

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-210317

(P2013-210317A)

(43) 公開日 平成25年10月10日 (2013. 10. 10)

(51) Int. Cl.			F I	テーマコード (参考)		
<b>GO1T</b>	<b>1/167</b>	<b>(2006.01)</b>	GO1T	1/167	C	2G088
<b>GO1T</b>	<b>1/20</b>	<b>(2006.01)</b>	GO1T	1/20	B	2G188
<b>GO1T</b>	<b>1/203</b>	<b>(2006.01)</b>	GO1T	1/203		

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2012-81420 (P2012-81420)	(71) 出願人	301021533 独立行政法人産業技術総合研究所 東京都千代田区霞が関1-3-1
(22) 出願日	平成24年3月30日 (2012. 3. 30)	(71) 出願人	504151365 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 茨城県つくば市大穂1番地1
		(74) 代理人	100118670 弁理士 及川 泰嘉
		(72) 発明者	海野 泰裕 茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内
		(72) 発明者	佐波 俊哉 茨城県つくば市大穂1-1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射性物質の測定方法およびそのための測定装置

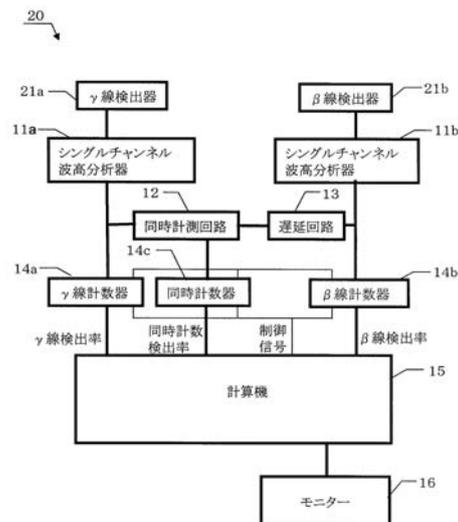
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 線検出器以外の検出器を組み合わせる用いることにより、ストロンチウムおよびセシウムについて化学分離を必要とせずに迅速に絶対測定できる測定方法およびそのための装置を提供する。

【解決手段】 線検出器、線検出器、前記両検出器の同時検出出力を取り込み、処理装置の処理手順を、4

- 同時測定手順を実行して 線計数率  $N_{\gamma}$ 、線計数率  $N_{\beta}$ 、同時計数率  $N_{\text{同時}}$  を測定し、所定の数式から全線放出率を求める手順1、Cs-134放射能測定手順2、Cs-137放射能測定手順3、核種毎の核データを用いて、Cs-134の放射能とCs-137の放射能に対応する線放出率を求め、既に求めている全線放出率からCs-134の線放出率とCs-137の線放出率を引き算し、Srの線放出率を求めるSrの線放出率導出手順4より得る。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

線検出器、線検出器、前記両検出器の検出出力を取り込み、所定の手順を実行し所定の演算を行うことにより Sr の放射能を求める処理装置を備えた計測装置の計測方法であって、前記処理装置の処理手順を、

4 - 同時測定手順を実行して線計数率  $N_\gamma$ 、線計数率  $N_\beta$ 、同時計数率  $N_{\gamma\beta}$  を測定し、それら計数率を用いて下記数式から全線放出率 A を求める手順 1、

## 【数 6】

$$A \times \varepsilon_\gamma = N_\gamma$$

10

## 【数 7】

$$A \times \varepsilon_\beta = N_\beta$$

## 【数 8】

$$A \times \varepsilon_\gamma \times \varepsilon_\beta = N_{\gamma\beta}$$

但し、A：放射能および全線放出率、 $\varepsilon_\gamma$ ：線検出効率、 $\varepsilon_\beta$ ：線検出効率、 $N_\gamma$ ：線計数率、 $N_\beta$ ：線計数率、 $N_{\gamma\beta}$ ：線同時計数率。

## 【数 9】

$$\frac{N_\gamma N_\beta}{N_{\gamma\beta}} = \frac{(A \times \varepsilon_\gamma) \times (A \times \varepsilon_\beta)}{A \times \varepsilon_\gamma \times \varepsilon_\beta} = A$$

20

サムピーク測定手順を実行して Cs - 134 の個々の光電ピークの計数率  $N_1$ 、 $N_2$ 、サムピークの計数率  $N_{12}$ 、線の全計数率  $N_t$  を測定し、それらの計数率を用いて下記数式から Cs - 134 の放射能 B を求める手順 2、

## 【数 10】

$$B = N_t + \frac{N_1 \times N_2}{N_{12}}$$

30

前記手順 2 で求めた Cs - 134 の放射能線検出器の感度曲線から Cs - 137 の放射能を求める Cs - 137 放射能測定手順 3、核種毎の核データを用いて、Cs - 134 の放射能と Cs - 137 の放射能に対応する線放出率を求め、既に求めてある全線放出率から Cs - 134 の線放出率と Cs - 137 の線放出率を引き算し、Sr の線放出率を求め放射能を測定する Sr の放射能測定手順 4 としたことを特徴とする放射性物質の測定方法。

## 【請求項 2】

線検出器、線検出器、前記両検出器の検出出力を取り込み、所定の手順を実行し所定の演算を行うことにより Sr の放射能を求める処理装置を備えた計測装置であって、前記処理装置は、

40

4 - 同時測定手順を実行して線計数率  $N_\gamma$ 、数計数率  $N_\beta$ 、同時計数率  $N_{\gamma\beta}$  を測定し、それら計数率を用いて下記数式から全線放出率 A を求め、

## 【数 11】

$$A \times \varepsilon_\gamma = N_\gamma$$

## 【数 12】

$$A \times \varepsilon_\beta = N_\beta$$

## 【数 1 3】

$$A \times \varepsilon_{\gamma} \times \varepsilon_{\beta} = N_{\gamma\beta}$$

但し、A：放射能および全線放出率、 $\varepsilon_{\gamma}$ ：線検出効率、 $\varepsilon_{\beta}$ ：線検出効率、 $N_{\gamma}$ ：線計数率、 $N_{\beta}$ ：線計数率、 $N_{\gamma\beta}$ ：線同時計数率。

## 【数 1 4】

$$\frac{N_{\gamma}N_{\beta}}{N_{\gamma\beta}} = \frac{(A \times \varepsilon_{\gamma}) \times (A \times \varepsilon_{\beta})}{A \times \varepsilon_{\gamma} \times \varepsilon_{\beta}} = A$$

サンプイク測定手順を実行してCs-134の個々の光電ピークの計数率 $N_1$ 、 $N_2$ 、サンプイクの計数率 $N_{12}$ 、線の全計数率 $N_t$ を測定し、それらの計数率を用いて下記数式からCs-134の放射能Bを求める手順2、

## 【数 1 5】

$$B = N_t + \frac{N_1 \times N_2}{N_{12}}$$

前記手順2で求めたCs-134の放射能と線検出器の感度曲線と、Cs-137の光電ピーク計数率から放射能を測定し、核種毎の核データを用いて、Cs-134の放射能とCs-137の放射能に対応する線放出率を求め、既に求めてある全線放出率からCs-134の線放出率とCs-137の線放出率を引き算し、Srの線放出率を求め放射能を測定するように構成されていることを特徴とする放射性物質の測定装置。

## 【請求項 3】

前記処理装置は、前記線検出器および線検出器の検出出力を取り込み、出力信号を処理する処理手段を構成し、

前記線検出器の線PMT出力信号を取り込み、チャンネル毎のロジックパルスRPを出力するシングルチャンネル波高分析器と、前記線検出器の線PMT出力信号を取り込み、チャンネル毎のロジックパルスRPを出力するシングルチャンネル波高分析器と、前記線検出器と前記線検出器のそれぞれに固有の検出にかかる時間のズレを合わせる遅延回路と、同期がとれたイベントが入力される度にパルスを出力する機能を有し、遅延させた前記線PMT出力信号に基づくロジックパルスRP信号と前記線PMT出力信号に基づくロジックパルスRP信号の同期がとれたときにパルスを出力する同時計数回路と、前記線PMT出力信号を取り込むシングルチャンネル波高分析器からのロジックパルスを計数する線計数器と、前記線PMT出力信号を取り込むシングルチャンネル波高分析器からのロジックパルスを計数する線計数器と、同期した前記線PMT出力信号を取り込むシングルチャンネル波高分析器からのロジックパルスと前記線PMT出力信号を取り込むシングルチャンネル波高分析器からのロジックパルスが同期した場合に計数する同時計数器と、計算機から構成したことを特徴とする請求項2記載の放射性物質の測定装置。

## 【請求項 4】

前記測定器は、測定試料を装填するプラスチックシンチレータの導光方向両端に線に起因するシンチレータ蛍光を検出し信号を発生する装置PMTを対にして設け、前記プラスチックシンチレータの導光方向と直交する方向にタリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション検出器を対にして設けたことを特徴とする請求項3記載の放射性物質の測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、化学分離を必要としない迅速な放射性物質の絶対測定法およびそれに用いる測定装置に関し、特にストロンチウム（Sr）およびセシウム（Cs）について化学分離を必要とせずに迅速に測定する測定方法およびそれに用いる測定装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

福島第一原子力発電所事故により広大な領域が放射能で汚染されている。各所での放射性降下物の測定結果から、放射性ストロンチウム（Sr）も一定量が放出されたとみられており被ばくの評価において重要な核種であるが、現状の化学分離を経た分析が実質上困難である。

10

既存の放射性ストロンチウム測定法は以下（１）（２）に大別される。

（１）線エネルギーの違いを利用した透過能差分測定法：

この測定法は、ストロンチウム90と平衡状態にあるイットリウム（Y）90から放出される線エネルギーが非常に高く、物質を透過する能力が他に比べて高いことを利用して測定する方法である。

（２）化学分離の後に、液体シンチレーション測定、または、チェレンコフ光測定を行う測定法：

この測定法は、化学分離により放射性セシウムから放射性ストロンチウムを選択的に取り出す測定法である。

20

## 【0003】

上記（１）の方法は、簡便な検知は可能であるが定量測定は困難である。

また、（２）の方法は、図8に示すように、試料中の放射性セシウムと放射性ストロンチウムを分離して測定可能な性状に変えるための化学処理作業として、王水による分解、遠心分離、長時間の高温加熱などが必要であり、手間と時間がかかる。また、この測定法を実施するための専門家の数および実施装置の数が小さく処理能力が著しく不足している。

## 【0004】

発明者らは、事故直後から放射性降下物の測定を行い、産業技術総合研究所のホームページ上にてその結果を公表してきた。その後も福島県を中心とした放射能に汚染された土壌・川水等の測定を行っている。それらの結果は、ゲルマニウム検出器による線スペクトロメトリにより分析されている。線を放出しない放射性ストロンチウムについては、事故により放射能漏出があったと推測され被ばく評価上重要であるにもかかわらず、時間的制約から測定数が非常に限られている状況にある。測定対象として想定される試料の汚染の大半は放射性セシウム（Cs）と想定され、線検出器だけで放射性ストロンチウムを同定することは困難であると考えられる。

30

## 【先行技術文献】

## 【非特許文献】

## 【0005】

【非特許文献1】Y. Kawada et al., App. Rad. Isotopes, 60 (2004) 357-362

40

【非特許文献2】ICRU Report 52 (1994)

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

本発明の目的は、線検出器と線検出器を組み合わせるにより、ストロンチウムおよびセシウムについて化学分離を必要とせずに迅速に測定できる測定方法およびそのための測定装置を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

50

## 【0007】

本発明は上記目的を達成するために以下の解決手段を採用する。

図1は、本発明の測定方法およびそれに用いる測定装置の動作および処理手順を示す。測定時、測定試料サンプルを測定用にセットすると、4 - 測定法により全線放出率を測定し、次に、線スペクトロメトリにより、サムピーク法が適用される。Cs (セシウム) - 134とCs - 137を遷移時間の相違を使って分離測定し、次に、線スペクトロメトリにより、求めたCs - 134との相対的な関係からCs - 137の感度を求め、Cs - 137の放射能を推定する。既に求められた全線放出率から、既に求めたCs - 134とCs - 137の放射能に対応する線放出率を引き算してSrの放射能を求める。引き算処理は、Cs - 134やCs - 137の放射能を導出した段階で行ってもよい。

10

## 【0008】

本発明の測定器は、線検出器をプラスチックシンチレータ(PLS)とし、NaI(Tl)検出器(線検出器)と組み合わせて使う方法を応用して、放射性セシウムを含む汚染試料から化学分離工程無しで含有される放射性ストロンチウムを絶対測定する絶対測定法およびそれに用いる測定器にある。この測定器をSr放射能測定器という。

## 【0009】

Sr放射能測定器1は、中心位置で長さ方向に測定試料7を配置するようになっている線検出用のプラスチックシンチレータ(PLS)2と、PLS2に接合され、PLS2内で線に起因して発生する蛍光を検出し信号を発生する装置PMT5aおよび5bと、線検出用のNaI(Tl)(タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション)検出器3aおよび3bと、NaI(Tl)検出器3aおよび3bで発生した蛍光を信号に変換して出力する装置PMT6aおよび6bと、PLS2とNaI(Tl)検出器3aおよび3bと装置PMT5a、5b、6aおよび6bを取り付ける検出器配置治具4とを備え、測定試料7が発生した線をPLS2で捉え、信号に変換して出力すると共に、測定試料7が発生した線をNaI(Tl)検出器3aおよび3bで捉え、信号に変換して出力する。

20

## 【0010】

Sr放射能測定器1は、測定試料を装填するプラスチックシンチレータ(PLS)2の導光方向両端に線に起因するシンチレータ蛍光を検出し信号を発生する装置PMT5aおよび5bを設け、このプラスチックシンチレータ(PLS)2の導光方向と直交する方向にNaI(Tl)(タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション)検出器3aおよび3bを設けた。これにより、線によるPLS2でのエネルギー付与により発生されるプラスチックシンチレータ(PLS)2内の蛍光は、PLS2内を透過して両端の線PMT5aおよび5bで測定される。一方、このプラスチックシンチレータ(PLS)2の導光方向と直交する方向にNaI(Tl)(タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション)検出器3aおよび3bを設けた。これにより、線の導光方向と線の導光方向とが重ならず測定することができる。

30

## 【0011】

Sr放射能測定器の出力を処理する処理手段は、処理装置10として構成される。処理装置10は、図2のSr放射能測定器の出力信号を処理する処理手段を構成し、図2の線PMT出力信号(所定の大きさの波高信号)を取り込み、チャンネル毎のロジックパルス(RP)を出力するシングルチャンネル波高分析器SCA11aと、図2の線PMT出力信号(所定の大きさの波高信号)を取り込み、チャンネル毎のロジックパルスを出力するシングルチャンネル波高分析器SCA11bと、線検出器と線検出器のそれぞれに固有の検出にかかる時間のズレを合わせる遅延回路13と、同期がとれたイベントが入力される度にパルスを出力する機能を有し、遅延させたRP信号とRP信号の同期がとれたときにパルスを出力する同時計数回路12と、SCA11aからのロジックパルスを計数する線計数器14a、SCA11bからのロジックパルスを計数する線計数器14b、SCA11aからのロジックパルスとSCA11bからのロジックパルスが同期した

40

50

場合に計数する同時計数器 14c と、計算機 15 と、モニター 16 からなる。

【0012】

シングルチャンネル波高分析器 SCA は、検出器の出力データから目的とする内容のデータを取り出すべくロジックを組むように構成されている。例えば、目的のデータとして、線スペクトルにおけるピーク（光電ピーク、サムピーク）の計数率、崩壊に伴って同時に放出される線の計数率、線の計数率、線の計数率等がある。

【0013】

計算機 15 は、CPU（中央演算装置）および入出力手段を備えたコンピュータから構成され、処理回路の各構成要素の動作を制御すると共に、各計数器からの信号を取り込み、所定のアルゴリズムに従ったプログラムを実行して、Sr の放射能を求め、出力する。

10

【0014】

処理装置 10 の処理方法は、概略、以下の主な手順を含む。

4 - 測定手順では、線計数率、線計数率、線および線の同時計数率から、測定器の検出効率に依らずに全線放出率を絶対測定する。

Cs-134 放射能測定手順では、線スペクトル情報からサムピーク法により Cs-134 の放射能を絶対測定する。

Cs-137 放射能測定手順では、求めた Cs-134 の放射能と線検出器の感度曲線から Cs-137 の線に対する感度を推定し、Cs-137 の光電ピーク計数率から放射能を測定する。

Sr の放射能測定手順では、核種毎の核データを用いて、既に求めてある Cs-134 の放射能と Cs-137 の放射能に対応する線放出率を求め、既に求めてある全線放出率から Cs-134 の線放出率と Cs-137 の線放出率を引き算し、Sr の線計数率を求め放射能を測定する。

20

【0015】

本発明の解決手段を具体的に示すと以下ようになる。

(1) 放射性物質の測定方法は、

線検出器、線検出器、前記両検出器の出力を取り込み、所定の手順を実行し所定の演算を行うことにより Sr の放射能を求める処理装置を備えた計測装置の計測方法であって、

前記処理装置の処理手順を、

30

4 - 同時測定手順を実行して線計数率  $N_1$ 、線計数率  $N_2$ 、 $\dots$ 、同時計数率  $N_3$  を測定し、それら計数率を用いて所定の数式から全線放出率を求める手順 1、線スペクトル情報からサムピーク法により Cs-134 の放射能を絶対測定する Cs-134 放射能測定手順 2、

前記手順 2 で求めた Cs-134 の放射能と線検出器の感度曲線から Cs-137 の線に対する感度を推定し、Cs-137 の光電ピークにおける線計数率から Cs-137 の放射能を測定する Cs-137 放射能測定手順 3、

核種毎の核データを用いて、Cs-134 の放射能と、Cs-137 の放射能に対応する線計数率を求め、既に求めてある全線放出率から Cs-134 の線放出率と Cs-137 の線放出率を引き算し、Sr の線放出率を求め放射能を測定する Sr 放射能測定手順 4

40

としたことを特徴とする。

【0016】

(2) 放射性物質の測定装置は、

線検出器、線検出器、前記両検出器の出力を取り込み、所定の手順を実行し所定の演算を行うことにより Sr の放射能を求める処理装置を備えた計測装置であって、

前記処理装置は、

4 - 同時測定手順を実行して線計数率  $N_1$ 、線計数率  $N_2$ 、 $\dots$ 、同時計数率  $N_3$  を測定し、それら計数率を用いて所定の数式から全線放出率を求め、

線スペクトル情報からサムピーク法により Cs-134 の放射能を絶対測定し、

50

前記手順 2 で求めた Cs - 134 の放射能と 線検出器の感度曲線から Cs - 137 の線に対する感度を推定し、Cs - 137 の光電ピークにおける計数率から Cs - 137 の放射能を求め、

核種毎の核データを用いて、Cs - 134 の放射能と Cs - 137 の放射能に対応する線放出率を求め、既に求めてある全線放出率から Cs - 134 の線放出率と Cs - 137 の線放出率を引き算し、Sr の線放出率を求め放射能を測定するように構成されていることを特徴とする。

#### 【0017】

(3) 上記(2)記載の放射性物質の測定装置は、

前記処理装置が、前記線検出器および線検出器の出力を取り込み、出力信号を処理する処理手段を構成し、

前記線検出器の線PMT出力信号を取り込み、チャンネル毎のロジックパルスRPを出力するシングルチャンネル波高分析器SCA11aと、前記線検出器の線PMT出力信号を取り込み、チャンネル毎のロジックパルスRPを出力するシングルチャンネル波高分析器SCA11bと、前記線検出器と前記線検出器のそれぞれに固有の検出にかかる時間のズレを合わせる遅延回路と、同期がとれたイベントが入力される度にパルス出力する機能を有し、遅延させた前記RP信号と前記RP信号の同期がとれたときにパルス出力する同時計数回路と、前記SCA11aからのロジックパルスを計数する線計数器14aと、前記SCA11bからのロジックパルスを計数する線計数器14bと、前記SCA11aからのロジックパルスと前記SCA11bからのロジックパルスが同期した場合に計数する同時計数器14cと、計算機15から構成したことを特徴とする。

#### 【0018】

(4) 上記(3)記載の放射性物質の測定装置は、

前記測定器を、測定試料を装填するプラスチックシンチレータ(PLS)の導光方向両端に線に起因するシンチレータ蛍光を検出し信号を発生する装置PMTを対にして設け、前記プラスチックシンチレータ(PLS)の導光方向と直交する方向にNaI(Tl)(タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション)検出器を対にして設けたことを特徴とする。

#### 【発明の効果】

#### 【0019】

既に、測定方法としては、薄くて小さなプラスチックシンチレータと井戸型NaI(Tl)シンチレーションカウンタを用いて放射能絶対測定を行う方法(非特許文献1参照)が提案されている。また、従来から純線放出核種に他の線放出核種を加えて線の検出効率を外挿する方法(非特許文献2参照)が適用されてきている。

本発明のSr放射能測定器は、前記両者の特徴を活かし、ディスプレイ(廃棄処理可能)なプラスチックシンチレータで、汚染試料中のCs-134、Cs-137、Sr(Sr-89、Sr-90およびY-90)の放射能を定量することができる。

4 - 測定法では、線計数率、線計数率、線および線の同時計数率から、測定器の検出効率に依らずに全線放出率を絶対測定できる。一方で、NaI(Tl)検出器で得られたスペクトル情報からサムピーク法によりCs-134放射能が絶対測定できる。

また、この求められたCs-134放射能からCs-137の光電ピークにおける検出効率が導出され、Cs-137放射能が測定される。

#### 【0020】

本発明のSr放射能測定器1は、測定試料を装填するプラスチックシンチレータ(PLS)2の導光方向両端に線に起因するシンチレータ蛍光を検出し信号を発生する装置PMT5aおよび5bを設け、このプラスチックシンチレータ(PLS)2の導光方向と直交する方向にNaI(Tl)(タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション)検出器3aおよび3bを設けたので、従来のように液体の人為的な処理を必要とせず、機械的

に且つ簡単に、しかも精度よく放射線を検出することができる。また、構成を携帯可能で、コンパクトにできる。

【0021】

本発明の検出器は、 $\beta$ 線の検出部と $\gamma$ 線の検出部を測定試料に対して異なる方向、即ち直交する方向に配置して、容易な試料交換を可能としながらも効率的に測定の立体角を張るようにしたので、計測の手間を大幅に軽減しつつ、正確な計測ができる。

本発明の検出器は、 $\beta$ 線および $\gamma$ 線を検出した蛍光を信号に変換して出力する装置でチャンネル毎の波高値パルスに変換して出力するように構成したので、次段の処理回路がパルス信号の入力を対象とした簡単な回路構成とすることができる。

【0022】

本発明の測定装置は、チャンネル毎のロジックパルスを出力するシングルチャンネル波高分析器SCAで必要な出力を得ることができるようロジックを組むことができるため、簡単に必要な出力を得ることができる。

【0023】

本発明の処理装置は、本発明の解決原理に基づいた放射性物質の測定方法およびそのためのプログラムを備え、その方法またはプログラムを実行してSrの放射能、または必要に応じてCs-134、Cs-137の放射能を求める機能を有するように構成されているので、化学分離を必要とせず迅速に、処理途中での人為的入力操作を必要とせず、簡単に所期のSrの放射能、または必要に応じてCs-134、Cs-137の放射能を求めることができる。

【0024】

本発明の放射性物質の測定方法およびそのためのプログラムは、4 - 同時測定手順を実行して $\beta$ 線計数率 $N_{\beta}$ 、 $\gamma$ 線計数率 $N_{\gamma}$ 、 $\beta$ ・同時計数率 $N_{\beta\gamma}$ を測定し、それら計数率を用いて所定の数式から全 $\beta$ 線放出率を求める手順1、

$\beta$ 線スペクトル情報からサムピーク法によりCs-134の放射能を絶対測定するCs-134放射能測定手順2、

前記手順2で求めたCs-134の放射能と $\beta$ 線検出器の感度曲線からCs-137の $\beta$ 線に対する感度を推定し、Cs-137の光電ピークにおける $\beta$ 線計数率からCs-137の放射能を測定するCs-137放射能測定手順3、

核種毎の核データを用いて、Cs-134の放射能とCs-137の放射能に対応する $\beta$ 線放出率を求め、既に求めてある全 $\beta$ 線放出率からCs-134の $\beta$ 線放出率とCs-137の $\beta$ 線放出率を引き算し、Srの $\beta$ 線放出率を求め放射能を測定するSr放射能測定手順4からなるので、化学分離を必要とせず迅速に、処理途中での人為的入力操作を必要とせず、簡単に所期のSrの放射能、または必要に応じてCs-134、Cs-137の放射能を求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の放射性ストロンチウムの測定概念を示す図である。

【図2】本発明の測定器の概略図である。

【図3】本発明の処理装置のブロック図である。

【図4】本発明の測定装置のブロック図である。

【図5】Cs-134の崩壊モード図である。

【図6】Cs-137の崩壊モード図である。

【図7】 $\beta$ 線感度曲線を基準としてCs-134の放射能からCs-137の放射能を求める手順およびその手順が成り立つ相関関係を示す図である。

【図8】従来技術を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

図1に、本発明の放射性ストロンチウムの測定概念を示す。

原子力発電所における事故により放出された核種の中で、 $\beta$ 線を放出しない核種は放射性

10

20

30

40

50

ストロンチウム ( Sr ) が主であるとわかっている。この Sr の測定方法を以下に述べる。

測定試料に対して 線検出器と 線検出器を配置して、それぞれの検出器の計数率と 線・線を同時に検出した計数率から、全 線放出率を求める。

計算式を例示する。

【数 1】

$$A \times \varepsilon_{\gamma} = N_{\gamma}$$

【数 2】

$$A \times \varepsilon_{\beta} = N_{\beta}$$

10

【数 3】

$$A \times \varepsilon_{\gamma} \times \varepsilon_{\beta} = N_{\gamma\beta}$$

但し、A : 放射能、 $\varepsilon_{\gamma}$  : 線検出効率、 $\varepsilon_{\beta}$  : 線検出効率、 $N_{\gamma}$  : 線計数率、 $N_{\beta}$  : 線計数率、 $N_{\gamma\beta}$  : 線同時計数率。

上式から A を以下のように求める。

【数 4】

$$\frac{N_{\gamma}N_{\beta}}{N_{\gamma\beta}} = \frac{(A \times \varepsilon_{\gamma}) \times (A \times \varepsilon_{\beta})}{A \times \varepsilon_{\gamma} \times \varepsilon_{\beta}} = A$$

20

これにより、放射能および 線放出率がわかる。今回のように 線と 線を同時に放出する Cs - 134 に、Sr のように 線を放出しない核種や、Cs - 137 のように 線と 線を同時に放出しない核種が混在した試料の場合、数 4 式の A はこれらの核種を含めた全 線放出率となる。

【0027】

線と 線の検出は以下のように行う。

崩壊時、Sr、Cs - 134 および Cs - 137 は 線を放出する。線検出器の出力は、Sr、Cs - 134 および Cs - 137 の 線放出率の中で試料内での自己吸収などに因り検出されない割合を除いた 線計数率になる。Sr の 線放出率を求めるためには、線検出器の出力が全核種の 線計数率であるため、線検出器の出力から全 線放出率を求め Cs - 134 および Cs - 137 の 線放出率を除かなければならない。

30

【0028】

一方、崩壊時、Cs - 134 と Cs - 137 の崩壊過程には、以下のような差異がある。

Cs - 134 は、例えば、70.2% の放出割合で最大 線エネルギー 0.658 MeV を放出する崩壊で励起準位 (半減期 0.83 ps) へ遷移した後、1 度目の崩壊 (線放出率 0.8553、放出 線エネルギー 0.796 MeV) で次の励起準位へ遷移し、2 度目の崩壊 (線放出率 0.976、放出 線エネルギー 0.604 MeV) で基底準位に遷移する。

40

【0029】

一方、Cs - 137 は、94.4% の放出割合の最大 線エネルギー 0.514 MeV を放出する崩壊で励起準位 (半減期 2.552 m (分)) へ遷移した後、崩壊 (線放出率 0.851、放出 線エネルギー 0.661 MeV) で Ba - 137 の基底準位に遷移する。

Cs - 137 の半減期が 2.552 m (分) と一般的な同期時間に比べ非常に長いことを利用して、Cs - 134 と Cs - 137 の 線を分離して計測する。

【0030】

50

Cs-134の計測した線計数率は、例えば、図5に示すように、2回の崩壊が同時に発生したときの計数率が含まれる。線スペクトル上では、2つの線エネルギー（検出信号）が重なったピーク＝サムピークと、2つの線エネルギーが個々に検出されたピーク＝光電ピークが現れる。この特徴を利用して、Cs-134の放射能を、周知なサムピーク法によって絶対測定する。参考までに、サムピーク法による絶対測定手順を例示する。

個々の光電ピークの計数率をそれぞれN1、N2とし、サムピークの計数率N12、線の全計数率をNtとすると、線源の放射能Bは次式により求められる。

$$B = N_t + \frac{N_1 \times N_2}{N_{12}}$$

10

## 【0031】

Cs-134の放射能を上述のようにして絶対測定できたとして、Cs-137の放射能を両者の相対関係に基づいて測定する。相対関係は、線検出器の感度曲線を基準としてきまる。

Cs-137の場合は、図6に示すように、線検出器の感度曲線が既知で、Cs-134の線感度が上述のように求まるので、同じ線感度曲線上のCs-137の線感度が求める値となる。これにより、Cs-134の線エネルギーとその線エネルギーにおける感度（放射能）から、Cs-137の線エネルギーにおける感度（放射能）が求まる。

20

## 【0032】

Cs-134およびCs-137における線と線の放出率は核データにより既知であるので、上で述べたように放射能がわかれば、線計数率がきまる。Cs-134およびCs-137の放射能からCs-134およびCs-137を合わせた線計数率を求める。

計測器の計測した全線放出率から、Cs-134およびCs-137のセシウム分の線放出率を引き算してSrの線放出率を求める。このSrの線放出率から核データを用いて放射能を求める。

30

## 【0033】

4 - 測定は、測定試料サンプル間で異なるサンプル内での線の自己吸収に依らず、また、標準線源による感度校正によらずに全線放出率を絶対測定できる。セシウム134を線検出器で検出される光電ピークとサムピークから定量するサムピーク法で測定した場合、本発明は標準線源に依る感度校正に依らずに放射性ストロンチウムを絶対測定できる。

## 【実施例1】

## 【0034】

本発明の実施の形態を図に基づいて詳細に説明する。

図2は本発明の測定器の実施例1を示す。

40

本発明の測定器は、線検出器をプラスチックシンチレータ（PLS）とし、NaI（Tl）検出器（線検出器）と組み合わせて使う方法を応用して、放射性セシウムを含む汚染試料から化学分離工程無しで含有される放射性ストロンチウムを絶対測定する測定器にある。この測定器をSr放射能測定器という。

## 【0035】

Sr放射能測定器1は、中心位置で長さ方向に測定試料7を配置するようになっている線検出用のプラスチックシンチレータ（PLS）2と、PLS2に接合され、PLS2内で線に起因して発生するシンチレータ蛍光を検出し信号を発生する装置PMT5aおよび5bと、線検出用のNaI（Tl）（タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション）検出器3aおよび3bと、NaI（Tl）検出器3aおよび3bで発生した蛍光

50

を信号に変換して出力する装置 P M T 6 a および 6 b と、 P L S 2 と N a I ( T l ) 検出器 3 a および 3 b と装置 P M T 5 a、 5 b、 6 a および 6 b を取り付ける検出器配置治具 4 とを備え、測定試料 7 が発生した 線を P L S 2 で捉え、信号に変換して出力すると共に、測定試料 7 が発生した 線を N a I ( T l ) 検出器 3 a および 3 b で捉え、信号に変換して出力する。信号は所定の大きさの波高信号になる。

【 0 0 3 6 】

線検出器は、プラスチックシンチレータ ( P L S ) 2 と P L S 2 内で 線に起因して発生するシンチレータ蛍光を検出し信号を発生する装置 P M T 5 a および 5 b で構成する。

線検出器は、 N a I ( T l ) ( タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション ) 検出器 3 a および 3 b と、 N a I ( T l ) 検出器 3 a および 3 b で発生した蛍光を信号に変換して出力する装置 P M T 6 a および 6 b で構成する。

【 0 0 3 7 】

S r 放射能測定器 1 は、測定試料を装填するプラスチックシンチレータ ( P L S ) 2 の導光方向両端に 線に起因するシンチレータ蛍光を検出し信号を発生する装置 P M T 5 a および 5 b を設け、このプラスチックシンチレータ ( P L S ) 2 の導光方向と直交する方向に N a I ( T l ) ( タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション ) 検出器 3 a および 3 b を設けた。これにより、 線による P L S 2 でのエネルギー付与により発生されるプラスチックシンチレータ ( P L S ) 2 内の蛍光は、 P L S 2 内を透過して両端の 線 P M T 5 a および 5 b で測定される。一方、このプラスチックシンチレータ ( P L S ) 2 の導光方向と直交する方向に N a I ( T l ) ( タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション ) 検出器 3 a および 3 b を設けた。これにより、 線の導光方向と 線の導光方向とが重ならず測定することができる。

【 0 0 3 8 】

図 2 の実施例では、 線検出のためにプラスチックシンチレータ ( P L S ) 2 を用いているが、例えば、無機シンチレータ、液体シンチレータ、比例計数管、 G M 計数管等でもよい。また、 線検出のために N a I ( T l ) 検出器 3 a および 3 b を用いているが、例えば、有機シンチレータ、無機シンチレータ等でもよい。

【 0 0 3 9 】

図 3 に、本発明の S r 放射能測定器の出力を処理する処理装置のブロック図を示す。

図 3 の処理装置 1 0 は、図 2 の S r 放射能測定器の出力信号を処理する処理手段を構成し、図 2 の 線 P M T 出力信号 ( 所定の大きさの波高信号 ) を取り込み、チャンネル毎のロジックパルスを出力するシングルチャンネル波高分析器 S C A 1 1 a と、図 2 の 線 P M T 出力信号 ( 所定の大きさの波高信号 ) を取り込み、チャンネル毎のロジックパルスを出力するシングルチャンネル波高分析器 S C A 1 1 b と、 線検出器と 線検出器のそれぞれに固有の検出にかかる時間のズレを合わせる遅延回路 1 3 と、同期がとれたイベントが入力される度にパルスを出力する機能を有し、遅延させた R P 信号と R P 信号の同期がとれたときにパルスを出力する同時計数回路 1 2 と、 S C A 1 1 a からのロジックパルスを計数する 線計数器 1 4 a、 S C A 1 1 b からのロジックパルスを計数する 線計数器 1 4 b、同期した S C A 1 1 a からのロジックパルスと S C A 1 1 b からのロジックパルスが同期した場合に計数する同時計数器 1 4 c と、計算機 1 5 と、モニター 1 6 からなる。図 3 の処理装置 1 0 において、太線は各検出器からの検出信号を処理する処理回路を構成し、細線は測定装置の各構成要素を制御する制御信号の伝送回路を構成する。この伝送回路は、計数器 1 4 a、 1 4 b および 1 4 c と計算機 1 5 の間の制御信号の伝送路を構成する。

【 0 0 4 0 】

シングルチャンネル波高分析器 S C A 1 1 a、 1 1 b は、検出器の出力データから目的とする内容のデータを取り出すロジックを組むように構成されている。例えば、目的のデータとして、 線スペクトルにおけるピーク ( 光電ピーク、サムピーク ) の計数率、崩壊に伴って同時に放出される 線の計数率、 線の計数率、 線の計数率等がある。

## 【0041】

計算機15は、CPU（中央演算装置）（図示省略）および入出力手段（図示省略）を備えたコンピュータから構成され、処理回路の各構成要素の動作を制御すると共に、各計数器からの信号を取り込み、所定のアルゴリズムに従ったプログラムを実行して、Srの放射能を求め、出力する。また、計算機15は、必要に応じて、一連の処理の過程で求まる値、例えば、Cs-134、Cs-137およびSrの放射能、各計数器を出力することもできる。

同時計数回路12、遅延回路13、線計数器14a、線計数器14bおよび同時計数器14cの処理機能を、これら回路要素の代わりに計算機15に持たせることもできる。

10

## 【0042】

ここで、測定装置の全体を示す。図4は本発明の測定装置の全体を示すブロック図である。

本発明の測定装置20は、図4に示されているように、図3の線PMT出力信号のところにこの信号を発生する線検出器21aを設け、図3の線PMT出力信号のところにこの信号を発生する線検出器21bを設けた構成となる。線検出器21aは図2のNaI(Tl)検出器3a、3bと線PMT6a、6bから構成される。線検出器21bは図2のプラスチックシンチレータ(PLS)2と線に起因するシンチレータ蛍光を検出し信号を発生する装置PMT5aおよび5bから構成される。

20

## 【0043】

本発明のSr放射能測定器および処理装置の処理手順は以下になる。

4 - 測定手順では、線計数率、線計数率、線および線の同時計数率から、測定器の検出効率に依らずに全線放出率を絶対測定する。

Cs-134放射能測定手順では、線スペクトル情報からサムピーク法によりCs-134の放射能を絶対測定する。

Cs-137放射能測定手順では、求めたCs-134の放射能と線検出器の感度曲線からCs-137の線に対する感度を推定し、Cs-137の光電ピーク計数率から放射能を測定する。

Srの放射能測定手順では、核種毎の核データを用いて、既に求めてあるCs-134の放射能とCs-137の放射能に対応する線放出率を求め、既に求めてある全線放出率からCs-134の線放出率とCs-137の線放出率を引き算し、Srの線放出率を求め放射能を測定する。

30

## 【0044】

計算機15に組み込まれている処理プログラムは、例えば、以下のような手順で構成される。

予め、図3の処理回路に図2のSr放射能測定器を接続し、図2のSr放射能測定器に測定試料サンプルをセットしておく。

演算処理に必要な計数值、4 - 絶対測定法における全線放出率Aを求める数式、サムピーク法における絶対測定を行う数式、線感度曲線の数式、その他の関数式等は予め計算機に読み出し可能に記憶しておく。

40

シングルチャンネル波高分析器SCAは、検出器の出力データから目的とする内容のデータを取り出すロジックを組むように構成されている。例えば、目的のデータとして、線スペクトルにおけるピーク（光電ピーク、サムピーク）の計数率、崩壊に伴って同時に放出される線の計数率、線の計数率、線の計数率等がある。

## 【0045】

スタート

(1) 任意の時刻t1から任意時間nの間、Sr放射能測定器1のPMT5aおよび5bとPMT6aおよび6bから検出信号を出力させ、シングルチャンネル波高分析器(SCA)11aで線PMT出力信号を取り込み、ロジックパルス(RP)を作成すると共に、シングルチャンネル波高分析器(SCA)11bで線PMT出力信号を取り込み

50

、ロジックパルス ( R P ) を作成する。遅延回路 1 3 で 線検出器と 線検出器のそれぞれに固有の検出にかかる時間のズレをあわせる。同時計数回路 1 2 で出力パルス R P と遅延回路 1 3 からの出力パルス R P との同期がとれたとき、パルスを出力する。(ステップ 1)

ステップ 1 で、 S r 、 C s - 1 3 4 および C s - 1 3 7 の 線、 線の同時測定を行う。

【 0 0 4 6 】

( 2 ) 線計数器 1 4 b で S C A 1 1 b の出力パルス R P を取り込み、 線計数率 N を求めたら、その求めた N をメモリに記憶する。

線計数器 1 4 a で S C A 1 1 a の出力パルス R P を取り込み、 線計数率 N を求めたら、その求めた N をメモリに記憶する。 10

同時計数器 1 4 c で同時計数回路 1 2 の出力パルスを取り込み、 同時計数率 N を求めたら、その求めた N をメモリに記憶する。

線の光電ピーク、サムピーク、の計数率 P 2 を求め、メモリに記憶する。(ステップ 2)

【 0 0 4 7 】

( 3 ) 上記数 4 式、 N の値、 N の値、 N の値等をメモリから読み出し、上記数 4 式に代入して全 線放出率 A を求め、メモリに記憶する。(ステップ 3)

【 0 0 4 8 】

( 4 ) 線スペクトルにおけるピーク ( 光電ピーク、サムピーク ) の計数率、 線の全計数率を読み出し、上記数 5 式に代入し、 C s - 1 3 4 の放射能 B を求め、メモリに記憶する。(ステップ 4) 20

【 0 0 4 9 】

( 5 ) 線検出器の 線感度曲線をメモリから読み出し、メモリから読み出した C s - 1 3 4 の放射能 B と 線感度曲線から、 C s - 1 3 7 の放射能として求め、メモリに記憶する。(ステップ 5)

【 0 0 5 0 】

( 6 ) C s - 1 3 4 と C s - 1 3 7 の核データをメモリから読み出し、メモリから読み出した C s - 1 3 4 と C s - 1 3 7 の放射能に対応する 線計数率を求め、 C s - 1 3 4 および C s - 1 3 7 を合わせた 線計数率を求める。 30

計測器の計測した全 線放出率から、 C s - 1 3 4 と C s - 1 3 7 を合わせたセシウム分の 線放出率を引き算して S r の 線放出率を求める。この S r の 線放出率から核データをメモリから読み出して放射能を求め、メモリへ記憶する。(ステップ 6)

【 0 0 5 1 】

( 7 ) 必要に応じて、出力として指定されたデータをメモリから読み出し、モニターへ出力し、表示する。(ステップ 7)

終了

【 0 0 5 2 】

本発明は、 線検出器をプラスチックシンチレータ ( P L S ) とし、 N a I ( T l ) 検出器 ( 線検出器 ) と組み合わせて使う方法を応用して、放射性セシウムを含む汚染試料から化学分離工程無しで含有される放射性ストロンチウムを絶対測定する絶対測定法およびそれに用いる測定器にある。この測定器を S r 放射能測定器という。 40

既に、測定方法としては、薄くて小さなプラスチックシンチレータと井戸型 N a I ( T l ) シンチレーションカウンタを用いて放射能絶対測定を行う方法 ( 非特許文献 1 参照 ) が提案されている。また、従来から純 線放出核種に他の 線放出核種を加えて 線の検出効率を外挿する方法 ( 非特許文献 2 参照 ) が適用されてきている。

【 0 0 5 3 】

本発明の S r 放射能測定器は、前記両者の特徴を活かし、ディスポーザル ( 廃棄処理可能 ) なプラスチックシンチレータで、汚染試料中の C s - 1 3 4 、 C s - 1 3 7 、 S r ( S r - 8 9 、 S r - 9 0 および Y - 9 0 ) の放射能を定量できる。 50

プラスチックシンチレータを試料が一定量入れられることを考慮した形状、例えば、くぼみを付けた板形状や、ストロー形状にして、NaI(Tl)検出器を対向する2円柱形状、井戸型形状や中抜き円柱形状とする。

4 - 測定法では、線計数率、線計数率、線および線の同時計数率から、測定器の検出効率に依らずに全線放出率を絶対測定できる。一方で、NaI(Tl)検出器で得られたスペクトル情報からサンプイク法によりCs-134放射能が絶対測定される。

また、この求められたCs-134放射能からCs-137の光電ピークにおける検出効率が導出され、Cs-137放射能が推定される。

#### 【0054】

4 - 測定手順では、線計数率、線計数率、線および線の同時計数率から、測定器の検出効率に依らずに全線放出率を絶対測定する。

Cs-134放射能測定手順では、線スペクトル情報からサンプイク法によりCs-134の放射能を絶対測定する。

Cs-137放射能推定手順では、求めたCs-134の放射能と線検出器の感度曲線からCs-137の放射能を測定する。

Srの放射能測定手順では、核種毎の核データを用いて、Cs-134の放射能とCs-137の放射能に対応する線放出率を求め、既に求めてある全線放出率からCs-134の線放出率とCs-137の線放出率を引き算し、Srの線放出率を求め放射能を測定する。

#### 【符号の説明】

#### 【0055】

- 1 Sr放射能測定器
- 2 プラスチックシンチレータPLS
- 3 NaI(Tl)(タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション)検出器
- 4 検出器配置治具
- 5 PLSのシンチレータ蛍光を検出し信号を発生する装置PMT
- 6 NaI(Tl)検出器のシンチレータ蛍光を検出し信号を発生する装置PMT
- 7 測定試料
- 10 処理装置
- 11 a 線用のシングルチャンネル波高分析器SCA
- 11 b 線用のシングルチャンネル波高分析器SCA
- 12 同時計数回路
- 13 遅延回路
- 14 a 線計数器
- 14 b 線計数器
- 15 計算機
- 16 モニター
- 20 計測装置
- 21 a 線検出器
- 21 b 線検出器

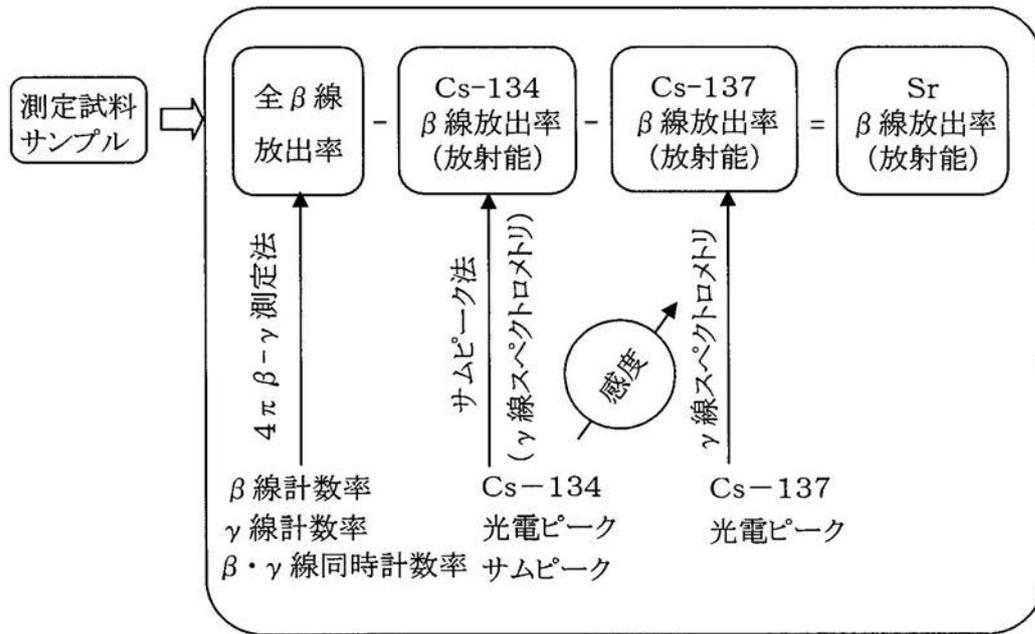
10

20

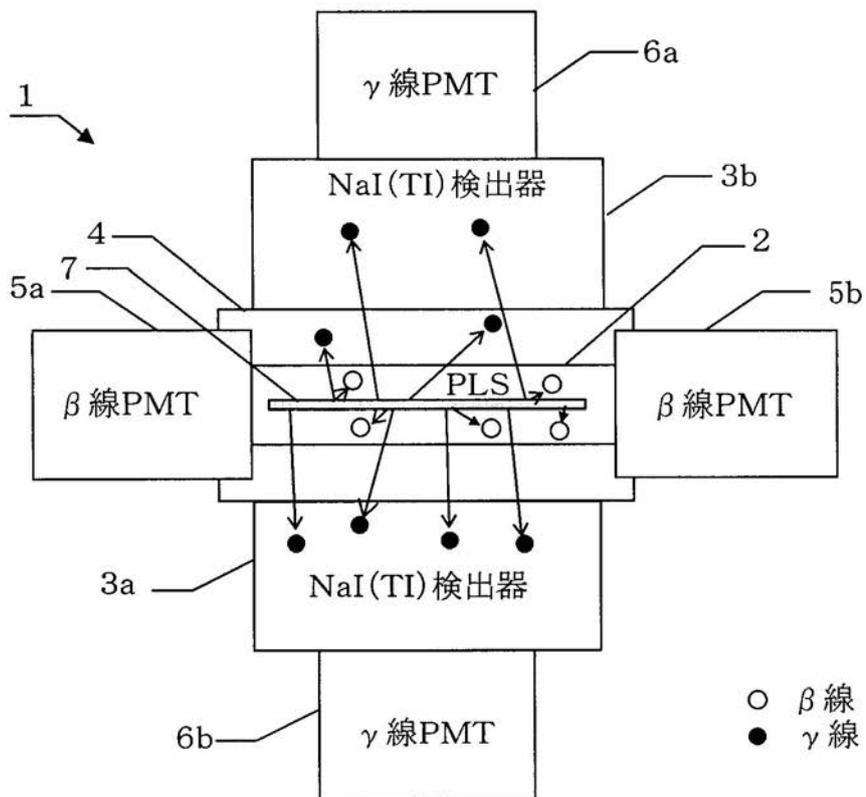
30

40

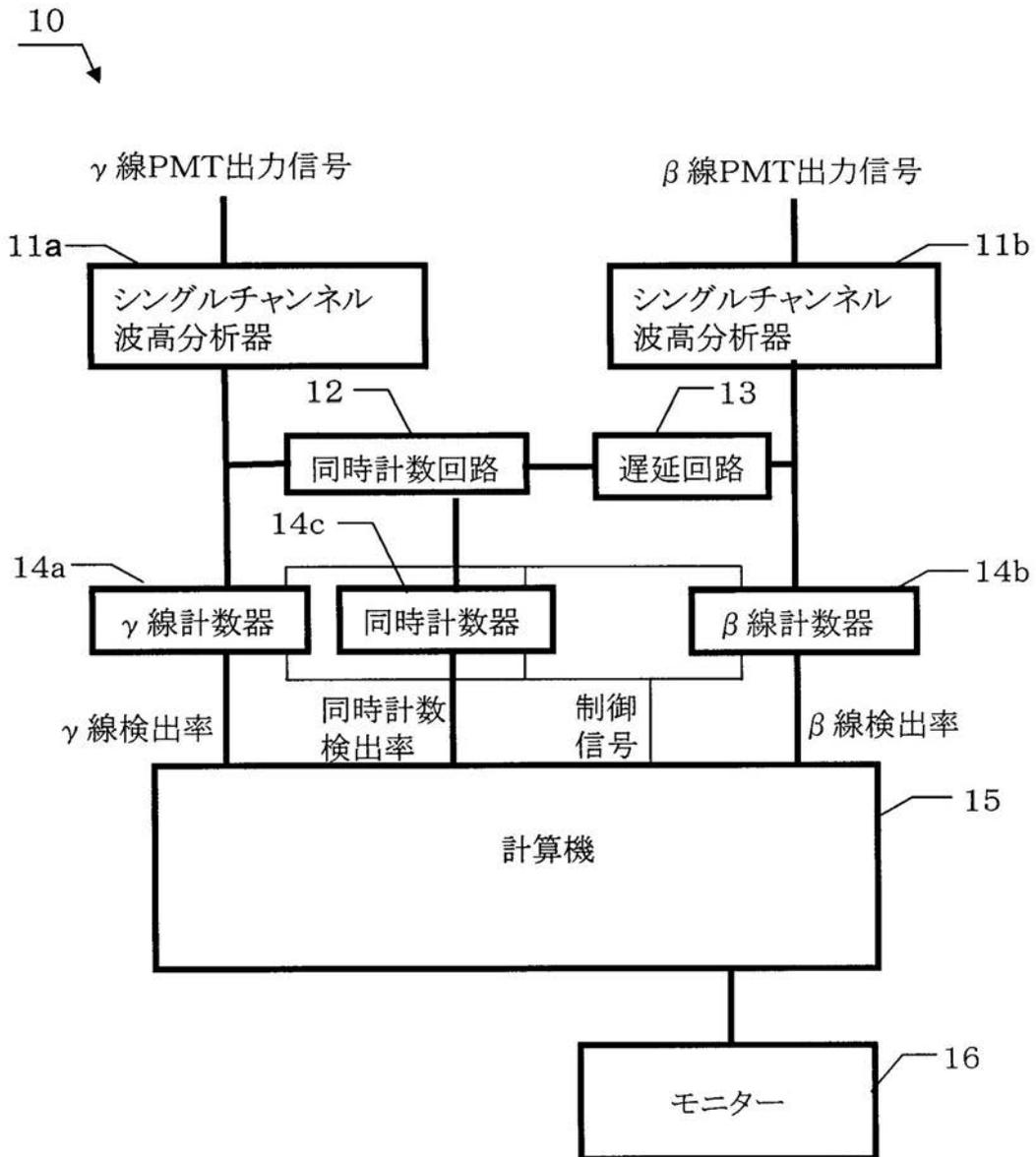
【 図 1 】



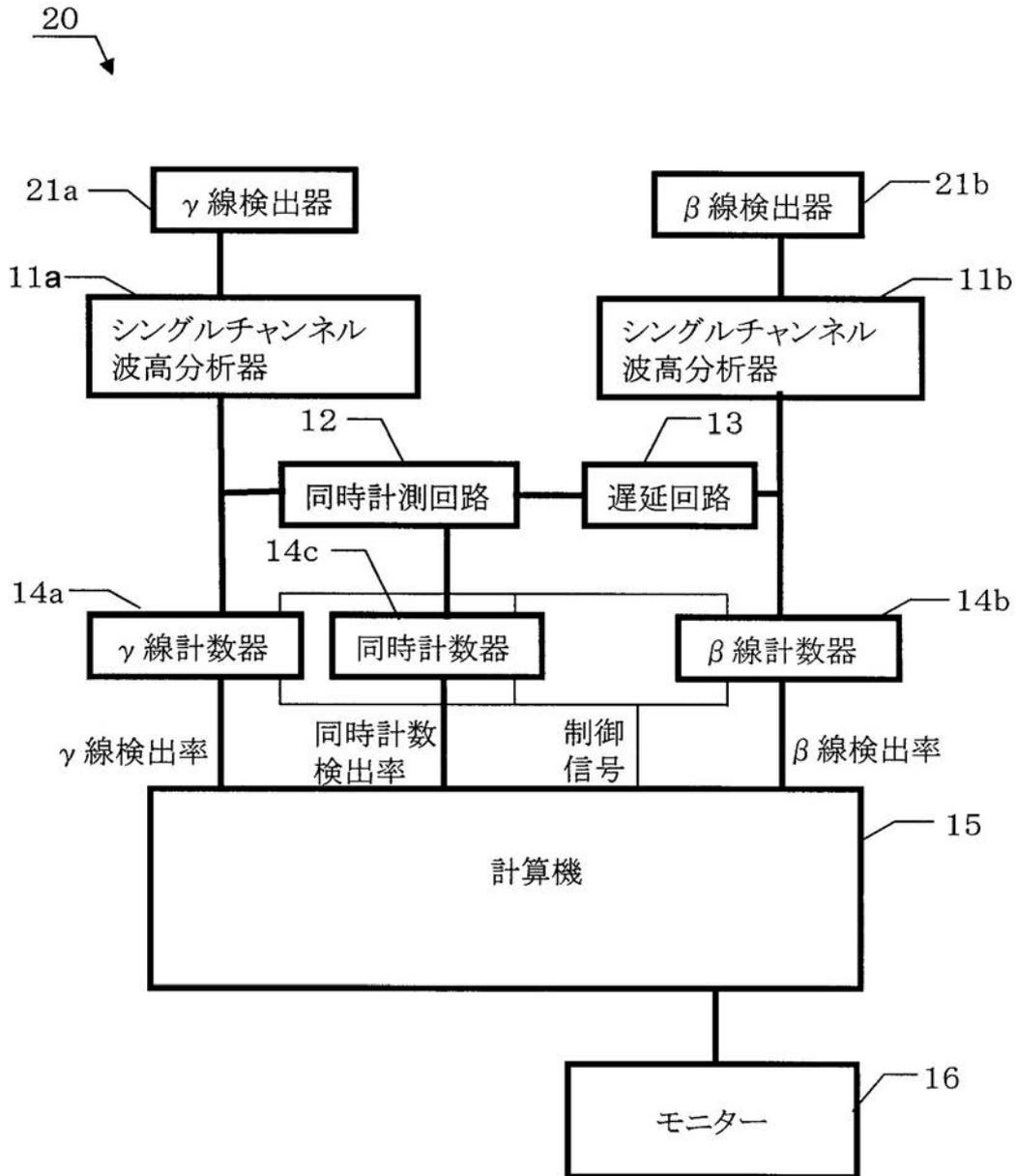
【 図 2 】



【 図 3 】

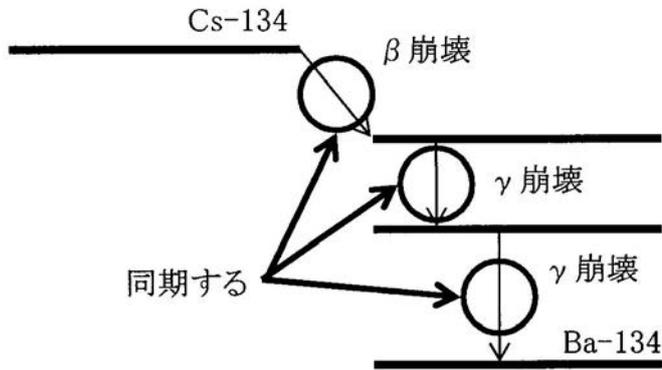


【図4】



【 図 5 】

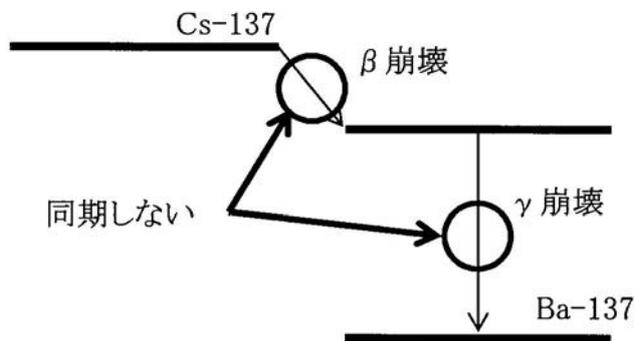
Cs-134の崩壊模式図



半減期=ピコ秒レベル  
β 崩壊とγ 崩壊は同時発生

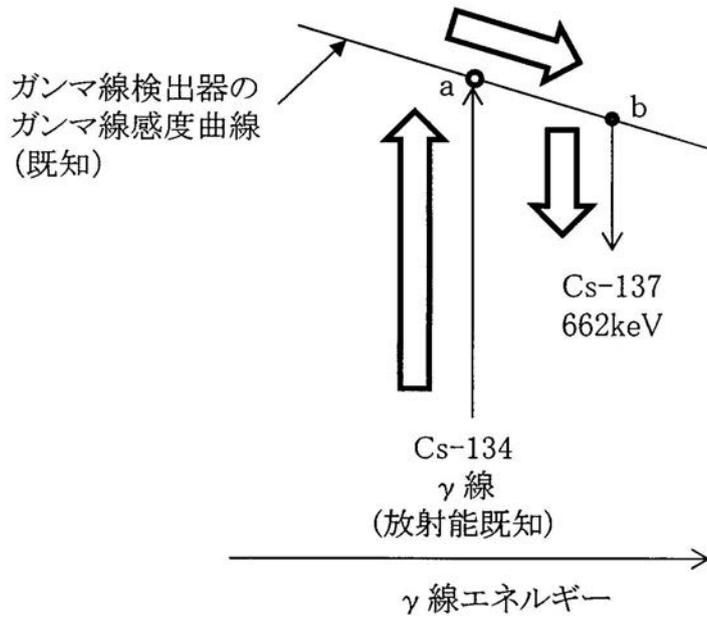
【 図 6 】

Cs-137の崩壊模式図

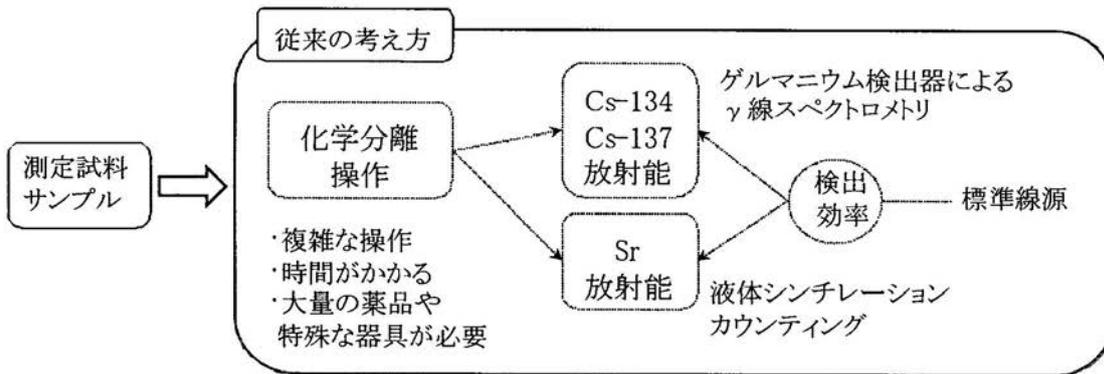


半減期2.5分=同期をとる時間  
(マイクロ秒)レベルでは  
β 崩壊とγ 崩壊は同時には発生しない

【 図 7 】



【 図 8 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 佐々木 慎一

茨城県つくば市大穂 1 - 1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内

(72)発明者 萩原 雅之

茨城県つくば市大穂 1 - 1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内

Fターム(参考) 2G088 EE25 FF04 FF05 GG01 GG11 GG12 GG18 KK13 KK15 KK28  
KK29  
2G188 AA23 BB04 BB05 CC01 CC10 CC11 CC21 EE14 EE16 EE28  
EE29