

2020年10月20日

関西電力株式会社

## コメント回答資料（放射能濃度の決定方法について）

コメント No.	日付	コメント内容
4～5,8,12～ 15,54～72		放射能濃度の決定方法に係るコメントの日付およびコメント内容については、資料 2「コメント管理表」参照。

## 【回答】

## 1. 放射能濃度を決定する方法

## 1.1 測定単位及び評価単位における放射能濃度の決定方法

放射能濃度確認対象物の放射能濃度は、測定装置で測定した $\gamma$ 線計数率が全て評価対象核種である **Co-60** から放出された $\gamma$ 線によるものとして、放射線測定値に起因する不確かさ（以下、「放射線測定値に関する不確かさ」という。）を考慮した全 $\gamma$ 線正味計数率に「安全率」及び「不確かさを考慮した放射能換算係数」の 2 種類の係数を乗じ、放射能濃度を算定する（図 1 参照）。

安全率は、局部汚染があった場合を想定し、配置パターン毎に測定装置のトレイ上の最も感度が低い場所に放射能が集中した条件を考慮して設定する。また、不確かさを考慮した放射能換算係数は測定効率、測定条件及びデータ処理に起因する不確かさ（以下、「測定条件等に関する不確かさ」という。）を考慮して設定する。

## 1.2 放射能濃度を決定する方法に関する不確かさ

クリアランス審査基準の要求事項は、放射線測定法により放射能濃度の決定を行う場合には、放射線測定値、測定効率、測定条件、データ処理に起因する不確かさに関する適切な説明がなされていることである。

放射線測定値に関する不確かさは、全 $\gamma$ 線正味計数率の統計誤差を考慮し、信頼の水準を片側 **99.9%**としたときの計数率を用いる。

測定条件等に関する不確かさは、測定時の条件に起因していることから、各標準不確かさより相対拡張不確かさを算定し、放射能換算係数に乗じる（図 1 参照）。

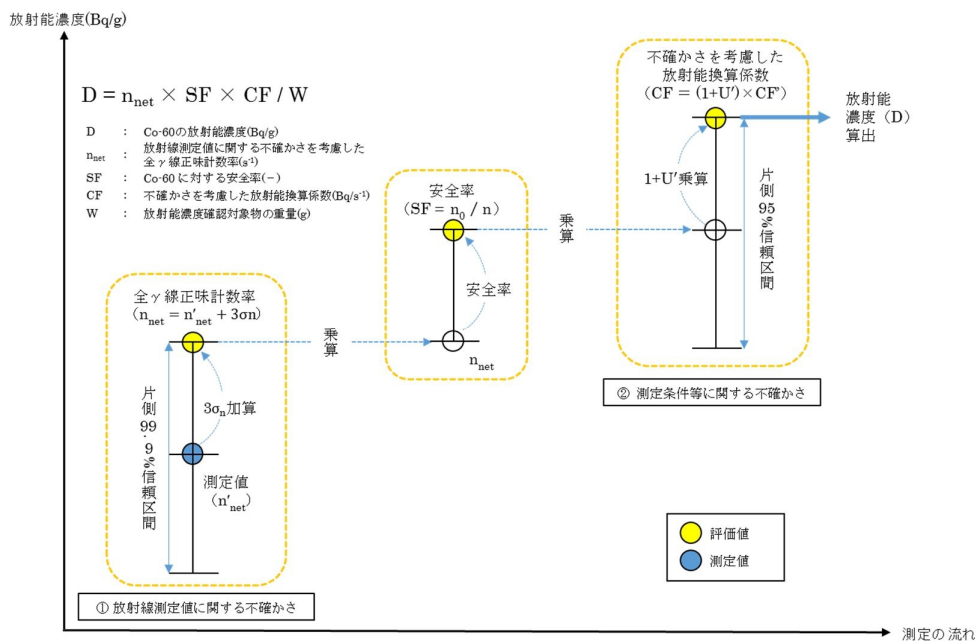


図1 測定装置におけるCo-60の放射能濃度決定のイメージ

## 2. 放射線測定値に関する不確かさを考慮した全 $\gamma$ 線正味計数率 $n_{\text{net}}$ の算定方法

$\gamma$ 線測定においては、核崩壊の揺らぎに起因して避けることが出来ない統計誤差があり、全 $\gamma$ 線正味計数率の統計誤差は、確認対象物の放射能濃度に依存して変化する。

放射線測定値に関する不確かさとして、全 $\gamma$ 線正味計数率の統計誤差を考慮することとし、以下の式により統計誤差を考慮した全 $\gamma$ 線正味計数率を算定する。ここで、包含係数(k)は信頼の水準を片側99.9%としたときの3とする。なお、算定式のうち、統計誤差 $\sigma_n$ については、BG補正の相対誤差 $r_1$ を考慮する。具体的な全 $\gamma$ 線正味計数率の統計誤差 $\sigma_n$ の算定方法は添付資料1に示す。

### 【算定式】

$$n_{\text{net}} = n'_{\text{net}} + k \times \sigma_n$$

$$n'_{\text{net}} = n_G - n_B$$

$n_{\text{net}}$  : 放射線測定値に関する不確かさを考慮した全 $\gamma$ 線正味計数率

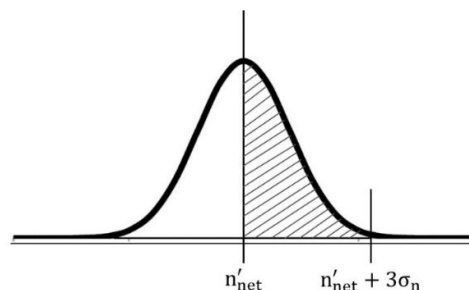
$n'_{\text{net}}$  : 全 $\gamma$ 線正味計数率

$n_G$  : 全 $\gamma$ 線グロス計数率

$n_B$  : 全 $\gamma$ 線BG計数率

k : 包含係数 (k = 3)

$\sigma_n$  : 全 $\gamma$ 線正味計数率の統計誤差



統計誤差 $\sigma_n$ のイメージ

### 3. 安全率 SF の算定方法

安全率の算定式を以下に示す。

【算定式】



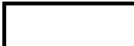
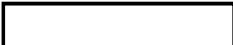
安全率は、放射能濃度確認対象物の測定条件（トレイ上への配置パターン、 ）に依存するため、あらかじめ図 2 に例示するモデルによるモンテカルロ解析によって評価して設定した値から、測定の都度、測定評価された条件に合わせて選定する。



図 2 安全率の設定モデル（例）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

#### 4. 測定条件等に関する不確かさを考慮した放射能換算係数 **CF** の算定方法

##### 4.1 算定式

測定条件等に関する不確かさを考慮した放射能換算係数（以下、「不確かさを考慮した放射能換算係数」という。）**CF** は、放射能換算係数 **CF'** に相対拡張不確かさ **U'** を考慮することで算定する。算定式を以下に示す。

【算定式】

$$CF = (1 + U') \times CF'$$

$$CF' = D_0 \times W_0 / n_0$$

**CF** : 不確かさを考慮した放射能換算係数(Bq/s<sup>-1</sup>)

**U'** : 相対拡張不確かさ (  )

**CF'** : 放射能換算係数(Bq/s<sup>-1</sup>)

**D<sub>0</sub>** : モデル計算の設定濃度(Bq/g) (**D<sub>0</sub> × W<sub>0</sub> = 1(Bq)**で固定)

**W<sub>0</sub>** : モデル計算の設定重量(g)

**n<sub>0</sub>** :  モデル計算により得られる計数率(s<sup>-1</sup>)

放射能換算係数は、放射能濃度確認対象物の測定条件（トレイ上への配置パターン ）に依存するため、あらかじめ図 3 に示すモデルによるモンテカルロ解析によって評価して設定した値から、測定の都度、測定評価された条件に合わせて選定する。



図 3 放射能換算係数の設定モデル（例）

#### 4.2 相対拡張不確かさ $U'$ の算定方法

測定効率、測定条件及びデータ処理に起因する不確かさは、測定時の条件に起因しており、表 1 に示すステップで相対拡張不確かさを算定する。なお、具体的な相対拡張不確かさの算定方法は添付資料 2 に示す。

表 1 相対拡張不確かさの算定ステップ

ステップ	項目	方法
①	標準不確かさの算定	不確かさ要因毎の放射能濃度の標準不確かさを算定
②	合成標準不確かさの算定	①で算定した標準不確かさを不確かさの伝播則により合成して合成標準不確かさを算定
③	拡張不確かさの算定	②で算定した合成標準不確かさに信頼の水準を片側 95%とした時の包含係数を乗じて算定
④	相対拡張不確かさの算定	③で算定した拡張不確かさを放射能濃度設定値で除して相対値に換算

##### (1) 標準不確かさの算定

放射能濃度の評価値に対する不確かさについては、放射能濃度の評価値に影響する要因を分析・検討して、特性要因図を作成し標準不確かさを算定した。考慮すべき標準不確かさを抽出した特性要因図を図 4 に示す。

##### (2) 合成標準不確かさ ( $u(D)$ ) の算定

標準不確かさを「測定における不確かさの表現のガイド (GUM) ハンドブック」(一般財団法人 日本規格協会) に基づき、不確かさの伝播則により合成標準不確かさを算定した。なお、合成標準不確かさの算定においては独立でない要因の共分散の放射能濃度への寄与も考慮して算定した。配置パターン毎の合成標準不確かさを表 2 に示す。

##### (3) 拡張不確かさ ( $U$ ) の算定

(2)項で算定した合成標準不確かさに、「測定における不確かさの表現のガイド (GUM) ハンドブック」(一般財団法人 日本規格協会) に基づき、信頼の水準を片側 95%とした時の包含係数  $k=1.645$  として、 $U = k \times u(D)$  で算定した。配置パターン毎に算定した拡張不確かさを表 2 に示す。

##### (4) 相対拡張不確かさ ( $U'$ ) の算定

(3)項で算定した拡張不確かさの単位は  $Bq/g$  であり、これを規格化して放射能換算係数に考慮するために、放射能濃度設定値で除して相対拡張不確かさ(単位: %)を

算定した。算定式を以下に示す。

ここで、拡張不確かさと放射能濃度の関係を図 5 に、相対拡張不確かさの放射能濃度依存性を図 6 に示す。図 6 に示す通り、放射能濃度に関わらず相対拡張不確かさは一定の数値となることを確認していることから、相対拡張不確かさを算定する際に用いる放射能濃度設定値を、規則別表第 1 の第 2 欄の Co-60 の放射能濃度（クリアランスレベル）とした。

配置パターン毎に算定した相対拡張不確かさを表 2 に示す。表 2 に示す通り、

--

【算定式】

$$\text{相対拡張不確かさ (\%)} = \frac{\text{拡張不確かさ (Bq/g)}}{\text{放射能濃度設定値 (Bq/g)}}$$

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

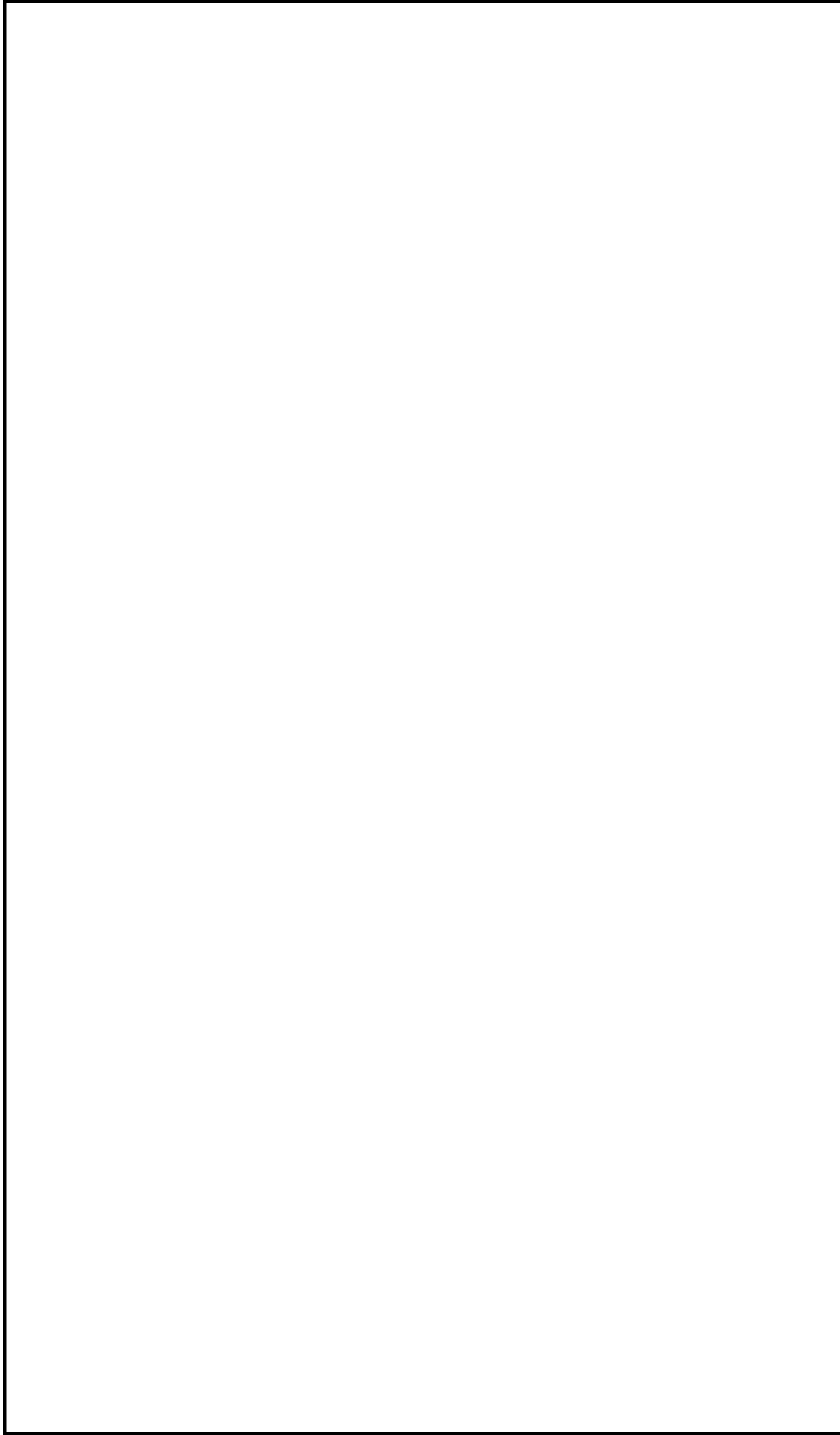


図 4 不確かさの特性要因図

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

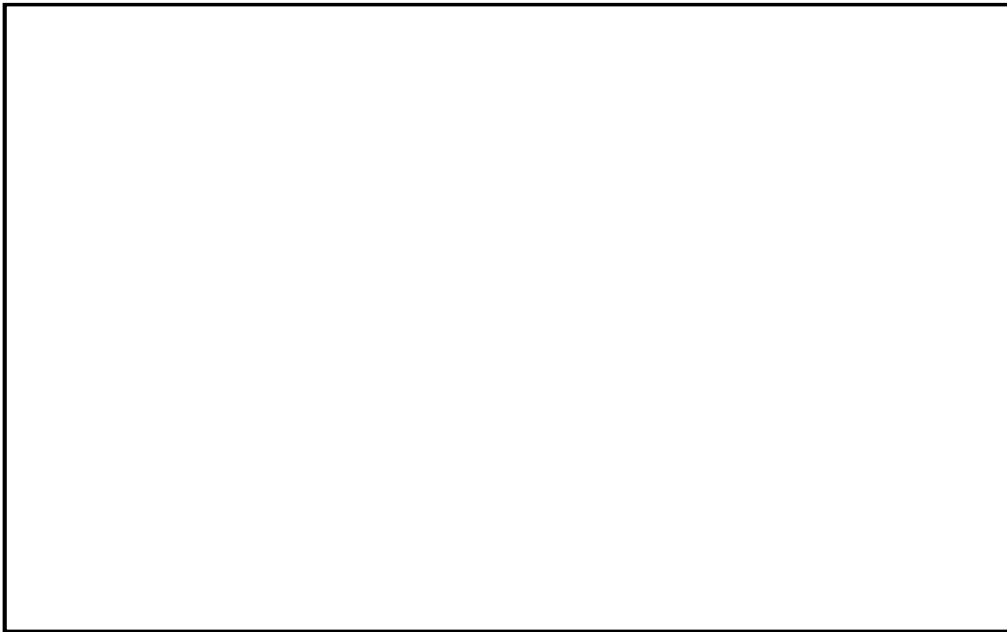


図 5 拡張不確かさの放射能濃度依存性

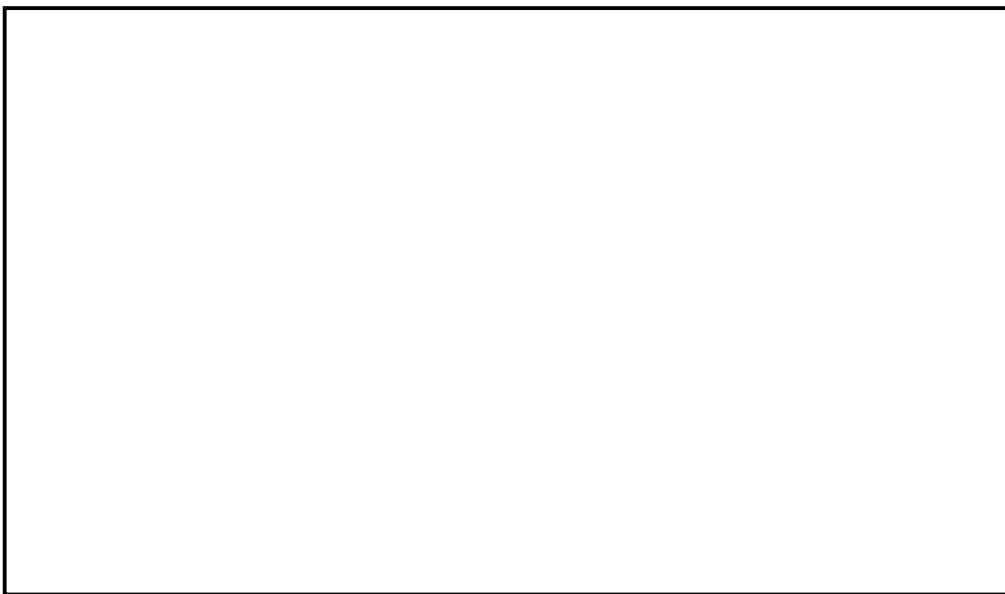


図 6 相対拡張不確かさの放射能濃度依存性

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。



表 2 算定した配置パターン毎の各不確かさ

--

#### 4. 検出限界放射能濃度の算定方法

測定装置の検出限界放射能濃度は、クリアランスの判断方法（日本原子力学会標準 2005 年 7 月）に基づき、BG 計数率、BG 変動率に起因する相対誤差 $r_1$ 及び放射能換算係数の相対誤差 $r_2$ 等から算定する。また、検出限界放射能濃度の算定においては、放射能濃度確認対象物の形状に応じて選定した、安全率 SF 及び不確かさを考慮した放射能換算係数 CF も乗じて算定する。測定装置の使用範囲内で種々の検出限界放射能濃度を算定した結果、検出限界放射能濃度は  となり、規則別表第 1 第 2 欄の放射能濃度以下（Co-60 : 0.1 Bq/g）である。

検出限界放射能濃度の具体的な算定方法は添付資料 3 に示す。

#### 5. 測定装置の性能確認

クリアランス審査基準 3.4(1)口項の要求事項に対して、模擬廃棄物を用いて、測定装置の性能を確認した。測定結果を図 7 に示す。図 7 に示す通り、Co-60 のクリアランスレベル近傍の測定は可能であることを確認した。また、最も感度が低い場所に放射能を配置したモデル計算値で設定した安全率を含めて測定していることから、測定値が大きめに評価されることを確認した。

Co-60 のクリアランスレベル近傍の測定を実施した際の模擬対象物のトレイ上の配置場所及び測定結果を図 8 に示す。Co-60 のクリアランスレベルの模擬対象物の測定の際には配置パターン毎に測定装置のトレイ上で感度が低い場所に放射能が集中した配置状態で試験を実施した。図 9 に最も感度が低い場所に模擬廃棄物を配置した時の試験結果および配置場所を示す。平面方向としては、線源が $\gamma$ 線検出器を見込む立体角が、測定領域角部が最も小さくなることから、測定領域角部を感度が悪い場所として設定した。また、高さ方向については、積載物による遮へい効果により、積載物中心が最も感度が悪くなることから、積載物中心部を最も感度が悪い場所として設定した。図 8 及び図 9 のいずれの場合においても、測定値が大きめに評価されることを確認した。

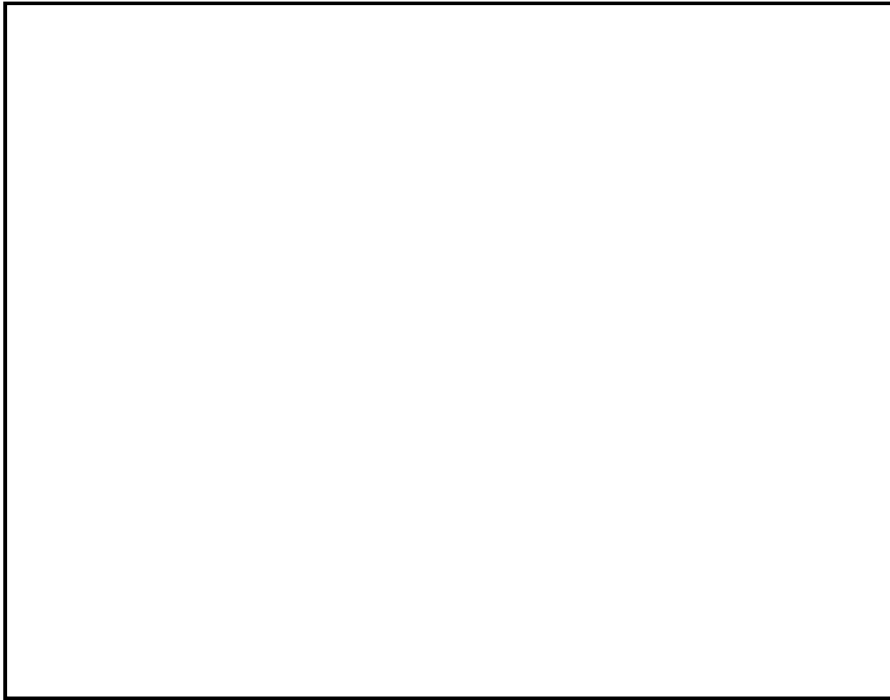


図 7 放射能濃度設定値と測定値の比較

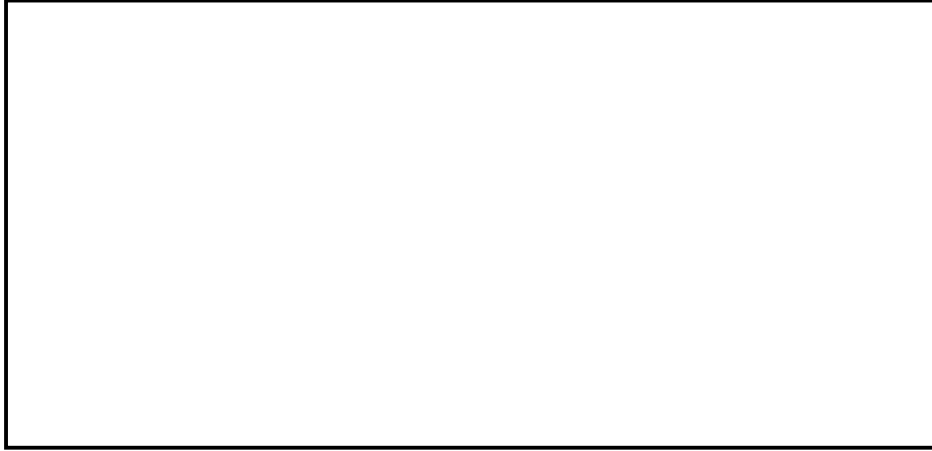
6. 測定装置の点検・校正について

日常点検（使用中において 1 回/日）では、BG 測定、Co-60 標準線源を用いた検出効率の確認、及び測定装置の外観点検を行い、測定装置の健全性を確認する。

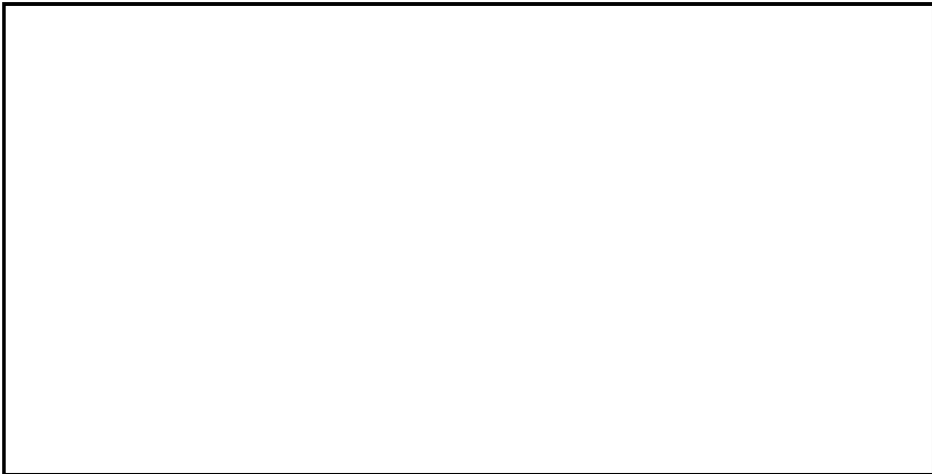
また、定期点検（使用中において 1 回/年）では、 $\gamma$  線検出器の点検・校正を行うとともに、重量測定器、寸法測定器についても点検・校正を行う。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

【配置パターン A】



【配置パターン B】



【配置パターン C】

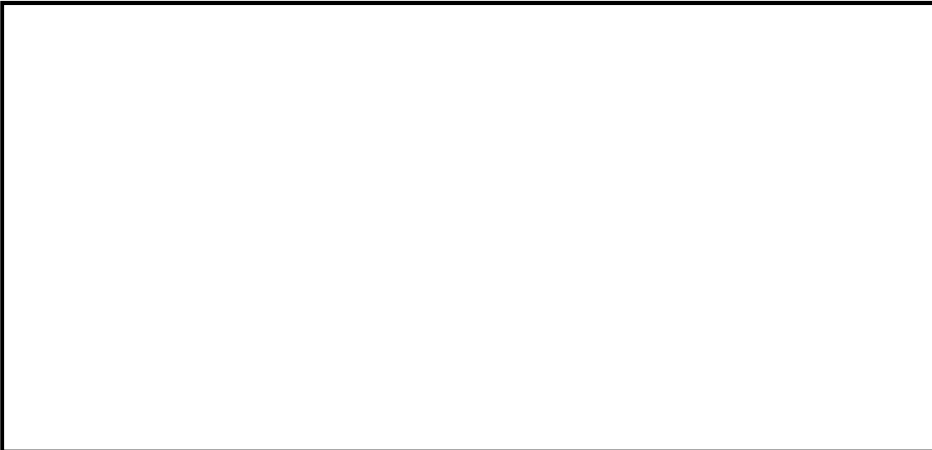
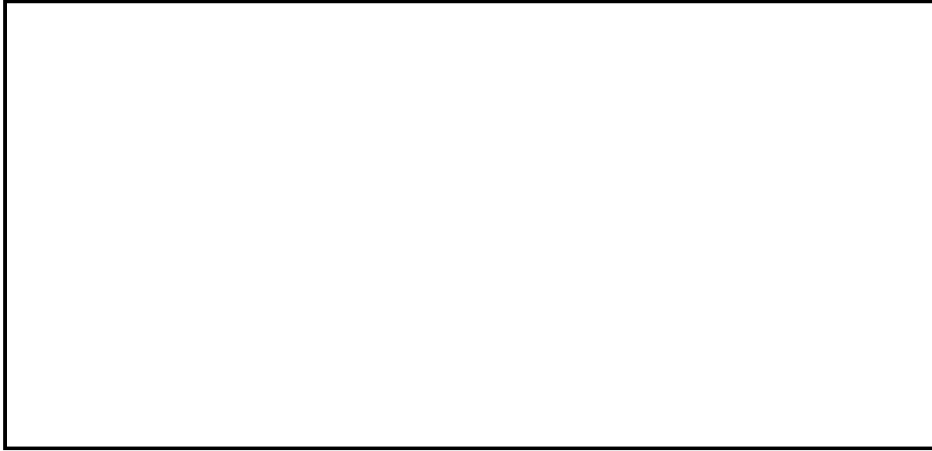


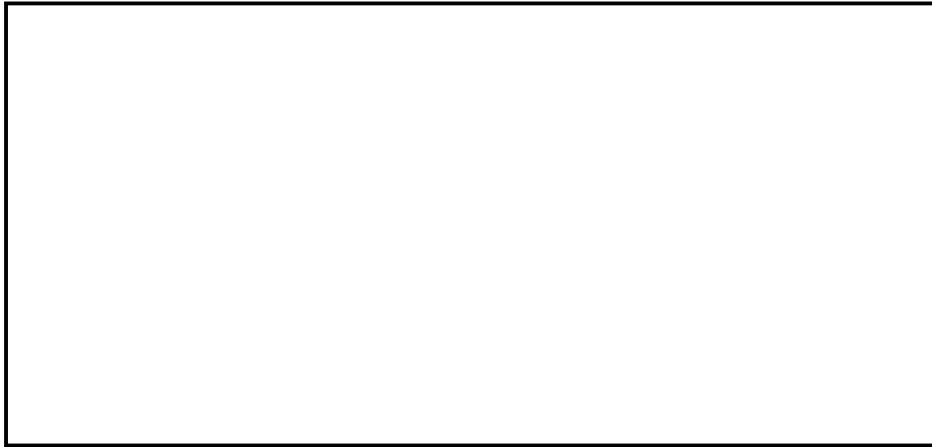
図 8 測定装置の性能試験時の模擬線源配置図 (Co-60 クリアランスレベル近傍の測定)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

【配置パターン A】



【配置パターン B】



【配置パターン C】

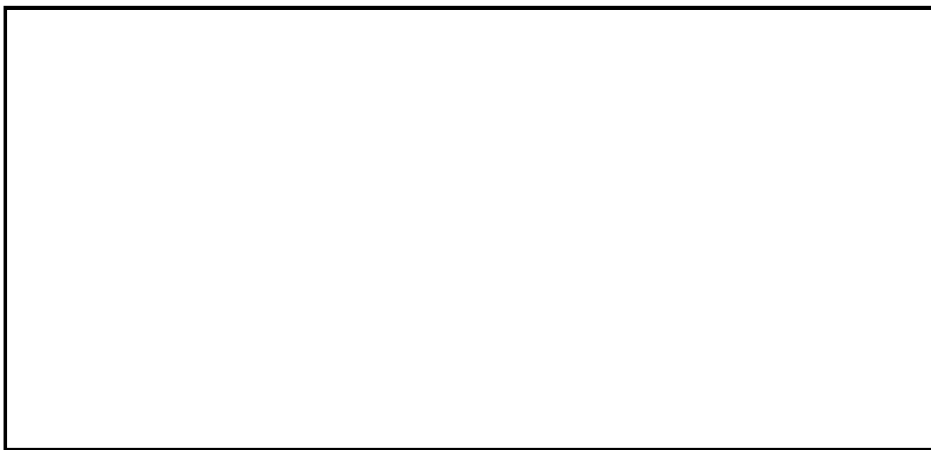


図 9 測定装置の性能試験時の模擬線源配置図（感度が悪い場所の測定）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

全  $\gamma$  線正味計数率の統計誤差  $\sigma_n$  の算定方法について1. 全  $\gamma$  線正味計数率の統計誤差  $\sigma_n$  の算定方法

$\gamma$  線測定においては、核崩壊の揺らぎに起因して避けることが出来ない統計誤差があり、全  $\gamma$  線正味計数率の統計誤差は、確認対象物の放射能濃度に依存して変化することから、測定効率、測定条件及びデータ処理に起因する不確かさとは独立して評価する。放射線測定値に関する不確かさは、全  $\gamma$  線正味計数率の統計誤差を考慮することとし、以下の式により、統計誤差を考慮した全  $\gamma$  線正味計数率を算定する。ここで、包含係数 ( $k$ ) は信頼の水準を片側 99.9% としたときの 3 とする。BG 補正の相対誤差  $r_1$  の算定方法は 2. 項に示す。

## 【算定式】

$$n_{net} = n'_{net} + k \times \sigma_n$$

$$n'_{net} = n_G - n_B$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{n'_{net}}{\alpha \times t} + n_B \times \left( \frac{1}{\alpha \times t} + \frac{1}{\alpha \times t_B} \right) + (r_1 \times n_B)^2}$$

$n_{net}$  : 統計誤差を考慮した全  $\gamma$  線正味計数率

$n'_{net}$  : 全  $\gamma$  線正味計数率

$n_G$  : 全  $\gamma$  線グロス計数率

$n_B$  : 全  $\gamma$  線 BG 計数率

$k$  : 包含係数 ( $k = 3$ )

$\sigma_n$  : 全  $\gamma$  線正味計数率の統計誤差

$r_1$  : BG 補正の相対誤差 ( $r_1 = \square$ )

$\alpha$  : 測定パターンにおける  $\gamma$  線検出器の数

$t$  : 測定時間

$t_B$  : BG 測定時間

2. BG 変動に起因する相対誤差  $r_1$  の算定

BG 変動に起因する相対誤差  $r_1$  は、個々の対象物を測定したときの自己吸収補正誤差  $r_B$  の平均値  $\bar{r}_B$  及び標準偏差  $\sigma_1$  により表される次式から求める。ここで、相対誤差  $r_1$  については、平均値  $\bar{r}_B$  が 0 からずれることも考慮して算定する。

## 【算定式】

$$k \times r_1 = \bar{r}_B + k \times \sigma_1$$

$$r_B = (n_{B0} - n_B) / n_B$$

$k$  : 包含係数 ( $k=3$ )

$\bar{r}_B$  :  $r_B$  の平均値 (%)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

- $\sigma_1$  :  $r_B$ の標準偏差(%)
- $r_B$  : 放射能濃度確認対象物の  $\gamma$  線計数率を測定したときの **BG** の自己吸収補正誤差(-)
- $n_B$  : 模擬対象物をトレイ型専用測定装置で測定したときの **BG** 実測値(s<sup>-1</sup>)
- $n_{B0}$  : 模擬対象物をトレイ型専用測定装置で測定したときの **BG** の自己吸収による補正計算値 (s<sup>-1</sup>)

図 1 に模擬対象物の **BG** の自己吸収補正誤差の測定結果を示す。放射能を有さない模擬放射能濃度確認対象物をトレイに積載して測定した値と作業開始前の **BG** 測定値を模擬放射能濃度確認対象物の条件によって補正計算した値を比較して個別に求めた  $r_B$  とその結果から求めた  $r_1$  などを示している。本測定装置において使用する  $r_1$  は図 1 に示す測定結果に基づき [ ] と設定する。

ここで、上記の放射能を有さない模擬放射能濃度確認対象物をトレイに積載して実施した測定及び作業開始前の **BG** 測定は、全て実際の測定条件と同じ測定時間 ( [ ] ) で実施している。従って、複数の測定試験で構成されている図 1 及び図 1 のデータに基づいて設定した  $r_1 = [ ]$  には、実際の **CL** 測定における放射線の揺らぎの影響、すなわち、計数誤差の影響は含まれていると考えている。

図 1 の模擬対象物の設定範囲を表 1 に示す。測定装置において **BG** 計数率が高さと重量に応じて補正されることから、高さ重量について整理している。模擬対象物の高さ重量は、測定装置の使用範囲 ( [ ] ) を概ね満足する広い範囲で試験している。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

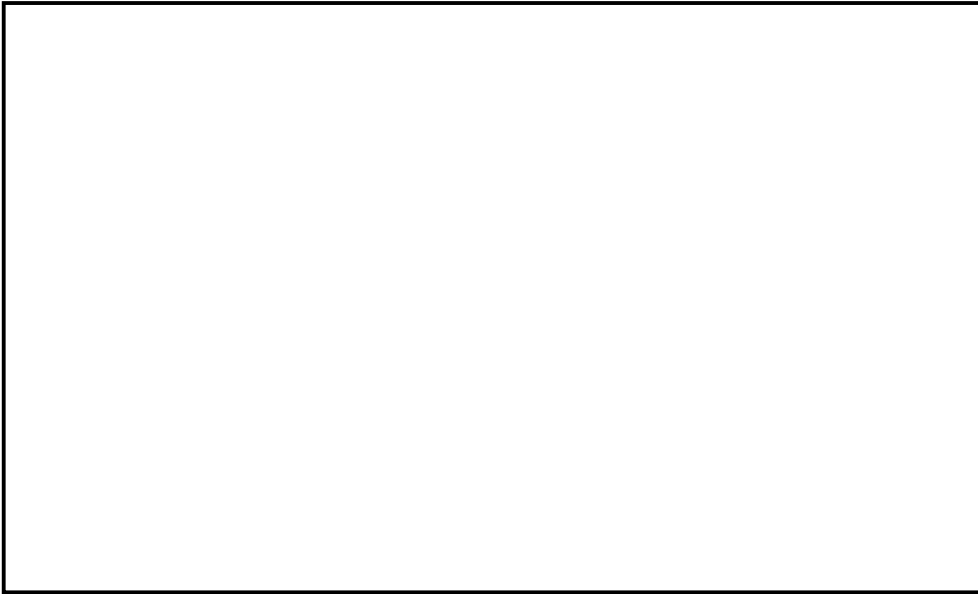


図 1 BG の自己吸収補正誤差( $r_B$ )の測定結果

表 1 BG の自己吸収補正誤差 ( $r_B$ )の測定時の模擬対象物条件

--

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

## 相対拡張不確かさの算定方法について

## 1. 測定条件等に関する不確かさ

測定条件等に関する不確かさについては、各標準不確かさを基に算定した相対拡張不確かさを放射能換算係数  $CF'$  に乗じることで考慮する。測定条件等に関する不確かさの評価方法は、「測定における不確かさの表現のガイド (GUM) ハンドブック」(一般財団法人 日本規格協会) に基づき、2.項以降に示す手順で評価する。

## 2. 標準不確かさの算定

## 2.1 要因の抽出

評価対象核種の放射能濃度の評価値に対する不確かさについては、放射能濃度の評価値に影響する要因を抽出した。

各要因において、別の要因で考慮している不確かさおよび当該要因の不確かさが主要因の不確かさと比較して小さい不確かさは定量的な評価の対象外とした。

全要因を網羅した特性要因図を図 1 に、定量的な評価の対象とした不確かさの特性要因図を図 2 に示す。ここで、特性要因図中の換算係数とは安全率及び放射能換算係数の積を意味している。これは、安全率及び放射能換算係数は、共に同じ要因の不確かさを有しているため、安全率及び放射能換算係数の積として記載した。

## 2.2 標準不確かさの定量的な評価結果

2.1 項で選定した標準不確かさの定量的な評価結果を表 1 に示す。ここで、表 1 中の換算係数とは安全率を考慮した放射能換算係数のこと(安全率×放射能換算係数)であり、表 1 中では  $K$  と表記した。これは、安全率及び放射能換算係数は、共に同じ要因の不確かさを有しているためである。

各標準不確かさは、確認対象物の幅、長さ、高さ及び重量は、安全率を考慮した放射能換算係数  $K$  が使用範囲において最大となる条件を選択し評価した。ここで、表 1 に示す不確かさの定量的な評価のうち、独立な要因とは、他の要因と相関が無い要因のことである。一方、独立でない要因とは、他の要因と相関がある要因のことである。また、不確かさの定量的な評価対象外の要因とは、別の不確かさの要因で包含して考慮している要因、及び当該要因の不確かさが主な要因の不確かさと比較して小さい要因のことである。





図 1 不確かさの特性要因図（全要因抽出）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

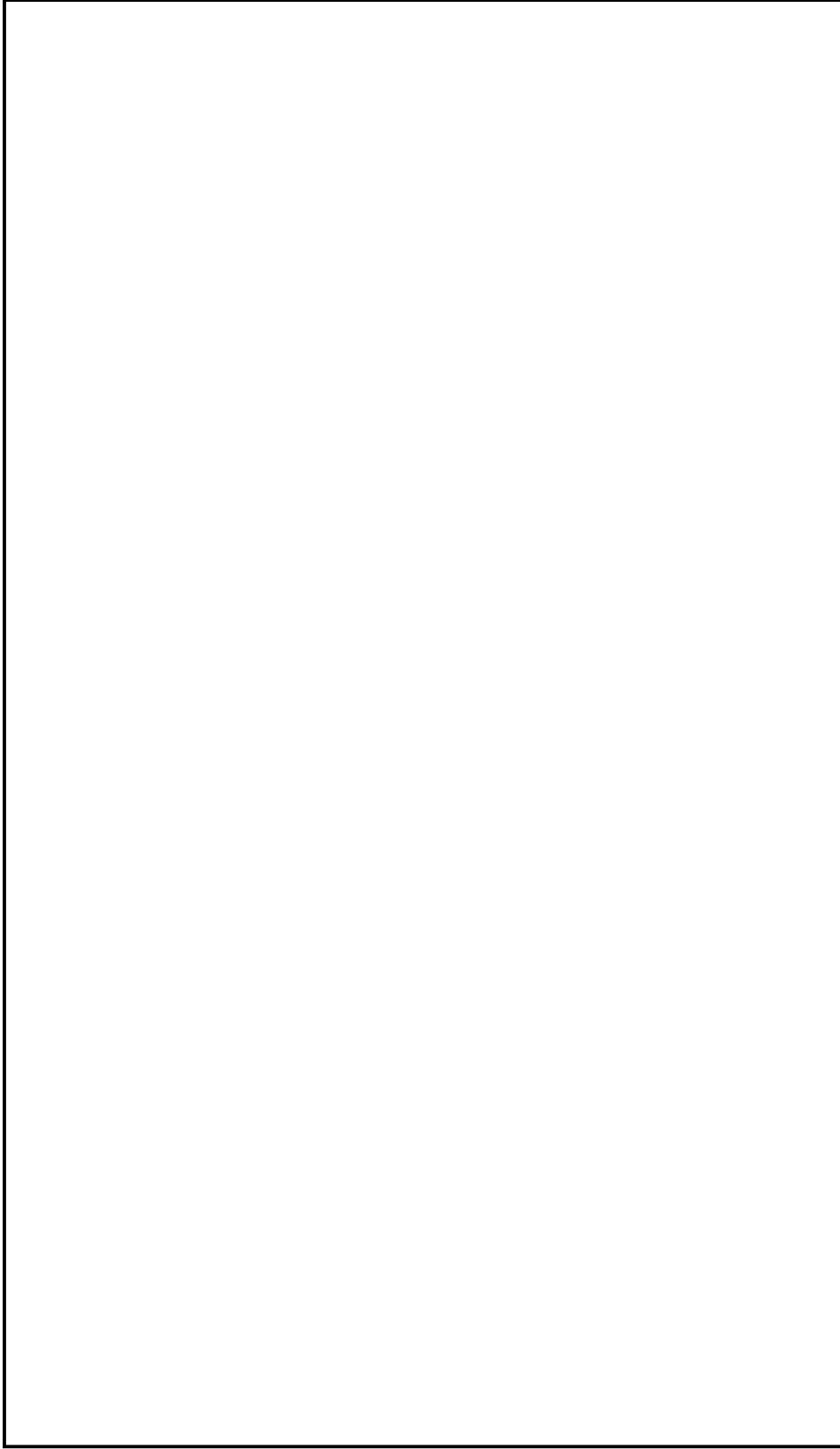


図 2 不確かさの特性要因図（考慮すべき不確かさ選定後）

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 1 各標準不確かさの算定結果 (1/3) (配置パターン A)

--

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 1 各標準不確かさの算定結果 (2/3) (配置パターン B)

--

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 1 各標準不確かさの算定結果 (3/3) (配置パターン C)

--

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

### 3. 合成標準不確かさ ( $u(D)$ ) の算定

標準不確かさを「測定における不確かさの表現のガイド (GUM) ハンドブック」(一般財団法人 日本規格協会) に基づき、不確かさの伝播則により合成標準不確かさを算定した。配置パターン毎に算出した合成標準不確かさを表 2 に示す。

表 2 算定した配置パターン毎の合成標準不確かさ  $u(D)$

--

### 4. 拡張不確かさ (U) の算定

3.項で算定した合成標準不確かさ  $u(D)$  に、「測定における不確かさの表現のガイド (GUM) ハンドブック」(一般財団法人 日本規格協会) に基づき、信頼の水準を片側 95% とした時の包含係数  $k=1.645$  として、 $U = k \times u(D)$  で算定した。配置パターン毎に算出した拡張不確かさを表 3 に示す。

表 3 算出した配置パターン毎の合成標準不確かさ  $u(D)$  及び拡張不確かさ U (Bq/g)

--

### 5. 相対拡張不確かさ (U') の算定

4.項で算出した拡張不確かさの単位は Bq/g であり、これを規格化して放射能換算係数に考慮するために、Co-60 の放射能濃度設定値 (クリアランスレベル) で除して相対拡張不確かさ (単位: %) を算出した。算定式を以下に示す。

【算定式】

$$\text{相対拡張不確かさ (\%)} = \frac{\text{拡張不確かさ (Bq/g)}}{\text{放射能濃度設定値 (Bq/g)}}$$

配置パターン毎に算出した相対拡張不確かさを表 4 に示す。表 4 に示す通り、相対拡張不確かさの

--

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

表 4 算出した配置パターン毎の各不確かさ

--

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

## 検出限界放射能濃度の具体的な算定方法について

## 1. 検出限界放射能濃度の設定方法

Co-60 の検出限界放射能量は、クリアランスの判断方法（日本原子力学会標準 2005 年 7 月）に基づき、BG 計数率、BG 変動率に起因する相対誤差及び放射能換算係数の相対誤差等から以下の式により算定する。

【算定式】

$$A_{LD} = CF \times SF \times \frac{\frac{k^2}{\alpha \times t_T} + \sqrt{\left(\frac{k^2}{\alpha \times t_T}\right)^2 + 4 \times (1 - k^2 \times r_2^2) \times k^2 \times \left\{n_B \times \left(\frac{1}{\alpha \times t_T} + \frac{1}{\alpha \times t_B}\right) + r_1^2 \times n_B^2\right\}}}{2 \times (1 - k^2 \times r_2^2)}$$

$A_{LD}$	:	検出限界放射能量(Bq)
CF	:	不確かさを考慮した放射能換算係数(Bq/s <sup>-1</sup> )
SF	:	安全率
k	:	包含係数(k=3)
$\alpha$	:	各測定パターンにおける $\gamma$ 線検出器の数
$t_T$	:	放射能濃度確認対象物の測定時間(s)
$n_B$	:	BG 計数率(s <sup>-1</sup> )
$t_B$	:	BG 測定時間(s)
$r_1$	:	BG 変動に起因する相対誤差
$r_2$	:	放射能換算係数の相対誤差

2. BG 変動に起因する相対誤差 $r_1$ の算定方法

添付資料 1 の 2.項「BG 変動に起因する相対誤差 $r_1$ の算定」に記載の通り。

3. 放射能換算係数の相対誤差 $r_2$ の算定方法

放射能換算係数の相対誤差 $r_2$ は、測定される計数率より放射能に換算する際の相対誤差である。相対誤差 $r_2$ を算出するためには放射能が既知の標準線源を用い、模擬対象物を用いた専用測定器による測定を行い、個々の測定の相対誤差 $r_{CF}$ の変動係数を次式により求め、相対誤差 $r_2$ を求めることが可能である。

【算定式】


$$r_{CF} = (A_E - A_C) / A_E$$



- $r_{CF}$  : トレイ型専用測定装置による個々の測定の放射能換算係数の相対誤差  
 $A_E$  : 標準線源を用いた模擬対象物の放射能の設定値(Bq)  
 $A_C$  : トレイ型専用測定装置による放射能の評価値(Bq)

ここで、トレイ型専用測定装置により算出される放射能濃度は、



測定装置による **Co-60** 放射能量の測定結果（測定値）と、模擬対象物と標準線源から設定した **Co-60** 放射能量（設定値）の比を図 1 に示す。図 1 に示す通り、**Co-60** 放射能量の設定値と測定値の比は全て **1.0** 以上となっており、測定値が大きめに評価するよう設定されていることから、 $r_2$ は  としている。

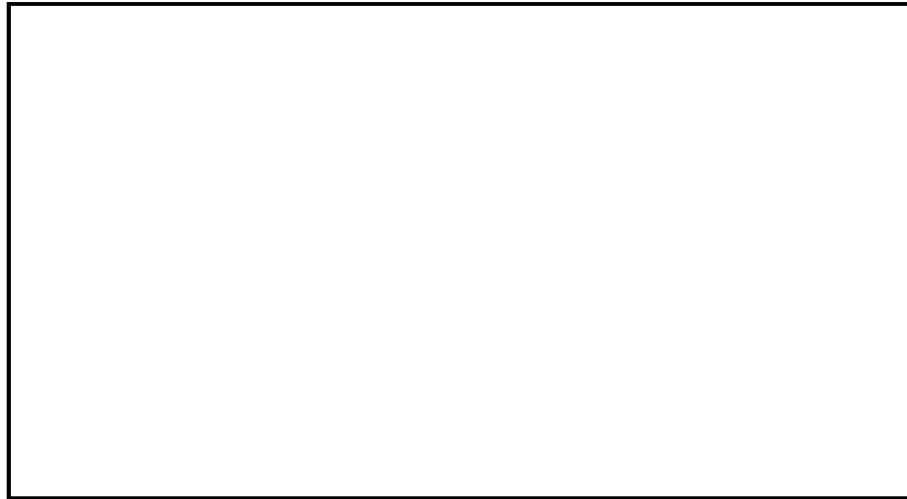



図 1 **Co-60** 放射能量の測定値と設定値の比

#### 4. 検出限界放射能濃度の設定結果

測定装置の使用範囲内で種々の検出限界放射能濃度を上記式に基づいて算定した結果、検出限界放射能濃度を  となり、規則別表第 1 第 2 欄の放射能濃度以下（**Co-60** : **0.1 Bq/g**）である。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

Co-60 放射能濃度算定の計算方法のイメージ

Co-60 放射能濃度算定の計算方法のイメージを下記に示す。なお、本イメージの前提として、配置パターンは A とし、放射能濃度確認対象物の重量を 75kg、安全率 SF を 1.7、放射能換算係数 CF' を 30(Bq/s<sup>-1</sup>)、全γ線正味計数率の統計誤差 3σ<sub>n</sub>を 1.6(s<sup>-1</sup>)とする。なお、各計算値は仮定のものである。

測定装置側	計算の流れ

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

測定装置側	計算の流れ

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

測定装置側	計算の流れ

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

「安全率」及び「不確かさを考慮した放射能換算係数」  
のモンテカルロ解析条件及び設定値分布

「安全率」及び「不確かさを考慮した放射能換算係数」についてはモンテカルロ解析にて、各々の数値を設定している。モンテカルロ解析条件及び設定値分布を下表に示す。

表 安全率及び不確かさを考慮した  
放射能換算係数のモンテカルロ解析条件および設定値分布

--

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

放射能濃度評価に使用する BG 実測値 $n_B$ の算定方法

放射能濃度評価に使用する BG 実測値 $n_B$ は、上部検出器昇降によるバックグラウンド補正係数 $r_{00}$ 及びトレイに対する単位面積あたりの重量によるバックグラウンド補正係数 $r_0$ を使用して、作業開始前にトレイのみで測定した BG 計数率 $n'_B$ を以下のように補正する。

【補正式】

$$n_B = r_{00} \times r_0 \times n'_B$$

上記補正式のうち、上部検出器昇降によるバックグラウンド補正係数 $r_{00}$ は、放射能濃度確認対象物を積載せずに上部検出器を昇降させた時の BG 計数率の変化率によって求める。図 1 に上部検出器昇降に伴う BG 変化率を示す。図 1 に示すプロットから $r_{00}$ の近似式を求める。

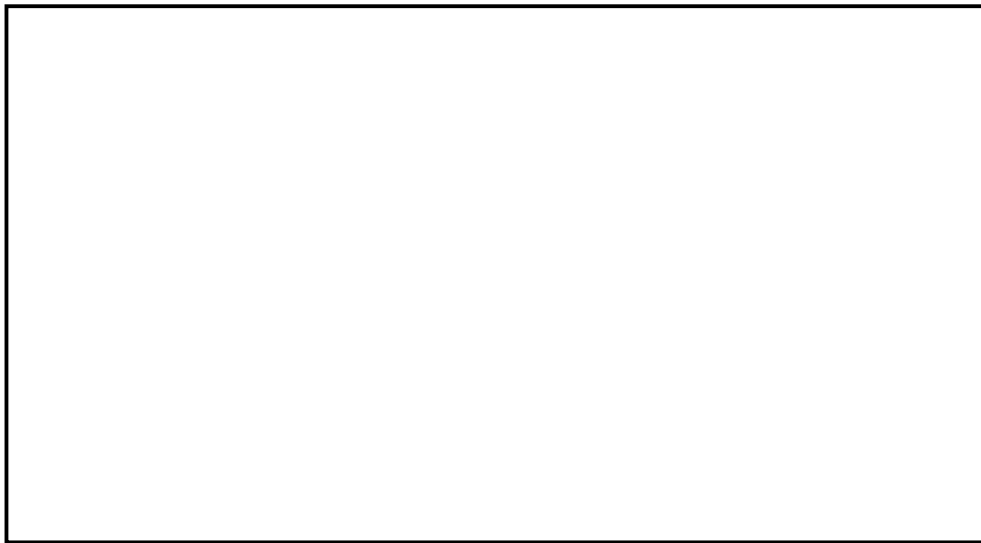


図 1 上部検出器昇降に伴う BG 変化率

上記補正式のうち、放射能濃度確認対象物による遮蔽の影響は、トレイに対する単位面積あたりの重量によるバックグラウンド補正係数 $r_0$ によって補正する。図 2 および図 3 に単位積載重量によるバックグラウンド補正係数 $r_0$ を示す。

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

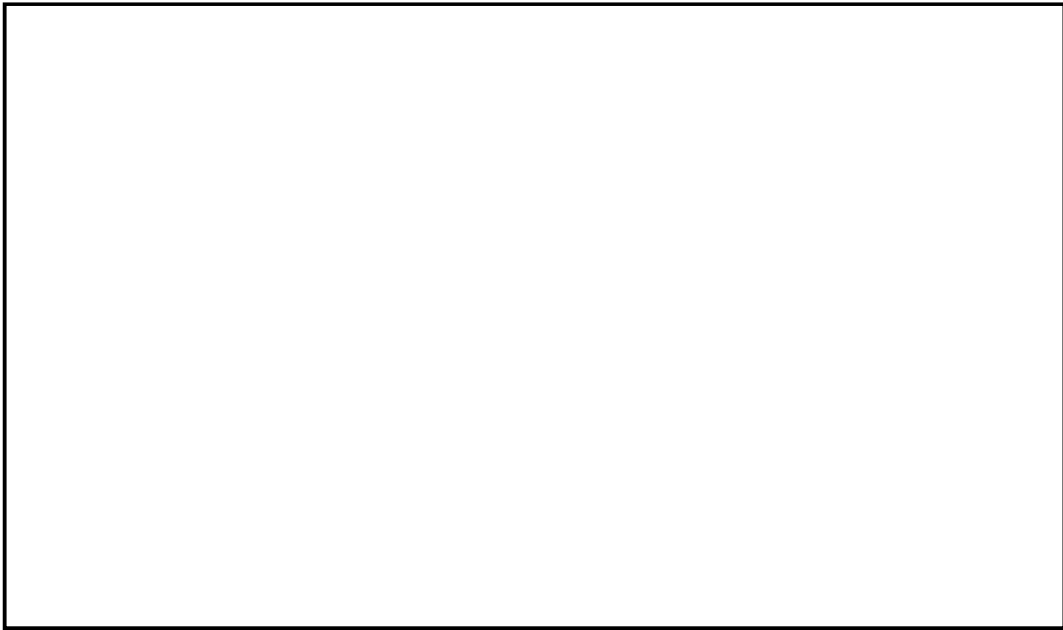


図 2 単位積載重量によるバックグラウンド補正係数 $r_0$  (下部検出器)

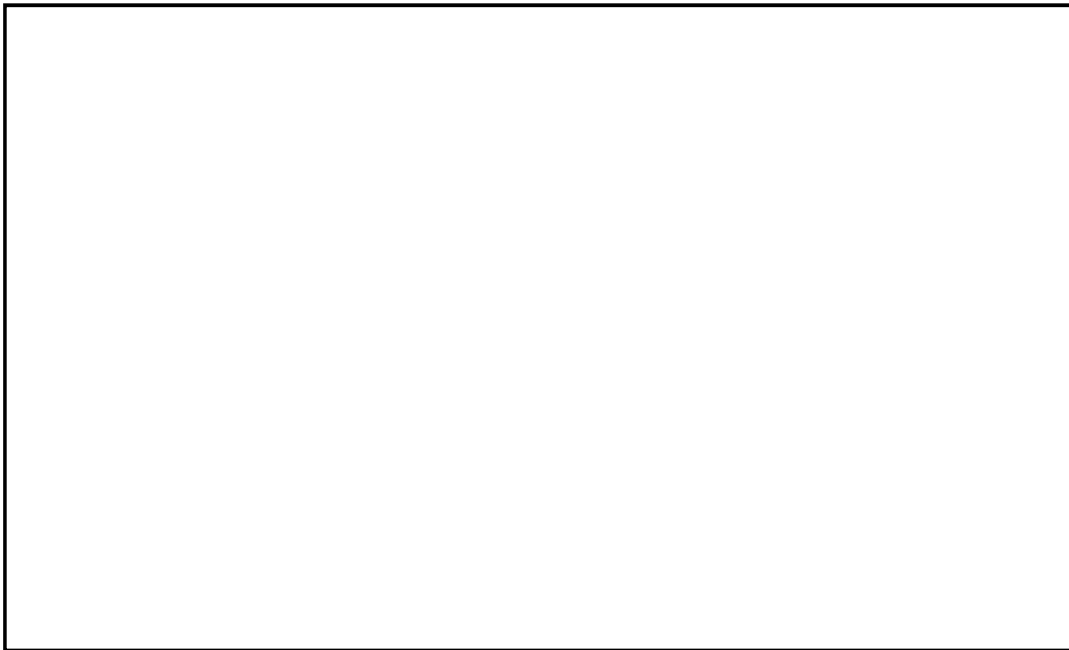


図 3 単位積載重量によるバックグラウンド補正係数 $r_0$  (上部検出器)

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

認可申請書に要求される記載事項	法令等の要求事項	6/15 クリアランス認可申請書記載内容	申請書および補足説明資料の該当箇所
<p>七 放射能濃度を決定する方法 (次頁へ続く)</p>	<p><b>【規則第六条第3号 三】</b> 放射能濃度の決定は、放射線測定装置を用いて、放射能濃度確認対象物の汚染の状況を考慮し適切に行うこと。ただし、放射線測定装置を用いて測定することが困難である場合には、適切に設定された放射性物質の組成比又は計算その他の方法を用いて放射能濃度の決定を行うことができる。</p> <p><b>【審査基準】</b> (1) 放射線測定法又は「放射性物質の組成比又は計算その他の方法」によって評価単位の <math>D_j</math> を評価するに当たっては、以下のとおりであること。</p> <p>イ：放射線測定法によって放射能濃度の決定を行う場合には、放射線測定値、測定効率（放射線検出器の校正、測定対象物と放射線測定器との位置関係、測定対象物内部での放射線の減衰等）、測定条件（実際の測定条件と測定効率を設定した条件との違い、測定場所周辺のバックグラウンドの変動等）、データ処理（放射能濃度換算等）に起因する不確かさに関する適切な説明がなされていること。</p>	<p>イ：【申請書本文記載事項】 放射能濃度確認対象物の評価対象核種である <b>Co-60</b> の放射能濃度を決定する方法は次のとおりとする。</p> <p>① 測定単位及び評価単位における放射能濃度の決定方法 測定単位及び評価単位の <b>Co-60</b> の放射能濃度は、トレイ型専用測定装置を用いた放射線測定法によって、トレイに積載した放射能濃度確認対象物から放出される全<math>\gamma</math>線が <b>Co-60</b> からの放出であるとして決定する。 <b>Co-60</b> の放射能濃度は、トレイ型専用測定装置を用いて、放射能濃度確認対象物を測定して得られる全<math>\gamma</math>線正味計数率に、「八 放射線測定装置の種類及び測定条件」に示す放射能換算係数及び安全率を乗じて求めた放射エネルギーを、トレイ型専用測定装置で同時に測定する放射能濃度確認対象物の重量で除して放射能濃度を決定する。</p> <p>② 放射能濃度を決定する方法に関する不確かさ 放射能濃度を決定する方法に関する不確かさは、トレイ型専用測定装置の測定効率、測定条件、データ処理及び放射線測定値に起因する不確かさを考慮する。不確かさを考慮することにより、放射能濃度確認対象物の <b>Co-60</b> の放射能濃度 (<b>D</b>) を規則別表第1の第2欄の放射能濃度 (<b>C</b>) で除した放射性物質の <b>D/C</b> について、信頼の水準を片側 <b>95%</b> としたときの上限值（以下「片側 <b>95%</b> 上限値」という。）が <b>1</b> を超えないことを評価する。 測定効率、測定条件及びデータ処理に起因する不確かさについては、不確かさの要因を抽出し、各要因に起因する放射能濃度の標準不確かさを求める。次に、標準不確かさを合成して合成標準不確かさを求める。さらに、合成標準不確かさに信頼の水準を片側<b>95%</b>としたときの包含係数を乗じて拡張不確かさを求め、相対拡張不確かさに換算して、放射能換算係数に</p>	<p>申請書および補足説明資料の該当箇所</p> <p>申請書本文 <b>P6</b></p>

別添資料



認可申請書に要求される記載事項	法令等の要求事項	6/15 クリアランス認可申請書記載内容	申請書および補足説明資料の該当箇所
		<p>乗じる。</p> <p>放射線測定値に起因する不確かさについては、測定された全γ線正味計数率に対して信頼の水準を片側<b>99.9%</b>としたときの統計誤差を加算する。</p> <p>③ 放射能換算係数及び安全率</p> <p>放射能換算係数及び安全率は、放射能濃度確認対象物のトレイ上の配置、  <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 20px; margin: 5px 0;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 20px; margin: 5px 0;"></div> の条件に応じて決定する。</p> <div style="border: 1px solid black; width: 280px; height: 150px; margin: 10px 0;"></div> <p>【添付書類五記載事項】</p> <p>① 測定単位及び評価単位における放射能濃度の決定方法</p> <p>評価対象核種を <b>Co-60</b> とし、評価単位及び測定単位の放射能濃度は、トレイ型専用測定装置を用いた放射線測定法によって決定する。</p> <p><b>Co-60</b> の放射能濃度は、トレイ型専用測定装置で測定されたγ線計数率がすべて主要な放射性物質である <b>Co-60</b> から放出されたγ線によるものとして、次式に示すように、<b>Co-60</b> に対する放射能換算係数及び安全率を乗じて重量で除することにより <b>Co-60</b> の放射能濃度を求める。</p> $D = n_{\text{net}} \times CF \times SF / W$ <p><b>D</b> : <b>Co-60</b> の放射能濃度(Bq/g)</p> <p><b>n<sub>net</sub></b> : 全 γ 線正味計数率(s<sup>-1</sup>)</p> <p><b>CF</b> : <b>Co-60</b> に対する放射能換算係数(Bq/s<sup>-1</sup>)</p> <p><b>SF</b> : <b>Co-60</b> に対する安全率</p> <p><b>W</b> : 放射能濃度確認対象物の重量(g)</p> <p>なお、全γ線正味計数率が全γ線検出限界計数率未満であった場合は、</p>	<p>申請書本文 <b>P8</b></p> <p>添付書類五 <b>P5-1</b></p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

大飯1号炉および2号炉 燃料取替用水タンクへのクリアランス制度適用に関する法令等の要求事項への適合性確認 (3/8)

認可申請書に要求される記載事項	法令等の要求事項	6/15 クリアランス認可申請書記載内容	申請書および補足説明資料の該当箇所
		<p>全γ線正味計数率の代わりに全γ線検出限界計数率を使用する。このことにより、<b>Co-60</b>の放射能濃度が検出限界値未満であった場合は、<b>Co-60</b>は検出限界値に相当する放射能濃度となる。</p> <p>② 放射能濃度決定に対する不確かさ</p> <p>トレイ型専用測定装置で測定されたγ線計数率には、<b>Co-60</b>以外の核種によるものも含まれているが、測定されたγ線計数率がすべて<b>Co-60</b>によるものとして、<b>Co-60</b>に対する放射能換算係数及び安全率を乗じて重量で除することにより<b>Co-60</b>の放射能濃度を決定する。この決定方法において考慮する不確かさについて以下に示す。</p> <p>考慮する不確かさは、トレイ型専用測定装置の測定効率、測定条件及びデータ処理に起因する不確かさ並びにトレイ型専用測定装置の放射線測定値に起因する不確かさである。</p> <p>測定効率、測定条件及びデータ処理並びに放射線測定値の不確かさの要因を抽出するため、特性要因図を作成し不確かさの要因を抽出する。</p> <p>③ トレイ型専用測定装置の測定条件等に関する不確かさ</p> <p>(1) 相対拡張不確かさの評価</p> <p>評価方法は、「測定における不確かさの表現のガイド (GUM) ハンドブック」(一般財団法人 日本規格協会)に準拠し実施する。</p> <p>相対拡張不確かさは、抽出した不確かさの要因に起因する放射能濃度の標準不確かさを求め、標準不確かさを合成して合成標準不確かさを求めた後、合成標準不確かさに包含係数を乗じて拡張不確かさを求め、相対拡張不確かさに換算して求める。</p> <p>トレイ型専用測定装置の測定効率、測定条件及びデータ処理に起因する不確かさとして抽出した、<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 150px; height: 15px;"></span>の不確かさは、仕様等から得られた値を正規分布、矩形分布に分類して、各要因の標準不確かさを設定する。各要因の標準不確かさを放射能濃度に規格化して放射能濃度の標準不確かさを設定し、不確かさの伝播則により合成標準不確かさを求める。</p> <p>拡張不確かさは、合成標準不確かさに信頼の水準を片側<b>95%</b>としたときの包含係数<b>1.645</b>を乗じて求める。さらに、規則別表第1の第2欄の<b>Co-60</b>の放射能濃度で除して相対拡張不確かさを求める。</p>	<p>添付書類五 P5-2</p> <p>添付書類五 P5-3</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

認可申請書に要求される記載事項	法令等の要求事項	6/15 クリアランス認可申請書記載内容	申請書および補足説明資料の該当箇所
		<p>④ トレイ型専用測定装置の放射線測定値に関する不確かさ</p> <p>(1) 拡張不確かさの評価</p> <p>放射線測定値に関する不確かさは、全γ線正味計数率の統計誤差を考慮することとし、以下の式により、統計誤差を考慮した全γ線正味計数率を算定する。包含係数は、信頼の水準を片側99.9%としたときの3とする。</p> $n_{net} = n'_{net} + k \times \sigma_n$ $n'_{net} = n_G - n_B$ $\sigma_n = \sqrt{\frac{n'_{net}}{\alpha \times t} + n_B \times \left( \frac{1}{\alpha \times t} + \frac{1}{\alpha \times t_B} \right) + (r_1 \times n_B)^2}$ <p><math>n_{net}</math> : 統計誤差を考慮した全γ線正味計数率</p> <p><math>n'_{net}</math> : 全γ線正味計数率</p> <p><math>n_G</math> : 全γ線グロス計数率</p> <p><math>n_B</math> : 全γ線バックグラウンド計数率</p> <p><math>k</math> : 包含係数 (<math>k = 3</math>)</p> <p><math>\sigma_n</math> : 全γ線正味計数率の統計誤差</p> <p><math>r_1</math> : バックグラウンド補正の相対誤差 (<math>r_1 = \square</math>)</p> <p><math>\alpha</math> : 測定パターンにおけるγ線検出器の数</p> <p><math>t</math> : 測定時間</p> <p><math>t_B</math> : バックグラウンド測定時間</p> <p>なお、検出限界計数率については、上記と同様に統計誤差を考慮し算定する。</p> <p>【添付書類六記載事項】</p> <p>⑤ 放射能換算係数及び安全率の設定方法</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <p>モンテカルロ解析により得られる計数率、設定放射能濃度等から求める。さらに、添付書類五「放射能濃度を決定する方法に関する説明書」で示したトレイ型専用測定装置の測定条件等に起因する相対拡張不確かさを考慮する。不確かさを考慮した放射能換算係数を設定する式を以下に示す。</p> </div>	<p>申請書および補足説明資料の該当箇所</p> <p>添付書類五 P5-3,P5-4</p> <p>添付書類六 P6-3,P6-4</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

大飯1号炉および2号炉 燃料取替用水タンクへのクリアランス制度適用に関する法令等の要求事項への適合性確認 (5/8)

認可申請書に要求される記載事項	法令等の要求事項	6/15 クリアランス認可申請書記載内容	申請書および補足説明資料の該当箇所
		<p> <math>CF = (1 + U) \times CF'</math> ..... (6-1)  <math>CF' = D_0 \times W_0 / n_0</math> ..... (6-2)  <b>CF</b> : 不確かさを考慮した放射能換算係数(Bq/s<sup>-1</sup>)  <b>U</b> : 測定条件等に起因する相対拡張不確かさ  <b>CF'</b> : 放射能換算係数(Bq/s<sup>-1</sup>)  <b>D<sub>0</sub></b> : モデル計算の設定濃度(Bq/g)  <b>W<sub>0</sub></b> : モデル計算の設定重量(g)  <b>n<sub>0</sub></b> : [ ] モデル計算により得られる計数率(s<sup>-1</sup>)                 </p> <div data-bbox="1528 766 2359 934" style="border: 1px solid black; height: 80px; margin-bottom: 5px;"></div> <div data-bbox="1528 934 2359 976" style="border: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div data-bbox="1528 976 2359 1207" style="border: 1px solid black; height: 110px;"></div> <p>                     放射能換算係数及び安全率は、放射能濃度確認対象物の測定条件（トレイ上への配置パターン、[ ]）に依存するため、あらかじめ解析評価して設定した値から、測定の都度、測定評価された条件に合わせて選定する。トレイ上の配置パターンの種類を図 6-4 に示す。なお、放射能換算係数は、保守的に設定した測定条件等に関する相対拡張不確かさ（ ）を考慮した値を用いている。                 </p> <p>                     測定範囲における不確かさを考慮した放射能換算係数は [ ] の範囲となり、安全率は [ ] の範囲となる。不確かさを考慮した放射能換算係数と安全率の積は [ ] の範囲となる。不確かさを考慮した放射能換算係数と安全率の積の変化を図 6-5 に示す。                 </p> <p>                     以上に述べた設定の妥当性について、模擬廃棄物と標準線源から設定した <b>Co-60</b> 放射能量（設定値）とトレイ型専用測定装置による <b>Co-60</b> 放射能量の測定結果（測定値）の比は全て <b>1.0</b> 以上となっており、トレイ型専                 </p>	<p>添付書類六 P6-4</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

大飯1号炉および2号炉 燃料取替用水タンクへのクリアランス制度適用に関する法令等の要求事項への適合性確認 (6/8)

認可申請書に要求される記載事項	法令等の要求事項	6/15 クリアランス認可申請書記載内容	申請書および補足説明資料の該当箇所
	<p>ロ：核種組成比法によって放射能濃度の決定を行う場合には、核種組成比がおおむね均一であることが想定される領域から、ランダムに、又は保守性を考慮して選定された十分な数のサンプルの分析値に基づいて核種組成比が設定されていること、クリアランスレベル近傍の放射能濃度に対応する放射能濃度の基準核種が含まれているサンプルを含んでいること及び統計処理（例えば有限個のサンプル分析値からの母集団パラメータの推定）の妥当性に関する合理的な説明がなされていること、並びに統計処理等に起因する不確かさに関する適切な説明がなされていること。</p> <p>ハ：放射化計算法によって放射能濃度の決定を行う場合には、使用実績のある放射化計算コードが用いられ、計算に用いた入力パラメータ（親元素の組成、中性子束、照射時間等）の妥当性及びサンプル分析値との比較結果等による計算結果の妥当性に関する合理的な説明がなされていること、並びに入力パラメータの不確かさに関する適切な説明がなされていること。</p> <p>ニ：平均放射能濃度法によって放射能濃度の決定を行う場合には、サンプル分析値に基づいて評価単位での放射性物質濃度を適切に評価できるよう代表性を考慮して十分な数のサンプルの採取箇所が選定されていること及び統計処理（例えば有限個のサンプル分析値からの母集団パラメータの推定）の妥当性に関する合理的な説明がなされていること、並びに統計処理等に起因する不確かさに関する適切な説明がなされていること。</p> <p>(2)上記(1)に掲げる不確かさを考慮しても評価単位における評価に用いる放射性物質の<math>\Sigma(D_j/C_j)</math>の信頼の水準を片側95%としたときの上限値（以下「95%上限値」という。）が1を超えないこと。ここで、「95%上限値が1を超えないこと」は、上記(1)のイから二までの方法(D<sub>j</sub>)の評価に用いた方法に限る。）に起因する不確かさがそれぞれ独立であるとしてモンテカルロ計算等で評価することや、これらの不確かさを考慮した95%上限値を個別に求めておくことにより評価することができる。</p>	<p>用測定装置による放射能濃度の測定結果は保守的に評価されている。</p> <p>ロ. 本申請では、核種組成比法は採用しない。</p> <p>ハ. 本申請では、放射化計算法は採用しない。</p> <p>ニ. 本申請では、平均放射能濃度法は採用しない。</p> <p>(2) 【添付書類五記載事項】</p> <p>① 片側95%上限値が1を超えないことの評価（測定条件等に関する不確かさ）</p> <p>測定条件等に関する不確かさを考慮してもCo-60の放射能濃度のD/Cの片側95%上限値が1を超えないことの評価方法は、(5-1)式の放射能換算係数に相対拡張不確かさを考慮した値を用いて評価する。</p> <p>なお、相対拡張不確かさは、保守的に□に丸めて設定し、測定パターンに関係なくすべての測定単位に対して一律で適用する。</p>	<p>添付書類五 P5-3</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。

大飯1号炉および2号炉 燃料取替用水タンクへのクリアランス制度適用に関する法令等の要求事項への適合性確認 (7/8)

認可申請書に要求される記載事項	法令等の要求事項	6/15 クリアランス認可申請書記載内容	申請書および補足説明資料の該当箇所
	<p>(3)放射能濃度確認対象物及びその汚染の状況に応じて、以下のとおりであること。</p> <p>イ：放射能濃度確認対象物の汚染が表面汚染のみであって厚い部材の場合には、決定される放射能濃度が過小評価とならないように、適切な厚さ（例えば建屋コンクリートの場合は<b>5cm</b>程度）に応じた当該対象物の重量をもとに放射能濃度の決定が行われていること。</p> <p>ロ：放射能濃度確認対象物が被覆付きケーブルの場合であって、被覆部と芯線部を分別しない場合には、過小評価とならないように放射能濃度の決定が行われていること。</p> <p>(4)一部の測定単位の放射能濃度に基づいて放射能濃度の決定を行う場合については、以下のとおりであること。</p> <p>イ：汚染の履歴や放射線測定の履歴等を考慮して、選定した測定単位が代表性を有するものとして以下のいずれかに適合していること。</p> <p>①：評価単位の放射能濃度確認対象物の構造や汚染の確認履歴、除染の履歴等から、当該対象物の放射性物質の濃度がおおむね同じであることが確認できること。</p> <p>②：評価単位の放射能濃度確認対象物の放射性物質の濃度を保守的に評価できるよう測定単位の場所が選定されていること。</p> <p>ロ：いずれの測定単位においても評価に用いる放射性物質の <math>\Sigma (D_j / C_j)</math> が<b>1</b>を超えないこと。</p> <p>(5)以上の点について、規則第5条第1項第7号並びに第2項第2号及び第5号に掲げる事項として、申請書及びその添付書類に記載されていること。</p>	<p>② 片側<b>95%</b>上限値が<b>1</b>を超えないことの評価（放射線測定値に関する不確かさ）</p> <p>放射線測定値に関する不確かさを考慮しても <b>Co-60</b> の放射能濃度の <b>D/C</b> の片側<b>95%</b>上限値が<b>1</b>を超えないことの評価方法は、(5-1)式の <math>\gamma</math> 線計数率に(5-2)式で算定した値を代入して評価する。(5-2)式では、包含係数を信頼の水準を片側<b>99.9%</b>としたときの<b>3</b>としていることから、片側<b>95%</b>上限値が<b>1</b>を超えないことの評価として保守的な評価となる。</p> <p>イ：本申請では表面汚染を測定して評価は実施しないため、対象外。</p> <p>ロ：本申請における放射能濃度確認対象物は被覆付きケーブルでは無いため、対象外。</p> <p>(4)本申請では評価単位は、測定単位毎としていることから、対象外。</p> <p>(5)上記内容を申請書本文七および添付書類四、五に記載する。</p>	<p>申請書および補足説明資料の該当箇所</p> <p>添付書類五 <b>P5-4</b></p>

認可申請書に要求される記載事項	法令等の要求事項	6/15 クリアランス認可申請書記載内容	申請書および補足説明資料の該当箇所
<p>八 放射線測定装置の種類及び測定条件</p>	<p><b>【規則第六条第4号 四】</b>                      放射線測定装置の選択及び測定条件の設定は、次によるものであること。                      イ 放射線測定装置は、放射能濃度確認対象物の形状、材質、汚染の状況等に応じた適切なものであること。                      ロ 放射能濃度の測定条件は、第二条に規定する基準を超えないかどうかを適切に判断できるものであること。</p> <p><b>【審査基準】</b>                      (1)「放射能濃度確認対象物の形状、材質、汚染の状況等に応じた適切なもの」については、以下のとおりであること。</p> <p>ロ：汎用測定装置以外の測定装置を使用する場合には、放射能濃度確認対象物の形状、汚染状況等を適切に設定した模擬線源を用いてクリアランスレベル近傍の放射能を実測する等の方法により、当該測定装置が申請書に記載されている性能を有していることが確認されていること。この場合において、模擬線源を用いて実測するときには、放射能濃度測定値が最小となるような模擬線源の配置を含んでいること。</p>	<p>ロ：【添付書類六記載事項】                      Co-60 放射能の設定値と測定値の比は全て 1.0 以上となっており、トレイ型専用測定装置による放射能濃度の測定結果は保守的に評価されている。                      トレイ型専用測定装置における放射能換算係数は、</p> <div style="border: 1px solid black; width: 200px; height: 40px; margin-left: 20px;"></div>	<p>添付書類五 P6-4                      添付書類五 P6-7</p>

枠囲みの範囲は機密に係る事項ですので公開することはできません。