

解説記事

保全の体系化について(第1回)

— 原子力発電所の保全活動の現状 —

設楽 親 (東京電力株式会社)
岩見 裕 (普遍学国際研究所)

千種 直樹 (関西電力株式会社)

1 はじめに

設備の保全は、種々の設備や種々の産業において実施されてきている極めて一般的な活動である。そのなかから、ここでは、近年、盛んに議論が行われるようになってきた原子力発電所の保全活動に関する検討内容をとりあげ、4回に分けて紹介していくこととする。

我が国の原子力発電所は、これまで安全性を第一として、古いプラントでは30年近く運転されてきており、その運転実績から、今や信頼性の高い電源の一つとして、その占める割合は年々高くなってきている。

エネルギーセキュリティ問題や地球環境問題の観点からも、これらの環境変化に呼応して、原子力発電の高水準の安全性を維持しながらの設備利用率の向上は電気事業者にとって至上命題となっている。

一方、平成12年3月の改正電気事業法の施行により、電力小売り市場の部分自由化が始まっており、コスト競争激化が避けられない状況にある。

このように、安全性を確保しつつ、高い経済性を追求すると共に、社会とのより良い共生を果たしていくことが、今後の原子力発電所にとって重要となっている。

原子力発電所の所要コストの中で保全活動の占める比率は、石油等他のエネルギーを用いる発電所に比べても高く、原子力発電所の経済性向上、社会とのより良い共生関係の実現のために、保全活動の在るべき姿はどうあるべきかという議論が盛んになってきている。

2 我が国の原子力発電運転状況の変遷

我が国の原子力発電は、1966年に初の商業用原子力発電所が運転を開始して以来35年が経過し、平成14年1月現在、商業用原子炉は52基が運転中である。その炉型内訳は、加圧水型(以下、「PWR」という)が

24基、沸騰水型(以下、「BWR」という)が28基である。

全原子力発電所の設備利用率は図-1に示すとおり、1970年代、初期トラブルによる計画外停止、機器補修による定期検査期間の長期化により50%~60%台と低迷していたが、その後、設備改善等により1983年度に70%を超えて以来、その後約10年間は70%台で推移し、1995年度以降、設備信頼性向上対策による計画外停止率の減少、作業の効率化による定期検査期間の短縮化により、80%台の高水準を維持している状況である。

また、原子炉等規制法等に基づく原子力発電所での一基あたりのトラブル報告件数は図-2に示すとおり、1970年代、プラントでの初期故障が多く発生して年間1件/基以上であったが、再発防止対策および他プラントへの水平展開を確実に実施すると共に、新規に建設するプラントについては、これらを設計に反映し再発防止に努めてきたことにより、1993年度以降、0.3件/基で推移している。

3 我が国における原子力発電所の保全活動の現状

(1) 保全活動の概要

原子力発電所の保全活動は、設備の健全性を確保し、プラントの信頼性を維持向上することを基本とし、発電所の安全・安定運転を継続するために行うものであり、その概要を図-3に示す。

電気事業者は、定期的にプラントを停止して、電気事業法に基づき経済産業省の定期検査を受検し、各設備が省令に定められる技術基準に適合していることの確認を受けるとともに、電気事業者の自主保安活動として、計画的な定期点検を行い、設備の健全性確認、機能の維持および信頼性の維持向上に努めている。また、プラント運転中に運転監視、日常点検および定期試験^{※1}などにより設備の状態を常に監視し、長期的な使用によって発生する経年変化事象(機能低下等)の

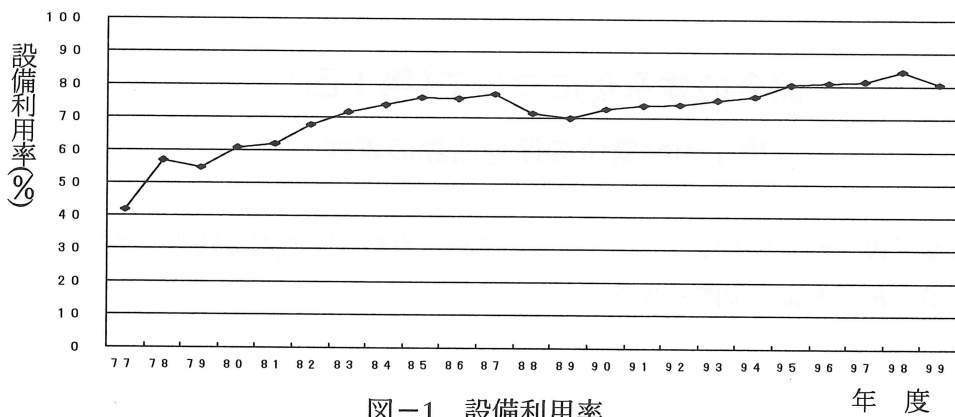


図-1 設備利用率

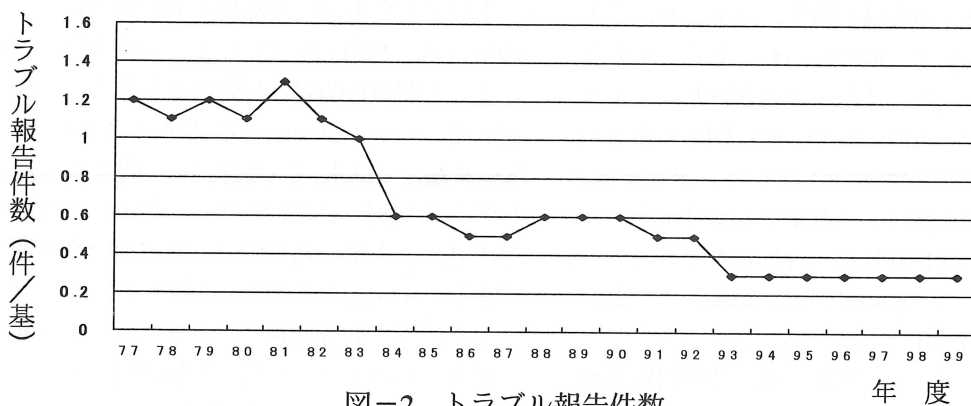
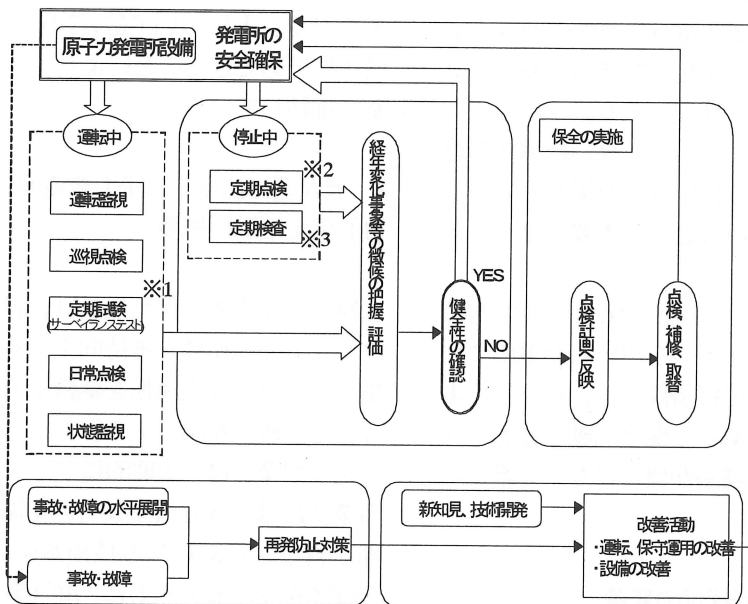


図-2 トラブル報告件数



- ※1 定期試験：工学的安全施設等重要系統・機器が所定の機能を有することを運転中確認する試験
- ※2 定期点検：電気事業者が自主的に行う定期検査時に行う点検
- ※3 定期検査：電気事業法に基づき実施する定期検査で国の検査を受けなければならない

図-3 我が国の原子力発電所の保全活動

兆候把握に努めている。

さらに、当該プラントで発生した事故・故障の徹底した再発防止対策は勿論のこと、他プラントで発生した事故・故障の再発防止対策についても適宜反映していくなどの改善活動を行っている。

(2) 定期検査の概要

定期検査とは、電気事業法第54条の規定に基づき、原子力発電所を設置する電気事業者が、定められた時期毎に受検しなくてはならない経済産業省が行う検査である。即ち、経済産業省の電気工作物検査官が、定められた各設備について検査を実施し、安全に運転で

きることを確認することである。

定期検査を受ける対象設備および実施時期は、電気事業法施行規則第89条、第90条において表-1に示すとおり規定されている。

具体的な定期検査項目としては、「重要な安全機能を有する機器」、「プラント全体の総合性能に関するもの」、「過去の検査経験・運転経験を踏まえて重要と判断したもの」の考え方で抽出した機器や機能を対象に、現在約80項目の検査項目が定められており、電気事業者は定期検査毎にこれらの検査を受検している。

表-1 定期検査の対象設備および実施時期

対象設備		実施時期
発電用原子炉及びその付属機器	原子炉本体 原子炉冷却系統設備 計測制御系統設備 燃料設備 放射線管理設備 廃棄設備 原子炉格納施設 補助ボイラ 非常用予備発電装置	運転開始日又は定期検査終了日以降 13ヶ月を超えない時期毎
蒸気タービン	蒸気タービン設備	運転開始日又は定期検査終了日以降 25ヶ月を超えない時期毎

(3) 電気事業者による定期点検

電気事業者は、自主保安活動の一環として、原子力発電所の各設備について「健全性の確認」、「機能の維持」および「信頼性の維持向上」を図るため、計画的な定期点検を実施している。

定期点検の内容としては、設備健全性の観点から、設備の分解点検、非破壊検査、漏えい検査、運転性能及び設定値等を確認している。

また、機能の維持の観点から、定期的な清掃手入れ、消耗品等の交換に加え、経年変化事象に対しては、その兆候を早期に把握するとともに評価を行い、経年変

化の傾向を把握することにより、設備の性能、機能が低下する前に計画的な取替、補修等を実施している。

さらに、他ユニットで発生した事故・故障の類似箇所を点検し、再発防止対策を適切に反映するとともに、新知見、最新技術を導入した計画的な設備改善や運転、保守運用面の改善などを実施して信頼性の維持・向上に努めている。

4 保全に関する技術開発

保全に関する技術には、大きく分けて、補修技術、予防保全技術、点検・評価技術などがある。これらの

技術の中には、PWRの蒸気発生器取替工事やBWRのシュラウド取替工事などのように大規模な技術も含まれている。

定期的な点検や検査のほか、このような大型改造工事に関連する技術を開発し、実機に適用することによってもプラントの信頼性向上に努めてきている。

これらの保全に関連する主な技術についても、次回以降、この連載の中で紹介していきたい。

5 他産業の保全との比較

ここまでは、主に、原子力発電所の安全性・信頼性の維持・向上に対する活動を中心に述べてきた。これらの活動は、個々の機器ごとに対する故障の未然防止が考え方の基本にあった。

しかしながら、今後、安全性を維持しながらも効率的な保全活動を展開していくには、個々の機器のプラントにおける役割を考慮しながら、プラント全体としての保全の最適化を図っていく必要がある。

近年、保全に関連する技術：設備監視・劣化診断技術などが高度化し、他産業においては、状態監視保全なども積極的に取り入れてきている事例がある。こうした事例は、今後の原子力発電所の最適な保全を検討

する上でも参考となるものである。

ここでは、その中から航空機産業の保全状況について、調査・検討した内容を紹介する。

(1) 航空機産業の保全方式とその考え方

1930～40年代のDC-3/4の時代には、部品等の故障率はバスタブ曲線で表されると考えられており、図-4に示すように故障率の立ち上り点で分解点検を行い、必要に応じて部品交換等を行えば、故障発生を抑えることができ、信頼性を確保できると考えられた。そのため、機体として分解（オーバーホール）時間を決めて部品の修理・交換等を行っていたが、その後は部品毎にオーバーホール時間を決めて実施されるようになった。これをHT(Hard Time)と称している。

その後、1950年代以降、B-727の時代になるとオーバーホール方式により整備された装備品等の多くは継続使用が可能であり、所定の検査を行い合格すれば、継続使用しても故障率が悪化しないことが判明した。このため、こうした部品に対しては分解せず機能検査等を行い合格すれば継続使用可能と判断し、不合格の時のみ交換修理するという部品の状態に応じた整備-OC(On Condition)方式が採用された。

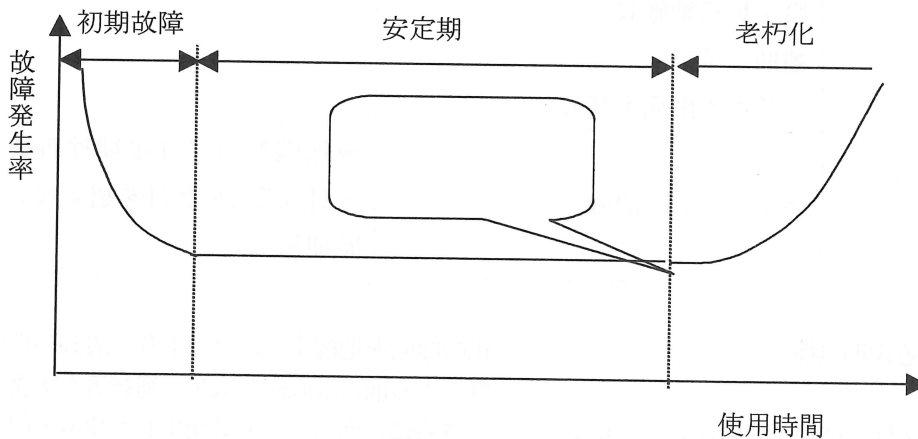


図-4 バスタブ曲線とオーバーホール時期

また、1960年代に入ると、OC(On Condition)方式で取替えた部品等の故障率についてユナイティッド航空が調査を実施し、使用時間が進んでも故障率が顕著に上昇しないことが分かってきた。(表-2参照)

このことから、使用時間とともに故障率が增大しない部品については、定期的な検査・修理・交換等を行わず故障の発生率や状況をモニターすることにより故障

率の増加する時期をより正確に把握し、必要な処置をとることが有益であるとの考えから、CM(Condition Monitoring)方式が採用された。

現在では、航空機の信頼性水準の向上に伴い、整備方式も著しい進歩を見せ、航空機の各部分、諸系統および装備品等に対して、それぞれの設計、故障時の運航への影響、通常の運航中に故障の発生を監視できるか否

か、その他の条件を分析、検討して効果的な整備を行う為、HT(Hard Time), OC(On Condition), CM(Condition Monitoring)という区分にとらわれず、故障による影響を考慮の上、各々の原因に基づき、最も経済的かつ効果的な整備（潤滑、給油、作動検査、機能検査、交換等）を選択する方法を採用している。

参考に、表-3 および表-4 に航空機産業の保全方

式についての詳細を示す。

また、上記に加え、航空機産業に特徴的なことは、図-5に示すように、製造と維持・管理が密接に連携できる体制が整備していることにある。

このような体制のもと航空機の高い信頼性が維持されている。

表-2 航空機部品の故障率（ユナイティッド航空の調査による）【参考文献1】

故障率の傾向	故障率曲線	該当部品比率	該当部品の構成
当初高く、その後安定し、再度増加		4%	単純な部品
当初安定し、その後増加		2%	
僅かに増加するが顕著な増加無し		5%	複雑な部品
当初低く、その後増加するが後は安定		89%	
使用時間に係わらず一定			
当初高く、その後安定			

参考文献1：松田；航空機整備の方式とその適用について（発電コストミニマムを支えるプラントの科学的保守管理計画に関する講演会：火原協 関東支部 97.04）

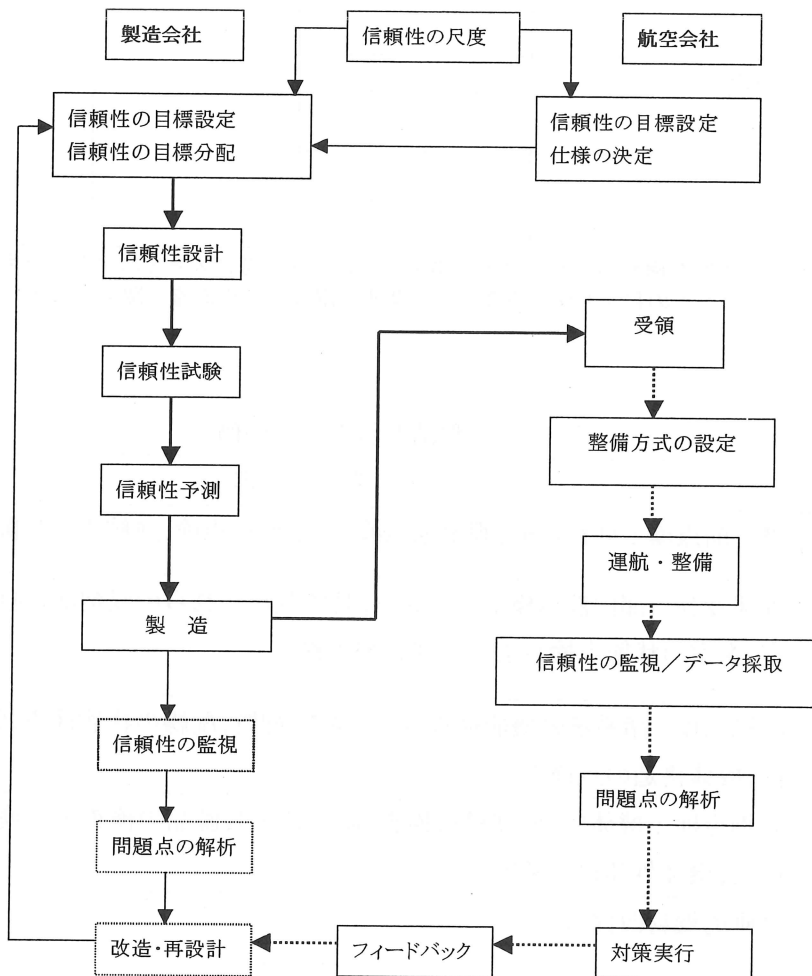
表-3 整備要目の配分の例

整備の段階		作業内容
T整備		飛行前点検：外観点検、潤滑油点検、タイヤ圧点検、運航中の故障処理等
定期整備	A整備	外部及び一部内部点検：エンジン、動翼及びこれらの収納部、胴体、翼、操縦室、客室の状態点検および一部詳細点検
	C整備	詳細点検：諸系統の機能検査、作動検査、配管、配線の状態検査、脚の定期交換、機体構造の点検等
	M整備	詳細点検：機体内/外部構造検査、諸系統・装備品の検査・交換、主要改修作業、機体外部再塗装等
H整備		計画的機材改修等

表-4 整備方式/実施頻度の具体例

機種	時間限界			
	B747-400		B-767	DC-10
整備段階	国際型	国内型		
T整備	毎飛行前			
A整備	400FH	400FH	350FH	300FH
C整備	4000FH 又は15月 の早い方	3500FH 又は15月 の早い方	3500FH 又は18月 の早い方	4000FH 又は16月 の早い方
M整備	25000FH 又は5年の 早い方	4.5年又は 9000FC の早い方		5年

注) FH : Flight Hour (飛行時間), FC : Flight Cycle (飛行回数)



(2) 原子力発電所と航空機の保全状況比較

日本の原子力発電所は、航空機で実施しているOC(On Condition)整備方式を採用しているものもあるが、先にも述べたように、基本的には、個々の機器ごとに故障の未然防止を目的とした予防保全の考え方にに基づき、あらかじめ決められた一定期間毎や、運転中の状況により、点検・試験を実施するよう定期点検を計画し、設備の保全(時間計画保

全)を実施している。

航空機産業の場合には、運転経験を含めた保全データの整備及びそれらデータベースの設計、設備保全等へのフィードバック回路を有効に活用し、これらのデータベースをもとに最適な保全方式を選択している。

表-5 に原子力発電所と他産業(航空機)保全状況比較を示す。

表-5 原子力発電所と他産業保全状況比較

比較項目	原子力発電所(日本)	航空機産業
保全の考え方	事故・故障の未然防止を目的とした予防保全の考え方にに基づき設備の健全性を維持すると共に、トラブル等の再発防止対策を図る。	航空機材の安全性を最優先に、定時性、快適性を常時提供できるように航空機とその部品の機能と信頼性を維持、向上させる。
保全方式	基本的には時間計画保全を主体としている。	故障による影響を考慮の上、各々の原因に基づき、最も経済的かつ効果的な保全方式(HT,OC,CM)を選択
保全内容	電気事業法に基づく「定期検査」の実施 電力自主保安活動 - 電力自主点検・試験 - 定例試験(サーバランス試験) - 再発防止対策 - 予防措置 日本の原子力発電所の場合、これまでは、時間計画保全を主体とした設備管理を踏襲している。	(1) HT方式(1930~40年代) 一定間隔で機体を分解し、部品等の修理・交換を行う方式。 (2) OC方式(1950年代) 部品の故障率傾向が把握された部品等は機能検査で基準値を超えたときのみ交換・修理を行う方式。 (3) CM方式(1960年以降) 部品故障率の傾向把握から故障率が増大しないものについて、故障の発生率や状況をモニターすることで適切な時期に保全処置を行う方式。 (4) 現在 故障による影響を考慮の上、各々の原因に基づき、最も経済的かつ効果的な保全方式(HT,OC,CM)を選択実施。

6 保全の最適化に向けて

これまで述べてきたように、今後の保全は、安全性を維持しながらも効率的な活動をいかに展開していくかが重要になってくる。このためには、他産業との比較からも分かるように、保全のデータベース等を活用しながら、どのようにして最適な保全方式を選択し実施していくかがポイントとなる。

このような保全活動の最適化の道筋を一般化し、体系的に示すことができれば、プラントやシステムの構

成、さらには最適化目標にも左右されることなく、その示された道筋に従って保全活動を検討・立案し、実施していくことで最適化が可能となる。

次回以降には、これまで検討されてきている保全の最適化手順について紹介していくこととしたい。

今後の予定としては、第2回では保全技術について、第3回では保全最適化手順について、第4回では保全に適用する定量化手法について、紹介していくこととしたい。