

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7426624号
(P7426624)

(45)発行日 令和6年2月2日(2024. 2. 2)

(24)登録日 令和6年1月25日(2024. 1. 25)

(51)Int. Cl.	F I
G 0 1 T 1/167 (2006. 01)	G 0 1 T 1/167 C
G 0 1 T 1/17 (2006. 01)	G 0 1 T 1/17 J
G 0 1 T 1/00 (2006. 01)	G 0 1 T 1/167 D
	G 0 1 T 1/00 D

請求項の数 7 (全 18 頁)

(21)出願番号	特願2020-55379(P2020-55379)	(73)特許権者	505374783
(22)出願日	令和2年3月26日(2020. 3. 26)		
(65)公開番号	特開2021-156662(P2021-156662A)		
(43)公開日	令和3年10月7日(2021. 10. 7)		
審査請求日	令和4年11月1日(2022. 11. 1)	(74)代理人	100214260 弁理士 相羽 昌孝
		(74)代理人	100139114 弁理士 田中 貞嗣
		(74)代理人	100139103 弁理士 小山 卓志
		(74)代理人	片寄 武彦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】放射能評価方法、放射能評価プログラム及び放射能評価装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定対象物の放射能濃度(D)を評価する放射能評価方法であって、
放射線測定装置により測定されたグロス計数率(C_G)、及び、前記放射線測定装置により測定された測定BG計数率(C_{BG0})に基づく推定BG計数率(C_{BG})から得られる前記測定対象物の正味計数率(C_N)と、前記正味計数率(C_N)を前記放射能濃度(D)に変換する換算係数(C_F)と、前記測定対象物の測定重量(W)とに基づいて、前記放射能濃度(D)を算定する放射能濃度算定工程(S₄)と、
前記正味計数率(C_N)の相対誤差(σ_{C_N})と、前記換算係数(C_F)の相対誤差(σ_{C_F})と、前記測定重量(W)の相対誤差(σ_W)とを重畳することにより前記放射能濃度(D)の相対誤差(σ_D)を算定する誤差算定工程(S₅)と、
前記放射能濃度(D)の相対誤差(σ_D)に基づく不確定性を考慮して前記放射能濃度(D)を評価する評価工程(S₆)とを含み、
前記誤差算定工程(S₅)は、
前記グロス計数率(C_G)の測定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数のグロス誤差を重畳することにより、前記グロス計数率(C_G)の誤差(σ_{C_G})を算定するグロス誤差算定工程(S₅₁)と、
前記測定BG計数率(C_{BG0})の測定及び前記推定BG計数率(C_{BG})の推定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数のBG誤差を重畳することにより、前記推定BG計数率(C_{BG})の誤差(σ_{C_{BG}})を算定するBG誤差算定工程(S₅₂)と、

10

20

前記グロス計数率 (C_G) の誤差 (σ_{CG}) と、前記推定 BG 計数率 (C_{BG}) の誤差 (σ_{CBG}) とを重畳することにより得られる正味計数率 (C_n) の誤差 (σ_{cn}) に基づいて、前記正味計数率 (C_n) の相対誤差 (σ'_{cn}) を算定する正味計数率誤差工程 (S53) とを含み、

前記評価工程 (S6) は、

前記放射能濃度 (D) における不確定性を考慮した安全率 (F_s) を下記の (15) 式により算定し、当該安全率 (F_s) を用いて前記放射能濃度 (D) を評価する、
ことを特徴とする放射能評価方法。

【数 1】

$$F_s \geq \frac{1}{1 - k \times \sigma'_D} \quad \dots (15)$$

ここで、

F_s : 安全率

σ'_D : 放射能濃度 D の相対誤差

k : 安全係数

である。

【請求項 2】

20

前記複数の BG 誤差は、少なくとも、

前記放射線測定装置が設置された作業環境における雰囲気放射線量の変動に起因する誤差を含む、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の放射能評価方法。

【請求項 3】

前記 BG 誤差算定工程は、

下記の (12) 式により前記推定 BG 計数率 (C_{BG}) の誤差 (σ_{CBG}) を算定する、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の放射能評価方法。

【数 2】

30

$$\sigma_{CBG} \approx C_{BG} \times \sqrt{(r_1)^2 + \left(\frac{\sqrt{C_{BG0} \times d \times t_2}}{C_{BG0} \times d \times t_2} \right)^2 + (\sigma'_{EBG})^2} \quad \dots (12)$$

ここで、

σ_{CBG} : 推定 BG 計数率 C_{BG} の誤差

C_{BG0} : 測定対象物が存在しない状態で測定された測定 BG 計数率 [cps]

C_{BG} : 測定対象物が存在する状態での BG 計数率として推定された推定 BG 計数率 [cps]

r_1 : BG 変動に起因する相対誤差

d : 検出器個数

t_2 : BG 計数率測定時間 [s]

σ'_{EBG} : 作業環境における雰囲気放射線量の変動に起因する推定 BG 計数率 C_{BG} の相対誤差である。

【請求項 4】

前記複数のグロス誤差は、少なくとも、

走査型の前記放射線測定装置により前記測定対象物が走査されるとききの走査速度の変動に起因する誤差を含む、

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項に記載の放射能評価方法。

【請求項 5】

前記グロス誤差算定工程は、

下記の (8) 式により前記グロス計数率 (C_G) の誤差 (σ_{C_G}) を算定する、
ことを特徴とする請求項 4 に記載の放射能評価方法。

【数 3】

$$\sigma_{C_G} = C_G \times \sqrt{\left(\frac{\sqrt{C_G \times d \times t_1}}{C_G \times d \times t_1}\right)^2 + \sigma'_f{}^2} \quad \dots (8)$$

ここで、

σ_{C_G} : グロス計数率 C_G の誤差

C_G : グロス計数率 [cps]

d : 検出器個数

t_1 : グロス計数率測定時間 [s]

σ'_f : 走査速度に起因するグロス計数率 C_G の相対誤差

である。

【請求項 6】

コンピュータに、請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の放射能評価方法に含まれる各工程を実行させる、

ことを特徴とする放射能評価プログラム。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の放射能評価方法に含まれる各工程を実行する放射能評価処理部を備える、

ことを特徴とする放射能評価装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、放射能評価方法、放射能評価プログラム及び放射能評価装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、測定対象物から放射される放射線の計数率を測定し、測定対象物の汚染度を評価することが行われている。例えば、特許文献 1 には、検査物から放射される放射線の計数率と、バックグラウンド計数率とを測定し、バックグラウンド計数率を基準として、検査物の計数率を表示する放射能スクリーニング装置が開示されている。そして、特許文献 1 には、放射線の計数率は統計誤差を含むものであるから、所定の時間間隔で平均化を行うことが開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2014 - 77747 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 には、上述したように、放射線の計数率が統計誤差を含むものであることが開示されている。しかし、放射線の計数率に含まれる統計誤差に対して平均化を行うことを示唆するに止まることから、放射能の評価の保守性を担保するには不十分であるものと

50

認められる。

【 0 0 0 5 】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、評価の保守性の観点から放射能濃度を適切に評価することができる放射能評価方法、放射能評価プログラム及び放射能評価装置を提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

本発明は、上記課題を解決するものであって、本発明の一実施形態に係る放射能評価方法は、

放射線測定装置により測定されたグロス計数率 (C_G)、及び、前記放射線測定装置により測定された測定BG計数率 (C_{BG0}) に基づく推定BG計数率 (C_{BG}) から得られる前記測定対象物の正味計数率 (C_n) と、前記正味計数率 (C_n) を前記放射能濃度 (D) に変換する換算係数 (CF) と、前記測定対象物の測定重量 W とに基づいて、前記放射能濃度 (D) を算定する放射能濃度算定工程と、

前記正味計数率 (C_n) の相対誤差 (σ_{c_n}) と、前記換算係数 (CF) の相対誤差 (σ_{c_f}) と、前記測定重量 (W) の相対誤差 (σ_w) とを重畳することにより前記放射能濃度 (D) の相対誤差 (σ_D) を算定する誤差算定工程と、

前記放射能濃度 (D) の相対誤差 (σ_D) に基づく不確定性を考慮して前記放射能濃度 (D) を評価する評価工程とを含み、

前記誤差算定工程は、

前記グロス計数率 (C_G) の測定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数のグロス誤差を重畳することにより、前記グロス計数率 (C_G) の誤差 (σ_{c_g}) を算定するグロス誤差算定工程と、

前記測定BG計数率 (C_{BG0}) の測定及び前記推定BG計数率 (C_{BG}) の推定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数のBG誤差を重畳することにより、前記推定BG計数率 (C_{BG}) の誤差 ($\sigma_{c_{bg}}$) を算定するBG誤差算定工程と、

前記グロス計数率 (C_G) の誤差 (σ_{c_g}) と、前記推定BG計数率 (C_{BG}) の誤差 ($\sigma_{c_{bg}}$) とを重畳することにより得られる正味計数率 (C_n) の誤差 (σ_{c_n}) に基づいて、前記正味計数率 (C_n) の相対誤差 (σ_{c_n}) を算定する正味計数率誤差工程とを含む、ことを特徴とする。

【 0 0 0 7 】

上記複数のBG誤差は、少なくとも、

前記BG計数率 (C_{BG}) の測定が行われる作業環境における雰囲気放射線量の変動に起因する誤差を含む、ことを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

上記複数のグロス誤差は、少なくとも、

走査型の前記放射線測定装置により前記測定対象物が走査されるときの変動に起因する誤差を含む、ことを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

また、本発明の一実施形態に係る放射能評価プログラムは、コンピュータに、上記放射能評価方法に含まれる各工程を実行させる、ことを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

また、本発明の一実施形態に係る放射能評価装置は、

上記放射能評価方法に含まれる各工程を実行する放射能評価処理部を備える、ことを特徴とする。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 1 】

本発明の一実施形態に係る放射能評価方法、放射能評価プログラム及び放射能評価装置によれば、放射能濃度 (D) の相対誤差 (σ_D) を算定する誤差算定工程 ($S5$) が、

グロス計数率 (C_G) の測定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数のグロス誤差を重畳することにより、グロス計数率 (C_G) の誤差 (c_G) を算定するグロス誤差算定工程 (S51) と、測定 BG 計数率 (C_{BG0}) の測定及び推定 BG 計数率 (C_{BG}) の推定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数の BG 誤差を重畳することにより、推定 BG 計数率 (C_{BG}) の誤差 (c_{BG}) を算定する BG 誤差算定工程 (S52) と、グロス計数率 (C_G) の誤差 (c_G) と、推定 BG 計数率 (C_{BG}) の誤差 (c_{BG}) とを重畳することにより得られる正味計数率 (C_n) の誤差 (c_n) に基づいて、正味計数率 (C_n) の相対誤差 ($\%c_n$) を算定する正味計数率誤差工程 (S53) とを含む。

【0012】

したがって、グロス計数率 (C_G) の測定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数のグロス誤差と、測定 BG 計数率 (C_{BG0}) の測定及び推定 BG 計数率 (C_{BG}) の推定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数の BG 誤差とに基づく不確実性が考慮されて、測定対象物の放射能濃度 (D) が評価されるので、評価の保守性の観点から放射能濃度を適切に評価することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の実施形態に係る放射能評価方法を適用した放射能評価システム1の一例を示す全体構成図である。

【図2】本発明の実施形態に係る放射能評価方法を適用した放射能評価システム1の一例を示すブロック図である。

【図3】本発明の実施形態に係る放射能評価方法の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の一実施形態について添付図面を参照しつつ説明する。

【0015】

図1は、本発明の実施形態に係る放射能評価方法を適用した放射能評価システム1の一例を示す全体構成図である。図2は、本発明の実施形態に係る放射能評価方法を適用した放射能評価システム1の一例を示すブロック図である。

【0016】

放射能評価システム1は、測定対象物10から放射される放射線を計数率として測定する走査型の放射線測定装置2と、放射線測定装置2により測定された計数率に基づいて、測定対象物10の放射能濃度を評価する放射能評価装置3とを備える。放射線測定装置2と放射能評価装置3との間は、有線又は無線のネットワーク4を介して接続されている。

【0017】

測定対象物10は、例えば、原子炉施設で使用された各種の構造材であり、タービン設備の湿分分離器及びドレンタンク、復水器設備の主復水器及び空気抽出器、給水系設備の給水加熱器及び復水脱塩装置等が挙げられる。なお、測定対象物10は、原子炉施設以外で使用されたものでもよく、上記の例に限られない。

【0018】

(放射線測定装置2の構成)

放射線測定装置2は、測定対象物10を載置可能なトレイ11を水平方向(走査方向S)に搬送する搬送コンベア20と、搬送コンベア20の中流部分に配置されて、トレイ11上に載置された測定対象物10が内部を通過する本体部21と、搬送コンベア20の上流側に配置されて、測定対象物10の重量及び高さをそれぞれ測定する重量測定器22及び形状測定器23と、本体部21の内部において測定対象物10から放射される放射線を測定する放射線測定部24と、放射線測定装置2の各部を制御する制御盤25と、タッチパネル、ボタン等により構成される操作表示盤26と、各種の外部機器やネットワーク4との通信インターフェースである通信部27とを備える。

【0019】

搬送コンベア20は、搬送モータにより搬送ローラを回転駆動させることで、トレイ1

10

20

30

40

50

1を所定の搬送速度（走査速度）で搬送する。本体部21は、カバーとして機能する箱状の筐体で構成されている。

【0020】

重量測定器22は、例えば、ロードセル等で構成されており、トレイ11上に載置された測定対象物10の重量を測定する。形状測定器23は、例えば、光学式センサやカメラ等で構成されており、測定対象物10の形状として、高さ、幅、奥行等を測定する。なお、形状測定器23は、測定対象物10の形状として、例えば、高さだけを測定するものでもよい。

【0021】

放射線測定部24は、搬送コンベア20の上側に配置された上側検出器群24Aと、搬送コンベア20の下側に配置された下側検出器群24Bとを備える。上側検出器群24A及び下側検出器群24Bの各々は、搬送コンベア20の搬送方向（走査方向S）に直交する方向に所定の間隔を空けるように並設された複数（本実施形態では、上下それぞれ「4つ」とする。）の検出器240を備える。

10

【0022】

検出器240の各々は、例えば、プラスチックシンチレーション式の検出器で構成されており、搬送コンベア20によりトレイ11が所定の走査速度で本体部21の内部に搬送された状態において当該トレイ11上の測定対象物10から放射される放射線量（線）を、グロス計数率として測定する。また、検出器240は、本体部21の内部に測定対象物10が存在しない状態において、放射線測定装置2が設置された作業環境における雰囲気放射線量を、バックグラウンド計数率（以下、「BG計数率」という。）として測定する。

20

【0023】

制御盤25は、操作表示盤26を介して操作者の操作を受け付けるとともに、当該操作に応じて放射線測定装置2の各部に対して動作指令を送る。また、制御盤25は、測定対象物10の測定結果として、例えば、重量測定器22により測定された測定対象物10の重量、形状測定器23により測定された測定対象物10の高さ、及び、放射線測定部24により測定された測定対象物10のグロス計数率等を取得する。

【0024】

（放射能評価装置3の構成）

放射能評価装置3は、放射線測定装置2による測定対象物10の測定結果に基づいて、測定対象物10の放射能濃度を評価する装置である。放射能評価装置3は、例えば、汎用のコンピュータで構成されており、入力画面を介して各種の入力を受け付けるとともに、表示画面や音声を通じて各種の情報（例えば、放射線測定装置2による測定結果や、後述する放射能評価方法に基づく各種の評価結果等）を出力する。

30

【0025】

なお、本実施形態では、放射能評価装置3は、放射線測定装置2と別体の装置であるものとして説明するが、放射能評価装置3は、放射線測定装置2と一体の装置として構成されており、例えば、制御盤25の一部として組み込まれていてもよい。

【0026】

放射能評価装置3は、図2に示すように、キーボード、タッチパネル等により構成される入力部30と、HDD、メモリ等により構成される記憶部31と、CPU等のプロセッサにより構成される制御部32と、各種の外部機器やネットワーク4との通信インターフェースである通信部33と、ディスプレイ、スピーカ等により構成される出力部34とを備える。

40

【0027】

記憶部31には、放射線測定装置2による測定対象物10の測定結果（グロス計数率、重量、高さ等）を示す測定対象物測定データ310と、放射線測定装置2による環境の測定結果（BG計数率）を示すBG測定データ311と、測定対象物測定データ310及びBG測定データ311から放射能濃度を算定するために必要な各種の係数、条件、算定式

50

等を含む評価用パラメータ 3 1 2 と、放射能評価装置 3 の動作を制御する放射能評価プログラム 3 1 3 とが記憶されている。

【 0 0 2 8 】

制御部 3 2 は、放射能評価プログラム 3 1 3 を実行することにより、本発明の実施形態に係る放射能評価方法に含まれる各工程（図 3 に示すフローチャートの各ステップ参照。詳細は後述する。）に従って動作する放射能評価処理部 3 2 0 として機能する。

【 0 0 2 9 】

（放射能評価方法）

図 3 は、本発明の実施形態に係る放射能評価方法の一例を示すフローチャートである。放射能評価装置 3 の放射能評価処理部 3 2 0 は、図 3 に示すフローチャートの各工程（ステップ）に従って動作することにより、放射能評価方法に基づいて測定対象物 1 0 の放射能濃度を評価する。

10

【 0 0 3 0 】

（ 1 ） B G 測定工程（ステップ S 1 ）について

まず、B G 測定工程（ステップ S 1 ）では、測定対象物 1 0 が本体部 2 1 の内部に存在しない状態において、放射線測定装置 2 が、B G 計数率（以下、「測定 B G 計数率」という。） C_{BG0} を測定する。そして、放射能評価処理部 3 2 0 は、その測定結果である測定 B G 計数率 C_{BG0} を B G 測定データ 3 1 1 に記憶する。

【 0 0 3 1 】

なお、B G 測定工程（ステップ S 1 ）による測定 B G 計数率 C_{BG0} の測定は、測定対象物 1 0 の測定（後述するステップ S 2 以降の工程）が行われる直前（直後でもよい。）だけでなく、測定対象物 1 0 の測定が行われないタイミングにおいても定期的（例えば、8 時間毎、1 日毎、1 週間毎等）に実行される。そして、その測定結果についても、測定時刻と関連付けるようにして測定 B G 計数率 C_{BG0} として B G 測定データ 3 1 1 に記憶される。これにより、放射線測定装置 2 が設置された作業環境における雰囲気放射線量を示す B G 計数率 C_{BG0} が、B G 測定データ 3 1 1 に随時蓄積される。

20

【 0 0 3 2 】

（ 2 ）測定対象物測定工程（ステップ S 2 ）について

次に、測定対象物測定工程（ステップ S 2 ）では、測定対象物 1 0 がトレイ 1 1 上に載置された状態において、放射線測定装置 2 が、トレイ 1 1 上の測定対象物 1 0 の重量 W 及び高さ H 等を測定する。また、放射線測定装置 2 が、搬送コンベア 2 0 によりトレイ 1 1 を所定の走査速度で搬送しながら、上側検出器群 2 4 A 及び下側検出器群 2 4 B によりトレイ 1 1 上の測定対象物 1 0 を走査することにより、測定対象物 1 0 のグロス計数率 C_G を測定する。そして、放射能評価処理部 3 2 0 は、それらの測定結果を測定対象物測定データ 3 1 0 として記憶する。

30

【 0 0 3 3 】

（ 3 ）正味計数率算定工程（ステップ S 3 ）について

次に、正味計数率算定工程（ステップ S 3 ）では、放射能評価処理部 3 2 0 が、B G 測定データ 3 1 1（測定 B G 計数率 C_{BG0} ）と、測定対象物測定データ 3 1 0（グロス計数率 C_G 、測定重量 W、測定高さ H）とに基づいて、正味計数率 C_n を算定する。以下に、正味計数率 C_n の算定方法について説明する。

40

【 0 0 3 4 】

測定対象物 1 0 が本体部 2 1 の内部に存在しない状態で測定された測定 B G 計数率 C_{BG0} から、測定対象物 1 0 の重量 W 及び高さ H を指標にして、測定対象物 1 0 がトレイ 1 1 上に載置されて本体部 2 1 の内部に存在する状態における B G 計数率（以下、「推定 B G 計数率」という。） C_{BG} を、下記（ 1 ）式により推定する。

【 0 0 3 5 】

【数 1】

$$C_{BG} = F_H \times F_W \times C_{BG0} \quad \dots (1)$$

ここで、

C_{BG} : 測定対象物が存在する状態でのBG計数率として推定された推定BG計数率 [cps]

C_{BG0} : 測定対象物が存在しない状態で測定された測定BG計数率 [cps]

F_W : BG計数率に係る重量補正係数

F_H : BG計数率に係る高さ補正係数

である。

【0036】

そして、グロス計数率 C_G と、推定BG計数率 C_{BG} との差分として、測定対象物 10 の正味計数率 C_n を下記の (2) 式により算定する。

【0037】

【数 2】

$$C_n = C_G - C_{BG} \quad \dots (2)$$

ここで

C_n : 正味計数率 [cps]

C_G : グロス計数率 [cps]

C_{BG} : 推定BG計数率 [cps]

である。

【0038】

(4) 放射能濃度算定工程 (ステップ S4) について

次に、放射能濃度算定工程 (ステップ S4) では、測定対象物 10 の正味計数率 C_n と、正味計数率 C_n を放射能濃度 D に変換する換算係数 CF と、測定対象物 10 の重量 W とに基づいて、単位重量当たりの放射能濃度 D を下記の (3) 式により算定する。

【0039】

【数 3】

$$D = \frac{C_n \times CF}{W} \quad \dots (3)$$

ここで、

D : 放射能濃度 [Bq/g]

C_n : 正味計数率 [cps]

CF : 放射能濃度換算に係る係数 [Bq/cps]

W : 対象物の重量 [g]

である。

【0040】

(5) 誤差算定工程 (ステップ S5) について

誤差算定工程 (ステップ S5) では、正味計数率 C_n の相対誤差 δ_{C_n} と、換算係数 CF の相対誤差 δ_{CF} と、測定重量 W の相対誤差 δ_W とを重畳することにより、放射能濃度 D の相対誤差 δ_D を下記の (4) 式により算定する。

【0041】

【数 4】

$$\sigma'_D = \sqrt{\sigma'_{C_n}{}^2 + \sigma'_{CF}{}^2 + \sigma'_W{}^2} \quad \dots (4)$$

ここで、

- σ'_D : 放射能濃度Dの相対誤差
- σ'_{C_n} : 正味計数率 C_n の相対誤差
- σ'_{CF} : 換算係数CFの相対誤差
- σ'_W : 測定重量Wの相対誤差

である。

【0042】

ここで、上記の(4)式において、換算係数CFの相対誤差 σ'_{CF} 、及び、測定重量Wの相対誤差 σ'_W は既知の方法で算定されるものとする、正味計数率 C_n の相対誤差 σ'_{C_n} を算定することで放射能濃度Dの相対誤差 σ'_D が求められる。その際、正味計数率 C_n を算定するまでの各プロセスが有する不確定性として、グロス計数率 C_G の測定プロセスには、複数の誤差要因に起因する複数のグロス誤差が含まれ、測定BG計数率 C_{BG} の測定プロセス及び推定BG計数率 C_{BG} の推定プロセスには、複数の誤差要因に起因する複数のBG誤差が含まれる。そのため、正味計数率 C_n の相対誤差 σ'_{C_n} は、複数のグロス誤差及び複数のBG誤差をそれぞれ考慮して算出することが必要となる。以下に、正味計数率 C_n の相対誤差 σ'_{C_n} の算定方法について説明する。

20

【0043】

まず、正味計数率 C_n は、上記の(2)式に示す算定式で求められることから、正味計数率 C_n の誤差 σ_{C_n} は、下記の(5)式により算定される。

【0044】

【数 5】

$$\sigma_{C_n} = \sqrt{\sigma_{C_G}{}^2 + \sigma_{C_{BG}}{}^2} \quad \dots (5)$$

ここで、

- σ_{C_n} : 正味計数率 C_n の誤差
- σ_{C_G} : グロス計数率 C_G の誤差
- $\sigma_{C_{BG}}$: 推定BG計数率 C_{BG} の誤差

である。

【0045】

そして、上記の(5)式で示す正味計数率 C_n の誤差 σ_{C_n} を算定するため、(5)式の右辺第1項に示すグロス計数率 C_G の誤差 σ_{C_G} と、(5)式の右辺第2項に示す推定BG計数率 C_{BG} の誤差 $\sigma_{C_{BG}}$ の算定方法についてそれぞれ説明する。

40

【0046】

(5. a) グロス計数率 C_G の誤差 σ_{C_G} の算定

グロス誤差算定工程(ステップS51)では、グロス計数率 C_G の測定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数のグロス誤差を重畳することにより、グロス計数率 C_G の誤差 σ_{C_G} を算定する。

【0047】

走査型の放射線測定装置2により測定対象物10が走査されるとき、すなわち、測定対象物10が載置されたトレイ11を搬送する搬送コンベア20の搬送速度(走査速度)に変動(ばらつき)が存在する場合、測定対象物10の測定結果として得られる

50

グロス計数率 C_G に一定の影響が生じるため、正味計数率 C_n もその影響を受ける。したがって、グロス計数率 C_G の誤差 σ_{c_G} は、グロス誤差として、少なくとも、走査速度に起因するグロス計数率 C_G の相対誤差 σ'_f を含み、その他のグロス誤差として、検出器 240 に起因するグロス計数率 C_G の相対誤差 σ'_{c_G} をさらに含むものである。そのため、グロス計数率 C_G の誤差 σ_{c_G} は、これらの合成誤差であると捉えることができ、下記の (6) 式により複数のグロス誤差を重畳することにより算定される。

【0048】

【数6】

$$\sigma_{C_G} = C_G \times \sqrt{\sigma'_{c_G}{}^2 + \sigma'_f{}^2} \quad \dots (6)$$

ここで、

σ_{C_G} : グロス計数率 C_G の誤差

C_G : グロス計数率 [cps]

σ'_{c_G} : 検出器に起因するグロス計数率 C_G の相対誤差

σ'_f : 走査速度に起因するグロス計数率 C_G の相対誤差

である。

【0049】

上記の (6) 式に含まれる、検出器 240 に起因するグロス計数率 C_G の相対誤差 σ'_{c_G} は、下記の (7) 式で算定される。

【0050】

【数7】

$$\begin{aligned} \sigma'_{c_G} &= \frac{\sigma_{C_G}}{C_G} \\ &= \frac{\sqrt{C_G \times d \times t_1}}{C_G \times d \times t_1} \quad \dots (7) \end{aligned}$$

ここで、

σ'_{c_G} : グロス計数率 C_G の相対誤差

d : 検出器個数

t_1 : グロス計数率測定時間 [s]

である。

【0051】

上記の (7) 式を踏まえると、上記の (6) 式は、下記の (8) 式に再整理される。したがって、グロス計数率 C_G の誤差 σ_{c_G} は、下記の (8) 式により算定される。

【0052】

【数 8】

$$\sigma_{C_G} = C_G \times \sqrt{\left(\frac{\sqrt{C_G \times d \times t_1}}{C_G \times d \times t_1}\right)^2 + \sigma'_f{}^2} \quad \dots (8)$$

ここで、

σ_{C_G} : グロス計数率 C_G の誤差

C_G : グロス計数率 [cps]

d : 検出器個数

t_1 : グロス計数率測定時間 [s]

σ'_f : 走査速度に起因するグロス計数率 C_G の相対誤差

である。

【0053】

(5 . b) 推定 BG 計数率 C_{BG} の誤差 $\sigma_{C_{BG}}$ の算定

BG 誤差算定工程 (ステップ S52) では、測定 BG 計数率 C_{BG0} の測定及び推定 BG 計数率 C_{BG} の推定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数の BG 誤差を重畳することにより、推定 BG 計数率 C_{BG} の誤差 $\sigma_{C_{BG}}$ を算定する。

20

【0054】

放射線測定装置 2 が設置された作業環境における雰囲気放射線量に変動 (ばらつき) が存在する場合、作業環境の雰囲気放射線量の測定結果である測定 BG 計数率 C_{BG0} から推定される推定 BG 計数率 C_{BG} に一定の影響が生じるため、正味計数率 C_n もその影響を受ける。したがって、推定 BG 計数率 C_{BG} の誤差 $\sigma_{C_{BG}}$ は、BG 誤差として、少なくとも、放射線測定装置 2 が設置された作業環境における雰囲気放射線量の変動に起因する推定 BG 計数率 C_{BG} の相対誤差 σ'_{EBG} を含み、その他の BG 誤差として、測定対象物 10 の存在 (重量や高さ) に起因する推定 BG 計数率 C_{BG} の誤差や、検出器 240 に起因する測定 BG 計数率 C_{BG0} の相対誤差 σ'_{CBG0} をさらに含むものである。そのため、推定 BG 計数率 C_{BG} の誤差 $\sigma_{C_{BG}}$ は、これらの合成誤差であると捉えることができ、上記の (1) 式を踏まえると、下記の (9) 式により複数の BG 誤差を重畳することにより算定される。

30

【0055】

【数 9】

$$\sigma_{C_{BG}} = C_{BG} \times \sqrt{\left(\frac{\sigma_{FH}}{F_H}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{FW}}{F_W}\right)^2 + \sigma'_{CBG0}{}^2 + \sigma'_{EBG}{}^2} \quad \dots (9)$$

ここで、

$\sigma_{C_{BG}}$: 推定 BG 計数率 C_{BG} の誤差

C_{BG} : 推定 BG 計数率 [cps]

σ_{FH} : 高さ補正係数の誤差

σ_{FW} : 重量補正係数の誤差

σ'_{CBG0} : 検出器に起因する測定 BG 計数率 C_{BG0} の相対誤差

σ'_{EBG} : 作業環境における雰囲気放射線量の変動に起因する推定 BG 計数率 C_{BG} の相対誤差

である。

【0056】

上記の (9) 式に含まれる、作業環境における雰囲気放射線量の変動に起因する推定 BG 計数率 C_{BG} の相対誤差 σ'_{EBG} は、例えば、所定の期間 (例えば、1 年間) を通し

50

て定期的に測定されて、BG測定データ311として蓄積された測定BG計数率 C_{BG0} の統計値（例えば、平均値）として求められる。

【0057】

また、上記の(9)式に含まれる、検出器240に起因する測定BG計数率 C_{BG0} の相対誤差 $\sigma'_{C_{BG0}}$ は、下記の(10)式で算定される。

【0058】

【数10】

$$\begin{aligned}\sigma'_{C_{BG0}} &= \frac{\sigma_{C_{BG0}}}{C_{BG0}} \\ &= \frac{\sqrt{C_{BG0} \times d \times t_2}}{C_{BG0} \times d \times t_2} \quad \dots (10)\end{aligned}$$

ここで、

$\sigma'_{C_{BG0}}$: 測定BG計数率 C_{BG0} の相対誤差

d : 検出器個数

t_2 : BG計数率測定時間 [s]

である。

【0059】

さらに、専用測定器を用いた評価に際しては、重量や高さの異なる模擬対象物を載せた状態で当該模擬対象物の自己遮へい等を勘案することで、BG計数率に係る変動を評価しており、その評価結果として「BG変動に起因する相対誤差 r_1 」で求められることが知られている（「日本原子力学会標準 クリアランスの判断方法(2005)」，社団法人日本原子力学会，2005年8月，第84頁 - 第85頁参照。）。

【0060】

そのため、上記の(9)式の右辺において、高さ補正係数の誤差及び重量補正係数の誤差を示す項は、下記の(11)式により近似するものとする。

【0061】

【数11】

$$\left(\frac{\sigma_{FH}}{F_H}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{FW}}{F_W}\right)^2 \approx (r_1)^2 \quad \dots (11)$$

【0062】

上記の(10)式及び(11)式を踏まえると、上記の(9)式は、下記の(12)式に再整理される。したがって、推定BG計数率 C_{BG} の誤差 $\sigma_{C_{BG}}$ は、下記の(12)式により算定される。

【0063】

20

30

【数 1 2】

$$\sigma_{C_{BG}} \approx C_{BG} \times \sqrt{(r_1)^2 + \left(\frac{\sqrt{C_{BG0} \times d \times t_2}}{C_{BG0} \times d \times t_2}\right)^2 + (\sigma'_{EBG})^2} \quad \dots (12)$$

ここで、

$\sigma_{C_{BG}}$: 推定BG計数率 C_{BG} の誤差

C_{BG0} : 測定対象物が存在しない状態で測定された測定BG計数率 [cps]

C_{BG} : 測定対象物が存在する状態でのBG計数率として推定された推定BG計数率 [cps]

r_1 : BG変動に起因する相対誤差

d : 検出器個数

t_2 : BG計数率測定時間 [s]

σ'_{EBG} : 作業環境における雰囲気放射線量の変動に起因する推定BG計数率 C_{BG} の相対誤差である。

【0064】

(5 . c) 正味計数率 C_n の誤差 c_n の算定

正味計数率誤差工程(ステップS53)では、グロス計数率 C_g の誤差 c_g と、推定BG計数率 C_{BG} の誤差 c_{BG} とを重畳することにより正味計数率 C_n の誤差 c_n を算定し、正味計数率 C_n の誤差 c_n を正味計数率 C_n で除算することにより正味計数率 C_n の相対誤差 σ'_{cn} を算定する。 20

【0065】

正味計数率 C_n の誤差 c_n は、上記の(5)式で算定される。したがって、上記の(5)式において、グロス計数率 C_g の誤差 c_g に上記の(8)式の解を代入するとともに、推定BG計数率 C_{BG} の誤差 c_{BG} に上記の(12)式の解を代入することで、正味計数率 C_n の誤差 c_n が算定される。

【0066】

さらに、上記の(5)式で算定された正味計数率 C_n の誤差 c_n を正味計数率 C_n で除算することにより、正味計数率 C_n の相対誤差 σ'_{cn} を下記の(13)式により算定する。 30

【0067】

【数 1 3】

$$\sigma'_{cn} = \frac{\sigma_{cn}}{C_n} \quad \dots (13)$$

【0068】

(5 . d) 放射能濃度 D の相対誤差 σ'_D の算定

放射能濃度誤差算定工程(ステップS54)では、下記の(14)式(上記の(4)式と同一である。)の右辺に対して、上記の(13)式の解である正味計数率 C_n の相対誤差 σ'_{cn} と、既知の換算係数 C_F の相対誤差 σ'_{CF} と、既知の測定重量 W の相対誤差 σ'_w とを代入することにより、放射能濃度 D の相対誤差 σ'_D を算定する。 40

【0069】

【数 1 4】

$$\sigma'_{D} = \sqrt{\sigma'_{C_n}{}^2 + \sigma'_{CF}{}^2 + \sigma'_{W}{}^2} \quad \dots (14)$$

ここで、

σ'_{C_n} : 正味計数率 C_n の相対誤差 ((13) 式により算定)

σ'_{CF} : 換算係数 CF の相対誤差 (既知)

σ'_{W} : 測定重量 W の相対誤差 (既知)

である。

【0070】

(6) 評価工程 (ステップ S6) について

評価工程 (ステップ S6) では、上記の (3) 式の解である放射能濃度 D の相対誤差 σ'_D に基づく不確定性を考慮して、上記の (3) 式の解である放射能濃度 D を評価する。

【0071】

まず、安全率算定工程 (ステップ S61) では、放射能濃度 D の相対誤差 σ'_D に基づいて、安全率 F_s を下記の (15) 式により算定する。

【0072】

上述したように、放射能濃度 D の相対誤差 σ'_D は、上記の (14) 式において、正味計数率 C_n の相対誤差 σ'_{C_n} に上記の (13) 式の解を代入することで、放射能濃度 D の相対誤差 σ'_D が算定される。したがって、放射線測定装置 2 により測定された放射能濃度 D における不確定性として、放射能濃度 D の相対誤差 σ'_D に対する所定の安全係数 k (例えば、 $k = 3$ の場合、3 に相当する。) を乗算することにより評価の保守性を担保するため、必要となる安全率 F_s は、下記の (15) 式で算定される。

20

【0073】

【数 1 5】

$$(1 - k \times \sigma'_{D}) \times F_s \geq 1$$

$$F_s \geq \frac{1}{1 - k \times \sigma'_{D}} \quad \dots (15)$$

ここで、

σ'_{D} : 放射能濃度 D の相対誤差

k : 安全係数

F_s : 安全率

である。

【0074】

次に、判定工程 (ステップ S62) では、上記の (3) 式の解である放射能濃度 D に安全率 F_s を乗算することで放射能濃度の評価値 D_L を算定し、当該評価値 D_L が、所定の評価基準値 L 以下であるか否かを判定し、下記の (16) 式が成立する場合、測定対象物 10 の放射能濃度 D は、評価基準値 L をクリアしていると判定する。

40

【0075】

【数 1 6】

$$D_L = D \times F_s \leq L \quad \dots (16)$$

ここで、

D_L : 放射能濃度の評価値 [Bq/g]

D : 放射能濃度 [Bq/g]

F_s : 安全率

L : 評価基準値

である。

【0076】

以上のように、本実施形態に係る放射能評価方法、放射能評価プログラム及び放射能評価装置によれば、放射能濃度 D の相対誤差 δ_D を算定する誤差算定工程（ステップ S 5）が、グロス計数率 C_G の測定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数のグロス誤差を重畳することにより、グロス計数率 C_G の誤差 c_G を算定するグロス誤差算定工程（ステップ S 5 1）と、測定 BG 計数率 C_{BG0} の測定及び推定 BG 計数率 C_{BG} の推定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数の BG 誤差を重畳することにより、推定 BG 計数率 C_{BG} の誤差 c_{BG} を算定する BG 誤差算定工程（ステップ S 5 2）と、グロス計数率 C_G の誤差 c_G と、推定 BG 計数率 C_{BG} の誤差 c_{BG} とを重畳することにより得られる正味計数率 C_n の誤差 c_n に基づいて、正味計数率 C_n の相対誤差 δ_{C_n} を算定する正味計数率誤差工程（ステップ S 5 3）とを含む。

20

【0077】

したがって、グロス計数率 C_G の測定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数のグロス誤差と、測定 BG 計数率 C_{BG0} の測定及び推定 BG 計数率 C_{BG} の推定に含まれる複数の誤差要因に起因する複数の BG 誤差とに基づく不確実性が考慮されて、測定対象物 10 の放射能濃度 D が評価されるので、評価の保守性の観点から放射能濃度を適切に評価することができる。

【0078】

（他の実施形態）

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

30

【0079】

なお、本実施形態に係る放射能評価方法は、評価に係る目的や用途が特に限られるものでなく、例えば、上記の（16）式において評価基準値 L をクリアランス基準値 C とすることで、原子炉施設で使用された構造材のクリアランス評価に適用することができる。その際、原子炉施設の型式は、任意の種類でよく、例えば、減速材に重水、冷却材に軽水を用いた重水減速沸騰軽水冷却型の原子炉でもよいし、減速材及び冷却材に軽水を用いた軽水炉（加圧水型（PWR）、沸騰水型（BWR）、改良型沸騰水型炉（ABWR））でもよい。

【0080】

また、上記実施形態に係る放射能評価方法は、走査型の放射線測定装置 2 を対象とした場合について説明したが、他の型式の放射線測定装置を対象としてもよい。例えば、上記実施形態に係る放射能評価方法は、定置型の放射線測定装置を対象としてもよく、その場合には、上記の（6）式、（8）式において、走査速度に起因するグロス計数率 C_G の相対誤差 δ_f を考慮することなく、グロス計数率 C_G の誤差 c_G を算定すればよい。

40

【0081】

また、上記実施形態に係る放射能評価方法に含まれる各工程（図 3 参照）を実行する順番は可能な範囲で適宜変更されてもよい。

【0082】

また、上記実施形態では、放射能評価プログラム 3 1 3 は、記憶部 3 1 に記憶されたも

50

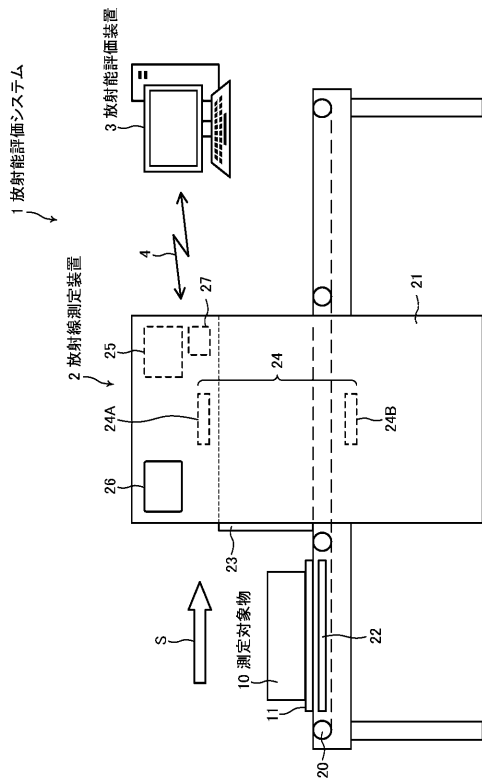
のとして説明したが、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルでCD-ROM、DVD等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録されて提供されてもよい。また、放射能評価プログラム313は、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせることにより提供されてもよい。

【符号の説明】

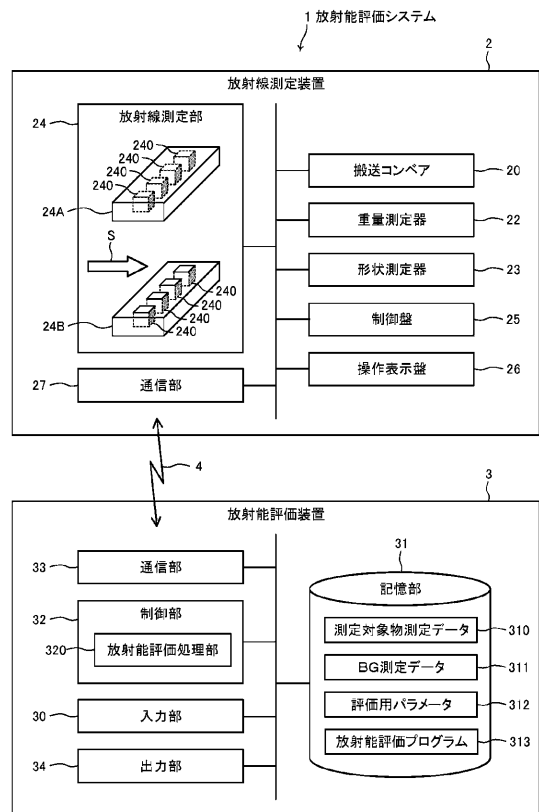
【0083】

- 1 放射能評価システム、2 放射線測定装置、3 放射能評価装置、
- 4 ネットワーク、10 測定対象物、11 トレイ、
- 20 搬送コンベア、21 本体部、22 重量測定器、23 形状測定器、
- 24 放射線測定部、24A 上側検出器群、24B 下側検出器群、
- 25 制御盤、26 操作表示盤、27 通信部、
- 30 入力部、31 記憶部、32 制御部、33 通信部、34 出力部、
- 240 検出器、310 測定対象物測定データ、311 BG測定データ、
- 312 評価用パラメータ、313 放射能評価プログラム、
- 320 放射能評価処理部

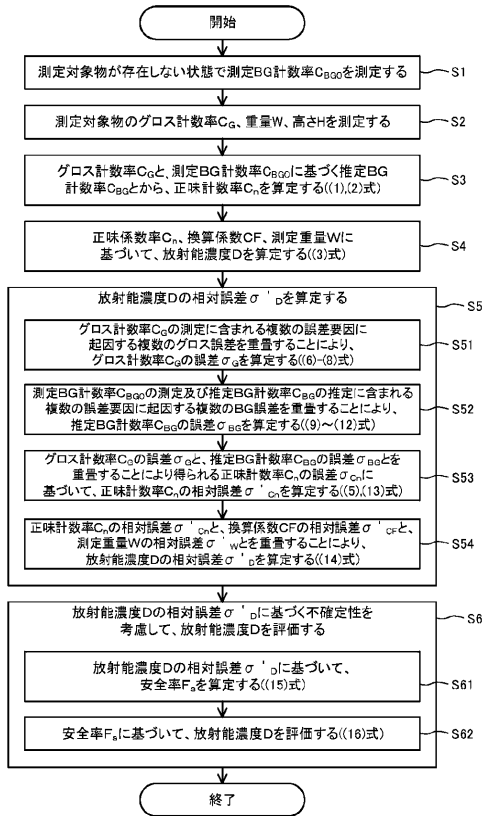
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

- (72)発明者 山本 耕輔
福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 新型転換炉原型炉ふげん
内
- (72)発明者 川越 慎司
福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 新型転換炉原型炉ふげん
内
- (72)発明者 東浦 則和
福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 新型転換炉原型炉ふげん
内
- (72)発明者 水井 宏之
福井県敦賀市明神町3番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 新型転換炉原型炉ふげん
内

審査官 大門 清

- (56)参考文献 特開2007-225507(JP,A)
特開2008-111793(JP,A)
特開2008-111794(JP,A)
特開2007-017232(JP,A)
日本原子力発電株式会社, 敦賀発電所1号炉において用いた資材等に含まれる放射性物質の放射能濃度の測定及び評価方法に係る認可申請に関する面談説明資料, webページ, 日本, 2018年02月22日, 資料8, <https://www.da.nsr.go.jp/file/NR000098825/000221685.pdf>
服部隆利, 測定誤差と核種組成の不確定性に対するクリアランスレベル検認の安全裕度の考え方, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.3, No.4, 日本, 2004年, pp.51-56
(財)電力中央研究所 佐々木道也, 服部隆利, 合理的なクリアランス測定を目指して 形状計測とモンテカルロ計算を活用した全自動放射能評価手法の開発, 日本原子力学会誌, Vol.52 No.5, 日本, 2010年, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/52/5/52_279/pdf/char/en

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01T 1/00 - 1/16
G01T1/167 - 7/12