



事業者の自主的安全性向上における リスク情報の活用

電気事業連合会 原子力部
尾野 昌之

2015年6月22日

新規制基準の概要

- ◆ 事故後の安全向上対策や、事業者が自主保安で実施してきたシビアアクシデント対策により、新規制基準の多くは対応済みだが、追加対策も必要

<従来>

アクシデントマネジメント策
(事業者の自主保安)

従来の安全基準

炉心損傷は想定せず
(単一故障のみを想定等)

自然現象に対する考慮

火災に対する考慮

信頼性に対する考慮

電源の信頼性

冷却設備の性能

その他の設備の性能

耐震・耐津波性能

新規制基準

放射性物質の拡散防止

意図的な航空機衝突への対応

格納容器破損防止対策

炉心損傷防止対策
(複数の機器の故障を想定)

自然現象に対する考慮

火災に対する考慮

信頼性に対する考慮

電源の信頼性

冷却設備の性能

その他の設備の性能

耐震・耐津波性能

シビアアクシデント
対策を新設

設計基準の強化

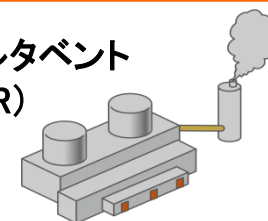
地震・津波に関する
設計基準の強化

航空機衝突対策
(特定安全施設の設置)



施行後5年間は適用猶予

フィルタベント
(BWR)



火山



竜巻



山火事

- ・直下に活断層のないこと
- ・震源を特定せず策定する地震動
- ・地下構造の把握 等

基準地震動の策定について

新規制基準において規制を強化

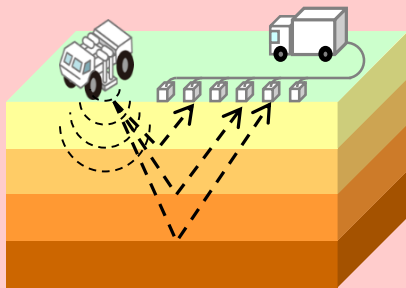
◆活断層の認定基準を明示

将来活動する可能性のある断層等は、後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できないものとし、必要な場合は、中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って活動性を評価することを要求。

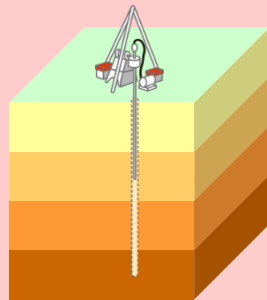
◆より精密な「基準地震動」の策定

原子力発電所の敷地の地下構造により地震動が増幅される場合があることを踏まえ、敷地の地下構造を三次元的に把握することを要求

各々の調査において、評価も含めて 数ヶ月～半年間必要



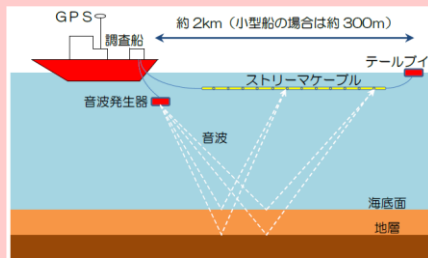
陸域での地下探査



ボーリング調査

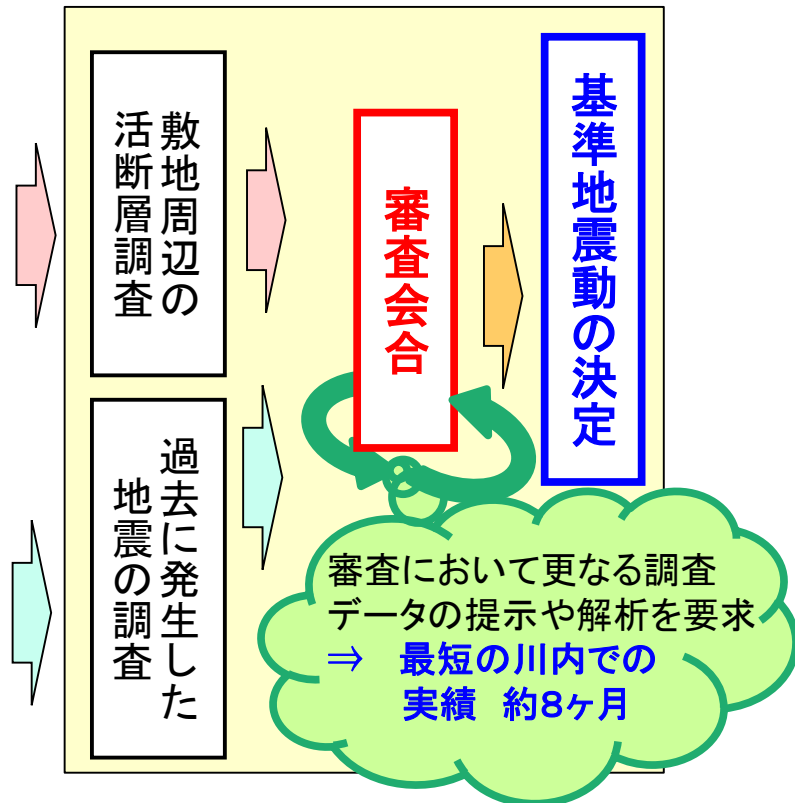


トレンチ調査



海上音波探査

審査ガイドに記載されている過去に国内で発生した16地震の観測記録について、考慮すべきかを検討



基準津波の策定について

津波対策において規制を強化

「津波波源」の設定

- ①国内外の津波事例の考慮、②プレート間地震、③海洋プレート内地震、④海域の活断層による地殻内地震、⑤地すべり等、⑥火山現象、を考慮して設定する。

「基準津波」の策定

既往最大を上回るレベルの津波を「**基準津波**」として策定し、基準津波への対応として防潮堤等の津波防護施設等の設置を要求。

中部電力 浜岡原子力発電所の事例

2011年7月22日

浜岡原子力発電所前面の砂丘堤防高さ T.P. (東京湾平均海面) +10~15mに、福島第一原子力発電所での津波遡上高 (T.P. +15m程度) も考慮し、**防波壁の高さをT.P. +18mとすることにした。**

2012年12月20日

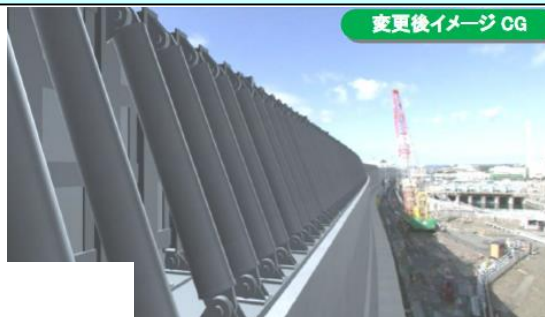
2012年8月に公表された内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」のデータを使用した津波断層モデルの津波のシミュレーションによって得られた津波の水位は、防波壁前面でT.P. (東京湾平均海面) +14.7~20.7mとなり、T.P. +18mの防波壁を敷地東側で越流する。
⇒**防波壁をT.P. +18mからT.P. +22mに嵩上げすることにした。**

2013年9月27日

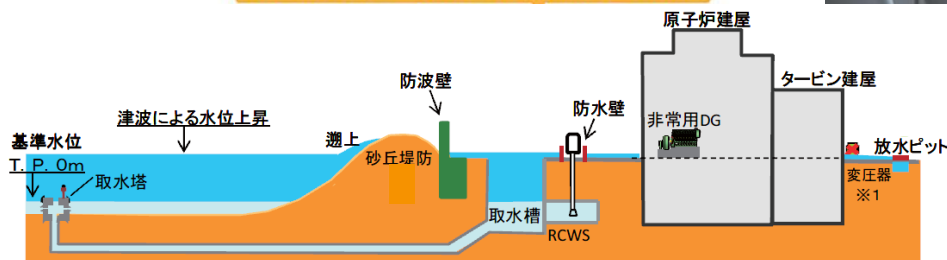
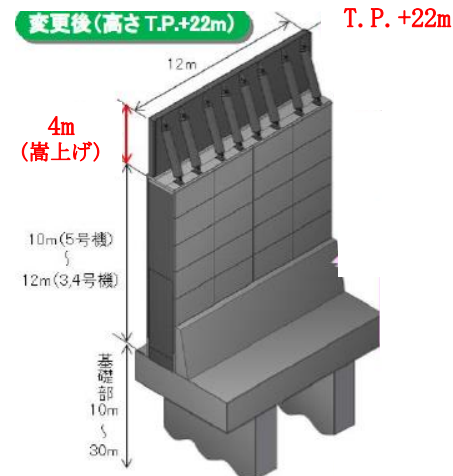
T.P. +18mからT.P. +22mに嵩上げする防波壁嵩上げ工事に着手した。



砂丘堤防: 海拔10~15m、幅約60~80m、長さ約1.5km



変更後イメージ CG

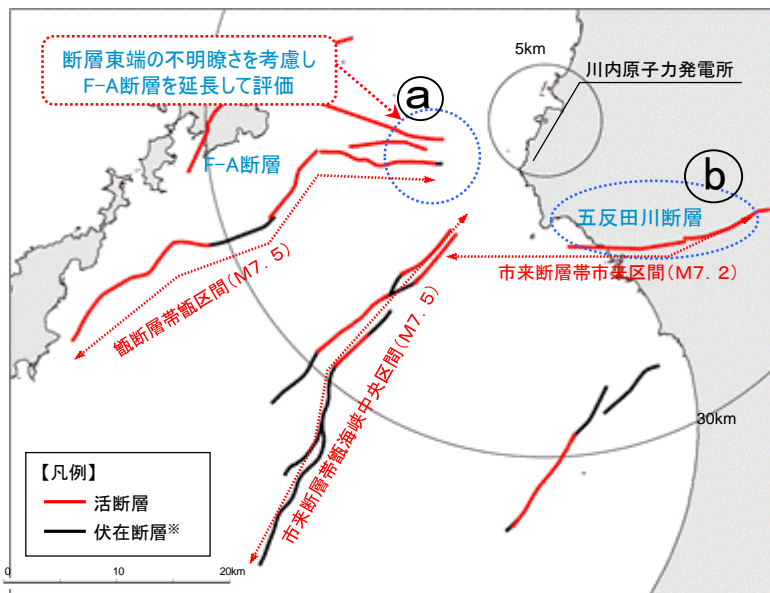


新規制基準への適合に向けた取り組み例（1 / 8）

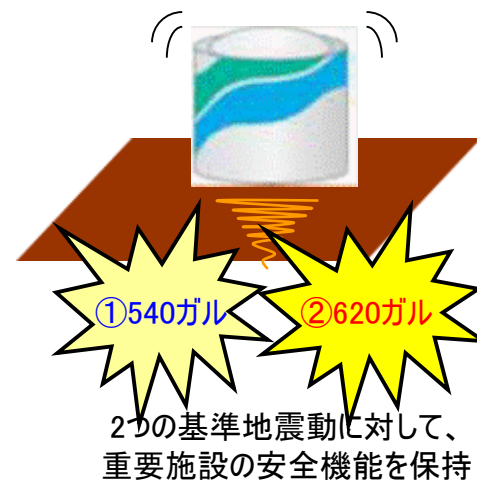
（地震想定の見直し：川内原子力発電所）

- 発電所は、活断層がない地盤に設置していることを確認
- 基準地震動（発電所の建屋や機器の耐震安全性評価に用いる基準となる地震動）は、「①震源を特定して策定する地震動」と「②震源を特定せず策定する地震動」の両方を考慮して策定
- 川内原子力発電所では、
 - ① 発電所周辺の活断層による地震を厳しく評価し、540ガルに設定
 - ② 国が示した過去に国内で発生した16地震のうち、北海道留萌支庁南部地震（2004年）を考慮して、620ガルを追加

〔発電所周辺の活断層分布〕



- ① 周辺の活断層を基に、
 - a) 想定より活断層が長いと仮定
 - b) 地震調査研究推進本部（文部科学省に設置された政府機関）の評価を反映など、厳しく評価して**540ガル**と設定
- ② 国が示した16地震のうち、敷地に及ぼす影響が大きく、解析結果の信頼性が高い北海道留萌支庁南部地震の岩盤上の揺れを基に、**620ガル**と設定



※後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動がない断層

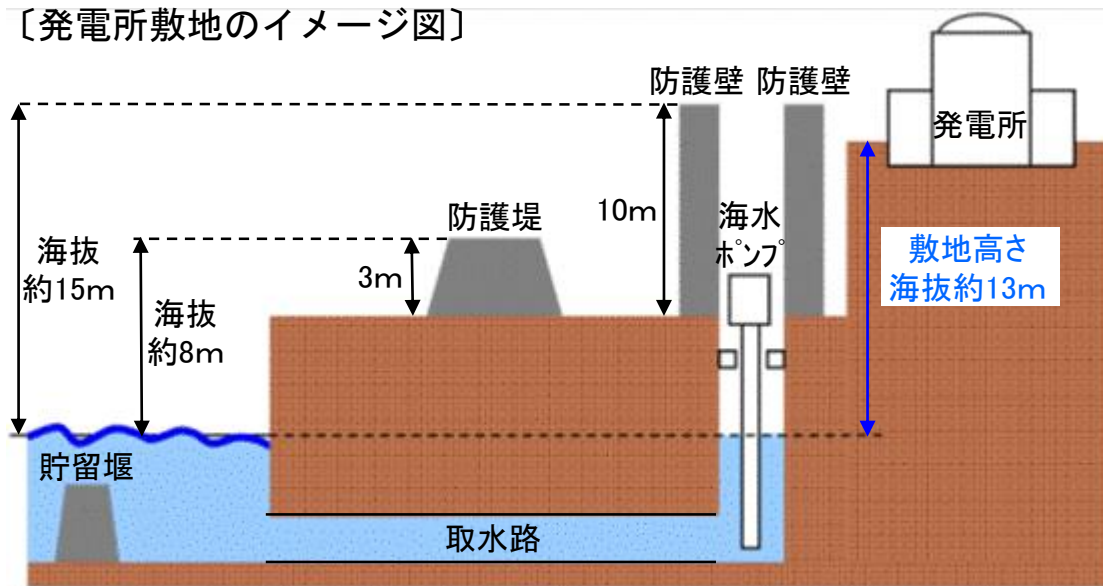
基準地震動 372ガル ⇒ 620ガル

新規制基準への適合に向けた取り組み例（2 / 8）

（津波対策の強化①：川内原子力発電所）

- 地震による津波の高さを海拔5m程度（取水口付近）と評価
- 発電所への最大遡上高さを海拔6m程度と想定し、対策を実施
- 発電所の主要設備がある敷地は海拔約13mであり、津波に対し十分な余裕があることを確認
- 海水ポンプエリア（海拔約5m）の周辺に、防護壁（海拔約15m）を設置するとともに、津波の引き波時にも原子炉等の冷却に必要な海水を確保するための貯留堰を取水口前面に設置
- 更に、津波や漂流物に対する安全性を向上させるため、防護堤（海拔約8m）を設置

〔発電所敷地のイメージ図〕

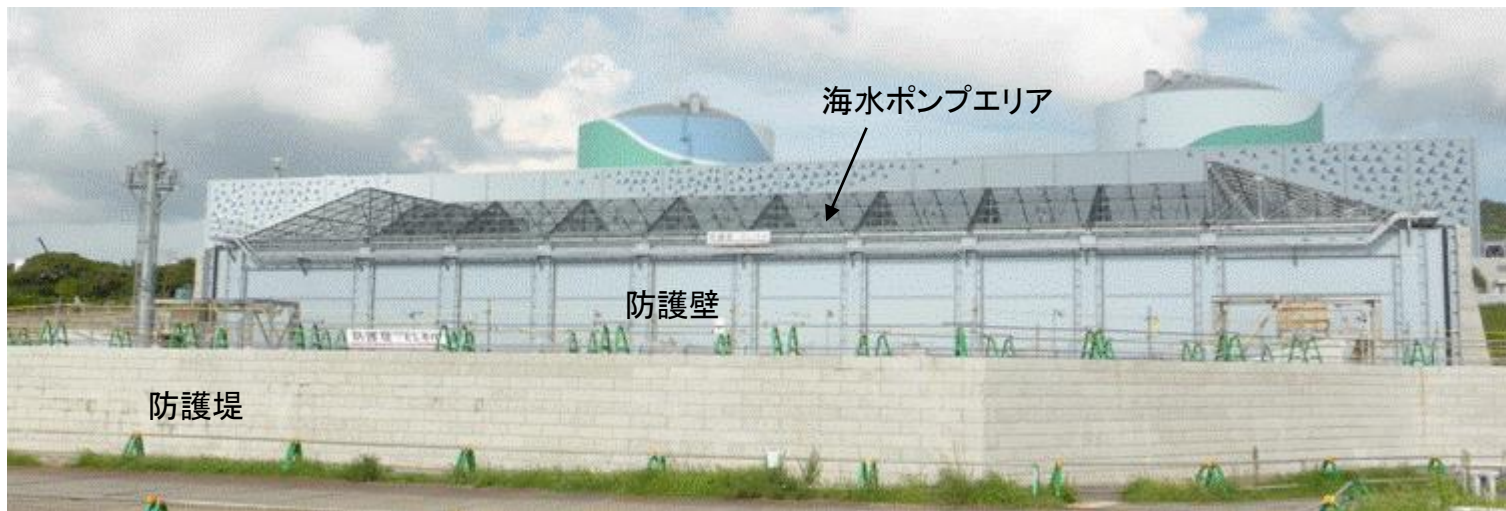


〔海水ポンプエリアの防水対策〕



津波高さ 海拔4m ⇒ 海拔5m

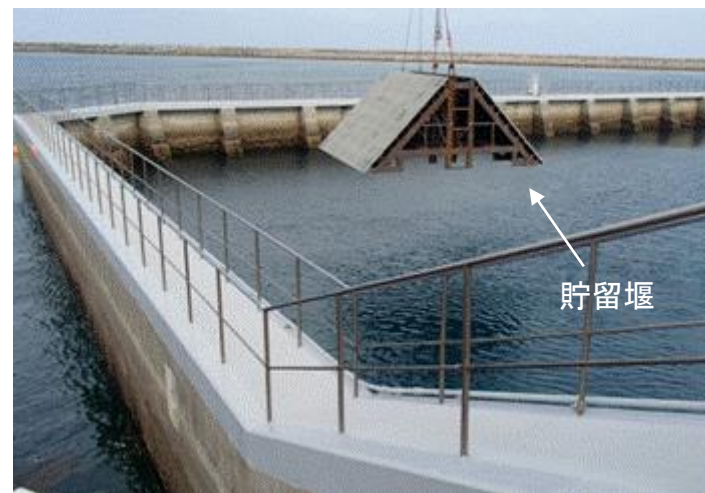
新規制基準への適合に向けた取り組み例（3 / 8） （津波対策の強化②：川内原子力発電所）



海水ポンプエリアの防水対策の概観



海水ポンプエリア内の水密扉



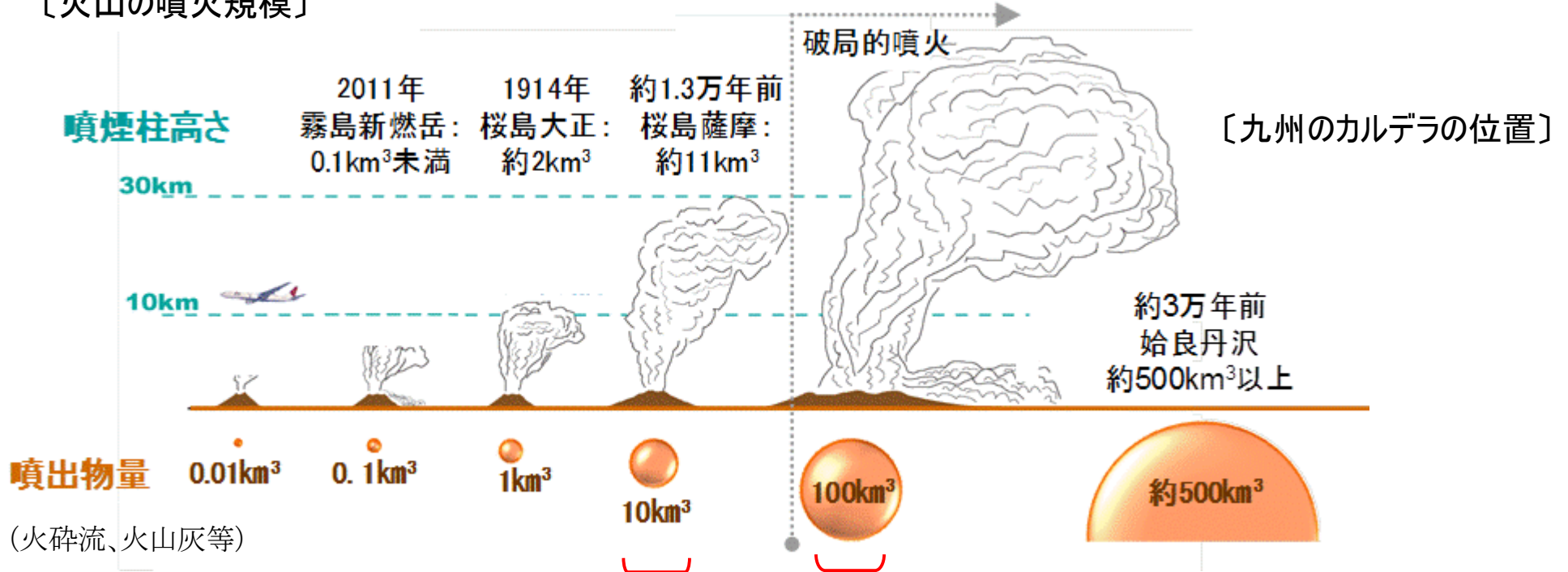
貯留堰の設置工事

新規制基準への適合に向けた取り組み例（4 / 8）

（火山活動のモニタリング：川内原子力発電所）

- 原子力発電所の安全に影響を及ぼす活動をする可能性のある火山の影響評価
- カルデラの破局的噴火が発生する可能性について、噴火履歴の特徴やマグマ溜まりの状況などにより評価
- 万が一の備えとして、噴火可能性が十分小さいことを継続的に確認するためのモニタリングを実施

〔火山の噴火規模〕



発電所運用期間中に考慮する最大の噴火
⇒火山灰を想定した対策を実施

発電所運用期間中に発生する可能性は十分小さい
⇒火山活動を定期的にモニタリング

新規制基準への適合に向けた取り組み例（5 / 8）

（竜巻対策の強化：川内原子力発電所）

- 日本で過去に発生した竜巻を考慮して設計竜巻を、風速(92m/秒)に設定し、最大風速100m/秒で評価
- 設計竜巻を前提とした飛来物の衝突防止のため、安全上重要な屋外設備を防護するネットを設置したり、飛散防止のため、屋外資機材を固縛



復水タンクの竜巻防護対策

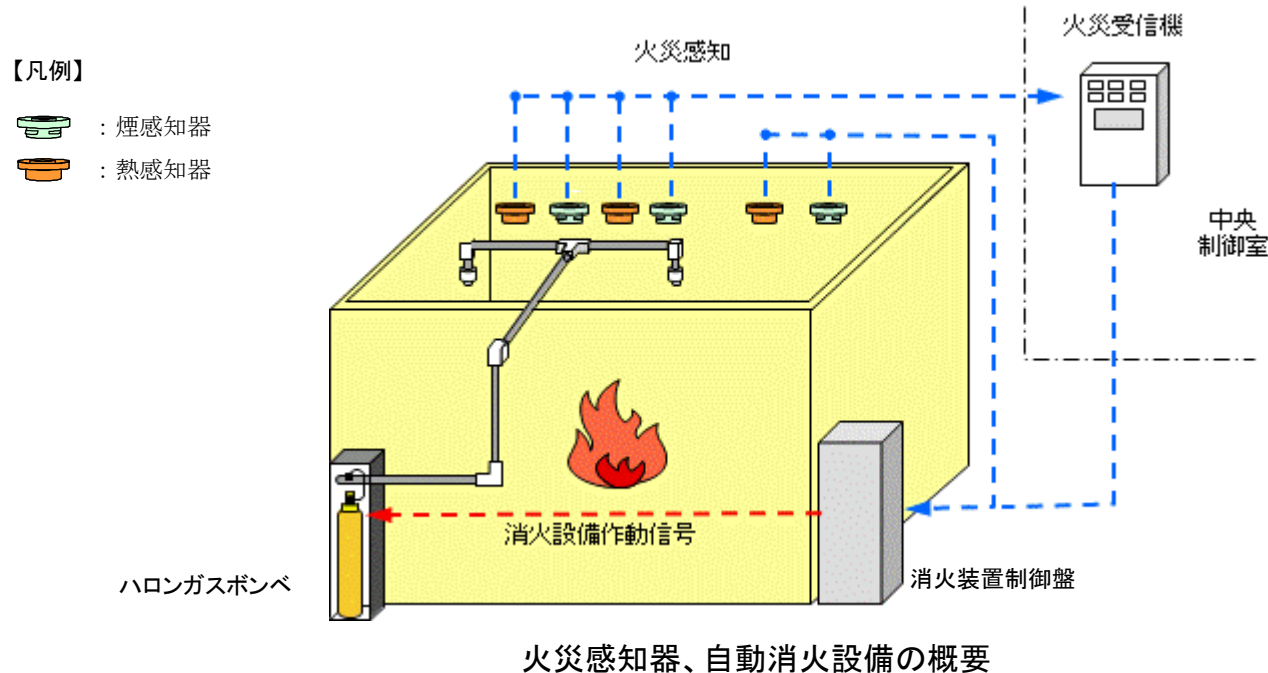


コンテナの飛散防止対策

新規制基準への適合に向けた取り組み例（6 / 8）

（火災対策の強化：川内原子力発電所）

- 火災の発生を防止するため、難燃ケーブルの使用や、引火性物質等の漏えい・拡大防止対策を実施
- 火災を早期に感知・消火するため、安全上重要なポンプ等の設置エリアに対し、検知方法の異なる複数の火災感知器や、自動消火設備を増設
- 火災の影響を軽減するため、同一エリア内にある安全上重要な設備を、耐火隔壁等で分離



新規制基準への適合に向けた取り組み例（7 / 8）

（可搬設備の強化：川内原子力発電所）

《重大事故対策のための可搬設備》

- 本設設備の安全機能が失われた場合にも、可搬設備を活用することにより 多様化を図り、安全機能を確保
- 可搬設備は複数用意し、自然現象やテロを考慮した分散配置を実施

電源確保

電源車の配備



中容量発電機車(1,825kVA-6,600V)



高圧発電機車(500kVA-6,600V)

冷却確保

可搬型ポンプと 移動式代替熱 交換設備の配 備



移動式大容量ポンプ車



可搬型ディーゼル注入ポンプ



可搬型電動低圧注入ポンプ

放射性物質 の拡散抑制

放水砲の配備



放水砲

新規制基準への適合に向けた取り組み例（8／8）

（訓練の実施：川内原子力発電所）

○重大事故の進展を防ぐ設備を駆使した訓練を重ね、緊急時に備えています

〔訓練の事例〕



緊急時対策所における訓練



がれきの撤去訓練



電力の供給訓練



冷却水の供給訓練



緊急時の運転操作訓練

原子力発電所再稼働に向けた申請状況

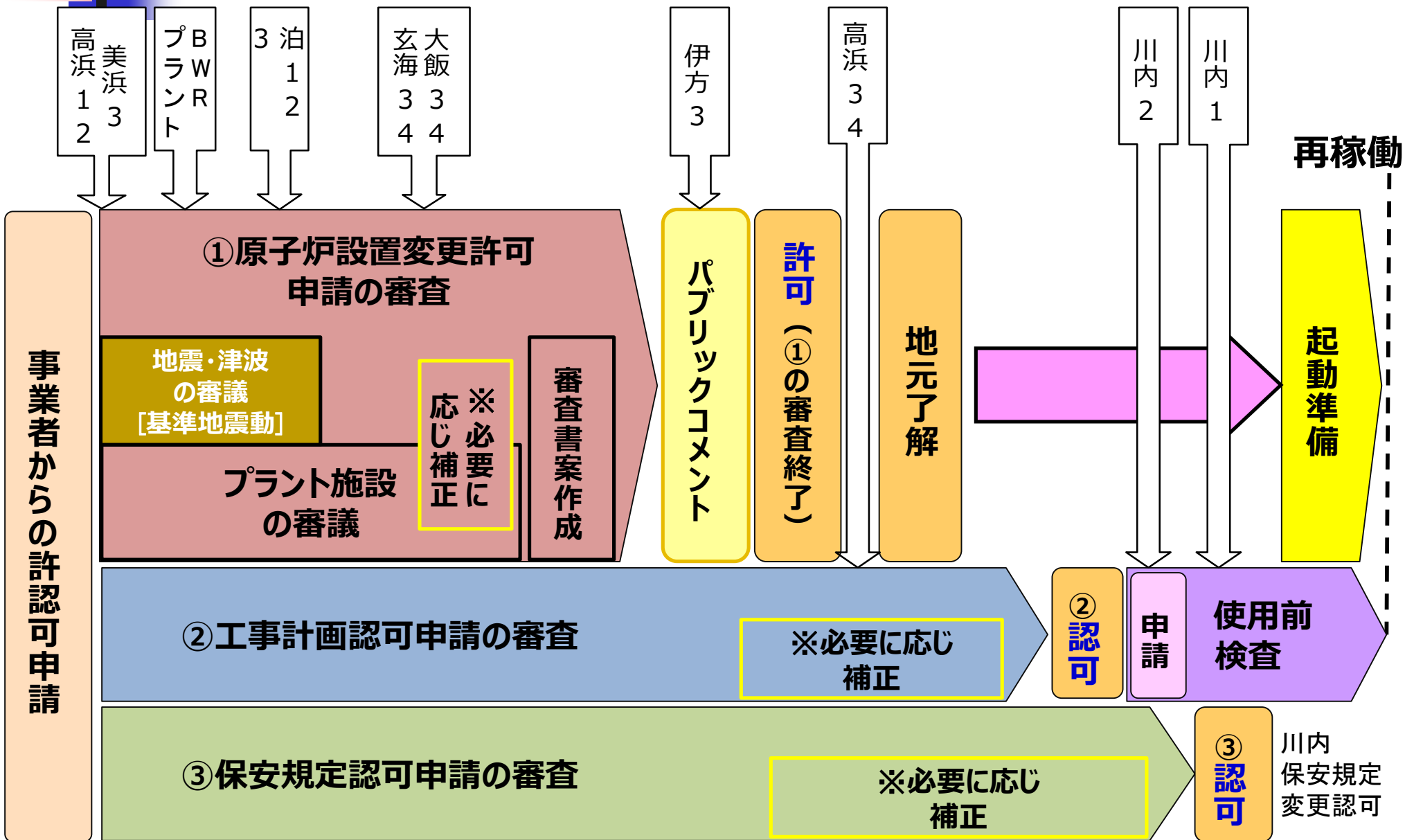
○ 再稼働に向け11社24基が申請(2015. 5月時点)

○ 9社21基が未申請

緑:PWR
橙:BWR



原子力発電所再稼働プロセスと各プラントの状況



福島第一事故を踏まえた教訓①

2014年5月、総合エネ調「原子力の自主的安全性向上に関するWG」での議論を経て、「原子力の自主的・継続的な安全性向上に向けた提言」が取りまとめられた。

【提言の概要】

(1) 適切なリスクガバナンスの枠組みの下でのリスクマネジメントの実施

(2) 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を出発点に実践が求められる取組

- ① 低頻度の事象を見逃さない網羅的なリスク評価の実施
- ② 深層防護の充実を通じた残余のリスクの低減
- ③ 我が国特有の立地条件に伴う地震・津波等の外的事象に着目したプラント毎の事故シナリオ及びクリフエッジの特定と、既存のシステムでは想定されていない事態への備え及び回復を含むレジリエンスの向上
- ④ 我が国における軽水炉の更なる安全性向上のための研究の再構築と国内外関係機関との調整の強化

(3) こうした取組を着実に進め、根付かせるために特に求められる姿勢

- ① 批判的思考や残余のリスクへの想像力等を備えた組織文化の実現
- ② 国内外の最新の知見の迅速な導入と日本の取組の海外発信
- ③ 外部ステークホルダーの参画
- ④ 産業界大での人的・知的基盤の充実
- ⑤ ロードマップの共有とローリングを通じた全体最適の追求

福島第一事故を踏まえた教訓②

福島第一原子力発電所事故を踏まえた反省

- ・原子力のリスクと正面から向き合う仕組みが不足
- ・特に地震や津波をはじめとする低頻度外的事象への対応が不十分

規制に留まらない安全性向上に向けて顕在化した技術的課題

- ①低頻度外的事象の発生メカニズムの解明 ②PRAの活用 ③リスク低減に向けた研究開発

「反省」や「顕在化した技術的課題」を踏まえ、強化すべき機能・仕組みを検討

各事業者は、原子力リスクを経営の最重要課題と位置づけ、リスク低減に向けた対応力強化を図ることが必要

低頻度外的事象によるリスク対応のための技術開発は事業者共通の課題であり、高い専門性が要求されることから、一元化された研究開発体制の確立が効果的

検討から導き出された取り組みの方向性

各事業者が独自に取り組むべき事項

- ・リスクマネジメント強化のための体制整備
- ・リスクマネジメントにおけるPRAの活用
- ・リスクコミュニケーションの充実、リスク情報の活用 等

(各事業者が検討・公表)

事業者が共通的に取り組むべき事項

- ・低頻度外的事象の発生メカニズムの研究、解明、技術課題の解決
- ・安全性向上活動へのPRA活用手法の確立
- ・一元的な研究開発体制の構築 等

「原子力リスク研究センター」の設置 2014. 10. 01

各事業者の取り組み例①

1. 適切なリスクガバナンスの枠組みの下でのリスクマネジメントの実施(例)

- **経営トップのコミットメントの下、リスク情報を経営判断に反映するメカニズムの導入**
(例) 東京電力においては、原子力・立地本部長を主査とする原子力リスク管理会議が平常時のリスク管理状況を統括し、必要に応じて社長を委員長とするリスク管理委員会に直接報告する体制を構築している。

2. 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を出発点に実践が求められる取組

①低頻度の事象を見逃さない網羅的なリスク評価の実施

- **既存の原子炉でのレベル2PRAの実施**

(例) 四国電力は、NRRCが実機プラントの情報を用いて実施する地震レベル2PRA手法の研究開発について、伊方発電所3号機をモデルプラントとすることを自ら宣言するとともに、NRRCの研究成果や助言等を踏まえ、伊方発電所に高度化されたPRA手法を適用する方針を明確にしている。

②深層防護の充実を通じた残余のリスクの低減

- **経営トップのリスク情報の把握、適切なリソース配分が可能となる仕組み構築**

(例) 日本原子力発電においては、日々の発電所のリスク情報の収集や運転状況の監視等を実施するために、海外の良好事例等を参考にしたパフォーマンス改善モデルを取り入れ、その取組を担当役員が参加する毎日の定例会議やパフォーマンスレビュー会議に報告することで、リスク情報を経営層に伝達する取組を実施している。

各事業者の取り組み例②

2. 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を出発点に実践が求められる取組

③我が国特有の立地条件に伴う地震・津波等の外的事象に着目した、プラント毎の事故シーケンス及びクリフエッジの特定と、既存のシステムでは想定されていない事態への備え及び回復を含むレジリエンスの向上

- 各サイト毎に外部事象に起因する事故シーケンス、クリフエッジの特定

(例) 東京電力においては、規制要求とは別に約30件の外的事象を抽出し、設計基準を超えるハザードが発生した場合の発電所への影響を分析しており、原子力・立地本部長を主査とする原子力リスク管理会議の下に設置された専門チームにおける審議の結果、これまでに全ての事象についての対応方針を決定している。

④我が国における軽水炉の更なる安全性向上のための研究の再構築と国内外関係機関との調整の強化

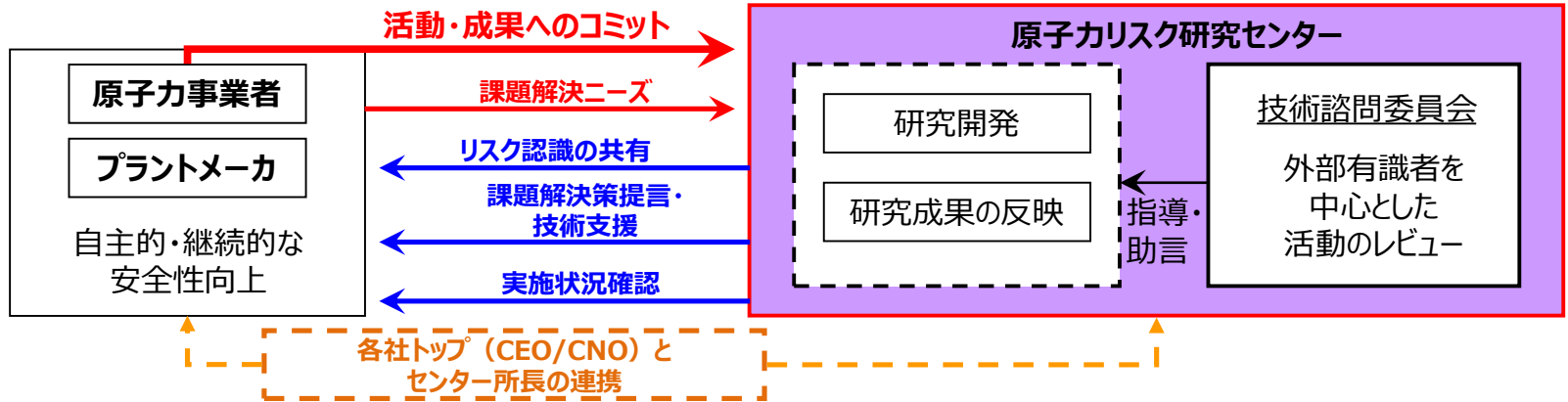
- 軽水炉安全研究ロードマップの策定

(例) 原子力学会において、ロードマップを策定、産業界の各主体も学会における検討に積極的に関与した。

原子カリスク研究センター（NRRC）設立のねらい

「原子カリスク研究センター」の狙い（電力中央研究所内に設立）

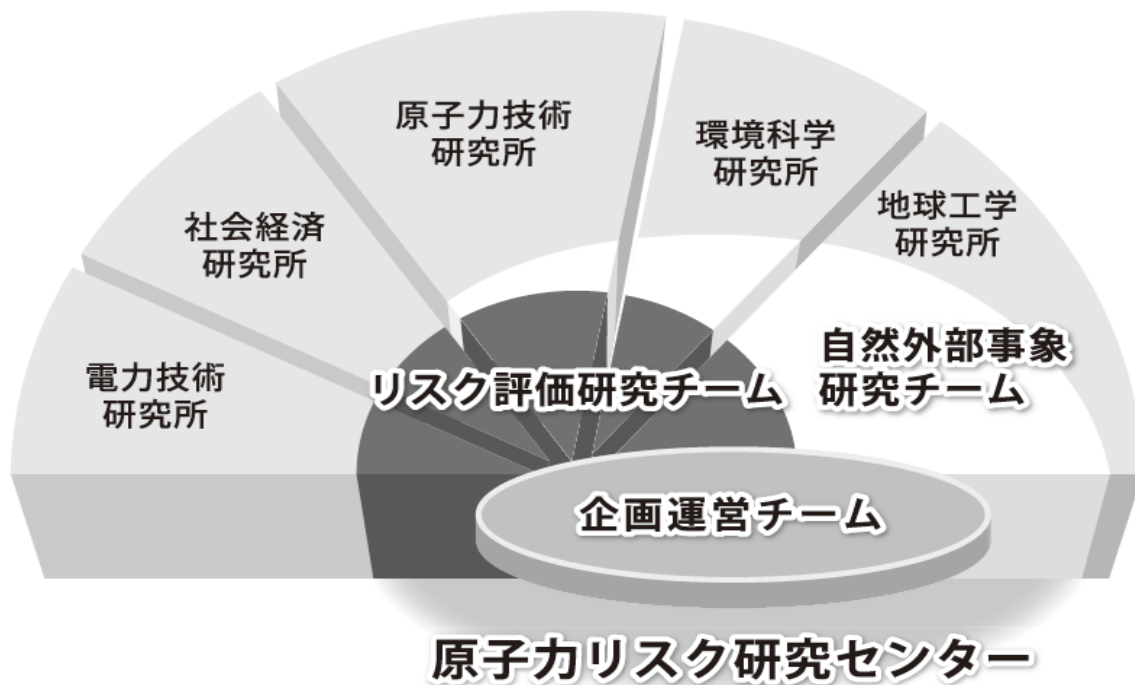
- **事故の発生確率の更なる低減と万一事故が発生した場合の被害の低減**
 - ・ 研究開発や技術検討を通じ、低頻度外的事象のメカニズム解明とプラント等への影響評価
 - ・ 研究成果に基づく効果的な安全性向上策の策定と、各プラントへの反映によるリスクの低減
- **不確実性の大きい低頻度外的事象へのPRAの活用**
 - ・ 低頻度外的事象についてのPRAの開発ならびに安全性向上活動へのPRA活用手法の確立
 - ・ 事業者へのPRA導入、検証結果の展開・共有を通じ、我が国全体の安全性向上活動の合理性を向上
- **リスク低減に向けた研究開発・研究成果等を一元管理することで「知の源泉」に**
 - ・ 「研究開発ロードマップ」の策定、および研究成果の管理を一元的に行い、効果的な研究開発体制を構築
 - ・ 事業者やプラントメーカーだけでなく、外部の専門家や研究機関との調整、連携を通じて安全研究をコーディネート



事業者は、P R A 評価結果を踏まえて、国民の皆さまへリスク情報をわかりやすく発信

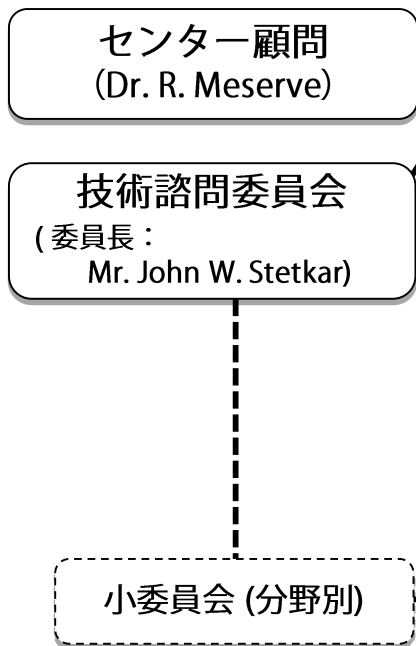
NRRCの研究チーム編成

- ・ 「リスク評価研究チーム」・・・原子力技術研究所、地球工学研究所、環境科学研究所、電力技術研究所から、システム安全、熱流動、PRA、気象、大気拡散などの研究者を結集。また、人文系の社会経済研究所からも人間信頼性、リスクコミュニケーションなどの研究者が合流。
- ・ 「自然外部事象研究チーム」・・・地球工学研究所、環境科学研究所、原子力技術研究所から、活断層、地震動、地盤、構造物・設備、津波、火山などの研究者を結集。

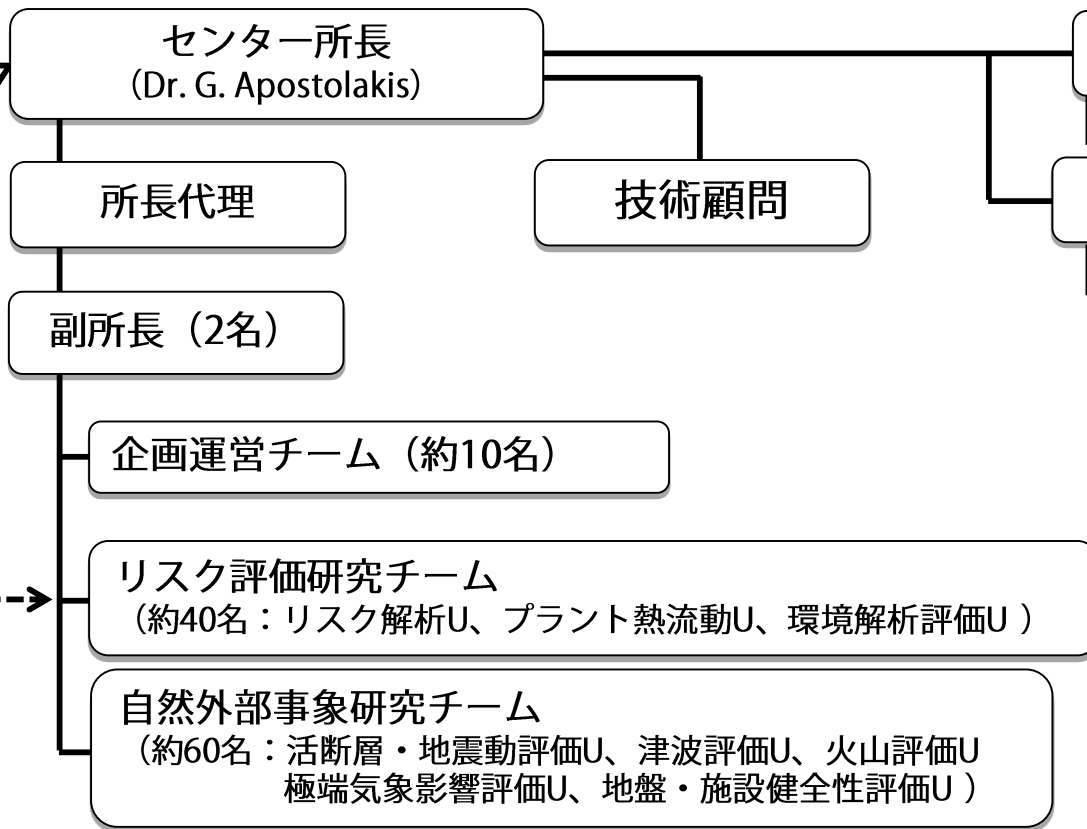


体制

<外部諮問体制>

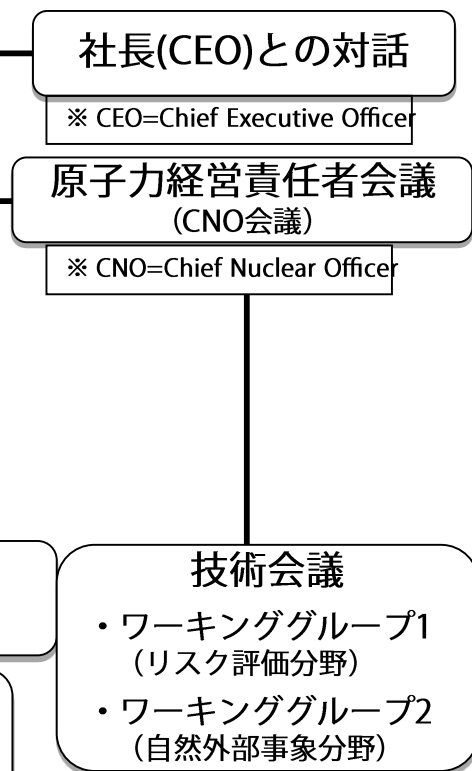


<センター内部体制>



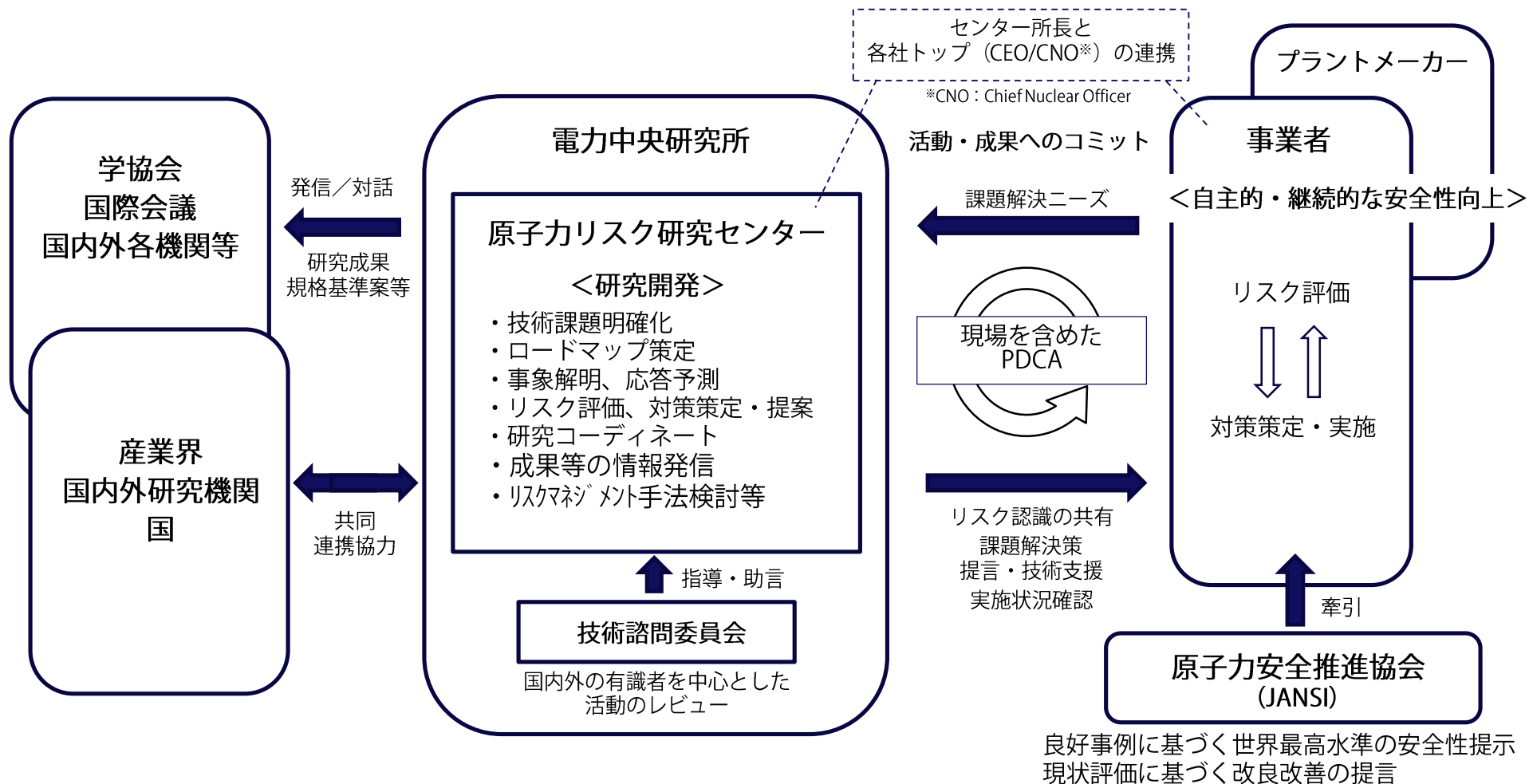
<会議体制>

(事業者・産業界含む)



※ U=ユニット

各機関との関係



○原子力経営責任者会議(CNO会議)

NRRC所長と事業者の原子力本部長(副社長クラス)がNRRCの活動方針を共有、研究計画や活動成果等を審議。

- 第1回 2014年10月3日 アポストラキス所長との意見交換
NRRCの活動方針を共有。
- 第2回 2014年12月5日 第1回技術諮問委員会の結果に対する対応方針、次年度研究計画等議論。
- 第3回 2015年5月29日 アポストラキス所長との意見交換
2014年度研究開発成果概要報告。



原子力経営責任者会議 (CNO会議)

○NRRC所長および顧問のサイト訪問、CEOとの対話

机上の検討と現場の現状・ニーズがしっかり噛み合った議論や検討を進めていくため、アポストラキス所長などによる発電所視察とその後の経営トップとの面談を実施。

- 1月14日 中部電力(株)浜岡原子力発電所を視察。
- 3月2日 日本原子力発電(株)敦賀発電所を視察
- 3月3日 関西電力(株)高浜発電所を視察
- 6月1日 四国電力(株)伊方発電所を視察



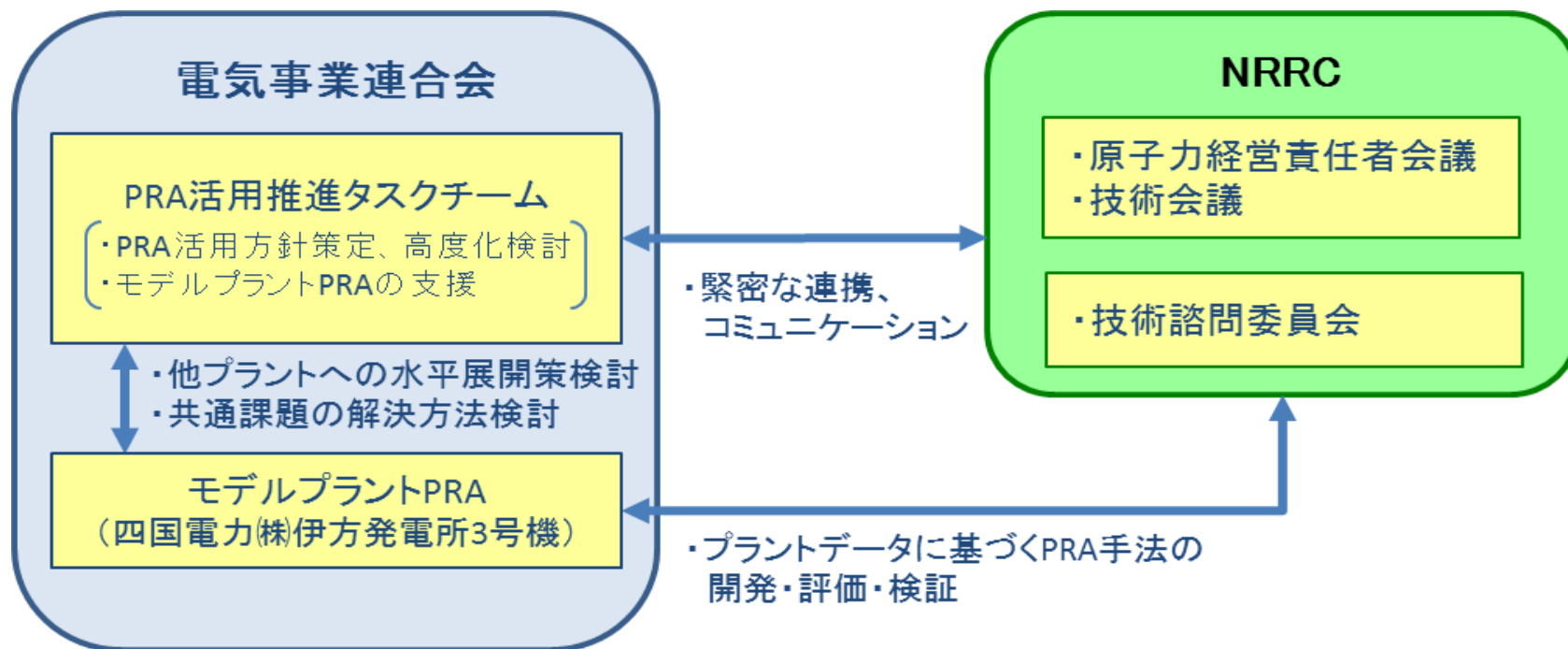
浜岡原子力発電所視察 (防波壁前にて)



中部電力(株)水野社長との対話

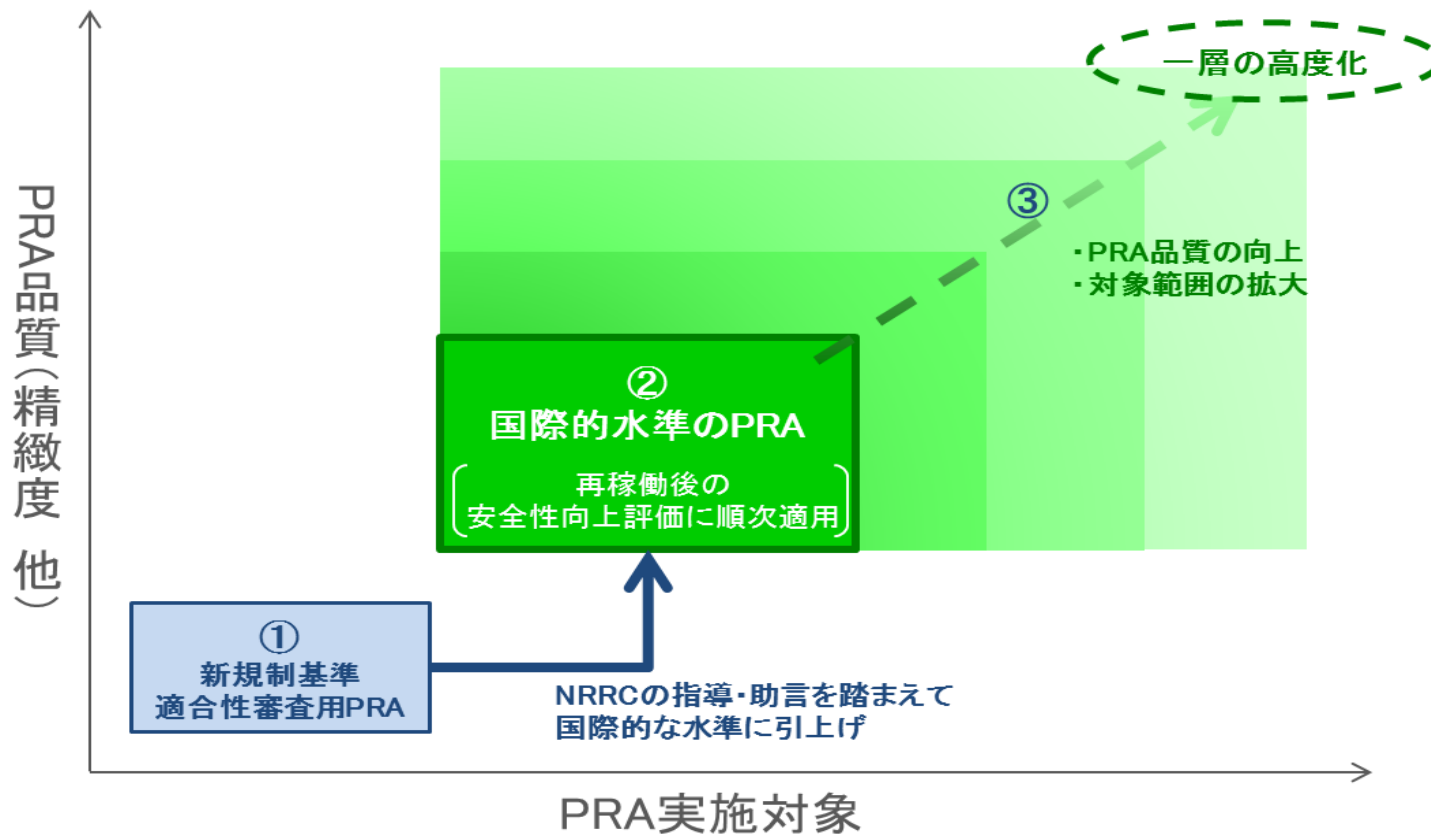
PRA活用に向けた事業者の推進体制

- PRAの活用方針の策定および高度化に向けた検討を目的に、2015年1月、電気事業連合会内に「PRA活用推進タスクチーム」を設置。
- 四国電力(株)伊方発電所3号機をモデルプラントに選定し、NRRCの指導・助言を得ながら、PRA手法等を検討。得られた成果や改善点は全ての事業者に水平展開し、安全性向上評価に順次適用。



PRA改善の進め方（イメージ）

- 現行、新規制基準適合性審査にあたり従来の設置許可ベースを対象としたPRAを実施。
- 今後、シビアアクシデント対策等を反映した国際的な水準のPRAに引上げ、安全性向上評価に順次適用。
- その後も継続してPRAの品質向上や実施対象設備・事象の範囲拡大を図り、NRRCの研究開発成果を活用して、一層の高度化を目指す。



短・中期の目標

- (1) 新規制基準への適合のための対策実施への貢献、短期（～数年）
 - ・ 適合性確保に役立つ技術的根拠を設計式や評価法の論文化・規格基準化によって提供
 - * 敷地内破砕帯等の活動性評価
 - * 竜巻飛来物に対する発電所防護設備の耐衝撃性能評価法開発 など

- (2) 安全性向上のための対策策定への貢献
 - ・ 「良いPRA*」達成促進←実施ノウハウ、手法、要素技術（解析コード・データなど）を提供
 - * 短期（～数年）；国際的な先行良好事例レベル＋期間内に可能な高度化
 - * 中期（3-5年）；各種事象および事象の組み合わせをカバーしたサイト全体の評価・サイト外への影響評価、対策策定実施、リスクコミュニケーション促進、など
 - ・ 設計、安全評価などにかかわる規格基準改良提案（中～長期）

わが国におけるPRAのレベルアップと活用のイメージ

NRRCのR&D

<PRAへの適用>

リスクコミュニケーション

環境影響評価

マルチハザード評価

マルチユニット評価

炉心損傷評価

ハザード評価

脆弱性評価

人間信頼性評価

(EPRI協力)

<審査対応>
(決定論)

シビアアクシデント評価

自然外部事象
評価・対策策定

火災影響評価

PRAのレベルアップ

達成目標
(State-of-Art)

- ・カバーする事象の拡張(地震随伴、竜巻、火山など)
- ・評価範囲の拡張(レベル1→3;低頻度へ)
- ・入力データや要素技術のさらなる改善

現状の国際標準
(State-of-Practice)

- ・入力データ整備(起因事象、故障率、脆弱性など)
- ・評価手法改善(イベントツリー、人間信頼性など)

現状の国内水準

PRAの活用

自主的・継続的安全性向上

運転保守合理化(リスク情報活用)

安全性向上評価

定期安全評価(PSR)

通常業務 (定検時リスク管理など)

適合性審査 (事故シナシ選定)

(各事業者の取り組み+PRA活用推進タスクチームの活動)

○ミッション

確率論的リスク評価(PRA)、リスク情報を活用した意思決定、リスクコミュニケーションの最新手法を開発し用いることで、原子力事業者及び原子力産業界を支援し、原子力施設の安全性をたゆまず向上させる。

○ビジョン

PRA手法及びリスクマネジメント手法の国際的な中核的研究拠点(センター・オブ・エクセレンス)となり、それによって、あらゆる利害関係者から信頼を得る。

- ✓ 我々原子力事業者は、原子力の安全確保に一義的な責任を有するものとして、今後も原子力発電を活用していくために、規制の枠組みに留まることなく、自主的・継続的に安全性向上に向けた取り組みを行っていくことが必要である。
- ✓ 「低頻度高影響事象」など、原子力リスクを見える化し、それを効果的な対策につなげていくためには、これまでのPRAを改良し、事業者のリスクマネジメント活動の中で、実際的に意思決定に活用できるものとしていく必要がある。
- ✓ 安全確保に向けた取り組みに、「もうこれで十分」というゴールが存在することはなく、常に進化させなければならない。原子力リスク研究センター等の外部の支援組織も積極的に活用することにより、更なる高次元の安全の追及に、弛まぬ努力を続けていく。