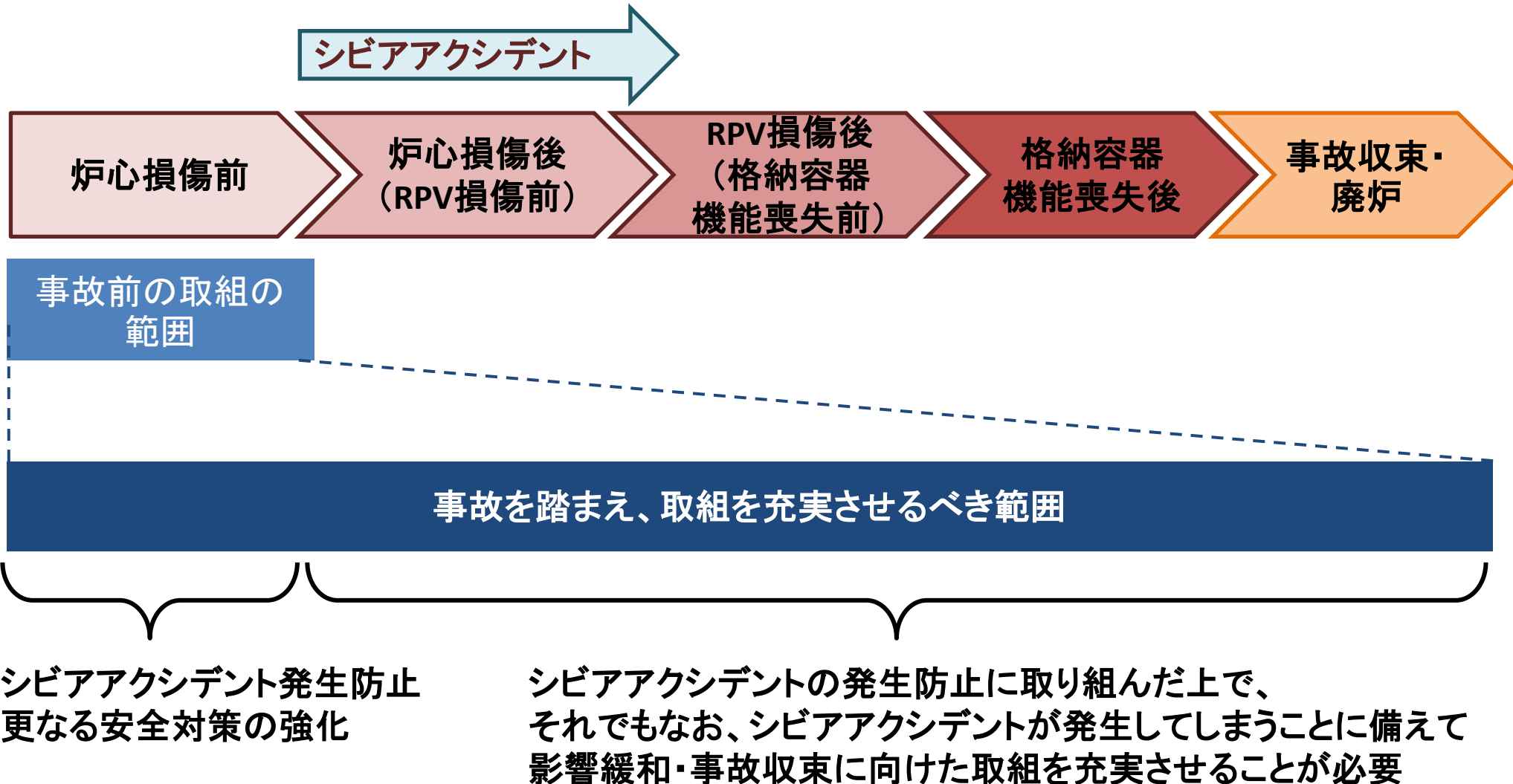


経済産業省における 軽水炉安全技術・人材ロードマップの活用状況

平成28年6月
経済産業省

経済産業省における更なる安全性向上のための研究開発及び人材育成

- 東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、「規制を満たせば安全は担保され事故は起きない」との認識を改め、事故の発生防止のみならず、シビアアクシデントを含む事故への対応能力強化を目的とした研究開発・人材育成を実施。



予算措置への軽水炉安全技術・人材ロードマップの活用

- 経済産業省の軽水炉安全予算は、総額約50億円(平成27年度)。全予算を、ロードマップで重要度が高い(◎)とされている課題の解決に資する研究開発及び人材育成に対して措置。
- 平成28年度も、引き続きロードマップの重要度等に基づいて予算措置を実施。

①既設の軽水炉等のリスク情報の利活用の高度化

◎の要素課題9件中、経済産業省担当分6件。このうち4件の要素課題に対応。

⑥核不拡散・核セキュリティ対策(◎の要素課題0件)

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

◎の要素課題7件中、経済産業省担当分6件。これら全ての要素課題に対応。

深層防護

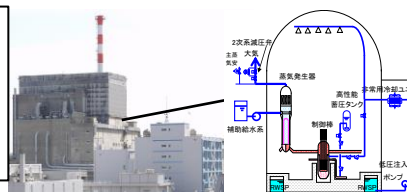
サイト外



サイト内



プラント内



④事故発生時のサイト外の被害極小化方策

③事故発生時のサイト内の被害拡大防止方策

◎の要素課題12件中、経済産業省担当分9件。このうち7件の要素課題に対応。

⑤既設炉の廃炉の安全な実施
(◎の要素課題0件)



②既設の軽水炉等の事故発生リスクの低減

◎の要素課題8件中、経済産業省担当分5件。これら全ての要素課題に対応。

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

(人材育成事業による、◎の要素課題への対応件数は、上記数字に含まれる)



ロードマップを踏まえて実施した平成27年度新規事業

- 軽水炉安全技術・人材ロードマップを踏まえ、継続事業を精査するとともに、研究開発について新規事業9件を立ち上げ(平成26年度新規事業数:3件)、人材育成について新規事業3件を立ち上げ(平成26年度新規事業数:1件)。

【研究開発】 発電用原子炉等安全対策高度化事業 (平成27年度予算額: 48億円)

- ・ 目的: 原子力発電の安全性を高める技術基盤整備や、民間主体等の技術開発の支援
- ・ 平成27年度新規事業例: 原子炉圧力容器及び炉内構造物の照射影響評価手法の高度化
 - － 放射性物質の閉じ込めと炉心冷却機能確保に重要な原子炉圧力容器への中性子照射による影響をより正確に把握するため、実機相当の照射材料を用いた評価を行い、現行の評価手法の妥当性確認やその更なる改善に向けた検討を実施。
 - － 炉心支持や反応停止・炉心冷却機能確保に重要な炉内構造物について、中性子照射による組織変化のモデル化等を目指して、照射材料を用いた評価を実施。

【人材育成】 安全性向上原子力人材育成委託費 (平成27年度予算額: 1.5億円)

- ・ 目的: 原子力発電の安全を確保するための人材の育成
- ・ 平成27年度新規事業例: 炉心・燃料設計に係る技術者育成
 - － 炉心設計や燃料設計分野において体系的で確実な技術伝承を行うため、沸騰水型原子炉及び加圧水型原子炉の燃料を扱い、現場の知見を最大限に活かし、炉心設計、燃料設計に係る人材を育成。
 - － 炉心設計と燃料設計の基礎を学ぶ数日程度の人材育成プログラムを実施。

政府としての対外的な発信状況

- 原子力委員会や国際会議等の場において、ロードマップ策定の趣旨や内容を広く発信。
- ローリングの過程で地方自治体の問題意識を取り込む観点から、原子力発電所立地自治体に対して、ロードマップ策定の趣旨や内容を説明するとともに、意見を聴取。今後、他の立地自治体への説明及び意見聴取を実施予定。

国内外の会議等での主な発信状況

- ・ 原子力委員会
平成27年7月の第27回定例会議にて、「原子力の自主的安全性向上の取組の改善に向けた提言」とともに発表。
- ・ 経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)
平成27年7月のNuclear Innovation 2050(OECD/NEAが進める、2050年を見越した技術開発に関する国際協力について議論する枠組み)に関するワークショップにて発表。
- ・ 政府間の会合
民生用原子力研究開発WG(日米政府間のハイレベル対話「民生用原子力協力に関する日米二国間委員会」の下の研究開発に係る作業部会)等、政府間の会合で発表。

地方自治体からの主な御意見(統一的な見解ではなく、一部の地方自治体からの御意見)

- ・ 廃炉に係る要素課題の重要度が低いが、むしろ廃棄物の処理・処分が最も重要な課題と認識。
- ・ リスクコミュニケーションに係る要素課題について、重要度が○のものが多いが、是非とも重要性を認識してほしい。電気事業者には、地方自治体や住民からのそれほど専門性が高くない質問に対して、その場で自ら正しい情報を伝えられる渉外担当者を確認してほしい。

(参考)経済産業省の平成27年度予算事業と軽水炉安全
技術・人材ロードマップにおける要素課題の対応

研究開発①

要素課題	重要度	対応する事業	事業の概要
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)	◎	原子力発電所のリスク評価、研究に係る基盤整備	原子力施設のリスクの定量化や弱点の明確化に資する確率論的リスク評価(PRA)手法の高度化に向けて、地震PRAに適用可能な大規模計算手法の整備や、実機プラントを対象とした地震PRA等を実施。
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	◎	プラント安全性高度化	東京電力福島第一発電所事故を踏まえ、深層防護の観点から発電用原子炉施設の安全を更に高度なものとするため必要な、免震システムの評価手法、静的格納容器冷却システム、熔融デブリ炉内保持等の開発を実施。
		薄型コアキャッチャーの開発に向けた基盤整備	既設炉の格納容器床面の限られたスペースに設置することができ、熔融炉心-コンクリート相互作用を防止できる薄型のコアキャッチャーの開発を実施。
		シビアアクシデント時の水素処理システムの開発に向けた基盤整備	シビアアクシデント時に発生する水素を迅速に処理し、格納容器を過圧から防護することにより、環境への放射性物質の放出を最低限に抑えるシステムの開発を実施。
		水素安全対策高度化	原子力発電所における水素濃度管理の重要性を踏まえ、今後の廃止措置や廃棄物管理における水素安全評価・対策に適切に対応するための研究を実施。
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	◎	特殊環境下で使用可能な監視システム高度化	シビアアクシデント時のプラント状態監視を可能にするため、過酷環境下でも高解像度で監視できる耐熱・耐放射線性カメラ、計測線、撮影した映像を伝送するシステム等の基盤構築に向けた研究開発を実施。
炉心・熱水力設計評価技術の高度化	◎	燃料集合体内冷却水の気液二相流の挙動解明に向けた研究開発<平成27年度新規事業>	炉心設計や原子炉の安全評価に必要な熱水力解析手法の高度化に向けて、冷却水の挙動に関する3次元解析に必要なモデルを構築するため、燃料棒間を流れる冷却水の気液二相流の挙動を把握するための実験や解析を実施。
- 燃料の信頼性向上と高度化 - 燃料の信頼性向上と高度化(燃料の基準等整備と安全裕度評価手法の明確化)	◎	燃料集合体内冷却水の気液二相流の挙動解明に向けた研究開発<平成27年度新規事業>【再掲】	炉心設計や原子炉の安全評価に必要な熱水力解析手法の高度化に向けて、冷却水の挙動に関する3次元解析に必要なモデルを構築するため、燃料棒間を流れる冷却水の気液二相流の挙動を把握するための実験や解析を実施。【再掲】
		安全性向上に資する新型燃料の既存軽水炉への導入に向けた技術基盤整備<平成27年度新規事業>	冷却水喪失等の過酷条件下でも損傷しにくく、高い信頼性を有する新型燃料の既存軽水炉への導入に向けて、主要な新型燃料部材を対象に、既存軽水炉に装荷した場合の各種影響評価を実施するとともに、その結果に基づき、優先的に開発すべき部材の選定を実施。
		炭化ケイ素を使用した新型燃料部材の製造技術開発<平成27年度新規事業>	事故発生時の燃料溶融等への進展や水素発生抑制に資する炭化ケイ素材料を用いた燃料部材の実用化に向けて、設計・製造技術の開発を実施。
		燃料露出過程における熱流動現象の解析手法の高度化	原子炉の水位低下により燃料が蒸気中に露出した際に、炉心損傷に至る時間的裕度を適切に把握するため、炉心内の蒸気を含む水位(二相水位)の変化とそれに伴う露出燃料の冷却特性を調べるための実験等を実施。

※軽水炉安全技術・人材ロードマップにおいて、重要度が高い(要素課題の重要度総合評価:◎)とされた課題の解決に資する研究開発及び人材育成を対象に予算措置。結果として、それ以外の要素課題の解決に資する取組も存在するが、重要度が◎以外の要素課題との対応は省略している。

研究開発②

要素課題	重要度	対応する事業	事業の概要
- 燃料の信頼性向上と高度化 - 燃料の信頼性向上と高度化（燃料の基準等整備と安全裕度評価手法の明確化）	◎	シビアアクシデント時の燃料破損・溶融過程解析手法の高度化	シビアアクシデント時に生じる燃料棒・制御棒の破損・溶融や燃料集合体・制御棒ブレードの崩落等の素過程を把握するための実験を実施し、それらの素過程に関する解析モデルを構築するとともに、解析モデルを過酷事故解析コードに適用するための検討を実施。
高経年化評価手法・対策技術の高度化	◎	原子炉圧力容器及び炉内構造物の照射影響評価手法の高度化 <平成27年度新規事業>	原子炉圧力容器と炉内構造物への中性子照射による影響をより正確に把握するため、実機相当の照射材料等を用いた評価を行い、現行の評価手法の妥当性確認やその更なる改善、照射による組織変化の適切なモデル化等に向けた検討を実施。
		浜岡原子力発電所実機材料を用いた材料劣化調査研究 <平成27年度新規事業>	廃止措置中の浜岡1号機のコンクリート構造物と原子炉圧力容器からサンプルを採取し、国内原子炉の経年影響データを取得するとともに、現行の管理方法の妥当性を確認。また、評価結果に基づき、非破壊検査方法や評価手法の改善を検討。
システム・構造・機器（SSC）の信頼性向上と高度化	◎	プラント安全性高度化【再掲】	東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、深層防護の観点から発電用原子炉施設の安全を更に高度なものとするため必要な、免震システムの評価手法、静的格納容器冷却システム、溶融デブリ炉内保持（IVR）等の技術を開発。【再掲】
		シビアアクシデント時の水素処理システムの開発に向けた基盤整備【再掲】	シビアアクシデント時に発生する水素を迅速に処理し、格納容器を過圧から防護することにより、環境への放射性物質の放出を最低限に抑えるシステムの開発を実施。【再掲】
		水素安全対策高度化【再掲】	原子力発電所における水素濃度管理の重要性を踏まえ、今後の廃止措置や廃棄物管理における水素安全評価・対策に適切に対応するための研究を実施。【再掲】
		特殊環境下で使用可能な監視システム高度化【再掲】	シビアアクシデント時のプラント状態監視を可能にするため、過酷環境下でも高解像度で監視できる耐熱・耐放射線性カメラ、計測線、撮影した映像を伝送するシステム等の基盤構築に向けた研究開発を実施。【再掲】
		原子力プラントの機器製造技術高度化による信頼性向上に係る技術開発 <平成27年度新規事業>	原子炉を構成する設備・機器の信頼性向上のため、製造技術のうち、設備・機器の自動溶接制御技術と電子ビーム溶接技術の高度化に向けた技術開発を実施。
		シールレス式一次冷却材ポンプと大口径爆破弁の開発 <平成27年度新規事業>	原子炉の一次冷却材ポンプのシール部からの漏えい起因する冷却材喪失事象の根本原因を取り除くため、シールレス式の一次冷却材ポンプを開発。また、事故時の原子炉の減圧と注水の信頼性向上のため、大口径の爆破弁を開発。
		フィルタベントの性能評価のための技術基盤整備	ベント（排気作業）時の放射性物質の放出量を低減させるフィルタベントの運用方法の高度化に向けて、処理液の温度上昇や液位低下等がフィルタベントの除染能力に及ぼす影響を詳細に評価。
		重大事故解析手法の高度化	使用済燃料プールの冷却機能が喪失し、燃料集合体が破損に至る重大事故において、どのように事象が進展し、安全対策がどのように機能するのかを定量的に評価する重大事故解析手法の高度化に向けた研究を実施。

※軽水炉安全技術・人材ロードマップにおいて、重要度が高い（要素課題の重要度総合評価：◎）とされた課題の解決に資する研究開発及び人材育成を対象に予算措置。結果として、それ以外の要素課題の解決に資する取組も存在するが、重要度が◎以外の要素課題との対応は省略している。

研究開発③

要素課題	重要度	対応する事業	事業の概要
システム・構造・機器(SSC)の信頼性向上と高度化	◎	原子力発電施設に適用する制振装置開発に向けた基盤整備	地震発生時に原子力施設の機器の揺れを緩和する制震装置の開発に向けて、一般建築物において使用実績のある高減衰特性の流体を用いた制振構造について、原子力施設に適用する上で必要な放射線及び熱への耐性等に係る試験を行い、その有効性を確認する。
耐久力・復元力を強化した世界標準の軽水炉設計の構築	◎	プラント安全性高度化【再掲】	東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、深層防護の観点から発電用原子炉施設の安全を更に高度なものとするため必要な、免震システムの評価手法、静的格納容器冷却システム、溶融デブリ炉内保持(IVR)等の技術を開発。【再掲】
		原子力プラントの機器製造技術高度化による信頼性向上に係る技術開発<平成27年度新規事業>【再掲】	原子炉を構成する設備・機器の信頼性向上のため、製造技術のうち、設備・機器の自動溶接制御技術と電子ビーム溶接技術の高度化に向けた技術開発を実施。【再掲】
		原子力発電所の建屋の材料、構造及び工法の高度化に向けた技術基盤整備 <平成27年度新規事業>	放射性物質の閉じ込め機能等を担保する原子力発電所の建屋について、コンクリートの物量増加による耐震性低下や施行時のひび割れ等を避けながら、その強度を向上させられるよう、建屋の各部位に対して、適材適所の材料、構造及び工法の選定及び開発に取り組む。
安全解析手法の高度化	◎	燃料露出過程における熱流動現象の解析手法の高度化【再掲】	原子炉の水位低下により燃料が蒸気中に露出した際に、炉心損傷に至る時間的裕度を適切に把握するため、炉心内の蒸気を含む水位(二相水位)の変化とそれに伴う露出燃料の冷却特性を調べるための実験等を実施。【再掲】
		シビアアクシデント時の燃料破損・溶融過程解析手法の高度化【再掲】	シビアアクシデント時に生じる燃料棒・制御棒の破損・溶融や燃料集合体・制御棒ブレードの崩落等の素過程を把握するための実験を実施し、それらの素過程に関する解析モデルを構築するとともに、解析モデルを過酷事故解析コードに適用するための検討を実施。【再掲】
		重大事故解析手法の高度化【再掲】	使用済燃料プールの冷却機能が喪失し、燃料集合体が破損に至る重大事故において、どのように事象が進展し、安全対策がどのように機能するのかを定量的に評価する重大事故解析手法の高度化に向けた研究を実施。【再掲】
		過酷事故条件下における原子炉隔離時冷却系の挙動に関する研究<平成27年度新規事業>	過酷事故解析コードの高度化に向けて、交流電源喪失時においても原子炉蒸気で駆動し、炉心へ注水することのできる原子炉隔離時冷却系について、設計外条件下における動作特性を適切に反映した解析モデルの構築に必要な解析及び実験計画策定を実施。
・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	◎	原子力発電所のリスク評価、研究に係る基盤整備【再掲】	原子力施設のリスクの定量化や弱点の明確化に資する確率論的リスク評価(PRA)手法の高度化に向けて、地震PRAに適用可能な大規模計算手法の整備や、実機プラントを対象とした地震PRA等を実施。【再掲】
外部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	◎	プラント安全性高度化【再掲】	東京電力福島第一原子力発電所事故を踏まえ、深層防護の観点から発電用原子炉施設の安全を更に高度なものとするため必要な、免震システムの評価手法、静的格納容器冷却システム、溶融デブリ炉内保持(IVR)等の技術を開発。【再掲】

※軽水炉安全技術・人材ロードマップにおいて、重要度が高い(要素課題の重要度総合評価:◎)とされた課題の解決に資する研究開発及び人材育成を対象に予算措置。結果として、それ以外の要素課題の解決に資する取組も存在するが、重要度が◎以外の要素課題との対応は省略している。

人材育成①

要素課題	重要度	対応する事業	事業の概要
リスク情報活用による保全・運用管理の高度化	◎	再循環ポンプの安全管理に係る技術者育成 <平成27年度新規事業>	沸騰水型軽水炉の原子炉再循環ポンプに関わる保全情報やトラブル情報をシステムに格納し、システムからの情報提供と情報共有により現場技術者の知識向上を図るとともに、格納された保全情報や映像資料を活用した実技講習で、現場技術者の人材育成を実施する。
		放射線管理や安全マネジメントに係る人材育成	放射線管理区域内での放射線実習等や、原子力関連施設の現場技術者等を対象とした安全マネジメント研修等、多岐にわたる実習・座学による人材育成を実施する。
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	◎	廃止措置や安全性向上に関する人材育成	ホットラボを用いた廃止措置実習や燃料・材料を用いた実習等を通して、東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置や安全性向上に必要な人材を育成する。
		現場技能者の安全性に関する技術向上に向けた人材育成	メンテナンス業務を担う人材の知識、技能の向上のために、「放射線に関する知識・技能向上」、「現場技術者の技能向上」、「事故対応能力・マネジメントの向上」に重点を置いた研修等を実施する。
被ばく低減技術の高度化	◎	放射線安全及び廃炉に関する人材育成	放射線安全管理の実務等を習得し、現場技能者の技能向上を図り、軽水炉の安全な持続的利用のために必要な人材を育成する。また、廃止措置作業の概要を習得し、廃止措置業務に関する知識・技術力向上を図り、安全な廃炉プロセスをマネジメントするための人材を育成する。
		現場技能者の安全性に関する技術向上に向けた人材育成【再掲】	メンテナンス業務を担う人材の知識、技能の向上のために、「放射線に関する知識・技能向上」、「現場技術者の技能向上」、「事故対応能力・マネジメントの向上」に重点を置いた研修等を実施する。【再掲】
		廃止措置や安全性向上に関する人材育成【再掲】	ホットラボを用いた廃止措置実習や燃料・材料を用いた実習等を通して、東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置や安全性向上に必要な人材を育成する。【再掲】
炉心・熱水力設計評価技術の高度化	◎	炉心・燃料設計に係る技術者育成 <平成27年度新規事業>	炉心設計や燃料設計分野において体系的で確実な技術伝承を行うため、沸騰水型原子炉及び加圧水型原子炉の燃料を扱い、現場の知見を最大限に活かし、炉心設計、燃料設計に係る基礎から実践までの技術に関する人材を育成する。

※軽水炉安全技術・人材ロードマップにおいて、重要度が高い（要素課題の重要度総合評価：◎）とされた課題の解決に資する研究開発及び人材育成を対象に予算措置。結果として、それ以外の要素課題の解決に資する取組も存在するが、重要度が◎以外の要素課題との対応は省略している。

人材育成②

要素課題	重要度	対応する事業	事業の概要
- 燃料の信頼性向上と高度化 - 燃料の信頼性向上と高度化（燃料の基準等整備と安全裕度評価手法の明確化）	◎	炉心・燃料設計に係る技術者育成＜平成27年度新規事業＞【再掲】	炉心設計や燃料設計分野において体系的で確実な技術伝承を行うため、沸騰水型原子炉及び加圧水型原子炉の燃料を扱い、現場の知見を最大限に活かし、炉心設計、燃料設計に係る基礎から実践までの技術に関する人材を育成する。【再掲】
		廃止措置や安全性向上に関する人材育成【再掲】	ホットラボを用いた廃止措置実習や燃料・材料を用いた実習等を通して、東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置や安全性向上に必要な人材を育成する。【再掲】
高経年化評価手法・対策技術の高度化	◎	プラント材料の劣化・分析評価に関する人材育成＜平成27年度新規事業＞	プラント材料を高性能の分析機器で評価を行う実習を実施することにより、軽水炉圧力容器鋼の照射脆化評価に係る専門的な人材を育成する。
		廃止措置や安全性向上に関する人材育成【再掲】	ホットラボを用いた廃止措置実習や燃料・材料を用いた実習等を通して、東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置や安全性向上に必要な人材を育成する。【再掲】
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	◎	再循環ポンプの安全管理に係る技術者育成＜平成27年度新規事業＞【再掲】	沸騰水型軽水炉の原子炉再循環ポンプに関わる保全情報やトラブル情報をシステムに格納し、システムからの情報提供と情報共有により現場技術者の知識向上を図ると共に、格納された保全情報や映像資料を活用した実技講習で、現場技術者の人材育成を実施する。【再掲】
		廃止措置や安全性向上に関する人材育成【再掲】	ホットラボを用いた廃止措置実習や燃料・材料を用いた実習等を通して、東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置や安全性向上に必要な人材を育成する。【再掲】
		現場技能者の安全性に関する技術向上に向けた人材育成【再掲】	メンテナンス業務を担う人材の知識、技能の向上のために、「放射線に関する知識・技能向上」、「現場技術者の技能向上」、「事故対応能力・マネジメントの向上」に重点を置いた研修等を実施する。【再掲】

※軽水炉安全技術・人材ロードマップにおいて、重要度が高い（要素課題の重要度総合評価：◎）とされた課題の解決に資する研究開発及び人材育成を対象に予算措置。結果として、それ以外の要素課題の解決に資する取組も存在するが、重要度が◎以外の要素課題との対応は省略している。