

(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2011-516838

(P2011-516838A)

(43) 公表日 平成23年5月26日 (2011.5.26)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 23/221 (2006.01)	GO 1 N 23/221	2 G 0 0 1
GO 1 N 23/222 (2006.01)	GO 1 N 23/222	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 40 頁)

(21) 出願番号	特願2011-502191 (P2011-502191)	(71) 出願人	507084914
(86) (22) 出願日	平成21年3月31日 (2009.3.31)		サザン イノベーション インターナシ
(85) 翻訳文提出日	平成22年10月29日 (2010.10.29)		ョナル プロプライアトリー リミテッド
(86) 国際出願番号	PCT/AU2009/000393		オーストラリア ヴィクトリア 3000
(87) 国際公開番号	W02009/121130		メルボルン ボーク ストリート 60
(87) 国際公開日	平成21年10月8日 (2009.10.8)		0 レベル25
(31) 優先権主張番号	61/041, 163	(74) 代理人	100070150
(32) 優先日	平成20年3月31日 (2008.3.31)		弁理士 伊東 忠彦
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100091214
(31) 優先権主張番号	61/138, 879		弁理士 大貫 進介
(32) 優先日	平成20年12月18日 (2008.12.18)	(74) 代理人	100107766
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 伊東 忠重

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スクリーニング方法および装置

(57) 【要約】

スクリーニング方法および装置であって、該方法は、励起放射により対象物をスクリーニングするよう照射するステップと、対象物の近傍に配置した放射検出器からの出力データ検出を収集するステップと、出力データ検出において個別信号を分解する分解ステップであって、(i) 前記データ内に存在する信号の信号形状 (またはインパルス応答) を決定するステップ、(ii) 前記信号の一つ以上のパラメータを推定するパラメータ推定を行い、前記一つ以上のパラメータは少なくとも信号の瞬間的位置を含むものとしたステップ、(iii) 前記信号形状および前記パラメータ推定から各前記信号のエネルギーを決定するステップ、によって前記分解を行う、該分解ステップと、を備え、これによりスクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間 (すなわち放射および/またはデータ収集時間) を短縮し、分解能は改善するおよび/またはスループットを増加する。

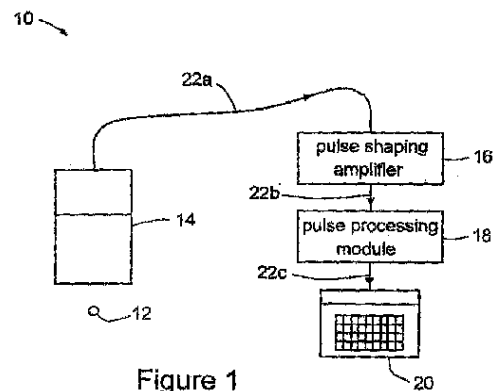


Figure 1

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

スクリーニング方法であって、

励起放射によりスクリーニング対象物を放射するステップと、

前記対象物近傍に配置した放射検出器から検出器出力データを収集するステップと、および

検出器出力データにおける個別信号を分解する分解ステップであって、(i)前記データ内に存在する信号の信号形状を決定するステップ、(ii)前記信号の少なくとも信号位置を含む一つ以上のパラメータの推定を行うステップ、および(iii)少なくとも前記信号形状および前記パラメータ推定から各前記信号形状のエネルギーを決定するステップにより分解する、該分解ステップと

10

を備え、

スクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能を改善するおよび/またはスループットを増加する、方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法において、個別信号を分解する前記分解ステップは、

デジタル時系列形式のデジタル化検出器出力データとして前記検出器出力データを得るステップと、

デジタル時系列に基づき、少なくとも信号形状、信号の瞬時的な位置、および信号振幅の関数としての数学モデルを形成するステップと、

20

を備え、

各前記信号のエネルギーを決定するステップは、前記数学モデルに基づいて前記信号の放射事象を示す振幅を決定するステップを備える、方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の方法において、ガンマ線の前記放射検出器上における入射流束が、75 kHz またはそれ以上である方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法において、データスループットが、入力計数率 50 kHz に関して 90 % 以上であることを特徴とする方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法において、データスループットが、25 ~ 250 kHz の範囲の入力計数率に関して 90 % 以上であることを特徴とする方法。

30

【請求項 6】

請求項 1 に記載の方法において、データスループットが、25 kHz の入力計数率において 95 % 以上であることを特徴とする方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の方法であって、データスループットが、25 ~ 100 kHz の範囲の入力計数率に関して 95 % 以上であることを特徴とする方法。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法であって、データスループットが、250 kHz の入力計数率に関して 80 % 以上であることを特徴とする方法。

40

【請求項 9】

請求項 1 に記載の方法であって、データスループットが、250 ~ 2500 kHz の範囲の入力計数率に関して 50 % 以上であることを特徴とする方法。

【請求項 10】

スクリーニング装置であって、

スクリーニングすべき対象物に対して放射する放射源と、

対象物が発生する放射を検出し、また放射に応答する検出器データを出力する放射検出器と、

デジタル形式の検出器データを受信するプロセッサであって、データ内に存在する各信

50

号の信号形状を決定するステップ、信号の一つ以上のパラメータに関するパラメータ推定を行い、少なくとも信号形状およびパラメータ推定から各信号のエネルギーを決定し、前記一つ以上のパラメータは少なくとも信号の瞬間的位置を含むものとしたエネルギー決定ステップを行うようプログラムした、該プロセッサと、
を備え、

スクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能を改善するおよび/またはスループットを増加する、装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の装置において、前記プロセッサは、デジタル時系列形式の前記検出器出力データを得るステップと、デジタル時系列に基づき、少なくとも信号形状、信号の瞬間的位置、および信号振幅の関数としての数学モデルを形成するステップとを行うようプログラムし、

各前記信号のエネルギーを決定するステップは、前記数学モデルに基づいて前記信号の放射事象を示す振幅を決定するステップを備える、装置。

【請求項 12】

請求項 10 に記載の装置において、前記放射源および放射検出器を互いに隣接配置し、これにより前記放射検出器は、対象物からの反射または後方散乱放射を検出するようにした、装置

【請求項 13】

請求項 10 に記載の装置において、前記放射源および放射検出器を離して配置する、または分離可能に構成し、これにより放射検出器は、対象物からの透過または前方散乱放射を検出するようにした、装置。

【請求項 14】

請求項 10 に記載の装置において、貨物スクリーニング装置として構成した、装置。

【請求項 15】

請求項 10 に記載の装置であって、爆発物検出装置として構成した、装置。

【請求項 16】

請求項 10 に記載の装置であって、コンテナスクリーニング装置またはスクリーニングポータルとして構成した、装置。

【請求項 17】

対象物または複数対象物内の化学的要素をスクリーニングする方法であって、
スクリーニング装置の放射検出器から検出器出力データを収集するステップと、
検出器出力データにおける個別信号を分解する分解ステップであって、(i) 前記データに存在する信号の信号形状を決定するステップ、(ii) 前記信号の一つ以上のパラメータを推定し、前記一つ以上のパラメータは少なくとも信号の瞬間的位置を含むものとした、パラメータ推定ステップ、(iii) 少なくとも前記信号形状および前記パラメータ推定から各前記信号形状のエネルギーを決定するステップによって前記分解を行う、該分解ステップと

対象物または複数対象物における前記化学的要素の存在から生ずる少なくとも前記信号の形状、パラメータ、信号形状のエネルギーから前記化学的要素の量を決定するステップと、
を備え、

スクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能を改善するおよび/またはスループットを増加する、方法。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の方法において、個別信号を分解する前記ステップは、
デジタル時系列形式のデジタル化検出器出力データとして前記検出器出力データを得るステップと、

デジタル時系列に基づき、少なくとも信号形状、信号の瞬間的位置、および信号振幅の関数としての数学モデルを形成するステップと、

10

20

30

40

50

を備え、

各前記信号のエネルギーを決定するステップは、前記数学モデルに基づいて前記信号の放射事象を示す振幅を決定するステップを備える、方法。

【請求項 19】

スクリーニング方法であって、

励起放射によりスクリーニングするよう対象物を照射するステップと、

対象物近傍に配置した放射検出器から検出器出力データを収集するステップと、

検出器出力データ内の個別信号を分解する分解ステップであって、(i)デジタル系列として検出器出力データを得るまたは表現するステップ、(ii)データ内に存在する信号の信号形状を決定するステップ、(iii)数学変換により信号形状を変換することによって変換した信号形状を形成するステップ、(iv)数学変換によりデジタル系列を変換することによって、変換した信号を有する変換したデジタル系列を形成するステップ、(v)少なくとも変換したデジタル系列および変換した信号形状の関数を評価し、これにより関数出力を得るステップ、(vi)モデルにより関数出力をモデル化するステップ、(vii)モデルに基づく関数出力の少なくとも一つのパラメータを決定するステップ、(viii)関数出力の少なくとも一つの決定したパラメータから信号のパラメータを決定するステップにより、前記分解を行う、該分解ステップと、

を備え、

スクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能を改善するおよび/またはスループットを増加する、方法。

【請求項 20】

スクリーニング装置であって、

スクリーンすべき対象物を照射する放射源と、

対象物が発生する放射を検出し、放射に応答する検出器データを出力する放射検出器と

、
デジタル系列として検出器データを受信するプロセッサであって、(i)デジタル系列として検出器出力データを得るまたは表現するステップ、(ii)データ内に存在する信号の信号形状を得るまたは決定するステップ、(iii)数学変換により信号形状を変換することによって変換した信号形状を形成するステップ、(iv)数学変換によりデジタル系列を変換することによって、変換した信号を有する変換した系列を形成するステップ、(v)少なくとも変換した系列および変換した信号形状の関数を評価することにより関数出力を得るステップ、(vi)モデルにより関数出力をモデル化するステップ、(vii)モデルに基づく関数出力の少なくとも一つのパラメータを決定するステップ、(viii)関数出力の少なくとも一つの決定したパラメータから信号のパラメータを決定するステップを行うようにプログラムした、該プロセッサと、

を備え、

スクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能を改善するおよび/またはスループットを増加する、方法。

【請求項 21】

対象物または複数対象物内の化学的要素をスクリーニングする方法であって、

スクリーニング装置の放射検出器から検出器出力データを収集するステップと、

検出器出力データにおける個別信号を分解する分解ステップであって、(i)デジタル系列として検出器出力データを得るまたは表現するステップ、(ii)データ内に存在する信号の信号形状を得るまたは決定するステップ、(iii)数学的変換により信号形状を変換することによって変換した信号形状を形成するステップ、(iv)数学的変換によりデジタル系列を変換することによって、変換した信号を有する変換した系列を形成するステップ、(v)少なくとも変換した系列および変換した信号形状の関数を評価し、これにより関数出力を得るステップ、(vi)モデルにより関数出力をモデル化するステップ、(vii)モデルに基づく関数出力の少なくとも一つのパラメータを決定するステップ、(viii)関数出力の少なくとも一つの決定したパラメータから信号のパラメータを決定するステップにより、前記

解を行う、該分解ステップと、

対象物または複数対象物における前記化学的要素の存在から生ずる少なくとも前記信号形状、パラメータ、信号形状のエネルギーから前記化学的要素の量を決定するステップと、
、
を備え、

スクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能を改善するおよび／またはスループットを増加する、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本件出願は、2008年3月31日出願の米国特許出願第61/041163号および2008年12月18日出願の第61/138879号に基づき、その出願日の優先権を主張して、その内容を全体的に参照することにより本明細書に組み込まれるものとする。

【0002】

本発明は概して、スクリーニング方法および装置に関して、特に（排他的な適用例ではないが）、貨物および他の物品、車両および船舶、爆発物および不審物を監視するために用いる。

【背景技術】

【0003】

主にセキュリティ上の理由で貨物および荷物を検閲するためのスクリーニング技術の数は、近年増加している。一つの最近提案された技術が、例えば特許文献1（欧州特許第1579202号）に開示されており、この技術は、D-TまたはD-D反応によって生ずるほぼ単一エネルギーの高速中性子を生成する密封管または同様の発生器と、対象物を貫通するX線またはガンマ線源と、ファン形状の放射ビームを放出するスロットから離れた中性子およびガンマ線源を囲む平行化（コリメート）ブロックと、検出器アレイとを備える。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】欧州特許第1579202号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

一つの既存システムは、パルス状中性子の要素解析検出器を使用し、10分程度のデータ収集時間の後に、試料または対象物が、例えば爆発物を備えているまたは含んでいるかなどのスクリーニングを可能とする。少数の物品をスクリーニングすることには容認できるが、大量の貨物に対しては高額となる。

【0006】

このような技術はトラックを検査するために使用することができ、そのような場合、トラックを駐車させるスクリーニング橋門の形式とする。Port Technology International (Maritime Information Services Ltdにより出版)は、2006年9月に貨物スクリーニング費用便益分析について発表しており、固定場所のスクリーニングステーションが1時間当たり20コンテナで運用すると仮定すれば、スクリーニングコストに関連する設備は、1コンテナあたりに23,49USドルであった。

【課題を解決するための手段】

【0007】

したがって、本発明の第1の態様によれば、スクリーニング方法を提供し、この方法は、
、
励起放射によりスクリーニング対象物を照射するステップと、
対象物近傍に配置した放射検出器からの出力データ検出を収集するステップと、

10

20

30

40

50

出力データ検出において個別信号を分解する分解ステップであって、(i)前記データ内に存在する信号の信号形状（またはインパルス応答性）を決定するステップ、(ii)前記信号の少なくとも信号位置を含む一つ以上のパラメータの推定を行うステップ、および(iii)少なくとも前記信号形状および前記パラメータ推定から各前記信号のエネルギーを決定するステップにより分解する、該分解ステップと、
を備え、

これによりスクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間（すなわち放射および／またはデータ収集時間）を短縮し、分解能は改善するおよび／またはスループットは増加する。

【0008】

したがって、本発明方法は、できるだけ多くのデータの特徴付けしようとするが、しかしいくつかのデータ（以下、本明細書で「破損データ」と称する）は十分に特徴付けできないことを理解すべきであり、以下に記載する。用語「信号」は本明細書中「パルス」と置き換え可能であり、個々の信号の集合を含む出力信号全体よりもむしろ個別の検出事象に対する出力を意味すると理解されたい。信号の瞬間的位置（またはタイミング）は、様々な方法で測定または表現することができ、例えば信号の最大値または信号の先導端縁（前エッジ）の時刻（または時間軸上の位置）による。一般的に、これを到着時間または検出時間として記述する。

【0009】

用語「検出データ」は検出器から発生したデータであり、検出器内部または外部の関連するまたは他の電子機器により連続的に処理されるデータでもあると理解されたい。

本発明方法は、推定パラメータからデータモデルを構築するステップと、検出出力データとモデルとの間における比較に基づく推定パラメータの正確性を決定するステップとを有する。

【0010】

特定実施形態において、個別信号を分解するステップは、
デジタル時系列形式の検出器出力データとして検出出力データを得るステップと、
デジタル時系列に基づき、少なくとも信号形状、信号の瞬間的位置（時刻）、信号振幅の関数としての数学モデルを形成するステップと
を備え、

各信号のエネルギーを決定するステップは、前記数学モデルに基づく信号の放射事象を示す振幅を決定するステップを備える。

【0011】

信号形状（またはインパルス応答性）を、信号形状のデータまたはインパルス応答から得るために一つ以上の信号事象検出に対する検出器のタイムドメイン応答を測定するステップを含むキャリブレーション処理により決定する。この信号形状の関数形式は、適切な関数、例えば多項関数、指数関数またはスプライン関数をデータに内挿する（またはデータにフィットさせる）ことにより得ることができる。つぎに、フィルタ（例えば、逆フィルタ）を、この検出器信号形状から構築する。信号パラメータの初期推定は、フィルタを有する検出器から出力データの畳み込み（コンボリューション）により行う。特定の関心のある（注目する）信号パラメータは、信号の個数および各信号の瞬間的位置（または到着時間）を含む。

【0012】

つぎに、特定の関心のある（注目する）信号パラメータをさらに洗練する。第1に、信号の個数および到着時間の推定を、ピーク検出器および閾値を使用して洗練する。第2に、信号の個数および到着時間の知識を、検出インパルス応答性（およびその後の信号形状）は、信号のエネルギーパラメータの解を得ることを可能にする。

【0013】

パラメータ推定の精度は、検出器データストリーム（信号パラメータおよび検出器のインパルス応答性の知識から構築した）のモデル（実質的に推定）と実際の検出器出力とを比較することにより決定または「検証」することができる。この検証プロセスは、いくつ

かのパラメータは不十分な精度であることを決定し、これらパラメータを廃棄する。この方法を用いる分光分析において、十分に正確とみなせるエネルギーパラメータを、ヒストグラムとして表示することができる。

【 0 0 1 4 】

本発明方法は、信号形状（すなわち信号を発生するために用いる検出器のインパルス応答性）に基づいて信号パラメータの推定を実施するステップを有する。本発明方法は、信号形状のデータに基づくモデルを得るための一つ以上の信号検出に対する、検出器の応答測定を有するキャリブレーション処理により、信号形状を決定するステップを有する。特に、本発明方法は、予期した信号形状を発生する関数を有するデータを内挿することにより、モデルの関数形状を得るステップを有する。関数は、多項関数、指数関数またはスプライン関数とする。

10

【 0 0 1 5 】

本発明方法は、放射検出器により生成する個別信号の所定形状に基づくフィルタを設計するステップを有する。フィルタは、例えば、照合フィルタまたは逆フィルタ形式とする。

【 0 0 1 6 】

ある実施形態では、本発明方法は、検出器出力の畳み込み（コンボリューション）、および信号パラメータの初期推定を行うフィルタを用いるステップを有する。本発明方法は、信号パラメータの推定を洗練するステップを有する。本発明方法は、ピーク検出処理を有する信号個数の推定を洗練するステップを有する。本発明方法は、ピーク検出処理の用途により信号時間の推定を行うステップまたは洗練するステップを有する。本発明方法は、線形方程式系の解を得る、反転行列式または反復技術により信号エネルギーの推定を洗練するステップを有する。

20

【 0 0 1 7 】

本発明の実施形態において、本発明方法は、検出器のインパルス応答性と組み合わせて信号パラメータを用いて検出器出力モデルを生成するステップを有する。本発明方法は、例えば、実際の検出器出力データを検出器出力モデルと比較することにより、データとモデルとの差に関する最小 2 乗法またはいくつかの他の手法を使用して、エラー検出を実行するステップを有する。

【 0 0 1 8 】

本発明方法は、十分に正確でない推定とみなせるパラメータを廃棄するステップを有する。

30

【 0 0 1 9 】

ある実施形態において、本発明方法は、ヒストグラムにおける全ての十分に正確なエネルギーパラメータを表示するステップを有する。

【 0 0 2 0 】

データは異なる形状の信号を有する。この場合、本発明方法は、各信号のあり得る信号形状を決定するステップを有する。

【 0 0 2 1 】

ある実施形態において、本発明方法は、複数の信号形状における順次の信号形状に容認可能に一致する信号データから徐々に減算するステップと、任意な複数の信号形状を容認可能に一致しない信号を拒否するステップとを有する。

40

【 0 0 2 2 】

本発明方法は、ガンマ線の前記放射能検出器上における入射流束が、75 kHz 以上であることを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

本発明方法は、ガンマ線の前記放射能検出器上における入射流束が、80 kHz 以上であることを特徴とする。

【 0 0 2 4 】

本発明方法は、データスループットが、50 kHz の入力計数率で90%以上であるこ

50

とを特徴とする。

【0025】

本発明方法は、データスループットが、25～250kHzの範囲の入力計数率で90%以上であることを特徴とする。

【0026】

本発明方法は、データスループットが、25kHzの入力計数率で95%以上であることを特徴とする。

【0027】

本発明方法は、データスループットが、25～100kHzの入力計数率で95%以上であることを特徴とする。

【0028】

本発明方法は、データスループットが、250kHzの入力計数率で80%以上であることを特徴とする。

【0029】

本発明方法は、データスループットが、250kHz～2500kHzの入力計数率で50%以上であることを特徴とする。

【0030】

本発明の第2の態様において、本発明はスクリーニング装置を提供し、該装置は、スクリーンすべき対象物に対して照射する放射源と、対象物が発生する放射を検出し、また放射に応答する検出器データを出力する放射検出器と、

デジタル形式の検出器データを受信するプロセッサであって、データ内に存在する各信号の信号形状を決定するステップ、信号の一つ以上のパラメータに関するパラメータ推定を行い、少なくとも信号形状およびパラメータ推定から各信号形状のエネルギーを決定し、前記一つ以上のパラメータは少なくとも信号の瞬間的位置を含むものとしたエネルギー決定ステップを行うようプログラムした、該プロセッサとを備え、

これによりスクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能は改善するおよび/またはスループットを増加する。

【0031】

プロセッサは、デジタル時系列形式の検出器出力データを得るステップと、デジタル時系列に基づき、信号の瞬間的位置、および信号振幅の関数としての数学モデルを形成するステップとを行うようプログラムし、各信号のエネルギーを決定するステップは、数学モデルに基づいて信号の放射事象を示す振幅を決定するステップを備える。

【0032】

放射源および放射検出器を互いに隣接配置し、これにより放射能検出器は、対象物からの反射または後方散乱放射を検出するようにする。

【0033】

ある実施形態では、放射源および放射検出器を離して配置する、または分離可能に構成し、これにより、放射検出器は、対象物からの透過または前方散乱放射を検出するようにする。

【0034】

ある実施形態において、装置は貨物スクリーニング装置として構成する。別の実施形態において、装置は爆発物検出装置として構成する。別の実施形態において、装置は、貨物スクリーニング装置またはスクリーニング橋門（ポータル）として構成する。

【0035】

本発明装置は、ガンマ線の前記放射能検出器上の入射流束は、75kHz以上であることを特徴とする。

【0036】

本発明装置は、データスループットが、50kHzの入力計数率で90%以上であるこ

10

20

30

40

50

とを特徴とする。

【0037】

本発明装置は、データスループットが、25～250kHzの範囲の入力計数率で90%以上であることを特徴とする。

【0038】

本発明装置は、データスループットが、25kHzの入力計数率で95%以上であることを特徴とする。

【0039】

本発明装置は、データスループットが、25～100kHzの入力計数率で95%以上であることを特徴とする。

【0040】

本発明装置は、データスループットが、250kHzの入力計数率で80%以上であることを特徴とする。

【0041】

本発明装置は、データスループットが、250kHz～2500kHzの入力計数率で50%以上であることを特徴とする。

【0042】

第3の態様において、本発明は対象物内の化学的要素をスクリーニングする方法を提供し、該方法は、

スクリーニング装置の放射検出器から検出器出力データを収集するステップと、

検出器出力データにおける個別信号を分解する分解ステップであって、(i)前記データに存在する信号の信号形状を決定するステップ、(ii)前記信号の一つ以上のパラメータを推定し、前記一つ以上のパラメータは少なくとも信号の瞬間的位置を含むものとした、パラメータ推定ステップ、(iii)少なくとも前記信号形状および前記パラメータ推定から各前記信号のエネルギーを決定するステップによって前記分解を行う、該分解ステップと、

対象物または複数対象物における前記化学的要素の存在から生ずる少なくとも信号の形状、パラメータ、信号形状のエネルギーから前記化学的要素の量を決定するステップと、を備え、

これにより、スクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能を改善するおよび/またはスループットを増加する。

【0043】

個別信号を分解するステップは、

デジタル時系列形式のデジタル化検出器出力データとして前記検出器出力データを得るステップと、

デジタル時系列に基づき、少なくとも信号形状、信号の瞬間的位置(時刻)、および信号振幅の関数として数学モデルを形成するステップと、

を備え、

前記各信号のエネルギーを決定するステップは、前記数学モデルに基づいて前記信号の放射事象を示す振幅を決定するステップを備える。

【0044】

本発明の第4の態様において、本発明はスクリーニング方法を提供し、該方法は、

励起放射によりスクリーニングするよう対象物を照射するステップと、

対象物近傍に配置した放射検出器から検出器出力データを収集するステップと、

検出器出力データ内の個別信号を分解する分解ステップであって、(i)デジタル列として検出器出力データを得るまたは表現するステップ、(ii)データ内に存在する信号の信号形状を得るまたは決定するステップ、(iii)数学的変換により信号形状を変換することによって変換した信号形状を形成するステップ、(iv)数学的変換によりデジタル列を変換することによって、変換した信号を有する変換したデジタル系列を形成するステップ、(v)少なくとも変換した列および変換した信号形状の関数を評価し、これにより、関数出力を得るステップ、(vi)モデルにより関数出力をモデル化するステップ、(vii)モデルに基づ

10

20

30

40

50

く関数出力の少なくとも一つのパラメータを決定するステップ、(viii)関数出力の少なくとも一つの決定したパラメータから信号のパラメータを決定するステップにより、前記分解を行う、該分解ステップと、
を備え、これにより、スクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能を改善するおよび/またはスループットは増加する。

【0045】

本発明の第5の態様において、本発明はスクリーニング装置を提供し、該スクリーニング装置は、

スクリーンすべき対象物を照射する放射源と、

対象物が発生する放射を検出し、放射に応答する検出器データを出力する放射検出器と

10

、
デジタル系列として検出器データを受信するプロセッサであって、(i)デジタル系列として検出器出力データを得るまたは表現するステップ、(ii)データ内に存在する信号の信号形状を得るまたは決定するステップ、(iii)数学的変換による信号形状を変換することによって変換した信号形状を形成するステップ、(iv)数学的変換によりデジタル系列を変換することによって、変換した信号を有する変換した系列を形成するステップ、(v)少なくとも変換した系列および変換した信号形状の関数を評価することにより関数出力を得るステップ、(vi)モデルにより関数出力をモデル化するステップ、(vii)モデルに基づく関数出力の少なくとも一つのパラメータを決定するステップ、(viii)関数出力の少なくとも一つの決定したパラメータから信号のパラメータを決定するステップを行うようにプログラムした、該プロセッサと、
を備え、

20

これにより、スクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能を改善するおよび/またはスループットは増加する。

【0046】

本発明の第6の態様において、本発明は対象物または複数の対象物内の化学的要素をスクリーニングする方法を提供し、該方法は、

スクリーニング装置の放射検出器から検出器出力データを収集するステップと、

検出器出力データにおける個別信号を分解する分解ステップであって、(i)デジタル系列として検出器出力データを得るまたは表現するステップ、(ii)データ内に存在する信号の信号形状を得るまたは決定するステップ、(iii)数学的変換による信号形状を変換することによって変換した信号形状を形成するステップ、(iv)数学的変換によりデジタル系列を変換することによって、変換した信号を有する変換した系列を形成するステップ、(v)少なくとも変換した系列および変換した信号形状の関数を評価し、これにより関数出力を得るステップ、(vi)モデルにより関数出力をモデル化するステップ、(vii)モデルに基づく関数出力の少なくとも一つのパラメータを決定するステップ、(viii)関数出力の少なくとも一つの決定したパラメータから信号のパラメータを決定するステップにより、前記分解を行う、該分解ステップと、

30

対象物または複数の対象における前記化学的要素の存在から生ずる、少なくとも信号形状、パラメータ、信号形状のエネルギーから化学的要素の量を決定するステップと、
を備えて、

40

これにより、スクリーニング時間を短縮し、ドウェル時間を短縮し、分解能を改善するおよび/またはスループットを増加する。

【0047】

本発明の各態様の様々な随意的な特徴は、本発明の任意な他の態様に適切かつ望ましい部分に使用できることに留意されたい。

【0048】

本発明をより明確に理解するため、好適な実施形態を、単なる例示として添付図面につき以下に説明する。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 4 9 】

【図 1】本発明の一実施形態による爆発物検出装置の概略図である。

【図 2】図 1 に示す装置のシンチレーションガンマ線検出器を説明図である。

【図 3】(a) , (b) , (c) は、それぞれパルス集積を示すグラフである。

【図 4】図 1 の装置に実装する信号処理方法が使用する放射検出の数学的モデルを示すブロック図である。

【図 5】図 1 の装置に実装する信号処理方法が使用する放射検出の数学モデルを詳述するブロック図である。

【図 6】図 1 に示すデータキャプチャモジュールの関数要素の概略的ブロック図である。

【図 7】(a) , (b) , (c) は、それぞれ $1000\mu s$ 、 $100\mu s$ および $10\mu s$ の各時間範囲にわたり、図 2 に示す検出器の出力から直接収集した未処理のデジタルデータをプロットしたグラフである。

10

【図 8】本発明の実施形態による、分光データを解析するための図 1 の装置が使用するパルス累積復元信号処理方法の概略的な説明図である。

【図 9】本発明の実施形態による、分光データを解析するための図 1 の装置が実装するパルス累積復元信号処理方法の概略的なフローチャートである。

【図 10】(a) , (b) , (c) は、それぞれ図 9 に示す信号処理方法の異なる段階における結果をプロットしたグラフである。

【図 11】図 9 に示す方法で処理する、様々な入力計数率における ^{137}Cs 源のガンマ線スペクトルをプロットしたグラフである。

20

【図 12】デジタル核パルス発生器により生成したシミュレーションデータセットを用いて準備した図 9 の信号処理方法のコンピュータシミュレーション結果をプロットしたグラフである。

【図 13】計数率の範囲にわたりガンマ線源に対する図 12 のシミュレーション性能をプロットしたグラフである。

【図 14】(a) , (b) , (c) , (d) は、それぞれ $76\text{mm} \times 76\text{mm}$ の $\text{NaI}(\text{TI})$ のガンマ線検出器の出力に対して、図 9 の信号処理方法を適用した結果を示すグラフである。

【図 15】(a) , (b) , (c) , (d) は、それぞれ HPGe 検出器により収集したデータに対して図 9 の信号処理方法を適用した結果を示すグラフである。

30

【図 16】(a) , (b) , (c) , (d) は、それぞれキセノンガス比例検出器により収集したデータに対して図 9 の信号処理方法を適用した結果を示すグラフである。

【図 17】 SAIC (商標名) PELAN の形式とした検出器を備える、図 1 に示す実施形態による検出装置からのデジタル出力を部分的に示すグラフである。

【図 18】データ処理の異なる段階をプロットしたグラフであり、(i) 図 1 の装置の AFE からの出力と、(ii) 図 1 に示す装置のパルス位置特定段階の出力と、(iii) 図 1 に示す装置のパルス識別段階の出力と、(iv) 図 1 に示す装置の検証段階の出力と、をプロットする。

【図 19】図 1 の装置により、中性子源がオンおよびオフ状態の両方のときに収集した、複合ガンマ線スペクトルのグラフである。

40

【図 20】図 1 の装置により、中性子源がオンおよびオフ状態の両方のときに収集した、複合ガンマ線スペクトルのグラフである。

【図 21】図 1 の装置により、中性子源がオンおよびオフ状態の両方のときに収集した、複合ガンマ線スペクトルのグラフである。

【図 22】図 1 の装置により、中性子パルス照射中に収集したスペクトルである。

【図 23】図 1 の装置により、中性子パルス照射中に収集したスペクトルである。

【図 24】図 1 の装置により、中性子パルス照射中に収集したスペクトルである。

【図 25】図 1 の装置により、中性子パルス照射中に収集したスペクトルである。

【図 26】データ処理の異なる段階をプロットしたグラフであり、(i) 例 F 中に図 1 に示す装置の検出器から受信した入力データストリームと、(ii) パルス位置特定出力と、(iii

50

)パルス識別出力と、(iv)検証エラー信号と、をプロットする。

【図 27】本発明の他の実施形態による貨物スクリーニング装置を、スクリーニングすべき積荷を運ぶトラックとともに示す概略図である。

【図 28】本発明の別の実施形態による小荷物スクリーニングシステムを、スーツケースの形式としたスクリーニングすべき物品とともに示す概略図である。

【図 29】(a), (b)は、それぞれ $3 \mu s$ のデッド時間を仮定した図 28 のスクリーニングシステムに対して計算した入力計数率と、本発明実施形態によるパルス累積復元信号処理方法の計算した性能の関数としての、パーセント表示スループットをプロットしたグラフである。

【図 30】 $3 \mu s$ のデッド時間を仮定した図 28 のスクリーニングシステムにより計算した入力計数率と、本発明実施形態によるパルス集積回復のための信号処理方法の計算性能との関数としてのスループット計数率をプロットしたグラフである。

【図 31】本発明の別の実施形態によるスクリーニングする貨物を運ぶトラックに対する、貨物スクリーニング装置の概略図である。

【図 32】 $3 \mu s$ のデッド時間を仮定した図 31 のスクリーニングシステムにより計算した入力計数率と、本発明実施形態によるパルス累積復元信号処理方法の計算性能との関数としてのパーセント表示スループットをプロットしたグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0050】

図 1 は本発明の第 1 実施形態による爆発物検出装置 10 を、スクリーニングすべき物品とともに示す概略図である。装置 10 は、パルス中性子要素解析検出器 14 を有し、当該検出器は、熱およびパルス中性子の両方を放出することができる中性子発生器と、ガンマ線エネルギースペクトル（このスペクトルから物品 12 の化学的組成を決定することができる）を発生する BGO シンチレーション検出器を備える。

【0051】

装置 10 は、さらに、パルス整形増幅器 16 と、パルス処理モジュール 18 と、データ記憶ラップトップコンピュータ 20、ならびにパルス中性子要素解析検出器 14 の出力をパルス整形増幅器 16 に接続する同軸ケーブル 22a と、パルス整形増幅器 16 の出力とパルス処理モジュール 18 のアナログ・フロント・エンドを接続するデータケーブル 22b と、パルス処理モジュール 18 をコンピュータ 20 に接続するデータケーブル 22c とを備える。

【0052】

パルス処理モジュール 18 は信号処理ユニットを有し、当該ユニットは、2 個の部分、すなわち 1) 検出器ユニットのアナログ出力に対応するデジタル出力を生成するアナログデジタルコンバータ、2) 以下に説明する本発明によるデジタル信号処理 (DSP) ルーチンを実装する処理ユニットを備える。

【0053】

装置 10 は一般的に、装置 10 で収集するガンマ線スペクトルによる物品 12 の化学的組成を決定することにより、爆発物を検出するために使用する。装置 10 の検査（以下に説明する）は、同程度のシステムで現在容認可能な計数率の 2 倍の未処理計数率を過大に高パルス累積することなく使用できることを示唆している。したがって、装置 10（または本発明による同程度の装置）をスクリーニング橋門（ポータル）に配備する場合、コンテナスクリーニングの処理量（スループット）は、次世代貨物スキャナの目標スキャン率と等しい、少なくとも 40 コンテナ / 時間に増加することが期待される。（上述の）ポート・テクノロジー・インターナショナル (Port Technology International) の分析は、コンテナスクリーニングのスループットを 50 コンテナ / 時間に増加することは、コンテナ当たりのコストを 9.40 US ドル減少させると推定できると結論付けており、すなわち現在の検出器、線源および他の装置と同等のもので、装置 10 はかなりのコストを節減できると想定される。

【0054】

10

20

30

40

50

もし次世代コンテナスクリーニングが、本発明なしで容易に40コンテナ/時間を達成する場合、本発明によれば、そのような設備はコンテナスクリーニングのスループットを80コンテナ/時間まで増加し、コンテナ当たりのコストをさらに削減可能であることが想定される。

【0055】

図2は、検出器14のBGOシンチレーション検出器24の概略図である。中性子源14からの中性子により励起した物品12の原子によってガンマ線を発生するとき、ガンマ線はBGOシンチレーション検出器内を通過することができ、通過する場合、そのエネルギーは、ガンマ線からシンチレータ結晶内の電に転移する。紫外光子が発生する際に、電子はエネルギーを失い、結晶内部の電子を励起状態にする。紫外光子が発生する際に、電子は低エネルギー状態に減衰する。上述の紫外光子が、光電子増倍管32の光子カソードへと光学的な窓を通過し、光電子増倍管32のアノード40に到達する前に光電子増倍管38により光電子に変換され、順次増倍化される。さらなる増倍段階は、搭載の予増幅器42により行う。このようにして、電気信号(その振幅は入射ガンマ線のエネルギーに比例する)が、検出器24の検出器出力端子44に生ずる。検出器24は、さらに、光電子増倍管32の側面48に配置したミュンヘタル磁力シールド46であって、結晶28の一部の周りまで十分包囲して、光電子増倍管32の前方に延在するシールドを有するものと理解されたい。

【0056】

この種のシンチレーション検出器は高効率を有する、すなわち、入射ガンマ線を検出する確率が高い。しかし、それらは検出器応答時間も比較的長くなる。検出器応答時間は、検出器が入射ガンマ線を検出してから次の入射ガンマ線を正確に検出できる状態に戻るまでに必要な時間である。長い検出器応答時間を有する放射能検出器は、したがって、パルスが累積し易い傾向を持つ。すなわち、それぞれがガンマ線の入射に対応する完全に離散した個別パルスより構成されるのが理想的な出力は、個別のパルスがオーバーラップしてしまい、特徴付けが困難な波形となる。

【0057】

図3a, 3bおよび3cは、パルス累積の作用を示し、時間tに対するエネルギーE(ともに任意の単位)をプロットした信号またはパルスの例を示す。図3aは、いわゆる‘尾端累積’を示し、使用したパルス条件の種類に基づいて、1個のパルス51の尾端50に、大きな正または負のバイアスを付与し、図示の例においては後続パルス52の正の振幅を生ずる。2個のパルス間に時間差はあるが、tはパルスが有効である全体時間インターバルと比較すると相当大きく、信号エンベロープまたは合成波形54は第2パルス52の到着時にゼロを大幅に上回る。

【0058】

2個のパルス間に真の信号ゼロ状態が存在しないことは、パルス特性を損ね、第2パルスの振幅は第1パルスの尾端により誤って増幅されることになる。図3bは異なる形態のパルス累積を示し、‘ピーク累積’と称される。ここで2個のパルス56, 58はほとんど時間差がなく到着し、すなわちパルス間の時間差tは、パルスが有効な全時間と比較して小さい。結果の出力波形60は、要素パルスのどちらかより振幅が大きい一つのパルスとして、より大きくまたは小さくなって表れる。検出器を通過するガンマ線束が激しい場合、検出器の応答時間内に複数のイベントが到着して複数の累積イベントにつながるものがよく起こる。そのような場合を図3cに示す。複数信号またはパルス(62として図示する)が、ランダムな時間差tで到着するとき、合成波形64を生成するよう累積され、要素信号のパラメータを抽出することは難しい。

【0059】

この実施形態により累積するパルスに対処する方法の一要素は、信号またはパルスの所定パラメータの推定であり、これらパラメータは検出器データストリームにおけるすべてのガンマ線の個数、到着時間およびエネルギーである。これらパラメータを、この実施形態によれば、データストリームにおける信号を数学的にモデリングすることにより推定す

る。この実施形態で使用するモデルは、以下に記載するようにデータおよび装置に対する所定の仮定を含む。

【 0 0 6 0 】

図 4 は、放射検出プロセスのモデル化を示すブロック図である。放射 $g(t)$ 70 は、測定プロセス $m(t)$ により表される検出器 72 に入射し、結果として検出器から出力データ $y(t)$ を得る。サンプリング処理部 76 を追加することにより、デジタル検出データまたは「時系列データ」 $x[n]$ 78 を生成する。

【 0 0 6 1 】

上記のモデルに、放射検出の物理的プロセスについてのいくつかの知識を加えることが可能である。図 5 は図 4 に示す検出プロセスのより詳細な数学モデルを示す。検出器への入力 $g(f)$ は、等式 1 により特徴付けることができ、式 1 において入力 $g(t)$ は関数のようなランダム振幅 () のインパルスの未知数 (N) および到着時間 () で仮定される。このような入力の例を参照符号 80 で示す。

【数 1】

$$g(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \delta(t - \tau_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (1)$$

【 0 0 6 2 】

放射能検出器は、検出器インパルス応答性 $d(t)$ (またはデータ内の信号の信号形状と等価である) と称される、入射放射に対する特別な応答性を有し、参照符号 82 で示す。検出器インパルス応答性 (すなわち信号形状) のデジタル化バージョンを $d[n]$ で示す。

【 0 0 6 3 】

検出器からの出力を参照符号 86 示し、等式 2 により特徴付けられ、式 2 において、検出器出力 $y(t)$ は、所定信号形状 $d(t)$ である信号における未知の個数の合計であり、この信号形状は未知エネルギー () および未知到着時間 () を有する。ランダムノイズ源 (t) もまた考慮する。デジタル検出器データ $x[n]$ 88 を、アナログデジタル変換器 76 により生成する。

【数 2】

$$y(t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i d(t - \tau_i) + \omega(t) \quad i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (2)$$

【 0 0 6 4 】

アナログ デジタル変換機 76 の出力におけるデジタル化信号 $x[n]$ (データの時系列の構成要素である) を、参照符号 88 で示し、次式により与えることができ、すなわち

【数 3】

$$x[n] = \sum_{i=1}^N \alpha_i d[n - \Delta_i] + \omega[n], \quad (3)$$

ここで、 $d[n]$ は信号形状の $d(t)$ のデジタル時間形式であり、 i は i 番目の信号に対するサンプルの遅延であり、 $[n]$ はノイズの離散時間形式である。デジタル化信号 $x[n]$ は、次式

10

20

30

40

【数 4】

$$x = A\alpha + \omega, \quad (4)$$

として、行列式で記述することもできる。

ここで A は $M \times N$ 行列であり、その入力（エントリー）は以下のように与える。

【数 5】

$$A(n, i) = \begin{cases} d[n - \Delta_i] & \Delta_i \leq n < \min(M, \Delta_i + T - 1) \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5) \quad 10$$

【0065】

さらに、 T はサンプルにおける $d[n]$ の長さであり、 M はデジタル化信号 $x[n]$ におけるサンプルの全個数であり、 α は N 信号エネルギーのベクトルであり、 ω は長さ M のノイズベクトルである。行列 A は、さらに以下のように記述することもできる。

【数 6】

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \\ 0 & \vdots & & \\ d[1] & & & \vdots \\ d[2] & 0 & & \\ \vdots & d[1] & & \\ d[T] & & & \\ 0 & \vdots & \ddots & 0 \\ \vdots & d[T] & & d[1] \\ & & & d[2] \\ & & & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & d[r < T] \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \leftarrow \text{row } \Delta_1 \\ \leftarrow \text{row } \Delta_2 \\ \vdots \\ \leftarrow \text{row } \Delta_N \end{array} \quad 20$$

30

【0066】

したがって、行列 A の各列は信号形状の複数のバージョンを含む。個別列のそれぞれに対し、信号形状の開始点を信号の瞬時的位置により定義する。例えば、もしデータにおける信号が位置 2, 4, 7, 8, 12, 5 で到着する場合、行列 A の列 1 は第 1 行において「0」、第 2 行に信号形状の第 1 データポイント、第 3 行に信号形状の第 2 データポイント等を有する。第 2 番目の列は、信号形状が続く行 3, 9 まで「0」を有する。第 3 番目の列は行 7, 7 まで「0」を有し、第 4 番目の列は行 1, 2, 4 まで「0」を有し、次に信号形状を有する。したがって、行列 A の大きさは、識別される信号の個数（これは列の個数である）により決定され、同時に行の個数は時系列におけるサンプル個数に対応する。

40

【0067】

この実施形態の信号処理方法は、したがって、検出器出力における要素信号の個数（ N ）だけでなく各要素信号のエネルギー（ α ）および到着時間（ Δ_i ）も含む検出器データにおける何らかの未知パラメータの正確な推定を得よう尽力する。

【0068】

信号処理方法

図 6 は、BGO シンチレーション検出器 24 を有する図 1 に示すパルス処理モジュール 18 の機能要素の概略的ブロック図であり、図 1 の装置が使用するパルス累積を復元する

50

信号処理方法をより詳細に説明する。図 6 につき説明すると、BGOシンチレーション検出器 24 を、アナログ・フロント・エンド (AFE94) を介して (パルス処理モジュール 18) のパルス処理ボード 92 に接続する。AFE94 の目的は、この実施形態において、12 ビット変換精度を有する 125 MHz でアナログデジタル変換を行うことにより、検出器 16 が生成した信号をデジタル化することである。

【0069】

図 7 a, 7 b および 7 c は、1000 μ 秒、100 μ 秒および 10 μ 秒のそれぞれの時間範囲にわたり、このようなデジタル化を行って得られた波形を示す。これら図面における様々なピークは、個々のガンマ線の検出に対応する。いくつかのピークは、1 個のガンマ線のみが存在を示す離散したデジタル信号またはパルス 110, 112 として表れる。他のピークは、2 個のピーク 116、または 3 もしくは 4 個のピーク 114 のいずれかの累積である。

【0070】

AFE94 により検出器 16 の出力をデジタル化した後に、パルス累積を復元する信号処理方法を実装する。再度図 6 につき説明すると、AFE94 が生成したデジタル信号を、パルス処理をする現場書き換え可能ゲートアレイ (FPGA) 96 内に通過する。パルス処理 FPGA (96) は、この実施形態のパルス処理方法を実装し、デジタル信号処理コプロセッサ 98 を、随意的にパルス処理方法を使用して、パルス処理 FPGA 96 を支援する。パルス処理 FPGA 96 が必要とする変数、およびパルス処理方法の一時的ステップにおいて生成するデータを、随意的にメモリ 100 に記憶する。信号処理を、制御プロセッサ 104 に関連して、信号処理の実装を変更するのに使用できるデータ/制御インタフェース 102 により制御する。信号処理方法からの出力データを、データ/制御インタフェース 102 を介してディスプレイ 106 に表示する。ディスプレイ 106 を、所要に応じて後処理およびシステム制御を行うのに使用できるコンピュータ内に設ける。

【0071】

図 8 は、この実施形態の検出器時系列における放射信号の累積を復元する信号処理方法の概略的ブロック図である。デジタル化検出器信号 (AFE94 からの) は、本発明信号処理方法用の入力段 120 を形成する。オフラインシステムの特性評価段 122 を使用して、特定のデジタル化検出器信号に固有の検出器インパルス応答性を決定する。システム特性評価段 122 における特性データは、パルス位置特定段 124 で使用する。パルス位置特定段 124 は、リアルタイムで、デジタル化検出器信号における放射パルスの個数および瞬間的位置 (または到着時間) を推定する。パルス識別段 126 において、デジタル化検出器信号と、検出器インパルス応答性と、パルス位置特定段 124 からの出力を用いて、信号またはパルスのエネルギーを決定する。検証段 128 は、デジタル化検出器信号 120 とパルス識別段 126 の出力とを比較する。この比較結果が、いずれのパルスパラメータも不正確に推定されていることを示す場合、それらパラメータを廃棄して、有効なデータのみを出力 130 とする。検証段 128 において発生するエラー信号もシステム特性評価段 122 で使用する。検出器インパルス応答性が経時的に変動するような環境において、例えばコンポーネントの経年劣化、温度変化または放射線束の増加などがある場合、システム特性評価段 122 は、オンラインで、エラー信号を使用して適応的に検出器インパルス応答性を更新する。検出器インパルス応答性のこのような更新は、任意の適切な適応的方法、例えば S. ハイキン氏 (S. Haykin) による「適応的フィルタ理論 (2002 年 プレンティスホール社出版第 4 版)」に記載された最小 2 乗平均適応、正規化最小 2 乗平均適用、または帰納的最小 2 乗適用を用いて実行することができる。

【0072】

図 9 は、この実施形態による信号処理方法のフローチャートである。ステップ 140 において、キャリブレーションを実行する。このステップは、データ正規化または調節ステップ 142 と、データ選択およびフィッティングステップ 144 と、最適フィルタ構築ステップ 146 とを含む。データ正規化ステップ 142 において、入射する低い放射線束で記録されたキャリブレーションデータ信号を、データファイルからロードし、これらキャ

10

20

30

40

50

リブレーションデータの完全（整合）性をチェックし、基本データにおけるいかなるバイアスをも除去する。データ選択およびフィッティングステップ 144 は、一つの放射事象の検出に対応するデータのみを選択するステップと、検出器インパルス応答性のデータ基本モデルを構築するステップとを含む。つぎに、このモデルの関数形式を、適切な関数、例えば多項関数、指数関数またはスプライン関数をデータにフィッティングさせることにより取得する。この結果として、検出器の特定インパルス応答性 $d[n]$ を得る。最適フィルタ構築ステップ 146 はこの検出器インパルス応答性を用いて、逆フィルタまたは照合フィルタなどの適切なフィルタを検出器に対して構築する。

【0073】

ステップ 150 においてデータを取得するが、このデータは著しくパルス累積によって影響を受けている可能性がある。データは、ファイルあるいは検出器要素 16 から直接の入力 152 とすることができる。

【0074】

ステップ 160 において、信号処理ルーチンを適用して、時系列における信号の振幅およびタイミングパラメータを決定する。第 1 に、データに対して、基本データにおけるいかなるバイアスをも除去するために、正規化ステップ 162 を行う。次に、検出器データに、到着時間パラメータ（ ）およびパルス個数（ N ）の初期推定を得るために、ステップ 146 に由来するフィルタをコンボリユートする（畳み込む）。つぎに、時間パラメータおよびパルス個数の推定を、適切なピーク検出処理を用いて洗練化ステップ 166 を実行して、エネルギーパラメータ（ ）を、 N および検出器インパルス応答性 $d[n]$ （線形プログラミング、行列反転または畳み込み（コンボリユーション）技術によって）決定する。最終的に、個数（ N ）、エネルギー（ ）、時間（ t ）および検出器インパルス応答性 $d[n]$ から、検出器データストリーム（ $x[n]$ ）の推定を作成するステップ 168 を実行する。

【0075】

パラメータベクトル（ ）を、線形プログラミング、または式 4 で定義される線型方程式のシステムにそのような等式のシステムを解くために用いる適切な方法を用いて解くことにより決定し、そのような方法の一つとしては、例えば G. H. ゴルブおよび C. F. ファン・ローン共著の [Matrix Computation, 2nd Ed Johns Hopkins University Press, 1989] に記載されているものがある。

【0076】

ステップ（170）において、上述した検証段（エラーチェックと称される）を実行し、この実施形態においては、検証は、 $1 < i < N$ の各信号 i （ N はデータストリームにおける全信号個数である）に対応する 1 組のサンプルセットに対して順次に計算してエラー信号 $e[n]$ を決定するステップを含む。このエラー信号を、時系列データ $x[n]$ とモデルベースのデータストリーム（ステップ 168 の $x^{\wedge}[n]$ ）との間における差の平方を決定するステップ 172 により計算する。 $e[n]$ は、したがって、 $x[n]$ と $x^{\wedge}[n]$ との差の平方であり、式 6 として与えられる。

【数 7】

$$e[n] = (x[n] - \hat{x}[n])^2 \quad (6)$$

【0077】

もし $e[n]$ が所定閾値を越える場合、これらパラメータを拒否するステップ 174 を実行し、この状況は、信号パラメータが信号と容認可能に一致する（すなわち十分に正確である）対応信号モデルを生成しないことを示すからであり、関連する信号は、破損データを構築するとみなされ、さらなるスペクトル解析から除外する。閾値はデータに応じて変化することができ、モデル化するデータに対してどのくらい近似させるのが望ましいか、一般的にはしたがって、任意の特定用途において、閾値の検証および定義方法を選択し

10

20

30

40

50

て、用途要件を反映する。

【0078】

このような閾値の一例としては、適切な係数、例えば0.05で積算した信号エネルギー i がある。検証は、この例において、式7に従えばモデルがデータ構成信号 i に容認可能に一致するとみなす。

$$e[n] < 0.05 \quad i \quad (7)$$

【0079】

検証は、任意の他の適切な方法でエラー信号および閾値を定義することにより実行する。例えば、エラー信号を、エラーの絶対値に設定する。閾値は、信号振幅の0.05倍以外の倍数と定義することもできる。別の閾値は、多数のノイズおよび標準偏差を備える。

【0080】

閾値を減少すること（例えば式7における i の係数を減少することによる）は、低いスループットでエネルギー分解を改善することができ、同時に、閾値を増加することは、減少したエネルギー分解でスループットを改善できる。

【0081】

ステップ180において、十分なデータが存在するか否かを決定する。存在しないなら、ステップ150で処理を継続する。存在する場合、この方法はステップ190に進む。ステップ190において、ガンマ線エネルギースペクトルを生成する。ステップ166で決定したガンマ線エネルギーパラメータであって、ステップ174で十分に正確であるとみなされたパラメータを、ヒストグラム形式で表示するステップ192を実行する。これが、スペクトル解析を実行したガンマ線エネルギースペクトルである。

【0082】

信号処理方法の実施結果

図10a, 10bおよび10cは、図8および9につき説明した、デジタル信号処理方法のいくつかの処理段階における結果をプロットしており、シンチレーションガンマ線検出器で収集したデジタル化データである。検出器データストリームを、125 MHzおよび12 bit精度でアナログデジタル変換器によりデジタル化し、使用するガンマ線源は、661.7 keVで初期ガンマ線放射する¹³⁷Cs源とした。

【0083】

シンチレーション検出器は、検出器/放射相互干渉により発生した光を使用し、その入射した放射を検出および測定する。シンチレーション検出器は、有機シンチレータまたは無機シンチレータを有する構成とすることができる。有機シンチレータは、有機結晶シンチレータおよび液状有機体溶液の両方を有し、この場合、シンチレーション材料を溶解して液体シンチレータを形成し、次にこの液体シンチレータをプラスチック化してプラスチックシンチレータを形成する。無機シンチレータは、NaI(Tl)、BGO、CsI(Tl)およびその他の結晶シンチレータ、および光子スイッチ検出器を有する構成とする（2個以上の異種シンチレータの組み合わせを共通PMTに光学的に結合し、シンチレータにおける減衰時間の差を用いて放射/検出相互干渉が起こった場所を決定する。）。

【0084】

この例において、検出器は、76 mm × 76 mmのNaI(Tl)ガンマ線シンチレーション検出器とした。図10aは、信号処理方法により処理する前におけるデジタル化検出器データ200を、時間 t (μ s) 対エネルギー E (keV) としてプロットし、要素信号の瞬時的位置およびエネルギーに関してプロットした信号処理方法の結果（例えば参照符号210で示す）とともに示す。例えば、元のデジタル化検出器データ200において1個のピーク220が約75.8 μ sの時点で現れるものは、それぞれ75.3および75.7 μ sにおける2個の異なる信号222, 224に分解された。

【0085】

信号の決定された瞬時的位置、エネルギーおよび形状から、検出器データのモデルを生成できる。図10bは合成データモデル230を、時間 t (μ s) 対エネルギー E (keV) としてプロットし、図10aに示したデジタル化検出器データストリーム200の一

部である。反転したエラープロット 2 4 0 は、検出器データ 2 0 0 とデータモデル 2 3 0 の差の平方をプロットしており、モデル 2 3 0 におけるエラーを示す。エラー信号は、モデル 2 3 0 が検出器出力を正確に追従しているならば小さくなるが、検出器データのモデル 2 3 0 と検出器データ 2 0 0 自体との間に不一致があれば大きくなる。このエラー信号 2 4 0 に基づいて、信号処理方法により推定した信号パラメータを容認するか拒否するかの決定を行う。

【 0 0 8 6 】

図 1 0 c は、信号処理方法により生成したガンマ線エネルギースペクトル 2 5 0 を対数線形形式でプロットしている。容認されたエネルギーパラメータをヒストグラムとしてプロットし、ここで横軸は各ビンにおける各信号のエネルギー E (keV) であり、縦軸は、収集期間 (本例において 1 s) に検出して決定したエネルギーの個数 N を表す。

10

【 0 0 8 7 】

図 1 1 は、ヨウ化ナトリウム $\text{NaI}(\text{TI})$ ガンマ線検出器を用いて収集したガンマ線エネルギースペクトルの一例をプロットしたものである。図 1 1 に示すガンマ線エネルギースペクトルは、ある計数率の範囲におけるパルス累積を復元する信号処理方法の性能を示す。実験データを、検出器のベース (モデル番号 2 0 0 7) に接続した、7 6 mm \times 7 6 mm のキャンベラ製の $\text{NaI}(\text{TI})$ ガンマ線検出器 (モデル番号 8 0 2) を使用して収集し、予増幅器は使用しなかった。信号処理ハードウェアを、6 5 M H z および 1 4 ビットのアナログデジタル変換器により検出器のベースにおけるダイノード出力に接続した。

20

【 0 0 8 8 】

$\text{NaI}(\text{TI})$ 結晶を、平行化 (コリメート) したガンマ線ビームにより照射して、検出器の中央部がガンマ線のほぼ平行なビームにより十分に照射されることを確実にし、ビーム直径は 5 0 mm とした。

【 0 0 8 9 】

0 . 3 7 G B q および 3 . 7 G B q の 2 個の 1 3 7 C s ガンマ線源を、3 個の校正したアルミニウム透過フィルタと組み合わせて使用し、検出器面におけるガンマ線束の範囲を確保した。検出器の線源に対する距離は、データ収集中、一定に維持した。

【 0 0 9 0 】

図 1 1 につき説明すると、スペクトル 2 6 0 , 2 6 2 , 2 6 4 , 2 6 6 , 2 6 8 および 2 7 0 を、それぞれ 5 2 9 k H z , 2 3 0 k H z , 1 6 7 k H z , 1 2 4 k H z , 6 7 k H z , 9 k H z の計数率で収集した。予想通りに、装置で収集して本実施形態の方法により処理したデータは、計数率が増加するにつれて悪化した。ピークエネルギー (すなわち 6 6 1 . 7 k e V) に対するパーセント表示をすると、ピークの最大値半分における全幅 (F W M H) はそれぞれ、9 . 6 % , 7 . 3 % , 7 . 1 % , 6 . 9 % , 6 . 7 % , 6 . 7 % である。9 k H z から 2 3 0 k H z までの計数率に対して、6 6 1 . 7 k e V における 1 3 7 C s ガンマ線エネルギーピークの分解能は 7 . 5 % 以下で維持される、すなわち、 $\text{NaI}(\text{TI})$ 検出器から 2 5 倍以上の計数率の増加にもかかわらず、6 6 1 . 7 k e V におけるエネルギー分解能は 0 . 5 % 未満だけしか減少しない。

30

【 0 0 9 1 】

本実施形態の信号処理方法の性能を、さらに図 1 2 および 1 3 に示す。これら二つの図面はコンピュータシミュレーションの結果として生成し、入力計数率を正確に制御し、したがって、入力計数率を極めて広範囲で考慮できる。図 1 2 は、0 . 1 ~ 2 . 5 M H z の入力計数率に対する信号処理方法 (すなわち正確に検出した入力計数率の部分における) スループットを対数 - 対数形式でプロットしている。理論上の限界 (すなわちスループットと入力とが等しい) を破線で示す。この図面により、広範囲の入力計数率にわたり、信号処理方法のスループットは、9 0 % 以上を維持することを示す。

40

【 0 0 9 2 】

図 1 3 は、図 1 2 と比較可能であり対数 - 線形形式でプロットしているが、で 0 . 0 0 0 5 ~ 1 0 M H z の入力係数率についてのスループットのパーセント表示である。さらに

50

、図 1 3 は本実施形態の信号処理方法のエネルギー分解能およびピーク位置性能をプロットしている。1 3 7 C s ピークのエネルギー分解能は、0 ~ 2 . 5 M H z にわたり 1 0 % 未満で低下し、ピーク位置はその範囲でほとんど変化しないことを示す。

【 0 0 9 3 】

図 1 4 a , 1 4 b , 1 4 c , 1 4 d は、さらに、7 6 m m x 7 6 m m の N a I (T I) ガンマ線検出器の出力に対する本実施形態のパルス累積復元に、信号処理方法を適応した結果を示す。データの約 1 4 μ s を使用して、これら図にプロットしたデータを生成する。図面は時間 t (μ s) に対して任意の単位でエネルギー E をプロットしている。

【 0 0 9 4 】

図 1 4 a は A F E 9 4 をプロットしており、6 5 M H z のアナログデジタル変換率および 1 4 ビットの分解能を用いて、検出器の経時的に変動する電圧出力をデジタルデータに変換する。図 1 4 b は本発明方法を適用した結果をプロットしている。信号の瞬間的位置（垂線で示す）を、要素信号のエネルギー（x 印で図示する）を有するように分解する。要素信号の瞬間的位置およびエネルギーを上記のように、信号形状と組み合わせ、ガンマ線検出器出力のモデルを決定するために用いて、結果として得られたモデルを図 1 4 c にプロットする。

【 0 0 9 5 】

ガンマ線検出器のデジタル化出力をガンマ線検出器のモデルと比較して、ガンマ線検出器の特性決定するステップにおいて作成したエラー推定を導き出す。このエラー信号を図 1 4 d にプロットする。次にこのエラー信号に基づいて、信号パラメータ推定を排除する閾値を決定することが可能であり、信号エネルギーの推定を容認または拒否するための決定を、振幅または信号ピークの近傍におけるエラーにより決定する。

【 0 0 9 6 】

図 1 5 a , 1 5 b , 1 5 c , 1 5 d は、半導体（または固体）検出器で収集したデータに対して、本実施形態のパルス累積を復元する信号処理方法を適用した結果を示す。このような検出器は、電子孔対を形成する半導体の結晶格子内における電子に対して入射する放射の相互作用を使用する。これら検出器の例としては、高純度ゲルマニウム（H P G e）検出器、シリコンダイオード検出器、半導体ドリフト検出器（例えば、シリコンドリフト検出器）、カドミウムテルライド（C d T e）検出器および C Z T 検出器がある。

【 0 0 9 7 】

したがって、図 1 の装置を使用し、検出器 1 6 の代用としてキャンベラ・インダストリー（Canberra Industry）社製の高純度ゲルマニウム（H P G e）検出器の形式とした検出器ユニットと、中性子源および試料の代わりに 5 7 C o ガンマ線源（その 2 個の主要ガンマ線は 1 2 2 . 1 k e V および 1 3 6 . 5 k e V のエネルギーを有する）を使用する。H P G e 検出器の出力を、予増幅器に、次にオーテック（Ortec）社製のパルス整形増幅器に供給する。データの約 9 2 μ s の範囲を収集し、時間 t (μ s) 対任意単位のエネルギー E をデータから生成して、図 1 5 a , 1 5 b , 1 5 c , 1 5 d にプロットする。図 1 5 a は、A F E 9 4 の出力をプロットする。検出器の経時的に変動する電圧出力を、6 5 M H z のアナログデジタル変換率の 1 4 ビット分解能で、デジタルデータに変換する。図 1 5 b は、本発明方法を適用した結果をプロットする。信号の瞬間的位置（垂線で示す）を分解して、要素信号のエネルギー（x 印で図示する）を得る。瞬間的位置、要素信号のエネルギーおよび信号形状を使用して、処理した H P G e 検出器出力のモデルを決定し、このモデルを図 1 5 c にプロットする。

【 0 0 9 8 】

図 1 5 d はデジタル化した H P G e 検出器の処理出力と出力モデルの比較から得たエラー信号をプロットする。エラー信号を使用して、信号パラメータ推定を排除する閾値を決定することができる。

【 0 0 9 9 】

図 1 6 a , 1 6 b , 1 6 c , 1 6 d は、本発明実施形態のパルス累積復元信号処理方法を、X 線を検出するのに用いるガス比例検出器の出力に、適用した結果を示す。ガス比例

10

20

30

40

50

検出器は、固体検出器と同様の挙動を有する検出器である。ガス比例検出器は、チャンバ内のガスに対する放射の相互作用に基づく。電場を、チャンバ内で軸方向ワイヤとチャンバ壁との間に生成する。ガスを通過する放射はガスをイオン化して電子を発生し、この電子を電場によってワイヤに収集し、検出器データとして出力する。

【0100】

したがって、図1の装置10を使用して、検出器16の代用としてキセノンガス比例検出器の形式とした検出器、およびスクリーニングすべき物品以外にX線回折装置からのX線発生器を有する。約300 μ sにわたるデータを収集し、時間t (μ s) 対任意単位のエネルギーEをデータから生成し、図16a, 16b, 16cおよび16dにプロットする。前の例に比べて、著しく大きいデータ収集期間を用いており、これはキセノンガス比例検出器の減衰時間が比較的長い(50 μ s以上)からである。この理由のためにAFE94のサンプリング率に減少した。

10

【0101】

図16aはAFE94の出力をプロットしたものであり、この例において、15MHzのアナログデジタル変換率、および14ビットの分解能を使用して、検出器の経時的に変動する電圧出力をデジタルデータに変換する。X線信号の瞬間的位置(垂線で図示する)を分解し、要素信号のエネルギー(x印で示す)を得る。要素信号の瞬間的位置およびエネルギーを上記のように用いて、信号形状とあわせて、キセノンガス比例検出器出力のモデルを決定し、; 結果のモデルを図16cにプロットする。

【0102】

20

キセノンガス比例検出器のデジタル化出力を、キセノンガス比例検出器の特徴付けにより作成したエラーの推定を得るために、キセノンガス比例検出器出力のモデルと比較する。エラー信号を図16dにプロットする。このエラー信号を、信号パラメータ推定を使用して排除する閾値を決定し、例えば、信号処理方法により推定した信号パラメータを容認または拒否する決定を行う。

【0103】

複数信号形状

大容量の固体検出器等、いくつかの検出器タイプに対して、所定信号形状は、可能性のある複数の信号形状の一つとすることができる。これは検出器タイプに固有のもの、または温度もしくは他の測定固有要因に依存するものとすることができる。

30

【0104】

例えば、CsI(Tl)検出器はシンチレーション検出器であり、中性子またはガンマ線のどちらを検出するかに基づいて、2種類の異なる信号形状が存在する。固体放射検出器は、放射の一形式のみを検出するときでも経時的に変動する信号形状を示し、大容量の高純度ゲルマニウム(HPGe)検出器は、例えば、形状が放射と検出器との間における相互作用の特定部位に基づく出力信号を生成する。HPGe検出器のゲルマニウム結晶に対する放射の相互干渉は、多数の電子-孔対を生成し、放射で誘発される電荷は、電子および孔の両方が帯電する。しかし、電子および孔は異なる速度でHPGe検出器を通過し、したがって電子が生成した電荷パルスは、孔が生成した電荷と異なる形状となる。したがって、検出器が生成するパルス(電子および孔の双方が帯電する電荷の合計)は、相互

40

【0105】

したがって、複数の信号形状は、これら変化する物理的メカニズムの結果である。各信号形状は、 $d1[n]$, $d2[n]$... $dQ[n]$ で示し、この場合、Qは特定検出器タイプにより発生する、異なる信号形状の総数である。可能性のある信号形状のそれぞれを、一つの形状を有するデータ信号形状を特徴付けする方法と同様の方法で特徴付けする。しかし、複数の信号形状で、キャリブレーション(較正)処理を、適切な長さの時間にわたり拡張して実施し、全ての可能性のある信号形状を識別して特徴付けすることを確実にし、瞬間的位置および信号エネルギーを含む信号パラメータの推定は、識別したデータストリーム内における各信号の形状を識別した後に実行することができる。

50

【 0 1 0 6 】

これら信号パラメータを正確に推定するためには、上述の方法（単独の信号形状を有するデータに対して）のあり得る多数の拡張したアプローチ（手法）を使用することができる。

【 0 1 0 7 】

1．信号の瞬間的位置および信号のエネルギーを含む信号パラメータを、第1信号 $d_1[n]$ のような同一形状を有するデータストリームにおける全ての信号を取り扱うことにより、データストリームにおける各信号を推定する。信号形状 $d_1[n]$ と容認可能に一致しない信号のパラメータは検証段階で拒否し、パラメータがうまく推定され、したがって信号形状 $d_1[n]$ と容認可能に一致する信号を、データストリームから取得する。この処理を順次 $d_2[n]$ から $d_Q[n]$ まで繰り返し、各段階において信号パラメータを、その段階で使用する信号形状を持つ信号に対して推定する。各段階において、行列式4を、 p 回繰り返して信号形状 $d_p[n]$ を用いて構築した行列 A により解く。この処理が完了する際に、あらゆる複数の信号形状に対する検証段階でパスしなかった信号は、いかなる複数の信号形状とも容認可能に一致しないものとして拒否する。

【 0 1 0 8 】

2．アプローチ1の変更例として、信号パラメータを信号形状のそれぞれに対して順番に推定するが、この信号は各段階において取得しない。代わりに、推定した信号を最終信号検証段階で用いて、データストリームの最適な総合推定を与える信号形状および信号パラメータを決定する。このことにより、信号パラメータを推定するのに使用されなかった信号形状であるとき、信号は一信号形状であると不正確に推定される可能性を許容する。

【 0 1 0 9 】

3．アプローチ1の他の変更例として、2個の信号形状、例えば便宜上 $d_1[n]$, $d_2[n]$ の線形的結合として $d_p[n]$ の各信号形状をモデル化することができる。したがって、 p 番目の信号形状 $d_p[n]$ は、次式のようにモデル化できる。

【 数 8 】

$$d_p[n] = (a \cdot d_1[n] + b \cdot d_2[n]) \quad (8)$$

ここで a および b は、必要であれば、この等式から直接決定できる未知の定数である。この場合の行列式を解くために、行列式を次式のように拡張する。

【 数 9 】

$$x = [A_1 \quad A_2] \begin{bmatrix} Y \\ \beta \end{bmatrix} + \omega, \quad (9)$$

サブ行列 A_1 および A_2 は、それぞれ式5を用いて信号形状 $d_1[n]$ および $d_2[n]$ から形成する。未知信号エネルギーベクトル ω を、ベクトル β および Y を用いて再定義し、信号 i の実際の信号形状を $i = i + i$ として推定できる。線形等式の新システムを、先の行列式4を解決するため使用したのと同じの方法を用いて解決する。この第3アプローチによれば、2つの信号形状 $d_1[n]$ および $d_2[n]$ の線形結合として表せる予想信号形状の連続体から、信号形状を得ることができることに留意されたい。

【 0 1 1 0 】

したがって、このアプローチ3は、實際上、無制限な数の信号形状を表現できる。

【 0 1 1 1 】

4．アプローチ3の他の変更例として、2個の信号形状の線形結合に対する複数信号形

状それぞれの分解手段を、一般的な場合に拡張して、複数の信号形状を、任意な個数の信号形状の線形結合として分解できる。

【0112】

実験例

装置10を、検査物品12とともに検出器14を遮蔽室内に配置することにより検査した。検出器14は、SALC（商標）PELAN検出器とした。

【0113】

オシロスコープを用いて、パルス整形増幅器16からの出力パルスをパルス処理モジュール18におけるADCsの入力段の±1ボルト範囲内に維持することを決定する。図17には、パルス処理モジュール18を用いて収集した、検出器14からのデジタル化出力の表示区域を示す。パルス整形増幅器における設定は全ての実験例に対して一定に維持し、この設定は、1μsのパルス整形、5×0.5のゲイン、単極パルス整形とした。

10

【0114】

5種類の実験環境を、条件範囲の下でパルス処理性能を評価するよう設けた。実験変数を表1に示す。第1データ収集実験において、水を収容した袋のみを検出器14の前方に配置したが、次の実験（より関心のあるスペクトルにするため）では、「ポリ」目標対象物を追加した。

【表1】

表1：検出器14からのデータ収集としての実験形態

20

実験例	対象物	中性子発生器電圧	推定の中性子流束	収集時間
A	水	60 kV	0.5×10 ⁸	1000ファイル
B	水およびポリ	60 kV	0.5×10 ⁸	1000ファイル
C	水およびポリ	70 kV	1.0×10 ⁸	1000ファイル
D	水およびポリ	80 kV	1.0×10 ⁸	296ファイル*
E	水およびポリ	80 kV	1.0×10 ⁸	1000ファイル
F	水およびポリ	85 kV	1.7×10 ⁸	1000ファイル

30

* 実験例Dにおいて、データ収集は検出器14の早期電源断によって早く終了した。

【0115】

分析の目的は、各線源構成における放射エネルギースペクトルを決定することであった。

【0116】

分析をオフラインで行い、記録データを、処理モジュール18内に送って再生し、パルス処理の出力を使用して、コンピュータ20上で表示するためエネルギースペクトルを生成した。分析処理を図8に示し、分析の中間ステップも示す。

【0117】

40

パルス処理モジュール18の様々な段からのデータを、図18に示す。上から下まで順番に、(i)14ビットの精度および26.5MHzで作動したAFE94からの出力であり、約381μsの期間にわたるデジタル化検出器データを示し、(ii)パルス位置決定段の出力であり、データストリームにおける各ガンマ線事象の瞬間的位置を識別する出力を垂線により示し、(iii)パルス識別段の出力であり、全ガンマ事象のエネルギーを推定し、元のシステム入力データに重ねて出力を示し、パルス処理モジュール18の累積復元関数を示し、これにより複数の累積パルスでさえも正確に特徴付けすることができる、(iv)検証段の出力であって、推定した全信号パラメータの正確性を決定するために用いて、サンプル8300などに見られるような、検証信号における大きなスパイクを識別し、不正確な信号推定を廃棄する。

50

【0118】

パルス処理の実行に加えて、検出器14の中性子源をオン状態にしてデータのどの部分を記録するか、線源をオフ状態にしてデータのどの部分を記録するかを決定する必要がある。実験の設定(セットアップ)において、この同期データは利用可能ではなく、したがって、データを検査して、中性子源の負荷時間率(10 μ sはオン状態で、90 μ sはオフ状態)を理解することに基づいて、線源がオンかオフかを決定した。しかし、同期信号がない場合、この割り当てはエラーの影響を受けやすく、以下の問題を起しやすい。すなわち、

1. 線源がオフ状態であるのに、線源がオン状態であると割り当てられた信号はオン状態である期間中の検出数は線源がオフ状態のときよりも相当多いので、「線源オン状態時」スペクトルの著しい劣化は起こりにくい。

2. 線源がオン状態であるのに、線源がオフ状態であると割り当てた信号は、この種の誤割り当ては、「線源オフ状態時」スペクトルの劣化を起しがちである。さらなる誤検出もあり得るため、特徴分解は、同期信号が利用可能であるのが望ましい。

【0119】

実験結果

6回の実験を、表1に示した様々な目標対象物設定および中性子強度で行った。各実験において、データをパルス整形増幅器16の出力で記録した。各実験において、1000個のデータファイルを記録し、各データは260,000個のデータサンプルを有する、または26.25MHzのサンプリング率で約9.9msの期間にわたるデータを有する。したがって、各実験に関して10秒未満の期間にわたるデータ全体を記録した。

【0120】

実験例A, B, C, E, Fの間に収集した処理データの結果を図19~25に示す。これら図面は、各実験で生成したエネルギースペクトルを示し、チャンネル数に対する計数(カウント)としてプロットした。(実験例A, B, C, E, Fの)5個のスペクトルは、それぞれの場合で重なり合うので、スペクトル間の差が観察できる。いくつかの場合において、スペクトルを実験に応じてさらにラベル付けする。図19~21は複合ガンマ線スペクトルであり、これらスペクトルは、中性子源がオン状態のときおよびオフ状態のときで影響を受ける。図22および23は中性子パルス発生中で収集したスペクトルであるとともに、図24および25は中性パルス発生事象相互間で収集したスペクトルを示す。

【0121】

特に、図19は「線源オン状態」および「線源オフ状態」の双方における全体エネルギーである。図20は「線源オン状態」および「線源オフ状態」の双方における低エネルギーである。図21は「線源オン状態」および「線源オフ状態」の双方における高エネルギーである。

【0122】

図22は「線源オン状態」スペクトルの低エネルギースペクトルである。図23は「線源オン状態」スペクトルの高エネルギースペクトルである。図24は「線源オフ状態」"スペクトルの低エネルギースペクトルである。図25は「線源オフ状態」"スペクトルの高エネルギースペクトルである。

【0123】

これら図面に存在するデータは、装置10の性能を示す。パルス処理モジュール18のスループット(処理量)能力は図20および21から特に明らかとなり、検出器内のカウント記録が20kHzから丁度40kHzを越えるように2倍にすることは、エネルギーピークの高さでも同様の増加を生成する。このことは、パルス処理モジュール18は高スループットを維持して、パルス累積による損失が少ないという考察を支持する。

【0124】

処理モジュール18のデッド時間を図26に示す。上から下まで順番に図26は、(i)十分なパルス累積が確実に存在する、実験例F(例えば図17)中に検出器14から受信した入力データストリーム、(ii)パルス位置特定出力、(iii)パルス識別出力、(iv)検証

エラー信号を示す。図 26 は、どのようにパルス累積を、2 個のパルス累積および決定した相対エネルギーの合計として正確に推定するかを示す (1.7 μ s の期間にわたる実験例では順次のパルス間に遅延を有する)。

【0125】

本発明の別の実施形態によれば、図 27 においてスクリーニングする貨物 284 を運ぶトラック 282 (背面図) とともに線図的に示す貨物スクリーニング装置 280 を提供する。装置 280 は、図 1 の装置 10 と多くの点で同様であり、同様の特徴を同様の参照符号で示す。

【0126】

しかしながら、装置 280 は、パルス中性子源および個別のガンマ線検出器 288 を有する点で図 1 の実施形態と異なる。このことは、貨物または積荷 284 を、中性子源 286 と検出器 288 との間に配置して検査することができる。

【0127】

検出器 288 の出力を、同軸ケーブル 22a を介して、パルス整形増幅器 16 内に供給する。中性子源 286 は同期信号を出力して、同期信号をデータケーブル 22d によりパルス処理モジュール 18 に送信し、所要に応じて、検出器からの信号を中性子源がオン状態またはオフ状態に応じて分離して分析することができる。

【0128】

図 28 は、本発明の別の実施形態による中性子活性化技術により、薬、化学物質および爆発物などの不法物品を検出するためのスクリーニングシステム 290 の概略図である (検査する物品を、図示の例ではスーツケース 292 の形式として示す)。スクリーニングシステム 290 は、片側構成とし、それぞれスーツケース 292 と同じ側面側に配置した放射源 294 および放射能検出器 296 を有する。放射源 294 は、この実施形態において、電気的中性子発生器 (ENG) を備え、他の実施形態と同様に、AmBe 源または Cf252 源などの同位体源を備えることができる。ENG の中性子出力は、同位体源の出力より著しく高く、また使用していないときにスイッチを切ることができるため中性子源はより安全である。中性子を ENG 内で、3 重水素または重水素ターゲット 298 内に重水素イオンを電氣的に加速させることにより発生する。ENG 294 は何 100 kHz までの率のパルスを発生することもでき、連続する中性子またはガンマ線流束の時間的分布を分析するために用いることができる。ENG 294 は、ENG 294 の作動を制御するための電子的サブシステム 300 を有し、作動は中性子の生成およびフェールセーフシステムの双方を含む。

【0129】

使用にあたり、ENG 294 は等方的に中性子を放射し、スーツケース 292 と相互作用する。これら中性子はスーツケース 292 の構成要素と相互作用し、放射流束を放射検出器 296 により検出する。放射は、後方散乱中性子およびガンマ線を含み、検出器 296 は中性子検出器およびガンマ線検出器の両方を備える。他の実施形態において、検出器 296 は用途に応じて、中性子検出器のみ、またはガンマ線検出器のみを備えることができる。

【0130】

スクリーニングシステム 290 は、さらに、ENG 294 と放射能検出器 296 との間にシールド 302 を備え、スーツケースと相互作用しない放射源の直接検出を削減する。スクリーニングシステム 290 は、検出器 296 により出力する信号を増幅する増幅器 304 と、図 9 の実施形態のパルス累積を復元する信号処理方法により増幅信号を受信および処理する検出電子機器 306 を有する。

【0131】

スクリーニングシステム 290 は、さらに、測定中にシステム 290 を支持する安定化アームを有する。このような測定は、検査する物品、物品内に存在する不法品の量、および容認可能な測定信頼性があるとみなせるものに基づいて 2 ~ 5 分行う。例えば、この装置から 30 cm に位置するスーツケース内の 1 kg の爆発物 TNT を検出するには 5 分か

かり、より大質量の TNT は、例えば 5 kg であれば、2 分で済む。

【0132】

この実施形態において、検出器 296 はビスマスゲルマニウム (BGO) シンチレーション検出器を備えて、光電子増倍管との組み合わせで、光電子への放射事象を検出する発射光を変換するために用いて、光電子を迅速に増幅および処理する (検出電子機器 306 による)。BGO 検出器は、優れた放射耐性、入射する放射事象の高検出効率 (その高濃度および高 Z 値)、および機械的強度を有する利点がある。しかし、BGO シンチレーションに基づく検出システムは約 3 μ s のデッド時間を有するために、300 ns の減衰期間を有するシンチレーション光出力を有するものとする (デッド時間は、ある事象を検出した後に、いかなる連続事象をも正確に検出できない期間である)。もし 2 個の事象がデッド時間内に起こったなら、それらは互いの頂点で累積し、各事象のエネルギーを正確に決定できない。このことが起こるとき、全累積事象は、結果として生ずるエネルギースペクトルが誤っていることを確実になくすために廃棄する。

10

【0133】

図 29a および図 29b は、検出器のパーセント表示スループット (処理量) の計算結果を、すなわち、パルス累積により影響を受けない放射事象の入力を、入力計数率に対して、スクリーニングシステム 290 (320a および 320b で星印プロット)、および従来のデータ処理を行うように変更したスクリーニングシステム 290 (322a および 322b で丸印プロット) の双方についてプロットする。双方の場合について、スクリーニングシステム 290 のデッド時間を 3 μ s と仮定する。80 kHz の入力計数率において、検出器 296 上で衝突する全事象のおよそ 40% を、従来データ処理を実行するときのパルス累積のために失われる。

20

【0134】

図 30 は同様のデータを、スクリーニングシステム 290 (320c で星印プロット)、および従来のデータ処理を行うように変更したスクリーニングシステム 290 (322c で丸印プロット) の双方についてプロットするが、しかし、出力計数率 (9 kHz) を入力計数率 (kHz) に対してプロットする。理想限界 (すなわち、スループットは入力に等しい) を破線で示す。図から明らかなように、計数率はすぐに頂点となり (ポイント 330 参照)、入力計数率のさらなる増加は、検出事象数を増加しない。BGO 検出器は、固定デッド時間を有し、したがって、入力計数率が増加するにつれて、累積の可能性が増加する。この理由は、入力計数率が増加するにつれて、パルス累積による破損データを廃棄しなければならないからである。

30

【0135】

図 29a を参照すると、従来のデータ処理を行うスクリーニングシステム 290 が 40% のデッド時間 (つまり 80 kHz) を有する入力計数率において、本実施形態によるスクリーニングシステム 290 は 98% (ポイント 326 参照) 程度のスループットを有する。したがって、分析する特定物品および ENG 294 の中性子出力流束に基づいて、不法品の検出に必要な時間を減少する。したがって、物品のスクリーニングは従来のデータ処理に必要な時間の 65% 以下で完了することが予想できて、例えば上記のシナリオのように TNT 爆発物 1 kg に対して 3.25 分、5 kg の TNT 爆発物に対して 1.33 分で済む。

40

【0136】

さらに、スクリーニングシステム 290 は、BGO などの従来シンチレーション検出器および従来電子機器の性能に対して著しく高い計数率で作動することができる。図 29a および 29b は、入力計数率 800 kHz でさえ、スクリーニングシステム 290 により達成するパーセント表示スループット内に小さな減少のみがあることを示す。800 kHz の入力計数率 (点 328) において、スループットは 85% 以上を維持する。

【0137】

検出器 296 に対する入力計数率を 800 kHz とする作動点を ENG 294 について選択する場合、爆発物または他の不法品についてスーツケース 292 を検査するために必

50

要な時間をさらに削減することが可能であり、これら結果から、1 kg の TNT 爆発物をおよそ 30 s で検出し、5 kg の TNT 爆発物を 20 s 以下で検出できることが予想できる。

【0138】

図 31 は、代替の実施形態の概略図であり、両側構成のスクリーニングシステム 340 示す（検査下にある物品 342 を、この実施形態においてトラック 344 の荷台上における船舶輸送用コンテナの形式として示す）。

【0139】

スクリーニングシステム 340 は検査する物品 342 が通過するスクリーニング橋門（ポータル）346（第 1 および第 2 の側壁 348 a, 348 b を備える）を有する。第 1 壁 348 a は第 1 放射源 350 a を有し、放射源を概して上方からの扇状放射内に検査する物品 342 を配置する。第 2 壁 348 b は第 2 放射源 350 b を有し、放射源を概して下方からの扇状放射による検査する物品 342 を配置する。放射源 350 a, 350 b は、ガンマ線放射源、またはガンマ線源および中性子線源もしくは X 線源のどちらかを備えるものとする。この実施形態において、各放射源 350 a, 350 b は、661.6 keV のガンマ線を発射する平行化（コリメート）した 1.0 キュリーセシウム 137（Cs 137）線源、または 1173.2 keV ガンマ線および 1332.5 keV ガンマ線を発射する平行化（コリメート）したコバルト 60（Co 60）線源を備える。

10

【0140】

スクリーニングシステム 340 は、第 1 および第 2 のポータル壁 348 a, 348 b 内にそれぞれ配置する第 1 および第 2 の 2 つの検出器アレイ 352 a, 352 b を有し、アレイは放射源 350 a, 350 b からの後方散乱放射および透過放射を検出するように配置する。各検出器アレイ 352 a, 352 b は、256 ヨウ化ナトリウム（NaI）シンチレータ検出器を備え、これら NaI シンチレータのそれぞれは 1.125 平方インチ（28.6 mm²）の前面を有し、それぞれ光電子増倍管（図示せず）に接続する。光電子増倍管からの信号を検出電子機器（図示せず）に出力して、図 9 の実施形態のパルス累積復元信号処理方法によって増幅信号を処理する。

20

【0141】

各検出器は、コンテナ 342 を透過または背面で反射した後に相互作用する放射流束を記録する。トラックがポータル 346 を通過するにつれて、スライス状で画像を構築し、画像は透過画像または後方散乱画像であり、検出器アレイ 352 a, 352 b 内の各検出器は垂直分解（解像）の 1 画素を与える。

30

【0142】

検出器アレイ 352 a, 352 b のシンチレーション材料であるヨウ化ナトリウム（NaI）は、妥当な優れたエネルギー分解能および停止能力を有し、比較的安価であるが、240 ns の減衰期間であるシンチレーション光出力を有する。この減衰期間のために、NaI シンチレータに基づく検出器システムは、5 μs 程度のデッド時間を有する。エネルギー範囲を、背景を除外して信号 - ノイズ比を改善するために放射源により発射する主要ガンマ線の周りに配置する場合（例えば Cs 137 線源に対して 661.6 ± 15% の範囲）、累積は範囲（窓）外に落ちるために 2 つの事象を廃棄する。

40

【0143】

図 32 は、検出器のパーセント表示スループットの計算結果を、すなわち、パルス累積により影響を受けない放射事象の入力を、入力計数率に対して、スクリーニングシステム 340（360 で星印プロット）、および従来のデータ処理を行うように変更したスクリーニングシステム 340（362 で丸印プロット）の双方についてプロットしている。双方の場合について、スクリーニングシステム 340 の NaI 検出器のデッド時間は 5 μs と仮定する。

【0144】

入力計数率が 80 kHz である場合、従来のデータ処理方法を使用するとき、検出器上の全衝突事象の約 60% を、パルス累積（例えば点 364）のために失う。しかしながら

50

、スクリーニングシステム 340 は 98% (点 366) 以上のスループットを有する。したがって、もしコンテナ 342 を、スクリーニングシステム 340 を用いて同様の入力計数率で検査するなら、従来の処理方法を用いるために必要な時間の 45% で検査を完了することができ、すなわち、120 s の検査を 54 s 程度で完了することが予想される。

【0145】

さらにその上、スクリーニングシステム 340 は、例えば NaI シンチレーション検出器などを有する従来のシステムと比較して、著しく高い計数率で作動することができる。したがって、80 kHz の入力計数率を有する検査を 800 kHz の入力計数率を使用するまで増加して、10 倍することによりコンテナ 342 を検査するために必要な時間を減少させることが可能である。このことは、80 kHz の入力計数率と比較していくらかの
10
スループットのロスを生じるが (すなわち 98% ~ 90% まで)、80 kHz における従来の処理よりは 40% のスループットであり 1.45 倍 ($90\% / 40\% = 1.45$) の改善がまだ得られる。したがって、全増加はおよそ $1.45 \times 10 = 14.5$ 倍の検査速度か、少なくとも振幅のオーダーを、高計数率のスクリーニングシステム 340 を使用することにより達成できる。

【0146】

本発明の範囲内における変更は、当業者によりすぐに行うことができる。したがって、本発明は、実施形態を用いて本明細書に記載した特定実施形態に限定するものではない。

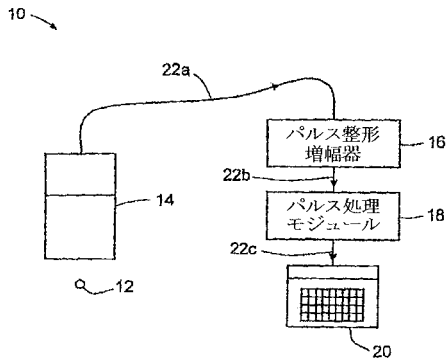
【0147】

以下の特許請求の範囲および本発明の上述した説明において、本明細書が言語表現または必要な推定のために別の面を必要とする箇所以外では、用語「備える」は包括的な意味で用いて、すなわち記載した特徴の存在を明白にするが、本発明の様々な実施形態においてさらなる特徴の存在または追加を除外しない。
20

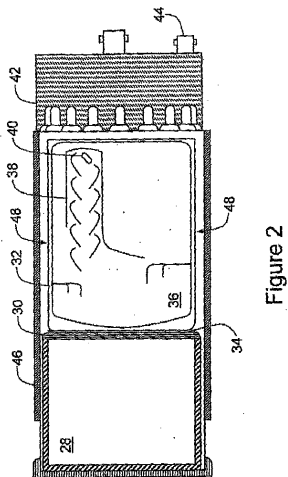
【0148】

さらに、従来技術に対するいかなる参照も、そのような従来技術形態の暗示または通常一般知識の一部として形成する意図はない。

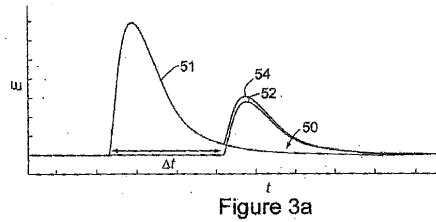
【図 1】



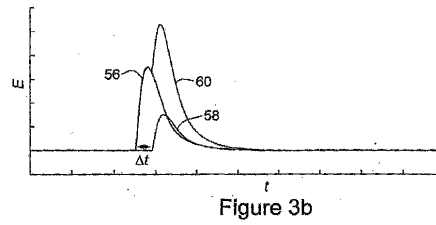
【図 2】



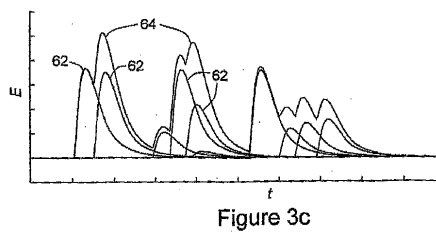
【図 3 a】



【図 3 b】



【図 3 c】



【図 4】

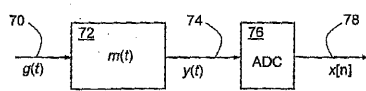
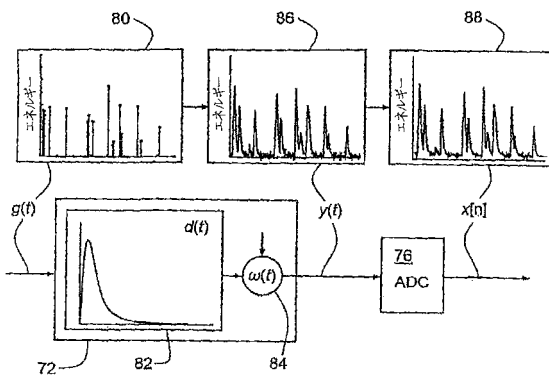
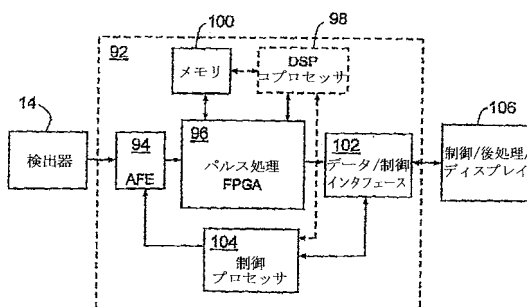


Figure 4

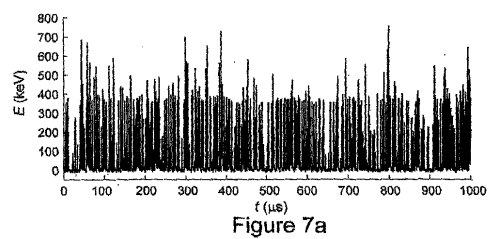
【図 5】



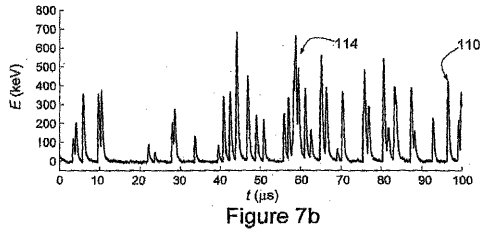
【図 6】



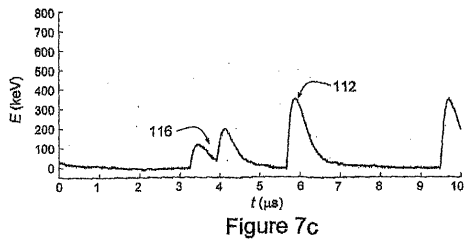
【図 7 a】



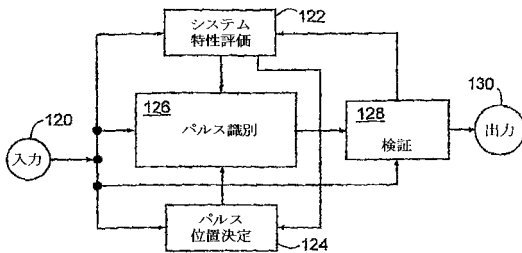
【図 7 b】



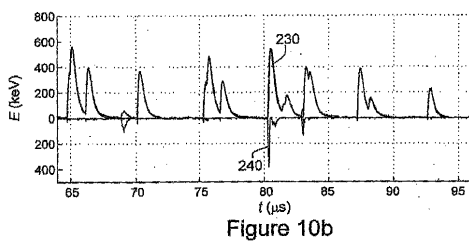
【図 7 c】



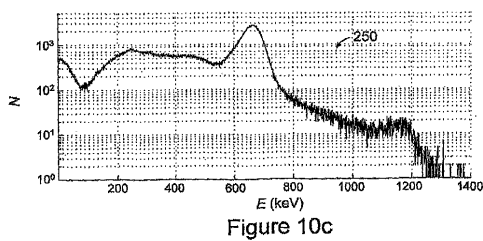
【図 8】



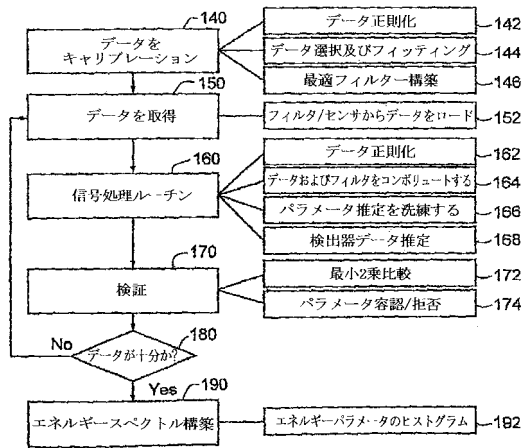
【図 10 b】



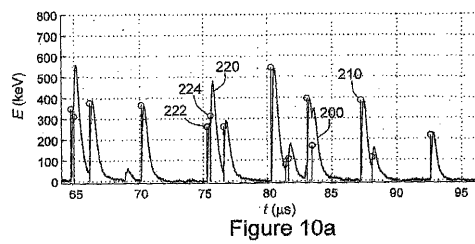
【図 10 c】



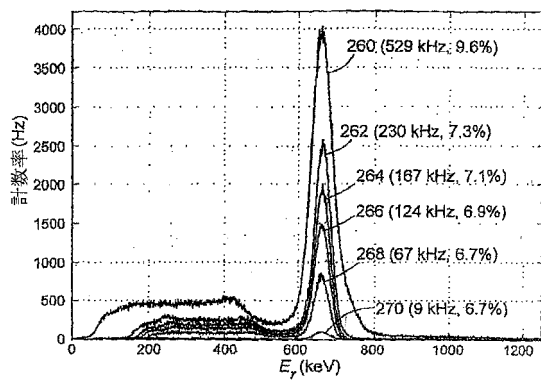
【図 9】



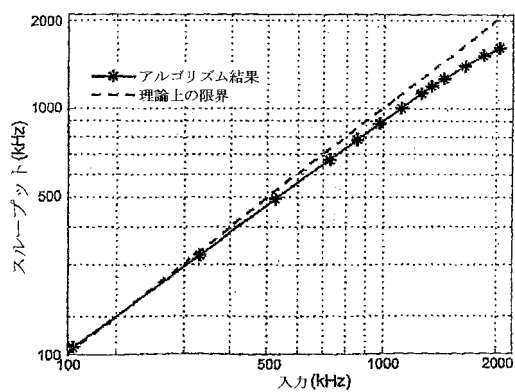
【図 10 a】



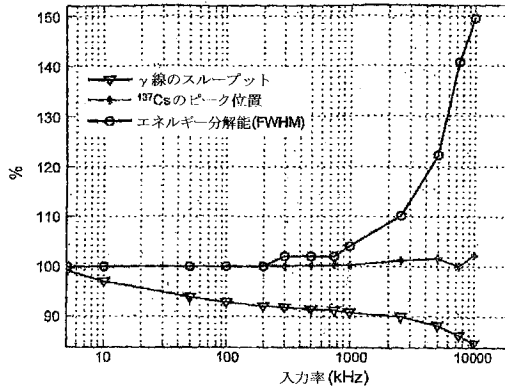
【図 11】



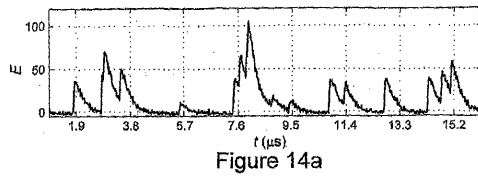
【図 12】



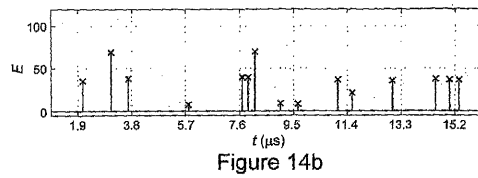
【図 13】



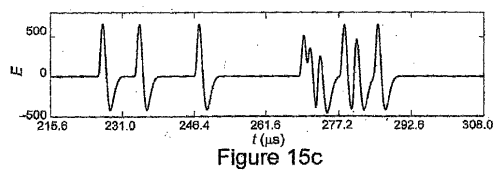
【図 14 a】



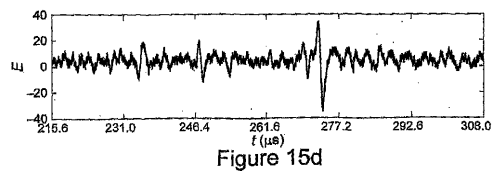
【図 14 b】



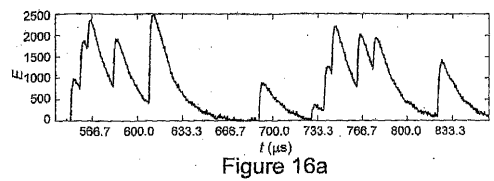
【図 15 c】



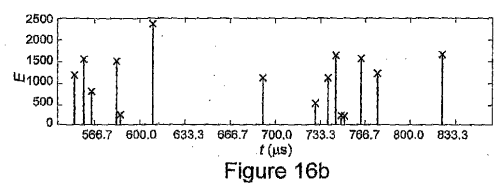
【図 15 d】



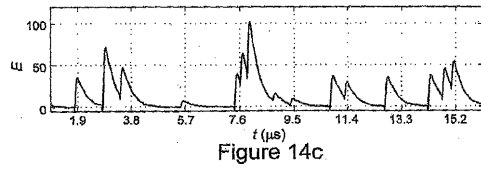
【図 16 a】



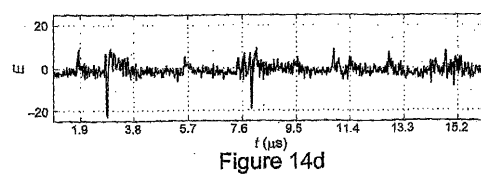
【図 16 b】



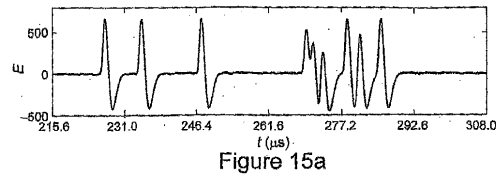
【図 14 c】



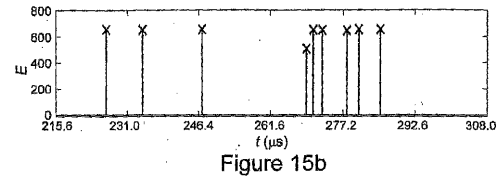
【図 14 d】



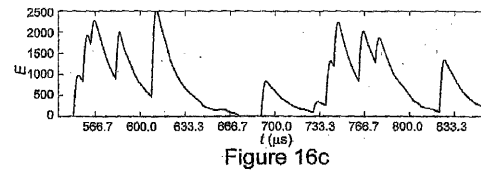
【図 15 a】



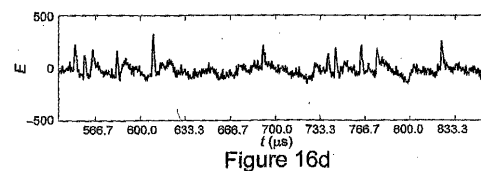
【図 15 b】



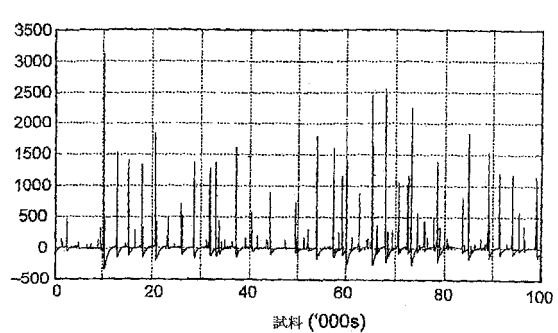
【図 16 c】



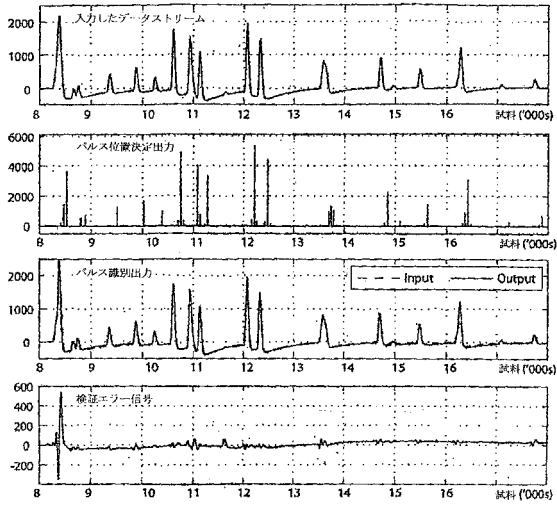
【図 16 d】



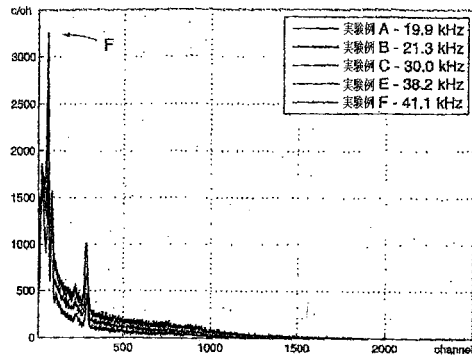
【図 17】



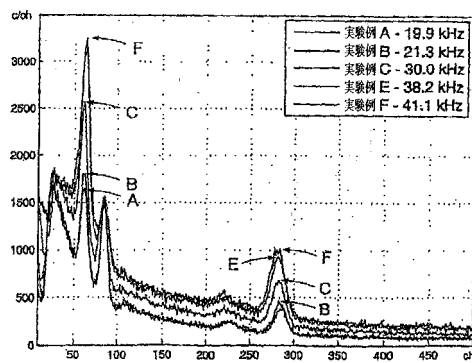
【図 18】



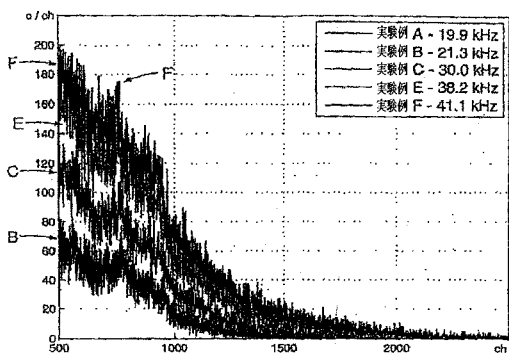
【図 19】



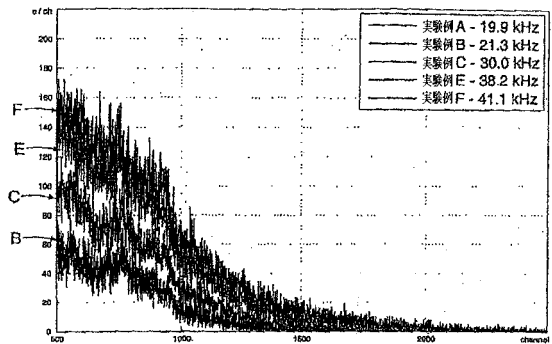
【図 20】



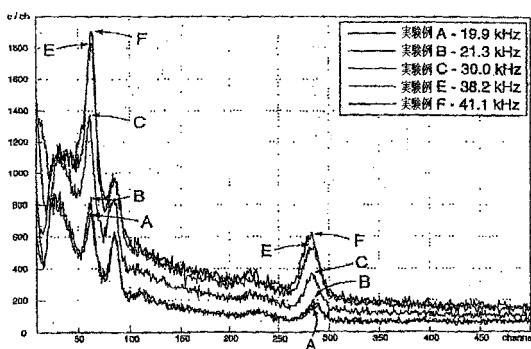
【図 21】



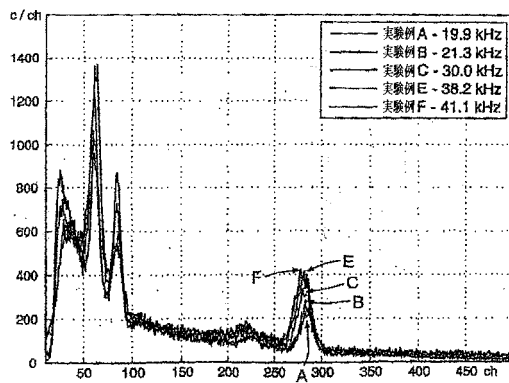
【図 23】



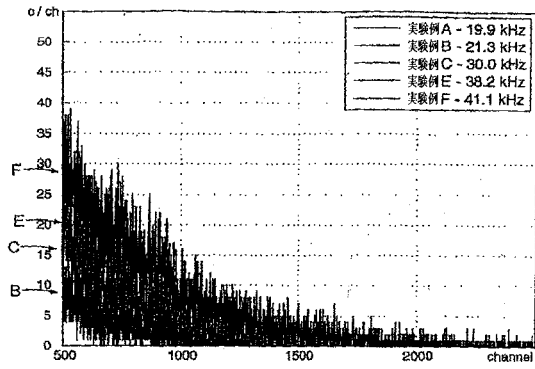
【図 22】



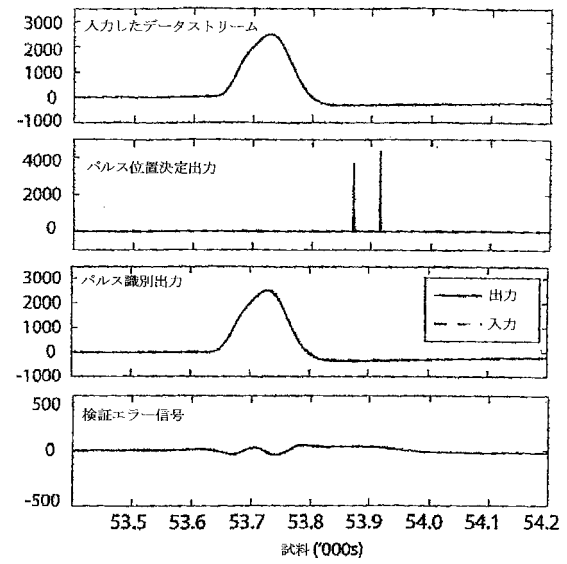
【図 24】



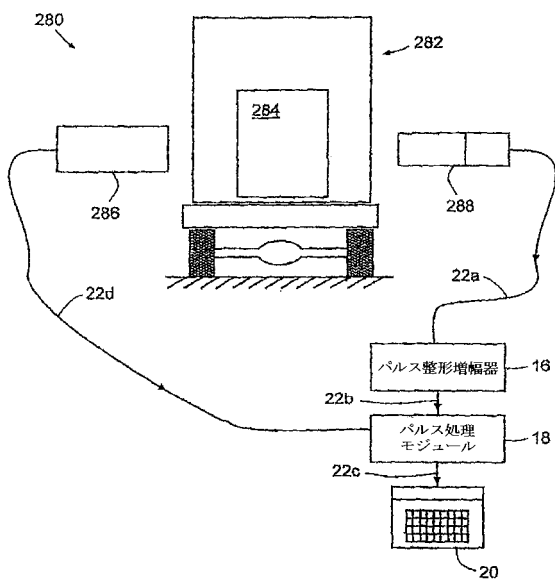
【図 25】



【図 26】



【図 27】



【図 28】

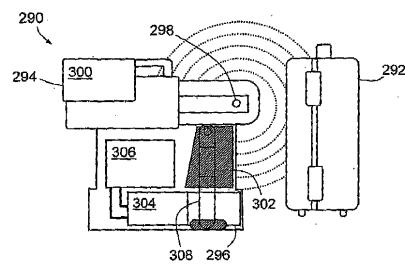
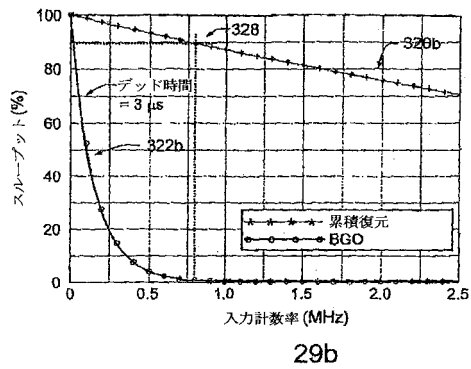
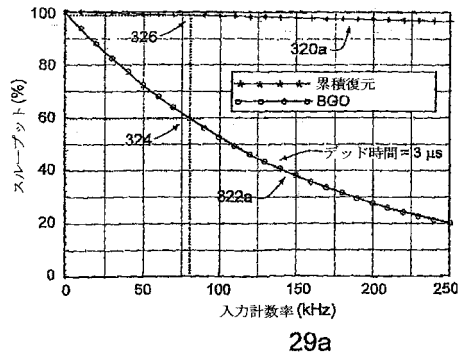
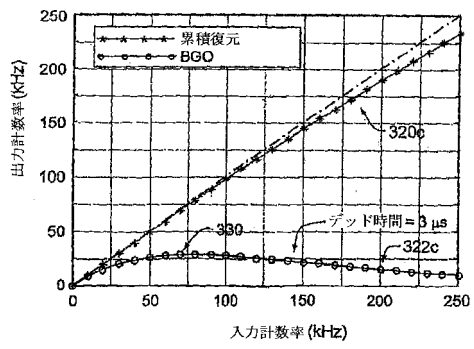


Figure 28

【図 29】



【図 30】



【図 31】

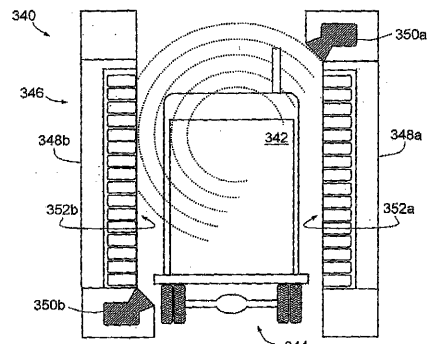
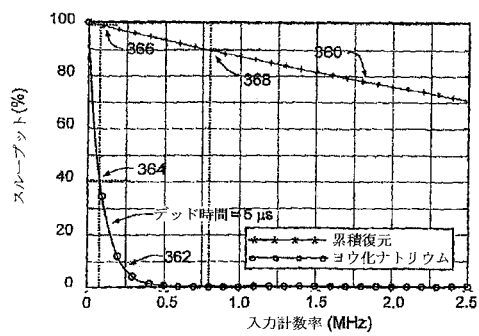


Figure 31

【図 32】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/AU2009/000393

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int. Cl. G01N 23/222 (2006.01) G01T 1/02 (2006.01) 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)		
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) TXTUS1, TXTUS2, TXTUS3, TXTEP1, TXTGB1, TXTW01, TXTAU1, TXTC A1, INSPEC, Patentscope, Google Scholar and keywords (neutron, gamma, X-ray, pile up, pulse?, peak?, overlap?, time, resolve?, series, PHA, spectroscopy, point spread function, instrument response, transform+, convolt+, deconvolt+, screen+, contraband, explosive? and similar terms)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 2006/0157655 A1 (MAMMONE et al.) 20 July 2006 Abstract; figures 2-3; paragraphs 0004-0010, 0036-0064 As above	1-21 19-21
X Y	WO 2006/029475 A1 (THE UNIVERSITY OF ADELAIDE et al.) 23 March 2006 Abstract; figure 1; pages 2-4, 6 and 8-16; claim 1 As above	1-21 19-21
X Y	US 2003/0165212 A1 (MAGLICH) 4 September 2003 Abstract; figures 1, 9-14; paragraphs 0003-0024, 0051, 0059, 0064-0074	1-21 19-21
A	US 2005/0040334 A1 (BEYERLE) 24 February 2005 Abstract; figure 1; paragraphs 0007-0016, 0041-0060, 0064-0066	
<input checked="" 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 "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 06 May 2009		Date of mailing of the international search report 15 MAY 2009
Name and mailing address of the ISA/AU AUSTRALIAN PATENT OFFICE PO BOX 200, WODEN ACT 2606, AUSTRALIA E-mail address: pct@ipaaustralia.gov.au Facsimile No. +61 2 6283 7999		Authorized officer STEPHEN HARKER AUSTRALIAN PATENT OFFICE (ISO 9001 Quality Certified Service) Telephone No : +61 2 6283 7962

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/AU2009/000393

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Meng et al., 'An inter-comparison of three spectral-deconvolution algorithms for gamma-ray spectroscopy', IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 47, Issue 4, pages 1329-1336, August 2000, preprint downloaded 4 May 2009 from the internet <URL: http://www-ners.engin.umich.edu/labs/radmeas/C.pdf > Whole document	19-21
A	US 2006/0284100 A1 (BAK) 21 December 2006 Abstract; figures 6-7; paragraphs 0005-0014, 0032, 0034 and 0048	
A	Buffler, 'Contraband detection with fast neutrons', Radiation Physics and Chemistry, Vol. 71, pages 853-861, 2004 Whole document	
Note: Two arguments are presented for claims 19-21, the first is a novelty argument with respect to single citations, in the second Meng et al., can be combined with any one of US 2006/0157655, WO 2006/029475 or US 2003/0165212.		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/AU2009/000393

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a)

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
This International Application does not comply with the requirements of unity of invention because it does not relate to one invention or to a group of inventions so linked as to form a single general inventive concept.

[Continued in Supplemental Box]

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/AU2009/000393

Supplemental Box

(To be used when the space in any of Boxes I to IV is not sufficient)

Continuation of Box No: Box III

This International Application does not comply with the requirements of unity of invention because it does not relate to one invention or to a group of inventions so linked as to form a single general inventive concept.

In assessing whether there is more than one invention claimed, I have given consideration to those features which can be considered to potentially distinguish the claimed combination of features from the prior art. Where different claims have different distinguishing features they define different inventions.

This International Searching Authority has found that there are two different inventions as follows:

- Claims 1–18 are directed to methods and apparatus for screening. It is considered that collecting radiation detector output, resolving individual signals, estimating parameters and determining the energy of the signals comprises a first distinguishing feature.
- Claims 19–21 are directed to methods and apparatus for screening. It is considered that collecting radiation detector output, resolving individual signals, expressing these signals as a digital series, transforming the detector signals by a mathematical transform, evaluating a function of at least the transformed series and signal form and modelling the function output to determine at least one parameter of the function output comprises a second distinguishing feature.

PCT Rule 13.2, first sentence, states that unity of invention is only fulfilled when there is a technical relationship among the claimed inventions involving one or more of the same or corresponding special technical features. PCT Rule 13.2, second sentence, defines a special technical feature as a feature which makes a contribution over the prior art.

The only feature common to all of the claims is collecting radiation detector output and resolving individual signals. However this concept is not novel in the light of (for example):

WO 2006/029475 A1 (THE UNIVERSITY OF ADELAIDE et al.) 23 March 2006, see abstract and claim 1.

This means that the common feature can not constitute a special technical feature within the meaning of PCT Rule 13.2, second sentence, since it makes no contribution over the prior art.

Because the common feature does not satisfy the requirement for being a special technical feature it follows that it cannot provide the necessary technical relationship between the identified inventions. Therefore the claims do not satisfy the requirement of unity of invention *a posteriori*.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/AU2009/000393

This Annex lists the known "A" publication level patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The Australian Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent Document Cited in Search Report		Patent Family Member					
US	2006157655	NONE					
WO	2006029475	AU	2005284602	CA	2621736	CN	101124725
		EP	1794884	US	7383142	US	2007147702
		US	2009048795				
US	2003165212	AU	49516/99	AU	2002368192	CA	2321063
		CA	2452163	EP	1071948	EP	1448980
		US	2003165213	US	2005195931	US	2006227920
		WO	9949311	WO	2004025245		
US	2005040334	CA	2532663	EP	1636611	US	7135688
		WO	2004109253				
US	2006284100	US	7439515				
Due to data integration issues this family listing may not include 10 digit Australian applications filed since May 2001.							
END OF ANNEX							

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(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, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 スカラー, ポール アンドリュー バジル

オーストラリア国, ヴィクトリア 3 0 6 5 フィッツロイ, ムーア・ストリート 7 / 2 2 6

(72)発明者 エヴァンス, ロビン ジョン

オーストラリア国, ヴィクトリア 3 1 9 5 アスペンデール ベイビュー・ランド 5

(72)発明者 マクリーン, クリストファー チャールズ

オーストラリア国, ヴィクトリア 3 5 5 0 ケニントン ティンバートップ・ドライヴ 2 1

Fターム(参考) 2G001 AA02 AA04 BA14 BA15 CA02 CA04 GA02 HA13 KA06 LA08

LA20