

# 福島第一原子力発電所事故への対応状況 廃止措置等に向けた取り組み

平成26年2月14日

独立行政法人日本原子力研究開発機構

福島技術本部 復旧技術部

船坂 英之

## 1. 東京電力福島第一原子力発電所（1Fサイト）の現況

## 2. 1Fサイトの廃炉推進に向けた原子力機構の取り組み

### 2-1 中長期の研究開発課題に対して

- 燃料デブリ取り出しに向けた研究
- 放射性廃棄物の処理・処分に向けた研究

### 2-2 1Fサイトの喫緊の課題に対して

## 3. まとめ



東京電力HPより加工（全景除く）



フランジ型タンク



角型タンク



横置きタンク



溶接型タンク



多核種除去設備



東京電力福島第一原子力発電所全景  
(2013年10月)

写真提供：NHK



1号機



2号機



3号機



セシウム吸着装置

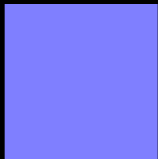
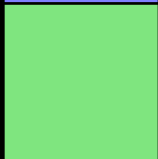




第二セシウム吸着装置

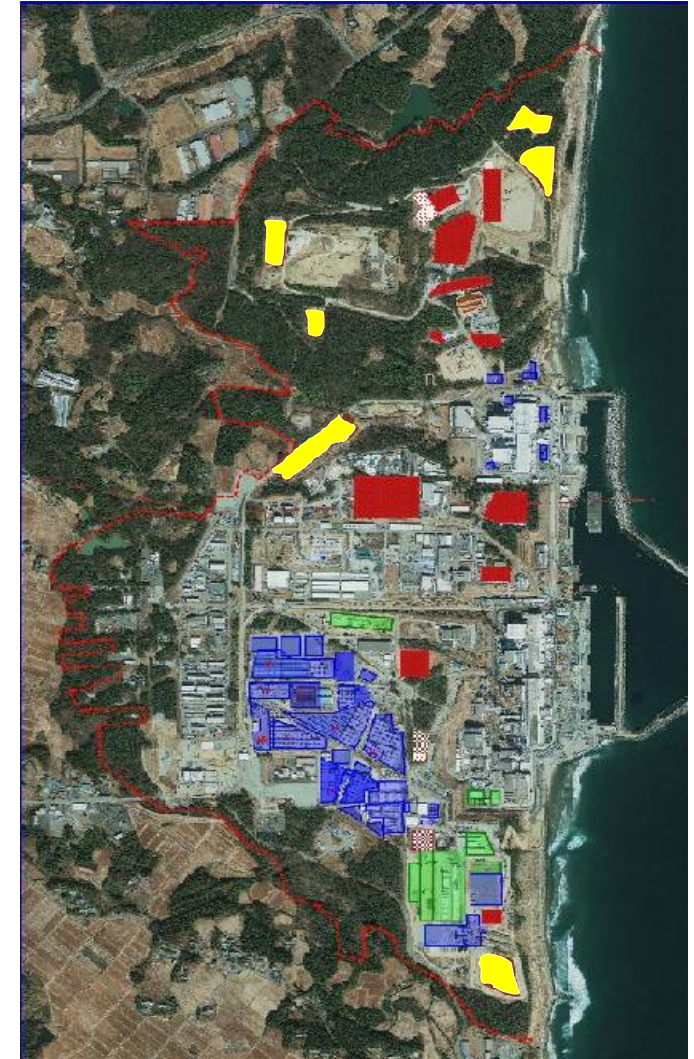


4号機

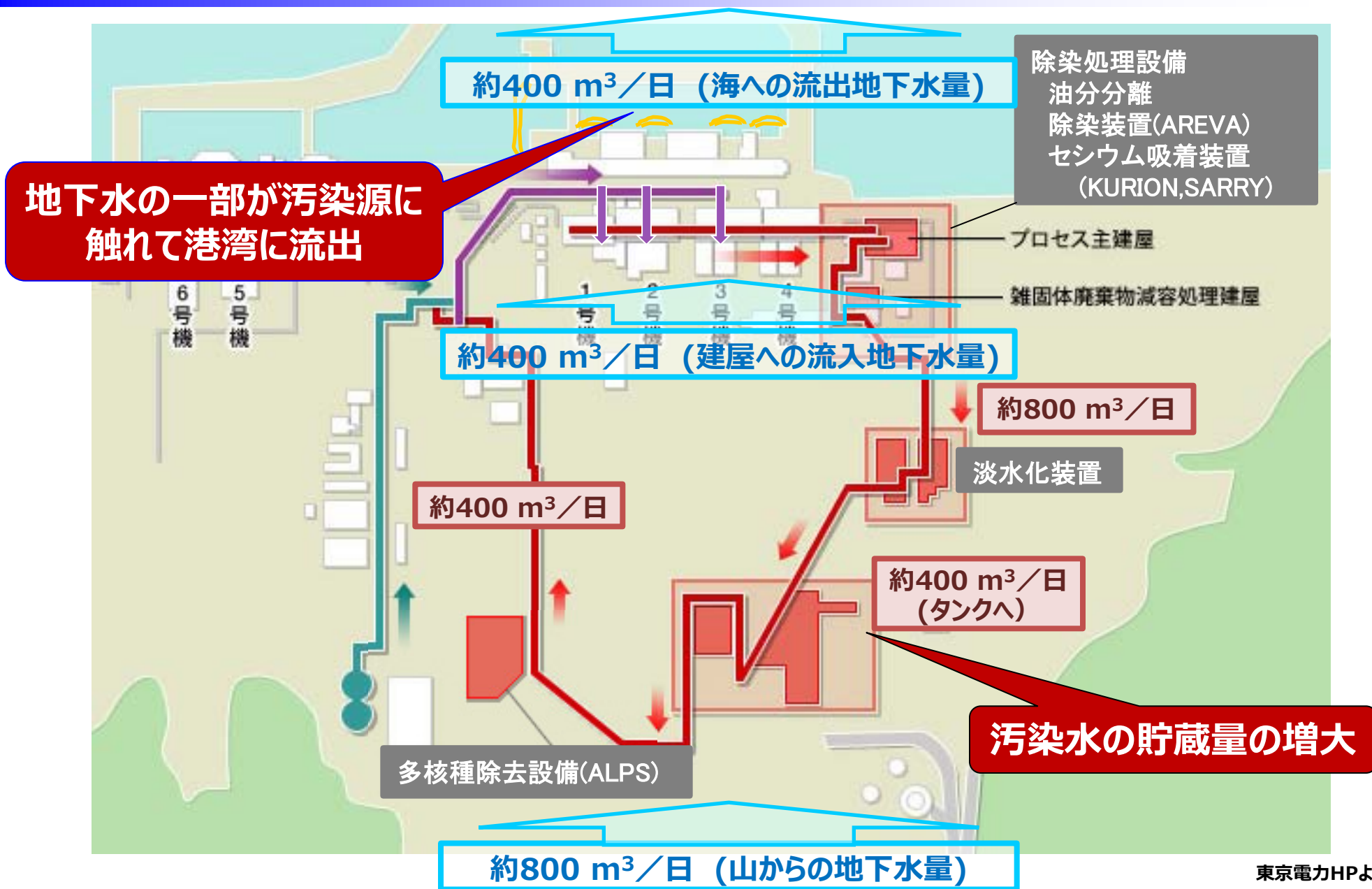


右図 凡例	主な種類	発生量
	汚染水処理水 (水処理タンク)	約416, 000 m <sup>3</sup>
	水処理二次廃棄物 (セシウム吸着塔)	758本
	ガレキ	69,000 m <sup>3</sup>
	伐採木	78,000 m <sup>3</sup>

汚染水処理水、水処理二次廃棄物 : H26. 1. 28時点  
ガレキ、伐採木 : H25. 12. 31時点

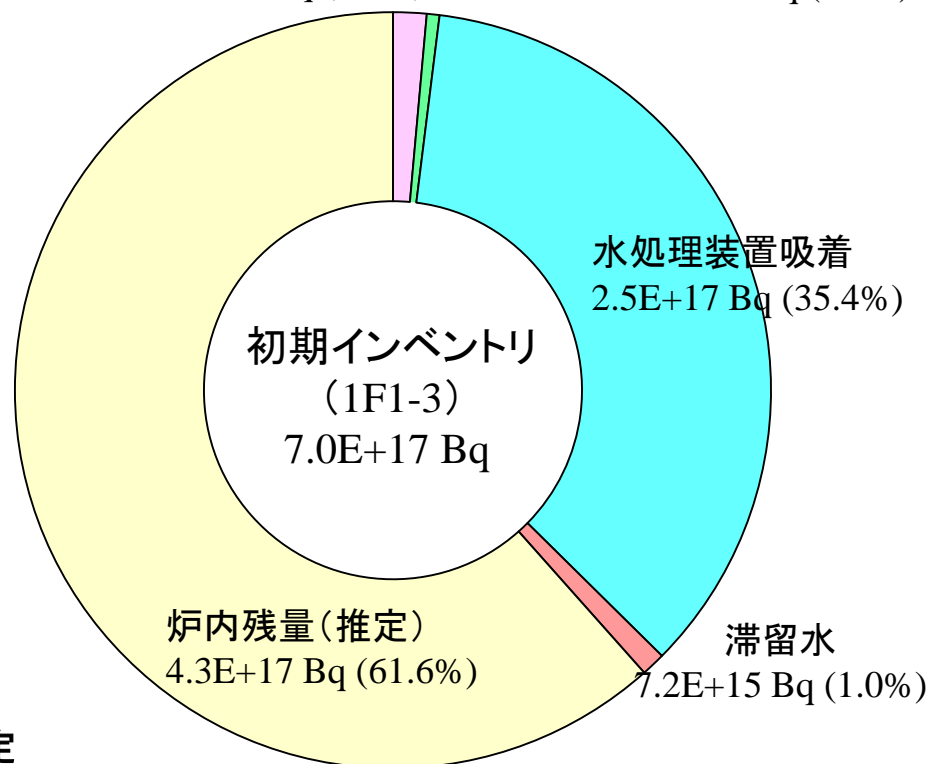




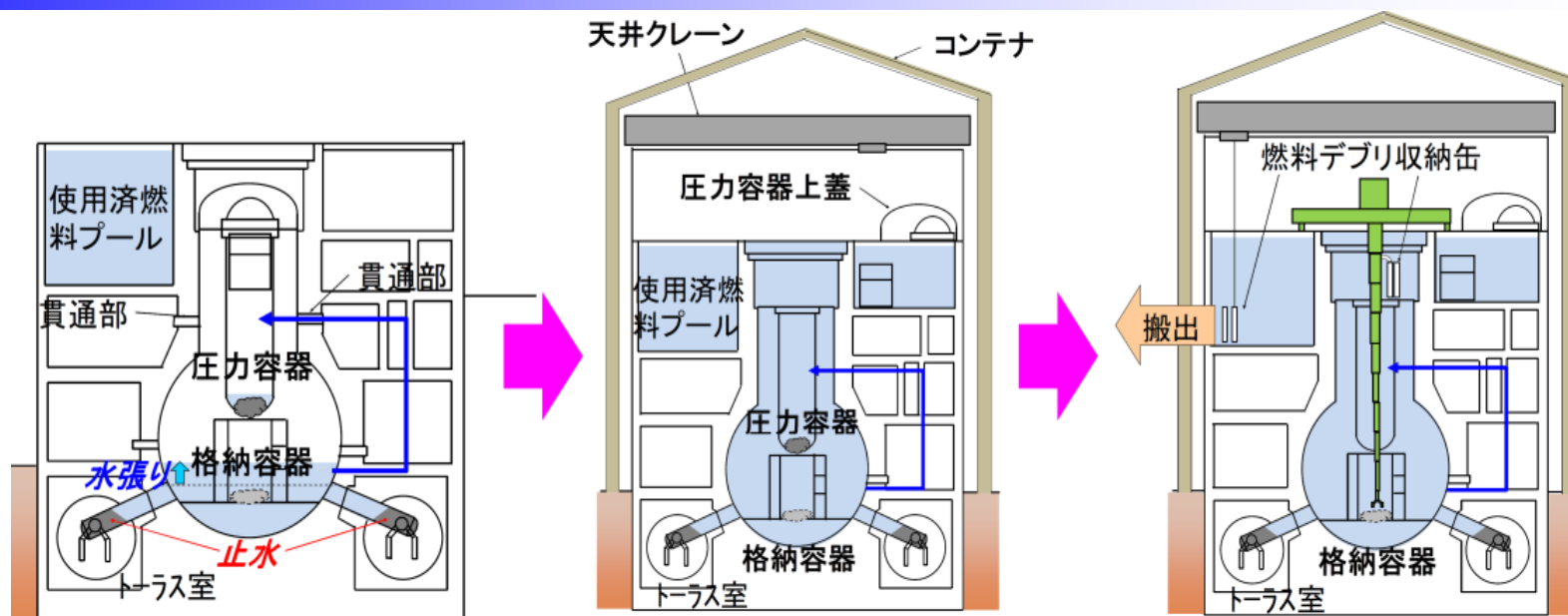


	Cs137放射能 (Bq)	Cs137重量 (kg)	備考
初期インベントリ(1F1-3)	7.0E+17	218.8	原子力機構公開報告書 (JAEA-Data/Code 2012-018)
大気放出	1.0E+16	3.1	東電評価値 (東電プレスリリース, 2012.5.24) 及び東電公開データから2013.10.31までの値を評価
海洋放出	3.8E+15	1.2	電中研評価値 (東電プレスリリース, 2012.5.24) を基に2013.10.31までの値を評価
水処理装置吸着	2.5E+17	77.5	東電公開データから評価 (2013.4.2)
滞留水	7.2E+15	2.3	規制庁「特定原子力施設監視・評価検討会 (第15回) 参考1」 (2013.10.30)
炉内残量(推定)	4.3E+17	134.7	

大気放出 1.0E+16 Bq (1.4%) 海洋放出 3.8E+15 Bq (0.5%)







原子炉格納容器下部補修(止水)～下部水張り(イメージ)

燃料デブリ取り出し(イメージ)

東京電力HPより

## 燃料デブリ取り出しに向けた課題

- ✓ 建屋内の除染
- ✓ 格納容器の修復（止水）、水張り
- ✓ 使用済燃料プール及び燃料の健全性確認、共用プールへの移送と保管
- ✓ 溶融固化燃料（デブリ）取出し技術の開発
  - 炉内状況の把握（観察、解析）
  - 燃料デブリの特性把握（取り出し方法の検討、再臨界防止）
  - 遠隔操作技術

東京電力HPより加工



## 放射性廃棄物の処理処分に向けた課題

- ✓ 汚染水からの核種除去
- ✓ 汚染水処理廃棄物、がれき、伐採木等の
  - 保管管理（腐食、発熱などへの対策）
  - 処理（廃棄体化技術開発）
  - 処分（新たな処分概念の検討、制度化）
- ✓ 廃炉シナリオの検討

## 技術基盤の確立に向けた施設の整備

- ✓ 遠隔操作機器・装置の開発実証施設（モックアップ施設）
- ✓ 燃料デブリ・放射性廃棄物などの放射性物質分析・研究施設



## 福島技術本部 (H23/5/6設置)

### 復旧技術部 (H23/5/6設置)

- ・研究開発の総合調整

### 福島廃炉技術安全研究所 (H25/4/1設置)

- ・放射性物質分析・研究施設及び  
遠隔操作機器・装置実証施設の整備

(東京駐在)

### 【福島現地調査事務所】 (H24/7/1設置、H25/8/1改組)

- ・福島第一原子力発電所サイト内の汚染状況調査、汚染水、瓦礫試料等の採取、分析、輸送等

## 原科研福島技術開発特別チーム (H24/4/1設置)

- ・材料健全性評価技術
- ・燃料デブリ評価技術
- ・臨界管理技術
- ・廃吸着材処理技術
- ・炉内状況解析技術
- ・廃棄物分析
- ・計量管理技術

## 核サ研福島技術開発特別チーム (H24/4/1設置)

- ・プール燃料処理・保管技術
- ・分析技術
- ・燃料デブリ取扱技術
- ・遠隔操作技術
- ・廃棄物処理処分技術

## 大洗研福島技術開発特別チーム (H24/4/1設置)

- ・燃料材料特性解明
- ・検知機器技術
- ・廃ゼオライト保管挙動評価
- ・炉内解体技術

## 燃料溶融複雑系試験準備室 (H25/4/1設置)

- ・試験計画策定、装置製作

## 1 F汚染水対策タスクフォース (H25/10/1設置)

汚染水問題に対し、機構全体として組織横断的に対応するため、以下の分野の専門家で構成するタスクフォースを設置

- ・原子力基礎・基盤研究
- ・地層処分研究
- ・原子力安全研究
- ・放射線計測技術
- ・計算科学

合計 約250名

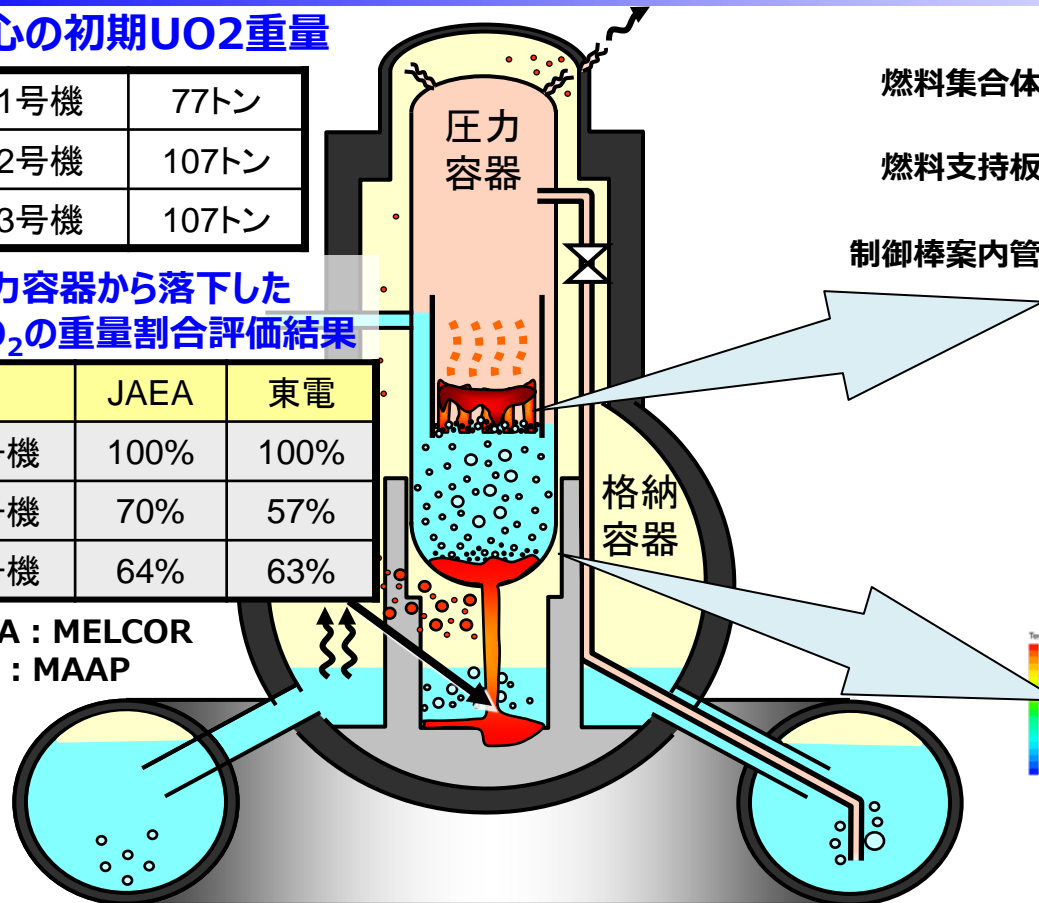
## 炉心の初期UO<sub>2</sub>重量

1号機	77トン
2号機	107トン
3号機	107トン

## 圧力容器から落下したUO<sub>2</sub>の重量割合評価結果

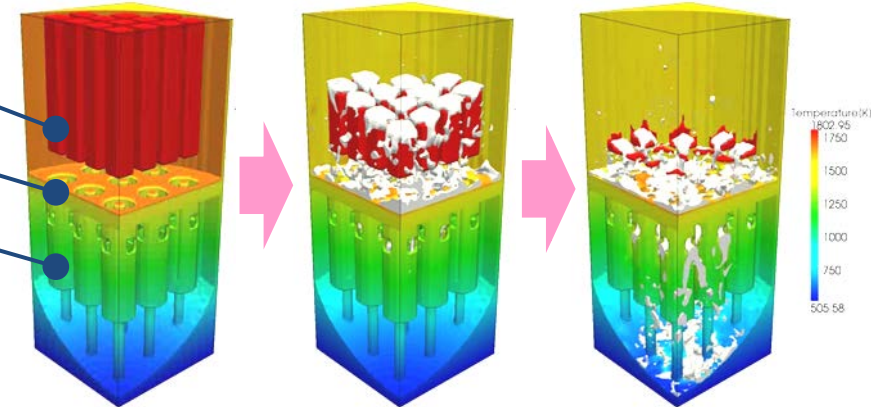
	JAEA	東電
1号機	100%	100%
2号機	70%	57%
3号機	64%	63%

JAEA : MELCOR  
東電 : MAAP



事故時の原子炉のイメージ

燃料集合体  
燃料支持板  
制御棒案内管



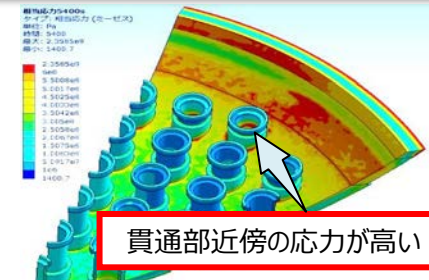
燃料溶融シミュレーション結果の例

燃料集合体、燃料支持板等を簡略模擬し、燃料溶融物の移行挙動を解析。



上部の温度が高い

内面の温度分布



貫通部近傍の応力が高い

貫通部近傍の応力分布

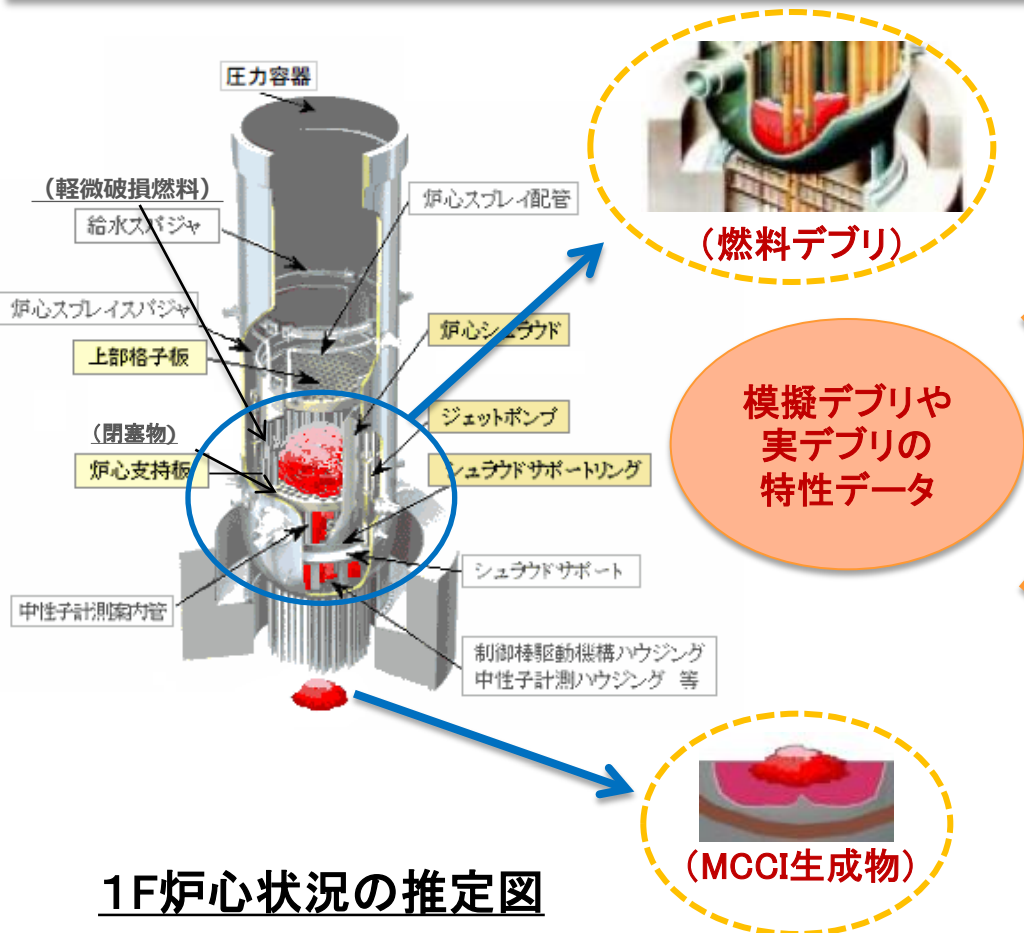
圧力容器下部ヘッドの解析結果

- 燃料の大部分は溶融し、圧力容器下部、あるいは格納容器内に落下している可能性が大きい。
- 安全かつ効率的なデブリ取り出しには、現場から得られる情報の分析と計算コードを用いた燃料溶融の進展解析による燃料デブリ等の分布の推定が必要。

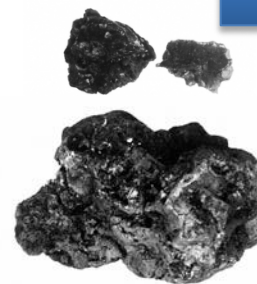
1 mの溶融物が堆積した場合の温度分布と応力分布解析により、自然対流の上昇流により上部の温度が高くなり、また、制御棒案内管などの貫通部近傍に高い応力が発生する結果を得た。



燃料デブリの取出し、保管、処理処分を安全に実施するために必要となる燃料デブリの特性データを取得し、検討に反映する。



## デブリ取出し



TMI-2の燃料デブリ

- ・工法・工具等の開発
- ・臨界安全管理
- ・計量管理

## 一時保管



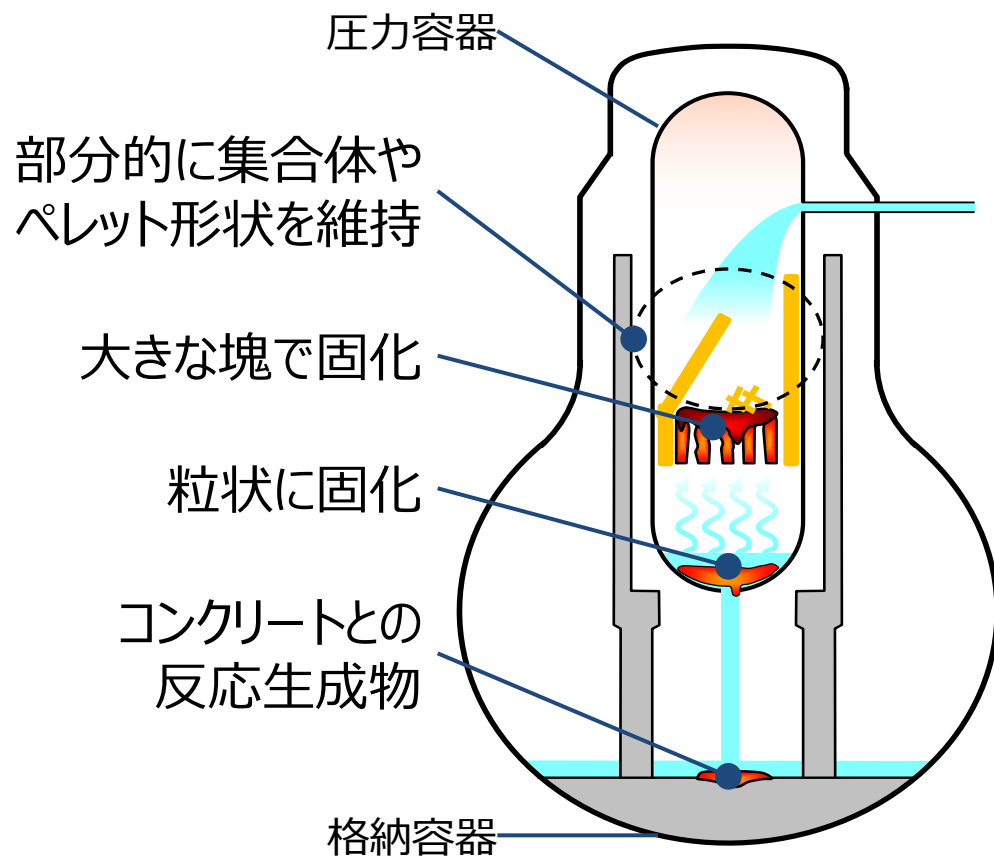
TMI-2燃料デブリの乾式保管

- ・保管方法の検討
- ・容器等の開発
- ・臨界安全管理
- ・計量管理

## デブリの処置

- ・安定化処理の検討
- ・容器等の開発

様々な性状の燃料デブリの存在が予想され、水中における取出しには慎重な臨界管理が必要。  
臨界実験（STACY更新炉等）による燃料デブリの臨界特性把握を計画。

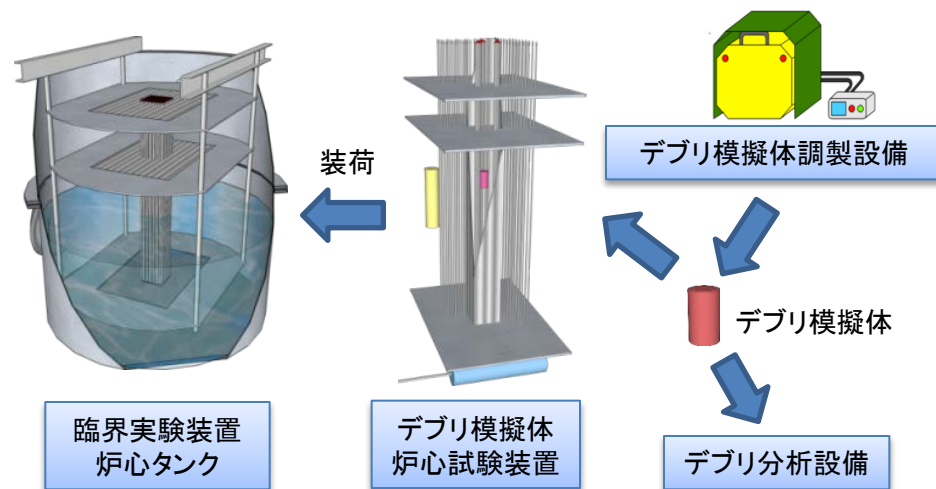


燃料デブリ等性状の想定（一例）

溶融燃料とコンクリートの反応生成物の臨界量の推定

組成	臨界量 (kgU)	集合体数
UO <sub>2</sub> (濃縮度 5 wt%)	～ 400	< 3
12 GWD/t (FP なし)	～ 800	< 5
12 GWD/t (FP あり)	～ 2,000	< 12

燃料：コンクリート体積＝1：7 / コンクリート中の水分のみ考慮

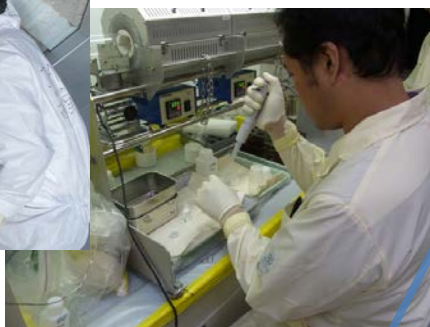


臨界実験装置及び燃料デブリ模擬臨界実験のイメージ

## 廃棄物中の核種濃度分析



4号機周辺のガレキを  
採取するJAEA職員



$^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ の分析作業

## 廃棄物の処分までの流れと研究項目

### 性状把握

- 放射性核種濃度分析
- 物理特性、化学組成評価

### 長期保管

- 長期保管中の安全性の評価
  - 水素ガス安全性
  - 保管容器腐食
  - 廃棄物の安定性

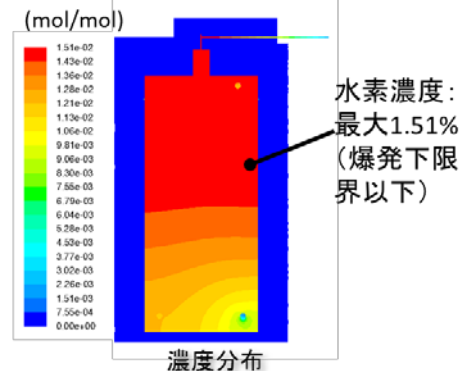
### 廃棄体化（処分に適合する形態に処理）

- 廃棄体化技術調査
- 技術評価のための基礎試験
  - ガラス固化
  - ジオポリマー固化

### 処分

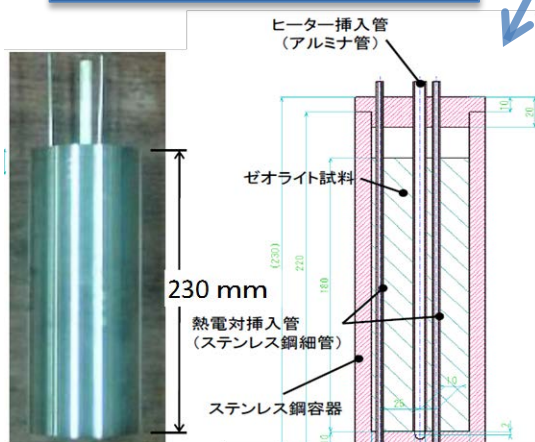
- 処分概念検討
- 処分安全評価
  - 国内外処分概念・安全評価手法の調査・整理、適用性検討

## 廃棄物からの水素発生量の評価



水素濃度分布解析結果

## 廃棄物熱伝導率測定



ゼオライト層の有効熱伝導率測定セル

## 廃棄体技術評価 基礎試験



ガラス  
固化体



ジオポリマー  
固化体



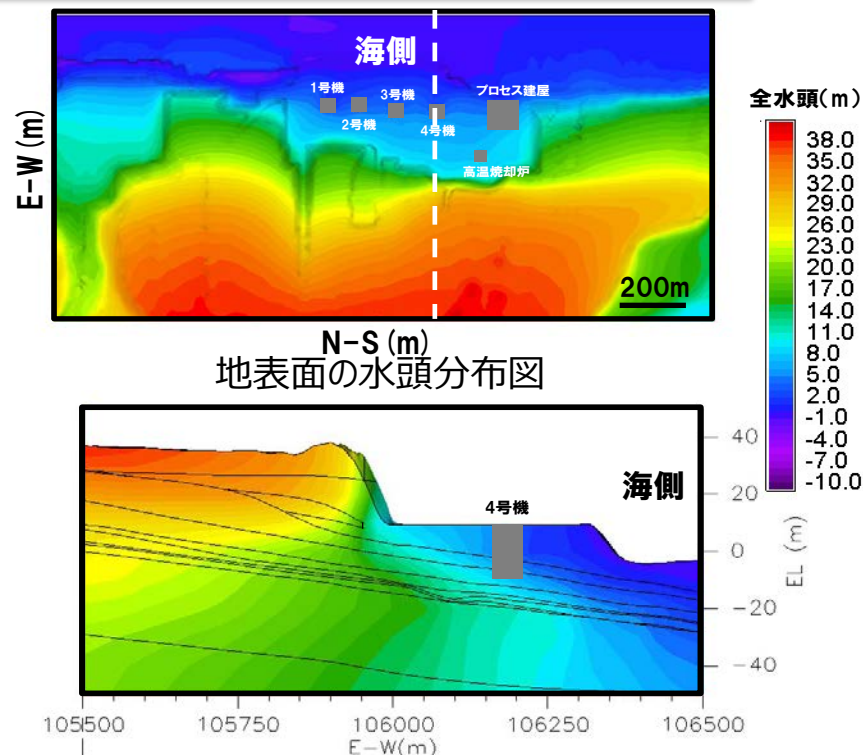
地質構造モデルに基づいて、機構が開発した地下水流動解析コード（FracAffinity； Ohyama and Saegusa, 2008）を用い、汚染水処理対策委員会のサブグループ①「地下水・雨水等の挙動等の把握・可視化」が実施している地下水流動解析モデルの妥当性を確認

## 発電所内の地下水流動、核種移行解析

- ・地質構造モデル作成ツール(Earth Vision)を用いて、三次元地質構造モデルを構築
- ・原子炉、タービン建屋へ地下水流入対策の効果等を評価

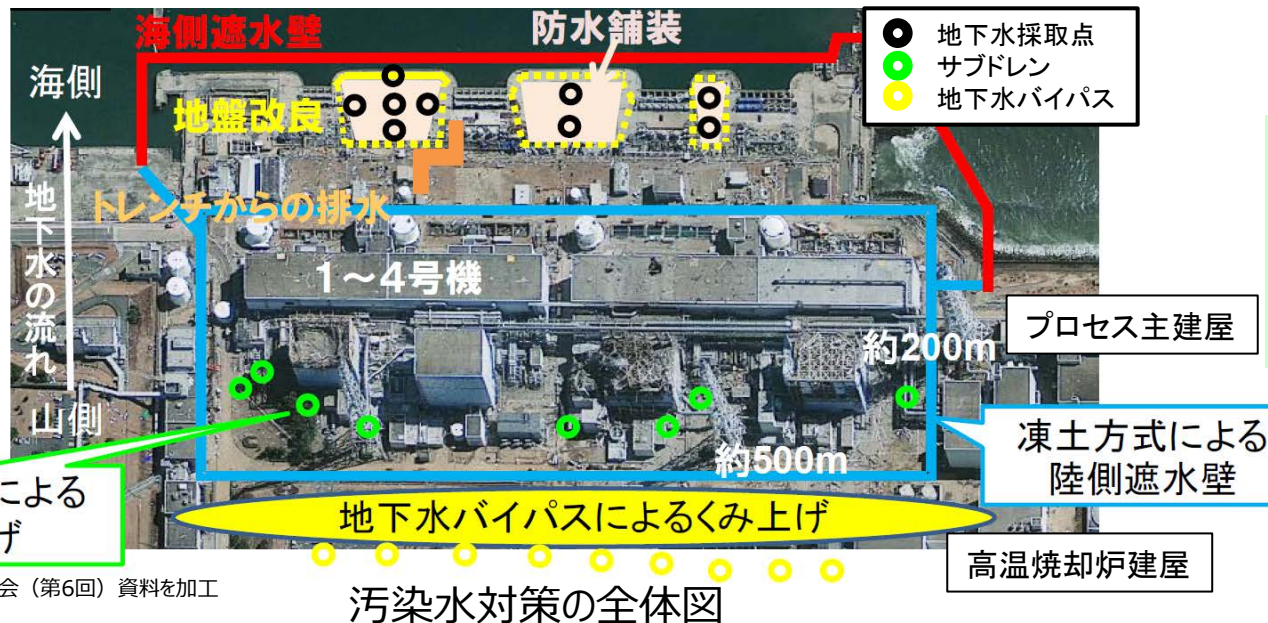


## 対策工実施前の解析結果



4号機断面（上図の点線部）の水頭分布図

水理地質構造モデル（水理特性の設定値）や境界条件の妥当性を確認



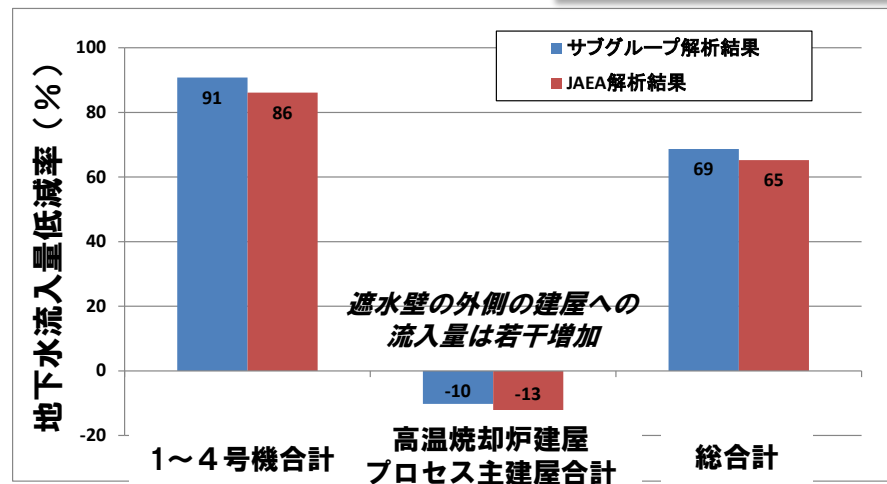
陸側遮水壁（凍土壁）、海側遮水壁、地下水バイパス等、汚染水対策の効果の推定結果の妥当性を確認



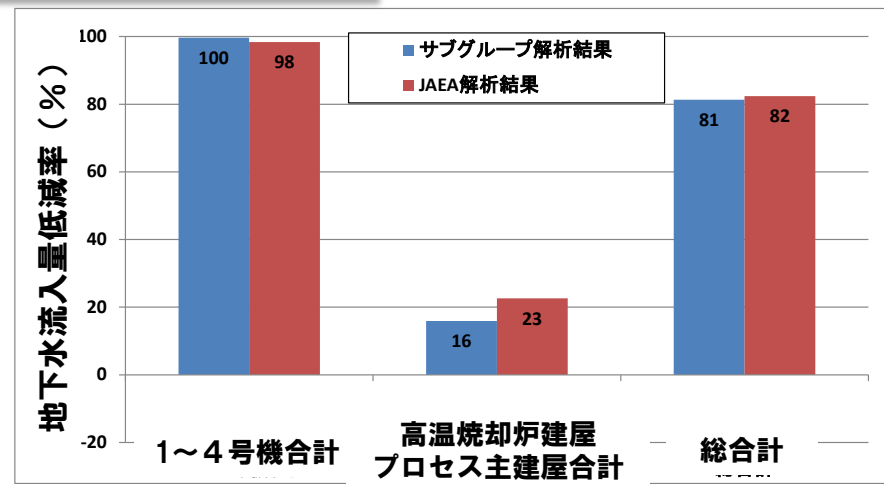
今後、放射性核種移行を評価

汚染水処理対策委員会（第6回）資料を加工

## 対策工実施後の解析結果

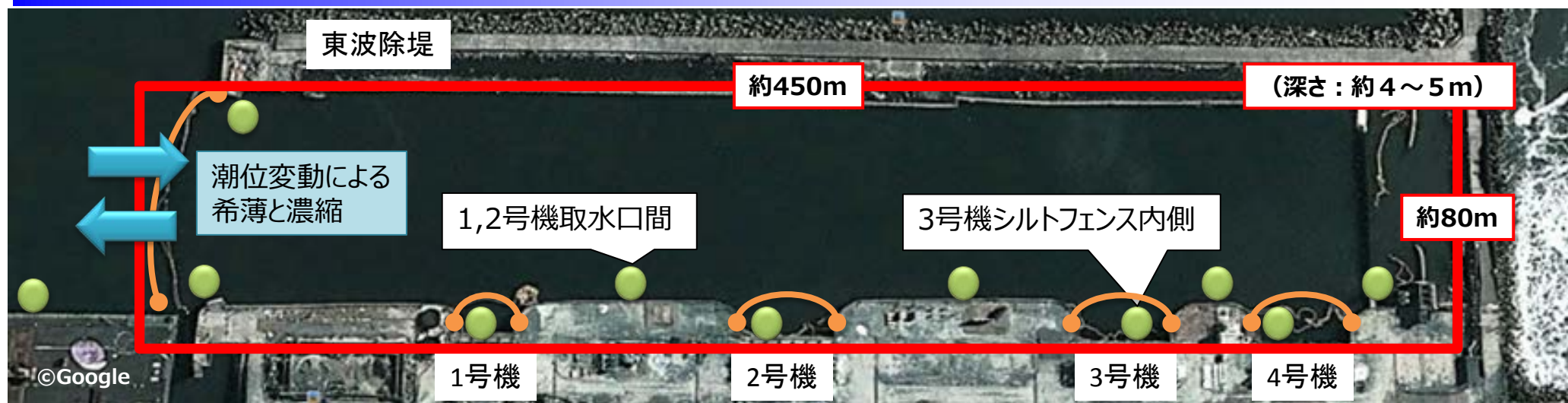


海側地盤改良、地下水くみ上げ+陸側遮水壁（凍土壁）



左記+海側遮水壁+サブドレンくみ上げ+地下水バイパス





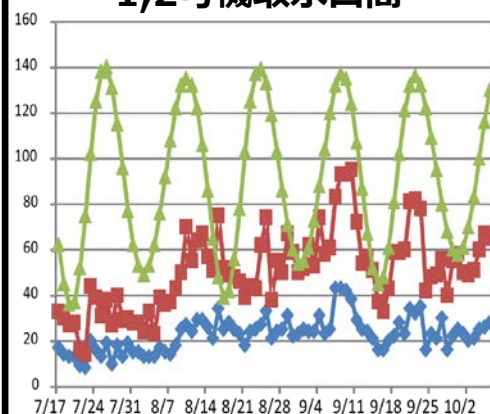
● : サンプルングポイント

○ : シルトフェンス

1～4号機取水口周りの港湾を二次元にモデル化（赤枠）

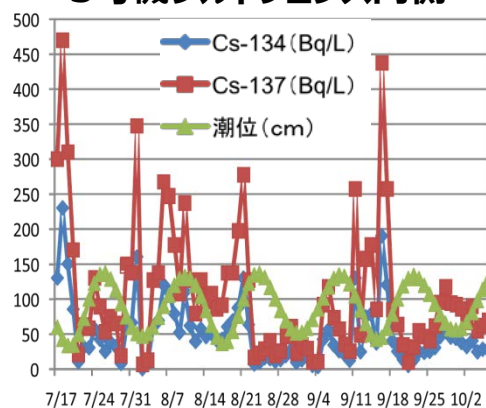
潮位と濃度の相関の例

1,2号機取水口間



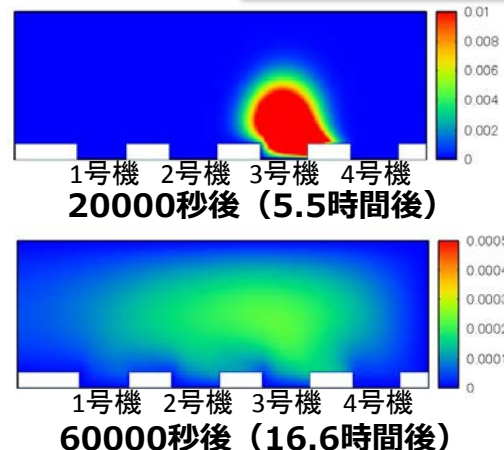
有意な相関が見える

3号機シルトフェンス内側



異なる周期振動が見える

拡散解析の例



3号機取水口前より  
1時間の流出を模擬

潮位変動により  
1日後には拡散

さらに、港湾解析コードの利用など、詳細解析を検討



1 F廃炉推進に必要な不可欠な遠隔操作機器や放射性物質の分析・研究等に関する技術基盤を確立するため、福島県内に研究拠点施設を整備。

## 遠隔操作機器・装置実証施設 (楡葉南工業団地に整備)

平成26年3月の実施設計とりまとめに向け、以下を検討。

- 格納容器下部補修等のための設備
- 遠隔操作機器のニーズ整理、設備
- バーチャルリアリティを活用した訓練設備
- 施設利用計画



遠隔操作機器・装置実証施設のイメージ

## 放射性物質の分析・研究施設

平成25年10月から概念検討を開始。

- 研究開発ニーズの整理
- 必要な設備、装置等  
(セル、グローブボックス、フード、分析装置等)
- 海外ホットラボの調査
- 許認可要件
- 施設の規模、配置



分析・研究施設のイメージ

- 中長期の研究開発課題に関しては、これまで機構で蓄積してきた知見や研究基盤、人材を活かし、燃料デブリ取出しに向けた研究開発、放射性廃棄物処理・処分研究開発を中心に取り組んでいく。また、昨年8月に設立されたIRID（技術研究組合：国際廃炉研究開発機構）の構成メンバーとして、積極的に貢献していく。
- 1Fにおける喫緊の課題、とりわけ汚染水問題に関しては、早期の解決を目指して、国の要請にも応えて、機構大で設置したタスクフォースを中心に取り組んでいく。
- 研究開発拠点に関しては、遠隔操作機器・装置の開発・実証施設、放射性物質の分析・研究施設について、中長期ロードマップを念頭において整備する。また、人材育成に関しては、中長期的な視点から、大学、産業界等と連携しつつ、オールジャパン体制により、取り組んでいく。