

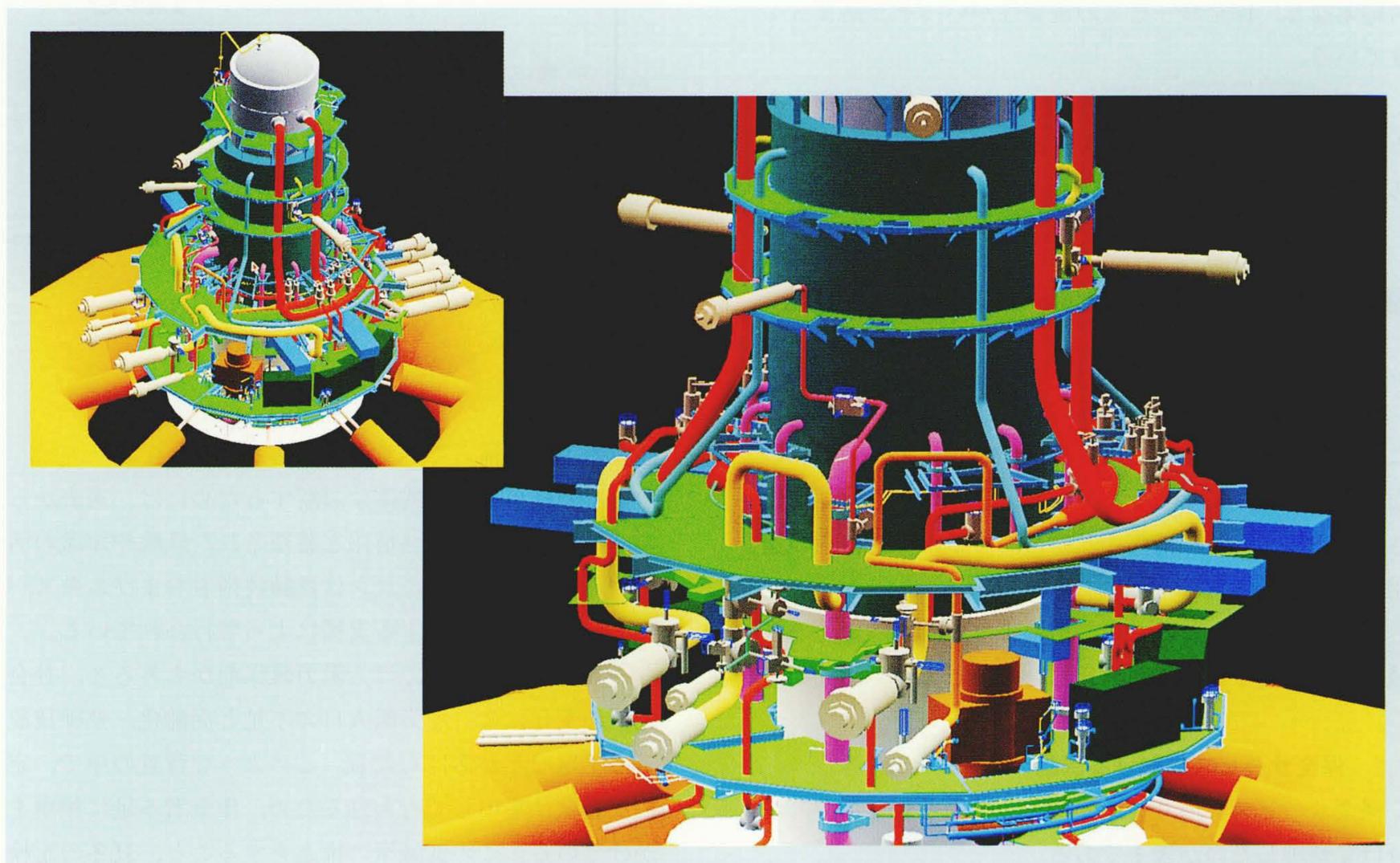
保全サービスにおける課題と対応

Current Status and Perspective of the Preventive Maintenance Service for Nuclear Power Plants

櫻井三紀夫* *Mikio Sakurai*

別所東一** *Tōichi Bessho*

阿部和宏* *Kazuhiro Abe*



三次元CADによる保全計画 運転プラントの点検、保守作業の最適化工法検討のため、三次元CADシステムを活用したシミュレーションを行っている。

原子力発電プラントは、建設時にその時点での最新技術が折り込まれて設計・製作されているが、技術は年々進歩し、またプラントは運転時間の経過とともに経年化が生じてくる。このため、保全サービスによって種々の計画的予防保全処置が採られてきている。

保全サービス活動は、常に将来を予測して新しい技術の研究成果をプラントに着実に反映させ、より

信頼性の高いプラントを運転に供することを目的として進められている。

近年の社会環境の変化や、運転プラントの増加、運転後20年到達などにより、新たな視点に立って、原子力発電所の永続的な信頼性を確保していくことが保全サービス活動の課題となっている。

日立製作所は電力会社との連携により、これらの課題への対応策を推進している。

* 日立製作所 日立工場 ** 日立製作所 原子力事業部

1 はじめに

わが国で運転されている原子力発電プラントは40基を超え、全発電量に占める原子力の割合は全体の約27%を担うまでになっている。このように運転プラントが増大してきたこと、および運転後20年を超えるプラントが現れてきたことにより、多数プラントの保守、経年化への対応策など、保全サービスの重要性がますます高まってきた。

一方、保全サービス活動の新たな展開には、技術的あるいは社会的な新しい課題を克服していくことが重要である。

ここでは、これらの課題と対応策について述べる。

2 原子力プラント保全サービスにおける課題

2.1 保全サービスの位置づけ

運転プラントの基数や運転時間の長いプラントの増加に伴い、多数プラントの保守および経年化機器類の的確な保全が重要な使命となっている。このためには高度化された監視、診断、補修など総合的な予防保全技術の適用が必要である。

保全サービスはこれらの技術によって計画外停止の撲滅を図り、プラントの高信頼性を維持していく活動である。

2.2 保全サービスにおける課題

保全サービスを取り巻く課題を、技術と管理の分野に分けて整理したのが表1である。

技術的課題の第一は、信頼性の確保であり、これにはプラントの計画外停止の撲滅、他プラントで発生した不適合事例の再発防止があげられる。

稼働率向上に関しては、わが国は諸外国の原子力プラントと比べて計画外停止回数は非常に少ないが、稼働率そのものはわが国より高い実績を示している国がある。これは定期検査(以下、定検と略す。)期間の長さ起因しており、定検期間を短縮して設備稼働率を向上させることは、信頼性の確保とともに保全サービスの重要なテーマである。また、国、電力会社およびメーカーが一体となって取り組んでいかねばならない課題でもある。

1990年4月にICRP(International Commission on Radiological Protection: 国際放射線防護委員会)から新勧告が出され、国内でも法令化される動きがある。この勧告では許容線量当量率が従来よりも低く設定されるため、線量当量の低減、工法の改善などによって専門技

表1 保全サービスにおける課題 保全サービスには各種の課題があるが、技術的なものと管理に関するものとに分けられる。

技術課題	信頼性確保	●計画外停止事象の撲滅 ●不適合事例の再発防止
	稼働率向上	●定検工程の短縮
	ICRP新勧告対応	●線量当量の低減 ●作業工法の改善 ●作業自動化、省人化
	経年化対策	●予防保全技術の開発推進 ●余寿命・トレンド管理の充実
管理課題	労働力確保	●定検ピーク人員低減策の推進 ●定検終了後の雇用安定化 ●年間労働時間短縮対策の推進
	保全計画早期化	●施工3年前の計画着手
	教育・訓練充実	●技能・技術の伝承・向上 ●多能工教育の推進

注: 略語説明 ICRP(International Commission on Radiological Protection; 国際放射線防護委員会)
定検(定期検査)

能者の不足を補っていく必要がある。

機器の経年変化を的確に診断するためには、過去からの詳細な点検保守履歴情報と蓄積された経験や知識の活用が不可欠であり、これらは熟練技術者およびエキスパートシステムなどによる支援によって行われている。

一方、管理的課題では労働力確保面からみると、社会環境の変化によって労働人口の不足と高齢化、熟練技能者の不足などがあげられる。このような背景の中で、定検が春秋に集中して行われるため、作業不足に拍車をかけている。この低減策の推進をすること、夏冬の定検がない時期での雇用安定化策、年間労働時間短縮への対応など、雇用制度にまで立ち入らねばならないという課題がある。

運転経過の長いプラントの安定運転のための設備更新には現場調査など十分な検討時間が必要であり、長期間かかるため、施工時期の3年前には保全計画に着手するなどの対応が重要である。

3 保全サービスの課題に対する対応策

3.1 技術課題への対応策

従来、材料の健全性向上、機器の経年化対策、線量当量の低減など、設備の改善策が採られてきているが、これらはいわば「先行事例対応型」で進められてきた。今後の保全サービスの高度化のためには、「事例予知予防型」に転換していくことが重要である。機器別に、検討すべき視点ごとに必要技術をリストアップし、開発、適

用状況を示した技術マップを表2に示す。

3.1.1 機械設備への対応策

運開後20年を越えるプラントが現れてきていることなどにより、材料、水質、点検、余寿命評価、補修およびプラントの監視、診断などに最新の技術を適用した高度化された保全サービスが強く求められてきている。材料、水質、点検、余寿命評価、補修などの技術についてはこの号の別論文で触れているので、ここでは省略し監視・診断について述べる。

(1) 設備診断システム

機器の経年変化を的確に診断するためには、エキスパートシステムなどを支援技術として活用していかなければならない。日立製作所では早くから、これらシステムの研究を進めており、すでに発電機、高圧電動機、制御棒駆動機構、配管などの設備診断システムを実機に適用している。

(2) 運転状態監視・診断システム

プラント運転状態を常時監視し、プラントの異常兆候を早期に把握するための、診断システムの構築が求められている。このためには、定検時の設備診断情報、運転時に連続的に収集される各種プラントパラメータ、および機器のトレンドデータなどのデータベースと、それを診断する知識データベースの整備が必要であり、電力会社と共同で研究中である。

3.1.2 計装制御設備への対応策¹⁾

制御装置は工業計器、補助継電器、操作スイッチ、伝送器や抵抗、ICなどを搭載したプリント板等、多種の部

品で構成されている。この分野は技術の進歩が速いこと、および有寿命部品が多いこともあって、プラント運転年数の上昇とともに予防保全処置のよりいっそうの強化が重要である。

(1) システム信頼性の向上

デジタル制御、光伝送、多重化など最新技術を経年プラントに適用することによって機能、保守の向上を図るとともに、制御装置の長寿命化を図っている。

(2) 計装制御設備の寿命診断

計装制御装置は、寿命の異なる多数の部品の集合体であることから、装置としての寿命予測が難しい。また、部品レベルでも寿命を非破壊的に調べる方法が未確立であること、使用環境に影響されること、制御装置の特性変化から部品の経年変化を同定できにくいことなど、寿命予知技術はまだ研究段階にある。そのため、部品種類別に設定した取り替え基準によって確実に交換していくことが重要である。これを支援するため、制御装置、部品などの設備データ、部品の取り替え周期などをデータベース化し、予防保全計画時に適切な情報を提供できるようにしている。

3.1.3 経年設備対策と長寿命化

適切な点検、保守を実施してきたプラントも、運開後10年を経過するあたりから経年化に対する積極的な取り組みが必要となる。経年設備対策と長寿命化の展望を図1に示す。

経年設備対策としては、計画的な設備診断および更新、改善を進めることが鍵(かぎ)となる。このような経年設

表2 予防保全技術マップ 主要機器の予防保全技術を、検討すべき視点ごとに整理した。

視点	原子炉機器	ポンプ	配管・容器・弁	電気計装	タービン・発電機
新技術の反映	● SCC対策 ○ 照射変化対策	● 耐食材適用・ 長寿命軸封部	● 耐減肉材適用	● デジタル多重化 ● 光多重伝送	● 低合金鋼SCC対策
監視・点検	○ 炉内点検	● 回転体振動監視 ○ 監視点検ロボット	○ 運転中肉厚測定 ○ 漏れ検知	○ 電動機潤滑油分析	● 振動監視診断
	○ オンライン総合監視システム		○トレンド管理		
余寿命評価・診断	● 運転履歴モニタ ○ SQUID	○ 音響・振動診断	● 疲労寿命予測 ● 減肉進展予測	● 絶縁寿命診断	● ロータ寿命診断 ● 絶縁寿命診断
補修	○ 水中溶接 ○ 表面改質	● 放射能除染	○ 全自動溶接	● ケーブル延線	● 減肉部補修
設備管理	● 総合予防保全システム(HIATOMS)				
運転経験の反映	● 再発防止・類似品対策管理システム (信頼性情報総合データベース)				

注：● (開発済みまたは適用中), ○ (開発中)

略語説明 SCC(Stress Corrosion Cracking), SQUID(Superconducting Quantum Interference Device)

HIATOMS(Hitachi Advanced Operating Nuclear Power Plant Total Preventive Maintenance Management and Service System)

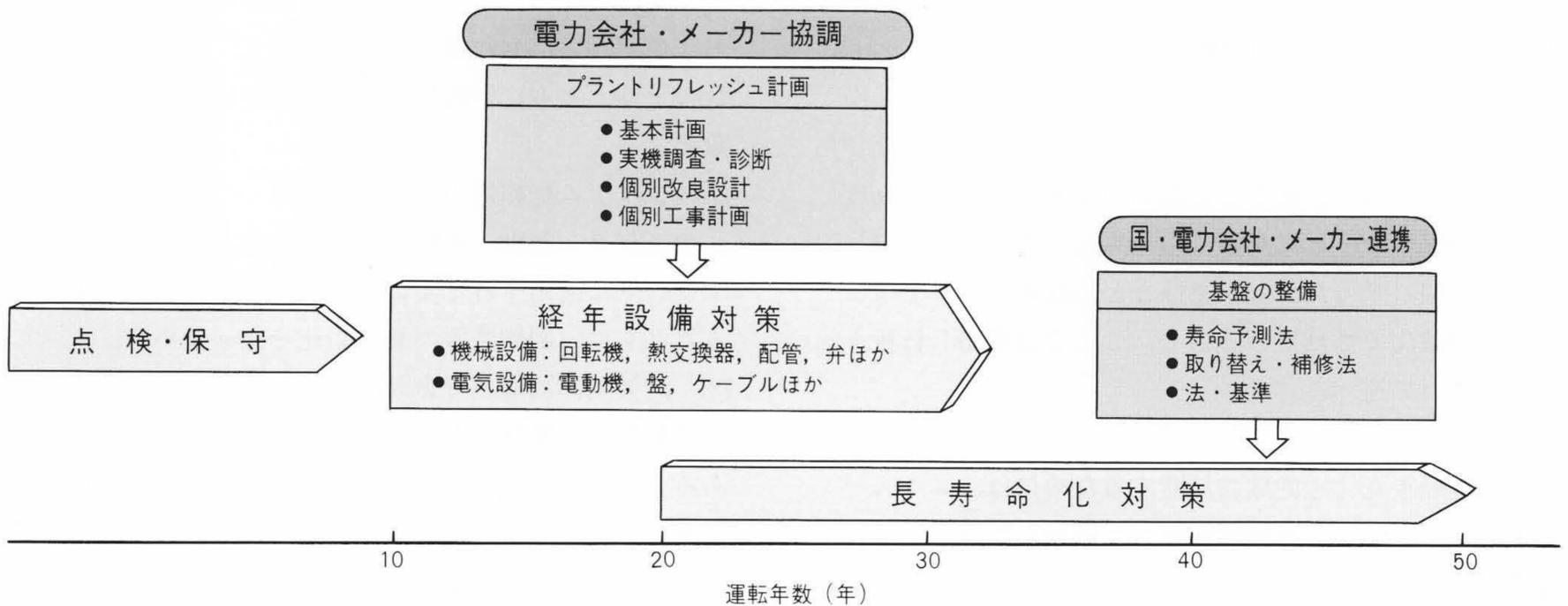


図1 経年設備対策と長寿命化 プラントの運転開始後10年を経過したころから経年設備対策が、20年を経過したころから長寿命化対策が必要である。

備対策は、電力会社とメーカーが協調して実施することが必須(す)であり、現在、電力会社が進めている運転歴の長いプラントを具体的対象とした、体系的な経年設備対策「プラントリフレッシュ計画」に日立製作所は協力している。

運転履歴が20年に達するあたりから、長寿命化に関する計画を具体的に検討する必要がある。その主な検討対象は、原子炉圧力容器、炉内機器などの主要機器であり、国内外ともに照射変化メカニズム、寿命予測に関する研究が進められている。日立製作所でも自主研究を進める一方、国、電力会社の指導を得て技術の確立に取り組んでいる。長寿命化計画は、基準の見直しあるいは材料の実証や確証が必要なため、国家規模のプロジェクトによる推進の必要性も考えられる。

3.1.4 プラントリフレッシュ計画

プラントリフレッシュ計画の実施にあたっては、現有技術でできるものと、新たな技術開発を伴うものに区分し、実施フェーズを二期に分けるのが望ましいと考えられる。第一次は現有最新技術の適用による経年設備対策とプラントの機能・性能の新鋭化であり、現在、その詳細計画を策定中である。第二次は材料、遠隔自動化などの新技術適用による炉内機器の長寿命化や、状態監視診断技術による定検の高度化であり、技術開発を推進中である。

3.1.5 総合予防保全システム²⁾

原子力プラントの膨大な機器に対して保全サービス計

画を精度よく、円滑に進めるためには、各機器の仕様情報、点検履歴情報を十分に整備する必要がある。また、国内外のプラントで発生する不適合事例は示唆に富むものが多く、これらを収集し、類似ポテンシャルの抽出と対策を全プラントに展開して対策を立てることは、再発防止の観点から非常に重要である。これらの情報を総合的に管理していくため、総合予防保全システム(HIATOMS: Hitachi Advanced Operating Nuclear Power Plant Total Preventive Maintenance Management and Service System)を構築し運用している。

この種の情報はメーカーが保有しているものだけでは不十分なので、電力会社との情報連携が不可欠である。今後、よりいっそうの連携を深め、質の高い保全サービスが提供できるよう計画していきたい。電力会社とのデータ連携構想を図2に示す。

3.2 管理課題への対応策

最近の傾向として、定検時期が春秋に集中するようになっており、定検の作業量が年間で大きく変動する。また、最近では労働人口の減少、高齢化などが進み、作業者の確保難が生じ始めている。一方、原子力発電に対する社会的要請には厳しいものがあり、引き続き高信頼性、高稼働率の要求にこたえていかねばならない。これらを解決していくためには、従来の定検のあり方を見直すことも含めて根本的に検討する必要がある。

3.2.1 定検ピーク人員低減策

定検時期の集中によるピーク対策は、短期的には工事

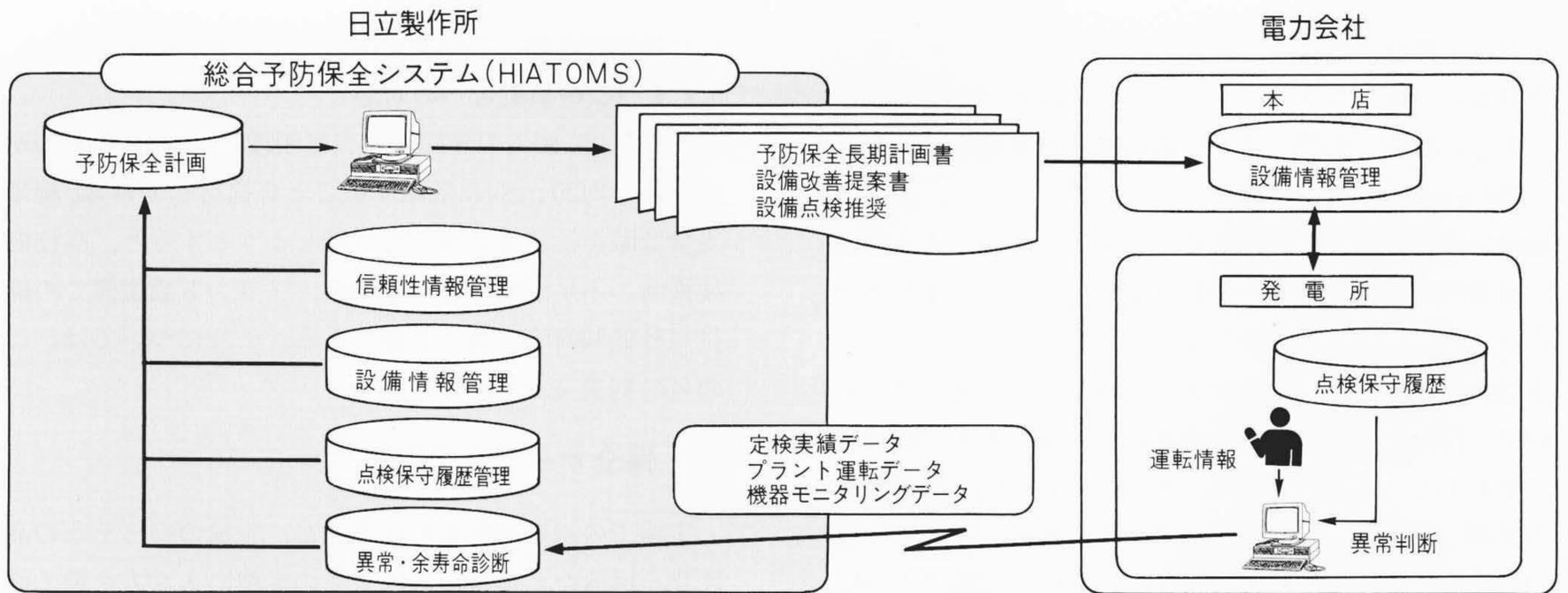


図2 総合予防保全システム(HIATOMS) 将来は電力会社とのプラントデータ連携を強化して、より質の高い保全サービスの提供に努めていく。

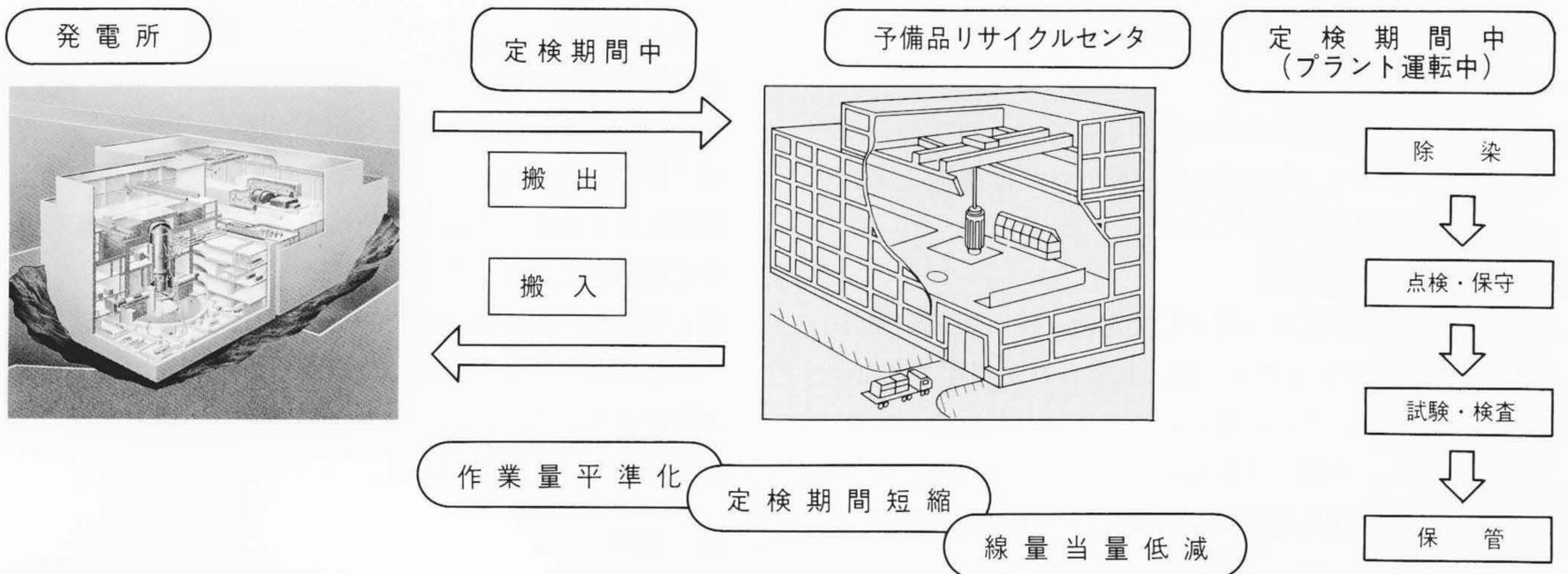


図3 予備品リサイクルセンタの構想 点検対象機器類は定検期間中に分解され、リサイクルセンタに搬出される。点検済み予備品がこれに代わって搬入、取り付けされる。

案件の早期確立による作業派遣の効果的調整や工法改善による省人化などが主体となる。長期的には、国、電力会社の協力を得て、定検日程の電力会社間調整、大型工事案件の計画的年度別展開、状態監視保全の導入による検査対象項目の最適化などの課題検討に参画していきたいと考えている。

また、定検と定検の間の良質作業者の確保策としては、定検期間外保守作業の拡大、予備品入れ替え方式定検の導入などがあげられる。これら対策の具体化にあたっては、電力会社と一体になった取り組みが必要である。

(1) 定検作業の自動化、省人化

定検期間の短縮、的確な保全作業、線量当量の低減な

ど保守性向上の観点から各種の自動化技術が開発され、導入されてきている。

自動化機器は実用化段階に入っているが、これを技能者に置き換えるには二つの方法を適切に選択することが必要と考える。一つは本格的な自動化設備であり、もう一つは小型、軽量に重点をおき、現有技術で対応できる半自動化機器である。今後の省人化に寄与するものとして、この半自動化機器の実用化を推進している。

(2) 予備品リサイクルセンタ

予備品入れ替え方式導入による定検時の作業量低減のために、予備品リサイクルセンタ構想を検討中である。その概要を図3に示す。定検期間中にプラントから運び

出された機器や部品は、予備品リサイクルセンタに搬入される。一方、リサイクルセンタからは前回定検時に取り出し、除染、点検、保守、試験検査を実施して保管しておいた予備の同機器類をプラント内に搬入し、所定の場所に組み込む。したがって、予備品入れ替え方式では一定検内でみると、取り外し作業と取り付け作業だけであり、点検保守作業は行わない。入れ替え方式のメリットは、プラント内から搬出された機器類が定検とは別工程で、作業条件の良い機械化された設備のもとで点検保守されるということである。そのため省人化、線量当量の低減、定検時の人員の平準化、年間を通じての作業員の安定雇用などが図れる。また、定検時は現場での点検が低減されるので、その分、工程の短縮が可能となる。ただし、取り外した機器類を定検期間外に点検するが、その場合、監督官庁の立会検査や、機器類をどのように保管しておくかなど、さらに検討を進める必要がある。

(3) 最適化工法

定検作業の最適化工法を検討するために、11ページの写真に示すような三次元CADを活用した作業シミュレーションの実用化を進めている。

3.2.2 定検日程の短縮

第二次改良標準化の一環として定検日程の短縮が検討され、標準的クリティカル工程として71日が提起された。

最近の定検は、これに近い日程で実施されるようになってきている。今後、日程短縮方策の具体化などで60日あるいは45日定検を目標として総合的な検討を進めている。

3.2.3 保全工事の早期事前計画

定検期間中には機器の点検に加え、各種の改良工事が行われる。この改良工事は新技術、新基準などの反映、他プラントの不適合事例の類似品対策、および運転・保守性向上のための改善が主体である。このような改良工事の信頼性確保には十分な現場調査と計画、設計が必要であり、工事実施時期の3年前から計画を開始することによって内容の充実を図っていくことが重要である。こ

れは作業員のピーク抑制を図ることにもつながる。

3.2.4 ICRP新勧告への対応

新勧告は、個人の年間線量当量限度を現在の50 mSvから5年平均20 mSvに低減することを提言している。線量当量低減を技能者の増員で対処しようとする、高技能技術者の不足が懸念されるため、プラント設備側での線量当量低減対策を施す必要がある。これについては、この号の別論文を参照されたい。

4 保全サービスの将来

定検での課題を根本的に解決し、定検のいっそうの高度化を図るためには、これまでの定検のあり方を考え直していく試みも必要である。例えば、次のような考え方があ

- (1) 保守時期の観点では、予備品入れ替え方式定検導入による運転中予備品保守の実現と、作業量の平準化
 - (2) 定検期間の観点では、長期本格点検と短期簡易点検の組み合わせによる稼働率の向上
 - (3) 保全方法の観点では、機器に対する状態監視・診断の導入による異常兆候の早期検出、およびその兆候に基づく限定された保全の実施
 - (4) プラント稼働率向上の観点では長期サイクル運転
- 以上のような試みには、技術面や運用面で解決すべき課題が多々あるが、国、電力会社の協力と指導を得て検討を進めていく考えである。

5 おわりに

保全サービスの課題と対応策について述べた。今後、運転プラントの増加に伴って保全サービスの充実がますます重要になる。これは官民一体になって取り組んでいかねばならない課題である。日立製作所は、プラントメーカーとして社会のニーズに十分こたえられるよう保全技術の高度化を図り、課題の克服に力を入れていく考えである。

参考文献

- 1) 廣瀬, 外: 制御装置予防保全技術, 日立評論, 72, 8, 823~828(平2-8)
- 2) 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)