

第7回 原子力安全合同シンポジウム

オンラインメンテナンスによるリスク低減

TOSHIBA

東芝エネルギーシステムズ株式会社

石橋 文彦

2021.12.23

Contents

- 01 はじめに
- 02 運転中保全の安全への効果
- 03 規制が要求する安全基準との整合
- 04 運転中保全のリスク管理
- 05 まとめ

01

はじめに

はじめに

福島第一原子力発電所の事故を契機とした状況変化を踏まえ、安全性向上に取り組むことが重要

設備

福島第一発電所事故の反省として新規規制基準が制定され、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

技術

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

運用

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

リスク評価と連動して安全裕度を効果的に活用し、さらなる安全性向上に繋げる

運転中保全と安全性について

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」
(以下、リスク低減研究会) 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検討
- 運転中保全 (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
交えて整理



運転中保全は
安全なのか？

運転中保全の考え方を整理

どうやって安全を
管理するのか？

運転中保全の安全性への寄与とリスク管理について紹介

02

運転中保全の安全への効果

運転中保全実施時のリスク管理の考え方

リスクの大きさ

危険（許容できない）

安全（許容可能）

安全目標

事故前通常運転時のリスク

追加安全設備により
安全裕度向上

事故後通常運転時のリスク

- ・補償措置
- ・OLMに付随する安全性向上効果

OLM実施期間

時間

制度によるリスク増加制限

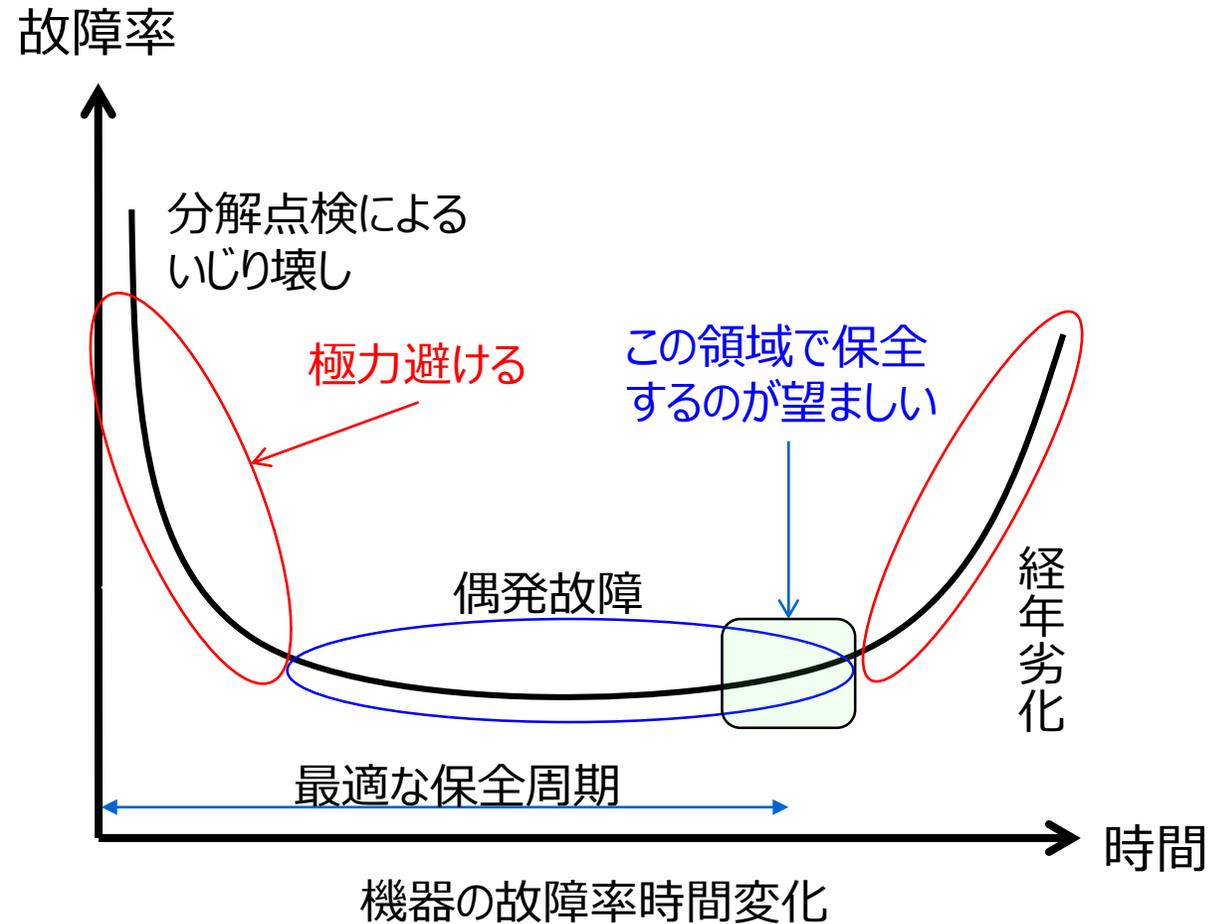
運転中保全によるプラントの安全性への寄与を紹介

運転中保全実施による安全性向上のシナリオ

- 運転中保全実施時のリスク管理による十分な安全裕度の確保（制度による管理）
- 積極的なリスク低減計画（補償措置）
- 運転中保全実施に付随する安全性向上効果
 - 保全計画の最適化運用が可能
（LCO設備へのCBM適用・保全頻度最適化による故障率低減）
 - 熟練者がより多くの保全業務に従事可能（作業品質向上・技術伝承）
 - 現場輻輳作業の防止（作業安全性向上）
 - 年間作業（マンパワー）平準化（年間雇用実現によるマイプラント意識の向上）
 - セキュリティの向上（ピーク作業員の低減）
 - リスクモニタの常態化により、常時リスクの認識・共有可能（全員のリスク意識向上）

**「制度によるリスク管理＋補償措置＋OLMに付随する安全性向上効果」
のトータルにより安全性向上を達成**

課題：過剰な保全による“いじり壊し”



現行規制

保全頻度の最適化ができないため、過剰な保全が設備故障（いじり壊し）につながる

運転中保全

設備の状態に合わせた保全が可能



保全頻度の最適化により、不要な分解点検頻度を低減することで、設備故障率の低減が可能。

保全頻度・時期の最適化による故障率の低減

03

運転中保全と規制が要求する安全基準との整合

原子力発電所の安全設計の考え方

設計段階（設置許可）

原子炉施設の設計段階では、安全設計審査指針において重要度の特に高い安全機能を有するシステムに対しては、**高い信頼性で必要な安全機能・能力を確保**することを要求しており、それを具現化する手法として「単一故障」の考え方を採用している。

これは当該システムに単一故障（何らかの不具合による1トレインの機能不全等）の発生を仮定した場合においても、そのシステムの有する安全機能が達成できる多重性を求めているものである。

運転段階（保安規定）

保安規定においては、多重化の設計要求との整合を踏まえて運転段階で安全上重要な機能を有するシステムが**直ちに稼働できる状態にあること**を運転上の制限として要求しており、これらの安全に関する要求との整合を図る必要がある。

設計段階（設置許可）との整合性

運転中保全是、事前に計画を策定した上で行う行為であるため、運転中の安全性を低下させないための対応を予め講じることが可能である。

この対応によって、当該系統の運転中保全に伴い待機するトレイン、あるいは代替設備によって、運転中保全の期間内においても系統が担う**安全機能の信頼性が十分高く維持**されるならば、運転中保全を行うために安全機能を有する系統の1トレインを能動的に待機除外とすることは、系統に要求される多重性の設計の考え方に反するものではない。

運転段階（保安規定）との整合性

安全機能を有する系統に故障等が発生した場合の対応としては、保安規定において、直ちに原子炉を停止するのではなく、合理的な措置として一定の時間（許容待機除外時間：A O T）を限った補修をしながらの運転継続を認める運用としている。

これは、高い信頼性を有するように設計された施設においては、A O Tとして認められている短い期間に、故障等が発生したトレインに加えて待機側トレイン（故障等が発生したトレイン以外のトレイン）に更に故障が発生し、その上に事故等の要因となるトラブルが発生する可能性は極めて小さいものと評価されているためである。

すなわち、多重化された設備は、常に運転可能な状態に維持管理することは必要であるが、機器の故障等による**短期間の単一のトレインの待機除外は許容**されるものである。

決定論的なアプローチで「計画的運転中保全是許容される」との見解

04

運転中保全のリスク管理

運転中保全のリスク管理

リスク低減研究会では、OLM時のリスク管理の基本的な考え方を検討

◆ 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、常にさらなるリスク低減を考慮したOLMを実現する。

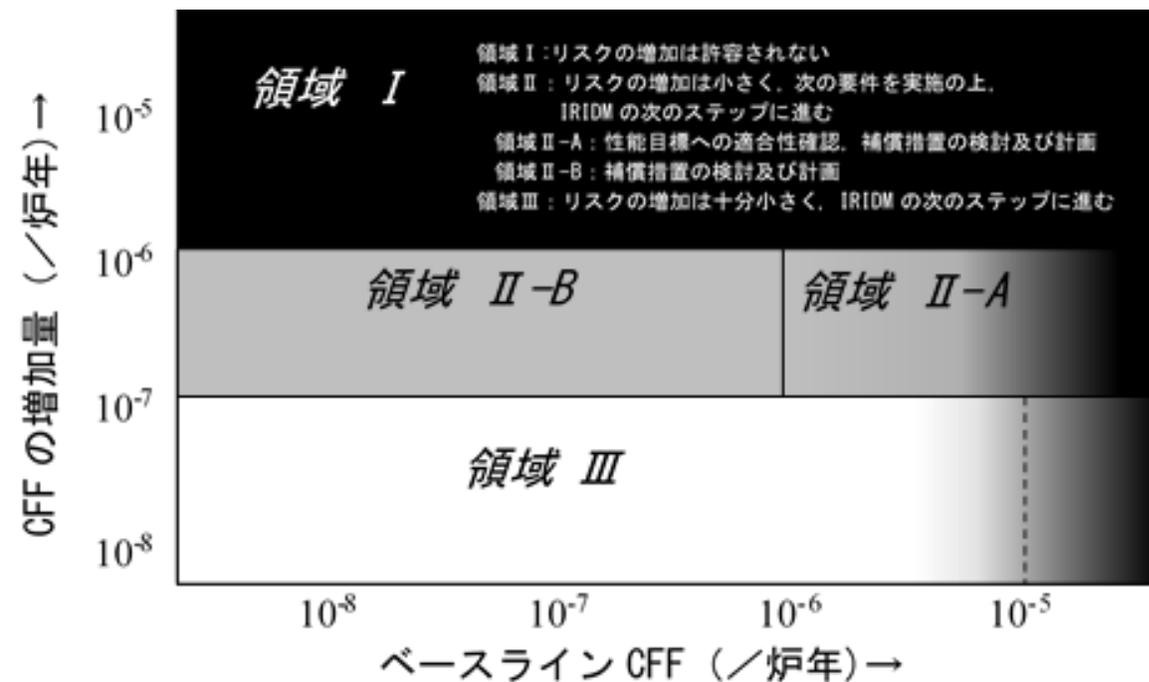
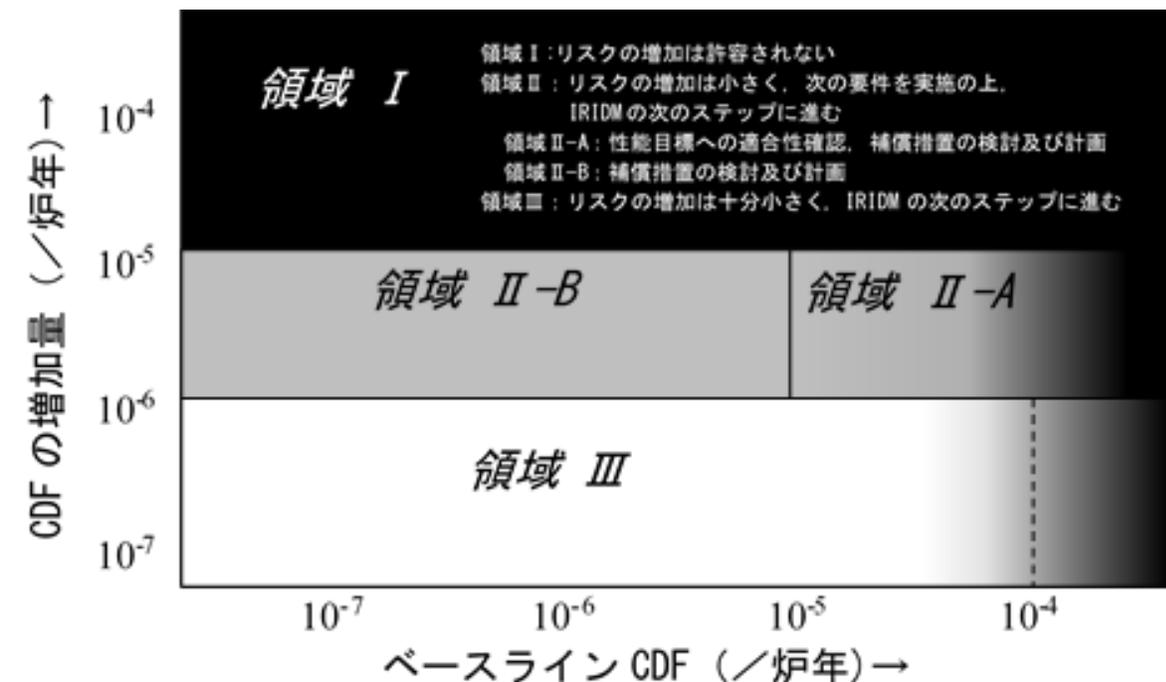
◆ 外的事象に対するリスク管理の考え

地震や津波等の外的事象について、それらへの対応計画を補償措置として検討する。

➡ 運転中保全実施時のリスク管理のガイダンスを検討

運転中保全のリスク管理の考え方を紹介する

運転中保全のリスク管理の基本な考え方



- 注a) 内的事象及び外的事象を含むリスクに対して適用し、図 0.2 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)は選択肢の実施前の CDF、CDF の増加量(縦軸)は選択肢の実施後の 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0.1 CDFの判定基準*

- 注a) 内的事象及び外的事象を含むリスクに対して適用し、図 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(縦軸)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0.2 CFFの判定基準*

運転中保全のリスク管理の基本として日本原子力学会の考え方を導入

*：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：2019」(AESJ-SC-S012:2019) の附属書O「PRAなどの定量的なリスク評価実施」 図O.1および図O.2より引用

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。 |
| 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。 |
| | $< 10^{-6}$ | $< 10^{-7}$ | 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実施基準のリスク指標の判定基準（前スライドの図0.1, 図0.2参照）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。

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

補償措置の考え方

■ 補償措置は、計画された保守活動中にリスクの影響を軽減するためのリスク管理措置として設定される。補償措置には、計画された保守活動のために待機除外している設備と同様の機能を有する設備を待機状態とするハードウェアを利用した措置以外に、次に示すようなリスク管理を意識した原子力発電所の運営管理に関する幅広い対策*が考えられる。

- ・ 運転員・補修員に対する、待機除外の発生及びこれに伴うリスクの状態の周知徹底
- ・ 運転員・補修員に対する、待機除外系統に対して機能的に多重性を担っている系統の周知徹底及び当該系統の機能確認の実施
- ・ 待機除外中に有効な操作及び代替手段の運転員に対する周知徹底，操作手順の整備，現場操作が有効な場合には事前の人員配備
- ・ 待機除外中のプラント運転に対する当直運転員への支援強化
- ・ 待機除外時間の短縮のためのシフト体制構築（24時間体制など），実際に待機除外する時間の制限（原則として許容待機除外時間の50%までなど）
- ・ 多重性を担う系統及び関連する設備への作業の制限
- ・ プラントトリップに繋がる恐れのある作業の制限
- ・ 天候及び自然現象の予報確認，所内の作業制限などによる外部電源喪失の可能性排除

運転員・作業員の意識向上なども補償措置として有効

外的事象に対するリスク管理の定性的な考え方（例）

地震や津波といった外的事象特有のリスクの規模により、大きく2つの考え方がある

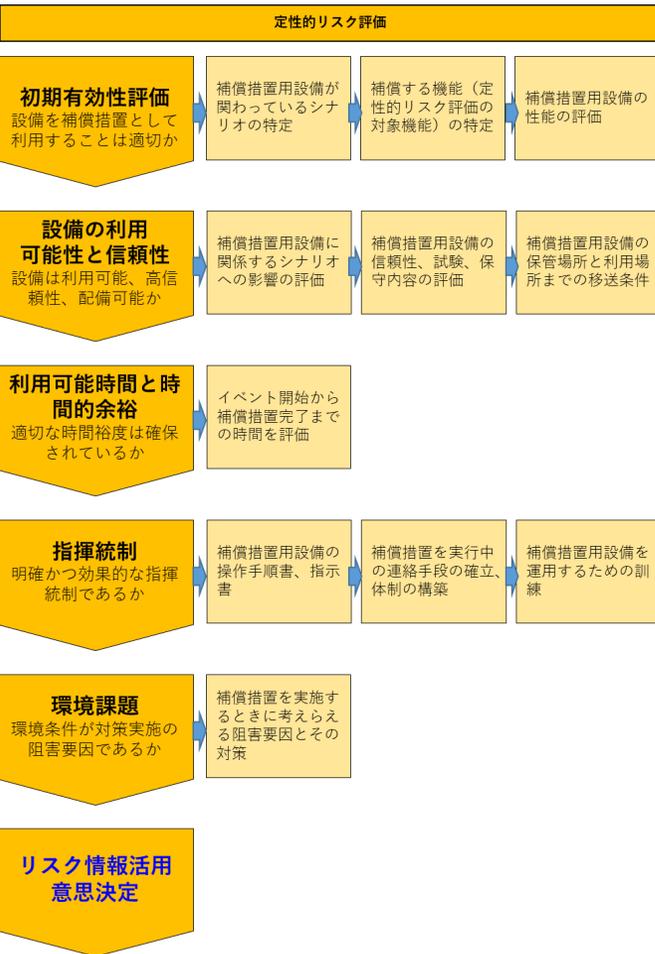
1. 地震による建屋・構築物の損傷や防潮堤を超える津波による敷地内浸水（海水ポンプ損傷、建屋内浸水）等、設備の同時機能喪失となる厳しい外部ハザード（高加速度地震／高津波）の場合
⇒外部ハザードの特性を踏まえた**多様性、位置的分散に配慮した補償措置**を策定することが有効
2. 比較的小さな外部ハザードによりプラント設備の一部が喪失することに加え、ハザードの影響を受けていないプラント設備のランダム故障が重畳する場合
⇒外的事象による影響よりもランダム故障による影響がリスクに対して支配的であるため、内的事象PRAを用いた評価によってOLMへの影響等を評価、検討することが有効

厳しい外的ハザードに対しては、多様性・位置的分散に考慮した補償措置が有効

運転中保全実施時のリスク管理の考え方

リスク評価の流れ

1. 運転中保全を実施することによるプラントへの影響を評価する
2. 補償措置に用いる設備について、プラントへの影響、能力や準備方法を評価する
3. 運転中保全を実施するときの時間計画をシミュレーションする
4. 補償措置に用いる設備の現場での運用方法を確認する
5. 運転中保全に影響を与える環境要因（地震、津波等）への対策を計画する



この考え方を基本として、PRAモデル等でリスクを定量評価・管理していく

05

まとめ

まとめ

- 下記状況変化を踏まえ、計画的運転中保全を実施することが可能
 - 福島第一発電所事故後、多くの追加安全設備（SA設備・特重設備）が設置され、安全裕度が拡大
 - 確率論的リスク評価（PRA）技術が進歩し、個別状況でのリスクを定量的に評価できるようになった
 - ⇒適切な運転中保全実施制度構築により適切なリスク管理が可能
- 計画的運転中保全はプラント安全性の向上に寄与することが可能
 - 制度による適切なリスク管理
 - 適切な補償措置によるリスクの更なる低減
 - 運転中保全に付随する定性的な安全性向上効果の享受

TOSHIBA