

## 廃炉研究開発人材検討のための技術マップ試案

原子力産業の段階	特徴	作業工程	電気・機械系工学	プラント系工学	土木・地盤・建築系工学	化学・材料系工学	原子力工学 (環境・放射線含む)	その他
			(専門分野例) 機械、電気・電子、電子材料、計測・制御、信号・画像処理、情報工学  (基礎的技術例) 電気系統設計エンジニアリング(計測・制御、強電・弱電、機械)、イメージング、ヒューマンインタフェース、VR技術、視認技術・認識支援、機械的工作(切削・せん断等)、遠隔装置(ロボティクス)、耐放射線性	(専門分野例) 化学工学、工業化学、化学プラント、プラント工学、プロセス工学、水化学  (基礎的技術例) プラント設計、製造、施工、組立、配管、プラントデザイン、システムデザイン、プラント計装、パウンドリ構築、負圧管理、フィルタ設計、エンジニアリングフロー	(専門分野例) 土木工学、地盤工学、建築工学、地下水工学、深地層科学、水利地質学、土壌科学、物性工学(コンクリート等)  (基礎的技術例) 建屋等設計、建設・施工、解体技術、非破壊検査(コンクリート等)、建屋等健全性、ボーリング、地中拡散抑制・環境回復、コンクリート物性	(専門分野例) 材料工学、物性工学(金属等)、金属腐食工学、核燃料工学、アクチノイド化学、放射線化学  (基礎的技術例) 溶接、腐食評価、金属物性、原子炉材料、燃料設計、ラジオリシス(放射性分解)、防錆、長期健全性評価、減容・安定化・固定化、金属再利用技術、性状把握	(専門分野例) 原子炉物理、原子炉設計・構造、シミュレーション工学、臨界管理、保全工学、放射線科学、放射線影響、放射線取扱、環境放射線、速度論  (基礎的技術例) 設計、運転、未臨界監視・管理、解析コード・各種シミュレーション、ヒューマンファクター、燃焼度、核種分析、防護、環境影響評価、被ばく評価、線量評価、放出・飛散・移行評価、将来推定(長期動態)、移行挙動	(専門分野例) プロジェクト管理、法務、労務、財務、PA、リスクコミュニケーション、対外戦略、情報システム、放射線管理  (基礎的技術例) プロジェクト管理(計画策定、リスク評価・管理、リソース評価、EVM等)、法令、行政、会計、調達、契約、人工数評価、労働安全、記録・書類・知識管理、意思決定、問題解決、戦略的思考、リーダーシップ、コミュニケーション能力、交渉・影響力、プレゼンテーション能力、コーチング、外国語能力、ICT・システムエンジニアリング、施設維持管理、その他バックオフィス全般、計量管理・核管理・保障措置・査察対応
原子力発電所(計画・建設から運転まで)	臨界/未臨界維持多重防護の存在 一部に遠隔操作 高温・高圧 長期の運転期間	設計・建設 機器設計 製造・組立 発電(タービン等) 運転・保守 燃料交換・保管	電気系システム(強電・弱電)計装システム 発電機器(タービン等) 保守・点検(電気機器等) 非破壊検査・分析(機器)	システム設計(プロセス)配置設計 構造設計(プロセス機器・配管等) 熱水力設計 発電用循環系(熱交換器等) 閉じ込めシステム(d以外) 空調設計	地盤評価 耐震設計(建屋構造健全性) 大型機器組立 保守・点検(建屋等)	原子炉設計(材料) システム設計(材料) 構造物構造健全性 保守・点検(構造物・系統)	炉心設計 安全設計 遮蔽設計 熱解析・冷却評価 プラント運転 不測事態対応 燃料貯蔵(乾式・湿式)	<法務・財務・バックオフィス> 財務管理、契約事務、購買事務、電気・ガス・水道、知財管理、情報システム整備・運用、警備、記録・文書管理  <労務・組織運営・安全管理> 労働安全、非常時・事故時対応、火災・爆発防止対策、エラー対策、作業危険度評価、危機管理、評価(監査)、組織管理、施設管理(運用)、モチベーション維持、インセンティブ設計、技術継承、教育訓練、人事(人材管理・育成計画)
核燃料・廃棄物(フロントエンドからバックエンドまで)	未臨界維持必要 多重防護の存在 高放射線場 遠隔操作が基本 一部に工作作業 含むダスト発生 多くの化学プロセス	設計・建設 機器設計 製造・組立 運転・保守 原料・燃料輸送 燃料加工・製造等 燃料貯蔵(湿式・乾式) 使用済燃料再処理 廃棄物処理処分	電気系システム(強電・弱電)計装システム 核燃料・使用済燃料取扱装置 遠隔工作・計測機器 切断・解体(使用済燃料等) 廃棄物吸引・取り出し機器 除染技術(機器開発)	システム設計(プロセス)配置設計 構造設計(プロセス機器・配管等) 閉じ込めシステム(d核種) ダスト(飛散微粒子)対策(システム) 空調設計 使用済燃料再処理 系統除染(化学的) 廃棄物処理(減容・安定化) 保守・点検(系統)	地盤評価 耐震設計(建屋構造健全性) 大型機器組立 除染技術(コンクリート等) セメント・アスファルト固化 保管施設・処分場設計(熱設計等) 保守・点検(建屋等)	燃料設計(材料) 燃料加工製造 システム設計(材料) 保守・点検(系統) 除染技術(系統) 収納容器等設計(材料) 廃棄物保管管理(化学的安全性・長期変化予測)	燃料設計(熱・中性子) 安全設計 遮蔽設計 熱解析・冷却評価 放射線計測 耐放射線設計 計量管理(臨界) ダスト(飛散微粒子)対策(被ばく) 廃棄物熱計算 廃棄物保管管理(臨界・遮蔽) 放射能・物質収支管理(インベントリ評価)	<プロジェクト管理> 戦略的ビジョン策定、処置シナリオ検討、全体計画策定、廃止措置計画立案・申請、コスト評価・管理、時間管理、リスク評価・管理、工程管理、物量管理、資材調達、支出優先度、品質保証、敷地計画、作業スペース管理、特殊な調達(計画・実施)、冗長性確保、工事管理、品質管理  <エンジニアリング> 工程立案、工事計画、保守、運転指示書、計画・訓練用シミュレータ、(遠隔)機器操作技術、高所作業計画  <原子力施設共通事項> 敷地計画・立地対策、環境影響評価、(環境)モニタリング、被ばく管理評価、放射線管理設備、核テロ対策・核物質防護対策、管理区域等設定・解除、設備保全、燃料・廃棄物輸送計画・管理・実施、安全規制対応・許認可、保障措置対応  <研究開発環境> 先行事例・文献調査、イノベーション創出環境維持、研究基盤の整備・維持、モックアップ戦略策定、研究機関との連携  <社会的関係性> 過去の経緯と整合性確保、ステークホルダーとの関係、社会的影響、広報、見学者対応
通常炉(非事故炉)等の原子力施設の廃止措置	内部状態は既知 多重防護を段階的に解除 一部に遠隔操作 多くの工作作業 ダスト発生 長期プロジェクト	使用済燃料取り出し 建屋内除染 廃棄物サンプリング 原子炉領域解体 建屋等解体 廃棄物処理処分 環境回復(土壌復元等)	遠隔工作・計測機器 切断・解体(構造物) 廃棄物吸引・取り出し機器 除染技術(機器開発) 非破壊検査・分析(機器) 廃棄物サンプリング機器 鋼材・コンクリート解体	閉じ込めシステム(d以外) 系統除染(化学的) ダスト(飛散微粒子)対策(システム) 廃棄物処理(減容・安定化)	建屋構造健全性 除染技術(コンクリート等) コンクリート等再利用 建屋等解体 保管施設・処分場設計(熱設計等) 環境回復(土壌等)	除染技術(構造物) 廃棄物性状把握(放射化学的分析) 除染技術(系統) 廃棄物保管管理(化学的安全性・長期変化予測)	放射線計測(取扱等) 放射線防護 核種分析 遮蔽設計 ダスト(飛散微粒子)対策(被ばく) 廃棄物熱計算 廃棄物保管管理(臨界・遮蔽) 放射能・物質収支管理(インベントリ評価) クリアランス評価	<形状や組成・内部状態が不明など、通常とは異なる1Fに特有の環境下、不確実性が高い中での、安全・確実・合理的・迅速・現場志向を念頭に置いた上記すべての実施(特に、プロジェクト管理)>  <先例のない規制・保障措置に係る対応>  <時期によって必要な人材が異なり、工程も変化することなども考えると、複数の分野に精通したプレーヤーが重要>
1F・事故炉の廃止措置	未臨界維持必要 高放射線場 遠隔操作が基本 多重防護の喪失 内部状況不明 不確実性が高い 多くの工作作業 含むダスト発生 長期プロジェクト 大規模プロジェクト	<サイト安定化> 地下水・汚染水対策 冷却機能確保(注水循環) 使用済燃料取り出し  <作業環境向上> 建屋内除染 PCV内構造化  <調査・取出準備> 内部調査 廃棄物サンプリング 燃料デブリサンプリング  <燃料デブリ取出> 燃料デブリ取り出し 燃料デブリ輸送保管 燃料デブリ処理処分  <解体・環境回復> 原子炉領域解体 建屋等解体 廃棄物処理処分 環境回復(土壌復元等)	使用済燃料取扱装置  電気系システム(強電・弱電)計装システム 除染技術(機器開発)  遠隔工作・計測機器(調査装置)  放射線計測(システム開発) オンサイト分析 非破壊検査・分析(機器) 遠隔工作・計測機器(取り出し装置) 切断・解体(構造物) 燃料デブリサンプリング機器 燃料デブリ取り出し機器 廃棄物サンプリング機器 廃棄物吸引・取り出し機器  遠隔工作・計測機器(解体装置) 切断・解体(構造物) 廃棄物サンプリング機器 廃棄物吸引・取り出し機器	冷却水・汚染水対策(循環系)  系統除染(化学的)  システム設計(プロセス)配置設計 構造設計(プロセス機器・配管等) 閉じ込めシステム(d核種) ダスト(飛散微粒子)対策(システム) 空調設計  燃料デブリ処理 廃棄物処理(減容・安定化)  廃棄物処理(減容・安定化)	地下水対策  除染技術(コンクリート等)  建屋構造健全性 格納容器構造健全性 建屋止水 PCV止水  建屋等解体 セメント・アスファルト固化 保管施設・処分場設計(熱設計等) 環境回復(土壌等)	汚染水対策(処理)  除染技術(構造物) 海水影響(化学的) 腐食抑制(PCV/RPV)  放射線計測(素子開発) 燃料デブリ経年変化特性 廃棄物性状把握(放射化学的分析) 廃棄物保管管理(化学的安全性・長期変化予測)	熱解析・冷却評価  汚染マップ作成  事故進展過程 燃料デブリ性状把握(推定等) 熱解析・冷却評価 耐放射線設計 ダスト(飛散微粒子)対策(被ばく)  放射線計測(取扱等) 放射線防護 核種分析 臨界管理 放射能・物質収支管理(インベントリ評価) 燃料デブリ保管管理(臨界・遮蔽) 廃棄物熱計算 廃棄物保管管理(臨界・遮蔽) クリアランス評価	

(注)「1F・事故炉の廃止措置」の行にある技術課題のうち、上の行(他の原子力産業の段階)に類似の項目が存在する技術課題は黄色、類似の項目が存在するが課題の前提や求められる対応のレベルが大きく異なる技術課題は緑色、類似の項目が存在しない特有の技術課題は赤色で塗りつぶした。(他の原子力産業の段階において対応している類似の項目も黄色と緑色で塗りつぶした。)