

リスク情報を活用した運転中保全(OLM)の 適用範囲の拡大について

2023年10月17日

原子力エネルギー協議会

1. OLMの適用範囲拡大について 3 ~ 5
2. OLMにおけるリスク管理手法について 6 ~ 9
3. OLMにおけるリスク評価、管理措置の例 10 ~ 11
4. 今後のスケジュール（案） 12
- （参考） OLMにおけるリスク評価、管理措置の例（リスクレベル白の例） 13
- （参考） 海外でのOLMの導入状況 16

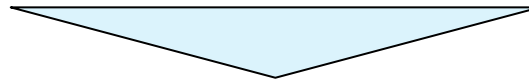
用語	説明
CDF	Core Damage Frequency 単位時間・プラント当たりの炉心損傷事故の発生回数・又はその期待値のこと
CFF	Containment Failure Frequency 単位時間・プラント当たりの格納容器機能喪失事故の発生回数、又はその期待値のこと。
ICDP/ICFP	Incremental Core Damage probability/ Incremental Containment Failure probability あるプラント状態を想定して評価したCDF増分又はCFF増分にそのプラント状態の継続時間を乗じた値。CDF増分又はCFF増分は、PRA にモデル化されたすべての設備が利用可能と考えられる場合のCDF又はCFFの推定値（ゼロメンテナンスCDF/CFF）から、待機除外中の設備のアンアベイラビリティを1とすることにより算出する。
FV	Fussell-Vesely FV重要度は、計算されたリスクに対する基事象の相対的な寄与度を示す。この相対的な寄与度は、基事象の発生確率（A）をゼロにした場合のリスクの減少を求めることによって導出される。
RAW	Risk Achievement Worth プラントの機能が故障していると仮定した場合、あるいは待機除外と仮定した場合のリスクの増加分。

1. OLMの適用範囲拡大について

原子力は、エネルギー安全保障とカーボンニュートラルの実現に不可欠な電源である。

- ✓ 事業者は、トラブルに起因する利用率低減を防止し、**電力の安定供給**を達成するとともに、
- ✓ プラントの**安全性を維持・向上**させていく必要がある。

上記を実現する上で、運転開始後のプラントで重要となるのは、「運転」と「メンテナンス」であり、OLMによりプラントの安定運転とメンテナンスの品質向上を目指し、**プラントの安全性を維持・向上させる**。



定期検査中の作業ピークの緩和によるメンテナンスの品質向上

- ✓ OLMのLCO設定設備への拡大
 - ⇒LCO設定設備はプラント運転中に待機（停止）しているものが多く、OLMが可能。
（※状態監視等により、適切な時期でのメンテナンスの計画が可能）
- ✓ メンテナンスの品質向上
 - ⇒**熟練度の高い技術者**が、継続的にメンテナンスに従事することが可能。
 - ⇒原子力設備メンテナンスの**未経験者の割合を低減**することが可能。
 - ⇒作業環境の向上（作業物量、作業スペース錯そうの緩和）により、**作業品質が向上**。

1. OLMの適用範囲拡大について

OLM適応範囲拡大によるメンテナンスの品質向上のイメージ

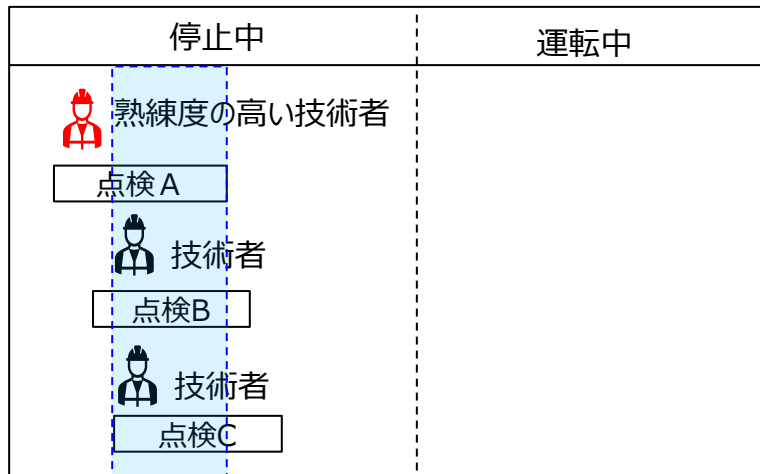
(現状)

- ▶定検時のメンテナンスでは、短期間に多くの機器が点検対象となり、大勢の作業員が平行してメンテナンスを行うため、作業輻輳の結果、熟練度の高い技術者の活用率が低下していく可能性がある。
- ▶震災から10年以上経過した今も、運転プラントが国内にまだ少なく定検機会が得られないことから若手エンジニアへのOJTなどスキル向上の場が少なく、メンテナンスエンジニアは高齢化が著しく、今後の熟練エンジニア減少も想定される。

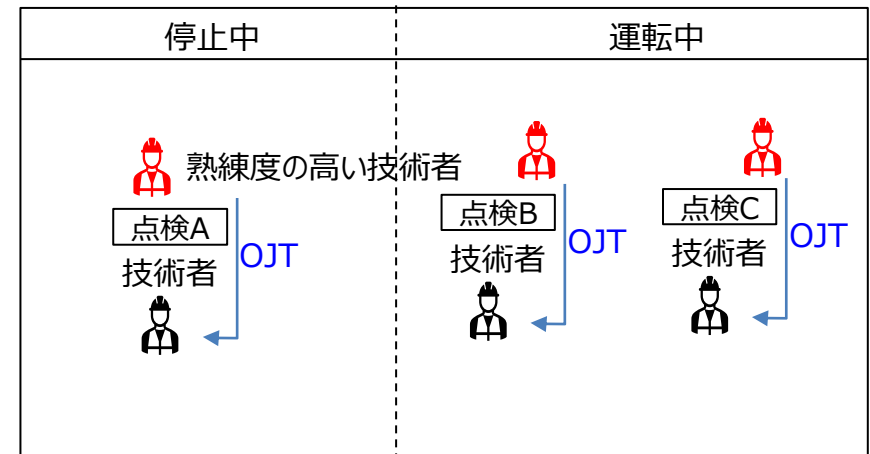
(OLMの範囲拡大による作業負荷平準効果)

- ▶OLMの範囲拡大により、**作業の平準化**が可能となり
 - ・熟練度の高い技術者の適正配置による作業品質の向上が見込める。また、作業輻輳が回避でき作業品質の向上に繋がる。
 - ・年間を通じて計画的にメンテナンスが発生するため、発電所に常駐する現場ルール等を熟知した作業員が作業することになり、メンテナンスの品質向上が図れる。
 - ・メンテナンス機会を提供することができエンジニアの力量の向上、若手原子力エンジニアの育成に繋がる。
- ⇒原子力メンテナンス業界の維持・発展に寄与する。

【停止中のみ点検を実施】



【運転中にも点検を実施し作業を平準化】



1. OLMの適用範囲拡大について

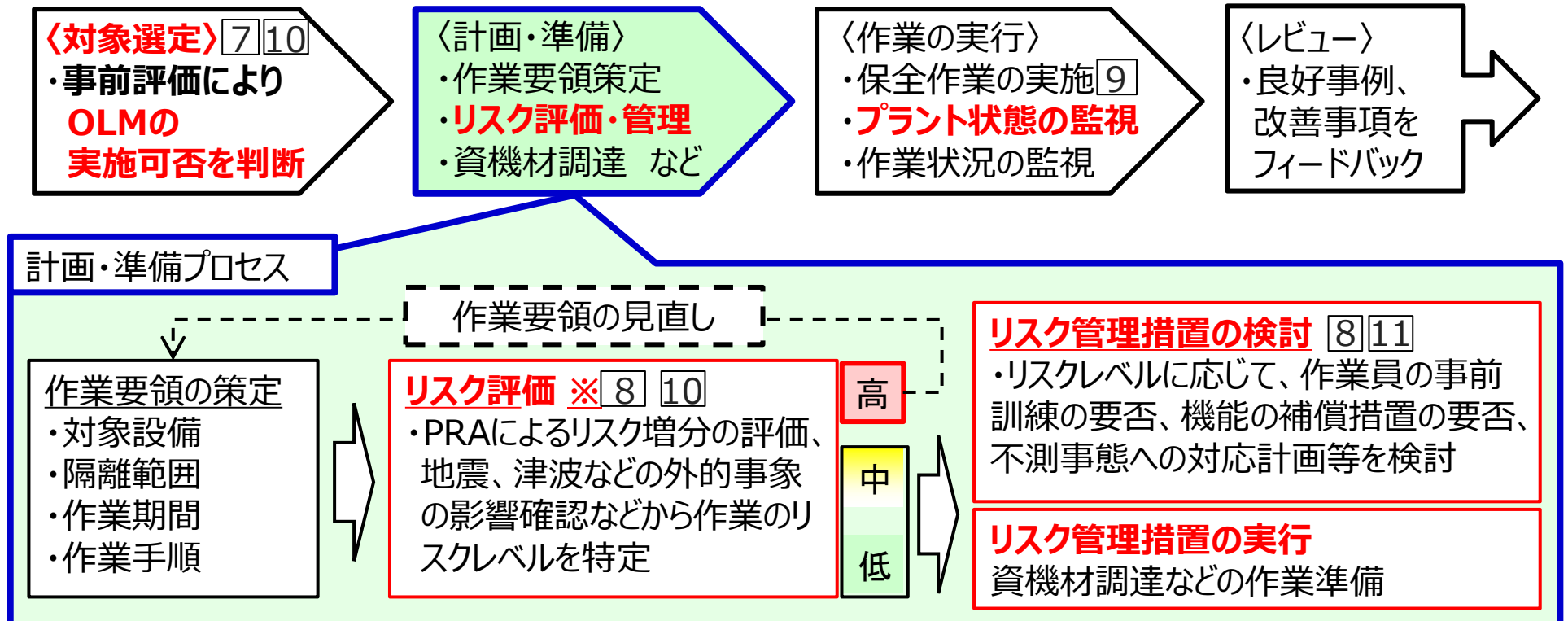
- OLMの導入によりプラントの安全性向上を目指していくが、LCO設定設備に対してOLMを実施する場合、安全機能が要求されている設備、システムを待機除外とするため、一時的にリスクが上昇することとなる。このリスクに対しては、以下のとおりの措置を実施する。
 - ◆ OLMの実施の可否は、リスクレベルの基準を設け、**予め設定した許容範囲内にリスクレベルが収まらない場合は実施しない。**
 - ◆ リスクレベルが予め設定した許容範囲内でOLMを実施する場合でも、**プラントのリスク状態を監視し、リスクレベルに応じたリスク管理措置を実施することにより、上昇するリスクを抑制、低減させる。**

OLMは安全を前提として実施するものであり、OLMの計画・準備・実行段階においてリスク評価・リスク管理などの必要な安全確保策をガイドラインとしてまとめ、保全作業時に上昇するリスクを適切に管理していくことで、安全性を確保したOLMを実現する。

2. OLMにおけるリスク管理手法について〈運転中保全ガイドラインの概要〉

OLMを実施するためシステムを一時的に待機除外とする場合にリスクが上昇するおそれがある。このようにOLM実施時に上昇するリスクの適切な管理のため、OLMの計画・準備・実行段階におけるリスク評価・リスク管理などの必要な安全確保策を定めた「**運転中保全ガイドライン**」(NRRC)を策定。

OLM実施時に必要な一連のプロセス



2. OLMにおけるリスク管理手法について <対象選定の概要>

▶提案された保全タスクの実施に伴い待機除外となる系統を特定し、当該保全作業の出力運転中の実施可否について①PRA及び②専門家の合議により確認する。

①PRAによるスクリーニング

- ✓ 待機除外を想定した内的事象PRAによるプラント構成特有のCDF、CFFを使用する。
- ✓ スクリーニング基準は、NRAが議論の基礎となるものとしている2006年の性能目標案を参照し、設定する。
- ✓ CDF,CFFがスクリーニング基準を上回る場合は当該作業を計画しない。

スクリーニング基準

CDF	CFF
$\geq 10^{-4}$	$\geq 10^{-5}$

②専門家の合議によるスクリーニング

- ✓ PRAによるスクリーニングに加え、様々な観点で情報収集し、当該保全作業の運転中の実施可否を判断する。

スクリーニングの観点

米国Kewaunee原子力発電所における例 (EPRIレポート：TR-1020397)

プラントの冷温停止、燃料交換、又は全燃料取出であることが必要か

運転中では実施できない局所漏洩率試験を必要とするか

運転中では実施できない試験・試運転を必要とするか

発電停止リスクを伴う作業か

スクリーニングアウトされる設備・作業例

蒸気発生器、一次冷却材ポンプ 等

新たな格納容器バイパスが形成される作業 等

テストラインのないポンプ 等

原子炉保護系 等

2. OLMにおけるリスク管理手法について<リスク評価、リスク管理措置の概要>

- OLM時のプラント状態について、確率論的リスク評価及び決定論的評価により**リスク評価を実施しリスクレベルを特定し、リスクレベルに応じて管理（リスク管理措置）**を実施する。
 - ✓ 内的PRAのリスク評価では、NUMARC93-01を参照し、ICDP及びICFPによりリスクレベルを特定する。

リスク評価の例

（内的PRAによるリスクレベルの特定）

- ICDP、ICFP；保全作業の実施に伴うCDF、CFFの増分に、その継続時間を乗じた指標

リスクレベル	しきい値※1		定義	リスク管理措置の対応方針
	ICDP	ICFP		
赤	$>10^{-5}$	$>10^{-6}$	OLMを実施しない水準	OLMの実施不可。
黄	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-6}$	直接リスクを低減するリスク管理措置の上、OLMを実施する水準	<ul style="list-style-type: none"> ・リスク上重要な設備の機能補償の措置をとる。 ・上級マネジメント層の承認を得る。
白	$\leq 5 \times 10^{-6}$	$\leq 5 \times 10^{-7}$	リスク管理措置の上、OLMを実施する水準	<ul style="list-style-type: none"> ・リスク上重要な設備・手順に対して信頼性維持・向上のための措置をとる。
緑	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-7}$	通常の作業管理に準じたリスク管理を行う水準※2	<ul style="list-style-type: none"> ・リスク上重要な設備・手順の周知を行う。 ・PRAスコープに含まれていないリスクへの影響を検討し、必要な措置を講じる。

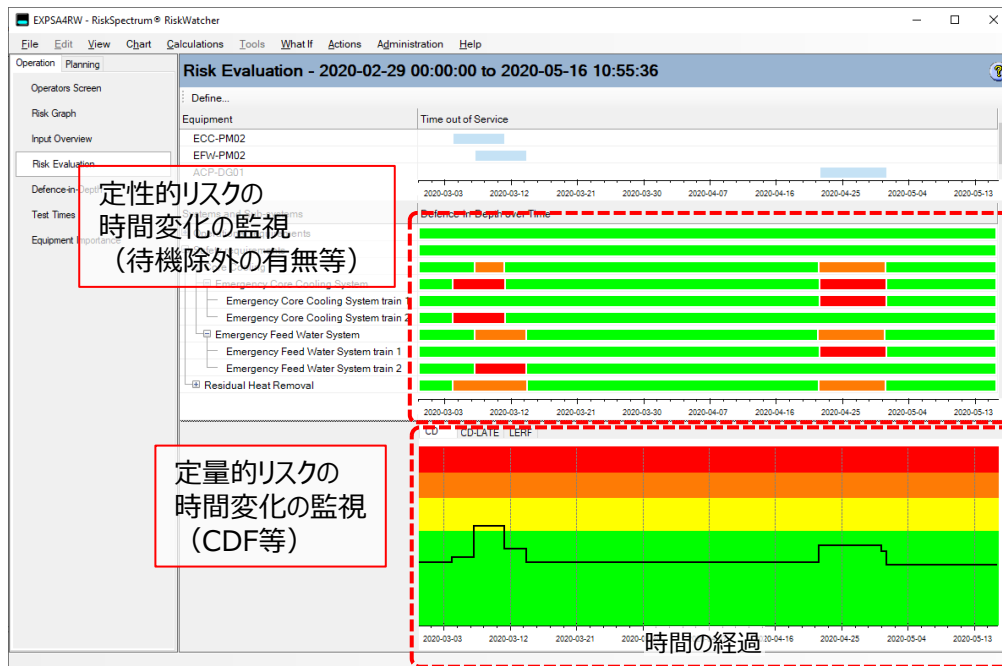
※1 米国ガイドライン、日本機械学会を参考にしきい値を設定

※2 リスクレベル「緑」については、通常の作業管理に準じたリスク管理を行う水準としているが、定量的なリスクレベルの特定が難しいPRAスコープに含まれていない起因事象の上昇リスクについては、リスクレベル「緑」においても、リスク管理措置を実施する場合もある。

2. OLMにおけるリスク管理手法について <プラント状態の監視の概要>

- プラント状態が作業計画の通りであることを適時監視するとともに、関係部門間※で情報共有を行う。
 - ✓ 構成リスク管理（CRMツール）の活用等により**プラント構成リスクを監視**するとともに**リスク上重要な設備を特定し関係部門間で共有**する。（下図のイメージ）
 - ✓ ハザードバリアの状態の変化などCRMツールで評価できないものについては、その影響を定性的に評価し、関係部門間※で共有する。

※保全、工程管理、運転、リスク管理、放射線管理部門等のプラント関係者



作業計画に対する定量的リスクの時間変化

Component ID	RIF	Co	AC
CPO-TK_	7.3E+01		
CCW-HX02	5.4E+01		
CCW-PM02	5.4E+01		
SWS-PM02	5.4E+01		
DWS-TK_	4.9E+01		
ACP-DG02	4.0E+01		
RHR-VC03	3.2E+01		
RHR-HX04	3.2E+01		
RHR-VM04	3.2E+01		
RHR-PM02	3.2E+01		
ACP-GT01	1.9E+01		
CCW-PM01	6.6E+00		

Note	Event time point	Event	ID	Description
	2020-12-10 13:27:08	TAKE OUT	ACP-DG01	Diesel gen
	2020-12-01 11:01:56	Config. OFF	MFWP3	Main Feed
	2020-12-01 10:55:36	Config. ON	SWS-2	Service Wa
	2020-12-01 10:55:36	Config. ON	CCW-2	Componen
	2020-12-01 10:01:56	Config. ON	MFWP1	Main Feed
	2020-11-15 10:55:36	Config. ON	CCW-1	Componen
	2020-11-15 10:55:36	Config. ON	SWS-1	Service Wa
	2020-11-15 10:43:34	Config. ON	MFWS1	Main Feed
	2020-11-01 10:55:36	Config. ON	SWS-2	Service Wa

リスク上重要な設備の一覧表示（RAW上位）

CRMツールを使用したプラント状態の監視の例

3. OLMにおけるリスク評価、管理措置の例

モデルプラント（PWR）にて充てんポンプ（DB/SA兼用）を待機除外した場合の例

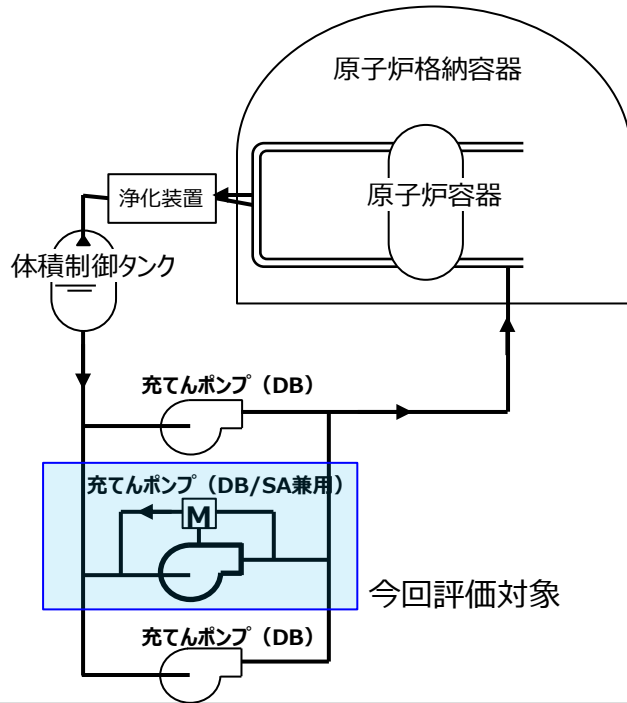
【充てんポンプの概要】

一次冷却系統から抽出した一次冷却水を浄化した後、再び一次冷却系統に戻すためのポンプ。

通常運転時：3台中、1～2台を運転。残りは予備。

（LCO：1台／3台中）

重大事故等時：DB/SA兼用ポンプのみ、原子炉補機冷却水機能喪失時に炉心注入ポンプとして使用。（LCO：1台／1台中）



＜対象選定：事前評価＞

充てんポンプ（DB/SA兼用）の待機除外を想定した内的事象PRAによる、プラント構成特有のCDF、CFFを算出。スクリーニング基準を満足するため、運転中に保全可能と判断。

	PRAでモデル化された設備がすべて利用可能な状態	充てんポンプ（DB/SA兼用）待機除外時	スクリーニング基準
CDF	4.2×10^{-6}	4.3×10^{-6}	$< 10^{-4}$
CFF	1.2×10^{-6}	1.2×10^{-6}	$< 10^{-5}$

＜準備・計画段階 I ＞

リスク評価結果（内的事象PRA）

（待機除外30日間を想定した場合）

ICDP = 5.3×10^{-9} , ICFP = 4.1×10^{-9}

リスクレベル	しきい値	
	ICDP	ICFP
赤	$> 10^{-5}$	$> 10^{-6}$
黄	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-6}$
白	$\leq 5 \times 10^{-6}$	$\leq 5 \times 10^{-7}$
緑	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-7}$

リスクレベルが緑であるため、ガイドラインに従い以下を実施する。

- ① リスク上重要な設備・手順の周知を行う。
- ② PRAスコープに含まれていないリスクへの影響を検討し、必要な措置を講じる。

3. OLMにおけるリスク評価、管理措置の例

モデルプラント（PWR）にて充てんポンプ（DB/SA兼用）を待機除外した場合の例

<準備・計画段階Ⅰ>

リスク管理措置（内的事象）

① 充てんポンプOLM時のプラント構成における、リスク上重要な設備・手順について周知を行う。

充てんポンプ（DB/SA兼用）を待機除外した場合のFV重要度及びRAW それぞれの上位の基事象を選定し、それをもとにリスク上重要な設備や手順に関する注意喚起のための資料を作成する。

CDF			
順位	FV重要度上位	順位	RAW上位
1	LOCA時再循環切替操作（小LOCA）	1	海水ポンプ A、C 継続運転失敗 CCF
2	CCWサージタンクへの手動補給操作	2	原子炉補機冷却水クーラB、D海水出口弁 誤開 CCF
3	RCPシールLOCA発生（機能喪失）	3	動力変圧器C1負荷用遮断器 動力変圧器D1負荷用遮断器 誤開 CCF
4	1次冷却材ポンプ停止操作 原子炉補機冷却水・原子炉補機冷却海水による冷却を要する補機の停止操作	4	原子炉コントロールシフトC1用遮断器 原子炉コントロールシフトC2用遮断器 原子炉コントロールシフトD1用遮断器 原子炉コントロールシフトD2用遮断器 タービンコントロールシフトC用遮断器 タービンコントロールシフトD用遮断器 誤開 CCF
...

② PRAスコープに含まれていないリスクへの影響を検討し、必要な措置を講じる。

充てんポンプ（DB/SA兼用）を待機除外した場合、以下の起回事象の発生頻度に影響を与える。

- ・インターフェイスシステムLOCA
（充てん／抽出のアンバランス）
- ・1次冷却材ポンプ封水リーク

しかしながら、上記起回事象発生頻度は、フォールトツリーによるシステム信頼性解析により算出されており、**充てんポンプ（DB/SA兼用）を待機除外した場合の起回事象発生頻度への影響はPRAのスコープに含まれているため、PRAスコープに含まれていないリスクへの影響は無い。**したがって追加の措置は不要。

なお、影響がある場合は、感度解析をする等して、影響を確認する。

4. 今後のスケジュール（案）

- CNO意見交換会後に、実務レベルの意見交換を重ねることにより、先行プラント保安規定変更認可申請を行う。

	2023年度		2024年度		2025年度～
会合等		▽CNO意見交換会(10) NRA実務レベルとの意見交換会	←————→		
ATENA、事業者	-----申請準備-----				
			先行プラント申請（予定）		▽

(参考) OLMにおけるリスク評価、管理措置の例 (リスクレベル白の例)

□ モデルプラント (PWR) にてDG(A)を待機除外した場合の例

<対象選定段階>

- ✓ **DG(A)**の待機除外を想定した内の事象PRAによるプラント構成特有のCDF、CFFは、スクリーニング基準を満足するため、運転中に保全可能と判断。

	PRAでモデル化された設備 がすべて利用可能な状態	DG(A) 待機除外時	スクリーニング 基準
CDF	4.2×10^{-6}	1.0×10^{-5}	$< 10^{-4}$
CFF	1.2×10^{-6}	6.4×10^{-6}	$< 10^{-5}$

(参考) OLMにおけるリスク評価、管理措置の例 (リスクレベル白の例)

モデルプラント (PWR) にてDG (A) を待機除外した場合の例

<準備・計画段階 I >

リスク管理措置 (内的事象)

(待機除外10日間を想定した場合)

$$\text{ICDP} = 1.7 \times 10^{-7}, \quad \text{ICFP} = 1.4 \times 10^{-7}$$

リスクレベル	しきい値	
	ICDP	ICFP
赤	$> 10^{-5}$	$> 10^{-6}$
黄	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-6}$
白	$\leq 5 \times 10^{-6}$	$\leq 5 \times 10^{-7}$
緑	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-7}$



リスクレベルが白であるため、ガイドラインに従い以下を実施する。

- ① リスク上重要な設備・手順の周知を行う
- ② PRAスコープに含まれていないリスクへの影響を検討し、必要な措置を講じる。
- ③ リスク上重要な設備・手順に対して信頼性維持・向上のための措置をとる。

① DG (A) OLM時のプラント構成における、リスク上重要な設備・手順について周知を行う

DG(A)を待機除外した場合のFV重要度及びRAW それぞれの上位の基事象を選定し、それをもとにリスク上重要な設備や手順に関する注意喚起のための資料を作成する。

CDF			
順位	FV重要度上位	順位	RAW上位
1	防火兼手動ダンパ401D 戻し忘れ	1	遮断器 AC1B,2B 誤閉CCF
2	手動ダンパ401B 戻し忘れ	2	遮断器 AC1A,2B,誤閉CCF
3	防火兼手動ダンパ401C 戻し忘れ	3	発電機負荷開閉器
4	原子炉補機冷却水ポンプC 起動失敗	4	遮断器 AC2B 誤閉
...

② PRAスコープに含まれていないリスクへの影響を検討し、必要な措置を講じる。

DG (A) の待機除外による起因事象発生頻度の上昇はないため、PRAスコープに含まれていないリスクへの影響は無い。したがって追加の措置は不要。

なお、影響がある場合は、感度解析をする等して、影響を確認する。

(参考) OLMにおけるリスク評価、管理措置の例 (リスクレベル白の例)

モデルプラント (PWR) にてDG (A) を待機除外した場合の例

<準備・計画段階 I >

リスク管理措置 (内的事象)

(待機除外10日間を想定した場合)

$$\text{ICDP} = 1.7 \times 10^{-7}$$

$$\text{ICFP} = 1.4 \times 10^{-7}$$

リスクレベル	しきい値	
	ICDP	ICFP
赤	$> 10^{-5}$	$> 10^{-6}$
黄	$\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-6}$
白	$\leq 5 \times 10^{-6}$	$\leq 5 \times 10^{-7}$
緑	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-7}$

リスクレベルが白であるため、ガイドラインに従い以下を実施する。

- ① リスク上重要な設備・手順の周知を行う
- ② PRAスコープに含まれていないリスクへの影響を検討し、必要な措置を講じる。
- ③ **リスク上重要な設備・手順に対して信頼性維持・向上のための措置をとる。**

③ リスク上重要な設備・手順に対して信頼性維持・向上のための措置をとる。

「事象進展の緩和」の観点から「FV重要度」に着目して対象機器を抽出
FV ≥ 0.01 かつ FV変化率が100%を超える事象 (約15事象)

主な事象	リスク管理措置
原子炉補機冷却水ポンプC 起動失敗	原子炉補機冷却水ポンプCへの接近制限、注意表示 (作業禁止)
ディーゼル発電機B 起動失敗	ディーゼル発電機Bへの接近制限、注意表示 (作業禁止)
非常用ガスタービン発電機の 起動操作失敗	OLM作業期間中に当直勤務を行う関係者による事故時手順書の内容確認※
軽油タンクからローリーによる 燃料輸送失敗	OLM作業期間中に事故対応を担当する関係者による事故時手順書の内容確認※

※内容確認のためのミーティングを開催する。

「事象進展の緩和」の観点から「安全機能」に着目して対象機器を抽出 (約9設備)

主な機器 (フロント/サポート系の組合せ単位)	リスク管理措置	
ディーゼル発電機 B ディーゼル発電機給気ファン C / D 海水ポンプ C / D	作業禁止	近接制限
空冷式非常用発電機	作業禁止	近接制限
非常用ガスタービン発電機 非常用ガスタービン発電機設備給気 / 排気ファン	作業禁止	近接制限
外部電源 (予備系統からの受電)	作業禁止	近接制限

(参考) 海外でのOLMの効果

- 海外では、米国、スペイン、フィンランド、スウェーデン、スイスなど多くの国がOLMを導入しており、実際の効果として、以下が挙げられている。
 - ✓ プラント停止期間中の保全作業において、限られたエリアの作業集中などを回避することができる。(作業品質の向上)
 - ✓ 特別な資格、特別な技術・スキル、プラントのレイアウトや要求事項といった分野について、必要な力量・経験を有した作業員を年間を通して確保できる。(作業員の力量)
 - ✓ プラント停止期間中の保全作業において、設備未経験者の参加を低減することができる。(作業員の力量)
 - ✓ 年間を通して保全作業を行うため、設備のパフォーマンス及び信頼性に対する所員の意識を向上できる。
 - ✓ 劣化等の兆候が確認できた場合に、次回のプラント停止を待たずに、解決することができる。