

原子力発電所定期検査短縮技術への取組み

Approach to Shortening Duration of Nuclear Plant Refueling Outage

神戸造船所 高橋義春*¹ 中西徹*²
 高砂製作所 吉原誠一*³
 原子力事業本部 神原政幸*⁴
 原子力サービスエンジニアリング株式会社 山中操*⁵ 清水尊史*⁶

原子力発電所の定期検査期間短縮は、電力業界全体のニーズであり、当社はこれにこたえるべく定期検査短縮プロジェクトチームを組織して短縮目標の設定、要領、手順の変更や定検工事を合理的に実施するための設備改善を含め活動を展開してきた。本報では、プロジェクト活動として実施してきた作業改善手法、設備改善内容、運用改善と期待される定期検査短縮効果について紹介する。

This paper summarizes the mission role of the MHI in-house project team for a shorter outage duration for PWR plants operating in Japan and its results. The major tasks of project team are benchmarking to develop outage performance goals, and develop recommendation packages for outage enhancement covering field procedures and tooling betterment. An optimization study for maintenance tasks was also carried out. This paper highlights the results of efforts the activities of the project team.

1. ま え が き

原子力プラントの発電コスト低減には電力会社の強いニーズがある。発電コスト低減のための施策として、定期検査（以下、定検と称す）のための停止期間を短縮して設備利用率を向上させることにより採算性を向上させることが重要であり、当社としてはプラントメーカーとして客先のニーズにこたえるべく、定検短縮のための検討を実施してきた。この検討を効果的に推進するために社内定検短縮プロジェクトチームを結成し、第1ステップとして55日定検の玉成をテーマに平成7年度より活動を開始した。その後、定検短縮プロジェクトチームの組織と役割を明確にし、更なる短縮ターゲットを30日定検の達成として検討を加速推進してきた。本報では、当社が実施している定検短縮のための取組みを紹介する。

2. 定検実績の分析と具体的施策

2.1 定検短縮プロジェクトチーム組織と活動内容

定検短縮プロジェクトチームは、基本設計部門、機器設計部門、建設・サービス工事実施部門から組織され、その下部組織としてサービス工事実施部門を中心とした作業改善チーム、機器設計部門を中心とした設備改善チーム、技術部門を中心とした運用改善チームの3つのタスクチームを結成し、表1に示す定検期間の目標を設定して第1ステップとして作業改善を中心とした短縮検討から着手した。また、短期間で定検を実施している欧米の数プラントの定検を延べ5箇月間にわたり現地調査し、定検短縮の目標

表1 検討ステップと目標定検日数

Study step and target outage days			
検討ステップ	検討時期	目標定検日数	備考
ステップ1	平成7年度	55日	解列～併入
ステップ2	平成8年度	45日	同上
ステップ3	平成9年度	30日	同上

を設定するに当り参考とした。

2.2 海外プラント定検実態調査

海外プラントでは20日を切るような短期間で定検を実施しているプラントがあるが、その実態は十分把握されていなかった。そこで表2に示す発電所並びに定検工事を請負っているプラントメーカー（ウエスチングハウス社、シーメンス社）の調査を実施した。米国では、技術、設備面は国内と同等であるが、すべてが24時間連続で稼働することにより定検期間を大幅に短縮している点が特徴的であった。

表2 調査プラント
Studied plants

発電所名	国	実績定検日数	備考
コマンチェビーク1	米国	43日	#5定検
イザール2	独国	35日	#8定検
グロンデ	独国	11日	燃料交換
バンデロス	スペイン	24.5日	#9定検

2.3 作業改善チームの活動

作業改善チームでは、過去200回を超える定検工事経験のうち代表的な定検の実績を分析し、工法の改善・業務の効率化を中心として検討を実施した。

2.3.1 24時間連続作業の導入

従来、クリティカルパスとなっている作業は10時間×2シフト体制で実施していたが、直交代や昼食・休憩のための作業中断により実質的には1日当り15時間程度しか稼働していない。これらを効率アップするために最適作業体制の検討を行い、欧米で採用されている24時間連続作業を導入することとした。この結果、原子炉容器ふた開放・復旧及び燃料取出し・装荷作業に適用した場合で195時間（約8日間）短縮された。

2.3.2 その他の改善

実績の詳細な分析により、原子炉容器ふたを貫通している熱電

*1 原子力建設部主査

*2 原子力建設部プラントサービス技術課

*3 原動機サービス部原子力サービス課長

*4 原子力技術センター軽水炉プラント技術部主査

*5 工事統括部主任技師

*6 高砂工事部主任技師

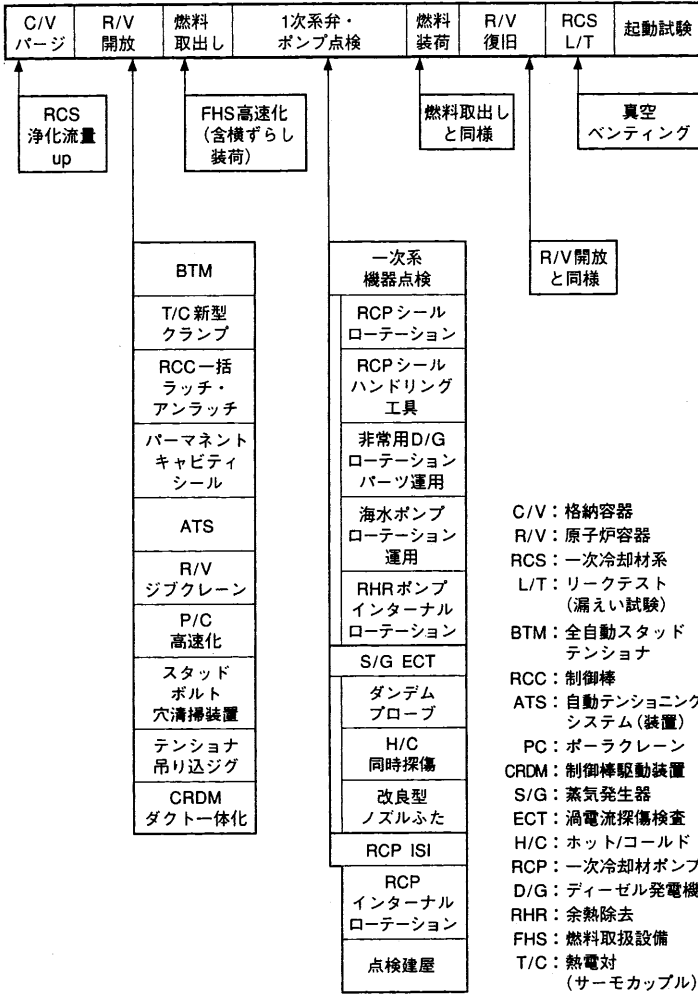


図1 定検作業ステージごとの主な設備改善項目
Equipment improvement on every refueling stage

対管台クランプの分解をふたフランジ下方に下がった時点から開始する等により、原子炉容器ふた開放・復旧及び燃料取出し・装荷作業で25時間(約1日間)短縮等が見込まれている。

2.4 設備改善チームによる改善

設備改善チームでは、定検工事実績分析結果を基に長時間を要している作業ステップの高速化を中心に検討を実施した。

検討の結果、80項目の設備改善が抽出され、定検作業ステージごとに整理すると図1に示すとおりとなる。これらの改善のうち主要なものを以下に紹介する。

2.4.1 BTM (Bolting and Tensioning Machine)

原子炉容器ふた開放時にスタッドは、テンショナで緩めた後に1本ずつ抜取って保管用ラックに移して吊り上げ、ふた復旧時と同様にスタッドを1本ずつ扱っている。テンショナの締付け・緩め作業は自動テンショニング装置(ATS: Automatic Tensioning System)により自動化されているがスタッドの取付け、取外し作業は1本ずつ実施しており、ハンドリングに長時間を要している。欧州では全スタッドを同時に扱うマルチスタッドテンショナが採用されているが国内既設PWRプラントでは構造上適用が不可能であり、これに代わる装置としてBTMを開発した。BTMは、取扱を容易にするため4分割構造となっており、4台のスタッドテンショナとスタッド回転装置及び保管ラックを内蔵して、原子炉容器のフランジに設置すれば一連の作業をすべて自動で行える画期的な装置である。

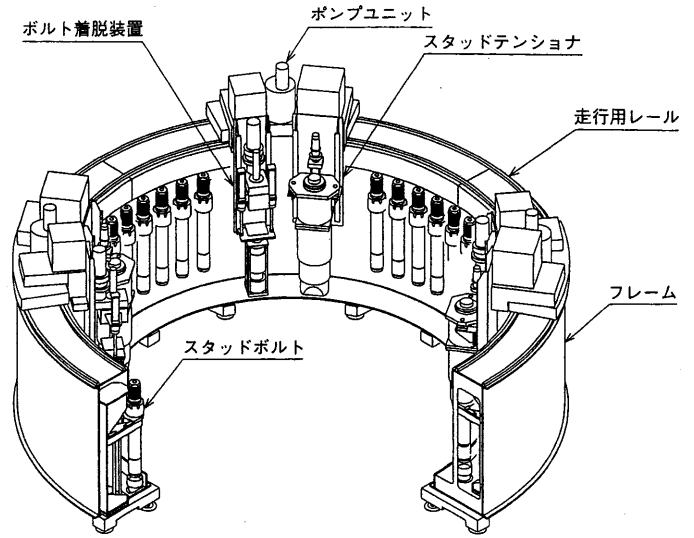


図2 BTM概要
Outline of bolting and tensioning machine

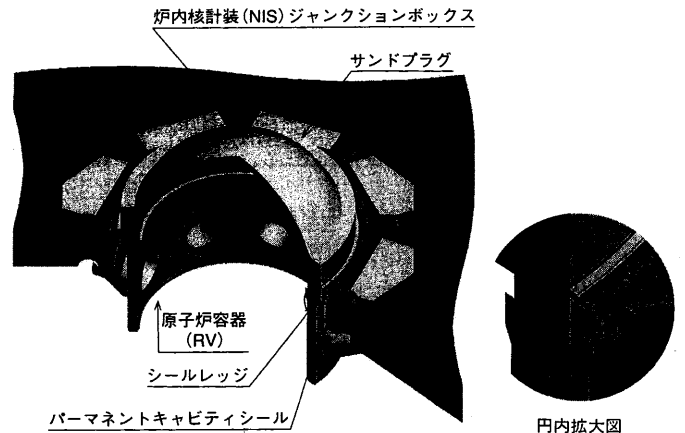


図3 パーマネントキャビティシール概念
Outline of permanent cavity seal

本装置の導入によりスタッド緩め、締付け作業は大幅に改善され、約18時間の短縮が見込まれている(図2参照)。

2.4.2 パーマネントキャビティシール

原子炉容器フランジとキャビティの間には運転中の冷却のために約10cmのすきまが設けられているが、燃料取扱いのためのキャビティ水張りに備えて、このすきまをふさぐキャビティシールリングを設置する必要がある。シールリングとフランジ・キャビティ間に4本のリング状のガスケットを入れてシールリングを締付ける作業には長時間を要しており、欧州プラントのようなベロータイプのパーマネントキャビティシール構造を開発した。本パーマネントキャビティシールの導入により関連作業がすべてなくなり、5時間の短縮が見込まれている(図3参照)。

2.4.3 超高速全自動ECTシステム

蒸気発生器1基当たり約3400本ある伝熱管を全数全長にわたって検査をする必要があり、定検期間が短ければECT検査は定検のクリティカルパスとなる。この解決策として、探傷期間の短縮を目的として4本同時探傷可能な超高速全自動ECTシステム(図4参照)の開発を実施した。

従来は、2本の伝熱管を同時に探傷するものであったが、4本同時探傷システムの開発により探傷期間も約半分の1週間に短縮される。なお、同システムで収集されたデータは、高速通信回線

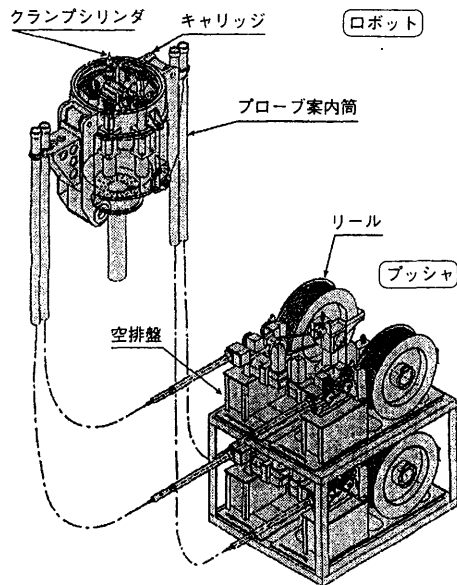


図4 超高速全自動 ECT システム
Four probe intelligent robot ECT system
(ECT: Eddy Current Test)

表3 燃料取扱設備の高速化仕様
Speed-up specification on fuel handling system

単位: m/min

装置名		現状仕様	高速度仕様
国産型 燃料取替え クレーン	ブリッジ	18/6/3/0.9	18/9/6/0.9
	トロリ	6/4/2/0.3	9/4/2/0.5
	メインホイスト	6/4.2/1.8/0.6	9/6/2.1/0.9
燃料移送 装置	コンベヤカー	6.2/3.1	9.3/3.1
	リフティング	25 s	25 s
多機能型 使用済み 燃料ピット クレーン	ブリッジ	12/9/6/0.6	18/12/9/0.9
	トロリ	12/9/6/0.6	18/12/9/0.9
	メインホイスト	4.2/2/0.9	6/3/0.9

(注) 数値は既設最新プラントへの適用時の各ノッチにおける速度例

を利用して当社神戸造船所の分析センターに転送され、大型コンピュータによる自動分析システムにより解析時間の短縮を実現している。

2.4.4 燃料取扱設備の高速化

燃料取出し・装荷作業については、海外プラントの定検実績と比較すると長時間を要している。海外プラントでは炉心内の燃料集合体相互の干渉を避けるため横に移動して、取出し・装荷を行う横ずらし法を導入しているほか、装置の速度が速い点が時間短縮に寄与している。そこで、当社も燃料取替えクレーンの運転プログラムを変更して横ずらし法を導入し、燃料の健全性を維持できる範囲内で装置の高速化を検討するとともに燃料相互の干渉を押さえるための、スローゾーンの範囲を狭める改良を行うこととした(表3参照)。これ等の改良により、26時間の短縮が見込まれている。

2.4.5 タービン車室ボルト締緩工具の合理化

タービンの定検は車室内の動・静翼点検を行うことが目的であるが、車室は上下に分割されボルトにより締結する構造のため、タービン1台当たり約150本のボルトの緩め・締め付け作業が必要であり、開放・組立作業に時間を要している。

この作業の効率向上の手段として、従来ボルト加熱工具に使用している抵抗線式ボルトヒータに変え、最新の半導体インバータ

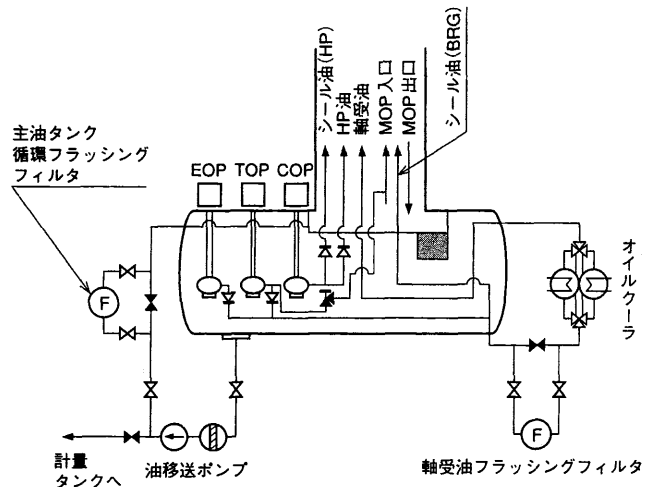


図5 改良型オイルフラッシングシステム構成
Improved oil flushing system

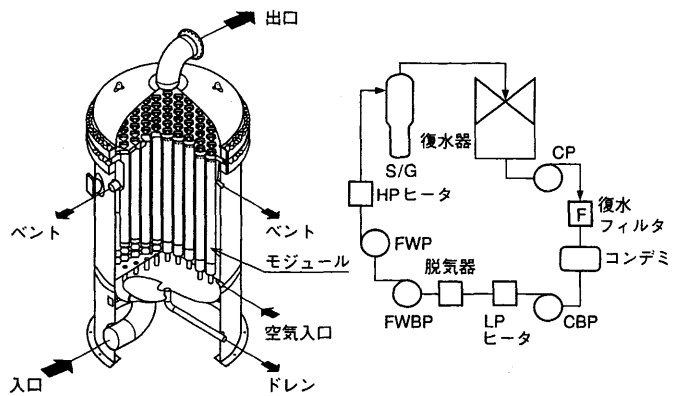


図6 高精度復水フィルタ
Condensate micro filter

技術を導入した高周波ボルトヒータを採用することにより、約2日の短縮が見込まれている。

2.4.6 タービンオイルフラッシングシステムの改善

オイルフラッシングは、現状潤滑油系統全体を一括して行っているため、十分なフラッシング効果を得るのに時間を要している。

この短縮策として、軸受ラインとは別に油タンク内の先行フラッシングを実施することにより、他の作業と平行したフラッシングが可能となる。さらに高精度フィルタを採用することにより、約1日の短縮が可能となる(図5参照)。

2.4.7 二次系クリーンアップの合理化

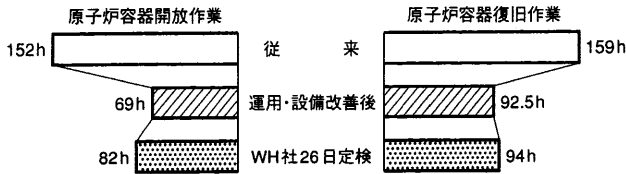
二次系クリーンアップは、現在ブロー及び再循環操作を行っており、水質浄化に時間を要している。この期間を短縮する方法として、固形分(SS成分)の除去を目的とした中空糸膜モジュールの高精度フィルタをコンデミ上流に設置することにより、約1日の短縮が見込まれる(図6参照)。

2.5 運用改善チームによる改善

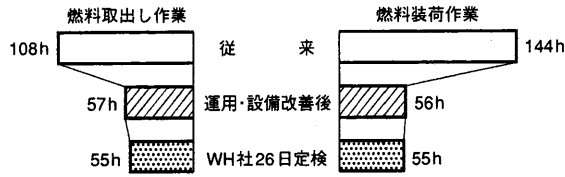
運用改善チームでは、海外プラントにおける点検・検査の現状を参考にして官庁検査を中心とした点検・検査の合理化について検討を実施した。

2.5.1 燃料取扱設備点検の合理化

燃料取扱設備は、官庁検査に先立って事前点検を実施しているが寸法など定検末期に点検しておけば次回定検まで変化する要素のないものが多々あるので、これらについては前定検終盤にオフ



(注) 運用改善は24h連続作業、設備改善はBTM、パーマネントキャピティシール、(RCC)ラッチアンラッチ工具改善を含む。



(注) 運用改善は変則2直動務及び夜勤(実働21h)設備改善は燃料取扱い設備高速化を含む。

図7 工事別短縮効果
Reduction result on each refueling task

クリティカルで実施しておくことにより当該定検での作業量を減少し、体制強化を回避することができる。

2.5.2 非常用ディーゼル発電機分解点検の合理化

2台の非常用ディーゼル発電機に対して分解点検を実施しているが、1台を広範囲に分解して他方を簡略化する本格/簡略点検の考え方を導入するとともに、スペアパーツを利用したローテーション運用を行うことにより点検期間を大幅に短縮可能となった。

2.5.3 RCS 漏えい試験の合理化

RCS 漏えい試験は、冷態停止中に実施しているが試験温度を確保するために昇温し、漏えい試験後に一たん冷却して冷態機能試験を実施して再度起動のための昇温を実施している。起動時の昇温後に実施すれば昇温/降温操作が1回省略できることから、昇温後の漏えい試験について検討し、見通しを得たことから約1.5日の短縮が見込まれている。

3. 30日定検に向けた今後の取組み

3.1 現状までの評価

現在までにステップ1で検討した24時間連続作業体制の導入や、工事管理的施策の適用で関西電力(株)美浜、高浜及び大飯の各発電所で40日前後の定検を実施しており、着々と成果を上げている。しかしながら、最終目標である30日定検の達成には更なる短縮が必要である。設備改善を中心としたステップ2までで検討された改善策の導入効果を織込むと図7に示すとおりであり、工事別に見ると米国の標準的な工事期間と同等であり、十分に効果が得られていることが分かる。米国と比較すると、一次系機器点検期間とRCS漏えい試験期間を含む起動試験期間に顕著な差異が見られる。したがって、30日前後の定検を目指す場合、設備改善策の導入に加えてこれらの期間において更なる検討が必要である(図8参照)。

3.2 更なる短縮施策

ステップ2までの検討は、原子炉容器ふた開放復旧と燃料取出し・装荷が中心であり、ステップ3では、一次系機器点検期間及び起動試験期間について重点的に検討を実施している。

3.2.1 RHR ポンプ点検のオフクリティカル化

RHR ポンプ点検は、一次系機器点検期間の主要工事であり1つのクリティカルパスを形成している。PWRプラントでは、事故時

	RCS水抜					RCS水張			
4ループ実力評価工程 (35日)	格納容器パージ (3.3)	R/V開放 (2.6)	燃料取出し (2.4)	1次系弁機器点検 (8.0)	燃料装荷 (2.4)	R/V復旧 (3.9)		起動試験 (12)	
	△0.2	△0.7	△0.1	△4.0	△0.1	—		△3.5	
ウエスタンハウス社標準短期工程 (26日)	格納容器パージ (3.1)	R/V開放 (1.9)	燃料取出し (2.3)	1次系弁機器点検 (4.0)	燃料装荷 (2.3)	R/V復旧 (3.9)		起動試験 (8.5)	

図8 現状までの改善を適用した場合の定検日数
Estimated duration when established improvements are adopted

にのみ作動する格納容器スプレー系統があり、同規模のポンプと冷却器を持っていることから、この系統とタイラインを設置し、RHRを代用させることによりRHR系統をいつでも隔離でき、定検工事のクリティカルから外することが可能となる。

3.2.2 炉物理試験の合理化

炉物理試験は3~4日を要しており、起動試験期間中大きな割合を占めている。実績を踏まえた試験の合理化、他の試験方法への変更等により全体の所要時間を大幅に短縮することが可能となるため、現在PWR5電力会社と共同研究を実施中である。

3.2.3 起動試験の合理化

先に検討を終了しているRCS漏えい試験の昇温後の実施を含め、RCS水張り後の全運転操作・試験の合理化を検討した。この成果が適用できれば、TC-RTD比較校正を昇温中に実施、等により起動試験期間を大幅に短縮することが可能となる。

3.2.4 起動工程の短縮

原子炉起動中に50%、75%で出力をホールドして出力分布を測定している。オンライン炉心監視システム(BEACON)の導入により出力上昇中に出力分布測定及び解析的炉内外照合校正を実施でき、出力ホールド時間の削減が可能となることを、一部のプラントで検証した。

3.3 総合評価

平成10年春、関西電力(株)大飯発電所3号機で38日の定検を実施できた。図8の工程に示したとおり、燃料取扱設備の高速化等の改善を実施し、RCS漏えい試験の昇温後の実施を含む起動試験期間の短縮が可能となれば十分に30日前後の定検が実施できる可能性を有していると評価している。

起動試験の合理化については、許認可上の要素も含んでおり直ちに実施の運びとはならないが、現在実施中のPWR5電力会社との共同研究の成果が認められれば2000年以降の定検において反映されると期待される。

4. あとがき

定検期間短縮は、直接的にプラントの稼働率に影響するものであり、発電コストを抑制する要素を持っている。したがって、当社もプラントメーカーとして、また、保守作業に従事する業界のリーダーとして定検短縮については一層の努力を惜しまない。

なお、定検は電力会社が実施するものであり、当社としては、定期検査工事において電力会社を支援するとともに、定検工事が更に実施しやすくなるような設備を開発していきたい。