

国プロ「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」 2号機原子炉建屋オペレーティングフロア 調査計画について

平成26年1月30日
東京電力株式会社



東京電力

IRID

本資料の内容においては、技術研究組合国際廃炉研究開発機構 (IRID) の成果を活用しております。

1. 背景

- 2号機原子炉建屋(以下、R/B)は水素爆発を起こしておらず、建屋は原形を維持している。中長期ロードマップに記載している2号機の燃料取り出しプランは以下の3つである。
 - ・プラン①：既設建屋を利用し、燃料取扱設備(天井クレーン及び燃料交換機)を復旧する
 - ・プラン②：既設建屋の上屋を撤去し、上部コンテナ及び燃料取扱設備を新設する。
(上部コンテナの荷重は建屋に付加)
 - ・プラン③：既設建屋の上屋を撤去し、本格コンテナ及び燃料取扱設備を新設する。
(本格コンテナの荷重は地上面に付加)

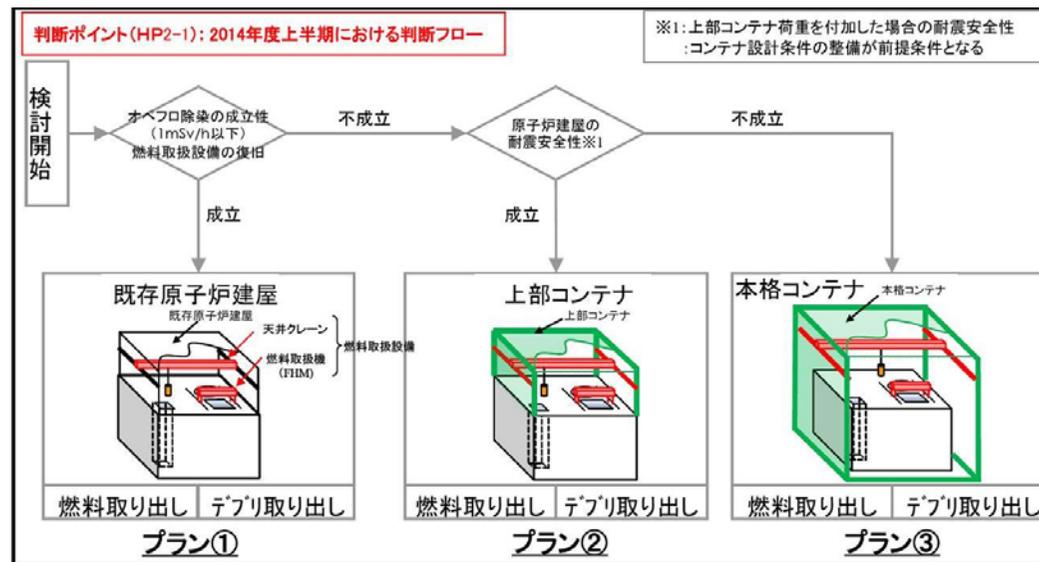


図1 2号機燃料取り出しプラン判断フロー (中長期ロードマップ抜粋)

- H26年度上半期中に予定される、燃料取り出しプラン決定に至る机上検討のため、オペレーティングフロア内の現場調査を実施する。

- オペレーティングフロアの建屋躯体、燃料取扱設備の状況を目視確認すると共に、建屋内の汚染分布を評価して燃料取り出し工法検討の一助とする。

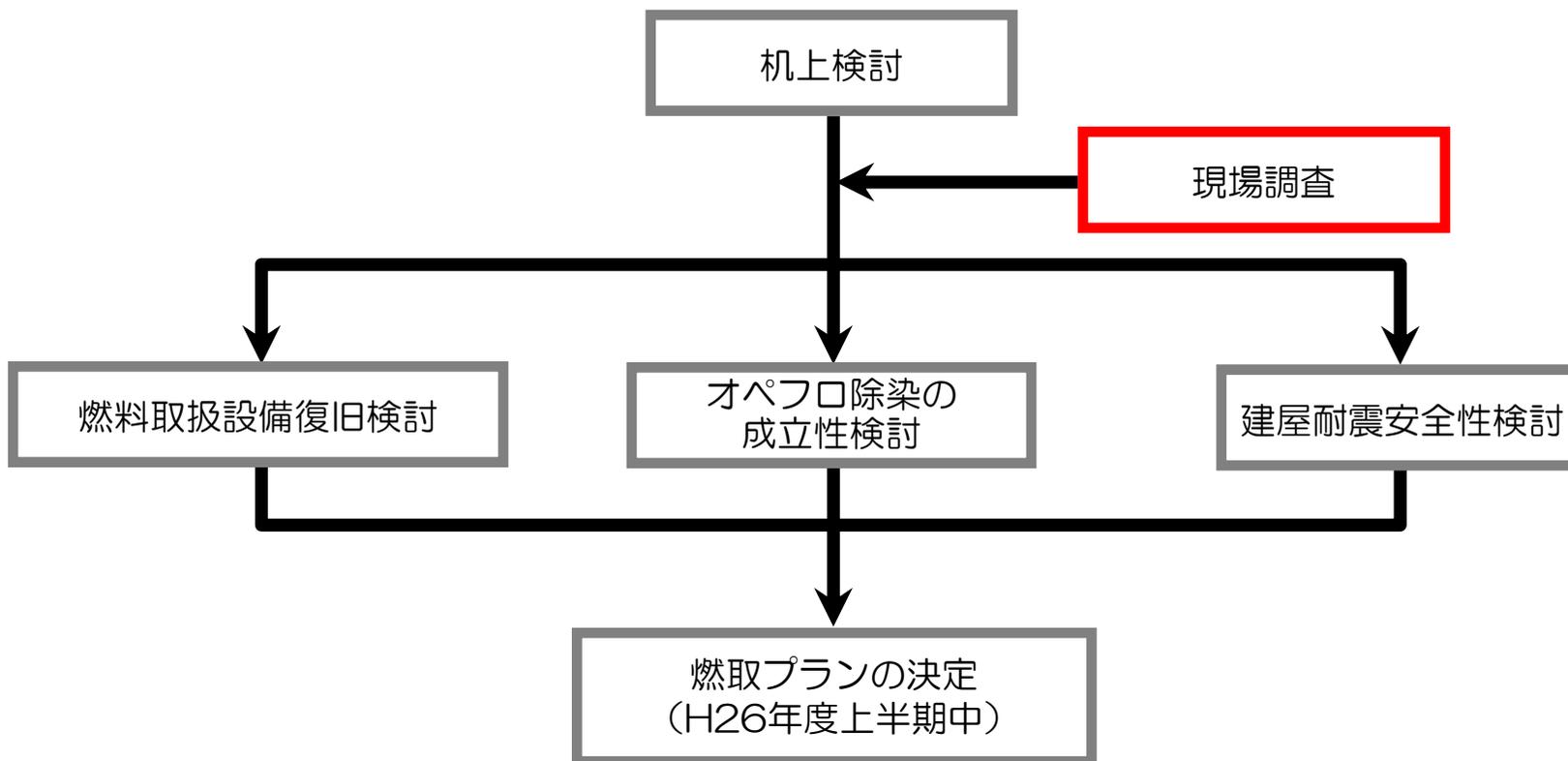


図2 2号機燃料取り出しプラン検討フロー

3. オペレーティングフロア調査概要

2号機R/Bオペレーティングフロア調査を行うため、以下の2工法にて建屋内にアクセスする。

- 建屋屋上から穿孔し、調査装置(γ カメラ、 β γ 線量計、光学カメラ)を吊り下ろし調査を行う。
穿孔数は7箇所とし、調査を行わない孔には照明を配置する。
- ブローアウトパネル(以下、BOP)のスライドドアを開放し、コアサンプル採取用遠隔作業台車を投入し、オペレーティングフロア内のコアサンプルを採取する。
(コアサンプリング作業に先立ち、コアサンプル採取用遠隔作業台車の移動動線を確保するため、原子炉ウェルフェンス等の切断作業を行う)

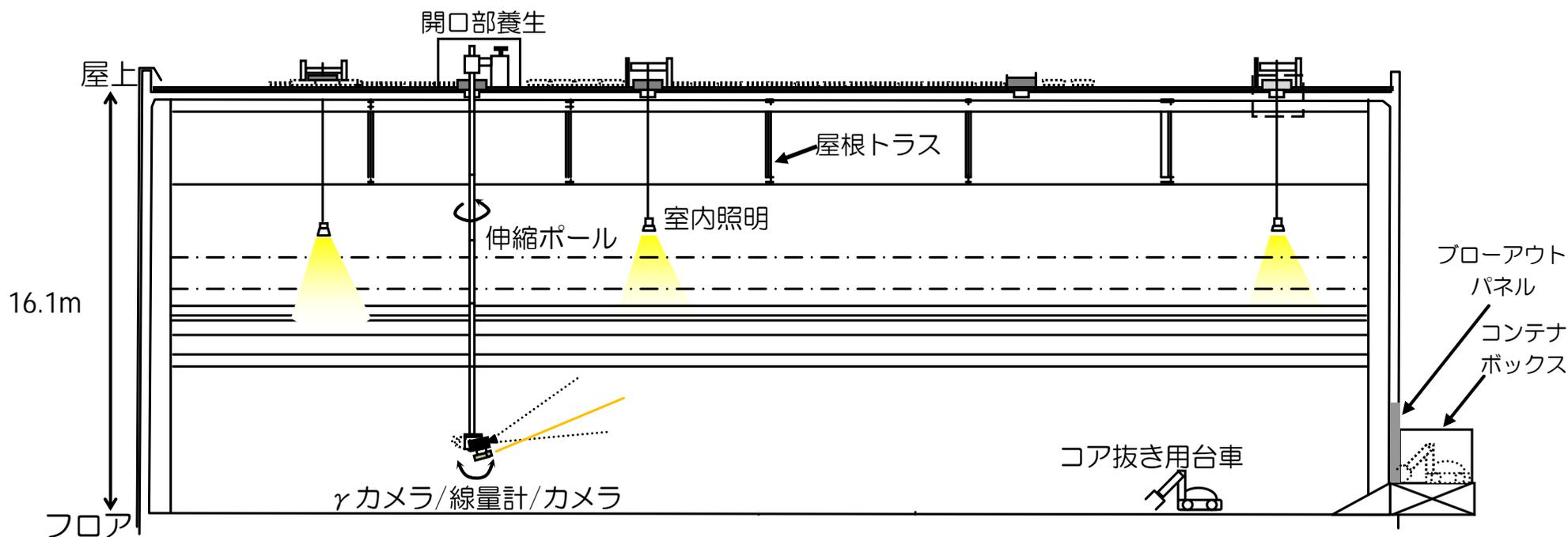


図3 オペレーティングフロアの調査概念断面図(調査イメージ)

4. 建屋屋上からの調査について

- 調査(穿孔)箇所は『γカメラにてフロア全体の汚染状況が把握できること、天井クレーン/燃料交換機(レール含む)の外観が把握できること、建屋柱や屋根トラス等の躯体外観が把握できること』を条件とし決定。
- 穿孔作業及び調査装置操作は遮へいエリア内もしくは、免震重要棟からの遠隔操作とする(装置のセットアップは作業員が行う)。穿孔箇所は調査終了後に蓋で閉止し、防水処置を施す。
- 穿孔後に回収した天井部のデッキプレートの一部をJAEA大洗研究開発センターに輸送し分析を行う予定。
- 調査装置挿入時は開口部を養生し、ブローにて送風する。調査で使用しない穿孔箇所は照明を配置。

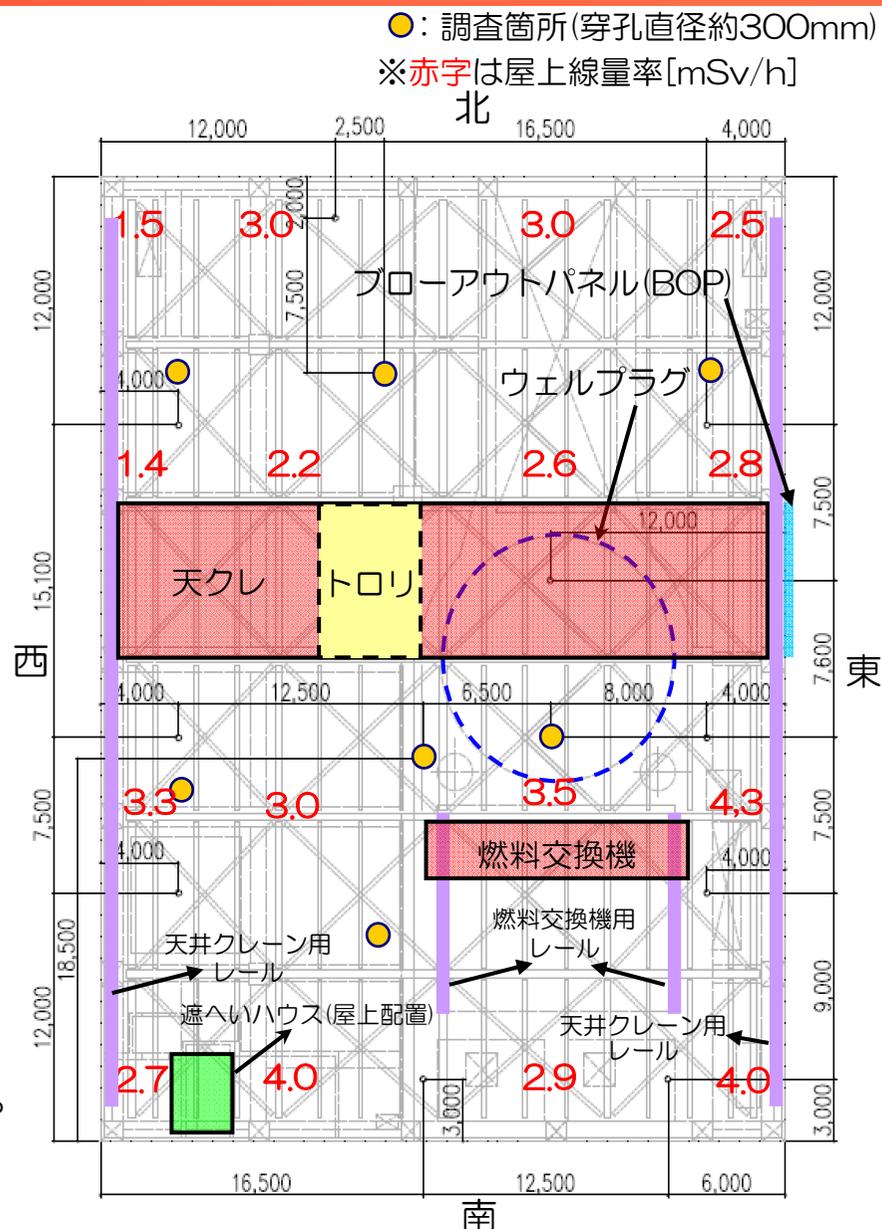
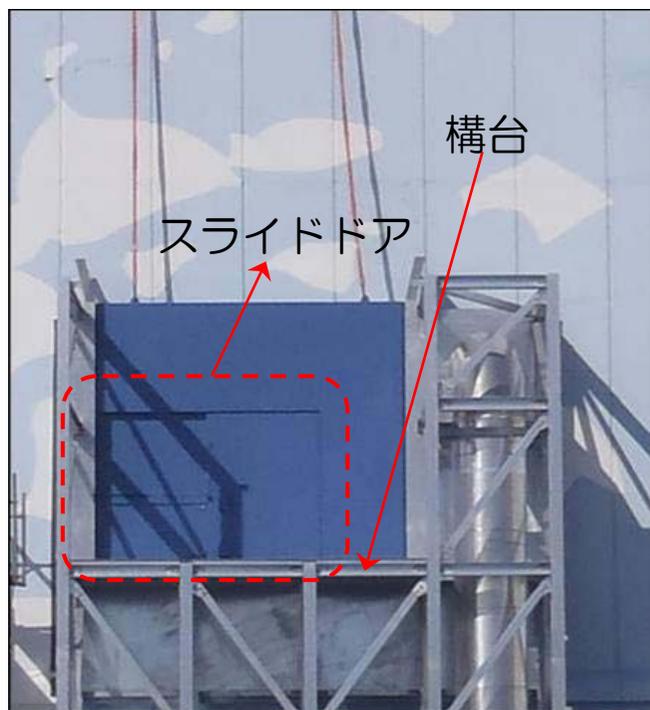


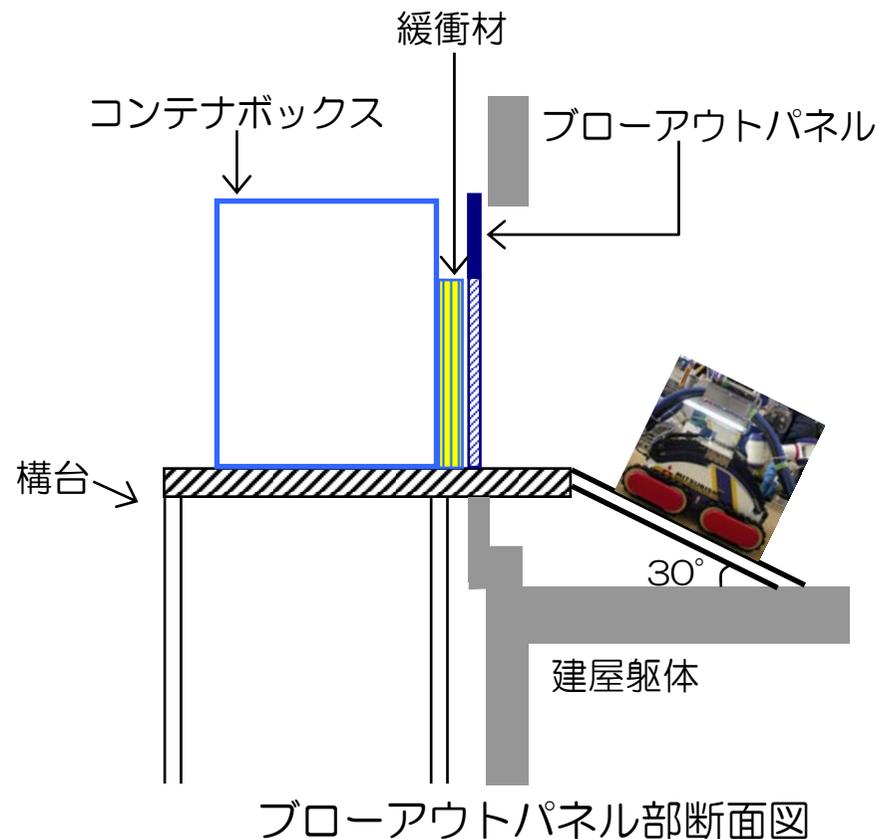
図4 オペフロ全体図(屋上配置)

5. ブローアウトパネル(BOP)部からの調査について

- 作業台車を搭載したコンテナボックスをブローアウトパネル部の構台に配置し、スライドドアから作業台車を遠隔操作にて投入する。
- 最初に原子炉ウェルフェンス等の切断を行うための遠隔作業台車を投入し、オペレーティングフロア内の移動動線を確保する。その後、コアサンプル採取用の遠隔作業台車を投入する。



ブローアウトパネル部

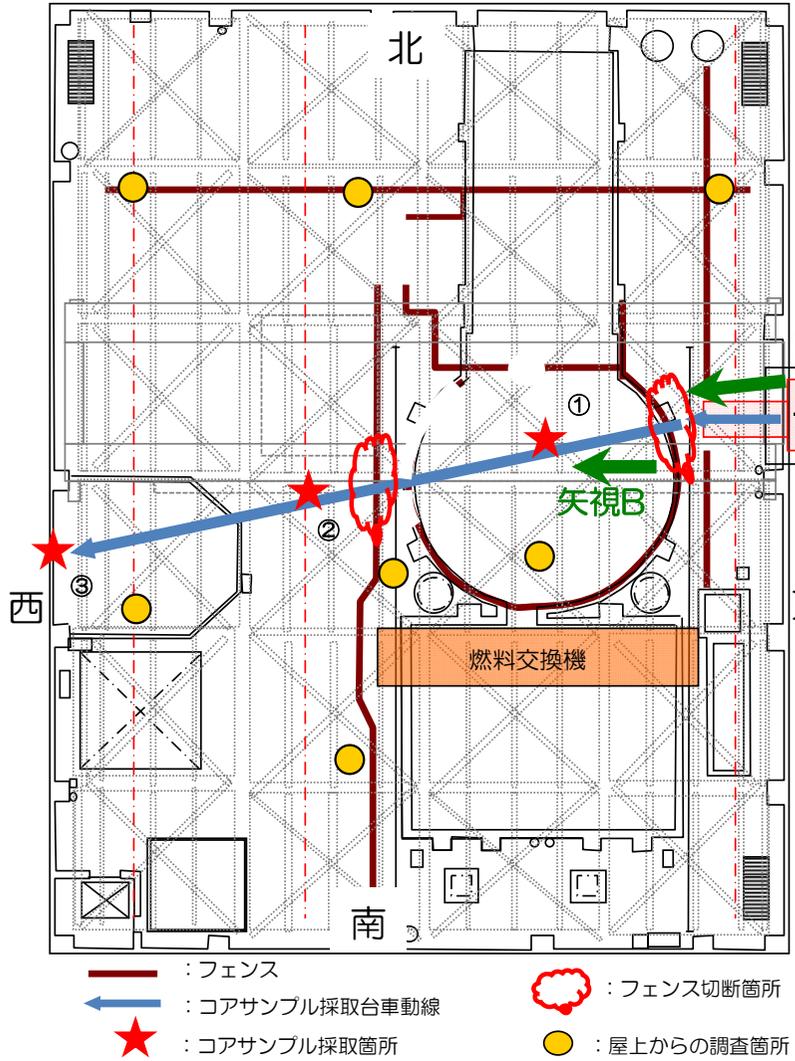


ブローアウトパネル部断面図

図5 ブローアウトパネル部からの調査工法概要

6. フェンス切断箇所及びコアサンプル採取箇所について

■ 原子炉ウェルプラグ上部及びその他の床壁コアサンプルを合計3個採取する予定。なお、採取したコアサンプルは、屋上から吊り下げた回収ボックスにより回収する。採取したサンプルの一部をJAEA大洗研究開発センターに輸送し分析を行う予定。



	採取箇所	コアサイズ	採取場所線量率
①	原子炉ウェルプラグ上部	φ45mm×70mm	500mSv/h~880mSv/h
②	オペフロ西側通路床面	φ45mm×70mm	80mSv/h~130mSv/h
③	オペフロ西側通路壁面	φ45mm×70mm	50mSv/h



図6 フェンス切断箇所及びコアサンプル採取箇所

7. 放射性物質の放出管理について

- 調査装置挿入時の養生内及びBOP構台のコンテナボックス内へブロワで送風し、建屋内からの逆流を防止する。
- ブロワにより建屋内に流入した空気は、排気設備又はブローアウトパネル(BOP)隙間部から大気に放出される。
- ただし、本調査に伴う推定追加放出量の算定にあたっては、保守的にブロワによる建屋内への空気流入増分の全てがフィルタを有する排気設備を介さず、BOP隙間部から漏れ出るものとして評価する。

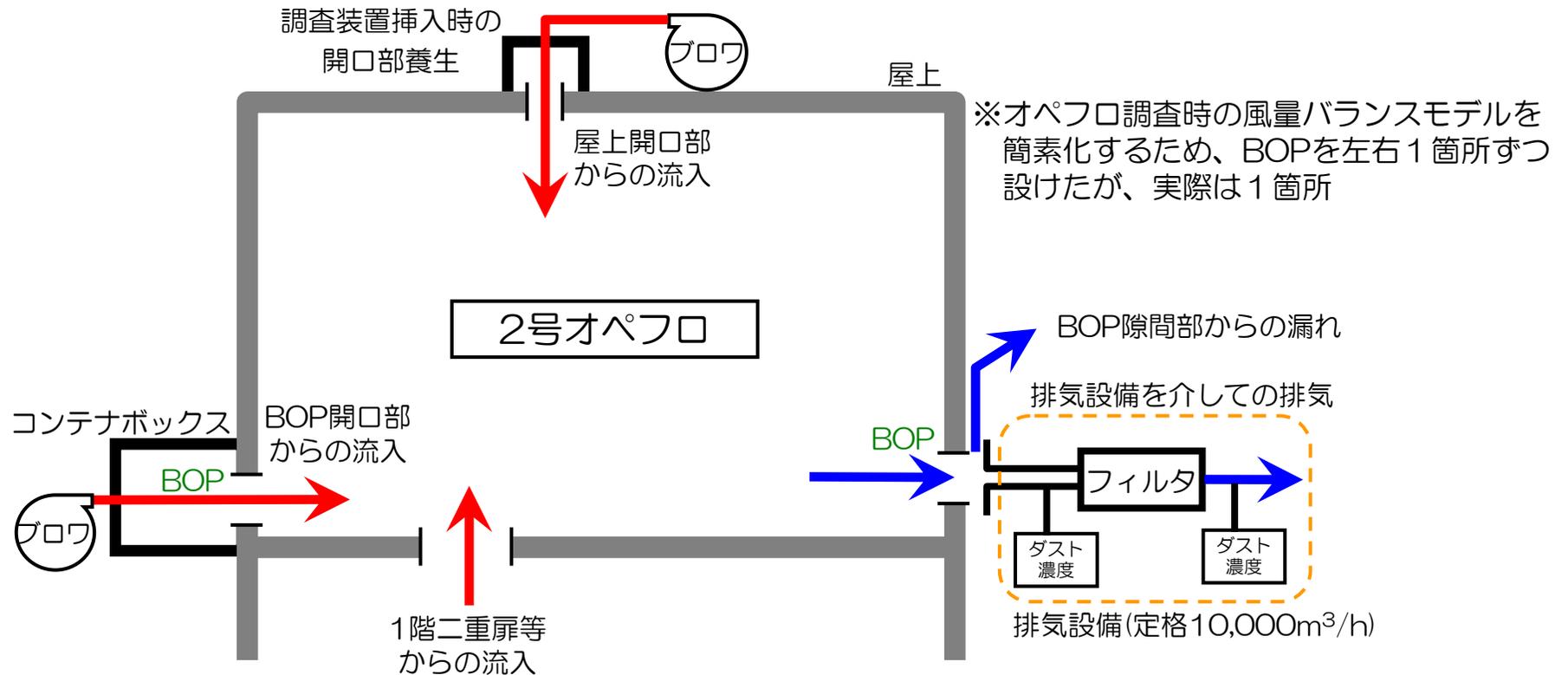
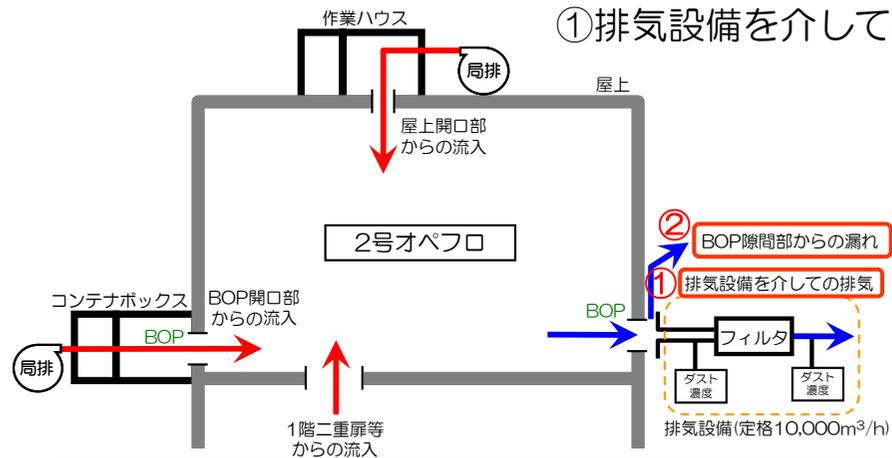


図7 オペフロ調査時の風量バランス

8. 調査に伴う追加放出量試算方法について

$$\text{放出放射エネルギー} = \text{排気設備出口濃度} \times \text{排気流量} + \text{建屋内濃度} \times \text{BOPからの漏れ量}$$



①排気設備を介しての排気

②BOP隙間部からの漏れ

推定追加放出量算定にあたり、ブロウによる建屋内への空気流入の増分全てがBOP隙間部からの漏れとして評価

$$\text{推定追加放出量 [Bq]} = \text{合計連通時間 [h]} \times \text{ブロウ流量 [m}^3/\text{h]} \times \text{建屋内ダスト濃度 [Bq/m}^3\text{]}$$

合計連通時間：屋上開口部及びBOP開口部が屋外と連通している時間
 建屋内ダスト濃度：排気設備入口側ダスト濃度(実施計画と同様の定義)

合計連通時間の算定*

作業種別	作業内容	期間[日]	オペフロとの連通時間[h/日]	合計連通時間[h]	作業計画
屋上開口からの作業	屋上穿孔及び雨養生	8	4	32	屋上穿孔は1日2箇所行うため、12箇所を穿孔するために6日必要。評価としては、保守性を考慮し8日とする。
	γカメラ測定	14	5	70	開口1箇所につき1日要するため、12箇所の調査を行うために12日必要。評価としては、保守性を考慮し14日とする。
	線量測定	8	4	32	1日に2箇所実施可能であるため、12箇所の調査を行うために6日必要。評価としては、保守性を考慮し8日とする。
	動画撮影	8	4	32	1日に2箇所実施可能であるため、12箇所の調査を行うために6日必要。評価としては、保守性を考慮し8日とする。
	オペフロコア受取	3	1	3	遠隔作業台車により採取したコアサンプルを、屋上開口から受け取る作業。1日作業であるが、保守性を考慮し3日とする。
BOPからの作業	遠隔作業台車によるフェンス切断	3	5	15	コアサンプル採取用遠隔作業台車の動線上のフェンスを事前に切断する。1日作業であるが、保守性を考慮し3日とする。
	遠隔作業台車によるコアサンプル採取	3	5	15	1日作業だが、保守性を考慮し3日とする。
合計				199	

*連通時間の算定に当たっては、穿孔箇所12箇所として評価。実際の穿孔箇所数は7箇所。

9. 推定追加放出量試算結果について

■推定追加放出量

推定追加放出量=199[hr]×540[m³/h]×6.9[Bq/m³]=7.41×10⁵[Bq]

(ブロー流量540[m³/h]、12月の排気設備入口側ダスト濃度を基に算定)

■2号機単独放出量に対する増加率：0.91%(3ヶ月分の放出量に対して)

※基準となる各号機の放出量は2号機BOPを閉止したH25/3～H25/12の平均値を採用。

■1～4号機全体放出量に対する増加率：0.038%(3ヶ月分の放出量に対して)

※基準となる各号機の放出量は2号機BOPを閉止したH25/3～H25/12の平均値を採用。



- 現状、1～4号機建屋からの放出による敷地境界における被ばく線量は0.03mSv/年と評価しているが、1～4号機全体放出量に対する増加率が年ベースで0.01%と極めて小さいことから、敷地境界における被ばく線量評価に影響しない。

10. スケジュールについて

表1 スケジュール（予定）

分類	項目	H26年														
		1月			2月			3月			4月					
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下			
現場調査	屋上からの調査			屋上穿孔/スリーブ設置			JAEAに輸送									
	BOPからの調査						γカメラ撮影			βγ線量測定			カメラ撮影			
									オペフロフェンス切断				JAEAに輸送			
										オペフロコアサンプル採取						

1 / 28より調査準備作業として、原子炉建屋屋上穿孔作業を開始する。

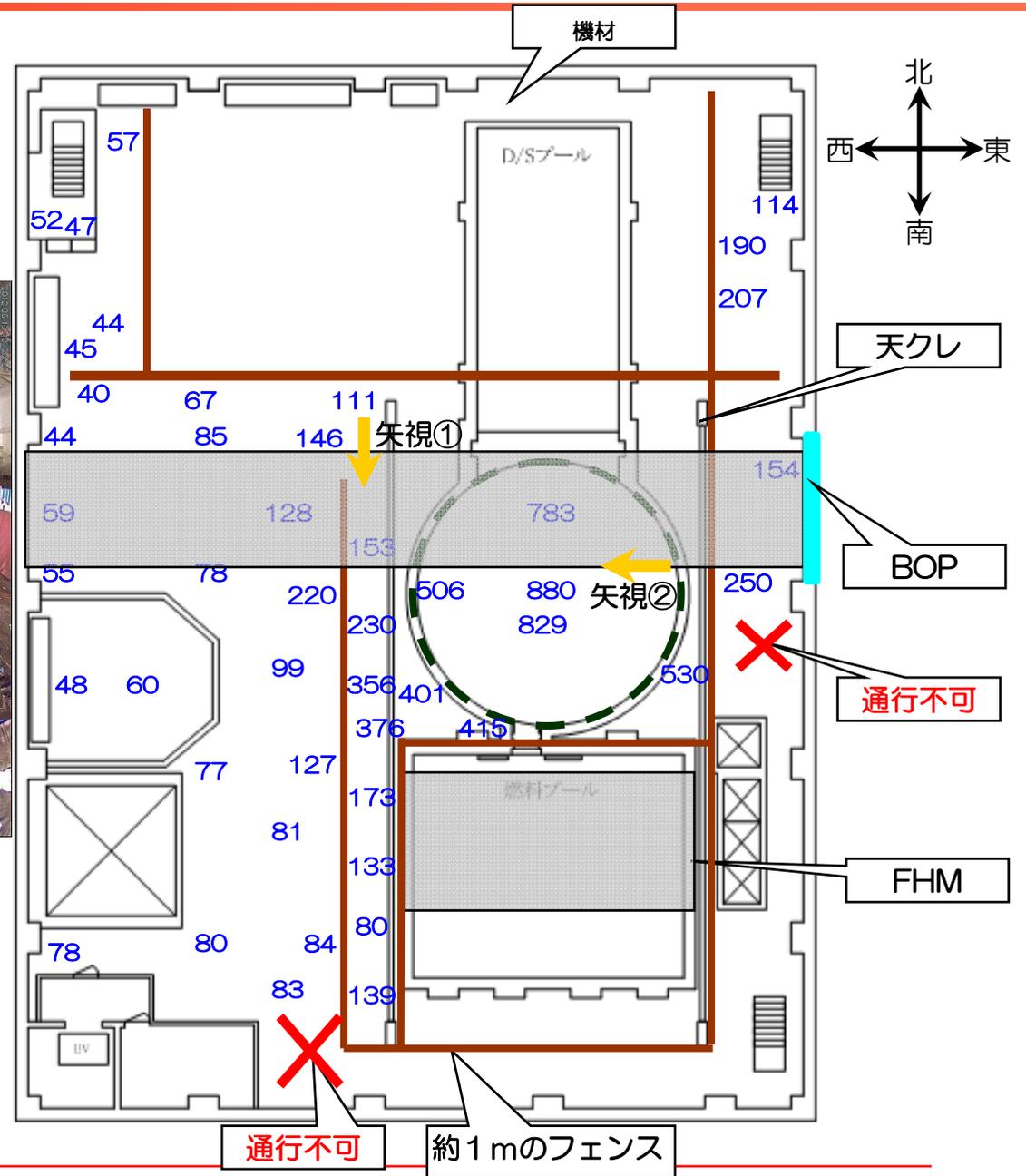
〈参考〉 2号機原子炉建屋オペフロの現状



矢視①



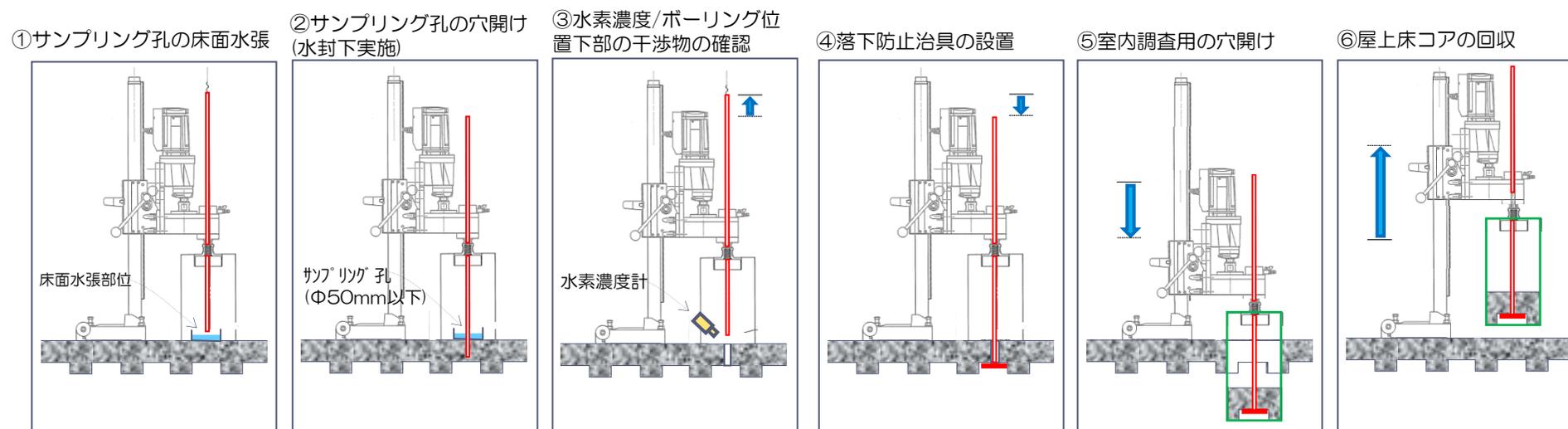
矢視②



次頁に示す通り、オペフロ天井部に可燃限界を超える水素は無いと考えられるが、水素が滞留しているリスクを考慮して、以下の通り慎重な作業を実施する。

- 穿孔作業時は穿孔部を水で置換し、火花発生を防止する。
- 本格穿孔前に小口径のサンプリング孔にて水素濃度確認を行う。許容値は1%。
- 工場モックアップにて一連の作業の妥当性を確認する。

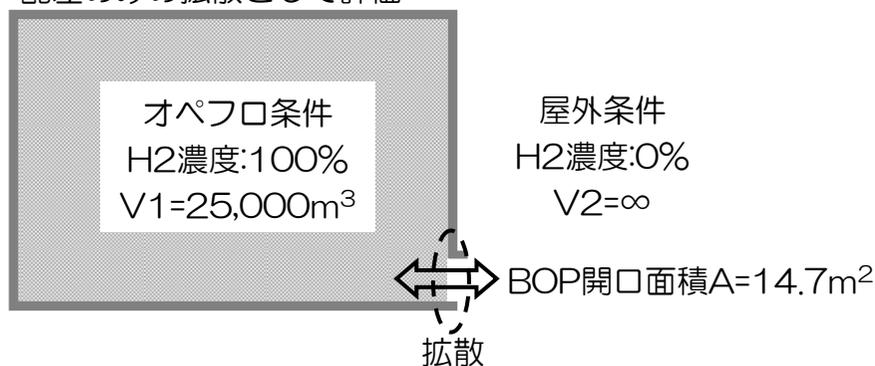
屋上床穴開け作業手順



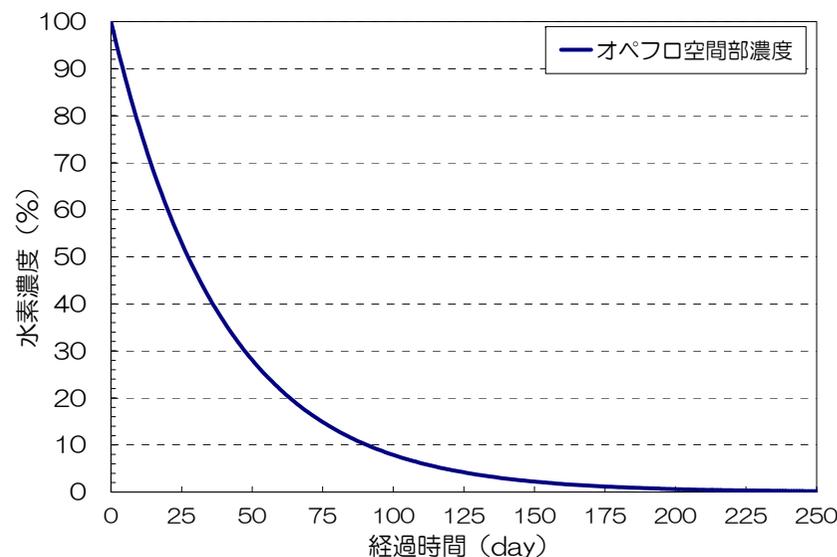
以下理由により、2号機オペフロ天井部に可燃限界以上の水素が滞留していることはないと考えられる。

- 格納容器ミキシング試験(電共研)に基づく評価を実施した結果、温度差等による対流の影響がないと仮定した場合でも、約125日程度で可燃限界4%を切り、約180日程度で1%を切る結果となった。冷温停止宣言後、約2年経過していることから拡散のみ考慮した場合でも、現在の水素濃度はほぼ0%。
- オペフロ寸法の1/54スケール水素排気試験を、実機換気率(オペフロ空間体積約25,000m³/hと排気設備10,000m³/hとの比)に基づいて実施したところ、初期水素濃度から1/100に低減される時間は約320分であった。
- 2号機は3号機水素爆発の影響でBOPが落下し、以後BOP開口部から常に換気される状態が続いた。また、H25/3にBOPを閉止した後も定格10,000m³/hで排気を継続しており、事故後十分な換気が継続している。

- ・ 温度差等による対流がないと仮定
- ・ オペフロ内と屋外との水素濃度勾配差のみの拡散として評価



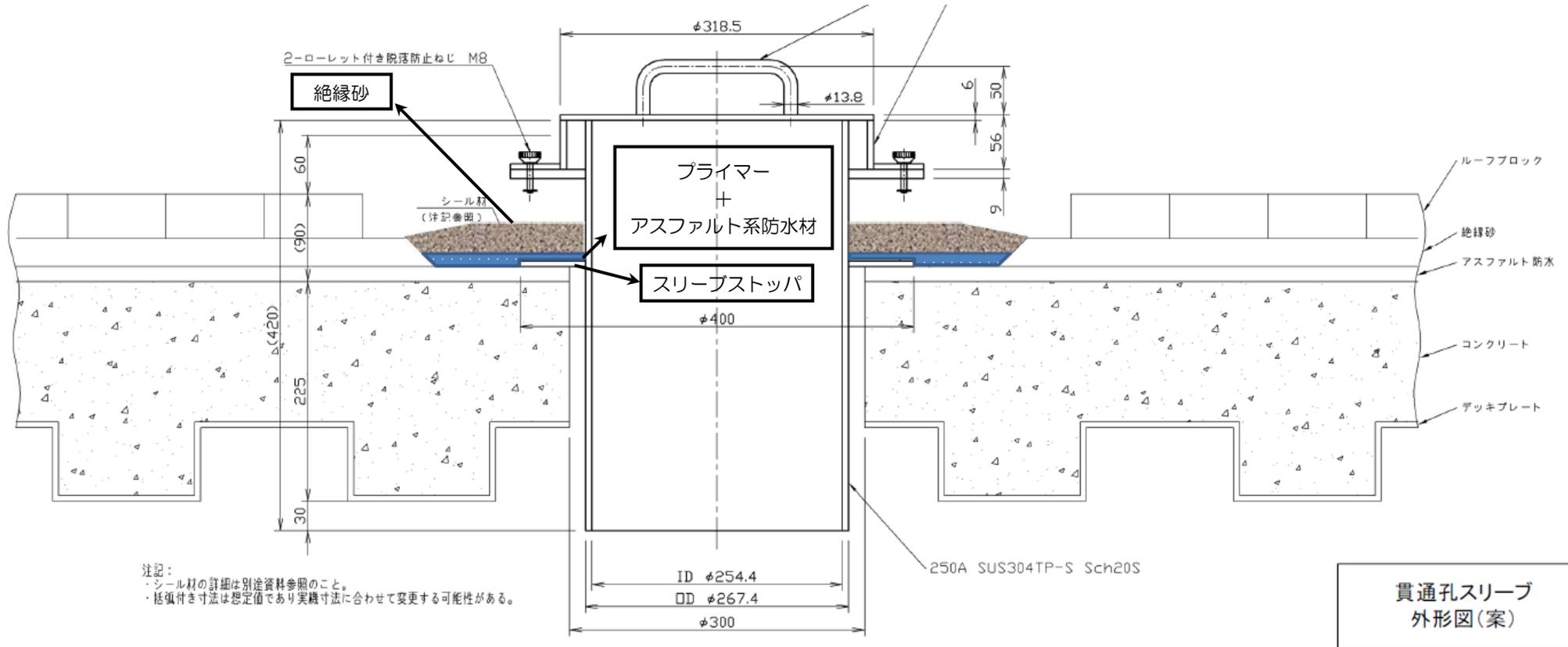
格納容器ミキシング試験に基づく評価 計算体系



格納容器ミキシング試験に基づく評価結果

〈参考〉 屋上穿孔後の防水措置について

- 穿孔完了後、ストッパ及び蓋を有するスリーブを開口部にはめ込む。
- コア抜き装置の反力受アンカー穴を含めて、プライマー+アスファルト系塗膜防水材料にてシールする。
- 防水材料は紫外線により劣化するため、絶縁砂を復旧する。
- 既存防水シートと同系のアスファルト系防水材料を使用することで、オペフロへの雨水侵入はほぼ無いものと考えられる。





LRF拡大



魚眼カメラ拡大

半導体素子、レーザレンジファインダ(LRF)、魚眼カメラを搭載しており、360° 球面体のスキャンが可能。

○メーカー：REACT/CREATEC

○寸法/重量：D110×H700/約17kg(この他、Control Boxがあり重量約6kg)

○検出素子：半導体検出器 (素子は1つ)

○計測可能BG：0.05mSv/h～500mSv/h(精度低下が許容可能であれば1,000mSv/hまで可)

○スキャン時間：約2.5～3.0時間/スキャン

〈参考〉 フェンス切断工法について

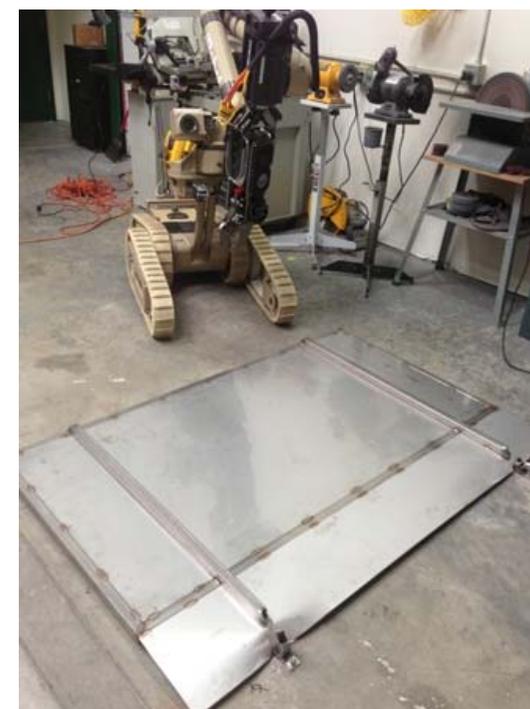
- 福島第一原子力発電所にて所有している、iRobot社製ROV「Warrior」のアーム部に切断ツールを装着し、オペフロ内を自走してフェンスを撤去する。
- 作業による油漏れや火災発生リスクを低減するため、電動作動／ハサミ式カッターを採用。



1枚のフェンスにつき2箇所が地面に固定されており、最初に脚部を切断する。



切断治具先端に取り付けるカメラにより、切断を確認する。



脚部切断後、ウォーリアーのアームにより、手前or奥に倒す。

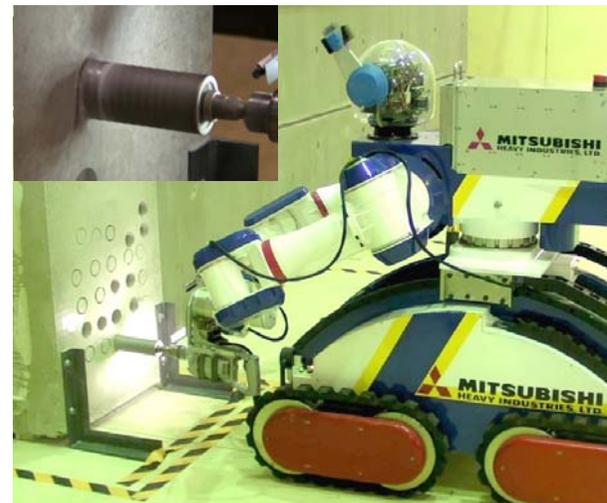
切断の流れ

〈参考〉 コアサンプル採取工法について

三菱重工が開発したMEISTeRの先端アームの片腕にコアボーリング装置を装備し、もう方腕にはコアを切り離すためのタガネを装備する。装置は全て電動駆動であり、油漏れの危険性はない。



階段昇降時



コアボーリング時

- 台車寸法：全長1250mm、幅700mm、全高1300mm
- 質量：約550kg(本体480kg、コアボーリング装置約70kg)
- 対地自動追従式独立4クローラにより、階段や不整地の走行が容易
(原子炉建屋内の階段走行は、寸法上おどり場で引っかかってしまうためNG)
- スロープや階段昇降時は自動で重心位置を検知し、上物の位置を変えることで適切な重心位置の確保が可能(左上図参照)。
- 双腕7軸ロボットアームによりコアボーリング等の作業が可能(右上図参照)。