

## スミヤろ紙・フィルタの測定・評価結果

## I. スミヤろ紙・フィルタの外観，光子エネルギースペクトル

室内 Pu ダストモニタ No.2 フィルタ（平成 29 年 6 月 6 日交換）及び 108 号室内汚染検査結果のスミヤろ紙（平成 29 年 6 月 7 日採取）について、詳細撮影した外観を図 6.5.1-1 に、Ge 検出器による光子エネルギースペクトルを図 6.5.1-2 に、イメージングプレート（以下「IP」という。）の画像を図 6.5.1-3 に示す。

## II. スミヤろ紙の粒子径

## 1. Pu の粒子径について

108 号室のスミヤろ紙 14 枚について、IP で測定し、室内に飛散した Pu の粒子径の評価を行った。国際放射線防護委員会（ICRP）の呼吸気道モデルによる線量評価では空気力学的放射能中央径（以下「AMAD」という。）の  $1\ \mu\text{m}$  と  $5\ \mu\text{m}$  がデフォルト値となっており、Pu 粒子の粒子径は AMAD を評価するための重要なデータとなる。このため、今回の IP による Pu 粒子径の評価においては、 $1\ \mu\text{m}$  又は  $5\ \mu\text{m}$  の適用に資するため、現実的に AMAD が最も小さくなる条件を仮定し、評価を行った。

## 2. Pu 粒子の AMAD の評価について

IP による測定により画像の個々の Pu 粒子の画像から  $\alpha$  線放射エネルギーを評価し、その放射エネルギーから Pu 粒子の粒子径を評価する。その Pu の粒子径から空気力学的径<sup>1</sup>を計算し、AMAD を評価する。

イメージングプレートによる放射エネルギー評価については、原子力機構が開発した方法<sup>1,2</sup>により実施した。また、今回使用したイメージングプレートの読取装置については、Pu 及び Am-241 線源により放射エネルギーの評価がほぼ一致していることを確認している。Pu の粒子径は IP 画像から得られた個々の放射エネルギーから球形を仮定して直径を算出<sup>3</sup>した。

空気力学的径は文献<sup>3,4</sup>の換算式を用いて各 Pu の粒子径から計算し、空気力学的径の分布を対数正規分布に当てはめることで、AMAD を評価した。

また、AMAD が最も小さくなるよう、以下の条件を仮定した。

- ・ Pu のみの化学形態で付着物等がないと仮定
- ・ Pu の密度：硝酸 Pu 塩： $2.9\ \text{g/cm}^3$  ( $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )  
酸化 Pu： $11.46\ \text{g/cm}^3$  ( $\text{PuO}_2$ )
- ・ 比放射能： $7.7 \times 10^9\ \text{Bq/g}$ （比放射能が高くなる法令報告の A の組成を適用）

なお、現段階での調査において、当該容器内に硝酸 Pu 塩の存在は確認されていないが、最も AMAD が小さくなる場合として計算した。実際の Pu 粒子は大部分が酸化物 ( $\text{PuO}_2$ ) と考えられ、塵等の付着などもあり、本評価よりも AMAD は大きなものとなる可能性がある。

## 3. Pu 粒子の粒子径について

## (1) IP で算定した Pu 粒子の粒子径について

<sup>1</sup> 対象とする粒子について空気中で同じ挙動を示す仮想的な水滴の直径として換算したものの。

IP で評価した Pu 粒子の粒子径分布を表 6.5.1-1 に示す。IP による評価の結果、粒子径の平均はそれぞれの試料において、約 0.8~3.5  $\mu\text{m}$  (硝酸 Pu 塩及び酸化 Pu を含めた範囲。ただし、No.8 の巨大粒子を除く。) であった。

試料の No.1、No.7、No.8、No.13 及び No.14 は  $\alpha$  線の放射能強度が高く、通常の放射線検出器の結果よりも IP の評価結果は低い傾向であった。これは Pu 粒子中での  $\alpha$  線の自己吸収の効果によるものと考えられる。

なお、粒子径の評価においては放射能強度の過小評価は粒子径が小さく計算されることになり、保守側の評価となる。

No.8 については、画像から 1 つの巨大な粒子の存在がみられた。図 6.5.1-5 に No.8 の IP 画像 (拡大) を示す。

#### (2) 電子顕微鏡で観察された Pu 粒子の粒子径について

試料 No.3 及び No.8 について電子顕微鏡による Pu 粒子径の観察結果を図 6.5.1-6 に示す。スミヤろ紙 No.3 では 1.9、2.0、5.4 及び 8.4  $\mu\text{m}$  の Pu 粒子が観察されている。また、スミヤろ紙 No.8 では 2.2、2.3、3.8、4.2、5.6、49.1 及び 89.6  $\mu\text{m}$  の Pu 粒子が観察されている。

観察された粒子は様々な形状があるが、1.9~8.4  $\mu\text{m}$  の観察結果は、IP の測定から評価した粒子径の範囲内 (0.2~44  $\mu\text{m}$  硝酸 Pu 塩及び酸化 Pu を含めた範囲) である。

49.1  $\mu\text{m}$  及び 89.6  $\mu\text{m}$  の粒子については、細長の形状をしており、球形として換算した場合の直径は小さくなる。また、Pu 粒子中の  $\alpha$  線の自己吸収により IP では小さく評価される傾向を考慮すれば、49.1  $\mu\text{m}$  及び 89.6  $\mu\text{m}$  の粒子についても IP による粒子径の評価結果から外れるものではないと考える。

#### 4. Pu 粒子の AMAD の評価結果について

Pu 粒子から計算した空気力学的径及び AMAD を表 6.5.1-2 に、硝酸 Pu 塩を仮定した場合の AMAD を図 6.5.1-4 に示す。スミヤろ紙 No.8 については巨大粒子とその影響範囲の粒子を除いた評価をカッコ内に示した。スミヤろ紙の結果からは硝酸 Pu 塩では AMAD は 4.3~11  $\mu\text{m}$  以上、酸化 Pu では、AMAD は 5.6~14  $\mu\text{m}$  以上となった。したがって、スミヤろ紙については、AMAD は約 4  $\mu\text{m}$  以上と考えられる。また、Pu ダストろ紙については、硝酸 Pu 塩で AMAD は約 3  $\mu\text{m}$ 、酸化 Pu で 3.9  $\mu\text{m}$  となった。

AMAD の傾向としては室内の汚染のレベルと同じ傾向であり、当該のフードから離れるほど AMAD が小さくなる傾向があった。当該フード付近の No.8 においては、巨大な粒子が見られた。No.1、No.7 及び No.8 は作業員の行動範囲及び退室経路にもなっており、表面密度の高い場所の AMAD の分布についてはこれらの影響も考慮する必要がある。

#### 参考資料

- 1) 佐川直貴 ほか ; 「MOX 燃料製造施設の放射線管理へのイメージングプレートの適用」, JAEA-Technology 2010-051 (2010)
- 2) K.Takasaki *et al.*; "An Autoradiographical Method Using an Imaging Plate for the Analyses of Plutonium Contamination in a Plutonium Handling Facility", Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, Vol. 48, No. 6, p. 1-8 (2011)
- 3) 日本保健物理学会 ICRP 新呼吸気道モデル専門研究会 ; 「ICRP Publication 66 新呼吸気道モデル 概要と解説」、日本保健物理学会 (1995)
- 4) 石樽信人, 稲葉次郎 ; 「ICRP 新呼吸気道モデルに基づく  $^{239}\text{Pu}$  の内部被曝線量評価における粒子性状

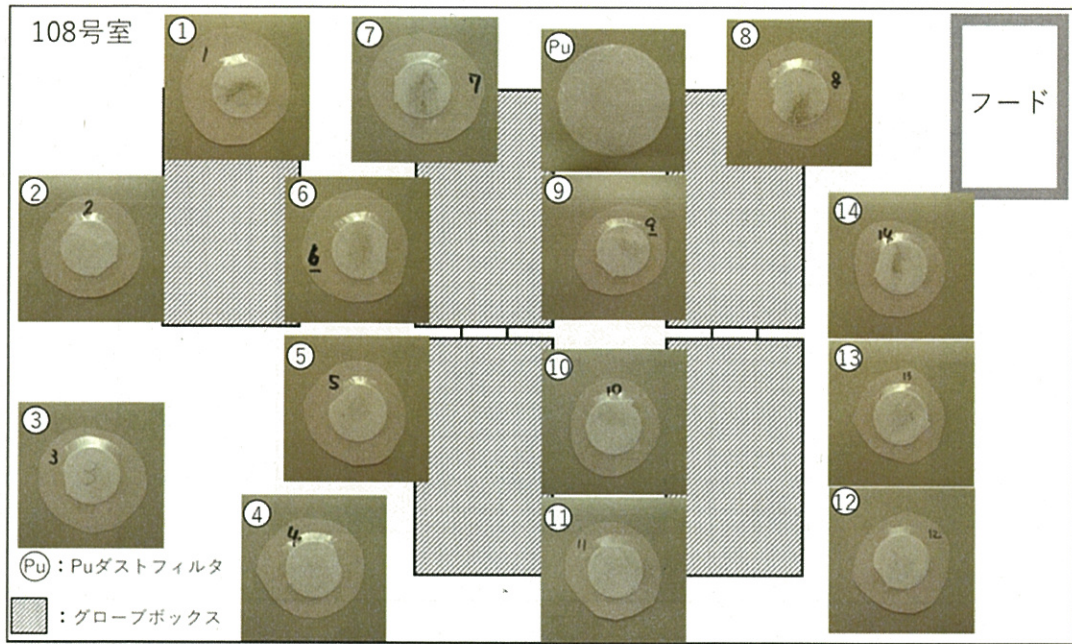


図 6.5.1-1 108号室スミヤろ紙及び室内PuダストモニタNo.2フィルタの外観

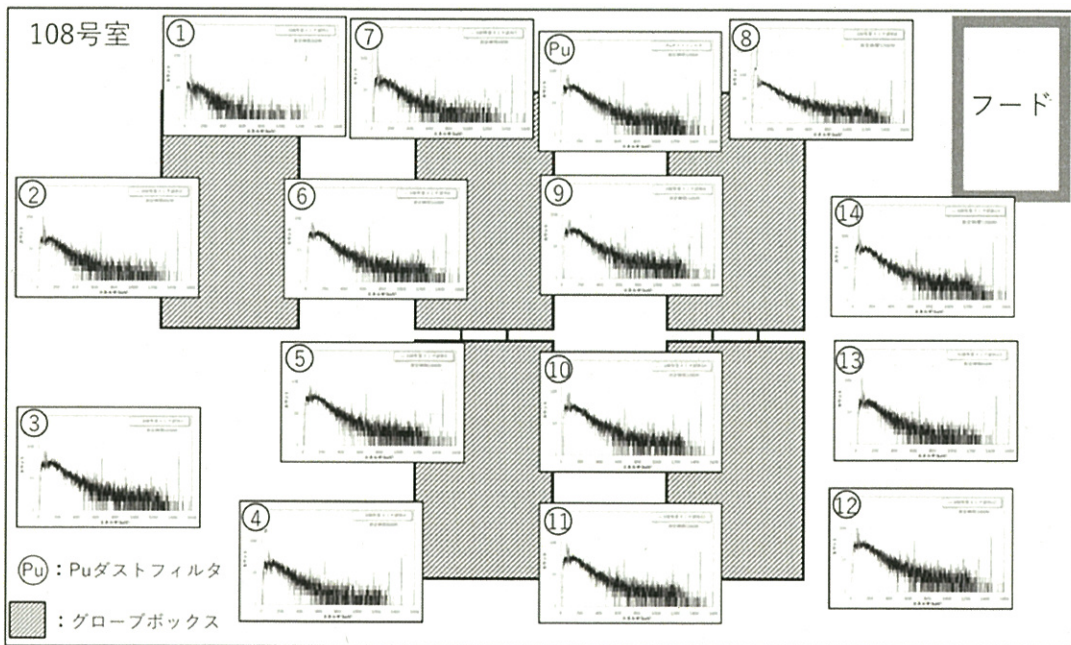


図 6.5.1-2 108号室スミヤろ紙及び室内PuダストモニタNo.2フィルタの光子エネルギースペクトル

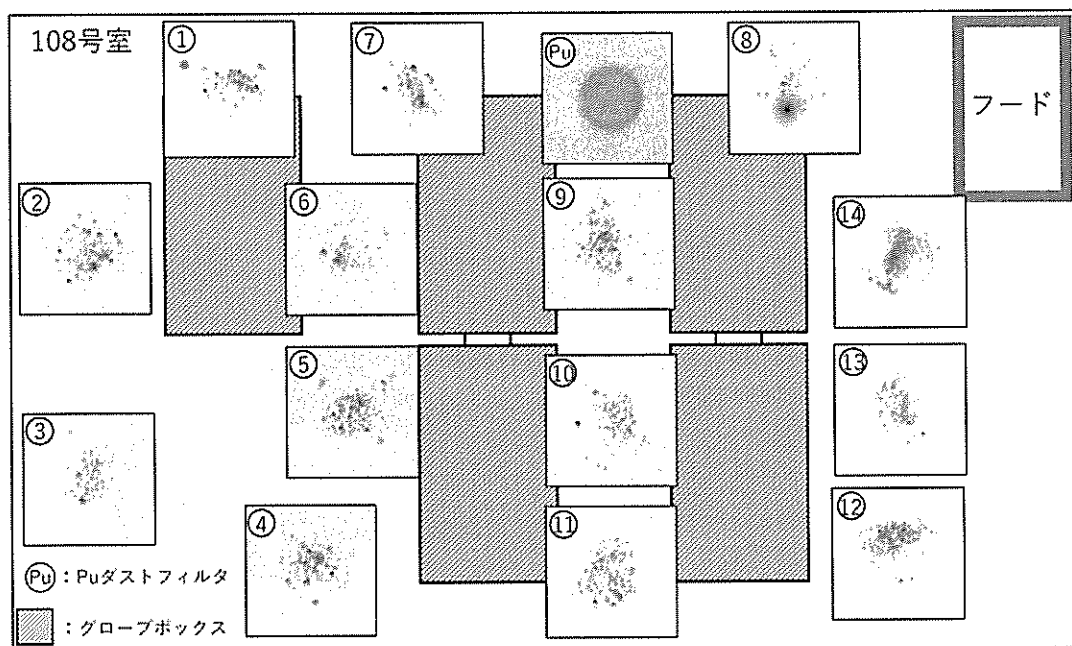


図 6.5.1-3 108号室スミヤロ紙及び室内PuダストモニタNo.2フィルタのイメージングプレート像

表 6.5.1-1 イメージングプレートでの測定結果から計算したPu粒子の粒子径分布

試料	放射線測定器 による紙上 の放射能量*1 (Bq)	IP によるろ 紙上の放射 能量 (Bq)	粒子径 (硝酸Pu塩の場合)		粒子径 (酸化Puの場合)		電子顕微鏡での観察結果 粒子径(μm)		
			最小値 (μm)	最大値 (μm)	平均値 (μm)	平均値 (μm)			
No.1	219	159	1.0	12	2.6	0.6	7.8	1.7	—
No.2	78.3	80	0.7	11	2.1	0.5	7.0	1.3	—
No.3	44.6	44	0.8	12	2.0	0.5	7.9	1.2	1.9, 2.0, 5.4, 8.4
No.4	14.7	16	0.5	4.8	1.5	0.3	3.0	1.0	—
No.5	12.6	13	0.5	5.7	1.4	0.3	3.6	0.9	—
No.6	30.8	26	0.8	8.9	1.9	0.5	5.6	1.2	—
No.7	218	174	1.1	14	2.8	0.7	9.1	1.8	—
No.8	1300*2	1200	1.5	44*3 (10)	4.2*3 (3.5)	0.97	28*3 (6.5)	2.7*3 (2.2)	2.2, 2.3, 3.8, 4.2, 5.6, 49.1, 89.6
No.9	16.0	15	0.5	4.9	1.5	0.3	3.1	0.9	—
No.10	24.7	24	0.7	8.1	1.9	0.5	5.1	1.2	—
No.11	38.6	38	0.7	6.7	2.0	0.5	4.2	1.3	—
No.12	47.4	49	0.7	8.0	2.0	0.5	5.1	1.3	—
No.13	133	101	1.0	10	2.8	0.6	6.5	1.7	—
No.14	353	374	1.6	16	3.4	1.0	9.9	2.2	—
Puダスト モニタ	34	36	0.4	3.9	1.2	0.2	2.5	0.8	—

\*1: スミヤ紙の測定結果から算定。線源効率を0.5とした。

\*2: 測定値の差が大きかったため、別の測定器での値を記載

\*3: 巨大粒子の影響あり。カッコ内は巨大粒子の影響を除いた値

表 6.5.1-2 IP による空気力学的径及び AMAD の評価結果

スミヤ ろ紙	硝酸 Pu 塩			酸化 Pu			備考
	Pu 粒子径の範囲 ( $\mu\text{m}$ )	空気力学的径 の範囲( $\mu\text{m}$ )	AMAD ( $\mu\text{m}$ )	Pu 粒子径の範囲 ( $\mu\text{m}$ )	空気力学的径 の範囲( $\mu\text{m}$ )	AMAD ( $\mu\text{m}$ )	
No.1	1.0~12	1.5~17	11	0.6~7.8	2.0~21	14	
No.2	0.7~11	1~16	9.7	0.5~7.0	1.4~20	12	
No.3	0.8~12	1.1~18	9.8	0.5~7.9	1.5~22	13	
No.4	0.5~4.7	0.8~6.7	4.7	0.3~3.0	1.0~8.6	6.1	
No.5	0.5~5.6	0.8~7.9	4.3	0.3~3.6	1.0~10	5.6	
No.6	0.8~8.8	1.1~13	7.8	0.5~5.6	1.6~16	9.9	
No.7	1~14	1.6~20	11	0.7~9.1	2.1~25	14	
No.8	1.5~44 (1.5~10)	2.2~62 (2.2~14)	50 (10)	1.0~28 (1.0~6.5)	2.9~78 (2.9~18)	63 (13)	1つの巨大粒子の影響がある。 ( ) は巨大粒子を除いた場合の値
No.9	0.5~4.9	0.8~6.9	4.5	0.3~3.1	1.1~8.8	5.8	
No.10	0.7~8.0	1.1~11	5.6	0.5~5.1	1.5~14	7.2	
No.11	0.7~6.6	1.1~99.4	5.5	0.5~4.2	1.5~12	7.1	
No.12	0.7~7.9	1.1~11	6.1	0.5~5.1	1.4~14	7.8	
No.13	1.0~10	1.4~14	7.7	0.6~6.5	1.9~18	9.8	
No.14	1.5~15	2.2~22	10	1.0~9.9	2.9~28	13	
Puダスト モニタ	0.4~3.9	0.5~5.5	3.0	0.2~2.5	0.8~7.1	3.9	Puダストモニタのフィルタろ紙

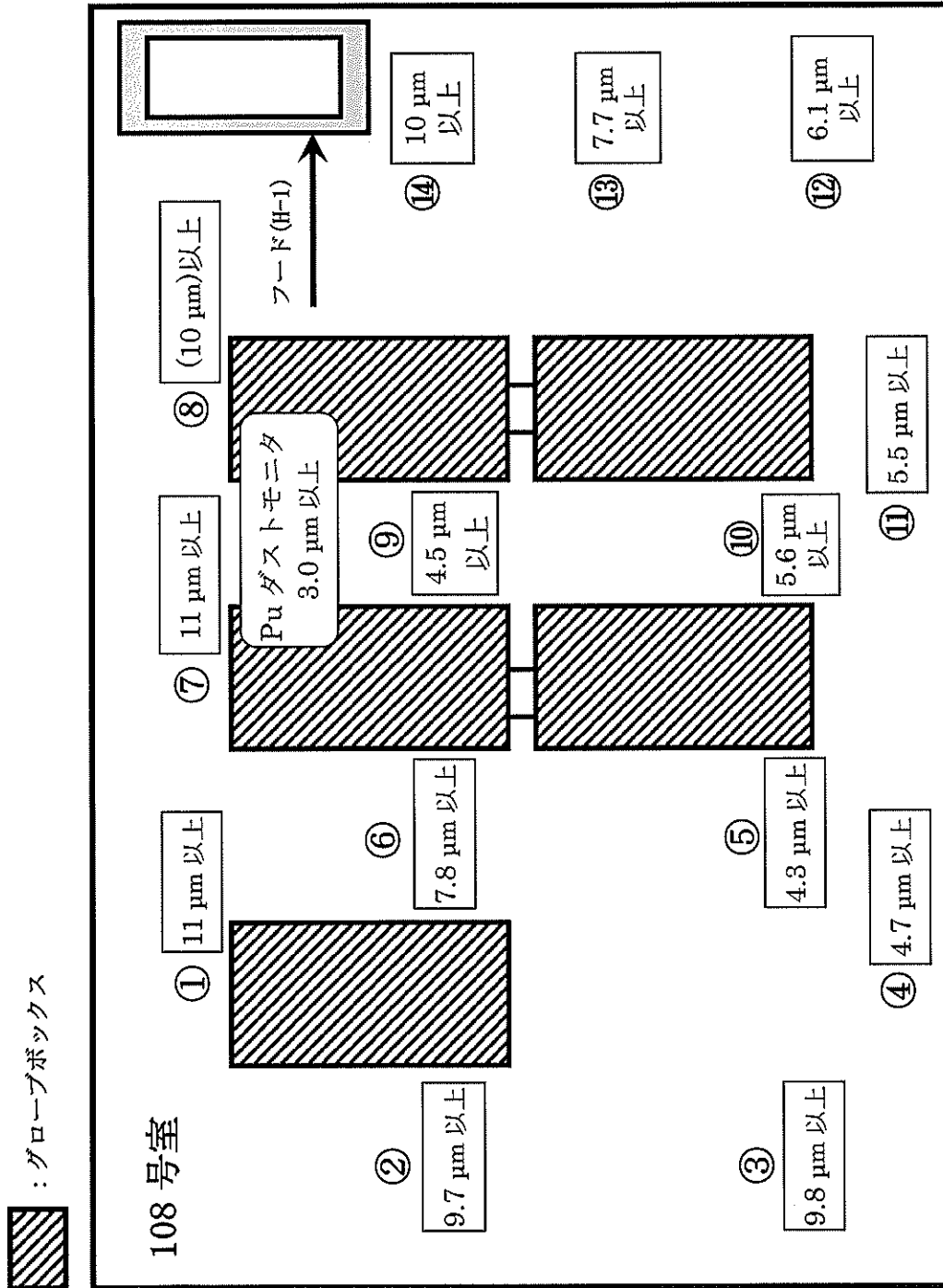
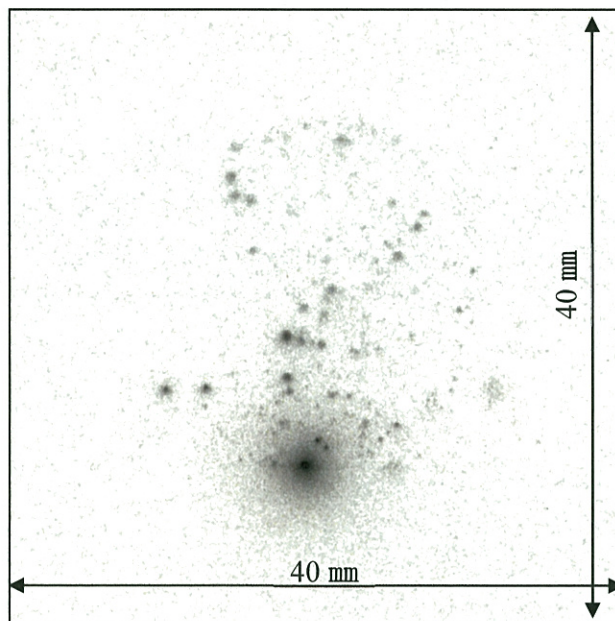
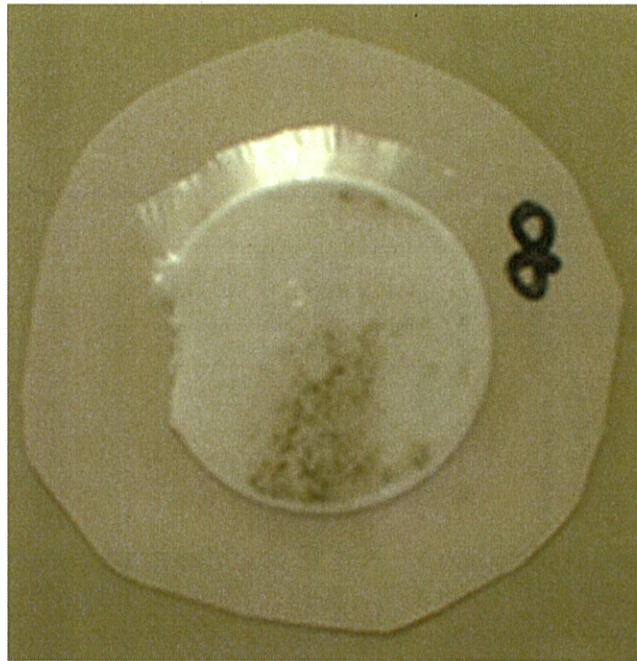


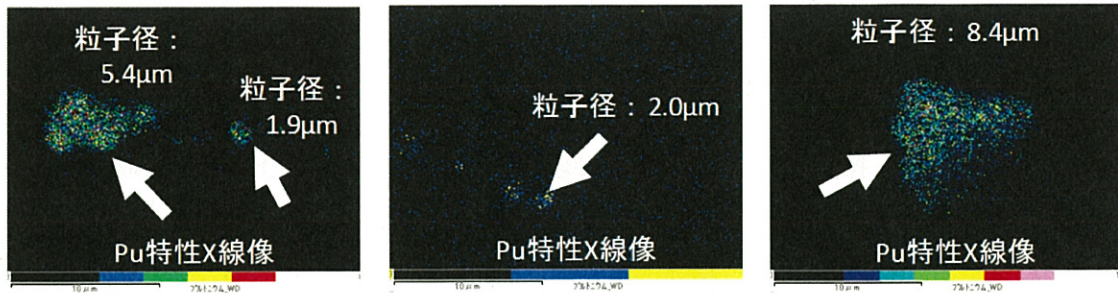
図 6.5.1-4 空気学的放射能中央径 (AMAD) の評価結果 (硝酸 Pu 塩を仮定)



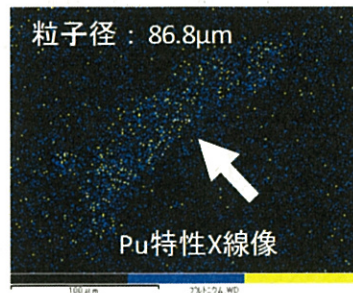
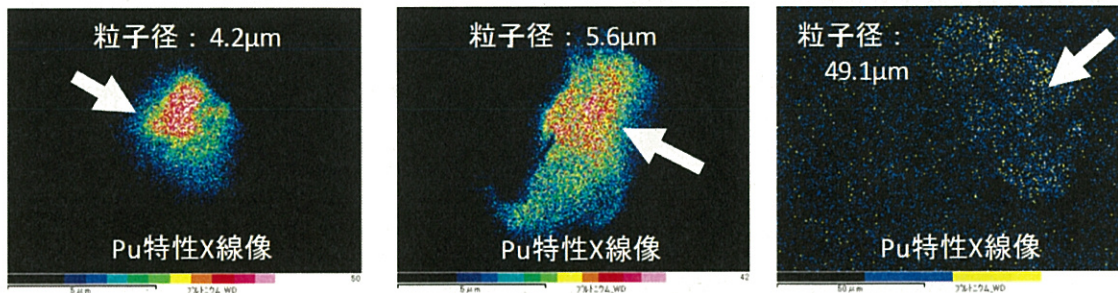
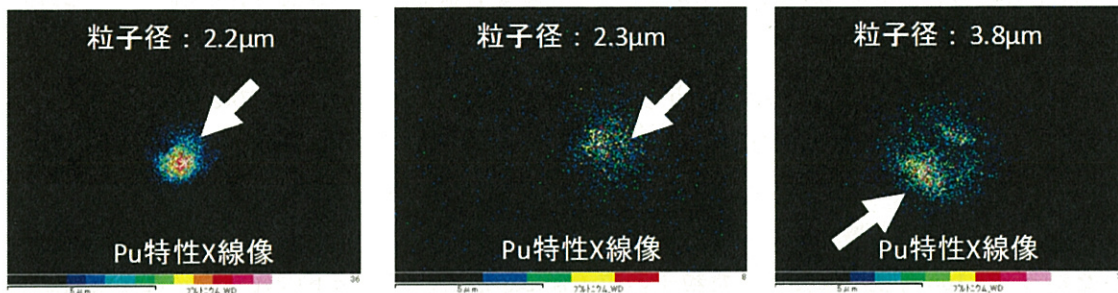
IPによる測定の実験画像から No.8 のスミヤろ紙については極めて大きな $\alpha$ 線放出粒子が観察された。その影響が大きいため、影響範囲内の粒子を除外した評価も行った。

図 6.5.1-5 スミヤろ紙 No.8 の IP 画像





スミヤろ紙 No.3



スミヤろ紙 No.8

図 6.5.1-6 スミヤろ紙の電子顕微鏡画像

## 室内 Pu ダストモニタ No.2 の指示値及びフィルタ測定結果の検討

内部被ばく線量評価の参考とするため、室内 Pu ダストモニタ No.2 の指示値及びフィルタ測定結果について、床スミヤ試料の測定結果との比較を中心に検討した。

Pu ダストモニタ No.2 は、事故発生当時、108 号室のグローブボックス 811-D 近傍の空気の連続採取及び測定を行っていた。採取した空気は放射線管理測定室に移送してろ紙上に塵を採取し、 $\alpha$ 線測定器でろ紙上の $\alpha$ 放射能を連続測定する。系統図は図 4.2.12 に示されている。このモニタについては、燃料研究棟の核燃料物質使用変更許可及び保安規定に記載はなく、自主的に設置した放射線管理モニタであり、108 号室の全体的な空気中の放射性物質濃度の監視を目的としている。室内 Pu ダストモニタ No.2 の吸引口の位置は図 6.5.2-1 に示すとおりであり、フードから離れた位置にある。

過去の定期点検記録及び日常点検記録から、測定系における異常の発生や性能の劣化、サンプリング流量の低下などは見られず、採取空気中の Pu ダスト濃度の測定性能が維持されていたことを確認した。

破裂に伴って飛散した放射性粒子のうち比較的粒子径が大きく重いものの多くは床に沈降し、粒子径が小さく軽いものは空気中に浮遊する。このことは、イメージングプレートによる測定等から評価された床スミヤ試料と室内 Pu ダストモニタフィルタの粒子径を比較すると、Pu ダストモニタフィルタの粒子径は小さい傾向にある（表 6.5.1-1 参照）ことから確認できる。

したがって、108 号室内に拡散した粒子の粒子径は、破裂の際フードの近くにいた作業員が直接浴びた飛散粒子の粒子径より小さいと考えられる。

なお、室内 Pu ダストモニタ No.2 の指示値が破裂の約 3 時間経過後に上昇したのは、作業員が室内 Pu ダストモニタ No.2 付近を移動し、その影響で放射性物質が吸引されたことによるものと考えられる。

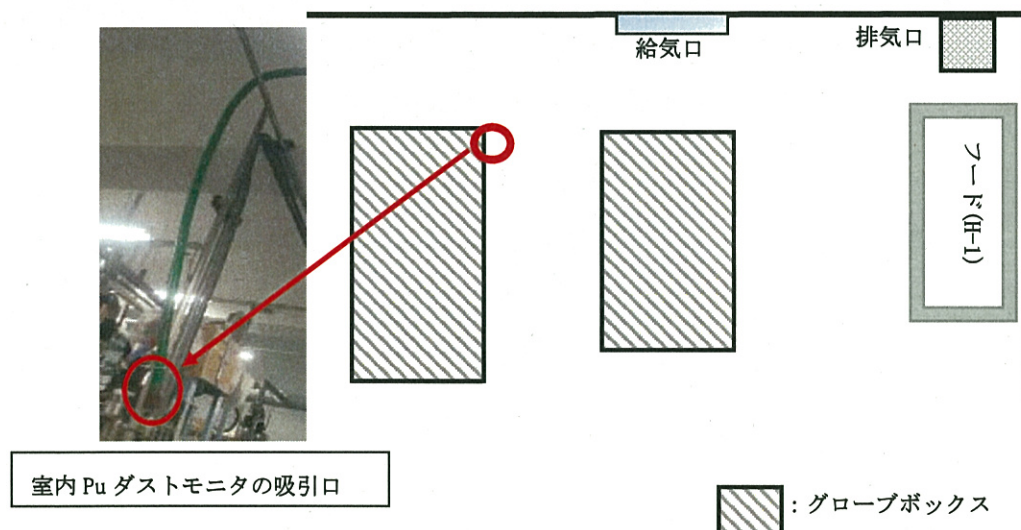


図 6.5.2-1 108 号室内の Pu ダストモニタ No.2 の吸引口位置

## 半面マスクの測定・分析結果

## I. ゲルマニウム半導体検出器による半面マスクの予備測定結果

半面マスクの詳細測定に先立ち、照射燃料試験施設（AGF）管理区域内において、梱包状態の半面マスク本体について、ゲルマニウム半導体検出器により $\gamma$ 線スペクトル測定を行い、汚染状況を確認した。

1. 測定日 平成 29 年 7 月 28 日

## 2. 測定方法等

(1) 測定器 ゲルマニウム半導体検出器

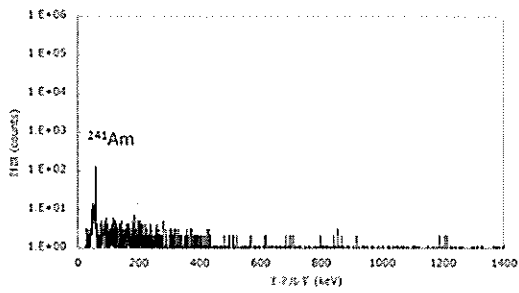
## (2) 測定対象

- ① 半面マスク No.1 (交換後マスク 着用者不明)
- ② 半面マスク No.2 (交換後マスク 着用者不明)
- ③ 半面マスク No.3 (交換後マスク 着用者不明)
- ④ 半面マスク No.4 (交換後マスク 着用者不明)
- ⑤ 半面マスク No.5 (作業員 C 作業時着用)
- ⑥ 半面マスク No.6 (作業員 E 作業時着用)
- ⑦ 半面マスク No.7 (作業員 D 作業時着用)
- ⑧ 半面マスク No.8 (作業員 A 作業時着用)
- ⑨ 半面マスク No.9 (作業員 B 作業時着用)

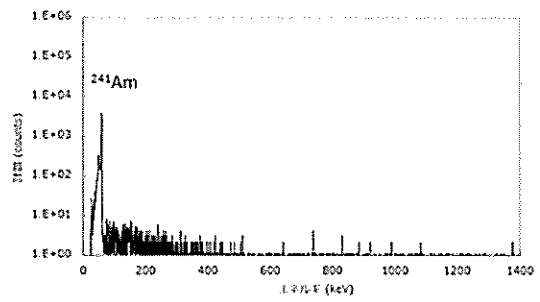
(3) 測定時間 600 秒

## 3. 測定結果

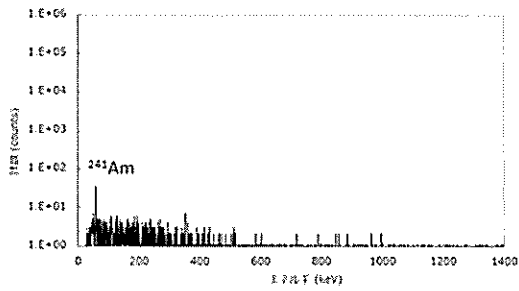
得られたスペクトルを以下に示す。検出された主な核種は $^{241}\text{Am}$ であった。着用者不明の交換後の半面マスクのうち、No.2は他の交換後の半面マスクよりも $^{241}\text{Am}$ のピークの計数が1から2桁程度大きく、さらに作業員E以外が作業時に着用していたマスクよりも大きいことから、作業員Eが交換後に着用した半面マスクであると推定される。以後、半面マスクNo.2を作業員Eの交換後マスクと識別する。



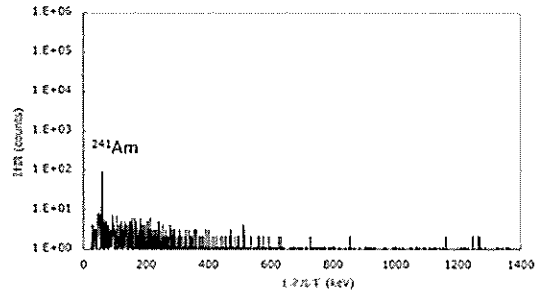
半面マスク No.1(交換後 着用者不明)



半面マスク No.2(交換後 着用者不明)

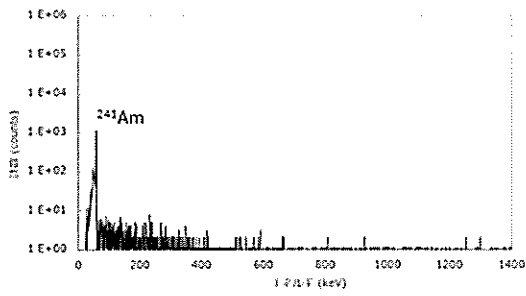


半面マスク No.3(交換後 着用者不明)

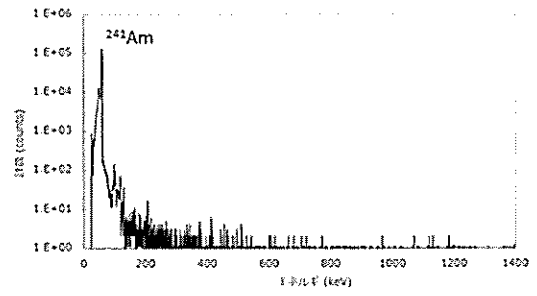


半面マスク No.4(交換後 着用者不明)

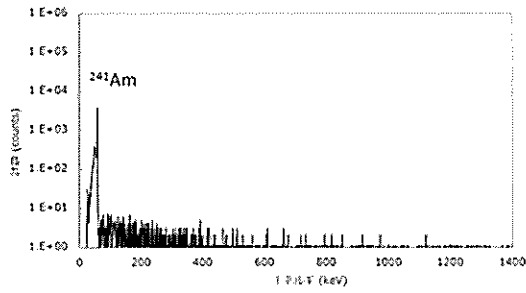
図 6.5.3-1-1 各半面マスクの $\gamma$ 線スペクトル測定結果 (その1)



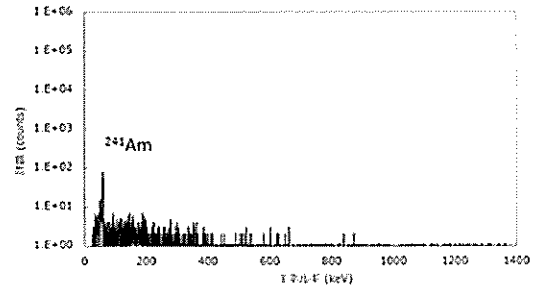
半面マスク No.5(作業員 C 作業時着用)



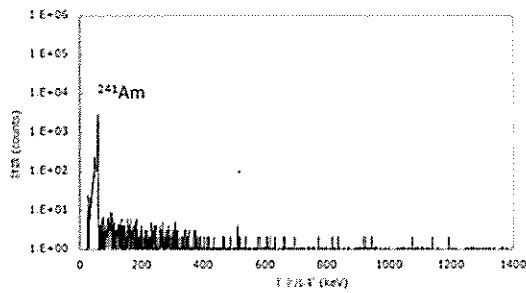
半面マスク No.6(作業員 E 作業時着用)



半面マスク No.7(作業員 D 作業時着用)



半面マスク No.8(作業員 A 作業時着用)



半面マスク No.9(作業員 B 作業時着用)

図 6.5.3-1-2 各半面マスクの $\gamma$ 線スペクトル測定結果 (その2)

## II. ペンシル型測定器による半面マスク面体接顔部の $\alpha$ 汚染測定結果

固体廃棄物前処理施設(WDF)において、ペンシル型測定器により半面マスクの面体接顔部の汚染の $\alpha$ 放射能の直接測定を実施した(図 6.5.3-2-1)。ペンシル型測定器は、直径 5 mm の有感部分を持つ鉛筆型の ZnS(Ag)シンチレーション検出器であり、狭い範囲の $\alpha$ 汚染の検出に特化した測定器である。

1. 測定日 平成 29 年 8 月 1 日～8 日

2. 測定対象

- ① 作業員 B 作業時着用半面マスク (半面マスク No.9)
- ② 作業員 D 作業時着用半面マスク (半面マスク No.7)
- ③ 作業員 E 作業時着用半面マスク (半面マスク No.6)
- ④ 作業員 E 交換後半面マスク (半面マスク No.2)

3. 測定結果

測定結果を表 6.5.3-2-1 に示す。各測定ポイントの半面マスクの対応箇所については図 6.5.3-2-2 のとおりである。ペンシル型測定器測定結果と $\alpha$ 線測定器によるスミヤの測定結果の比較も実施した(次節の図 6.5.3-3-3 から図 6.5.3-3-6 参照)。

表 6.5.3-2-1 半面マスクの測定結果

マスク識別	作業員 B 作業時着用	作業員 D 作業時着用	作業員 E 作業時着用	作業員 E 交換後マスク
マスク No.	9	7	6	2
測定ポイント	測定結果 (count/10 min)			
1	8	2	301	45
2	11	3	227	85
3	21	3	580	39
4	7	2	225	169
5	10	2	179	221
6	4	0	9	15
7	7	0	43	9
8	3	3	92	12
9	9	0	142	8
10	12	0	630	18
11	20	2	549	10
12	2	1	181	4
13	2	2	707	22
14	5	2	302	50
15	9	15	1451	275
16	23	0	370	111
17	8	16	262	172
18	6	8	283	169

※BG : 0cpm

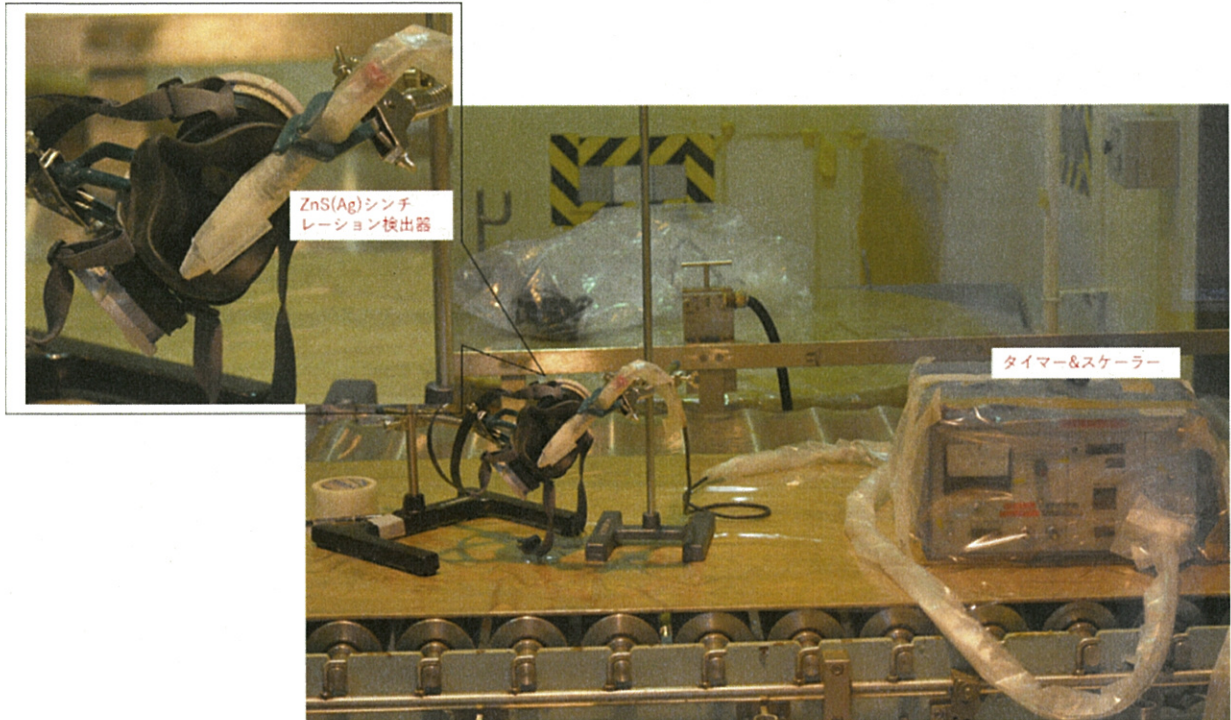


図 6.5.3-2-1 ペンシル型測定器による半面マスク測定の様子



図 6.5.3-2-2 半面マスク測定箇所

### Ⅲ. α線測定器による半面マスクのスミヤ試料及び吸・排気弁の測定結果

固体廃棄物前処理施設(WDF)において、α線測定器（表面汚染検査用アルファ線サーベイメータをスケラモードで使用）により、半面マスクの面体接顔部の湿式スミヤ試料、フィルタカートリッジホルダー内部の乾式スミヤ試料及び吸・排気弁のα放射能を測定した。半面マスクの面体はゴムでできており、表面が平滑ではなく汚染が固着しやすい構造となっているため、試料の採取にはエタノールを浸み込ませたスミヤろ紙で面体を拭き取る湿式スミヤ法を選択した。一方で、フィルタカートリッジホルダー内部は表面が平滑であり容易に汚染の拭き取りが可能であるため、試料の採取には乾いたスミヤろ紙で拭き取る乾式スミヤ法を選択した。スミヤ試料採取の様子を図 6.5.3-3-1 に示す。

1. 測定日 平成 29 年 8 月 10 日、17 日、23 日

#### 2. 測定試料

- ・顔面接触部の湿式スミヤ試料（各 7 枚）（半面マスク No.2,6,7,9 のみ）
- ・フィルタカートリッジホルダー内部の乾式スミヤ試料（各 2 枚）
- ・吸気弁（各 2 枚） 排気弁（各 1 枚）

※湿式スミヤ及びフィルタカートリッジホルダー内部の採取箇所の詳細は図 6.5.3-3-2 及び図 6.5.3-3-3 のとおりである。

#### 3. 対象マスク

- ① 作業員 A 作業時着用半面マスク（半面マスク No.8）
- ② 作業員 B 作業時着用半面マスク（半面マスク No.9）
- ③ 作業員 C 作業時着用半面マスク（半面マスク No.5）
- ④ 作業員 D 作業時着用半面マスク（半面マスク No.7）
- ⑤ 作業員 E 作業時着用半面マスク（半面マスク No.6）
- ⑥ 作業員 E 交換後半面マスク（半面マスク No.2）
- ⑦ 交換後半面マスク（着用者不明）（半面マスク No.1）
- ⑧ 交換後半面マスク（着用者不明）（半面マスク No.3）
- ⑨ 交換後半面マスク（着用者不明）（半面マスク No.4）

#### 4. 測定結果

測定結果を表 6.5.3-3-1 に示す。作業員 B,D,E 作業時着用マスク及び作業員 E の交換後マスクについてスミヤのペンシル型測定器とα線測定器による測定結果の比較を図 6.5.3-3-4 から図 6.5.3-3-7 に示す。また、全ての半面マスクについての吸気弁及び排気弁の測定結果をカラーチャートで表したものを図 6.5.3-3-8 に示す。また、作業員 A,C 作業時着用マスク及び 3 つの着用者不明のマスクのフィルタカートリッジホルダー内部のスミヤの測定結果については、いずれのマスクについても BG レベルであった。例として、作業員 A 作業時着用マスクのフィルタカートリッジホルダー内部のスミヤ測定結果をカラーチャートで表したものを図 6.5.3-3-9 に示す。



図 6.5.3-3-1 半面マスクのスミヤ試料採取の様子



表 6.5.3-3-1 半面マスクの測定結果

マスク識別	作業員A 作業時装着	作業員B 作業時装着	作業員C 作業時装着	作業員D 作業時装着	作業員E 作業時装着	作業員E 交換後マスク	交換後マスク 装着者不明	交換後マスク 装着者不明	交換後マスク 装着者不明	
マスクNo.	8	9	5	7	6	2	1	3	4	
測定ポイント	測定結果 (Count/1m in)									
湿式スミヤ	1		1		33	4410	378			
	2		4		33	1690	422			
	3		2		61	643	76			
	4		8		75	417	73			
	5		8		67	142	21			
	6		39		11	2060	234			
	7		1		5	799	80			
フィルタカート リッジホルダー 乾式スミヤ	左頬側	0	0	1	0	0	0	1	0	0
	右頬側	0	0	0	0	0	0	1	1	0
吸気弁	左頬側上流	1	0	10	0	13	0	0	1	1
	左頬側下流 (顔面側)	0	0	49	26	254	5	0	2	1
	右頬側上流	0	0	1	4	0	1	0	0	0
	右頬側下流 (顔面側)	0	0	1	7	29	0	0	0	0
排気弁	上流 (顔面側)	0	2	24	21	125	1	0	1	0
	下流	1	48	45	160	11920	0	0	0	0

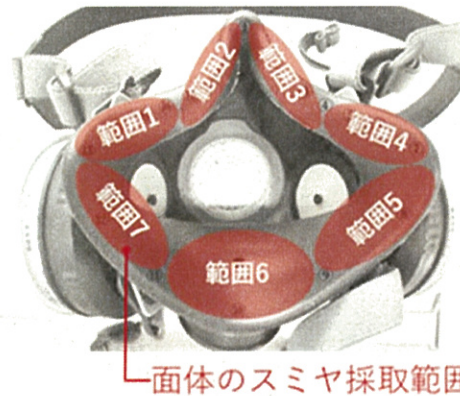


図 6.5.3-3-2 湿式スミヤ試料採取箇所



図 6.5.3-3-3 乾式スミヤ試料採取箇所

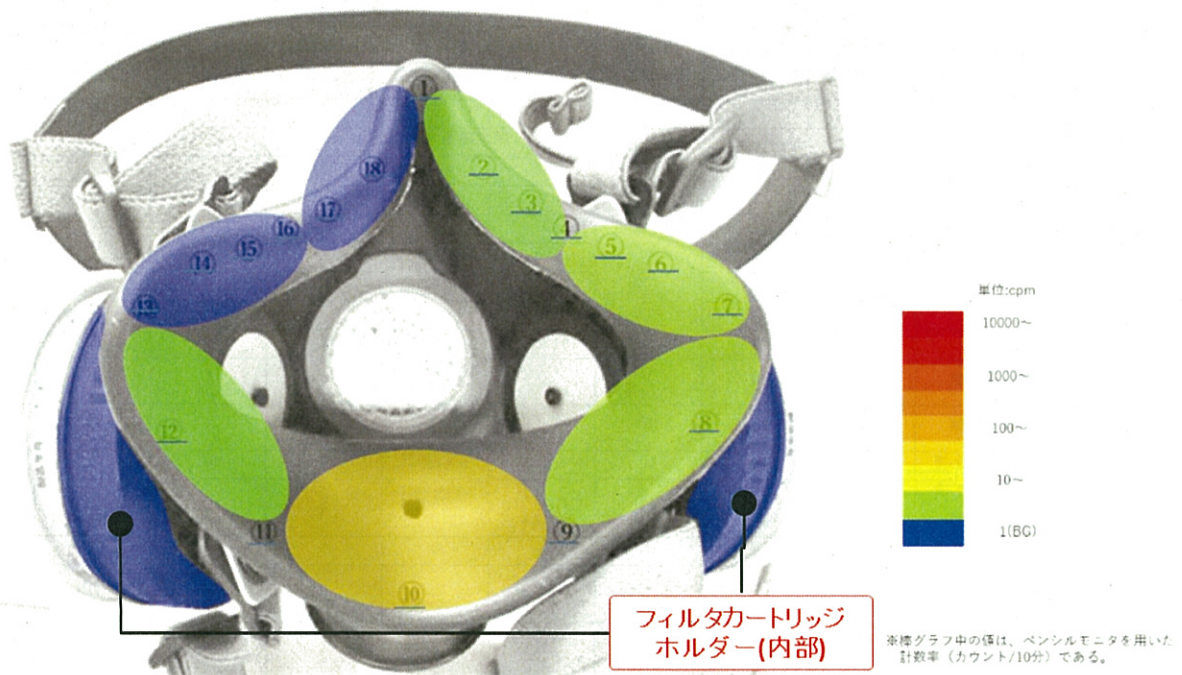


図 6.5.3-3-4 作業員 B の作業時着用半面マスク(半面マスク No.9)の測定結果

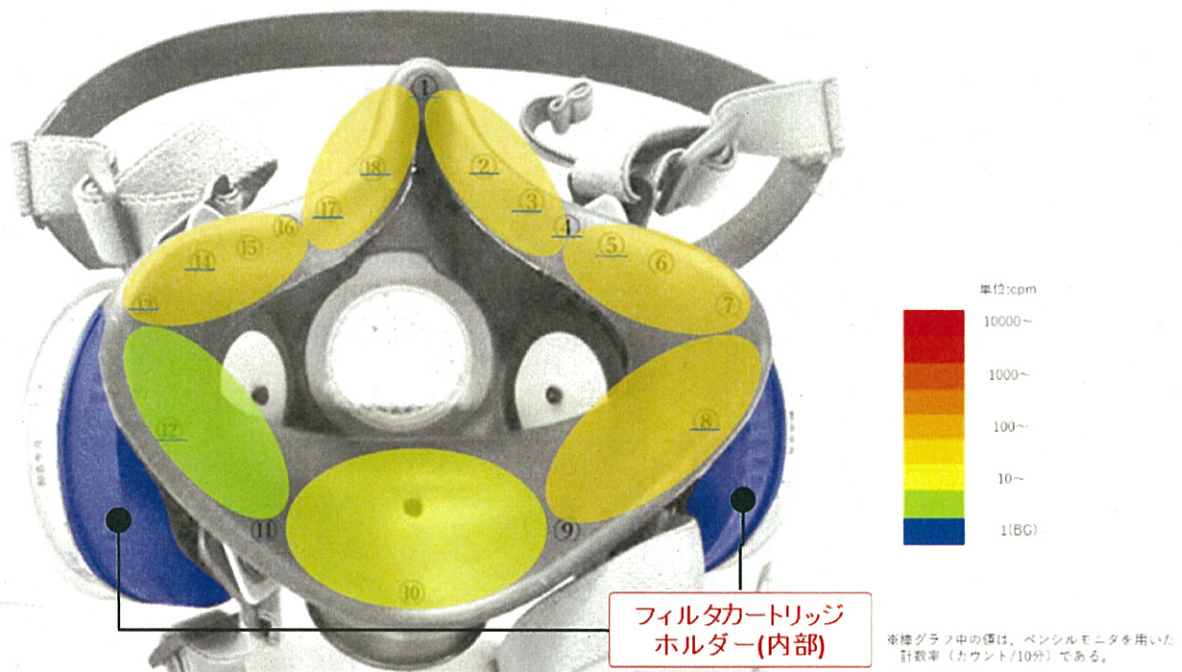


図 6.5.3-3-5 作業員 D の作業時着用半面マスク(半面マスク No.7)の測定結果



図 6.5.3-3-6 作業員 E の作業時着用半面マスク(半面マスク No.6)の測定結果



図 6.5.3-3-7 作業員 E の交換後半面マスク(半面マスク No.2)の測定結果

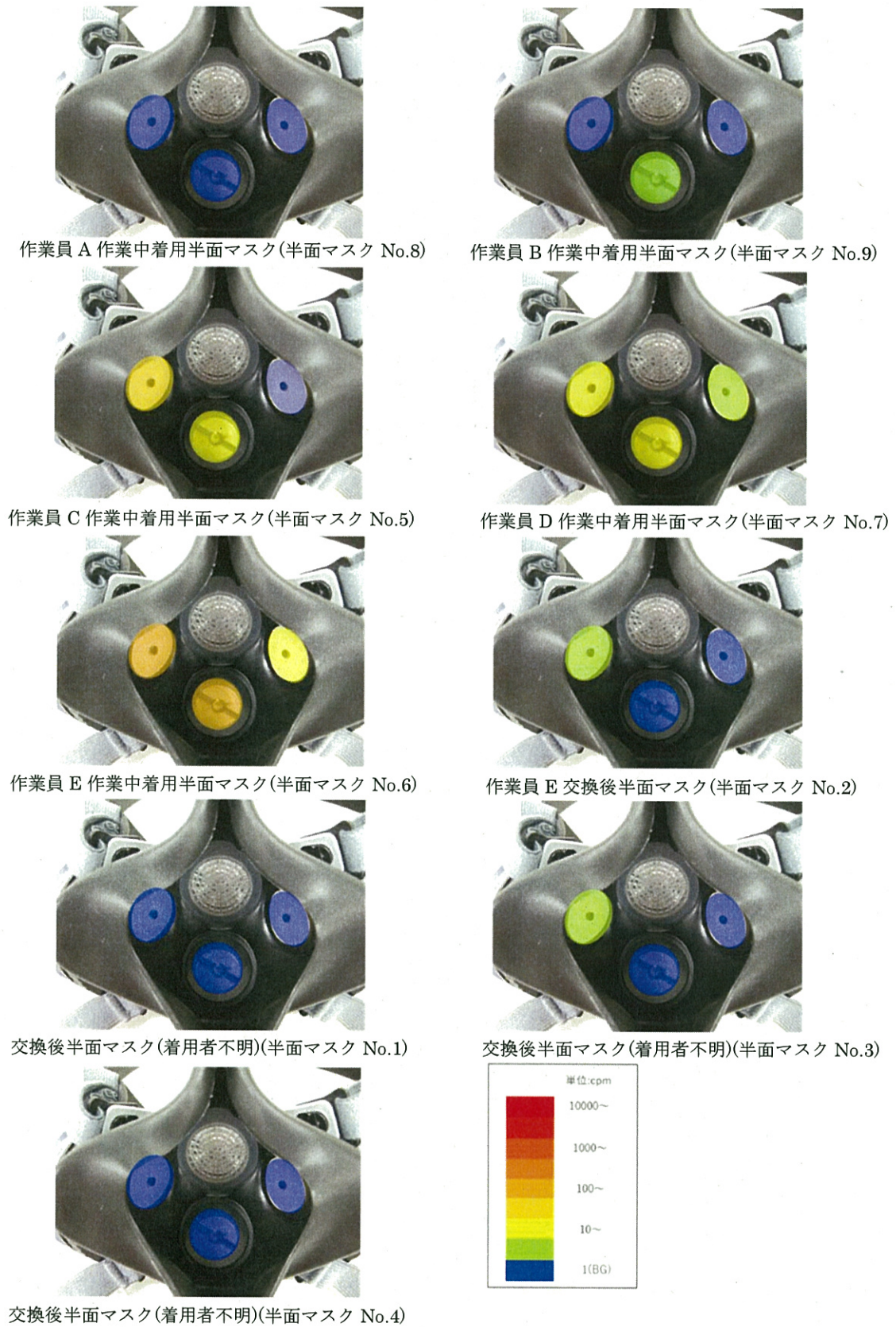


図 6.5.3-3-8 吸気弁及び排気弁の測定結果



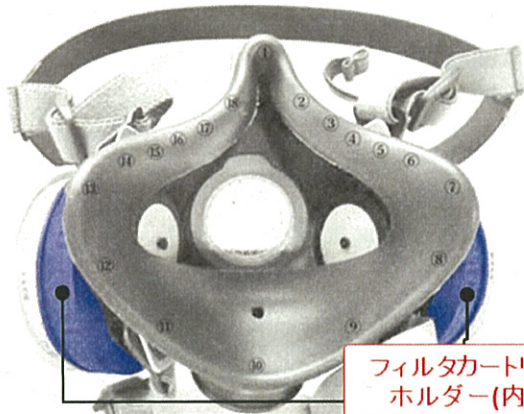
フィルタカートリッジ  
ホルダー(内部)

作業員 A 作業中着用半面マスク(半面マスク No.8)



フィルタカートリッジ  
ホルダー(内部)

作業員 C 作業中着用半面マスク(半面マスク No.5)



フィルタカートリッジ  
ホルダー(内部)

交換後半面マスク(着用者不明)(半面マスク No.1)



フィルタカートリッジ  
ホルダー(内部)

交換後半面マスク(着用者不明)(半面マスク No.3)



フィルタカートリッジ  
ホルダー(内部)

交換後半面マスク(着用者不明)(半面マスク No.4)

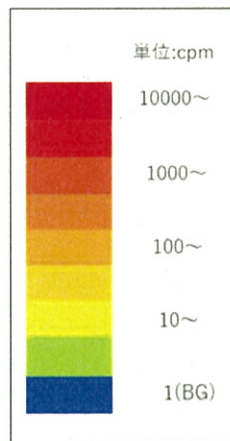


図 6.5.3-3-9 作業員 A,C 作業時着用マスク及び3つの着用者不明のマスクのフィルタカートリッジホルダー内部のスマヤの測定結果

#### IV. イメージングプレートによる半面マスクの面体（顔側）の $\alpha$ 線汚染分布測定結果

固体廃棄物前処理施設(WDF)において、イメージングプレートにより、半面マスク面体の顔側の $\alpha$ 線汚染分布を測定した。イメージングプレートは、薄いプラスチック基板の上に放射線に感度を持つ輝尽発光性蛍光体を塗布した位置敏感型放射線検出器であり、 $\alpha$ 線放出核種の放射能分布を画像化・視覚化することが可能である。

##### 1. 測定対象

- ① 作業員 A 作業時着用半面マスク（半面マスク No.8）
- ② 作業員 B 作業時着用半面マスク（半面マスク No.9）
- ③ 作業員 C 作業時着用半面マスク（半面マスク No.5）
- ④ 作業員 D 作業時着用半面マスク（半面マスク No.7）
- ⑤ 作業員 E 作業時着用半面マスク（半面マスク No.6）
- ⑥ 作業員 E 交換後半面マスク（半面マスク No.2）
- ⑦ 交換後半面マスク（着用者不明）（半面マスク No.1）
- ⑧ 交換後半面マスク（着用者不明）（半面マスク No.3）
- ⑨ 交換後半面マスク（着用者不明）（半面マスク No.4）

##### 2. 露光及び読み取り日時

・半面マスク No.2,6,7,9

露光 : 平成 29 年 8 月 8 日 16:00～9 日 10:00（18 時間程度）

読み取り : 平成 29 年 8 月 9 日 14:30～16:00

・半面マスク No.1,3,4,5,8

露光 : 平成 29 年 8 月 21 日 14:00～22 日 10:00（20 時間程度）

読み取り : 平成 29 年 8 月 22 日 11:30～14:00

##### 3. 露光方法及び結果

###### 3-1 露光方法

図 6.5.3-4-1 に示すように、頭部マネキンに面体上部測定用イメージングプレートと面体下部測定用イメージングプレートを取り付け、その上から半面マスクを着用させ、露光を行なった。



図 6.5.3-4-1 マスクのイメージングプレートへの露光方法

### 3-2 各マスクの読み取り結果

各読み取り結果ではイメージングプレートと半面マスク面体との接触範囲を点線及び一点鎖線で示しており、接触箇所と半面マスク面体と位置関係は図 6.5.3-4-2 の様になっている。各マスクの面体上部測定用イメージングプレート及び面体下部測定用イメージングプレートの読み取り結果を図 6.5.3-4-3 から図 6.5.3-4-11 に示す。

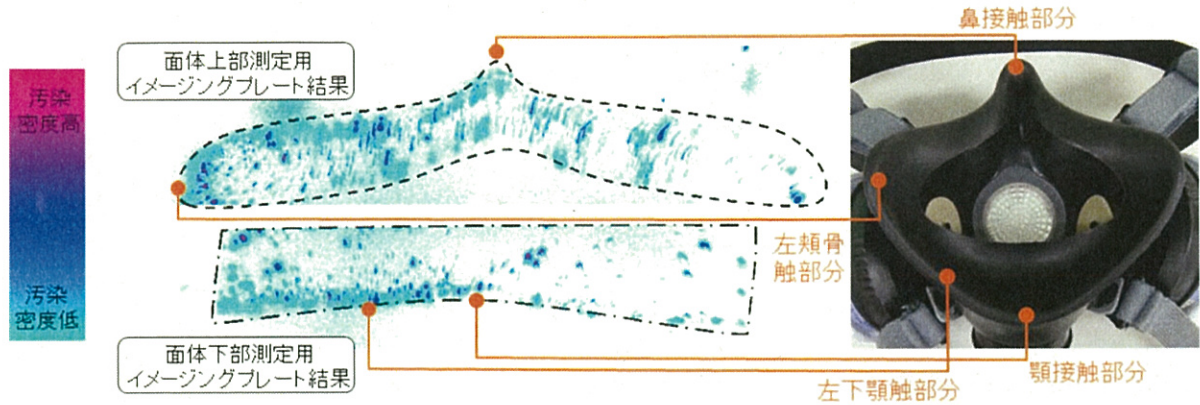


図 6.5.3-4-2 イメージングプレートの読み取り結果と半面マスク面体との位置関係  
(例：作業員 E 作業中着用マスク)

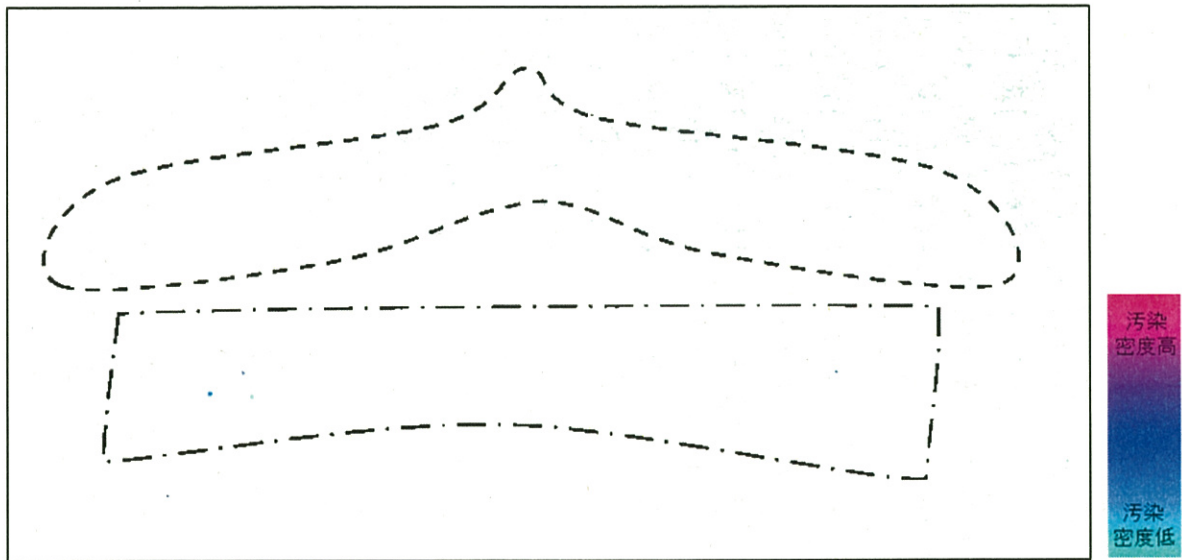


図 6.5.3-4-3 作業員 A の作業時着用半面マスク(半面マスク No.8)

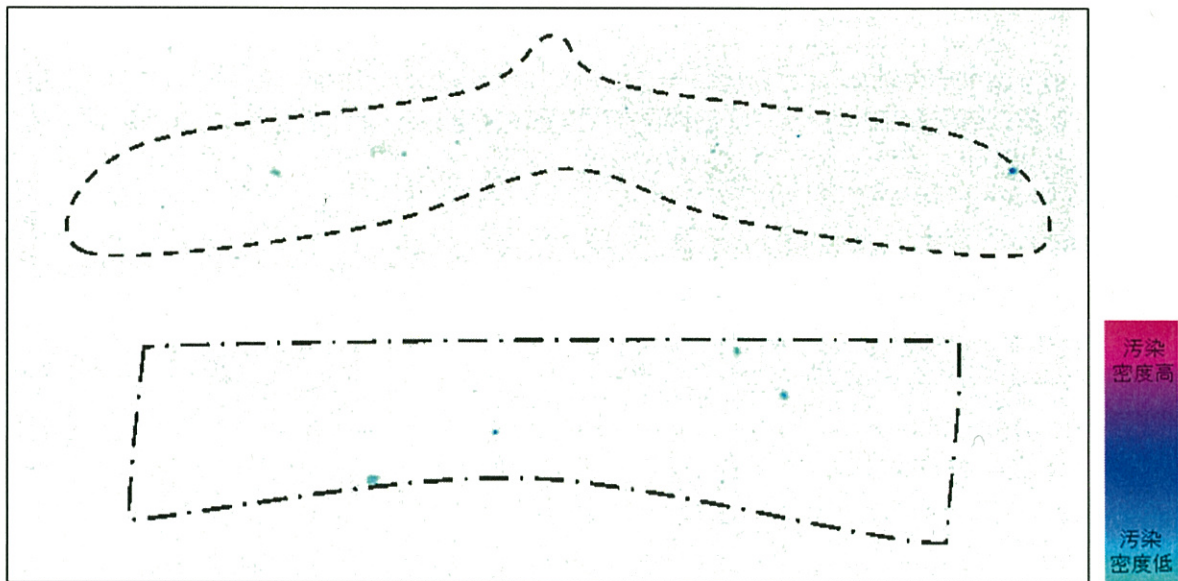


図 6.5.3-4-4 作業員 B の作業時着用半面マスク(半面マスク No.9)

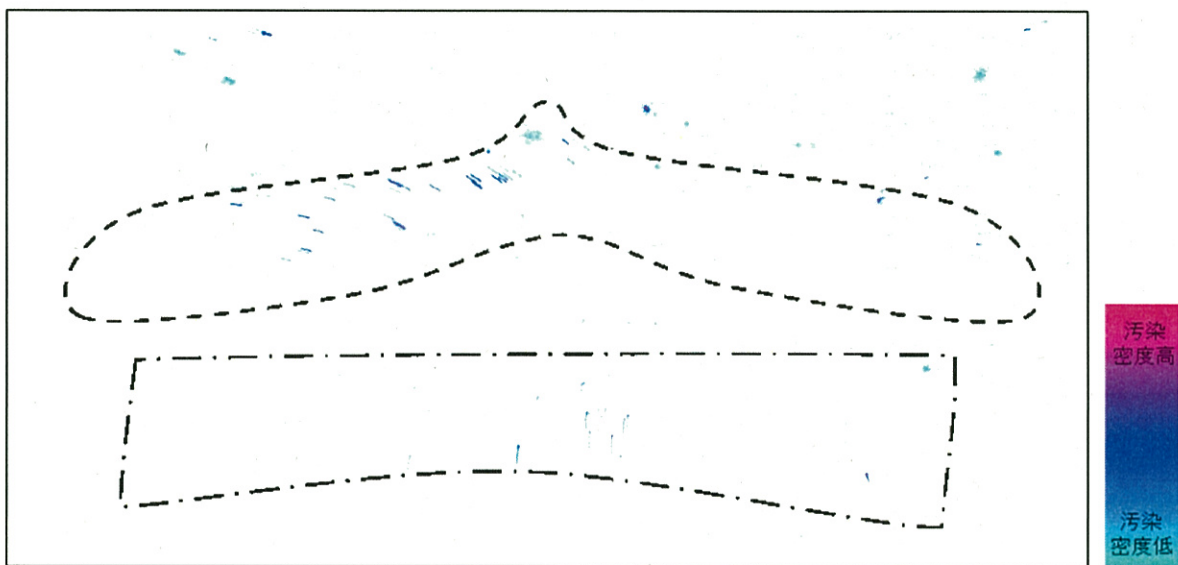


図 6.5.3-4-5 作業員 C の作業時着用半面マスク(半面マスク No.5)



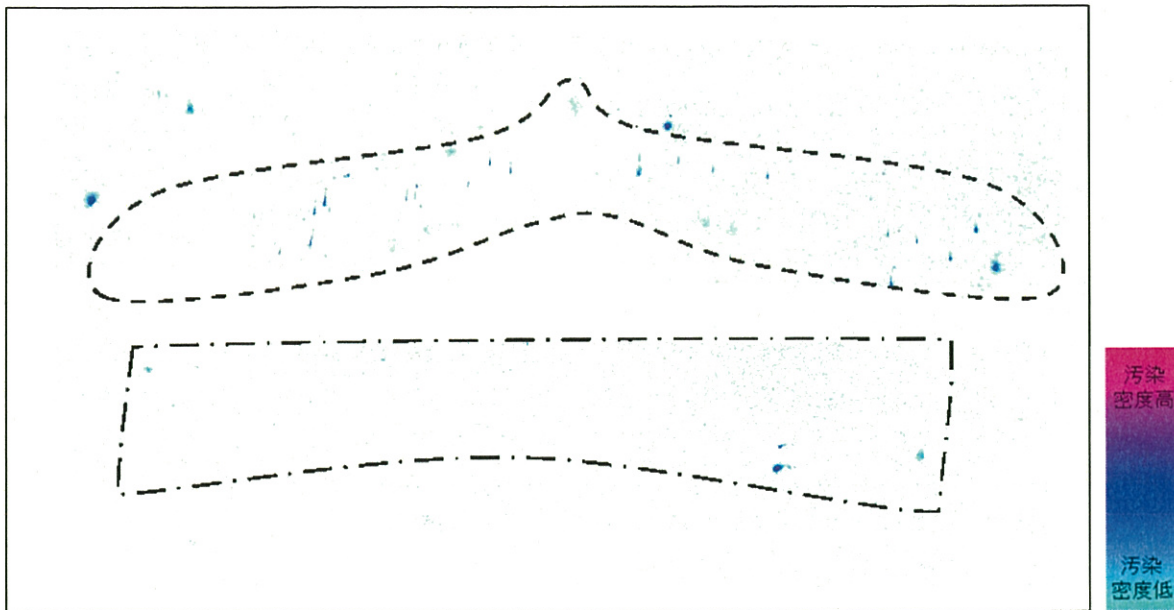


図 6.5.3-4-6 作業員 D の作業時着用半面マスク(半面マスク No.7)

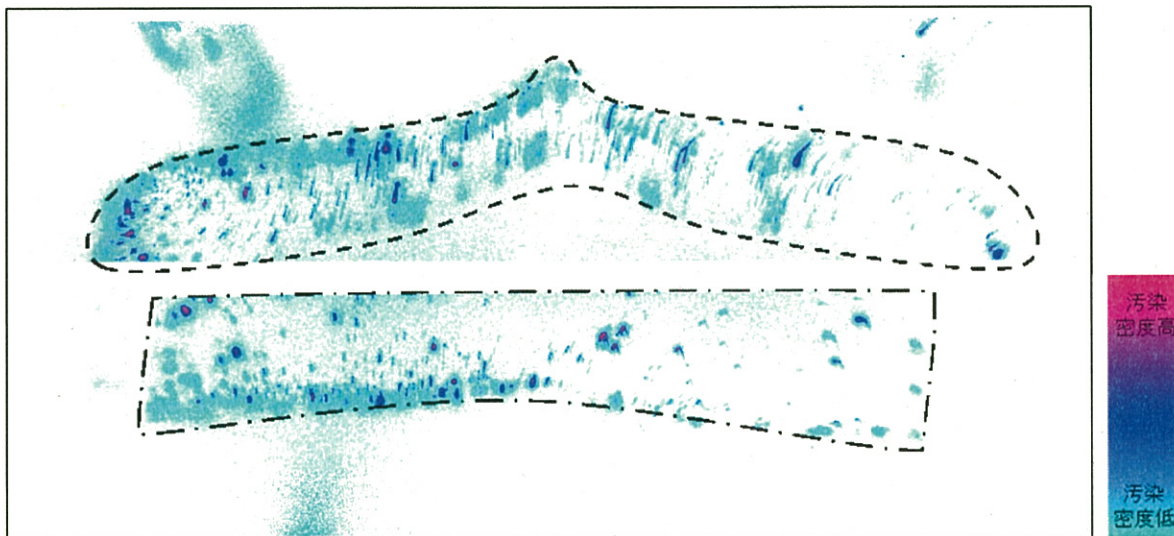


図 6.5.3-4-7 作業員 E の作業時着用半面マスク(半面マスク No.6)

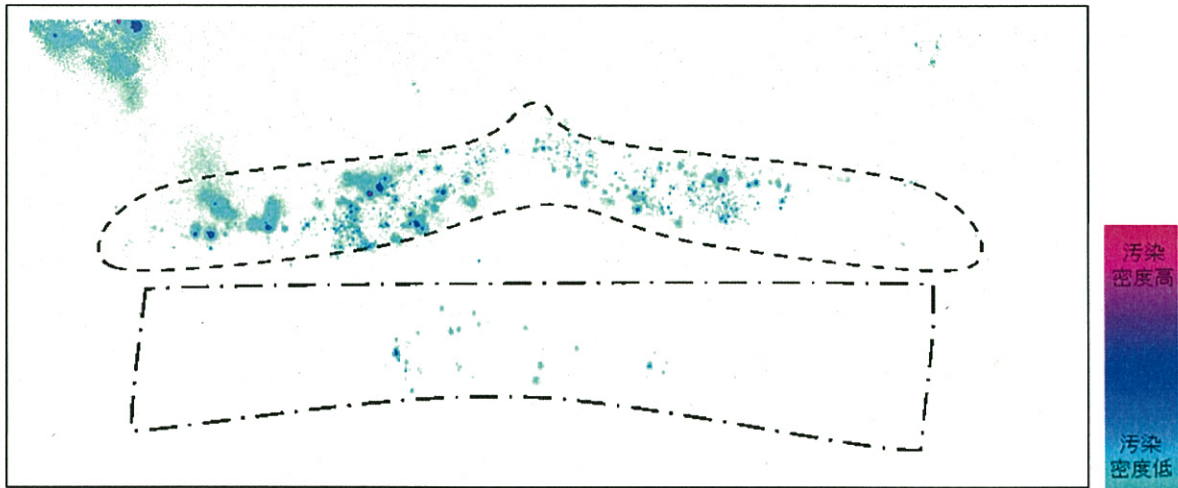


図 6.5.3-4-8 作業員 E の交換後半面マスク(半面マスク No.2)

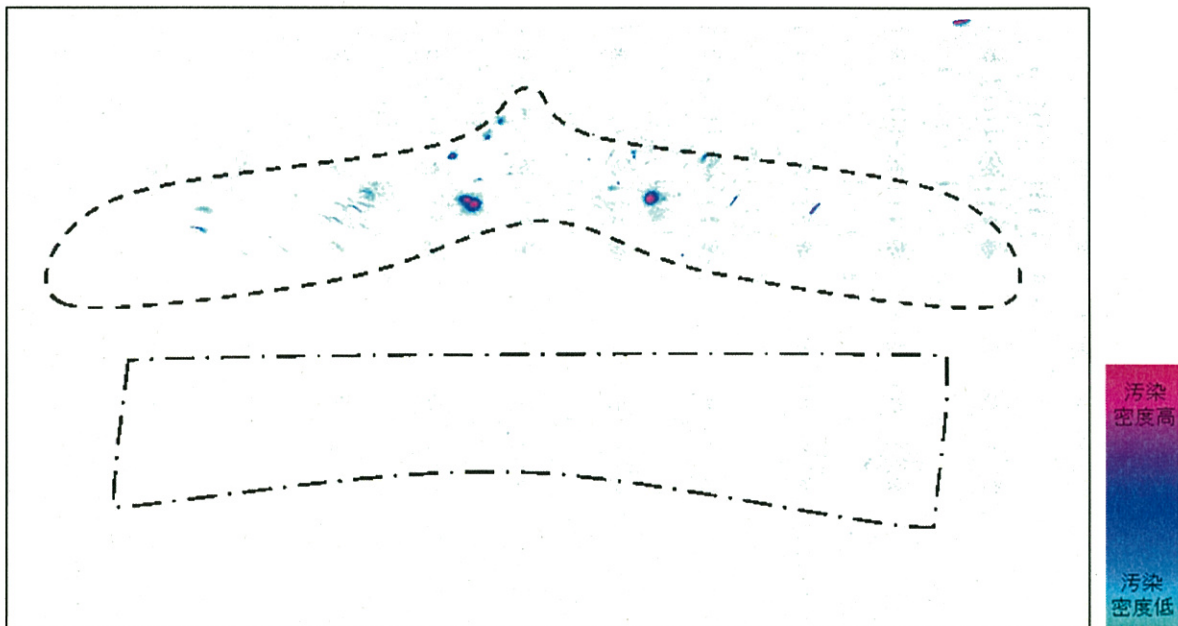


図 6.5.3-4-9 作業員の交換後半面マスク (着用者不明) (半面マスク No.1)

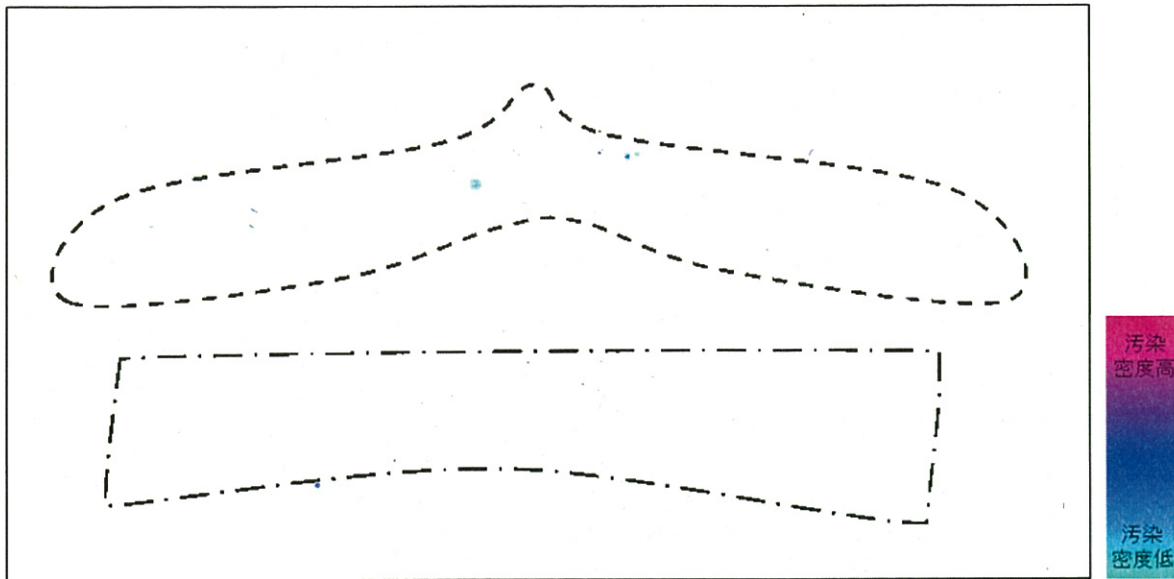


図 6.5.3-4-10 作業員の交換後半面マスク（着用者不明）（半面マスク No.3）

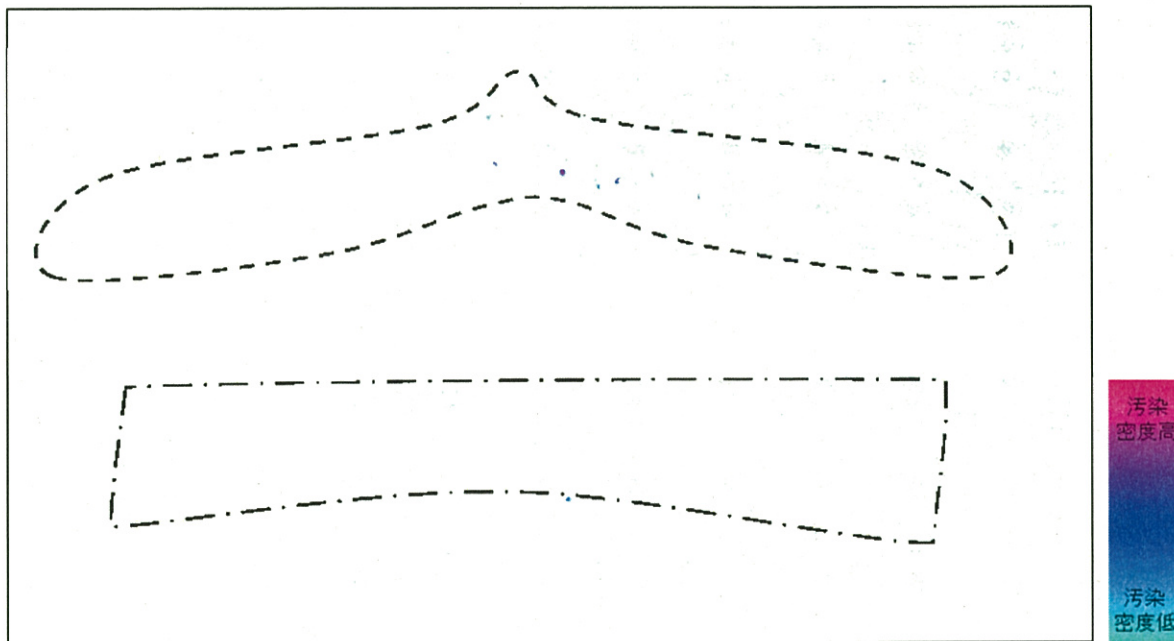


図 6.5.3-4-11 作業員の交換後半面マスク（着用者不明）（半面マスク No.4）

## V. ゲルマニウム半導体検出器による半面マスクのスミヤ試料及び吸・排気弁の測定結果

固体廃棄物前処理施設(WDF)において、半面マスクの面体接顔部の湿式スミヤ試料、フィルタカートリッジ内側の乾式スミヤ試料及び吸・排気弁の $\gamma$ 線スペクトルを測定した。

1. 測定日 平成 29 年 8 月 18 日～24 日

2.  $\gamma$ 線スペクトルの測定

(1) 測定器 ゲルマニウム半導体検出器

(2) 測定試料

- ・顔面接触部の湿式スミヤ試料 (各 7 枚) (半面マスク No.2,6,7,9 のみ)
- ・フィルタカートリッジ取外し部分の乾式スミヤ試料 (各 2 枚)
- ・吸気弁 (各 2 枚) 排気弁 (各 1 枚)

※湿式スミヤ及び乾式スミヤ試料の採取箇所の詳細は図 6.5.3-5-1 及び図 6.5.3-5-2 のとおりである。

(3) 測定対象:

- ① 作業員 A 作業時着用半面マスク (半面マスク No.8)
- ② 作業員 B 作業時着用半面マスク (半面マスク No.9)
- ③ 作業員 C 作業時着用半面マスク (半面マスク No.5)
- ④ 作業員 D 作業時着用半面マスク (半面マスク No.7)
- ⑤ 作業員 E 作業時着用半面マスク (半面マスク No.6)
- ⑥ 作業員 E 交換後半面マスク (半面マスク No.2)
- ⑦ 交換後半面マスク (着用者不明) (半面マスク No.1)
- ⑧ 交換後半面マスク (着用者不明) (半面マスク No.3)
- ⑨ 交換後半面マスク (着用者不明) (半面マスク No.4)

3. 測定結果: 測定結果を以下に示す。

3-1 作業員 A の作業時着用半面マスク(半面マスク No.8)の測定結果

・有意核種不検出

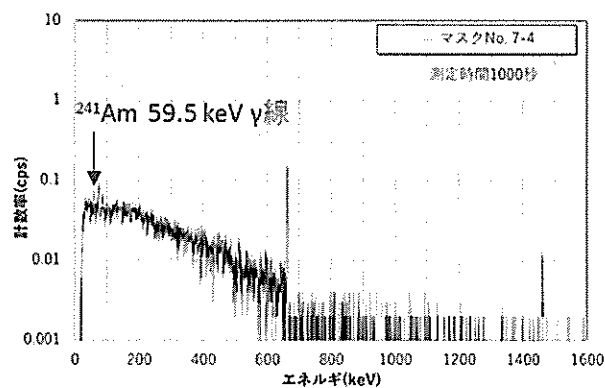
3-2 作業員 B の作業時着用半面マスク(半面マスク No.9)の測定結果

・有意核種不検出

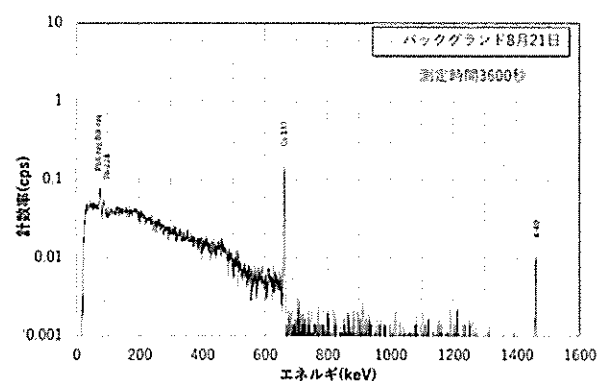
3-3 作業員 C の作業時着用半面マスク(半面マスク No.5)の測定結果

・有意核種不検出

3-4 作業員 D の作業時着用半面マスク(半面マスク No.7)の測定結果

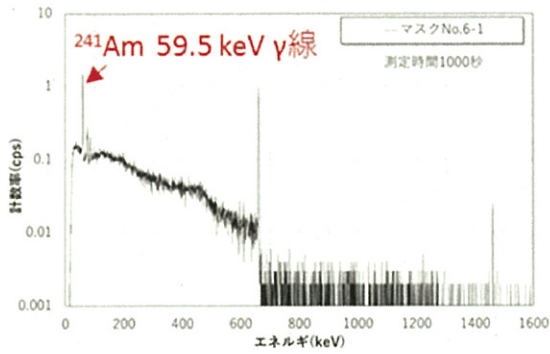


湿式スミヤ試料採取範囲 4 ( $^{241}\text{Am}$  検出)

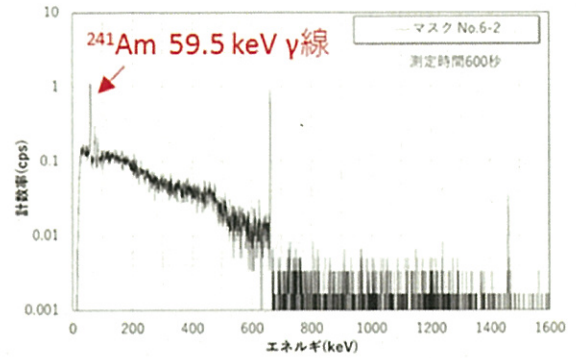


参考: BG 測定結果 (8/21 測定)

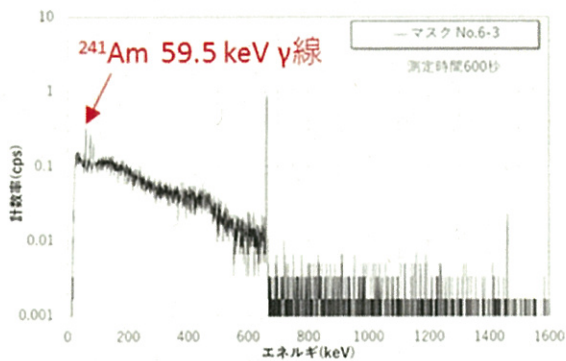
3-5 作業員Eの作業時着用半面マスク(半面マスク No.6)の測定結果



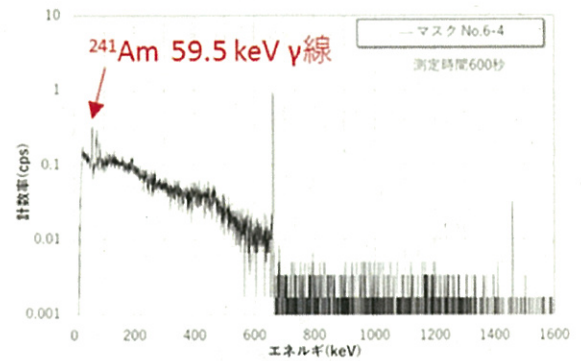
湿式スミヤ試料採取範囲 1 ( $^{241}\text{Am}$  検出)



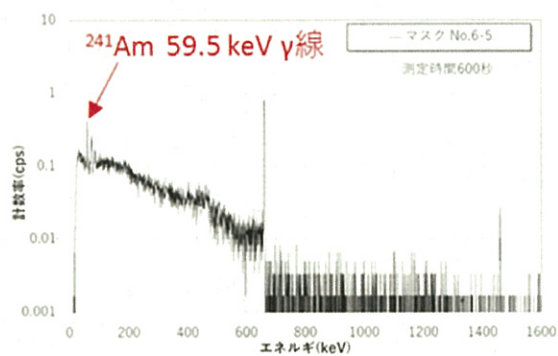
湿式スミヤ試料採取範囲 2 ( $^{241}\text{Am}$  検出)



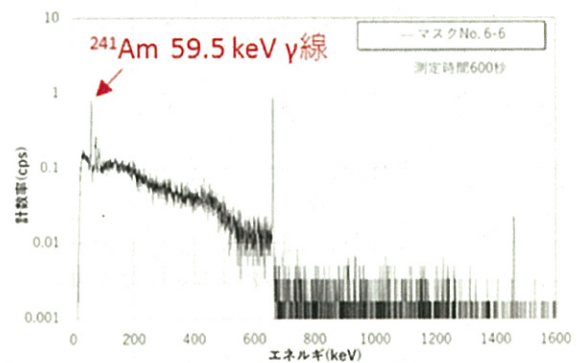
湿式スミヤ試料採取範囲 3 ( $^{241}\text{Am}$  検出)



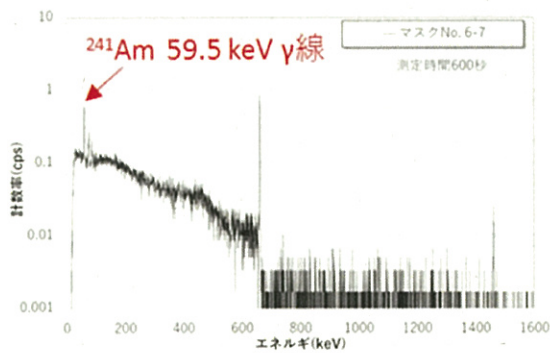
湿式スミヤ試料採取範囲 4 ( $^{241}\text{Am}$  検出)



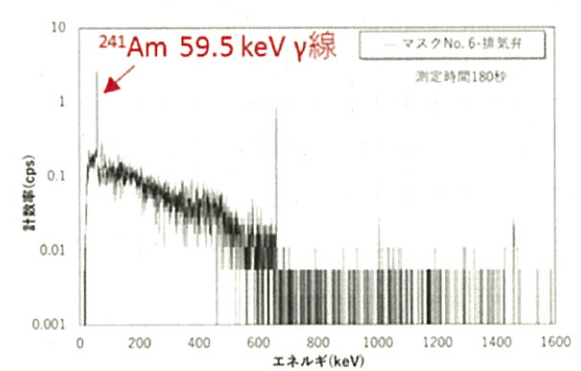
湿式スミヤ試料採取範囲 5 ( $^{241}\text{Am}$  検出)



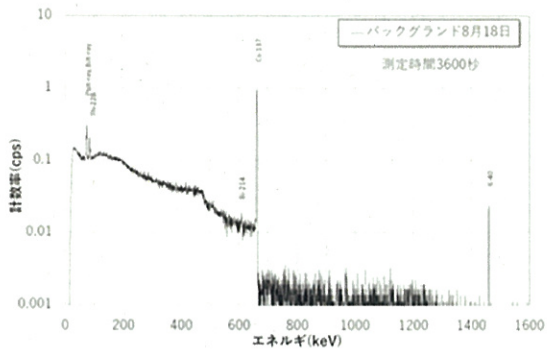
湿式スミヤ試料採取範囲 6 ( $^{241}\text{Am}$  検出)



湿式スミヤ試料採取範囲 7 ( $^{241}\text{Am}$  検出)

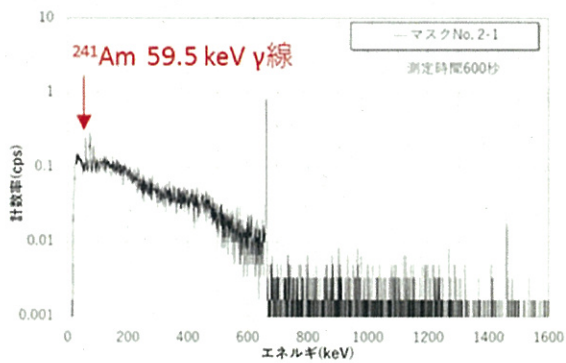


排気弁 ( $^{241}\text{Am}$  検出)

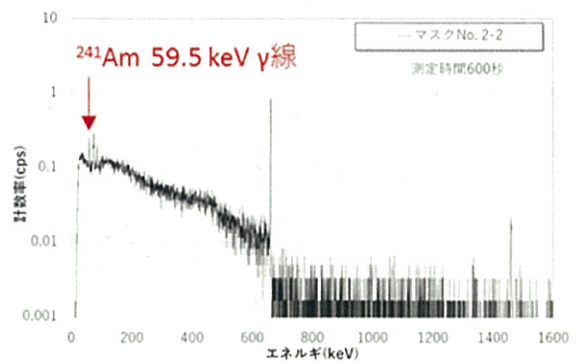


参考: BG 測定結果 (8/18 測定)

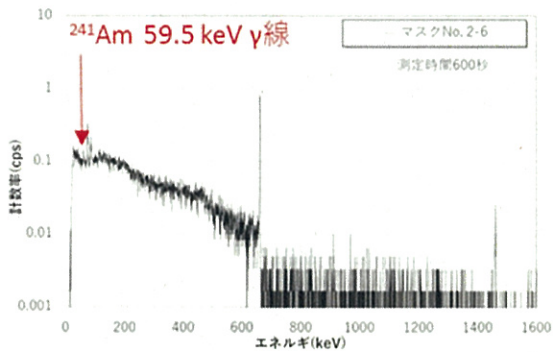
3-6 作業員 E の交換後半面マスク(半面マスク No.2)の測定結果



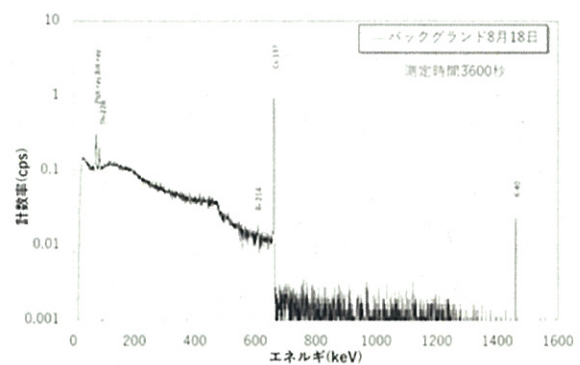
湿式スミヤ試料採取範囲 1 ( $^{241}\text{Am}$  検出)



湿式スミヤ試料採取範囲 2 ( $^{241}\text{Am}$  検出)



湿式スミヤ試料採取範囲 6 ( $^{241}\text{Am}$  検出)



参考: BG 測定結果 (8/18)

3-7 作業員の交換後半面マスク(半面マスク No.1)の測定結果

- ・有意核種不検出

3-8 作業員の交換後半面マスク(半面マスク No.3)の測定結果

- ・有意核種不検出

3-9 作業員の交換後半面マスク(半面マスク No.4)の測定結果

- ・有意核種不検出



図 6.5.3-5-1 湿式スミヤ試料採取箇所



図 6.5.3-5-2 乾式スミヤ試料採取箇所

VI. しめひもの調査

固体廃棄物前処理施設(WDF)において撮影した半面マスクの写真から、作業員の作業時着用マスクのしめひもの長さを算出した。各マスクについて複数枚の写真からしめひもの長さをそれぞれ算出し、その平均値、最小値及び最大値を求めた。また、しめひものよれの有無についても、撮影した半面マスクの写真と正常な状態の半面マスクとを比較することで判定し、総合的に状態を評価した。しめひもの観察結果を表 6.5.3-6-1 に、正常な状態のマスクとしめひもによれのあるマスクとの比較写真を図 6.5.3-6-1 に示す。

表 6.5.3-6-1 しめひも<sup>注1</sup>の観察結果

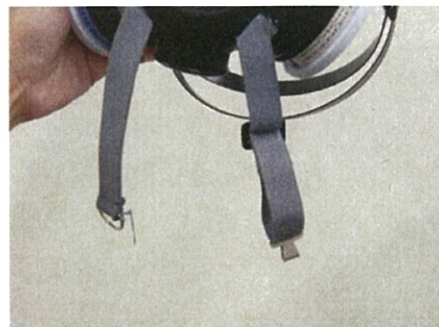
マスク識別	マスク No.	長さ <sup>注2</sup>	よれの有無	状態の評価
		上段：平均値(cm) 下段：(最小値(cm), 最大値(cm))		
作業員 A 作業時着用	8	21 ( 18.3, 23.6 )	有	やや不良
作業員 B 作業時着用	9	17 ( 16.1, 17.2 )	無	正常
作業員 C 作業時着用	5	19 ( 17.7, 20.8 )	有	やや不良
作業員 D 作業時着用	7	16 ( 16.1, 16.3 )	無	正常
作業員 E 作業時着用	6	16 ( 14.6, 16.4 )	無	正常

注 1 首下用、アジャスター無し。

注 2 約 17 cm 程度までを正常と判断した。



よれあり



正常

図 6.5.3-6-1 しめひもによれのあるマスクと正常なマスクとの比較

## Ⅶ. 測定及び調査結果のまとめ

各測定及び調査の結果は以下のとおりである。

### ① 面体の接顔部の測定結果

- ・ペンシル型測定器、イメージングプレート及び湿式スミヤ法で測定した結果、いずれの方法でも同じ傾向の汚染分布であった。
- ・作業中に着用していた半面マスクについては、作業員 B、C、D、E のマスクで面体の接顔部及びその内側の汚染が確認され、汚染侵入の痕跡と推定する。特に作業員 E の作業中に着用していた半面マスクは、左頬骨及び左下顎接触部分で高い汚染が確認され、また面体全体が広く汚染していた。作業員 A の作業中に着用していた半面マスクでは汚染は認められていない。
- ・交換後の半面マスクについては、1 体について高い汚染があった。これは作業員 E が着用していたものと考えられる。その他の交換後のマスクの面体接顔部に顕著な汚染は認められなかった。

### ② フィルタカートリッジホルダー内側及び吸気弁上流側の測定結果

- ・全ての半面マスクについて、フィルタカートリッジホルダー内側に汚染は認められなかった。
- ・吸気弁上流側の測定結果については、作業員 C、E の作業中に着用していた半面マスクで僅かな汚染が認められたが、吸気による弁の動作により面体内の汚染空気に接触していたためと考えられ、フィルタカートリッジの健全性を否定するものではない。
- ・以上のことから、全ての半面マスクについて、吸気中の汚染をろ過するフィルタカートリッジは健全であり、フィルタカートリッジを汚染が透過した可能性はないと考えられる。

### ③ 吸気弁下流側及び排気弁上流側の測定結果

- ・吸気弁下流側及び排気弁上流側の測定結果では、作業員 C、D、E の作業中に着用していた半面マスクで汚染が確認された。半面マスク内に汚染が侵入していたと考えられる。

### ④ 「しめひも」の調査結果

- ・半面マスクの「しめひも」の状態については、作業員 B、D、E の作業中に着用していた半面マスクについては正常であったが、作業員 A、C の半面マスクについては伸縮性が弱まっていたことが観察された。

また、得られた半面マスクの調査結果を作業員ごとにまとめた結果は以下のとおりとなる。

- ・作業員 A：作業中に着用していた半面マスクに汚染侵入の痕跡は認められない。しめひもに伸縮性の弱まっている状態が確認された。
- ・作業員 B：作業中に着用していた半面マスクの接顔部に汚染が確認された。
- ・作業員 C：作業中に着用していた半面マスクの接顔部、吸気弁下流側、排気弁上流側に汚染が確認された。しめひもに伸縮性の弱まっている状態が確認された。
- ・作業員 D：作業中に着用していた半面マスクの接顔部、吸気弁下流側、排気弁上流側に汚染が確認された。
- ・作業員 E：作業中に着用していた半面マスクの接顔部、吸気弁下流側、排気弁上流側に高い汚染が確認された。面体接顔部の左頬骨及び左下顎接触部分で高い汚染が確認され、また面体全体が広く汚染している。交換後の半面マスクの面体接顔部にも汚染が確認された。



## 半面マスクの防護性能の調査について

## 1. 試験の目的

放射性物質の摂取に至った要因の推定に資するため、事象発生当時作業員が着用していた防じん用半面マスクの防護性能について、文献やメーカー情報では把握できなかった事項（面体と顔面の密着性、飛散した粒子の面体への侵入及び顔面の汚染の面体への侵入）を実験により評価する。

## 2. 試験に係る共通項目

## (1) 使用資機材

## ① フィッティングテスター（図 6.5.4-1）：柴田科学株式会社製 MT-03 型

検出部に光散乱方式パーティクルカウンターを使用し、面体外（装置本体設置場所）及び面体内の空気中の一定体積中に存在する、あらかじめ定められた、試験対象とするマスクのフィルタ性能を基にフィルタ部を通過しない程度の粒子径以上の粒子の個数を計数し、両者の値の比を漏れ率として算出・表示する。

例えば、核燃料サイクル工学研究所においては半面マスクを新たに貸与する者を対象としたマスクマンテストに本装置を使用している。対象とする半面マスクの指定防護係数は 10、すなわち想定される面体の漏れ率は約 10 %<sup>1</sup>であるが、マスクマンテストにおける漏れ率に対する合格基準は 5%としている。また、さらなる密着性の向上を目的として、0.5%を目安にマスクサイズの調整及び装着方法（面体の位置、締めひもの調整等）の指導を行っている。



図 6.5.4-1  
フィッティングテスター

## ② 半面マスク

- ・MSA 製カムホエリート（事象発生時に作業員が着用していたものと同型のもの）

## (2) 試験時の注意事項

- ・装着完了後は半面マスクに触れない（やむを得ず触れた場合は記録する。）。
- ・着用中の通常の会話は制限しない。
- ・テスト直前の喫煙は禁止する。

## 3. 試験 1 面体と顔面の密着性に係る試験

## (1) 試験の目的

- ・半面マスクを数時間着用した場合の密着性の変化の有無・程度を調査する。
- ・締めひもの伸縮性の良否の影響を確認する。

<sup>1</sup> JIS T 8510-2006 によれば、防護係数は面体等の漏れ率 (%) とフィルタの透過率 (%) の和の逆数に 100 を乗じた値と定義されている。当該半面マスクのフィルタの粒子捕集効率<sup>1</sup>は 99.9%以上と規定されていることから、フィルタの透過率を 0%とすると、漏れ率は 10%となる。

(2) 試験方法

- ①被検者に通常と同様の方法でマスクを装着させる。ただし、しめひもの伸縮性が弱まっている半面マスクを装着する場合は通常より締め付けを強くし、漏れ率が小さくなるように調整する。使用したマスクの状態を図 6.5.4-2 に示す。
- ②フィッティングテスターの試験用ガイドを顎に装着する。
- ③上記の状態です 30 分ごとにフィッティングテスト（下記 5 項目）を実施する。調査開始時（ $t=0$  分）を含み、計 8 回実施（着用時間が約 3.5 時間）。ただし短時間で漏れ率が大幅に大きくなった者については、その時点で試験を終了する。
  - ・試験項目：深呼吸、顔のしかめ、会話（五十音発声）、上下首振り、左右首振り



図 6.5.4-2 試験に使用した半面マスク  
（しめひもの伸縮性 左：良、中：やや不良、右：不良）

(3) 結果

半面マスク着用時間の経過に伴う漏れ率調査のフィッティングテスト実施結果の概要を表 6.5.4-1 に示す。試験番号 1～2 の結果から、顔をしかめるなどの動きによって一時的に密着性が低下することがあったが、経時的に密着性が低下することはなかった。試験番号 3～4 の結果から、しめひもの伸縮性が弱いマスクであっても、通常より締め付けを強くして装着すれば数時間着用しても発汗やしめひもの緩みによる密着性の低下は少なく、期待する防護性能が維持されることを確認した。試験番号 5 の結果から、伸縮性の十分なしめひもを使用している時と同程度の締め具合で装着した場合は、会話、表情の大きな変化、頭部の運動（首を振る等）で密着性が低下することを確認した。

表 6.5.4-1 面体と顔面の密着性に係る試験結果

試験番号	しめひもの伸縮性	試験開始時漏れ率(%)	結果	その他（特徴など）
1	良	0.00	顔をしかめた際の漏れ率が一時的に 26% になった。その他の試験項目については全て 10% 以下を満足した。	顔小さめ、鼻低め
2	良	0.14	全ての試験項目について 10% 以下を満足した。	顔大きめ、汗かき
3	やや不良	0.05	全ての試験項目について 10% 以下を満足した。	鼻高め
4	不良	0.27	全ての試験項目について 10% 以下を満足した。	
5	不良	0.97	深呼吸以外の全ての試験項目で漏れ率 10% を超え、顔を上下左右に動かした際は 13% になった。	試験開始直後から漏れ率が大きかったことから、1 時間で試験を終了した。

#### 4. 試験2 飛散した粒子の面体への侵入に係る試験

##### (1) 試験の目的

飛散した粒子が面体接顔部から侵入するか否かを調査する。

##### (2) 試験方法

- ・被検者（同一人物）は試験開始時の漏れ率を0.1%と3%程度となるよう調整して半面マスクを装着する。
- ・半面マスクを着用した被検者に粉末状食用色素（食紅等）を吹きつける（図6.5.4-3）。このとき被検者は、しかめ面で顔を右に動かす。
- ・目視及び綿棒やワイプによる拭き取りにて、半面マスク面体の接顔部及び被検者顔面の粉末の飛散・付着等の状況を確認する。



図 6.5.4-3 粉末吹き付けの様子

##### (3) 試験結果

密着度低（漏れ率2.4%）の場合に、面体内部までの粉末の侵入を確認した。密着度高（漏れ率0.1%）の場合、侵入は確認できなかった。

#### 5. 試験3 顔面の汚染の面体への侵入に係る試験

##### (1) 試験の目的

汗により顔面の汚染が面体接顔部から侵入するか否かを調査する。

##### (2) 試験方法

###### ①試験条件

試験2に同じ、被検者も同一人物

###### ②試験方法

- ・マスク着用開始30分後、粉末状食用色素を面体接顔部付近に付着させ、その後霧吹きで水（約1cc）をかける（汗を模擬）。更に5分後、再度水（約1cc）を吹きかける。
- ・以後、多少の会話や表情の変化（しかめるなど）をしながら待機し、顔面の粉末の状態の経時変化を観察する。

##### (3) 試験結果

密着度低（漏れ率3%）の場合、水の吹き付けから約5分後の観察で、面体内部までの侵入を確認した（図6.5.4-4）。密着度高（漏れ率0.1%）では水の吹き付けから約20分経過後の観察でも侵入は確認できなかった（図6.5.4-5）。



図 6.5.4-4 水分による侵入の確認結果  
（漏れ率高、左：粉末+水分付着直後、右：5分後）  
⇒ 侵入有

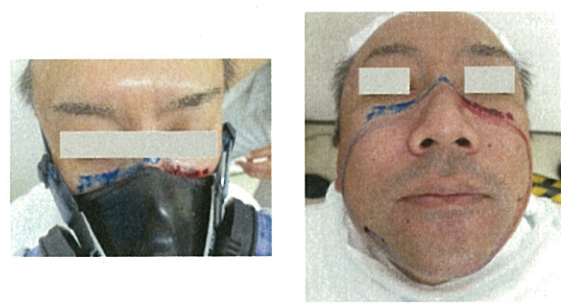


図 6.5.4-5 水分による侵入の確認結果  
（漏れ率低、左：粉末+水分付着直後、右：20分後）  
⇒ 侵入無

## 6. まとめ

面体と顔面の密着性に係る試験では、伸縮性が弱まったしめひものマスクでも通常より締め付けを強くして装着した場合、着用中に防護性能が著しく低下することはないことを確認した。また、伸縮性に問題のないしめひもを使用している時と同程度の締め具合で装着した場合は、会話、表情の大きな変化、頭部の運動（首を振る等）で密着性が低下することを確認した。

飛散した粒子の面体への侵入に係る試験及び顔面の汚染の面体への侵入に係る試験では、漏れ率が0.1%程度の場合は飛散した粒子も顔面の汚染も面体内部に侵入することはなかったが、3%程度でも飛散粒子や汚染が侵入することを確認した。この3%という値は、半面マスクの指定防護係数（10）から想定される漏れ率（10%）より十分低い値である。