

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

各作業の実施に必要な技術の確立のために当面実施すべき検討課題

平成 23 年 9 月 14 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)

## 各作業の実施に必要な技術の確立のために当面実施すべき検討課題

2011.9.14  
JAEA/東芝/日立 GE

研究開発課題	内 容	既存技術の適用性評価と技術開発の見通し	開発時期	国際協力を視野に入れた研究開発項目	
使用済燃料プール(SFP)からの燃料の取出し	(必要な技術) 損傷、塩分を帯びた燃料の取扱い技術(ハンドリング、洗浄、検査、再処理可能性の判断等)				
	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を確保する方法の開発	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、以下の技術を開発する。 ①保管期間中の燃料集合体長期健全性評価技術 ②燃料集合体の洗浄技術の策定	・健全性評価では、塩分等の不純物による腐食への影響等を評価する必要があるが、国内の研究開発機関等が有する実験設備を用いた評価が可能。 ・洗浄技術は、上記の健全性評価に加え、保管期間中における燃料付着物の水中等への溶出量等を評価した上でクライテリアを定めて適用する必要がある。	・早期にプールからの搬出が開始されるため、①、②は速やかに着手すべき。	・特になし。 (検討に資する参考となる海外事例があれば活用)
	2.再処理可能性を判断する方法の開発	損傷燃料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。	・化学処理工程への影響検討は、塩分等の不純物の影響を評価する必要があるが、国内の研究開発機関等が有する実験設備を用いた評価が可能。 ・損傷燃料のハンドリングに係る検討は、ピンホール型損傷燃料やPIE燃料の取扱い経験を踏まえた検討が可能。 ・上記検討結果及び1.の洗浄クライテリアを踏まえて、再処理可能性指標の検討を実施。	・取出し後の損傷燃料の扱いに応じて実施時期を検討する。	・特になし。 (検討に資する参考となる海外事例があれば活用)
3.損傷燃料の処理技術の開発	損傷燃料等を処理する技術の確立のために以下の検討を実施。 ①損傷燃料に関する事例調査 ②損傷燃料等の化学処理工程等への影響の検討 ③損傷燃料等のハンドリングに係る検討				
安定化、廃止措置に向けた継続的な取組	(必要な技術) ・建屋内の放射線量が高い箇所の遠隔除染技術 ・圧力容器や格納容器の腐食抑制技術 ・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技術				
	4.建屋内の遠隔除染技術の開発	題記の技術を以下の手順で開発する。 ①汚染状態の推定、調査技術の確立と除染計画立案 ②模擬汚染による除染試験 ③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 ④除染が困難な領域の遮へい技術(保護具含む)の開発	・一般的な機械式、化学式除染技術を用いて高線量、狭隘箇所に対する遠隔除染装置を各号機の汚染状態に基づき開発する。 ・また、既存の標準的な遮へい技術を応用して、遠隔除染装置が十分機能しない領域での遮へい技術(保護具含む)を開発する。	・建屋内除染工程を早期に進めるため、速やかに着手すべき。	・実績があり、実機のプラント状況において適用可能な要素技術があれば活用したい。 (TMIの知見・経験など海外からの提案を活用)

各作業の実施に必要な技術の確立のために当面実施すべき検討課題

2011.9.14  
JAEA/東芝/日立 GE

研究開発課題	内容	既存技術の適用性評価と技術開発の見通し	開発時期	国際協力を視野に入れた研究開発項目
安定化、廃止措置に向けた継続的な取組	<p>5. 圧力容器/格納容器の健全性評価技術の開発</p> <p>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、RPV(及びRPVペDESTAL)及びPCVの構造健全性評価技術を確立する。</p> <p>①RPV及びPCV構造材料腐食試験 ②RPVペDESTAL鉄筋腐食試験 ③RPV、PCV、RPVペDESTALに対する腐食抑制策確証試験 ④RPV、PCV、RPVペDESTAL構造物余寿命評価、寿命延長評価 ⑤実機への腐食抑制策試運用(効果確認対象:PCV構造材)</p>	<p>・RPV及びPCV鋼板材料の腐食試験方法は既存技術が確立している。</p> <p>・各号機の環境(放射線、温度、水質等)を考慮した腐食評価、腐食抑制技術の開発が必要である。</p> <p>・また、RPVペDESTALを対象とした腐食健全性評価については試験方法を含め技術開発が必要となる。</p>	<p>・長期的な健全性を早期に判断するために、速やかに着手すべき。</p>	<p>・特になし。</p>
	<p>6. 汚染水処理に伴う二次廃棄物の処理処分技術の開発</p> <p>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技術を開発するために以下の検討を行う。</p> <p>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</p>	<p>・①～②は、国内の研究開発機関等が有する実験装置を用いて評価検討が可能。</p> <p>・③～④は、①、②の結果を踏まえて検討が可能。</p> <p>・⑤～⑥は、現状の原子炉や再処理から発生する廃棄物に適用される既存の廃棄体評価、処分評価手法が参考となるが、廃棄体の性状如何により新たな評価・検討も必要。</p>	<p>・早期に長期安定保管への移行及び処分可能性の見通しを得るため、①～④は速やかに着手すべき。</p>	<p>・長期貯蔵方法や廃棄体化検討においてTMIやチェルノブイリにおける経験を活用する。</p>
デブリの取出し準備/取出し	<p>(必要な技術) 格納容器等の漏えい箇所を特定して補修・止水し、水張りを実施する技術(デブリの取出し作業は、水中で実施することが最も合理的と考えられる)</p>	<p>・ロボット・遠隔技術で使えるものがあれば採用する。</p> <p>・高線量・狭隘部位の漏えい検知技術については開発課題が多いが、定検保守経験やそのためのセンサー開発研究の成果をフルに活用する。</p>	<p>・漏えい箇所の早期発見のため、速やかに着手すべき。</p>	<p>・実績があり、実機のプラント状況において適用可能な要素技術があれば活用したい。</p>
	<p>7. 格納容器(PCV)漏えい箇所特定技術の開発</p> <p>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。</p> <p>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周辺遠隔点検装置の開発</p>			

各作業の実施に必要な技術の確立のために当面実施すべき検討課題

2011.9.14  
JAEA/東芝/日立 GE

研究開発課題	内 容	既存技術の適用性評価と技術開発の見通し	開発時期	国際協力を視野に入れた研究開発項目
8.水張り技術の開発(補修・充てん等)及び工法・装置開発	<p>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。</p> <p>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ブプレッション・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</p>	<p>・ロボット・遠隔技術で使えるものがあれば採用する。 ・高線量・流水状態部位の補修技術については開発課題が多いが、これまでの定検保守経験を十分に活用して実施する。</p>	<p>・PCVの補修開始時期はPCV漏えい箇所の調査結果によって左右され、未定であるが、研究開発課題が多く、開発は長期間となると予想されるため、速やかに着手すべき。</p>	<p>・実績があり、実機のプラント状況において適用可能な要素技術があれば活用したい。</p>
(必要な技術) 原子炉圧力容器及びPCV内の遠隔調査技術				
9.PCV 内部調査技術の開発	<p>PCV内の状態把握、RPVの漏えい調査、炉内燃料取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。</p> <p>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</p>	<p>・一般的な遠隔装置や放射性物質飛散防止対策は存在するが、当該プラントへ適用するためには、想定されるPCV内環境(高線量、高温、内部の状況が不明確等)に対応するよう調査手順と装置の開発が必要である。</p>	<p>・PCV 内部調査の開始時期は、上流の研究開発、現場の状況に左右され、未定であるが、研究開発課題が多く、開発は長期間となると予想されることから、速やかに着手すべき。</p>	<p>・実績があり、実機のプラント状況において適用可能な要素技術があれば活用したい。</p>

デブリの  
取出し  
準備／  
取出し

各作業の実施に必要な技術の確立のために当面実施すべき検討課題

2011.9.14  
JAEA/東芝/日立 GE

研究開発課題	内容	既存技術の適用性評価と技術開発の見通し	開発時期	国際協力を視野に入れた研究開発項目
10.RPV調査技術の開発	RPV内の状態把握、炉内燃料取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、RPV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炉内損傷燃料の遠隔サンプリング技術開発/製作	・TMIの技術が一部適用できる可能性があるが、大部分は開発が必要。 ・本研究の中で既存技術の調査を実施し、適用/応用についての評価を実施する。	・炉内事前調査方法については、PCV内の水張りの可否に影響を受けるため、状況に応じて実施する。但し、研究開発は長期間となることが予想されることから、①は速やかに着手すべき。	・実績があり、実機のプラント状況において適用可能な要素技術があれば活用したい。 (TMIの知見・経験など海外からの提案を活用)
(必要な技術) デブリ取出し技術・工法の開発				
デブリの取出し準備/取出し	11.デブリ・炉内構造物取出し工法・装置開発	デブリ・炉内構造物取出し工法・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出し工法の立案 ③デブリの遠隔取出し技術の開発 ④PCV内のデブリの遠隔取出し技術の開発	・TMIの技術が適用できる可能性があるが、本事象への適用性を評価して開発が必要。 ・特に、PCV底部に存在すると推定されるデブリの回収はTMIでは実施しておらず、新規に開発が必要。本研究の中で既存技術の調査を実施し、適用/応用についての評価を実施する。	・燃料・炉内構造物取出し方法については、PCV内の水張りの可否に影響を受けるため、状況に応じて実施する。但し、研究開発は長期間となることが予想されることから、①は速やかに着手すべき。
	12.デブリの臨界管理技術の開発	デブリ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 デブリ取り出しに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。	・静的臨界評価のための解析コードや再臨界検知のための検出器は既存技術があり、一部改良することにより実機適用可能である。 ・臨界状態時間変化解析コードについては新規開発が必要である。 ・圧力容器水張り時の未臨界性維持のため、必要な中性子吸収剤を開発する必要がある。	・実績があり、実機のプラント状況において適用可能な要素技術があれば活用したい。

各作業の実施に必要な技術の確立のために当面実施すべき検討課題

2011.9.14  
JAEA/東芝/日立 GE

研究開発課題	内容	既存技術の適用性評価と技術開発の見通し	開発時期	国際協力を視野に入れた研究開発項目
デブリの取出し準備／取出し	13. 模擬デブリを用いた特性の把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>①は、TMIでの経験や MAAP や MELCOR 等の解析コードの高度化により対応可能。</li> <li>②、③は、国内の研究機関等が有する実験装置を用いた評価・試験が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉内状況の推定、臨界管理技術の開発(12.)、計量管理上からの要求(17.)、事故進展の解明(19.)の状況に応じて着手する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>模擬デブリの特性評価や実デブリの性状分析は、海外との情報交換を検討する。</li> </ul>
	14. 実デブリの性状分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>①模擬デブリ形態の推定、作製 溶融継続時間、炉心構成、海水注入などの事故事象を分析(シミュレーション評価含む)し、これに基づきデブリ生成条件の範囲を設定する。設定した条件により模擬デブリを作製する。</li> <li>②模擬デブリの特性評価 作製した模擬デブリを用いて下記の評価・試験を実施する。 (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</li> <li>③TMI 炉内損傷燃料との比較</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国内の研究開発機関等が有するホットラボや実験装置を用いた分析が可能。</li> </ul>	
	(必要な技術) ・塩分を含むデブリ燃料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. 炉内損傷燃料収納技術	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デブリの収納技術の開発を行う。 <ul style="list-style-type: none"> <li>①既存技術の調査</li> <li>②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。</li> <li>③予備回収したデブリの結果に基づく収納技術の安全評価 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。</li> <li>④デブリの収納技術の開発 収納缶の移送・保管技術を開発する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TMIのデブリキャニスタをベースに、より高線量・高発熱で海水流入も想定される燃料に適応する技術の開発を要する。</li> <li>安全評価技術の確立、遠隔による収納・封入技術の開発を要する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デブリの収納技術については、PCV 内の水張りの可否に影響を受けるため、状況に応じて実施する。但し、研究開発は長期間となることが予想されることから、①は速やかに着手すべき。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実績があり、実機のプラント状況において適用可能な要素技術があれば活用したい。 (TMIの知見・経験など海外からの提案を活用)</li> </ul>

## 各作業の実施に必要な技術の確立のために当面実施すべき検討課題

2011.9.14  
JAEA/東芝/日立 GE

	研究開発課題	内 容	既存技術の適用性評価と技術開発の見通し	開発時期	国際協力を視野に入れた研究開発項目
デブリの取出し準備／取出し	16.デブリ処理技術の開発	<p>一時保管したデブリに対して、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。</p> <p>①塩分を含有、燃料や炉内構造物が熔融した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</p> <p>②処理に伴う廃棄物の廃棄体化及び処分適用性の検討(デブリの直接処分の場合も含む)</p>	<p>・①は、既存処理技術の直接適用では困難さが想定され、前処理等に工夫が必要である。</p> <p>・②は、現状の原子炉や再処理等から発生する廃棄物に対して適用される廃棄体化技術、処分技術では困難さが想定され、新たな工夫が必要である。</p>	<p>・模擬デブリを用いた特性試験(13.)の状況に応じて着手する。</p>	<p>・特になし。 (海外からの提案があれば活用)</p>
	17.デブリに係る計量管理方策の検討・開発	<p>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、デブリに対する計量分析技術を開発するとともに、デブリを取り出す際の核物質の計量管理方法を検討する。</p>	<p>・保障措置との関連で計量管理に関する技術・制度的課題については、国際協力も含め、保障措置の実施当局と連携を緊密にし、別途検討する。</p>		
放射性廃棄物の処理・処分	(必要な技術) ・発生する放射性廃棄物毎処理・処分技術				
	18.放射性廃棄物の処理・処分技術の開発	<p>今後発生が予想される放射性廃棄物の分類・整理と、性状分析を行い、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。</p>	<p>・放射性廃棄物の分類・整理は、現状の分類を基にした対応が可能である。</p> <p>・性状分析は、国内の研究開発機関等が有する既存の分析技術を基にした対応が可能である。</p> <p>・処理・処分技術は、現状の原子炉や再処理等から発生する廃棄物に対して適用される廃棄体評価、処分評価手法が参考となるが、廃棄物の形態如何により新たな評価・検討も必要である。</p>	<p>・廃棄物処分方策の見通しを早期に得るために速やかに着手すべき。</p>	<p>・特になし。</p>

各作業の実施に必要な技術の確立のために当面実施すべき検討課題

2011.9.14  
JAEA/東芝/日立 GE

研究開発課題	内容	既存技術の適用性評価と技術開発の見通し	開発時期	国際協力を視野に入れた研究開発項目
事故の進展の解明	(必要な技術) ・苛酷事故後の格納容器内部状況の推定技術の開発 ・苛酷事故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進展解析技術の高度化	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損傷燃料の挙動予測や実機の機器健全性評価にも適用する。	・既存の解析コード(MAAP, MELCOR, THALES, SAMPSON)による評価により事象進展の概要の把握は可能であるが、さらに詳細を把握するためには解析コードの高度化開発及びこれに伴うデータの取得が必要である。	・RPV及びPCV内部の調査計画に早期に反映するため速やかに着手すべき。 ・解析コードによる分析及び高度化については、必要に応じて海外の関係機関と協力する。
中長期措置の安全確保に向けた取り組み	原子炉安全「止める」:未臨界維持	・デブリが再臨界となる可能性は極めて低いが、水張り、デブリ取出し時等デブリの状態が変化する際に未臨界を確実にするための技術の開発(件名12)を実施する。	件名12と同じ	—
	原子炉安全「冷やす」:デブリの安定冷却の継続	・各作業において原子炉の循環冷却注水に影響を及ぼさないようリスク評価を実施する。 ・燃料取出し作業時にデブリ冷却に与える影響を把握するため、冷却水の流動解析技術を高度化(件名19)する。	件名19と同じ	—
	原子炉安全「閉じ込める」:環境への放射性物質の拡散防止	・立坑からの止水、シルトフェンス設置、海水の循環型浄化装置の設置・運転等の海水汚染拡大を抑制する。 ・ガレキ撤去時には飛散防止剤の散布により放射性物質の空気中への拡散を抑制する。 ・カバー又はコンテナを設置し、放射性物質の空気中への拡散を防止する。 ・空気・海水・地下水のモニタリングを実施し、放射性物質の拡散を監視する。 ・放射性廃棄物を適切に処理・処分する技術の開発(件名18)を実施する。	件名18と同じ	—
	作業安全	・作業雰囲気線量を下げよう除染技術、遮蔽及び保護具の開発(件名4)を実施する。	件名4と同じ	—

※デブリ:この資料でデブリとは、炉内で損傷、溶融した燃料集合体及びこれらと炉内構造物が溶融したものを指す。