

新知見の活かし方と仕組み — どうあるべきか —

東京大学 関村 直人

日本学術会議連携会員

総合工学委員会委員・原子力事故対応分科会委員

東京大学 副学長、大学院工学系研究科原子力国際専攻 教授

原子力規制委員会・原子炉安全専門審査会会長

日本原子力学会・標準委員会委員長、原子力安全部会部会長

内 容

- はじめに
 - 新たな知見獲得への背景
 - 原子力安全規制と自主的安全性向上
 - 継続的な改善
- 自然現象におけるリスク評価と不確実性
 - 偶然的なばらつきと認識論的不確定性
 - ハザード評価、フラジリティ評価
 - 深層防護の考え方との整合性
- 新知見獲得と学協会連携、ロードマップ
- まとめ：安全向上の意思決定と新知見

福島第一原子力発電所事故の直接要因 分析とこれに基づいた背後要因の評価

(日本原子力学会 福島第一原子力発電所事故調査委員会報告書)

■ 直接的要因

- 不十分であった津波対策
- 不十分であった過酷事故対策
- 不十分であった緊急時対策、事故後対策および種々の緩和・回復策



日本原子力学会

福島第一原子力発電所事故調査委員会
最終報告書(2014.3.8刊行、丸善)

■ 背後要因

- 専門家の自らの役割に関する認識の不足
- 事業者の安全意識と安全に関する取組みの不足
- 規制当局の安全に対する意識の不足
- 国際的な取り組みや共同作業から謙虚に学ぼうとする取り組みの不足
- 社会や経済に深くかかわる巨大複雑系システムとしての特性を踏まえ、原子力発電プラントの安全を確保のための俯瞰的な視点を有する人材及び組織運営基盤が形成されていなかった

福島第一原子力発電所事故から得られた 教訓に基づいた原子力安全の課題

(日本学術会議 原子力事故対応分科会)

- 深層防護による安全確保
 - 過酷事故対策とその実効性確保
 - 原子力防災
- 原子力安全規制のあり方
- 原子力安全の多様な局面・場面に共通するコミュニケーションの課題
- 安全に広くかかわる研究の基盤形成といわゆる「人材」の課題
- 科学者・技術者コミュニティの責務

福島第一原子力発電所事故を踏まえた 国際原子力機関(IAEA)での安全基準の改訂

- 基本安全原則の下での全般的な安全要件(GSR)
 - Part 1 (2016) 政府、法律及び規制の安全に対する枠組み
 - Part 2 (2016) 安全のためのリーダーシップとマネジメント
 - 安全原則の3及び8に対する要件を定めている。
 - Part 3 (2014) 放射線防護と放射線源の安全
 - ...
-

(参考) 基本安全原則(SF-1)

3. 安全のためのリーダーシップとマネジメント

放射線リスクに関連する組織並びに放射線リスクを生じる施設及び活動では、安全に対する効果的なリーダーシップとマネジメントが確立され、維持されなければならない。

8. 事故の防止

原子力または放射線の事故を防止、緩和するために、実行可能な全ての努力を払わなければならない。

自然現象に係るリスク評価

- ✓ 評価の方法論
- ✓ 不確実性の取扱い

理学的
知見

地震(津波)
ハザード
評価

フラジリティ
評価

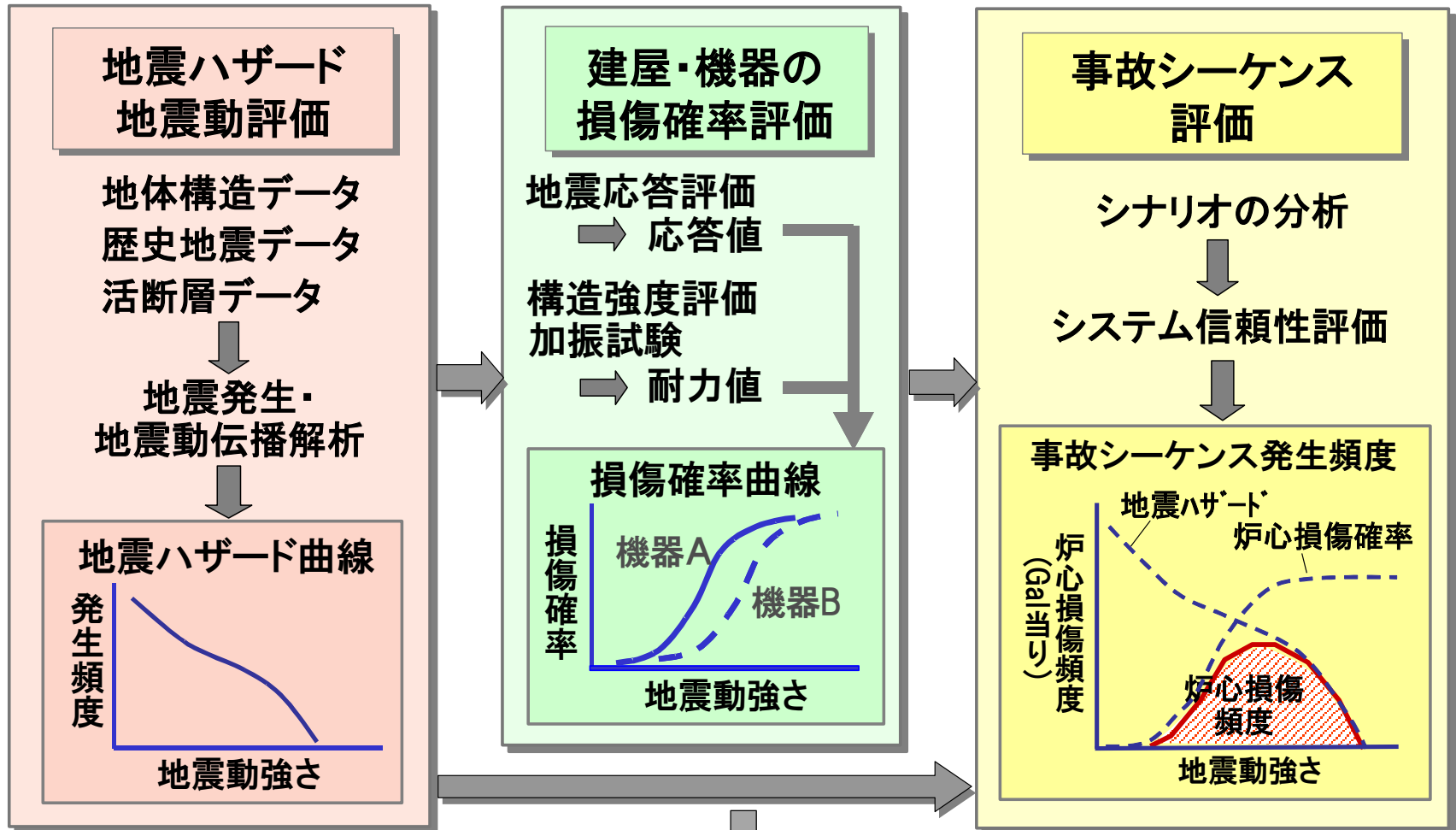
安全に係る
意思決定



✓ 情報の流れと受渡し

確率論的リスク評価の評価フロー

— 地震PRAの例 —

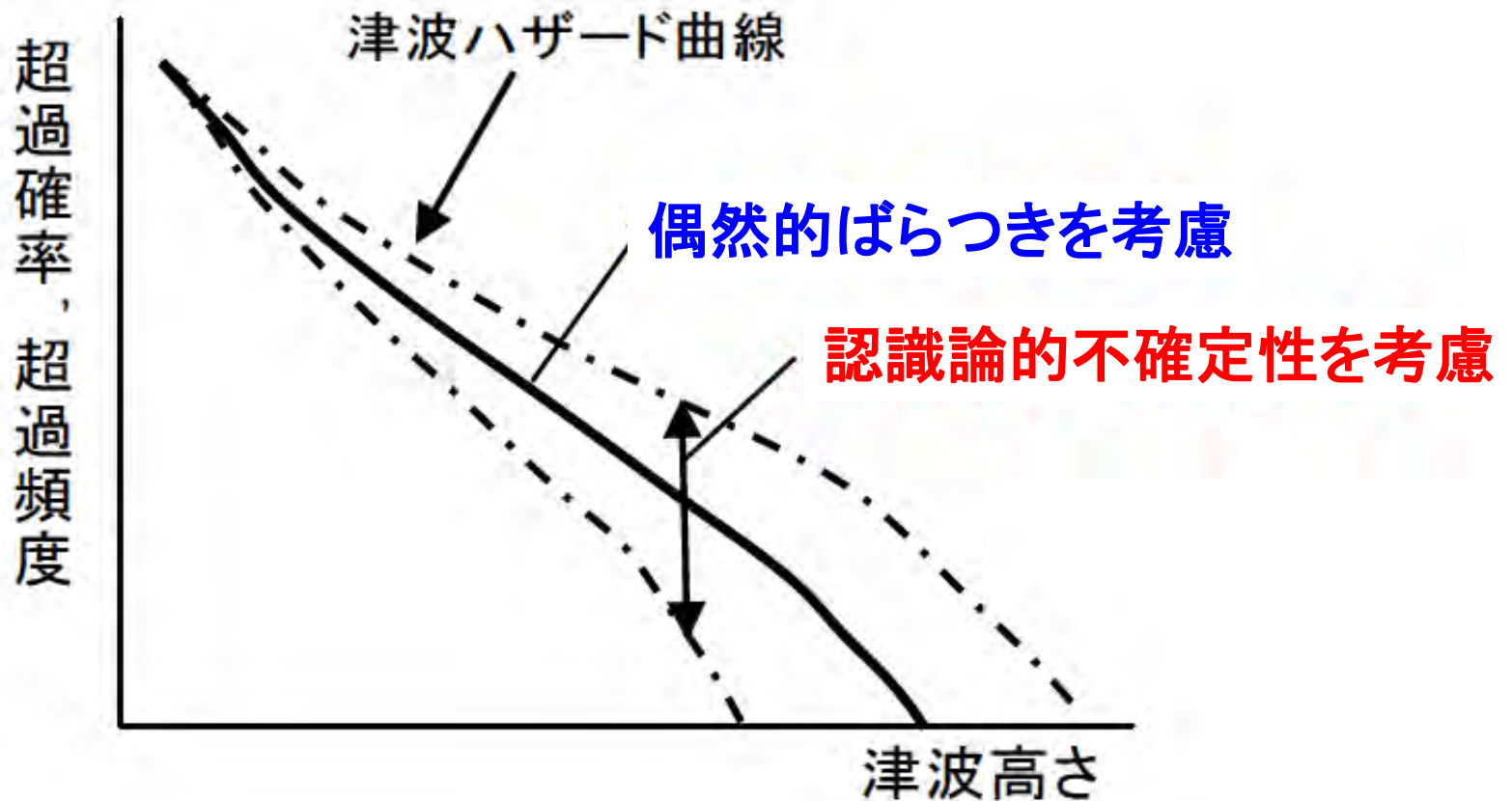


レベル2PRA(格納容器損傷頻度・FP挙動評価) → レベル3PRA(個人死亡リスク)

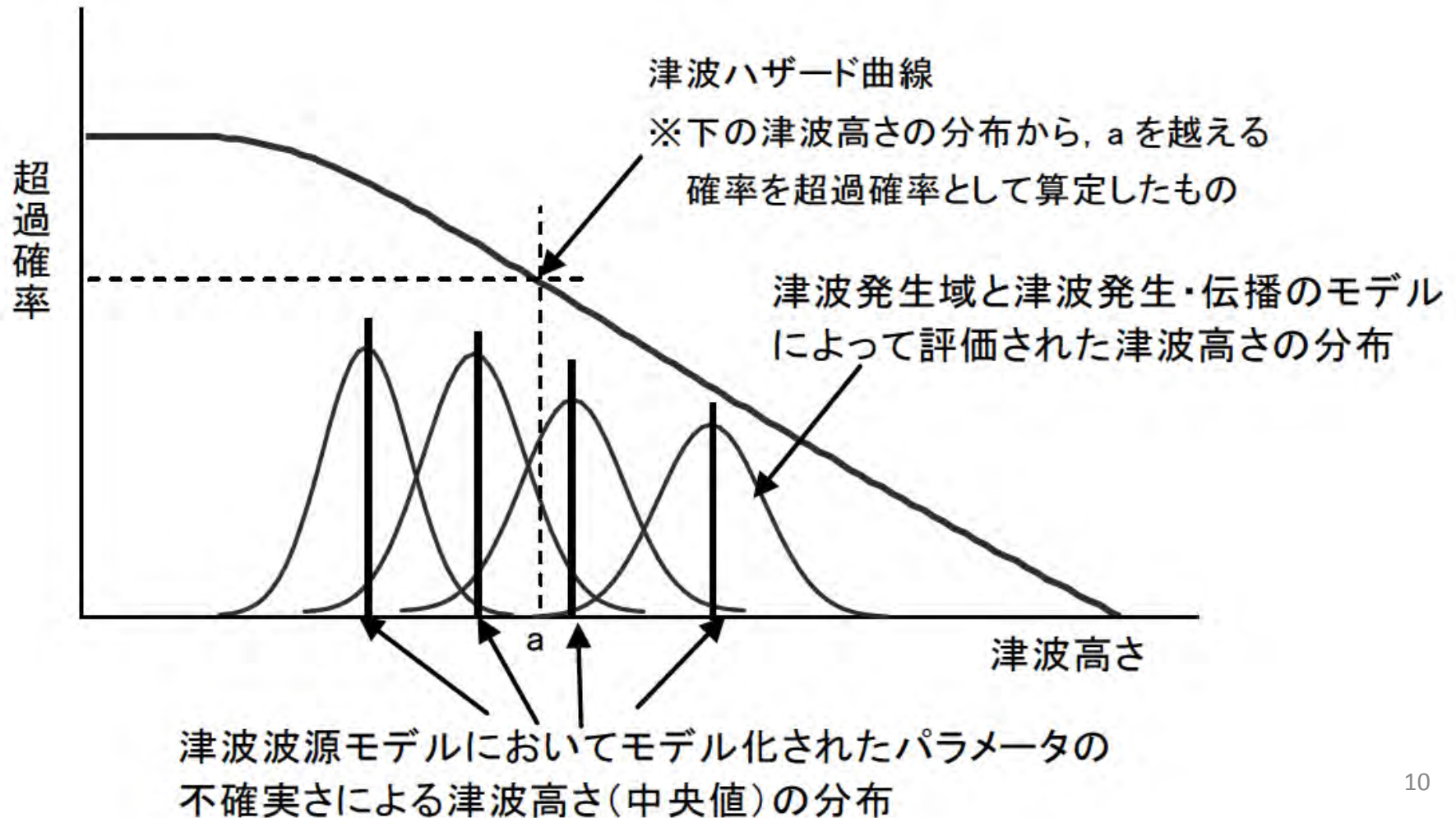
自然現象のリスク評価において 取り扱うべき不確実性の種類

- 偶然的ばらつき
 - 自然現象が有するランダムな性質によるばらつき
 - ハザード曲線の評価の中で考慮されるばらつき
- 認識論的不確定性
 - 不完全な知識による不確定性
 - ロジックツリーの分岐として考慮される
 - 多数のハザード曲線の幅として考慮されるばらつき

津波ハザード評価における 不確実性の取り扱い

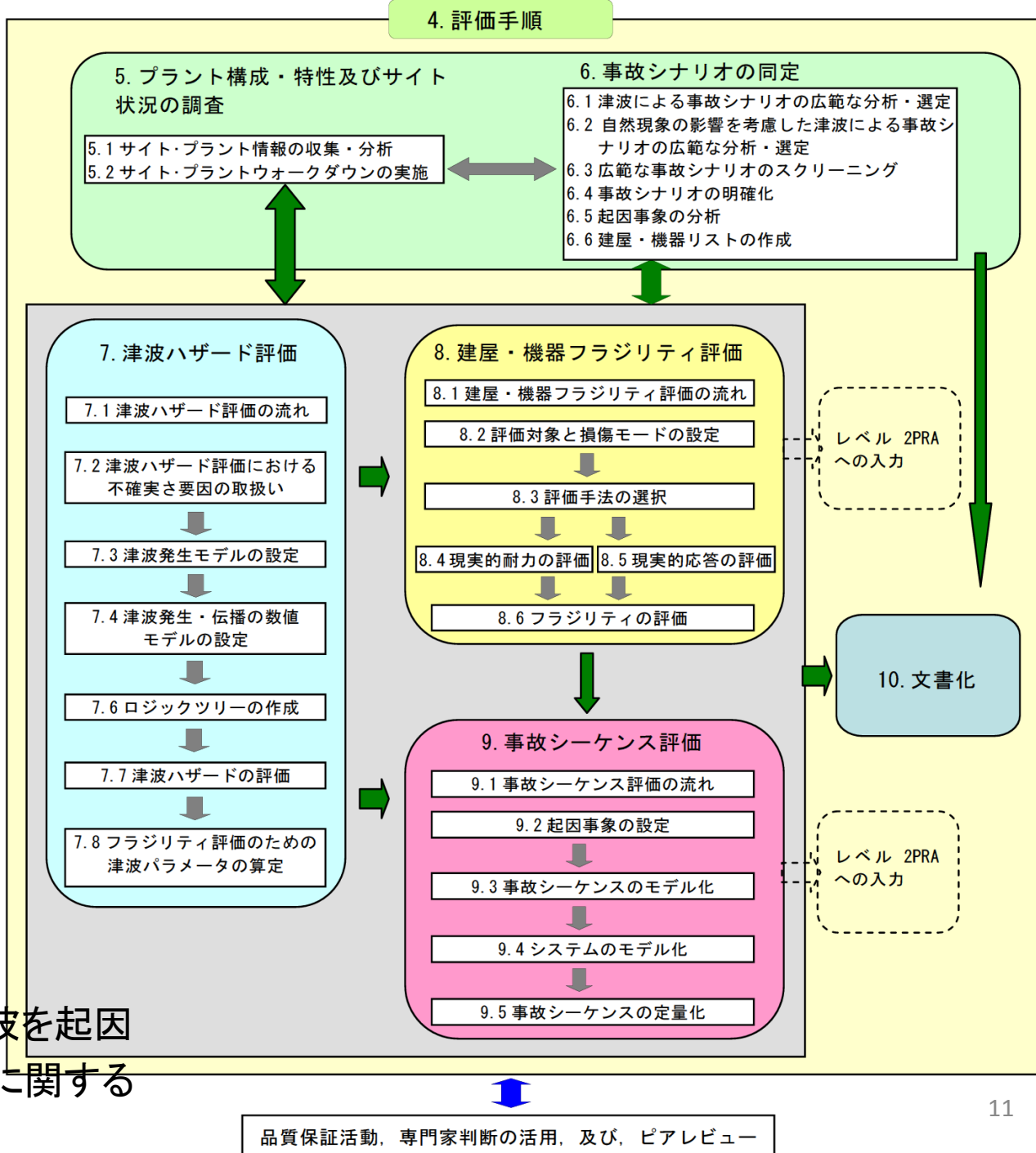


津波ハザード評価において考慮される 偶然的なばらつき・不確実さ



津波PRAの 評価手順

日本原子力学会標準
原子力発電所に対する津波を起因
とした確率論的リスク評価に関する
実施基準(2011)



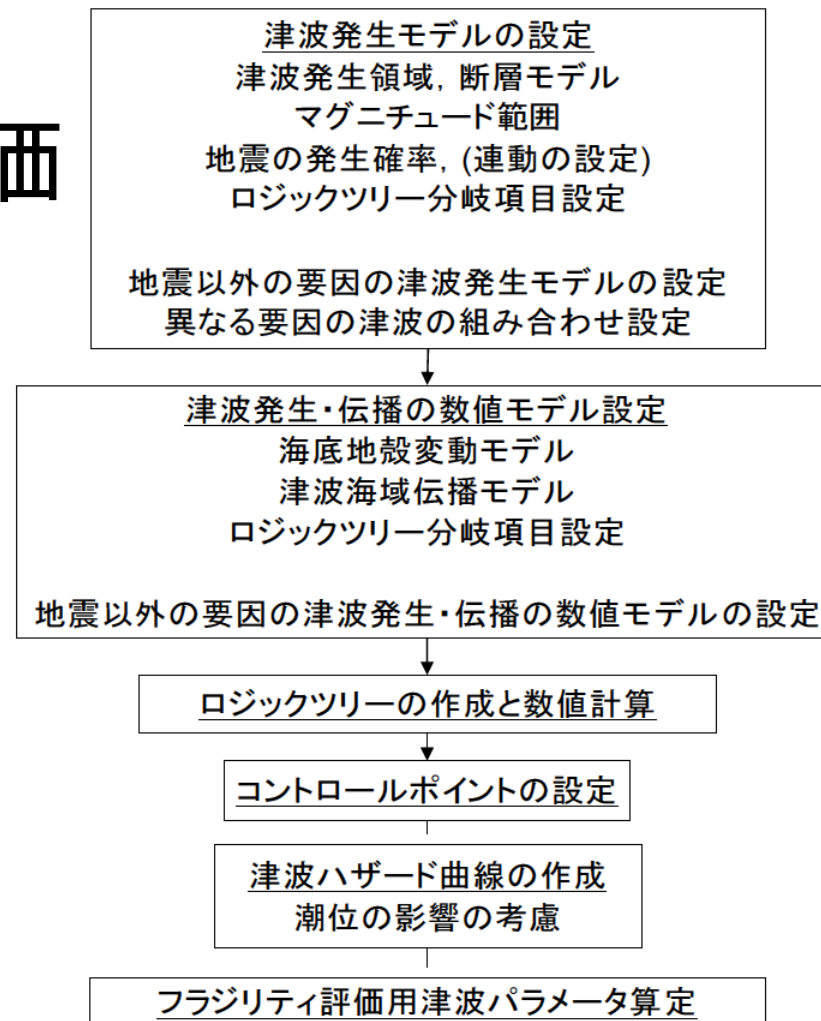
津波PRA 評価に必要な情報

	PRA の評価作業		必要な情報
1	プラントの設計・運転の把握		PRA 実施にあたり必要とされる設計, 運転管理に関する情報 ・ 基本仕様 ・ 系統設備の構成特性 ・ 設備設計上の特徴 ・ プラントの配置上の特徴
2	津波ハザード評価		・ 対象サイトに影響を与え得る津波を発生させる波源の様式に関する情報
3	建屋・機器フラジリティ評価		プラント固有の建屋・機器の耐力評価ならびに応答評価に関連する情報
4	事故 シーケンス 評価	a) 事故シナリオの分析と起因事象の分類	・ 津波時に想定されるプラント状態
		b) 事故シーケンスの分析 ・ 成功基準の設定 ・ イベントツリーの作成	・ 安全系などのシステム使用条件 ・ システムの現実的な性能 ・ 運転員による緩和操作
		c) システムのモデル化	・ 対象プラントに則した機器故障モード, 運転形態
		d) 事故シーケンスの定量化	・ 評価結果の妥当性を確認できる情報

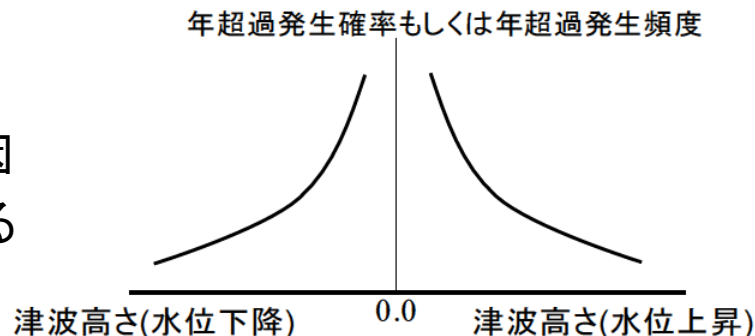
津波ハザード評価

- 広範な津波ハザード評価関連情報を対象として、対象サイトに影響を与え得る津波を発生させる波源の様式(活断層データ、過去の地震データ、及び地震以外の波源のデータなど)に関する情報を収集する。
- 津波ハザード評価に非常に大きな影響を及ぼす可能性のある最新知見などが公開された場合には、情報の再収集の一環として、各種調査を実施し最新情報を入手する。
- 津波のモデル化では、専門家の意見の相違をロジックツリーとして表すために、異なる見解を持つ複数の専門家から情報を収集する。

津波ハザード評価



日本原子力学会標準
原子力発電所に対する津波を起因
とした確率論的リスク評価に関する
実施基準(2011)



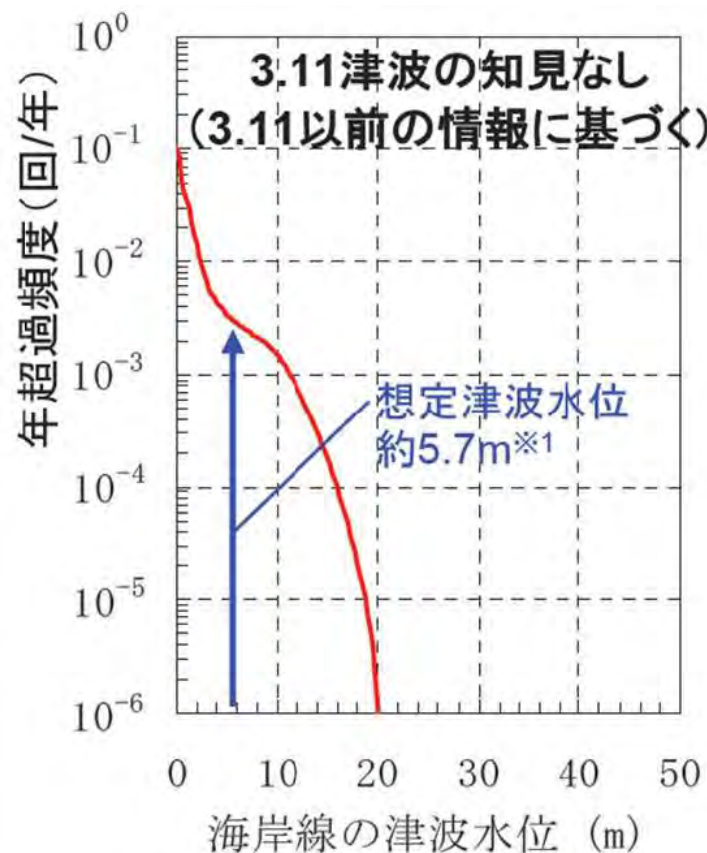
ロジックツリーの分岐として考慮すべき 認識論的不確実性の例

- マグニチュード範囲
- 平均発生間隔
 - BPT (Brownian Passage Time) 分布において、活動間隔のばらつきを示すパラメータ α
- 断層モデルの種別
- スケーリング則
- 連動モデル

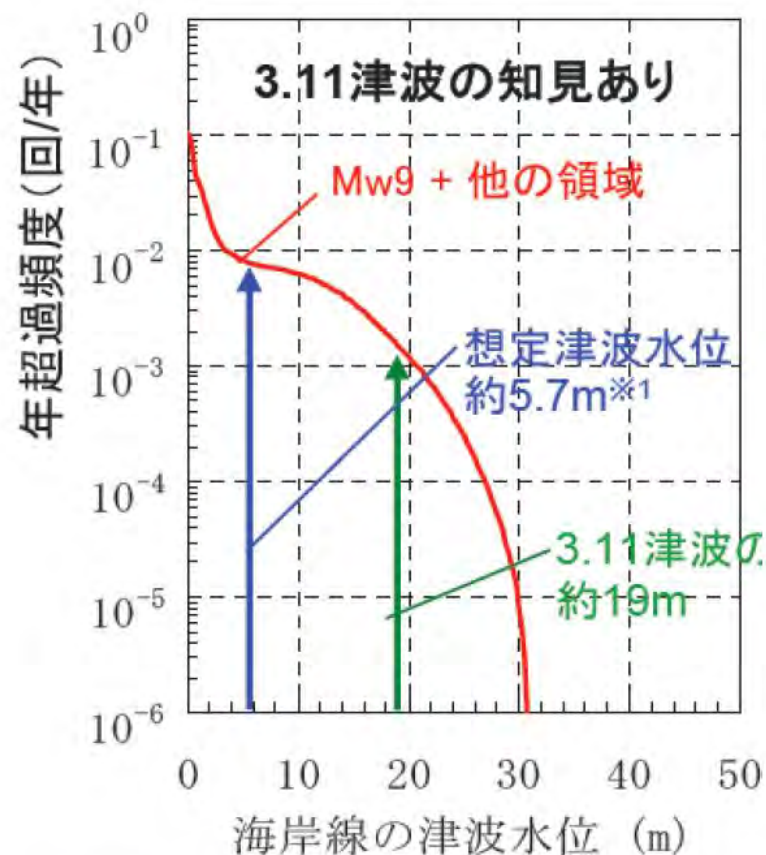
日本原子力学会標準
原子力発電所に対する津波を起因
とした確率論的リスク評価に関する
実施基準(2011)

設計津波高さ設定への津波ハザードの利用

知見のレベルによって評価結果が変わることをどう考えるか



(a) 3.11 津波の知見がない場合



(b) 3.11 津波の知見を考慮した場合

津波ハザード情報作成者への提言

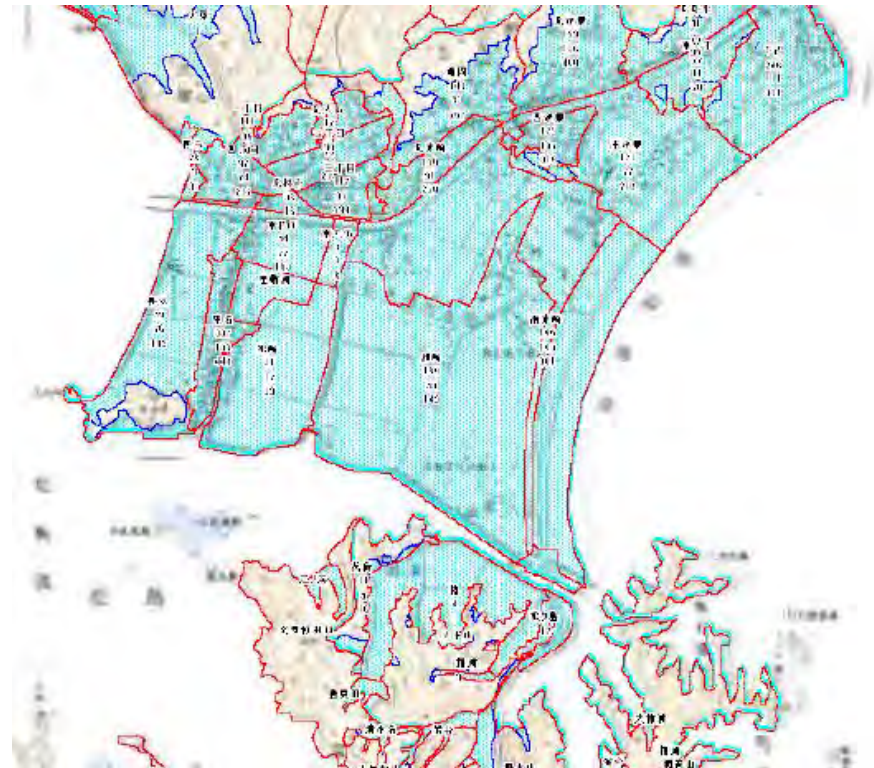
- 認識論的不確定性の評価の導入
- 津波ハザード情報作成における前提条件や作成過程の明確化
- 浸水域・浸水深ハザード評価手法の確立
- 多様な津波ハザード情報を活用できる公開システムの構築
- 津波ハザード情報の定期的更新
- ハザード情報作成者の新たな過信を生まないための適用範囲と利用上の留意点

「津波ハザード情報の利活用報告書」 防災科学技術研究所(2016.8)による

津波浸水予測地図



**Tsunami hazard map
distributed before 3.11
(Hypothetical Miyagi-Oki EQ)**



**Tsunami inundation area of 3.11
(Higashi-Matsushima, Miyagi Pref.)**

津波ハザード情報利用者への提言

- 津波ハザード情報の正しい理解と適切な利用の醸成
- 津波ハザード情報に基づくリスク評価と地域防災への活用
- 地域の津波対策への合意できる津波レベルの設定

フラジリティ評価関連情報の収集・分析

- プラント固有のSSCsの津波に対する現実的耐力及び現実的応答評価に関連する情報を収集する。
- 特に、サイトの状況、建屋開口部（扉、機器搬入口など）の位置・高さ・大きさ、建屋貫通部の状態、区画の壁・堰の状況、溢水時の機器の没水・被水の状況などを把握する。
- 既往の津波関連試験結果、津波災害事例がある場合には、それらに関する情報を収集する。
- 地震による影響を考慮する際には、プラント固有のSSCs及び地盤の地震に対する現実的耐力及び現実的応答評価に関連する情報も収集する。

サイト・プラントウォークダウンの 実施における着眼点（津波PRA標準による）

- 専門的知識及び技術を有する複数の専門家からなるチームにより、以下を確認
 - － 耐震安全性の確認
 - － 地震による設備間の相互干渉と二次的影響の確認
 - － 津波影響の確認
 - － 間接的な被害の可能性の確認
 - － 建屋の区画の確認
 - － 地震・津波後のアクセス可能性の確認

リスク情報活用の意義

- 完全な対策を講じたとしても、リスクがゼロであると証明することはできない。
- 最良の対策を講じたとしても、リスクをゼロにできない場合が多い。
- 確率論的リスク評価(PRA)は、残ってしまうリスク(残存リスク)を系統的・定量的に分析する手法
 - ✓「支配的な要因」、「起こりやすさ」、「時間余裕を含むシナリオ」、「事故の影響」などの情報が、その「評価範囲」とともに得られる。

リスク情報活用の方面の例

- 停止時PRAを定期検査の管理に利用
- 停止時PRAを保全重要度の決定等への利用
 - ✓ 安全性向上と運転上の便益増加を両立
 - ✓ 保全中に自然事象等による事故が発生するリスクが顕著な点が諸外国とは異なる
- 地震・津波PRAを事故に至る支配的な事故シーケンスの抽出に利用
 - ✓ 日々蓄積する自然事象とそれによる事故リスクに対する知見の更新(プラント固有／一般的知見)と意思決定の迅速性、定期的見直し

バックフィット規制におけるリスク情報活用

- バックフィット

- ✓ 最新の知見を既存施設にも反映する規制とするために、既に許可を得た原子力施設に対しても最新の規制基準への適合を義務づける制度
- ✓ 将来的に、大きな投資を要求するような更なるバックフィットの必要性を議論する場面
- ✓ その際、事故が起こる前に適切なタイミングで導入する必要があるが、一方で高い説明性・説得性が必要

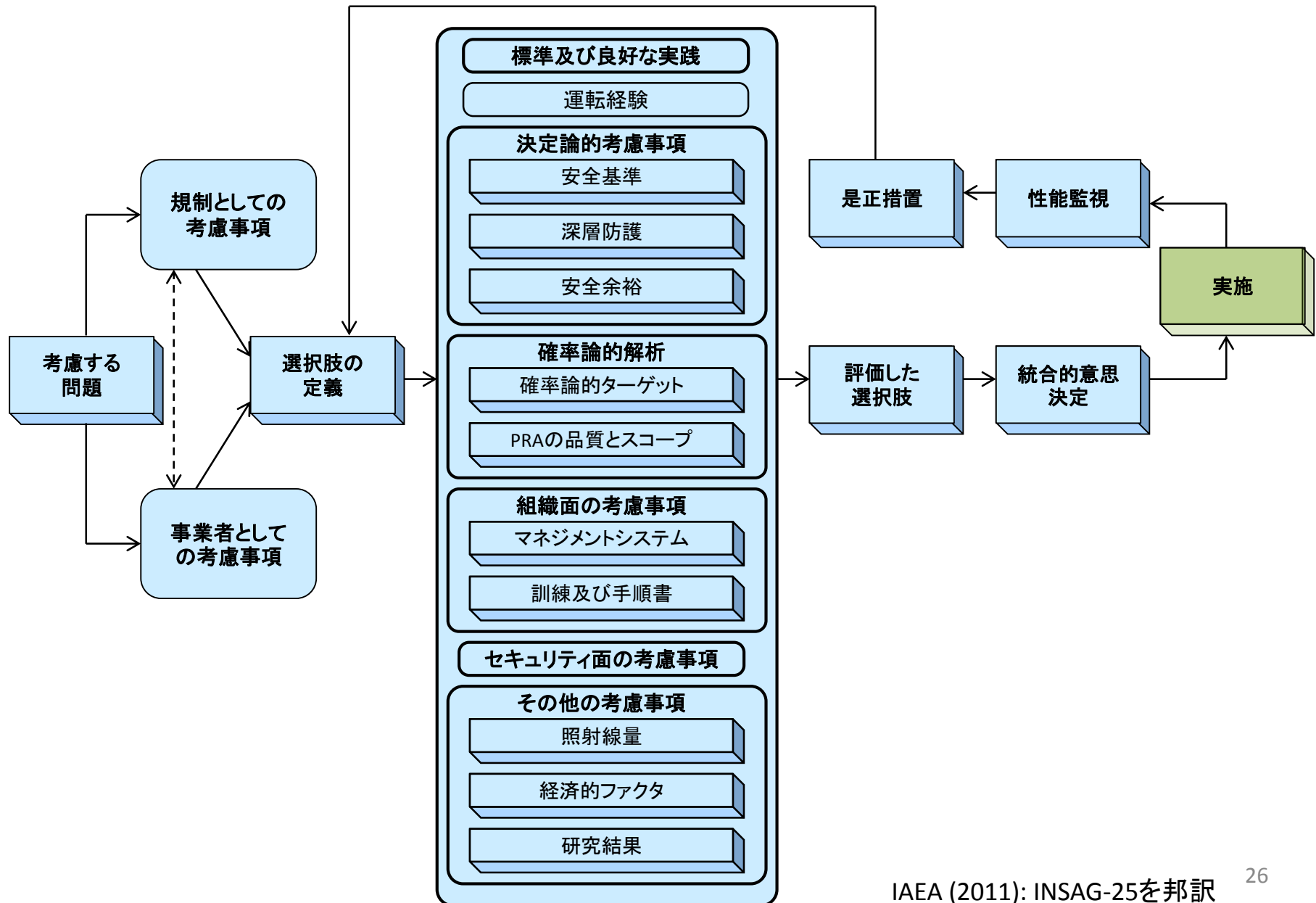
- バックフィットにおけるリスク情報の活用

- ✓ 「導入によるリスクの低減量」と「導入に必要なコスト」を比較する費用便益解析のようなツールによる、客観的・定量的な議論を可能とする

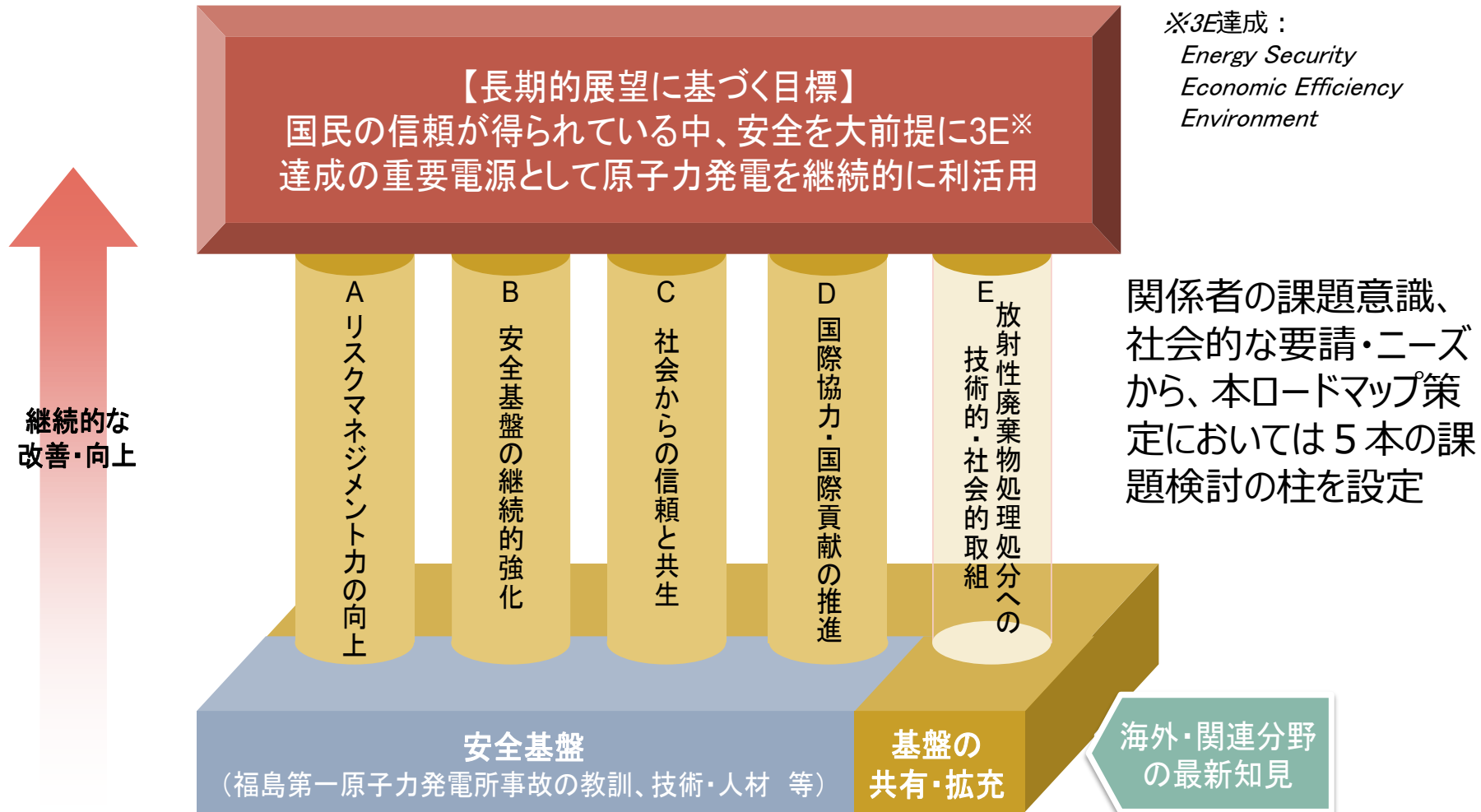
多様な誘因事象に対する 原子力安全の確保のための論点例

- 自然事象に代表される不確実な問題に対する安全性向上にかかる意思決定プロセスの枠組みとはどのようなものか？
- 自然現象等に対する深層防護をどのように実現するか？従来の枠組みからの転換は必要か？
- わが国のような過酷な自然環境下において、リスク情報はどのように活用できるのか、またどのように活用するのが適切か？また、どのような手順でそれを実現するか？

リスク情報を活用した意思決定による継続的改善

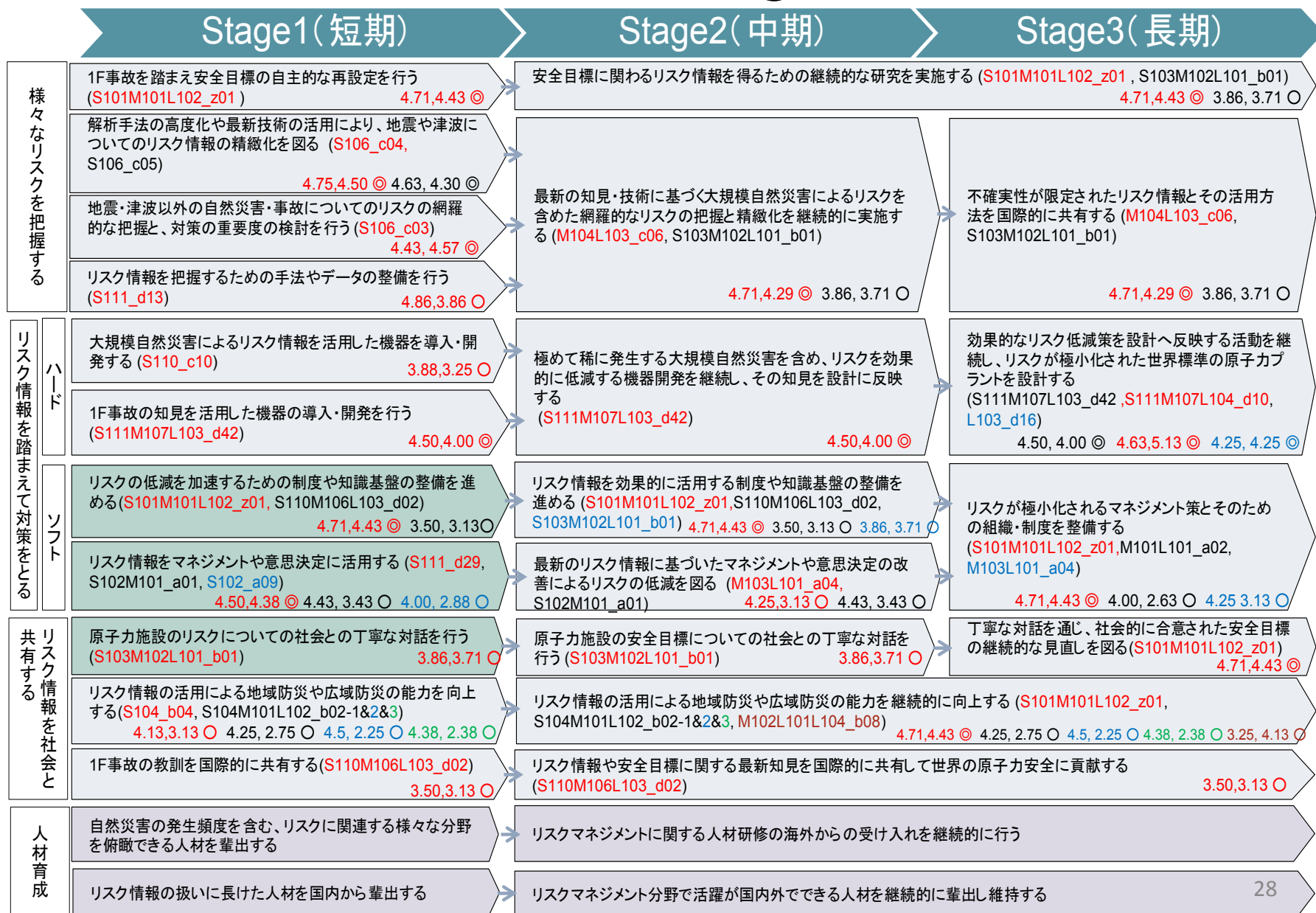


日本原子力学会による 軽水炉安全技術・人材ロードマップ課題検討の柱

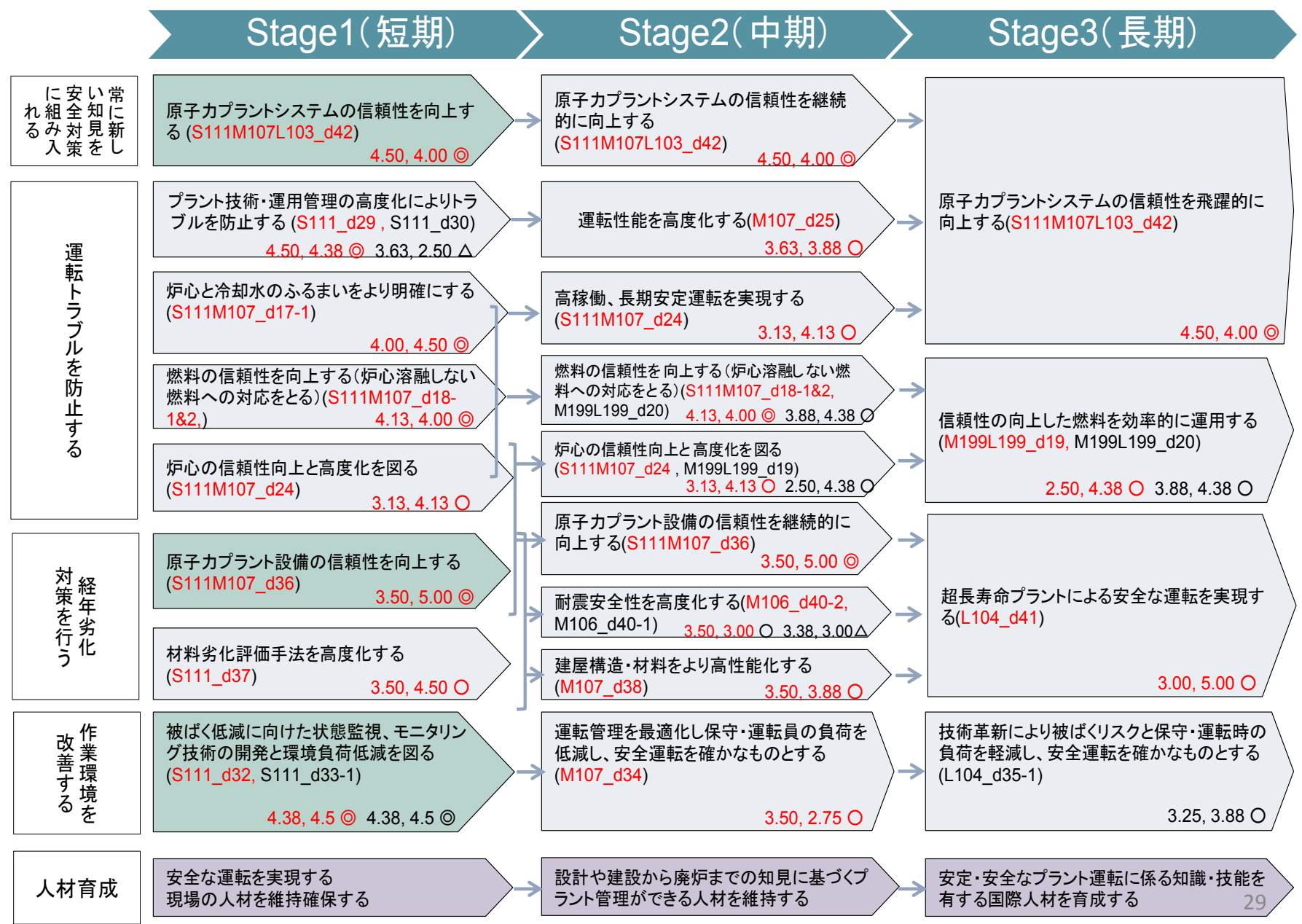


安全基盤：関係者間で強く意識共有している福島第一原子力発電所事故の教訓、ならびにロードマップの主目的である技術・人材の将来展開を描く上での現在のスタートラインの状態

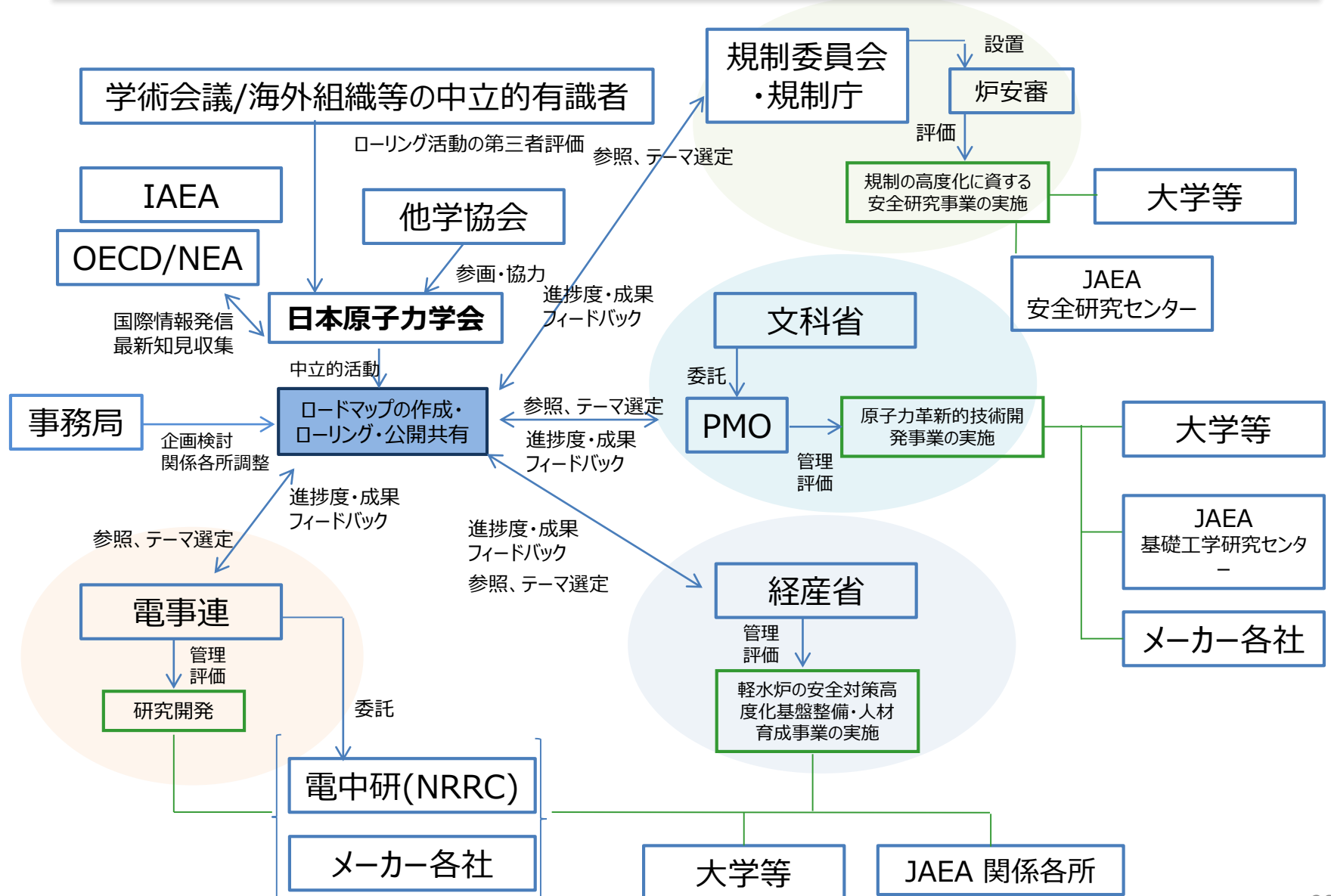
「既設の軽水炉等のリスク情報の利活用の高度化」 ロードマップ①



「既設の軽水炉等の事故発生リスクの低減」 ロードマップ②



軽水炉安全技術・人材ロードマップ



まとめ

- 原子力安全規制と自主的安全性向上における継続的な改善への要請は、新たな知見獲得への背景となっている。
- 自然現象のリスク評価においては、本質的に偶然的ばらつきと認識論的不確実さを内在している。
- リスク評価のためのハザード評価から、フラジリティ評価、さらに安全性向上に係る意思決定に至る情報の流れと受渡しには、情報の欠落が生じうる。
- 新たな知見を獲得し、その効果的な活用法を確立していくために、学協会は協働して、研究ロードマップを策定していくべきである。