

原子力プラントの統合保全

Integrated Renewal of Nuclear Power Plants

岡村 潔

■ OKAMURA Kiyoshi

高橋 玲樹

■ TAKAHASHI Reiji

田中 一彦

■ TANAKA Kazuhiko

東芝は、運転を開始してから30年前後経過するプラントをリニューアルするとともに、出力の増加改良を行う“プラント統合保全”の実施により、既設の原子力プラントの信頼性と経済性を向上することを提案している。

電力自由化が本格化するなかで、定格熱出力一定運転の実施でいっそう安定したベースロードを担うようになった原子力プラントは、これまで以上に安定運転（稼働率向上）と性能向上が望まれている。

一方、わが国の原子力プラントは運転開始以来30余年が経過し、今後の安定運転確保に向けた主要機器の保全強化の策定が求められる時期を迎えており、プラント統合保全はこの顧客ニーズに応えるものである。

With the increasing number of aging nuclear power plants, maintaining the integrity of the reactor pressure vessel and reactor internals has become essential to secure stable and efficient operation of such plants. Securing stable operation means the elimination of plant shutdowns due to trouble and the reduction of outage times. As a result, plant operating hours will be improved, contributing to the profit of the electric power company.

Toshiba is promoting the integrated renewal of nuclear power plants that have been operating for more than 30 years since commissioning, as well as the upgrading of their performance.

1 まえがき

原子力プラントは、よりいっそうの安全性と安心感を求める声が高まりつつあり、新検査制度の適用による法定検査範囲の拡大や検査項目の追加など、厳格な検査や審査が行われるようになってきている。

これに応えるためには、設備・機器の十分な検査や点検を実施することが基本であるが、欠陥が検出された場合に適切な補修と健全性確認を行って、原子力プラントの安全性を確保することが重要である⁽¹⁾。これらの検査や補修作業のためには必要に応じてプラント定期検査期間を延長することになるが、炉内構造物や主要配管などの大型設備は特に検査や補修に長時間を要し、プラント停止期間が長期化する可能性が高い。

一方、原子力プラントは電力供給のベースロードを担っており、電力供給の安定性確保及び二酸化炭素(CO₂)の排出量抑制など、環境改善の観点からも安定したプラント稼働率の確保が求められている。

そこで、確実な検査・補修による信頼性確保と適切なプラント稼働率の確保の両立を実現するため、東芝は運転開始後30年前後経過するプラントの主要設備を統合的にリニューアルするとともに、性能面でも向上を図る統合保全の実施を提案している。

原子力プラント統合保全とは、個別補修が困難な炉内の

大型機器などを統合的に取り替えてプラントの安定運転を保証し、同時に最新技術を取り入れてプラント性能の向上と電気出力の増加を図ることにより、生涯発電電力量を増大させるものである。

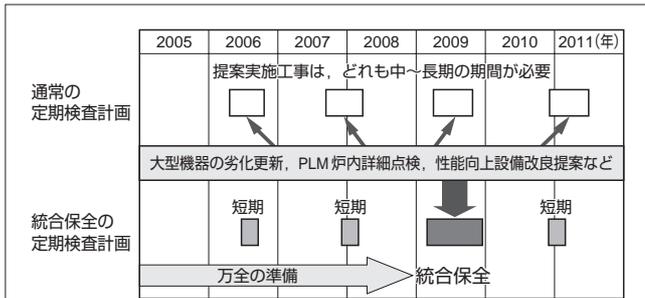
以下に、原子力プラント統合保全の概要と効果について述べる。

2 統合保全の概要

2.1 統合保全の進め方

安定運転確保と信頼性向上の観点から計画的な設備検査や補修が進められるが、プラント運転年数の経過とともに検査・補修範囲は増加する。また、設備の状態に応じた設備更新も行う必要があるため、プラントの定期検査期間は更に長期化する懸念を抱えている。統合保全の特徴である定期検査計画の合理化案を図1に示す。

大型機器の劣化時期が差し迫っていること、また、2004年度末に改訂される維持規格による詳細点検に加え、性能向上などの設備改良を考慮すると長工期を要することになるため、従来の定期検査方法のままでは、個々の定期検査が長期化する懸念がある。統合保全は、順次更新を行うことにより、同一の定期検査期間内に大型設備更新を一括して集中実施することで、総合的なプラント停止期間を抑制することができ、稼働率の向上に貢献できる。



PLM : Plant Life Management

図1. 統合保全の特徴例(統合保全前後の定期検査計画) — 統合保全では、大型案件を一度の定期検査で一括して実施できることから、統合保全前後の定期検査を短縮できる。

Concept of integrated renewal

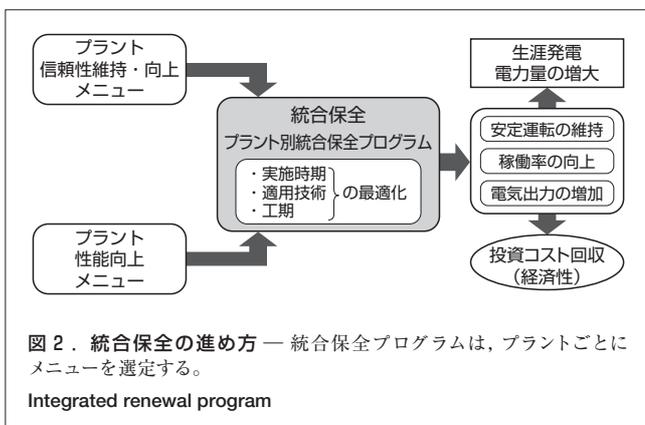


図2. 統合保全の進め方 — 統合保全プログラムは、プラントごとにメニューを選定する。

Integrated renewal program

統合保全の実行にあたっては、原子力プラントごとにそのプラントに適したプログラム作りが重要になる。

統合保全の進め方について図2に示す。まず、信頼性の維持・向上を目指したメニューと性能向上のメニューについて、対象とする原子力プラント固有の仕様、運転実績、設備状況などを反映する。そして、この条件に基づいてプラントごとの改良、性能向上による経済性メリット、及び統合保全の実施コストを評価したうえで、適正な実施時期、技術、及び工期を設定する。

2.2 統合保全の実施時期

国が推進する高経年化対策評価の最初の取組み時期は、プラントを60年間運転すると仮定して、運転開始後30年を目安としており、この高経年化対策評価の際に、原子力プラントの健全性と保全の妥当性評価をまとめていくことから、統合保全の実施時期は、この時期に合わせることを基本としている。

図3のとおり、30年目までは、最近導入された維持規格などを効率的に適用しながらプラントの運転を維持し、統合保全後は、更なる安定運転と生涯発電電力量の増大に貢献することを基本的な考えとしている。

例えば、プラントの運転開始から20～30年ころに、低圧

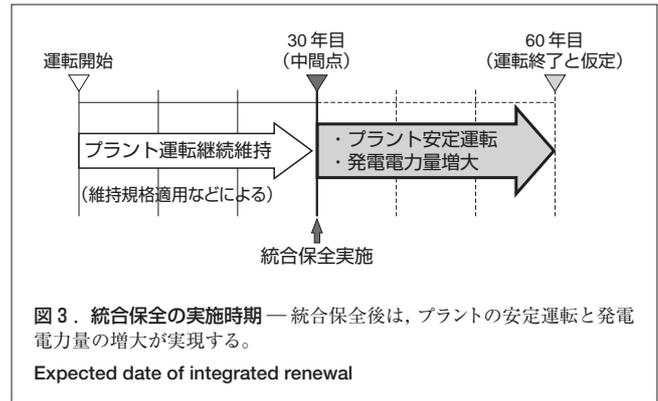


図3. 統合保全の実施時期 — 統合保全後は、プラントの安定運転と発電電力量の増大が実現する。

Expected date of integrated renewal

タービン内部車室などの大型機器に劣化傾向が見られ更新時期を迎えるが、この車室の更新には長期の停止工事が必要となってくる。

一方、これまでの定格電気出力運用に代わって定格熱出力運用が認められたことから、タービン発電機の改善により電気出力が増加可能となる、高性能三次元翼などのタービン性能向上技術を確立した。この技術を実機に適用するには、タービン車室のサイズ変更(更新)が必要となるが、車室の劣化時期と同時に行うことで、経済性を向上させることができる。

2.3 プラント寿命中間点までの点検・評価・保全技術

統合保全実施までの期間についても、原子力プラントの安定運転維持が重要である。

2005年3月に改訂される2004年度版維持規格では、原子力プラントの運転開始後30年目までに炉内機器の詳細点検を行うことを求めており、運転年数が経過したプラントによっては至近の定期検査でこの点検を行うことになる。

炉内機器の点検にあたっては、応力腐食割れ(SCC)による欠陥などに円滑に対応できる準備をすることが重要である。

炉内機器に使用されている材料は、プラントの建設時期やタイプにより異なるが、中でもSCC感受性の比較的高いステンレス鋼SUS304材を使用している炉内機器を持つ原子力プラントについては、早期の点検が望まれている。

例えば、ジェットポンプを点検する場合、精度が高く、より広範に点検できる検査装置を準備し、維持規格評価法に基づいて機器の健全性評価を行い、監視対応していくことを基本としている。ただし、評価により補修が必要になる場合を想定し、図4に示すような補修装置などを点検部位ごとに開発し事前準備しておくことで、プラントの定期検査の長期化を抑制し、統合保全時期までプラントの運転を維持するための技術も確立している。

なお、原子炉内底部のシュラウドサポート(図5)のようにアクセスが難しい場所の詳細点検に関しては、プラントによっては維持規格に対応するための負荷が膨大になることも懸念され、この時期に合わせて計画的に炉内機器を一式更新するほうが、総合的な経済性が高くなる場合もある。

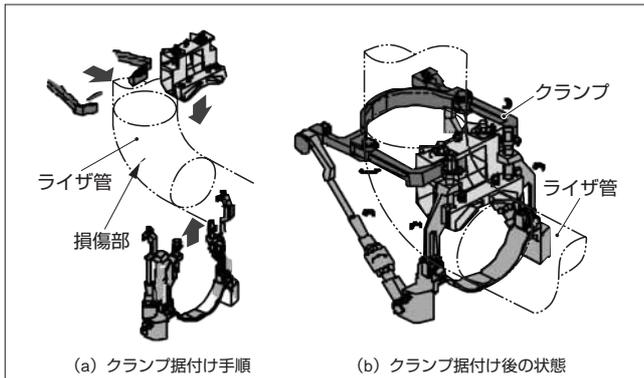


図4. ジェットポンプライザ管の補修工法—ひび発生部を補うためのクランプを取り付け、健全性を保つ。

Repair clamping of jet pump riser piping

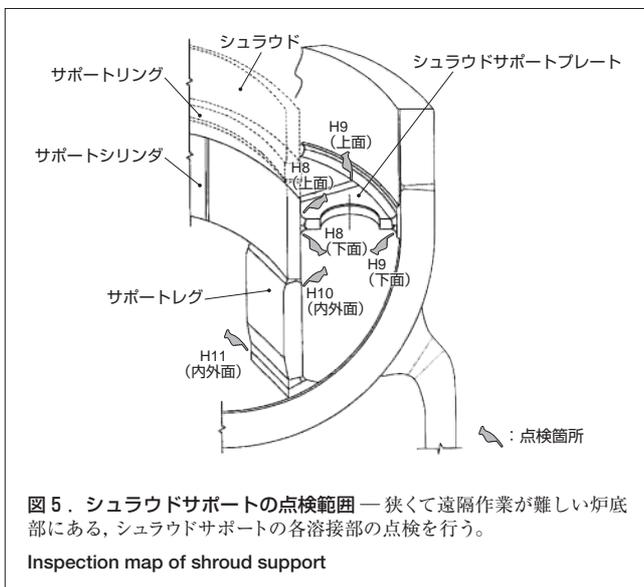


図5. シュラウドサポートの点検範囲—狭くて遠隔作業が難しい炉底部にある、シュラウドサポートの各溶接部の点検を行う。

Inspection map of shroud support

2.4 統合保全の効果

1,100 MWe級原子力プラントの場合における、統合保全効果の例を図6に示す。

統合保全の効果の指標は、生涯発電電力量の増加量としている。統合保全実施後は、①更なる安定運転(今後30年で300日の計画外停止を抑制可能)、②定期検査日数の合理化(統合保全により、前後5回の定期検査日数が約180日短縮可能)、③電気出力5%分の発電電力量の増大、④プラントのリニューアルや水質の改善による更なる被ばく低減が、生涯発電電力量に直接寄与する。

経済性評価として、一般的条件により当社が試算したところでは、統合保全の投資を約5年で回収できるとの評価結果も得られている。

2.5 統合保全のメニュー

原子力プラント統合保全設備の改良範囲の例を図7に示す。原子力プラントの安定運転に向けて、原子炉圧力容器を

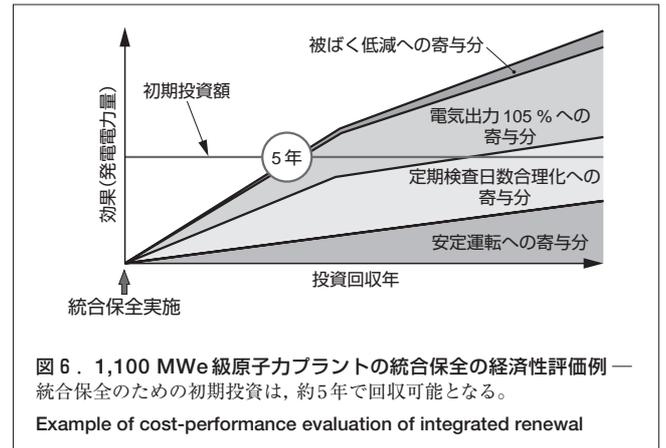


図6. 1,100 MWe級原子力プラントの統合保全の経済性評価例—統合保全のための初期投資は、約5年で回収可能となる。

Example of cost-performance evaluation of integrated renewal

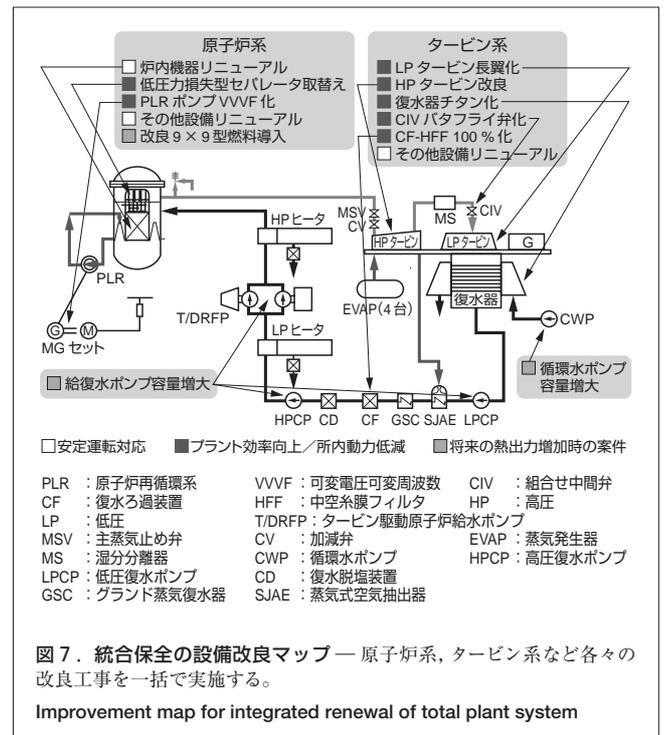


図7. 統合保全の設備改良マップ—原子炉系、タービン系など各々の改良工事を一括で実施する。

Improvement map for integrated renewal of total plant system

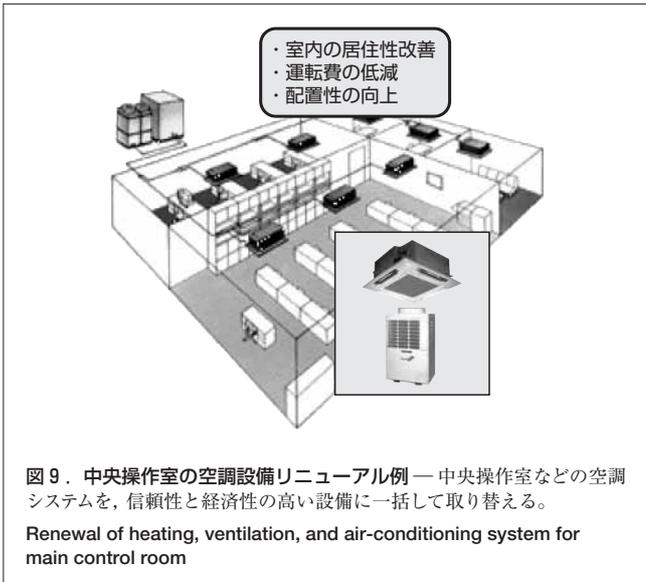
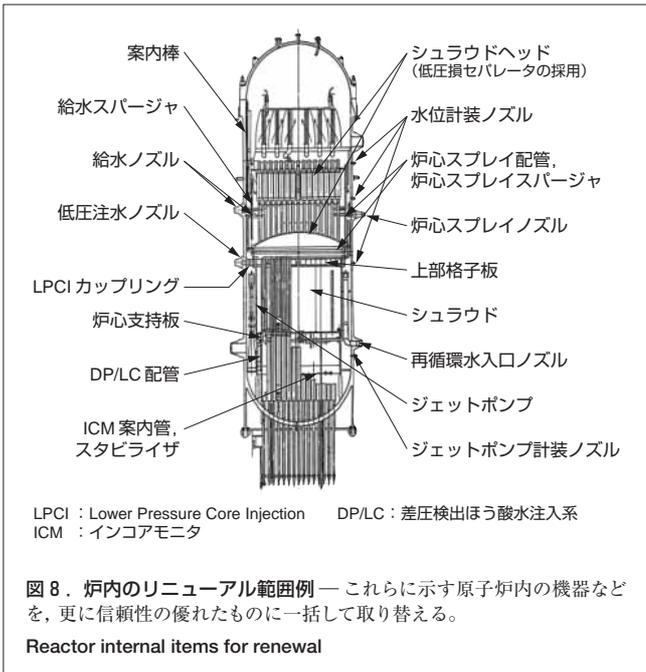
一括取り替えるか、シュラウドなどを含めた炉内機器を一式改良型の材料に全面的に変更するなどのリニューアルを施すことを計画している。

炉内機器をリニューアルする場合の取替え範囲の例を図8に示す。

また、これと同時に、原子炉系配管、ポンプ、モータ、空調設備、中央制御室を含めた電気・計装設備などについても、的確な劣化評価と最新規制動向を踏まえてリニューアルを行い、今後の安定運転に備える。

サービス建屋や中央操作室内の空調システムのリニューアル構想を図9に示す。

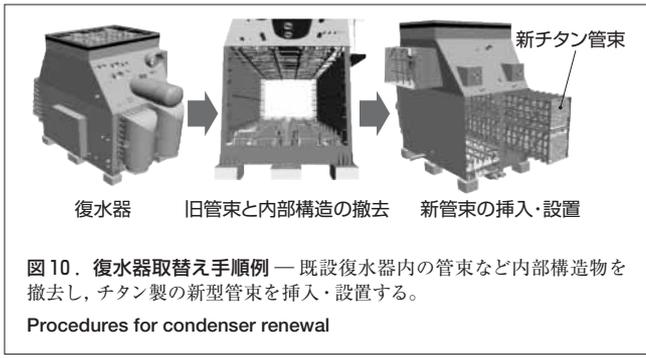
従来のまま更新するのではなく、今後の居住性の向上、更には、ランニングコストが抑制できる最新でかつコンパクト型のシステムに改良更新する。



原子力プラントの性能向上については、タービンの高性能化改造や主復水器の管材料のチタン化、更に、管の配列変更などにより、電気出力を5%増加させる。これは2002年10月から開始された定格熱出力運転（電気出力一定運用から原子炉熱出力一定運用へ変更）で可能となった、設置許可申請範囲内の出力増加限度値である。

図 10 は、3台ある主復水器の1台の取替え手順を示す。旧管束など復水器内の構造物を撤去したのち、新管束を2段に組み合わせながら挿入し設置する。

また、この5%出力増加策の一つとして、所内率の改善も行う。すなわち、原子力発電所内のポンプなどに必要な電力は発電所の電力が利用されているため、この消費電力を

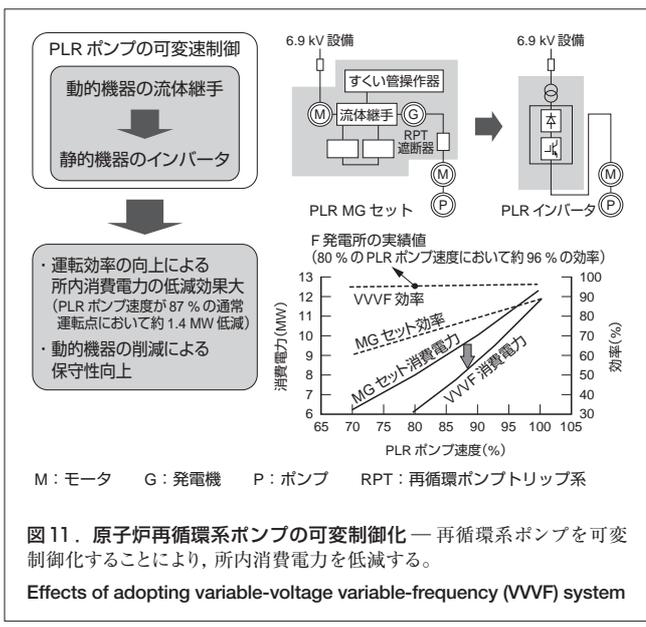


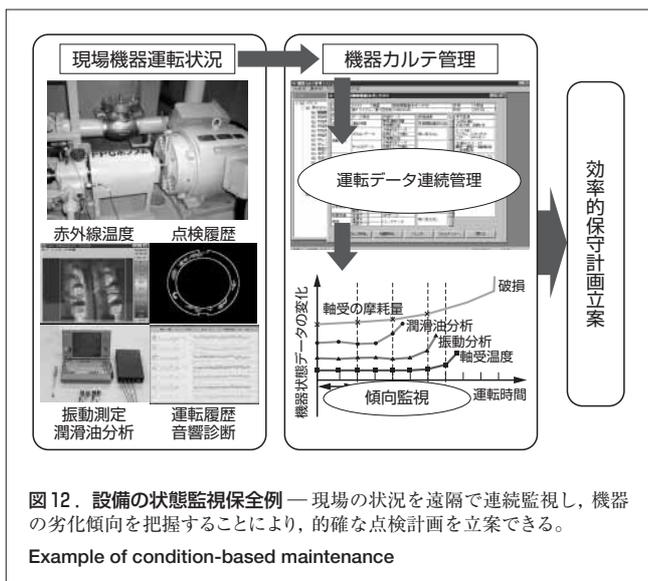
抑制し、プラント電気出力の増加を図る。中でも多大な電力を必要とする原子炉再循環系ポンプモータの動力は、当初は負荷に合わせたコントロールを行うために、一定の電力を機械的に制御していた。図 11 に示すとおり、インバータの採用により、ポンプが必要とする負荷に合わせて、直接電氣的に変速制御が可能となり、省エネルギー化を図ることが可能となった。

更に、プラント運転中に設備の異常監視・診断ができるシステムを設置し、従来は定期検査期間内で実施していたこれらの保守を運転中に実施し、統合保全後の定期検査時の負荷低減を図る。

図 12 はその一例で、運転中のポンプ状態を連続監視しながら、機器の劣化傾向を評価し、効率的な点検計画が立案可能となる。

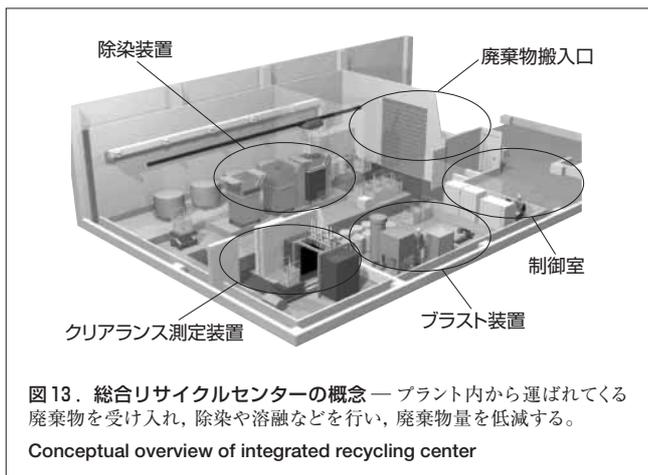
統合保全実施の効果として、今後のメンテナンス作業における被ばく低減も挙げられる。長期の運転により高線量の放射能を持った機器などを撤去するとともに、中空糸膜フィルタを給水系と復水系へ設置し、原子炉系内に持ち込まれる給水クラッドを撲滅して水質の改善を図る。





また、炉内リニューアルに合わせて部分取替えが必要となる原子炉再循環系配管をユニット化して搬入し、検査対象となる溶接線を減らすことにより、検査負荷を抑制して、更なる被ばく低減を図る。

一方、統合保全では大量の廃棄物が発生するが、廃棄物の搬出や運搬などは、限られたエリアの中で作業をする原子力プラントにおいては、クリティカル工期の延長に結びつく場合がある。この廃棄物を円滑に処理することも非常に重要である。このため、図 13 に示すとおり、廃棄物の迅速な受入れ、処理、低減、及びクリアランスレベル以下となった廃材の有効活用までが可能な、総合リサイクルセンターの構想を構築した。



このリサイクルセンターは、今後原子力プラント全体としての廃棄物低減に寄与できるものであり、統合保全時期に合わせて設置することを提案している。

3 あとがき

統合保全の実施には、電力会社とメーカーが一体となった万全の体制と周到な準備が不可欠である。

設備面では、リニューアルする機器がプラント寿命の後半を安定運転できるよう、最新の知見に沿った事前検討と設計が重要で、海外プラント動向などの情報を最大限に収集し、現時点で考えられる最善策にする必要がある。

また、電気出力の増加にあたっては、将来の熱出力増加も見通して、既設設備側の健全性の検証を今のうちから評価しておくことも極めて重要である。

更に、統合保全の実施にあたっては、綿密で確実な工期を立案し、その計画内で完遂することが強く求められる。

今後、プラント別にこれらの課題解決に向けた取組みのプログラムを構築し、適正な時期に統合保全を提案していくこととしたい。

文献

- (1) 鈴木俊一, ほか. 維持基準を適用した炉心シールドの SCC 損傷評価, 保全学. 3, 2, 2003, p.59-64.



岡村 潔 OKAMURA Kiyoshi

電力・社会システム社 原子力事業部 原子力運転プラント技術部長。原子力運転プラントの保守・保全におけるプロジェクト取りまとめ業務に従事。日本原子力学会会員。

Nuclear Energy Systems & Services Div.



高橋 玲樹 TAKAHASHI Reiji

電力・社会システム社 原子力事業部 原子力タービン・ユーティリティ設計部長。原子力発電プラントにおけるタービン系システムの設計業務に従事。

Nuclear Energy Systems & Services Div.



田中 一彦 TANAKA Kazuhiko

電力・社会システム社 原子力事業部 原子力運転プラント技術部長グループ長。軽水炉運転プラントの保守・改善計画の取りまとめ業務に従事。電気学会会員。

Nuclear Energy Systems & Services Div.