(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第7769972号
(P7769972)
(45)発行日　令和7年11月14日(2025.11.14)　(24)登録日　令和7年11月6日(2025.11.6)

| (51)Int.Cl. | | | F I | | |
|---|---|---|---|---|---|
| *G01T* | *1/167* | *(2006.01)* | G01T | 1/167 | B |
| *G01T* | *1/20* | *(2006.01)* | G01T | 1/20 | A |
| | | | G01T | 1/20 | E |
| | | | G01T | 1/20 | B |

請求項の数 11　(全 12 頁)

(21)出願番号　特願2021-196722(P2021-196722)
(22)出願日　令和3年12月3日(2021.12.3)
(65)公開番号　特開2023-82788(P2023-82788A)
(43)公開日　令和5年6月15日(2023.6.15)
審査請求日　令和6年11月11日(2024.11.11)

(73)特許権者　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
(73)特許権者　391017528
日本放射線エンジニアリング株式会社
茨城県日立市桜川町１丁目５番２０号
(74)代理人　110002572
弁理士法人平木国際特許事務所
(72)発明者　眞田　幸尚
福島県南相馬市原町区萱浜巣掛場４５－７６　国立研究開発法人日本原子力研究開発機構内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】シンチレータユニットおよび放射線源検出モジュール

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

水中の放射線源を検出する放射線源検出モジュールのシンチレータユニットであって、

光透過性を有する複数のシンチレータ板を互いに所定の間隔をおいて積層したシンチレータ積層部を有し、

前記シンチレータ板の両表面には、表面積を増やす溝加工が施されており、

前記シンチレータ板の一方の表面に設けられた溝と、前記シンチレータ板の他方の表面に設けられた溝とは、互いに対向しないことを特徴とするシンチレータユニット。

【請求項２】

請求項１に記載のシンチレータユニットであって、

前記シンチレータ積層部を保持する保持フレームを有し、

該保持フレームは、前記放射線源検出モジュールの筐体が有する前記放射線源を含む水が流れる流路に前記シンチレータ積層部を配置することを特徴とするシンチレータユニット。

【請求項３】

請求項２に記載のシンチレータユニットであって、

前記保持フレームは、前記放射線源検出モジュールの筐体に着脱可能に取り付けられていることを特徴とするシンチレータユニット。

【請求項４】

請求項２に記載のシンチレータユニットであって、

前記保持フレームは、前記流路において前記複数のシンチレータ板が前記放射線源検出モジュールの光電子増倍管の受光面と平行になるように前記シンチレータ積層部を保持することを特徴とするシンチレータユニット。

【請求項５】

請求項１から４のいずれか一項に記載のシンチレータユニットであって、

前記シンチレータ積層部は、４枚以上１８枚以下の前記シンチレータ板を有することを特徴とするシンチレータユニット。

【請求項６】

請求項１から４のいずれか一項に記載のシンチレータユニットであって、

前記シンチレータ積層部は、前記シンチレータ板を複数の領域に区画して前記シンチレータ板を補強する補強部材を有することを特徴とするシンチレータユニット。

【請求項７】

請求項６に記載のシンチレータユニットであって、

前記シンチレータ板は、プラスチックシンチレータであることを特徴とするシンチレータユニット。

【請求項８】

水中の放射線源を検出する放射線源検出モジュールであって、

前記放射線源を含む水が流れる流路を有する筐体と、

該筐体内で前記流路を間に挟んで対向配置された一対の光電子増倍管と、

前記流路内において前記一対の光電子増倍管の間に配置されて前記放射線源から放射された放射線に反応してシンチレーション光を放射するシンチレータユニットと、

を備え、

前記シンチレータユニットは、光透過性を有する複数のシンチレータ板を互いに所定の間隔をおいて積層したシンチレータ積層部と、前記シンチレータ積層部を前記流路内に保持する保持フレームとを有し、

前記シンチレータ板の両表面には、表面積を増やす溝加工が施されており、

前記シンチレータ板の一方の表面に設けられた溝と、前記シンチレータ板の他方の表面に設けられた溝とは、互いに対向しないことを特徴とする放射線源検出モジュール。

【請求項９】

請求項８に記載の放射線源検出モジュールであって、

前記保持フレームは、前記流路において前記複数のシンチレータ板が前記光電子増倍管の受光面と平行になるように前記シンチレータ積層部を保持することを特徴とする放射線源検出モジュール。

【請求項１０】

請求項８に記載の放射線源検出モジュールであって、

前記保持フレームが前記筐体に着脱可能に取り付けられていることを特徴とする放射線源検出モジュール。

【請求項１１】

請求項８に記載の放射線源検出モジュールであって、

前記一対の光電子増倍管の少なくとも一部と前記筐体を介して対向配置された冷却器を有することを特徴とする放射線源検出モジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、水中に含まれるトリチウム等の放射線源を検出するためのシンチレータユニットおよび放射線源検出モジュールに関する。

【背景技術】

【０００２】

現在、水中に含まれるトリチウム等の放射線源を精度良く検出できる技術が望まれている。これに関連する技術としては、特許文献１が挙げられる。特許文献１においては、排

水中のトリチウム濃度を精度良く検出する水モニタを提供することを課題としている。そして、その解決手段として、「被検出面の有感面積が広く、薄い中空のサンプリング容器３に被測定試料であるトリチウム水を導入し、サンプリング容器３を挟んで両側面（被検出面）に第一の検出部１ａと第二の検出部１ｂの、２系統の検出部を近接して対向配置させる構成」が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

【特許文献１】特開２００７－１７８３３６号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

水中に含まれる放射線源のβ線の最大飛程は非常に短く、特に、トリチウムでは最大飛程は０．００６ｍｍとされているもののほとんどの場合０．００１ｍｍ程度と非常に短い。したがって、検出対象が含まれる水を、検出器の検出面とほとんど接触させる必要があり、また、検出器の検出能を最大限に活用することが必要である。しかしながら、特許文献１に記載の構成では、トリチウム水は固体シンチレータの片面としか接触せず、効率が十分に高いとは言い難い。

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、水中に含まれるトリチウム等の放射線源を精度良く検出することができるシンチレータユニットを得ることにある。

【課題を解決するための手段】

【０００５】

本発明に係るシンチレータユニットは、水中の放射線源を検出する放射線源検出装置のシンチレータユニットであって、光透過性を有する複数のシンチレータ板を互いに所定の間隔をおいて積層したシンチレータ積層部を有し、シンチレータ板の両表面には、表面積を増やす溝加工が施されており、シンチレータ板の一方の表面に設けられた溝と、シンチレータ板の他方の表面に設けられた溝とは、互いに対向しないことを特徴とする。

【０００６】

また、本発明に係る放射線源検出モジュールは、放射線源を含む水が流れる流路を有する筐体と、筐体内で流路を間に挟んで対向配置された一対の光電子増倍管と、流路内において一対の光電子増倍管の間に配置されて放射線源から放射された放射線に反応してシンチレーション光を放射するシンチレータユニットとを備え、シンチレータユニットは、光透過性を有する複数のシンチレータ板を互いに所定の間隔をおいて積層したシンチレータ積層部と、シンチレータ積層部を流路内に保持する保持フレームとを有し、シンチレータ板の両表面には、表面積を増やす溝加工が施されており、シンチレータ板の一方の表面に設けられた溝と、シンチレータ板の他方の表面に設けられた溝とは、互いに対向しないことを特徴とする。

【発明の効果】

【０００７】

本発明に係るシンチレータユニットによれば、水中に含まれるトリチウム等の放射線源を非常に精度良く検出することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】本発明の一実施例に係る放射線源検出モジュールの概要を示す図。

【図２】図２（ａ）は、本発明の一実施例に係るシンチレータユニットの構成を示す斜視図。図２（ｂ）は、シンチレータ積層部を説明するための断面図であって、図２（ａ）のＡ－Ａ断面図。

【図３】図３（ａ）は、放射線源検出モジュールの上面図。図３（ｂ）は、シンチレータユニットの上面図。

【図４】シンチレータの枚数と、トリチウムの検出効率との関係を説明するための図。
【図５】本発明の一実施例に係るシンチレータ板の形状を説明するための図。
【図６】本発明の一実施例におけるトリチウムの液体線源によるβ線スペクトル測定例を示す図。
【発明を実施するための形態】
【０００９】
以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。また、以下では、検出対象の放射線源としてトリチウムの場合を例に説明する。
図１は、本発明の一実施例に係る放射線源検出モジュール１の構成を示す図である。本発明の一実施例に係る放射線源検出モジュール１は、筐体２と、一対の光電子増倍管３（ＰＭＴ：Ｐｈｏｔｏ　Ｍｕｌｔｉｐｌｉｅｒ　Ｔｕｂｅ）と、シンチレータユニット８と、を有する。
【００１０】
また、詳しくは図２に基づいて後述するが、本実施例におけるシンチレータユニット８は、光透過性を有する複数のシンチレータ板（蛍光板）が所定の間隔をおいて積層した構成を有している。シンチレータとは、放射線に励起されて発光する特性（蛍光）を有する物質であり、有機結晶、有機液体、プラスチック、無機結晶、及び気体等様々な種類がある。また、ここでいう光透過性とは、例えば同一のシンチレータ板を複数枚重ねて検出器の受光面に対向配置した状態で発光させた場合に、受光面から離れた側のシンチレータ板から放射された光が、受光面との間にある他のシンチレータ板を透過して受光面で検出される程度に光に対する透過性を有していればよい。
【００１１】
筐体２は、例えばステンレス等の金属製であり、外部からの放射線（γ線）の侵入を抑制するために鉛からなる遮蔽体を備えることが好ましい。なお、遮蔽体についてはコストを抑える観点からは鉄や鉛を用いることが好ましいが、鉄や鉛の替わりにタングステンを用いてもかまわない。
【００１２】
筐体２はまた、本体部７を有する。詳細は後述するが本体部７には、注水口４、排水口５、及び通気口６が設けられ、本体部７内にはシンチレータユニット８が配置される。また、本体部７は、測定時には水の流路として機能する。
【００１３】
一対の光電子増倍管３は、筐体２の内部に、本体部７（水の流路）を挟んで対向配置されている。光電子増倍管３は、高真空のガラス（または金属）容器中に光電陰極、数個のダイノードと呼ばれる二次電子増倍電極、陽極、およびその他の電極を封入した構造を有する。シンチレータから生じたシンチレーション光が光電面に当たって生じた光電子が加速されて二次電子放出面に当たり、増倍した二次電子流を生じ、これが繰り返されて数百万倍にも増幅される。この増幅された光電子を、検出回路で検出することによって、非常に微弱な光でも精度良く検出することが可能になる。なお、本実施例では高精度に測定するために光電子増倍管３を２つ用い、一対となるように構成しているが、コストを考慮し、多少精度が落ちても良いとする場合には、光電子増倍管３を１つだけとしても良い。また、光電子増倍管３を構成するガラス容器にカリウムが含まれていないカリウムフリーの光電子増倍管を選択することで、Ｋ－４０によるノイズを低減することができ、さらに精度よく放射線を検出することができる。
【００１４】
上述のように、本体部７には、注水口４及び排水口５が設けられている。放射線源の測定を行う場合には、注水口４から本体部７の内部に水を注水して通過させる。つまり、本体部７は、放射線源を含む水の流路となっている。この流路上にシンチレータユニット８を配置することで、水中に含まれるトリチウムがシンチレータと反応してシンチレータがシンチレーション光を放出する。
【００１５】

本実施例においては、図１に示すように、シンチレータユニット８のシンチレータ板が、光電子増倍管３の受光面と略平行になるようにシンチレータユニット８を配置している。この構成により、シンチレータ板の表面から放射されるシンチレーション光が垂直に入射することになり、検出効率が向上する。さらに、注水口４から排水口５に向かって流れる水が、シンチレータユニット８の、各シンチレータ板の表面に沿って流れることになるため、水とシンチレータ板との間の接触面積（反応面積）を最大化することが可能になっている。こうして放射されたシンチレーション光は、上述した光電子増倍管３によって増幅され、検出回路によって検出される。

【００１６】

検出回路は、２つの光電子増倍管３に対応するように設けられた電荷増幅器１１０ａ、１１０ｂ（Ｃｈａｒｇｅ　ＡＭＰ）及びシングルチャンネルアナライザ１１１ａ、１１１ｂ（ＳＣＡ：Ｓｉｎｇｌｅ－Ｃｈａｎｎｅｌ－Ａｎａｌｙｚｅｒ）、同時計数回路１１２（Ｃｏｉｎｃｉｄｅｎｃｅ　Ｃｉｒｃｕｉｔ）、マルチチャネルアナライザ１１（ＭＣＡ：Ｍｕｌｔｉ　Ｃｈａｎｎｅｌ　Ａｎａｌｙｚｅｒ）、及び検出回路を制御し、検出したデータを処理するためのＰＣ１２を含む。２つの光電子増倍管３から放出された光電子は、電荷増幅器１１０a、１１０ｂにより増幅され、シングルチャンネルアナライザ１１１a、１１１ｂによりデジタル情報に変換される。２つの光電子増倍管３からの信号は、同時計数回路１１２により一定時間内に計数された信号のみが抽出され、そのパルス信号を受信したマルチチャネルアナライザ１１によって同じ大きさのパルス信号の頻度がヒストグラムとして蓄積され、これを基に放射線源の値を算出する。

【００１７】

また、本体部７には、通気口６が設けられている。通気口６は、例えば筐体２の上面に開口している。通気口６は、蓋を有する等開閉可能な構成を有している。測定開始時には、水とシンチレータユニット８との接触面積を最大にするために本体部７を水で満たす必要がある。通気口６は、本体部７内が水で満たされるまで、排水口５を閉じた状態で本体部７内に注水する間の、本体部７内の圧力を外部に逃がす機能を果たす。

【００１８】

従って、測定開始時には、まず排水口５を閉じるとともに通気口６を開き、注水口４から水を注水する。そして、本体部７が水で満たされたら、通気口６を閉じ、排水口５を開く。その後は、排水口５に接続したポンプによって排水量を調節しながら水を注水し、測定を行う。

【００１９】

なお、本実施例においては、注水口４が筐体２の上面に設けられ、排水口５が筐体２の下面に設けられている構成を示しているが、逆の構成も採用できる。前者の構成（本実施例における構成）とする場合には、測定終了時に、本体部７内からの排水を容易に行うことが可能であり、交換やメンテナンスの面において有利である。後者の構成（下面から注水する構成）とする場合には、測定開始時に上面から注水した際に懸念される、水表面に生じる泡の発生を抑制することが可能になる点で有利である。また、本体部７内の鉛直方向に延伸する管である注水部材が本体部７内に配置され、当該注水部材には注水穴が互いに離間するように複数設けられていてもよい。注水部材の注水穴からの注水が本体部７の注水口４及び排水口５が設けられた壁面以外の壁面に沿うように注水穴の向きを調整することで、本体部７内において旋回流を生じさせることができる。注水穴から注水し続けることで、放射性物質等が本体部７内に蓄積することが懸念されるが、本体部7内において旋回流を生じさせることで、本体部内の注水穴及び排水口５が設けられた壁面以外の壁面に対して、放射性物質等の蓄積を解消しつつ、放射線の測定をすることができる。

【００２０】

また、放射線源検出モジュール１はさらに冷却器９を有する。冷却器９は、一対の光電子増倍管３の少なくとも一部と筐体２を介して対向配置されている。本実施例における冷却器９としては例えばペルチェ素子を含む電子冷却器を採用できる。この冷却器９を用いて光電子増倍管３を冷却することにより、光電子増倍管３の光電面から放出される熱電子

に起因する熱ノイズを低減することが可能になり、検出精度の低下を抑制することが可能になる。また、図１においては冷却器９が光電子増倍管３の各々に対して２つずつ設けられているが、冷却器９の個数及び大きさは本実施例に限られない。

【００２１】

次に、本発明の一実施例に係るシンチレータユニット８について図２を用いて説明する。図２（ａ）は、シンチレータユニット８の構成を示す斜視図であり、図２（ｂ）は、シンチレータ積層部１３を説明するための断面図で、図２（ａ）のＡ－Ａ断面を示す。

【００２２】

図２（ａ）及び図２（ｂ）に示すように、シンチレータユニット８は、光透過性を有するシート状のシンチレータ（シンチレータ板）１４が複数枚（本実施例においては７枚）所定の間隔を空けて積層されたシンチレータ積層部１３を有する。なお、所定の間隔、すなわちシンチレータ板１４同士の距離については、シンチレータユニット８を本体部７内に配置し、本体部７内に水を通過させるときに、対向するシンチレータ板１４の間に十分な量の水が通過する程度の距離を確保することが必要である。例えば、本体部７の容量が２００ｃｃであって、本実施例のようにシンチレータ板１４の積層数が７枚である場合には、シンチレータ板１４間の距離は２ｍｍ程度である。

【００２３】

本実施例においてシンチレータ板１４は複数枚積層させているので、本体部７内の空間のサイズや検出対象に応じて適宜積層枚数を調整可能なように、シンチレータ板１４は薄い方が好ましい。この観点から、本実施例においてシンチレータ板１４はプラスチックシンチレータを採用している。プラスチックシンチレータとは、光透過性を有する、例えば透明なプラスチックに蛍光物質を混ぜたものであり、励起された分子のエネルギーの数％が光となって放出される構成を有する。

【００２４】

シンチレータ板１４としてプラスチックシンチレータを採用する場合には、流水の圧力による変形や、シンチレータ板１４とフレーム部１５との間の接合部分における強度の問題が生じる。したがって、本実施例においては、シンチレータ板１４を複数の領域に区画して補強する、補強部材１７を採用している。補強部材１７は例えばアルミニウム合金製であり、フレーム部１５の大きさと対応する大きさの矩形状の外枠と、外枠の内側に格子状に配置される複数の矩形状開口を画定する内枠と、を有している。例えば一対の補強部材１７によってシンチレータ板１４を挟持して補強部材１７同士を接着させることでシンチレータ板１４を補強でき、内枠の矩形状の開口を通してシンチレータ板１４と水とが接触する。なお、この開口の大きさや配置方法は本実施例に限定されない。また、シンチレータ板１４の片面にのみ補強部材１７を配置してもよい。

【００２５】

また、本実施例においては、一枚のシンチレータ板１４を一対の補強部材１７で挟持した構成を示しているが、これに限らず、例えば補強部材１７の内枠が画定する開口に対応する大きさのシンチレータ板１４を開口毎に固定して用いてもよい。

【００２６】

このように、本実施例においてはシンチレータ板１４をアルミニウム合金製の補強部材１７で補強しているため、十分な強度を確保でき、メンテナンスやコストの面で有利である。

【００２７】

シンチレータユニット８はまた、シンチレータ積層部１３を保持するフレーム部１５を有する。フレーム部１５は、例えばステンレス等の金属によって構成された矩形状の枠であり、互いにリベット等で接合された上部フレーム１５ａ、対向する一対の側部フレーム１５ｂ、及び下部フレーム１５ｃを有する。

【００２８】

フレーム部１５の、対向する一対の側部フレーム１５ｂには、開口部１６が設けられている。開口部１６は、シンチレータ積層部１３の互いに対向するシンチレータ板１４の間

と連通している。したがって、シンチレータユニット８が本体部７内に配置され、測定が開始されると、この開口部１６を通して、注水口４から注水された水がシンチレータユニット８内を通過する。そして、水に含まれるトリチウムから発生するβ線によってシンチレータ板１４上で蛍光反応が生じ、シンチレータ板１４からシンチレーション光が発生する。

【００２９】

また、図２（ａ）に示すように、フレーム部１５の、上部フレーム１５ａには、取っ手１９を備えた蓋部１８が取り付けられている。この蓋部１８は、シンチレータユニット８を放射線源検出モジュール１の本体部７内に挿入固定した際に、本体部７の内部と連通する開口に蓋をする。また、詳しくは後述するが蓋部１８の裏面には、フレーム部１５の外周に沿うように、例えばゴム製のシール部２２が設けられている。それゆえに、シンチレータユニット８を本体部７内に挿入したときには、この蓋部１８と筐体２とは水密封止を構成する。

【００３０】

なお、図２（ｂ）に示すように、各シンチレータ板１４は、上部フレーム１５ａ及び下部フレーム１５ｃに設けられたスリット部２０に差し込まれることによって固定されている。この場合も、本実施例のように補強部材１７を用いることにより、スリット部２０におけるシンチレータ板１４の強度を十分に確保することが可能になっている。

【００３１】

以上説明したように、本実施例に係るシンチレータユニット８は、複数枚のシンチレータ板１４が所定の間隔を空けて積層された構成を有しており、これを本体部７内に配置し、通水した場合に、水がシンチレータ板１４間の空間に満遍なくいきわたる。特に、各シンチレータ板１４の両面と水とが接触することになり、水とシンチレータ板１４との全体的な接触面積（反応面積）を非常に広くすることが可能になり、検出効率の大幅な向上が期待できる。

【００３２】

また、本実施例におけるシンチレータ板１４はアルミ等の補強部材によって補強されているため、プラスチックシンチレータを採用した場合の懸念点である強度の問題も解決することが可能になっている。

【００３３】

次に、本実施例における、シンチレータユニット８と放射線源検出モジュール１の本体部７との関係について図３を用いて説明する。図３（ａ）は、放射線源検出モジュール１の上面図であり、図３（ｂ）は、シンチレータユニット８の上面図である。なお、図３においては、冷却器９や取っ手１９等、説明に不要な構成要素は不図示としている。

【００３４】

図３（ａ）に示すように、放射線源検出モジュール１には、シンチレータユニット８を本体部７内に配置するための開口が設けられている。そしてその開口を取り囲むように、シンチレータユニット８の蓋部１８に対応する枠が設けられており、両端にはねじ穴２１ａが設けられている。

【００３５】

一方図３（ｂ）に示すように、シンチレータユニット８の蓋部１８にも、放射線源検出モジュール１に設けられたねじ穴２１ａに対応する位置に貫通穴２１ｂが設けられており、シンチレータユニット８を本体部７内に挿入した後、貫通穴２１ｂからねじ穴２１ａにねじを通してシンチレータユニット８を固定する。

【００３６】

また、蓋部１８の下面には、シンチレータユニット８のフレーム部１５の外周に沿うように例えばゴム製のシール部２２が設けられており、このシール部２２によって本体部７とシンチレータユニット８との間の水密封止が形成される。

【００３７】

このように、本実施例においては、本体部７と連通する開口を通してシンチレータユニ

ット８を差し込み、ねじによって固定している。つまり、シンチレータユニット８のフレーム部１５が筐体２に対して着脱可能なカートリッジ式の構成としている。従って、シンチレータユニット８は容易に交換可能であり、例えばシンチレータユニット８の使用期限が過ぎた場合には、シンチレータユニット８のみ交換すればよく、コスト及び手間の点で有利である。また、本実施例においては検出対象を水中のトリチウムとして説明したが、シンチレータの種類を変更することで他の放射線源にも対応することが可能となる。

【００３８】

さらには、シンチレータユニット８は、剛性の高いステンレス等のフレーム部１５及び蓋部１８と、蓋部１８に取り付けられた取っ手１９と、を有する。これによって、シンチレータユニット８に係る運搬や管理の利便性を向上させることが可能になる。換言すると、取っ手１９によって容易に持ち運べて、本体部７との間で行う差し込み及び抜き出しを容易に行うことができる。また、フレーム部１５及び蓋部１８の剛性が高いため例えば複数個のシンチレータユニット８を重ねて保管しても問題ない。

【００３９】

図４は、積層するシンチレータ板の枚数と、トリチウムの検出精度との関係性を説明するためのグラフを含む図である。積層するシンチレータ板の枚数が増えれば増えるほど全体的な水とシンチレータとの間の接触面積（反応面積）が増加し、それゆえにシンチレータユニットの検出能も向上する。しかし、シンチレータ板を増やすと、一枚のシンチレータ板から放出されたシンチレーション光が、より光電子増倍管３に近いシンチレータ板によって遮蔽される確率も上昇する。従って、シンチレータ板の増加によるトリチウムの検出効率向上と、シンチレーション光の遮蔽による検出機会損失はトレードオフの関係であり、バランスを考慮する必要がある。

【００４０】

そして、本発明者は、鋭意実験を行い、シンチレータ板の枚数とトリチウムの検出効率とは、図４に示すような関係があることを見出した。シンチレータ板の枚数が増えれば増えるほど検出器全体としての検出能は増加する。一方で、積層したシンチレータ板による自己遮蔽については図４右上のグラフに示すような関係があることを見出した。すなわち、光電子増倍管との間にある他のシンチレータ板の枚数が増えるほど、そのシンチレータから放出されたシンチレーション光の、光電子増倍管によって検知される光子数は減少する。

【００４１】

したがって、検出器全体の検出効率は、図４右下のグラフに示すように変化する。グラフから、シンチレータ板の枚数が増えれば増えるほど検出効率は向上するが、シンチレータ板の枚数が３枚を超えると検出効率の向上傾向は急激に鈍化することがわかる。光電子増倍管３は本体部７の両側に１つずつ配置されていることから、１つの光電子増倍管３に対して、シンチレータ板を２枚以上４枚以下とすることが小型化や低コスト化の面から最も好ましく、許容できる検出効率を確保するという観点では、１つの光電子増倍管３に対してシンチレータの枚数は９枚を上限とすることが望ましい。従って、全体としてシンチレータは４枚以上１８枚以下であることが好ましく、検出精度とコスト等の関係から当該枚数の範囲内においてシンチレータの枚数調整が可能であることを見出した。これを本実施例に照らして換言すると、シンチレータユニット８のシンチレータ積層部１３は、シンチレータ板１４が４枚以上１８枚以下積層された構成であることが好ましい。

【００４２】

なお、シンチレータ板の形状については特段限定されるものではないが、トリチウムの検出効率を向上させるという観点から、水とシンチレータ板との接触面積を増やすような形状としても良い。図５は、接触面積を増やすため、シンチレータ板１４の表面に溝１４ａ１、１４ａ２を設け、表面積を増やす加工を行ったシンチレータ板１４ａを示す図である。

【００４３】

シンチレータ板１４ａに設けられた溝１４ａ１、１４ａ２の本数や深さについては特に

限定はないが、シンチレータ板は水圧を受けることとなるため、シンチレータ板１４ａの強度を考慮して設定する必要がある。例えば溝の深さｄについて具体的な例を挙げるとすると、シンチレータ板１４ａの厚みｔに対して１／３未満とすることが、強度確保の観点から好ましい。

【００４４】

また、本実施例ではシンチレータ板１４ａの両面にそれぞれ溝１４ａ１、１４ａ２を設けており、その配置についても工夫を行っている。図５に示すＢ部を拡大したものが図５の下図となっている。本実施例では、シンチレータ板１４ａの一方の面に設けられた溝１４ａ１と、シンチレータ板１４ａの他方に設けられた溝１４ａ２が互いに重なりあって対向しないように、ずらして溝が設けられている。これは、溝１４ａ１と溝１４ａ２が互いに重なり合って対向するように配置してしまうと、シンチレータ板１４ａの厚みが極端に薄い部分ができてしまい、シンチレータ板１４ａに水圧がかかった際に破断してしまう恐れがあるためである。

【００４５】

そのため、シンチレータ板１４ａに極端に薄い部分を設けないようにするため、一方の面に設けられた溝１４ａ１間の幅ｗ１は、溝１４ａ１のＸ方向の幅ｗ２よりも広くし、その部分（溝１４ａ１が設けられていない部分）に対向するように他方の面に溝１４ａ２が設けられるのが好ましい。つまり、溝の幅を決定することにより、シンチレータ板１４ａの一方の面に設ける溝の最大数が決定することになる。

【００４６】

本実施例では、溝の幅、溝の本数を調整し、表面積を２．５倍程度にしたシンチレータ板１４ａを準備し、トリチウムの検出を行ったところ、バックグラウンドが約１／２０、３６００秒検出を続けた場合の検出下限値が約１／１０となり、トリチウムを検出するにあたり、水とシンチレータ板との接触面積の確保がいかに重要かがわかる結果となった。

【００４７】

なお、本実施例ではシンチレータ板１４ａの両面に溝を設ける構成としているが、強度確保の観点から、シンチレータ板１４ａの一方の面のみに溝を設ける構成としても良い。また、シンチレータ板の表面加工については、溝以外であっても、水との接触面積を確保できる形状であればどのような形状であっても構わない。

【００４８】

また、溝を設けたシンチレータ板１４ａを用いる場合、溝の方向は流水方向と平行となるようにすると良い。このような構成とすることによって、溝の中に水が流れやすくなり、蓄積物が溜まらないようにできるため、放射線源検出モジュールの検出精度を確保することが可能となる。

【００４９】

図６は、実際にトリチウムの液体線源を用いて本実施例で得られたβ線スペクトルの例である。トリチウムの液体線源を測定したβ線スペクトルは、トリチウムの含まれない純水による測定結果（ＢＧ：バックグラウンド）と比較し、２０チャンネルから３００チャンネル部分に有意な計数率の上昇が確認される。

【００５０】

以上、図面に基づいて本発明の実施例を説明したが、本発明は、上記の実施例に限定されるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、上記の実施例は、本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、本発明は、必ずしも説明した全ての構成を備える態様に限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能である。また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、削除したり、他の構成を追加・置換したりすることが可能である。

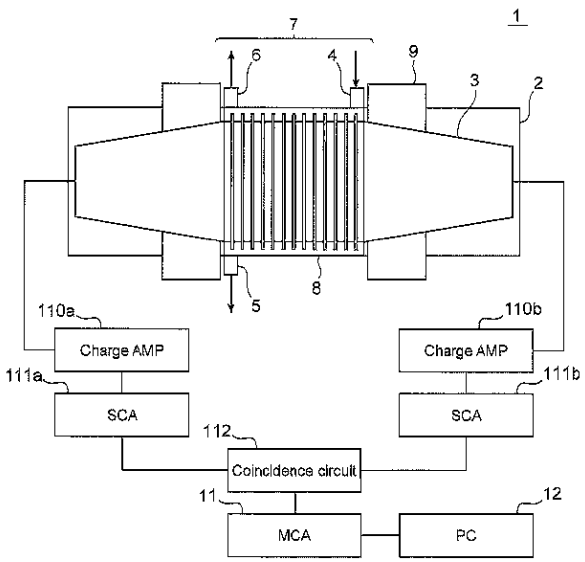
【符号の説明】

【００５１】

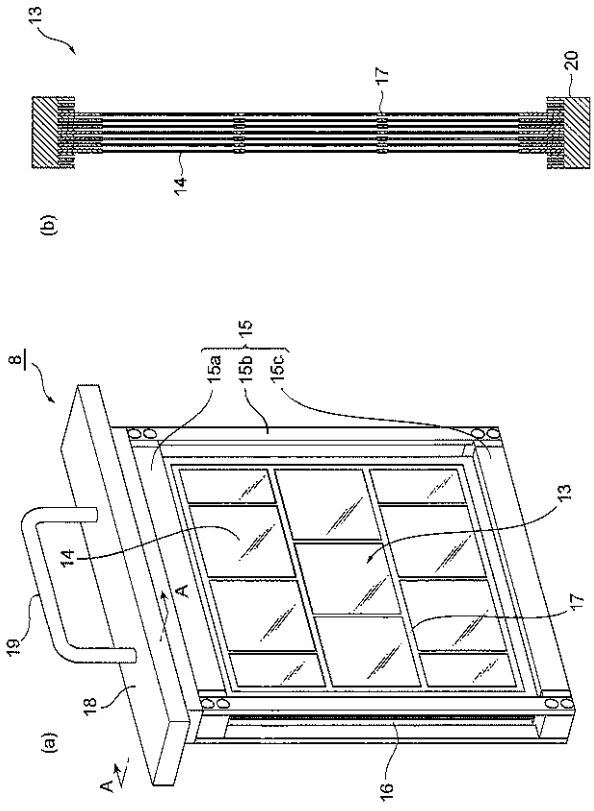
１　放射線源検出モジュール、２　筐体、３　光電子増倍管、４　注水口、５　排水口、

６　通気口、７　本体部、８　シンチレータユニット、９　冷却器、１０　時間波高変換器、１１　マルチチャネルアナライザ、１２　ＰＣ、１３　シンチレータ積層部、１４、１４ａ　シンチレータ板（シート状のシンチレータ）、１４ａ１、１４ａ２　溝、１５　フレーム部、１６　開口部、１７　補強部材、１８　蓋部、　１９　取っ手、２０　スリット部、２１ａ　ねじ穴、２１ｂ　貫通穴、２２　シール部、１１０　電荷増幅器、１１１　シングルチャンネルアナライザ、１１２　同時計数回路

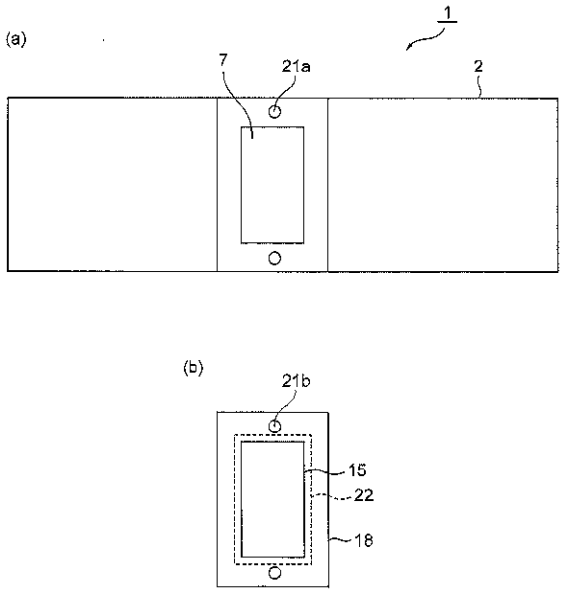
【図１】



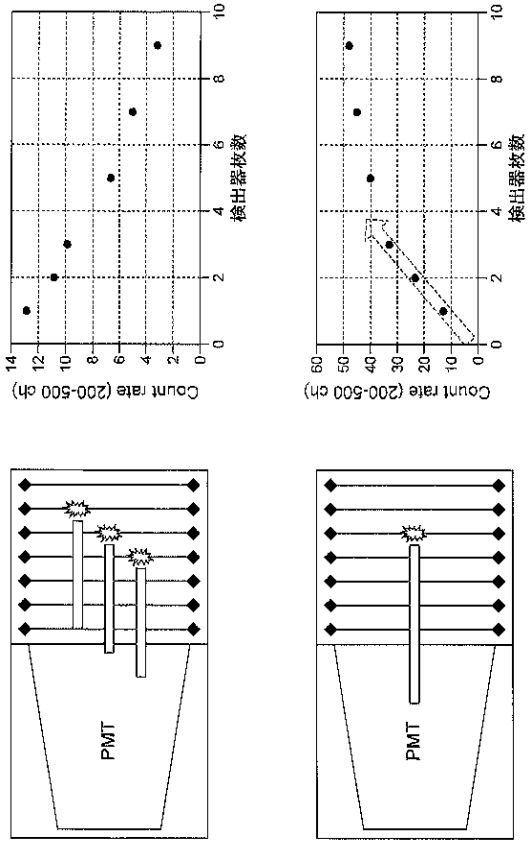

【図２】



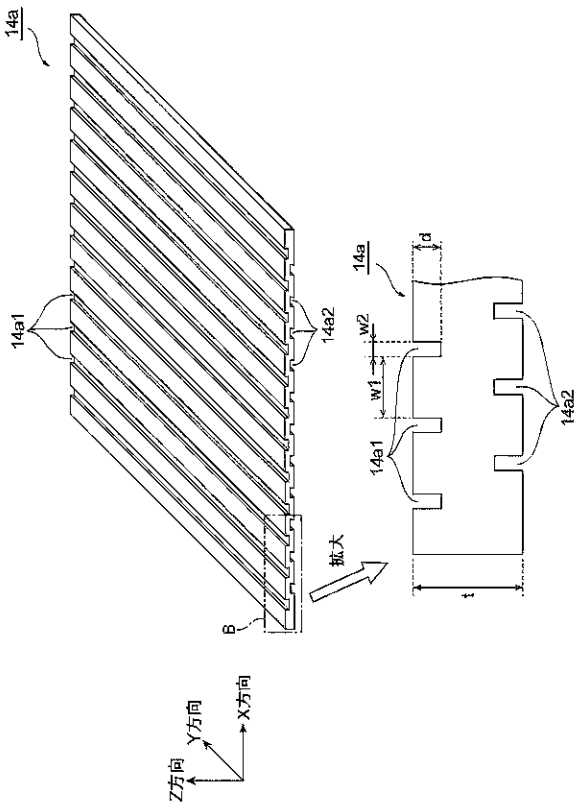
【図３】


(a)
1
7
21a
2
(b)
21b
15
22
18

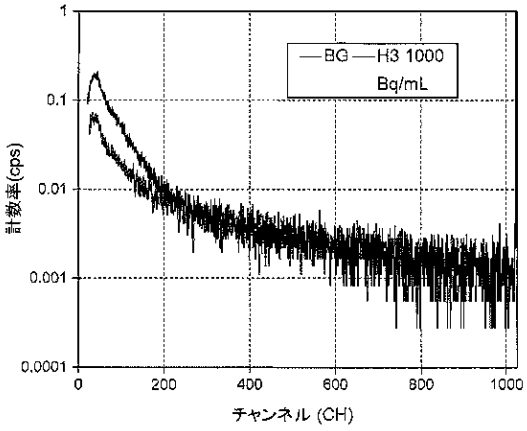
【図４】


検出器枚数
Count rate (200-500 ch)
PMT

【図５】


14a
14a1
14a2
B
拡大
d
w2
w1
t
Z方向
Y方向
X方向

【図６】


BG
H3 1000 Bq/mL
計数率(cps)
チャンネル (CH)

フロントページの続き

(72)発明者　阿部　智久
福島県南相馬市原町区萱浜巣掛場４５－７６　国立研究開発法人日本原子力研究開発機構内
(72)発明者　宮崎　信之
茨城県日立市桜川町１－５－２０　日本放射線エンジニアリング株式会社内

審査官　廣田　健介

(56)参考文献　特開昭５４－１２３９８７（ＪＰ，Ａ）
特開昭５５－１２８１７９（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－１８５５６９（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－０３２３９０（ＪＰ，Ａ）
特表平０９－５１１３３６（ＪＰ，Ａ）
実開昭６０－１１８９７７（ＪＰ，Ｕ）
特開昭６３－２３６９８６（ＪＰ，Ａ）
中国特許出願公開第１０６７７２５３４（ＣＮ，Ａ）
Tullio BRESSANI et al., A LARGE VOLUME LOW-LEVEL DETECTOR FOR MEASURING THE GAMMA-RADIOACTIVITY IN WATER, IEEE Transactions on Nuclear Science, 1988年, Vol. 35, No.1, 586-590

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
Ｇ０１Ｔ　　１／００－１／１６；１／１６７－７／１２
ＪＳＴＰｌｕｓ／ＪＭＥＤＰｌｕｓ／ＪＳＴ７５８０（ＪＤｒｅａｍＩＩＩ）