

リスク情報活用の取組みについて

2024年11月12日

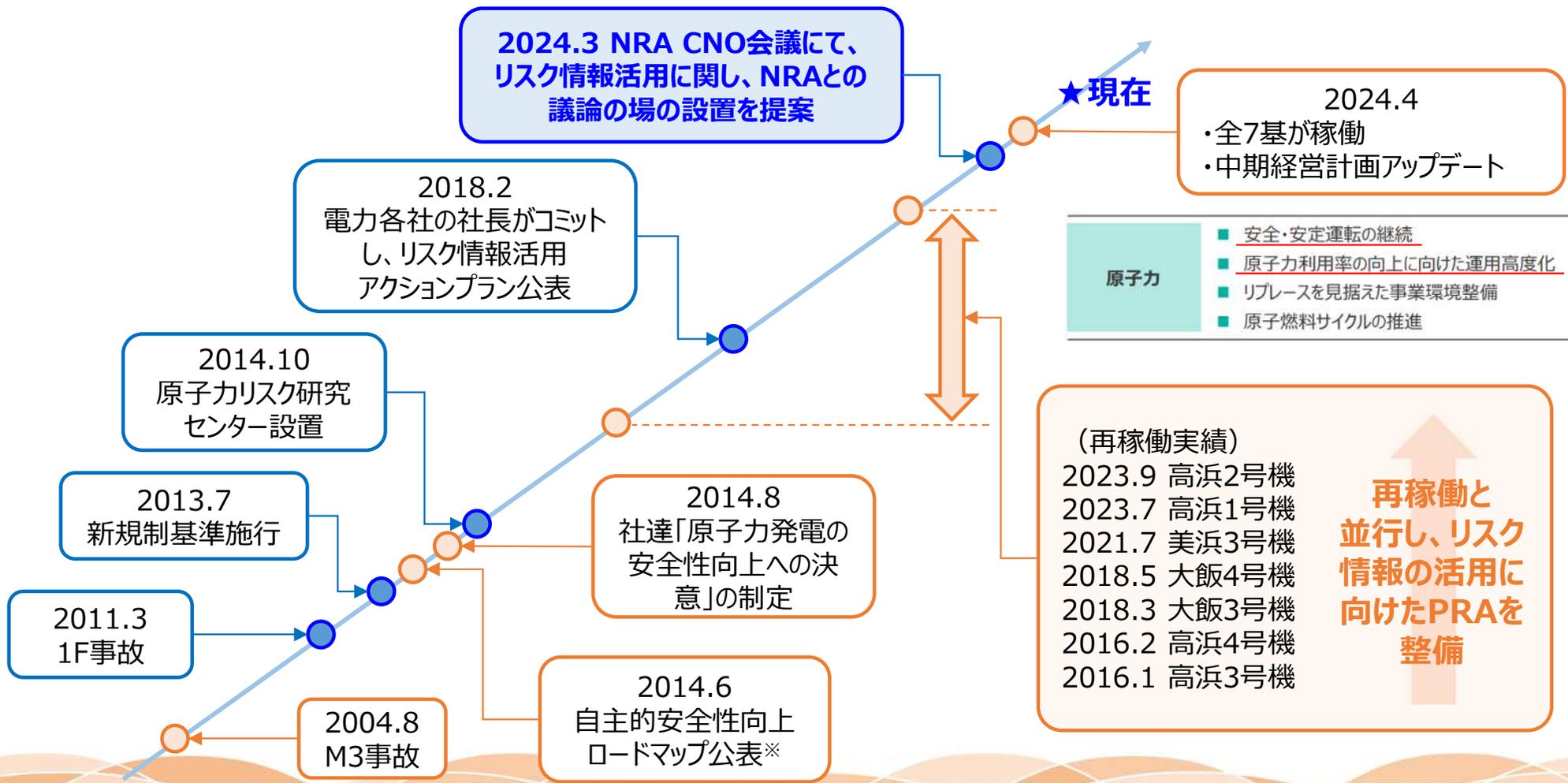
関西電力株式会社

伊阪 啓

1. 現在までの取組み状況

2. これからの取組み

- 当社は、再稼働と並行して各プラントのPRAを整備し、規制と自主の両面でリスク情報を活用。
- リスク情報活用に関し、原子力規制委員会（NRA）との議論を開始。「安全性向上」かつ「リソース最適化」につながる個別アイテムを規制・産業界で特定・共有した後、当該のアイテムに関する課題、改善方策を具体的に議論し、実用化につなげていく方向性。



※以降、半期毎に取りまとめて公表を継続中

- 安全性向上評価届出における安全性向上対策や、原子力規制検査のSDP評価（トラブル事象の重要度判定）に留まらず、自主的な範囲においても、リスク情報を積極的に活用中。

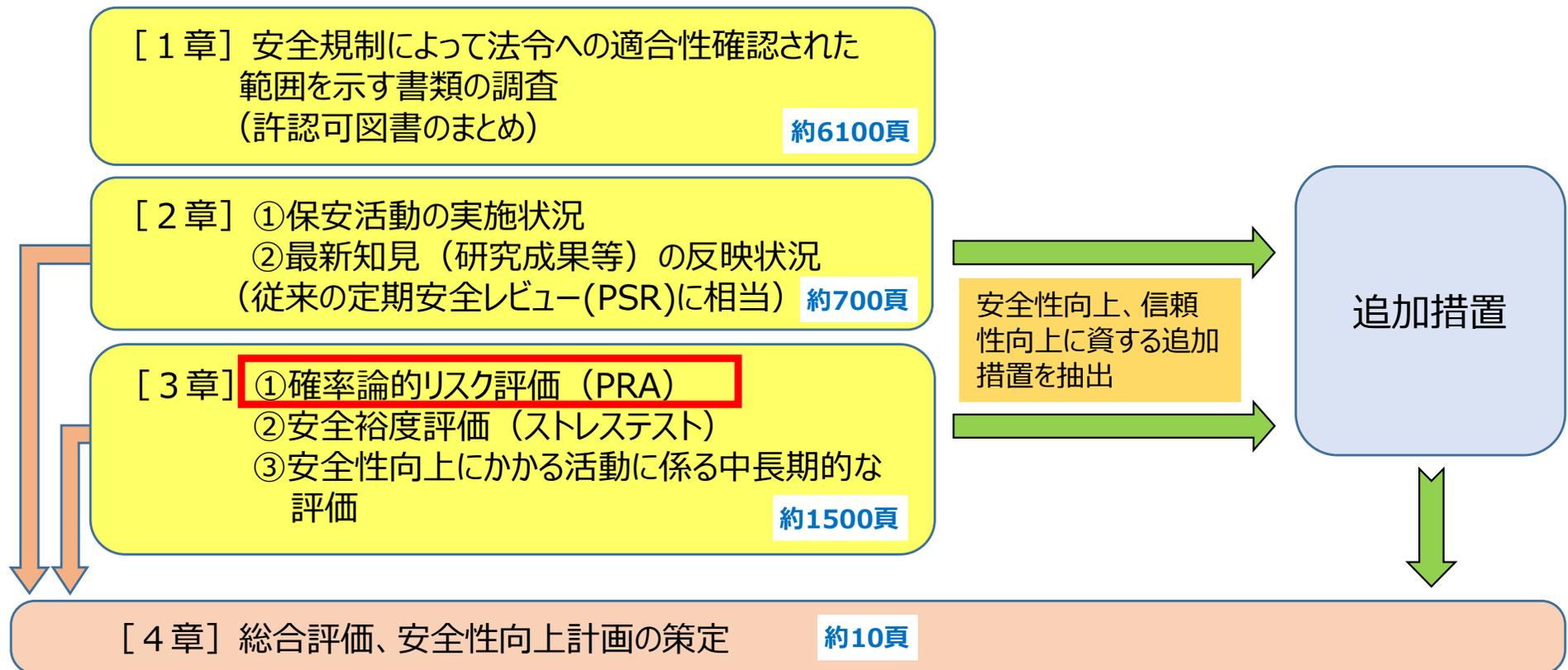
取組み事例	内容
<p>① 安全性向上評価届出における 安全性向上対策 ⇒P4～7</p>	<ul style="list-style-type: none"> • CDFの「絶対値」と「寄与割合」から、事故シーケンスの重要度を特定する仕組みを構築。 • 重要度の高い事故シーケンスに対し、効果的なリスク低減対策を順次、導入。
<p>② 原子力規制検査のSDP評価 ⇒P8～10</p>	<ul style="list-style-type: none"> • SDP評価として、トラブル事象の重要度判定にPRAを活用。 • なお、PRAモデルは当社からNRAに貸与しており、NRAはモデル（L1内の事象）の適切性を確認済。
<p>③ 系統状態の変化を伴う工事 実施時の自主的なリスク管理 ⇒P11～14</p>	<ul style="list-style-type: none"> • LCO対象外の機器の隔離に際し、リスク情報を活用して補償措置を具体化、CDFおよびICCDPを低減。 • さらに、地震等に備え、クレーン作業時、機器直上の通過禁止措置等を実施。

- 再稼働したプラントに対する安全性向上評価の届出が制度化されており、PRA等の結果を踏まえ、安全性向上や信頼性向上に資する追加措置を抽出。

<目的>

- ・事業者が自主的・継続的に安全性向上を講じていくことを目的として、NRAは安全性向上評価を制度化。
- ・定期検査終了時点のプラントの安全性を評価し、改善策（追加措置）を抽出し、計画を策定。

安全性向上評価届出書の構成

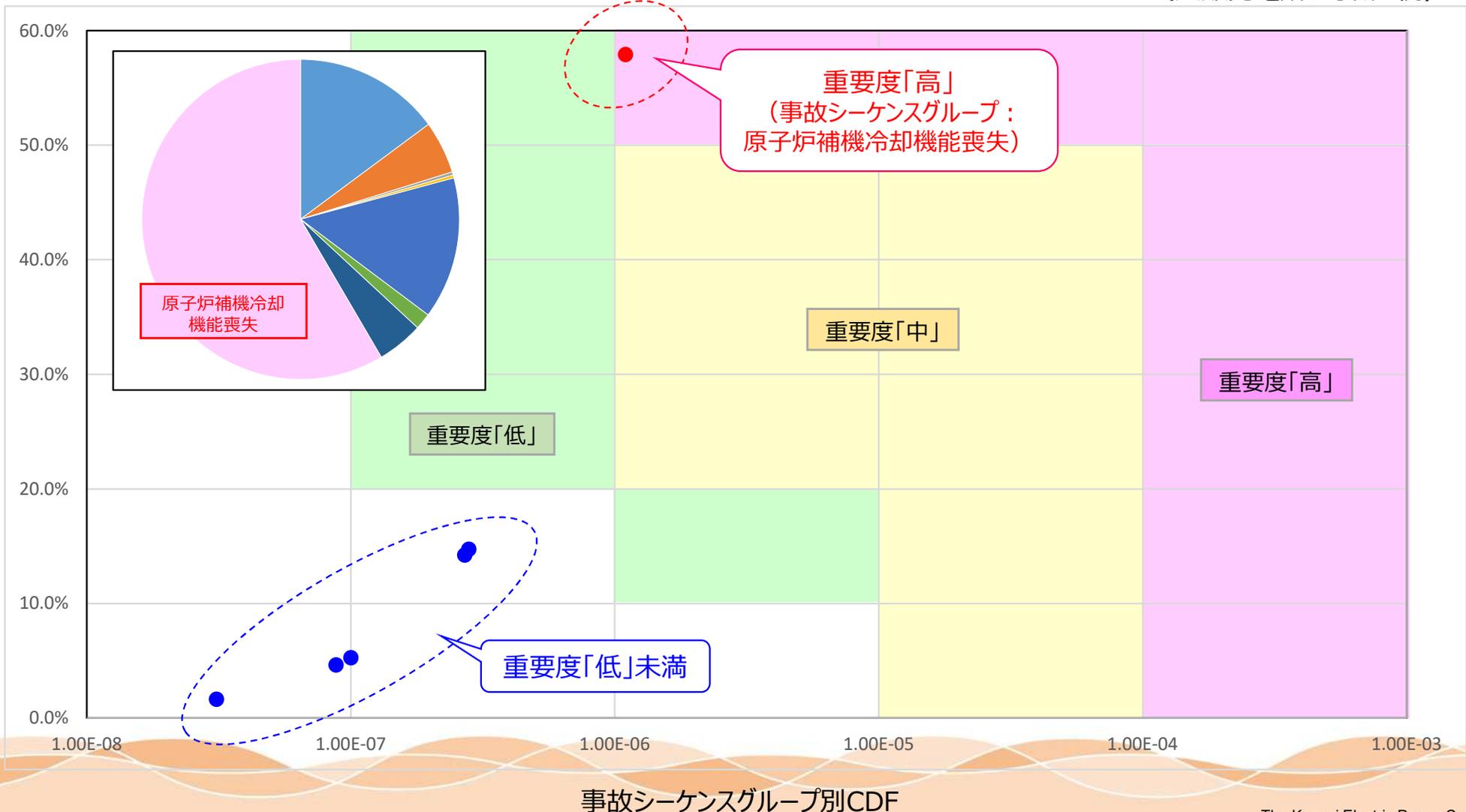


①安全性向上対策（2/4）

- 事故シーケンスグループ別CDFと、全CDFへの寄与割合を踏まえ、重要度をマッピング。
- 重要度が高い事故シーケンスグループを特定し、リスク低減に大きく寄与する安全性向上対策を優先的に実施し、安全性向上評価として届出済。

全CDFへの寄与割合

(大飯発電所3号機の例)

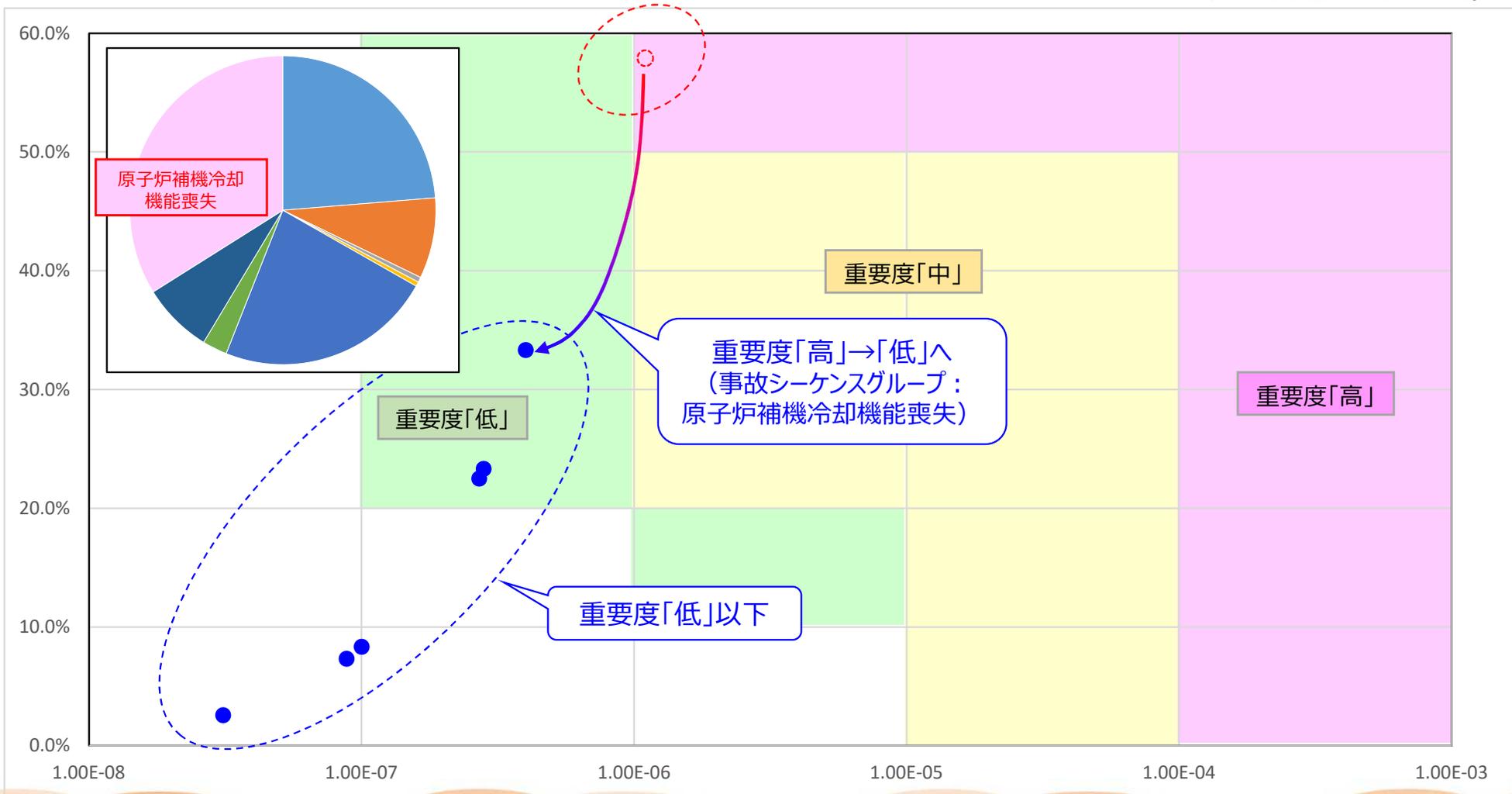


①安全性向上対策 (3/4)

- RCPシャットダウンシールの導入により、「原子炉補機冷却機能喪失」のリスクが低減。
- 全ての事故シーケンスグループの重要度が「低」以下となり、全CDFも約40%低減。

全CDFへの寄与割合

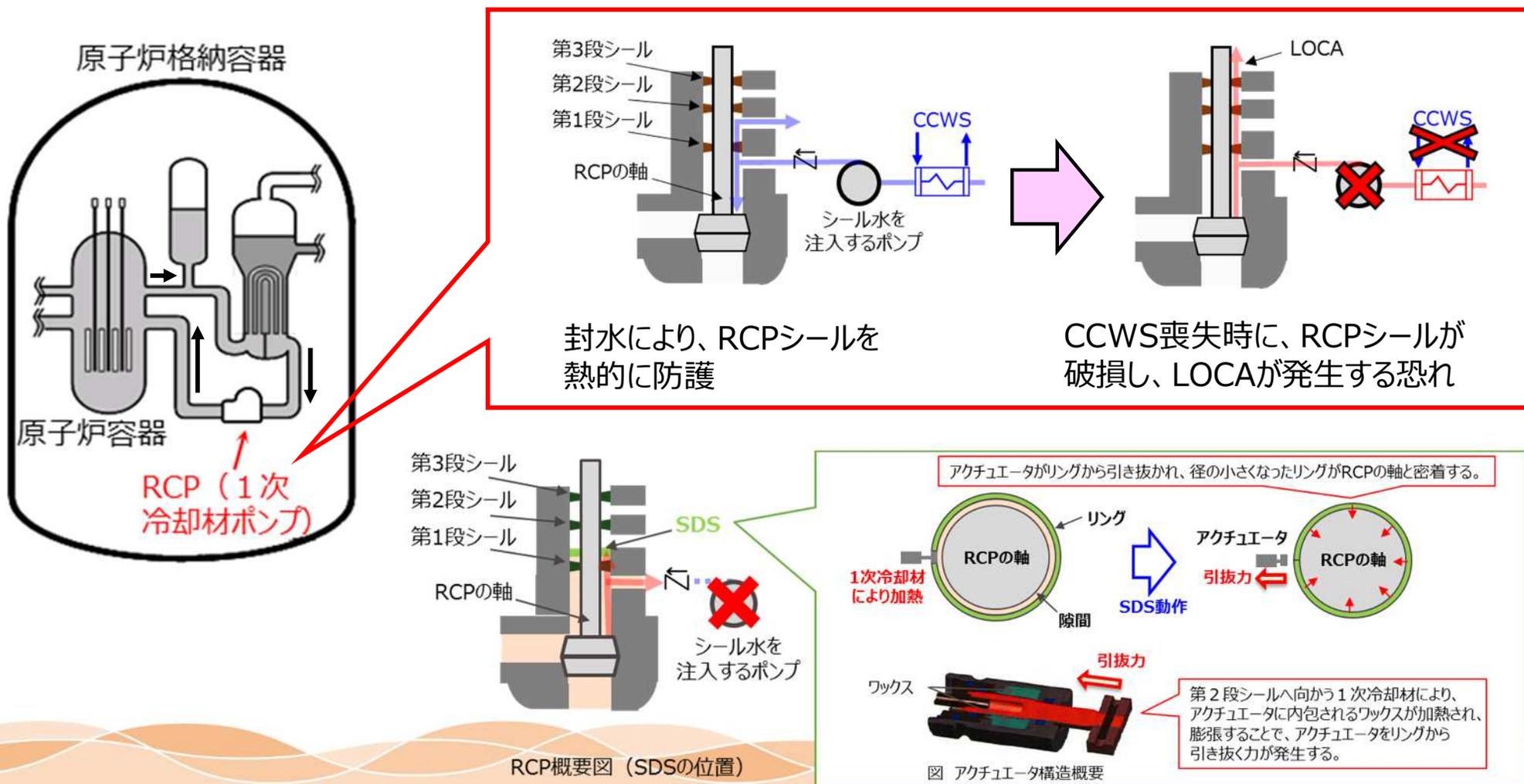
(大飯発電所3号機の例)



①安全性向上対策 (4/4)

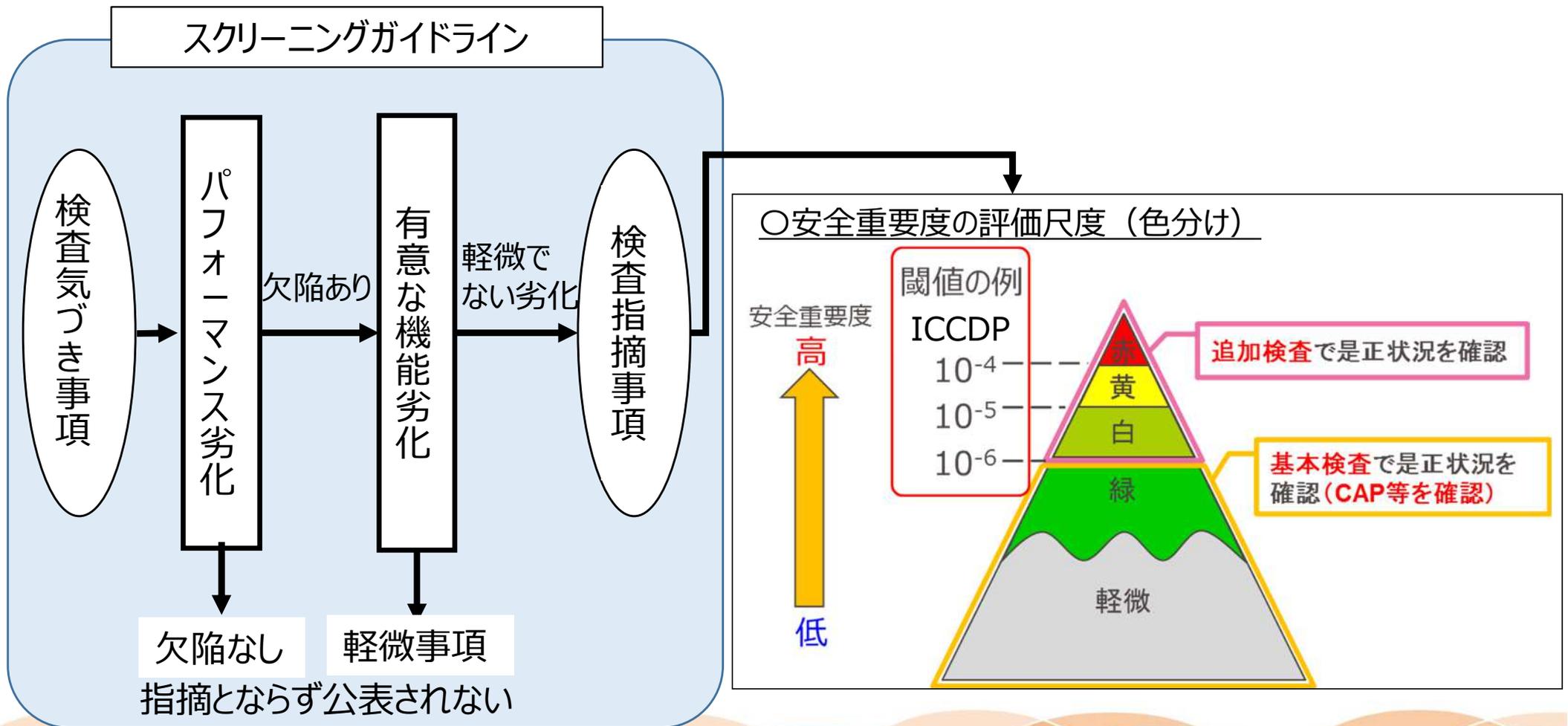
- 原子炉補機冷却機能 (CCWS) の喪失により、1次冷却材ポンプ (RCP) シールのサーマルバリア機能が喪失、RCPシールからの1次冷却材の漏えい (LOCA) が発生し、炉心損傷に至るシナリオが支配的ナリスク。
- 「原子炉補機冷却機能喪失」に対するリスク低減として、「RCPシャットダウンシール」の導入を決定。

(大飯発電所3号機の例)

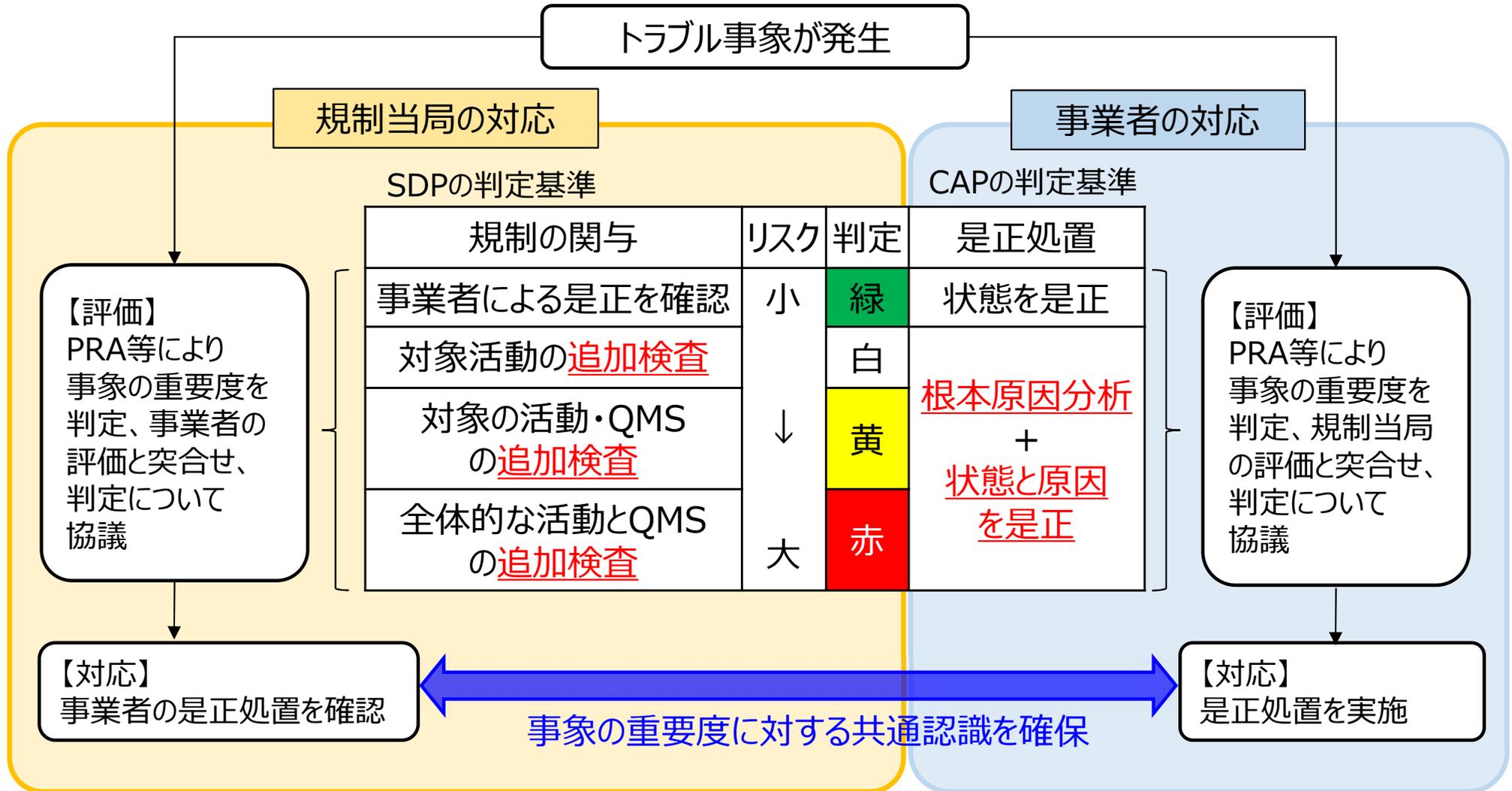


- 2020年4月より運用開始された原子力規制検査 (ROP) では、事業者の不安全行為等に対する検査指摘事項の重要度に応じて、規制の関与度合いを決めている。
- 検査指摘事項の重要度判定は、定性的な評価または定量的な評価により実施され、定量的な評価を実施する際にPRAを活用中。

SDP : Significant Determination Process. 原子力規制検査における重要度決定プロセス



- トラブル事象等が発生した場合、PRA等により事象の重要度を事業者、規制当局が評価し、相互に突合せ、判定について協議。これにより、事象の重要度に対する共通認識を確保。

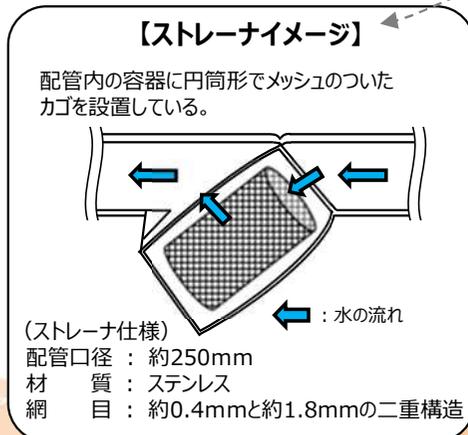
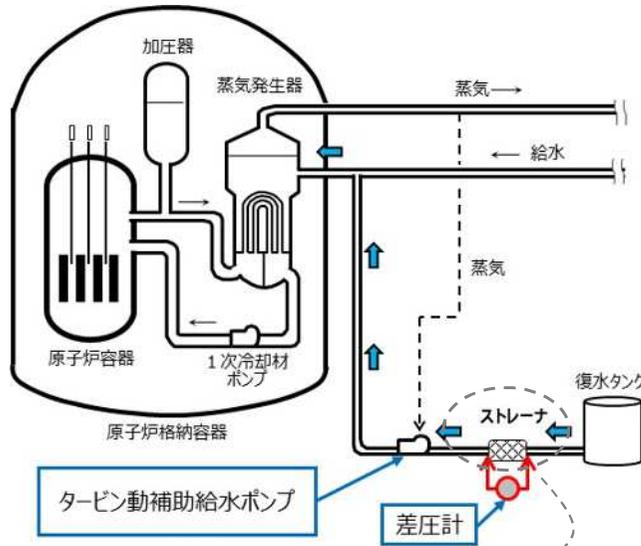


規制側の対応：重要度判定プロセス (SDP)、社内の対応：是正処置プロセス (CAP) ※1

※1：CAP活動において、発電所運営における問題等に対する原因調査、是正処置の範囲や深さを区分するための一つの指標として、PRA情報 (ΔCDF、ΔCFF) を活用中。

(事象：美浜3号機 タービン動補助給水ポンプ入口ストレーナ差圧計の指示値上昇)

- 同ポンプに係る運転上の制限 (LCO) を逸脱したため、PRAの結果、影響度「大」のしきい値を下回ることを確認したため、事業者として、影響度「中」と判断し、NRAに説明を実施。
- NRAは、重要度「緑」の検査指摘事項と評価。



【事象の概要】

- ▶ タービン動補助給水ポンプ入口のストレーナ差圧計の指示値が上昇、LCO逸脱を判断。
- ▶ ストレーナの開放点検の結果、鉄を成分とするスラッジの付着を確認、ストレーナやポンプ入口配管を清掃 (差圧計本体は異常なし)。
- ▶ その後の試験により、同ポンプの運転継続に問題ないことを確認し、LCO逸脱から復帰。

【CAPに基づくPRAを実施 (当社)】

- ▶ 影響度「大」のしきい値を下回ることを確認、NRAに説明。

	評価結果	影響度「大」しきい値	判定
ΔCDF	1.42×10^{-7}	1.0×10^{-6} 以上	OK
ΔCFF	9.91×10^{-8}	1.0×10^{-7} 以上	OK

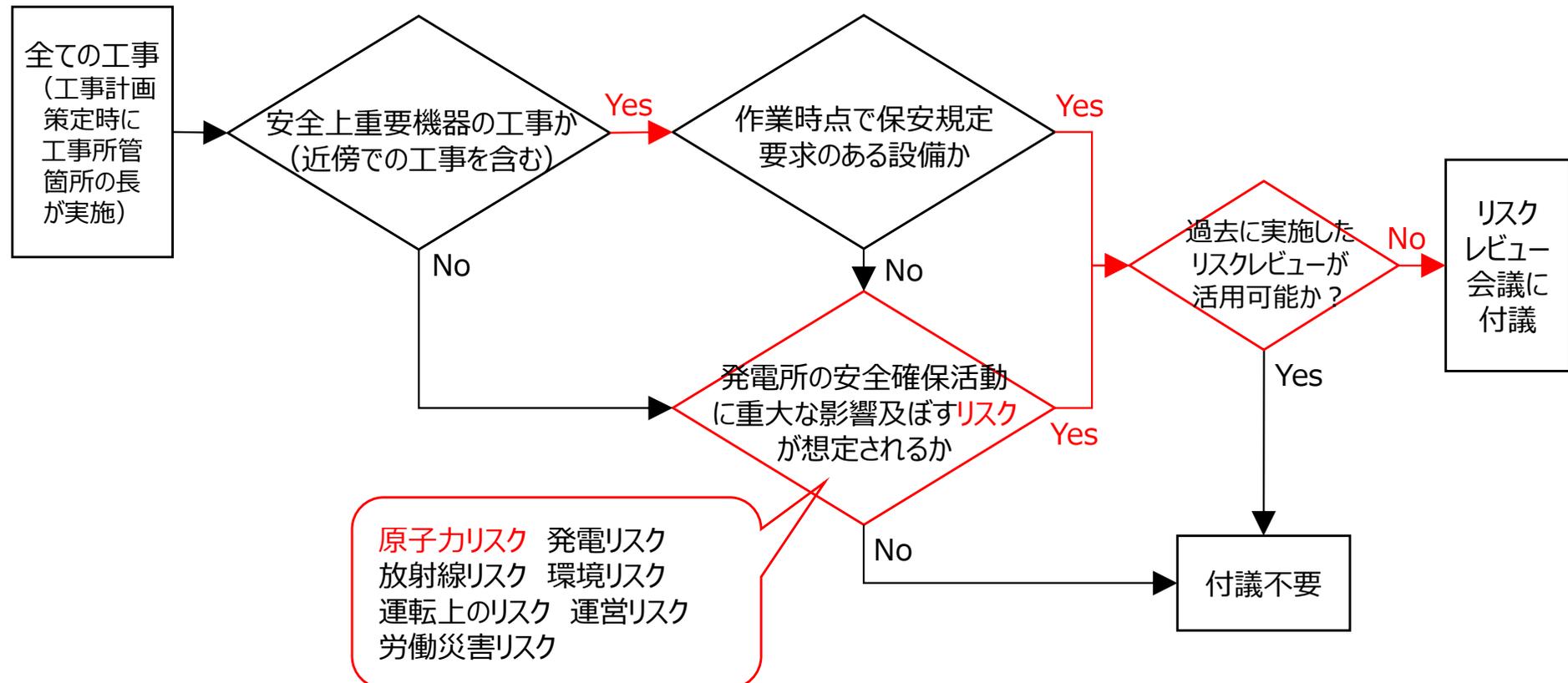
【重要度を評価 (NRA)】

- ▶ NRAは、重要度「緑」の検査指摘事項と評価。
 (重要度「緑」はΔCDF 1.0×10^{-6} 未満、ΔCFF 1.0×10^{-7} 未満相当)

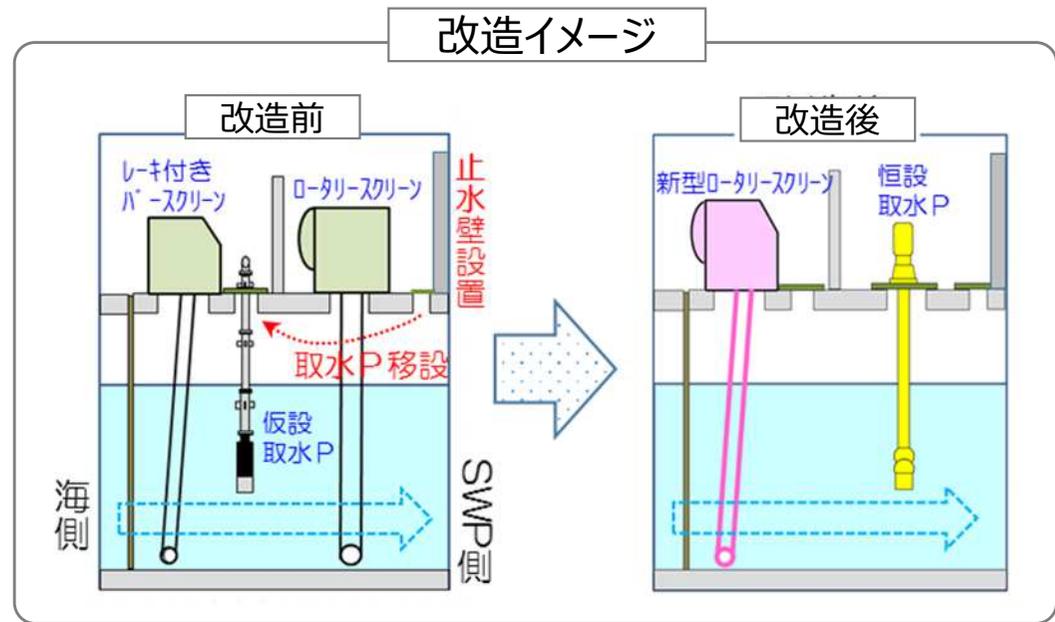
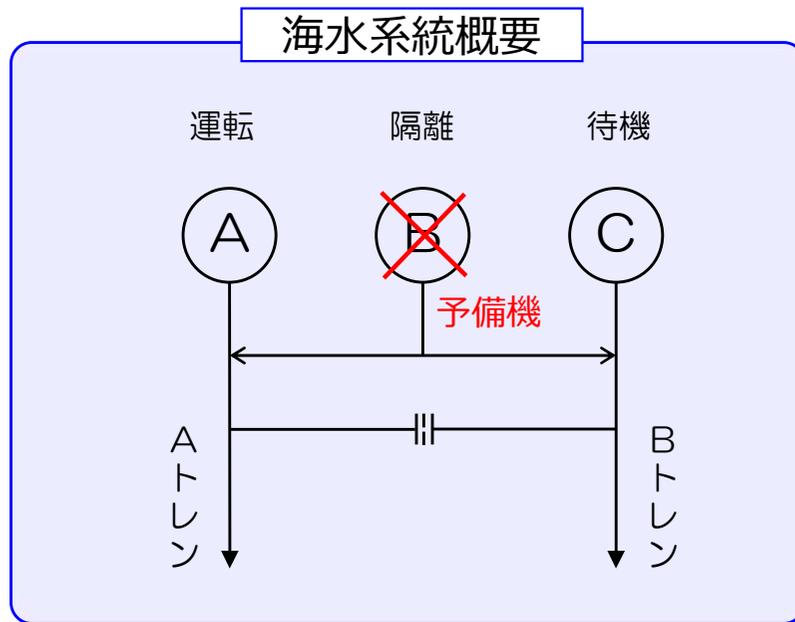
③自主的なリスク管理（1/4）

- 発電所運営上多大な影響を及ぼすおそれがある工事を対象に、各課（室）長はリスク評価およびリスクに対する補償措置を検討。
- リスク評価結果および補償措置の妥当性に関し、発電所幹部を含む発電所内関係者で検証するリスクレビュー会議を実施。

（リスクレビュー会議付議対象工事抽出フロー）



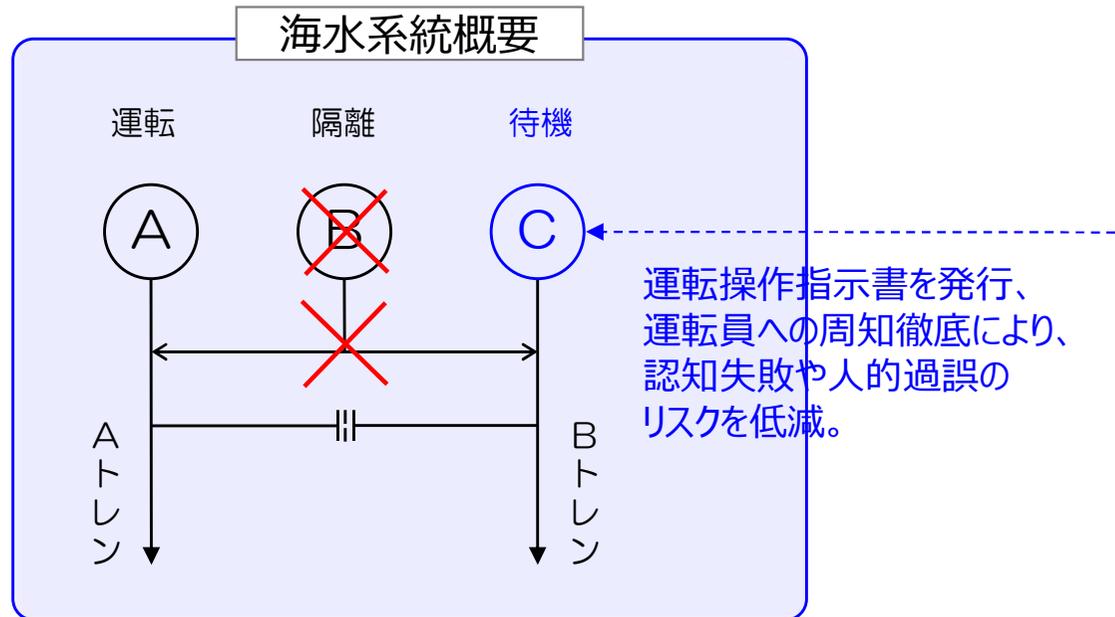
- 設備の信頼性向上対策に伴い、運転中において、LCO対象外の海水ポンプ予備機を隔離。
- 必要な準備が整い、速やかにOLMを導入していくためにも、自主的な範囲において、リスク情報活用の実績を蓄積。



- 大飯3,4号機において、安全性向上対策として海水ポンプエリアに止水壁を設置した際、取水ポンプを仮設化したことで、取水ポンプの故障頻度が増加（海水淡水化装置の取水ポンプであり、CDFへの影響なし）。
- そのため、2つのスクリーンを一体化し、スペースを確保することで、取水ポンプを恒設化する工事を計画。
- 定期検査中の工事の輻輳を回避し、安全性を確保する観点から、海水ポンプ（予備機1台）を原子炉運転中に隔離する必要が生じたため、リスク評価を実施。

③自主的なリスク管理（3/4）

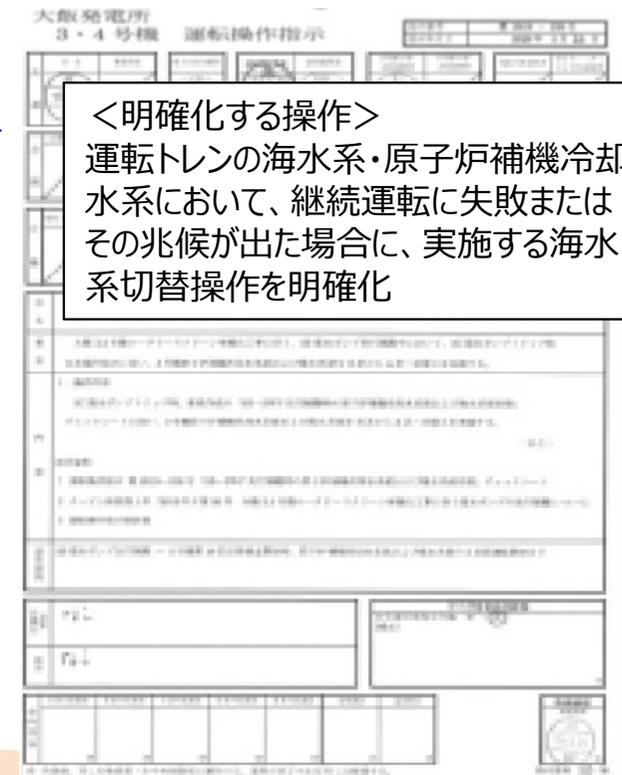
- B海水ポンプの隔離作業に対する補償措置の具体化にあたり、FV重要度が高い基事象を抽出した結果、待機状態にあるC海水ポンプへの切替操作を確実に行うことが特に重要と判断。
- このため、B海水ポンプの隔離作業に先立ち、C海水ポンプへの切替操作の着手タイミングや切替手順を明確にする運転操作指示書を発行。運転員へ周知徹底し、認知失敗や人的過誤のリスクを低減。
- 外的事象に対しては、地震等に備え、クレーン作業時、海水ポンプ上の通過禁止措置を講じる等、発電所幹部の指示に基づき対応。



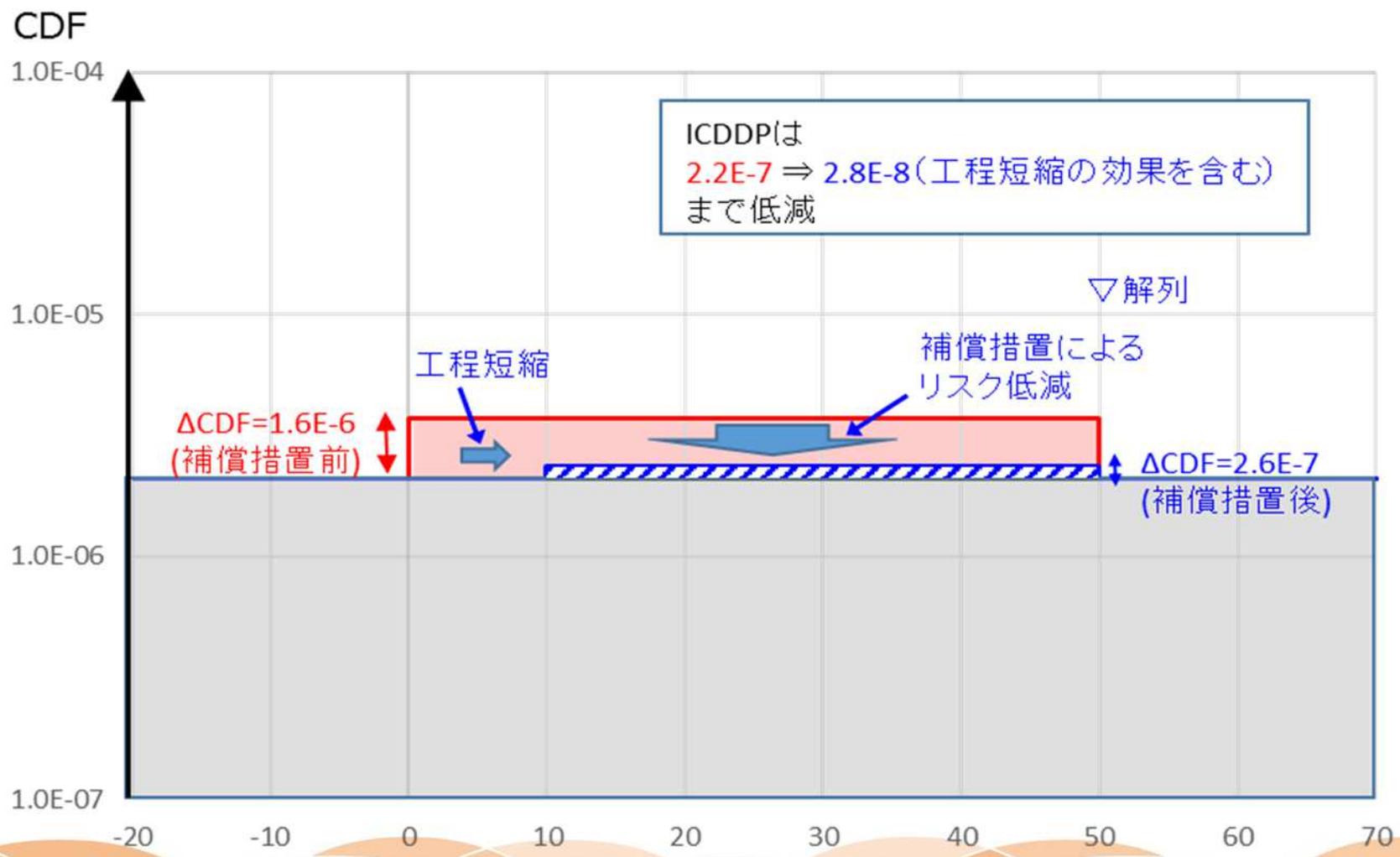
（FV重要度が高い基事象の例）

順位	FV	基事象	認知失敗 確率	人的過誤 確率
2	0.36	C海水ポンプ起動（A,B 海水ポンプ故障時）	6.1E-3 →1.4E-4	7.9E-3 →2.0E-3

運転操作指示書



- 補償措置を講じた結果、 ΔCDF は約1/6に低減。また、安全最優先で工程の短縮についても検討した結果、ICCDPは約1/8に低減。
- 十分にリスクが低減できたと考えられるものの、CDFやICCDPに具体的な目標値が存在すれば、より一層客観的な判断が可能。

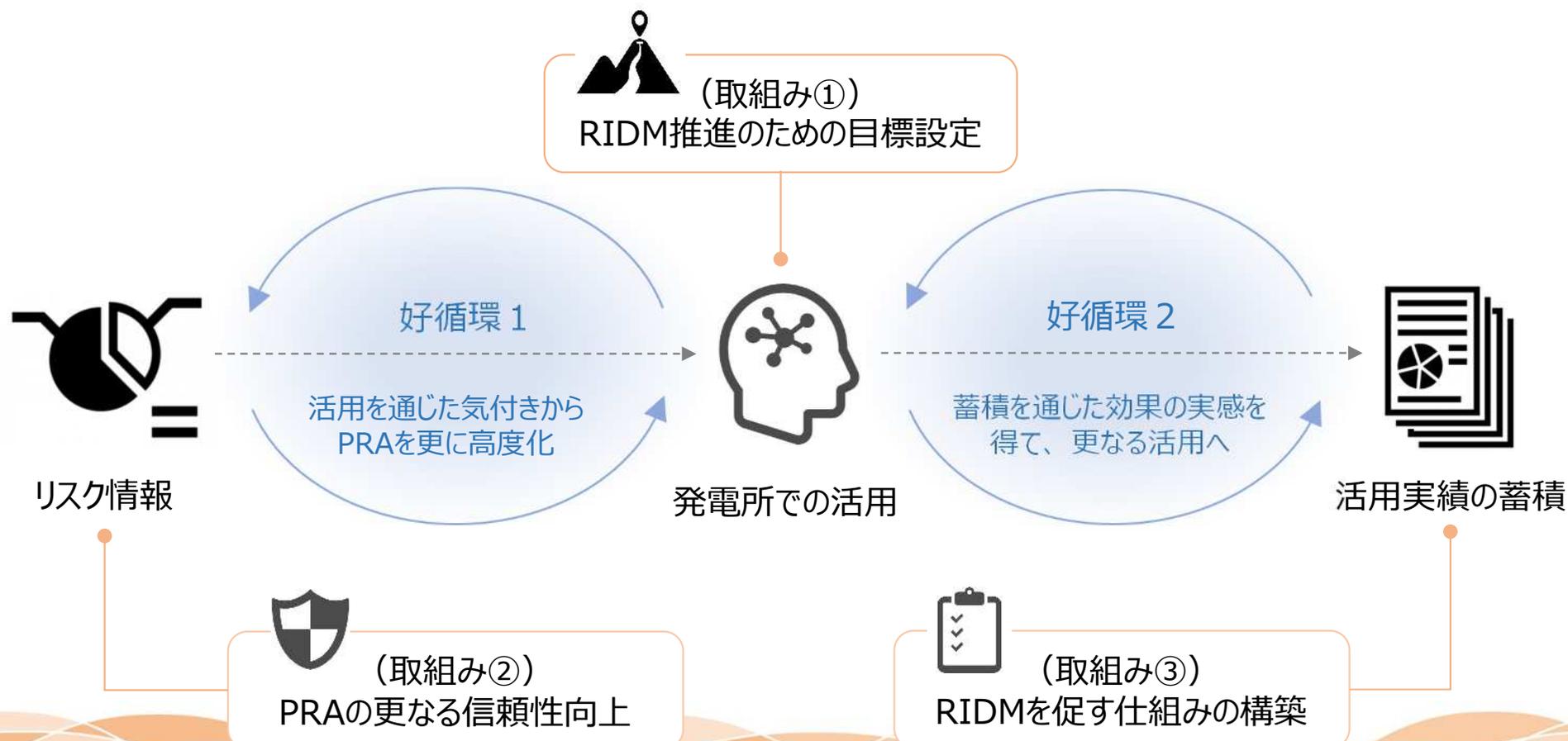


ICCDP : incremental conditional core damage probability 条件付き炉心損傷確率増分
 ここでは、海水ポンプ予備機の隔離に伴う ΔCDF に、実際の隔離期間（補償措置前で50日）を乗じて算出

1. 現在までの取組み状況

2. これからの取組み

- リスク情報は、個別の案件に対しては既に活用されているが、場当たりの活用にとどまっていたため、まずは当社としての性能目標を設定し、各発電所での体系立った活用を通じて改善していくとの考えのもと、至近の歩みを進めてきた。
- リスク情報の活用実績の蓄積を通じ、「安全性と効率性の向上」を一人ひとりが実感することで、更なる活用につながることで、またPRAに反映すべき気付きが得られ、PRAの更なる高度化に繋がることを期待でき、これからはこのような好循環を形成していくフェーズ。



- 2003年12月、原子力安全委員会により、中間的な取りまとめがなされた安全目標・性能目標のうち、性能目標に関して、2024.6に社内規定化。
- RIDMを一層促進し、効果的かつ効率的に資源を運用することで安全性の向上を図るという、当社としてのメッセージを社内外に発信し、引き続きマインドの定着に向けた取組みを継続。

(性能目標)

原子炉施設におけるリスク抑制の目標水準を炉心損傷等の事故の発生頻度を用いて定めたものであり、安全目標への適合性を判断するための補助的な目標である。

原子力安全委員会は「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について－安全目標案に対応する性能目標について－（2006年3月）」において、PRAによる評価の指標である炉心損傷頻度（CDF）及び格納容器機能喪失頻度（CFF）の目標をa. 及びb. のとおり取りまとめていることから、安全管理業務要綱に、性能目標として設定する。

なお、（1）c. 項の環境への影響の視点による安全目標については、格納容器からの放射性物質の管理放出外の放出に対応する目標であることから、安全目標と同等の数値目標を性能目標として設定する。

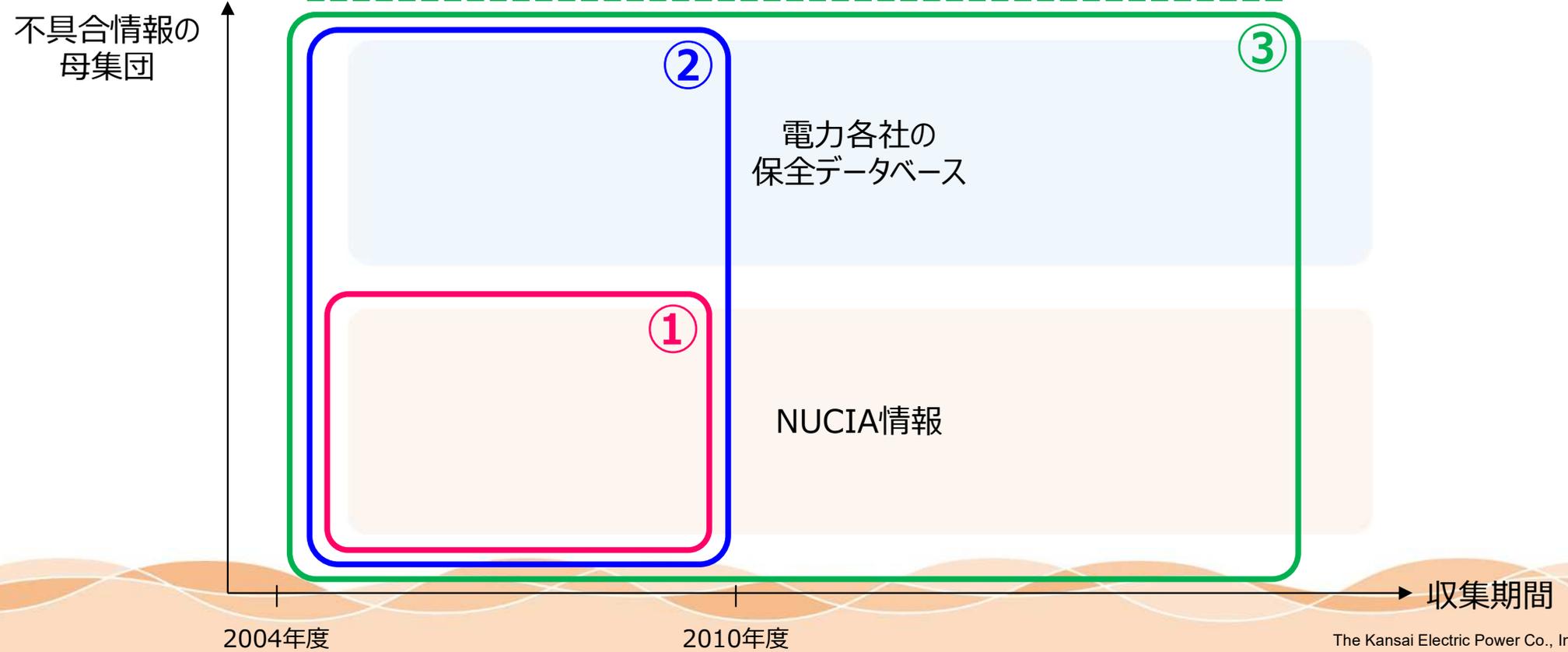
a. CDF : 10^{-4} / 年程度

b. CFF : 10^{-5} / 年程度

c. 事故時にセシウム137の放出量が100テラベクレルを超えるような事故の発生頻度 : 10^{-6} / 年程度

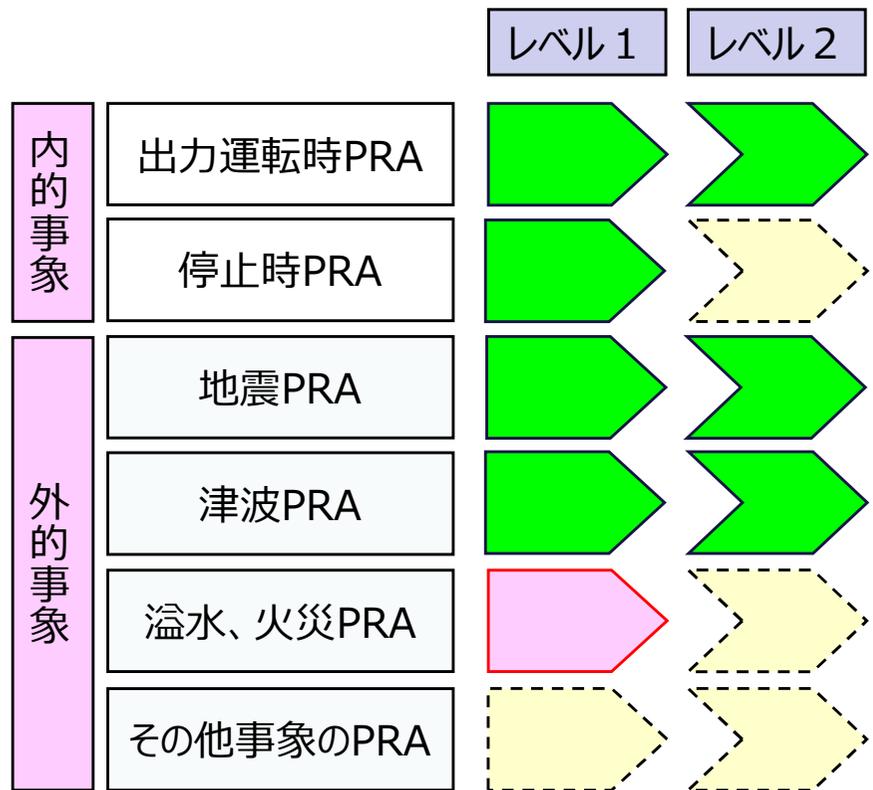
- 機器故障データの収集・評価に関して、当初、NUCIAのみを母集団としており (①)、規制当局は「機器故障率の設定が米国よりも甘いのではないか」との懸念を表明。
- 現在では、米国同様のデータ収集・評価プロセスを定めたNRRCガイドが発行されており、これに基づき、プラント固有の不具合情報を母集団に追加し (②)、PRAに反映済み。
- このような改善を経た機器故障率を用いてRIDMの実績を蓄積しつつ、引き続き、不具合情報の収集期間の拡充、米国専門家レビュー等、機器故障率の更なる信頼性向上 (③) に取り組んでいく。

PRAモデルへの反映範囲外の機器故障データに関し、対象設備・対象期間をどこまで充実するかは検討中。

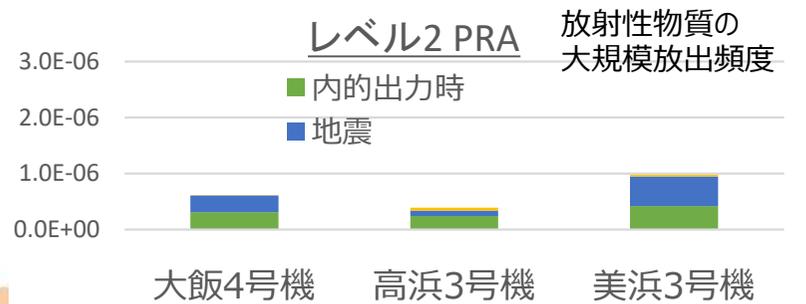
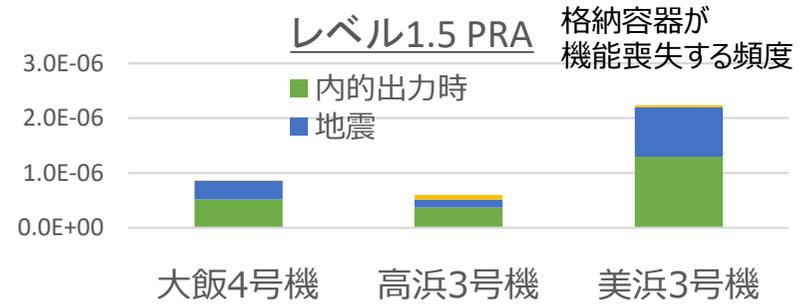
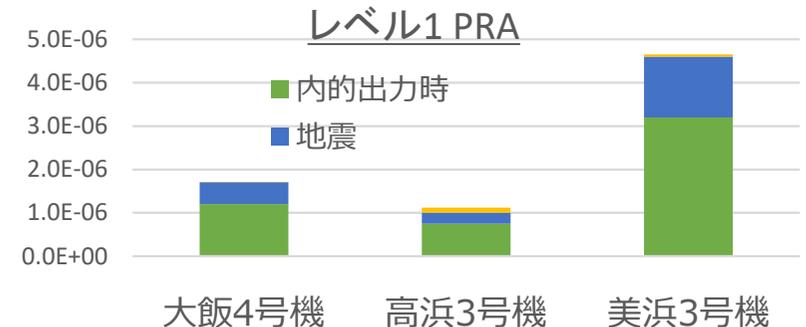


- PRA評価手法に最新知見を反映し、評価手法の高度化を継続。
- PRAには、未反映のリスク (外部事象等の顕在リスクや、未知のリスク) があるが、このようなPRAの不完全さを認識したうえで、RIDMにおいては、PRAを使いながら、進化させていくことが重要。

(内的・外的) 評価手法の高度化



➡ 手法構築、精緻化を継続
➡ 高浜3,4号機を代表プラントとして手法構築中
➡ 未着手

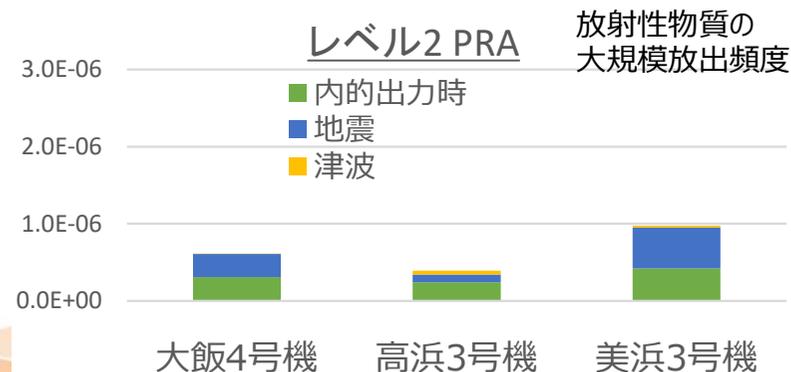
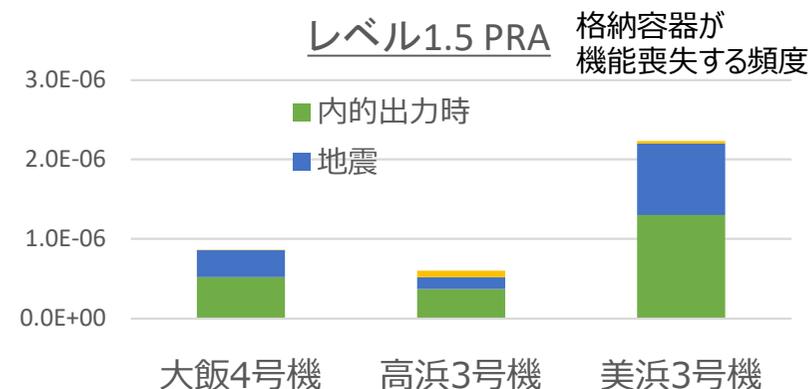
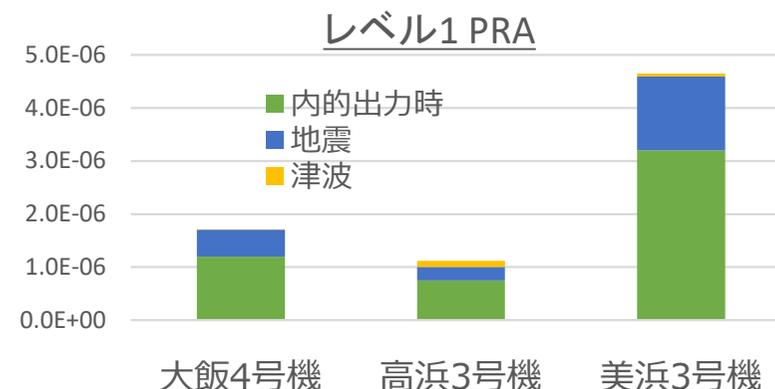


レベル1 P R A (炉心損傷に至る頻度：C D F)			
プラント	大飯4号機	高浜3号機	美浜3号機
内的出力時	1.2E-06	7.5E-07	3.2E-06
内的停止時	1.0E-06	6.9E-07	1.4E-06
地震	5.1E-07	2.5E-07	1.4E-06
津波	3.7E-09	1.2E-07	5.0E-08
合計※	1.7E-06	1.1E-06	4.7E-06

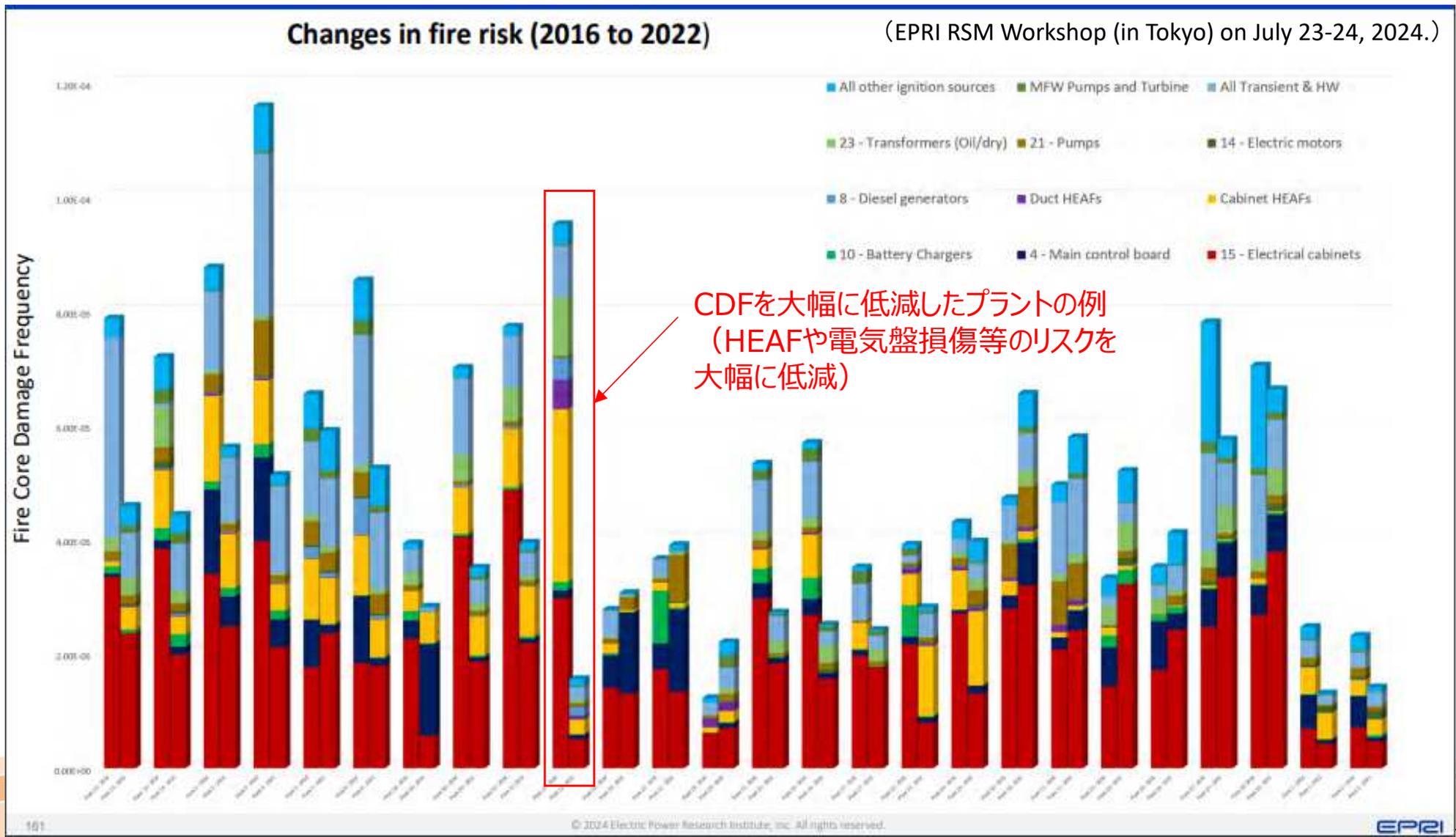
※内的出力時、地震、津波の合計値

レベル1.5 P R A (格納容器が機能喪失する頻度：C F F)			
プラント	大飯4号機	高浜3号機	美浜3号機
内的出力時	5.2E-07	3.7E-07	1.3E-06
地震	3.4E-07	1.5E-07	9.0E-07
津波	3.2E-09	8.1E-08	3.4E-08
合計	8.6E-07	6.0E-07	2.2E-06

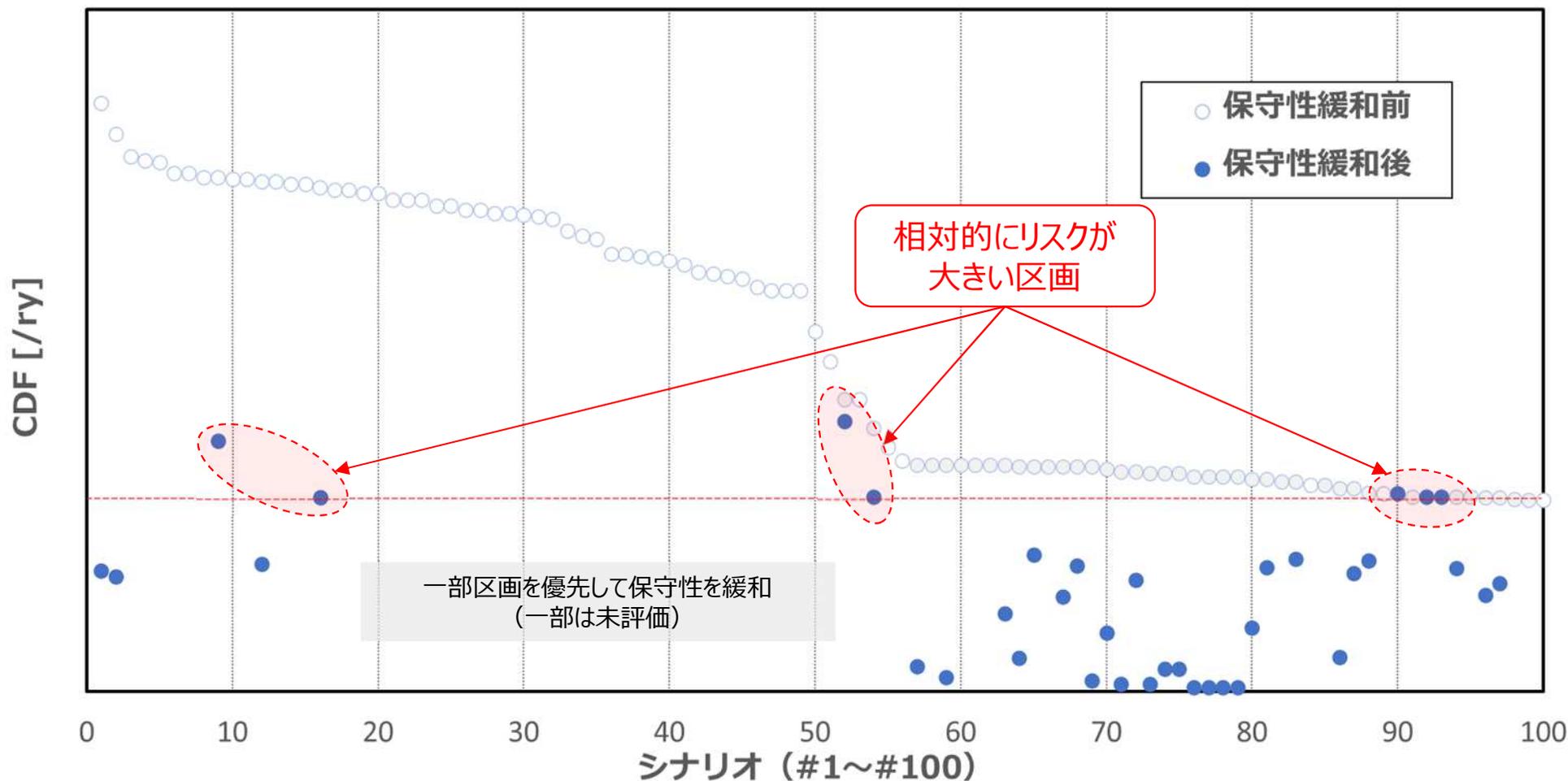
レベル2 P R A (放射性物質の大規模放出頻度：C F F)			
プラント	大飯4号機	高浜3号機	美浜3号機
内的出力時	3.1E-07	2.4E-07	4.2E-07
地震	3.0E-07	1.0E-07	5.3E-07
津波	3.1E-09	5.0E-08	2.6E-08
合計	6.1E-07	3.9E-07	9.8E-07



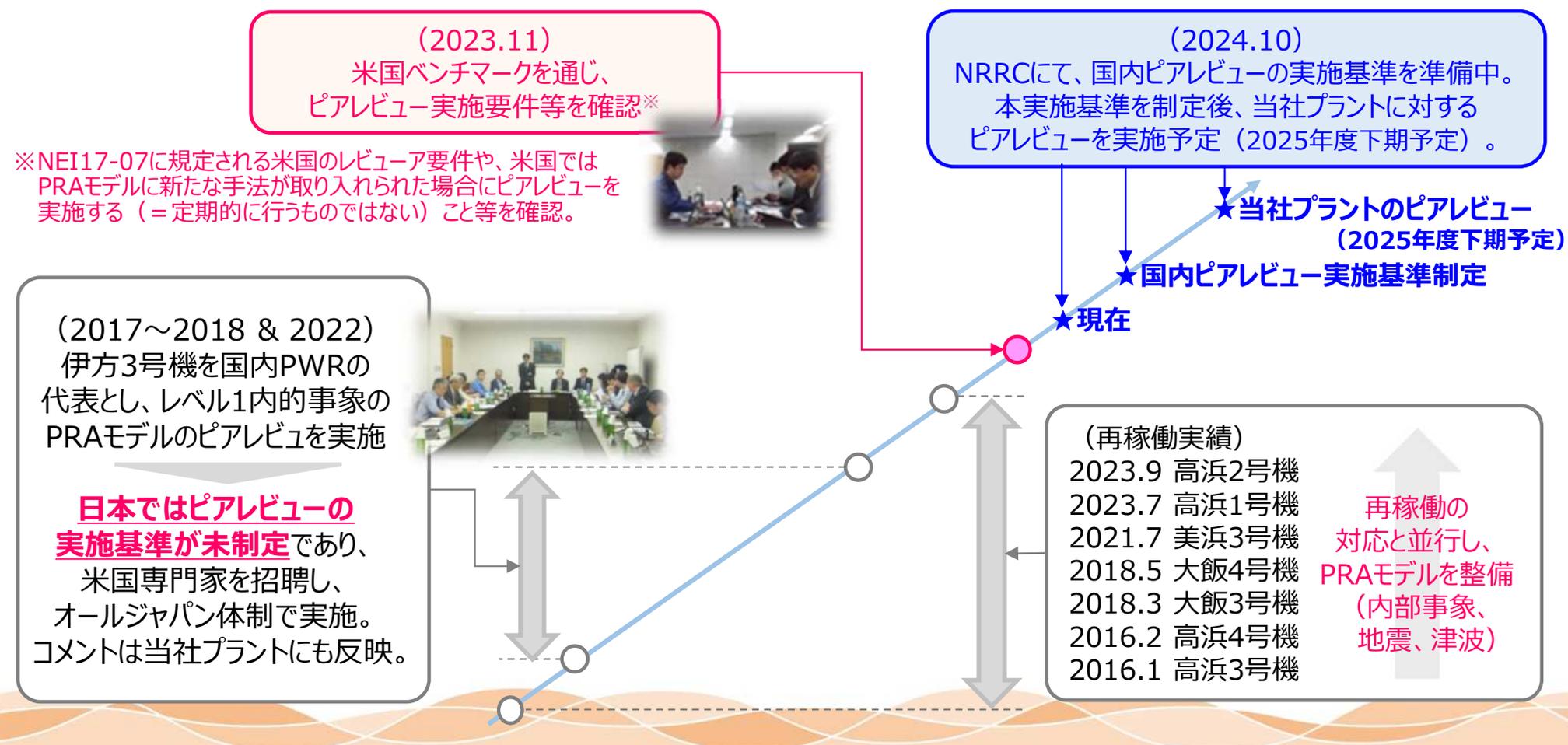
- 米国プラントの中には、近年、内部火災PRAのCDFを大幅に低減しているプラントが存在。
- PRAを使いながら進化させていく観点で、当社では、検討途上の火災PRAを活用し、米国事例に学びながら、実効的なリスク低減対策等について検討中。



- パイロットプラントの火災PRAから、相対的にリスクが大きい区画が存在するという知見が得られたところ。
- PRAを使いながら進化させていく観点から、検討途上の火災PRAの活用し、これまでに得られた知見を踏まえ、重点的な検査範囲の設定や、実効的なリスク低減対策等、安全性向上につなげていく考え。



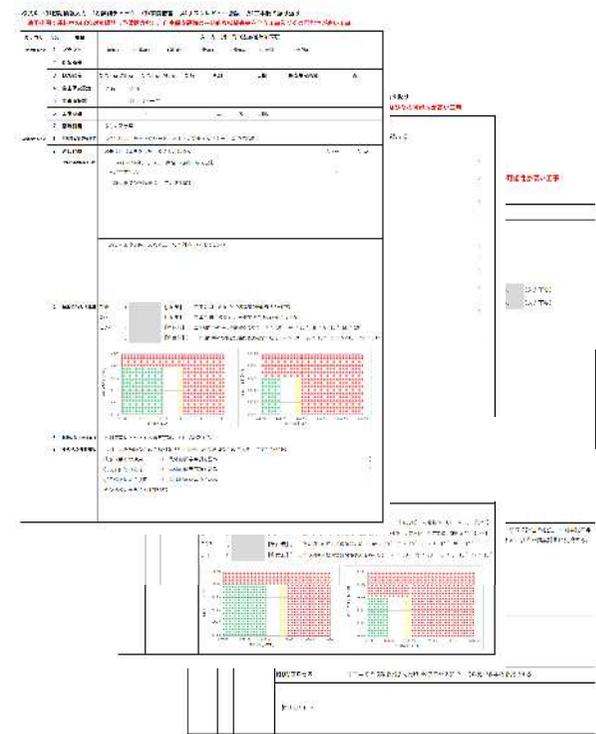
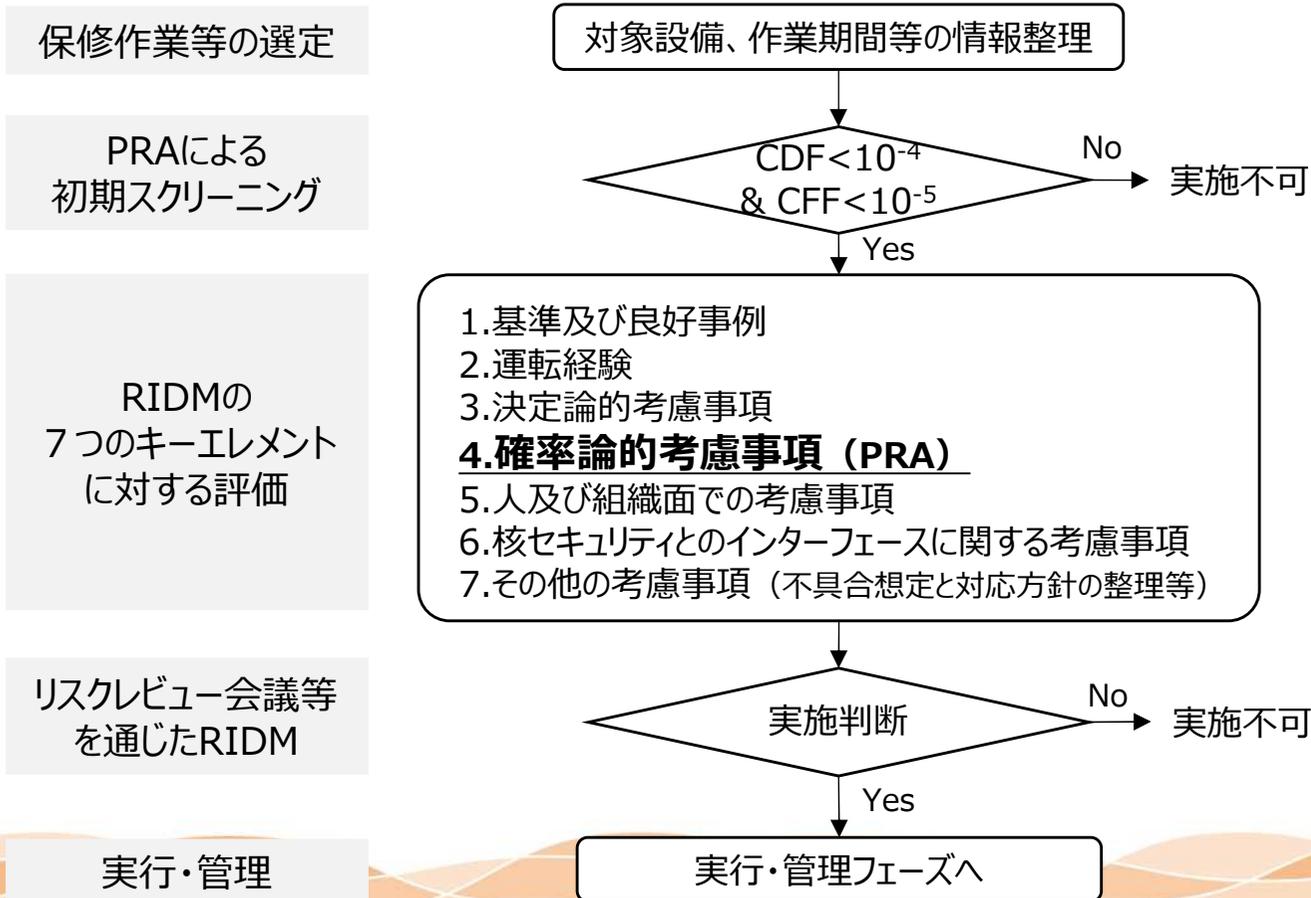
- 日本では、PRAモデルのピアレビュー実施基準が未制定の状況下、これまで国内PWRプラントのPRAモデルに対しては、米国専門家を招聘し、四国電力の伊方3号機を代表としてピアレビューを実施。
- ピアレビューのコメントは当社プラントにも水平展開し、効率的に信頼性を向上。
- 来年、当社プラントもピアレビューを実施する予定であり、PWRプラント間のモデルの類似性を踏まえ、代表プラントとの本質的な違いに着目した実効的なレビューを志向。



- RIDMを促す観点から、日常的な保安活動において、一人ひとりが自然体でRIDMに考えを巡らせることができるよう、評価チェックシートの導入について検討中。
- 評価チェックシートでは、確率論のみならず、決定論の観点もカバーしたうえで、発電所の要員にとって、真に使いやすい仕組みとしていく考え。

RIDMの流れ (NRRC「運転中保全ガイドライン」)

評価チェックシート (検討中)



詳細構成は次頁参照

○ 評価チェックシートは、NRRCの運転中保全ガイドラインの考え方に整合するよう、RIDMの流れに沿って必要な情報を入力するシンプルな構成を志向。

様式X (1)初期情報入力 (2)詳細チェック (3)補償措置 (4)リスクレビュー会議 (5)工事後の振り返り
 適用範囲：運転中のLCO対象機器（予備機含む）、自主保全設備の一体的な機能喪失を伴う工事及びその可能性が高い工事

保守作業等の選定

カテゴリ	No.	項目	入力	対の選定(別添付不可)
LCO対象機器	1	フロント	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2	対象機等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3	LCO機等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	工事後の選定	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5	工事内容	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6	工事内容	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	7	工事内容	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

RIDMの7つのキーエレメントに対する評価

項目	評価
1. 初期情報入力	○
2. 詳細チェック	○
3. 補償措置	○
4. リスクレビュー会議	○
5. 工事後の振り返り	○
6. 補償措置の検討	○
7. 振り返り	○

様式X (1)初期情報入力 (2)詳細チェック (3)補償措置 (4)リスクレビュー会議 (5)工事後の振り返り
 適用範囲：運転中のLCO対象機等（予備機含む）、自主保全設備の一体的な機能喪失を伴う工事及びその可能性が高い工事

補償措置の検討

カテゴリ	No.	項目	入力	対の選定(別添付不可)
LCO対象機器	1	補償措置	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2	補償措置	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

連のプロセスのレビュー

項目	評価
1. 初期情報入力	○
2. 詳細チェック	○
3. 補償措置	○
4. リスクレビュー会議	○
5. 工事後の振り返り	○
6. 補償措置の検討	○
7. 振り返り	○

様式X (1)初期情報入力 (2)詳細チェック (3)補償措置 (4)リスクレビュー会議 (5)工事後の振り返り
 適用範囲：運転中のLCO対象機等（予備機含む）、自主保全設備の一体的な機能喪失を伴う工事及びその可能性が高い工事

リスクレビュー会議等を通じたRIDM

カテゴリ	No.	項目	入力	対の選定(別添付不可)
LCO対象機器	1	工後日誌	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2	補償措置	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3	結果	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	リスクレビュー会議等	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

連のプロセスのレビュー

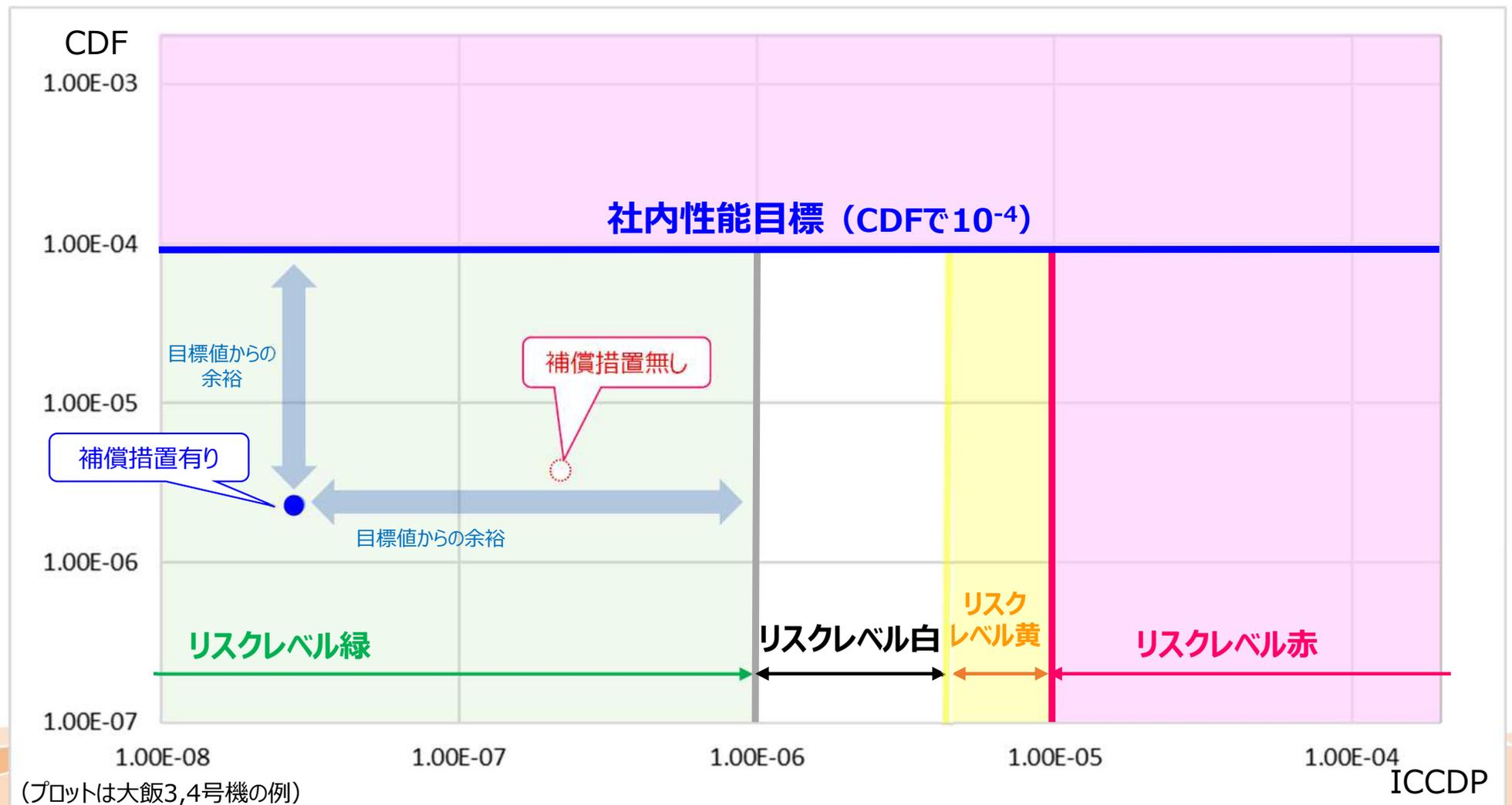
項目	評価
1. 初期情報入力	○
2. 詳細チェック	○
3. 補償措置	○
4. リスクレビュー会議	○
5. 工事後の振り返り	○
6. 補償措置の検討	○
7. 振り返り	○

- 評価チェックシートにおいては、NRRCの運転中保全ガイドラインの考え方に従い、内的事象の結果に応じた定量的な判断基準とリスクレベルを設定。また、外的事象に対しては、ハザードの増大要因・ハザードバリアの劣化に応じたリスクレベルを設定。
- PRAに精通せずとも、リスクレベルを正しく認識できるよう、緑～赤の4段階で色別。
- リスクレベルを踏まえ、補償措置にもグレーデッドアプローチを志向。

リスクレベル	定義	内的事象※		外的事象
		CDF	ICCDP	ハザードの増大要因・ハザードバリアの劣化
赤	作業を実施しない水準	$\geq 10^{-4}$ (性能目標)	$> 10^{-5}$	ハザード増大要因または／およびハザードバリアの劣化があり、待機状態の安全機能を有するSSCに対して影響があり、 <u>有効なリスク管理措置が設定できない状態</u>
黄	機能を補償するリスク管理措置の上、作業を実施する水準	—	$\leq 10^{-5}$	ハザード増大要因または／およびハザードバリアの劣化があり待機状態の安全機能を有するSSCに対して影響があるが、 <u>リスク管理措置を講ずることで設計想定内と同程度のリスク維持が可能な状態</u>
白	リスク管理措置の上、作業を実施する水準	—	$\leq 5 \times 10^{-6}$	—
緑	通常の作業管理に準じたリスク管理を行う水準	—	$\leq 10^{-6}$	待機状態の安全機能を有するSSCに対して影響を及ぼす恐れのあるハザード増大要因及びハザードバリアの劣化がない状態

※CFF、ICCFPは1オーダー低い値で管理

- 「大飯3,4号機の海水ポンプ予備機の隔離作業」の事例に対し、CDFおよびICCDPをマッピングし、目標値からの余裕が見える化した結果、当時の補償措置が妥当であったことをあらためて確認。
- なお、今回の事例は、内的事象PRAに基づくFV重要度から、C海水ポンプへの切替操作の着手タイミングや切替手順を明確にする運転操作指示書を発行。今後、外的事象PRAについても、定性評価を補足する情報として、重要なシナリオの特定等、可能な範囲で積極的に活用していく方針。



- リスク情報の活用は、PRAの不完全さを認識したうえで、RIDMにおいては、PRAを使いながら、進化させていくこと、また意思決定の高度化を通じて、安全性と効率性の向上につなげていくことが重要と考えている。
- 真に実効性あるリスク情報活用の実現に向け、事業者としては、ピアレビューを通じたPRAモデルの信頼性向上や評価手法の高度化はもとより、リスク情報活用の実績を丁寧に積み重ねていきたいと考えている。
- 日本において原子力規制検査制度が2020年から導入されており、そのような検査制度の中でも引き続き、これらの取り組み状況を確認頂き、規制当局とも、共通課題の改善に向けた密なコミュニケーションを継続していきたいと考えている。

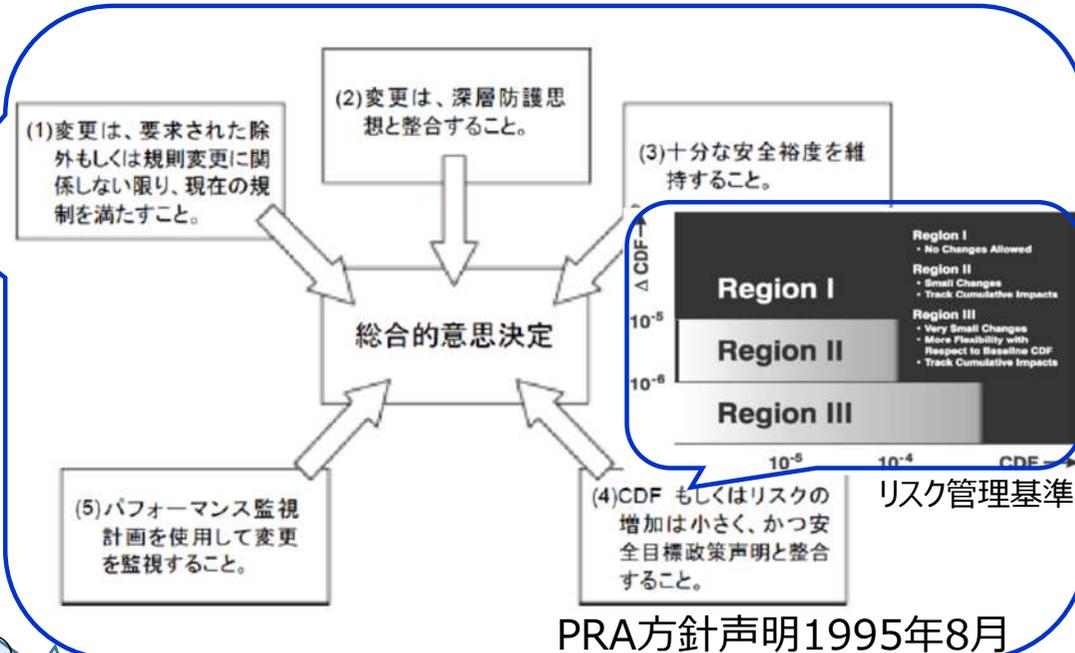
參考資料

・規制側は、リスク情報を用いた許認可の変更を行う主要原則を定めている

・5つの視点で、総合的評価※を行う。

※ リスク情報だけで意思決定できるものではない。
CDF(絶対値)が性能目標を満たしていれば、事業者の判断で自由に変更ができるわけではない。
 (注) 性能目標を超えていたプラントもあった。

・規制側が Δ CDF(相対値)等を用いてバックフィット要否を判断する①。また、事業者の申請を Δ CDF(相対値)を用いて規制側が認める②。



①

① 規制側が、 Δ CDF(相対値)等を用いて、バックフィット要否を判断する例

Δ CDF(相対値)、コスト等を含めて、5つの視点で規制側が総合評価。

1. バックフィット要求をしなかった例

コストベネフィット評価の不確実さが大きいこと、他の対策でも、安全性を高められること等から、Mark I/II BWRのフィルタベントについては、バックフィット要求していない。

2. バックフィット要求した例

ATWS、SBO等については、コストベネフィット評価からも、バックフィットの正当性を示している。

②

② 事業者の申請を Δ CDF(相対値)が一定範囲であり、規制側が認めた例

1. 運転中保全

Δ CDFを考慮して、プラント運転中に複数系統の保守点検を行う。(リスク管理基準における、Region III: 保障措置不要、Region II: 保障措置要、Region I: 運転中保全不可)
 ⇒ 定期検査の短縮、作業員削減、コスト削減を行っている。

2. リスク情報を活用した重要度分類の変更

安全上重要であるため、特別な取扱い要件(試験、検査、品質保証など)が課される機器の対象を、リスク情報に基づいて変更する。
 ⇒ 従来安全系機器と分類されていたものの内、リスク上重要度の低い機器の保守費用が削減できる。