

原子力プラントの遠隔運転保守サービス

Remote Operation and Maintenance Support Services for Nuclear Power Plants

清水 俊一 園田 幸夫 兼本 茂

■ SHIMIZU Shunichi

■ SONODA Sachio

■ KANEMOTO Shigeru

原子力発電保守の分野では、従来からの信頼性と安全性の維持・向上の観点から、発電所業務のいっそうの品質向上や法令遵守、及び内外に対する適正な情報公開に加え、昨今の電力自由化に端を発した経済性向上の観点から、運転保守にかかわる費用の抑制が必要となっている。更に、2003年の法令改正に伴い、プラント運用情報の客観性と透明性の確保も要望されている。

東芝は、このような環境の変化に対応するため、IT(情報技術)を活用し、プラントメーカーとして保有する設計・製造技術に基づく、遠隔地からの迅速・確実な発電所の遠隔運転保守サービス(e-TOPS™)を構築し、運用を開始している。

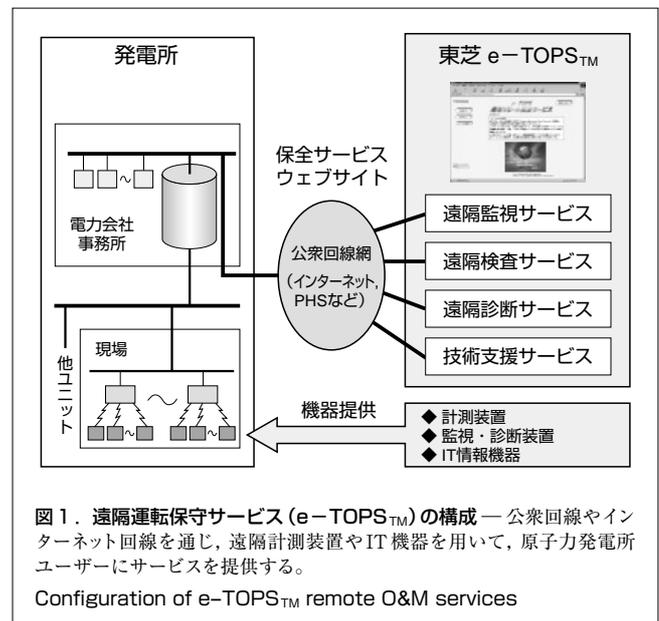
In the operation of nuclear power plants, it is necessary not only to preserve and improve reliability and safety, but also to simultaneously introduce more efficient and lower cost maintenance strategies due to the deregulation of power trading in recent years. Moreover, as the number of experienced operators and maintenance personnel decreases, there is a strong need for comprehensive implementation of objective and transparent information provision systems for plant operation and maintenance (O&M) compliant with the relevant laws, as well as further refinement of various plant O&M business activities.

As a plant manufacturer, Toshiba has responded to these requirements by introducing remote O&M services called e-TOPS™ (e-Toshiba Operating Plant Service) for O&M of nuclear power plants, making full use of the latest information technology.

1 まえがき

東芝は、沸騰水型原子炉(BWR: Boiling Water Reactor)プラントを納入した各発電所に、原子炉やタービンの運転、電気、計装、機械の各専門家を常駐させ、電力会社の運転保守活動を支援する“東芝運転プラントサービス(TOPS™: Toshiba Operating Plant Service)”体制を1979年から発足し、活動を継続している。このサービスでは、プラント運転中は機器の監視・診断や現場パトロールを支援し、プラント停止中は現地の保守担当者や現地に派遣された設計技術者と協力し、機器の点検や検査を支援している。また、運転保守活動で生じた技術的問題の評価や異常発生時の初期調査、及び対応策の提案も実施している。これら現地情報は、ネットワーク(フレームリレー網)を通して当社の磯子エンジニアリングセンターに日報として伝送し、本社設計部門と常に情報の共有化を図りながら、適切な運転保守サービスを提供してきている⁽¹⁾。

近年は、電力自由化などを背景に、運転保守にかかわる費用の抑制が要望されており、プラントメーカーの支援サービスにおいても、より効率的で迅速な対応が求められている。このため当社は、新たなサービス体制として、2002年から、図1に示す“遠隔運転保守サービス(e-TOPS™)”を構築し、発電所業務の省力化と信頼性向上に寄与する各種の遠隔運



転保守サービスの提供を開始している⁽²⁾。

このサービスは、インターネット、モバイルなどのITと、原子力計測・診断技術及びセキュリティ技術の融合により、遠隔地からの多様な運転保守サービスを実現している。ここでは、これらサービスの概要と、監視、検査、診断、技術支援における四つの具体的なサービス事例について述べる。

2 東芝の展開する新しい遠隔運転保守サービス

原子力プラントの運転保守業務を遠隔地から支援する e-TOPS™ は、以下の観点から、従来の現地派遣に基づくサービスよりも多大の効果が期待できる。

- (1) 設計技術者など専門家のいるエンジニアリングセンターから各発電所に対し、詳細で多面的な評価を迅速に提供できる。
- (2) 複数の設備データの集中管理により、プラント横並びの比較による精度の高い評価が可能となる。
- (3) 設備の集約や専門家の移動などを最小・最適化することにより、業務全体の品質と効率を向上できる。

遠隔地からこれらのサービスを実現させるためには、プラント機器のプロセスデータや運転データだけでなく、機器の振動や音響、点検時の現場映像(動画、静止画)など、多様で多量の現場情報を遠隔地に伝送する必要がある。また、伝送された情報を基に、監視、検査、診断などの技術支援情報並びに評価や対応策を現地に迅速に提示することや、体系的な情報管理に基づく最適な点検周期の提示と保守合理化への反映提案が重要となる。ここで、原子力プラント設備の重要情報の伝送であることを配慮し、2重のファイアウォールによる管理や乱数コードを用いることで、より高度なセキュリティ確保を実現している。

2.1 遠隔監視サービス

従来、プラント起動時の機器健全性の確認作業や、定期検査での機器分解点検作業では、対象機器にかかわる専門家を現地に派遣している。しかし近年は、プラント数の増加に

伴いプラント起動や定期検査は集中化してきており、遠隔地から同等の支援ができれば、運転保守業務の効率化だけでなく、複数の専門家の確認による点検作業の質の向上が可能となる。

遠隔監視サービスでは、図2に示すようなウェアラブル計算機、デジタルビデオカメラ、PHSなどを利用して、現場の映像と音声を複数の遠隔地に同時に伝送する遠隔監視システムを提供している。遠隔地から現場への指示はHMD(Head Mount Display)とヘッドホンを通して行い、現場からは圧縮処理した動画像による点検状況などの伝送に加え、高分解能の静止画を必要に応じて伝送することで、高精度の支援ができるようにしている。このシステムは限られた情報伝送速度の下で、現場の状況をリアルにかつ高精度で伝送できる点が強長である。実際の保守点検作業においても、従来の技術員派遣時と同等以上の的確性と迅速性が客先から好評を得ており、システムの有効性が確認されている⁽³⁾。

2.2 遠隔検査サービス

原子力プラントでは、配管や圧力容器のような静的機器は、定期検査時の分解点検において、目視点検や超音波、渦電流などの非破壊検査が適用されている。特に目視点検はその主要な作業の一つであり、直接的あるいは映像情報を用いた間接的な目視により実施されているが、検査員のスキルに大きく依存するため、検査の客観性の保持が課題となっている。

このため、遠隔検査サービスでは、人間の目視に代わって、デジタル画像処理技術を適用することにより、目視点検の自動化を実現する方法を提案している⁽⁴⁾。この方法では、図3

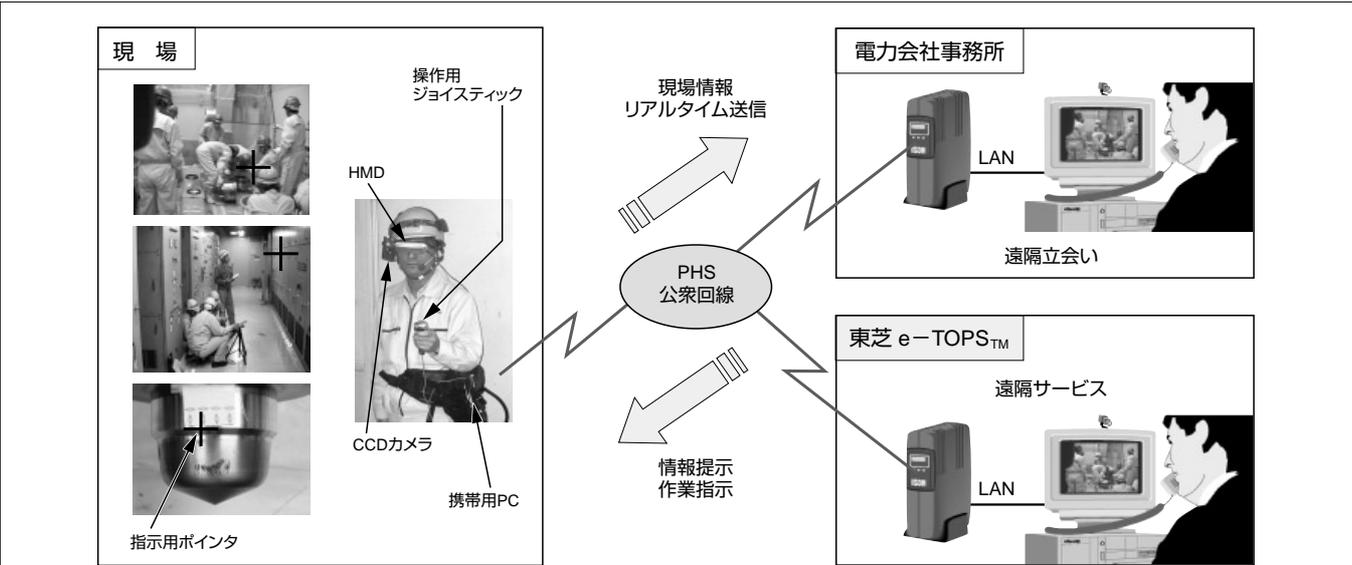
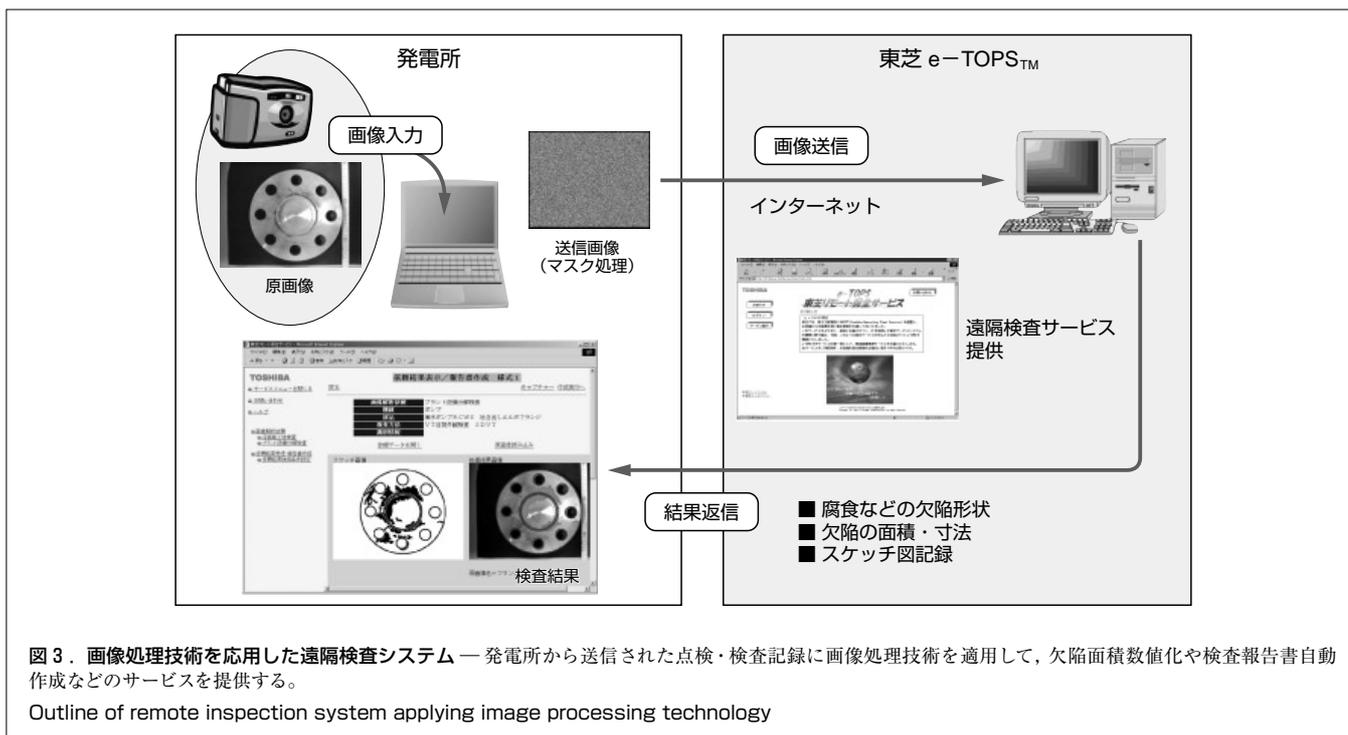


図2. 動画像や音声による遠隔監視システム — 発電所などから送信された映像や音声を基に、遠隔地から作業指示などをリアルタイムで返信するサービスを提供する。
Outline of remote monitoring system using voice and video images

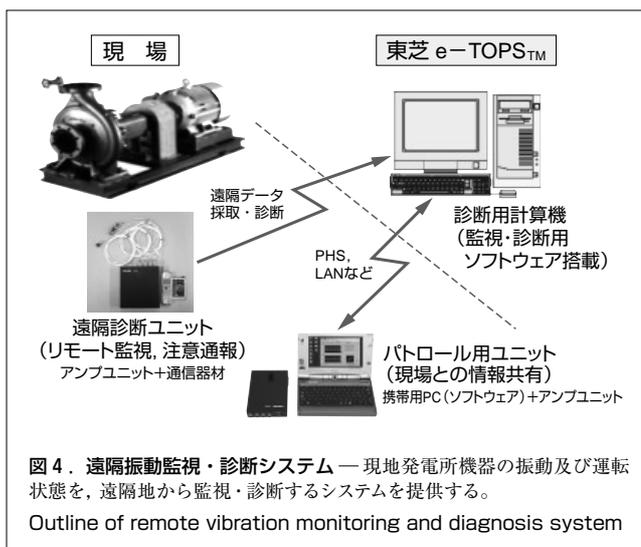


に示すようなe-TOPSTMの枠組みの中で、専門家のいる遠隔地に画像を送り解析処理を実施することによって、目視検査の精度を大幅に向上させることを可能としている。すなわち、電力会社などユーザーからの検査画像を、乱数を用いたマスク処理によりセキュリティを確保した後に、e-TOPSTMのウェブサイトへ送付する。送付された画像は、抽象化による特徴抽出処理などのデジタル画像処理を適用し、例えば、腐食面積の自動計算や、スケッチ画像化などの処理を行い、検査報告書の形式でユーザーに返送する。このようなサービスにより、検査結果の客観性を維持しながら、報告書の作成を効率化し、品質を向上させることができる。更に、検査画像を数値として定量的に表現することで、例えば、腐食面積の傾向変化の監視や評価などに活用することが可能となる。

2.3 遠隔診断サービス

原子力プラントにおいて、ポンプやモータなどの動的機器の保守は重要であり、軸受やシール部などの消耗部品の交換や耐久部品の点検のために、定期的な分解点検が必要となっている。また、その点検周期を最適化するために、運転中の振動、温度、潤滑油などの状態を定期的に監視する状態監視保全が行われている。特に、運転中の振動監視は、回転機の劣化予測や異常の早期検出に有効であり、実用化が進んでいる。

遠隔診断サービスでは、図4に示すように、PHSやLANなどの無線デバイスを用いて回転機の振動をリアルタイムで当社の磯子エンジニアリングセンターなどに伝送し、集中管理



と診断を行える可搬型の遠隔振動監視・診断システムを提供しており、振動データの簡易な遠隔計測ができるようにしている。

この遠隔振動監視・診断システムは、図5に示すように、リサージュ、スペクトルトレンドの表示や、それらを基にした診断結果と対応ガイダンスを提示することができる。更に、計測データを、回転機の動解析モデルによる結果と比較することで、回転軸にかかる負荷を推定し、劣化をより高精度で評価することが可能である⁽⁵⁾。

特に回転機の劣化診断では、ポンプケーシングの振動よりも回転軸の振動を計測することが高精度の劣化予測に必要

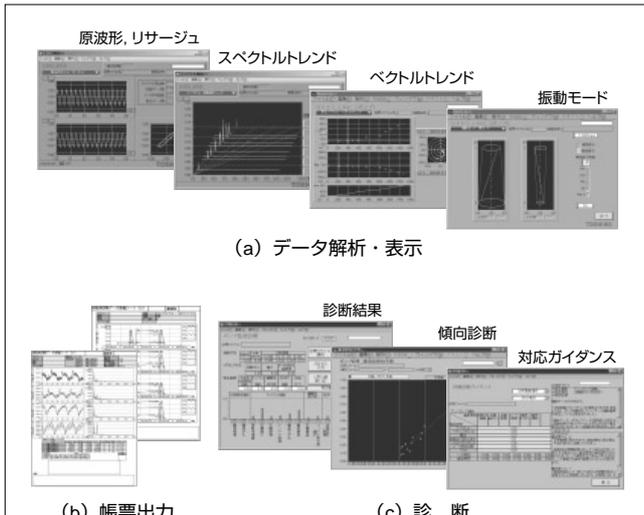
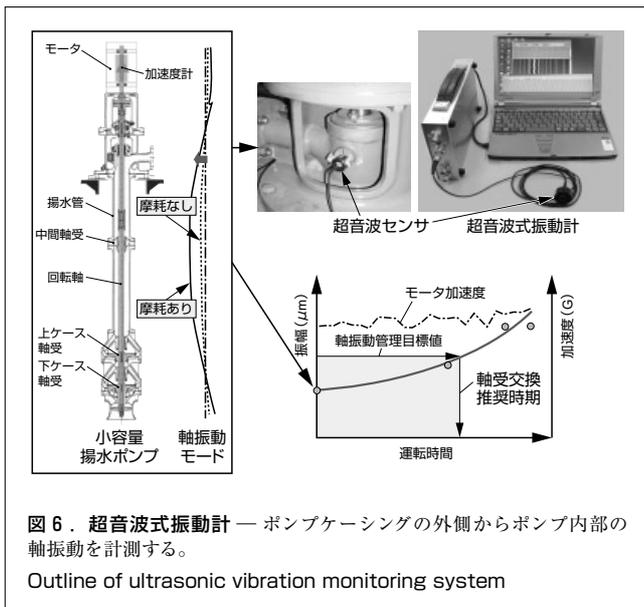


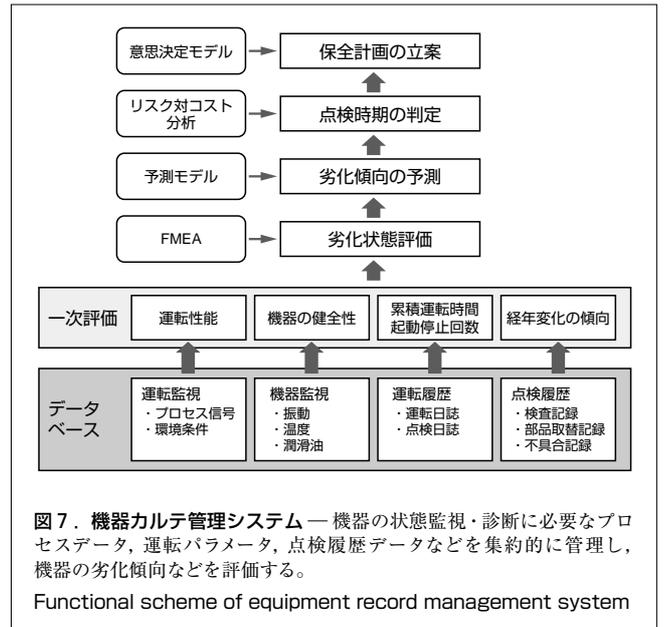
図5. 主な遠隔振動監視及び診断表示例 — 送信された振動データを基に、スペクトル・ベクトルトレンド、振動モード、リサージュなどの診断結果と対応ガイダンスを提示する。

Examples of remote vibration monitoring and diagnosis system displays



となるため、図6に示すように、ポンプケーシングの外側から超音波を用いて回転軸の振動を計測できる超音波式振動計を開発し、遠隔診断サービスに適用している⁽⁶⁾。このような新しい現場計測装置の提供と、振動診断などの専門家のいる遠隔地からの技術支援を組み合わせることにより、時間や距離、人の制約にとらわれない高度な劣化予測サービスができるようにしている。

機器カルテ管理システムは、図7⁽⁷⁾に示すように、設計情報と運転・保守にかかわる現場情報を融合して、合理的な保守を支援することができる。機器の点検周期や点検範囲は、



このシステムにより、保守コストの削減という観点だけではなく、機器の重要度、例えば、故障率や故障影響などのリスクと稼働率などの性能指標（ベネフィット）を、定量的に比較評価した結果などに基づき、合理的で適切な評価を可能としている。

機器カルテ管理システムは、運転にかかわる重要パラメータや機器状態を監視するための振動や温度などのパラメータ、更に、定期検査時の点検情報などを統合的に管理することができる。また、管理された多様なデータに回帰分析や因子分析などの統計解析を適用した一次処理から、機器の劣化傾向を評価することができる。更に、FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) などの設計技術情報、あるいは意思決定モデルや数値モデルとの組合せによる評価を通じ、保守点検間隔変更の合理的判断など、保全計画の立案支援に有効に活用することができる。

2.4 技術支援サービス

従来、電力会社の運転保守活動で生じた多様な技術的課題に対応する技術支援サービスは、現地駐在員が受けた個々の依頼に対して、遠隔地にいる設計技術者とEメールやファクスで連絡をとり、その結果を駐在員がとりまとめて回答する個別対応が主であり、情報の授受や質問内容の確認に時間を要していた。

e-TOPSTMのウェブサイトを介した技術支援サービスでは、電力担当者の自席のパソコンから質問事項や回答の入出力ができるようになり、迅速かつ効率的なサービスの提供を実現している。質問の確認に正確性を期すため、図8に示すような正式依頼発行前の事前調整での送受信履歴の提示機能や、発行済みの依頼内容とその回答の確認機能も備えている。



図8. 技術支援依頼Webシステム画面例—発電所の運転保守業務で生じた技術的課題への質問と回答を、インターネット経由で行う技術支援サービスを提供する。

Examples of technical Q&A Web system displays

3 あとがき

ここで述べた遠隔運転保守サービスは、いずれも実際の業務で活用され、その有効性が評価されているが、原子力プラントの運転保守業務は多様かつ複雑であり、更なるサービスコンテンツとして、水質診断、熱効率診断、予備品手配、保守訓練教育、設備改善の提案などサービス拡充を進めている。また、これらのサービス展開に備えて、当社の磯子エンジニアリングセンターに、e-TOPSTMの集中管理センターを開設する予定である。

当社は、原子力プラントの信頼性と安全性の維持・向上に加え、合理化や経済性向上を実現していくうえで重要なテーマとなる定期検査期間の短縮化、オンラインメンテナンスや状態監視保全の導入、及び合理的な保全計画の策定などに寄与する幅広いサービスの充実も図っていく所存である。

文献

- (1) 清水俊一,ほか. BWR, ABWRプラントの運転・保守支援. 東芝レビュー. 53, 12, 1998, p.33 - 36.
- (2) 保全サービスWebサイト構築. 東芝レビュー. 57, 3, 2002, p.70.
- (3) 佐久間正剛,ほか. "PHSを用いた遠隔・検査システム". 平成13年度電気学会, 電子・情報・システム部門大会予稿集(II), TC7-3. 2001-08, 電気学会. p.157 - 160.
- (4) 久保克巳,ほか. "デジタル画像処理による目視観察の自動化". 日本非破壊検査協会, 平成11年度秋季大会講演概要集. 1999-10, 日本非破壊検査協会. p.99 - 102.
- (5) 渡部幸夫,ほか. "回転機の劣化予測技術の開発". JASTトライボロジー会議予稿集, E29. 東京, 2002-05, JAST. p.339 - 340.
- (6) Kanemoto S., et al. "Development of ultrasonic vibrometer for vertical pump bearing wear diagnostic system". International Symposium on Machine Condition Monitoring and Diagnosis. Tokyo, 2002-09. p.93 - 97.
- (7) 園田幸夫,ほか. "状態監視保全の実機への適用(その3)—機器カルテ管理システムと経年劣化の傾向予測技術の開発". 日本原子力学会 2001年秋の大会, H20 ~ H22. 2001-09, 日本原子力学会. p.409.



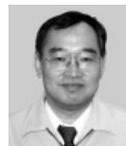
清水 俊一 SHIMIZU Shunichi, D.Eng.

電力・社会システム社 磯子エンジニアリングセンター 原子力タービン・ユーティリティ設計部グループ長, 工博。BWR運転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。
Isogo Nuclear Engineering Center



園田 幸夫 SONODA Sachio

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター 計測・検査技術開発部主査。BWR運転プラントの監視診断・保全情報処理技術の開発に従事。日本原子力学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center



兼本 茂 KANEMOTO Shigeru, D.Eng.

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター 計測・検査技術開発部主幹, 工博。BWR運転プラントの監視診断・保全システムの開発研究に従事。日本原子力学会, 計測自動制御学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center