

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年9月28日(28.09.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/163437 A1

- (51) 国際特許分類:
G01T 1/169 (2006.01) *G01T 1/24* (2006.01)
G01T 1/167 (2006.01) *G01T 7/00* (2006.01)
G01T 1/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/068963
- (22) 国際出願日: 2016年6月27日(27.06.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-061907 2016年3月25日(25.03.2016) JP
- (71) 出願人: 三菱電機プラントエンジニアリング株式会社 (MITSUBISHI ELECTRIC PLANT ENGINEERING CORPORATION) [JP/JP]; 〒1100015 東京都台東区東上野五丁目24番8号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 垣内 英明 (KAKIUCHI, Hideaki); 〒1100015 東京都台東区東上野五丁目24番8号 三菱電機プラントエンジニアリング株式会社内 Tokyo (JP). 濱本 洋 (HAMAMOTO, Hiroshi); 〒1100015 東京都台東区東上野五丁目24番8号 三菱電機プラントエンジニアリング株式会社内 Tokyo (JP). 松尾 慶一 (MATSUO, Keiichi); 〒

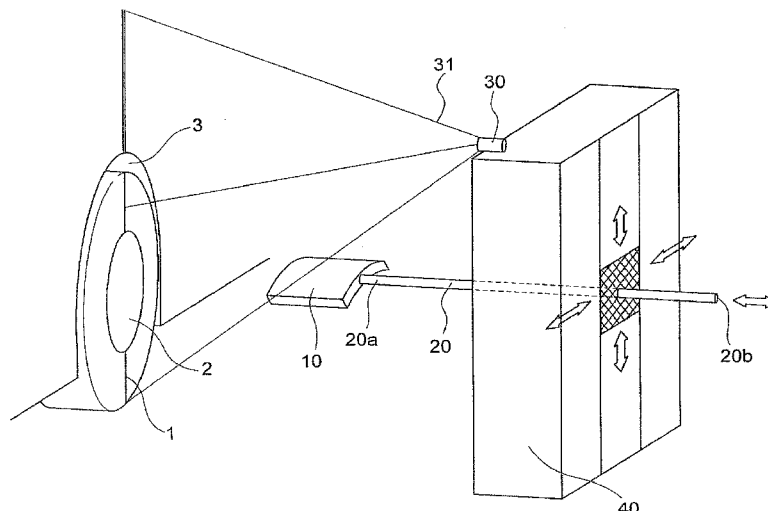
1100015 東京都台東区東上野五丁目24番8号 三菱電機プラントエンジニアリング株式会社内 Tokyo (JP). 林 真照 (HAYASHI, Masateru); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 東 哲史 (AZUMA, Tetsushi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 西沢 博志 (NISHIZAWA, Hiroshi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 笹野 理 (SASANO, Makoto); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 曾我 道治, 外 (SOGA, Michiharu et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目1番1号 国際ビルディング 8階 曾我特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY,

[続葉有]

(54) Title: RADIOACTIVE CONTAMINATION INSPECTION DEVICE

(54) 発明の名称: 放射能汚染検査装置



(57) Abstract: A radioactive contamination inspection device is provided with a detection unit having a sensitive surface shape that corresponds to the shape of an object surface to have the amount of radioactive contamination thereof measured, a mechanism for holding the detection unit such that the distance from the sensitive surface to the object surface is within a preset desired range, and a measurement unit for calculating the amount of radioactive contamination of the object surface on the basis of the measurement results of the detection unit.

(57) 要約: 放射能汚染量の測定対象である物体表面の形状に合わせた有感面の形状を有する検出部と、有感面から物体表面までの距離があらかじめ設定された所望範囲内となる状態で検出部を保持する機構部と、検出部の測定結果に基づいて、物体表面の放射能汚染量を算出する測定部とを備える。



WO 2017/163437 A1



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, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

ロッパ (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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：放射能汚染検査装置

技術分野

[0001] 本発明は、放射線を検出することで、物体の放射能汚染の有無を検査するための装置に関し、特に、廃炉現場や中間貯蔵施設等において運搬車両が管理区域から退域する場合を考慮した放射能汚染検査装置に関するものである。

背景技術

[0002] 電離放射線障害防止規則では、ある値を超える放射能を取扱う場合には、管理区域を設置して、管理区域から物品を持ち出す場合には、放射能による汚染の検査を行うことが規定されている。そのため、原子力関連施設では、物品検査モニタが用いられている。

[0003] また、廃炉現場や中間貯蔵施設等においても、運搬車両が管理区域から退域する場合には、放射能汚染の検査が必要となる。この場合には、測定対象が大きく、物品検査モニタでは検査できないため、 β 線サーベイメータなどにより、車体表面を走査しながら測定する方法が採られる。

[0004] しかしながら、この方法では、大型の車両を正確に検査するためには、検査に長時間を要する。従って、中間貯蔵施設のように大型の車両が多数出入りするような施設では、このような車両の汚染検査が全体の作業のボトルネックとなっている。

[0005] そこで、作業時間短縮のために、ガンマカメラ等を用いた車体表面の放射能汚染検査、あるいは大型の放射線検出器を自動的に走査させる自動検査装置が発案されている（例えば、特許文献1～4参照）。

[0006] 特許文献1は、 α 線ないし β 線に感度を持つ検出器を用いて、測定対象物表面の放射能濃度（表面汚染密度）を測定する方法が示されている。また、特許文献2は、複雑な形状の測定対象物を検査するために変形可能なシンチレーション検出器で構成する容器の中に測定対象物を入れて測定を行う方法

が示されている。

[0007] また、特許文献3は、放射性セシウムの崩壊に伴い放出される特性X線を検出して、測定対象表面や測定対象内部の放射能濃度を測定する方法が示されている。さらに、特許文献4は、 γ 線ないしX線に有感な素子をアレイ状に配置した γ 線（X線）カメラを用いて、物体表面の放射能濃度（表面汚染密度）を測定する方法が示されている。

[0008] また、検出部全域（大面積）で、高感度かつ均一に放射線を測定できるプラスチックシンチレータと光ファイバ型大面積放射線モニタに関する従来技術がある（例えば、特許文献5参照）。この特許文献5は、プラスチックシンチレータで発光した光を光ファイバで集光する方式で、測定対象物の形状に合わせてプラスチックシンチレータと光ファイバを成形することで、曲面形状の測定対象物の放射線を測定することができる。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2005-172771号公報

特許文献2：特許第5669782号公報

特許文献3：特開2015-180872号公報

特許文献4：第5400988号公報

特許文献5：特開平9-243752号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、従来技術には、以下のような課題がある。

放射能による表面汚染の検出には、上述したように色々な方式が提案されている。しかしながら、その多くが放射線と物質との反応で放出されるシンチレーション光を集光して放射線量を把握する方式である。

[0011] この方式では、検出器、集光装置、光電子変換器の大きさが大きくなり、狭い部分には物理的に近づけることが難しく、複雑な形状の測定対象物の正

確な放射能測定は難しかった。従って、例えば、車両のタイヤハウスや車両の底面等のような狭い箇所や、ミキサー車のような複雑な形状の表面である場合には、先の特許文献1～4に開示された従来技術の手法では、放射能汚染の検査ができなかった。

[0012] また、特許文献5に記載されたように、狭い部分や曲面の表面汚染検査を行うために、有感領域の形状を変形可能な積層したプラスチックシンチレータや放射線検出用光ファイバも提案されている。しかしながら、測定対象が γ 線となり、環境放射線の影響を受けるため、検出限界を基準値に対して十分低くすることができない課題があった。

[0013] 特に、環境放射線量の高い場所では、測定対象の表面の放射能汚染を検査するため、測定対象以外から検出器に入射する γ 線を遮蔽するための遮蔽体が必要である。このため、狭い箇所や複雑で入り組んだ形状の表面汚染を検査することは難しかった。

[0014] 積層したプラスチックシンチレータや光ファイバを用いた放射線検出器は、確実に遮光を行うことが必要で、かつ集光効率も悪いため、実用に供するものを実現することは難しい。

[0015] さらに、表面汚染検査用のGM管方式のサーベイメータを使用する場合においても、正確な放射能測定のためには、測定対象とする領域の汚染物からの放射線と、環境中に存在する汚染物由来の環境放射線とを区別するために、十分な遮蔽が必要である。従って、狭い箇所や複雑で入り組んだ形状の表面汚染を検査することは困難であった。

[0016] 本発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、例えば、車両のタイヤハウスや車両底面等の、形状が複雑であり、かつ通常の放射線検出器を近づけることが難しい狭い部分の汚染検査を、効率的に行うことのできる放射能汚染検査装置を得ることを目的としている。

課題を解決するための手段

[0017] 本発明に係る放射能汚染検査装置は、放射能汚染量の測定対象である物体表面の形状に合わせた有感面の形状を有する検出部と、有感面から物体表面

までの距離があらかじめ設定された所望範囲内となる状態で検出部を保持する機構部と、検出部の測定結果に基づいて、物体表面の放射能汚染量を算出する測定部とを備えるものである。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、放射能汚染量の測定対象である物体表面の形状に合わせた有感面の形状を有する検出部を、有感面から物体表面までの距離が所望範囲内となる状態で保持できる構成を備えている。このような構成を備えることで、測定器の厚さを従来と比較して薄くすることができるとともに、検出効率を確保するために必要な半導体検出器の面積および形状を、測定対象の検出効率に対応して選択することができる。この結果、例えば、車両のタイヤハウスや車両底面等の、形状が複雑であり、かつ通常の放射線検出器を近づけることが難しい狭い部分の汚染検査を、効率的に行うことのできる放射能汚染検査装置を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の実施の形態1における領域Aに相当する検査対象領域の説明図である。

[図2]本発明の実施の形態1における領域Aの測定を行うための検出器を備えた放射能汚染検査装置に関する説明図である。

[図3]本発明の実施の形態1における領域Bに相当する検査対象領域の説明図である。

[図4]本発明の実施の形態1における領域Bの測定を行うための検出器を備えた放射能汚染検査装置に関する説明図である。

[図5]本発明の実施の形態1における領域Cに相当する検査対象領域の説明図である。

[図6]本発明の実施の形態2における放射能汚染検査装置の構成を示す図である。

[図7]本発明の実施の形態2における放射能汚染検査装置の別の構成を示す図である。

[図8]本発明の実施の形態2における検出器ユニットの構成例を示す図である。

[図9]本発明の実施の形態2において用いられる検出器ユニットの構成例を示す図である。

[図10]本発明の実施の形態2において、測定対象が放射性セシウムである場合の入射面からの深さと反射率との関係を示した図である。

[図11]本発明の実施の形態2において、CdTeを半導体素子として採用する場合の回路図である。

[図12]本発明の実施の形態2において、キャリア発生位置（入射面からの深さ）とキャリアが電極に到達するまでの移動時間との関係の一例を示した図である。

[図13]本発明の実施の形態2における半導体素子からの出力パルスの特徴を示した図である。

[図14]本発明の実施の形態2におけるバンドパスフィルターの周波数特性を示した図である。

[図15]本発明の実施の形態2において、バンドパスフィルターを通過後の半導体素子101のエネルギー領域を示した図である。

[図16]一般的なエネルギーウィンドウを示した図である。

[図17]本発明の実施の形態3において、検出器ユニットとしてシンチレータを用いた場合の構成例を示す図である。

[図18]本発明の実施の形態3において、検出器ユニットとしてシンチレータを用いた場合の別の構成例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明の放射能汚染検査装置の好適な実施の形態につき、図面を用いて説明する。

[0021] 実施の形態1.

本実施の形態1では、廃炉現場や中間貯蔵施設等の管理区域から退域する運搬車両（以下、単に車両と称す）を測定対象として説明する。

[0022] まず始めに、放射能汚染の測定対象である車両に関する、本発明での具体的な検査対象領域について、図面を用いて説明する。本実施の形態１における車両の検査対象領域としては、大別して、以下の３つがある。

領域Ａ：前輪タイヤに関する、タイヤ垂直面Ａ１、タイヤ上面Ａ２、タイヤハウスの上面Ａ３、およびタイヤハウスの奥の垂直面Ａ４

領域Ｂ：後輪タイヤに関する、タイヤ垂直面Ｂ１、タイヤ上面Ｂ２、タイヤハウスの上面Ｂ３、およびタイヤハウスの奥の垂直面Ｂ４

領域Ｃ：車両底面Ｃ１

[0023] 図１は、本発明の実施の形態１における領域Ａに相当する検査対象領域の説明図である。図１においては、前輪タイヤ部分を含む側面図、および正面図を示すとともに、Ａ１～Ａ４に対応するそれぞれの面と、検出器の形状を例示している。

[0024] タイヤ垂直面Ａ１は、前輪タイヤの外側の垂直面に相当し、円形の検出器１１を用いることで、放射能汚染の定量的な測定が行われる。タイヤ上面Ａ２は、前輪タイヤが走行面と接する部分に相当し、半円形の検出器１２を用いることで、放射能汚染の定量的な測定が行われる。

[0025] タイヤハウスの上面Ａ３、およびタイヤハウスの奥の垂直面Ａ４は、タイヤ上面Ａ２の測定と同じ半円形の検出器１２を用いることで、放射能汚染の定量的な測定が行われる。なお、図１に示したように、タイヤハウスの奥の垂直面Ａ４の測定の際には、半円形の検出器１２を傾けることとなる。

[0026] 図２は、本発明の実施の形態１における領域Ａの測定を行うための検出器１１、１２を備えた放射能汚染検査装置に関する説明図である。検出器１１、１２は、図２に示すようなアーム部分を手動で押し込むことで、前輪タイヤにセットされる。なお、それぞれの検出器１１、１２は、測定対象となる面との距離が、あらかじめ規定された一定値以下となるように、前輪タイヤに配置する必要がある。

[0027] 検出器１１、１２のそれぞれの検出器長さは、図１に示した車両の場合、概略、以下のようになる。

検出器 1 1 の検出器長さ： $75 \text{ cm (直径)} \times \pi = 236 \text{ cm}$

検出器 1 2 の検出器長さ： $110 \text{ cm (直径)} \times \pi / 2 = 173 \text{ cm}$

[0028] 次に、図 3 は、本発明の実施の形態 1 における領域 B に相当する検査対象領域の説明図である。図 3 においては後輪タイヤ部分を含む側面図、および背面図を示すとともに、B 1 ～ B 4 に対応するそれぞれの面と、検出器の形状を例示している。

[0029] なお、後輪タイヤは、図 3 に示すように、進行方向で 2 連となっており、また、幅方向でも左右それぞれが 2 連となっている。従って、後輪タイヤの測定においては、合計 8 個のタイヤについて放射能汚染量を測定することが必要となる。

[0030] タイヤ垂直面 B 1 は、後輪タイヤの外側の垂直面に相当し、前輪の場合と同様に、円形の検出器 1 1 を用いることで、放射能汚染の定量的な測定が行われる。タイヤ上面 B 2 は、後輪タイヤが走行面と接する部分に相当し、前輪の場合と同様に、半円形の検出器 1 2 を用いることで、放射能汚染の定量的な測定が行われる。

[0031] タイヤハウスの上面 B 3、およびタイヤハウスの奥の垂直面 B 4 は、図 3 および後述する図 4 に示したように、への字型に手動変更可能な検出器 1 3 を用いることで、放射能汚染の定量的な測定が行われる。なお、検出器 1 3 は、前方側の後輪タイヤに関する検査を行う際の形状と、後方側の後輪タイヤに関する検査を行う際の形状とで、への字に曲げられる部分が異なっており、個別形状に変形させて、2 回に分けて検査を行うこととなる。

[0032] なお、図 3 に示したように、幅方向に 2 連となっている後輪タイヤは、検出器 1 2 により、2 本まとめて検査することが可能である。また、タイヤハウスの奥の垂直面 B 4 の測定の際には、検出器 1 3 を傾けることとなる。

[0033] 図 4 は、本発明の実施の形態 1 における領域 B の測定を行うための検出器 1 1、1 2、1 3 を備えた放射能汚染検査装置に関する説明図である。後輪タイヤは、前方側と後方側で、タイヤハウスの形状が異なり、図 4 (a) が前方側の説明図となっており、図 4 (b) が後方側の説明図となっている。

[0034] 検出器 11、12、13は、図4に示すようなアーム部分を手動で押し込むことで、後輪タイヤにセットされる。なお、それぞれの検出器 11、12、13は、測定対象となる面との距離が、あらかじめ規定された一定値以下となるように、後輪タイヤに配置する必要がある。

[0035] 検出器 11、12のそれぞれの検出器長さは、前輪タイヤの場合と同じであり、検出器 13の検出器長さは、概略、以下のようになる。

検出器 13の検出器長さ：150cm

[0036] 次に、図5は、本発明の実施の形態1における領域Cに相当する検査対象領域の説明図である。前輪のタイヤ間隔は、図1に示した例では、176cmである。一方、後輪のタイヤ間隔は、図3に示した例では、128cmである。そこで、図5において、領域Cは、後輪よりも前方側と、後輪を含む後方側とに2分され、検査が行われる。

[0037] そして、車両底面のうち、前方側の検査は、先の図1に示した検出器 14を用いて行われ、後方側の検査は、先の図3に示した検出器 15を用いて行われる。ここで、検出器 14、15のそれぞれの検出器長さは、図1、図3にも示したように、概略、以下のようになる。

検出器 14の検出器長さ：150cm

検出器 15の検出器長さ：100cm

[0038] このような検出器 14、15を用いた検査に当たっては、検出器ブロックごとに距離センサを取り付け、一定走行距離ごとに、距離センサで検出器一車両底面間の平均距離を算出の上、計数率の距離補正を行って、表面汚染地を算出することになる。

[0039] また、車両底面の検査に当たっては、次のような第2の方法を採用することも考えられる。この第2の方法では、検出器 14、15を用いる代わりに、車両停止位置の地面に検出器を等間隔に配置して、計数率を測定する。この場合には、検出器ブロック毎に距離センサーを取付けて、距離センサーで検出器一車両底面間の平均距離を算出の上、計数率の距離補正を行って、表面汚染値を算出することになる。

[0040] 上述した検出器 11～15 は、色々な形状の検査対象に対応するために、小型で厚さが薄い放射線検出器（例えば、半導体検出器）を複数個並べることで、検出効率を確保することができる。同時に、検出器 11～15 は、フレキシブルなベース、または前もって検査対象の形状に合わせて成形したベースに、小型で薄い放射線検出器を複数個取付けることで、狭くて複雑な形状の検査対象についても、効率的に検査を行うことができる。

[0041] 以上のように、実施の形態 1 によれば、検査対象の形状に合わせて変形可能な薄型の放射線検出器を用いることで、狭い箇所や複雑な形状の物体の検査を効率的に実施可能な放射能汚染検査装置を得ることができる。

[0042] 実施の形態 2.

先の実施の形態 1 では、検出器を手動でセットする場合を前提に説明した。これに対して、本実施の形態 2 では、検出器の挿入位置を特定する制御機構を備えた放射能汚染検査装置について説明する。

[0043] 図 6 は、本発明の実施の形態 2 における放射能汚染検査装置の構成を示す図である。本実施の形態 2 における放射能汚染検査装置は、検出器ユニット 10、アーム 20、レーザー距離計 30、および駆動制御装置 40 を備えて構成されている。なお、図 6 では図示していないが、駆動制御装置 40 は、信号処理部 41、駆動制御部 42、および測定部 43 を含んで構成されている。

[0044] 検出器ユニット 10 は、検査対象の放射能汚染量を定量的に測定するための検出器である。先の実施の形態 1 における検出器 11～15 が、この検出器ユニット 10 に相当する。

[0045] アーム 20 は、その一端 20a に、検出器ユニット 10 が取り付けられている。一方、アーム 20 は、他端 20b が駆動制御装置 40 を貫通するようにして、取り付けられている。

[0046] レーザー距離計 30 は、駆動制御装置 40 の上部に取り付けられ、測定対象の形状を測定するセンサである。図 6 では、レーザー距離計 30 から、測定対象であるタイヤ 1、ホイール 2、タイヤハウス 3 に向けて、レーザー 31

が照射された状態を示している。

[0047] 駆動制御装置 40 内の信号処理部 41 は、レーザー距離計 30 の測定結果を基に測定対象の 3D 形状を再構成する機能を有している。また、駆動制御装置 40 内の駆動制御部 42 は、再構成した測定対象の 3D 形状に基づき、検出器ユニット 10 およびアーム 20 の位置を、鉛直方向、水平方向、および測定対象の奥行き方向に駆動制御可能な構成、機能を備えている。

[0048] さらに、測定部 43 は、検出器ユニット 10 からの信号を処理し、放射線量の定量的な評価を行う機能を有している。

[0049] 図 6 に示すように、測定対象が車両のタイヤハウスの場合には、信号処理部 41 は、レーザー距離計 30 のデータを基に、タイヤおよびタイヤハウスの位置を決定し、駆動制御部 42 は、検出器ユニット 10 を所望の領域に挿入して測定を行うこととなる。

[0050] なお、測定対象表面までの距離を測定する手段は、レーザー距離計 30 に限らず、ステレオカメラ、接触センサ、超音波センサなど、必要な精度で測定対象表面までの距離を測定できる手段であれば、いずれを用いてもよい。

[0051] 図 7 は、本発明の実施の形態 2 における放射能汚染検査装置の別の構成を示す図である。この図 7 は、測定対象が車体下部である場合（すなわち、先の実施の形態 1 で説明した領域 C である場合）を示している。一般的に、車体下部は、平坦な面ではなく、例えば、排気管 4 のように複雑な形状を持つ測定対象が存在する。そのため、検出器ユニット 10 の位置を固定している場合には、検出感度にばらつきが生じる。

[0052] そこで、図 7 では、測定対象から検出器ユニット 10 までの距離 L を一定にするように、検出器ユニット 10 を支えるアーム 20 が可動できる構成として、首振り可能なヒンジ 21 を備えており、検出感度のばらつきを抑制している。ここで、車体下部の形状は、先の図 6 の場合と同じように、3D 形状を再構成している。

[0053] なお、検出器ユニット 10 の位置を固定した場合でも、検出器ユニット 10 の視野角において、最も遠い距離における検出感度を基に表面汚染濃度を

算出することで、汚染を見逃すことはなくなる。このため、検出器を固定する方法を用いる場合でも、汚染の有無を判定することは可能である。

[0054] 図8は、本発明の実施の形態2における検出器ユニット10の構成例を示す図である。図8に示すように、検出器ユニット10は、アーム20に対して首振り可能なヒンジ10aを用いて保持させる構造を採用することが考えられる。このような構造を備えることで、検出器ユニット10をタイヤ表面や地面に向け、斜めに傾けることも可能であり、より、車体下部の形状に合わせた測定が可能である。

[0055] 図7では、複数の検出器ユニット10が取り付けられた駆動制御装置40が、レール5上を移動することで、車体下部を走査する場合を示している。しかしながら、検出器ユニット10を持つ駆動制御装置40を固定しておき、車両を自走または牽引等による外力を用いて、検出器ユニット10を持つ駆動制御装置40の上を通過させることによっても、図7の場合と同様に、車体下部を走査することが可能である。

[0056] 図9は、本発明の実施の形態2において用いられる検出器ユニット10の構成例を示す図である。検出器ユニット10は、図9のように、半導体素子101をアレイ状に配置することで、面検出器である半導体アレイ100とすることができる。

[0057] 半導体素子101は、回路基板102上に配列され、電磁シールド筐体103により覆われている。そして、半導体素子101の数により、例えば、10cm×10cm程度の大きさの有感面を形成することができる。また、さらに半導体素子101の個数を増やせば、より大きな有感面を形成することも可能である。

[0058] 有感面の大きさは、想定している測定対象の形状に対して、例えば、タイヤハウスであれば、タイヤの曲率に対して、測定対象表面との距離のばらつきが検出感度に影響しない程度になるように、有感面の大きさを決定すればよい。

[0059] 半導体アレイの信号処理方法として、それぞれの半導体素子101を個別

のプリアンプに接続することも可能である。また、複数の半導体素子 101 をまとめて 1 つのプリアンプに接続することも可能である。なお、複数の半導体素子 101 を用いる際に、単純に並列接続した場合には、暗電流の直流成分が加算させるため、ノイズが増加する。

[0060] 半導体素子 101 としては、シリコンダイオードだけでなく、CdTe 等の化合物半導体を用いることができる。また、半導体素子 101 は、オーミック接合でも、ショットキーバリア接合のいずれの構成でもよい。さらに、半導体素子 101 の厚さは、測定を行う場所の空間線量と、測定対象の放射線のエネルギーにより決定する。

[0061] 測定対象の放射性物質が放射性セシウムの場合には、662 keV の γ 線だけでなく、32 keV の特性 X 線も測定対象の放射線となる。図 10 は、本発明の実施の形態 2 において、測定対象が放射性セシウムである場合の入射面からの深さと反射率との関係を示した図である。

[0062] 図 10 に示すように、特性 X 線を測定する場合には、入射面近傍で特性 X 線の大部分が反応するが、662 keV の γ 線は、反応率の深さ依存性は小さい。そのため、測定対象の放射線のエネルギーに合わせて半導体の厚さを選ぶことで、検出感度を最適にできる。

[0063] 図 11 は、本発明の実施の形態 2 において、CdTe を半導体素子 101 として採用する場合の回路図である。CdTe のような半導体素子 101 は、放射線との相互作用により発生するキャリア（電子とホール）の移動度が大きく異なる。多くの場合、ホールの移動度が小さいため、ホールが陰極に到達しやすいように、図 11 に示すように、陰極であるカソード面から放射線を入射させる。

[0064] 検出器ユニット 10 から出力されるパルスは、後段の信号処理部 41 に入力される。そして、信号処理部 41 は、測定対象のエネルギー領域の放射線のみを選択的に計数する

[0065] エネルギー領域の選択は、所定の範囲のパルス波高を持つパルスのみを選択できるエネルギーウィンドウを用いる場合と、パルス波形の違いを基にし

たフィルターを用いる方法がある。

[0066] 図12は、本発明の実施の形態2において、キャリア発生位置（入射面からの深さ）とキャリアが電極に到達するまでの移動時間との関係の一例を示した図である。図12に示すように、陽極付近でキャリアが発生した場合にホールが陰極に到達する時間は、陰極付近でキャリアが発生した場合に電子が陽極に到達する時間に比べ、大幅に長い。

[0067] 放射線を陰極から入射させた場合、32 keVの特性X線は、陰極付近で大部分が反応するため、電子・ホールとも電極までの到達時間は短い。一方で、662 keVの γ 線は、陽極付近のかなり深い位置でも反応が起きるため、特にホールが電極に到達する時間が長くなる。

[0068] 図13は、本発明の実施の形態2における半導体素子101からの出力パルスの特性を示した図であり、縦軸は、X線エネルギーを示すパルス波高値であり、横軸は、時間である。図13に示すように、放射線を検出した際の半導体素子101からの出力パルスは、32 keVの特性X線に比べ、662 keVの γ 線の方が、立上り時間が遅くなる傾向となる。つまり、遅いパルスとなる。

[0069] 図14は、本発明の実施の形態2におけるバンドパスフィルターの周波数特性を示した図である。また、図15は、本発明の実施の形態2において、バンドパスフィルターを通過後の半導体素子101のエネルギー領域を示した図である。さらに、図16は、一般的なエネルギーウィンドウを示した図である。図14～図16において、縦軸は、X線エネルギーを示すパルス波高値であり、横軸は、周波数である。

[0070] 図14に示すように、後段の増幅回路の周波数特性を、バンドパスフィルターを用いて、32 keVの特性X線のエネルギー領域に対応する周波数帯域に合わせることができる。この結果、図15に示すように、32 keVの特性X線のピーク以外のエネルギー領域の感度を低下させることができる。

[0071] このように、バンドパスフィルターを用いて特定のエネルギー領域に対応する周波数帯域に合わせることで、特定のエネルギー領域以外の感度を低下

させることが可能となる。このことは、図 16 に示すような一般的なエネルギーウィンドウが不要となることを意味しており、後段の信号処理部 41 の物量を削減できる。

[0072] バンドパスフィルターを用いる場合、またはエネルギーウィンドウを用いる場合のいずれも、測定対象のエネルギー領域の放射線のみを選択的に計数することが可能である。従って、信号処理部 41 は、測定対象のエネルギー領域の放射線のみを選択的に計数し、その係数値を測定部に渡す。

[0073] 測定部 43 は、測定対象のエネルギー領域の放射線のための計数値を基に、検出器ユニット 10 と測定対象表面までの距離によって決まる検出感度、並びにバックグラウンド計数率から、測定対象表面の放射能濃度を算出する。

[0074] 検出感度は、物理計算を行い、所定の範囲の距離における感度をあらかじめ求めておき、データテーブルとして測定部 43 に記憶させておく。なお、バックグラウンドは、測定対象の計測前に測定しておくことも可能であり、空間線量率から演算によって求めることも可能である。

[0075] 測定部 43 は、放射能濃度（表面汚染密度）の基準値を入力しておくことで、測定対象表面の放射能濃度が基準値以上であれば、警報を発生させることができる。また、測定部 43 は、汚染のあった位置も記録し、表示部に表示させることができる。

[0076] 以上のように、実施の形態 2 によれば、測定対象までの距離の計測結果に基づいて再構成された測定対象の 3D 形状に基づいて、薄型の検出器ユニットを適切な位置に挿入できる構成を備えている。この結果、狭い箇所や複雑な形状の物体の検査を効率的に実施することができる。

[0077] 実施の形態 3.

本実施の形態 3 は、検出器ユニット 10 として、放射線に有感な半導体素子を用いる代わりに、シンチレータを用いることにより、放射線を検出することのみが、先の実施の形態 2 と異なる。

[0078] シンチレータは、例えば、プラスチックシンチレータのような有機シンチレータであってもよく、例えば、ヨウ化ナトリウムやヨウ化セシウムのような

な無機シンチレータであってもよい。

[0079] 検出器ユニット 10 としてシンチレータを用いる場合には、入射窓を α 線や β 線が透過可能な程度に薄くすることで、測定対象表面に付着する放射性物質が放出する α 線や β 線を直接測定することが可能である。

[0080] 図 17 は、本発明の実施の形態 3 において、検出器ユニット 10 としてシンチレータ 110 を用いた場合の構成例を示す図である。検出器ユニット 10 としてシンチレータ 110 を用いる場合には、放射線を検出することで生じるシンチレーション光を受光素子 112 で検出することとなるため、シンチレーション光を集光するライトガイド 111 が必要となる。このとき、図 17 に示すようなライトガイド形状を採用することで、車両のタイヤハウスのような狭い隙間に検出器ユニット 10 を挿入することが可能となる。

[0081] 図 18 は、本発明の実施の形態 3 において、検出器ユニット 10 としてシンチレータ 110 を用いた場合の別の構成例を示す図である。ライトガイド 111 を用いない場合には、図 18 に示すように、光ダイオードアレイのような薄い板状の受光素子 113 を、板状のシンチレータ 110 に光学結合する構成とすることで、車両のタイヤハウス 3 のような狭い隙間に検出器ユニット 10 を挿入することが可能となる。

[0082] 以上のように、実施の形態 3 によれば、検出器として、半導体素子の代わりにシンチレータを用いた場合にも、先の実施の形態 1、2 と同様の効果を実現できる。

[0083] 実施の形態 4.

本実施の形態 4 は、検出器ユニット 10 が可撓性のシンチレータで構成されている点のみが、先の実施の形態 3 と異なる。検出器ユニット自体が曲がるため、複数の検出器ユニット 10 をつなげる必要はない。この結果、検出器ユニット自体を、測定対象の表面の形状に合わせることが可能である。

[0084] 具体例としては、ゼリー状のものや、油のように、可撓性のライトガイドを用いることも可能である。また、ライトガイドが可撓性でない場合も、シンチレータとライトガイドの間を可撓性の材料で光学結合することで、シン

チレーション光の集光効率を落とさずに、複雑な形状に合わせることができる。この方式により、距離のばらつきをより小さくすることができる。

[0085] なお、上述した実施の形態 1～4 は、測定する物理量が表面汚染密度である場合について説明した。しかしながら、検出器ユニット 10 として半導体素子やシンチレータを用いて、測定対象内部まで含めた、放射能濃度 (Bq/kg) を測定することも可能である。

[0086] このため、表面が汚染させる車両に限定されず、例えば、農作物や樹木のように、内部に放射性物質を取り込むため、内部の放射能濃度測定が必要なものも測定対象とすることが可能である。

[0087] この場合の検出感度は、幾何学的形状や検出器までの距離だけでなく、測定対象の大きさ、密度、まで考慮した物理計算を行うことによって求める。また、測定対象を模擬した放射線源を用いることでも、内部の放射能濃度を求めることができる。

[0088] また、測定対象の放射性物質が放射性セシウムの場合には、特性 X 線を測定することで、測定対象の表面の汚染状態を高精度に検出することができる。さらに、特性 X 線の検出を行う場合には、 γ 線の検出時に必要とされる遮蔽構造を用いる必要がない。従って、特性 X 線の検出に特化することで、運搬車両の表面の放射能汚染を、簡素な構造で高精度に検出することができる。

請求の範囲

- [請求項1] 放射能汚染量の測定対象である物体表面の形状に合わせた有感面の形状を有する検出部と、
前記有感面から前記物体表面までの距離があらかじめ設定された所望範囲内となる状態で前記検出部を保持する機構部と、
前記検出部の測定結果に基づいて、前記物体表面の前記放射能汚染量を算出する測定部と、
を備える放射能汚染検査装置。
- [請求項2] 測定結果を表示する表示部と、
測定結果を記録する記憶部と
をさらに備え、
前記測定部は、算出した前記放射能汚染量を前記測定結果として前記記憶部に記録させるとともに、前記表示部に表示させ、さらに、前記放射能汚染量があらかじめ設定された基準値を超えていると判断した場合には警報を発する
請求項 1 に記載の放射能汚染検査装置。
- [請求項3] 前記検出部は、前記有感面が複数の有感面として構成され、前記物体表面の形状に合わせて、前記物体表面からの距離が前記所望範囲内となるように、前記複数の有感面を個別に変形できる構造を備える
請求項 1 または 2 に記載の放射能汚染検査装置。
- [請求項4] 前記検出部は、前記有感面から前記物体表面までの前記距離を計測するための距離計を有しており、
前記機構部は、前記距離計の計測結果に基づいて、前記所望範囲内となる状態で前記検出部を保持する
請求項 3 に記載の放射能汚染検査装置。
- [請求項5] 前記測定部は、前記有感面から前記物体表面までの距離が一定でない場合には、前記有感面の位置を固定した上で、測定範囲のうちで、前記有感面から最も遠い物体表面までの距離を元に検出感度を設定す

ることで、前記放射能汚染量を算出する

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の放射能汚染検査装置。

[請求項6] 前記測定対象は、管理区域から退域する車両のタイヤ表面およびタイヤハウス表面であり

前記検出部は、前記測定対象に対して前記所望範囲内となる状態で、前記機構部により保持される

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の放射能汚染検査装置。

[請求項7] 前記検出部は、アレイ状に配列された半導体素子で構成される

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の放射能汚染検査装置。

[請求項8] 前記検出部は、シンチレータで構成される

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の放射能汚染検査装置。

[請求項9] 前記検出部を構成するシンチレータは、可撓性を有する

請求項 8 に記載の放射能汚染検査装置。

[請求項10] 前記検出部の設置場所を特定するために、前記測定対象までの距離を測定する表面形状計測器と、

前記表面形状計測器による測定結果に基づいて、前記測定対象の 3D 形状を再構成し、前記検出部の設置場所を特定するための情報処理を行う信号処理器と

をさらに備える請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の放射能汚染検査装置。

[請求項11] 前記信号処理器で再構成された前記 3D 形状に基づいて、前記物体表面からの距離が前記所望範囲内となるように、前記検出部が取り付けられた前記機構部の位置制御を行う駆動制御部

をさらに備える請求項 10 に記載の放射能汚染検査装置。

[請求項12] 前記測定部は、放射線を検出した際に前記検出部から出力されるパルスの波高または波形を観測し、前記測定対象の放射線に対応するパルス波高または波形を選択することで、前記測定対象の放射線を選択的に測定する測定回路を有する

請求項 1 から 1 1 のいずれか 1 項に記載の放射能汚染検査装置。

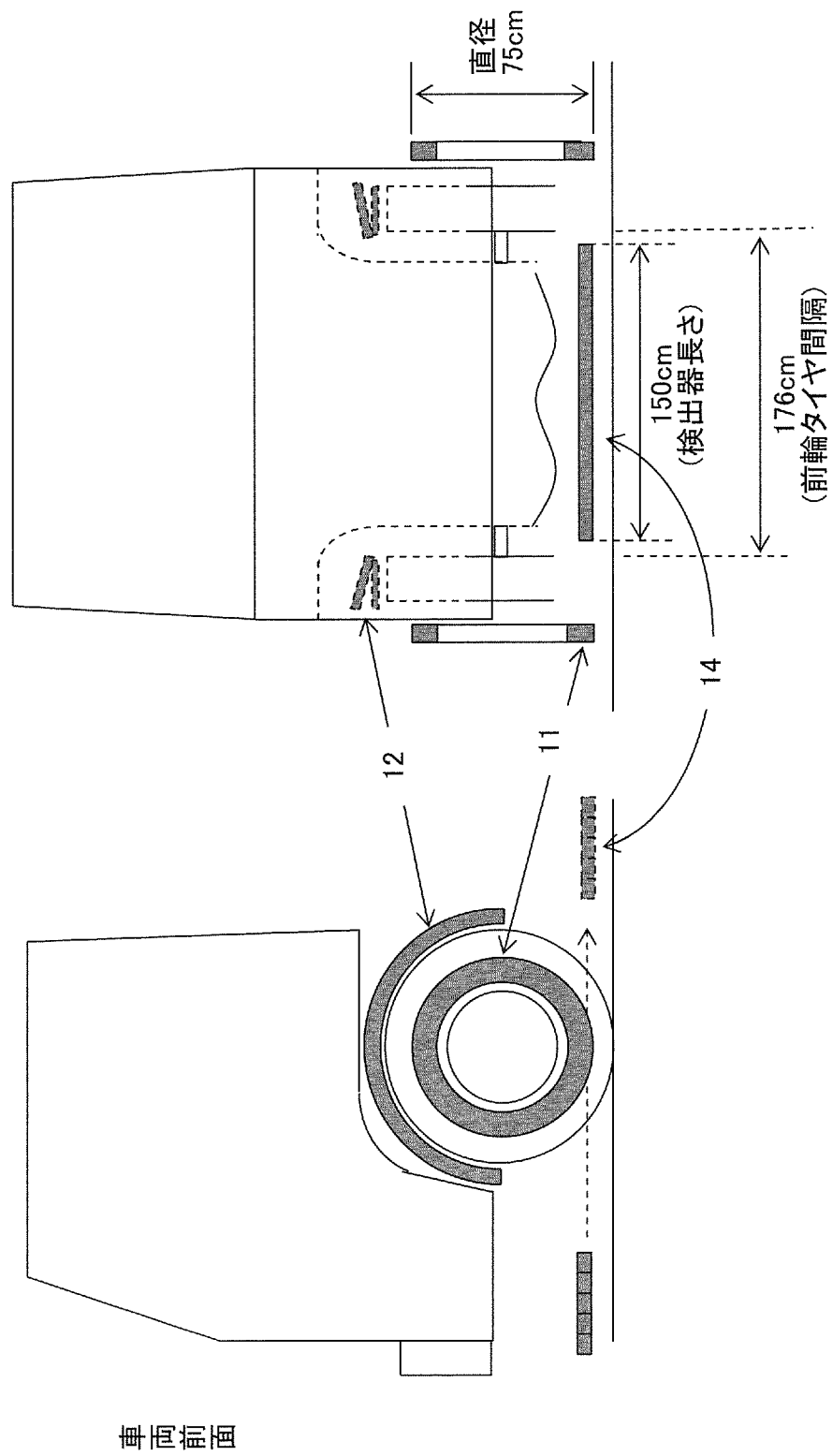
[請求項13] 前記測定回路は、前記測定対象の放射線を検出した際に前記検出部から出力されるパルスの周波数帯域に合わせた周波数特性を有しており、前記測定対象の放射線以外の感度を低下させ、前記測定対象の放射線を選択的に測定する

請求項 1 2 に記載の放射能汚染検査装置。

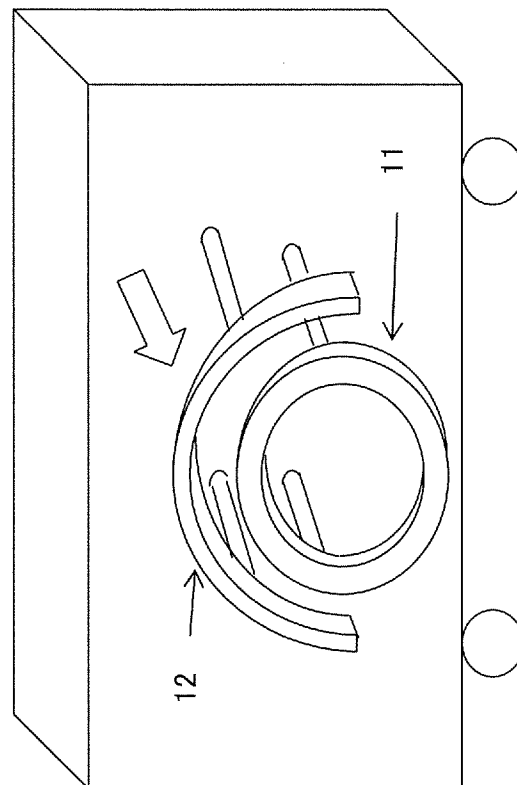
[請求項14] 前記検出部は、前記測定対象の表面から放出される特性 X 線を検出する

請求項 1 から 1 3 のいずれか 1 項に記載の放射能汚染検査装置。

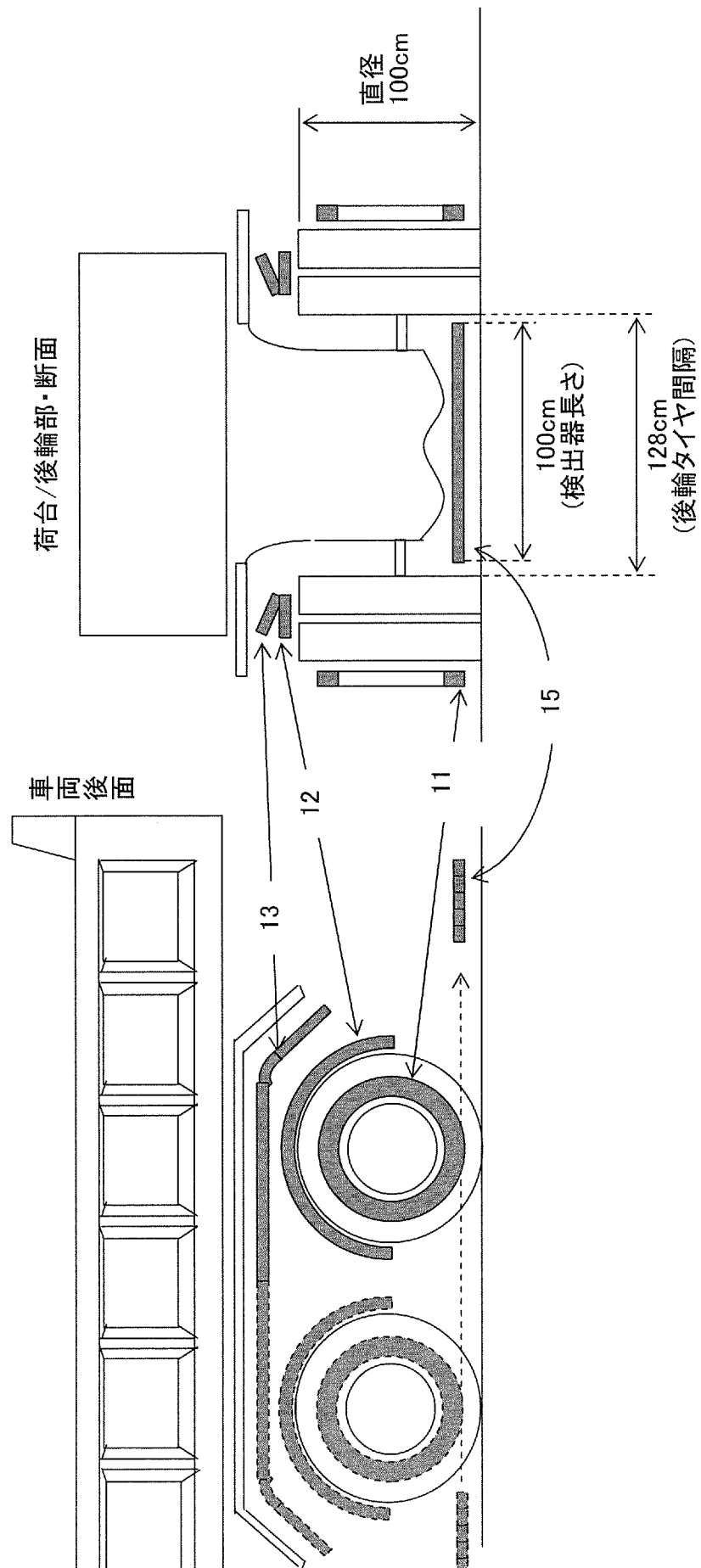
[図1]



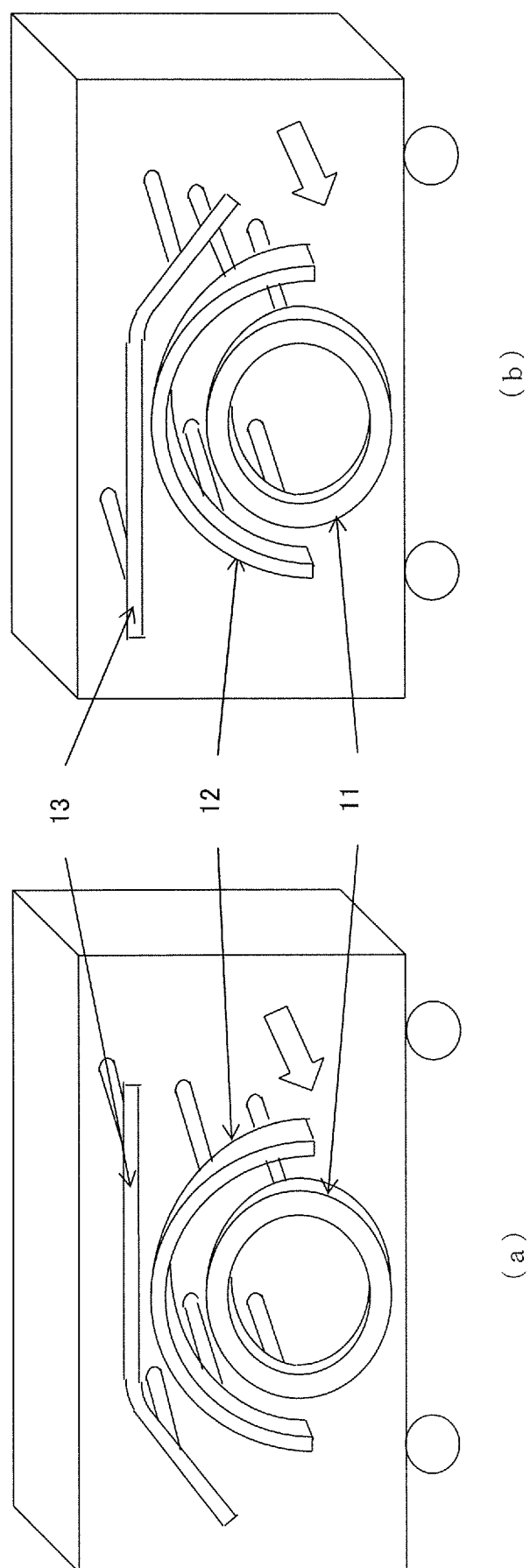
[図2]



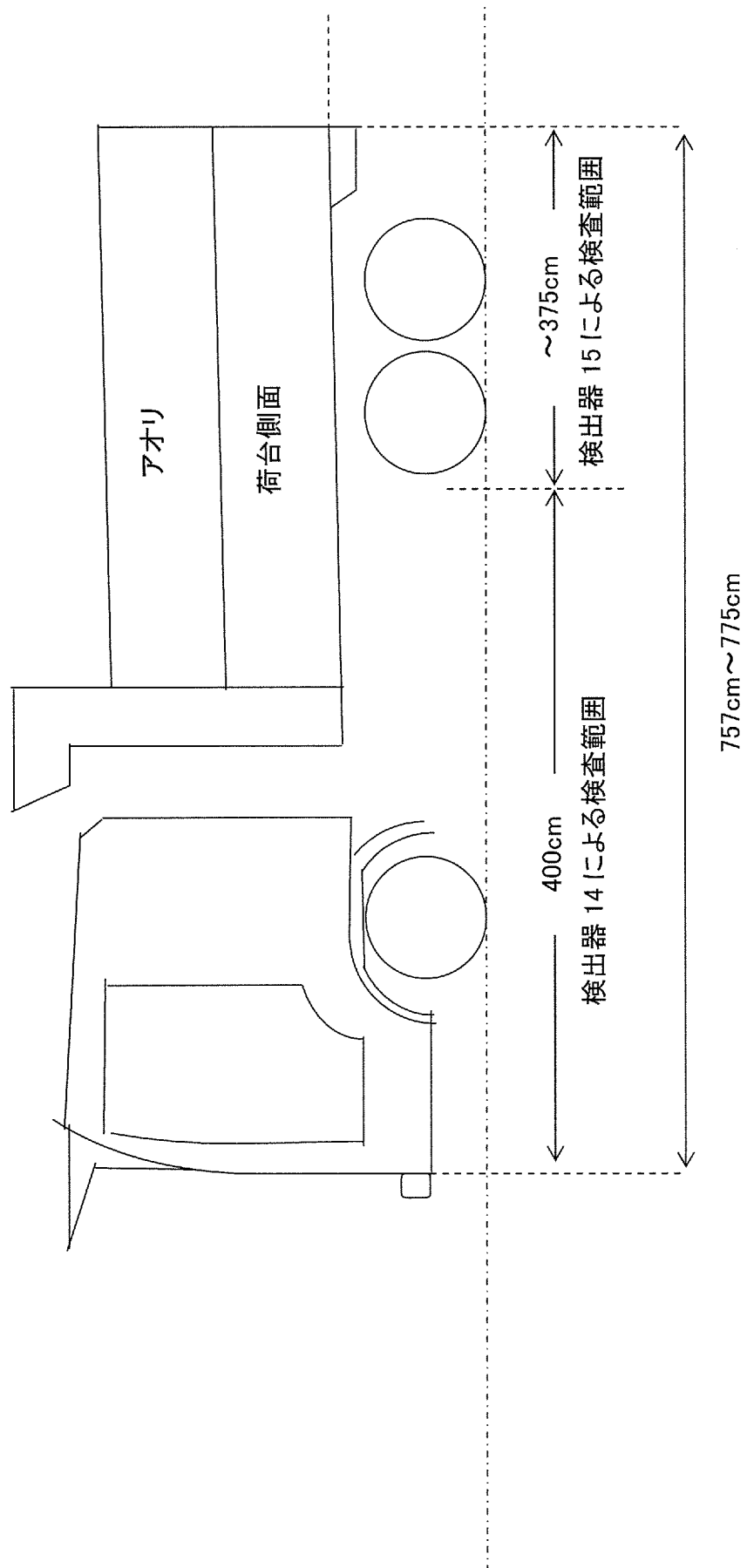
[図3]



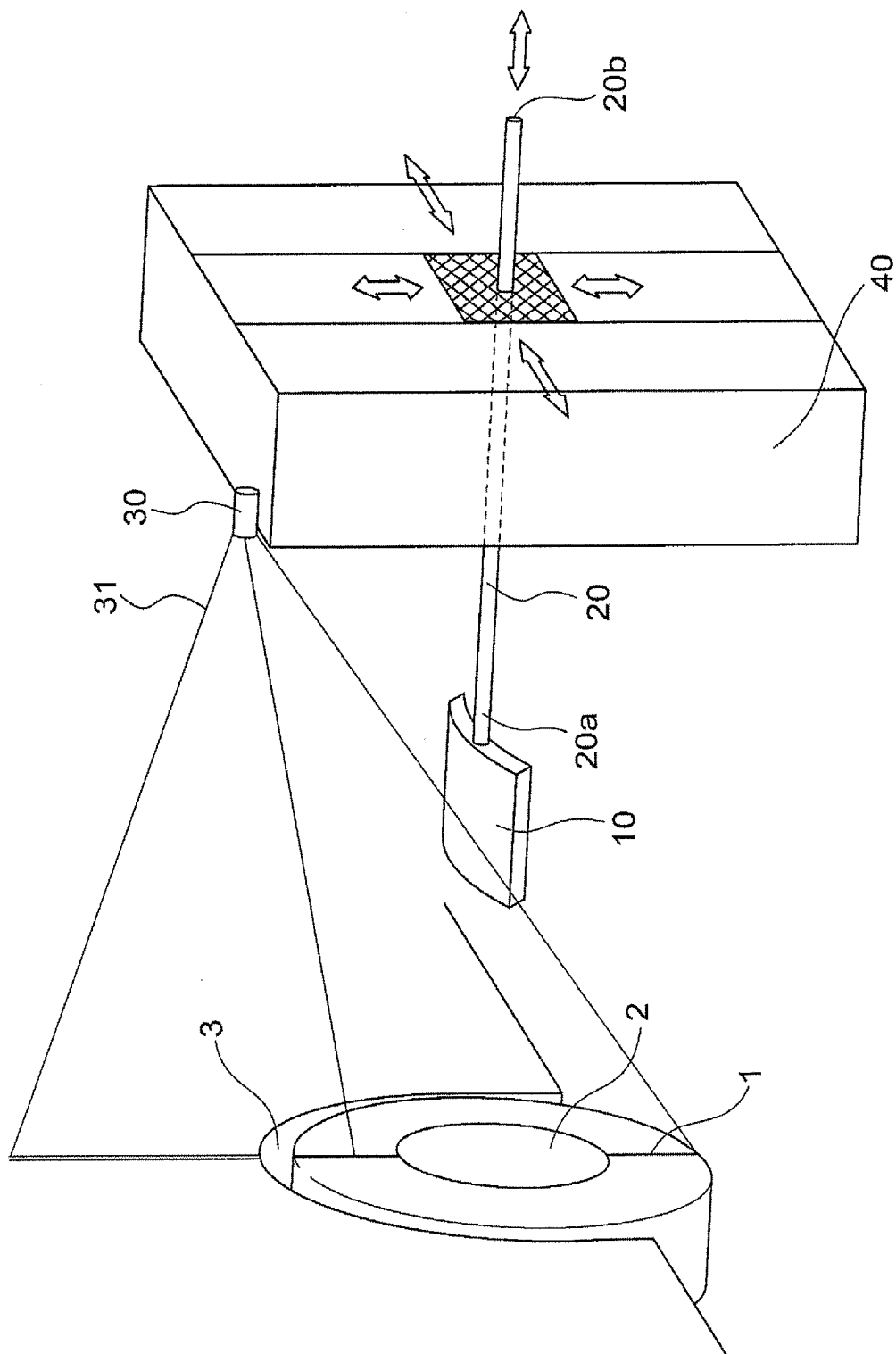
[図4]



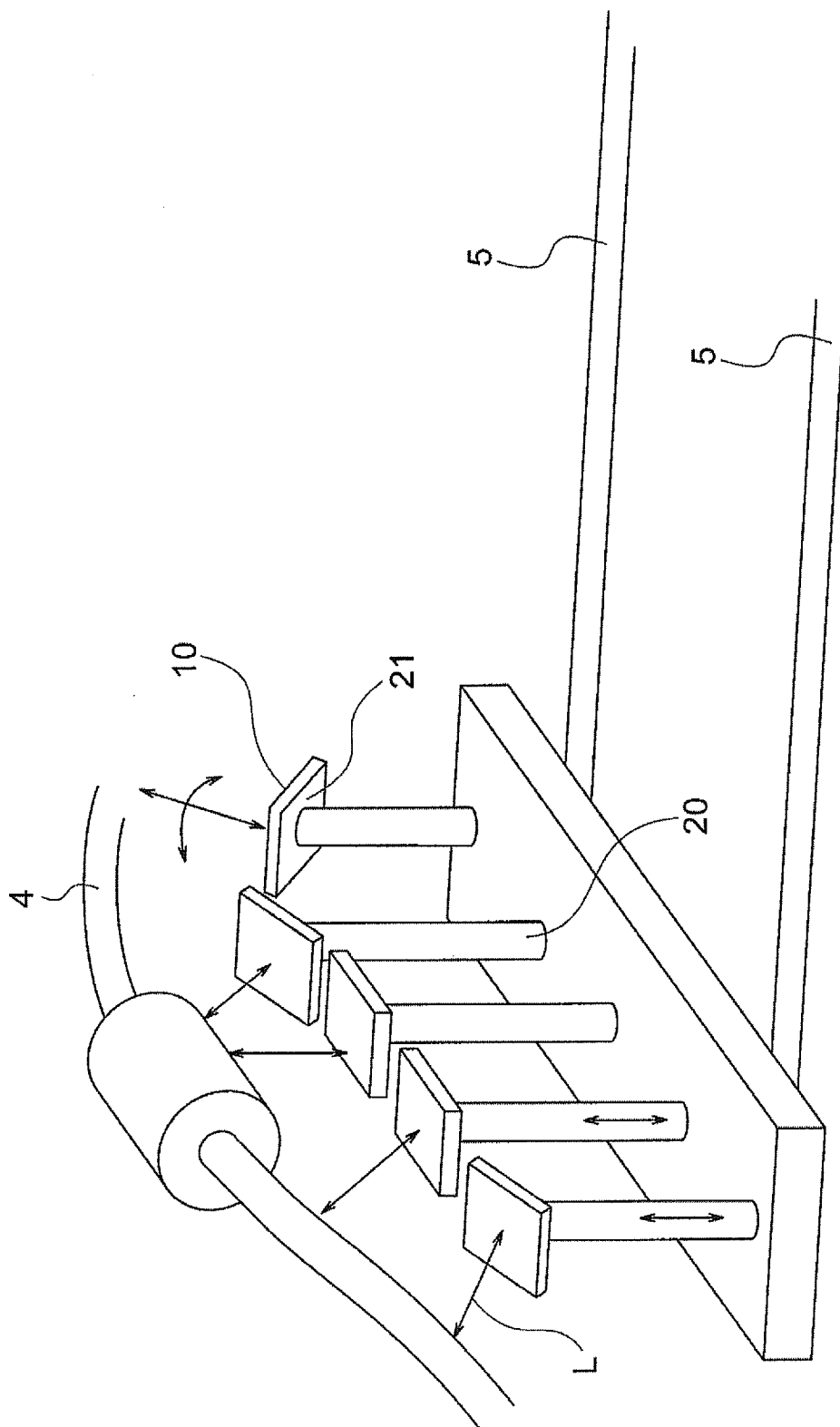
[図5]



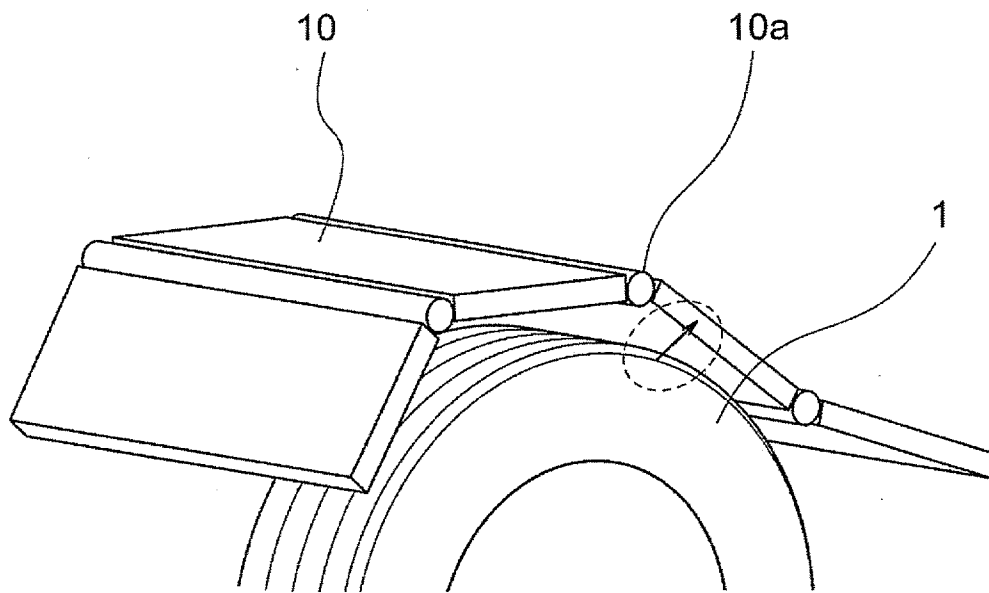
[図6]



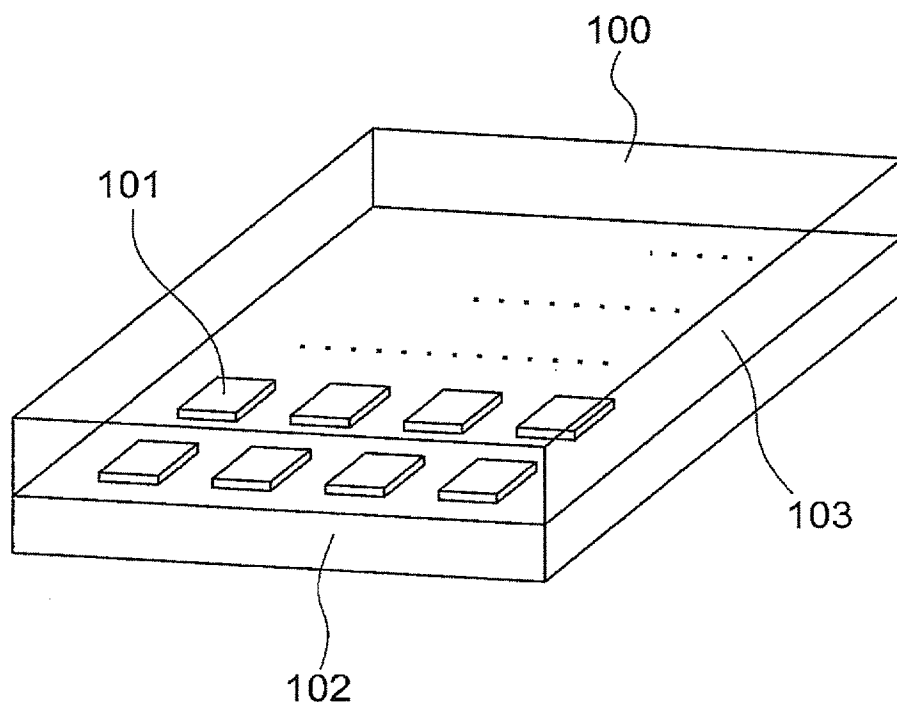
[図7]



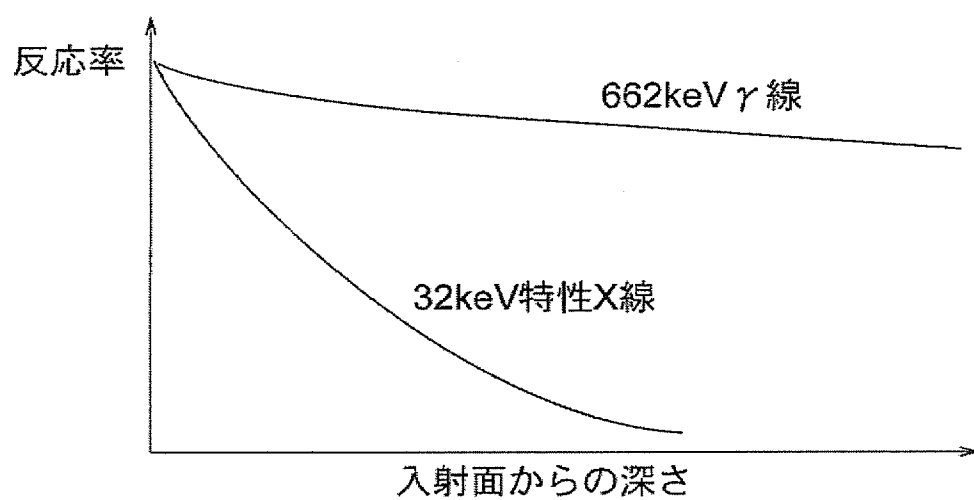
[図8]



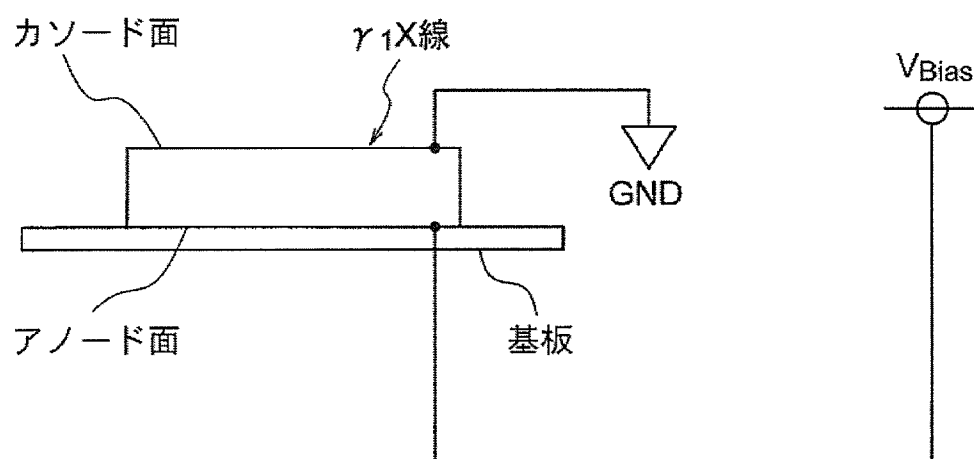
[図9]



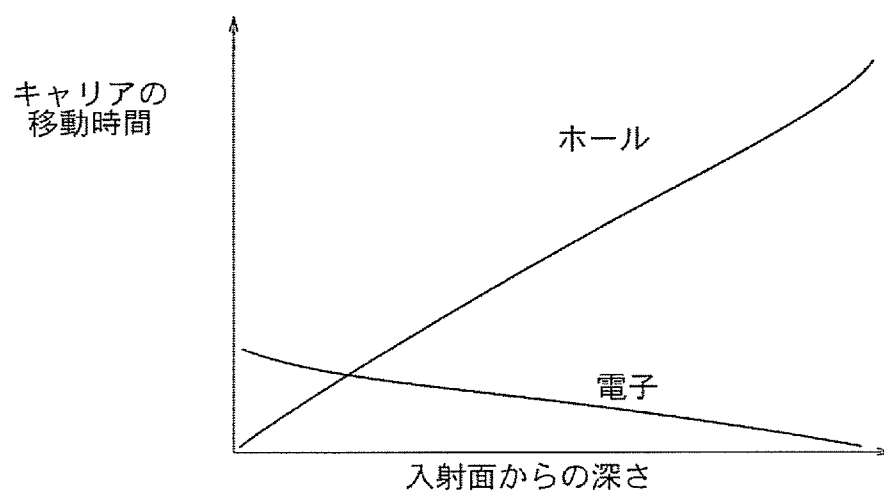
[図10]



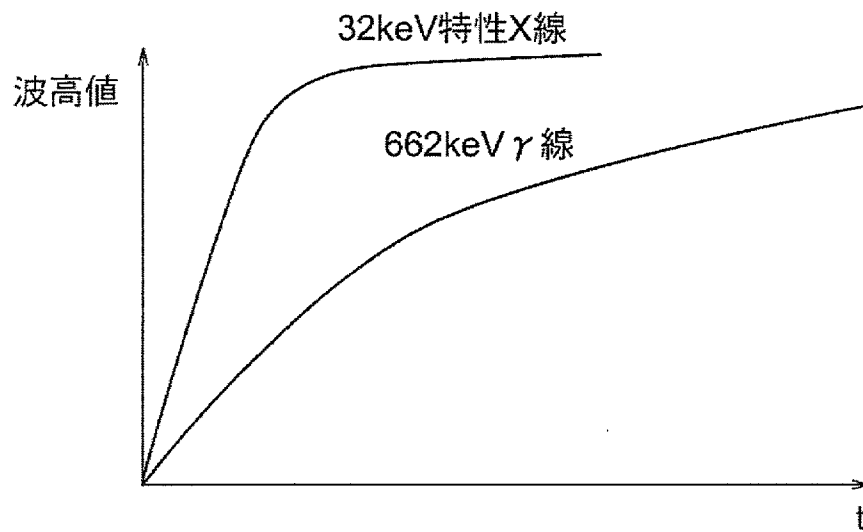
[図11]



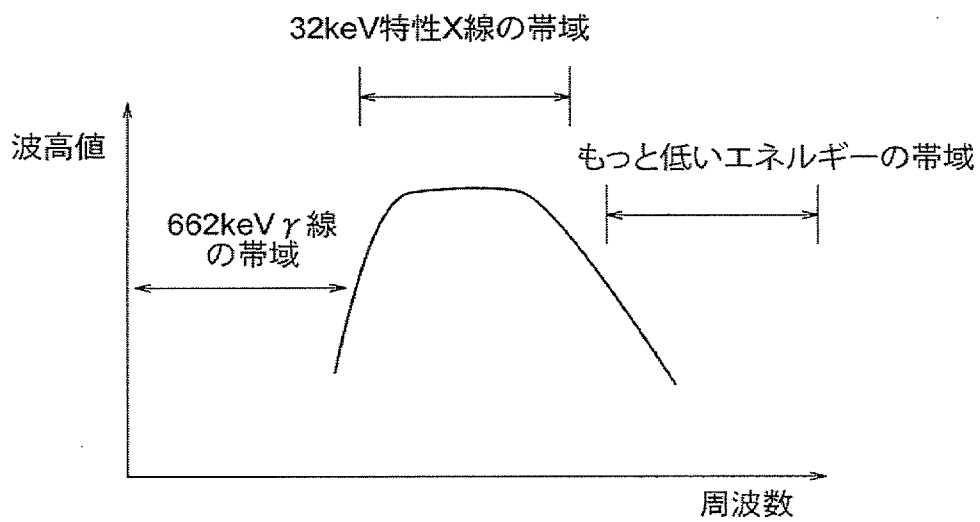
[図12]



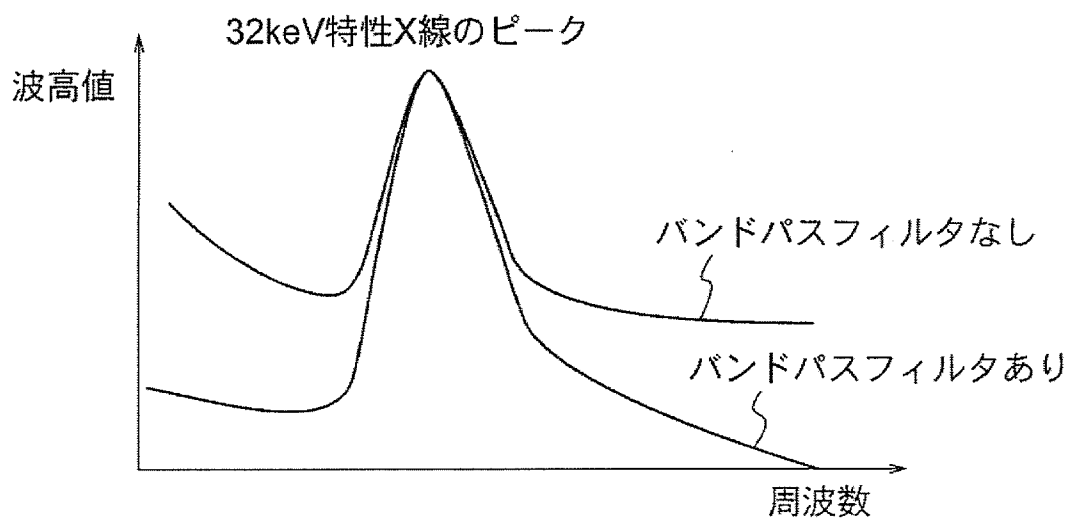
[図13]



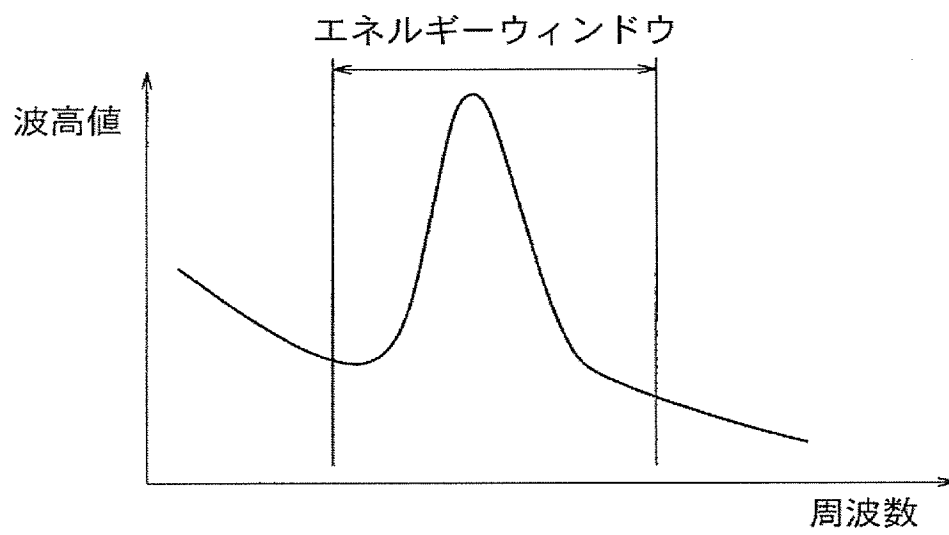
[図14]



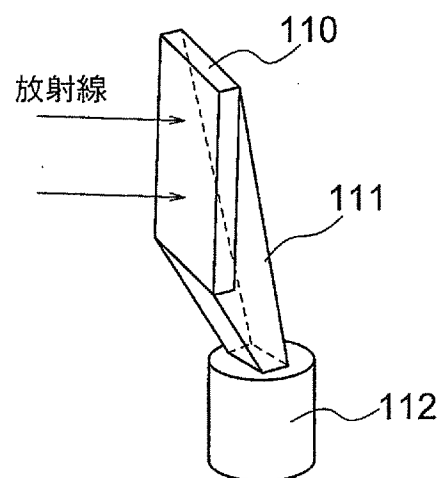
[図15]



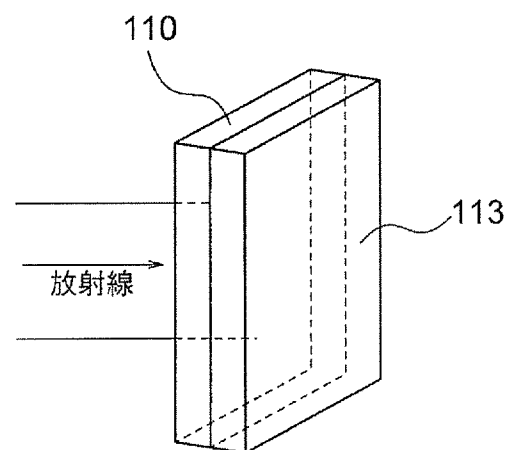
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/068963

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01T1/169(2006.01)i, G01T1/167(2006.01)i, G01T1/20(2006.01)i, G01T1/24(2006.01)i, G01T7/00(2006.01)i

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)

G01T1/169, G01T1/167, G01T1/20, G01T1/24, G01T7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2005-195459 A (Toshiba Corp.), 21 July 2005 (21.07.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1, 3-4, 8-9 2, 6-7, 10-14 5
Y A	JP 2014-126555 A (Canon Electronics Inc.), 07 July 2014 (07.07.2014), paragraphs [0014] to [0076]; fig. 1 to 9 (Family: none)	2, 6-7, 10-14 5
Y	WO 2015/198708 A1 (Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.), 30 December 2015 (30.12.2015), paragraphs [0028] to [0030]; fig. 4 & JP 2016-8884 A	10-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ 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
29 August 2016 (29.08.16)

Date of mailing of the international search report
06 September 2016 (06.09.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/068963

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-350552 A (Mitsubishi Electric Corp.), 04 December 2002 (04.12.2002), paragraphs [0022] to [0055]; fig. 1 to 5 (Family: none)	12-14
Y	JP 7-084054 A (Toshiba Corp.), 31 March 1995 (31.03.1995), paragraphs [0049] to [0057]; fig. 3 to 4 (Family: none)	12-14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01T1/169(2006.01)i, G01T1/167(2006.01)i, G01T1/20(2006.01)i, G01T1/24(2006.01)i,
G01T7/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01T1/169, G01T1/167, G01T1/20, G01T1/24, G01T7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2005-195459 A（株式会社東芝）	1、3-4、
Y	2005.07.21, 全文および全図	8-9
A	（ファミリーなし）	2、6-7、
		10-14
		5
Y	JP 2014-126555 A（キヤノン電子株式会社）	2、6-7、
A	2014.07.07, 第【0014】-【0076】段落および第1-9図	10-14
	（ファミリーなし）	5

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

29.08.2016

国際調査報告の発送日

06.09.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

藤本 加代子

電話番号 03-3581-1101 内線 3273

21

4458

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2015/198708 A1 (日立GEニュークリア・エナジー株式会社) 2015.12.30, 第【0028】－【0030】段落および第4図 & JP 2016-8884 A	10－14
Y	JP 2002-350552 A (三菱電機株式会社) 2002.12.04, 第【0022】－【0055】段落および第1－5図 (ファミリーなし)	12－14
Y	JP 7-084054 A (株式会社東芝) 1995.03.31, 第【0049】－【0057】段落および第3－4図 (ファミリーなし)	12－14