

課題調査票

<p>課題名 (レ点項目レベル)</p>	<p>M199L199_d20 事故時耐性燃料・制御棒の開発</p>
<p>マイルストーン及び 目指す姿との関連</p>	<p>中 III. 事故発生リスクを飛躍的に低減する技術の整備 原子力をベースロード電源として活用されるため、事故発生リスクを飛躍的に低減する技術開発および設計技術への反映がなされる必要がある。</p> <p>長 IV. 国際貢献 世界の中で原子力安全・利用を主導できることを目指す取り組みが必要である。</p>
<p>概要(内容)</p>	<p>事故時耐性燃料・制御棒は、想定外の事象に起因する事故も含めて、事故発生リスクの飛躍的低減や事故拡大リスクの大幅な抑制を達成する概念であり、中期的段階での実用化を目指す。そこに向けて、短期的段階からの戦略的な取り組みが必要である。</p> <p>短期的段階では、革新的な候補技術の開発を活性化し、共通基盤技術や候補技術の固有課題について技術成熟度を向上させると共に、革新技術導入による安全性向上効果の定量評価法を確立した上で、技術の最終的な達成目標と達成に至るまでの開発課題や開発ステップ、及び候補技術の選択の手法等を明確にする必要がある。共通基盤技術の開発では、照射データの蓄積や工学規模の性能検証試験等において、長期の開発期間や大きな費用が必要であり、短期的な段階からの戦略的な研究開発推進が重要となる。</p> <p>併せて、他の革新技術の導入と同様に、燃料設計、燃料製造技術、安全性評価だけでなく、炉心設計や炉心運用技術、さらに規格基準や規制も含めて、現行技術に対する高度化の開発要求を明確化し、かつ、それを分野横断的に認識共有する必要がある。この点についても短期的段階からの包括的な取組が重要となる。</p> <p>中期的段階では、短期的段階において技術選定した実用化技術に基づき、経済性のある燃料の設計、量産加工技術の開発、安全性評価手法の確立、安全性向上効果の検証、革新技術に対応した炉心設計や炉心運用技術の高度化及び規格基準や規制の整備、等を着実に進め、実用化を目指す必要がある。</p> <p>また、短期的段階から、中長期的段階にかけて、規格基準や規制、技術評価、共同照射試験、材料ベンチマーク試験、等に係る国際協力の枠組みにおいて、他国をリードする人材と技術レベルを伴って、国際的な原子力安全の向上を主導していく必要がある。</p>
<p>具体的な項目</p>	<p>(短期的段階)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 候補技術(改良ステンレス鋼、SiC(炭化ケイ素)、改良ジルカロイ、高度化燃料、TRISO 燃料(被覆粒子燃料))開発の活性化と技術成熟度の向上 [ 開発主体が中心に実施する項目]</li> <li>- 燃料基本性能や照射特性の確認</li> <li>- 燃料設計データベースの整備、燃料ふるまい解析モデルの確立</li> <li>- 燃料製造基本プロセスの確立</li> <li>- 技術のスクリーニング、実用化技術開発ステップの明確化</li> <li>・ 革新技術導入による安全性向上効果の評価 [ 開発主体による評価だけでなく、</li> </ul>

学協会レベル等での分野横断的な認識共有が重要となる項目]

-最終的な達成目標（燃料破損・溶融/水素発生/酸化発熱の抑制に基づくシビアアクシデント（SA）への事象進展の抑制・遅延、核分裂生成物閉込性能向上/再臨界防止に基づくSA発生時の事象拡大の抑制、等）の明確化

-SAへの事象進展の抑制・遅延あるいはSA発生時の事象拡大の抑制等の評価手法の確立（典型シナリオや解析条件の選定）と定量評価による開発目標の具体化

-通常/過渡/設計基準事故（DBA）/設計基準事故を超える事故（B-DBA）条件での燃料ふるまい解析、安全性解析

-現行の炉心・プラント特性、プラント水化学に与える影響評価と開発課題の明確化

-現行の輸送・貯蔵・処理・処分技術に与える影響評価と開発課題の明確化

-現行の炉心設計や炉心運用技術への影響評価

-新たな規制基準の検討に必要な知見の整備

-短期的段階で新たに導入されるその他の技術に関する影響評価

・共通基盤技術の開発 [ 短期的段階から、国による大きな開発資金の支援が必要となる項目]

-材料照射/燃料照射/過渡照射試験データの蓄積

-工学規模性能検証試験

-インフラ整備

・国際協力

-規格基準、規制、技術の現状と開発目標のギャップ、開発ステップ設定、開発課題の抽出等に関するガイドラインの検討

-国際共同照射試験、材料ベンチマーク試験の推進

-人材交流、各国のニーズの理解

(中期的段階)

・選定された候補技術に基づく実用化技術開発 [ 開発主体が中心に実施する項目、学協会レベルでの分野横断的な認識共有も重要]

-燃料設計の完成とプロトタイプ燃料照射による燃料設計の検証

-燃料製造プラント設計と品質検査技術を含む工学レベルでの量産加工技術の完成

-DBA/B-DBA/SAの安全評価手法の確立と実機の安全評価

-事故耐性燃料・制御棒を導入した炉心動特性やプラント熱水力特性の評価手法の確立

-事故耐性燃料・制御棒の貯蔵、輸送、処理、処分等の課題の解決

-炉心設計や炉心運用技術の高度化

-実機安全審査の準備、許認可の準備

・国際協力

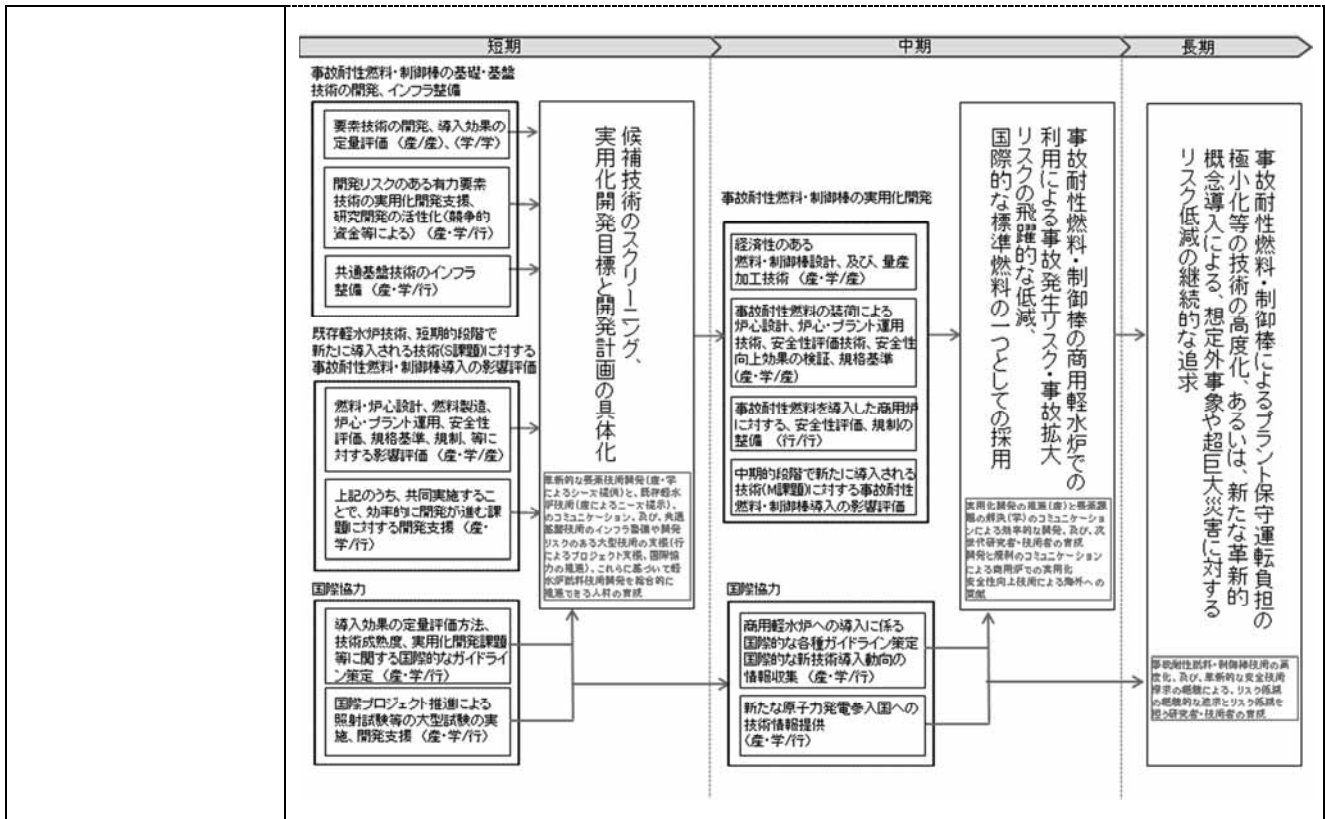
-商用軽水炉での事故耐性燃料利用に係る各種ガイドライン、高度化開発情報

-新たな原子力発電参入国への技術情報や知見の提供

<p>課題として取り上げた根拠 (問題点の所在)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事故時耐性燃料・制御棒として、革新的な燃料被覆管材料等を導入することにより、事故時の水/ジルコニウム反応に起因する、水素発生や化学反応熱による炉内温度上昇が防止あるいは大幅に緩和される。さらに、燃料破損・溶融に至った場合においても、放射性物質の拡散や再臨界の可能性を大幅に低減できる。米国が実施した予備的な解析では、燃料溶融や水素爆発に至った福島第一原子力発電所事故と同様の条件で、SAに至ることなく事故が収束する結果が得られており、本技術が実用化できれば、SAへの進展の可能性を飛躍的に低減できる。</li> <li>・さらに、本技術の導入により、事故時の安全性の裕度が大幅に拡大するため、通常時においても経済的なプラント運転につながる可能性が高い。</li> <li>・事故発生や事故拡大リスクを飛躍的に低減できる技術ポテンシャルを有する複数の候補技術について、基礎基盤的な研究開発が進展している。</li> <li>・一方、短期的な段階から不可欠となる、<u>革新技術導入による安全性向上効果の定量評価や現行の燃料設計/燃料製造/安全性評価/炉心設計・炉心運用/規格基準/規制等の高度化に向けた開発要求の明確化</u>は予備的な検討段階にとどまっており、産官学による分野横断的な知見・認識の共有に基づき、これらを推進する必要がある。併せて、候補技術の実用化までの開発ステップやスクリーニングに関する認識共有も重要である。</li> <li>・また、<u>共通基盤技術の開発</u>も短期的段階からの推進が不可欠となるが、安全性向上効果の評価手法の開発、安全性評価の典型シナリオ選定、照射試験や性能検証試験の推進、データベース/燃料設計コード/安全評価コード等の開発、等に関する包括的な取組みは進められていない。</li> <li>・国際的な観点では、米国とフランスを中心に、事故時耐性燃料・制御棒の開発が急速に進展しており、特に米国は2022年のプロトタイプ燃料の商用炉照射を計画する等、研究開発を加速化している。国際的な研究開発においても、上記下線部分がキーワードとして注目されている。</li> </ul>
<p>現状分析</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現行軽水炉燃料は、定常運転/過渡事象/事故事象に対応して、現行の規制に即して、十分な安全上の裕度を持つ設計を達成している。また、SA事象進展の理解と外部への影響評価に関しても、実用的な解析手法の開発が進められている。</li> <li>・他方、通常/過渡/DBA/B-DBA/SA/貯蔵/輸送、等の様々な条件に対し、高性能化の研究開発が進められている。</li> <li>・国内においては、事故時耐性燃料・制御棒に関して、SiC、改良ステンレス鋼、新型吸収材等の要素技術の研究開発が進められているが、上記の通り、安全性向上効果の定量評価、開発要求の明確化、共通基盤技術の開発等に関する包括的な取組は着手されていない。また、現行燃料の高性能化に対して進められている他の取組みとの間で、開発目標や開発課題に関する相互の認識共有を図ることが重要で、情報共有を進めていく必要がある。</li> <li>・国際的には、米国で、軽水炉における安全性の一層の向上を目指して、2022年に商用の軽水炉でのプロトタイプ燃料照射を計画する等、急速に研究開発が進んでいる。また、フランスでは産官学共同で新たな規格基準の選定なども視野に入れつつ</li> </ul>

	<p>研究プロジェクトが推進されている。他の欧州各国、ロシア、韓国、中国などでも基礎基盤的な研究開発が進み、これ以外の各国の注目度も高い。これらを背景に、OECD/NEA に専門家会合（EGATFL）が設立され、情報交換が進められている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 課題への取組みにあたっては、包括的な研究開発推進体制の構築、「課題として取り上げた根拠」欄の下線部に関する認識共有、共通基盤技術に向けた環境整備、国際協力の推進などが必要である。本技術開発に対しては、国際的な注目度が高まっており、長い期間と大きな資金を必要とする基礎基盤段階からの技術開発を、国際プロジェクトとして効果的に推進することで、将来我が国がこの技術分野でイニシアティブを取って、事故発生リスクの飛躍的低減や事故拡大リスクの大幅な抑制に貢献すべく、国の支援が求められる。</li> </ul> <p><b>【人材基盤に関する現状分析】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本課題では、軽水炉技術の根幹となる核燃料に関して革新的な事故耐性技術を開発する。従って、短期的段階から、事故耐性燃料・制御棒の要素技術の専門家に加えて、軽水炉燃料/プラントメーカー、電気事業者及び安全研究の専門家等の参画が不可欠である。また、照射試験、工学規模性能検証試験、データベース、燃料設計コード、安全性評価コード等の共通基盤技術に関する専門家も必要となる。現状では、国内に、これらの分野ごとに中堅クラスの人材は比較的充実しているものの、軽水炉への導入で不可欠となる分野横断的な情報共有は十分に進んでいない。また、現行軽水炉への革新技術導入の影響評価は、規格基準や規制等への影響評価も含めて重要となるが、この分野での人材が不足している。</li> <li>・ 本技術の導入時期は中期的段階と見込まれる。また、本技術開発は、軽水炉関連技術を総合的に俯瞰できる知見が必須であり、若手技術者・研究者の育成に好適な開発課題である。本技術開発を用いた、戦略的な人材育成と技術継承のしくみの構築が強く望まれる。</li> </ul>
<p>期待される効果 (成果の反映先)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ベースロード電源として維持される原子力発電における安全性の向上</li> <li>・ SA 時の水素や熱の発生の抑制及び再臨界可能性の低減等の SA 事象進展の抑制・遅延、SA 影響の大幅な緩和</li> <li>・ 外的事象発生時の安全性向上、効果的防護メカニズム開発</li> <li>・ 安全性裕度の一層の向上によるプラント運転の効率化</li> </ul>

<p>他課題との相関</p>	<p>(概略) 現行の軽水炉技術 (燃料/炉心/プラント設計、燃料製造、炉心/プラント運用、安全性評価、規格基準、規制、等) に対し、事故耐性燃料・制御棒を導入する際の影響表を実施する必要がある。さらに、短中期的段階で新たに導入・検討される様々な安全性向上対策のうち、核燃料に係る開発課題について、これらの対策に加えて事故耐性燃料・制御棒を導入することによる影響評価を実施する必要がある。中期的段階以降で、事故耐性燃料・制御棒が導入された場合には、長期的段階で導入・検討される様々な安全性向上対策のうち、核燃料に係る開発課題について、影響評価を実施する必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ S110_d03 (新発見・新技術の円滑な導入に向けた制度の検討【A,B】)</li> <li>・ S110_d04 (学協会規格の策定【A,B】)</li> <li>・ M106_d05 (新技術の認定)</li> <li>・ M106_d06 (安全性の向上に応じた深層防護の新たな概念の確立)</li> <li>・ S111_d11-2 (SA 計装、SA 対応設備の多様化と高度化及び設備の設計技術)</li> <li>・ S112M107_d08 (安全解析手法の高度化)</li> <li>・ S111_d12 (深層防護の第1 - 3層(設計)から第4層(A M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)</li> <li>・ S111_d14 (S A 対策機器の運用管理の最適化・高度化)</li> <li>・ S111M107_d17-1 (炉心・熱水力設計評価技術の高度化【B】)</li> <li>・ S111M107_d12-2 (炉心運用高度化に対応した、燃料・設備の高度化及び評価技術(燃料設計評価、炉心・熱水力設計評価技術 等)の高度化)</li> <li>・ S111M107_d18-1 (燃料の信頼性向上と高度化)</li> <li>・ 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))</li> <li>・ 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求)</li> <li>・ L103_d21 (負荷追従性の高度化)</li> <li>・ 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)</li> <li>・ S111M107_d24 (炉心設計・運用管理技術の高度化【M1108】プラント運用技術の高度化(出力向上、長サイクル運転等))</li> <li>・ 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))</li> <li>・ S109M104L103_d26 (Ss1101: 核拡散抵抗性概念の適用可能性検討 Ms11101: 核拡散抵抗性の高い設計基準の導出・有効性の実証 Ls1101: 核拡散抵抗性の高い設計基準の適用)</li> </ul>
<p>実施の流れ</p>	<p><u>現状</u></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>現行燃料に基づく燃料設計、燃料製造、安全性評価、炉心設計、炉心運用、規格基準、規制等に係る技術はいずれも確立されている。</p> </div>



産業界・学术界 / 産業界 産業界・学术界 / 行政

短期的段階での、要素技術の開発、現行軽水炉技術（規格基準や規制も含む）への影響評価、導入効果の定量評価、共通基盤技術の開発及びインフラの整備

産業界・学术界 / 産業界 学术界・原子力規制委員会 / 原子力規制委員会

中期的段階以降での、実用化技術の開発、新たな規格基準・規制の構築

<考え方>

- ・産業界（電気事業者やメーカー）は、短期的段階では、学术界（研究機関や大学等）と連携し、要素技術の開発、既存軽水炉技術や短期的段階で開発される安全性向上課題への本技術導入の影響評価を担当し、候補技術のスクリーニングや実用化開発目標や実用化開発計画の立案を担当する。中期的段階では、本技術の実用化開発を資金面も含めて主担当する。
- ・学术界は、短期的段階において、産業界と連携し、要素技術の成熟度向上や共通基盤技術の開発、インフラ整備を主担当する。さらに、規格基準や規制のガイドライン策定、及び、分野横断的な開発ステップや開発課題に関する認識共有を推進する。併せて、国際協力を推進する。中期的段階では、産業界に協力し、実用化開発の過程で発生する個別の技術課題を解決する。
- ・行政（資源エネルギー庁）は、短期的段階では、大きな資金を必要とする共通基盤技術開発や、開発リスクのある有力な要素技術開発に資金を提供し、効率的な研究開発を支援する。本技術は、既に米仏を中心に世界各国が大きな研究開発資金を投入しており、我国の技術開発がこれらに乗り遅れないように支援を行う。併せて、国際協力の推進を支援する。

実施機関 / 資金担当 <考え方>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国（原子力規制委員会）は、中期的段階において、新技術の導入に係る規制基準を明示する。</li> </ul>
--	---

【改訂履歴】

改訂 番号	制定・改訂 年月日	主な改訂内容
-	2015年5月21日	初版