

沸騰水型原子力発電所の保全への取組み

Present Status of Maintenance Technologies for Boiling-Water-Reactor Power Plants

中山 秀一
S. Nakayama

庭野 征夫
Y. Niwano

佐々木 則夫
N. Sasaki

沸騰水型原子力発電プラント（BWR）について、当社は「プラント寿命を通して安定な運転を確保するために」をモットーとし、運転中のプラントの保全に積極的に取り組んでいる。

当社が建設にかかわってきたプラントのうち、最初のものはすでに25年以上経過し、予防保全の重要性が高まっている。保全技術活動のうち、今、当社がもつとも力を入れているプラント監視診断、設備利用率向上、プラント予防保全・補修技術開発、定期検査（以下、定検と略記）・改良工事の品質確保について紹介する。

Toshiba places the highest priority on maintenance technologies for boiling-water-reactor (BWR) power plants. These activities are based on our motto, "Ensuring stable operation of BWRs throughout the plant life cycle". A quarter of a century has passed since the construction of the first such plant in which Toshiba was involved, and preventive maintenance is therefore a matter of great importance for BWRs.

This paper presents an overview of plant monitoring and diagnosis, preventive maintenance of equipment, and ensuring the high quality of plant improvement or annual inspection work.

1 まえがき

当社は、「プラント寿命を通して安定な運転を確保するため」のモットーの下に、運転中のBWRの保全に積極的に取り組んでいる。これらは運転プラントサービス活動（略称TOPS_{TM}）として20年以上前から活動を始めてきた。その間、保全専任技術部門の設立、機子エンジニアリングセンター（IEC）新館の増設、そして、原子炉圧力容器および炉内構造物などの保全技術開発のためのプラントリフレッシュ技術開発設備の建設へと、技術活動の向上・強化を図ってきた。

ここでは、当社のプラント保全技術のうち、現在、特に力を入れている項目の取組みについて、その状況を紹介する。

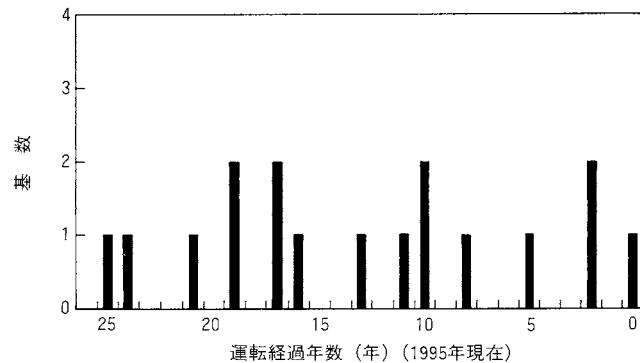


図1. 当社関連プラント運転経過年数 25年を経過するプラントが出はじめ、年々増加する。

Operational years of BWRs related to Toshiba

2 運転プラント保全へのかかわり

2.1 プラント監視診断

当社が建設にかかわってきたBWRプラントは、すでに17基となるが、図1はプラントの運転開始以来の運転年数と基数を示している。プラントの運転年数が経過するにつれ、高経年化プラントの保全活動は、ますます重要になってくると考えられる。

電力会社の安定な運転をサポートするために、各サイトに駐在しているTOPS_{TM}技術者および定検技術者からの日々の情報を、サイトまたはIECで分析し、異常徵候の早期発見のた

め、迅速で高度な監視診断が行えるよう、回転体診断技術、水化学診断技術などを開発して実用に供している。プラントメーカーとしては、設計の基本にさかのぼった対応がもっとも重要であると考えている。

2.2 設備利用率向上

近年、わが国のBWRの計画外停止は、0.3ないし0.5回／年・基となり、世界的にも、もっとも少ない計画外停止を誇っている。さらに設備利用率を向上させるには、定検工程を短縮することしかない。

図2にBWRプラントの定検工程短縮の歩みを示したが、現在は60~55日定検が主流となり、将来はより短くとのニーズが出てくると予想される。当社は、これらのニーズにこたえるため、電力会社に協力している。基本方針は、今までの実績をベースに、非常用炉心冷却系の確保、炉心未臨界の確保、崩壊熱除去源の確保はもちろんのこと、官庁立会検査の遵守を前提とする。このため、図3に示すように、機器の入替方式の適用拡大、作業の機械化・効率化などを図り、定検工程短縮の具体策を提案し、すでに一部は実際に適用させていただいている。

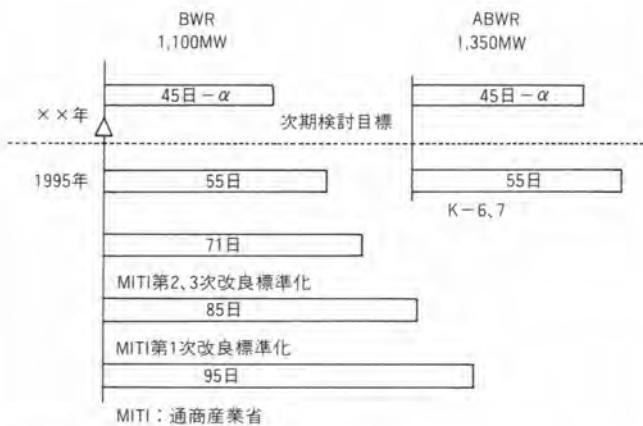


図2. 定検工程短縮の歩み 年々、定検工程は短くなっているが、さらに短縮化を進めている。
Outline of annual inspection period

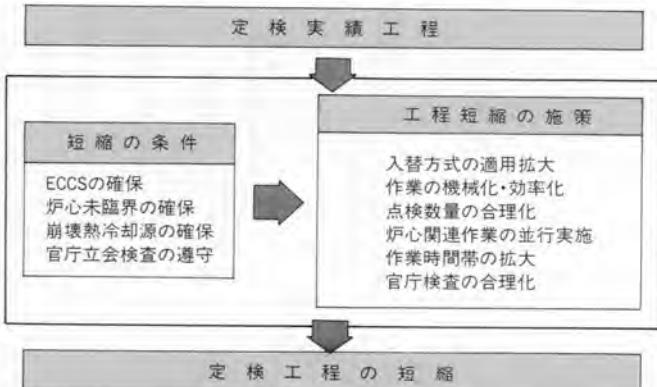


図3. 定検工程短縮の基本方針 安全性や立会検査などは従来と同様な信頼性を維持しながら短縮を進めている。
Principal guideline for shortening annual inspection period

3 プラント予防保全・補修技術開発

予防保全技術開発の目的は経年プラントのトラブル未然防止にあり、補修技術開発の目的は万一異常があった場合にも、事前に準備した技術を駆使して、停止期間を短縮し設備利用

率の向上に役立てることにある。このような技術開発の方針は、図4に示すように、損傷の可能性、損傷による影響度および現状技術・適用化評価から、機器ごとに開発技術の選定を行った。特に、原子炉圧力容器および炉内構造物は高線量化にあり、遠隔作業となるとともに各機器が複雑な構造となるため、高度な技術が必要となる。

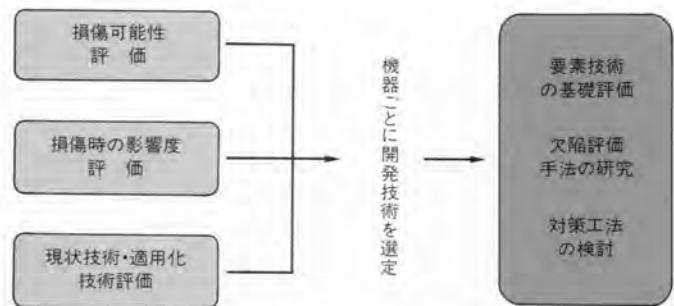


図4. 予防保全・補修技術の開発 数多くの機器・部品のための技術開発は重要性を考慮しながら優先度を決めている。
Basic approach for development of preventive maintenance and repair tool technologies

これらの技術のうち、すでに、開発済みおよび開発中の技術の代表例を紹介する。

3.1 点検技術

格納容器内や高線量区域内でのモノレール式小型自走ロボットには、テレビカメラ、マイクロフォン、赤外線カメラなどを積載し、計算機制御により位置出しを行っている。超小型自走式水中ロボットは、テレビカメラを搭載し水中下30メートルまで、操作員がテレビ画面を見ながら、複雑な構造物の間をぬって必要な箇所の点検が可能である。

シュラウドのような溶接線が長く円筒状のものについては、作業効率を上げるために超音波探傷試験(UT)も可能なよう、胴部に密着する吸着盤方式および外胴つり式点検装置を開発した。これらは、後述するプラントリフレッシュ技術開発設備を使用し、実機と同じ条件下での適用試験を実施中である(図5)。

一方、原子炉圧力容器内に水を入れたまま液体探傷試験(PT)を行うため、試験体の表面に吸着式パッドを取り付け、その中に、カメラ、照射ヘッド、水中PTヘッドを組み合わせた遠隔PT装置を開発した。

その他、ジェットポンプビームのような特殊な形状をした部品に対しても、取り付けたまま検査できる遠隔式磁粉探傷試験装置(ECT)、UT装置、および上部格子板グリッドプレート遠隔UT装置などの開発を進めた。

これらは、いずれも従来ある基盤技術をベースにロボット技術を組み合わせ、現地の検査員にやさしくとのコンセプトの下に開発したものである。



図5. シュラウド外胴つり式 UT 装置 シュラウド上端部からつり下げて溶接線近傍の超音波検査を行う装置である。

UT inspection tool for shroud outer surface

3.2 予防保全技術

炉内構造物は、従来は主として304系オーステナイトステンレス鋼が使われており、溶接部近傍の熱影響部が鋭敏化して、応力腐食割れ(SCC)を発生させる可能性がある。SCCの発生および進展は、材料、応力、環境により防止できることはよく知られている。

当初から取換え可能な炉内構造物は、定検などをを利用して、SCCの起きにくい材料(例えば、低炭素系ステンレス鋼)の部品に取換えることが可能である。

一方、溶接などにより残留応力がすでに残っている箇所については、表面の応力分布を“引張り”から“圧縮”に変えればよい。当社は、水中で高圧水搬送型ショットピーニングによる応力改善技術を開発してきた。直径0.3mm程度のステンレス鋼球を、高圧空気または高圧水とともに材料表面に投射して、引張残留応力を圧縮に変換することを確認した(図6)。また、鋭敏化している材料にショットピーニングを施工し、応力腐食割れ試験を行ったところ、割れの発生が防止できることができることが確認できた。複雑な形状のシュラウドの溶接線に適用するための遠隔自動ロボットを開発しており、実機に適用可能と判断している。

一方、レーザ技術を応用した加工・切断、表面改質、クラッディング、ピーニングなどの技術開発をそれぞれ進めている。

3.3 水素注入による環境改善

給水系から低濃度の水素を注入することにより、原子炉水

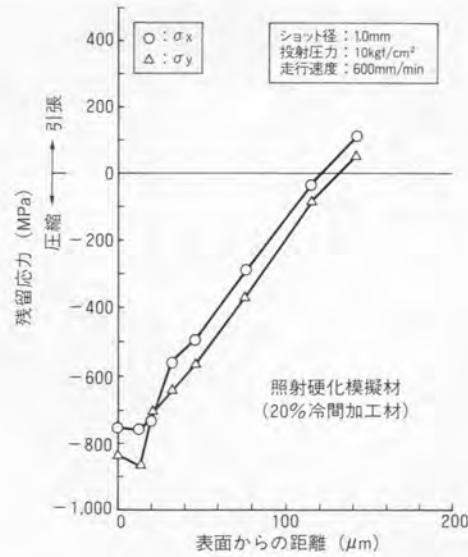


図6. 水中ショットピーニング後の残留応力の深さ方向分布
引張残留応力があった表面に施すことにより圧縮応力に変換できる。
Residual stress depth profile after water-shot peening

の溶存酸素濃度および腐食電位を低減し、原子炉圧力容器内底部のステンレス鋼、インコネル鋼のSCCを抑制する技術を開発して、実プラントで確認を始めている。いずれも、当初予想したとおりのデータが得られており、実機プラントへの水平展開が可能である。

3.4 補修技術

原子炉圧力容器下部にある制御棒駆動機構(CRD)のスタブチューブの取換工法、原子炉圧力容器内部のジェットポンプを支えているライザプレースの交換工法、シュラウド全体の取換工法など、多方面にわたって補修技術の開発に努めている。いずれも、各要素技術は目途がつき、一部は実機を模擬した状態でのワヌスルーモックアップ試験を始めている。

3.5 被ばく低減技術

上述の予防保全および補修技術を適用するにあたって、作業中の被ばくをできるだけ少なくすることが重要である。このため、作業前に、廃棄物発生量が少なく廃液処理が容易であり、材料の健全性が保たれ、かつ高い除染効果が得られる化学除染を適用したり、水ジェットを応用した機械式除染、粉末のドライアイスを汚染した工具などに吹き付け洗浄する技術を取り入れ、実機に適用している。

3.6 プラントリフレッシュ技術開発設備

原子炉系の予防保全・補修技術の開発・実証のため、IECに設置のプラントリフレッシュ技術開発設備を活用している。

135万kWクラスまでを想定した原子炉圧力容器および燃料プールを模擬しており、水中下での種々の機器の基礎研究、試作品の確証、および作業員の訓練などに使用し、開発期間の短縮を図り、広く実用に供していく(図7、図8)。

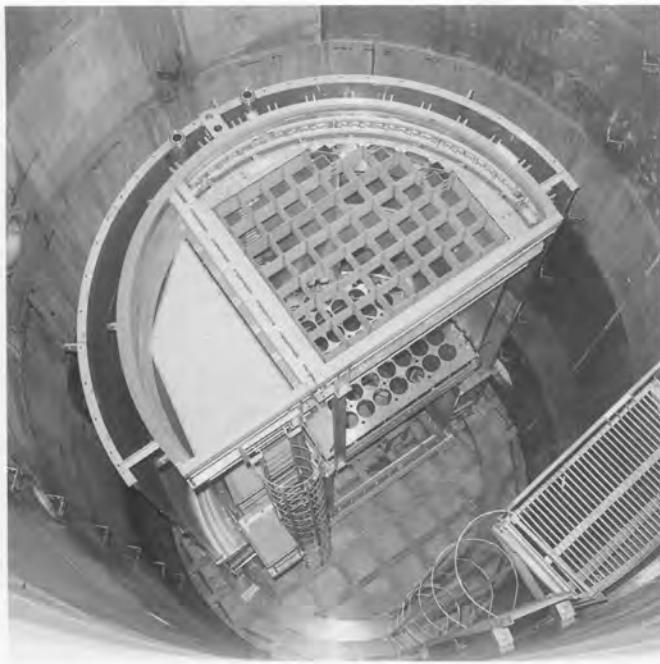


図7. プラントリフレッシュ技術開発設備の内部 設備の内部は実機を模擬した実寸大の内部構造物を設けている。

Internal view of Toshiba plant refreshment technologies facility



図8. 設備内のオペレーションフロア 実機プラントと同様な操作ができるようにしている。

Operating floor of Toshiba plant refreshment technologies facility

4 定検・改良工事の品質確保

4.1 目的

現地作業における事故・トラブル防止は、保全作業を行っている当社にとってもきわめて重要である。特に、次の内容を目的に現地作業の改善に努めた。

- (1) 作業者に優しい環境作り
- (2) サイト品質の上流での作り込み

(3) 各作業ステージでのラストマンの可視化

4.2 改善の内容

検討項目は多岐にわたったが、主要な事項を紹介する。

まず、各サイトでの作業管理要領、管理基準の再見直しを行い、共通指摘事項を拾いだし、水平展開と特別点検を実施した。また、重要なボルト締めなどの締結作業については、作業員の資格認定制度を制定し、作業者のモラルアップを図っている。現地での点検管理図書の再整備を行った。

設計者に対しては、単純ミスを防止するため、フルブルーフ設計事例を作成し徹底させた。一方、現地工事をより確実に行うための改善事項を現地作業者から拾い上げ、設計者の目でフィードバックをかけた。今後とも、この活動は積極的に継続するつもりである。

5 あとがき

当社は、今後とも、プラント寿命を通して安定な運転を確保するために次の事がさらに取り組んでいきたい。

(1) 運転プラントの保全活動を積極的に推進する。

(2) 定検工程の短縮に努力する。

(3) 原子炉圧力容器・炉内構造物の予防保全・補修技術の開発を推進する。

(4) 定検・改良工事の品質確保を目指す。

各電力会社を始めとして、関係各位のいっそうのご指導とご鞭撻をお願いする。

文 献

- (1) 中山秀一, 他: プラント保全技術開発の現状と将来展望, 東芝レビュー, 47, 11, pp.838-841 (1992)
- (2) 立石瑞生, 他: 経年プラントに対する予防保全への取組み, 東芝レビュー, 48, 11, pp.821-824 (1993)
- (3) 小畑 稔, 他: ショットビーニングによる残留応力改善, 日本機械学会第72期通常総会論文集, pp.362-363 (1995)



中山 秀一 Shuuichi Nakayama

1962年入社。原子力プラントの配管設計、機器設計に従事。

現在、原子力事業部技監。

Nuclear Energy Div.



庭野 征夫 Yukio Niwano

1970年入社。原子力プラントの機器設計およびプロジェクト業務に従事。現在、原子力事業部原子力第一システム設計部部長。

Nuclear Energy Div.



佐々木 則夫 Norio Sasaki

1972年入社。原子力プラントの配置・配管設計、CAEシステム開発に従事。現在、原子力事業部原子力運転プラント設計部部長。

Nuclear Energy Div.