

(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2020-46231
(P2020-46231A)

(43) 公開日 令和2年3月26日(2020.3.26)

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

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2018-173023 (P2018-173023)	(71) 出願人	591031430 株式会社千代田テクノロ 東京都文京区湯島1丁目7番12号
(22) 出願日	平成30年9月14日(2018.9.14)	(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
特許法第30条第2項適用申請有り 集会名 : 日本保健物理学会第51回研究発表会 開催場所: ホテルライフォート札幌(北海道札幌市中央区南10条西1丁目1-30) 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
		(74) 代理人	100150223 弁理士 須藤 修三

最終頁に続く

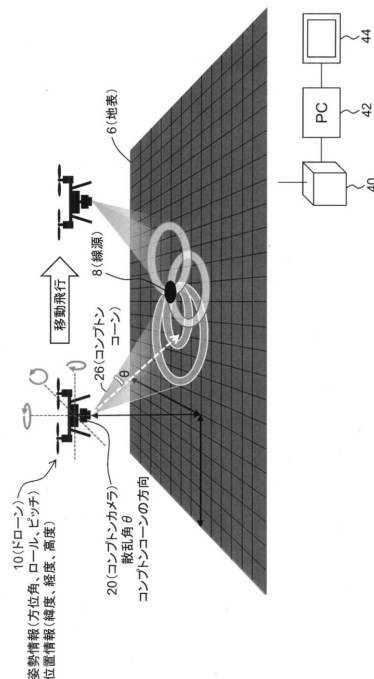
(54) 【発明の名称】放射線分布の3次元表示方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】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。

【解決手段】3次元位置を検出可能な移動体(ドローン10)に搭載された放射線検出器(コンプトンカメラ20)を用いて放射線を測定し、前記移動体(10)の移動に伴って得られる複数位置での前記放射線検出器(20)による測定結果と前記移動体(10)の3次元位置情報とを用いることによって、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航空写真と重ね合わせて表示する際に、放射線検出器(20)による放射線測定値を、地表(6)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。更に、放射線検出器(20)と地表(6)面の距離に応じて距離補正したり、放射線検出器(20)に対する放射線の入射角度に応じて角度補正したりすることもできる。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

3次元位置を検出可能な移動体に搭載された放射線検出器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放射線検出器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、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航空写真と重ね合わせて表示する際に、

前記放射線検出器による放射線測定値を、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ことを特徴とする放射線分布の3次元表示方法。

10

【請求項 2】

前記放射線検出器による放射線測定値を、該放射線検出器と地表面の距離に応じて距離補正することを特徴とする請求項 1 に記載の放射線分布の3次元表示方法。

【請求項 3】

前記放射線検出器による放射線測定値を、該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ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の放射線分布の3次元表示方法。

【請求項 4】

前記移動体がドローン、前記放射線検出器がコンプトンカメラであることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の放射線分布の3次元表示方法。

20

【請求項 5】

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放射線検出器と、
前記移動体の移動に伴って得られる複数位置での前記放射線検出器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次元の地形データ又は航空写真を取得する手段と、

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航空写真と重ね合わせて表示する手段と、

前記放射線検出器による放射線測定値を、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手段と、

30

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。

【請求項 6】

前記放射線検出器による放射線測定値を、該放射線検出器と地表面の距離に応じて距離補正する手段を更に備えたことを特徴とする請求項 5 に記載の放射線分布の3次元表示装置。

【請求項 7】

前記放射線検出器による放射線測定値を、該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手段を更に備えたことを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の放射線分布の3次元表示装置。

40

【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

50

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際には、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ヘ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】

【0003】

【特許文献1】特開2014-145628号公報

【特許文献2】特開2016-20832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次元位置を検出可能な移動体に搭載された放射線検出器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放射線検出器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、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航空写真と重ね合わせて表示する際に、前記放射線検出器による放射線測定値を、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ことにより、前記課題を解決するものである。

【0007】

ここで、前記放射線検出器による放射線測定値を、該放射線検出器と地表面の距離に応じて距離補正することができる。

【0008】

又、前記放射線検出器による放射線測定値を、該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ことができる。

【0009】

又、前記移動体をドローン、前記放射線検出器をコンプトンカメラとすることができる。

【0010】

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放射線検出器と、前記移動体の移動に伴って得られる複数位置での前記放射線検出器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次元の地形データ又は航空写真を取得する手段と、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航空写真と重ね合わせて表示する手段と、前記放射線検出器による放射線測定値を、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次元表示装置を提供するものである。

【0011】

ここで、前記放射線検出器による放射線測定値を、該放射線検出器と地表面の距離に応じて距離補正する手段を更に備えることができる。

【0012】

又、前記放射線検出器による放射線測定値を、該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手段を更に備えることができる。

10

20

30

40

50

【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航空写真と重ね合わ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。特に、放射線検出器による放射線測定値を、放射線検出器と地表面の距離に応じて距離補正したり、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】

10

【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図

【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

20

【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

【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

30

【発明を実施するための形態】

【0015】

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。

40

【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14と、前記フレーム12にステータ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、40は地上側の通信器、42は情報主処理用のコンピュータ(PC)、44は表示用ディスプレイである。

【0019】

50

前記コンプトンカメラ 20 は、ジンバル 18 を介してステータス 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 SiPM 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 θ 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 X_1 、 X_2 、及び、エネルギー E_1 、 E_2 を元に、次式で算出する。

【数 1】

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

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

ここで m_e は電子の質量、 C は光速であり、 $m_e c^2$ 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) に示す如く重ね合わせることで、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 θ 及びコンプトンコーン 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。

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

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。

【 0 0 2 8 】

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。

10

【 0 0 2 9 】

そして、例えば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、図 6 (C) に例示するような放射線分布を描画する。

【 数 2 】

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

ここで、 b は任意数である。

【 0 0 3 0 】

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。

【 0 0 3 1 】

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。

30

【 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。

【 0 0 3 3 】

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。

【 0 0 3 4 】

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。

40

【 0 0 3 5 】

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。

【 0 0 3 6 】

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。

【 0 0 3 7 】

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

50

組合せ画像を得てディスプレイ 4 4 に表示する。

【 0 0 3 8 】

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ため、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。

【 0 0 3 9 】

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 1 1 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 4 4 に表示することも可能である。

【 0 0 4 0 】

前記地形データは、図 1 2 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 1 0 に光学カメラ 5 0 を搭載して、この光学カメラ 5 0 で取得した画像から作成することも可能である。又、図 1 1 に示したような航空写真を光学カメラ 5 0 で取得することも可能である。

【 0 0 4 1 】

前記実施形態においては、ドローン 1 0 側の通信器 3 4 から地上側の通信器 4 0 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 1 0 側にメモリーを設けて、測定データを保存し、ドローン 1 0 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。

【 0 0 4 2 】

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。

【 0 0 4 3 】

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。

【 0 0 4 4 】

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 】

【 0 0 4 5 】

- 6 地表
- 8 線源
- 1 0 ドローン
- 2 0 コンプトンカメラ
- 4 2 コンピュータ (P C)
- 4 4 ディスプレイ
- 5 0 光学カメラ

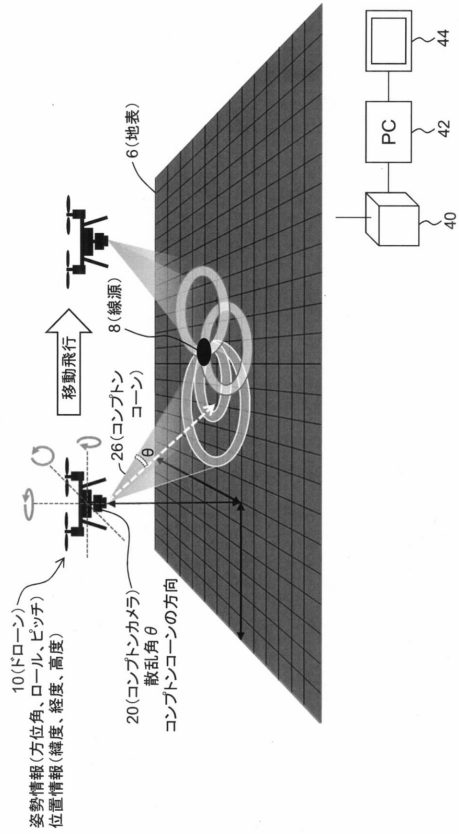
10

20

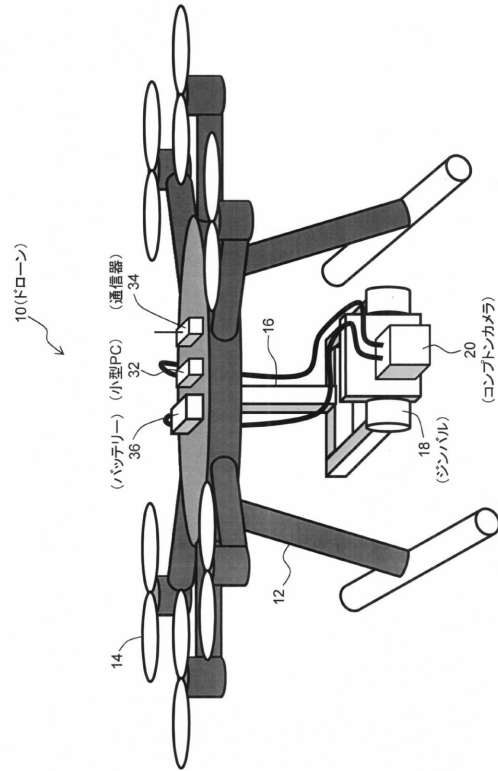
30

40

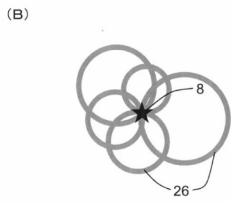
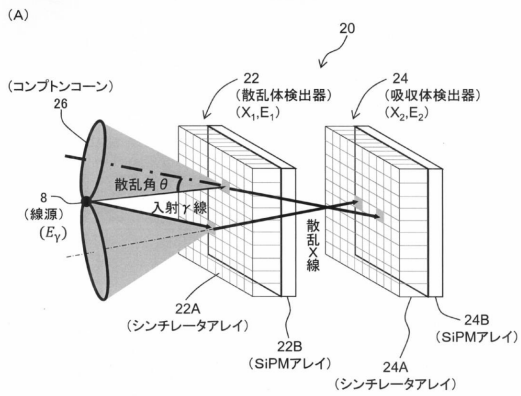
【図1】



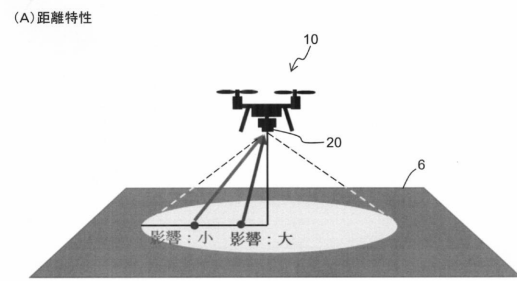
【図2】



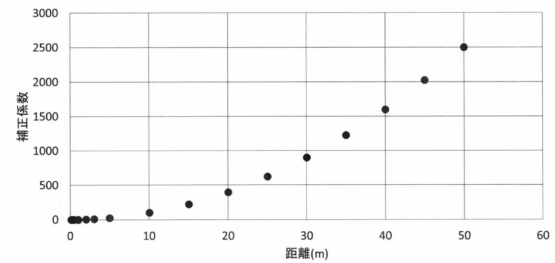
【図3】



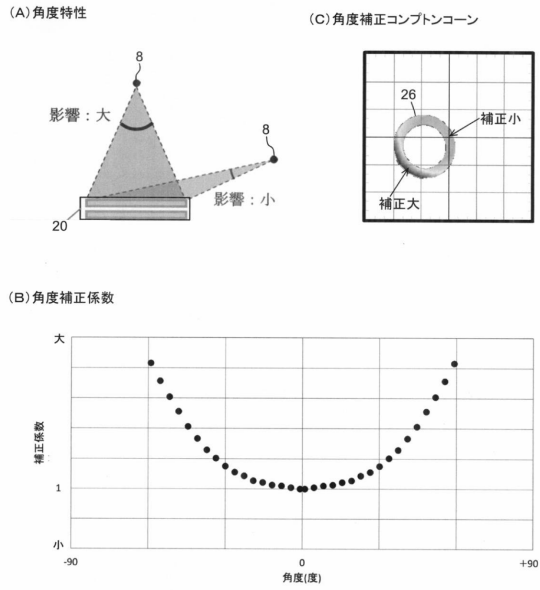
【図4】



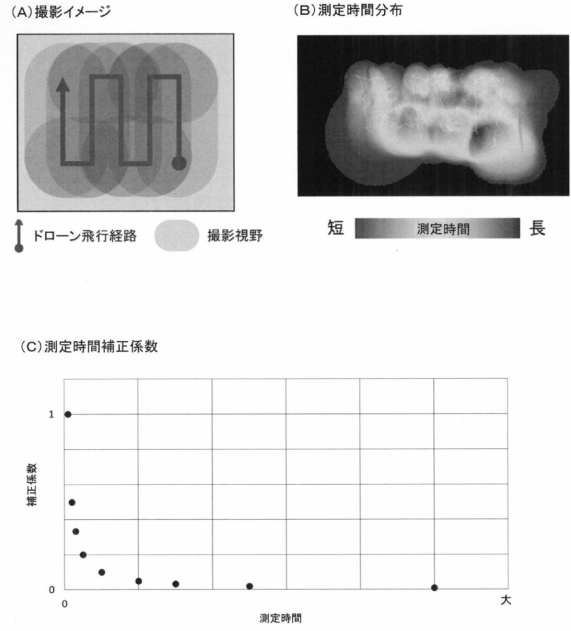
(B) 距離補正係数



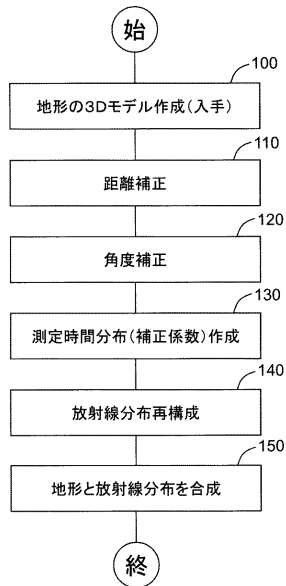
【図5】



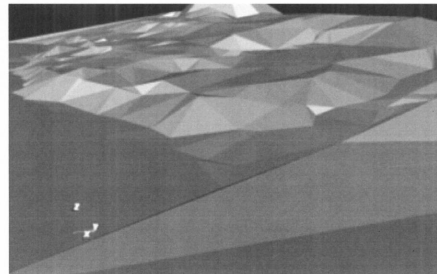
【図6】



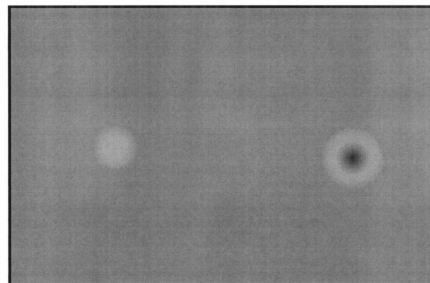
【図7】



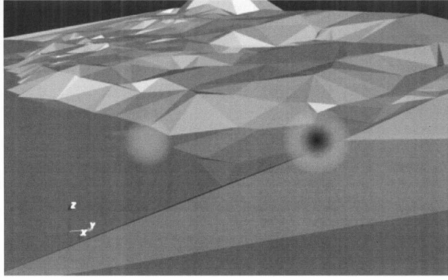
【図8】



【図9】



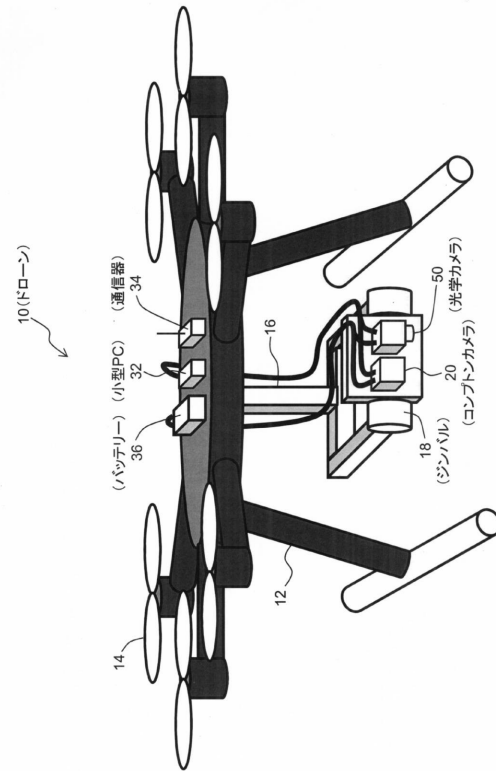
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 小澤 慎吾

東京都文京区湯島 1 丁目 7 番 1 2 号 株式会社千代田テクノ内

(72)発明者 菅原 洋

東京都文京区湯島 1 丁目 7 番 1 2 号 株式会社千代田テクノ内

(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 7 9 0 - 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

F ターム(参考) 2G188 AA08 BB04 BB17 CC21 CC23 CC26 DD05 EE22 EE29 EE39

FF18 GG01 GG02