

軽水炉安全技術・人材ロードマップ (改訂案)



平成27年6月(平成29年2月改訂)

自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループ

日本原子力学会 軽水炉安全技術・人材ロードマップ高度活用研究専門委員会

1. はじめに

- 平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」では、原子力発電に関し、以下のような方針が示された。
 - 原発依存度については、省エネルギー・再生可能エネルギーの導入や火力発電所の効率化などにより、可能な限り低減させる。
 - 原子力は、燃料投入量に対するエネルギー出力が圧倒的に大きく、数年にわたって国内保有燃料だけで生産が維持できる低炭素の準国産エネルギー源として、優れた安定供給性と効率性を有しており、運転コストが低廉で変動も少なく、運転時には温室効果ガスの排出もないことから、安全性の確保を大前提に、エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源である。
 - いかなる事情よりも安全性を全てに優先させ、国民の懸念の解消に全力を挙げる前提の下、原子力発電所の安全性については、原子力規制委員会の専門的な判断に委ね、原子力規制委員会により世界で最も厳しい水準の規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原子力発電所の再稼働を進める。
 - 東京電力福島第一原子力発電所の廃炉や、今後増えていく古い原子力発電所の廃炉を安全かつ円滑に進めていくためにも、高いレベルの原子力技術・人材を維持・発展することが必要である。
- ~~エネルギー基本計画において示されたこのような方針を具体化するために必要な措置のあり方について、総合資源エネルギー調査会 原子力小委員会において検討が進められている。~~自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループは、総合資源エネルギー調査会 原子力小委員会より、東京電力福島第一原子力発電所以外の廃炉を含めた軽水炉の安全技術・人材の維持・発展に重点を置き、国、事業者、メーカー、研究機関、学会等関係者間の役割が明確化された原子力安全技術・人材に関するロードマップを策定するよう要請を受け、軽水炉安全技術・人材ロードマップの策定に向けた検討を実施した。

1. はじめに

<軽水炉安全技術・人材ロードマップの検討の前提>

1. 軽水炉安全技術・人材ロードマップは、エネルギー基本計画で示された方針に沿った原子力利用のあり方を前提に、我が国の軽水炉の安全性向上を効率的に実現する技術開発及び人材育成の将来に向けた道筋を示すものである。
2. このため、今後、原子力利用のあり方に関わる政策方針の決定・変更等があった場合には、それを踏まえて適時見直しが行われる。

2. 背景 ～軽水炉安全技術・人材ロードマップの必要性と役割～

- 軽水炉が我が国に導入されてから今日に至るまで、学会、国、電気事業者、メーカー、研究機関等において、安全性向上に向けた研究開発や人材育成は絶え間なく続けられてきた。しかしながら、それらの取組が真に安全性向上に資する形で進められているのか、特に国費を用いて行われる取組が真に必要なものなのか、といった点について、国民や立地自治体等のステークホルダーによる適切なガバナンス(国民や立地自治体等のステークホルダーが、軽水炉安全に係る研究開発や人材育成が科学的に効果的な形で継続的に進められているかどうかを確認し、その確認の下で専門家による切磋琢磨が継続的に行われていくこと)の下にあったとは言い難い。原子力を利用する側には、技術の成熟による慢心や長期的視点からの研究・人材基盤整備の不足等の課題があり、国民や立地自治体等の側も「原子力技術や人材育成という課題は、専門的で理解できない」といった距離感を感じている面があったのではないか。
- 今後とも、再稼働や廃炉を含めて原子力と向き合っていくことが必要であり、原子力安全に対する国民の信頼回復が急務である。そのためには、軽水炉安全に係る研究開発や人材育成が、適切なガバナンスの下で、真に安全性向上に資する形で継続的かつ自主的に進められていくことが確保されなければならない。

2. 背景 ～軽水炉安全技術・人材ロードマップの必要性と役割～

- そのために、軽水炉安全に係る研究開発や人材育成に携わる者が心がけるべきことは、まず、東京電力福島第一原子力発電所事故が起こる前の状況を反省し、その状況を改善することである。事故前においては、特に、軽水炉システム全体の安全性高度化に向け、いつまでにどのような研究開発を実施するか、誰がどの研究開発を実施するかについて、基礎研究を行う研究機関、機器を開発するメーカー、実際に技術を活用する原子力事業者、規制高度化を進める規制当局等の関係者で認識が共有されてこなかった。このため、学会、国、電気事業者、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**廃排**して真に軽水炉の安全性向上に繋がる取組を実現するための共通の枠組みとなるロードマップを策定する必要がある。
- その上で、当該ロードマップ策定が適切なガバナンスの下で行われるためには、まずロードマップ策定に携わる専門家同士の馴れ合いを排し、明確な優先順位付けがなされる形で策定が行われるとともに、その結果が広く国内外の専門家に提示され、彼らからの批判を踏まえて常に見直しが行われていく「ローリング」のプロセスが必要である。馴れ合いを排した優先順位付け、国内外の幅広い専門家による批判、それを受けた改善というプロセスの実践こそが、国民や立地自治体等の中に「ロードマップが真に安全性向上に資するもの」であるとの認識を育み、原子力安全に対する信頼を回復することに繋がる。

2. 背景 ～軽水炉安全技術・人材ロードマップの必要性と役割～

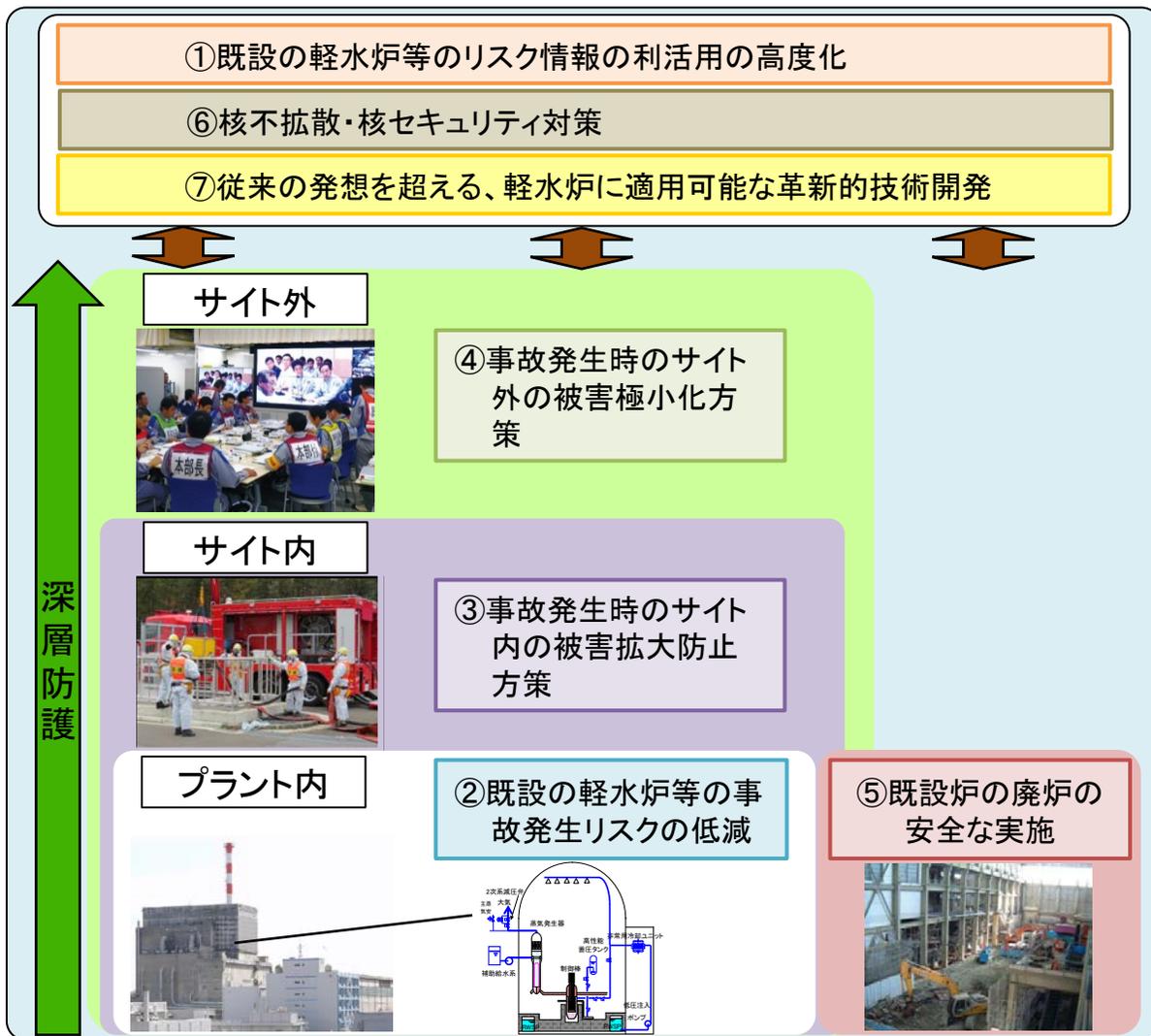
○こうした問題意識の下、総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会の下に「自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループ」が設置され、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループによる国民視点からの課題提示と、日本原子力学会の英知を結集した課題解決策とロードマップの素案の提示というキャッチボールを通じて、軽水炉安全技術・人材ロードマップの策定が行われることとなった。本ロードマップの検討開始に際しては、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループにより「軽水炉安全技術・人材ロードマップ策定の基本方針」が策定され、その中で国民視点に基づく8つの課題別区分（以下「ロードマップ対象項目の課題別区分」参照）が提示された。

<ロードマップ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の高度化（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 of 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のロードマップ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）

2. 背景 ～軽水炉安全技術・人材ロードマップの必要性と役割～

<ロードマップの対象範囲に関する概念図>



社会とのコミュニケーション



～2020

～2030

～2050

科学的な規律や知見に基づく自律的な安全性向上の取組を強固なものとし、国際的な知見も活用しつつ、軽水炉安全技術及び人材を継続的に維持・発展できる枠組みを構築する。

自律的な安全性向上の取組や枠組みに対する信頼の下で、国際的な協力体制を確立するとともに、エネルギー需給構造における重要なベースロード電源として原子力が適切に活用されるよう、安全確保に必要な投資を着実に実施し残余のリスクを低減させる。

原子力が世界の温暖化対策や持続的なエネルギー供給に安定的な役割を果たせるよう、原子力利用のデメリットの低減とメリットの向上を更に進め、技術・人材の両面で国際社会に貢献する。

2. 背景 ～日本原子力学会とのキャッチボールを通じたロードマップの策定～

- 日本原子力学会においては、軽水炉安全に係る取組に携わる多くの研究者及び技術者の参画の下、軽水炉の安全性向上に必要な課題を白地から慎重に抽出することにより、軽水炉安全に係る課題の全体像を把握することのできる「ロードマップ俯瞰図」を作成した。さらに、真に原子力安全の向上に資する取組から順に実施していくことの重要性に鑑み、国内外の専門家からの批判を恐れず、「評価軸」を活用した要素課題（「ロードマップ俯瞰図」に記載された課題の解決に必要となる技術開発及び人材育成の各取組を適切なまとまり毎に分類したもの）の客観的な評価を通じて、各要素課題に対して明確な優先順位付けがなされたロードマップの素案を作成した。
- 自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループにおいては、大学、研究機関等を中心とする有識者を委員とし、文部科学省、原子力リスク研究センター、原子力安全推進協会、日本原子力研究開発機構、日本原子力産業協会をオブザーバーとして、軽水炉安全に係る全てのステークホルダーの参加の下、平成26年9月24日から平成27年5月27日にかけて活発な議論が行われ、平成27年6月、本ワーキンググループと日本原子力学会の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」が取りまとめられた。
- その際、なお、本ワーキンググループにおいては、本ロードマップの策定に当たり、海外有識者をプレゼンターとして迎え、国外の知見を積極的に取り込むとともに、本ロードマップを規制当局との間での利害相反を**廃排**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との観点から、原子力規制庁からプレゼンターを迎える等、多様なステークホルダーの参加の下で議論が行われた。
- 本ロードマップは、今後政策方針の決定・変更等があった場合だけでなく、1年に1度の定期的な見直しを実施されることになるが、その見直しの過程も、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループを通じて、国民に分かりやすい形で広く共有していく。また、関係者（関係省庁、研究機関、産業界等）においては、自発的に本ロードマップに従って行動し、その実効性を確保するよう取り組むことを期待する。

2. 背景 ～ロードマップのローリングの実施～

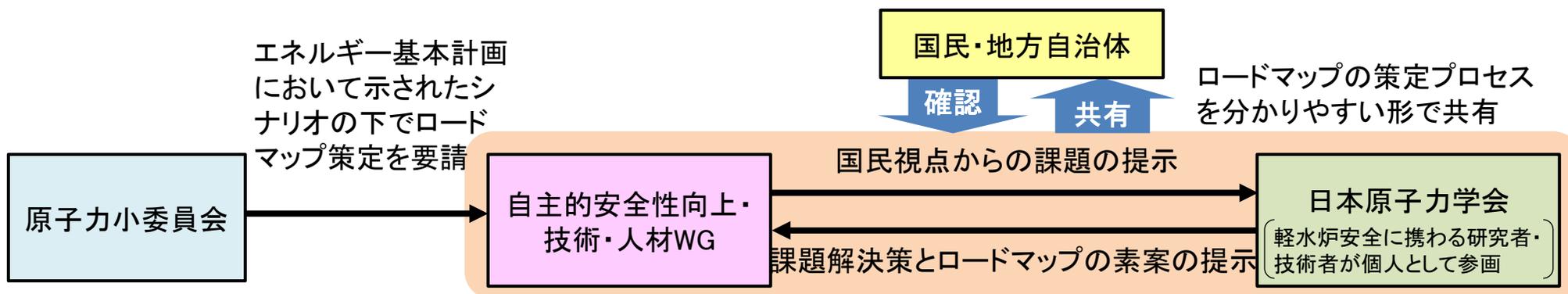
- 平成27年6月に取りまとめられた「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」においても指摘されているとおり、本ロードマップの取組については、継続的な「ローリング」のプロセスが非常に重要である。こうした認識の下、日本原子力学会において、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループからの指摘も踏まえつつ、本ロードマップのローリングを実施し、その結果を踏まえ、「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」(平成29年2月改訂)を取りまとめた。
- 本ロードマップについては、今後も見直しを実施されることになるが、その見直しの過程も、本ワーキンググループを通じて、国民に分かりやすい形で広く共有していく。また、関係者(関係省庁、研究機関、産業界等)においては、自発的に本ロードマップに従って行動し、その実効性を確保するよう取り組むことを期待する。

I . 軽水炉安全技術・人材ロードマップの策定の の枠組みと継続的なローリングの仕組み

3. 軽水炉安全技術・人材ロードマップとは

- 原子力小委員会より要請を受けた自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループによる国民視点からの課題提示と、日本原子力学会の英知を結集した課題解決策とロードマップの素案の提示というキャッチボールを通じて、軽水炉安全技術・人材ロードマップの策定を進めるを策定した。
- ロードマップ化される取組は、①技術開発及び②それを実現するために必要な人材の確保・配置に着目した人材育成とする。
- 本ロードマップの対象となる技術は、原子力発電所の安全かつ円滑な廃炉を含む軽水炉の安全性向上に資するもの(注)とする。

<軽水炉安全技術・人材ロードマップの策定体制>



(注) 「地層処分基盤研究開発に関する全体計画【研究開発マップ】」の対象とされている放射性廃棄物の処分に関するものや、東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に関するものは、国民に見える形で示された他のロードマップに含まれるため、本ロードマップの対象から除く

4. 軽水炉安全技術・人材ロードマップに期待する機能

- 本ロードマップの機能は、以下の2つとする。
 - 既存の軽水炉の安全性向上を我が国として効率的に実現する技術開発及び人材育成の将来に向けた道筋を描くこと(将来建設する可能性があるものを含む)
 - 真に関係者(関係省庁、研究機関、産業界等)間で技術開発や人材育成に重畳を~~廃排~~して取り組む道筋を示すものとして、国民に分かりやすい形で広く共有すること
- 本ロードマップの策定に~~あ~~当~~た~~っては、今後、政策方針の決定・変更等があった場合にローリングを行う前提の下、エネルギー基本計画において示されたシナリオの下で、「各マイルストーンにおける目指す姿」及びその「標語」を設定し、将来のあるべき姿から今後行うべき取組の計画を立てることにより、技術開発及び人材育成のロードマップを描く~~こととした~~。
- なお、本ロードマップについては、国民に分かりやすい形で広く共有されるとともに、そのことにより関係者(関係省庁、研究機関、産業界等)が自発的に本ロードマップに従って行動し、その実効性が確保されることを期待する。経済産業省は、本ロードマップで示された重要度や優先度に基づき、軽水炉安全に係る予算措置等を進めていく。

5. 将来の原子力利用の姿との関係について

- 平成26年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」で示された以下のような内容を前提とする。
 - 原発依存度については、省エネルギー・再生可能エネルギーの導入や火力発電所の効率化などにより、可能な限り低減させる。
 - 原子力は、燃料投入量に対するエネルギー出力が圧倒的に大きく、数年にわたって国内保有燃料だけで生産が維持できる低炭素の準国産エネルギー源として、優れた安定供給性と効率性を有しており、運転コストが低廉で変動も少なく、運転時には温室効果ガスの排出もないことから、安全性の確保を大前提に、エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源である。
 - いかなる事情よりも安全性を全てに優先させ、国民の懸念の解消に全力を挙げる前提の下、原子力発電所の安全性については、原子力規制委員会の専門的な判断に委ね、原子力規制委員会により世界で最も厳しい水準の規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原子力発電所の再稼働を進める。
 - 東京電力福島第一原子力発電所の廃炉や、今後増えていく古い原子力発電所の廃炉を安全かつ円滑に進めていくためにも、高いレベルの原子力技術・人材を維持・発展することが必要である。
- 技術の成熟度が高く、かつ、追加的な取組が将来の原子力の利用量に直結するような技術(実用化に至るまでにクリアすべき課題が少なく、かつ、新規規制基準対応のみを目的とした技術開発等)については、本ロードマップの対象から除外する。
- 本ロードマップは、今後、エネルギーミックスの策定等の政策方針の明確化、再稼働の進展等の軽水炉安全技術を取り巻く環境の変化等を踏まえ、常に見直されていく(「ローリング」されていく)ものとして位置づける。
- その前提の下、将来のあるべき姿から今後行うべき取組の計画を立てることにより、重畳を~~廃排~~した効率的な技術開発や人材育成を実現するため、「各マイルストーンにおける目指す姿」及びその「標語」を設定する。

6. 各マイルストーンにおける目指す姿とその標語

標語

各マイルストーンにおける目指す姿

適宜ローリング

～2050年

Stage3 (長期)

原子力が世界の温暖化対策や持続的なエネルギー供給に安定的な役割が果たせるよう、原子力利用のデメリットの低減とメリットの向上を更に進め、技術・人材の両面で国際社会に貢献する。

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に期待されるよう、技術・人材の両面で国際社会に貢献している。
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。
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。

適宜ローリング

～2030年

Stage2 (中期)

自律的な安全性向上の取組や枠組みに対する信頼の下で、国際的な協力体制を確立するとともに、エネルギー需給構造における重要なベースロード電源として原子力が適切に活用されるよう、安全確保に必要な投資を着実に実施し残余のリスクを低減させる。

1. 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、安定的なエネルギー源として原子力発電を利用するに足る安全確保に必要な投資が着実かつ継続的に実施されている。
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組が継続的になされている。
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。

適宜ローリング

～2020年

Stage1 (短期)

科学的な規律や知見に基づく自律的な安全性向上の取組を強固なものとし、国際的な知見も活用しつつ、軽水炉安全技術及び人材を継続的に維持・発展できる枠組みを構築する。

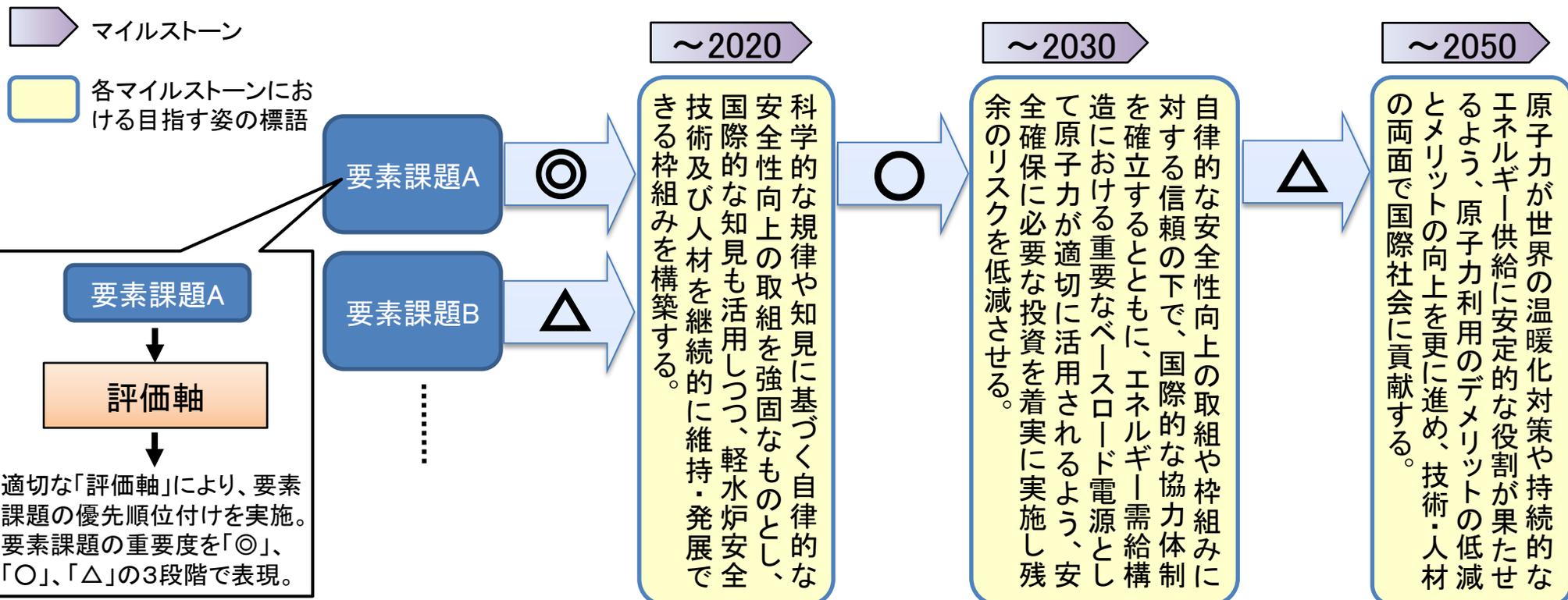
1. 科学的な規律や知見に基づき、深層防護を踏まえた自主的安全性および信頼性の向上の取組が進むとともに、これらに対して、国民目線でのリスクの開示と対話が円滑になされている。
2. 事業者の新規制基準への対応が完了し、自主的安全性向上の取組が定着化して、規制と事業者の間で更に安全性向上を促すより良い関係構築がなされる。
3. 防災支援体制が拡充・高度化され、放射線からの人と環境への防護のみならず、自然災害防止への取組との調和がなされている。
4. 研究機関、産業界、関係省庁等の参画の下、本ロードマップの継続的なローリングが行われ、各者が自発的に本ロードマップに従って行動することで、自律的な安全性向上の取組を律する共通の枠組みとして、本ロードマップの実効性が確保されている。
5. 電気事業者のみならず、日本原子力学会、原子力リスク研究センター、原子力安全推進協会、メーカー、関係省庁等において、軽水炉安全技術に関する科学的な規律や知見がより確かなものとなり、適切なガバナンスの枠組みの下で軽水炉安全技術及び人材を継続的に維持・発展できる仕組みが構築されている。

(注) 将来のあるべき姿から今後行うべき取組の計画を立てることにより、重畳を~~廃排~~した効率的な技術開発や人材育成を実現するため、日本原子力学会が「各マイルストーンにおける目指す姿」を設定し、それを幅広い関係者間で共有するために、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループが、短い言葉で表現される「標語」を設定した。

7. 課題着手時期や優先度を評価した上でのロードマップ策定

- これまで我が国においては、優先順位付けや取捨選択が適切に行われず、各研究者の興味に基づき研究が積み上げられ、国を含む研究開発主体による適切な評価や主体的なコミットメントも行われない中で、研究テーマの設定が行われてきた。本ロードマップにおいては、「評価軸」(「9. 要素課題の重要度に基づく優先順位付けの評価方法」参照)に基づき、真に我が国の軽水炉安全に資する技術開発と人材育成に集中し、効率的にそれを実現する。
- 定期的なローリングの過程で、個別の技術開発や人材育成の進め方についても見直しを行っていく。

<軽水炉安全技術・人材ロードマップの完成イメージ>



(注) 要素課題: 「ロードマップ俯瞰図」に記載された課題の構成要素であり、課題の解決に必要な技術開発及び人材育成の各取組を適切なまとまり毎に分類したもの。

8. ロードマップにおける課題の選定方法

- ロードマップの対象となる課題の選定に際しては、軽水炉の安全性に対する国民の信頼回復を最優先すべきとの問題意識の下、まず、これまで実施されてきた各種社会調査(具体例は後述)の結果を日本原子力学会が改めて分析し直すことにより、軽水炉安全に対する社会的要請を抽出した。その上で、日本原子力学会員から専門性や所属組織等を踏まえてバランス良く選出された安全対策高度化技術検討特別専門委員会における検討を通じて、抽出された社会的要請に応えるために乗り越えるべき課題を網羅的に洗い出した。
- 2020年、2030年、2050年に設定された各マイルストーンにおいて目指す姿を達成するために、各課題をいつまでに解決しなければならないかを検討した。その際、
 - ①各課題の解決に向けた取組が現時点でどこまで進められているか
 - ②各課題の解決に向けて、具体的にはどのような取組が必要になるかを考慮しつつも、技術開発や人材育成の実施者が、技術的に最短で課題を解決すべく努力するとの前提の下で、各課題の解決時期を設定した。
- その上で、各課題を解決時期に応じて、時間軸に沿って並び替え、軽水炉安全に係る課題の全体像を把握することのできる「ロードマップ俯瞰図」を作成した。また、課題の解決に必要な技術開発及び人材育成の各取組を適切なまとまり毎に分類して「要素課題」とし、課題調査票の形でまとめた。各課題調査票には、各取組の実施者や資金提供者として、どの主体が適切であるかについても記載した。
- ロードマップ俯瞰図に位置づけられた課題を構成する要素課題を、その解決により期待される効果に応じて、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループにより提示された8つの課題別区分に割り当てた。
- 8つの課題別区分に割り当てられた要素課題の「重要度」を、適切な「評価軸」を用いて評価し、各要素課題に対して明確な優先順位を付けた形でロードマップを作成した。

8. ロードマップにおける課題の選定方法

<社会的要請を分析するために日本原子力学会が活用した社会調査の例>

● エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査

実施主体： エネルギー・環境の選択肢に関する討論型世論調査実行委員会

実施時期： 2012年7月上旬～8月上旬

調査対象者： 無作為抽出による「電話世論調査」(7月7日～22日)で6,849名、その回答者の中から2日間の「討論フォーラム」(8月4日、5日)で286名(男性192名／女性94名)

実施目的： 政府が2012年8月にエネルギー・環境戦略を決定するために実施する国民的議論の一つとして、政府のエネルギー・環境会議より提示された「エネルギー・環境に関する選択肢」(2012年6月29日)に関する「討論型世論調査」が2012年7月上旬から8月上旬にかけて実施された。

● 第7回エネルギーと原子力に関するアンケート

実施主体： 日本原子力学会「市民および専門家の意識調査・分析」特別専門委員会

実施時期： 2014年1月7日～1月27日

調査対象者： 首都圏 30km 圏内を対象とした割り当て留め置き法。(回収数：500名)

実施目的： 「エネルギーと原子力に関するアンケート」調査は、エネルギーや原子力に関する世論の動向を学術的に調査・分析するため、継続的かつ定期的に調査することを目的として実施。2006年度から2011年度は日本原子力学会「マスメディア報道と原子力世論に関するデータベース構築と拡充」特別専門委員会が、2012年度以降は日本原子力学会「市民および専門家の意識調査・分析」特別専門委員会が実施。

● 原子力防災に関する住民意識調査報告

実施主体： 敦賀市

実施時期： 2013年12月

調査対象者： 2013年11月22日現在の20歳以上人口から無作為抽出した1400名

実施目的： 敦賀市民の原子力防災に関する認識や意識及び行動実態等を分析し、今後の原子力防災対策の充実・強化に資することを目的として、福井大学附属国際原子力工学研究所と協同で2013年12月に「原子力防災に関する住民意識調査」を実施。

● 原子力発電所の安全強化対策に対する住民の意識調査

実施主体： 「原発事故のミティゲーション措置に関する貨幣的調査」研究グループ

実施時期： 2013年12月13日～12月17日

調査対象者： 調査代行会社インテージとモニター契約を結ぶ住民7,104名に主旨を説明した上で調査への協力を依頼。(2,938名(有効回答数／依頼数=41.4%))

実施目的： 住民の安全・安心に資するより良い安全強化対策、及びそれに伴う情報提供など、他の様々な対策の検討に必要な情報を整理することを目的に、2013年12月に全国の原発立地地域の住民を対象にインターネット調査を実施。

8. ロードマップにおける課題の選定方法

＜日本原子力学会が各種社会調査を改めて分析し直すことにより抽出された社会的要請＞

社会的要請	体系分類
<ul style="list-style-type: none"> • リスクの存在を前提とした誠実な対話・情報公開 • 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 • 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 	リスクマネジメント力の向上
<ul style="list-style-type: none"> • 東京電力福島第一原子力発電所事故対応・廃炉から得られる経験・教訓の共有 • 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 • 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 • 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 	安全基盤の継続的強化
<ul style="list-style-type: none"> • 東京電力福島第一原子力発電所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 • 信頼に耐え得る原子力関係者の真摯な姿勢・取り組み • リスクの存在を前提とした誠実な対話・情報公開 • 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 • エネルギーの安定的な供給への貢献 • 温室効果ガス排出量抑制への貢献 	社会からの信頼と共生
<ul style="list-style-type: none"> • 東京電力福島第一原子力発電所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 • 核不拡散・核セキュリティへの貢献 • 温室効果ガス排出量抑制への貢献 	国際協力・国際貢献の推進
<ul style="list-style-type: none"> • 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 	放射性廃棄物処理処分への技術的・社会的取組

9. 要素課題の重要度に基づく優先順位付けの評価方法(平成28年度)

- (A)軽水炉の安全性向上の実効性と(B)軽水炉の安全性向上に資する技術・人材の維持・発展における重要度の2つの観点に関する「評価軸」を用いて、産業界及び学术界から選出された812名の評価者が各要素課題を採点。
- 採点結果から得られる各要素課題の「重要度」は、「◎」、「○」、「△」で表される。
- 「評価軸」については、重複する評価項目の見直し、表現の簡素化、採点方法の見直し等の観点から、日本原子力学会が実施するローリングの中で検討が行われる。

- 各課題を解決時期に応じて、時間軸に沿って並び替えた「ロードマップ俯瞰図」を策定
- 「ロードマップ俯瞰図」上の課題の解決に必要となる技術開発及び人材育成の各取組を適切なまとまり毎に分類した要素課題に対して、概要、具体的な項目、課題として取り上げた根拠、現状分析、期待される効果、他課題との相関、実施の流れ、実施機関、資金担当を記載した「課題調査票」を策定
- 各要素課題を、その解決により期待される効果に応じて、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループにより提示された8つの課題別区分に分類

↓
課題が適切に定義できていない、あるいはステークホルダーが不明確なものは、ロードマップには掲載しない

<評価軸>

- 各要素課題を(A)と(B)の2つの観点から、それぞれ6点(①～③にそれぞれ2点を配分)で採点。
- 採点結果から得られる要素課題の「重要度」に基づき、要素課題の優先順位付けを行う。

(A)軽水炉の安全性向上の実効性
(実効性のある成果が見通せる課題の抽出)

- ①事故の経験を通じて明らかになった課題の解決への寄与度が高い
- ②課題解決によるリスク低減効果が相対的に高い
- ③費用対効果が相対的に高い

(B)軽水炉の安全性向上に資する技術・人材の維持・発展における重要度
(中長期的な安全基盤の維持・将来世代のニーズに資する課題の抽出)

- ①原子力分野における多くの主体の共通の基礎基盤となり得る
- ②軽水炉安全分野における世界的なブレークスルーに繋がり得る
- ③画期魅力的な課題提示により若手人材の獲得・育成に繋がり得る

↓
原子力を取り巻く環境変化や社会的要請等も考慮し、各要素課題の重要度を総合的に評価。

↓
要素課題の優先順位付けがなされた「ロードマップ」の策定

(注) (A)と(B)は、それぞれ各要素課題の「重要度」を、短期的な視点と中長期的な視点から評価する「評価軸」。

10. ロードマップのローリング

○ローリングの作業を、以下の4つに大別する。

- ①エネルギーミックス等のエネルギー政策の方針の決定・変更や、原子力発電所の再稼働及び廃炉の状況、世界における原子力利用の動向、高速炉等革新炉開発の進展、再処理工場や燃料加工工場の建設などサイクル政策の動向、電力システム改革後の原子力事業環境等、原子力を取り巻く周辺の社会環境や制度的制約等の情勢変化を踏まえた、「マイルストーン」、「各マイルストーンにおける目指す姿」及びその「標語」等の大枠の見直し
- ②「各マイルストーンにおける目指す姿」をブレークダウンした指標に基づく技術開発及び人材育成の達成度評価と、その評価結果や①の見直しを踏まえた「評価軸」の見直し
- ③②で見直された「評価軸」を用いた優先順位付けや取捨選択による取組項目の見直し
- ④①～③を通じて見直されたロードマップへの改善案等の提示

○実施時期と実施方法が異なる以下の2種類のローリングを実施する。

(a) 政策方針の決定・変更等があった場合のローリング

①と④を自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループが、②と③を日本原子力学会が担い、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループと日本原子力学会とのキャッチボールを通じて全体のローリングを実施する。

(b) 1年に1度の技術開発及び人材育成の進捗を踏まえた定期的なローリング

②と③を日本原子力学会が、④を自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループが担い、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループと日本原子力学会とのキャッチボールを通じて全体のローリングを実施する。

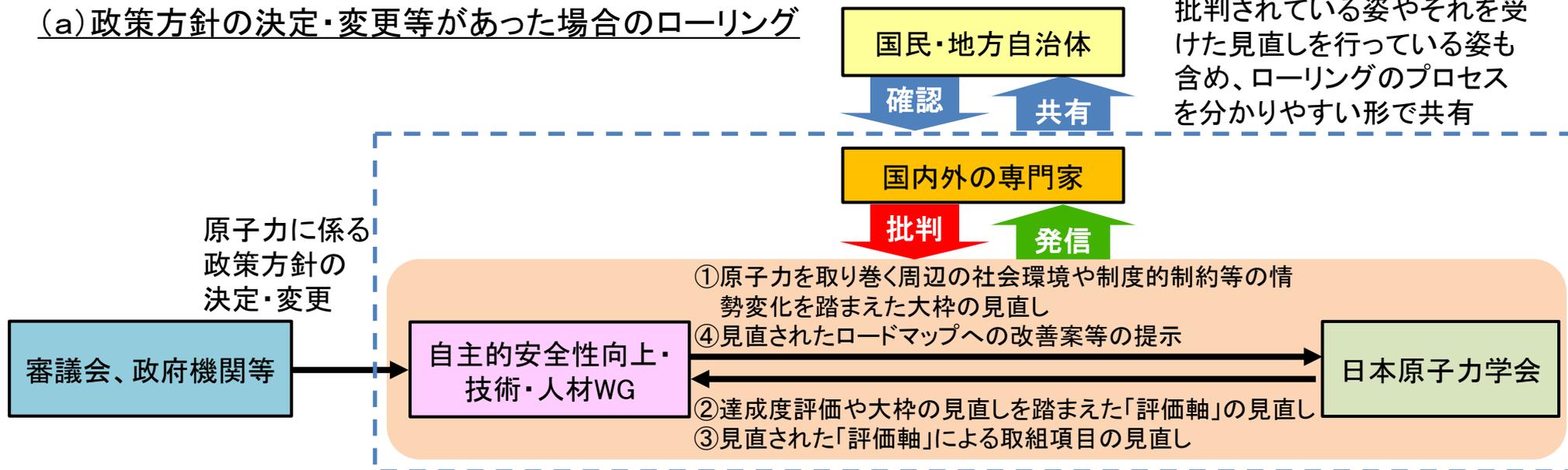
10. ロードマップのローリング

- (a)、(b)のいずれの場合においても、ローリングの過程では、①～④の作業に限らず、ロードマップの改善に向けた必要な検討・見直しを行うこととし、また、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループがロードマップをローリングしていく過程は、国民に分かりやすい形で広く共有する。
- 日本原子力学会が担う②と③の作業においては、ロードマップの素案作成に参画している関係者に加えて、ロードマップに沿って実施された研究開発成果の一次的な利用主体となる関係省庁も、各省庁の予算的な制約条件や国際協力の展開状況をロードマップに反映させる観点から、ローリングに参画するよう求めていく。

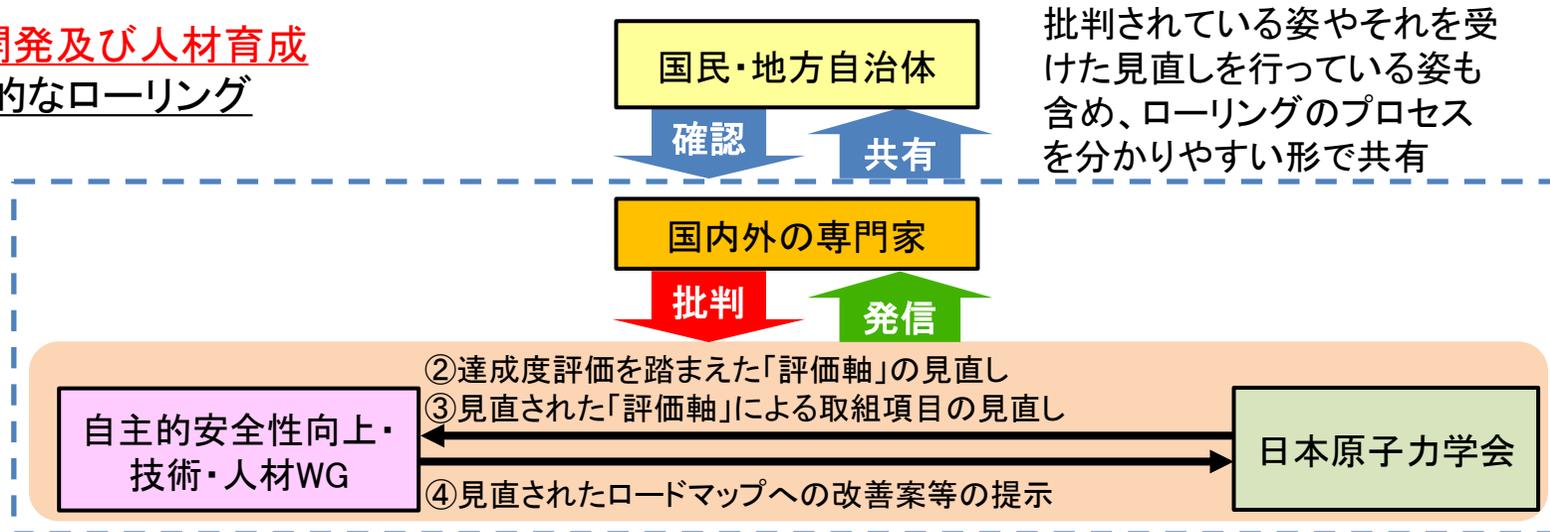
10. ロードマップのローリング

<ローリングの実施体制>

(a) 政策方針の決定・変更等があった場合のローリング



(b) 1年に1度の技術開発及び人材育成の進捗を踏まえた定期的なローリング



10. ロードマップのローリング

<ローリングの実施イメージ>

➤ マイルストーン

□ 各マイルストーンにおける目指す姿の標語

～2020

～2030

～2050

要素課題A'

要素課題B

要素課題Z

科学的な規律や知見に基づく自律的な安全性向上の取組を強固なものとし、国際的な知見も活用しつつ、軽水炉安全技术及び人材を継続的に維持・発展できる枠組みを構築する。

自律的な安全性向上の取組や枠組みに対する信頼の下で、国際的な協力体制を確立するとともに、エネルギー需給構造における重要なベースロード電源として原子力が適切に活用されるよう、安全確保に必要な投資を着実に実施し残余のリスクを低減させる。

原子力が世界の温暖化対策や持続的なエネルギー供給に安定的な役割を果たせるよう、原子力利用のデメリットの低減とメリットの向上を更に進め、技術・人材の両面で国際社会に貢献する

要素課題A'

評価軸

適切な「評価軸」により、要素課題の優先順位付けを実施。要素課題の重要度を「◎」、「○」、「△」の3段階で表現。

<②に分類される見直し>

ロードマップの大枠の見直しと各要素課題に対する取組の進捗状況を踏まえ、「評価軸」を見直す

<③に分類される見直し>

「評価軸」の変更を受けて、以下のような見直しを行う
 ✓ 要素課題及びその重要度の変更
 ✓ 要素課題の削除
 ✓ 要素課題の追加

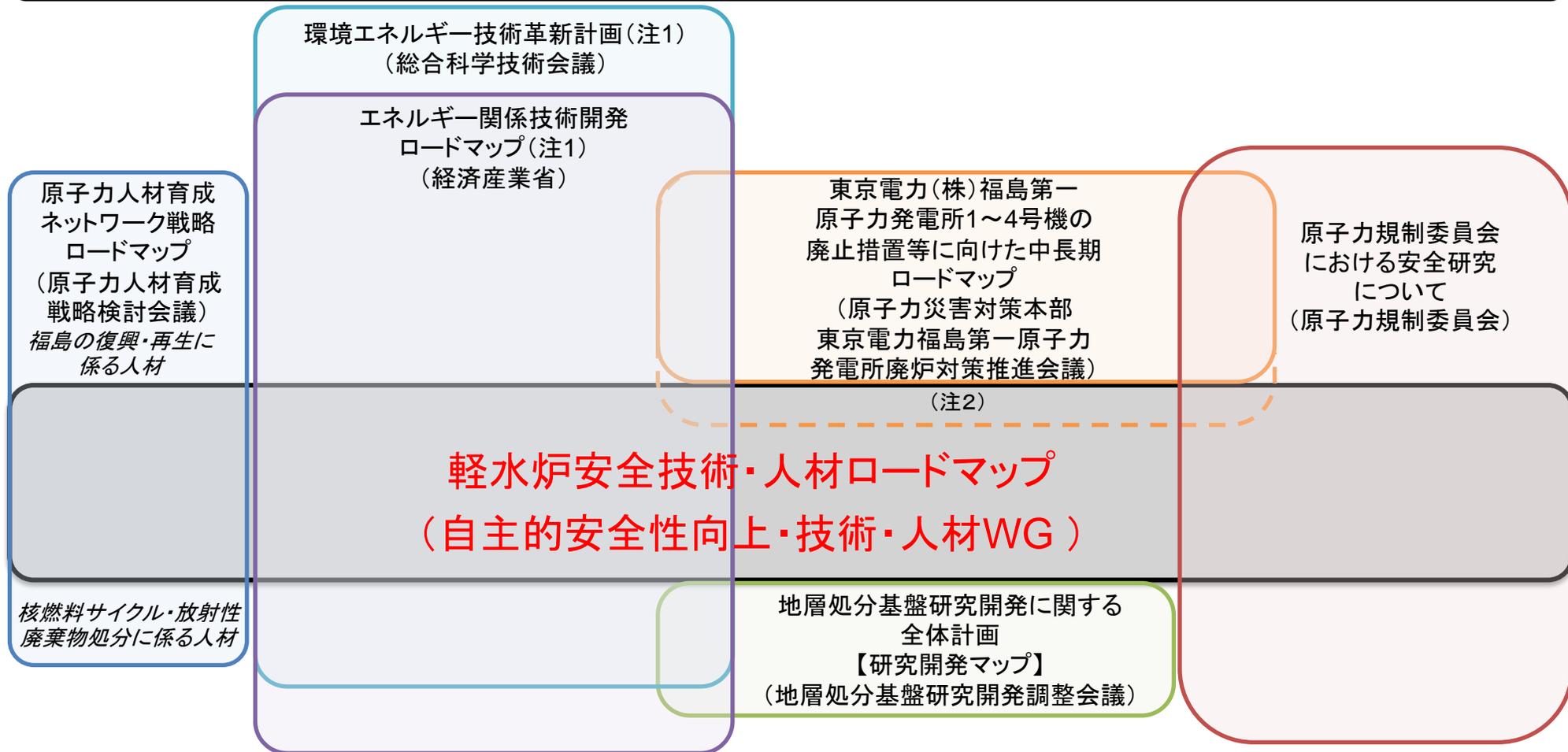
<①に分類される見直し>

原子力を取り巻く周辺の社会環境や制度的制約等の情勢変化を踏まえ、「マイルストーン」、「各マイルストーンにおける目指す姿」及びその「標語」等を見直す

①～④から成るローリングの実施を通じて、今回のロードマップ策定後においてもその機能を担保するものとする。

(参考)我が国の原子力関連技術及び人材に関するロードマップが 対象とする技術範囲の相関図(平成27年6月時点)

○本相関図は、我が国の原子力関連技術及び人材に関する各ロードマップ等が対象とする技術範囲の重複関係を示す。



(注1)原子力分野以外を含むエネルギー技術開発全般に関するロードマップ

(注2)東京電力(株)福島第一原子力発電所1~4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップは、中長期的な視点での人材確保・育成も視野に入れた現場ニーズを踏まえた基礎基盤的な研究開発や、廃止措置に係る人材育成だけでなく、福島第一原子力発電所の事故の経験を踏まえたシビアアクシデント研究の人材育成を図る重要性にも言及されていることから、当該範囲を軽水炉安全技術・人材ロードマップと重複する範囲として点線で記載。

(参考)我が国の原子力関連技術及び人材に関するロードマップが 対象とする技術範囲の相関図(平成27年6月時点)

<我が国の原子力関連技術及び人材に関するロードマップ>

- ▶ 東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ(平成25年6月原子力災害対策本部東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議)
東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた、汚染水対策や使用済燃料プールからの燃料取出しのような短期の取組と、炉内の融けた燃料の取出しに向けた技術開発等の中長期の取組に係るロードマップ。
- ▶ 地層処分基盤研究開発に関する全体計画【研究開発マップ】(平成25年3月地層処分基盤研究開発調整会議)
平成25年度以降の5カ年を対象とした地層処分に関する国の基盤研究開発全体計画。
- ▶ 原子力規制委員会における安全研究についてー平成27年度版ー(平成27年4月原子力規制委員会)
規制基準の整備とその適用に必要な技術的知見の取得、個別の技術的判断の根拠となる知見の取得等を目的とした研究の実施を毎年度提示。
- ▶ エネルギー関係技術開発ロードマップ(平成26年12月経済産業省)
エネルギー基本計画で策定することが明示されたことを受け、エネルギーに関連する技術開発プロジェクト全体を俯瞰したもの。どのような課題の克服が目標とされる取組なのか、開発を実現する時間軸と社会実装化のための方策を合わせて明確にして整理。
- ▶ 環境エネルギー技術革新計画(平成25年9月総合科学技術会議)
世界の温暖化問題やエネルギー需給の逼迫等の課題の解決に貢献する、革新的技術の着実な開発と普及の具体化を図るために必要な方策を提示した計画。
- ▶ 原子力人材育成ネットワーク戦略ロードマップ(平成26年9月原子力人材育成戦略検討会議)
人材育成に戦略的に取り組むため、長期的展望のなかで原子力産業界の10年後のあるべき姿を想定し、今後取り組むべき課題について、産官学の役割分担、スケジュールなどを展開したロードマップ。

以下、平成28年度のローリング作業を踏まえて更新

Ⅱ．軽水炉安全技術・人材ロードマップ (平成29年2月時点)

(注1) 11. ロードマップ俯瞰図と12. ①～⑦中に記載されているStage1(短期)は現時点から2020年まで、Stage2(中期)は2020年から2030年まで、Stage3(長期)は2030年から2050年までの期間を表す。

(注2) 12. ①～⑦のロードマップ中、(S101M101L102_z01)といった要素課題を識別する英数字、◎○△といった重要度分類を示す記号は、日本原子力学会における検討結果である「要素課題に対する重要度評価の結果」(後掲)より引用。

<ロードマップ中の記載例>

1F事故を踏まえ安全目標の自主的な再設定を行う	S101M101L102_z01	◎
-------------------------	------------------	---

(注3) 各要素課題に関する現状分析、実施機関及び資金担当主体等に関する詳細情報は、日本原子力学会が公開している「課題調査票」を参照。

11. ロードマップ俯瞰図

○各課題を解決時期に応じて時間軸に沿って並び替え、軽水炉安全に係る課題の全体像を把握。



【長期的展望に基づく目標】国民の信頼が得られている中、安全を大前提に3E達成の重要電源として原子力発電を継続的に利活用

(注)①～⑧は、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループにより提示された8つの課題別区分に対応。

12. 「①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

Stage1 (短期)

Stage2 (中期)

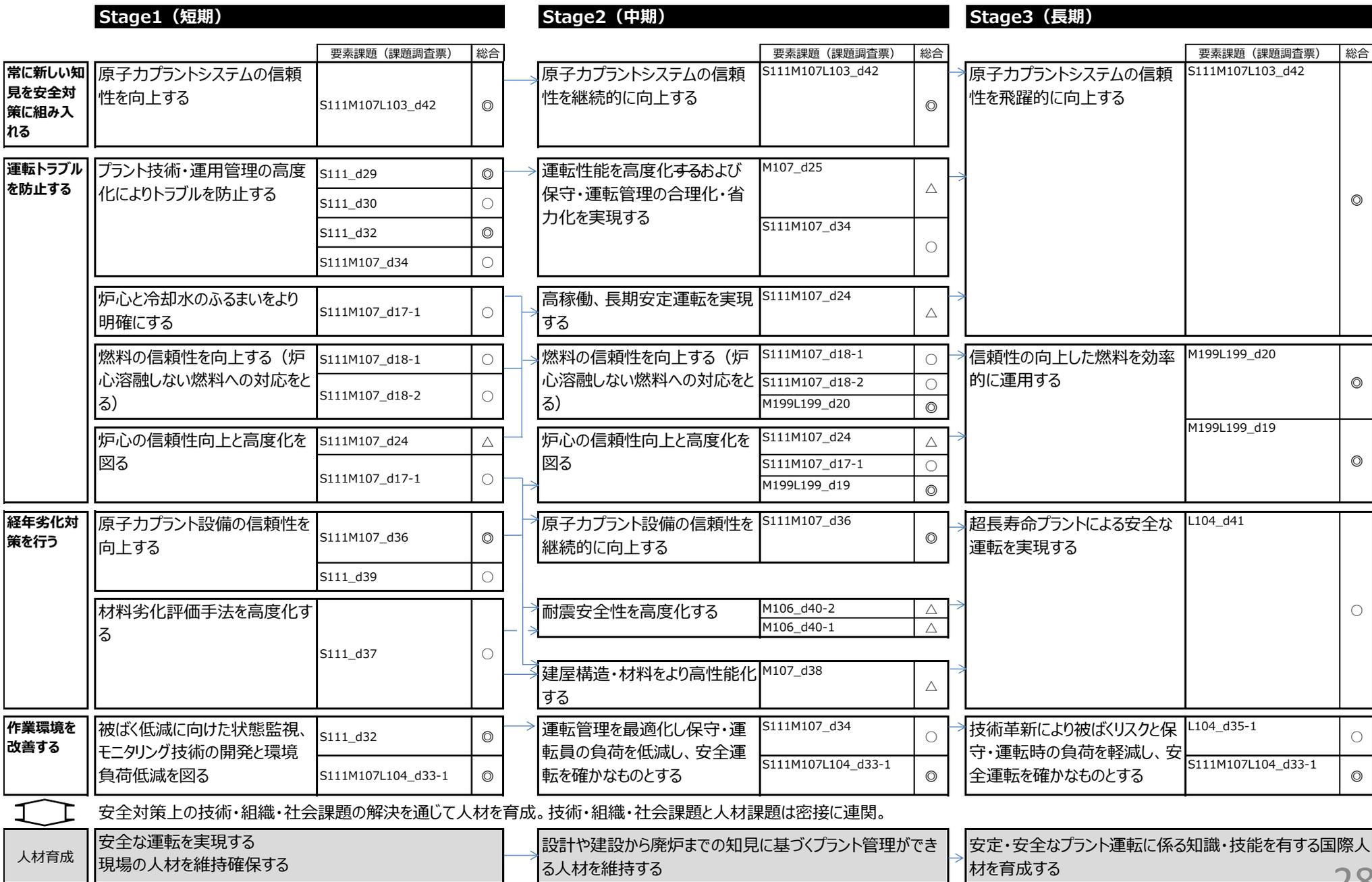
Stage3 (長期)

		要素課題 (課題調査票)	総合			要素課題 (課題調査票)	総合			要素課題 (課題調査票)	総合
様々なリスクを把握する	1 F事故を踏まえ安全目標の自主的な再設定を行う	S101M101L102_z01	◎	安全目標に関わるリスク情報を得るための継続的な研究を実施する	S101M101L102_z01	◎	Stage2 (中期) に同じ	S101M101L102_z01	◎		
	解析手法の高度化や最新技術の活用により、地震や津波についてのリスク情報の精緻化を図る	S106_c04	○	最新の知見・技術に基づく大規模自然災害によるリスクを含めた網羅的なリスクの把握と精緻化を継続的に実施する	S103M102L101_b01	○	不確実性が限定されたリスク情報とその活用方法を国際的に共有する	S103M102L101_b01	△		
		S106_c05	◎		M104L103_c06	○		M104L103_c06	○		
	地震・津波以外の自然災害・事故についてのリスクの網羅的な把握と、対策の重要度の検討を行う	S106_c03	◎		S103M102L101_b01	○		S103M102L101_b01	○		
リスク情報を把握するための手法やデータの整備を行う	S111_d13	◎									
	S111_d22	○									
リスク情報を踏まえて対策をとる	ハード	大規模自然災害によるリスク情報を活用した機器を導入・開発する	S110_c10	○	極めて稀に発生する大規模自然災害を含め、リスクを効果的に低減する機器開発を継続し、その知見を設計に反映する	S111M107L103_d42	◎	効果的なリスク低減策を設計へ反映する活動を継続し、リスクが極小化された世界標準の原子力プラントを設計する	S111M107L103_d42	◎	
	ソフト	1 F事故の知見を活用した機器の導入・開発を行う	S111M107L103_d42	◎	リスク情報を効果的に活用する制度や知識基盤の整備を進める	S101M101L102_z01	◎	リスクが極小化されるマネジメント策とそのための組織・制度を整備する	S101M101L102_z01	◎	
社会と共有する	リスク低減を加速するための制度や知識基盤の整備を進める	S101M101L102_z01	◎	最新のリスク情報に基づいたマネジメントや意思決定の改善によるリスクの低減を図る	S110M106L103_d01	◎		S101M101L102_z01	◎		
		S110M106L103_d02	○		S110M106L103_d02	○		S103M102L101_b01	○		
		S111_d29	◎		M103L101_a04	◎					
		S102M101_a01	○		S102M101_a01	○					
	S102_a09	○									
	S102_a06	△									
	S102_a07	○									
原子力施設のリスクについての社会との丁寧な対話を行う	S103M102L101_b01	○	原子力施設の安全目標についての社会との丁寧な対話を行う	S103M102L101_b01	○	丁寧な対話を通じ、社会的に合意された安全目標の継続的な見直しを図る	S101M101L102_z01	◎			
リスク情報の活用による地域防災や広域防災の能力を向上する	S104_b04	○	リスク情報の活用による地域防災や広域防災の能力を継続的に向上する	S101M101L102_z01	◎	Stage2 (中期) に同じ	S101M101L102_z01	◎			
	S104M101L102_b02-1	○		S104M101L102_b02-1	○		S104M101L102_b02-1	○			
	S104M101L102_b02-2	○		S104M101L102_b02-2	○		S104M101L102_b02-2	○			
	S104M101L102_b02-3	○		S104M101L102_b02-3	○		S104M101L102_b02-3	○			
1 F事故の教訓を国際的に共有する	S110M106L103_d02	○	リスク情報や安全目標に関する最新知見を国際的に共有して世界の原子力安全に貢献する	M102L101L104_b08	○	Stage2 (中期) に同じ	S110M106L103_d02	○			

安全対策上の技術・組織・社会課題の解決を通じて人材を育成。技術・組織・社会課題と人材課題は密接に連関。

人材育成	自然災害の発生頻度を含む、リスクに関連する様々な分野を俯瞰できる人材を輩出する	リスクマネジメントに関する人材研修の海外からの受け入れを継続的に行う	Stage2 (中期) に同じ
	リスク情報の扱いに長けた人材を国内から排出する	リスクマネジメント分野で活躍が国内外でできる人材を継続的に輩出し維持する	Stage2 (中期) に同じ

12. 「②既設の軽水炉等の事故発生リスクの低減」ロードマップ



安全対策上の技術・組織・社会課題の解決を通じて人材を育成。技術・組織・社会課題と人材課題は密接に連関。

12. 「③事故発生時のサイト内の被害拡大防止方策」及び「④事故発生時のサイト外の被害極小化方策」ロードマップ

Stage1 (短期)

Stage2 (中期)

Stage3 (長期)

発電所外からの影響を把握する	自然災害等の災害がプラントに与える影響を把握する	Stage1 (短期)		Stage2 (中期)		Stage3 (長期)						
		要素課題 (課題調査票)	総合	要素課題 (課題調査票)	総合	要素課題 (課題調査票)	総合					
発電所外からの影響を把握する	自然災害等の災害がプラントに与える影響を把握する	自然災害の観測・予測技術と体制を整える	S105_a05 S107_c08	◎ △	最新の知見・技術に基づく観測体制の最適化を継続する		◎	自然災害の観測・予測技術や体制の展開により、世界的な自然災害予測の向上に貢献する				
		地震・津波以外の自然災害や航空機衝突等、プラント外部の災害の影響の把握とリスク評価を行う	S106_c03 S106_c07	◎ △	大規模地震や大津波を含め、極めて稀に発生する大規模な災害についての最新の知見を更新し、その影響把握とリスクを評価する手法を改良し、不確実性を低減する研究を継続する	M104L103_c06		◎	極めて稀に発生する大規模な災害の影響やリスクの不確実性を飛躍的に低減する	M104L103_c06	◎	
		断層変位や斜面崩壊等を含めた地震影響評価技術を構築する。耐津波工学を体系化する	S106_c04 S106_c05	○ ◎				○				○
発電所における事故対応能力の向上	知識・技術	シビアアクシデントを含む、事故時の挙動の把握を進め、解析コードや評価ツールを改良する。	S112M107_d08	◎	大規模災害によるものを含め、各種挙動の把握や評価手法の改良を継続し、評価に伴う不確実性を低減する	S101M101L102_z01 S103M102L101_b01 S112M107_d08	◎ ○ ◎	大規模な災害時を含め、革新的な技術と最新知見を活用し、国際標準となる事故リスクを飛躍的に低減した軽水炉を設計し、国際的な原子力安全に貢献する	S111M107L104_d10	◎		
		事故リスクを飛躍的に低減した軽水炉の設計を進める	S111M107L104_d10	◎	事故リスクを飛躍的に低減した軽水炉の設計を継続的に進める	S111M107L104_d10	◎					
		事故の時のプラントの状況をより正確に把握できるようにするための計装や機器を開発する	S111_d11-2 S111_d32 S111_d14	○ ◎ ○	事故時マネジメントを設計に反映し、革新的な技術開発につなげる	M108_d12 M199L199_d20 M106_d06 S111M107L104_d10	◎ ◎ △ ◎			M199L199_d19	◎	
		事故に備えた設備や機器を開発し、多様化を進め、適切にメンテナンスする	S111M107L104_d33-1 S111_d11-1 S111_d14 S104_c02 S111_d13 S111_d30	◎ ◎ ○ ◎ ◎ ○	国際動向も踏まえ、極めて稀に発生する大規模な災害も考慮したシビアアクシデントマネジメントの改善により、リスクを継続的に低減する	M103L101_a04	◎	革新的な技術や外部緊急支援組織を活用し、大規模な災害時を含め、シビアアクシデントにおいても、発電所敷地外への影響を極小化できるマネジメントを整備する。	M101L101_a02	○		
		リーダーや要員への情報提供方法の改善を含めたマネジメントの改善や、新しいマネジメント策の導入を含め、マネジメントを最適化する	S105_a05 S102_a12	◎ ○		M106_d07	○	マネジメントの国際標準化を通じて、世界の原子力安全の向上に貢献する	M103L101_a04	◎		
	マネジメント	国際的な最新知見に基づきSA対策を検討する	S110_c10 S111_d13 S110M106L103_d02	○ ◎ ◎		S110M106L103_d02	○			S110M106L103_d02	○	
		訓練マニュアルや訓練方法の改善により、事故に備えた訓練を高度化する	S104_c02	◎			○				○	
		組織のリスクマネジメント力を強化するため組織編成や組織機能の最適化を行う	S104_c02 S102_a03	◎ △	新技術の導入や体制の整備を含め、緊急時支援組織の機能を強化する	M101L101_a02	○	強化された外部緊急支援組織の活用を含めた原子力防災力により、地域やより広域における多様な防災力の強化に活用する	M101L101_a02	○		
		組織等	プラントの内外の連携を強化する	S104M101L102_b02-1 S104M101L102_b02-2	○ ○	プラントの内外の連携を強化し、地域の原子力防災を向上させ、その範囲を広域防災へと拡充する	S104M101L102_b02-3 S104M101L102_b02-1	○ ○			S104M101L102_b02-1	○
			広域災害時にも利用可能な放射線計測装置の導入と活用のための体制の整備により、事故時のプラント周辺の状況を正確に把握する	S104_b04	○		S104M101L102_b02-1	○			S104M101L102_b02-2	○
防災計画の改善により地域の原子力事故時の防災力を高める	S104M101L102_b02-1 S104M101L102_b02-2 S104_b04		○ ○ ○		S104M101L102_b02-2 M103L101_a04	○ ◎			S104M101L102_b02-3 M103L101_a04	○ ◎		
(プラント外の) 防災力	社会の防災力を強化する	プラントの内外の連携を強化する	S104M101L102_b02-1 S104M101L102_b02-2	○ ○	プラントの内外の連携を強化し、地域の原子力防災を向上させ、その範囲を広域防災へと拡充する	S104M101L102_b02-3 S104M101L102_b02-1	○ ○			S104M101L102_b02-1	○	
		広域災害時にも利用可能な放射線計測装置の導入と活用のための体制の整備により、事故時のプラント周辺の状況を正確に把握する	S104_b04	○		S104M101L102_b02-1	○			S104M101L102_b02-2	○	
		防災計画の改善により地域の原子力事故時の防災力を高める	S104M101L102_b02-1 S104M101L102_b02-2 S104_b04	○ ○ ○		S104M101L102_b02-2 M103L101_a04	○ ◎			S104M101L102_b02-3 M103L101_a04	○ ◎	

安全対策上の技術・組織・社会課題の解決を通じて人材を育成。技術・組織・社会課題と人材課題は密接に連関。

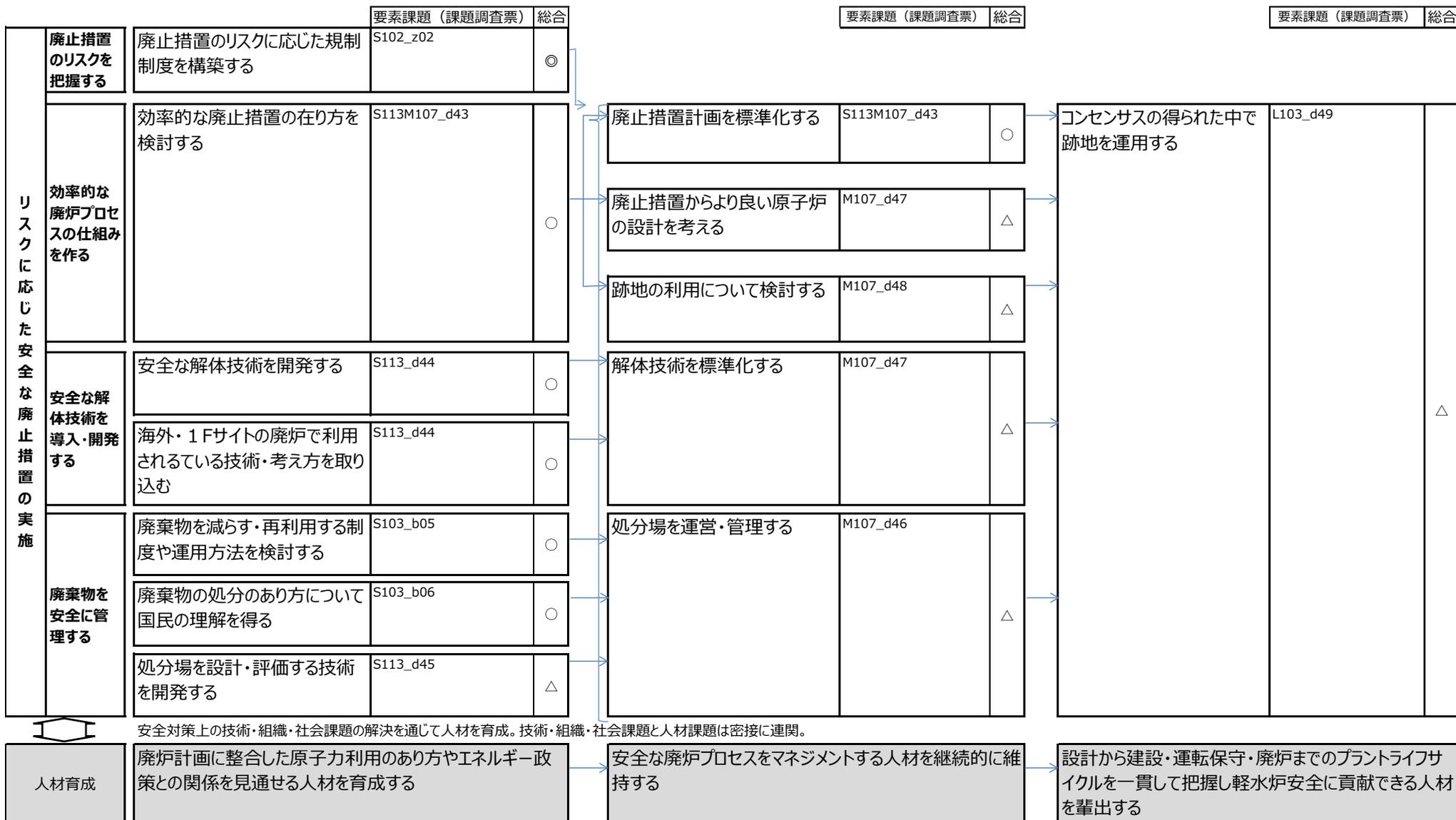
人材育成	事故対応に優れたリーダーや要員を育成・輩出する	リーダーシップを発揮し、複数組織を束ねて事故対応に当てる人材を輩出する	事故時対応に関し、国際的に活躍できる人材を輩出する
	自然災害などの科学的知見を、原子力プラントの安全性向上に結び付けられる人材増を図る	稀に発生する大規模な災害の事故に関する知見を継続的に研究し、安全性向上へと反映する人材を輩出し、維持する	Stage2 (中期) に同じ

12. 「⑤既設炉の廃炉の安全な実施」ロードマップ

Stage1 (短期)

Stage2 (中期)

Stage3 (長期)



12. 「⑥核不拡散・核セキュリティ対策」ロードマップ

Stage1 (短期)

Stage2 (中期)

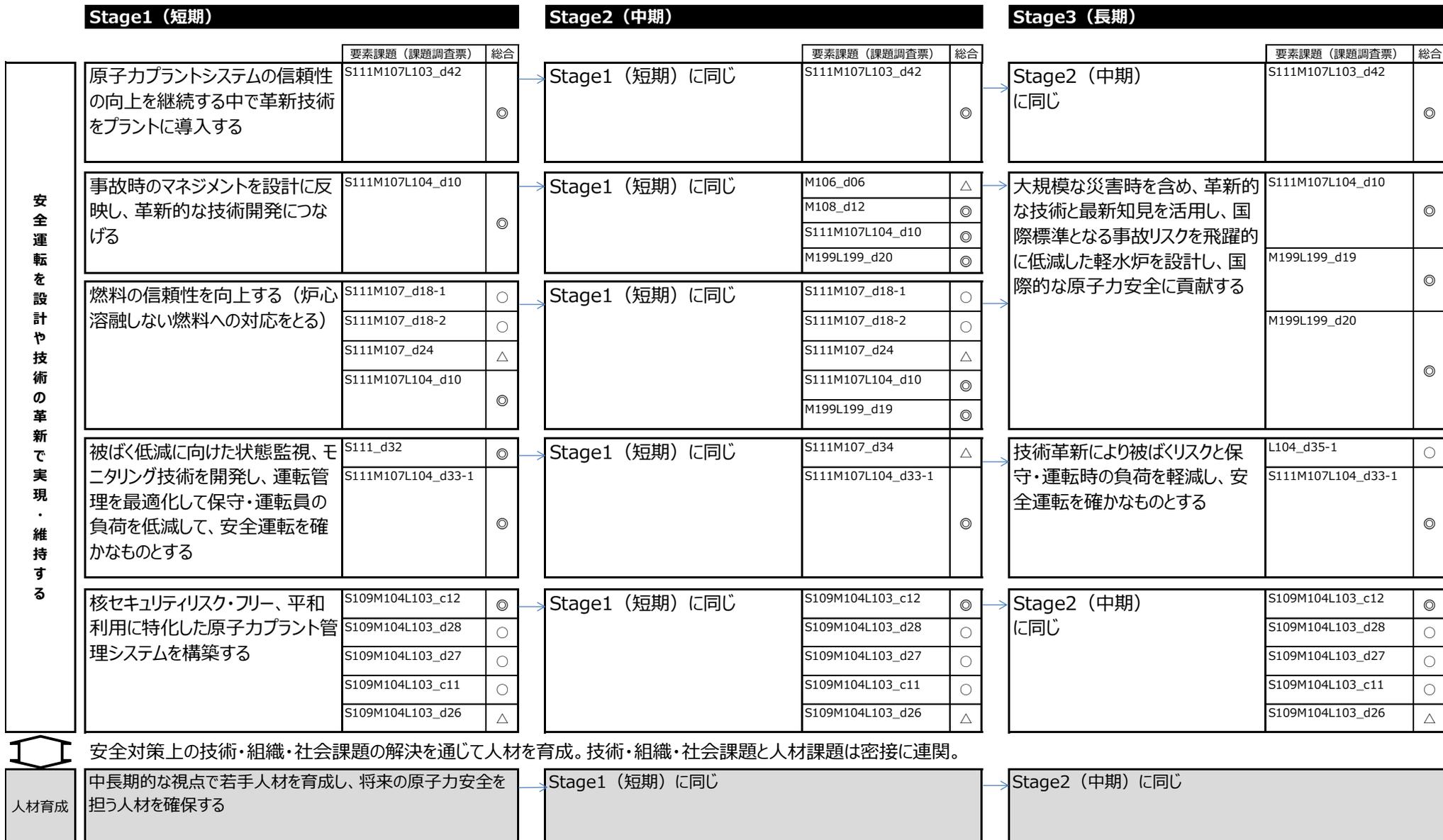
Stage3 (長期)

	要素課題 (課題調査票)		総合		要素課題 (課題調査票)		総合		要素課題 (課題調査票)		総合		
プラント設計をセキュリティの観点から改善する	核セキュリティ対策を設計や安全対策に反映することで事故発生リスクの低減の相乗効果を図る	S109M104L103_c12	◎	→	核セキュリティ対策と安全対策の継続的な改善を図る	S109M104L103_c12	◎	→	核セキュリティリスク・フリー、平和利用に特化した原子力プラント管理システムを構築する	S109M104L103_c12	◎		
		S109M104L103_c11	○				S109M104L103_c11		○			S109M104L103_c11	○
プラントの運転や管理の仕組みをセキュリティの観点から改善する	核拡散抵抗性概念を導入し、設計による保障措置有効性の向上及び核物質転用困難性の向上への適用可能性を検討する	S109M104L103_d26	△	→	核拡散抵抗性の高い設計を行う上での性能基準を導出し、有効性を実証する	S109M104L103_d26	△	→		S109M104L103_d26	△		
	核セキュリティ脅威検知のための技術と仕組みを開発する	S109M104L103_d28	○		→	核セキュリティ脅威によるリスクを可能な限り低減させるための技術と仕組みを構築する	S109M104L103_d28		○	→		S109M104L103_d28	○
セキュリティに係る情報基盤の構築や組織文化の醸成を図る	コンピューターセキュリティの状況を把握する	S109M104L103_d27	○	→		コンピューターセキュリティの脅威を分析し、その防御対策を継続的に高度化する	S109M104L103_d27	○	→			S109M104L103_d27	○
	セキュリティに係る情報基盤の構築や組織文化の醸成を図る	S102M102L101_a11	○		→	セキュリティに係る情報基盤の拡充や組織文化の向上を図る	S102M102L101_a11	○		→		S102M102L101_a11	○
		S102M102_a08	○					S102M102_a08			○		S102M102_a08
		S102_a10	△							S102M102L101_a11	○		

 安全対策上の技術・組織・社会課題の解決を通じて人材を育成。技術・組織・社会課題と人材課題は密接に連関。

人材育成	国内施設の核不拡散や核セキュリティへの真摯な取組を通じて、国民や国際社会からの信頼を獲得する	→	核不拡散や核セキュリティの国際的な課題に向けてわが国が積極的に貢献する	→	核不拡散・核セキュリティ対策の国際的な枠組みが高度化され、その運用において、わが国の輩出人材が高い貢献を果たす
	安全とセキュリティの相互理解に基づくプラント運転管理等を担う人材を効果的に育成する制度を整備する	→	各セキュリティ教育の資格制度等により、人材教育・育成・輩出に取り組む	→	
	アジアを中心とした原子力新興国への教育・普及、教育機関（中核的機関：COE）の設立支援を行う	→	アジアを中心とした原子力新興国の教育システムの自立支援、教育機関（COE）とのネットワークを構築する	→	原子力新興国等を教育機関（COE）との継続的なネットワークを構築・発展させる

12. 「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」ロードマップ



(参考)要素課題に対する重要度評価の結果(日本原子力学会作成)①

ID	該当する課題調査票題目	(A) 軽水炉の安全性向上の実効性	(B) 軽水炉の安全性向上に資する技術・人材の維持・発展	重要度総合評価	(A)			(B)		
					①	②	③	①	②	③
S101M101L102_z01	福島第一事故を踏まえた安全目標の設定とリスク認知	4.6	3.4	◎	1.75	1.75	1.08	1.92	0.67	0.83
S102_z02	リスクレベルに応じた規制制度変更とその円滑な実施	3.9	3.2	◎	0.92	1.17	1.83	1.75	0.42	1.00
S102M101_a01	・リスク情報を活用する体制の検討着手(部分的な取り込み・関連する人材育成も含む) ・リスク情報を活用する体制の構築(高度化されたリスク評価技術の規格化・関連する人材育成も含む)	4.1	2.9	○	1.58	1.33	1.17	1.42	0.42	1.08
M101L101_a02	プラント全体のリスクを極小化する緊急時対応組織の対応能力強化(外部支援の強化等)	4.3	2.9	○	1.75	1.17	1.33	1.58	0.50	0.83
S102_a03	(通常運転時)組織編成・機能分担の最適化	2.8	2.2	△	0.83	1.00	0.92	1.25	0.17	0.75
M103L101_a04	大規模自然災害対応へのリスクガバナンス構築	4.5	3.7	◎	1.83	1.58	1.08	1.50	0.92	1.25
S105_a05	緊急時対応における情報共有や意思決定判断基準の高度化(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	4.5	3.4	◎	1.92	1.58	1.00	1.50	0.67	1.25
S102_a06	リスク文化の定着	3.8	3.1	△	1.58	1.25	1.00	1.83	0.50	0.75
S102_a07	安全文化の醸成	3.7	2.9	○	1.50	1.00	1.17	1.67	0.42	0.83
S102M102_a08	短期:核セキュリティ文化の醸成 中期:核セキュリティ文化の浸透	3.0	3.3	○	1.09	0.82	1.09	1.73	0.55	1.00
S102_a09	リスク情報活用に向けた組織マネジメントの高度化	3.7	2.6	○	1.33	1.17	1.17	1.50	0.33	0.75
S102_a10	新興の原子力利用国に対する核セキュリティ教育	1.9	2.5	△	0.45	0.82	0.64	1.18	0.64	0.73
S102M102L101_a11	原子力安全と核セキュリティの2Sインターフェイスの構築 短期:2S定性的リスク評価手法の確立 中期:安全の深層防護とリンクする核セキュリティ深層防護の構築 長期:日本製2Sインターフェイスの概念と実装手法のIAEAによる標準化。日本製2Sインターフェイスに基づく実装を魅力とする日本製原子力プラントの開発	3.5	3.2	○	0.82	1.45	1.18	1.82	0.64	0.73
S102_a12	リスク情報(不確実さを含む)に基づく総合的意思決定に向けた枠組み構築と人材育成	4.3	3.6	○	1.67	1.33	1.25	1.67	0.58	1.33
S103M102L101_b01	リスク情報を活用したコミュニケーションの実施	3.7	3.3	○	1.67	0.83	1.17	1.67	0.58	1.08
S104M101L102_b02-1	原子力災害対策組織・体制(地域防災との関わり含む)の連携強化	4.0	3.0	○	1.75	1.08	1.17	1.58	0.42	1.00
S104M101L102_b02-2	オンサイト-オフサイト防災の円滑な情報連携への取組	4.0	2.5	○	2.00	1.08	0.92	1.50	0.25	0.75
S104M101L102_b02-3	・広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) ・広域防災への事業者の関わり・支援	3.8	2.7	○	1.83	1.08	0.83	1.50	0.25	0.92
S104_b04	効果的な防災対策に有効な外的事象情報の提供	3.9	3.2	○	1.67	1.25	1.00	1.50	0.50	1.17
S103_b05	クリアランスリサイクルの実現	2.9	2.8	○	0.50	0.83	1.58	1.67	0.50	0.67
S103_b06	処分場の確保	3.3	2.8	○	1.08	0.92	1.25	1.75	0.42	0.67
M102L101L104_b08	廃棄物やTRU低減を実現する革新的技術及び軽水炉システムの構築	3.2	3.9	○	0.92	1.25	1.00	1.33	1.25	1.33
S104_c02	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	4.5	3.2	◎	1.67	1.50	1.33	1.58	0.50	1.08
S106_c03	地震、津波以外の外的事象が及ぼすリスク早期把握と継続検討項目の抽出	4.3	3.9	◎	1.58	1.50	1.25	1.75	1.08	1.08
S106_c04	原子力プラントを対象とした津波に対する安全性評価・安全性確保技術の構築(耐津波工学の体系化)	4.3	3.8	○	1.75	1.42	1.08	1.50	1.08	1.17
S106_c05	リスク評価に用いる地震影響評価技術の構築(断層変位、斜面崩壊等のリスク評価も含む)	4.3	4.3	◎	1.33	1.67	1.33	1.83	1.25	1.25
M104L103_c06	・低頻度外的事象の知見に関する不確定性低減への継続的寄与 ・低頻度外的事象の知見に関する不確定性低減研究継続	3.9	3.5	○	1.33	1.42	1.17	1.75	0.92	0.83
S106_c07	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)	3.3	2.8	△	1.25	1.00	1.00	1.50	0.50	0.75
S107_c08	低頻度外的事象の監視モニタリング体制の構築	2.8	2.8	△	1.42	0.75	0.67	1.25	0.83	0.75
S110_c10	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	3.9	3.3	○	1.42	1.50	1.00	1.42	0.83	1.00
S109M104L103_c11	・妨害破壊行為の影響緩和および最小化(危機管理/緊急時対応計画の策定等) ・妨害破壊行為の影響緩和および最小化(体制の整備と評価) ・妨害破壊行為の影響緩和および最小化(国際化)	3.5	2.9	○	1.18	1.36	1.00	1.45	0.64	0.82
S109M104L103_c12	・核セキュリティ対策強化に伴う安全対策への影響評価 ・人為ハザードによる安全リスクの検討 ・「深層防護」における安全と核セキュリティの統合	3.9	3.2	◎	1.18	1.64	1.09	1.64	0.64	0.91

(参考)要素課題に対する重要度評価の結果(日本原子力学会作成)②

ID	該当する課題調査票題目	(A)軽水炉の安全性向上の実効性	(B)軽水炉の安全性向上に資する技術・人材の維持・発展	重要度総合評価	(A)			(B)		
					①	②	③	①	②	③
S111M106L103_d01	福島第一原子力発電所事故の教訓、最新知見を反映する枠組みの構築及び維持	4.9	3.0	◎	2.00	1.58	1.33	1.75	0.58	0.67
S110M106L103_d02	・福島第一事故を踏まえた外的事象に関連するIAEA基準等策定への参画 ・外的事象に関連するIAEA基準等策定への貢献 ・外的事象に関連するIAEA基準等策定の主導	3.6	3.8	○	1.50	1.17	0.92	1.83	0.92	1.00
M106_d06	安全性の向上に応じた深層防護の深化と実装	3.3	3.0	△	1.42	1.08	0.83	1.67	0.42	0.92
M106_d07	地震等外的事象後の具体的な再稼働可否判断基準の開発とその高度化	3.5	2.8	○	1.33	1.00	1.17	1.50	0.50	0.83
S112M107_d08	安全解析手法の高度化	4.4	4.3	◎	1.67	1.33	1.42	1.83	0.83	1.67
S111M107L104_d10	レジリエンスを強化した世界標準の軽水炉設計の構築	4.2	4.7	◎	1.67	1.50	1.00	1.58	1.33	1.75
S111_d11-1	最終ヒートシンクの多様化と高機能化	4.4	3.8	◎	1.67	1.58	1.17	1.58	1.00	1.25
S111_d11-2	SA時計装、SA対応設備の多様化と高度化及び設備の設計技術	4.3	3.9	○	1.83	1.33	1.08	1.50	1.08	1.33
M108_d12	深層防護の第1-3層(設計)から第4層(AM対策)および第5層(防災)まで総合的に考えた設計への取り組みによる事故制御性の抜本的向上	4.8	4.5	◎	2.00	1.50	1.33	1.75	1.25	1.50
S111_d13	リスク評価手法の改良とSA対策への適用	4.8	3.9	◎	1.92	1.42	1.42	1.67	1.08	1.17
S111_d14	SA対策機器の運用管理の最適化・高度化	4.0	2.7	○	1.50	1.25	1.25	1.42	0.67	0.58
L103_d16	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	3.9	3.5	○	1.50	1.33	1.08	1.55	0.91	1.09
S111M107_d17-1	炉心・熱水力設計評価技術の高度化	3.6	3.7	○	0.91	1.45	1.27	1.64	0.73	1.36
S111M107_d18-1	燃料の信頼性向上と高度化	3.4	3.7	○	1.09	1.09	1.18	1.36	1.00	1.36
S111M107_d18-2	燃料の信頼性向上(燃料の基準等整備と安全裕度評価手法の明確化)	3.3	3.5	○	1.00	1.36	0.91	1.55	0.73	1.18
M199L199_d19	革新的技術開発(材料開発等)と燃料濃縮度の見直しによる燃料長寿命化の追究	2.2	4.4	◎	0.55	0.82	0.82	1.45	1.36	1.55
M199L199_d20	事故時耐性燃料・制御棒の開発	4.1	4.6	◎	1.73	1.45	0.91	1.36	1.82	1.45
S111_d22	(既設)プラントの信頼性評価に有効な安全裕度評価の高精度化	3.9	3.8	○	1.50	1.17	1.25	1.58	0.83	1.33
S111M107_d24	プラント運用技術、炉心設計管理の高度化	2.5	2.9	△	0.36	1.00	1.18	1.36	0.45	1.09
M107_d25	運転性能の高度化(事象進展抑制、停止機能、負荷追従、等)	3.0	3.2	△	0.73	1.27	1.00	1.55	0.55	1.09
S109M104L103_d26	・核拡散抵抗性概念の適用可能性検討 ・核拡散抵抗性の高い設計基準の導出・有効性の実証 ・核拡散抵抗性の高い設計基準の適用	2.9	3.3	△	0.64	1.36	0.91	1.36	1.00	0.91
S109M104L103_d27	・コンピュータセキュリティ脅威の分析との防御ー ・コンピュータセキュリティ防御の高度化ー ・コンピュータセキュリティ防御の更なる高度化ー	3.5	3.7	○	0.64	1.45	1.36	1.64	0.91	1.18
S109M104L103_d28	□核セキュリティ脅威検知手法の開発 □ビッグデータを用いた監視・検知システムの開発 ・核セキュリティ脅威リスクを可能な限り低減させた管理	3.5	3.5	○	0.64	1.55	1.36	1.36	0.91	1.18
S111_d29	リスク情報活用による保全・運用管理の高度化	4.8	3.8	◎	1.42	1.67	1.75	1.75	0.83	1.25
S111_d30	SA対策機器の保全管理の確立	4.0	2.0	○	1.64	1.09	1.27	1.27	0.09	0.64
S111_d32	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	4.3	4.0	◎	1.18	1.55	1.55	1.64	0.73	1.64
S111M107L104_d33-1	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)	4.0	4.2	◎	1.27	1.45	1.27	1.45	1.18	1.55
S111M107_d34	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	3.5	3.5	○	0.73	1.27	1.55	1.55	0.91	1.09
L104_d35-1	保守の効果を高め運転をサポートする革新的技術(保守・運転の自動化等)の適用	2.9	3.8	○	0.64	1.18	1.09	1.55	0.91	1.36
S111M107_d36	高齢化評価手法・対策技術の高度化	3.1	4.4	◎	0.55	1.18	1.36	1.91	1.09	1.36
S111_d37	構造材料の高信頼化	2.8	4.0	○	0.64	1.00	1.18	1.55	1.00	1.45
M107_d38	建屋構造・材料の高度化	2.8	3.4	△	0.73	1.09	1.00	1.55	0.73	1.09

(参考)要素課題に対する重要度評価の結果(日本原子力学会作成)③

ID	該当する課題調査票題目	(A)軽水炉の安全性向上の実効性	(B)軽水炉の安全性向上に資する技術・人材の維持・発展	重要度総合評価	(A)			(B)		
					①	②	③	①	②	③
S111_d39	検査・補修技術の高度化	3.0	3.7	○	0.55	1.09	1.36	1.45	0.73	1.55
M106_d40-1	耐震安全性の評価と結び付けた維持管理(建屋)	3.4	3.0	△	0.91	1.18	1.27	1.55	0.64	0.82
M106_d40-2	耐震安全性の評価と結び付けた維持管理(機器)	3.2	2.8	△	0.73	1.09	1.36	1.45	0.55	0.82
L104_d41	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)	2.4	4.2	○	0.45	0.91	1.00	1.55	1.09	1.55
S111M107L103_d42	システム・構造・機器(SSC)の信頼性向上と高度化	4.7	3.9	◎	1.75	1.58	1.33	1.50	1.00	1.42
S113M107_d43	廃止措置実績に基づく廃止措置計画の構築方法の確立、廃止措置実績に基づく見直し	3.3	3.2	○	0.75	1.00	1.50	1.75	0.50	0.92
S113_d44	放射能レベルの高い機器の解体	3.3	3.7	○	0.67	1.42	1.25	1.50	0.92	1.25
S113_d45	処分場の設計・評価技術の確立による社会的受容性の向上	3.2	3.4	△	0.83	1.08	1.25	1.92	0.50	1.00
M107_d46	廃止措置のためのL3埋設施設の合理的な管理方法	2.9	2.5	△	0.67	0.83	1.42	1.50	0.42	0.58
M107_d47	廃止措置実績をプラントに反映	3.2	3.4	△	0.67	1.08	1.42	1.33	0.75	1.27
M107_d48	プラント機器撤去後の建屋・サイトの再利用	2.2	2.5	△	0.42	0.42	1.33	1.33	0.42	0.75
L103_d49	プラント機器撤去後のサイト解放支援	2.2	2.2	△	0.42	0.50	1.25	1.42	0.25	0.50

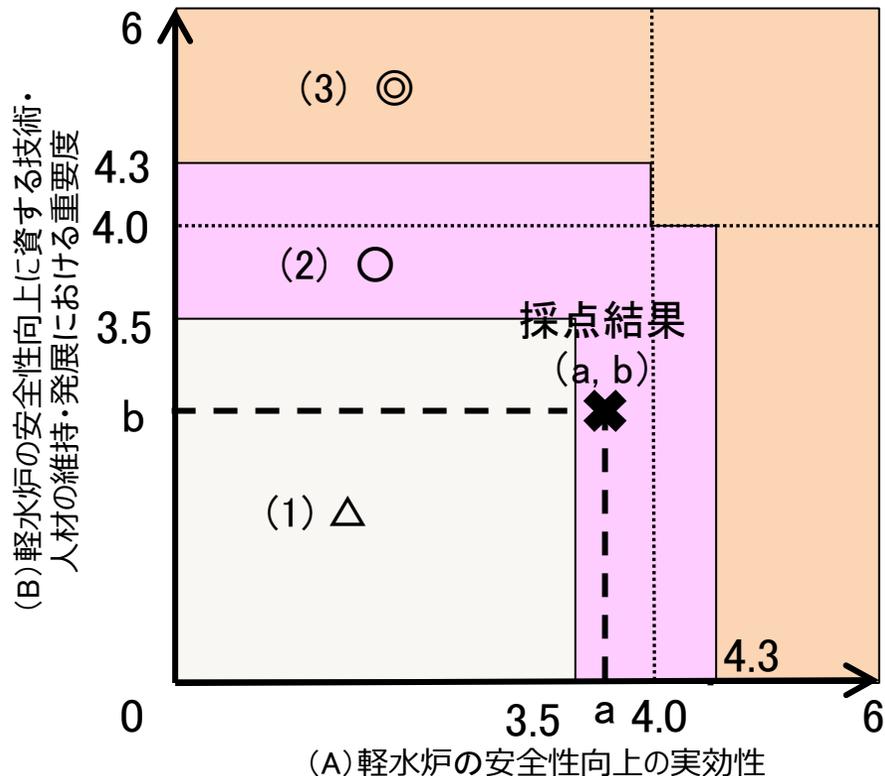
(参考) 日本原子力学会における評価軸を用いた要素課題の重要度評価

平成28年度の実施方法

- (A)と(B)にそれぞれ6点(①~③に2点ずつ)を配分して各要素課題を評価。
- 産業界および学术界から選出された12名の評価者(匿名)の(A)と(B)それぞれの平均点を計算。(ロードマップには、要素課題ごとに、当該平均点を明記する。)
- 採点結果から得られる要素課題の「重要度」(◎○△の区別)を、以下の適用イメージのとおり分類。
- 原子力を取り巻く環境変化や社会的要請等も考慮し(※)、各要素課題の重要度を総合的に評価。

<評価軸の適用イメージ>

※評価軸(A)(B)のいずれか一方でも高く評価される課題については、重要度を高く評価すべきとの考えに基づき、前回の適用イメージを一部見直し。また、重要度の分布割合が前回評価と概ね一致するよう、しきい値を調整。



※今回、左記分類の例外として、重要度評価を変更した課題とその理由は以下の通り。

S102_z02「リスクレベルに応じた規制制度変更とその円滑な実施」○→◎

S113M107_d43「廃止措置実績に基づく廃止措置計画の構築方法の確立」△→○

燃料が全て取り出され、放射能の環境拡散リスクや人体の被ばくリスクが運転中より低下しているプラントに対し、リスクレベルに応じた廃炉プロセスの管理をすること、あるいは廃止措置に係る経験や実績も踏まえて標準的な廃止措置を確立することで、安全性を保ちつつ効率的な廃炉を可能とするための課題設定を行っている。

S103_b05「クリアランスリサイクルの実現」△→○

S103_b06「処分場の確保」△→○

廃炉に伴い大量の廃棄物が出てくる中で、廃棄物の物量低減や資源の有効利用の促進、安全な放射性廃棄物の管理を実施していくための課題を設定している。

S109M104L103_c12「核セキュリティ対策強化に伴う安全対策への影響評価」○→◎

核セキュリティ対策やテロ対策が原子力安全の確保・向上に結びつく上での取組課題を明確に設定している。

S109M104L103_d27「コンピュータセキュリティー脅威の分析との防御」△→○

デジタル化が進む原子力システムにおいて、設備・機器の保全、施設への人の不法な侵入等の防止等の観点から、安全上の重要機器・設備の機能喪失に至らしめる可能性のあるサイバー攻撃への対処の課題を設定している。

S102M102_a08「核セキュリティ文化の醸成」△→○

事業者の核セキュリティ担当者だけでなく、技術者、政策立案者等、原子力に携わる全ての人々が核セキュリティの脅威を理解し、セキュリティ対策を高めていく人材基盤の整備と維持に係る課題を設定している。

軽水炉安全技術・人材ロードマップの取組に係る指摘事項

○軽水炉安全技術・人材ロードマップの取組の更なる改善に向けた、主な指摘事項を以下に示す。

※詳細は、自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループ 第13回会合 参考資料1-1、1-2を参照。

- ①関係者が本ロードマップを尊重して行動し、当事者意識を持ってローリングを実施すべき。その上で、利益相反を排した形での利用側と規制側の連携についても積極的に図っていくべき。
- ②本ロードマップを継続的に改善していく上で必要となる人的資源を確保すべき。
- ③研究開発や人材育成の取組が、安全性の向上にどの程度つながっているか、費用対効果等の観点から適切に評価できるような仕組みを検討すべき。
- ④適切な役割分担の下、関係者間での重畳を排した取組が進められているかどうかをローリングの過程で確認していくべき。
- ⑤設定されている要素課題(課題調査票)についても、ローリングの過程で適切に見直していくべき。
- ⑥本ロードマップのローリングに当たっては、原子力学会内の多様な専門性を最大限活用することに加え、他分野の有識者や海外からの有識者等からのレビューを受けるべき。
- ⑦本ロードマップを地方自治体に対して説明していくとともに、地方自治体の問題意識も踏まえてローリングを実施していくべき。