

福島第一原子力発電所の廃炉 燃料デブリ取出しと将来の見通し

第7回福島第一廃炉国際フォーラム

2023年8月28日

山名 元

原子力損害賠償・廃炉等支援機構 理事長
京都大学名誉教授

福島第一発電所サイトの現状



Photo : REUTER, May 19, 2022 (<https://www.reuters.com/world/asia-pacific/japan-nuclear-regulator-grants-initial-nod-fukushima-water-release-plan-2022-05-18/>) (Originally taken by Kyodo on Mar 17, 2022)

福島第一発電所廃炉の経緯

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
事故発生(2011/3/11)	●												
汚染水対応	● 海水トレンチからの漏洩停止 ● KURIONの設置 ● SARRY の設置		● ALPS 処理の開始		● 高汚染水処理の完了			● 凍土壁の運用開始					
ALPS-処理水対応								政府による海洋放出の基本方針決定 ●			ALPS処理水の海洋放出計画の承認 ●		海洋放出設備の設置完了 ●
原子炉内部調査		● 2号機ペネトレーションからのカメラ挿入観察 ● 1号機ペネトレーションからのカメラ挿入観察			● 1号機のミュオン観察		● 3号機ペネトレーションからのカメラ挿入観察	● 2号機のミュオン観察	● ROVによる3号機格納容器内水中観察	● 2号機格納容器内のカメラ吊り下げ観察		● ROVによる1号機格納容器底部の観察(ペダスタル等)	●
使用済燃料取出し					● 4号機からの使用済燃料取出し完了			● 3号機からの使用済燃料取出し完了		● 1,2号機の使用済燃料取出し用の大型構台の設置工事開始			
放射性廃棄物対応			● 雑固体焼却処理設備の運用開始			● 増設雑固体焼却処理設備の運用開始		● 固体廃棄物貯蔵庫第9棟運用開始	● 大型廃棄物保管庫第1棟建設開始		● 大型機器除染設備運用開始	● 減容処理設備工事開始	
組織の変更		● 廃炉推進カンパニ設立					● プロジェクト管理型組織に改編		● デコミテック社設立				

$$\text{放射線リスク} = \text{潜在的影響度} \times \text{管理重要度}$$

サイトのリスク状態を積極的に改善

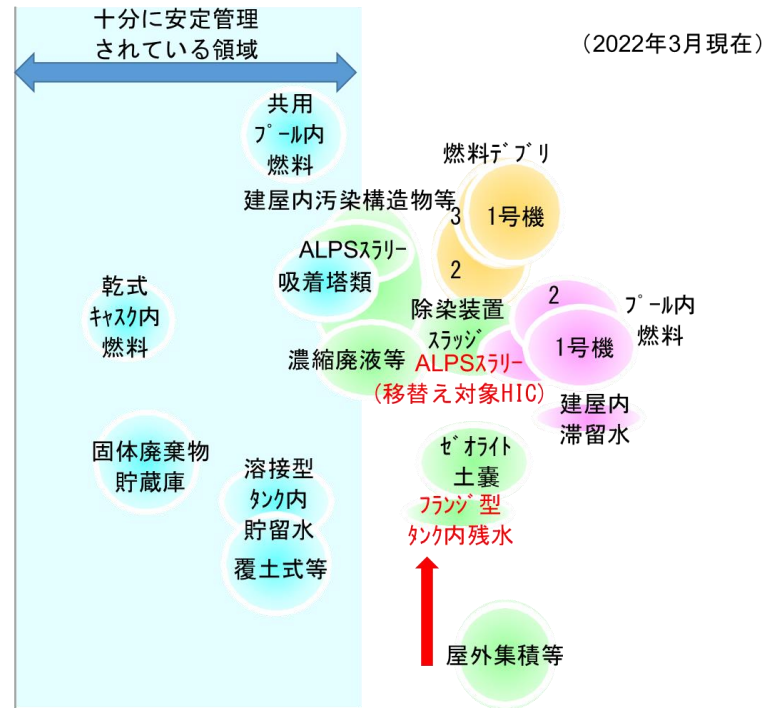
潜在的影響度の低減(制御しやすい形体に転換)

性状因子の改善	気体・液体・粉体等を固体に転換
制御因子の改善	発熱性・腐食性・反応性・臨界性等を低減

管理重要度の低減(閉込めや異常時対応性を改善)

閉込め性の改善	閉じ込め能力の強化
リスク源の長期安定性の改善	不活性化・安定化・監視可能性強化・ハンドリング可能性の改善

潜在的影響度(対数)
(放射性毒性量・性状因子・制御因子を包含)




管理重要度(対数)
(施設閉じ込めの脆弱性・リスク源の長期不安定性を包含)

図 SEDによるリスクのプロファイル

NDF技術戦略プラン2022より引用

原子力規制委員会による中期的リスク低減の指示

原子力規制委員会が「中期的リスクの低減目標マップ」を公表して、東電に適切なアクションを求めてきた。

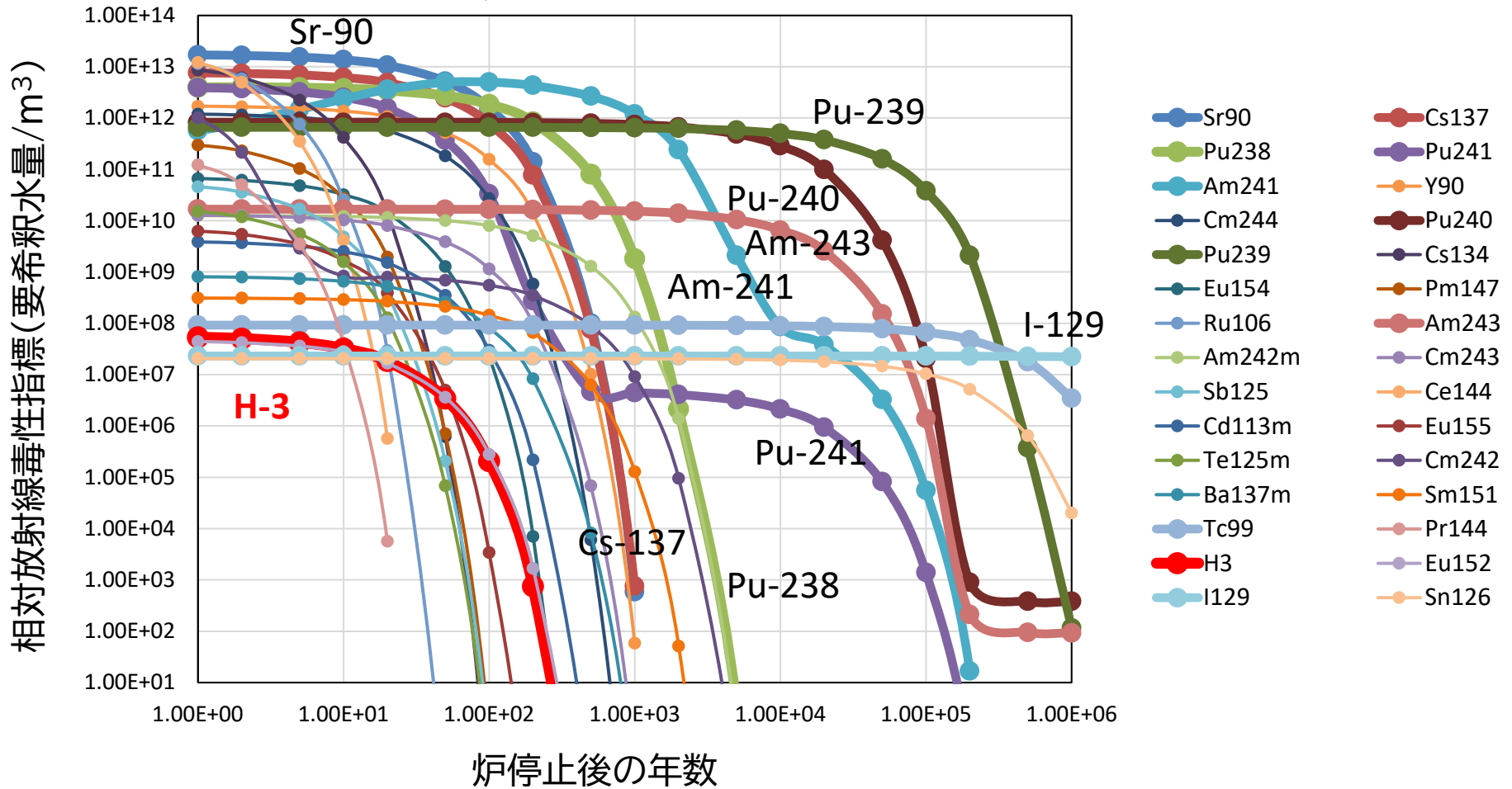
	2023～2025	今後の更なる目標(2026～34) 
固形状放射性物質:優先して取り組むべきリスク低減に向けた分野(燃料デブリを除く)	<ul style="list-style-type: none"> •水処理廃棄物等(不安定なもの) •建屋解体物等(今後新たに生ずるもの) •瓦礫等(これまでの廃炉作業によるもの) •核種分析 	<ul style="list-style-type: none"> →より安定な状態への移行 →区分と適切な保管・管理 →適切な保管・管理への移行 →分析施設の設置と分析能力確保
固形状放射性物質以外の主要な目標	<ul style="list-style-type: none"> •液状の放射性物質 •使用済燃料 •外部事象等への対応 •廃炉作業を進める上で重要なもの 	<ul style="list-style-type: none"> →液体状廃棄物の全量処理 →全使用済燃料の乾式保管 →建屋構築物等の劣化や損傷状況に応じた対策を講じる →処理水の計画的な放出 燃料デブリの安定な状態での保管

これらの「中期的リスクの低減目標」に沿って、サイトの短中期のリスクを抑制しつつ、より長期のリスクを低減するための、「燃料デブリの回収と保管」や「放射性廃棄物の処理と処分」に向けた取組を、徐々に本格化させる必要がある。

原子力規制庁資料(R5年2月1日)を簡略化して作成

使用済燃料中放射性毒性の経時変化

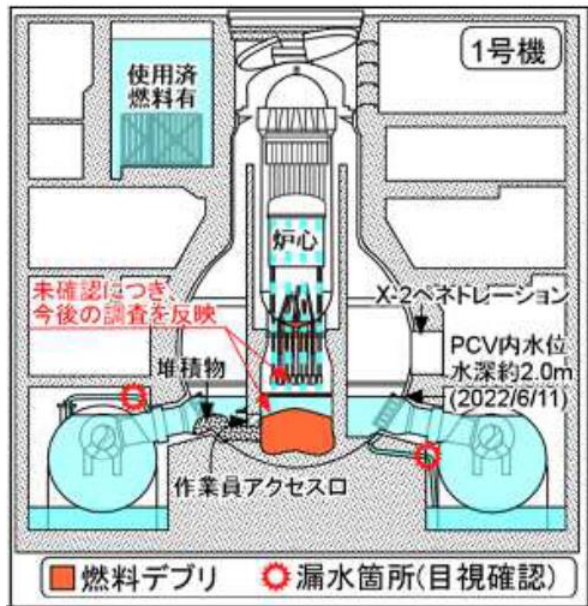
将来の“受動的低リスク状態”の確保を目指し、
燃料デブリの回収・隔離を実施



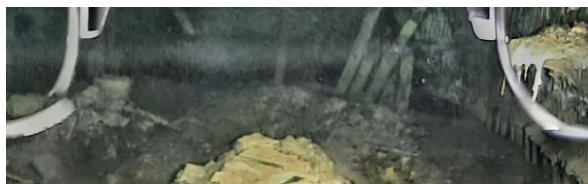
JAEA-Data/Code 2012-018 (K. Nishihara et al.)より作成

燃料デブリの存在状態(推定および観察)

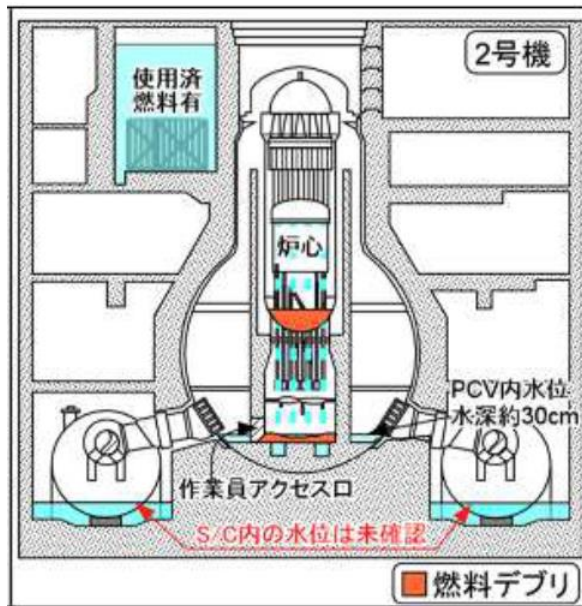
1号機



1号機PCVペダスタル内(2022-2023)



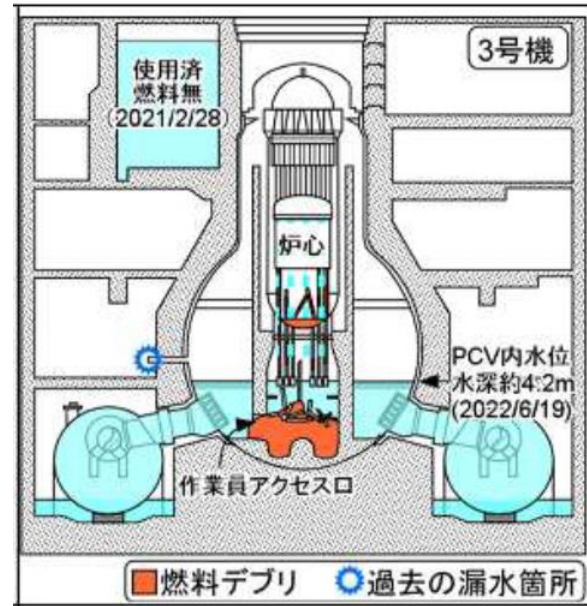
2号機



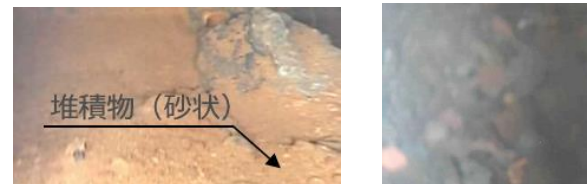
2号機PCVペダスタル内(2018)



3号機



3号機PCVペダスタル内(2017)



2015年実施MAAPによる事故進展解析結果

RPV内	炉心部 (t)	0
	RPV底部 (t)	15
PCV内	ペダスタル内側 (t)	109(78)
	ペダスタル外側 (t)	33(52)
合計 (t)		287

RPV内	炉心部 (t)	0
	RPV底部 (t)	25
PCV内	ペダスタル内側 (t)	92(37)
	ペダスタル外側 (t)	102(4)
合計 (t)		260

RPV内	炉心部 (t)	0
	RPV底部 (t)	25
PCV内	ペダスタル内側 (t)	103(51)
	ペダスタル外側 (t)	96(6)
合計 (t)		281

2011 ————— 2020 ————— 2030 ————— 30～40年を目指す →

事故後状態安定化

使用済燃料回収完了:2030年前頃

廃棄物保管・使用済燃料回収・汚染水管理・原子炉調査・技術開発

燃料デブリ取出しの準備(試験的取出しから段階的な取出し拡大)

燃料デブリ取出し本格化

建屋の解体等

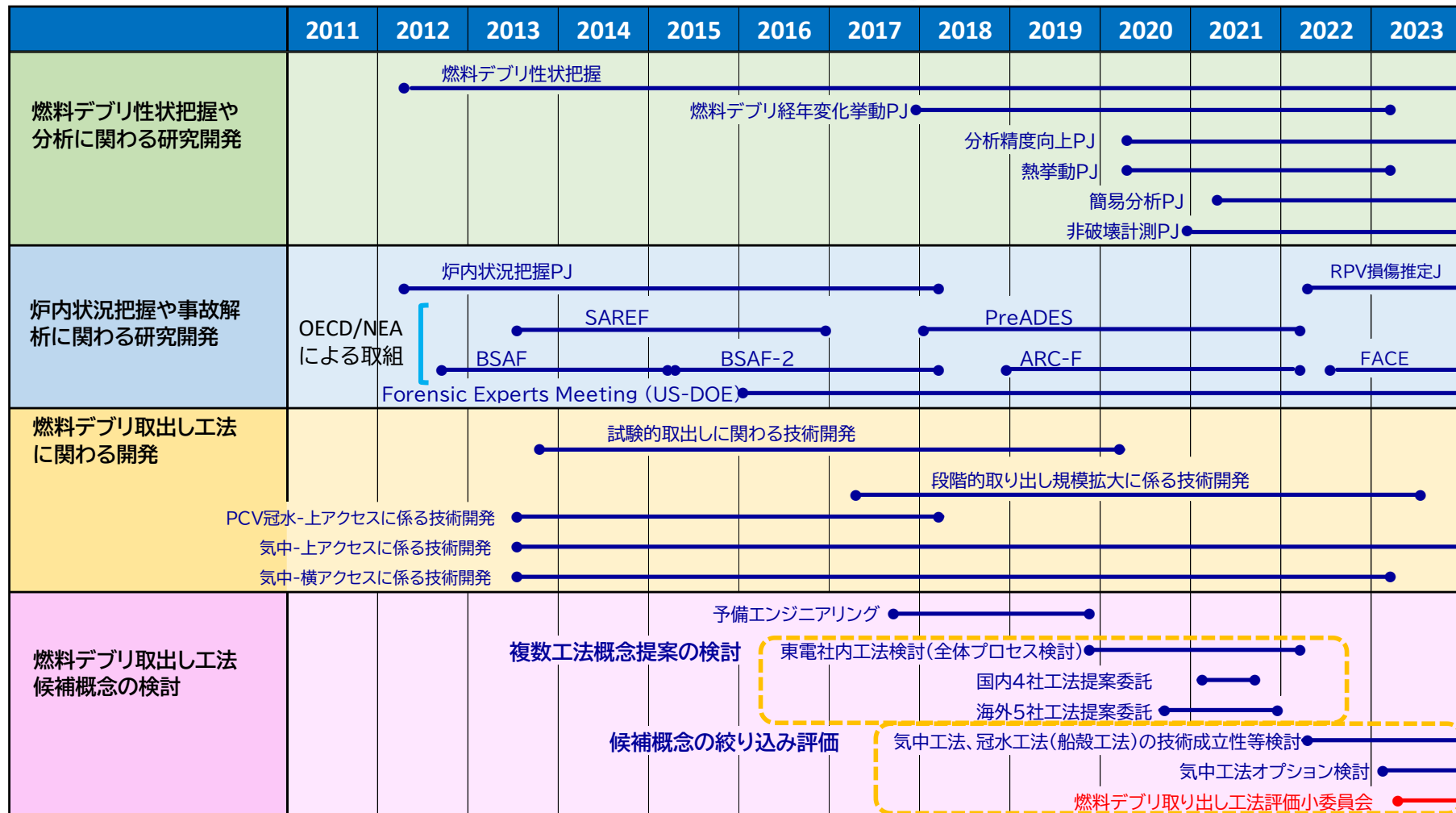
放射性廃棄物調査・技術研究・管理保管・減容・処理・処分等

- ✓ 1号機の使用済燃料取出し開始: 2027～2028年度
- ✓ 2号機の使用済燃料取出し開始: 2024～2026年度
- ✓ 燃料デブリ取出し: 2021年内に開始
(コロナ影響・安全確保のため2023年度後半目途)
- ✓ 原子炉建屋滞留水を2020年末の半分に低減: 2022年度～2024年度

燃料デブリ取り出し検討の経緯

NDF、気中工法に軸足を置くことを提案

RMにて初号機を2号機と決定



IAEA GSR (General Safety Requirement) Part 6 (施設の廃止措置)

本出版物に規定されている要件の多くは、事故が生じた後の若しくは施設の重大な損傷または汚染に帰着する状況が生じた後の、あるいは単に予定より早い施設の運転(操業)停止後のにも適用する事が出来る。

要件1： 廃止措置における防護の最適化及び安全

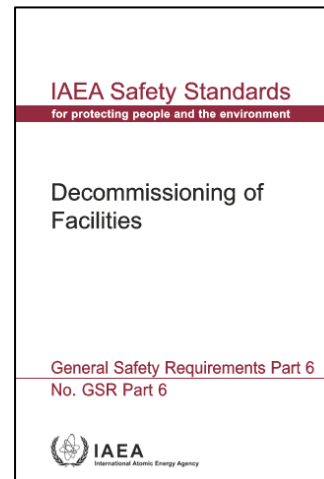
廃止措置における被ばくは計画被ばく状況とみなされなければならない。基本安全基準の関連要件が廃止措置において適切に適用されなければならない。

要件2： 廃止措置における等級別扱い(グレーデッドアプローチ)

廃止措置の範囲及び詳細度のレベルを決定する際には、考え得る放射線リスクの規模と整合するように、廃止措置のあらゆる側面に対して等級別扱いが適用されなければならない。

要件3： 廃止措置のための安全の評価

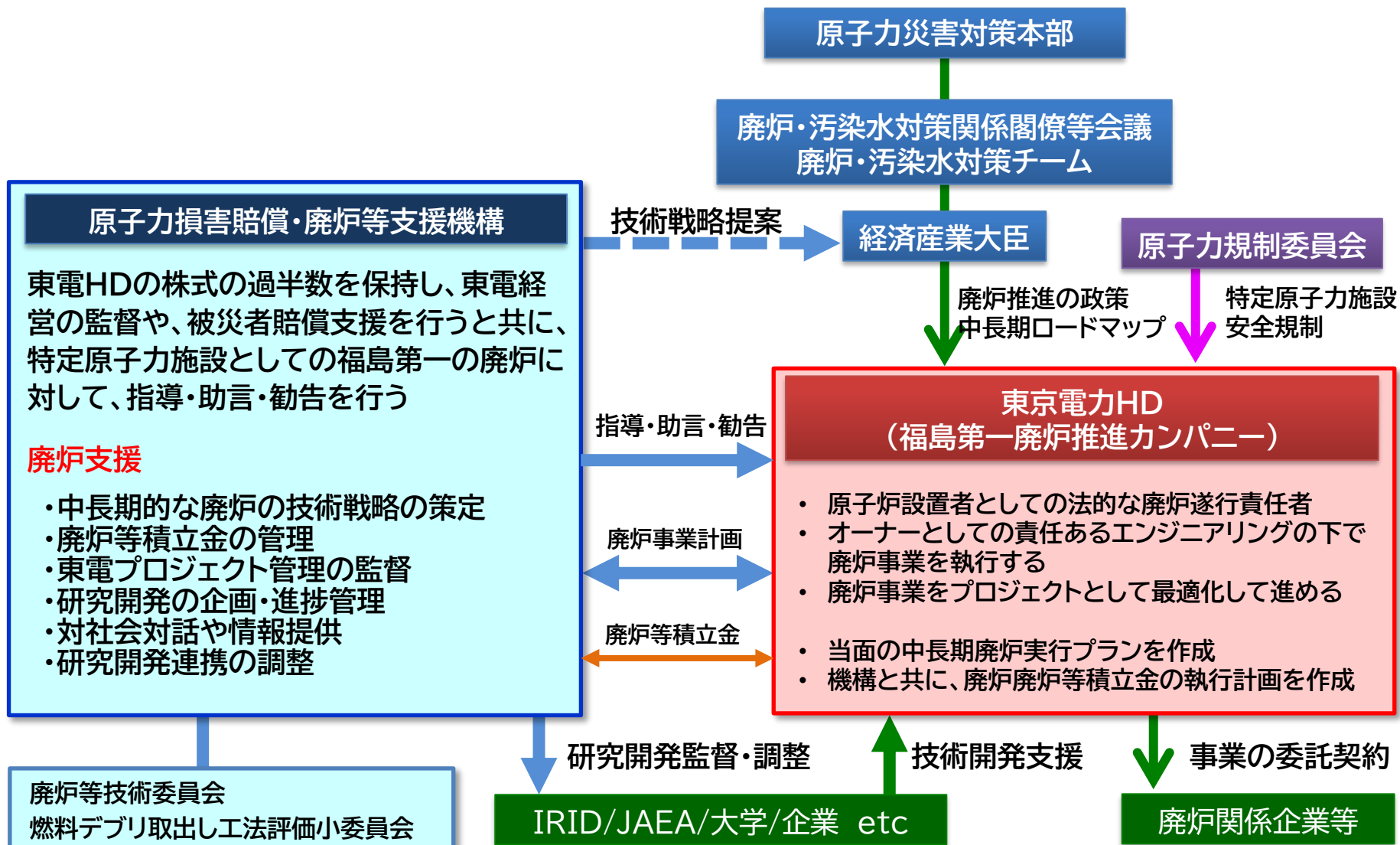
廃止措置が計画される全ての施設及び廃止措置が実施されている全ての施設に対して、安全が評価されなければならない。



福島第一廃炉作業の特徴(放射エネルギー・状態の不確かさ、放射線環境、事業の計画等)に対応する安全確保の在り方を示したガイダンス等は存在しない。このため、以下の観点等から、規制当局と事業者間の“情報の共有”や“認識の共有”等が期待される。

- ①短期的なリスクと長期的なリスク抑制の時間軸上のバランス
- ②グレーデッドアプローチの取り入れ等のリスク情報の活用
- ③作業者のリスク増加と公衆のリスク低減のバランス
- ④長期事業継続性の確保や地元意向の尊重、等

国を挙げた取組体制



- 中長期RMの方針に沿って、初号機での試験的取出しから規模の拡大を進め、2030年頃からは燃料デブリの取出しを本格化させる計画である。
- 当面、サイトの安定維持や短中期的なリスク低減の作業を優先的に進めると同時に、長期リスクの低減を目指すために「燃料デブリの取出し」を本格化させていく必要がある。
- 事故後12年間の現場での取組結果や研究開発の成果を背景に、本格的燃料デブリ取出しの工法を評価し選定するための作業が東電やNDFにおいて進められている。
- 国を挙げた組織連携体制の下で、東電によるエンジニアリング作業が進められていく見通しである。
- 燃料デブリ取出しに関しては、東電が慎重に設計等の準備を進めて、安全が確保された工法を実現していく事が重要である。このためには、規制当局と事業者間の情報共有や認識共有の取組が期待される。