

# 東京電力福島第一原子力発電所事故の 調査・分析に係る中間取りまとめのうち、 シールドプラグ汚染状況 について

2021年9月9日

原子力規制委員会原子力規制庁  
東京電力福島第一原子力発電所事故対策室

## 1. 『中間取りまとめ』の検討の経緯

東京電力福島第一原子力発電所事故に関しては、国会に設置された東京電力福島原子力発電所事故調査委員会の報告書で未説明問題として規制機関に対し実証的な調査が求められた事項を対象に、原子力規制委員会が検討を進め、2014年10月にその見解を報告書に取りまとめた。

その後、東京電力ホールディングス株式会社（以下「東京電力」という。）福島第一原子力発電所の現場の環境改善や廃炉作業の進捗により、原子炉建屋内部等へのアクセス性が向上し、施設の状態確認や試料の採取が可能な範囲が増えていることを踏まえ、2019年9月11日の原子力規制委員会において、追加的な調査・分析に取り組む方針が了承された。これを受けて、原子力規制委員会に置かれた東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会（以下「事故分析検討会」という。）において、現地調査の結果や東京電力福島第一原子力発電所事故時の記録等を用いた検討を行ってきた。

2021年3月5日に技術的な内容の具体的検討を行った結果等を、事故分析検討会として取りまとめた（以下「中間取りまとめ」という。）。

## 2. 『中間取りまとめ』の位置付け

本中間取りまとめは、東京電力福島第一原子力発電所事故に関して、これまでに十分に知見が得られていない事項の全てを対象として網羅的に検討を行ったものではなく、2019～2020年に原子力規制庁が行った調査・分析に基づいて検討を行った結果を、その時点での理解・認識として記述している。

東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析については、原子力規制庁において、引き続き調査・分析を継続する。

# 東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間取りまとめ

～2019年9月から2021年3月までの検討～

2021年3月5日

東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会

## 第1章 原子炉格納容器からの放射性物質等の放出又は漏えい経路・箇所に関する検討

1. 1～4号機SGTS配管系の汚染状況とその形成メカニズム
2. 1～3号機オペレーティングフロア及びシールドプラグ付近の放射線量と2, 3号機シールドプラグ下面における大量のセシウムの存在

## 第2章 原子炉建屋における水素爆発の詳細分析

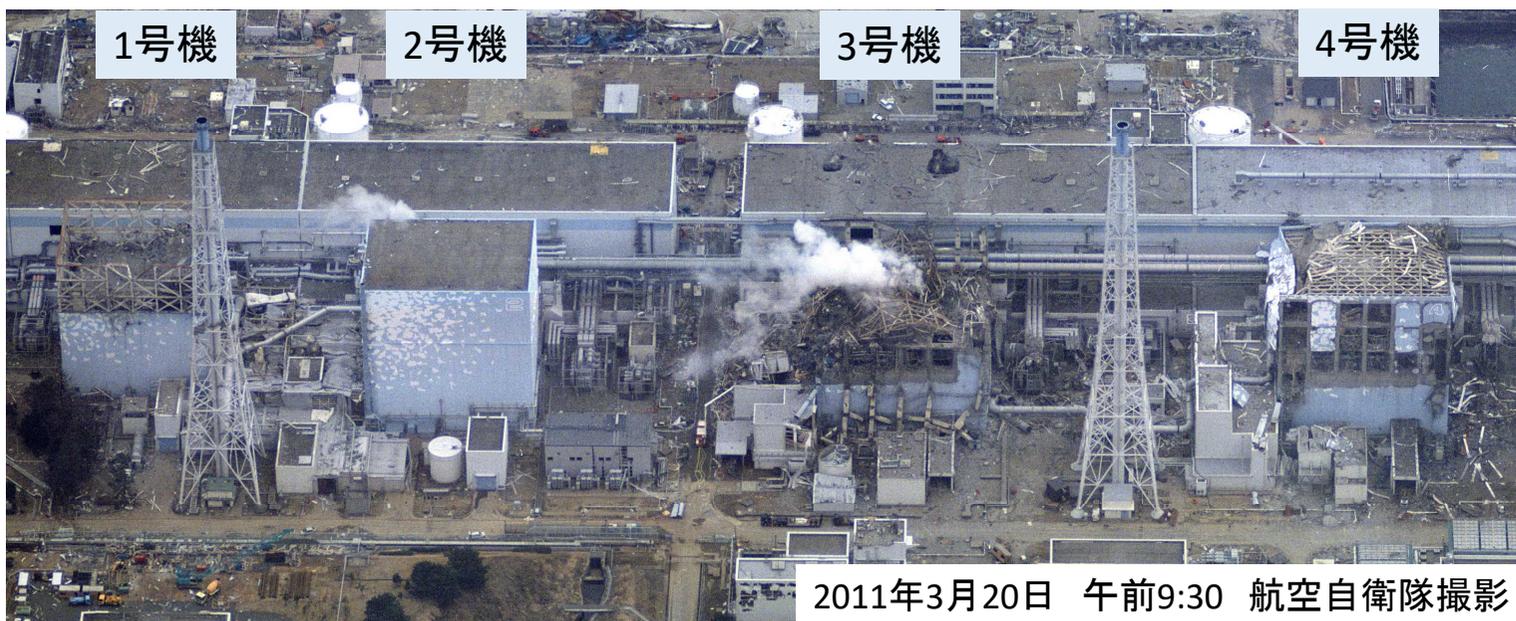
1. 3号機の水素爆発の詳細な状況

## 第3章 原子炉冷却のために機能すべき機器の動作状況に関する検討

1. 津波襲来から3号機のベント時点までの原子炉圧力容器の圧力挙動からみた機器の状況
2. 3号機のベント以降の原子炉格納容器内の圧力変動からみた機器の状況

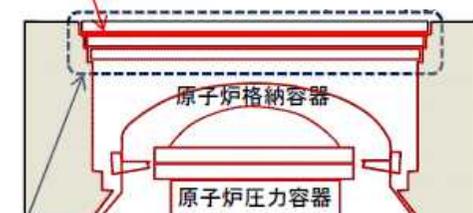
背景:これまで規制庁では、1F施設構内における放射線源に関する調査を実施してきた。その中で、1-3号機に共通する高い放射線源として、各原子炉建屋5階オペレーティングフロアの原子炉格納容器上部に設置されているシールドプラグがある。これは水素爆発の有無に関わらず、線量は高く、高レベルの汚染がシールドプラグ裏面に存在しうると推測される。

以下に、各号機の汚染状況を整理した。各号機は、水素爆発の影響の有無、原子炉建屋の損壊状況がそれぞれ異なるため、使用できる検出器も周辺の線量率や空間等の環境に合わせて選択している。



線源と考えられる高密度汚染箇所

各号機共通

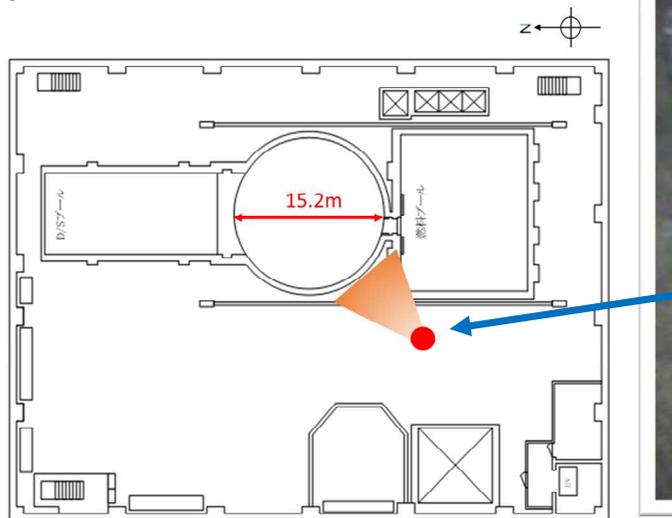


シールドプラグ  
(60cm厚鉄筋コンクリートを三枚重ねている。各層直径約11.3~11.8m、三分割のプラグで構成)

## 2号機シールドプラグにおける汚染状況

# ○2号機原子炉建屋5階オペレーティング フロアの調査

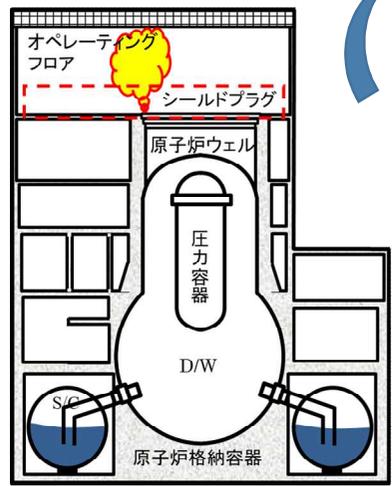
原子力規制庁及び東京電力  
において、2号機原子炉建屋  
5階の汚染状況の調査（汚染  
密度測定・線量率遠隔測定）  
を実施。（2020年1月30日）



5階（平面図）



2018.11.6東京電力ホールディングス株式会社撮影



原子炉建屋  
（断面図）

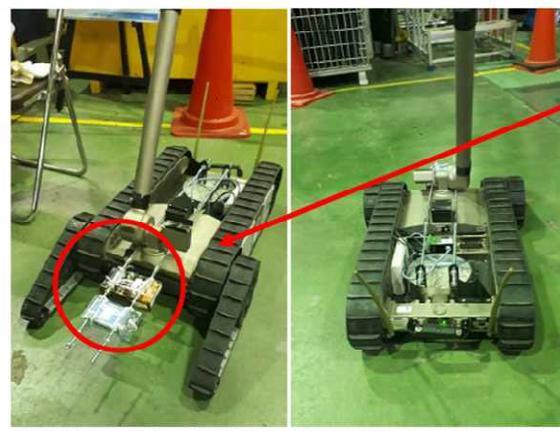
原子力規制庁の測定機器（ガンマカメラ）  
を用いた汚染密度測定



ピンホール型ガンマカメラ  
日立製（HDG-E1500）

Cs-137の放射線エネ  
ルギー（0.662MeV）  
を測定

東京電力所有の調査ロボットを用いた遠隔測定



γ線検出器  
散乱してエネルギー  
が低くなったγ線を捉  
える機能を持つ

東京電力より提供

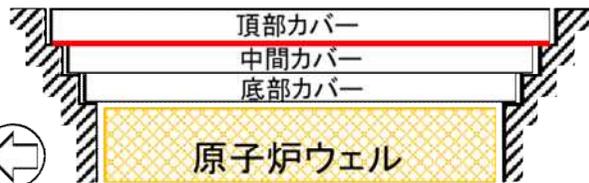
## ○2号機シールドプラグの汚染状況

ガンマカメラ及び線量率測定等からシールドプラグの頂部カバーの下面に大量の放射性物質が存在する可能性。



ガンマカメラ  
画像を処理

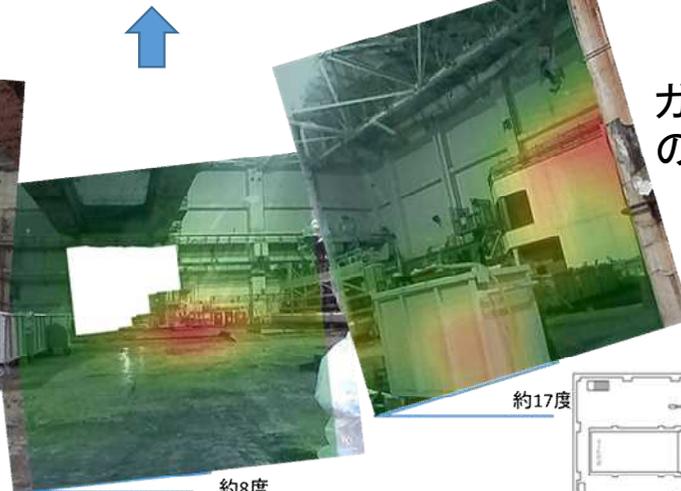
↑  
ガンマカメラ  
の画像



シールドプラグ  
(断面構造)



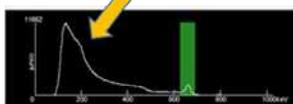
約4度



約17度

約8度

散乱線が支配的



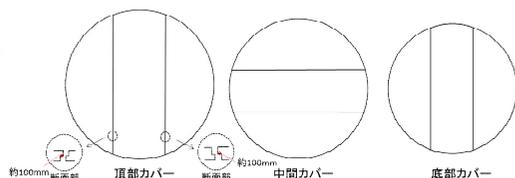
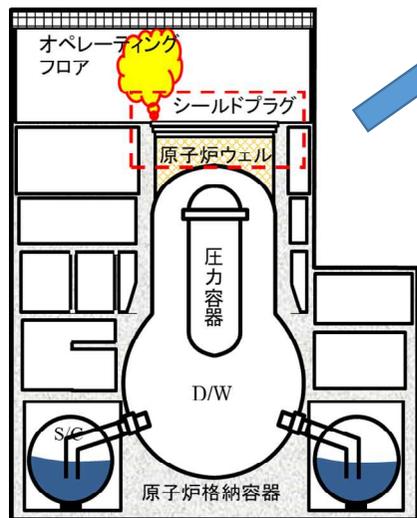
セシウム137 直接線



視野 約135度

令和2年1月30日原子力規制庁撮影、一部加工

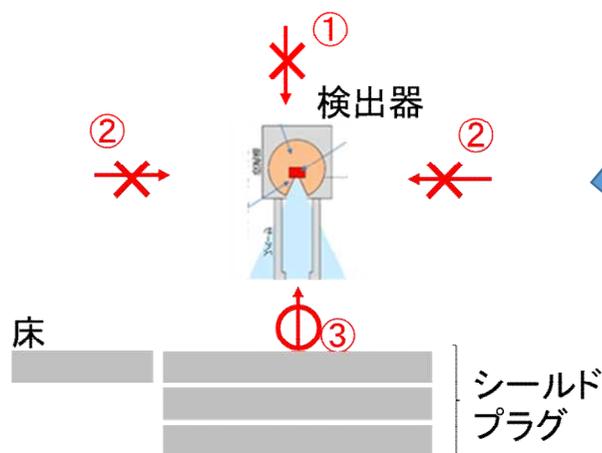
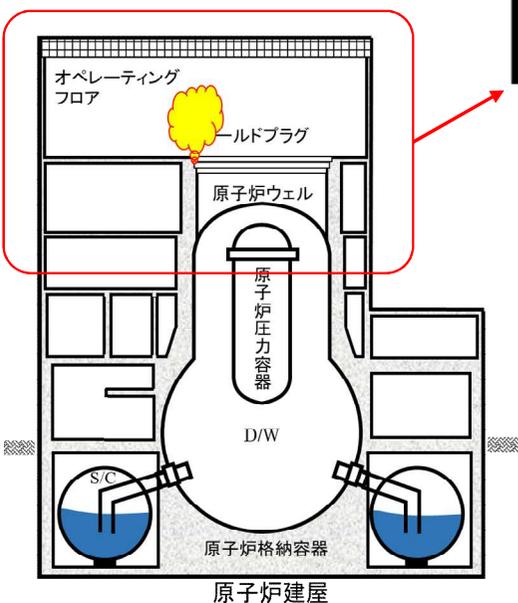
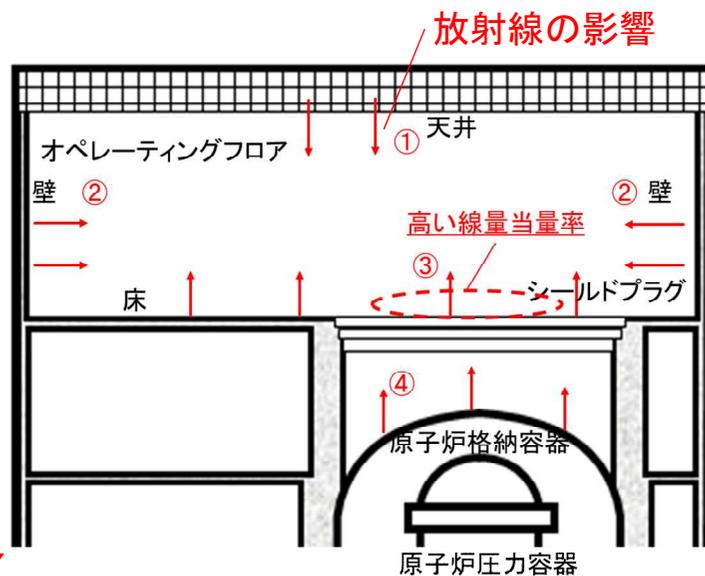
図 ガンマカメラ測定 (2号機原子炉建屋5階オペフロ)



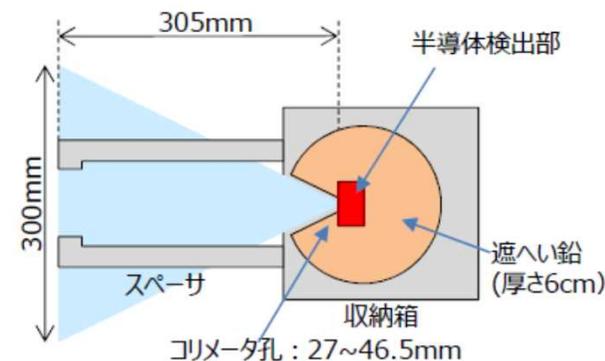
シールドプラグ  
(平面構造)

## ○計測器の概要

2号機原子炉建屋5階のオペレーティングフロアは、天井、壁、床からの放射線の影響が大きい。



### ■ γ線線量率(1cm線量当量率)



計測器の構造(γ線線量率測定)

第1図 2号機オペフロの表面γ線線量当量率測定に使用された線量計<sup>1)</sup>

**遮へい鉛付きの検出器を用いることで、遠方の強力な線源をさげ、かつ限定した範囲を測定可能**

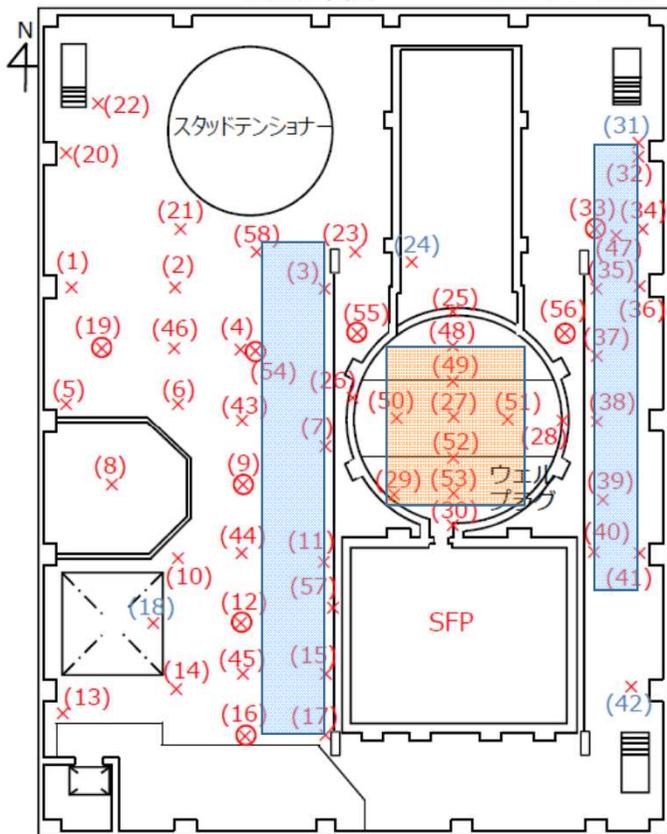
#### 参考文献

- 1) 東京電力ホールディングス株式会社、“2号機原子炉建屋オペフロの放射線等調査結果について～残置物移動・片付後～”、2019年2月28日、特定原子力施設監視・評価検討会(第71回)資料2.  
<https://www.nsr.go.jp/data/000270450.pdf>

# ○測定結果

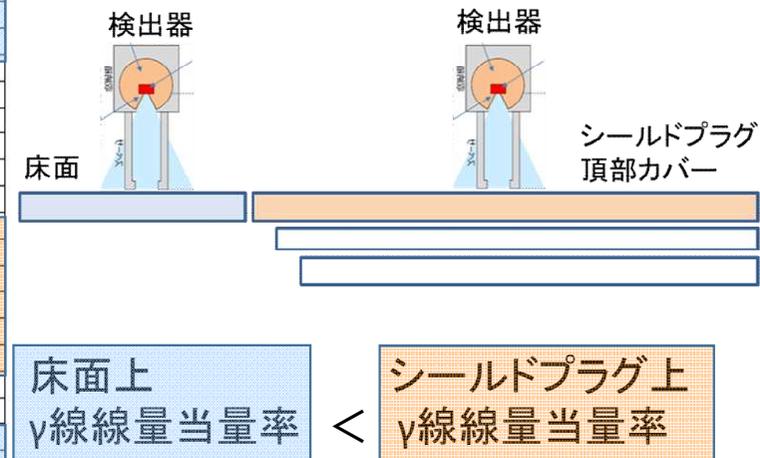
## ■ 表面線量率 (γ線線量率※1) (β+γ線線量率※2) の測定結果

×:測定箇所 ⊗:ファンネル部



測定箇所	γ <sup>*1</sup>	β+γ <sup>*2</sup>	備考	測定箇所	γ <sup>*1</sup>	β+γ <sup>*2</sup>	備考
(1)	0.2	40		(31)	1.0	73	
(2)	0.2	17		(32)	3.9	343	
(3)	0.3	57		(33)	4.5	156	ファンネル部
(4)	0.2	86		(34)	3.2	102	
(5)	0.4	79		(35)	0.6	58	
(6)	0.3	74		(36)	0.6	106	
(7)	1.9	46		(37)	2.3	133	
(8)	0.1	18		(38)	5.2	302	
(9)	1.8	306	ファンネル部	(39)	0.3	42	
(10)	0.5	74		(40)	1.1	98	
(11)	0.3	58		(41)	2.2	105	
(12)	3.6	312	ファンネル部	(42)	0.5	42	
(13)	0.5	62		(43)	0.5	130	
(14)	0.6	135		(44)	0.2	45	
(15)	0.3	77		(45)	0.2	62	
(16)	0.4	24	ファンネル部	(46)	0.1	68	
(17)	0.9	11		(47)	1.5	204	
(18)	1.0	45		(48)	12	930	
(19)	1.9	126	ファンネル部	(49)	13	3060	隙間部
(20)	0.3	40		(50)	7.1	1220	
(21)	0.3	184		(51)	8.0	247	
(22)	0.3	74		(52)	15	2720	隙間部
(23)	1.8	139		(53)	5.0	508	
(24)	2.5	165		(54)	6.0	769	ファンネル部
(25)	6.4	645	隙間部	(55)	3.0	281	ファンネル部
(26)	8.0	1030	隙間部	(56)	8.6	503	ファンネル部
(27)	12	1410		(57)	1.1	79	
(28)	1.0	317	隙間部	(58)	0.6	173	
(29)	2.0	926					
(30)	3.7	625	隙間部				

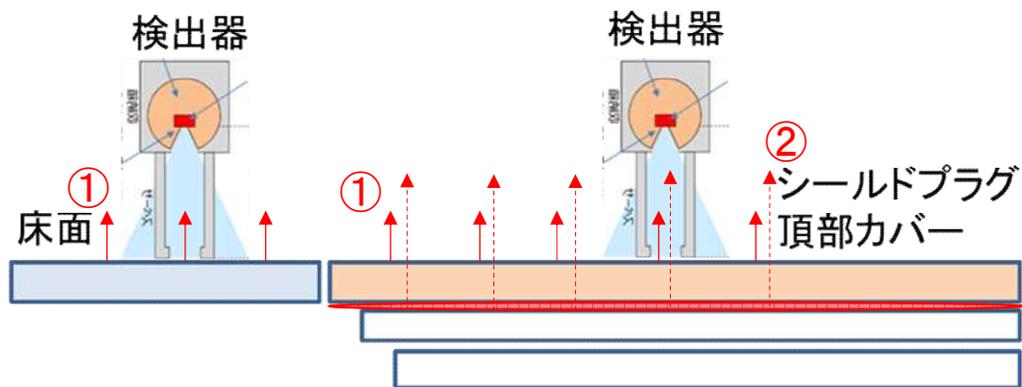
床からの距離を一定として測定



※1: 1cm線量当量率、床上@30.5cmコリメート付線量計で測定  
 ※2: 70μm線量当量率、床上@0.5cmコリメート付線量計で測定  
 注: 青字は既設機器との干渉により測定箇所から離れて測定した箇所

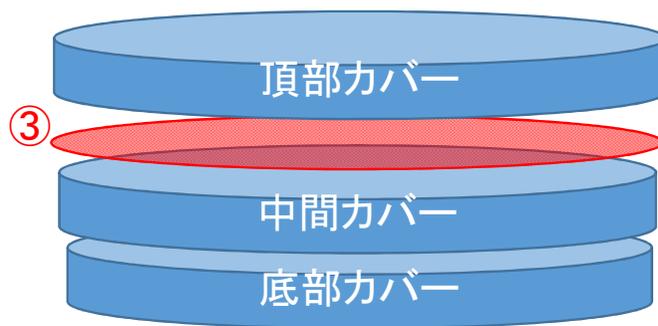
東電による表面γ線線量当量率の測定結果

## ○測定結果からの推計



① シールドプラグ以外の場所の床面測定結果(0.1～数mSv/h)から、床面表面からの寄与を1 mSv/hと仮定。

② シールドプラグ頂部カバーと中間カバー隙間の汚染(線源)からの寄与は、6～11 mSv/hとなり、その汚染密度(Bq/cm<sup>2</sup>)を推定。

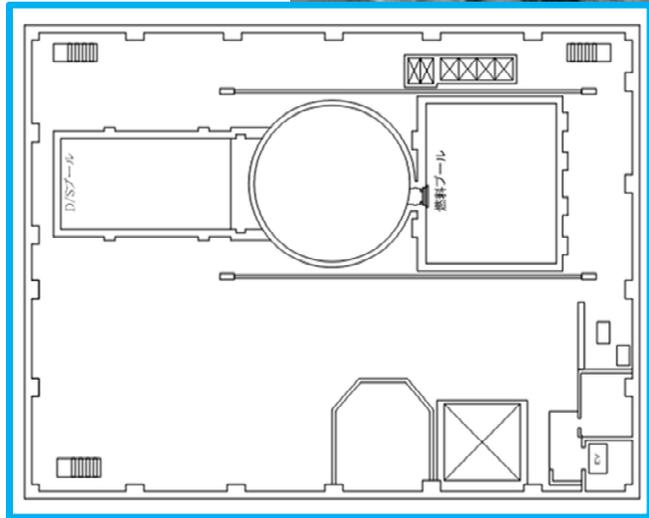
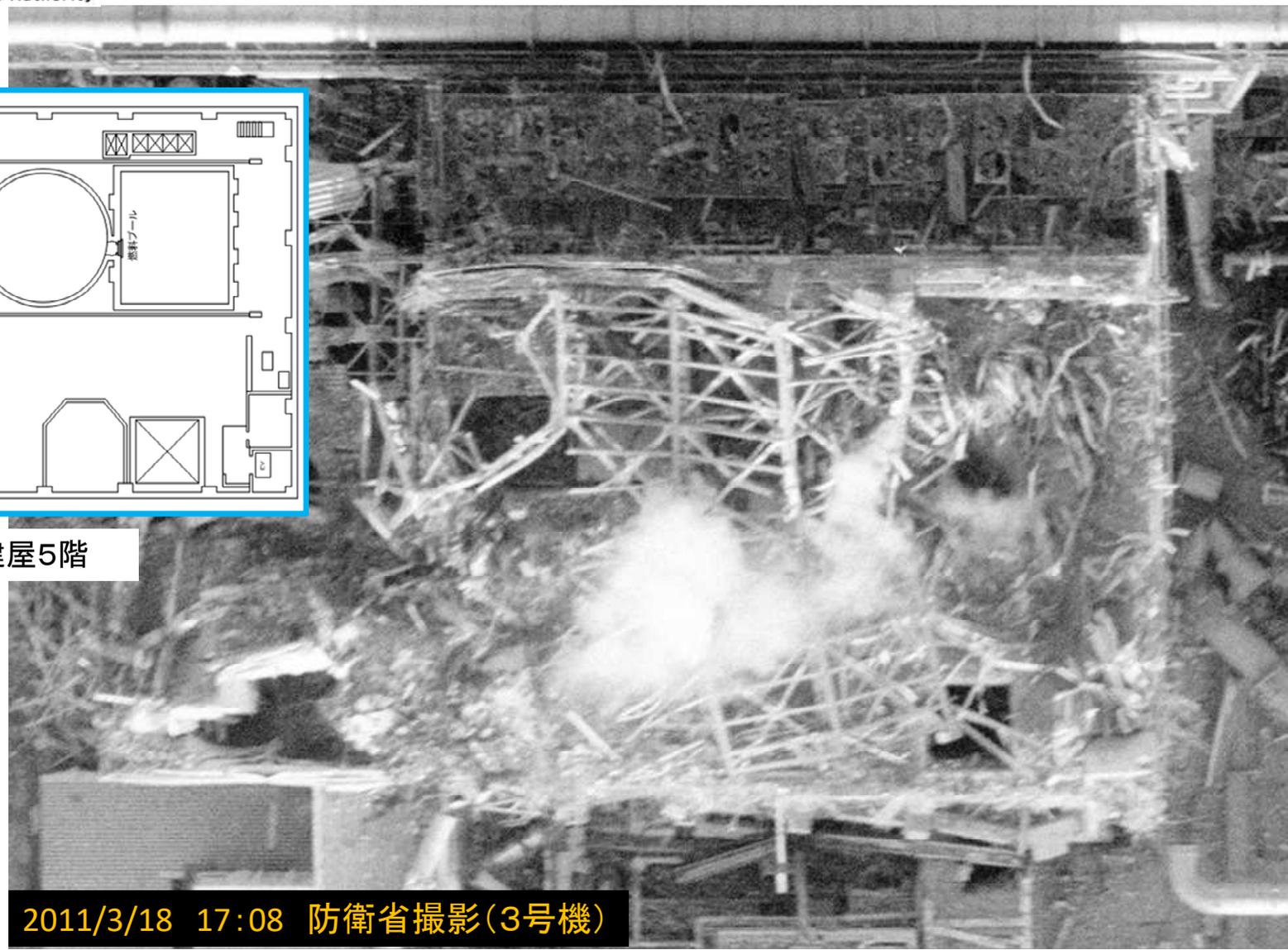
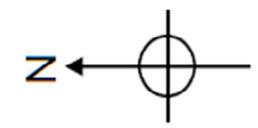


シールドプラグ(60cm厚)

③ Cs137の汚染密度が一様な面線源を想定

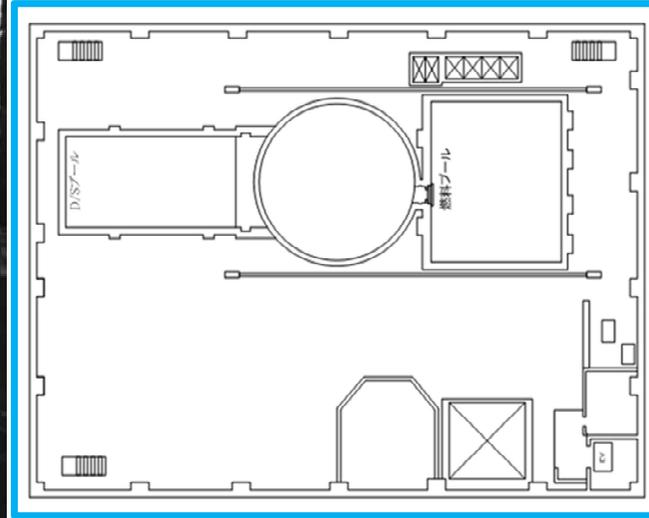
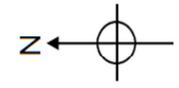
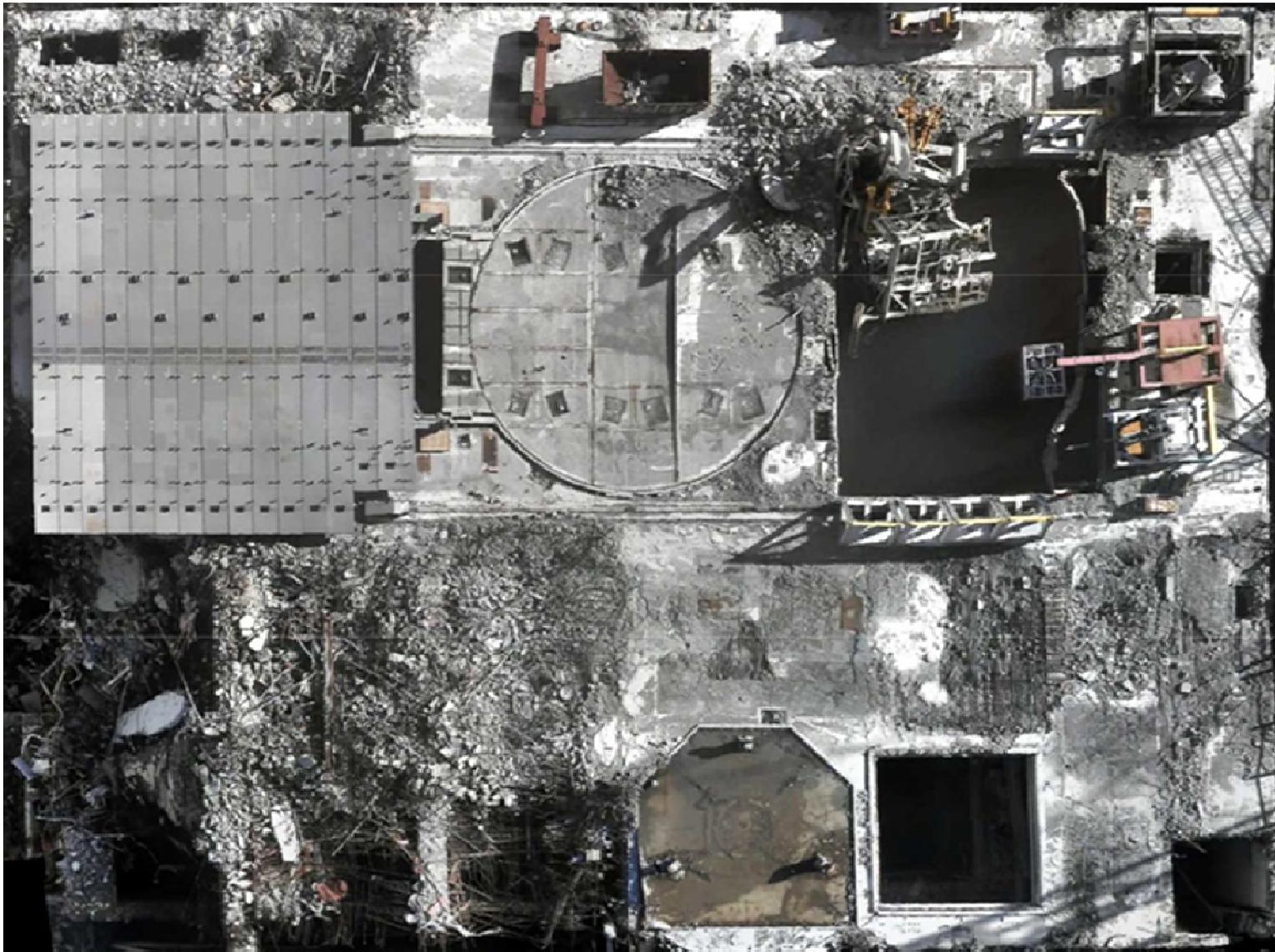
半径6 m のシールドプラグの隙間全体に、平均の密度で一様にCs-137があるとすると、総量で20～40 PBqとなる。

## 3号機シールドプラグにおける汚染状況



3号機原子炉建屋5階

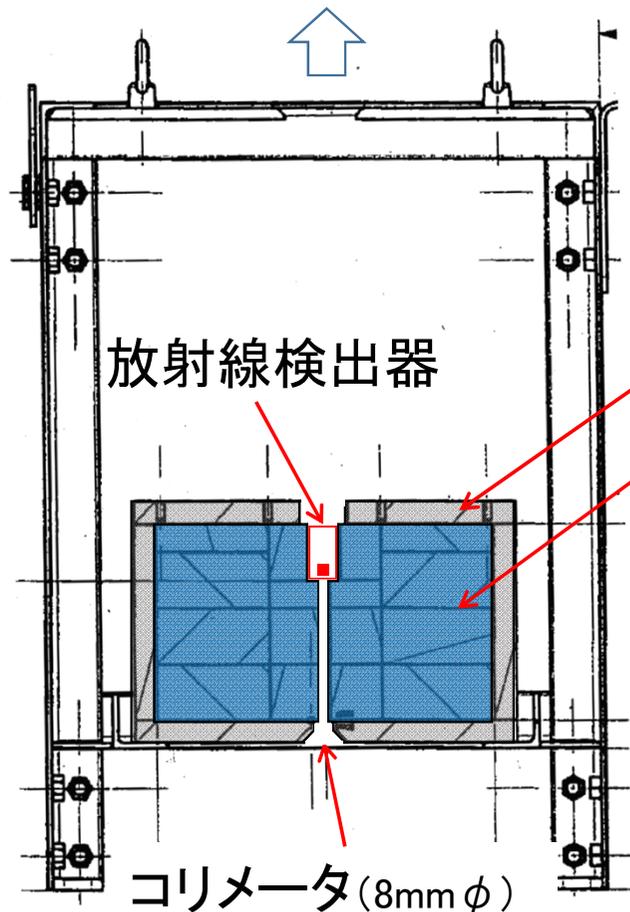
2011/3/18 17:08 防衛省撮影(3号機)



3号機原子炉建屋5階

# ○スペクトル測定器の概要

クレーンで吊り上げて測定



下方からきた $\gamma$ 線のみ  
のスペクトルを測定可能

重量: 約300kg

鉄(2cm厚)

鉛  
(30cm × 30cm  
× 17.5cm高)

放射線検出器

コリメータ(8mm  $\phi$ )

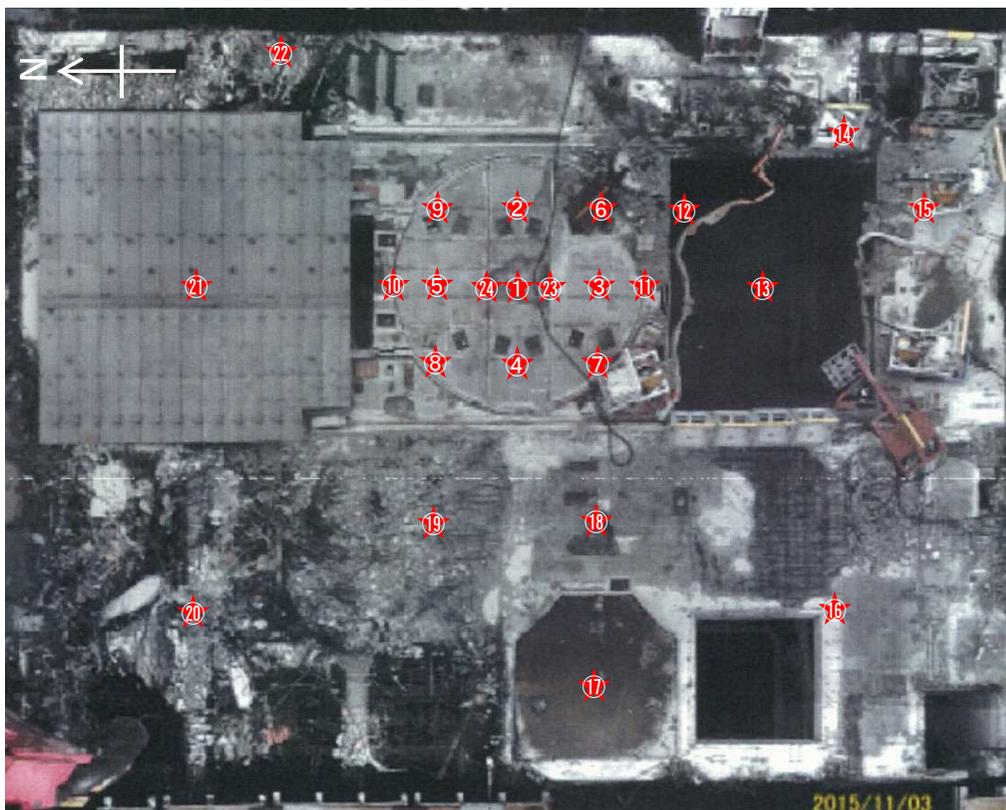


タブレット  
PC

バッテリー  
及びUSBハブ

放射線検出器  
(検出部: 1 × 1 × 1cm<sup>3</sup> CdZnTe半導体)

## ○スペクトル測定箇所(測定日:平成27年11月19日)

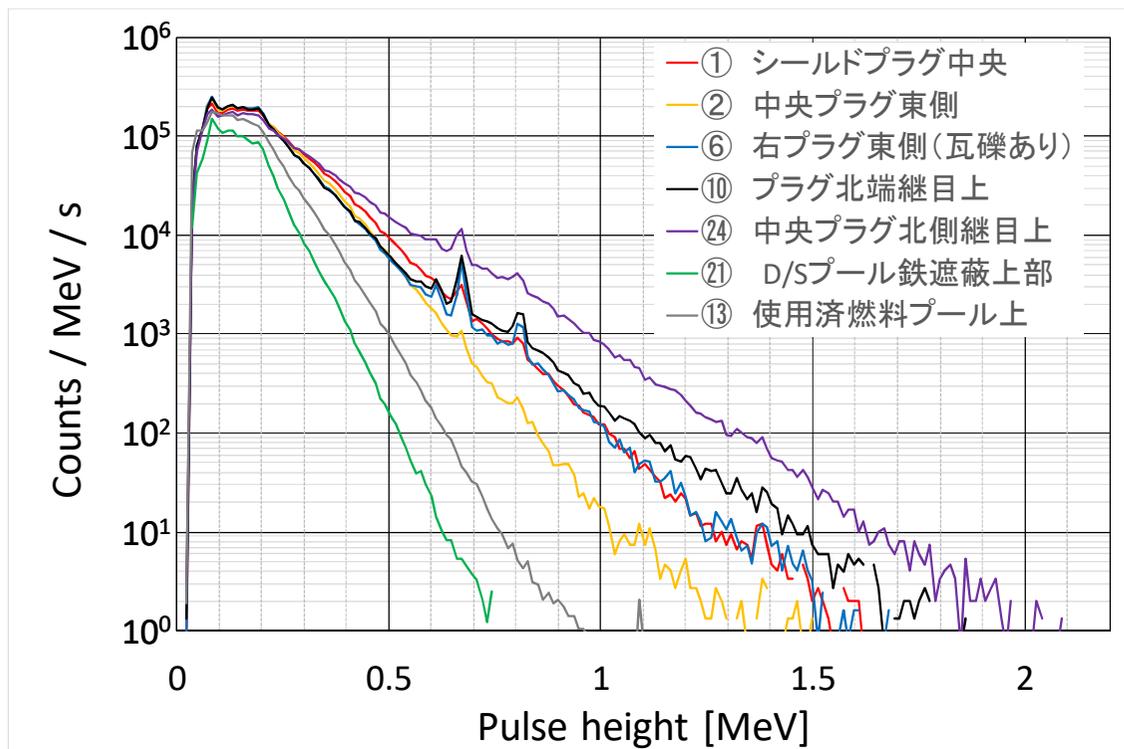


シールドプラグの拡大図

星印(赤)は、測定箇所(24ヶ所)を示す。

- オペフロ上の様々な地点(原子炉ウェル上、鉄遮蔽上、崩落箇所、使用済燃料プール上、ライニング施行箇所等)において測定(24箇所)。
- 放射線検出器がオペフロ上の約50cmとなる高さになるよう設定。
- 特に、高濃度汚染が想定される原子炉直上のシールドプラグについては、プラグ中央部、継目付近など複数の箇所を選択し重点的に測定。

○測定結果



z ←



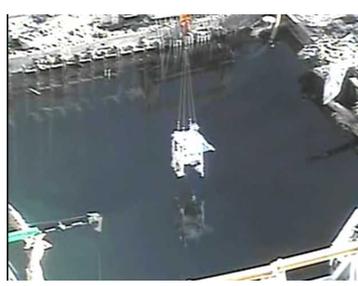
⑩プラグ北端継目上



⑥右プラグ東側(表面に瓦礫あり)



㉑D/Sプール鉄遮蔽体\*上部  
\*15cm厚



㉓使用済燃料プール上



②中央プラグ東側

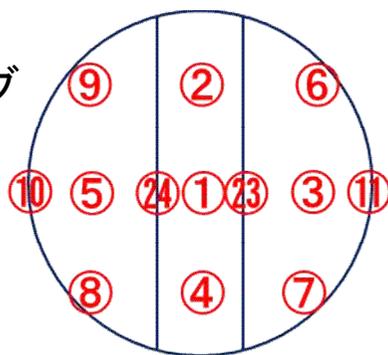


①シールドプラグ中央

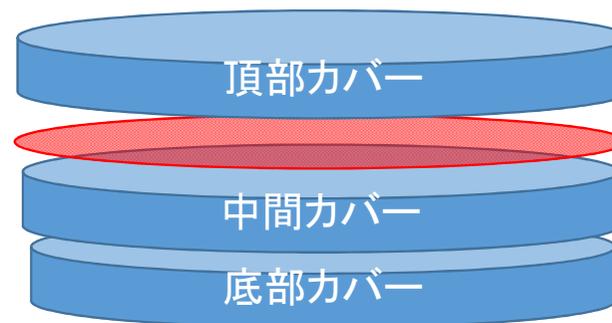
## ○測定結果からの推計

Point	Peak count rates (cps)	Concentration (Bq/cm <sup>2</sup> )
No. 1	32.8	5.6E+10
No. 2	7.19	1.2E+10
No. 3	23.4	4.0E+10
No.4	4.72	8.0E+09
No. 5	8.67	1.5E+10
Average		2.6E+10

測定を行ったシールドプラグ上の測定箇所



No.1からNo.5までの汚染密度の平均値を用いている



シールドプラグ(60cm厚)  
Cs137の汚染密度が一様な面線源を想定

半径6 m のシールドプラグの隙間全体に、平均の密度で一様にCs-137があるとすると、総量で約 30 PBqとなる。

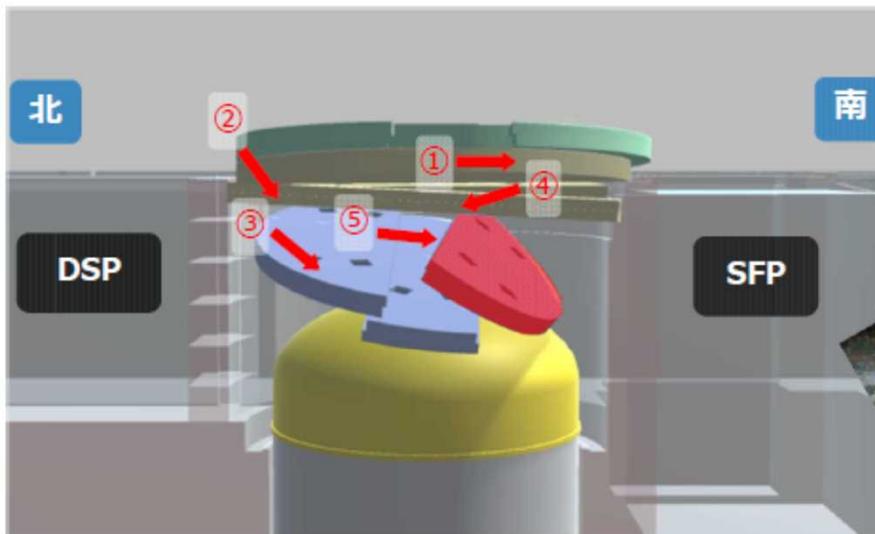
# 1号機シールドプラグにおける汚染状況

## ○1号機シールドプラグの状態

(参考) プラグ内部調査での撮影映像 (1)

2017/3/30 廃炉汚染水対策チーム会合事務局会議資料  
「福島第一原子力発電所1号機オペレーティングフロア調査結果(中間)について」抜粋

- 目的：調査カメラ（能動スコープ）をウェルプラグがずれて隙間が開いている箇所から内部へ挿入し，ウェルプラグの状態を確認する
- 調査期間：2016年12月～2017年2月
- 調査結果：ウェルプラグ上段/中段に加え，下段も正規の位置からずれていることを確認した。



ウェルプラグイメージ図（西側）

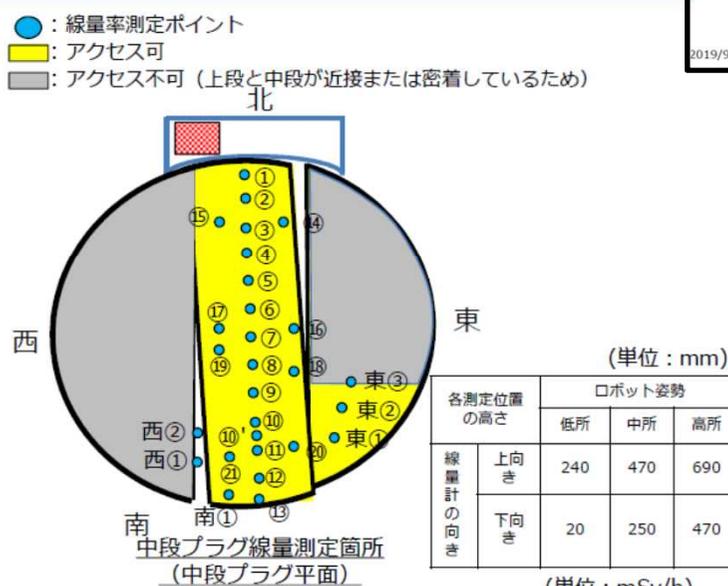


中段北側より撮影(北⇒南)

# ○測定結果等 【参考】 ウェルプラグ調査線量率測定結果（上段プラグ～中段プラグ間）

1号機 原子炉建屋 ガレキ撤去関連調査結果  
及び北側屋根鉄骨の切断開始について  
2019/9/26

測定箇所	>1500mSv/h		>1000mSv/h		(単位：mSv/h)	
	低所	高所	低所	高所	低所	高所
①	850	700	-	-	-	-
②	1390	1010	-	-	-	-
③	1640	1250	-	-	-	-
④	1290	1330	-	-	-	-
⑤	1560	1380	1530	1260	-	-
⑥	1560	1510	1550	1270	-	-
⑦	1720	1240	1560	1360	-	-
⑧	1570	1200	1260	1120	-	-
⑨	760	730	920	700	-	-
⑩	840	820	800	800	-	-
⑩'	1080	860	1000	760	-	-
⑪	1250	920	1010	790	940	820
⑫	1400	900	880	930	800	700
⑬	1090	700	840	690	600	460
⑭	1630	1210	-	-	-	-
⑮	1370	1000	-	-	-	-
⑯	1970	1330	1390	1170	-	-
⑰	1550	1200	1280	1040	-	-
⑱	1520	1140	1220	1020	-	-
⑲	1520	1070	1130	950	-	-
⑳	1350	860	870	860	840	700
㉑	1540	940	980	730	720	620



測定箇所	低所			中 so			高所		
	下面	上面	壁面	下面	上面	壁面	下面	上面	壁面
西①	640	630	-	-	-	-	-	-	-
西②	690	660	-	-	-	-	-	-	-
東①	1350	930	-	900	950	-	-	-	-
東②	850	830	-	920	780	-	-	-	-
東③	960	770	-	730	690	-	-	-	-
南①	1240	920	920	850	710	700	650	690	660

シールドプラグ間に沈着したCs-137としては、両面を考慮する必要があるので、大凡 $1.3 \times 10^8$  Bq/cm<sup>2</sup>程度の汚染密度、総量では、約0.16 PBqであると推定。

## 1～3号機シールドプラグの汚染量の検討

○1-3号機 原子炉建屋5階オペレーションフロアの環境の相違に応じた測定方法の選択について



2017年3月30日廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議  
「1号機オペレーティングフロア調査結果(中間)について」



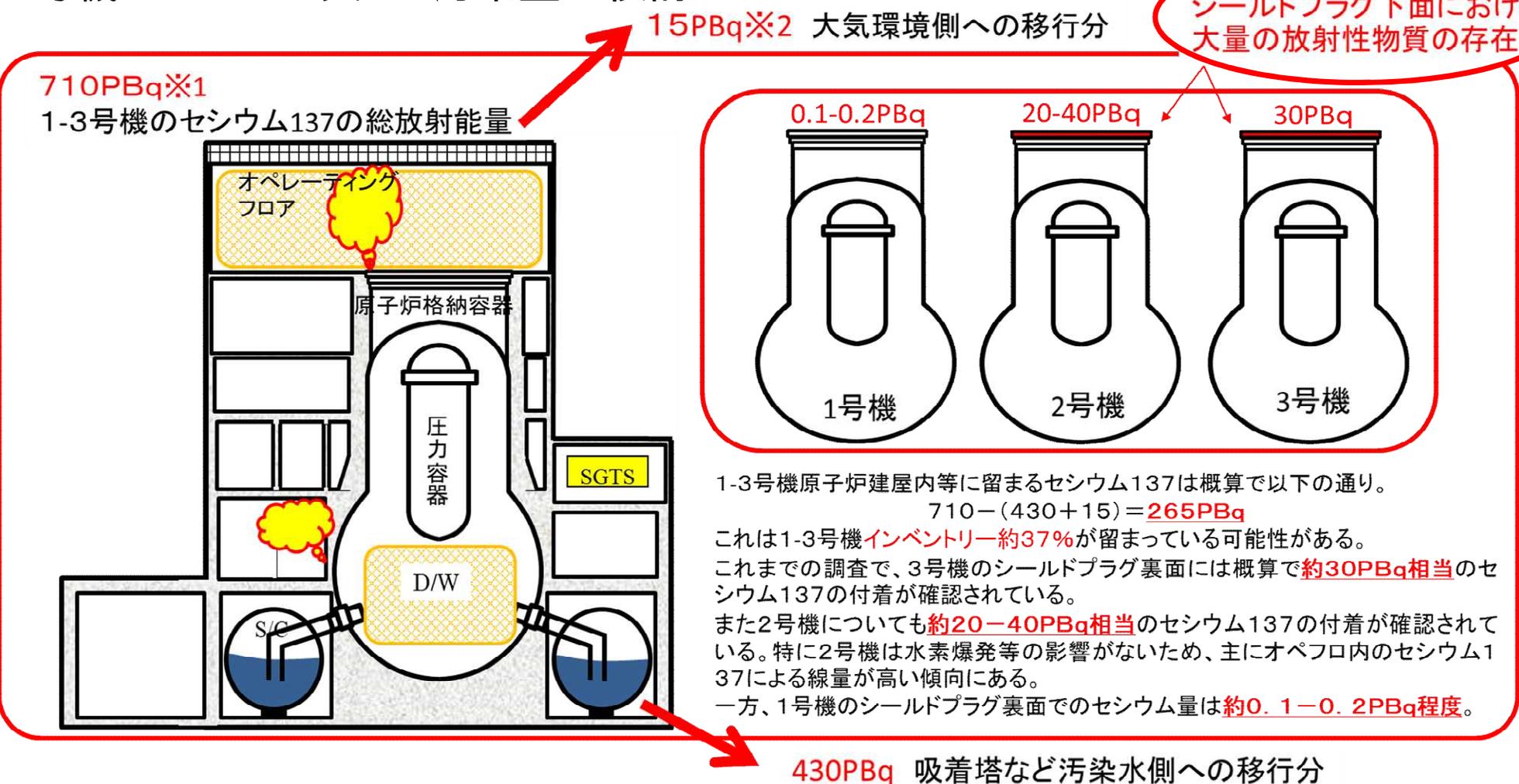
2018.11.6東京電力ホールディングス株式会社撮影



除染当初(撮影日2014年1月31日)

対象号機	1号機	2号機	3号機
シールドプラグの状態	3層とも大きなズレ 1層目に変形あり	外観上の大きな ズレや損傷なし	第1層に破損 中央部に30cm陥没
5階天井、壁、柱などの破損	大規模に破損	ブローアウトパネルの脱落程度	大規模に破損
5階天井、壁、柱の汚染	汚染あり 測定への影響度不明	ほぼ一様に汚染有り 測定に影響は小さい	汚染あり 測定への影響度小
シールドプラグ表面汚染の有無	有り 除染実績なし	有り 除染実績あり 880mSv/h⇒140mSv/h (プラグ中心1.5m高さ)	有り 除染実績あり 表層5mm程度はつり 800mSv/h⇒200mSv/h (プラグ中心5m高さ)
表面汚染レベル(線量のみ)	平均150mSv/h(表面) 平均100mSv/h(1.2m高さ)	平均114mSv/h(1.5m高さ)	平均50mSv/h(0.5m高さ) 平均200mSv/h(5m高さ)
高線量瓦礫の有無	有り 除染なし	有り 片付け進行中	ほぼ無し
選択した測定方法	GM計数管 (東京電力)	・鉛遮へい付きAPD ・ガンマカメラ	鉛コリメータ付き 半導体検出器
測定による汚染レベルの推定値	0.1PBq	40PBq	30PBq

# ○1～3号機シールドプラグの汚染量の検討



※1: 福島第一原子力発電所1～3号機の原子炉停止時の放射性物質(ヨウ素131、セシウム137)の量について(平成23年4月14日原子力安全・保安院)

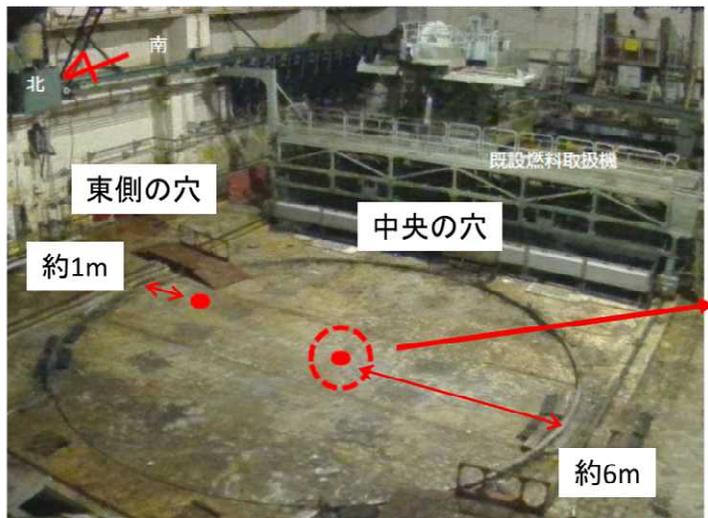
※2: 原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書(平成23年6月)

# おわりに

- 今般の調査・分析の結果などから、さらに検討を要する事項も多く、本中間取りまとめを踏まえた調査・分析及びその結果に基づく検討を継続することが必要。
- 本中間取りまとめに示した検討結果については、その内容に応じて得られた知見について、現在の安全規制とどのように関連しているかを精査する必要があり、今後、適切な検討の場を活用して対応していく。
- 今回の調査・分析の結果、SGTS配管系で高い線量率を示す箇所、シールドプラグ下面における大量のCs-137の存在の可能性などが確認されており、今後の廃炉作業の計画や発生する放射性廃棄物の管理といった観点から、対処方法の慎重な検討と困難を伴う取り組みへの的確な対応が求められる。

# ○2号機シールドプラグの既存穿孔箇所を用いた調査 【2021年9月9日実施予定】

【参考】



既存穿孔箇所配置 ●: 既存穿孔箇所



部拡大現場状況



穿孔箇所イメージ



## 調査方法

- 放射線測定器をKobraで把持し、穿孔箇所へ挿入する。
- PackBotは、穿孔箇所へのアクセス状態の確認及び挿入作業状態を監視し、遠隔作業をサポートする。

2号機原子炉建屋オペレーティングフロアフェンス撤去およびコアサンプル採取について（結果報告）  
2014年3月27日 東京電力株式会社

2号機原子炉建屋5階  
オペレーティングフロア

(東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会第21回会合資料5-4を一部加工して抜粋)

