

## 2号機原子炉建屋西側外壁開口設置及びオペフロ調査状況

2018年9月4日

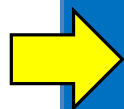


東京電力ホールディングス株式会社

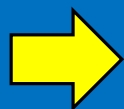
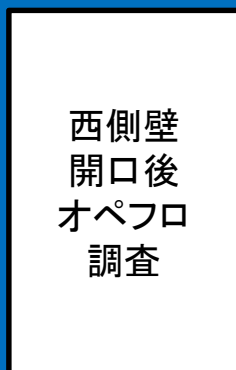
- 2号機使用済燃料プール内の燃料取り出しに向けた原子炉建屋上部建屋解体に先立ち、放射性物質の飛散抑制策を徹底するため、オペレーティングフロア（以下、オペフロ）（5階）内で線量、ダスト濃度等の調査を実施。
- 7月2日から7月18日かけて、遠隔ロボットによるオペフロ内の残置物を移動させずに実施可能な範囲について線量や汚染状況、ダスト濃度等の調査を実施し、「残置物移動・片付」及び「残置物移動・片付後調査」に支障がないことを確認。
- 8月23日よりオペフロ全域を調査するにあたって弊害となる残置物等の片付け作業を開始。

## オペフロ調査等

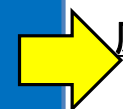
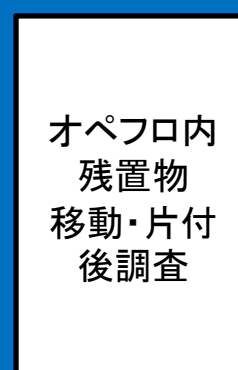
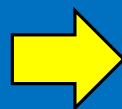
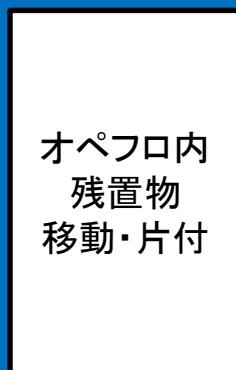
2018年6月完了



2018年7月完了



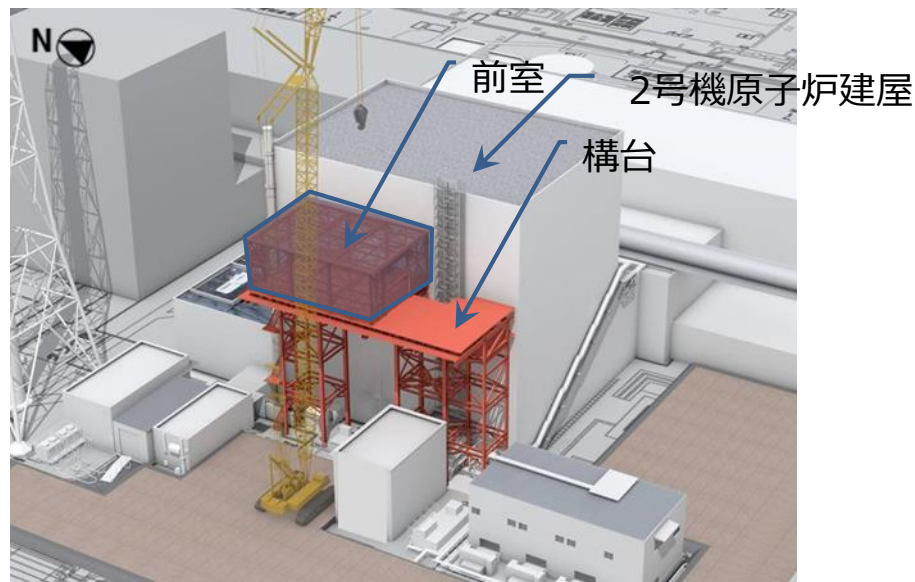
2018年8月開始



原子炉建屋上部解体  
作業計画・工程立案

## 1-1. 西側壁開口の設置の概要

- 本工事は、オペフロ調査等のため、原子炉建屋の西側外壁の5階部分に作業搬出入用開口を設置するものである。作業は前室内で行う。
- 主な工事内容は以下の通り
  - 2号機原子炉建屋の西側壁開口設置（開口の大きさ：幅約5m×高さ約7m）
  - ダスト飛散抑制策（前室の設置，循環換気設備の設置，前室外周部のダスト測定等）



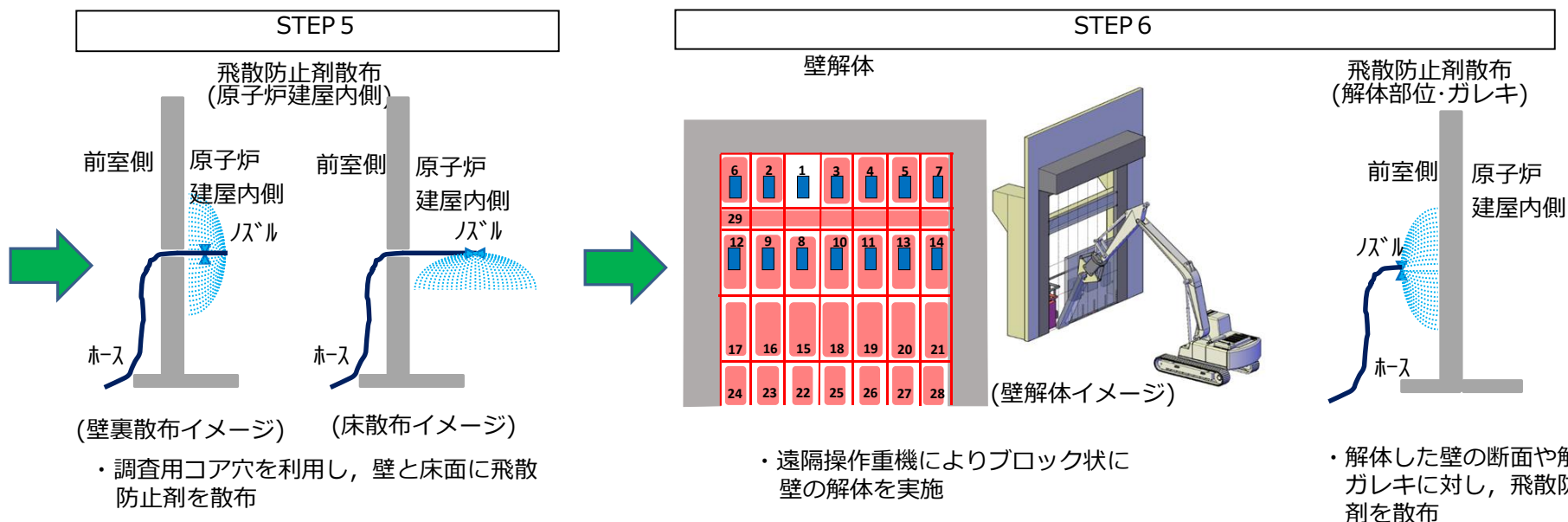
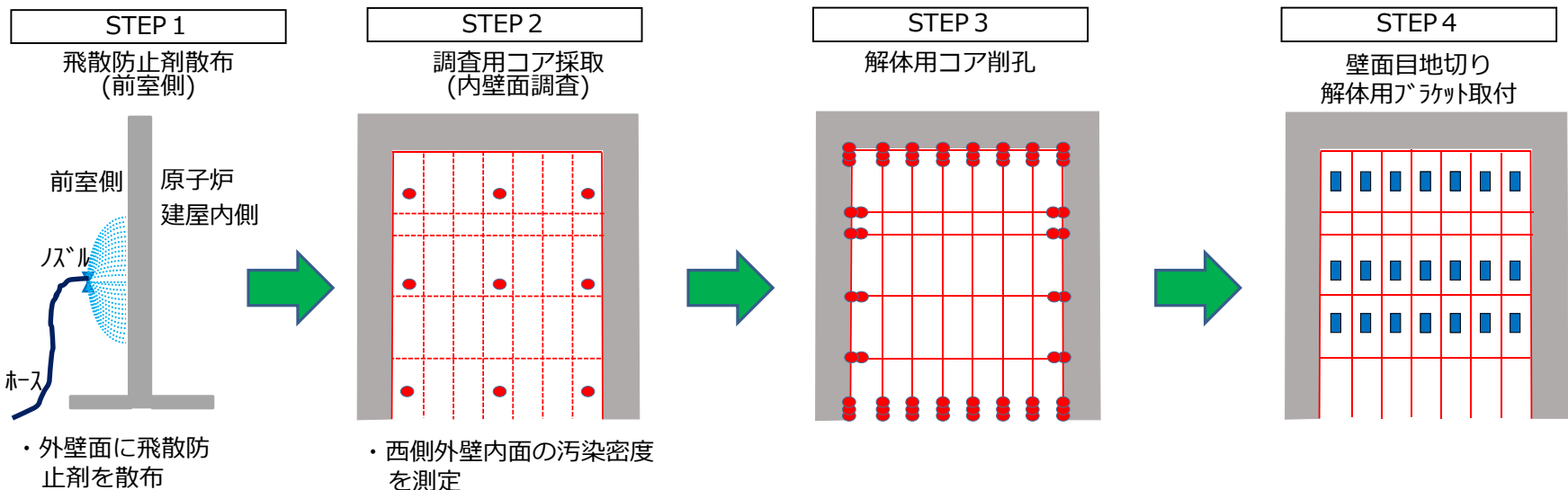
工事箇所



2018年6月撮影

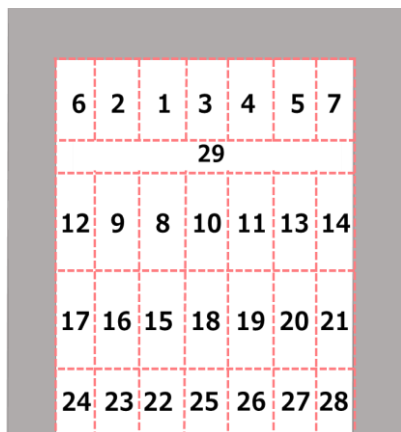
※前室と構台は2017年6月に完成済み

# 1-2. 西側壁開口設置作業の手順



### 1-3. 西側外壁開口工事の作業状況

- 6月21日に、2号機原子炉建屋西側の壁全29ブロックの解体が終了し、今後のオペフロ調査等の出入り口として使用する開口部の設置が完了
- 5月28日から壁解体を開始してきたが、作業中における放射性物質濃度を監視しているダストモニタや、敷地境界に設置してあるモニタリングポストに有意な変動はなかった



開口部の様子（6月20日撮影）



開口部の様子（6月21日撮影）

壁解体ブロック図

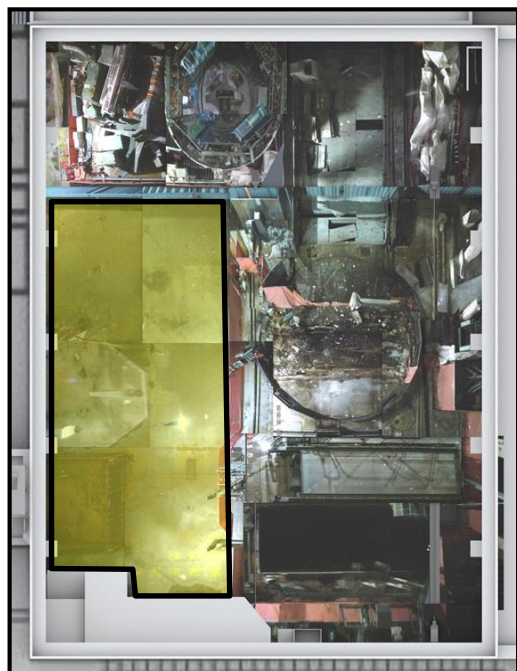
## 2-1. 西側壁開口後オペフロ調査

### 【調査目的】

- 「オペフロ内残置物移動・片付」及び「オペフロ内残置物移動・片付後調査」を円滑に実施するため、残置物状況の調査及びオペフロ西側壁開口近傍の線量等の調査を行う。
- 主な調査内容は以下の通り
  - ・ 空間線量測定 ・ 表面線量測定 ・ 表面汚染密度測定（スミア測定）
  - ・ 空气中放射性物質濃度測定（ダスト測定） ・ カメラによる残置物等の状況調査



今回調査範囲



使用する遠隔無人ロボット

※過去のR/B内調査、作業等で使用実績あり。



Kobra

主な役割  
・ 調査全般

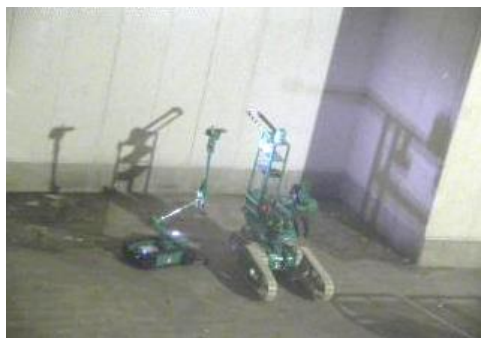


Packbot

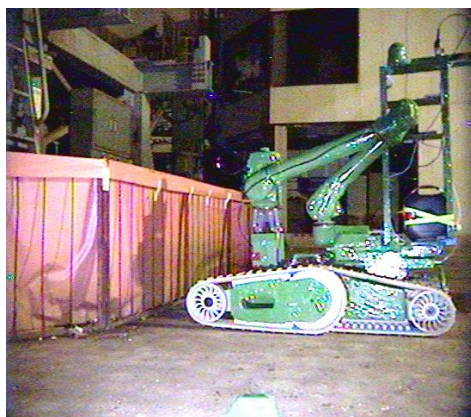
主な役割  
・ Kobraの作業監視  
・ 作業補助

### ■ 空間線量の測定結果：床面から約1.5m高さのγ線線量率※を測定

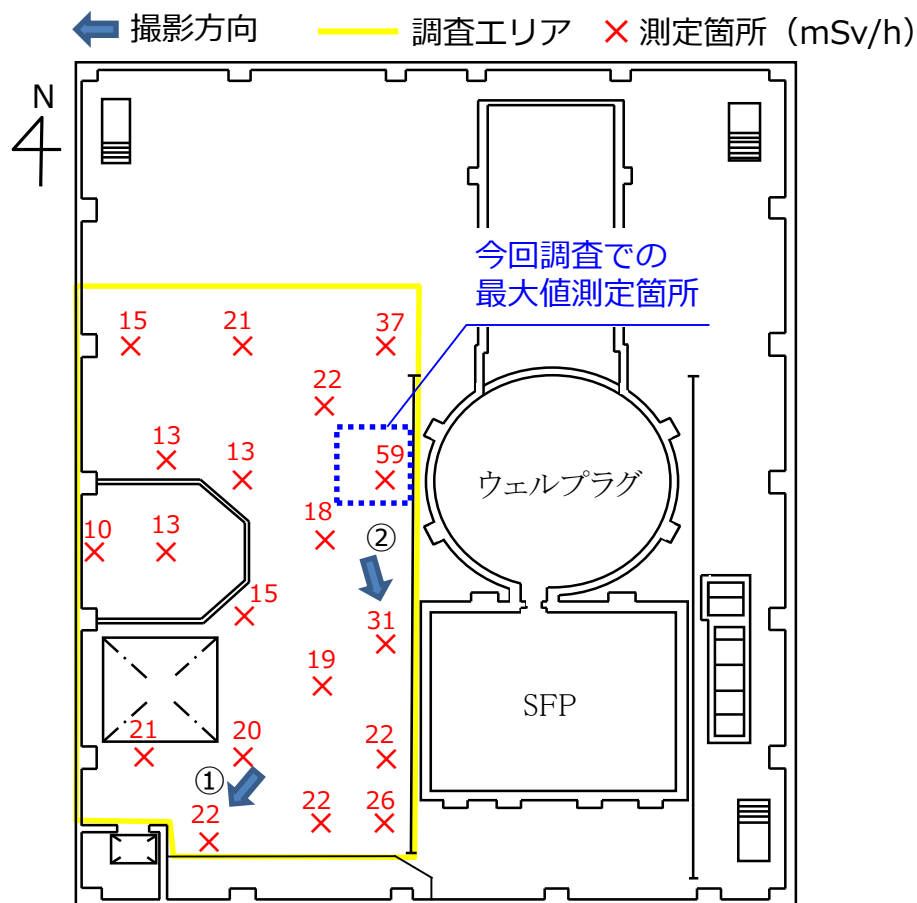
ウエルプラグ近傍の線量率が高く、そこから離れるにしたがって線量が低くなる傾向があるため、主な線源はウエルプラグと推定。(2012年度の調査でも、ウエルプラグ上で880mSv/h、ウエルプラグから離れると線量が下がる傾向を確認)



① 遠隔無人ロボット測定状況(天井カメラ撮影)



② 遠隔無人ロボット測定状況(ロボット撮影)

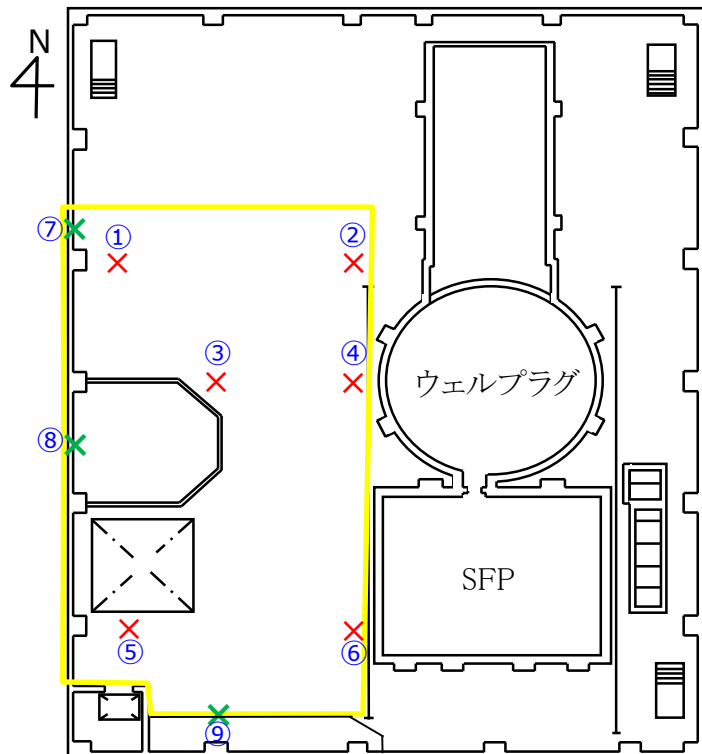


※: 1cm線量当量率

### ■ 床・壁の表面汚染密度 (スミア測定) の測定結果

#### 【測定箇所】

— 調査エリア × 測定箇所(緑:壁面)



#### 【測定結果】

採取場所	表面汚染密度 (Bq/cm <sup>2</sup> )					
	ガンマ線放出核種				ベータ線放出核種	アルファ線放出核種
	Cs-134	Cs-137	Co-60	Sb-125	全β	全α
①床	$2.4 \times 10^3$	$2.3 \times 10^4$	$3.2 \times 10^1$	$3.2 \times 10^3$	$> 2.6 \times 10^2$	$5.2 \times 10^0$
②床	$9.7 \times 10^2$	$8.9 \times 10^3$	$1.5 \times 10^1$	$1.1 \times 10^3$	$> 2.6 \times 10^2$	$4.0 \times 10^0$
③床	$1.1 \times 10^3$	$1.0 \times 10^4$	$1.7 \times 10^1$	$1.3 \times 10^3$	$> 2.6 \times 10^2$	$2.2 \times 10^0$
④床	$3.0 \times 10^3$	$2.8 \times 10^4$	$5.4 \times 10^1$	$3.0 \times 10^3$	$> 2.6 \times 10^2$	$8.8 \times 10^0$
⑤床	$7.7 \times 10^3$	$7.2 \times 10^4$	$4.0 \times 10^1$	$1.8 \times 10^3$	$> 2.6 \times 10^2$	$9.2 \times 10^0$
⑥床	$5.1 \times 10^3$	$4.8 \times 10^4$	$6.4 \times 10^1$	$5.6 \times 10^3$	$> 2.6 \times 10^2$	$6.6 \times 10^0$
⑦壁	$2.9 \times 10^1$	$2.4 \times 10^2$	$1.1 \times 10^{-1}$	$1.7 \times 10^0$	$2.3 \times 10^2$	$< 8.3 \times 10^{-3}$
⑧壁	$6.5 \times 10^0$	$5.8 \times 10^1$	$7.6 \times 10^{-2}$	$6.0 \times 10^0$	$6.8 \times 10^1$	$4.8 \times 10^{-2}$
⑨壁	$2.7 \times 10^1$	$2.3 \times 10^2$	$1.5 \times 10^{-1}$	$8.5 \times 10^0$	$8.6 \times 10^1$	$2.6 \times 10^{-2}$

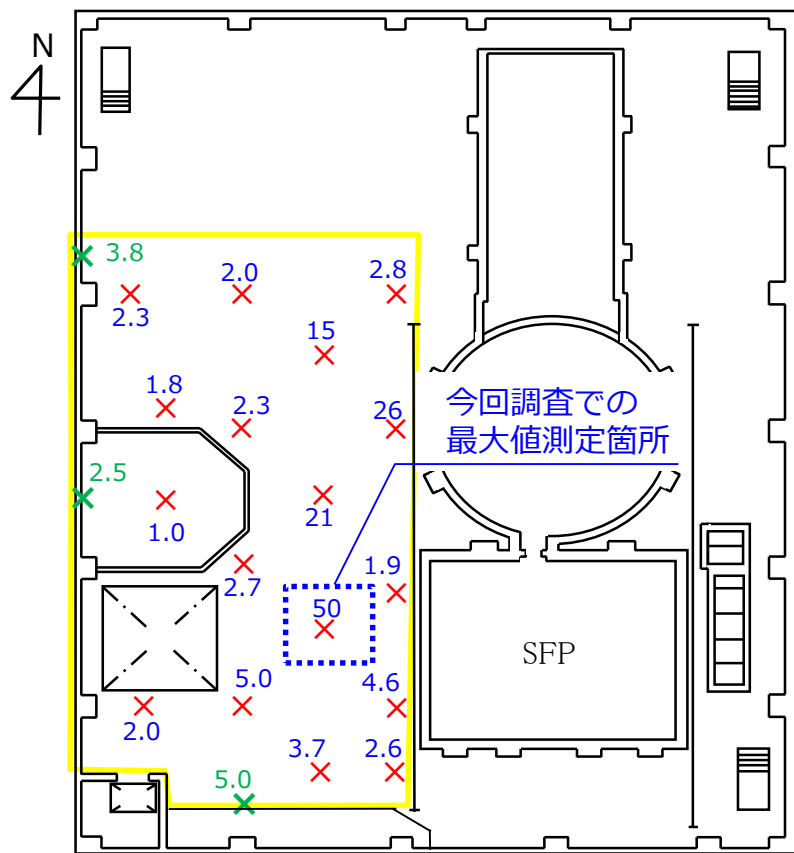


### ■ 表面線量率測定によるSr-90の有無の確認

$\gamma$ + $\beta$ 線線量率 (Cs等の $\gamma$ 線放出核種とSr-90等の $\beta$ 線放出核種による線量寄与) が、 $\gamma$ 線線量率に比べて高いため、Sr-90等のエネルギーの高い $\beta$ 核種が表面上に存在していると推定。

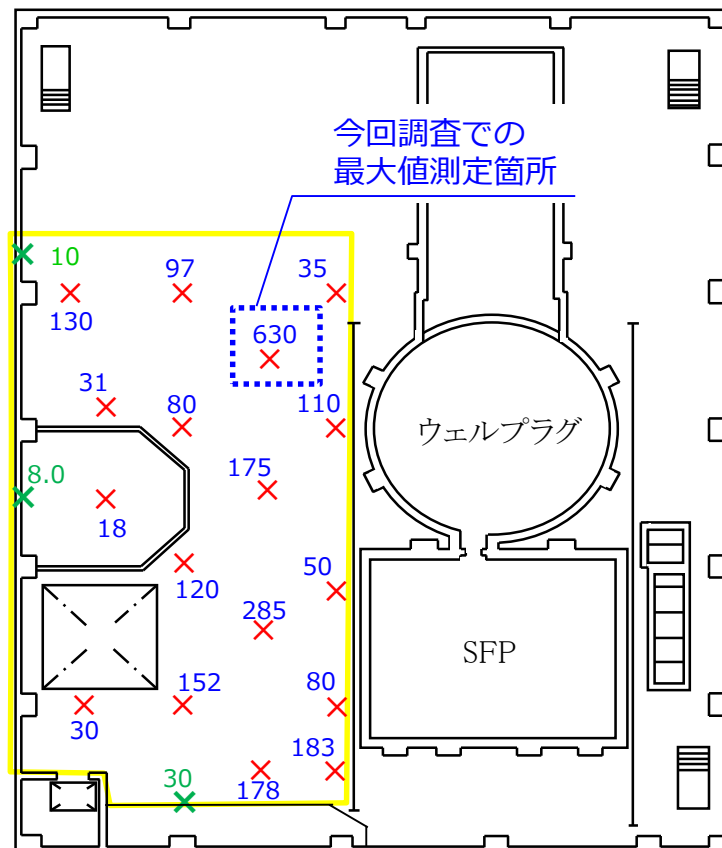
— 調査エリア × 測定箇所(緑:壁面) (mSv/h) 測定高さ: <1cm

【 $\gamma$ 線線量率<sup>※1</sup>】



※1 1cm線量当量率

【 $\gamma$ + $\beta$ 線線量率<sup>※2</sup>】

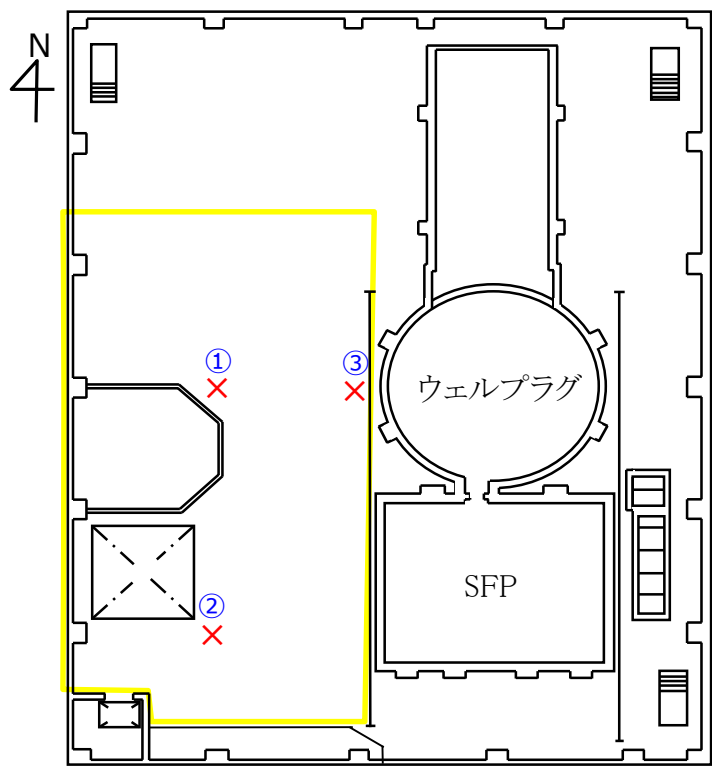


※2 70 $\mu$ m線量当量率: エネルギーの高い $\beta$ 線が存在すると

## ■ 空气中放射性物質濃度（ダスト測定）の測定結果

### 【測定箇所】

— 調査エリア × 測定箇所



### 【測定結果】

採取場所	空气中放射性物質濃度 (Bq/cm <sup>3</sup> )					
	ガンマ線放出核種			ベータ線放出核種	アルファ線放出核種	
	Cs-134	Cs-137	Sb-125	全β	全α	
①	静定時	$5.0 \times 10^{-6}$	$4.0 \times 10^{-5}$	$< 3.8 \times 10^{-6}$	$3.5 \times 10^{-5}$	$< 4.9 \times 10^{-7}$
	※1 動作時	$< 1.2 \times 10^{-6}$	$< 9.4 \times 10^{-7}$	$< 2.6 \times 10^{-6}$	$8.2 \times 10^{-5}$	$< 4.9 \times 10^{-7}$
②	静定時	$9.8 \times 10^{-6}$	$8.6 \times 10^{-5}$	$6.3 \times 10^{-6}$	$7.9 \times 10^{-5}$	$< 4.9 \times 10^{-7}$
	※1 動作時	$2.5 \times 10^{-5}$	$2.5 \times 10^{-4}$	$1.9 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-4}$	$< 4.9 \times 10^{-7}$
③ ※2	静定時	$1.0 \times 10^{-4}$	$9.3 \times 10^{-4}$	$1.1 \times 10^{-4}$	$9.2 \times 10^{-4}$	$< 4.9 \times 10^{-7}$

※1 ロボットが動いている際のダスト状況を比較するため、ダスト測定器の周りを動き回った「動作時」と静止している「静定時」を採取した。

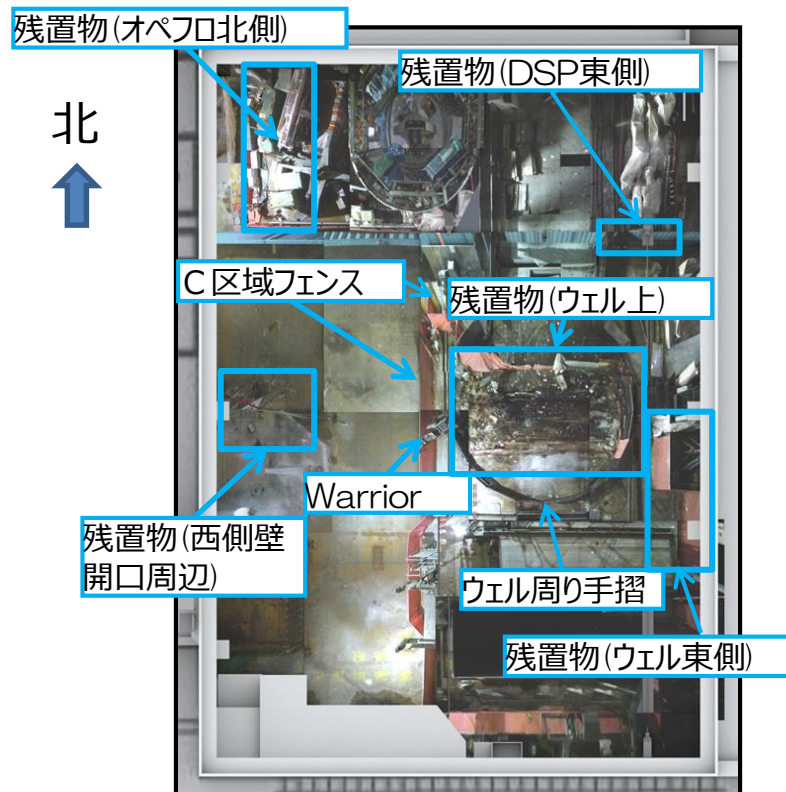
※2 ウェルプラグ上からのダスト影響を確認するため、③位置の「静定時」採取した。

- 今回測定したオペフロ内の空間線量率は、2012年度に測定した空間線量率より低下していた。また、オペフロ内の環境にて遠隔無人ロボットは問題なく調査活動を実施することができており、放射線による遠隔無人ロボットへの影響は見受けられなかった。
- 床・壁の表面汚染密度（スミア測定）を測定した結果、 $\alpha$ 核種が確認されたが、適切な装備を整えることで、作業員が過度な被ばくをすることなく前室内にて遠隔無人ロボットのメンテナンス作業が可能であることが確認できた。
- 以上のことから、オペフロ内の汚染状況は残置物移動・片付作業等の実施を妨げるものであり、今後も遠隔無人ロボットによる作業が可能であることから、「残置物移動・片付」及び「残置物移動・片付後調査」は予定通り実施中。
- 前室内作業（遠隔無人ロボット等に人が直接接触するような作業）において、これら汚染に関する情報を踏まえた放射線管理を徹底して実施中。

### 3-1. オペフロ内残置物移動・片付

#### 【目的】

- 「オペフロ内残置物移動・片付後調査」の支障となる資機材等の残置物の移動・片付を行う。
- 主な移動・片付対象物は以下の通り
  - ・ C区域フェンス
  - ・ ウェル周り手摺
  - ・ Warrior
  - ・ チャンネル着脱器
  - ・ ツールラック等



使用する遠隔無人重機・ロボット



**BROKK400D**  
主な役割  
・Warriorの移動  
・フェンスの切断・片付 等



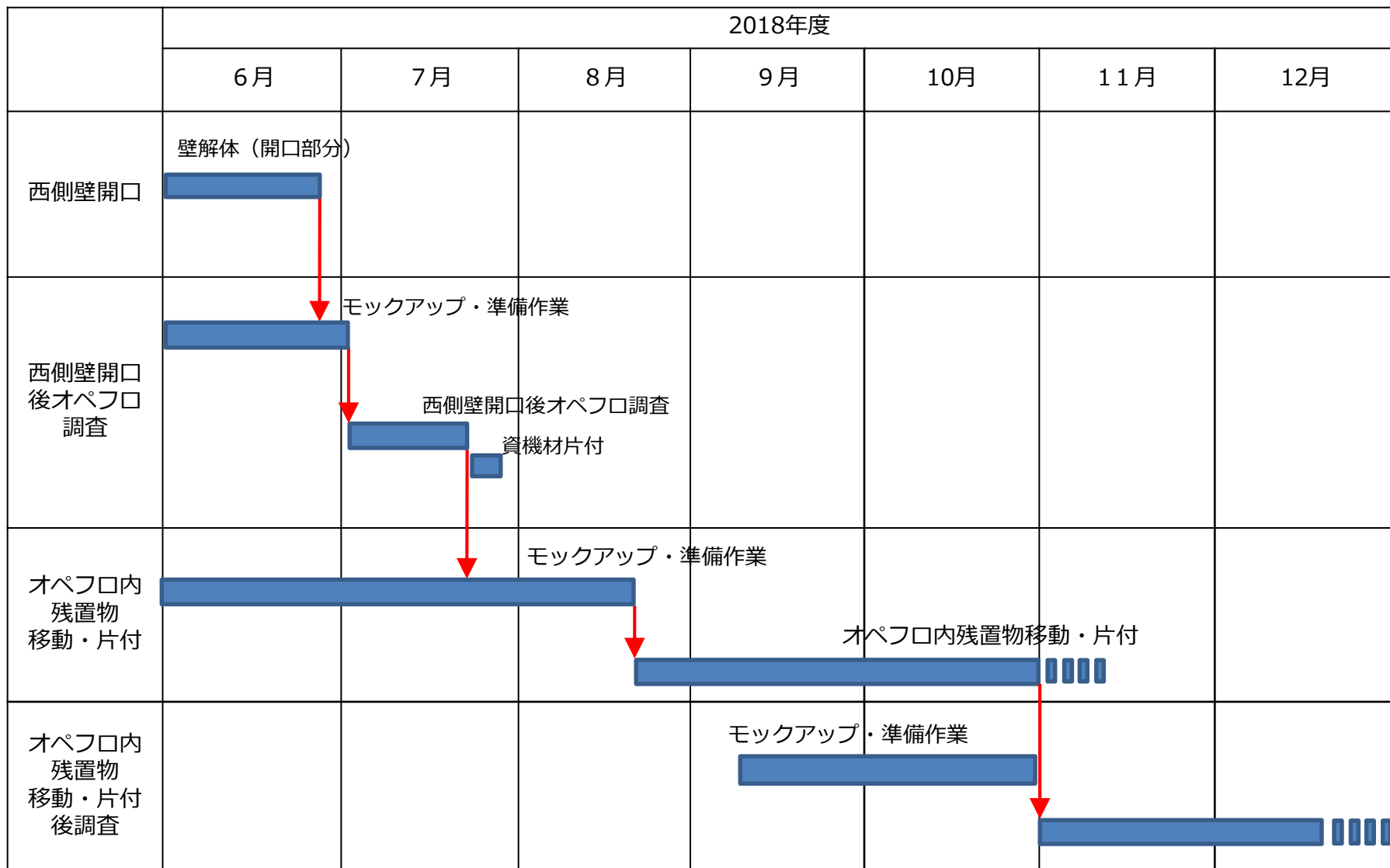
**BROKK100D**  
主な役割  
・残置物(小物)の片付  
・フェンスの切断・片付 等



**Kobra (左) Packbot (右)**  
主な役割  
・BROKKが作業する上で死角になる箇所へのカメラワーク (作業状況により導入)

### 3-2. 今後のオペフロ調査等の工程

8月23日よりオペフロ内残置物移動・片付け作業開始。





前室内 (2018.6.20)

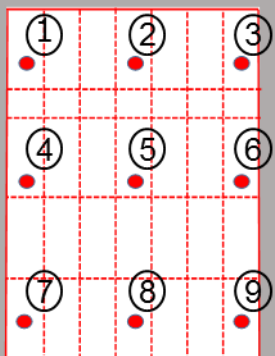


オペフロ内 (2018.7.9)

## 【参考2】調査用コアの表面汚染密度の測定結果（STEP2）

- 調査用コアを採取し、原子炉建屋の内壁側の汚染状況を確認。
- コア表面の汚染密度（スミア法）は、最大290Bq/cm<sup>2</sup>（原子炉建屋1階と同程度）。スミアのガンマ線核種分析を行った結果、Cs-134、Cs-137、Co-60、Sb-125が検出。なお、アルファ線放出核種も微量ながら検出。
- 今後、採取したコアの詳細分析を外部機関で実施予定。

採取 番号	表面汚染密度（Bq/cm <sup>2</sup> ）					
	ガンマ線放出核種				ベータ線 放出核種	アルファ線 放出核種
	Cs-134	Cs-137	Co-60	Sb-125		
1	1.9E+1	1.6E+2	4.2E-1	2.8E+1	2.9E+2	1.9E-1
2	<2.0E-1	3.6E-1	<2.2E-1	<4.7E-1	<2.1E+0	<1.7E-1
3	1.2E+1	1.1E+2	3.4E-1	2.5E+1	1.5E+2	<1.7E-1
4	4.8E+0	4.3E+1	<2.1E-1	1.1E+1	2.0E+1	<1.7E-1
5	1.7E+1	1.4E+2	<2.8E-1	1.9E+1	1.4E+1	<1.7E-1
6	3.6E+0	3.1E+1	<2.5E-1	3.2E+0	1.2E+2	<1.7E-1
7	8.6E-1	7.6E+0	<2.1E-1	<5.9E-1	1.6E+1	<1.7E-1
8	1.9E+0	1.7E+1	<2.2E-1	<1.1E+0	3.6E+1	<1.7E-1
9	<1.4E-1	<1.6E-1	<2.2E-1	<3.3E-1	<2.1E+0	<1.7E-1



コア採取箇所

## 【参考3】西側開口作業時のダスト測定結果

- 2018年4月16日から作業を開始し、前室外周4箇所でダスト濃度を測定中。作業日（24時間）のダスト濃度最大値は以下の通り。
- ダスト濃度最大値は、1,3号機のオペレーティングフロアで測定しているダスト濃度最大値と同等である。

単位：Bq/cm<sup>3</sup>

		2018 年 4 月						
日	15 (日)	16 (月)	17 (火)	18 (水)	19 (木)	20 (金)	21 (土)	
最大値	-	$6.3 \times 10^{-5}$	$4.6 \times 10^{-5}$	$5.7 \times 10^{-5}$	$6.2 \times 10^{-5}$	$4.6 \times 10^{-5}$	$7.4 \times 10^{-5}$	
日	22 (日)	23 (月)	24 (火)	25 (水)	26 (木)	27 (金)	28 (土)	
最大値	-	$4.6 \times 10^{-5}$	$4.9 \times 10^{-5}$	$4.7 \times 10^{-5}$	$6.3 \times 10^{-5}$	$6.3 \times 10^{-5}$	-	
		2018 年 5 月						
日	6 (日)	7 (月)	8 (火)	9 (水)	10 (木)	11 (金)	12 (土)	
最大値	-	$4.3 \times 10^{-5}$	$4.7 \times 10^{-5}$	$5.7 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-5}$	$4.6 \times 10^{-5}$	$5.6 \times 10^{-5}$	
日	13 (日)	14 (月)	15 (火)	16 (水)	17 (木)	18 (金)	19 (土)	
最大値	-	$5.3 \times 10^{-5}$	$6.3 \times 10^{-5}$	$4.6 \times 10^{-5}$	$7.4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{-5}$	$3.5 \times 10^{-5}$	
日	20 (日)	21 (月)	22 (火)	23 (水)	24 (木)	25 (金)	26 (土)	
最大値	-	$4.9 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{-5}$	$4.9 \times 10^{-5}$	$3.6 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$	$4.2 \times 10^{-5}$	
日	27 (日)	28 (月)	29 (火)	30 (水)	31 (木)			
最大値	$6.6 \times 10^{-5}$	$5.2 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$	$3.9 \times 10^{-5}$			
		2018 年 6 月						
日						1 (金)	2 (土)	
最大値						$3.8 \times 10^{-5}$	-	
日	3 (日)	4 (月)	5 (火)	6 (水)	7 (木)	8 (金)	9 (土)	
最大値	-	$3.1 \times 10^{-5}$	$7.2 \times 10^{-5}$	$5.6 \times 10^{-5}$	$5.6 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$	-	
日	10 (日)	11 (月)	12 (火)	13 (水)	14 (木)	15 (金)	16 (土)	
最大値	-	$4.7 \times 10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$3.7 \times 10^{-5}$	$4.1 \times 10^{-5}$	$4.2 \times 10^{-5}$	$5.3 \times 10^{-5}$	
日	17 (日)	18 (月)	19 (火)	20 (水)	21 (木)	22 (金)	23 (土)	
最大値	-	$6.0 \times 10^{-5}$	$7.0 \times 10^{-5}$	$4.8 \times 10^{-5}$	$4.0 \times 10^{-5}$	$4.7 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-5}$	

※ 「-」は作業を実施していない日を示す。4月28日～5月6日は作業なし。



# 【参考4】西側外壁開口工事（STEP 3, 4, 6）の作業状況

## ■ 解体用コア抜き工事状況は以下のとおり



解体用コア削孔（STEP3）

2018/4/24撮影



壁目地切り（STEP4）

2018/5/14撮影



壁解体(STEP6)

2018/5/28撮影

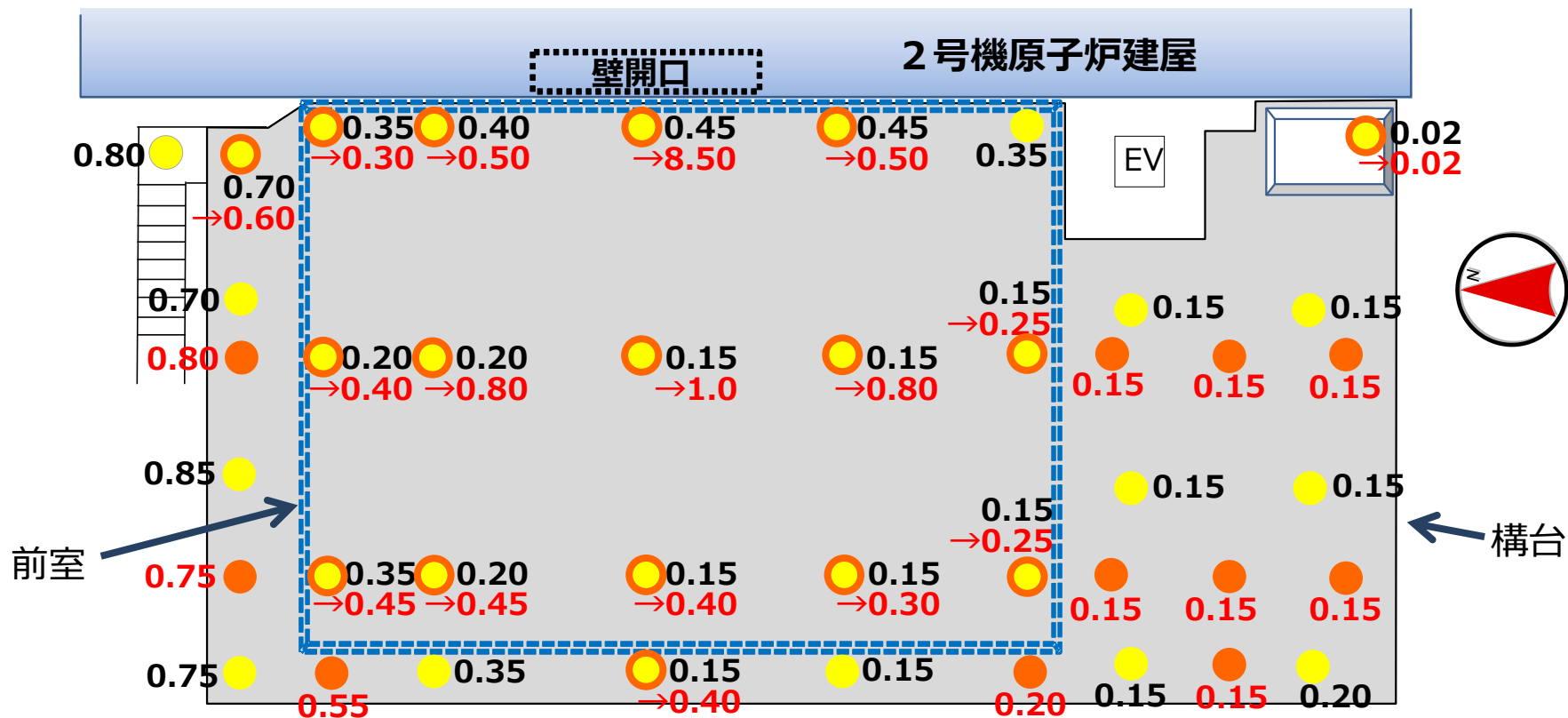


壁解体（STEP6）

2018/5/28撮影

## 【参考5】 西側開口作業前後の放射線量変化状況（1/2）

- これまでの構台上の空間線量は以下の通り。
- 特に壁直近において線量が上昇しているが、事前の線量評価通りの水準である。



● **黒字** 2018年3月23日（開口設置前）  
 ● **赤字** 2018年6月21日（開口設置後）

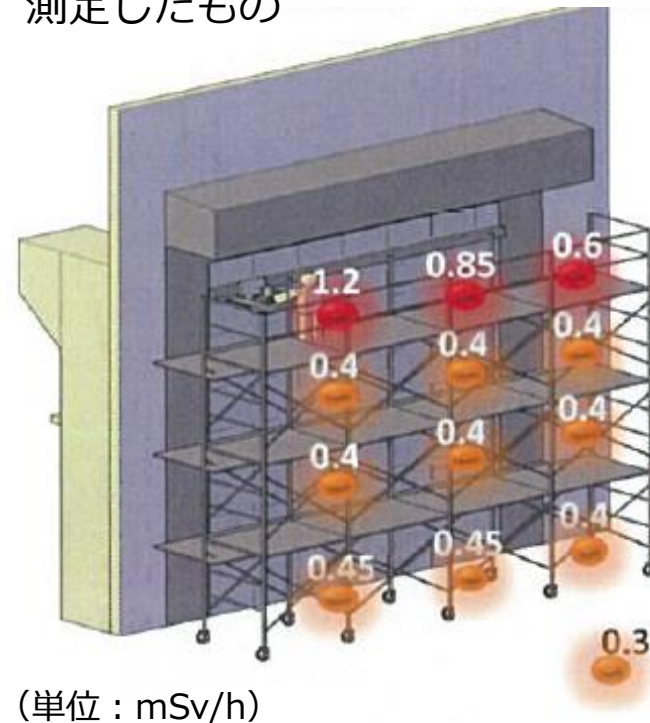
（単位：mSv/h 測定高さ：1 m）

6	2	1	3	4	5	7
			● <b>11.5mSv/h</b> 床上約6m 5月29日測定			
29						
12	9	8	10	11	13	14
			● <b>13.7mSv/h</b> 床上約3.5m 5月31日測定			
17	16	15	18	19	20	21
			● <b>9.0mSv/h</b> 床上約2m 6月5日測定			
24	23	22	25	26	27	28
	● <b>9.0mSv/h</b>		● <b>9.0mSv/h</b> 床上約1m 6月8日測定			
床上約1m 6月7日測定						

・測定位置（水平位置）：R/Bと前室の境界  
 ※測定はいずれも解体完了後の開口が開いた状態での測定

### 開口作業開始前の線量

足場上での作業を実施するために測定したもの



測定日：2018年5月12日  
 壁からの距離：約50cm

# 【参考7】過去のオペフロ内調査（線量率）

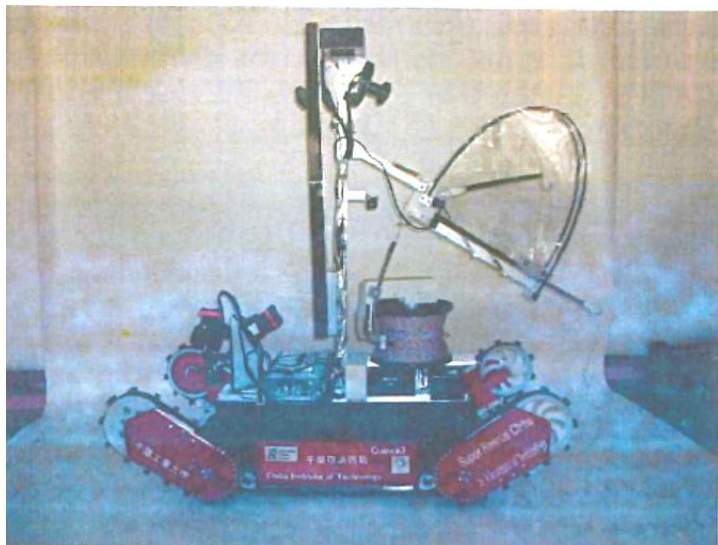
測定方法：遠隔自走調査ロボット

測定器：DOSEi-γ

測定高さ：約1m

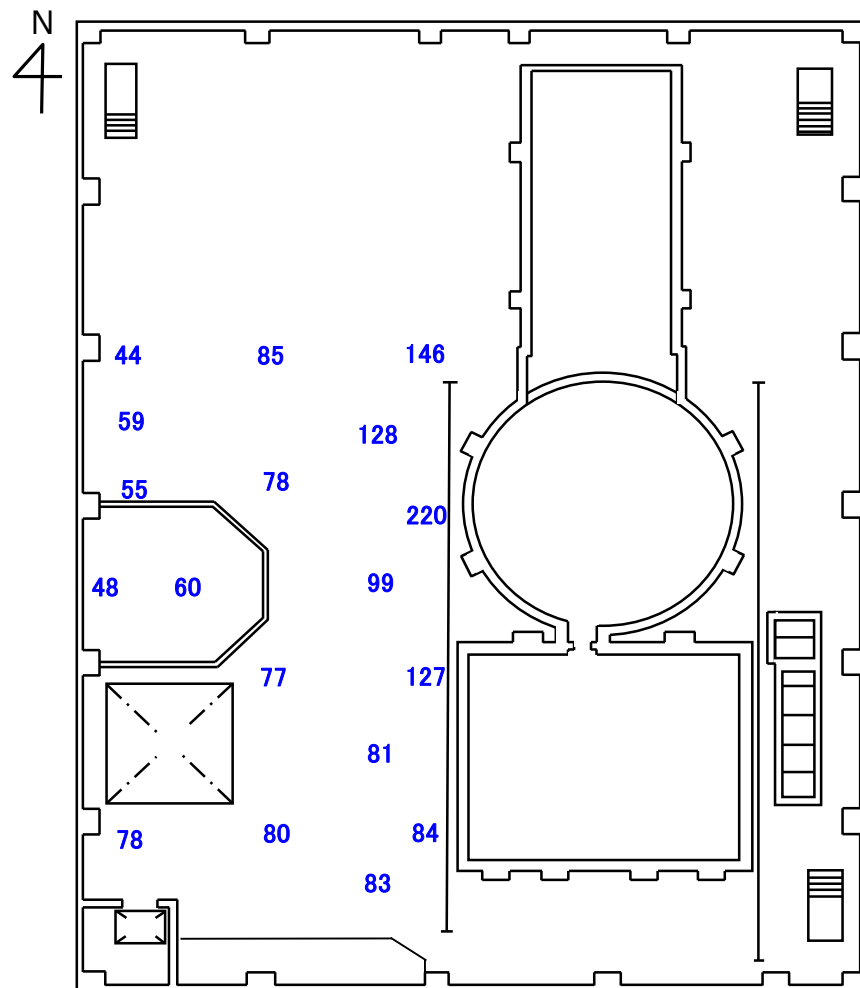
測定日：2012年2月27日までの測定

単位：mSv/h



遠隔自走調査ロボット（クインス）

※今回調査した空間線量率と比較しやすいよう、  
今回の調査範囲外データを削除しております。



5階平面図

主な放射線として、 $\alpha$ 線（アルファ線）、 $\beta$ 線（ベータ線）、 $\gamma$ 線（ガンマ線）等がある。放射線には、物質を通り抜ける性質があり（透過性）、その透過力の強弱は、放射線の種類によって異なる。

### $\alpha$ 線

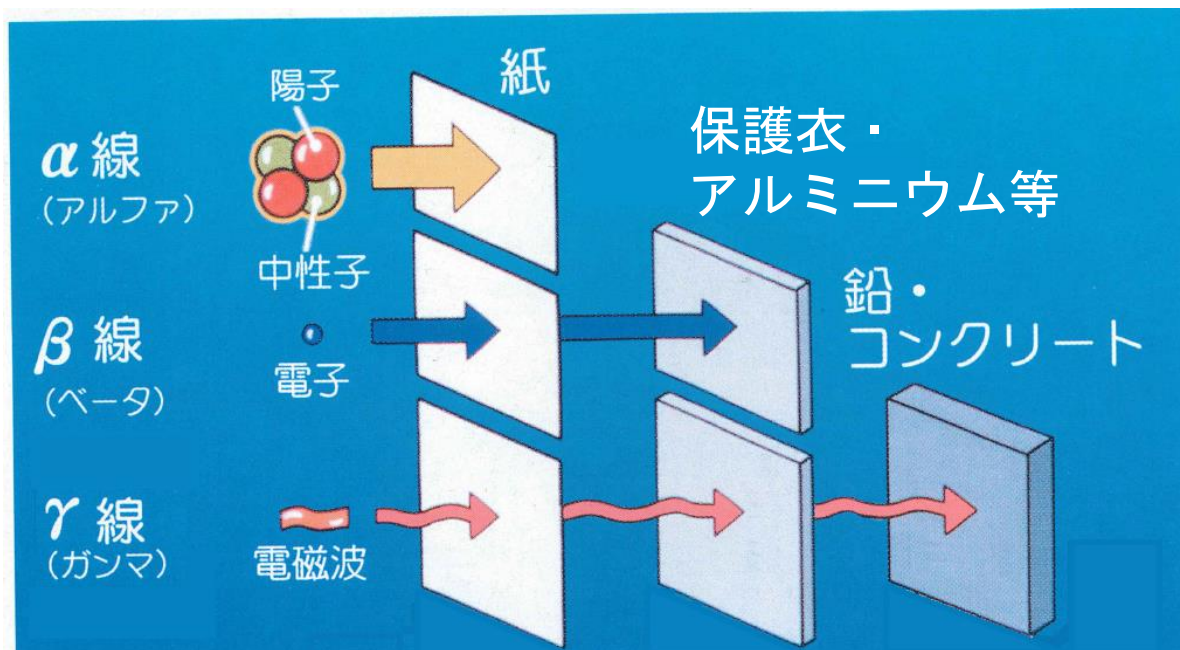
透過力が非常に小さく、紙1枚で吸収される

### $\beta$ 線

透過力が小さく、空気や保護衣などにほとんど吸収される

### $\gamma$ 線

透過力が大きく、作業員被ばくを考慮する上で放射線管理の中心となる放射線



以下に示すとおり、空間線量率は線量管理に役立てるために測定する。また、表面汚染密度及び表面線量率は汚染管理に役立てるために測定する。

### 線量管理

【測定項目】  
空間線量率  
(mSv/h)

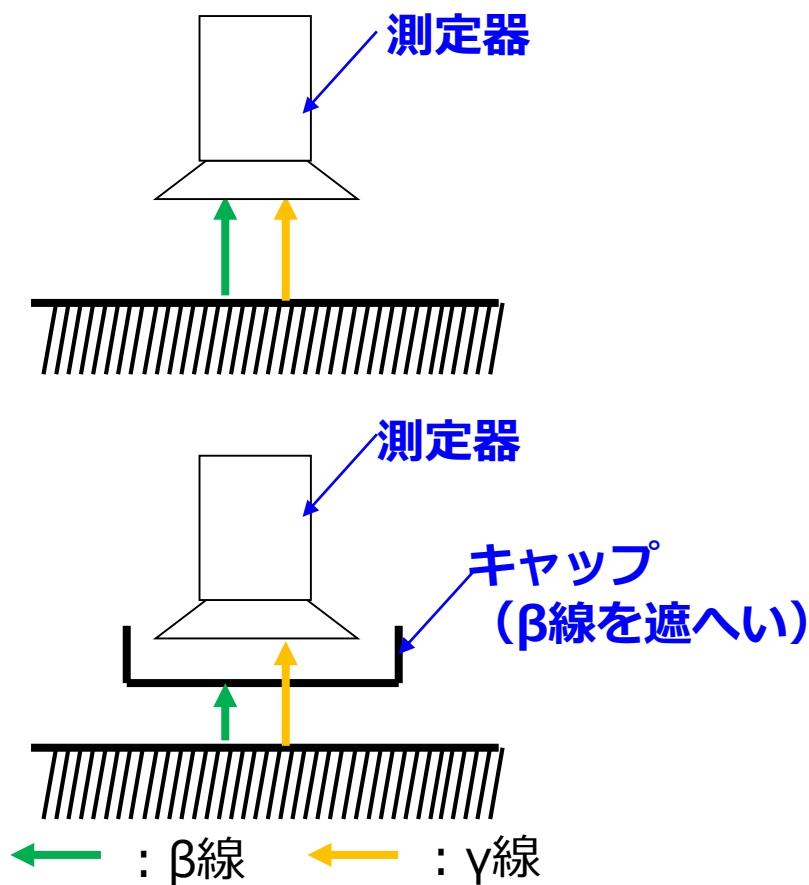
作業員が受ける被ばく量は、 $\gamma$ 線の線量率を用いて評価する。このため、作業員の胸元高さでの $\gamma$ 線線量率を測定し、作業員がその場所で作業できるかを判断する。

### 汚染管理

【測定項目】  
表面汚染密度  
(Bq/cm<sup>2</sup>)  
表面線量率  
(mSv/h)

作業員の内部被ばく防止や汚染の持出抑制等を確実にするために、作業環境の汚染状況（ $\alpha$ 線/ $\beta$ 線/ $\gamma$ 線を放出する核種）を事前に把握したうえで、汚染管理の方法を判断する。

- β線線量率のみを測定する測定器がないため、 $(\gamma + \beta \text{線線量率}) - (\gamma \text{線線量率})$ によりβ線線量率を測定する。
- 以下において、①が②より高い場合、β線放出核種が測定箇所が存在している。



- ①  $\gamma + \beta$ 線線量率  
✓ β線とγ線の線量率を測定

- ② γ線線量率  
✓ γ線の線量率のみを測定  
✓ β線は測定器にキャップを取付けることで遮へい

○遠隔重機・ロボットが転倒した際は以下の対応を行う。

- アウトリガーやアームアタッチメントでフロアを押付け自力で車体を起こす。（転倒時共通）
- 自力で起き上がることが出来なかった場合、BROKK400Dで、アーム又は吊上げ環を把持し、車体を引き起こす。（BROKK100D、Packbot、Kobra転倒時）
- 遠隔無人バックホーで、アーム又は吊上げ環を把持し、車体を引き起こす。（BROKK400D転倒時）

※尚、駆動部不具合等により自走が困難な場合は、遠隔無人バックホーで牽引し前室内に戻す。



遠隔無人バックホーイメージ写真

○遠隔無人バックホーについて

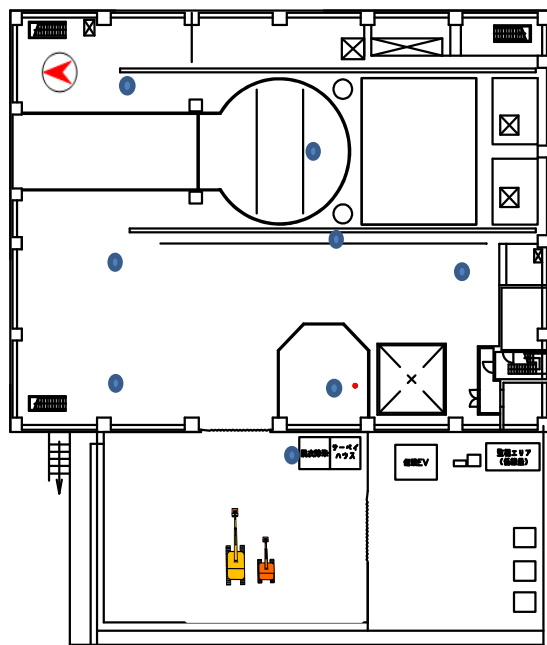
- 現在は構外に仮置中。※動作確認済。
- M/Uにて引き起こし、牽引可能を確認済み。
- 現場導入時は救出前に通信確認を実施する。
- 救出開始までに1週間程度必要。



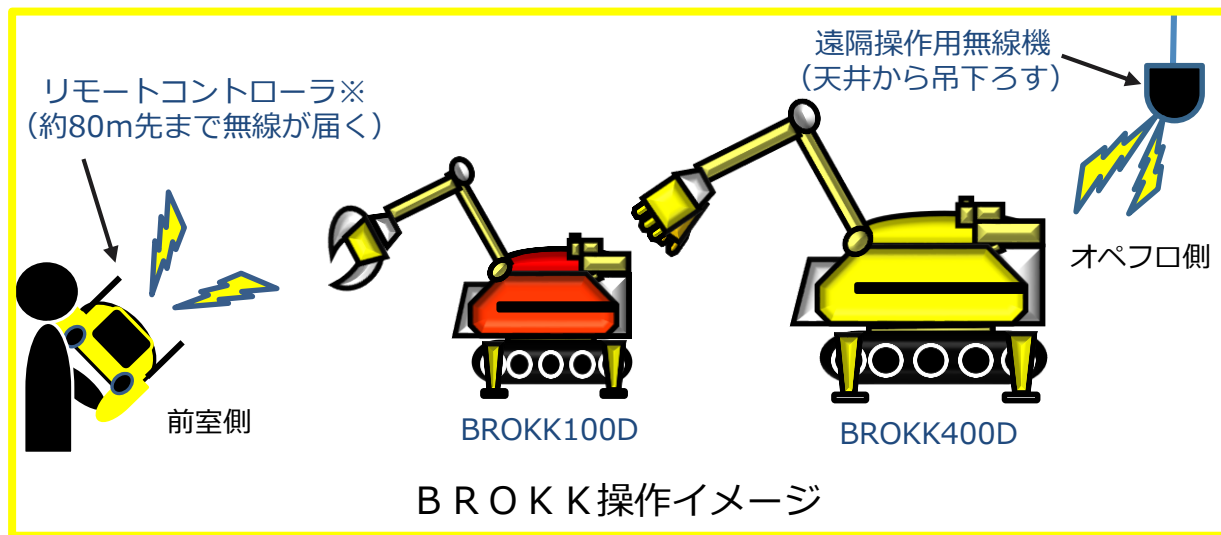
M/Uの状況



- オペフロ内でのBROKK操作方法は、R/B屋上から吊下ろした無線機（別作業で開けた開口を利用し吊下ろしている）によって遠隔で行っている。
- 20日から22日にかけて前室内、オペフロ内にて以下の確認、調整を行った。
  - ・ BROKK100D、400Dの単体通信確認
  - ・ BROKK100D、400Dの同時通信確認
  - ・ BROKK100D、400D、Packbot、Kobraの同時通信確認
  - ・ 無線機の位置、向き、周波数、電波強さ等の調整
- 通信に異常ないことを確認し、23日より残置物移動・片付作業を開始した。



●: 無線機吊下ろし位置  
(100D,400D用各1個)



※前室内での動作、アタッチメント交換の際はリモートコントローラ（有人）を使用する。また、オペフロ側の通信に異常が発生した際の救出手段としても用いる。