



燃料デブリの取り出し

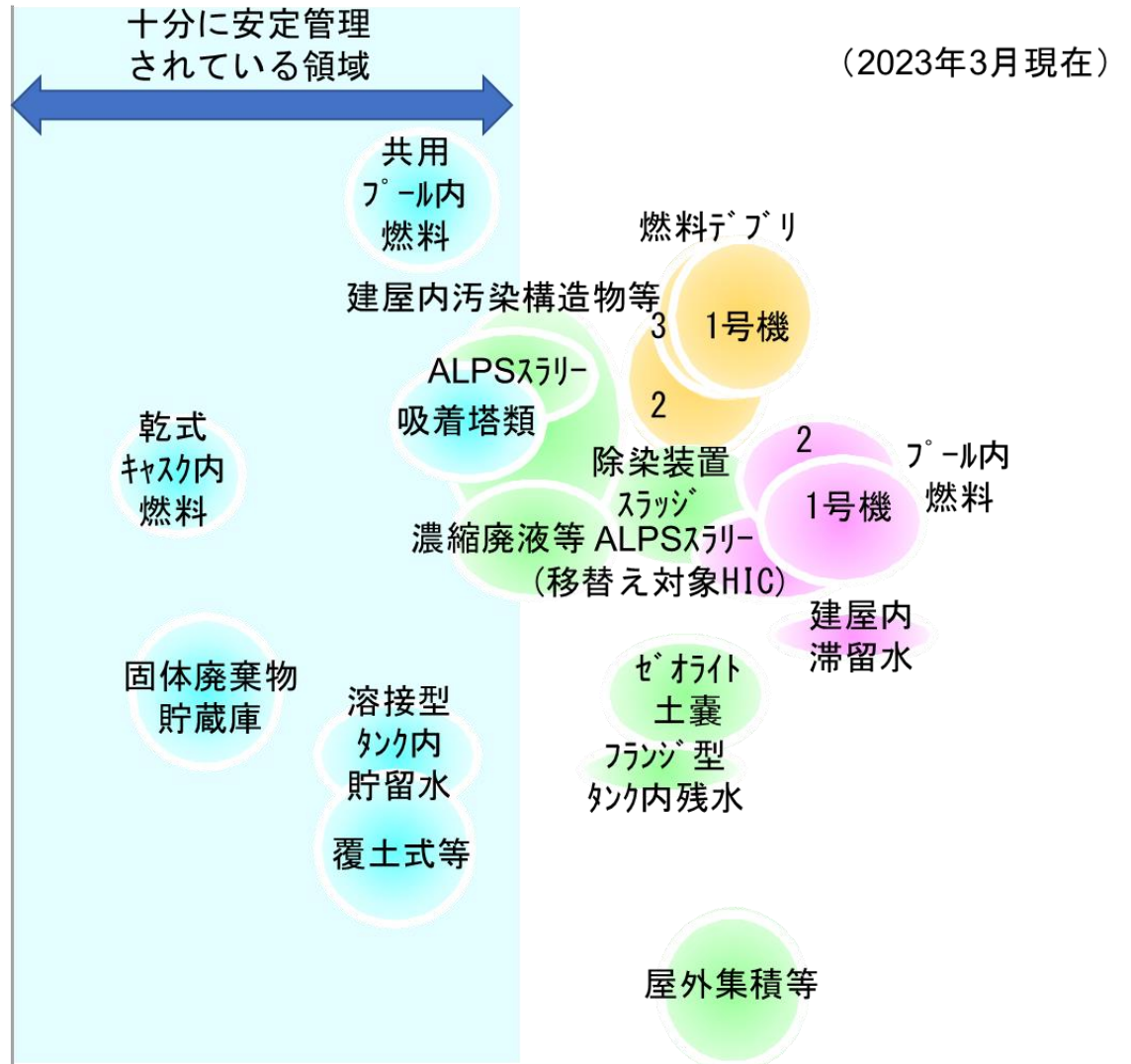
更田 豊志

第8回福島第一廃炉国際フォーラム

2024年8月26日

いわき芸術文化交流館 アリオス

潜在的な影響



管理強化の必要性・緊急度

- ✓ 現在、燃料デブリは安定しており、対処が急がれるような状態にはない
- ✓ しかし長期的には、燃料デブリを取り出して適切な管理状態に移行させることが重要
- ✓ 目的は散逸している放射性物質を十分に安定した状態に移すこと。セシウムなどの核分裂生成物(FP)の除去も重要

放っておくと炉心は溶ける

熱バランスの概略

100万kWe軽水炉の場合
熱出力は約 3 GW.

停止後1時間~1日
崩壊熱：約 1%, 約 30MW

停止後1ヶ月~3ヶ月
崩壊熱：約 0.3%, 約 9MW

停止1年後
崩壊熱：約 0.1%, 約 3MW

冷却材200トンの蒸発潜熱：約 400GJ

崩壊熱により炉心の冷却材が干上がるのに約 4 時間(400GJ/30MW)

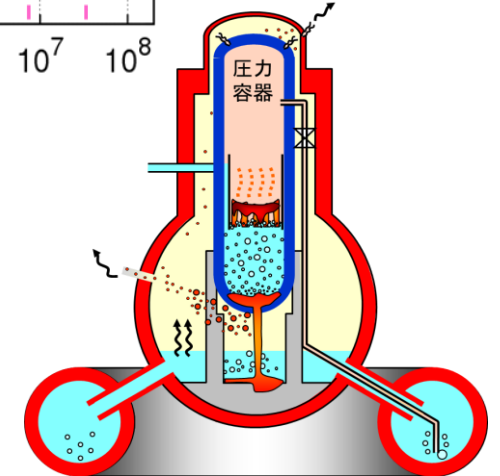
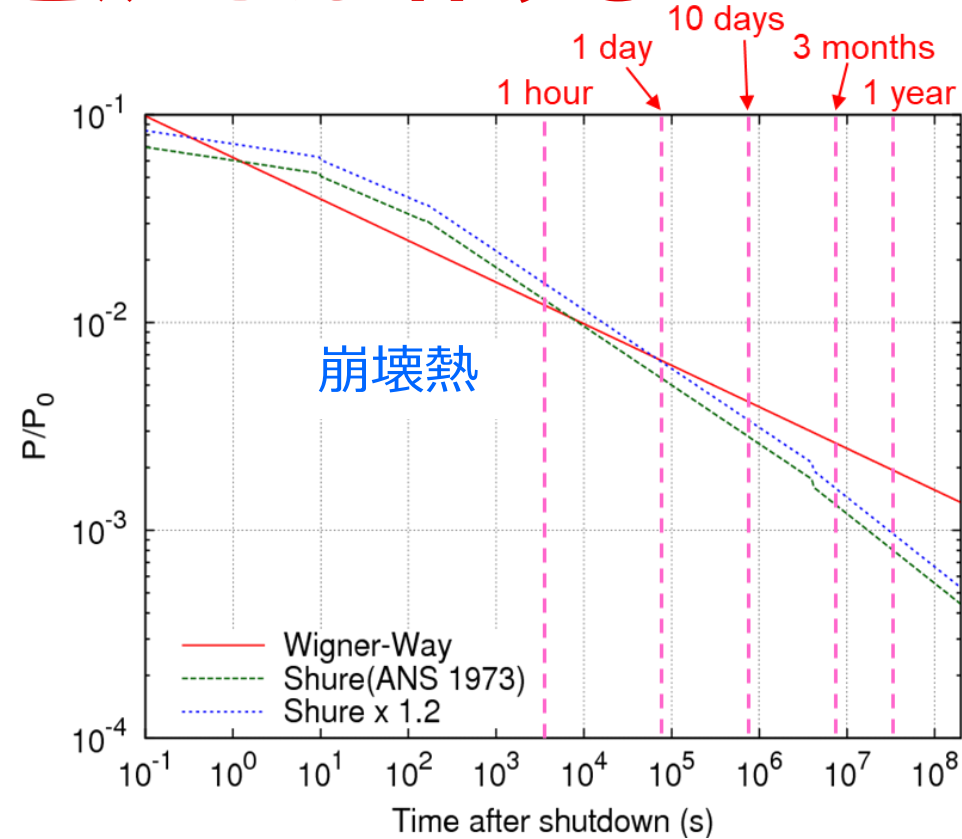
炉心150トンの熱容量：約 75GJ/1000K

崩壊熱による炉心温度1000K上昇に約 40分

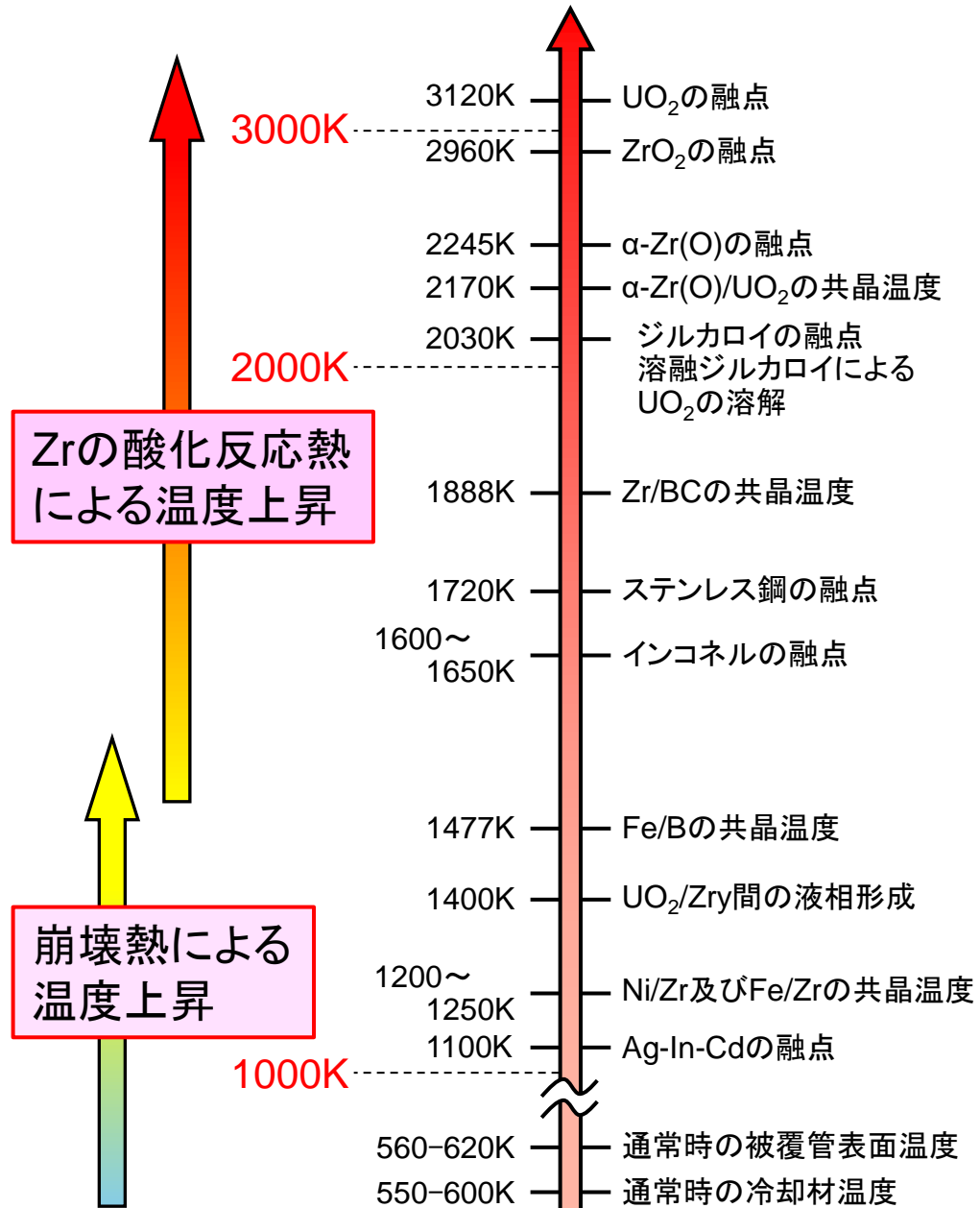
炉心の融解潜熱：約 45GJ

ジルコニウム30トンの酸化反応熱：約 200GJ

この約 200GJは炉心温度2000K上昇(75x2) + 全炉心溶融(45)に相当



多様な溶融物



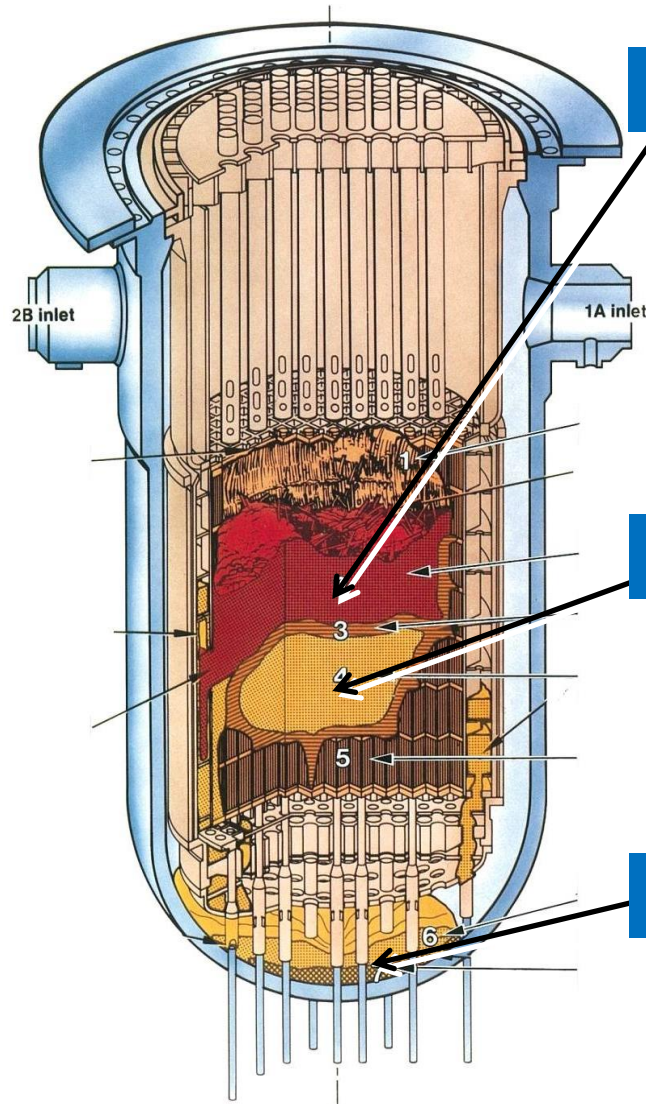
- ✓ 事故初期に冷却材を蒸発させ、炉心の温度を上昇させるのは崩壊熱
- ✓ 約1500Kを超える温度からは、被覆管などの酸化反応による発熱が支配的に
- ✓ 反応速度は温度とともに上昇し、1500K以上では急激な温度上昇
- ✓ 酸化反応は水素を発生させる点でも重要

スリーマイル島原発2号機(TMI-2)事故

1979.3.28 4:37amEST

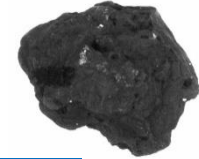
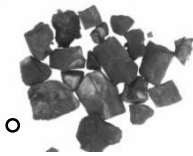
炉心の約45%が損傷、約20tが下部プレナム部へ落下

R.K. McCardell, Nucl. Eng. Des. 118(1990) 441



炉心上部

破砕した燃料や再固化した溶融燃料が多い。
制御棒、被覆材、構造材のほとんどは燃料と反応せずに溶融、移動したとみられる。
推定最高温度は大部分が約2000K



溶融プール(直径約3 m, 中央部分の厚さ1.5 m)

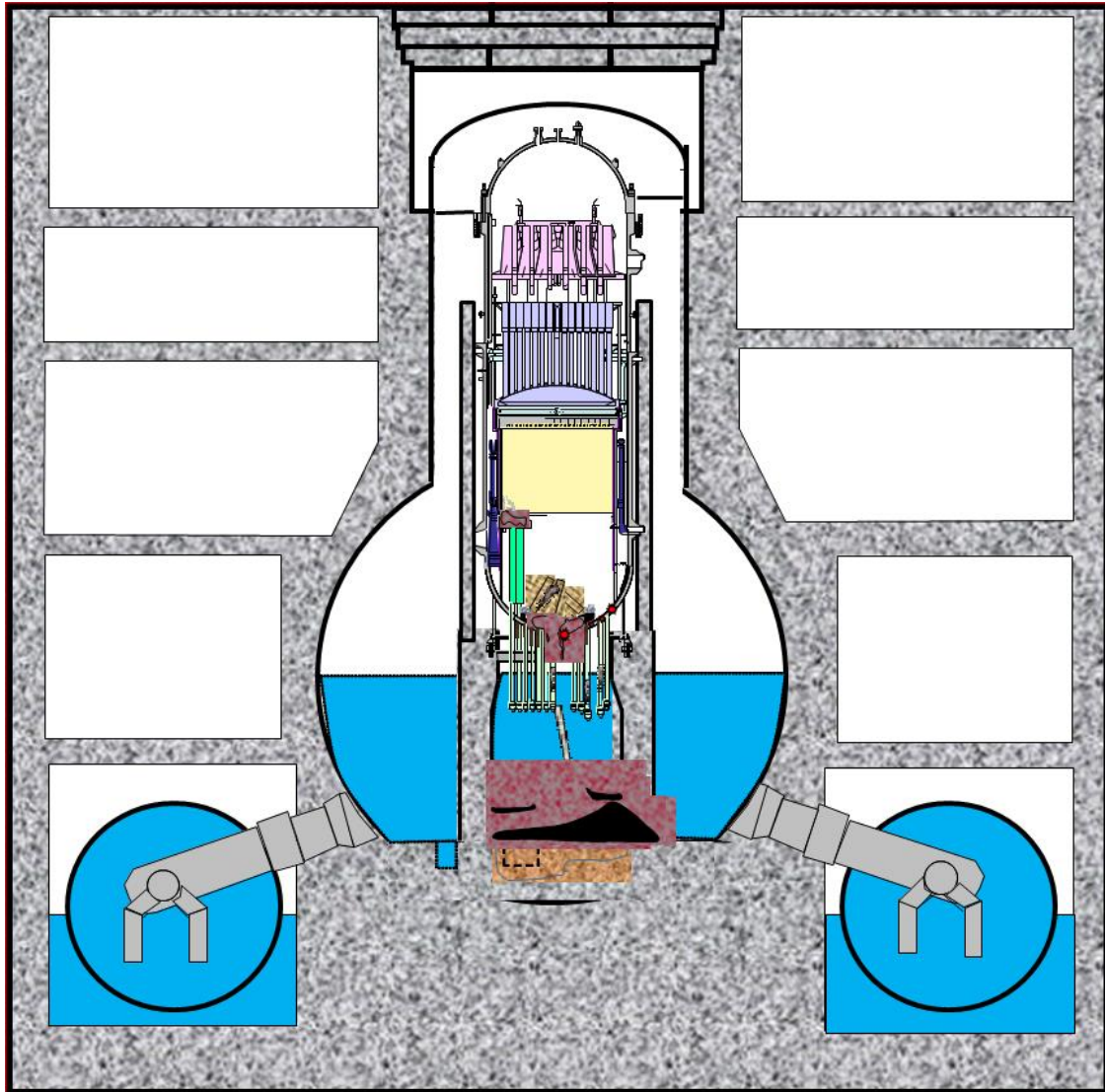
構造材、制御棒、燃料物質の混合物で金属が多い。
推定最高温度は2700~3100K



下部プレナム部(約1mの厚さで堆積)

粒径は20cm程度の岩状から0.1mm以下の顆粒状。
再固化した溶融セラミックス((U,Zr)O₂)で多孔質。

福島第一：燃料デブリの取り出し



- ✓ 本格的な取り出しは3号機から開始
- ✓ 事故の進展によって燃料デブリの性状、分布は大きく異なる

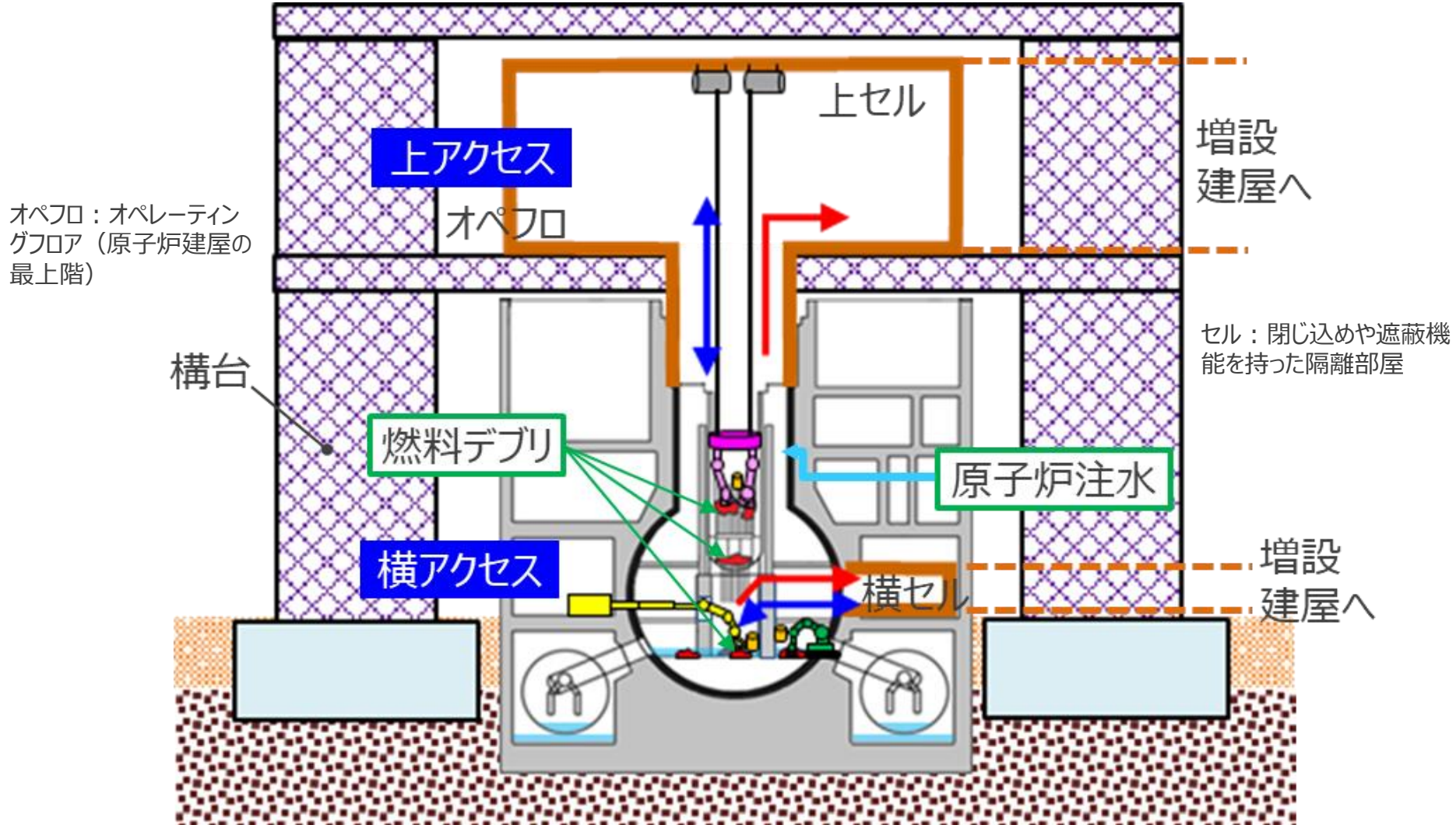
元のかたちを残した切株状燃料棒、崩落した砂利状の燃料ペレット、溶融/固化した金属/セラミック状物質、さらに狭隘部に詰まったFPなど

取り出し工法の検討

NDF デブリ取り出し工法評価小委員会

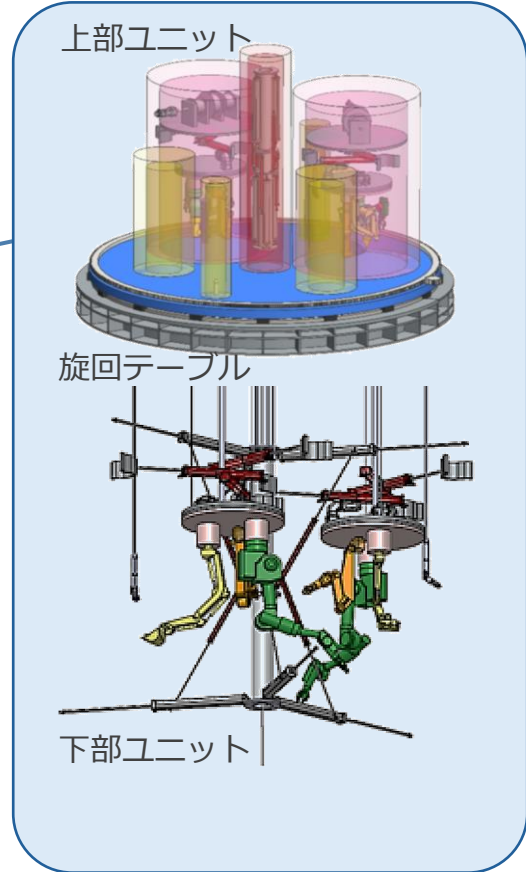
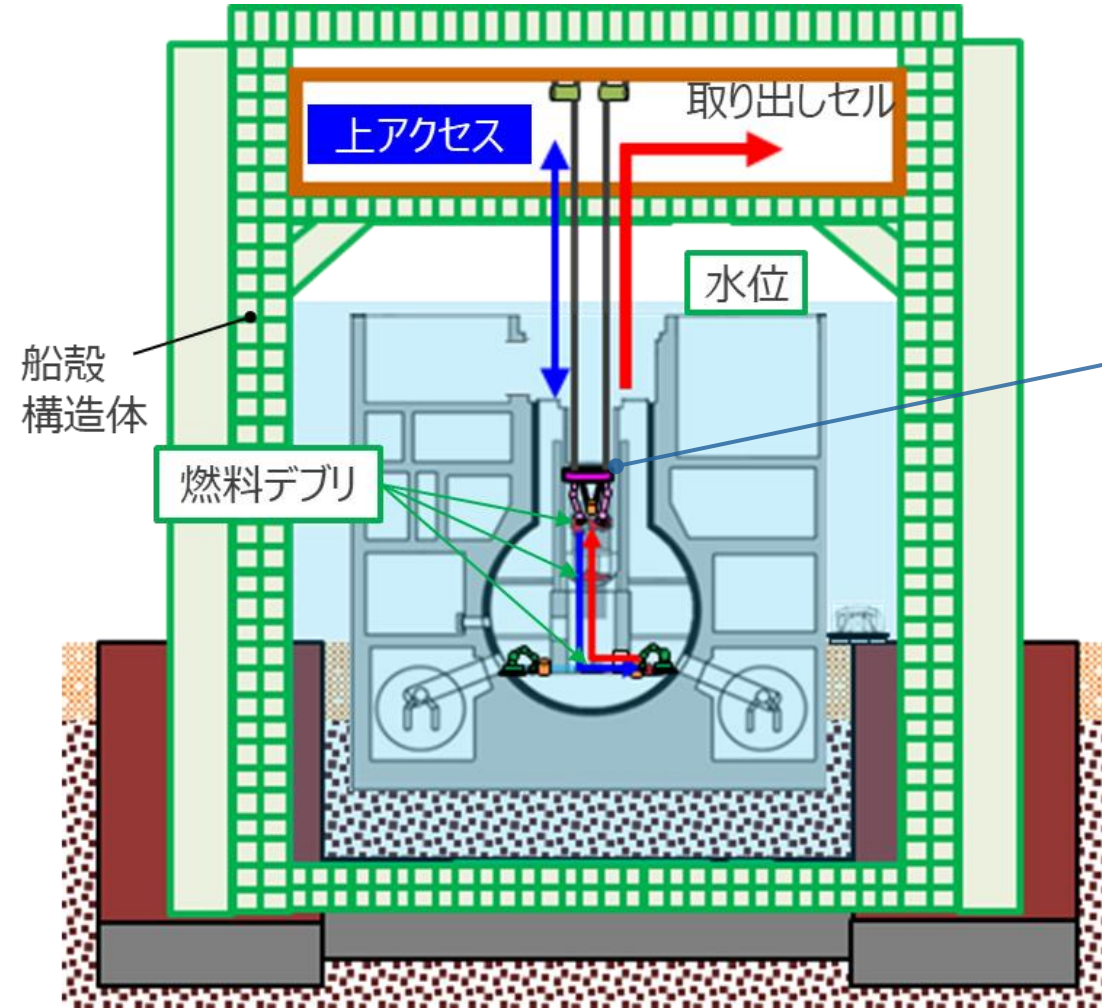
- ✓ 以下の3つを基本に燃料デブリ取り出し工法を検討
 - ① 気中工法
 - ② 冠水工法
 - ③ 充填固化工法
- ✓ 安全性を最優先に実行可能な工法を選択
- ✓ 工期に関しては大まかな評価
- ✓ 費用については検討の対象外

① 気中工法



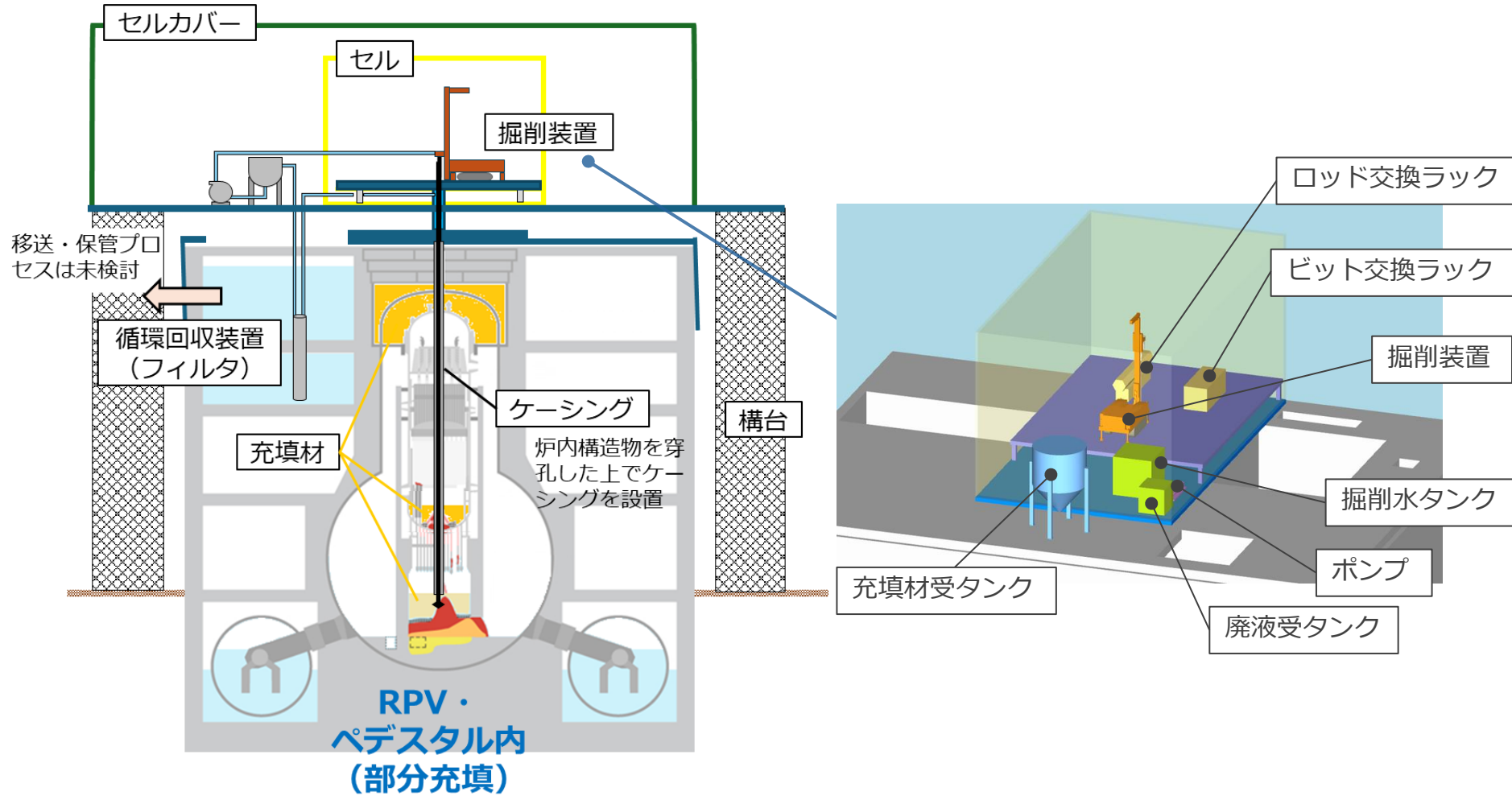
図の提供：東京電力ホールディングス（株）

② 冠水工法



図の提供：東京電力ホールディングス（株）

③ 充填固化工法



工法選定に向けた提言

NDF デブリ取り出し工法評価小委員会

- いずれの工法であっても、**原子炉内部の状況の十分な理解がその設計や安全確保の前提**となる
- 今後、**内部調査の加速が重要**であるが、**工法の選定やその設計検討と同時併行で行うことが不可欠**



✓ **気中工法と充填固化工法の組み合わせによる設計検討・研究開発を開始する**

- 併行して、**小規模な上アクセス等による内部調査を進める**
- **水遮蔽の機能を活用した工法についても、併行して検討を行う**

次のステップ

- ✓ 東京電力は提言に基づき、具体的な設計検討を進め、技術的
成立性を確認
- ✓ 併行して、内部調査や研究開発を加速
- ✓ 周辺建造物の解体・撤去など、取り出しに着手するための環境
整備の計画を具体化
- ✓ 事業主体として安全確保の考え方を明確にし、規制当局との
議論を経て、基本設計や詳細設計に反映



小委は上記の進捗を確認するが、確認内容・範囲については議論中

3号機格納容器内の調査

①ドローン調査

従来型(小型ドローン)



無線中継用ヘビ型ロボット※



新型(改良型小型ドローン)

(X-6他用)

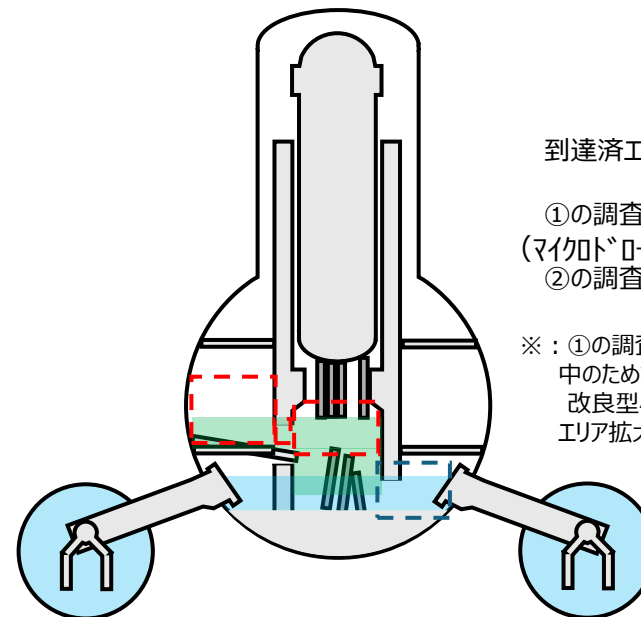


カメラ、照明、
飛行時間up

計測（線量測定、サーモ
カメラ）・採取ユニット
の追加を検討中

超小型化 ↓ (X-53用)

新型(マイクロドローン)



到達済エリア :

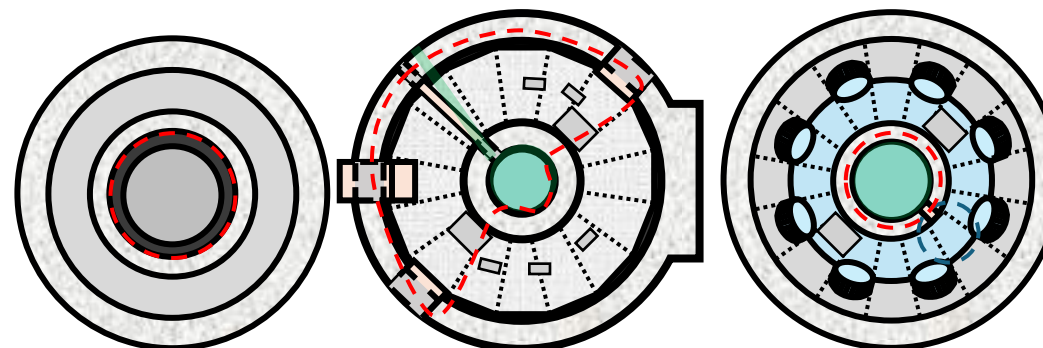
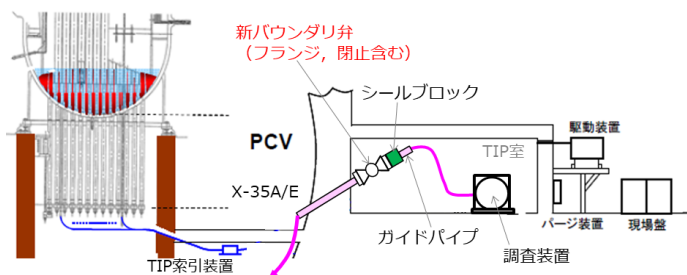
①の調査エリア :
(マイクロドローン)

②の調査エリア :

※：①の調査は、無線範囲を検討
中のため調査エリアは暫定
改良型小型ドローンでは更なる
エリア拡大を目指している。

PCVの断面図

②内視鏡調査 (X-35)



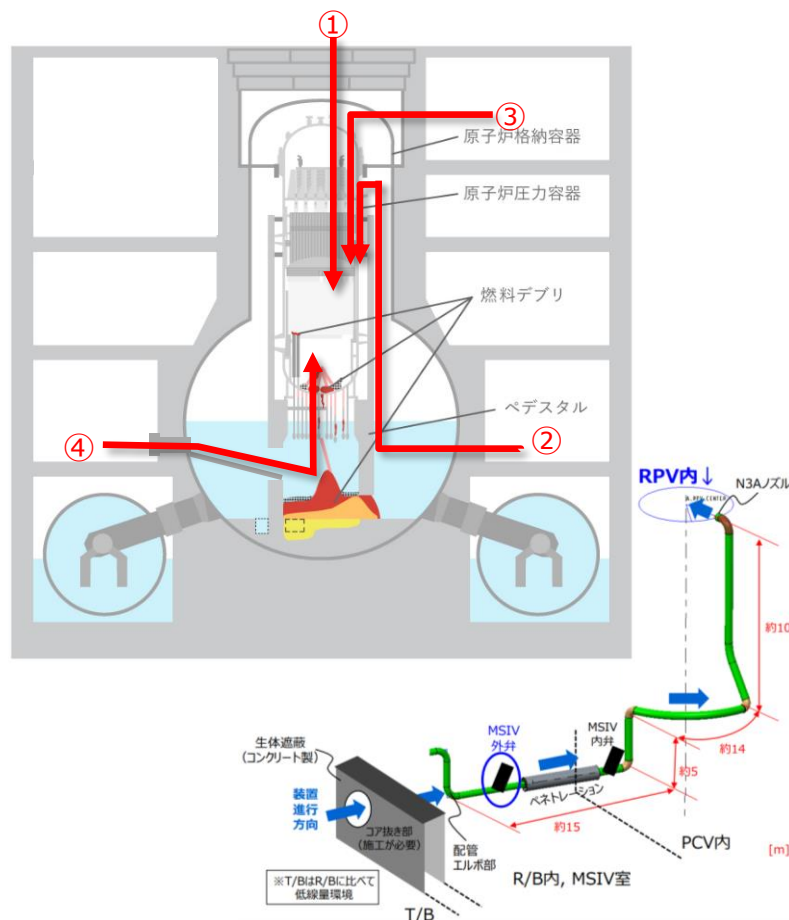
2FL

1FL

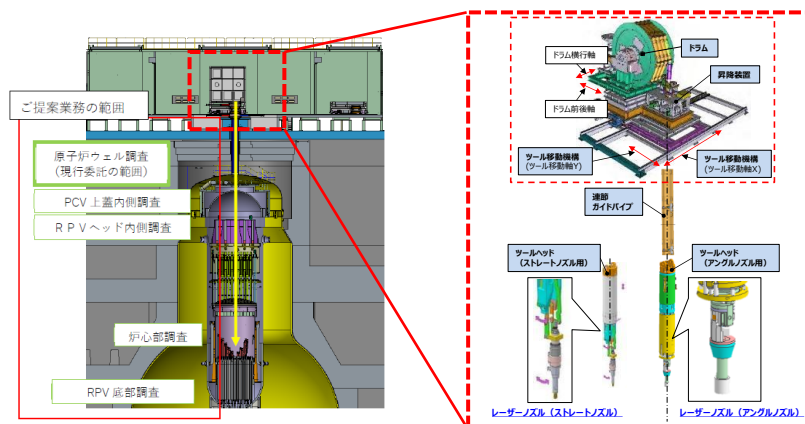
B1

PCVの平面図

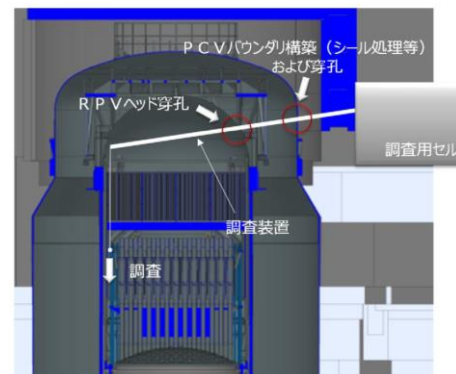
3号機圧力容器内の調査



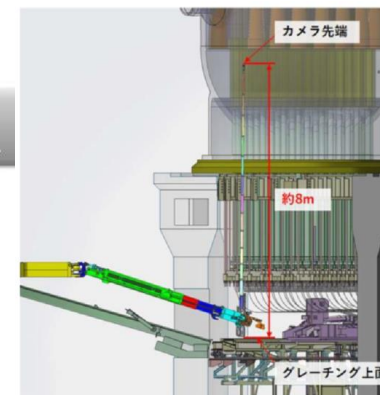
案②：MS配管を経由したRPV内部調査



案①：RPV直上からのRPV内部調査



案③：DSP経由のRPV内部調査



案④：RPV下部からの調査

3号機周辺の環境整備



- ✓ 建屋上部のSFPカバーを取り外し、新たに上取り出し用カバーを設置
- ✓ 上取り出し用に建屋の北と南に構台を設置
- ✓ 増設建屋を南のヤードに設置

: 撤去計画立案済み
 : 撤去検討中 (可能性中)

: 撤去検討中 (可能性低)
 : 対象外

凡例: 建設エリア干渉物 (建屋・ヤード)
 工事ヤード干渉物 (建屋・ヤード)



- ✓ 燃料デブリの取り出しにあたっては、安全性の確保が最優先
- ✓ 発電所外に及ぼす環境リスクと発電所内の作業リスクの双方を注視
- ✓ すべてのステークホルダー間で共有されている廃止措置(デコミ)の目的は長期的なリスクの低減
- ✓ 作業に伴う一時的なリスクの上昇は避けられない。NRAはこの一時的なリスクの上昇が過度なものにならないよう監視し、NDFは長期的なリスクの低減が着実に進むように指導、協力
- ✓ 一時的なリスクの上昇を過度に(非科学的に)恐れると廃炉は著しく停滞し、長期的リスクが高止まりしてしまう

結 言

- ✓ 本年3月の小委報告以降の東電における設計具体化については未確認。小委の確認する内容・範囲について議論中
- ✓ 設計具体化のためにも、内部調査は急務
- ✓ 周辺建造物の解体・撤去などの環境整備は全体の工期を大きく左右する重要課題
- ✓ 安全確保の基本的な考え方については、すべてのステークホルダー間での議論、検討が必要



御清聴、ありがとうございました。

