

# オンラインメンテナンスの安全性評価

## An Evaluation of On-Line Maintenance Safety

東京電力株式会社 宮田 浩一 Koichi Miyata Non-member  
東京電力株式会社 今井 英隆 Hidetaka Imai Non-member

This study shows how Japanese utilities are expanding "On-line Maintenance" activity, and how safety of "Single system On-line Maintenance" is maintained. The basis of Single system On-line Maintenance is the design basis accident analysis. On the other hand, the basis of "Multiple system On-line Maintenance" will be discussed in the future when risk informed regulation is introduced. Considering this situation, Japanese utilities will start from "Single system On-line Maintenance".

**Keyword:** On-line Maintenance (OLM), Probabilistic Risk Assessment (PRA), Final Safety Assessment Report (FSAR), Technical Specifications, Limiting Conditions for Operation (LCO), Allowable Outage Time (AOT)

### 1. 緒言

新検査制度のもと、「適切な機器を、適切な時期に、適切な方法で」保全活動を実施できる仕組みが確立された。今後は状態監視技術の積極的な導入による状態監視の充実、さらにはオンラインメンテナンス（運転中保全）の範囲を拡大していくことで、信頼性重視保全を進めていくことになる。

運転中保全は、保全の実施時期の柔軟化による保全の最適化等により、安全性・信頼性の向上につながるものといえるが、諸外国では実運用上取り入れられているものの、国内ではLCO対象機器に対して計画的に実施することは制度上制限されている。そのため、これまで具体的な安全性について十分に検討されていない。従って、計画的な運転中保全の実施が可能となった場合に備え、運転中保全の安全性について検討しておく必要がある。

本稿では、運転中保全の方法とその安全性についての検討を行い、それらを踏まえた今後の展望について報告する。

### 2. 我が国の現状

#### 2.1 運転中保全の対象範囲と安全性

原子力発電所の系統・機器・構築物のうち原子

炉の安全性を担保する上で重要なものに対しては、原子炉施設保安規定（以下、保安規定）にて運転制限条件（LCO：Limiting Conditions for Operation）を規定し、機能が要求される運転状態における待機除外を制限している。

現状、LCOが規定されている機器（以下、LCO対象機器）の意図的な予防保全作業等のための待機除外（以下、能動的待機除外）は、やむを得ない場合（法令に基づく点検及び補修、事故又は故障の再発防止対策の水平展開）を除き、認められていない。

一方、LCOが規定されていない機器（以下、非LCO対象機器）の運転中保全の実施に制限はなく、運転継続性、従事者被ばく等を考慮して、事業者判断により実施している。

Table1 Example of LCO and Non-LCO systems

Category	Example
LCO systems	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reactor Protection System</li><li>• Emergency Core Cooling Systems</li><li>• Main Steam Isolation Valves</li><li>• Emergency Diesel Generator etc.</li></ul>
Non-LCO systems	<ul style="list-style-type: none"><li>• Main Turbine</li><li>• Main Condenser</li><li>• Main Generator</li><li>• Radwaste Processing Systems etc.</li></ul>

連絡先：宮田浩一，〒100-8560 東京都千代田区内幸町1-1-3，東京電力株式会社，電話：03-6373-4971

本検討においては、LCO 対象機器の運転中保全を扱うものとし、非 LCO 対象機器については、引き続き事業者判断により、実施対象を決定すべきものとして扱うことから、本検討対象外とする。

## 2.2 LCO 対象機器の機能要求（機能要求、待機要求）と保全の実施時期との関係

LCO 対象機器は、①プラント運転中要求されるもの、②プラント停止中に要求されるもの、③運転中停止中の双方において機能を要求されるものに大別される。

Table2 Examples of LCO requirement and Maintenance Timing

LCO required	Maintenance Timing (In Japan)	Examples (BWR-5)
①During operation	During shutdown	-High Pressure Core Spray (HPCS) -Low Pressure Core Injection (LPCI)
②During shutdown	During shutdown	-Startup Range Neutron Monitor (SRNM)
③During operation and shutdown	During shutdown	-Standby Gas Treatment System (SGTS) -Residual Heat Removal System (RHR) -Power Sources

我が国では、①②③のいずれのケースにおいても、やむを得ない場合を除き、プラント停止中に保全を実施している。

LCO 対象機器の保全実施時期を検討するに当たっては、いずれのケースを考える上でも安全確保が前提となることは言うまでもない。特に、②③のケースについては、運転中停止中を通じたサイクル全体での適切な保全を検討すべきである。

例えば、BWR、PWR ともに持っている残留熱除去系は、プラント運転中は待機状態を維持することを求められており、プラント停止中は、原子炉の崩壊熱除去のため常時運転を求められている。本システム及び関連するシステム・機器（電源、計測制御設備、冷却水系等）については、運転中に実施する方が合理的と考えることもできる。

また、BWR で③に該当するケースとして、非常用ガス処理系が挙げられる。プラント運転中は原子炉冷

却材喪失事故（LOCA）を想定し待機状態であることを要求される。また、プラント停止中は燃料集合体落下事故（FHA）を想定し、照射燃料作業を行う際に待機状態であることを要求されている。この場合も、その時々状況を踏まえて、プラント運転中・停止中問わず合理的に保全実施時期を判断するのが適切と考えられる。なお、LOCA 時の公衆への被ばく線量は、FHA 時より小さくなっており、保全実施時期を検討する上では、ひとつの要素として考慮することが望ましい。

## 3. 運転中保全の安全性について

### 3.1 単一システム／複数システムの運転中保全

米国では、同時に複数のシステムを待機除外して保全を行う場合と、同時に複数のシステムの待機除外を行わない場合に分けて安全性確認の扱いを区別している。保全の実施でプラントの構成が変わることから、保全実施前にリスクを評価するが、後者に関しては Tech.Spec. を満たすことが求められているものの、必ずしもリスク評価が要求されていない[1]。これは、Tech.Spec. が最終安全解析報告書（FSAR）の事故解析を反映したものであり、安全性の確認がなされた状態であるとの位置づけで整理されていると考えられる。

米国の状況および我が国の基本設計段階での安全性確認の内容を踏まえ、安全解析の前提条件に抵触しない範囲で運転中保全を検討するのが適切と考える。具体的には、単一システムの運転中保全（Table3）であれば、安全解析の前提条件を逸脱することがなく、安全性が確認された状態と解釈できる。

Table3 運転中保全の区分と定義

分類	定義
単一システムの運転中保全	LCO 対象機器を複数、同時に待機除外とせずに実施する運転中保全。当該 LCO に係るシステム内の複数機器の保全も含む。
複数システムの運転中保全	LCO 対象機器を複数、同時に待機除外として実施する運転中保全。

### 3.2 能動的待機除外と受動的待機除外の差異

LCO に規定される許容待機除外時間（以下、AOT）は意図しない突発的な機能喪失に伴う待機除外（以下、受動的待機除外）を想定して規定したものであり、予

防保全のための使用（以下、能動的待機除外）は、やむを得ない場合に限定されている。これは LCO 対象機器に対する運転中保全が否定されていたというよりも、両者の違いが具体的に整理されていなかったためと考えられる。本節では、能動的待機除外と受動的待機除外の差異についての検討結果を示す。

まず、設備状態としては、両者に区別はなく、安全評価上の区別は困難なため、いずれも同程度の安全性と評価されるのが通常である。

次に、LCO 対象機器待機除外時の対応としては、受動的な LCO 対象機器待機除外は突発事象であるがため、設備の状態は予測できず、LCO 対象機器の待機除外が発覚してから臨機応変に当該故障等に対応する必要がある。これに対し、運転中保全の実施は、保安規定に定められた AOT の範囲で、計画された点検を事前に整備された体制のもとで実施するものであり、労働安全上、プラント安全上ともに十分配慮された状態である。

このように、能動的な LCO 対象機器待機除外である運転中保全の実施は、受動的な待機除外と比較すると、設備状態としては差がないものの、計画的な実施であること等を考慮すれば、能動的な LCO 対象機器待機除外の方が高い作業品質が期待できる。

また、能動的な運転中保全は、そもそも予防保全の観点から実施するものであり、適切な時期に保全を実施することで、トラブルを未然に防ぐことを目的としている。現行保全のもとでも、何らかの原因により故障が発生した場合には、当該安全系を除外し保全作業をせざるを得なくなる。これらの発生可能性を低減するという観点から、一時的なリスク上昇を考慮したとしても、運転中保全導入後も、運転サイクルを通じた安全性は同程度に維持できると考えることができる。

### 3.3 運転中保全実施時のリスク評価

確率論的安全評価手法を用い、BWR-5 主要系統の LCO 対象機器の単一系統運転中保全を実施した場合の炉心損傷頻度（CDF）を評価した。

ここでは、2つの指標、①当該期間の CDF 値、②当該機関の炉心損傷確率の増分（ICCDP：条件付炉心損傷確率）を評価した。なお、冗長系については、最大となるものを代表とした。また、ICCDP 算出に当たっては、待機除外期間として、現行保安規定の AOT 値を使用した。

Table4 PSA results of BWR-5 single system  
On-line Maintenance within AOT

System (or Component)	CDF[/ry]	ICCDP[-]
RHR+LPCI	5.9E-07	1.6E-08
LPCS	4.1E-08	4.8E-10
HPCS	3.9E-07	1.0E-08
RCIC	1.0E-07	2.2E-09
FCS	2.4E-08	negligible
SGTS	2.4E-08	negligible
RHRC, RHRS	2.9E-08	1.3E-10
EECW	8.3E-07	2.2E-08
HPCSC,HPCSS	3.9E-07	1.0E-08
D/G	1.5E-07	3.4E-09
Pilot cell and Battery	1.3E-06	3.4E-08
Base Case	2.4E-08	—

解析結果について、各種リスク許容基準類との比較を実施した。

CDF について、我が国の性能目標（案）[2]1.0E-04/ry と比較したところ、最大となるケース（パイロットセル・充電器待機除外ケース）においても、約2桁下回る結果となった。

また、ICCDP 値については、国内基準がないことから、米国 NUMARC93-01 における基準（しきい値）との比較を行った。最大となるケース（パイロットセル・充電器待機除外ケース）でも、基準値から約3桁下回る結果となった。

### 3.4 運転中保全の安全性向上に対する効果

3.2 で述べたとおり、運転中保全を行うことで、トラブルを未然に防ぐ効果を期待できるだけでなく、「運転中」に実施することに起因する、現状保全とは異なる効果を期待することができる。これらについては、必ずしも定量化できるものではないが、安全性の向上に寄与するものと考えられる。

#### (1) 平準化による良質な作業員の確保

現状、プラント停止中にほとんどの作業が集中し、作業量のピークが発生しており、経験豊富な良質な作業員の作業調整が難しい状況が発生する。

運転中保全の導入でピーク時の作業を低減することで、これらの調整が容易になり、良質な作業員を確保し易くなり、結果として作業品質の向上が期待できる。

## (2) 作業平準化による作業幅輻の低減

ピーク時の作業幅輻は、作業スペースの干渉等を引き起こす。運転中保全の導入で、作業幅輻が軽減され、これらの問題が緩和される。結果として、実作業に専念できる環境が整い、作業効率の改善、作業品質の向上が期待できる。

## (3) 被ばく線量の低減

残留熱除去系（余熱除去系）は、プラント停止中の崩壊熱を除去するためにプラント停止中に運転を行っている。この系統内機器の点検は、系統運転を冗長系に切り替えた直後に実施することが多く、配管に付着したクラッド等により、線量が大きく上昇する状況下で作業を行うことになる。

運転中保全を導入することで、系統運転から長い時間が経過した後に点検時期を設定し、線量が十分低い時期に点検することが可能となる。

## 4. 我が国における運転中予防保全範囲拡大の展望

LCO 対象機器の計画的な予防保全としての運転中保全の範囲を拡大するに当たり、保全のニーズと安全性を考慮の上、段階的にその範囲を拡大していくのが適当と考える。

米国では、Tech.Spec.に基づく単一系統の運転中保全のような限られた範囲での運転中保全を古くから実施してきた。リスク情報を活用した規制の整備がなされた1990年代後半より、運転中保全の作業時間確保のため、Reg.Guide.1.177に基づくAOTの延長申請が多く出され、Tech.Spec.に抵触しない範囲が拡大してきた。2000年には、メンテナンサーールのa)4)項が追加され、保全作業実施前のリスク評価が要求されるに至り、現在では保全作業の70%が運転中保全となっており、90%にも及ぶ稼働率の向上と安全性の向上に寄与している[1]。

このように米国においては、運転中保全の実施や対応する規制要件の整備が段階的に進められてきており、我が国で運転中保全の範囲を拡大していくにあたり、参考となりうるものである。すなわち、我が国における運転中保全範囲拡大は、現行の規制の範囲を踏まえて小規模な範囲からはじめ、リスク情報の活用を踏まえて徐々にその範囲を拡大していくことが適当と考える。

具体的には、安全解析により安全性の確認がなされ、

保安規定の範囲で実施する、「単一系統の運転中保全」を第一段階の取組みとする。次に、「単一系統の運転中保全」の実績を蓄積し、リスク情報の活用を含む適切な安全評価手法を確立するなど、検討を継続し、「AOTの延長」により「単一系統の運転中保全」の範囲を拡大し、さらには「複数系統の運転中保全」の導入により米国並みの取組みとするよう、運転中保全範囲の段階的かつ計画的に拡大するが適切と考える。

## 5. 結言

本稿では、運転中保全の方法とその安全性についての検討を行った。その結果、単一系統の運転中保全については、現行保安規定に則って実施することが可能であり、安全性を損なうことはない。今後、単一系統の運転中保全の経験を積み、AOTの延長によりその範囲を拡大させていく。その一方、複数系統の運転中保全については、その導入を踏まえた安全評価方法を検討していく。

## 参考文献

- [1] NUMARC93-01 Rev.3, "INDUSTRY GUIDELINE FOR MONITORING THE EFFECTIVENESS OF MAINTENANCE AT NUCLEAR POWER PLANTS", July 2000
- [2] 「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について－安全目標案に対応する性能目標について－」, H18.3, 原子力安全委員会安全目標専門部会
- [3] Electric Power Research Institute, "On-Line Maintenance at Nuclear Power Plants: History, Implementation, and Benefits", January 2009.