

# オンラインメンテナンスの手法と評価

～ 保全計画策定手法の開発とシミュレーション結果 ～

## A Study for the Practical Methods and Evaluations for the On-Line Maintenance

関西電力株式会社

千種 直樹

Naoki CHIGUSA

Member

**Abstract:** For planning and enforcing the On Line Maintenance (OLM) in the near future, we should take care of keep reasonable balance between the degree of risk increase and the task volume equalization. In this paper, the current status of studying for the OLM introducing on Japanese utilities is described. The planning approach of OLM is examined on the assumption that planned OLM can be carried out. The practical methods and evaluations for the OLM are described, and the trial evaluation for this method is also described.

**Keywords:** On Line Maintenance, Planning Approach, Risk Increase, Task Volume Equalization

### 1. 緒言

2009年1月から施行された新たな検査制度においては、事業者は、保全の有効性評価を行い、「適切な時期に、適切な方法で」保守するための保全方式の見直しや、プラントごとの特性に応じた最適な保全活動を実施することで、原子力の安全をより一層向上させることが期待されている。

また、運転中の状態監視を活用した保全活動などにより運転中と停止中の保全活動を平準化させ、良質な技術者の確保や被ばくの低減などを図り、保全の信頼性をさらに高めることも期待されている。

今回の検査制度の改正において、適用可能な新技術を用いた運転中の検査が義務付けられたが、運転中の機器の状態監視の積極的な導入により、異常の兆候を早期に検知することが可能となり、トラブルの低減につながると考えられている。

このため、事業者の保全活動として、運転中保全への積極的な取り組みが求められているが、LCO対象機器について、現状では保安規定審査内規において予防保全の実施が「やむを得ない」場合に限られていることが制約となっている。

現在、原子炉安全小委員会運転管理WGにて、運転中保全のために単一系統を待機除外した状態の安全性などについて審議が進められている。

本研究では、運転中保全の計画策定手法について検討を行うとともに、計画の策定及びその妥当性の評価についてシミュレーションを行い、手法の有効性を検証する。

### 2. 運転中保全の実施状況

我が国においては、現在、安全最優先を大前提に、運転中保全として巡回点検、定例試験等の日常点検、プラント停止前の点検・検査等を実施している。

Fig.1に米国と我が国の保全タスク数の割合を示すが、我が国では、運転中20%、停止中80%であり、定期検査期間中に保全作業が集中していることがわかる。

米国と比較して、我が国において停止中の保全割合が高いのは、関連法規の違いにもよるが、例えば我が国では劣化モードの時間依存性、偶発性に関わらず定期的な分解点検を基調とした時間基準保全が多く適用されているのに対して、米国では状態基準保全が主流となっていることによるものと思われる。

こうした状況に対しては、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会の「検査の在り方に関する検討会」において、定期的な分解点検を過度に行うことが、設備の信頼性低下の要因になりうるという指摘がなされ、運転中の機器の状態監視の導入など、運転中保全への積極的な取り組みが期待されている。

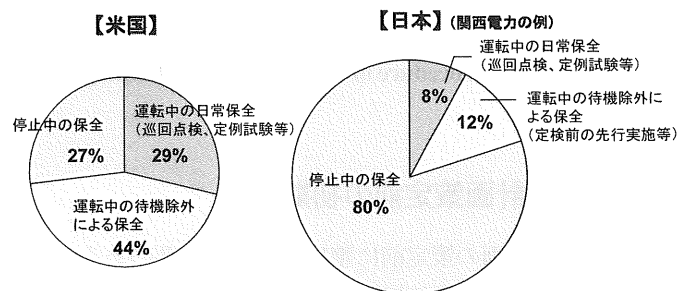


Fig.1 Ratio of Maintenance Tasks (at Present)

連絡先：千種直樹、〒919-1141 福井県三方郡美浜町郷市13号横田8番、関西電力株式会社原子力事業本部原子力技術部長、電話 0770-32-3654、chigusa.naoki@b3.kepcoco.jp

### 3. 運転中保全の計画策定手法

運転中保全の計画策定手法は、その目的に応じて多種多様であるが、例えば、米国においては約12週間前から準備を進めて、1週間毎に系統構成を変更して計画、実施、評価するプロセスが主流となっている。

一方、我が国では前章でも述べたように関連法規の違いもあり、米国と運転中保全の実施状況が異なっており、必ずしも米国の事例を直接我が国に適用できるものではない。

そこで、本研究では、米国の事例を参考にしつつも我が国の実態に合わせた計画策定手法の1つとして、以下のとおり手法を検討した。

#### 3. 1 手法の概要

原子力発電施設に対し、運転中保全を実施するに当たっての具体的な手順について検討した。

運転中保全を実施する手順として、「計画策定前の初期設定」、「計画の策定」、「計画の妥当性評価」といったプロセスをFig.2 ([1]) に示し、以下に解説する。

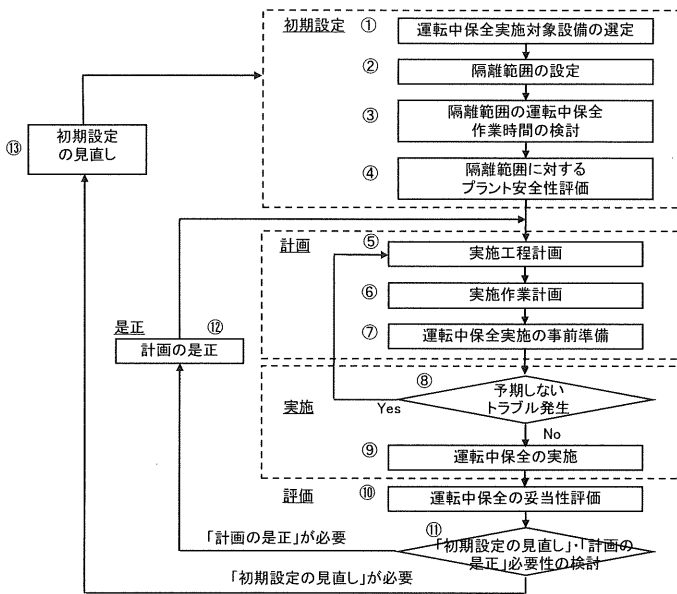


Fig.2 Procedure of OLM Program Planning

#### 3. 2 計画策定前の初期設定

まず、計画の策定前に整理しておく必要のある基礎データを、以下の通り初期設定する。

#### ①運転中保全実施可能設備の選定

まず、原子力発電施設のうち運転中保全の実施が可能な設備を選定する必要がある。

下記の選定基準により、運転中に保全を実施可能な設備を選定するフローを Fig.3 ([1]) に示す。

#### 【運転中保全実施可能設備の選定基準】

- ・ 設備が原子炉格納容器外にある。
- ・ 設備を隔離しても発電停止に至らない。
- ・ 設備を隔離しても定格出力の維持が可能である。

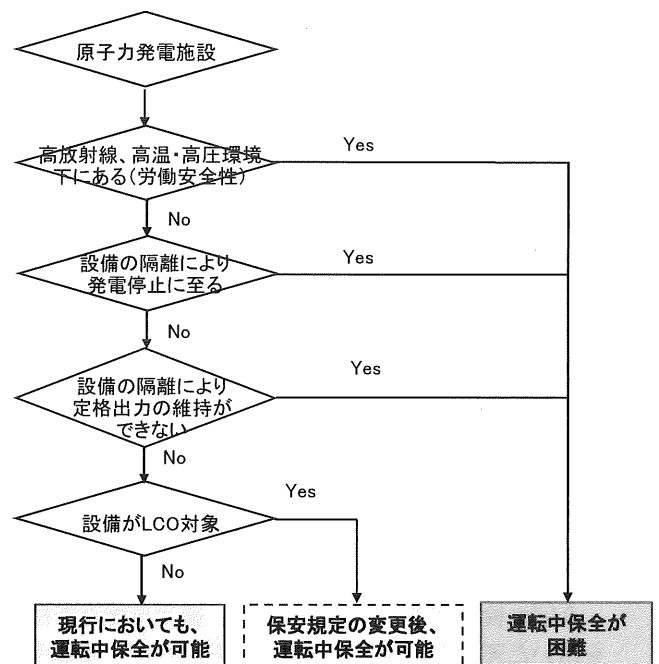


Fig.3 Flow of Selecting the Facilities that can be got the maintenance by OLM

#### ②隔離範囲の設定と保全タスク及び作業量の整理

次に、Fig.3 にてスクリーニングした結果を、Fig.5 ([1]) にて系統図上に明示するため、運転中保全が可能な設備については、下記の方法により、隔離範囲を設定する。

その上で、Fig.4 で示す隔離範囲内の機器を抽出し、各機器に対する保全タスクとその作業量を整理する。

#### 【隔離範囲の設定方法】

- ・ 発電継続、被ばく、作業員安全、及び環境への影響を考慮する。
- ・ 隔離範囲の境界は原則手動弁とする。
- ・ 運転中保全実施後の設備の機能試験を考慮する。

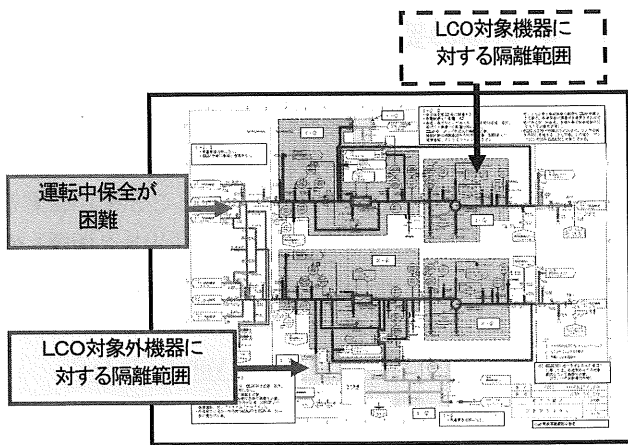


Fig.4 Example of Identification for the Isolation Sphere at OLM (RHR System)

③複数機器を同時に待機除外した時のリスクレベル評価

LCO 対象機器の運転中保全を計画する際には、複数の機器を同時に待機除外した時のリスクレベルを予め評価しておく必要がある。そのため、リスクマトリクスを作成し、機器の組合せに応じた炉心損傷確率の増分 (ICCDP : 待機除外時間には AOT を使用) を整理する。

ここで、2 機器を同時に待機除外した場合のリスクレベルを整理したリスクマトリクスの例を Fig.5 に示す。なお、リスクレベルについては、米国での ICCDP 許容基準  $5E-07$  との比較において表示した。

単一メンテナンス	高圧注入ポンプA	高圧注入ポンプB	余熱除去ポンプA	余熱除去ポンプB	原子炉格納容器スプレッドポンプA	原子炉格納容器スプレッドポンプB	電動補助給水ポンプA	電動補助給水ポンプB	タービン駆動補助給水ポンプ	復水ヒート	CCWP-A	CCWP-B	CCWP-C	CCWP-D	CCWP-E	SWP-A	SWP-B	SWP-C	D/G-A	D/G-B	D/G-C	D/G-D	D/G-E	充電器A	充電器B	予備充電器												
第12号 非常用炉心冷却系 AOT = 10分	■																																					
第13号 非常用炉心冷却系 低圧注入 AOT = 10分		■																																				
第14号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分			■																																			
第15号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分				■																																		
第16号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分					■																																	
第17号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分						■																																
第18号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分							■																															
第19号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分								■																														
第20号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分									■																													
第21号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分										■																												
第22号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分											■																											
第23号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分												■																										
第24号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分													■																									
第25号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分														■																								
第26号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分															■																							
第27号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																■																						
第28号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																	■																					
第29号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																		■																				
第30号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																			■																			
第31号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																				■																		
第32号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																					■																	
第33号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																						■																
第34号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																							■															
第35号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																								■														
第36号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																									■													
第37号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																										■												
第38号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																											■											
第39号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																												■										
第40号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																													■									
第41号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																														■								
第42号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																															■							
第43号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																																■						
第44号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																																	■					
第45号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																																		■				
第46号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																																			■			
第47号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																																				■		
第48号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																																					■	
第49号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																																					■	
第50号 非常用炉心冷却系 高圧注入 AOT = 10分																																						■

Fig. 5 Risk Matrix Preparations

3. 3 計画策定の手順

計画の策定にあたっては、被ばく低減、リスク抑制、力量を備えた作業員の確保、作業輻輳の回避、作業負荷の平準化等多くの考慮事項があるが、ここでは、リスク抑制を前提に作業負荷の平準化が図れていることを評価できる計画策定の手順について検討した。

(ステップ1) 運転中保全実施サイクルの定義

- 運転中保全実施サイクルとして、運転サイクル、OLM サイクル、OLM 実施単位期間による構成を Fig.6 ([1]) のとおり定義する。ここで、OLM 実施単位期間とは、個々の保全作業を実施するために同一の系統構成を維持する期間のことをいう。

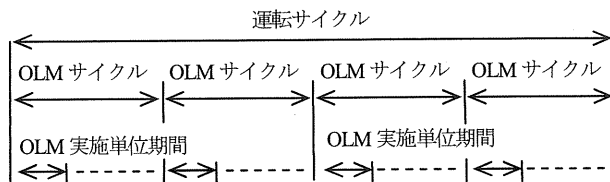


Fig. 6 OLM Program Cycle

(ステップ2) OLM サイクルの雛形工程の策定

- Fig.5 のリスクマトリクスで許容される組合せの範囲内で、すべての LCO 対象機器の保全作業を1つの OLM サイクルで計画する。この過程で、複数の LCO 対象機器を同時に待機除外する場合の最大リスクを制限値以下に抑える。(Fig.7) ([1])
- 同時に待機除外する LCO 対象機器の組合せは数多く存在するが、リスクが最も低く抑えられるように考慮する。

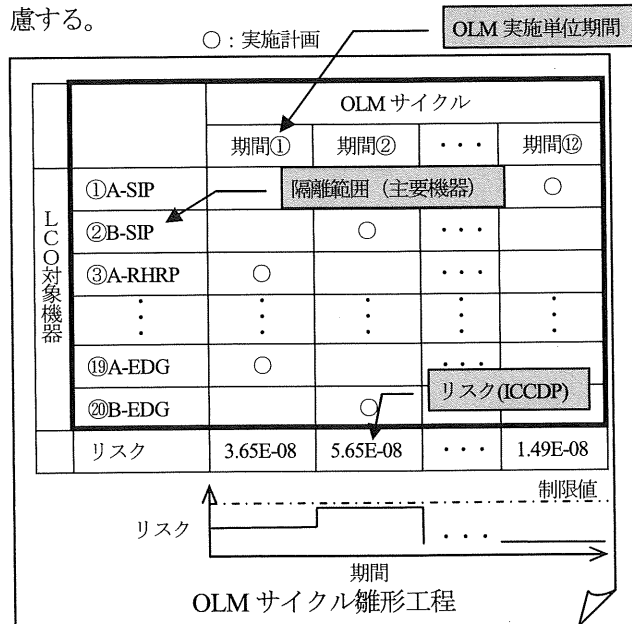


Fig. 7 Modeling Image of OLM Cycle

(ステップ3) OLM サイクルから運転サイクルへの展開

- OLM サイクル雛形工程における期間 i の実施計画を他の OLM サイクルの期間 i に分散配置することで、運転サイクル全体に計画を展開する。これにより、各 OLM 実施単位期間のリスクはステップ2で評価した最大リスク以下となる。
- 運転サイクルへの展開にあたっては、LCO 対象外機器の保全作業も含めて、運転サイクルを通して作業負荷平準化が図れるように考慮する。(Fig.8) ([1])

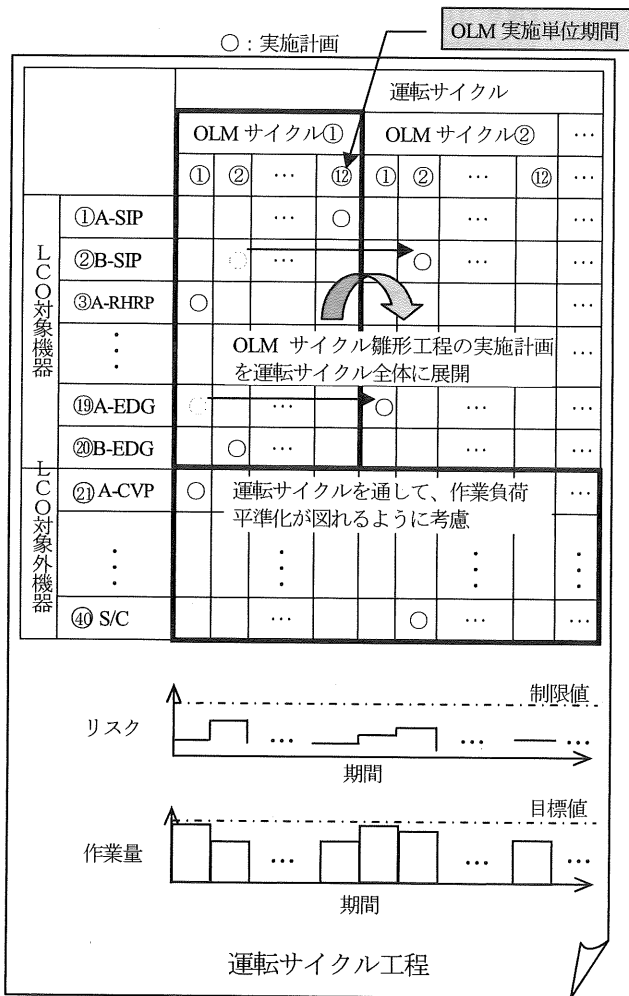


Fig. 8 Deployment Image of OLM Program Cycle

3. 4 計画の妥当性評価

運転中保全計画の妥当性を評価するための指標を設定する。ここでは、計画策定の考慮事項であるリスク抑制を前提に作業負荷の平準化が図れていることを評価する指標として、「作業負荷平準化指標」と「リスク指標」の2つを設定する。

作業負荷平準化指標 (TVI : Task Volume Index)

$$= (TV_{max} - TV_{min}) / TV_{max}$$

TV<sub>max</sub> : 1日あたりの最大作業数

TV<sub>min</sub> : 1日あたりの最小作業数

※作業負荷平準化の進行度合いを 0~1 の間で数値化。0に近い程、平準化が進んでいることを示す。

リスク指標 (ΔCDF<sub>PEAK</sub>, ΔCDF<sub>AVG</sub>)

ΔCDF<sub>PEAK</sub> : 炉心損傷頻度の増分最大値

ΔCDF<sub>AVG</sub> : 炉心損傷頻度の増分平均値

※各々の保全作業で機器を待機除外する場合のリスク上昇度合いとして、炉心損傷頻度の増分の最大値及び平均値を数値化。

4. 運転中保全計画策定シミュレーション

本研究では、3章で示した手法を用いて、PWR モデルプラントを対象に2種類のシミュレーションを実施し、手法の有効性を検証した。

①発電所全体での作業負荷平準化シミュレーション

運転中に実施可能な作業を定検中から運転中に段階的にシフトした場合、発電所全体における作業負荷平準化の進行度合いについてシミュレーションを実施した。その結果を Fig.9 に示す。

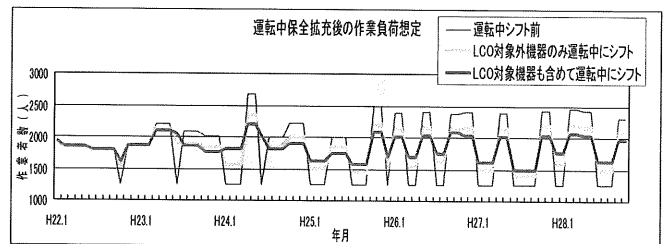


Fig.9 Task Volume Supposition with OLM Introducing

ここで、運転中保全の適用範囲を拡大することにより、

運転中シフト前 : TVI=0.533  
 LCO 対象外機器のみ運転中にシフト : TVI=0.402  
 LCO 対象機器も含めて運転中にシフト : TVI=0.323

と指標が改善され、作業負荷平準化が進行することを定量的に確認した。

### ②LCO 対象システムでのリスク評価シミュレーション

以下の LCO 対象システムの各機器を対象に運転中保全計画を策定し、リスク評価シミュレーションを実施した。

- ・ 余熱除去系統
- ・ 安全注入系統
- ・ 原子炉格納容器スプレイ系統
- ・ 安全補機室冷却系統
- ・ 補助給水系統
- ・ 原子炉補機冷却水系統
- ・ 原子炉補機冷却海水系統
- ・ 非常用ディーゼル発電機設備

このシミュレーションでは、許容待機除外時間 (AOT) 内での作業という条件で運転中保全の計画を策定した。リスク評価結果を Fig.10 ([1]) に示す。

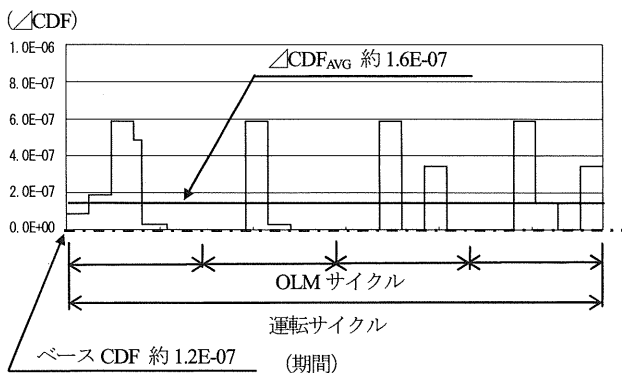


Fig. 10 Evaluation of Risk Affection

この結果、リスク指標は  $\Delta CDF_{PEAK} \approx 6.0E-07$ 、 $\Delta CDF_{AVG} \approx 1.6E-07$  と米国での制限値 ( $\Delta CDF < 1.0E-05$ ) と比較して低いレベルに抑制できることを確認した。

以上のシミュレーションにより、運転中保全計画策定手法の有効性が確認された。

## 5. 結言

- 1) 運転中保全計画策定手法として、リスクを抑制しつつ作業負荷の平準化を実現する手法を提示した。
- 2) PWR モデルプラントを対象に、運転中保全計画の策定、その妥当性評価のシミュレーションを行い、本手法の有効性を確認した。
- 3) 被ばく低減など計画策定の考慮事項で、今回検討しなかったものについては、今後評価すべき事項であり、引き続き我が国の実態に合わせた手法の開発に取り組んで参りたい。

## 参考文献

- [1]PWR 電力共同研究「OLM 導入による最適保全計画の立案手法に関する研究」

