

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2015-537215

(P2015-537215A)

(43) 公表日 平成27年12月24日(2015.12.24)

(51) Int.Cl.

G01T 1/36 (2006.01)
G01T 1/17 (2006.01)

F 1

G01T 1/36
G01T 1/17
G01T 1/17

A

テーマコード (参考)
2G188H
C

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2015-543522 (P2015-543522)
 (86) (22) 出願日 平成25年11月22日 (2013.11.22)
 (85) 翻訳文提出日 平成27年7月7日 (2015.7.7)
 (86) 国際出願番号 PCT/GB2013/053079
 (87) 国際公開番号 WO2014/080209
 (87) 国際公開日 平成26年5月30日 (2014.5.30)
 (31) 優先権主張番号 1221124.9
 (32) 優先日 平成24年11月23日 (2012.11.23)
 (33) 優先権主張国 英国(GB)

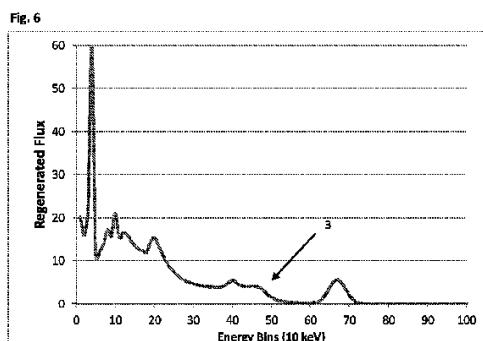
(71) 出願人 513066122
 クロメック リミテッド
 K R O M E K L I M I T E D
 イギリス国 ダラム ティーエス21 3
 エフディー セジフィールド トーマス
 ライト ウェイ ネットパーク
 (74) 代理人 100147485
 弁理士 杉村 慎司
 (74) 代理人 100165696
 弁理士 川原 敏祐
 (74) 代理人 100179589
 弁理士 酒匂 健吾

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】スペクトルデータの検出・操作方法

(57) 【要約】

統計的にノイズの多いスペクトルデータセットをデコンボリューションする方法を説明する。この方法は、適切な放射線検出器システムを用いて収集された、サンプルから測定されたフラックスの分光的な分解データセットを得る工程aと、真のスペクトルの初期推定を生成する工程bと、前記測定フラックスデータセットの収集に用いた検出器の応答関数によって、推定フラックスデータセットを生成するよう前記真のスペクトルの推定を修正する工程cと、前記測定フラックスデータセットと前記推定フラックスデータセットの間の統計的適合に関するメリット値を算出する工程dと、前記真のスペクトルの推定の値にバーテーションを与える工程eと、こうして変化した前記真のスペクトルの推定に工程cおよびdを繰り返し、得られたメリット値が改善を示すかまたは得られたメリット値が限界マージン未満の劣化を示す場合、前記真のスペクトルの推定の変化を許容し、また得られたメリット値が限界マージン超の劣化を示す場合、前記真のスペクトルの推定の変化を拒絶するようにする工程fと、前記真のスペクトルの推定のそれぞれのさら



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

統計的にノイズの多いスペクトルデータセットをデコンボリューションする方法であつて、

適切な放射線検出器システムを用いて収集された、サンプルから測定されたフラックスの分光的な分解データセットを得る工程 a と、

真のスペクトルの初期推定を生成する工程 b と、

前記測定フラックスデータセットの収集に用いた検出器の応答関数を用いて、推定フラックスデータセットを生成するよう前記真のスペクトルの推定を操作する工程 c と、

前記測定フラックスデータセットと前記推定フラックスデータセットの間の統計的適合に関するメリット値を算出する工程 d と、

前記真のスペクトルの推定の値にパートベーションを与える工程 e と、

こうして変化した前記真のスペクトルの推定に工程 c および d を繰り返し、得られたメリット値が改善を示すかまたは得られたメリット値が限界マージン未満の劣化を示す場合、前記真のスペクトルの推定の変化を許容し、また得られたメリット値が限界マージン超の劣化を示す場合、前記真のスペクトルの推定の変化を拒絶するようとする工程 f と、

前記真のスペクトルの推定のそれぞれのさらなる値に対して工程 e および f を繰り返して、前記真のスペクトルの修正された推定を得る工程 g と、

前記限界マージンを減少させつつ、前記真のスペクトルの連続的な修正された推定に対して工程 c ~ g を繰り返す工程 h とを備える方法。

【請求項 2】

収集されたデータに適用される、請求項 1 に記載の方法であつて、前記測定フラックスが、その生成のプロセスの確率的側面に起因する連続的な確率分布を有する統計的ノイズを示す、方法。

【請求項 3】

放射性崩壊プロセスから収集されたデータに適用される、請求項 2 に記載の方法であつて、前記測定フラックスが、崩壊プロセスの確率的側面に起因するポアソン分布を有する統計的ノイズを示す、方法。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の方法であつて、前記測定フラックスデータセットと前記推定フラックスデータセットの間の統計的適合に関するメリット値を算出する工程が、前記測定フラックスデータセットと前記推定フラックスデータセットの差を定量化する統計的比較法を含む、方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の方法であつて、前記比較法が、相互相関、平均二乗差、ノイズパワースペクトルまたは任意の類似するそのような統計的比較関数に基づく、方法。

【請求項 6】

請求項 4 または 5 に記載の方法であつて、前記比較法が、前記データセットのそれぞれに存在する合計事象数を比較する係数を含む、方法。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法であつて、工程 e に与えられるパートベーションはランダムに生成されるが、所定の最大絶対値を有する、方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の方法であつて、前記最大絶対値が、前記値のノイズの予想水準の関数として調整される、方法。

【請求項 9】

計数データが複数のエネルギー・バンドまたは bin のそれぞれの値に分解される分光的な分解スペクトルに適用される請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の方法であつて、前記真のスペクトルの推定の前記エネルギー・bin のそれぞれの値に順にパートベーションが与えられる、方法。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の方法であって、前記限界マージンが計算サイクル毎に減少してゼロに近づく、方法。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の方法であって、前記限界マージンが数値的に計算される、方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の方法であって、前記限界マージンが、信号のノイズの関数である統計的検定によって計算される、方法。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の方法であって、前記統計的検定が確率的シミュレーション手順に基づき、これにより、アルゴリズムの進行にしたがって許容基準が減少する、方法。

10

【請求項 14】

分光的な分解放射線データセットの検出方法であって、
放射線検出器システムを試験対象に適切に近接させて配置する工程と、
前記検出器において前記試験対象から生じる放射線データを収集する工程と、
前記検出器において収集された前記放射線を、複数のエネルギー帯において測定されたフラックスの分解データセットに分光的に分解する工程と、
そして得られた測定フラックスの前記分光的な分解データセットに対して請求項 1 ~ 13 のいずれか一項に記載の方法を実行する工程とを備える方法。

20

【請求項 15】

請求項 14 に記載の方法であって、望ましくない放射能汚染物質による汚染が疑われる対象物または環境の検査方法として、このような放射能汚染物質の存在の検出に用いる方法。

【請求項 16】

請求項 14 または 15 に記載の方法を適用する工程を備えた、放射線による対象物または環境の汚染の検出方法であって、特に、

適切な放射線検出器システムを試験する環境内および / もしくは試験する対象物付近に移動、ならびに / または試験する対象物または環境から採取したサンプルを適切な放射線検出器システムに近接させることにより、検出器において入射放射線を、該入射放射線が複数の分離するエネルギー帯に分光的に分解されるように収集する工程と、

30

前記検出器において入射放射線を適切な期間収集する工程とを備える方法。

【請求項 17】

請求項 1 ~ 16 のいずれか一項に記載の方法であって、前記放射線が X 線および / もしくはガンマ線または亜原子粒子放射線を含む高エネルギー電磁放射線である、方法。

【請求項 18】

請求項 1 ~ 17 のいずれか一項に記載の方法であって、処理するスペクトルの生成に用いられる前記検出器システムが、同時に複数の分離するエネルギー帯に入射する放射線を予測される検出スペクトルにわたって区別するよう構成されるという意味で、複数の分離するエネルギー帯に分光的に分解されるように入射放射線を検出するよう構成される、方法。

40

【請求項 19】

請求項 18 に記載の方法であって、前記検出器システムが、X 線もしくはガンマ線または亜原子粒子放射線などの高エネルギー電磁放射線の検出子として作用するのに適した半導体材料の 1 つまたは複数の検出素子を備え、該検出素子の少なくとも 1 つは、使用する所期した放射線スペクトルの少なくとも実質的に一部にわたって分光的に可変の応答を示すのに適した材料である、方法。

【請求項 20】

請求項 19 に記載の方法であって、前記検出素子の少なくとも 1 つが、直接材料特性として、使用する放射線スペクトルの異なる部分に対して固有の直接可変の光電応答を示す

50

のに適した材料である、方法。

【請求項 21】

請求項 19 または 20 に記載の方法であって、前記半導体材料がバルク単結晶として形成される、方法。

【請求項 22】

請求項 19 ~ 21 のいずれか一項に記載の方法であって、前記半導体材料が、テルル化カドミウム、テルル化カドミウム亜鉛 (CZT)、テルル化カドミウムマンガン (CMT) およびそれらの合金から選択される、方法。

【請求項 23】

請求項 19 ~ 22 のいずれか一項に記載の方法であって、前記半導体材料が、不可避不純物を除けば、結晶質の $Cd_{1-(a+b)}Mn_aZn_bTe$ ($a + b < 1$ であり、 a および / または b はゼロであってもよい) から本質的になる、方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、スペクトルデータセット、例えばデコンボリューションしてノイズ効果が軽減された分解放射線スペクトルを検出する方法、および収集されたスペクトルデータ、例えば収集された放射線スペクトルをそのようなデコンボリューションを適用して操作する方法に関する。

【0002】

本発明は、好適な場合において、特に、プロセスの確率的側面に起因するポアソン分布などの連続的な確率分布を有する統計的ノイズを示す放射線スペクトルを、デコンボリューションを適用してより代表的な真のスペクトルを再構成することによって検出または操作する方法に関する。本発明は、好適な場合において、特に、放射線源または汚染されたサンプルからの低カウント数のガンマ線スペクトルなどの低カウント数の放射線スペクトルを検出または操作して、より代表的な真のスペクトルを再構成する方法に関する。本発明をその文脈において論ずる。ただし、本発明の原理は、連続的な確率分布を有する統計的ノイズを示す任意のスペクトルデータの収集または処理に適用してもよい。

20

【背景技術】

【0003】

放射線スペクトルにわたって収集された強度データを、例えば放射線スペクトルにわたって複数のエネルギー帯に分解する最新式のエネルギー識別放射線検出器を用いて、実験室および現場の両方における様々な試験サンプルから正確な放射線量測定値を得ることが求められている。全線量読取値をその構成エネルギー帯に分割することができる場合、サンプルの放射線源成分の性質およびその推定される起源も明らかにできることが重要である。土壤または食品のサンプルにおける人工放射性同位体、例えばセシウムの人工放射性同位体などの存在の正確な検出に、特に関心が寄せられている。 ^{137}Cs は、核分裂を用いた発電プロセスによる汚染を示し、この同位体は、分裂生成物の大部分を占める。 ^{137}Cs は、その特徴である 662 keV のガンマ線放出から検出することができる。多様な試験サンプルから正確にガンマ線スペクトルを測定することに关心が寄せられている。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

サンプル全体の正確なアクティビティ（放射能）の測定値を得るためにには、統計的に有意な崩壊事象数を集めることが必要であり、アクティビティが低いサンプルにおいては長時間かかり得る。この問題は、正確なアクティビティレベルをガンマ線スペクトル全体における離散的なエネルギー範囲にわたって得ることにより、ガンマ線放出ピークエネルギーからの線源の識別を可能にする場合に悪影響を及ぼす。その結果、如何にして不十分な計数統計しか持たないアクティビティの低いサンプルのガンマ線スペクトルを再構成する

40

50

かという問題が生じる。

【0005】

最近では、リチャードソン・ルーシー法などのデコンボリューションアルゴリズムによって、特定の種類の検出器で記録されたカウント数からガンマ線スペクトルを再構成することに成功することが分かっている。信号がログ記録される前に、入射フラックスが検出器の計器応答によって修正される場合、記録された信号からこの計器関数をデコンボリューションして、入射ガンマ線フラックスの真の測定値を得ることが必要である。その結果、デコンボリューションされたスペクトルを、表から見つけられる適正なエネルギー・線量係数で重み付けすることによって全線量率を評価することができる。検出器アセンブリ内、またはその周囲における放射線の相互作用の物理的なプロセスの直接的なコンピュータシミュレーションによって、様々な検出器種、構成および環境に対して計器応答関数を生成することができる。

10

【0006】

当然ながら、デコンボリューション法では、特定のガンマ線スペクトルの再構成に成功するため、ログ記録された事象の最小の数が必要であることが分かっており、スペクトル特性のエネルギーが高いほど、より多くの記録カウント数が必要とされる。カウント数が少なすぎる場合、再構成されたスペクトルの高エネルギー端に向かってピークが生じる(spiked)特性が導入され、検知された線量の大幅な過大評価につながり得る。これは、ガンマ線エネルギーの増加にしたがって計器検出器応答が低くなると生じ、高エネルギーのデコンボリューションは最終的に、データのノイズが多く数値的に不安定になりやすい。計数データは離散的なログ記録された事象を示して、整数値の形でもたらされる必要があり、また、これらが放射性崩壊プロセスのポアソン特性から生じる統計的不確実性の影響を受けることを覚えておく必要がある。これは、統計的にノイズが多いデータセットを生成するエネルギーの各値で、非常に少数の記録事象の低計数率の場合に悪影響を及ぼす。

20

【0007】

これは、汚染された可能性のある食品または土壤のサンプルなど、低いアクティビティを有することが想定されるサンプルから可能な限り短時間でガンマ線スペクトルを測定しようとする場合に直面する問題である。本発明は、別のデコンボリューション方法を適用することによりこの問題を軽減することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明によると、第1の態様では、統計的にノイズの多いスペクトルデータセットをデコンボリューションしてより代表的な真のスペクトルを生成するための方法が提供される。この方法は、特に、収集された分解放射線スペクトルをデコンボリューションするための方法であり、また特には、放射プロセスの確率的側面に起因するポアソン分布などの連続的な確率分布を有する統計的ノイズを示す放射線スペクトルをデコンボリューションするための方法である。この方法は、最も好ましくは、収集された低計数率ガンマ線スペクトルをデコンボリューションするための方法である。

【0009】

本発明の第1の態様の方法は、

40

サンプルから測定されたフラックスの分光的に分解されたデータセット、例えば適切な放射線検出器システムを用いて収集された分解データセットを得る工程aと、

真のスペクトルの初期推定を生成する工程bと、

測定フラックスデータセットの収集に用いた検出器の応答関数を用いて、推定フラックスデータセットを生成するよう真のスペクトルの推定を操作する工程cと、

測定フラックスデータセットと推定フラックスデータセットの間の統計的適合に関するメリット値を算出する工程dと、

真のスペクトルの推定の値にパータベーションを与える工程eと、

こうして変化した真のスペクトルの推定に工程cおよびdを繰り返し、得られたメリット値が改善を示すかまたは得られたメリット値が限界マージン未満の劣化を示す場合、真

50

のスペクトルの推定の変化を許容し、また得られたメリット値が限界マージン超の劣化を示す場合、真のスペクトルの推定の変化を拒絶し、また、限界マージン自体は例えばランダムに生成された変数に由来する工程 f と、

真のスペクトルの推定のそれぞれのさらなる値に対して工程 e および f を繰り返して、真のスペクトルの修正された推定を得る工程 g と、

限界マージンを減少させつつ、真のスペクトルの連続的な修正された推定に対して工程 $c \sim g$ を繰り返す工程 h とを備える。

【0010】

本発明は、低計数データを有する統計的にノイズの多いスペクトルのデコンボリューションが、入力データのわずかなパートーション（撮動）にも非常に影響を受けやすいという知見に依拠している。例えば、放射性崩壊プロセスの場合、計数データが離散的なログ記録された事象を示して、整数値の形である必要があり、また、これらが放射性崩壊プロセスのポアソン特性から生じる統計的不確実性の影響を受けることを覚えておく必要がある。

10

【0011】

統計的にノイズの多いデータセットに対し、記録スペクトル中のエネルギーの各値において記録された事象の数にパートーション、例えばランダムでわずかなパートーションを与えることにより、デコンボリューションアルゴリズムが、多くの広く異なる結果をもたらすことが分かっている。これらは、推定された線源スペクトルの一見すると忠実な再現から、急なピークが生じたり、非物理解を示す線源スペクトルの再現まで、様々である。

20

【0012】

任意の、パートーションを与えた再構成のメリットは、検出器の応答関数で再コンボリューションして再生データを得た後、元々記録されたデータとデコンボリューションされたスペクトルとの差を比較することによって評価することができる。この原理は上述のプロセスの工程 d に採用され、測定フラックスデータセットと推定フラックスデータセットの間の統計的適合に関するメリット値または性能指數を生成する。

【0013】

測定フラックスデータセットと推定フラックスデータセットの間の統計的適合の性能指數を算出する詳細な方法は、厳密に言えば本発明に関係していない。ただし、それは、両者を比較して、次のことが可能である場合、すなわち得られる性能指數が改善を示す（測定フラックスデータセットと推定フラックスデータセットの間の統計的適合が、パートーションを与える前よりも良い）場合、または得られる性能指數が劣化を示し（測定フラックスデータセットと推定フラックスデータセットの間の統計的適合が、パートーションを与える前よりも悪く）、ただし限界マージン未満の劣化を示す場合には、パートーションが与えられた推定フラックスデータセットが許容されるが、得られる性能指數が限界マージン超の劣化を示す場合には、パートーションが与えられた推定フラックスデータセットを拒絶することが、可能である場合のことである。

30

【0014】

性能指數は、測定フラックスデータセットと推定フラックスデータセットの差を定量化する任意の適切な統計的比較法に基づき得る。性能指數は、例えば相互相関、平均二乗差、ノイズパワースペクトルまたは任意の類似するそのような統計的比較法に基づき得るとともに、各関数に存在する事象の合計数を比較する係数を含み得る。パートーションを与えられた多数のファイルのメリット関数の一般的なグラフは、異常に高い数値および低い数値の要素を含む数値のバンドを示すことが予想される。これらの異常な要素は、忠実なまたは最悪の場合のパートーションを与えられた記録データにおけるスペクトルの再構成を表し、またこれらの異常な要素は、試験対象のサンプルについて後に正確なアクティビティレベルまたは線量率を求めることが可能となる最適なデコンボリューションスペクトルを選択するための基準となる。

40

50

【0015】

上記の改良されたデコンボリューションプロセスは、本発明にしたがって、記録データのより代表的なデコンボリューションされたスペクトルに反復的に近づく手順として改変される。この方法では、サンプルの推測された真のスペクトルにパートベーションを与え、検出器の応答関数でコンボリューションして推測されたフラックスを生成した後、この修正および推測された真のスペクトルの結果を、記録されたフラックスデータの結果と比較して、例えば上述したいずれかの方法で計算された、測定されたフラックスと推測されたフラックスの差を定量化する性能指標を得る。

【0016】

第1の事例では、初期の推測されたスペクトルは記録されたデータから導出され得、これは、適正に調整され、ランダムに生成され、記録されたデータに作用するリチャードソン・ルーシーアルゴリズムの最初の数回の反復により導出され、または生成される。

10

【0017】

本発明は、計数データが複数のエネルギー帯またはビンのそれぞれの値に分解される分光的分解スペクトルに適用される。推測スペクトルのエネルギー・ビンのそれぞれの値を、順にランダムに、ただし所定の最大絶対値の範囲内でパートベーションを与える。最大絶対値は、例えば値のノイズの予想レベルの関数として調整される。

【0018】

改善された性能指標を生成するかまたは限界マージン範囲内の劣化をもたらすそれらのパートベーションはすべて、最初の推測スペクトルへの変化として許容され、他のすべては拒絶される。

20

【0019】

限界マージンにより、さらに許容され得る性能指標の劣化のランダムに導出された許容基準パラメータが課せられる。このプロセスは、連続する計算サイクルの限界マージン許容基準パラメータの範囲を減少させつつ、真のスペクトルの連続的な修正された推定に対して工程 $c \sim g$ を繰り返すことによって、連続的および反復的に実行される。好ましくは、限界マージン許容基準パラメータは、計算サイクル毎に減少し、例えば最も好ましい場合では、ゼロに近づく。そして、性能指標の改善のみを示す変化、または性能指標の次第に減少する劣化のみが許容されるように、許容基準が厳しくなり、例えば好適な場合では、性能指標の改善のみが許容される点まで許容基準が厳しくなる。したがって、連続する反復によって、真のスペクトルに近づくスペクトルの連続的な修正された推定が生成されやすくなる。許容基準の変化率は、反復計数器から得ることができる。計算速度のために高速のプロトコルまたはスケジュールを選択し得、または正確性のために時間のかかるスケジュールを選択し得る。全ての試験事例において、 $1 / (\text{反復回数})$ に比例する率での許容基準の減少は、論理的に理想である $1 / \log (\text{反復回数})$ での結果と同等の結果をもたらした。より大きなデータセットの全体的な結果を最適化するために、より複雑な適応性のあるスケジュールを容易に考え出すことができる。

30

【0020】

限界マージンは、例えば計算された統計的検定の出力として数値的に計算することが好ましく、この計算された統計的検定は、例えば、信号のノイズの関数であって、例えば信号のノイズによって調整される計算された統計的検定である。好適な場合では、統計的検定が確率的シミュレーション手順に基づき、これにより、アルゴリズムの進行にしたがって許容基準が減少する。この種の方法は、最も良い結果を生じるが、計算コストが高い。ただし、（例えば1つの実行可能な最も簡単な実施形態ではデータが、多次元が排除されないとはいえ二次元的であったとしても）データ量を相対的に少なくすることができ、速度は問題と認識されない。遺伝的アルゴリズム、凸射影法（シンプレクティック法）の方法、またはGNC（Graduated Non-Convexity）法を含む別の方法は、実行速度が問題となるこのタスクに特によく適合し得る。

40

【0021】

本発明は放射線スペクトルを復元する一次元問題に言及するが、この技術はこれに限定

50

されない。検出器応答関数は、検出器スペクトル応答の温度への依存などの環境パラメータを含むよう拡張することができる。このような場合、生成された真のスペクトルでは、検出器の物理特性および付随する電気特性への温度の影響が自動的に補償される。計数率効果および他の検出器／電子的不均一性出現に対する補償も実現され得、例えばこの方法でパルス・パイアルアップを処理することもできる。

【0022】

本発明の方法は、例えば、測定スペクトルを事前確率とするベイズ法を用いて、測定スペクトルにデコンボリューションを適用しようとする従来技術の方法と比較および対比することができる。このような方法は、測定スペクトルを出発点として用い、検出器応答関数を適用して真のスペクトルをデコンボリューションしようとする。対照的に、本発明の方法は、完全に恣意的であり得る真のスペクトルの推定に始まり、真のスペクトルのより良好な近似値に漸進的に近づくことを確実にするように、真のスペクトルのこの推定を反復的に修正する。

10

【0023】

記録データのこの分析および検出器応答関数による推定スペクトルのコンボリューションから得られた再生成データから、この方法は、記録データの統計的不確実性を取り除き、真のスペクトルのより良い近似値を得ることができる。スペクトルの低エネルギー領域の値は、通常電子ノイズの存在により失われるが、この方法は、これらの値を復元させる可能性があることにも留意すべきである。

20

【0024】

本発明のより完全な第2の態様の方法は、スペクトルデータセット、例えば分解放射線スペクトルを検出する方法であって、

放射線検出器システムを試験対象に適切に近接させて配置する工程と、

検出器において試験対象から生じる放射線データを収集する工程と、

検出器において収集された放射線を、複数のエネルギー帯域において測定されたフラックスの分解データセットに分光的に分解する工程と、

そして得られた測定フラックスの分光的に分解されたデータセットに対して本発明の第1の態様の方法を実行する工程とを備える方法を含む。

【0025】

本発明の第2の態様の原理によれば、検出器において収集された放射線を、複数のエネルギー帯域において測定されたフラックスの分解データセットに分光的に分解する工程があり、この工程は、検出器によって、検出器に固有の分光的な分解の結果として行われることが好ましい。データは、少なくとも3つのエネルギー帯域において測定されたフラックスの分解データセットに分光的に分解することが好ましい。多くの事例において、例えば5の、例えば150～300以上の、より多数のバンドが望まれる。

30

【0026】

このように、第2の態様の方法は、第1の態様の方法にしたがってデコンボリューションされる放射線データの収集方法であり、したがって、本発明の2つの態様の好適な特徴は、類推により理解されるだろう。

40

【0027】

本発明の第2の態様の方法とともに用いる検出器システムまたは本発明の第1の態様で処理されるスペクトルを生成する検出器システムは、複数の分離するエネルギー帯域に分光的に分解されるように入射放射線を検出するよう構成されるが、これは、複数の分離するエネルギー帯域、好ましくは少なくとも3つのそのようなエネルギー帯域に同時に入射する放射線を予測される検出スペクトルにわたって区別するよう構成されるという意味である。例えば、検出器は予測される検出スペクトルの少なくとも一部にわたって分光的に可変の応答を示し、複数のエネルギー帯域への入射放射線をこのように同時に区別することを可能にする。

【0028】

本発明の第2の態様で検出される放射線または本発明の第1の態様で処理されるスペク

50

トルは、例えば電離放射線などの高エネルギー放射線、例えばX線および／もしくはガンマ線または亜原子粒子放射線などの高エネルギー電磁放射線であり、検出器は、このスペクトルの放射線の検出に対応するよう構成される。本発明の第2の態様で検出される放射線、または、本発明の第1の態様で処理されるスペクトルは、例えば放射線源から生じ、例えばガンマ線スペクトルである。本発明は、特に、サンプル、例えば放射線源からまたは放射能汚染物質により汚染された土壤または食品のサンプルからの低カウント数のガンマ線スペクトルなどの低カウント数の放射線スペクトルを検出または操作する方法に適用可能である。

【0029】

本発明の方法特別な利点は、このような測定スペクトルにおける放射線源成分の性質の識別を可能にすることである。また、これにより、それらの放射性成分の推定起源を明らかにし得る。これは、特に、核分裂を用いた発電プロセスによる汚染を示すセシウム137などの特定の汚染物質を識別することが望まれる場合であり得る。

10

【0030】

したがって、好適な場合では、方法は、対象物または環境、例えば望ましくない放射能汚染物質による汚染が疑われる対象物または環境からのサンプルの検査方法を含み、特に、この方法は、放射能汚染物質内の特定の放射線核種を識別する方法を含む。

20

【0031】

したがって、本発明の第2の態様の方法は、特に、放射線による対象物または環境の汚染の検出方法であって、

20

例えば、適切な放射線検出器システムを試験する環境内および／もしくは試験する対象物付近に移動、ならびに／または試験する対象物または環境から採取したサンプルを適切な放射線検出器システムに近接させることにより、検出器において入射放射線を、該入射放射線が複数の分離するエネルギー帯に分光的に分解されるように収集する工程と、

検出器において入射放射線を適切な期間収集する工程とを備える方法を含む。

【0032】

本発明の第2の態様の方法とともに用いる検出器または本発明の第1の態様で処理されるスペクトルを生成する検出器は、好ましくは、このスペクトルの少なくとも一部にわたって分光的に可変の応答を示し、分光情報の読み出しを可能にし、入射放射線情報を複数の区別されるエネルギー帯で同時に検出することを可能にする。入射放射線データは、少なくとも3つのエネルギー帯間で同時に分光的に分解されることが好ましい。

30

【0033】

本発明の実施に適した検出器は、高エネルギー放射線、例えばX線もしくはガンマ線または亜原子粒子放射線などの高エネルギー電磁放射線の検出器として作用する材料などの、高エネルギー物理用途に適した半導体材料の1つ以上の検出器素子を備える。得られる検出器素子は、このような材料の少なくとも1つの層を備え、すなわち、高エネルギー物理用途に適したデバイス、例えば、X線もしくはガンマ線または亜原子粒子放射線などの高エネルギー放射線用の検出器である。

【0034】

本発明によれば、線源のスペクトル内の少なくとも2つ、好ましくは少なくとも3つ、例えば多数のエネルギー帯にわたって収集データを分光的に分解する。少なくとも1つの検出器素子の半導体材料は、好ましくは、使用する所期の放射線スペクトルの少なくとも実質的な部分にわたって分光的に可変の応答を示すのに適した材料である。特に、直接材料特性として、使用する放射線スペクトルの異なる部分に対して固有の直接可変の電気的応答、例えば光電応答を示す半導体材料を用いる。

40

【0035】

好適な実施形態では、半導体材料は、バルク結晶、例えばバルク単結晶として形成する（ここで、バルク結晶は厚さが500μm以上、好ましくは1mm以上のものを指す）。

【0036】

好適な実施形態では、半導体材料は、II-VI族半導体、特にはテルル化カドミウム

50

、テルル化カドミウム亜鉛（C Z T）、テルル化カドミウムマンガン（C M T）およびそれらの合金から選択し得、例えば、不可避不純物を除けば、結晶質の $C d_{1-a-b} Z n_a T e$ ($a + b < 1$ であり、 a および / または b はゼロであってもよい) から本質的になる。検出器は、追加機能のために他の材料の他の検出器素子を有し得る。

【0037】

本発明の方法は、例えば、低エネルギー領域が求められる情報のかなりの割合を含む場合、後方散乱測定のための C Z T 型の検出器の使用を可能にする。まず、応答行列の低エネルギー領域を無視することにより、新たな方法で最適なスペクトルを決定することができる。その後、検出器の全応答行列を活用してこの復元されたスペクトルを R L デコンボリューションアルゴリズムに渡して、今度は低エネルギー値を含む最も確実そうなスペクトルを得る。R L デコンボリューションアルゴリズムは、より高速な結果のためのアルゴリズムの良好な初期出発点を提供する確率的最適化アルゴリズムに先立って用いることができる。スペクトルビン値のゼロという値が維持され、R L アルゴリズムにそれらを修正する手段がない場合を除いて、復元されたスペクトルが R L デコンボリューションルーチンに読み込まれる場合はすべて、非物理的なピークが生じる特性が再導入される。この場合、R L アルゴリズムは、すでに復元されたスペクトルをわずかに修正するが、最低エネルギー領域の値の再導入に用いることができる。

10

【0038】

本発明の方法は、ハイブリッド検出器システムから得られた信号の最適化ほどではないにせよ、同等に適切である。つまり、本発明の方法は、特に、少なくとも 2 つの異なる種類の放射線検出器を備えた検出器システムに適用し得、また、これらの検出器システムは、少なくとも 2 つの異なるエネルギー分解能および / または異なる効率を有する複数の放射線検出器からの少なくとも 2 つの異なる応答特性を有し得る。2 つ（またはそれ以上）の線源からの信号を処理して、記録された信号をもたらすフラックスを、物理的に分離した異なるチャネル応答によって正確に反映させる、最適な方法がもたらされる。

20

【0039】

本発明の実施方法の例について、以下の添付図面の図 1 ~ 3 を参照して説明する。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図 1】従来の R A アルゴリズムによる低 137 セシウム計数データのデコンボリューションの失敗のグラフである。

30

【図 2】測定され、再生成されたデータの X 相関を示す。

【図 3】パートベーションを与えられた入力データセットからのデコンボリューションオプションを示す。

【図 4】本発明の原理にしたがって適用されたデコンボリューションの結果を示す。

40

【図 5】本発明の原理にしたがって適用されたデコンボリューションの結果を示す。

【図 6】本発明の原理にしたがって適用されたデコンボリューションの結果を示す。

【発明を実施するための形態】

【0041】

本発明のデコンボリューション原理を具現化するプロセス概要の例を以下に説明する。好適な数値的方法をプロセスの各工程について考慮する。これらの例のそれぞれは、独立して、プロセスの特定の工程の好適な実施態様の例を示し、これらの好適な実施態様は、本発明による完全なプロセスの実施において任意の適切な組合せで用い得ることが理解されるだろう。

【0042】

ここでは、放射線源または汚染されたサンプルからの低カウント数のガンマ線スペクトルを検出または操作して、より代表的な真のスペクトルを再構成する例を説明する。ただし、本発明の原理は、連続的な確率分布を有する統計的ノイズを示す任意のスペクトルデータの収集または処理に適用してもよい。

【0043】

50

適切なプロセス例は以下のとおりである。

1 . 低アクティビティ源のガンマ線試験スペクトルを推測する。これは、本来ランダムなものであってもよく、または記録された事象から得てもよい。

2 . 上記推測されたスペクトルに検出器応答関数を乗じて記録された事象が何であったかを推定する。推測されたスペクトルが一次元ベクトル内にあり、各要素はエネルギー域内の推測されたフラックスを示す。検出器応答は行列である。

3 . 記録フラックスと 2 で算出されたフラックスの間の数値的メリット関数（つまり適合度関数）を算出する。また、この例では、スペクトル形状および合計のフラックスの差をそのメリット関数として考慮する平均二乗差に言及しており、これは最小化する必要がある。

4 . 推測スペクトルのベクトル内の値をランダムな量で順にパートーションを与える。この量の最大値は、値のノイズのパートーションレベルおよび全体として必要とされ得る最大の変化によって調整される。

5 . 各推測を行った後、3 のように新たな性能指標を算出する。これが改善である場合、変化は許容され、プロセスは推測スペクトル内の別のエネルギー bin に進む。そうでない場合、変化はマクスウェル = ポルツマン確率分布に基づいて決定される。「温度」と称される制御パラメータによって調整される、メリット関数の劣化の程度は、MB 分布から確率を得るために用いられる。次に、この得られた確率を 0 ~ 1 の範囲内で生成されたランダムな数と比較する。計算された確率がこのランダムな数よりも大きい場合、劣化が所定の統計的限界以内と見なすため、変化は許容される。そうでなければ、スペクトルへの変化は拒絶される。

6 . 5 のスケジュールのように、プロセスが温度の減少とともに繰り返される前に、アルゴリズムは試験スペクトルの各エネルギー bin 値を順に幾度も訪れる。各エネルギー bin 値に訪れる回数によって、一次元のランダムウォークに基づいて十分な合計の変化が生じることを可能にする必要がある。アルゴリズムが進むと、温度パラメータが減少し、許容基準が厳しくなり、性能指標への改善のみが許容される点に変化にする。これにより、最適化問題に対する全体的に最適な解を可能なものにする。

7 . ステップ 6 の適切な温度減少サイクルの後、さらなる変化が生じ得ない場合、またはこのような変化が最小限の効果しか持たない場合、最良の推測スペクトルが得られる。

8 . 復元されたスペクトルを RL 型デコンボリューションアルゴリズムの初期推測として用いてもよく、その逆も同様である。この組合せが、全アクティビティレベルのより正確な測定をもたらし得る。

【 0 0 4 4 】

検出器のモデル化された応答は、入射放射線に対するエネルギー感度に加えて、温度をはじめとする環境因子への感度を含み得る。その結果、方法は、放射線エネルギー依存性と同時に検出器温度効果（または他の測定可能な不均一性）のデコンボリューションに完全に適合する。

【 0 0 4 5 】

説明のために図を参照すると、図 1 はその問題を示し、低計数データを生じる ^{137}Cs によって汚染された汚染食品サンプルからのデータのデコンボリューションに対する RA（リチャードソン・ルーシー法による）アルゴリズムの失敗例を示している。RA アルゴリズムデコンボリューションのグラフの図では、相対的に少ないカウント数でのデコンボリューションにより、異常なピークとなる高エネルギー 1 が生じる。

【 0 0 4 6 】

図 2 は、測定され、再生成されたデータの X 相関を示す。図 3 は、パートーションを与えた入力データセット（1000）からのデコンボリューションオプションを示す。高い自己相関値により、RA アルゴリズムを用いて有効なデコンボリューション結果が得られる。好適なデコンボリューションを丸で囲んでいる。

【 0 0 4 7 】

図 4 ~ 6 は、本発明の実施結果の例を示し、それぞれ測定スペクトル、確率的デコンボ

10

20

30

40

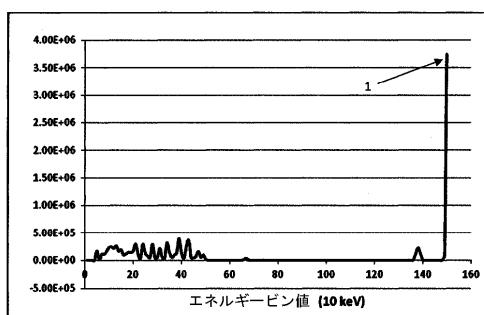
50

リューション、および(平滑化された)生成された応答を示す。4時間での 100Bq の食品汚染測定のデータが示されている。結果はピークで 91Bq 、合計で 104Bq である。図5の確率的探索デコンボリューションでは、 662keV で、復元された光電ピーク2が見られる。図6の、ノイズ除去して再生されたフラックスのグラフは、より明白なコンプトン端3を示す。

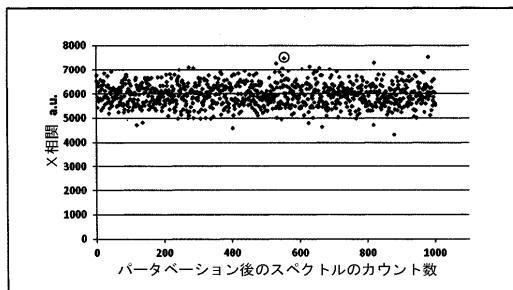
【0048】

デコンボリューションされたガンマ線スペクトルの確率的最適化は、このような測定における低い計数統計を処理する着実で最適な方法であると考えられる。

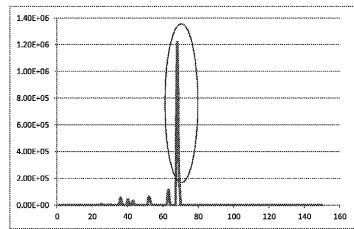
【図1】



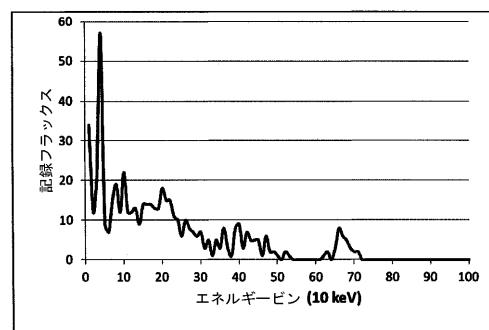
【図2】



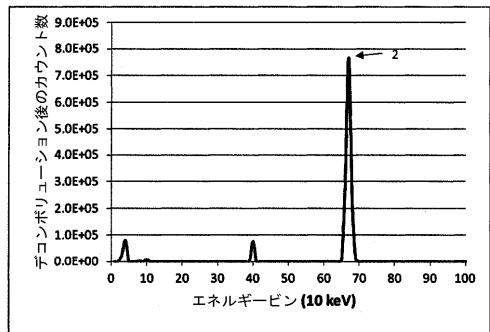
【図3】



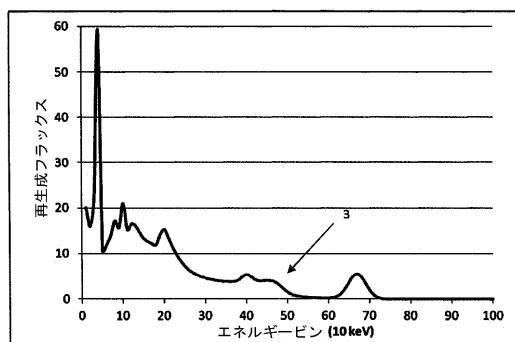
【図4】



【図5】



【図6】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No PCT/GB2013/053079												
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01T1/36 ADD.														
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC														
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01T G01V G01N G06T														
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched														
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX														
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Category*</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="text-align: left; padding: 2px;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">X</td> <td style="padding: 2px;">WO 00/77676 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 21 December 2000 (2000-12-21) page 8, line 13 - page 10, line 12; figures page 13, line 11 - page 14, line 9 ----- PROCTOR, A.E., POHL, K.R.: "Comparison of Several Detector Technologies for Measurement of Special Nuclear Materials.", 2003, pages 1-9, XP002721399, Retrieved from the Internet: URL:http://www.ntis.gov/search/product.asp x?ABBR=ADA451969 [retrieved on 2014-03-10] abstract; figures -----</td> <td style="padding: 2px;">1-14,17, 18</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Y</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">15,16, 19-23</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Y</td> <td style="padding: 2px;"></td> <td style="padding: 2px;">15,16, 19-23</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	WO 00/77676 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 21 December 2000 (2000-12-21) page 8, line 13 - page 10, line 12; figures page 13, line 11 - page 14, line 9 ----- PROCTOR, A.E., POHL, K.R.: "Comparison of Several Detector Technologies for Measurement of Special Nuclear Materials.", 2003, pages 1-9, XP002721399, Retrieved from the Internet: URL: http://www.ntis.gov/search/product.asp x?ABBR=ADA451969 [retrieved on 2014-03-10] abstract; figures -----	1-14,17, 18	Y		15,16, 19-23	Y		15,16, 19-23
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
X	WO 00/77676 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]) 21 December 2000 (2000-12-21) page 8, line 13 - page 10, line 12; figures page 13, line 11 - page 14, line 9 ----- PROCTOR, A.E., POHL, K.R.: "Comparison of Several Detector Technologies for Measurement of Special Nuclear Materials.", 2003, pages 1-9, XP002721399, Retrieved from the Internet: URL: http://www.ntis.gov/search/product.asp x?ABBR=ADA451969 [retrieved on 2014-03-10] abstract; figures -----	1-14,17, 18												
Y		15,16, 19-23												
Y		15,16, 19-23												
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.												
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority, claim(s), or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed														
Date of the actual completion of the international search 10 March 2014		Date of mailing of the international search report 25/03/2014												
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Eberle, Katja												

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/GB2013/053079

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO 0077676	A1 21-12-2000	DE 60037235 T2	16-10-2008	EP 1105814 A1 13-06-2001

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,R,S,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,H,R,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JP,KE,KG,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US

(72)発明者 ベンジャミン ジョン キャントウェル

イギリス国 ダラム ティーエス21 3エフディー セジフィールド トーマス ライト ウェイ ネットパーク

(72)発明者 アンドリュー キース パウエル

イギリス国 ダラム ティーエス21 3エフディー セジフィールド トーマス ライト ウェイ ネットパーク

(72)発明者 アン ラドレイ

イギリス国 ダラム ティーエス21 3エフディー セジフィールド トーマス ライト ウェイ ネットパーク

F ターム(参考) 2G188 AA06 AA23 BB02 BB04 BB15 CC29 EE14 EE25 EE29 FF11

FF25

【要約の続き】

なる値に対して工程eおよびfを繰り返して、前記真のスペクトルの修正された推定を得る工程gと、前記限界マージンを減少させつつ、前記真のスペクトルの連続的な修正された推定に対して工程c～gを繰り返す工程hとを備える。より完全には、上記を具現化してスペクトル分解放射線データセットの検出方法を説明する。