

米国原子力発電所保全分野の標準化と合理化について

Standardization and Optimization of Maintenance at US Nuclear Power Plants

日本エヌ・ユー・エス(株)	伊藤 邦雄	Kunio ITO	Member
日本エヌ・ユー・エス(株)	富田 洋一郎	Yoichiro TOMITA	Member
東北大学大学院工学研究科	青木 孝行	Takayuki AOKI	Member

The latest trends related to standardization and optimization of US nuclear power plant maintenance are explained as follows, including the history from the past.

- Standard nuclear performance model (SNPM) of power plants started in the late 1990s.
- Standardization of maintenance process by INPO AP-913 "Equipment Reliability" and AP-928 "Work Management" and maintenance optimization by EPRI PM (Preventive Maintenance) Template and PMBD.
- Critical component reduction and Value Based Maintenance (VBM) as the latest trend of maintenance optimization.

Keywords: standardization, optimization, equipment reliability, criticality, value based maintenance

1. はじめに

日本保全学会「保全標準化検討会」における活動の参考とするため、米国原子力発電所保全分野の標準化と合理化に関連した最近の動向について、その経緯を含めて以下のポイントを中心にとりまとめた。

- 1990年代後半に導入された原子力発電所の標準パフォーマンスモデル (SNPM)
- INPO AP-913「設備信頼性」とAP-928「作業管理」による保全プロセスの標準化とEPRIの予防保全 (PM) テンプレート/PM基盤データベース
- 保全合理化の最新動向としてのクリティカル機器の削減と価値基準保全 (VBM)

2. 保全プロセスの標準化

2.1 原子力標準パフォーマンスモデル (SNPM)

米国の原子力発電所において標準化に関連した活動で最初に実施され、現在においてもその基礎となっている

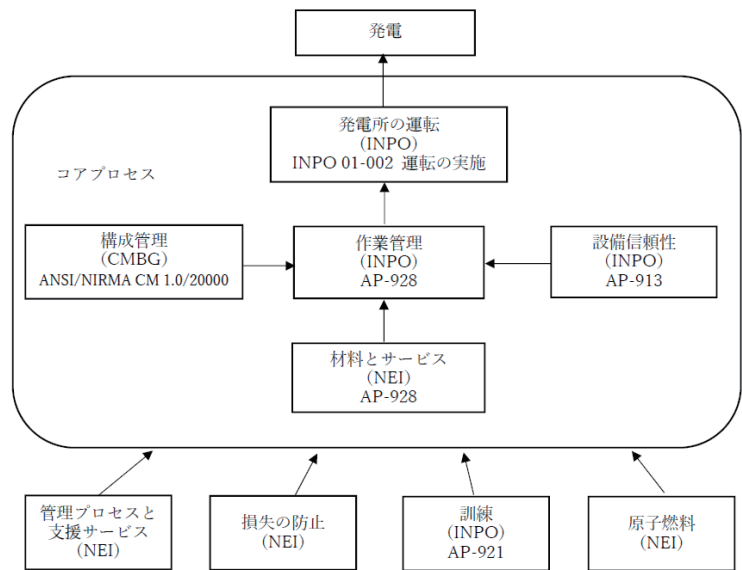


図1 原子力標準パフォーマンスモデル (SNPM)

重要なものは、1990年代後半に導入された原子力標準パフォーマンスモデル (SNPM) である。

このSNPMでは原子力発電所を「電気を生産する工場」としてとらえて、発電所のすべての業務プロセスをコアプロセスと支援プロセス、管理プロセスに分類し、さらに各プロセスを複数のサブプロセスに分解して定めている (図1参照) ^[1]。

さらに、このようにして標準化された各業務プロセスの達成度を測る指標 (パフォーマンス指標) が決められていて、そのパフォーマンスが可視化されるとともに、費用を各プロセス別に集計することで活動基準費用

(ABC) の算定を可能にしている。これによって、各発電所間の生産性や作業プロセスの相違を図るベンチマーク活動が活発に行われ、産業界全体の業績の底上げ・向上に役立つことになった。

2.2 INPO の設備信頼性 (AP-913) と作業管理 (AP-928) プロセス

原子力標準パフォーマンスモデル (SNPM) のコアプロセスの中で特に重要なものとして、「設備信頼性 (Equipment Reliability)」プロセス、「作業管理 (Work Management)」プロセス、「構成管理 (Configuration Management)」プロセスがある。米国産業界の団体である原子力発電運転協会 (INPO) は前2者に対するプロセスの解説書として AP-913「設備信頼性」と AP-928「作業管理」という文書を発行している。

INPO AP-913「設備信頼性」プロセスは、発電所の設備信頼性を改善させるために必要な様々な活動の一つに統合・調整したプロセスで、以下の6つの要素から構成されている。

- ・ クリティカル機器のスコーピングと特定
- ・ パフォーマンス・モニタリング
- ・ 継続的な設備信頼性の改善
- ・ 是正措置
- ・ 予防保全タスクの実施
- ・ ライフサイクル管理

AP-928「作業管理」プロセスは、安全で信頼できる運転をもたらすために、保全その他の発電所のあらゆる作業を明確化し、選別し、計画化し、スケジュール化し、遂行するために使われるプロセスである。米国では運転中の保全が主体であるため、このプロセスも運転中に1週間単位で行う保全作業の計画策定プロセスが策定される仕組みとなっている。

この二つは原子力発電所の保全管理業務の標準化において重要な役割を果たしている。特に AP-913 は重要度に応じた保全タスクと頻度の設定において、また、AP-928 は保全作業工程の作成とその管理の面で標準化につながるものである。

AP-913 では、重要な設備に対して保全リソースを重点的に配分するという、保全の最適化アプローチを採用しており、合理的な保全を追求するための重要な文書となっている。予防保全が必要と判

断されるすべての機器はその重要度に応じてクリティカルと非クリティカルに区分される。そのいずれにも区分されない機器は、故障するまでの使用が許容される (RTF (Run to failure) または RTM (Run to maintenance) と呼ばれる)。

AP-913 は規制上の要求事項ではなく、産業界の自主的な最適慣行を追求するためのガイダンス文書である。ただし、INPO による発電所評価で使用される文書であるため、多くの発電所ではこのプロセスを反映したプログラムを運用しているのが実態である。最近では、世界原子力発電事業者協会 (WANO) との共同文書として発行され、フランスなど米国以外の発電所でもこの AP-913 に示される設備信頼性プロセスが参考にされている。

3. 保全合理化プロセスの最新動向

3.1 EPRI の予防保全テンプレート

保全のタスクや頻度の標準化の面で大きな役割を果たしているのが米国電力研究所 (EPRI) の予防保全 (PM) テンプレートと PM 基盤データベース (PMBD) である²⁾。これらは INPO AP-913 でも参照されるもので、PM テンプレートは主要な機器タイプ (例、電動弁) ごとに推奨される予防保全タスクとその頻度をその重要度 (クリティカルか否か)、使用環境 (過酷か否か)、使用頻度 (常時運転か待機か) に応じて提示したものである (図2 参照)。

PM テンプレートは故障するまで予防保全をしない RTF (事後保全) 機器には適用されない。非クリティカルとはクリティカルではないが、何らかの PM タスクを必要とするものである。NA は適用外 (Not Applicable) を意味し、NR は推奨無し (Not Recommended)、AR は必要に応じ (As Required) (例、Tech. Spec.により実施頻度が決められている機能試験など) を意味する。

(分類カテゴリ)	1	2	3	4	5	6	7	8
クリティカル Yes	X	X	X	X				
No					X	X	X	X
負荷サイクル 高	X		X		X		X	
低		X		X		X		X
供用状態 過酷	X	X			X	X		
マイル			X	X			X	X
PM タスク								
電池モニタリング	NA	1ヶ月	NA	1ヶ月	NA	3ヶ月	NA	3ヶ月
セル検査	NA	3ヶ月	NA	3ヶ月	NA	3ヶ月	NA	3ヶ月
詳細検査	NA	1年	NA	1年	NA	1年	NA	1年
電池容量試験	NA	5年	NA	5年	NA	5年	NA	5年
電池供用試験	NA	NR	NA	2年	NA	NR	NA	NR

図2 PM テンプレート (例: バッテリー - 開放型鉛蓄電池 - カルシウム鉛/アンチモン)

PM テンプレートの保全タスクと頻度の推奨値は産業界の専門家が集まる会合形式で定められていて、その背景には信頼性重視保全 (RCM) の考え方が採用されている。つまり、故障の頻度や影響から判断される重要度などに応じて、同じ機器であっても予防保全タスクの内容と頻度に差をつけるという考え方である。

EPRI では利用経験と運転経験を踏まえて、機器タイプの追加や内容の更新を行っており、最近では 200 種類以上の機器タイプが扱われている。

PM 基盤データベース (PMBD) は PM テンプレートで設定される保全タスクと頻度の根拠情報となるもので、機器タイプ別の劣化メカニズム、劣化影響、劣化の進展 (継続的かランダムか)、故障のタイミング、発見または防止の機会、PM 戦略などの情報が含まれている。PMBD には改良が加えられていて、特に、劣化の進展に関する時間的な因子が数値化されている。また、保全タスクによって劣化がどの程度効果的に検知できるかについて (つまり保全の有効性) も半定量評価ができるようになった。それによって、いわゆる脆弱性評価が可能となり、保全タスクの内容 (例えば、頻度) を変更した際に、故障率や信頼性の変化量が計算できるようになっている。

EPRI メンバーはこの PM テンプレートと PMBD 情報に web 経由でアクセスすることが可能である。PMBD の利用は原子力から始まったが、その後火力、水力、送配電にも利用が拡大され、今日では電力共通の技術基盤に成長している。米国の事業者は、EPRI の標準 PM テンプレートを参考に、自社の保全能力や保全文化に合わせてカスタマイズし、自社固有の PM テンプレートを作成して運用している。

3.2 価値基準保全 (VBM)

米国原子力産業界は、2015 年 12 月から 3 年間かけて DNP (Delivering the Nuclear Promise : 原子力の約束の実現に向けて) と呼ばれる活動を実施している。これは、より効率的かつ経済的な方法で電力を安全に発電するための 3 年間にわたる取り組みで、他の電源に対する原子力発電の競争力をつけるために発電単価 30% 減を目指している。

その中で保全に関連した活動が数多く取り上げられているが、保全の最適化、特に保全リソースの最適化につながる「クリティカル機器の削減」(Efficiency Bulletin 16-25) とコスト効果を従来よりも重視した保全戦略の

策定につながる「価値基準保全 (VBM)」(Efficiency Bulletin 17-03a) を指示する通達文書が出されて、産業界でその実施が進められつつある¹⁴⁾。

クリティカル機器とは、その機器が故障した場合に重要な機能の障害をもたらす影響が生じるものをいう。これに対してはその故障を防止するために必要な予防保全の設定が必要となる。非クリティカル機器とは、その故障影響がクリティカル機器ほどではないが、決してその発生が許容できないものをいう。そのために、コスト効果的な予防保全タスクが設定される。非クリティカル機器にも該当しない場合は、故障するまで使用できる (RTF または RTM と呼ばれる)。

機器の重要度 (クリティカルリティ) 分類は、設備信頼性管理の基本属性であり、予防保全プログラムだけでなくその他の多くの保全プログラムでも活用される。いわゆる信頼性重視保全 (RCM) を実行した発電所では、機器の重要度分類の平均的割合は概ね、

- ・ クリティカル機器=約 20%程度
- ・ 非クリティカル機器=約 20%程度
- ・ RTF 機器=約 60%程度

と区分されていて、貴重な保全リソース (人、物、金) をクリティカル機器に重点的に配分し、設備の信頼性の向上やプラントのアベイラビリティ向上を図るものとしている。

米国の事業者は上記の通達文書 16-25 のもとで、AP-913 の改訂版で採用されたクリティカル機器の定義の見直し作業を実施しており、その結果、従来クリティカルと判断されていた機器の約半数が非クリティカルと区分できるようになっている。

また、VBM に関する通達文書 17-03a では、上記のクリティカル機器の見直し結果を使うだけでなく、機器が故障した場合の保全費用に関する産業界データを利用して、従来よりもさらにコスト効果的な保全タスクと頻度を設定する評価手法である価値基準保全 (VBM) が実施される。そこでは予防保全を減らすことで生じる可能性のある故障率の増加と (予防保全と修理費を加えた) 保全費用の影響を定量評価することで、従来よりもさらに費用効果的と判断される保全タスクと頻度の設定を行う。価値基準保全 (VBM) の考え方を図 3 に示す。

VBMの実施によって2020年末までに発電所保全予算が少なくとも25%削減されると期待されている。

動の一環で、クリティカル機器の削減と価値基準保全 (VBM) というアプローチが導入されている。クリティ

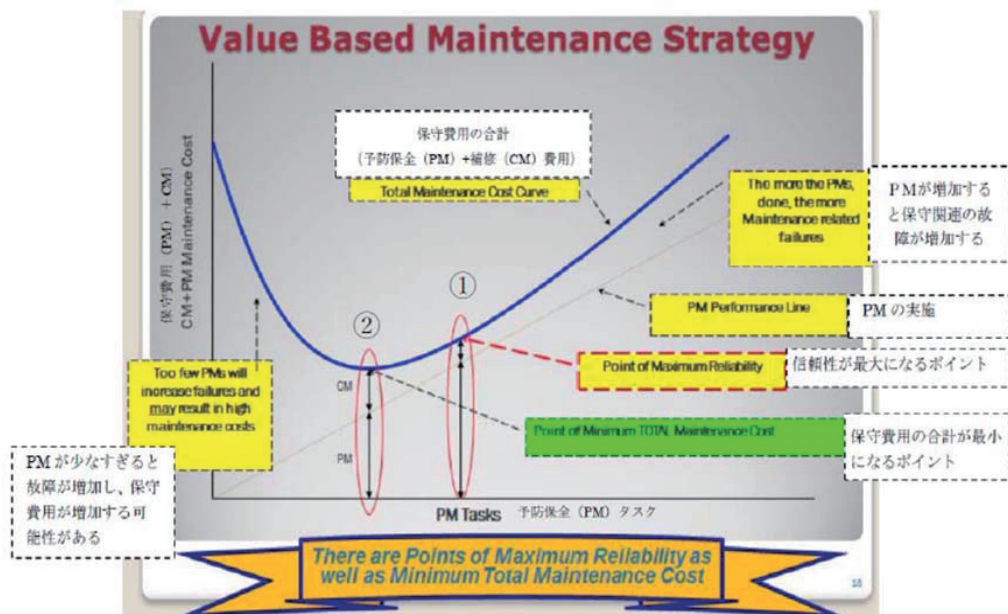


図3 価値基準保全 (VBM) の考え方 (NEI EB 17-03a)
(信頼性が最大になるポイント①とは別に
保全費用の合計が最小になるポイント②がある)

カル機器の定義を見直すことで、従来より重要と判断されていた機器を更に見直し・削減を行ったうえで、VBMの適用では、従来の信頼性重視保全 (RCM) の考え方を踏襲しながら、さらに保全の費用効果性を追求する手法が適用されている。

これら保全高度化の最近の活動は、90年代から民間主導で進められてき

4. まとめ

米国原子力発電所では、1990年代後半から原子力発電所の標準パフォーマンスモデル (SNPM) が開発され、他の発電所とのベンチマークが可能な仕組みができています。そして、そのコアプロセスについては二つのガイダンスが出されていて (INPO AP-913「設備信頼性」とAP-928「作業管理」)、保全プロセスの標準化が図られている。さらにその中の重要な要素と位置付けられる EPRI の予防保全 (PM) テンプレートとその基盤データである PM 基盤データベースが開発・改良されてきている。PM テンプレート作成の背景には信頼性重視保全 (RCM) の考え方が採用されている。つまり、故障の頻度や影響から判断される重要度などに応じて、同じ機器であっても予防保全タスクの内容と頻度に差をつけるという考え方である。

最近では、発電コスト30%低減を目指した産業界の活

ている標準化、高度化検討の流れを踏襲したものであり、その方向性は米国原子力発電所の継続的な運転パフォーマンスの向上という明らかな成果によって裏付けされていると言える。

今後の我が国の保全標準化検討においても、本稿で取りまとめた米国の状況を参考に検討が進められることを期待する。

参考文献

- [1] NEI, EUCG Standard Nuclear Performance Model, Revision 5, December 2007
- [2] D. Worledge, et al., The EPRI Preventive Maintenance Basis Products, IAEA-TECDOC-1383, December 2003
- [3] NEI, Efficiency Bulletin: 16-25, Critical Component Reduction, September 15, 2016
- [4] NEI, Efficiency Bulletin: 17-03a, Value-Based Maintenance, Jan. 26, 2017