

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° ローリング対応 最終報告

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

2017年3月

目次

1. 平成28年度のローリング作業の概要

- (1) 全体像
- (2) 実施項目

2. 個別作業の内容・実施結果

- (1) 環境変化の整理
- (2) 技術開発及び人材育成の達成度評価
- (3) 評価軸の見直し
- (4) 重要度評価の見直し
- (5) 国内外の専門家、立地地域等の意見取り込み

3. 今後の課題

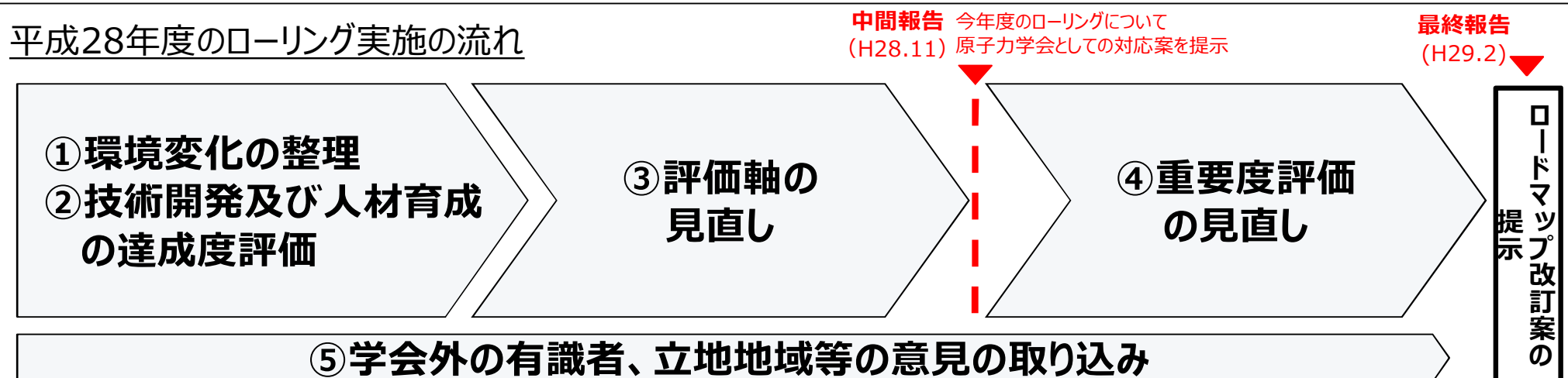
4. 自主的安全性向上・技術・人材WGからの指摘事項と対応状況

1. 平成28年度のローリング作業の概要

(1) 全体像

- 平成28年度のローリングでは、本ロードマップ策定時に検討の前提としていた**大きな政策方針に変更が無い**ことから、「大枠の見直し」を行わない「**定期的なローリング**」を実施した。
- まず、ロードマップ策定時から現在までの間に生じた原子力を取り巻く環境変化を整理し（①）、同時に、技術開発及び人材育成の達成度評価を実施（②）。その上で、これまでの自主的安全性向上・技術・人材WGにおける指摘も考慮しつつ、①と②を踏まえた評価軸の見直しを行い（③）、最終的に重要度評価の見直しを実施した（④）。
- 加えて、原子力学会以外の幅広い専門家からの批判や、立地地域の問題意識をロードマップに取り込むための活動について実施・検討した（⑤）。
- ①～⑤の検討・実施過程の中で、これまでのWGからの指摘事項のうち、対応可能なものから順次、ローリングプロセスに組み込んでロードマップに反映した。（詳細は、「4. 自主的安全性向上・技術・人材WG委員からの指摘事項への対応状況」を参照。）

平成28年度のローリング実施の流れ



(2) 実施項目

	平成28年度のローリングにおける主な実施項目
①環境変化の整理	2015年6月以降の原子力を取り巻く環境変化の確認 (ロードマップ上の課題を一部見直し)
②技術開発及び人材育成の達成度評価	産業界、経産省、文科省、JAEA等における取組状況を把握 学会による俯瞰的な視点からの達成度評価
③評価軸の見直し	評価軸における重複感の低減 評価の視点の明確化 環境変化や達成度評価を踏まえ、重要度評価に当たって考慮すべき事項を提示
④重要度評価の見直し	重要度評価者の多様化 (専門領域の拡充) 2段階評価の導入 産業界及び学术界から選出された評価者による採点
⑤学会外の有識者、立地地域等の意見の取り込み	IAEAナレッジマネジメント国際会議における情報発信・意見交換 ロードマップの第三者評価の実施 地元自治体や一般の方々の意見を取り込むワークショップの企画策定 学会外の有識者、立地地域等の意見をローリングプロセスに反映

2. 個別作業の内容・実施結果

(1) 環境変化の整理

【】内の数値は次ページの番号に対応

- 2015年6月以降における原子力に係る主な出来事を踏まえ、軽水炉安全の観点から、主要な環境変化を整理した。ロードマップの大枠の見直しを要する変化は見られないものの、各課題の重要度やロードマップ上の位置付け等に影響する環境変化を下記に提示。
- ◆ 福島第一原発事故を踏まえ、事業者側では自主的な安全性向上の取組を継続的かつ確実に進めているところである。規制基準を満たし再稼動したプラントでは、運転実績に基づくPDCAサイクルを回し、運転中の事故・トラブルの防止を含め、より積極的に自主的な安全性向上の取組を進めていく必要性が高まっている。【1、4、9】
- ◆ 検査の在り方を見直す動きが、原子力規制委員会で進められている。【5】
- ◆ 国内事例の少ない40年超運転となる高経年プラントの固有のリスクの把握と対策を講じていく必要性が高まっている。【2】
- ◆ 複数プラントでの廃止措置が同時期に進められ、それに伴う大量の放射性廃棄物が発生する可能性がある。【3、6】
- ◆ 研究用原子炉の利用再開に向けた準備が進められていることは、安全性向上に寄与するものだが、一方で長期的に利用できない研究用原子炉もある。【7】
- ◆ 低頻度大規模事象への対応の必要性が改めて認識された。【10】
- ◆ 原子力に対する国民のリスク感覚に対応した情報発信やコミュニケーションが求められていることが、改めて確認された。【10、11】
- ◆ サイバー攻撃を含めたテロへの対応の重要性が国際的に高まっている。【12】
- ◆ 国際的にも、国情に応じた複数の課題や新たな取組が認められた。【13】

(参考) 原子力に係る主な出来事一覧 (2015年6月～)

1. 伊方 3、高浜 1 ～ 4 が新規規制基準への適合審査に合格。高浜 3・4 については再稼動した。
2. 高浜 1・2 の40年を超える運転延長が認可された。
3. 美浜 1・2、敦賀 1、玄海 1、島根 1 に続き、伊方 1 が廃炉を決定した。
4. 事業者は、原子力施設の安全性を継続的に向上させることをミッションとした電力中央研究所の原子力リスク研究センター(NRRC)を設置、活動を開始した。また、「リスク情報活用推進チーム」を新たに設置し、PRAの活用方針策定及び高度化に向けた検討を進めている。
5. 原子力規制委員会は、国際原子力機関(IAEA)の総合的規制評価サービス(IRRS)での指摘などを踏まえ、検査の実効性を向上させるための見直しを開始し、中間とりまとめを行った。
6. 放射性廃棄物の管理後の、処理・処分に向けた新たな取組が開始された。
 - ・ 炉内等廃棄物の埋設に係る規制基準策定の検討において、規制の考え方の検討を開始
7. 研究用原子炉（京都大学の 2 基、近畿大学の 1 基）が新規規制基準への適合審査に合格した。一方、複数の研究炉(JMTR等)の廃炉方針も示された。
8. 「高速炉開発の方針」、「もんじゅの取扱いに関する政府方針」が決定された。
9. エネルギー政策に係る新たな取組、決定がなされた。
 - ・ 長期エネルギー需給見通しを決定、原子力の発電量に占める比率を20～22%程度に低減、等
10. 新たな大規模な自然災害(震度 7 が 2 回など大規模な地震が連続した平成28年熊本地震等)が発生した。
11. 大津地裁による高浜 3・4 の運転差し止め仮処分が決定した。
12. 欧州でテロが発生した。
13. 国際的に原子力が利用される中、トラブルに伴う安全対策の再点検や新設計画等、各国で様々な動きが認められた。

(1-1) ロードマップに紐付く課題の見直し

- ロードマップ策定時からの環境変化等も踏まえ、新たな課題の追加、ロードマップ上の位置付けの見直し、および一部の課題調査票の記載の見直しを行った。

(見直しを施した課題調査票一覧)

見直し事項の分類：
 A: ロードマップ上へ新たに掲載
 B: ロードマップ上の位置づけ(リンク位置)を見直し
 C: ロードマップとの関係や最新状況に基づき記載を見直し（課題調査票のID修正含む）

課題調査票ID	課題タイトル	分類
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	A
S102_a06	リスク文化の定着	A
S102_a07	安全文化の醸成	A
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	A
S102_a10	新興の原子力利用国に対する核セキュリティ教育	A
S102M102L101_a11	短期：妨害破壊行為の影響緩和および最小化（体系化：危機管理/緊急時対応計画の策定等） 中期：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） 長期：妨害破壊行為の影響緩和および最小化（国際化）	A
S109M104L103_c12	短期：核セキュリティ対策強化に伴う安全対策への影響評価 中期：人為ハザードによる安全リスクの検討 長期：「深層防護」における安全と核セキュリティの統合	C
S110M106L103_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	A
S112M107_d08	安全解析手法の高度化	B
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	C
S111M107_d17-1	炉心・熱水力設計評価技術の高度化	B
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	A
S109M104L103_d27	短期：コンピュータセキュリティ脅威の分析との防御ー 中期：コンピュータセキュリティ 防御の高度化ー 長期：コンピュータセキュリティ 防御の更なる高度化ー	C
S109M104L103_d28	短期：内部脅威者による妨害破壊行為検知手法の開発 中期：ビッグデータを用いた内部脅威者による妨害破壊行為の検知システムの開発 長期：内部脅威者による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	C
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	B
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）	C
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	B C
S111_d39	検査・補修技術の高度化	A
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	C

(参考) 課題の見直し例 (検査制度の見直しの検討を踏まえた見直し)

(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)

- ✓ 福島第一原発事故を踏まえ、事業者側では自主的な安全性向上の取組を継続的かつ確実に進めているところである。そのような中で、国際原子力機関（IAEA）の総合規制評価サービス（IRRS）の報告を受けて、原子力規制委員会が声かけを行い、事業者は自主的な安全性向上の取組の一環として、規制・被規制の良好なコミュニケーションの下、検査制度の見直しの検討に係る活動が進められている。
- ✓ こうした環境変化も踏まえ、検査に関する課題については、これまで以上に取組の重要性が高まったことから、ロードマップ上の位置付けを見直した。

検査制度の見直しの検討開始

- 安全確保に係る事業者の一義的責任を前提とする
- リスク情報を活用し、事業者の安全確保の実績を反映した監視・評価体系
- 事業者の取組ヘインセンティブを与える仕組み など

検査制度の見直しに関する検討チーム／WG

- 規制当局と事業者の良好なコミュニケーションの下での検討
- 2018年以降の試運用を計画

勧告に基づく検討

課題の確認

IAEAの総合規制評価サービス（IRRS）の報告

指摘のポイント（関連部分）

- 安全確保の一義的責任は事業者にある
- 規制当局は、リスク情報を活用したパフォーマンスベースの規制を行うべき
- 規制と事業者双方の活動を噛み合わせて、原子炉施設の安全性のスパイラルアップを図るべき

ロードマップ上の課題の見直し

- 「検査制度の見直し」について、課題調査票において概ね適切に課題が設定されていることを確認。
- 保守・運転管理の合理化については、現在のロードマップでは、2020年以降に取り組むべき課題とされているが、新たな検査制度の試運用（2018年以降）に向け、より早期に着手する工程を課題設定に反映。

(2) 技術開発及び人材育成の達成度評価

- 関係各所の協力の下、我が国で進められている軽水炉安全に係る研究開発や人材育成の取組（平成27年度実施分等）を調査。今年度は、主に、産業界（電事連）、経済産業省、JAEA基礎工学部門における取組について調査を実施し、その他の主体に対しても、可能な範囲で協力を依頼。
- 調査結果に基づき、各課題別区分における対応状況を確認し、STAGE1(短期)のマイルストーンとした2020年時点の目指す姿と照らしての現状の課題を分析。

調査項目

- ◆ ロードマップ上の各課題（短期）に対応する事業の名称
- ◆ 課題調査票上の記載との照合（「実施機関／資金担当」との整合性など）
- ◆ 事業の概要
 - 実施体制／事業実施主体
 - 予算額
 - 実施内容（最終的な成果目標、平成27年度の成果等を含む）
- ◆ スケジュール
 - 平成32年度(2020年度)までの工程、事業終了年度
- ◆ 備考
 - 課題解決における問題点
 - 事業計画に照らした進捗評価（順調／遅れ）

「①既設の軽水炉等のリスク情報の利活用的高度化」

「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」（平成27年6月）における記載

		重要度				
自然災害の発生頻度を含む、リスク情報 の扱いに長けた人材を国内から輩出する	(1)様々なリスクを把握する	1F事故を踏まえ安全目標の自主的な再設定を行う	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	◎		
			S106_c05	◎		
		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	◎		
		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	○		
	人材育成	(2)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	○
				1F事故の知見を活用した機器の導入・開発を行う	S111M107L103_d42	◎
			ソフト	リスクの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	◎
					S110M106L103_d02	○
				リスク情報をマネジメントや意思決定に活用する	S111_d29	◎
		S102M101_a01	○			
		S102_a09	○			
(3)リスク情報を社会と共有する			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	○	
			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	○	
				S104M101L102_b02-1	○	
			S104M101L102_b02-2	○		
		S104M101L102_b02-3	○			
		1F事故の教訓を国際的に共有する	S110M106L103_d02	○		

「(1)様々なリスクを把握する」に係る課題への対応状況の概観

- ・福島第一原発事故の反省を踏まえた重要度の高い課題が多く、全般的に取り組が加速している。
- ・産業界および経産省を中心に、必要な予算措置を講じて、リスク情報を活用するための基盤の整備を進めている。
- ・課題は総じて重要度評価が高く着手が進んでいるが、「1F事故を踏まえた安全目標の自主的な再設定を行う」といった進捗が遅れている重要課題も存在する。

「(2)リスク情報を踏まえて対策をとる」に係る課題への対応状況の概観

- ・福島第一原発事故の反省を踏まえて、全般的に取組が加速している。
- ・ハードの導入はメーカにて開発の着手(経産省補助金事業含む)、ソフトの充実は産業界中心に着手が進んでいる。
- ・地震・津波対策やSA対策といった福島第一原発事故後に改訂された規制基準対応に即して、関連課題は優先的に取り組まれている。
- ・リスク情報をプラントの運転管理の現場で有効に活用していくための取組については、再稼働の進展とあわせて実績を積んでいく段階にある。

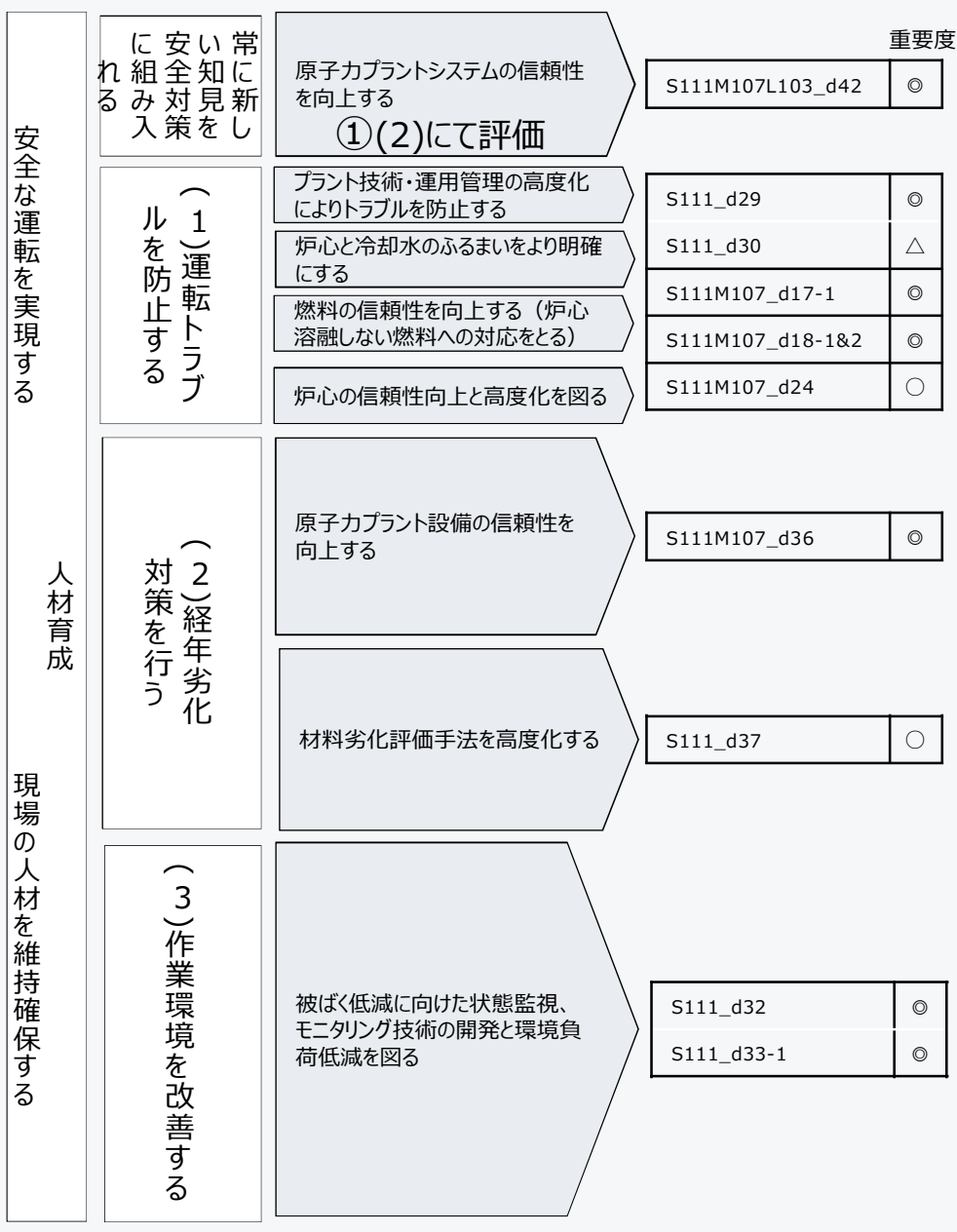
「(3)リスク情報を社会と共有する」に係る課題への対応状況の概観

- ・ 産業界(電気事業者)を中心に、組織的課題として取組が進められている。
- ・ 防災の観点から、リスク情報の社会との共有は重要な取組であるが、事故は起こり得るという前提でのリスク情報を活用した防災に係る原子力関係者の説明能力の向上は途上段階にある。
- ・ 福島第一原発事故から得られる知見の国際的な共有の仕組み作りが、JAEA等で進んでいる。

(2-1) 個別短期課題への対応状況

「②既設の軽水炉等の事故発生リスクの低減」

「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」（平成27年6月）における記載



「(1)運転トラブルを防止する」に係る課題への対応状況の概観

- 福島第一原発事故の反省に立ち、過酷事故の発生を設計で抑制するための取組が進んでいる。
- 過酷事故時のプラント内部の状態を正確に把握するための実験、高性能材料や解析コードの開発が、原子力規制委員会、経済産業省、文部科学省の官予算にて、それぞれの目的に応じた方向性で取り組まれている。
- 国産技術として保持していく必要のある基盤解析コード開発の進捗が遅れている。

「(2)経年劣化対策を行う」に係る課題への対応状況の概観

- 稼働年数が高いプラントが増加する中で、国が主導して関連する基盤研究を促進している。
- 安全上重要度の高い機器の経年劣化対策は、産業界において継続的・重点的に取組がなされている。
- 日本が世界的にリードしていた技術領域であるが、照射試験炉の廃炉等の課題もあり、国内の技術基盤の維持に不透明さが認められる。

「(3)作業環境を改善する」に係る課題への対応状況の概観

- わが国は福島第一原発事故前、諸外国と比較して計画外停止は少ないが、検査期間中の被ばく量が多いという指摘があったものの、作業環境の改善に係る課題への取組は、再稼働後に着手する位置づけで先送りされている。
- 安全性向上と高稼働率の両立を果たしている米国の成功例を学び、我が国の保全システムに適した形で導入促進を図る動きがある。

(2-1) 個別短期課題の達成度評価結果

「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」

「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」（平成27年6月）における記載

重要度

自然災害などの科学的知見を、事故対応に優れたリーダーや要員を育成・輩出する

人材育成

(1) 発電所外からの影響の把握	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	◎
		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	S107_c08	○
		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_c03	◎
(2) 発電所における事故対応能力の向上	知識・技術 マネジメント 組織等	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_c07	○
		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。	S106_c04	◎
		事故リスクを飛躍的に低減した軽水炉の設計を進める	S106_c05	◎
		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	S112M107_d08	◎
		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_d10	◎
		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	S111_d11-2	◎
		国際的な最新知見に基づきSA対策を検討する	S111_d32	○
		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	S111_d14	○
		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	S111_d33-1	◎
		プラントの内外の連携を強化する	S111_d11-1	○
		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	S111_d14	○
		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	S104_c02	○
			S111_d13	○
			S111_d30	△
			S105_a05	◎
(3) プラント外の防災	社会の防災力を強化する		S102_a12	△
			S110_c10	○
			S111_d13	○
			S110M106L103_d02	○
			S104_c02	○
			S102_a03	○
			S104M101L102_b02-2	○
			S104M101L102_b02-1	○
			S104_b04	○
			S104M101L102_b02-1	○
			S104M101L102_b02-2	○
			S104_b04	○

「(1)発電所外からの影響の把握」に係る課題への対応状況の概観

- 福島第一原発事故後、発電所外の影響は大きなリスク要因として再確認され、各ステークホルダーで計画的に対策の高度化を進めている。
- 産業界および経産省を中心に、地震、津波等の自然災害に係る知見の基盤整備、技術開発に着手している。
- 原子力分野以外の関連研究者との連携による自然現象を対象とした横断研究は途上段階にある。

「(2)発電所における事故対応能力の向上」に係る課題への対応状況の概観

- 事業者を中心に、まずは規制対応として、既設発電所の事故対策のためのハード導入やソフト開発に取り組んでいる。
- 福島第一原発事故を踏まえた安全性向上対策を施し、災害発生時の組織力、マネジメント力の強化について、事業者は積極的に取り組んでいる。
- 事故時の様々な状況を想定し組織的に事故対応を図るアクシデントマネジメント力の強化は、継続的課題として位置付けられる。

「(3)(プラント外の)防災力」に係る課題への対応状況の概観

- 行政に加えて事業者も主体的に防災力の強化に向けた取組を進めている。
- オンサイトの防災力向上、原子力緊急事態支援組織の整備、オフサイト対応への事業者の積極的介入など、社会の防災力の強化に向けた取組を進めている。
- 広域防災への取組に係る関連地域住民への説明は、継続的に取り組むべき位置づけにあり、現時点までの取組のみで達成度を評価することは難しい。

(2-1) 個別短期課題の達成度評価結果

「⑤既設炉の廃炉の安全な実施」

「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」（平成27年6月）における記載

廃炉計画に整合した原子力利用のあり方やエネルギー政策との関係を見通せる人材を育成する	(1) 効率的な廃炉プロセスの仕組みを作る	効率的な廃止措置の在り方を検討する	S113_d43	△
				重要度
	(2) 安全な解体技術を導入・開発する	安全な解体技術を開発する	S113_d44	○
		海外・1 F サイトの廃炉で利用されている技術・考え方を取り込む	S113_d44	○
	(3) 廃棄物を安全に管理する	廃棄物を減らす・再利用する制度や運用方法を検討する	S103_b05	△
		廃棄物の処分のあり方について国民の理解を得る	S103_b06	○
		処分場を作る技術を開発する	S113_d45	△

「(1)効率的な廃炉プロセスの仕組みを作る」に係る課題への対応状況の概観

- 事業者による廃止措置計画の立案と廃止措置計画認可申請の間に手戻りが生じないための廃炉プロセスを標準化しようという動きがある。
- 異なる事業者や炉型の廃炉が同時並行に行われることを踏まえた効率的な実施プロセスの検討は遅れている。

「(2)安全な解体技術を導入・開発する」に係る課題への対応状況の概観

- 実績のある海外企業から技術・管理手法を学ぶ動きがある。
(ex. 日立GEとAREVA-NC & キャベンディッシュ、日本原子力発電とエナジーソリューション)
- 海外事例も参考に、国内プラントに適した廃炉技術の選定や開発のあり方に係る検討に着手しているが、実際の解体作業までは一定程度期間が空くことから、喫緊の課題としては取り組まれていない。

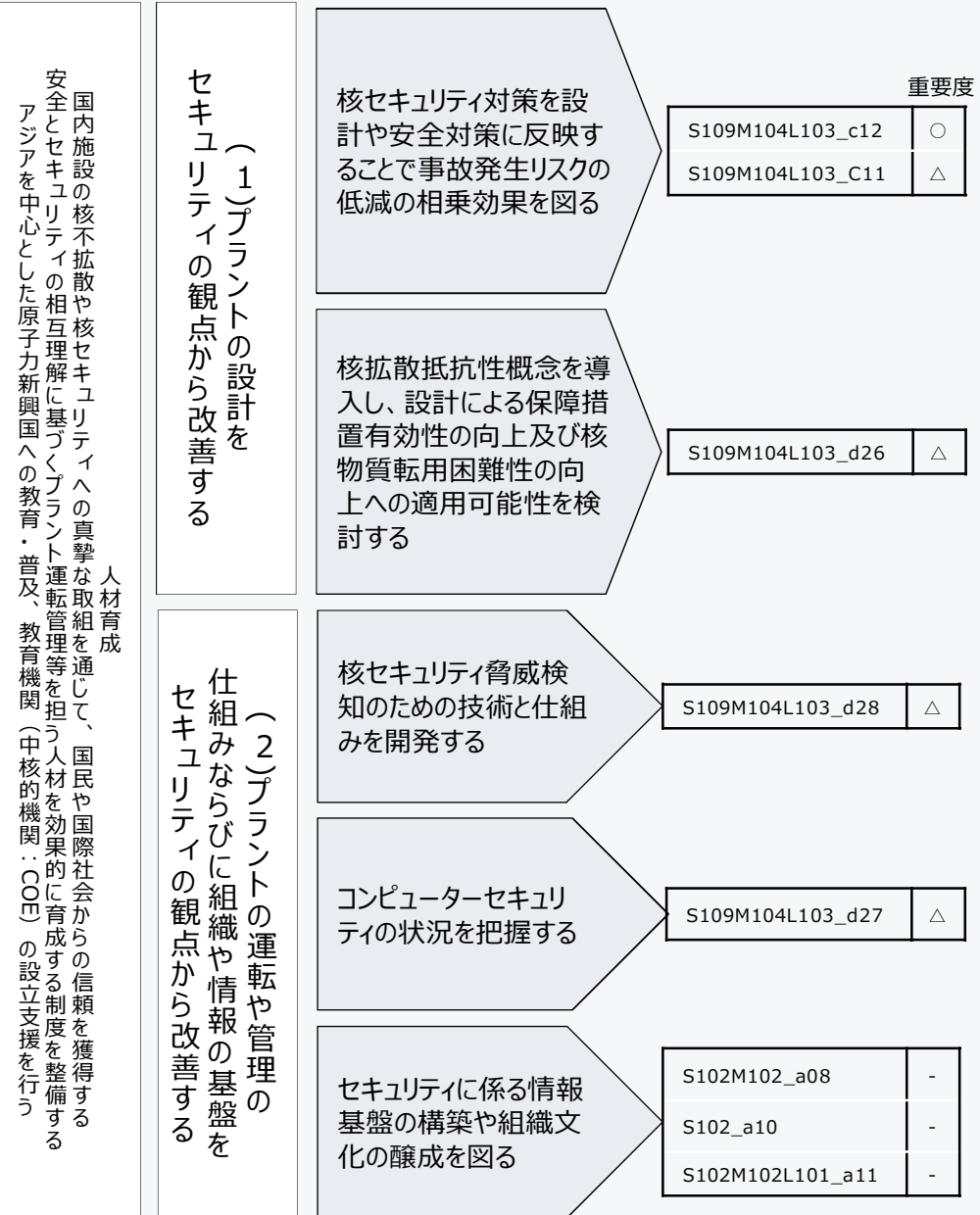
「(3)廃棄物を安全に管理する」に係る課題への対応状況の概観

- 限られた敷地で廃炉と稼働プラントの安全管理を並行して実施するための対策は遅れている。
- 事業者は廃棄物の減容化に向けた研究開発に着手している。
- 蒸気発生器など、物量の大きな放射性廃棄物対策に資する取組に着手している。

(2-1) 個別短期課題の達成度評価結果

「⑥核不拡散・核セキュリティ対策」

「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」（平成27年6月）における記載



「(1)プラントの設計をセキュリティの観点から改善する」に係る課題への対応状況の概観

- 産業界において検討は進められているが、非公開で実施されているものもあり、全体像は掴みにくい課題領域である。
- 核不拡散に資する高度な設計や対策技術は、新規導入国の核セキュリティ向上といった国際貢献に繋がることから、国際会議の場などで日本の技術力をアピールしていこうとする動きがある。
- IAEA等の国際機関との密な連携はJAEA、国際標準に基づく要素技術開発は大学等の研究機関、実機の実情に即した実機適用研究は事業者が担当しており、それぞれの立場に応じて適切な役割分担がなされている。

「(2)プラントの運転や管理の仕組みならびに組織や情報の基盤をセキュリティの観点から改善する」に係る課題への対応状況の概観

- 犯罪の高度化の速度に遅れないため、最新技術や管理手法の開発・導入・運用に着手している。
- 東京五輪の誘致決定に伴う核セキュリティ検知技術へのニーズやサイバー攻撃の頻発に伴う脅威への認知が広がり、関連技術や仕組みを高度化していく気運の高まりを受けて、研究機関や事業者の取組が加速しつつある。
- 国際人材の輩出が不十分であり、更なる育成が求められている。

(2-1) 個別短期課題への対応状況

「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」

「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」（平成27年6月）における記載

中長期的な視点で若手人材を育成し、将来の原子力安全を担う人材を確保する	安全運転を設計や技術の革新で実現・維持する	原子力プラントシステムの信頼性の向上を継続する中で革新技術をプラントに導入する	S111M107L103_d42	◎
		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	S111_d12 S111M107L104_d10	◎ ◎
		燃料の信頼性を向上する（炉心溶融しない燃料への対応をとる）	S111M107_d18-1 S111M107_d18-2 S111M107_d24 S111M107L104_d10	◎ ◎ ○ ○
		被ばく低減に向けた状態監視、モニタリング技術を開発し、運転管理を最適化して保守・運転員の負荷を低減して、安全運転を確かなものとする	S111_d32 S111_d33-1	◎ ○
		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_d28 S109M104L103_d27 S109M104L103_c11 S109M104L103_d26	△ △ △ △ △

「安全運転を設計や技術の革新で実現・維持する」に係る課題への対応状況の概観

- 若手の人材育成や中長期的な技術基盤の維持の観点から、行政を中心に資金が投じられ、大学や研究機関が参画する形で取組がなされている。
- 実用化のフェーズまで1機関では実施が難しい課題については、やはり行政が資金を支援する形で産業界も加わったコンソーシアムでの技術開発が進められている。
- 文部科学省は、福島第一原発事故後、革新的な技術開発のプロセスで得られる知見や成果が既設軽水炉の安全性向上に結びつくテーマを重要視した取組を進めている。
- 経済産業省においても、短期的に成果が見通せる課題に加えて、中長期的な視点から技術基盤や人材育成に結びつく課題についても資金を投じて、安全性向上に向けた支援を行っている。
- 短期的に成果が見通せないテーマは民間では資金を投じにくい、国が支援する形で研究開発が進められており、適切な役割分担の下で実施がなされている。
- 諸外国の進んだ技術開発の動向や国際的な取組の方向性を踏まえた国内技術開発のあり方や方向性が明確化されていない。

(2-2) 目指す姿に照らしての現状分析と今後の課題①

目指す姿／ロードマップとの対応例 「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」（平成27年6月）より			現状分析	達成に向けた取組課題
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。	1F事故を踏まえ安全目標の自主的な再設定を行う 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 プラントの内外の連携を強化する 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	- 事業者は、設備対策の強化はもとより、経営トップのガバナンスの強化、リスクマネジメントの強化等、自主的安全性に向けた取組を活発に展開している。 - また、訪問対話など発電所の周辺の方々との双方向コミュニケーションを通じて、積極的な情報共有と相互理解に努めている。	「心配」「不安」の払拭には至っておらず、絶え間なく取組を続ける必要がある。 - さらに、国民目線でのリスクの開示と対話について、防災を中心に、取組を一層強める必要がある。 - 福島第一原発事故への対応状況の国際的な共有は更に取り組む必要がある。
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。	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 1F事故の知見を活用した機器の導入・開発を行う	- 新規制基準への適合性審査に合格し、再稼働したプラントが存在するが、その数は限定的である。 - 規制と事業者の間で新たな検査制度の在り方について検討が継続的に実施されている。	- 新たな検査制度の下、規制との良好なコミュニケーションを行いつつ、事業者自らが安全性・信頼性を一層高めていくため、自主的安全性向上への取組を加速していく必要がある。 - 将来的な人材確保の観点からもハードのみならずソフト面も対応を拡充する必要がある。

(2-2) 目指す姿に照らしての現状分析と今後の課題②

目指す姿／ロードマップとの対応例 「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」（平成27年6月）より			現状分析	達成に向けた取組課題
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。	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 プラントの内外の連携を強化する 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	● 国、自治体、事業者の訓練・教育等を通じた災害時の現場対応力の強化が図られている。 ● 事業者は、原子力緊急事態支援組織を立ち上げ、緊急時の防災支援体制の充実に取り組んでいる。	● 関係するステークホルダーが連携・協調し、継続して防災支援体制の強化を含め、防災力の強化に取り組んでいく必要がある。
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。		● 産業界、経済産業省等からの参画を伴いながら、学会における中立的・自主的な取組としてローリングが行われている。 ● 他方、各大学や規制側の取組等については、十分にカバーできていない。	● 本ロードマップが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機能するよう、早急な改善が必要である。 ● 実効性のあるローリングの実施体制や方法を検討し、最善な枠組みを構築する必要がある。

(2-2) 目指す姿に照らしての現状分析と今後の課題③

目指す姿／ロードマップとの対応例 「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」（平成27年6月）より			現状分析	達成に向けた取組課題
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。	リスクの低減を加速するための制度や知識基盤の整備を進める リスク情報をマネジメントや意思決定に活用する 1F事故の教訓を国際的に共有する	関係各所でそれぞれの役割に応じた取組がなされているが、適切なガバナンスの枠組みの下での軽水炉安全技術及び人材の継続的な維持・発展を可能とする仕組み作りは途上である。	- 事業者は、トップの関与を前提としたガバナンスの下、原子力リスク研究センター、原子力安全推進協会、メーカーと連携し、安全に関する科学的な規律や知見を拡大していく必要がある。 - 軽水炉安全技術、人材の維持・発展はそれらの活動を持続することで達成できるものであり、引き続き自主的安全性向上の取組を注視する必要がある。

(参考) 各ステークホルダーの役割 (日本原子力学会における整理)

- 各関係主体の役割分担については、課題調査票上で「実施機関／資金担当」として示している。
- なお、前提となる基本的な考え方は以下のとおりである。

産業界（電気事業者、電力中央研究所、メーカー等）

- ✓ 電気事業者はプラントの所有者として、自ら安全確保に向けた課題解決に取り組む。
- ✓ プラントの安全確保に必要な設計、運転・保守、廃炉、さらにセキュリティ対策上のニーズを明確にし、技術開発課題を設定する。そして、研究開発主体として取り組み、得られた成果をプラントの安全性向上に活かす。

官界（経済産業省）

- ✓ 原子力の安全性向上への取り組みに対して、中長期的な見通しを踏まえて政策的な方針を決定し、資金的な支援を通じて効果的な仕組みを作り上げ、原子力の技術、施設、安全に係る基盤の底上げや強化を促進する。

官界（原子力規制委員会、規制庁）

- ✓ 規制当局として原子力発電事業者の安全性確保の取組を評価する。その妥当性判断に必要な安全研究を実施し、原子力安全規制等に的確に反映する。

官界（文部科学省）

- ✓ 先端技術の開発、技術基盤や施設基盤の維持発展、人材育成に係る施策を通じて、原子力技術を支える研究を推進する。

学術界（大学）

- ✓ 最新の知見と高度な専門知識を駆使した研究を推進し、原子力の安全を支える人材を育成する。

学術界（JAEA）

- ✓ 公的機関の立場で、原子力に係る基礎基盤研究および応用研究を実施し、計画的かつ効率的な技術開発を推進する。
- ✓ 保有する技術、施設、設備を運用して広く社会に役立て、原子力産業界に限らず一般産業界への利活用を促進し、科学技術と産業の発展に貢献する。

学協会（日本原子力学会等）

- ✓ 立場を超えた専門家が集う中立な場として、適切な議論を重ね、原子力安全の確保に必要な情報や知見を関係者や社会との間で共有すると共に、その活動を国内外に広く情報発信する。
- ✓ 開発した技術を実機に適用するための民間規格を、その検討プロセスの透明性を確保しつつ策定し、安全技術の実用化を促進する。

(参考) 各マイルストーンにおける目指す姿とその標語

「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」(平成27年6月)における記載

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。

(3) 評価軸の見直し①

- 重要度評価に用いる「評価軸」について、自主的安全性向上・技術・人材WGや学会内での指摘を踏まえた見直しを行った。見直しの結果、**評価軸自体の変更は最低限にとどめ、評価者に対して、既存の評価軸についての補足説明を与える**ことで、評価軸における重複感の低減を図るとともに、より的確な評価の実現を図ることとした。
- また、環境変化や達成度評価の結果を踏まえ、より重要度が高まっていると考える取組について、**評価軸を補足するものとして、「重要度評価に当たって考慮すべき事項」を併せて提示**することとした。

(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）※学会における検討結果を赤枠内に記載。

（これまでの）評価軸の項目	WGや学会内での指摘	評価に当たっての方針(補足説明)
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	「寄与度」という概念が曖昧であり、容易に判断しづらい。（学会内の指摘）	各要素課題が「事故の経験を通じて明らかになった課題を明確に踏まえて、その解決への貢献が大きいのか、直接的なものになっているか」を主に判断する
②課題解決によるリスク低減効果が相対的に高い	「リスク低減効果」を課題間で定量的に比較することは困難。（学会内の指摘）	各要素課題が「PRA等のリスク評価により重要度が高いとされているリスクに対して、低減効果が大きいのか」の観点から評価する
③費用対効果が相対的に高い	実施費用と研究開発費用を区別しての評価や、研究開発費用の評価の代わりに技術成熟度の利用等、評価方法の工夫、見直しが必要。（WGの指摘） 技術開発、マネジメント力の向上、人材育成等、様々な性質の課題が混在し、いずれの課題を費用対効果の観点から高く評価すべきか判断しづらい。（学会内の指摘）	「得られる成果が軽水炉の多岐に亘る課題の解決に資することが見込める研究課題」や、「研究開発としての明確な道筋が示されており、短中期的な実用化が見込める研究課題」などを高く評価する

(3) 評価軸の見直し②

(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)

※学会における検討結果を赤枠内に記載。

(これまでの) 評価軸の項目	WGや学会内での指摘	評価に当たっての方針(補足説明)
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	安全性向上の実効性を持つことによってブレークスルーの価値が認められるため、評価軸(A)における評価項目との重複感が生じている。 (WGからの指摘)	「短期的な成果は得にくい、中長期的視点で画期的な安全対策技術の開発が期待される研究課題」などを高く評価する
③画期的な課題提示により若手人材の獲得・育成に繋がり得る	「画期的な」というワーディングにより、(B)②との重複感が生じており、双方の評価の相関性が高い。 (学会内の指摘)	<u>評価軸の項目を、「③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」と改める。</u> 「原子力安全のみならず、様々な先端分野への波及も期待される高度で魅力的な研究課題」などを高く評価する

(3) 評価軸の見直し③

- 原子力を取り巻く環境変化や達成度評価の結果を踏まえ、評価軸を補足するものとして、「重要度評価に当たって考慮すべき事項」を定めた。今年度の重要度評価は、これらを十分に考慮しつつ、実施した。

重要度評価に当たって考慮すべき事項

- ◆ 東京電力福島第一原子力発電所の事故の教訓から得られた知見を継続的に深化し、事業者の自主的安全性向上と規制の高度化のスパイラルアップを図る取組の重要性
- ◆ 稼働している国内プラントが限定され、実機運転や定期検査等の機会が低下する中で、安全確保に不可欠な人材の確保や育成に向けた取組の重要性
- ◆ 国内のみならず、国際機関を含む諸外国の原子力安全に係る動向や得られた知見の掌握と、それらを安全性向上に反映させる取組の重要性
- ◆ 社会（特に地元立地地域）の理解や信頼を一層深め、再稼働や廃炉を進めていくためのコミュニケーションに係る取組の重要性
- ◆ 我が国の人材育成や技術基盤の維持の観点から、研究炉を含む研究インフラの国内維持の重要性
- ◆ 我が国の技術開発力や人材の現状の強みや弱み、将来展望も見据えた国際的な協力の枠組み作りや国際貢献への取組の重要性
- ◆ 再稼働や廃炉が進む中で、使用済燃料や放射性廃棄物の発生への対策、管理、適正な処理・処分の取組の重要性
- ◆ テロや国際紛争が頻発する中で、原子力施設のセキュリティ対策の強化に資する研究・技術開発の取組の重要性

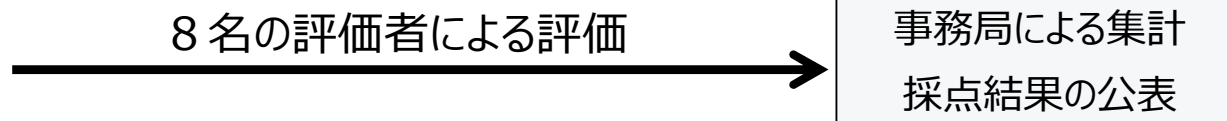
(4) 重要度評価の見直し

- 見直された評価軸（及び考慮すべき事項）に基づき、今後、各課題の重要度評価を再実施する。
- 自主的安全性向上・技術・人材WGや学会内での指摘を踏まえ、昨年度の評価方法を一部見直す。

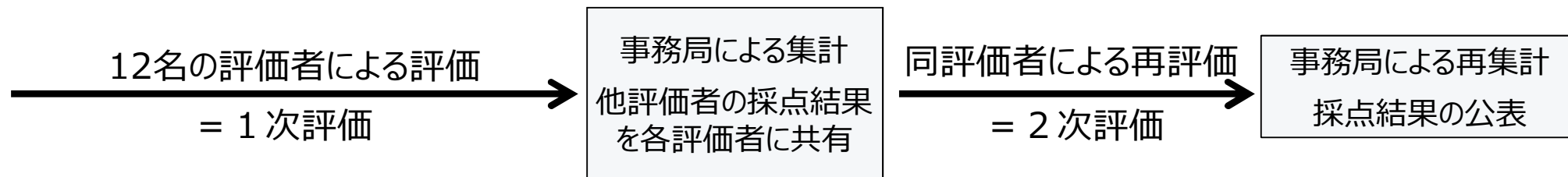
昨年度からの改訂事項

- ✓ 重要度評価者の多様化（特に、廃炉、セキュリティ、建築等の専門家を評価者に追加）
- ✓ 2段階評価の導入

昨年度



今年度



評価者間の評価のばらつきを修正し、よりの確な優先順位付けを実現

(4-1) 重要度評価結果①

① 既設の軽水炉等のリスク情報の利活用の高度化

Stage1（短期）					Stage2（中期）					Stage3（長期）										
様々なリスクを把握する		要素課題（課題調査票）		総合	変化	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		要素課題（課題調査票）		総合	変化	Stage2（中期）に同じ		要素課題（課題調査票）		総合	変化			
		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	◎			→	S101M101L102_z01		◎			→	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	○			↓	S103M102L101_b01		○			→	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	○	初																
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		◎	→		
		1 F事故の知見を活用した機器の導入・開発を行う		S111M107L103_d42	◎	→									S111M107L104_d10		◎	→		
	ソフト	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	◎	→	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		◎	→		
				S111M106L103_d01	◎	初									S110M106L103_d02		○	→		
				S110M106L103_d02	○	→									S103M102L101_b01		○	→		
		リスク情報をマネジメントや意思決定に活用する		S111_d29	◎	→	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		M103L101_a04		◎	↑			M103L101_a04		◎	↑		
				S102M101_a01	○	→									S102M101_a01		○	→		
				S102_a09	○	→														
				S102_a06	△	初														
				S102_a07	○	初														
		社会と共有する	リスク情報を	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	○	→									Stage2（中期）に同じ		S101M101L102_z01	
S104M101L102_b02-1	○					→	S104M101L102_b02-1												○	→
S104M101L102_b02-2	○					→	S104M101L102_b02-2												○	→
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		S110M106L103_d02		○	→	Stage2（中期）に同じ		S110M106L103_d02		○	→			
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				

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



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。

(4-1) 重要度評価結果②

②既設の軽水炉等の事故発生リスクの低減

Stage1（短期）					Stage2（中期）					Stage3（長期）							
		要素課題（課題調査票）	総合	変化			要素課題（課題調査票）	総合	変化			要素課題（課題調査票）	総合	変化			
常に新しい知見を安全対策に組み入れる	原子力プラントシステムの信頼性を向上する	S111M107L103_d42	◎	→	→	原子力プラントシステムの信頼性を継続的に向上する	S111M107L103_d42	◎	→	→	原子力プラントシステムの信頼性を飛躍的に向上する	S111M107L103_d42					
運転トラブルを防止する	プラント技術・運用管理の高度化によりトラブルを防止する	S111_d29	◎	→	→	運転性能を高度化するとおよび保守・運転管理の合理化・省力化を実現する	M107_d25	△	↓	→		◎	→				
		S111_d30	○	↑	S111M107_d34		○	→									
		S111_d32	◎	→													
		S111M107_d34	○	→													
	炉心と冷却水のふるまいをより明確にする	S111M107_d17-1	○	↓	→	高稼働、長期安定運転を実現する	S111M107_d24	△	↓	→							
燃料の信頼性を向上する（炉心溶融しない燃料への対応をとる）	S111M107_d18-1	○	↓	→	燃料の信頼性を向上する（炉心溶融しない燃料への対応をとる）	S111M107_d18-1	○	↓	→	信頼性の向上した燃料を効率的に運用する	M199L199_d20	◎	↑				
	S111M107_d18-2	○	↓	→		S111M107_d18-2	○	↓	→		M199L199_d19	◎	↑				
	炉心の信頼性向上と高度化を図る	S111M107_d24	△	↓		→	炉心の信頼性向上と高度化を図る	S111M107_d24	△					↓	→		
		S111M107_d17-1	○	↓	→	S111M107_d17-1		○	↓	→	M199L199_d19	◎	↑				
経年劣化対策を行う	原子力プラント設備の信頼性を向上する	S111M107_d36	◎	→	→	原子力プラント設備の信頼性を継続的に向上する	S111M107_d36	◎	→	→	超長寿命プラントによる安全な運転を実現する	L104_d41	○	→			
		S111_d39	○	初													
	材料劣化評価手法を高度化する	S111_d37	○	→	→	耐震安全性を高度化する	M106_d40-2	△	↓	→					M106_d40-1	△	→
					→	建屋構造・材料をより高性能化する	M107_d38	△	↓	→							
作業環境を改善する	被ばく低減に向けた状態監視、モニタリング技術の開発と環境負荷低減を図る	S111_d32	◎	→	→	運転管理を最適化し保守・運転員の負荷を低減し、安全運転を確かなものとする	S111M107_d34	○	→	→	技術革新により被ばくリスクと保守・運転時の負荷を軽減し、安全運転を確かなものとする	L104_d35-1	○	→			
		S111M107L104_d33-1	◎	→	→		S111M107L104_d33-1	◎	→	→		S111M107L104_d33-1	◎	→			
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	安全な運転を実現する 現場の人材を維持確保する					→	設計や建設から廃炉までの知見に基づくプラント管理ができる人材を維持する					→	安定・安全なプラント運転に係る知識・技能を有する国際人材を育成する				



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関連。

(4-1) 重要度評価結果③④

③事故発生時のサイト内の事故拡大防止方策 & ④事故発生時のサイト外の被害極小化方策

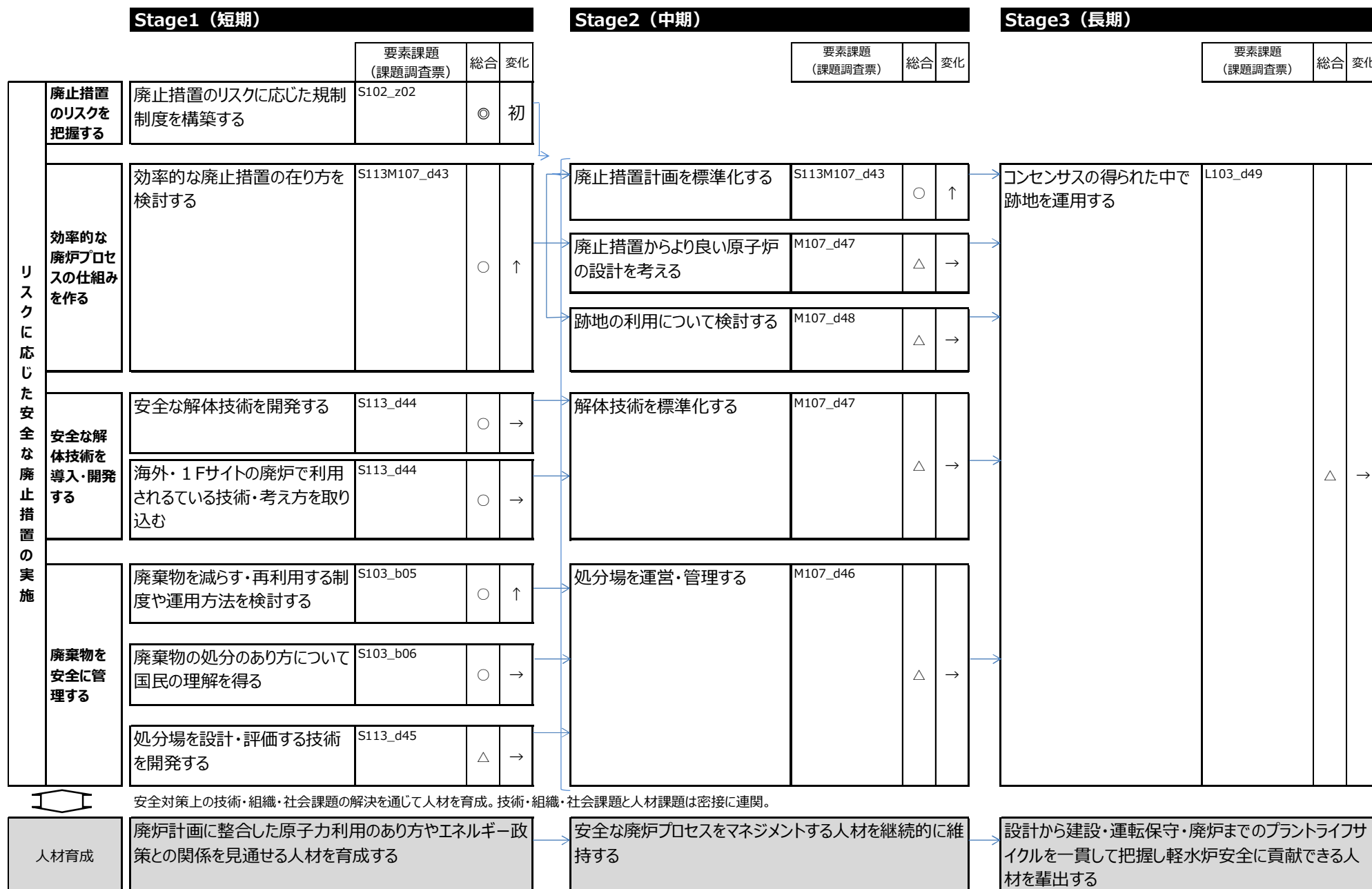
Stage1（短期）				Stage2（中期）				Stage3（長期）															
		要素課題（課題調査表）		総合	変化			要素課題（課題調査表）		総合	変化			要素課題（課題調査表）		総合	変化						
影響の把握	発電所外からの影響を把握する	自然災害等の災害がプラントに与える影響を把握する	自然災害の観測・予測技術と体制を整える		S105_a05	○	→	最新の知見・技術に基づく観測体制の最適化を継続する						自然災害の観測・予測技術や体制の展開により、世界的な自然災害予測の向上に貢献する									
			地震・津波以外の自然災害や航空機衝突等、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	○	→	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	事故を拡大させない	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	○	→	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	○	↓	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	○	→
					S111_d32	○	→			M106_d06	△	→											
					S111_d14	○	→			S111M107L104_d10	○	→											
			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	○	→	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	○	→						
		S111_d11-1			○	↑																	
		S111_d14			○	→																	
		S104_c02			○	↑																	
		S111_d13			○	↑																	
		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	○	↑	国際的な最新知見に基づきSA対策を検討する		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	○	↑							
				S102_a12	○	↑																	
		国際的な最新知見に基づきSA対策を検討する		S110_c10	○	→	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		S110M106L103_d02	○	→	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	○	→							
S111_d13	○			↑																			
組織等		S104_c02	○	↑	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	○	→			M103L101_a04	○	↑									
		S102_a03	△	→																			
（プラント外の）防災力強化する		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	○	→	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		○	→							
			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		○	→	S104M101L102_b02-3		○	→								
					S104M101L102_b02-2	○	→			M103L101_a04	○			↑	M103L101_a04	○	↑						
					S104_b04	○	→																

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たれる人材を輩出する	→	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

(4-1) 重要度評価結果⑤

⑤ 既設炉の廃炉の安全な実施



(4-1) 重要度評価結果⑥

⑥核不拡散・核セキュリティ対策

Stage1 (短期)

	要素課題 (課題調査票)	総合	変化
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	◎	↑
		○	↑
	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	△	→
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	○	↑
	コンピューターセキュリティの状況を把握する	○	↑
	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	○	初
		○	初
		△	初

Stage2 (中期)

	要素課題 (課題調査票)	総合	変化
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	◎	↑
	S109M104L103_c11	○	↑
	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	△	→
	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	○	↑
	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	○	↑
	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	○	初
		○	初
		○	初

Stage3 (長期)

	要素課題 (課題調査票)	総合	変化
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_d26	△	→
	S109M104L103_d28	○	↑
	S109M104L103_d27	○	↑
	S102M102L101_a11	○	初
		○	初
		○	初



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

(4-1) 重要度評価結果⑦

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

Stage1（短期）				Stage2（中期）				Stage3（長期）								
安全 運 転 を 設 計 や 技 術 の 革 新 で 実 現 ・ 維 持 す る	原子力プラントシステムの信頼性の向上を継続する中で革新技術をプラントに導入する	要素課題（課題調査票） S111M107L103_d42	総合 ◎	変化 →	→	Stage1（短期）に同じ	要素課題（課題調査票） S111M107L103_d42	総合 ◎	変化 →	→	Stage2（中期）に同じ	要素課題（課題調査票） S111M107L103_d42	総合 ◎	変化 →		
	事故時の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	S111M107L104_d10	◎	→	→	Stage1（短期）に同じ	M106_d06 M108_d12 S111M107L104_d10 M199L199_d20	△ ◎ ◎ ◎	→ → → ↑	→	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 M199L199_d19 M199L199_d20	◎ ◎ ◎	→ ↑ ↑		
	燃料の信頼性を向上する（炉心溶融しない燃料への対応をとる）	S111M107_d18-1 S111M107_d18-2 S111M107_d24 S111M107L104_d10	○ ○ △ ◎	↓ ↓ ↓ →	→	Stage1（短期）に同じ	S111M107_d18-1 S111M107_d18-2 S111M107_d24 S111M107L104_d10 M199L199_d19	○ ○ △ ◎ ◎	↓ ↓ ↓ → ↑	→	技術革新により被ばくリスクと保守・運転時の負荷を軽減し、安全運転を確かなものとする	L104_d35-1 S111M107L104_d33-1	○ ◎	→ →		
	被ばく低減に向けた状態監視、モニタリング技術を開発し、運転管理を最適化して保守・運転員の負荷を低減して、安全運転を確かなものとする	S111_d32 S111M107L104_d33-1	◎ ◎	→ →	→	Stage1（短期）に同じ	S111M107_d34 S111M107L104_d33-1	△ ◎	↓ →	→	技術革新により被ばくリスクと保守・運転時の負荷を軽減し、安全運転を確かなものとする	L104_d35-1 S111M107L104_d33-1	○ ◎	→ →		
	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_d28 S109M104L103_d27 S109M104L103_c11 S109M104L103_d26	◎ ○ ○ ○ △	↑ ↑ ↑ ↑ →	→	Stage1（短期）に同じ	S109M104L103_c12 S109M104L103_d28 S109M104L103_d27 S109M104L103_c11 S109M104L103_d26	◎ ○ ○ ○ △	↑ ↑ ↑ ↑ →	→	Stage2（中期）に同じ	S109M104L103_c12 S109M104L103_d28 S109M104L103_d27 S109M104L103_c11 S109M104L103_d26	◎ ○ ○ ○ △	↑ ↑ ↑ ↑ →		
	中長期的な視点で若手人材を育成し、将来の原子力安全を担う人材を確保する	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関連。														
人材育成	Stage1（短期）に同じ														Stage2（中期）に同じ	

(参考) 要素課題の重要度に基づく優先順位付けの評価方法

軽水炉安全に係る多種多様な技術開発と人材育成の取組

- 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た、抜け落ちのない技術課題の抽出
- 領域間の専門家連携や異なる立場からの参画、海外の研究との連携等で効果的に解決が可能となる課題の確認
- 目指す姿に対する達成目標の明確化
- 課題解決の道筋の具体的な提示
- 実施主体の適切な設定

- 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>

- 各要素課題項目を (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。

(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 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。

(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」。

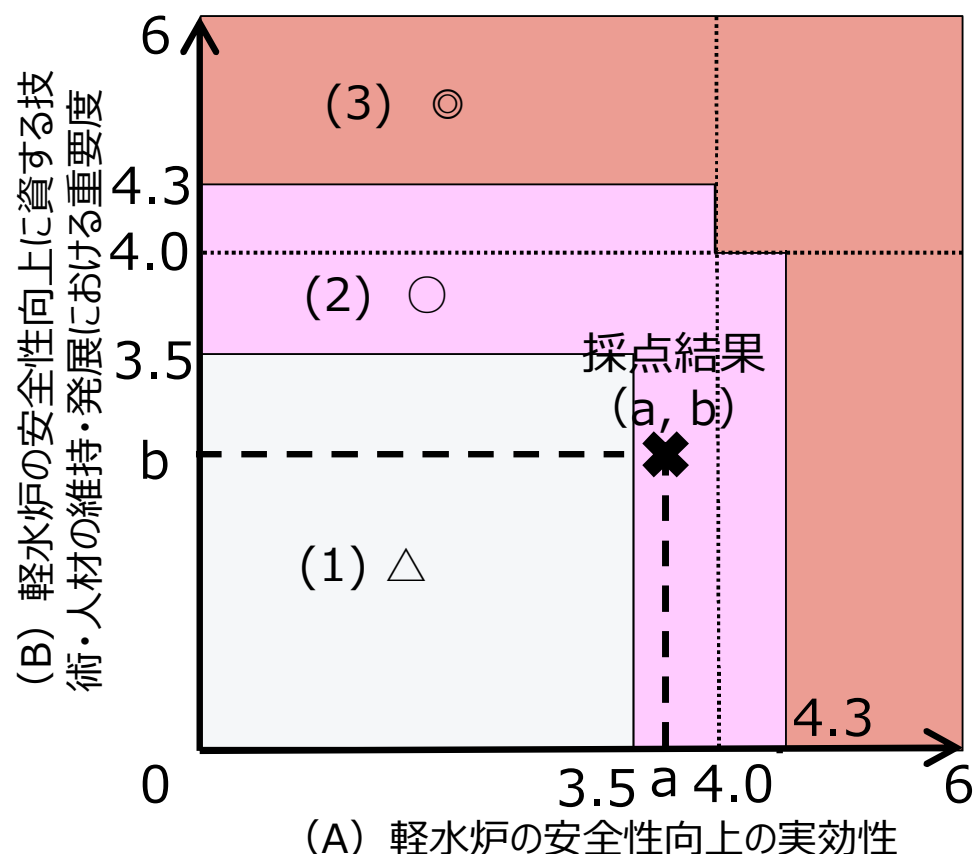
要素課題の優先順位付けがなされた「ロードマップ」の策定

(参考) 評価軸を用いた要素課題の優先順位付け

- (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。

(5) 国内外の専門家、立地地域等の意見取り込み

- 軽水炉安全技術・人材ロードマップのローリングに当たり、国内外の幅広い専門家からの批判や地方自治体の問題意識や視点を取り込んでいくため、以下について実施。

① IAEAナレッジマネジメント国際会議における情報発信・意見交換

目的： 国際的な情報発信と海外との意見交換を行い、得られた意見・コメントを今後の課題設定に反映

実施事項： IAEA主催ナレッジマネジメント国際会議(2016.11.7-11@ウィーン)でロードマップの策定とローリングの取組を発表

結果：

- ・ 福島第一原発事故後の日本の原子力安全に対する最新の取組状況の全容は理解された
- ・ 事故後5年強が経過しても、再稼働プラントが限定的な状況で、日本の原子力安全の基盤維持への憂慮が示された

② ロードマップの第三者評価

目的： ロードマップ策定に直接携わっていない有識者（原子力学会外の有識者含）からの意見をローリングプロセスの改善に反映

ヒアリング結果：

(1) 規制行政経験者

- 現行ロードマップを一覧しても内容が伝わってこない。ロードマップのみでメッセージが伝わる表現にしていくべきである。
- 多くの研究テーマを指示する「救済マップ」になってはいけいない。課題調査票は研究の実施者ではなく、行政や組織の意思決定者が記載すべきである。
- 重要度は設定の考え方が重要。現行の重要度評価のプロセスに違和感はない。
- 安全目標は、現状規制委員会の重要テーマとしては位置付けられていないものの、科学的合理的な規制に向かう中で、活用されていく一つのファクター。
- 事業者は、規制と渡り合っていくという姿勢が重要である。規制側が納得感を持つ情報発信の質の向上も必要であろう。
- 規制側においても人材育成は懸念事項である。研修と研究は異なる次元のもの。前者は新人や初心者をして一人前にする活動であり、研究は厳しい競争活動である。
- 研究と人材育成は並行して行われるべきものである。研究をすることで一流の人材が養成される。

(5) 国内外の専門家、立地地域等の意見取り込み

(2) 他学会(日本機械学会)所属の有識者

- 原子力業界の専門用語は不明なものが多い。公衆に理解いただくには、解説等を施した丁寧な取扱いが必要である。
- 裏付けとなるデータの絶対数が少ない中、PRAの使い方は工夫が必要である。対策の優先順位付けに用いる等。
- 安全目標の絶対値を定めたところで、PRAの結果がそれより下だから安全という議論は、今までの絶対論、ひいては安全神話と変わらない。
- 地元の定義をどこにおくのか。地元の理解のために安全目標を使うのは無理があり、地元の不信感を高めてしまう。
- 事故が起きることを前提に、事故が起きた後、どういった防災対策を講じて地元の安全を守るのか、具体方策を定め丁寧に説明していくことが必要である。
- 研究と人材は表裏一体であり、人材育成を加速させるためには研究費を投入すべき。例えば、モデル化や標準化のためのデータ拡充に資する大型実験等が有効であろう。
- リスクの話だけをしても国民には伝わらない。ベネフィットと併せて語るべきである。ただし、原子力のベネフィットは国民には分かりにくい。
- システムを研究対象とする研究者数が我が国には絶対的に少ない。システム要素間のインターフェースで問題が生じやすく、当該分野の研究拡充が必要である。
- 最近インパクトファクターを狙った研究を重視する傾向がある点は、安全基盤を強化するといった地道な研究の重要性を軽視してしまいがちな観点から問題である。
- 研究者が予算を確保するためのロードマップになってはいけない。

(3) 立地地域自治体の職員

- 原子力に対するスタンスは立地地域自治体ごとに異なり、対象とする自治体がどういった状況にあるのかを正確に理解した上で、ワークショップの企画や対話のあり方を検討する必要がある。また、福島第一原発事故後は、隣接自治体も発言権を持つとする動きがあることも認識しておく必要がある。
- ロードマップにおける「役割分担」に関しては、誰が積極的にリードしているのかを明確にする必要がある。
- 産業界が実施する研究開発では、「規制で求められているから」や「有識者が必要性を示しているから」を理由とせず、「自らが必要と判断している」というスタンスが必要である。これがないと主体性が見えず、住民ひいては国民に受け入れられない。
- 自治体によっては、原子力発電所の安全性にかかる報告書を取りまとめているところもあり、プラントの工学的安全性に係る議論など、立地自治体の知見(関心事項)を把握することが重要である。
- 運転延長への地元理解は十分に進んでいない状況の中、40年超運転に関して今後どのように安全対策等の確認を行っていくのかは立地地域の関心事項である。こういった課題に対して、ロードマップに基づく対応策が示されると、地元理解には有効であろう。

(5) 国内外の専門家、立地地域等の意見取り込み②

③地元自治体や一般の方々の意見を取り込むワークショップの企画概要

目的: ステークホルダー間のコミュニケーションを促進し、軽水炉安全技術・人材ロードマップの認知度の向上や問題意識の共有を図るとともに、多様な意見をローリングの視点に反映する。

(1)ワークショップのテーマ:「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」

- 経済産業省は原子力の安全性向上の取組として、①原子力規制委員会における新規制基準の導入、②原子力防災対策・避難対策の強化、③原子力発電の自主的な安全性向上の取組の促進を挙げている*1が、①②と比較すると、国民にとって③の具体的な取組イメージが湧きにくい。
- 原子力安全の専門技術的な面は、一般の方々にとっては必ずしも理解が容易なものではないが、理解を得る努力が必要である。
- 一方で、立地地域の自治体の担当者や自治体が設置している委員会の有識者は専門知識を有している。
- ロードマップの中でも、特に「どのように課題が抽出されているのか、どのようにローリングされているのか」や「どのように重要度が決められているのか」と言うプロセス、重要な技術課題がなぜ重要なのかということなどに関心があるものと想定される。
- これらのプロセスの中で、立地地域の意見をどのように採り込んでいくべきかというのも、コミュニケーション上の課題である。

(2)ワークショップのゴール

- 「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」における立地地域の係わり方の提案
- 「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」をステークホルダーコミュニケーションで用いる上での課題の抽出

(3)開催方法に関して

- 事前ヒアリングにより、ロードマップの概要を説明、ワークショップにおいて議論すべき論点の絞り込みを実施。(論点としては、例えば、「ロードマップの検討プロセス」や「『安全目標』等の特定課題」への立地地域の係わり方などを想定)
- 半日程度でワークショップを実施。
- チームに分かれて議論の後、全体での成果発表および意見交換を実施。
- 少人数での検討チーム、3チーム程度で構成。各チームには、少なくとも、コーディネータ、ロードマップの作成に携わった原子力の専門家と立地地域の担当者が参加。事務局が支援。

*1 経済産業省ホームページ「日本のエネルギーのいま：安全性向上」より

http://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/energy_policy/energy2014/anzensei/

3. 今後の課題

今後ローリングを実施していく上での検討課題

- ローリングの適切な実施頻度の考え方
 - ロードマップ初版は作成途上や未対応事項があったため、当面毎年ローリングを実施するとしたが、今年度実施した結果、技術開発や人材育成の取組の進捗について、より適切に踏まえることができるタイミングで、ローリング作業を実施したほうが効率的であり、よりメリハリのついた評価が可能になると考えている。
- ローリングの活動資金の確保
 - 所属組織の業務を行いながら、学会の自主的な活動としてローリング対応を行うことは、人員と投入時間の確保に限界があるため、大きな枠組みの見直しを伴うローリングに対しては活動資金の確保が必要である。
- 最新情報や最新知見が効率的にロードマップに集約する仕組み
 - 課題調査票の更新ルールを標準化し、参画・協力メンバーが、自主的・分散的に更新していく仕組みを整える。
- 次回のローリングをスムーズに実施するための前倒し準備
 - WGからの指摘事項への対応を含め、次回のローリングに向けた準備・検討作業を継続していく必要がある。
- 立地地域住民、他分野の専門家、海外関係者などの幅広い意見を取り込む手段やプロセス
 - シンポジウムの企画、他学会との提携、国際共同プロジェクトの推進などにより、取組を進めているが、いずれの手段やプロセスが適切かといった客観性を伴った評価を合わせて実施していく必要がある。
- 規制側を含む幅広い関係者の参画を促すインセンティブ
 - 関係各所の関心事項や重点的な取組事項の情報が集約され、ロードマップに参加することで最新情報が把握できる枠組みとする。
- ロードマップの国際共有
 - ロードマップに係る国際的な情報発信機会を増加させると共に、国際共同プロジェクトのマイルストーンの共有にロードマップを積極的に活用していく必要がある。

4. 自主的安全性向上・技術・人材WGからの指摘事項と対応状況

WGにおける指摘事項との対応（1 / 7）

	指摘事項	対応状況	
ロードマップにおける課題の選定方法	社会的要請を含めた課題の選定にあたっては、他の学会とのインターフェースが重要となるため、ローリングの過程では他の学会と協力して課題の選定を進めていくべきである。	△	日本建築学会との連携に向けて調整中。今年度は準備会合が立ち上がり適宜情報共有。平成29年度から正式な連携体制とする。
ローリングに關係する各要素課題の評価時期等の整理	要素課題には、短期的に取り組むべきものと中長期的に取り組むべきものがあるため、各要素課題について、1年に1度見直して達成度を評価すべきものとそうでないものを何らかの形で明示して分けるよう、ローリングの過程でロードマップを見直していくべきである。その上で、短期的に取り組むべき要素課題と中長期的に取り組むべき要素課題については、異なる基準で予算措置を行っていくことが必要である。	△	今年度の達成度評価では、対象を「短期的に取り組むべきもの」に限定。その結果も踏まえつつ、適切な予算措置を講じることに資するロードマップとなるよう、継続的に改善を図る。
評価軸を用いた重要度評価	（A）と（B）の評価軸の下各項目に重複感がある。例えば、（B）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」とあるが、安全性向上の実効性を持つことによってブレークスルーの価値が認められるため、（A）とも非常に関係が深い。このため、重複感を排除したものになるよう、ローリングの過程で評価軸を見直していくべきである。	○	既存の評価軸についての補足説明を与えることで、よりの確な評価の実現を図ることとした（22-23ページ参照）。
	本ロードマップに実効性を持たせるためには、現在挙げられている課題の評価だけでなく、今後個々に提案される技術の評価も行えるよう、ローリングの過程で評価軸を見直していくべきである。	×	新たな技術の提案があり、現行評価軸では適正な評価が難しい場合は、評価軸を改訂していく予定である。
	評価者による要素課題の評価については、「各評価者が1度評価した結果を評価者間で一旦共有した上で再度評価を行うという2段階方式をとることにより、意見の一致が見られる」、「（B）の評価軸を用いた要素課題の評価については、評価者自身の専門外の要素課題については適切な評価が行えず、ラフな評価になってしまう」、「要素課題の重要度評価については議論が十分ではなく、継続的に改善を行うことが重要であり、特に、政策決定の根拠等に利用する場合には、本ワーキンググループの責任として、本ワーキンググループのメンバーによるレビューを実施する等、幅広いステークホルダーによるレビューを継続していくことが重要である」といった指摘もある。このような指摘を踏まえ、ローリングの過程では要素課題の評価方法自体も見直していくべきである。	○	重要度評価者の多様化及び2段階評価の導入を行うこととした。（25ページ参照）。WGからの御意見を適宜頂きながら対応を改善を図っていく。

WGにおける指摘事項との対応（2 / 7）

	指摘事項	対応状況	
評価軸を用いた重要度評価	研究開発には費用がかかるが、一旦実現してしまえば実施には費用がかからないという技術もあるため、費用対効果に関する要素課題の評価については、実施費用と研究開発費用に分けて評価を行うよう、ローリングの過程で評価方法を見直していくべきである。その際、研究開発費用を見積もるのは難しいが、それに代わる指標として、要素課題に関する技術の成熟度（開発段階、検証段階 等）を利用することもできる。	△	今年度は費用対効果の評価軸についての補足説明を与えることで、できるだけ確かな評価の実現を図ることとした（22ページ参照）が、実施費用と研究開発費用に分けて評価を行うかたちでの見直しは今後対応を検討したい。
ロードマップを活用する際の留意点	要素課題の重要度評価においては、要素課題の重要性のみではなく、要素課題が適切に設定されているかという点も評価されている。例えば、「⑥核不拡散・核セキュリティ対策」ロードマップに含まれる要素課題の評価結果は低くなっているが、これは核不拡散・核セキュリティ対策が重要ではないという意味ではなく、課題の設定が不十分であるということの意味している。本ロードマップを活用する際には、このような点にも留意する必要がある。	○	要素課題の設定が不十分なものについては、見直しを行い、設定の不十分さで重要性が下がることが無いよう、対応を施している。
	本ロードマップを活用する際には、本ロードマップに記載された取組を実行する際の障害や、それを乗り越えるための方策を明確にしながる取組を進めていくことが重要である。	—	関係者が本ロードマップを尊重して行動する中で、対応していくべきものと理解。
その他	日本原子力学会においては、学会内外の専門家のピアレビューを受けながら、継続的にローリングを行っていくことが重要である。このため、他学会と個々に議論することに加え、日本学術会議や総合シンポジウム等の場を通じて、幅広い専門家からの批判を受けながらローリングを進めていく。	○	本ロードマップの策定とローリングに直接参画してこなかった第三者の立場の方からコメントを頂き、今後のロードマップに反映していく。日本建築学会との連携による議論の場、さらにワークショップも次年度以降設定し、幅広い意見を集約する体制としていく（34-36ページ参照）。
	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ることが重要である。その意味で、経済産業省が予算措置において本ロードマップを尊重していくことは重要な第一歩であり、経済産業省以外の関係省庁にも同様の対応が望まれる。	△	文部科学省、原子力規制庁への参画の呼びかけを継続的に実施する。
	今年度から来年度にかけては、本ロードマップの密な見直しが必要である。	○	平成28年度の活動として、ロードマップの密な見直しの位置づけでローリングを実施した。
	今後、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、ローリングの過程で地方自治体の問題意識や視点を本ロードマップに取り込んでいくことが重要である。	△	自治体関係者が参加する形のワークショップ企画を策定した（36ページ参照）。また、経済産業省においては、別途、立地自治体との意見交換を実施している。例えば、廃炉に係る課題の重要度について、立地自治体の問題意識も踏まえつつ見直しを加えている。

WGにおける指摘事項との対応（3 / 7）

	指摘事項	対応状況	
その他	原子力安全に係る技術と人材の問題に関し、利益相反を廃した形で利用側と規制側の連携を深めるための努力を続けていくことが重要。	△	多様なステークホルダーが集い公開で議論を行う学会の場を積極的に活用している。今後も規制側の参画を継続的に促す。
	人材育成は本ロードマップにおける重要な要素であり、ローリングの過程で原子力人材育成ネットワーク戦略ロードマップ等も踏まえながら、引き続き人材育成に関する議論を深めていくべきである。	△	学会内において人材育成のみに主眼を置いた議論は行われていない。研究開発と人材育成をセットで扱い、必要な人材育成のためにどういった研究実施を促すことが有効かを示すという本ロードマップの特徴をより活かせる構成や評価の仕組みの観点から議論を行っている。
	人材育成のみならず安全性向上の観点から極めて重要なツールである研究炉については、ローリングの過程で、本ロードマップにおける位置づけを明確化していくべきである。また、研究炉だけではなく、極めて大きなベネフィットがあるにも関わらず、大規模な投資を必要とする投資リスクの高い案件について、どのように政策に反映していくのかをしっかりと議論する場が必要である。	△	我が国の人材育成や技術基盤の維持の観点から、研究炉を含む研究インフラを国内に維持していくのか、国際的な協力の枠組みの中で研究インフラを共有化していくのかの論点も踏まえて、課題調査票の見直しの際に考慮。政策への反映の議論はWGへ期待。
	本ロードマップに明記された産官学の役割分担を踏まえ、選択と集中による国家規模の戦略を構築し、その戦略に対して積極的な開発を進めていくことが必要である。その際、日本の優位性を強化する視点から、国内の安全な原子力利用を活性化するのみならず、海外への貢献を踏まえた戦略の重要度を評価していくことが必要である。	△	国際優位性や国際貢献については、課題調査票の作成時に重点項目として考慮。今後見直しを進めていく上で、主要な論点に設定する。
第10回WG （平成28年6月）における追加的指摘事項	各実施項目が安全性の向上にどの程度つながっているか、費用対効果の観点も踏まえつつ適切に評価する仕組みを作るべき。	△	費用対効果の評価軸へ補足説明を加えることで、現状考慮可能な範囲での評価は実施できる形とした。（22ページ参照）。不十分さは残っており今後の課題とする。
	テロ対策（サイバーテロ対策含む）、組織や人的因子などの分野について、課題設定や重要度を改めて見直すべき。	○	セキュリティ分野の専門家により、課題設定の見直しを行うと共に、重要度評価についても同分野の専門家を加えて再実施を行った。
	実際に実施された事業が適切な役割分担に基づいて行われていたかを評価すべき。また、緊急度は低いが本質的に重要な課題についても、資金源の性質等を考慮した適切な役割分担の下で進めていくべき。	○	達成度評価の中で、実際に実施された事業が適切な役割分担に基づいて行われていたかを評価した。また、各機関の役割の再確認を実施した（11-16,20ページ参照）。
	我が国において失われつつある重要な基盤と研究課題との結びつきについて整理すべき。	×	今回のローリングでは対応できていない。今後、人材育成と研究課題の結びつきについて整理を予定。

WGにおける指摘事項との対応（４／７）

	指摘事項	対応状況	
第12回WG （平成28年11月）後に求めた指摘コメントと対応状況	エネルギー・電力、原子力、原子力の安全性の3つの粒度の異なる領域に対し、研究開発、技術、産業、社会、制度・規制の観点から、国内外の視点で、環境変化の分析を実施すべきである。	×	今年度は近々1年間の環境変化に注目して分析を実施した。指摘事項は複眼的な視点で環境変化の評価であり、今度の課題として設定し、取り組んで参りたい。
	ローリングに当たっては、定期的なローリングにおいても、評価軸の見直しとともに取組項目を見直すこととされているが、その点が抜け落ちているのではないか。	△	環境変化を踏まえて見直しが必要な項目を中心に今年度は見直しを実施した。
	格納容器対策等について、原子炉事故時の環境影響緩和に関して、対策オプションのリスク低減効果確認など実効性について精緻な議論が求められてきていると考えられる。世界のgood practiceから学ぶ観点から、欧州を中心にEC司令や安全条約ウィーン宣言に基づいて、原子炉事故時の格納容器からの大規模放出による長期にわたる土地汚染を防止する格納容器対策が運転期間延長のための改造と相俟って考案されてきていることも評価しておくべき。	×	関連する課題は取り扱われているが、指摘事項も踏まえた最新情報に基づく課題の見直しは、次年度以降実施して参りたい。
	リスク情報に基づいた意思決定について、とりわけ福島第一事故に鑑みた物的（施設）・人的（手順等）・組織的・制度的な改善については、それが、i)どのような評価手法にたって意思決定されているのか、ii)そのリスク低減上の有効性はどのように確認されているのか、iii)Value/Impact評価はどのようなスコープで実施されているのか、iv)全体としてどのような達成目標（あるいは安全目標）の下に対策の決定がなされているのか、を整理して今後も続くリスクマネジメントの意思決定ガイドとして作成が必要ではないか。	×	個別の取組は行われているが、指摘事項の観点に立った総合的な評価は実施できていない。リスクマネジメントの意思決定ガイドの作成といった課題を新たに設定し、その取り組み状況の進捗度・達成度の評価を今後実施していくことを検討したい。
	これまでのWGからの指摘にもあるとおり、ロードマップに記載する項目を達成目標とし、その目標を達成したかどうかをローリングの際に確認できるようにすべきである。すなわち、策定されるロードマップの項目は、「△△炉の開発」や「××の実施」といった「手段」ならびにそれらへの公的投資の正当化や政策的実現を志向するのではなく、社会的課題に対する認識に基づいた研究開発目標を提示することで、原子力の自主的・継続的な安全性向上という政策目標の実現を図るべきである。	×	ロードアップの表現方法は、第三者評価でも改善の必要性が指摘されており、実施内容に加えてその達成目標も併記したロードマップの表記方法、今後の大きな見直しの枠組みの中で検討していきたい。

WGにおける指摘事項との対応（5 / 7）

	指摘事項	対応状況
第12回WG （平成28年11月）後に求めた指摘コメントと対応状況	「各実施項目が安全性の向上にどの程度つながっているか、費用対効果の観点も踏まえつつ適切に評価する仕組みを作るべき」という指摘事項への対応状況が○となっているが、評価軸に若干の補足を付け加えた程度で、適切に評価する仕組みを作るというところまで全く至っておらず、少なくとも×とすべき。実施項目の費用対効果や技術的成熟度、確率論的リスク評価の観点からの分析等を実施するためには、ロードマップ策定者及び評価者の能力や専門性を向上させるとともに、人的資源を確保する必要があり、そのような仕組みを検討すべき。現状は取組内容も論理的に整合性が取れた形での構造化がなされておらず、優先順位付けも工学知に根差したものでなく、少数の専門家の個人的意見の集合体に留まっており、その妥当性と有効性が疑問である。項目の選定にあたっては、目標設定におけるSMARTの原則を踏まえるべきではないか。	△ 現状の要素課題(課題調査票)の記述では、複数の課題解決のアプローチを設定し得る詳細度で課題を設定しているため、必要な費用を一義的に見積もることは難しい。また、効果の定量的指標の一例としてリスク低減効果が挙げられるが、技術課題のみならず組織マネジメントや社会とのコミュニケーションといった社会科学的課題も混在する要素課題の構成となっており、必ずしも全ての要素課題が定量的なリスク低減効果を評価できるものではない。ついては、今回は「得られる成果が軽水炉の多岐に亘る課題の解決に資することが見込める研究課題である」もしくは「研究開発としての明確な道筋が示されており、短中期的な実用化が見込める研究課題である」という視点から「費用」対「効果」の評価を実施した。ご指摘の問題点は今後ロードマップの枠組みの改訂を実施する際、考慮していきたい。
	地方自治体には一刻も早く情報提供や意見交換だけでも実施すべき。立地自治体には、それぞれの安全意識や安全目標があると思うが、本ロードマップを策定し、ローリングを進めることについて、すり合わせが必要。立地自治体には、それぞれ専門家など多様なステークホルダーで構成される安全検討会などの組織が設置されているため、それらの組織に情報提供し、意見を頂くことも一案ではないか。	△ 自治体関係者が参加する形のワークショップ企画を策定した（36ページ参照）。また、経済産業省においては、別途、立地自治体との意見交換を実施している。自治体とのコミュニケーションについては、今後も取組を継続していく必要があるものと認識。
	国民との情報共有、コミュニケーションを実施するには、御提案のワークショップ形式が有効と思う。ただし、東京で1回だけアドバルーン的なワークショップを開催するのではなく、最も原子力の安全性について心配している立地地域や周辺地域の住民たちと、エネ庁の事務局、ロードマップに関わっている原子力学会のチーム、当該地域の電力事業者がまさにワークショップ形式でコミュニケーションすべきではないか。まずはどこかをモデル地域として、このロードマップが理解できるかどうか、また、求める方向性が住民の方たちと合っているかどうかなどをテーマに実行してみてはどうか。	△ まずは、ワークショップの企画案を検討した。次年度以降、実行し、成果はロードマップに反映する共に、確認された課題は、改善方策を検討し、次のワークショップ企画に反映していく。
	「学会による俯瞰的な達成度評価」を行うとあるが、原子力学会内の多様な専門性を活かした評価を行っているのか疑問。原子力学会内で本ロードマップ作成に携わっている組織が、学会内の専門性として偏りがいいのか。ソフト的(社会的)な課題に対する専門家の寄与が不足しているのではないのか。本ロードマップは「原子力学会」の意見として提出されているが、学会内でどのようにコンセンサスを取っているのか。	△ 今年度のローリング体制では、ボランティアベースの限られたリソースでの対応のため、今後は体制の見直しを行い強化を図っていくことが必要である。学会内のコンセンサスは、主要会合を定期的に開催し、その場での意見交換、合意を主要プロセスとしている。

WGにおける指摘事項との対応（6 / 7）

	指摘事項	対応状況	
第12回WG （平成28年11月）後に求めた指摘コメントと対応状況	WG委員からのこれまでの指摘事項において、「テロ対策（サイバーテロ対策含む）、組織や人的因子などの分野について、課題設定や重要度を改めて見直すべき」とあるが、原子力学会内にはサイバーセキュリティの専門家はいないため、外部との連携が必要である。また、学会内の「組織や人的因子などの分野」の専門家をもっと活用すべき。	△	サイバーを含むセキュリティ分野については、日本原子力研究開発機構の専門家に協力を依頼し、課題設定や重要度評価のプロセスの見直しを行った。組織や人的因子などの分野の専門家の活用は今後更に図っていく。
	自分の専門領域に関する研究の重要性を高く捉えてしまうことは、心理学的バイアスとして当然と捉えるべき。それを克服して、安全性向上にどの程度寄与するかを俯瞰的に評価するためには海外の有識者を含めた広い視野を持つ研究者の外部レビューが必要。	△	今年度は、ロードマップ策定に直接携わっていない有識者（原子力学会外の有識者含）からのヒアリングを実施した。海外の有識者による外部レビューは計画中であるが、今年度の最終報告時点では未実施であり今後の課題である。
	ロードマップのローリングプロセスの中に、もっと他分野の有識者を入れるべき。例えば、原子力以外の規制分野に携わる人や、文系の人からの意見も含め、大所高所からの多様な意見を取り込んでいく工夫が必要。	△	今年度は、ロードマップ策定に直接携わっていない有識者（原子力学会外の有識者含）からのヒアリングを実施した。今後、指摘の具体的な取り込みを図っていく。
	透明性確保と意思決定への参画が社会の合意形成上重要とされてきているが、社会学者からは、「市民の参画とは、プロセスだけの問題ではなく、また、専門家主導の判断を市民が代行する事ではなく、市民の価値判断が重要」という意見もあり、社会との対話に際しては、専門家と一般公衆のリスク認知の違い、リスク認知に影響を与える要素を検討しておく必要がある。	×	今年度は十分な検討ができていない。社会科学的な観点から検討は次年度以降の課題として検討して参りたい。
	「人材育成は本ロードマップにおける重要な要素であり、ローリングの過程で原子力人材育成ネットワーク戦略ロードマップ等も踏まえながら、引き続き人材育成に関する議論を深めていくべきである」となっているにも関わらず、「これまでのところ学会内において人材育成に関する議論は深められていない」のはなぜか。このロードマップは「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」となっており、今後目指すべき安全技術には、それに関わる人材が必要であり、技術と人材はワンセットなのではないか。原子力業界では、人材育成が急務と常に叫んでいるのに理解に苦しむ。具体的な方策を検討する際に、すでにある「原子力人材育成ネットワーク戦略ロードマップ」を利用し、改善すべき点があれば改善する方が合理的ではないか。	△	技術課題を設定することで、当該課題の解決に資する人材が育成されるという捉え方を学会内では行っている。こういった技術と人材をセットにした議論は学会内でも深められてきており、今後ロードマップにおいてもしっかりその内容を反映していく。

WGにおける指摘事項との対応（7 / 7）

	指摘事項	対応状況	
第12回WG （平成28年11月）後に求めた指摘コメントと対応状況	本WGでの提言をもとに安全に関する人材育成事業が公募による選定を経て実施されているが、類似の事業が文科省・規制庁でも行われている。基礎となる知識は同じであるため、多くの部分は個別省庁ごとではなく統一して有効な予算活用で効果的な事業を実施すべき。	—	国の効果的な事業実施のあり方は、学会の場ではなくWGや各省庁での検討に期待したい。
	検査制度の見直しに関して、「規制当局と事業者の良好なコミュニケーションの下での検討」で「保守・運転管理の合理化」を図るとのことだが、一般的に事故後の原子力発電への不信が拭えていない中で、結局チェック機能が働かない状況が作られようとしているかのように、国民に受け止められる可能性があるのではないか。なぜ保守・運転管理の合理化を急ぐ必要があるのか、そもそもなぜ再稼働しなければならないのかということが国民には理解されていないことは、立地自治体の県知事選から見ても根強いものがあることは明らか。自主的安全性の向上は再稼働されるということが大前提での取組だと認識しているが、再稼働は国民が事故を経験してなお原子力発電の必要性を認識できた上で初めて実現できるものであって、その根幹に対してどれだけアプローチができていくのかという視点も大事なのではないかと。いくら事業者と規制当局が納得できる安全性を構築できたとしても、このままでは国民との間の溝は埋まらない。国民の生活や命を身近に意識しながら安全性を高めることが自主的安全性向上の理念。国の役割としても取り組むべき。	△	学会の場では指摘事項に照らしての議論は行うこととするが、検査制度の見直しの前提となる規制と事業者の関係と、それに基づく安全確保の取組上の変革については、関係各所が時間をかけて丁寧の説明していく必要がある。
	WGと原子力学会とのコミュニケーションの在り方に関連して、幾つかの大項目に分けた領域ごとに、当該領域に関心ある直接話し合い意思疎通を図る機会があっても良い。	○	今回は、ワークショップの企画立案の過程において、（学会外の）WG委員の御協力を個別にいただいたところ。WG事務局とも相談の上、より適切な機会の設定を検討して参りたい。