

原子力発電所における定期検査工程短縮の取組み

Toshiba's Efforts to Reduce Refueling Outage Duration in Nuclear Power Plants

古澤 丈広
FURUSAWA Takehiro

淵野 聡志
FUCHINO Satoshi

原子力発電所の定期検査(以下、定検と略記)の高度化は、プラント稼働率の向上の一環として重要な課題であり、なかでも定検期間の短縮は電気事業法の改正以降の合理化追求とも相まって、最大の検討命題である。

当社はプラントメーカーとして豊富な定検実績を基に原子力の安全を確保しながら、設備の改善や機器の開発、なおいっそうの作業方法の改善などの各種定検技術施策の提案を行い、電力会社との協調を図って、定検工程の短縮を積極的に推進する。

Improvement of refueling outage technology for nuclear power plants is an important aspect of improving plant availability. In particular, ways of shortening the duration of refueling outage are especially important due to the need for cost reductions following the revision of the Electricity Utilities Industry Law.

As a plant manufacturer, Toshiba has an abundance of experience in refueling outages. We have therefore been making many presentations to utilities on methods to reduce refueling outage duration while maintaining plant safety; namely, improving facilities and equipment, improving the work sequence, and other duration-shortening technologies.

1 まえがき

当社は、設計から施工、保守点検に至るまでの総合プラントメーカーとして、約200回にも及ぶ定検の実績を基に、定検技術の高度化を推進し、安全性、信頼性および品質の向上を図りながら定検工程の短縮にかかわる主要工事に参画し、効率良く短縮するための各種の技術施策を提案し、実施してきた。その結果、100日程度の定検日数は30日代までに短縮できるようになった。ここでは、これらの経緯と取組み状況について述べる。

2 定検に関する法体系

2.1 法的背景と定検工程の組み方

原子力発電所の定検は、大別して国の法律によって定められた法定点検と、劣化部品の取替も含めて設備機能維持を考慮した電気事業者が行う自主点検とがある。

法定点検は、図1に示すように電気事業法第54条および同施行規則89、90、91条に点検対象の設備機器や点検項目、内容、期間などが細かく規定されている。これに基づいて各電力会社は自主点検とも合わせて、原則的に約10年間ですべての使用機器が点検完了するように長期計画を作成している。さらに、各設備機器部品の寿命劣化や他プラントの不適合反映、新知見技術の導入などを考慮し、年度ごとの個別点検計画を行い、定検工程を立案している。

なお、一般に呼ばれている定検工程の日数は発電機の解列からプラント起動後の発電機の再併列までの期間を指し

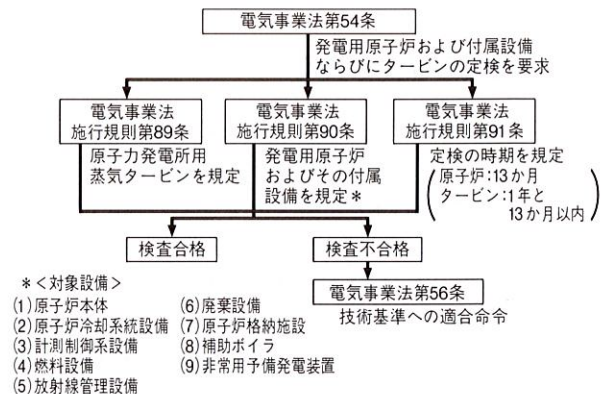


図1. 定検に関する法的体系 定検は電気事業法により、点検の対象設備や検査内容、項目、時期などが規定されている。

Legal background of regular inspections

ているが、法的には解列からプラント起動後の通商産業省による総合負荷機能試験の合格完了までを称している。

2.2 通商産業大臣が行う検査

通商産業省の行う検査は表1に示すように60項目あり、そのうち通商産業省みずからが立会う項目は18項目であり、残りの42項目は通商産業省から委託された第三者検査機関である発電設備技術検査協会が立会いを行う。ただし、この42項目は通商産業省の検査官による記録確認が実施される。

検査内容は、原子炉設備の安全上重要な機器を主体に分解開放検査や各種機能検査が中心である。また、原子炉設備だけでなく、外部に対する放射線被ばくに関する計測、

表1. 通商産業省による検査項目
Items inspected by the Ministry of Trade and Industry (MITI)

検査項目	区分	検査項目	区分
(1) 原子炉本体	A:1 B:4	(5) 放射線管理設備	A:1 B:4
・第1種機器供用期間中検査 ・燃料集合体外觀検査 ・燃料集合体炉内配置検査, ほか	B A B	・プロセスモニタ機能検査 ・非常用ガス処理系機能検査, ほか	B A:0 B:5
(2) 原子炉冷却系統設備	A:6 B:16	(6) 廃棄設備	A:5 B:3
・第3種機器供用期間中検査 ・主蒸気隔離弁漏えい率検査(起動前) ・主蒸気隔離弁機能検査, ほか	B A A	・原子炉格納施設	A A B
(3) 計測制御系統設備	A:1 B:7	(7) 原子炉格納施設	A:2 B:2
・制御棒駆動機能検査 ・原子炉保護系インターロック機能検査, ほか	B A	(8) 非常用予備発電装置	A B
(4) 燃料設備	A:1 B:0	(9) 総合	A:1 B:1
・燃料取扱装置機能検査	A	・原子炉起動前系統構成健全性確認検査 ・総合劣化性能検査	B A

検査項目 60 項目 (A: 立合項目 (18), B: 記録確認項目 (42))
(補助ボイラを除く)

廃棄, 保管などの管理設備についても検査が行われる。

3 工程短縮の経緯と変遷

原子力発電所の定検に関する高度化の歴史は, 1975 年に通商産業省が主催した信頼性や稼働率の向上を目的とした第一次改良標準化計画が発端である。その後, 85 年までに第二次, 第三次改良標準の検討がなされ, 110 万 kW クラスの標準定検日数は 71 日と策定されたが, 当時の定検は約 100 日前後が一般的であった。しかし, 95 年度に料金体系の合理化を求める電気事業法の改正がなされ, 中部電力(株)の浜岡原子力発電所 3 号機の第 6 回定検の 57 日や東京電力(株)の柏崎刈羽原子力発電所 2 号機の第 4 回定検の 60 日の実績を皮切りに, 97 年度では東京電力(株)福島第二

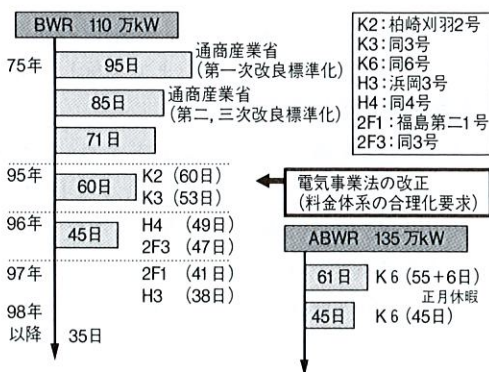


図2. 定検工程短縮の変遷 信頼性や稼働率の向上を目的とした改良標準化の検討日数から今日までの短縮の変遷を示す。

History of reduction of refueling outage duration

原子力発電所 1 号機の第 12 回定検での 41 日, また, 中部電力(株)浜岡原子力発電所 3 号機第 8 回定検の 38 日が達成されてきた。

このように, 95 年は 60 日定検が達成され, まさに定検工程短縮元年であり, 当社はこれらの短縮実現のために積極的に各種定検用ツールの改良や施工方法の改善を行い, プラントの稼働率の向上に貢献した。図 2 に定検工程短縮の変遷を示す。

4 定検工程と短縮施策

4.1 定検工程の基本構成

標準定検では, 原子炉側の燃料取替作業を中心にクリティカルパスが構成され, それに付随する主要機器の点検工程が組み立てられる。また, タービン系については全車室開放点検でなければ一般的にクリティカルパスとならない。図 3 に原子炉系の工程の基本パターンを示す。

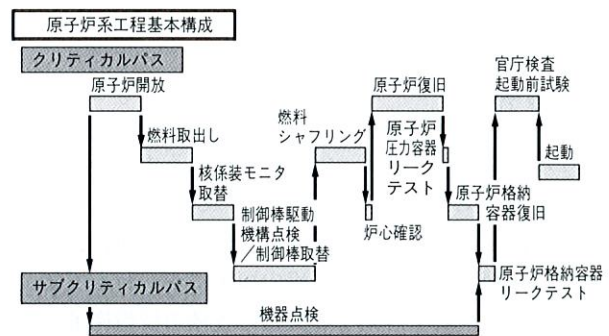


図3. 原子炉系の定検工程の基本パターン 燃料取替を主体とした原子炉系のクリティカルパスの基本的な作業の流れを示す。

Basic pattern of refueling outage duration

4.2 短縮施策の概要

定検工程は, 図 4 に示すように原子炉開放・復旧のよう

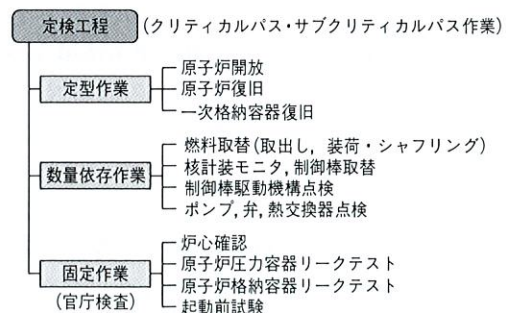


図4. 定検工程の構成要素 定検工程を構成している要素を分類し, その依存している形態に短縮の対応策を計画する。

Structure of refueling outage duration

な定型作業と燃料取替，制御棒駆動機構(CRD)の点検，ポンプや弁の点検のような数量に依存する作業および炉心確認，原子炉圧力容器(RPV)のリークテスト(L/T)などのような官庁検査の三つに分類される。したがって，それぞれに対応した短縮施策を講ずることがもっとも効果的となる。

例えば，定型作業には従来のシリーズ作業から並行作業を，数量依存作業には機器単位での入替え方式を，官庁検査では検査方法，内容の合理化などの具体策を計画する。

また，人手による作業が必ず伴うので，作業効率を向上させる装置や管理ツールなど共通施策事項も検討し，取扱い装置の自動化・省力化，作業方法や形態の改善，工程管理方法の改善やスピードアップなども重要な項目である。

図5にこれらを体系化し，整理した定検短縮へのアプローチを示す。

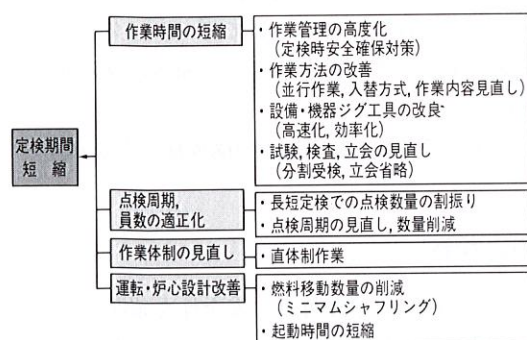


図5. 定検工程短縮へのアプローチ 工程を構成する各作業の時間や方法，対象員数などの効率アップをねらった方策を検討する。

Approaches for reduction of refueling outage duration

5 定検短縮の具体的な対策

当社が開発し，提案を行っている定検短縮に寄与する新たな設備や機器装置，あるいは管理ツールの主なものを以下に紹介する。

5.1 改良型原子炉圧力容器蓋用のスタッドボルトテンシヨナ装置

原子炉開放・復旧作業のうち，圧力容器の蓋(ふた)の取外し，取付けに使用するスタッドボルトテンシヨナ装置をボルトの心出し位置決めまでは自動化せずに，作業する人の動きに合わせた効率の良い自動化の改良を図り，ボルトの緩めや締め付けを従来より数時間以上も短縮した。また，現在の装置では4本のボルトしか同時作業ができない。そのため，最近では欧州で使用されている全数のボルトの同時作業が可能なるフルマルチスタッドテンシヨナの応用の検討も行っており，さらなる省力化を目指している。

5.2 燃料交換機の高速度化

燃料交換機はすでに全自動化されているが燃料の取扱い時間はクリティカルパスとなっているので，さらに高速化を図ると直接工程短縮に結びつき，効果が大きい。

これまでの交換機の制御系の見直しを図り，より効率的に高速化するようなソフトウェアの変更を行い，時間短縮を実施した。

例えば，燃料をつかむマストの継目部の段差速度を速くしたり，マストの振れ待ち時間の削減などの交換機の動きを効率化させて，従来よりも約30%のスピードアップを達成している。なお，将来は交換機本体の改良も検討して，走行速度の高速化や二本マストの運用方式を開発する予定である。

5.3 炉心監視装置

原子炉の心臓部である炉心の状態を燃料取替時にもつねに把握しておくことが安全確保のためには重要である。炉心監視装置は，炉心の情報，例えば燃料装荷の状態や核反応を制御する制御棒とそれを作動させる駆動機構の位置状態および出力を検出する核計装モニタの指示値の状況などを，燃料の取扱い移動作業時に一元的に監視する機能をもっているため作業の安全性を容易に確認できる。

また，臨界防止のための燃料交換機の稼働範囲制限インタロック機能とも連携できるので，制御棒駆動機構の点検対象位置も間違えずに実施できる。さらに，炉心の単位セルごとの監視を行う機能も付加できるので燃料が取り出されたセルのマスキングを行い，その部分の未臨界を確保しながら定検時の最小本数の燃料取出しが可能となり，燃料取扱い時間が削減できる。この装置の導入により約3日の短縮が可能となった。

図6に炉心監視装置による炉心の状態を示す。

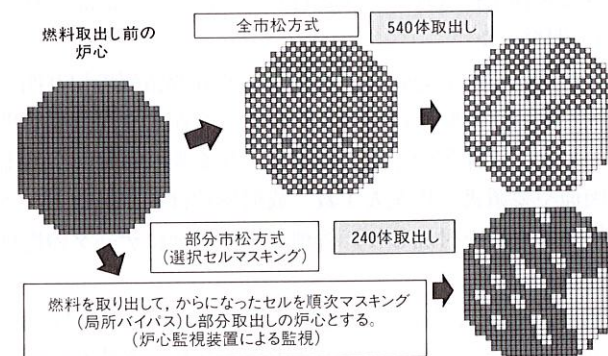


図6. 炉心監視装置による燃料取出しの削減 原子炉の炉心の安全性を確保しながら，燃料の取扱いやその関連作業を効率的に行う。

Refueling core status monitoring system

5.4 タービンオイルフラッシング装置の改良

タービン系の潤滑油系統や機器のオイルフラッシングは

タービン工程のクリティカルパスであり、従来はすべての車室が復旧しないとフラッシングができなかったが、軸受部にフラッシングノズルを設けて、個々の軸受でも選択集中して行える切換え装置などを追加設置することで、工程は今までよりも約1/3に短縮が可能となった。これは、開放点検しないタービン車室の軸受部のフラッシングも事前に行えるので短縮の効果も大である。

図7に、タービンオイルフラッシングの新方式の概要を示す。

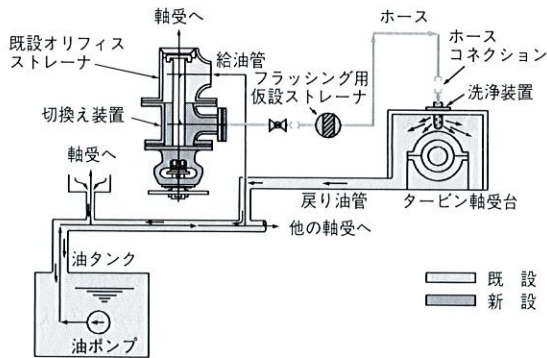


図7. 主タービンオイルフラッシングの改良 軸受部にそれぞれフラッシングノズルや切換え装置などを設けて、短時間に効率良くオイルフラッシングができる。

Improvement of turbine oil flushing

5.5 定検工程管理システム

原子力発電所の定検は、点検対象の系統や設備機器が膨大であり、かつ複雑に関連しているので安全系統を確保しながら点検時期の調整などが不可欠であり、きめ細かな工程を立案し管理する負荷は大きい。当社はこれらの作業情報を早く、正確に、しかも進捗(ちよく)の変更にすぐ追従できる定検工程管理システム(以下、Artemis Sugar と称する)を開発した。

このArtemis Sugarは、各種工程や資源情報の相互関連状況を容易に、瞬時にシミュレーションができ、作業管理ツールとして作業の予定、進捗度、作業票許可状況、機器の図面や要領書、作業人工数、放射線被ばく状況など、各種作業の支援を付加して、管理者の階層別にデータの提供ができる。

また、電力会社からの定検工程短縮の委託でArtemis Sugarを使用し、60日定検の達成に寄与した実績もある。

(注1) WindowNTは、Microsoft社の商標。

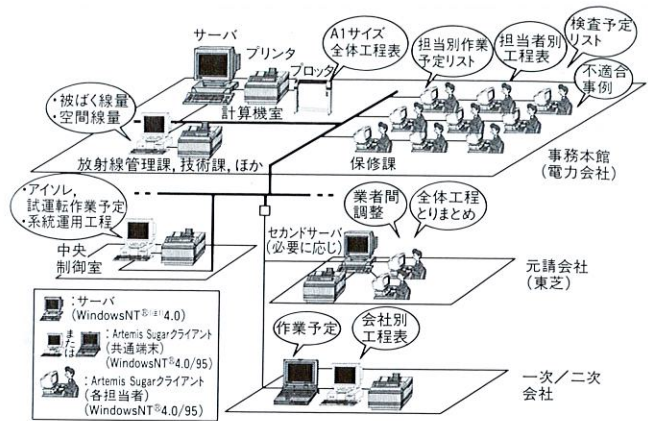


図8. Artemis Sugar システムの構成例 Artemis Sugar を用いて発電所の機能断層別にシステムを構成して、効率の良い管理を目指す。

Example of configuration of Artemis Sugar system

現在、使いやすいパソコン版のArtemis Sugarを使用し、作業管理のさらなる高度化を図るとともに、発電所定検作業全体の一元管理ツールとしてプロジェクト業務にも適した効率のよいシステムを目標として顧客に導入計画を提案している。

図8に今後のArtemis Sugarの構成検討案を示す。

6 あとがき

当社は、今後も原子力特有の安全性を確保しながら、無理なく工程の短縮が図れるように、主要工事にも参画し、定検全体を支援する各種の技術開発を推進し、原子力の稼働率向上と安定運転に貢献する所存である。

文献

- (1) 中山秀一, 他, 沸騰水型原子力発電所の保全への取組み, 東芝レビュー, 50, 11, 1995, p.807-810.



古澤 丈広 FURUSAWA Takehiro

磯子エンジニアリングセンター 原子力フィールド技術グループ長。原子力発電所の定期検査の計画、施工管理業務に従事。

Isogo Nuclear Engineering Center



淵野 聡志 FUCHINO Satoshi

磯子エンジニアリングセンター 原子力フィールド技術部 参事。

原子力発電所の定期検査の計画、施工管理業務に従事。

Isogo Nuclear Engineering Center