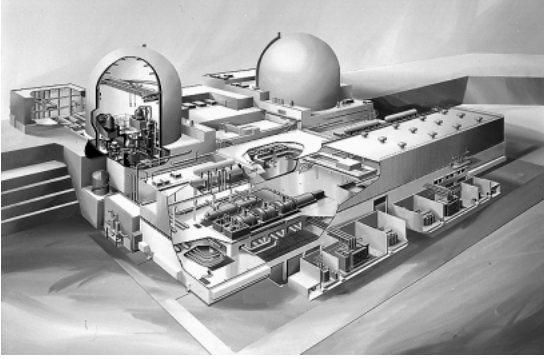


原子力の安心を支えるサービスを目指して

Towards Maintenance Service Supporting Secure Nuclear Energy

宮 口 仁 一 田 淵 浩 三 山 本 哲 也



近年の電力の自由化に伴い、我が国の原子力発電所においても、安全性・信頼性を維持しつつ経済性を向上させる“保全の高度化”が重要となってきた。当社では、原子力発電所の建設から保全活動にわたる30年来の経験と実績をいかして、“高度かつ総合的なエンジニアリングの提供”、“信頼性の高い機器/設備/工事の提供”に取り組んでおり、様々な角度から積極的に顧客ニーズにこたえる活動を行っている。この活動は、顧客密着型のカスタマーサポートによるタイムリーな対応や幅広い支援体制に支えられ、顧客と一体となった高度化への取組みとして展開されている。

1. はじめに

原子力発電所においては、その安全性を最優先に考える必要があるため、従来より徹底した保全活動が展開されてきた。我が国の原子力発電所は、世界的に見ても良好な運転実績を誇っているが、この高い安全性・信頼性を支えてきたのが、トラブルを未然に防止し、設備の健全性・信頼性を維持する“予防保全”の考え方である。近年、1970年代に運転を始めた初期の原子力発電所が運転後30年を迎えるようになり、プラント設備の高経年化対応の観点からも“適切な予防保全”がより一層重要となってきている。

一方、1995年の電気事業法の改正によって“電力の自由化”が認められたことにより、価格競争力確保の観点から、“経済性の向上”がより一層強く求められるようになってきた。このため、“安全性・信頼性の維持向上”と“経済性(運転性)の向上”の一見相反する2つのニーズを両立(最適化)させるべく、“保全の高度化”や“運転・運用の高度化”に向けた積極的な取組みが開始されており、これらを支えるために従来以上に高度で総合的なエンジニアリング及び信頼性の高い機器や設備の提供が必要とされている(図1)。

このような環境の変化に対して、“安心してプラントを運転していただけるサービスを提供する”ことを当社アフターサービス事業の目標と考え、電力会社のニーズ/ウォンツを的確に反映すべく、顧客と一体となった協業型のサービスを目指した取組みを行っている。

2. サービス事業への取組み状況

当社では、1970年運転の美浜1号機の建設当時より、保全計画の立案から技術の開発、工事の実施に至るまで、プラントメーカーとしての総合力をいかして、顧客である電力会社と一緒に経験と実績を積み重ねてきた。

この経験と実績をいかしつつ、近年の保全の高度化、運

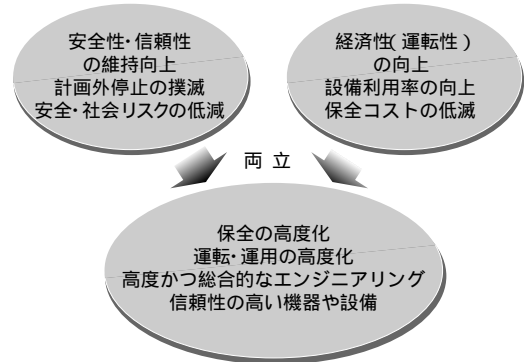


図1 保全の高度化へのニーズ

転・運用の高度化への対応ニーズにこたえるために、

- (1) 高度かつ総合的なエンジニアリングの提供
- (2) 信頼性の高い機器/設備/工事の提供

の観点から様々な取組みを行っているが、ここでは、保全計画の立案と技術開発、設備改善計画の立案と改良設計、カスタマーサポートの分野での活動状況を紹介する。

2.1 保全計画の立案と技術開発

- (1) 機器・設備の健全性評価と保全計画の立案

(a) PLM (Plant Life Management) 活動

原子力発電所の高経年化対応として、1999年に経済産業省(当時の通商産業省)より“原子力発電所の高経年化に関する具体的な取組み”についての方策が出され、運転後30年を経過する前にすべての主要機器を対象に高経年化に伴う健全性評価を実施し、“高経年化に関する技術報告書”として報告(公開)することが義務付けられるようになった。これはPlant Life Management (PLM) 活動と呼ばれ、最初の評価以降は10年ごとに最新知見を反映して見直しを行い、適宜保全活動へ反映していく仕組みになっている(図2)。また、PLMにおける健全性評価は、原子力発電所の主要な機器約15機種

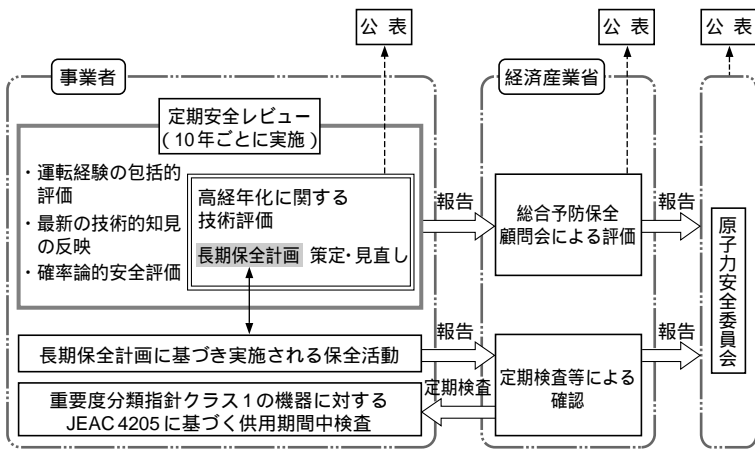


図2 高経年化に対する総合的な設備管理方策

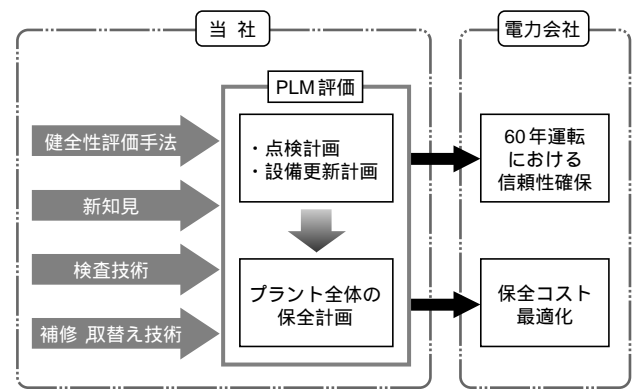


図3 PLM活動における支援体制

(約2000機器)すべてを対象に行われ、短期的な健全性確保の観点だけではなく、60年のプラントライフをにらんだ長期的な信頼性確保や保全コストの観点から総合的に検討することが重要である。

当社では、過去の点検・検査データベース、研究知見、プラントメーカーのノウハウを基にして設計評価を行い、現状の健全性評価だけでなく、将来想定される経年変化事象について最新知見に基づく評価を実施しているが、対象機器が多数の設計部門にまたがることから、社内にプラント設備全体を横断的に統括する専任部門を置いて、機器・設備間での評価手法の整合性を図るとともに検査技術や補修、取替技術といった保全計画を策定する上で必要な情報を取りまとめて顧客を全面的に支援する体制をとって推進している(図3)。

(b) 配管総合保全の活動状況

近年、配管に関連するトラブルが経年変化事象として顕在化しており、重点的な保全対応が必要とされている。これらの多くは、損傷原因が多岐にわたっており、その都度類似部位への保全対応を行っていたのでは、効率が悪く、対策完了までが長期間に及ぶことから、配管全体を見渡して効果的かつ合理的な保全対策を策定する“配管総合保全”プログラムを顧客に提案している(表1)。

各ステップの作業は、プラントメーカーである当社とユーザである電力会社との役割分担に応じた協同作業で進められており、ユーザのニーズを直接反映しながら、最終的な保全計画に向けて一緒になって作業を行うことにより、顧客満足度の高いものとして成果を上げている。

(2) 保全技術の開発と検証

(a) 蒸気発生器の検査技術

大型機器の検査は、プラントを停止して実施する定期検査工程への影響が大きく、プラント稼働率向上に向けて、高速化に対するニーズが大きい。このようなニーズを受けて、技術開発を行った例として、蒸気発生器の伝熱管検査技術が挙げられる。

その一つはインテリジェントECT技術と呼ばれるもので、従来の検査では別々の専用ECTプローブを用いて高速検査と高精度検査が実施されていたものを1つの

表1 配管総合保全プログラムの作業手順

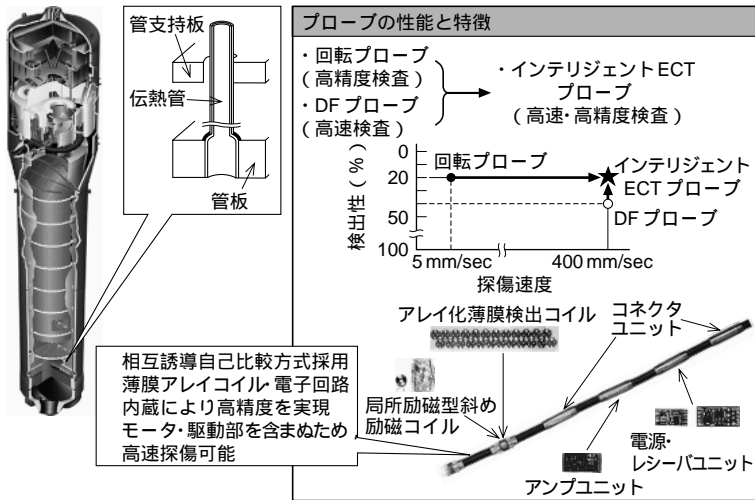
項目	当社	電力会社
① 配管に関する顕在化事象の分類整理 ・国内外の事例、研究知見の集約		
② 想定される劣化事象と発生条件の整理 ・FT図の作成 ・発生条件に関する実験データの集約		
③ 対象部位の抽出フロー(劣化事象ごと)の作成 ・絞り込み可能な条件(温度、流速、材料等)による絞り込み手順の作成(フローチャート)		
④ 保全ワークシート(配管アイソメ図)の作成、及び抽出フローに基づく懸念部位の抽出 ・アイソメトリック図面を作成(実験でのアズビルト状態を確認後) ・劣化事象ごとに懸念範囲の着色		
⑤ ワークシートに基づく保全優先順位の決定と保全計画への反映		

ECTプローブで高速かつ高精度の検査ができるようにしたものであり、アレイ状に配置した薄膜状の検出コイルと電子回路がプローブに内蔵されている(図4(a))。

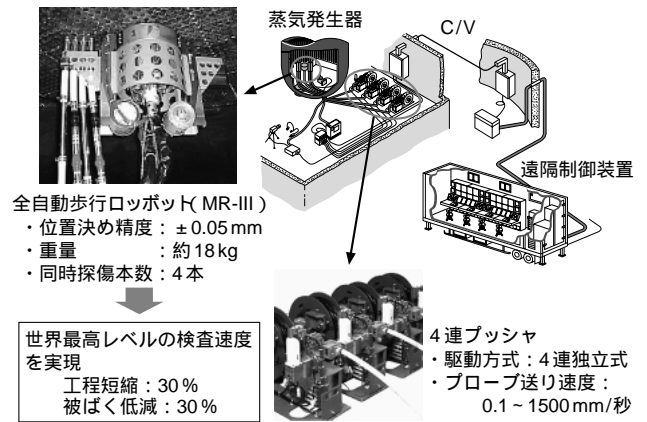
もう一つは全自動探傷技術であり、“全自動歩行ロボット”、“4連ブッシャ”、“遠隔制御装置”から構成され、遠隔で4本のECTプローブを同時に探傷可能なシステムが開発され、高精度でかつ世界最高レベルの検査速度を実現することが可能になった(図4(b))。この全自動探傷システムは、2002年7月に定期検査の最短記録(28.7日)を記録した日本原子力発電(株)敦賀2号機にも適用されており、最短記録達成に大きく寄与した。

(b) 炉内構造物補修(取替え)技術

海外プラント損傷事例の国内プラントへの水平展開として、予防保全的に補修(取替え)を行っているものに炉内構造物のバップルフォーマボルトがある。バップルフォーマボルトの取替えは、高線量の下、水中で600本以上あるボルトを順次取り外し、新しいボルトを取り付ける作業である。取付けに際しては、緩み防止の観点から超音波動力管理技術を使った高精度な締め付け管理により、水中遠隔操作において高い施工精度と信頼性を実現している(図5)。この作業も定期検査工程への影響が大きいので、工程短縮の検討や、入念なトレーニング



(a) インテリジェントECTプローブの概要



(b) 高速全自動ECT探傷システム

図4 インテリジェントECTプローブの概要と高速全自動ECT探傷システム

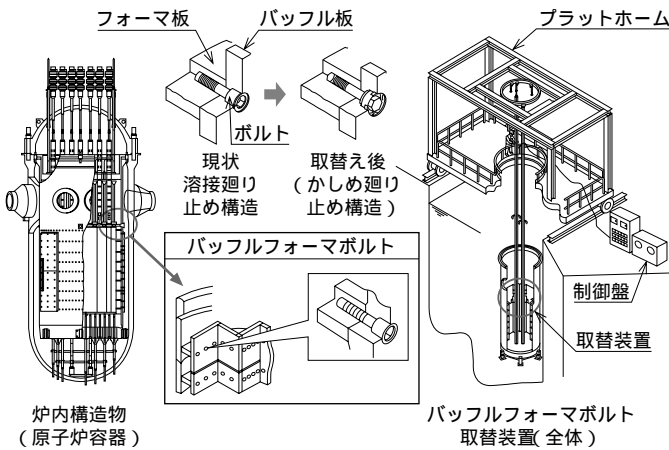


図5 炉内構造物ボルトの取替技術

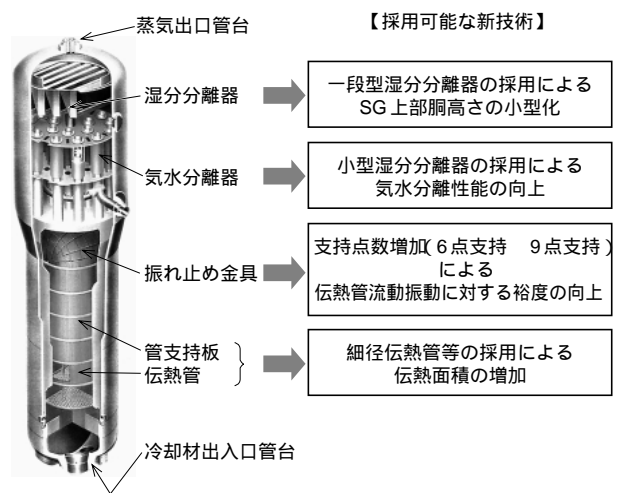


図6 大型高性能蒸気発生器(SG)

を行って臨んだ結果、2002年10月の関西電力(株)美浜1号機での工事では、ボルトの取替え能率として平均20本/日以上の世界最高水準の施工速度を達成している。

また、長期的な信頼性とライフサイクルコストを考慮した場合、部品レベルでの保全を行ってゆくよりも、機器一式を取り替えることにより抜本対策を講ずる方が有利となる場合がある。このようなニーズを受けて、既存の大型機器の取替え技術や改良設計技術の開発を行っており、既に実績のある原子炉容器上蓋の取替えや蒸気発生器の取替え技術に加えて、最近では、炉内構造物の取替え技術の開発・検証を実施しており、今後実工事への展開が計画されている。

2.2 設備の改良設計と改善計画の立案

(1) 設備の改良設計, 高性能化

運転年数が20年を超える高経年化プラントが増加してきており、これらのプラントに対しては安全運転の維持、及び設備能力の有効活用を図った運用を行うことが重要である。この観点から、機器・設備の換装に当たっては、改良設計、高性能化を図った対応をとっている。

一次系機器

これまで高経年化対応、または海外プラントでの事象を踏まえた予防保全の観点から、先述のとおり、原子炉容器上蓋や蒸気発生器の取替えを実施している。蒸気発生器の取替えに当たっては、伝熱管材料としてより耐食性に優れたTT690合金の採用、及び主蒸気の湿分低減、圧力増加によりタービン系の効率向上を図る観点から、小口径化した高性能気水分離器や伝熱面積の増加を図った高性能蒸気発生器(図6)を開発し、順次採用している。また、原子炉容器上蓋の取替えに当たっては、海外で経験した応力腐食割れへの対策として、材料、製作方法の改善を図った対応をとっている。

タービン系機器

タービン系の性能向上はプラント性能向上へ直接寄与するため、高経年化、あるいは性能改善のための機器取替えに当たっては、高効率化を図った設計を採用している。具体的には、完全三次元設計翼の適用、低圧タービン最終翼の長翼化、等を適用した最新型タービンへの換装を順次実施している。

さらに、最近では湿り蒸気特性を考慮した新型完全

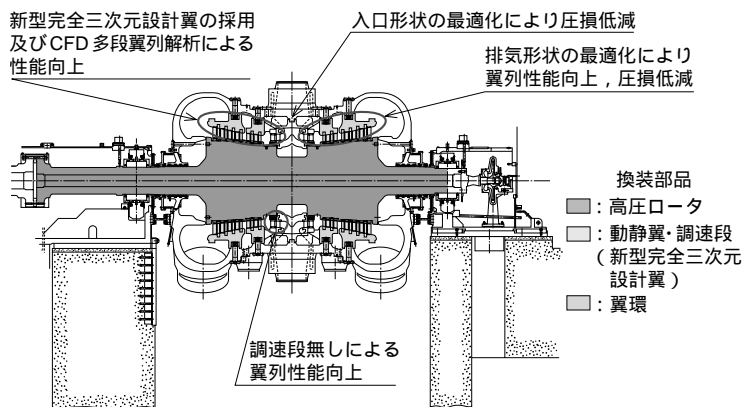


図7 高効率タービン（高圧タービンの例）

三次元設計翼の開発や新型シール構造の採用，翼列入り口形状の最適化，等により，更なる高効率化を図っている（図7）。

また，蒸気発生器二次側の水質管理の観点から一定の二次系水を系外へブローしているが，このブローダウン系から熱回収を行うことは，プラント出力増加に寄与するため，プラントごとに改造効果，必要な改造工事内容の具体化検討を進めている。

(2) プラントの出力アップに向けた設備改善計画の立案

原子力プラントの経済性改善のため，米国では1970年代から既設プラントの出力アップが実施されている。日本では2002年3月によく定格熱出力一定運転への移行が実現し，これを契機にプラント効率向上による出力アップとともに炉心出力そのものを増加させることによる出力アップに関心が高まりつつある。

この出力アップ手段は高経年化による大型機器の取替えとタイミングを合わせることで，より大きな効果（10～15%）が期待できるが，一，二次系の主要パラメータが変わるため，以下に示す設備への影響評価が必要である。

- 一次冷却材圧力バウンダリ設備（温度レベル変更）
- 主蒸気・給水系（圧力，流量等の変更）
- 加圧器関連設備（一次系保有熱の増加等）
- 崩壊熱除去関連設備（炉心崩壊熱の増加），ほか

このため，まずプラントごとに出力アップの期待される程度と場合のプラント設備への影響範囲と程度を明確にした上で，これらを各プラントの至近の設備改善計画へ反映することが将来の出力アップに対する布石となる。当社では，海外の実績も踏まえ，各種対応をとることによる出力アップ量の評価，及びプラントの安全性，健全性に関する確認評価などの技術検討を進めている。

2.3 カスタマーサポート

上述の保全計画の策定やそれに伴う技術開発は，顧客の考えや意向を十分に反映してタイムリーに進めることが重要となる。当社では以下のようなサービス体制を敷いて顧客と一体となった保全活動の推進に取り組んでいる。

(1) 顧客密着型サポートサービス

各発電所に専任のサービスマネージャを設け，常に顧客の立場に立って迅速な情報提供を行うとともに顧客に密着

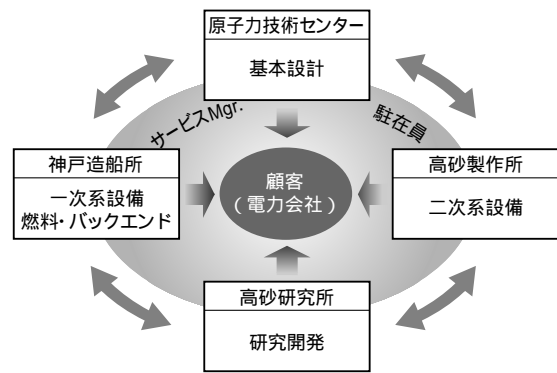


図8 当社のカスタマーサポート体制

したコミュニケーションを通じて，早い段階での顧客ニーズ/ウォンツのすくい上げを行っている。

(2) タイムリーな対応を約束する支援体制

一方，顧客のニーズをタイムリーに具体化するために，図8に示すような推進体制を取っており，事業所の枠を超えて迅速な対応が円滑に行える仕組み作りを行っている。

(3) 顧客と一体となった高度化への取組み

当社では，保全の高度化（最適化）の観点から保全データや想定されるリスクを基に，最適な保全方策を決定する技術として，リスクベースメンテナンス技術についても開発を進めており，より高度なサービスの提供につながるものと考えている。

保全の高度化（最適化）を推進して行くためには，電力会社の運転経験とメーカーの技術的知見を相互に共有しながら，一体となって取り組むことが重要であり，検討会などを通じて議論を重ね，相互理解を深めながらベクトル合わせを行っていきたいと考えている。

3. ま と め

当社では，顧客密着型のカスタマーサポートを通じて顧客のニーズを反映したタイムリーな保全/改善計画を提案するとともに，それを支える技術の開発を推進してきた。この流れは，今後とも変わることはないが，“原子力発電所の更なる安全性・信頼性と経済性の向上”を目指して，幅広い保全情報を顧客と共有することにより，よりきめの細かい高度なエンジニアリングサービスを提供していきたい。

このような活動を通じて，原子力産業界の活性化，発展に貢献することがプラントメーカーである当社の使命であり，顧客満足を勝ち得る方策だと考えている。



宮口仁一
神戸造船所
原子力保全技術部
計画課長



田淵浩三
原子力事業本部
原子力技術センター
原子力技術部
軽水炉技術課長



山本哲也
高砂製作所
原子力統括室主席