

(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2015-141043
(P2015-141043A)

(43) 公開日 平成27年8月3日(2015. 8. 3)

(51) Int. Cl.	F 1	テーマコード (参考)
GO 1 T 7/00 (2006.01)	GO 1 T 7/00 A	2 G 1 8 8
GO 1 T 1/16 (2006.01)	GO 1 T 1/16 A	
GO 1 T 1/167 (2006.01)	GO 1 T 1/167 C	

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 (22) 出願日 特許法第30条第2項適用申請有り 一般社団法人 日本作業船協会、「作業船」、第312号、2013年7月	特願2014-12604 (P2014-12604) 平成26年1月27日 (2014. 1. 27)	(71) 出願人 501204525 国立研究開発法人海上技術安全研究所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 (74) 代理人 100097113 弁理士 堀 城之 (74) 代理人 100162363 弁理士 前島 幸彦 (72) 発明者 大西 世紀 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 独立行政法人海上技術安全研究所内 (72) 発明者 ソートン ブレア 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大学法人東京大学内
--	--	---

最終頁に続く

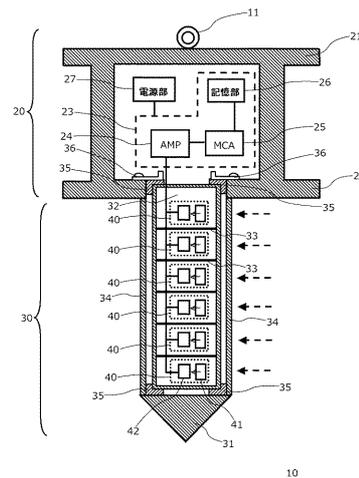
(54) 【発明の名称】 放射性物質分布測定装置及び放射性物質分布測定方法

(57) 【要約】

【課題】 土壤中の放射性物質の分布を正確に測定する。

【解決手段】 ヘッド部30の先端(下端)には、下側が鋭角形状とされた先端部31が設けられているため、ヘッド部30は海底面S3よりも下側に自重によって侵入することができる。ヘッド部30における先端部31の上側には、上下方向に複数(図中では6つ)の放射線検出部40が配列されている。各放射線検出部40は、ガンマ線(放射線)を吸収することによって可視光を発生するシンチレータ41と、この可視光を受けてパルス状の電気信号を出力するフォトダイオード42とで構成される。こうしたフォトダイオード42からのパルス状の出力信号を処理するための信号処理部23が、測定ユニット本体20に内蔵されている。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

土壌の中に存在する放射性物質が発する放射線を検出することによって、前記土壌の中における前記放射性物質の深さ方向の分布を測定する放射性物質分布測定装置であって、長手方向における一端の側から前記土壌の中に貫入され、前記長手方向に配列された複数の放射線検出部が内部に設けられたヘッド部を具備することを特徴とする放射性物質分布測定装置。

【請求項 2】

前記ヘッド部は、前記土壌の上にある空気又は水と前記土壌との境界を認識する境界認識手段を具備することを特徴とする請求項 1 に記載の放射性物質分布測定装置。

10

【請求項 3】

複数の前記放射線検出部が前記境界認識手段として用いられたことを特徴とする請求項 2 に記載の放射性物質分布測定装置。

【請求項 4】

前記ヘッド部と、

前記ヘッド部の前記長手方向における他端が固定され、複数の前記放射線検出部の出力信号を処理する信号処理部を内蔵し、前記長手方向と垂直な方向において前記ヘッド部よりも大きな外径をもつ測定ユニット本体と、

を具備する測定ユニットが用いられたことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の放射性物質分布測定装置。

20

【請求項 5】

前記信号処理部は、検出された放射線に対応して前記放射線検出部から出力されたパルス状の出力信号を増幅する増幅器を具備し、前記増幅器によって増幅された前記出力信号のうち、予め定められた範囲のパルス高をもつ前記出力信号を計数することを特徴とする請求項 4 に記載の放射性物質分布測定装置。

【請求項 6】

前記信号処理部は、予め定められた複数の前記範囲毎に前記出力信号を計数する多重波高分析器を具備することを特徴とする請求項 5 に記載の放射性物質分布測定装置。

【請求項 7】

前記信号処理部は、前記出力信号の計数結果を記憶する記憶部を具備することを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の放射性物質分布測定装置。

30

【請求項 8】

複数の前記放射線検出部は前記ヘッド部で、前記信号処理部は前記測定ユニット本体で、それぞれ密封された構成を具備することを特徴とする請求項 4 から請求項 7 までのいずれか 1 項に記載の放射性物質分布測定装置。

【請求項 9】

前記測定ユニット本体は、前記信号処理部及び各前記放射線検出部に電力を供給する電源部を具備することを特徴とする請求項 4 から請求項 8 までのいずれか 1 項に記載の放射性物質分布測定装置。

【請求項 10】

前記測定ユニットを前記長手方向における一定の範囲で移動可能として収容し、かつ前記ヘッド部を前記長手方向で貫通させる底面を具備するフレームが、前記測定ユニットと組み合わせられて用いられたことを特徴とする請求項 4 から請求項 9 までのいずれか 1 項に記載の放射性物質分布測定装置。

40

【請求項 11】

前記測定ユニット本体における前記ヘッド部が固定された側と反対側に錘が着脱自在とされたことを特徴とする請求項 4 から請求項 10 までのいずれか 1 項に記載の放射性物質分布測定装置。

【請求項 12】

前記測定ユニット本体における前記ヘッド部が固定された側と反対側に、ワイヤが係止

50

されるワイヤ係止部が設けられたことを特徴とする請求項 4 から請求項 11 までのいずれか 1 項に記載の放射性物質分布測定装置。

【請求項 13】

前記長手方向における前記ヘッド部の一端側が鋭角形状とされたことを特徴とする請求項 1 から請求項 12 までのいずれか 1 項に記載の放射性物質分布測定装置。

【請求項 14】

請求項 1 から請求項 13 までのいずれか 1 項に記載の放射性物質分布測定装置における前記ヘッド部を前記土壌の中に貫入させて前記放射性物質が発する放射線を各前記放射線検出部に検出させ、

前記放射線を各前記放射線検出部が検出した検出強度より、前記放射性物質の前記土壌の中における深さ方向の分布を算出することを特徴とする放射線物質分布測定方法。

10

【請求項 15】

各前記放射線検出部が検出した前記検出強度より前記放射線の深さ方向の強度分布を測定し、前記強度分布の変動率が局所的に高い箇所のうち最も上方の箇所を、前記土壌の上にある空気又は水と前記土壌との境界と認識することを特徴とする請求項 14 に記載の放射性物質分布測定方法。

【請求項 16】

複数の前記放射線検出部のうち、 i 番目の前記放射線検出部の深さ z の箇所の土壌からの前記放射線に対する感度係数を $R_i(z)$ とした際に、前記放射線を発する前記放射性物質の深さ方向の分布 $f(z)$ と i 番目の前記放射線検出部の検出強度 g_i が (1) 式によって定まることを用いて前記 $f(z)$ を算出することを特徴とする請求項 14 又は 15 に記載の放射性物質分布測定方法。

20

【数 1】

$$g_i = \int f(z) \cdot R_i(z) dz \quad \dots (1)$$

【請求項 17】

測定される前記土壌を深さ方向に $j = 0 \sim M$ (M は正の整数) に分割し、複数の前記放射線検出部のうち i 番目の前記放射線検出部の j に対応した深さの箇所の土壌からの前記放射線に対する感度係数を R_{ij} とした際に、前記放射線を発する前記放射性物質の j に対応した深さにおける存在量 f_j と i 番目の前記放射線検出部の検出強度 g_i が (2) 式によって定まることを用いて前記 f_j を算出することを特徴とする請求項 14 又は 15 に記載の放射性物質分布測定方法。

30

【数 2】

$$g_i = \sum_{j=0}^M f_j \cdot R_{ij} \quad \dots (2)$$

【請求項 18】

前記ヘッド部を水平方向における異なる複数の箇所の前記土壌に貫入させ、前記土壌の中の前記放射性物質の 3 次元分布を測定することを特徴とする請求項 14 から請求項 17 までのいずれか 1 項に記載の放射性物質分布測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、土壌中の放射性物質の分布を測定する放射性物質分布測定装置、放射性物質分布測定方法に関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

放射性同位元素を含んだ放射性物質が飛散した場合には、その分布を測定することが重要であり、このためには、放射性同位元素が発する放射線（ガンマ線等）を放射線検出器によって計測することが有効である。地上においては、こうした放射性物質は地表付近に集中的に存在することは明らかであるため、その分布として、水平方向の分布を知ることが特に重要となる。

【 0 0 0 3 】

一方、放射性物質は、地上だけでなく海にも飛散し、この場合には海底に堆積する。海底の土壌は一般的には柔らかい泥等で構成され、かつ放射性物質が堆積した後でも泥が更にその上に堆積するために、実際には放射性物質は表面（海底面）だけでなく深部にも侵入する。このため、特に海底においては、水平方向だけでなく土壌の深さ方向における放射性物質の分布を知ることが重要である。このためには、船舶等に搭載した探査機器を用いて海底の土壌を深さ毎に採取し、これを地上の分析機器で分析することが有効である。

10

【 0 0 0 4 】

しかしながら、この場合には、土壌の採取から分析までに時間がかかる、あるいは、放射性物質による汚染が激しい場合には、放射性物質による汚染を外部に広げ、作業員等に被曝を発生させるおそれがある。このため、土壌を採取することなしに放射性物質の深さ方向の分布を測定することが好ましい。

【 0 0 0 5 】

例えば、特許文献 1 には、地表でのガンマ線強度から放射性物質の深さ方向の分布を推定する技術が記載されている。特許文献 1 に記載されているのは海底ではなく地上における深さ方向の分布測定であるが、同様の測定を海底で行うこともできる。

20

【 0 0 0 6 】

また、特許文献 2 には、細長い被測定体（燃料棒等）における長手方向の放射線分布を測定する測定装置が記載されている。この測定装置においては、長手方向に放射線測定器が複数配列され、これらに近接させてこの被測定体を設置することによって測定が行われる。ここで、各放射線検出器と被測定体との間の距離を測定する手段も同時に設けられる。

【 0 0 0 7 】

この測定装置は、長手方向に放射線測定器が複数配列されてはいるが、土壌中の深さ方向の放射性物質の分布を測定する測定装置ではないので、これを土壌中に埋め込んでガンマ線を測定できないことは明らかである。

30

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 3 - 2 8 9 6 2 号公報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 2 - 1 3 9 5 7 3 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

しかしながら、海底においてこうした測定を行うことは、地上において同様の測定を行う場合と比べて、非常に困難である。この理由について、図 5 を元に説明する。図 5 (a) は、地上において放射線物質の深さ方向の分布を測定装置 2 0 0 を用いて測定する場合を模式的に示す図である。測定装置 2 0 0 においては、放射線検出器が用いられており、土壌 G 中の放射性物質が発したガンマ線を検出するものとする。放射線検出器は、特許文献 1 に記載のように地面 S 1 上におけるガンマ線のみを検出してもよく、土壌 G 中に放射線検出器を貫入し、土壌 G 中でガンマ線を検出してもよい。ここで、いずれの場合も深さの基準となる地面 S 1 を認識し、放射線検出器を用いて地面 S 1 や地面 S 1 よりも下側の土壌 G 中におけるある一定の深さにおける放射線を測定することが必要となる。この際、測定装置 2 0 0 は地面 S 1 に固定する、あるいは地面 S 1 に固定した支持台から、地面

40

50

S 1 に開けた穴を介してこの測定を行うことができる。

【 0 0 1 0 】

これに対して、海底で上記の測定を行う場合を模式的に示したのが図 5 (b) である。この場合には、測定は実際には海上の船舶等から遠隔操作によって行われる。このため、海面 S 2 から海底面 S 3 までの海水 O 中の距離 D を正確に求めた上で、測定装置 2 0 0 を用いて、海底面 S 3、あるいは海底面 S 3 よりも下側の土壌 G におけるある一定の深さの範囲 R における測定を行うことが必要である。しかしながら、海上から正確に海底面 S 3 を認識することは困難であり、特に $D \gg R$ となるような深い海底においてはこれは非常に困難である。更に、海面 S 2 の高さは波浪等によって変動するため、通常は海上の船舶等から海底面 S 3 までの距離 D は測定中において一定とはならない。また、一般に海底面 S 3 は地面 S 1 と比べて軟らかいため、測定装置 2 0 0 と海底面 S 3 の位置関係も、図 5 (a) における測定装置 2 0 0 と地面 S 1 の位置関係と比べると不定性が大きい。このため、海底で上記の測定を正確に行うためには、測定装置 2 0 0 以外にも、この測定装置 2 0 0 あるいは放射線検出器と海底面 S 3 との位置関係を正確に認識するための装置が別途必要となった。また、地面 S 1 から測定を行う図 5 (a) の場合と異なり、波浪や海流等の影響によって、測定装置 2 0 0 が測定中に海底面 S 3 から離れることもあり、測定装置 2 0 0 と海底面 S 3 との位置関係も不安定となった。すなわち、放射線検出器と海底面 S 3 との間の位置関係を海上から正確に認識することは困難であった。

10

【 0 0 1 1 】

このため、仮に特許文献 2 に記載の測定装置を海底の土壌中に埋め込んで測定を行った場合でも、測定装置の位置 (深さ) を基準とした放射性物質の分布が測定されるだけであり、海底面 S 3 を基準とした分布を正確に求めることは困難であった。

20

【 0 0 1 2 】

特許文献 1 に記載の技術を用いる場合においても、海底面 S 3 の位置を正確に認識することが前提であるために、同様の問題が発生する。更に、特許文献 1 に記載の技術においては、深い海底の泥等を構成する物質組成を正確に認識することは困難であるため、海底面 S 3 が正確に認識できたとしても、海底面 S 3 におけるガンマ線強度から、その下における放射性物質の深さ方向の分布を正確に推定することは困難であった。

【 0 0 1 3 】

従って、海底における深さ方向の放射線物質の分布を正確に測定することは困難であった。

30

【 0 0 1 4 】

本発明は、かかる問題点を鑑みてなされたものであり、土壌中の放射性物質の分布を正確に測定することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 5 】

本発明は、上記課題を解決すべく、以下に掲げる構成とした。

本発明の請求項 1 に係る放射性物質分布測定装置は、土壌の中に存在する放射性物質が発する放射線を検出することによって、前記土壌の中における前記放射性物質の深さ方向の分布を測定する放射性物質分布測定装置であって、長手方向における一端の側から前記土壌の中に貫入され、前記長手方向に配列された複数の放射線検出部が内部に設けられたヘッド部を具備することを特徴とする。

40

この発明においては、ヘッド部中の放射線検出部によって、測定対象となる放射性物質が発する放射線 (ガンマ線等) の深さ方向の強度分布が検出される。この検出結果を用いて、この放射性物質の土壌中の深さ方向の分布が算出される。

本発明の請求項 2 に係る放射性物質分布測定装置において、前記ヘッド部は、前記土壌の上にある空気又は水と前記土壌との境界を認識する境界認識手段を具備することを特徴とする。

この発明においては、境界認識手段によって、水底における水底面あるいは地上における地面が認識される。

50

本発明の請求項 3 に係る放射性物質分布測定装置は、複数の前記放射線検出部が前記境界認識手段として用いられたことを特徴とする。

この発明においては、複数の放射線検出部自身が境界認識手段の少なくとも一部として用いられる。

【 0 0 1 6 】

本発明の請求項 4 に係る放射性物質分布測定装置は、前記ヘッド部と、前記ヘッド部の前記長手方向における他端が固定され、複数の前記放射線検出部の出力信号を処理する信号処理部を内蔵し、前記長手方向と垂直な方向において前記ヘッド部よりも大きな外径をもつ測定ユニット本体と、を具備する測定ユニットが用いられたことを特徴とする。

この発明においては、ヘッド部よりも太い測定ユニット本体がヘッド部に固定されて用いられる。測定ユニット本体には、信号処理部が設けられる。

本発明の請求項 5 に係る放射性物質分布測定装置において、前記信号処理部は、検出された放射線に対応して前記放射線検出部から出力されたパルス状の出力信号を増幅する増幅器を具備し、前記増幅器によって増幅された前記出力信号のうち、予め定められた範囲のパルス高をもつ前記出力信号を計数することを特徴とする。

この発明においては、測定ユニット本体に増幅器が設けられ、増幅後の出力信号が係数される。

本発明の請求項 6 に係る放射性物質分布測定装置において、前記信号処理部は、予め定められた複数の前記範囲毎に前記出力信号を計数する多重波高分析器を具備することを特徴とする。

この発明においては、多重波高分析器が用いられることにより、複数のチャンネル（複数の放射線（ガンマ線等）エネルギー）毎の放射線（ガンマ線等）強度が検出できる。

本発明の請求項 7 に係る放射性物質分布測定装置において、前記信号処理部は、前記出力信号の計数結果を記憶する記憶部を具備することを特徴とする。

この発明においては、検出結果を記憶する記憶部が用いられる。

本発明の請求項 8 に係る放射性物質分布測定装置において、複数の前記放射線検出部は前記ヘッド部で、前記信号処理部は前記測定ユニット本体で、それぞれ密封された構成を具備することを特徴とする。

この発明においては、放射線検出部、信号処理部は共に密封される。

本発明の請求項 9 に係る放射性物質分布測定装置において、前記測定ユニット本体は、前記信号処理部及び各前記放射線検出部に電力を供給する電源部を具備することを特徴とする。

この発明においては、電源となる電源部も測定ユニット本体中に設けられる。

【 0 0 1 7 】

本発明の請求項 10 に係る放射性物質分布測定装置は、前記測定ユニットを前記長手方向における一定の範囲で移動可能として収容し、かつ前記ヘッド部を前記長手方向で貫通させる底面を具備するフレームが、前記測定ユニットと組み合わせられて用いられたことを特徴とする。

この発明においては、フレームが測定ユニットと組み合わせて用いられる。測定ユニットはフレームに対して上下方向の一定の範囲で可動とされる。

本発明の請求項 11 に係る放射性物質分布測定装置は、前記測定ユニット本体における前記ヘッド部が固定された側と反対側に錘が着脱自在とされたことを特徴とする。

この発明においては、測定ユニット本体に錘が装着される。

本発明の請求項 12 に係る放射性物質分布測定装置は、前記測定ユニット本体における前記ヘッド部が固定された側と反対側に、ワイヤが係止されるワイヤ係止部が設けられたことを特徴とする。

この発明においては、測定ユニット本体の上側にワイヤ係止部が設けられる。

本発明の請求項 13 に係る放射性物質分布測定装置は、前記長手方向における前記ヘッド部の一端側が鋭角形状とされたことを特徴とする。

この発明においては、ヘッド部の先端（下端）が鋭角形状とされる。

【 0 0 1 8 】

本発明の請求項 1 4 に係る放射線物質分布測定方法は、放射性物質分布測定装置における前記ヘッド部を前記土壌の中に貫入させて前記放射性物質が発する放射線を各前記放射線検出部に検出させ、前記放射線を各前記放射線検出部が検出した検出強度より、前記放射性物質の前記土壌の中における深さ方向の分布を算出することを特徴とする。

この発明においては、前記のヘッド部を土壌中に貫入し、放射線検出部に放射線を検出させることによって、放射性物質の分布が測定される。

本発明の請求項 1 5 に係る放射性物質分布測定方法は、各前記放射線検出部が検出した前記検出強度より前記放射線の深さ方向の強度分布を測定し、前記強度分布の変動率が局所的に高い箇所のうち最も上方の箇所を、前記土壌の上にある空気又は水と前記土壌との境界と認識することを特徴とする。

この発明においては、検出された放射線強度分布において、強度分布の変動率が局所的に高い箇所のうち最も上方の箇所が地上における地面、水中における水底面と認識される。

【 0 0 1 9 】

本発明の請求項 1 6 に係る放射性物質分布測定方法は、複数の前記放射線検出部のうち、 i 番目の前記放射線検出部の深さ z の箇所の土壌からの前記放射線に対する感度係数を $R_i(z)$ とした際に、前記放射線を発する前記放射性物質の深さ方向の分布 $f(z)$ と i 番目の前記放射線検出部の検出強度 g_i が (1) 式によって定まることを用いて前記 $f(z)$ を算出することを特徴とする。

【 数 1 】

$$g_i = \int f(z) \cdot R_i(z) dz \quad \dots (1)$$

この発明においては、検出結果である g_i から上記 (1) 式を用いて深さ z 方向の放射性物質の分布 $f(z)$ が算出される。

本発明の請求項 1 7 に係る放射性物質分布測定方法は、測定される前記土壌を深さ方向に $j = 0 \sim M$ (M は整数) に分割し、複数の前記放射線検出部のうち i 番目の前記放射線検出部の j に対応した深さの箇所の土壌からの前記放射線に対する感度係数を R_{ij} とした際に、前記放射線を発する前記放射性物質の j に対応した深さにおける存在量 f_j と i 番目の前記放射線検出部の検出強度 g_i が (2) 式によって定まることを用いて前記 f_j を算出することを特徴とする。

【 数 2 】

$$g_i = \sum_{j=0}^M f_j \cdot R_{ij} \quad \dots (2)$$

この発明においては、検出結果である g_i から上記 (2) 式を用いて深さ z 方向の放射性物質の分布 f_j が算出される。

本発明の請求項 1 8 に係る放射性物質分布測定方法は、前記ヘッド部を水平方向における異なる複数の箇所の前記土壌に貫入させ、前記土壌の中の前記放射性物質の 3 次元分布を測定することを特徴とする。

この発明においては、水平方向における異なる複数の箇所に貫入させて上記の測定を行うことによって、放射性物質の 3 次元分布が測定される。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 0 】

本発明の放射性物質分布測定装置、放射性物質分布測定方法は以上のように構成されているので、特に水底の土壌中における放射性物質の分布を高精度で測定することができる。

。

この際、境界認識手段が用いられることによって、深さ分布測定の基準となる水底面等を、放射性物質分布測定装置自身で認識することができる。このため、土壌中における放射性物質の分布を正確に測定することができる。

この際、放射線検出部自身を境界認識手段としても使用することができ、この場合には、ヘッド部の構成を単純化することができる。また、例えば放射線検出部がガンマ線や中性子線を検出するものである場合、ヘッド部を全て金属で構成することが可能となり、別途に境界認識手段のヘッド部での開孔等も必要が無くなるため、土壌中に貫入するヘッド部として強度が確保できる。

また、フレームと測定ユニットを組み合わせた場合には、ヘッド部の貫入深さを正確に定めることができるため、特に高精度の測定が可能であり、かつその操作も容易となる。

また、信号処理部が設けられた測定ユニット本体を用いることにより、放射線検出器からの出力信号にノイズが混入することが抑制され、より高精度の測定が可能となる。特に、記憶部や電源部も測定ユニット本体側に設ければ、水中の測定ユニット側と水上との間の電氣的接続は全く不要となるため、有効である。

また、多重波高分析器を用いることにより、1回の測定で、複数種類の核種（放射性物質）の分布を計測することができる。

また、錘を測定ユニット本体上部に装着して測定ユニットを重くすることによって、あるいはヘッド部の下端を鋭角形状とすることにより、ヘッド部を確実に土壌中に貫入させることができる。測定ユニット本体上部にワイヤが係止できる構成とすれば、ワイヤを用いることによって、測定ユニットの水中への投入及び回収が、フレームの有無に関わらず容易となる。

更に、放射線強度分布の変動率を用いて海底面のヘッド部に対する位置を認識する場合には、ヘッド部の土壌中への貫入深さが不定である場合であっても、この位置を基準とした放射線物質分布が測定できる。

また、放射性物質の分布を（1）式より求める場合には、これをより正確に算出することができる。

一方、放射性物質の分布を（2）式より求める場合には、これをより簡易に算出することができる。

また、上記の構成の放射性物質分布測定装置を用いた測定は極めて単純であるため、これを水平方向における異なる複数の箇所を繰り返して行うことが容易である。このため、放射性物質の深さ方向の分布のみならず、その3次元分布も容易に測定することができる。

。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の実施の形態に係る放射性物質分布測定装置が使用される際の形態を示す図である。

【図2】本発明の実施の形態に係る放射性物質分布測定装置における測定ユニットの構成を示す図である。

【図3】本発明の実施の形態に係る放射性物質分布測定装置によって得られた深さ方向のガンマ線強度分布と実際の放射性物質の深さ方向の分布を模式的に示す図である。

【図4】本発明の実施の形態に係る放射性物質分布測定装置における測定ユニットの変形例の構成を示す図である。

【図5】地上（a）と海底（b）における土壌中の放射線物質分布の測定を行う際の形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、本発明を実施するための形態となる放射性物質分布測定装置、放射性物質分布測定方法について説明する。この放射性物質分布測定装置は、海底における放射性物質の深さ方向における分布を測定するために好適に用いられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

図 1 は、この放射性物質分布測定装置（測定装置）によって測定が行われる際の形態を模式的に示す図である。この放射性物質分布測定装置においては、測定ユニット 1 0 とフレーム 5 0 とが組み合わされて使用される。測定ユニット 1 0 の上部にはワイヤ係止部 1 1 が設けられ、ワイヤ係止部 1 1 に係止された長いワイヤ 1 0 0 を用いて、この放射性物質分布測定装置は、海面 S 2 の台船から海底面 S 3 に向かって投入される。ここで、図 1 (a) はこの放射性物質分布測定装置を海面 S 2 下の海水 0 中への投入直後、図 1 (b) は海底面 S 3 への着底直後、図 1 (c) は着底後の一定時間経過後、における形態をそれぞれ示す。実際の測定は、図 1 (c) の状態で行われる。

【 0 0 2 4 】

ここで、測定ユニット 1 0 は、測定ユニット本体 2 0 と、その下側に固定されたヘッド部 3 0 で構成される。細長いヘッド部 3 0 は、その長手方向（上下方向）の一端（下端）側から土壌 G 中に貫入される。ヘッド部 3 0 の他端（上端）は測定ユニット本体 2 0 に固定され、測定ユニット本体 2 0 の水平方向における外径はヘッド部 3 0 の外径よりも大きくされる。測定ユニット 1 0 は、フレーム 5 0 よりも重い、あるいは、充分重くなるように測定ユニット 1 0 には錘が装着される。測定ユニット本体 2 0 の外径がヘッド部 3 0 の外径よりも大きいと、重量確保や錘の装着が容易となる。

【 0 0 2 5 】

フレーム 5 0 は、フレーム上面（上面）5 1 とフレーム底面（底面）5 2 を具備し、測定ユニット本体 2 0 は、フレーム上面 5 1 に設けられた上側開口部 5 3 を貫通するようにフレーム 5 0 と組み合わされている。測定ユニット本体 2 0 の上側と下側には、上側開口部 5 3 を貫通しない程度に部分的に径が太くされた上側ストッパ 2 1 と下側ストッパ 2 2 がそれぞれ設けられている。測定ユニット本体 2 0 （測定ユニット 1 0 ）は、上側開口部 5 3 中を上下に移動自在となっている。

【 0 0 2 6 】

また、フレーム 5 0 におけるフレーム底面 5 2 の上側開口部 5 3 の直下には、下側開口部 5 4 が形成されており、ヘッド部 3 0 は、下側開口部 5 4 を貫通する。ただし、下側ストッパ 2 2 は下側開口部 5 4 を貫通できないように形成される。このように、測定ユニット 1 0 は、フレーム 5 0 に対して上下方向に移動可能な状態とされて装着されるが、この移動範囲は、上側ストッパ 2 1 と下側ストッパ 2 2 により一定の範囲に制限される。

【 0 0 2 7 】

このため、図 1 (a) に示されるように、ワイヤ 1 0 0 を上側に装着した状態でこの放射性物質分布測定装置を海中に投入した場合には、フレーム 5 0 はその自重によって相対的に下側に移動し、この際に下側ストッパ 2 2 がフレーム上面 5 1 に係止された状態となる。徐々にこの放射性物質分布測定装置の深度が深くなった場合においても、図 1 (a) の状態が維持される。

【 0 0 2 8 】

図 1 (b) は、この状態で放射性物質分布測定装置が着底した直後の形態を示す。ここでは、広い面積をもつフレーム底面 5 2 が着底する。

【 0 0 2 9 】

海底面 S 3 は柔らかい泥等で構成されているものの、フレーム底面 5 2 の面積は広く、かつフレーム 5 0 の重量は軽いと、フレーム 5 0 は海底面 S 3 で係止され、海底面 S 3 下の土壌 G 側に侵入しにくい。しかしながら、図 1 (c) に示されるように、測定ユニット 1 0 の最下部であるヘッド部 3 0 は先端が細く、かつ測定ユニット 1 0 の重量が重いために、ヘッド部 3 0 は海底面 S 3 よりも下側の土壌 G 中に侵入する。その後、下側ストッパ 2 2 がフレーム底面 5 2 、あるいは上側ストッパ 2 1 がフレーム上面 5 1 に係止されることにより、測定ユニット 1 0 の下側への移動は停止する。

【 0 0 3 0 】

測定ユニット 1 0 の下側への移動が停止した図 1 (c) の状態で、海底面 S 3 よりも下側での放射線測定が行われる。なお、ヘッド部 3 0 を土壌 G に貫入させるために、測定ユ

10

20

30

40

50

ニット10の重量を重くすることが好ましく、このために、測定ユニット10の上部、例えば上側ストッパ21に錘を装着することが好ましい。上側ストッパ21に錘を装着した場合には、錘の脱着作業が特に容易となる。

【0031】

図2は、測定ユニット10の構成を模式的に示す図である。ヘッド部30の先端(下端)には、下側が鋭角形状とされた先端部31が設けられているため、ヘッド部30は海底面S3よりも下側に自重によって侵入することができる。

【0032】

ヘッド部30における先端部31の上側には、上下方向に複数(図中では6つ)の放射線検出部40が単一の基板32上に配列されて設けられている。各放射線検出部40は、ガンマ線を検出し、検出したガンマ線に対応してパルス状の出力信号を発する。

10

【0033】

各放射線検出部40は、ガンマ線(放射線)を吸収することによって可視光を発するシンチレータ41と、この可視光を受けてパルス状の電気信号を出力するフォトダイオード42とで構成される。シンチレータ41としては、例えば1辺が1cm程度のCsI(Tl)結晶が用いられる。シンチレータ41は吸収したガンマ線光子のエネルギーに比例した数の可視光の光子を発するため、シンチレータ41が発した可視光を受けたフォトダイオード42は、検出したガンマ線光子に対応したパルス状の出力をする。このため、一定時間内におけるこのパルス数が放射線(ガンマ線)強度に対応し、このパルス高は、検出したガンマ線のエネルギーに比例する。このため、フォトダイオード42の一定時間内のパルス出力において、特定のパルス高をもつパルスを計数することは、特定のエネルギーをもつガンマ線の強度を測定することになる。ここでは、この構成の放射線検出部40が上下方向に複数配列されているために、深さ方向におけるガンマ線の強度の分布をそのガンマ線のエネルギー毎に計測することができる。

20

【0034】

なお、基板32上において、各放射線検出部40の間には鉛やタングステン等を用いた遮蔽板33が設けられおり、各放射線検出部40が水平方向に局在した放射線検出をしやすい、測定の精度を高めるために用いられる。ただし、遮蔽板33の有無に関わらず後述する解析方法によって放射線物質の分布を算出することができる。

【0035】

また、ガンマ線は金属を透過可能なため、ヘッド部30のヘッド外壁34は、開孔を有していないステンレス等の金属材料で構成することができ、土壌G中に貫入させる際に充分耐えうる強度を確保することができる。また、ガンマ線が透過可能な金属以外の材料、例えば強化プラスチックやセラミックでヘッド外壁34を構成することも可能である。また、放射線検出部40が配列された基板32は、着底時の衝撃を緩和するため、ヘッド部30内の上部、下部において、緩衝材35を介して支持される構成を採っている。ヘッド部30の上部においては、留め金具36によって、緩衝材35は測定ユニット本体20に固定され、これらの緩衝材35は、基板32のヘッド部30内における位置決めを行う機能も有している。

30

【0036】

上記したフォトダイオード42からのパルス状の出力信号を処理するための信号処理部23が、測定ユニット本体20に内蔵されている。信号処理部23において、各放射線検出部40からの出力信号は、増幅器(AMP)24に入力し、増幅される。この出力は、多重波高分析器(マルチチャンネルアナライザ:MCA)25に入力する。多重波高分析器25においては、パルス高における複数の範囲毎にチャンネルが設定され、入力したパルス信号の数の計測を各チャンネル毎に行う。このチャンネルは、計測対象となる核種が発する特性ガンマ線のエネルギーと対応させることができ、例えば ^{22}Na の発する特性ガンマ線として511keV、 ^{137}Cs が発する特性ガンマ線として662keVのガンマ線を、別個のチャンネルにおいて検出することができる。この検出結果は、例えばフラッシュメモリ等で構成された記憶部26に記憶される。

40

50

【 0 0 3 7 】

また、フォトダイオード 4 2、信号処理部 2 3（増幅器 2 4、多重波高分析器 2 5、記憶部 2 6）へ電力を供給する電源部 2 7も、信号処理部 2 3と共に、測定ユニット本体 2 0の内部に設けられている。これにより、この測定ユニット 1 0によって、図 1（c）の状態における各放射線検出部 4 0による特定のエネルギーのガンマ線の検出結果（カウント数）等を、記憶部 2 6に記憶させることができる。その後、図 1におけるワイヤ 1 0 0を用いて放射性物質分布測定装置を引き上げ、記憶部 2 6から検出結果を読み出すことができる。なお、上記の構成に加え、マイクロコンピュータ等を測定ユニット本体 2 0の内部に設け、上記の測定全体の制御を行うこともできる。例えば、放射性物質分布測定装置を海中に投入し、十分な時間が経過して図 1（c）の状態となった後に、所定の時間内においてのみ上記の測定を行い、その結果を記憶部 2 6に記憶させるように設定することもできる。

10

【 0 0 3 8 】

放射線検出部 4 0はヘッド部 3 0中で、信号処理部 2 3、電源部 2 7は測定ユニット本体 2 0中でそれぞれ密封されているため、これらが海水 0に悪影響を受けないように処理されている。なお、ガンマ線の透過力は高いため、放射線検出部 4 0が密封されても放射線検出部 4 0は土壌 Gからのガンマ線を検出することができる。

【 0 0 3 9 】

上記の放射性物質分布測定装置によって、海底面 S 3を基準とした土壌 G中の放射性物質の深さ方向の分布を測定することができる。以下では、まず、土壌 G中の放射線物質の深さ方向の分布と、各放射線検出部 4 0によって計測されるガンマ線強度との間の関係について説明する。ここで、ガンマ線強度とは、特定のエネルギーのガンマ線（多重波高分析器 2 5における特定のチャンネル）の計測数を意味するものとし、このガンマ線強度は、このエネルギーのガンマ線を発する核種放射性物質の存在比率（濃度）に対応する。

20

【 0 0 4 0 】

ここで、図 2の構成において、各放射線検出部 4 0が検出するガンマ線として、最もその寄与が大きくなるのは、各放射線検出部 4 0が存在する深さにおける土壌 Gから発せられたガンマ線であることは明らかである。しかしながら、このガンマ線は土壌中の各点から等方的に発せられるため、ある放射線検出部 4 0が検出するガンマ線は、この放射線検出部 4 0が存在する深さを含んだ上下方向の領域中に含まれる放射性物質が発するガンマ線である。このため、上から i 番目の放射線検出部 4 0によって検出される特定のチャンネルのカウント数 g_i は、深さを z として、(1) 式で表される。

30

【 0 0 4 1 】

【 数 3 】

$$g_i = \int f(z) \cdot R_i(z) dz \quad \dots (1)$$

【 0 0 4 2 】

ここで、 $f(z)$ は、対象となる放射性物質の深さ方向における濃度であり、算出すべき対象である。 $R_i(z)$ は、i 番目の放射線検出部 4 0における深さ z の箇所の放射性物質の感度計数である。前記の通り、i 番目の放射線検出部 4 0の存在する深さを z_i とすると、 $R_i(z)$ は $R_i(z_i)$ で最大値をとるものの、 $z = z_i$ 以外の点においても $R_i(z)$ は有限値をとる。このため、厳密に $f(z)$ を求めるためには、 $R_i(z)$ を求めた上で、積分方程式である(1) 式を解く必要がある。

40

【 0 0 4 3 】

しかしながら、実際には、(1) 式において深さ方向を $j = 0$ （海底面 S 3）～ M （土壌 G中の最大深さ）に離散化し、 $R_i(z)$ を R_{ij} 、 $f(z)$ も離散的に f_j と書き換えた(2) 式を用いて近似することができる。

【 0 0 4 4 】

50

【数 4】

$$g_i = \sum_{j=0}^M f_j \cdot R_{ij} \quad \dots (2)$$

【0045】

ここで、 R_{ij} は、土壌 G の主成分となる物質（放射性物質以外）で定まり、実験や計算によって予め求めることが可能である。この場合には、測定された各 g_i を用いて連立方程式を解くことにより f_j を算出することができる。あるいは、最小自乗法等を用いることにより、最も確度の高い f_j を算出することができる。すなわち、土壌中の放射性物質の深さ方向の分布を算出することができる。

10

【0046】

次に、土壌 G と海水 O との界面である海底面 S 3 の推定方法について説明する。図 3 (a) は、放射性物質が含まれる土壌（汚染土壌 G 1）が海底面 S 3 下に一様に存在している場合における放射性物質の深さ方向の分布（実線）と、これによって計測されるガンマ線強度の深さ方向の分布（破線）を模式的に示す。一般に、ガンマ線を発する放射性物質の密度は海水の密度（ 1 g / cm^3 ）よりも大きいために、海水 O 中を沈殿し、海水 O 中に留まる可能性は低いいため、放射性物質は、図 3 (a) に実線で示されるような分布をする場合が多い。測定されるガンマ線強度の分布は、この放射性物質の分布に対応するが、一般的には両者は一致しないことは前記の通りである。

20

【0047】

ここで、海水 O 中における海底面 S 3 よりも充分離れた上側の箇所におけるガンマ線強度は、バックグラウンドレベルとなり、低くなる。一方、前記の通り、放射性物質の分布は海底面 S 3 で急峻に変化し、これよりも下側の汚染土壌 G 1 中で急激に大きくなる。これに対応したガンマ線強度は、図 3 (a) の破線で示されるように、前記の $R_i(z)$ あるいは R_{ij} の効果により海底面 S 3 における変化は緩やかとなるが、やはり海底面 S 3 で大きく変化する点では同様である。このため、この変化より、海底面 S 3 を推定することができる。海底面 S 3 を認識できる精度は、隣接する放射線検出部 40 の間隔に依存し、この間隔が狭いほど高精度で海底面 S 3 を認識することができる。また、ガンマ線強度が変動する領域がこの間隔に比べて長い場合に、実際にどのガンマ線強度の箇所が海底面 S 3 に対応するかについては、 R_{ij} 等と同様に、実験、計算によって算出することができる。

30

【0048】

また、放射性物質を含む土壌（汚染土壌 G 1）の上に、放射性物質を含まない土壌（非汚染土壌 G 2：ヘドロ等）が堆積する場合もある。図 3 (b) は、この場合における放射性物質の深さ方向の分布（実線）と、これによって計測されるガンマ線強度の深さ方向の分布（破線）を模式的に示す。この場合における放射性物質の分布は、図 3 (a) において海底面 S 3 において急峻に変動していたのに対し、汚染土壌 G 1 と非汚染土壌 G 2 の土壌中界面 S 4 において急峻に変動する。このため、ガンマ線強度は、土壌中界面 S 4 で大きく変化する。

40

【0049】

また、前記の通り、海水の密度は約 1 g / cm^3 であるのに対して、汚染土壌 G 1、非汚染土壌 G 2 の密度は通常はこの 2 倍程度である。このため、ガンマ線は非汚染土壌 G 2 からは発せられないものの、非汚染土壌 G 2 では海水 O と比べて多く散乱される。これにより、非汚染土壌 G 2 中でガンマ線が検出される効率は、海水 O 中でガンマ線が検出される効率よりも高くなり、いわゆるビルドダウン現象によって、非汚染土壌 G 2 と海水 O の界面である海底面 S 3 で、検出されるガンマ線強度が大きく変化する。こうしたビルドダウンあるいはビルドアップの効果も、ガンマ線の吸収と散乱を考慮した計算によって算出することができる。

50

【 0 0 5 0 】

すなわち、非汚染土壌 G 2 が存在し土壌中界面 S 4 が海底面 S 3 下に存在する場合（図 3（b））においても、海底面 S 3 は、検出されるガンマ線強度が急激に変化する箇所として認識することができる。土壌 G 中において、放射性物質濃度が大きく異なる複数の層が形成されていた場合においても、この点は同様である。すなわち、深さ方向においてガンマ線強度の変動率が局所的に高い複数の箇所のうち、最も上方（海面 S 2 に近い側）に存在する箇所が海底面 S 3 に対応する。

【 0 0 5 1 】

すなわち、上記の放射性物質分布測定装置を用いて深さ方向におけるガンマ線の強度分布を測定することによって、海底面 S 3 を認識することができる。この強度分布から、土壌 G 中の放射性物質の深さ方向の分布を算出することもできる。このため、海底面 S 3 を基準として土壌 G 中の深さ方向の放射性物質の分布を正確に算出することができる。

【 0 0 5 2 】

図 1 の構成においては、測定ユニット 1 0（ヘッド部 3 0）の貫入深さが下側ストッパ 2 2 がフレーム底面 5 2 と当接すること等によって定まるものとしたが、ヘッド部 3 0 が充分した側まで下降せず、このような状態とならない場合もある。あるいは、測定ユニット 1 0 を係止するフレーム底面 5 2 も海底面 S 3 下に潜る場合がある。こうした場合には、ヘッド部 3 0 の貫入深さ（ヘッド部 3 0 と海底面 S 3 の位置関係）は不定となる。このようにヘッド部 3 0 の貫入深さが不定となった場合でも、上記のとおりヘッド部 3 0 と海底面 S 3 との間の位置関係を認識することができる。

このため、図 1 に構成において、測定ユニット 1 0 を強制的に可動範囲の下端部まで移動させる必要はなく、測定ユニット 1 0 の自重のみによってヘッド部 3 0 を土壌 G 中に貫入させればよい。このため、フレーム 5 0 を用いずに上記の測定を行うこともできる。

【 0 0 5 3 】

更に、小型の増幅器をヘッド部 3 0 中に設け、信号処理は海上まで延ばされたリード線を介して行う構成とした場合には、信号処理部 2 3 あるいは測定ユニット本体 2 0 も不要である。ただし、放射線検出器 4 0 からの出力にノイズが混入することが抑制された状態で計測を行い、高精度の測定を行うためには、海上まで延ばされた長いリード線を用いることのない図 2 の構成が特に好ましい。

【 0 0 5 4 】

また、上記の例においては、放射線検出部 4 0 は、シンチレータ 4 1 とフォトダイオード 4 2 で構成されていたが、放射性物質が発するガンマ線の計数とエネルギー測定（あるいはエネルギーによる識別）ができる限りにおいて、他の構成の放射線検出部を用いることもできる。例えば、フォトダイオードの代わりに光電子増倍管を用いてもよい。また、シンチレータを用いずに半導体検出器で直接ガンマ線を検出してよい。放射線検出器として、検出すべきガンマ線のエネルギーあるいはこれを発する核種（放射性物質の種類）によって最適なものを用いることができる。

【 0 0 5 5 】

あるいは、放射線検出部は、ガンマ線以外の放射線、例えばベータ線や X 線、中性子線等を検出することもできる。これらは、分布を測定すべき放射性物質の種類に応じて選定され、検出する放射線に応じて、放射線検出部の構成は適宜設定可能である。

【 0 0 5 6 】

また、上記の例においては、信号処理部 2 3 において多重波高分析器 2 5 が用いられたが、検出するガンマ線のエネルギー（核種）が予め 1 種類に定まっている場合には、多重波高分析器 2 5 の代わりに、単一チャンネルのパルス計数器を用いてもよい。

【 0 0 5 7 】

また、フレーム 5 0 を用いずにヘッド部を海底面 S 3 に貫入できる構成であれば、同様の測定が可能である。この場合においても、測定中にヘッド部が深さ方向に移動しない限りにおいて、複数の放射線検出部 4 0 が設けられたヘッド部 3 0 を用いて上記のとおり海底面 S 3 の検出が可能であるため、同様の測定が可能である。しかしながら、フレーム

10

20

30

40

50

50を用いた図1の構成によって、測定ユニット10を安定させた状態で測定が可能となるため、図1の構成が特に好ましい。

【0058】

上記の放射性物質分布測定装置の変形例について以下に説明する。上記のとおり、上記の放射性物質分布測定装置においては、複数の放射線検出部40は、放射線強度分布測定手段としても機能する一方で、海底面S3を認識する境界認識手段としても機能する。これに対して、以下に説明する変形例においては、複数の放射線検出部40を放射線強度分布測定手段として上記と同様に用いる一方で、これと独立な境界認識手段が用いられる。また、測定ユニット内部において、海底面を認識し、これを元にした制御を行うこともできる。

10

【0059】

図4(a)は、この放射性物質分布測定装置における測定ユニット110の構成を示す図であり、図2に対応する。図4(b)は、そのヘッド部130の長手方向に垂直な断面の構造を模式的に示す図である。図4(a)においても、図2における機械的構造の構成要素(基板32、遮蔽板33、ヘッド外壁34、緩衝材35、留め金具36)は同様に用いられているが、記載は省略されている。

【0060】

ここで、先端部31、複数の放射線検出部40、増幅器(AMP)24、多重波高分析器(MCA)25、記憶部26、電源部27については前記と同様である。この構成においては、放射線検出部40と同様に、長手方向(上下方向)に複数の境界検出部60が境界認識手段として用いられている。境界検出部60の個数と放射線検出部40の個数は同一である必要はない。境界検出部60は、ヘッド部130の外部の土壌の状況を可視光によって認識する。

20

【0061】

図4(b)においては、境界検出部60とその周辺の構成が模式的に示されている。境界検出部60においては、同一の高さにおいて、LED等で構成され照明光(可視光)を発する照明部61と、この照明光の散乱光や反射光を検出するフォトダイオード62が設けられている。また、ヘッド部130の外壁におけるこれらと隣接する側面においては、この光を透過させる透明な窓63が設けられている。

【0062】

ヘッド部130の外側に土壌G(G1、G2)が存在するか、海水Oが存在するかによって、フォトダイオード62の検出信号強度が異なる。あるいは、土壌G中、海水O中においては、それぞれこの検出強度は深さ方向で大きく変動することはない。このため、例えば上からm番目のフォトダイオード62の検出信号とm+1番目のフォトダイオード62の検出信号が大きく異なった場合には、海底面S3はm番目のフォトダイオード62とm+1番目のフォトダイオード62の位置(深さ)の間に存在すると認識することができる。また、境界検出部60と放射線検出部40の位置関係は、ヘッド部130内で固定されているために、複数の放射線検出部40で測定されたガンマ線強度分布を、複数の境界検出部60を用いて認識された海底面S3を基準として求めることができる。この際、照明光を用いなくともフォトダイオード62からの出力が得られる場合には、照明部61は不要である。また、照明部61は各フォトダイオード62に対応させて設ける必要はなく、ヘッド部130における1箇所、あるいは測定ユニット本体120に1箇所あるいは複数箇所に設けることもできる。この境界検出部60を境界認識手段として用いた場合は、構成は複雑になるが海底面S3を求める処理が単純化される。一方、複数の放射線検出部40を境界認識手段として機能させた場合は、構成が単純化されるが処理がやや複雑になる。また、例えば放射線検出部がガンマ線やX線、中性子線等を検出するものである場合、ヘッド部30を金属や強化プラスチックやセラミック等で構成することが可能となり、透明な窓63用の開孔も必要が無くなるため、土壌中に貫入するヘッド部30として更に強度が確保できる。

30

40

【0063】

50

ここで用いられる測定ユニット本体 1 2 0 中に設けられた信号処理部 1 2 3 においては CPU 2 8 が設けられ、CPU 2 8 は、上記の通りに海底面 S 3 のヘッド部 1 3 0 に対する位置を認識し、この情報を元に、この海底面 S 3 を基準として複数の放射線検出部 4 0 で測定されたガンマ線強度分布を記憶部 2 6 に記憶させる。

【 0 0 6 4 】

すなわち、図 4 に示された測定ユニット 1 1 0 を用いても、海底の土壌中における放射性物質の深さ方向の分布を正確に測定することができる。この際、CPU 2 8 は、例えば、この測定ユニット 1 1 0 が投下されてから各フォトダイオード 6 2 の出力が時間的に安定した場合に、測定ユニット 1 1 0 の下降が停止したと判断し、ガンマ線強度の計数を開始する制御を行うこともできる。また、図 4 の構成において、CPU 2 8 を用いずに、単に複数のフォトダイオード 6 2 の出力を記憶部 2 6 に記憶させ、この測定ユニット 1 1 0 を引き上げた後で上記の解析を行ってもよい。

10

【 0 0 6 5 】

このように、本発明の実施の形態に係る放射線分布測定装置においては、複数の放射線検出部によって、土壌中の放射線（ガンマ線）分布を測定することができ、かつ土壌と海水の境界である海底面 S 3 を認識する境界認識手段を具備することによって、放射性物質の深さ方向の分布を正確に測定することができる。このうち、図 2 に示された測定ユニット 1 0 のように、複数の放射線検出部 4 0 を境界認識手段として用いてもよく、図 4 に示された測定ユニット 1 1 0 のように、複数の放射線検出部 4 0 とは別に、境界認識手段を設けてもよい。後者の場合には、境界認識手段として、上記の構成の境界検出部 6 0 とは異なる構成のものを用いることもできる。例えば、フレーム 5 0 が用いられる場合において、フレーム底面 5 2 が確実に海底面 S 3 に着底する場合には、フレーム 5 0（フレーム底面 5 2）と測定ユニットとの間の位置関係が検出できれば、海底面 S 3 と測定ユニットとの間の位置関係は定まる。このため、例えば測定ユニット本体 1 2 0（下側ストッパ 2 2）とフレーム底面 5 2 との間の上下方向における距離を検出するセンサを境界検出部として用いることもできる。こうした境界認識手段の出力を基にして、放射線検出部の制御を行うこともできる。

20

【 0 0 6 6 】

なお、上記の例では、海底における放射性物質の深さ方向の分布を測定するものとしたが、上記の測定を水平方向における異なる複数の箇所で行うことによって、放射性物質の 3 次元分布を測定することができることは明らかである。この場合においても、上記の放射性物質分布測定装置を用いた場合、これを図 1 に示されるようにこれを台船から海中に投入した後で引き上げ、海上でデータを取得してから同様の操作を繰り返すという単純な作業のみによって、この測定を行うことができる。この際、1 回の操作毎に得られたデータは、水上あるいは地上に設置されたハードディスク等に記憶させ、上記の計算を全てのデータ収集が行われた後で行うこともできる。

30

【 0 0 6 7 】

上記の通り、上記の放射性物質分布測定装置、放射性物質分布測定方法によって、海底の土壌中の放射性物質分布を測定できるが、実際には、海だけでなく河川や湖沼等の底の土壌においても、同様の測定を行うことができることは明らかである。このため、上記の海面 S 2 は一般的な水面、海水 O は水（あるいは液体）、海底面 S 3 は一般的な水底面とすることができる。更に、水中だけでなく地上においても、ヘッド部を土壌中に貫入させることができる限りにおいて、上記の放射性物質分布測定装置、放射性物質分布測定方法を適用できることは明らかである。この場合においては、図 5（a）における地面 S 1（空気と土壌 G の境界）が境界認識手段によって上記と同様に認識される。この場合には、放射線測定部や信号処理部が密封（防水処理）されている必要もない。

40

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 6 8 】

上記のとおり、上記の放射性物質分布測定装置、放射性物質分布測定方法によって、通常は測定が困難な土壌中における放射線物質の分布を測定することができる。このため、

50

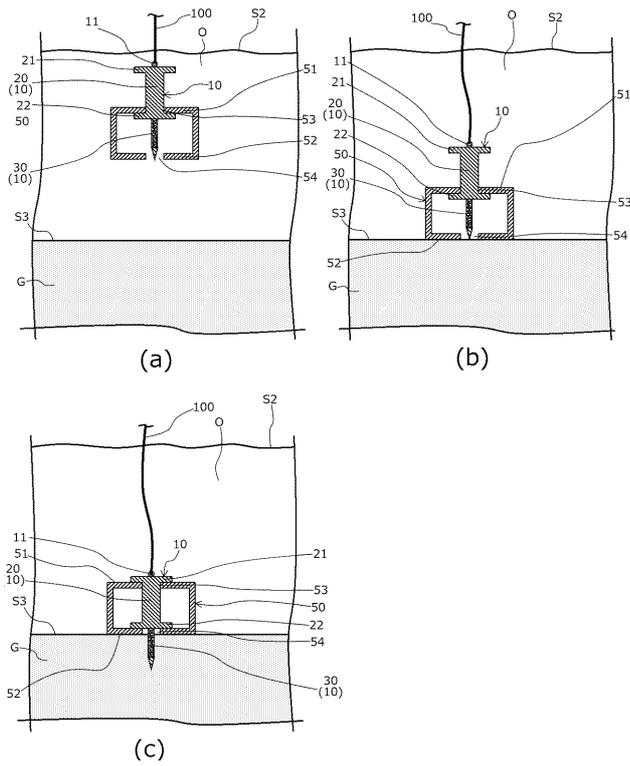
環境測定や土木・建築分野等、産業上の広い領域において有効である。

【符号の説明】

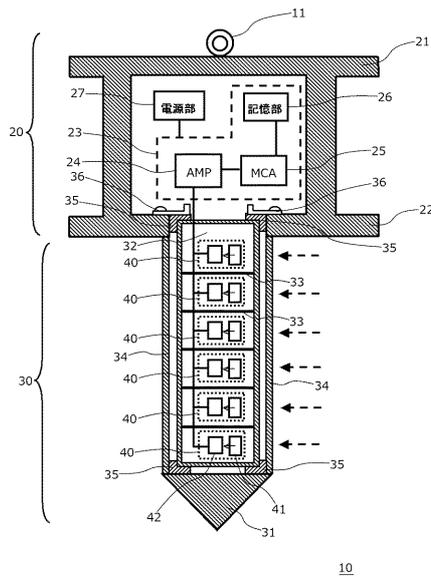
【0069】

10、110	測定ユニット	
11	ワイヤ係止部	
20、120	測定ユニット本体	
21	上側ストッパ	
22	下側ストッパ	
23、123	信号処理部	
24	増幅器 (AMP)	10
25	多重波高分析器 (MCA)	
26	記憶部	
27	電源部	
28	CPU	
30、130	ヘッド部	
31	先端部	
32	基板	
33	遮蔽板	
34	ヘッド外壁	
35	緩衝材	20
36	留め金具	
40	放射線検出部	
41	シンチレータ	
42、62	フォトダイオード	
50	フレーム	
51	フレーム正面 (上面)	
52	フレーム底面 (底面)	
53	上側開口部	
54	下側開口部	
60	境界検出部	30
61	照明部	
63	窓	
100	ワイヤ	
200	測定装置	
S1	地面	
S2	海面	
S3	海底面	
S4	土壌中界面	
G	土壌	
G1	汚染土壌	40
G2	非汚染土壌	
O	海水	

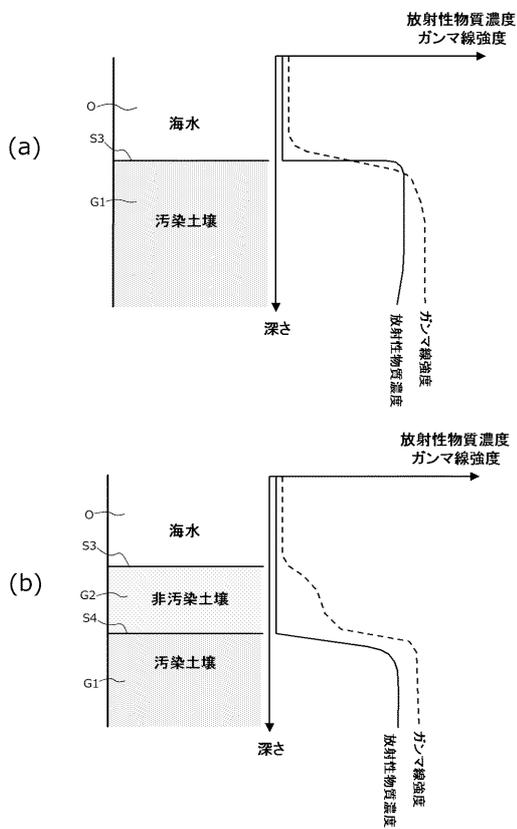
【図1】



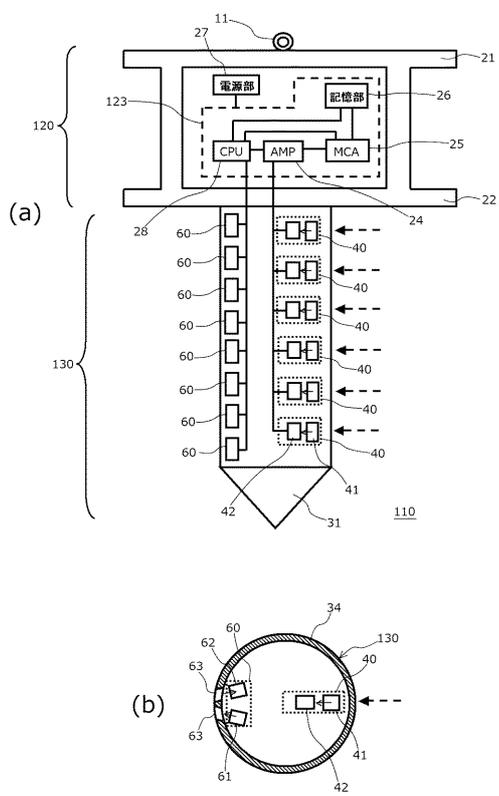
【図2】



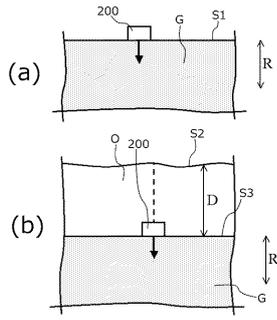
【図3】



【図4】



【 図 5 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G188 AA08 AA23 BB02 BB04 BB05 BB09 BB15 BB18 CC21 CC22
CC28 DD10 DD30 EE06 EE12 EE25 EE29 FF02 FF07 FF08