

知識の総合化と継続的安全性向上

－ 事故耐性燃料が活かされるために －

東京大学 関村 直人

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

日本学術会議連携会員

総合工学委員会委員・原子力安全に関する分科会委員長

原子力規制委員会・原子炉安全専門審査会会長

内容

- はじめに
 - 課題の設定、知識の総合化
- 原子力安全のための頑健な重層的体制構築
 - ステークホルダとインセンティブ
 - 炉システムの安全性と燃料の機能要求
- 継続的な安全性向上のためのイノベーション
 - 燃料研究開発プロジェクトの再設定
 - FOAKのための戦略
 - 照射試験の制約と役割
 - 計画性と迅速性、技術戦略マップとローリング
- まとめ

原子力安全マネジメントと知識の総合

- 原子力システムを対象とするマネジメントは、包含する諸課題の解決のため、
 - ① 実施主体のみならず、広範な利害関係者の知を総合した知を、
 - ② Unknownに対する対策を最大限に講じた上で、
 - ③ 暗黙知を湧き出だしながら、実地で使っていくこと。
- 実施主体と利害関係者の知を総合化するために、
 - 課題の目的と目標が明確になれば（課題に対する利害関係者が生じ）、利害関係者は自身の利害実現のために当該課題達成の過程において多様な知を提供しうる。
 - 「目的」とは、課題を達成することによりマネジメントの実施主体が得る利益、あるいは達成しなければ受ける損害であり、実施主体の利害を指す。
 - 「目標」とは、目的を実現するために、課題を達成した時に到達すべき状態を指す。

Unknown

(unknown-known, known-unknown, unknown-unknown)

I. 暗黙知 (unknown-known)

解(知)は存在しているが、それに気づかず、表現できていない。
問うことができていない。

- ✓ 「暗黙知は、人間一人ひとりの体験や主観に根ざす個人的な知識であり、信念、ものの見方、価値観、審美眼、洞察、直観、勘、理想、情念と言った無形の要素を含んでおり、他人に伝達して共有することが難しい。」:野中
- ✓ 匠の技、ノウハウ、技能、技巧
- ✓ エネルギー、パッション

-
- 総合した知は形式知 (known-known) で、教科書的。
 - 教科書を上手く適用させていくための知が暗黙知であり、全人格から発せられるもの。

Unknown

(unknown-known, known-unknown, unknown-unknown)

II . Known unknown

未解明の問い。

問いは設定済みだが、解は得られていない。

- ✓ 解を得ていくために研究開発
- ✓ 不確実性のマネジメント
- ✓ リスクを軽減する戦略・措置の導入

III . Unknown unknown

問うことができておらず、問うても解が得られてない。

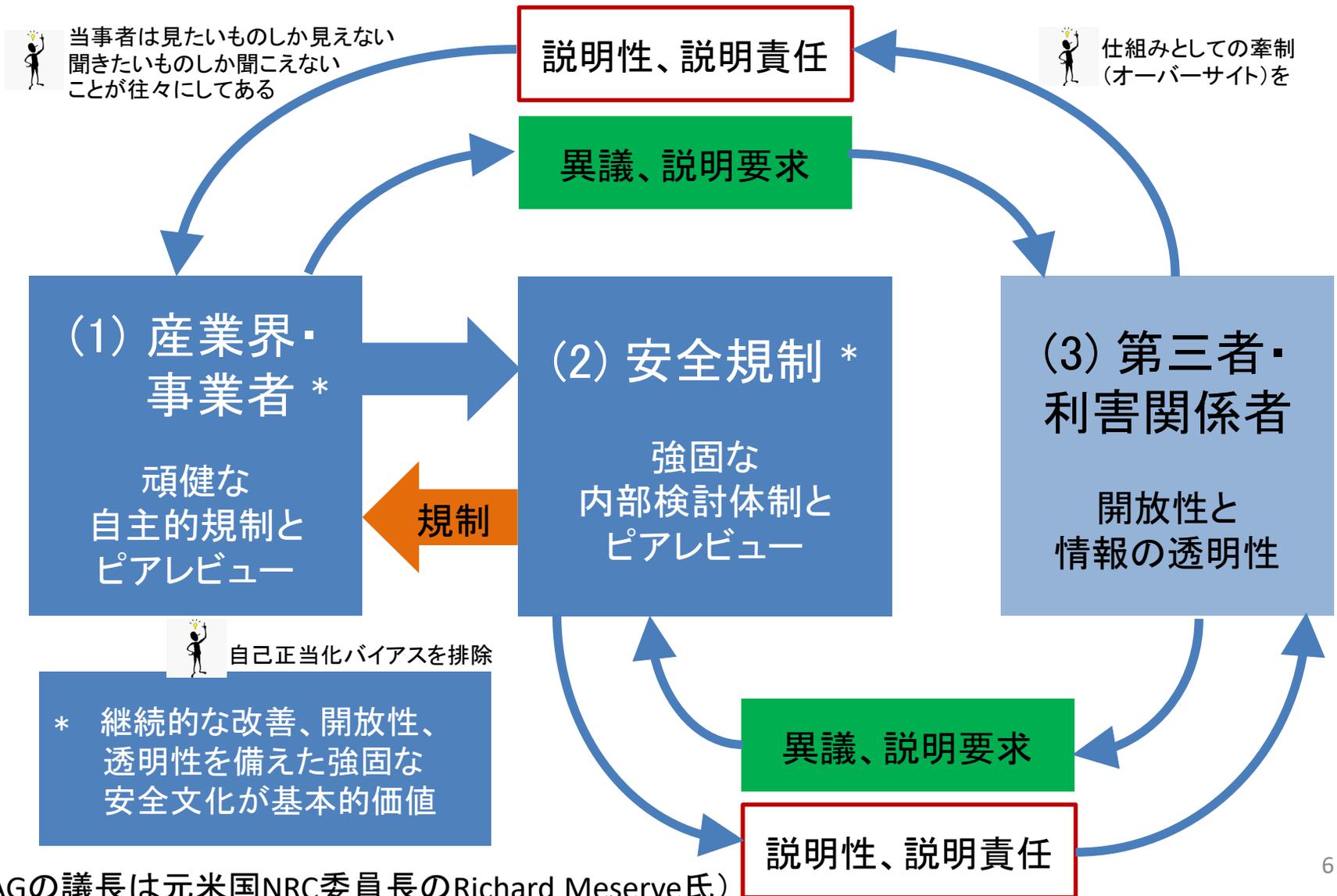
- ✓ 実施主体以外の広範な利害関係者の知にも頼るべき

III . unknown unknown → II . known unknown →

known knownへ 5

原子力安全のための頑健な重層的体制構築

INSAG-27 (IAEA, 2017)



(1) 産業界及び事業者のサブシステム

1.1層 事業者と運転者の レベル	1.2層 国内の産業界ピア プレッシャー (同業者圧力)	1.3層 国際レベルの産業 界ピアプレッシャー/ ピアレビュー	1.4層 国際機関レベルの レビュー
<ul style="list-style-type: none"> 安全確保のための質と経験を備えた要員 技術、設計、運転のための協力企業や技術支援団体 多重の調査や整合性を取る強固なマネジメントシステム 外部メンバーによる社内原子力安全委員会 担当責任者・重役を支える取締役会 トップマネジメントが牽引する安全文化 独立した安全監査 	<ul style="list-style-type: none"> 国内産業界のハイレベルフォーラム (JANSI、ATENA?) 緊急事態対応組織 	<ul style="list-style-type: none"> WANOのミッションと要求事項 二国間・多国間の共同組織 (BWR Owners Groupなど) 	<ul style="list-style-type: none"> IAEA OSARTミッション IAEA SALTOミッション

OSART: Operational Safety Review Team
(運転安全調査団)

SALTO: Safety Aspects of Long Term Operation
(長期運転の安全面)

リーダーシップ、安全文化、価値観

(2) 安全規制のサブシステム

2.1層 安全規制機関	2.2層 外部からの特別な 助言	2.3層 国際的レベルのピア プレッシャー	2.4層 国際機関レベル のピアレビュー
<ul style="list-style-type: none"> 安全評価、許認可、検査、執行、影響力行使を含む、世界クラスの技術的および規制的能力とこれらのための力量 TSOによって強化された個別技術的能力 内部規則、質保証、運転経験反映、政策決定と戦略、意思決定レビュー取決め等を含む組織構造 公開性と透明性を基本的価値とする規制の安全文化 内部統治機関のボード、委員会に対する正式な説明責任 	<ul style="list-style-type: none"> 専門家の常置委員会 (炉安審・燃安審) 分野ごとの専門家グループ 自然現象(地震等) 航空機衝突 確率論的安全評価 人為的介入 デジタル計装・制御 	<ul style="list-style-type: none"> OECD/NEAの委員会、WG (CNRSとCSNI) IAEA原子力安全会合 WENRA 参照レベル、レビュー、グループ、ストレステスト HERCA INRA 規制機関の長 IAEA 安全基準会合 <p>WENRA : Western European Nuclear Regulators' Association HERCA : Heads of the European Radiological protection Competent Authorities INRA : International Nuclear Regulators Association (国際原子力規制者会議)</p>	<ul style="list-style-type: none"> IAEA IRRSミッション <p>IRRS : Integrated Regulatory Review Service (統合的規制レビューサービス)</p>

リーダーシップ、安全文化、価値観

(3) 社会のサブシステム (第三者、利害関係者)

3.1層 一般公衆 国民	3.2層 政府、 議会	3.3層 地方自治 体、委員 会	3.4層 近隣住民 地域協議 会	3.5層 メディア	3.6層 NGO、 特別な グループ	3.7層 国際的な ピアレ ビュー
--------------------	-------------------	---------------------------	---------------------------	--------------	-----------------------------	----------------------------

- 産業界、規制機関からの定期的な情報提供、報告
- 政府や議会の公衆への説明責任
- 業務や決定事項に関する定期的な報告
- 関心のある事項に対する特別な報告
- 情報共有への要求に対する適時の回答
- 定期的あるいは特別な会合

公開性、透明性、説明性、質的な保証

← 規制機関と産業界のリーダーシップ、文化的背景、能力 →

学際研究と超学際研究の特徴 1)

観点		学際研究 Interdisciplinary Research	超学際研究 Transdisciplinary Research
プロセス	問題を発見するのは	(分野の異なる) 研究者	研究者・実務者・利害関係者・当事者 (多元的) Co-design of Research Agenda
	知識を生産するのは	(分野の異なる) 研究者	研究者・実務者・利害関係者・当事者 (多元的) Co-production of Knowledge
	成果の普及先は	(分野の異なる) 研究者	研究者・実務者・利害関係者・当事者 (多元的) Co-dissemination of Results
	研究手法は	最先端	社会的制約あり
成果	問題解決とは	問題の答えがわかる (解明)	(多元的な) 答えがわかり、問題がなくなる (解消)
認識	分野の結界は	変わらず残る	弱まり、にじむ
	参加者の価値観は	変化しにくい	変化する

- 1) 近藤康久 学術の動向(日本学術会議刊) Vol. 26 No. 2 (2021年2月) p. 102-107 (学術と社会の未来を考えるVo. 9)

社会の多様な「ニーズ」と原子力が直面する課題



社会の「ニーズ」に応える 継続的な安全性向上・継続的なイノベーション

- 日本学術会議公開シンポジウム「新知見の扱いとその活用」(2020年9月10日)
主催: 日本学術会議(第24期)総合工学委員会原子力安全に関する分科会

- 学術の動向(2020年12月刊行)
「原子力利用の安全性に関する新知見の
評価をめぐって」

➤ 福田 収一先生
(慶応義塾大学システムデザイン・
マネジメント研究科)
「知識の時代から知恵の時代へ」

➤ 佐倉 統先生
(東京大学 情報学環・学際情報学府)
「科学技術を社会の中で考える」

- ✓ 第三の道が必要ではないか
 - 技術が社会を変える(専門家主義)
 - 社会が技術を変える(大衆至上主義)



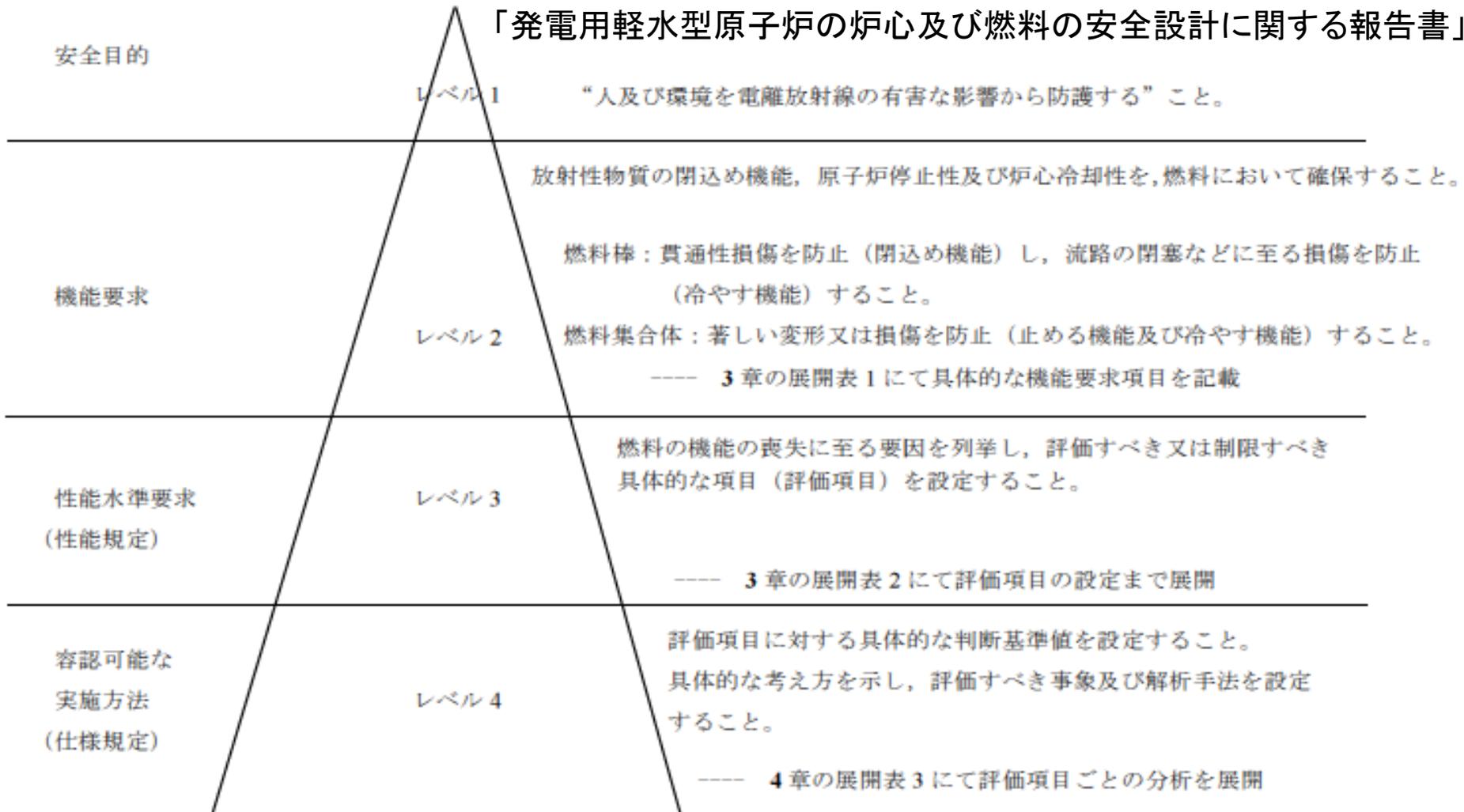
ニーズの前に:ステークホルダのインセンティブ

- 産業界や投資家のインセンティブにつなげるには(米国):
 - ① リスク情報の活用(リスク・インフォームド)
 - ② パフォーマンス・ベースド
 - ③ 原子力システムの型式に依存しない規制システム
- 我が国の課題:
 - 地震、津波、火山などの自然現象は不確実さが大きく、定量性を持ったリスクの評価に不確実性が大きい
 - 上記の①～③は、米国と同様にインセンティブとして働くかは疑問
 - 社会・国民、自治体を含む各ステークホルダと規制・産業界の間のギャップ(の拡大)
 - 多様なステークホルダや専門家の間(のインセンティブ)を俯瞰的につなぎ、いわゆるニーズを形成するマネジメントシステムの欠如

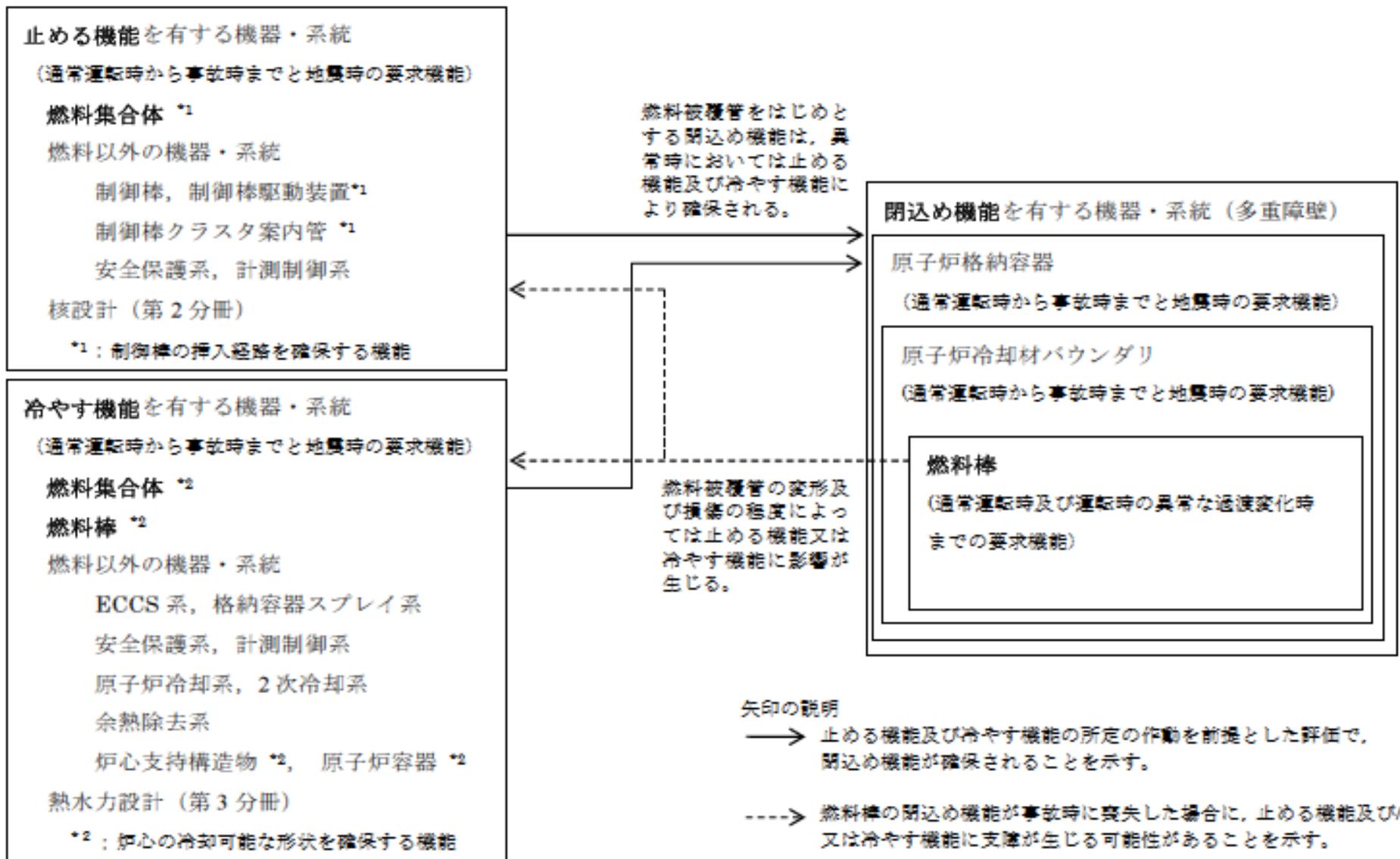
原子炉の安全確保における階層的な要求と燃料へ求められる事項の展開

日本原子力学会標準委員会 技術レポート

「発電用軽水型原子炉の炉心及び燃料の安全設計に関する報告書」



基本的な安全機能相互の関係性と燃料の安全機能との関連



燃料に要求される基本的な安全機能と運転状態との関連

安全機能	対象	燃料に要求される基本的な安全機能	通常運転時 (通常の地震を含む)	運転時の異常な過渡変化時	事故時	地震時 (基準地震動 Ss)
閉込め機能	燃料棒	<ul style="list-style-type: none"> 燃料被覆管に貫通性の損傷が生じないこと 被覆管及び端栓溶接部に貫通性の損傷が生じないこと 	○	○	—*1	○
冷やす機能*2	燃料棒	<ul style="list-style-type: none"> 冷却材の流路面積の大幅な減少に至るような燃料棒の過大な変形が生じないこと 冷却材の流路面積の大幅な減少に至るようなペレットの放出を伴う燃料棒の損傷が生じないこと 冷却材の流路を構成する燃料以外の機器に健全性を喪失するような損傷が生じないこと 	○	○	○	○
	燃料集合体	<ul style="list-style-type: none"> 燃料棒の保持が失われないこと 冷却材の流路面積の大幅な減少又は閉塞となるような変形が生じないこと 	○	○	○	○
止める機能	燃料集合体	<ul style="list-style-type: none"> 制御棒の挿入経路が失われるような損傷及び変形が生じないこと 制御棒の挿入を妨げるような抗力が生じないこと 	○	○	○	○

*1 放射性物質の環境への放出量を評価する事故で燃料被覆管に貫通性の損傷が生じた場合は、破損本数を評価する必要がある。

*2 PWRの各運転状態での低温停止及び ECCS が注水される事象の一部においては、炉心へ注入されるほう酸により止める機能が働くが、この機能の維持は本表の冷やす機能である炉内の流路の確保に係る要求を満足することで維持される。

燃料安全要求事項の仕様規定への展開(PWR)

燃料棒の閉じ込め機能 通常運転及び異常な過渡変化

評価項目	具体的な考え方 (運転状態ごとの炉内の環境及び燃料挙動を記載した付録 A も参考となる)	判断基準値と求め方(試験/解析/その他) (判断基準設定の要件(条件, 考慮する事項, 方法)については, 付録 B に別途記載)	他の評価項目*との関係 (*判断基準値, 評価値)	海外との相違点, 国内外新見など (SRP, Nuclear Fuel Safety Criteria など)
被覆管歪 (PCMI)	運転時の異常な過渡変化時にペレットの発熱量増加に伴う熱変形によって被覆管に円周方向の引張歪が増大することで, 被覆管に貫通性の損傷が生じないこと。	[現行の判断基準値] 1%塑性歪 [基準値の求め方] 引張試験によって破損歪を確認 [評価値の求め方] 解析によって求める	・歪基準値に対して水素吸収量が影響する。	国内の添付書類十の系統的な機械的破損の基準としている 1%塑性歪基準値に対して, 海外はより厳しい 1%全歪基準値が一般的。 なお国内でも添付書類八の燃料機械設計の歪基準値は 1%全歪を運用している。 仏国では, 水素吸収量への依存性を考慮した歪基準値に見直されている。 多軸性を考慮した破損歪の研究が国内外で進められている。
被覆管応力	通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に被覆管に働く種々の応力の合応力が過大となることで, 被覆管に貫通性の損傷が生じないこと。	[現行の判断基準値] 許容応力(Sy: 耐力) [基準値の求め方] 引張試験で Sy を確認 [評価値の求め方] 解析によって求める	・応力評価値に対して, 屎食深肉量及び又は屎食深肉量が影響する。	
ペレット 中心温度	運転時の異常な過渡変化時にペレットの溶解が生じるような高温状態になり, 過大な熱変形に伴う被覆管に過大な引張歪が増大することで, 被覆管に貫通性の損傷が生じないこと。	[現行の判断基準値] ペレットの熱変形を抑制させるため, ペレット中心温度が溶融点未満 [基準値の求め方] 試験で融点を測定し, 設定 [評価値の求め方] 解析によって求める	・燃料溶融防止を評価値の代替とする際には, 歪基準値に対して中心溶融が生じる際の歪評価値が, 燃料が使用される全ての燃焼段階で, 下回っていることを確認する必要がある。	燃料損傷, FP の管理, アクチニドからの α 熱などによる損傷及びペレット外周部での高燃焼度組織の形成に伴う気孔率の増加(いわゆるリム効果)などによって, ペレット熱伝導率が低下することが国内外で報告されている。 ペレット溶融点が燃焼開始後に直るには低下しないとの知見が報告されている。 NRC は, 溶融による体積膨張及び溶融物と被覆管の接触防止を指摘している。
DNBR (被覆管温度上昇)	運転時の異常な過渡変化時に被覆管表面熱流束の増加又は冷却材による被覆管の冷却性能が低下することで, 被覆管表面から冷却材への熱伝達被覆管から離脱し, 被覆管の温度が急激に上昇し高温酸化が進み被覆管の脆化が生じることがないこと。	[現行の判断基準値] 燃料及び炉心設計, 燃料棒曲がり及び異なる燃料の圧縮の場を考慮して設定されるため, グラントごとに異なる(例: 1.42) [基準値の求め方] DNB 試験及び熱流動解析による [評価値の求め方] 熱流動解析によって求める	・DNBR 評価値に対して, 次に示す通常運転時の変化が影響する。 ・被覆管のクワッド付着量 ・燃料棒曲がり ・集合体曲がり	
PCI(SCC)	運転時の異常な過渡変化時にペレットの発熱量の増加に伴う熱変形によって被覆管に生じる引張歪と, 放出された FP による被覆管内面での屎食性腐蝕剤との重量による SCC 破損が生じないこと。	[現行の判断基準値] PCI 破損しきい値 AP, Pmax(ともに屎食燃焼度依存) [基準値の求め方] 出力急昇試験で PCI 破損の有無を確認 [評価値の求め方] 炉心解析によって屎食熱出力(変化)を求める		PCI と PCMI の明確な区別は難しく PCMI 及び燃料溶融防止で評価しておけば PCI を評価しなくても弊害問題なし, との従来の SRP4.2 での考えに対して, NRC にアドバイス及び意見を伝える ACRS の委員から, PCI としての定量評価を決定すべきとの意見が出されている。
DHC (遠れ水素化割れ)	運転時の異常な過渡変化時にペレットの熱膨張によってペレットと接触した被覆管部へ引張力が負荷されることで, 被覆管の外周側に析出した水素化物からクラックが生じ, 進展し, 貫通性損傷に至ることのないこと。	[現行の判断基準値] なし [基準値の求め方] (今後検討) [評価値の求め方] 出力ランプ試験で破損の発生の有無を含め確認(含, 今後の継続検討)	・DHC による破損発生条件に対して, 水素吸収量が影響する。	国内では, 発生機構及び発生条件などの知見を拡充することを目的に安全研究が進められている。 現在までの知見では, 完全焼鈍材において損傷が認められている。

燃料被覆管の損傷モードから評価すべき事象への展開(PWR)

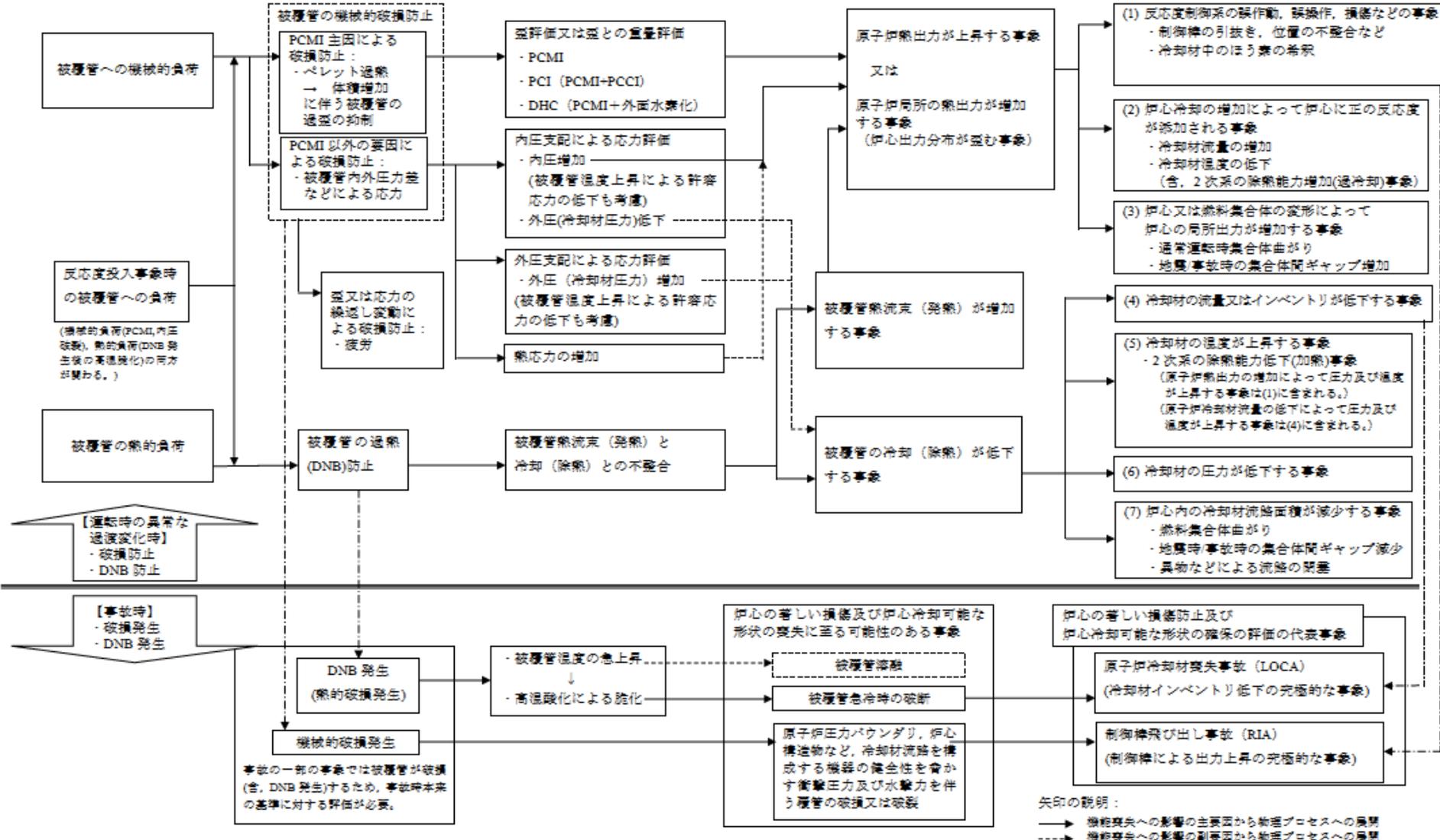
異常な過渡変化と事故時

【被覆管損傷モード】

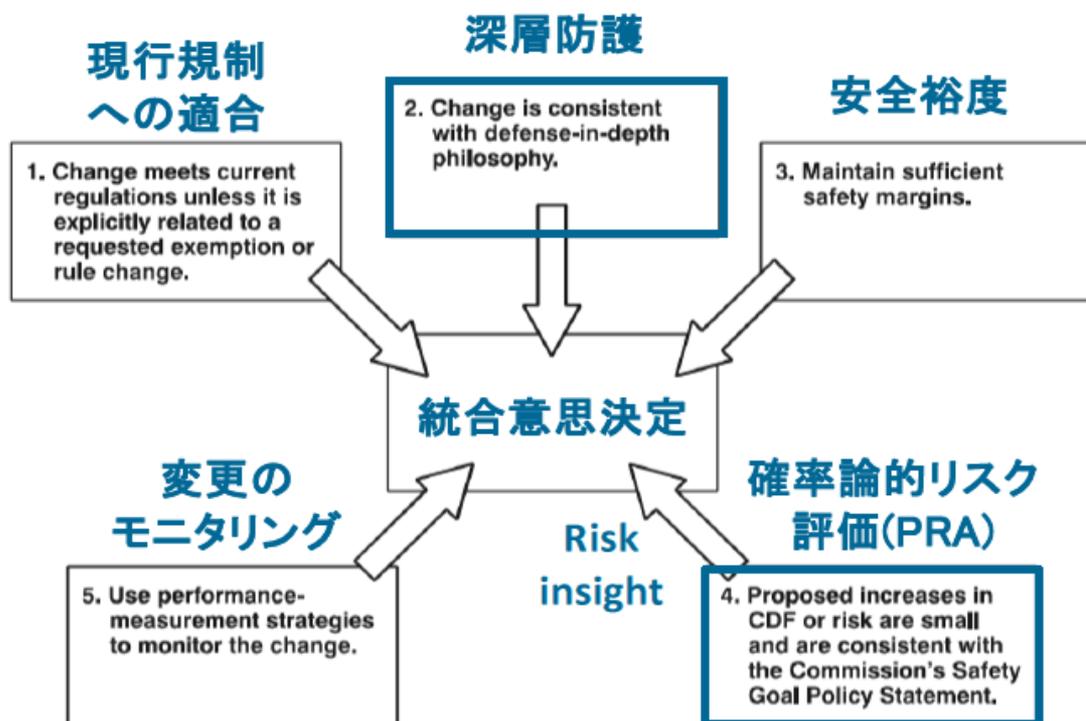
【被覆管損傷モードの展開】

【展開された評価項目を厳しくする物理プロセス】

【評価事象のカテゴリ】



定性的・定量的リスク情報活用(Risk-informed)と深層防護(Defense in Depth)

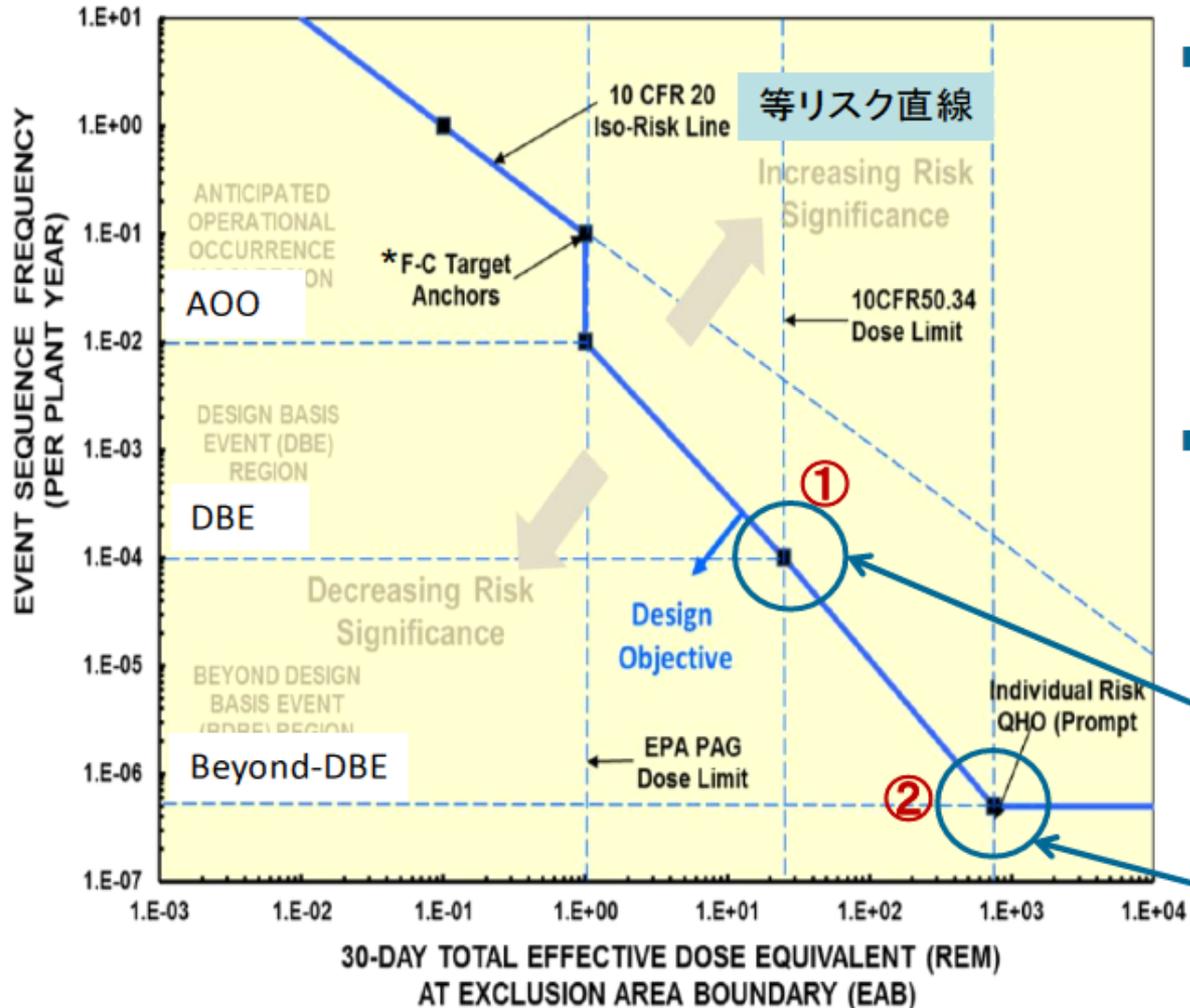


深層防護

- 深層防護は、機器や人間のふるまいにおける不確実さを考慮する手段
- 特に未知の(unknown)、または予期せぬ(unforeseen)損傷メカニズムや物理現象が起き得ることを考慮するために有効
- それらは確率論的リスク評価、他の工学的分析では反映されないからである。

NRC 規制ガイド1.174 (Rev. 3, Jan. 2018)

頻度－影響目標 (F-C Target)



- 合格/不合格を決める(**pass-fail basis**)ためのものではない:
 - **規制ガイド1.174の統合意思決定**と同様に、リスク評価から得られる知見(**risk insight**)を他の因子と共に用いる。
- 容認/非容認の線引(**demarcation of acceptable and unacceptable results**)に用いるものでもない。

10 CFR 50.34 Dose Limit: 250 mSV at 10^{-4} /RY for BDBEs

QHO: Quantitative Health Objective (early health effects: $7.5 \text{ Sv at } 5 \times 10^{-7}$ /RY)

FOAKの観点からの 研究開発課題＝イノベーション

FOAK : First-of-a-Kind

Licensing and operation of First-of-a-Kind reactors

- ✓ Achieving safety with little or no operating experience
- ✓ Suitability of current frameworks
- ✓ Treating uncertainties
- ✓ Applying defense-in-depth

米国NRC ACRS (Advisory Committee for Reactor Safeguards)
Chairperson Dr. Joy Rempe氏による

燃料の安全機能の評価方法の整理 (BWR、燃料棒)

運転状態	損傷モード	評価項目	最終の評価方法		
			燃料機械設計解析	燃料過渡応答解析 (安全解析)	その他
通常運転時 (閉込め機能)	機械的損傷	内圧	○		
		クリープコラプス			照射実績
		流体振動摩耗深さ			水力振動試験
	化学的損傷	腐食減肉	○		
		水素吸収			照射実績
運転時の異常な 過渡変化時 (閉込め機能)	機械的損傷	歪	○		
		応力	○		
		SCC PCI			出力急昇試験
		DHC			出力急昇試験
		燃料エンタルピ (PCMI 破損など)		○	
		燃料中心温度	○		
	疲労	○			
	熱的損傷	CPR		○	
熱・機械的破損	燃料エンタルピ(高温破裂)		○		
事故時 (冷やす機能) (被ばく評価用)	熱的損傷	被覆管温度, 高温酸化量		○	
	機械的破損	燃料エンタルピ(蒸気爆発など)		○	
	熱・機械的破損	被覆管高温膨れ及び破裂		○	
地震時 (冷やす機能) (閉込め機能)	機械的損傷	応力	○		

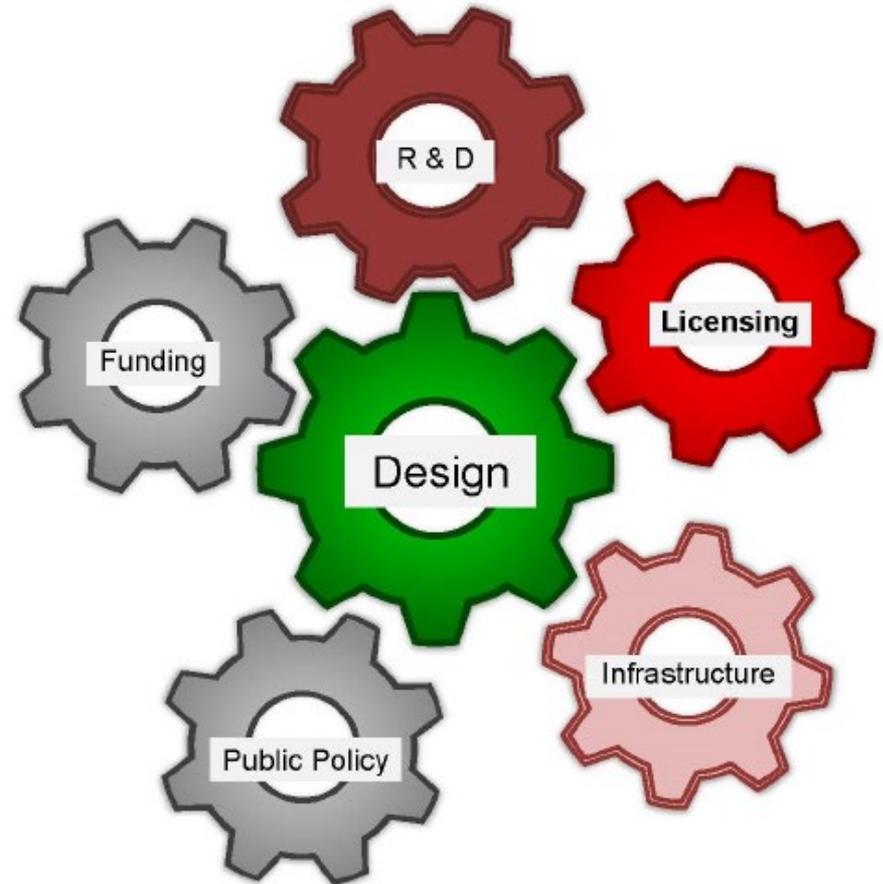
燃料の安全機能の評価方法の整理 (BWR、燃料棒)

運転状態	損傷モード	評価項目	最終の評価方法		
			集合体構造解析	燃料集合体振動応答解析, 集合体構造解析	その他
通常運転時	機械的な損傷 又は変形	燃料棒伸び (燃料体との伸び差)	○		照射実績
		燃料棒曲がり			照射実績
		燃料集合体伸び (チャンネルボックスとの伸び差)	○		照射実績
		燃料集合体曲がり			照射実績
	化学的損傷	構成部材の腐食及び水素吸収			照射実績
通常運転時 運転時の異常な 過渡変化時 事故時	機械的な損傷 又は変形	構造部材の応力, 歪及び荷重	○		機械試験, 材料試験
		構造部材の疲労			機械試験, 材料試験
		燃料集合体振動応答変位 (スペーサ変形量, チャンネルボックス変位量)	○	○	照射実績 (機械試験)
地震時 (冷やす機能) (制御棒挿入性)	機械的な損傷 又は変形	燃料集合体振動応答変位 (スペーサ変形量, チャンネルボックス変位量)	○	○	機械試験, 制御棒挿入試験

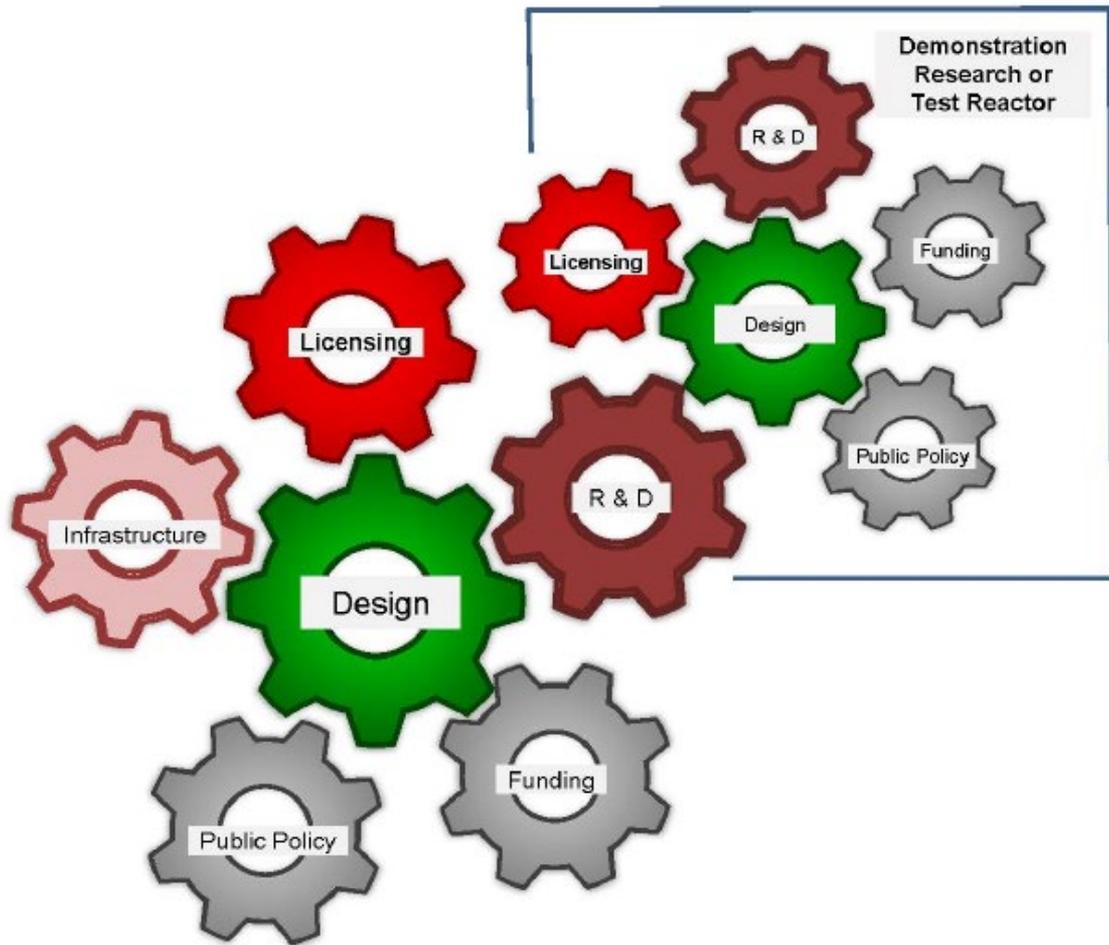
日本原子力学会標準委員会 技術レポート(AESJ-SC-TR009-1:2021)
 発電用軽水型原子炉の炉心及び燃料の安全設計に関する報告書
 第1分冊: 炉心及び燃料の安全設計

研究開発、設計技術、許認可等を相互に関係づけたロードマップ

- 経験と知識の蓄積
- 適切な研究計画と研究活動及び情報の共有
- 許認可と安全規制をサポートするプロトタイプシステムの役割



研究開発、設計技術、許認可等を相互に関係づけたロードマップ

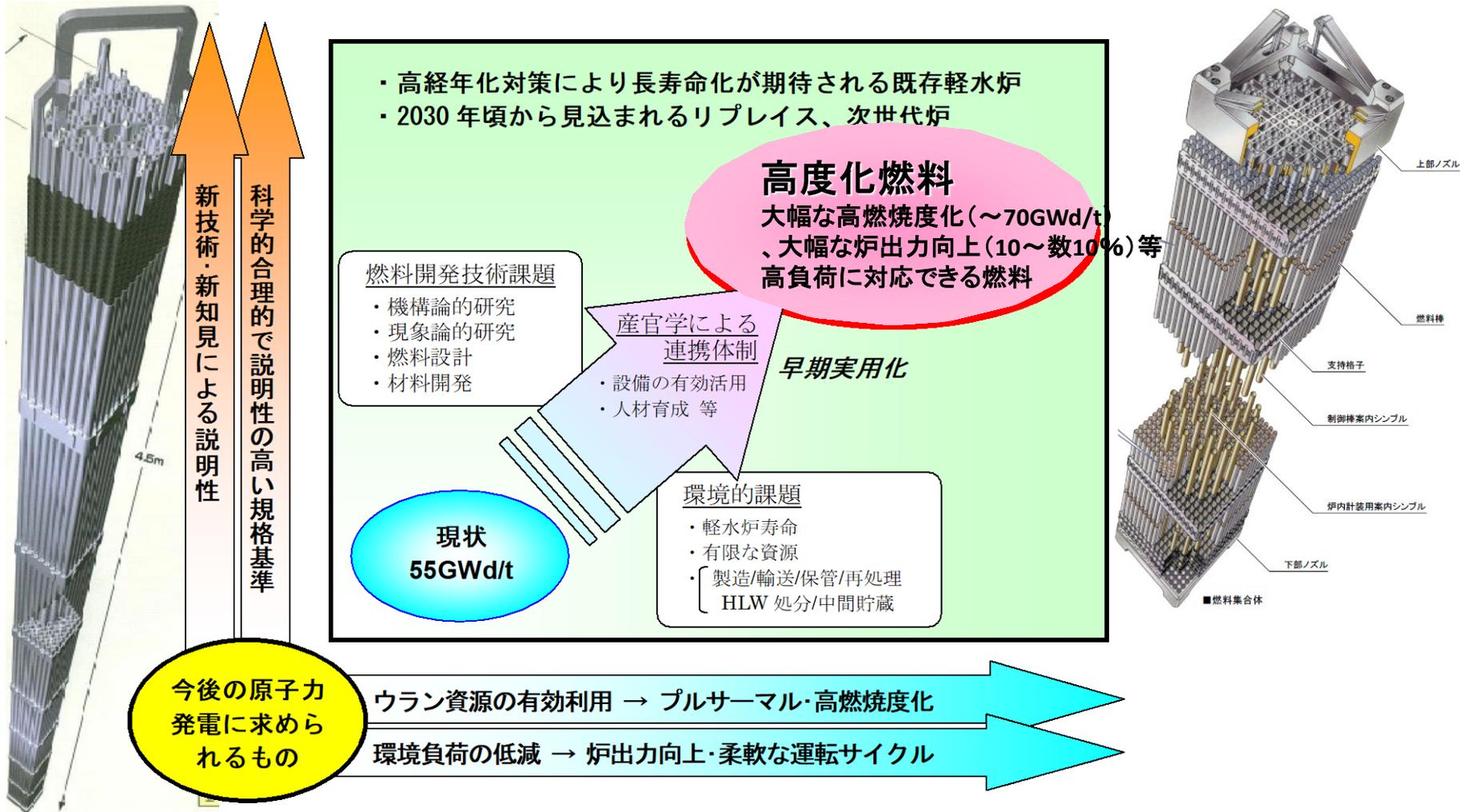


➔ 研究開発・イノベーション
(照射試験の活用を含む)

- 経験と知識の蓄積
- 適切な研究計画と研究活動及び情報の共有
- 許認可と安全規制をサポートするプロトタイプシステムの役割

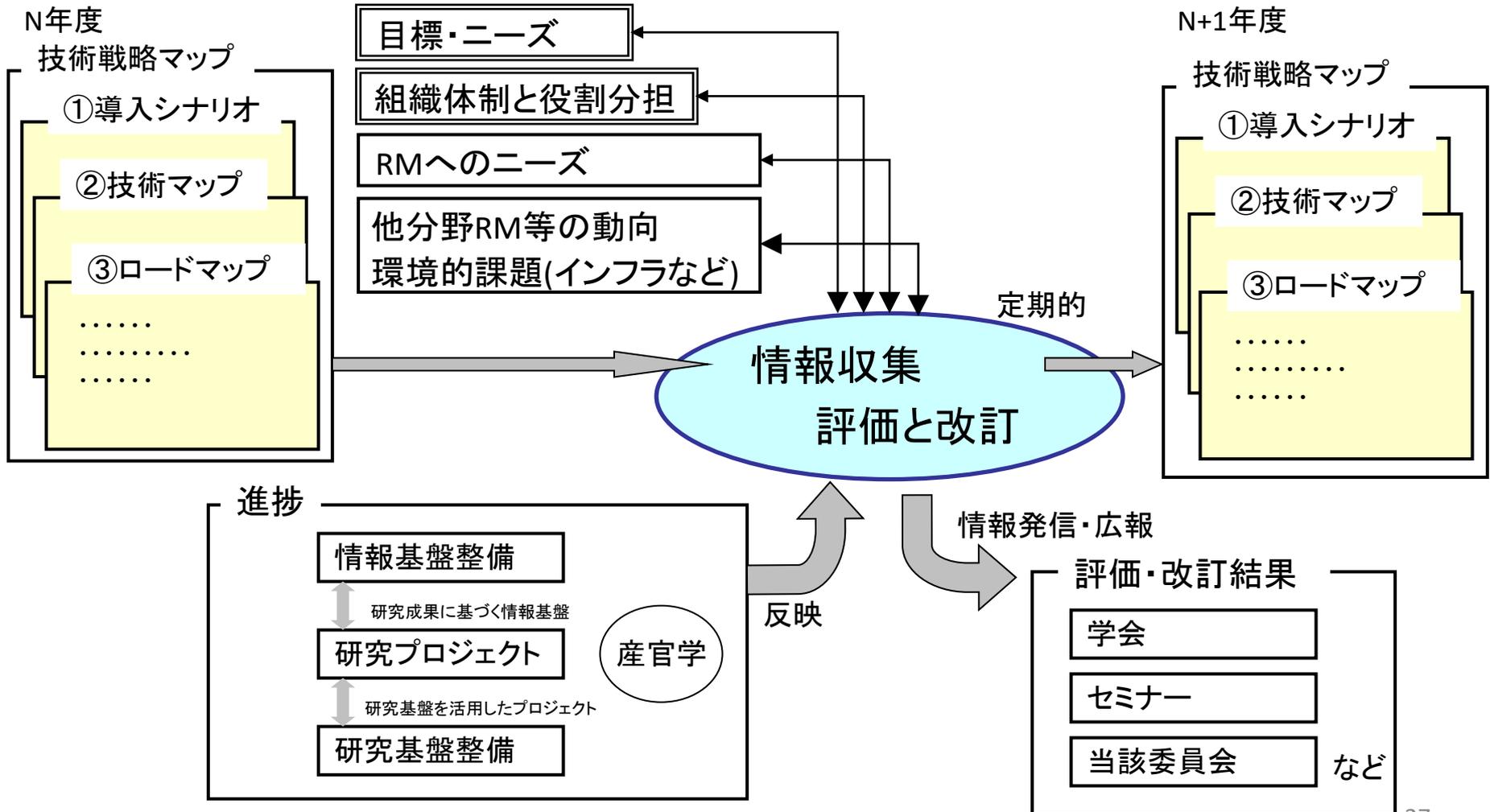
計画性と迅速性

燃料高度化技術戦略マップの目標設定(2006年時点)



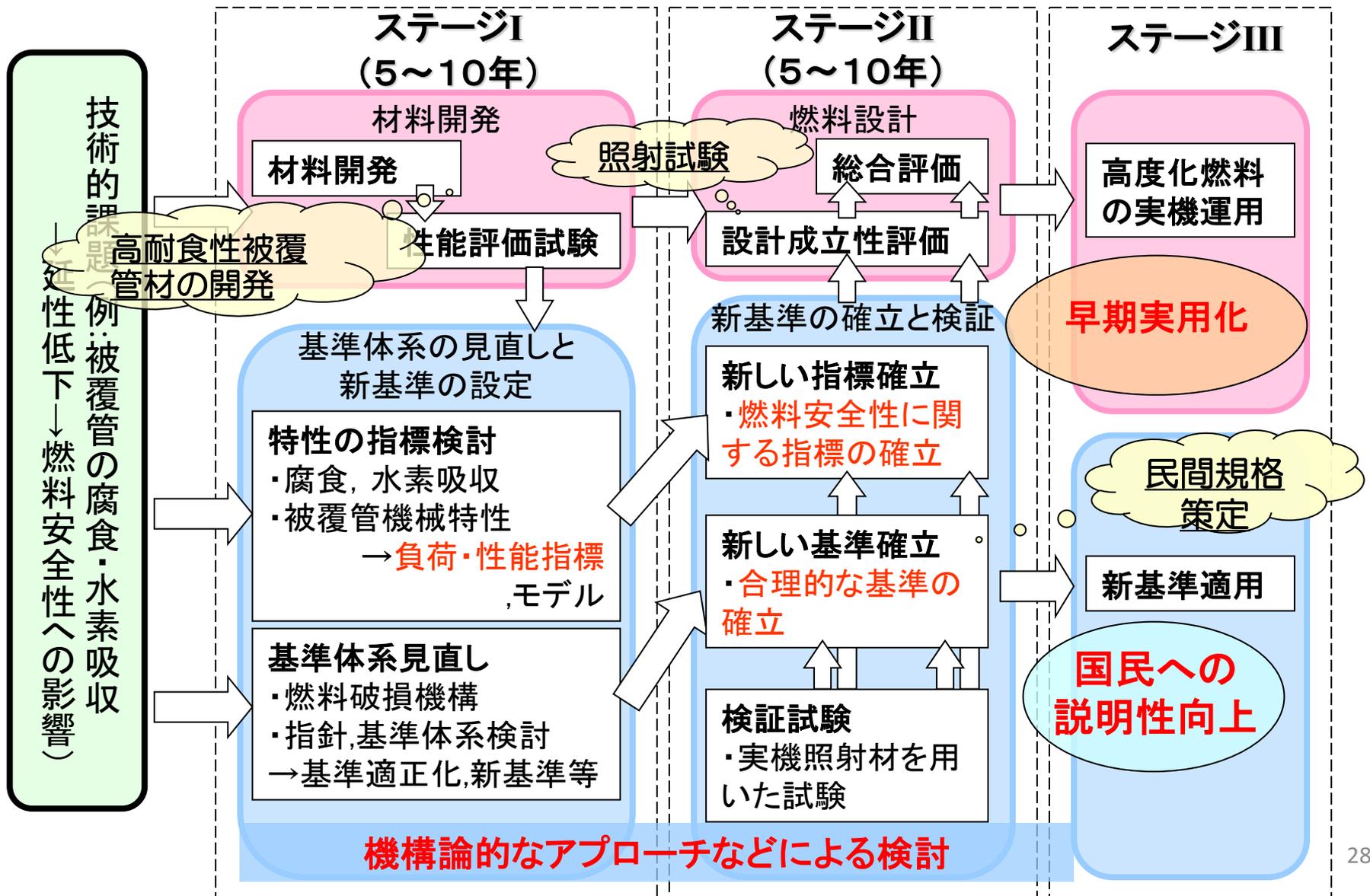
計画性と迅速性

技術戦略マップ構築の目的とコミュニケーション、ローリング



燃料高度化技術戦略マップの概要

-照射試験の「ニーズ」を考える背景-



期待される照射試験技術と照射試験施設

実績のある技術

今後望まれる技術

現象論的なアプローチ

【照射後試験技術】

【運転中計装】中心温度測定／FGR測定(ガスフローライン等)／燃料棒伸び、外径測定／ペレットスタック伸び／内圧測定、ガスフローモニタリング
 【照射後試験技術】ガンマスキャン／中性子ラジオグラフィ(燃料棒として)バンクチュア、ガス分析、自由体積分析／ペレット密度／寸法測定
 非破壊水素分析技術／照射燃料棒を用いた限界評価試験実施技術

【照射後試験技術】ギャップ測定／機械特性試験(軸引張り、リング、EDC、拡管)／疲労模擬試験(曲げ、内外圧差をパラメータとする)

【運転中計装】
破損挙動モニタリング

【運転中計装】
ガンマ線によるペレットリロケーション確認

使用環境(水質等)を模擬

【運転中計装】オンパワー試料交換
 【照射試験環境制御、試験技術】照射燃料棒接触時健全性評価
 【照射試験用供試体製造技術】商業炉照射済み燃料棒の試験用加工及び各種再計装

【照射試験環境制御、試験技術・運転中計装】
 多様な水質・被覆管挙動への影響を把握できる環境／水化学条件を模擬した炉内腐食試験／水化学制御、測定技術(オンライン)

【運転中計装】(オンパワー試料交換による)クラッド付着観察
 【照射後試験技術】残存クラッドと冷却材サンプリングから運転時クラッド付着量推定

【照射後試験技術】金相、SEM、TEM／EPMA、XRF等元素分析／FP、アクチニド等の分析／EPMA分析による径方向核種分析
 【運転中計装】熱伝導率測定／クリープ測定

【照射後試験技術】
被覆管径方向水素分析

【照射試験環境制御、試験技術】
 冷却材中の高腐食生成物に影響を与える水質管理を行い、被覆管表面でクラッド付着を把握できる環境／沸騰状況

【運転中計装】
 冷却材温度制御による水素化物析出傾向の観察

機構論的なアプローチ

【照射試験環境制御、試験技術】
 スペクトルを変化させて照射できる環境

【照射試験環境制御、試験技術】
 破損限界試験／実燃料を用いた総合的なLOCA試験

燃料分野における照射試験の重要度マトリックス

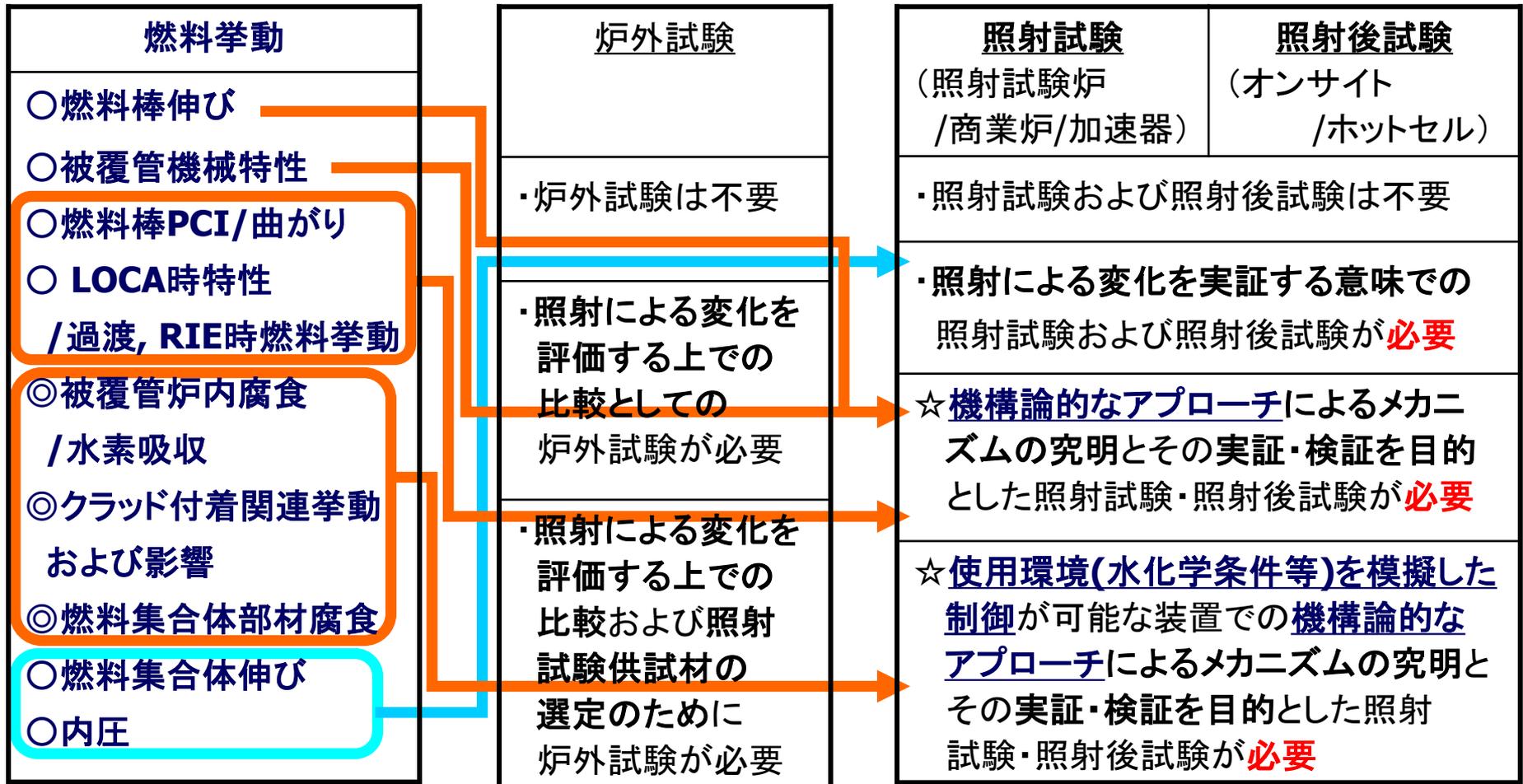
理解すべき燃料の各種挙動とその重要度

現象論 機構論	A. 実証・検証のための データ取得が望まれる	B. データ取得の 必要性が低い
A. メカニズムの究明が 望まれる	<ul style="list-style-type: none"> ○被覆管機械特性 ・ペレットFPガス, リム挙動 ○燃料棒PCI/曲がり ○ LOCA時特性/過渡, RIE時燃料挙動 ◎被覆管炉内腐食/水素吸収 ◎クラッド付着関連挙動および影響 ◎燃料集合体部材腐食 	<ul style="list-style-type: none"> ○燃料棒伸び ・ペレットクリープ
B. メカニズムの究明が ほぼ成されている	<ul style="list-style-type: none"> ・ペレット物性変化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ペレット焼きしまり/ 固体スエリング
C. 現知見の適用範囲内 メカニズム究明の 必要性が低い	<ul style="list-style-type: none"> ・被覆管炉内クリープ/疲労/物性変化 ・燃料棒内PCボンディング ○燃料集合体伸び 	—
要素メカニズムの複合	<ul style="list-style-type: none"> ○内圧 	—

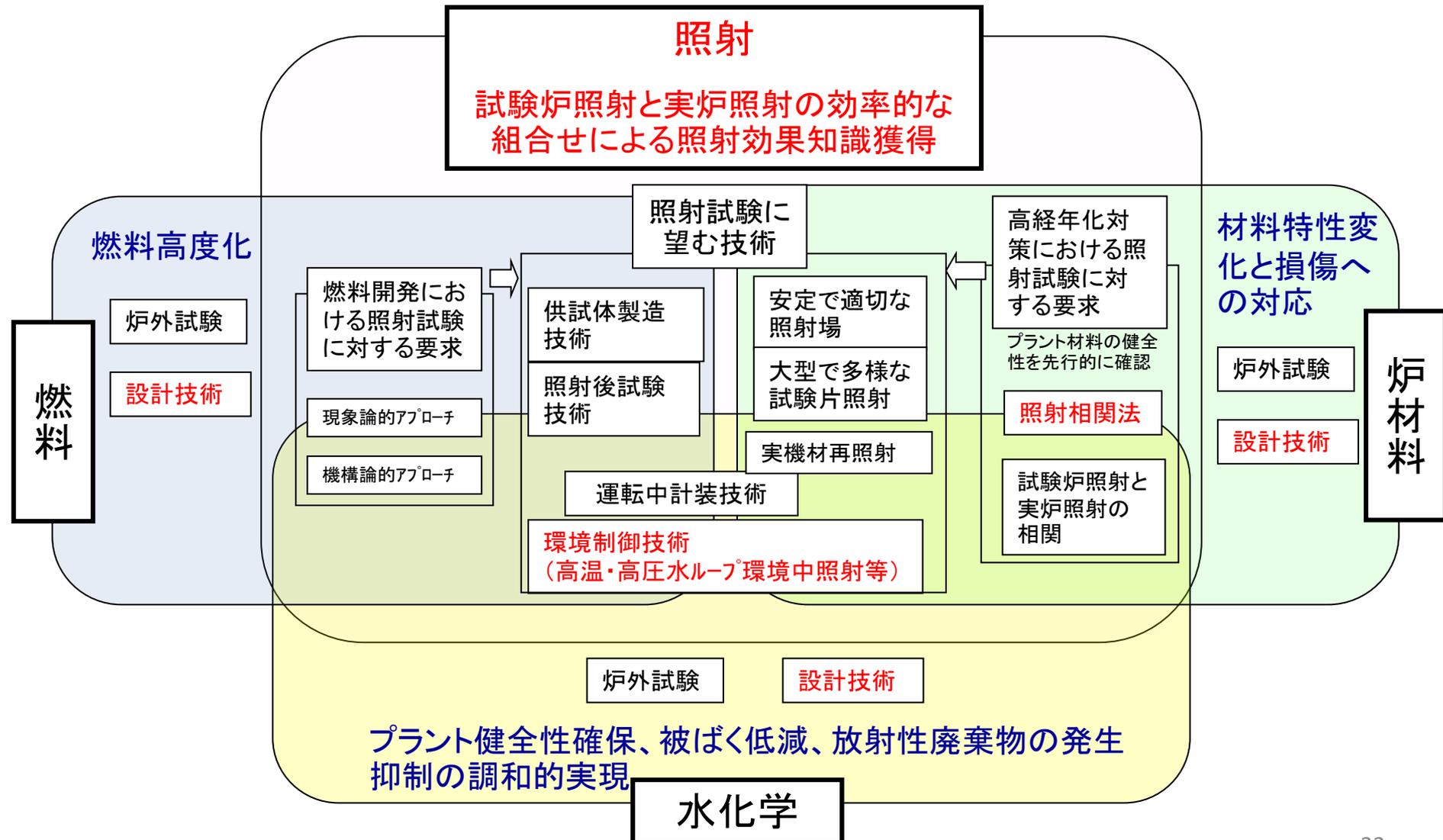
○: 燃料高度化における
対応の重要性大
◎: 水化学変更の影響を踏まえた
高度化対応の重要性大

燃料挙動と炉外試験、照射試験、照射後試験

各種試験で得られる成果と燃料開発での試験の必要性

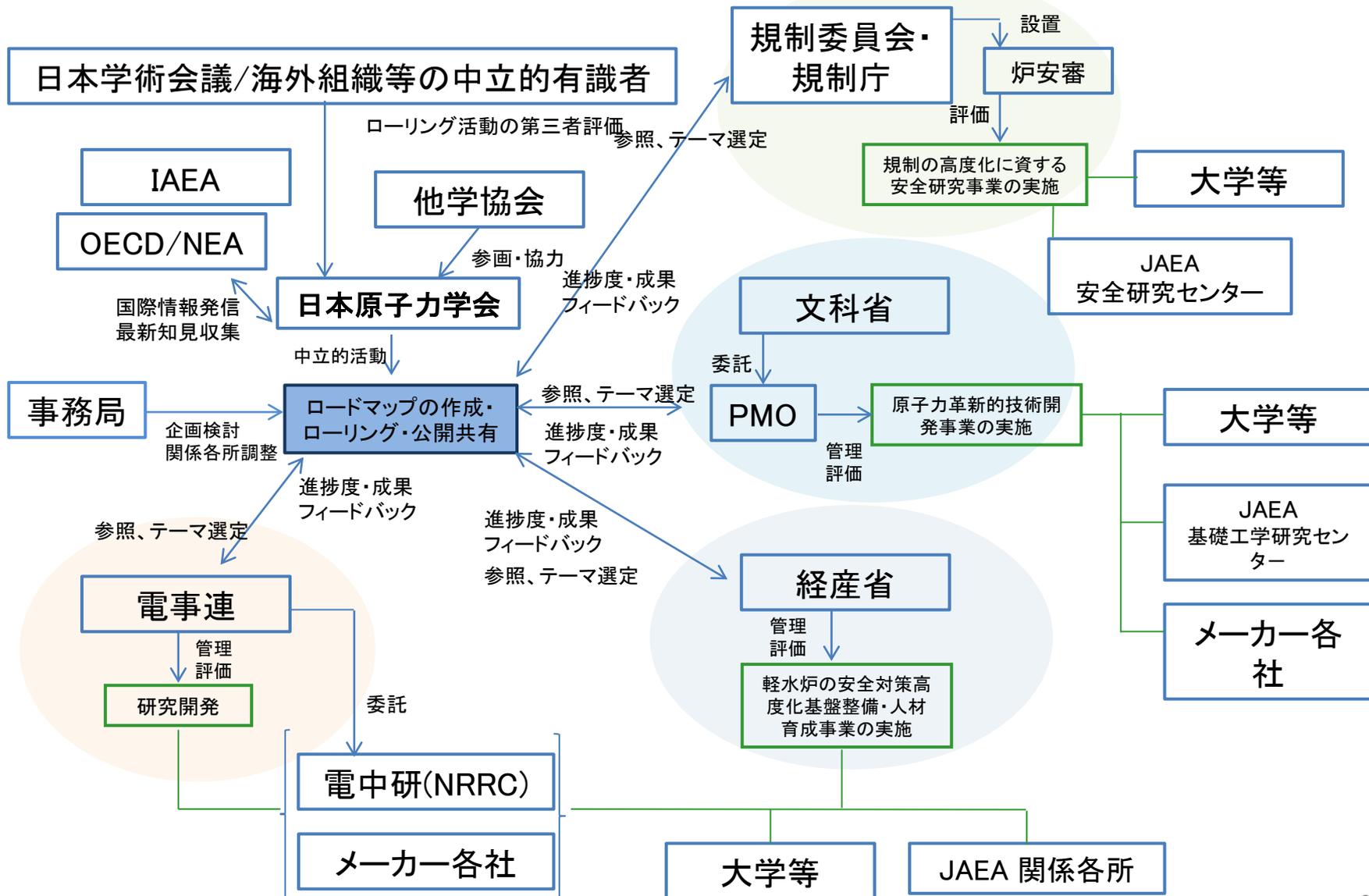


3主要分野から見た技術情報の相関と知識獲得のための照射試験技術への要求

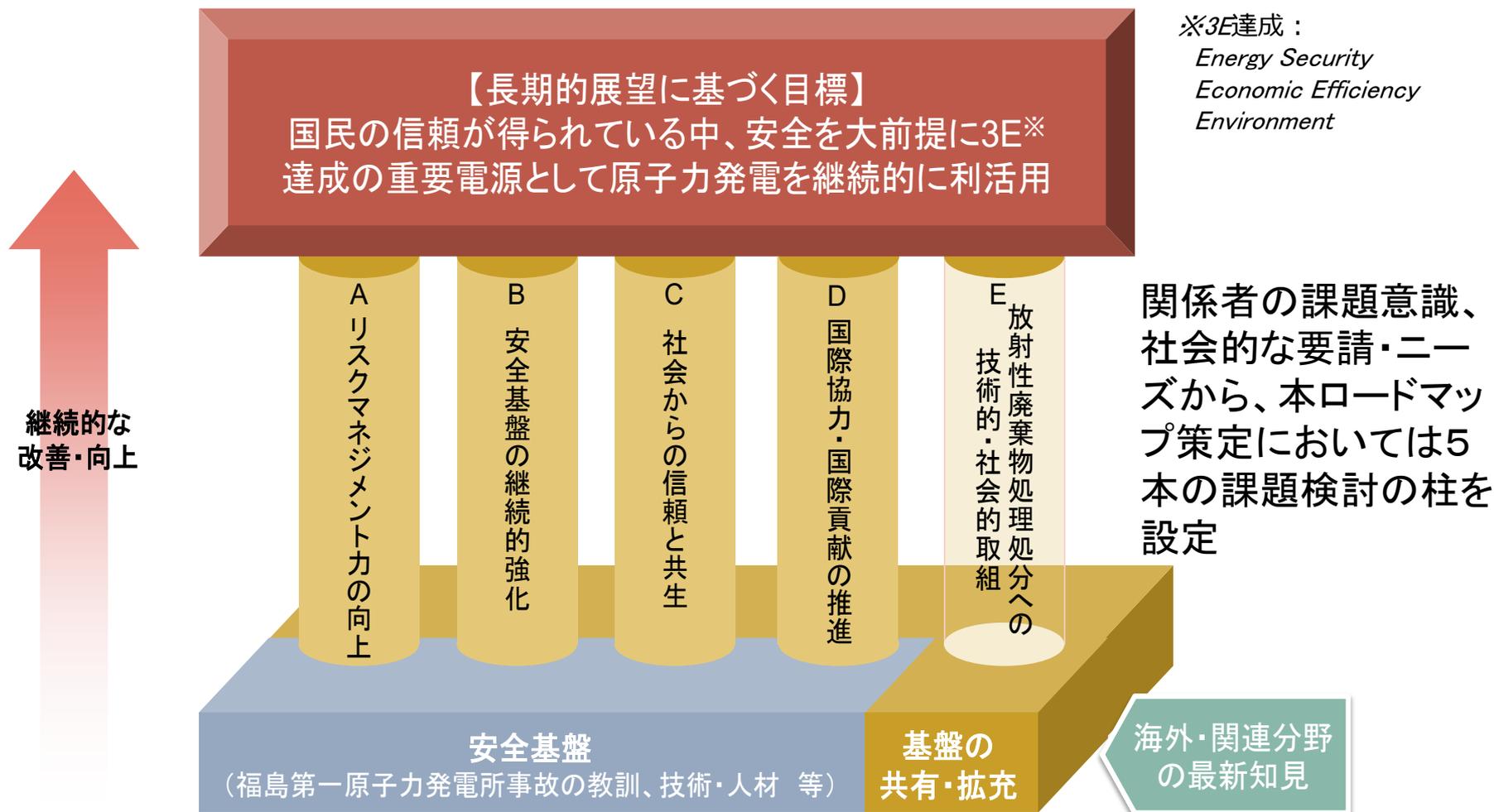


軽水炉安全技術・人材ロードマップ

(2015年6月, 2017年3月改訂)

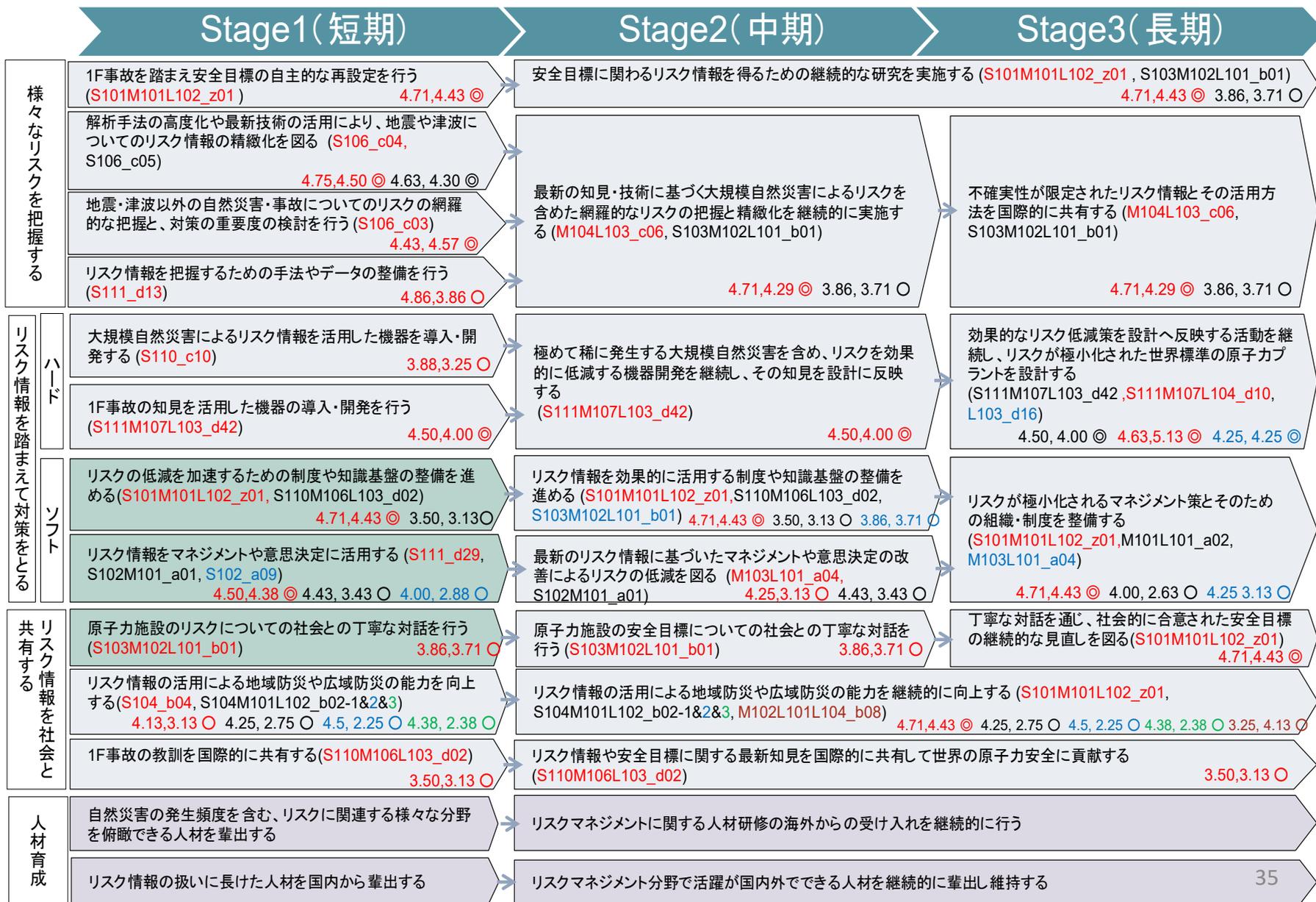


日本原子力学会による 軽水炉安全技術・人材ロードマップ課題検討の柱

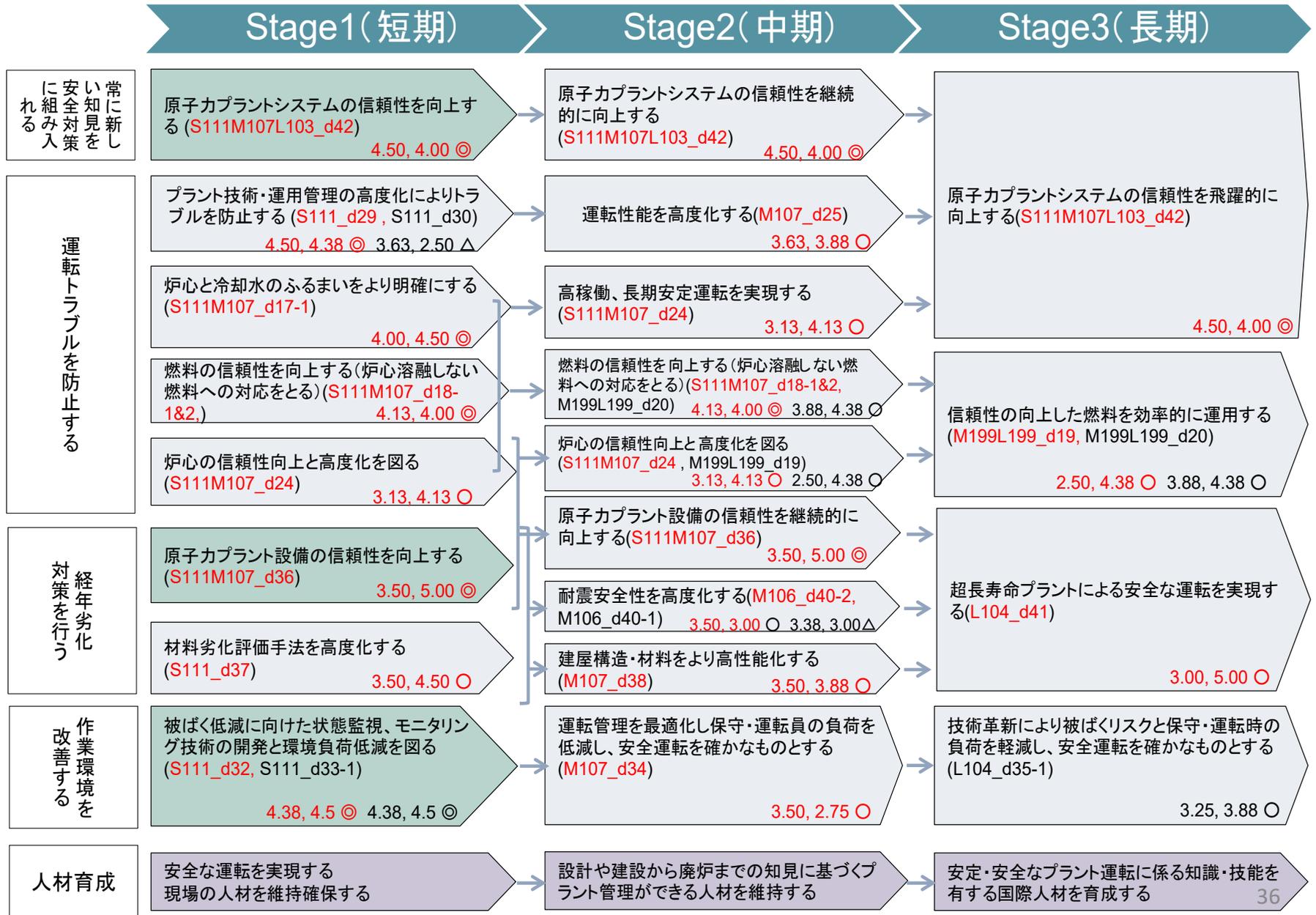


安全基盤：関係者間で強く意識共有している福島第一原子力発電所事故の教訓、ならびにロードマップの主目的である技術・人材の将来展開を描く上での現在のスタートラインの状態

「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



まとめと今後へ向けて

- 原子力安全のための重層的な体制強化が進行
 - 国(内)外で安全規制の基本概念のアップデート
 - 不確実性の取り扱い
 - 社会の(見えざる)要請に応えることが求められる
 - 問題設定と解決への姿勢、双方向のコミュニケーション
 - 社会が技術を使いこなす
 - 既存システムに対する安全性向上に加え、新たな(革新炉)システムのイノベーションをけん引したい
- 多様な専門分野間、ステークホルダ間を横断する技術戦略マップとロードマップを意識
 - ローリングにより、短期の進展と長期・中期にわたる意義を確認
 - UnknownからKnownの拡充と暗黙知の形式知化
 - 照射試験炉等の技術的な制約を取り払えるか＝技術成熟度
- 国際的なネットワークを結びつけ、多様性の下での議論の場
 - 以前の拡大ハルデン会議

以下、参考資料

継続的なイノベーションの創出への枠組みは？

- 安全性・経済性・機動性に優れた炉の追求に向けて、技術開発に対する支援を強化。
(NEXIPイニシアチブ：Nuclear Energy × Innovation Promotion)

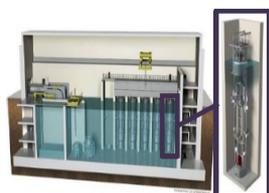
革新的な原子力技術開発

- 高速炉
- ・戦略ロードマップ (H30.12) に基づき、多様な高速炉技術の競争を促進。



高速炉

- 革新炉
- ・社会課題に対応する革新的な原子力技術開発を支援。



小型軽水炉



高温ガス炉

研究機関の連携・民間活用の促進

- 日本原子力研究開発機構 (JAEA) を通じ、民間の取組を活性化
- ・データ、知財等の知見の共有・提供
- ・試験研究施設の供用 等



常陽：高速実験炉

国際協力・企業連携

フランス



- ・ナトリウム冷却高速炉の開発
- ・その他の多様な概念の検討
- ・シミュレーションや実験等のR&D

米国



- ・GAINイニシアチブにより、革新的な原子力技術の開発を促進
- ・この支援を受けて、小型軽水炉が2026年に商業運転を見込む。

- ・国内技術維持のため、新たに高速炉の多目的試験研究炉 (VTR) を建設予定。

