

レベル1PRAモデルの適切性確認 の状況について

令和5年8月28日

原子力規制庁
検査監督総括課

1. PRAモデルの適切性確認の全体状況
2. 美浜3号機及び高浜1／2号機の確認状況
3. 柏崎刈羽7号機の確認状況
4. 国内機器故障率の確認状況
5. まとめ



レベル1PRAモデルの適切性確認は、これまで9基のPWR¹について終了しており、現在確認中のプラントは、関西電力株式会社美浜発電所3号機及び高浜発電所1／2号機（以下「美浜3号機及び高浜1／2号機」という。）並びに東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所7号機（以下「柏崎刈羽7号機」という。）である。

美浜3号機及び高浜1／2号機は、確認結果をまとめている段階にある。

柏崎刈羽7号機は、令和2年6月より議論してきたが、BWRの確認の初号機ということもあり、幾つかの気付き箇所を挙げているが、更なる確認を行っている。

またこれまでの適切性確認では、要修正箇所に加え、中長期的な改善箇所²を挙げってきたが、そのうち、機器故障率に関しては、電力中央研究所（以下「電中研」という。）から、データ収集ガイド³が公表されたことから、これも含め事業者と議論してきた。

本資料では、美浜3号機及び高浜1／2号機の確認状況、柏崎刈羽7号機の確認状況及び機器故障率に係る議論の現状についてご報告する。

1: 伊方3号機、高浜3／4号機、川内1／2号機、大飯3／4号機、玄海3／4号機

2: 改善を要するが、直ちに修正等を反映することが困難な項目。

3: 確率論的リスク評価(PRA)のための機器信頼性データ収集実施ガイド NR22006 2023年5月 電力中央研究所



- (1) 美浜3号機及び高浜1／2号機は、1970年代中頃に営業運転を開始⁴した3
ループプラントであり、設計や運用に類似点が多いため、まとめて確認を行っ
た。
- (2) 現時点では、原子力規制検査で使用する上で支障となるような大きな課題は
見受けられない。
- (3) 適切性確認済3ループプラントとのモデルの差異は表1に示すとおりである。
- (4) 主な要修正箇所案は、表2のとおり、不確実さ解析及び感度解析(高浜1/2
号機のみ)を除き、いずれも過去9基の適切性確認作業の中で確認された項
目である。
- (5) 中長期的な改善箇所案は、表3のとおり、過去9基の適切性確認作業の中で
確認された項目に加え、タッチパネル方式のデジタル制御盤の人的過誤の評
価値の整備を新たに追加することを検討中。



表1 3ループプラントのレベル1 PRAモデル間の主な差異

		伊方 3号機	高浜 3／4号機	川内 1／2号機	美浜 3号機	高浜 1／2号機	美浜3号機及び高浜1／2号機と 先行プラントとの差異
プラント固有の設計	LOCA時再循環 操作	手動操作	自動	手動操作	手動操作	手動操作	再循環切替は、手動操作を踏まえたPRAモデルとなっており、自動切替である高浜3／4号機と比べ、切替操作失敗による炉心損傷頻度の割合が高いことを確認。
	ECCS再循環時の ブースティング	なし	あり	あり	あり	あり	充てん高圧注入ポンプを用いた小LOCA再循環時には、余熱除去ポンプでブースティングして注入する設計となっており、この設計を踏まえたPRAモデルであることを確認。
	中央制御室の操 作盤	アナログ	アナログ	アナログ	デジタル	デジタル	中央制御室の操作盤がタッチパネル方式のため、既存のスイッチ等よりも操作性が向上しているとして、運転員の人的過誤を評価していることを確認。
モデルに用いるデータ	起因事象の数及 び評価期間	44事象 ～2016年	31事象 ～2017年	31事象 ～2018年	31事象 ～2017年	31事象 ～2017年	高浜3／4号機等と同じ事象になっていることを確認。
	機器 故障率	国内平均 ⁵ (1982年度 ～2010年度 の29年)	国内平均 ⁵ をプラント個別 データでベイズ更新 2006年度～ 2010年度の5 年		2004年度～ 2010年度の 7年	国内平均 ⁶ (2004年度～ 2010年度の7 年)	国内平均 ⁶ (2004年度～ 2010年度の7 年)

5：故障件数の不確実さを考慮した国内一般機器故障率の推定（1982年度～2010年度29ヵ年56基データ）（2016年6月 一般社団法人 原子力安全推進協会）

6：国内原子力発電所のPRA用一般機器信頼性パラメータの推定（2021年9月）電力中央研究所



表2 主要修正箇所案

番号	要修正箇所	指摘内容
1	交互運転している系統(原子炉補機冷却系等)のモデル化	原子炉補機冷却系、制御用空気系等のように、非常時において必要な設備でかつ常時運転している系統は、定期的に運転するトレインを切り替える運用になっている。そのため、このような系統は、運用を考慮してモデル化することが適切である。
2	共通原因故障の範囲	共通原因故障を考慮する機器の範囲について、冗長性のある同種の複数機器のうち、運転状態(運転、待機)が違う機器についても共通原因故障を考慮することが適切である。
3	体系的な起因事象の抽出	起因事象を適切に選定するために、故障モード影響評価(FMEA)等の分析ツールを用いて体系的に起因事象を選定することが適切である。
4	小LOCA注入時の余熱除去ポンプ停止のモデル化	漏えいが小さい冷却材喪失事故時等において炉心に冷却材を注入する際、一次系圧力が高い状況では吐出圧力の小さい余熱除去ポンプを停止する手順になっている。 そのため、もし、運転員の操作ミスにより停止操作に失敗した場合、同ポンプはミニマムフローラインを用いた低流量運転が長時間継続することにより、故障確率が上昇することになるが、この停止操作及び故障確率の上昇がモデル化されていない。 このため、同ポンプの停止操作及び故障確率の上昇をモデル化することが適切である。
5	不確実さ解析及び感度解析(高浜1/2号機のみ)	PRAモデルで使用しているパラメータのばらつきによる不確実さ、使用している計算モデルや計算精度による不確実さ等を確認するための不確実さ解析及び感度解析を実施していない。PRAモデルの不確実さを把握するため、不確実さ解析及び感度解析を実施することが適切である。



表3 中長期的な改善箇所案

No	中長期的な改善箇所	指摘内容（括弧内は現在の状況）
1	国内平均機器故障率	電中研が、新たにデータ収集ガイド ³ を策定し、新しい国内平均機器故障率 ⁶ を公表したが、データ収集ガイドについて改善を要する気付きがある。（気付きについて議論中）
2	海外専門家のフォローアップレビュー	海外専門家レビューでの指摘事項への対応に関するフォローアップレビューによりモデルの改善を計画的に行う。（伊方3号機は令和4年12月のフォローアップレビューで134件の指摘事項のうち44件について議論し、16件が終了し、25件が部分終了、未解決は3件）
3	外部電源喪失の発生頻度と復旧失敗確率	電中研が、国内の原子力発電所（PWR及びBWR）における外部電源喪失事例から試算した発生頻度は、所内単独運転に係る設計の違いを考慮していない。さらにPWRとBWRでは外部電源復旧の失敗確率のデータ及び評価手法に相違がある。（議論中）
4	タッチパネル制御盤の人的過誤の評価値*	タッチパネルによる操作を従来のアナログ式の操作スイッチの人的過誤の評価値で代用している。（今後、評価値の見直しを要請）
5	安定状態の定義	低温停止、高温停止等の種々の状態が安定状態としているが、イベントツリーについては、炉心損傷となる事故シーケンスと区別するため、安定に停止したプラントの状態を成功の状態とする必要がある。（議論中）
6	使命時間が一律24時間	安定状態の定義により、緩和機能の継続を必要とする時間（使命時間）が24時間以上必要な場合もあるが、使命時間を適切に設定した根拠が不足している。（議論中）
7	過度な保守性を含んだ成功基準解析	安全審査時の保守的な解析結果を成功基準解析に流用している。（解析見直し中）

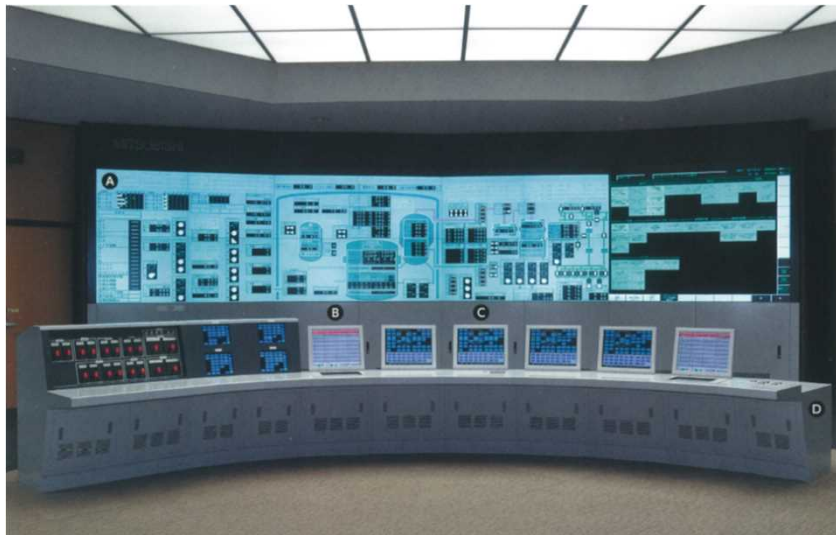
*：今回の適切性確認で新たに抽出された項目



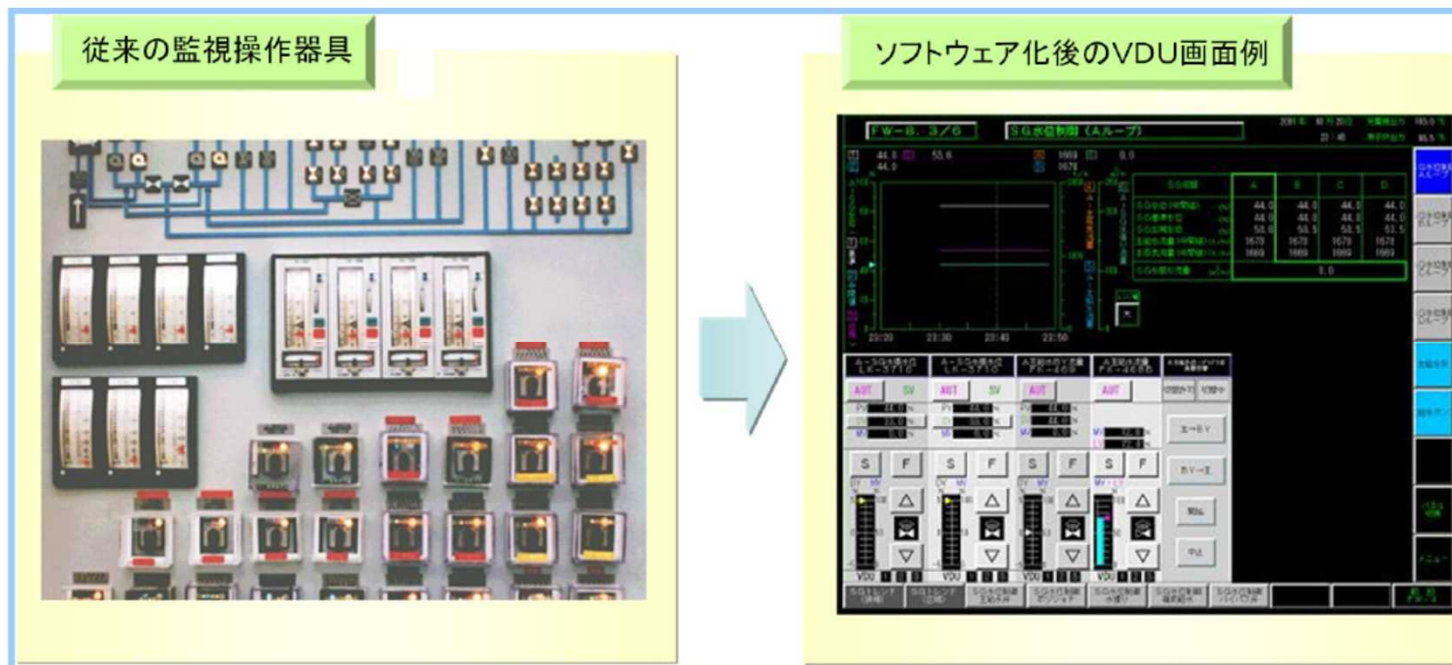
NRA

2.美浜3号機及び高浜1／2号機の確認状況

デジタル中央制御盤の全景と画面例



引用元:三菱電機電力システム製作所 原子カシミュレーション&トレーニングセンター パンフレット



注: 左の画面例は開発用のモックアップ検証画面である



- (1) 柏崎刈羽7号機は、1997年7月に営業運転を開始した改良型沸騰水型原子炉 (ABWR) であり、BWRを対象としたPRAモデルの確認としては初号機であり、気付き箇所を整理しているところである。
- (2) 現時点での気付き箇所の例は表4、表5に示すとおりであるが、今後の確認作業の進捗により変わる可能性がある。
- (3) 表4はPWRと共通の気付き箇所であり、国内機器故障率関連、海外専門家レビューのフォローアップ及び、外部電源喪失頻度等がある。
- (4) 表5は柏崎刈羽7号機固有の気付き箇所であり、LOCAのモデル化には現実と不整合なものが見受けられたが、事業者は、LOCAの全炉心損傷頻度への寄与が小さいため、現行のままで修正不要としている。



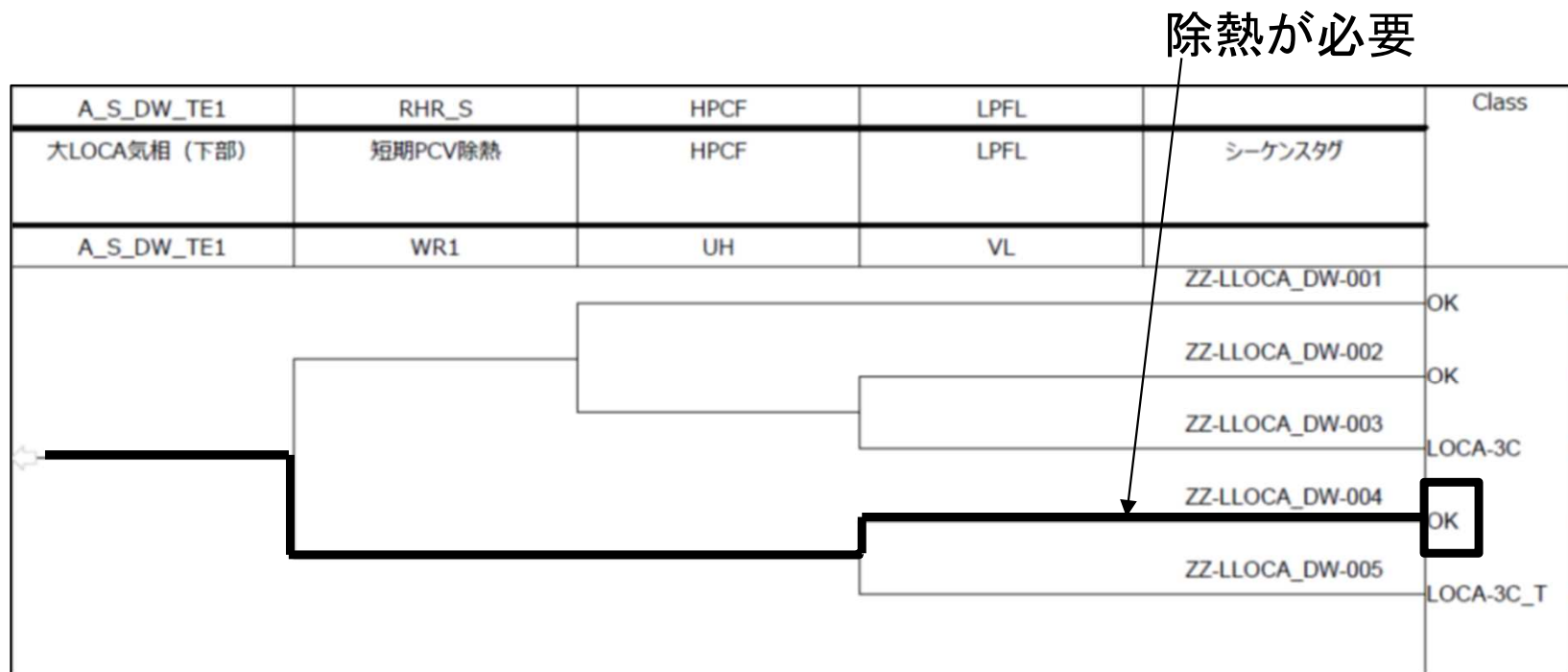
表4 気付き箇所の一覧(PWRと共通の項目)

項目	内容
機器故障率	使用している国内一般機器故障率は最新ではない。またデジタル関連の機器故障率はPWRとBWRで差異がある。
機器故障率と共通原因故障パラメータ	機器故障率は国内データであるが、共通原因故障パラメータは米国データである。
海外専門家のフォローアップレビューによる改善	海外専門家レビューでの指摘事項への対応に関するフォローアップレビューによりモデルの改善を計画的に行う必要がある。
交互運転しているシステムのモデル化	原子炉補機冷却系統等は定期的に運転するトレンを切り替える運用になっているが、そのようにモデル化されていない。
外部電源喪失頻度とその復旧失敗確率	外部電源喪失頻度をBWRの運転経験のみで算出していた。また外部電源復旧失敗確率の元データが1962～1987年と古いほか評価手法も違うので、1988～2013年のデータを使用しているPWRより1桁以上小さい。
タッチパネル制御盤の人的過誤の評価	タッチパネルによる操作を従来のアナログ式の操作スイッチの人的過誤の評価値で代用しているため、実状に合っていない。



表5 気付き箇所の一覧(柏崎刈羽7号機固有の気付き箇所)

項目	内容
大破断LOCAのモデル	大破断LOCAでは、格納容器除熱が炉心損傷防止に必須であるが、大破断LOCAのイベントツリーの中には、この除熱がモデル化されていなかった。
代替制御棒挿入機能のフォールトツリー	A系の排気弁の故障のフォールトツリーにB系の論理回路故障やB系の入力信号故障が入っていた。現在は、修正済みである。



大破断LOCAのイベントツリー



- (1) 電中研は、PRA用に説明性のある機器故障率を整備するとして、データ収集ガイドを策定し、事業者から故障にかかわるデータを手に入れ、新たな機器故障率を整備した。
- (2) この新機器故障率も全般的に米国機器故障率よりも小さく、空気圧縮機等2桁程度小さい機器もあった。
- (3) 原子力規制庁は、データ収集ガイドをレビューし、気付き事項*は 8月3日に ATENA(事業者)に提示しており、今後議論する予定である。

主な気付き事項一覧

- | | | |
|------------------|-------------------|------------------|
| 1. 人的過誤の扱い | 4. 露出データの収集方法 | 7. 故障モード選定事例の適正化 |
| 2. データ収集の対象となる期間 | 5. 故障モードのデータ収集の範囲 | 8. 機器故障に関する事例要約 |
| 3. 起動失敗の扱い | 6. 機器のグループ化 | 9. 外的要因の扱い |

- (4) 現状では、適切性確認ができないことから、原子力規制庁は、表6のとおり NUCIA掲載の事例を基に、事業者と故障判断に関し議論している。
- (5) 今後、故障判断に関する議論を踏まえ、抜き取りで発電所を選定し、そこで実データの収集状況の確認や故障判断に関する議論を行う計画である。

*:(今後ホームページに掲載されたら、リンクを記載する。)

4. 国内機器故障率の確認状況

表6. 更に詳細な議論が必要な事例

	発電所名	更に詳細な議論が必要な事例
非常用ディーゼル発電機	東海第二	<ul style="list-style-type: none"> ・バウンダリ内の非常用ディーゼル発電機内の弁の操作ミス(8205)を当初人的過誤を理由に故障率から除外し、その後人的過誤としてモデル化することから、故障率と人的過誤の切り分けの考え方について議論が必要。 ・DG室電線管のシール不良による屋外マンホールからの溢水(8130)を溢水PRAの評価範囲として除外するとしているため、溢水PRAの範囲について議論が必要。
	志賀2	<ul style="list-style-type: none"> ・操作ミス(8827)を、当初人的過誤を理由に故障率から除外し、その後人的過誤としてモデル化することから、故障率と人的過誤の切り分けの考え方について議論が必要。
	泊3	<ul style="list-style-type: none"> ・過給機の保守不良によるLCO逸脱事例(10534)は、営業運転開始前(建設時の試運転段階)という理由で除外しているため、営業開始前の設備の状況等について議論が必要。
タービン駆動ポンプ	高浜1	<ul style="list-style-type: none"> ・運転員の不注意な接触による弁の微開(10979)を人的過誤を理由に除外しているため、故障率と人的過誤の切り分けの考え方について議論が必要。
	志賀2	<ul style="list-style-type: none"> ・RCICの駆動用蒸気隔離弁の不完全閉止によるLCO逸脱事例(8089)は、営業運転開始前(建設時の試運転段階)という理由で除外している可能性があるため、必要に応じ、営業開始前の設備の状況等について議論が必要。
海水ポンプ	東通1	<ul style="list-style-type: none"> ・RSWポンプ自動起動信号系の制御回路の不備(10243)をどの機器の故障としてカウントしているかの確認が必要。
	女川3	<ul style="list-style-type: none"> ・同上(10370)
	女川2	<ul style="list-style-type: none"> ・同上(10373)



1. 個別プラントの適切性確認状況

(1) PWR

美浜3号機及び高浜1／2号機のPRAモデルの適切性確認を行った。

主な改善箇所等としては、不確実さ解析実施、感度解析の実施及びタッチパネル方式のデジタル制御盤の人的過誤の評価値の整備である。

(2) BWR

気付き箇所を議論中である。

2. 国内機器故障率の確認状況

データ収集ガイドについては、今後の対応についてATENA及び電中研と議論する予定である。

さらに、故障判断に関する議論を踏まえ、抜き取りで発電所を選定し、そこで実データの収集状況の確認や故障判断に関する議論を行う。