

日本機械学会

リスク低減のための最適な原子力安全規制に関する研究会

# **SA設備のオンラインメンテナンスの考え方**

2019年3月

保守規則課題検討作業会

## はじめに

日本機械学会「リスク低減のための最適な原子力安全規制に関する研究会」(保守規則課題検討作業会)は、リスク情報を活用した検査制度の見直し(ROP導入)の基本的考えに則り、リスク情報を活用した効果的な設備の保全の在り方を提言するために、先ずはSA設備のオンラインメンテナンス(OLM)適用に向けた基本的な考え方を具体的なリスク評価を交えて検討した。

## 背景

2020年4月より米国の原子炉監視プロセス(ROP)を参考とした新検査制度が本格運用となることが決定している。この制度は日本の規制活動にリスク情報が活用されるものであり、事業者としても自主的な安全性向上の取り組みの中でリスク情報を活用することの重要性が増すこととなる。福島事故の反省として新規制が制定され、再稼働に際し多くの追加安全設備(SA設備・特重設備)が設置され、プラントの安全性が向上した。また、プラントの確率論的リスク評価(PRA)技術が進歩し、様々な事象に対するリスクを定量的に評価できるようになりつつある。設備増強による保守物量増大等の課題もあり、リスク情報を活用して安全性を確保しつつ、効果的な保守を実施することが重要である。

特にSA設備に関しては、そもそも設計基準事故事象を超えた事象(第4層)に対応した設備であり、OLM適用によるリスク変動は相対的に低い。OLMを積極的に導入し品質の高い保全を実現することで総合的に安全性を向上させることが出来る。

# プラント再稼働後の課題とSA設備OLM効果

## <課題>

- ・新規制対応の追加設備（SA／特重等）多数  
⇒保守物量増大・定検長期化
- ・発電所内の発電ユニット数の減少  
⇒通年に渡って経験豊富な作業員確保が困難

## <SA設備OLMの効果>

- ・定検中保守作業の分散化
    - ✓ SA設備OLMの導入
  - ✓ 定検中の保守物量増加抑制
  - ✓ 経験豊富な作業員を通年に渡って確保
- ↓
- ✓ 作業品質が向上し、原子力安全性の向上が期待できる
  - ✓ 維持費用の平準化、柔軟な運営に寄与し、事業者の原子力発電施設の安全性向上の取組みに資する

OLMは総合的に原子力発電所の安全性向上に寄与

## OLMを国内適用する際の課題

### <課題>

- ① OLM実施時のリスク変化量に対する定量的な管理指標が定められていない。
- ② SA設備もLCO/AOTの対象となっているので、OLM実施に対するハードルが高い。
- ③ 計画的なOLMの位置づけが、現行の保安規定審査基準では明確でなく、「保安規定における予防保全を目的とした点検・保修」としては実運用上認められていない。

「予防保全を目的とした保全作業について、やむを得ず保全作業を行う場合には、法令に基づく点検および補修、事故または故障の再発防止対策の水平展開として実施する点検および補修等に限ること」

### 今後必要なアクション

- ・OLMを対象としたリスク管理指標の設定
- ・保安規定審査基準における計画的OLMの位置づけ明確化

# OLM実施時に係るリスク情報活用に対する考え方

## <発電用軽水型原子炉施設の性能目標について>

発電炉の性能目標の定量的な指標値として、

指標値 1. 炉心損傷頻度 (CDF) :  $10^{-4}$  / 年程度

指標値 2. 格納容器機能喪失頻度 (CFF) :  $10^{-5}$  / 年程度

の両方が同時に満足されること。(原子力安全委員会 安全目標専門部会 H18.3.28)

日本原子力学会標準「原子力発電所の継続的な安全性向上のためのリスク情報を活用した統合的意思決定に関する実施基準：201X」(改訂中) の解説16 a)項で、性能目標案は上記に記載され、内的事象・外的事象を含む全リスクが上記性能目標案を満足することを求めている。

(注1) 原子力学会標準は現在改訂中である。参考スライドに改訂案の判定基準を示す。

**国内でOLMを対象としたリスク管理指標の合意形成が必要**

## OLM適用に関する基本的な考え方

日本機械学会「リスク低減のための最適な原子力安全規制に関する研究会」では、SA設備のOLM適用に関する基本的な考え方として以下を提言する。

### ◆ OLMの実施の可否

OLM実施時のシステム構成におけるプラント安全性の判断指標として、炉心損傷頻度・格納容器破損頻度の瞬時値を用いる。

### ◆ OLMを実施可能な期間

OLM実施期間中に累積されるリスクの増加量の判断指標として、OLM実施期間中のリスク増加分の時間積分値を用いる。

### ◆ 補償措置の検討

リスクの増加量に関わらず補償措置の検討を行い、リスクが管理されたOLMを実現する。

# OLM適用に関する基本的な考え方（詳細）と提言

以下の2つのリスク指標でOLMのリスクを管理する。本検討結果は、原子力学会標準でのリスク指標による判定基準の考え方にも沿う。

- OLMの実施可否は、OLM実施時のシステム構成が安全目標に適合しているかを評価するため、 $CDF_{inst}$ 、 $CFF_{inst}$ （注2）の指標を用いて、性能目標を参考に判断する。
- OLMの実施期間は、OLM実施期間中に累積されるリスクの増加量で評価するため、ICDP、ICFP（注2）の指標を用いる。また、OLM実施可能期間は、リスク評価から適切に定める。

（注2）

代表的な外的事象としては地震、津波を考慮する。なお、これら外的事象のリスクをPRAで評価するほか、OLMによるリスク増加が限定的であることを定性的な検討又は定性的な検討と定量的な評価との組合せによって示してもよい。

OLMのリスク管理の考え方と併せて、以下を提言する

- OLMの実施可能期間を議論するに際し、AOTの適正化が必要である
- OLM実施時に要求されるPRAの品質については、相応のものとする必要がある

$CDF_{inst}$  : 瞬間の炉心損傷頻度=ベースラインCDF +  $\Delta CDF$

$CFF_{inst}$  : 瞬間の格納容器機能損失頻度=ベースラインCFF +  $\Delta CFF$

ICDP : 炉心損傷確率の増分、ICFP : 格納容器破損確率の増分

ベースラインとは、OLM未実施のプラント状態のことを言う。

# OLM適用判断の考え方（1 / 2）

## 1. OLM実施可否

- 性能目標は、「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について（平成18年3月28日原子力安全委員会安全目標専門部会）」の性能目標案とする（原子力学会 IRIDM実施基準案 解説16）。

性能目標（全リスク）      CDF:  $10^{-4}$ /炉年      CFF:  $10^{-5}$ /炉年

- $CDF_{inst} > 10^{-4}$ /炉年、 $CFF_{inst} > 10^{-5}$ /炉年のものは基本的に実施しない。
- ただし、 $CDF_{inst}$ 、 $CFF_{inst}$ の判断基準を超えるが、**OLMが非常に短時間であり且つOLMの実施により運転サイクル期間全体のリスクを低減できる場合は**、どのような事象がそのリスクレベルを引き起こすかを明確かつ具体的に理解にし、**十分な補償措置**をとった上で、実施可能とする。

- 原子力学会 IRIDM実施基準案を参考にしている。
- 外的事象のリスクへの影響をPRAにて評価しない場合は、外的事象のリスクに対してOLMによる影響が限定的であることを定性的な検討又は定性的な検討と定量的な評価との組合せによって示すことを許容する。（原子力学会 IRIDM実施基準案の附属書Qのd参照）
- 原子力学会 IRIDM実施基準案 解説16では、領域Ⅱ-Aに対して「変更によるリスク増加分を含めた最終的なリスクが性能目標案に近い領域では、リスクの抑制に加え、リスク増加分も含めた最終的な全リスクが性能目標案を満足すること」を確認することが要求されている。

最終的な全リスク

$CDF_{inst}$  : 瞬間の炉心損傷頻度 = ベースラインCDF +  $\Delta CDF$

$CFF_{inst}$  : 瞬間の格納容器機能損失頻度 = ベースラインCFF +  $\Delta CFF$

ベースラインとは、OLM未実施のプラント状態のことを言う。



## OLM適用判断の考え方（2 / 2）

### 2. OLM実施期間の検討

- OLM対象設備に対し、計画したOLM実施期間におけるICDP及びICFPの値から、OLM運用を判断する。
  - $ICDP > 10^{-5}$  or  $ICFP > 10^{-6}$  の場合  
自主的に、計画したそのシステム構成に移行するべきではないとして、OLM対象範囲や実施期間を見直す必要あり
  - $10^{-6} \leq ICDP \leq 10^{-5}$  or  $10^{-7} \leq ICFP \leq 10^{-6}$  の場合  
補償措置によるリスク低減を検討のうえ、定性的判断を含む統合的な判断の上、OLMを実施する
  - $ICDP < 10^{-6}$  and  $ICFP < 10^{-7}$  の場合  
原則として補償措置によるリスク低減を検討のうえ、OLMを実施する

ICDP：炉心損傷確率の増分、ICFP：格納容器破損確率の増分

# OLM実施可否およびOLM実施期間の判断基準

	基準		判断内容
OLM実施スクリーニング基準	$CDF_{inst} > 10^{-4} / \text{炉年}$ $CFF_{inst} > 10^{-5} / \text{炉年}$		左記基準のどちらかに該当する場合は、基本的には実施しない。(注3)
期間設定(例:30日間)を含めた運用判断	ICDP	ICFP	
	$> 10^{-5}$	$> 10^{-6}$	OLM対象範囲や実施期間を見直す。 (左記リスク範囲の場合はOLM実施しない)
	$10^{-6} \sim 10^{-5}$	$10^{-7} \sim 10^{-6}$	補償措置によるリスク低減を検討のうえ、OLMを実施する。(注4)
	$< 10^{-6}$	$< 10^{-7}$	原則として補償措置によるリスク低減を検討のうえ、OLMを実施する。

原子力学会 IRIDM実施基準案のリスク指標の判定基準（参考資料の図1・図2参照）の考え方（内的事象及び外的事象を含むリスク）に沿うものである。

(注3)

- ただし、 $CDF_{inst}$ 、 $CFF_{inst}$ の判断基準を超えるが、**OLMが非常に短時間であり且つOLMの実施により運転サイクル期間全体のリスクを低減できる場合は**、どのような事象がそのリスクレベルを引き起こすかを明確かつ具体的に理解し、**十分な補償措置**をとった上で、実施可能とする。
- 外的事象のリスクへの影響をPRAにて評価しない場合は、**外的事象のリスクに対してOLMによる影響が限定的であることを定性的な検討又は定性的な検討と定量的な評価との組合せによって示すことを許容する。**（原子力学会 IRIDM実施基準案の附属書Qのd参照）

(注4)

ICDP基準のなかで、 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ の範囲であると評価された時のOLM適用の判断内容は以下とする。  
 「基本的には目標値として $ICDP < 10^{-6}$ 、 $ICFP < 10^{-7}$ とすることが望まれる。定量的判断が難しい場合には、定性的判断を含めて統合的に判断する。（**統合的な判断には専門家パネル※等での評価が活用できる。**※専門家パネル：知見の拡充、集团的浅慮の防止、意思決定プロセスの検証、バイアスの排除等を目的とした公平・公正な会議体）」

$CDF_{inst}$ ：瞬間の炉心損傷頻度、 $CFF_{inst}$ ：瞬間の格納容器機能損失頻度

ICDP：炉心損傷確率の増分、ICFP：格納容器破損確率の増分

# OLM実施時のリスク変化量に対する考え方

## <米国でのOLM適用基準>

リスク情報の活用において一般的に許容される「軽微なリスク増加量」がRG 1.174に示されている。またOLMを対象としたリスク管理指標は民間ガイドラインであるNUMARC93-01に規定し、規制側がエンドースしている。

基準		リスク管理ガイダンス
$CDF_{inst} > 10^{-3}/\text{年}$		そのコンフィグレーションに移行する前に十分検討を行う。 (移行する場合は、非常に短期間とし、どの事象がそのようなリスクレベルを引き起こすかを必ず明確かつ具体的に理解する。)
ICDP	ILERP	
$> 10^{-5}$	$> 10^{-6}$	通常、自主的にそのコンフィグレーションに移行するべきではない。
$10^{-6} \sim 10^{-5}$	$10^{-7} \sim 10^{-6}$	定量化できない因子を評価する。 リスク管理活動を確立する。
$< 10^{-6}$	$< 10^{-7}$	通常の作業管理を行う。

$CDF_{inst}$  : 瞬間の炉心損傷頻度、ICDP : 炉心損傷確率の増分、ILERP : 早期大規模放出確率の増分

## 参考：OLM実施時のリスク変化量に対する考え方＜日米比較＞

本研究会にて検討した結果と、NUMARC93-01に記載のリスク変化量に対する考え方の比較を以下に示す。

	基準		判断内容	NUMARC93-01との比較
OLM実施 スクリーニング基準	$CDF_{inst} > 10^{-4} / \text{炉年}$ $CFF_{inst} > 10^{-5} / \text{炉年}$		左記基準のどちらかに該当する場合は、基本的には実施しない。※1	米国基準より1桁厳しくなっている。 基準を超えた場合、期間全体のリスクが低下することを条件にOLM対象とすることを許容
期間設定 (例:30日間) を含めた運用 判断	ICDP	ICFP※2		米国基準と同等。  ※2：ILERP（早期大規模放出確率の増分）は原子力学会 IRIDM実施基準案のリスク指標の考え方に則りICFPを採用している。（結果的にICFPベースで評価することで、ILERPベースより保守的な評価となっている。）
	$> 10^{-5}$	$> 10^{-6}$	OLM対象設備や設備数を見直す。（左記リスク範囲の場合はOLM実施しない）	
	$10^{-6} \sim 10^{-5}$	$10^{-7} \sim 10^{-6}$	補償措置によるリスク低減を検討のうえ、OLMを実施する。	
	$< 10^{-6}$	$< 10^{-7}$	原則として補償措置によるリスク低減を検討のうえ、OLMを実施する。	

原子力学会 IRIDM実施基準案のリスク指標の判定基準（参考資料の図1・図2参照）の考え方（内的事象及び外的事象を含むリスク）に沿うものである。

※1

ただし、 $CDF_{inst}$ 、 $CFF_{inst}$ の判断基準を超えるが、**OLMが非常に短時間であり且つOLMの実施により運転サイクル期間全体のリスクを低減できる場合は**、どのような事象がそのリスクレベルを引き起こすかを明確かつ具体的に理解にし、**十分な補償措置**をとった上で実施可能とする。

$CDF_{inst}$ ：瞬間の炉心損傷頻度、 $CFF_{inst}$ ：瞬間の格納容器機能損失頻度  
ICDP：炉心損傷確率の増分、ICFP：格納容器破損確率の増分

# OLM実施可否判定例

低圧代替注水系、空冷DGの内の事象レベル 1 PRA結果から、原子力学会 IRIDM 実施基準案のリスク指標によるOLM実施可否およびOLM実施期間（30日間）の確認結果を示す。

## 評価条件

- 下記対象設備について30日間OLMを実施すると仮定し評価している
- 外的事象の地震、津波の評価については現在検討中<sup>(注5)</sup>のため、内の事象のみ ( $CDF_{inst}$ , ICDP) の評価としている。

対象設備	判定			
	OLM実施可否		OLM実施期間	
	$CDF_{inst}$	OLM 実施可否	ICDP	30日間の OLM実施可否
低圧代替注水 (BWR)	$CDF_{inst} < 10^{-4}$	可	$< 10^{-6}$	可
空冷DG (PWR)	$CDF_{inst} < 10^{-4}$	可	$< 10^{-6}$	可

(注5) 代表プラントの内外事象の概略評価の結果、 $CDF_{inst} / CFF_{inst}$  及び  $ICDP / ICFP$  による判定が可となる見込みが得られている

# 参考資料

## 参考. 原子力学会標準改訂案でのリスク指標による判定基準 (1 / 2)



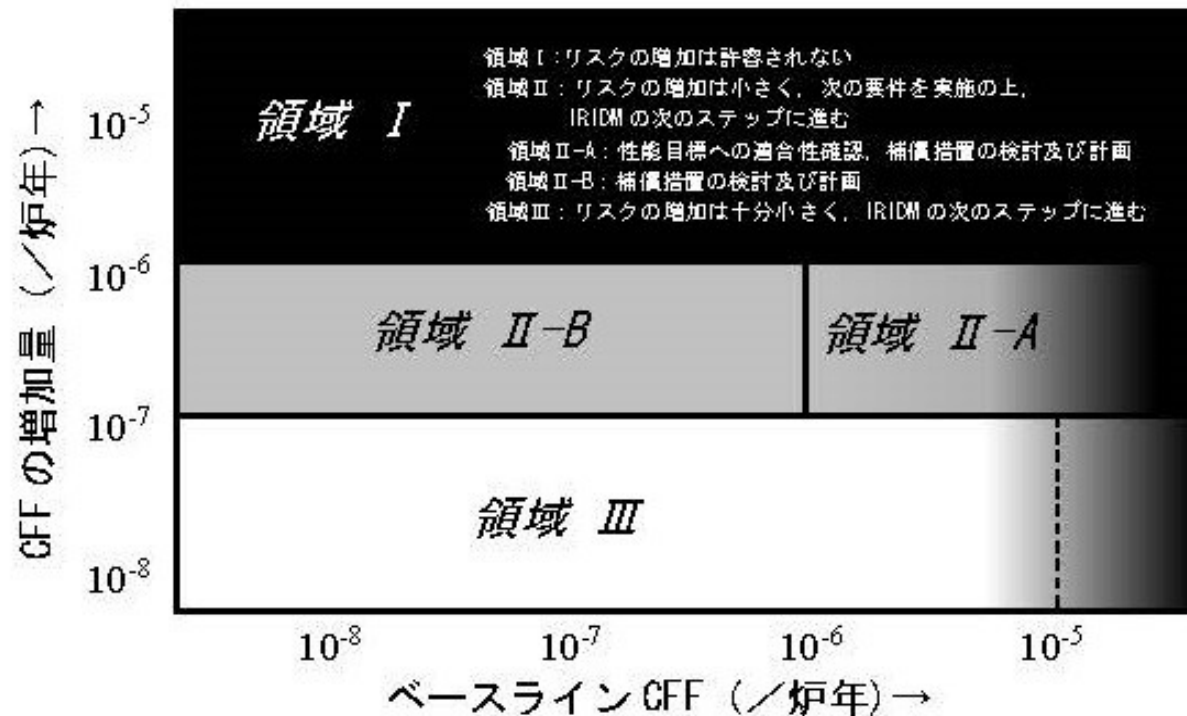
- 注a) 内の事象及び外的事象を含むリスクに対して適用し、**図 02** と併用する。
- 注b) 性能目標案の趣旨を踏まえ、許容されないベースライン CDF の境界は濃淡で示している。
- 注c) ベースライン CDF (横軸) は選択枝の実施前の CDF、CDF の増加量 (横軸) は選択枝の実施後の CDF とベースライン CDF の差とする。
- 注d) 評価結果が本図の範囲外である場合には、領域の境界線を直線外挿する。
- 注e) 領域 III において CDF の増加量がベースライン CDF を上回る場合には、補償措置を検討する。

図 1 CDFの判定基準

日本原子力学会標準

「原子力発電所の継続的な安全性向上のためのリスク情報を活用した統合的意思決定に関する実施基準：201x」  
 標準原案より

## 参考. 原子力学会標準改訂案でのリスク指標による判定基準 (2 / 2)



- 注a) 内の事象及び外的事象を含むリスクに対して適用し、■ 0.1 と併用する。
- 注b) 性能目標案の趣旨を踏まえ、許容されないベースライン CFF の境界は濃淡で示している。
- 注c) ベースライン CFF (横軸) は選択肢の実施前の CFF、CFF の増加量 (横軸) は選択肢の実施後の CFF とベースライン CFF の差とする。
- 注d) 評価結果が本図の範囲外である場合には、領域の境界線を直線外挿する。
- 注e) 領域 III において CFF の増加量がベースライン CFF を上回る場合には、補償措置を検討する。

図 2 CFFの判定基準

日本原子力学会標準

「原子力発電所の継続的な安全性向上のためのリスク情報を活用した統合的意思決定に関する実施基準：201x」  
 標準原案より



# 参考. OLM実施可否およびOLM実施期間判断イメージ図 (CDFの例)

