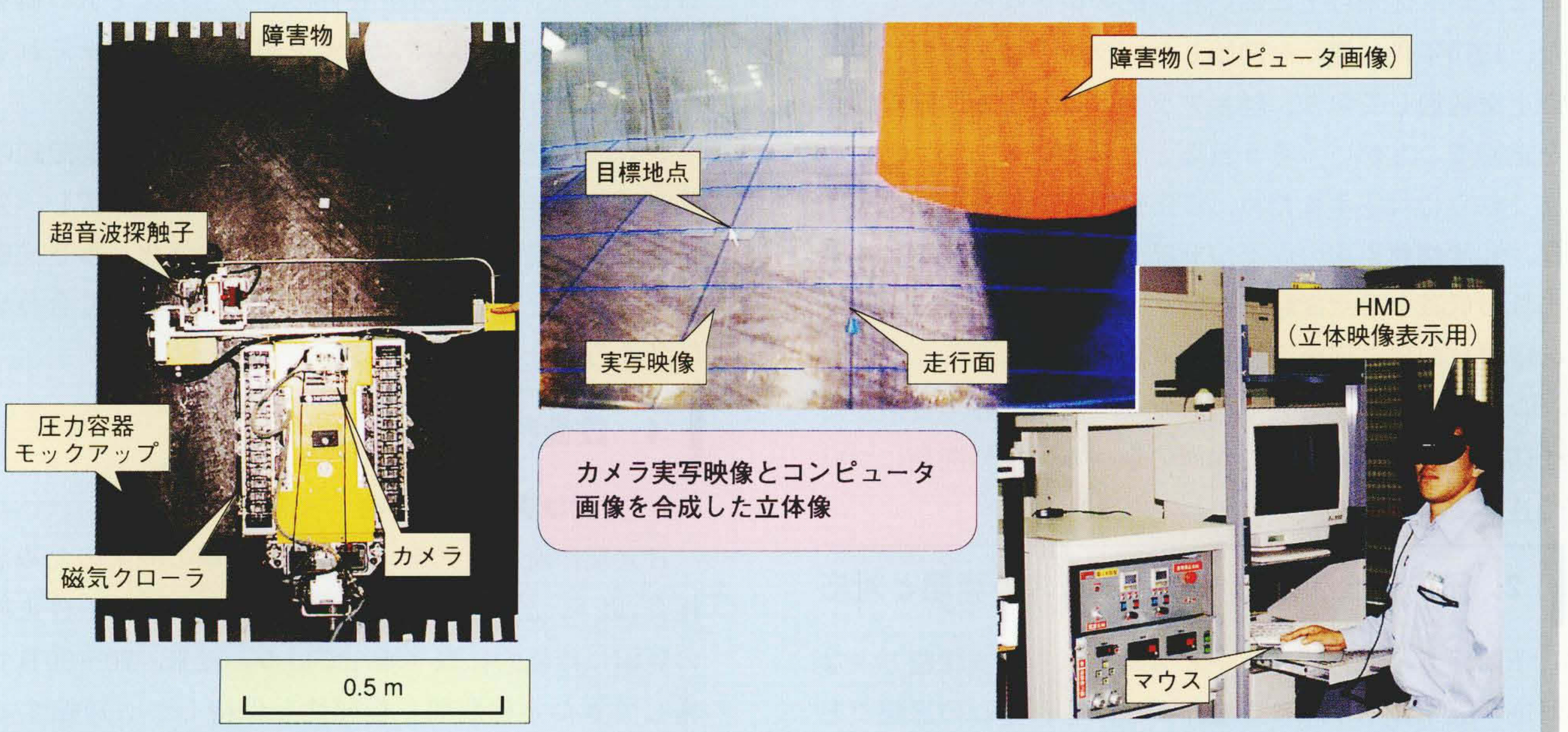
予防保全技術の現状と展望

Current Status of Preventive Maintenance for Nuclear Power Plants

酒井隆雄 *Takao Sakai*　佐川 渉 *Wataru Sagawa*
西村 章 *Akira Nishimura*　高橋文信 *Fuminobu Takahashi*



(a)自走式圧力容器検査ロボット本体の外観　(b)走行制御装置とナビゲーション画像

注：略語説明　HMD（Head Mount Display）

自走式圧力容器検査ロボット

磁気吸着走行方式によって軌道を不要とし，立体映像ナビゲーションシステムを採用した遠隔操作で作業性を大幅に向上させた検査ロボットを開発した。

原子力発電は今後とも長期にわたって電力供給の基幹を担っていくことが期待されており，運転中のプラントに適切な予防保全を実施し，高い信頼性を維持していくことが重要である。さらに，近年，電力の安全・安定供給と経済性を両立させることと，運転開始から20年以上を経過した経年プラントに対して的確な保全を実施し，信頼性を維持することがいっそう重要となっている。

日立製作所は，これらの要求に対応するため，信頼性の向上，設備利用率の向上，経年プラント対策，線量当量の低減を重点課題として，プラントの予防保全活動に取り組んでいる。

信頼性向上のため，国内外事例の調査とそれに基づく事前対策の徹底により，トラブル発生を防止し，信頼性の向上に寄与している。

設備利用率の向上については，定期検査期間の短縮と，長期サイクル運転に取り組んでいる。1997年にわが国最短の45日定期検査を実現した。この実績を踏まえ，さらにこの期間を短縮するための予備品適用，運転中点検，検査内容・周期の最適化などの手法，技術を開発している。

経年プラントについては，プラントライフを見据えた長期的な保全計画を検討，提案し，機器や設備の点検，補修，取り替えなどを順次実施している。

線量当量の低減に対しては，線源の低減，自動化・遠隔化による作業工法の改善や，作業効率化などを実施し，大きな効果を上げてきた。引き続き，線源低減，作業合理化，遠隔化などを推進し，線量当量のいっそうの低減を図る。

1. はじめに

原子力発電は，今後とも長期にわたって全電力に対する比重が高まり，電力供給の基幹を担っていくことが予想される。日立製作所は，原子力発電所の計画・建設段階での保全設計から，運転・保守段階の予防保全活動に至るまで，一貫したプラント保全活動を展開している。

特に近年，電力の安全・安定供給と経済性を両立させることが，従来以上に強い社会的要請となっている。また，1970年代に運転を開始したプラントは，すでに20年以上を経過しており，経年プラントに対する的確な保全を進めることがいっそう重要となっている。

これらに対応するため，日立製作所は，(1) 信頼性の確保，(2) 設備利用率の向上，(3) 経年プラント対策，(4) 線量当量の低減を重点課題とし，プラントの安全・安定運転の継続に向けた保全活動に取り組んでいる。

ここでは，原子力発電所の安全・安定運転を目指した予防保全に対する日立製作所の取組みと技術開発について述べる。

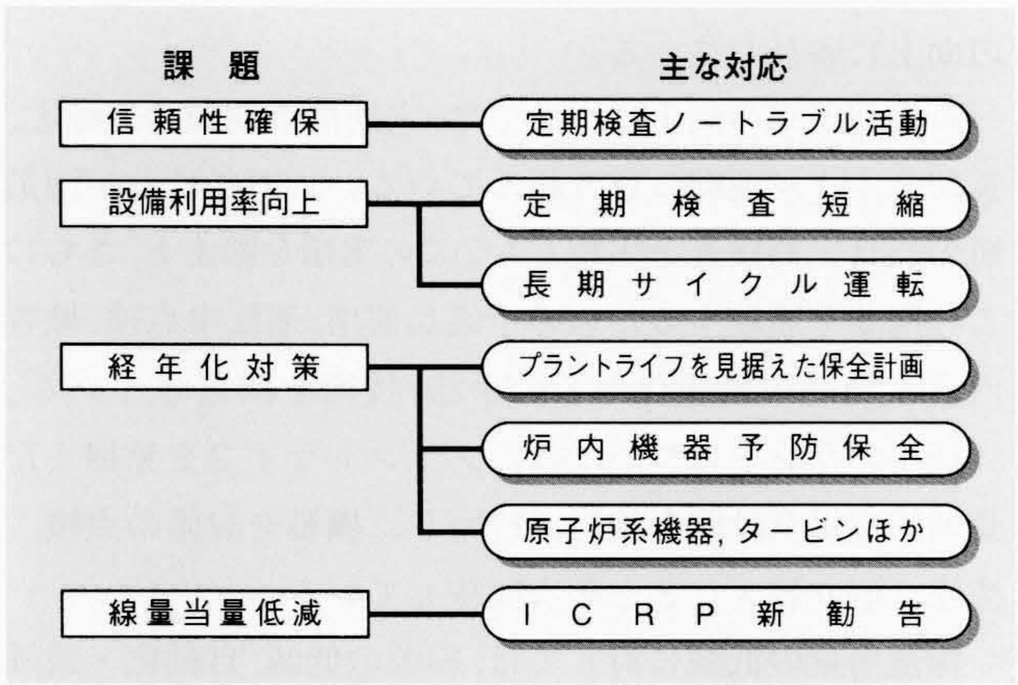
2. 予防保全・運転保守サービスの課題と対応

予防保全・運転保守サービスに求められる課題と主な対応を**図1**に示す。日立製作所は，それぞれの課題ごとに具体的なテーマを決めて，対応を推進している。

3. 信頼性向上への取組み

全社組織である原子力高信頼化委員会の下に，プラント建設から予防保全サービス段階に至るまで，総合的な信頼性向上活動を展開している。その例として，計画・設計段階でのデザインレビューによる信頼性の向上，事故情報管理システムの整備・活用による国内外のトラブルの原因究明と再発防止の徹底，「定期検査・改造ノートラブルタスク活動」による定期検査工事の品質，信頼性の向上などがある。こうした活動は運転プラントの運転性，信頼性の向上に寄与し，最近5年間(1992～1996年度)の日立製作所製BWR(沸騰水型原子炉)の計画外停止件数は，年間1基当たり0.18件というきわめて低い値を，また，平均設備利用率は80%を超える高い率をそれぞれ保持している。

さらに，発電プラント配管溶接部の焼鈍作業記録の問題で「発電プラント事業管理強化本部」を設置し，発電プラント事業運営に関する管理体制の強化，事業推進体制の見直しを行い，従来の信頼性向上活動とも合わせ，信頼性の向上に努めている。



注：略語説明　ICRP(国際放射線防護委員会)

図1　予防保全・運転保守サービスの課題と対応
電力の安全・安定運転と経済性の両立，経年プラントの信頼性確保が求められている。

4. 設備利用率の向上

4.1　定期検査期間の短縮

日立製作所は，プラント設備利用率の向上のため定期検査(以下，定検と略す。)の効率化と，プラント停止期間の短縮に積極的に取り組んでいる。従来，70～90日で実施してきた定検期間を信頼性を保持しつつ短縮するため，従来定検の分析，課題の摘出と検討を基に定検短縮の施策を検討した。

予備品入れ替え方式，省力化ツール導入，作業環境・作業方法の改善などの定検作業の効率化による短縮手段を講じ，1995年にはわが国初の60日定検を実現した。その後もいっそうの短縮に取り組み，1996年には47日定検を，また，1997年には45日定検を実現した。

今後も，予備品適用範囲の拡大，運転中点検の採用，検査内容・周期の最適化などを検討，提案し，いっそうの定検短縮に寄与していく考えである。

4.2　長期サイクル運転

わが国の原子力発電プラントの運転期間は，定検実施時期に関する法律上の規定から13か月を最長とし，12か月が標準になっている。海外では15～24か月の長期サイクル運転が実施されている。

日立製作所は，長期サイクル運転に対しても，これまでの安定運転の実績に基づいて先進的に取り組んできた。1996年には国内BWRで初めて13か月を超える運転が実施された。

今後，運転期間をさらに長期化するためには，燃料や

機器の長寿命化が必要である。高燃焼度燃料の開発と，ポンプのシールなどの機器取り替え部品については，耐久性を向上させた部品の開発を完了している。また，運転期間の長期化に対応して，運転中点検の拡大，状態監視保全の強化についても検討を進めている。

5．経年設備対応

経年プラントに対しては，プラントライフを見据え，炉内構造物をはじめ，プラント各系統設備から電気設備に至るまで，主要機器の点検・改造・取り替えなど，個々のプラントの生涯計画を考慮した長期的な保全計画を策定し，対応している。

ほぼ20年を経過したプラントの機器・設備を更新，高機能化，高信頼化することを第１次リフレッシュと位置づけ，一部のプラントですでに実施している。リフレッシュを実施したプラントでは，すでに実証された20年の実績を今後の20年間に適用することにより，40年の安定運転に寄与できると考えている。

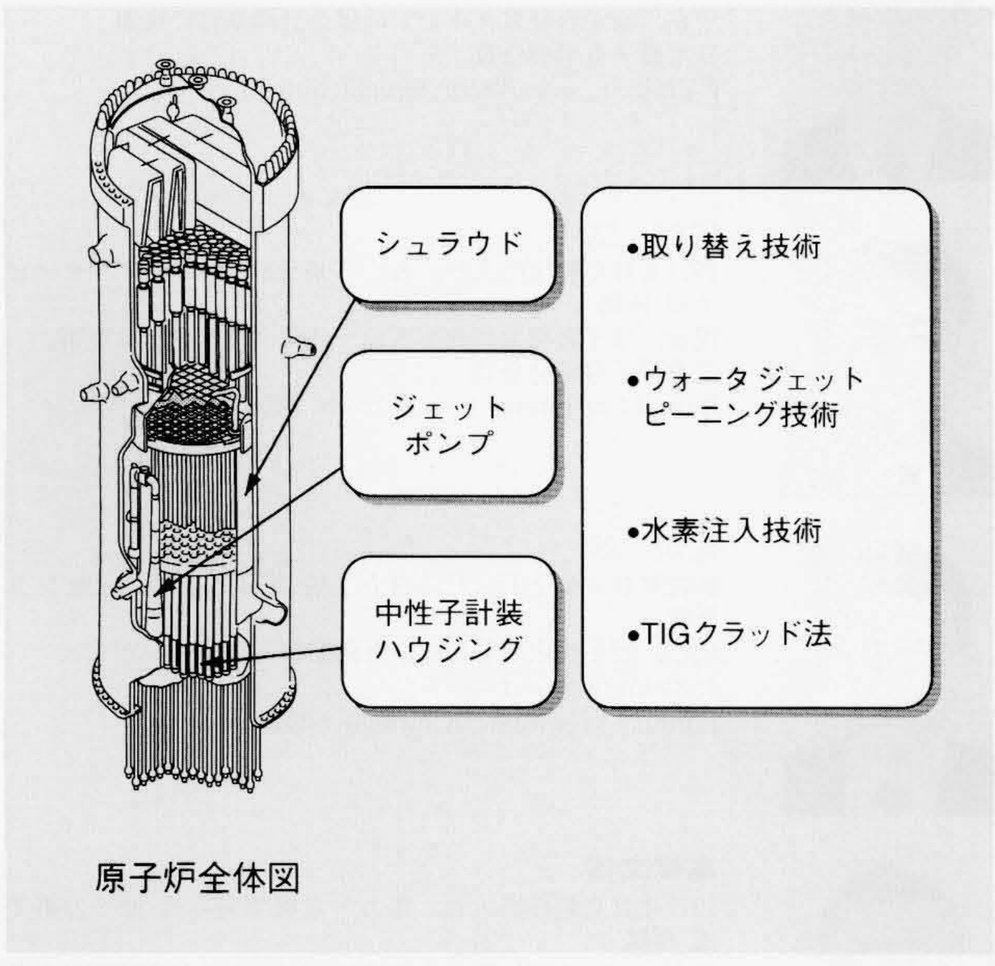
炉内構造物に対する第１次リフレッシュ措置例を**図２**に示す。このような措置には，シュラウド，ジェットポンプ，中性子計装ハウジングなどの補修，取り替え技術の開発と適用，ウォータ ジェット ピーニングによる残留応力改善，水素注入による腐食環境の改善などがある。

原子炉系機器・配管に対しては，原子炉再循環系配管や残留熱除去系配管などを耐応力腐食割れ材料に取り替える工事を実施している。

給水加熱器やタービン低圧内部車室の高耐食性材料への取り替え，タービン発電機固定子コイルの絶縁性回復のための更新なども順次実施している。

電気計装品については，電動機や電源盤，ケーブルなどに対し，絶縁劣化診断を基に合理的な設備更新を実施している。また，運転・保守性向上の点から，計測制御系の近代化，プロセス計算機の分散化などを実施している。

今後，運転40年までの間に，40年以降の経年特性，余寿命を把握する研究開発や，40年以降の使用可能性検討のために機器の診断技術，補修，再生，取り替え技術の確立を図っていく。ほぼ40年経過時点で第２次リフレッシュを実施し，供用期間の延長，安定運転の延長が可能となるように検討を進めていく。



注：略語説明　TIG（Tungsten Inert Gas）

図２　炉内構造物に対するリフレッシュ措置例
プラントライフを見据えた長期的な保全計画に基づいて措置し，予防保全に適用している。

6．線量当量の低減

線量当量の低減のため，構造材料の変更や機械，化学除染による線量率の低減，自動化・遠隔化による作業工法の改善などを推進してきた。その結果，定検平均線量当量を大きく減少させることができた。

今後も，大型予防保全工事の増加，ICRPの1990年新勧告（許容限度を50 mSv/年から100 mSv/ 5 年に変更）を取り入れた法令化に対応するため，自動化・遠隔化設備の適用拡大，作業効率の向上などの線量当量低減策を実施していく。

7．予防保全技術の開発

安定運転と設備利用率向上のためのプラント予防保全には，的確な監視・診断，補修・取り替え技術と，それらを適切に管理する情報管理技術が必要である。運転状態の異常の早期発見や兆候の予知，寿命予測を行い，適切な対応策を提供するプラント機器点検，監視，診断技術の開発を継続し，各運転プラントに順次採用してきた。その例として，(1) 原子炉圧力容器の疲労モニタリングシステム，(2) 回転体診断システム，(3) 配管や熱交換器，タービンの減肉率評価システム，(4) 発電機，電動機，ケーブルなどの電気設備の絶縁劣化診断技術などを実用化した。最近の開発成果について以下に述べる。

7.1　原子炉内構造物の遠隔点検装置

シュラウドの健全性を短時間で，正確に検査する遠隔点検装置を開発[1]した。この装置は，シュラウド上部フラ

ンジに走行体を取り付け，フランジを軌道にして移動させ，シュラウド溶接線を超音波検査と高解像度カメラで点検するものである。走行，検査，データ処理を自動化し，溶接部欠陥の高感度検出，検査部位の三次元映像表示が可能である。

7.2 磁気吸着式RPVノズル用自動UT装置

ISI(In-Service Inspection：供用期間中検査)作業の中でも，高線量下での作業となるRPV(原子炉圧力容器)ノズル用磁気吸着式自動UT(Ultrasonic Test：超音波探傷試験)装置を開発した。駆動機構に磁気クローラを採用し，軌道無しでノズル上を吸着走行し，超音波探傷検査が可能である。軌道を不要とすると同時に小型・軽量化し，装置取り付けや撤去に要する時間を低減するなど，作業性を大きく向上した。

7.3 可搬型X線透視装置

可搬型X線透視装置は，構造物内部のX線透視像をCCD(Charge Coupled Device)カメラで撮影し，画像処理後モニタに表示するものである。これにより，X線フィルム処理が不要となり，自在な画像階調処理と常にリアルタイムで被検査物の透視画像を得ることができる。機器の内部構成部品の構造，動作状況，内部付着物の状態を無開放で診断することもできる。逆止弁弁体の診断例を**図3**に示す。機器点検の合理化に有効であり，適用対象の拡大を図っている。

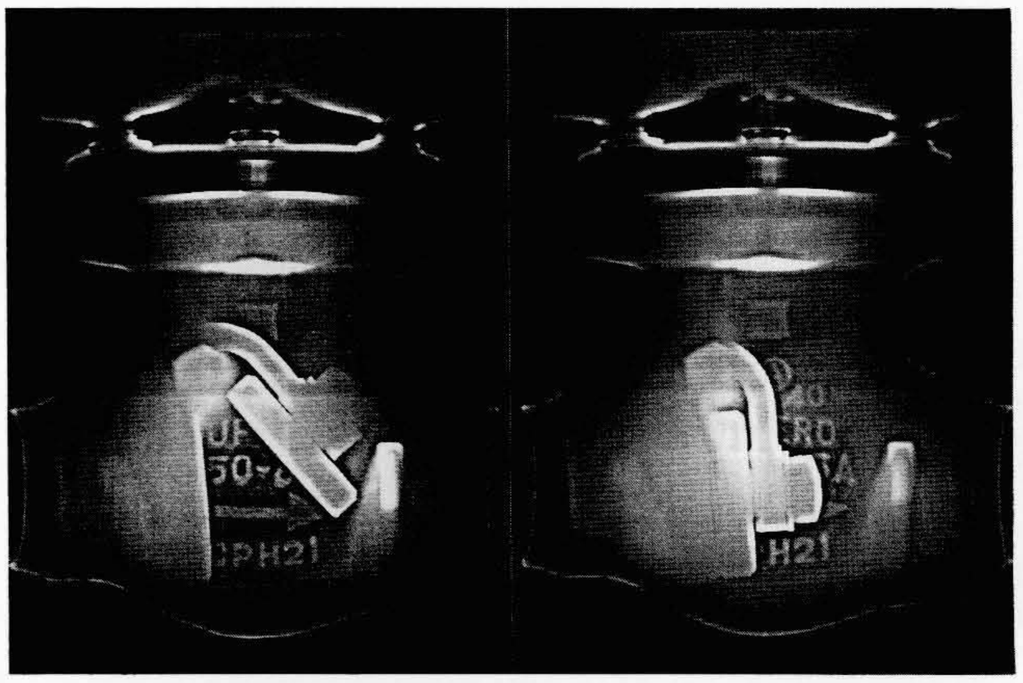
7.4 自走式圧力容器検査ロボット

検査・診断技術の高度化の一環として，自走式圧力容器検査ロボットを開発[2]した。ロボットは永久磁石を連結した磁気クローラで，容器壁面に吸着して走行し，溶接部の超音波探傷検査を行う。ロボット操作には，カメラによる実写映像とコンピュータ画像を合成した，立体映像ナビゲーションシステムを採用している。オペレータが立体映像上で目標地点をマウスで指定することにより，ロボットの走行，検査の遠隔制御が可能である。

8. おわりに

ここでは，原子力発電プラントの安全・安定運転を目指した予防保全に対する日立製作所の取組みと技術開発について述べた。

今後も，安定運転の継続といっそうの経済性の向上に向けて，電力会社をはじめ関係各機関の指導を得ながら，計画的，体系的な予防保全技術の開発，保全技術サービスの充実に取り組んでいく考えである。



(a) 開状態　　(b) 閉状態

図3 可搬型X線透視装置による逆止弁弁体の診断例
無開放診断が可能であり，機器点検の合理化に有効である。

参考文献

1) F. Takahashi, et al.：Development of an Ultrasonic Inspection Vehicle for BWR Core Shrouds, 14th Int. Conf. on NDE in the Nuclear & Pressure Vessel Industries, 379～384(1996-9)
2) F. Takahashi, et al.: Development of a Magnetic Crawler Type Inspection Robot for Pressure Vessels, 11th Int. Conf. on NDE in the Nuclear & Pressure Vessel Industries, 423～427(1992-5)

執筆者紹介

酒井隆雄
1971年日立製作所入社，日立工場 原子力プラントサービス部 所属
現在，原子力発電プラントの保全計画業務に従事
日本原子力学会会員
E-mail：t_sakai@cm.hitachi.hitachi.co.jp

西村 章
1971年日立製作所入社，日立工場 原子力プラントサービス部 所属
現在，原子力発電プラントの予防保全統括業務に従事
日本原子力学会会員
E-mail：nishimura@cm.hitachi.hitachi.co.jp

佐川 渉
1972年日立製作所入社，日立工場 原子炉予防保全センタ 所属
現在，原子炉内機器の保全計画業務に従事
日本機械学会会員
E-mail：sagawa@cm.hitachi.hitachi.co.jp

高橋文信
1971年日立製作所入社，電力・電機開発本部 原子力第2部 所属
現在，検査・診断技術および点検ロボットの研究開発に従事
工学博士
日本原子力学会会員，応用物理学会会員，日本非破壊検査協会会員
E-mail：takahasi@erl.hitachi.co.jp