

原子力委員会
東京電力(株)福島第一原子力発電所
における中長期措置検討専門部会

必要研究開発項目と内容について

平成 23 年 8 月 31 日

(独)日本原子力研究開発機構

(株) 東芝

日立GEニュークリア・エナジー(株)

1. はじめに

本資料では、第一回専門部会において東京電力(株)殿より提出された資料第4号「福島第一原子力発電所に係る中長期措置の技術課題について」に記載の技術課題及び専門部会での議論を基に、今後新たに研究開発する必要のある項目について述べる。

2. 課題解決の為に必要な研究開発項目

商用軽水炉3基の炉心が損傷し、水素爆発と考えられる建屋の損傷や汚染が発生している世界でも前例のない状況の中で原子炉から燃料を取り出す工程を進める為には、他分野も含めた過去の経験を参照にしつつ、新たな技術や知見が必要になる。更に、開発すべき新たな技術には種々の要素技術が含まれ、その中には様々な困難さを打破する為の技術が含まれている。このブレークスルーテchniqueとして創意工夫に加えて時間と資金を要すると想定される要素技術として、以下の技術などが挙げられる。

- ・人の近接を許さない高線量下での遠隔操作による建屋内除染技術
- ・アクセス性の困難さが予想される PCV、RPV 内調査用遠隔装置や燃料デブリサンプリング技術
- ・冷却水を循環させる中での格納容器漏えい個所の止水技術
- ・PCV 内への漏えい物を含めた燃料デブリ及び炉内構造物の取出しの為の遠隔操作による切断、搬出技術

なお、原子炉から燃料を取り出す作業は、TMI の経験から見て開発した技術を現場に適用してその結果を開発にフィードバックする等試行錯誤を繰り返しながら進めることができ容易に想像されることから、研究開発と現場は不可分の連携を必要とする。

次ページ以降に各技術課題に対応する研究開発項目を示す。

福島第一原子力発電所事故に係る中長期措置の研究開発項目

2011.8.31

JAEA/東芝/日立 GE

	件名	内容	ブレークスル 技術
使用済燃料プール(SFP)からの燃料の取出し	(技術課題) 損傷、塩分を帯びた燃料の取扱い方法(ハンドリング、洗浄、検査、再処理可能性等)の検討		
	1. 使用済燃料プールから取り出す燃料集合体の長期健全性評価	保管期間中の燃料集合体健全性確保のための対策(移送前洗浄、腐食対策)を策定するため、以下の評価検討を行う。 ①保管期間中の燃料集合体長期健全性評価 ②燃料集合体の洗浄クライテリアの策定	
	2. 再処理可能性指標の検討	燃料デブリ等のハンドリング及び化学処理工程等への影響の観点から分別指標を整理し、再処理が可能かどうかについての判定基準を整備する。	
安定化、廃止措置に向けた継続的な取組	3. 燃料デブリの処理方法の検討	燃料デブリ等に対する処理方法確立のために以下の検討を実施する。 ①燃料デブリに関する事例調査 ②燃料デブリ等の化学処理工程等への影響の検討 ③燃料デブリ等のハンドリングに係る検討	
	(技術課題) ・建屋内の放射線量が高い箇所について、人によるアクセス性向上に向けた遠隔除染方法等の検討 ・圧力容器や格納容器の耐食性評価、必要に応じた腐食抑制対策の実施 ・水処理設備の運転により発生した高線量の二次廃棄物の処理・処分方法についての検討		
	4. 建屋内にアクセスするための除染方法の検討	復旧活動を円滑に実施するためには作業員のアクセスが必須であり、有効な除染技術を適用するため対象箇所に応じ以下の研究開発を行う。 ①汚染状態の推定、調査による除染計画のベース策定 ②除染技術整理、除染計画立案 ③模擬汚染による除染試験 ④遠隔装置の開発: 候補となる計測技術、除染技術を既存の走行台車に搭載するための装置・システムを開発	高線量・狭隘等の様々な除染対象箇所に応じて遠隔で除染する装置
6. 汚染水処理に伴う二次廃棄物の安定的な処分に向けた研究開発	5. 圧力容器/格納容器腐食に対する健全性の評価確認	原子炉圧力容器(RPV)及び原子炉格納容器(PCV)の構造材料は、放射線下及び高温の海水に曝されていたため、これらの環境における腐食速度に関する定量的なデータを取得し、今後の RPV(及び RPV ペデスタル)及び PCV の構造健全性評価に資する。 ①RPV 及び PCV 構造材料腐食試験 ②RPV ペデスタル鉄筋腐食試験 ③RPV、PCV、RPV ペデスタルに対する腐食抑制剤確認試験 ④RPV、PCV、RPV ペデスタル構造物余寿命評価、寿命延長評価 ⑤実機への腐食抑制剤試運用(効果確認対象: PCV 構造材)	
		海水成分を含む高濃度汚染水の処理で発生する使用済ゼオライト、スラッジ、濃縮廃液等を安定的に長期保管及び処分するために以下の研究開発を行う。 ①廃ゼオライト、スラッジ、濃縮廃液等の性状評価 ②水素ガス発生及び発熱に関する安全性評価 ③海水、発熱、高線量等の影響を考慮した長期貯蔵方法の検討 ④廃ゼオライト、スラッジ、濃縮廃液の廃棄体化検討 ⑤廃棄体の特性評価 ⑥廃棄物処分最適化検討	

福島第一原子力発電所事故に係る中長期措置の研究開発項目

2011.8.31

JAEA/東芝/日立 GE

件名	内容	ブレークスル 技術
炉内燃料デブリの取出し準備／取出し	(技術課題) 損傷した燃料の取り出し作業は、放射線の遮蔽のために水中で実施することが最も合理的と考えられることから、格納容器等の漏えい箇所を特定して補修・止水し、バウンダリを構成した上で水張りを実施するための技術、工法の開発	
	7.格納容器漏えい箇所調査方策・装置開発 PCVの漏えい箇所およびその状態を把握するために以下の研究開発を行う。 ①想定される漏洩箇所の洗い出し ②既存技術の調査 ③PCV漏えい箇所特定技術の開発 ④PCV周辺遠隔点検用装置の開発	高線量下・狭隘な状況において遠隔でPCVの漏えい箇所を特定する点検用装置
	8.水張り方策構築(補修・充てん等)及び工法・装置開発 想定漏えい箇所(トーラス室、PCV貫通部、ボルト締結部、格納容器内樹脂シール部、等)を補修するために以下の補修工法・技術を開発する。 ①既存技術のカタログ整理 ②補修素材・装置(シール材、グラウト材等)の調査・開発 ③想定漏えい箇所の補修(止水)工法・技術の開発 (1)トーラス室内またはサプレッション・チャンバ内へのグラウト材の充填等による止水工法・技術の開発 (2)生体遮へいと貫通部スリーブ間ギャップの止水工法・技術の開発 (3)PCV貫通部フランジ、電気ペネ等の樹脂シール部の補修工法・技術の開発 (4)格納容器シェル本体の補修工法・技術の開発 ④PCV遠隔補修用装置の開発	高線量下・流水状態において遠隔でPCVの漏えい箇所を補修(止水)する工法及び補修用装置
	(技術課題) 高線量である圧力容器及び格納容器内の遠隔調査方法の開発	
	9.PCV内部調査方策・装置開発 PCV内の状態把握、RPVの漏えい調査、炉内燃料取り出し工法の検討を目的としたPCV内調査の工法及び装置の研究開発を行う。PCV外まで作業員またはロボットがアクセスし、PCV貫通孔等から遠隔検査装置を投入してPCV内部を調査する計画を基本とし、以下の研究開発を行う。 ①状況推測結果に基づく調査計画の立案 ②アクセス方法と遠隔装置の開発 ③PCV内部からの放射性物質飛散に対する対策 ④遠隔検査装置・技術の開発	内部状況が不明、かつ高線量下などアクセス性の悪いPCV内へ進入して遠隔で調査する技術 PCV内燃料デブリの遠隔サンプリング技術
	10.炉内事前調査方策・装置開発 RPV内の状態把握、炉内燃料取り出し工法及び装置の仕様検討を目的とした事前調査の工法及び装置の研究開発を行う。オペフロまで作業員またはロボットがアクセスし、原子炉上部からPCV／RPVヘッドを通じて遠隔検査装置を挿入してRPV内部を調査する計画を基本とし、以下の研究開発を行う。 ①既存技術の調査 ②PCV内外の調査結果、解析等による推定結果に基づく調査計画の立案 ③RPV内調査のためのアクセス方法の検討 ④高線量下での遠隔調査技術の開発 ⑤炉内燃料デブリの遠隔サンプリング技術開発／製作	内部状況が不明、かつ高線量下などアクセス性の悪い炉内へ进入して遠隔で調査する技術 炉内燃料デブリの遠隔サンプリング技術
	(技術課題) 炉心損傷が圧力容器内に限定されていたTMIに比べ、より高度な取り出し技術・工法の開発	
	11.燃料・炉内構造物取り出し工法・装置開発 炉内燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・装置開発のため以下の研究開発を行う。 ①既存技術のカタログ整理(TMIで実績のある装置の確認を含む) ②事前調査結果に基づく取り出し工法の立案 ③炉内燃料デブリの遠隔取り出し技術の開発 ④PCV内の燃料デブリの遠隔取り出し技術の開発	燃料デブリの分布状況に対応した炉内燃料デブリの遠隔取り出し技術 PCV内の燃料デブリの遠隔取り出し技術

福島第一原子力発電所事故に係る中長期措置の研究開発項目

2011.8.31

JAEA/東芝/日立 GE

件名	内容	ブレークスル 技術
炉内燃料デブリの取り出し準備／取り出し	12.炉内燃料の臨界管理技術の開発 炉内燃料の臨界管理技術の開発のため以下の研究開発を行う。 ①臨界評価 炉内燃料取り出しの際し炉内状況が変化する場合に、燃料やプラント状態についての予測および最新の知見を反映した解析を行い、臨界評価を実施する。 ②炉内の再臨界検知技術 中性子を検出する方法と短寿命 FP を測定する方法を検討する。 ③臨界防止技術 燃料取出、輸送、貯蔵作業時の再臨界を防止するため、中性子吸収材料と、これを利用した作業工法を開発する。	性状の多様化が想定される炉内燃料デブリの臨界評価、臨界防止技術
	13.模擬炉内燃料デブリを用いた特性試験 燃料取り出しや取り出し後の処理処分検討を行うため、以下のデータ等を取得する。 ①模擬炉内燃料デブリの作製 溶融継続時間、炉心構成、海水注入などを考慮した模擬炉内燃料デブリを作製する(シミュレーション評価含む)。 ②模擬炉内燃料デブリの特性評価 作製した模擬炉内燃料デブリを用いて下記の評価・試験を実施 (1)基礎物性の測定・評価 (2)化学的特性の評価・試験 (3)物理的特性の評価・試験 ③TMI 炉内燃料デブリとの比較	溶融継続時間や海水注入など実際の事象を近似した模擬炉内燃料デブリの作製
	14.実炉内燃料デブリの性状分析 炉内燃料デブリの回収技術の確立や取り出し燃料の処理処分の検討並びに事故解析に資するため、実炉内燃料デブリの性状分析を行う。また、分析の実施に当たっては、輸送条件等を考慮して、必要に応じて分析設備を設置する。	
	(技術課題) ・塩分を含む燃料デブリを安定的に貯蔵する技術(収納缶)の開発 ・適切な処理・処分方策についての検討	
	15.炉内燃料デブリ収納缶開発 海水注入による腐食の進行などが推定されることに対応した炉内燃料デブリの収納技術の開発を行う。 ①既存技術の調査 ②炉内燃料デブリの保管システムの検討 湿式のプール貯蔵や乾式貯蔵システムの検討を実施する。 ③事前調査(サンプリング)結果に基づく安全評価技術の開発 臨界、遮へい、除熱、密封、構造の観点から評価する手法を開発する。 ④炉内燃料デブリの収納技術の開発 ⑤収納缶の移送・保管技術の開発	海水等の影響を考慮した炉内燃料デブリ収納技術
	16.炉内燃料デブリ処理方策の検討 一時保管した炉内燃料デブリに対して、長期保管や処理処分等の将来的な取り扱いに係る検討に資するため、既存の処理技術の適用可能性や直接処分も視野に入れた処分技術の検討を行う。 ①塩分を含有、燃料や炉内構造物が溶融した炉内燃料デブリに対する既存処理技術(湿式法、乾式法等)の適用可能性の検討 ②処理に伴う廃棄物の廃棄体化及び処分適用性の検討(炉内燃料デブリの直接処分の場合も含む)	塩分含有、かつ燃料や炉内構造物が溶融した炉内燃料デブリの廃棄体化及び処分技術
	17.炉内燃料デブリに係る計量管理方策の検討・開発 模擬炉内燃料デブリを用いた特性試験や実炉内破損燃料の性状分析等も踏まえ、炉内燃料デブリに対する計量分析技術を開発するとともに、炉心から炉内燃料デブリ等を取り出す際の核物質の計量管理方法を検討する。	

福島第一原子力発電所事故に係る中長期措置の研究開発項目

2011.8.31

JAEA/東芝/日立 GE

	件名	内容	ブレークスル 技術
放射性廃棄物の処理・処分	(技術課題) ・発生量見通し・廃棄物毎の性状評価を踏まえた適切な処理・処方策についての検討 18.放射性廃棄物の処理・処分	現状を把握した上で、今後発生が予想される放射性廃棄物の分類・整理と、性状分析が必要である。その上で、それぞれの放射性廃棄物の処理、処分技術について検討する。	
事故の進展の解明	(技術課題) ・解析及び格納容器外からの調査による格納容器内部状況の推定技術の開発 ・格納容器内及び炉内調査結果や、燃料デブリのサンプリング・分析結果に基づく事象進展解析手法の高度化 19.炉内状況把握のための事故の進展の解明	福島事故における実機データに基づくプラント挙動分析、及び解析コードによる事故進展解析や現象解明試験を実施するとともに、苛酷事故解析コードを高度化することにより、炉心溶融進展挙動や PCV 内挙動等を究明する。 また、解析コードの高度化により、RPV 及び PCV 内部の調査計画における燃料デブリの挙動予測や実機の機器健全性評価にも適用する。	実機プラント応答と解析コード評価結果の比較による妥当性検証

福島第一原子力発電所事故に係る中長期措置の技術課題について

原子炉内にある燃料デブリの取出し開始に至るまでをスコープとし、福島第一原子力発電所事故に係る中長期措置の技術課題を抽出。

項目	実施の必要性	主な技術課題
使用済燃料プール(SFP)からの燃料の取出し	1～4号機の原子炉建屋にあるSFPには、計 約3,100体の燃料（内使用済燃料 約2,700体）が保管されており、これらを全て建屋外に搬出する必要がある（取り出した燃料の保管としては共用プールが有力）。	SFP内にある燃料の大部は健全と想定されるが、プール内へのがれき混入等により一部の燃料は損傷又は変形している可能性がある。また、2～4号機については海水をSFPに注入している。 → 損傷、塩分を帯びた燃料の取扱い方法（ハンドリング、洗浄、検査、再処理可能性等）の検討。
安定化、廃止措置に向けた継続的な取組	炉心燃料の取出しまでには長期間を要することが予想され、その間、炉心冷却、水処理の安定的な実施、原子炉建屋や構造物の長期健全性の担保、作業のために必要な除染作業の適切な実施が必要となる。	炉心への循環注水と水処理を安定的に継続していく。 → 水処理設備の運転により発生した高線量の二次廃棄物の処理・処分方法についての検討。 → 建屋内の放射線量が高い箇所について、人によるアクセス性向上に向けた遠隔除染方法等の検討。 → 圧力容器や格納容器の耐食性評価、必要に応じた腐食抑制対策の実施。
炉内燃料デブリの取出し準備／取出し	1～3号機においては、格納容器内にも一部が漏れ出た可能性のある燃料デブリを取り出す必要がある。 現状、燃料デブリの性状、形状や位置が不明であるため、これらを安全に取り出すためには、十分な調査・検討の上で、実施していくことが必要である。	現在、炉心に注水した冷却水は圧力容器及び格納容器からタービン建屋に漏えいしており、これを水処理した上で、再び原子炉に循環注水している状況。 → 損傷した燃料の取り出し作業は、放射線の遮蔽のために水中で実施することが最も合理的と考えられることから、格納容器の漏えい箇所を特定して補修・止水し、バウンダリを構成した上で水張りを実施するための技術、工法の開発。 燃料取り出し準備の一環として、燃料デブリの分布状況の把握、当該燃料のサンプリング等を実施する事が必要。 → 高線量である圧力容器及び格納容器内での遠隔調査方法の開発。 1～3号機では損料燃料の一部が格納容器に流れ出ていると考えられる。 → 炉心損傷が圧力容器内に限定されていたTM1に比べ、より高度な取り出し技術・工法の開発。
取り出した燃料デブリの保管方法や処理/処分方法の開発を進めておく必要がある。		TM1においても燃料デブリは安定貯蔵の形で保管されており、福島第一においても、当面は安定貯蔵を行う計画。 → 塩分を含む燃料デブリを安定的に貯蔵する技術（収納缶）の開発。 → 適切な処理・処分方策についての検討。
放射性廃棄物の処理・処分	復旧作業、廃止措置に伴い発生する放射性廃棄物について、適切に対応することが必要となる。	現在発電所内で発生している放射性廃棄物については仮置き保管中であり、今後安定保管に移行していく計画。 → 発生量見通し・廃棄物毎の性状評価を踏まえた適切な処理・処分方策についての検討。
事故進展の解明	福島第一の事故進展を解明することは、燃料取出し等の作業手順の検討をより的確に遂行することに役立つ。 また、これにより得られる知見・教訓を評価し、今後の国内外における原子力発電の安全性・信頼性向上に役立てていくことが重要である。	→ 解析及び格納容器外からの調査による格納容器内部状況の推定技術の開発。 → 格納容器内及び炉内調査結果や、燃料デブリのサンプリング・分析結果に基づく事象進展解析手法の高度化。