

2号機燃料取り出し工法の検討状況について

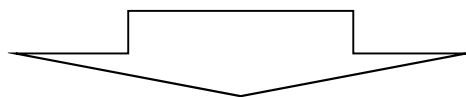
2019年11月18日



東京電力ホールディングス株式会社

1. 経緯

- 2号機原子炉建屋の燃料取り出しは適切な時期に「デブリ取り出し共用コンテナ案」と「プール燃料取り出し特化案」の2案よりプラン選択する計画である。
- 当初、既設の天井クレーン・燃料交換機を復旧(分解・除染・補修等)することを検討していたが、オペレーティングフロア（以下、オペフロ）内の線量が高いことから、既設の天井クレーン・燃料交換機の復旧は難しく、2015年11月に建屋上部の解体が必要と判断した。
- 2018年11月～2019年2月に実施したオペフロ内調査では、2011～2012年に実施した調査結果と比較すると線量が低減している傾向が確認された。
- 上記の調査結果を踏まえ、遮蔽等を適切に実施することによりオペフロ内でも限定的な作業であれば実施できる見通しが得られた。
- 併せて、建屋上部を全面解体せず、小規模な開口での燃料取り出しができるよう、燃料取扱設備の小型化検討を進めた。



建屋解体時のダスト飛散対策の信頼性向上の観点から、南側よりアクセスする工法も含め、プラン検討を進めてきた。

2. 検討プラン概要

- 「①デブリ取り出し共用コンテナ案」は現状で設計条件の確定まで至っておらず、早期に燃料取り出しを行うために、「②プール燃料取り出し特化案」を選択した。
- プール燃料取り出し特化案は、R/B上部を全面解体する現行のプランAに加え、全面解体ではなく、南側からのアクセスするプランBの2案を検討した。

プラン名	①デブリ取り出し共用コンテナ案	②プール燃料取り出し特化案	
		プランA(オペフロ上部解体)	プランB(オペフロ上部残置)
イメージ	<p>コンテナ クレーン 燃料取扱機</p>	<p>カバー架構 クレーン 燃料取扱機</p>	<p>燃料取り出し用構台 燃料取扱機 クレーン</p>
概要	オペフロ上部を全面解体して、オペフロ床面ごとカバーする燃取架構を南側へ張り出して設置	オペフロ上部を全面解体して、SFP上部から南側に原子炉建屋に支持する燃取架構を設置	オペフロ南側壁に小規模開口を設置し、南側からオペフロ内にクレーンを差し込む架構を設置
燃取設備	FHM：門型クレーン式 クレーン：天井クレーン式	FHM：門型クレーン式 クレーン：天井クレーン式	FHM：ブーム型クレーン式 クレーン：ブーム型クレーン式
燃料取り出し	NFT-12B（12体キャスク） 有人作業	NFT-12B（12体キャスク） 有人作業	構内用輸送容器 （3号機用：7体キャスク） プール周辺作業は遠隔
架構規模	鉄骨：約7,000t以上 基礎・地盤改良：有り	鉄骨：約3,000t 基礎・地盤改良：無し	鉄骨：約2,500t 基礎・地盤改良：有り

- プラン検討に当たっては、以下の4つの重点項目を中心に燃料取り出しまでの期間なども含め総合的に評価し燃料取り出し工法を検討した。

1. ダスト飛散対策

- ✓ 原子炉建屋解体時のダスト飛散対策について信頼性を評価。

2. 作業員被ばく

- ✓ 2018年11月～2019年2月に実施したオペフロ内調査では、過去の線量調査結果に比べて、線量が低減している傾向が確認できたが、依然として高い線量環境であることから、想定される作業員被ばくを定量的に評価。

3. 雨水対策

- ✓ 建屋滞留水の流入抑制の観点で、燃料取り出し関連工事の際に、建屋に流入する雨水を定量的に評価。

4. 工事ヤード

- ✓ 2号機原子炉建屋周辺では、炉内調査や排気筒解体等、多くの廃炉作業が並行して行われていることから、他の廃炉作業への工事影響を定性的に評価。

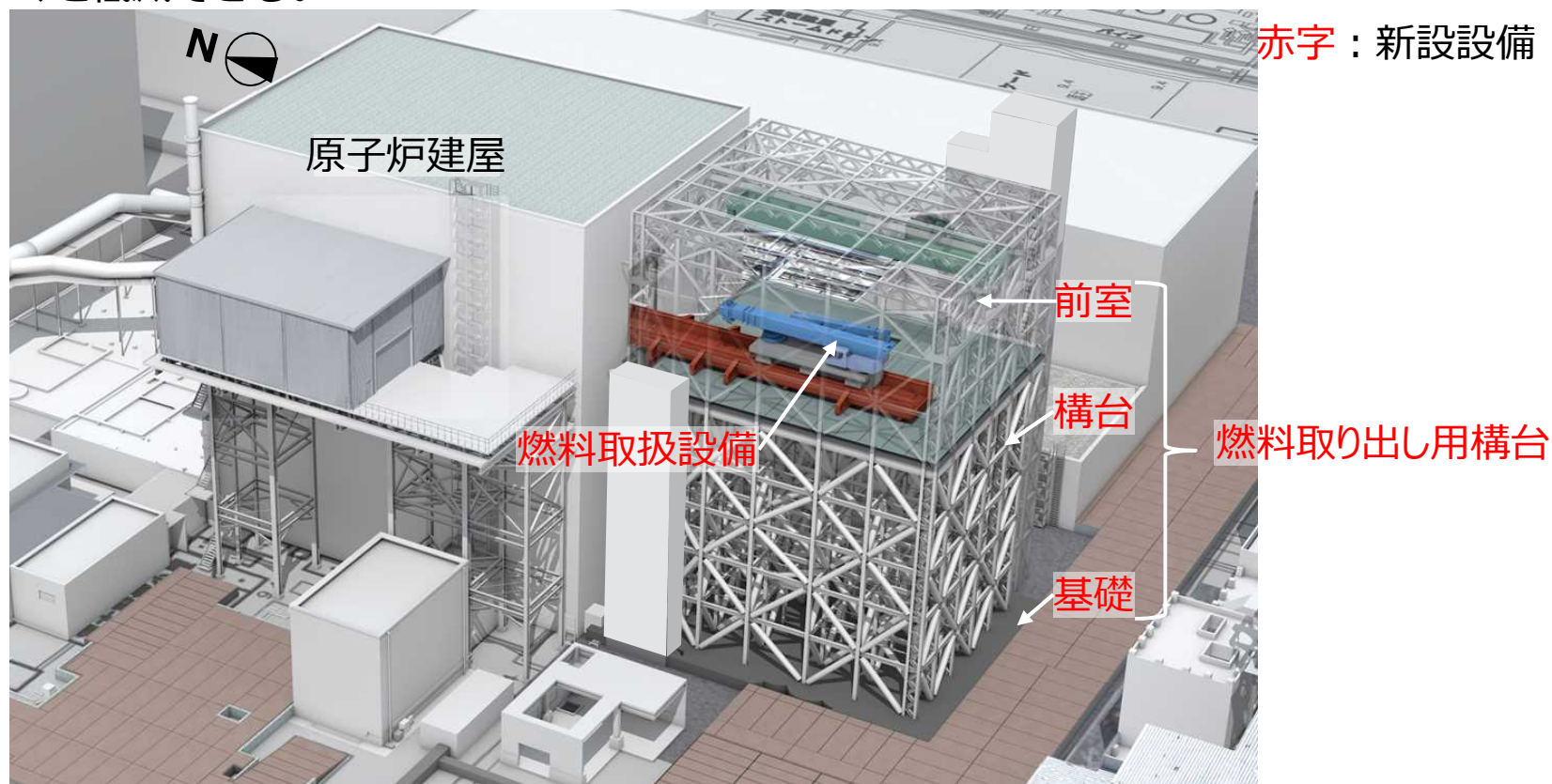
3-2. 評価結果

- 原子炉建屋上部を解体しないプランBの方が、主に建屋解体時のダスト飛散対策の信頼性や被ばくの低減、雨水の建屋流入抑制、工事ヤード調整の観点で優位性があると判断。

プラン名		プール燃料取り出し特化案			
		プランA(オペフロ上部解体)	プランB(オペフロ上部残置)		
イメージ					
評価	ダスト	○	<ul style="list-style-type: none"> 上部建屋を解体するため、ダスト飛散抑制対策とダスト監視により管理。 敷地境界への影響は評価済み。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋内及び前室内で管理した状態での作業が可能
	被ばく	△	<ul style="list-style-type: none"> 工事期間が比較的最長のため、作業員被ばくは多い 燃取完了迄の被ばく想定 (55 Sv・人) 	○	<ul style="list-style-type: none"> 工事期間が比較的短いため、作業員被ばくは少ない 燃取完了迄の被ばく想定 (46 Sv・人)
	雨水対策	△	<ul style="list-style-type: none"> 上部建屋を解体するため、雨水流入により滞留水が発生する。(約2~3千m³/年) 	○	<ul style="list-style-type: none"> 上部建屋を解体しないため、雨水流入はほぼしない。
	工事ヤード	△	<ul style="list-style-type: none"> 上部建屋解体・カバー架構設置にあたって、西側・南側のヤードを占有し、他工事との調整が課題。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 主な工事ヤードは原子炉建屋南側になるため、他工事で西側ヤードを共有しやすい。
	工事期間	△	<ul style="list-style-type: none"> ダスト飛散抑制に配慮した建屋解体工法にするため、工事期間の見直しが必要 	○	<ul style="list-style-type: none"> 建屋解体が無いこと、他工事との調整も無いことから、プランAよりは期間が短い。
	燃料取り出し作業期間	○	<ul style="list-style-type: none"> キャスクサイズが大きく、有人作業が可能のため、燃料取り出し作業期間は短い 	△	<ul style="list-style-type: none"> キャスクサイズが小さく、プール周辺は遠隔作業となるため、プランAよりは燃料取り出し作業期間が長くなる

4-1. プランBの概要

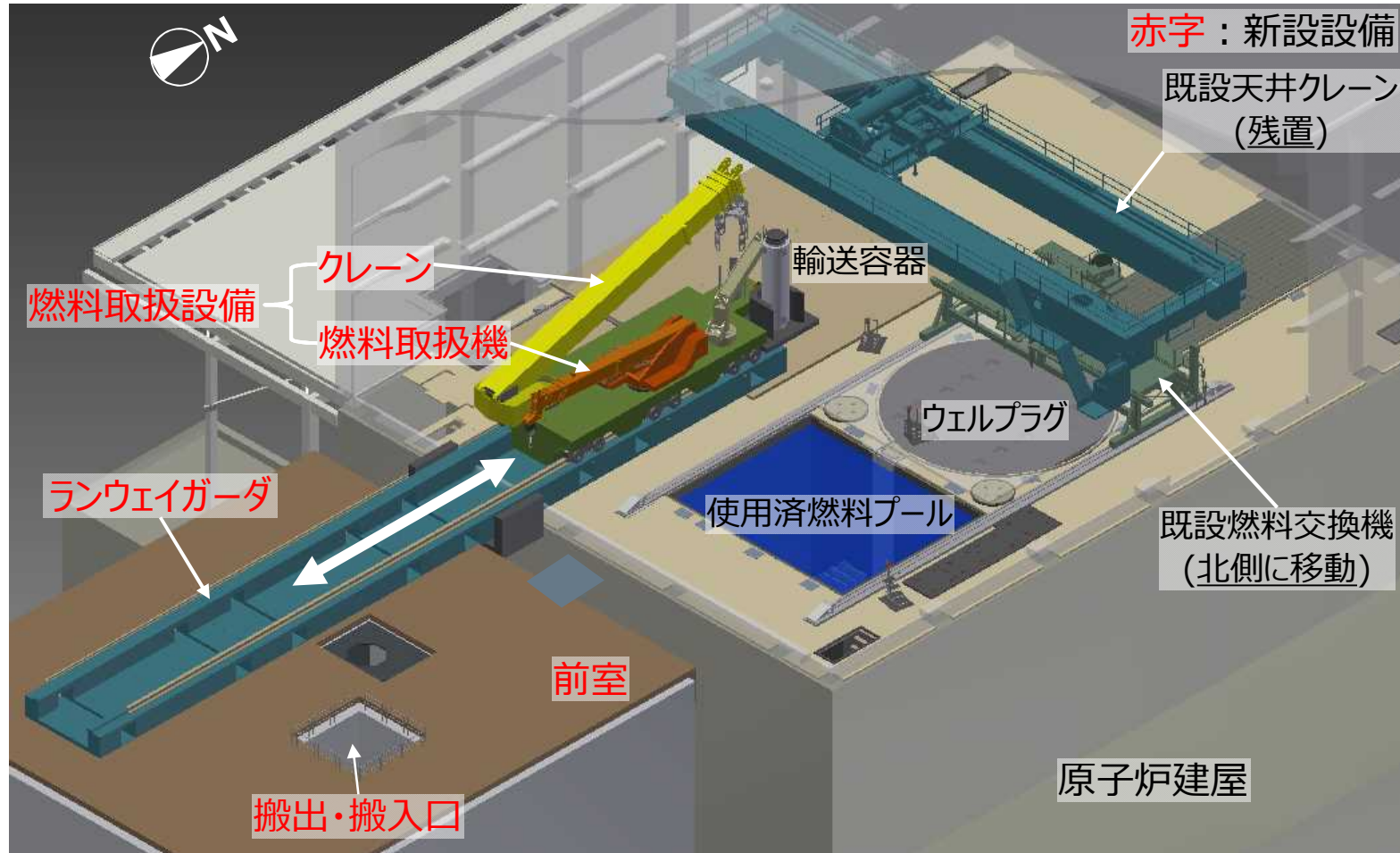
- 原子炉建屋上部を全面解体せず，南側に構台・前室を設置した上で，南側外壁の小開口から燃料と輸送容器を取り扱う。
- ブーム型クレーン式の燃料取扱設備を採用することで，南側外壁の開口部は小さくなり，原子炉建屋の構造部材のうち柱と梁の解体を回避できる。
- 燃料取扱設備は，燃料取り出し用構台での組立・保守作業が可能となることから，作業員被ばくを低減できる。



燃料取り出し用構台概念図（鳥瞰図）

4 - 2 . プランBの概要

- 燃料と輸送容器は、燃料取扱設備にて遠隔操作により取り扱う。
- 燃料取扱設備は、ランウェイガーダ上を走行することで原子炉建屋オペフロと燃料取り出し用構台前空間を移動する。
- 輸送容器の吊り降ろしは燃料取り出し用構台に新設する搬出・搬入口を利用する。



燃料取扱設備概念図 (鳥瞰図)

5. 線量低減及びα汚染対策の検討状況

(線量低減に向けた検討状況)

- オペフロ調査で線源位置を把握できているため、確実性の高い[遮蔽設置を線量低減の基本方針として検討を進めており](#)、遮蔽設置後の評価結果より、限定的な作業（※）ではあるが、[有人作業を可能と評価](#)している。

（※）限定的な作業：設備の設置・点検の一部、非常時の復旧作業（P14,P15）

- 除染による汚染拡大防止を検討しており、遮蔽ほどの低減効果を得られないものの除染による副次的な線量低減効果も期待できる。
- 現場状況の変化に応じたホールドポイント(残置物撤去作業完了後等) を設けて線量測定を実施し、線量低減効果の確認や作業内容の精査を行う。有人作業の被ばくを更に低減できるよう、有人作業エリアにおいて1mSv/h以下を目標に引き続き検討・対策を実施していく。

(α汚染対策に向けた検討方針)

- オペフロの環境改善として、除染又は固着化による汚染拡大防止を図る。
- 前室内にα汚染管理エリアを設け、作業員／資機材持ち出しによる汚染拡大防止を図る。(P16)
- 換気空調設備により、周辺作業環境と敷地周辺へのダスト飛散抑制を図る。(P16)

6. まとめ

- 「デブリ取り出し共用テナ案」は現状で設計条件の確定まで至っておらず、早期に燃料取り出しを行うために、「プール燃料取り出し特化案」を選択する。
- 「プール燃料取り出し特化案」として、建屋解体時のダスト対策の信頼性を更に向上する工法も含め、プラン検討を進めた結果、原子炉建屋の上部解体を行わず、南側からアクセスする工法を選択する。
- オペフロ環境の調査で線源位置を把握できているため、確実性の高い遮蔽設置を線量低減の基本方針として検討を進める。
- 今後、今回選択した燃料取り出し工法について詳細設計を進め、年度内を目標に燃料取り出し工程の精査を進める。

以下、参考資料

【参考1】 表面汚染密度分布 ～線量率からの解析結果～

- 解析方法・条件：**表面線量率およびガンマカメラの測定結果から表面汚染密度を計算。MCNPコードを用いて空間線量率を計算し、実測定結果と整合するよう表面汚染密度を評価。その際、汚染源が床・壁・天井等の構造物表面に全量付着するモデルとした。
- 解析結果：**ウェル上で $10^6 \sim 10^8$ [Bq/cm²]、その他床面や壁面で $10^5 \sim 10^7$ [Bq/cm²]、天井で 10^5 [Bq/cm²]未満であった。引き続き、本結果を用いて使用済燃料取り出しに向けて各検討を実施予定。

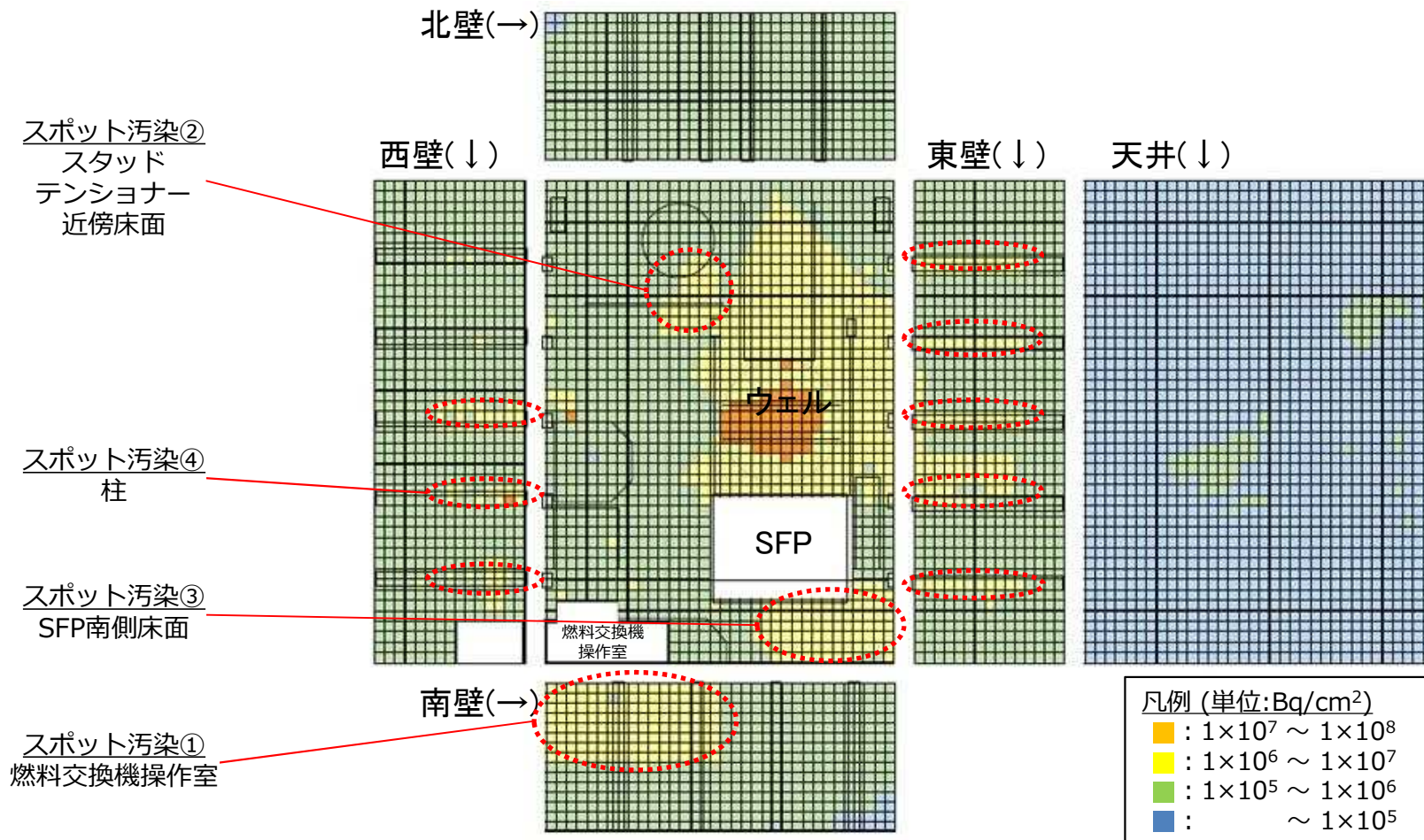
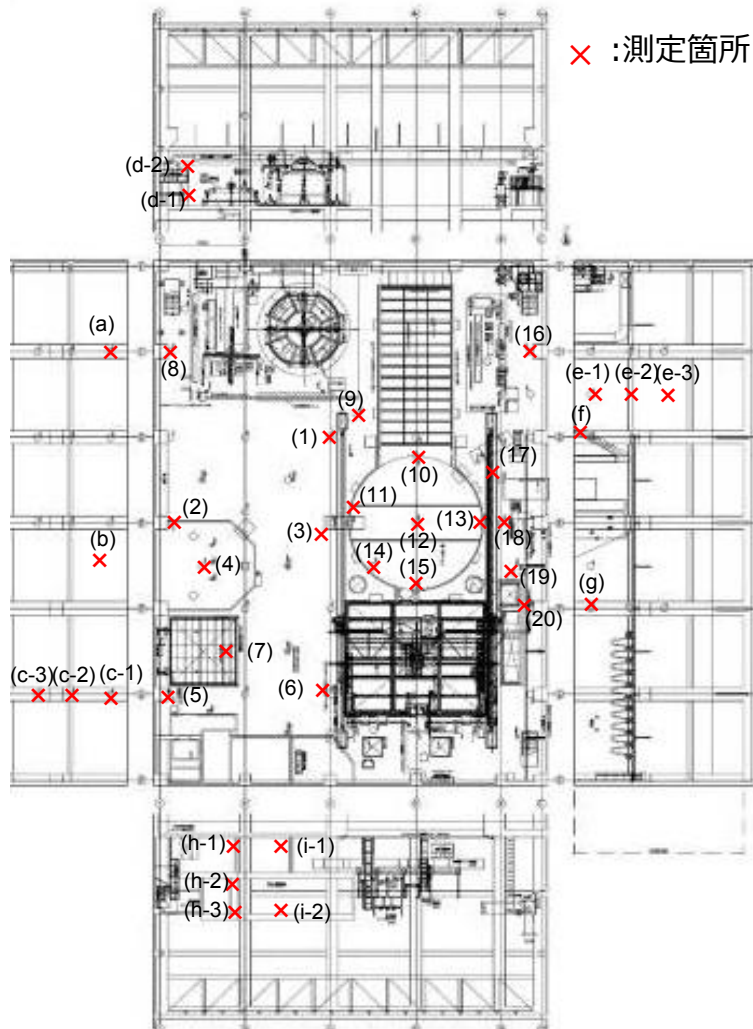


図 オペフロの汚染密度分布 展開図

【参考2】表面汚染密度分布 ～遊離性汚染の実測定結果～

■ 調査結果

・表面汚染密度：右表参照



測定箇所	Cs-134	Cs-137	Co-60	Sb-125	α線放出核種 (Bq/cm ²)
(1)	—	6.9×10 ⁵	検出限界未満	—	8.6×10 ⁰
(2)	9.5×10 ³	1.0×10 ⁵	8.8×10 ¹	1.1×10 ⁴	4.3×10 ⁻¹
(3)	—	6.1×10 ⁵	検出限界未満	—	7.5×10 ⁰
(4)	2.4×10 ⁴	2.5×10 ⁵	3.6×10 ²	2.5×10 ⁴	2.1×10 ⁰
(5)	—	4.3×10 ⁵	検出限界未満	—	3.0×10 ⁰
(6)	—	1.8×10 ⁶	検出限界未満	—	1.5×10 ¹
(7)	—	3.1×10 ⁵	検出限界未満	—	1.5×10 ⁰
(8)	—	3.3×10 ⁵	検出限界未満	—	5.3×10 ⁰
(9)	—	2.8×10 ⁵	検出限界未満	—	5.3×10 ⁻¹
(10)	—	6.4×10 ⁵	検出限界未満	—	3.2×10 ¹
(11)	—	6.7×10 ⁵	検出限界未満	—	6.4×10 ⁰
(12)	—	9.7×10 ⁵	検出限界未満	—	1.1×10 ¹
(13)	—	8.2×10 ⁵	検出限界未満	—	2.1×10 ⁻¹
(14)	—	6.1×10 ⁵	検出限界未満	—	2.6×10 ¹
(15)	—	5.1×10 ⁵	検出限界未満	—	6.0×10 ⁰
(16)	—	1.0×10 ⁶	検出限界未満	—	7.5×10 ⁰
(17)	2.0×10 ⁴	2.0×10 ⁵	1.1×10 ²	8.5×10 ³	6.4×10 ⁰
(18)	—	2.9×10 ⁶	検出限界未満	—	4.6×10 ⁰
(19)	—	4.4×10 ⁵	検出限界未満	—	8.6×10 ⁰
(20)	4.9×10 ³	5.1×10 ⁴	8.8×10 ¹	5.5×10 ³	1.3×10 ⁰
(a)	—	1.3×10 ⁴	検出限界未満	—	検出限界未満
(b)	8.6×10 ¹	8.8×10 ²	1.2×10 ⁰	1.1×10 ²	検出限界未満
(c-1)	5.4×10 ¹	5.6×10 ²	検出限界未満	5.8×10 ¹	検出限界未満
(c-2)	2.8×10 ³	3.0×10 ⁴	2.8×10 ¹	2.3×10 ³	8.6×10 ⁻¹
(c-3)	2.2×10 ²	2.5×10 ³	3.4×10 ⁰	2.5×10 ²	検出限界未満
(d-1)	1.4×10 ²	1.4×10 ³	3.1×10 ⁰	1.6×10 ²	検出限界未満
(d-2)	3.2×10 ¹	3.5×10 ²	5.6×10 ⁻¹	2.4×10 ¹	検出限界未満
(e-1)	8.2×10 ²	8.2×10 ³	2.1×10 ¹	2.2×10 ³	1.1×10 ⁰
(e-2)	5.4×10 ¹	5.8×10 ²	1.3×10 ⁰	6.6×10 ¹	4.3×10 ⁻¹
(e-3)	1.5×10 ¹	1.5×10 ²	検出限界未満	1.0×10 ¹	検出限界未満
(f)	—	3.2×10 ⁵	検出限界未満	—	2.1×10 ¹
(g)	1.2×10 ²	1.3×10 ³	3.0×10 ⁰	1.2×10 ²	2.1×10 ⁻¹
(h-1)	3.0×10 ²	3.0×10 ³	検出限界未満	9.8×10 ¹	検出限界未満
(h-2)	4.3×10 ³	4.6×10 ⁴	検出限界未満	検出限界未満	7.5×10 ⁻¹
(h-3)	3.0×10 ²	3.1×10 ³	検出限界未満	1.1×10 ²	5.3×10 ⁻¹
(i-1)	4.9×10 ³	5.0×10 ⁴	検出限界未満	3.4×10 ²	4.3×10 ⁻¹
(i-2)	5.6×10 ³	6.2×10 ⁴	1.4×10 ²	7.4×10 ³	4.3×10 ⁰

【測定条件】 ・測定器：Ge半導体スペクトロメータ／ZnSシンチレーションサーベイメータ
 ・採取効率：0.1 ・採取面積：100[cm²]

【参考3】線源把握 ～空間線量率(γ線線量率※)の測定結果～



■ **測定条件**

- ・測定高さ：床面から1.5m

■ **調査結果**

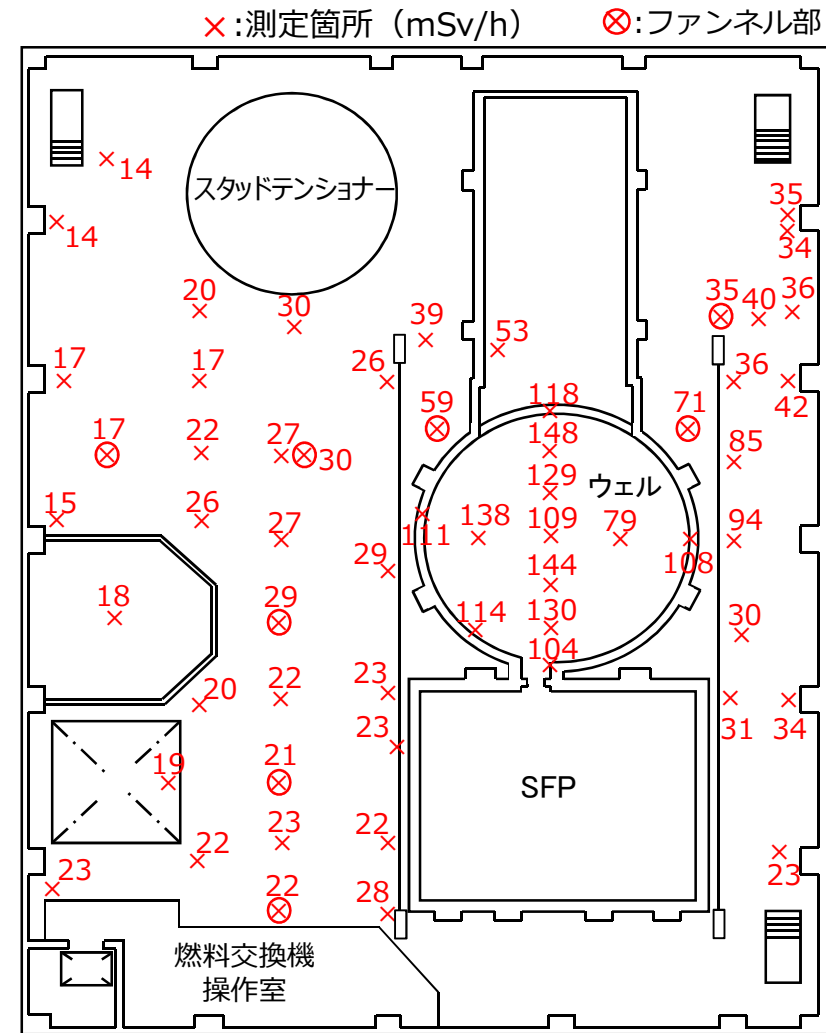
・ **線量分布：**

線量率の各測定結果は右図参照。ウェル上が最も高いが、2012年度に計測した時点より、減衰等の影響で大幅に低下している。

・ **主要線源の把握：**

ウェル上から離れるにしたがって線量が低くなる傾向があるため、主要線源がウェルと推定。

その他、燃料交換機操作室やスタッドテンショナー付近で空間線量率が僅かに上昇することから、全体空間の線量に寄与しないまでも、スポット的な汚染源が存在していると推定。



【測定条件】 ・測定器：γ線用半導体線量計（1cm線量率）

【参考4】表面汚染密度の解析結果と測定結果の比較

- 表面汚染密度に関して、解析結果（p.11）と測定結果[遊離性汚染]（p.12）を比較すると、西側及び東側エリアの解析・測定結果が共に同程度であるのに対し、ウェル上において差が生じていることを確認。
- ウェル上の解析と実測定の差分は、プラグ上の空間線量分布に大きなバラつきがあることも踏まえると、プラグ間隙や裏面に付着している汚染からの影響が大きいと推定（解析では、間隙や裏面の汚染からの寄与をすべて表面上に付与しているため、過大となる）。

(単位: Bq/cm²)

	西側エリア	ウェル上	東側エリア
測定結果(平均)	5×10^5	7×10^5	9×10^5
解析結果	$10^5 \sim 10^6$	$10^6 \sim 10^8$	$10^5 \sim 10^7$

<参考1>

測定結果 = 遊離性汚染
 解析結果 = 遊離性汚染+固着性汚染

<参考2>

均等な汚染が表面に付着している場合、空間線量率は中心が最大で、外周方向に向けて徐々に低下する

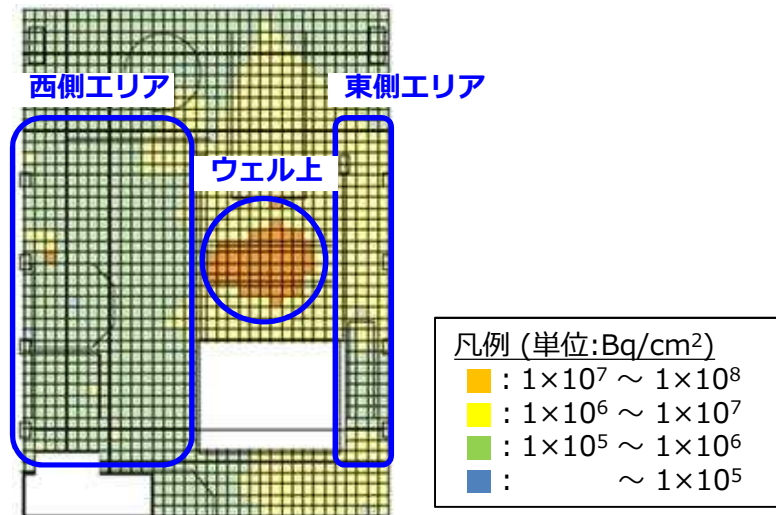


図4 表面汚染密度の解析結果と測定結果の比較

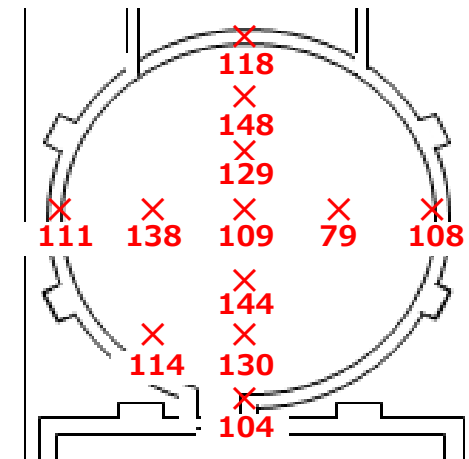
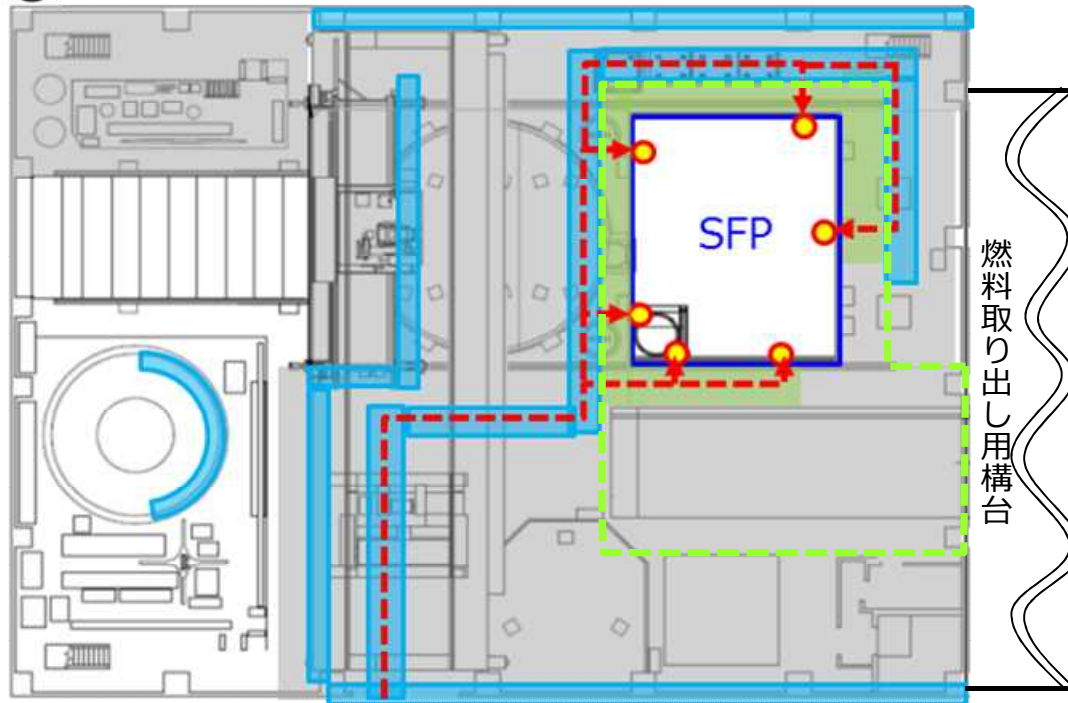


図5 ウェル上の空間線量分布

【参考5】 オペフロ内有人作業例（ITV設置）

■ITV設置について、以下の内容で評価を実施。

- ① クローラークレーンにて西側構台へ資機材を運搬。
- ② 遠隔操作重機にて西側構台前室から運搬，ITV・サポートの据付を実施。
- ③ 有人作業にてITVへケーブル類敷設・接線を実施。



＜ケーブル類接続・調整＞

【想定作業期間】：1日（1日／台）

【想定作業人数】：10人

【想定作業時間】：35分／人・日

【想定被ばく線量^{※1}】：0.8mSv/人・日

■：遮蔽設置箇所（床面）（※2）

■：遮蔽設置箇所（壁面／衝立）（※2）

--->：作業員動線

■：有人作業エリア（ITV設置）

---：有人作業エリア（全体）

●：ITV据付位置（※3）

ITV設置(ケーブル類敷設・接線)イメージ

※1：遮蔽設置による線量低減効果のみ（除染による線量低減効果は含まない）

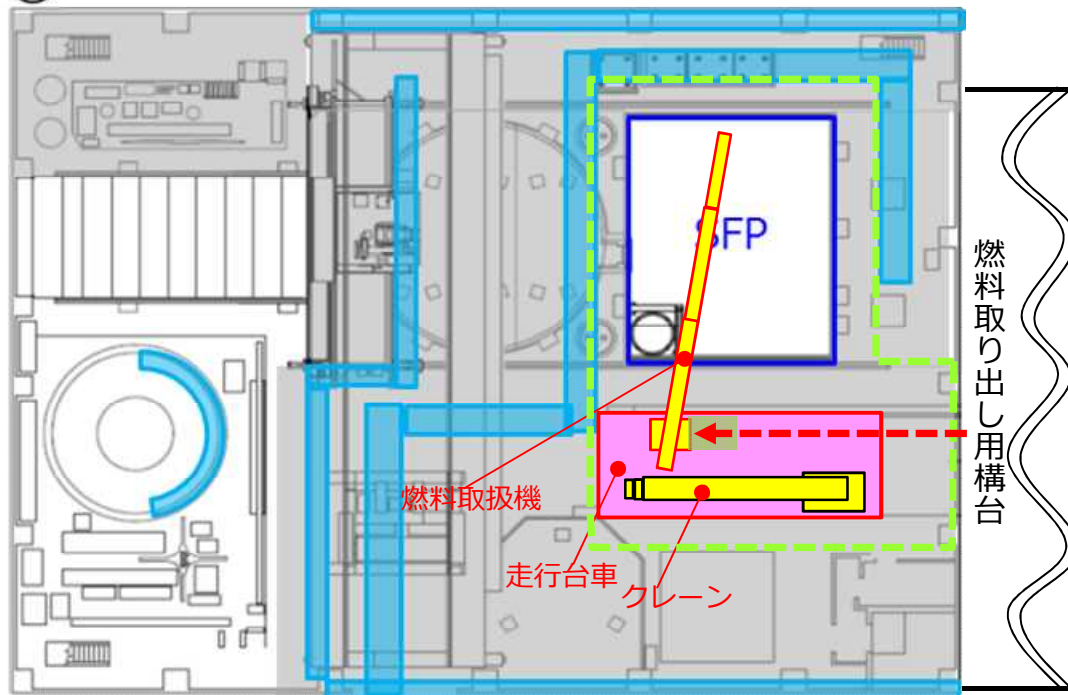
※2：設置箇所については詳細検討中の為、変更の可能性あり

※3：据付位置，台数については詳細検討中の為，変更の可能性あり

【参考6】 オペフロ内有人作業例（非常時対応：燃料取扱機油圧系統不具合） **TEPCO**

■非常時対応（燃料取扱機油圧系統不具合）について、以下の内容で評価を実施。

- ① 燃料吊り上げ中に燃料取扱機が油圧系統の不具合により、昇降不能となった場合、燃料取り出し用構台に設置予定の非常用油圧供給装置を有人作業にて燃料取扱機の油圧系統に接続。
- ② 遠隔操作にて燃料を使用済燃料貯蔵ラックへ吊下す。
- ③ 遠隔操作にてブームを収納後、燃料取扱設備を燃料取り出し用構台へ移動させ、故障箇所の修理を実施。



＜非常時対応＞

【想定作業期間】：1日

【想定作業人数】：20人

【想定作業時間】：35分/人・日

【想定被ばく線量^{※1}】：0.7mSv/人・日

■：遮蔽設置箇所（床面）（※2）

■：遮蔽設置箇所（壁面/衝立）（※2）

→：作業員動線

■：有人作業エリア（非常時対応：燃料取扱機油圧系統不具合）

■：有人作業エリア（全体）

非常時対応（燃料取扱機油圧系統不具合）イメージ

※1：遮蔽設置による線量低減効果のみ（除染による線量低減効果は含まない）

※2：設置箇所については詳細検討中の為、変更の可能性あり

■ 大気への放射性物質の放出抑制

原子炉建屋オペフロ及び燃料取り出し用構台前室用換気設備は、原子炉建屋オペフロ側に気流が生じる設計。ダスト放射線モニタをフィルタユニットの出入口に設置し、大気に放出される放射性物質濃度を測定する。

■ α汚染に対する配慮

原子炉建屋オペフロではα汚染が確認されていることから、前室内にα汚染管理エリアを設置する。α汚染管理エリアが最小限になるような運用を検討している。

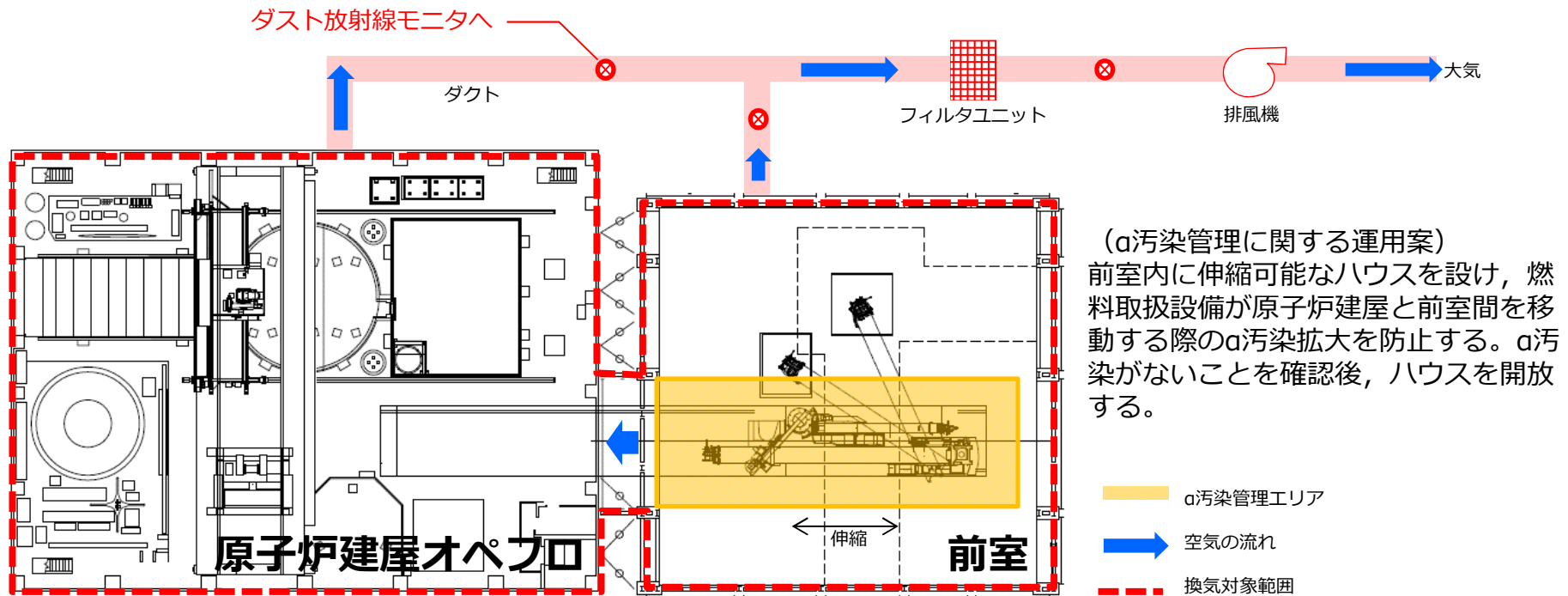


図 換気設備及びα汚染管理エリアの概念図

※検討中の設備であり、今後変更の可能性あり