理し、炉水の鉄持ち込み量を $\frac{1}{3}$ 低減した。その結果、定期検査ごとの原子炉ペダスタルでの線量当量率を上昇傾向から下降傾向に変えることができた。

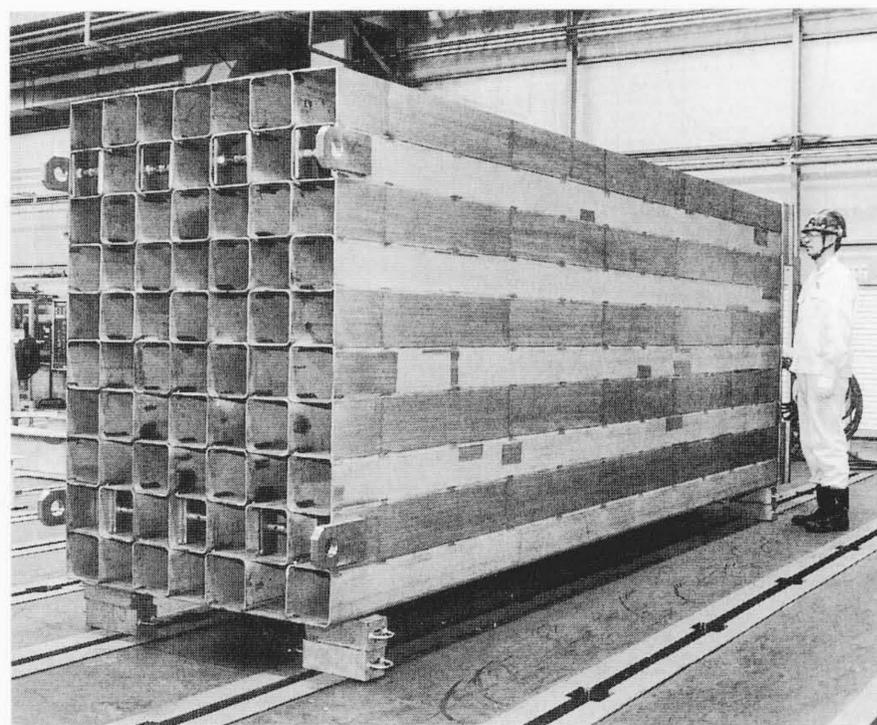
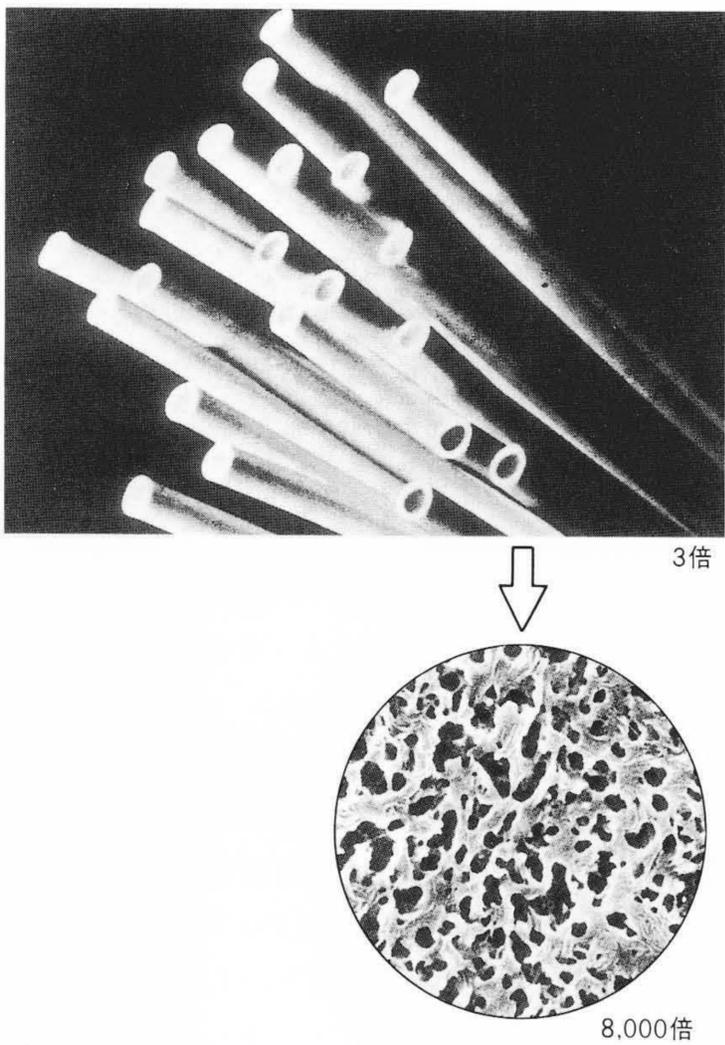
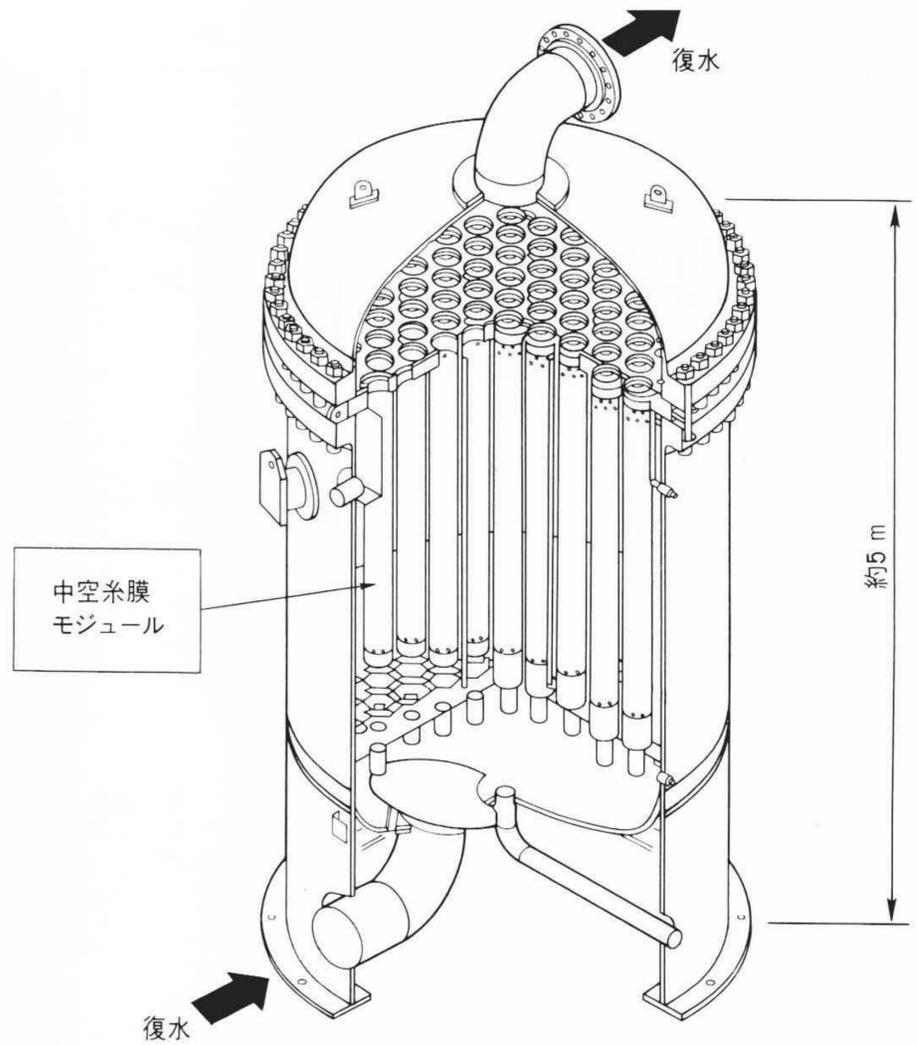


図18 70体ボロンラックモックアップ試験品の外観 実規模大のモックアップ試験を実施し、新しい構造である角管市松模様配列型ラックが良好に製作できることを確認した。



(a) 中空糸膜



(b) 濾過器

図19 中空糸膜濾過器 中空糸膜は外径約1mmの多孔膜の糸状のもので、数千本束ねモジュールにして1基の濾過器に約100本セットされる。

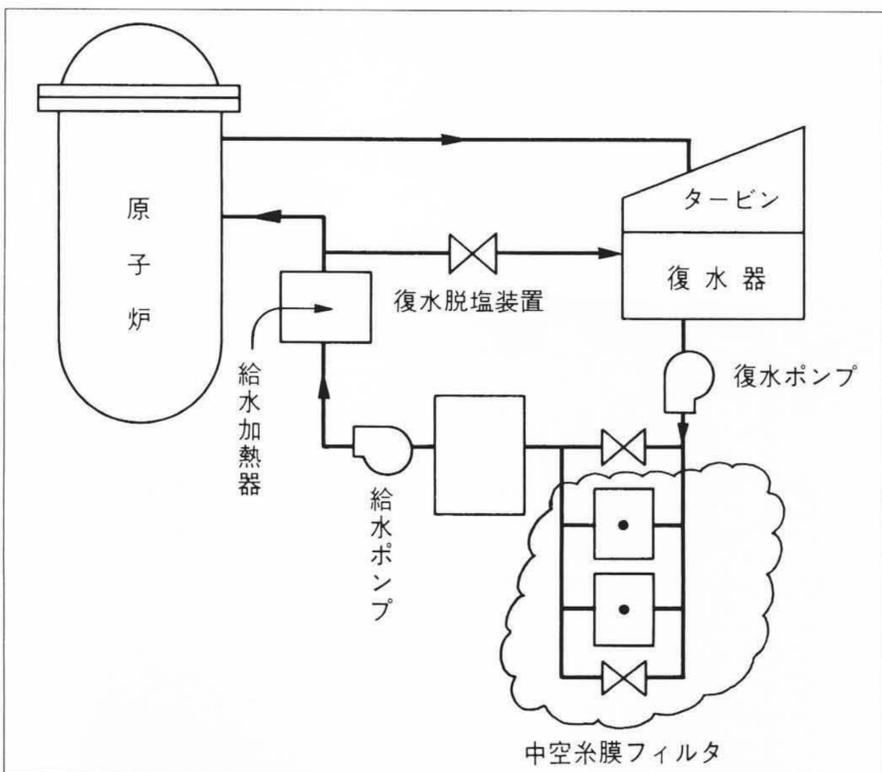


図20 中空糸膜フィルタ系統構成 中空糸膜フィルタは、復水脱塩装置の上流に設置されている。

5 結 言

以上、日立製作所での運転プラントサービス技術、および予防保全の将来技術について述べた。今後運転プラントの増加に伴い、信頼性の高い予防保全がますます求められるようになってくることを認識し、信頼性向上活動のますますの充実と、各電力会社のニーズに十分こたえられるようにサービス技術の高度化を図ってゆく考えである。

また、予防保全の将来技術では、研究所を中心として基礎技術の確立に力を入れて開発を進めてゆく。

参考文献

- 1) 阿部, 外: 原子力発電設備の総合予防保全システム, 日立評論, 72, 8, 763~770(平2-8)
- 2) 杉山, 外: 人工知能応用マニピュレーション要素技術の研究, 日本機械学会「動力・エネルギー技術の最前線」シンポジウム講演論文集, 261~266(1989-11-10)