

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6580675号  
(P6580675)

(45) 発行日 令和1年9月25日(2019.9.25)

(24) 登録日 令和1年9月6日(2019.9.6)

(51) Int. Cl. F I  
G O 1 V 5/00 (2006.01) G O 1 V 5/00 B

請求項の数 11 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2017-513058 (P2017-513058)	(73) 特許権者	510199432 ユニヴェルシテット・ヤジェロンスキ ポーランド・PL-31-007・クラク フ・ゴレビア・24
(86) (22) 出願日	平成27年6月8日(2015.6.8)	(74) 代理人	100108453 弁理士 村山 靖彦
(65) 公表番号	特表2017-526928 (P2017-526928A)	(74) 代理人	100110364 弁理士 実広 信哉
(43) 公表日	平成29年9月14日(2017.9.14)	(74) 代理人	100133400 弁理士 阿部 達彦
(86) 国際出願番号	PCT/PL2015/050021	(72) 発明者	ミカル・シラルスキー ポーランド・PL-30-059・クラク フ・ウリツァ・レイモンタ・4
(87) 国際公開番号	W02016/036264		
(87) 国際公開日	平成28年3月10日(2016.3.10)		
審査請求日	平成30年1月11日(2018.1.11)		
(31) 優先権主張番号	P.409388		
(32) 優先日	平成26年9月7日(2014.9.7)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	ポーランド(PL)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水域環境において有害物質を非侵襲的に検出するための装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

水域環境中の有害物質を非侵襲的に検出するための装置であって、前記装置が、粒子検出器(106)によって囲まれている高速中性子発生器(101)とガンマ量子検出器(111)とを格納するための、密封されたハウジングを備えており、前記高速中性子発生器(101)が、被験物体(107)に向かって中性子を放射し、前記ガンマ量子検出器(111)が、前記被験物体(107)の原子核によって放射されたガンマ量子を検出する、前記装置において、

前記装置が、前記高速中性子発生器(101)と接続されている中性子ガイド(108)及び/又は前記ガンマ量子検出器(111)と接続されているガンマ量子ガイド(110)を備えており、前記中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイド(108, 110)は前記ハウジングの外部で前記ハウジングに設けられており、前記高速中性子発生器(101)に結合された前記中性子ガイド(108)と前記ガンマ量子検出器(111)に接続された前記ガンマ量子ガイド(110)との間の距離は変更可能であり、前記中性子ガイド(108)及び/又はガンマ量子ガイド(110)は伸縮可能であることを特徴とする装置。

【請求項2】

前記中性子ガイド及び/又は前記ガンマ量子ガイド(108, 110)が、閉じた基部を有する円筒状の形態とされることを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】

10

20

前記中性子ガイド及び/又は前記ガンマ量子ガイド(108, 110)の内側において、真空とされるか、又は、前記中性子ガイド及び/若しくは前記ガンマ量子ガイド(108, 110)が、ガスで充填されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の装置。

【請求項4】

前記中性子ガイド及び/又は前記ガンマ量子ガイド(108, 110)が、ステンレス鋼、アルミニウム、又は炭素繊維を含有する材料から作られていることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の装置。

【請求項5】

前記中性子ガイド及び/又は前記ガンマ量子ガイド(108, 110)が、中性子反射材から成る薄肉層によって、内側からカバーされていることを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載の装置。

10

【請求項6】

前記ガンマ量子検出器(111)が、半導体検出器システム又はシンチレーション検出器システムとされることを特徴とする請求項1～5のいずれか一項に記載の装置。

【請求項7】

前記高速中性子発生器(101)が、前記中性子ガイドと対向する位置に、粒子検出器(106c)を有しており、前記粒子検出器(106c)が存在する面とは異なる、前記高速中性子発生器(101)の他の面に沿った位置に、粒子検出器(106a, 106b)を有していることを特徴とする請求項1～6のいずれか一項に記載の装置。

【請求項8】

20

水域環境中の有害物質を非侵襲的に検出するための方法であって、

a) 中性子発生器(101)を利用することによって、5 MeV～20 MeVの範囲にあるエネルギーで高速中性子を発生させるステップと、

b) 前記ステップa)において発生された前記高速中性子を検出対象物体(107)に向かって視準するステップと、

c) 被験物体の原子核を励起状態から基底状態に遷移させる際に放射されるガンマ量子を検出するステップと、

を備えている前記方法において、

発生された前記高速中性子が中性子ガイド(108)の内部において移送され、かつ/又は放射された前記ガンマ量子がガンマ量子ガイド(110)の内部において移送され、

30

前記中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイド(108, 110)は、前記中性子発生器(101)を収容するハウジングの外部で、前記ハウジングに設けられており、

前記中性子発生器(101)に結合された前記中性子ガイド(108)と前記ガンマ量子ガイド(110)との間の距離は変更可能であり、

前記中性子ガイド(108)及び/又はガンマ量子ガイド(110)は伸縮可能であることを特徴とする方法。

【請求項9】

前記ガンマ量子が、前記中性子ガイド(108)の反対側に位置する検出器(106c)によって検出される粒子と同時に検出されることを特徴とする請求項8に記載の方法。

40

【請求項10】

粒子検出器(106a, 106b)の信号と同時にされるガンマ量子検出器(111)からの信号を拒絶することを特徴とする請求項8又は9に記載の方法。

【請求項11】

前記中性子ガイド及び/又は前記ガンマ量子ガイド(108, 110)の位置と、ガンマ量子検出器(111)の内部におけるガンマ量子が検出器(106c)からの信号に対して反応する時間とを計測することを特徴とする請求項8～10のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

## 【0001】

本発明は、水中環境において例えば水中残存物、地雷や戦用ガスのような有害物質を非侵襲的に検出するための装置及び方法に関する。本発明における装置及び方法は、中性子を放射化することと、中性子を照射した後に形成される物質の特徴的なガンマ量子スペクトルの計測とに基づいている。

## 【背景技術】

## 【0002】

現在、従来技術に基づく、有害物質を検出するための方法は、主として、電子と相互作用するX線の利用に基づいており、これにより被検体の分布密度及び形状を決定することができるが、正確に識別することができない。また、空港のセキュリティシステムが、物質分析装置を利用する一方、テロリスト阻止ユニットは、レーダー及び誘導検出器を利用している。残念ながら、当該方法のすべてが、金属の存在を検出することができるにすぎないが、又は地中の物体の形状を決定することができるにすぎない。従って、任意の疑わしい物体を検出するためには、さらなる検査を必要とする。中性子を物質に照射し、放射されたガンマ量子のエネルギースペクトラムを計測する、化学量分析に基づく装置は、上述の方法の欠点を有していない。

## 【0003】

海、大洋、川の底に沈んだ戦争残留物は、特に激しい軍事作戦が行われた地域及び水深が浅い地域において、依然として大きい問題である。水没により使用不能となった、第二次世界大戦時に利用された武器弾薬及び地雷は、海における重大な脅威であり、一部のシェルに格納されている有毒物質、例えば軍事目的のガスは、大きい環境問題である。1948年までに、最大65000トンの化学薬品を含む約250000トンの水没により使用不能となった武器弾薬が、バルト海に沈んでいる。主な既知の汚染領域は、リトルベルト山脈、ボーンホルム島深海（ボーンホルム島の東部）、及びゴットランド島深海の南西部分である。既知の水中武器庫から離れて、未知の量の危険な戦争残留物が、バルト海全体に、特に海運路に沿って海岸の近くに分散している。これらシェルの一部は既に腐食しているおり、化学薬品、主にマスタードガスが海床に漏れ出しており、汚染が発生している。バルト海の底では、化学薬品が、水にほとんど溶解しない油性液体の形態になっているので、ガス汚染が、腐食したシェルの僅か数メートルの近くに到達している。従って、人々にとっての最大の脅威は、武器弾薬の埋め立て地が疾病及び遺伝子異常を引き起こすことに起因して、当該武器弾薬の埋め立て地から周囲から魚の生態系を失うことである。また、水没した武器弾薬は、例えば漁の最中に錆びついたシェルを海底から引き上げることがある漁師に対して、直接的な脅威を形成している。バルト海における水没した戦争残留物の検出及び識別は、当該戦争残留物から有害物質を除去するための現在進行中の事業において重大である。

## 【0004】

危険物質の大部分が有機化合物又はその混合物である。従って、危険物質の大部分は、酸素、炭素、水素、及び窒素から成る。このような特徴が、疑わしい物体に対する化学量分析による、他の物質の中に埋もれた爆発物又は薬剤の識別を可能とする。

## 【0005】

特許文献1、特許文献2、及び特許文献3では、発生器によって等方的に生成された良好なエネルギー  $E = 1.4 \text{ MeV}$  を有する高速中性子ビームに基づいて、地中、建物の中、車両の中に隠された危険物質を検出するための装置及び方法が開示されている。試験材料を貫通する中性子は、自身の励起を引き起こす未知の物質の原子の原子核と相互作用する。その結果として、中性子を照射することによって、元素それぞれについて特有のガンマ量子が放射される。これら量子は検出器によって検知され、多数の放射されたガンマ量子とそのエネルギーとを決定することによって、被験物体の化学量を決定することができるので、その結果として、当該ガンマ量子を識別することができる。特許文献4は、高速中性子相互作用に加えて、入射ビームからの多数の中性子を散乱させた後に熱中性子捕捉の過程において生成されるガンマ量子を利用する装置を開示している。これにより、水素含有量

10

20

30

40

50

を決定することができるので、当該方法の感度を高めることができる。

【0006】

水中環境では、地雷及び危険化学物質を検出するために、物体の位置及び形状のみを決定することができるソナーが主に利用されるが、化学成分に関する情報を得ることはできない。特許文献5は、中性子源を利用することによって水中機雷を検出するための装置及び方法を開示している。当該装置及び方法は、捕捉された中性子から特徴的なガンマ量子を検出することを基礎とする。中性子は、低速度且つ低エネルギーで発生し、水によって速度低下（減速）され、熱中性子として、非常に小さいエネルギーで検出対象物体に到達する。当該装置に取り付けられている検出器によって、熱中性子の吸収によって生成されたガンマ量子のエネルギーを検知及び決定することができる。また、中性子と環境との相互作用によって生成された他の粒子が検知される。ガンマ量子の観察されたスペクトル及び検出器に到達した多数の二次中性子から異常を探索することによって、隠された水中機雷を識別することができる。

10

【0007】

非特許文献1は、有害物質を水中で検出するための高速中性子放射化の試みを開示している。中性子検出器は、中性子発生器から隔離されており、ロボットのアームに配置されている。特別なロボットアームを利用することによって、試験物体からの検出器の距離を変化させ、水中を移動するガンマ線の減衰を低減させることができる。

【0008】

水に対する中性子の吸収が比較的強いので、当該方法は、海底に位置する物質又は海底に浅く埋められた物質を検出することのみ可能である。さらに、検出対象物体と装置との間における水層は、4メートルを超えてはならず、水中を移動する中性子及びガンマ量子の強い吸収が、疑わしい物体の被曝時間を著しく低減し、得られた結果の解釈を一層困難にする。

20

【0009】

本出願以前における技術的課題は、水中環境における有害物質を非侵襲的に検出するための、このような装置及び方法を提供することである。当該装置及び方法は、比較的高い感度及び比較的低いノイズ（背景放射線の低減）によって特徴づけられており、貯水池の底部に深く配置されている危険物質を一層正確に検出することができ、被験物体内における危険物質の密度分布を決定することができる。驚くべきことに、これら技術的課題は、本発明によって解決される。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】国際公報第1999/049311号

【特許文献2】米国特許出願公開第2003/0165212号明細書

【特許文献3】国際公報第2004/025245号

【特許文献4】米国特許出願公開第2006/0227920号明細書

【特許文献5】国際公開第2012/089584号

【非特許文献】

40

【0011】

【非特許文献1】V. Valkovic et al., "An underwater system for explosive detection," Proc. SPIE 6540, Optics and Photonics in Global Homeland Security III, 654 013 (May 04, 2007)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明の第1の実施態様は、水域環境中の有害物質を非侵襲的に検出するための装置であって、装置が、粒子検出器によって囲まれている高速中性子発生器とガンマ量子検出器とを格納するための、密封されたハウジングを備えており、高速中性子発生器が、被験物

50

体に向かって中性子を放射し、ガンマ量子検出器が、試験物体の原子核によって放射されたガンマ量子を検知する、装置において、装置が、高速中性子発生器(101)及びガンマ量子発生器それぞれと接続されている、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドを備えていることを特徴とする装置とされる。本発明の好ましい実施例では、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドが、閉じた基部を有する円筒状の形態とされ、好ましくは伸縮式とされる。また、好ましくは、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドの内側において、真空とされるか、又は、中性子ガイド及び/若しくはガンマ量子ガイドが、ガス、好ましくは空気、ヘリウム、若しくはアルゴンで充填されている。好ましくは、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドが、ステンレス鋼、アルミニウム、又は炭素繊維を含有する材料から作られている。本発明のさらなる好ましい実施例では、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドが、中性子反射材、好ましくはグラファイトから成る薄肉層によって、内側からカバーされている。本発明の他の好ましい実施例では、高速中性子発生器に結合されている中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドと、ガンマ量子検出器に接続されている中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドとの間における距離が変更可能とされ、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドと中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドとが成す角度が、約0°~約90°の範囲内とされる。好ましくは、ガンマ量子検出器が、半導体検出器システム又はシンチレーション検出器システムとされる。また、好ましくは、高速中性子発生器が、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドの反対側の位置に、粒子検出器を有しており、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドに対して垂直とされる位置に、粒子検出器を有している。

10

20

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の第2の実施例では、水域環境中の有害物質を非侵襲的に検出するための方法であって、

a) 中性子発生器を利用することによって、5 MeV ~ 20 MeVの範囲にあるエネルギーで高速中性子を発生させるステップと、

b) ステップa)において発生された高速中性子を検出対象物体に向かって視準するステップと、

c) 被験物体の原子核を励起状態から基底状態に遷移させる際に放射されるガンマ量子を検出するステップと、

30

を備えている方法において、

発生された高速中性子と放射されたガンマ量子とが、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドの内部において移送されることを特徴とする方法とされる。また、好ましくは、ガンマ量子が、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドの反対側に位置する検出器によって検出される粒子と同時に検出される。本発明の好ましい実施例では、粒子検出器の信号と同時にされるガンマ量子検出器からの信号を拒絶する。本発明の好ましい実施例では、中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドの位置と、検出器からの信号に対するガンマ量子検出器の内部におけるガンマ量子の検知の時間とを計測する。

【0014】

本発明における、水域環境中の有害物質を非侵襲的に検出するための装置及び方法は、比較的高精度で危険物質を検出することができる特別に設計された高速中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドを利用することによって、貯水池の底部に深く隠された物体を検出することができる。高速中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドを伸縮式構造とすることによって、高速中性子ガイド及び/又はガンマ量子ガイドの長さを広範囲に亘って調整可能となり、これにより様々な深さを有する貯水池において検出可能とされる。伸縮式ガイド構造体によって、ガンマ量子検出器に接続されているガンマ量子ガイドを移動させることによって、ガイド同士が成す角度を変更することができるので、様々な深さにおける検出及び様々な領域における検出が可能となり、被験物体の分布密度を決定することができる。中性子ガイドの反端側に配置された粒子検出器によって検知された信号と同時に、ガンマ量子を計測することによって、背景放射線の低減が著しく向上し、利用される計

40

50

測方法の感度及び分解能がさらに高められる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】水域環境内の有害物質を非侵襲的に検出するための装置の概略図である。

【図2】ガイドを第1の設定にした状態における、図1に表わす装置の概略図である。

【図3】ガイドを第2の設定にした状態における、図1に表わす装置の概略図である。

【図4】ガンマ量子及び/又は中性子ガイドの断面図である。

【図5】ガンマ量子及び/又は中性子ガイドの正面図である。

【図6】ガンマ量子及び/又は中性子ガイドの位置を変更するためのシステムの概略図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0016】

[実施例]

図1は、本発明における水域環境100中の有害物質を非侵襲的に検出するための装置の概略図である。中性子発生器101は、重水素イオン102を三重水素ターゲット103と衝突させ、 $D + T \rightarrow a + n$ という化学反応を起こさせる。当該化学反応からは、重水素のエネルギーと比較して遥かに高いエネルギーが放出されるので、粒子104及び中性子105が、空間内に略等方的に生成され、略連続的に移動する。中性子の発生から放たれた粒子104は、中性子発生器101の壁に設けられている検出システム106a, 106b, 106cによって記録される。当該検出システムは、数cmの縦横高さの寸法を有するシリコン検出器又はシンチレーション検出器から成る場合がある。選択された中性子は、空気を吐出することによって、特定の大きさを有する、例えば直径30cm及び最大高さ3mのガイド108の内部において検出対象物体107に向かって移動する。代替的には、ガイドは、空気又は他のガス、例えばヘリウムによって充填されている。これにより、中性子の水中への吸収及び水中における中性子の減速を防止することができる。ガイド108は、厚さ約1mmのステンレス鋼から構成される伸縮式チューブとされ、ガイド108の両端は、非常に薄肉の、例えば厚さ0.5mmのシートによって終端されている。被験物体の内部を移動する高速中性子は、当該党則中性子を励起する被験物体の原子核に吸収されるか、及び/又は非弾性的に散乱されるので、例えば中性子+原子核 励起された原子核+中性子 原子核+中性子+ガンマ量子との化学反応を発生させる。

20

30

【0017】

原子核は基底状態に下方遷移しつつ、ガンマ量子109を放射するが、エネルギーは原子核それぞれに特有である。原子核によって放射されたガンマ量子の一部は、特定の大きさを有するガイド110の内部においてガンマ量子検出器に向かって移動し、空気が、ガイド110から吐出される。上述の場合には、ガイドが、代替的に空気又は他のガス、例えばヘリウムで充填されている。これにより、ガンマ量子の水中への吸収及び水中におけるガンマ量子の散乱が防止される。ガイド110は、厚さ約1mmのステンレス鋼から成る伸縮式チューブから作られており、ガイド110の両端は、非常に薄肉の、例えば厚さ0.5mmのシートによって終端されている。検出器111は、記録されたガンマ量子109のエネルギーを計測する。さらに、検出器111は、検出器111の内部におけるガンマ量子109の衝突位置と、粒子104の検知からガンマ量子検出器111の信号の検知に至るまでの経過時間とを決定する。時間の計測と粒子104及びガンマ量子109の位置とをターゲット103の既知の位置と相互作用させ、中性子ガイド108に対するガンマ量子ガイド110の相対的な距離及び角度を変化させることによって、検出対象物体内の危険性物質の密度分布を決定することができる。図2及び図3は、ガイドを再構成することによって、検出器に到達するガンマ量子が反応する(例えば泥の中の)海底の下方の深さを決定する方法を概略的に表わす。ガイド208及びガイド210の直径とガイド208及びガイド210の長さとの比が十分に小さい(0.14より小さい)場合には、ガンマ量子が反応する深さは、ガンマ量子検出器211による粒子204の検知から信号の検知までの経過時間  $t$  を計測することによって決定される。以下の数式[数1]が成立す

40

50

る。

【 0 0 1 8 】

【 数 1 】

$$\Delta t - t_{\alpha} = t_n + t'_n + t_{\gamma} + t'_{\gamma}$$

【 0 0 1 9 】

[ 数 1 ]において、 $t$ は、ターゲット203から検出器206cに至るまでの発生した粒子204の飛翔時間とされ、 $t_n$ 及び $t'_n$ はそれぞれ、ガイド208内のターゲットから周知の距離 $l_n$ に亘る中性子205の飛翔時間、及び、中性子ガイド208の端部から被験物体207内の反応部位212に至る中性子204の飛翔時間とされる。同様に、 $t_{\gamma}$ は、ガイド210の既知の一定長さ $l_{\gamma}$ に亘るガンマ量子209の飛翔時間とされ、 $t'_{\gamma}$ は、被験物体207の内部における中性子205の反応部位212からガイド210の入口213に至るまでのガンマ量子209の飛翔時間を示している。これら飛翔時間は、周知の粒子速度によって、[ 数 2 ]のように表現可能とされる。

10

【 0 0 2 0 】

【 数 2 】

$$\Delta t - l_{\alpha}/v_{\alpha} = l_n/v_n + x/v_n + l_{\gamma}/c + y/c$$

20

【 0 0 2 1 】

粒子204の速度と中性子205の速度とは一定であって、粒子204及び中性子205の既知のエネルギーによって決定され、ガンマ量子209は、光速 $c$ で飛翔する。ガイド208の端部214から被験物体207内部の反応部位212に至るまでの中性子205の飛翔距離 $x$ と、中性子205の反応部位212からガイド210の入口213に至るまでのガンマ量子209の飛翔距離 $y$ は、[ 数 3 ]のように関連付けられている。

【 0 0 2 2 】

【 数 3 】

$$x/y = \cos \varphi$$

30

【 0 0 2 3 】

[ 数 3 ]のように、 $\varphi$ は、ガイド208の軸線とガイド210の軸線210とが成す角度とされ、変数である。これにより、[ 数 4 ]のように、ガイド208の入口214からどのくらいの距離で反応が生じたのかを決定することができる。

【 0 0 2 4 】

【 数 4 】

$$x = \left( \Delta t - \frac{l_{\alpha}}{v_{\alpha}} - \frac{l_n}{v_n} - \frac{l_{\gamma}}{c} \right) \frac{cv_n \cos \varphi}{c \cdot \cos \varphi + v_n}$$

40

【 0 0 2 5 】

ガイド208, 210の長さに対する直径の比が大きい場合には、中性子205が影響を受ける深さ $x$ は、このような場所をガイド208, 210の両方に共通する領域215において探索することによって、時間 $t$ の計測値から決定可能とされる。ターゲット203から当該地点に至るまでの中性子205の飛翔時間と、当該場所から検出器211に至るまでのガンマ量子209の飛翔時間との合計が、計測された時間 $t$ に最も近い。

【 0 0 2 6 】

ガイド208, 210の相対位置を変化させることによって、及び、ガイド208, 210が成す角度を変化させることによって、深さに関するさらなる情報を得ることができ

50

る。ガイド208とガイド210との間における距離 $d_1$ 及び $d_2$ (図2参照)を変化させることによって、被験物体207の異なる部分から放射されたガンマ量子を様々な深さで検知することができる。これにより、被験物体207内部における危険物質の密度分布を決定することができる。

#### 【0027】

中性子ガイド及びガンマ量子ガイドは、幾つかの部品から成る、長さ50cmの伸縮式チューブから作られており、ゴム製ガasketに接続されている(図4参照)。装置全体を水中に配置させる前に手動で、又は、モジュール118から制御可能とされる機械システムによって、

ガイドの長さを変更することができる。図4は、このような機械システムの一例を表わす。ガイドモジュール302, 303, 304は、ガイドモジュール302が部品301の内側に配置されているように、且つ、ガイドモジュール304がガイドモジュール303の内側に配置されているように、伸縮自在に接続されている。図5に表わすように、リング状の形態とされるゴム製シール305, 306, 307は、構成全体を密封している。ガイド300の長さは、サポートレール314, 315, 316, 317に取り付けられている、例えば厚さ10mmのタッピングロッド310, 311, 312から成るシステムによって調整可能とされる。タッピングロッド310を回転させることによって、他の要素311が駆動され、これによりタッピングロッド312が移動される。ガイド300の長さ調整をするためのシステムは、例えば図3bに表わすように配置されたロッド318, 319, 320, 321から成る、4つのセットから構成されている。当該セットそれぞれが、モータ309によって駆動される。ガイド300とエンジンとが、システム全体を密閉し且つ水から保護するために、フランジ301を介して接続されている。制御システム308によって、装置200の下面322に対するガイド300の角度を変化させることができる。ガイド300の部分それぞれが、良好な中性子反射能力を有している、例えばグラファイトのような薄肉層(約1mm)の材料によって裏当てされている。

#### 【0028】

図6に表わすように、装置200の密封性を維持するために、中性子ガイド208とガンマ量子ガイド210との相対位置を変更することができる。また、ガンマ量子ガイド210の位置のみを変更することができる。ガイド400は、フランジ401に接続されており、フランジ401は、装置200の底部402に密封状態で接続されている。装置200の底部402は、容易に伸縮可能とされる材料から作られているので、ガイド400をガンマ量子検出器403と共に移動させることができる。当該伸縮可能とされる材料は、薄肉且つ波状のシート材料、波状のプラスチック層、又は波状の革とされる。ガイド400は、モータ404、角度405を変化させるためのシステム、及びガンマ量子検出器403と共に、例えばガイド400及び検出器403の位置変化をもたらす直線的な横移動に基づいて、駆動システム406に接続されている。

#### 【0029】

図1に表わすガンマ量子検出器111は、従来技術に基づく、例えばシンチレーション水晶や半導体を利用することによってガンマ量子を検出するための解決手段に基づいて構成されている。装置100の内側において、検出器の位置が変更可能とされる。粒子検出器106a, 106b, 106cからの信号とガンマ量子検出器111からの信号とが、信号線112, 113を介して、データ取得するための信号サンプリングモジュール114に伝送される。放射された中性子であって、被験物体107には向かわない中性子の反応から得られた背景放射線を除去するために、粒子検出器106a, 106bからの信号と同時に記録されたガンマ量子検出器111からのすべての信号が破棄される一方、検出器106cからの信号と同時に記録された信号は検出対象物体からのガンマ量子として扱われる。次に、信号サンプリングモジュール114は、ケーブル又は無線信号を利用して、容器117に配置されている処理モジュール120にデータを送信するので、装置100は、制御モジュール118によって当該データに基づいて制御される。信号サンプリングモジュール114からの信号は、通信回線119又は電波を介して、モジュール101

10

20

30

40

50

、106、111、114を制御する受信モジュール120と装置100を移動させるためのモータ121とに送信される。

【0030】

モジュール117によって、物質107が識別される。当該識別は、 $^{12}\text{C}$ 原子核（エネルギー4.43 MeV）、 $^{16}\text{O}$ 原子核（6.13 MeVエネルギー）、 $^{14}\text{N}$ 原子核（エネルギー2.31 MeV及び5.11 MeV）、及び検体を構成する他の元素、例えば $^{19}\text{F}$ 原子核（エネルギー1.5 MeV及び3.9 MeV）、 $^{32}\text{S}$ 原子核（3.8 MeVエネルギー）や $^{35}\text{Cl}$ （3.0 MeVエネルギー）から放射された、複数の検知された特徴的なガンマ量子に基づいて行われる。中性子と様々な原子核との反応の様々な可能性、及び様々なエネルギーを有するガンマ量子の検出効率を考慮して、被検物体を構築する元素それぞれの原子の数が再構成された後に、モジュール117のデータベースに格納された危険物質の既知の化学量と比較される。

10

【符号の説明】

【0031】

100	装置	
101	中性子発生器	
102	重水素イオン	
103	三重水素イオン	
104	素粒子	
105	中性子	20
106 a	検出システム	
106 b	検出システム	
106 c	検出システム	
107	検出対象物体（被験物体）	
108	ガイド	
109	ガンマ量子	
110	ガイド	
111	ガンマ量子検出器	
114	信号サンプリングモジュール	
117	容器	30
118	モジュール	
120	処理モジュール	
121	モータ	
200	装置	
203	ターゲット	
204	粒子	
206 a	検出器	
206 b	検出器	
206 c	検出器	
207	被験物体	40
208	中性子ガイド	
209	ガンマ量子	
210	ガンマ量子ガイド	
212	反応部位	
213	（ガイド210の）入口	
214	（ガイド208の）端部	
302	ガイドモジュール	
303	ガイドモジュール	
304	ガイドモジュール	
305	シール	50

- 306 シール
- 307 シール
- 308 制御システム
- 309 モータ
- 310 タッピングロッド
- 311 タッピングロッド
- 312 タッピングロッド
- 315 サポートレール
- 316 サポートレール
- 317 サポートレール
- 322 下面
- 400 ガイド
- 401 フランジ
- 402 (装置200の)底部
- 403 ガンマ量子検出器
- 404 モータ
- 405 角度
- 406 駆動システム

【図1】

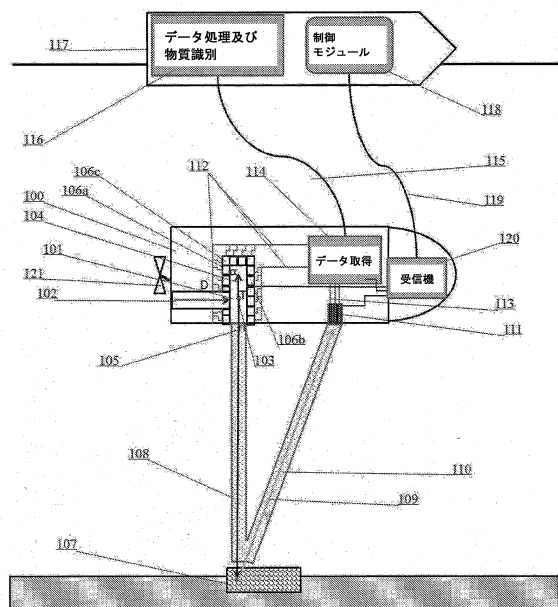


Fig. 1

【図2】

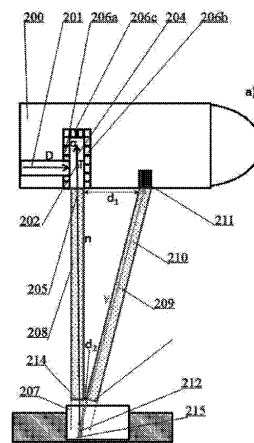
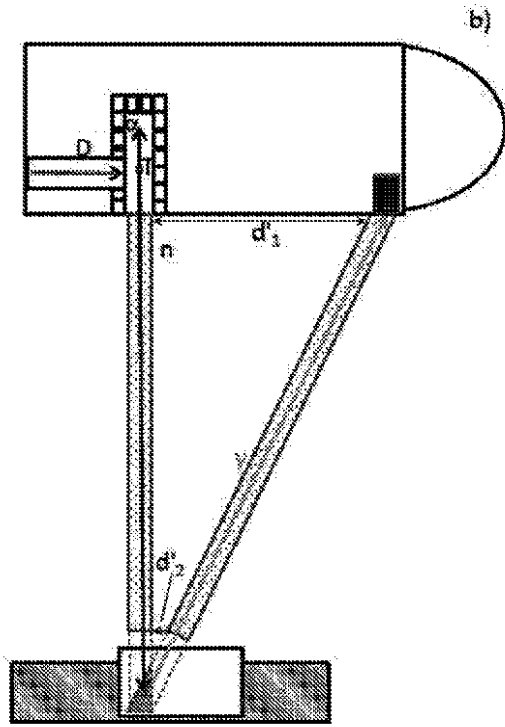
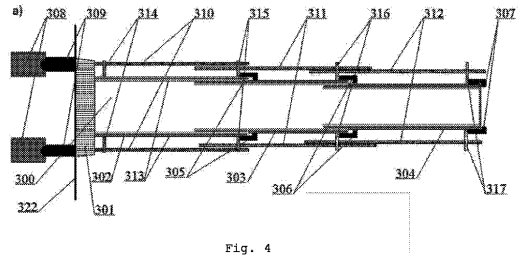


Fig. 2

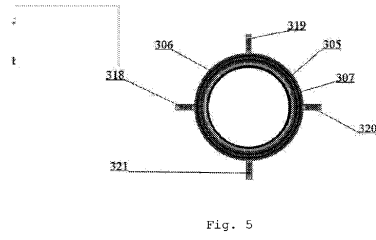
【 図 3 】



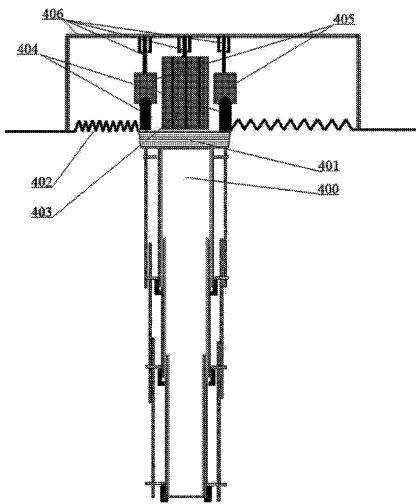
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 パヴェウ・モスカーリ  
ポーランド・PL - 30 - 059・クラクフ・ウリツァ・レイモンタ・4

審査官 福田 裕司

(56)参考文献 特開2006 - 118904 (JP, A)  
米国特許出願公開第2011 / 0062319 (US, A1)  
米国特許出願公開第2014 / 0037065 (US, A1)  
米国特許第05326970 (US, A)  
特開2004 - 028824 (JP, A)  
特表2002 - 507746 (JP, A)  
特開昭64 - 018107 (JP, A)  
特開2004 - 108912 (JP, A)  
VALKOVIC Vladivoji et al., Inspection of the objects on the sea floor by using 14MeV tagged neutrons, 2nd International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation, Measurement Methods and their Applications, 米国, IEEE, 2011年 6月 6日

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01V 5/00