

(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2023-82788
 (P2023-82788A)

(43)公開日 令和5年6月15日(2023.6.15)

(51)Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<i>G 0 1 T 1/167 (2006.01)</i>	G 0 1 T 1/167 B	2 G 1 8 8
<i>G 0 1 T 1/20 (2006.01)</i>	G 0 1 T 1/20 A	
	G 0 1 T 1/20 E	
	G 0 1 T 1/20 B	

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 13 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)

(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
 (71)出願人 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45-7
 6 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

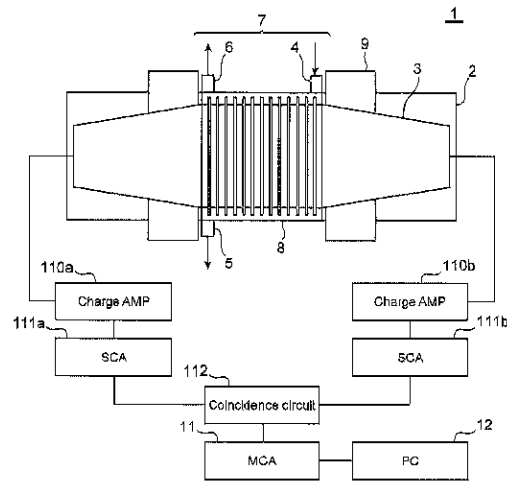
(54)【発明の名称】シンチレータユニットおよび放射線源検出モジュール

(57)【要約】

【課題】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。

【解決手段】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8であって、光透過性を有する複数のシンチレータ板14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13を有する。

【選択図】図1



【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する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。

10

【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。

20

【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。

30

【請求項 8】

請求項 1 から 7 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、前記シンチレータ板の表面には、表面積を増やす加工が施さ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 9】

請求項 8 に記載のシンチレータユニットであって、前記表面積を増やす加工は、溝加工であることを特徴とするシンチレータユニット。

【請求項 10】

請求項 9 に記載のシンチレータユニットであって、前記溝加工は、前記シンチレータ板の両面に施され、一方の面に設けられた溝と、他方の面に設けられた溝とは互に対向しないことを特徴とするシンチレータユニット。

40

【請求項 11】

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对の光電子増倍管と、前記流路内において前記一对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、

50

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することを特徴とする放射線源検出モジュール。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 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 1 3】

請求項 1 1 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 1 4】

請求項 1 1 に記載の放射線源検出モジュールであって、

前記一对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 1 a と第二の検出部 1 b 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 2 0 0 7 - 1 7 8 3 3 6 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 . 0 0 6 m m とされているもののほとんどの場合 0 . 0 0 1 m m 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

10

20

30

40

50

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对の光電子増倍管と、流路内において一对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、一对の光電子増倍管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(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、鉄や鉛の代わりにタンゲ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

10

20

30

40

50

た、本体部 7 は、測定時には水の流路として機能する。

【 0 0 1 3 】

一对の光電子増倍管 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、一对となるように構成しているが、コストを考慮し、多少精度が落ちてと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 - 4 0 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。

10

【 0 0 1 4 】

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。

20

【 0 0 1 5 】

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よるため、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。

【 0 0 1 6 】

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 1 1 0 a、1 1 0 b (Charge AMP) 及びシングルチャンネルアナライザ 1 1 1 a、1 1 1 b (SCA: Single-Channel-Analyzer)、同時計数回路 1 1 2 (Coincidence Circuit)、マルチチャンネルアナライザ 1 1 (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 PC 1 2 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 1 1 0 a、1 1 0 b により増幅され、シングルチャンネルアナライザ 1 1 1 a、1 1 1 b 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 1 1 2 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ンネルアナライザ 1 1 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。

30

40

【 0 0 1 7 】

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。

【 0 0 1 8 】

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

50

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。

【 0 0 1 9 】

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。

10

【 0 0 2 0 】

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、一对の光電子増倍管 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。

20

【 0 0 2 1 】

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 1 3 を説明するための断面図で、図 2 (a) の A - A 断面を示す。

【 0 0 2 2 】

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）1 4 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 1 3 を有する。なお、所定の間隔、すなわちシンチレータ板 1 4 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 1 4 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 2 0 0 c c であって、本実施例のようにシンチレータ板 1 4 の積層数が 7 枚である場合には、シンチレータ板 1 4 間の距離は 2 m m 程度である。

30

【 0 0 2 3 】

本実施例においてシンチレータ板 1 4 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 1 4 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 1 4 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。

40

【 0 0 2 4 】

シンチレータ板 1 4 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 1 4 とフレーム部 1 5 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 1 4 を複数の領域に区画して補強する、補強部材 1 7 を採用している。補強部材 1 7 は例えばアルミニウム合金製であり、フレーム部 1 5 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

50

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。例えば一对の補強部材 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 を一对の補強部材 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 15 a、対向する一对の側部フレーム 15 b、及び下部フレーム 15 c を有する。

【0028】

フレーム部 15 の、対向する一对の側部フレーム 15 b 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 15 a 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 15 a 及び下部フレーム 15 c 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。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 3 】

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 1 9 等、説明に不要な構成要素は不図示としている。

【 0 0 3 4 】

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 1 8 に対応する枠が設けられており、両端にはねじ穴 2 1 a が設けられている。

【 0 0 3 5 】

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 1 8 にも、放射線源検出モジュール 1 に設けられたねじ穴 2 1 a に対応する位置に貫通穴 2 1 b 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 2 1 b からねじ穴 2 1 a にねじを通してシンチレータユニット 8 を固定する。

【 0 0 3 6 】

また、蓋部 1 8 の下面には、シンチレータユニット 8 のフレーム部 1 5 の外周に沿うように例えばゴム製のシール部 2 2 が設けられており、このシール部 2 2 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。

【 0 0 3 7 】

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 1 5 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、コスト及び手間の面で有利である。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。

【 0 0 3 8 】

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 1 5 及び蓋部 1 8 と、蓋部 1 8 に取り付けられた取っ手 1 9 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 1 9 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 1 5 及び蓋部 1 8 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。

【 0 0 3 9 】

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。

【 0 0 4 0 】

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

10

20

30

40

50

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。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

40

【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。

50

【 0 0 4 8 】

また、溝を設けたシンチレータ板 1 4 a 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。

【 0 0 4 9 】

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。

10

【 0 0 5 0 】

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。

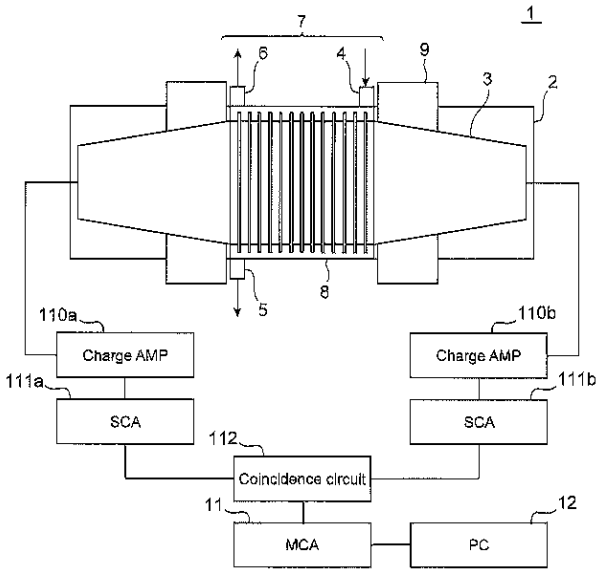
【 符号の説明 】

【 0 0 5 1 】

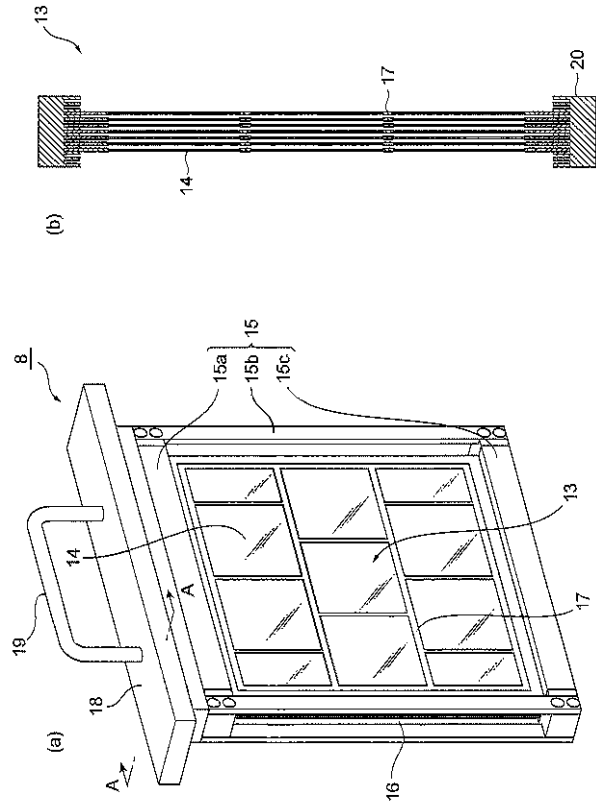
1 放射線源検出モジュール、2 筐体、3 光電子増倍管、4 注水口、5 排水口、6 通気口、7 本体部、8 シンチレータユニット、9 冷却器、10 時間波高変換器、11 マルチチャンネルアナライザ、12 PC、13 シンチレータ積層部、14、14 a シンチレータ板（シート状のシンチレータ）、14 a 1、14 a 2 溝、15 フレーム部、16 開口部、17 補強部材、18 蓋部、19 取っ手、20 スリット部、21 a ねじ穴、21 b 貫通穴、22 シール部、110 電荷増幅器、111 シングルチャンネルアナライザ、112 同時計数回路

20

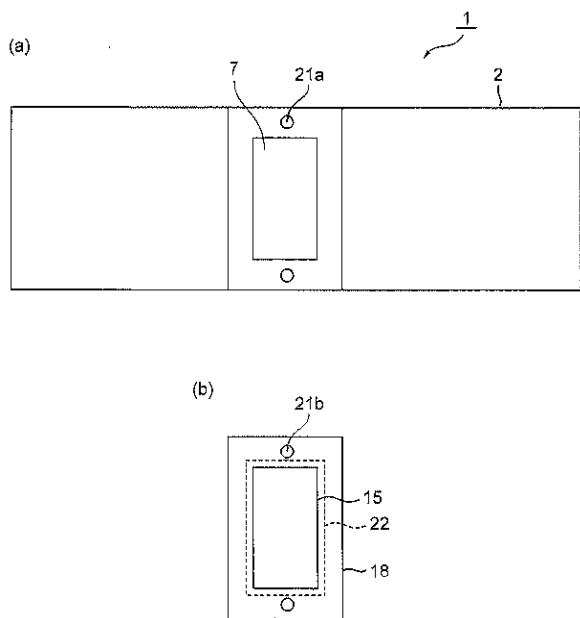
【図1】



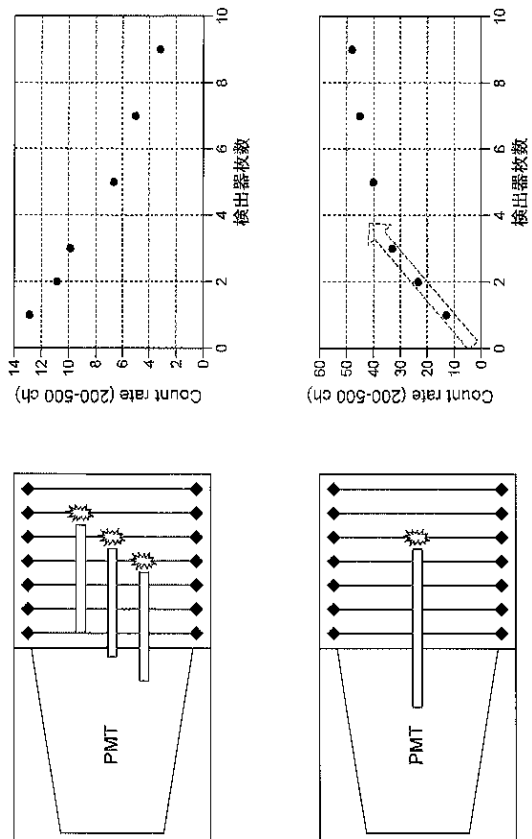
【図2】



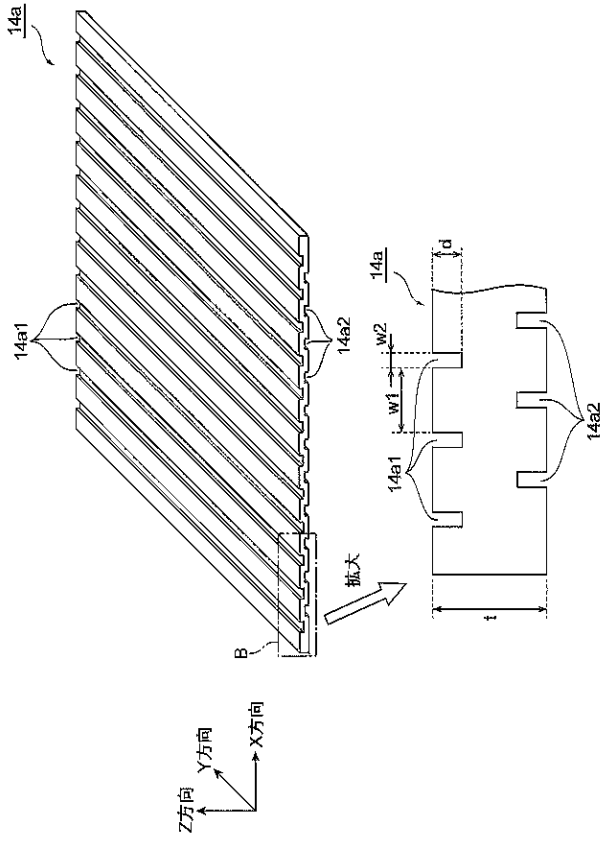
【図3】



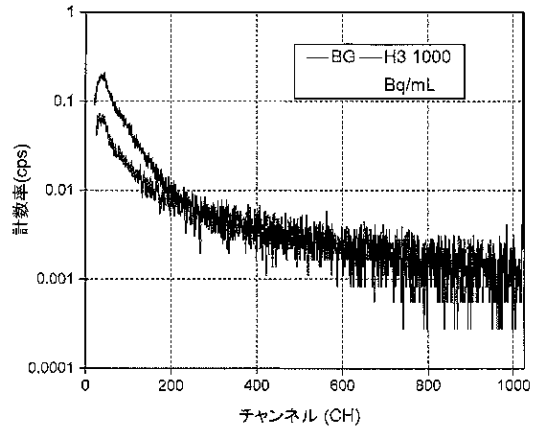
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】



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掛場4 5 - 7 6 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 - 2 0 日本放射線エンジニアリング株式会社内

Fターム(参考) 2G188 AA12 CC18 CC21 DD11 DD13 EE16