

# アーカンソー原子力発電所燃料取替停止に関する 調査および考察

## Study of Arkansas Nuclear One-1 13th Refueling Outage

橋場 隆 (Takashi Hashiba)\*

**要約** 近年、米国内原子力発電所の運転実績は著しく改善されている。プラント自動停止率はまだ日本に及ばないが急速に低下しており、設備利用率はここ1,2年間では日本の実績を上回るまでに向上している。これは運転期間の延長および燃料取替停止期間の短縮が図られた結果である。

しかし、燃料取替停止は日本のプラントにおいては保守の根幹をなす定期検査に相当するものであり、燃料取替停止期間の短縮とプラント信頼性の向上を両立させることは相当に困難なことであったと予想される。

これらが達成された方法、要因を学ぶため、米国原子力規制委員会からその運転実績について全米トップクラスの評価を受けているアーカンソー第一原子力発電所1号機(ANO-1)を訪問し、その第13回燃料取替停止の実施状況について調査を実施した。ANO-1の成功の主要因は、的確な予防保全プログラムに立脚した実績性能ベース保守およびプラント運転中保守の実施と、各種オンラインシステムの導入に代表される効率化、無駄の徹底排除の飽くなき追求にある。そしてその背後には近年の発電原価を巡る厳しい競争が横たわっている。

**キーワード** 工程管理センタ, 全体工程会議, 実績ベース保守, プラント運転中保守, 予防保全プログラム, 予防保全エンジニアリング評価, オンラインシステム, 原子力プラント信頼性データシステム, ベンチマーク, 停止時運転保護計画

**Abstract** Recently performance of nuclear power plants in the USA has improved remarkably. Their average automatic shutdown rate has been sharply dropping, although it is still higher than that in Japan, and their average capacity factor has become higher than that in Japan in recent years. One of the main contributors is an extension of the operational period, and another is a shortening of refueling-outage time. It is considerably difficult to have accomplished both the improvement of plant reliability and shortening of refueling-outage time because their refueling outage corresponds to our periodical inspection which is central to maintenance activities in Japanese plants.

In order to learn how they have been achieved, a visit to Arkansas Nuclear One -1 (ANO-1) which obtained the top-class result of SALP(Systematic Assessment of Licensee Performance) performed by the Nuclear Regulatory Commission was planned and study of their 13th refueling outage was carried out. Their achievements result from performance-base maintenance and on-line maintenance, based on a proper preventive maintenance program, and untiring efforts of efficiency improvement, represented by the introduction of several on-line systems. And the reason behind this is severe competition concerning power generation cost reduction.

**Keywords** outage control center, overall coordinator meeting, performance-base maintenance, on-line maintenance, preventive maintenance program, preventive maintenance engineering evaluation, on-line system, nuclear plant reliability data system, bench mark, shutdown operations protection plan

\* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所  
現 関西電力(株)姫路支店 高砂発電所

## 1.まえがき

1996年9月14日から10月23日にかけて39日間で実施された米国アーカンソー第一原子力発電所（以下ANO（Arkansas Nuclear One）と略す）1号機の、第13回燃料取替停止（以下（1R13）の要領で略す）の実態調査を行った。調査対象にANOを選定した理由は次のとおりである。

（1）ANOは、プラントの運転管理がプラント所有会社であるアーカンソー電力（以下APL（Arkansas Power and Light Co.）と略す）から、1990年に運転専門会社であるエンタジーオペレーション（以下EOI（Entergy Operation Inc.）と略す）に引き継がれた以降、大変優れた運転実績をあげており、近年の米国原子力規制委員会（以下NRC（Nuclear Regulatory commission）と略す）の実績評価（Systematic Assessment of Licensee Performance）でも全米トップクラスの評価を受けている。

（2）EOIは加圧水型原子炉のプラント以外に沸騰水型原子炉のプラントも運転しており、それらから得られた多様な経験をANO 1号機（以下1号機はANO-1、2号機はANO-2と略す）の燃料取替停止を通じて得られる可能性がある。

本報告の後半にこの調査に基づき、日本の原子力発電所の運用管理に反映できると考えられるものを幾つかあげた。しかし、燃料取替停止と一言でいっても、実際には各発電所でやり方、考え方が色々異なるのが米国の原子力発電所である。従って、あくまでもANOとの比較において考えられる限られた

改善点であるものの、少しなりとも原子力発電所の運営にご苦労されておられる方々の参考となれば幸いである。

## 2.アーカンソー原子力発電所の概要

### 2.1 プラントの概要

ANOはアーカンソー州の西側に位置し、ミシシッピ川の支流であるアーカンソー川のダムによってできた人造湖ダーダネル（Dardanell）湖に面している。元々はAPLが所有し運転もしていたが、1990年にEOIに運転が引き継がれ現在に至っている。ANOには2つのプラントがあり、1、2号機の主機メーカーが全て異なる構成となっている。表2.1にEOIの運転プラントを、表2.2にANO-1の主な仕様を示す。

### 2.2 発電所組織の概要

運転中のANOの運営はEOI職員と若干の常駐協力会社職員によって実施されており、APLの職員は発電所にはいない。図2.1にANO全体とANO-1の通常組織を示す。EOIはプラントの運転はもとより、設計、施工および各種保守作業のほとんど全てを自社職員によって実施することを目指しており、高度な水準のエンジニアおよび技能者を発電所内に確保している。

発電所運営に関わる事務的業務部門や、プラントの改造、安全解析およびNRC対応等の技術部門は、発電所全体の横断的組織であるが、運転・保守の実施および管理組織であるProject Outage, Operations, MaintenanceおよびSystem Engineering

表 2.1 EOI 運転プラント

プラント名	炉型	出力(MWe)	運転開始日	所有者	所在地(State)
Arkansas Nuclear One-1	PWR(B&W)	883	1974.12.19	Akansas Power and Light Co.	Arkansas
Arkansas Nuclear One-2	PWR(CE)	912	1980.03.26	Akansas Power and Light Co.	Arkansas
Grand Gulf-1	BWR(GE)	1,306	1985.07.01	Mississippi Power and Light Co.	Mississippi
River Bend-1	BWR(GE)	1,001	1986.06.16	Gulf State Utilities Co.	Louisiana
Waterford-3	PWR(CE)	1,153	1985.09.24	Louisiana Power and Light Co.	Louisiana

B&W:Babcock and Wilcox Co. CE:Combustion Engineering, Inc. GE:General Electric Co.

表 2.2 ANO プラント仕様

項目	1号機	2号機
炉型	PWR	PWR
電気出力[ MWe ] gross/net	883/836	897/858
熱出力[ MWt ]	2,568	2,815
装荷ウラン[tU]	82	73.4
燃料集合体数	177	177
燃料取替周期[ ヶ月 ]	18	24
ループ数	2	2
冷却材ポンプ数[ /ループ ]	2	2
炉心出口圧力[ kg/cm <sup>2</sup> g ]	153.9	157.4
蒸気発生器伝熱管	貴流型	U字型
蒸気発生器数	2	2
蒸気タービンメーカー	WH	GE

WH:Westinghouse Electric Corp.

のセクションはユニット毎に Plant Manager の下に設置されている。

EOI 職員の総数は約 1,240 名、常駐協力会社職員は約 160 名である。しかし、常駐協力会社職員のうち約 100 名が警備員、約 30 名が清掃職員や火災監視員であり、運転中作業のほとんどは EOI 職員によって実施されている。ANO の職員数は、設備の改良工事および NRC の規制強化により、1980 年半ばには一時は約 2,300 人にも膨れ上っていた。しかし、その後の職員の離職、解雇等によるダウンサイジングにより、職員数は現状でほぼ当時の半分まで減ってきている。

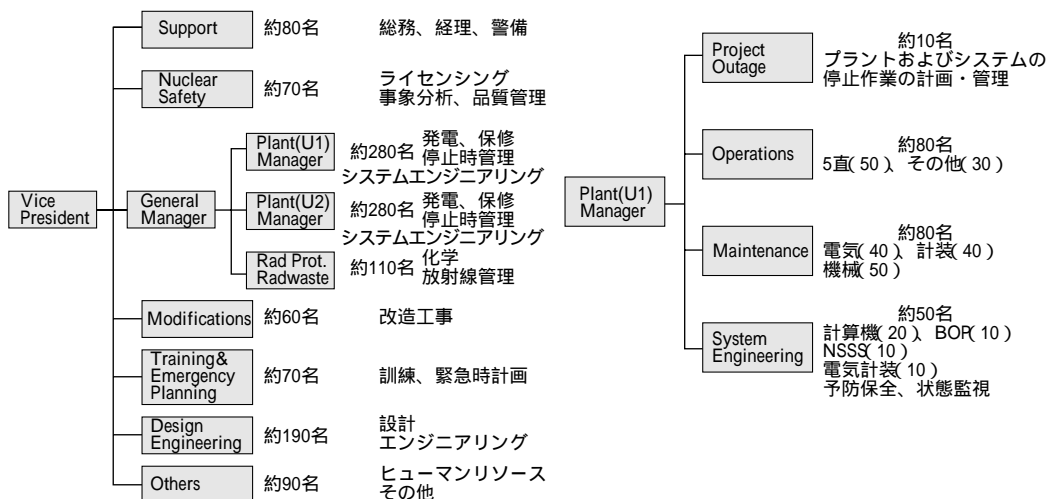


図 2.1 ANO の通常組織

表 2.3 ANO-1 燃料取替停止実績

	1 R 1 0	1 R 1 1	1 R 1 2	1 R 1 3
所要時間(日)	116 7	107 8	97 9	70
主要作業	<ul style="list-style-type: none"> <li>サービス水系配管取替</li> <li>100% SGECT &amp; スリーブ &amp; プラグ</li> <li>冷却材ポンプ修理 (起動時トラブル)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SGECT ( 抜取 ) &amp; スリーブ &amp; プラグ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>10年のRV-ISI (全燃料取出)</li> <li>SGECT( 抜取 ) &amp; プラグ &amp; プラグ修理 &amp; リロール</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>25( 計画 )</li> <li>39</li> <li>高圧給水加熱器取替</li> <li>100% SGECT &amp; プラグ修理 &amp; リロール</li> </ul>
改善事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>停止時リスク管理に SOPP 導入</li> <li>主蒸気安全弁試験を運転中(停止前日)に実施</li> <li>被曝伝送システム導入</li> <li>RV,S/G関係作業に一括契約方式導入</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業トレン分離導入</li> <li>炉内シャフリング</li> <li>SOPP管理にORAMソフト導入</li> <li>各直毎ミーティング実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各直毎に工程更新 (ORAMも更新)</li> <li>請負作業直営化プログラム( SG ノズル蓋等 ) 導入</li> <li>ブラックアウト DG 設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>主要作業のビデオモニタ</li> <li>オンラインメンテナンス</li> <li>マストシッピング</li> </ul>

■ 所要時間(日)

## 2.3 ANO-1の最近の実績

APLが運転を担当していた時代におけるANO-1の燃料取替停止の実績は、所要期間が100日前後と決して優れたものではなかった。しかし、EOIに運転を引継いだ1R10以降急速に改善され、表2.3に示すように、1993年の1R11では所要期間で42日となり、10年毎の原子炉容器供用期間中検査を実施した1R12でも46日、今回の1R13では所要期間で39日の記録を達成している。

表2.3の改善事項欄からわかるように、この過程において、設備に対して特別の対策は実施されていない。改善事項の多くは作業方法や運用方法の改良および工夫に関するものである。前回の燃料取替停止で得られた教訓に基づく改良および工夫を着実に次回燃料取替停止に反映すること並びに職員の意識改革によって、この改善が成し遂げられている。

## 3.調査の概要

### 3.1 第13回燃料取替停止の計画と実績

1R13の計画工程を図3.1に示す。所要期間は1996年9月17日から10月12日までの25日間で、

大規模な特別工事として高圧給水加熱器取替が計画されている。表2.3に示すように、それまでのANO-1の最短記録は1R11の42日である。1R11と今回の1R13の間で所要期間に関係する最も大きな相違は、第5章で後述するプラント運転中保守の実施の有無にある。

実績工程は、9月12日に2台の原子炉冷却材ポンプ停止によってプラント自動停止が発生し開始日が9月14日(土)に繰り上げられたこと、損傷燃料集合体の発見による修理(Reconstitution:4体, Recaging:2体)、原子炉冷却系統昇温開始前の主蒸気大気放出弁トラブルおよび原子炉冷却系統昇温中の格納容器内でのボヤ発生によって遅延し、最終的に発電を再開したのは開始から39日目の10月23日(水)であった。

### 3.2 調査の概要

現地訪問調査は9月9日から10月16日までの40日間実施した。調査方法は主として関係EOI職員にこちらの関心事を質問するインタビュー形式をとった。工程が予想外に遅延したことから発電再開までの調査は実施できなかったが、主要事項の調査には十分な期間であった。

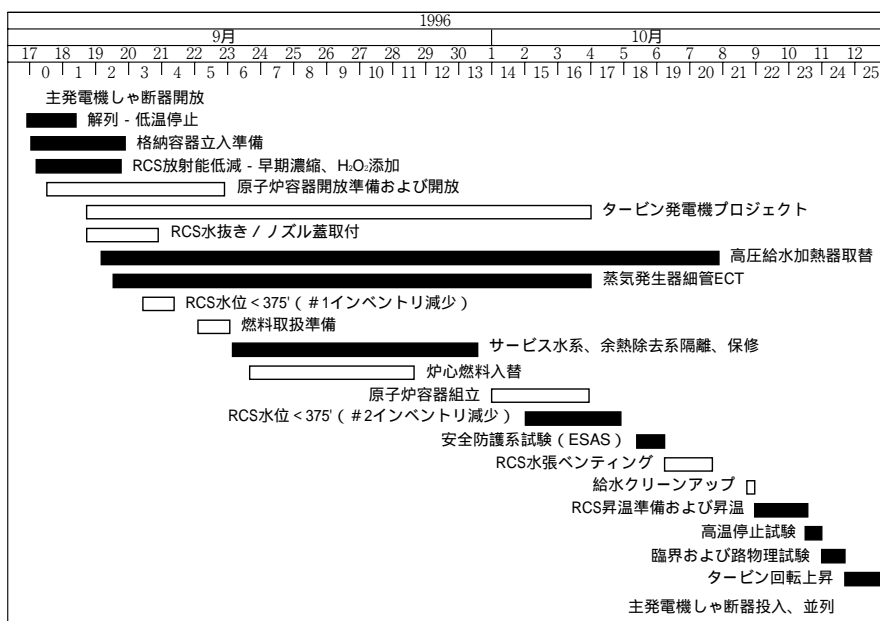


図3.1 第13回燃料取替停止計画工程

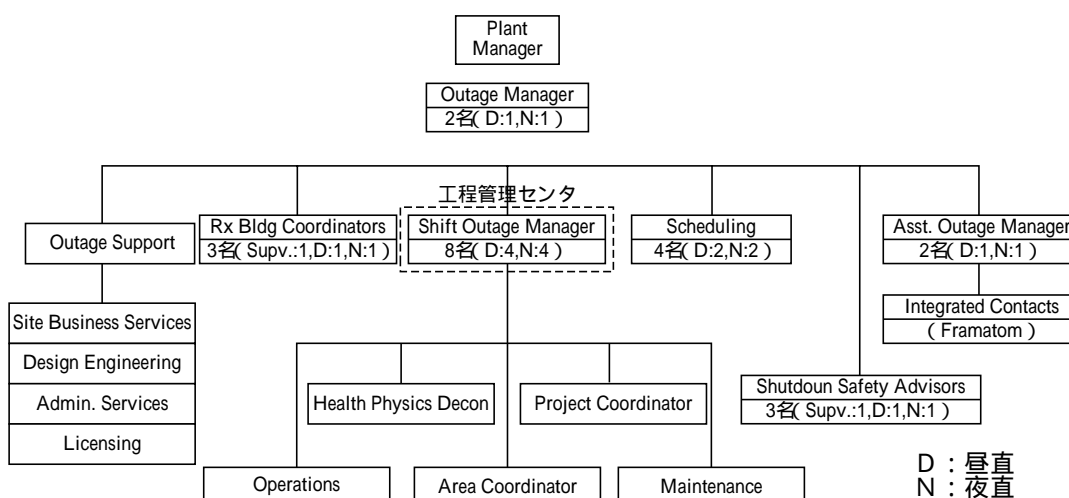


図4.1 燃料取替停止中のANO-1の作業体制

## 4. 調査結果

### 4.1 実施体制

図4.1に1R13におけるANOの実施体制を示す。Outage Managerの管理下に入った各組織は運転員も含め12時間/直(06:30～18:30, 18:30～06:30がベース)の2班2交替勤務体制となる。

燃料取替停止期間中の一時的な工程管理組織としてOutage Control Center(以下「工程管理センタ」と呼ぶ)が設置され、そこで常時4名のShift Outage Managers(以下「SOMs」と略す)によって全体工程の調整と管理が実施される。工程管理センタは直交替毎(06:30と18:30)に全体工程会議を開催し、そこで全体状況の関係者への周知、連絡を実施する。SOMsにはプラントの運用に関する十分な知識を有しかつ信頼される人物であることが必要であるため、Senior Reactor Operator(以下SROと略す)の資格を持つ職員が当てられる。

コスト削減のため直接的な現場作業を持たないDesign EngineeringおよびTraining & Emergency Planning等から現業部門へ応援者が派遣される。また、運転期間延長と燃料取替停止期間短縮による雇用機会の減少によって優秀な請負作業員を安定して確保することが困難になりつつあることから、EOI翼下の発電所の自社技能者を活用する仕組みが1R12から運用されており、他発電所から派遣されたEOI技能者も関連部門の指揮下に入る。

請負作業量は燃料取替停止毎に削減され(1990年頃で約2千人/燃料取替停止)、1R13では全作業の20%程度、約30社で700人程度まで削減されている。主として原子炉、蒸気発生器および蒸気タービン関連作業が請負で実施されているが、これらについても徐々にEOI職員が直接実施する方向への転換が図られている。

また、24時間作業体制であることから、その活動を支える資材倉庫、資料室および食堂等のサポート施設の運営も24時間体制またはそれに準じた体制がとられる。

### 4.2 工程管理

#### 4.2.1 燃料取替停止計画の策定

燃料取替停止の計画策定は、Project Outageが中心となって前回燃料取替停止の終了と同時に開始される。Project Outageは燃料取替停止のみならず、その他の計画停止および計画外停止、更にはプラントの運転中に実施される各種保守作業の計画およびスケジューリングに関しても責任を有している。基本的メンバーは、工程管理システムを使用して実際に工程を組み立てるOutage Coordinators(以下「スケジューラー」と呼ぶ)4名と、電気、機械及計装部門からの出身者で主として個別の作業スケジュールについて検討を行うDaily Schedulers(以下「熟練スケジューラー」と呼ぶ)3名で構成されている。



工程管理システムには「Primavera Project Planner」という名の市販の計算機ソフトが使用される。次期燃料取替停止工程を策定する上でベースとなるのは、工程管理システムに保存されている毎燃料取替停止で実施するアクティビティを含んだバックボーン工程と、向こう10余年間の主要作業予定を定めた長期計画である。バックボーン工程に次期停止に必要な作業を追加することによって次期燃料取替停止工程が作られる。計画策定方針を明確にするため「Pre-Outage Milestone Schedule」と呼ばれる工程策定作業の管理資料がOutageで準備され関係部門に通知される。これには、長期計画に基づく作業項目、燃料取替停止に必要な作業規制要件およびコミットメント並びに管理上必要な事項等が盛り込まれており、関係部門での検討の後順次計画工程に反映される。最終工程（案）は次期燃料取替開始約1カ月前頃までに作られ、最後に工程策定に直接関係しない関係者による独立の安全レビューを受けて最終工程が決定される。これらの一連の流れの概要を図4.2に示す。

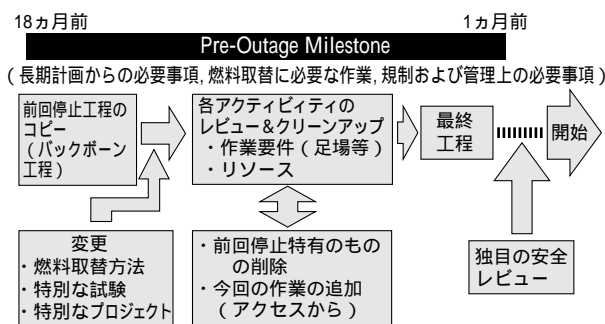


図4.2 燃料取替停止工程策定の流れ

保守作業範囲の検討と工程の検討は同時進行の作業である。作業範囲は作業効率確保の観点から厳しく制限される。燃料取替停止時に実施される作業は、燃料取替に伴う定例作業 (Refueling Repetitive Task), 予防保全 (Preventive Maintenance), 事後保全 (Corrective Maintenance), 改造工事 (Modifications), 定期試験 (Surveillance Test) の五つに分類でき、これらの作業範囲、優先度、準備要件および相互の影響、マンパワーや資機材、実施条件を考慮して、総合的な工程が策定される。

工程策定上の基本方針は次のとおりである。

- (1) 予定通り終了することを前提とする。但し、緊急時計画が必要なものについては準備を行い、必要となればその時点で追加する。
- (2) より高い目標に向かって挑戦するものであるが、しかし達成可能なものであること。
- (3) 各システムの作業可能期間はクリティカル工程の範囲内で最大限とする。
- (4) 作業項目は停止作業準備および実施の両方の局面において必要となる情報や場所に応じてコード化する。
- (5) マンパワーや資機材なども、その利用可能性をチェックするため工程に含める。
- (6) 重要な保守後および改造後試験、系統復旧作業なども明確に工程に含める。

こうしてでき上がった基本工程をもとにマンパワーや資機材を集約し、可能な限り平準化する。作業量の過度の増加防止のため必要と考えられる場合は、スケジューラの判断で作業が次回燃料取替停止から次々回燃料取替停止へ振り替えられることもある。そして関係者のニーズに合わせて各種出力様式の工程表等を作成し、作業関係者等によって再検討される。これは請負業者も含めた所外関係者に対しても行われる。最終的な工程に含まれるアクティビティ数は3,500～4,000である。

#### 4.2.2 燃料取替停止作業中の工程管理

停止作業期間中の工程管理は、常時4人のSOMsが詰めている工程管理センタが中心になって進められる。工程変更等の主要事項も、日本における官庁検査のような制約がないため当直のSOMsによって直ちに決定される。

燃料取替停止期間中、各作業担当部門からの報告に基づき Project Outage において1日に2回 (1回/直) 工程が更新される。工程管理システムの更新に必要なデータは、アクティビティの開始時刻、終了時刻または残り期間若しくは進捗割合である。2班体制 (2名/班) のスケジューラーが各部門からの報告に基づき実績データを入力 (約100件/直) して工程を更新し、次の項目について追跡、分析を行う。

- (1) クリティカルパスおよびサブクリティカルパス

のアクティビティ（向こう3日間分の更新工程）

- (2) 工程の評価
- (3) 作業中または作業完了 / 未着手の系統
- (4) 主要系統の最新作業進捗状況および / または問題点
- (5) 主要調整事項および引継要件
- (6) 残作業に対する残りマンパワー（少なくとも1回 / 週）

SOMsはこれらの結果に基づき、各直の開始時（06:30と18:30）に総勢40人前後のコーディネーターが出席する全体工程会議を開催し、関係者に進捗状況等を周知、連絡する。新しい作業が発生した場合、その作業を優先するかどうかもちちに当直のSOMsによって決定され、必要な場合直ちに現行工程への追加を開始し、全体工程会議において周知徹底がなされる。これらの一連の流れの概要を図4.3に示す。

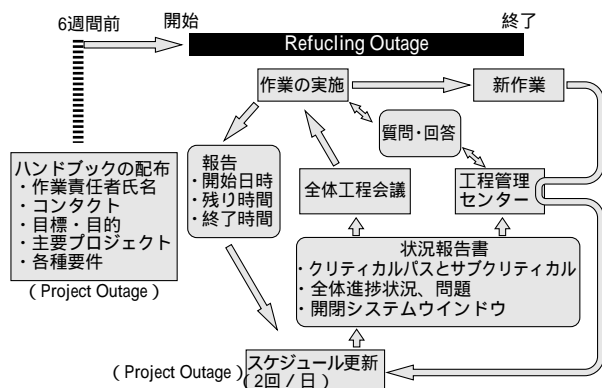


図4.3 燃料取替停止中工程管理の流れ

工程管理センタは、タービン建屋と事務所ビル間の連絡通路に面したタービン建屋内の一角に設置されていて、連絡通路側は現場を行き来する作業員と容易にコミュニケーションがとれるようにカウンターになっている。関係者は工程管理センタと直接コンタクトすることによって、いつでも最新状況が確認でき、必要な資料を入手したり指示を仰いだりすることが可能である。工程管理センタ内には、現場の主要作業の実施状況を直接監視する4台のモニタTVが設置されていて、19個の現場監視カメラを切り換えてオンラインで格納容器内やタービンデッキでの作業状況を確認できる。

### 4.2.3 燃料取替停止終了後の活動

燃料取替停止終了後、成し遂げられた作業および得られた教訓を記録に留め、燃料取替停止での経験を確実に関係者に伝達するため、詳細な燃料取替停止完了報告書が作成される。また得られた教訓は各部門の熟練者の代表からなる評価チーム（Outage Scope Assessment Team）によって重要性等の評価がなされ、関連部門において反映が検討される。

### 4.2.4 プラント運転中の日常保守作業

4.2.1項の冒頭に述べたように、サーベランス試験、予防保全および修理等の日常的な保守作業もProject Outageによって管理されており、運転部門からProject Outageへの派遣職員との協力のもとに熟練スケジューラーが中心となってこの業務を遂行している。図4.4に日常保守作業の処理の流れを示す。

保守部門や運転部門から提出される作業依頼は、SIMS（Site Information Management System）と呼ばれるシステムに登録され、運転部門からの派遣職員によってTechnical Specification（以下Tech-Specと略す）に対するレビューおよび優先度の選択等が



図4.4 日常保守作業の処理の流れ

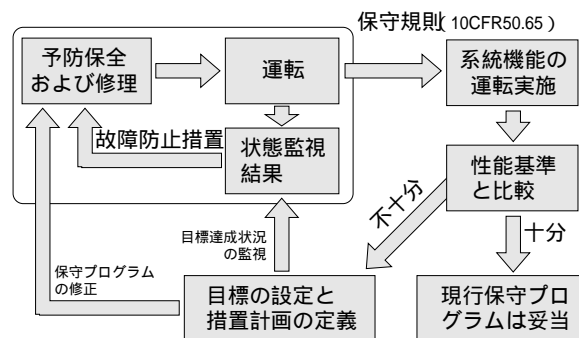


図4.5 保守規則による保守プログラムの見直し

なされる。続いて保守計画部門にて作業手順等が検討され、熟練スケジューラーの調整を経て作業担当部門にて実施に移される。調整に当たって熟練スケジューラーは四半期サイクルで定例作業時期を定め、定例作業基本工程に基づき各種作業の優先順位を調整し、サーベランス試験、予防保全および修理等の実施時期を最終的に設定する。

### 4.3 保守管理

ANOで実施されているプラント保守管理方法は、実績性能ベース保守（Performance-Base Maintenance）と呼ぶことができる。即ち、運転状態を監視すると共に定期的に予防保全作業を行い、異常兆候が発見されれば修理するものである。但し、ここでいう予防保全とは、機器を良好な状態に維持し修理を要する状態を検知する作業である。分解点検は他に状態を監視する方法がない場合や一部の例外機器を除いて原則として定期的実施されず、異常兆候が認められた場合に事後保全の一環として実施される。

図4.5にNRCの保守規則（1996.7.10発効）に示された考え方の一部を示す。この図の左上の枠に囲まれた部分が現在の米国の一般的な保守方法、即ち実績性能ベース保守を示している。保守規則は現在行われている保守の有効性を確認するため、キーSSC（Structures, Systems, or Components）について、所定の機能が十分に発揮できるように維持されているか、その有効性を監視し、もし不十分なら適

切な措置を採ることを要求したものである。冷却材圧力バウンダリの健全性、原子炉停止機能、停止状態維持機能および事故緩和機能等に関連する機器等がキーSSCに該当する。

#### 4.3.1 予防保全プログラム

実績性能ベース保守が的確に機能するには、予防保全プログラムの確立と異常兆候を的確に発見できる予知技術の保有が必須となる。ANOの予防保全プログラムは、プラント機器およびシステムの保守作業に必要な手順および準備事項を含む予め計画された定例タスクからなる。それぞれ個別の頻度を持つこれらの定例タスクを実施することによって機器寿命は延長され、故障可能性は最小にされる。

定例タスクには、定期的な検査、試験、較正、測定/調整、清掃、サンプリング/分析、給油および消耗品取替が含まれる。また、システムおよび機器の故障防止のために実施される計画的保守作業も含まれる。定例タスクおよびその頻度は、メーカーおよびオーナーズグループの推奨事項、産業界での経験、ANOからNRCへのコミットメント、並びに機器履歴を評価する予防保全エンジニアリング評価によって定義される。なお、実施時期は可能な限りプラント運転中とされる。余熱除去ポンプのメーカー推奨事項の一部に関する予防保全エンジニアリング評価の例を図4.6に示す。

#### 4.3.2 不具合予知技術

ANOで取り入れられている不具合予知保全は、電力研究所（以下EPRI（Electric Power Research Institute）と略す）から出されているプログラムを参考にして進められている。2号機側の組織に所属しているシステムエンジニア部門（両ユニットを所管）が中心となって、例えば、回転機器振動、潤滑油劣化診断、配管振動、ケーブル特性（劣化）診断、サーモグラフィ等の項目についてデータが収集されている。これらの作業は予防保全作業として定期的に実施される。得られたデータは関係システムエンジニア等によってデータベース化され、解析、評価されている。

メーカー推奨		ANO 予防保全プログラム	
チェック項目	期間	ANOの評価	結果
軸受温度	1ヵ月	定期試験時プラントコンピュータでモニタされる	不要
軸受およびウエルのフラッシュ	3 or 6ヵ月	メーカー推奨は連続運転前提、実際は定期試験時とプラント停止時のみ、よって延長可能。作業には分解点検要、よって油分析プログラムの結果必要とされた時CMとして実施。	2R
メカシール	半年	異常があれば定期試験時発見可能	不要
回転部品	1年	定期的な分解検査は故障の可能性を増加させ実質的なメリットなし。振動、軸受温度、ポンプ出口圧力、流量監視結果必要と判断された時たときCMとして実施。	2R

2R：燃料取替停止2回毎

図 4.6 予防保全エンジニアリング評価(例)



### 4.3.3 プラント運転中保守

NRCの保守規則はもう一方で、"保守プロセス検討に当たっては保守に伴うリスクを総合的に考慮する"ことを要求している。即ち確率論的安全評価の考え方にに基づき、出力運転中および停止中のリスクを総合的に評価し、保守方法および保守時期等を決定することを求めている。

ANO-1ではこの考え方にに基づきNRCの承認の元に、Tech-Specに認められた安全系機器の許容停止期間を積極的に活用したプラント運転中保守（Online Maintenance）が、昨年（1995年）の春、即ち1R13の前の運転サイクルから実施されている。プラント運転中保守によって燃料取替停止中の作業量削減を図ると共に、優秀な作業者を一年を通じて有効活用することによる作業品質の向上と作業量の平準化が図られている。非常用ディーゼル発電機についても「全停用ディーゼル発電機」と呼ばれる予備発電機を増設した上でプラント運転中保守が実施されている。

プラント運転中保守作業は特定系統の一部を供用除外とすることからシステム停止作業と呼ばれており、4.2.4項に示した日常保守作業の一環としてProject Outageで計画、管理され、定例作業基本工工程にとり込まれる。この際、運転中リスクの増加を最小限にするため、当該機器のサーベランス試験時期と一致させたり、可能な限り多くの作業を同時に行うよう調整される。1回のシステム停止期間は、Tech-Specで認められたシステム停止許容期間の25%以内で終了することを目標に、長くても50%以内に納まるよう計画される。また、不測の事態の発生に備えて予め緊急時計画が作成される。1R13の前の運転サイクルに実施されたシステム停止作業は約40回に及んでいる。これによって1R13の計画日数は1R12の実績日数46日間から25日間にまで短縮されている。作業内容が同一でないため単純な比較はできないが、プラント運転中保守が期間短縮の主要因の一つである。

## 4.4 情報処理

### 4.4.1 所内情報

発電所内機器の故障傾向の把握には4.2.4項で触

れたSIMSと呼ばれる作業依頼等を管理するシステムに登録されたデータが使用される。登録されたデータがシステムエンジニアによって機器毎に追跡、評価され、その結果が機器故障傾向報告書として定期的にとりまとめられ、関係部門において対策等が検討される。

プラントの安全性および信頼性確保に重要な機器の故障実績等の収集のため、原子力プラント信頼性データシステム（NPRDS：Nuclear Plant Reliability Data System）が原子力発電運転協会（以下INPO（Institute of Nuclear Power Operations）と略す）にて構築されており、予め選定された機器が正常に作動しなかった時、所定様式に従ってこのシステムに入力される。NPRDSには各種アプリケーションが用意されており、それらを使用して、自プラントまたは同種プラント等で増加傾向にある故障の識別や機器信頼性の計算等が実施できる。また、予防保全プログラムの改良、修理計画の立案、運転継続の正当性評価および許認可関係作業の支援等に活用することができる。

予防保全作業等によって得られた各種エンジニアリングデータは、当該機器を担当するエンジニアによってデータベース化され、分析、評価される。ANO内は、マイクロソフト社のWindows-NTによるネットワークシステムが構築されており、このネットワークを介してこれらのデータが共有されている。

### 4.4.2 所外情報

所外の情報は産業界事象分析（以降IEA（Industry Events Analysis）と略す）と呼ばれるセクションが中心となって検討、処理している。情報入手先はINPO、NRCオーナーズグループ、プラントベンダーその他の原子力ネットワーク情報等であり、INPOの場合SEE-IN（Significant Event Evaluation and Information Network）と呼ばれるシステムから入手される。

EOIの各発電所間はイントラネットで結ばれており、本社および各発電所の各部門の情報を相互に見ることができる。また、NRCおよびINPOの情報は毎日IEAによってダウンロードされており、IEAのホームページから誰でも最新情報を見ることができる。

また、燃料取替停止実績を相互に交換しあうベンチマーク情報も、オーナーズグループが中心となってデータベース化されており、最新実績が自由に交換されている。

## 4.5 停止時運全管理

停止中の安全管理の指針として停止時運転保護計画が制定され、実際の運用管理は停止時リスクの評価・管理用ソフトウェアを利用して計算機で実施されている。

### 4.5.1 ANO-1 停止時運転保護計画

ANO-1の停止時運転保護計画（以下SOPP（Shutdown Operations Protection Plan）と略す）は、停止中のプラント状態を、燃料位置、燃料取替作業の有無、原子炉冷却系統（以下RCS（Reactor Coolant System）と略す）の状態およびRCS水位の4要素で次の7状態に分類している。

- 状態1：炉内燃料全取出状態
- 状態2：炉内燃料有り，燃料取替作業中でない，原子炉キャピティ満水
- 状態3：炉内燃料有り，燃料取替作業中，原子炉キャピティ満水
- 状態4：炉内燃料有り，RCS閉止状態，RCS水位原子炉頂部より上
- 状態5：炉内燃料有り，RCS開放状態，RCS水位原子炉頂部より上
- 状態6：炉内燃料有り，RCS閉止状態，RCS水位原子炉頂部以下
- 状態7：炉内燃料有り，RCS開放状態，RCS水位原子炉頂部以下

この7つの状態のそれぞれに次の5つの停止時安全機能に関する要求事項が定められている。

- 余熱除去
- インベントリ制御
- 電源制御
- 反応度制御
- 格納容器制御

### 4.5.2 停止時リスク評価・管理用ソフトウェア

実際の安全管理状況の確認は、ORAM-TIP

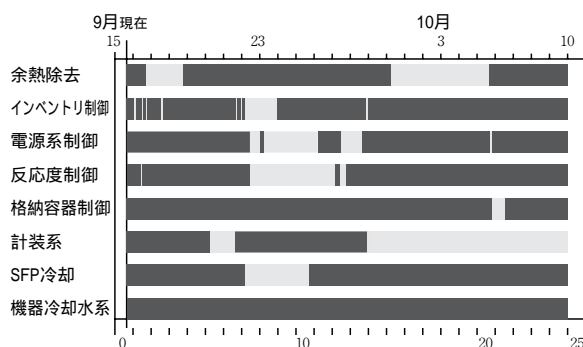


図4.7 ORAM-TIPの決定論的評価（例）

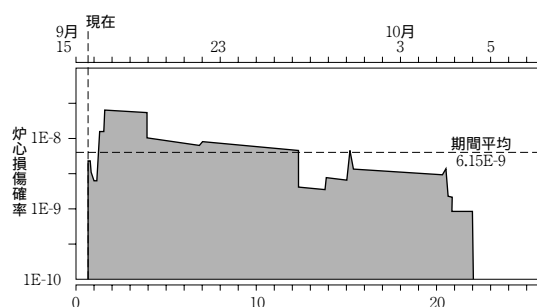


図4.8 ORAM-TIPの確率論的評価（例）

（Outage Risk Assessment Management - Technology Integration Package）と呼ばれる停止時リスク評価・管理用ソフトウェアパッケージが使用される。このパッケージはEPRIによって開発されたMS-WINDOWS環境のツールで、ANO-1用にカスタマイズされて使用されている。計算に必要なデータは工程管理システムから取り込まれる。

このパッケージによる評価は決定論的手法と確率論的手法の両方で行われる。図4.7に決定論的评价に対応する安全機能遵守状況の色別表示を示す。縦軸は5つの安全機能を細分化した8つの安全機能に、横軸は燃料取替停止の暦日または開始日からの延べ日数に対応しており、遵守状況は4つの水準に分類されて識別表示される。この識別表示の背後にある情報を画面上で追うことによって、プラント停止中の状態変化に応じた潜在的リスクおよび可能な措置を確認できる。図4.8に確率論的评价に対応する炉心損傷確率の推移表示例を示す。

燃料取替停止開始約1ヶ月前の独立の安全レビューに続いて、燃料取替停止期間中は停止時リスクア

ドバイザーによって連続体制でチェックされ、評価結果は全体工程会議に報告されると共に、所内のビデオ広報システムを使って表示される。

## 4.6 その他

### 4.6.1 1次系主要作業状況

原子炉容器の開放組立作業は4班2直体制で切れ目なく進められる。各班はEOI職員6名と請負会社社員6名の計12名の構成で、EOIの作業員はチームとしての能力の弾力性の観点から保修の機械、計装、電気、運転および放射線管理出身のメンバーで構成されている。彼らは燃料取替停止開始前にプラントメーカーの訓練施設での訓練も含めて、約3週間の集中的な教育および訓練を受けている。

原子炉容器上蓋の吊上げ・吊下ろしは原子炉キャビティ（ANOではチャンネルと呼ばれる）の水張・水抜きと同時に実施するのではなく、RCS水位が原子炉容器頂部付近にある状態で実施されていた。水位変化と連動していないためその間の作業所要時間は3時間程度と大変短い。また、上部炉心構造物（ANOではプレナムと呼ばれる）の吊上げ、吊下ろしも空中で短期間の内に実施されていた（プレナムについては水中作業とする場合もある）。当然、両作業とも放射線量率が増加するため作業員は最小限に制限され、作業員も極力直接放射線源に身を曝すことを避けて作業をしていた。また作業中の防護マスク着用の要否は単なるガスおよびダストレベルによる一律の管理ではなく、マスク着用有無による所用時間を評価して両者に総被曝線量を比較してより少ない方法が選定される。結果的に原子炉容器開放組立作業においてマスク着用は通常であれば全く不要となっている。

燃料取替（入替）の作業体制は、EOI社員が4名、請負会社社員が1名の構成となる以外は原子炉容器開放組立作業と同じである。EOIのSRO有資格者がチームリーダーで、トラブル時に備えて経験豊富な請負会社社員が1名含まれている。原子炉容器開放組立も燃料取替もいずれはEOI職員だけで実施することを目標としている。

### 4.6.2 放射線管理

ANOでの放射線管理は全てEOI職員によって実施される。保護服の着用基準は表面汚染によって決められており、表面汚染のない所は放射線管理区域でも通常の作業服で作業が実施できる。マスク着用の要否は前項で述べたように総合実効線量（Total Effective Dose Equivalent）を考慮して決定される。汚染区域に入る作業員は、管理区域に入る前にグリーンと呼ばれる緑色の上下一体の作業衣を事前に着用し、管理区域入室後、入口付近の部屋でグリーンの上に保護服一式を重ね着した上で汚染区域に入域する。また、退域の際は汚染区域出口で保護服を脱ぎ捨て管理区域出口へ向かう方式となっている。従って、管理区域外側の更衣施設が不要で、出入管理は入口と出口を完全に分離した一方通行方式となっている。これらの工夫等によって、管理区域入口付近での作業員の行列はほとんど見られなかった。

放射線作業を実施するには事前に放射線作業許可（RWP：Radiological Work Permit）が必要である。

作業員は、管理区域入口に備えられてあるRWPのコピーまたはコンピュータで必要な防護レベルおよび注意事項等を確認した後、管理区域エントリ装置にログインした上で入域する。管理区域に入るには被曝管理用のTLD（Thermo-luminescent Dosimeter）とEAD（Electronic Alarming Dosimeter）またはポケット線量計（Pocket Ion Chamber）を携帯する。

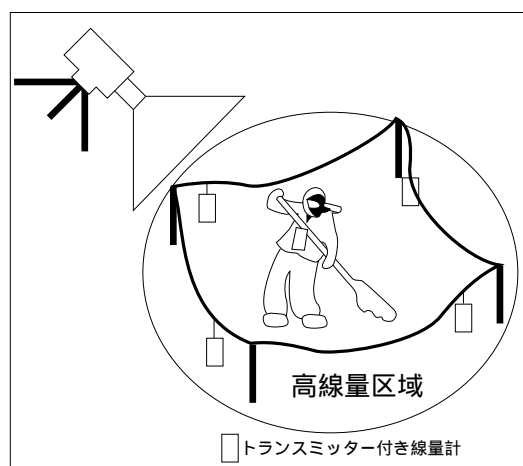


図4.9 被曝線量遠隔表示システム概念図

高放射線作業の監視には被曝線量等の遠隔表示システム（Remote radiation Tele-Dosimetry Detection）が使用されている。このシステムはANOの計算機支援グループが開発し今回から使用されたものである。このシステムは伝送器付き線量計を作業員が携帯すると共に作業環境に配置して、作業員および作業環境周辺の線量率、作業員の累積線量、警報設定値、ステータス（警報以上or未満）をオンラインで放射線管理室のCRTに表示するものである。このCRTの周辺には工程管理センタに表示されているのと同じ作業状況監視装置のTVモニタが12個配置されており、作業状況もオンラインで監視できる。また、作業員は無線通話ができるヘッドセットを付けており、累積被曝線量が警報値に達するとシステムからメッセージが自動的に流れる。図4.9にシステムの概念図を示す。

#### 4.6.3 燃料、炉心管理

ANO-1は18ヵ月の運転許可を取得したプラントである。炉心は177体の燃料で構成されており、今回停止では60体の燃料が取り替えられ、新炉心は新燃料：60体、1サイクル照射燃料：60体、2サイクル照射燃料：57体の構成になる。最近では燃料の取替は炉心内入替（シャフリング）によって実施される。

燃料の点検は前運転サイクル中における異常兆候の有無によって判断され、今回停止では原子炉冷却材よう素濃度の上昇が確認されていたことから、マスト SHIPPING 装置を使って燃料漏洩検査が実施された。その結果2体の燃料集合体で漏洩燃料棒が確認された。また漏洩燃料以外にグリッド損傷燃料が4体確認された。これら合計6体の燃料集合体は使用済燃料ピットで修理され最終的に全数再装荷された。

炉物理検査は、米国原子力学会の標準「reload startup physics tests for pressurized water reactors」に基づき実施されている。実施項目は日本と大差ないが最小停止余裕は計算による確認のみであり、零出力時の検査所用時間は12～16時間と半分程度である。

## 5. 調査結果の考察

ここでは、前章で示した調査結果の背景等を、実際の作業状況の見学およびANO職員とのインタビューを通して感じたこと、並びに日本の現状を対比させて補足、整理してみたい。

### 5.1 格段に少ない作業量

#### 5.1.1 作業量の管理

ANO-1の燃料取替停止で最も印象に残ったことは、作業量が非常に少ないということである。ANOでは作業効率、作業品質の観点から、ある特定現場での作業員数を制限することが大変重視されている。このため作業計画立案段階で、無駄の削減、時期の調整、やり方の工夫等によって、効率的に実施できる人数になるまで作業量を減らすことが検討される。これは燃料取替停止全体の管理に関しても同様である。全体の進捗状況を確実に把握し、不足の事態発生時にもプラントおよび人の安全を損なうことなく最適な工程をすみやかに検討し決定していくには、全体をいつも把握している組織とオンラインでの管理を可能とする仕組が必須であるが、まずその仕組が機能する作業量であることが必要である。このため燃料取替停止期間中の作業量は、工程管理に関して強力な権限を有するProject Outageで厳しく調整される。

#### 5.1.2 実績性能ベース保守

燃料取替停止中の作業量を合理的に圧縮するには、プラントの安全確保、信頼性確保に必要な作業を適切に峻別し、合理的な実施時期を定めた保守プログラムの存在が不可欠である。ANOの保守プログラムのベースとなる考え方は、前章に示した「実績性能ベース保守」と「プラント運転中保守」である。

実績性能ベース保守の対極の保守方法は、異常兆候がなくとも定期的に分解点検を行う保守と位置付けることができ、日本ではかなりの機器がプラント建設以来この方法で点検されている。しかし、この保守方法には次に示す問題点があり、運転実績の改善、機器信頼性の向上と共に、徐々により合理的な保守方法への転換が図られるべきものであった。



- (1) 分解点検が不要なもので分解するため定期検査に必要以上に大きな影響（費用増，作業量増，所要期間増，被曝線量増等）を及ぼす。
- (2) 作業過程でヒューマンエラーが入り込む機会を作ることになり，当該機器・設備の故障可能性を増加させる。
- (3) 機器故障の発生と関係なく分解点検をするため，満足な機器・設備の故障（信頼性）データが得られず，機器寿命や故障確率等の評価が困難。このためデータに基づく保守方法の評価が不十分なものとなり，保守方法改善のサイクルを回しにくい。
- (4) 規制の一環としてこの保守方法が行われると，被規制側独自の工夫が入り込む余地がほとんどないため，被規制側に保守方法の改善意欲が生じにくい。

第3番目の問題点の影響は深刻である。故障データは保守方法が適正かを示す最も有効な指標の一つである。故障データを満足に収集できないことは，現状の保守方法に対する有効な評価手段を持たないことに相当する。マクロ的には日本のプラントの信頼性は非常に高い。国際的に十分低い水準にある計画外停止率がそれを証明している。しかし，個々の機器の保守計画とその結果得られる機器信頼性間の関係が明確にわからない状況では，その保守計画を合理的に変更するは困難である。このような状況下で達成されている高信頼性は過剰保守によるものと考えるのが自然である。

### 5.1.3 プラント運転中保守

プラント運転中保守は安全性に関わる機器の一部を供用除外とする。安全系機器は多重化されているが，このためにはプラント全体の信頼性が十分な水準に維持されていることが必須である。安全性に関わる機器の一部を積極的に供用除外とすることは，日本の場合原子炉施設保安規定で認められていないため実施できない。しかし，もし可能ならばプラント自動停止率が低く，安全系機器が不測の事態で待機除外となった実績も大変少ない日本にこそふさわしい保守方法といえる。

けれどもこれを日本で実施するには，「社会が確

率論的安全評価の考え方にある合理精神を受け入れられること，またはこの考え方を受け入れるに十分な社会的合意があること」という条件を乗り越えることが必要になる。ANOでは，執務室や食堂等にある一般広報モニタで，燃料取替停止中の炉心損傷確率が，従業員の近況を示す一般情報と同じように流されている。発電所内に従業員以外の人がいることはほとんどないが，彼らは地元住民でもある。彼らはモニタの表示結果をその他の放送と同じように平然と受け入れていた。しかし，日本で同じ様な社会的合意が形成されているとはまだまだ言える状況にはない。

### 5.1.4 エンジニアリング

実績性能ベース保守もプラント運転中保守も，プラント機器，設備の状態を的確に把握するのに必要な監視技術の知識や，その結果を評価し適切な処置を決定する能力等を持つエンジニアによるエンジニアリング評価の上に実施する必要がある。そしてそのプログラムを維持改善していくにもエンジニアリング力が必要となる。ANOの場合これらは所内に保有されている。

エンジニアリングそのものは，それが適切かつタイムリーにそして低コストで実施される限り，電力会社自身が実施するか外部委託するかは問題にならない。しかし，新增設プラントの停滞によるビジネスチャンスの減少は委託先である日本のメーカーから，エンジニアをいつまでも社内に保有して体力を奪いつつあり，これらの前提条件が崩れつつある。

## 5.2 効率的な作業進行

### 5.2.1 弾力的な作業体制

作業効率改善の基本は無駄の排除と作業方法の工夫である。ANOでは連続体制を実質的な24時間体制とすると共に，作業そのものの効率化のため様々な努力がなされている。

勤務時間に注目すると，日本の場合，放射線作業は法律によって1日10時間以内（10時間規制と呼ばれる）に制限されている。このため，電力会社の連続勤務体制は一般的に，3直/日または1直内の放射線管理区域内労働時間を10時間に制限した2

直/日体制とされる。この勤務体制では、前者については頻繁な業務引継による無駄が、後者については自動的に十時間規制による空白時間が生じる。ANOには十時間規制はなく、職員の一日の基本労働時間が12時間である2直/日体制をとっている。この勤務時間は仕事の状況に応じて最高4時間まで延長できる。しかし、1週間当りの労働時間は72時間に制限されており、放射線防護の観点からは日本の十時間規制と同等である。従って、ANOの方が放射線防護上の効果を全く損なうことなく、仕事の進行状況に応じて弾力的運用ができるものとなっている。

作業体制についても原子炉容器開放組立作業に見られるように、作業効率化の観点から組織の枠にとられることなく各種技能者によるチーム編成を行う等の種々の工夫が行われている。

### 5.2.2 スムーズな出入管理

発電所構内には日米とも核物質防護区域および放射線管理区域と呼ばれる立入制限区域がある。日本の多くのプラントの場合、作業前後に必ずこの区域を出入りする設計であるため、始業時や休憩時毎にこれらの区域の出入管理場所で、ゲートの通過待ち、ロッカーでの放射線防護服への着替待ちの渋滞が発生する。しかし、ANOではそのような光景に全く出会わなかった。これは、作業員が入社時点で全員既に核物質防護区域に入る区域設定であること、4.6.2項に示す放射線区域入室上の工夫がしてあること、入社時間を各部門でずらしている（各職員が車通勤であることによる交通渋滞対策の面が強い）こと等が挙げられる。しかし、最も決定的な要因は、基本的に作業量が少ないことにあると考えられる。

### 5.2.3 迅速な意思決定

工程管理および調整は、SROの資格を持つベテラン4人が詰めている工程管理センターで24時間体制で実施され、不測の事態が発生してもここで迅速に意思決定が行われる。また、日本のように規制当局の立会検査等がないため、検査受検待ちなどは一切なく、前工程が短縮されれば、直ちに次の作業にとりかかれる。このような即応体制は、社として徹底した権限の現場委譲を行っているEOIの

方針に基づいている。燃料取替停止の計画から実施までほとんどが発電所で決定されるのはいうまでもなく、意思決定と情報伝達の遅れによる無駄を排除するため、最も実質的に状況を正しく把握し確かな決定が行える現場に信頼できる人員を配置し、権限を現場に委譲する施策が積極的に展開されている。

## 5.3 情報のオンライン化、共有

燃料取替停止中の工程管理は、複雑に絡み合った同時進行する多数の作業を、安全を確保しつつ最短工程で進捗させるために実施される。計画どおり進展している場合、多少の情報遅れは問題とならない。

しかし、不測の事態が発生した場合に速やかに判断を下すには、正しい情報の早期入手、迅速な影響評価が不可欠である。燃料取替停止期間の長短を左右する主要因はこの情報伝達と意思決定の速度にあるとするのがANOの考えであり、このため、作業管理および評価等にコンピュータを使用したオンラインの管理システムの導入が促進されている。日本においても幾つか同様のシステムが導入されているが、多くはまだ検討段階であるか試行段階に留まっている。

米国内では発電所の情報の多くは、発電所および電力会社を問わず、時にはメーカーおよび規制当局をも含めて共有されている。こうした情報および知識の共有に、INPO、EPRI更には原子力エネルギー協議会（Nuclear Energy Institute）が行っている活動が大変効果的に利用されている。このような動きからは、米国の原子力産業界が一体となって、安全性・信頼性の向上それとコスト削減を実現し、厳しい競争を生き抜こうとする決意が感じとれる。

## 5.4 その他

ANOでは作業計画等は基本的に全て現場で決められる。これは最も問題点を知っているのも、そして対策を知っているのも現場の職員であり、最も良く知っているものが中心になって考え実行しなければならないという考えが基本になっている。そしてこれが実際に有効に機能するように積極的に権限が下に降ろされている。

実際、現在 ANO が実施している方法の大部分は、発電所の作業員自身によって考えられ実行に移されてきたものである。例えばサポート業務も 24 時間体制がとられているが、これらも基本的には職員自身による必要性の認識に基づき実施されているものである。また、各発電所の EOI 職員を相互に派遣する仕組みも ANO の下部職員による発案が全社的に展開されたものである。

このような活動を可能とする「企業風土」の変革は、ANO の運転を EOI が APL から引き継いだ後に達成されたものである。これを可能とした要因として米国内での厳しい発電原価競争、それに伴う合理化、ダウンサイジングによる職員の淘汰がある。引継後、燃料取替停止所用期間は大幅に低下しているが、この間に設備が大幅に改善されたということはない。変わったのは基本的にやり方であり、ここで実施方法の相違を生む企業風土の変革があったことになる。実際、彼等は米国 1 番を目指しており、自分達の成果、進みつつある方向に対する自信が感じとれた。

## 6. まとめ

今回の実態調査から受けた印象をもとに今後参考とすべきものを整理してまとめとしたい。

### 6.1 合理的な保守への転換

ANO と日本の保守を比較すると明確に異なるのは、ANO の場合は運転経験の蓄積と共に保守方法改善のサイクルが回り保守の最適化が進行しているのに対し、日本の場合は定期検査において毎回ほぼ同等の保守が繰り返されていることである。この結果は日本のプラントの過剰保守を招き、プラント運営に対し大きな影響を及ぼしている。

この相違が生じた原因は、機器の実績性能ベースの評価を前提とした予防保全プログラムの有無に遡る。日本のプラントの過剰保守を解消し、定期検査の合理的な管理を可能とするには保守方法の転換が必要となる。出発点は予防保全プログラム（ここで使っている「予防保全」は ANO での定義に基づく予防保全である）の設定である。そしてそれを改善するサイクルを回すことが重要である。

過剰保守を解消し定期検査の作業範囲を制限するに当たっては、優秀な技能者を安定して確保できる条件を整備していくことが重要である。日本の場合、ほとんどの作業は請負会社の技能者によって実施されている。従って優秀な技能者の安定した雇用を考慮すると、発電所常駐の請負会社社員で消化でき、特別な動員を要しない作業量まで制限することが当面の目標と考えられる。また、特定地域内での技能者需要ピークへの柔軟な対応を可能とするため、発電所間における請負会社社員の相互協力体制を併せて構築していくことは、優秀な技能者の活用および情報交換の観点からも有効な対策の一つである。

安全関連機器も含めて短期間で合理的な保守方法への転換を図るには、直接国に働きかけパイロットプラントを指定して進める方法も検討に値すると考えられる。原子力を取り巻く社会情勢、法令の制約等を考慮するとクリアすべきハードルは多いが、一方で発電原価に対するコストダウン圧力を考慮すると検討に値する方法であると考えられる。

### 6.2 作業の効率化

作業の効率化といえば、日本では現在の仕事のロボット化、高速設備の導入という方向の検討が多い。

しかし、基本は作業過程に潜む無駄の排除であり、無駄の多くは、情報伝達、状況把握、意思決定の過程にある。ANO では多くの作業が合理的な考え方のもとに進められている。特に目立つのが、防護服の考え方や原子炉上蓋吊上げ・吊込みなどの放射線作業に関する合理的な考え方である。

情報伝達、状況把握における無駄を省くのに有効な手段は、その過程をなくすかまたは最短にすることを可能とするオンラインのコンピュータシステムの導入である。日本においても定期検査工程の短縮には工程管理システムを実効のあるものにすると共に、それを取り巻く作業に関連する情報の伝達、処理のオンライン化を指向していくことが重要である。

意思決定を速やかに行うには、状況を最も速く正しく認識でき適切な対策を考えられる前線責任者への権限委譲が有効である。このためには、現場に信頼できる要員を配置する等の体制づくりが必要であり、それを支持するトップマネジメントが重要と



なる。

### 6.3 情報交換

ANO-1での改善の一つは情報交換によって成し遂げられている。彼らは文字通り様々な情報を共有し短期間で多くのことを学んでおり、INPO情報等の積極活用によって業界全体のコスト低減を図っている。また、エンジニアリング技術の開発、支援に対するEPRIの活動にも無視できないものがある。日本においても米国のINPOおよびEPRIに相当する原子力情報センターおよび電力中央研究所を有効に活用していくことが一つの方策である。特に、不具合情報および故障情報だけでなく、定期検査工程のベンチマーク情報等、エンジニアリングに役立つ技術、情報等を集約、交換し、業界全体として定期検査の短縮等の課題に取り組むことが求められる。

一方、ANO-1での改善活動の多くは確率論的安全評価の考え方に立脚している。合理的保守を指向しようとした場合、確率論的安全評価の考え方は避けて通ることができない。しかし、残念ながらまだまだ日本社会にこの考え方を冷静に受け入れる環境が整っているとは考えがたい。コンセンサスの醸成に向けた戦略的な情報発信が求められる。

### 6.4 規制との関係

上述の対策を実行しようとする規制との関係が大きな問題となる。原子力発電所に対する米国と日本の規制を比較すると、放射線被曝線量限度等のような絶対的な基準の遵守に関する規制は日米とも変わりはないが、プラント運用方法に係わる規制はかなり異なっている。

後者に関して日本の法律は、プラントの安全性・信頼性を維持するため、法令で定められた機器・設備について定期的に国の検査を受けることを義務付けている。そしてその検査方法も細かく規制当局によって定められている。このことは極論すると特定の機器については、プラントの運転成績の善し悪し、新設・既設に関係なく、毎回全国一律同じ方法で保守点検が実施されねばならぬことを意味する。そして、ここには電力会社の独自の工夫・努力が入り込む余地は少ない。これに対しNRCは電力会社の自

助努力を促進する規制方法をとっている。燃料取替停止の時期、内容は、供用中試験の頻度や内容あるいは運転中保守の可否等を規定しNRCの認可を受けたTech-Specによってプラント毎に制限される。

しかし、簡単ではないが電力会社の努力によって、Tech-Specの内容を個々の電力会社自身が合理的に変更でき、原理的に自助努力が働くようになっている。

規制の目的はプラントの安全性、信頼性の確保にある。しかし、それを達成する手段は米国の例で明らかのように一律のものではない。電力会社の自主性、自助努力が促進される規制こそ、高度な信頼性を有する日本の原子力発電所にふさわしいといえる。

## 7.あとがき

現地調査中大変強く印象づけられたのは彼らの徹底したコスト意識である。これはEOIが運転専門会社であることによる点が大きいと思うが、全ての活動がコスト競争力確保をキーワードとして展開されていると強く感じた。

これらの対策を彼らが実施できた背景には、それを実現するのに必要な技術基盤が、スリーマイルアイランド発電所事故以降のNRCからの様々な要求によって、電力業界に既に存在していたということも見逃せないと思う。NRCの要求は原子力発電所のコスト競争力低下の一因でもあるが、一方でNRCと電力会社の真剣なやりとりはその結果として、各種エンジニアリングデータの整備、確率論的安全評価技術の蓄積といった成果を原子力発電所に残している。そして今はそれを電力会社が活用する時代である。

ところで、上記のような議論のほとんどが公開されオープンな環境で行われている。このオープンな議論、情報交換を通して、彼らは電力会社、規制当局、ベンダーを問わず広く最新情報、技術を共有している。社会が非常にオープンであること、これが最近の実績向上の大きな理由の一つであることは疑いのないところであろう。