

JAEAにおけるマスタープラン検討について

平成 27 年 12 月 15 日
JAEA 福島研究開発部門
企画調整室
廃炉国際共同研究センター

廃炉国際共同研究センター（CLADS）では、研究開発成果の廃止措置の現場における具体的な活用方法をイメージした全体計画（マスタープラン）を作成し、大学、産業界、海外研究機関等と連携して実施していく体制の検討を実施している。

この検討の一つとして、福島第一原子力発電所（1F）の廃止措置に向けた研究開発の網羅性を把握することを目的として、「技術分野」及び「1F 廃止措置等に向けた中長期の具体的対策」の関連を研究開発区分として研究テーマの洗い出し・整理を行っている。

「技術分野」は、原子力学会で用いられている専門分野の区分（表 1 参照）とし、「1F 廃止措置等に向けた中長期の具体的対策」は、中長期ロードマップ及び NDF 戦略プランで示されている対策項目に汚染水対策を加えた区分（表 2 参照）としている。

研究テーマの洗い出し・整理に際しては、CLADS が実施している 1 F の廃止措置に向けた基礎・基盤研究及び IRID 組合員として実施している応用研究に至る領域で以下の視点で行っている。

- ① JAEA が現在実施している研究テーマ
- ② 実施見に向けて予算要求等を行っているテーマ
- ③ 具体化はしていないが今後実施する必要があると考えているテーマ
- ④ 具体化をするかは不明であるが今後実施した方が良く考えているテーマ

結果については、一覧表形式（表 3 - 1 ～表 3 - 4）にまとめており、表中で上記の①及び②は赤字、③は青字、④は緑字で示している。

表 1 技術分野の区分

I. 放射線工学、加速器・ビーム
原子核物理、核データ測定・評価・検証、核反応工学
放射線挙動、遮へい工学
放射線物理、放射線計測
中性子源、中性子工学
加速器、ビーム加速技術、計測、利用
放射光、レーザー
II. 核分裂工学
炉物理、臨界安全
核変換技術
遠隔操作、ロボット、画像工学
伝熱、流動
原子力安全工学
計算科学技術
III. 核燃料サイクルと材料
基礎物性
核燃料とその照射挙動
炉材料とその照射挙動
照射技術・分析技術
原子炉化学、放射線化学、腐食化学、水質管理
核化学、放射化学、分析化学、アクチノイド化学
燃料再処理
放射性廃棄物処理
放射性廃棄物処分と環境
原子力施設の廃止措置技術
計量管理、保障措置技術
IV. 核融合工学
V. 保健物理と環境科学
放射線(能)測定、線量計測
放射線管理
環境放射能
線量評価・環境安全評価
放射線防護の理念と基準
環境修復

表2 1F 廃止措置等に向けた中長期の具体的対策の区分

1.汚染水対策
2.使用済燃料プール対策
3.燃料デブリのリスク低減 <ul style="list-style-type: none"> 3.1 取り出しまでの間の燃料デブリの安定状態の維持・管理 (臨界管理、冷却、閉じ込め、安全設備の維持・信頼性向上) 3.2 燃料デブリを安全に取り出す <ul style="list-style-type: none"> 3.2.1 燃料デブリの量、位置、性状、FP分布の把握 3.2.2 燃料デブリ取り出し作業時の安全確保 3.2.3 燃料デブリ取り出し方法 3.3 取り出した燃料デブリを収納・移送した後、安定的に保管する 3.4 (将来)取り出した燃料デブリを処理・処分する
4.廃棄物のリスク低減 <ul style="list-style-type: none"> 4.1 保管管理 4.2 処理・処分方策の検討 <ul style="list-style-type: none"> 4.2.1 性状把握 4.2.2 廃棄物の性状に応じた処分概念 4.2.3 処分方策と整合する処理 4.3 必要な規制整備
5.原子炉の冷温停止状態の継続(循環注水冷却)
6.発電所全体の放射線量低減・汚染水拡大防止(環境線量低減対策)
7.原子炉施設の廃止措置計画
8.作業円滑化のための体制及び環境整備(労働環境改善)

表3-1 1F 廃止措置等に向けた中長期の具体的対策と原子力機構の取組（検討中資料）

1F廃止措置等に向けた 中長期の具体的対策	1.汚染水対策	2.使用済燃料プール対策	3.燃料デブリのリスク低減 3.1 取り出しまでの間の燃料デブリの安定状態の維持・管理 (臨界管理、冷却、閉じ込め、安全設備の維持・信頼性向上)	3.2 燃料デブリを安全に取り出す 3.2.1燃料デブリの量、位置、性状、FP分布の把握	3.2.2 燃料デブリ取り出し作業時の安全確保	3.2.3 燃料デブリ取り出し方法
技術分野						
I. 放射線工学、加速器・ビーム						
原子核物理、核データ測定・評価・検証、核反応工学			<ul style="list-style-type: none"> ○核データ測定 ○非破壊測定技術開発 ○核データベース整備 ○核特性計算コードシステム開発 		<ul style="list-style-type: none"> ○核データ測定 ○非破壊測定技術開発 ○核データベース整備 ○核特性計算コードシステム開発 	
放射線挙動、遮へい工学			○燃料デブリの線源・前壊熱・線量率評価手法開発(～2017)	<ul style="list-style-type: none"> ○IFプラント内の最確な線源分布と線量評価技術開発(～2020) ○炉内調査に基づく線源逆推定法開発(北大共同研究～2016) ○廃炉実施段階における放射線遮蔽に関する規制対応方策の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ○廃炉工程における作業被ばく低減のための遮蔽手法の検討 ○燃料デブリ取り出し工程における敷地境界線量率評価手法開発 	
放射線物理、放射線計測				<ul style="list-style-type: none"> ○ルビオンチレータと光ファイバを用いた高放射線場の遠隔放射線計測 ○高ガンマ線量下における小型中性子検出器開発(日英共同研究～2018) 		
中性子源、中性子工学						
加速器、ビーム加速技術、計測、利用						
放射光、レーザー					○レーザー応用技術の開発(診断)(～2021年度)	
II. 核分裂工学						
炉物理、臨界安全			○燃料デブリ臨界管理技術の開発(～2016年度)		○燃料デブリ臨界管理技術の開発(～2016年度)	
核変換技術						
遠隔操作、ロボット、画像工学				○ソナーとROVによる水中デブリ探査技術開発(日英共同研究～2018)		<ul style="list-style-type: none"> ○災害対応ロボットの屋内実証試験に係る開発(標準試験法、ロボットシミュレータ)(～2021年度) ○ROV等による水中デブリのサンプリング
伝熱、流動				<ul style="list-style-type: none"> ○放射性物質の放出・移行・分布挙動評価(～2021年度) -上部構造物、冷却水系等へ移行、分布 ○燃料デブリ冷却性能評価(～2018年度) -燃料デブリの位置等の把握 -燃料デブリの発熱、冷却評価 ○構造材等の破損挙動、熱流動挙動評価(～2021年度) -格納容器熱流動挙動試験(安研セ) -水素挙動解析システム構築 -過分速度が熱伝達に及ぼす影響 -下部プレナム複雑構造物内ジェットブレイクアップ現象予測 -溶融炉心の移行挙動評価(～2021年度): -燃料ピン破損・溶融挙動評価 -下部ヘッドの破損箇所とタイミング評価 -ベDESTAL内溶融燃料の拡張挙動 		
原子力安全工学		○使用済燃料プールの安全性向上		<ul style="list-style-type: none"> ○燃料集合体破損詳細解析と試験 -過熱事故解析 -事故時の炉内熱流動解析(SAコードによる温度分布、圧力評価) -プラントデータ分析(解析コードの結果の活用、下記実験からの知見の活用を含む)に基づく各ユニットの事象推移及び終状態の予測・評価 -BWR体系での炉心物質移行挙動を模擬したプラズマ加熱試験(得られた成果を上記項目に反映) ○燃料破損・崩落挙動解析 -制御棒・燃料等破損、崩落評価 -溶融制御棒・燃料の移行挙動評価(ペレット-被覆管-ラッパ管反応試験、制御棒溶融試験、BWR体系での炉心物質移行挙動を模擬したプラズマ加熱試験、等) -溶融制御棒・燃料と構造材等との反応挙動評価(コールドクルシープル等を使用した溶融燃料等-構造材反応試験、等) ○構造材等の破損挙動(基礎工部門で実施中) -構造物の温度分布評価(SA解析結果を基にした構造物内温度分布) -構造物の応力、歪み評価(上記温度分布との連成による応力、歪み解析、下部ヘッド破損含む) 	○燃料集合体破損詳細解析と試験	○燃料集合体破損詳細解析と試験
計算科学技術	○汚染水の1F港湾内や海洋への流出・拡散予測			<ul style="list-style-type: none"> ○燃料集合体破損詳細解析と試験 -3次元CFDコードによる炉心熱流動-燃料崩落連成解析(JUPITERコード) -粒子法等による熱移行-反応連成解析(溶融燃料-構造材反応、MOXI等) 	○燃料集合体破損詳細解析と試験	○燃料集合体破損詳細解析と試験
III. 核燃料サイクルと材料						
基礎物性				○燃料デブリ物性・熱力学データベース整備	○燃料デブリ物性・熱力学データベース整備	○燃料デブリ物性・熱力学データベース整備
核燃料とその照射挙動				<ul style="list-style-type: none"> ○燃料デブリ冷却性能評価(～2018年度) -燃料デブリの位置等の把握 -燃料棒破損・崩落、Cs等の放出 -集合体、炉心材料の破損・崩落 -燃料デブリ生成メカニズムの評価(移行挙動、冷却水との反応等) -放射性物質の化学挙動評価(～2021年度) -Cs等の吸着挙動・除去特性 -Cs等放出移行における化学挙動(ホウ素の影響) -放射性物質エアロソルの基礎特性評価(吸湿性、水溶性) -FPガスの放出挙動解明 -デブリ熱力学/熱物性データベース整理: -FP含有相の特性評価 		
炉材料とその照射挙動						
照射技術・分析技術				○X線CTを用いた燃料デブリの非破壊検査技術		
原子炉化学、放射線化学、腐食化学、水質管理	<ul style="list-style-type: none"> ○多核種除去設備(ALPS)の腐食リスク評価 ○HICの上のたまり水の原因究明と対策 ○HICの長期健全性、素材の耐放射線性評価 ○サブドレン他水処理施設の浄化性能試験のクロスチェック ○汚染水処理機器の腐食防止対策技術開発(～2018年度) ○多核種除去設備(ALPS)等の腐食リスク評価: -防錆材、設備部材等の影響評価 	○使用済燃料プールから取り出した燃料集合体他の長期健全性評価(～2015年度)			<ul style="list-style-type: none"> ○原子炉圧力容器/格納容器の健全性評価技術の開発(～2016年度) ○機器環境変化を考慮した構造材料の腐食予測技術開発(～2020年度) 	

表3-2 1 F 廃止措置等に向けた中長期の具体的対策と原子力機構の取組（検討中資料）

1F廃止措置等に向けた 中長期の具体的対策 技術分野	1.汚染水対策	2.使用済燃料プール対策	3.燃料デブリのリスク低減 3.1 取り出しまでの間の燃料デブリの安定状態の維持・管理 (臨界管理、冷却、閉じ込め、安全設備の維持・信頼性向上)	3.2 燃料デブリを安全に取り出す 3.2.1燃料デブリの量、位置、性状、FP分布の把握	3.2.2 燃料デブリ取り出し作業時の安全確保	3.2.3 燃料デブリ取り出し方法
核化学、放射化学、分析化学、アクチノイド化学				<ul style="list-style-type: none"> ○燃料デブリの性状の推定(～2015年度) ○模擬デブリを活用した特性評価(～2015年度) ○取納缶に係る燃料デブリ性状データとりまとめ(～2016年度) ○燃料デブリの分析に必要な要素技術開発(既存分析研究施設へ輸送する容器検討を含む)(～2019年度) ○MCCI生成物の生成相の評価 ○燃料デブリの基礎物性の取得 ○燃料デブリの元素・核種溶出挙動評価 ○内部観察・レーザーモニタリング技術の開発(～2021年度)(レーザー誘起ブレイクダウン発光分光) 	○燃料デブリの元素・核種溶出挙動評価	
燃料再処理		○使用済燃料プールから取り出した損傷燃料等の処理検討(～2014年度)		○燃料デブリ処理技術の開発(～2013年度)	○燃料デブリ取り出し時の排気・排水処理について参考とする知見の提供(使用済み燃料せん断・溶解時の排気・排水データの提供)	
放射性廃棄物処理						
放射性廃棄物処分と環境	<ul style="list-style-type: none"> ○発電所内の地下水流動、汚染水の拡散 ○トリチウム地下貯蔵に係る移行評価の予備検討 					
原子力施設の廃止措置技術						○レーザー応用技術の開発(切断)(～2021年度)
計量管理、保障措置技術					○臨界性評価に必要な核物質量の非破壊測定と評価技術開発(～2018)	
IV. 核融合工学						
V. 保健物理と環境科学						
放射線(能)測定、線量計測	○PSFIによる汚染水漏えい検知技術開発				○放射線モニタリング技術の開発(～2021年度)	
放射線管理						
環境放射能						
線量評価・環境安全評価	○汚染水の1F港湾内や海洋への流出・拡散予測				○燃料デブリ取り出し工程における敷地境界線量率評価	
放射線防護の理念と基準						
環境修復						

表3-3 1 F 廃止措置等に向けた中長期の具体的対策と原子力機構の取組（検討中資料）

1F廃止措置等に向けた 中長期の具体的対策	3.3取り出した燃料デブリを収納・移送した後、安定的に保管する	3.4（将来）取り出した燃料デブリを処理・処分する	4.廃棄物のリスク低減 4.1 保管管理	4.2 処理・処分方策の検討 4.2.1性状把握 4.2.2廃棄物の性状に応じた処分概念 4.2.3処分方策と整合する処理 4.3必要な規制整備	5.原子炉の冷温停止状態の継続(循環注水冷却) 6.発電所全体の放射線量低減・汚染水拡大防止(環境線量低減対策) 7.原子炉施設の廃止措置計画 8.作業円滑化のための体制及び環境整備(労働環境改善)
技術分野					
I. 放射線工学、加速器・ビーム					
原子核物理、核データ測定・評価・検証、核反応工学	○核データ測定 ○非破壊測定技術開発 ○核データベース整備 ○核特性計算コードシステム開発				
放射線挙動、遮へい工学	○燃料デブリ輸送・貯蔵時の放射線遮蔽評価手法開発	○処理・処分時の放射線遮蔽・作業者線量評価	○水素発生に関わる線源および放射線評価		○建屋線量率測定結果からの線源逆推定法による除染最適化 ○1Fプラントの放射化量評価
放射線物理、放射線計測					
中性子源、中性子工学					
加速器、ビーム加速技術、計測、利用					
放射光、レーザー					
II. 核分裂工学					
炉物理、臨界安全					
核変換技術					
遠隔操作、ロボット、画像工学					
伝熱、流動					
原子力安全工学					○過酷事故時の安全対策・評価(PSA/PRA評価手法)
計算科学技術					
III. 核燃料サイクルと材料					
基礎物性		○燃料デブリ物性・熱力学データベース整備		○燃料デブリ物性・熱力学データベース整備	
核燃料とその照射挙動	○冷却評価に必要なデブリ熱伝導率データベース整備(バルク及び粉末充填体)				
炉材料とその照射挙動					
照射技術・分析技術					
原子炉化学、放射線化学、腐食化学、水質管理			○水処理二次廃棄物の長期保管方策の検討(～2017年度) ○廃収材保管容器の腐食発生リスク評価法開発(～2019年度) ○廃棄物の水素安全管理技術開発(～2021年)		

表3-4 1 F 廃止措置等に向けた中長期の具体的対策と原子力機構の取組（検討中資料）

1F廃止措置等に向けた 中長期の具体的対策	3.3取り出した燃料デブリを収納・移送した後、安定的に保管する	3.4（将来）取り出した燃料デブリを処理・処分する	4.廃棄物のリスク低減 4.1 保管管理	4.2 処理・処分方策の検討 4.2.1性状把握 4.2.2廃棄物の性状に応じた処分概念 4.2.3処分方策と整合する処理 4.3必要な規制整備	5.原子炉の冷温停止状態の継続(循環注水冷却) 6.発電所全体の放射線量低減・汚染水拡大防止(環境線量低減 対策) 7.原子炉施設の廃止措置計画 8.作業円滑化のための体制及び環境整備(労働環境改善)
技術分野 核化学、放射化学、分析化学、アクチノイド化学	<ul style="list-style-type: none"> ○燃料デブリの性状の推定(～2015年度) ○模擬デブリを活用した特性評価(～2015年度) ○収納缶に係る燃料デブリ性状データとりまとめ(～2016年度) ○燃料デブリの含水乾燥特性評価 ○燃料デブリの分析に必要な要素技術開発(既存分析研究施設へ輸送する容器検討を含む)(～2019年度) ○MCCI生成物の生成相の評価 ○燃料デブリの基礎物性の取得 ○燃料デブリの元素・核種溶出挙動評価 ○燃料デブリの外部雰囲気による反応性評価(変性等) 	<ul style="list-style-type: none"> ○燃料デブリの性状の推定(～2015年度) ○MCCI生成物の生成相の評価 ○燃料デブリの基礎物性の取得 ○燃料デブリの元素・核種溶出挙動評価 ○燃料デブリの外部雰囲気による反応性評価(変性等) 		<ul style="list-style-type: none"> ○放射性核種の分析、廃棄物 ○放射性核種の分析、化学組成・物理性状の把握(～2016年度) ○雑測定核種等分析技術開発(～2016年度) ○インベントリ評価手法の開発(～2016年度) ○分析手法の標準化(～2018年度) ○分析・測定技術の高度化開発(～2021年度) 	
燃料再処理		<ul style="list-style-type: none"> ・燃料デブリの処理のための反応性評価 			
放射性廃棄物処理				<ul style="list-style-type: none"> ○廃棄物処理技術の適用性の検討(～2016年度) ○廃棄物処理技術の適用性評価のための基礎試験(2017年度～) ○性能評価、その結果を踏まえた対応(2016年度～) 	
放射性廃棄物処分と環境				<ul style="list-style-type: none"> ○データベースの運用・段階的の高度化(～2016年度) ○データベースの運用・改良(2017年度～) ○放射性核種の分析、化学組成・物理性状の把握(～2016年度) ○開発技術を活用した分析データの蓄積、性状の評価精度向上(2017年度～) ○雑測定核種等分析技術開発(～2016年度) ○インベントリ評価手法の開発(～2016年度) ○インベントリ推定精度の向上(2017年度～) ○既存処分概念の適用性検討(～2016年度) ○核種概念の絞り込み、有誤候補の処分概念検討(～2017年度) ○既存安全評価手法の適用性検討(～2016年度) ○核種概念の安全性評価(2017年度～) ○処分概念、安全性評価手法の合理化・高度化(2017年度～) ○インベントリの解析モデル構築の基礎データ取得(溶出速度など)(2021年度) ○安全評価の信頼性向上に係る開発(～2021年度) ○人工バリア材の高度化開発(～2021年度) ○廃棄物性能の高度化(～2021年度) ○水素ガスの発生抑制を可能とする廃棄物処理手法の開発(～2021年度) ○固化体の特性の評価手法の開発(～2021年度) 	
原子力施設の廃止措置技術					<ul style="list-style-type: none"> ○シナリオ開発、シナリオ評価 ○解体・切断技術等 ○除染・炉心解体 ○「ふげん」解体技術等開発(切断工法、トリチウム除去) ○プルトリウム取扱施設解体技術等開発 ○再処理特別研究棟、など
計量管理、保障措置技術	<ul style="list-style-type: none"> ○燃料デブリ中の核物質量の評価・測定技術の開発(～2018年度) ○合理的な計量管理方法の検討(～2018年度) ○燃料デブリの在庫管理、処分等を想定した仕分け方法の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ○スケールアップファクタ法の開発とキー核種の非破壊測定技術開発 ○燃料デブリに対する保障措置適用軽減に関する検討 			
IV. 核融合工学					
V. 保健物理と環境科学					
放射線(能)測定、線量計測					<ul style="list-style-type: none"> ○放射線分布と環境動態 ○放射線計測・モニタリング手法
放射線管理					<ul style="list-style-type: none"> ○放射線管理
環境放射能					
線量評価・環境安全評価					
放射線防護の理念と基準					
環境修復					