

運転プラントの設備利用率向上

Improvement of Capacity Factor of Operating Nuclear Power Plants

田中 一彦

高山 拓治

清水 俊一

■ TANAKA Kazuhiko

■ TAKAYAMA Takuji

■ SHIMIZU Shunichi

運転中の原子力発電所のパフォーマンスでもっとも重要なのは、設備利用率である。二酸化炭素の排出抑制という環境面からも、経済性に優れたベースロードを担う原子力発電所の設備利用率を向上させることは、電気事業者を含めた世界共通のニーズである。日本国内のプラント設備利用率の累積平均は70%程度であるが、これに比べ海外では90%以上になっている。国内ではここ数年、豊富な実績と新技術の導入によって不適合などによる計画外停止は減少傾向にあるが、海外に比べて運転サイクルが短いうえ、定期検査の日数が長いことがこの差になってきている。

そこで東芝は、設備利用率95%以上を目指したSmart Nuclear Plant構想を立ち上げ、新技術の開発と導入を展開している。

The capacity factor is the key factor indicating the performance of an operating nuclear power plant. To increase economic efficiency while reducing carbon dioxide emissions, a strong need exists worldwide for improvement of the capacity factor of nuclear power plants. The average capacity factor in Japan is approximately 70%, as compared to more than 90% in other countries. This difference is due to both shorter operating cycles and longer duration of maintenance in Japan, despite a decline in the number of unscheduled outages in recent years reflecting the abundant accumulation of experience and introduction of new technologies in this field.

To rectify this situation, Toshiba has embarked on the Smart Nuclear Plant Plan, a new project aimed at achieving a capacity factor of 95% or more, and has been developing and introducing the relevant technologies.

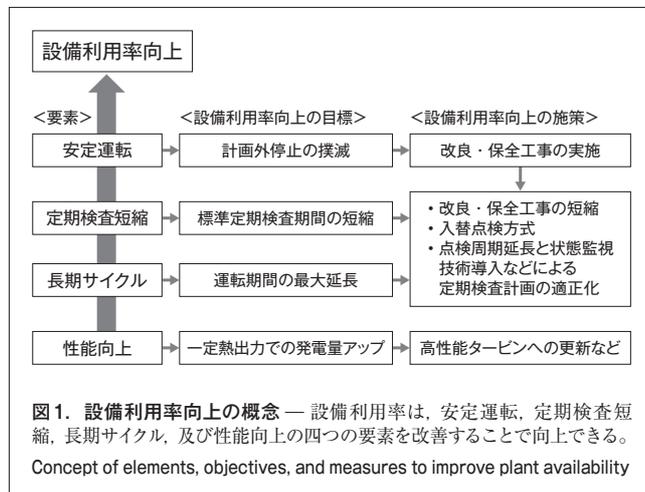
1 まえがき

現在、国内の運転中軽水炉プラント（以下、運転プラントと略記）は54基あり、そのうち、運転を開始してから30年以上を経過したプラントは18基である。運転プラントの設備利用率の向上は、プラントの価値を向上できる最大の鍵である。老朽化するプラントを含め今後も安定して運転できるよう、計画的な設備の更新や予防保全を行うことが基本であるが、それに加え、これらの工事期間を短くするとともに、定期検査そのものの期間も短縮して、更に次の定期検査まで現状13か月の運転サイクルを延長し、そして一定熱出力での性能向上策を行うことで、設備利用率を大幅に向上できる（図1）。

東芝は、設備利用率の向上に向けて、Smart Nuclear Plant構想を立案した。ここでは、その構想を実現するための最新技術について述べる。

2 Smart Nuclear Plant構想

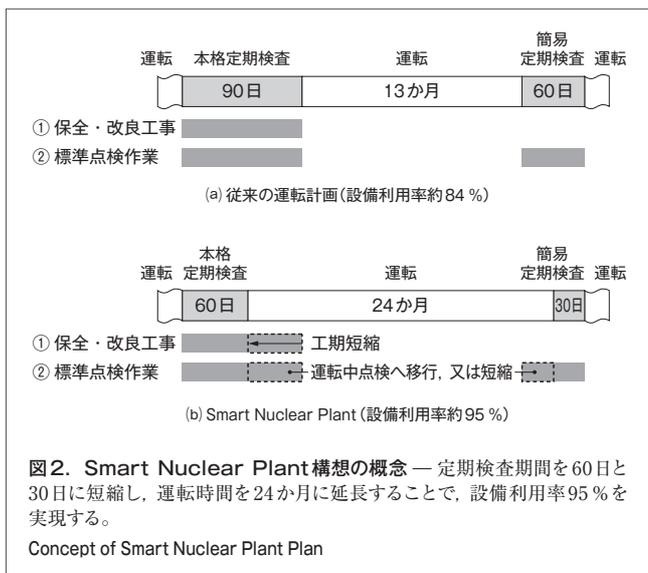
Smart Nuclear Plant構想は、従来13か月の運転サイクルを海外で実績のある最大24か月サイクルに延長すると同時に、各種の改良・保全工事を含めた定期検査期間を60日以内に、改良・保全工事のない簡易定期検査期間でも30日以内に



て、設備利用率を95%に向上させる新たな保全プログラムである（図2）。

この構想では、次に示す施策を2本の柱として、先進技術に基づく総合的な設備利用率向上を提案している。

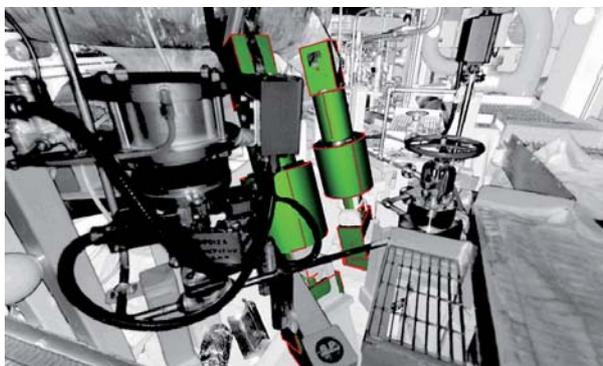
- (1) 改良・保全工事の工程短縮
 - (2) 長期サイクル運転を踏まえた標準定期検査の短縮
- 以下に、これらの施策を実現する先進技術について述べる。



3 改良・保全工事の工期短縮

改良・保全工事は、その改造内容によっては長い工事期間が必要になる。当社は、これらの改良・保全工事を短縮する技術開発を優先的に進めており、実機へ適用している。その一例として、3次元レーザスキャン技術の活用について述べる。

運転プラントでは、2007年7月に発生した中越沖地震を踏まえ、耐震強化工事を展開している。配管サポートなどを強化する同工事は改造物量が膨大であり、長期間の工期が必要になる。当社は、多くの機器が錯綜（さくそう）する現地状況に対し、個々の寸法データを3次元で測定し収集できる3次元レーザスキャン技術を開発し適用している（図3）。3次元レーザスキャン技術とは、対象物へレーザー光を照射して得られる反射光の3次元座標データを利用し、対象物の形状や距離などを3次元データとしてパソコン上で再構成する技術である。



緑色部分：追加で設置するサポート

図3. 3次元レーザスキャンの活用例 — 精度の高い立体映像を取得することで、机上での据付設計が可能になる。

Example of application of three-dimensional (3D) laser scanning equipment

従来は、人間系による幾度もの現場調査を行っており、工事期間中の寸法再測定も発生し、工事期間が長くなっていた。この代替として、3次元レーザスキャン技術の導入により、設計者がパソコン上で現場状況及び寸法情報を瞬時に取得することで、現地調査回数を低減するとともに再測定作業を不要とし、工事期間の大幅な短縮を実現している。

4 長期サイクル運転を踏まえた標準定期検査の短縮

国内の原子力発電プラントでは、長期サイクル運転や、信頼性重視保全（RCM：Reliability Centered Maintenance）手法による機器の重要度、劣化特性などの評価に適應した保全プログラムの策定が重要となる。中でも状態監視保全（CBM：Condition Based Maintenance）の適用などに関する新検査制度が2009年から導入され、プラント運転中に機器を保全する運転中保全の適用範囲を拡大することが検討されている。

しかし、現状の保全プログラムは、一定の周期で機器の点検と補修を行う時間計画保全（TBM：Time Based Maintenance）が主体になっており、長期サイクル運転の実施で、複数の定期検査に分散していた作業が1回の定期検査に前倒して集中し、保全物量が増大することが懸念されている。

このような状況の下で、標準定期検査期間を短縮するためには、TBMの周期適正化に加えて、CBM、運転中保全への移行、並びに、点検対象設備の入替点検方式を最適に組み合わせた保全プログラムの策定が重要になる。また、新検査制度では、保全の結果を反映し、PDCA（Plan-Do-Check-Act）サイクルを効率的に運用できる保全プログラムの改善が求められている。

当社は、このような課題に迅速に対応し、定期検査の短縮に向けた保全業務の適正化や効率化などに向け、技術開発を進めている。

以下に、導入した技術について述べる。

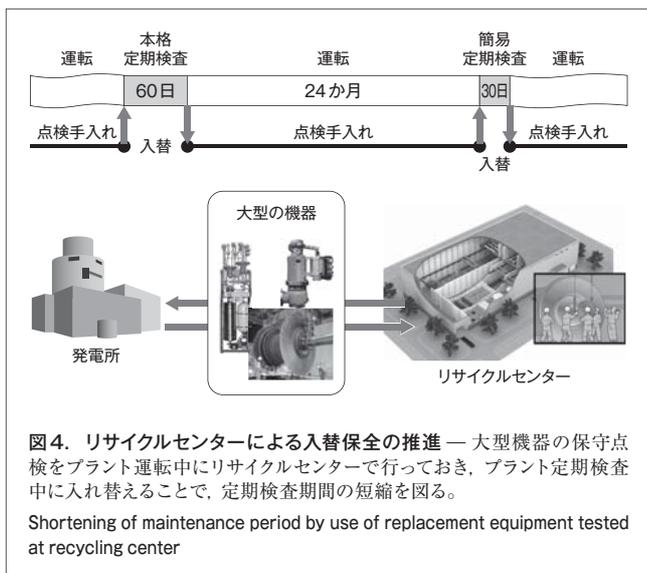
4.1 リサイクルセンターによる入替点検方式の導入

従来定期検査中に実施している大型機器の保守、点検を運転中にできるようにすることで、定期検査期間を短縮するために、リサイクルセンターを建設する。大型機器の予備品を準備し、あらかじめプラント運転中に同センターで保守、点検を行い、定期検査中に点検が完了した機器を入れ替えることで、定期検査期間を大幅に短縮できる（図4）。

また、このセンターには除染・除却機能も持たせ、設備更新の際にプラントから発生する大型撤去品の廃材の一括受入れを可能にすることで、搬出時間が短縮され、改良・保全工事全体の工期短縮にも寄与できる。

4.2 プラント代替冷却設備の適用

国内の原子力発電所では、原子炉の炉心などの冷却源として海水を使用している。定期検査を行う際、検査開始直後は炉

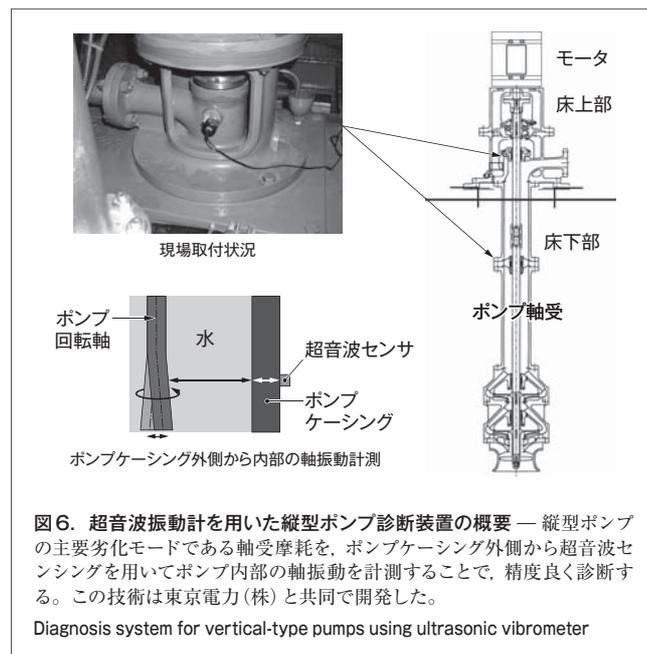
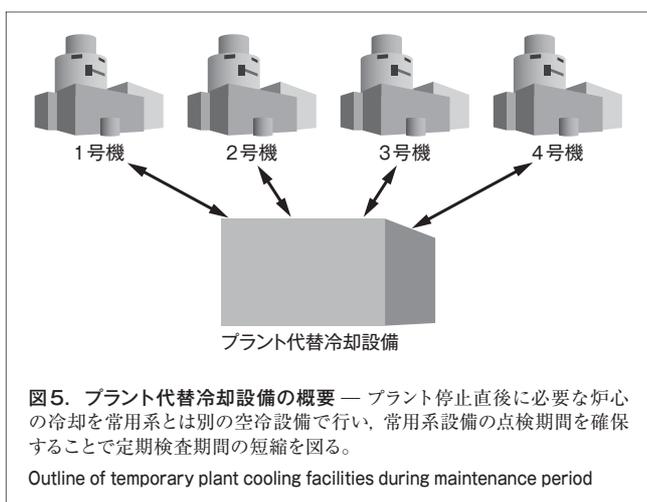


心の崩壊熱が大きいいため、この崩壊熱が一定の温度に下がるまでは、冷却設備の海水系機器のメンテナンスに入れなかった。

そこで当社は、海水を冷却源としない空冷の設備（プラント代替冷却設備）を開発した。この冷却設備で炉心などを直接冷却することで、既設の膨大な海水系機器などの保守期間の制約がなくなり、短期の定期検査での保守を実現できる。定期検査時に使用することを前提とした設備であり、数プラントに共用できることから、経済性でも優れた技術である（図5）。

4.3 先進の状態監視技術開発によるCBM導入

新検査制度の定着に伴い、回転機器と電気設備を対象にした、振動診断や、潤滑油診断、赤外線サーモグラフィなどの状態監視技術が積極的に導入されている。今後は、定期検査期間の短縮と保全物量の適正化の観点から、従来の回転機器と電気設備に加えて、定期検査時の保全物量が多い計器、弁、及び静止機器を対象とする状態監視技術の開発とCBMの適用拡大が不可欠と考えられる。当社の技術を以下に述べる。



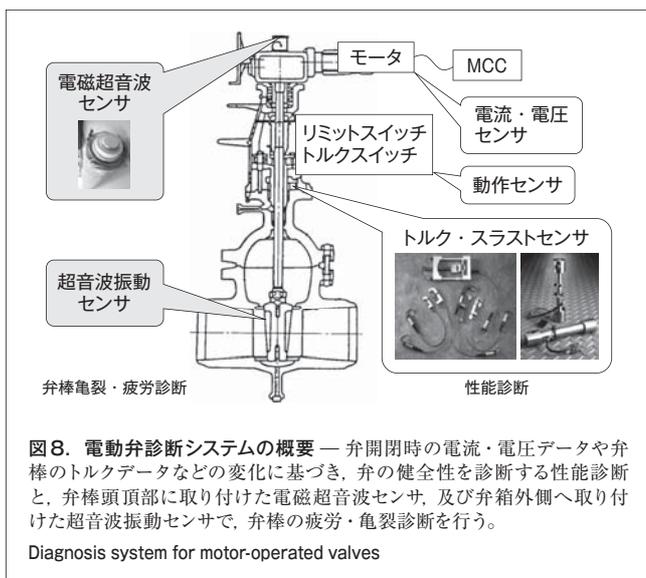
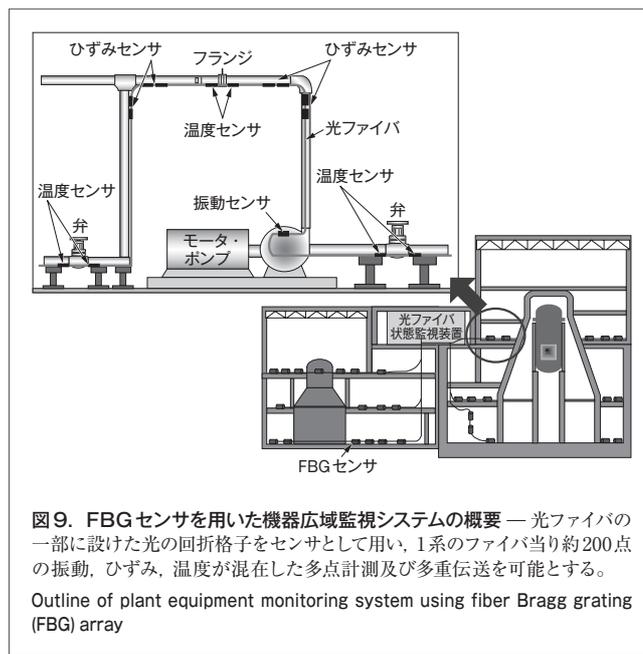
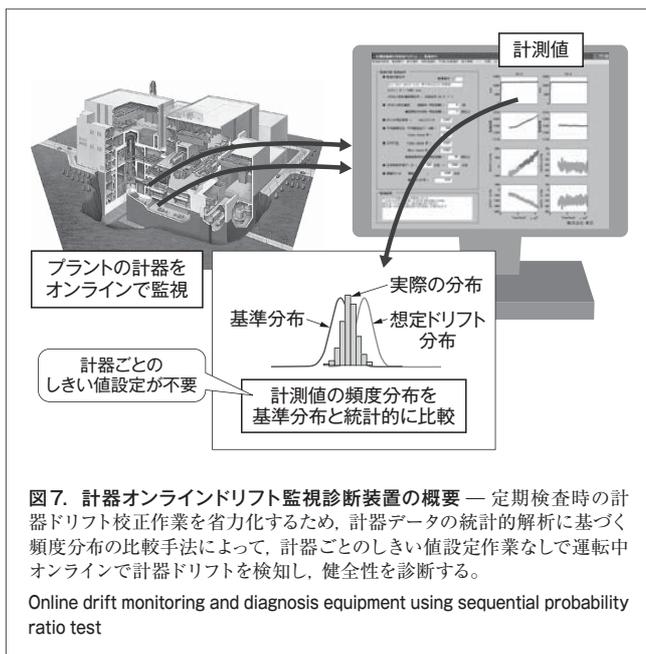
4.3.1 縦型ポンプの監視診断技術 回転機器の状態監視では、超音波振動計を開発し、縦型ポンプの主要劣化モードである軸受摩耗を診断できるようにした。超音波センサを用いてポンプケーシングの外側から、ポンプを分解点検せずに軸振動を測定することで、軸受摩耗の進展を精度良く診断でき、実機ポンプの監視診断に活用している（図6）。

4.3.2 計器のオンラインドリフト監視技術 計器は、それぞれに校正管理のしきい値を設定し、定期検査時にしきい値に対するドリフト評価やその校正作業が行われるが、台数が多く多大な作業負荷がかかっている。

当社は、これら作業を省力化するため、計器データの統計的解析に基づく頻度分布の比較手法によって、計器ごとのしきい値設定作業を不要とし、運転中にオンラインで計器のドリフトを検知して計器の健全性と校正の要否を評価できる、計器オンラインドリフト監視診断装置を開発した（図7）。

4.3.3 電動弁の監視診断技術 電動弁の状態監視は、欧米では積極的に導入され、定期検査時の分解点検を主体としたTBMから、運転中のCBMに移行しており、定期検査時の分解点検作業を大幅に削減している。

当社は、米国の規制や保全実績に基づき開発され、欧米のプラントで適用されている性能診断技術を導入するとともに、国内プラントでの保全経験に基づき、弁棒の疲労・亀裂診断技術を開発し、両技術を組み合わせた診断サービスを提供している（図8）。導入した性能診断技術は、弁開閉時の電流・電圧データや弁棒のトルクデータなどの変化を外付けセンサで監視し、弁の分解点検の要否を診断するものである。弁棒の疲労・亀裂診断は、弁棒頭頂部に取り付けた電磁超音波センサで弁棒の初期亀裂を計測するとともに、弁箱外側へ取り



付けた超音波振動センサで弁棒の振動計測に基づく疲労評価を可能にしている。

4.3.4 配管及びサポート、静止機器類の状態監視技術

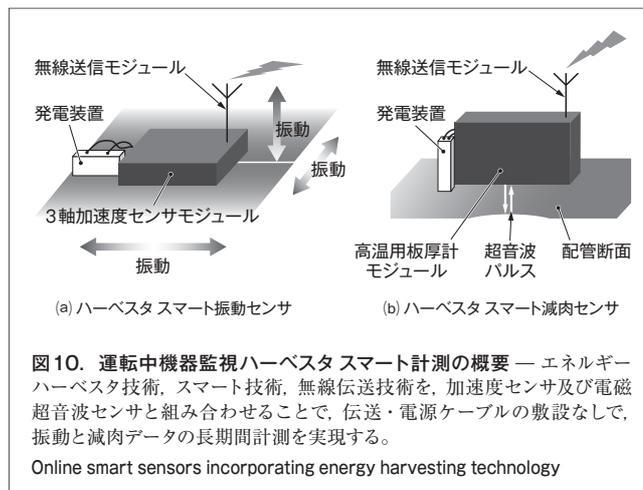
配管及びサポートの状態監視は今後、設備改造後の健全性確認などを目的として、振動や、ひずみ、温度などの多様なデータ計測が必要になる。しかし、配管及びサポートはプラントの広域に配置されているため、センサとデータ伝送、及び電源にかかわるケーブルを広範囲に敷設する必要があり、その効率化やコスト低減が求められる。

当社は、光ファイバの一部に設けた光の回折格子 (FBG: Fiber Bragg Grating) をセンサとして使い、1系のファイバ当たり約200点の振動、ひずみ、及び温度が混在した多点計測及

び多重伝送を可能にする機器広域監視システムを開発した (図9)。このシステムにより、新規ケーブルの敷設量を大幅に抑制でき、低コストでの広域監視を実現した。

また、配管及びサポートは、腐食による減肉の監視や地震による影響評価のために振動データの計測も重要であり、地震発生時の現場の環境下で、かつ長期サイクル運転の期間中を通して、低コストで確実に計測できるセンサが必要になる。

当社は、自己給電 (エネルギーハーベスタ)^(注1) 技術、省電力 (スマート) 技術、無線伝送技術を、加速度センサ及び電磁超音波センサと組み合わせることで、伝送・電源ケーブルの敷設なしで、振動と減肉データの長期間の計測を実現する、ハーベスタスマートセンサを開発した (図10)。



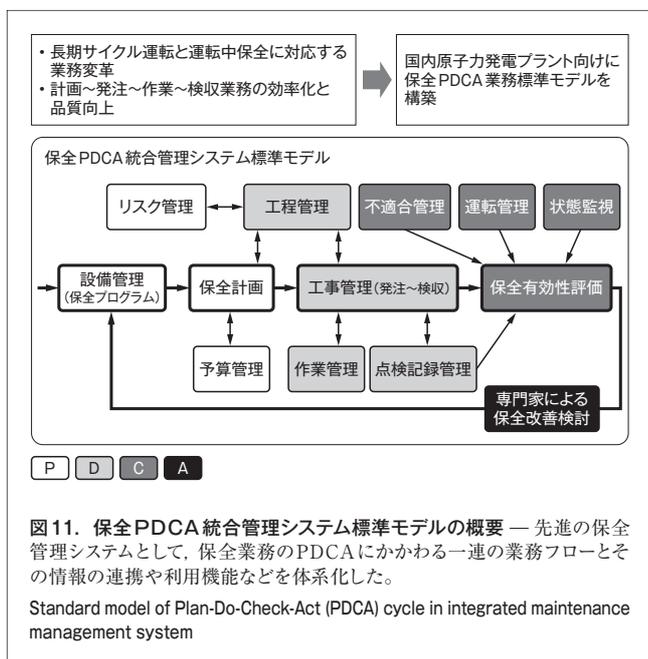
(注1) 振動や温度差などをエネルギー源とする給電方式。

4.4 保安全管理システム技術の高機能化

Smart Nuclear Plant構想の実現には、標準定期検査期間の短縮が重要である。このため、定期検査時の保全物量を適正化する保全プログラムの策定が不可欠になる。すなわち、TBM主体の保安全管理から、CBM、運転中保全、及び入替保全をベストミックスした保安全管理への移行対応や、保全有効性評価などの新検査制度への対応も必要になってきている。

当社は、状態監視データや点検記録などの多様なデータを統合的に管理し、機器の診断結果を“機器カルテTM”として提示する保全有効性評価システムや、定期検査時の保全作業を効率化する作業管理システム、工程管理システム Artemis SugarTM(注2)などを開発し、導入している。

また、EAM (Enterprise Asset Management) 技術に基づく先進の保安全管理システムとして、従来の個別業務ごとのシステム開発に加えて、保全業務のPDCAサイクルにかかわる一連の業務フローとその情報の連携や利用機能などを体系化した“保全PDCA統合管理システム標準モデル”を策定した(図11)。このモデルを基に、保全の結果や設備の状況を保全プログラムに的確に反映でき、保全の適正化や定期検査期間の短縮に貢献する、包括的な保全PDCA統合管理システムの構築を支援している。



(注2) Artemis Sugarは、アルテミス インターナショナル(株)の登録商標。

5 あとがき

地球温暖化対策として原子力発電プラントの重要性が高まり、運転プラントの価値向上がますます重要になっている。

当社は、これまでの国内外の運転実績と知見を十分に踏まえ、単に機器の補修や更新にとどまらず、経済性の向上とともに、更なる安全性と設備利用率向上に向けた技術開発に全力で取り組み、顧客ニーズに応じていく。



田中 一彦 TANAKA Kazuhiko

電力システム社 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.



高山 拓治 TAKAYAMA Takuji

電力システム社 原子力事業部 原子力プラント設計部長。
原子力プラントの配管・弁設計、及び運転プラント保全技術
サービスに従事。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



清水 俊一 SHIMIZU Shunichi, D.Eng.

電力システム社 原子力事業部 原子力計装設計部主幹、工博。
原子力プラントの監視診断・保全システム技術サービスに従事。
日本原子力学会、日本保全学会、日本設備管理学会会員。
Nuclear Energy Systems & Services Div.