

原子力発電における保全業務革新—安全規制改革で実現に道筋

我が国の原子力発電の最大の課題は、先進国の中で最低レベルの稼働率にある。米国では 1980 年代から民が協力して原子力発電所の保全業務革新を進め、今では 90% という高い稼働率を実現している。我が国では昨年、米国を参考にした新検査制度がようやく施行され、安全規制が見直されたことによって保全業務革新、ひいては稼働率向上に向けての道筋が見えてきた。国内の原子力発電の保全業務革新の動向を報告する。

SOLE 日本支部 菊地徹、山田憲吉

原子力発電は国民共通の課題

原子力発電に対して、国民的レベルで関心が高まっている。従来は専門性の高い、特殊な事業領域と見做される傾向が強かったが、最近では地球温暖化対策の観点、更には原子力プラントの海外輸出振興による国家の経済成長戦略の観点でも注目されるようになってきている。

一方、我が国の原子力発電には、先進国の中で最低レベルの稼働率の低さを如何に克服できるかという大きな課題がある。稼働率は原子力発電の経済性に直結する問題であり、国民生活および産業界活動全般に大きな影響を与える国民共通の課題である。

課題の克服に向けては、筆者らは保全業務革新こそが必要であり、その実現のためには次の四つの要素に取り組む必要があると考える（図 1）。

- (1) RCM (Reliability Centered Maintenance : 信頼性重視保全) / CBM (Condition Based Maintenance : 状態監視保全) を導入した科学的かつ合理的な予防保全方式
- (2) SNPM (Standard Nuclear Performance Model : 標準原子力パフォーマンスモデル) などの標準的業務プロセスの採用
- (3) EAM (Enterprise Asset Management : 設備資産管理) を中核とした保守システムの統合
- (4) 人材の育成および組織体制の見直しを柱とする組織変革

このうち、(1) および(3) の技術的課題にとどまらず、組織の見直しをとともなう(2) および(4) は、時間のかかる困難な課題である。特に組織変革に関しては、電力の業務改革／組織変革だけでなく、規制側の変革も必要である。

原子力の新検査制度 (2009年4月より本格実施)

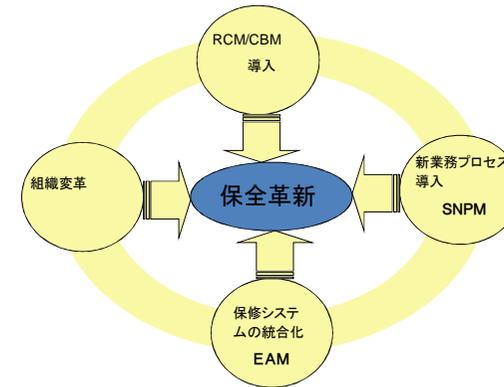


図 1 保全業務革新の 4 要素

稼働率低迷の要因

我が国の原子力発電における保全業務革新は、規制の見直し（平成 21 年 1 月に新検査制度が施行）に対応し、電力会社側の業務の見直し、保守系の情報システムの統合化等が進みつつある。ただし、日米の原子力発電所の稼働率の推移（図 2）に示す通り、米国は 90% 前後の高い稼働率を維持しているのに対して、我が国はこの数年、60% 台に低迷している状況に変わりはない（図 2）。

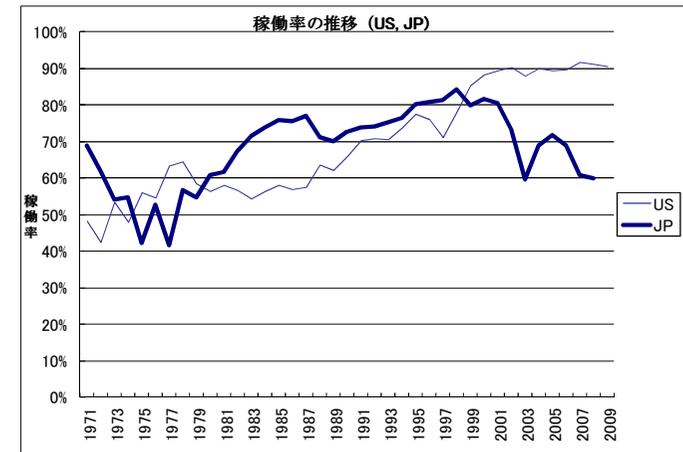


図 2 日本の原子力発電所の稼働率推移

日本の原子力発電所の稼働率の低迷をもたらしている要因は三つある。第一は、保安活動の不備や不祥事あるいは地震等の外的事象に起因する計画外停止であり、今世紀に入ってから顕著である。第二は、定検（定期検査）期間に保全作業が集中して停止期間が長くなるという構造的な問題である（以上の影響は図3を参照）。第三は、運転サイクル期間の長さである。これらの要因それぞれを、保全業務革新との関係で考察したい。

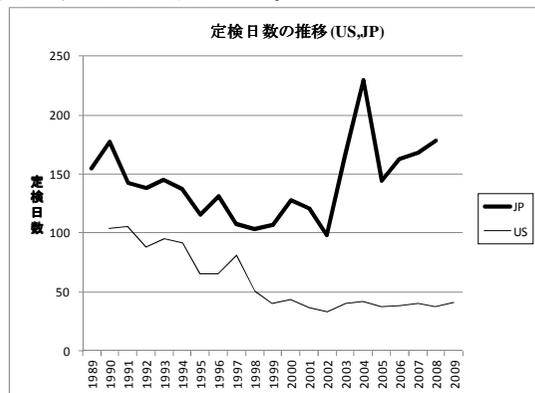


図3 日米の原子力発電所の停止期間（定検日数）の推移

米国は1980年代から2000年代にかけて保全業務の変革を実現し、合理的に標準化された業務プロセスと高度な情報管理に支えられて、これらの要因を克服し安全性と経済性を両立させている。我が国の新検査制度は、これまで一律十三カ月毎に運転を止めて実施してきた定期検査を18カ月まで延長できる。米国の原子力規制を参考に国内の規制を改革することにより、米国と同様な電力側の保全業務革新の推進を促すものである。

規制側に関しては、オンラインメンテナンス（運転中保全）や原子力発電所における保安活動総合評価等のルールの見直しが継続的に検討されており、更にはより透明性の高い規制のあり方も論議されている。これら国内の規制の見直しが実施されれば、原子力の規制の面ではほぼ米国並みとなり、電力側の保全業務革新の推進が期待される。

米国は国民的合意を形成

冒頭述べたように、原子力発電の推進に関しては、地球温暖化対策のためのCO₂削減の切札的位置づけとして、その目標設定の検討が継続的に実施されるとともに、最近では国家経済成長戦略の一環として原子力プラントの海外輸出が注目されている。

地球温暖化対策のためのCO₂削減に関しては、2020年度までに九基の新規

プラントの建設、80%以上の稼働率の達成という目標に加えて、30年度までに14基の新規プラントの建設、90%以上の稼働率の達成の目標が検討されている。

注目すべきは、90%以上の稼働率を達成することは、18カ月、24カ月等の長期運転サイクルやオンラインメンテナンスによる定期検査期間の短縮等、保全革新を実施しなければ達成できない、高い目標である点にある。換言すれば、30年度までに保全革新を実現することが必須ということである。保全業務革新による稼働率達成の見通しの試算を表1に示す。

表1 保全業務革新による稼働率向上試算

①運転期間 (月)	②定検期間 (日)	③定検期間 (月)	概算稼働率 =①/(①+③)	備考
13	100	3.3	80%	2000前後の実績
18	60	2.0	90%	運転サイクルの延長とオンラインメンテナンス実施による定検短縮
18	40	1.3	93%	保全高度化が米国並みに成熟

発電単価の推移 (US)

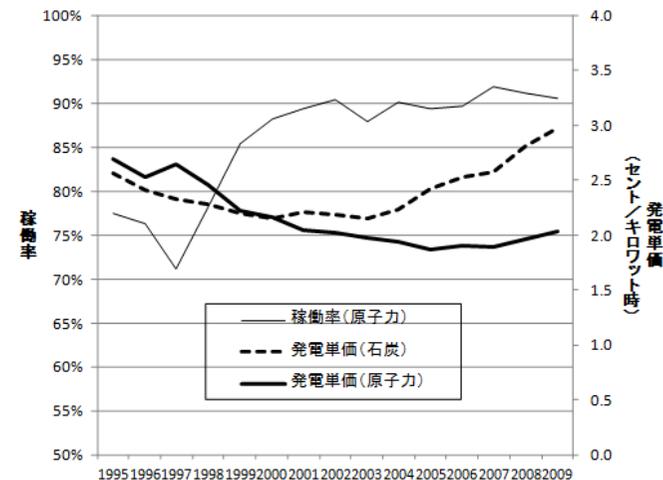


図4 米国の発電単価の推移

米国では2000年代以降の高稼働率の達成により、原子力が石炭を抜いて最も安い電源となった（図4）。このことが米国において原子力発電の推進に関して、国民的合意形成を図ることができた最も大きな要因と伝えられている。この国民的合意形成を背景に、米国において原子力プラントの建設が再開され、

かつ世界に波及し、今日の原子力カルネサンス（復活）に結びついていることは周知の通りである。

このように、原子力発電の稼働率は経済性に深く結びついている。繰り返しになるが、稼働率を 90% 以上に向上させるためには、業務や組織の変革までを含めた保全業務革新が必要である。現行の保全組織文化を温存しながら部分的に新しい保全手法やツールを導入する方式では、到底米国のような高稼働率は達成できない。

新検査制度施行後の状況

保全業務革新による原子力発電の経済的優位性実現を、平成 21 年からの新検査制度施行以後の状況との関連でとらえてみたい。

オンラインメンテナンス（運転中保全）

定検期間に保全作業が集中して停止期間が長くなるという構造的な問題が、稼働率が上がらない要因の一つであることを指摘した。すなわち、電気事業者の立場からは、オンラインメンテナンスの実施／拡大は、現在定検期間に集中している予防保全の一部をプラント運転期間に移すことによって定検期間を短縮し、稼働率向上に結びつけることが期待される。

米国原子力発電業界の標準業務モデルである SNPM の作業管理プロセス (AP-928) では、オンラインメンテナンスを「主発電機を送電網に接続して実施する保全」と定義している。しかしオンラインメンテナンスは、日本では「運転中保全」と訳されることが多いため、『オンラインメンテナンスは状態監視保全とほぼ同義である』という誤った見方、更には、『運転中の設備に保全の手を加える』乱暴なイメージを与えている傾向すらある。

米国の原子力発電所では、近年オンラインメンテナンスの導入が進んでおり、停止期間の短縮に大きく寄与し、運転サイクル期間の長期化とともに、稼働率向上の推進要因となっている。日本でのオンラインメンテナンスの実施を考える参考として、米国のオンラインメンテナンスの状況を概観する。

議論の対象となるのは、主に通常稼働しない安全系統の機器へのオンラインメンテナンスである。安全系統は、一般に多重性や多様性を確保した設計となっている。米国では安全系統の機器へのオンラインメンテナンスの実施にともなう安全性の確保が、次のような考えで管理されている。

- 時間による制約

技術仕様書は日本の保安規定に相当するが、安全系各設備について、必要な最小限度の要求事項（運転制限条件、LCO: Limiting Conditions for Operation）と、LCO を満足できない場合にその完了までに許される時間（許容待機除外時間、あるいは完了時間とも）を規定している。この時間制限を順守する。

- リスク評価値による制約

保全の実施にともない、利用できる機器構成が時間とともに変動する。確率論的安全解析 (PSA: Probabilistic Safety Assessment) の考えにもとづいて保全にともなうリスク増分値を評価し、その値によって保全活動に制約を課す。例えば、炉心損傷頻度 (CDF: Core Damage Frequency) の増分が年間 10^{-6} 以下であれば通常の作業管理のままでもよく、年間 10^{-3} 以上ならば許容されない、等である。

一般に安全系統は、運転時も停止時も機能を果たすことが求められるが、運転時と停止時とで果たす機能や安全上の重要性が異なることがある。例えば非常用ガス処理系は、事故時に放出されるよう素や粒子状放射性物質を、フィルターを通して除去することが基本機能であるが、想定する事故は運転時と停止時とで異なる。運転中に想定する原子炉冷却材喪失事故よりも、燃料交換停止中に想定する燃料落下事故のほうが、被ばく線量の観点からの影響が大きく、非常用ガス処理系はオンラインメンテナンスに適した代表的な系統である。

原子炉系やタービン系の運転に直接関与する機器の保全は、もちろん運転中には実施できない。また、上記の許容待機除外時間の制約外で実施したい作業や改良工事も停止時保全の対象となる。米国では運転時と停止時、それぞれの保全実施条件をリスク情報の活用などによって定量的に評価して、合理的な判断の上にオンラインメンテナンスを実施していると云うことができる。

電気事業者の立場からは、保全作業のリソースの平準化にともなう作業品質の向上効果も期待できる (図 5)。

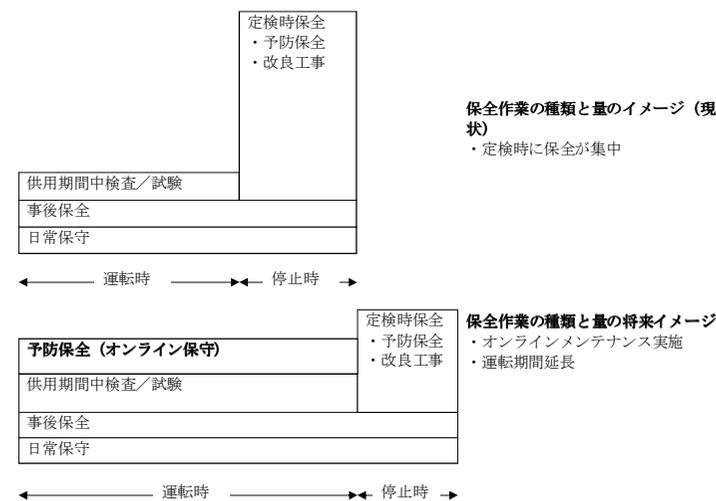


図 5 保全リソースの平準化

- プラント停止中の作業量が減少／運転中の作業量が増加し、保全に必要な専門技術者の競合を緩和
- 定検時の現場作業輻輳の回避によるヒューマンエラー防止、工程調整の余裕確保

国内においては、前提となる保安規定の整備を含め、オンラインメンテナンスの実施に向けた課題の検討が進められているところである。

原子力発電所の保安活動総合評価

先に述べた稼働率向上要因のうち、保安活動の不備や不祥事に起因する計画外停止を防ぐこと、運転サイクル期間を延長することは、新検査制度の主旨に直接関係する。

本年七月九日、「原子力発電所の保安活動総合評価」の試行最終結果が公表された。評価は、安全実績指標評価（PI 評価：Performance Indicator）および安全重要度評価（SDP 評価：Significance Determination Process）の二つの柱からなっており、米国原子炉監督プロセス（ROP: Reactor Oversight Process）を参考にしたものである。保安活動総合評価結果が良好なプラントは基本検査のみで足り、18カ月あるいは24カ月の運転期間延長に道が開けるが、総合評価で問題があるとされたプラントは追加検査に対応しなければならない。

PI 評価は、電力会社が提出する 11 種類のパフォーマンス指標値による数値評価である。SDP 評価は、発電所において発生した事故故障や検査指摘事項を、安全機能、放射線影響、品質保証の三つの観点から評価する。PI 評価と SDP 評価の結果を組み合わせると総合評価とするが、その総合評価結果を表 2 に示す。評価区分 I の 2 プラントは、保守管理体制と品質保証システムが十分機能せず、保安規定の要求に違反したとの評価である。

規制組織の役割

新検査制度の実施状況を代表する例として、オンラインメンテナンスをめぐる状況、保安活動総合評価の二つを取り上げた。いずれも産業界だけでなく、規制組織が大きな役割を果たす。稼働率の推移に代表される米国原子力発電の好調は、1980 年代からの規制側と産業界との間の、真摯な検討にもとづく合意形成によるところが大きい。

日米の原子炉一基あたりの規制組織職員数を比較すると、日本は米国の半分である。加えて日本の規制組織は、原子力・安全保安院、原子力安全委員会、原子力安全基盤機構（JNES）の三つに分かれていることもあって、国民的合意形成に向けた原子力規制情報の公開は十分でないと思われる。

一例として、上記の保安活動総合評価（PI, SDP 評価）の公開がある。この評価結果は、経済産業省のホームページの「トップページ > 報道発表 > 過去の報道発表」の中で、まず時系列的に開示された。約 1 カ月後には JNES ホ

ームページの「技術情報」にも掲載されるようになった。一方米国においては、原子力規制に関する情報は NRC（Nuclear Regulatory Commission：米国原子力規制委員会）のページに一元管理されている。我が国の「原子力発電所の保安活動総合評価」と同等の内容は、Home > Nuclear Reactors > Operating Reactors > Oversight > Reactor Oversight Process にて、常に最新状況および過去の評価結果を確認することができる。情報開示の姿勢と方法に大きな違いがある。

おわりに

昨年の新検査制度以降の国内の規制の見直しを中心に、原子力発電の保全業務革新の動向を報告した。現在検討が行なわれている規制の見直しが実施されれば、原子力発電の稼働率の引き上げに向けた道筋が開かれる。電力側でも見直しを受けて保全業務革新が推進しつつあり、一部の電力ではその成果も出始めている。一方、保全活動の不備による計画外停止の電力もあり、その推進状況に関しては電力毎に大きな開きがあると考えられる。

米国の成功要因の一つに電力側の業務とシステムの標準化があると云われている。業務やシステム的大幅な変革を乗り越え、今日の原子力発電の高稼働率を達成した背景には、多くの原子力発電所が参加した相互のベンチマーク評価とベストプラクティスの共有による業務とシステムの標準化がある。

我が国においても、電力側の保全業務革新に向けては、電力相互の緊密な協力関係と電力業界レベルの標準化が重要である。

表 2 原子力発電所の保安活動総合評価結果

	評価区分	プラント数	平成22年度検査方針への反映
V	課題は見出されなかった	10	基本検査のみで足りる
IV	軽微な課題が見出された	19	
III	課題が見出された	2	追加検査が必要
II	重要な課題が見出された	21	
I	許容できない課題が見出された	2	