

電力設備予防保全技術の展望

Current Status and Perspective of Preventive Maintenance of Electric Power Installations

電力設備で最も重要なことは、安定したしかも良質な電力を安定に供給することである。しかし、古い設備は長期にわたる運転や過酷な使用条件によって経年変化を起し、予期しない運転停止を余儀なくされることが考えられる。また新しい設備については、その社会的重要性から非常に高度の信頼性が要求される。このような電力設備の性能を維持向上していくため、設備の保全法、管理法、余寿命診断法、新しい技術の運用による設備の改善などが、日本国内はもとより世界的に注目されている。日立製作所ではこれらの要請に応ずるために、個別の技術や情報が有機的に統合された総合予防保全技術を構築した。

有江亮介* Ryōsuke Arie
別所東一** Tōichi Bessho

1 緒言

わが国経済の戦後の劇的復興と発展に伴い、これを支えるために多くの発電設備が建設された。これらの設備は年月とともに経年化が進み、そのうちのいくつかは、すでに廃棄されたものもある。経年変化が進行しつつある設備の寿命を予測し、適切なメンテナンスを行って高い信頼性を確保すること、新技術を適用して効率や運転性能を向上させ、今後とも第一線で活躍させることがますます重要になってくると考えられる。

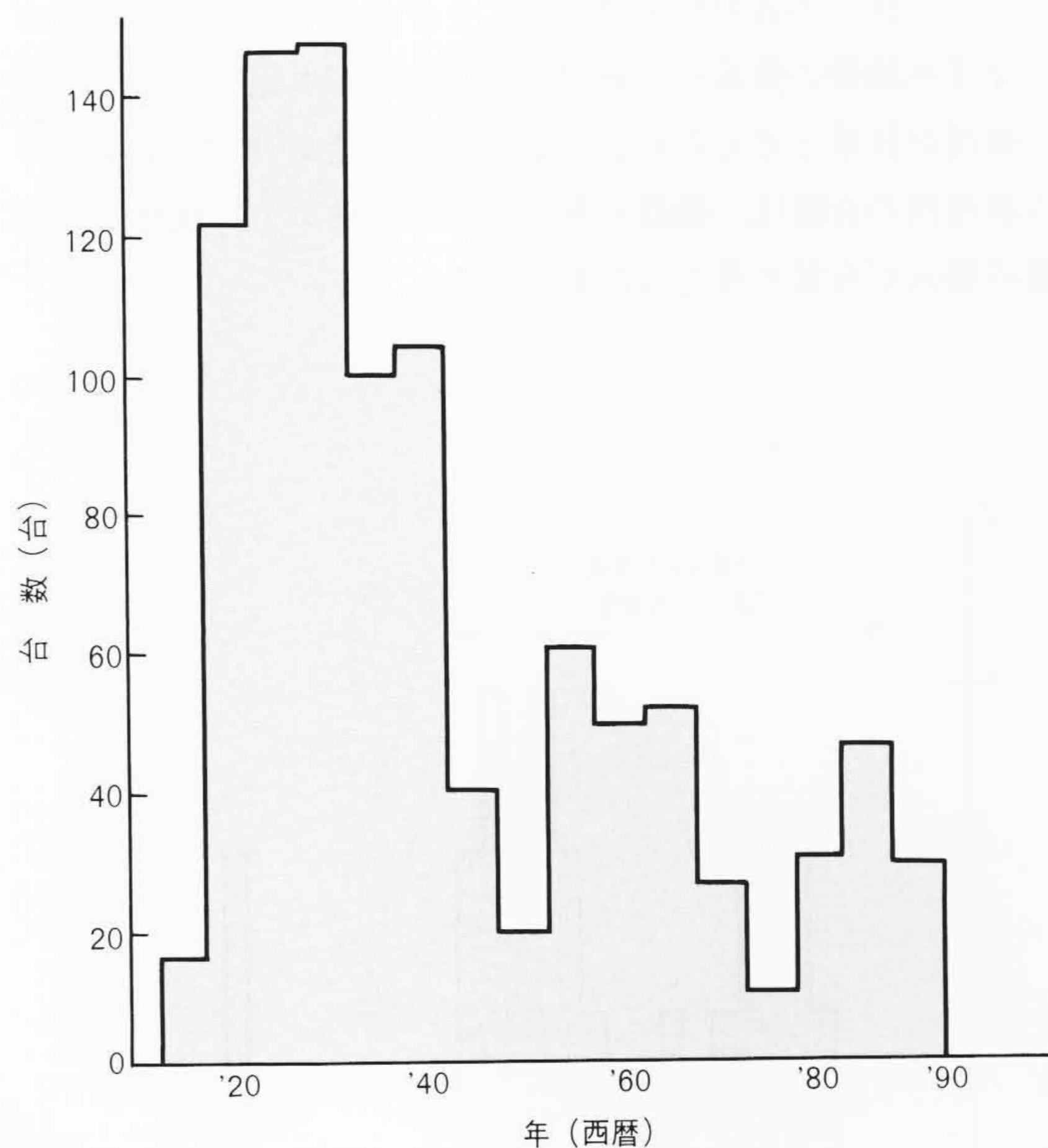
また、原子力発電設備をはじめとする比較的新しいユニットでも、時代の要請に従ってますます高い信頼性を要求されている。このための確かなメンテナンスと増大する各種情報を把握管理することが重要となる。

この論文は、これら運転中の諸発電設備を取り巻く現状と問題点について俯瞰(ふかん)するものであり、詳細についてはこの特集号の諸論文を参照されたい。

2 水力発電設備

わが国の水力発電は、明治25年(1892年)に供給を開始して以来約1世紀、国内での発電所総数は1,600か所以上、総出力でも3,500万kWを超え電力の安定供給および負荷調整用として運転されてきた。

最近では経年化した設備の全面改修や最新技術を導入した総合的改修による近代化、活性化の計画が増加している。日立製作所で製作、納入した水車の台数を図1に示す。同図からも明らかなように、70%以上の設備が40年以上を経過しており、さらに長期間にわたって運転を継続していくためには、



注：台数は5年ごとに集計したものを示す。

図1 日立製作所の水車・発電機納入実績 運転開始後40年以上を経過した設備が70%を超えており、今後も経年化が進む。

部分的な改修や部品交換はもちろん、スクラップアンドビルトなどによる全面的な近代化が必要と考えられる。

これら経年水力発電設備を、長寿命化し近代化を進めるに

* 日立製作所 電力事業部 ** 日立製作所 原子力事業部

は、以下に述べるような面からの検討が必要である。

(1) 耐力向上

これは水力発電設備に限ったことではなく、全発電設備に共通の最重要課題である。設備の経年変化による予期しない発電停止を防ぐためには、精度の高い余寿命診断技術の開発が不可欠である。日立製作所では、水車の主要部品の超音波非破壊検査法による寿命診断や、発電機固定子コイルの寿命診断法を開発済みである。

(2) 効率向上および最大出力の増加

経年水力発電設備では摩耗、劣化によって水車や発電機の効率が初期の状態よりも低下し、規定最大出力運転が困難となることが予想される。発電所の運用法や使用可能水量との変化を考慮して、最適な水力機械に全面的に改修(スクラップアンドビルト)することによって効率向上、最大出力の増加および年間発生電力量の増大が可能である。

(3) 無保守化

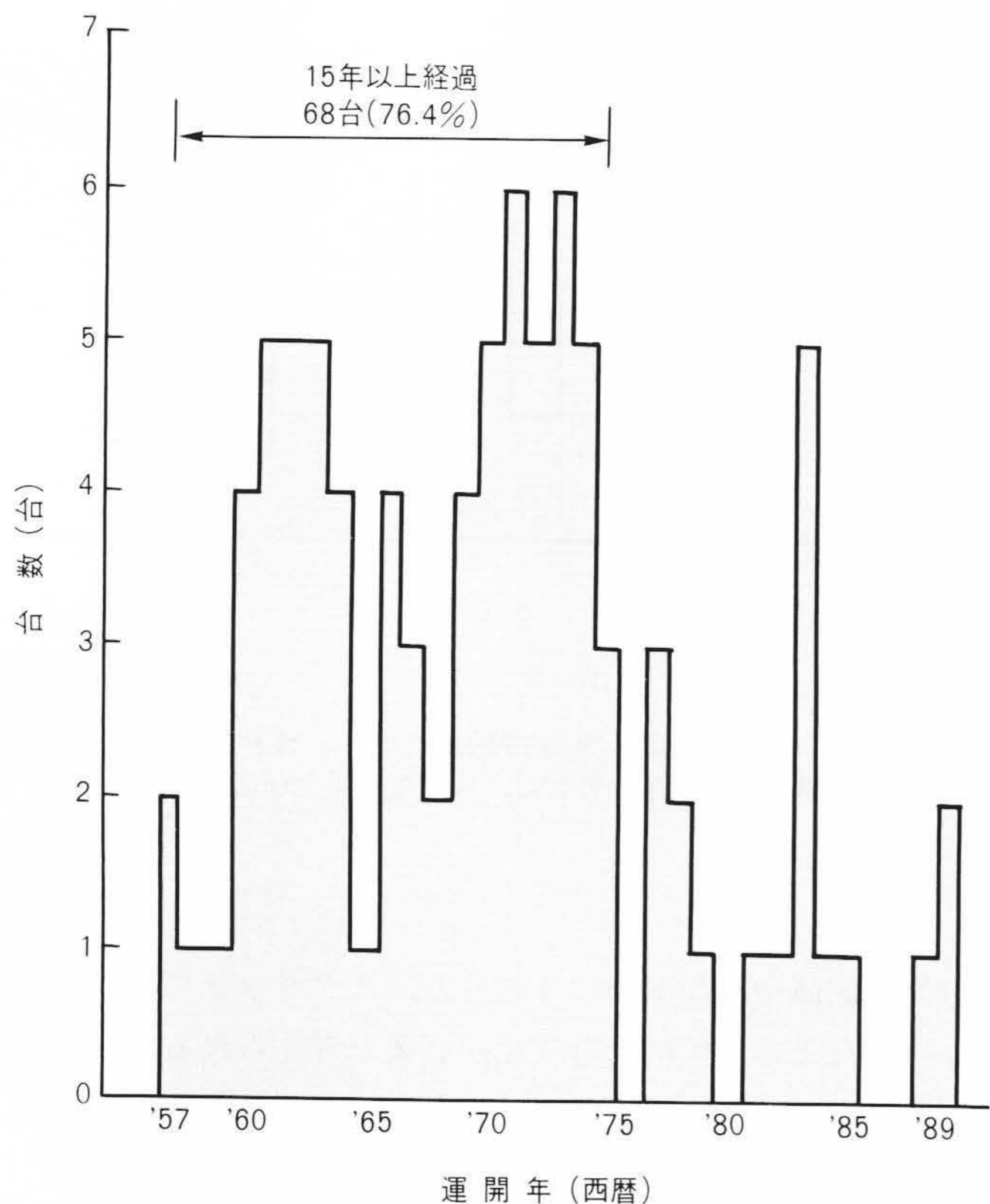
経年水力設備を近代化して、さらに長期間運転していくためには、保守の省力化を進めることが必要である。このために発電所補機の簡素化、無潤滑化、無冷却水化などの新技術の適用が肝要と考えられる。また、遠方制御(無人)発電所の点検巡視の合理化、機器の異常を早期に検出する状態監視装置の導入が有効と考えられる。

3 火力発電設備

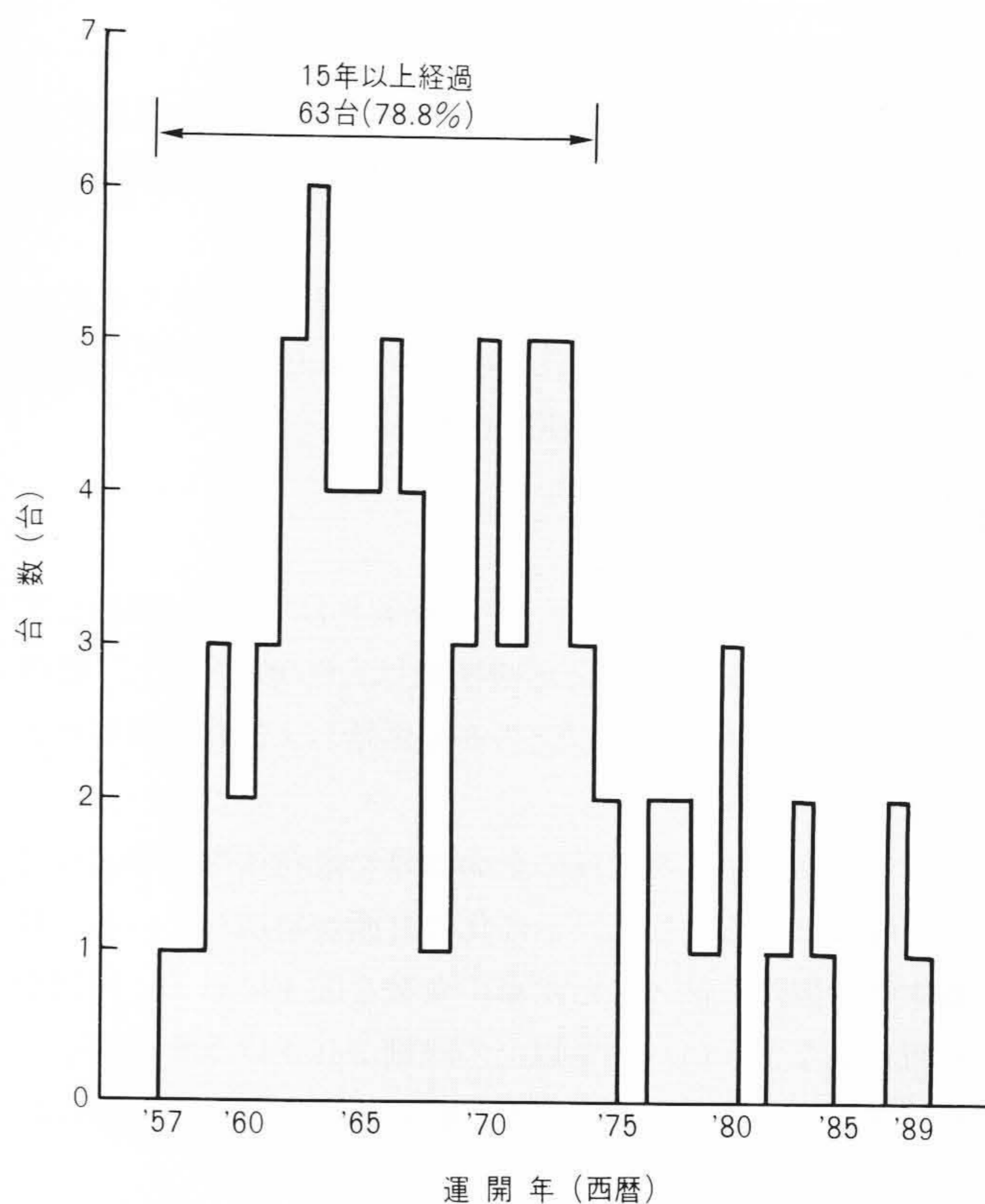
一方わが国の火力発電は、昭和30年代に電力供給の主役を担うようになった。昭和40年代には単機出力600~1,000 MWの大容量機時代を迎える一方、石油ショックに対応し省エネルギーや燃料転換が進められてきた。その後原子力発電の比重の増大や、電力需要形態の変化に対応して、ベースロード運用から中間負荷運用へと運転方式も変化した。これらの変化は、コンピュータに代表されるマイクロエレクトロニクス発展に伴う、制御装置の高度化によって支えられてきた。以上のような火力発電の発展成熟過程で、昭和30年代および40年代に全国で建設された発電所は200か所を超えており、その大部分は今なお稼働中である。

日立製作所で同時期に製作されたボイラおよびタービン・発電機ユニットの台数を図2に示す。運開して15年以上経過した設備が約80%を占めている。

以上述べてきた火力発電設備は、21世紀に向けてさらに経年化が進み、放置しておけば休止または廃止せざるを得ない状況になると考えられる。これら経年設備を長寿命化し、今後とも長期間にわたって第一線で活躍させようという動きが日本をはじめ世界的にみられるのが最近の傾向である。経年火力設備を長寿命化して近代化を進めるには、以下に述べる面からの検討ないしは対策が必要である。



(a) タービン、発電機納入実績



(b) ボイラ納入実績

図2 事業用発電設備納入実績 15年以上経過した発電設備が約80%を占めている。

表1 火力設備余寿命診断法の概要 火力発電所諸設備の主な余寿命診断技術を示す。

機 器	診断部位	劣化現象	診断技術	備 考
ボ イ ラ	管寄せ 伝熱管 主蒸気管 再熱管	クリープ 疲労	レプリカ法 (結晶粒変形法) (キャビティ法) 変形測定法	自動画像処理
タービン	ケーシング ロータ 主要弁	クリープ 疲労 脆化	レプリカ法 硬度法 電気抵抗法 エッチ法	—
	動翼	腐食	高周波UT	φ0.5腐食ピットを組立状態で検出可能
	ロータ	クラック (溝部)	高周波UT	1 mmのき裂を組立状態で検出可能
ポン プ	シャフト	疲労	X線回折法 レプリカ法	—
発 電 機 電 動 機	固定子コイル	絶縁劣化	N-Yマップ法 Dマップ法	—
電 動 機	ロータバー	き裂	高周波UT	1 mmき裂検出
			電流測定	運転中の切損検出
所 内 電 気 品	電磁リレー, ほか	接点劣化 ほか	接触抵抗 ほか	—

注：UT(Ultrasonic Test：超音波探傷試験)

(1) 耐力向上

設備の劣化による予期しない発電停止を防ぐことが非常に重要であり、このためには精度高く設備の余寿命を診断する技術の発展が不可欠である。日立製作所では表1に示すような各機器または部位に対する寿命診断の方法を開発済みであり、今後経年火力の信頼性向上に寄与すると考えられる。また他機で発生したトラブルを水平展開して、類似機に対して同種の対策を採用することも、信頼性向上の点から非常に重要と考えられる。

(2) 運用性改善

原子力発電の比重が増大するにつれて、火力発電には経年火力と言っても、負荷調整能力が要求されるようになった。これらに対応して、ボイラの水壁を垂直管からスパイラル管に改造したり、タービンロータの形状を応力低減形状に変更するなどの改善を進めてきた。プラントの起動特性を改善するには、これら主機を改善することは当然であるが、同時に最近のマイクロエレクトロニクス技術を適用して、大幅な自動化と制御特性改善を実現して運転員の負担を減らすことも不可欠である。

(3) 効率向上

プラントの燃料を減らすことは、燃料費の低減だけでなく最近地球温暖化で問題となっているCO₂の排出量を減らすことにもなる。このために、日立製作所では蒸気タービンの新翼型形状の開発や高効率補機類の開発による所内動力低減など

に取り組んできた。

今後は蒸気サイクルの中にガスタービンを設置し、その排ガスをボイラの燃焼用空気として利用しプラントの効率を向上させる排気再熱プラントや、ガスタービンの排気でボイラへの給水を加熱し、蒸気サイクルの出力を向上させるリパワリング、あるいは組み合わせなどの検討が進められるものと考えられる。

(4) プラントデータ管理システム

発電設備の容量や設備数の増加、および各種システムの複雑化に伴って、管理すべき運転および保守情報は膨大となってきた。これらの情報を的確に把握管理することが、設備の稼働率を向上させる不可欠の手段であると考えられる。

日立製作所では、火力プラントに適用される「総合予防保全システム」の開発を完了し、現在そのデータベースを作りながら運用中である。火力プラントの「総合予防保全システム」は、HIAMPS(Hitachi Advanced Maintenance Program System)と呼ばれ、その構成を図3に示す。同図にみられるように六つのサブシステムから構成される。特長的なのは余寿命の管理を行っていることである。設計データ、事故の水平展開のためのデータ、運転・保守の履歴データなどを総合的に管理し、的確な保守情報を提供しようというものである。

4 原子力発電設備

平成2年4月、日立製作所で製作、納入した東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所5号機が営業運転を開始し、わが国の原子力発電の設備容量は、3,000万kWを超え、原子力発電の発電電力量は全電力の約26%に達した。

原子力発電は、わが国でも20年余の歴史を持ち、日本原子力発電株式会社敦賀発電所1号機(図4)をはじめとして、幾多のプラントが稼働中である。また、その設備利用率は約70%以上の高い実績をあげている。これは、設備の設計上、製作上の技術改良はもとより、運転プラントに対する予防保全技術の向上も大きく寄与している。

これまで、原子力発電設備の予防保全は、配管の応力腐食割れ対策をはじめとして、新たな知見に対する改良技術を積極的かつ迅速に適用すること、および既設装置をデジタル制御装置などの最新技術を取り入れた装置にリプレースすることで、信頼性の向上を図ってきた。

今後、ますます運転プラントが増加し基軸エネルギーとしての役割が増すにつれ、よりいっそうの信頼性の向上が求められる。そのため、図5に示すように従来以上に新知見の運転プラントに対する水平展開を図るとともに、機器が性能・機能を発揮できなくなる前兆をとらえ、適切な処置を行う予防保全の高度化が急務となる。

高度化を進めるためには、次の2点を促進する必要がある。

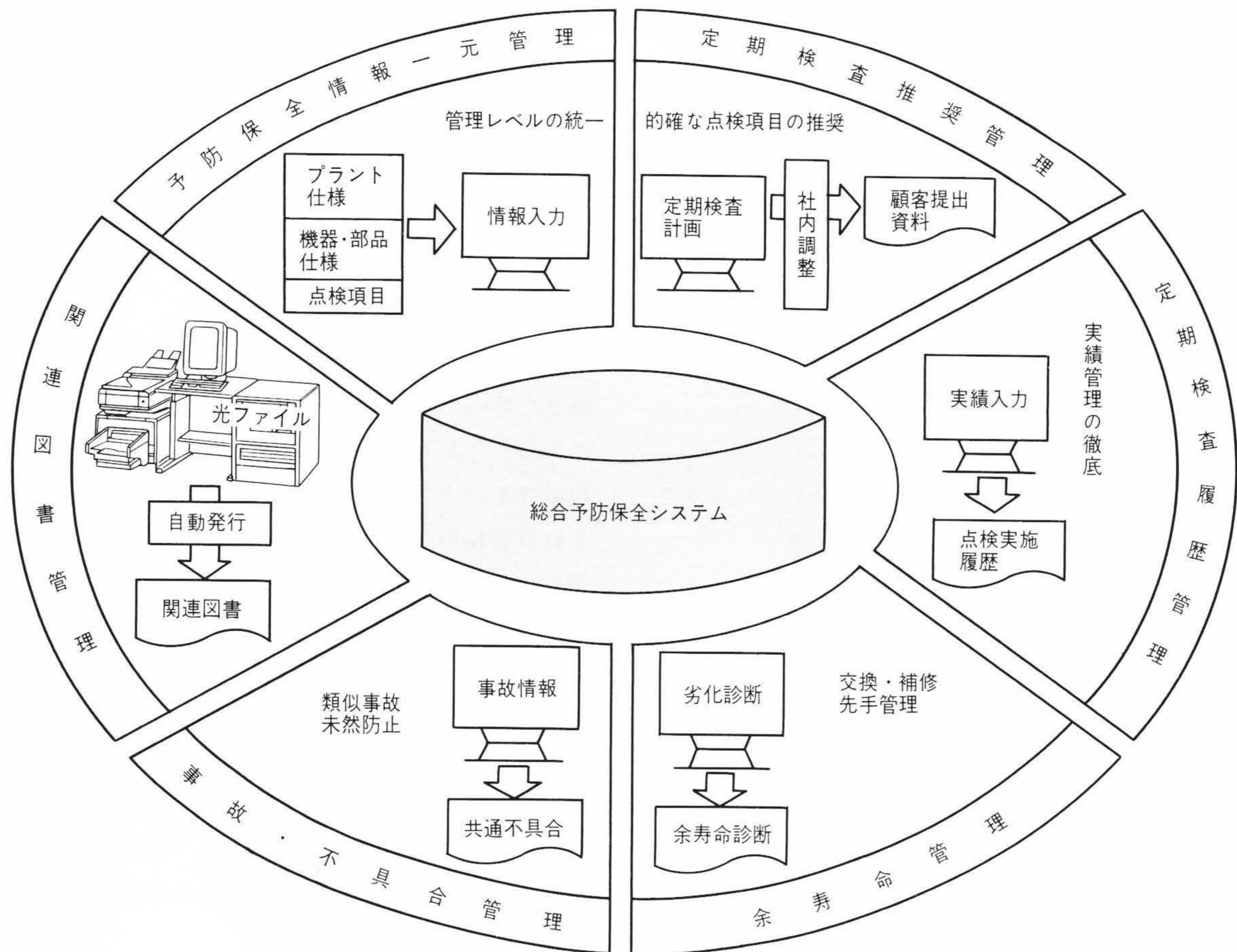


図3 総合予防保全システム(火力) 総合予防保全システム(HIAMPS: Hitachi Advanced Maintenance Program System) は、六つのサブグループで構成された情報管理システムである。

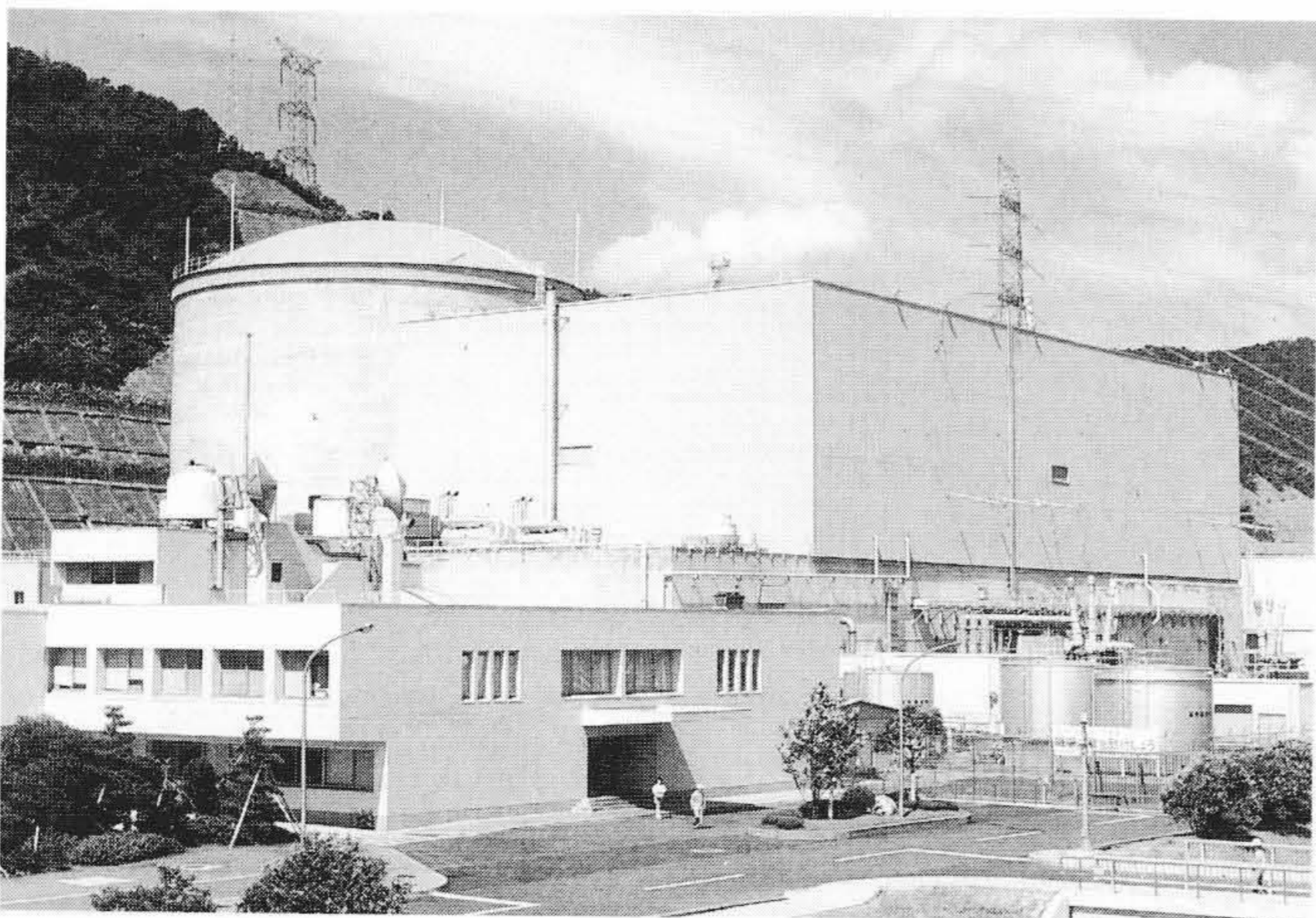


図4 日本原子力発電株式会社敦賀発電所1号機 わが国の商用沸騰水型軽水炉の初号機で、大阪万国博覧会が開催された昭和45年に運転を開始して以来、現在に至るまで安定に稼動を継続している。

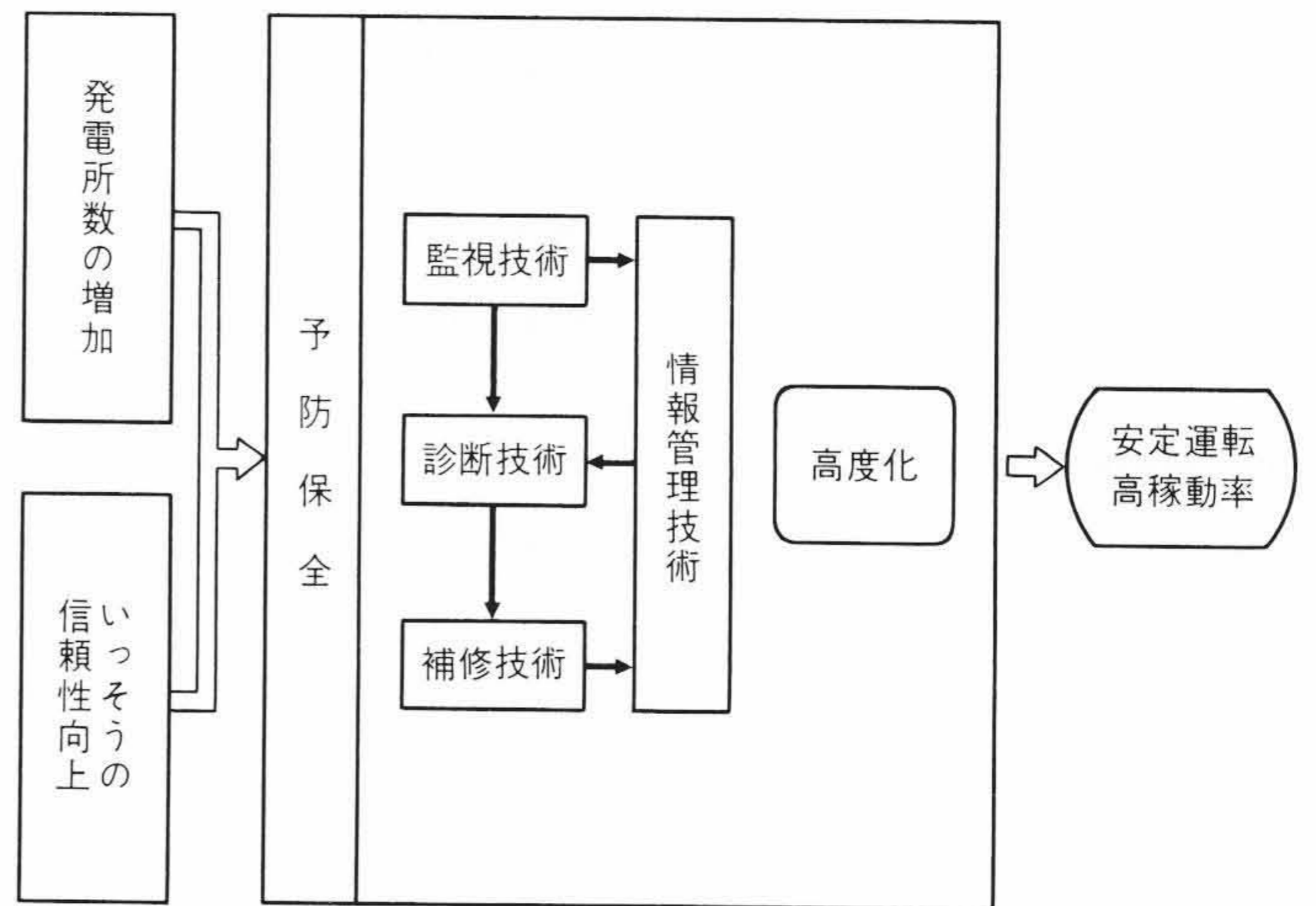


図5 予防保全技術とその高度化 発電所数の増加およびいっそうの信頼性向上の要求にこたえるため、予防保全技術とその高度化が求められている。

(1) 関連技術の統合

予防保全を技術的に大別すると、(1) 設備の状態を監視する技術、(2) 得られたデータをもとにした診断技術、(3) 診断結果に基づく点検・補修技術、(4) 各機器の点検保守履歴などの情

報管理技術、となる。

これらの各技術を実機に適用する場合、各技術が有機的に統合され、統合予防保全技術となって初めて高度の機能が発揮されるようになると思われる。

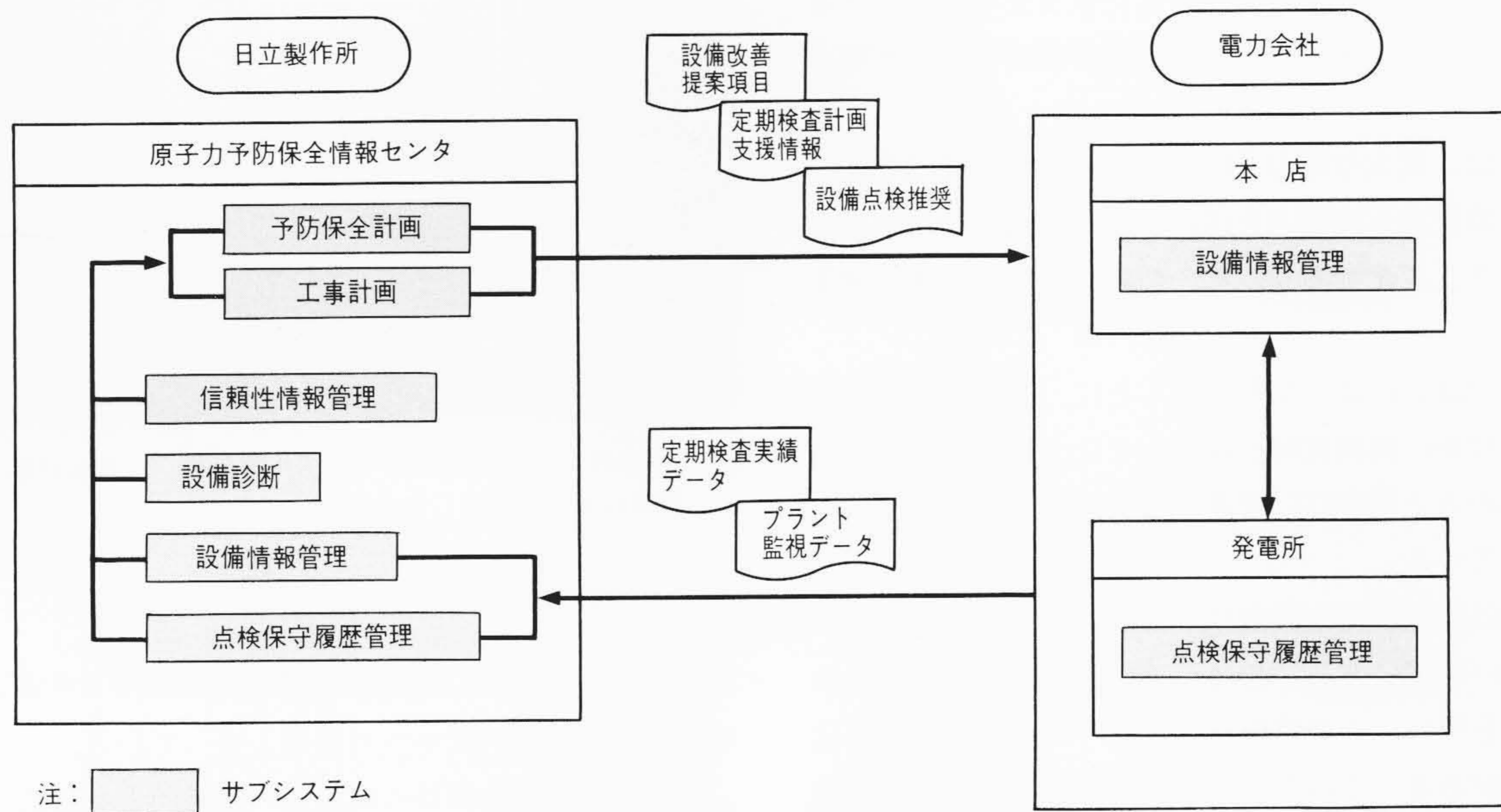


図6 高度総合予防保全システムと運用(例) 設備管理、保守管理および診断支援などの業務は、トータルネットワーク化することにより、総合予防保全技術となって高度の機能を発揮する。

このことはすべての予防保全に対し共通であるが、特に原子力発電設備については、その要求される信頼性と構成要素数の多さから、考慮すべき点である。

日立製作所では、この観点から数年前から原子力発電設備向けの「総合予防保全システム」の開発に着手し、現在データベースを鋭意構築中である。このシステムは、HIATOMSと名づけられ

- (1) 設備・運営管理、診断支援の広範囲ネットワーク構成
- (2) 各種データに基づく信頼性の高い保全計画立案などが特長づけられる。

またこのシステムは、五つのサブシステムから構成されており、効果的に運用するためには、おのおののケースの事情を十分考慮し、サブシステムの最適配備を検討していくこととなる。

運用の一例を図6に示す。

- (2) 設備診断支援の開発

設備・機器の信頼性は、過去に蓄積された経験や知識を有効に活用することによって確保される。原子力の商用発電がスタートしてから今日に至るまで、機器・設備の状態変化や経年変化に関する知識やデータは、熟練技術者によって分析、評価、活用されてきた。

一方、プラント数が増加している反面、熟練技術者の数も限られている現状では、機器・設備の診断を効率よく、かつ高精度に行える、いわゆるエキスパートシステムによる支援が不可欠となってくる。

エキスパートシステムは、その問題分野での熟練技術者の知識とノウハウをコンピュータに組み込んだもので、この知識とノウハウを用いてコンピュータにより推論を行い、複雑な問題を解決するものである。

日立製作所では、これまでに「制御棒駆動機構予防保全システム」や「原子力発電設備水質診断システム」など、各種エキスパートシステムの開発を完了し、実用化の段階に至っている。また、そのほか主として原子力発電設備向けに適用が考えられている。「配管予防保全技術」や「ケーブルの非破壊劣化診断技術」などもほぼ開発を完了させている。これらの診断支援技術は、上記のHIATOMSにサブシステムとして組み込まれ威力を発揮することになる。

原子力発電が、将来ともエネルギーの主要供給源として重要な役割を担い、その中でも軽水炉時代が長く続くものと予想される。これは発電設備の改良に加え、予防保全技術の進歩によって設備の信頼性が確保できるという実績に基づく点も大きい。

将来の予防保全を技術面でみれば、類似個所対策や予定取替周期ごとの取り替えの域を越え、材料自体の極微小な損傷、変化の兆候を検出する技術、例えば超電導量子干渉素子センサなどの早期実用化が望まれる。また、管理面でみれば、海外ではすでに原子力発電設備に適用が検討されている信頼性重視保全も検討に値するものがある。

これらの技術開発にあたっては、原子力発電に携わる関係者の緊密な連絡と協調が種々の点から必須(す)と考える。

5 送変電設備

近年の高度情報化社会への変化および社会生活の電力依存度の増大によって、従来以上に電力供給信頼度の向上が望まれている。

送変電機器は、巨大な電力系統の要(かなめ)に使用されているものから需要家への電力を供給する最先端に使用されているものまでさまざまであり、その信頼度の向上はますます重要である。

日立製作所ではこのような背景のもとに、送変電機器で高電圧・大電力技術、高精度解析技術などによって、機器の高信頼度化を進めると同時に、予測診断装置やそのシステムの開発を推進している。

送変電機器は発電設備と異なり、長期間停止しての分解点検が行いにくい環境にある。したがって、機器の稼動中に診断や状態監視を行い、この情報から事故の未然防止や延命化を進める必要がある。このため、診断装置は新設の変電設備

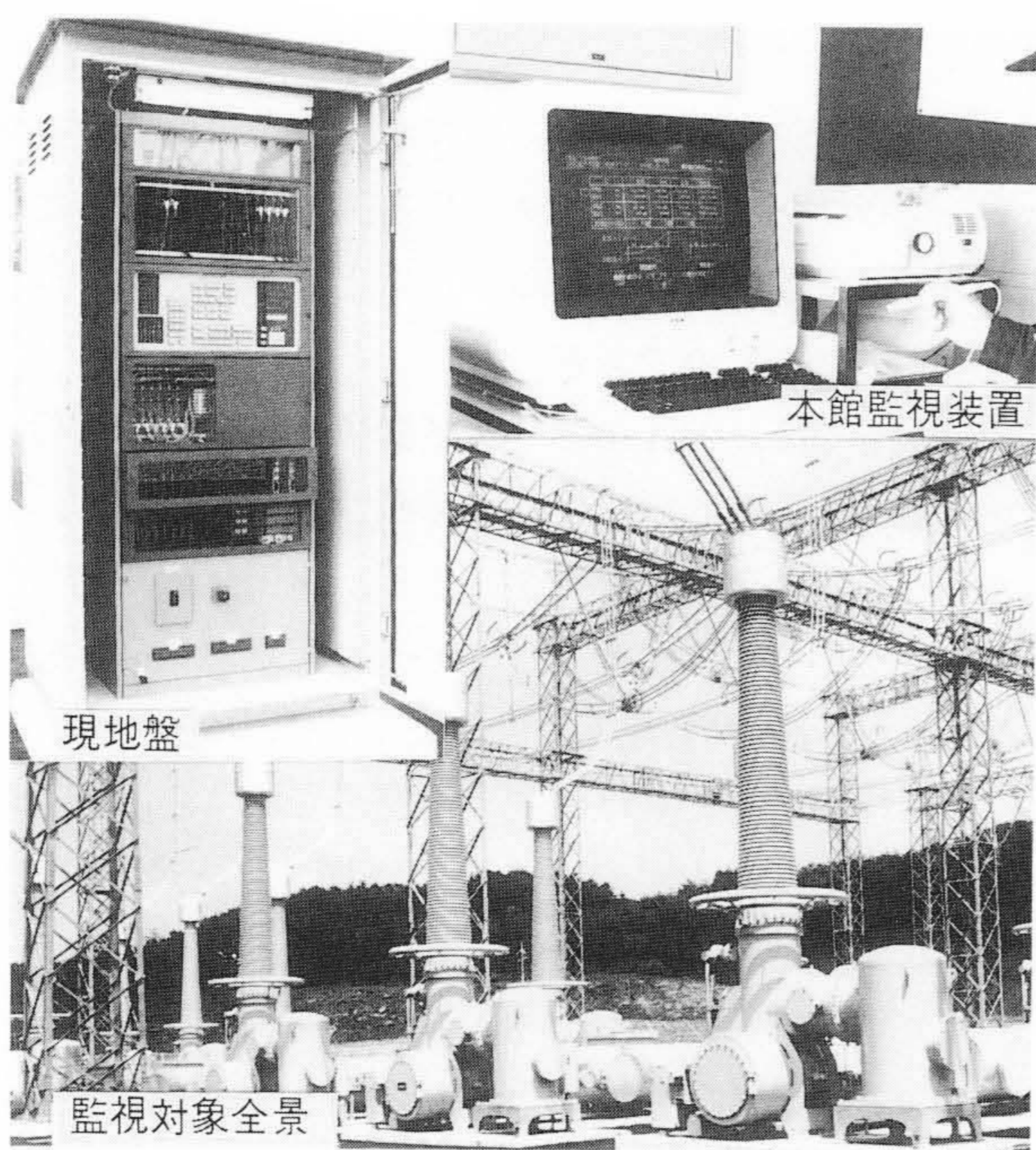


図7 オンライン機器監視装置適用例 運転中の変電機器をオンラインで監視・診断し、設備の状態や異常の兆候を把握する。

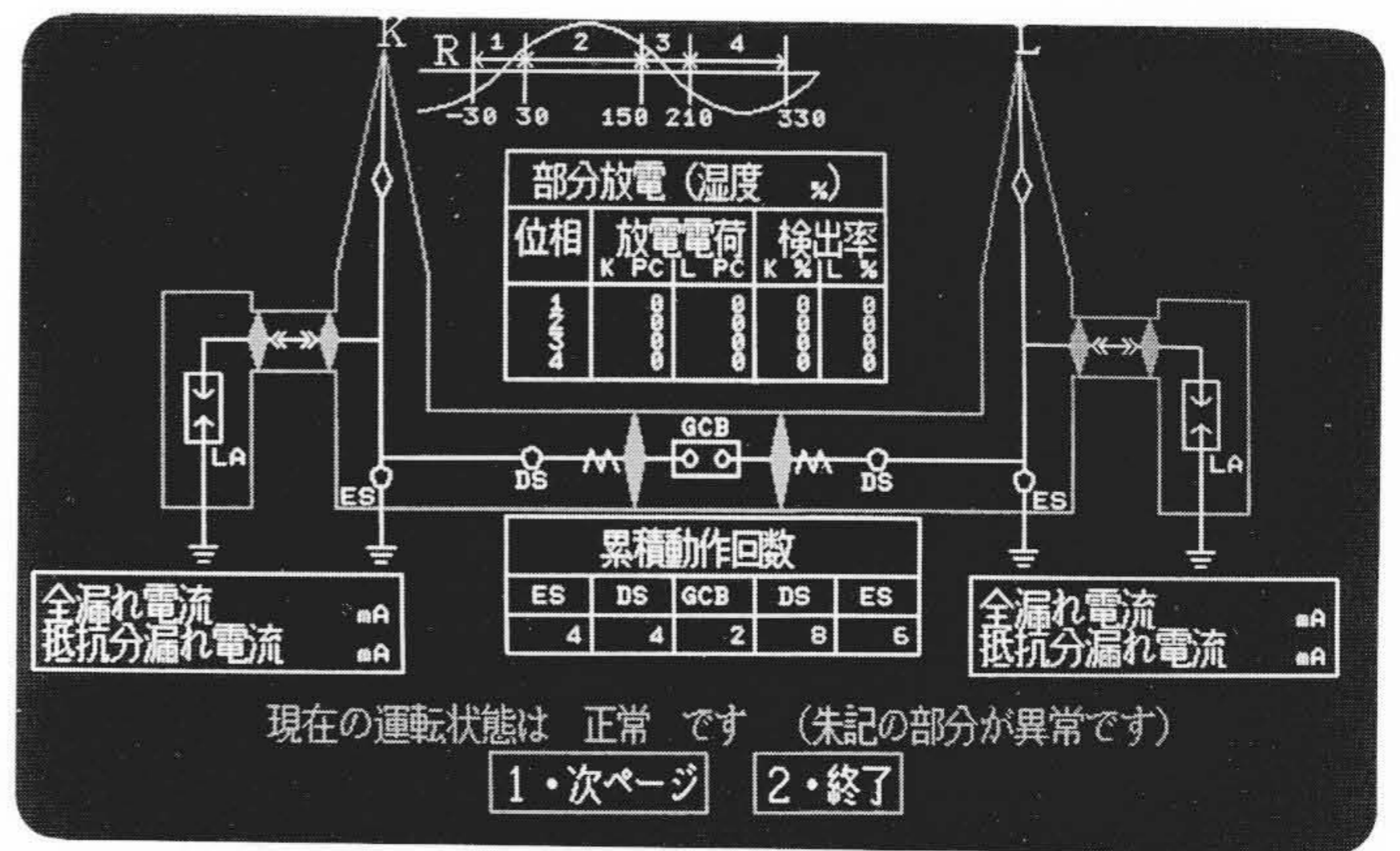


図8 監視・診断情報のビジュアル表示例 運転状態を画面に表示し、異常の有無を判別している。

はもとより、すでに稼動中の機器にも適用できることが必須であるため、高精度かつ可搬形となっている。

さらに、既稼動機器の信頼性の維持向上を目的として、その運転状況を把握し、適切な処置を提案するために専門技術者による健全性点検活動を推進しているが、この活動に上記可搬形高精度診断装置を適用している。

予測診断システムの適用例を図7に、監視診断情報の表示例を図8に示す。

6 結 言

以上述べたように、電力設備の信頼性を確保し安定した電力供給を行うために、予防保全という観点から設備を保守管理することは今後ますます重要になっていくと考えられる。

電力設備の保守管理は、各種の設計データ、運転データ、設備製造時から現在までの製作及び保守履歴などを総合的に把握する必要がある。また、何らかの不具合が発生した場合には、これらを活用して迅速に対応することが必要である。このためには設備の使用者と供給者の密接な協力が不可欠である。日立製作所ではこの認識のもとに、各種の開発と実務を進めていく考えである。