

1Fデジタルツインの構築

～情報共有の効率性を高める新しいアプローチ～

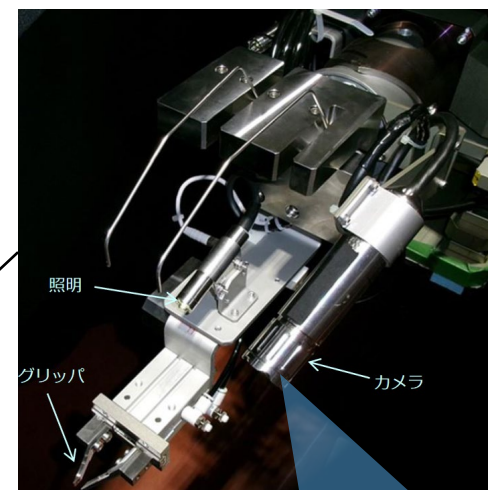
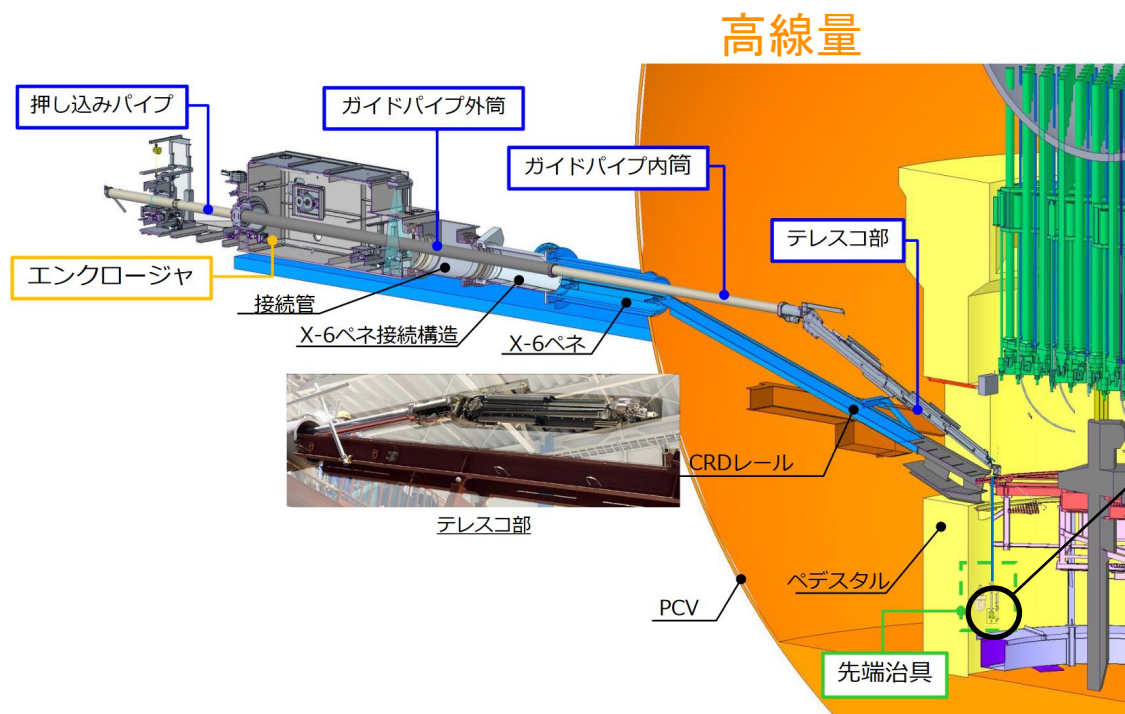
山下 拓哉

廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）

デブリ探査グループ

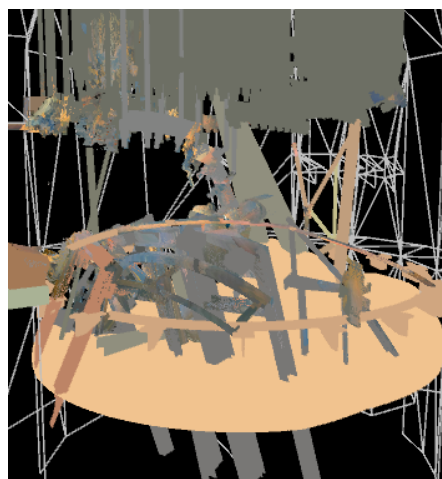
- ・ 3D推定図については、経済産業省資源エネルギー庁「令和5年度開始廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発）」の成果の一部を含むものである。
- ・ debrisEyeについては、東京電力ホールディングス株式会社「1F PCV内部調査結果解析業務委託」の成果の一部を含むものである。

- 福島第一原子力発電所（1F）の廃止措置において、原子炉内の燃料デブリや核分裂生成物等の状況を推定・把握することは不可欠である。しかし、**高線量下にある炉内を直接観察することは困難な状態**である。

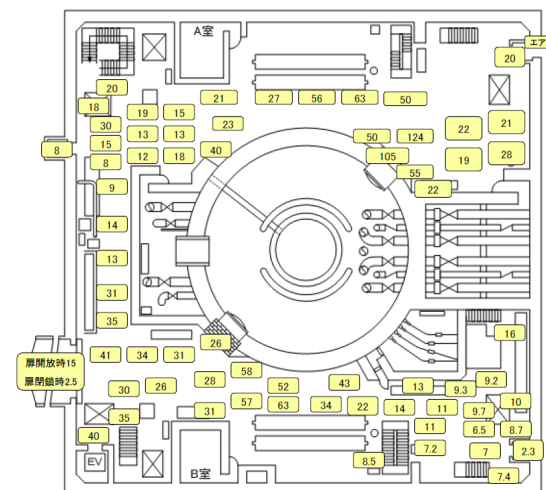


高い放射線影響下における故障

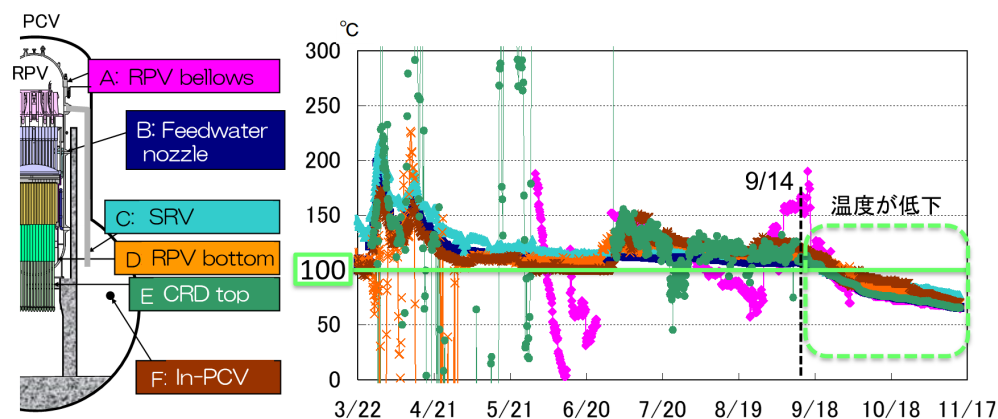
ドローン、ROV等による動画撮影



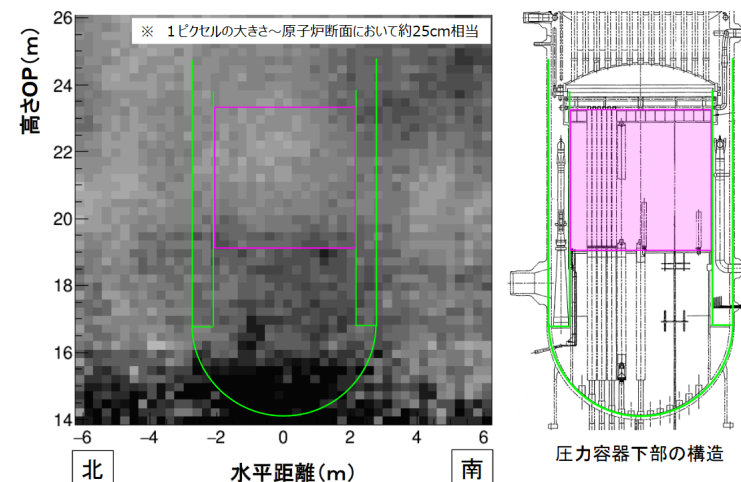
線量計測



水量と温度変化による評価



ミュオン測定による物質質量分布評価

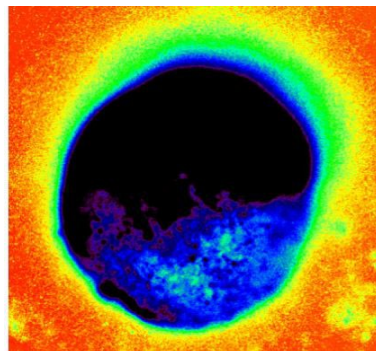


- 調査時に取得されたサンプルを分析（IP, SEM, TEM, ICP, 放射線分析等）することにより、各部位の状況を把握している。

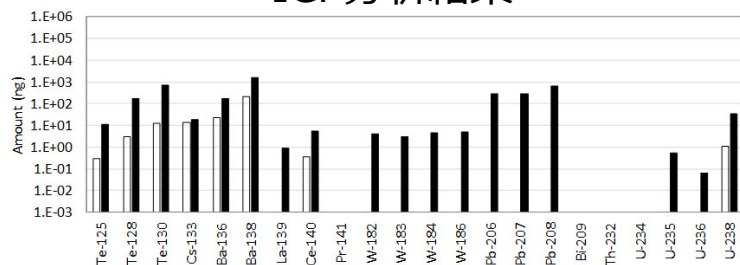
スミア紙の外観



イメージングプレート



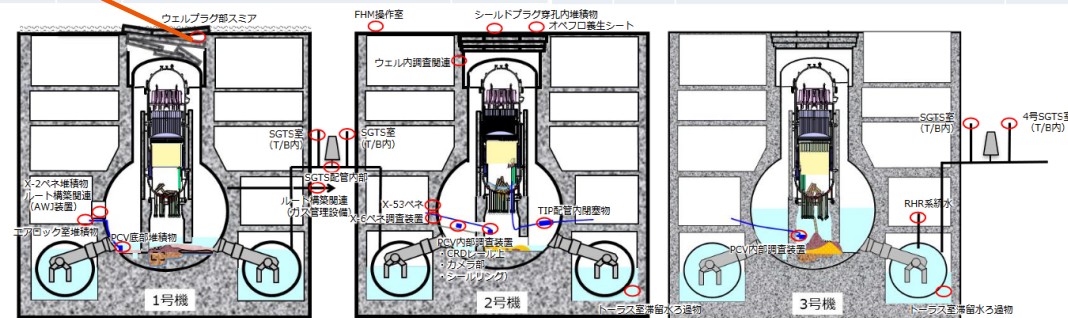
ICP分析結果



事故分析関連で取得したサンプルの一覧

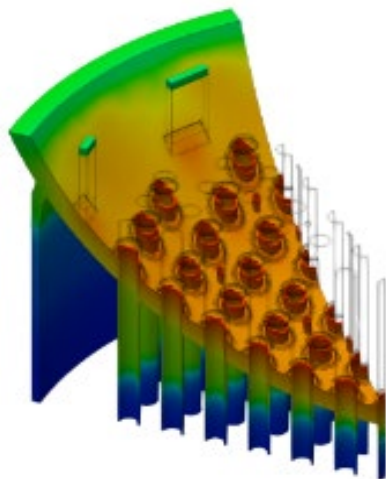
TEPCO

No.	号機	取得試料	採取時期	No.	号機	取得試料	採取時期
1	1	R/Bエアロック室堆積物	2015年度	13	2	R/Bトーラス室滞留水ろ過物	2018年度
2	1	PCV底部堆積物	2017年度	14	2	PCV貫通部 (X-6ベネ) 調査装置付着物	2020年度
3	1	ウェルプラグ部スミア	2019年度	15	2	SGTS室調査試料	2020年度
4	1	PCV貫通部 (X-2ベネ) 堆積物	2019年度	16	2	ウェル内調査関連試料	2021年度
5	1	PCV内部調査アクセスルート構築関連試料	2019年度	17	2	PCV貫通部 (X-53ベネ) 試料	2021年度
6	1	SGTS室調査試料	2020年度	18	2	シールドプラグ穿孔内堆積物	2021年度
7	1・2	1・2号機SGTS配管内部スミア	2020年度	19	2	FHM操作室スミア	2022年度
8	2	R/Bオペフロ養生シート	2013年度	20	3	PCV内部調査装置付着物	2017年度
9	2	TIP配管内閉塞物	2013年度	21	3	R/Bトーラス室滞留水ろ過物	2018年度
10	2	PCV内部調査装置付着物 (CRDレール上)	2016年度	22	3	RHR系統水	2021年度
11	2	PCV内部調査装置付着物 (カメラ部)	2017年度	23	3	SGTS室調査試料	2020年度
12	2	PCV内部調査装置付着物 (シールリング)	2018年度	24	4	SGTS室調査試料	2020年度

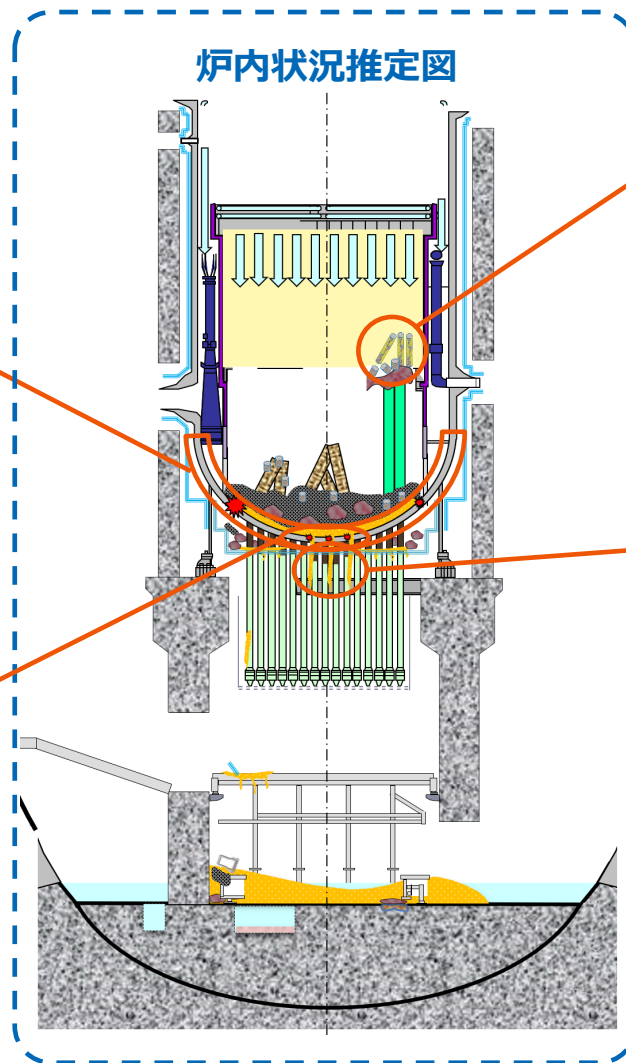


RPV破損に関する熱流動-構造連成解析

模擬燃料集合体溶融試験

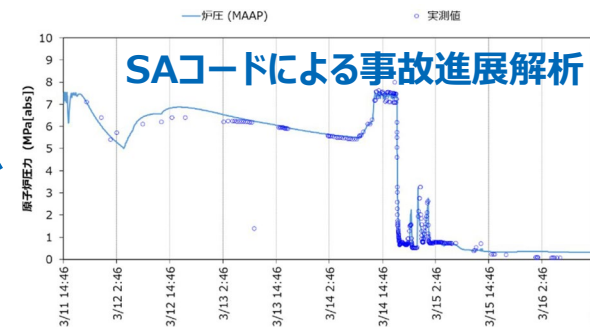
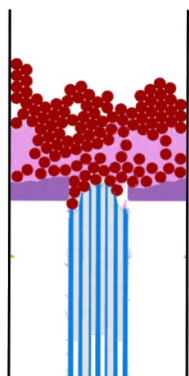
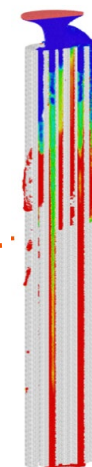


RPV貫通部の模擬溶融試験



炉内状況推定図

粒子法による
炉心物質移行挙動解析

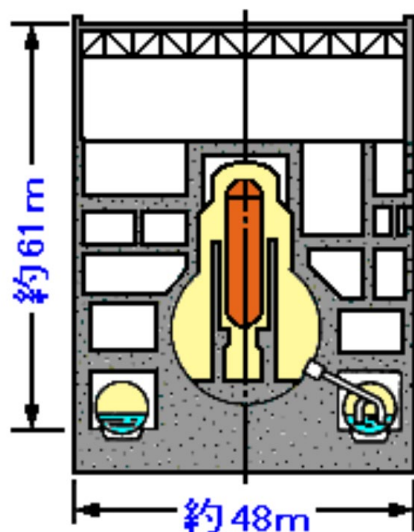


- 事故から10年以上が経ち、多くの内部調査、サンプル分析、内部状況を推定する解析・試験が実施された。
- しかし、多くの情報は集まってきているが、個々の結果からは、事故進展も含めたプラントの状態を把握するのは難しい。
- 何かを検討しようとしても、情報が分散しており、情報を集め、それらを結び付けて解釈するのは一苦勞。



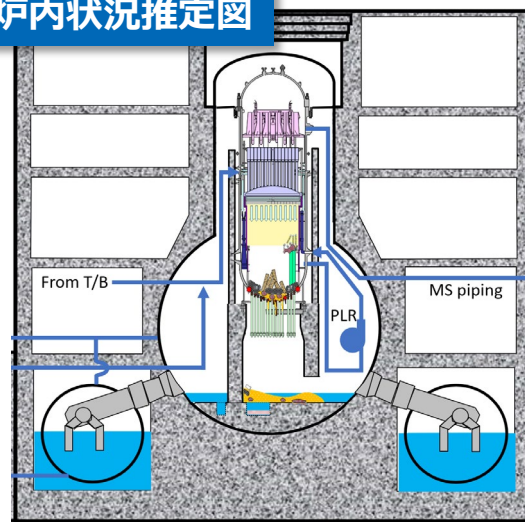
- 得られた情報を廃炉検討や研究に活かせるようにするためには、**分かりやすく情報を集約して共有する必要がある。**

- 「分かりやすく」といっても、1Fで働いた経験がある人以外は、1Fの構造がどれだけ複雑なのかを把握していない。
- 情報を解釈していくためには、そのイメージが重要となる。
- 現実に近いイメージができれば、より詳細に廃炉検討が行える。

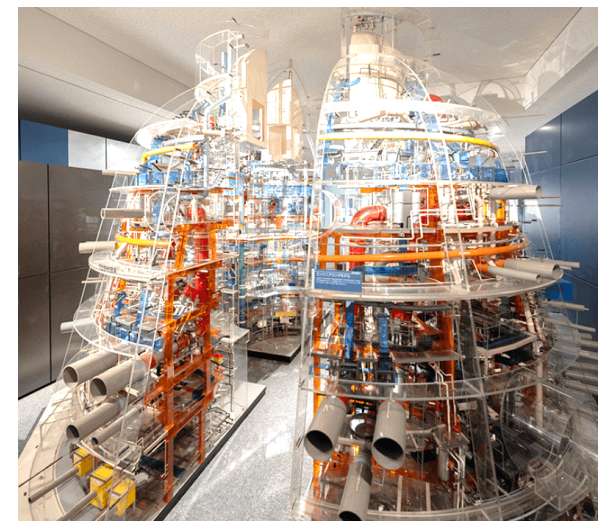


教科書等で勉強するBWR
(一般的な学生レベル)

炉内状況推定図

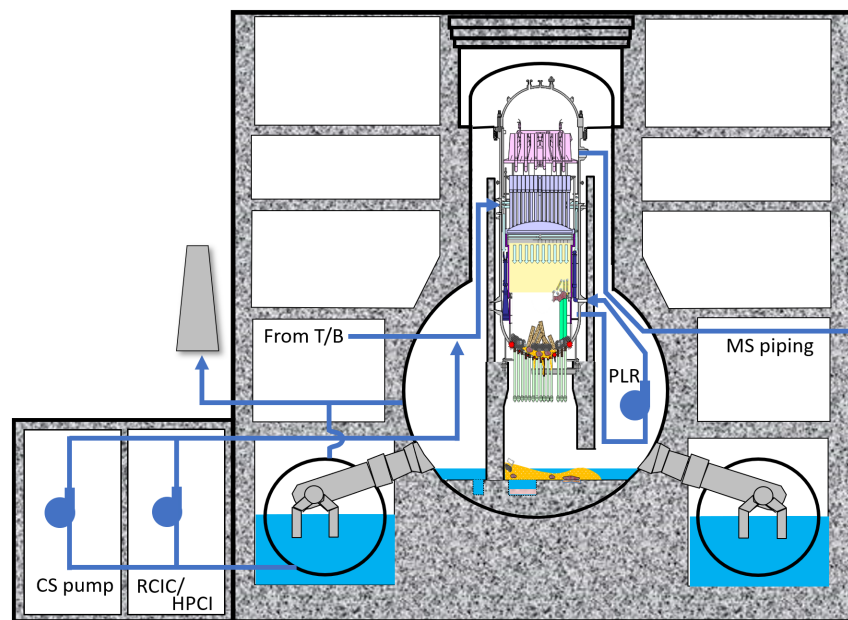


各プラントの特徴を踏まえた具体的なイメージ
(廃炉関係の研究者・技術者レベル)

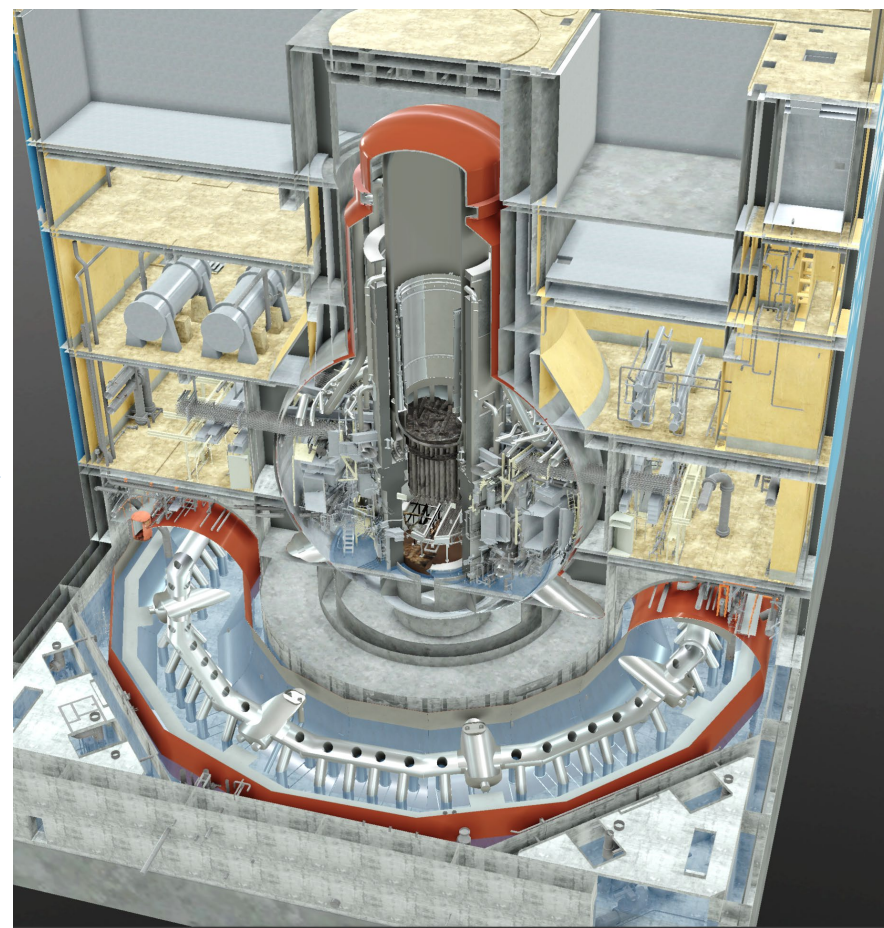


(参考) 現実に近いプラントイメージ
(設計者、保守関係者、運転員等のレベル)

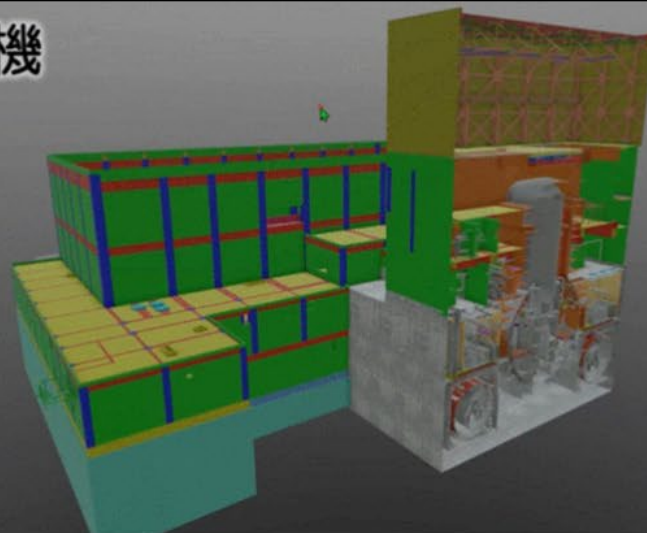
炉内状況推定図 (2D推定図)



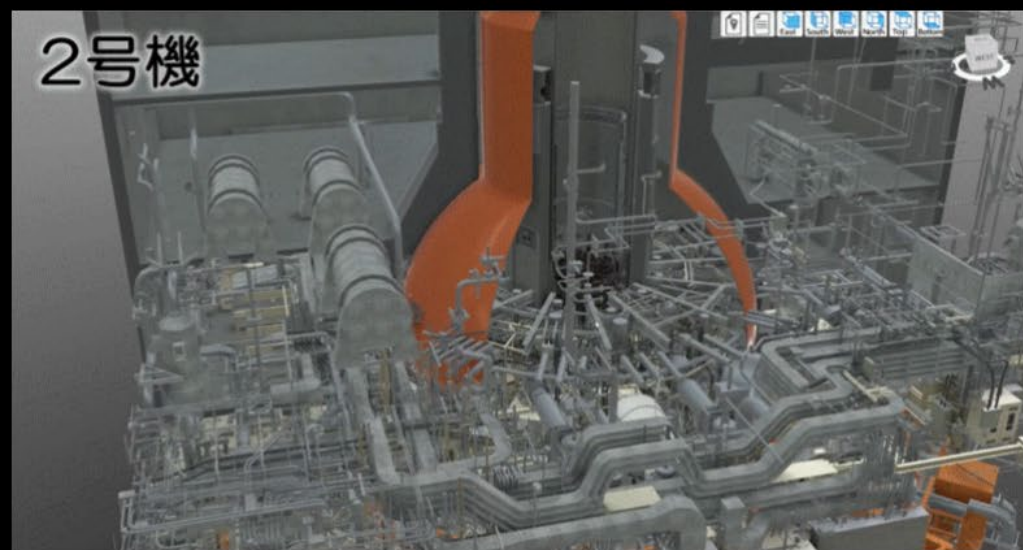
3D推定図



1号機



2号機

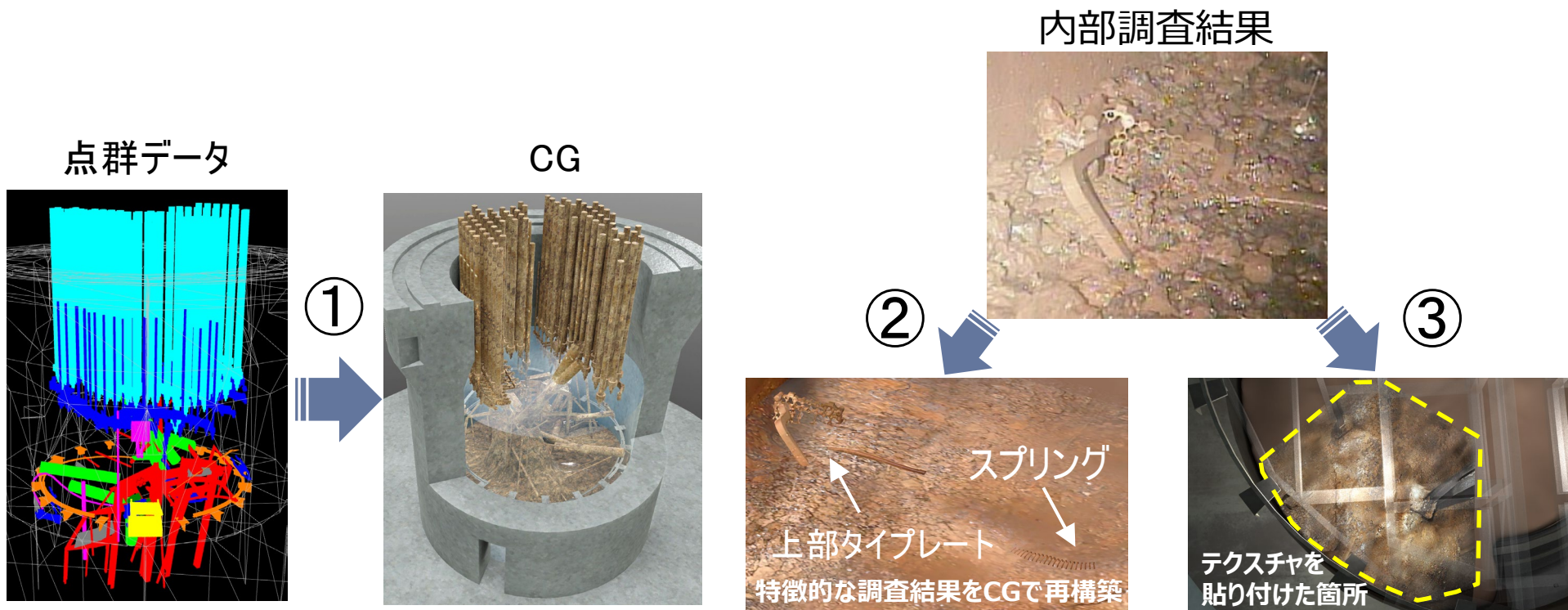


3号機



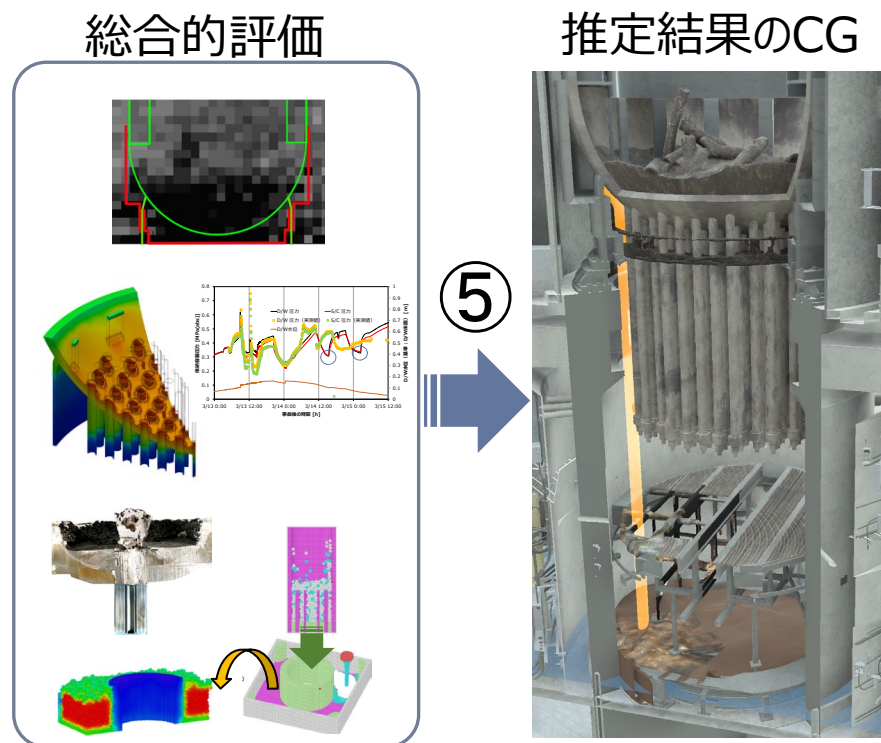
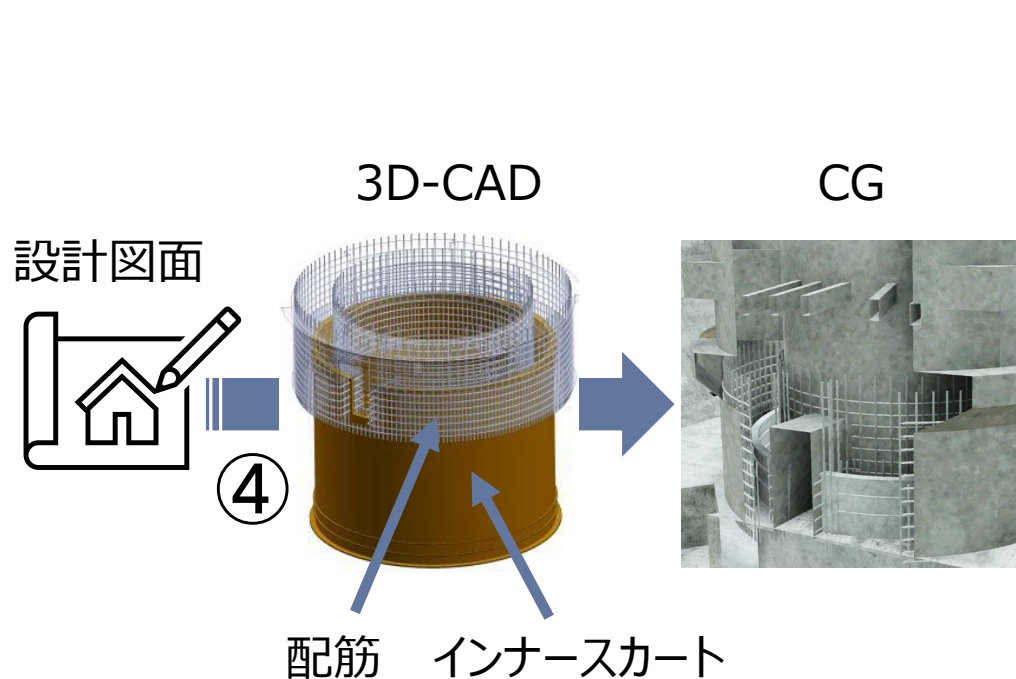
■ 事故後に調査を実施した箇所

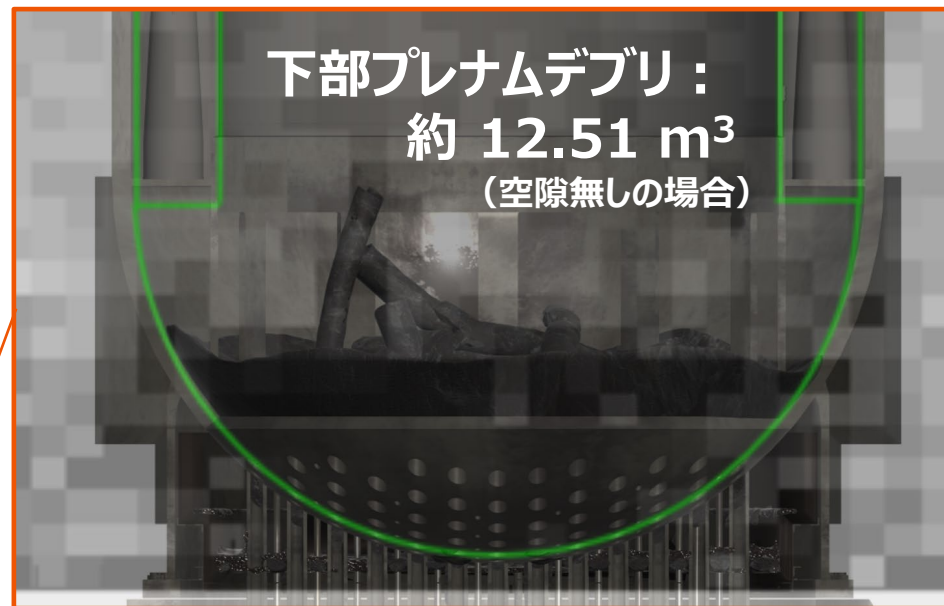
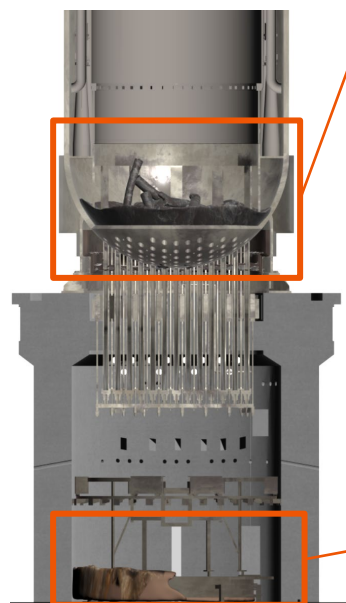
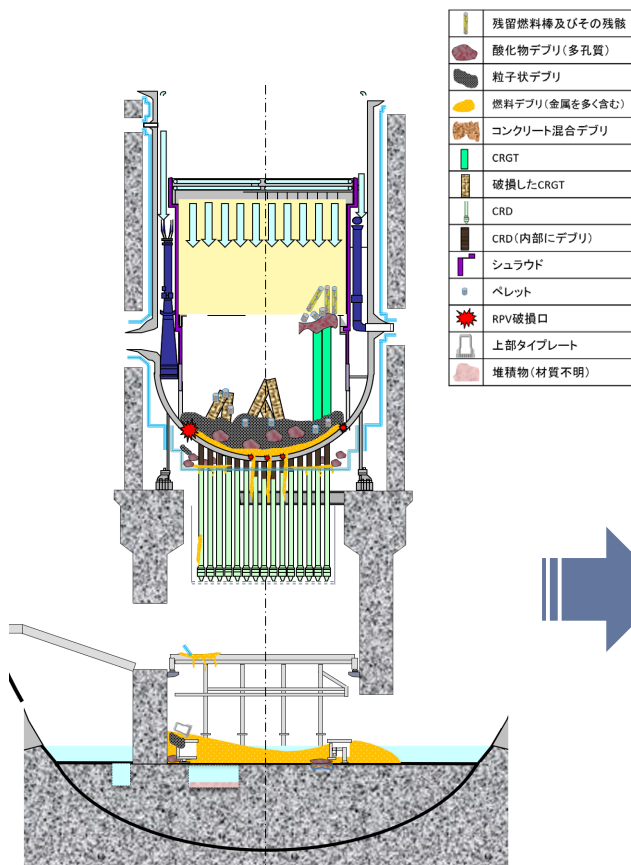
- ① 事故後の内部調査で得られた点群データをCG化
- ② 内部調査結果で得られた写真・動画からCGを作成
- ③ 内部調査結果で得られた写真・動画からテクスチャを作成



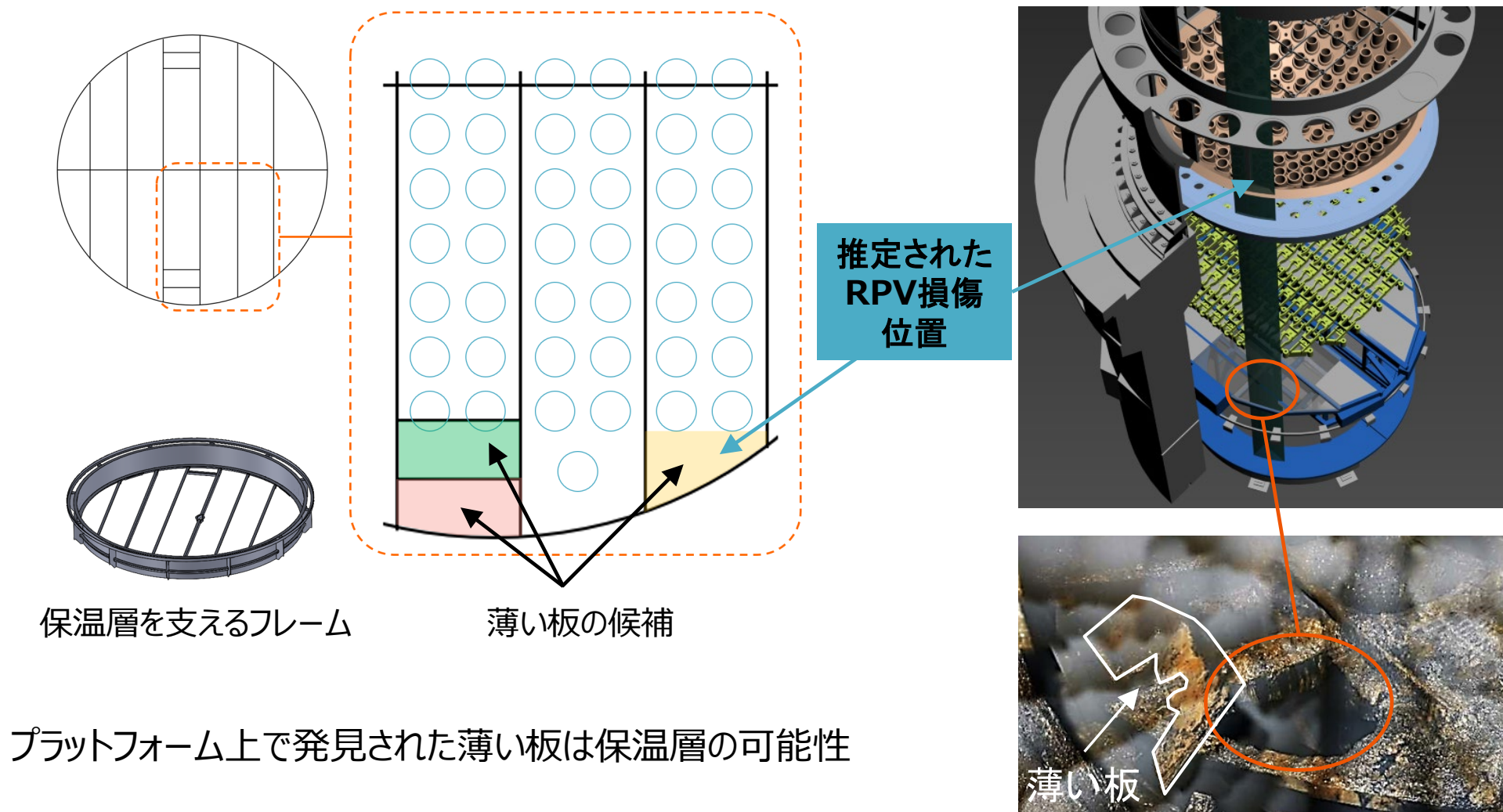
■ まだ内部調査が実施されていない箇所

- ④ 設計図から3D-CADを作成してCG化
- ⑤ 内部調査結果、SA解析、模擬試験、MPS法等の解析結果を総合的に評価した結果から推定される状況をCGで作成し反映





- 構造物の詳細を把握することは、事故進展を考える上で重要



- 一般的によく知られたWikipedia形式のデータベースにサンプル分析結果等の情報を格納
- TEPCO** との共同運営



debris Wiki

debrisWikiホーム
debrisWiki(English)

現場情報
1Fデータベース(公開資料検索)

炉内状況推定回
情報集約回
デブリ分布・RPV・PCV状態の推定回
線量分布の推定回

事故進展
事故進展の推定
分析データ
1号機
2号機
3号機
燃料デブリ特性・経年変化
燃料デブリの特性評価に係る研究
燃料デブリの経年変化特性の推定

環境情報 (外部サイト)
放射線物質モニタリングデータ

その他のコンテンツ
既往知見
廃炉における課題
未確認・未解明事項
委員会 (委員限定)
委員会一覧
開発者ツール
動作確認
ユーザー管理

リンク集
最近の更新
MediaWikiについてのヘルプ
ツール
リンク先
関連ページの更新状況
ファイルをアップロード
特別ページ
印刷用バージョン
この版への固定リンク
ページ情報

Gr1 議論

閲覧 編集 ソースを編集 履歴表示 その他 debrisWiki内を検索

1号機 原子炉建屋ウェルブラグ

(1号機 原子炉建屋ウェルブラグから転送)

目次 [非表示]

- 現場の様子
 - 内部調査結果
 - 設計・運転情報
- 堆積物の特徴
 - 線量率
 - 表面付着物
 - 機械的特性
 - 物量 (スミアサンプル分析から予想される存在量、及び不確かさ)
 - 化学的特性 (酸化度・均質/非均質性・冷却挙動、等)
 - FPの含有量・化学形
- 廃炉における課題
 - 燃料デブリ・堆積物の生成プロセス
 - 燃料デブリ・堆積物の生成プロセスの推定に用いた分析結果一覧
 - 生成時の推定される格子模様が見られる。線量測定結果は、ウェルブラグの中央部に近づくほど線量率が高くなる傾向 (線量率最大値: 2230 mSv/h(参考値))。
 - 分析結果から想定される燃料デブリ・ウラン含有粒子の溶解・凝固挙動
- 関連知見
- 不確かさとその低減のために必要な知見

現場の様子 [編集 | ソースを編集]

内部調査結果 [編集 | ソースを編集]

2019年7月17日～8月26日に遠隔操作ロボットによるウェルブラグの保持状態、汚染状態の調査を実施。ウェルブラグでは、水素爆発の影響により瓦礫が散乱している状況。ウェルブラグ上段/中段に加え、下段も正規に位置からずれていることが確認された。上段ブラグ下面には、事故時の熱の影響又は経年劣化によるものと推定される格子模様が見られる。線量測定結果は、ウェルブラグの中央部に近づくほど線量率が高くなる傾向 (線量率最大値: 2230 mSv/h(参考値))。

⇒ 東京電力HD: 1号機原子炉建屋オペレーティングフロアにおけるカレンキ状況調査結果 (追加調査) について (2017年9月28日) @

⇒ 東京電力HD: 1号機 原子炉建屋 SFP内干渉物調査及びウェルブラグ調査について (2019年8月19日) @

設計・運転情報 [編集 | ソースを編集]

ウェルブラグは直径12 m、厚さ1.8 mの円盤状で、鉛直方向には上中下の3段構造、水平方向にも3分割された9つのパーツから構成される。縦き目部分のストリーミングを防止するため、上段・下段に対し、90度回転した形で設置される。ウェルブラグの重量については右表の通り。ウェルブラグに使用されている材料はコンクリートと鉄骨である。

⇒ 東京電力HD: 1号機コンクリート及び鉄骨構造物における使用材料の代表例

堆積物の特徴 [編集 | ソースを編集]

線量率 [編集 | ソースを編集]

- 最大値: 2230 mSv/h(参考値)

表面付着物 [編集 | ソースを編集]

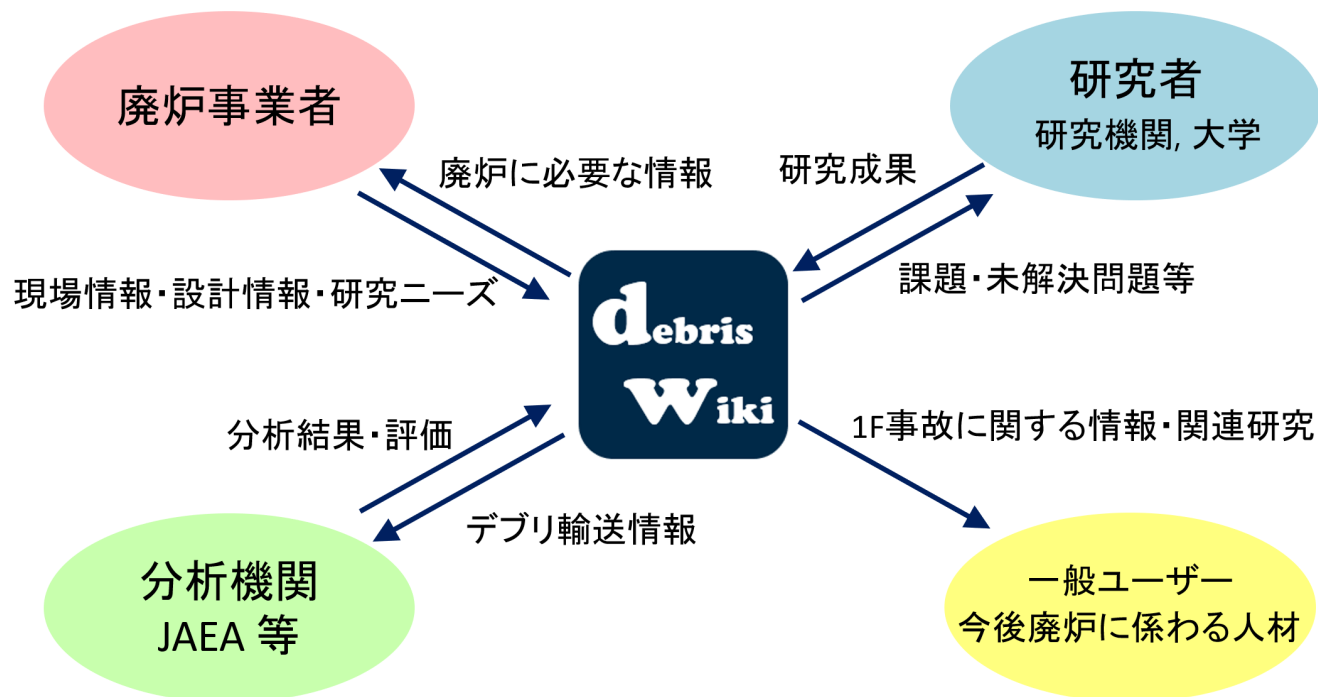
- 採取したサンプルからは、表面劣化の痕跡や顕著な付着物は見られない。

機械的特性 [編集 | ソースを編集]

	コンクリート [m]	鉄筋	鋼材	鋼材	鋼材	鋼材
	コンクリート	鉄筋	鋼材	鋼材	鋼材	鋼材
上段	74,700	27,750	2,542	2,284	2,284	2,284
中段	69,500	25,818	2,493	2,140	2,140	2,140
下段	64,600	24,743	2,432	2,140	2,140	2,140

ウェルブラグ重量

- 1F廃炉に関わるユーザーの情報のハブとなる
- 常に最新で技術レビューを受けた正しい情報を提供
- 1F廃炉の百科事典を協働作業で創り上げる



1Fデジタルツイン

3D推定図 : 一目で状況が分かる図

debrisWiki : 扱いやすいデータベース

debrisEye : 3D推定図およびdebrisWikiを統合するツールが必要

2u-PCVDEPO-2-2018 /分析結果の説明

【凡例】
 事実 : 普通の字体
 推定 : 下線
 検討 : 取り消し線
 注記 : 太字
 調査中 : 斜体

【項目】
 1. 調査項目
 2. プロジェクト名
 3. 調査内容
 4. 調査目的
 5. 調査方法
 6. 調査結果
 7. 調査経過
 8. 調査結果の整理
 9. 調査結果の整理
 10. 調査結果の整理
 11. 調査結果の整理
 12. 調査結果の整理
 13. 調査結果の整理
 14. 調査結果の整理
 15. 調査結果の整理

更新履歴

日付	内容
2021/11/09	調査 2u-PCVDEPO-2-2018の分析結果の整理
2021/11/09	調査 2u-PCVDEPO-2-2018の分析結果の整理
2021/11/09	調査 2u-PCVDEPO-2-2018の分析結果の整理

プロジェクト名

2021/11/09 調査 2u-PCVDEPO-2-2018の分析結果の整理

調査位置

2021/11/09 調査 2u-PCVDEPO-2-2018の分析結果の整理

採取時の試料形状

2021/11/09 調査 2u-PCVDEPO-2-2018の分析結果の整理

3D推定図

リンク

debrisEye

1F廃炉に関わる技術者・研究者のための共通1Fデジタルツインの構築に向けて

- 1Fから得られた情報を取りこぼしなく「見える化」
- 導入の敷居は低く、簡単に操作
- ナレッジを共有し、ボトムアップ

福島第一原子力発電所のデジタルツインの構築を目的とした
アプリケーションソフト debrisEye (デブリアイ) を開発しました。

- 導入の敷居を低くするため、20万円程度のWindows OSのゲーミングPCであれば快適に動作

CPU

- Intel Core i7/i9 series released after 2021
(Core i7/i9 11xxx/12xxx/13xxxx)

GPU

- Intel UHD 7xx series / intel iris Xe Graphics or higher
- NVIDIA RTX 3xxxx series is better for more comfortable use

- ✓ 高価な解析やクリエイティブ用のPCではなく、一般的に出張等で持ち運べるようなノートPCで使用できる。
- ✓ ソフトウェアの年間維持費もかからず、誰でも使える。

機能紹介



debrisEeyについては、以下のURLから紹介動画がダウンロード可能です。

https://fdada-plus.info/wiki/nsfr_img_auth.php/8/82/DebrisEye_move_20240925.mp4



- 基本的にマウスでの操作を覚えれば、360度任意の視点からプラントを眺めることが可能。 3次元での操作が苦手な方でも、10分程度で操作を覚えられる。

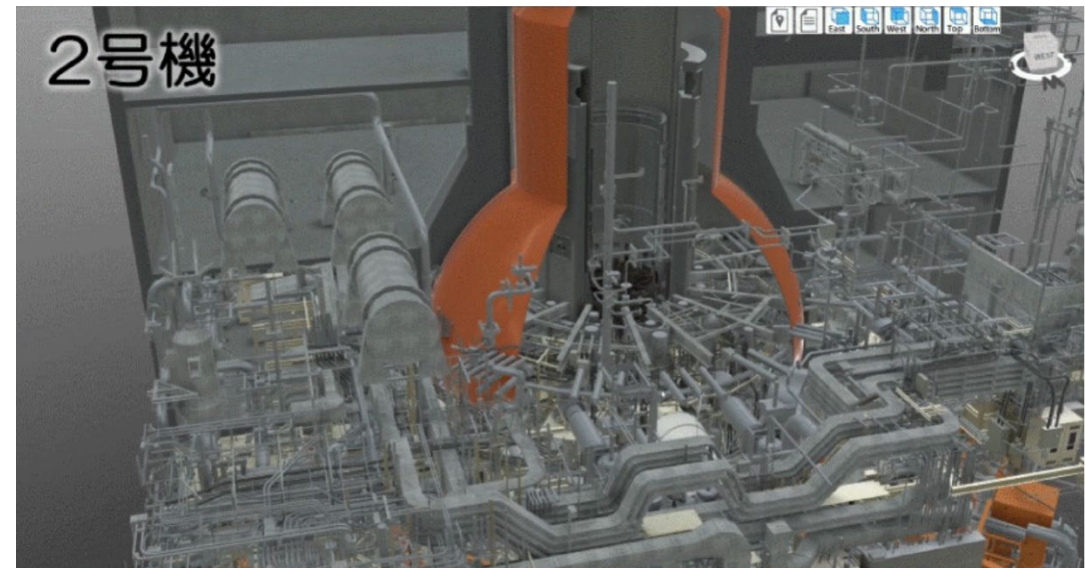
debrisEye 操作マニュアル

■ 長押し ■ ダブルクリック □ クリック

 + Alt モデルの回転	Alt + Enter フルスクリーンモード ON/OFF
 + Alt モデルの拡大・縮小	Alt + H 操作マニュアルパネルの表示 / 非表示
 モデルの拡大・縮小	Alt + I 設定・オブジェクトパネルの表示 / 非表示
 + ドラッグ カメラの回転	Alt + P ビンパネルの表示 / 非表示
 + ドラッグ モデルの平行移動	 + C クリップングボックスの伸縮
 ウォークスルーモード前進	 オブジェクトのダブルクリック 視線方向の変更、ターゲットモデルの変更
 +  ウォークスルーモード前進・後退切り替え	

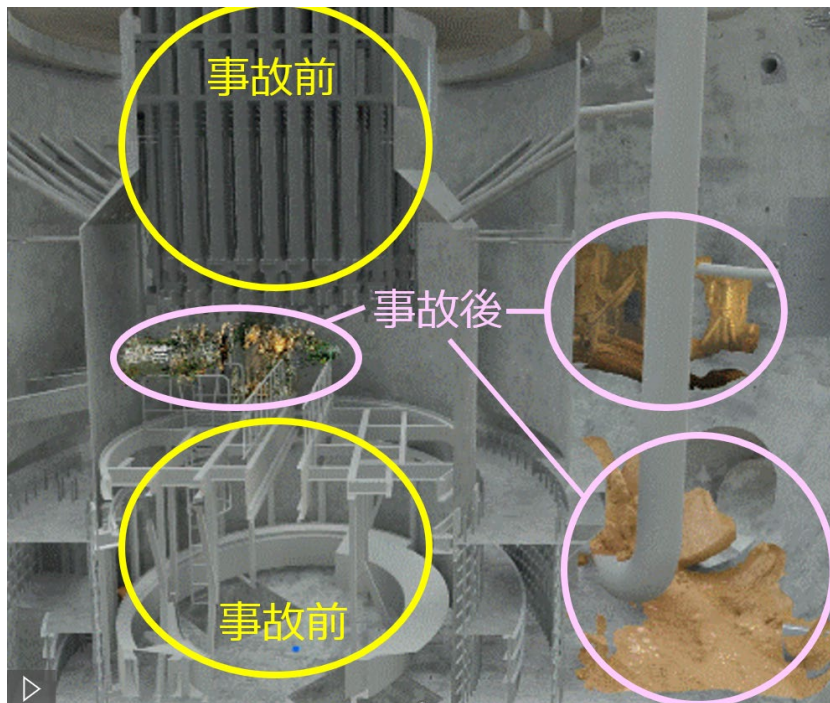
memo の削除

memo を削除する場合は、右クリックして表示された Delete ボタンを押します。

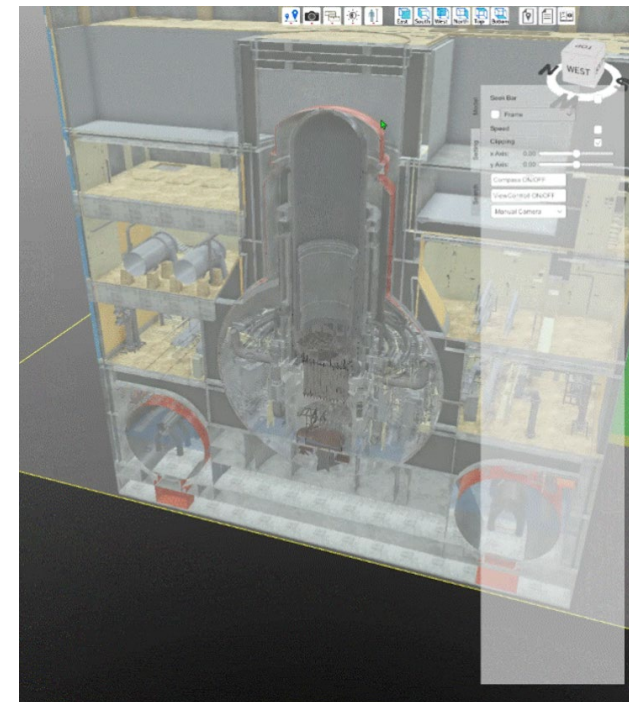



- 廃炉作業における、各パーツの取り外し検討等に資するため、モデル断面の表示や任意のパーツを表示・非表示できるようにしている。また、事故前と事故後のモデルも同時に表示し、比較できるようにしている。

各パーツの表示/非表示

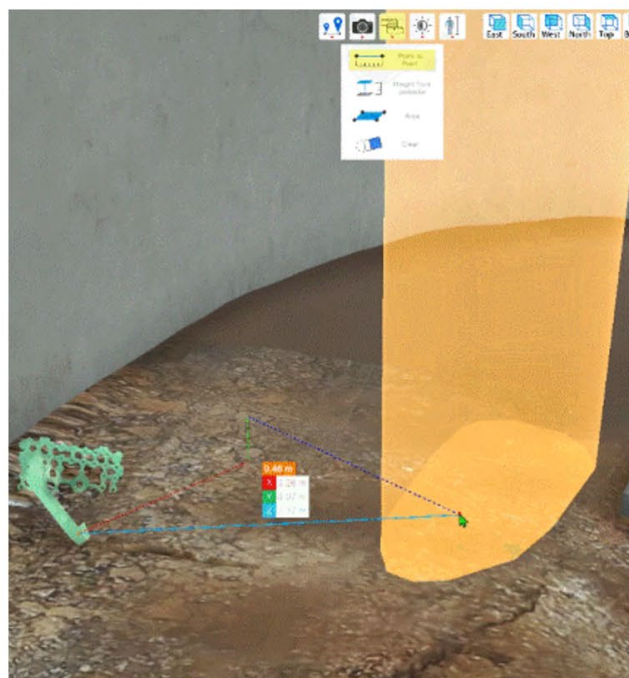


クリッピング

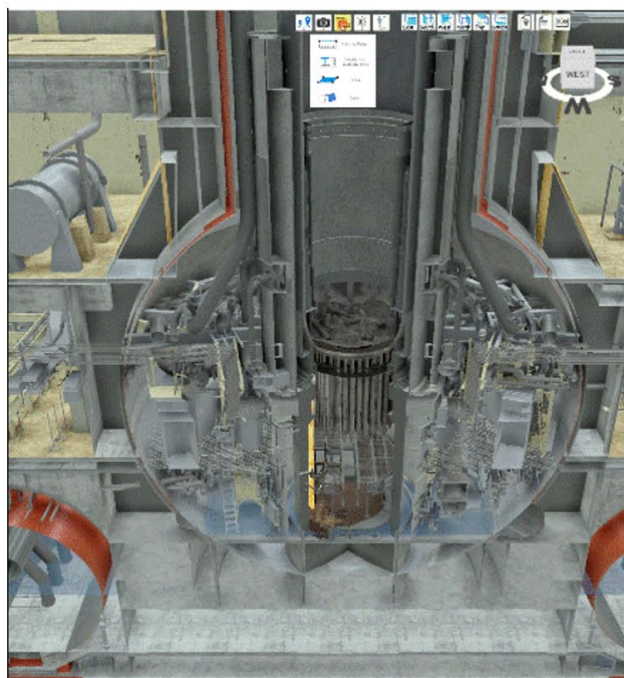


- 廃炉作業検討、事故進展評価等に必要な、計測機能を実装

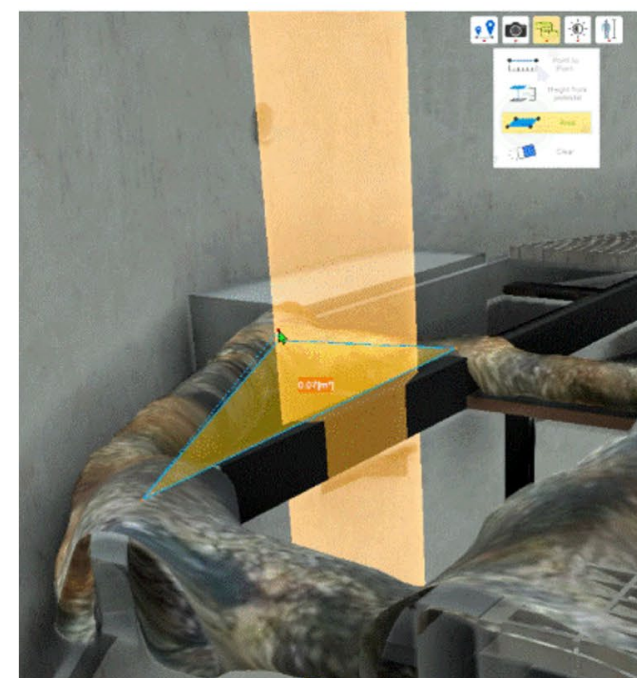
2点間距離



ペDESTAL床からの高さ



面積



debrisEye

ウォークスルー機能

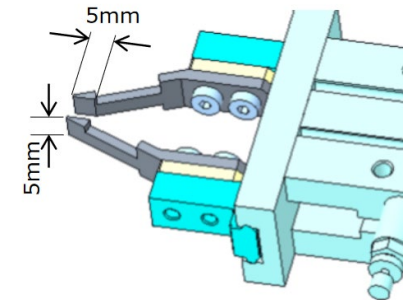
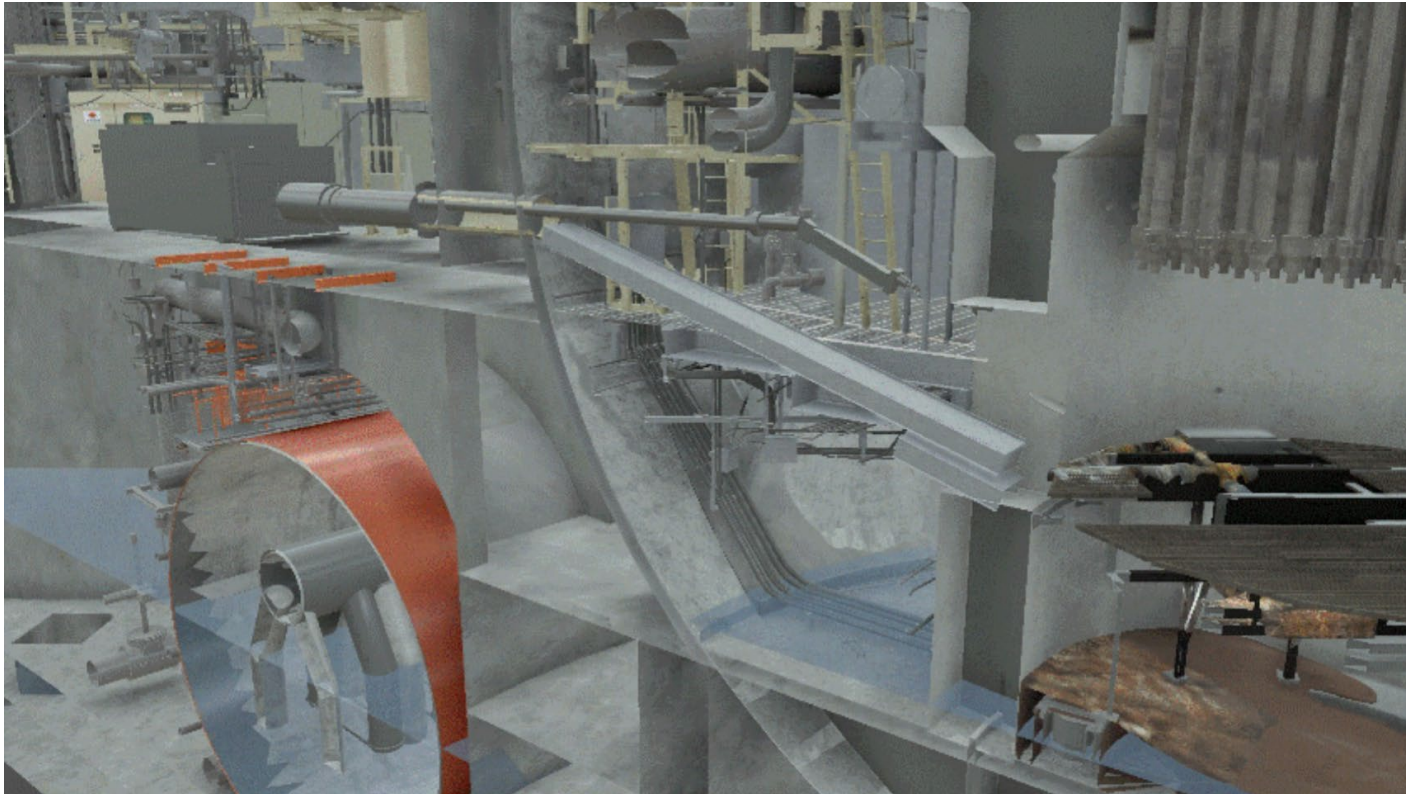


debrisEye



内部調査結果

- 任意の視野・断面で内部調査方法の動きを再生することにより、取得サンプルの状況を深く理解する。



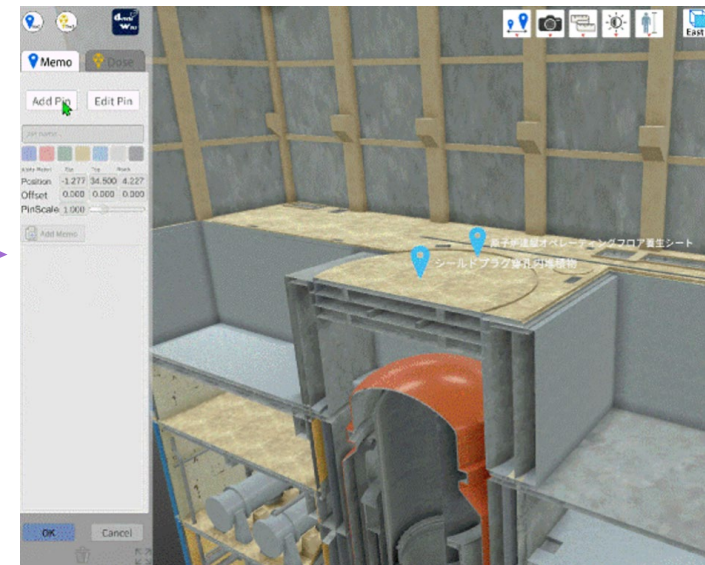
- Googlemapにお気に入りのレストランの口コミを投稿するように、得られた情報をPINで反映（様々な種類のデータが添付可能）
- PINとdebrisWikiは連携可能
- 反映した情報（PIN）は、ユーザー同士で共有可能

事故分析関連で取得したサンプルの一覧

TEPCO

No.	号機	取得試料	採取時期	No.	号機	取得試料	採取時期
1	1	R/Bエアロック室堆積物	2015年度	13	2	R/Bトラス室滞留水ろ過物	2018年度
2	1	PCV底部堆積物	2017年度	14	2	PCV貫通部 (X-6ベネ) 調査装置付着物	2020年度
3	1	ウェルプラグ部スミア	2019年度	15	2	SGTS室調査試料	2020年度
4	1	PCV貫通部 (X-2ベネ) 堆積物	2019年度	16	2	ウェル内調査関連試料	2021年度
5	1	PCV内部調査アクセスルート構築関連試料	2019年度	17	2	PCV貫通部 (X-53ベネ) 試料	2021年度
6	1	SGTS室調査試料	2020年度	18	2	シールドプラグ穿孔内堆積物	2021年度
7	1・2	1・2号機SGTS配管内部スミア	2020年度	19	2	FHM操作室スミア	2022年度
8	2	R/Bオペプロ観生シート	2013年度	20	3	PCV内部調査装置付着物	2017年度
9	2	TIP配管内閉塞物	2013年度	21	3	R/Bトラス室滞留水ろ過物	2018年度
10	2	PCV内部調査装置付着物 (CRDレール上)	2016年度	22	3	RHR系統水	2021年度
11	2	PCV内部調査装置付着物 (カメラ部)	2017年度	23	3	SGTS室調査試料	2020年度
12	2	PCV内部調査装置付着物 (シールドリング)	2018年度	24	4	SGTS室調査試料	2020年度

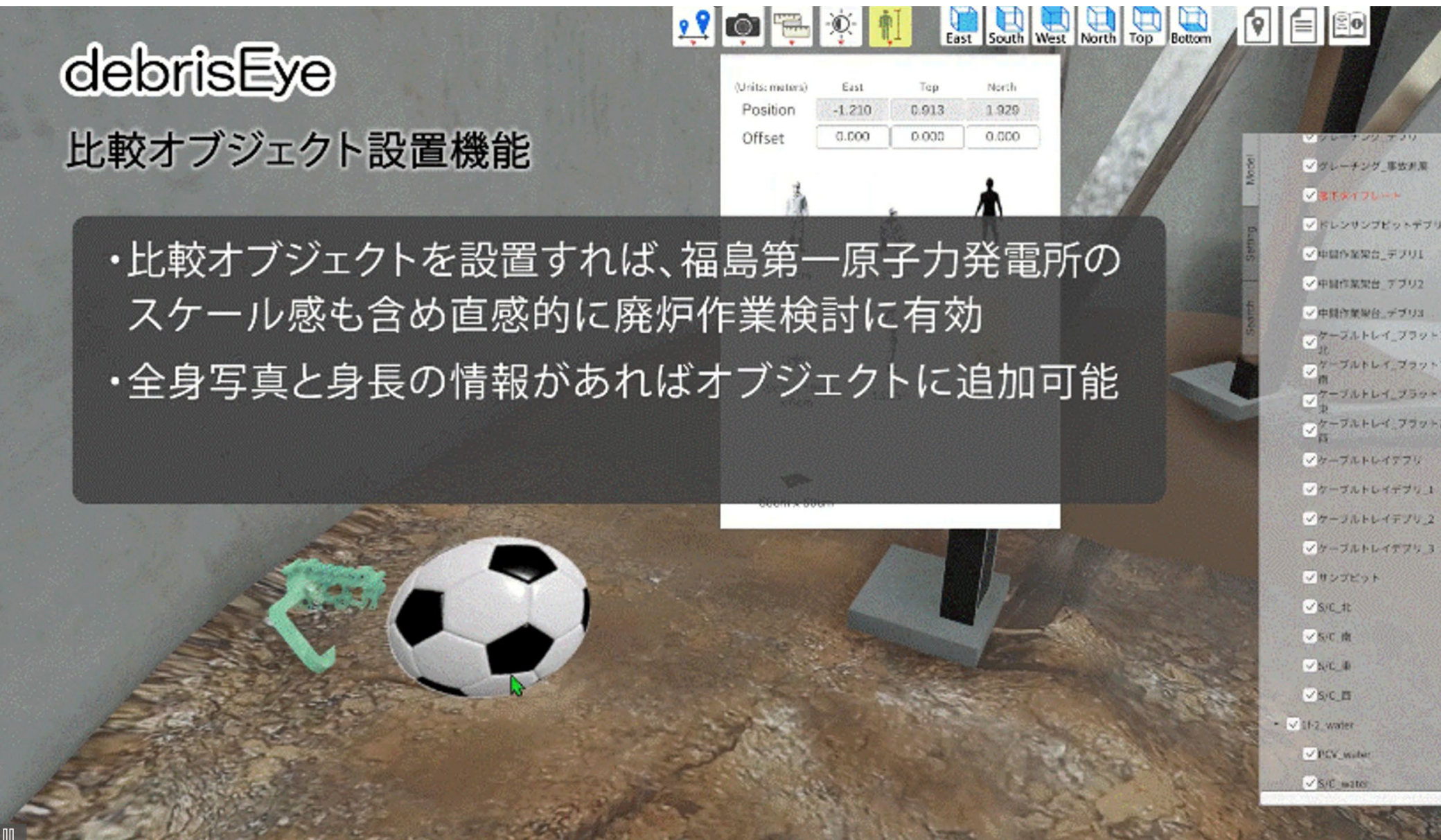
サンプル取得
位置を正確に
表現



debrisEye

比較オブジェクト設置機能

- ・比較オブジェクトを設置すれば、福島第一原子力発電所のスケール感も含め直感的に廃炉作業検討に有効
- ・全身写真と身長の情報があればオブジェクトに追加可能



3号機



2号機



内部調査検討

調査結果報告

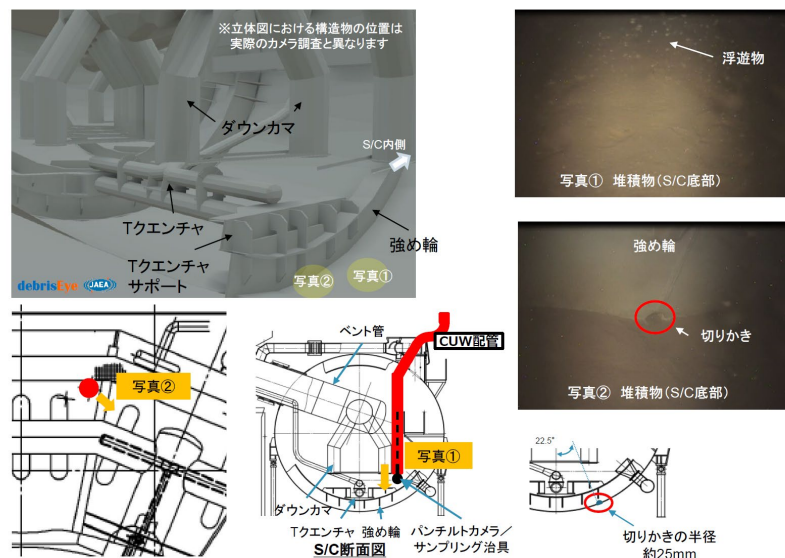
事故進展評価

現場ルート確認

人材育成

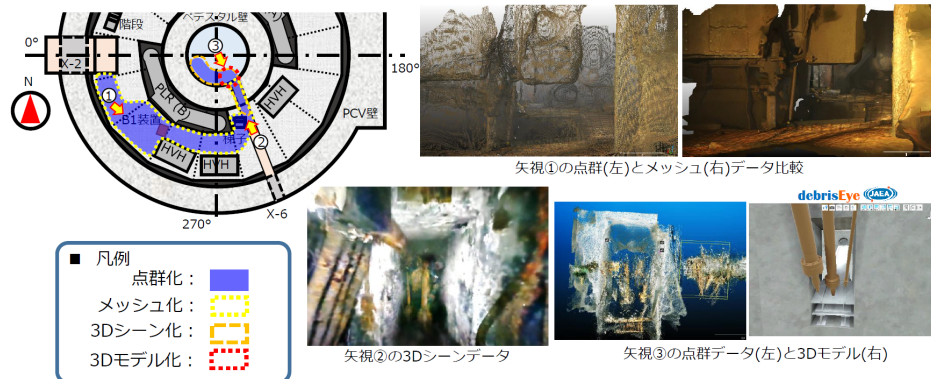
3. S/C底部の状況（堆積物）

TEPCO



2-2. 小型ドローンで撮影した動画の活用について ～3Dモデル化～ **TEPCO**

- 霧の影響により、一部映像が不鮮明であったことから、**点群化、メッシュ化、3Dシーン化**できたのは、**ペDESTAL外南側や、CRD交換用開口付近のみ**(4機目のドローン(2024.3.14)の動画を使用)
- 各処理特有の、物体歪みや不必要な物体の生成が確認されるものの、3Dモデル化に影響なし
- 現在、**ペDESTAL内を優先して3Dモデル化を実施中**(3Dモデル化は点群化した範囲を実施予定)
- 今後、各処理の質を向上し、実施可能な範囲を広げるために、霧対策(照明の改良等)について検討予定



4

Gaussian-Splatting技術提供：仏・情報自動制御研究所、独・マックスプランク研究所 3
映像・点群・メッシュ・3Dシーン処理：東京電力ホールディングス(株)、株式会社Liberaware 3Dモデル製作：日本原子力研究開発機構

内部調査検討

調査結果報告

事故進展評価

現場ルート確認

人材育成

国際協力



国内27機関、海外（10か国※）の方々にも活用頂き、ご好評頂いている。

※ アメリカ、カナダ、韓国、スイス、スウェーデン、スペイン、チェコ、ドイツ、フィンランド、フランス

継続的な維持管理

- 得られた最新情報を3D推定図に反映
- debrisWikiに得られた分析結果等を反映
- 上記が反映されたdebrisEyeの更新及び開示

debrisEyeは、ドローン等の調査や
デブリ取り出しのシュミレーターとして
も利用可能にできる。

新規計画

- debrisEyeの機能追加 （例） debrisEye VR 等
- TEPCOが進める1F-DMU（デジタルモックアップ）への貢献





1Fデジタルツインの構築 ～debrisEyeの開発～

※画像をクリックすると動画が再生されます。

ご清聴ありがとうございました

参考文献

- debrisWiki : <https://fdada-plus.info>
- 令和4年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握のための分析・推定技術の開発（原子炉圧力容器の損傷状況等の推定のための技術開発））」2022年度最終報告,
https://dccc-program.jp/wp-content/uploads/20231019_JAEA.pdf
- TEPCO : 2号機 PCV内部調査・試験的取り出し作業の準備状況 (2024年7月25日)
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2024/07/07/3-3-2.pdf>
- TEPCO : 福島第一原子力発電所 3号機原子炉格納容器内部調査 映像からの3次元復元結果
<https://photo.tepco.co.jp/date/2018/201804-j/180426-02j.html>
- TEPCO : 福島第一原子力発電所 2号機 ミュオン測定による炉内燃料デブリの位置把握について(2016年7月28日)
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2016/07/3-03-02.pdf>
- TEPCO : 電気の資料館
<https://www.tepco.co.jp/shiryokan/virtualtour/?nuclear&01>
- TEPCO: 1号機 PCV内部調査（気中部調査）について（2024年6月27日）
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2024/06/06/3-3-4.pdf>
- TEPCO:福島第一原子力発電所 1号機原子炉格納容器内部気中部調査の実施状況（2日目）について
https://tepco.webcdn.stream.ne.jp/www11/tepco/download/240321_j.zip
- TEPCO: 事故分析関連で取得したサンプルについて (2023年5月22日)
<https://www.nra.go.jp/data/000432015.pdf>
- Yamashita et al., "Development of 3D view application debrisEye for decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant," Proceedings of ERMSAE2024, Sweden.
- 山下 他, "福島第一原子力発電所RPV損傷状況及び燃料デブリのPCV内移行挙動等の推定,1; 3D炉内状況推定図及びdebrisEyeの開発,"日本原子力学会2024年春の年会@近畿大学