東京電力·福島第一原子力発電所事故と廃炉への取組

原子力損害賠償・廃炉等支援機構
更田 豊志

2025年7月30日
第100回佐賀県原子力環境安全連絡協議会
玄海町社会体育館

講演内容

1. シビアアクシデントについて

- 炉心溶融をもたらす発熱，水素発生
- 福島第一原発で再び同じような事故が起きる可能性はあるのか

2. 事故の調査･分析

- シールドプラグの汚染，コンクリートの損傷など

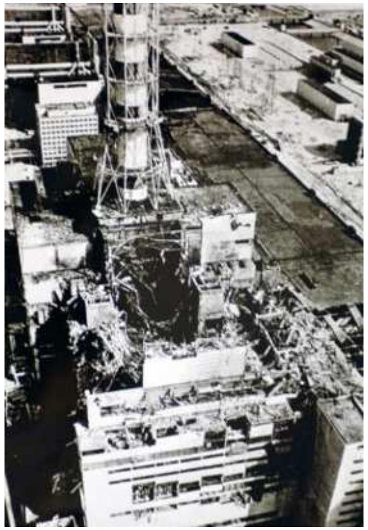
3. 廃炉，特に燃料デブリの取り出しについて

- 内部調査，取り出し工法，環境整備

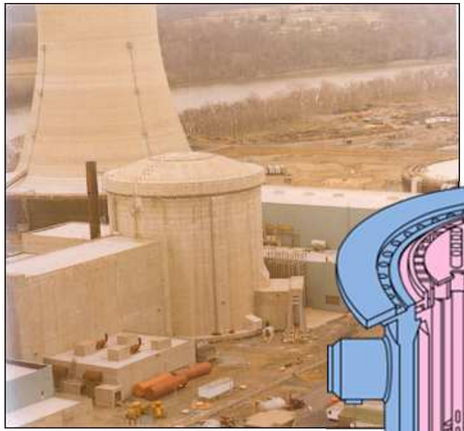
1. シビアアクシデントについて

チェルノブイリ
原発4号機
1986

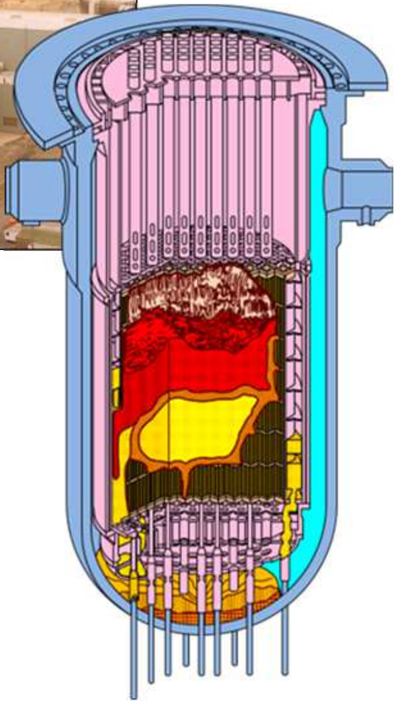
設計不良
＋
規則違反



スリーマイル島原発2号機 1979



作業ミス/違反
＋
故障/判断ミス



東京電力･福島第一原発　2011　共通要因故障

March 20, 2011 by Air Self-Defense Force

放っておくと炉心は溶ける

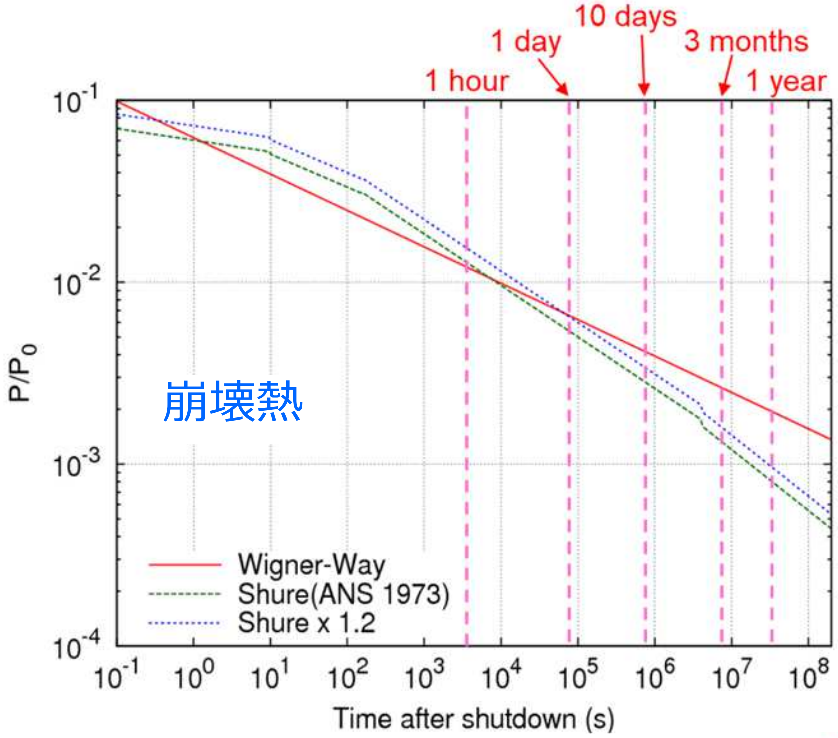
熱バランスの概略

電気出力100万kW原発の場合
熱出力は約 3 GW (3,000 MJ/秒)

停止後1時間～1日
　　崩壊熱：約 1%, 約 30MW (30MJ/秒)

停止後1ヶ月～3ヶ月
　　崩壊熱：約 0.3%, 約 9MW (9MJ/秒)

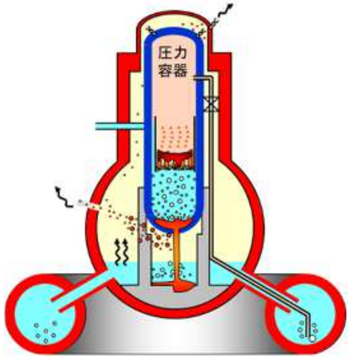
停止1年後
　　崩壊熱：約 0.1%, 約 3MW (3MJ/秒)



冷却材200トンを蒸発させるのに必要な熱量(蒸発潜熱)：約 400GJ (400,000MJ)
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)

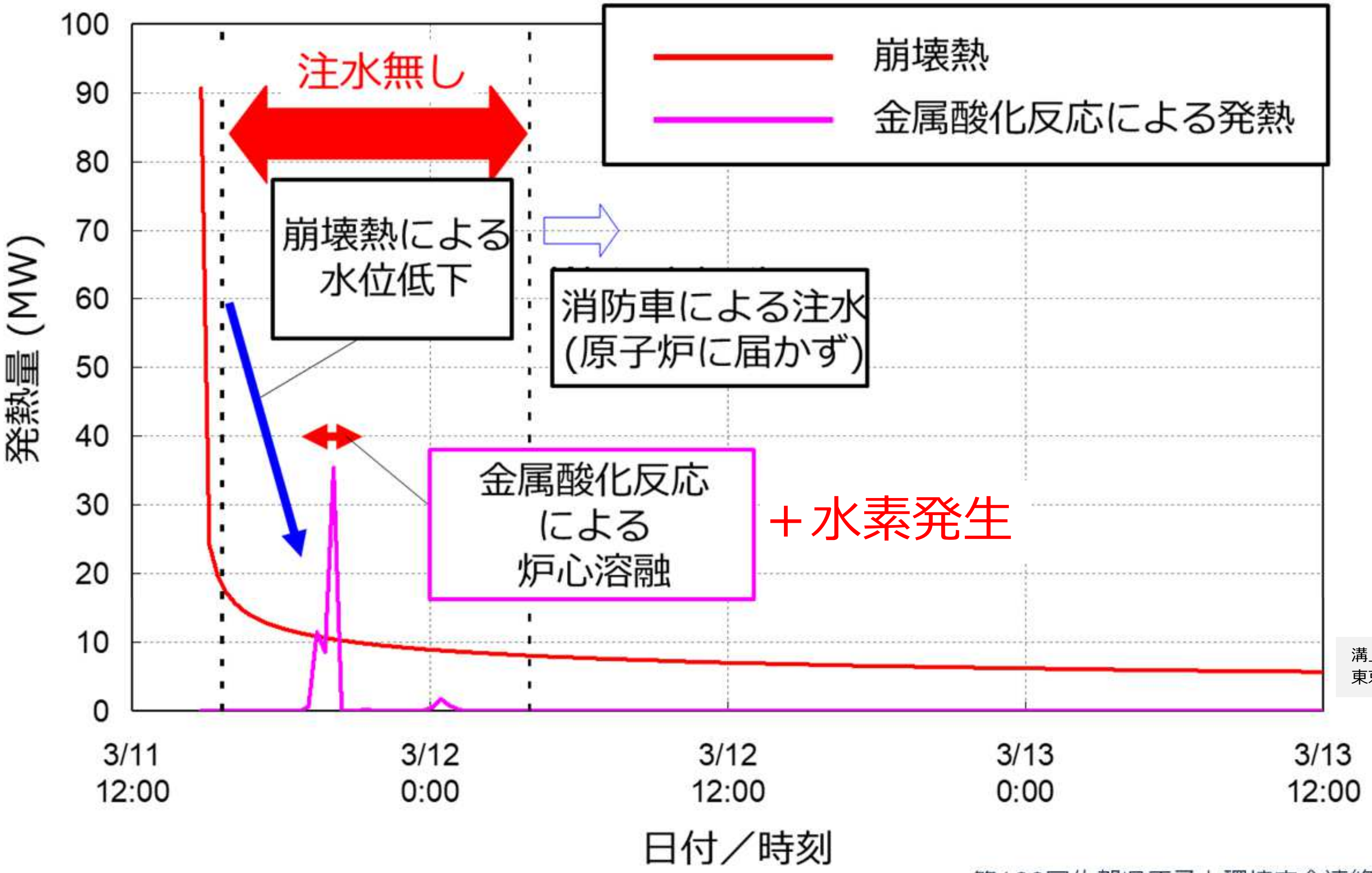
炉心150トンの温度を1000度上昇させる熱量：約 75GJ (75,000MJ)
崩壊熱による炉心温度1000K上昇に約 40分 (75GJ/30MW)

炉心を溶かすのに必要な熱量(融解潜熱)：約 45GJ (45,000MJ)
ジルコニウム30トンが酸化すると発生する熱量(反応熱)：約 200GJ (200,000MJ)
この約 200GJは炉心温度2000K上昇(75x2)＋全炉心溶融(45)に相当



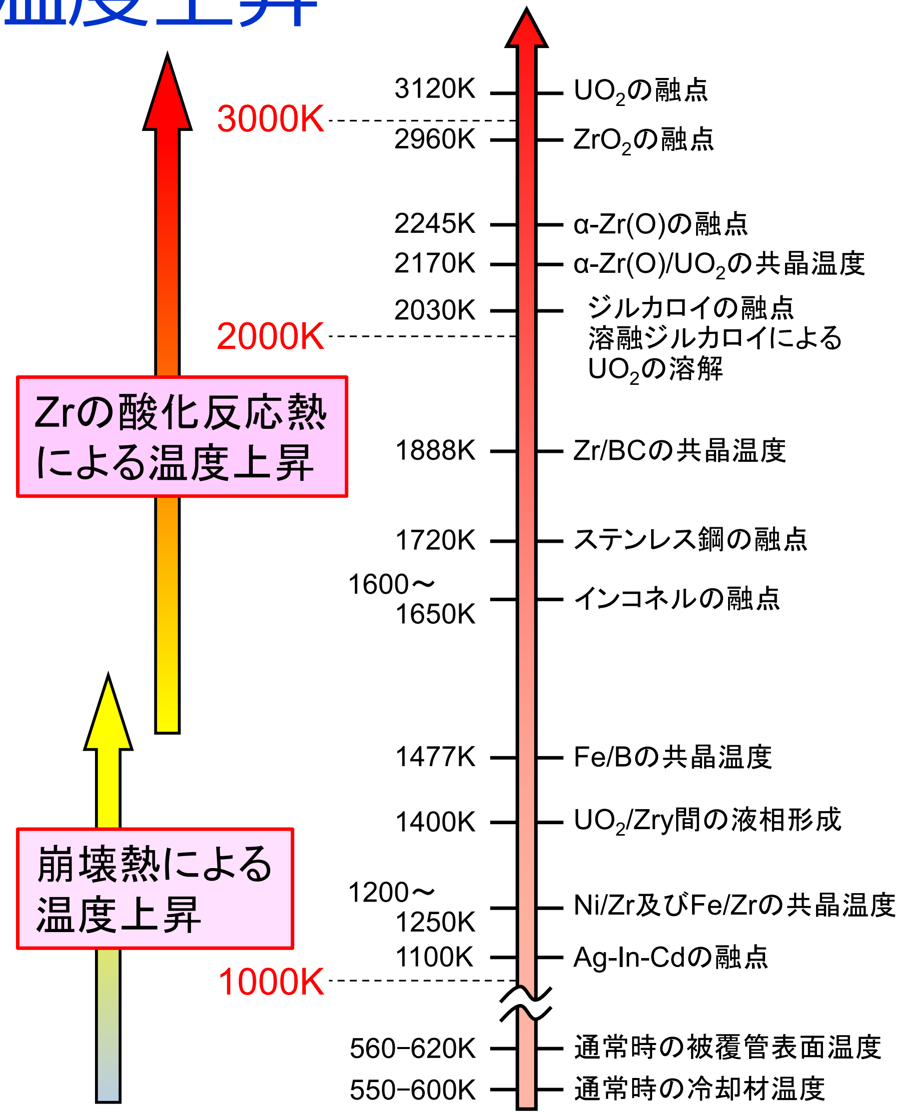
事故時の発熱 (1号機)

✓ 1号機は3/11中に炉心溶融
3/13に3号機，3/14夜に2号機が炉心溶融



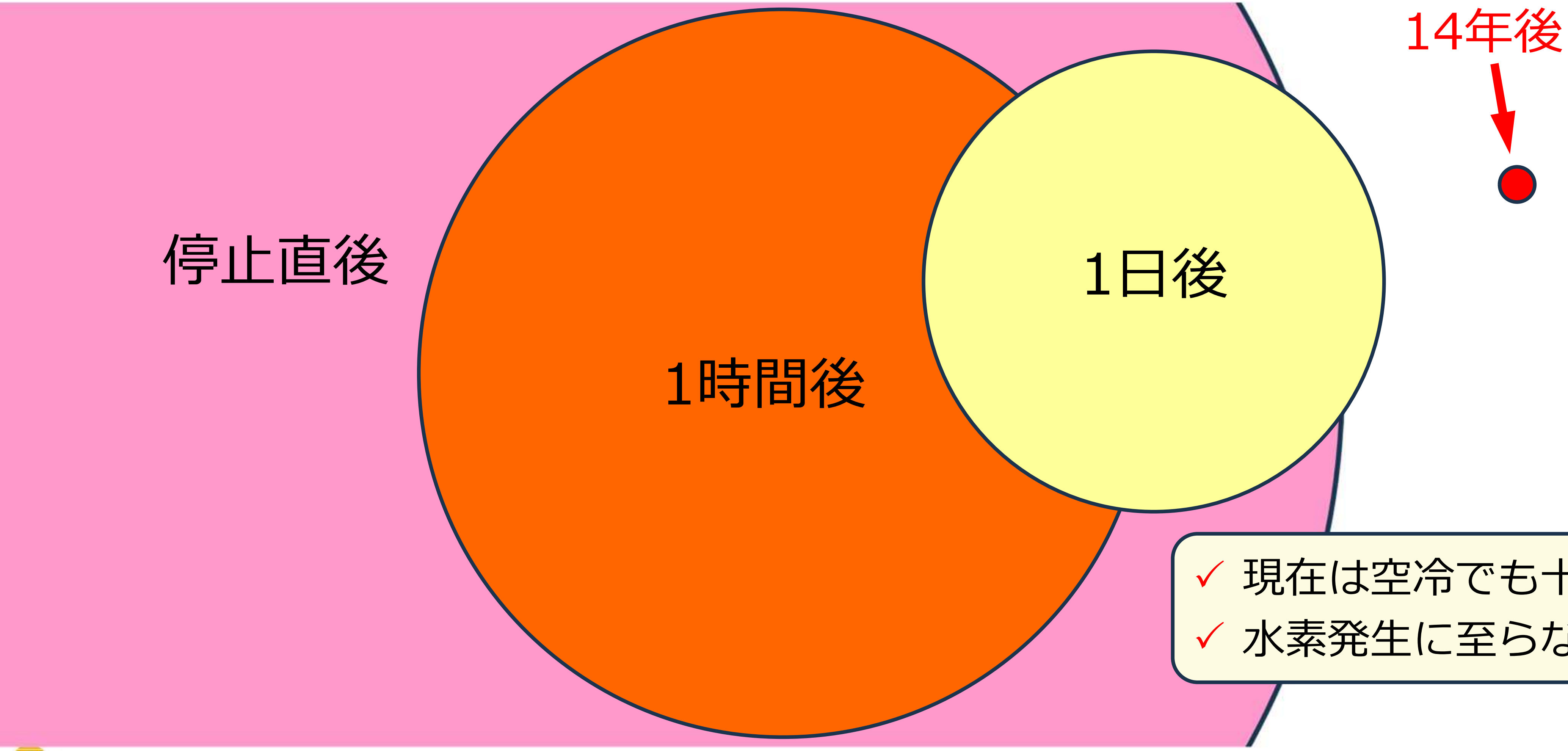
溝上，福島第一原子力発電所事故について，
東京大学･システム創成学特別講義2，2022.

温度上昇



- ✓ 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

1～3号機における炉心の崩壊熱

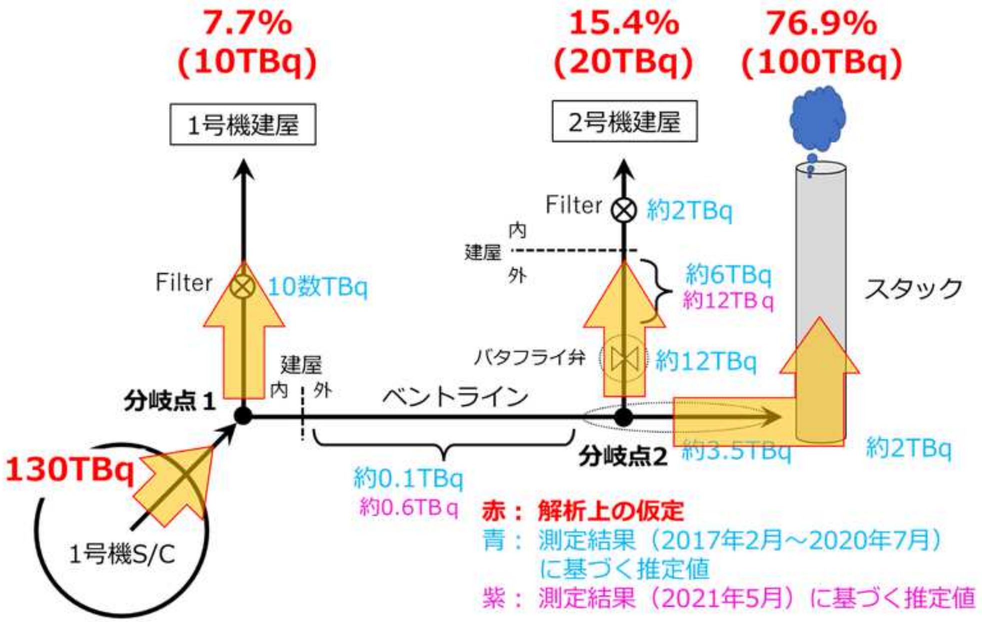


- ✓ 現在は空冷でも十分
- ✓ 水素発生に至らない

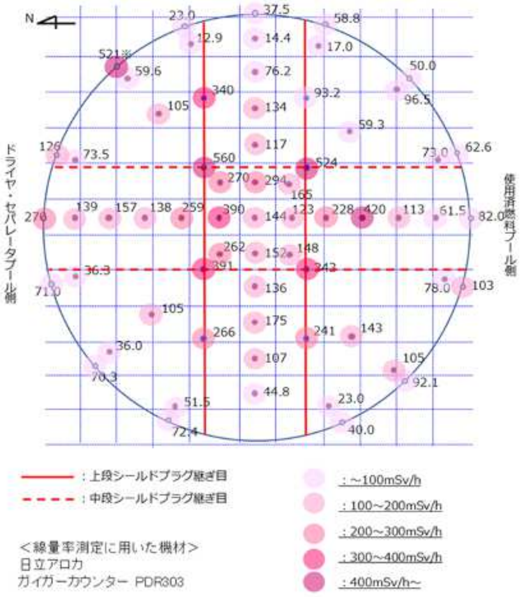
2. 事故の調査･分析

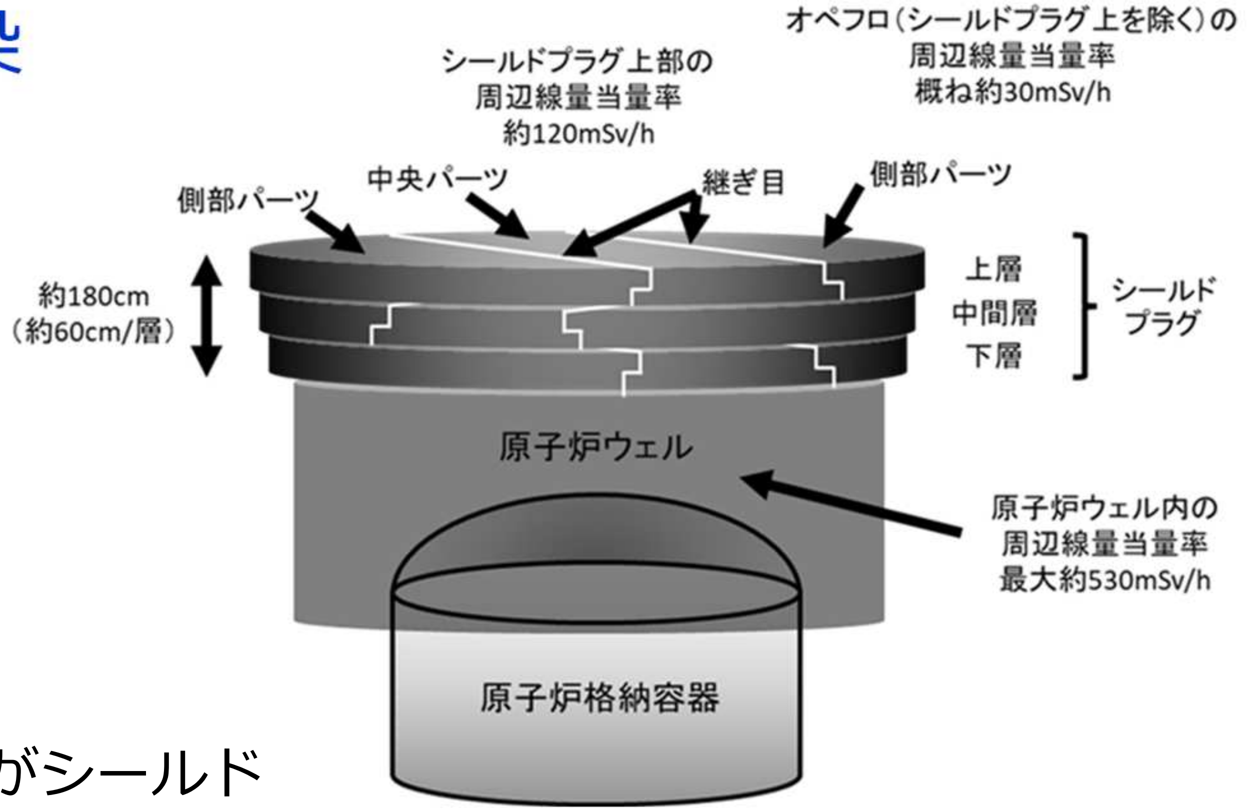
高線量エリアへのアクセスが改善されたことに伴い，原子力規制委員会は2019年9月に事故の調査･分析を再開

- ✓ 1号機非常用復水器(IC)の作動状況
- ✓ 3/4号機建屋における水素爆発
- ✓ 1/2号機ベント配管系の汚染パターン
- ✓ 1号機ペデスタルのコンクリート損傷
- ✓ 各号機シールドプラグの汚染
- ✓ 事故初期における原子炉建屋外の状況



シールドプラグの汚染



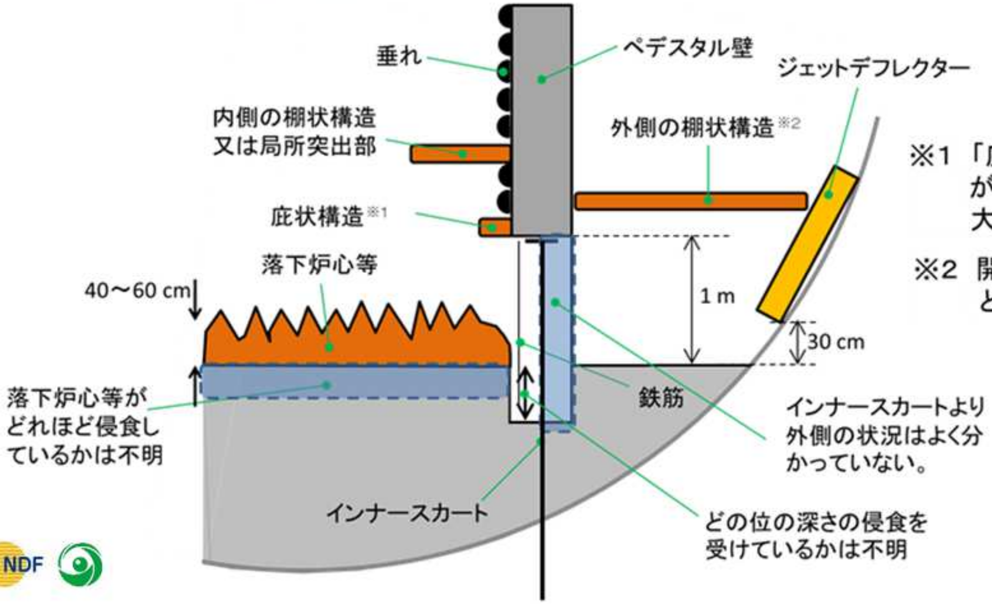


- ✓ 原子炉ウェルよりも強い汚染がシールドプラグに存在。
  放射能量に換算すると約64PBqに相当。
- ✓ Cs-137を含む水蒸気が移動する過程で凝縮によりCs-137が継ぎ目などに沈着した可能性が高い

1号機ペデスタルのコンクリート損傷

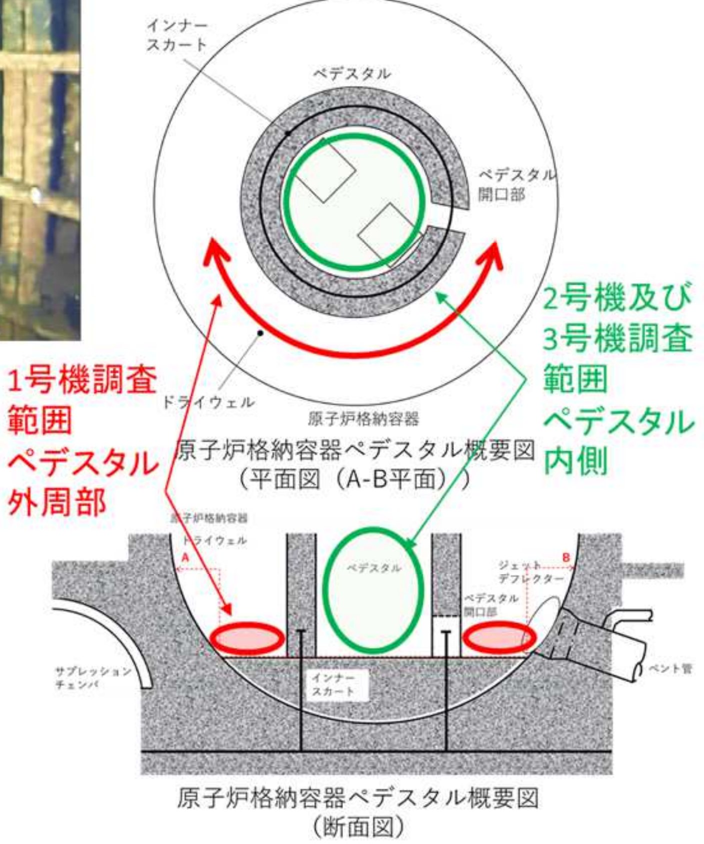
- ✓ インナースカートの影響
- ✓ 模擬コンクリート加熱試験

(福島高専，阪大)



※1 「庇状構造」としているが、光の加減で形状・大きさは明確ではない。

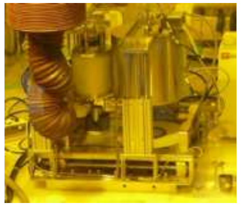
※2 開口部から遠くなるほど低くなる。

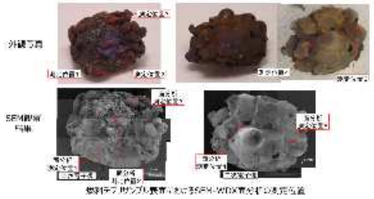


OECD/NEA国際共同プロジェクト FACE

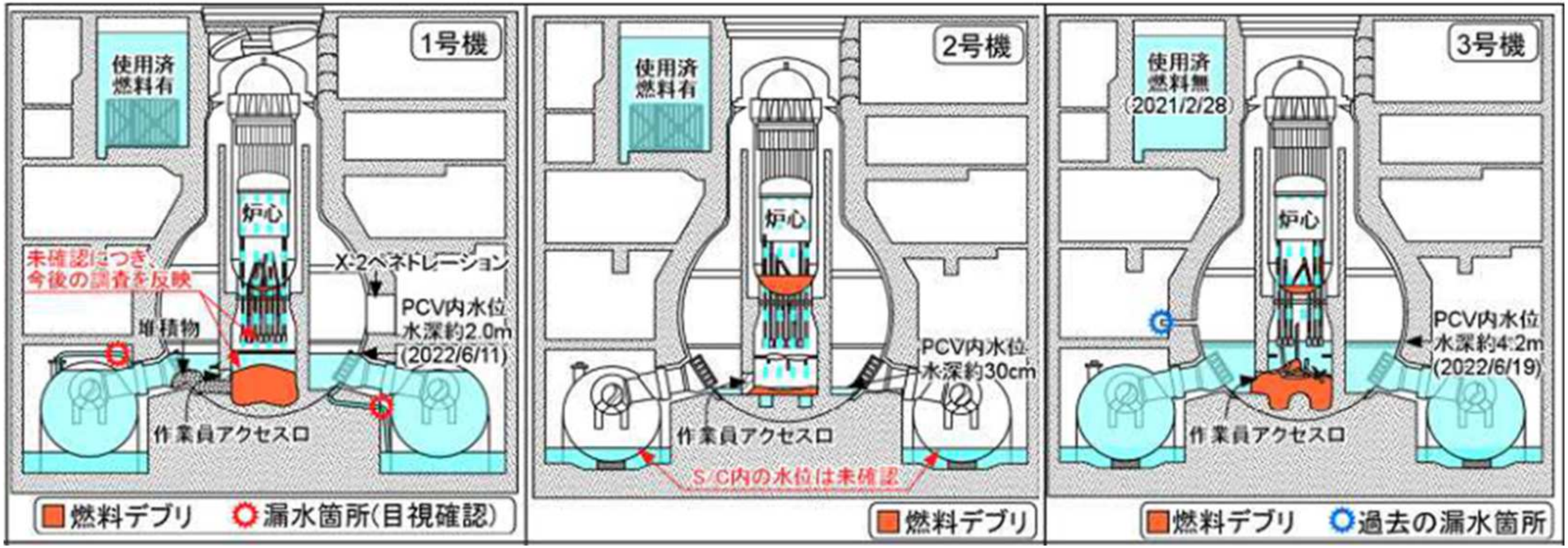
Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident Information Collection and Evaluation

- ✓ 経済協力開発機構/原子力機関(OECD/NEA)の国際共同プロジェクトとして**13ヶ国**から20以上の規制当局，研究機関，大学等が参加して福島第一原子力発電所事故に関する情報の収集と評価を実施。原子力規制委員会，日本原子力研究開発機構がリードし，東京電力も協力
- ✓ 事故の進展，核分裂生成物の移行，水素燃焼，ウラン含有粒子の特性，燃料デブリ解析技術，廃止措置に係る課題などについて知見，情報，研究成果を共有し，議論
- ✓ 参加機関：原子力規制委員会，日本原子力研究開発機構，電力中央研究所，エネルギー総合工学研究所，資源エネルギー庁，原子力損害賠償・廃炉等支援機構，カナダ・原子力研究所(CNL)，欧州委員会共同研究センター(EC-JRC)，フィンランド・放射線原子力安全局(STUK)及び技術研究センター(VTT)，フランス・原子力安全・放射線防護機関(ASNR)及び原子力・代替エネルギー庁(CEA)，独・原子炉安全協会 (GRS)，韓国原子力研究所(KAERI)及び原子力安全技術院(KINS)，スペイン・原子力安全委員会(CSN)，スウェーデン放射線安全庁(SSM)，スイス・ポール・シェラー研究所(PSI)，ウクライナ国立科学アカデミー(UNAS)/原子力発電所(NPP)/安全問題研究所(ISP)，英・国立原子力研究所(NNL)，米国原子力規制委員会(USNRC)/エネルギー省(DOE)/電力研究所(EPRI)



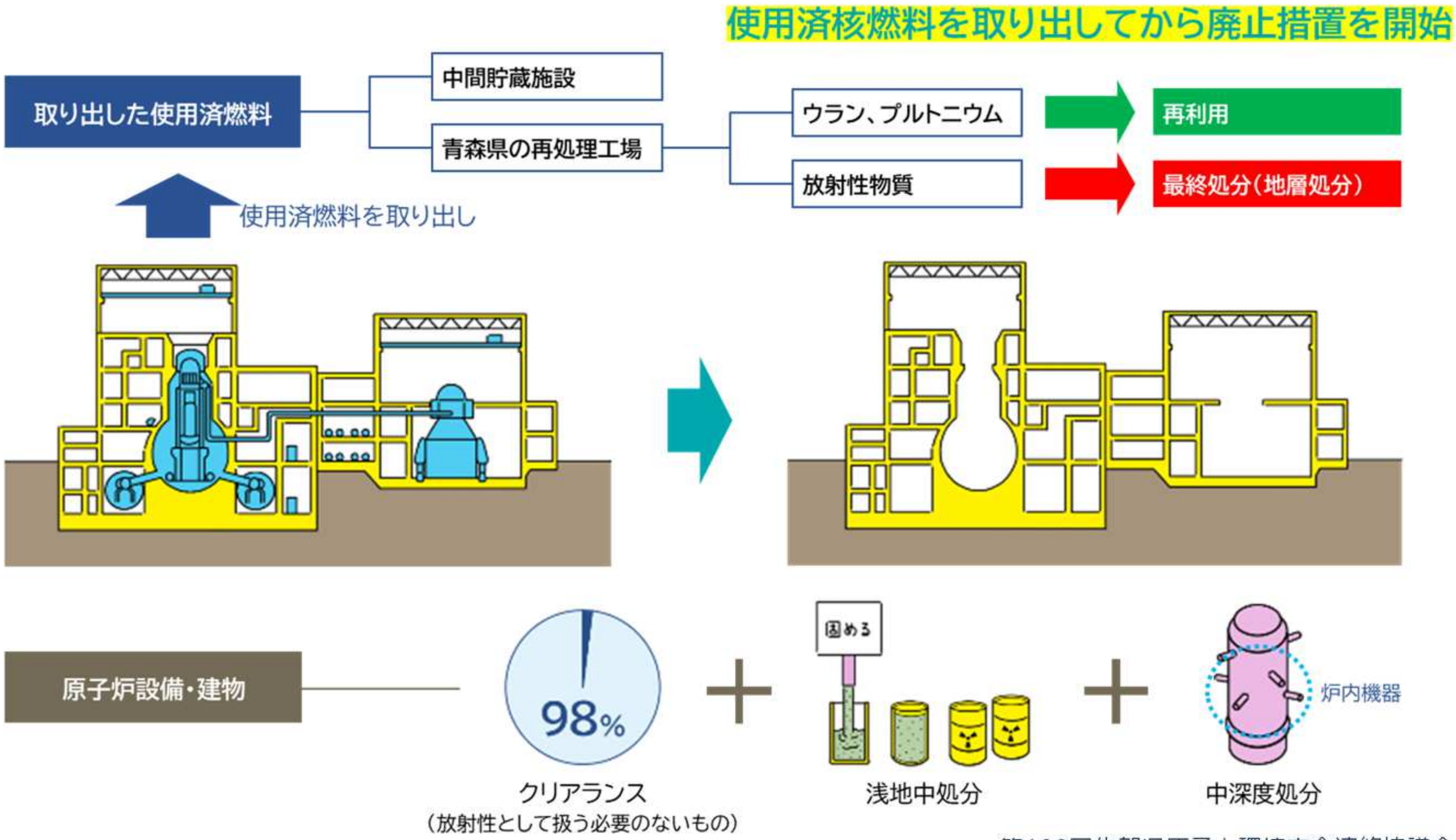


3. 廃炉の取り組み



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

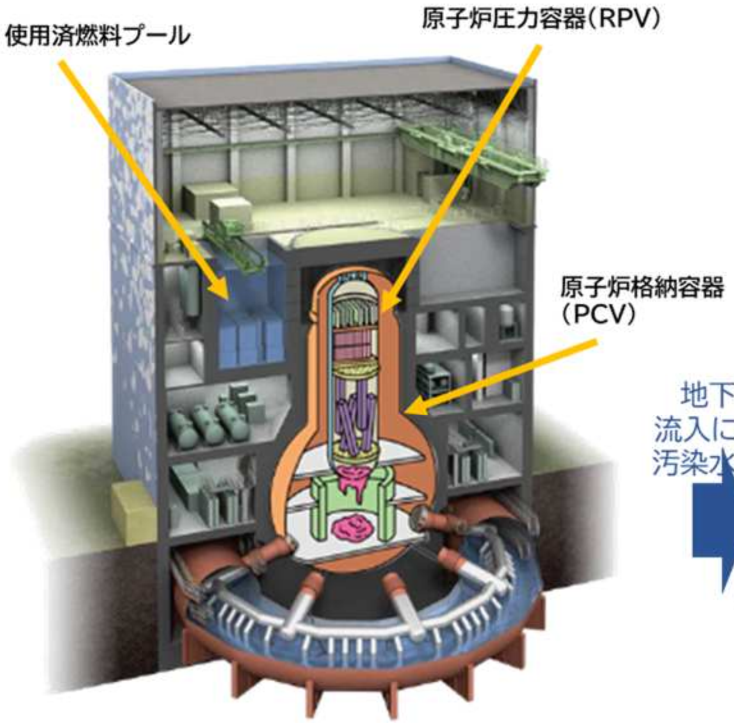
通常の原子力発電所の廃炉



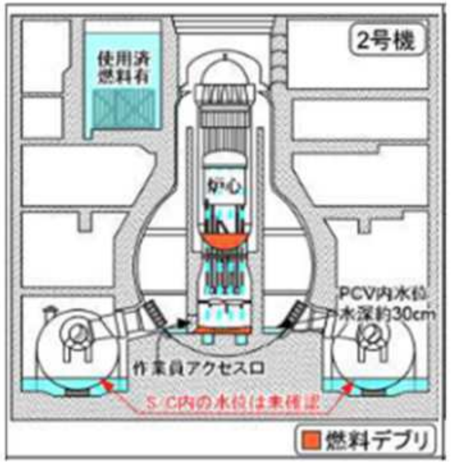
福島第一原子力発電所の廃炉

破損した燃料や核分裂生成物（FP）が広く分散し汚染

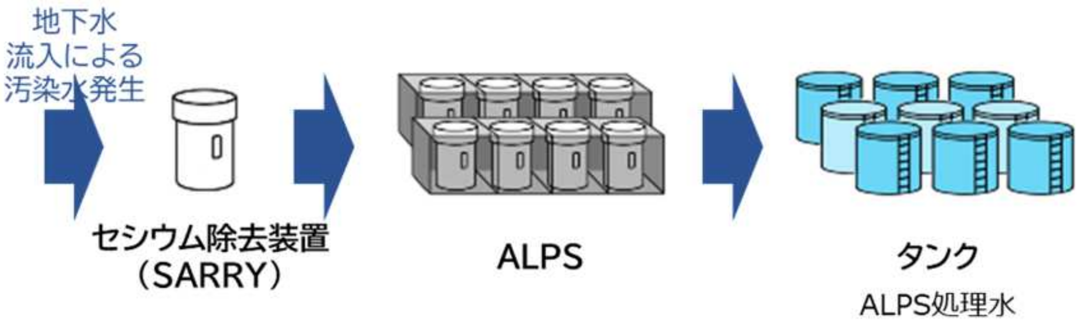
放射線量が非常に高い



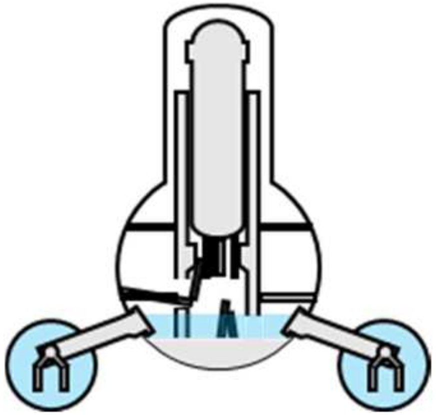
2号機での燃料デブリの存在状態の推測図



2号機の格納容器底部（遠隔カメラで撮影）



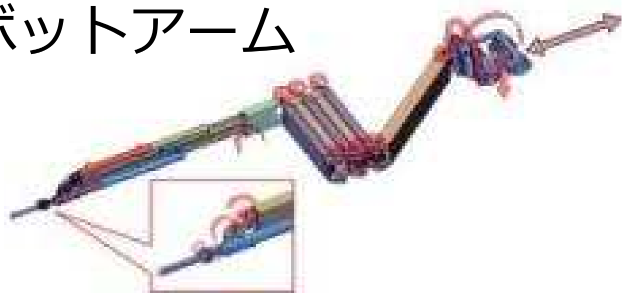
内部調査

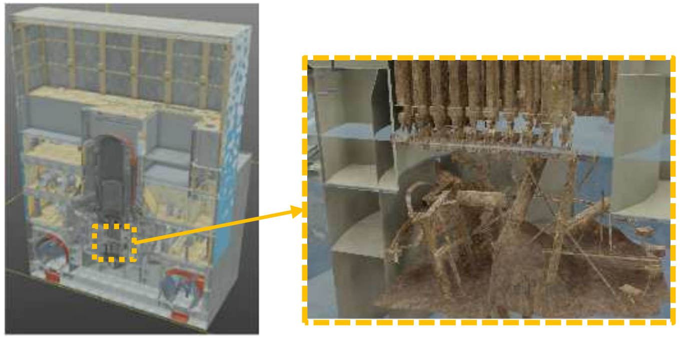


遠隔水中探査機

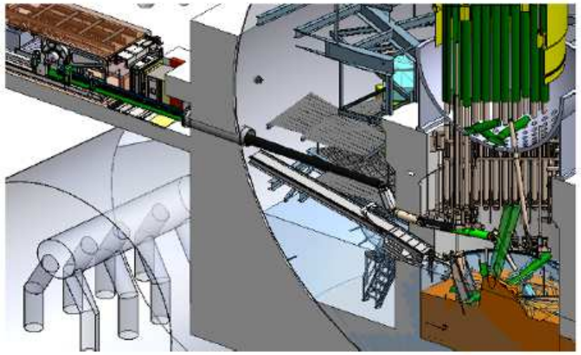
ドローン

ロボットアーム





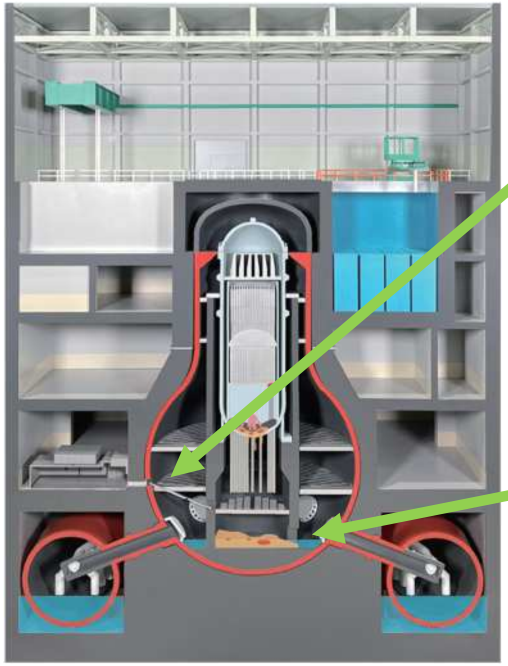
映像・点群データから3Dモデルを作成



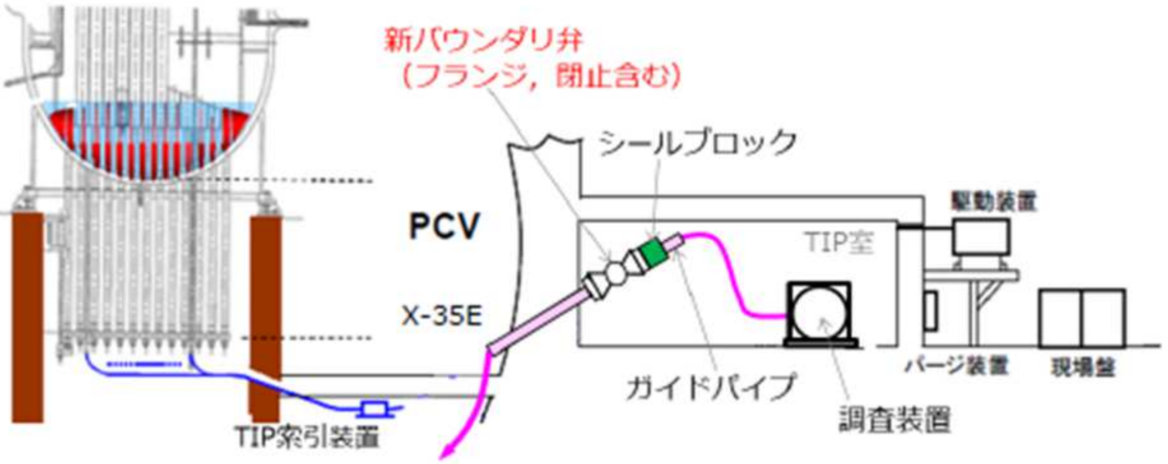
3Dモデルを用いた設計検討

横アクセスによる3号機格納容器内調査

ドローン

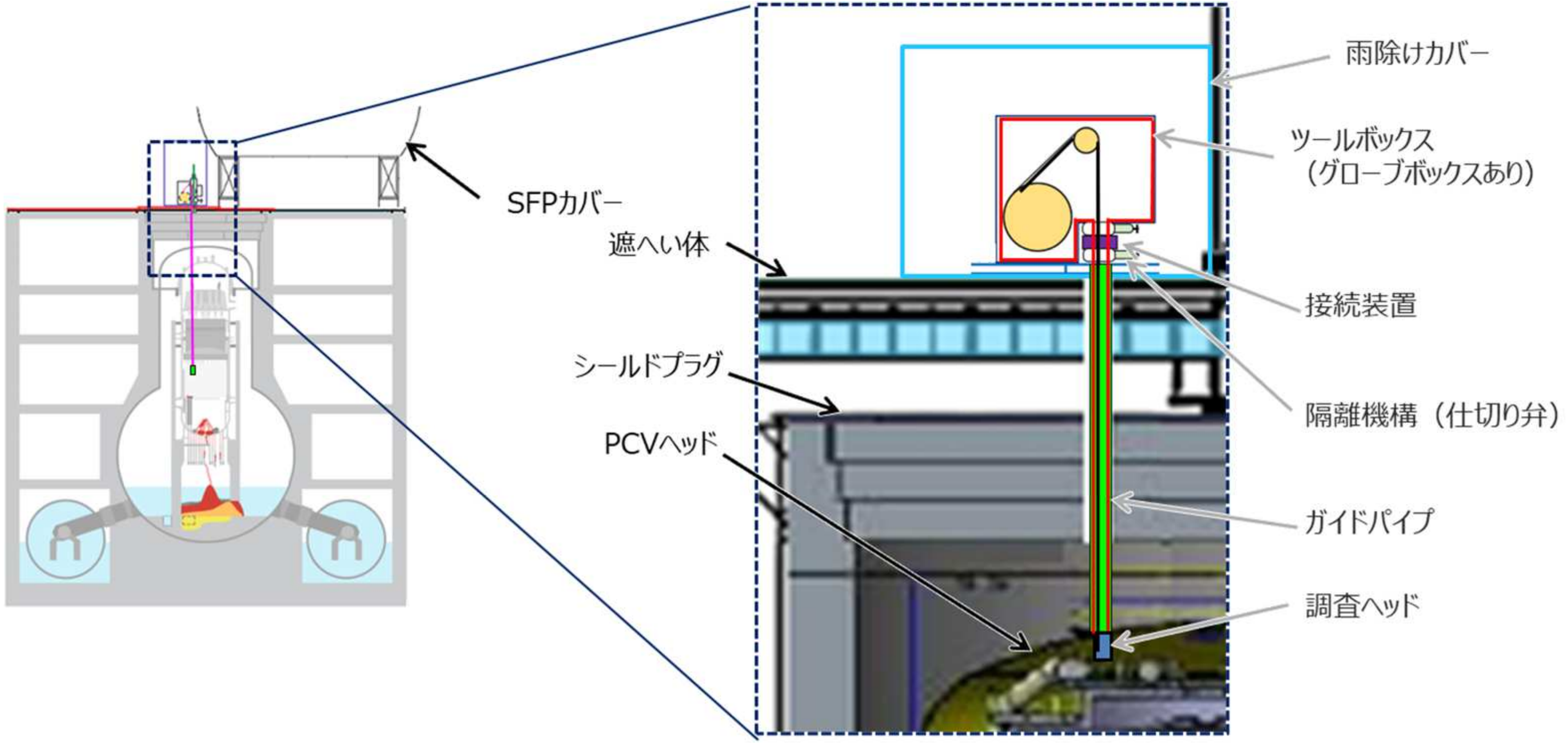


内視鏡



NDF

上アクセスによる3号機圧力容器内調査

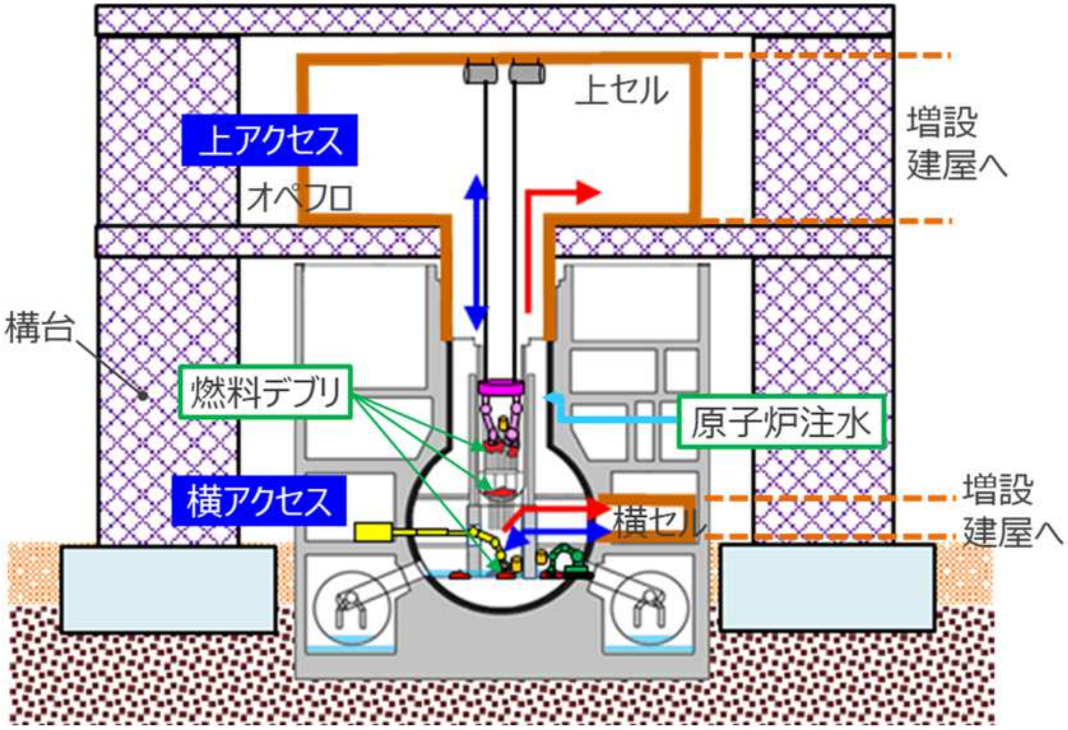


燃料デブリ取り出し

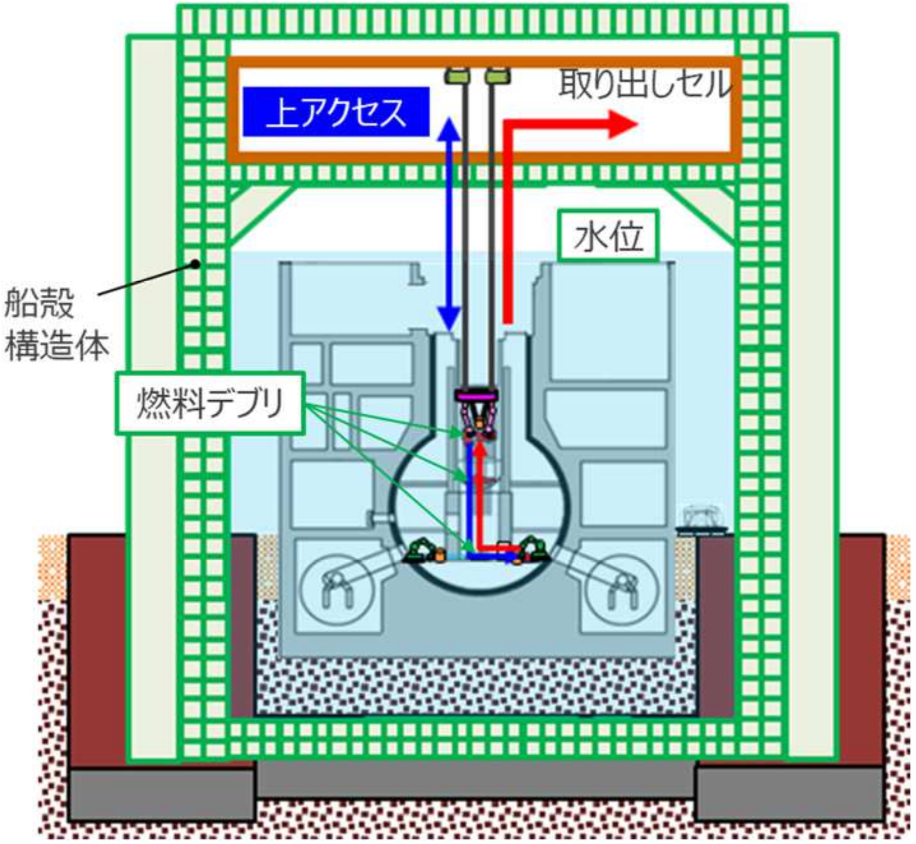
✓ 現在，気中工法をもとに設計検討

✓ 気中工法と冠水工法

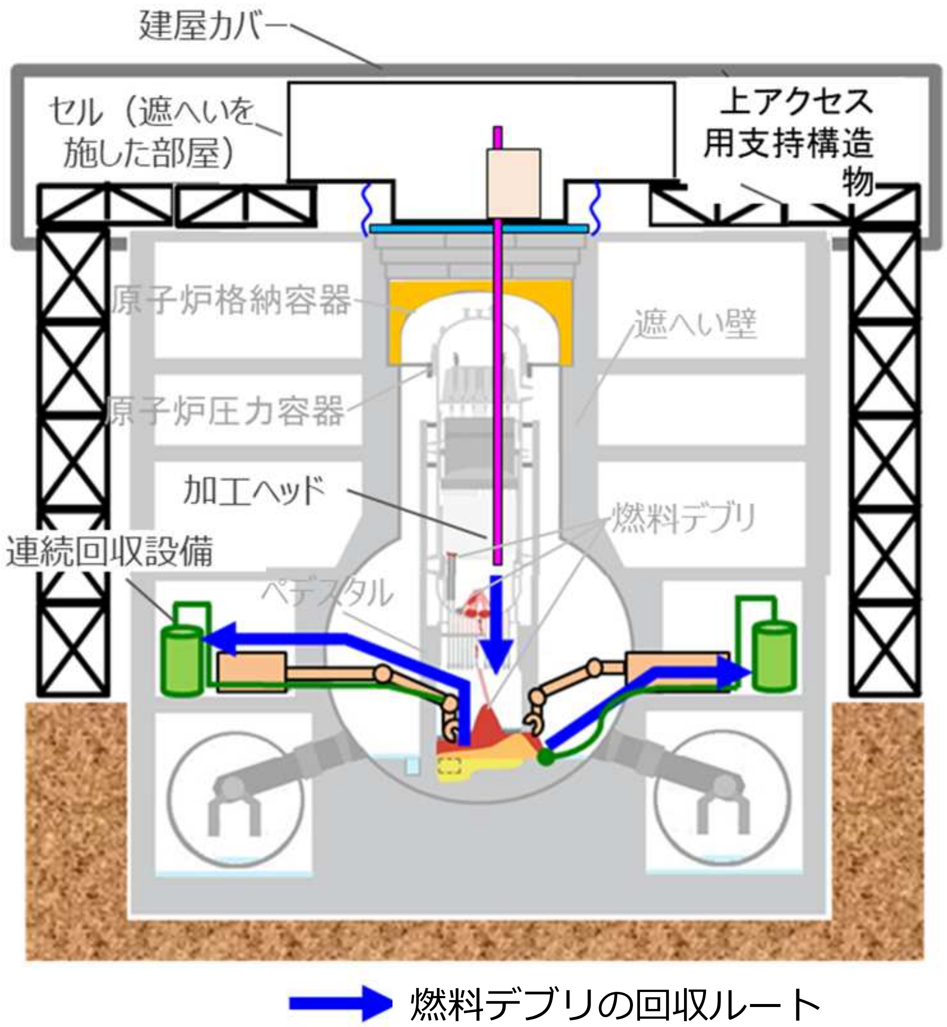
気中工法



冠水工法



気中工法における上アクセスと横アクセス

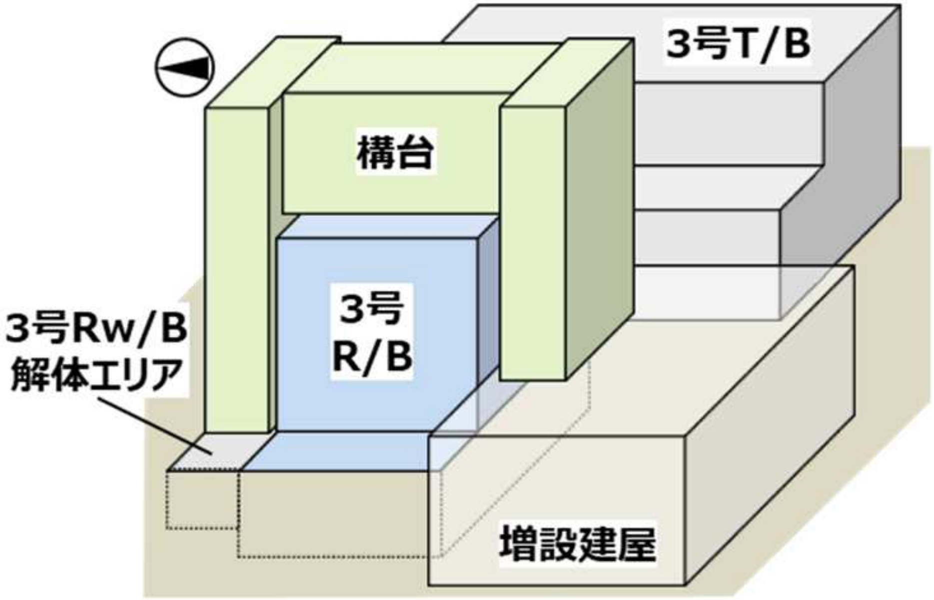


- ✓ 上アクセスは小さな開口から
- ✓ 小片に加工した燃料デブリの連続回収
- ✓ 上／横アクセスの組み合わせ

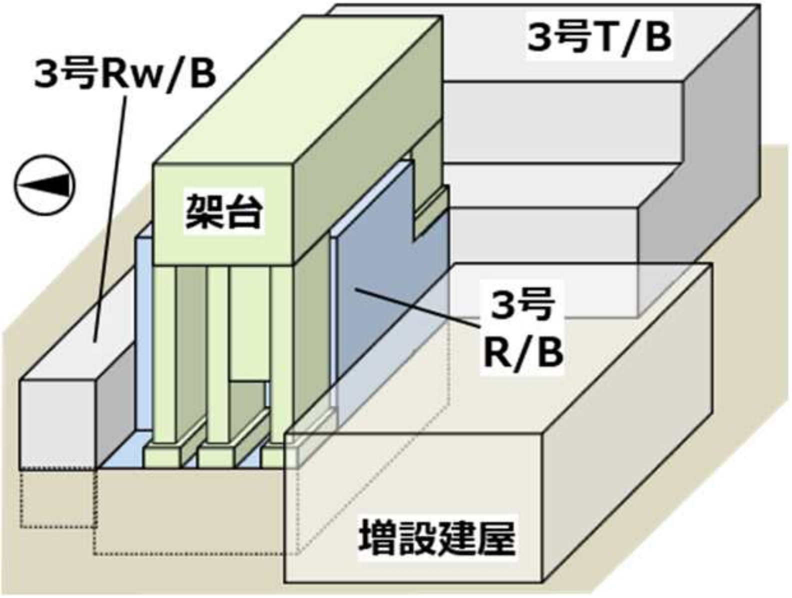
上アクセス用支持構造物

- ✓ 南北構台，東西架台の2案を検討中
- ✓ 周辺の整備が大きな課題

南北構台



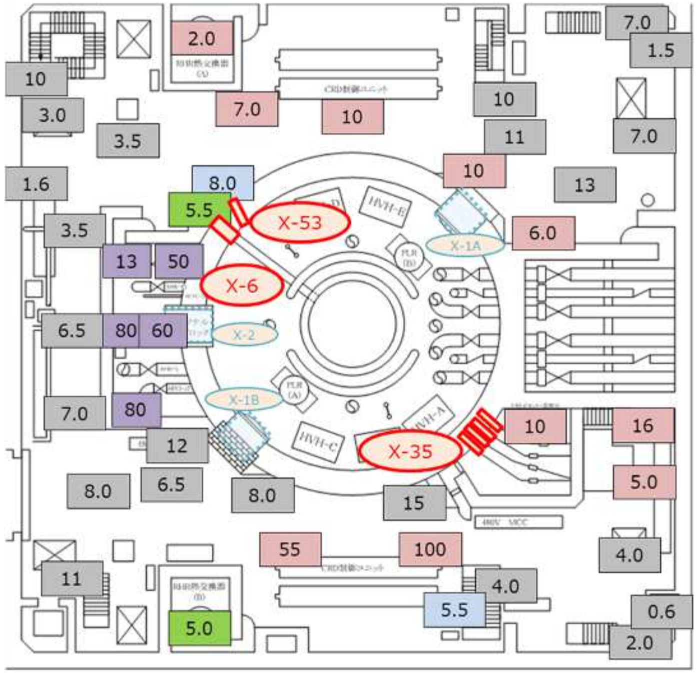
東西架台



原子炉建屋内及び周辺の環境整備

- ✓ 原子炉建屋内は3号機1階だけをみても毎時100mSv近くに及ぶ箇所が存在
- ✓ 原子炉建屋の周辺には複数の施設が存在し，作業に干渉

3号機
原子炉建屋
1階の線量

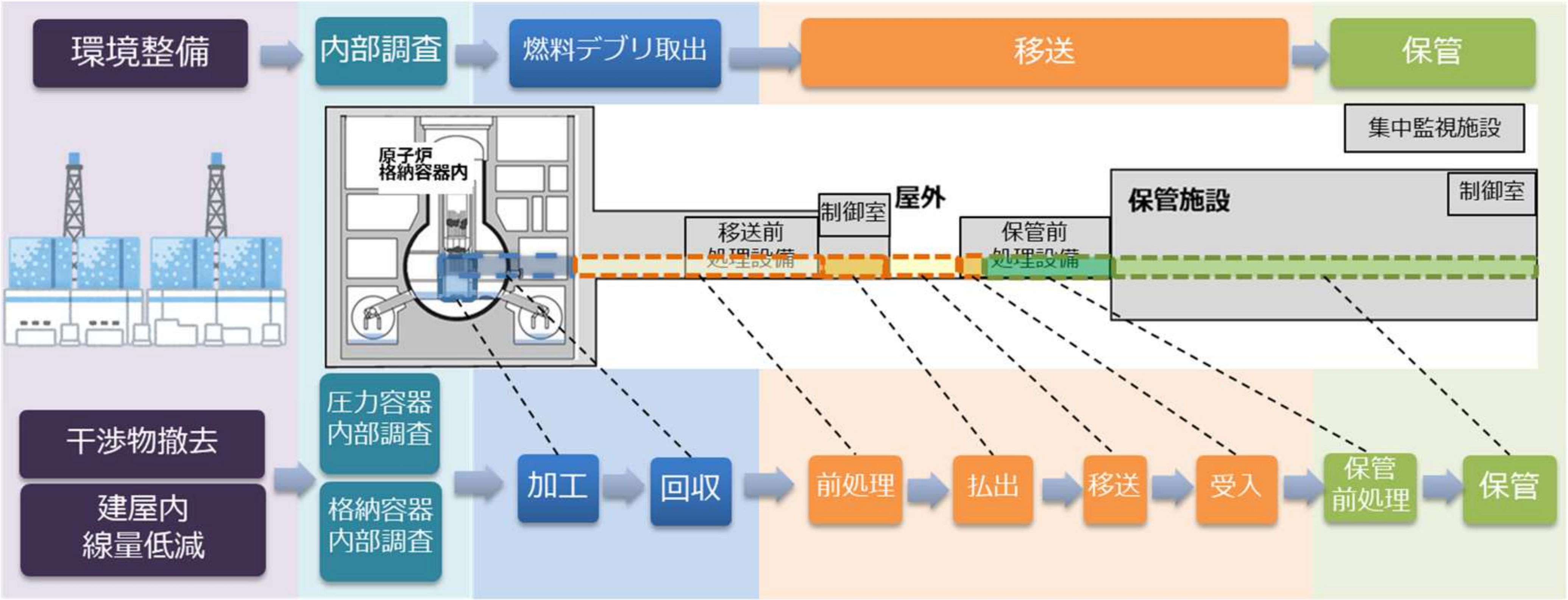


2016年 2020年 2021年
2022年 2023年

単位：mSv/h

3号機
原子炉建屋
周辺の施設

燃料デブリ取り出しの主要プロセス



おわりに

- ✓ 福島第一原子力発電所における損傷した炉心燃料(燃料デブリ)や使用済燃料の発熱は大きく減衰しており，かなりの長期間放置されても溶融したり水素が発生したりする状態にはない
- ✓ 事故の調査･分析は続いており，廃炉作業は現場検証と併行して進められる必要がある。まだまだ多くの教訓･知見の取得が期待される
- ✓ 燃料デブリの取り出しについて工法検討が進みつつあるが，現場には大きな不確かさが存在するため，計画には不断の見直しが必要
- ✓ 廃炉の全体行程を最も安全に進めるためには，これまでよりも長い期間を視野に入れた議論，検討が欠かせない

御清聴ありがとうございました。