

2号機オペフロのガンマカメラによる 測定結果について

～令和2年1月30日現地調査結果の速報～

2号機オペフロのガンマカメラによる測定結果の概要

(1) 測定概要

令和2年1月30日に東京電力ホールディングス株式会社の協力をえて実施した福島第一原子力発電所2号機オペレーションフロア内の線量調査では、Cs-137の汚染密度をえるためにガンマカメラによる測定を実施している。

本資料では、当該測定結果に関して概要を整理した。

ガンマカメラによる測定は、2号機原子炉建屋西側に設置された構台・前室のオペレーションフロアへの立ち入り開口部から、東壁、南壁及び北壁に向けて実施している。測定にあたっては、Cs-137の0.662 MeV ガンマ線の全エネルギー吸収ピーク計数モードで実施しており、東壁では、全計数モードでの測定も実施した。

また、測定面(東壁、南壁及び北壁)に対して斜方向となる測定となるため、ガンマカメラのCdTe素子とピンホールを經由した壁面上の投影格子点から距離及び面積の補正を行っている。

2号機オペフロのガンマカメラによる測定結果の概要

(2) 測定モードの整理

本資料では、測定方向、斜方向、計数モード等から下記の3つのモードを整理している。

- ① 東壁向き10度上向き (Cs-137モード)
- ② 南壁向き10度上向き (Cs-137モード)
- ③ 北壁向き10度上向き (Cs-137モード)

なお、測定にあたっては、上記に加えて、以下の2つのモードについても測定しているが、本資料の解析では使用していない。

- ④ 東壁向き水平 (Cs-137モード)
- ⑤ 東壁向き水平 (全計数モード)

2号機オペフロのガンマカメラによる測定結果の概要

(3) 測定結果の概要

今回の測定結果から、シールドプラグの隙間から2号機のオペレーションフロアに出た放射性核種を含む気体がフロア全体に充満したことが推測される。また、吹きだした方向やシールドプラグからの距離などにより、壁の汚染密度が違った可能性が考えられる。

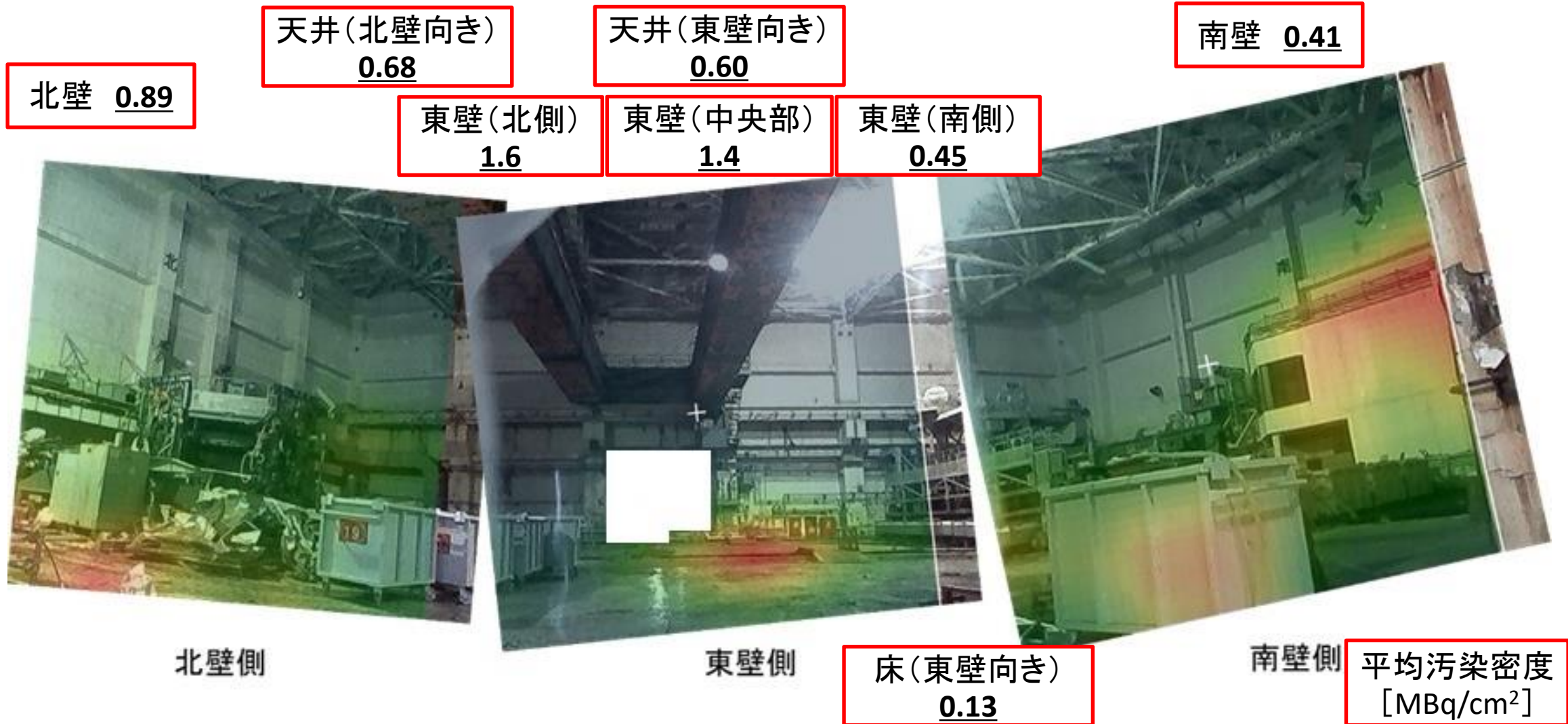
全体的に見れば、壁の汚染密度が他の箇所(天井や床、クレーンガーダー)に比べて高く、床の汚染密度が全般的に低かった。

これは、床が他の箇所と異なり、ロボットを使って汚染物の片付けを行なったことと関係している可能性がある。

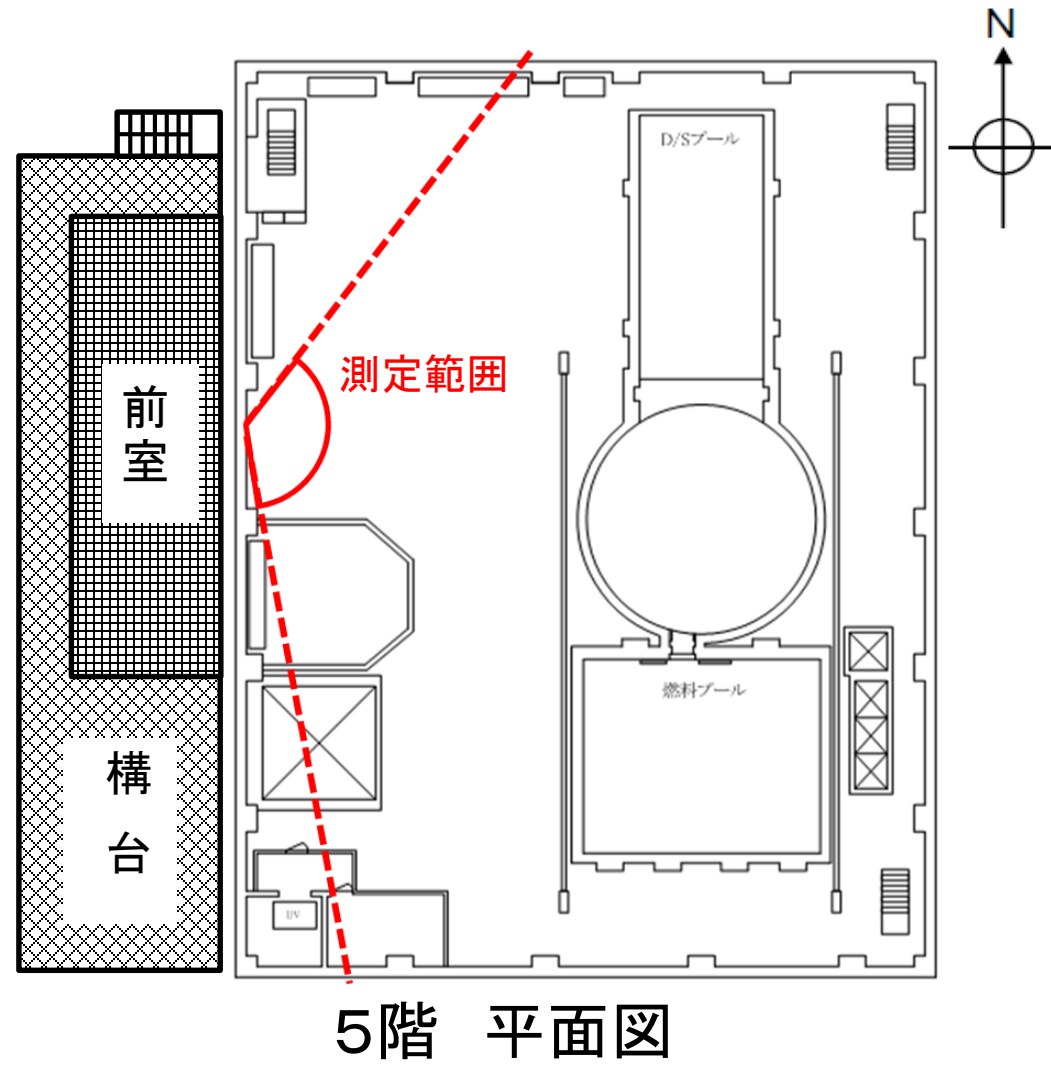
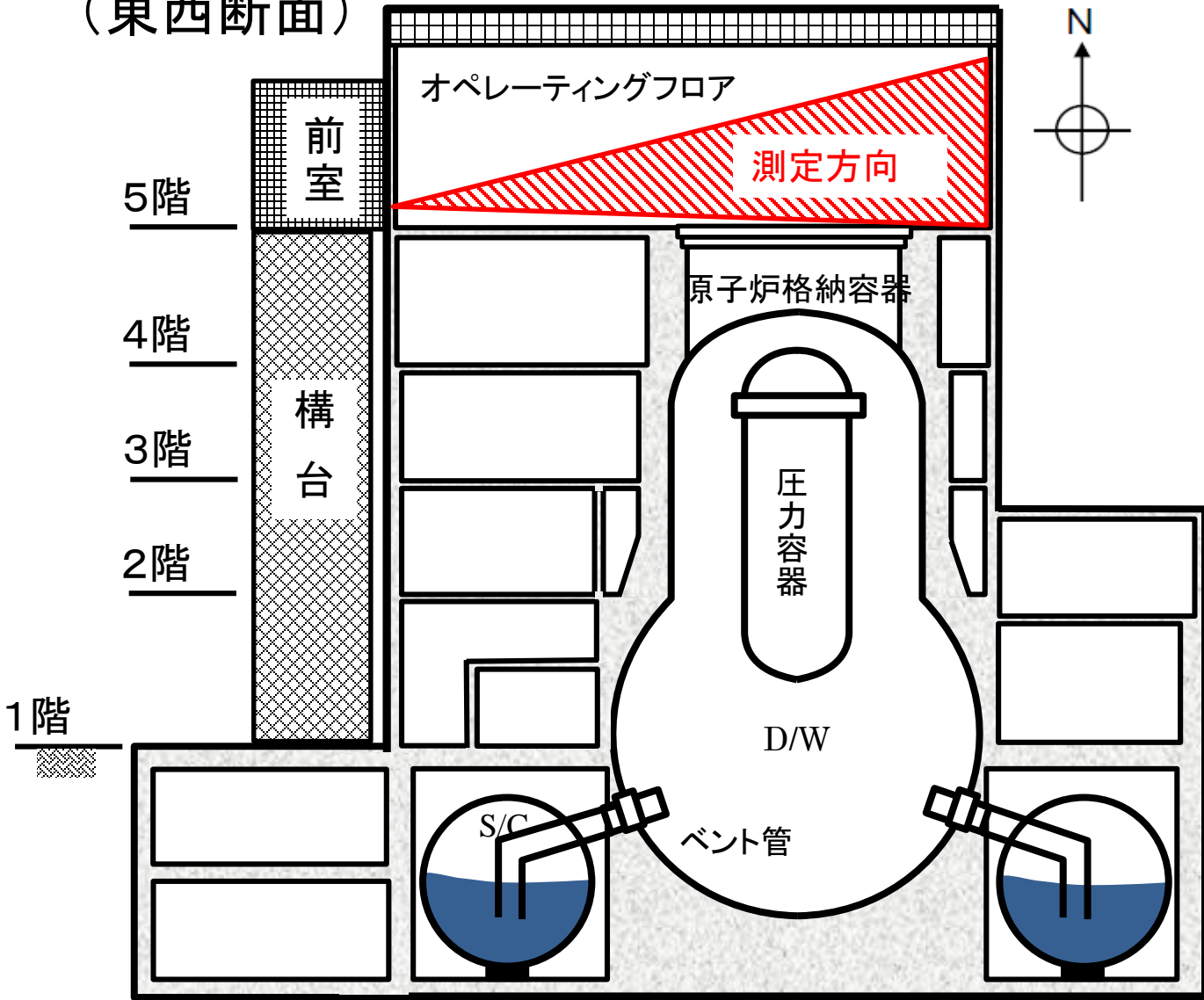
測定箇所	平均汚染密度 [MBq/cm ²]
北壁	0.89
東壁(北側)	1.6
東壁(中央部)	1.4
東壁(南側)	0.45
南壁	0.41

測定箇所	平均汚染密度 [MBq/cm ²]
天井(北壁向き)	0.68
天井(東壁向き)	0.60
床 (東壁向き)	0.13

2号機オペフロのガンマカメラによる測定結果の概要

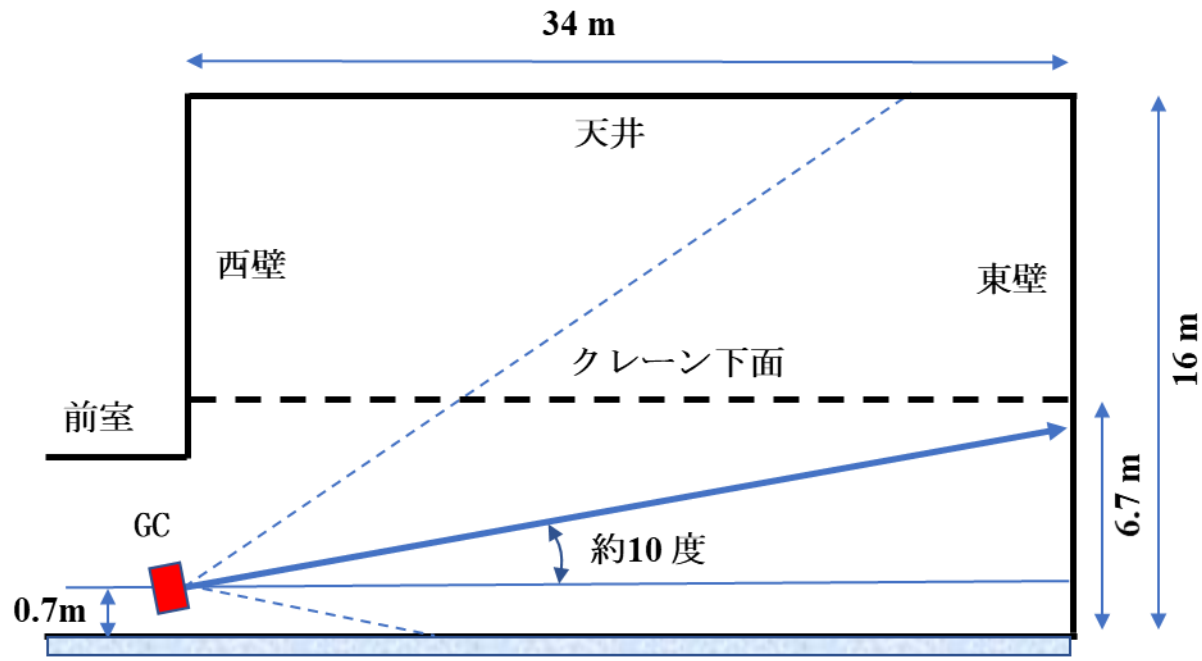


○2号機原子炉建屋
(東西断面)

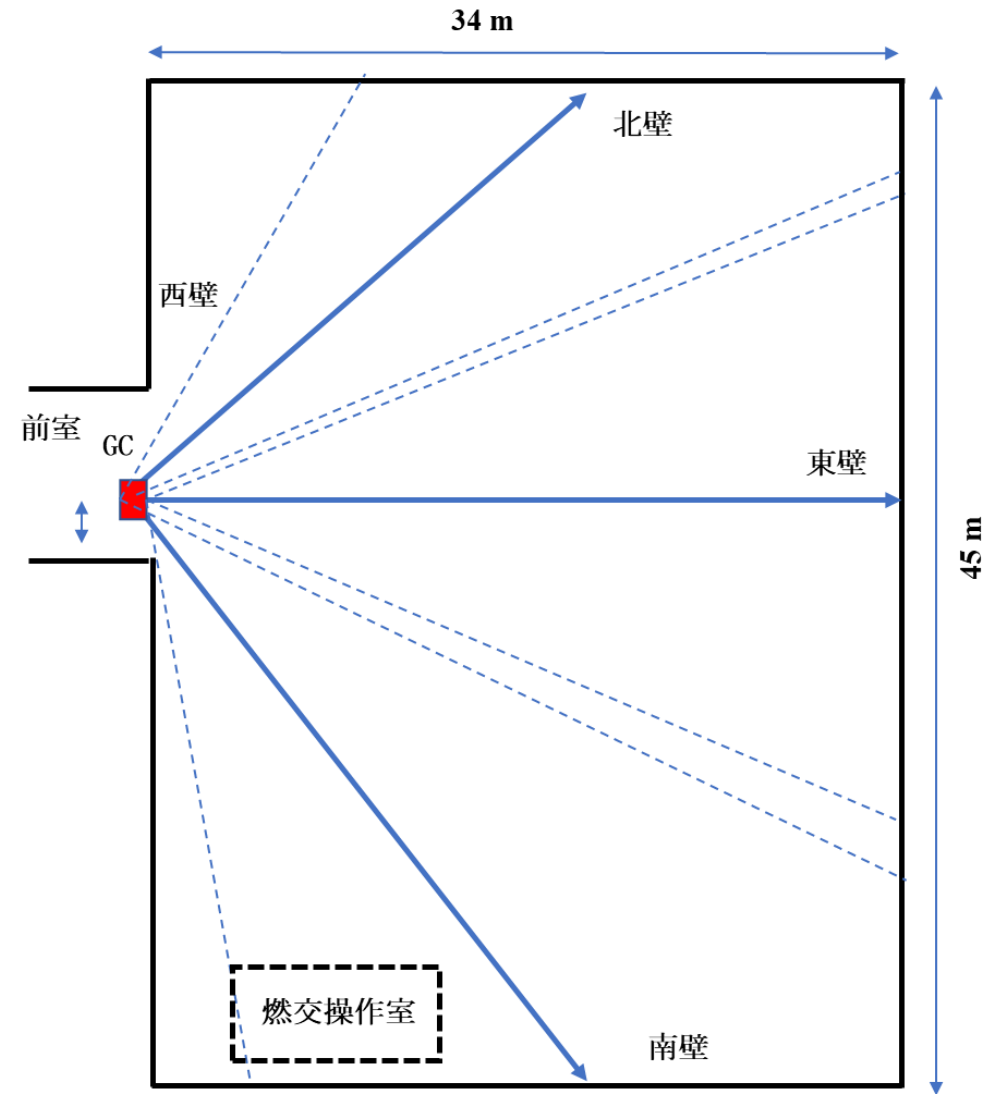


東京電力「福島第一原子力発電所
原子炉設置変更許可申請書」
(平成15年6月現在)を基に作成

2号機オペフロのガンマカメラによる測定結果の概要

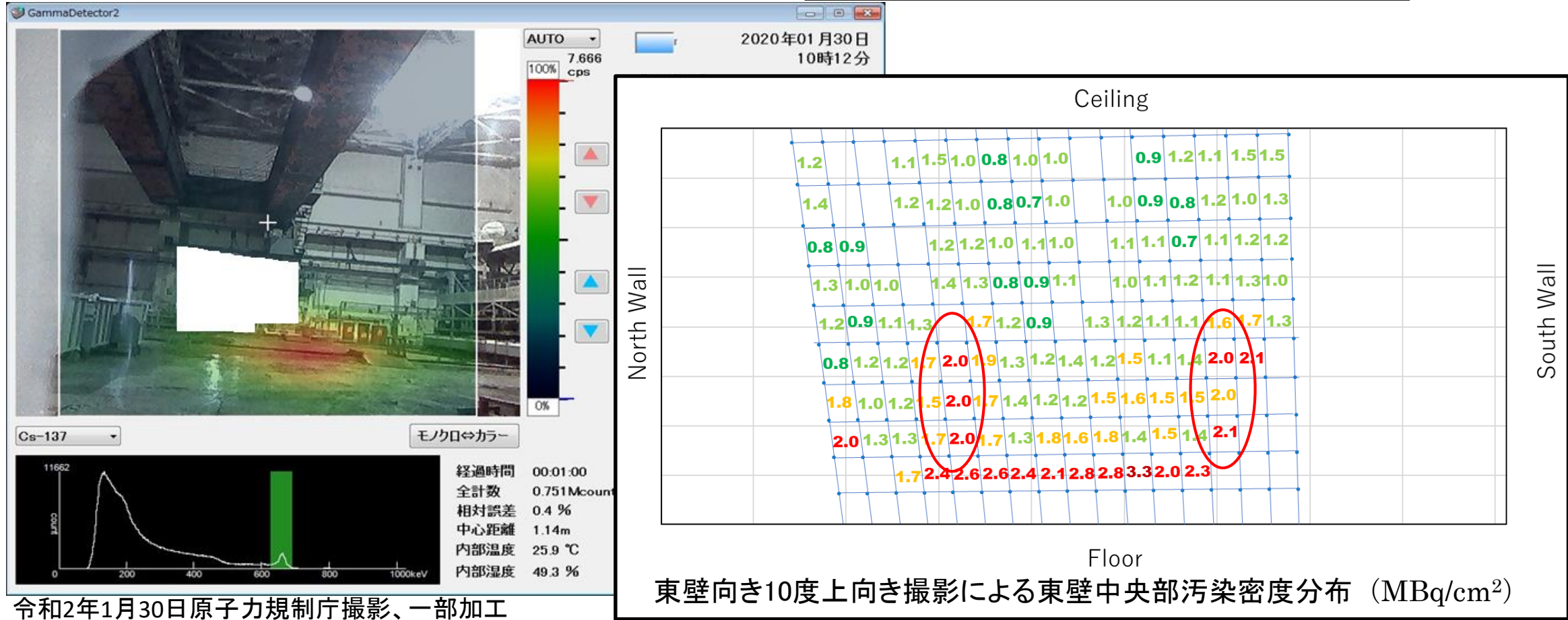


撮影位置 (立面)



撮影位置 (平面)

① 東壁向き10度上向き (Cs-137モード) 東壁中央部の汚染密度分布

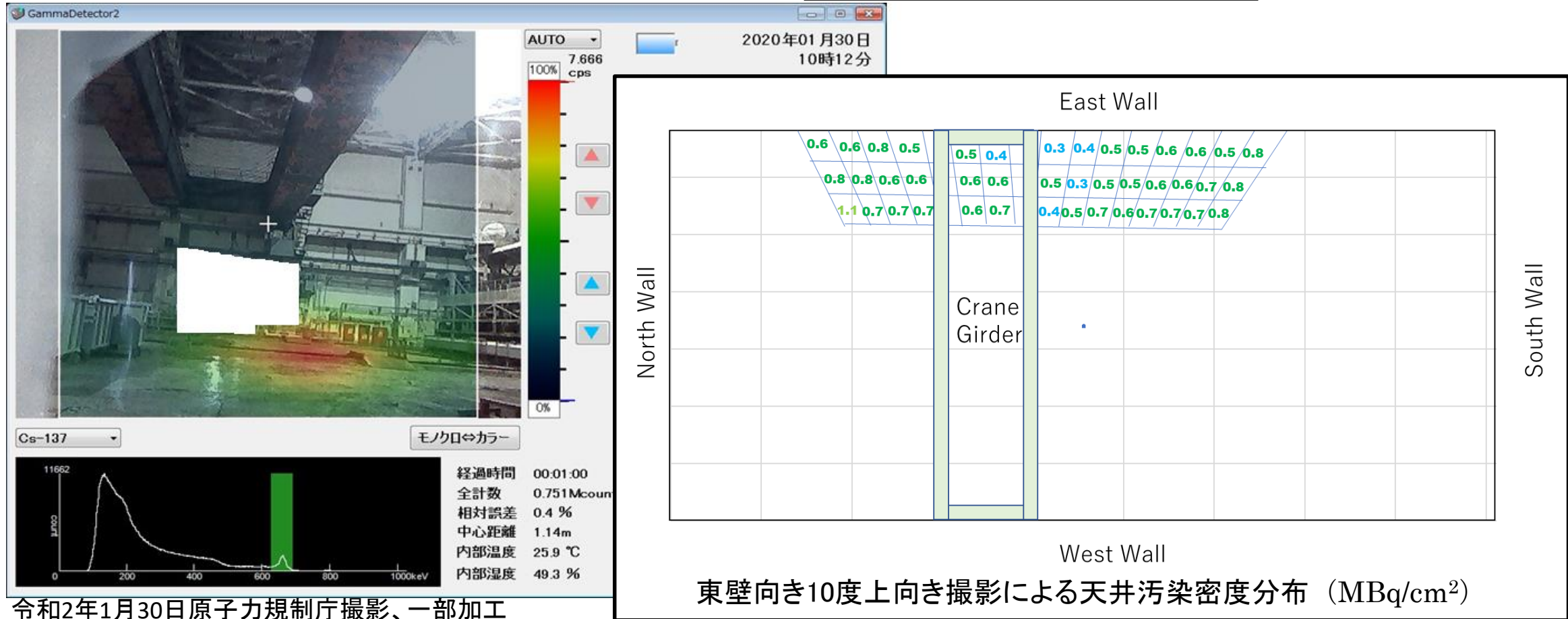


令和2年1月30日原子力規制庁撮影、一部加工

測定された領域全体の平均汚染密度は、**1.4 MBq/cm²**であった。壁の前に物が写っている場所については、その物自体が汚染物である可能性や壁からのガンマ線を遮蔽する可能性があるため表示していない。

また中心の右と左の柱に相当する領域が同じ高さの壁にくらべて高くなっている。柱が高めになる結果は東京電力の報告※1(線量率からMCNP計算で汚染密度を再合成)とも符合しており、東京電力HDの推定では雨水等により天井クレーンランウェイガード上の汚染が流れたこととしている。

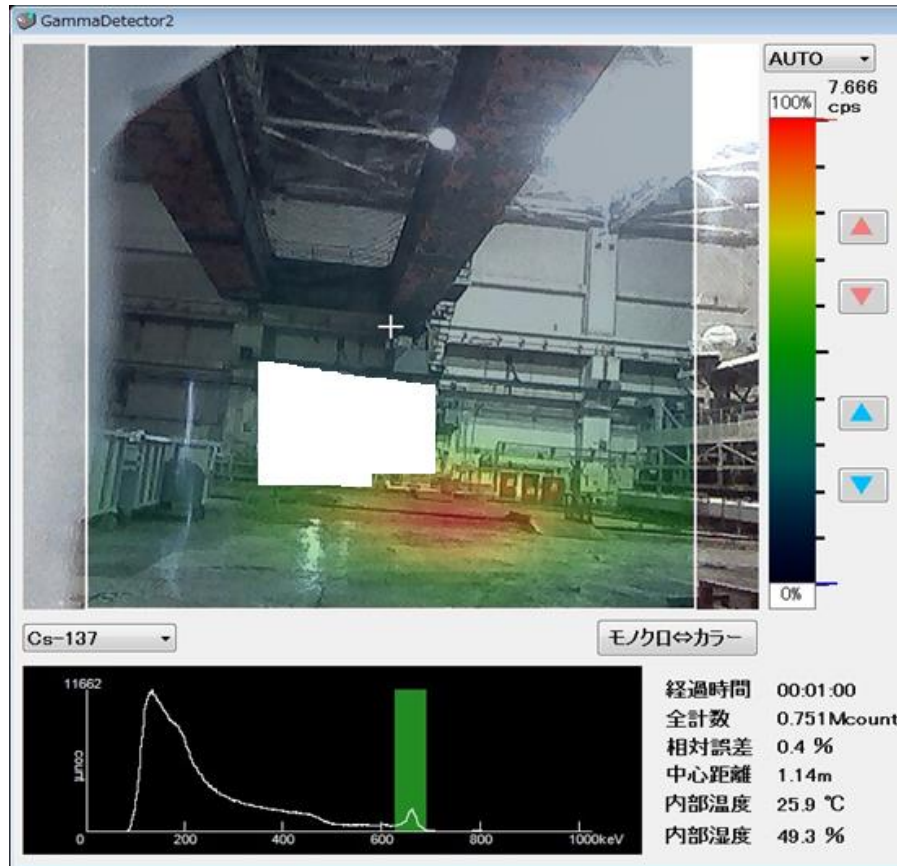
① 東壁向き10度上向き (Cs-137モード) 天井の汚染密度分布



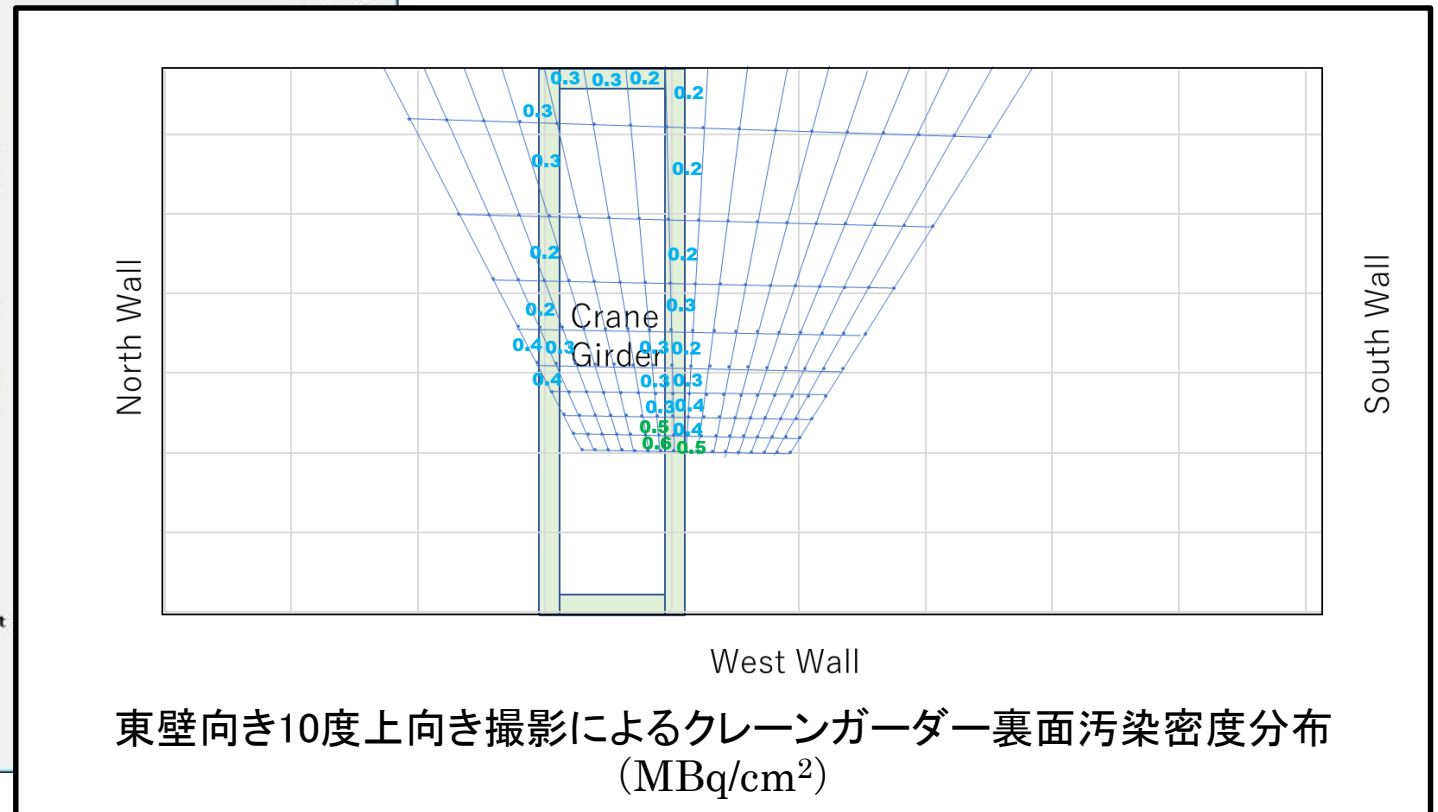
令和2年1月30日原子力規制庁撮影、一部加工

天井のうちクレーンガーダーで隠れた部分は表示していない。
10度上向きのため天井の領域は限られているが、天井面の平均汚染密度は **0.60 MBq/cm²**であった。

①東壁向き10度上向き(Cs-137モード) クレーンガーダー裏面の汚染密度分布

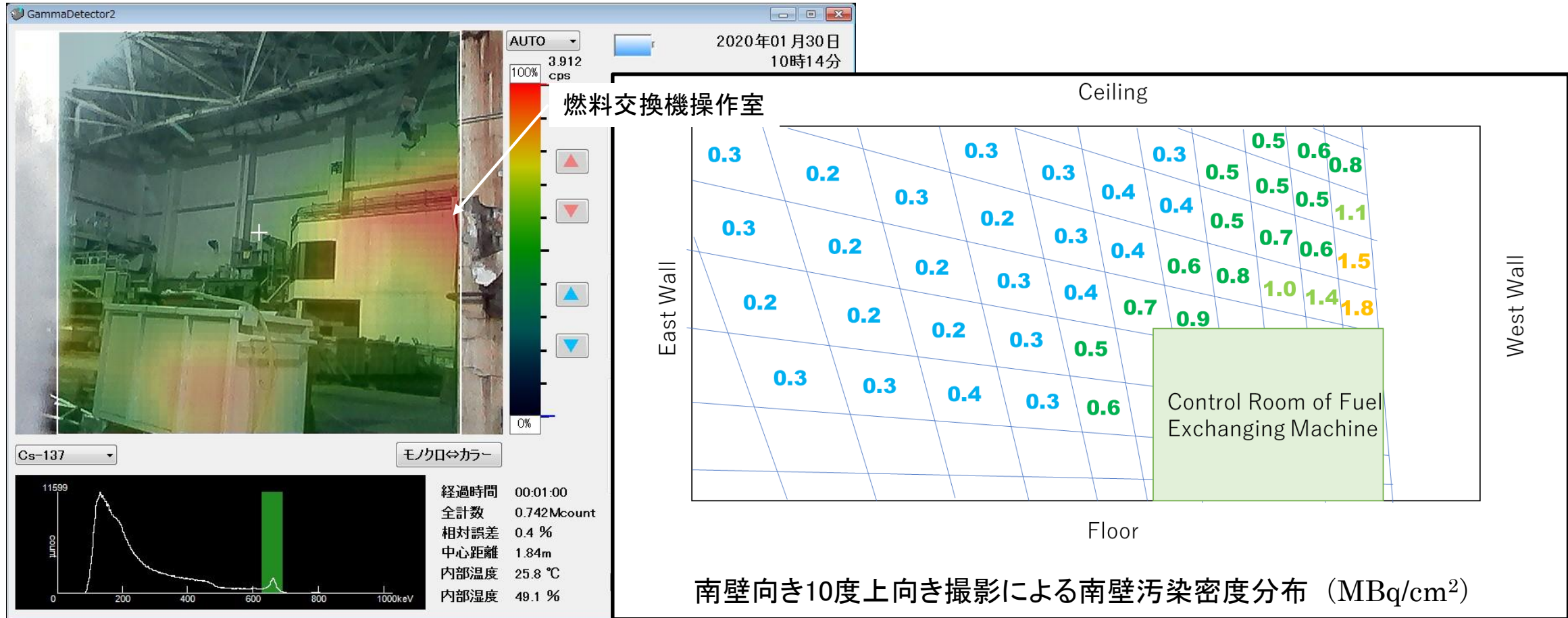


令和2年1月30日原子力規制庁撮影、一部加工



クレーンガーダーの裏面は、平均汚染密度は**0.27 MBq/cm²**であり、天井面(0.60 MBq/cm²)より汚染密度が小さい。

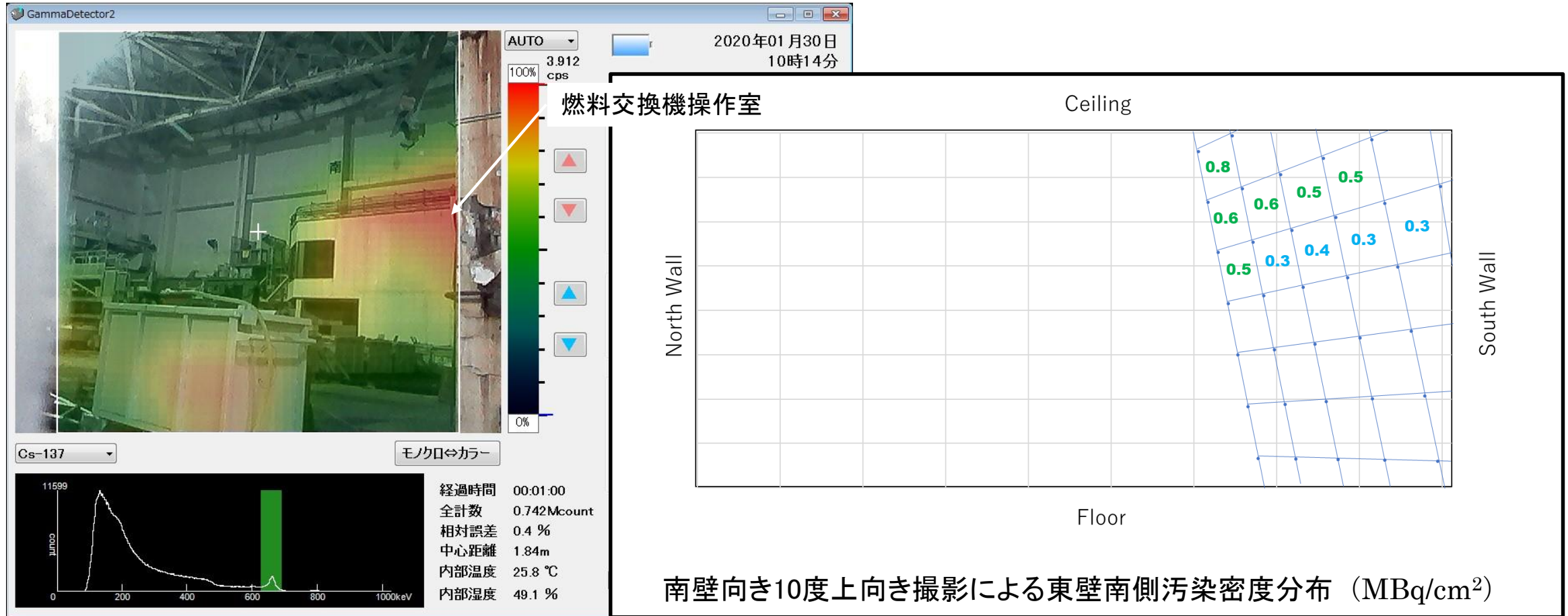
②南壁向き10度上向き(Cs-137モード) 南壁の汚染密度分布



令和2年1月30日原子力規制庁撮影

壁の前に物がある場合、その物自体が汚染物である可能性や壁からのガンマ線を遮蔽する可能性があるため表示していない。南壁前の南西側に置かれている「燃料交換機操作室」の陰になっていない壁面の平均の汚染密度は、**0.41 MBq/cm²**であった。また別途解析した結果、燃料交換機操作室の北側の面の平均汚染密度は**1.3 MBq/cm²**で、南壁よりは高い密度であった。

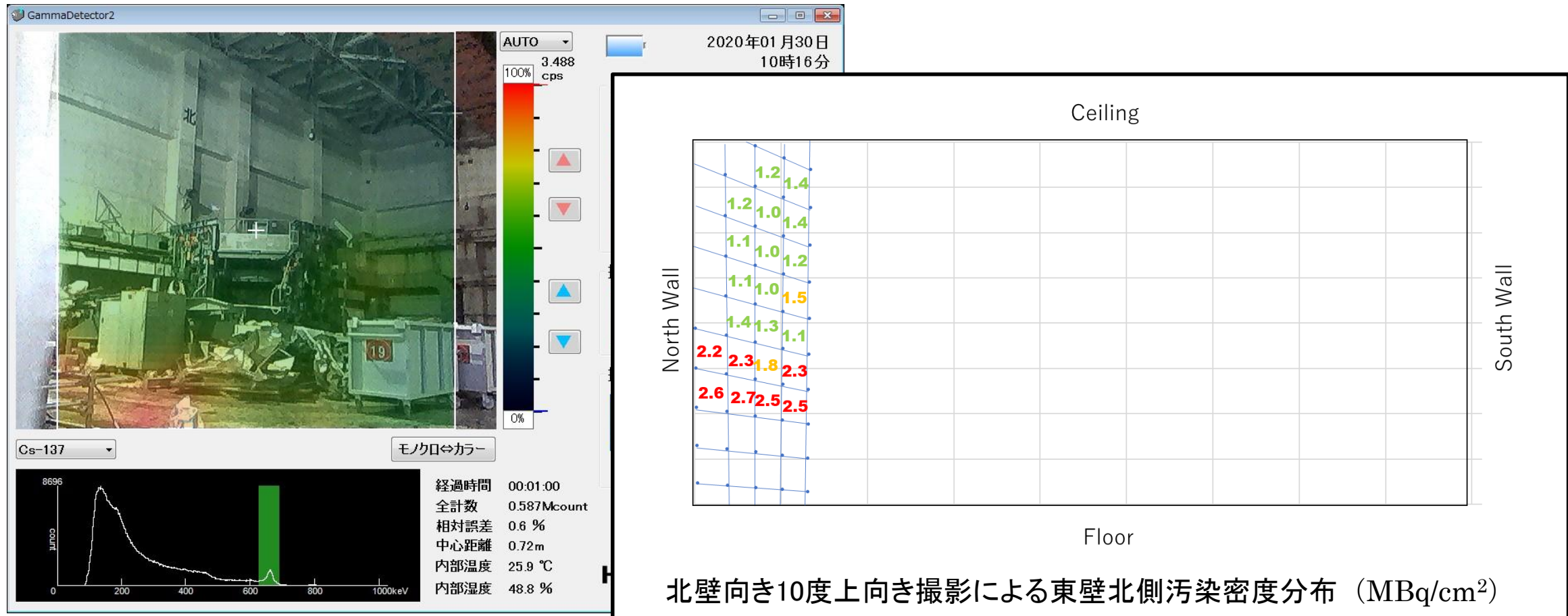
②南壁向き10度上向き(Cs-137モード) 東壁南側の汚染密度分布



令和2年1月30日原子力規制庁撮影

東壁南側の平均の汚染密度は0.45 MBq/cm²であり、東壁の中央部分(1.4 MBq/cm²)より低い。

③北壁向き10度上向き(Cs-137モード) 東壁北側の汚染密度分布



令和2年1月30日原子力規制庁撮影

東壁北側の平均の汚染密度は**1.6 MBq/cm²**であり、東壁の中央部(1.4 MBq/cm²)とほぼ同じであった。

○ガンマカメラによる測定とスミア測定との比較

ガンマカメラ測定で得られた汚染密度と東電HDが行なったスミア測定※¹の汚染密度の比較を行った。

壁の平均汚染密度については、ガンマカメラ測定がスミア測定の10倍以上になっている。

ただし、スミア測定点が少ないこと、ロボットによるスミアのため、拭き取り面の状況が不明なことから直接の比較は困難であると考えられる。

床の平均汚染密度については、ガンマカメラ測定がスミア測定の1/5程度となっている。

これには、スミア効率のばらつき、低い位置からのガンマカメラ測定による格子点投影形状の差異、東電HDのスミア後に床の片付けが行われていること等の影響があるものと考えられる。

		測定値	平均
北壁	ガンマカメラ	0.6~2.3	0.89
	スミア(2ヶ所)	0.0014~0.00035	0.0009
東壁 (東向き測定)	ガンマカメラ	0.7~3.3	1.4
	スミア(5ヶ所)	0.00015~0.32	0.066
南壁	ガンマカメラ	0.2~1.8	0.41
	スミア(5ヶ所)	0.0030~0.062	0.033
床 (東向き測定)	ガンマカメラ	0.09~0.43	0.13
	スミア(20ヶ所)	0.051~2.9	0.68
天井 (東向き測定)	ガンマカメラ※	0.3~1.1	0.60
	スミア(0ヶ所)	-	-

ガンマカメラ測定とスミア測定の汚染密度の比較
 (MBq/cm²) ※天井についてはスミア測定なし

○留意事項

測定結果全般に関連して考慮すべきこととして、汚染物等の影響がある。

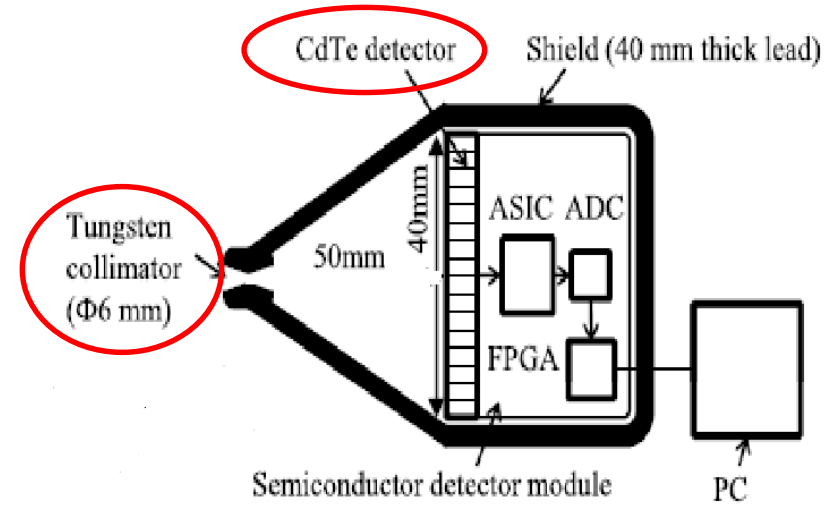
本資料では汚染物などの写っている領域に対応するピクセル分は表示していない。

ただし、ガンマカメラのピンホール半径が6mmあることから、汚染物などの影響が隣接するピクセルにも及んでいる可能性がある。例えば、東壁の中央及び北側では床に近いところが高いがこれは汚染物のすぐ上のピクセルであるためであり、壁の汚染ではない可能性もある。

○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5月20日
http://www.tepco.co.jp/decommission/information/committee/evaluation_review/pdf/2019/evaluation_review_2019052001.pdf

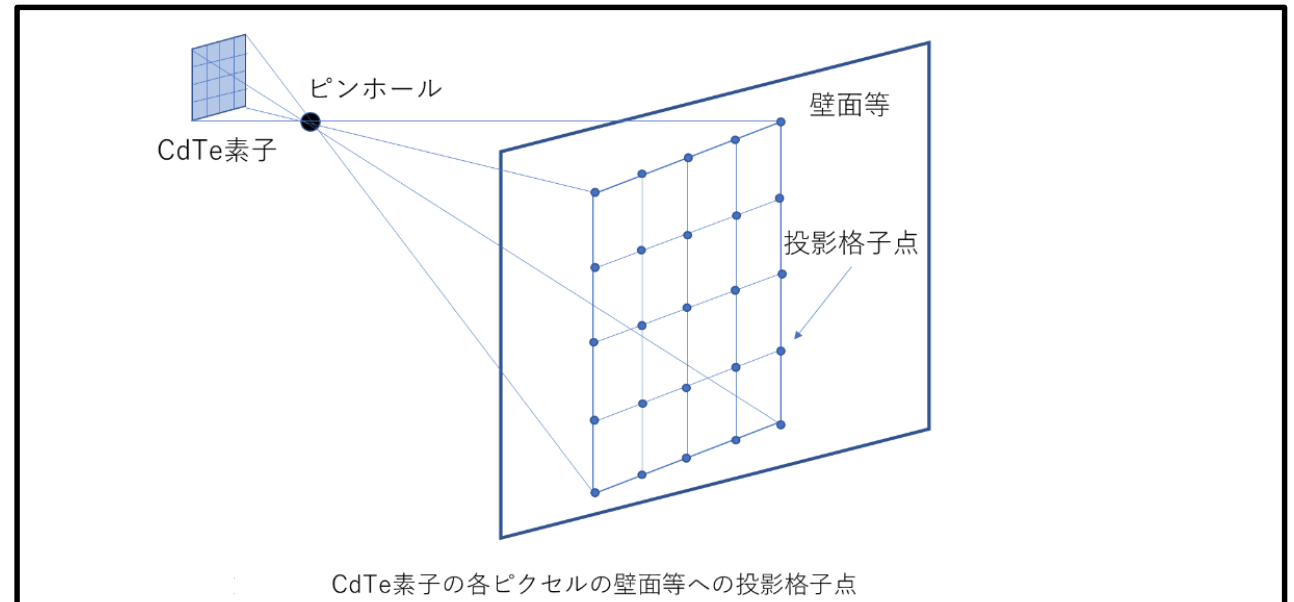
2号機オペフロのガンマカメラによる測定方法について



HDG-E1500の検出部 From NIM A 8 893(2018)15-25

ピンホール型ガンマカメラ

- 本調査では、ガンマ線全エネルギー吸収ピーク計数率が測定できるピンホール型ガンマカメラ（HDG-E1500）を用いている。
- 測定にあたっては、線源からの距離（斜方向の補正含む）と解析的に計算できる途中の物質による減衰を考慮した直接線情報から汚染量を推定している。



2号機オペフロのガンマカメラによる測定方法について

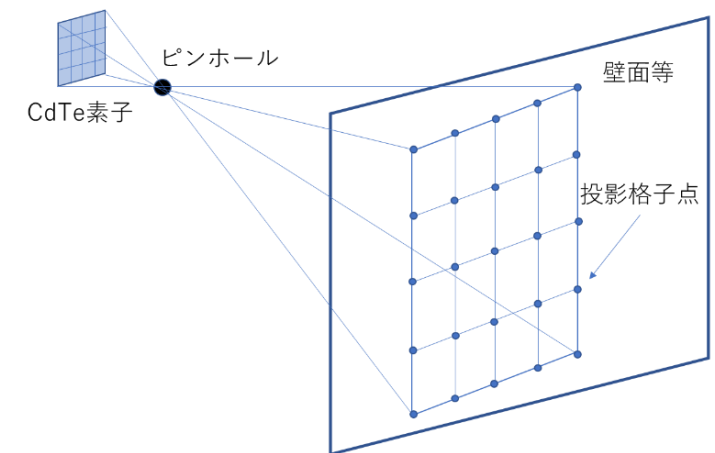
各ピクセルに対応したCs-137の汚染密度を求めるためには、ピクセルに対応する領域の形状、各領域までの実効的距離と領域の面積が必要である。

今回の測定では、斜方向に撮影された壁が多く、これに対応するため以下の解析手法を用いた。その他については原子力学会誌等における論文の手法を用いている。

(1) CdTe素子の各ピクセルの測定面への投影

CdTe素子（4cm x 4cm）は16x16のピクセルに区切られており、素子から5cm離れたピンホールから入ってきたガンマ線を計測する。各ピクセルで数えるCs-137からの直接線が測定面のどの領域から入ってくるかを知る必要があるため、各ピクセルがピンホールを通じてどのように測定面に投影されるかを求めた。

各ピクセルは正方形であるが、ピンホールを通じた測定面への投影は面の傾きにより右図に示すように変形する。CdTe素子面と投影面が平行の時だけ正方形を保つが、傾きが一方向の場合は一組が平行の四辺形、二方向に傾くと二組とも平行でない四辺形となる。



CdTe素子の各ピクセルの壁面等への投影格子点

2号機オペフロのガンマカメラによる測定方法について

この投影された格子点については、CdTe 素子の各格子点とピンホールを結ぶ直線と、投影される面の式の交点を計算して座標を求める。

また、ガンマカメラの向いている方向は現場では正確に求められない。そのため、CdTe素子の向きは撮影された画面の3か所（画面中心と右上、右下）の座標を写真から読取って入力することによりピンホールとの位置関係から決定した。

これによりCdTe素子の上下左右の傾きが決定できるため、CdTe素子の各格子点の3次元位置を決定し、これをもとに先ほどの投影点計算を行っている。これらの計算の座標原点は、建物の床面中心としている。

(2)各ピクセル投影領域とピンホールの距離

各ピクセル投影領域の汚染量を求めるためには、投影領域とピンホールの実効距離が必要となる。

汚染量を求める式は距離の二乗に反比例であるので、実効距離は投影領域の格子点4点の座標とピンホールの座標からそれぞれ求めた距離をもとに以下の式により求めた。

$$Reff=1/(4Ra-2+Rb-2+Rc-2+Rd-2)$$

ここで $Reff$ は実効距離、 Ra 、 Rb 、 Rc 、 Rd は四隅の格子点とピンホールの距離

(3)各ピクセル投影領域の面積

汚染量から汚染密度を求めるため、各ピクセルの測定面への投影領域の面積が必要となる。

投影格子点4点の座標で作られる四角形の面積は、対角線で三角形2個に分けてそれぞれの面積を求めて合算した。

(4)面への投影格子点の図の出力

投影格子点が測定面上にどのように分布しているかをEXCELで図示した。

目的①(リスク低減、燃料取り出し工法や作業時の線量低減に資する調査)

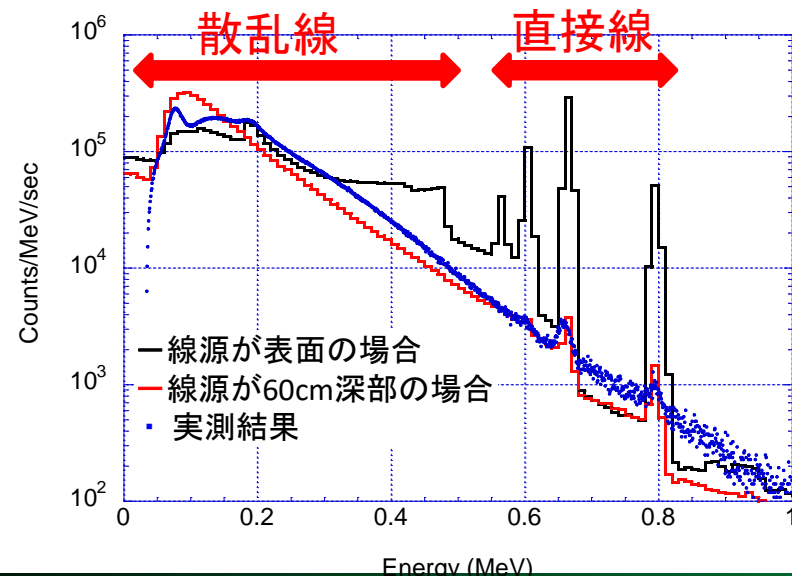
- 東京電力による2号機原子炉建屋オペレーティングフロア(オペフロ)の除染において、表面の汚染が線源と想定して床面の洗浄やハツリ等の除染作業を行っているが、現時点で十分な線量率の低減効果が得られていない。
- 規制庁は、原子炉直上のシールドプラグの下面等に高密度の汚染があり、これが大きな線源となっていると推定。
- 規制庁は、オペフロ上において線源がシールドプラグ下面などの深部にあることを確認する。

目的②(事故の分析に資する調査)

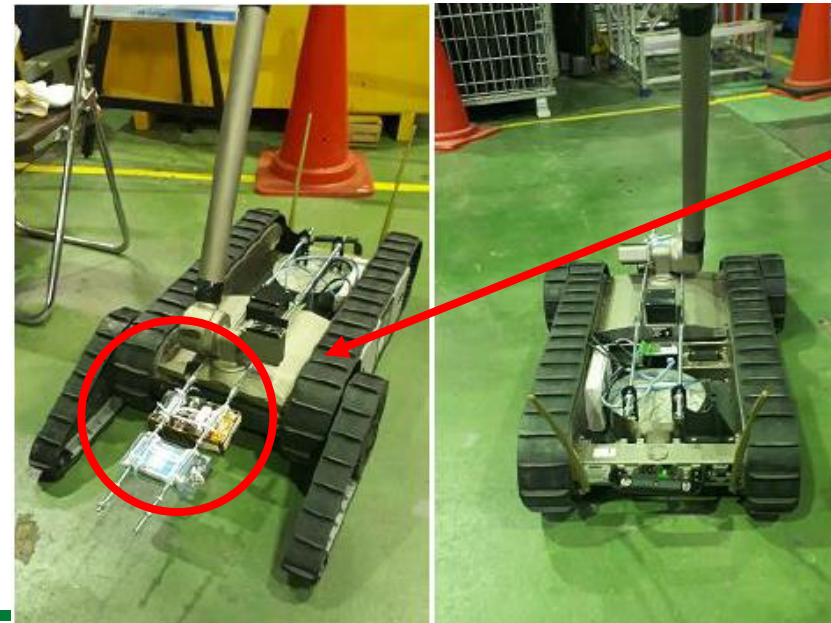
- 事故の分析の観点から、規制庁は、オペフロにおいて、シールドプラグ上の γ 線源の分布を測定、分析することで、事故当時に放出された放射性物質がどのような経路を通じて放出されたのか、また現在付着している放射性物質の核種や吸着量の検討を行う。

汚染状況の把握

シミュレーションと実測の比較



東京電力所有の調査ロボットを用いた遠隔測定

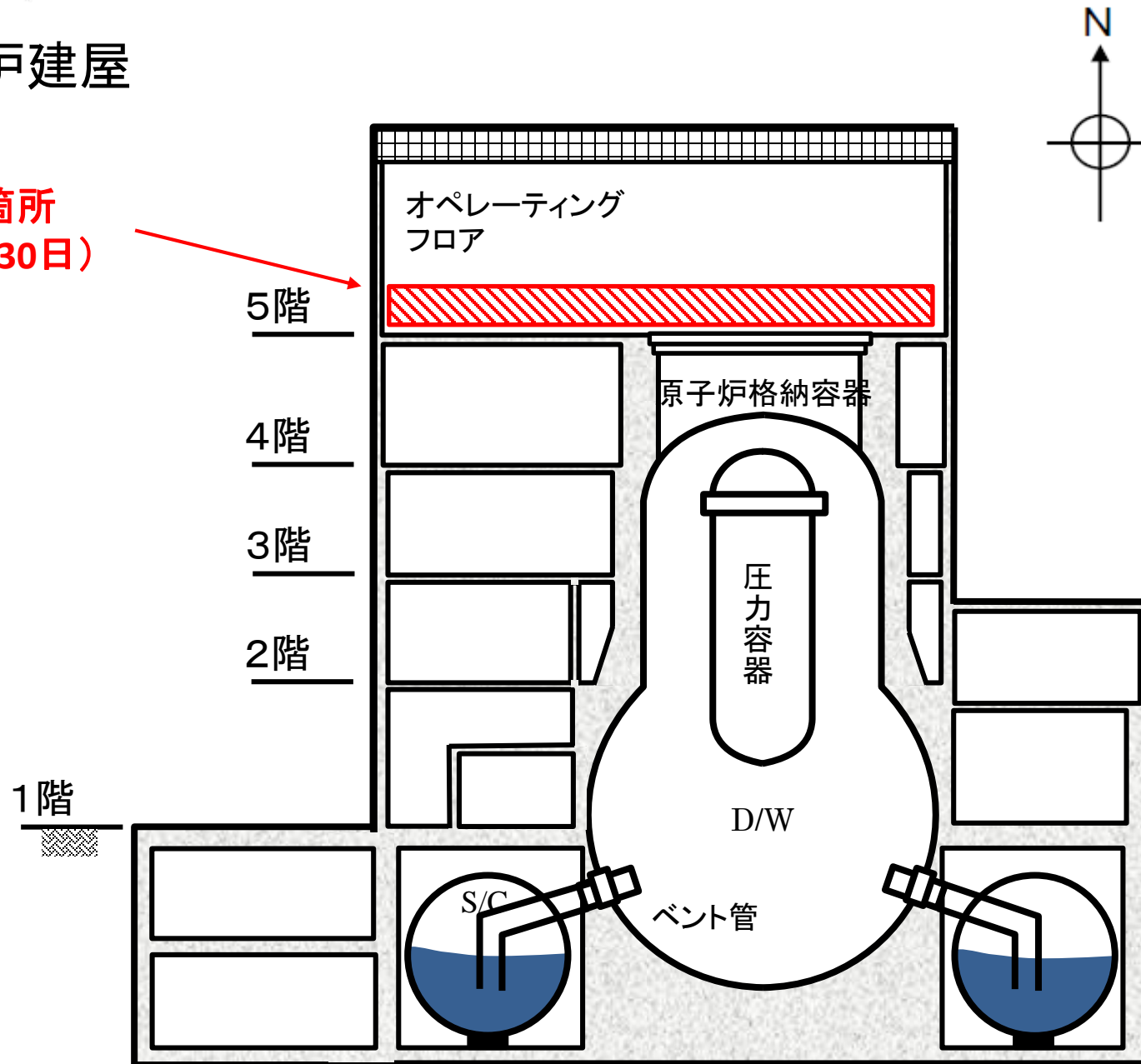


γ 線検出器
散乱してエネルギー
が低くなった γ 線を捉
える機能を持つ

東京電力より提供

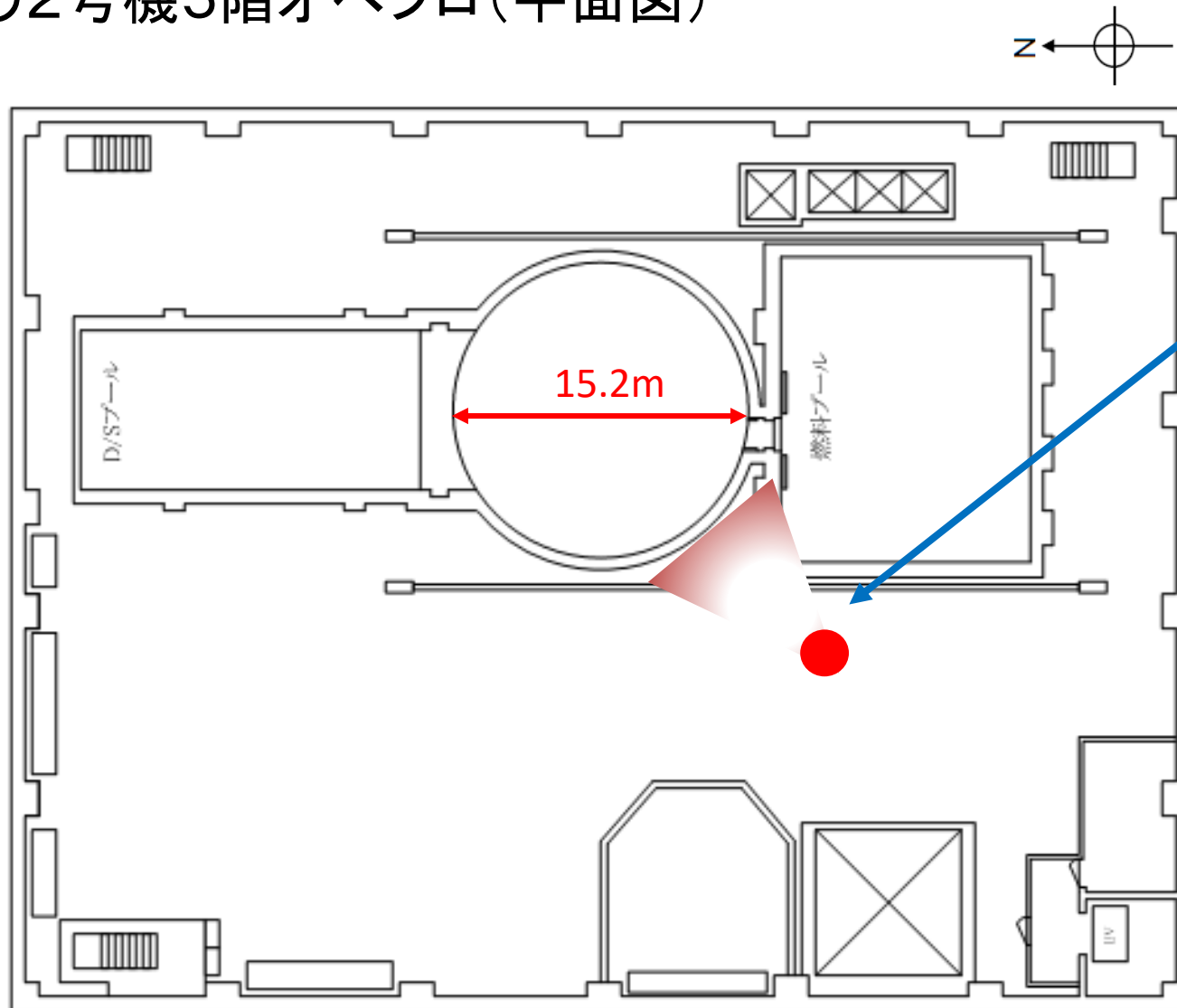
○2号機原子炉建屋 (東西断面)

現地調査箇所
(令和2年1月30日)

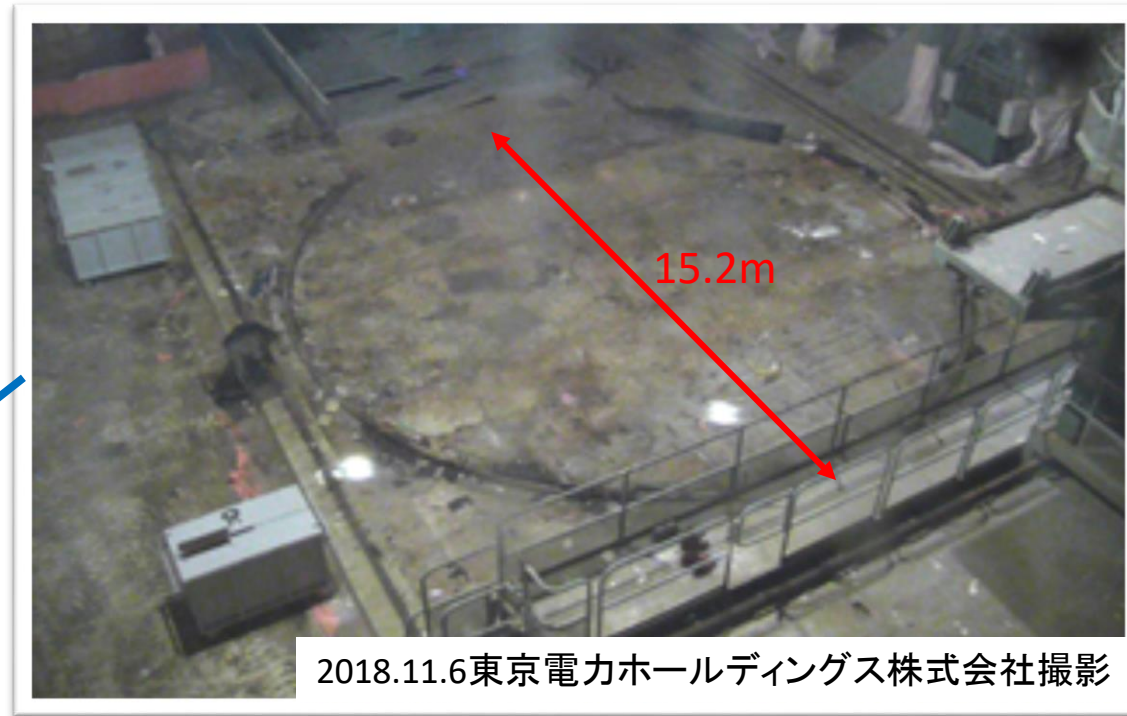


東京電力「福島第一原子力発電所
原子炉設置変更許可申請書」
(平成15年6月現在)を基に作成

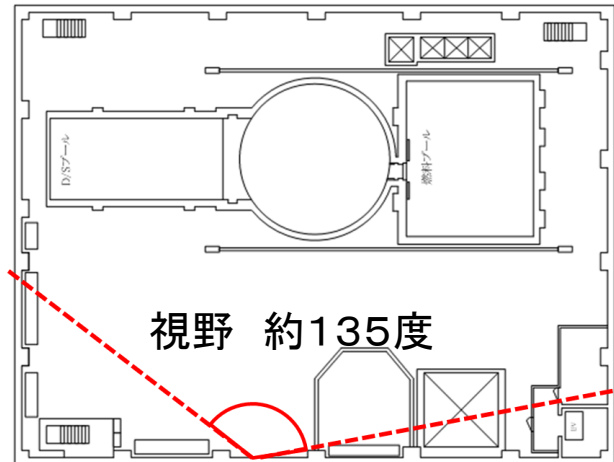
○2号機5階オペフロ(平面図)



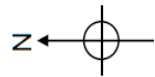
5階



○2号機5階オペフロ(ガンマカメラ撮影範囲)



約4度



約8度

約17度

視野 約135度

2号機原子炉ウェルプラグ上の線量率に起因する線源調査結果について ～遠隔操作ロボットによる線量率測定結果～

2020. 2. 3

TEPCO

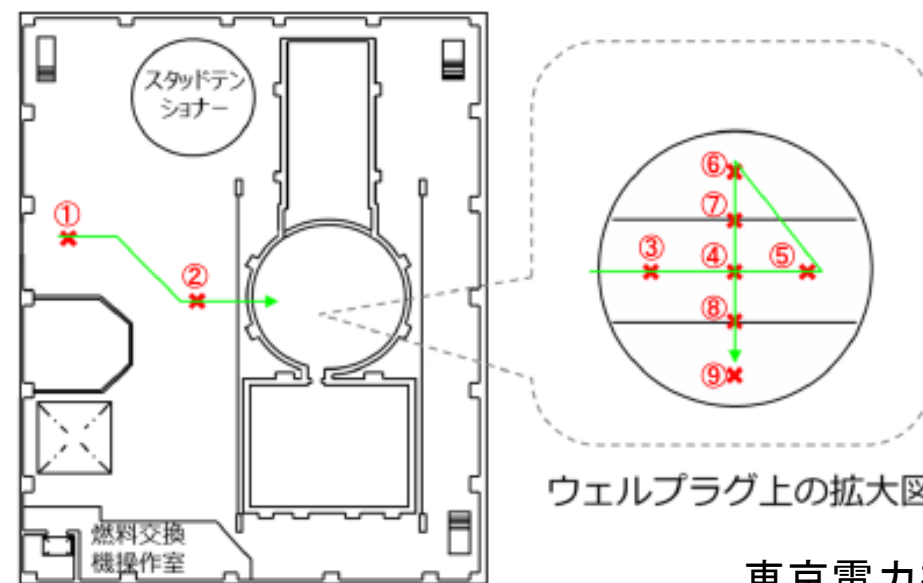
東京電力ホールディングス株式会社

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10回会合 資料3
(参考)より引用

- 測定日 : 2020年1月30日
- 測定場所 : 2号機原子炉建屋オペレーティングフロア
- 測定器 : 電子式個人線量計2個 (鉛2mmの遮蔽付 : APD②、アクリル2mmのケース付 : APD①)
(データ出力 : 2分間の積算線量[mSv/2min] ※抽出後に1時間相当[mSv/h]に換算)
- 測定位置 : 横方向) 右下図中を参照、高さ方向) 床面より約10cm
- 測定結果 : 測定値[1cm線量率]は左下の表を参照。

(単位 : mSv/h)

測定点	鉛遮蔽なし APD①	鉛遮蔽あり APD②	比率 (②/①)
①	10.6	7.89	0.75
②	13.2	9.06	0.68
③	153	120	0.78
④	291	262	0.90
⑤	165	148	0.90
⑥	360	335	0.93
⑦	683	657	0.96
⑧	473	428	0.90
⑨	164	131	0.80



2号機原子炉建屋 5階 オペフロ

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10回会合 資料3 (参考)より引用