

本申請における不確かさの考え方について

No.	Page	質問・コメント等
11	添付書類 P6-10,11	不確かさについて、考え方を詳しく説明し、審査基準に示されている考え方の基本と異なる点については妥当性を説明すること。

<本申請における不確かさの考え方について>

本申請において、「測定単位」における評価対象核種のうち主要核種である ^{60}Co の放射能濃度は放射線測定装置を用いた測定により求め、その他の評価対象核種 (^{137}Cs 及び ^{14}C) の放射能濃度は ^{60}Co に対する核種組成比を使用して求める。「評価単位」における評価対象核種の放射能濃度は、「評価単位」を構成する「測定単位」の放射エネルギーを合計し「評価単位」の重量で除して求める。

従って、放射能濃度の決定方法に起因する不確かさの項目は、放射線測定値、放射能換算係数、「評価単位」の重量（収納物の重量）及び核種組成比である。

本申請では、放射能濃度の決定方法に起因する不確かさの項目がそれぞれ独立であるとして個別に考慮した。

放射線測定値については、 ^{60}Co を検出した場合は、「検出値の95%片側上限値（検出値 + 1.645σ ）」を採用しており、審査基準「3.3 放射能濃度の決定方法（2）」に適合していると判断した。検出限界計数率未満である場合は、「検出限界計数率」を採用しており、「検出限界計数率」から算出される検出限界値は、「検出限界計数率」を検出値として扱い 1.645σ を加えた場合であってもクリアランスレベル以下であることの判断が可能となるよう、 ^{60}Co 以外の評価対象核種 (^{137}Cs 及び ^{14}C) 及びそれらの減衰も考慮しても「測定単位」の $\Sigma D/C$ (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{14}C) が1以下であるように設定するため、審査基準「3.3 放射能濃度の決定方法（2）」及び審査基準「3.4 放射線測定装置の選択条件（2）ロ」に適合していると判断した。

放射能換算係数については、放射線源の位置・強度及び Ge 半導体検出器の効率を保守的に考慮して設定しており、不確かさの定量評価ではなく、標準線源を用いた試験を行い、放射能換算係数が保守的に設定できているかの確認を行った。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、放射能換算係数の妥当性確認を行った。妥当性確認の方法としては、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、その値が表1に示すとおり、「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、審査基準と同程度以上の安全性を有していると判断した。

「評価単位」の重量（収納物の重量）については、重量の測定に用いる重量計は JIS に基づき校正された重量計を用いており、重量計の測定精度に基づく不確かさの程度（ $\pm 2\text{kg}$ ）は収納物重量の最大値（1.6t）に対して 0.125% である。従って、重量計の測定精度に基づく不確かさの程度（ $\pm 2\text{kg}$ ）は、放射能換算係数が有する安全性の程度（1.07 倍～522 倍程度）に対して極めて僅かであることから、「評価単位」の $\Sigma\text{D/C}$ の不確かさの程度への寄与は無視できると判断した。

核種組成比については「算術平均値の 95% 上限値」を採用しており、審査基準「3.3 放射能濃度の決定方法（2）」に適合していると判断した。

以上より、放射線測定値及び核種組成比については審査基準「3.3 放射能濃度の決定方法（2）」に適合していると判断しており、放射能換算係数については妥当性の確認結果から審査基準と同程度以上の安全性を有していると判断しており、「評価単位」の重量（収納物の重量）の不確かさの程度については放射能換算係数が有する安全性の程度に対して極めて僅かであることから、「評価単位」の $\Sigma\text{D/C}$ の不確かさの程度への寄与は無視できると判断している。従って、本申請における放射能濃度の決定方法は審査基準「3.3 放射能濃度の決定方法（2）」と同程度以上の安全性を有していると判断した。

以上

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	1.47E+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 (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 (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)

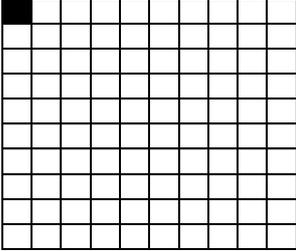
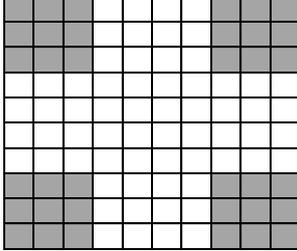
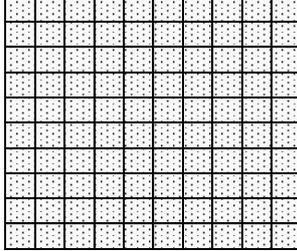
測定結果							
No.	容器種類	線源位置	Dor ND	X : 放射エネルギー (線源強度設定) (Bq)	Y : 放射エネルギー (評価モデル) (Bq)	Y/X (-)	判定
1	標準型	高	D	1.50E+04	8.43E+05	5.60E+01	良
		低	D	1.50E+04	1.76E+04	1.17E+00	良
2	トレイ型	高	D	1.50E+04	9.90E+05	6.58E+01	良
		低	D	1.50E+04	1.65E+04	1.10E+00	良
3	標準型	高	D	1.50E+04	7.39E+05	4.91E+01	良
		低	D	1.50E+04	3.60E+04	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 6-1」(一部を抜粋)

「測定単位」での測定に関する主要な仕様及び測定条件を以下に示す。

8	重量測定器仕様	測定方式：ロードセル式 測定範囲：2,000kg 以下	測定精度 ³⁾ ：±2kg
---	---------	--------------------------------	--------------------------

3) JIS B 7611-2：計量法特定計量器検定検査規則に定める性能要件及び試験方法

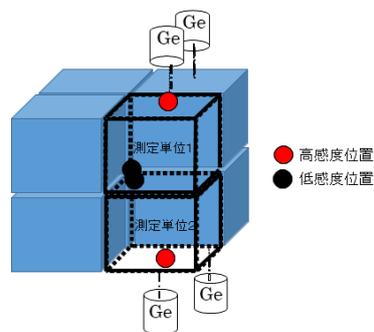
(参考) 認可申請書の「添付図表 6-16」(抜粋)

<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。

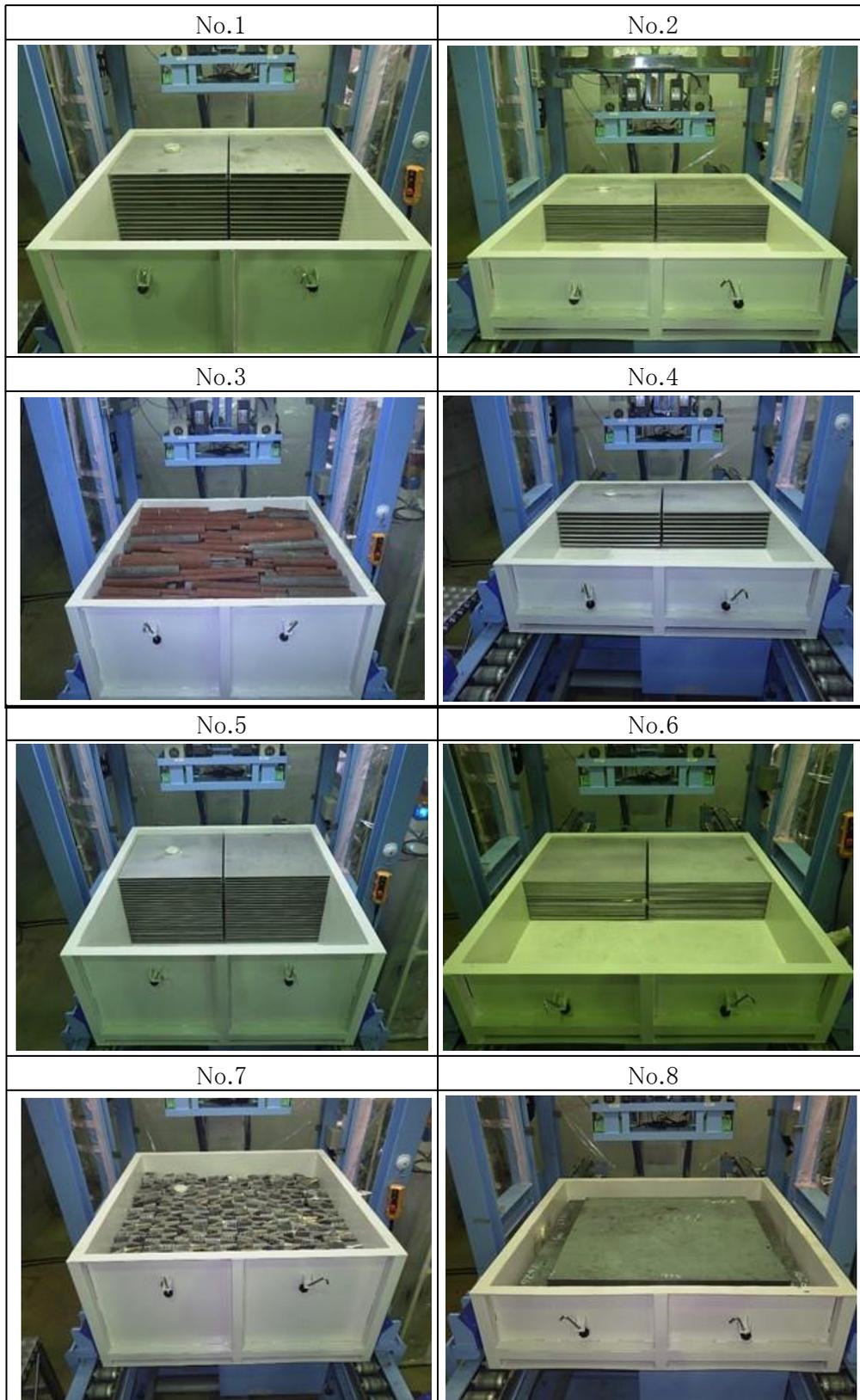
(1) 測定条件

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 超	標準 型	高	600	有	鉄板
				低	600	有	
2			トレ イ型	高	600	有	鉄板
		低		600	有		
3		5.0E-01 以下	標準 型	高	600	有	半割配管
				低	600	有	
4			トレ イ型	高	600	有	鉄板
		低		600	有		
5	200	5.0E-01 超	標準 型	高	600	有	鉄板
				低	1800	有	
6			トレ イ型	高	600	有	鉄板
		低		3000	有		
7		5.0E-01 以下	標準 型	高	600	有	タービン動翼 8,9,10 段
				低	1200	有	
8			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）に収納した場合があるが、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。

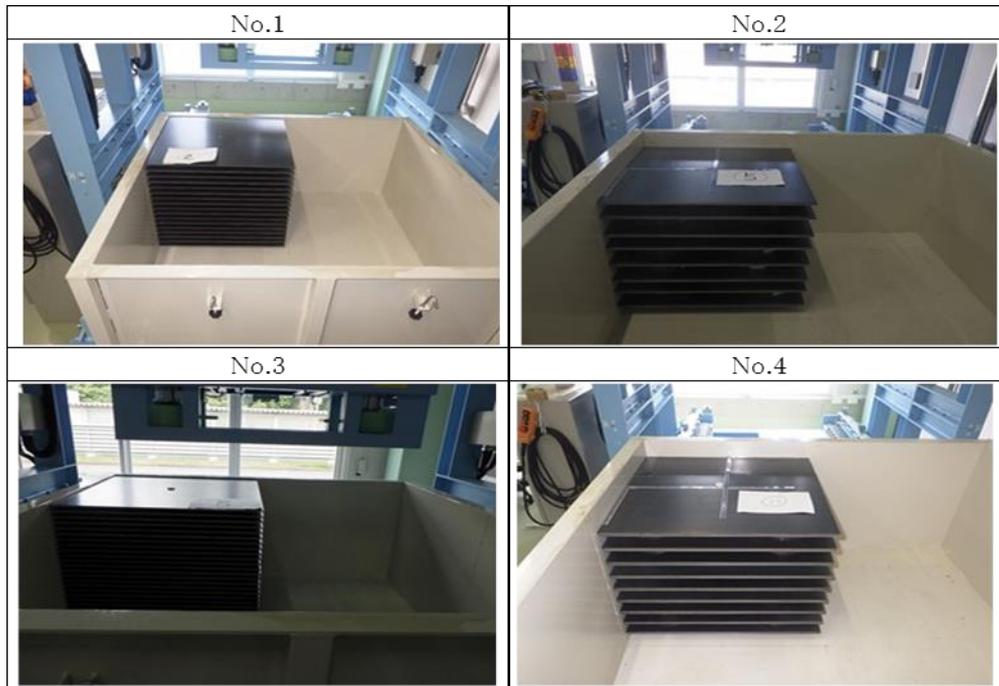
(1) 測定条件

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」

