

(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6月29日(29.06.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/110682 A1

- (51) 国際特許分類:
G01T 1/167 (2006.01) G01T 7/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/087576
- (22) 国際出願日: 2016年12月16日(16.12.2016)
- (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 2015-250508 2015年12月22日(22.12.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社東芝(KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 酒井 宏隆(SAKAI, Hirotaka). 岩下 可奈子(IWASHITA, Kanako). 梅村 憲弘(UMEMURA, Norihiro). 河野 繁宏(KONO, Shigehiro).
- (74) 代理人: 特許業務法人 東京国際特許事務所(TOKYO INTERNATIONAL PATENT FIRM); 〒

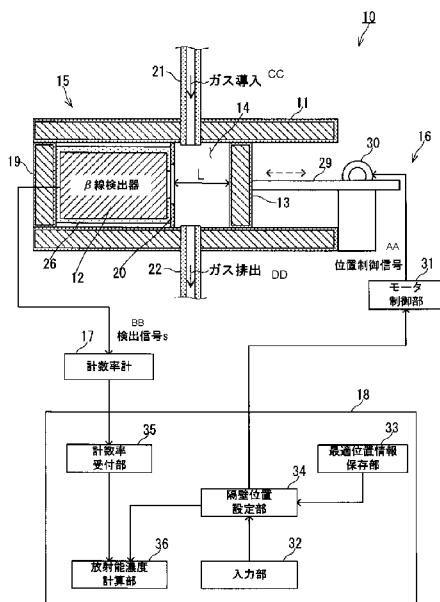
1050003 東京都港区西新橋一丁目17番16号
宮田ビル2階 Tokyo (JP).

- (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, DJ, 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, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, 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),

[続葉有]

(54) Title: β -RAY GAS MONITOR AND METHOD FOR MONITORING GAS CONTAINING NUCLIDES EMITTING β -RAYS

(54) 発明の名称: β 線ガスモニタ及び β 線を放出する核種を含むガスのモニタリング方法



(57) Abstract: A β -ray gas monitor 10 is provided with: a hollow main body 11, one open end of which is sealed airtight; a β -ray detector 12 arranged inside of the main body 11 so as to detect β -rays and output a detection signal s; a variable partition 13 which is provided so as to be capable of moving along the inner surface of the main body 11 while facing the detection port of the β -ray detector 12, and which is disposed at a partition position in accordance with the sample gas being measured so as to form, together with the inner surface of the main body 11, a sample space 14 that is separated from external space; a counting rate meter 17 for measuring counting rates on the basis of the detection signal s detected from the sample gas introduced into the sample space 14; and a radiation concentration calculation unit 36 for determining the concentration of radiation in the sample gas on the basis of the measured counting rate and the volume of the sample space 14.

(57) 要約: β 線ガスモニタ10は、一方の開放端が密閉された中空状の本体11と、本体11の内部に配置されて、 β 線を検出し、検出信号sを出力する β 線検出器12と、 β 線検出器12の検出口に対向する位置に本体11の内面に沿って移動可能に設けられるものであって、測定するサンプルガスに対応する隔壁位置に設定されて、外部空間と隔てられたサンプル空間14を本体11の内面とともに形成する可変隔壁13と、サンプル空間14に導入されたサンプルガスから検出された検出信号sに基づいて計数率を計測する計数率計17と、計測された計数率及びサンプル空間14の体積に基づいてサンプルガスの放射能濃度を求める放射能濃度計算部36と、を備える。

12 β -ray detector
17 Counting rate meter
31 Motor controller
32 Input unit
33 Optimum position information storage unit
34 Partition position setting unit
35 Counting rate receiving unit
36 Radiation concentration calculation unit
AA Position control signal
BB Detection signal s
CC Gas introduction
DD Gas discharge

WO 2017/110682 A1

WO 2017/110682 A1



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：

β 線ガスモニタ及び β 線を放出する核種を含むガスのモニタリング方法 技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、原子力発電所や原子力施設において大気中に放出される β 崩壊する放射性核種を検出して大気中の放射能濃度を測定する β 線ガスモニタ及び β 線を放出する核種を含むガスのモニタリング方法に関する。

背景技術

[0002] 原子力発電所や原子力施設における建屋内に設置される放射性ガスモニタの放射線検出器は、測定対象となるガス中の放射性核種を高感度で測定するために、1崩壊当たりの放射線の放出割合が高い β 線を測定対象としている。

[0003] 一般的な放射性ガスモニタでは、通常、測定対象となる放射性ガスをサンプル空間に導入して、ガス中に含まれる放射性核種（例えば、 $Kr-85$ 、 $Xe-133$ など）の崩壊により放出される β 線を検出して、この検出値に基づいてガス中の放射能濃度が計算されている。

[0004] 従来から、サンプル空間を小型化するなど、高い精度で β 線を検出する信頼性の高い放射性ガスモニタが検討されている。また、最近ではPHITSなどのモンテカルロ法を用いた放射線の挙動を模擬する計算コードも開発されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2010-78319号公報

特許文献2：特開平11-64527号公報

特許文献3：実開昭62-88974号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、放射性核種の崩壊により放出される β 線のエネルギーは核種ごとに異なる。このため、 β 線のエネルギーが異なれば、放射線検出器における検出効率などの応答特性も変化する。

[0007] つまり、 β 線のエネルギーに応じて最適な測定条件が存在するが、従来の β 線を放出する核種を含むガスの監視方法は経験則に基づくものが多く、 β 線のエネルギーに応じた放射線検出器の応答特性を十分に考慮したものではなかった。

[0008] 本発明はこのような事情を考慮してなされたもので、測定される β 線を放出する核種を含むガスに対して適した測定条件下で放射能濃度の監視を行うことができる β 線ガスモニタ及び β 線を放出する核種を含むガスのモニタリング方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の実施形態に係る β 線ガスモニタは、一方の開放端が密閉された中空状の本体と、前記本体の内部に配置されて、 β 線を検出し、検出信号を出力する β 線検出器と、前記 β 線検出器の検出口に対向する位置に前記本体の内面に沿って移動可能に設けられるものであって、測定するサンプルガスに対応する隔壁位置に設定されて、外部空間と隔てられたサンプル空間を前記本体の内面とともに形成する可変隔壁と、前記サンプル空間に導入された前記サンプルガスから検出された前記検出信号に基づいて計数率を計測する計数率計と、計測された前記計数率及び前記サンプル空間の体積に基づいて前記サンプルガスの放射能濃度を求める放射能濃度計算部と、を備えることを特徴とする。

[0010] 本発明の実施形態に係る β 線を放出する核種を含むガスのモニタリング方法は、一方の開放端が密閉された中空状の本体と、前記本体の内部に配置されて、 β 線を検出し、検出信号を出力する β 線検出器と、前記 β 線検出器の検出口に対向する位置に前記本体の内面に沿って移動可能に設けられるものであって、測定するサンプルガスに対応する隔壁位置に設定されて、外部空間と隔てられたサンプル空間を前記本体の内面とともに形成する可変隔壁を

用いて、前記サンプル空間に導入された前記サンプルガスから検出された前記検出信号に基づいて計数率を計測するステップと、計測された前記計数率及び前記サンプル空間の体積に基づいて前記サンプルガスの放射能濃度を求めるステップと、を含むことを特徴とする。

発明の効果

[0011] 本発明の実施形態により、測定される β 線を放出する核種を含むガスに対して適した測定条件下で放射能濃度の監視を行うことができる β 線ガスモニタ及び β 線を放出する核種を含むガスのモニタリング方法が提供される。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]第1実施形態に係る β 線ガスモニタの構成図。

[図2] (A) は第1実施形態におけるサンプラ部及び隔壁駆動部の構成を示す拡大図、(B) は1-1断面図。

[図3] 電子のエネルギーを0.1、0.2、0.3、0.5、及び1.0 MeVとした場合の本実施形態に係る β 線ガスモニタの検出効率をシミュレーション計算した結果。

[図4] 図3で示した計算結果に対して、可変隔壁の設定位置が100 cmでの検出効率を1として、各検出効率を相対値で示したグラフ。

[図5] 第1実施形態に係る β 線ガスモニタの動作手順を示すフローチャート。

[図6] 第2実施形態に係る β 線ガスモニタの構成図。

[図7] (A) は可変隔壁の設定位置が L_1 におけるサンプラ部の状態を示す図、(B) は可変隔壁の設定位置が L_2 におけるサンプラ部の状態を示す図。

[図8] 第2実施形態に係る β 線ガスモニタの動作手順を示すフローチャート。

[図9] 第3実施形態に係る β 線ガスモニタに適用されるサンプラ部の構成図。

発明を実施するための形態

[0013] (第1実施形態)

以下、本発明の実施形態を添付図面に基づいて説明する。

図1に示すように第1実施形態に係る β 線ガスモニタ10は、本体11内に β 線検出器12が配置され、本体11の内面に沿って移動可能な可変隔壁

13により形成されたサンプル空間14に対して測定対象となるサンプルガスを導入するサンプラ部15と、設定された隔壁位置に可変隔壁13を移動させる隔壁駆動部16と、 β 線の検出信号sに基づいて計数率を計測する計数率計17と、可変隔壁13の位置設定、及び計測された β 線の計数率に基づいてサンプルガスの放射能濃度を計算する計算機18と、を備える。

[0014] 第1実施形態に係る β 線ガスモニタ10は、サンプルガスから放出される β 線のエネルギー（以下、特に明示しない場合は平均エネルギーを意味する）に応じて、 β 線の計測に最適な位置に可変隔壁13を移動させサンプルガスの放射能濃度を求めるものである。

[0015] まず、サンプラ部15と隔壁駆動部16の構成について説明する。

図2（A）はサンプラ部15及び隔壁駆動部16の構成を拡大した図であり、図2（B）は図2（A）のI-I断面を示している。

[0016] サンプラ部15は、本体11と、 β 線検出器12と、可変隔壁13と、背面遮蔽プラグ19と、入射窓20と、ガス導入ライン21と、ガス排出ライン22と、を備えている。

[0017] 本体11は、内部が中空状に形成されており、一方の開放端が背面遮蔽プラグ19により密閉されている。本体11は、鉛などの放射線を遮断する材料で構成され円柱状の空洞が内部に形成された基体23と、鉄などのコーティング材料で基体23の表面全体を被覆した保護層24から構成されている。

[0018] 本体11は、例えば直方体の鉛ブロックを、円柱状にくりぬいて、その外側と、くりぬいた後の内側を鉄などのコーティング材料で被覆して作製できる。

[0019] 背面遮蔽プラグ19は、本体11と同様に、鉛などの放射線を遮断する材料で構成された基板を、鉄などのコーティング材料で表面が保護されて形成されている。本体11の開放端に背面遮蔽プラグ19が溶接などにより接続されることで、本体11の一方の開放端が密閉される。

[0020] β 線検出器12は、検出口25を本体11の開放側に向けて、本体11内

部に挿入される。そして、背面遮蔽プラグ 19 または本体 11 の側面に固定部材（図示省略）を介して固定され配置される。

[0021] β 線検出器 12 は、 β 線が入射すると蛍光を発するプラスチックシンチレータと、シンチレータで発生した光を電気信号に変換して出力する光電子増倍管が接続されて構成された円筒型の検出器である。

[0022] β 線検出器 12 は、円形状の検出口 25 が形成された検出器ケース 26 に収容される。検出器ケース 26 は、検出器内への光の入射を防止するためアルミニウムなどの遮光材料で構成される。

[0023] β 線検出器 12 は、検出口 25 側にプラスチックシンチレータが配置され、検出口 25 から遠い位置に光電子増倍管が配置される。

[0024] β 線検出器 12 は、計数率計 17（図 1）と電氣的に接続されており、 β 線を検出して、 β 線が検出された際に発生する検出信号 s を計数率計 17 に出力する。 β 線検出器 12 には、計数率計 17 から電源が供給される。

[0025] なお、 β 線検出器 12 としては、プラスチックシンチレータと光電子増倍管との組み合わせに限定されるものではなく、ガス中から放出される β 線を電気信号に変換して検出する電離箱、GM管などを用いても良い。

[0026] 入射窓 20 は、鉄などの材料による円形状の板材であり、中心位置に β 線検出器 12 の検出口 25 よりも大きな径を有する開口部が形成されている。入射窓 20 は、サンプル空間 14 の境界を構成するため、 β 線検出器 12 の検出面側で検出器ケース 26 の近傍または接触して設けられる。

[0027] 可変隔壁 13 は、本体 11 の内径より小さい径（本体 11 の内面を摺動可能な径）を有する円形状の板材である。そして、 β 線検出器 12 の検出口 25 に対向する位置に配置されて、本体 11 の内面を本体 11 の軸方向に沿って移動可能に設けられる。

[0028] なお、可変隔壁 13 は、本体 11 と同様に、鉛などの放射線を遮断する材料の隔壁基体 27 を鉄などのコーティング材料の隔壁被覆層 28 で表面が保護されている。

[0029] 可変隔壁 13 は、本体 11 の内面及び入射窓 20 とともに外部空間との境

界を構成して、外部空間と隔てられたサンプル空間 14 を形成する。

[0030] 可変隔壁 13 が、隔壁駆動部 16 により本体 11 の内面を軸方向に沿って前後に移動されることで、入射窓 20 から可変隔壁 13 までの距離（以下、隔壁位置とする）及びサンプル空間 14 の体積が変更できる。なお、隔壁位置は、 β 線検出器 12 の検出口 25 から可変隔壁 13 までの距離としても良い。

[0031] ガス導入ライン 21 は、ガス導入時に開放される開放弁が設けられている。同様に、ガス排出ライン 22 には、排気用ポンプと、ガス排出時に開放される開放弁が設けられている。なお、排気用のポンプと各ラインに設けられる開放弁については図示を省略する。

[0032] 放射能濃度測定時には、排気用のポンプを駆動してガス導入ライン 21 を介してサンプル空間 14 にサンプルガスを導入してサンプル空間 14 内にガスを充填しつつ、ガス排出ライン 22 を介してサンプル空間 14 内のサンプルガスを排出する。

[0033] 隔壁駆動部 16 は、可変隔壁 13 に連結された駆動軸 29 と、駆動軸 29 を前後に駆動させるステッピングモータ 30 と、計算機 18（図 1）で設定された隔壁位置 L に可変隔壁 13 を移動させるための位置制御信号をステッピングモータ 30 に送信するモータ制御部 31 と、を備えている。

[0034] ステッピングモータ 30 による回転運動を駆動軸 29 によって可変隔壁 13 を前進・後退させる直線運動に変換される。なお、駆動軸 29 及びステッピングモータ 30 に代えて、油圧あるいは空圧シリンダー等を用いて可変隔壁 13 の前後動を実現しても良い。なお、計算機 18 から隔壁位置 L を設定するのではなく、モータ制御部 31 がユーザによる入力を受け付け可能な構成にして、ユーザにより設定された隔壁位置 L に可変隔壁 13 を移動させても良い。

[0035] 図 1 に戻って説明を続ける。

計算機 18 は、入力部 32 と、最適位置情報保存部 33 と、隔壁位置設定部 34 と、計数率受付部 35 と、放射能濃度計算部 36 と、を備える。

- [0036] 入力部32は、サンプルガスから放出される β 線のエネルギーの入力をユーザから受け付ける。具体的には、放射性核種のそれぞれが β 線崩壊する際に生じる β 線のエネルギーとの対応関係に基づき、サンプルガス中に含まれると想定される放射線核種の β 線のエネルギーをユーザから受け付ける。また、ユーザから放射性核種の種類を受け付けて、その核種が β 線崩壊する際に生じる β 線のエネルギーを隔壁位置設定部34に出力する構成としても良い。
- [0037] 最適位置情報保存部33は、設定された β 線のエネルギーのそれぞれに応じて隔壁位置Lの最適位置を、シミュレーション計算により予め求めて最適位置情報として保存する。設定される β 線のエネルギーは、放出が想定される β 線のエネルギーの範囲で複数設定される。
- [0038] この最適位置情報を求めるためのシミュレーション計算は、 β 線のエネルギー及び隔壁位置Lをパラメータとして、サンプラ部15の詳細な構成を計算条件にして、PHITSやMCNP、EGS5などのモンテカルロ計算コードを用いて行われる。これらの計算コードを用いることで、複雑な設定条件における β 線検出器12の応答が高い精度で求められる。
- [0039] 図3は、電子のエネルギーを0.1、0.2、0.3、0.5、及び1.0 MeVとした場合の β 線ガスモニタ10の検出効率をシミュレーション計算した結果を示している。
- [0040] なお、シミュレーション計算には、モンテカルロ計算コードであるPHITSを用いて、各設定における計算のヒストリー数を100,000としている。なお、検出効率の単位は、cps/(Bq/cm³)で示している。
- [0041] また、サンプラ部15の設定条件として、 β 線検出器12の検出口25の直径を200 mm、入射窓20における開口部位の直径を210 mm、サンプル空間14の直径を280 mmとして、それぞれの中心は同一の軸上を通るものとしている。そして、 β 線検出器12のプラスチックシンチレータの厚さを0.25 mm、保護膜の厚さを0.044 mmとする。
- [0042] このような構成で、可変隔壁13の隔壁位置Lを変化させて、 β 線のエネ

ルギーごとに検出効率を計算している。

[0043] 図4は、図3で示した計算結果に対して、可変隔壁13の設定位置が100cmでの検出効率を1とし、各検出効率を相対値で示したグラフである。

[0044] 図4の結果から分かるように、最もエネルギーが低い0.1MeVについては、可変隔壁13の位置が100cm程度で検出効率は飽和する一方、それよりも高い他のエネルギーでは可変隔壁13の位置が100cm程度では飽和せず、より隔壁位置Lが大きい場合（可変隔壁13の位置が検出口25から遠い場合）に高い検出効率を得られる。

[0045] つまり、 β 線のエネルギーごとに計測に最適となる隔壁位置Lは異なり、低エネルギーの β 線を放出するガスの場合には、隔壁位置Lが小さい場合であっても高い検出効率を得られる。さらに、サンプル空間14内のガスの入れ替えが早くなることから検出器の応答時間も早くすることができる。

[0046] 一方、高エネルギーの β 線を放出するガスの場合には、隔壁位置Lを大きくすることで、サンプル空間14の体積が増加することで検出器の応答時間は遅くなるものの、高い検出効率を得ることができる。

[0047] したがって、 β 線のエネルギーが100keV程度の β 線を放出する核種を含むガスの測定する場合には、隔壁位置L=100cmを最適位置となる一方で、100keVよりも高いエネルギーの β 線を放出する核種を含むガスの測定については隔壁位置L=200cm~450cmが最適位置となる。

[0048] このようなシミュレーション計算を行うことで、 β 線のエネルギーのそれぞれに対して、 β 線検出器12の検出効率及び検出の応答時間の少なくとも一方が高くなる（一定の目標値を超える）可変隔壁13の最適位置を求めて最適位置情報保存部33に保存する。

[0049] 隔壁位置設定部34（図1）は、最適位置情報保存部33に保存された最適位置情報を参照して、入力された β 線のエネルギーに対応する最適位置を、可変隔壁13の隔壁位置Lに設定する。

[0050] 隔壁位置設定部34により設定された隔壁位置Lに可変隔壁13が移動されて、サンプル空間14にサンプルガスが導入された後、測定が開始される

。

[0051] 計数率計 17 は、 β 線検出器 12 で検出された β 線の検出信号 s に基づいて計数率を計測する。計測された計数率は、計算機 18 の計数率受付部 35 に送信される。

[0052] 放射能濃度計算部 36 は、計測された計数率及びサンプル空間 14 の体積に基づいてサンプルガスの放射能濃度を計算する。

[0053] 図 5 は、第 1 実施形態に係る β 線ガスモニタ 10 の動作手順を示すフローチャートを示している（適宜、図 1 参照）。

[0054] 最適位置情報保存部 33 は、設定された β 線のエネルギーに応じた最適な隔壁位置を計算で求めて最適位置情報として保存する（S 10）。

[0055] 入力部 32 は、サンプルガスから放出される β 線のエネルギーの入力をユーザから受け付ける（S 11）。

[0056] 隔壁位置設定部 34 は、最適位置情報を参照して入力された β 線エネルギーに対応する位置を隔壁位置に設定する（S 12）。

[0057] 隔壁駆動部 16 は、設定された隔壁位置に可変隔壁 13 に移動させる（S 13）。そして、サンプル空間 14 にサンプルガスが導入された後、測定が開始される。

[0058] 計数率計 17 は、 β 線検出器 12 で検出された β 線の検出信号 s に基づいて計数率を計測する（S 14）。

[0059] 放射能濃度計算部 36 は、隔壁位置に対応するサンプル空間 14 の体積及び計測された計数率に基づいてサンプルガスの放射能濃度を計算する（S 15）。

[0060] このように、 β 線のエネルギーに応じた最適な隔壁位置を計算で求めておき、測定対象となるガスにおける β 線のエネルギーに対応する隔壁位置に可変隔壁 13 を移動させることにより、最適な測定条件下で放射能濃度の監視を行うことができる。

[0061] （第 2 実施形態）

図 6 は、第 2 実施形態に係る β 線ガスモニタ 10 の構成図を示している。

なお、図6において第1実施形態（図1）と共通の構成又は機能を有する部分は、同一符号で示し、重複する説明を省略する。

[0062] 第1実施形態では、測定対象であるガスから放出される β 線のエネルギーが既知の場合について放射能濃度の監視を行う構成について説明した。一方、第2実施形態では、ガスに含まれる核種の成分が不明な場合において、ガス中から放出される β 線のエネルギーを推定する方法について説明する。

[0063] 図4の計算結果から、例えば可変隔壁13の隔壁位置が5cmの場合での β 線の計数率と、隔壁位置が20cmの場合での β 線計数率の比率は、 β 線のエネルギーが高い場合と低い場合とで異なる事が分かる。つまり、隔壁位置間の β 線計数率の比率は、 β 線のエネルギーに応じて異なる値を持つ。

[0064] この性質を利用して、第2実施形態では、複数の隔壁位置で β 線計数率を計測し、隔壁位置間の β 線計数率の比率に基づいて β 線のエネルギーを推定する。

[0065] 第2実施形態に係る計算機18は、隔壁位置変更部37と、データ関連付け部38と、比率計算部39と、相関情報保存部40と、照合部41と、表示部42と、をさらに備える。

[0066] 隔壁位置変更部37は、複数の隔壁位置を設定する。隔壁位置変更部37は、設定された隔壁位置に可変隔壁13が移動されて、濃度の測定が完了した後に、次の隔壁位置に設定を変更する。

[0067] データ関連付け部38は、設定された隔壁位置とそれぞれの隔壁位置で計測された計数率とを関連付ける。

[0068] 比率計算部39は、複数の位置での隔壁位置で測定が終了した後、隔壁位置間における計数率の比率を計算する。

[0069] 相関情報保存部40（図6）は、設定された隔壁位置間での計数率の比率を、 β 線のエネルギーのそれぞれに応じて予めシミュレーション計算により求めて相関情報として保存する。シミュレーション計算上で設定する隔壁位置は、隔壁位置変更部37で設定される位置と同一の位置に設定する。

[0070] 相関情報を求めるためのシミュレーション計算は、上述の最適位置情報と

同じく β 線のエネルギー及び隔壁位置をパラメータとして、サンプル部 15 の詳細な構成を計算条件にして、PHITS や MCNP、EGS5 などのモンテカルロ計算コードを用いて行う。

[0071] 照合部 41 は、比率計算部 39 で計算された比率を、同一の隔壁位置間における相関情報の比率と照合して、合致する比率に対応する β 線のエネルギーを出力する。表示部 42 は、出力された β 線のエネルギーを推定値として表示する。

[0072] 図 7 を用いて計数率の比率を導出して β 線のエネルギーを導出する過程を具体的に説明する。ここでは、隔壁位置変更部 37 により L_1 、 L_2 の 2 箇所に隔壁位置が設定された場合について検討する。

[0073] 図 7 (A) は隔壁位置が L_1 の場合のサンプル部 15 の状態を示しており、図 7 (B) は隔壁位置が L_2 の場合におけるサンプル部 15 の状態を示している。

[0074] まず、隔壁位置変更部 37 により隔壁位置が L_1 に設定されたとき、隔壁の移動が完了した後に、サンプル空間 A_1 にサンプルガスが導入される。そして、 β 線の検出信号 s_1 に基づく計数率が計測される。データ関連付け部 38 は、隔壁位置 L_1 に対応して検出信号 s_1 に基づく計数率を関連づける。

[0075] 隔壁位置が L_1 での測定終了後、隔壁位置変更部 37 により隔壁位置が L_2 に変更されて、隔壁の移動が完了した後に、サンプル空間 A_2 にサンプルガスが導入される。そして、 β 線の検出信号 s_2 に基づく計数率が計測される。データ関連付け部 38 は、隔壁位置 L_2 に対応して検出信号 s_2 に基づく計数率を関連づける。

[0076] 比率計算部 39 は、隔壁位置 L_1 と隔壁位置 L_2 における計数率の比率を計算する。

照合部 41 は、比率計算部 39 で計算された比率を、相関情報保存部 40 で β 線のエネルギーごとに保存されている、隔壁位置 L_1 、 L_2 間での計数率の比率と照合する。そして、照合部 41 は、合致する比率に対応する β 線のエネルギーを出力する。

- [0077] なお、隔壁位置変更部 37 で設定される隔壁位置は、より複数の比率を取得することにより照合の精度が高くなることからより多くの位置に設定されることが望ましい。
- [0078] 図 8 は、第 2 実施形態に係る β 線ガスモニタ 10 の動作手順を示すフローチャートを示している（適宜、図 6 参照）。
- [0079] 相関情報保存部 40 は、設定された隔壁位置間における計数率の比率を、 β 線エネルギーのそれぞれに応じて予め計算により求めて相関情報として保存する（S20）。
- [0080] 隔壁位置変更部 37 は、可変隔壁 13 の隔壁位置を変更する。このとき、変更された隔壁位置のそれぞれで β 線の計数率が計測される（S21）。
- [0081] データ関連付け部 38 は、設定された隔壁位置とそれぞれの隔壁位置で計測された計数率とを関連付ける（S22）。
- [0082] 比率計算部 39 は、隔壁位置間における計数率の比率を計算する（S23）。
- [0083] 照合部 41 は、計算された比率を、同一の隔壁位置間における相関情報の比率と照合する（S24）。
- [0084] 照合部 41 は、合致する比率に対応する β 線のエネルギーを出力する（S25）。表示部 42 は、出力された β 線のエネルギーを推定値として表示する。
- [0085] このように、複数の隔壁位置で β 線計数率を計測して、隔壁位置間の β 線計数率の比率を求めることにより、未知であった β 線のエネルギーを推定することができる。
- [0086] また、相関情報保存部 40 は、設定された隔壁位置間における計数率の比率を、異なる放射性核種の連続エネルギーのそれぞれに応じて予め計算により求めて相関情報として保存しても良い。
- [0087] この場合は、照合部 41 で、比率計算部 39 で計算された比率を照合することにより、放射性核種を推定することができる。
- [0088] あるいは、相関情報保存部 40 は、隔壁位置間における計数率の比率を、

サンプルガス中に複数種の放射線核種が混在すると仮定して、設定された放射線核種の組成比のそれぞれに応じて予め計算により求めて相関情報として保存しても良い。なお、複数種の放射性核種が混在する場合の連続エネルギーは、個別の放射性核種の連続エネルギーの組み合わせにより計算する。

[0089] そして、照合部 41 は、比率計算部 39 で計算された比率を、同一の隔壁位置間における相関情報の比率と照合して、合致する比率に対応する組成比を出力する。

[0090] このように、複数の隔壁位置で β 線計数率を計測して、隔壁位置間の β 線計数率の比率を求めることにより、放射性核種の推定または複数種の放射線核種が混在する場合に組成比の推定をすることもできる。

[0091] (第 3 実施形態)

図 9 は、第 3 実施形態に係る β 線ガスモニタ 10 に適用されるサンプラ部 15 の構成図を示している。なお、第 3 実施形態における β 線ガスモニタ 10 の全体構成は、第 2 実施形態 (図 6) と同一となるため記載を省略して、重複する構成又は機能については説明を省略する。

[0092] 第 3 実施形態に係るにおける β 線ガスモニタ 10 は、サンプル空間 14 にサンプルガスを導入するガス導入ライン 21、及びサンプル空間 14 からサンプルガスを排出するガス排出ライン 22 のそれぞれに逆止弁 43 を有する。

[0093] 逆止弁 43 を有することにより、可変隔壁 13 の前後動により自動的に吸排気ができる。これにより、排気用のポンプを省略して、 β 線ガスモニタ 10 の構成を簡素化できる。

[0094] また、第 2 実施形態のように複数の隔壁位置で β 線計数率を計測して隔壁位置間の β 線計数率の比率を求める際に、計数率の取得を連続的に求めることができる。これにより、 β 線のエネルギーの推定を短時間で実施することができる。

[0095] 以上述べた各実施形態の β 線モニタによれば、 β 線のエネルギーに応じた最適な隔壁位置を計算で求めておき、測定対象となるガスの β 線のエネルギーに対応する隔壁位置に可変隔壁 13 を移動させることにより、測定される

β 線を放出する核種を含むガスに対して適した測定条件下で放射能濃度の監視を行うことができる。また、 β 線のエネルギーが未知の場合であっても、複数のサンプルボリュームで計測された計数率の比率に基づき β 線のエネルギーを推定することができる。

[0096] 本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

[0097] なお、計算機 18 の各構成は、所定のプログラムコードを、プロセッサなどの電子回路において実行することによって実現しても良く、このようなソフトウェア処理に限らず、例えば、ASIC等の電子回路を用いたハードウェア処理で実現したユニットあるいは計算機として構成しても良いし、ソフトウェア処理とハードウェア処理とを組み合わせで実現したユニットあるいは計算機として構成しても良い。

符号の説明

[0098] 10… β 線ガスモニタ、11…本体、12… β 線検出器、13…可変隔壁、14 (14₁, 14₂)…サンプル空間、15…サンブラ部、16…隔壁駆動部、17…計数率計、18…計算機、19…背面遮蔽プラグ、20…入射窓、21…ガス導入ライン、22…ガス排出ライン、23…基体、24…保護層、25…検出口、26…検出器ケース、27…隔壁基体、28…隔壁被覆層、29…駆動軸、30…ステッピングモータ、31…モータ制御部、32…入力部、33…最適位置情報保存部、34…隔壁位置設定部、35…計数率受付部、36…放射能濃度計算部、37…隔壁位置変更部、38…データ関連付け部、39…比率計算部、40…関連情報保存部、41…照合部、42…表示部、43…逆止弁、39…比率計算部、40…関連情報保存部、41…照合部、42…表示部、43…逆止弁、s (s₁, s₂)…検出信号、

$L(L_1, L_2) \cdots$ 隔壁位置。

請求の範囲

- [請求項1] 一方の開放端が密閉された中空状の本体と、
前記本体の内部に配置されて、 β 線を検出し、検出信号を出力する β 線検出器と、
前記 β 線検出器の検出口に対向する位置に前記本体の内面に沿って移動可能に設けられるものであって、測定するサンプルガスに対応する隔壁位置に設定されて、外部空間と隔てられたサンプル空間を前記本体の内面とともに形成する可変隔壁と、
前記サンプル空間に導入された前記サンプルガスから検出された前記検出信号に基づいて計数率を計測する計数率計と、
計測された前記計数率及び前記サンプル空間の体積に基づいて前記サンプルガスの放射能濃度を求める放射能濃度計算部と、を備えることを特徴とする β 線ガスモニタ。
- [請求項2] 前記可変隔壁を前記隔壁位置に移動させる隔壁駆動部をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の β 線ガスモニタ。
- [請求項3] 設定された β 線のエネルギーのそれぞれに応じて前記隔壁位置の最適位置を予め計算により求めて最適位置情報として保存する最適位置情報保存部と、
前記最適位置情報を参照して、入力された前記サンプルガスにおける β 線のエネルギーに対応する前記最適位置を、前記隔壁位置に設定する隔壁位置設定部と、をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の β 線ガスモニタ。
- [請求項4] 前記隔壁位置を複数設定する隔壁位置変更部と、
設定された前記隔壁位置とそれぞれの前記隔壁位置で計測された前記計数率とを関連付けるデータ関連付け部と、
隔壁位置間における前記計数率の比率を計算する比率計算部と、をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の β 線ガスモニタ。
- [請求項5] 前記隔壁位置間における前記計数率の比率を、設定された β 線のエ

エネルギーのそれぞれに応じて求めて相関情報として保存する相関情報保存部と、

前記比率計算部で計算された比率を、同一の前記隔壁位置間における前記相関情報の比率と照合して、合致する比率に対応する β 線のエネルギーを出力する照合部と、をさらに備えることを特徴とする請求項4に記載の β 線ガスモニタ。

[請求項6] 前記隔壁位置間における前記計数率の比率を、異なる放射性核種の連続エネルギーのそれぞれに応じて求めて相関情報として保存する相関情報保存部と、

前記比率計算部で計算された比率を、同一の前記隔壁位置間における前記相関情報の比率と照合して、合致する比率に対応する前記放射性核種を出力する照合部と、をさらに備えることを特徴とする請求項4に記載の β 線ガスモニタ。

[請求項7] 前記隔壁位置間における前記計数率の比率を、前記サンプルガス中に複数の放射線核種が混在すると仮定して、放射線核種の組成比のそれぞれに応じて求めて相関情報として保存する相関情報保存部と、

前記比率計算部で計算された比率を、同一の前記隔壁位置間における前記相関情報の比率と照合して、合致する比率に対応する前記組成比を出力する照合部と、をさらに備えることを特徴とする請求項4に記載の β 線ガスモニタ。

[請求項8] 前記サンプル空間に前記サンプルガスを導入するガス導入ライン及び前記サンプル空間から前記サンプルガスを排出するガス排出ラインのそれぞれに逆止弁を設けることを特徴とする請求項1に記載の β 線ガスモニタ。

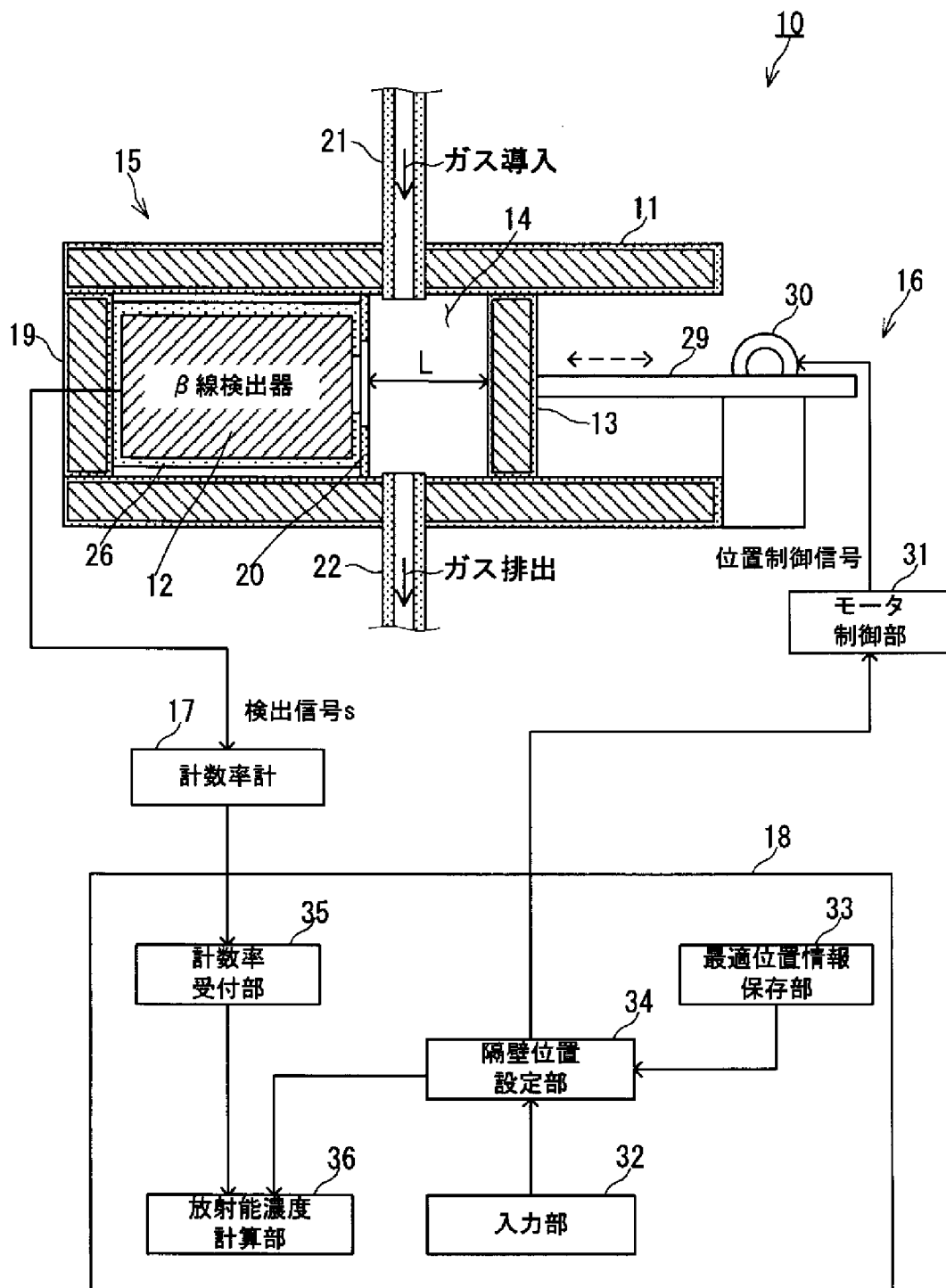
[請求項9] 一方の開放端が密閉された中空状の本体と、前記本体の内部に配置されて、 β 線を検出し、検出信号を出力する β 線検出器と、前記 β 線検出器の検出口に対向する位置に前記本体の内面に沿って移動可能に設けられるものであって、測定するサンプルガスに対応する隔壁位置

に設定されて、外部空間と隔てられたサンプル空間を前記本体の内面とともに形成する可変隔壁を用いて、

前記サンプル空間に導入された前記サンプルガスから検出された前記検出信号に基づいて計数率を計測するステップと、

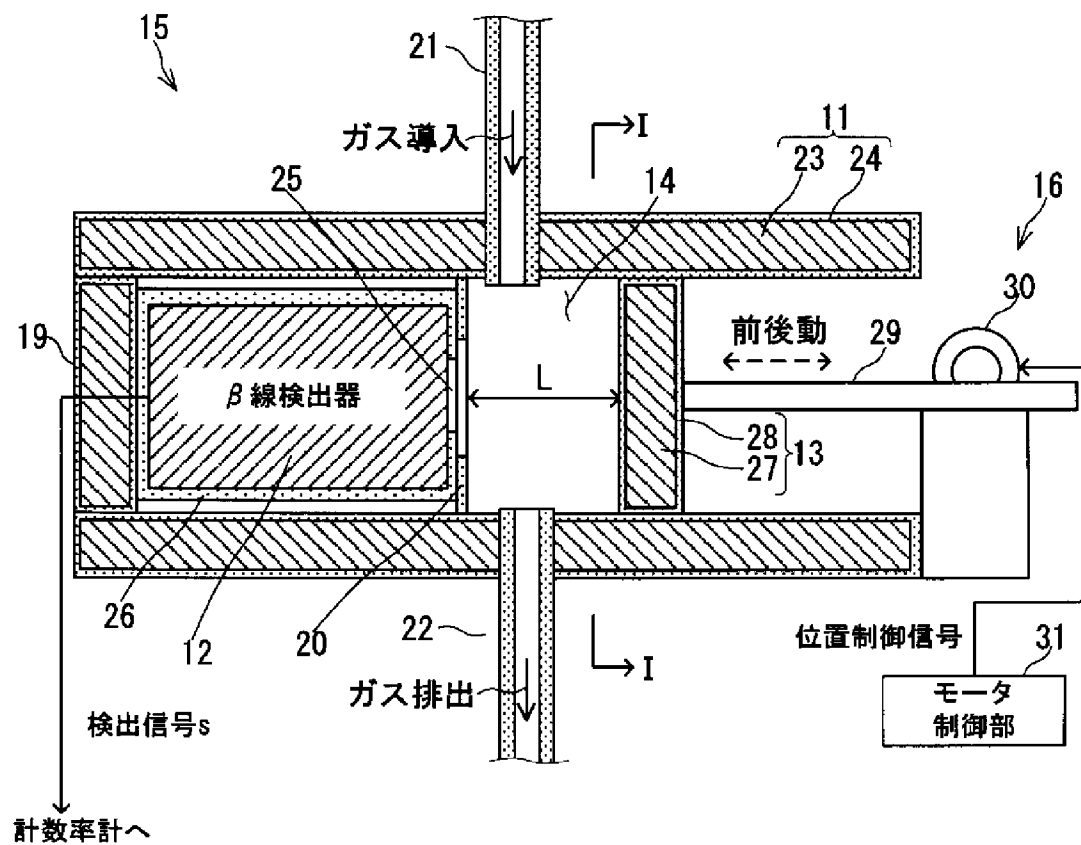
計測された前記計数率及び前記サンプル空間の体積に基づいて前記サンプルガスの放射能濃度を求めるステップと、を含むことを特徴とする β 線を放出する核種を含むガスのモニタリング方法。

[図1]

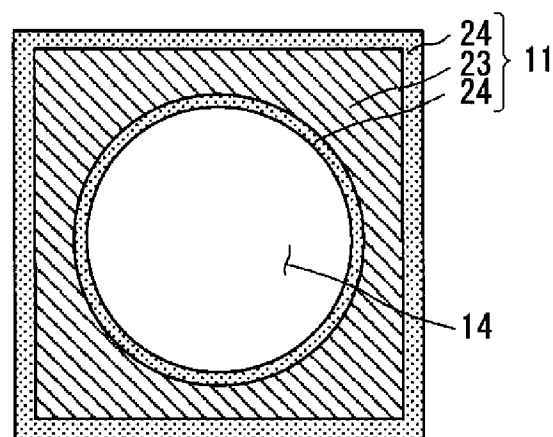


[図2]

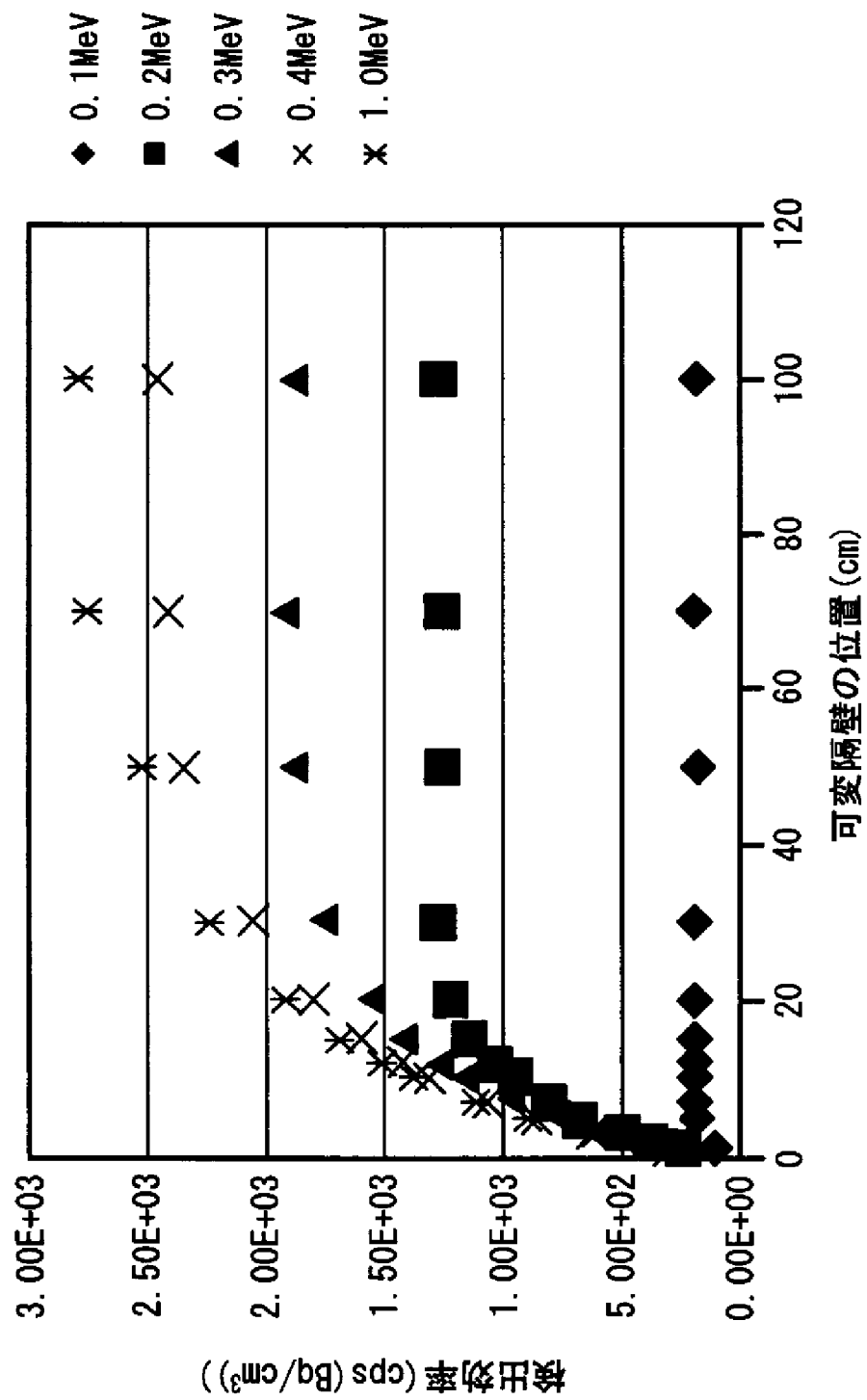
(A)



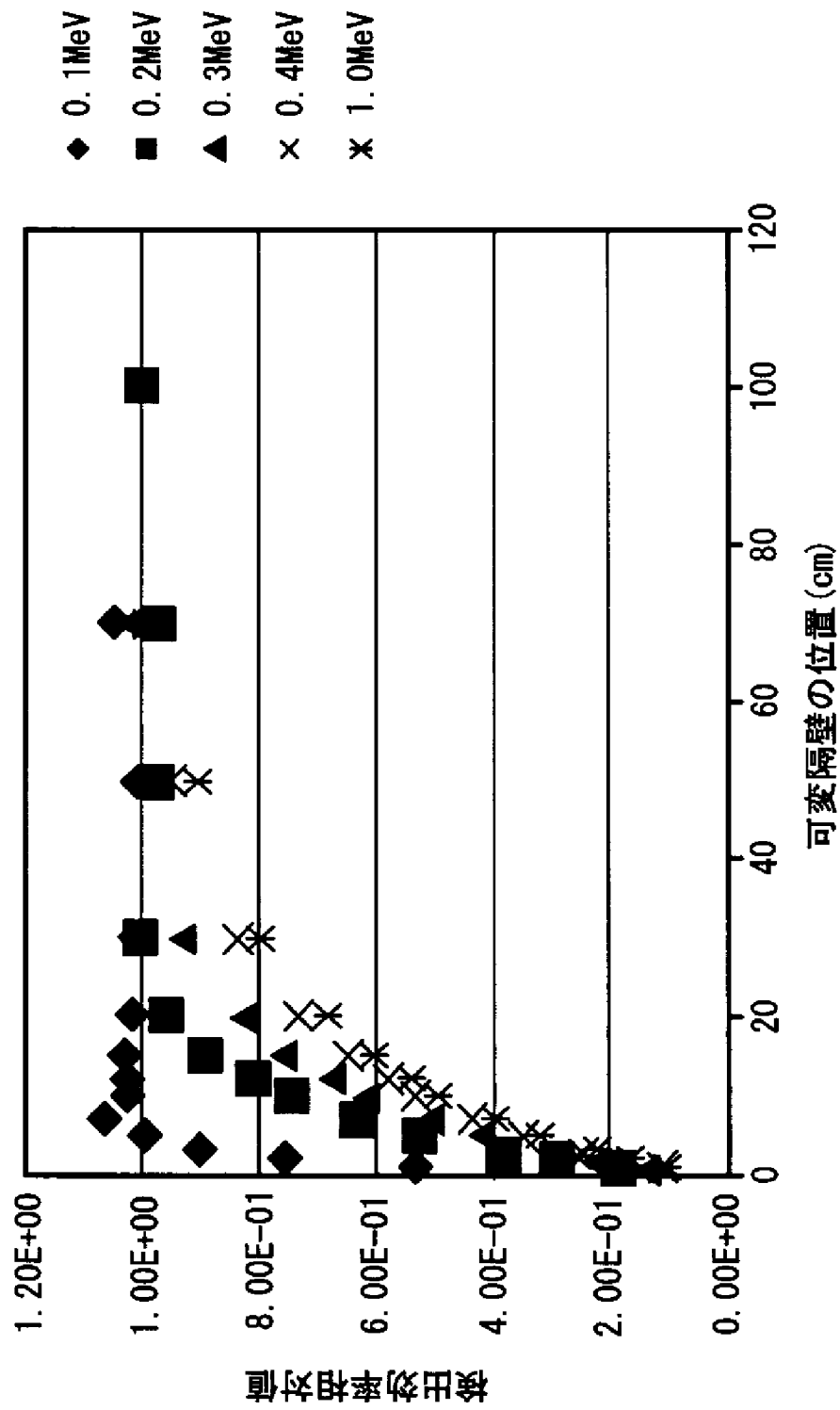
(B) I - I 断面



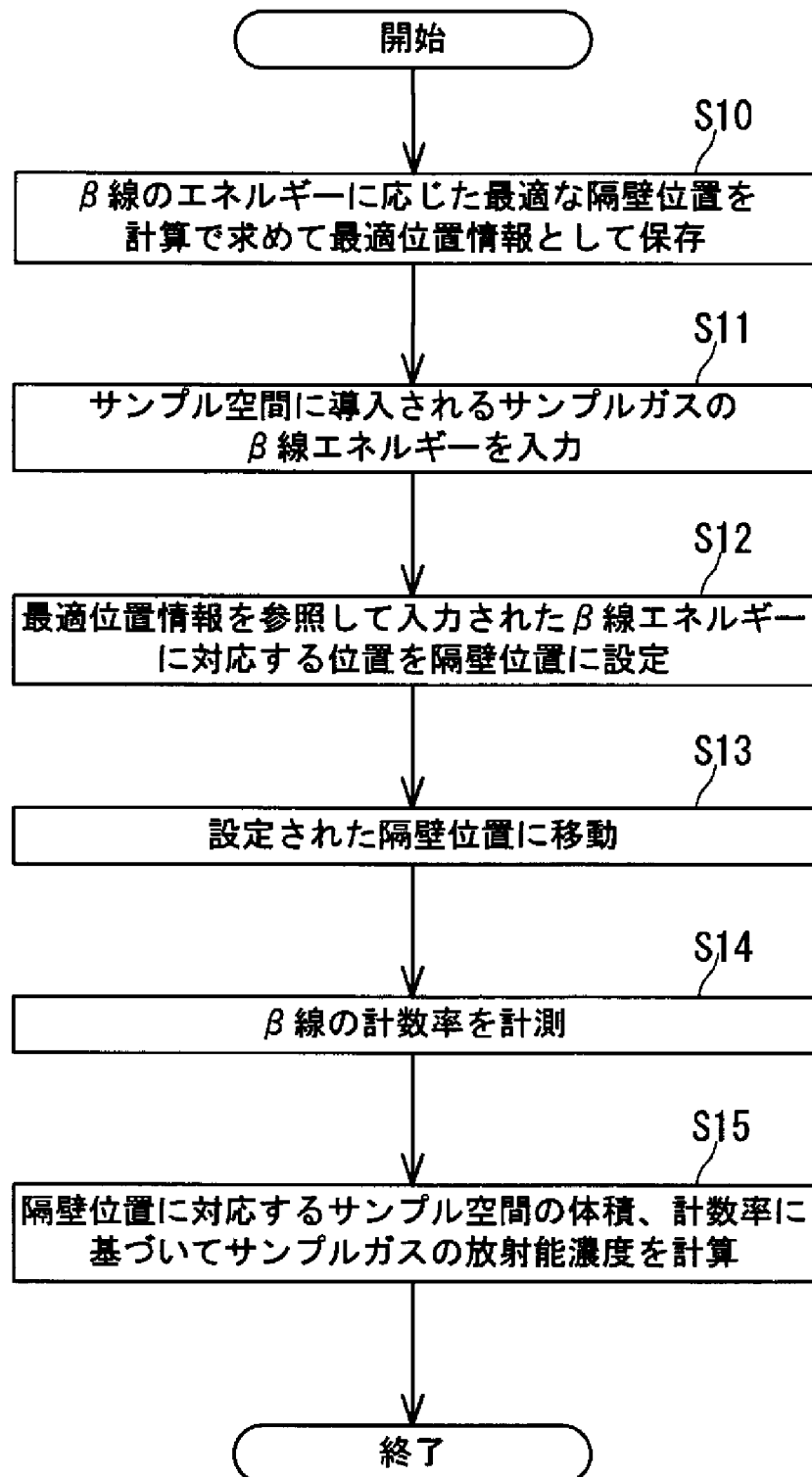
[図3]



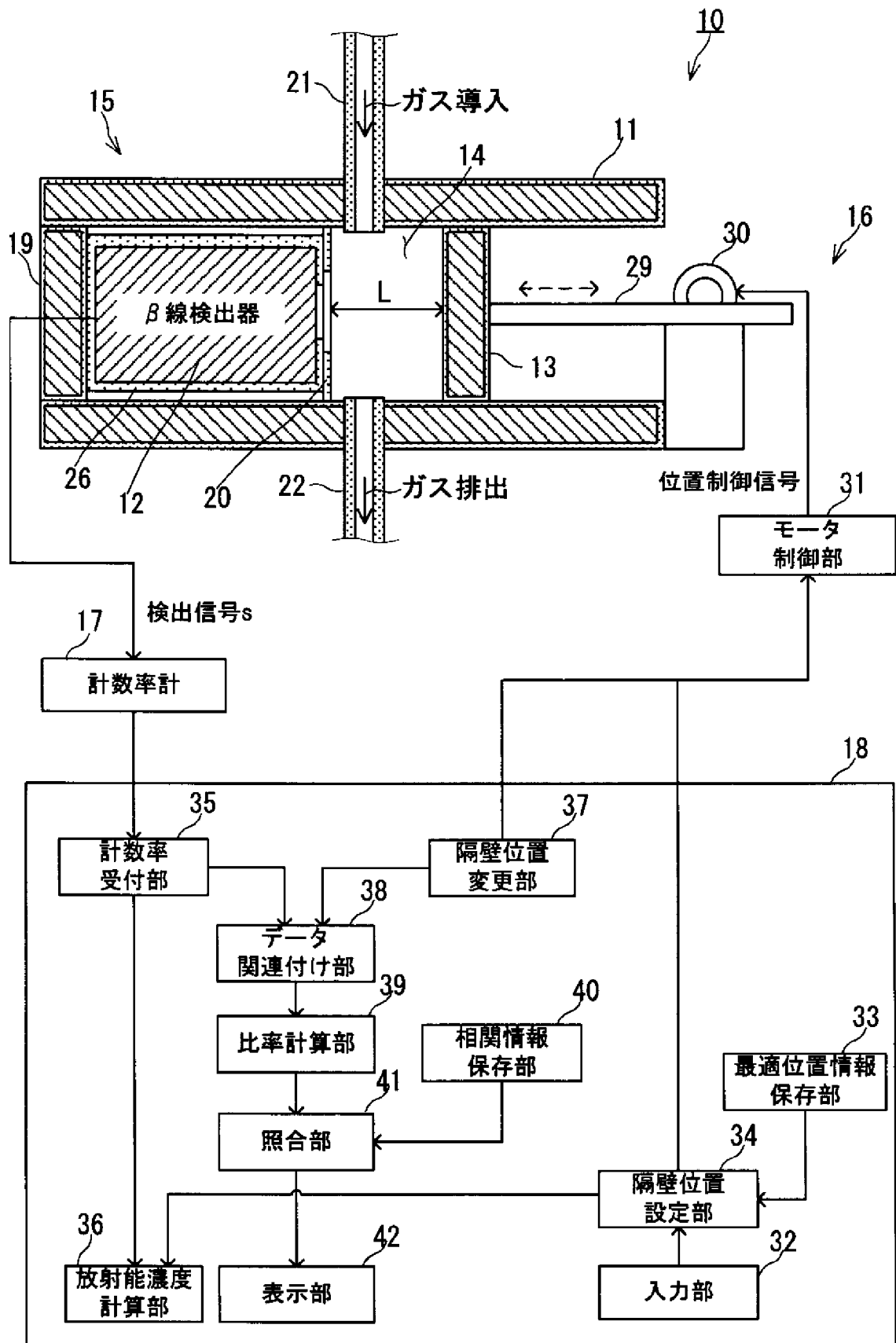
[図4]



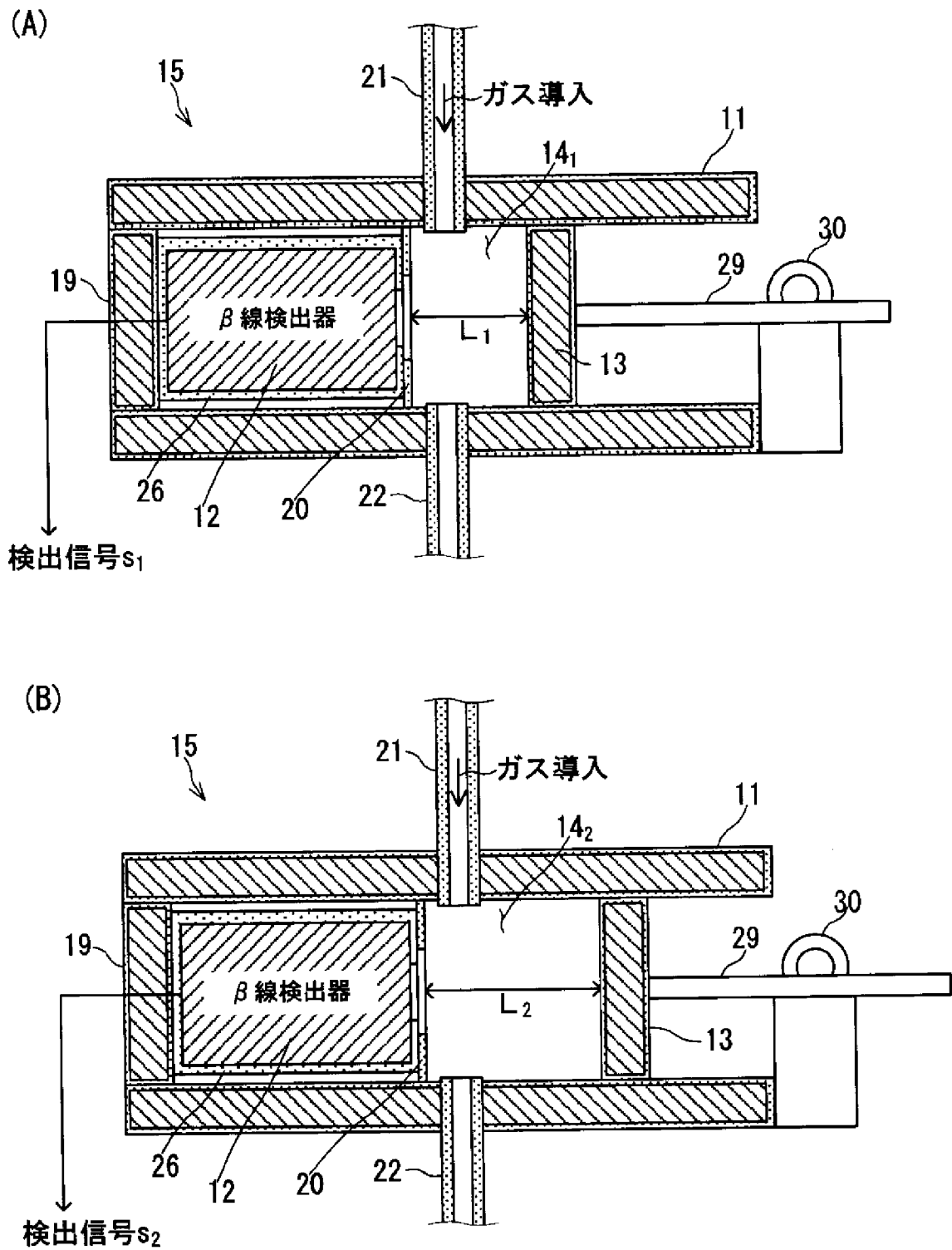
[図5]



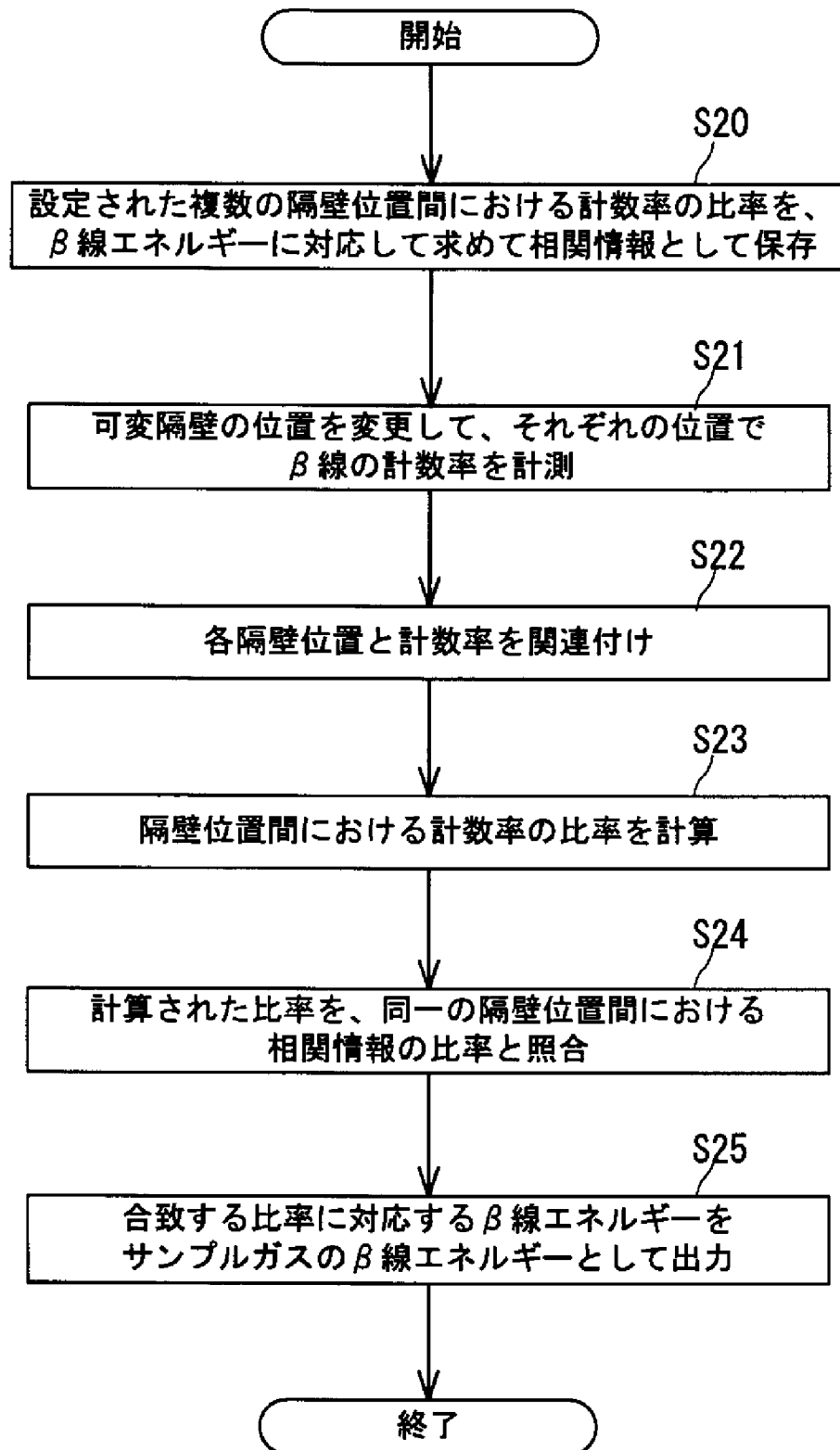
[図6]



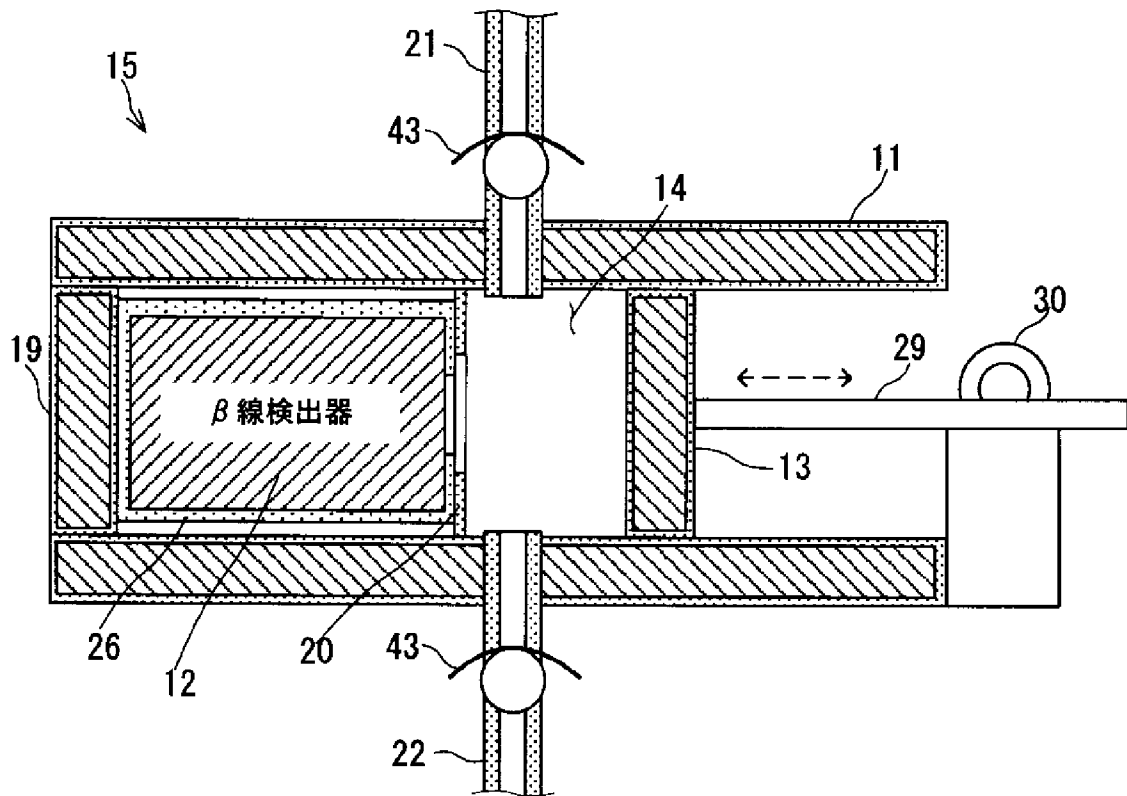
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/087576

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01T1/167(2006.01)i, G01T7/02(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)

G01T1/167, G01T7/02

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
Y A	JP 11-064527 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 05 March 1999 (05.03.1999), paragraphs [0014] to [0017]; fig. 1 (Family: none)	1-2, 8-9 3-7
Y A	WO 2012/029510 A1 (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 08 March 2012 (08.03.2012), paragraph [0056] & US 2013/0134320 A1 paragraph [0062] & EP 2613323 A1	1-2, 8-9 3-7

☒ 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
06 March 2017 (06.03.17)

Date of mailing of the international search report
14 March 2017 (14.03.17)

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/JP2016/087576

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 59-050343 A (Yokogawa Electric Corp.), 23 March 1984 (23.03.1984), page 3, lower right column, lines 7 to 17; fig. 2 (Family: none)	8 1-7, 9
A	JP 59-138785 U (Toshiba Corp.), 17 September 1984 (17.09.1984), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 61-272679 A (Hitachi, Ltd.), 02 December 1986 (02.12.1986), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2001-524210 A (ABB Atom AB), 27 November 2001 (27.11.2001), entire text; all drawings & US 6495835 B1 & WO 1998/047023 A1 & EP 1019749 A11	1-9
A	JP 2015-143663 A (Mitsubishi Electric Corp.), 06 August 2015 (06.08.2015), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01T1/167(2006.01)i, G01T7/02(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（I P C））

Int.Cl. G01T1/167, G01T7/02

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
Y A	JP 11-064527 A（富士電機株式会社）1999.03.05, 段落【0014】～【0017】、【図1】（ファミリーなし）	1-2, 8-9 3-7
Y A	WO 2012/029510 A1（三菱重工業株式会社）2012.03.08, 段落【0056】 & US 2013/0134320 A1 par[0062] & EP 2613323 A1	1-2, 8-9 3-7
Y A	JP 59-050343 A（横河電機株式会社）1984.03.23, 第3頁右下欄第7行～第17行、第2図（ファミリーなし）	8 1-7, 9

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

06.03.2017

国際調査報告の発送日

14.03.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

南川 泰裕

21

4843

電話番号 03-3581-1101 内線 3273

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
A	JP 59-138785 U (株式会社東芝) 1984. 09. 17, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 61-272679 A (株式会社日立製作所) 1986. 12. 02, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2001-524210 A (エービービー・アトム・エービー) 2001. 11. 27, 全文、全図 & US 6495835 B1 & WO 1998/047023 A1 & EP 1019749 A11	1-9
A	JP 2015-143663 A (三菱電機株式会社) 2015. 08. 06, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9