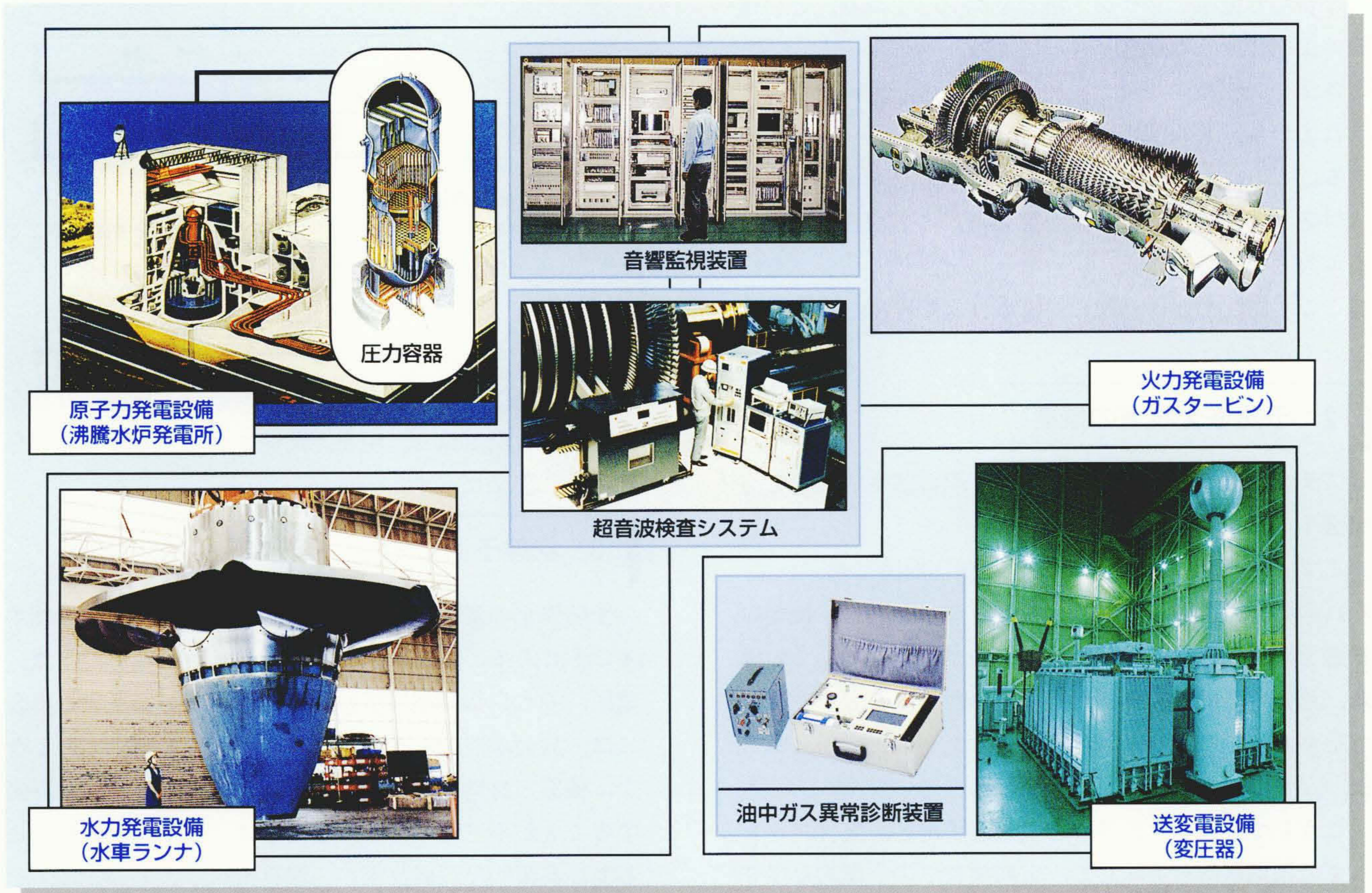


# 高信頼性を支える予防保全技術

Preventive Maintenance Technologies for Supporting High Reliability of Power Plants

布施元正\* Motomasa Fuse 国谷治郎\*\*\* Jirô Kuniya  
小山田修\*\* Osamu Oyamada 林真琴\*\*\*\* Makoto Hayashi



## 原子力、火力、水力、および送変電設備の監視・点検装置

機器の異常を監視、点検する技術は、予防保全の中核を成している。経年化した機器・材料の状態を予測する技術、およびその健全性を向上させる技術とあわせて、トラブルの防止に寄与している。

原子力、火力、水力の発電設備、それに送変電設備はいずれも社会的に重要な役割りを担っており、その安定運転を、電力会社と協力して確保することが設備供給メーカーの大きな使命となっている。このためには、計画、設計、製作から建設に至るまでの各段階でのきめ細かい品質管理による高信頼性の確保と相まって、運転段階でのさまざまなトラブルを未然に防止する予防保全技術の適用が不可欠である。

機器のトラブルは構成材料の特性、使用環境の影響が複雑に絡み合って発生するため、これらの要因を明確に把握したうえで対応策を立案する必要がある。この目的

を実現するためには、使用環境中での材料特性変化を事前に予測するとともに、現在の機器・材料の状態を点検、監視、診断する技術、およびそれに基づいて機器の健全性を向上させる技術の確立が重要である。

日立製作所は、発電から送変電までをカバーする総合プラントメーカーとして、これまでに、上記に関連した種々の基盤技術を鋭意開発してきた。これらを、電力会社の指導を得ながらプラント機器の予防保全技術としてまとめ、実機に適用することにより、プラントの安定運転に反映している。

\*日立製作所 電力・電機開発本部 理学博士 \*\*日立製作所 日立工場 (米国PE) \*\*\*日立製作所 日立研究所 工学博士 \*\*\*\*日立製作所 機械研究所 工学博士

### 1. はじめに

現在、民生・公共のいずれの分野でも電力が主要なエネルギー源として使われており、その安定供給が至上命令となっている。日立製作所は、発電から送変電の広範囲にわたる領域でプラント機器を開発しており、この運転・保守に大きな責任を負っている。

各プラントは、対象ごとに特有の使用状況の中で運転されており、運転開始直後からプラントの経年化が進行する。このような、プラント固有の事情を勘案し、それに対応した的確な保全対策を適用することが安定運転に不可欠となっている。

ここでは、上記の課題に対する日立製作所の取組みについて述べる。

### 2. 予防保全技術の概要

プラント設備の予防保全を進める際の基本的な考え方を図1に示す。

まず、機器ごとの構成材料の経年変化機構に基づいて、それに影響する因子を定量化する。これを基に、機器の状態予測あるいは機器の機能低下の予測を行う。この場合、運転中の機器の異常を監視、診断することを並行して進めることにより、さらにタイミングの良い保全が可能となる。

こうして評価した機器ごとの状態予測と、先行プラントでの損傷事例を加味して、定期検査での合理的な保守計画を立案するとともに、適切な機器・材料の健全性向上策を適用する。

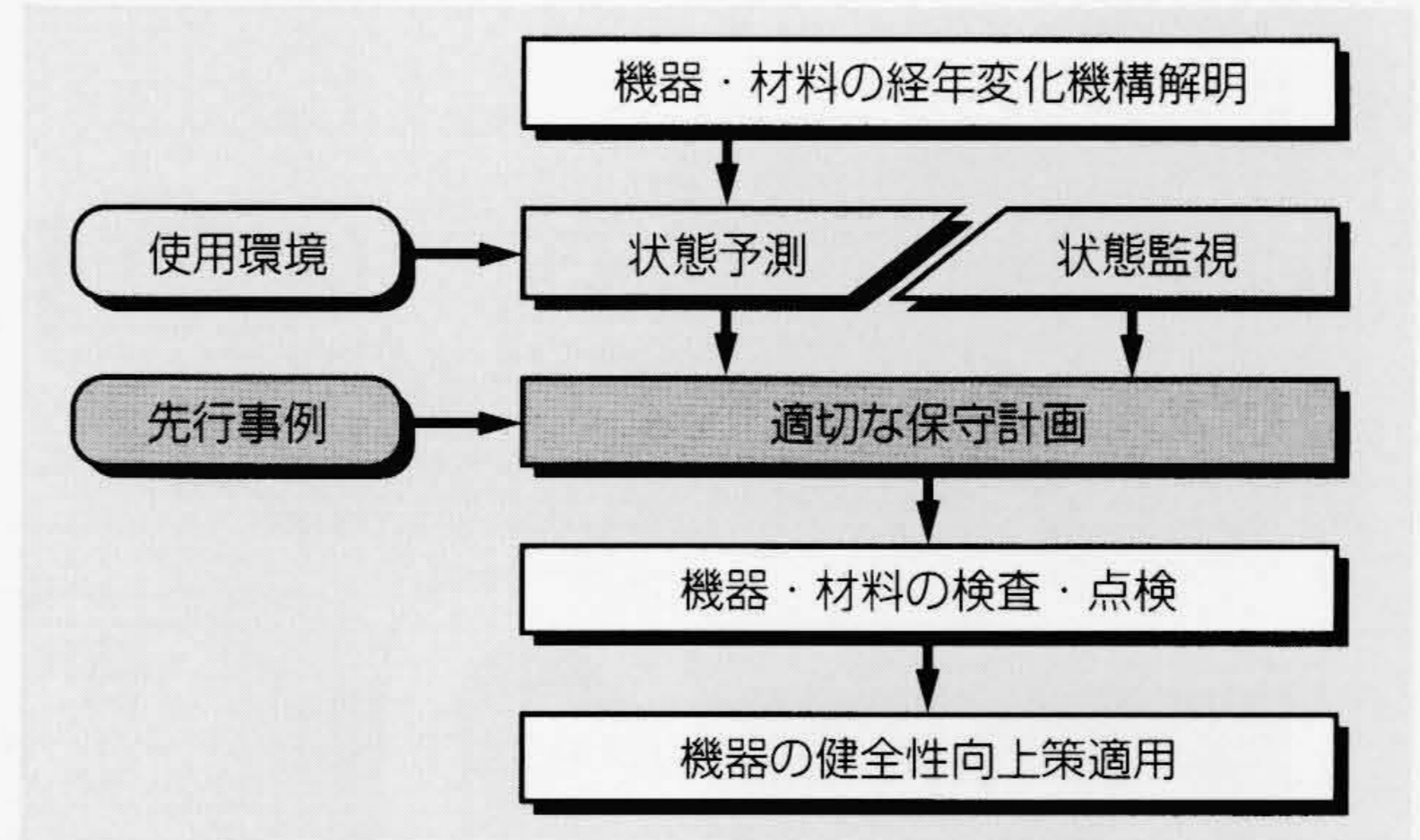


図1 予防保全の進め方  
機器・材料の特性を正確に把握して適切な保全を推進することにより、プラントの安定な運転が可能となる。

上記のプロセスを構成する予防保全技術は、(1) 機器・材料の状態予測、(2) 機器の運転状態監視・点検、(3) 健全性向上に大別される。現在、開発されている技術を各分野ごとに図2に示す。

### 3. 状態予測

予防保全の基本は、機器・材料の状態を正確に把握することにある。機器は、特有の温度、負荷応力、電流、電圧、それに水質条件下で使われている。原子力の場合には、放射線照射も考慮しなければならない。このような、機器・材料と使用環境との相互作用を多面的に評価することが不可欠である。ここでは、原子力分野を例にとり、具体的な評価技術の一端を述べる。

原子力プラントの機器・材料は、長時間の運転によって疲労強度、応力腐食割れ感受性、それに破壊靱性値な

	状態予測	監視・点検	健全性向上
発電設備	原子力	<ul style="list-style-type: none"> <li>超音波・渦電流検査法</li> <li>移動監視装置(格納容器など)</li> <li>軸振動監視(再循環ポンプ)</li> <li>環境監視(腐食電位など)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>応力改善(WJP, IHSI)</li> <li>水質改善(水素注入など)</li> <li>材料表面改質</li> <li>機器の遠隔取り替え</li> </ul>
	火力	<ul style="list-style-type: none"> <li>超音波・渦電流検査法</li> <li>軸振動監視(タービン)</li> <li>音響監視・診断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水質改善</li> <li>取り替え</li> <li>コーティング</li> </ul>
	水力	<ul style="list-style-type: none"> <li>材料特性変化予測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>超音波・渦電流検査法</li> <li>異物混入監視</li> </ul>
送変電設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>絶縁異常・劣化予測</li> <li>通電異常予測</li> <li>開閉異常予測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>部分放電監視(UHF法など)</li> <li>AE監視</li> <li>振動加速度監視</li> <li>ストローク監視</li> <li>油中ガス分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>絶縁処理</li> <li>取り替え</li> </ul>

注：略語説明 SQUID(超電導量子干渉素子), WJP(Water-Jet Peening), IHSI(誘導加熱応力改善法), UHF(極超短波), AE(Acoustic Emission)

図2 発電、送変電設備の主要な予防保全技術

プラント固有の特性を考慮した適切な保全技術の集大成により、プラントのトラブルが未然に防止できる



図3 透過型電子顕微鏡による照射欠陥観察像

ループ状のものが、中性子の代わりに高エネルギーイオンを照射して生成させた欠陥集合体である。この生成で材料が硬化し、破壊靱性が変化する。

どが変化する。これらの材料状態を予測する手法として、(1)経年模擬材による強度変化特性データベースの構築と、それに基づく特性変化予測式の確立、(2)経年変化機構の解明と経年変化シミュレーション、(3)磁気に敏感なSQUID(超電導量子干渉素子)センサを用いた疲労強度の計測や材料の鋭敏化計測等の非破壊検査、(4)微小サンプリング材による経年変化の直接評価などの技術を開発している。

経年変化シミュレーションでは、中性子照射材を対象に、材料内部に形成される照射欠陥の挙動を評価し、これによって破壊靱性値を予測する手法を開発した(図3参照)。予測値が実機材料で実測した値とほぼ一致することを確認している。

火力、水力設備でも、タービンロータや水車ランナの強度変化の評価を通じて、取り替え時期を予測している。また送変電設備では、絶縁材料の劣化予測を実施している。

#### 4. 監視・点検技術

発電プラント設備では、定期的な検査を実施することで機器の健全性を確認し、運転の継続可否などを判断している。同時に、運転中の状態監視により、機器の異常の有無を診断する。機器・材料の検査では、高精度な計測はもとより、定期検査の短縮化に対応した高速処理が要求される。

水を冷却材として使用する原子力プラントでは、水環境での材料の腐食が問題となる。このため、原子炉内の環境で使用できる腐食電位センサの開発も並行して進めており、これまでに各種タイプのセンサを開発している。

送変電設備では、基本的には絶縁性などの運転中監視が中心となり、このための種々の方法を実用化している。

原子力設備の炉内超音波検査装置、火力設備のコンバ

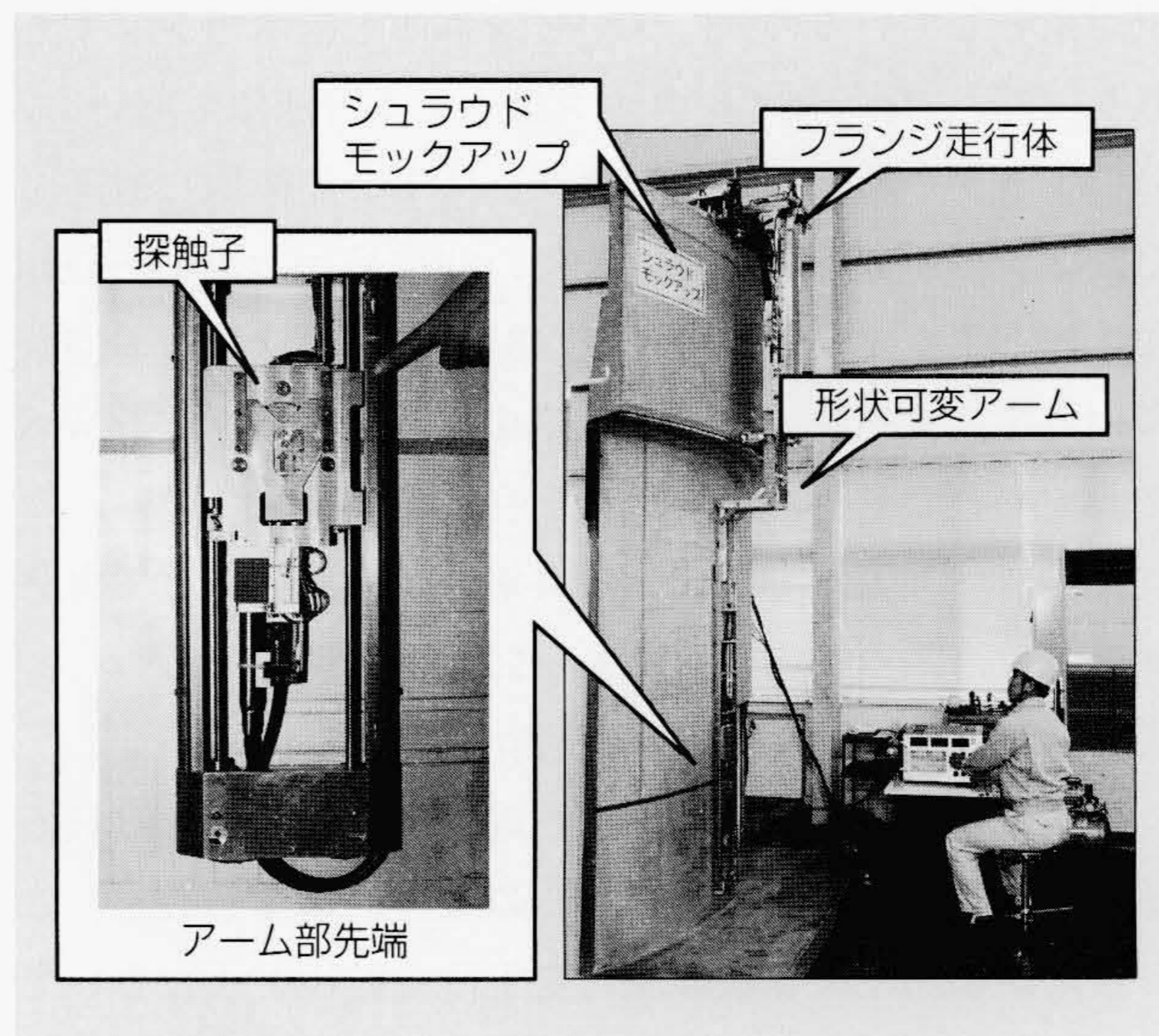


図4 炉心シュラウド点検装置

耐放射線性を考慮するとともに、障害物の自動回避機構などを備え、高精度で高速な点検ができる。

インド ガス タービン用音響監視システム、送変電設備の油中ガス分析の例について以下に述べる。

##### 4.1 原子炉内超音波検査装置

原子力プラントでは、稼働年数の増加に伴って压力容器内構造物の健全性を確認し、安全な運転を継続していくニーズが高まっている。超音波法による検査手法は、欠陥の有無や大きさの確認に有効である。ここでは、燃料を囲む隔壁である炉心シュラウドの溶接線を対象にした、高精度で高速な検査が可能な装置の例について述べる。

原子炉内は、放射線環境で、かつ狭隘(あい)部が多いため、これらを考慮した装置構成が必要である。シュラウドの中間胴から上部に位置する溶接線を対象に開発した装置の外観を図4に示す。装置は上部のフランジに把持し、周方向に移動走行するとともに、アームを下部方向に伸ばして所定の位置に超音波探触子を設定する。狭隘で複雑な炉内環境に対応するため、装置と周辺機器との干渉を回避するためのインテリジェント化走行機能を持ち、自動点検が可能となっている。

実物大モックアップ試験で、シュラウド溶接部を通して2.0 mm以上の欠陥を検出することが可能であることと、欠陥の深さを精度1.2 mmで測定できることを確認した。

##### 4.2 音響監視・診断装置

火力発電プラントの高信頼化、巡視・点検の省力化の一環として、コンバインド ガス タービン発電設備の異常を音響監視によって検知するシステムを開発した。監

視対象としているのは、タービン本体と給水ポンプ室であり、設置した各マイクロホン出力を1分間隔で収録し、分析する。これを、(1)  $\frac{1}{3}$ オクターブ中心周波数に対応した音圧レベルでの加算平均処理、(2) 信号エネルギーの総和に対応するオーバオール値、(3) スパイク状の音の回数に相当するイベント数、(4) 包絡線検波信号の周波数スペクトルなどで分析し、異常音を判定する。

音響スペクトル分析による異常診断手法は、原子力プラントの格納容器内監視にも一部適用されている<sup>2)</sup>。

#### 4.3 変圧器の油中ガス分析技術

送変電機器ではきわめて高い電圧を扱うので、電気絶縁性能の確保が課題となり、この監視が重要である。ここでは、超高压大容量の油入変圧器の監視手法について述べる。

変圧器内部で放電や局部過熱が発生すると、絶縁油、絶縁紙などが分解し、油中に微量の可燃性ガスが溶解する。これをガスクロマトグラフ分析し、異常形態を診断する。

発生するガスの組成や量は異常の種類と絶縁材料によって異なるので、油中に溶存するガスを抽出、分析することによって異常を診断する。近年、いっそうの高信頼化を図るため、常時監視の必要性が増大しており、短時間で自動計測ができる分析装置を開発している。

### 5. 機器の健全性向上策

予防保全の究極の目標は、材料の経年変化などによって低下する機器の機能を、適切な時期に回復させて健全性を向上させることにある。このために、機器の取り替え、更新はもとより、使用環境や材料の改善などを実施している。

原子力プラントでは、簡単にアクセスができない原子炉内の機器の健全性を向上させる方法として、(1) 水素を注入し、応力腐食割れを加速する酸素などの腐食性成分を低減する、(2) 溶接時の残留応力を低減する、(3) 材料表面の改質を行うなどの技術を開発している。

ここでは、溶接部で発生する残留応力を改善するウォータージェットピーニング技術について述べる<sup>3)</sup>。水中で高压水を噴射させると、キャビテーションが発生し、

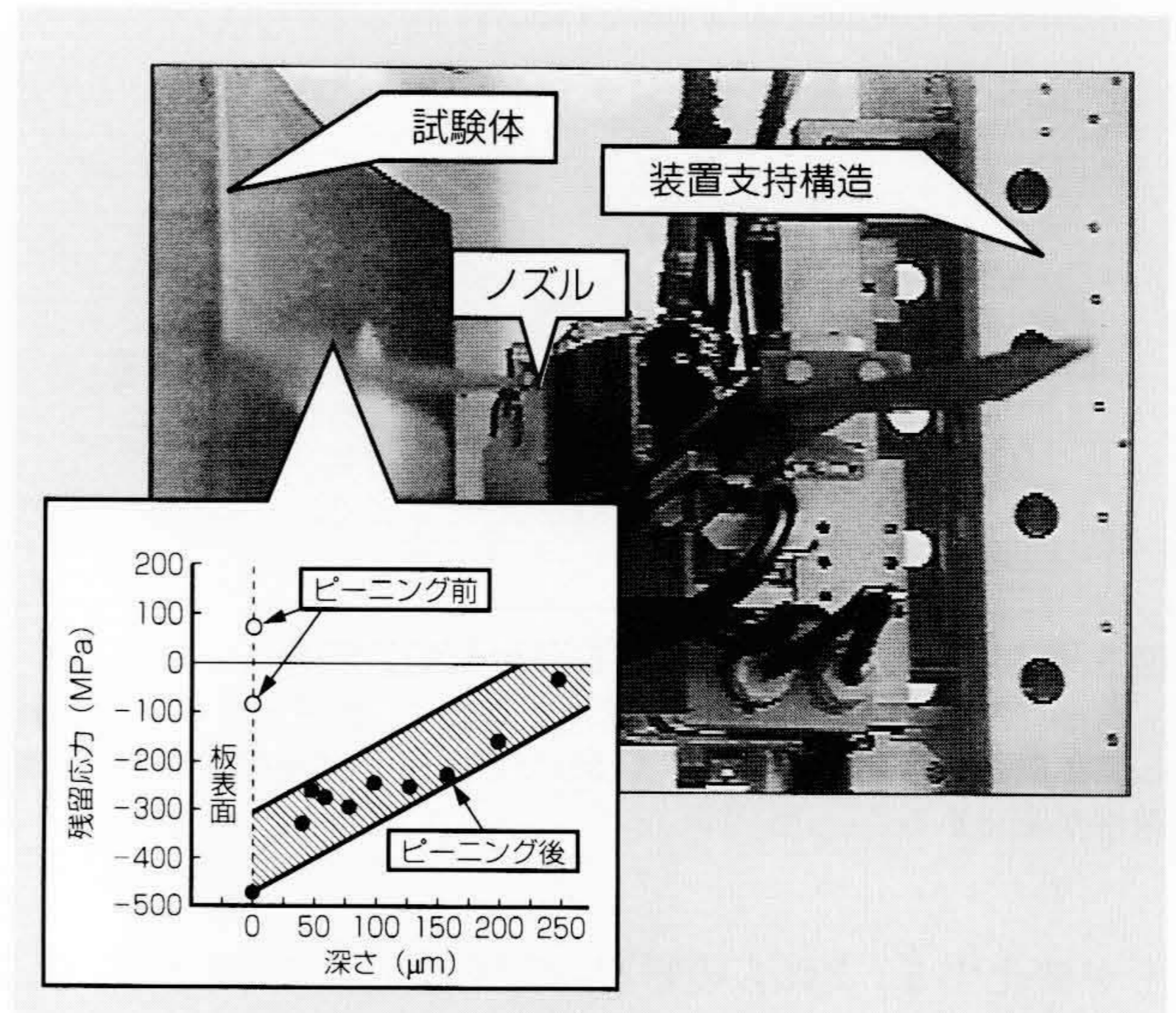


図5 ウォータージェットピーニング装置と応力改善効果  
水中での高压水噴射により、材料表面を圧縮応力にすることができる。

これが崩壊するとき非常に高い圧力が生じる。この圧力により、材料表面に塑性変形を起こさせて表面部分を圧縮応力に変えるものがウォータージェットピーニング技術である。ウォータージェットピーニング装置と施工した材料の深さ方向の残留応力分布を図5に示す。表面で-500 MPa程度の高い圧縮応力となっており、深さが約300 μmまで影響を与えている。この手法は、炉水を高压にして噴射するだけでよいという簡便さと、均一な応力改善ができるという利点がある。現在までに、炉底部、シュラウドを対象とした装置を開発した。

### 6. おわりに

ここでは、日立製作所が開発している、電力の安定供給に寄与する予防保全技術の一端について述べた。

この中身として、材料の状態予測、機器の監視・点検技術、および機器・材料の健全性向上技術があり、これらを組み合わせて最適なプラント保全を推進している。

電力供給の重要性にかんがみて、電力会社をはじめ関係各位のご指導をいただきながら、今後とも予防保全技術の高度化に努力していく考えである。

### 参考文献

- 1) 丸山, 外: 送変電設備の予防保全技術, 日立評論, 75, 12, 855~860(平5-12)
- 2) 妹尾, 外: 原子力発電所の格納容器内移動式小型監視点検装置の開発, 日本原子力学会誌, 38, 616~626(平8-7)
- 3) 榎本, 外: ウォータージェットピーニングによる残留応力の改善効果の検証, 材料, 45, 734~739(平8-7)