

# 2号機シールドプラグ穴内での 線量当量率測定による シールドプラグ上段と中段の隙間の Cs-137汚染量測定方法の実証測定

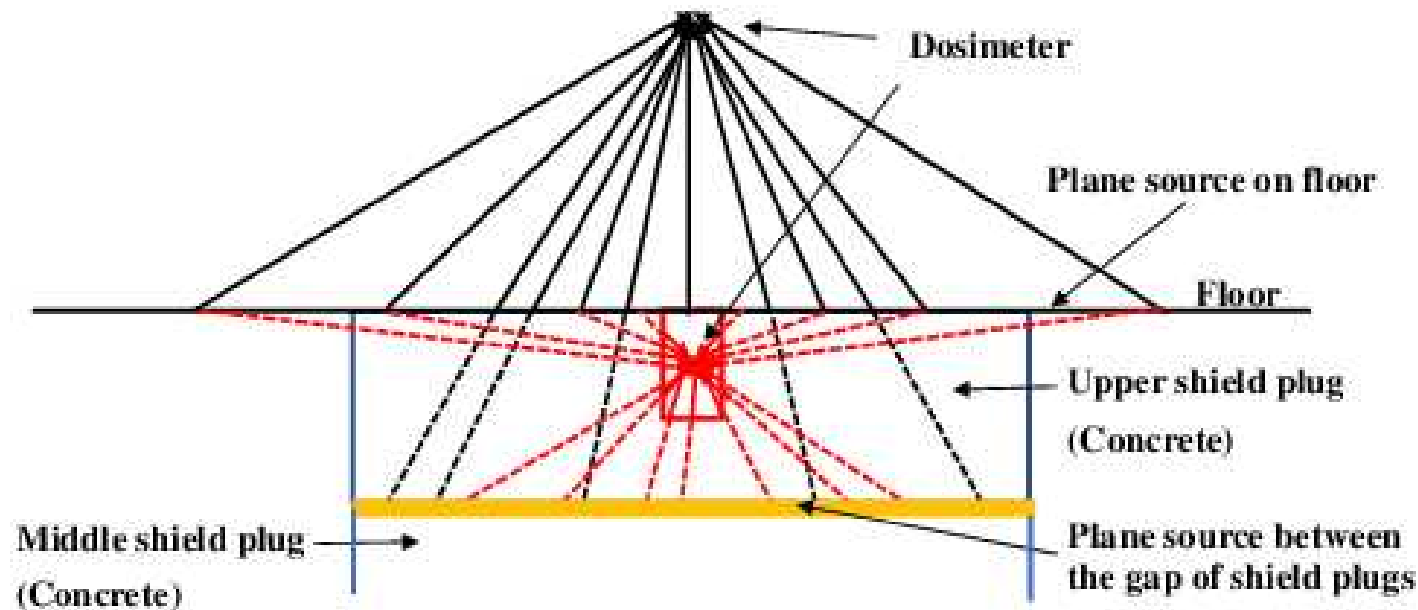
2021年9月14日

原子力規制庁

平山英夫

# シールドプラグ内での線量当量率によるシールドプラグ上段と中段の隙間のCs-137放射能推定法

- オペレーションフロア(以下、「オペフロ」という。)の床、壁及び天井の汚染の影響を受けずに、シールドプラグの上段と中段の隙間に大量に沈着していると推定されているCs-137の放射能を推定する手法
  - シールドプラグに穴を開け、開けた穴内に線量計を挿入して線量当量率を測定する
  - 穴内部では、床等のオペフロ内部の汚染からの $\gamma$ 線は、コンクリートを透過する事になり、測定点から離れた位置ほど透過するコンクリートの距離が長くなるので、線量当量率に寄与する領域が限定される
  - シールドプラグ隙間の汚染からの寄与は、穴の深さだけ測定点に到達する前に透過するコンクリートの距離が短くなるので、線量当量率への寄与が増える
  - 床等の汚染密度に比べて、シールドプラグの上段と中段の隙間の汚染密度が非常に高い場合には、穴の内部では床等の汚染の寄与が無視できるレベルとなる可能性が高い



**Solid line : Transmits and scatters in air**

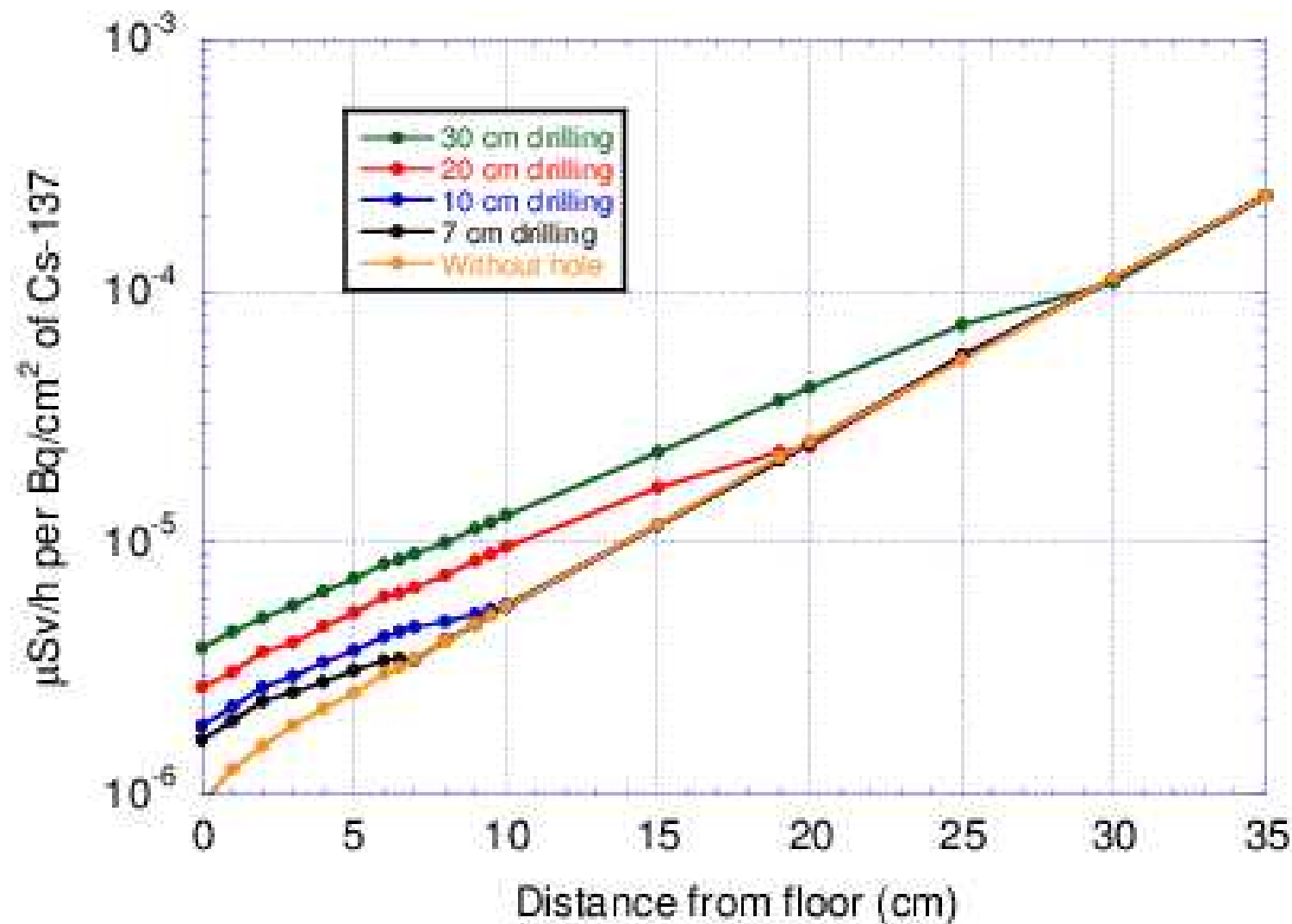
**Dotted line : Transmits and scatters in concrete**

**Upper floor : Contribute from the source on floor surface without shield**

**At least 61 cm of concrete exits from the shield plug gap**

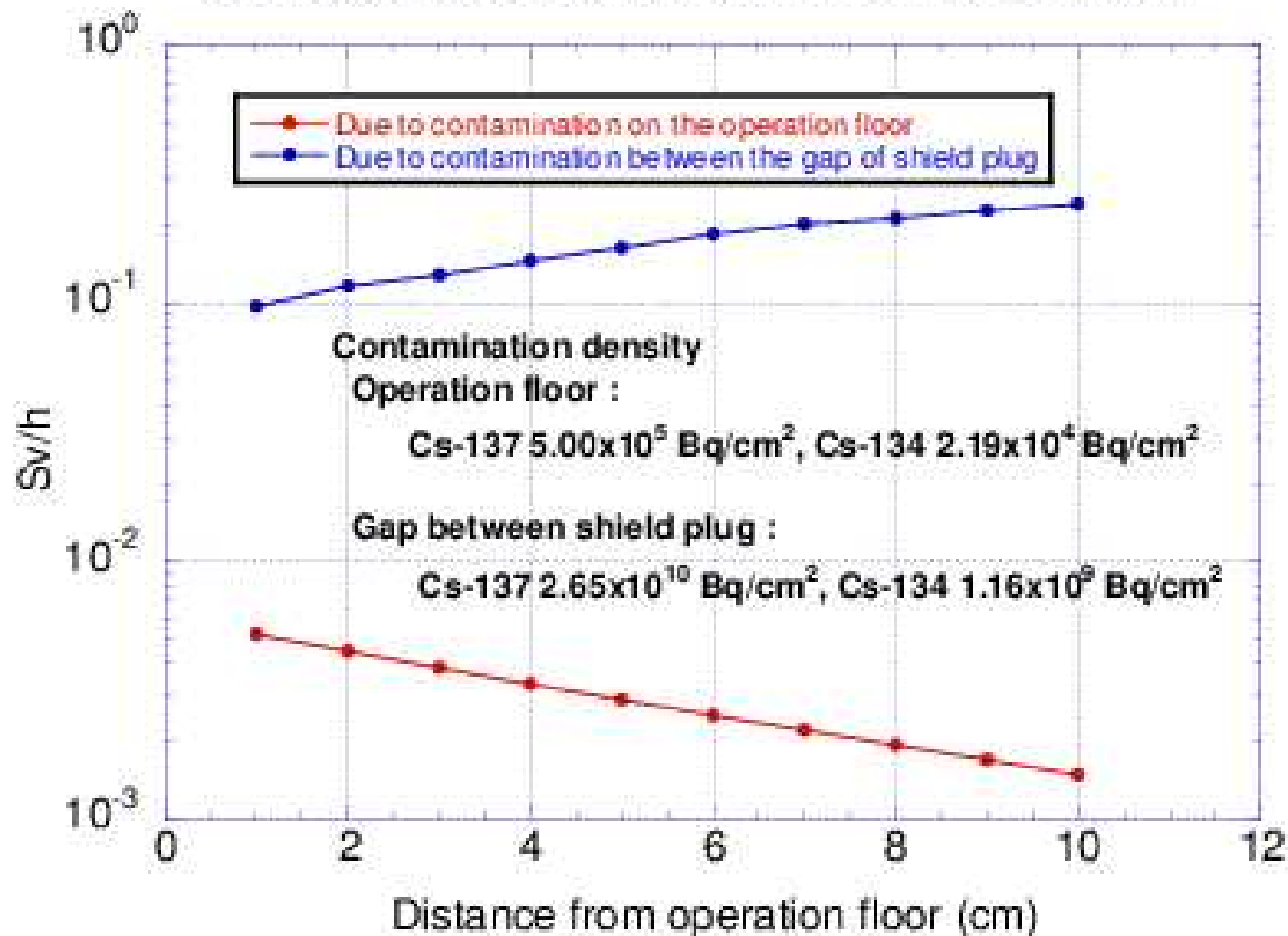
**Inside the hole : From the source on floor , the thickness of the concrete increases with the distance from the center of the hole**

**Distance and thickness of concrete are reduced from the source between the gap of shield plugs**



直径5 cm(深さが30 cm、20 cm、10 cm及び7 cm)の穴が開けられた状態でのシールドプラグの上段と中段の隙間に存在するCs-137とCs-134 (Cs-137の4.4%)による穴内部の周辺線量当量率分布

## Inside the hole of 2.5 cm radius and 10 cm depth



穴 (直径5 cm、深さ10 cm) 内における床表面汚染による周辺線量当量率とシールドプラグ隙間の汚染による周辺線量当量率の比較

床面の汚染密度は、これまでの測定値の最大値

シールドプラグ隙間の汚染密度は、これまでの推定値の最小値 (全体で30 PBq)

どちらの場合も、汚染は一様であることを仮定

# 実証測定の実目的

- egs5を使って得られた計算結果に基づくこの手法がオペフロ室内の汚染の影響を受けずに、シールドプラグ隙間の汚染量を測定できる方法であることを確認すると共に、シールドプラグ上段と中段の隙間におけるCs137の付着状況についての追加的知見を獲得すること
- 過去にIRIDがシールドプラグ表面の汚染状況調査のために穿孔した2か所の直径 5 cm、深さ 7 cmの穴 (IRID公表資料) を使用
- 8月5日の予備測定では、穴の内部に砂状物質があり(中央部の穴では底から6 cm、東側の穴では底から5 cmまで)、線量計の挿入が出来なかった
- 東京電力ホールディングス(株)(以下、「東電」という。)により穴内部に残っていた砂状物質が除去されたことを受け、8月26日と9月9日に、穴内部での線量率測定を東電の協力を得て実施した

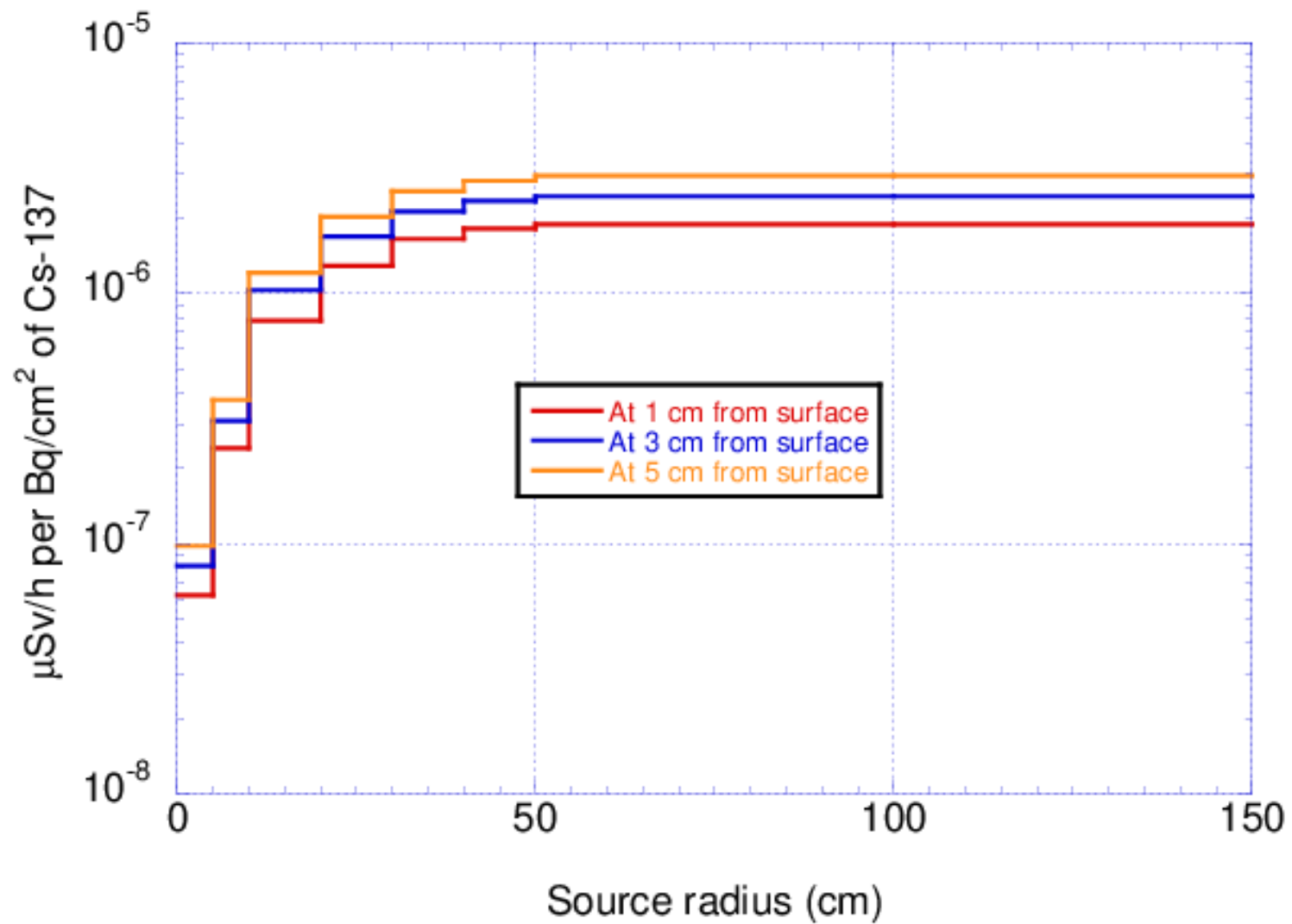
# 測定方法

- ATOMTEX社のAT2533線量計を高エネルギー加速器研究機構で製作された治具に挿入して使用
  - 先端から 1.5 cm の位置に線量計の中心がある高線量率用のSi検出器 (100 mSv/h 以上対象) を使用
- 併せて、先端から約25 cmの高さの治具外側にATOMTEX社のPOLIMASTER線量計を設置
- 比較のために、9月9日の測定では、東電がオペフロ空間で床から150 cm高さでの測定に使用していた日立アロカ製PDR-303線量計をPOLIMASTERと同じ高さに設置
- 治具をロボット(Kobra)に持たせて穴に挿入
  - 挿入した深さは、別のロボット(Packbot)で治具に貼り付けた目盛りを写した画像で確認
  - AT2533に記録されたデータとAT2533、POLYMASTER及びPDR-303の表示をPackbotで写した画像から得た線量当量率を使用

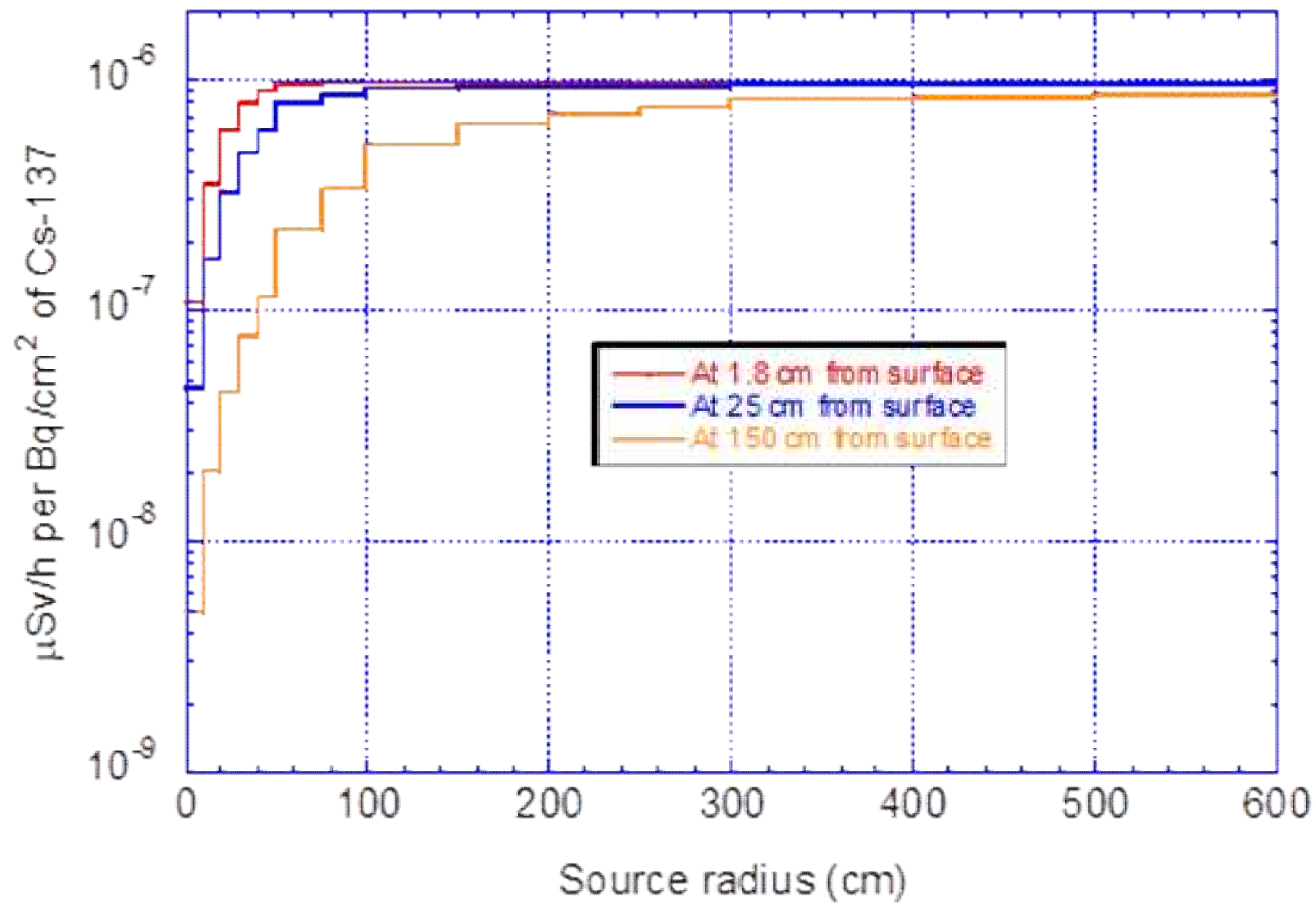
# 直径 5 cm 深さ 7 cm の穴

- 直径 5 cm で深さ 7 cm の穴がある場合について、 $1 \text{ Bq/cm}^2$  のCs-137と $0.044 \text{ Bq/cm}^2$  のCs-134が一様な密度でシールドプラグの上段と中段の隙間に存在する条件で、穴内部での周辺線量当量率変化をegs5で計算
  - コンクリートの厚さは 61 cm で、密度は  $2.1 \text{ g/cm}^3$  として計算
- シールドプラグの穴内部の線量当量率に寄与する領域を知るために、シールドプラグ隙間の線源半径を変えて計算
  - 半径 50 cm の領域からの寄与がほぼ 96 %
- オペフロ床面から 1.8 cm、25 cm 及び 150 cm の高さで同様にシールドプラグの隙間の線源が寄与する領域を計算
  - 1.8 cm では半径 50 cm、25 cm では半径 3 m の領域からの寄与が大部分
  - 150 cm では、半径 6 m の全域から寄与がある





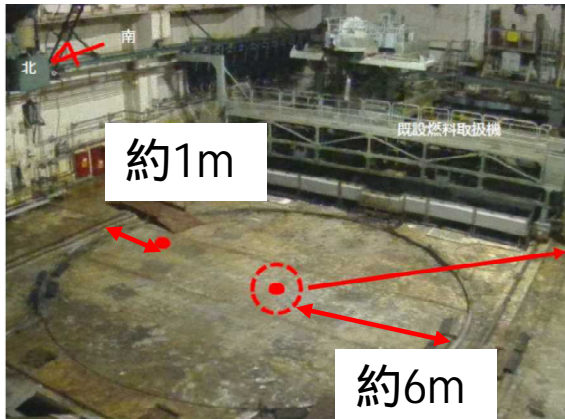
穴内部の線量当量率の線源半径依存



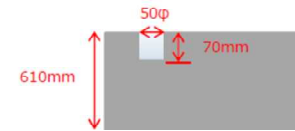
床面、上部の空間の線量当量率の線源半径依存

In order to obtain a clear conclusion, NRAJ and TEPCO is planning to radiation measurement using a concrete bore-hole on the shield-plug.

【参考】



穿孔箇所の情報  
穴径：50mm  
深さ：70mm



a concrete bore-hole

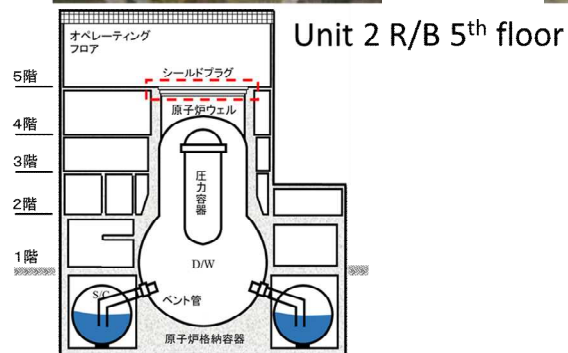


2021年 8月 5日撮影

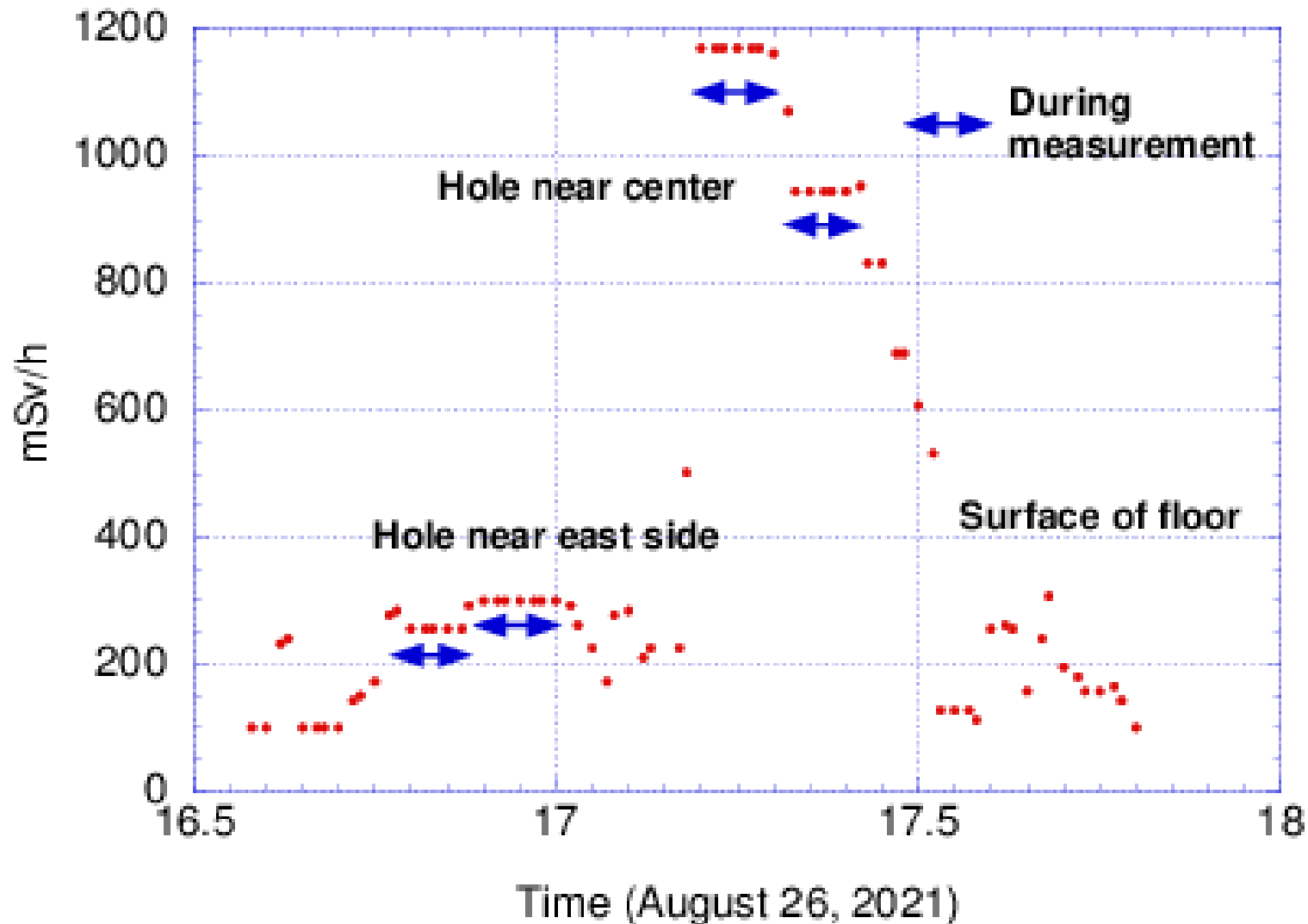
調査方法

- 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



## 8月26日の測定結果 (AT2533データロガー)



データロガーは1分間の平均線量当量率を記録している。東側及び中央の2箇所での各5分測定以外の箇所は、データ読み取り時間が短いので移動時や他の高さの情報を含んでいる。

# 測定結果 (8月26日)

測定場所	床表面からのt筒底の距離	時刻	AT2533	POLIMASTER
	cm		mSv/h	
東	7.0	16:45 - 16:51	255	52.5
	6.0	16:52	277	51.5
	5.0	16:53 - 16:58	290 - 300	52.1
	4.0	16:58	292	50.9
	3.0	16:59	255	50.7
	2.0	17:02	225	51.9
	1.0	17:02	172	51.9
	7.0	17:03	255	51.5
中央	6.0	17:10 - 17:15	1169	230
	5.0	17:15	1070	236
	4.0	17:16 - 17:21	944	235
	3.0	17:23	825	225
	2.0	17:25	682 - 690	226
	1.0	17:26	600	225
	0.0	17:27	532	225

9月9日の測定で同じ結果が得られることを確認した

## 25 cm 位置での2つの線量計の比較

測定場所	床表面から筒底 までの距離 cm	POLIMASTER	PDR-303
		mSv/h	
東	7 cm	48.4	47.1
	0 cm	49.2	47.2
中央	6 cm	205	187
	0 cm	193	184

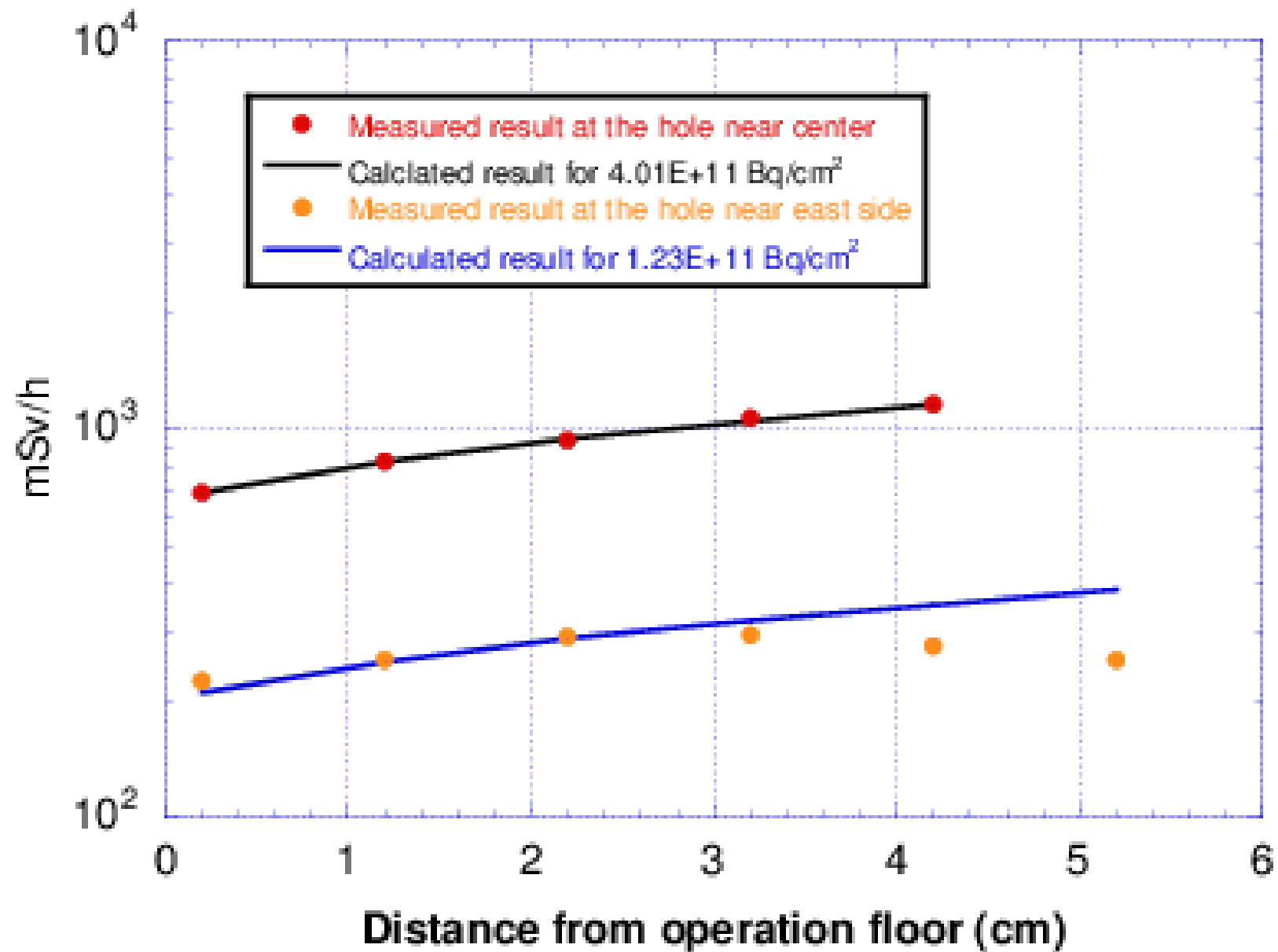
2つの線量計は同じ高さに取り付けられているが、水平方向では10 cm 程度離れている。

2つの線量計の測定結果はほぼ一致している。

直径5 cm 深さ7 cm の穴内部の線量当量率の  
測定結果と計算結果から求めた汚染密度

穴の位置	床からの 距離 (cm)	換算係数	AT2533	Cs-137 汚染密度	半径 50 cm の隙間のCs-137
		$\mu\text{Sv/h per Bq/cm}^2$	mSv/h	$\text{Bq/cm}^2$	PBq
中央	-0.8		600		
	0.2	1.71E-06	686	4.00E+11	3.1
	1.2	2.06E-06	825	4.01E+11	3.1
	2.2	2.36E-06	938	3.97E+11	3.1
	3.2	2.63E-06	1070	4.07E+11	3.2
	4.2	2.88E-06	1160	4.03E+11	3.2
東側	-0.8		172		
	0.2	1.71E-06	225	1.31E+11	1.0
	1.2	2.06E-06	255	1.24E+11	1.0
	2.2	2.36E-06	292	1.24E+11	1.0
	3.2	2.63E-06	295	1.12E+11	0.9
	4.2	2.88E-06	277	9.61E+10	0.8
	5.2	3.15E-06	255	8.08E+10	0.6

線量計の実効中心は、治具底面から 1.8 cmなので評価位置は、  
治具の底から1.8 cm 上部となる



測定値と計算値の比較



# 測定結果についての検討 (1)

- シールドプラグ上段と中段の隙間のCs-137による線量当量率は、床からの距離に伴い増加 (1 cm で大凡 10 % 増加)
  - シールドプラグの隙間の汚染でしかあり得ない傾向
- Cs-137の汚染密度が $4.01\text{E}+11$  Bq/cm<sup>2</sup> (中央の穴に対応)、 $1.23\text{E}+11$  Bq/cm<sup>2</sup> (東側の穴に対応) の場合の計算値による線量当量率は、測定値と中央の穴では全ての測定点で良くあっており、東側の穴では、4.5 cm と5.5 cm以外では良く合っている
  - egs5を使って得られた計算結果に基づく手法は妥当である
  - これまでの推定より高い汚染密度
  - 東側の 4.5 及び 5.5 cm で測定値が小さくなる理由として、ボーリングでコアを採取した際に、底の一部が残り、その部分がこれらの箇所では遮蔽になった可能性が考えられる

## 測定結果についての検討 (2)

- 本手法は、3号機での測定と同じ様に、シールドプラグ全体から見ると限られた領域の汚染状況を測定しているため、シールドプラグ隙間の汚染のばらつきが反映する
  - 3号機での測定
    - 実効半径 6 cm の領域5箇所での測定
    - 汚染密度が最も大きい箇所と最も小さい箇所で7倍の違い
    - シールドプラグ全体でどの程度のばらつきがあるかの情報は得られていない
  - 実証測定
    - 測定結果で得られた汚染密度は、穴の中心位置から直径1 mの領域の汚染状況を反映
    - 3号機の測定よりも対象領域は広いが、直径12 mの領域から見ると、局所的な領域の状況

# シールドプラグ隙間全体の汚染量

- 本手法でシールドプラグの隙間全体での汚染量を推定するには、シールドプラグ隙間の汚染のばらつきを「把握」し、適切な場所に新たなドリリングを行なって汚染密度とそのばらつきを測定することが必要
  - 床面近く(2-3 cm)で周辺線量当量率を測定すれば、穴内部の測定に寄与している領域に近い領域の情報が得られるので、新たなドリリング場所の選定のための情報として活用できる
    - 床表面の汚染の影響があるので、あくまで目安
    - これまで150 cm高さでの測定で使用してきた線量計が良い
- 床・壁・天井の汚染の影響評価が難しいが、シールドプラグ隙間の大部分の状況を反映することから、1.5 m高さでの測定に基づく推定が参考になる

# まとめ

- 過去にIRIDが放射能分析のために採取したコア試料の後の穴(直径5 cm で深さ7 cm)を用いた実証測定で手法の妥当性を実証することができた
  - 穴内部の線量当量率分布が計算値と良く一致
  - 床からの距離が1 cm 増えると大凡 10 % 線量当量率が増加
  - この傾向は、シールドプラグ隙間の汚染が線源であることを示している
- 限られた測定点ではあるが、3号機の5か所の測定点で得られた汚染密度より高い汚染密度が測定された
  - 2号機では、3号機よりも多くのCs-137が沈着している可能性があることを示している
- この手法により得られた結果は測定位置下部の隙間の半径 50 cm の領域の汚染密度を反映している
  - 中央と東側で見られた約3倍の違いは、シールドプラグ隙間の汚染密度のばらつきを反映したものと考えられる
  - シールドプラグ全体では、汚染密度のばらつきは更に大きい可能性がある
- シールドプラグの隙間全体の汚染量を求めるには、隙間の汚染密度のばらつきを反映した適切な場所で新たなドリリングを行い測定することが必要
  - ドリリング場所の選定では、シールドプラ表面での1.8 cm高さでの線量率が、シールドプラグ隙間の大凡半径50 cm の領域の汚染状態を反映しているので、表面近くの線量率分布が参考になる

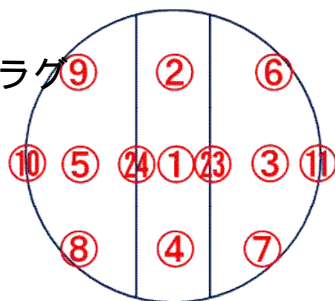
## 3号機調査 まとめ

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

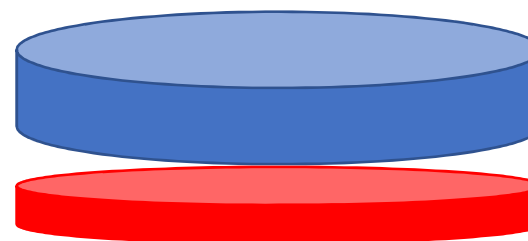
中央が有意に高い

1.9 ± 1.5

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



3号機  
シールドプラグ  
(60cm厚)

Cs137の密度が一様な  
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。

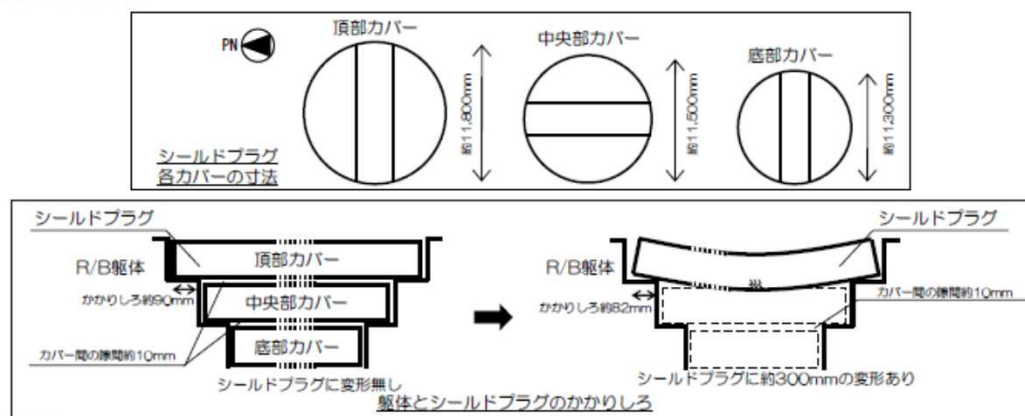
平成26年2月14日  
東電調査結果資料より抜粋

## 添付資料2. シールドプラグの変形について

リスク①「シールドプラグの変形進行、落下」

<考察>

- ・シールドプラグの各カバーは井桁に組まれており、カバー間の隙間は約10mmあるため、中央部や底部カバーの変形は頂部より少ないと想定される
- ・建屋躯体とシールドプラグのかかりしろは、通常時には90mm程度だが、変形による端部のかかりしろの減少は8mm程度であるため、変形による落下の可能性は少ないと考える
- ・シールドプラグの中央部が曲げ降伏していると仮定しても、変形を生じた時に受けた荷重程度には十分耐えられるものと考えられる。また、瓦礫撤去により積載していた荷重（主巻フックや瓦礫等：約8t以上）は既に除去済みであることから、変形が進行する可能性は少ないと想定される



■ 測定条件

- ・ 測定高さ：床面から1.5m

■ 調査結果

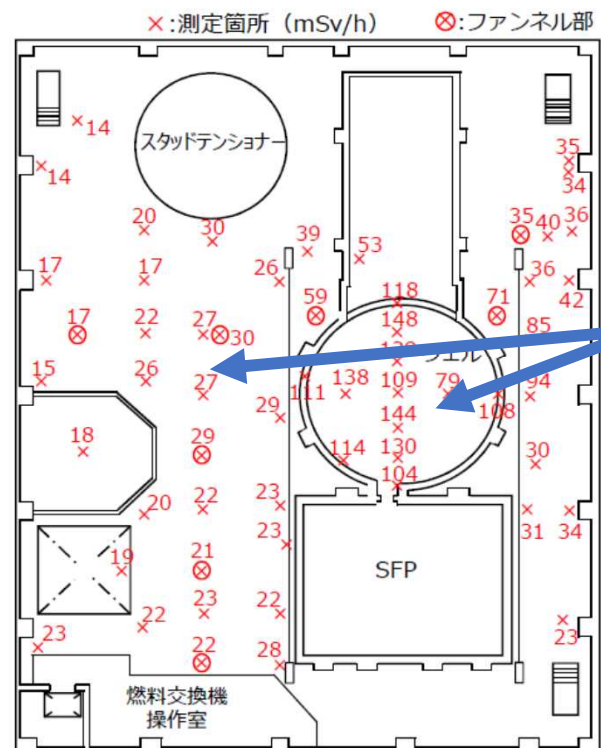
・ 線量分布：

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ン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。

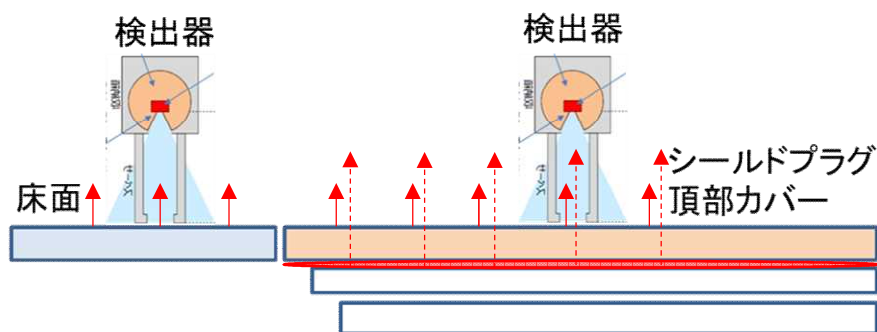


シールドプラグ裏面の汚染密度の推定に用いた数値

2号機オペフロ

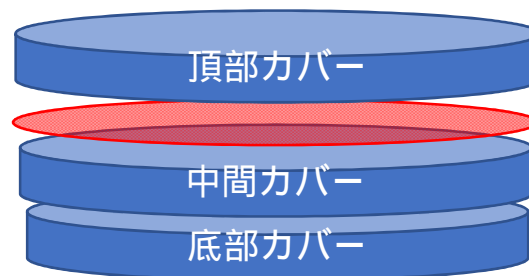
※1cm線量当量率

○測定結果からの推計



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。

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)  
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。