

# 軽水炉安全技術・人材ロードマップ 中間報告

---

日本原子力学会 安全対策高度化技術検討特別専門委員会

2015年1月8日

---

# 目次

---

## 1. はじめに

## 2. 日本原子力学会における軽水炉安全技術・人材ロードマップの検討方針

## 3. 検討状況報告

- 軽水炉安全技術・人材ロードマップの策定に当たっての基本的考え方
- 検討に当たっての境界条件の提示依頼
- 軽水炉安全技術・人材ロードマップの背景、役割・目標
- 軽水炉安全技術・人材ロードマップにおける課題検討の柱
- 各マイルストーンでの目指す姿(学会案)
- 各マイルストーンでの目指す姿を満たすための要素の検討・共有
- 研究課題の着手時期や優先度の評価軸の考え方(学会案)
- まとめ

---

## 1. はじめに

---

# 原子力の自主的・継続的な安全性向上に向けた提言(2014.5.30)

---

## 総合資源エネルギー調査会原子力の自主的安全性向上に関するWG(2013.7-)の報告書

今後必要とされる取組の在り方とロードマップの骨格について提言

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リスクの低減
  - ③ 外部事象に着目した事故シーケンス及びクリフエッジの特定と、レジリエンスの向上
  - ④ 軽水炉の安全性向上研究の再構築とコーディネーション機能の強化

# 原子力の自主的・継続的な安全性向上に向けた提言(2014.5.30)

---

## ■ 軽水炉安全研究におけるこれまでの反省と課題

- 軽水炉技術の成熟化により、1990年代以降、研究機関の軽水炉の基礎研究、安全研究は減少。
- 2000年代初期に事業者による自主的なシビアアクシデントに係る対策実施が進められるのに伴い、規制対象ではなかった軽水炉のシビアアクシデントに係る研究開発は事業者によるものを含め大幅に縮小。
- 安全に関する技術戦略ロードマップを掲げた産学官、規制側と推進側との連携が不十分であった。
- 諸外国では実施されている推進側と規制側による共同研究は効果的に実施されなかった。

## ■ 「軽水炉安全研究ロードマップ」の策定

- 政府が場を設け、政府系研究機関、学協会、産業界が広く参加
- 関係者間の役割分担を具体的に決定し、重畳を廃した効果的な研究開発を推進
- 規制当局との間での利害相反を廃した効果的なコミュニケーションツールとして位置づけ

# 自主的安全性向上・技術・人材WGからの提示事項(1／3)

## ～ 軽水炉安全技術・人材ロードマップ策定の基本方針 ～

### ＜基本的考え方＞

- 「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」は、東京電力福島第一原子力発電所事故の経験で得られた教訓を踏まえ、軽水炉安全への国民の信頼が得られるものでなければならない。
- まず、技術開発項目や、それを支える人材の維持・発展は、軽水炉安全への国民の信頼やその安全な持続的利用に繋げるための課題を掲げ、その解決に資するか否かを基準として従来の技術開発の優先順位やスケジュールの見直しによるロードマップの再構築が必要。
- また、「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」は、学会、国、事業者、メーカー、研究機関等関係者間の役割分担を明確化し、我が国全体として重畳を廃して最適な取組を実現するものでなければならない。さらに、研究開発の重複を排除しながら最高レベルの成果を得るため、世界的な研究開発や人材育成の動向を踏まえ、必要な国際共同研究の組成を本ロードマップに積極的に取り込んでいくべきである。
- そのため、「自主的安全性向上・技術・人材WG」（平成26年8月設置）による国民視点からの課題提示と、学会の英知を結集した総合的解決策の提示というキャッチボールを通じて、「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」策定を進めていく。
- 「原子力の自主的安全性向上に関するWG」（平成25年7月設置）において、「政府が場を設け、JAEA等、政府系研究機関、学協会、産業界が広く参加する形で「軽水炉安全研究ロードマップ」を策定し、関係者間の役割分担を具体的に決定し、重畳を廃した効率的な研究開発を推進するとともに、そのロードマップを規制当局との間での利害相反を廃した効果的なコミュニケーションツールとして位置づけるべきである。」とされているところ、本ロードマップに位置付けられる予算事業の優先順位付けや、成果評価に基づく定期的見直しについては、上記「自主的安全性向上・技術・人材WG」に諮問の上、経済産業省が担っていく。
- なお、客観的成果評価の在り方や規制当局との共同研究や成果共有のあり方についても、「自主的安全性向上・技術・人材WG」において検討を進めていく。



# 自主的安全性向上・技術・人材WGからの提示事項(2／3)

## ～ 軽水炉安全技術・人材ロードマップ策定の基本方針 ①～

### ロードマップ(RM)対象項目の課題別区分

- ① 既設の軽水炉等のリスク情報の利活用的高度化（確率論的リスク評価、クリフエッジの特定、マネジメントにおけるPerformance Indicatorの活用、他の社会的リスクとの客観的比較に基づく原子力リスクの捉え方、リスク情報の実機への適用、リスク情報を踏まえた適切な優先順位付けに基づく安全対策の強化等）
- ② 既設の軽水炉等の事故発生リスクの低減（設計上の安全性を高める方策および経年劣化対策、事故発生時の制御性を高める設計概念の導入）
- ③ 事故発生時のサイト内の被害拡大防止方策
- ④ 事故発生時のサイト外の被害極小化方策
- ⑤ 既設炉の廃炉の安全な実施
- ⑥ 核不拡散・核セキュリティ対策
- ⑦ 従来の発想を超える、軽水炉に適用可能な革新的技術開発
- ⑧ 軽水炉の安全な持続的利用のために必要な人材の維持・発展（上記①～⑦のRM及び原子力を取り巻く社会情勢等と整合的なものとする）

注1：放射性廃棄物に関する研究開発については、別途「放射性廃棄物WG」があること、また、東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に関するものについては、別途RMが策定されていることから、対象外とする。

注2：軽水炉技術の今後の方向性の境界条件となる、核燃料サイクルや次世代炉等に関する社会的、技術的オプション（将来の核燃料サイクル利用の方向性や次世代炉オプションの優先度と燃料開発の方向性など）についても検討の要素に含まれる。

注3：⑧に関しては、原子力人材育成ネットワークで策定された原子力人材育成ネットワーク戦略ロードマップも参考とする。また、検討対象とする人材については、研究開発人材のみならず、事業者の現場人材も含むことや事業者において自主的かつ不断に安全性を向上させる人材が育成されることの重要性を踏まえるとともに、社会科学的視点も盛り込む。

注4：上記①～⑧のいずれの項目についても、ヒューマンファクターやソフト面の要素を踏まえるとともに、基盤となりうる研究炉の活用については、安全性向上の観点から、最も効果的に活用されることを念頭に取りまとめる。

注5：上記①～⑧の項目で何を実現していくのか、という観点から、俯瞰した整理も行う。

注6：必要な海外の研究との連携やそれを取り込んだ上での世界的な視野でのプログラム構築を図る観点を含める。

注7：技術の導入主体や人材の育成主体のコミットメントを得た形のロードマップとする。かかる観点から、産業界の現場感覚やコスト等の経営判断を取り込む形で検討を進める。

# 自主的安全性向上・技術・人材WGからの提示事項(3／3)

---

## ～ 軽水炉安全技術・人材ロードマップ策定の基本方針 ②～

### ロードマップ(RM)の時間軸設定方針

- ① エネルギー基本計画におけるエネルギー関係技術開発のRMと整合的なものとする。
  - 2050年を展望(2030年以降の主要課題についても提示)
- ② 原子力小委員会におけるエネルギーミックス策定の議論と整合的なものとする。
  - 2030年をホールドポイントとし、技術細目毎に2030年もしくはそれ以前の達成目標を設定(原子力小委の議論を受け、別のホールドポイントを設ける可能性あり)

注：既存の原子力関連分野のRMは前提として尊重するが、東京電力福島第一原子力発電所事故後の安全性向上対策として求められる優先順位をWGで検討の上、それに基づき、再構築する。

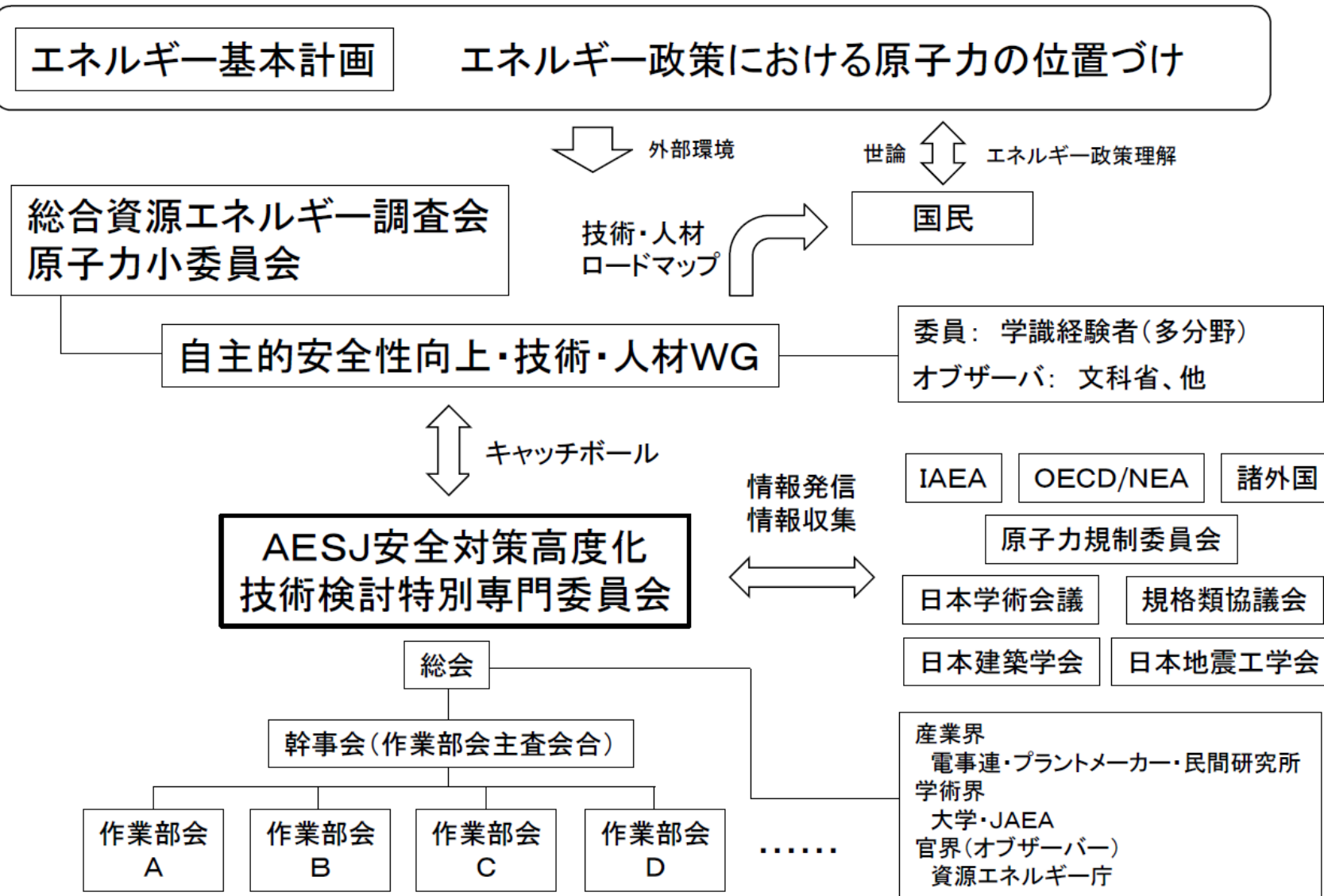


---

## 2. 日本原子力学会における軽水炉安全技術・人材ロードマップの検討方針

---

# 軽水炉安全技術・人材ロードマップの検討体制



# 日本原子力学会での検討方針

---

総合資源エネルギー調査会自主的安全性向上・技術・人材WGとの「キャッチボール」による軽水炉安全技術・人材ロードマップ(RM)策定の基本方針の確認

- 2050年までを見据えたマイルストーンを設定する
- 社会的要請・ニーズを考慮し、国民や国際的な視点からも課題を提示する

有効・効果的な議論を進めるための会議体の設置と議論

- 社会的要請・ニーズに基づき設定する、マイルストーンでの目指す姿を共通理解として、解決すべき課題を検討する
- 専門領域に基づいて設定した作業部会間での検討内容の抜け落ちを回避する

多様な視点、知見を反映したRMの策定

- 日本原子力学会以外の学会(日本建築学会、日本地震工学会等)との連携・協力体制を整える
- 技術・ハードウェアに偏らず、社会科学の立場からの検討が必要な課題やヒューマンファクター領域の課題についても提示する

# 日本原子力学会での検討方針

---

学術界、国（推進、規制）、事業者、メーカー、研究機関等が集う学会の場を最大限活用

- 安全対策高度化技術検討特別専門委員会をRM策定検討の場とする
- 原子力安全部会の企画セッション、フォローアップセミナー等の場を活用して活動状況を公開し、学会内外と意見交換する
- 国（資源エネルギー庁、原子力規制委員会等）との効果的コミュニケーションを図り、それに基づく課題の全体構造の適正化を図る
- 個別の研究成果等を課題解決に結びつけるための評価、実効性の確保に関する活動および、このためのRMの活用方法についても検討する

# 軽水炉安全技術・人材ロードマップ構築のプロセス手順

---

- 1) 軽水炉安全技術・人材ロードマップの背景、役割・目標の整理
- 2) わが国の原子力安全に求められる社会的要請・ニーズの整理
- 3) ロードマップにおける課題の整理と課題検討の柱の設定
- 4) 各マイルストーンでの目指す姿(達成要件)の整理と要素の検討・共有
- 5) 課題の重要度、優先度、緊急度等の評価軸の設定
- 6) これらに基づいた技術マップ整備とロードマップへの展開

(ロードマップ策定後)

- 7) 研究の実行と成果評価・活用に基づいたローリング

# 【参考】一般的な技術戦略マップの階層構造

⇒軽水炉安全技術・人材ロードマップでは、「導入シナリオ」は「社会的要請・ニーズの共通理解に基づくマイルストーンと目指すべき姿」と位置づけて検討

## (1) 導入シナリオ

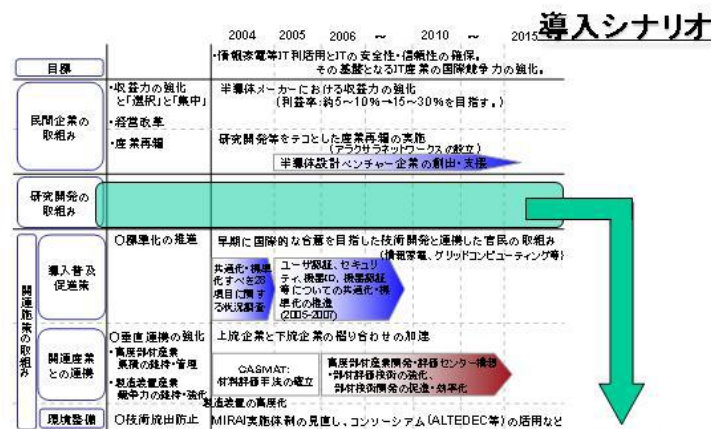
研究開発成果が製品、サービス等として社会、国民に提供されていく道筋と、そのために取り組むべき関連施策を記載したもの。

## (2) 技術マップ

技術の体系図。技術的課題、要素技術を俯瞰するとともに、その中で重要技術を選定して記載したもの。

## (3) 技術ロードマップ

研究開発への取り組みによる要素技術・求められる機能等の向上・進展を時間軸上にマイルストーンとして記載したもの。



技術マップ

| 技術分野 | 分野構造        |           |                           |
|------|-------------|-----------|---------------------------|
|      | 大項目         | 中項目       | 小項目                       |
| 半導体  | デバイス・プロセス技術 | LSIデバイス技術 | デバイス微細化                   |
|      |             |           | ナノMOSへ向けた新技術              |
|      |             |           | 退熱技術                      |
|      |             |           | 新退熱技術                     |
|      |             |           | デバイスシミュレーション技術            |
|      | プロセス技術      |           | 微細化プロセス                   |
|      |             |           | 洗浄技術                      |
|      |             |           | プロセスシミュレーション技術            |
|      | リソグラフィ      |           | シリコン基板                    |
|      |             |           | 露光装置・レジスト・プロセス技術<br>マスク技術 |

技術ロードマップ

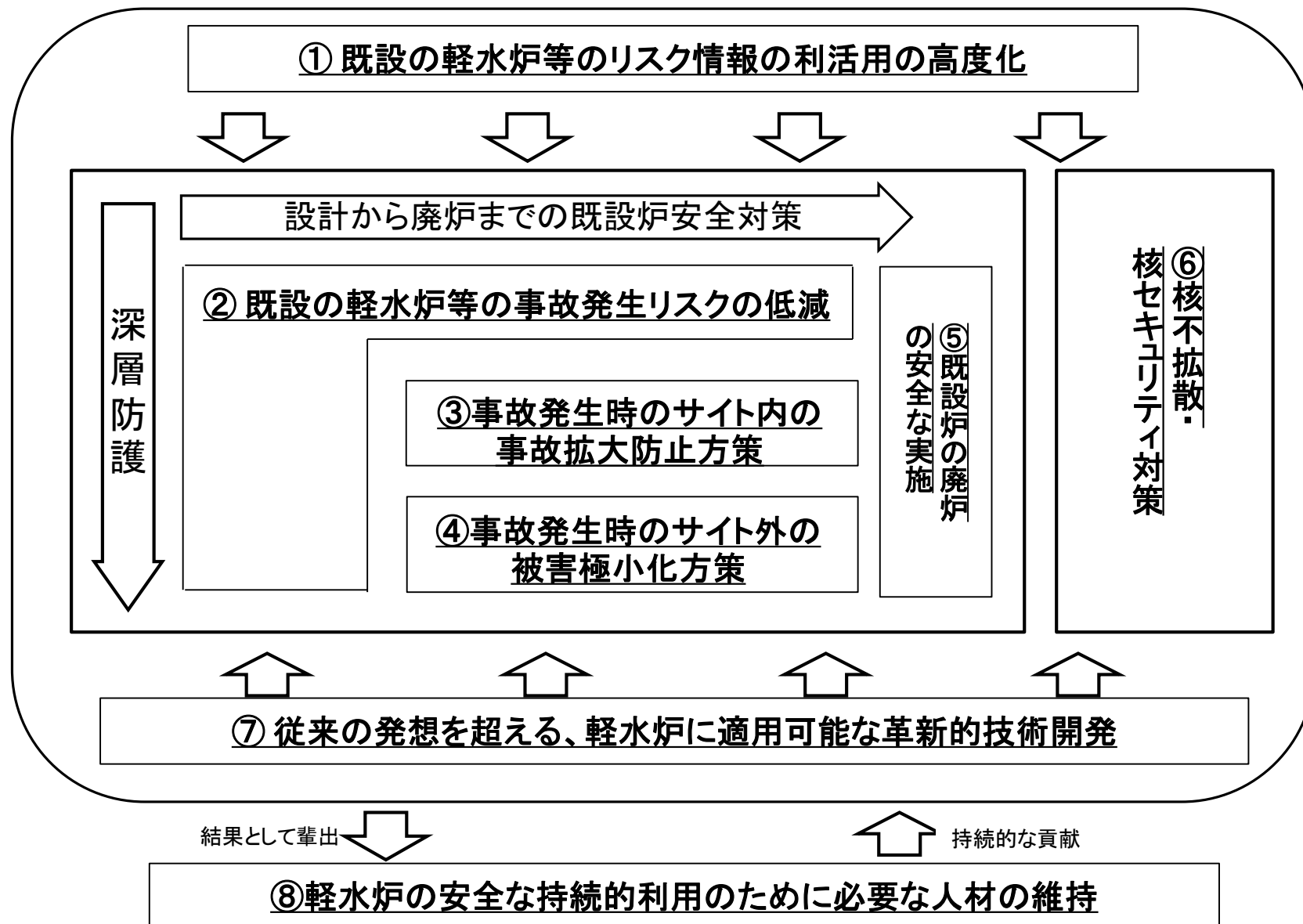
| 技術分野 | 大項目         | 中項目       | 小項目              | 重要課題         | 詳細パラメータ              | 2005      | 2006      | 2007      | 2008      | 2009      | 2010      | 2011      | 2012      | 2013      | 2014      |
|------|-------------|-----------|------------------|--------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 半導体  | デバイス・プロセス技術 | LSIデバイス技術 | デバイス微細化          | バターン寸法の微細化   | DRAM/1T1Pビットサイズ(nm)  | 80        | 70        | 65        | 57        | 50        | 45        | 40        | 35        | 32        | 28        |
|      |             |           |                  |              | ゲート長(nm)             | 55        | 45        | 37        | 32        | 28        | 25        | 23        | 20        | 18        | 16        |
|      |             |           |                  |              | 1T1Pビットサイズ(nm)       | 3.15      | 2.81      | 2.50      | 2.20      | 2.00      | 1.80      | 1.60      | 1.40      | 1.30      | 1.10      |
|      |             |           |                  |              | ゲート長・ゲート幅(nm)        | 21        | 19        | 1.8       | 1.5       | 1.4       | 1.3       | 1.3       | 1.2       | 1.1       | 1.1       |
|      |             |           |                  |              | ゲート幅・ゲート深さ(nm)       | 2.8       | 2.6       | 2.3       | 1.9       | 1.8       | 1.7       | 1.7       | 1.6       | 1.5       | 1.5       |
|      | プロセス技術      |           | 微細化プロセス          | ゲートス・タックプロセス | High-k/Ge/GeSi膜厚(nm) | 300       | 300       | 400       | 400       | 400       | 400       | 400       | 400       | 400       | 400       |
|      |             |           |                  |              | CD制御(σ)(nm)          | 4         | 3.3       | 2.9       | 2.5       | 2.2       | 2         | 1.8       | 1.7       | 1.4       | 1.3       |
|      |             |           |                  |              | 微細ラフネス(σ)(nm)        | 3.8       | 3.2       | 2.8       | 2.6       | 2.2       | 2         | 1.8       | 1.6       | 1.4       | 1.3       |
|      | リソグラフィ      |           | 露光装置・レジスト・プロセス技術 | 主光源技術        | 光源(波長:nm)/方式         | 193nm/FET | 193nm/FET | 193nm/FET | 193nm/FET | 193nm/FET | 193nm/FET | 193nm/FET | 193nm/FET | 193nm/FET | 193nm/FET |
|      |             |           |                  |              | スループット、コスト           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |

出典:経済産業省 技術戦略マップ2010

[http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu\\_kakushin/kenkyu\\_kaihatu/str2010/Chap.1.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/str2010/Chap.1.pdf)

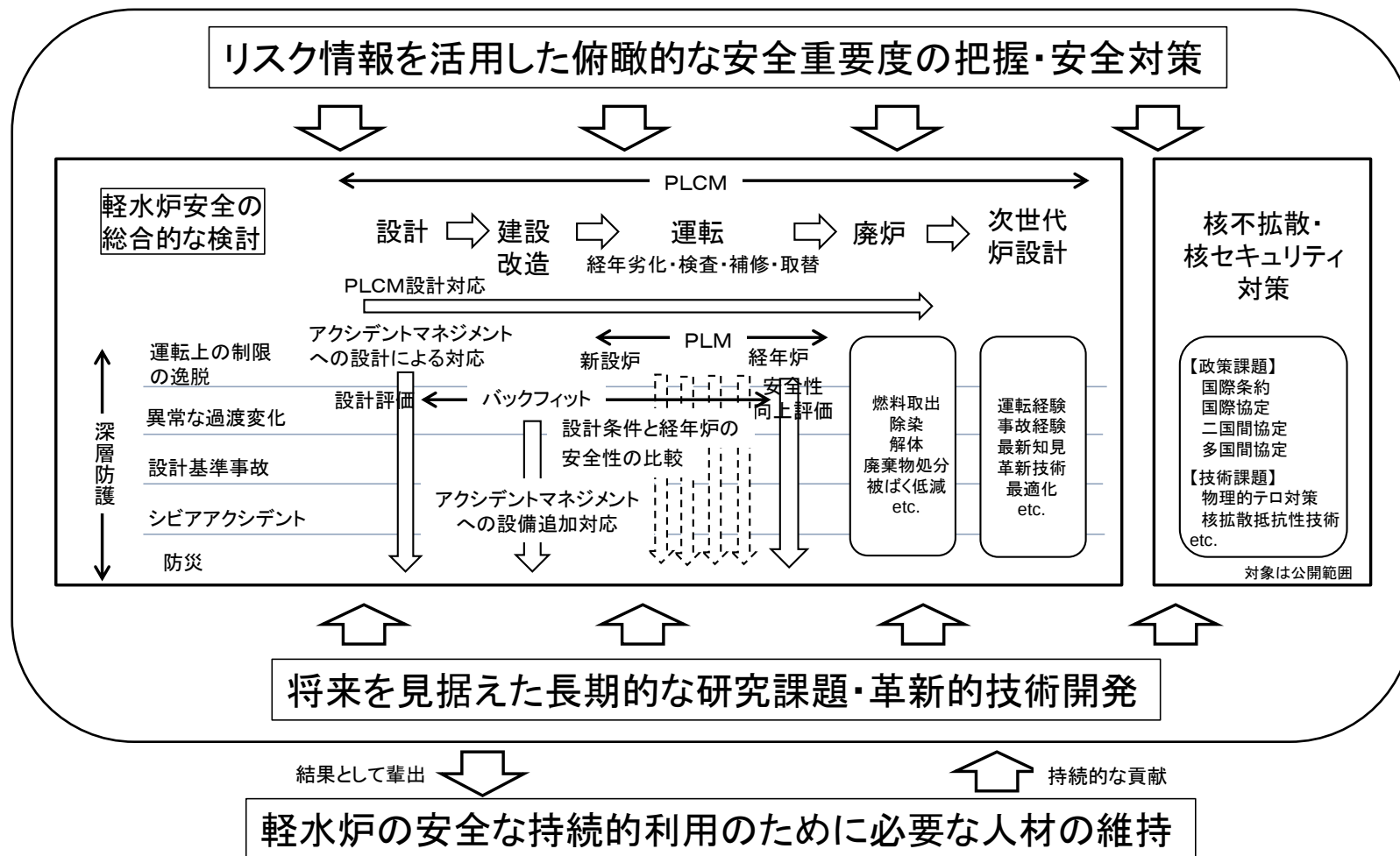


# WGから提示された8項目の課題別区分への検討の視点



# 軽水炉安全技術・人材ロードマップの課題検討の視点

- ・ WGから提示された8項目の課題別区分のうち、②から⑤を相互的な関係で捉え直し、課題検討の視点を設定
- ・ 課題検討上の境界条件は別途設定



PLM (Plant Life Management,): 原子炉の商業運転中の経年劣化管理・保全

PLCM (Plant Life Cycle Management): 原子炉の設計から廃炉までの期間における最適管理および得られた知見の次世代炉への反映

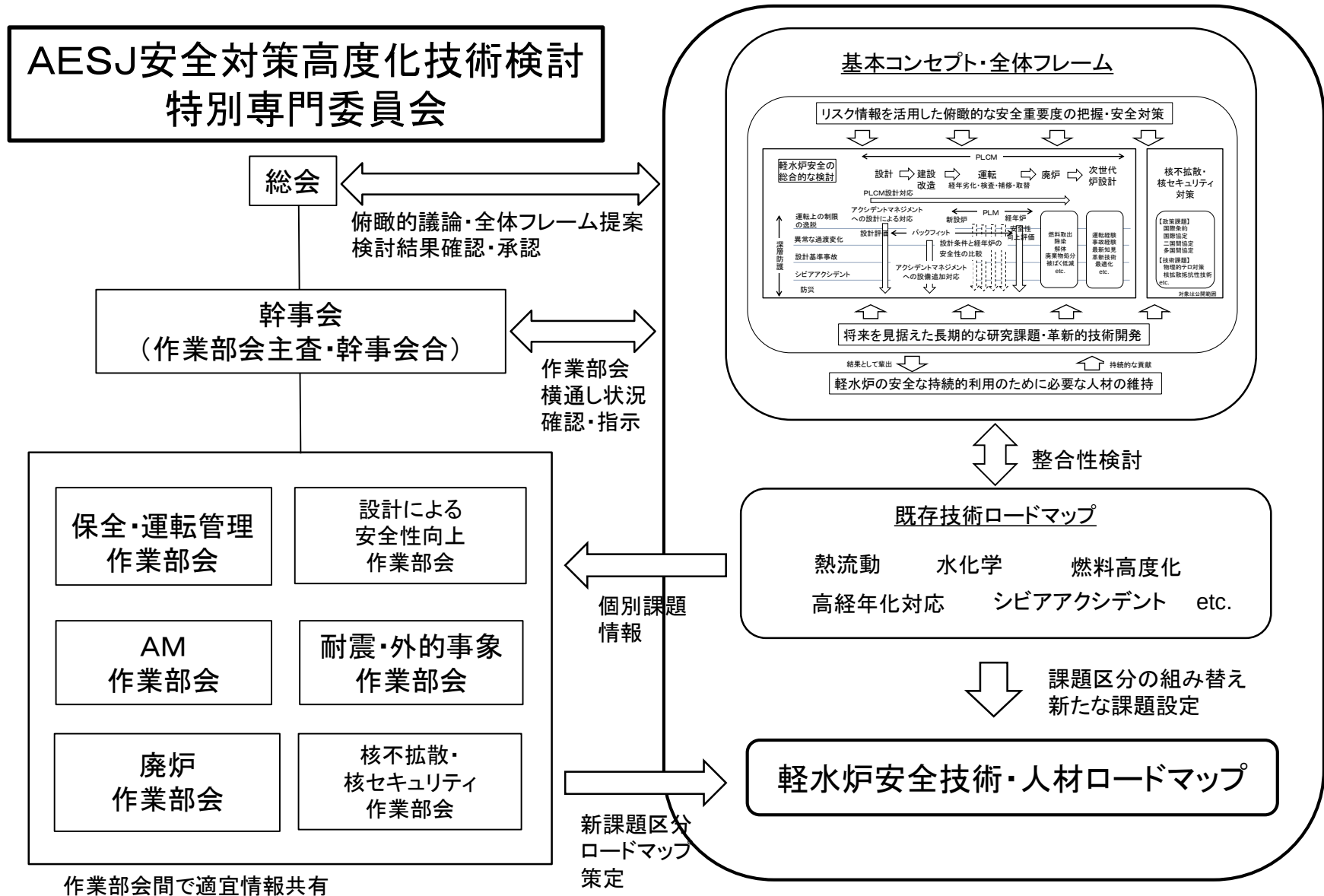
# 日本原子力学会設置 検討会議体

安全対策高度化技術検討特別専門委員会を検討の場とし、以下の会議体構成で活動

\* スライドP7, P15に記載

| 会議体  |              | 位置づけ                                         | WG提示課題<br>別区分対応* | 主査                          |
|------|--------------|----------------------------------------------|------------------|-----------------------------|
| 総会   |              | 産官学関係各所のメンバーが集う場における総括的議論、METI-WGへの提言        | ①⑦⑧              | 関村直人(東大)                    |
| 幹事会  |              | 策定する技術ロードマップの全体フレームの設計、作業部会間の検討結果の調整         | ①⑦⑧              |                             |
| 作業部会 | 保全・運転管理      | 運転経験やプラント保守による経年劣化対策や安定運転に係る課題の検討            | ②+<br>①⑦⑧        | 望月正人(阪大)                    |
|      | 設計による安全性向上   | 設計(燃料、材料、熱流動等)による安全性向上に係る課題の検討               | ②③+<br>①⑦⑧       | 阿部弘亨(東北大)                   |
|      | AM           | アクシデントマネジメントに係る課題の検討                         | ②③④+<br>①⑦⑧      | 山本章夫(名大)                    |
|      | 耐震・外的事象      | 地震や津波等の外的事象を考慮した建屋・構造物の長期耐久性等の課題の検討          | ②③④+<br>①⑦⑧      | 耐震: 楠浩一(東大)<br>外的: 糸井達哉(東大) |
|      | 廃炉           | 既設炉の廃炉を安全に実施する上でのプロセス上の課題、大型廃棄物の取扱い等に係る課題の検討 | ⑤+<br>①⑦⑧        | 井口哲夫(名大)                    |
|      | 核不拡散・核セキュリティ | 国際社会で原子力利用が進む中での核不拡散・核セキュリティに係る課題の検討         | ⑥+<br>①⑦⑧        | 出町和之(東大)                    |

# 日本原子力学会設置 各検討会議体における検討の流れ



---

### 3. 検討状況報告

---

- 軽水炉安全技術・人材ロードマップの策定に当たっての基本的考え方
- 検討に当たっての境界条件の提示依頼
- 軽水炉安全技術・人材ロードマップの背景、役割・目標
- 軽水炉安全技術・人材ロードマップにおける課題検討の柱
- 各マイルストーンでの目指す姿(学会案)
- 各マイルストーンでの目指す姿を満たすための要素の検討・共有
- 研究課題の着手時期や優先度の評価軸の考え方(学会案)
- まとめ

# 軽水炉安全技術・人材ロードマップの策定に当たっての基本的考え方

## ①前提条件

- 自主的安全性向上・技術・人材WGから提示を受けた基本的考え方に基づきロードマップを検討・策定する。
- 学会という様々な立場や専門性を有するメンバーが集う場の特性を生かし、多様な視点から検討を行う。
- ロードマップ策定の背景および役割や目標を共有した上で検討を行う。

## ②課題検討の柱の設定

- 社会的な要請やニーズを的確に捉え、原子力発電システムが複雑な社会システムの一部であることを認識した上で、解決すべき課題の検討を行う。
- 幅広い安全基盤に基づいて長期的展望に基づく目標に向かって広範な課題解決のための道のりを提示し、ロードマップ活用の有効性をわかりやすく表現するために、専門領域に基づいて設置した作業部会間で共有する解決すべき課題に対する検討の柱（以下、課題検討の柱）を提示する。
- そこでは、リスクコミュニケーションや社会学的視点を確実に検討の俎上に乗せるための整理として、WGから示された課題区部の8項目とは異なる5つの柱を別途設定する。
- 個々の課題のテーマは、設定した5つの課題検討の柱との対応を示した課題整理表として取りまとめる。
- WGが示した8項目との詳細な対応関係については、課題の全体像の整理後に改めて提示する。

## ③マイルストーンと目指す姿の提示(学会案)

- 長期的な展望を実現するために、段階を踏んで達成する要件を定めたマイルストーンを設定する。
- マイルストーンにおいてホールドポイントを設け、そこでの達成要件を満たすために必要な解決要素を明確化する。
- 策定するロードマップは、マイルストーンと整合性のとれたものとする。

## ④評価軸の提示(学会案)

- 課題に対する評価対象は、解決に向けての着手時期、優先度、プロセス、成果など様々ある。
- ここでは、課題解決に向けて着手する時期や優先度に対する評価軸として、以下の要素を有する評価軸を提示する。
  - 1) 安全性向上への実効性
  - 2) 長期的視点に立った基礎基盤の整備や人材育成の観点からの必要性

中間報告は以上の検討状況までとする。さらに検討を進め、最終報告ではWGから提示を受けた要望に基づきロードマップの策定結果を提示する。

# 検討に当たっての境界条件の提示依頼

政策的な側面から決定される事項については、学会では検討上の前提条件とした上で、議論を進めることが望ましい。また、他に検討の場が持たれている技術領域については、いずれの場で議論を行うのか、相互の情報交換のあり方など、適切に調整を行う必要がある。

そこで、それら該当事項を、検討範囲の境界条件としてWGにご提示頂くことをお願いしたい。

## ■ 対象とする軽水炉関連分野の周辺技術領域

### ■ 高速炉を含む次世代炉(第4世代炉以降)に係る技術開発領域の扱い

- 現行軽水炉の技術開発成果を高速炉を含む次世代炉(第4世代炉以降)へ反映するという観点からの技術開発課題を検討項目として含めるのか

### ■ 核燃料サイクル領域の扱い

- 軽水炉安全技術・人材ロードマップを検討する上で、核燃料サイクルを検討範囲へ含めるのか

### ■ 東京電力福島第一原子力発電所(1F)の廃炉との関連領域

- 1Fの廃炉への取り組みから得られる知見(事故要因)を既設軽水炉の安全対策に還元する視点からの境界はどの様に捉えるべきか

(1Fの廃炉に係る研究開発のロードマップは、燃料デブリの取出しや長期に亘る廃炉工程で考慮すべき課題が対象であり、既設軽水炉への適用の視点から重要度は考慮されていないという観点から)

## ■ 他の議論の場との関係

### ■ 放射性廃棄物WG、地層処分技術WGなど

- 上記核燃料サイクル領域との関係とも相まって、一部検討の対象となり得る放射性廃棄物関連課題について、放射性廃棄物WG等の別途設置会合との情報共有や連携のあり方について



# 軽水炉安全技術・人材ロードマップの背景、役割・目標

## 背景

- 東京電力株式会社福島第一原子力発電所(1F)事故からの教訓を踏まえて、わが国の原子力は、1Fでの廃炉・汚染水対策への不断の努力を継続することに加え、原子力利用技術・組織ガバナンスなど原子力全般にわたって失われた信頼の回復、国際社会に対する1F事故の経験や教訓・知見の発信など、様々な社会的要請・ニーズに対して応える責務を負っている。
- エネルギー基本計画(平成26年4月に閣議決定)のとおり、わが国は原子力をベースロード電源として位置付けているが、その大前提としての「安全性の確保」のために、その基盤となる技術・人材・組織・マネジメントの継続的な改善と発展が不可欠である。
- そのためには、原子力安全を取り巻く社会的要請・ニーズに応えるために、関係者全員でのビジョンの設定と共有、重畳を廃した俯瞰的な技術・人材等に関する課題整理に基づいて、継続的な課題解決の取り組み、適正な評価と改善を、開かれたコミュニケーションの下で行う必要があります、その必須のツールとして「ロードマップ」が位置づけられる。

## ロードマップの役割・目標

- このロードマップは、策定プロセスの透明性や公平性を確保することで、今後本ロードマップに沿って実施していくわが国の研究・技術開発の適切性を国民と共有するとともに関係者間での有効なコミュニケーションツールの役割を担う。
- また、実施される研究・技術開発の成果が、ロードマップに設定した成果目標を満たすレベルを満たすように効果的に活用されているかどうかの確認を行うなど、研究・技術開発プロセスの継続的な評価と改善のサイクルを推進するための重要な役割も担う。

# 社会的要請・ニーズの体系化

## ■ 各種社会調査等から得られている社会的要請・ニーズ等を体系化

| 社会的要請・ニーズ                                                                                                                                                                                                                                    | 体系分類                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>リスクの存在を前提とした誠実な対話・情報公開</li><li>事故発生リスクを可能な限り低減するため、物事の全体を捉え、多様な視点から議論を重ねて、想定外事項を無くしていく継続的な課題検討</li><li>最新知見を活用できる柔軟な制度・組織の維持と技術伝承</li></ul>                                                            | リスクマネジメント力の向上         |
| <ul style="list-style-type: none"><li>1F事故対応・廃炉から得られる経験・教訓の共有</li><li>豊富な運転経験に基づくベストプラクティスの共有・活用</li><li>継続的な基礎基盤研究や最先端研究による最新知見獲得の長期展望</li><li>革新的技術導入によりシビアアクシデント発生リスクを極小化した発電炉の実現</li></ul>                                               | 安全基盤の継続的強化            |
| <ul style="list-style-type: none"><li>1F事故対応の完遂と決して事故を再発させない原子力関係者の強い信念</li><li>信頼に耐え得る原子力関係者の真摯な姿勢・取り組み</li><li>リスクの存在を前提とした誠実な対話・情報公開</li><li>安全確保を大前提とした運転、ならびに原子力防災の確立と継続的な改善</li><li>エネルギーの安定的な供給への貢献</li><li>温室効果ガス排出量抑制への貢献</li></ul> | 社会からの信頼と共生            |
| <ul style="list-style-type: none"><li>1F事故を踏まえての国際標準・規格策定への経験・知見の提供や当該水準を満たした安全対策の国際的な普及への貢献</li><li>核不拡散・核セキュリティへの貢献</li><li>温室効果ガス排出量抑制への貢献</li></ul>                                                                                      | 国際協力・国際貢献の推進          |
| <ul style="list-style-type: none"><li>放射性廃棄物の減容化・有害度低減による将来世代のリスク低減</li></ul>                                                                                                                                                                | 放射性廃棄物処理処分への技術的・社会的取組 |

# 関係者から挙げられた課題意識の体系化

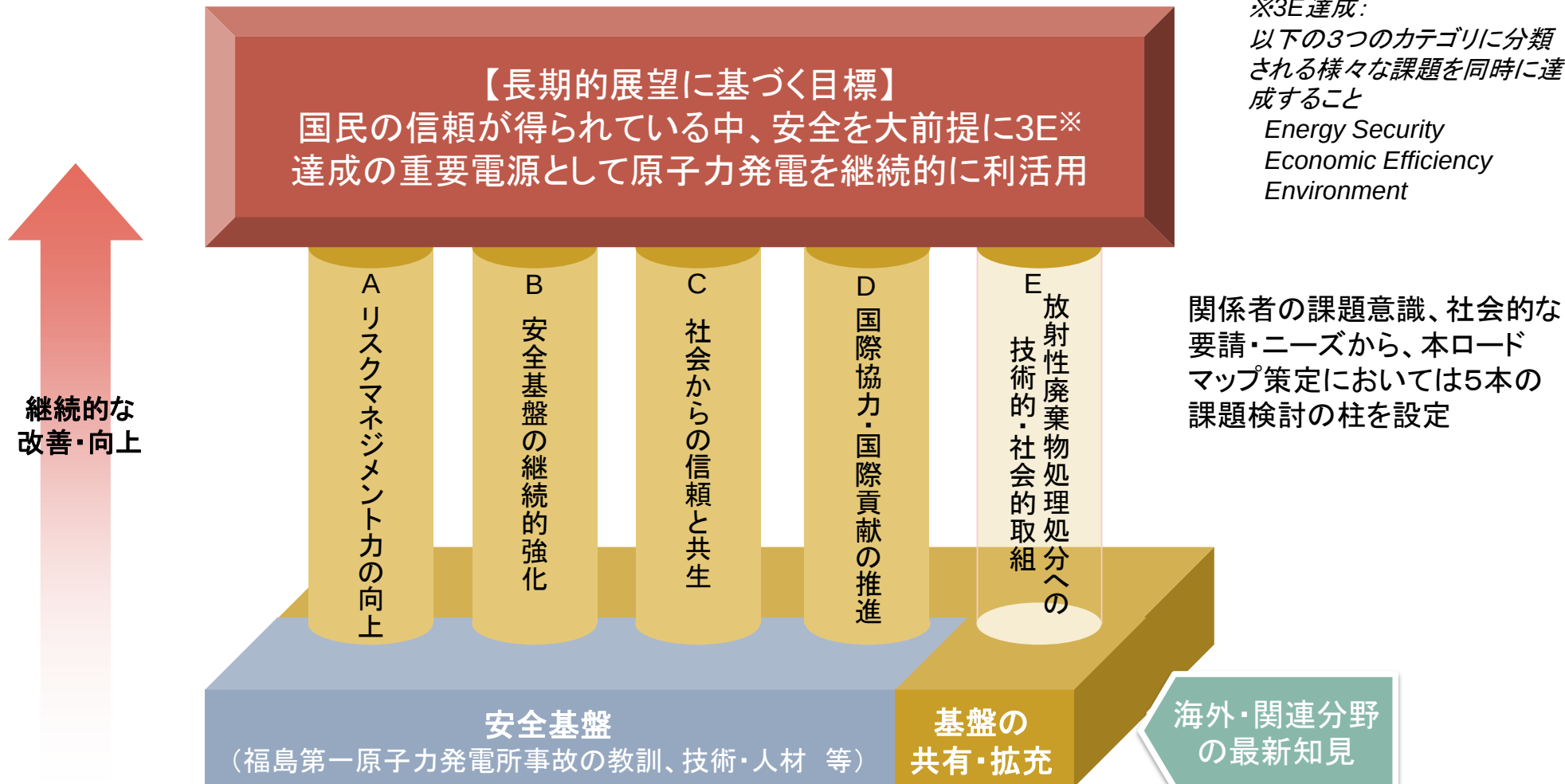
- ロードマップ策定に参加している関係者から挙げられた課題意識を体系化
- 検討過程の発言や課題検討プロセス資料の記載内容等に基づく整理(代表的キーワードを抜粋)

| 関係者から挙げられた課題意識                                                                                                            |                                                                                                                                   | 体系分類                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1F事故の教訓に基づく既設炉への知見反映</li> <li>組織力向上、組織編成・機能分担の最適化</li> <li>安全管理教育手法の高度化</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>保全・運転負荷の軽減(被ばく低減対応含)</li> <li>多様な場面でのコミュニケーション力の向上</li> <li>保全・運転・管理のための継続的人材育成</li> </ul> | リスクマネジメント力の向上         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>技術基盤の維持(基礎研究・実験施設等)</li> <li>運転経験に基づく知識データベース化と継続的な維持・利用の仕組みづくり</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>経年劣化評価手法・対策の高度化による設備信頼性の強化</li> <li>技術開発成果の規制指針・規格基準への反映</li> </ul>                        | 安全基盤の継続的強化            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1Fの廃炉の完遂</li> <li>地域防災への事業者の関わり・支援</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>高い稼働率の下での安全・安定運転による温室効果ガス排出低減への寄与</li> <li>周辺住民の実質避難が不要なプラントの実現</li> </ul>                 | 社会からの信頼と共生            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>新規導入国への技術・マネジメント支援</li> <li>海外ニーズとの共通性を有する課題設定(先端技術開発等)</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>国際的な技術基準の策定への貢献</li> <li>国際機関への資金拠出にとどまらない人材供給・活動による貢献</li> </ul>                          | 国際協力・国際貢献の推進          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>放射性廃棄物の発生量を抑制する革新的技術開発</li> <li>放射性廃棄物の核変換による短寿命化や削減技術の開発</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>最善な処分場選定プロセスの検討と社会的な意識共有・理解への取り組み</li> </ul>                                               | 放射性廃棄物処理処分への技術的・社会的取組 |

1F:福島第一原子力発電所

# 軽水炉安全技術・人材ロードマップにおける課題検討の柱

- 本ロードマップでは、幅広い安全基盤の下、長期的展望に基づく目標に向かって広範な課題解決のための道のりを提示する。ロードマップ活用の有効性をわかりやすく表現するためには、ロードマップにおける「課題検討の柱」を提示することが必要である。



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、ならびに本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

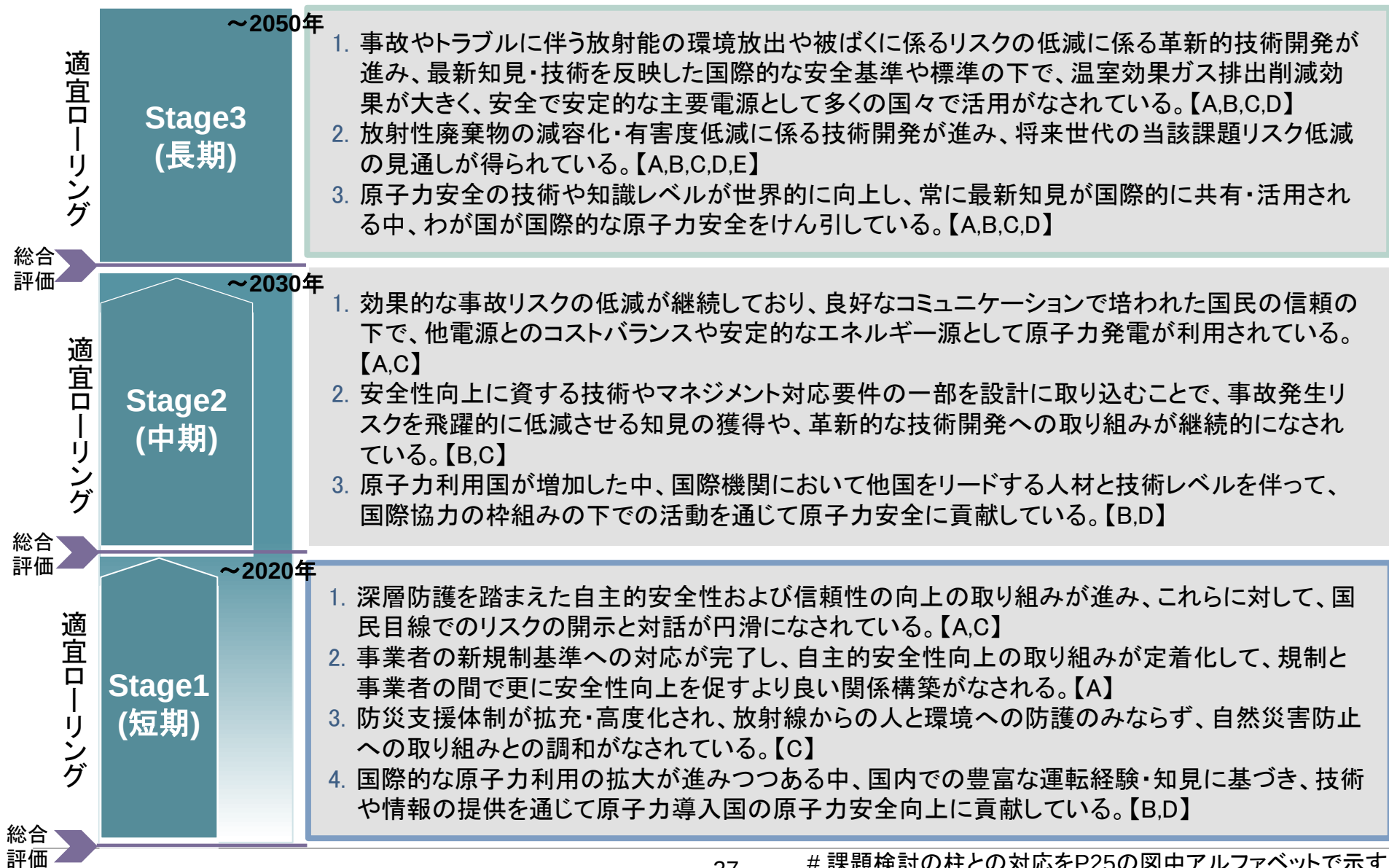
# 軽水炉安全技術・人材ロードマップにおける課題検討の柱

---

- WGから示された課題区分の8項目は、技術的な観点から、軽水炉の安全管理上の課題を網羅できるものである。しかし、学会内の検討においては、WGで重要性が謳われているにもかかわらず、既存のロードマップ策定の過程においては副次的に扱いがちであった、リスクコミュニケーションや社会学的視点を確実に検討の俎上に乗せるための整理として、あえて、それらを陽に示した5つの柱を設定した。
- ここでの安全基盤は、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、ならびに本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を意図する。
- 海外や原子力分野以外も含む関連分野の最新の知見を取り込み共有することで、カバーする課題設定の範囲を広げる。
- この柱により、検討された課題に基づく課題整理表を、WG提示の8項目の区分に基づき再構成を行う。

# 各マイルストーンでの目指す姿（学会案）

■ 長期的展望の目標を実現するために、段階を踏んで達成する要件を定めたマイルストーンを設定する





# 各マイルストーンでの目指す姿を満たすための要素の検討・共有 (作業イメージ)

- 各マイルストーンで描く姿を満たすために必要な要素について考え方を共有した上で課題整理に移る。
- 本検討内容については、抽出整理した課題とその詳細を記した個票の事例を、別紙資料に示す。

短期

1. 深層防護を踏まえた自主的安全性および信頼性の向上の取り組みが進み、これらに対して、国民目線でのリスクの開示と対話が円滑になされている。【A, C】
2. 事業者の新規制基準への対応が完了し、自主的安全性向上の取り組みが定着化して、規制と事業者の間で更に安全性向上を促すより良い関係構築がなされる。【A】
3. 防災支援体制が拡充・高度化され、放射能からの人と環境への防護のみならず、自然災害防止への取り組みとの調和がなされている。【C】
4. 国際的な原子力利用の拡大が進みつつある中、国内での豊富な運転経験・知見に基づき、技術や情報の提供を通じて原子力導入国の原子力安全向上に貢献している。【C, D】

# 課題検討の柱との対応をP25の図中アルファベットで示す

## I. 事故発生リスク低減・更なる安全性向上の実施

達成要件

- ⇒リスク情報に基づいた事故発生リスク低減策を効果的に実施する必要がある。
- ⇒深層防護概念を踏まえ、規制の枠を超えた自主的安全性向上を効果的・継続的に実施する必要がある。
- ⇒効果的・継続的なリスク低減活動・自主的安全性向上活動を進めるため、国際協力の枠組みの構築や規制の高度化を促す必要がある。

考え方

実現のために



# 課題の着手時期や優先度の評価軸の考え方(学会案)

- ・立場や専門性の異なるメンバーによる多様な視点からの議論を通じて、検討範囲の境界における抜け落ちのない技術課題
- ・領域間の専門家連携や異なる立場からの参画等で効果的に解決が可能となる新たな課題の確認

## 解決すべき課題の抽出・整理と技術マップの策定

様々な状態を仮定した軽水炉に対して  
(深層防護に基づいた)安全性向上の実効性が高い

- ① 安全性検証や安全性向上への寄与が高いか(課題を解決した場合にリスク低減効果が相対的に大きい)
- ② リスク評価の信頼性向上への寄与が高いか(未説明・未認識の現象の解明や予測・評価レベルの向上が大きい)
- ③ 効果的な代替策の選択肢が少ない解決策に関する課題か(当該成果によって、安全対策や評価の選択肢が拡大する課題か)
- ④ 早期に適用が可能か(高い技術成熟度に立脚した解決策か、既設プラントに改造を要せずに導入可能か、等)

実効性のある成果が見通せる課題への  
優先的着手の評価

軽水炉の安全性向上に寄与する技術や人材(情報、  
制度等も含む)の維持・発展の観点からの重要度が高い

- ① 原子力安全分野の中での適用範囲・貢献範囲が広い
- ② 実用化した場合に安全性向上・安全性検証への寄与が大きい
- ③ 事故の経験を踏まえた国際的貢献の寄与が大きい
- ④ 原子力安全課題解決のブレークスルーに繋がるか

中長期的な観点から安全基盤の維持や将来世代の  
ニーズに資する課題に対する着手時期や優先度の評価

## まとめ

---

- 日本原子力学会に設置した「安全対策高度化技術検討特別専門委員会」を検討の場として、軽水炉安全技術・人材ロードマップの策定検討を進めている。
- できるだけ効果的かつ実効性のある検討が実施できる様、役割やカバーする専門領域に応じて作業部会等を設け、階層構造を持たせた構成としている。
- 学会という特性を生かし、規制側も含む多様な分野や立場のメンバーが集う場で議論を進めている。
- 社会的要請・ニーズの分析、解決すべき課題の抽出、課題検討の柱の設定と、マイルストーンの設定と各マイルストーンで目指す姿(達成要件)の明確化と領域間での共有、ならびに評価軸の考え方を検討した。
- 今後は、抽出した課題を構造的に示した技術マップ、マイルストーンとの対応・整合を図り、評価軸に基づいたロードマップを策定して、最終報告を行う。
- ロードマップは、今後とも成果とその評価に基づいて継続的に改善を行う。また、このための組織的・有機的な取組みと、コミュニケーションを進める。

別紙資料 1 目指す姿の達成要件

| マイルストーン | 目指す姿                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 達成要件・達成要件設定の理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 短期      | <div>1. 深層防護を踏まえた自主的安全性および信頼性の向上の取り組みが進み、これらに対して、国民目線でのリスクの開示と対話が円滑になされている。【A,C<sup>1</sup>】</div> <div>2. 事業者の新規制基準への対応が完了し、自主的安全性向上の取り組みが定着化して、規制と事業者の間で更に安全性向上を促すより良い関係構築がなされる。【A】</div> <div>3. 防災支援体制が拡充・高度化され、放射線からの人と環境への防護のみならず、自然災害防止への取り組みとの調和がなされている。【C】</div> <div>4. 国際的な原子力利用の拡大が進みつつある中、国内での豊富な運転経験・知見に基づき、技術や情報の提供を通じて原子力導入国の原子力安全向上に貢献している。【B,D】</div> | <div>I. 事故発生リスク低減・更なる安全性向上の実施</div> <div>⇒リスク情報に基づいた事故発生リスク低減策が効果的に実施される必要がある。</div> <div>⇒深層防護概念を踏まえ、規制の枠を超えた自主的安全性向上が効果的・継続的に実施される必要がある。</div> <div>⇒効果的・継続的なリスク低減活動・自主的安全性向上活動の推進にあたって、国際協力の枠組みの構築や規制の高度化が促される必要がある。</div> <div>✓ 最終ヒートシンクの多様化と高機能化【B】</div> <div>✓ 外部事象への裕度向上（発生予測技術、津波(漂流物含む)評価手法の高度化）及び事象進展抑制機能強化【A,B】</div> <div>✓ 外部事象を考慮した運用管理（発生予測技術、影響評価技術等）【A,B】</div> <div>✓ SA計装、SA設備の多様化と高度化及び設備の設計技術【A,B】</div> <div>✓ SA対策機器の運用管理の最適化・高度化【A,B】</div> <div>✓ 安全解析（Non-LOCA/LOCA）解析コードの高度化【B】</div> <div>✓ 世界の安全基準に適合できる軽水炉設計の構築【B】</div> <div>✓ 福島第一事故の教訓、最新知見、国際的な安全基準、運転経験の反映、潜在事象の予見【A,B】</div> <div>✓ 円滑な審査に向けた制度構築（トピカルレポート制度等）【A,B】</div> <div>✓ 安全研究の推進【B】</div> <div>✓ 高経年化評価手法・対策の高度化による設備信頼性の強化【A,B】</div> <div>✓ 組織マネジメントの高度化【A】</div> <div>✓ 地震、津波以外の外的事象が及ぼすリスクを早期の把握（第一近似）と継続検討項目の抽出【A】</div> <div>II. 信頼性のある組織・体制の構築・維持（防災支援体制含む）</div> <div>⇒効果的・継続的なリスク低減活動・自主的安全性向上活動が進められるためには、信頼性のある組織・体制が構築・維持される必要がある。</div> <div>⇒事故発生リスクの低減のみならず、リスクが顕在化した際のリスク拡大防止のための組織マネジメント力（人材基盤の強化含む）の向上がなされる必要がある。</div> <div>✓ 事故時手順書の高度化や対応要員の教育訓練(事故時対応力強化等)の高度化【A】</div> <div>✓ 緊急時対応における情報共有や意思決定判断技術の高度化（環境影響評価／事象進展予測技術の高度化）及び意思決定の教育訓練【A,B】</div> <div>✓ 継続的なプラント安全性向上を図るための人材確保【A】</div> <div>✓ リスク情報に基づく意思決定の仕組み定着、リスク活動のマネジメント力の向上【A】</div> <div>✓ リスク文化の定着【A】</div> <div>✓ 設計・保全・運転に関する確実な技術伝承および資格制度の整備（協力会社等含む）【A,B】</div> <div>✓ 組織編制・機能分担の最適化【A】</div> <div>✓ 外部支援組織との連携強化、地域防災への事業者の関わり・支援【A,C】</div> <div>✓ オンサイトSA対策とオフサイト防災の円滑な連携への取組【A,C】</div> <div>✓ 安全文化の醸成【A】</div> <div>III. リスク情報に基づく対話力の向上</div> <div>⇒リスク情報に基づき、リスク低減への取組み等について、国民目線での丁寧な対話が行なわれる必要がある。</div> <div>⇒安全性向上を共通目的として規制機関と産業界との緊張感のある協調関係が確立される必要がある。</div> <div>⇒防災体制の拡充・高度化がなされる必要がある。</div> <div>✓ リスク情報を活用した自立的な安全性向上への取組み【A】</div> <div>✓ リスク評価手法の改良とSA対策への適用【A】</div> <div>✓ 地域と一体となった自然災害を考慮した原子力防災計画の整備【A,C】</div> <div>✓ 外的事象（自然現象など）に関する新知見の継続的取り組みの枠組み実現【A】</div> <div>IV. 信頼性向上へ向けたプラント技術・運用管理の高度化</div> <div>⇒事故リスク低減のため、通常運転、異常事象収束の信頼性向上に係る活動の活性化がなされる必要がある。</div> <div>⇒福島第一事故を踏まえ設置導入したSA設備等の保全・運用管理が最適化される必要がある。</div> <div>⇒60年運転に向け、高経年化対策が高度化され設備信頼性の向上が行われる必要がある。</div> <div>⇒規制の高度化を促す環境が醸成されるために必要である。</div> <div>✓ 炉心・熱水力設計評価技術の高度化【B】</div> <div>✓ 燃料の信頼性向上と高度化【B】</div> <div>✓ 炉心設計、運用管理技術の高度化【B】</div> <div>✓ 安全設備・機器の信頼性向上と高度化【B】</div> <div>✓ 高経年化評価手法・対策技術の高度化【B】</div> <div>✓ 安全評価手法の高度化【B】</div> <div>✓ 構造材料の高信頼化【B】</div> <div>✓ SA機器対応設備の保安全管理の確立【B】</div> <div>✓ リスク評価手法の改良と保全への適用【A,B】</div> <div>V. 保全・運転の負荷軽減・品質向上</div> <div>⇒効果的・継続的な自主的安全性向上が図られるため、保全・運転管理の高度化が図られる必要がある。</div> <div>⇒我が国の原子力発電所従事者の被ばく量は世界的にみても高く、安全性向上を図りながら、被ばく低減への取組が行われる必要がある。</div> <div>⇒保全・運転における負荷軽減により作業品質を向上させ、ヒューマンエラー防止等へ繋げる取組みの継続がなされる必要がある。</div> <div>✓ 状態監視・モニタリング技術（予兆監視・診断、遠隔監視・診断等）の高度化【B】</div> <div>✓ （通常時）被ばく低減技術の高度化（水質管理技術、遠隔操作・ロボット技術、放射線防護技術）【B】</div> <div>✓ 事故時被ばくリスクの低減（放射線防護技術、遠隔操作・ロボット技術等）【B】</div> |

<sup>1</sup>課題検討の柱（A リスクマネジメント力の向上、B 安全基盤の継続的強化、C 社会からの信頼と共生、D 国際協力・国際貢献の推進、E 放射性廃棄物の処理処分への技術的・社会的取組）と目指す姿および達成要件に至るための各課題の対応を記載。

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <div>✓ 廃棄物の発生量低減技術や処理・減容技術の高度化（クリアランスレベル検認の合理化）【B,C】</div> <div>✓ 作業環境改善を通じた環境負荷低減【B】</div> <div>✓ 検査・補修技術（遠隔操作・ロボット技術等）の高度化【B】</div> <div>VI.国際貢献</div> <div>⇒福島第一事故を踏まえた安全性向上について、国内技術・人材基盤が整い、国際的貢献の責務が果される必要がある。</div> <div>⇒福島第一事故の情報・教訓等が適切に維持・管理され、正確に発信される必要がある。</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 中期 | <div>1. 効果的な事故リスクの低減が継続しており、良好なコミュニケーションで培われた国民の信頼の下で、他電源とのコストバランスや安定的なエネルギー源として原子力発電が利用されている。【A,C】</div> <div>2. 安全性向上に資する技術やマネジメント対応要件の一部を設計に取り込むことで、事故発生リスクを飛躍的に低減させる知見の獲得や、革新的な技術開発への取り組みが継続的になされている。【B,C】</div> <div>3. 原子力利用国が増加した中、国際機関において他国をリードする人材と技術レベルを伴って、国際協力の枠組みの下での活動を通じて原子力安全に貢献している。【B,D】</div>       | <div>I. 包括的リスク情報活用の向上</div> <div>⇒原子力に係るリスクを効果的・継続的に低減するとともに、リスク情報に基づく意思決定サイクルの考え方が定着・改善されている必要がある。</div> <div>✓ マルチユニット、レベル3 PRA を活用したプラント全体のリスク評価とリスク低減のためのマネジメント力向上【A】</div> <div>✓ 安全目標の設定の考え方（誰がどのように決めるのかは別課題）とリスク評価およびリスク低減策の高度化【A】</div> <div>（例 リスク評価：評価手法の精緻化、脆弱リティ評価<br/>リスク低減策：耐震他評価(免震など)）</div> <div>✓ 地域防災を意識した原子力防災への備え(オンサイト・オフサイト連携推進)【A,C】</div> <div>✓ 耐震性能評価精度向上をはじめとする低頻度外的事象に関する不確定性低減への継続的寄与【A】</div> <div>✓ 低頻度巨大災害対応の概念再構築【A】</div> <div>II. 既設プラントの高稼働運転と長期安定運転の実現</div> <div>⇒安定かつコストバランスに優れたエネルギー源としての利用に向け、高稼働運転や適切な高経年化対策を前提とした長期間運転が必要となる。</div> <div>✓ 炉心運用の高度化（長サイクル運転、出力向上、高燃焼度化 等）【B】</div> <div>✓ 炉心運用高度化に対応した、燃料・設備の高度化及び評価技術（燃料設計評価、炉心・熱水力設計評価技術 等）の高度化【B】</div> <div>✓ 運転性能の高度化（事象進展抑制、停止機能、L/F 等）【B】</div> <div>✓ 経年劣化対策技術の高度化(劣化環境への耐性に優れた材料開発)【B】</div> <div>✓ SFP 評価技術の高度化【B】</div> <div>✓ 廃棄物長期保管に向けた健全性評価技術、管理技術の高度化【B】</div> <div>✓ 高度化技術を開発・適用し、安全・安定運転を継続するための人材維持【B】</div> <div>✓ プラント運用技術の高度化（出力向上、長サイクル運転等）【B】</div> <div>✓ 劣化に関する長期予測手法の高度化【B】</div> <div>✓ 廃炉等を考慮したプラント長期停止時の管理技術の高度化【B】</div> <div>✓ 耐震安全性の評価と結び付けた維持管理【B】</div> <div>✓ 構造物・機器単体ではなく、敷地・周辺地域を含めた安全性評価【B】</div> <div>III. 事故発生リスクを飛躍的に低減する技術の整備</div> <div>⇒原子力をベースロード電源として活用されるため、事故発生リスクを飛躍的に低減する技術開発および設計技術への反映がなされる必要がある。</div> <div>✓ 福島第一事故の教訓及び、研究・開発成果の設計・評価技術又は保全・運転管理技術への反映【A,B】</div> <div>✓ 事故時耐性燃料・制御棒の開発【B】</div> <div>✓ 炉心設計、運用管理技術の高度化【B】</div> <div>✓ 外部事象への裕度向上【B】</div> <div>✓ SA 対策技術の高度化【B】</div> <div>✓ 建屋構造・材料の高度化【B】</div> <div>✓ 計測技術・解析技術の高度化【B】</div> <div>✓ 保守・運転管理の合理化・省力化による保守・運転員負荷低減【B】</div> <div>✓ AM 対応設備の高度化・簡素化によるリスクの低減【B】</div> <div>✓ ハード対策を中心とした AM 対策からの脱皮【B】</div> <div>✓ 設計時からの AM 対策の取り入れによる事故制御性の抜本的向上（AM by design）【B】</div> <div>✓ 安全性の向上に応じた深層防護の新たな概念の確立【A】</div> <div>✓ 規制の枠組みへの反映【A】</div> <div>✓ 耐震新技術（免震、制震等）の適用【B】</div> <div>IV. リスク情報共有による対話力・マネジメント力の向上</div> <div>⇒良好なコミュニケーションに培われた国民との信頼関係が構築されるために必要。</div> <div>⇒リスク情報の開示から共有に至るよう対話力・マネジメント力の継続的向上が必要となる。</div> <div>✓ 安全目標と残余のリスク【A】</div> <div>✓ 継続的・科学的合理的な安全性向上への取り組みによる十分にリスクの低減された合理的なプラント像【A】</div> <div>✓ 自然現象の特徴を考慮した安全目標の設定【A】</div> <div>✓ 地域防災を意識した原子力防災への備え（オンサイト・オフサイト連携推進）【A,C】</div> <div>V. 国際貢献</div> <div>⇒国内技術・人材基盤に基づき、原子力導入国への最新知見が反映された技術が展開され、世界の原子力安全への貢献がなされる必要がある。</div> |
| 長期 | <div>1. 事故やトラブルに伴う放射能の環境放出や被ばくに係るリスクの低減に係る革新的技術開発が進み、最新知見・技術を反映した国際的な安全基準や標準の下で、温室効果ガス排出削減効果が大きく、安全で安定的な主要電源として多くの国々で活用がなされている。【A,B,C,D】</div> <div>2. 放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る技術開発が進み、将来世代の当該課題リスク低減の見通しが得られている。【A,B,C,D,E】</div> <div>3. 原子力安全の技術や知識レベルが世界的に向上し、常に最新知見が国際的に共有・活用される中、わが国が国際的な原子力安全をけん引している。【A,B,C,D】</div> | <div>I. プラント全体のリスク極小化</div> <div>⇒事故低減に係る革新的技術がなされるために必要</div> <div>⇒ゼロエミッション電源として高い稼働率で安全・安定運転の継続が可能となるよう、設計・保守・運転等の各断面でリスク極小化を目指す取り組みがなされる必要がある。</div> <div>✓ 設計のレジリエンス強化・応用力強化等を中心とした影響極小化【B,C】</div> <div>✓ 革新的技術を開発・活用し、安全・安定運転を継続するための人材維持【A,B】</div> <div>✓ 保守・運転の負荷を極小化する革新的技術（保守・運転の自動化等）の適用【B】</div> <div>✓ 被ばくリスクを極小化する革新的技術（遠隔操作・ロボット技術）の適用【B】</div> <div>✓ プラント全体のリスクを極小化する緊急時対応組織のレジリエンス強化（外部支援の強化等）、応用力強化等を中心とした影響極小化【A,C】</div> <div>✓ 周辺住民の実質避難が不要なプラントの実現【B,C】</div> <div>✓ 低頻度外的事象に関する不確定性低減研究継続【A】</div> <div>✓ 低頻度巨大災害対応の概念再構築【A】</div> <div>✓ 外的事象によるプラント全体リスクを極小化する設計技術・維持管理法開発【B】</div> <div>II. 革新的技術開発等による原子力のメリット最大化・デメリット極小化</div> <div>⇒革新的技術開発により、原子力プラントの安全・安定運転を目指す取り組みが必要がある。</div> <div>⇒放射性廃棄物の減容化・有害度低減に係る革新的技術開発により、環境負荷低減を目指す取り組みがなされる必要がある。</div> <div>✓ 超長寿命プラント運転(60 年超運転)に向けた革新的技術の開発（材料開発等）【B】</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | <div>✓ 廃棄物低減、TRU 低減を実現する将来型軽水炉システムの構築【B】</div> <div>✓ 固体廃棄物(制御棒等)及び液体廃棄物(ホウ酸水)の低減・減容に向けた革新的技術開発【B】</div> <div>✓ 超高燃焼度燃料の適用に向けた革新的技術開発（材料開発等）と濃縮度 5%超対応【B】</div> <div>✓ 負荷追従性の高度化【B】</div> <div>III. リスク情報を共有した対話力・マネジメント力の維持・発展</div> <div>⇒全てのステークホルダー間でリスク情報が共有され、継続的安全性向上が図られている等の対話ができるよう対話力やマネジメント力の発展を目指す取り組み必要がある。</div> <div>✓ 安全目標と残余のリスク【A】</div> <div>✓ シビアアクシデントのリスク極小化への取り組み【A】</div> <div>✓ 地域防災の牽引役としての原子力防災の実現と定着【A,C】</div> <div>IV. 国際貢献</div> <div>⇒世界の中で原子力安全・利用を主導できることを目指す取り組みが必要である。</div> |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 課題名（レ点項目レベル）           | 原子力プラントを対象とした津波に対する安全性確保・評価技術の構築（耐津波工学の体系化）                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| マイルストーンおよび<br>目指す姿との関連 | <p>I. 事故発生リスク低減・更なる安全性向上の実施</p> <p>⇒リスク情報に基づいた事故発生リスク低減策を効果的に実施する必要がある。</p> <p>⇒深層防護概念を踏まえ、規制の枠を超えた自主的安全性向上を効果的・継続的に実施する必要がある。</p>                                                                                                                                                                                                              |
| 概要（内容）                 | 津波規模の評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 課題とする根拠<br>（問題点の所在）    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力施設に影響を与える津波の存在と規模を適切に評価する手法。原子力施設の継続的な安全性向上のために、観測された津波、歴史記録のある津波に加え、歴史時代以前の津波規模を、津波堆積物から高精度に評価することが必要となる。</li> <li>・ このため、津波堆積物の認定手法の適正化と、それによる津波の高さ・遡上範囲などの古津波の復元精度を高める必要がある。</li> </ul>                                                                                                          |
| 現状分析                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 堆積物に基づく津波規模評価の課題は、(1) 粒度・微化石等の各種項目を分析し、通常の堆積物には存在しない、津波の特徴を検出することによる津波堆積物の認定とその残存条件の推定手法の開発、(2) 津波堆積物の特徴から堆積様式を解明し、堆積様式の累重から津波襲来パターンの識別や津波の高さの推定、及び、これらの調査及び分析手法の高精度化・体系化、等が想定される。</li> <li>・ 特に、(1)には津波堆積物の基礎データ蓄積が重要であり、2011 年東北地方太平洋沖地震による大津波のように津波の到達範囲が明確なケースで堆積物の残存状況を精査しておくことが肝要である。</li> </ul> |
| 期待される効果<br>（成果の反映先）    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 津波堆積物の認定手法の一般化、および津波堆積物の残存条件の明確化により、原子力施設に影響を与える津波の存在と規模を適切に評価する手法を開発し、公知化・安全基準化することで、原子力施設における津波規模評価の円滑な実施と継続的な安全性向上に資する。</li> </ul>                                                                                                                                                                  |
| 実施にあたっての課題             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 津波堆積物の認定手法・堆積物の残存条件に関する研究は、数年程度で基礎的評価が可能だが、それを公知化・安全基準化するためには、個々の分析手法の精度向上を継続的に進める必要があり、津波堆積物の細かな特徴を識別するための体系的調査手法を整備するには、10 年程度の期間を要する。</li> </ul>                                                                                                                                                    |
| 必要な人材基盤                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 津波堆積物の分析、津波堆積物の形成過程の特性分析（水理模型実験）、現地調査（残存津波堆積物調査、ボーリング調査）等を実施可能な人材。</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                          |
| 他課題との相関                | 竜巻のリスク評価・・・・・・・・                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                    |              |                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 実施時期・期間            |              | <div>短期（～2020 年）</div> <div><div>津波評価手法の確立</div><div><div>実験による津波堆積物の形成過程の特性分析</div><div>津波堆積物調査手法の体系化</div></div><div>津波堆積物の残存状況の調査・分析</div><div>津波堆積物の指標の検討・検証</div></div>                                            |
| 実施機関／資金担当<br>＜考え方＞ |              | <div>電気事業者・学協会／電気事業者・国</div> <div>＜考え方＞</div> <div><div>・電気事業者は、事業主体として安全性の適正評価・向上に努める。</div><div>・学協会は、津波評価手法の規格基準化を行う。</div><div>・実施主体が資金担当となることが適当。</div><div>・本評価手法は、原子力事業のみならず展開できることから国も資金担当となることが適当。</div></div> |
| その他                |              |                                                                                                                                                                                                                         |
| 自己評価               | 短期（2020 年度末） |                                                                                                                                                                                                                         |
|                    | 中期（2030 年度末） |                                                                                                                                                                                                                         |
|                    | 長期（2050 年度末） |                                                                                                                                                                                                                         |

【改訂履歴】

| 改訂番号 | 制定・改訂 年月日        | 主な改訂内容 |
|------|------------------|--------|
| 一    | 2014 年 12 月 22 日 | 案作成    |
|      |                  |        |
|      |                  |        |
|      |                  |        |
|      |                  |        |



|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 課題名（レ点項目レベル）           | 地震、津波以外の外的事象が及ぼすリスク早期把握（第一次近似）と継続検討項目の抽出                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| マイルストーンおよび<br>目指す姿との関連 | <p>I. 事故発生リスク低減・更なる安全性向上の実施</p> <p>⇒リスク情報に基づいた事故発生リスク低減策を効果的に実施する必要がある。</p> <p>⇒深層防護概念を踏まえ、規制の枠を超えた自主的安全性向上を効果的・継続的に実施する必要がある。</p>                                                                                                                                                                                                                                   |
| 概要（内容）                 | 竜巻ハザード・リスク評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 課題とする根拠<br>（問題点の所在）    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 5年毎に実施する安全性向上評価書（仮）の作成には、最新の知見を踏まえた発電所の安全性評価を実施しなければならない。</li> <li>・ また、現行の竜巻影響評価のガイドラインでは、知見が不足しているという理由で保守的な扱いがなされている、あるいは技術的に困難な内容が定められている箇所があり、これらに対する研究開発も求められている。</li> <li>・ 並行して、学協会規格等の規格・基準の策定により、学術的に根拠をもった評価技術の統一化を図る必要がある。</li> </ul>                                                                           |
| 現状分析                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力規制委員会から竜巻影響評価のガイドラインやその解説が公開されているが、設計風速を評価する考え方等が曖昧であったり、実用性の乏しい数値計算による評価が求められたりしている。また、設計荷重を踏まえた構造信頼性評価や防護対策について詳細な記述がなされておらず、今後改訂されるべきである。</li> <li>・ 最近、学術的に根拠のある規格を策定するために機械学会、原子力学会、および保全学会等が検討を進めており、学協会規格を踏まえて国のガイドラインが改訂されるものと予想される。そのため、現状の知見・技術および将来課題を取り纏め、得られた技術・各種データについては信頼性が高いことを明確にしなければならない。</li> </ul> |
| 期待される効果<br>（成果の反映先）    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 竜巻発生 の地域性およびハザード風速の評価にはじまり、地形による増幅影響評価、飛来物速度の評価、飛来物衝撃の影響評価、構造信頼性評価、および防護対策の耐衝撃性能の評価まで、影響評価に必要な各評価項目が最先端の手法により評価できるようになり、短期的には適合性審査、中長期的には安全性向上評価（仮）に活用されるとともに、学協会規格に成果が反映され、国のガイドラインの改訂につながる事が期待される。</li> </ul>                                                                                                             |
| 実施にあたっての課題             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 学協会規格の整備は 2016・17 年度まで要すると考えられ、それまでに基本ツール・バックデータを整備することになる。しかし、合理的な設計荷重の評価方法を確立するためには、地形影響をはじめとしたメカニズム解明・数値モデル化が必須であり、相応の期間を要する。</li> </ul>                                                                                                                                                                                 |

|                    |              |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 必要な人材基盤            |              | ・ 竜巻発生地域性の評価、ハザード風速の評価、地形による増幅影響評価、飛来物速度の評価、飛来物衝撃の影響評価、構造信頼性評価、防護対策の耐衝撃性能の評価、等を実施可能な人材                                                                                                                                                            |
| 他課題との相関            |              | 津波規模の評価、・・・・・・・・                                                                                                                                                                                                                                  |
| 実施時期・期間            |              | <p>短期（～2020 年）</p>                                                                                                                                                                                                                                |
| 実施機関／資金担当<br>＜考え方＞ |              | <p>電気事業者・学協会／電気事業者・国</p> <p>＜考え方＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 電気事業者は、事業主体として安全性の適正評価・向上に努める。</li> <li>・ 学協会は、竜巻影響評価手法の規格基準化を行う。</li> <li>・ 実施主体が資金担当となることが適当。</li> <li>・ 本評価手法は、原子力事業のみならず幅広く展開できることから国も資金担当となることが適当。</li> </ul> |
| その他                |              |                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 自己評価               | 短期（2020 年度末） |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                    | 中期（2030 年度末） |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                    | 長期（2050 年度末） |                                                                                                                                                                                                                                                   |

【改訂履歴】

| 改訂番号 | 制定・改訂 年月日        | 主な改訂内容 |
|------|------------------|--------|
| 一    | 2014 年 12 月 22 日 | 案作成    |
|      |                  |        |
|      |                  |        |
|      |                  |        |
|      |                  |        |