

# 燃料デブリ取り出し に向けての取組み

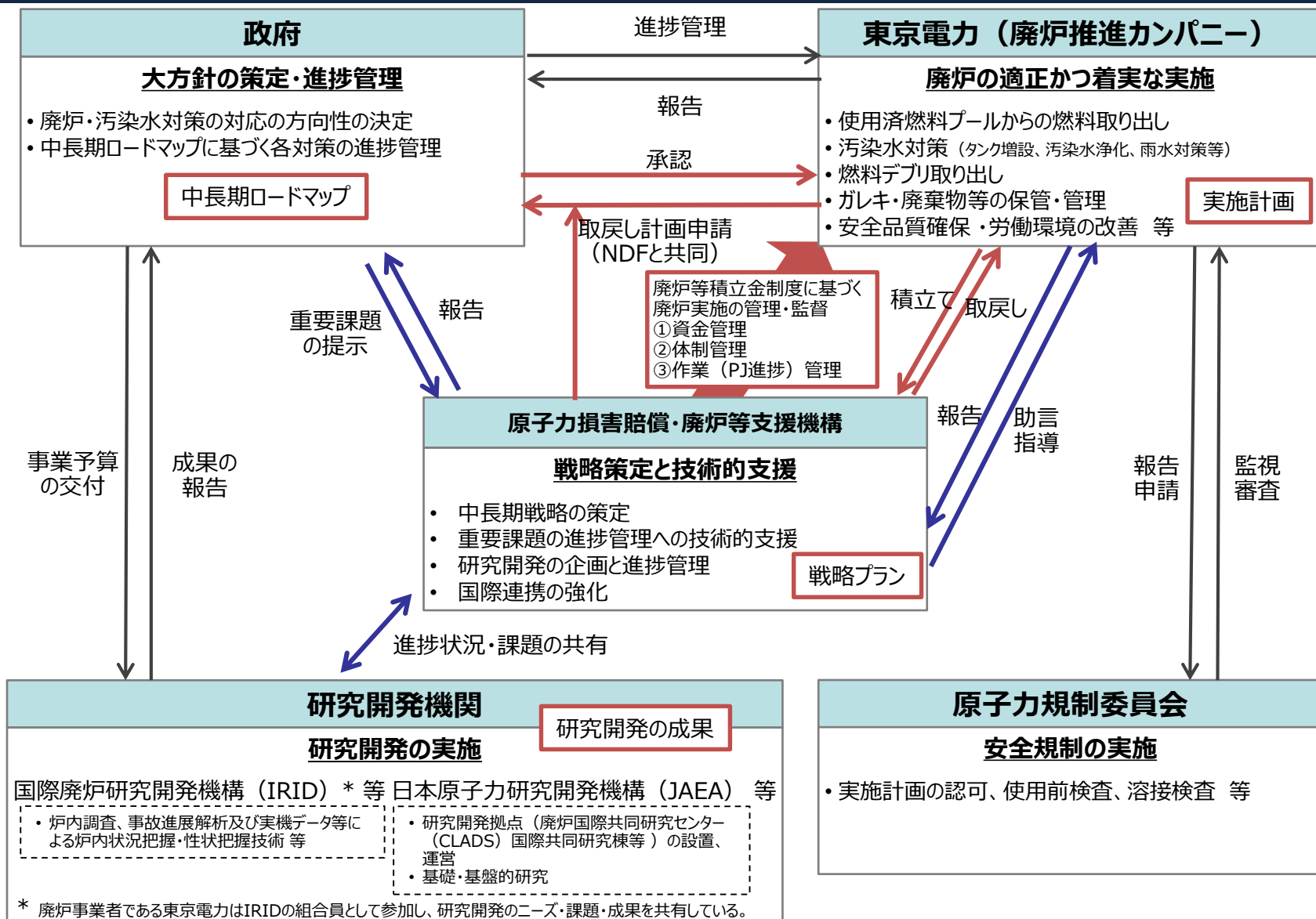
日本原子力学会2017年秋の大会(北海道大学)

2017年9月13日

**原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)**

**\* 中野純一、福田俊彦**

# 福島第一原子力発電所の廃炉に関する役割分担



# 戦略プラン2017の目的・位置付け

2015年度

2016年度

2017年度

戦略プランは、中長期ロードマップを円滑・着実に実行するために必要な技術的根拠に資するもの

号機ごとの燃料デブリ取り出し方針の決定  
廃棄物の処理・処分に関する基本的な考え  
方の取りまとめ

2016年7月13日公表

戦略プラン2016

戦略プラン2017

- 戦略プラン2017は、これまでの検討を踏まえて、中長期ロードマップの上記のマイルストーンに向けて、戦略的提案を行うもの

2015年4月30日公表

戦略プラン2015

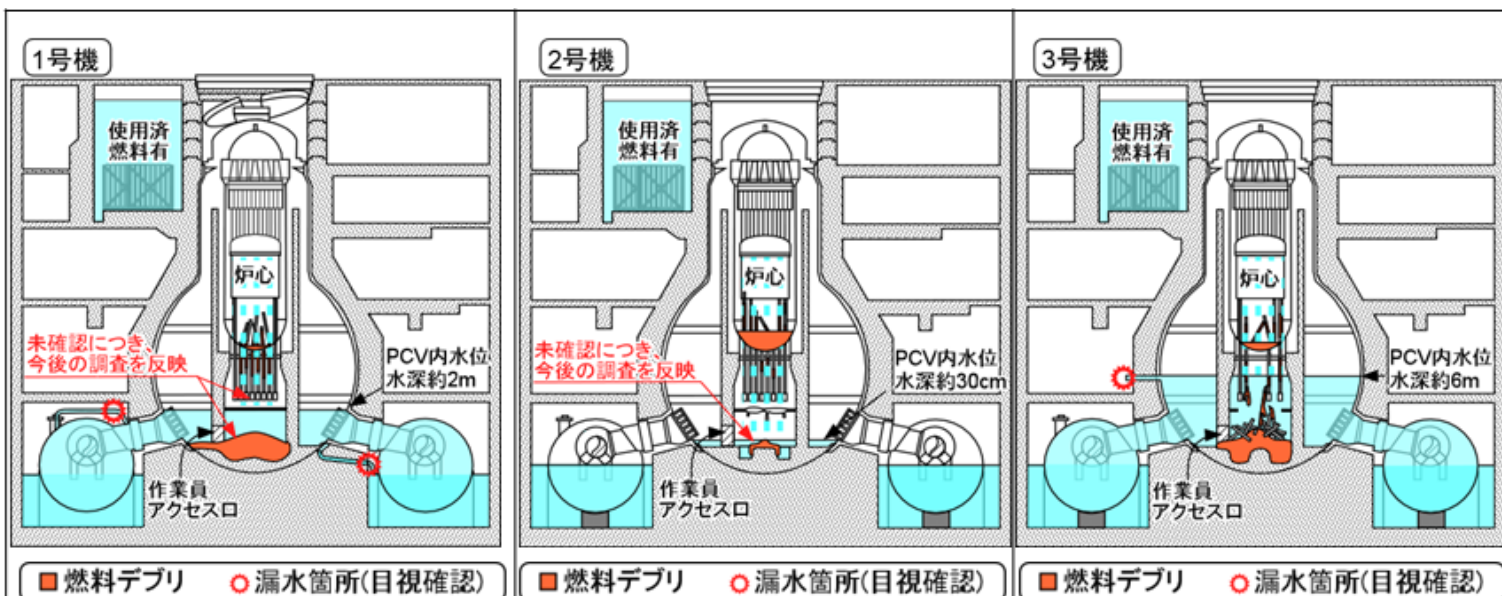
- 考え方、取組の方向性

## 基本的姿勢

- ✓ 福島第一原子力発電所の廃炉は、大きな不確実性を内在したプロジェクト
  - ✓ 速やかな廃炉を目指すためには、ある程度の不確実性は存在していても、安全性の確保を最優先に、これまでの経験・知見等を活用し、柔軟かつ迅速に取り組む姿勢が必要
- 長期的かつプロジェクト全体を俯瞰する視点で全体最適化を目指す姿勢、想定とは異なる場合に備える姿勢も重要



# 号機ごとのプラントの状況

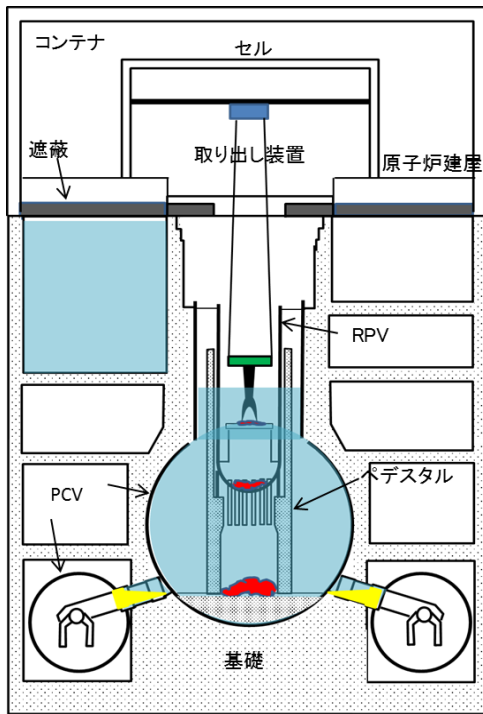


	1号機	2号機	3号機
炉心部	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし (外周部に切り株状燃料の残存の可能性あり)	・炉心部にはほぼ燃料デブリなし
RPV底部	・RPV底部に少量の燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在	・RPV底部に多くの燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在	・RPV底部に一部の燃料デブリが存在 ・CRDハウジング内部及び外表面などに少量の燃料デブリが存在
PCV底部 (ペDESTル内側)	・ペDESTル内側床面に大部分の燃料デブリが存在	・ペDESTル内側床面に少量の燃料デブリが存在	・ペDESTル内側床面に2号機と比較して多くの燃料デブリが存在
PCV底部 (ペDESTル外側)	・作業用出入口を通してペDESTル外側に燃料デブリが広がった可能性あり	・作業用出入口を通してペDESTル外側に燃料デブリが広がった可能性は小さい	・作業用出入口を通してペDESTル外側に燃料デブリが広がった可能性があり

注) 燃料デブリの推定は2016年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金(総合的な炉内状況把握の高度化)」中間報告(平成28年度成果報告)及び一部2017年度の調査結果に基づき作成。

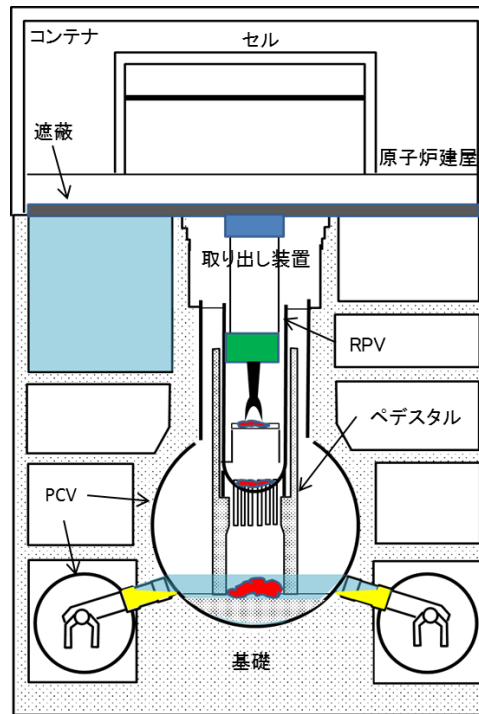
# 燃料デブリ取り出し工法実現性検討

- 水位とアクセスルートとの組合せとなる燃料デブリ取り出し方法の実現可能性を評価するため、典型的な工法として3つの重点工法を選定。



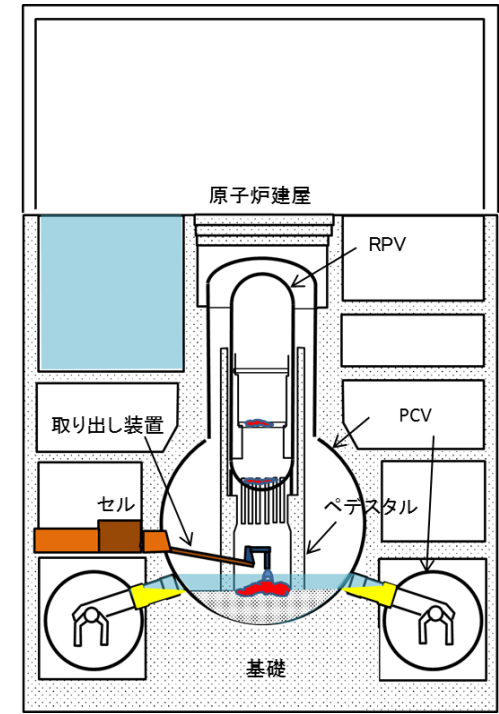
**a. 冠水-上アクセス工法**

燃料デブリへのアクセスを上から行い、PCVを完全に冠水させるか、あるいは、燃料デブリの存在する場所まで冠水させて取り出しを行う。



**b. 気中-上アクセス工法**

燃料デブリへのアクセスを上から行い、燃料デブリの一部を気中の状態で取り出しを行う。



**c. 気中-横アクセス工法**

燃料デブリへのアクセスをPCV横から行い、燃料デブリの一部を気中の状態で取り出しを行う。

※上図は3種の代表的な工法のイメージ図であり、1～3号機別の図ではない。

# 燃料デブリ取り出し工法の実現性評価

## アクセスルート の構築

### RPV 内部

・RPV内部の燃料デブリ取り出しは、**炉内構造物などの撤去**が必要となり作業規模が大きくなる可能性有。

### PCV 底部

・PCV底部の燃料デブリに対しては、RPV底部に開口をあけるため、横アクセスに比べて**作業規模が大きくなる**可能性有。

### 冠水-上アクセス

### 気中-上アクセス

### 気中-横アクセス

・RPV内部の燃料デブリ取り出しは、**炉内構造物などの撤去**が必要となり作業規模が大きくなる可能性有。

・PCV底部の燃料デブリに対しては、RPV底部に開口をあけるため、横アクセスに比べて**作業規模が大きくなる**可能性有。

・RPV内部の燃料デブリ取り出しに対しては現時点では**難度高**。

・PCV底部の燃料デブリに対しては、上アクセスに比べて**作業規模を小さく**できる可能性有。



## 工法に関する実現性評価

### 冠水-上アクセス

- ・止水のための**遠隔補修技術の開発難度が高**。
- ・補修にかかる総作業員被ばく量が**過大**。

### 気中-上アクセス

- ・ $\alpha$ 核種を閉じ込める**負圧維持の技術開発継続が必要**。
- ・横からアクセスとの**組合せが必要**な可能性有。

### 気中-横アクセス

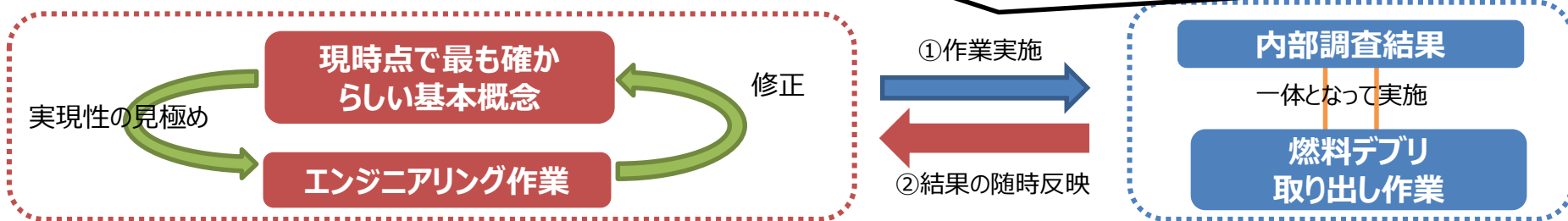
- ・ $\alpha$ 核種を閉じ込める**負圧維持の技術開発継続が必要**。
- ・上からアクセスとの**組合せが必要**な可能性有。

# 燃料デブリ取り出しの戦略的提案(方針の決定に向けた提言)

## 燃料デブリ取り出し方針の決定に向けた提言

1. 燃料デブリ取り出しを、準備工事から取り出し工事、搬出・処理・保管及び後片付けまで、現場における他の工事等との調整も含め、全体最適化を目指した総合的な計画として検討を進めること。
2. 先行して着手すべき燃料デブリ取り出し方法を設定した上で、徐々に得られる情報に基づいて、柔軟に方向性を調整する**ステップ・バイ・ステップのアプローチ**で進めること。
3. 燃料デブリ取り出しの完遂に向けて、様々な工法の組合せが必要になることを前提とすること。
4. **気中工法に軸足**を置いて、予備エンジニアリング、研究開発等を進めていくこと。
5. まず、PCV底部の燃料デブリの取り出しに重点を置いて取組を進め、その過程において得られる知見や経験を踏まえて常に見直しを行うこと。
6. 最初にPCV底部の燃料デブリにアクセスするルートとしては、**PCVの横方向からのアクセス**（横アクセス工法）から検討を進めていくこと。

不確実性の中、小さくても確実な成功例を分析しつつ少しずつ規模を拡大（**ステップ・バイ・ステップ**）





# 燃料デブリ取り出しの戦略的提案(方針決定以降の取組)

- 燃料デブリ取り出し方針決定後においては以下の項目に重点的に取り組むべき。

## 予備エンジニアリング

- ✓ 研究開発やシステム概念検討の成果の現場適用性を検討し、工程を具体化する。
- ✓ 予備エンジニアリングの結果を踏まえ、燃料デブリ取り出し方法を見直すことも考えられる。

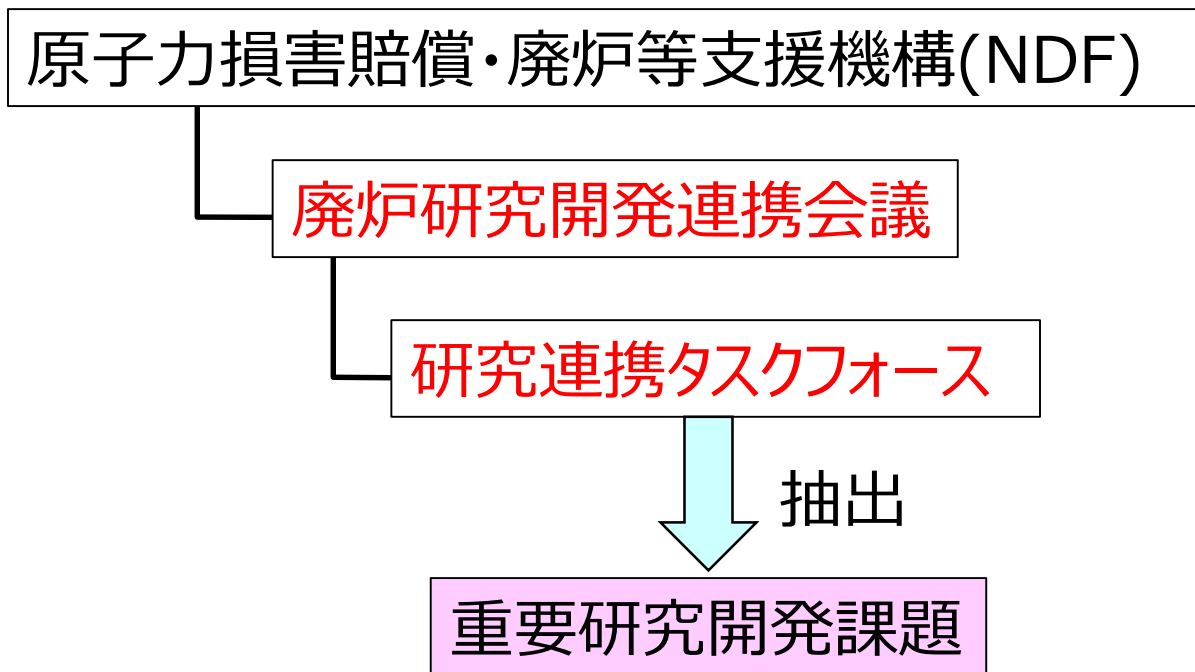
## 研究開発の絞り込み・重点化による技術開発の加速と実用化

- ✓ PCV内部調査の追加実施。
- ✓ RPV内部調査の実施。
- ✓ 気中工法を実現するために必要な $\alpha$ 核種管理システムの成立性を見極め。
- ✓ 横アクセス工法実現のために必要な研究開発の推進・モックアップ施設の在り方の検討。
- ✓ 燃料デブリの収納、移送、保管に関するシステムや保管施設の準備、取り出し作業に伴って発生する廃棄物に関する研究開発の推進。

## 燃料デブリ取り出し開始に向けた道筋

- ✓ 燃料デブリ取り出しプロジェクトを進めるに当たっては、①プロジェクトの継続性への配慮、②サイト全体で行なわれる廃炉作業の最適化、③地元や社会との緊密なコミュニケーションといった点への配慮が必要。

# 研究連携タスクフォース

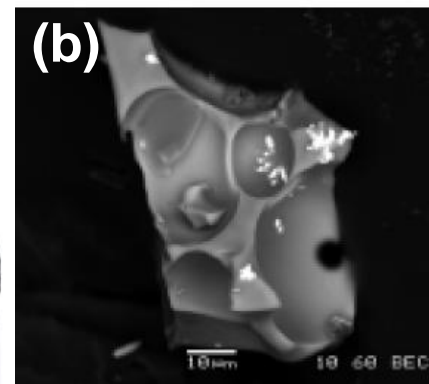


# 研究連携タスクフォースで抽出した6重要研究開発課題

重要研究開発課題	問題意識
燃料デブリの経年変化プロセス等の解明	燃料デブリの取出し時期は、平成33年以降と想定されており、燃料デブリ生成後10年経過後となる。さらに、その後の燃料デブリ取り出しはある程度の長期間を要すると予想され、燃料デブリは炉内環境中で十年以上留まることとなる。さらに、取出した燃料デブリを安全に保管しなければならない。燃料デブリ取り出し方法の検討及び移送・保管方法を検討する上では、燃料デブリの経年変化予測が必須である。
特殊環境下の腐食現象の解明	高放射線環境や非定常な経路での冷却水などの1F廃炉の特殊環境を勘案した幅広い環境条件下での腐食データを取得し、廃炉において発生する可能性のある腐食現象の解明を行う。
画期的なアプローチによる放射線計測技術	福島第一の炉内及び建屋内は事故の影響で非常に高い放射線環境となっている。炉内状況や建屋内状況を調査する上で、現行の放射線測定装置では性能・機能上限界がある。そのため、福島第一でのニーズを踏まえた上で、新たな発想、原理を用いた画期的な放射線計測装置の開発を行う必要がある。
廃炉工程で発生する放射性飛散微粒子挙動の解明( $\alpha$ ダスト対策を含む)	燃料デブリを機械的又はレーザー等により高温で切削する場合、多量の $\alpha$ ダストが発生すると予測され、安全上の対策、閉じ込め管理が必要となる。そのために、 $\alpha$ ダストの物理的・化学的性質等の性状把握、切削方法毎のダストの発生量予測とそれらを踏まえた閉じ込め対策の検討を行い、デブリ取り出し時の安全確保を図る。
放射性物質による汚染機構の原理的解明	建屋内の線量率を低減するためには、汚染源に対して汚染機構を踏まえた効果的な除染を行うとともに、同時にできるだけ無駄な廃棄物を出さないことが重要である。これに向けて効果的な除染のための汚染機構の原理的解明を目指す。
廃炉工程で発生する放射性物質の環境中動態評価	放射性物質の環境影響について問題のないことを確認するため、放射性物質の浅地下環境中での吸着、拡散、地下水に伴っての移動等の挙動を解明し環境影響評価につなげる必要がある。

# 燃料デブリ経年変化プロセスの解明の背景

- ◆ 事故から30年以上経過したチェルノブイリ原子力発電所では、燃料デブリが自己崩壊を生じており、微粒子が燃料デブリ周辺で検出されている。➡安定性が低い。



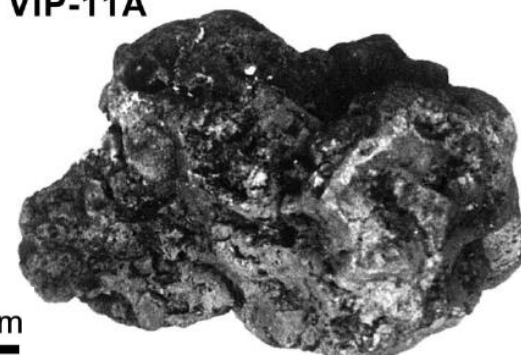
チェルノブイリ燃料デブリ、(a)自己崩壊したサンプルおよび  
(b)微粒子の電子顕微鏡写真

出典：B. Burakov, V.G. Khlopin Radium Institute, 第2回福島第一廃炉等支援  
機構国際フォーラム資料(2017)

K. Dolganov, IBRAE, OECD/NEA BSAF-2 The 3rd Workshop資料

- ◆ スリーマイル原子力発電所2号機(TMI-2)の燃料デブリも30年以上経過しているが、変化がみられない。当時、フッ酸にも溶解しなかった。➡安定性が高い。

(a) VIP-11A

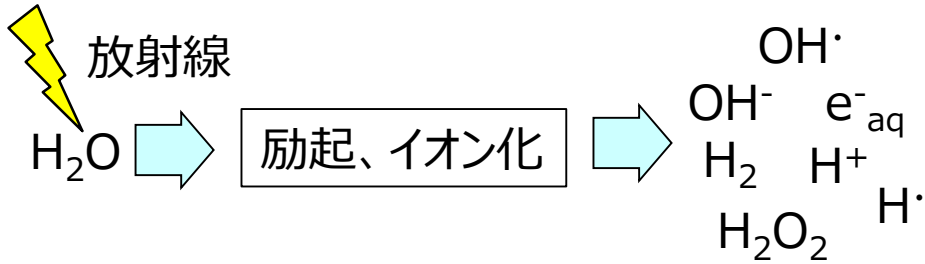


10 mm

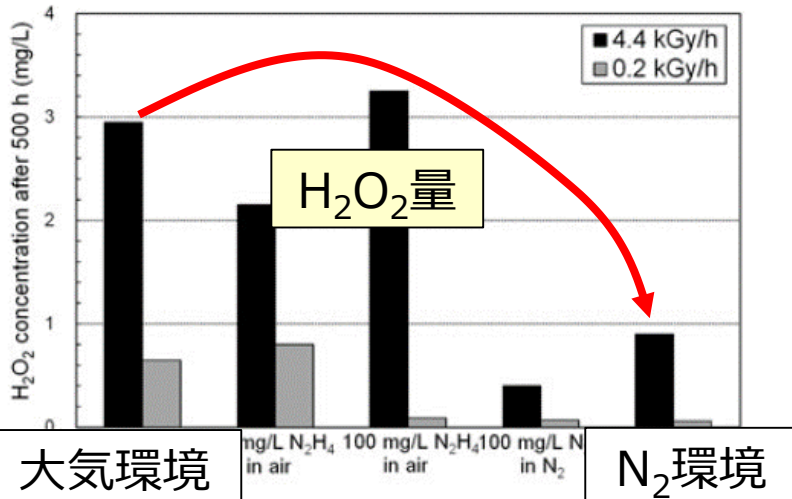
TMI-2燃料デブリの外観写真

出典：F. Nagase and H. Uetsuka, J. Nucl. Sci.  
Tech., Vol.49, No.1, p.96 (2012)

# 特殊環境下の腐食現象の解明の背景



水の放射線分解によって酸化を促進させる化学種が生成。



出典: J. Nakano et al, J. Nucl. Sci. Tech., (2014)

大気→N<sub>2</sub>により、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>発生量が低下。  
腐食量も低下するが、ゼロではない。



3号機のCRDハウジング下部  
出典: 東京電力ホールディングス



3号機のペDESTAL内  
出典: 東京電力ホールディングス

# 重要研究開発課題に関する分科会

燃料デブリ経年変化  
分科会

特殊環境下腐食  
分科会

放射線計測技術  
分科会

放射性飛散粒子挙動  
分科会

汚染機構解明  
分科会

環境中動態評価  
分科会

## 廃炉基盤研究プラットフォーム

(全体事務局：JAEA 廃炉国際共同研究センター(CLADS))

廃炉基盤研究プラットフォームに、重要研究開発課題ごとの分科会を設置。分科会は、東京電力を含むニーズ側と大学等のシーズ側双方の専門家を招集し、両者のコミュニケーションとハブとなり技術シーズを実用化段階まで統合し完成することのできる俯瞰的なシステムインテグレート人材を中心に、研究開発戦略を検討。

# まとめ

- ◆ NDFは、福島第一原子力発電所の燃料デブリ取り出しの戦略策定と技術的支援に取り組んでいる。
- ◆ 戦略策定として、戦略プラン2017を作成し、その中で戦略的提案を行った。
- ◆ 技術的支援の取組として、重要研究開発課題の抽出を行った。各分科会で研究テーマの詳細化が検討中である。