

リスク情報活用の取り組み ～現状と今後の計画～



四国電力株式会社
平成30年2月8日

目的と適用範囲

原子力発電所を運営する事業者として、規制の枠だけにとらわれない継続的な安全性向上に取り組むことを目的とし、プラントの改造、保守、運転等における意思決定において、P R Aを含むリスク情報を活用する仕組みを構築する。

R I D M導入によるメリット

- C D F やリスク重要度等の共通指標を用いることにより、発電所における保安活動や観察された事項などについて原子力安全上の重要性を関係者間で共有でき、設備の保守や改造だけでなく、運転操作手順や事故対応訓練、パトロール方法、作業手順、作業環境の整備等の改善活動につながる。
- 発電所の脆弱点について体系的、網羅的に検討することができ、優先順位を決めて効果的な安全性向上対策を実施することが可能となる。
- 不確かさに対する考察が可能であり、意思決定に際して有益な情報が得られる。

R I D M導入に向けた課題

①業務プロセス、仕組みの構築

- 具体的な適用範囲、活用方法の検討
- 意思決定に係る会議体の設定
(新たな会議体の設置 あるいは 既存の会議体の活用)
- R I D M導入による効果について見える化が困難 (発電所への浸透)

②P R Aの整備

- 意思決定に活用できる、G o o d P R Aモデルの構築
(個別プラントの現実的なリスクプロファイルを表現できること)
- P R A人材育成
 - ・P R Aモデルの開発、維持を行う技術者
 - ・保安活動に携わる技術者、管理者 (R I D Mを理解する必要がある)

③意思決定の最適化、正当化のために解決が必要な課題 (中長期)

- 安全目標とリスク情報活用の関係性整理
- コストベネフィット評価手法の整備

①業務プロセス、仕組みの構築

- リスク情報活用について、定検時のリスクモニタに活用する等、従来からできる範囲で取り組んできた。
- 現在は、既存の業務プロセスを基本とし、リスク情報活用により保安活動の改善を行う場合の適用範囲、活用方法及び意思決定に係る社内手続きや会議体について、仕組みの成立性、必要な追加機能等を確認するためのケース検討を実施している。

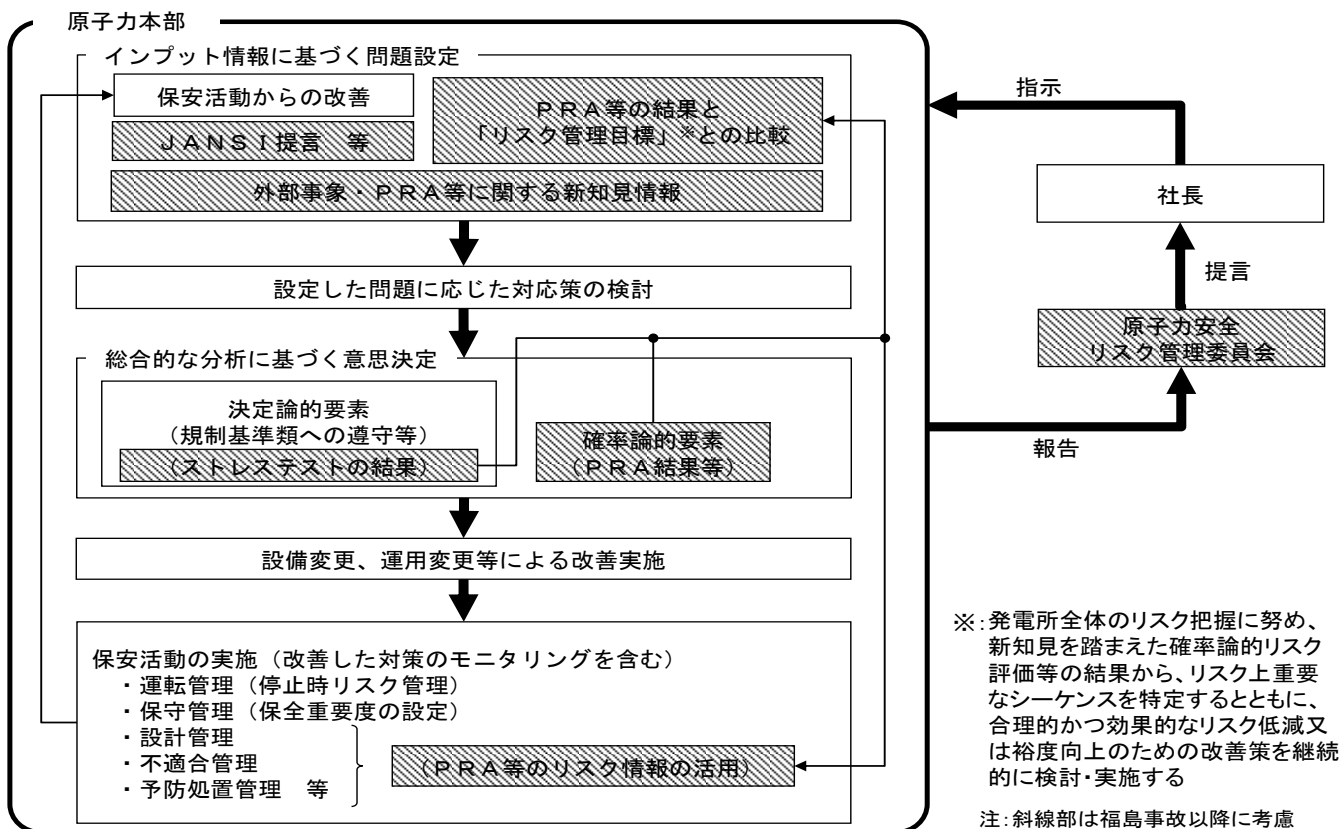


図 P R A を含むリスク情報を活用する仕組み (検討中の例)

○ケース検討の具体例①（設計管理への適用）

◆ 伊方3号機における化学体積制御系1系列化に係る設備変更時のプロセス検討

□ 前提

- ✓ 2系列あるうちの待機系の弁がシートリークすることに伴う、熱疲労割れへのリスク対応が必要であった。
- ✓ 設備変更に係るプロセスにリスク情報を活用する場合に、どのようなプロセスになるかを確認するため、定期検査で実施予定であった工事を題材に仕組みの検討を実施。

□ 決定論的要素

- ✓ 「化学体積制御系」は重要度の特に高い安全機能を有する系統であるが、設置許可基準規則等への適合性に影響はない。

□ 確率論的要素

- ✓ 1系列化工事により一部の炉心注水配管を撤去しても、炉心損傷頻度への影響は極めて軽微。

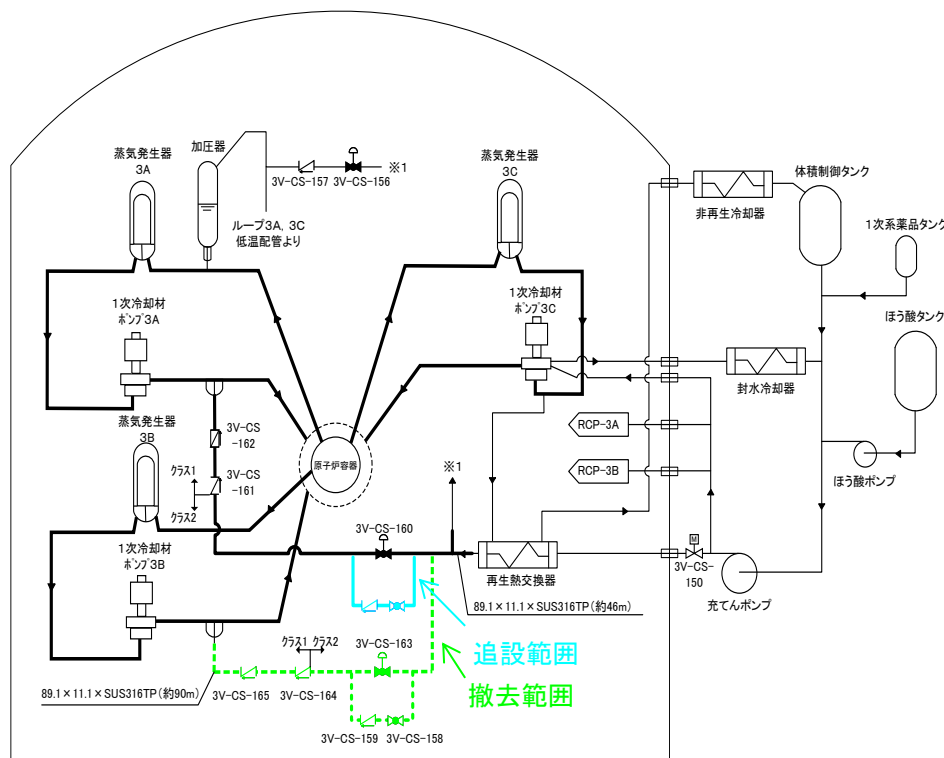


図 伊方3号機 化学体積制御系の概略系統図



□ 検討結果

- ✓ 成果として、PRA等のリスク情報を活用する場合の業務の流れを確認できた。
- ✓ 課題として、リスク変動時の判断方法、発電所員への浸透等が抽出された。

○ケース検討の具体例②（運転管理への適用）

◆ 巡視点検時の原子炉補機冷却水ポンプ出口弁開状態の監視強化

□ 前提

- ✓ PRAの結果から、原子炉補機冷却水ポンプ定期切替後の出口弁開戻し忘れがリスク上重要であることを抽出。

□ リスク重要度分析

- ✓ 下表に示すPRAの結果から、全炉心損傷頻度の20%程度を占める重要な操作が抽出された。

表 伊方3号機 PRAの結果（イメージ）

順位	内容	FV重要度
1	原子炉補機冷却水ポンプ出口弁（手動弁CC-055）開戻し忘れ	2.0E-01
2	RCPシールLOCA発生	1.8E-02
..
5	LOCA時再循環切替操作失敗	1.8E-02

□ 対応

- ✓ 出口弁の開状態を確実にするため、定期切替後に開操作を行う旨記載した現行の手順に加えて、巡視点検時の確認項目追加に向けた内規改正の準備中。

□ 検討結果

- ✓ 成果として、PRAの結果等を踏まえた改善策の検討に関する業務の流れを確認できた。
- ✓ 課題として、PRAの結果等を踏まえた複数の脆弱点の改善要否に係る判断が必要であることが抽出された。

図 伊方3号機 巡視点検時の確認項目等の変更（イメージ）



○ケース検討の具体例③（保守管理へ適用）

◆ リスク重要度等を活用した各種業務への展開に向けた検討

重要計器（格納容器内圧力計）
が収納されている盤

□ 前提

- ✓ PRA等のためのプラントワークダウンを実施する中で、重要計器周辺に資機材が置かれていることを確認。
- ✓ プラントワークダウン対応として、当該エリアを管理している部署と調整し、資機材の移動等の改善策に向けた調整を実施。

□ 内容

- ✓ 上記題材を踏まえ、PRAの結果から得られるリスク重要度等を活用し、機器別、操作別、エリア別等の重要度指標を整理し、各種業務への展開を検討する。

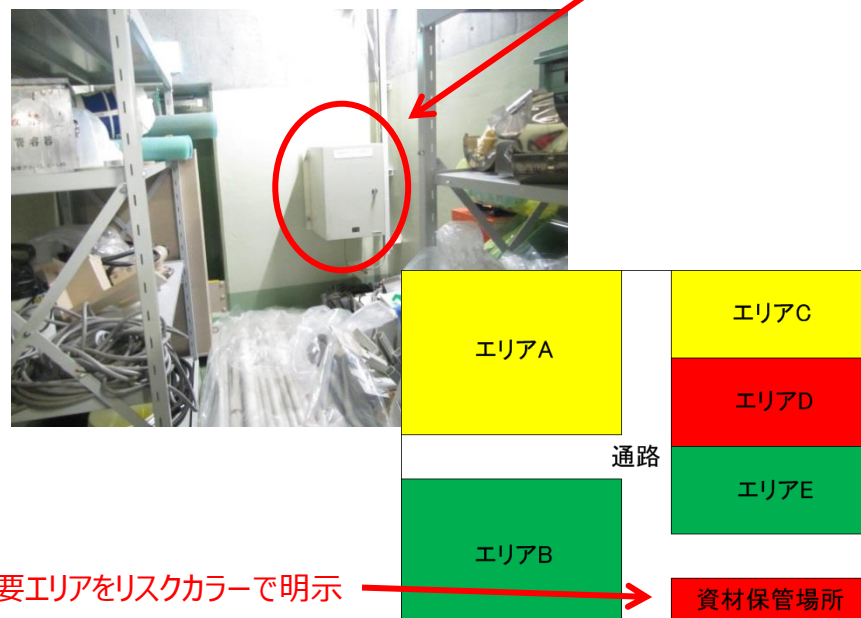


図 伊方3号機 エリア別リスク重要度分類（イメージ）



□ 検討結果

- ✓ 成果として、リスク重要度の結果を各種業務へ展開する重要性を確認できた。
- ✓ 課題として、展開可能な業務の調査、展開する業務に応じた指標の整理、発電所員への浸透等が抽出された。

○ケース検討の結果を踏まえた今後の進め方

- 各種の保安活動において概ねプロセスが成立することを確認しており、今後、社内内規等の改訂に向けた検討を進める。
- より良いRIDMのために、CAP、CMの方法について、今後も情報収集及び検討、改善を進めていく。
- 2020年度より施行される新検査制度にも対応しやすいように、仕組み、体制の充実について、必要性も含めて今後検討する。
- なお、業務に必要な基幹システムは、INPOのAP913“Equipment Reliability Process Description”をテンプレートに保全の適正化を実施し、保全業務を効率化するために統合型保修管理システム（EAM）を導入している。このため、リスク情報活用に関する親和性が高く、PRAモデルと管理機器との対応付け、故障率データ収集等が容易であり、システムを大幅に改修する必要はない。

（次ページ参照）

(参考) 保全方式の変遷

時間計画保全 (TBM)
予防保全

予防保全実施例 (1,2号機)

- ・ 蒸気発生器取替工事
- ・ 原子炉容器内部構造物取替工事
- ・ 中央制御盤等取替(フルデジタル化) など

科学的合理性の追求
自立した技術力の養成
リスク情報の活用

保全プロセスの抜本的見直しを踏まえた
統合型保修管理システム(EAM)の導入

信頼性重視保全 (RCM)
状態監視保全 (CBM)
PRA自主技術化推進
リスクモニタ活用

目 標

運転中保全(OLM)導入
運転サイクル延長

(参考) リスクモニタ等の活用事例

1. 安全に関する会議

3-13定検総合会議用資料

YONDEN

3-13定検
リスク(炉心損傷頻度)評価

平成23年4月27日
伊方発電所 工程管理G 定検管理
(資料作成協力: 原子力保安研修所 安全技術研究G)

100倍
50倍
10倍
1倍

2. 工程調整会議

伊方3号機 第13回定検
日間工程会議議事録 (No. 3)

5/2(月)

リスク情報

【リスク情報】 炉心損傷頻度の評価結果 4段階α-コード 緑、黄、**橙**、赤
 【安全上注意する作業】 RCSでの操作、ミッドループ水位監視
 【特に安全上注意すべき系統】 予備変圧器系統、D/G-A系統、RHR系統、ミッドループ水位監視計器

隔離	【1次系】	【2次系】
・ASS区	隔離(1回目)	・タービン本体区 隔離
・CSS共通区	隔離(洗浄含む)	・潤滑油1区 隔離・油移送
・CRDM冷却ファン3A, 3B	隔離	・MSS区 隔離
【2次系】		・給水1, 2区 隔離
・2次系海水区	隔離	・FWPT-A, B区 隔離
・軸		
・IA		

【定期検査時に各種会議などでリスク情報を関係者に周知】

3. ニュースレター配信

伊方発電所リスク関連ニュースレター

2011年6月27日発行

原子力保安研修所 安全技術研究G

13 Risk Inform

3-13定検のリスクについて

今回のニュースレターでは3-13定検のリスク(炉心損傷頻度)についてお知らせします。
 3-13定検の計画時のリスクに対して、RCS全70-期間を境とした前半については実績工程、後半については工程変更を反映した結果を、表1および図1にそれぞれ示します。主幹リスク変化への考えは以下のとおりです。
 ●→定検前半については、加圧器安全弁3台の取り外し作業期間が計画より早く、海水系統の隔離と重なりなかったことから、結果としてリスクが低減しています。
 ●→定検後半については、後半開始時期の遅れにより、リスク評価期間と(主および予備)変圧器の隔離期間との重なりが大幅に減少したことから、リスクが低減しています。
 この結果、リスクを計画時と比較すると、最大高さで約3/4(76%)、面積で約1/4(26%) となっています。

<定検後半における注意事項>
 ●→主変圧器と運転側の海水系統の健全性を維持すること。(予備変圧器と海水1系統の隔離が重なった期間にリスクの高さが最大)
 ●→水位監視・水位計の機能を維持すること。(後半のRCS水位は、R/Vレンジ-30cmに運用変更)。

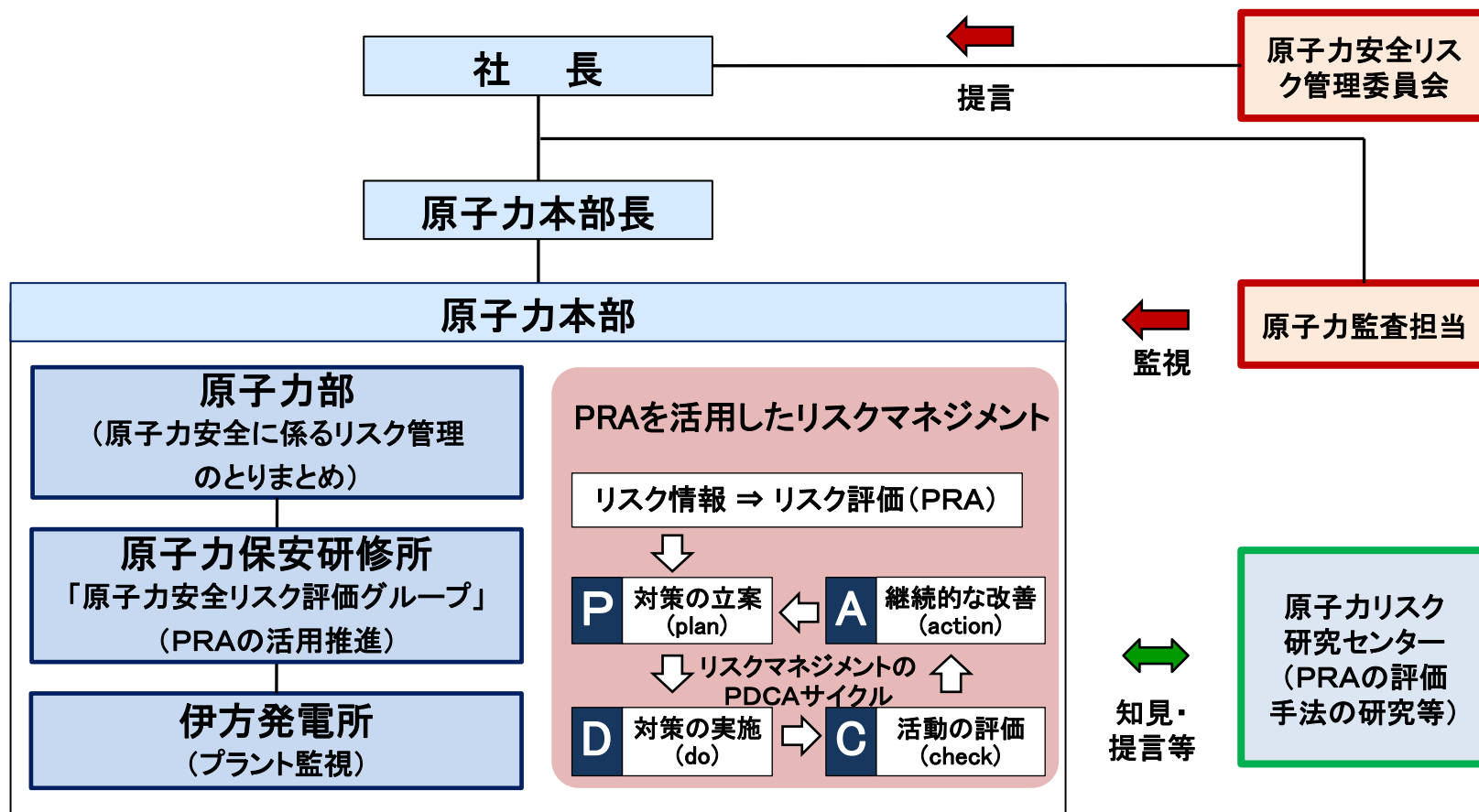
表1 □3-13定検の前半(実績)および後半(工程変更反映)のリスク(炉心損傷頻度) □

管理項目	目標値	計画時		実績(前半)+工程変更(後半)	
		前半	後半	前半	後半
リスクの高さ(時間)	1.2E-8未満	1.2E-8	9.1E-9	1.7E-9	9.1E-9
リスクの面積(定検)	1.6E-6未満	1.6E-7	1.6E-6	1.5E-7	8.2E-7

図1: 炉心損傷頻度(1/s)の経時変化グラフ。縦軸は1.00E-11から1.00E-07。横軸は0から1800分。RCS全70-期間(0-1400分)とRCS全70+期間(1400-1800分)が示されています。グラフには「予備変圧器の隔離」、「主変圧器の隔離」、「RCS全70-」、「RCS全70+」などの注釈があります。

②PRAの整備（PRAモデルの高度化）

➤ 原子力安全に係るリスク管理体制



- PRAモデルの高度化のための取り組み【伊方3号プロジェクト】
 - ✓ 原子力リスク研究センター（NRRC）の技術諮問委員会（TAC）の提言に基づく各種技術タスクを実施している。
 - ✓ 2017年より、NRRCの支援を受けた海外専門家によるレビューを実施している。
 - 2018年2月に実施予定の内部事象出力運転時レベル1 PRAを対象としたレビューでは、NEI 05-04（PRAピアレビュープロセス）を参考に実施する予定。
 - ✓ 各種技術タスクの進捗状況や海外専門家によるレビューの状況等について、適宜TACにおいて説明している。
 - ✓ 引き続き、NRRCの支援等を受け、継続的なPRAの改善に取り組んでいく。

- ✓ 今後、初回の安全性向上評価届出において、成果の一部を反映する予定。
- ✓ さらに、リスク情報活用において用いるPRAに順次反映する予定。



海外専門家によるレビューの様子

- TACの提言に基づく技術タスク
 - (1) PRAのイベントツリー等の高度化
 - (2) PRAパラメータの高度化
 - (3) 人間信頼性評価の高度化
 - (4) 地震ハザード評価の高度化
 - (5) 地震フラジリティ評価の高度化

- ✓ (1) ~ (3) については、初回の安全性向上評価届出のPRAに反映する予定。また、PWR各社のPRAモデルに対しても適宜反映される見込み。
- ✓ (4) ~ (5) については、研究段階であり、実機への適用に向けた検討を進める。

(1) イベントツリー等の高度化

- ✓ 起因事象について、再稼働時の設置変更許可申請の12事象に対し、伊方3号機の設計情報の分析などにより、サポート系の機能喪失による起因事象の追加等、44事象を選定し、イベントツリーを構築した。

(例) 追加した起因事象

- ・制御用空気系の全喪失 等

- ✓ 再稼働時の設置変更許可申請では、原子炉補機冷却水系の喪失のみでRCPシールLOCAをモデル化していたが、高度化で追加した起因事象の一部においても、事象発生後に従属的に発生するRCPシールLOCAをモデル化するなど、シナリオを精緻に取り扱ったイベントツリー及びフォールトツリーを構築した。

(例) 従属的に発生するRCPシールLOCA等をモデル化した起因事象

- ・安全系高圧交流母線の部分喪失 等

- ✓ 今後、初回の安全性向上評価において活用する予定。
- ✓ さらに、成功基準の条件等、保守的評価の見直しについて、必要性も踏まえて引き続き検討する予定。

(2) PRAパラメータの高度化

- ✓ 従来から、機器故障率として、原子力安全推進協会（JANSI）で整備したデータベースを使用してきた。
- ✓ 個別プラントにおける機器の故障回数や運転時間等のデータを活用するため、EAM（機器保全情報データベース）や運転日誌等を活用し、2008年度～2014年度の機器の故障回数や運転時間等のデータ収集、分析を実施。また、2015年度～2016年度のデータの収集、分析を実施中。
- ✓ NRRCでは、当社での知見を踏まえ、2017年度に「確率論的リスク評価（PRA）のためのデータ収集実施ガイド」を策定した。
- ✓ 各社は、データ収集実施ガイドに基づき、個別プラントにおける機器の故障回数や運転時間等のデータを整備中。
- ✓ 今後、初回の安全性向上評価届出において、従来の機器故障率に対し、伊方の個別プラントにおける機器の故障回数や運転時間等のデータを活用した機器故障率のデータを使用する予定。

モータ	文書ID	通知	予兆	ユーザ	Stk	定検回	機組場所	機組場所の説明	PG	保全作業区	通知日
000	X1	110210937	SU	主蒸気タンク圧力変動調査	承認	長期	SIN_3_4030_3RC1	原子炉制御系計装ラック1	ZI	14652020	2014/4/
000	X1	110210993	SU	D/G-3B電気防食装置制御装置表示器点検	完了	長期	SIN_3_1970_3-00-DGB	ディーゼル発電機電気防食3B	ZE	13613111	2014/4/
000	X1	110210994	SU	海水冷却水P-3B出口弁取替(仮弁)	完了		SIN_3_2290	海水冷却水装置系統	ZT	13614111	2014/4/
000	X1	110210998	SU	コンテナ運搬機水型ポンプ点検	完了		SIN_3_2110	海水脱塩装置(ON)	ZT	13614115	2014/4/
000	X1	110210999	SU	保安調査確認①(物品の片付け忘れ)	完了		SIN_3	3号機	ZD	10214363	2014/4/
000	X1	110211010	SU	ガス2B 3B5-7741点検	完了		SIN_3_1170_3PB5-7741	炉圧調整装置対水流量スリフ	ZI	14652020	2014/4/
000	X1	110211013	SU	新製型海水ポンプ水位計多量化工事について	完了		SIN_3_4890_3LT-4840	新製型海水ポンプ水位	ZI	10214357	2014/4/
000	X1	110211014	SU/7B7	7B7内照明灯真点検について	完了		SIN_3_3310	照明設備系統	ZE	13613112	2014/4/
000	X1	110211021	SU	3号機 服ヒヤ(3号機)点検依頼	完了		SIN_3_5340_3CWM-03	管理区域服ヒヤ(3号機-CWM)	ZS	14652050	2014/4/
000	X1	110211022	SU	3号機ラック設備排気ファン点検	完了		SIN_3_1440	洗濯設備系統(LAS)	ZS	13613105	2014/4/
000	X1	110211023	SU	3号機 RMS開閉の通常指示係 警報設定	完了		SIN_3	3号機	ZH	10214341	2014/4/
000	X1	110211025	SU	保安調査確認②(物品の保管状態)	完了		SIN_3	3号機	ZI	10214357	2014/4/
000	X1	110211026	SU	燃料取替ラックの運用停止について	完了		SIN_3_1570_3FH-1-E	燃料取替ラック	ZR	13615124	2014/4/
000	X1	110211027	SU	補助ボイラ燃料タンク電線管点検について	完了		SIN_3	3号機	ZE	13613105	2014/4/
000	X1	110211033	SU	保安調査確認③(水密扉の閉止状態)	完了		SIN_3	3号機	ZD	10214371	2014/4/
000	X1	110211038	SU	計器でモニタリング依頼	完了		SIN_3	3号機	ZI	14652030	2014/4/
000	X1	110211040	SU/7B	電動機リフトアップについて	完了		SIN_3	3号機	ZE	13613105	2014/4/
000	X1	110211042	SU/WP	3B(金庄)モニタ計装ケーブル修理	完了		SIN_3	3号機	ZI	14652030	2014/4/
000	X1	110211050	SU	7BVA電源異常負荷軽減	完了	長期	SIN_3	3号機	ZE	13613105	2014/4/
000	X1	110211051	SU	BOOKVA電源異常負荷軽減(2016年度上期)	完了	長期	SIN_3	3号機	ZE	13613105	2014/4/
000	X1	110211052	SU	可動型蓄電池月間点検(2016年度上期)	完了	長期	SIN_3	3号機	ZE	13613105	2014/4/
000	X1	110211053	SU	可動型蓄電池3ヶ月点検(2016年4月)	完了		SIN_3	3号機	ZE	13613105	2014/4/
000	X1	110211055	SU	3号機補修中性子束線感測器について	完了		SIN_3	3号機	ZI	14652010	2014/4/
000	X1	110211057	SU	保安調査確認④(作業許可証の撤去忘れ)	完了		SIN_3	3号機	ZE	10214357	2014/4/
000	X1	110211058	SU	保安調査確認⑤(弁名称の誤り付け状態)	完了		SIN_3	3号機	ZR	10214353	2014/4/
000	X1	110211070	SU	純水装置純水ポンプASIS油漏れ点検について	完了		SIN_3_2270	純水装置系統	ZI	13614115	2014/4/
000	X1	110211083	SU	SMS-6燃料科ポンプ点検	完了		SIN_3_1110_3DT-5006	海水ポンプ圧入付注線	ZI	14652020	2014/4/

EAMにおけるデータ（保修依頼）の抽出

(3) 人間信頼性評価の高度化

- ✓ NRRCでは、「確率論的リスク評価（PRA）のための人間信頼性解析（HRA）実施ガイド」を整備した。また、過酷状況下での人間信頼性評価の研究開発を実施している。
- ✓ 米国で広く使用されている人間信頼性評価用のツールHRA Calculatorを導入した。また、HRA実施ガイドを参考として、100程度の伊方3号機の事故時の運転員操作に対し、運転手順書の分析、運転員インタビューを実施し、HRA Calculatorの入力パラメータを整備している。
- ✓ 今後、初回の安全性向上評価届出において活用する予定。



インタビューの様子

(4) 地震ハザード評価の高度化

- ✓ NRRCの支援を受け、SSHAC*レベル3プロセスを適用した確率論的地震ハザード評価の研究を実施。
- ✓ 地震ハザードの試算モデル（Preliminary model）のロジックツリーの分岐の選定、重み付けを決定し、Preliminary modelを確定。
- ✓ Preliminary modelによるハザードの試算及びロジックツリーのGMPE（地震動予測式）を変更した場合等の感度解析を開始。



ワークショップの様子

* Senior Seismic Hazard Analysis Committee :

EPRI、DOE及びNRCが設置した地震ハザード解析専門家委員会。地震ハザード評価に関するガイダンスを発行。

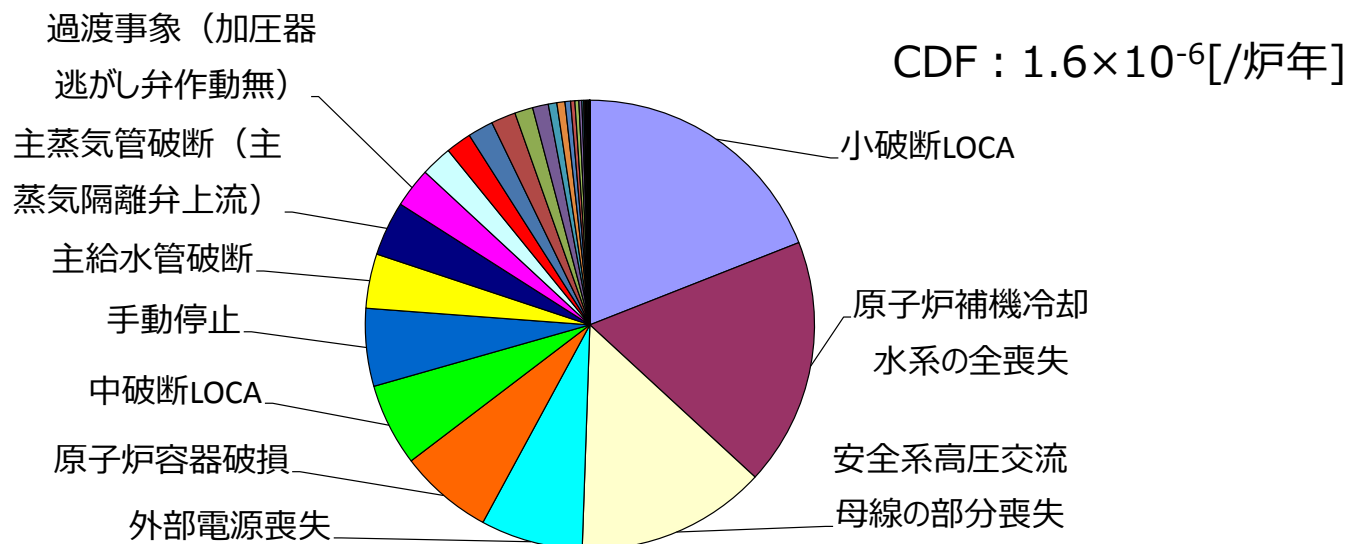
作業項目	2017年度												備考	
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
会合準備等	▲GMC準備会	▲GMC準備会	▲GMC準備会 ▲SSC準備会 ▲SSC準備会	▲SSC準備会 ▲GMC準備会		▲GMC準備会	▲GMC準備会	▲GMC準備会	▲GMC準備会	▲GMC準備会				準備会の間も関係者間で多数の各種打ち合わせを実施中。
会合等			▲GMC_現地視察(6/16) ▲SSC_現地視察(6/26,27)	▲GMC_WM(8/19,20) ▲SSC_WM(8/22,23)			▲SSC_WM(10/28,29)	▲GMC_WM(11/18,19)						

(5) 地震フラジリティ評価の高度化

- ✓ 機器フラジリティ評価として、NRRCでは、産業界が従来用いてきた安全係数法に対し、より説明性が高いとされる評価手法の研究を実施している。

➤ 今後、実機への適用に向けた検討を進める予定。

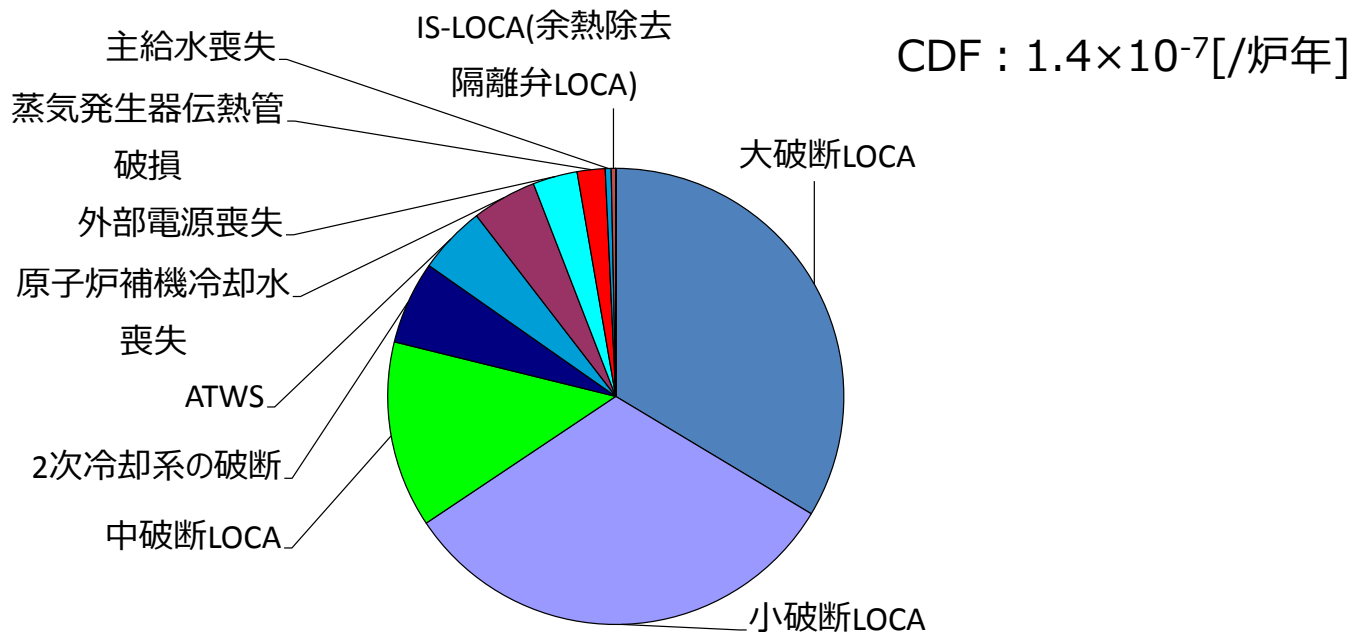
➤ 高度化モデルにより得られたリスクプロファイル及び知見



高度化モデルの定量結果（2017年10月）

- ✓ 第8回TAC（2017年10月）において、「イベントツリー等の高度化」を取り入れた2017年9月時点の出力運転時内部事象レベル1 PRAモデルの定量化結果を説明。
- ✓ 新設のSA対策の有無、米国の機器故障率を用いた感度解析を実施し、以下の傾向があることを確認。
 - 新設のSA対策により、CDFは半減
 - 米国データを適用することにより、CDFは1桁以上増加
 - 機器故障率等のパラメータによる影響が大

(参考) 定期安全レビュー (2006年9月) における定量結果



- ✓ 高度化モデルの定量化結果とリスクプロファイルが異なる。
 - 定期安全レビューのモデルでは、機器故障率として当時の米国のデータを使用
 - 高度化モデルでは、人間信頼性解析に人的過誤間の従属性を考慮 など

✓ 得られた知見

- PRAモデルの高度化、パラメータ等によりリスクプロファイルが変動する可能性がある
- 炉心損傷頻度等の変化の理由を説明できることが必要
- リスク情報活用においては、モデル変更等によりCDF等の数値が変わり得ることを前提とし、妥当な変化を許容できる仕組みが必要
- PRAは、それだけで意思決定はできないものの、決定論を補完する有益な情報が得られる
- ピアレビュー等による品質確保が重要

②PRAの整備（人材育成）

- ✓ 新任のPRA業務担当者に対する社内教育を実施。（1～2名/年）
- ✓ 伊方発電所の管理者層を対象としたリスクに関する社内集合教育を実施。

項 目	受講実績（名）		備 考
	2016年度	2017年度	
リスク関連集合教育	55	33	・2時間/回 ・リスク情報、PRA手法の概要など

- ✓ PRAに関連する社外教育を受講。

（例）JANSI主催のPRA研修の実績

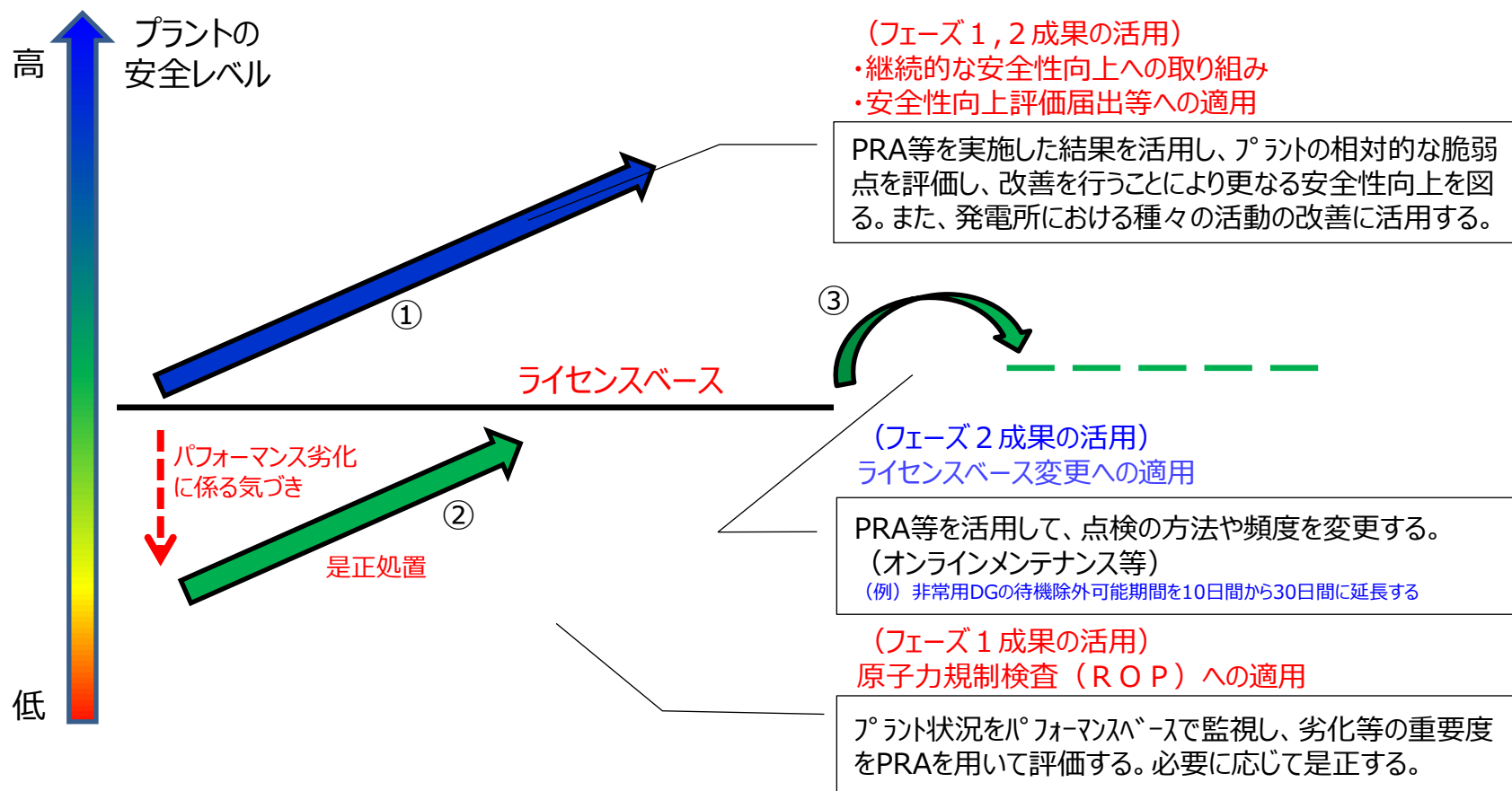
項 目		受講実績（名）			備 考
		2015年度	2016年度	2017年度	
PRA技術導入 研修コース	その1	0	1	2	・3日間の基礎コース
	その2	3	2	1	・5日間/回×6回の専門コース

- ✓ メーカーに駐在し、安全性向上評価届出のためのPRAモデルのフォールトツリー作成等、一部の作業を実施した。
- ✓ 今後も、NRRC主催の教育に参加するなど、技術力向上・維持に努めてゆく。

3. 今後のスケジュール（フェーズ1）

項目	年 度		
	2017年度	2018年度	2019年度
プロセスの構築	社内手続き、会議体など自社プロセスの構築		
内部事象出力運転時L1	モデル作成・評価		<ul style="list-style-type: none"> 内部事象出力運転時L1PRAには、イベントツリー等の高度化などの伊方PJの成果の一部を反映
内部事象出力運転時L2	モデル作成・評価		
内部事象停止時	モデル作成・評価		
地震出力運転時	モデル作成・評価		
津波出力運転時	モデル作成・評価		
海外の専門家によるレビュー	モデルの高度化 ▲ #2内部事象出力時L2(8/21~25) △ #3内部事象出力時L1(計画中) △ #4内部事象出力時L1(計画中)		
プラントパラメータの整備	最新データ(2015,2016年度)の整備	データ収集実施ガイドに基づく収集	<ul style="list-style-type: none"> 2008~2014年度のデータは整備済
人間信頼性評価	HRA Calculatorによる評価		
地震ハザード評価	伊方発電所を対象としたSSHACLレベル3プロセスの適用研究		<ul style="list-style-type: none"> 研究成果を踏まえ、モデルへの適用を検討
その他	NRRC研究		<ul style="list-style-type: none"> 適宜、成果を反映
人材育成	JANSI主催EPRIのPRA研修等、社外教育の受講、OJTなど		

- ①プラントの脆弱点抽出や発電所における保安活動の改善に活用
- ②パフォーマンスの劣化に対する重要度評価に活用
- ③ライセンスベースの変更に活用



ご清聴ありがとうございました。

