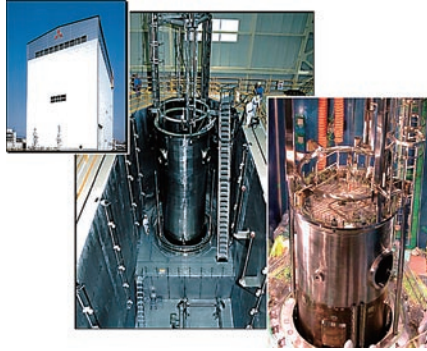


特 集 論 文

原子力発電プラントの有効活用に向けた
取組みApproach to Long Life Operation and High
Capacity Factor of Nuclear Power Plants宮 口 仁 一^{*1}
Jinichi Miyaguchi関 一 哉^{*2}
Kazuya Seki

近年、地球環境負荷の観点から、原子力発電プラントの優位性が高まり、既設の原子力発電プラントを長期間にわたって安全にかつ効率良く運転して行くことが重要となっている。日本で稼働中の23基のPWRプラントのうち、7基が30年を超えて運転しており、プラントの信頼性確保のために、設備や機器の高経年化に対する取組みが非常に重要になってきている。また、既設プラントの稼働率向上のために、予防保全の充実、定期検査期間短縮等、様々な取組みが行われてきたが、更なるプラントの有効活用のためには、高燃焼度燃料の開発による燃料の燃焼効率向上や長サイクル運転適用によるプラント稼働率向上が重要である。

1. 原子力発電プラントの信頼性の確保に向けて

(1) 高経年化プラントの健全性評価

プラントの安全性、信頼性を確保するためには、経年変化に伴う機器や設備の劣化を的確に診断し、適切な予防保全を行うことが重要である。このような観点から、特に運転期間が30年を超えるプラントについては、10年ごとに“高経年化に関する技術評価”を実施して、最新知見に基づいてプラントの健全性を総合的かつ網羅的に評価するとともに、その結果に基づいてその後10年間の保全計画を策定することになっている。

図1は、保全計画を策定する上で基本的な考え方を示したものである。まず、現在の機器の状態や想定される劣化メカニズムを踏まえて、設備や機器の寿命評価を行うが、その結果に応じて、大きく3つのカテゴリーに分けられる。

- (a) 機器の寿命が60年より十分長いと評価された機器については、基本的に通常の保全を継続しつつ、点検や状態監視によりその信頼性を確認していくことになる。
- (b) 機器の寿命が60年と同等レベルと評価された機器については、点検や状態監視に加えて、劣化緩和措置や補修といった予防保全が有効であると

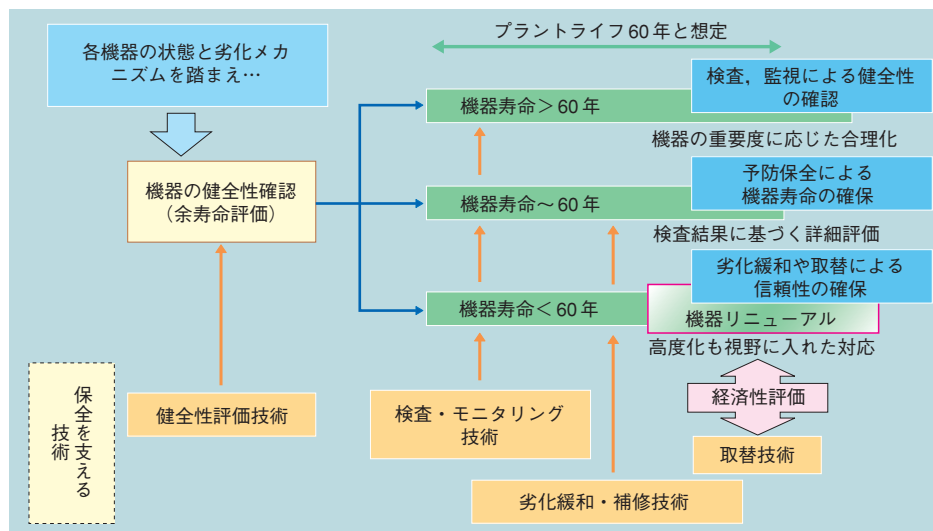


図1 高経年化対策の考え方

^{*1} 神戸造船所原子力保全技術部次長^{*2} 神戸造船所原子力燃料・バックエンド設計部次長

考えられる。

(c) 一方、機器の寿命が60年よりも短いと評価された機器については、劣化緩和や補修に加えて、一括取替えなどの保全方法が有効な選択肢となる。

高経年化対策では、このように機器の状態に応じて適切な保全メニューを選定することが重要と考えられるが、そのためには、これらを支える保全技術、すなわち“評価・解析技術”、“検査・監視技術”、“劣化緩和・補修技術”、“取替技術”などの個々の保全技術をタイムリーに提供することが必要となる。

(2) プラントの安全性、信頼性を支える保全技術

これらの個々の保全技術は、原子力プラントの保全活動の現場において、例えば、機器や配管の非破壊検査を高速かつ高精度に行う検査装置として、また、欠陥指示が確認された場合には当該欠陥を除去して信頼性の高い材料で溶接補修を遠隔自動で行う補修装置として具体化され、事故を未然に防ぐための“予防保全”活動に活用されている。

高経年化対策に限らず、原子力プラントの安全性、信頼性を高い次元で確保してゆくためには、質の高い“予防保全”を実現することが求められるが、そのためには、“保全エンジニアリング”、“開発・製造技術”“現地施工技術”の3つの技術分野を高い次元で統合する当社の総合的な技術力が非常に重要であるといえる。

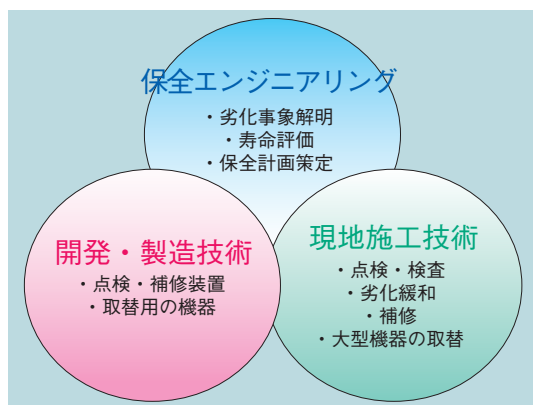


図2 高度な保全を支える3つの技術分野

2. 保全最適化によるプラント稼働率の向上に向けて

我が国の原子力プラントでは、現在13ヶ月毎にプラントを停止して定期検査を行っているが、海外での実績などを踏まえて、停止間隔を延長してプラントの稼働率を向上させる長サイクル運転の検討が進められている。

長サイクル運転に当たっては、プラントの安全性、信頼性を確保することが前提条件となることから、プ

ラントを構成する設備や機器について、その信頼性を過去の保全実績や最新知見に基づいて評価するとともに、必要に応じて保全内容や点検間隔を見直すことによって“保全の最適化”を図ることが必要となる。このとき、安全性確保という観点からは、安全上重要な設備や機器に対して重要度を考慮した手厚い保全を行うなど、その重要度に応じた保全を行うことが重要であり、また、保全活動の実効性を高めるという観点からは、保全の実績（パフォーマンス）に応じて保全の内容を継続的に見直していくこと、すなわち日々の保全活動のPDCAサイクル（PDCA：Plan, Do, Check, Action）を有効に回すことが重要であるといえる。

このような観点から、現在、各電気事業者において、保全活動全体を網羅的かつ体系的に整理する作業が進められており、当社は、プラントメーカの立場から全面的に顧客の支援を行っている。

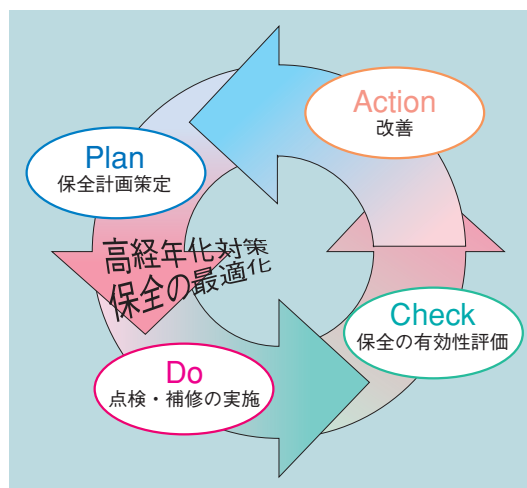


図3 保全のPDCA

3. 燃料の燃焼効率の向上に向けて

同じ燃焼度制限、すなわち、同じウラン濃縮度の条件で、長サイクル運転を実施すると取替燃料体数が増加するため、燃料の燃焼効率が低下する。そこで、燃料の燃焼効率を向上させるために、ウラン濃縮度を高くして取出し時の燃焼度を高くする高燃焼度化に取り組んでいる。燃焼の高燃焼度化により1体当たりが発生するエネルギー量が増加すれば、取替燃料体数が減少するため、燃料の燃焼効率が良くなり、燃料経済性向上につながる。

PWR燃料の燃料集合体最高燃焼度は、39 GWd/tから48 GWd/tを経て、現在は55 GWd/tの燃料が順次導入されているが、更なる燃焼効率向上に向けて、60 GWd/tを超える燃焼度まで使用可能な燃料の開発に取り組んでいる。

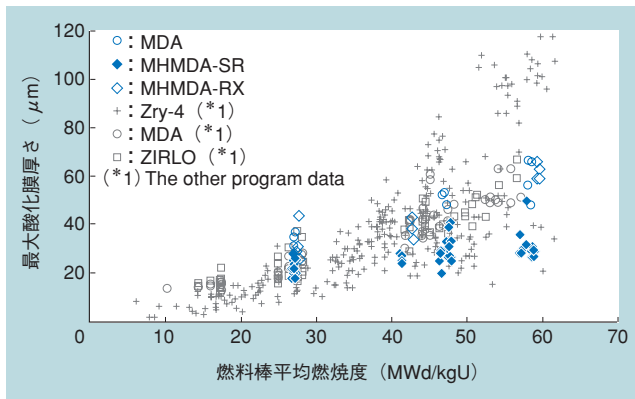


図4 被覆管腐食量

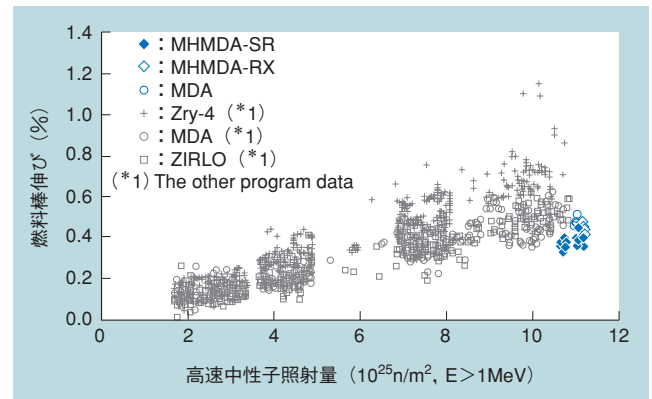


図5 燃料棒伸び

燃料の高燃焼度化に伴う課題の一つに炉内使用期間の長期化に伴う燃料被覆管の腐食量の増加がある。PWR 燃料被覆管の材料としては、従来はジルカロイ-4と呼ばれる材料が使用されてきたが、高燃焼度燃料では被覆管の耐食性向上が不可欠であり、合金成分を変更するなどの改良を進めて来た。高燃焼度化ステップ2燃料(55 GWd/t 燃料)には、燃料被覆管として当社が開発したMDA(Mitsubishi Developed Alloy)とウェスチングハウス社が開発したZIRLO™を採用している。

今後の更なる高燃焼度化対応として、当社はMDAの合金成分を調整したM-MDA™(Modified MDA)を開発した。M-MDA™は、MDAよりも優れた耐食性を有しており、一方で、その他の機械特性は従来材料(MDA及びジルカロイ-4)と同等である。その性能を確認するため、スペインPWRプラントにおける照射試験を実施し、燃料棒燃焼度70 GWd/t以上まで到達して完了した。図4に最大酸化膜厚さを示すが、燃料被覆管に用いるM-MDA™-SR被覆管の外表面腐食量はMDAと比較して十分に小さくなる見通しが得られている⁽¹⁾(SR:応力除去焼鈍材, RX:再結晶焼鈍材)。また、図5に照射に伴う燃料棒伸びデータを示すが、従来材料と比較して寸法安定性が高い結果が得られている⁽¹⁾。今後、ホットセル照射後試験などにより健全性などの確認を実施し、更なる高燃焼度化へ対応して行けるよう開発を継続していく。

また、同様に耐食性の優れた被覆管材料として、

Zr-Nbの二元系合金であるJ-Alloy™の開発を国内産業界共同で実施しており、スペインPWRプラントにおいて照射試験を実施中である。

これらの被覆管は実用化時期、燃焼度、線出力密度などの使用条件に応じ適切に使用していく予定である。

4. ま と め

地球環境への関心が高まる中、既設の原子力発電プラントを安全かつ効率的に運転することは、温暖化抑制効果などの観点から重要な課題となっている。

当社は、今後とも、最新の保全技術により、個別の設備や機器の信頼性向上を図るとともに、様々な技術を統合した総合的な保全技術により、既設の原子力発電プラントの有効活用に向けて、安全性、信頼性の確保と効率の向上に取り組んでいく予定である。

参 考 文 献

- (1) S. Watanabe, et al., Proc. 2007 International LWR Fuel Performance Meeting, San Francisco, October (2007)



宮口 仁一



関 一哉