

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第6994879号
(P6994879)

(45)発行日 令和4年2月4日(2022.2.4)

(24)登録日 令和3年12月16日(2021.12.16)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 C	7/04	(2006.01)	G 0 1 C	7/04	
G 0 1 C	15/00	(2006.01)	G 0 1 C	15/00	1 0 2 C
B 6 4 D	47/08	(2006.01)	B 6 4 D	47/08	
B 6 4 C	27/08	(2006.01)	B 6 4 C	27/08	
B 6 4 C	39/02	(2006.01)	B 6 4 C	39/02	

請求項の数 3 (全15頁)

(21)出願番号	特願2017-179701(P2017-179701)
(22)出願日	平成29年9月20日(2017.9.20)
(65)公開番号	特開2019-56571(P2019-56571A)
(43)公開日	平成31年4月11日(2019.4.11)
審査請求日	令和2年6月17日(2020.6.17)

(73)特許権者	000220343 株式会社トブコン 東京都板橋区蓮沼町75番1号
(74)代理人	100087826 弁理士 八木 秀人
(74)代理人	100168088 弁理士 太田 悠
(72)発明者	西田 信幸 東京都板橋区蓮沼町75 1 株式会社 トブコン内
審査官	續山 浩二

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 測量システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

移動体と、測量機を備える測量システムであって、

前記移動体は、

測距光を発する出射部、反射測距光を受光する受光部、前記受光部の出力に基づき測距を行う測距部、前記測距部の光軸上に配置され前記測距部を偏向する第一光軸偏向部、前記反射測距光の受光光軸上に配置され前記第一光軸偏向部と同一の偏角および方向で前記反射測距部を偏向する第二光軸偏向部、および前記第一光軸偏向部および前記第二光軸偏向部の偏角および方向を検出する出射方向検出部、を有し、スキャン点までの距離・角度から前記スキャン点の三次元位置を取得するスキャナと、

前記スキャナのロール角・ピッチ角・ヨー角を検出し前記スキャナの姿勢情報を取得する姿勢検出装置と、

前記スキャナの測定基準点とのロール・ピッチ・ヨー軸方向の各ずれ量 (d_r , d_p , d_y) が予め既知となる位置に取り付けられたプリズムと、を備え、

前記測量機は、

前記移動体に取り付けた前記プリズムを追尾する追尾部と、

前記プリズムを測距測角し前記プリズムの位置情報を測定する測距部と、を備え、

前記移動体は、

前記プリズムの位置情報と前記スキャナの姿勢情報と前記スキャン点の三次元位置の時刻を同期し、

前記測量機により測定された前記プリズムの絶対座標から前記各ずれ量 (d_r , d_p , d_y) だけ移動させた座標を前記スキャナの前記測定基準点とし、前記スキャナの基準光軸を前記姿勢検出装置から検出した前記スキャナの姿勢方向に補正して、前記スキャナが取得した各スキャン点までの距離・角度を再計算する補正を行い、補正したスキャン点の絶対座標を記憶する

ことを特徴とする測量システム。

【請求項 2】

前記姿勢検出装置は前記スキャナのロール・ピッチ・ヨーの三軸の加速度と角速度を検出する慣性計測装置であることを特徴とする請求項 1 に記載の測量システム。

【請求項 3】

移動体と、測量機を備える測量システムであって、

前記移動体は、

測距光を発する出射部、反射測距光を受光する受光部、前記受光部の出力に基づき測距を行う測距部、前記測距光の光軸上に配置され前記測距光を偏向する第一光軸偏向部、前記反射測距光の受光光軸上に配置され前記第一光軸偏向部と同一の偏角および方向で前記反射測距光を偏向する第二光軸偏向部、および前記第一光軸偏向部および前記第二光軸偏向部の偏角および方向を検出する出射方向検出部、を有し、スキャン点までの距離・角度から前記スキャン点の三次元位置を取得するスキャナと、

前記スキャナの近傍に固定されたイメージセンサであって、前記移動体が水平姿勢の時に鉛直下方向を撮像し、画像データからロール角・ピッチ角・ヨー角を検出して前記スキャナの姿勢情報を取得するカメラと、

前記スキャナの測定基準点とのロール・ピッチ・ヨー軸方向の各ずれ量 (d_r , d_p , d_y) が予め既知となる位置に取り付けられたプリズムと、を備え、

前記測量機は、

前記移動体に取り付けた前記プリズムを追尾する追尾部と、

前記プリズムを測距測角し前記プリズムの位置情報を測定する測距部と、を備え、

前記移動体は、

前記プリズムの位置情報と前記スキャナの姿勢情報と前記スキャン点の三次元位置の時刻を同期し、

前記測量機による前記プリズムの絶対座標から前記各ずれ量 (d_r , d_p , d_y) だけ移動させた座標を前記スキャナの前記測定基準点とし、前記スキャナの基準光軸を前記カメラから検出した前記スキャナの姿勢方向に補正して、前記スキャナが取得した各スキャン点までの距離・角度を再計算する補正を行い、補正したスキャン点の絶対座標を記憶することを特徴とする測量システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

発明は、測量現場の三次元データを取得する測量システムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、測量現場の三次元測量が頻繁に行われている。例えば特許文献 1 には、カメラおよびプリズムを搭載した移動体と、トータルステーション（電子式測距測角儀、以下、測量機と称する）とを使用して、測量機でプリズムを追尾してカメラの撮影位置を特定し、写真測量を行う測量システムが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2015 - 145784 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

しかし、特許文献 1 のような測量システムでは、カメラの照度を確保しなければ、写真測量により得た成果物（三次元マップなど）にデータの抜けが生じることがあった。

【 0 0 0 5 】

本発明は、測量現場の三次元データを取得するにあたり、データの抜けが生じにくい測量システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

上記課題を解決するために、本発明のある態様の測量システムは、移動体と、測距光を発する出射部、反射測距光を受光する受光部、前記受光部の出力に基づき測距を行う測距部、前記測距光の光軸上に配置され前記測距光を偏向する第一光軸偏向部、前記反射測距光の受光光軸上に配置され前記第一光軸偏向部と同一の偏角および方向で前記反射測距光を偏向する第二光軸偏向部、および前記第一光軸偏向部および前記第二光軸偏向部の偏角および方向を検出する出射方向検出部、を有するスキャナと、前記スキャナの姿勢を検出する姿勢検出装置と、前記スキャナの位置を測定する位置測定装置と、を備える。

10

【 0 0 0 7 】

上記態様において、前記姿勢検出装置は前記スキャナの三軸の加速度と角速度を検出する慣性計測装置であり、前記位置測定装置は GPS 装置であることも好ましい。

【 0 0 0 8 】

上記態様において、前記姿勢検出装置は前記スキャナの三軸の加速度と角速度を検出する慣性計測装置であり、前記位置測定装置は前記移動体に取り付けたプリズムを追尾する測量機であることも好ましい。

20

【 0 0 0 9 】

上記態様において、前記姿勢検出装置は前記スキャナの姿勢を写真解析するためのカメラであり、前記位置測定装置は、前記移動体に取り付けたプリズムを追尾する測量機であることも好ましい。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本発明の測量システムによれば、三次元測量の成果物をより高精度に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

30

【 0 0 1 1 】

【図 1】第 1 の実施形態に係る測量システムの全体構成図であり、(A) は同システムの側面図、(B) は同システムの底面図である。

【図 2】第 1 の実施形態に係る測量システムに搭載されるフレネルスキャナの構成ブロック図である。

【図 3】第 1 の実施形態に係る測量システムの制御ブロック図である。

【図 4】第 1 の実施形態に係る測量システムの動作フローチャートである。

【図 5】第 1 の実施形態に係る測量システムにより可能なスキャンのイメージ図であり、(A) はスキャンの軌跡の例を示す図、(B) は同スキャンにより得られる三次元計測のあるイメージ図、(C) は同スキャンにより得られる三次元計測の別のイメージ図である。

40

【図 6】第 2 の実施形態に係る測量システムの全体構成図である。

【図 7】第 2 の実施形態に係る測量用移動装置の構成図であり、(A) は同装置の側面図、(B) は同装置の底面図である。

【図 8】第 2 の実施形態に係る測量システムの制御ブロック図である。

【図 9】第 2 の実施形態に係る測量システムの動作フローチャートである。

【図 10】第 3 の実施形態に係る測量システムの測量用移動装置の構成図であり、(A) は同装置の側面図、(B) は同装置の底面図である。

【図 11】第 3 の実施形態に係る測量システムの制御ブロック図である。

【図 12】第 3 の実施形態に係る測量システムの動作フローチャートである。

【図 13】第 2 の実施形態に係る測量システムのある変形例である。

50

【図 1 4】第 2 の実施形態に係る測量システムの別の变形例である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

次に、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0013】

(第 1 の実施形態)

図 1 は、第 1 の実施形態に係る測量システム 1 の構成図であり、(A) は同システム 1 の側面図、(B) は同システム 1 の底面図である。測量システム 1 は、移動体 2 と、スキャナ 3 と、GPS 装置 4 と、IMU 5 を有する、測量用移動装置 10 である。

【0014】

移動体 2 は、自律飛行可能な無人航空機 (UAV: Unmanned Air Vehicle) である。移動体 2 は、放射状に延出する複数のプロペラ 6 と、図示しない飛行ユニットを有し、予め定められた飛行経路を飛行したり、遠隔操作により自由に飛行することが可能である。

【0015】

GPS 装置 4 は、移動体 2 に固定されており、GPS 衛星から信号を受信し、UTC 時刻・緯度・経度を取得する。GPS 装置 4 は、スキャナ 3 の位置を測定する位置測定装置として機能する。

【0016】

IMU (慣性計測装置) 5 は、移動体 2 に内蔵されており、3 軸ジャイロと 3 軸加速度センサを有し、スキャナの 3 軸方向 (ロール・ピッチ・ヨー) の角速度と加速度を取得する。IMU 5 は、スキャナ 3 の姿勢を検出する姿勢検出装置として機能する。

【0017】

スキャナ 3 は、レーザ測距光を送光し、スキャン点の三次元位置を計測する。スキャナ 3 は、光の出射部と受光部にそれぞれ、リズレープリズム (Risley Prism) を備える光軸偏向部が配置されており、測距光を任意の方向に偏向できる。スキャナ 3 の基準光軸 O は、移動体 2 が水平姿勢の時に鉛直下方向に向くように設けられている (図 1 (A) 参照)。なお、符号 3 o は、基準光軸 O 上にあるスキャナ 3 の測定基準点を示している。

【0018】

図 2 はスキャナ 3 の構成ブロック図である。スキャナ 3 は、出射部 3 a、受光部 3 b、測距部 3 c、スキャン演算部 3 d、出射方向検出部 3 m を有する。出射部 3 a は、発光素子 3 e と、一对のリズレープリズム 3 f, 3 g を備える。発光素子 3 e からは、測距光 3 h' が出射される。リズレープリズム 3 f, 3 g は、測距光の光軸 3 h を中心に対向し、モータドライバ 3 n によりそれぞれ独立に回転可能である。リズレープリズム 3 f, 3 g は、測距光 3 h' を偏向する第一光軸偏向部として機能する。受光部 3 b は、受光素子 3 i と、複数のリズレープリズムが連続した、一对のフレネルプリズム 3 j, 3 k を備える。受光素子 3 i は、スキャン点からの反射測距光を受光する。フレネルプリズム 3 j, 3 k は、反射測距光 3 l' の光軸 3 l を中心に対向し、モータドライバ 3 n によりそれぞれ独立に回転可能である。フレネルプリズム 3 j, 3 k は、反射測距光 3 l' を偏向する第二光軸偏向部として機能する。なお、図 2 では、出射側に第一光軸偏向部が配置され、受光側に第二光軸偏向部が配置されているが、出射側と受光側で光軸偏向部を共用する構成であってもよい。

【0019】

測距部 3 c は、測距光 3 h' を送光し、受光素子 3 i の受光信号に基づき、測距光 3 h' が往復する時間を計測することで、スキャン点までの距離を取得する。出射方向検出部 3 m は、モータドライバ 3 n に入力する駆動パルスのカウントすることで、または、エンコーダを使用して、リズレープリズム 3 f, 3 g の回転方向、回転量、回転速度を検出する。リズレープリズム 3 f, 3 g を通過することで、測距光 3 h' は任意の方向に偏向される。スキャン演算部 3 d は、出射方向検出部 3 m からリズレープリズム 3 f, 3 g の屈折率と回転角を得て、これらに基づき、測距光 3 h' の偏角および方向を演算する。

【0020】

出射方向検出部 3 m は、同様に、フレネルプリズム 3 j, 3 k の回転方向、回転量、回転速

10

20

30

40

50

度を検出する。スキャン演算部 3 d は、フレネルプリズム 3 j, 3 k がリズレープリズム 3 f, 3 g と常に同じ偏角、方向となるように制御する。フレネルプリズム 3 j, 3 k を通過することで、反射測距光 3 l' は受光光軸 3 l と合致するように偏向される。

【 0 0 2 1 】

以上の構成により、スキャナ 3 では、リズレープリズム 3 f, 3 g の回転位置の組み合わせにより、測距光 3 h' の偏向角および方向を任意に偏向し、スキャン点の三次元点群データを取得することができる。また、リズレープリズム 3 f, 3 g の位置関係を固定した状態で、リズレープリズム 3 f, 3 g を一体回転することで、測距光 3 h' を、偏向基準軸 O' を中心として、例えば円状に走査させることができる（後述の図 3 参照）。

【 0 0 2 2 】

図 3 は測量システム 1 の制御ブロック図である。測量システム 1 は、前述したスキャナ 3、GPS 装置 4、IMU 5 と、演算制御部 7 および操作部 8 を有する。操作部 8 からは、演算制御部 7 に対し各種の動作指示や設定を入力できる。

【 0 0 2 3 】

演算制御部 7 は、例えば CPU, ROM, RAM 等を集積回路に実装したマイクロコントローラである。演算制御部 7 は、図示しない飛行ユニットを制御するとともに、スキャナ 3 から三次元点群データ（スキャン点までの距離および角度）を取得し、GPS 装置 4 からスキャナ 3 の位置情報（緯度および経度）を取得し、IMU 5 からスキャナ 3 の姿勢情報（ロール角・ピッチ角・ヨー角）を取得する。三次元点群データとスキャナの位置情報および姿勢情報には、それぞれ、スキャナ 3 の送光信号の出力のタイミングで、GPS 装置 4 による時刻情報が付与される。演算制御部 7 は、時刻情報に基づき、スキャナ 3 で得た三次元点群データと、GPS 装置 4 で得たスキャナの位置情報と、IMU 5 で得たスキャナの姿勢情報を紐づけて記録する。演算制御部 7 は、さらに、スキャナ 3 で得た三次元位置をスキャナの位置と姿勢で補正するスキャン位置補正部 7 A を有する。この詳細は後述する。

【 0 0 2 4 】

次に、図 4 を参照して、測量システム 1 の動作フローを説明する。

【 0 0 2 5 】

まず、ステップ S 1 0 1 で、測量システム 1 の演算制御部 7 は、GPS 装置 4 から、三次元位置（絶対座標）を取得する。GPS 装置 4 とスキャナ 3 は一体となっているので、GPS 装置 4 が取得した位置情報はスキャナの位置とみなすことができる。

【 0 0 2 6 】

次に、ステップ S 1 0 2 で、ステップ S 1 0 1 と並行して、スキャナ 3 は、測距・測角をし、スキャン点の三次元位置を計測する。

【 0 0 2 7 】

次に、ステップ S 1 0 3 で、ステップ S 1 0 1 ~ S 1 0 2 と並行して、IMU 5 は、スキャナの姿勢（ロール角・ピッチ角・ヨー角）を検出する。

【 0 0 2 8 】

次に、ステップ S 1 0 4 で、演算制御部 7 は、ステップ S 1 0 1 で GPS 装置 4 から得たスキャナの位置情報と、ステップ S 1 0 2 でスキャナ 3 から得たスキャン点の三次元点群データと、ステップ S 1 0 3 で IMU 5 から得たスキャナの姿勢情報を、時刻によって紐づける。そして、スキャン位置補正部 7 A は、ステップ S 1 0 2 で得たスキャン点の三次元位置を、スキャナの位置と姿勢で補正する。

【 0 0 2 9 】

具体的に、ステップ S 1 0 1 で、スキャナ 3 の位置が絶対座標で取得されている。また、ステップ S 1 0 3 で、スキャナ 3 の傾き（姿勢）が分かっている。従って、スキャン位置補正部 7 A は、スキャナの基準光軸 O をスキャナの姿勢方向に補正し、GPS 装置 4 で得た座標をスキャナの測定基準点 3 o として、スキャナ 3 が測定した各スキャン点までの距離・角度を、再計算する。

【 0 0 3 0 】

10

20

30

40

50

最後に、ステップ S 1 0 5 で、演算制御部 7 は、ステップ S 1 0 4 で補正したスキャン点の三次元位置（絶対座標）を記憶し、動作を終了する。

【 0 0 3 1 】

以上の測量システム 1 によれば、次の効果が得られる。測量システム 1 では、スキャナ 3（レーザスキャナ）を使用しているため、照度に起因する三次元測量成果物のデータ欠けは生じない。

【 0 0 3 2 】

また、測量システム 1 を使用すれば、スキャナ 3 により、測距光 3 h' を自由に偏向できるので、測距光 3 h' を高速で回転させることで、図 5 (A) に示すような、二次元円状の走査が可能である（図中の矢印は移動体 2 の進行方向を示している）。高速に偏向させることで、図 5 (B) に示すように、ランダムな点の三次元点群データを取得することができるので、測量現場の草木なども測定することができる。または、図 5 (C) に示すように、スキャンしたい構造物に向けてスキャンすれば、構造物の上面 5 2 にしか測距光が当たらないラインスキャナ（一次元走査）に対し、スキャナ 3 は、構造物の上面 5 2 だけでなく側面 5 1 にも測距光を当てることができる。このため、測量現場の三次元測量にあたり、成果物のデータの抜けを減らすことができる。なお、上記は一例であり、スキャナ 3 は、ラインスキャンや、その他の任意のスキャンが可能である。

【 0 0 3 3 】

（第二の実施形態）

以下、第 1 の実施形態と同一の要素については、同一の符号を使用して説明を割愛する。図 6 は第 2 の実施形態に係る測量システム 1' の全体構成図であり、図 7 は測量システム 1' の測量用移動装置の構成図であり、(A) は同装置の側面図、(B) は同装置の底面図である。図 6 に示すように、測量システム 1' は、測量用移動装置 1 0' と、測量機 2 0 で構成される。

【 0 0 3 4 】

図 7 (A) に示すように、測量用移動装置 1 0' は、移動体 2 と、スキャナ 3 と、IMU 5 と、測量機 2 0 のターゲットとなるプリズム 9 とを有する。本形態では、プリズム 9 は、スキャナ 3 のレンズ部の先端横に固定されている。プリズム 9 の固定位置はこれ以外の箇所であってもよいが、スキャナの測定基準点 3 o とプリズム 9 の光学中心（光学的な反射点）9 o とのロール軸・ピッチ軸・ヨー軸方向の各ずれ量（ d_r , d_p , d_y ）は、プリズム 9 を取り付ける際に既知としておく。

【 0 0 3 5 】

測量機 2 0 は、ターゲットを自動追尾可能なトータルステーションであり、水平回転する本体 2 0 a と、本体 2 0 a に鉛直回転可能に設けられた望遠鏡 2 0 b とを有する（図 6）。測量機 2 0 は、三脚を用いて既知の点に据え付けられている。本形態において、測量機 2 0 は、スキャナ 3 の位置を測定する位置測定装置として機能する。

【 0 0 3 6 】

図 8 は測量システム 1' の制御ブロック図である。測量用移動装置 1 0' 側は、スキャナ 3、IMU 5、演算制御部 7、操作部 8、通信部 1 1、およびタイマ 1 2 を有する。演算制御部 7 は、スキャナ 3 から三次元点群データ（スキャン点の距離および角度）を取得し、IMU 5 からスキャナ 3 の姿勢情報（ロール角・ピッチ角・ヨー角）を取得する。演算制御部 7 は、スキャナ 3 の送光信号の出力のタイミングでタイマ 1 2 からシステムタイムを取得し、三次元点群データとスキャナの姿勢情報に時刻を付与する。スキャン位置補正部 7 A は、スキャナ 3 で得た三次元位置をスキャナの位置と姿勢で補正する。この詳細は後述する。

【 0 0 3 7 】

測量機 2 0 側は、水平角検出器 2 1 と、鉛直角検出器 2 2 と、水平回転駆動部 2 3 と、鉛直回転駆動部 2 4 と、表示部 2 5 と、操作部 2 6 と、演算制御部 2 7 と、追尾部 2 8 と、測距部 2 9 と、記憶部 3 0 と、通信部 3 1 と、タイマ 3 2 を有する。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

50

水平回転駆動部 2 3 と鉛直回転駆動部 2 4 は、モータであり、演算制御部 2 7 に制御されて、それぞれ水平回転軸と鉛直回転軸を駆動する。表示部 2 5 と操作部 2 6 は、測量機 2 0 のインターフェースであり、測量作業の指令・設定や作業状況および測定結果の確認などが行える。水平角検出器 2 1 と鉛直角検出器 2 2 は、アブソリュートエンコーダまたはインクリメンタルエンコーダである。水平角検出器 2 1 は水平回転軸に対して設けられ本体 2 0 a の水平方向の回転角を検出する。鉛直角検出器 2 2 は鉛直回転軸に対して設けられ望遠鏡 2 0 b の鉛直方向の回転角を検出する。

【 0 0 3 9 】

追尾部 2 8 は、測距光とは異なる波長の赤外レーザ等を追尾光として出射する追尾送光系と、CCD センサ又は CMOS センサ等のイメージセンサを有する追尾受光系を有する。追尾部 2 8 は、追尾光を含む風景画像と追尾光を除いた風景画像を取得し、両画像を演算制御部 2 7 に送る。演算制御部 2 7 は、両画像の差分からターゲット像の中心を求め、ターゲット像の中心と望遠鏡 2 0 b の視軸中心からの隔たりが一定値以内に収まる位置をターゲットの位置として検出し、常に望遠鏡 2 0 b がターゲットの方向を向くように、自動追尾する。

10

【 0 0 4 0 】

測距部 2 9 は、赤外レーザ等の測距光をターゲットに射出する測距送光系と、フォトダイオード等で反射測距光を受光する測距受光系を有する。測距部 2 9 は、ターゲットからの反射測距光を測距受光系で受光するとともに、測距光の一部を分割して内部参照光として受光し、反射測距光と内部参照光との位相差に基づきターゲットまでの距離を測定する。また、水平角検出器 2 1 と鉛直角検出器 2 2 の検出値から、ターゲットを測角する。

20

【 0 0 4 1 】

演算制御部 2 7 は、例えば CPU, ROM, RAM 等を集積回路に実装したマイクロコントローラであり、回転駆動部 2 3, 2 4 の制御、測距部 2 9 および追尾部 2 8 の制御を行う。演算制御部は、測距部 2 9 の送光信号の出力のタイミングでタイマ 3 2 からシステムタイムを取得し、測距・測角値に時刻を付与する。記憶部 3 0 は、例えばハードディスクドライブであり、上記演算制御のための各種プログラムが格納されている。測距部 2 9 が取得したターゲット位置（距離および角度）は、時刻情報とともに記憶部 3 0 に記憶される。通信部 3 1 は、測量用移動装置 1 0 ' 側の通信部 1 1 との間で無線通信が可能であり、演算制御部 2 7 の制御下において、記憶部 3 0 に記憶されたターゲット位置を測量用移動装置 1 0 ' へ送信する。

30

【 0 0 4 2 】

次に、図 9 を参照して、測量システム 1 ' の動作フローを説明する。

【 0 0 4 3 】

まず、ステップ S 2 0 1 で、測量機 2 0 は測量用移動装置 1 0 ' のプリズム 9 の自動追尾を開始する。

【 0 0 4 4 】

次に、ステップ S 2 0 2 で、測量機 2 0 は、自動追尾した位置を測距部 2 9 で測距・測角し、プリズム 9 の三次元位置（絶対座標）を測定する。測量機 2 0 は、プリズム 9 の三次元位置を、測量用移動装置 1 0 ' に送信する。

40

【 0 0 4 5 】

次に、ステップ S 2 0 3 で、ステップ S 2 0 1 ~ S 2 0 2 と並行して、測量用移動装置 1 0 ' は、スキャナ 3 で測距・測角をし、スキャン点の三次元位置を計測する。

【 0 0 4 6 】

次に、ステップ S 2 0 4 で、ステップ S 2 0 1 ~ S 2 0 3 と並行して、測量用移動装置 1 0 ' は、IMU 5 からスキャナの姿勢（ロール角・ピッチ角・ヨー角）を検出する。

【 0 0 4 7 】

次に、ステップ S 2 0 5 で、測量用移動装置 1 0 ' の演算制御部 7 は、ステップ S 2 0 2 で測量機 2 0 から得たプリズム 9 の位置情報と、ステップ S 2 0 3 でスキャナ 3 から得たスキャン点の三次元点群データと、ステップ S 2 0 4 で IMU 5 から得たスキャナの姿勢情

50

報を、時刻によって紐づける。そして、スキャン位置補正部 7 A は、ステップ S 2 0 3 で得たスキャン点の三次元位置を、スキャナの位置と姿勢で補正する。

【 0 0 4 8 】

具体的に、ステップ S 2 0 2 で、プリズム 9 の位置が絶対座標で、かつ測量機 2 0 により精密に測定されている。また、ステップ S 2 0 4 で、スキャナ 3 の傾き（姿勢）が分かっている。従って、スキャン位置補正部 7 A は、スキャナの基準光軸 O をスキャナの姿勢方向に補正し、プリズム 9 の座標から各ずれ量（ d_r , d_p , d_y ）だけ移動させた座標をスキャナの測定基準点 3 o として、スキャナ 3 が測定した各スキャン点までの距離・角度を、再計算する。

【 0 0 4 9 】

最後に、ステップ S 2 0 6 で、測量用移動装置 1 0 ' は、ステップ S 2 0 5 で補正したスキャン点の三次元位置（絶対座標）を記憶し、動作を終了する。

【 0 0 5 0 】

本形態の測量システム 1 ' を使用すれば、第 1 の実施形態で得られた効果に加えて、スキャナ 3 の位置（スキャナの測定基準点 3 o）が、測量機 2 0 を使用して高精度で得ることができるので、三次元点群データの精度をより上げることができる。

【 0 0 5 1 】

（第三の実施形態）

以下、第 1 または第 2 の実施形態と同一の要素については、同一の符号を使用して説明を割愛する。第 3 の実施形態に係る測量システム 1 " の全体構成図は図 6 と同様である。図 1 0 は、第 3 の実施形態に係る測量用移動装置 1 0 " の構成図であり、（ A ）は同装置の側面図、（ B ）は同装置の底面図である。図 1 1 は、測量システム 1 " の制御ブロック図である。

【 0 0 5 2 】

図 1 0 に示すように、測量システム 1 " は、測量用移動装置 1 0 " と、測量機 2 0 で構成される。図 1 0 （ A ）および図 1 0 （ B ）に示すように、測量用移動装置 1 0 " は、移動体 2 と、スキャナ 3 と、プリズム 9 と、そして、IMU 5 に代えてカメラ 1 3 を有する。プリズム 9 は、第 2 の実施形態と同様に、スキャナ 3 のレンズ部の先端横に固定されている。スキャナ 3 の測定基準点 3 o とプリズム 9 の光学中心 9 o とのロール軸・ピッチ軸・ヨー軸方向の各ずれ量（ d_r , d_p , d_y ）は、プリズム 9 を取り付ける際に既知としておく。

【 0 0 5 3 】

カメラ 1 3 は、CCD センサ又は CMOS センサ等のイメージセンサであり、各画素は画像素子上での位置が特定できるようになっている。例えば、各画素は、カメラ 1 3 の撮像光軸 O " を原点とした座標系で画像上での位置が特定される。カメラ 1 3 は、移動体 2 に内蔵されており、スキャナ 3 の機械機構と位置をずらして固定されている。カメラ 1 3 の撮像光軸 O " は、移動体 2 が水平姿勢の時に鉛直下方向に向くように設けられている（図 1 0 （ B ）参照）。本形態で、カメラ 1 3 は、スキャナ 3 の姿勢を検出する姿勢検出装置として機能する。

【 0 0 5 4 】

測量システム 1 " の制御系は、図 1 1 に示すように、測量用移動装置 1 0 " 側は、スキャナ 3、演算制御部 7、操作部 8、通信部 1 1、タイマ 1 2、およびカメラ 1 3 を有する。演算制御部 7 は、スキャナ 3 から三次元点群データ（スキャン点の距離および角度）を取得し、カメラ 1 3 から画像データを取得する。演算制御部 7 は、スキャナ 3 の送光信号の出力のタイミングでタイマ 1 2 からシステムタイムを取得し、三次元点群データと画像データに時刻を付与する。スキャン位置補正部 7 A は、スキャナ 3 で得た三次元位置をスキャナの位置と姿勢で補正する。この詳細は後述する。測量機 2 0 側の制御系は、第 2 の実施形態と同様である。

【 0 0 5 5 】

次に、図 1 2 を参照して、測量システム 1 " の動作フローを説明する。

【 0 0 5 6 】

10

20

30

40

50

まず、ステップ S 3 0 1 で、測量機 2 0 は測量用移動装置 1 0 " のプリズム 9 の自動追尾を開始する。

【 0 0 5 7 】

次に、ステップ S 3 0 2 で、測量機 2 0 は、自動追尾した位置を測距部 2 9 で測距・測角し、プリズム 9 の三次元位置（絶対座標）を測定する。測量機 2 0 は、プリズム 9 の三次元位置を、測量用移動装置 1 0 " に送信する。

【 0 0 5 8 】

次に、ステップ S 3 0 3 で、ステップ S 3 0 1 ~ S 3 0 2 と並行して、測量用移動装置 1 0 " は、スキャナ 3 で測距・測角をし、スキャン点の三次元位置を計測する。

【 0 0 5 9 】

次に、ステップ S 3 0 4 で、ステップ S 3 0 1 ~ S 3 0 3 と並行して、測量用移動装置 1 0 " は、カメラ 1 3 で画像データを取得する。測量用移動装置 1 0 " の演算制御部 7 は、画像データを写真解析して、カメラ 1 3 の姿勢（ロール角・ピッチ角・ヨー角）を検出する。カメラ 1 3 とスキャナ 3 は一体となっているので、カメラ 1 3 の姿勢はスキャナ 3 の姿勢とみなすことができる。

【 0 0 6 0 】

次に、ステップ S 3 0 5 で、演算制御部 7 は、ステップ S 3 0 2 で測量機 2 0 から得たプリズム 9 の位置情報と、ステップ S 3 0 3 でスキャナ 3 から得たスキャン点の三次元点群データと、ステップ S 3 0 4 で写真解析から得たスキャナの姿勢情報を、時刻によって紐づける。そして、スキャン位置補正部 7 A は、ステップ S 3 0 3 で得たスキャン点の三次元位置を、スキャナの位置と姿勢で補正する。

【 0 0 6 1 】

具体的に、ステップ S 3 0 2 で、プリズム 9 の位置が絶対座標で、かつ測量機 2 0 により精密に測定されている。また、ステップ S 3 0 4 で、スキャナ 3 の傾き（姿勢）が分かっている。従って、スキャン位置補正部 7 A は、スキャナの基準光軸 O をスキャナの姿勢方向に補正し、プリズム 9 の座標から各ずれ量（ d_r , d_p , d_y ）だけ移動させた座標をスキャナの測定基準点 3 0 として、スキャナ 3 が測定した各スキャン点までの距離・角度を、再計算する。

【 0 0 6 2 】

最後に、ステップ S 3 0 6 で、測量用移動装置 1 0 " は、ステップ S 3 0 5 で補正したスキャン点の三次元位置（絶対座標）を記憶し、動作を終了する。

【 0 0 6 3 】

本形態の測量システム 1 " を使用すれば、第 1 および第 2 の実施形態における効果に加えて、スキャナ 3 の姿勢検出のためにカメラ 1 3 を使用しているため、高精度な IMU を使用するよりも安価にシステムを構成することができる。

【 0 0 6 4 】

次に、以上の実施形態らの好適な変形例を示す。

【 0 0 6 5 】

（変形例 1）

第 2 または第 3 の実施形態において、測量用移動装置 1 0 ' , 1 0 " と測量機 2 0 は、それぞれタイマ 1 2 とタイマ 3 2 を持ち、時刻を同期しているが、以下の構成で、高精度に時刻を同期するのが好ましい。第 2 の実施形態を用いて例を示す。図 1 3 は、第 2 の実施形態に係る測量システム 1 ' の変形例である。

【 0 0 6 6 】

測量用移動装置 1 0 ' は、タイマ 1 2 に代えて、GPS 時刻部 1 4 を有し、さらに時刻同期部 1 5 を有する。測量機 2 0 は、タイマ 3 2 に代えて、GPS 時刻部 3 3 を有する。

【 0 0 6 7 】

GPS 時刻部 1 4 および GPS 時刻部 3 3 は、GPS 衛星から信号を受信し、UTC 時刻と定周期パルスである PPS 信号を生成する時計を有している。GPS 時刻部 1 4 は、スキャナ 3 の送光信号の出力のタイミングで、三次元点群データとスキャナの姿勢情報に第

10

20

30

40

50

1の時刻を付与する。GPS時刻部33は、測距部29の送光信号の出力のタイミングで、プリズム9の測距・測角値に第2の時刻を付与する。

【0068】

時刻同期部15は、スキャナ3によるスキャンが全て終了した後に、演算制御部7から第1の時刻が付与された三次元点群データを取得し、通信部11を介して第2の時刻が付与されたプリズム9の測距・測角値を取得する。測量機20の測量周期がスキャナ3のスキャン周期よりも短い周期（高周波数）となっている場合は、時刻同期部15は、第1の時刻と第2の時刻が一致するものを抽出し、このときのプリズム9の測距・測角値と三次元点群データを対応付ける。第1の時刻と第2の時刻が一致するものが無い場合は、ある第1の時刻の直前の第2の時刻と直後の第2の時刻を抽出し、内挿によって第2の時刻の測距・測角値を算出する。なお、上記の時刻同期は、測量周期がスキャン周期よりも長い周期（低周波数）となっている場合にも応用できる。

10

【0069】

（変形例2）

第2または第3の実施形態において、測量用移動装置10'、10"の移動体2はUAVであるが、移動体2は測量現場を移動可能であればよい。第2の実施形態を用いて例を示す。図14は、第2の実施形態に係る測量システム1'の別の変形例である。図14に示す移動体2'は車両であり、車両のルーフに、スキャナ3と、IMU5と、プリズム9とを一体にしたユニットが搭載されている。図14に示す移動体2"は、手持ち可能な筐体であり、スキャナ3と、IMU5と、プリズム9とを一体にしたユニットが取り付けられている。移動体がこのような形態であっても、第2の実施例と同等の効果が得られる。

20

【0070】

（変形例3）

第1または第2の実施形態において、測量用移動装置10、10'の任意の要素として、スキャナ3で取得した三次元点群データに色を付けるために、カメラ13を備えてもよい。第3の実施形態において、カメラ13はスキャナの姿勢検出のために設けられているが、同様に、三次元点群データに色を付けるために使用されてもよい。

【0071】

また、カメラ13を有する実施形態では、スキャナ3は測距光3h'を自由に偏向させ、図5(A)に示すような二次元円状の走査が可能であるため、カメラ13の画角に合わせたスキャンが可能となる。スキャン範囲をカメラ13の画像範囲に合わせることができるので、スキャン範囲に無駄がなく、カメラ13画像内の三次元点群データの点群密度を上げることができる。

30

【0072】

（変形例4）

第1～第3の実施形態において、スキャン点の三次元位置をスキャナの位置と姿勢で補正するスキャン位置補正部7Aは、測量用移動装置の演算制御部7に設けられているが、情報処理端末（パーソナルコンピュータなど）に設けられてもよい。

【0073】

（変形例5）

第2の実施形態のステップS202および第3の実施形態のステップS302において、測量機20はプリズム9の三次元位置を測量用移動装置10に送信するとしているが、別の記録装置に送信してもよい。また、スキャン点の三次元点群データおよび姿勢情報も別の記録装置に送信して、情報処理端末にて各データを取得し、後日に補正を行ってもよい。

40

【0074】

以上、本発明の好ましい測量システムについて、実施の形態および変形例を述べたが、各形態および各変形を当業者の知識に基づいて組み合わせることが可能であり、そのような形態も本発明の範囲に含まれる。

【符号の説明】

【0075】

50

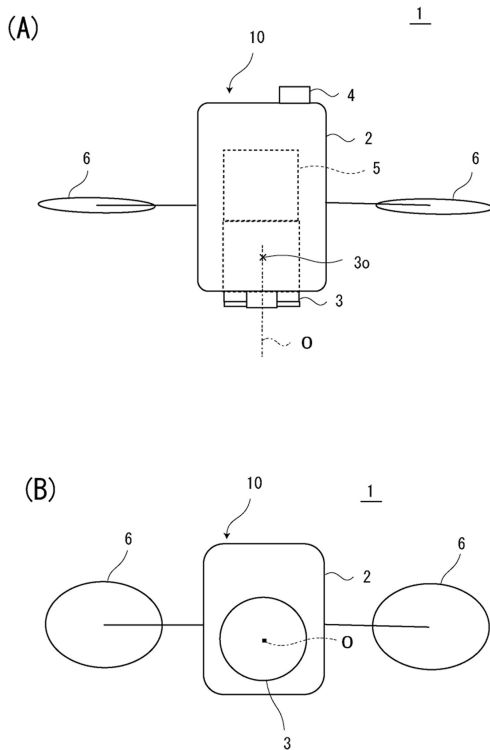
- 1, 1', 1" 測量システム
- 2 移動体
- 3 スキャナ
- 3 a 出射部
- 3 b 受光部
- 3 c 測距部
- 3 f, 3 g リズレープリズム (第一光軸偏向部)
- 3 h 測距光の光軸
- 3 h' 測距光
- 3 j, 3 k フレネルプリズム (第二光軸偏向部)
- 3 l 反射測距光の受光光軸
- 3 l' 反射測距光
- 3 m 出射方向検出部
- 4 GPS装置 (位置測定装置)
- 5 慣性計測装置 (姿勢検出装置)
- 9 プリズム
- 10, 10', 10" 測量用移動装置
- 13 カメラ (姿勢検出装置)
- 20 測量機 (位置測定装置)
- 28 追尾部

10

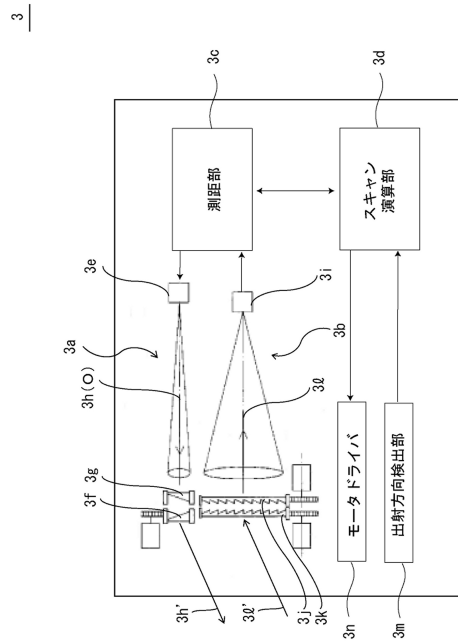
20

【図面】

【図1】



【図2】

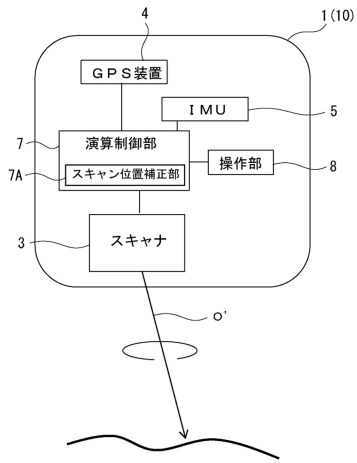


30

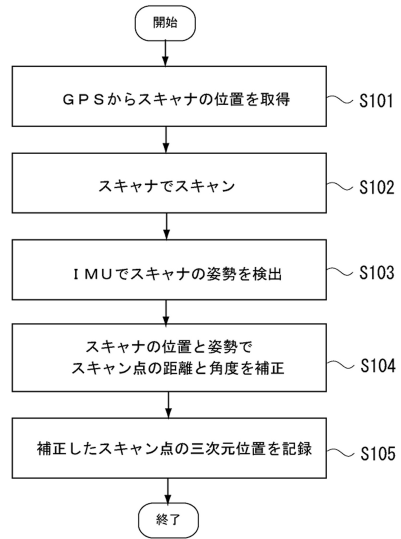
40

50

【図3】



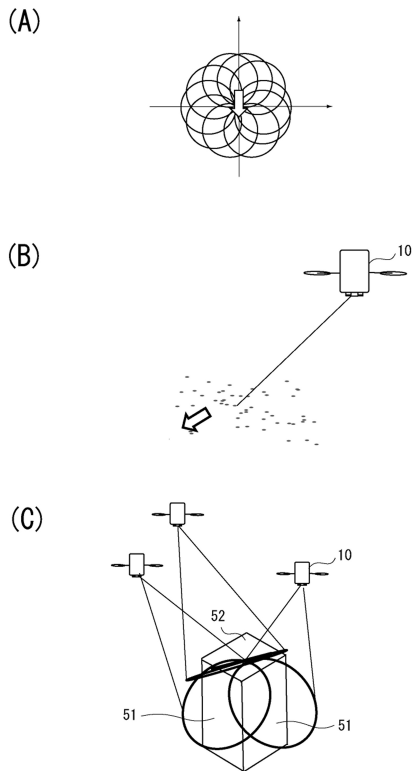
【図4】



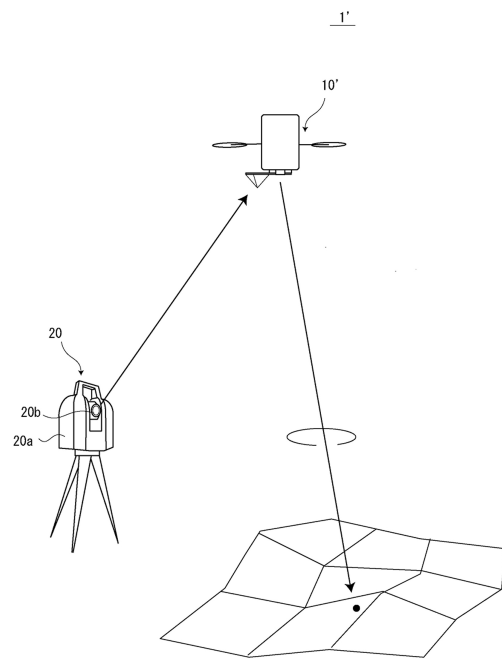
10

20

【図5】



【図6】

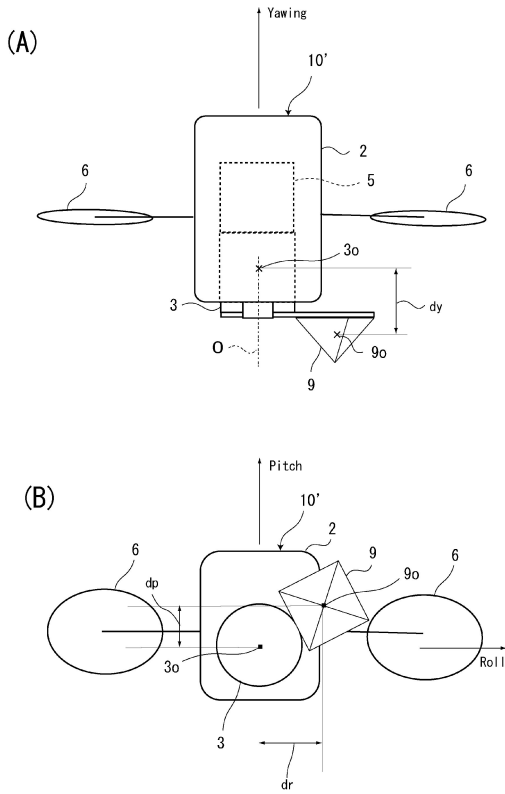


30

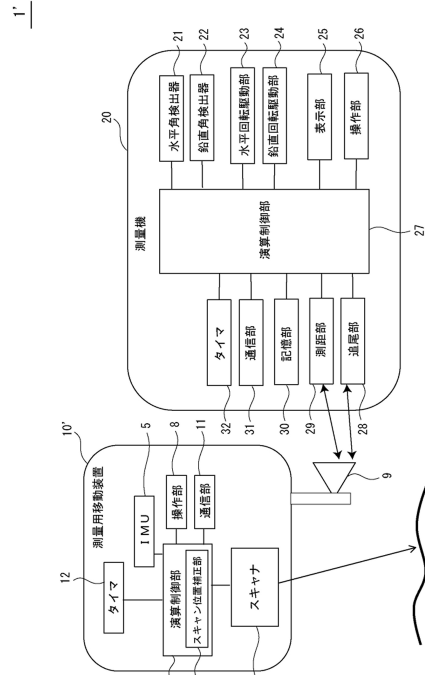
40

50

【図7】



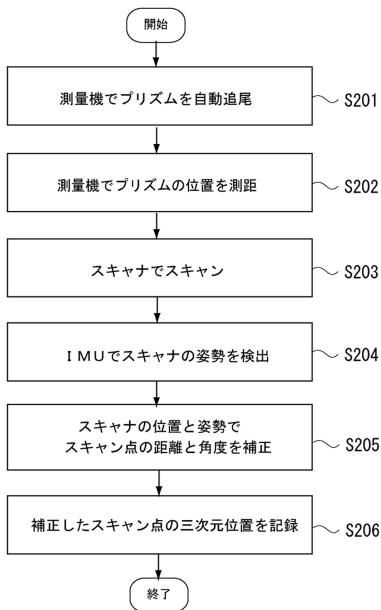
【図8】



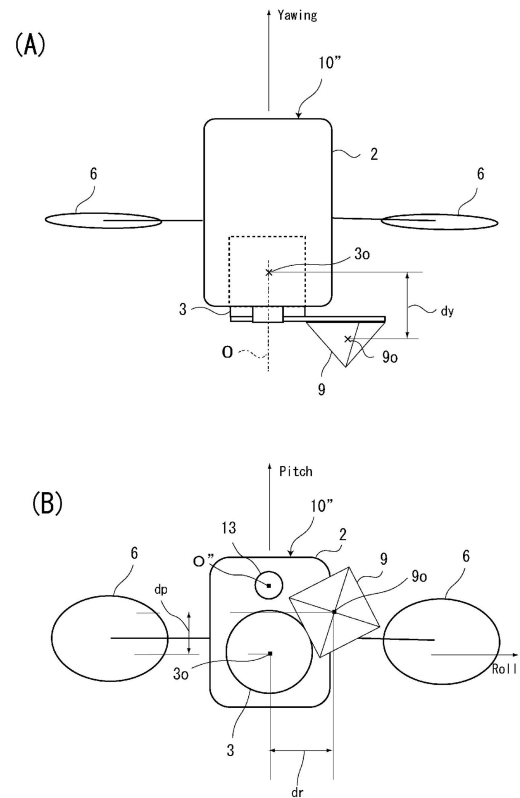
10

20

【図9】



【図10】

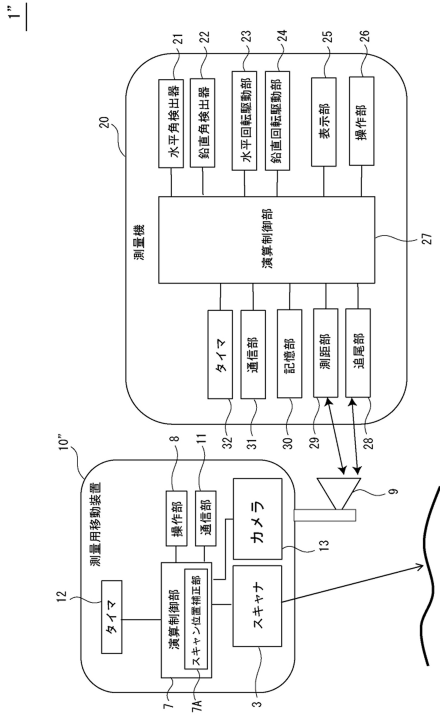


30

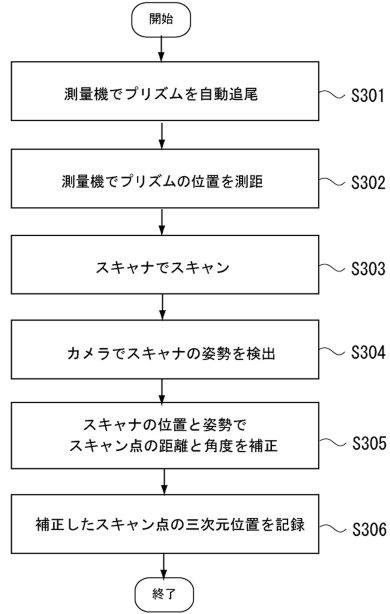
40

50

【図 1 1】



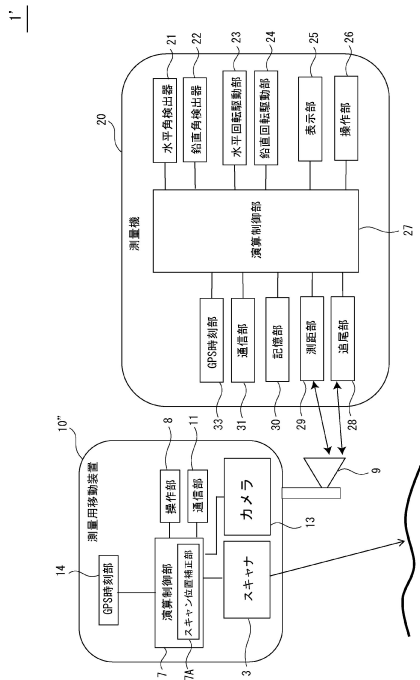
【図 1 2】



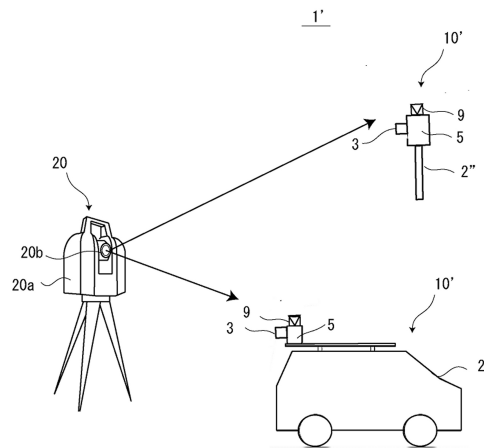
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2017 - 144784 (JP, A)
特開 2016 - 151422 (JP, A)
特開 2014 - 145784 (JP, A)
特開 2017 - 020972 (JP, A)
米国特許出願公開第 2017 / 0122736 (US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01C 7 / 04
G01C 15 / 00
B64D 47 / 08
B64C 27 / 08
B64C 39 / 02