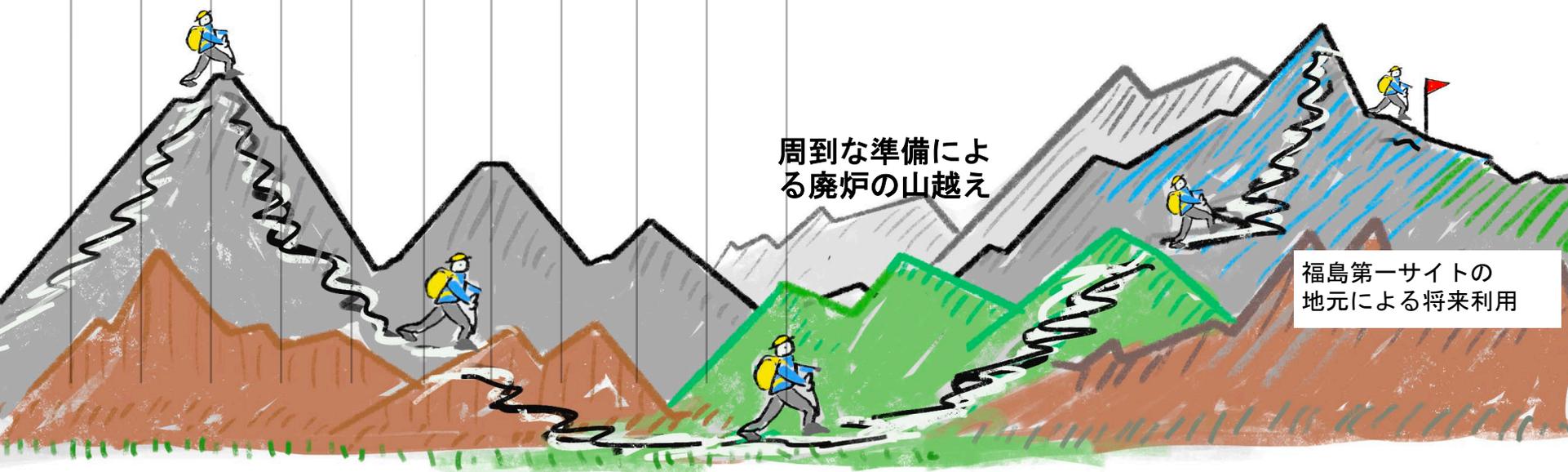
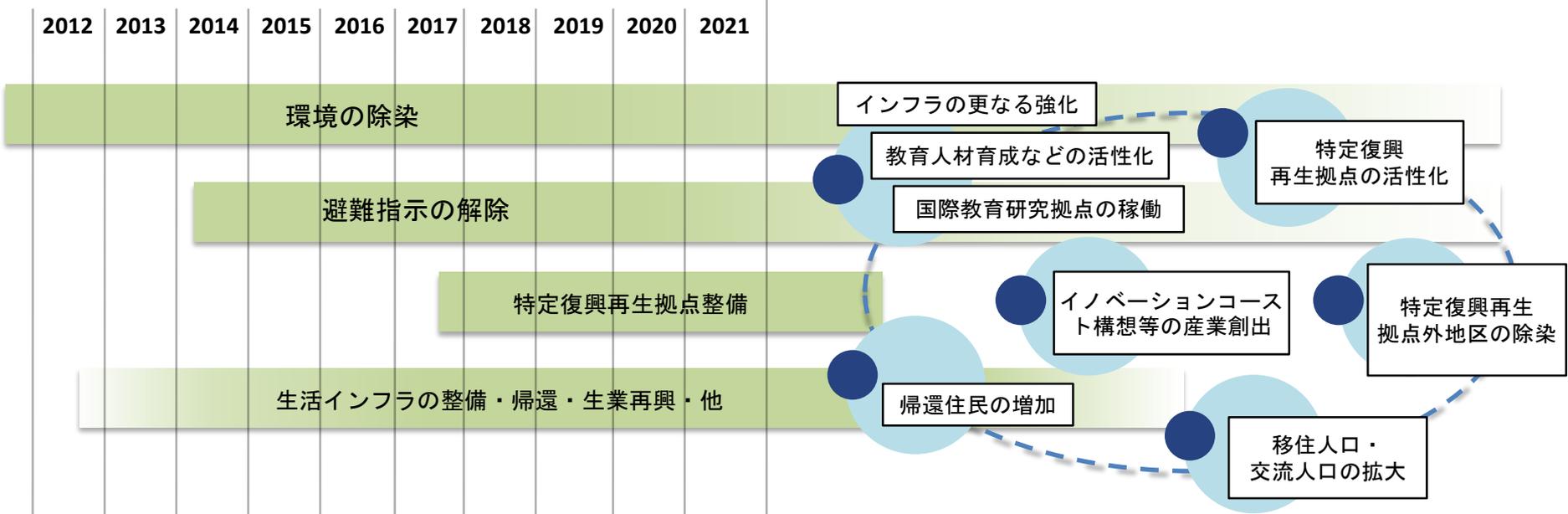




次の10年、廃炉の取り組みに 何が求められるか

— 技術的観点から —

2011 → 2021 → 2050



国際的に考えられている事故炉の廃炉工程 (IAEA NW-T-2.7) 任意の安全保管



中長期ロードマップ

2011年3/11から	2011年12月	2013年11月から	2022年頃から	2031年頃から
事故 初期	第1期	第2期	第3期 第3期—①期	第3期—②期
<ul style="list-style-type: none"> ●冷温停止 ●放射性物質放出の大幅な抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ●初号機の使用済燃料取出し開始まで 	<ul style="list-style-type: none"> ●初号機の燃料デブリ取り出し開始まで 	<ul style="list-style-type: none"> ●第2期終了～廃止措置終了まで 目標はステップ2完了から30～40年後 	

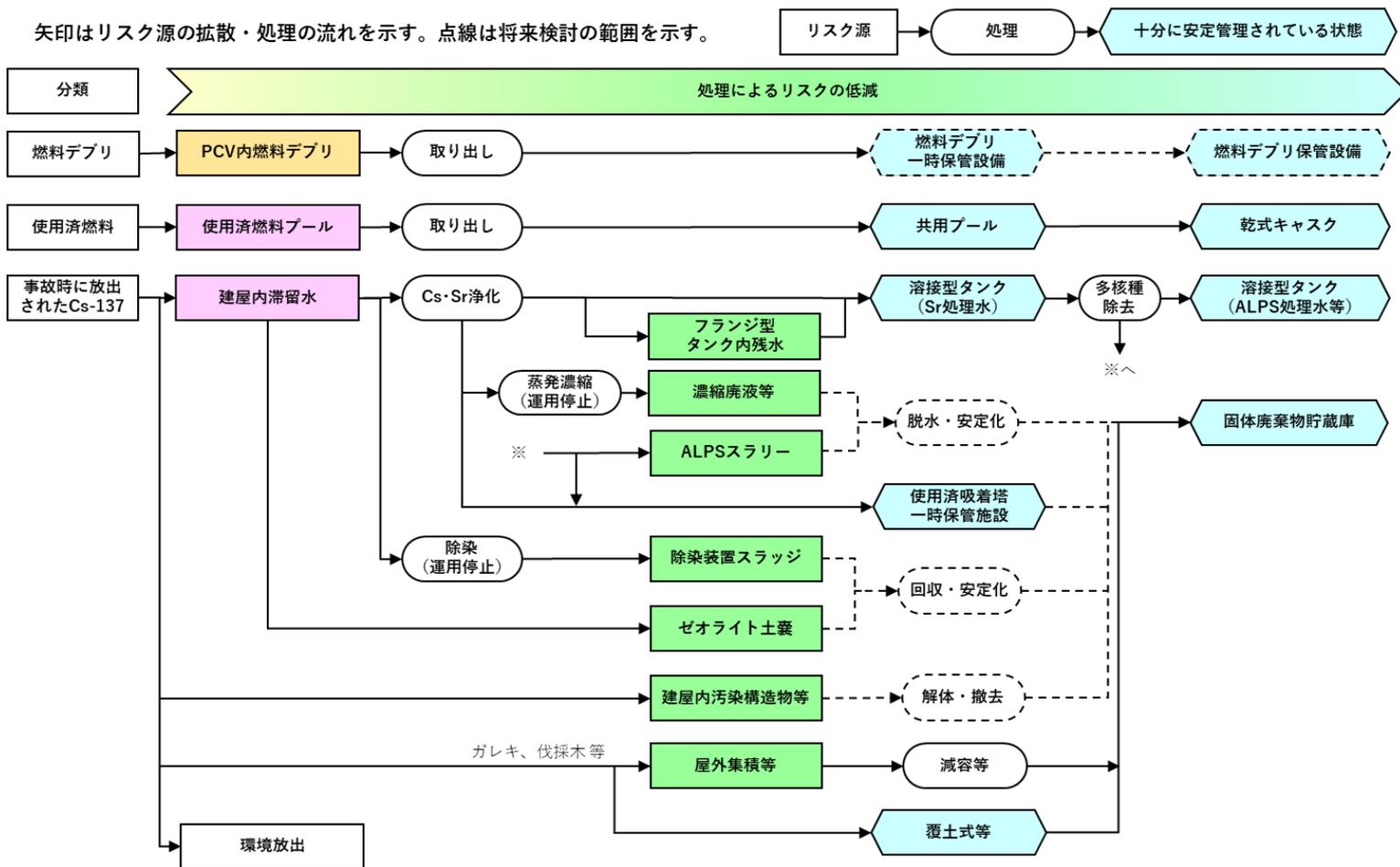
- 原子炉の内部調査
- 燃料デブリ取出しの研究開発・工法検討
- 建屋内滞留水処理
- 3・4号機使用済燃料取出し
- 1・2号機使用済燃料取出し準備

- 1～6号機の使用済燃料取出しの完了
- 燃料デブリの試験的取出しに着手
- 段階的に取出し規模の拡大を進める。
- 汚染水発生量を最小限に減らす
- 廃棄物の保管を進める

原理的な特徴	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不定形な核燃料物質 ⇒ 臨界安全確保や放射線安全確保に対する特別な考慮が必要 2. 対象物の性状や状況が十分に把握できていない ⇒ 調査確認と工法の設計が並行して行われ、大きな不確実性の存在を前提とした取組が必要 3. 段階的に安全や状況を確認しながら、作業や設計を柔軟に修正しながら進める 4. 物理事象だけでなく、化学事象（水素発生や酸素による酸化・分析）への配慮が必要 5. 安全や工法に関わる基礎的なデータや現象の理解が不足 ⇒ 基礎基盤的な取組が必要 6. 回収対象物、廃棄物、施設などの経年劣化があり得る 7. 燃料デブリ・固体廃棄物 ⇒ 性状確認が必須・特殊な分析やセンサー等が必要となる
施設条件面での特徴	<ol style="list-style-type: none"> 1. 複数の損傷施設が対象 ⇒ 全体プログラムの計画や技術的な条件が複雑 2. 放射能の閉じ込めの確保 ⇒ 作業時の閉じ込め強化や機動的対応が必要となる 3. 作業エリアの放射線率が高い ⇒ 遠隔装置の利用が必須 4. 狭隘・複雑・水没状態、その他 ⇒ アクセス性の制限が極めて大きい 5. 放射性ダスト発生の可能性 ⇒ 作業員や環境保護を優先重視 6. 計装系の設置場所や測定内容に限界（最適な監視が難しい） 7. 機械装置等に対する使用環境（放射線量率・ダスト・湿気・温度・腐食条件等） 8. 地下水や雨水などの気象条件による大きな影響 9. 同様の先行例や適用可能な既存技術に限りがある 10. 損傷施設（原子炉）に対する特別な安全規制の適用 11. 地域住民や全国的な関心が強く、特に地域の住民の皆さんの安心を確保することに特別な配慮が求められる

（山名 元、日本機械学会誌 2021/4 Vol.124より作成）

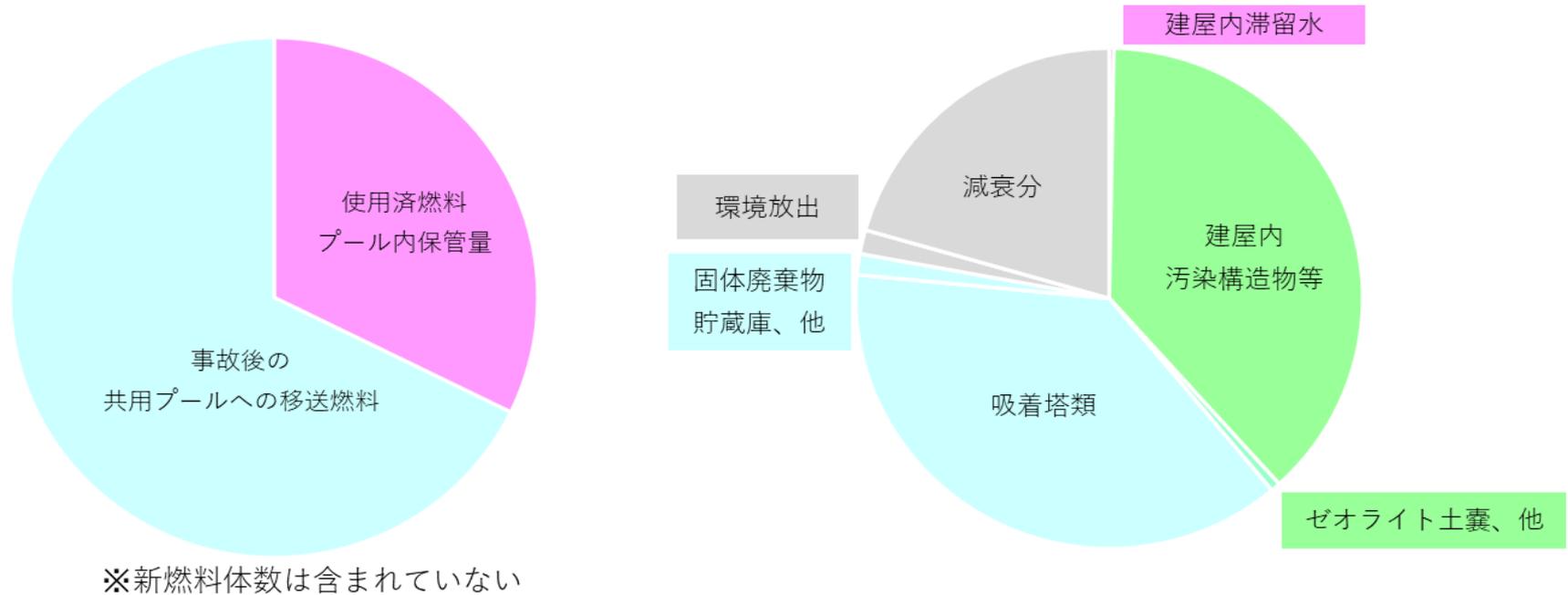
- 主要なリスク源のリスク低減プロセスとそれに沿った廃炉作業の進捗のひとつの表し方を提示 (事故時からのリスク源の移行プロセスを可視化)



(a) リスク低減プロセス

(技術戦略プラン2021より作成)

- 各リスク源に対し、事故当初に比べ、十分に安定管理されている領域（水色）への移行状況（どの程度の割合）を提示



(b) 使用済燃料の燃料集合体体数
(1号機～4号機)

(c) 事故時に放出された Cs-137 の放射能
(1号機～3号機)

図 主要なリスク源のリスク低減プロセスとその進捗（2021年3月時点の例示）

（技術戦略プラン2021より作成）

- 2021年度頃までを目処に示すとしていた、「固体廃棄物の処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通し」について、以下目標を達成したため技術戦略プラン2021で提示
 - a. 固体廃棄物の物量低減に向けた進め方を提示
 - b. 性状把握を効率的に実施するための分析・評価手法を開発
 - c. 性状把握等、必要な情報が判明した際に、固体廃棄物の安全な処理・処分方法を合理的に選定するための手法を構築

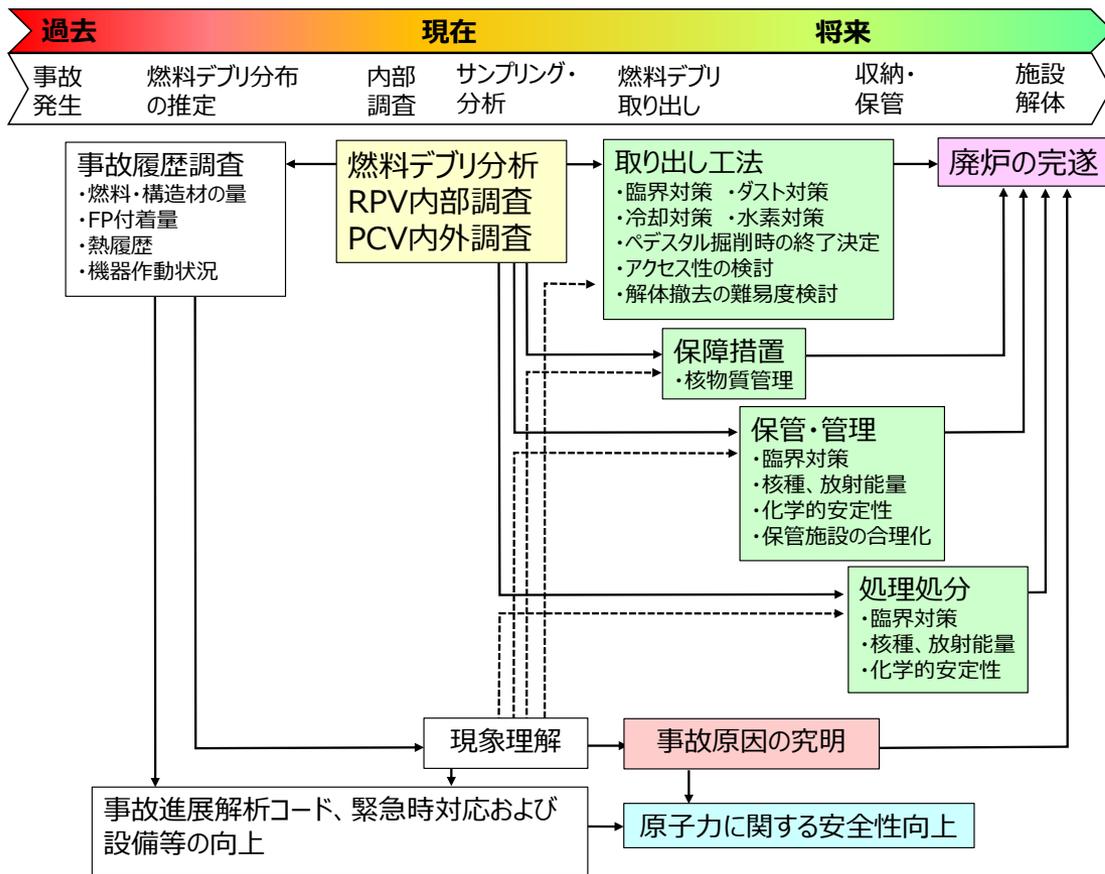
■ 廃棄物対策に係る今後の戦略

- ✓ **性状把握** 対象とする固体廃棄物とその優先度、分析の定量目標等を定める中長期的な分析戦略を策定し、それに基づいて分析・評価を進めることが重要
- ✓ **保管・管理** リスクに応じて保管・管理状況のモニタリングやサーベイランスを続けながら必要な情報を得つつ、測定項目・測定時期等を見直していくことが重要
- ✓ **処理・処分** 安全かつ合理的となる処理・処分方策の構築を目指し、個別廃棄物ストリーム※毎の最適化の知見を幅広く得るため、一連の検討に必要となる処理技術、処分技術の研究開発に継続して取り組む必要

※ 廃棄物の種類毎に、その発生・保管から処理・処分までの一連の取扱いを示したもの

(技術戦略プラン2021より作成)

燃料デブリ分析の展開



(技術戦略プラン2021より引用)

分析に伴う困難さ

- 事故炉内部状況が不明
不確実性の高さ
対象物質の性状が未確認
- サンプル量が限定
- 高い適時性が求められる
- 分析量が膨大になる可能性
- 高放射性/高線量の試料が多い
- 微量(極低濃度)不純物の検出
- 放射化学的に難検出の対象核種の存在
- 難溶解性固体試料が多い
- 分析操作者の分析技能依存の限界
- 同位体確認の必要性
- マイクロな分析の必要性
- 環境試料と生体試料の分析

分析の形態

- 定量分析(固体・液体・気体)
- 定性分析(固体)
- 固体試料の相観察と性状解明(含化合物同定)
- 液体試料中溶存種同定
- 同位体比測定
- 状況に応じた非破壊分析
- 限定試料分析結果からの全体推計(統計推定)

■ プロジェクト管理

- 安全を組織文化として定着させるための社員一人一人が安全を体系的に学ぶ教材と機会
- オーナーズエンジニアリング能力の向上
 - ✓ 工程リスクの評価・管理能力の向上
 - ✓ 取得マネジメント能力の向上（開発から製造、運用保守までも考慮して「モノを作り上げていく」ことで“最終成果（製品や成果物）を取得”する等）
 - ✓ 計画・設計/保全・運転を自らが行える力をつける手の内化の推進
- 廃炉事業を円滑に遂行していくための人材の育成・確保
 - ✓ 中長期人材育成計画の作成と計画的な実施等

■ 安全オペレータ視点

- 事故炉である福島第一の廃炉は、その安全確保に当たって安全上の特殊性を十分認識し、「安全視点」、「オペレータ視点」に十分留意
 - ✓ 安全視点：確実な安全確保を検討の起点、最適な安全対策（ALARP※）を判断
 - ✓ オペレータ視点：現場を熟知し現場で操作や作業等を行う立場からの着眼・判断等

※As Low As Reasonably Practicableの略。

放射線影響を合理的に実行できる限り低くしなければならないというもの

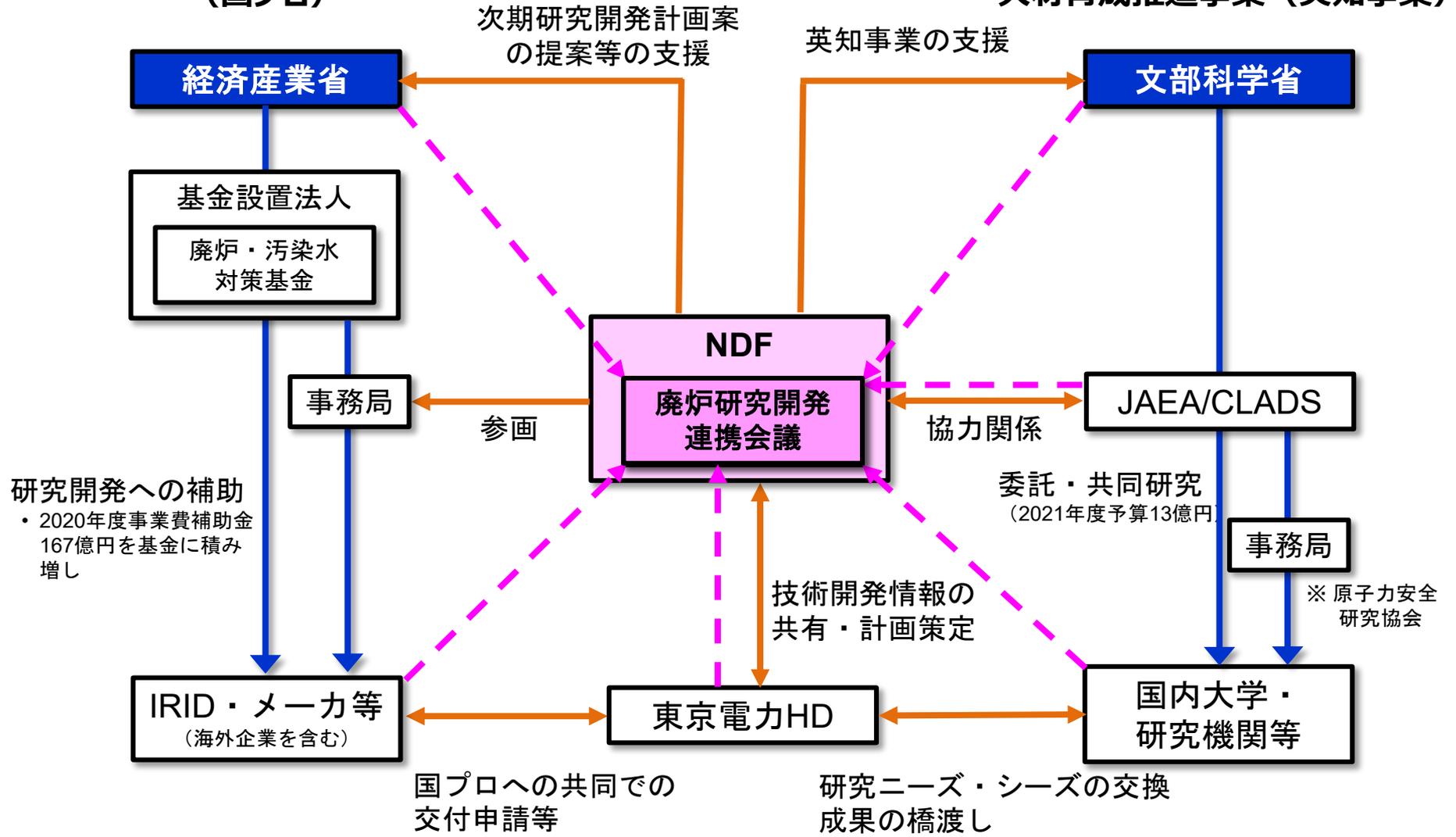
■ 東京電力/廃炉技術開発センター

- 今年8月に設置された廃炉技術開発センターにより、廃炉事業の進捗に伴って生じる技術的課題に対し、新たな知見を調査し、現場の状況に即した技術開発を一元的に進める

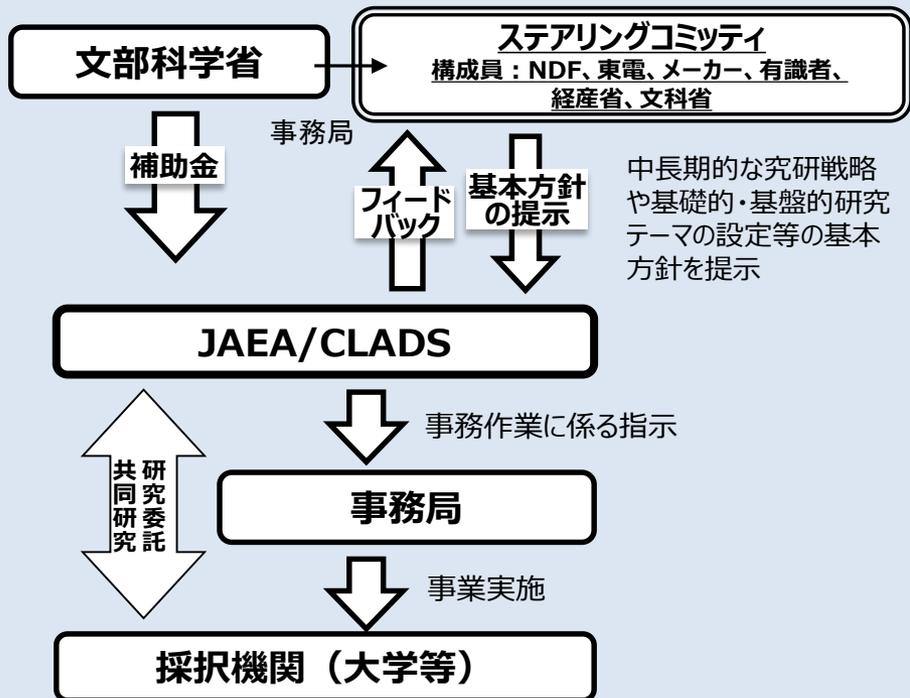
（技術戦略プラン2021より作成）

廃炉汚染水・対策事業
(国プロ)

英知を結集した原子力科学技術・
人材育成推進事業(英知事業)



（H30採択分～）英知事業（CLADS補助金）



PD及びPO

プログラムディレクター（PD）

山名 元 原子力損害賠償・廃炉等支援機構 理事長

プログラムオフィサー（PO）

【基盤】阿部 豊 筑波大学副学長・教授

【課題】石川 真澄 東京電力HD株式会社福島第一廃炉
推進カンパニー（廃炉技術担当）

【課題】小山 正史 電力中央研究所首席研究員

【国際】寺井 隆幸 東京大学大学院工学系研究科名誉教授

【人材】

【基盤】山本 章夫 名古屋大学大学院工学研究科教授

さらに、CLADSによるJ-PO体制の導入により、POと連携して研究をサポートする体制を強化

① 課題解決型廃炉研究プログラム【課題】 ⇒令和2年度以降重点化

廃炉現場の課題解決に資する研究開発を推進

② 国際協力型廃炉研究プログラム【国際】

国際共同研究により国外の知見を廃炉に向けて取り込むための研究開発を推進

（現状は、日英共同研究、日露共同研究が進行）

③ 共通基盤型原子力研究プログラム【基盤】 ⇒令和2年度以降新規採択を終了

廃炉を含む原子力の課題解決に資する基礎研究を推進

④ 研究人材育成型廃炉研究プログラム【人材】

JAEAと大学が連携ラボを設置し、廃炉研究を支える人材育成を推進

福島第一の Unknowns

- 現場の状況や起こっている現象や施設内状況が十分に把握できていない状況
- 事故施設での現象や反応等の原理や原因が十分に同定できていない状況
- 対象物質の性状や成分が未解明な状況
- 安全評価に必要なパラメータや反応特性が同定できてない状況
- 特殊な装置の性能や耐久性に関して、実際の過酷条件場での実証経験が少ないこと



東電による廃炉の実行

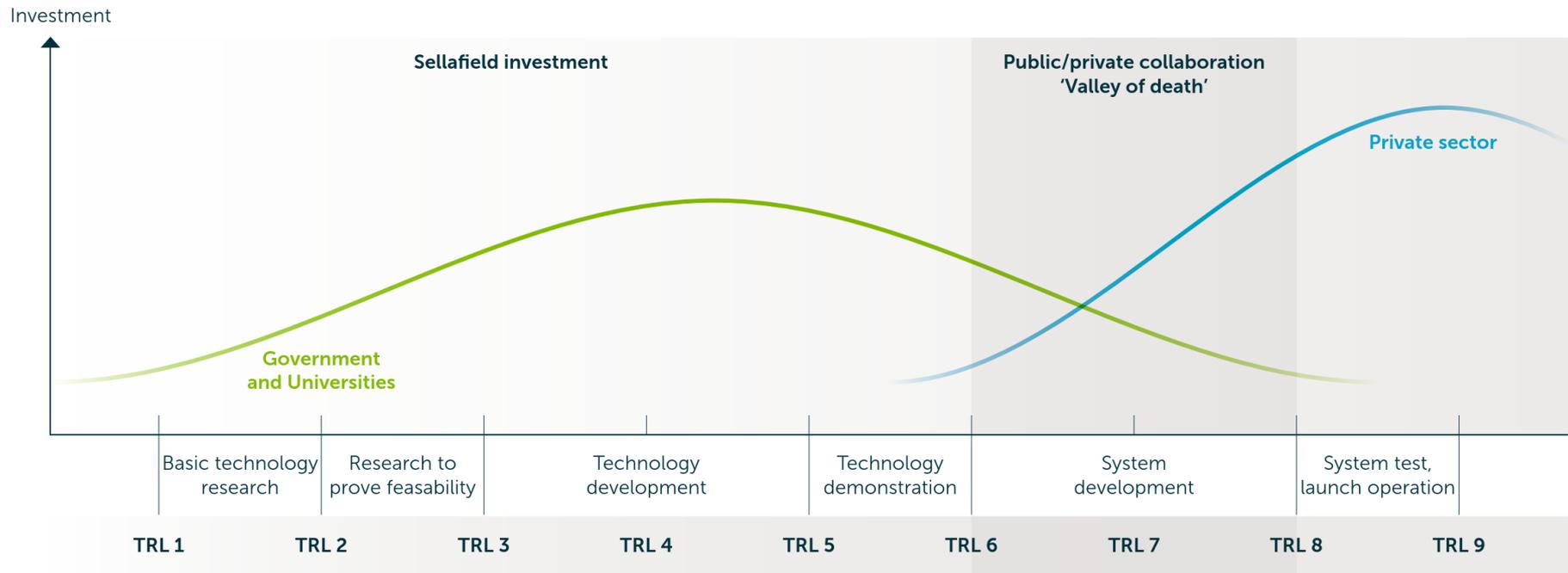
東電が、主体的なエンジニアリングや調達先（メーカー等）との契約を介して“本格的デブリ取出し”を進める際に、必要ながら現状で不足している「基礎的知見・データ・新技術・分析力、実現場経験」等が、実装を強く意識した上でタイムリーに提供されれば、廃炉を「迅速・安全・確実・合理的」に実施できる



原子力機構のポテンシャル

- 物理・化学等の科学原理を熟知している基礎学術能力
- 特殊な実験装置等を用いて実験研究や調査研究を行える能力
- 放射性物質や関連対象系の反応や応答の特徴やメカニズムを熟知
- 放射性物質・核燃料物質を扱う施設や設備を保有し、その安全な運用の豊富な経験を有すること
- 放射性物質・核燃料物質の取り扱いに係わる規制対応などの、施設や設備の安全確保の道筋や手法に関わる豊富な経験
- 新たな実験装置等を考案する能力
- 研究を通じた大学等の学術界との交流チャンネルや人脈
- 福島第一と類似の廃止措置やレガシー対応に取り組んでいること
- 事故解析や安全向上研究の経験

イノベーションの実現



- 原子力の分野でTRL 2～6と評価される新しい技術を発掘、育成するために“Game Changers”プログラムを運用。
- TRL 6とTRL 8/9の間のギャップ（新技術にとっての障壁）を超えるために、インアクティブ、アクティブの大規模なデモンストレーションが可能な施設、プログラムを設置。