

放射能換算係数の設定方法について（補足説明資料）

本資料は、回答書 No.11（本申請における不確かさの考え方について）のうち、放射能換算係数の [] について補足説明をするものである。

1. 放射能換算係数の設定方法の概要

放射能換算係数の設定方法について、不確かさを考慮した項目、評価の考え方及び採用した値は次のとおりである。

2. [] の関係

「測定単位」内で応答関数が最も小さい小領域から順に小領域当たりの放射エネルギーを割り当てていき、 []
[]
[]
[] ことから、最大の放射エネルギーの評価となる。

具体的には、次に示すとおり、

のものである。



3. 標準線源を用いた放射能換算係数の妥当性確認について

放射能換算係数の設定方法において、

標準線源を用いた試験の結果を確認した。具体的には、クリアランスレベル近傍に相当する ^{60}Co 標準線源を、模擬解体撤去物を収納した測定容器の中に設置し、低

感度位置（検出しにくい位置）における「測定単位」の放射エネルギーの評価結果を確認した。

Ge半導体検出器で測定した計数率から標準偏差の3倍（ 3σ ）を引いた値及び保守的に設定した放射能換算係数を用いて「放射エネルギー（評価値）」を算出し、「模擬線源の放射エネルギー」と比較した結果、表1に示すとおり、「放射エネルギー（評価値）」は「模擬線源の放射エネルギー」よりも有意に大きいこと（1.07倍～522倍程度大きいこと）を確認した。

また、認可申請書の「添付図表6-16」に示すとおり、放射能換算係数の妥当性確認における ^{60}Co 標準線源の設置位置は、高感度位置（検出しやすい位置）と低感度位置（検出しにくい位置）の2箇所である。放射能換算係数の設定方法においては、小領域の放射能換算係数が大きい箇所から順に小領域あたりの放射エネルギーを割り当てることから、 ^{60}Co 標準線源を高感度位置に設置した場合の「放射エネルギー（評価値）」と「模擬線源の放射エネルギー」の比は、線源の位置による保守性の程度が大きくなるため、低感度位置においた場合よりも大きくなる。

高感度位置と低感度位置それぞれにおける放射能換算係数の妥当性確認結果は次のとおりである。

「放射エネルギー（評価値）」と「模擬線源の放射エネルギー」の比		
^{60}Co 標準線源の設置位置	最大値	最小値
高感度位置	522	32.8
低感度位置	11.4	1.07

以上より、放射能換算係数の設定方法は、 ^{60}Co 標準線源の設置位置を低感度位置とした場合であっても「放射エネルギー（評価値）」が「模擬線源の放射エネルギー」よりも大きいことから、放射能換算係数の設定方法において

を確認した。

表1 放射能換算係数の妥当性確認結果 (1/6)

放射能換算係数の妥当性確認の結果を以下に示す。測定条件及び模擬解体撤去物の収納状況は認可申請書の「添付図表 6-16,17,18,21,22,24,25」に示すとおりである。

また、使用した線源の強度は、 ^{60}Co の D/C で 1.12 から 1.20 程度であり、クリアランスレベル近傍の線源を使用している。

【クリアランス第1建屋における確認結果】

測定結果 (上側の Ge 半導体検出器)

測定結果							
No.	容器種類	線源位置	Dor ND	X : 放射能量 (線源強度設定) (Bq)	Y : 放射能量 (評価モデル) (Bq)	Y/X (-)	判定
1	標準型	高	D	1.48E+04	7.89E+05	5.31E+01	良
		低	D	1.48E+04	3.43E+04	2.31E+00	良
2	トレイ型	高	D	1.48E+04	9.17E+05	6.18E+01	良
		低	D	1.48E+04	5.00E+04	3.37E+00	良
3	標準型	高	D	1.48E+04	4.86E+05	3.27E+01	良
		低	D	1.48E+04	5.40E+04	3.64E+00	良
4	トレイ型	高	D	1.48E+04	9.14E+05	6.16E+01	良
		低	D	1.48E+04	4.69E+04	3.16E+00	良
5	標準型	高	D	2.24E+04	3.30E+06	1.47E+02	良
		低	D	2.24E+04	4.85E+04	2.16E+00	良
6	トレイ型	高	D	2.24E+04	4.49E+06	2.00E+02	良
		低	D	2.24E+04	7.36E+04	3.28E+00	良
7	標準型	高	D	2.24E+04	1.70E+06	7.60E+01	良
		低	D	2.24E+04	8.52E+04	3.80E+00	良
8	トレイ型	高	D	2.24E+04	9.65E+06	4.30E+02	良
		低	D	2.24E+04	1.83E+05	8.18E+00	良

<補足>

- ・検出 (D) の場合、評価に用いる計数率は「正味計数率」から「誤差計数率の3倍」を引いた値 (Ge 半導体検出器で測定した計数率から標準偏差の3倍 (3σ) を引いた値) とする。
- ・検出限界未満 (ND) の場合、評価に用いる計数率は、「検出限界計数率」とする。
- ・誤差計数率は、計数率の標準偏差とピーク BG の標準偏差の両方を考慮したものである。

表1 放射能換算係数の妥当性確認結果 (2/6)

測定結果 (下側の Ge 半導体検出器)

測定結果							
No.	容器種類	線源位置	Dor ND	X : 放射能量 (線源強度設定) (Bq)	Y : 放射能量 (評価モデル) (Bq)	Y/X (-)	判定
1	標準型	高	D	1.47E+04	9.71E+05	6.59E+01	良
		低	D	1.47E+04	5.11E+04	3.47E+00	良
2	トレイ型	高	D	1.47E+04	1.19E+06	8.09E+01	良
		低	D	1.47E+04	4.97E+04	3.37E+00	良
3	標準型	高	D	1.47E+04	7.51E+05	5.09E+01	良
		低	D	1.47E+04	7.15E+04	4.85E+00	良
4	トレイ型	高	D	1.47E+04	9.54E+05	6.47E+01	良
		低	D	1.47E+04	6.98E+04	4.74E+00	良
5	標準型	高	D	2.32E+04	4.37E+06	1.88E+02	良
		低	D	2.32E+04	5.02E+04	2.16E+00	良
6	トレイ型	高	D	2.32E+04	5.56E+06	2.39E+02	良
		低	D	2.32E+04	5.08E+04	2.19E+00	良
7	標準型	高	D	2.32E+04	3.53E+06	1.52E+02	良
		低	D	2.32E+04	2.65E+05	1.14E+01	良
8	トレイ型	高	D	2.32E+04	1.21E+07	5.22E+02	良
		低	D	2.32E+04	1.09E+05	4.67E+00	良

<補足>

- ・ 検出 (D) の場合、評価に用いる計数率は「正味計数率」から「誤差計数率の3倍」を引いた値 (Ge 半導体検出器で測定した計数率から標準偏差の3倍 (3 σ) を引いた値) とする。
- ・ 検出限界未満 (ND) の場合、評価に用いる計数率は、「検出限界計数率」とする。
- ・ 誤差計数率は、計数率の標準偏差とピーク BG の標準偏差の両方を考慮したものである。

表1 放射能換算係数の妥当性確認結果 (3/6)

【クリアランス第3建屋①における確認結果】

測定結果 (上側の Ge 半導体検出器)

測定結果							
No.	容器種類	線源位置	Dor ND	X : 放射能量 (線源強度設定) (Bq)	Y : 放射能量 (評価モデル) (Bq)	Y/X (-)	判定
1	標準型	高	D	1.50E+04	8.08E+05	5.37E+01	良
		低	D	1.50E+04	1.76E+04	1.17E+00	良
2	標準型	高	D	1.50E+04	5.05E+05	3.36E+01	良
		低	ND	1.50E+04	1.80E+04	1.20E+00	良
3	標準型	高	D	2.26E+04	3.17E+06	1.40E+02	良
		低	D	2.26E+04	2.46E+04	1.09E+00	良
4	標準型	高	D	2.26E+04	1.92E+06	8.52E+01	良
		低	D	2.26E+04	2.50E+04	1.11E+00	良

<補足>

- ・ 検出 (D) の場合、評価に用いる計数率は「正味計数率」から「誤差計数率の3倍」を引いた値 (Ge 半導体検出器で測定した計数率から標準偏差の3倍 (3σ) を引いた値) とする。
- ・ 検出限界未満 (ND) の場合、評価に用いる計数率は、「検出限界計数率」とする。
- ・ 誤差計数率は、計数率の標準偏差とピーク BG の標準偏差の両方を考慮したものである。

表1 放射能換算係数の妥当性確認結果 (4/6)

測定結果 (下側の Ge 半導体検出器)

測定結果							
No.	容器種類	線源位置	Dor ND	X: 放射能量 (線源強度設定) (Bq)	Y: 放射能量 (評価モデル) (Bq)	Y/X (-)	判定
1	標準型	高	D	1.50E+04	8.43E+05	5.60E+01	良
		低	D	1.50E+04	1.76E+04	1.17E+00	良
2	標準型	高	D	1.50E+04	7.21E+05	4.79E+01	良
		低	D	1.50E+04	3.60E+04	2.40E+00	良
3	標準型	高	D	2.26E+04	3.31E+06	1.47E+02	良
		低	ND	2.26E+04	2.46E+04	1.09E+00	良
4	標準型	高	D	2.26E+04	2.72E+06	1.21E+02	良
		低	D	2.26E+04	2.50E+04	1.11E+00	良

<補足>

- ・ 検出 (D) の場合、評価に用いる計数率は「正味計数率」から「誤差計数率の3倍」を引いた値 (Ge 半導体検出器で測定した計数率から標準偏差の3倍 (3σ) を引いた値) とする。
- ・ 検出限界未満 (ND) の場合、評価に用いる計数率は、「検出限界計数率」とする。
- ・ 誤差計数率は、計数率の標準偏差とピーク BG の標準偏差の両方を考慮したものである。

表1 放射能換算係数の妥当性確認結果 (5/6)

【クリアランス第3建屋②における確認結果】

測定結果 (上側の Ge 半導体検出器)

測定結果							
No.	容器種類	線源位置	Dor ND	X : 放射能量 (線源強度設定) (Bq)	Y : 放射能量 (評価モデル) (Bq)	Y/X (-)	判定
1	標準型	高	D	1.50E+04	7.90E+05	5.25E+01	良
		低	D	1.50E+04	1.76E+04	1.17E+00	良
2	トレイ型	高	D	1.50E+04	8.08E+05	5.37E+01	良
		低	D	1.50E+04	1.65E+04	1.10E+00	良
3	標準型	高	D	1.50E+04	5.05E+05	3.36E+01	良
		低	D	1.50E+04	1.80E+04	1.20E+00	良
4	トレイ型	高	D	1.50E+04	7.00E+05	4.65E+01	良
		低	D	1.50E+04	2.19E+04	1.45E+00	良
5	標準型	高	D	2.26E+04	3.22E+06	1.43E+02	良
		低	D	2.26E+04	2.46E+04	1.09E+00	良
6	トレイ型	高	D	2.26E+04	3.58E+06	1.59E+02	良
		低	D	2.26E+04	4.84E+04	2.15E+00	良
7	標準型	高	D	2.26E+04	1.97E+06	8.74E+01	良
		低	D	2.26E+04	2.50E+04	1.11E+00	良
8	トレイ型	高	D	2.26E+04	2.93E+06	1.30E+02	良
		低	D	2.26E+04	1.10E+05	4.86E+00	良

<補足>

- ・ 検出 (D) の場合、評価に用いる計数率は「正味計数率」から「誤差計数率の3倍」を引いた値 (Ge 半導体検出器で測定した計数率から標準偏差の3倍 (3 σ) を引いた値) とする。
- ・ 検出限界未満 (ND) の場合、評価に用いる計数率は、「検出限界計数率」とする。
- ・ 誤差計数率は、計数率の標準偏差とピーク BG の標準偏差の両方を考慮したものである。

表1 放射能換算係数の妥当性確認結果 (6/6)

測定結果 (下側の Ge 半導体検出器)

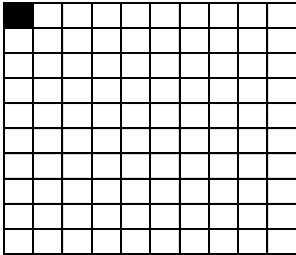
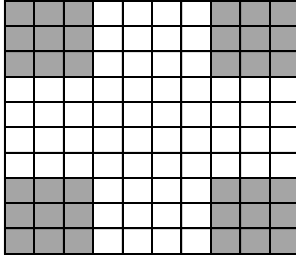
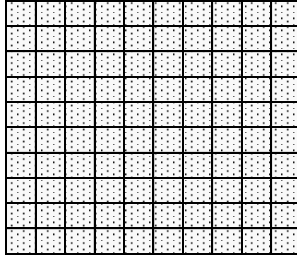
測定結果							
No.	容器種類	線源位置	Dor ND	X: 放射エネルギー (線源強度設定) (Bq)	Y: 放射エネルギー (評価モデル) (Bq)	Y/X (-)	判定
1	標準型	高	D	1.50E+04	8.43E+05	5.60E+01	良
		低	D	1.50E+04	1.76E+04	1.17E+00	良
2	トレイ型	高	D	1.50E+04	9.90E+05	6.58E+01	良
		低	D	1.50E+04	1.65E+04	1.10E+00	良
3	標準型	高	D	1.50E+04	7.39E+05	4.91E+01	良
		低	D	1.50E+04	3.60E+04	2.40E+00	良
4	トレイ型	高	D	1.50E+04	8.53E+05	5.67E+01	良
		低	D	1.50E+04	4.37E+04	2.91E+00	良
5	標準型	高	D	2.26E+04	3.44E+06	1.52E+02	良
		低	D	2.26E+04	2.46E+04	1.09E+00	良
6	トレイ型	高	D	2.26E+04	4.36E+06	1.93E+02	良
		低	D	2.26E+04	2.42E+04	1.07E+00	良
7	標準型	高	D	2.26E+04	2.80E+06	1.24E+02	良
		低	D	2.26E+04	4.99E+04	2.21E+00	良
8	トレイ型	高	D	2.26E+04	5.51E+06	2.44E+02	良
		低	D	2.26E+04	8.22E+04	3.64E+00	良

<補足>

- ・ 検出 (D) の場合、評価に用いる計数率は「正味計数率」から「誤差計数率の3倍」を引いた値 (Ge 半導体検出器で測定した計数率から標準偏差の3倍 (3 σ) を引いた値) とする。
- ・ 検出限界未満 (ND) の場合、評価に用いる計数率は、「検出限界計数率」とする。
- ・ 誤差計数率は、計数率の標準偏差とピーク BG の標準偏差の両方を考慮したものである。

(参考) 認可申請書の「添付図表 6-6」

表 1 放射エネルギー分布の想定イメージ (各セルが小領域, ハッチングが放射エネルギーあり)

(a) 最遠スポット	(b) 本評価モデル	(c) 均一分布
		
<ul style="list-style-type: none"> ・放射能換算係数が最も大きいコーナー部に汚染が集中していると想定。 ・非常に過大評価である。 ・本申請の評価は放射能濃度確認対象物の表面汚染密度を一定値以下に制限するため、一箇所に全ての放射エネルギーを集中させるこのケースは非現実的である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・計算値 (s-1) が測定値 (s-1) 以上となるまで、小領域当たりの放射能換算係数が大きい位置 (過大評価となる位置) から順に、小領域当たりの放射エネルギーを割り当てていき、計算値が測定値以上となった時点の累積放射エネルギーを「測定単位」の放射エネルギーとする。 ・適度な保守性をもった評価になる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・均一な汚染分布を想定。 ・実際の汚染分布は均一に近いと推定されるので現実的な評価に近いと考えられるが、均一であることの確認が困難である。

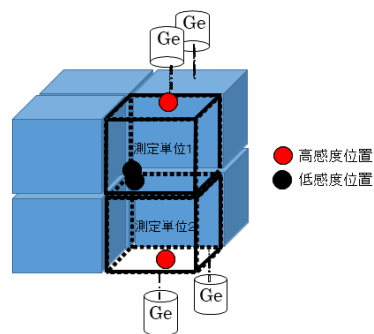
(参考) 認可申請書の「添付図表 6-16」(抜粋)

<条件設定>

- ・測定単位重量：125kg, 200kg
- ・収納物の比表面積： $5.0E-01\text{cm}^2/\text{g}$ 以下, $5.0E-01\text{cm}^2/\text{g}$ 超
- ・容器種類：「(標準型) 内サイズ：562mm (高) × 1,245mm (縦) × 1,245mm (横)」
「(トレイ型) 内サイズ：250mm (高) × 1,245mm (縦) × 1,245mm (横)」
- ・模擬線源の設置位置：「最も検出しやすい線源の位置」(以下, 高感度位置という) 及び
「最も検出困難な線源の位置」(以下, 低感度位置という)
- ・測定時間： ^{60}Co の検出限界値が $5.0E-02\text{Bq/g}$ 以下となるように設定する。
- ・測定場所：「測定エリア」候補地であるクリアランス第1建屋及びクリアランス第3建屋
- ・ピーク BG 補正の有無：測定場所におけるピーク BG 測定の結果に基づき, 設定する。
- ・模擬解体撤去物の種類：クリアランス第1建屋では「鉄板, 半割配管, タービン動翼 8,9,10 段, ラジエーションシールド」, クリアランス第3建屋では「鉄板」とする。
- ・Ge 半導体検出器の位置：測定容器の上側及び下側

<判定基準>

測定容器の占有容積部分を8分割した「測定単位」のうち, 上側の Ge 半導体検出器と下側の Ge 半導体検出器が測定する「測定単位」について, 模擬線源の設置位置の概念図を以下に示す。



(参考) 認可申請書の「添付図表 6-17」

【クリアランス第1建屋における確認結果】

測定で得られた計数率に相当する放射エネルギーを放射能換算係数から求めて標準線源の放射エネルギーと比較し、標準線源の放射エネルギーを測定結果が上回ることを確認した。

測定条件と測定結果を以下に示す。

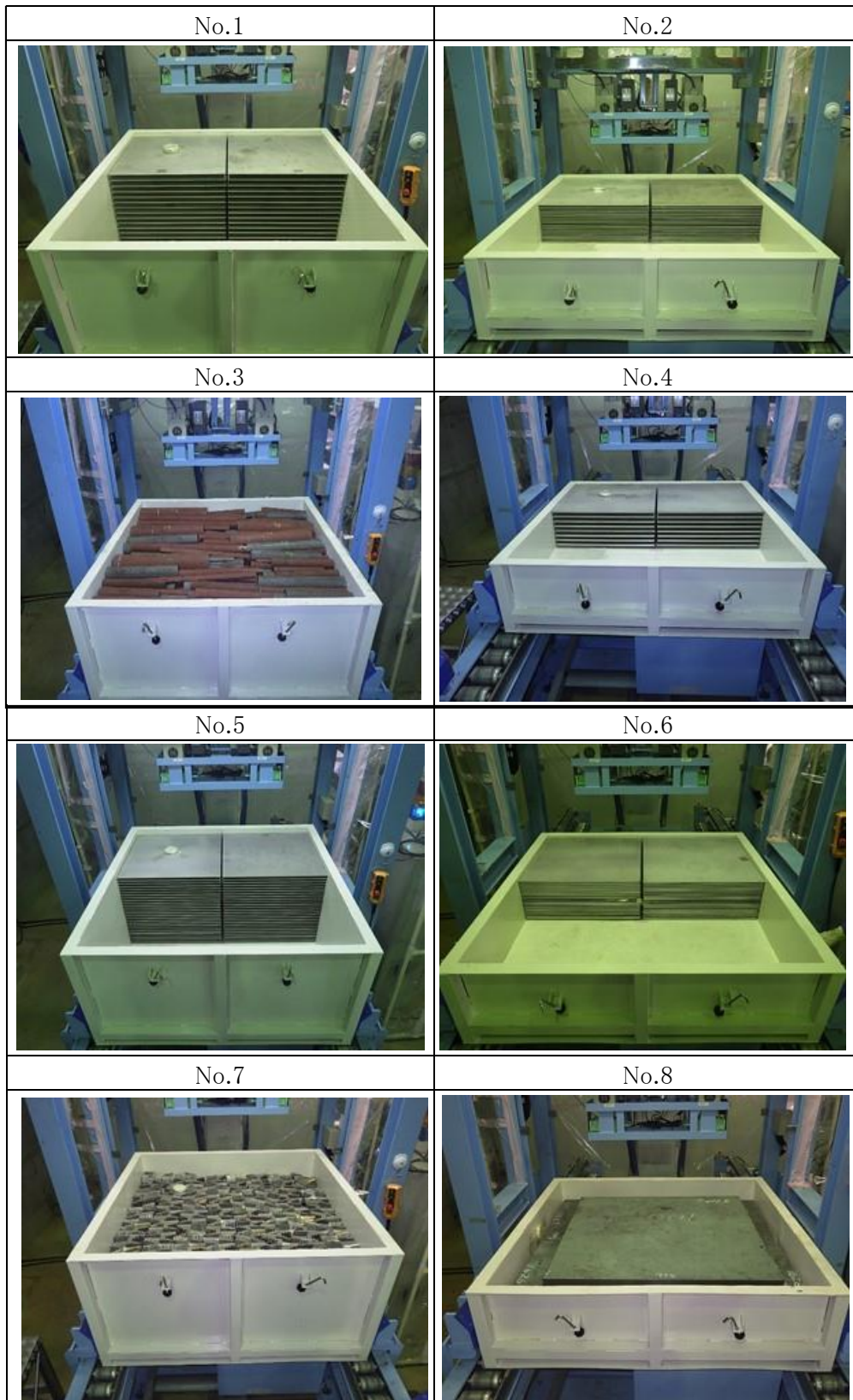
(1) 測定条件

測定条件							
No.	測定単位 重量 (kg)	比表面積 (cm ² /g)	容器 種類	線源 位置	測定 時間 (s)	PBG 補正 有無	模擬解体撤去物の種類
1	125	5.0E-01	標準 型	高	600	有	鉄板
				低	600	有	
2		超	トレ イ型	高	600	有	鉄板
				低	600	有	
3		5.0E-01	標準 型	高	600	有	半割配管
				低	600	有	
4		以下	トレ イ型	高	600	有	鉄板
				低	600	有	
5	200	5.0E-01	標準 型	高	600	有	鉄板
				低	1800	有	
6		超	トレ イ型	高	600	有	鉄板
				低	3000	有	
7		5.0E-01	標準 型	高	600	有	タービン動翼 8,9,10 段
				低	1200	有	
8		以下	トレ イ型	高	600	有	ラジエーションシールド
				低	36000	有	

<補足>

- ・模擬解体撤去物の収納状態については、測定容器内の全面（8測定単位分）に収納した場合と半面（4測定単位分）に収納したことがあるが、放射能換算係数の妥当性確認は測定単位に対して行うため、上側と下側の測定単位に解体撤去物が充填されていれば良く、測定容器内の収納状態が全面又は半面であることは影響しない。
- ・本試験の測定場所におけるピーク BG を測定した結果、ピーク BG が有ることを確認したため、模擬線源の測定においてピーク BG の影響を考慮した。

(参考) 認可申請書の「添付図表 6-18」



(参考) 認可申請書の「添付図表 6-21」

【クリアランス第3建屋①における確認結果】

測定で得られた計数率に相当する放射エネルギーを放射能換算係数から求めて標準線源の放射エネルギーと比較し、標準線源の放射エネルギーを測定結果が上回ることを確認した。

測定条件と測定結果を以下に示す。

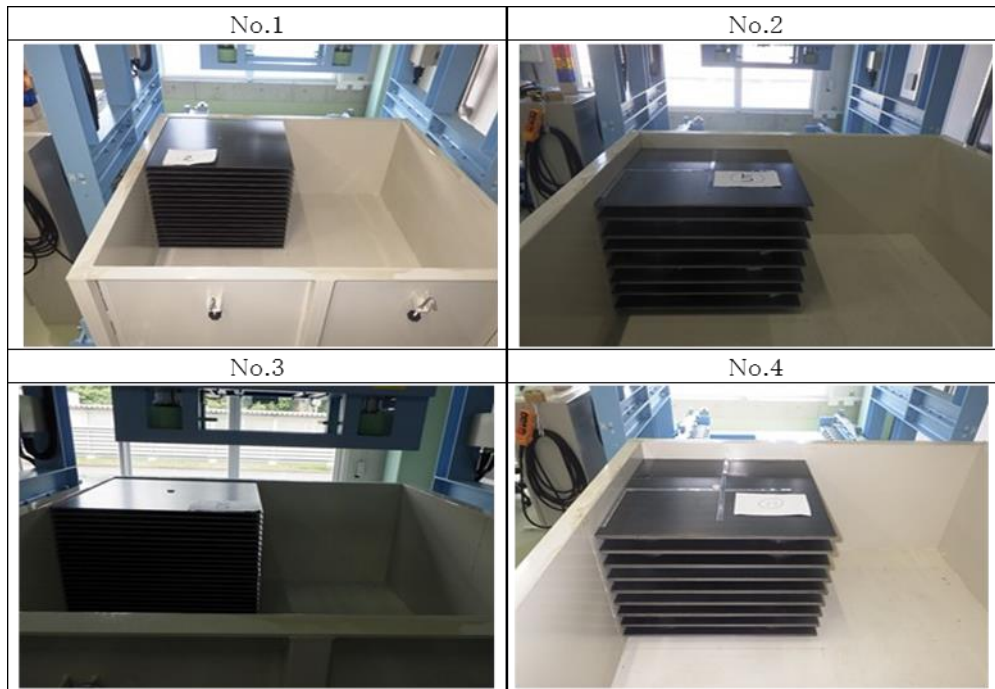
(1) 測定条件

測定条件							
No.	測定単位重量 (kg)	比表面積 (cm ² /g)	容器種類	線源位置	測定時間 (s)	PBG補正有無	模擬解体撤去物の種類
1	125	5.0E-01超	標準型	高	600	無	鉄板
				低	600	無	
2		5.0E-01以下	標準型	高	600	無	鉄板
				低	600	無	
3	200	5.0E-01超	標準型	高	600	無	鉄板
				低	600	無	
4		5.0E-01以下	標準型	高	600	無	鉄板
				低	600	無	

<補足>

- ・ 模擬解体撤去物の収納状態については、測定容器内の1/4面(2測定単位分)に収納しているが、放射能換算係数の妥当性確認は測定単位に対して行うため、上側と下側の測定単位に解体撤去物が充填されていれば良く、測定容器内の収納状態が1/4面であることは影響しない。
- ・ Ge半導体検出器4台を1セットとし、測定及び評価を行うが、「測定エリア」の候補地であるクリアランス第3建屋においては、それぞれ独立した2セット配置する。したがって、妥当性確認試験の測定場所としては、クリアランス第3建屋①及びクリアランス第3建屋②とする。
- ・ 本試験の測定場所におけるピークBGを測定した結果、ピークBGが無いことを確認したため、模擬線源の測定においてピークBGの値はゼロとした。

(参考) 認可申請書の「添付図表 6-22」(抜粋)



(参考) 認可申請書の「添付図表 6-24」

【クリアランス第3建屋②における確認結果】

(1) 測定条件

測定条件								
No.	測定単位 重量 (kg)	比表面積 (cm ² /g)	容器 種類	線源 位置	測定 時間 (s)	PBG 補正 有無	模擬解体撤去物の種類	
1	125	5.0E-01	標準 型	高	600	無	鉄板	
				低	600	無		
2		超	トレ イ型	高	600	無	鉄板	
				低	600	無		
3		5.0E-01	標準 型	高	600	無	鉄板	
				低	600	無		
4			以下	トレ イ型	高	600	無	鉄板
					低	600	無	
5	200	5.0E-01	標準 型	高	600	無	鉄板	
				低	600	無		
6		超	トレ イ型	高	1200	無	鉄板	
				低	1200	無		
7		5.0E-01	標準 型	高	600	無	鉄板	
				低	600	無		
8			以下	トレ イ型	高	5400	無	鉄板
					低	5400	無	

<補足>

- ・模擬解体撤去物の収納状態については、測定容器内の1/4面(2測定単位分)に収納しているが、放射能換算係数の妥当性確認は測定単位に対して行うため、上側と下側の測定単位に解体撤去物が充填されていれば良く、測定容器内の収納状態が1/4面であることは影響しない。
- ・本試験の測定場所におけるピークBGを測定した結果、ピークBGが無いことを確認したため、模擬線源の測定においてピークBGの値はゼロとした。

(参考) 認可申請書の「添付図表 6-25」

