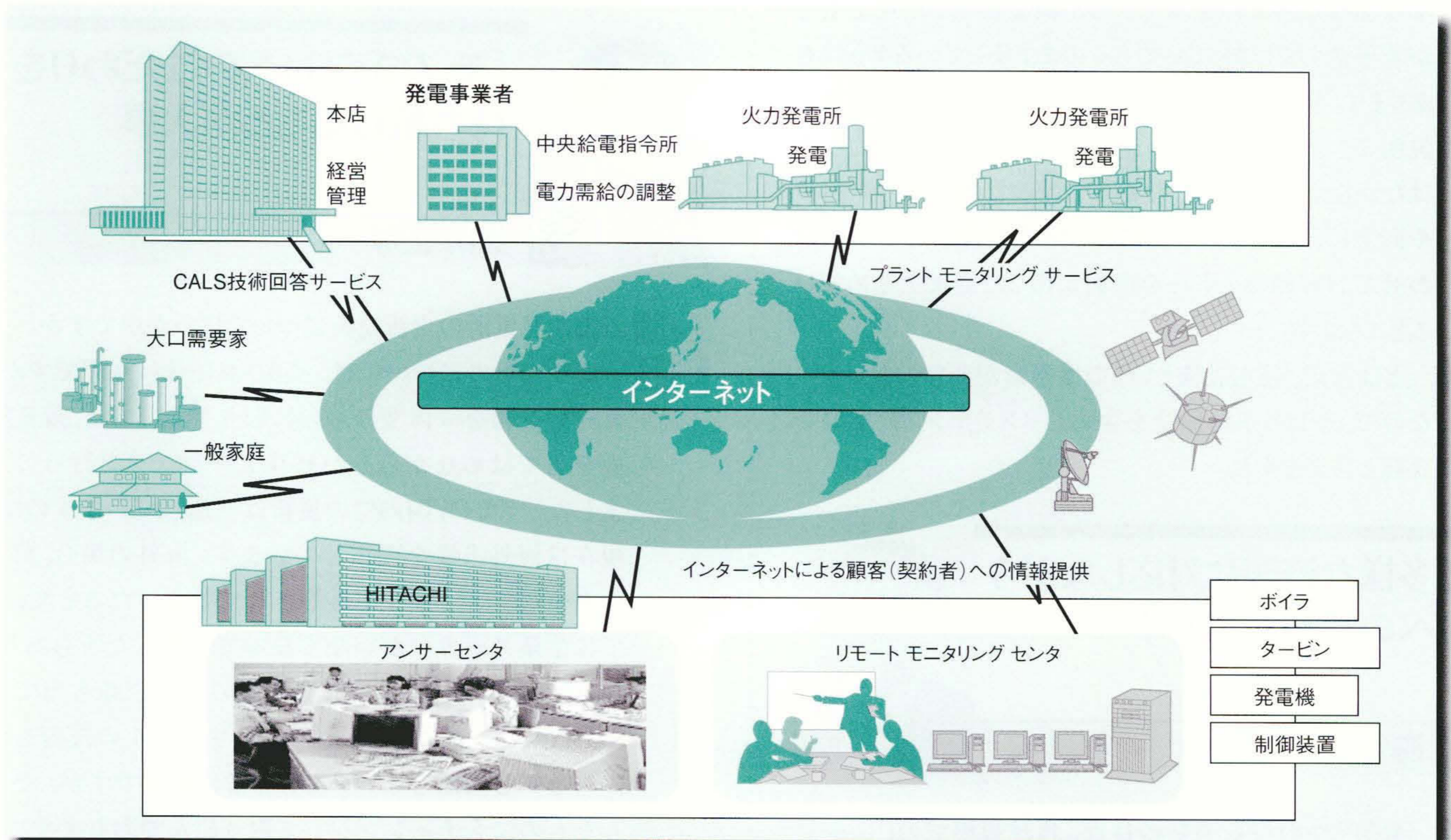


火力発電所のための最新の予防保全技術

Advanced Technologies of Preventive Maintenance for Thermal Power Plants

下村純志 Kiyoshi Shimomura 桜井茂雄 Shigeo Sakurai
石徳英明 Hideaki Ishitoku 広瀬文之 Fumiyuki Hirose



注：略語説明

CALS(Continuous Acquisition and Lifecycle Support)

日立グループが提案する火力発電所の予防保全ソリューション

日立グループは、IT (Information Technology) を駆使した、火力発電所のための最新の予防保全のシステムやサービスを提供する。

火力発電設備では、経年設備が増加しているものの、電力需要の変化に対応した柔軟な運用が求められている。これらを長寿命化し、保守管理するためには、予防保全技術が重要である。

このため、日立グループは、火力発電用ボイラ、蒸気タービン、ガスタービンなどの機器の非破壊検査技術、余寿命診断技術、定期検査工事での合理化技術など、予防保全対応の強化・保守の高効率化に取り組んできた。最近では、進展が目覚ましいITとネットワーク技術の利用により、これまでの範囲を超えた保守・保全業務支援の高度化を進め、製品とサービスの展開を図っている。

1 はじめに

近年、経年火力発電設備では高頻度の起動・停止運用が多くなっており、定期検査周期の延長や設備の自主管理強化の観点から、予防保全技術はますます重要になってきている。また、地球環境保全の点からも、発電効率向上や燃料転換によるCO₂の削減が、既設火力設備でも強く求められてきている。

このような状況下において、日立グループは、経年火

力発電設備に対して、新しい火力設備で開発した最新技術の適用にとどまらず、予防保全独自の技術開発とその適用に取り組んでいる。

日立グループは、これらの技術と製品の高度化を図るとともに、近年急速に進展してきたIT(情報技術)を活用し、発電設備のライフサイクルコスト ミニマム化に貢献する、グローバルなサービスを提案している。

ここでは、火力発電所の予防保全のための最新技術について述べる。

2 火力発電所の予防保全のためのIT応用技術

日立グループは、さまざまな事業領域で蓄積した独自の知識とITを活用することにより、幅広い分野でインテリジェント化を進めている。さらに、顧客への新しいソリューションの提案を通じ、顧客の「ベスト・ソリューション・パートナー」を目指した取り組みを進めている。

火力発電所の予防保全分野でも、ITとネットワーク技術の利用により、顧客に対し、これまでの範囲を超えた、高度な保守・保全業務支援のためのサービス提供に取り組んでいる。

経年火力発電設備では、定期点検周期の延長や、DSS（毎日起動・停止）運用に代表される運転の過酷化に伴い、定常時の運転監視に加えて、過渡時の運転監視や機器劣化状態など、設備の定量的状況把握の必要性が増している。また、ライフサイクルコスト ミニマムを目指した性能評価技術と、それによる効率を最適化する運用方法の提供、運転データの管理などの提供が求められている。これらに対し、日立グループは、プラント モニタリング サービスやエンジニアリングサービスなど、ITを活用したサービスの開発を進めている。

エンジニアリングサービスの例として、インターネットによる情報提供の仕組みを図1に示す。このサービスでは、これまで紙ベースで回答していた技術質問に対し、契約した顧客は、火力予防保全部門に設置したアンサーセンターのホームページに直接アクセスすることにより、インターネットを介して迅速に回答を受け取ることができる。また、最新の運転・保守技術や改善についての情報などにリアルタイムでアクセスすることができる。国内の電力事業者はもちろんのこと、海外顧客に対しても

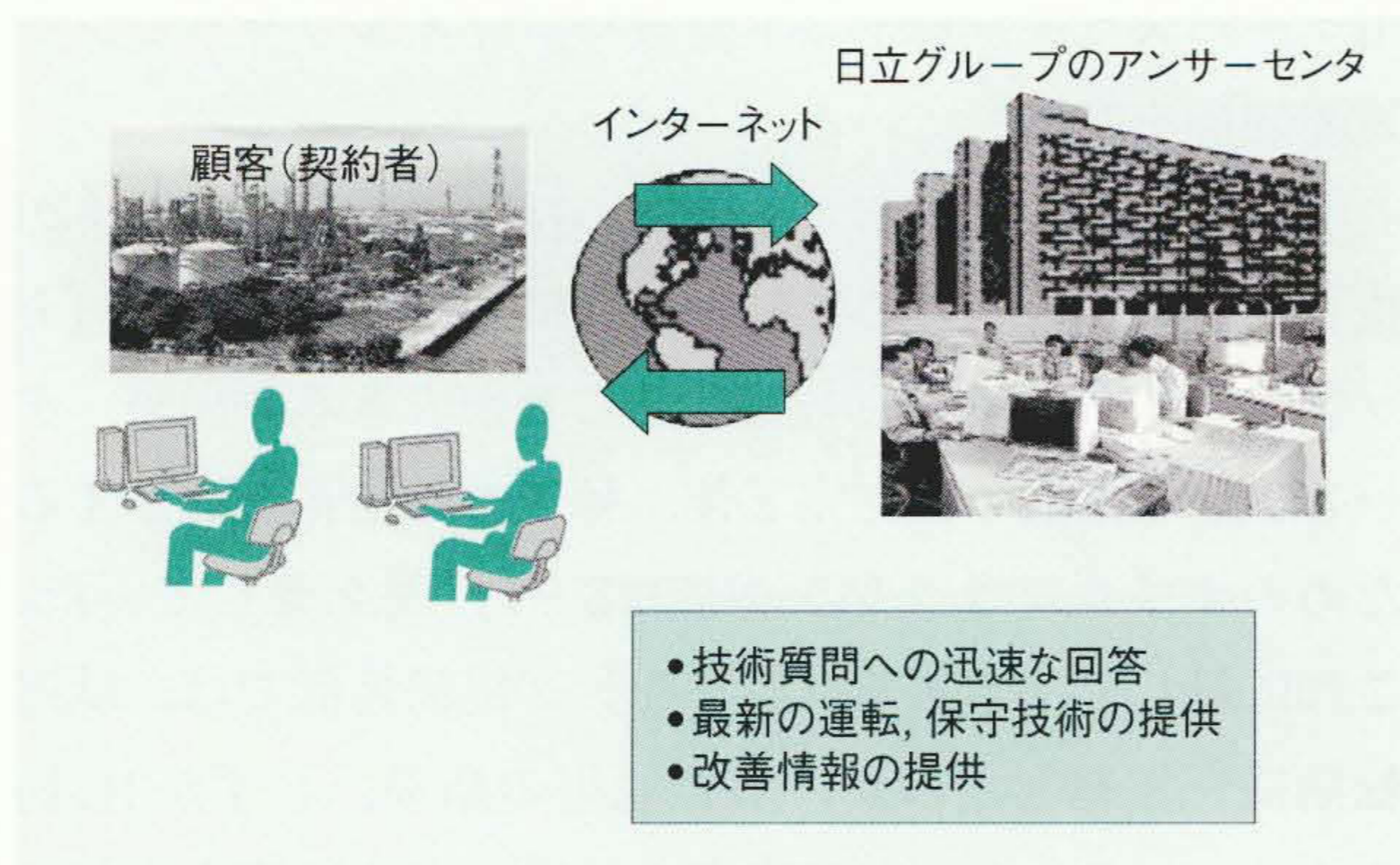


図1 インターネットによる技術情報提供の仕組み

顧客からの技術質問にインターネットを通じて迅速に回答するとともに、最新情報を提供する。

このサービスを提供することができる。

3 火力発電設備の予防保全技術

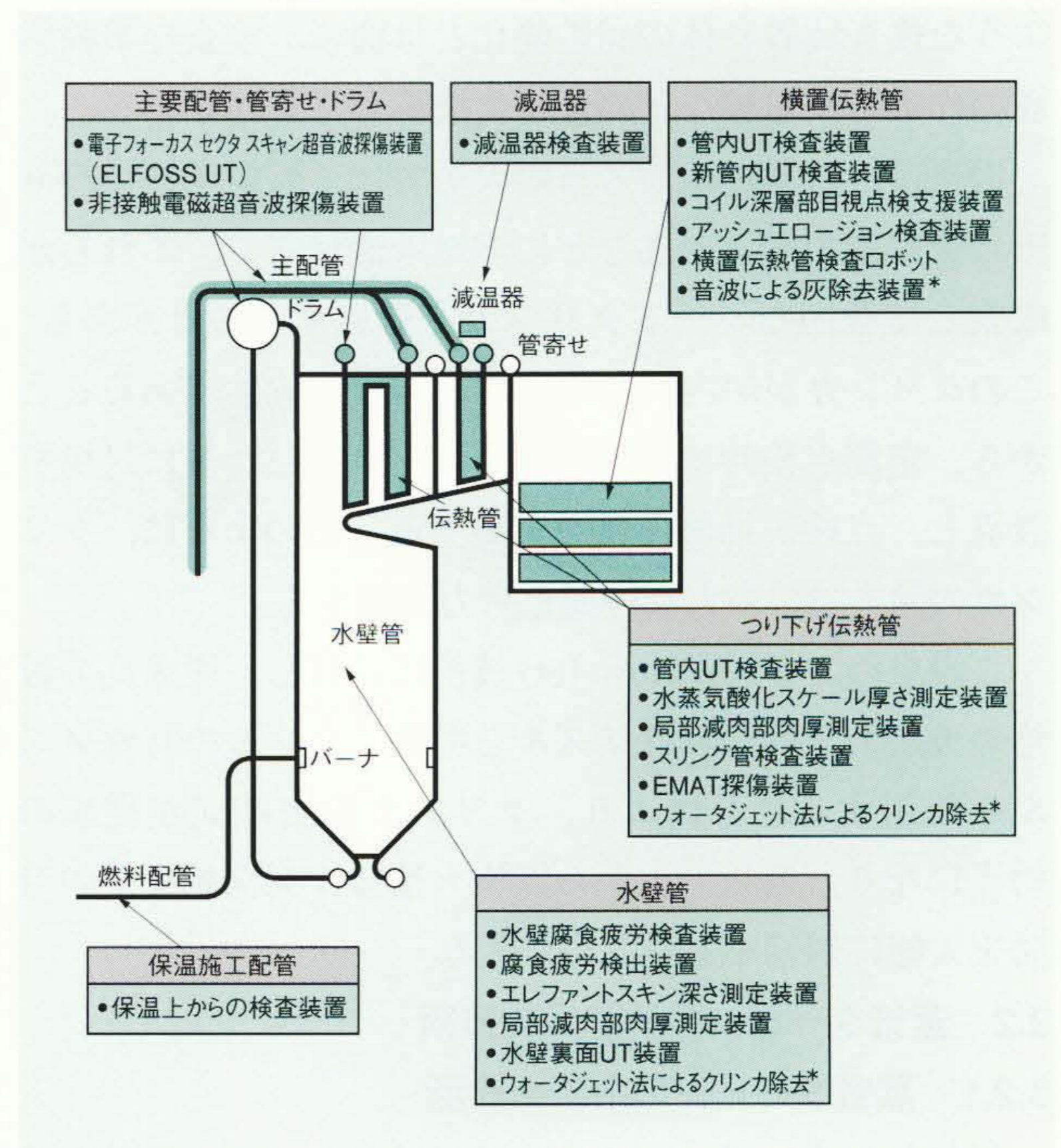
火力発電の分野では、新規建設が伸び悩み、規制緩和が進むなどの環境にある。また、最近では変動する負荷に応じて運用(ミドル運用)するなど負荷条件が厳しくなり、機器の劣化損傷が加速する傾向にある。これに対応するために、日立グループは、コア技術であるボイラ、蒸気タービン、ガスタービンなど、以下のような火力発電設備の予防保全技術の開発とその適用を推進している。

3.1 ボイラの予防保全技術

3.1.1 最新開発技術の適用

ボイラの非破壊検査には、従来のPT(染色浸透探傷試験)、MT(磁粉探傷試験)、UT(超音波探傷試験)などがある。しかし、これらの検査には、(1)狭隘(あい)部位の検査が困難、(2)検査のための付帯工事が膨大、(3)定量的または損傷進展を予測できる寿命診断が難しいといった課題があった。

これに対して日立グループは、検査前処理の削減による低コスト化、待ち時間のない検査の実現、非接触型検査装置の採用による高精度・高速検査の実現など、種々



注：略語説明ほか

EMAT (Electromagnetic Acoustic Transducer)

*は検査前処理を表す。

図2 主要診断部位と診断技術

日立グループは、ボイラ耐圧部全体にわたって非破壊による定量評価が可能な検査装置を開発している。

の定期検査合理化技術を開発してきた。主な診断部位と診断技術を図2に示す。これらの合理化技術は、すでに実缶に適用されている。

これらの技術のうち、主配管溶接部の内部欠陥評価が可能なELFOSS UT(電子フォーカス セクタ スキャン超音波探傷試験装置)について以下に述べる。

ELFOSS UTは、電子フォーカスとセクタスキャンを組み合わせた超音波収束ビームを扇走査することにより、溶接部内部や狭隘な管台部の欠陥を評価する装置である。従来のUT法と比べて、UTプローブの走査範囲が小さく、欠陥のサイズと位置を的確に把握できるのが大きな特徴である。

ELFOSS UTを使用し、模擬内在欠陥を含有する板材(肉厚100 mm)の突合せ溶接部を検査した結果を図3に示す。非破壊的に検出した内在欠陥と、断面切断調査で確認した模擬欠陥はよく一致している。この装置はこのような優れた欠陥検出能力を持っており、主配管溶接部など、重要部位の精密検査に適している。

3.1.2 定期点検合理化技術

図2に示した種々の非破壊検査装置は、いずれも定量的な欠陥評価が可能な装置であり、定期点検時の調査時間短縮の面から見ても合理化された技術と言える。このような検査装置自体の高性能化とは別に、検査作業前処理の作業時間短縮などの合理化技術も望まれている。

例えば、石炭燃焼ボイラの火炉では、火炉上部のつり下げ伝熱管のベンド部などに溶融灰が付着し、これらが成長して強固なハードクリンカを形成することがある。このクリンカが炉内に落下すると非常に危険であることから、定期点検時には、クリンカを除去した後に足場を設置し、点検・補修作業を実施する。このように、クリンカの除去には多大な時間と労力を要する。

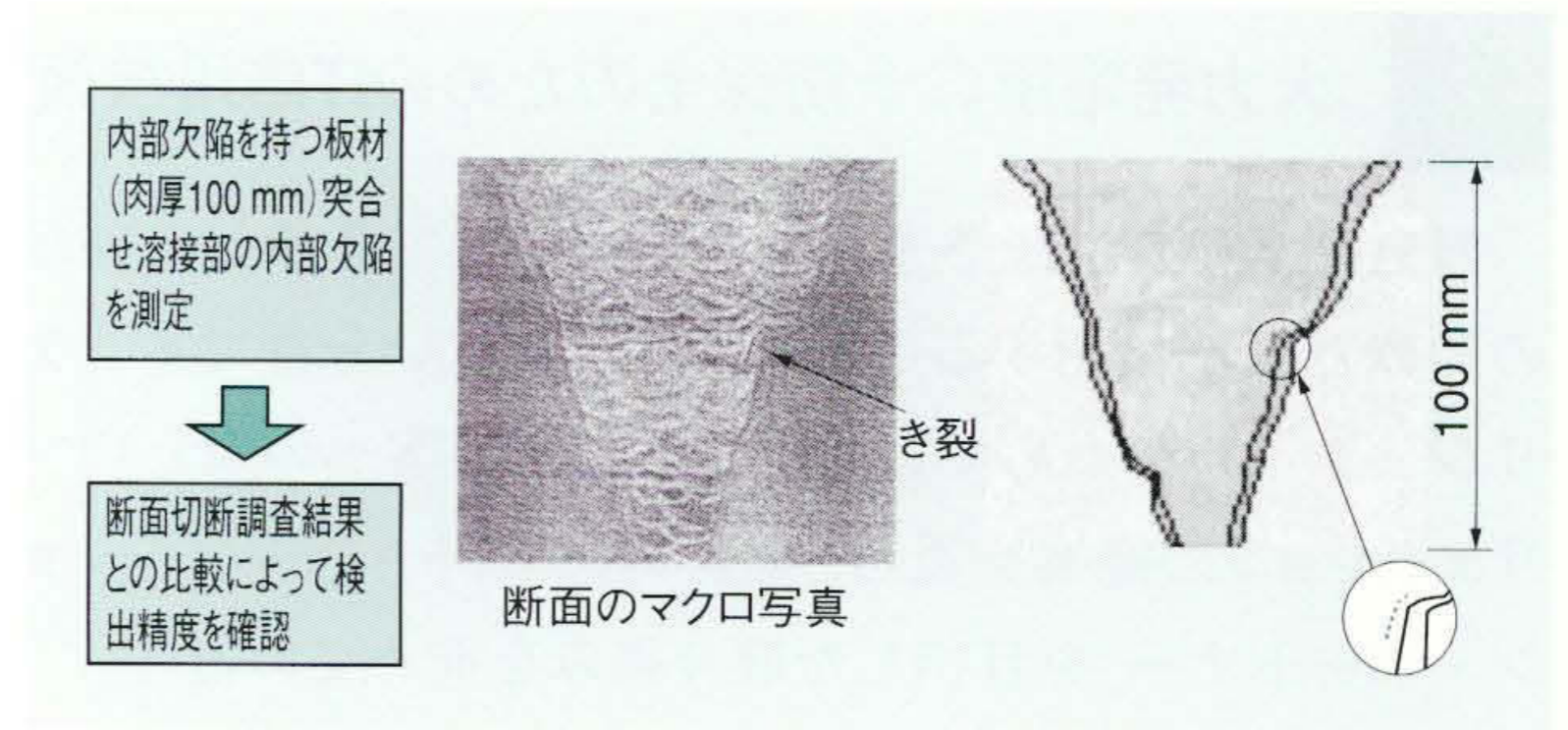
このため、WJ(Water Jet)技術に注目し、従来品の数倍の破壊力を持つ特殊ノズルを開発した。この特殊ノズルを使用することにより、クリンカ除去時間が従来の約 $\frac{1}{10}$ になり、運転停止から点検・補修作業開始までの時間を大幅に短縮することができる。

3.2 蒸気タービンの予防保全技術

3.2.1 蒸気タービンの余寿命診断

経年蒸気タービンでは、高温部材を中心に、的確な予防保全と機器の寿命延長が定着しつつある。

一方、低圧タービンに代表される低温部材では、近年、腐食に関連する損傷事例が見られるようになってきた。その多くは、腐食環境の厳しい乾湿交番域にあり、



注：--- (切断観察結果), --- (UT結果)

図3 ELFOSS UTの性能

内部欠陥を持つ突合せ溶接部のサンプルの検査結果から、欠陥の位置と大きさについての検出精度を確認することができた。

腐食疲労き裂やSCC(応力腐食割れ)が認められている。これらに対しては、低圧段の群翼振動応答の解析に基づく実稼動状態を把握し、実環境下で腐食ピットの発生と成長のデータを蓄積することにより、高精度な寿命評価技術を確立している。この結果、運用開始後20年以上経過した低圧タービンには、動翼抜き取りによる精密検査を推奨し、腐食環境下での低温部材の信頼性確保に努めている。

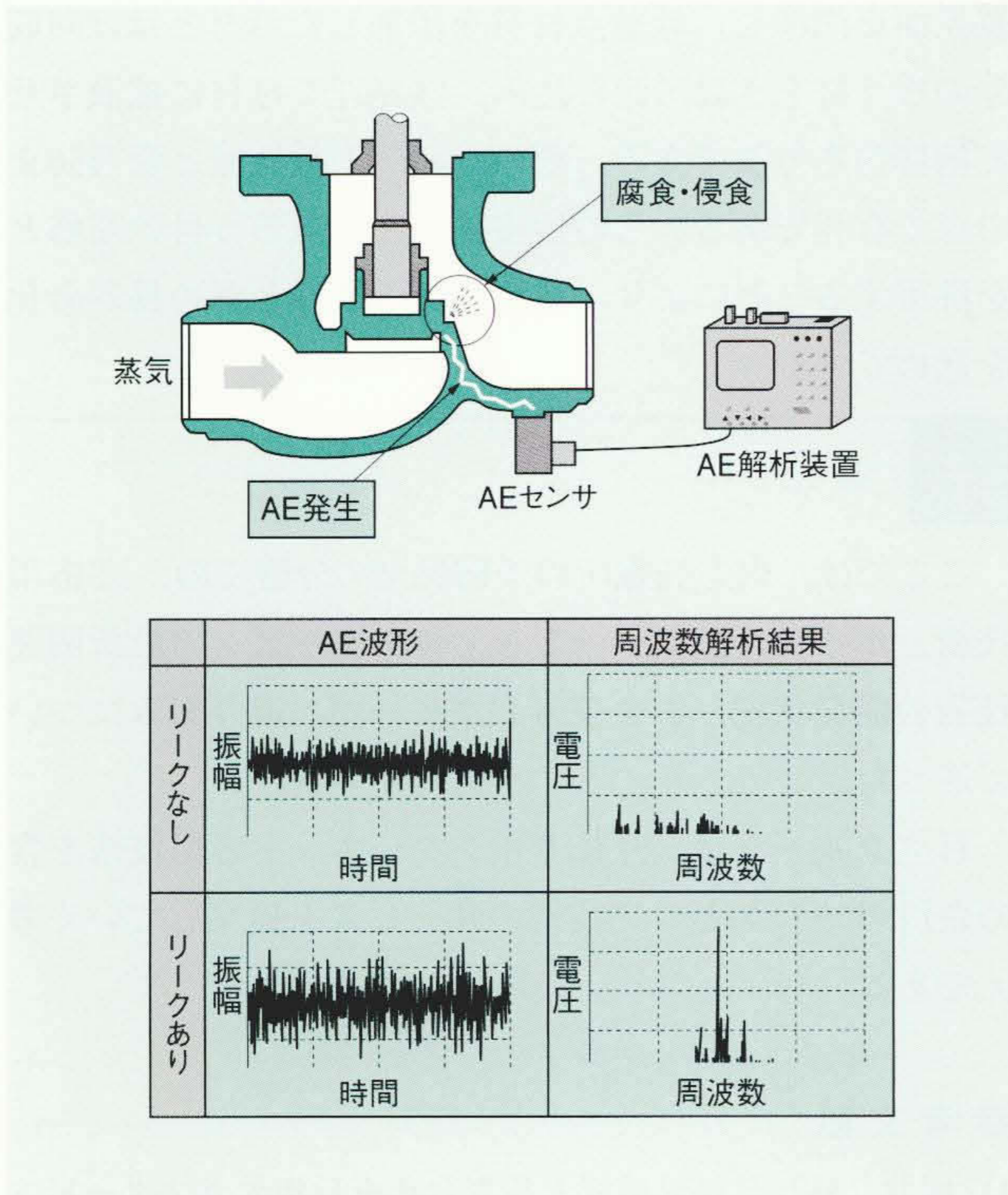
3.2.2 定期点検合理化技術の開発

規制緩和の進行に伴い、保守・保全費の低減に加え、設備の稼働率向上への要求がますます強くなっている。そのため、タービンの定期点検業務の合理化や、効率化・省力化を図る各種技術開発を進めている。定期点検業務の合理化技術には、作業の直接的な改善だけでなく、設備診断によって作業を最小限にする設備診断技術や、定期点検の情報管理を効率化する設備管理技術なども含まれる。

(1) 定期点検合理化技術

定期点検工程を短縮するために、ロータカップリング用テーパスリーブ形ボルト装置や、オイルフラッシング短縮装置を開発している。

テーパスリーブ形ボルト装置の採用により、ボルトの抜き取りがスムーズになるため、ボルト緩めの時間を1カップリング当たり0.5日短縮することができる。従来、タービンと発電機の組立完了後、軸受や軸受箱を洗浄するためのオイルフラッシングには5~7日間を要していた。これに対して、オイルフラッシング短縮装置では、試運転期間を短縮したほか、実機適用の結果、わずか3日間のオイルフラッシングで規定の軸受油の清浄度を十分に満足する結果を得ている。



注：略語説明 AE (Acoustic Emission)

図4 遮断弁の蒸気リーク検出の仕組みとリーク時のAE波形
AE遮断を弁などの静止体に適用した例を示す。

(2) 設備診断技術

設備診断には、AEを活用した「リーク診断技術」を開発した。タービンやポンプなどの回転体の異常検出にはこれまでも、AE診断を適用してきた。今回、これに加えて、遮断弁の蒸気リークに適用する技術を開発した。適用例を図4に示す。

(3) 設備管理技術

設備管理技術としては、定期点検記録と経歴管理アプリケーションシステムを開発している。

運用では、点検を実施する現場とデータ承認者・管理者をネットワークで結ぶことにより、測定から管理までをペーパーレスで迅速に記録することができる。この点検記録アプリケーションは経歴管理システムとリンクしており、設備の経歴を管理するうえで、データを提供する役割を果たす。これにより、点検によって確認した各種の情報を設備ごとにデータベース化し、設備の劣化傾向を把握できるようにした。また、各設備の保全情報を時系列、あるいは現象別に評価検討することで、データマイニングを容易にしている。タービン経歴管理アプリケーションの画面例を図5に示す。

今回開発した各種合理化装置を導入することにより、600 MWタービンの標準工程を5日間程度短縮することができ、10~15%の省力化が期待できる。

3.3 ガスタービンの予防保全技術

高温燃焼ガスを作動流体として使用するガスタービンでは、負荷条件がきわめて厳しいものになる。このため、燃焼ガス通路に位置する高温部品は、蒸気タービンとは異なり、比較的短い運転時間で、補修を繰り返しながら使用される。

補修・修理、部品更新などの保守・保全費用が発電コストに占める割合は大きく、信頼性だけにとどまらず、経済性の面からも予防保全技術の高度化は重要な課題である。

3.3.1 高温部品の寿命管理と補修

高温部品は、運転時間に関連するクリープ・摩耗・酸

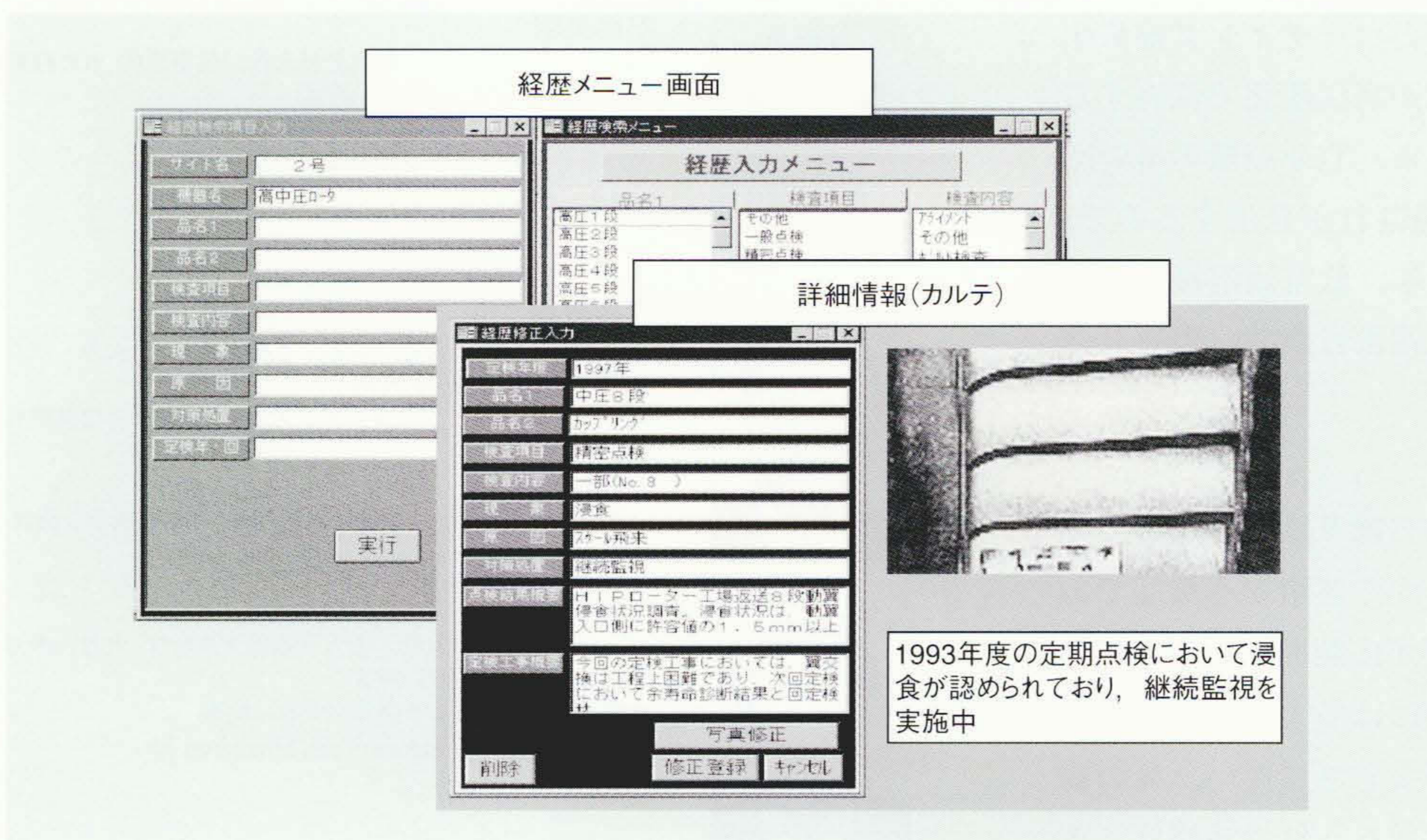


図5 タービン経歴管理アプリケーションの画面例
各設備の詳細情報が容易に把握できる。

表1 高温部品の補修内容

ガスタービンの最新補修技術の例を示す。

部品名	補修内容
タービン静翼	<ul style="list-style-type: none"> ● クラック補修 溶接（肉盛り） ろう付け・拡散接合 ● クリープ変形修正 ● 再コーティング
タービン動翼	<ul style="list-style-type: none"> ● 先端溶接肉盛り ● 再コーティング
燃焼器ライナ	<ul style="list-style-type: none"> ● クラック補修—溶接 ● スプリングシール、カラーなどの交換 ● 再コーティング
トランジションピース	<ul style="list-style-type: none"> ● クラック・磨耗補修—溶接 ● クリープ変形修正 ● 再コーティング

化などの損傷と、低サイクル疲労のように起動を繰り返すことで起こる損傷によって寿命が短縮される。

したがって、この寿命の管理には、実運転時間に起動回数や負荷急変などの影響を加味した等価運転時間方式を採用している。等価運転時間が所定の寿命時間に到達した時点で、該当部品は寿命に達したことになる。

高温部品については、点検結果が判定基準を超えた場合に、補修を実施している。その補修内容を表1に示す。

これらのうち、現在実機に適用中の最新補修技術の例について以下に述べる。

3.3.2 動翼の再コーティング補修

ガスタービン動翼は、高温・高圧の燃焼ガス中で遠心力と高熱応力負荷を受ける過酷な部品である。このため、Ni基超合金が用いられ、翼表面には耐酸化コーティングを施し、母材を保護している。翼の長時間使用に伴ってコーティングの劣化損傷が進行するので、母材が損傷する前に旧コーティングをはがし、再コーティング補修する必要がある。また、動翼の先端が高温酸化で減肉する事象についての対策も施した。従来、TiやAl量の多いNi基超合金は、溶接入熱による高温割れが発生するので、難溶接材とされていた。しかし近年、低電流溶接方式が開発されたため、応力の低い翼先端部に限り、肉盛り溶接補修が実用化されている。

3.3.3 静翼の拡散ろう付け補修

静翼は、起動停止による熱応力の繰り返しによって発生する熱疲労き裂を溶接補修しながら運用する部品である。静翼には、複数の熱疲労き裂が広範囲にわたって発生する傾向があり、その除去作業には多大な手間と時間を要する。また、溶接時の入熱の大きさに伴い、翼の変形が大きくなる。これに対し、拡散ろう付け補修は、き

裂表面を洗浄し、低融点材料を添加した母材とほぼ同成分のろう材をき裂に流し込み、熱処理で母材に拡散させて補修する方法である。そのため、工数低減と変形防止の点で有利である。この溶接補修と拡散ろう付け補修とを併用することにより、補修工数の削減と翼の長寿命化を進めている。

4 おわりに

ここでは、火力発電所の予防保全の分野での、IT応用技術、ボイラ、蒸気タービン、ガスタービンの最新関連技術の開発状況、および日立グループの取り組みについて述べた。

日立グループは、今後もインターネット応用技術を含めたITサービスとコア技術のサービスを提案していく考えである。

参考文献

- 1) 桜井、外：信頼性確保と長寿命化を目指すガスタービンの予防保全技術、日立評論、79、3、271～274(1997.3)
- 2) 火力発電設備の予防保全と余寿命診断技術/日立における予防保全、火力原子力発電、No.530、Vol.51、1583～1587、1599～1602(2000)

執筆者紹介



下村純志

1980年日立製作所入社、電力・電機グループ 火力・水力事業部 火力・水力技術本部 所属
現在、火力発電設備の予防保全事業推進に従事
工学博士
日本機械学会会員、日本ガスタービン学会会員
E-mail: kiyoshi_shimomura @ pis. hitachi. co. jp



石徳英明

1981年パブコック日立株式会社入社、呉事業所 火力技術本部 プロジェクト統括部 所属
現在、予防保全関係のプロジェクトに従事
火力原子力発電技術協会会員
E-mail: isitoku @ kure. bhk. co. jp



桜井茂雄

1977年日立製作所入社、電力・電機グループ 火力・水力事業部 日立生産本部 所属
現在、蒸気タービン・ガスタービンの予防保全技術開発に従事
工学博士
日本機械学会会員、日本材料学会会員、日本金属学会会員
E-mail: shigeo_sakurai @ pis. hitachi. co. jp



広瀬文之

1973年日立製作所入社、電力・電機グループ 火力・水力事業部 日立生産本部 所属
現在、火力発電所の予防保全業務に従事
E-mail: fumiyuki_hirose @ pis. hitachi. co. jp