

2014.11.29

安全部会フォローアップセミナー

# 原子力システムの安全に関する 技術戦略マップ・ロードマップの 考え方

日本原子力学会原子力安全部会 部会長

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 委員長

東京大学大学院工学系研究科

関村 直人

# 今後の安全研究について

日本原子力学会原子力安全部会福島第一事故セミナー報告書(2013.3発行)

- 研究を実施する者は自らが得意とする分野を深めようとするものである。一方、安全は多くの分野・領域の隙間から破綻する。
- 安全研究には、俯瞰的な視点を維持して研究計画を立案し、その成果を活用することが重要。
  - 原子力安全の目標を達成するためには、あるべき姿を議論し、現在の技術を直視することによって、取り組むべき俯瞰的な技術課題のマップを準備する。これらの課題解決のために短期的視点のみならず中長期的なロードマップを提示してゆく。
  - 国内外の運転経験を分析し、国際的な研究成果を取り込んで、ロードマップを継続的に改訂し、改善を進めるための基盤とする。
  - 異分野の研究者間、産業界と規制当局間、研究者と実務者間、さらに国民との間で様々なコミュニケーションが必要である。

# 安全研究に関する 技術マップ、ロードマップ構築の意義

原子力学会2014年秋の大会(京都)企画セッションにて

---

- 原子力安全研究を効果的に計画、実行し、成果を活用するためには、安全研究の目標、目的、ステップなどを共有化して、技術マップ、ロードマップを策定することが有効である。
- 研究ニーズの提示、研究の実施、成果の実現等において、効果的な役割分担と責務を俯瞰的に検討すべきである。
  - 安全規制のための安全研究と産業界の自主的安全性向上のための安全研究は、独立に検討されるべきではない。
- 安全研究計画の立案と着実な実行、評価と継続的改善等を含むローリングのプロセスを透明性を持って進めることが必要である。
- 以上の具体化検討のために、多くのステークホルダが集まる学会が果たすべき役割は大きい。

# 総合化の科学技術としての 安全研究に関する技術マップ、ロードマップ

---

- 巨大複雑システムである原子力の安全を扱うには、  
個々が有する技術や知見の総合化が必要
  - リスクの全体像を把握するために何が欠けているかを把握することが可能か
  - リスクの評価結果をどう安全確保・安全規制に反映できるのか
- 個別の役割分担だけに留まらないIntegrationの場  
が、主体的に進めるべき課題がロードマップ構築
  - ステークホルダの間にある視点のギャップが、リスクの全体像把握の欠点にならないか
  - 知見・データ・研究成果の共有化と活用ができるか
  - 国際的なプロジェクト成果の活用ができるか

# 原子力学会における技術マップ・ロードマップ策定

---

## 策定分野例 (2004-2013)

- ✓ 燃料高度化
- ✓ 高経年化対応
- ✓ 熱流動
- ✓ 水化学
- ✓ 地震安全
- ✓ シビアアクシデント
- ✓ ...

---

## 策定時の課題

- 課題の俯瞰的整理学、他分野の境界条件の明確化
- 短期的課題と長期的視点・課題の融合
- ロードマップ目標の共有化、役割分担と責任の定義
- ロードマップの構造化、技術情報基盤の重要性
- ローリングの重要性、研究当事者、専門家、第三者による評価
- 施設基盤・人材基盤・資金基盤につながる重点化
- 成果の規格・基準化、ガイドライン化、成果具現化の役割
- 多様な情報共有とコミュニケーションの場としての活用
- 総括的マネジメントのあり方
- 技術戦略マップの国際化
- 人材育成と教育システム

# 技術戦略マップ・ロードマップ検討の経緯(1)

日本原子力学会による第一次ロードマップ(2004.7～2006.3)

- 研究開発課題の俯瞰的整理学
  - 課題の重点化とともに科学的技術の総合的体系化を意識
  - 短期的課題と長期的視点・課題の融合
- ロードマップ策定目標の共有化
  - 安全研究における目標共有と開発研究との区別・共有化
- 技術情報基盤の必要性、重要性
  - ロードマップの構造化
  - 種々のコミュニケーション: コンセンサス、プロセス透明性

---

軽水炉の運転中安全と高経年化対策分野を例として

# 技術戦略マップ・ロードマップ検討の経緯(2)

- 技術戦略マップとしての構造化とローリング
  - 導入シナリオ、技術マップ、ロードマップ
    - 導入シナリオ層での分野・領域をつなぐインタラクション定義
    - 技術マップ層での俯瞰性確保
    - ロードマップ層での短中長期整合性
    - 評価システムの組み込み
- 役割分担と責任の定義
  - 産業界、行政・規制、学術界に加え、学協会の役割を明示
    - 学協会は学協会規格策定の場合、産官学が集い議論するオープンな場
  - 規制のための知識基盤と産業界による情報基盤の関係
  - 施設基盤・人材基盤・資金基盤につながる重点化・成果評価
- 規格・基準化、ガイドライン化
  - 研究開発のアウトプットとしての様々なレベルでの標準化
  - 現場での活用のための課題

---

技術戦略マップ2007

- 日本原子力学会燃料高度化特別専門委員会(2006.4～2008.3)
- 技術情報調整委員会(JNES)安全研究WG等

# 技術戦略マップ・ロードマップ検討の経緯(3)

- 安全研究遂行組織を横断する総括的マネジメント
- 多様な情報共有とコミュニケーションの場としての活用
- ローリングサイクルと質の確保の課題
  - 課題の細分化と総合化に応じたローリングの体制構築
  - 課題の実践と成果の自己評価
  - 安全の目的共有に基づく成果の第三者的評価
- 技術戦略マップの国際化
  - 国際協調、共同作業の取込みと国際競争力確保
- 人材育成と教育システム

---

技術戦略マップ2008、2009、2010の策定

- 日本原子力学会核燃料部会燃料高度化ロードマップ実行委員会
- 技術情報調整委員会を基軸とし、産業界のPLM研究推進会議と高経年化対策強化基盤整備事業総括検討会を含む体制



# 技術戦略マップ・ロードマップ検討の経緯(4)

- 現在の技術マップ、ロードマップ策定のための学会等での検討組織化
  - 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
  - 「安全対策高度化技術基盤整備事業」 技術マップ策定部会
- シビアアクシデント対策に関する技術マップ策定を先行
- 海外の研究開発体制や組織的取組、事故を受けた研究開発課題や体制の変化、人材の育成のポイント
  - 米国(NEI, DOE, NRC等を含む)
  - 仏・イギリス・ドイツ等及びEU
  - IAEA、OECD/NEA
- 国際シンポジウムの開催(2013.3.5 東大)  
**1st International Symposium on Safety Measure Improvement and Technical Basis Development for Nuclear Power Plants in 2013**
  - EU SARNET、DOEプロジェクトやFLEX等、OECDプロジェクト等の講演
  - パネルディスカッション

# 原子力規制委員会における 安全研究の推進について(2013.9.25)

- 原子力規制委員会が、その業務を的確に実施していくためには、原子力安全を継続的に改善していくための課題に対応した安全研究を実施し、科学的知見を蓄積していくことが不可欠である。
- このため、原子力規制委員会が実施すべき安全研究の目的をより明確に意識し、課題の解決につながる成果が得られるようにするとともに、蓄積された科学的知見が原子力安全規制等に的確に反映され、継続的な改善につながるよう、安全研究を実施する。
- この際、原子力規制委員会及び所管する独立行政法人等の行う安全研究が、原子力安全規制等における課題に対応し、また、原子力安全規制等における優先度を踏まえたものとなるよう、関係機関が常にその内容を調整していく必要がある。

# 原子力規制委員会における 安全研究の推進について(2013.9.25)

- 原子力規制委員会が直接執行する予算並びに所管または共管する独立行政法人原子力安全基盤機構、独立行政法人日本原子力研究開発機構及び独立行政法人放射線医学総合研究所が執行する予算のうち、以下に定義される安全研究を対象とする。
  - ① 規制基準・制度、具体的判断基準等の整備に資する研究  
規制基準や制度、審査・検査等に用いる具体的判断基準、技術マニュアル、解析コードの開発・整備・検証等を目的とする研究
  - ② 原子力安全規制等を実施する際の判断に必要な技術的な知見の取得  
審査、検査、施設健全性評価、その他の事業者に対する指導等を行う際、その検証の精度を上げるために必要なデータ取得を目的とする研究
  - ③ 技術基盤の維持/構築  
将来にわたって原子力規制委員会の業務を的確に実施していくために必要な技術基盤の維持あるいは構築を目指す研究

# 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. 的確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
  - 2. 東京電力福島第一原子力発電所事故後の教訓に基づき実践すべき課題
    - ① 低頻度の事象を含む網羅的なリスク評価
    - 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とクリフエッジの特定とレジリエンス向上
    - 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)

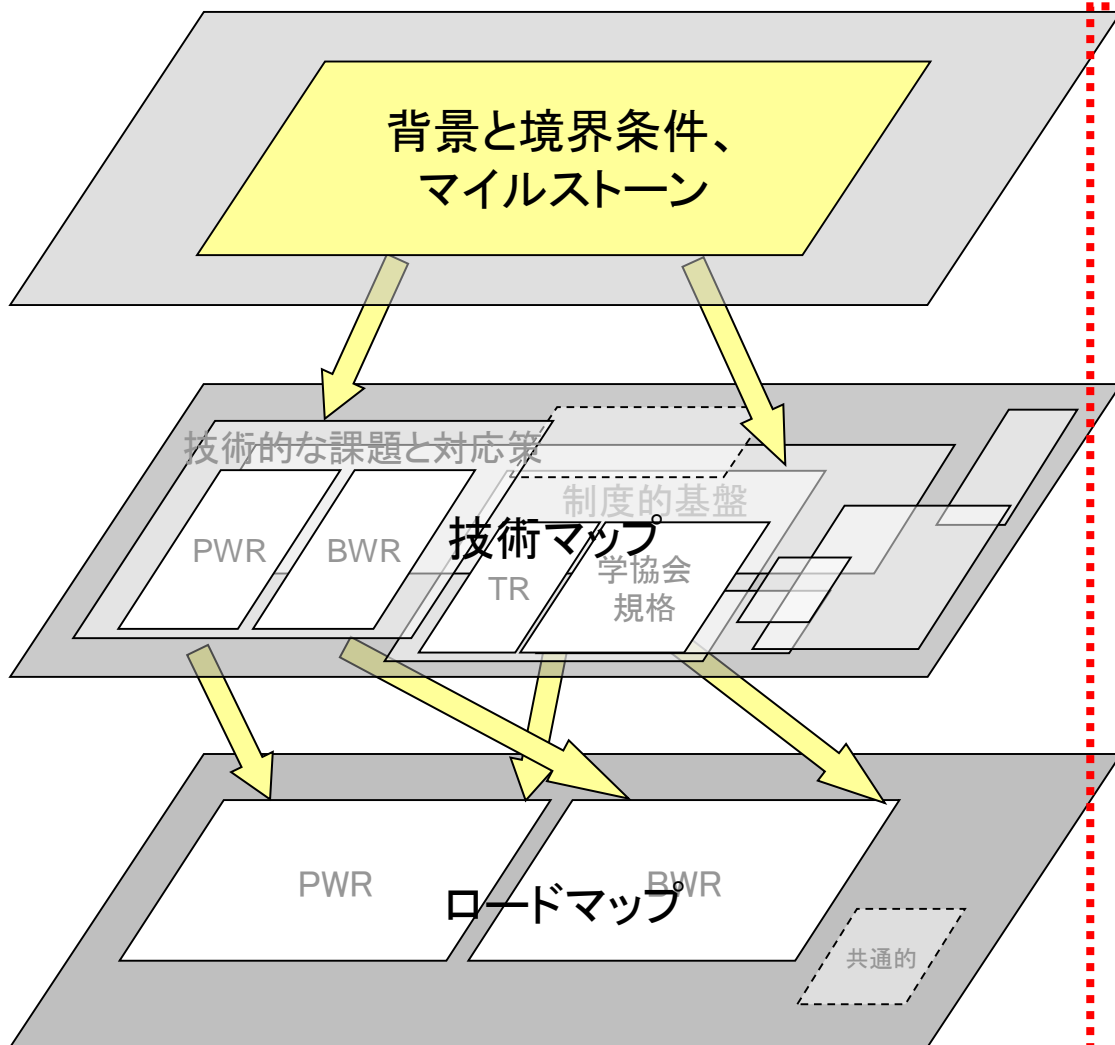
## ➤ 軽水炉の安全性向上研究の再構築とコーディネーション 機能の強化

- 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者を含め大幅に縮小。
- 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実施されず。

## ➤ 「軽水炉安全研究ロードマップ」を策定すべき

- JAEA等政府系研究機関、学協会、産業界等、原子力分野全体が広く参加
- 関係者間の役割分担を具体的に提示
- 重畳を廃した効率的な研究開発・共同研究を推進
- 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
- ロードマップの共有とローリングを通じた全体最適の継続的追求

# 技術戦略マップ・ロードマップの階層構造



## 1階層目(背景、マイルストーン)

課題解決のニーズや技術的、社会的背景、境界条件や不確実性を明確にし、研究成果の採用の目標を示したもの

## 2階層目(技術マップ)

どのような課題があるかを俯瞰・整理し、産業界や国、規制、学術界、学協会がどのように取り組んでいくべきかを整理したもの

## 3階層目(ロードマップ)

2階層目(技術マップ)に挙げられた課題を相互に結びつけながら解決に向けた取り組みやホールドポイントを時間軸上に示したもの

# 原子力システムの安全に関する 技術マップ、ロードマップ構築の論点

---

1. 背景と境界条件の整理と目標の具現化
2. 安全研究に対する現在と将来のニーズの整理
3. マイルストーンの整理と総合的評価
4. 技術マップの構築と優先度の評価軸
5. これらに基づいた時間軸ロードマップ展開
6. 研究の実行と成果評価・活用に基づいたローリング

# 原子力システムの安全に関する 技術マップ、ロードマップ構築の論点

---

## 1. 背景と境界条件の整理と目標の具現化

- 安全への強い要求
- 核不拡散、核セキュリティ
  
- 福島第一原子力発電所事故からの大きな教訓
- 新たな規制組織・規制基準、バックフィット規制
- 自主的安全性向上
- エネルギー基本計画等、政府方針
  
- ✓ リスクガバナンス
- ✓ 国民の信頼回復
- ✓ ステークホルダー間のコミュニケーション
- ✓ エネルギー安定供給、温暖化対策、……
  
- ✓ 安全研究の困難さの克服



# 原子力システムの安全に関する 技術マップ、ロードマップ構築の論点

---

## 2. 安全研究に対する現在と将来のニーズの整理

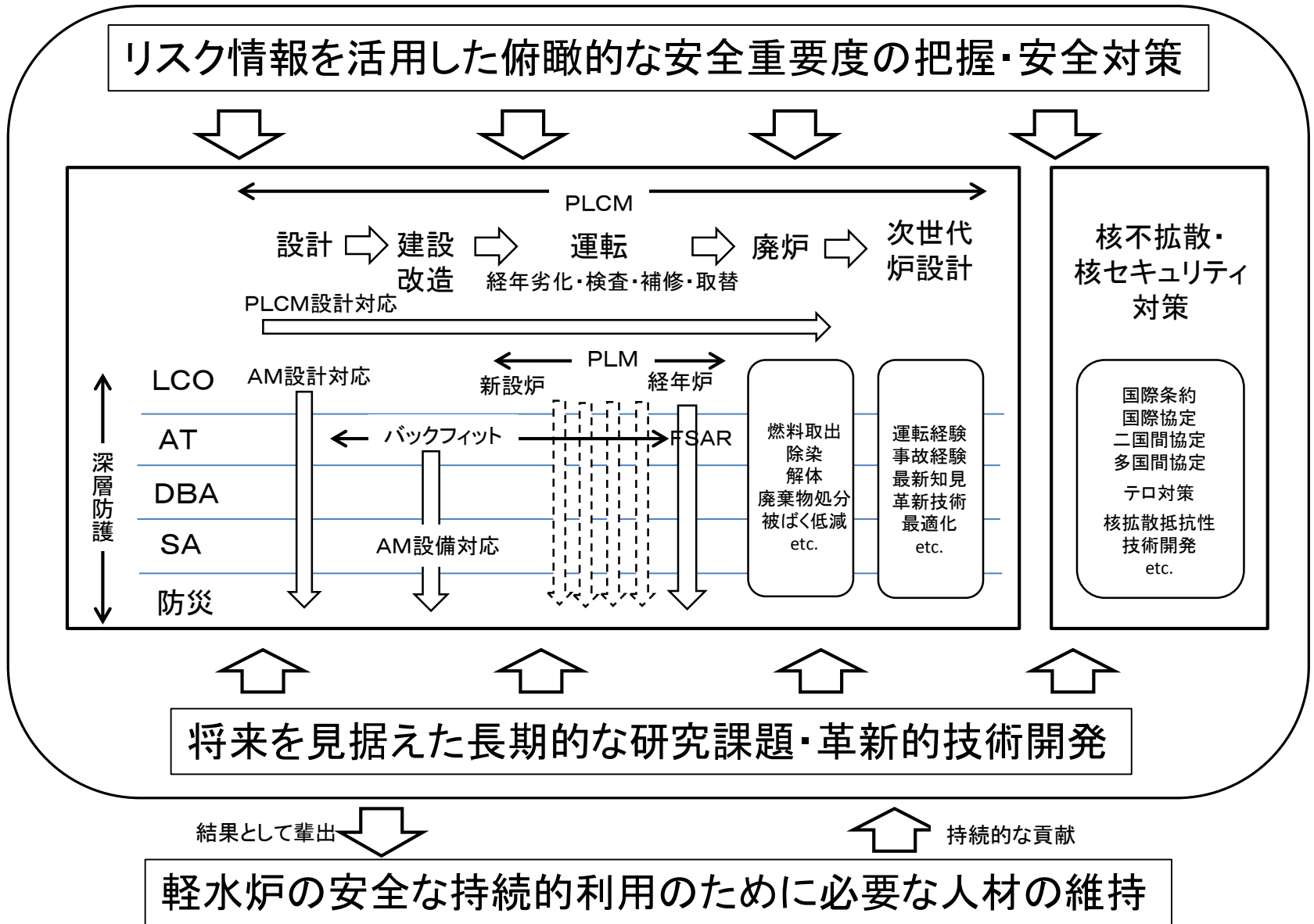
- リスクガバナンス、リスクマネジメント
- 網羅的なリスク評価
- 深層防護等、安全の基本的な考え方に基づいた継続的なリスク低減
- 個別プラントごとの外部起因事象によるリスク評価、事故シーケンス評価、クリフエッジ評価
- 既存システムでは想定されない事態への備えとレジリエンスの向上
  
- 批判的思考やリスクへの想像力を備えた組織文化
- 最新知見の導入、活用、発信
  
- 以上のためのステークホルダを跨ぐロードマップ構築
- コミュニケーションツールとしてのロードマップの活用
- ロードマップの継続的ローリング
  - 成果の活用
  - 境界条件の変化、新たな境界条件の取り込み
  - マイルストーンでの総括的評価

# 原子力システムの安全に関する 技術マップ、ロードマップ構築の論点

---

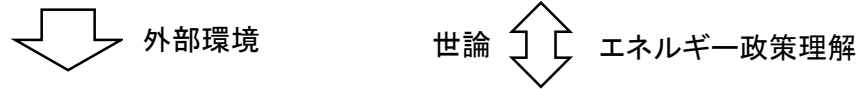
3. マイルストーンの整理と総合的評価
  - 1) 短期的な課題、中期的な目標、長期的なビジョン
  - 2) 次期へ移行する場合の総合的評価の考え方
  
4. 技術マップの構築と優先度の評価軸
  - 1) 技術領域の構成と検討体制構築
  - 2) 各技術課題の設定と優先度の評価軸
  
5. これらに基づいた時間軸ロードマップ展開
  
6. 研究の実行と成果評価・活用に基づいたローリング

# 軽水炉に関する技術・人材ロードマップの検討構想



# 軽水炉に関する技術・人材ロードマップの検討体制

エネルギー基本計画      エネルギー政策における原子力の位置づけ



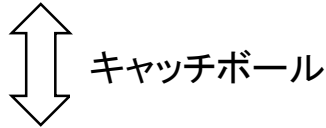
総合資源エネルギー調査会  
原子力小委員会



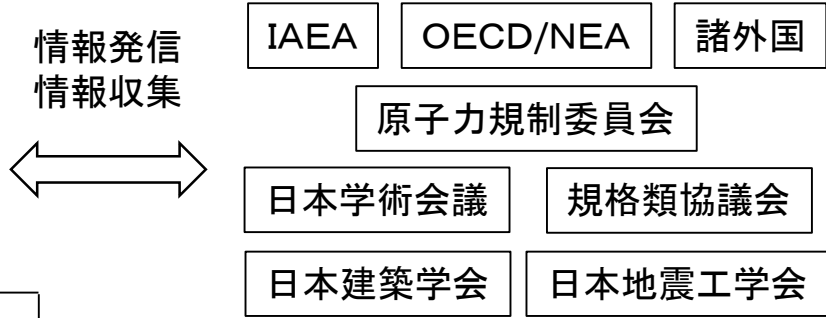
国民

自主的安全性向上・技術・人材WG

委員：学識経験者(多分野)  
オブザーバ：文科省、他

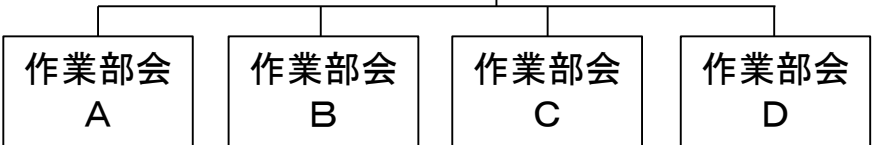


AESJ安全対策高度化  
技術検討特別専門委員会



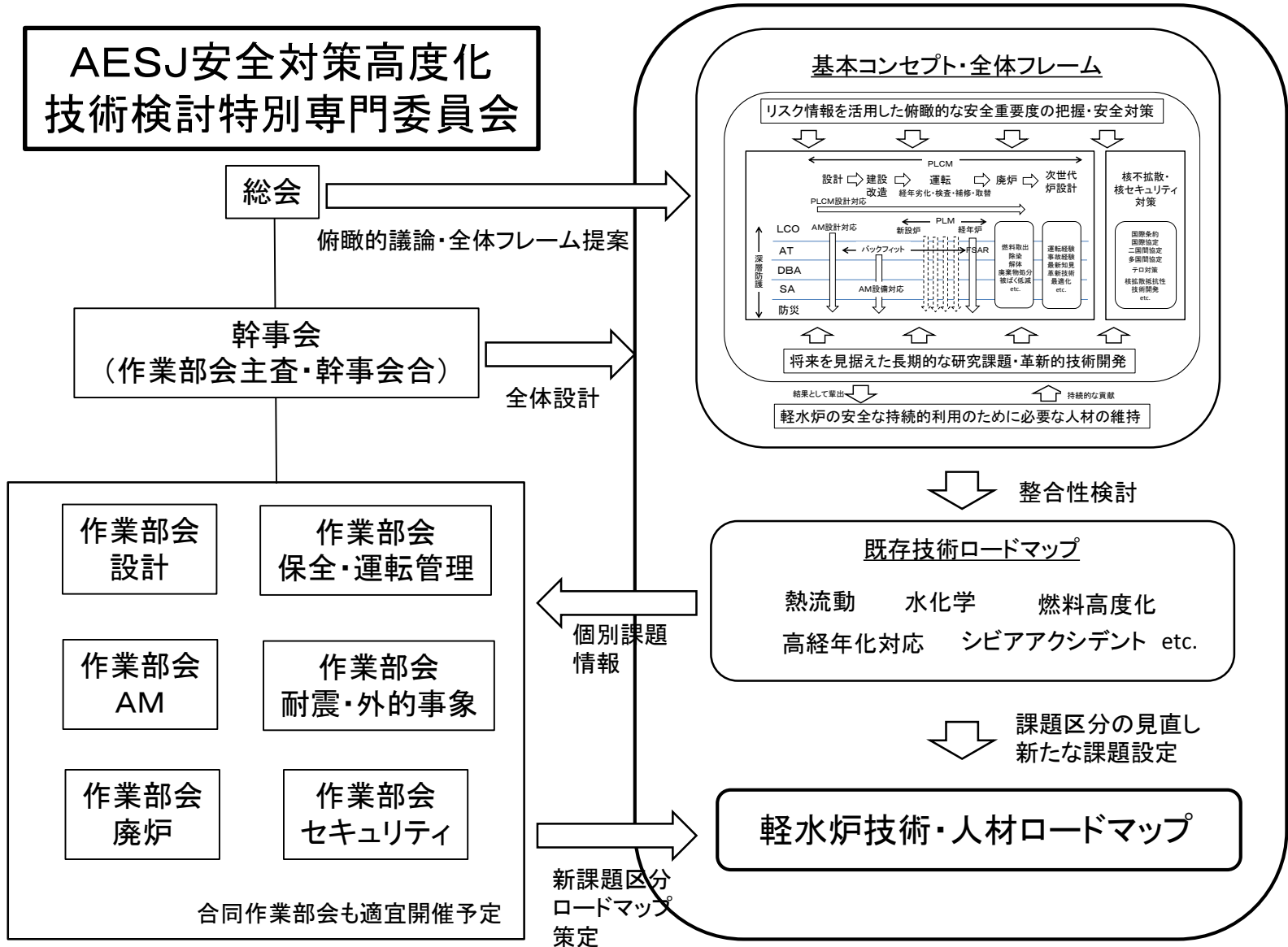
総会

幹事会(作業部会主査会合)



産業界  
電事連・プラントメーカー・民間研究所  
学術界  
大学・JAEA  
官界(オブザーバー)  
資源エネルギー庁

# 軽水炉に関する技術・人材ロードマップの検討方法



# 軽水炉に関する技術・人材ロードマップの策定 日本原子力学会での検討状況

---

- METI-WGとのキャッチボールによる技術ロードマップ(RM)策定の基本方針の確認
  - 2050年までを見据え、マイルストーンの設定
  - 社会的要請・ニーズに則した国民視点からの課題提示 等
- 有効・効果的な議論を進めるための会議体の設置と議論
  - 導入シナリオの検討に基づく社会的要請・ニーズの共通理解
  - 専門領域で区分した作業部会間での検討内容の抜け落ちの回避 等
- 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との連携・協力体制
  - 技術・ハードウェアに偏らない、社会科学・ソフトウェアの課題設定 等

# 軽水炉に関する技術・人材ロードマップの策定

## 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

会議体		位置づけ	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	関村(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、導入シナリオの検討、作業部会間の検討結果の調整	
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	望月(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	阿部(東北大)
	AM	アクシデントマネジメントに係る課題の検討	山本(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	耐震: 楠(東大) 外的: 糸井(東大)
	廃炉	安全な既設炉廃炉を実施する上でのプロセス上の技術課題、大型廃棄物の取り扱い等に係る課題の検討	(調整中)
	核不拡散・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・セキュリティに係る政策的・技術的課題の検討	(調整中)

# 軽水炉の安全研究に関する 技術マップ、ロードマップの策定

---

- 学術界、国（規制、推進）、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
  - 安全対策高度化研究専門委員会
  - 安全部会の企画セッション、フォローアップセミナー等
  - 学協会での規格・基準策定
  - 国（規制委員会、資源エネルギー庁、文部科学省等）との効果的コミュニケーションとこれに基づく全体像の俯瞰と適正化を図る
  - 今後の研究成果のフォローと活用についても検討する



# まとめ

---

- 原子力安全研究を効果的に実行するには、原子力安全研究の目標、目的、ステップなどを共有化し、俯瞰的な技術マップとロードマップを策定することが重要である。
- 産業界、安全規制、原子力行政等の相互の関係と役割分担と協調、成果活用、総合的・多面的な成果の評価が必要であり、ステークホルダー間のコミュニケーションツールとしても技術マップ・ロードマップの策定と継続的なローリングが望まれる。
- これらを支える多様な人材の確保と育成についても併せて議論を進めるべきである。国際的な協調による研究開発を実施し、我が国全体の研究力を強化することが望まれる。
- これらの具体的・総括的検討の場として、学会が果たすべき役割が極めて重要。