

国際廃炉研究開発機構における 廃炉関連技術の研究開発状況

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構
劔田 裕史

※本発表内容は、経済産業省「平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業」「平成25年度発電用原子炉等廃炉・安全技術開発費補助金」「平成25年度補正予算廃炉・汚染水対策事業費補助金」の成果を含む。
※プラント情報等の一部内容は、東電ホームページより引用。

国際廃炉研究開発機構の概要

1. 名称

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

(IRIDアイリッド: International Research Institute for Nuclear Decommissioning)

2. 組合本部

〒105-0003 東京都港区西新橋2-23-1 3東洋海事ビル5F

(電話番号) 03-6435-8601 (代表)

(ホームページアドレス) <http://www.irid.or.jp>

3. 組合員 (18法人)

独立行政法人：日本原子力研究開発機構、産業技術総合研究所

プラント・メーカー：(株)東芝、日立GEニュークリア・エナジー(株)、三菱重工業(株)

電力会社等：北海道電力(株)、東北電力(株)、東京電力(株)、中部電力(株)、北陸電力(株)、関西電力(株)、中国電力(株)、四国電力(株)、九州電力(株)、日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)、(株)アトックス

4. 理事会

理事長：劔田 裕史 副理事長：新井 民夫 専務理事：菅沼 希一

理事：及川 清志、魚住 弘人、門上 英、岸本 邦和、瀬戸 政宏、

畠澤 守、松本 純、森山 善範

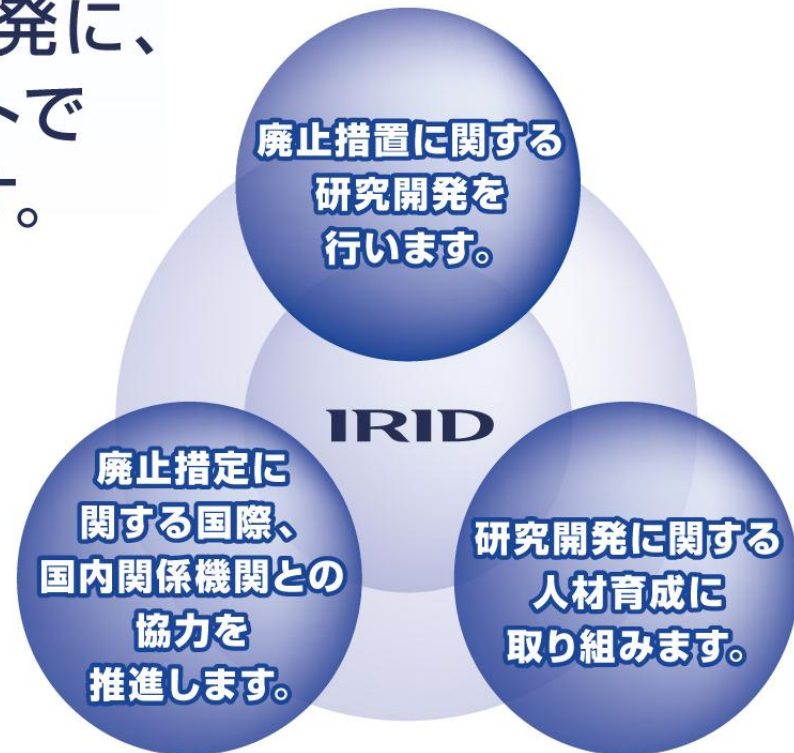
監事：中谷 哲

IRIDの事業内容

国内外の叡智を結集し、
廃炉のための研究開発に、
一元的なマネジメントで
取り組んでまいります。

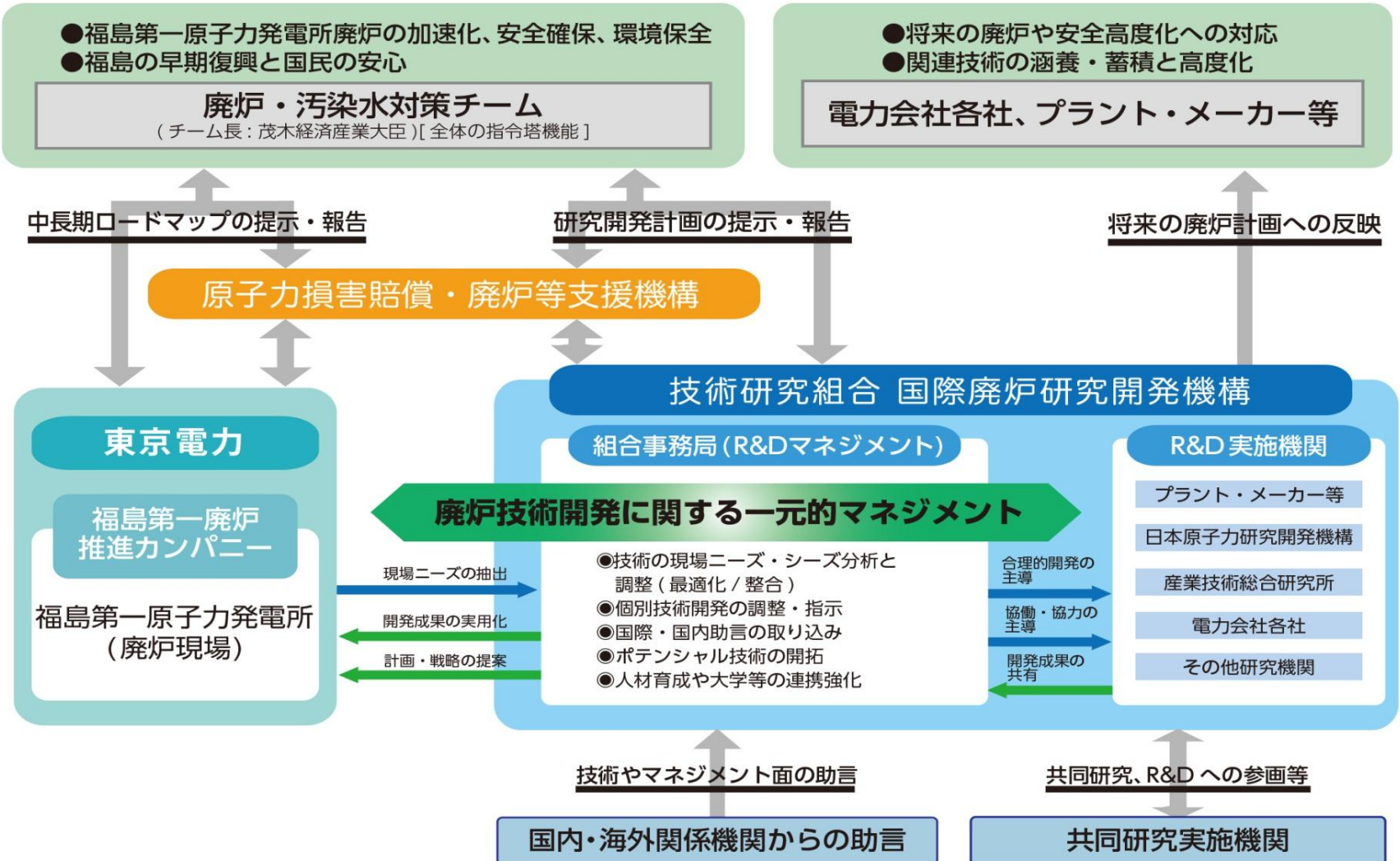
研究内容

- 使用済燃料プールの燃料
取り出しに係る研究開発
- 燃料デブリ取り出し準備に
係る研究開発
- 放射性廃棄物の処理・処分に
係る研究開発



国際廃炉研究開発機構の役割

廃炉技術の基盤強化を視野に、当面の緊急課題である福島第一原子力発電所の廃炉に向けた取り組みに注力



研究開発プロジェクトの評価体制

技術委員会（外部有識者）

役割：研究開発における全体戦略や I R I D 事業活動全体に関する評価・助言

委員長： 岡本 孝司（東京大学大学院 工学研究系研究科 教授）
委員： 浅間 一（東京大学大学院 工学研究系研究科 教授）
渡邊 豊（東北大学大学院 工学研究科 教授）
山中 伸介（大阪大学大学院 工学研究科 教授）
朽山 修（原子力安全研究協会 処分システム安全研究所所長）

国際顧問会議

諸外国の知見・経験に基づくアドバイスの取込みとして

●国際顧問による I R I D 運営全体に対する助言

- ・ **レイク・バレット氏（アメリカ）**：独立コンサルタント(TMI事故時NRC現地対策ディレクター)
 - ・ **エイドリアン・シンパー氏（英国）**：英国 N D A 理事
 - ・ **ルイス・エチャバリ氏（スペイン）**：元OECD/NEA事務局長
- － 平成26年1月9日～10日 第1回会合開催
－ 平成26年11月17日～19日 第2回会合開催

国際協力

未曾有の原子力事故→経験／教訓／英知の活用

(1) 海外知見の収集活用

- ① 技術カタログの活用
- ② RFI/RFPの公募
- ③ 海外情報の収集：
DOE、Chuck Negin氏講演、日英廃炉WSへの参加
個別企業来訪：AMEK、EDF、Halden、FORTUM
- ④ 各国訪問：IAEA、仏、英、米、ロシア、OECD/NEA

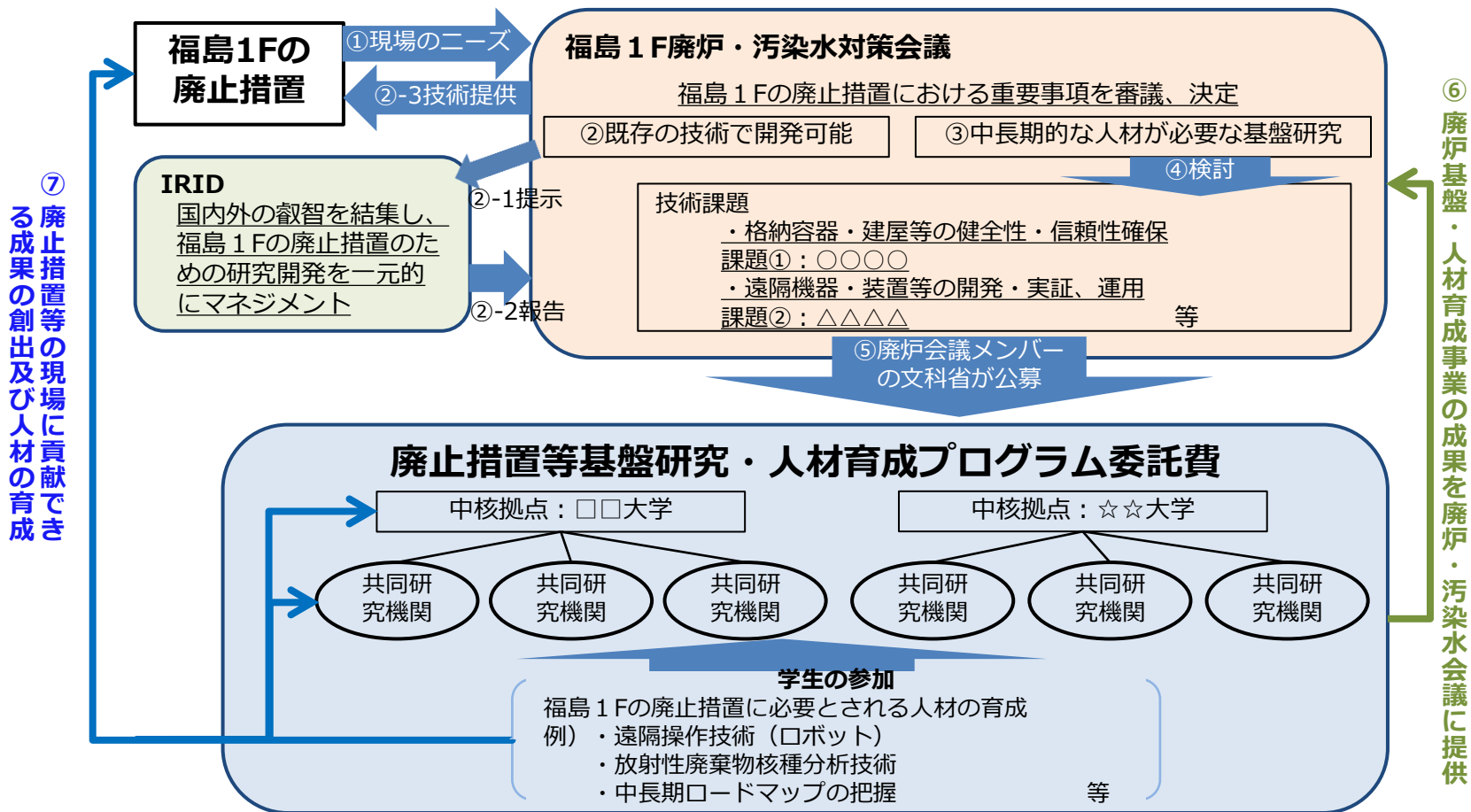
(2) プロジェクトでの共同作業

- ① ミューオン計測：DOE／ Los Alamos
- ② 燃料デブリ性状：
MCCI：仏CEA、大規模模擬デブリ：カザフスタン
- ③ 炉内状況の確認
EPRI：MAARP、KAERI：炉底部模擬試験、OECD/NEA：BSAF

(3) 実プロジェクトへの活用

廃止措置等基盤研究・人材育成プログラム

東電福島事故への対応を通じ、中長期に亘る廃止措置等の新たな知見の創出、人材の育成・確保が必要
 ⇒廃炉・汚染水対策会議において設定する、人材育成に関する重点分野に関し国際廃炉研究開発機構（IRID）との連携のもと、大学等の研究機関において多様な分野の叡智を結集して、廃炉措置等の現場に貢献できる成果の創出及び人材の育成を目標とする。



(文部科学省資料より)

研究開発に関する人材育成・学協会との連携

文科省、原子力安全研究協会等との連携

平成25年度ワークショップ開催実績

1	9月25日	関東①	東京大学
2	10月8日	福島	コラッセ福島
3	11月1日	関西・西日本①	大阪大学
4	11月20日	東北・北海道	東北大学
5	11月26日	関東②	東京大学
6	12月20日	関西・西日本②	神戸国際会議場
7	12月25日	北陸	福井大学
8	1月8日	中部	名古屋大学
9	1月22日	関東③	茨城大学



平成26年度ワークショップ開催実績

1	11月25日	関東	東京工業大学
2	1月15日	東北	東北大学
3	1月22日	北陸	福井大学
4	3月6日	関東	地盤工学会
5	3月12日	関東・東北	東京大学



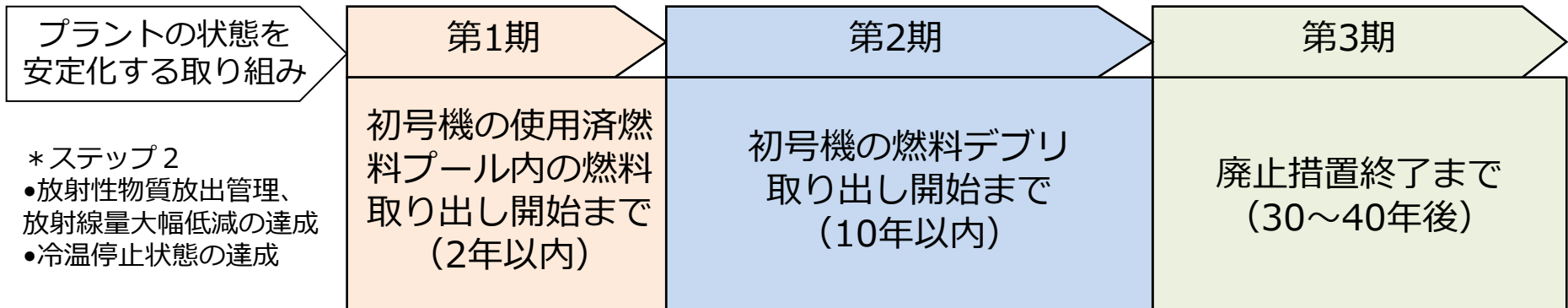
IRIDの研究開発の状況

中長期ロードマップの概要

2011年12月
【ステップ2*完了】

2013年11月

2021年12月



プラントの状態を安定化する取り組み

- *ステップ2
- 放射性物質放出管理、放射線量大幅低減の達成
 - 冷温停止状態の達成

↑
2013年11月18日に4号機使用済燃料プールから燃料取り出し開始

()内はステップ2完了からの期間

○中長期ロードマップは、平成27(2015)年6月12日に改訂された。

○目標工程(マイルストーン)の明確化

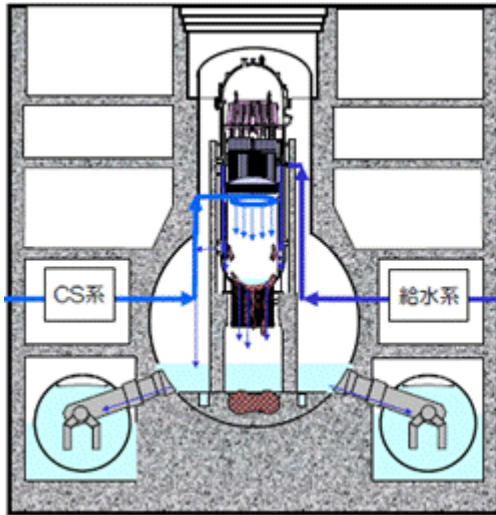
【燃料デブリ取り出し】

- ・号機毎の燃料デブリ取り出し方針の決定 2年後目処
- ・初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定 2018年度上半期
- ・初号機の燃料デブリ取り出しの開始 2021年内

福島第一原子力発電所各号機の状況

1～3号機の炉心・PCVの状況推定(*1)より、開発方針を以下に設定

【1号機】

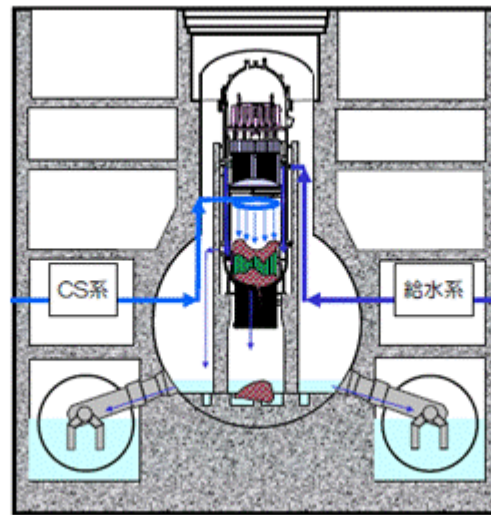


・溶融した燃料は、ほぼ全量がRPV下部プレナムへ落下しており、元々の炉心部にはほとんど燃料が存在していない

↓ 開発方針

・燃料デブリがペDESTAL外側まで広がっている可能性があり、ペDESTAL外側の調査を優先して開発を推進する

【2号機】



・溶融した燃料のうち、一部はRPV下部プレナムまたはPCVペDESTALへ落下し、燃料の一部は元々の炉心部に残存していると考えられる
・尚、3号機では従来の予測よりも多くの燃料がPCV内に落下していると推定。

↓ 開発方針

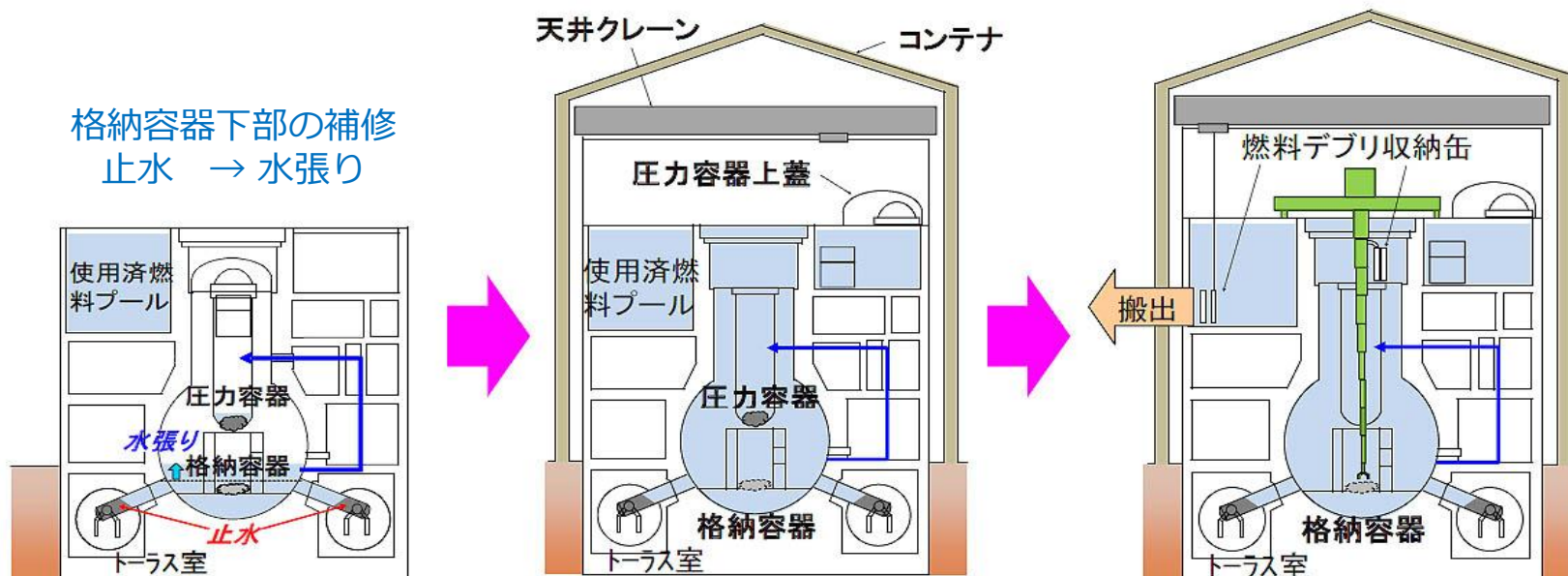
・1号機と比べると、燃料デブリがペDESTAL外側まで広がっている可能性は低く、ペDESTAL内側の調査を優先して開発を推進する
・尚、3号機はPCV内の水位が高く、1・2号機で使用予定のペネが水没している可能性があり、別方式を検討する必要がある。

*1：【出典】東京電力ホールディングス(平成25年12月13日)「福島第一原子力発電所1～3号機の炉心・格納容器の状態の推定と未解明問題に関する検討第1回進捗報告」より抜粋

燃料デブリ取出しの作業イメージ

- 燃料デブリを冠水させた状態で取り出す方法が、作業被ばく低減の観点から最も有望
- 格納容器の水張りに向けた調査・補修技術を研究中
- 更に、燃料デブリ取り出し・収納・保管に必要な研究開発を推進中
- 燃料デブリ取り出し工法は、候補となる工法（冠水工法、冠水させずに上部または横から取り出す気中取り出し工法など）の中から2018年中に決定する予定。

燃料デブリ取り出し



IRIDの廃炉研究開発プロジェクト

使用済燃料の
長期健全性評価
(~2017年度)

除染・線量低減

遠隔除染
装置開発
(~2015年度)

格納容器止水・補修

格納容器
止水技術
(~2017年度)

同実規模
試験
(~2016年度)

デブリ取出

格納容器/
圧力容器
健全性評価
(~2016年度)

燃料デブリ・
炉内構造物
取出技術
(~2019年度)

デブリ
臨界管理
(~2019年度)

デブリ収納・
移送・保管
(~2019年度)

炉内調査・分析

原子炉内燃料
デブリ検知技術
(~2016年度)

事故進展解析
による炉内把握
(~2017年度)

調査

圧力容器
内部調査技術
(~2019年度)

性状把握

格納容器内部
調査技術
(~2016年度)

燃料デブリ
性状把握
(~2019年度)

廃棄物処理・処分

固体廃棄物
処理・処分技術

研究開発プロジェクト件名

燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発

原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発

原子炉格納容器内部調査技術の開発

S/C等に堆積した放射性物質の非破壊検知技術の開発

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し技術の開発

原子炉圧力容器内部調査技術の開発

圧力容器／格納容器の健全性評価技術の開発

過酷事故解析コードを活用した炉内状況把握

燃料デブリの臨界管理技術の開発

燃料デブリ性状把握・処置技術の開発

原子炉内燃料デブリ検知技術の開発

燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発

原子炉格納容器漏えい個所の補修・止水技術の開発

格納容器漏えい個所の補修・止水技術の実規模試験

放射性廃棄物処理・処分に係る研究開発

事故廃棄物処理・処分技術の開発

使用済燃料プール燃料取り出しに係る研究開発

使用済燃料プールから取り出した燃料集合体他の長期健全性評価

使用済燃料プールから取り出した損傷燃料等の処理方法の検討

原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発

使用済燃料の
長期健全性評価
(～2017年度)

除染・線量低減

遠隔除染
装置開発
(～2015年度)

格納容器止水・補修

格納容器
止水技術
(～2017年度)

同実規模
試験
(～2016年度)

デブリ取出

格納容器/
圧力容器
健全性評価
(～2016年度)

燃料デブリ・
炉内構造物
取出技術
(～2019年度)

デブリ
臨界管理
(～2019年度)

デブリ収納・
移送・保管
(～2019年度)

炉内調査・分析

原子炉内燃料
デブリ検知技術
(～2016年度)

調査
圧力容器
内部調査技術
(～2019年度)

格納容器内部
調査技術
(～2016年度)

事故進展解析
による炉内把握
(～2017年度)

性状把握
燃料デブリ
性状把握
(～2019年度)

廃棄物処理・
処分

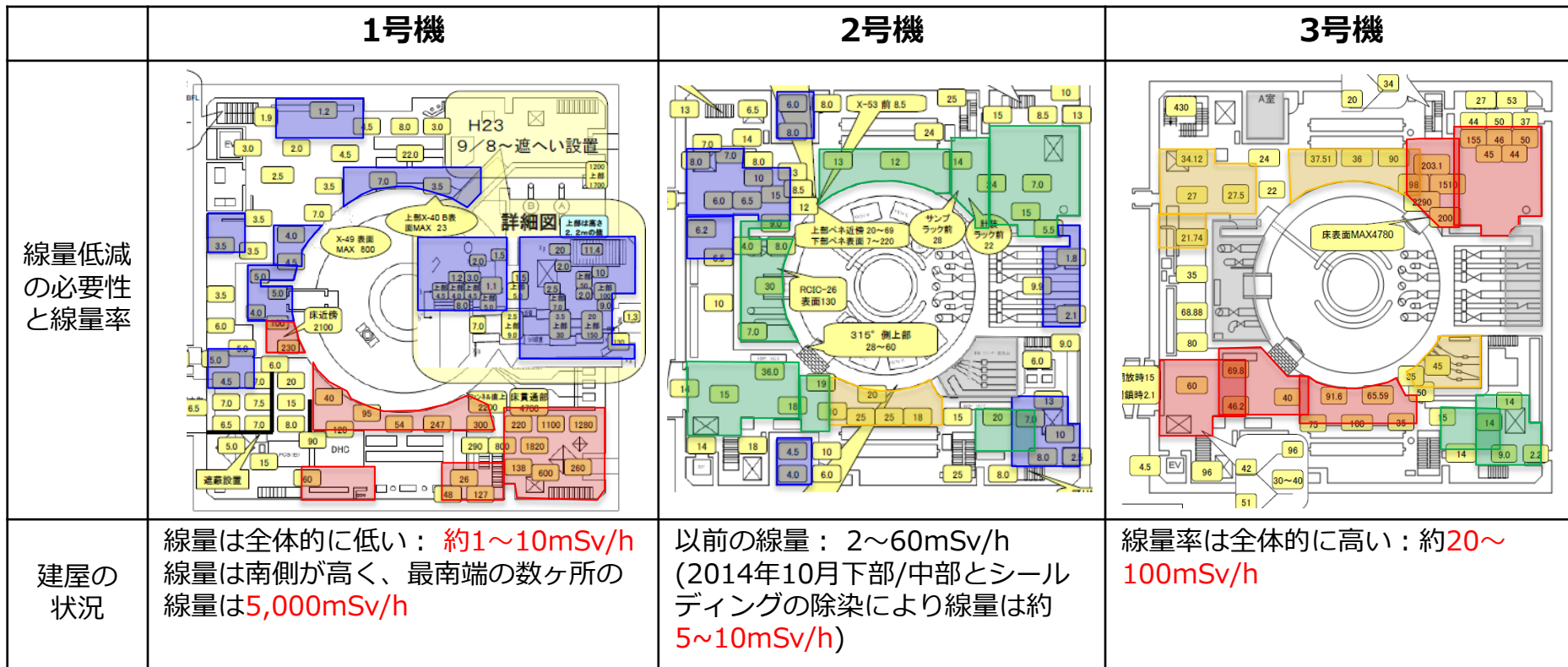
除染装置の目標線量率

◆ 除染装置の開発目標

(原子炉格納容器漏えい箇所調査・補修と総合的線量低減シナリオの必要性)

作業エリア : 3 mSv/h

アクセスルート : 5 mSv/h



* 原子炉格納容器の調査・補修プロジェクトにおいて計画された作業エリアにおける線量マッピングの数値 (線量低減の必要性)

■ : 3mSv/h ~ 10mSv/h

■ : 20mSv/h ~ 50mSv/h

■ : データ不足により調査不可

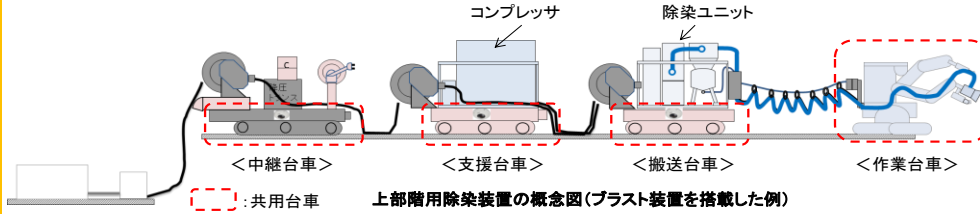
■ : 10mSv/h ~ 20mSv/h

■ : 50mSv/h 以上

全体計画 【開発除染装置と開発状況】

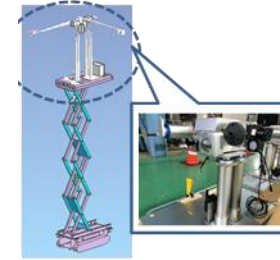
上部階用除染装置

- ・平成25年度：設計
- ・平成26～27年度：製作、実証試験、実機適用性評価

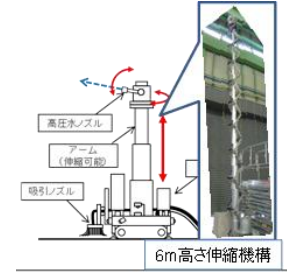


高所用除染装置

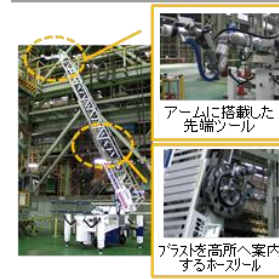
- ・平成25年度：設計、製作
- ・平成26～27年度：改良、実証試験、実機適用性評価



ドライアイスブラスト



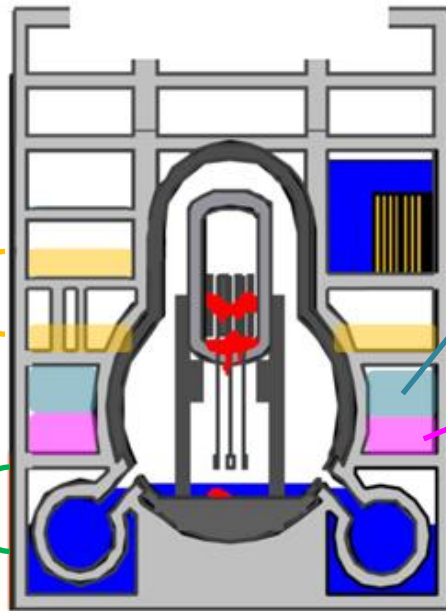
高圧水ジェット



吸引ブラスト

地下階装置

- ・平成26年度：技術課題検討、開発立案



低所用除染装置 <開発完了>

- ・平成23～24年度：設計、製作、2F検証
- ・平成25年度：改良、実証試験、1F実証試験



吸引・ブラスト除染装置



高圧水ジェット除染装置



ドライアイスブラスト除染装置

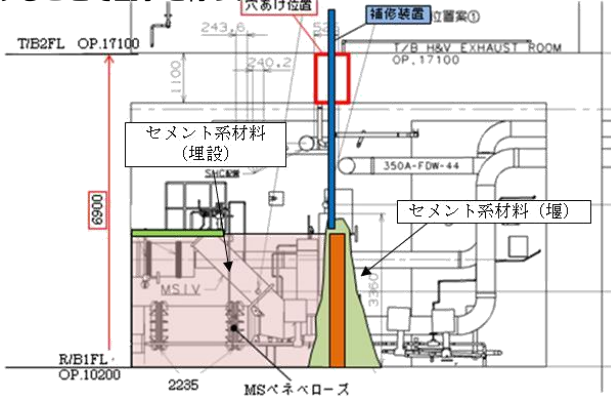
格納容器水張りに向けた調査・補修（止水）技術の開発



PCV止水技術開発対象箇所

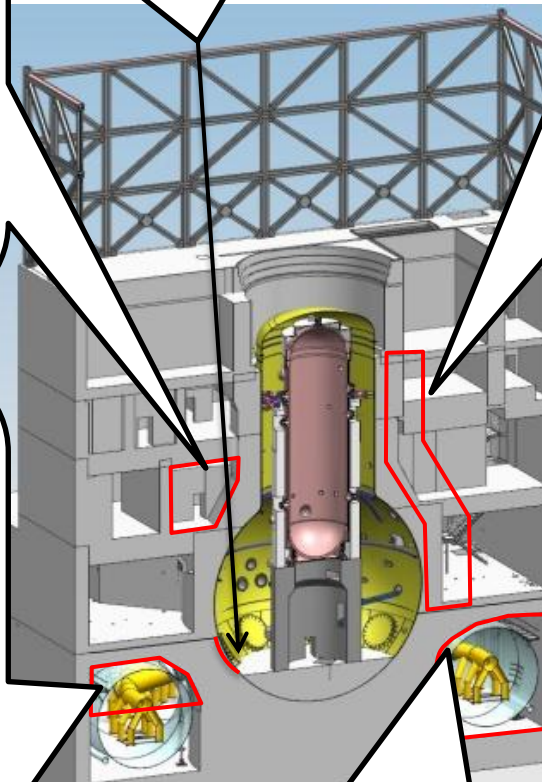
⑤貫通部の止水工法（小部屋内）

PCVを貫通している貫通部のうち、小部屋内に設置されている貫通部については、小部屋内をセメント系材料で埋設することで止水を行う。



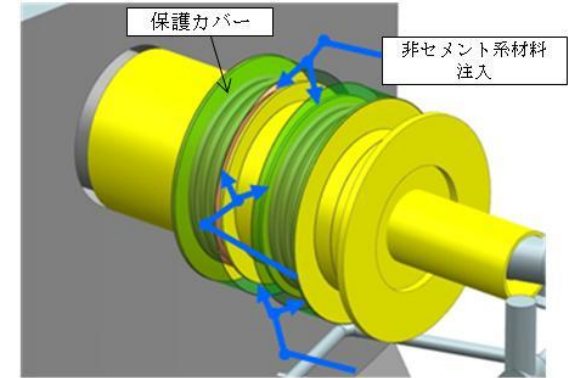
⑧D/Wシエルの補修

調査結果等を踏まえてシェル損傷状態を想定し、補修（止水）方法の検討を行う。



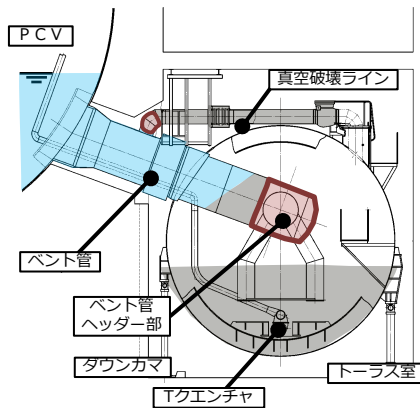
④シール部、⑤配管ベローズ

PCVを貫通している貫通部のうち、開放部に設置されている貫通部については、非セメント系材料で仮止水し、セメント系材料で本止水を実施する。



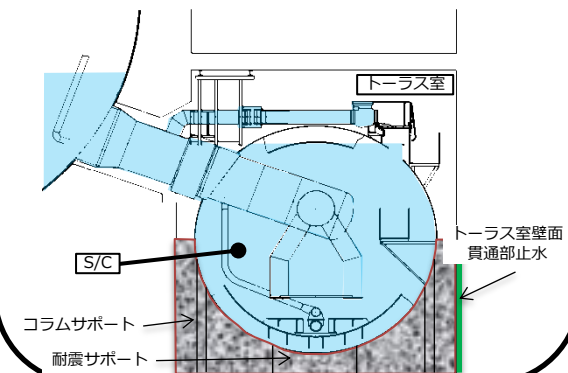
③-1 ベント管止水技術、③-2 真空破壊ライン止水技術

PCV下部の真空破壊ライン、ベント管、ダウンカム、Tクエンチャは、セメント系材料で止水を行う。



①S/C脚部補強、⑦トーラス室壁面貫通部止水

ベント管、ダウンカムをセメント系材料で止水するためには、S/Cを補強する必要があり、セメント系材料でトーラス室を埋設して補強する。



⑥PCV接続配管バウンダリ構築

D/W接続配管のうち、トーラス室に設置されているものはセメント系材料で止水を行う。

格納容器内部調査技術の開発

使用済燃料の
長期健全性評価
(～2017年度)

除染・線量低減

遠隔除染
装置開発
(～2015年度)

格納容器止水・補修

格納容器
止水技術
(～2017年度)

同実規模
試験
(～2016年度)

炉内調査・分析

原子炉内燃料
デブリ検知技術
(～2016年度)

調査

圧力容器
内部調査技術
(～2019年度)

格納容器内部
調査技術
(～2016年度)

事故進展解析
による炉内把握
(～2017年度)

性状把握

燃料デブリ
性状把握
(～2019年度)

デブリ取出

格納容器/
圧力容器
健全性評価
(～2016年度)

燃料デブリ・
炉内構造物
取出技術
(～2019年度)

デブリ
臨界管理
(～2019年度)

デブリ収納・
移送・保管
(～2019年度)

廃棄物処理・
処分

格納容器内部調査(1号機)

【調査対象部位】：ペDESTAL (外) 地下階 作業員アクセス口近傍

【調査及び装置開発ステップ】

(1) X-100Bペネからの調査 (～2015年度)

X-6ペネが高線量であり、現状接近可能なX-100B(Φ100mm)を使用して、優先度が高い以下のペDESTAL外からの調査を計画。

- ① PCV内の1階グレーチング上の情報 (CRDレーン使用可否の調査等) を取得。 : B1
- ② 2013年11月の水上ボートによるトラス室調査結果を受け、ペDESTAL (外) 地下階(作業員アクセス口及び近傍ベント管)の映像取得に特化した調査を計画。 : B2

(2) X-6からの調査(2016～2017年度)

- ① ペDESTAL (外) 地下階に対して、デブリ形状計測装置を搭載し更なる状況把握を行う。 : B3

追加を検討中

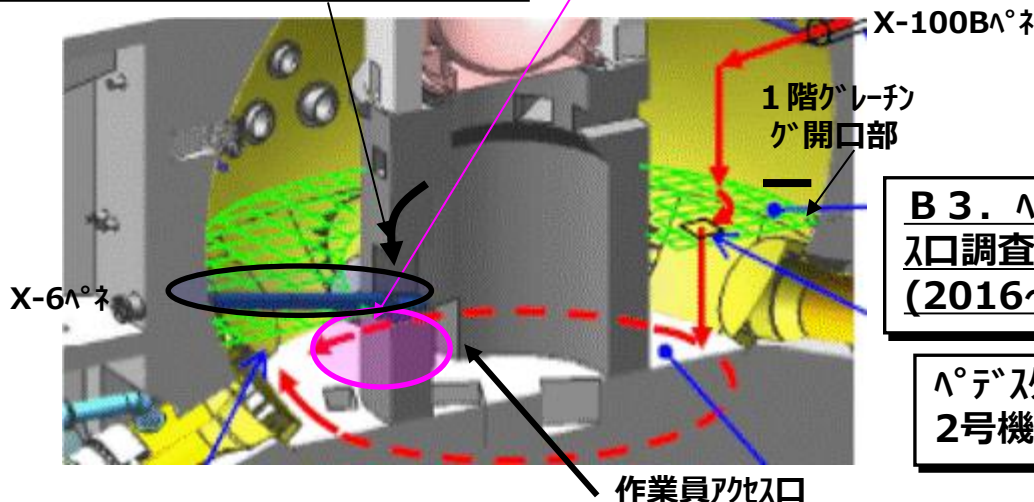
**B 1. ペDESTAL外1階グレーチング上調査
(2015年4月完了) : X-100B^α使用**

**B 2. ペDESTAL外地下階状況調査
(2015年度計画) : X-100B^α使用**

B2調査の結果を踏まえ実施要否の検討

**B 3. ペDESTAL外地下階及び作業員アクセス口調査
(2016～17年度予定) : X-6^α使用**

ペDESTAL内部の調査については、
2号機の調査終了後の実施を検討。



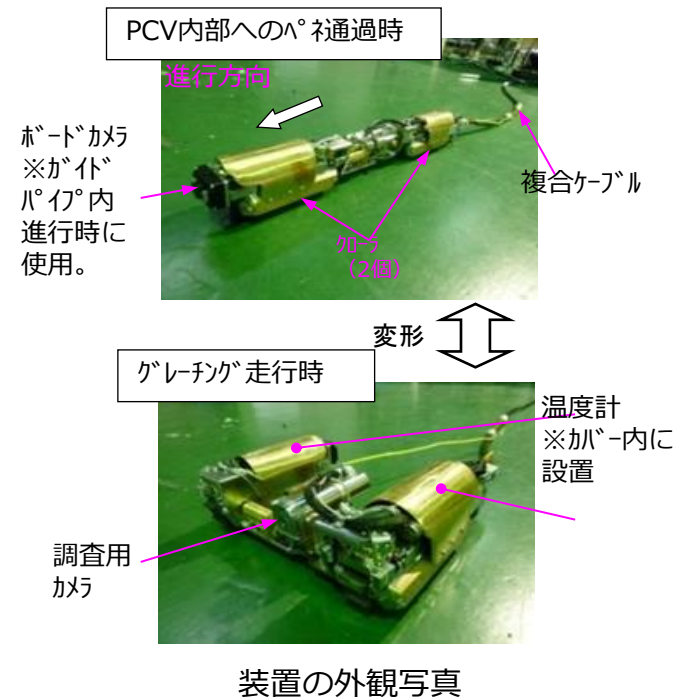
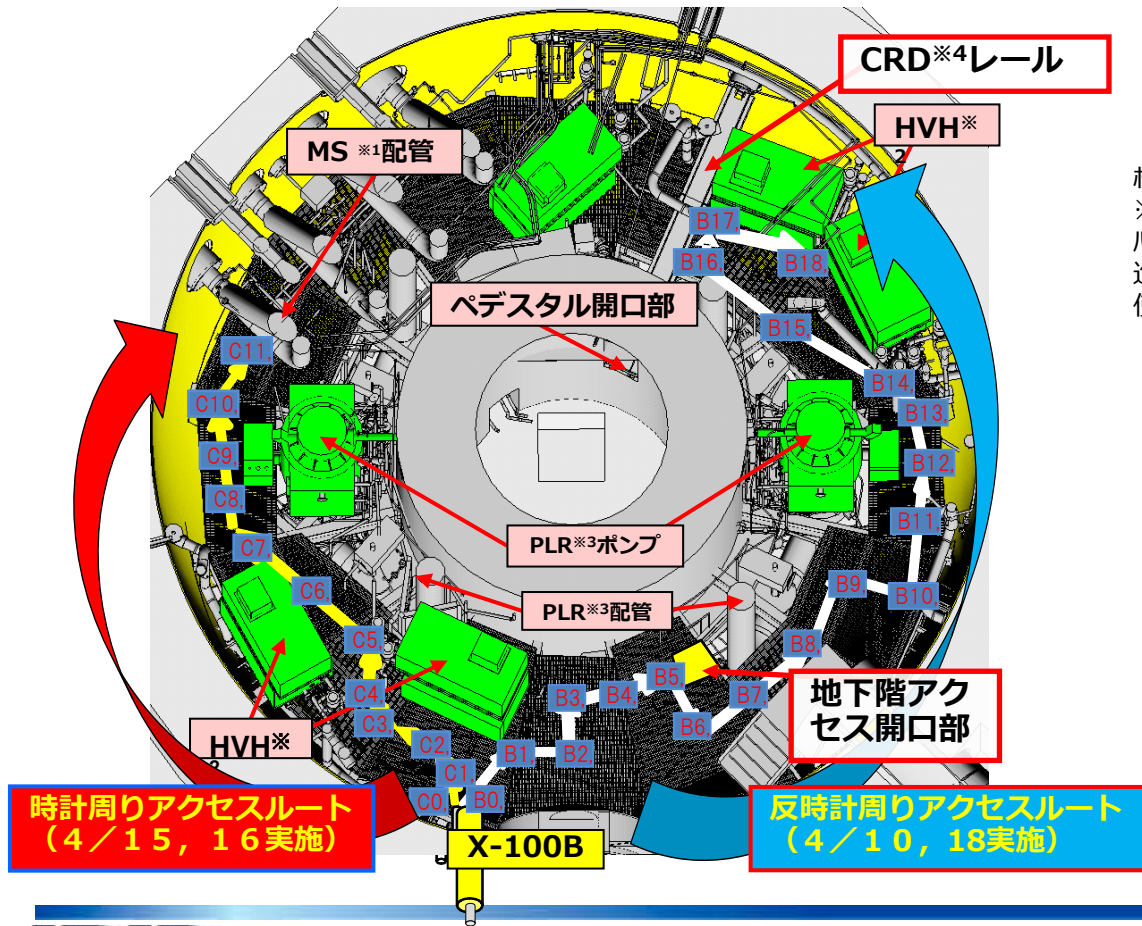
ペDESTアル外 1階グレーチング上調査装置

2015年4月完了 B 1 調査

(1) 装置概要

狭隘なアクセス口(X-100Bペネ貫通口：内径φ100mm)からPCV内へ進入し、グレーチング上を安定走行可能な、**形状変形機構を有するクローラ型装置**

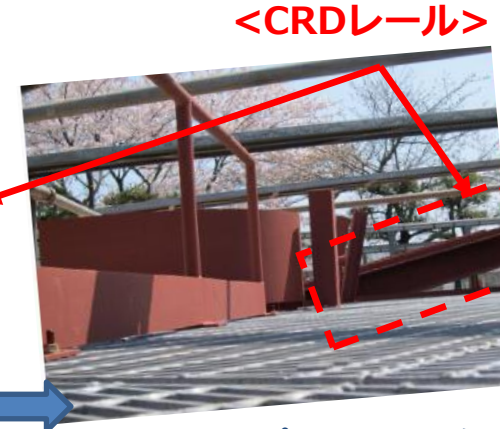
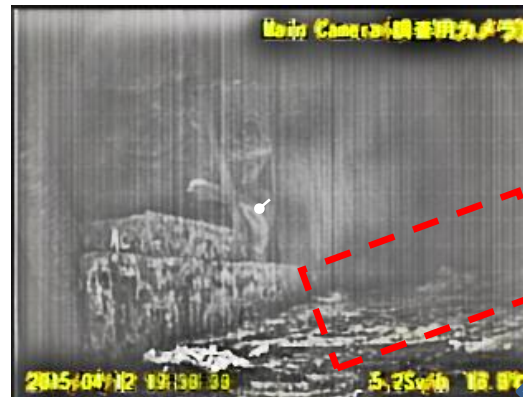
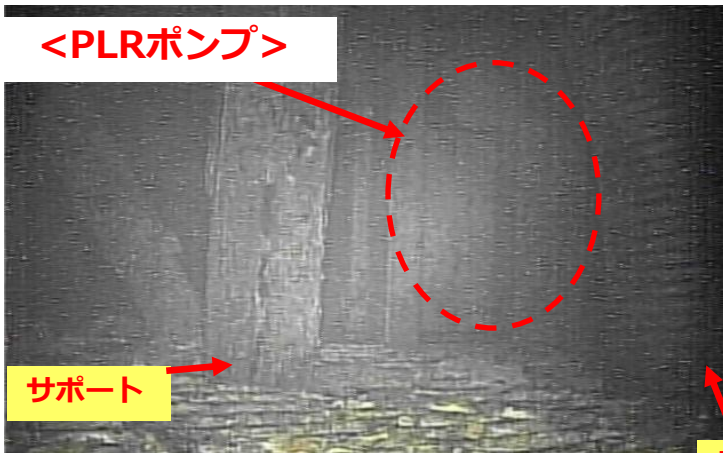
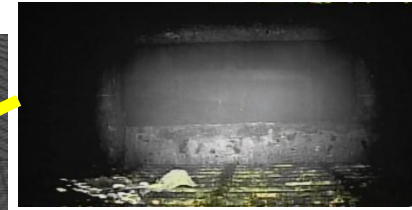
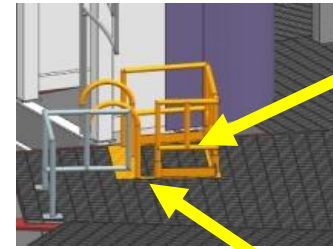
(2) 調査ルート及び装置のイメージ



B1調査の成果

調査部位	調査結果
地下階アクセス開口部	<ul style="list-style-type: none"> ・ 次回 B 2 調査（ペDESTAL外地下階調査）で地下階にアクセス可能な開口があり、周囲に干渉物がないことを確認。
CRDレール	<ul style="list-style-type: none"> ・ CRDレール未到達。 ・ 最終到達地点からCRDレール方向のカメラ撮影を実施し画像処理にて評価したが、CRDレールの視認はできなかった。
アクセスルート上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設設備（HVH, PLR配管, ペDESTAL壁面など）の大きな損傷は確認されなかった。 ・ 各調査ポイントで温度、線量情報を取得。

<地下階アクセス開口部>



(モックアップ施設での映像)

電線管

格納容器内部調査(2号機)

【調査対象部位】：プラットフォーム上(プラットフォーム上面、CRDハウジング下部)及び下(地下階)

【調査及び装置開発ステップ】

(1) X-6ペネ (Φ115mm) からの調査 (～2015年度)

・X-6より、ペデスタル内部プラットフォームの状況調査を2015年度/上に計画：A2

(2) X-6 (穴径拡大、またはペネ開放) からの調査 (2016～2017年度)：A3～A4

・デブリ可視化装置を投入し、ペデスタル内部の調査を行う

A 1. CRDレール状況調査(2013/8実施済)

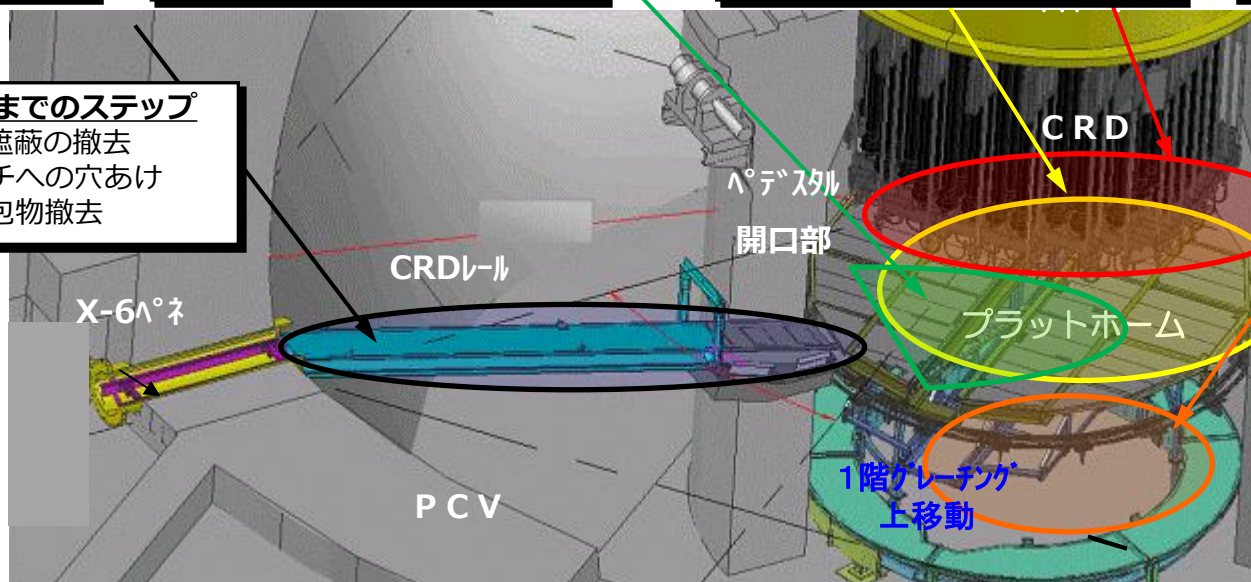
A 2. ハ°ペスタル内部プラットフォーム状況調査 (2015年度/上予定)

A 3. CRD下部及びプラットフォーム状況調査 (2016年度予定)

A 4. ハ°ペスタル地下階の状況調査(2017年度/下予定)

X-6ペネ使用までのステップ

- ・ペネ前_遮蔽の撤去
- ・ペネハッチへの穴あけ
- ・ペネの内包物撤去



ハ°ペスタル外部の調査については、A2～A4の内部調査結果を踏まえて実施要否を検討

圧力容器内部調査技術の開発

使用済燃料の
長期健全性評価
(~2017年度)

除染・線量低減

遠隔除染
装置開発
(~2015年度)

格納容器止水・補修

格納容器
止水技術
(~2017年度)

同実規模
試験
(~2016年度)

炉内調査・分析

原子炉内燃料
デブリ検知技術
(~2016年度)

格納容器内部
調査技術
(~2016年度)

**圧力容器
内部調査技術
(~2019年度)**

事故進展解析
による炉内把握
(~2017年度)

性状把握
燃料デブリ
性状把握
(~2019年度)

デブリ取出

格納容器/
圧力容器
健全性評価
(~2016年度)

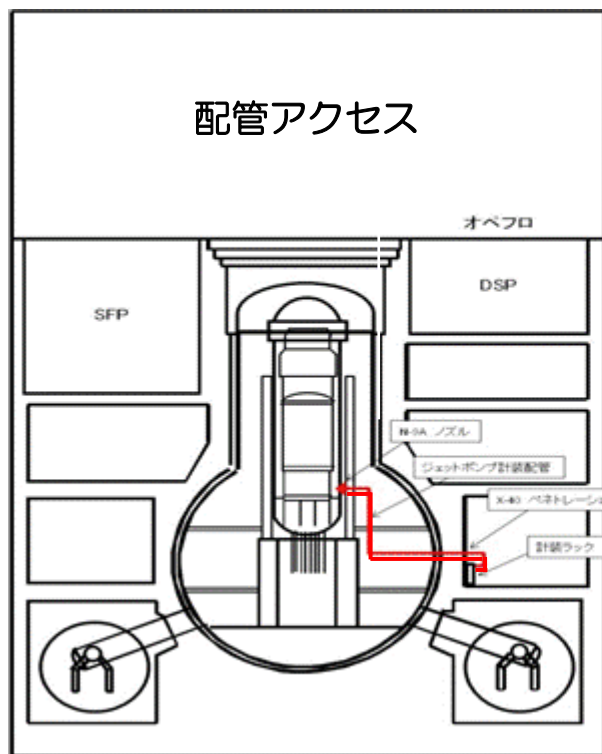
燃料デブリ・
炉内構造物
取出技術
(~2019年度)

デブリ
臨界管理
(~2019年度)

デブリ収納・
移送・保管
(~2019年度)

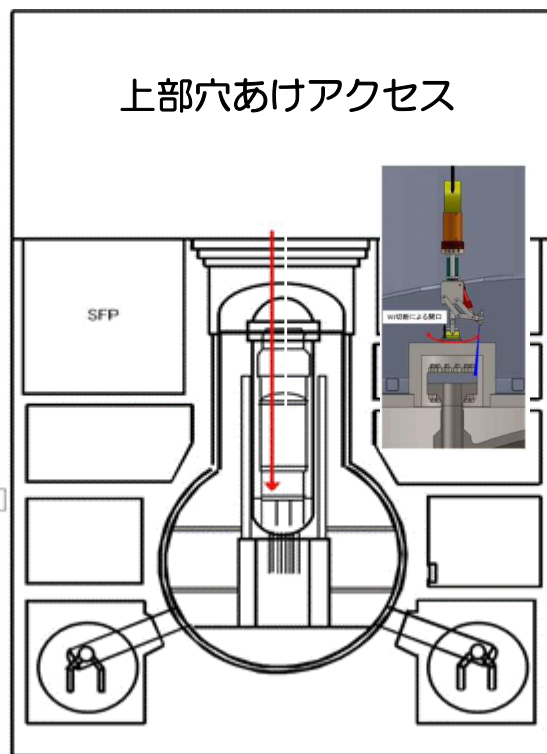
廃棄物処理・
処分

原子炉压力容器内部へのアクセスルートを検討



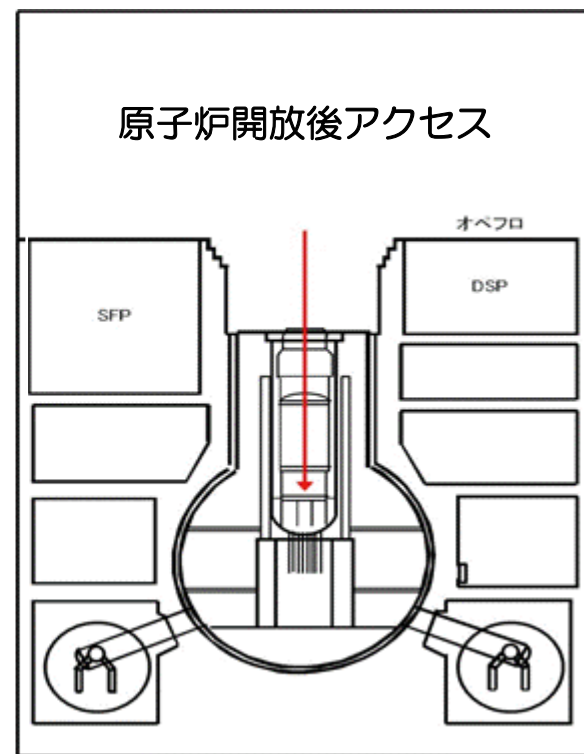
【課題】

- バウンダリの維持
- **弁部の通過**
- 炉内構造物の穴あけ



【課題】

- バウンダリの維持
- 炉内構造物の穴あけ



【課題】

- 調査開始可能時期

原子炉内燃料デブリ検知技術の開発

使用済燃料の
長期健全性評価
(~2017年度)

除染・線量低減

遠隔除染
装置開発
(~2015年度)

格納容器止水・補修

格納容器
止水技術
(~2017年度)

同実規模
試験
(~2016年度)

炉内調査・分析

原子炉内燃料
デブリ検知技術
(~2016年度)

事故進展解析
による炉内把握
(~2017年度)

性状把握

燃料デブリ
性状把握
(~2019年度)

調査

圧力容器
内部調査技術
(~2019年度)

格納容器内部
調査技術
(~2016年度)

デブリ取出

格納容器/
圧力容器
健全性評価
(~2016年度)

燃料デブリ・
炉内構造物
取出技術
(~2019年度)

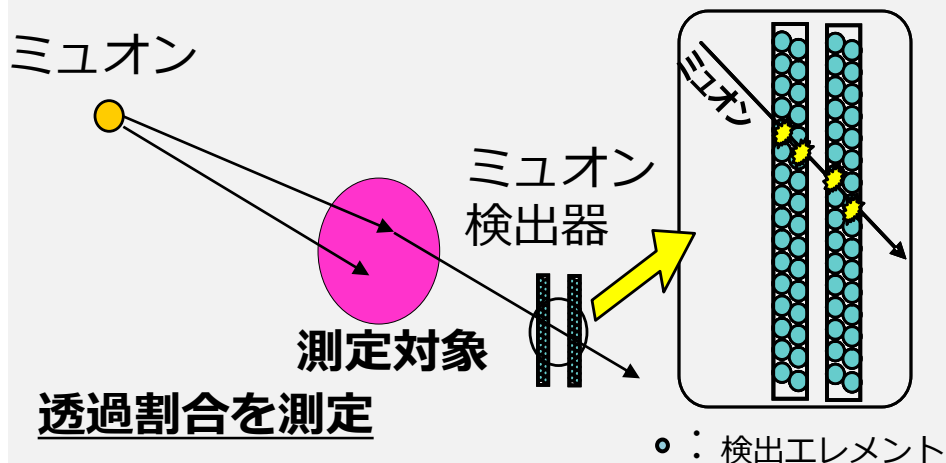
デブリ
臨界管理
(~2019年度)

デブリ収納・
移送・保管
(~2019年度)

廃棄物
処理・処分

ミュオン観測技術による炉内状況把握

透過法

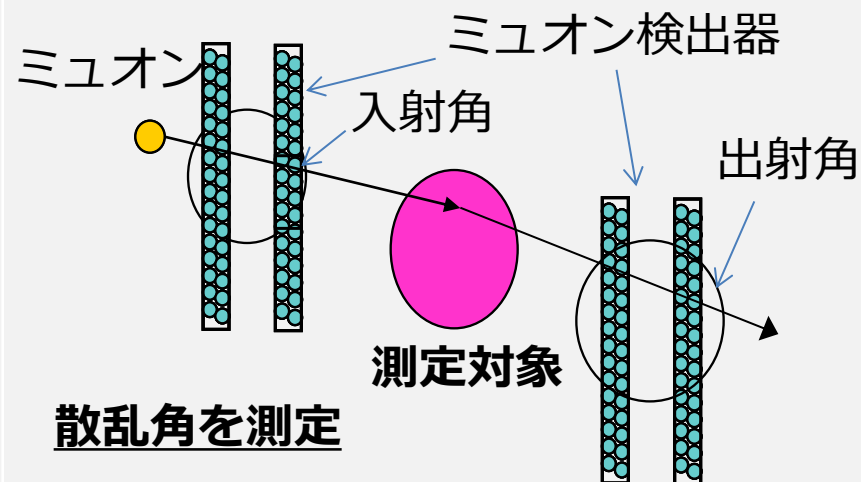


飛来方向の物質有無（2次元）

識別能力（燃料デブリ）：1 m程度

1組の小型ミュオン検出器（早期適用可）

散乱法



散乱位置の物質有無（3次元）

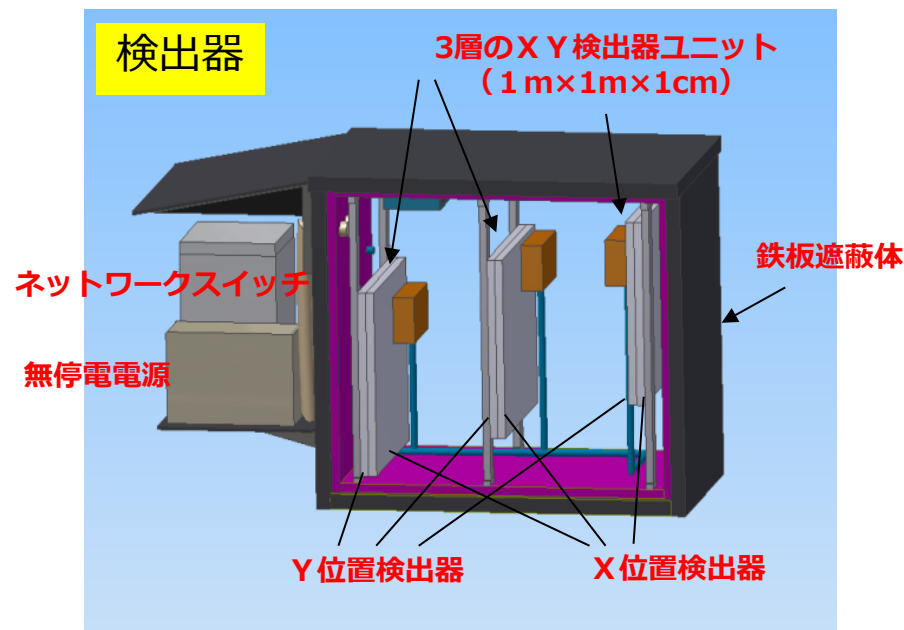
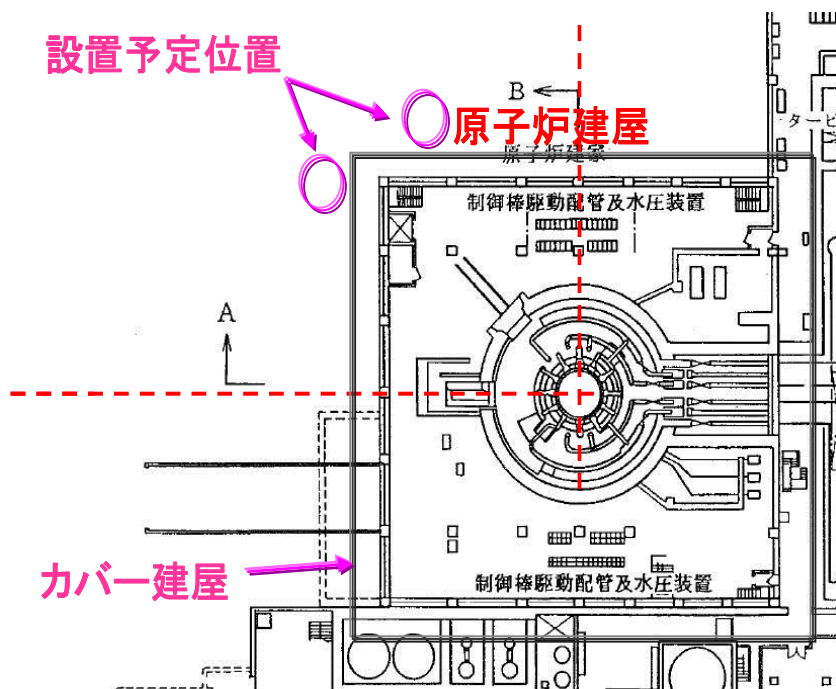
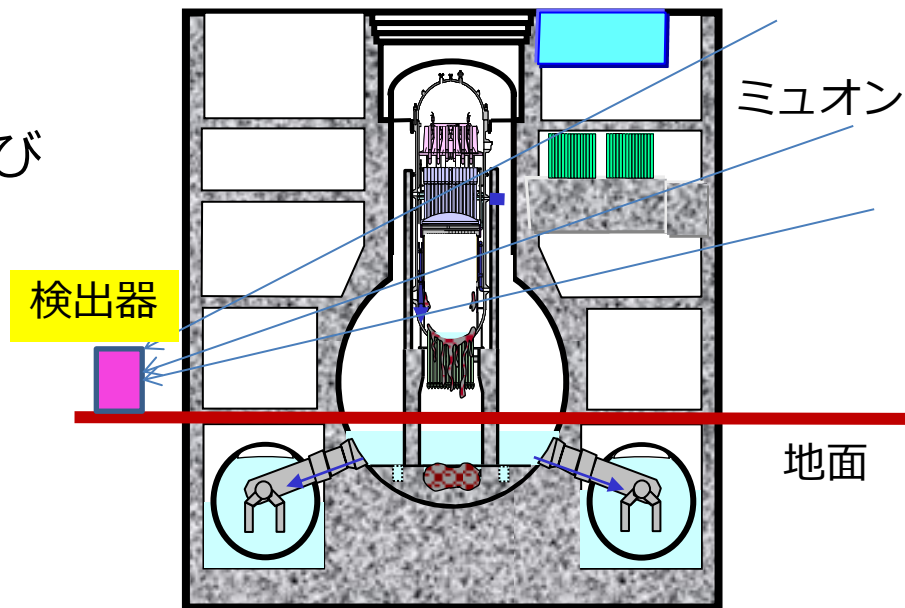
識別能力（燃料デブリ）：30 cm程度

2組の大型ミュオン検出器

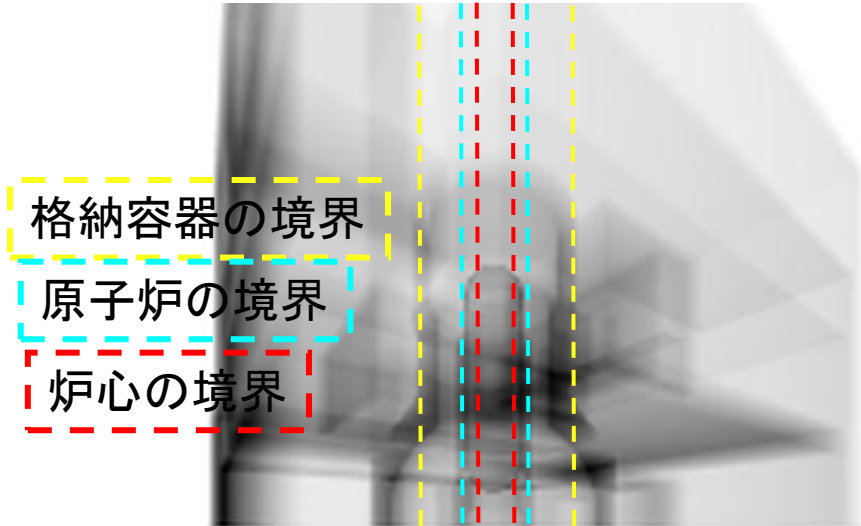
ウラン等の重元素を識別可能

透過法による測定

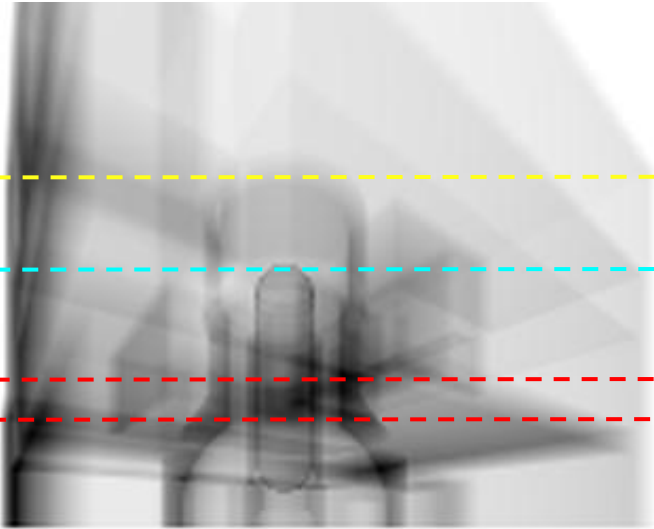
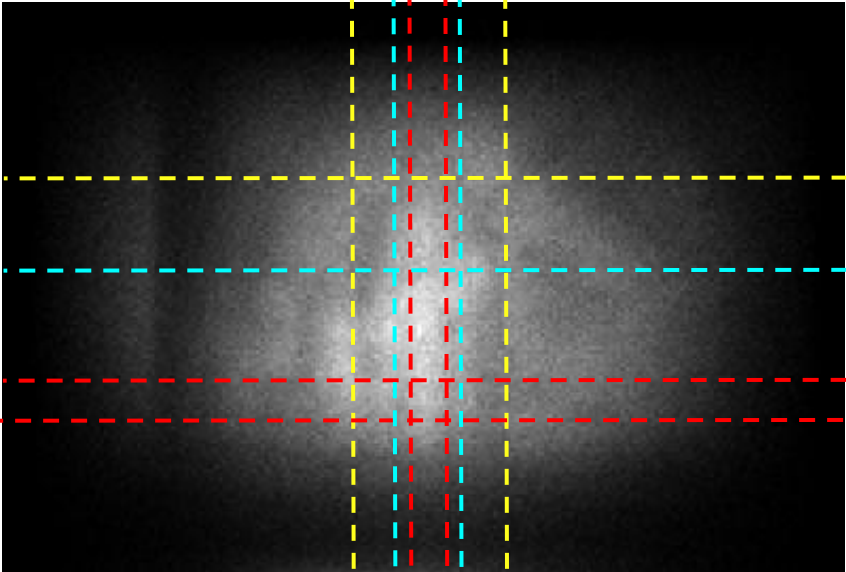
- 検出器は1号機原子炉建屋の北側及び北西コーナーに設置（1月下旬）
- 測定は2月から5月まで実施
- 建屋前検出器は10cm厚鉄板で遮蔽



設計図面画像と測定値比較によるデブリの位置推定（測定器 1）

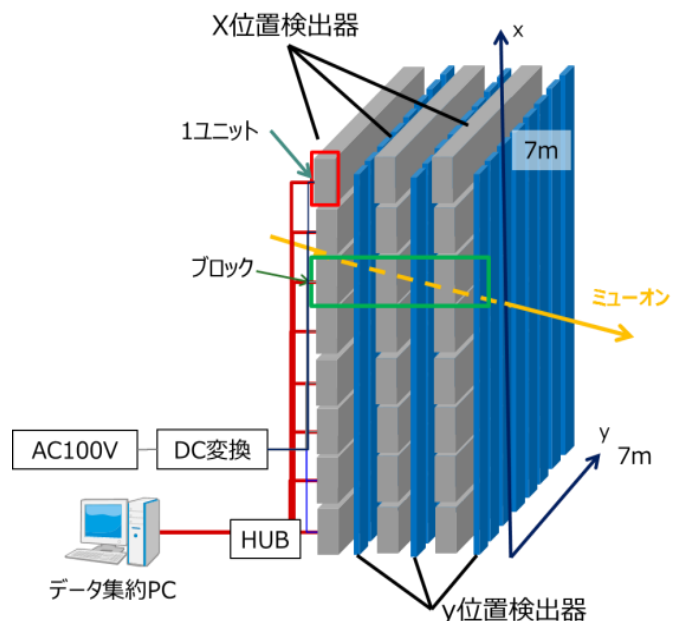
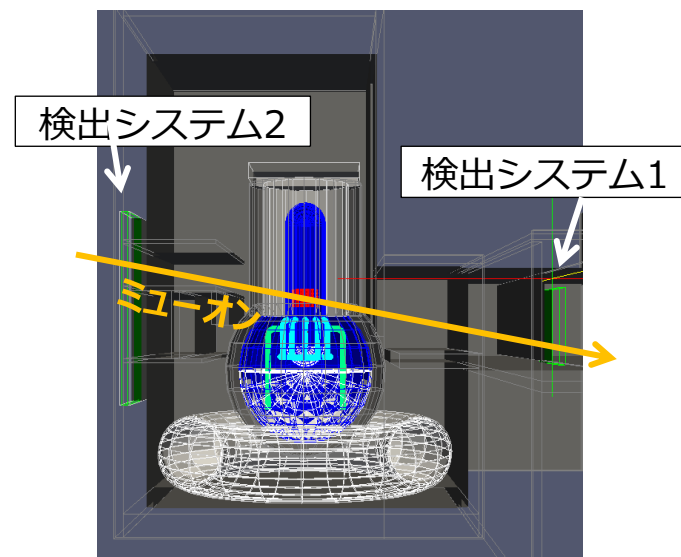
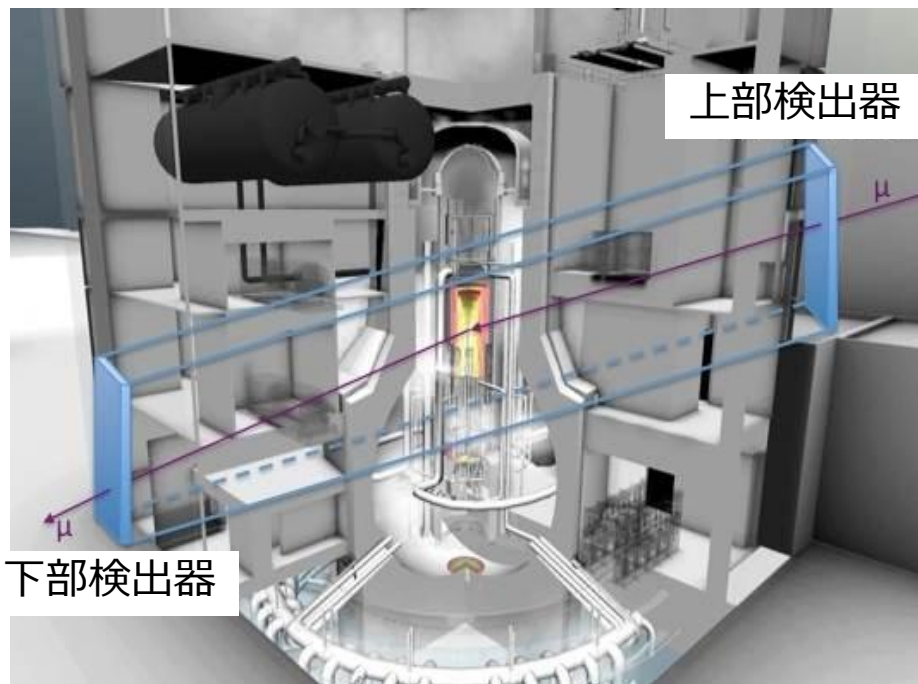


- ◆ 鮮明ではないが、測定データでは、図面から予想される、見えるべき位置に機器等が確認できている
- ◆ また、格納容器・原子炉の境界も一致
- ◆ しかしながら、もともとの炉心位置には高密度物質（燃料）を確認することができない



散乱法による測定

- ◆ 検出器設置位置：2号機建屋前とタービン建屋2F（オペフロ）
- ◆ 遮蔽体とアルゴリズムによるバックグラウンド除去
- ◆ 建屋前検出器は8cm厚鉄板で遮蔽
- ◆ タービン建屋2Fは線量が低いため、遮蔽体なし



模擬デブリ性状把握・処置技術の開発

使用済燃料の
長期健全性評価
(～2017年度)

除染・線量低減

遠隔除染
装置開発
(～2015年度)

格納容器止水・補修

格納容器
止水技術
(～2017年度)

同実規模
試験
(～2016年度)

炉内調査・分析

原子炉内燃料
デブリ検知技術
(～2016年度)

調査

格納容器内部
調査技術
(～2016年度)

圧力容器
内部調査技術
(～2019年度)

事故進展解析
による炉内把握
(～2017年度)

性状把握

燃料デブリ
性状把握
(～2019年度)

デブリ取出

格納容器/
圧力容器
健全性評価
(～2016年度)

燃料デブリ・
炉内構造物
取出技術
(～2019年度)

デブリ
臨界管理
(～2019年度)

デブリ収納・
移送・保管
(～2019年度)

廃棄物処理・
処分

想定される1F燃料デブリとTMI-2デブリとの比較

燃料デブリの収納・移送・保管の観点から、1F燃料デブリとTMI-2デブリの比較をすると下表のとおりとなる。大きく異なる点は以下のとおり。

- ・ 1F燃料デブリのほうが燃焼度と濃縮度が高い
⇒放射線、崩壊熱大及び反応度高
- ・ 1F燃料デブリはコンクリートとの溶融生成物が存在すると推定
⇒コンクリート中の水分の放射線分解による水素発生の懸念
- ・ 1F炉内への海水注入、計装ケーブル他との溶融
⇒燃料デブリ中の塩分の影響、多様な不純物の混入

1F固有の課題として
対応が必要

		1F燃料デブリ	TMI-2デブリ
燃焼度（炉心平均）		約25.8GWd/t ^{注1)}	約3.2GWd/t ^{注2)}
濃縮度（バンドル平均（最大））		3.7 wt% ^{注1)}	2.96 wt% ^{注2)}
冷却期間（最短）		約9年（2020年6月時点）	約6年 ^{注3)}
デブリ存在位置		圧力容器内及び格納容器内（推定） ⇒燃料構造材・炉内構造物に加え、コンクリートや計装ケーブル等との溶融生成物が存在すると推定	圧力容器内 ⇒燃料構造材・炉内構造物との溶融生成物
収納物量	デブリ重量	—	134.4t ^{注3)}
	（燃料集合体重量）	3基合計で約450t以上 ^{注4)}	約122t ^{注2)}
	（ウラン重量）（未照射）	3基合計で約260t以上 ^{注5)}	約82t ^{注2)}
その他		炉内に海水を注入	—

注1) 「JAEA-Data/Code 2012-018 福島第一原子力発電所の燃料組成評価、2012.9、JAEA」より1F-1の値

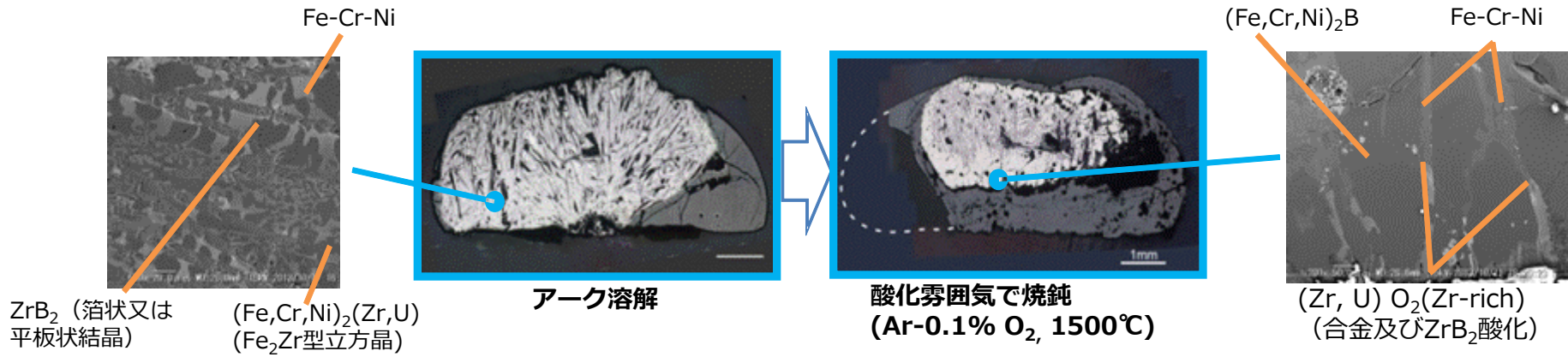
注2) 「DOE/SNF/REP-084 TMI Fuel Characteristics for Disposal Criticality Analysis、2003.9、U.S. Department of Energy」より

注3) 「G. Lassahn, Uranium and Plutonium Content of TMI-2 Defueling Canisters, EG&G internal technical report, September 1993」より

注4) 炉心装荷体数×300kgで算出

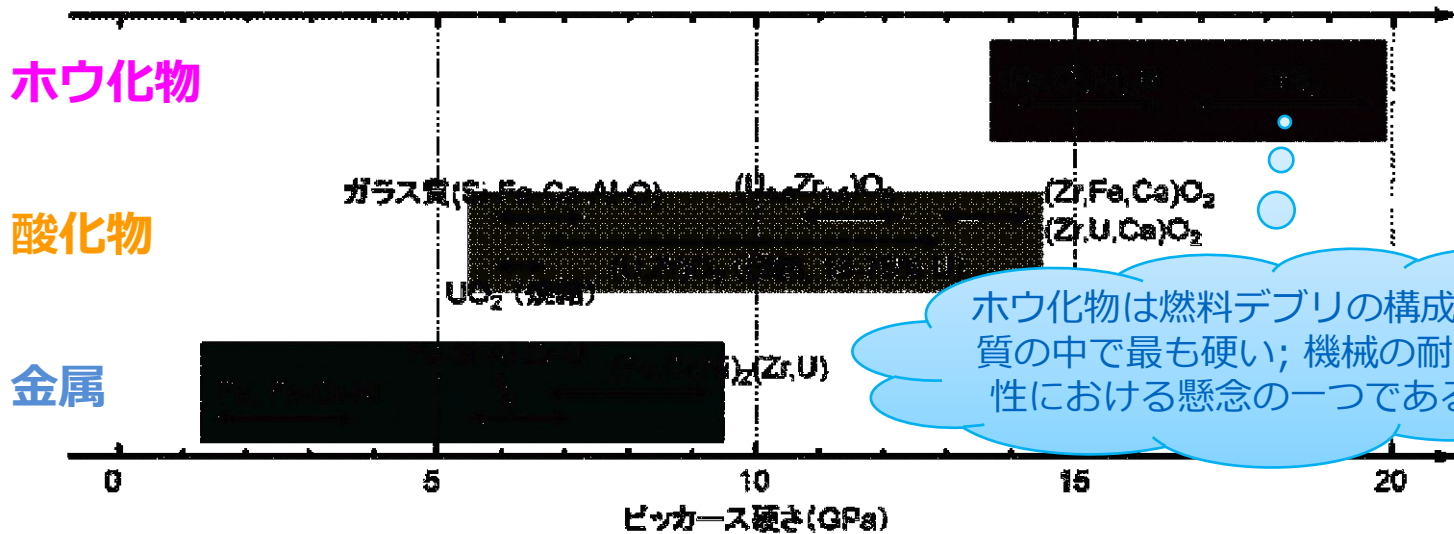
注5) 福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書（1号、2号、3号、4号、5号及び6号原子炉施設の変更） 本文及び添付書類、平成9年12月、東京電力株式会社

模擬デブリを用いた特性の把握（平成25年度成果）



制御材 (B₄C+SUS) との反応 (溶融固化物断面観察像の例)
 (制御棒と燃料が溶融した場合にできる固化物の組織等に係る知見を取得)

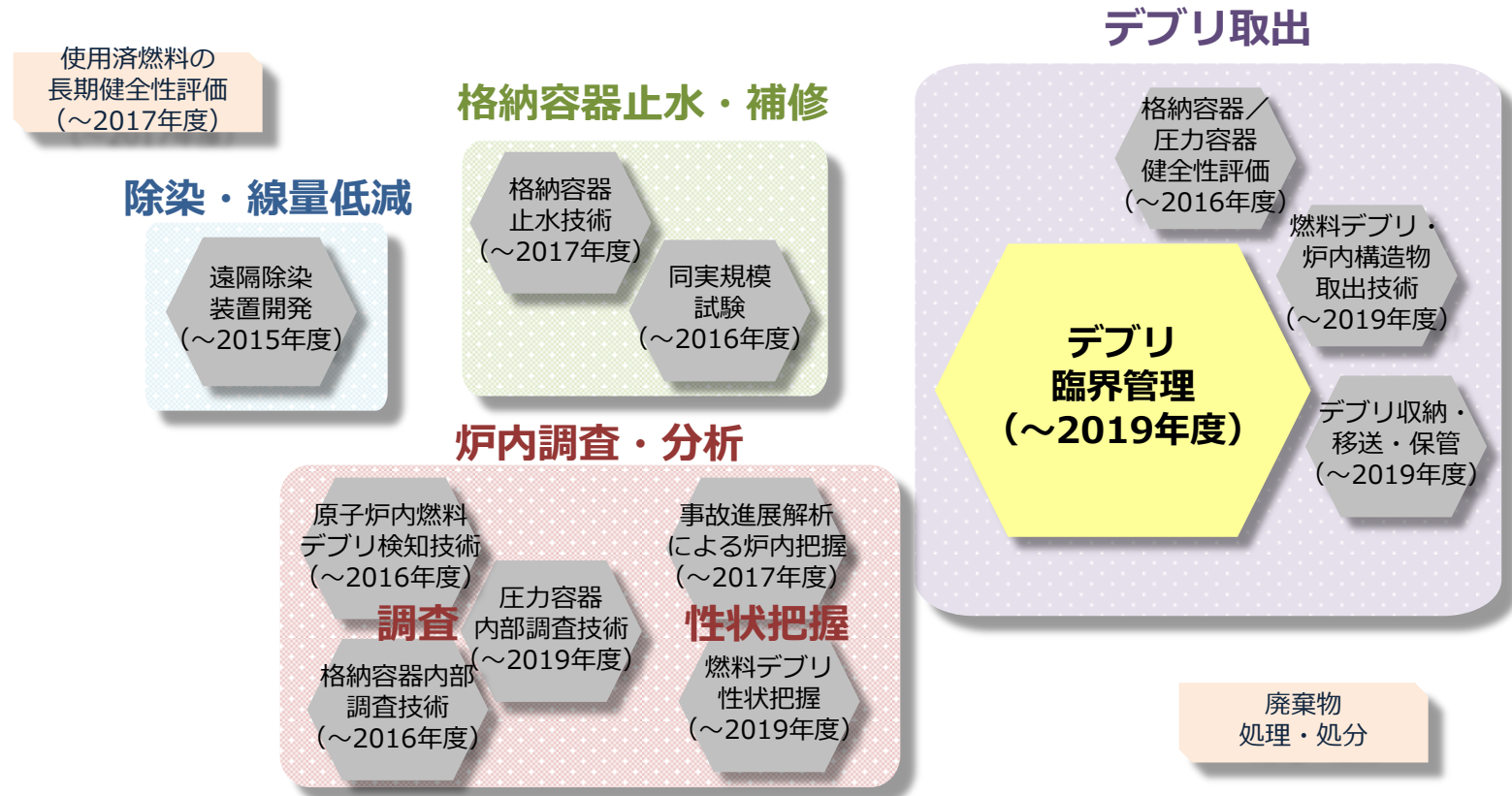
生成した各相のビッカース硬さ



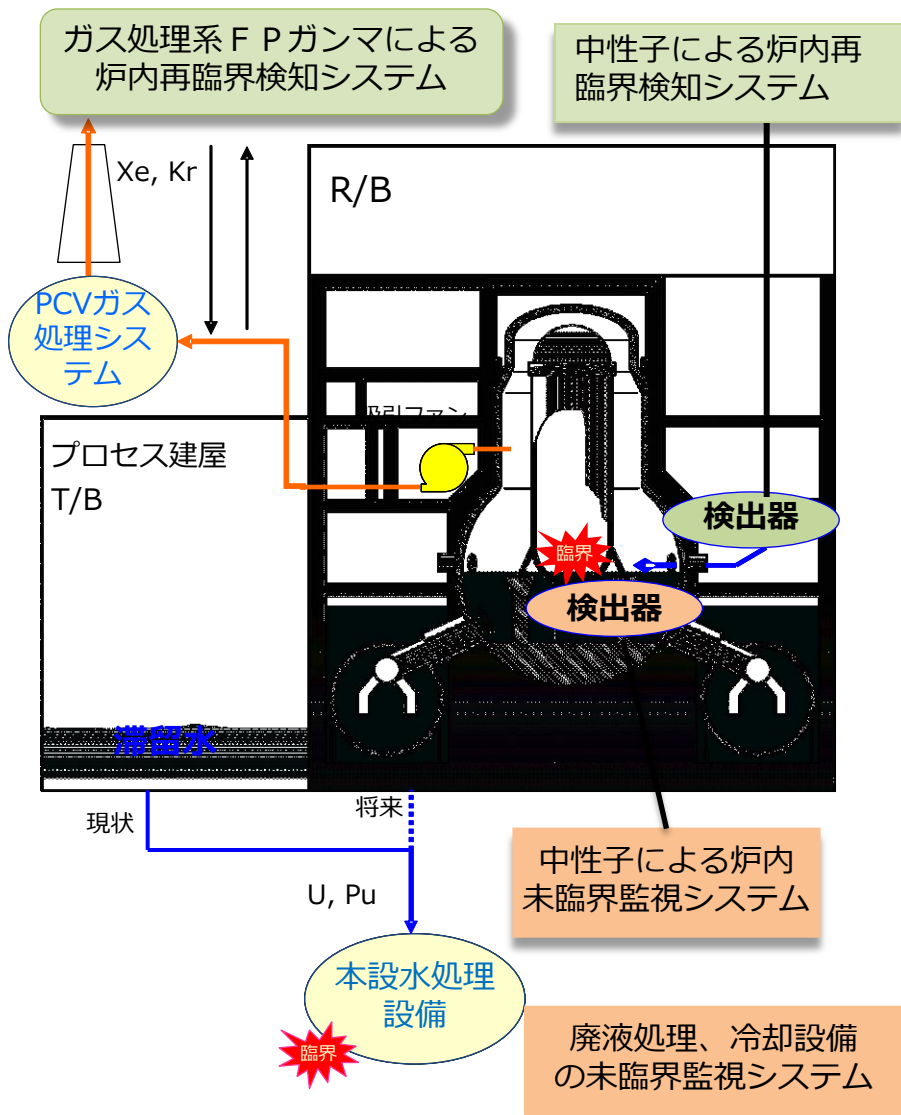
ホウ化物は燃料デブリの構成物質の中で最も硬い; 機械の耐久性における懸念の一つである

(デブリの化学系 (ホウ化物、酸化物、金属) 毎に硬度の分布を推定)

燃料デブリ臨界管理技術の開発



未臨界監視および再臨界検知の概要

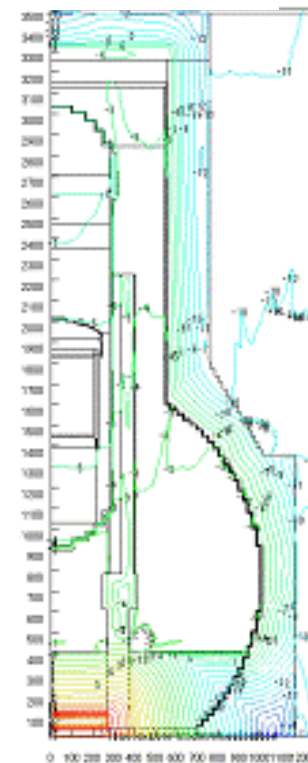


未臨界監視

- 作業員の臨界による被ばくリスクを未然に防ぐ必要がある。

再臨界検知

- PCV/RPV内部において臨界になった場合でも被ばくリスクは極めて小さい。
- それでもやはり比較的広い範囲の状況を監視することが重要である。



PCV内臨界時の中性子線分布

燃料デブリ・炉内構造物の取出技術の開発

使用済燃料の
長期健全性評価
(～2017年度)

除染・線量低減

遠隔除染
装置開発
(～2015年度)

格納容器止水・補修

格納容器
止水技術
(～2017年度)

同実規模
試験
(～2016年度)

炉内調査・分析

原子炉内燃料
デブリ検知技術
(～2016年度)

調査

格納容器内部
調査技術
(～2016年度)

圧力容器
内部調査技術
(～2019年度)

事故進展解析
による炉内把握
(～2017年度)

性状把握

燃料デブリ
性状把握
(～2019年度)

デブリ取出

格納容器/
圧力容器
健全性評価
(～2016年度)

燃料デブリ・
炉内構造物
取出技術
(～2019年度)

デブリ
臨界管理
(～2019年度)

デブリ収納・
移送・保管
(～2019年度)

廃棄物
処理・処分

研究方針

1. 燃料デブリ取出工法

燃料デブリ取出し工法は各プラント（1～3号機）の状態を考慮する必要があるが、プラントごとに状態が異なり、各プラントに適した取出し工法が定まっていない。

⇒PCVを冠水させて取り出す工法（完全冠水）に加えて、冠水できない場合の代替工法として、部分冠水（PCV上部まで水を張らない）または気中で取り出す工法（部分気中、完全気中）を比較し評価する。現状の1～3号機の状態及び推定情報を整理した上で、各プラントに対する各工法の適用性を評価する。

2. 燃料デブリ取出し技術

性状が不明確な燃料デブリや、溶融した炉内構造物を加工して取り出す技術が必要となるが、1Fに適用可能な確立された技術がない。

⇒前例として、TMI-2で実施した燃料デブリ取出しや、国内プラントにおける大型改造工事が挙げられる。これらの実績のある技術を中心に、燃料デブリを模擬した試験体の加工試験を実施し、適用可能な技術を選定する。炉内構造物の取出しに関しては、炉内構造物が設計通りの状態ではない可能性があることから、このような状況を想定した上で適用可能な技術の開発を行う。

燃料デブリ・炉内構造物取出技術開発の概要

◎工法検討

プラント状態情報、関連技術開発、現地調査結果等を考慮してシナリオを検討する必要がある。

⇒多くの情報を総合的に評価し、不明点は想定することも必要。

⇒既存技術調査も含め、本p jで検討

◎燃料デブリ取出し作業の開発課題

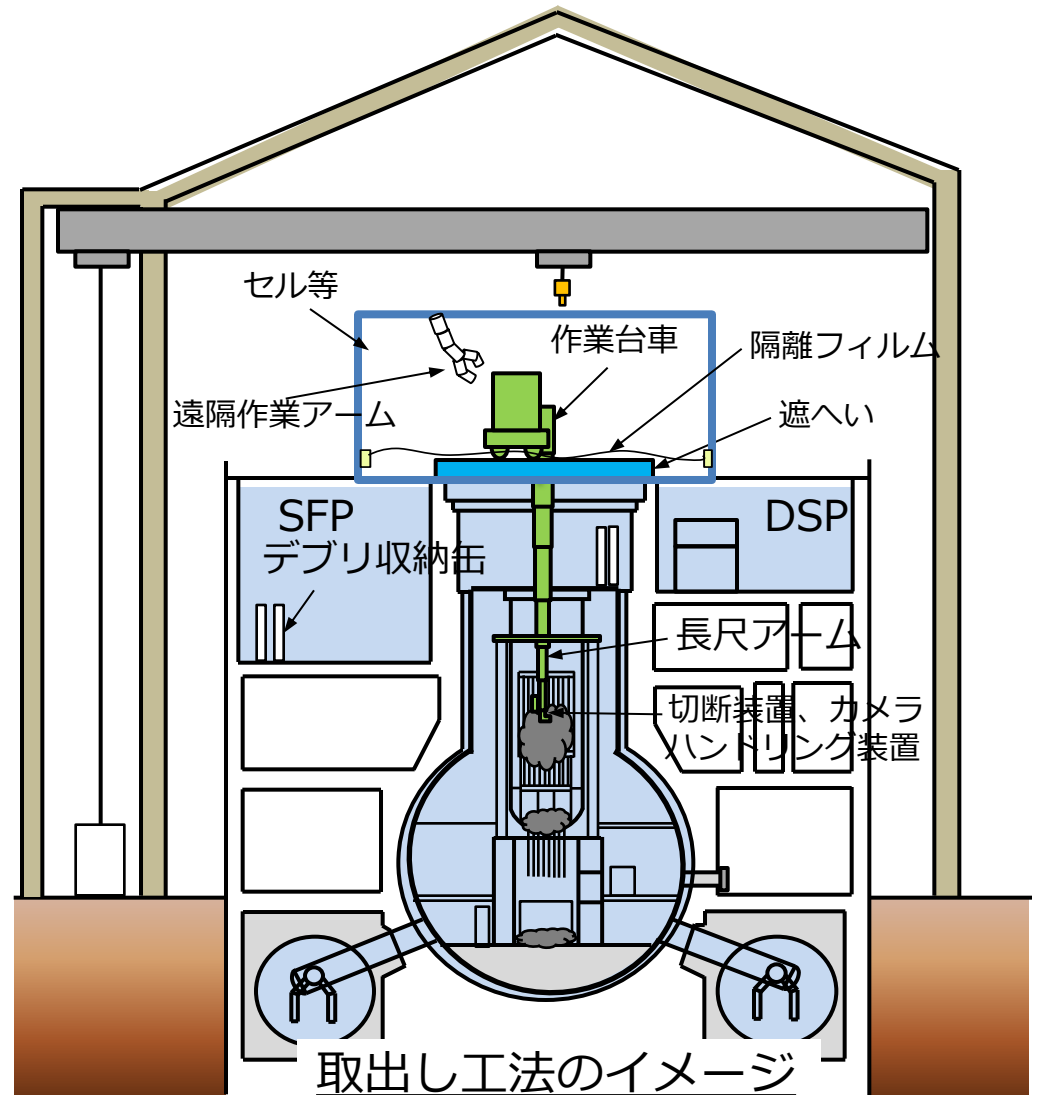
工法によらず、燃料デブリ取出し作業共通の課題で主なものは下記。

- ①燃料デブリ切断
- ②遠隔作業
- ③汚染拡大防止
- ④遮へい
- ⑤臨界防止

◎要素試験

上記課題のうち、燃料デブリ切断、遠隔作業、汚染拡大防止の要素試験を実施。

- (1)燃料デブリ切断
 - ①セラミック試験体の切断試験
 - ②試験体製作
- (2)遠隔作業
 - ①長尺アーム制御技術
 - ②遠隔作業アーム試作（セル内含む）
- (3)汚染拡大防止
 - ①隔離フィルム・シートの選定



燃料デブリ取り出し

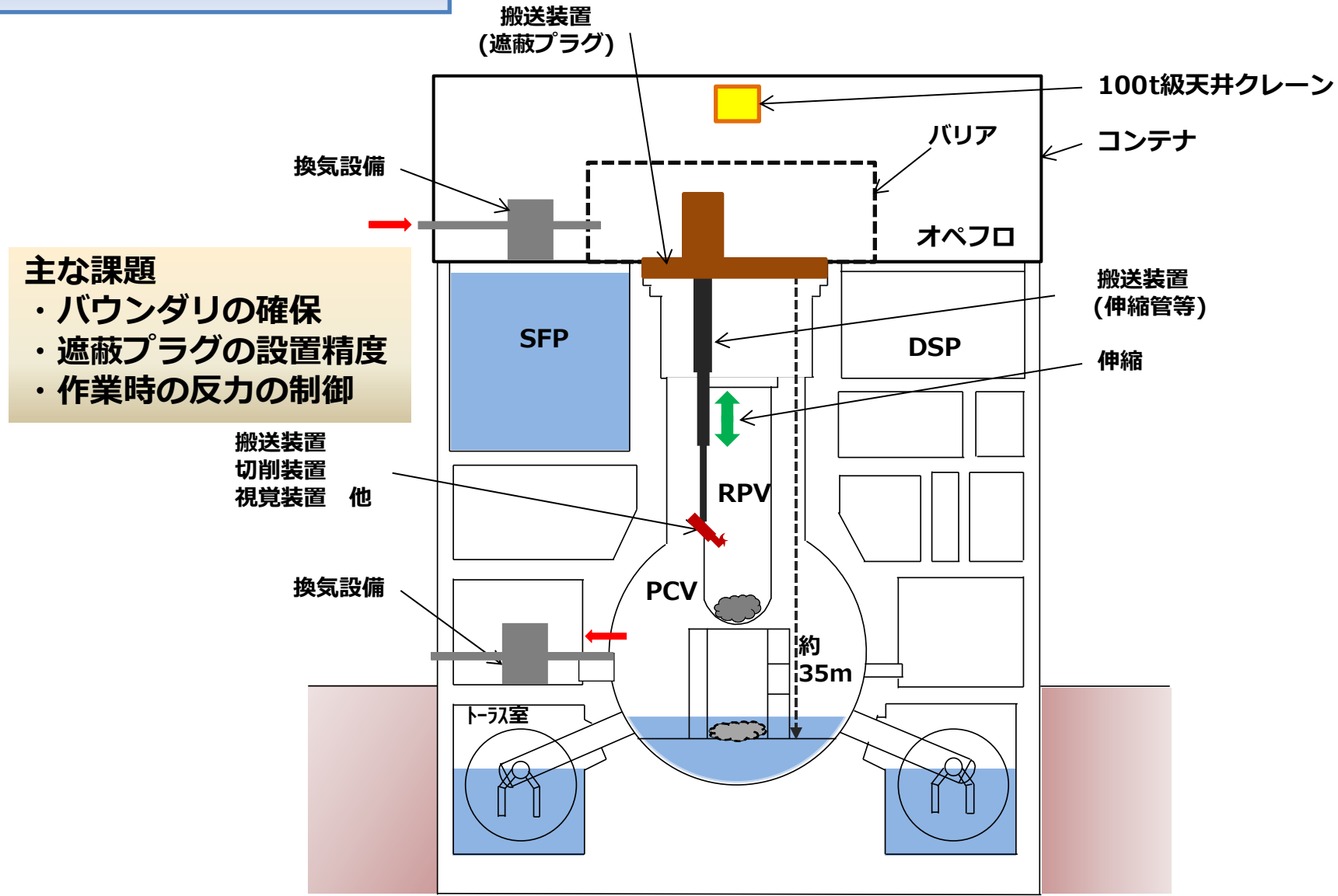


図 空中でオペフロに遮蔽プラグを設置し取り出す工法

燃料デブリ取り出し

主な課題

- ・バウンダリの確保
- ・作業時の遮蔽

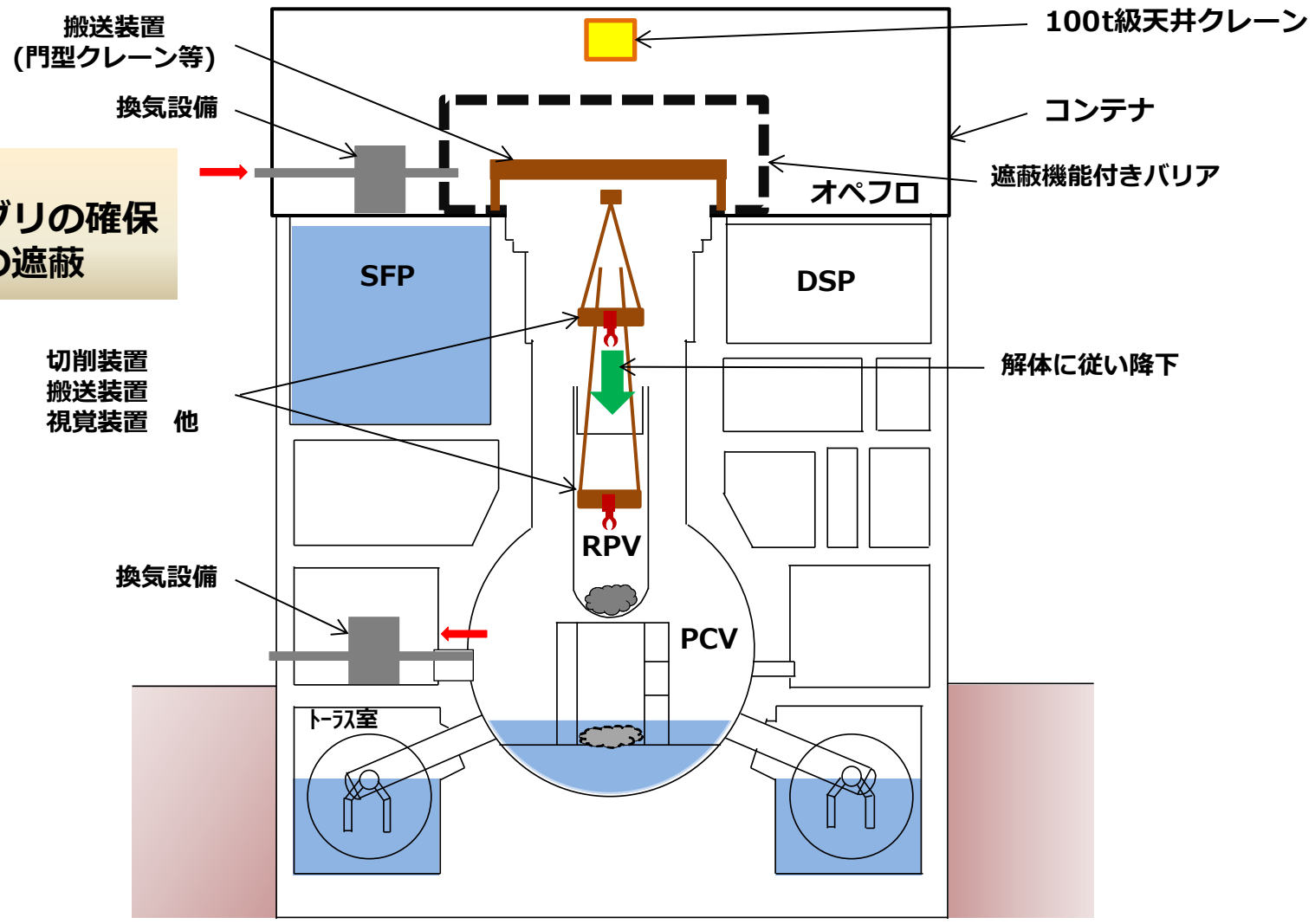


図 気中でオペフロから装置本体を降ろしながら取り出す工法

燃料デブリ取り出し

- 主な課題**
- ・ バウンダリの確保
 - ・ 作業時の遮蔽
 - ・ 進入開口の位置

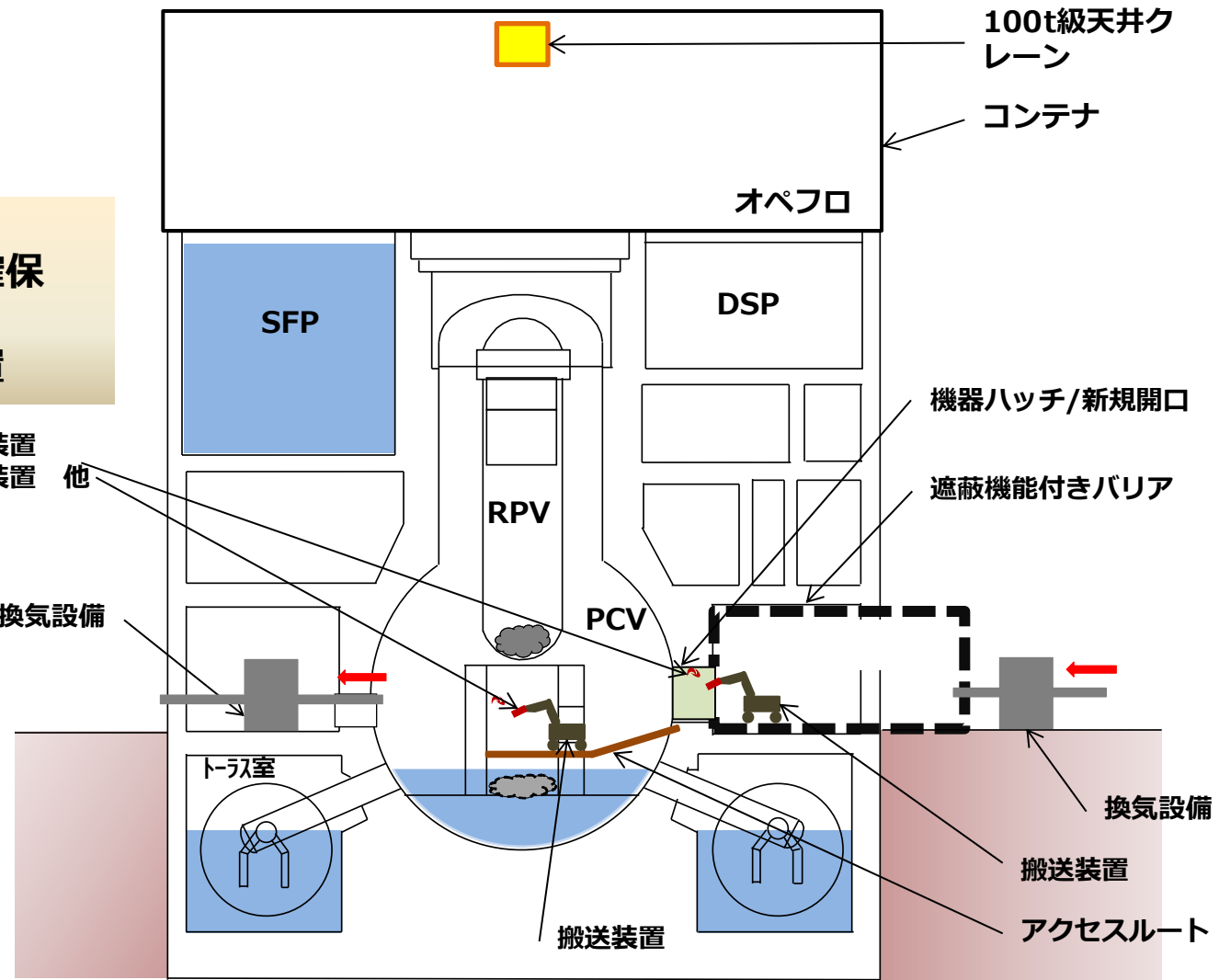


図 気中で側面から取り出す工法

次のステップへのキーポイント

1. 安全性：放射線遮蔽、放射性物質の飛散防止

- これらの機能は、デブリ切削から移送まで一貫して全ての作業行程を通じて、一般にどの取出工法でも必要
- 実現可能性、リスクと改善点を模擬試験によって把握すべき

2. 実用性：遠隔操作、自動操作、保守性

- 超高線量下での極めて厳しい挑戦
- 実現可能性は要素/模擬試験によって把握すべき

3. 検証と訓練

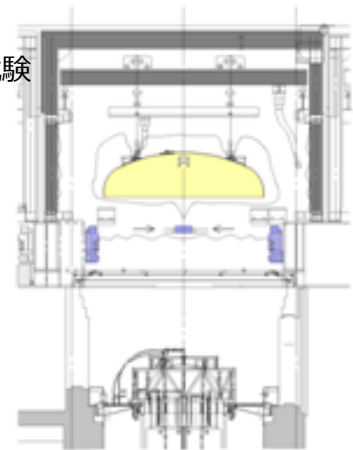
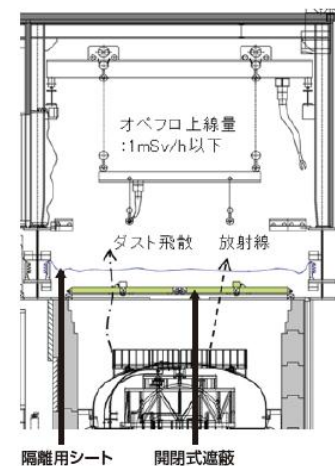
- モックアップ試験は、将来確実に必要になる

4. 安全設計と安全評価

- 安全のための設計方針を確立すべきであり、安全性評価をすべき

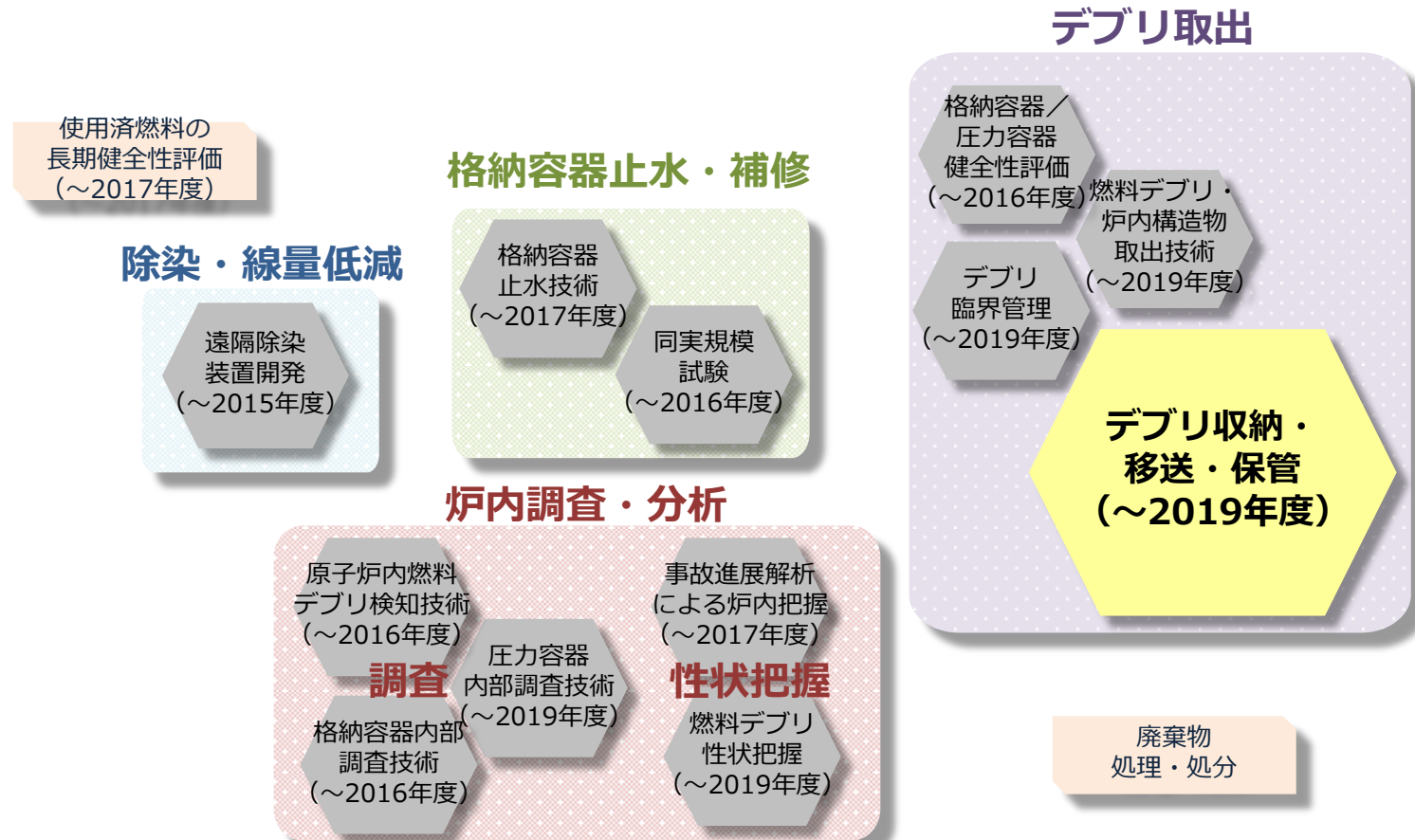


遠隔作業用アーム（筋肉口ポット）のハンドリング試験

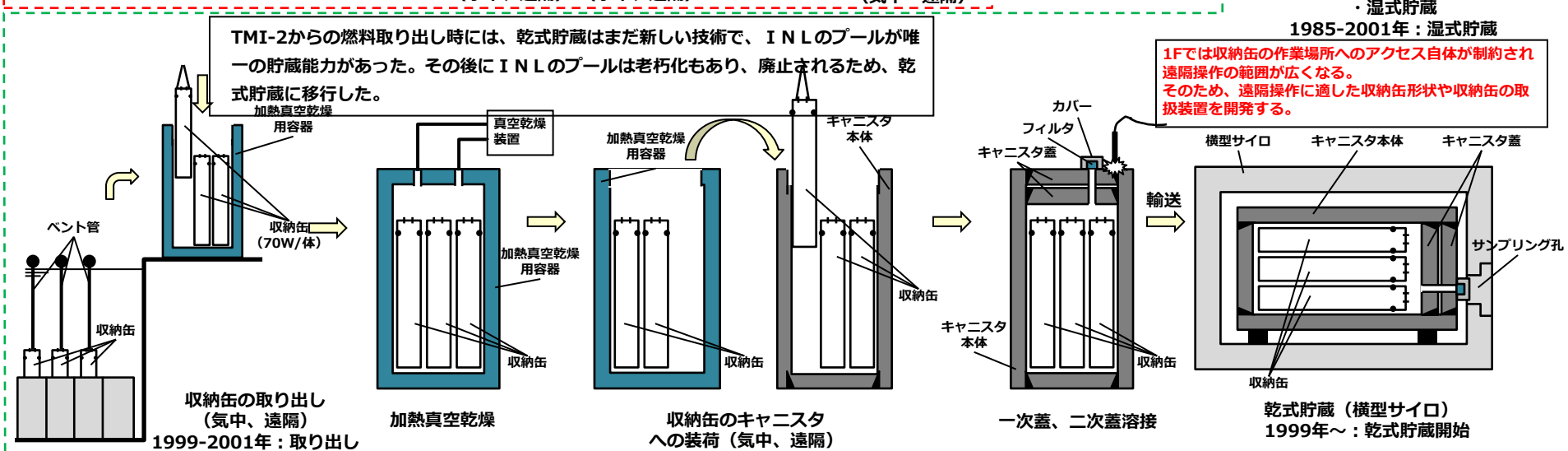
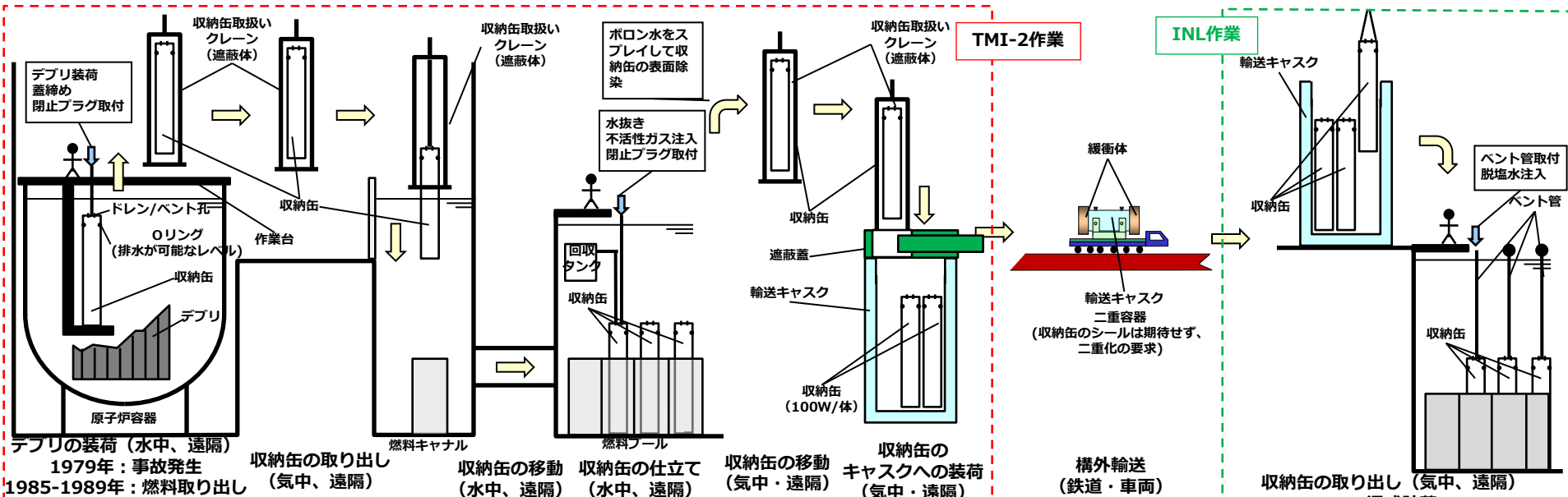


隔離用シート

燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発



【参考】燃料デブリの収納・移送・保管の概要 (TMI-2の例)



放射性廃棄物処理処分の研究開発

使用済燃料の
長期健全性評価
(~2017年度)

除染・線量低減

遠隔除染
装置開発
(~2015年度)

格納容器止水・補修

格納容器
止水技術
(~2017年度)

同実規模
試験
(~2016年度)

炉内調査・分析

原子炉内燃料
デブリ検知技術
(~2016年度)

調査

格納容器内部
調査技術
(~2016年度)

圧力容器
内部調査技術
(~2019年度)

事故進展解析
による炉内把握
(~2017年度)

性状把握

燃料デブリ
性状把握
(~2019年度)

デブリ取出

格納容器/
圧力容器
健全性評価
(~2016年度)

燃料デブリ・
炉内構造物
取出技術
(~2019年度)

デブリ
臨界管理
(~2019年度)

デブリ収納・
移送・保管
(~2019年度)

廃棄物処理・処分

福島第一事故廃棄物と操業廃棄物の比較

不確実性の項目	対策の度合い	
	操業廃棄物	事故廃棄物
廃棄物発生【量、種類、時期】	◎	△
ハンドリング(取り出し・区分)【困難性】	◎	△
性状把握【情報の充分性、サンプルの困難性、サンプルの代表性】	○	△
処理・廃棄体化技術	○	? ~ △
埋設・処分方法及び安全評価	△ ~ ○	?
規制・技術基準、ガイドライン、サイティング	△ ~ ○	?

◎:把握している、あるいは充分見通しがある。○:概ね見通しがある。△:限定的である。
?:論じられる段階ではない。

- 操業廃棄物は、課題があるものの比較的管理された状態にある。
 - ・ 現時点の発生量はもとより今後の推移、個別の廃棄物中の含有放射エネルギーや化学物質等の基本的な廃棄物性状に係わる情報は把握されている。
 - ・ 未処理・処理済の双方とも現行の規制に基づく保管管理等が適切に行われている。
 - ・ 処分方法や安全評価方法に加え対応する規制・基準についても整備されてきている。
- 福島第一事故廃棄物は、多数の不確実性が技術的に重要な課題となる。それら不確実性を解消し、管理された状況に置くことが対策並びに技術開発の大きな目標となる。

処理・処分に係る技術/研究開発項目

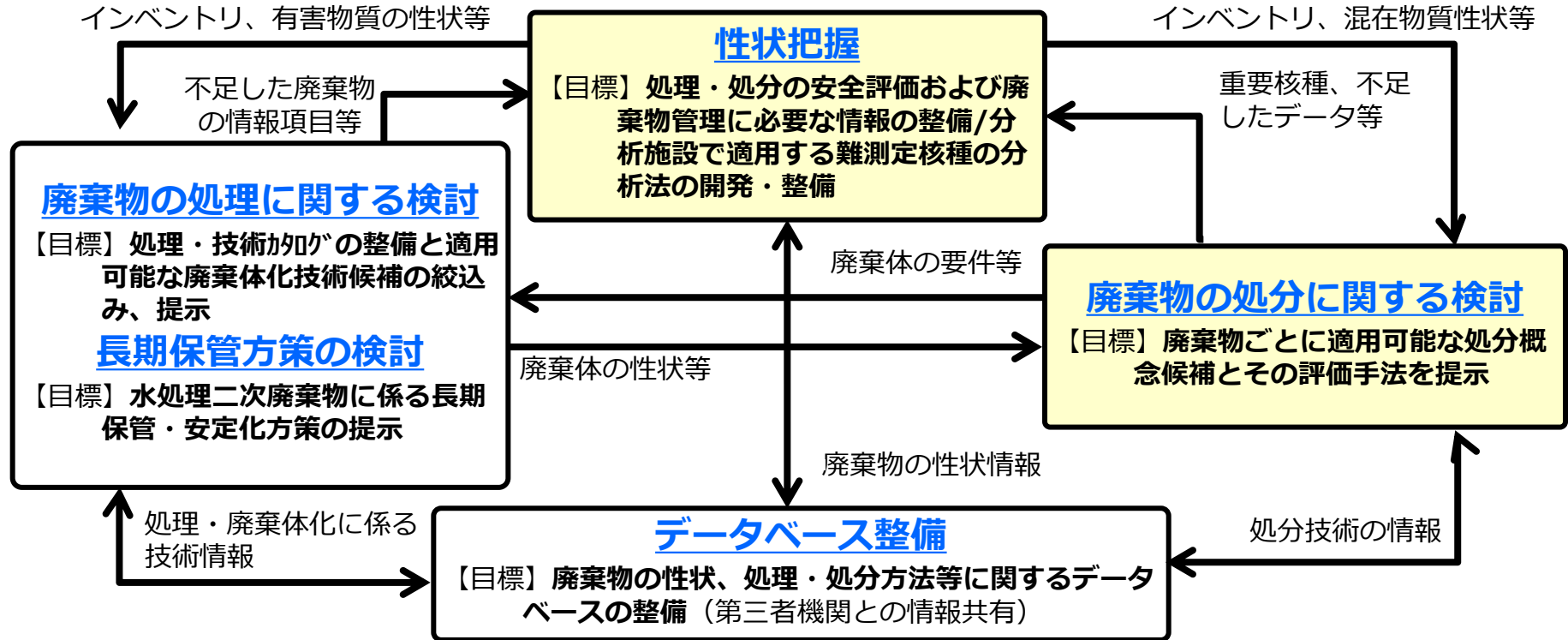
廃棄物ストリームに関する検討

廃棄物ストリーム：事故廃棄物の発生・保管から処理・処分までの一連の廃棄物の取り扱い

処理・処分等に関する技術情報（前提条件を含む）、
政策・制度等に係る情報

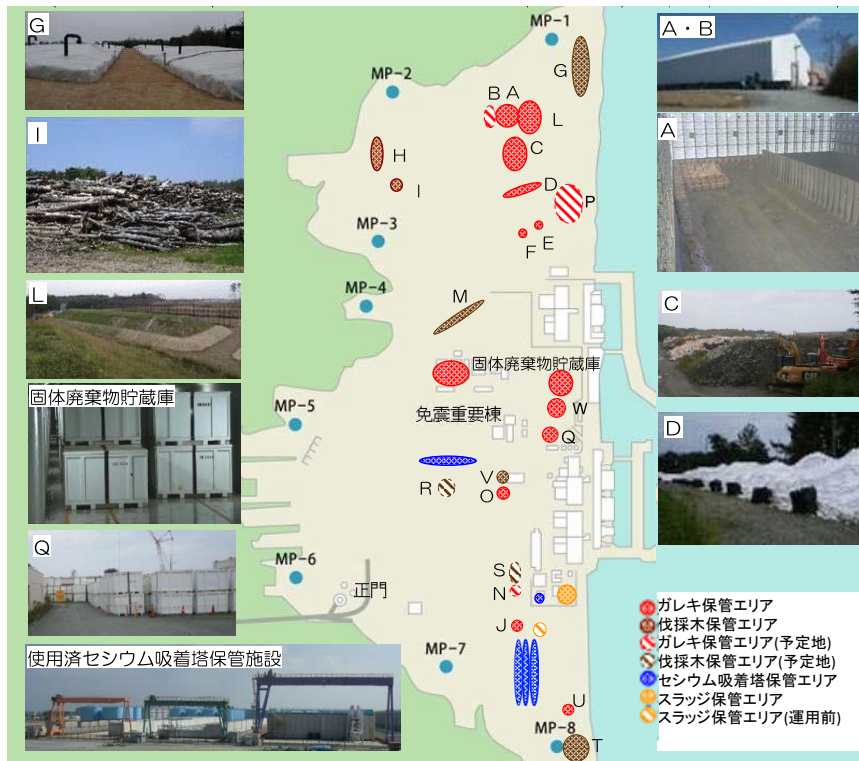
個別の研究成果の総合的な判断と調整、安全かつ合理的な処
理・処分の実現に向けて必要な検討課題等の提示

個別研究開発項目（廃棄物ストリームの構築に必要な知見を与える基盤研究開発）



現時点での廃棄物貯蔵量 - ガレキ・伐採木 -

- 事故後に収集された屋外のガレキや燃料集合体/燃料デブリ回収作業で発生したガレキ、並びにタンクや施設を設置する場所を作る作業で発生した伐採木を含む廃棄物は、1F原子力発電所サイト内の数か所に貯蔵されている。



廃棄物量(2015年1月31日現在)*

廃棄物の種類	保管方法	保管量
ガレキ	固体廃棄物貯蔵庫	5,100 m ³
	覆土式一時保管施設、仮設保管設備、容器 (1-30 mSv/h)	17,400m ³
	シート養生 (0.1-1 mSv/h)	27,400 m ³
	屋外集積 (<0.1mSv/h)	88,600 m ³
伐採木	屋外集積(幹・根・枝・葉)	62,400 m ³
	一時保管槽(枝・葉)	17,400 m ³

* “ガレキ・伐採木の管理状況,” 東京電力, 26 Feb 2015 .

廃棄物保管場所*

今後の重要検討事項

- 個別研究開発項目の検討に基づく廃棄物ストリームに関する総合的な検討の実施が重要
- 現段階における重要検討事項
 - ◆ 廃棄物中のインベントリや共存物質に関する情報
 - 分析値と文献値、解析的手法を併用し、様々な不確実性を考慮して、廃棄物中の核種インベントリを設定する。
 - ◆ 汚染水処理廃棄物の処理・長期保管対策
 - セシウムを吸着したフェロシアン化物を含んだ廃棄物の安定固化にはジオポリマーが有効。基礎試験を継続し、データ蓄積、評価精度向上を図る。
 - ◆ 個々の廃棄物の処分区分の見通しと選定論拠の整備
 - インベントリ情報と事故廃棄物の特徴を考慮した情報(処理に関する情報も含む)に基づく廃棄物の処分区分の提示とその論拠の整備。
 - 安全評価結果等を活用した、優先的に取得すべきデータや、処分の安全性に有意な影響を与える条件等の明示。
 - 最新の知見を反映した検討を繰り返すことによる精度の向上。

最後に – 燃料デブリ取り出しに向けて –

- 福島第一における燃料デブリ取出し作業は、TMI-2と比較して一層の困難が予想される。作業の全体戦略、取出し工法、デブリ取出しツールの開発については、国内外の叡智を結集する必要がある。
- 燃料デブリ取り出し達成のためには、関連する各プロジェクトの目的・ゴールを明確にした上で、部分最適ではなく、全体最適となるように計画し、柔軟に技術開発を行う必要がある。
- 戦略の策定にあたっては、End-State（最終的にどうしたいか）を考え、実現可能な様々なオプションを検討し、その結果、第一案だけでなく必ず代替案を準備しておくことが重要である。

ご清聴ありがとうございました。