

(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2016-70853  
(P2016-70853A)

(43) 公開日 平成28年5月9日(2016.5.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 21/65 (2006.01)	GO 1 N 21/65	2 G O 4 3
GO 1 T 1/16 (2006.01)	GO 1 T 1/16 B	2 G 1 8 8
GO 1 T 1/167 (2006.01)	GO 1 T 1/167 C	
	GO 1 T 1/16 A	

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2014-202755 (P2014-202755)	(71) 出願人	505374783 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地 1
(22) 出願日	平成26年10月1日 (2014.10.1)	(71) 出願人	304021831 国立大学法人 千葉大学 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号
		(74) 代理人	100139114 弁理士 田中 貞嗣
		(74) 代理人	100092495 弁理士 蛭川 昌信
		(74) 代理人	100139103 弁理士 小山 卓志
		(74) 代理人	100145920 弁理士 森川 聡

最終頁に続く

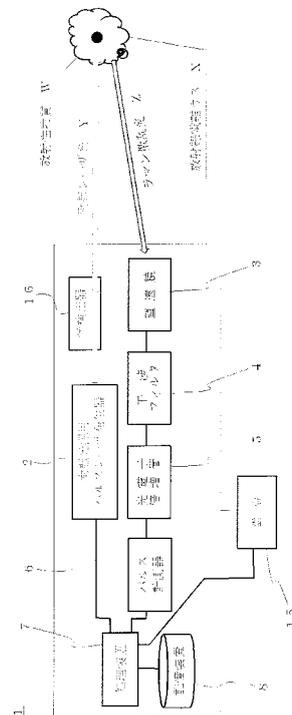
(54) 【発明の名称】 レーザによる放射線測定方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】放射性物質で汚染した環境において、放射性廃棄物の発生や、作業者の身体汚染及び被ばくリスクが少ない、かつ、計測が迅速でリアルタイムな計測ができるレーザによる放射線測定方法及び装置を提供することを課題とする。

【解決手段】測定環境下にある放射線によって発生した放射線電離ガスに励起レーザ光を照射し、該放射線電離ガスによって発生するラマン散乱光を測定することによって、放射線の強度及びその存在位置を特定するレーザによる放射線測定方法であり、前記測定環境下の放射線の強度の測定が、元素毎に予め定められた散乱光スペクトル強度と元素濃度との対比基準によって放射線の強度を特定する放射線の強度測定手段を有することを特徴とする。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

測定環境下にある放射線によって発生した放射線電離ガスに励起レーザ光を照射し、該放射線電離ガスによって発生するラマン散乱光を測定することによって、放射線の強度及びその存在位置を特定するレーザによる放射線測定方法であって、前記測定環境下の放射線の強度の測定は、元素毎に予め定められた散乱光スペクトル強度と元素濃度との対比基準によって放射線の強度を特定する放射線の強度測定手段を有することを特徴とするレーザによる放射線測定方法。

## 【請求項 2】

測定環境下にある放射線によって発生した放射線電離ガスに励起レーザ光を照射し、該放射線電離ガスによって発生するラマン散乱光を測定することによって、放射線の強度及びその存在位置を特定するレーザによる放射線測定装置であって、前記測定環境下の放射線の強度の測定は、元素毎に予め定められた散乱光スペクトル強度と元素濃度との対比基準によって放射線の強度を特定する放射線の強度測定手段を有することを特徴とするレーザによる放射線測定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、放射性物質で汚染された測定環境中の放射性物質の所在位置ならびに汚染量を測定する技術に関する。詳細には、放射性物質で汚染された測定環境中において、環境中の大気（空気）が放射性物質によって電離された電離ガス（以下、放射線電離ガスと称す。）に特定波長の励起レーザ光を照射することで発生するラマン散乱光を測定することによって、放射性物質で汚染された環境中の放射性物質の所在位置ならびに放射線強度を測定する技術に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、放射性物質で汚染した環境において、表面汚染密度や空气中汚染濃度を測定する方法として、表面汚染密度測定では対象物表面に放射線測定器を近づけ放射線を計測する、あるいは対象物表面の付着物を採取し放射能分析等を行う方法が取られている。また、空气中汚染濃度では空气中に浮遊する物質を採取し放射能分析等を行う方法が取られている。表面汚染密度測定において、汚染環境全域を把握するには比較的長時間を要し、また天井などの高所測定には足場等を設置しなければならず、労力増大及び足場材等の汚染防止措置等に伴う放射性廃棄物増加の問題がある。空气中汚染濃度測定でも浮遊汚染物の採取・分析には時間を要し、また局所的なデータしか得られないため、刻々変化する汚染物の浮遊状態をリアルタイムに把握することができない。さらに放射線計測や放射能分析は直接的に行われることから、これらの作業に伴う放射性廃棄物の発生や、作業者の身体汚染及び被ばくリスクの増加の問題がある。

## 【0003】

一方、前記測定方法の代替技術として、L I D A R (Light Detection And Ranging) が採用されるようになってきている。本方法は、測定環境に対して特定波長のレーザ光を照射し、測定環境に存在する固体、液体あるいはガス状からなる物質から反射されるラマン散乱光を、レーザ光の出射からラマン散乱光の反射到達までの時間及びその強度を測定、解析することによって測定環境の表面汚染密度や空气中汚染濃度を測定する方法である。測定時間、前記測定者の被ばく防止等については一定の効果を得ることができる。ただ、放射性物質の測定にあつては、放射性物質に起因して放射性物質周辺に発生する放射線電離ガスを総合濃度として測定することはできるが、何の放射性物質によって発生した放射線電離ガスであるかは測定を行うことができなかった。（非特許文献 1）（特許文献 1）

【特許文献 1】特開 2003 - 083939 号公報

【特許文献 2】米国特許第 7566881 号明細書

10

20

30

40

50

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

本発明は、従来技術で記載した問題点に鑑み、放射性物質で汚染した環境において、放射性廃棄物の発生や、作業者の身体汚染及び被ばくリスクが少ない、かつ、計測が迅速でリアルタイムな計測ができるレーザによる放射線測定方法及び装置を提供することを課題とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0005】

本発明の第1の発明は、測定環境下にある放射線によって発生した放射線電離ガスに励起レーザ光を照射し、該放射線電離ガスによって発生するラマン散乱光を測定することによって、放射線の強度及びその存在位置を特定するレーザによる放射線測定方法であって、前記測定環境下の放射線の強度の測定は、元素毎に予め定められた散乱光スペクトル強度と元素濃度との対比基準によって放射線の強度を特定する放射線の強度測定手段を有するレーザによる放射線測定方法である。

10

## 【0006】

本発明の第2の発明は、測定環境下にある放射線によって発生した放射線電離ガスに励起レーザ光を照射し、該放射線電離ガスによって発生するラマン散乱光を測定することによって、放射線の強度及びその存在位置を特定するレーザによる放射線測定装置であって、前記測定環境下の放射線の強度の測定は、元素毎に予め定められた散乱光スペクトル強度と元素濃度との対比基準によって放射線の強度を特定する放射線の強度測定手段を有するレーザによる放射線測定装置である。

20

## 【0007】

ここで、上記の「放射線の強度を特定する」とは、測定結果として得られる散乱光スペクトル強度をパラメータとして、予め定められた散乱光スペクトル強度と元素濃度との相関式あるいは相関テーブル等を用いて、元素濃度を決定する演算プロセスを意味する。

## 【発明の効果】

## 【0008】

本発明によれば、レーザを利用した非接触式の測定方法であるため、放射性物質による汚染が少なく、また、測定用の補助具が不要なため、放射性廃棄物の発生や、それによる測定者の身体汚染及び被曝リスクの少ない測定方法を実現できる。

30

## 【0009】

また、放射性物質による放射線電離ガスに励起用のレーザを照射し、ラマン散乱光を時々刻々収集して瞬時に解析するため、測定の時間が瞬時に行うことができるため、放射性物質の強度ならびに位置をリアルタイムに測定することができる。

## 【0010】

また、放射性物質毎に、アルファ線、ベータ線、ガンマ線と放射される放射線の種類が固定されるため、予め測定元素を特定し、指定することによって、測定した放射性元素の強度を明確に測定することができる。

## 【0011】

また、測定時、雲台により走査することによって、放射性物質の強度の空間分布を、近距離はもちろん遠距離にあっても正確に測定することができる。

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【0012】

【図1】本発明のレーザによる放射線測定装置の機器構成の一実施例を示す図である。

【図2】本発明のレーザによる放射線測定装置の処理手順の一実施例を示すフローチャートである。

【図3】本発明で解析するラマン散乱光の状態を模式的に示した図である。

【図4】本発明のレーザによる放射線測定装置の一実施例を示す図である。

【図5】本発明の実施例1による測定結果を示す図である。

50

## 【発明を実施するための形態】

## 【0013】

本発明のレーザによる放射線測定装置は、測定環境下にある放射線によって発生した放射線電離ガスに励起レーザ光を照射し、該放射線電離ガスによって発生するラマン散乱光を測定することによって、放射線の強度及びその存在位置を特定するレーザによる放射線測定装置であって、前記測定環境下の放射線の強度の測定は、元素毎に予め定められた散乱光スペクトル強度と元素濃度との対比基準によって放射線の強度を特定する放射線の強度測定手段を有する。

## 【0014】

その構成を、図1を基に説明する。

10

## 【0015】

レーザによる放射線測定装置1は、全体を制御する処理装置7と、処理装置7の制御のもと励起光用パルスレーザYを発生させる励起光用パルスレーザ発生器2と、該励起光用パルスレーザ発生器2によって発光させた励起レーザ光Yによって、放射性物質Wによって電離された放射線電離ガスXからのラマン散乱光Zを集光する望遠鏡3と、特定波長のラマン散乱光Zを分別する干渉フィルタ4、集光したラマン散乱光Zの信号を増幅する光電子増倍管5、ラマン散乱光Zのパルスを計測するパルス計測器6と、パルス計測器6で計測された信号を基に記憶装置8に内蔵された放射性元素の選択基準M3との対比、演算を行うことによって、放射性物質Wの距離、濃度を特定する処理装置7で構成する。また、レーザによる放射線測定装置1を搭載した雲台15によって3次元空間を走査することによって、各走査点毎の放射線電離ガスXの位置とその濃度を特定、集積することによって、放射線電離ガスXの3次元空間分布を得る。

20

## 【0016】

まず、処理装置7からの指令に基づき、励起レーザ光Yの発生用として励起光源用パルスレーザ発生器2を用い、励起レーザ光Yを発生させ、その励起レーザ光Yを測定対象である放射線電離ガスXに向け照射する。次に放射線電離ガスXと励起レーザ光Yとの相互作用で生じたラマン散乱光Zを望遠鏡3で受光し、干渉フィルタ4を介して選択した特定波長の光を光電子増倍管5及びパルス計測器6で計測し、処理装置7によって、励起レーザ光Yの照射開始からラマン散乱光Zの受光までの時間の解析と、ラマン散乱光Zの強度を解析し、予め記憶装置8に内蔵したラマン散乱光スペクトル強度と元素の対比基準である放射性元素の選択基準M3と対比することによって、放射線電離ガスXまでの距離やその濃度を測定する。この時、励起光用パルスレーザ発生器で発生させた励起レーザ光に対して、励起レーザ光強度をモニターするための光検出器16を配設することによって、そのモニター結果を解析に反映させ、ラマン散乱光Zの解析精度を向上させることができる。

30

## 【0017】

ここで、励起光用パルスレーザ発生器2、望遠鏡3、干渉フィルタ4、光電子増倍管5、パルス計測器6については、一般的な構造機器、処理内容であるため、本発明では説明を割愛する。雲台15の走査方法についても、バーチャルリアリティ等で利用されているものであり、3次元に対する走査方法についても雲台15の走査方向をX軸、Y軸、Z軸の三軸とすることで実現できるものであることから本発明での説明を割愛する。

40

## 【0018】

測定対象物について説明する。測定対象物は放射性物質Wであるが、直接の測定対象とするのは放射性物質Wの放射線によって電離された周囲の放射線電離ガスXである。この放射線電離ガスXは、放射性物質Wから放出されるアルファ線、ベータ線、ガンマ線等の放射線の種類によって、周辺の空気成分を電離し種々の正イオンガス、負イオンガスを発生させる。放射線の強度によってこの放射線電離ガスXの量すなわち濃度が異なることに着目し、この放射線電離ガスXの濃度を測定することで、放射性物質の量すなわち強度を推定するものである。

## 【0019】

50

図3に、硫黄に励起レーザー光Yを照射したときのラマン散乱光Zのスペクトル例を模式的に示す。非常に強いレイリー散乱を中央にして低波数側(長波長側)にストークス散乱が、高波数側(短波長側)にアンチストークス散乱が観測される。本発明のラマンスペクトルでは、強度の大きいストークス散乱光を用い解析する。

【0020】

つぎに、処理手順の概要を図2に沿って説明する。

S1ステップでは、測定対象となる放射性元素について、シンチレーションスペクトルメータ等によって、予め、浮遊又は壁に付着する放射性元素組成比を特定し、その結果を測定対象元素の選択として入力する。

【0021】

S2ステップでは、測定対象元素、該測定対象元素の概略の存在位置等を勘案し、使用する励起レーザー光Yを、励起レーザー光選択基準M1と対比して決定する。この励起レーザー光選択基準には、目に優しいレーザーか否か、自然光との弁別性、透過性、散乱しやすい波長等を勘案し適宜決定する。

【0022】

S3ステップでは、処理装置7の制御によって励起レーザー光Yの発光間隔、発光時間、発光回数を設定し、励起光源用パルスレーザー発生器によって励起レーザー光Yを発光させ、測定対象となる放射線電離ガスXに向けて励起レーザー光Yを照射する。発光間隔、発光時間は期待する距離分解能を基に決定する。発光回数は、バックグラウンドの散乱光より放射線電離ガス起因の散乱光を分別できるだけの散乱光を得られる回数とする。

【0023】

S4ステップでは、照射した励起レーザー光Yを受けて放射線電離性ガスXから発生したラマン散乱光Zを望遠鏡3、測定対象となる散乱光を弁別できる干渉フィルタ4、光電子増倍管5を作動させ、受光する。

【0024】

S5ステップでは、雲台15の走査角度と、励起光源用パルスレーザー発生器2で発生させた励起レーザー光Yの発光開始時間とラマン散乱光Zの受光開始時間を計測し、空間角度、距離の演算基準M2を参照し、ラマン散乱光Zの発生位置すなわち放射性物質Wの存在位置を検出する。

【0025】

S6ステップでは、散乱光スペクトルを解析し、ラマン散乱光Zに該当する波長の測定値のバックグラウンドからの増加の程度を確認することにより、放射性元素の特徴点の抽出を行う。

【0026】

S7ステップでは、前記S6ステップの放射性元素の散乱スペクトルの特徴点と、S1ステップにより特定した放射性元素組成比及び予め設定した放射性元素の選択基準M3との対比によって、特定した放射性元素毎の濃度の演算を行う。その後、雲台15の走査点の変更・設定を行い、S3ステップに戻り、次の走査点の測定を行う。

【0027】

S8ステップでは、測定空間の走査点全ての測定が完了の後、位置、濃度情報を基に3次元の濃度マッピングを行う。

【0028】

S9ステップでは、S8ステップの3次元のマッピング情報を処理装置7に接続した記憶装置8に記憶し、一連の処理を終了する。

〔実施例1〕

実施例1として、放射性物質Wをアメリカシウムとして図4を基に説明する。放射性物質WであるアメリカシウムA、B、Cの同量を汚染隔離壁13のボックス内に0.1mの等間隔に配置する。汚染隔離壁13のボックスには、加湿器12を内蔵するビニールハウス11を接続し、大気中のミストの有・無等の測定環境を選択・実現できる構成としている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 9 】

また、汚染隔離壁 1 3 のボックスには、流量計を含む排気装置 1 4 を接続し、汚染隔離壁 1 3 のボックス内を定常状態に保持するように構成する。

## 【 0 0 3 0 】

この放射性物質 A、B、C の近傍に到達するように、放射線測定装置 1 からの励起レーザー光 Y (波長 3 4 9 n m) を 9 m 離れた位置から照射し、該励起レーザー光 Y によるラマン散乱光 Z を放射線測定装置 1 で受光し、測定を行うようにした。

## 【 0 0 3 1 】

試験条件は、放射性物質 A、B、C の距離の認識度合いの確認を兼ね、0 . 1 m 間隔に放射性物質 A、B、C を配置した。この場合、放射性物質 A と B と C の強度は同一とした。

10

## 【 0 0 3 2 】

試験条件は、表 1 に示すように、放射性物質の位置を、A のみ、A と B、A と B と C、さらに、放射性物質無しの 4 条件で実験を行った。

## 【 0 0 3 3 】

その結果を表 1 の右端に測定結果として表示し、さらには図 5 にその傾向を図示した。

## 【 0 0 3 4 】

## 【 表 1 】

試料 N o	放射性物質の位置			測定結果・カウント (COUNT/S)
1	A	—	—	70.2
2	A	B	—	63.5
3	A	B	C	58.0
4	—	—	—	72.3

20

30

これによると、放射性物質有りと放射性物質無し (試料 N o . 1 ~ 試料 N o . 3 と試料 N o . 4) との間には測定結果であるカウント数 (count/s) に顕著な違いがあることを確認できた。従って、放射性物質有りを明確に測定結果として認識することができる。

## 【 0 0 3 5 】

さらに、実施例 1 に記載のような汚染隔離壁 1 3 に囲まれた環境でなく、解放された環境、いわゆる屋外での放射性物質の測定方法にも利用することができる。

## 【 0 0 3 6 】

この方法は、レーザーによる放射線測定装置 1 からの励起レーザー光 Y を放射性物質 W によって電離された放射線電離ガス X へ照射する。励起レーザー光 Y によって発生した放射線電離ガス X のラマン散乱光 Z を望遠鏡 3 で集光し、特定波長のラマン散乱光 Z を分別する干渉フィルタ 4、集光したラマン散乱光 Z の信号を増幅する光電子倍增管 5、ラマン散乱光 Z のパルス計測器 6 とによって信号を取得する。

40

## 【 0 0 3 7 】

パルス計測器 6 で取得された信号を基に記憶装置 8 に内蔵された放射性元素の選択基準 M 3 との対比、演算を行うことによって、放射性物質 W の距離、強度を特定する処理装置 7 で構成する。また、レーザーによる放射線測定装置 1 を搭載した雲台 1 5 によって 3 次元空間を走査することによって、各走査点毎の放射線電離ガス X の位置とその強度を特定、集積することによって、放射線電離ガス X の 3 次元空間分布を得る。

以上述べたとおり、レーザーを利用し、非接触で、放射性物質による汚染がなく放射性廃棄

50

物の少ない測定方法、ならびに、測定用の補助具が不要で、放射性廃棄物の発生や、それによる測定者の身体汚染及び被曝リスクの少ない測定方法を実現できる。

【 0 0 3 8 】

また、放射性物質による放射線電離ガスに励起用のレーザを照射し、ラマン散乱光を時々刻々収集して瞬時に解析できるため、測定の時間が瞬時に行うことができるため、放射性物質の強度ならびに位置をリアルタイムに測定することができる。

【 0 0 3 9 】

さらに、放射性物質毎に、アルファ線、ベータ線、ガンマ線と放射される放射線の種類が固定されるため、予め測定元素を特定し、指定することによって、測定した放射性元素の強度を明確に測定し、放射性物質の強度の空間分布を、近距離はもちろん遠距離にあっても正確に測定できるレーザによる放射線測定方法及びその装置を実現できる。

10

【符号の説明】

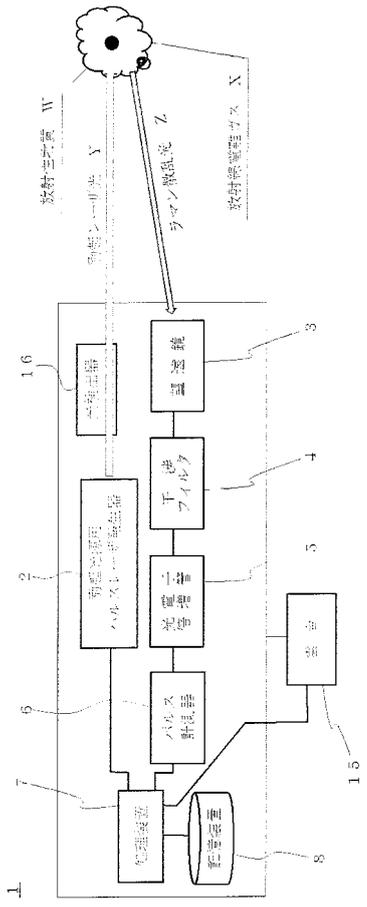
【 0 0 4 0 】

- 1 ... 放射線測定装置
- 2 ... 励起光用パルスレーザ発生器
- 3 ... 望遠鏡
- 4 ... 干渉フィルタ
- 5 ... 光電子倍增管
- 6 ... パルス計測器
- 7 ... 処理装置
- 8 ... 記憶装置
- 1 1 ... ビニールハウス
- 1 2 ... 噴霧器
- 1 3 ... 汚染隔離壁
- 1 4 ... 排気装置（含む、流量計）
- 1 5 ... 雲台
- 1 6 ... 光検出器
- W、A、B、C ... 放射性物質
- X ... 放射線電離ガス
- Y ... 励起レーザ光
- Z ... ラマン散乱光

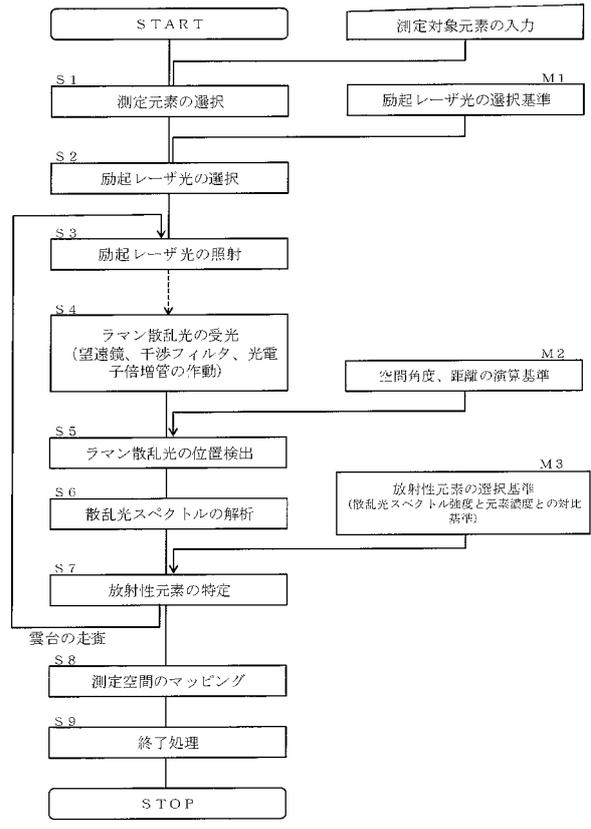
20

30

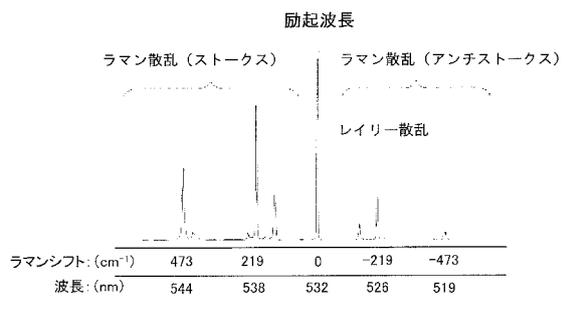
【 図 1 】



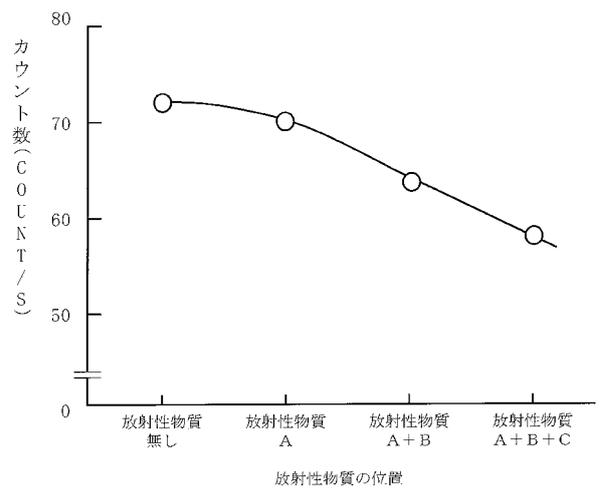
【 図 2 】



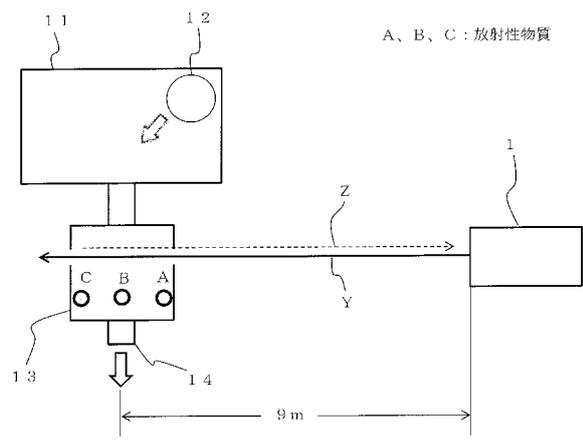
【 図 3 】



【 図 5 】



【 図 4 】



---

 フロントページの続き

- (74)代理人 100094787  
弁理士 青木 健二
- (74)代理人 100097777  
弁理士 荻澤 弘
- (74)代理人 100091971  
弁理士 米澤 明
- (72)発明者 岡田 尚  
茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 3 3 独立行政法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学  
研究所内
- (72)発明者 金山 文彦  
茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 3 3 独立行政法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学  
研究所内
- (72)発明者 福嶋 峰夫  
茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 3 3 独立行政法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学  
研究所内
- (72)発明者 遠藤 邦明  
茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 3 3 独立行政法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学  
研究所内
- (72)発明者 久世 宏明  
千葉県千葉市稲毛区弥生町 1 番 3 3 号 国立大学法人 千葉大学内
- (72)発明者 椎名 達雄  
千葉県千葉市稲毛区弥生町 1 番 3 3 号 国立大学法人 千葉大学内
- F ターム(参考) 2G043 AA01 CA01 EA03 FA01 FA03 FA06 HA01 JA03 KA08 KA09  
LA02 NA01 NA06 NA11 NA13  
2G188 AA23 BB17 CC39