(19)日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11)特許番号

## 特許第7165348号 (P7165348)

(45)発行日 令和4年11月4日(2022.11.4)

- (24)登録日 令和4年10月26日(2022.10.26)
- (51) Int. Cl. F I GOIT 1/16 (2006.01) GOIT 1/16 A

請求項の数 2 (全 10 頁)

(21)出願番号	特願2018-173023(P2018-173023)	(73)特許権者 591031430
(22)出願日	平成30年9月14日(2018.9.14)	株式会社千代田テクノル
(65)公開番号	特開2020-46231(P2020-46231A)	東京都文京区湯島1丁目7番12号
(43)公開日	令和2年3月26日(2020.3.26)	(73)特許権者 505374783
審査請求日	令和3年7月6日(2021.7.6)	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
特許法第30条第2項適用 集会名 :日本保健物理学		1
会第51回研究発表	<b>長会 開催場所:ホテルライフォート</b>	(74)代理人 110002963
札幌(北海道札幌市中央区南10条西1丁目1-30)		<b>弁理士法人MTS国際特許事務所</b>
開催日(発明を発表した日):平成30年6月29日		(74)代理人 100080458
		弁理士 高矢 諭
		(74)代理人 100076129
		弁理士 松山 圭佑
		(74)代理人 100144299
		弁理士 藤田 崇
		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】放射線分布の3次元表示方法及び装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

3次元の地形データを取得し、

3次元位置を検出可能な移動体に搭載された<u>コンプトンカメラ</u>を用いて放射線を測定し

前記移動体の移動に伴って得られる複数位置での前記<u>コンプトンカメラ</u>による測定結果 と前記移動体の3次元位置情報とを用いることによって<u>放射性物質の量による</u>放射線分布 の3次元マップを作成し、

該放射線分布の3次元マップを、前記3次元の地形データ又は3次元的な表示が可能な 斜め方向から撮影した航空写真と重ね合せて表示する際に、

前記<u>コンプトンカメラ</u>による放射線測定値<u>に対して</u>、地表面の単位面積毎<u>にコンプトン</u> <u>カメラの測定視野に入った積算時間である</u>測定にかかった時間に応じ<u>た</u>時間補正<u>と、該コ</u> <u>ンプトンカメラと地表面の距離に応じた距離補正と、該コンプトンカメラに対する放射線</u> <u>の入射角度に応じた角度補正を行うとともに、</u>

<u>前記時間補正により、測定時間が最小の時に最大値となる測定時間補正係数を放射線測定</u> <u>値に乗ずる</u>ことを特徴とする放射線分布の3次元表示方法。

【請求項2】

3次元位置を検出可能な移動体と、

該移動体に搭載された<u>コンプトンカメラ</u>と、

前記移動体の移動に伴って得られる複数位置での前記<u>コンプトンカメラ</u>による測定結果 20

と前記移動体の3次元位置情報とを用いることによって<u>放射性物質の量による</u>放射線分布の3次元マップを作成する手段と、

3次元の地形データを取得する手段と、

前記放射線分布の3次元マップを該3次元の地形データ又は3次元的な表示が可能な斜 め方向から撮影した航空写真と重ね合せて表示する手段と、

前記<u>コンプトンカメラ</u>による放射線測定値を、地表面の単位面積毎<u>にコンプトンカメラ</u> <u>の測定視野に入った積算時間である</u>測定にかかった時間に応じて時間補正する手段と、 <u>前記放射線測定値を、該コンプトンカメラと地表面の距離に応じて距離補正する手段と、</u>

<u>前記放射線測定値を、該コンプトンカメラに対する放射線の入射角度に応じて角度補正す</u> <u>る手段と、</u>

<u>前記時間補正により、測定時間が最小の時に最大値となる測定時間補正係数を放射線測定</u> 値に乗ずる手段と、

を備えたことを特徴とする放射線分布の3次元表示装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

[0001]

本発明は、放射線分布の3次元表示方法及び装置に係り、特に、地表の広い範囲におけ る放射性物質の位置を高精度で検出して3次元表示することが可能な、放射線分布の3次 元表示方法及び装置に関する。

【背景技術】

[0002]

事故などにより大量の放射性物質が環境中に散逸して広域で汚染が生じた際、放射性物 質が集積して高線量率の箇所(ホットスポット)を割出し、放射性物質あるいは放射性物 質が付着したものを除去あるいは遮蔽して除染する必要がある。このような除染作業を行 うに際しては、広域で放射線のモニタリングを行う必要がある。広域で放射線のモニタリ ングを行うものとして、コンプトンカメラを航空機やラジコンへリコプタなどの移動体に 搭載して地表の放射性物質を検知する方法が特許文献1や2に記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 3 】

【特許文献1】特開2014-145628号公報

【特許文献 2 】特開 2 0 1 6 - 2 0 8 3 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

[0004]

しかしながら従来は、3次元の地形データやコンプトンカメラによる測定時間を考慮し ていなかったため、高精度の検出・表示は困難であった。

[0005]

本発明は、前記従来の問題点を解決するべくなされたもので、3次元の地形データ及び 測定にかかった時間を考慮することにより、地表の広い範囲における放射性物質の位置を 高精度で検出して3次元表示可能とする<u>と共に、窪地や法面等に3次元的に沈着した放射</u> 性物質を容易に視認できるようにすることを課題とする。

【課題を解決するための手段】

[0006]

本発明は、3次元の地形データを取得し、3次元位置を検出可能な移動体に搭載された <u>コンプトンカメラ</u>を用いて放射線を測定し、前記移動体の移動に伴って得られる複数位置 での前記<u>コンプトンカメラ</u>による測定結果と前記移動体の3次元位置情報とを用いること によって<u>放射性物質の量による</u>放射線分布の3次元マップを作成し、該放射線分布の3次 元マップを、前記3次元の地形データ又は3次元的な表示が可能な斜め方向から撮影した 航空写真と重ね合せて表示する際に、前記コンプトンカメラによる放射線測定値に対して 10

20

、地表面の単位面積毎<u>にコンプトンカメラの測定視野に入った積算時間である</u>測定にかか った時間に応じ<u>た</u>時間補正<u>と、該コンプトンカメラと地表面の距離に応じた距離補正と、</u> 該コンプトンカメラに対する放射線の入射角度に応じた角度補正を行うとともに、前記時 間補正により、測定時間が最小の時に最大値となる測定時間補正係数を放射線測定値に乗 <u>ずる</u>ことにより、前記課題を解決するものである。

(3)

本発明は、又、3次元位置を検出可能な移動体と、該移動体に搭載された<u>コンプトンカ</u> <u>メラ</u>と、前記移動体の移動に伴って得られる複数位置での前記<u>コンプトンカメラ</u>による測 定結果と前記移動体の3次元位置情報とを用いることによって<u>放射性物質の量による</u>放射 線分布の3次元マップを作成する手段と、3次元の地形データを取得する手段と、前記放 射線分布の3次元マップを該3次元の地形データ又は3次元的な表示が可能な斜め方向か ら撮影した航空写真と重ね合せて表示する手段と、前記<u>コンプトンカメラ</u>による放射線測 定値を、地表面の単位面積毎<u>にコンプトンカメラの測定視野に入った積算時間である</u>測定 にかかった時間に応じて時間補正する手段と、<u>前記放射線測定値を、該コンプトンカメラ</u> と地表面の距離に応じて距離補正する手段と、<u>前記放射線測定値を、該コンプトンカメラ</u> に対する放射線の入射角度に応じて角度補正する手段と、前記時間補正により、測定時間 が最小の時に最大値となる測定時間補正係数を放射線測定値に乗ずる手段と、</u>を備えたこ とを特徴とする放射線分布の3次元表示装置を提供するものである。

【発明の効果】 【0013】

本発明によれば、地表面の単位面積毎の測定にかかった時間を考慮して放射線分布の3次元マップを作成し、該放射線分布の3次元マップを3次元の地形データ又は<u>3次元的な表示が可能な斜め方向から撮影した</u>航空写真と重ね合せて表示するようにしたので、地表の広い範囲における放射性物質の位置を高精度で検出して3次元表示することが可能である。又、窪地や法面等の地形の特徴箇所での放射線分布についての観察が可能になり、3次元的に沈着した放射性物質を容易に視認できるようになる。特に、<u>3次元マップを地形データと重ね合せた場合は、任意の視点からの観察が可能になる。更に、</u>放射線検出器による放射線測定値を<u>地表面の単位面積毎の測定にかかった時間に応じて時間補正するだけでなく、該</u>放射線検出器と地表面の距離に応じて距離補正<u>すると共に、該</u>放射線検出器に対する放射線の入射角度に応じて角度補正するようにした場合には、更に高精度の検出・表示が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の第1実施形態により放射線データを取得している状態を示す斜視図 【図2】第1実施形態で用いるコンプトンカメラが搭載されたドローンの構成を示す斜視

义

【図3】同じくコンプトンカメラの原理を説明するための(A)コンプトンカメラの構成 図、及び、(B)コンプトンコーンと線源位置の関係を示す平面図

【図4】同じくコンプトンコーン再構成時の距離補正を説明するための(A)斜視図、及び、(B)補正係数の例を示す図

- 【図5】同じくコンプトンコーン再構成時の角度補正を説明するための(A)角度特性イ メージ図、(B)補正係数の例を示す図、及び、(C)角度補正されたコンプトンコーン の例を示す図
- 【図6】同じく放射線分布再構成時の測定時間補正を説明するための(A)撮影イメージ 、(B)測定時間分布、及び、(C)補正係数の例を示す図

【図7】第1実施形態の処理手順を示す流れ図

【図8】第1実施形態で取得した地形データの例を示す図

【図9】同じく放射線分布の例を示す図

【図10】第1実施形態で放射線分布と地形データを合成した例を示す図

【図11】同じく放射線分布と航空写真を合成した例を示す図

10

20

30

【図12】本発明の第2実施形態で用いるコンプトンカメラと光学カメラが搭載されたドローンの構成を示す斜視図

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 5 】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。なお、本発明は 以下の実施形態及び実施例に記載した内容により限定されるものではない。又、以下に記 載した実施形態及び実施例における構成要件には、当業者が容易に想定できるもの、実質 的に同一のもの、いわゆる均等の範囲のものが含まれる。更に、以下に記載した実施形態 及び実施例で開示した構成要素は適宜組み合わせてもよいし、適宜選択して用いてもよい

[0016]

本発明の第1実施形態では、図1に概要を示す如く、コンプトンカメラ20を搭載した ドローン10を移動(飛行)しながら放射線データを取得する。

【0017】

前記ドローン10は、図2に詳細に示す如く、フレーム12に取付けられたプロペラ1 4と、前記フレーム12にステー16及びジンバル18を介して取付けられたコンプトン カメラ20と、前記フレーム12に搭載された情報前処理用の小型コンピュータ(PC) 32、地上との通信用の通信器34と、電源供給用バッテリー36と、を備えている。 【0018】

図 1 において、 4 0 は地上側の通信器、 4 2 は情報主処理用のコンピュータ( P C )、 4 4 は表示用ディスプレイである。

【0019】

前記コンプトンカメラ20は、ジンバル18を介してステー16に取付けられており、 ドローン10の飛行状態に係わらず、カメラの撮影方向を安定させることができるように されている。

[0020]

前記コンプトンカメラ20は、図3(A)に例示する如く、シンチレータアレイ22A 及びシリコンフォトマルチプライヤ(SiPM)アレイ22Bで構成される、散乱位置と エネルギーを検出するための散乱体検出器22と、シンチレータアレイ24A及びSiP Mアレイ24Bで構成される、吸収位置とエネルギーを検出するための吸収体検出器24 を備えることができる。

【0021】

そして、線源8のエネルギーE 、及び、コンプトン散乱の散乱角 を、散乱体検出器 22及び吸収体検出器24で測定された位置X1、X2、及び、エネルギーE1、E2を 元に、次式で算出する。

【数1】

 $E_{\gamma} = E_1 + E_2 \cdots (1)$ 

$$\cos\theta = 1 + m_e C^2 \left( \frac{1}{E_1} - \frac{1}{E_{\gamma} - E_1} \right) \qquad \cdots (2)$$

ここでm 。は電子の質量、Cは光速であり、m 。C ²は電子の静止エネルギーを表わす

【0022】

得られたコンプトンコーン26を図3(B)に示す如く重ね合せることで、線源8の位置を特定することができる。

【0023】

そこで前記ドローン10からは、方位角、ロール、ピッチなどの姿勢情報と、緯度、経 度、高度などの位置情報を取得する。前記コンプトンカメラ20からは、散乱角 及びコ 10

ンプトンコーン26の方向を取得する。

[0024]

ドローン10及びコンプトンカメラ20から取得した情報を記録・統合し、別に取得し た3次元の地形モデル上にコンプトンコーン26を描画することで、放射線分布の再構成 を行なう。

[0025]

なお、コンプトンカメラ20で放射線データを取得する場合、放射線の特性及びコンプ トンカメラ20の方向特性を考慮し、コンプトンコーン26の再構成時に、距離補正及び 角度補正の補正係数を乗ずることで放射線分布を正しく表示するようにしている。

[0026]

即ち、図4(A)に示す如く、コンプトンカメラ20と地表6との距離により、距離が 小さい所の影響が大きく、距離が大きい所の影響が小さくなるので、地形データとドロー ン10の位置情報から、地形モデル上に描画されたコンプトンコーン26とコンプトンカ メラ20の距離Lを算出し、図4(B)に例示するような、距離0の時に1より小さくな り、距離が大きくなると1より大きくなる距離補正係数A、例えば次式に示す如く、距離 Lの2乗に比例する距離補正係数Aを算出し、放射線測定値に乗ずることによって補正し てコンプトンコーン26を描画する。

 $A = a \times L^2$ (3)

ここで、aは任意数である。

[0027]

又、図5(A)に示す如く、放射線検出器(本実施形態ではコンプトンカメラ20)に 対する線源8からの放射線の入射角度によっても特性が異なり、線源8がコンプトンカメ ラ20と正対する所の影響が大きく、コンプトンカメラ20に対して斜めになる所の影響 が小さくなるので、角度毎に設定された、図5(B)に示すような、角度0の時に最小値 1となる角度補正係数を放射線測定値に乗ずることによって補正して、図5(C)に示す ような、中心から遠い部分が強調されたコンプトンコーン26を描画する。なお、使用す るコンプトンカメラ20により角度特性が異なるため、実測もしくはシミュレーションに よって角度補正係数を求めることができる。

【0028】

又、移動飛行撮影した放射線データから放射線分布の再構成を行う場合、撮影範囲の箇 所毎にコンプトンカメラ20の撮影視野に入る時間、即ち、測定時間が異なってしまう。 そこで、図6(A)に例示するようなドローン10の飛行情報及びコンプトンカメラ20 の視野角から地表面での視野の重複した時間を積算して、図6(B)に例示するような、 地表面の単位面積毎の測定時間tの分布を計算する。図6(B)において、明るい所は測 定時間が長く、暗い所は測定時間が短い。

[0029]

そして、例えば図6(C)に示す如く、測定時間が最小の時に最大値となる測定時間補 正係数 B、 例えば次式に示す如く、 測定時間 tの逆数に比例する測定時間補正係数 Bを放 射線測定値に乗ずることによって補正して、後出図9に例示するような放射線分布を描画 する。

【数2】

 $B = b \times \frac{1}{t}$ ... (4)

ここで、bは任意数である。

[0030]

これにより、測定時間が短い場合に検出される放射線が、測定時間が長い場合よりも小 さくなることによる誤差を防ぐことができる。

[0031]

ドローン10の飛行情報及びコンプトンカメラ20で取得した放射線データを地形モデ

10



ルに投影して、放射線分布の3次元再構成を行う。図7に放射線分布再構成の手順を示す。

(6)

【 0 0 3 2 】

まず、ステップ100で、図8に例示するような地形の3次元モデルを作成する。例え ば、別途、空撮を行って地形データを取得し、3次元モデルを作成することができる。こ の3次元モデルの上にコンプトンカメラ20で取得した放射線分布の再構成を行う。なお 、地形の3次元モデルが別途入手できる場合には、これを利用しても良い。

【0033】

次いでステップ110で、コンプトンカメラ20と地表6との距離に応じて、図4を用いて説明したような距離補正を行う。

【0034】

次いでステップ120で、コンプトンカメラ20と線源8の角度に応じて、図5を用い て説明したような角度補正を行う。

次いでステップ130で、測定時間に応じて、図6を用いて説明したような測定時間分 布補正係数を求める。

【0036】

そして、ステップ140で、測定時間分布を補正して、放射線分布を再構成し、図9に 例示したような放射線分布を取得する。

【0037】

次いでステップ150で、図8に例示したような地形データと、図9に例示したような 放射線分布の取得画像とを組合せて、図10に例示するような放射線分布と地形データの 組合せ画像を得てディスプレイ44に表示する。

【0038】

本実施形態においては、測定時間による補正だけでなく、角度補正と距離補正も行って いるので、特に高精度の放射線分布を得ることが可能である。なお、必要に応じて、角度 補正や距離補正を省略することもできる。

【0039】

又、地形データと組合せる代わりに、3次元的な表示が可能な斜め方向から撮影した航 空写真とを組合せて、図11に示す如く放射線分布と航空写真の組合せ画像をディスプレ イ44に表示することも可能である。

[0040]

前記地形データは、図12に示す第2実施形態のように、第1実施形態と同様のドローン10に光学カメラ50を搭載して、この光学カメラ50で取得した画像から作成することも可能である。又、図11に示したような航空写真を光学カメラ50で取得することも可能である。

[0041]

前記実施形態においては、ドローン10側の通信器34から地上側の通信器40に測定 データを送っていたので、迅速な処理が可能である。なお、ドローン10側にメモリーを 設けて、測定データを保存し、ドローン10が地上に戻ってきてから、後で読み出すよう にすることもできる。

【0042】

又、前記実施形態においては、放射線検出器として指向性が有るコンプトンカメラを用 いていたので、詳細な放射線分布を得ることができる。なお、コンプトンカメラの構成は 、実施形態のシンチレータアレイとSiPMアレイの組合せに限定されず、Cd-Zn-Te半導体素子を積層したCZT検出器を用いたり、SiPMアレイの代わりに光電子増 倍管を用いて構成することもできる。

【0043】

又、移動体としてドローンを用いていたので、手軽、安価、安定な飛行が可能である。 【0044】 10

30

20

なお、放射線検出器や移動体の種類はこれに限定されず、例えばピンホールカメラを無 人又は有人のヘリコプターや自動車に搭載することも可能である。

- 【符号の説明】
- [0045]
  - 6 地表
  - 8 線源
  - 10 ドローン
  - 20 コンプトンカメラ
  - 42 コンピュータ(PC)
  - 44 ディスプレイ
  - 50 光学カメラ











(8)





## 【図5】



(B)角度補正係数



補正小

## 【図6】

(A)撮影イメージ





短测定時間長









【図8】







【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

- (74)代理人 100150223 弁理士 須藤 修三
- (72)発明者 小澤 慎吾
   東京都文京区湯島1丁目7番12号 株式会社千代田テクノル内
   (72)発明者 菅原 洋

東京都文京区湯島1丁目7番12号 株式会社千代田テクノル内

- (72)発明者 鳥居 建男 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究 所内
- (72)発明者 佐藤 優樹 福島県双葉郡富岡町大字本岡字王塚790-1 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 国際 共同研究棟内
  - 審查官 中尾 太郎
- (56)参考文献 特開2012-251918(JP,A)
  特開2014-102134(JP,A)
  特開2014-145628(JP,A)
  特開2016-014579(JP,A)
  米国特許出願公開第2012/0000828(US,A1)
  Frank Mascarich, et al., Radiation Source Localization in GPS Denied Environments Usin
  g Aerial Robots, 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA),
  米国, IEEE, 2018年09月13日, pp. 6537 6544
  ICRA 2018, Radiation Source Localization in GPS Denied Environments Using Aerial Robot
  s, Youtube [online] [video], 米国, Youtube, 2018年05月16日, https://www.youtube.com/wa
  tch?v=8FT66HmzaUE
  眞田 幸尚,環境回復の研究開発 高度化する無人モニタリング技術-,平成28年度筑波大学
  構造エネルギー工学大学院特別講義,日本,筑波大学,2016年07月06日

(58)調査した分野(Int.Cl.,D B 名)

G01T 1/16