

技術研究組 国際廃炉研究開発機構と 福島第一原子力発電所廃止措置に向けた 研究開発における課題

第36回原子力委員会

平成25年10月1日

技術研究組 国際廃炉研究開発機構

理事長 山名 元

組織の設立と役割

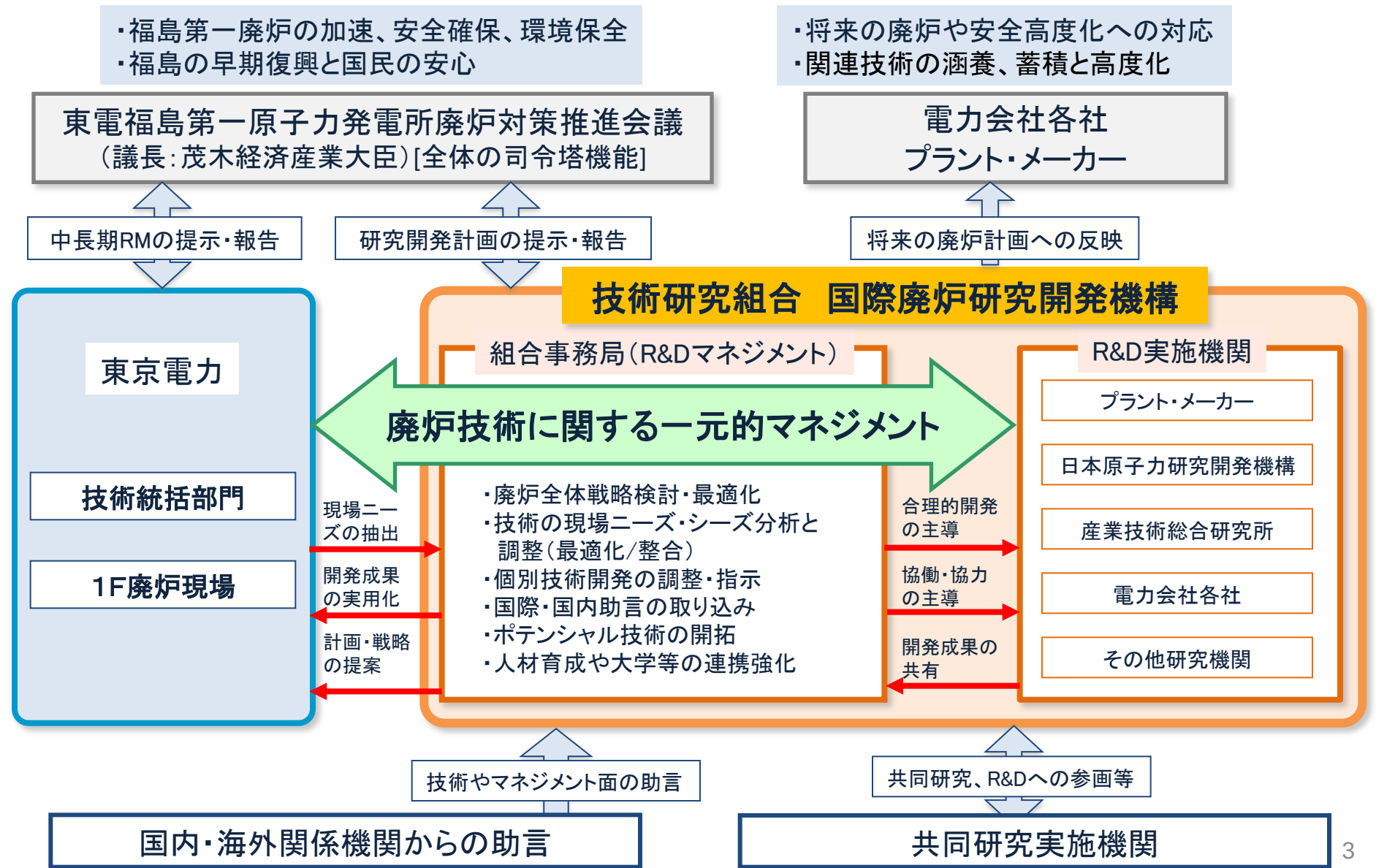
＜組織の設立＞

- 8月1日、茂木経済産業大臣による技術研究組合法に基づく認可。
- 8月8日、臨時総会及び理事会を開催し、組織体制の整備を図るとともに、実質的な活動を開始。

＜組織の役割＞

- 「将来の廃炉技術の基盤強化を視野に、当面の緊急課題である福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術の研究開発に全力を尽くす」ことが基本的な役割。

< 廃炉技術の基盤強化を視野に、 当面の緊急課題である福島第一原発の廃炉に向けた取組みに注力 >



IRIDの概要

1. 名称

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (略称: IRID「アイリッド」)
(International Research Institute for Nuclear Decommissioning)

2. 組合本部

〒105-0004 東京都港区新橋5-27-1 パークプレイス6F
(電話番号) 03-6435-8601 (代表)
(ホームページアドレス) <http://www.iris.or.jp>

3. 事業内容

廃止措置に関する研究開発
廃止措置に関する国際、国内関係機関との協力の推進
研究開発に関する人材育成

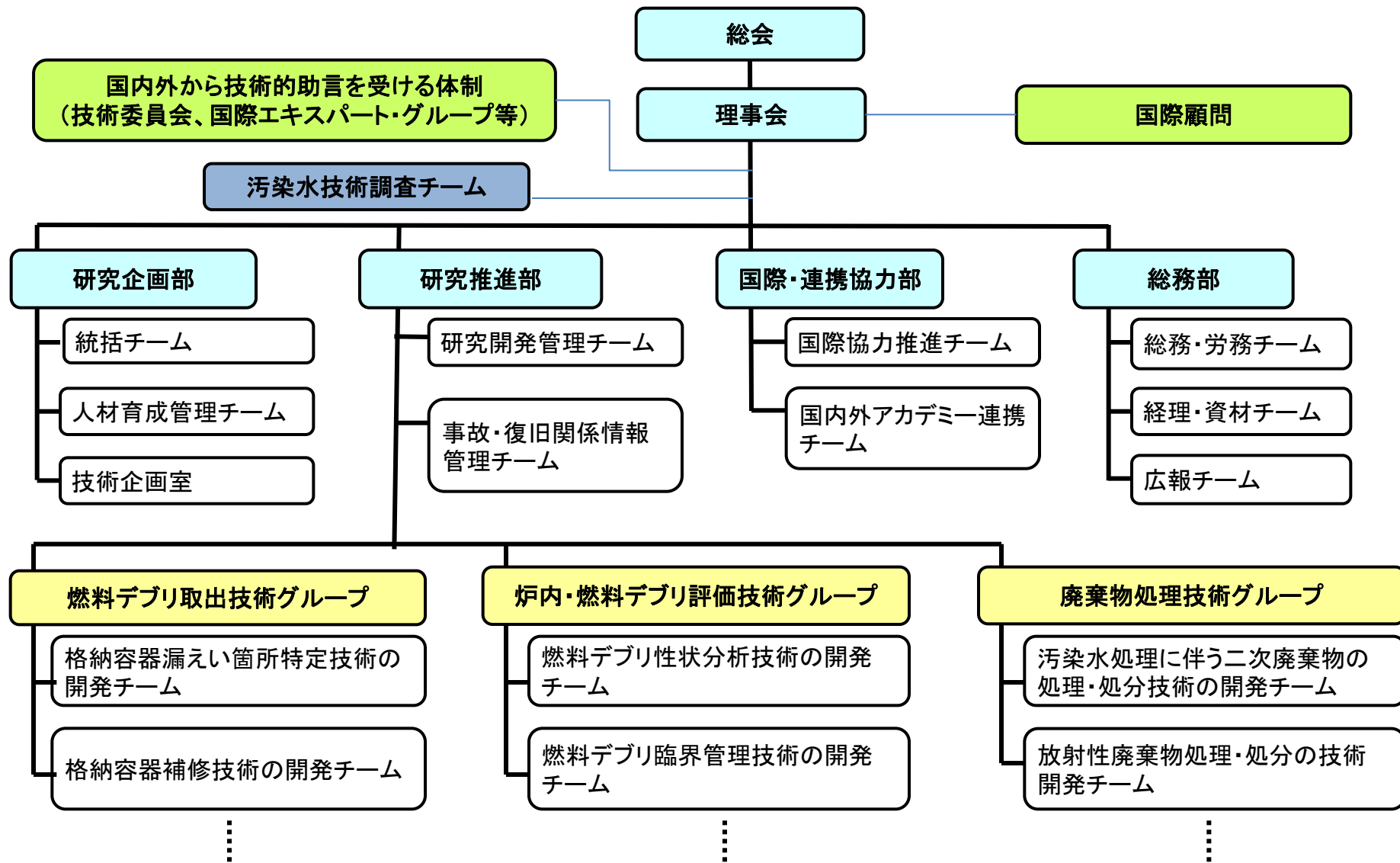
4. 設立時組合員 (17法人)

独立行政法人: 日本原子力研究開発機構、産業技術総合研究所

プラント・メーカー: (株) 東芝、日立GEニュークリア・エナジー (株)、三菱重工業 (株)

電力会社等: 北海道電力 (株)、東北電力 (株)、東京電力 (株)、中部電力 (株)、
北陸電力 (株)、関西電力 (株)、中国電力 (株)、四国電力 (株)、
九州電力 (株)、日本原子力発電 (株)、電源開発 (株)、日本原燃 (株)

IRIDの組織体制



当面の事業計画（研究開発プロジェクト）

燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発

格納容器漏えい箇所特定技術の開発

格納容器補修技術の開発

原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発

燃料デブリの臨界管理技術の開発

格納容器内部調査技術の開発

過酷事故解析コードを活用した炉内状況把握

圧力容器／格納容器の健全性評価技術の開発

燃料デブリ性状把握・処置技術の開発

放射性廃棄物処理・処分に係る研究開発

汚染水処理に伴う二次廃棄物の処理・処分技術の開発

放射性廃棄物の処理・処分技術の開発

使用済燃料プール燃料取り出しに係る研究開発

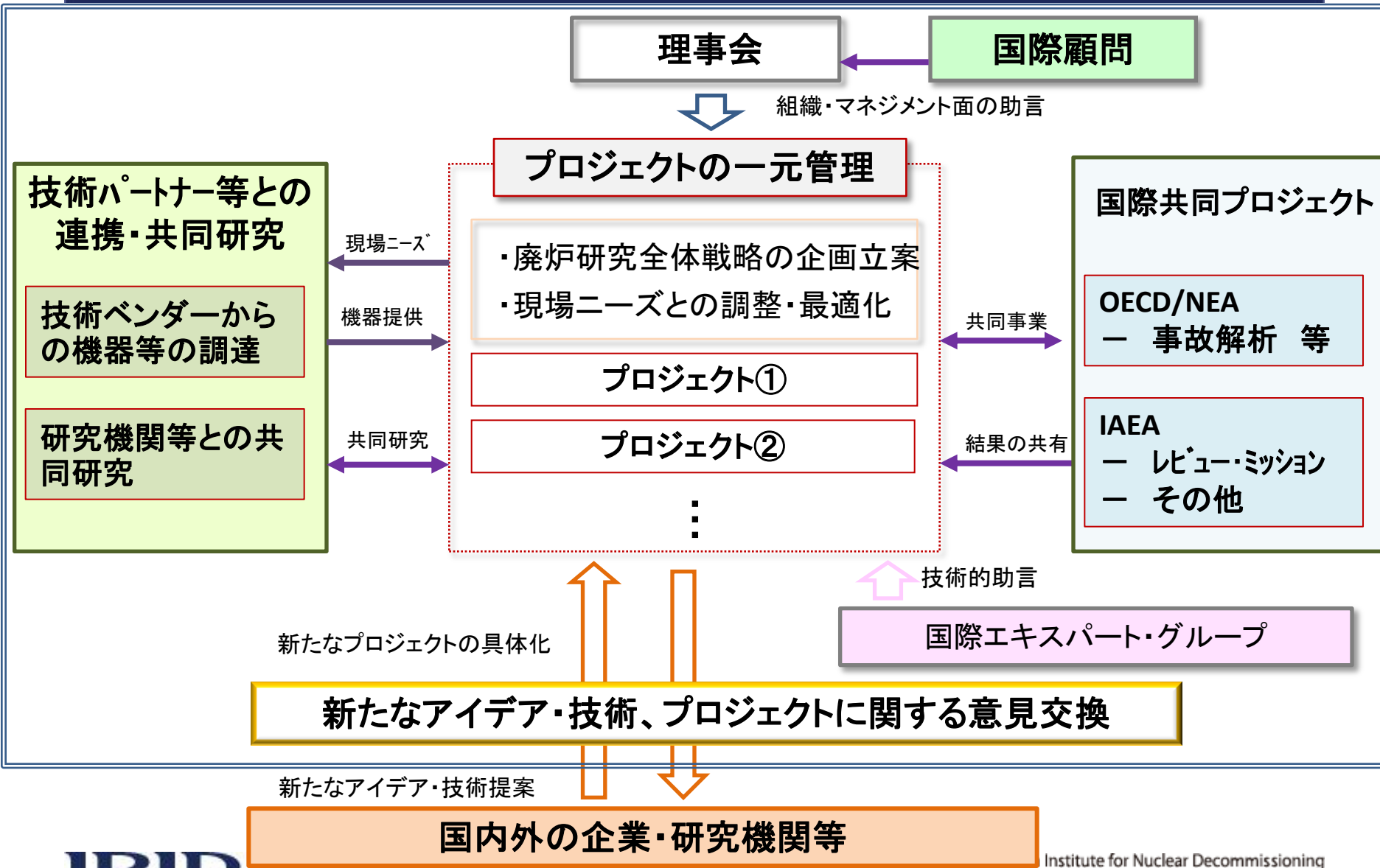
使用済燃料プールから取り出した燃料集合体他の長期健全性評価

使用済燃料プールから取り出した損傷燃料等の処理方法の検討

国内外の叡智を結集する「開かれた体制」

- ・ 海外諸国の知見・経験に基づくアドバイスの取込み
 - － 国際顧問による I R I D の運営全体に対する助言
 - － 国際エキスパート・グループによる技術的助言
(米、英、仏、露、ウラケの経験豊富な専門家から構成)
 - 汚染水問題についても知見・助言を得る方向
 - 9/23-27、同グループ会合を東京、福島にて開催
- ・ 国内外企業・研究機関との共同研究推進・連携強化
 - － 研究機関との共同研究
 - － 各分野の企業のプロジェクトへの参画
(技術ベンダーからの調達、業務請負等)
 - － 国際機関における国際共同プロジェクトの主導 等

IRIDの「国際的研究活動」全体のイメージ



当面の活動①：研究開発プロジェクトの推進

- 国の「研究開発計画」で提示されたプロジェクトの効果的・効率的な推進
 - 従来の研究開発実施機関（JAEA、プラント・メーカー）の枠を越え、IRIDが組織として一元的・統合的な技術マネジメントを実施
 - 研究開発プロジェクトの廃炉シナリオにおける位置付けの確認
 - 現場状況の密接かつ柔軟なフィードバック
 - プロジェクト横断的な調整
 - プロジェクトのリスク評価を踏まえた代替方策の検討
 - 国内外関係機関との連携強化
 - 計画・成果の情報発信・広報 等

＜当面の計画＞

- 徹底したプロジェクト評価の実施（PDCAサイクル）
- 成果の確認・公表

当面の活動①：研究開発プロジェクトの推進

- IRIDとしての評価に加え、技術委員会（外部有識者）による客観的な評価・助言
 - － 全体戦略や事業活動全体についての評価・助言
 - － 研究開発プロジェクトの評価については、技術分野毎に分科会を設置して検討
 - ・ 燃料デブリ取出し技術（機器装置開発、健全性評価等）
 - ・ 炉内・燃料デブリ評価技術
 - ・ 放射性廃棄物処理技術
- 遠隔技術の知見・経験の集約とソリューション検討・提案
 - － 遠隔技術を活用した機器・装置開発関連プロジェクトについて、外部有識者の参加を得た評価・検討を行うとともに、代替手段等を検討・評価するためのグループを設置（準備中）

当面の活動②：国内外関係機関との連携推進

- 福島第一原発の燃料デブリ取り出しや廃炉については、世界に例の無い極めて難しい技術課題への挑戦であることから、世界の叡智を結集する体制の構築を図るため、国内外関係機関との連携・協力を推進
- 特に、燃料デブリ取り出し代替工法の検討など難しい技術課題については、国内、海外から広くアイデア・技術の提案を呼び込むための仕組みを検討

<当面の計画>

- IAEA総会の機会を活用した国際的な情報発信（9/16）
- 国際エキスパート・グループ会合による技術的助言（9/23～27：第1回会合開催）
- OECD/NEA/事故解析に関する国際共同プロジェクト会合（10/15～17）

当面の活動③：基盤研究の推進と人材育成

- 中長期的な人材育成・確保を図るため、大学・研究機関等と連携しつつ、基盤研究を推進
- 「ワークショップ」の開催（文部科学省と連携）を通じ、研究開発計画に関する情報発信・共有を図るとともに、ニーズを踏まえた重点化すべき基盤研究の分野・課題を検討

<当面の計画>

「研究開発計画と基盤研究に関するワークショップ」をシリーズ開催。

- 第1回（9/25、関東①）：放射性廃棄物、燃料デブリ関連
- 第2回（10/8、福島）：遠隔機器・装置開発、情報可視化関連
- 第3回（11/1、関西・西日本①）：放射性廃棄物、燃料デブリ関連
- 第4回（11/20、東北・北海道）：格納容器等健全性、
放射性廃棄物関連
- 第5回（11/26、関東②）：遠隔機器・装置開発関連
- 第6回以降についても、各地域で開催する方向で計画中。

当面の活動④：汚染水問題への対応

- 第1回廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議(9/10)を受け、汚染水問題への具体的な対応を図るため、IRIDを中核として関連分野の専門家からなる検討チームを設置。
- 国内外技術の公募、情報収集、ならびに提案技術の分類・整理等を行い、政府の「汚染水処理対策委員会」に報告する予定。

<スケジュール>

- 9月20日：技術提案募集についてのウェブサイト発足 www.iris.or.jp/cw
- 10月 2日：技術提案募集に関する説明会開催(イイノビル@東京)
- 10月上旬：海外関係機関等との意見交換
- 10月23日：募集受付期限
- 10月下旬～11月上旬：技術提案についての分類・整理
- 11月中旬頃：汚染水処理対策委員会への報告

当面の活動④：汚染水問題への対応

■特に技術提案・助言をお願いしたい事項

(汚染水処理対策委員会による検討)

- ① 汚染水貯留：信頼性の高い溶接型タンク、微小漏えい検知等
- ② 汚染水処理：トリチウムの分離等
- ③ 港湾内の海水の浄化：放射性セシウム、ストロンチウムの除去等
- ④ 建屋内の汚染水処理：建屋内止水技術、地盤改良施工技術等
- ⑤ 地下水流入抑制の敷地管理：遮水壁の施工技術、雨水浸入防止等
- ⑥ 地下水等の挙動把握：計測システム、分析技術、
観測孔システム施工技術等)

IRIDにおける研究開発

■原子炉建屋内の過酷環境下において以下の研究開発を計画。

高線量

高温

多湿

ガレキ

高所

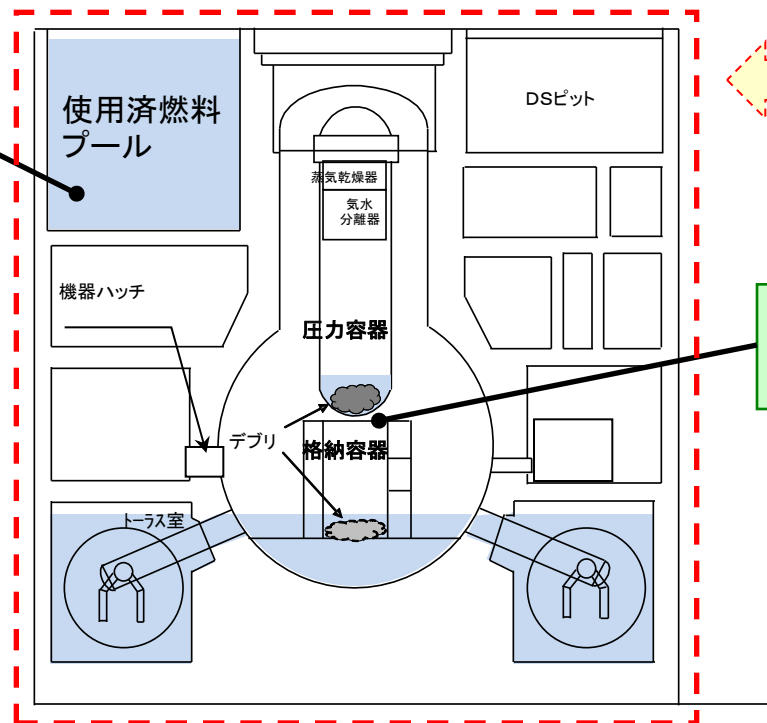
水中

狭隘

注入海水

使用済燃料プール燃料
取り出しに係る研究開発

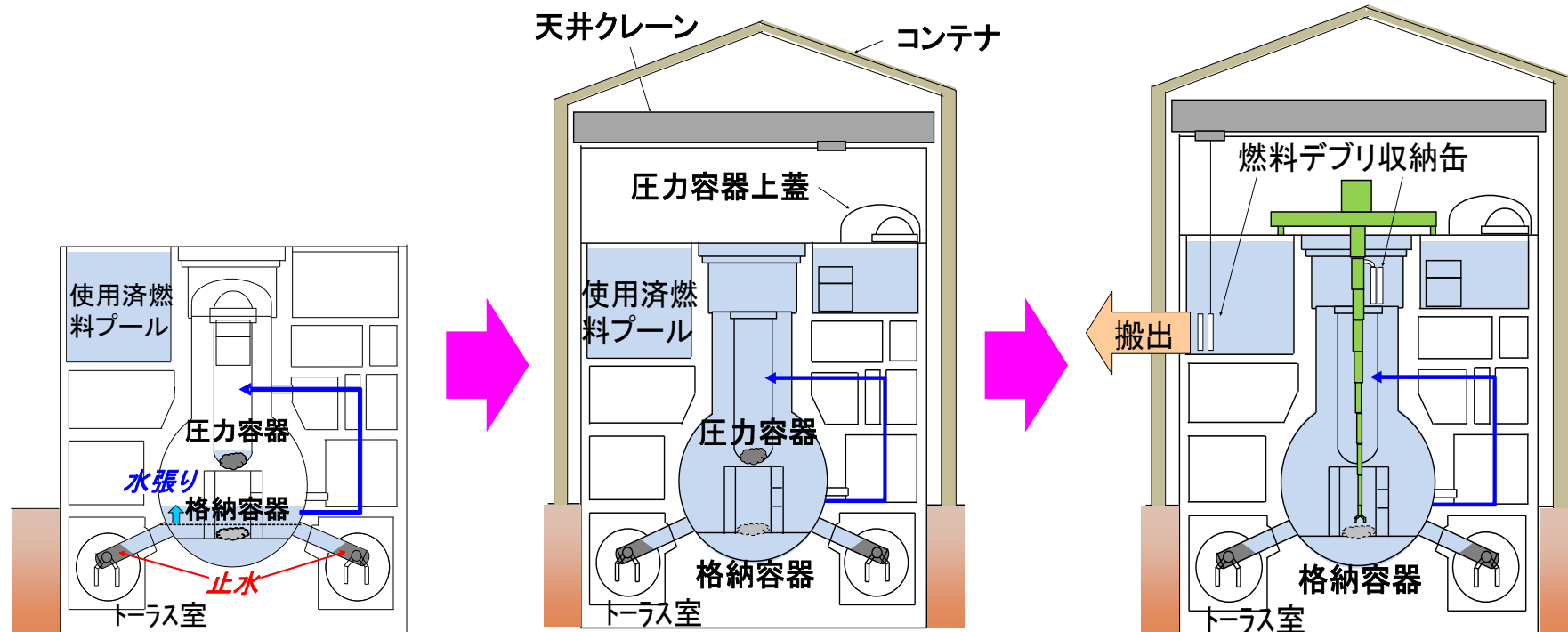
放射性廃棄物処理・処
分に係る研究開発



燃料デブリ取り出し準
備に係る研究開発

燃料デブリ取り出しへの作業ステップ（イメージ）

- 燃料デブリを冠水させた状態で取り出す方法が、作業被ばく低減の観点から最も確実
- 格納容器の水張りに向けた調査・補修技術に加え、燃料デブリ取り出し・収納・保管に必要な研究開発を推進



原子炉格納容器下部補修

(止水)～下部水張り(イメージ)

燃料デブリ取り出し

(イメージ)

出典：H25. 6. 27東京電力福島第一原子力発電所
廃炉対策推進会議資料

Research Institute for Nuclear Decommissioning

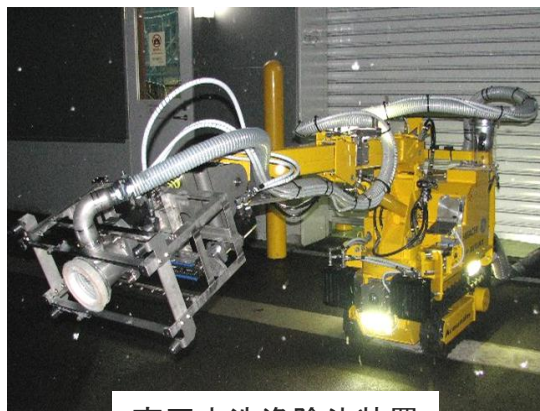
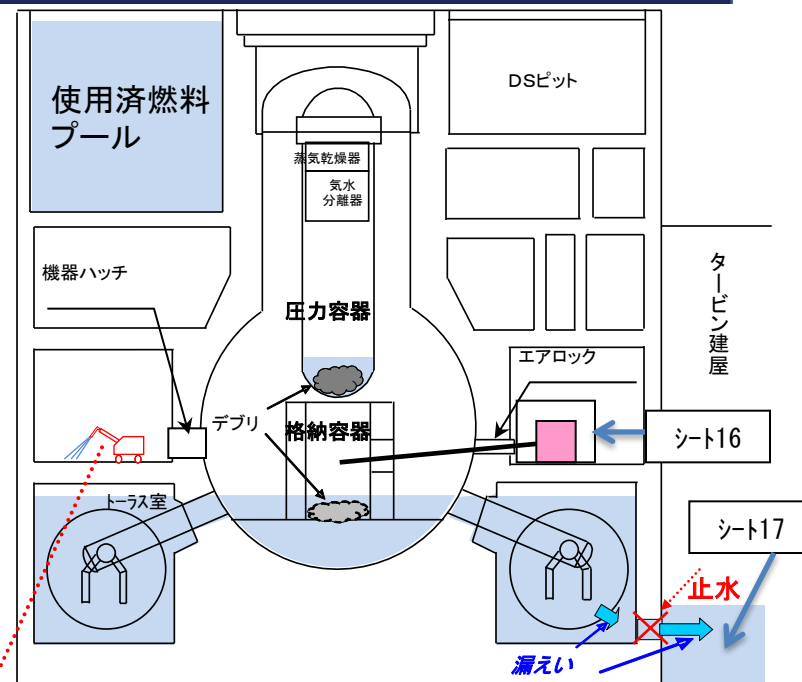
燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発と課題（１）

■ 原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発

- ・燃料デブリ取出しに向け、格納容器漏えい箇所の調査、補修等の作業環境改善のため、現場の汚染状況に合った遠隔除染装置を開発

■ 課題

- ・実証試験による開発機器の性能検証
- ・高所・高層階を対象とした除染装置開発
- ・滞留水ドライアップ後の環境改善方策の検討
- ・除染と遮蔽の組合せ等、作業員の被ばく線量を総合的に低減する作業計画立案



高圧水洗浄除染装置



ドライアイスブラスト除染装置



ブラスト・吸引回収 除染装置

燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発と課題（２）

■ 原子炉格納容器内部調査技術の開発

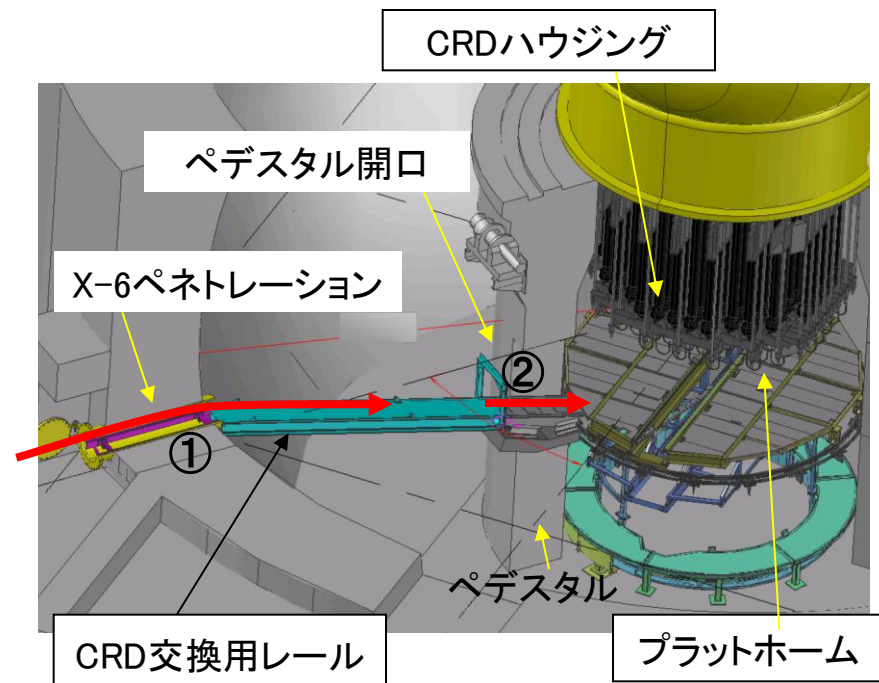
- ・原子炉格納容器内の状態及び燃料デブリの状況把握のため遠隔による調査工法、装置を開発。

（原子炉圧力容器下（ペDESTAL）の状況を確認するために、X-6（CRD搬出入口）などからアクセスする装置を開発中。）

■ 課題

- ・高線量環境中での調査装置、アクセス装置の性能確保と小型化の両立
- ・他プロジェクト（燃料デブリ取出し等）に必要となる、調査エリア及び調査項目の整理
- ・実証試験による開発機器の性能検証

<調査対象部位へのアクセスルート例>



PCV内部のイメージ

<アクセスルート>

- ① X-6ペネトレーション進入
/CRD交換用レール上移動
- ② ペDESTAL開口から
ペDESTAL内に進入

燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発と課題（3）

■ 格納容器漏えい箇所特定技術・補修技術の開発

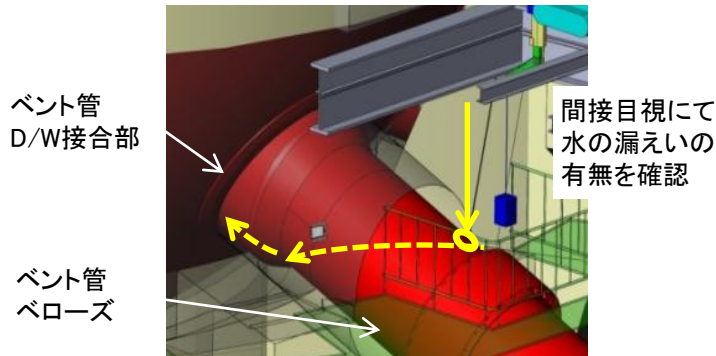
- ・格納容器等の漏えい箇所について、高所、高線量、狭隘、水中等の環境を考慮した調査・補修（止水）工法と装置の開発。

■ 課題

- ・実証試験による開発機器の性能検証
- ・補修要否判断のための計測技術の確立、判定基準の策定
- ・格納容器本体以外（系統側）も考慮したバウンダリの策定

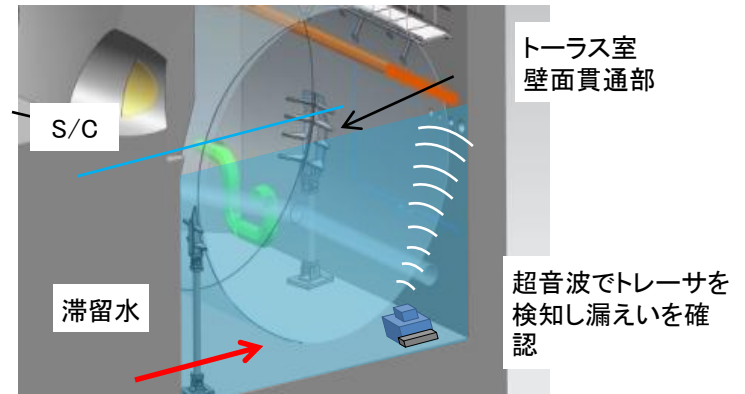
ベント管-D/W接合部

1階床面穴からベント管に吸着して走行し、接合部を確認

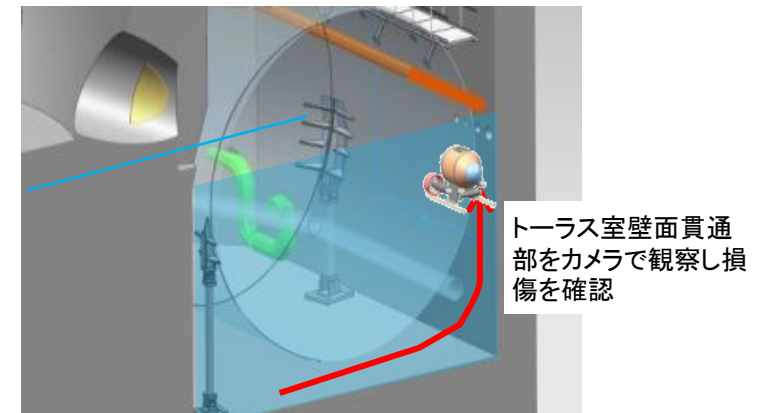


（研究開発 例）

トーラス室壁面



水中を移動し、トーラス室壁面水中貫通部確認



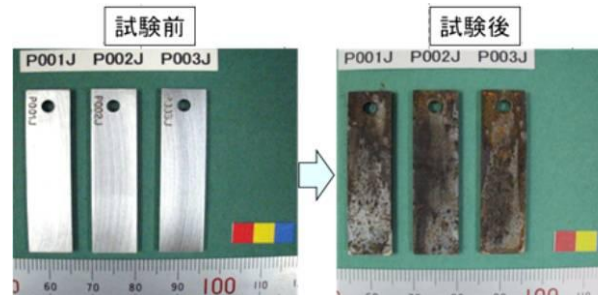
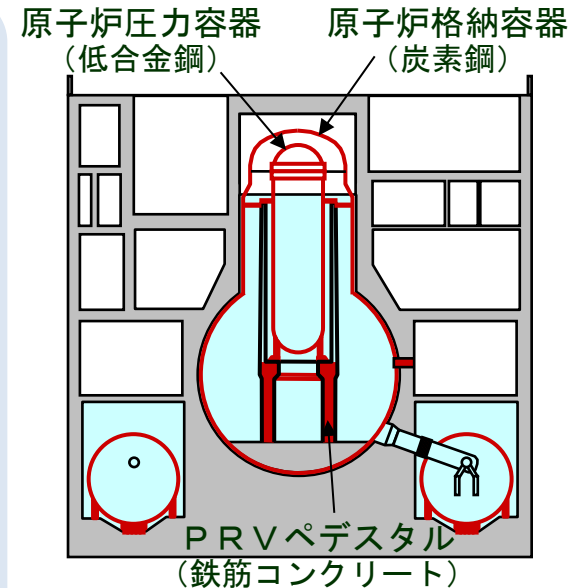
燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発と課題（４）

■ 圧力容器／格納容器の健全性評価技術の開発

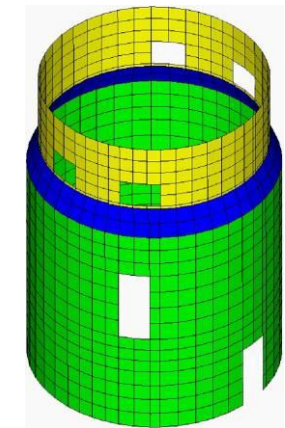
- ・海水注入に伴う腐食劣化等による構造強度低下を予測
→ デブリ取出しに向け今後想定される様々なプラント状態での機器・構造の健全性および余寿命を評価
- ・腐食抑制等の寿命延伸方策を確立すること
→ 上記評価で裕度の低い機器に対して必要に応じて適用

■ 課題

- ・キーとなる実機パラメータの取得や、実機状態が必ずしも明らかでない中での合理的評価条件の設定
- ・限られた評価時間内での材料劣化データに基づく長期健全性の予測



腐食試験状況と結果の一例（炭素鋼・低合金鋼）



PRVペデスタル
耐震評価モデル

燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発と課題（５）

■燃料デブリ性状把握・処置技術の開発

- ・燃料デブリ取出しに関する安全確保、取出し装置・保管容器開発等において必要となる、デブリの各種性状情報をあらかじめ推定
- ・取出し後のデブリの最終的な取扱い(End State)の選択の議論に向けた各取扱い方法の検討

■ 課題

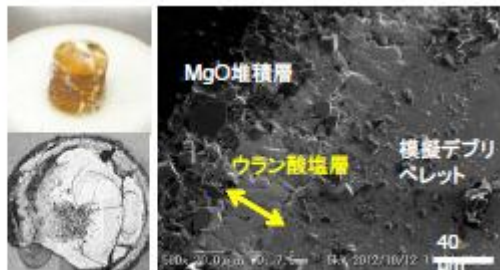
- ・ 1F事故に特有の条件の考慮（海水の影響等）
- ・ 1F実デブリサンプリングには時間が掛かる。
 - ・ TMI-2及びこれまでの過酷事故研究
- ⇒ ・ 事故進展解析と化学平衡計算の組合せ
 - ・ 模擬デブリの作製とその物性測定等の組合せによる性状推定が必要

試験結果の例

ペレット状模擬デブリを海水塩とともに加熱（空气中・1000℃・12h）



- ・ 表面にMgO堆積
- ・ 空気中ではCaのウラン酸塩層形成

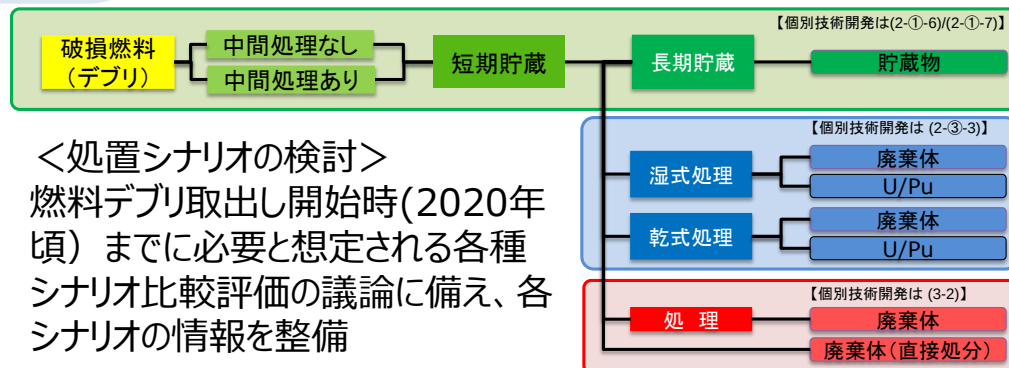


【模擬デブリと海水塩との高温反応試験】

【TMI-2で採取された燃料デブリの例】



【取出しに用いられるツール類の分類】



＜処置シナリオの検討＞

燃料デブリ取出し開始時(2020年頃)までに必要と想定される各種シナリオ比較評価の議論に備え、各シナリオの情報を整備

【処置（処理・処分）に関する選択肢（例）】

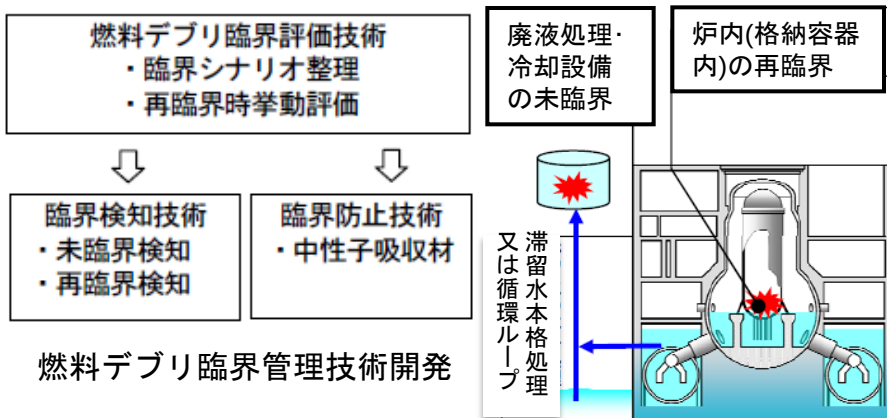
燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発と課題（6）

■ 燃料デブリの臨界管理技術の開発

燃料デブリの取り出し作業等の未臨界評価、ならびにモニタリング技術および再臨界防止技術（中性子吸収材等）等の臨界管理技術を開発する。

■ 課題

- ・ 臨界管理検討に必要なデータ要求と、最新情報の適宜反映による評価の精緻化
- ・ 作業時のモニタリング方法や、臨界時に必要となるほう酸量等、現場に対する臨界管理手法の提案
- ・ シナリオに基づいた臨界可能性の評価、合理的な臨界評価のための判定基準策定
- ・ 燃料デブリ取り出し、収納等の工法・設計に応じた臨界管理手法の設定



臨界検知技術の対象

中性子吸収材の検討例	
溶解性	五ほう酸ナトリウム等
非溶解性	吸収材：ほうケイ酸ガラス、B4C/SUS焼結体、ガドリニア等 バインダ：スラリー、ゲル、セメント、水ガラス等
	右：バインダ例 ゲル状吸収材 燃料デブリ

バインダ：燃料デブリに吸収材を吸着させる媒体

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発と課題（７）

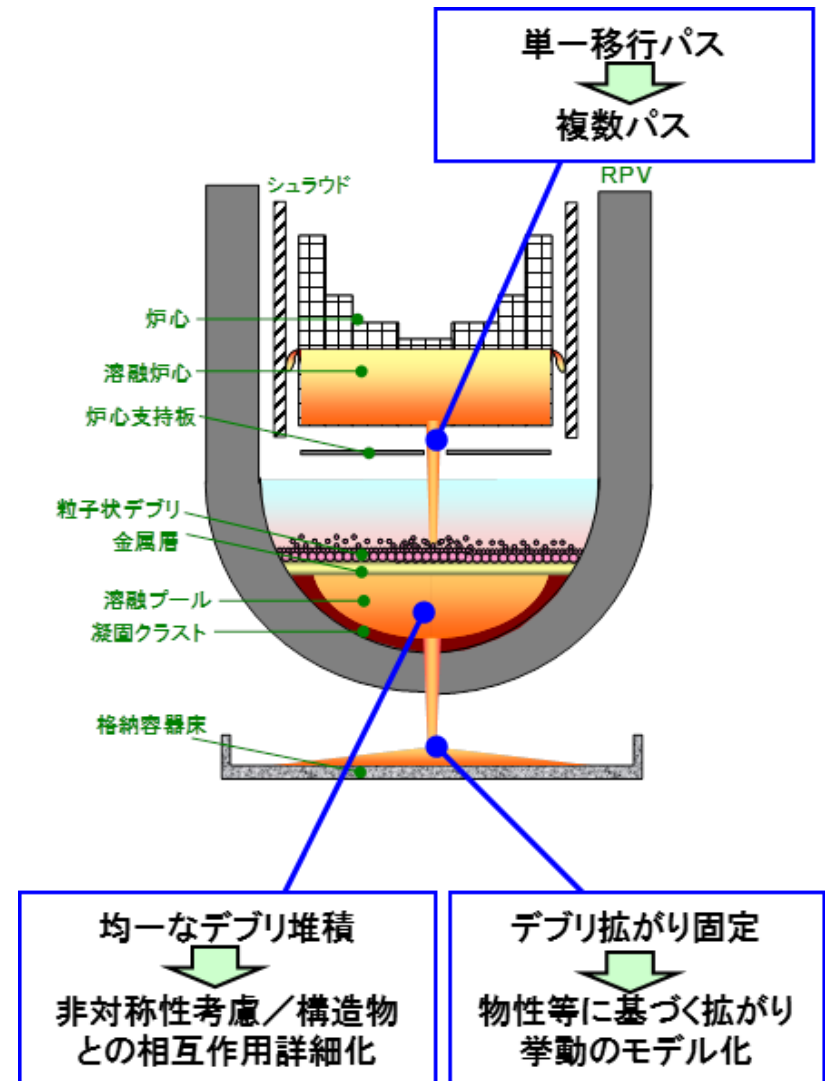
■過酷事故解析コードを活用した炉内状況把握

- ・現行の過酷事故解析コードによる事故進展解析を行い、実機パラメータとの比較やPIRTに基づき、コード改良項目を抽出し、事故進展解析コードの改良項目の高度化を行い、高度化した解析コードによる解析を活用し炉内状況を推定・把握する。

■課題

- ・モデル精度の向上
- ・PIRT作成過程での原子力学会との連携における議論やOECD／NEAのワークショップ等において、国内外専門家との議論には若手も参加し、技術力向上に寄与した。このような機会を継続して行っていくことが今後の人材育成に必要である。

注)PIRT(Phenomena Identification and Ranking Table)



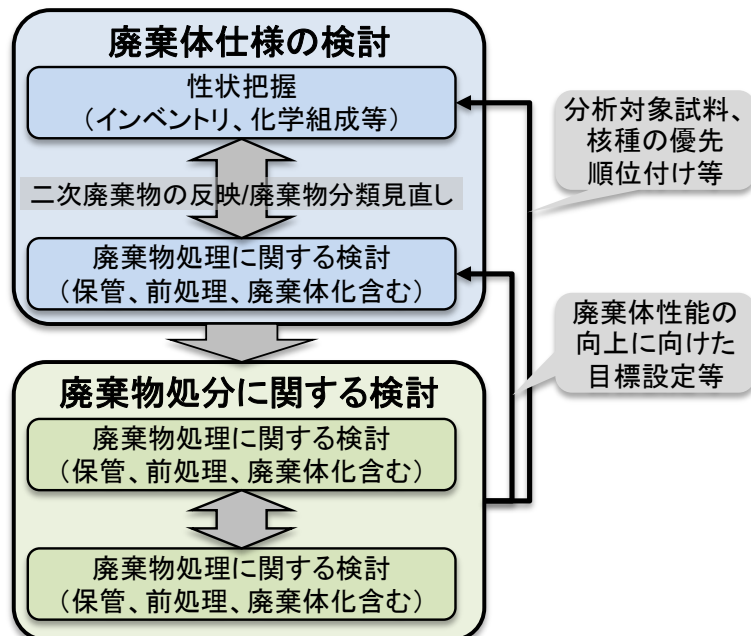
放射性廃棄物の処理・処分に係る研究開発と課題(1)

■放射性廃棄物の処理・処分技術の開発

放射性物質で汚染された物質に関して、性状把握、廃棄物処理に関する検討(長期保管を含む)、廃棄物処分に係る検討等を行い、処理・処分に係る安全性の見通しを得る。

■課題

- ・破損した燃料に由来した放射性核種の付着、海水成分の含有等、従来の原子力発電所で発生していた廃棄物と異なる特徴を持ち、事故により発生した放射性廃棄物には、国内で処理・処分を行った実績がほとんどないものも含まれる。



ガレキ <現場での試料採取>



伐採木



<廃棄物の固化技術の開発>



ジオポリマー

主にAlとSiで構成されるアモルファス状の無機系材料

- 特徴)
- ・金属イオンの閉じ込め性が高い
 - ・耐熱性がある

使用済燃料プール燃料取り出しに係る研究開発と課題（１）

■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

- ・海水注入及びガレキ混入の特異性を考慮した、長期にわたる燃料集合体の健全性を評価する手法の開発、長期保管方法の検討。

■ 課題

- ・SFPでの海水注入やガレキ落下等の影響を考慮した共用プールでの燃料部材腐食評価
- ・腐食等を考慮した燃料集合体強度評価手法開発
- ・環境履歴を考慮した乾式保管の評価項目検討、技術評価

構造健全性

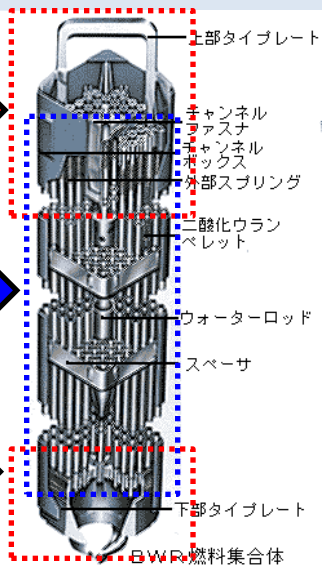
- ・ハンドル
- ・上部タイプレート
- ・タイロッドボルト締結部

被覆管密閉性

- ・燃料被覆管

構造健全性

- ・下部タイプレート



共用プール（湿式）保管時に懸念事象

- ・共用プール内での腐食

- ・材料因子

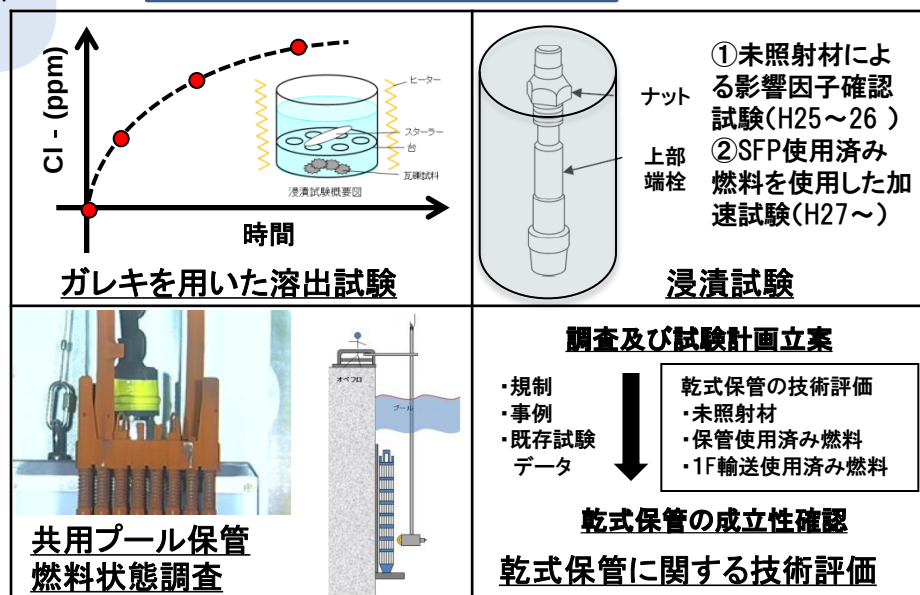
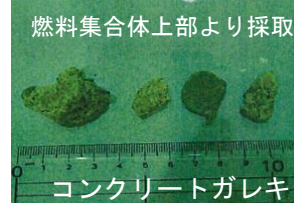
- ・炉内で使用中の照射履歴が材料特性に及ぼす影響
- ・ガレキ落下による新生面露出

- ・環境因子

- ・SFPから燃料とともに持ち込まれるガレキからの溶出

- ・海水成分
- ・コンクリート成分

- ・燃料破損部からのFP溶出



【構造健全性および被覆管密閉性の確保】

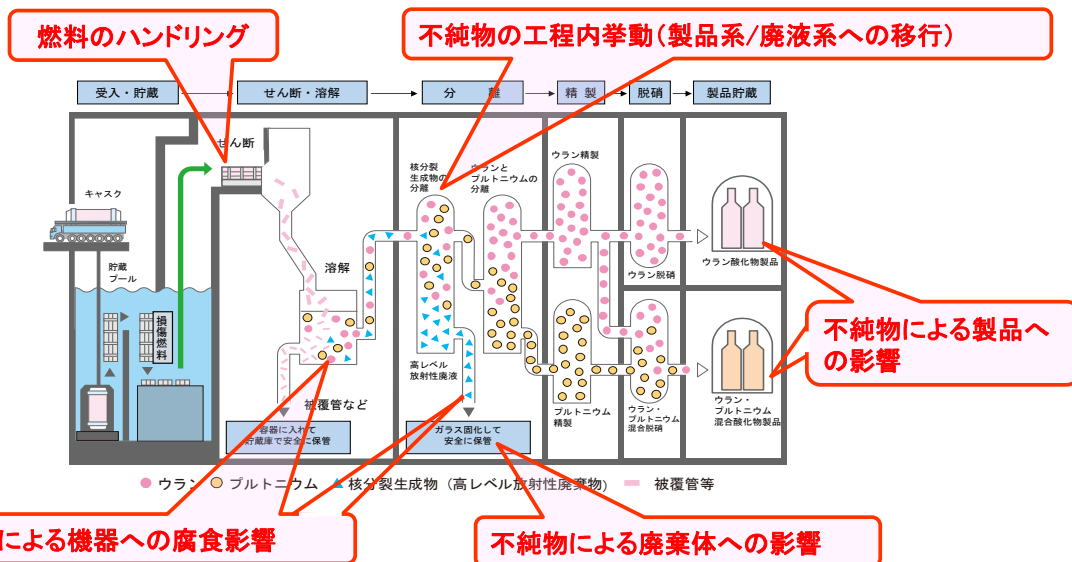
使用済燃料プール燃料取り出しに係る研究開発と課題（2）

■使用済燃料プールから取り出した損傷燃料等の処理方法の検討

- ・不純物の付着や損傷の可能性のある使用済燃料プール内燃料の再処理を想定した場合の課題の調査・検討と再処理可否判断に係る指標の検討

■ 課題

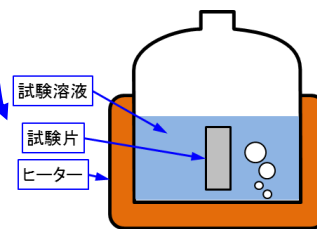
- ・落下したがれき等による機械的損傷等の影響の考慮
- ・塩分や使用済燃料の隙間等に入り込んだがれき等が材料の腐食、化学工程、廃棄物の性状等に与える影響の考慮



【海水及びコンクリートの硝酸溶解液】



【不純物の溶媒への移行の確認(イメージ)】



【不純物を含む溶液での腐食試験(イメージ)】



【不純物を加えたガラス固化体の試作(イメージ)】



【不純物の付着や損傷等のある使用済燃料が再処理工程に与える可能性のある影響】

国内外の研究機関・大学との連携強化（１）

■基盤研究ニーズの例

（燃料デブリ取り出し分野①：遠隔機器・装置等の開発・実証、運用）

- ・ 建屋内全域を電波障害を生じることなく伝わる無線システム
- ・ 電源ケーブルを使わずに遠隔給電できる装置（気中、水中）
- ・ 超高線量下において使用可能な軽量小型カメラ
- ・ 超低消費電力型センサーの開発（水位計、温度計等）
- ・ 狭隘部への移動が可能な小型装置の開発（２～３ｃｍレベル）
- ・ 放射線源の特定・可視化する軽量小型カメラ（高精度）

国内外の研究機関・大学との連携強化（２）

■ 基盤研究ニーズの例

（燃料デブリ取り出し分野②：格納容器・建屋等の健全性・信頼性確保）

- ・ 実験室レベルの評価と実機事象の乖離の説明・解消に繋がる劣化メカニズムに立脚した検討

例）腐食試験における試験片サイズや評価期間（加速試験）の影響など

- ・ 原子炉建屋シェル壁のように高温を受けた鉄筋コンクリート構造物の健全性評価手法
 - － 高精度の評価には、鉄筋の拘束や、円筒形の形状による拘束効果など、実規模レベルでの特性を踏まえた検討が必要。
 - － 既往の研究で小規模部材実験のデータはあるものの、そのデータから現地サイトでの温度レベルを受けた実際の部材の剛性低下等を把握することは困難な状況。

国内外の研究機関・大学との連携強化（３）

■ 基盤研究ニーズの例

（燃料デブリ取り出し分野③）：

燃料デブリ保管・管理、性状把握、炉内状況把握のための事故解析）

- ・ オンサイト情報からの状況把握
（燃料デブリの相状態や核分裂生成物の熱力学的評価に必要な熱力学データの拡充等）
- ・ 燃料デブリ生成条件と相・組織・空隙率の関係に関する評価技術
- ・ 燃料デブリ収納時における脱水・乾燥技術の開発

国内外の研究機関・大学との連携強化（４）

■基盤研究ニーズの例

（放射性廃棄物処理・処分分野：

放射性物質の核種分析、放射性廃棄物管理・処理・処分

（分析技術）

- ・ 難測定核種の定量分析技術
- ・ 高線量サンプルの分析技術
- ・ 残存デブリの定性・定量分析技術

（廃棄物処理技術）

- ・ 減容処理方法の開発（破碎・焼却以外の革新的手法など）
- ・ ストロンチウムを含む汚染土壌の保管、安定化処理、最終処分技術
- ・ シアン化合物など各種化学物質の安定化処理技術
- ・ 合理的なインベントリ評価手法の開発（解析的手法に基づくアプローチも含む）