

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7311353号
(P7311353)

(45)発行日 令和5年7月19日(2023.7.19)

(24)登録日 令和5年7月10日(2023.7.10)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 C 15/00 (2006.01) G 0 1 C 15/00 1 0 3 E
G 0 1 C 15/00 1 0 3 A

請求項の数 8 (全26頁)

(21)出願番号	特願2019-149697(P2019-149697)	(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
(22)出願日	令和1年8月19日(2019.8.19)	(74)代理人	100098796 弁理士 新井 全
(65)公開番号	特開2020-52035(P2020-52035A)	(74)代理人	100121647 弁理士 野口 和孝
(43)公開日	令和2年4月2日(2020.4.2)	(74)代理人	100187377 弁理士 芳野 理之
審査請求日	令和4年8月15日(2022.8.15)	(72)発明者	西田 信幸 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会 社トブコン内
(31)優先権主張番号	特願2018-177406(P2018-177406)	審査官	山 崎 和子
(32)優先日	平成30年9月21日(2018.9.21)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 測定装置及び測定装置の制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定光を発する発光素子と、前記測定光を射出する測定光射出部と、反射測定光を受光する受光部と、前記反射測定光を受光して受光信号を発生する受光素子とを有し、前記受光素子からの受光信号に基づき測定対象物の測距を行う測距部と、

前記測定光の射出方向を基準光軸に対して偏向するとともに所定の中心に対して周方向に前記測定光を走査可能な偏向部と、

前記測距部および前記偏向部を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記測距部の測距結果と前記偏向部により偏向される前記射出方向とに基づいて線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成される前記測定対象物と前記測定光の走査軌跡との一对の交点の座標を検出し、前記測定光の走査軌跡と前記測定対象物とが交差するように前記一对の交点の座標に基づいて前記射出方向を変更するよう前記偏向部の偏向作動を制御することを特徴とする測定装置。

10

【請求項2】

前記制御部は、前記一对の交点の座標の中心が水平方向の左右いずれか一方に向けて連続的に移動するように、前記射出方向を変更することを特徴とする請求項1に記載の測定装置。

【請求項3】

前記制御部は、前記一对の交点の座標の延長線上に前記所定の中心が配置されるように前記射出方向を変更することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の測定装置。

20

【請求項 4】

前記制御部は、前記射出方向を変更する前の前記測定光の走査軌跡と前記射出方向を変更した後の前記測定光の走査軌跡とが重なるように、前記射出方向を変更することを特徴とする請求項 3 に記載の測定装置。

【請求項 5】

前記制御部は、前記一对の交点のいずれか一方に前記所定の中心が配置されるように前記射出方向を変更することを特徴とする請求項 1 に記載の測定装置。

【請求項 6】

前記制御部は、前記測定光の走査軌跡が円形となり、かつ前記測定対象物が配置される位置において前記円形が前記測定対象物の太さに応じたサイズとなるように前記射出方向を変更することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の測定装置。

10

【請求項 7】

前記制御部は、前記測定光の走査軌跡が前記一对の交点を結ぶ方向を短軸とした楕円形となり、かつ前記短軸が前記一对の交点を結ぶ直線と前記測定光とがなす傾斜角に応じた長さとなるように前記射出方向を変更することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の測定装置。

【請求項 8】

測定対象物の測定を行う測定装置の制御方法であって、

前記測定装置は、

測定光を発する発光素子と、前記測定光を射出する測定光射出部と、反射測定光を受光する受光部と、前記反射測定光を受光して受光信号を発生する受光素子とを有する測距部と、前記測定光の射出方向を基準光軸に対して偏向するとともに所定の中心に対して周方向に前記測定光を走査可能な偏向部と、を有し、

20

前記受光素子からの受光信号に基づき前記測定対象物の測距を行う測距工程と、

前記測距工程の測距結果と前記偏向部により偏向される前記射出方向とに基づいて線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成される前記測定対象物と前記測定光の走査軌跡との一对の交点の座標を検出する交点検出工程と、

前記測定光の走査軌跡と前記測定対象物とが交差するように前記一对の交点の座標に基づいて前記射出方向を変更するよう前記偏向部の偏向作動を制御する制御工程と、を備えることを特徴とする測定装置の制御方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、測定装置及び測定装置の制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、土木、建築等の分野で距離測定、形状測定を行なうものとして点群データを取得するレーザスキャナが用いられている。従来のレーザスキャナでは、スキャン領域を事前に範囲設定し、一旦スキャン条件（例えば、スキャン速度、発光周波数）を設定すると、設定したスキャン条件でスキャン領域全体をスキャンする様になっている。

40

【0003】

このような従来のレーザスキャナは、いずれかの測定部位のスキャン密度（単位面積当たりの測定点データ数）を高くしたい場合、スキャン領域全体のスキャン密度を高くして膨大なスキャンデータを取得する必要がある。そこで、特許文献 1 では、高いスキャン密度が要求される部位を局所測定範囲として設定して高いスキャン密度でスキャンし、効率よくスキャンデータを取得している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開 2018 - 66571 号公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に開示されるレーザスキャナにおいて、局所測定範囲は、作業者が目視で判断した部位、あるいは撮像部が取得した画像データからエッジが多く抽出された部位となっている。しかしながら、作業者が目視で局所測定範囲を設定する場合、作業者による設定作業が煩雑であるとともに設定作業に多大な時間を要する。また、画像データからエッジを抽出して局所測定範囲を設定する場合、画像データの処理に時間と処理負荷が必要であるとともに所望の測定対象物のみを効率よく測定することができない。特に、測定対象物が線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成される電線等である場合に、測定対象物の全体を簡易かつ効率良く測定することができなかつた。

10

【0006】

本発明は、前記課題を解決するためになされたものであり、線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成される測定対象物の全体を簡易かつ効率良く測定することが可能な測定装置及びその制御方法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】

【0007】

前記課題は、本発明によれば、測定光を発する発光素子と、前記測定光を射出する測定光射出部と、反射測定光を受光する受光部と、前記反射測定光を受光して受光信号を発生する受光素子とを有し、前記受光素子からの受光信号に基づき測定対象物の測距を行う測距部と、前記測定光の射出方向を基準光軸に対して偏向するとともに所定の中心に対して周方向に前記測定光を走査可能な偏向部と、前記測距部および前記偏向部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記測距部の測距結果と前記偏向部により偏向される前記射出方向とに基づいて線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成される前記測定対象物と前記測定光の走査軌跡との一对の交点の座標を検出し、前記測定光の走査軌跡と前記測定対象物とが交差するように前記一对の交点の座標に基づいて前記射出方向を変更するよう前記偏向部の偏向作動を制御することを特徴とする測定装置により解決される。

20

【0008】

本構成の測定装置によれば、測距部の測距結果と偏向部により偏向される射出方向とに基づいて、線状、棒状および柱状の少なくともいずれか（以下、説明の便宜上「線状等」と称することがある。）に形成される測定対象物と測定光の走査軌跡との一对の交点の座標が検出される。一对の交点の座標が検出される場合、周方向に走査される測定光が線状等の測定対象物を測定している状態である。そして、線状等の測定対象物を測定している状態で、測定光の走査軌跡と線状等の測定対象物とが交差するように、測定光の射出方向が変更される。そのため、測定光の射出方向を変更した後も、線状等に形成される測定対象物を測定している状態が維持される。このような測定光の射出方向の変更を繰り返すことにより、線状に形成される測定対象物の全体を簡易かつ効率よく測定することができる。

30

【0009】

本発明の測定装置において、好ましくは、前記制御部は、前記一对の交点の座標の中心が水平方向の左右いずれか一方に向けて連続的に移動するように、前記射出方向を変更することを特徴とする。

40

本構成の測定装置によれば、線状等に形成される測定対象物の一端から他端までの領域を水平方向の左右いずれか一方に沿って連続的に測定することができる。

【0010】

本発明の測距装置において、好ましくは、前記制御部は、前記一对の交点の座標の延長線上に前記所定の中心が配置されるように前記射出方向を変更することを特徴とする。

本構成の測距装置によれば、一对の交点の座標の延長線上に測定光の走査軌跡の中心が配置されるため、線状等に形成される測定対象物が略直線状に延びる場合に、測定光の射出方向を変更した後も測定対象物を確実に測定することができる。

【0011】

50

本発明の測定装置において、好ましくは、前記制御部は、前記射出方向を変更する前の前記測定光の走査軌跡と前記射出方向を変更した後の前記測定光の走査軌跡とが重なるように、前記射出方向を変更することを特徴とする。

本構成の測定装置によれば、射出方向を変更する前の測定光の走査軌跡と射出方向を変更した後の測定光の走査軌跡とが重なるため、線状等に形成される測定対象物を確実に捕捉しつつ高密度に測定することができる。

【0012】

本発明の測定装置において、好ましくは、前記制御部は、前記一对の交点のいずれか一方に前記所定の中心が配置されるように前記射出方向を変更することを特徴とする。

本構成の測定装置によれば、一对の交点の座標のいずれか一方に測定光の走査軌跡の中心が配置されるため、線状等に形成される測定対象物が曲線状に伸びる場合や、伸びる方向が転換する場合であっても、射出方向を変更した後に測定対象物を確実に測定することができる。

10

【0014】

本発明の測定装置において、好ましくは、前記制御部は、前記測定光の走査軌跡が円形となり、かつ前記測定対象物が配置される位置において前記円形が前記測定対象物の太さに応じたサイズとなるように前記射出方向を変更することを特徴とする。

本構成の測定装置によれば、測定対象物が配置される位置における円形の走査軌跡のサイズを測定対象物の太さに応じたサイズとしているため、測定装置から測定対象物までの距離によらずに、測定対象物を所望の密度で測定することができる。

20

【0015】

本発明の測定装置において、好ましくは、前記制御部は、前記測定光の走査軌跡が前記一对の交点を結ぶ方向を短軸とした楕円形となり、かつ前記短軸が前記一对の交点を結ぶ直線と前記測定光とがなす傾斜角に応じた長さとなるように前記射出方向を変更することを特徴とする。

本構成の測定装置によれば、測定対象物が伸びる方向と測定光の方向とが90°よりも大きい鈍角である傾斜角をなすように配置した場合であっても、一对の交点を結ぶ長さが一定に維持されるため、線状等に形成される測定対象物の各部の座標を一定の間隔で取得することができる。

【0016】

30

前記課題は、本発明によれば、測定対象物の測定を行う測定装置の制御方法であって、前記測定装置は、測定光を発する発光素子と、前記測定光を射出する測定光射出部と、反射測定光を受光する受光部と、前記反射測定光を受光して受光信号を発生する受光素子とを有する測距部と、前記測定光の射出方向を基準光軸に対して偏向するとともに所定の中心に対して周方向に前記測定光を走査可能な偏向部と、を有し、前記受光素子からの受光信号に基づき前記測定対象物の測距を行う測距工程と、前記測距工程の測距結果と前記偏向部により偏向される前記射出方向とに基づいて線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成される前記測定対象物と前記測定光の走査軌跡との一对の交点の座標を検出する交点検出工程と、前記測定光の走査軌跡と前記測定対象物とが交差するように前記一对の交点の座標に基づいて前記射出方向を変更するよう前記偏向部の偏向作動を制御する制御工程と、を備えることを特徴とする測定装置の制御方法により解決される。

40

【0017】

本構成の測定装置の制御方法によれば、測距工程の測距結果と偏向部により偏向される射出方向とに基づいて線状等に形成される測定対象物と測定光の走査軌跡との一对の交点の座標が検出される。一对の交点の座標が検出される場合、周方向に走査される測定光が線状等の測定対象物を測定している状態である。そして、線状等の測定対象物を測定している状態で、測定光の走査軌跡と線状等の測定対象物とが交差するように、測定光の射出方向が変更される。そのため、測定光の射出方向を変更した後も、線状等に形成される測定対象物を測定している状態が維持される。このような測定光の射出方向の変更を繰り返すことにより、線状等に形成される測定対象物の全体を簡易かつ効率よく測定することができる。

50

できる。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成される測定対象物の全体を簡易かつ効率良く測定することが可能な測定装置及びその制御方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の第1実施形態に係るレーザスキャナを具備する測量システムの外観図である。

10

【図2】図1に示すレーザスキャナの概略構成図である。

【図3】図1に示すレーザスキャナに於ける偏向部の概略図である。

【図4】図3に示す偏向部の作用説明図である。

【図5】電線を基準光軸に沿って水平方向にみたX-Z平面図である。

【図6】電線及び測量システムを上方からみたX-Y平面図である。

【図7】電線及び測量システムを水平方向からみたY-X平面図である。

【図8】演算制御部が実行する処理を示すフローチャートである。

【図9】演算制御部が実行する処理を示すフローチャートである。

【図10】操作装置の操作画面に表示される画像の一例を示す図である。

【図11】電線を円形にスキャンした状態を示す図である。

20

【図12】探索開始点から複数回に渡って円形にスキャンしたときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。

【図13】探索開始点から複数回に渡って円形にスキャンしたときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。

【図14】第1実施形態の測量システムにおいて、円形のスキャンをn回からn+3回目まで行ったときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。

【図15】第1実施形態の測量システムにおいて、円形のスキャンをn回からn+3回目まで行ったときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。

【図16】第2実施形態の測量システムにおいて、円形のスキャンをn回からn+3回目まで行ったときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。

30

【図17】第3実施形態の測量システムにおいて、電線を円形にスキャンした状態を示す図である。

【図18】第4実施形態の測量システムにおいて、電線及び測量システムを上方からみたX-Y平面図である。

【図19】第4実施形態の測量システムにおいて、楕円形のスキャンをn回からn+1回目まで行ったときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。

【図20】図19に示す電線を上方からみた図である。

【図21】第4実施形態の比較例の測量システムにおいて、円形のスキャンをn回からn+1回目まで行ったときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。

【図22】図21に示す電線を上方からみた図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0020】

〔第1実施形態〕

以下、図面を参照しつつ本発明の実施例を説明する。まず、図1に於いて、本実施形態に係るレーザスキャナを具備する測量システム（測定装置）について概略を説明する。図1中、1は測量システムであり、0は後述する偏向部35により偏向されていない状態での光軸を示し、この時の光軸を基準光軸とする。

【0021】

測量システム1は、主に支持装置としての三脚2、レーザスキャナ3、操作装置4、回転台5から構成される。回転台5は三脚2の上端に取付けられ、回転台5にレーザスキャ

50

ナ 3 が横回転可能及び縦回転可能に取付けられる。又、回転台 5 は、レーザスキャナ 3 の横方向の回転角（水平方向の回転角）を検出する機能を具備している。

【 0 0 2 2 】

回転台 5 には横方向に延びるレバー 7 が設けられる。レバー 7 の操作により、レーザスキャナ 3 を上下方向（鉛直方向）、又は横方向（水平方向）に回転させることができ、また所要の姿勢で固定することも可能となっている。

【 0 0 2 3 】

レーザスキャナ 3 は、測距部 3 A（図 2 参照）、姿勢検出部 1 7（図 2 参照）を内蔵し、測距部 3 A は測定光 2 3 を測定対象物、或は測定範囲に射出し、反射測定光 2 4 を受光して測定を行う。又、姿勢検出部 1 7 は、レーザスキャナ 3 の鉛直（又は水平）に対する姿勢を高精度に検出可能である。

10

【 0 0 2 4 】

操作装置 4 は、レーザスキャナ 3 との間で有線、無線等所要の手段を介して通信を行う通信機能を有する。又、操作装置 4 は、アタッチメント 8 を介してレーザスキャナ 3 に着脱可能となっており、取外した操作装置 4 は片手で保持し、操作可能であり、操作装置 4 によりレーザスキャナ 3 を遠隔操作可能となっている。

【 0 0 2 5 】

更に、レーザスキャナ 3 からは、画像、測定状態、測定結果等が操作装置 4 に送信され、画像、測定状態、測定結果等が、操作装置 4 に記憶され操作装置 4 の表示部（図示せず）に表示される様になっている。操作装置 4 は、例えばスマートフォンであってもよい。

20

【 0 0 2 6 】

図 2 を参照して、レーザスキャナ 3 について説明する。

レーザスキャナ 3 は、測定光射出部 1 1、受光部 1 2、測距演算部 1 3、撮像部 1 4、射出方向検出部 1 5、モータドライバ 1 6、姿勢検出部 1 7、第 1 通信部 1 8、演算制御部 1 9、第 1 記憶部 2 0、撮像制御部 2 1、画像処理部 2 2 を具備し、これらは筐体 9 に収納され、一体化されている。尚、測定光射出部 1 1、受光部 1 2、測距演算部 1 3 等は測距部 3 A を構成する。

【 0 0 2 7 】

測定光射出部 1 1 は射出光軸 2 6 を有し、射出光軸 2 6 上に発光素子 2 7、例えばレーザダイオード（LD）が設けられている。又、射出光軸 2 6 上に投光レンズ 2 8 が設けられている。更に、射出光軸 2 6 上に設けられた偏向光学部材としての第 1 反射鏡 2 9 と、受光光軸 3 1（後述）上に設けられた偏向光学部材としての第 2 反射鏡 3 2 とによって、射出光軸 2 6 は、受光光軸 3 1 と合致する様に偏向される。第 1 反射鏡 2 9 と第 2 反射鏡 3 2 とで射出光軸偏向部が構成される。発光素子 2 7 はパルスレーザ光線を発し、測定光射出部 1 1 は、発光素子 2 7 から発せられたパルスレーザ光線を測定光 2 3 として射出する。

30

【 0 0 2 8 】

受光部 1 2 について説明する。受光部 1 2 には、測定対象物（即ち測定点）からの反射測定光 2 4 が入射する。受光部 1 2 は、受光光軸 3 1 を有し、受光光軸 3 1 には、上記した様に、第 1 反射鏡 2 9、第 2 反射鏡 3 2 によって偏向された射出光軸 2 6 が合致する。

40

【 0 0 2 9 】

偏向された射出光軸 2 6 上に、即ち受光光軸 3 1 上に偏向部 3 5（後述）が配設される。偏向部 3 5 の中心を透過する真直な光軸は、基準光軸 0 となっている。基準光軸 0 は、偏向部 3 5 によって偏向されなかった時の射出光軸 2 6 又は受光光軸 3 1 と合致する。

【 0 0 3 0 】

偏向部 3 5 を透過し、入射した受光光軸 3 1 上に結像レンズ 3 4 が配設され、また受光素子 3 3、例えばフォトダイオード（PD）が設けられている。結像レンズ 3 4 は、反射測定光 2 4 を受光素子 3 3 に結像する。受光素子 3 3 は反射測定光 2 4 を受光し、受光信号を発生する。受光信号は、測距演算部 1 3 に入力される。測距演算部 1 3 は、受光信号に基づき測定点迄の測距を行う。

50

【 0 0 3 1 】

図 3 を参照して、偏向部 3 5 について説明する。偏向部 3 5 は、一対の光学プリズム 3 6 a , 3 6 b から構成される。光学プリズム 3 6 a , 3 6 b は、それぞれ円板状であり、受光光軸 3 1 上に直交して配置され、重なり合い、平行に配置されている。光学プリズム 3 6 a , 3 6 b として、それぞれリズレープリズムが用いられることが、装置を小型化するために好ましい。偏向部 3 5 の中央部は、測定光 2 3 が透過し、射出される第 1 偏向部である測定光偏向部 3 5 a となっており、中央部を除く部分は反射測定光 2 4 が透過し、入射する第 2 偏向部である反射測定光偏向部 3 5 b となっている。

【 0 0 3 2 】

光学プリズム 3 6 a , 3 6 b として用いられるリズレープリズムは、それぞれ平行に形成されたプリズム要素 3 7 a , 3 7 b と多数のプリズム要素 3 8 a , 3 8 b によって構成され、円板形状を有する。光学プリズム 3 6 a , 3 6 b 及び各プリズム要素 3 7 a , 3 7 b 及びプリズム要素 3 8 a , 3 8 b は同一の光学特性を有する。

10

【 0 0 3 3 】

プリズム要素 3 7 a , 3 7 b は、測定光偏向部 3 5 a を構成し、プリズム要素 3 8 a , 3 8 b は反射測定光偏向部 3 5 b を構成する。リズレープリズムは光学ガラスから製作してもよいが、光学プラスチック材料でモールド成形したものでもよい。光学プラスチック材料でモールド成形することで、安価なリズレープリズムを製作できる。

【 0 0 3 4 】

光学プリズム 3 6 a , 3 6 b はそれぞれ受光光軸 3 1 を中心に独立して個別に回転可能に配設されている。光学プリズム 3 6 a , 3 6 b は、回転方向、回転量、回転速度を独立して制御されることで、射出光軸 2 6 を通過する測定光 2 3 を任意の方向に偏向し、受光される反射測定光 2 4 を受光光軸 3 1 と平行に偏向する。光学プリズム 3 6 a , 3 6 b の外形形状は、それぞれ受光光軸 3 1 を中心とする円形であり、反射測定光 2 4 の広がりを考慮し、十分な光量を取得できる様、光学プリズム 3 6 a , 3 6 b の直径が設定されている。

20

【 0 0 3 5 】

光学プリズム 3 6 a の外周にはリングギア 3 9 a が嵌設され、光学プリズム 3 6 b の外周にはリングギア 3 9 b が嵌設されている。リングギア 3 9 a には駆動ギア 4 1 a が噛合し、駆動ギア 4 1 a はモータ 4 2 a の出力軸に固着されている。同様に、リングギア 3 9 b には駆動ギア 4 1 b が噛合し、駆動ギア 4 1 b はモータ 4 2 b の出力軸に固着されている。モータ 4 2 a , 4 2 b は、モータドライバ 1 6 に電氣的に接続されている。

30

【 0 0 3 6 】

モータ 4 2 a , 4 2 b は、回転角を検出することができるもの、或は駆動入力値に対応した回転をするもの、例えばパルスモータが用いられる。或は、モータの回転量（回転角）を検出する回転角検出器、例えばエンコーダ等を用いてモータの回転量を検出してもよい。モータ 4 2 a , 4 2 b の回転量がそれぞれ検出され、モータドライバ 1 6 によりモータ 4 2 a , 4 2 b が個別に制御される。尚、エンコーダを直接リングギア 3 9 a , 3 9 b にそれぞれ取付け、エンコーダによりリングギア 3 9 a , 3 9 b の回転角を直接検出する様にしてもよい。

40

【 0 0 3 7 】

駆動ギア 4 1 a , 4 1 b、モータ 4 2 a , 4 2 b は、測定光射出部 1 1 と干渉しない位置、例えばリングギア 3 9 a , 3 9 b の下側に設けられている。

投光レンズ 2 8、第 1 反射鏡 2 9、第 2 反射鏡 3 2、測定光偏向部 3 5 a 等は、投光光学系を構成し、反射測定光偏向部 3 5 b、結像レンズ 3 4 等は受光光学系を構成する。

【 0 0 3 8 】

測距演算部 1 3 は、発光素子 2 7 を制御し、測定光 2 3 としてパルスレーザ光線を発光させる。測定光 2 3 が、プリズム要素 3 7 a , 3 7 b（測定光偏向部 3 5 a）により、測定点に向かうよう偏向される。

【 0 0 3 9 】

50

測定対象物から反射された反射測定光 2 4 は、プリズム要素 3 8 a , 3 8 b (反射測定光偏向部 3 5 b)、結像レンズ 3 4 を介して入射し、受光素子 3 3 に受光される。受光素子 3 3 は、受光信号を測距演算部 1 3 に送出し、測距演算部 1 3 は受光素子 3 3 からの受光信号に基づき、パルス光毎に測定点 (測定光 2 3 が照射された点) の測距を行い、測距データは第 1 記憶部 2 0 に格納される。而して、測定光 2 3 をスキャンしつつ、パルス光毎に測距を行うことで各測定点の測距データが取得できる。

【 0 0 4 0 】

射出方向検出部 1 5 は、モータ 4 2 a , 4 2 b に入力する駆動パルスをカウントすることで、モータ 4 2 a , 4 2 b の回転角を検出する。或は、エンコーダからの信号に基づき、モータ 4 2 a , 4 2 b の回転角を検出する。又、射出方向検出部 1 5 は、モータ 4 2 a , 4 2 b の回転角に基づき、光学プリズム 3 6 a , 3 6 b の回転位置を演算する。

10

【 0 0 4 1 】

更に、射出方向検出部 1 5 は、光学プリズム 3 6 a , 3 6 b の屈折率と回転位置に基づき、測定光 2 3 の射出方向を演算し、演算結果は演算制御部 1 9 に入力される。演算制御部 1 9 は、測定光 2 3 の射出方向から基準光軸 O に対する測定点の水平角 1、鉛直角 2 を演算し、各測定点について、水平角 1、鉛直角 2 を測距データに関連付けることで、測定点の 3 次元データを求めることができる。

【 0 0 4 2 】

姿勢検出部 1 7 について説明する。姿勢検出部 1 7 は、フレーム 4 5 を有し、フレーム 4 5 は筐体 9 に固定され、或は構造部材に固定され、レーザスキャナ 3 と一体となっている。フレーム 4 5 にジンバルを介してセンサブロック 4 6 が取付けられている。センサブロック 4 6 は、直交する 2 軸を中心に 3 6 0 ° 回転自在となっている。センサブロック 4 6 には、第 1 傾斜センサ 4 7、第 2 傾斜センサ 4 8 が取付けられている。

20

【 0 0 4 3 】

第 1 傾斜センサ 4 7 は水平を高精度に検出するものであり、例えば水平液面に検出光を入射させ反射光の反射角度の変化で水平を検出する傾斜検出器、或は封入した気泡の位置変化で傾斜を検出する気泡管である。又、第 2 傾斜センサ 4 8 は傾斜変化を高応答性で検出するものであり、例えば加速度センサである。

【 0 0 4 4 】

センサブロック 4 6 のフレーム 4 5 に対する 2 軸についての相対回転角は、エンコーダ 4 9 , 5 0 によって検出される様になっている。又、センサブロック 4 6 を回転させ、水平に維持するモータ (図示せず) が 2 軸に関して設けられており、モータは、第 1 傾斜センサ 4 7、第 2 傾斜センサ 4 8 からの検出結果に基づきセンサブロック 4 6 を水平に維持する様に、演算制御部 1 9 によって制御される。

30

【 0 0 4 5 】

センサブロック 4 6 が傾斜していた場合 (レーザスキャナ 3 が傾斜していた場合)、センサブロック 4 6 に対する相対回転角がエンコーダ 4 9 , 5 0 によって検出され、エンコーダ 4 9 , 5 0 の検出結果に基づき、レーザスキャナ 3 の傾斜角、傾斜方向が検出される。センサブロック 4 6 は、2 軸について 3 6 0 ° 回転自在であるので、姿勢検出部 1 7 がどのような姿勢となるうとも (例えば、姿勢検出部 1 7 の天地が逆になった場合でも)、全方向での姿勢検出が可能である。

40

【 0 0 4 6 】

姿勢検出に於いて、高応答性を要求する場合は、第 2 傾斜センサ 4 8 の検出結果に基づき姿勢検出と姿勢制御が行われるが、第 2 傾斜センサ 4 8 は第 1 傾斜センサ 4 7 に比べ検出精度が悪いのが一般的である。姿勢検出部 1 7 では、高精度の第 1 傾斜センサ 4 7 と高応答性の第 2 傾斜センサ 4 8 を具備することで、第 2 傾斜センサ 4 8 の検出結果に基づき姿勢制御を行い、第 1 傾斜センサ 4 7 により高精度の姿勢検出を可能とする。

【 0 0 4 7 】

第 1 傾斜センサ 4 7 の検出結果で、第 2 傾斜センサ 4 8 の検出結果を較正することができる。即ち、第 1 傾斜センサ 4 7 が水平を検出した時のエンコーダ 4 9 , 5 0 の値、即ち

50

実際の傾斜角と第2傾斜センサ48が検出した傾斜角との間で偏差を生じれば、偏差に基づき第2傾斜センサ48の傾斜角を較正することができる。

【0048】

従って、予め、第2傾斜センサ48の検出傾斜角と、第1傾斜センサ47による水平検出とエンコーダ49、50の検出結果に基づき求めた傾斜角との関係を取得しておけば、第2傾斜センサ48に検出された傾斜角の較正(キャリブレーション)をすることができ、第2傾斜センサ48による高応答性での姿勢検出の精度を向上させることができる。

【0049】

演算制御部19は、傾斜の変動が大きい時、傾斜の変化が速い時は、第2傾斜センサ48からの信号に基づき、モータを制御する。又、演算制御部19は、傾斜の変動が小さい時、傾斜の変化が緩やかな時、即ち第1傾斜センサ47が追従可能な状態では、第1傾斜センサ47からの信号に基づき、モータを制御する。

【0050】

尚、第1記憶部20には、第1傾斜センサ47の検出結果と第2傾斜センサ48の検出結果との比較結果を示す対比データが格納されている。第2傾斜センサ48からの信号に基づき、第2傾斜センサ48による検出結果を較正する。この較正により、第2傾斜センサ48による検出結果を第1傾斜センサ47の検出精度迄高めることができる。よって、姿勢検出部17による姿勢検出に於いて、高精度を維持しつつ高応答性を実現することができる。

【0051】

撮像部14は、レーザスキャナ3の基準光軸0と平行な撮像光軸43を有し、例えば50°の画角を有するカメラであり、レーザスキャナ3のスキャン範囲を含む画像データを取得する。撮像光軸43と射出光軸26及び基準光軸0との関係は既知となっている。又、撮像部14は、動画像、又は連続画像が取得可能である。

【0052】

撮像制御部21は、撮像部14の撮像を制御する。撮像制御部21は、撮像部14が動画像、又は連続画像を撮像する場合に、動画像、又は連続画像を構成するフレーム画像を取得するタイミングとレーザスキャナ3でスキャンするタイミングとの同期を取っている。演算制御部19は画像と点群データとの関連付けも実行する。

【0053】

撮像部14の撮像素子44は、画素の集合体であるCCD、或はCMOS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様になっている。例えば、各画素は、撮像光軸43を原点とした座標系での画素座標を有し、画素座標によって画像素子上での位置が特定される。画像処理部22は、撮像部14で取得した画像データに操作装置4で表示させる情報を重ね合わせる画像処理等を行う。画像処理部22が生成した画像は、演算制御部19により操作装置4の操作画面4Aに表示される。

【0054】

レーザスキャナ3の測定作動について説明する。三脚2を既知点、又は所定点に設置し、基準光軸0を測定対象物に向ける。この時の基準光軸0の水平角は、回転台5の水平角検出機能によって検出され、基準光軸0の水平に対する傾斜角は姿勢検出部17によって検出される。

【0055】

偏向部35の偏向作用、スキャン作用について、図4を参照して説明する。尚、図4では説明を簡略化するため、光学プリズム36a、36bについて、プリズム要素37a、37bとプリズム要素38a、38bとを分離して示している。又、図4は、プリズム要素37a、37b、プリズム要素38a、38bが同方向に位置した状態を示しており、この状態では最大の偏向角が得られる。又、最小の偏向角は、光学プリズム36a、36bのいずれか一方が180°回転した位置であり、光学プリズム36a、36bの相互の光学作用が相殺され、偏向角は0°となる。従って、光学プリズム36a、36bを経て射出される測定光23と、光学プリズム36a、36bを経て受光される反射測定光24

10

20

30

40

50

は、基準光軸 O と合致する。

【 0 0 5 6 】

発光素子 2 7 から測定光 2 3 が発せられ、測定光 2 3 は投光レンズ 2 8 で平行光束とされ、測定光偏向部 3 5 a (プリズム要素 3 7 a , 3 7 b) を透過して測定対象物或は測定範囲に向けて射出される。ここで、測定光偏向部 3 5 a を透過することで、測定光 2 3 はプリズム要素 3 7 a , 3 7 b によって所要の方向に偏向されて射出される。測定対象物或は測定範囲で反射された反射測定光 2 4 は、反射測定光偏向部 3 5 b を透過して入射され、結像レンズ 3 4 により受光素子 3 3 に集光される。

【 0 0 5 7 】

反射測定光 2 4 が反射測定光偏向部 3 5 b を透過することで、反射測定光 2 4 は、受光光軸 3 1 と合致する様にプリズム要素 3 8 a , 3 8 b によって偏向される (図 4) 。光学プリズム 3 6 a と光学プリズム 3 6 b との回転位置の組み合わせにより、射出する測定光 2 3 の偏向方向、偏向角を任意に変更することができる。

10

【 0 0 5 8 】

従って、演算制御部 1 9 は、発光素子 2 7 よりレーザ光線を発光させつつ、偏向部 3 5 を制御することにより、測定光 2 3 を円の軌跡でスキャンさせることができる。尚、反射測定光偏向部 3 5 b は、測定光偏向部 3 5 a と一体に回転していることは言う迄もない。

【 0 0 5 9 】

更に、偏向部 3 5 の偏向角を連続的に変更して測定光 2 3 をスキャンしつつ測距を実行することでスキャン軌跡に沿って測距データ (スキャンデータ) を取得することができる。又、スキャン速度、スキャン密度等で定まるスキャン条件について、スキャン速度は、モータ 4 2 a , 4 2 b 間の関係を維持して、回転速度を増減することで、増減し、スキャン密度は、スキャン速度と測定光 2 3 のパルス発光周期との関係を制御することで所望の値に設定できる。

20

【 0 0 6 0 】

又、測定時の測定光 2 3 の射出方向角は、モータ 4 2 a , 4 2 b の回転角により検出でき、測定時の射出方向角と測距データとを関連付けることで、3次元の測距データを取得することができる。従って、レーザスキャナ 3 を、3次元位置データを有する点群データを取得するレーザスキャナとして機能させることができる。

【 0 0 6 1 】

次に、本実施形態の測量システム 1 により測定対象物の点群データを取得する処理について説明する。本実施形態の測定対象物は、線状に延びるように形成される電線 1 0 0 である。なお、本実施形態の測定対象物は、線状のものに限定されるわけではなく、棒状あるいは柱状のものであってもよい。また、本実施形態の測定対象物は、電線に限定されるわけではなく、線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成されるものであればよく、例えば建築材料等として用いられる H 形鋼や配管パイプ、電柱、建築物の柱等であってもよい。さらに、本実施形態の測定対象物は、直線状に延びたものに限定されるわけではなく、例えば配管パイプのように湾曲した部分を有するものであってもよく、電柱に架けられた電線のように曲線状に延びたものであってもよい。測定対象物の幅は、測定対象物の長さに対して 3 分の 1 以下であることが望ましい。本実施形態の測量システム 1 は、電線 1 0 0 を含む視野の全体の測定結果を第 1 記憶部 2 0 に記憶させるのではなく、電線 1 0 0 部分の測定結果のみを第 1 記憶部 2 0 に記憶させる。

30

【 0 0 6 2 】

図 5 は、電線 1 0 0 を基準光軸 O に沿ってみた X - Z 平面図である。図 6 は、電線 1 0 0 及び測量システム 1 を上方からみた X - Y 平面図である。図 7 は、電線 1 0 0 及び測量システム 1 を水平方向からみた Y - X 平面図である。

40

【 0 0 6 3 】

図 5 から図 7 において、軸線 X , 軸線 Y , 軸線 Z は、測量システム 1 のレーザスキャナ 3 の測定の基準点を通過する軸線である。軸線 Y は、レーザスキャナ 3 の基準光軸 O と一致する軸線である。軸線 X , Z は、互いに基準点で直交する軸線であり、それぞれ軸線 Y

50

と直交している。軸線 X , 軸線 Y , 軸線 Z により定められる 3 次元空間上の位置 P (P_x , P_y , P_z) は、レーザスキャナ 3 を基準とした座標である。

【 0 0 6 4 】

前述したように、軸線 Y の水平角 (水平面に対する傾斜角) は、姿勢検出部 1 7 により検出可能である。よって、演算制御部 1 9 は、姿勢検出部 1 7 が検出した水平角に基づいて位置 P (P_x , P_y , P_z) を補正することにより、水平面を基準とした位置を算出することができる。

【 0 0 6 5 】

図 5 から図 7 において、測定光 2 3 は、電線 1 0 0 上の位置 P (P_x , P_y , P_z) を通過するように偏向部 3 5 により偏向されている。 P_x は位置 P の軸線 X 上の座標であり、 P_y は位置 P の軸線 Y 上の座標であり、 P_z は位置 P の軸線 Z 上の座標である。

10

【 0 0 6 6 】

図 5 に示すように、本実施形態の測定対象物である電線 1 0 0 は、一端 1 0 1 が電柱 1 1 0 に取り付けられ、他端 1 0 2 が電柱 1 2 0 に取り付けられ、線状に形成されている。一对の電柱 1 1 0 及び電柱 1 2 0 は、軸線 X 方向に間隔を空けて配置されている。電線 1 0 0 は、例えば、一端 1 0 1 及び他端 1 0 2 が軸線 Z 方向の高さが同一となるように電柱 1 1 0 及び電柱 1 2 0 に取り付けられている。電線 1 0 0 は、自重により、一端 1 0 1 から他端 1 0 2 に至る長さ方向の中央部において軸線 Z に沿った鉛直方向の位置が最も低くなる。

【 0 0 6 7 】

図 6 に示すように、 X - Y 平面 (軸線 X 及び軸線 Y が配置される平面) において、軸線 Y と測定光 2 3 の射出方向とがなす X - Y 平面上の角度は、水平角 θ_1 となっている。図 7 に示すように、 Y - Z 平面 (軸線 Y 及び軸線 Z が配置される平面) において、軸線 Y と測定光 2 3 とがなす Y - Z 平面上の角度は、鉛直角 θ_2 となっている。射出方向検出部 1 5 は、光学プリズム 3 6 a , 3 6 b の屈折率と回転位置に基づき、測定光 2 3 の射出方向を示す水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を演算する。

20

【 0 0 6 8 】

次に、演算制御部 1 9 が実行する処理について図 8 及び図 9 を参照して説明する。図 8 及び図 9 は、演算制御部 1 9 が実行する処理を示すフローチャートである。演算制御部 1 9 は、例えば、 CPU (Central Processing Unit)、 RAM (Random Access Memory)、 ROM (Read Only Memory)、及びコンピュータ読み取り可能な記憶媒体等から構成されている。そして、各種機能を実現するための一連の処理は、一例として、プログラムの形式で記憶媒体等に記憶されており、このプログラムを CPU が RAM 等に読み出して、情報の加工・演算処理を実行することにより、各種機能が実現される。

30

【 0 0 6 9 】

ステップ S 8 0 1 で、演算制御部 1 9 は、電線 1 0 0 の探索を開始する始点となる探索開始点 P_{st} を操作者の指示に基づいて選択する。図 1 0 に示すように、演算制御部 1 9 は、撮像部 1 4 が撮像した画像を操作装置 4 の操作画面 4 A に表示させ、操作者に探索開始点 P_{st} を入力するように促す。図 1 0 に示す符号は、説明のために付したものであり、操作画面 4 A 上に表示されるものではない。

40

【 0 0 7 0 】

演算制御部 1 9 は、例えば、「探索開始点 P_{st} をタッチして下さい」とのメッセージを操作画面 4 A に表示する。操作画面 4 A には、例えば、タッチセンサが組み込まれている。演算制御部 1 9 は、操作者が指でタッチした操作画面 4 A 上の位置を探索開始点 P_{st} として認識する。

【 0 0 7 1 】

ステップ S 8 0 2 で、演算制御部 1 9 は、電線 1 0 0 の探索を終了する終点となる探索終了点を操作者の指示に基づいて選択する。図 1 0 に示すように、演算制御部 1 9 は、撮像部 1 4 が撮像した画像を操作装置 4 の操作画面 4 A に表示させ、操作者に探索終了点 P_{en} を入力するように促す。演算制御部 1 9 は、例えば、「探索終了点 P_{en} をタッチし

50

て下さい」とのメッセージを操作画面 4 A に表示する。演算制御部 19 は、操作者が指でタッチした操作画面 4 A 上の位置を探索終了点 P_{en} として認識する。

【0072】

ステップ S 803 で、演算制御部 19 は、操作者により電線 100 の探索開始が指示されたかどうかを判断し、探索開始が指示されたと判断した場合に、ステップ S 804 へ処理を進める。演算制御部 19 は、例えば、「探索を開始しますか?」とのメッセージと、「YES」及び「NO」のボタンを操作画面 4 A に表示させ、操作者が「YES」のボタンを押した場合に、探索開始が指示されたと判断する。

【0073】

ステップ S 804 で、演算制御部 19 は、ステップ S 801 で選択された探索開始点 P_{st} に基づいて、スキャンの中心位置を設定する。演算制御部 19 は、探索開始点 P_{st} を中心に円形にスキャンを行うように、基準光軸 O に対する測定点の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を算出する。ここで、スキャンとは、所定の中心に対して測定光 23 を円周方向に 1 回転分走査する動作をいう。演算制御部 19 は、操作画面 4 A 上の探索開始点 P_{st} の 2 次元の座標から、電線 100 上の探索開始点 P_{st} を中心に円形にスキャンを行うように水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を算出する。

10

【0074】

ステップ S 805 で、演算制御部 19 は、ステップ S 804 またはステップ S 811 で算出された水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 に基づいて、円形にスキャンを行う。演算制御部 19 は、水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 に応じた回転位置となるように光学プリズム 36a と光学プリズム 36b を回転させることにより、所定の中心に対して測定光 23 を円周方向に 1 回転分走査する。測距演算部 13 は、測定光 23 に対する受光素子 33 からの受光信号に基づいて、測定光 23 に含まれる複数のパルス毎に測定点の測距を行う。演算制御部 19 は、測距演算部 13 により測距された測距データを第 1 記憶部 20 に格納する。

20

【0075】

図 11 は、電線 100 を円形にスキャンした状態を示す図である。図 11 は、図 5 と同様に電線 100 を基準光軸 O に沿って見た図である。図 11 において、符号 C_n はスキャンの中心位置の位置を示す。符号 T_n は中心位置 C_n を中止にスキャンされる測定光 23 の走査軌跡を示す。符号 SP_n はパルス状の測定光 23 による複数の測定点を示す。

【0076】

演算制御部 19 は、偏向部 35 の光学プリズム 36a と光学プリズム 36b の回転を制御することにより、図 11 に示す測定光 23 の走査軌跡を示す円のサイズ（円の直径）を調整することができる。演算制御部 19 は、ステップ S 804 の後にステップ S 805 を実行する場合、予め定められた円のサイズとなるように調整する。一方、後述するステップ S 810 の後にステップ S 805 を実行する場合、ステップ S 810 で変更された円のサイズにより円形のスキャンを行う。

30

【0077】

図 11 に示すように、電線 100 を円形にスキャンすると、測定光 23 の走査軌跡 T_n と電線 100 とが 2 箇所で交差する。この 2 箇所それぞれにおいて、電線 100 からの測定光 23 が複数の測定点 SP_n で反射し、受光素子 33 により受光される。ここで、 n は 0 以上の任意の整数であり、探索開始点 P_{st} において $n = 0$ であり、探索開始点 P_{st} から水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を変更する毎に n を加算していくものとする。図 11 に示す例は、探索開始点 P_{st} から水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 の変更を n 回行った後に円形にスキャンを行った状態を示している。

40

【0078】

ステップ S 806 で、演算制御部 19 は、ステップ S 804 で算出された測定光 23 の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 と、第 1 記憶部 20 に格納された複数の測定点 SP_n の測距データとに基づいて、複数の測定点 SP_n の 3 次元座標の集合体である点群データを取得する。具体的に、演算制御部 19 は、測定光 23 の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を、各測定点 SP_n の測距データに関連付けることで、点群データを取得する。演算制御部 19 は、取

50

得した点群データを第1記憶部20に格納する。

【0079】

ステップS807で、演算制御部19は、ステップS806で第1記憶部20に格納された点群データから、測定光23の走査軌跡 T_n と電線100とが交差する位置を示す一対の交点 P_n の座標を検出する。一対の交点 P_n は、図11において中心位置 C_n の左方と右方に配置される。演算制御部19は、例えば、中心位置 C_n の左方の交点 P_n の座標を、中心位置 C_n の左方の複数の点群データの座標の平均値を算出して求める。また、演算制御部19は、例えば、中心位置 C_n の右方の交点 P_n の座標を、中心位置 C_n の右方の複数の点群データの座標の平均値を算出して求める。

【0080】

ここで、点群データは、測定光23の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 と、第1記憶部20に格納された複数の測定点 SP_n の測距データ(測定結果)とに基づいて算出されるデータである。したがって、演算制御部19は、測距部3Aの測距結果と射出方向検出部15が検出する水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 に基づいて一対の交点 P_n の座標を検出する。

【0081】

ここでは、複数の点群データの座標の平均値を算出して交点 P_n の座標を求めたが、他の態様であってもよい。例えば、複数の点群データの座標とともに各点群データに対応する反射測定光24の受光素子33による受光強度を記憶しておき、複数の点群データのうち最も受光強度が高いものを交点 P_n の座標としてもよい。

【0082】

ステップS808で、演算制御部19は、ステップS807で一対の交点 P_n の座標が検出されたかどうかを判断し、YESであればステップS809へ処理を進め、NOであれば本フローチャートの処理を終了させる。演算制御部19は、交点が検出されない場合、あるいは交点が1点のみ検出された場合に、NOと判断する。

【0083】

ステップS809で、演算制御部19は、ステップS807で検出された一対の交点 P_n の座標に基づいて、電線ベクトル V_n を算出する。電線ベクトル V_n は、現在のスキヤンの中心位置 C_n の次に行うスキヤンの中心位置 C_{n+1} を終点とするベクトルである。演算制御部19は、ステップS807で検出された一対の交点 P_n の中点の座標 M_n を始点とし、円形の走査軌跡 T_n の直径 D_n の k 倍の長さを有するベクトルを算出する。演算制御部19は、電線ベクトル V_n の向きを、一対の交点 P_n のうち探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_n を通過する方向に定める。

【0084】

演算制御部10は、例えば、 k を $1/3$ 以上かつ $2/3$ 以下の値に設定する。 k を $1/3$ 以上に設定することで、電線100のスキヤン密度が過度の大きくなって電線100の点群データのデータ量が大きくなり、かつ点群データの取得時間が長くなることを抑制することができる。 k を $2/3$ 以下に設定することにより、次に行う円形のスキヤンによる測定光23の走査軌跡と電線100とが確実に2点で交差する。そのため、電線ベクトル V_n の長さが過度に大きくなって、曲がった形状を有する電線100を円形のスキヤンした際に一対の交点が取得できなくなる不具合を抑制することができる。

【0085】

図12及び図13は、探索開始点 P_{st} から複数回に渡って円形にスキヤンしたときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。図12は電線100が直線状に延びる場合を示し、図13は電線100が曲線状に延びる場合を示す。図12及び図13に示すように、演算制御部19は、探索開始点 P_{st} で円形のスキヤンを行うと一対の交点 P_0 を検出する。

【0086】

演算制御部19は、一対の交点 P_0 の中点の座標 M_0 を始点とし、円形の走査軌跡 T_0 の直径 D_0 の k 倍の長さを有する電線ベクトル V_0 を算出する。演算制御部19は、電線ベクトル V_0 の向きを、一対の交点 P_0 のうち探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_0 を通

10

20

30

40

50

過する方向に定める。演算制御部 19 は、同様に、一对の交点 P_1 の中点の座標 M_1 を始点とし、円形の走査軌跡 T_1 の直径 D_1 の 倍の長さを有する電線ベクトル V_1 を算出する。演算制御部 19 は、電線ベクトル V_1 の向きを、一对の交点 P_1 のうち探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_1 を通過する方向に定める。

【0087】

また、演算制御部 19 は、一对の交点 P_2 の中点の座標 M_2 を始点とし、円形の走査軌跡 T_2 の直径 D_2 の 倍の長さを有する電線ベクトル V_2 を算出する。演算制御部 19 は、電線ベクトル V_2 の向きを、一对の交点 P_2 のうち探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_2 を通過する方向に定める。

【0088】

図 14 及び図 15 は、円形のスキュンを n 回から $n+3$ 回目まで行ったときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。図 14 は電線 100 が直線状に伸びる場合を示し、図 15 は電線 100 が曲線状に伸びる場合を示す。図 14 及び図 15 に示すように、演算制御部 19 は、中心位置 C_n で円形のスキュンを行うと一对の交点 P_n を検出する。

【0089】

演算制御部 19 は、一对の交点 P_n の中点となる中心位置 C_n を始点とし、円形の走査軌跡 T_n の直径 D_n の 倍の長さを有する電線ベクトル V_n を算出する。演算制御部 19 は、電線ベクトル V_n の向きを、一对の交点 P_n のうち探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_n を通過する方向に定める。演算制御部 19 は、同様に、一对の交点 P_{n+1} の中点となる中心位置 C_{n+1} を始点とし、円形の走査軌跡 T_{n+1} の直径 D_{n+1} の 倍の長さを有する電線ベクトル V_{n+1} を算出する。演算制御部 19 は、電線ベクトル V_{n+1} の向きを、一对の交点 P_{n+1} のうち探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_{n+1} を通過する方向に定める。

【0090】

また、演算制御部 19 は、一对の交点 P_{n+2} の中点となる中心位置 C_{n+2} を始点とし、円形の走査軌跡 T_{n+2} の直径 D_{n+2} の 倍の長さを有する電線ベクトル V_{n+2} を算出する。演算制御部 19 は、電線ベクトル V_{n+2} の向きを、一对の交点 P_{n+2} のうち探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_{n+2} を通過する方向に定める。

【0091】

ステップ S810 で、演算制御部 19 は、ステップ S809 で算出した電線ベクトルの終点にスキュンの中心位置を変更する。演算制御部 19 は、電線ベクトルの終点を中心に円形にスキュンを行うように、基準光軸 O に対する測定点の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を算出する。演算制御部 19 は、前述したように θ_1 を $1/3$ 以上かつ $2/3$ 以下の値に設定している。

【0092】

そのため、演算制御部 19 は、現在の円形のスキュンによる測定光 23 の走査軌跡と次に行う円形のスキュンによる測定光 23 の走査軌跡とが重なり、かつ、次に行う円形のスキュンによる測定光 23 の走査軌跡と電線 100 とが確実に 2 点で交差するように、一对の交点 P_n の座標に基づいて水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を変更する。

【0093】

前述したように、演算制御部 19 は、電線ベクトル V_n の向きを、一对の交点 P_n のうち探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_n を通過する方向に定めている。そのため、演算制御部 19 は、一对の交点 P_n の座標の中心が水平方向の左右いずれか一方に向けて連続的に移動するように、水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を変更する。

【0094】

また、図 12 から図 15 に示すように、演算制御部 19 は、一对の交点 P_n の座標の延長線上を中心に円形のスキュンが行われるように電線ベクトル V_n を算出している。そのため、演算制御部 19 は、一对の交点 P_n の座標の延長線上に中心位置が配置されるように水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を変更する。

【0095】

10

20

30

40

50

ステップ S 8 1 1 で、演算制御部 1 9 は、次に行う円形のスキャンによる測定光 2 3 の円のサイズ（走査軌跡の直径）を適切なサイズに変更する。図 1 1 に示すように、演算制御部 1 9 は、電線 1 0 0 が配置される位置における走査軌跡の直径 D_n が電線 1 0 0 の太さ E の 倍となるように走査軌跡の直径 D_n を変更する。走査軌跡の直径 D_n は、電線 1 0 0 が配置される位置における走査軌跡の直径をいう。

【 0 0 9 6 】

演算制御部 1 9 は、電線の太さ E を複数の測定点 $S P_n$ から算出するものとする。また、演算制御部 1 0 は、例えば、 を 5 以上かつ 1 0 以下の値に設定する。電線 1 0 0 が配置される位置における走査軌跡の直径 D_n を電線の太さ E に比例するようにしているのは、測量システム 1 から電線 1 0 0 までの距離によらずに、電線 1 0 0 上を一定のスキャン密度で測定するためである。

10

【 0 0 9 7 】

演算制御部 1 9 は、測定光 2 3 の円のサイズ（走査軌跡の直径）が直径 D_n となるように、ステップ S 8 1 0 で算出した水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を補正する。演算制御部 1 9 は、ステップ S 8 1 0 及びステップ S 8 1 1 を実行することにより、ステップ S 8 0 9 で算出した電線ベクトルの終点を中心とし、ステップ S 8 1 1 で設定した直径 D_n の円形のスキャンが行われるように、水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を変更する。

【 0 0 9 8 】

ステップ S 8 1 2 で、演算制御部 1 9 は、電線 1 0 0 の探索をするかどうかを判断し、YES であれば本フローチャートの処理を終了させ、NO であればステップ S 8 0 5 以降の処理を再び実行する。演算制御部 1 9 は、ステップ S 8 0 5 からステップ S 8 1 1 までの処理を繰り返し実行することにより、探索開始点 P_{st} から探索終了点 P_{en} までの電線 1 0 0 の点群データを連続的に取得する。ステップ S 8 1 2 で、演算制御部 1 9 は、例えば、ステップ S 8 4 0 で変更されたスキャンの中心位置が探索終了点 P_{en} から所定距離内である場合に、NO と判断する。

20

【 0 0 9 9 】

以上説明した本実施形態の測量システム 1 が奏する作用及び効果について説明する。

本実施形態の測量システム 1 によれば、測距部 3 A の測距結果と測定光 2 3 の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 に基づいて、線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成される測定対象物である電線 1 0 0 と測定光 2 3 の走査軌跡との一对の交点 P_n の座標が検出される。一对の交点 P_n の座標が検出される場合、周方向に走査される測定光 2 3 が電線 1 0 0 を測定している状態である。

30

【 0 1 0 0 】

そして、電線 1 0 0 を測定している状態で、測定光 2 3 の走査軌跡と電線 1 0 0 とが交差するように、測定光 2 3 の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 が変更される。そのため、測定光 2 3 の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を変更した後も、電線 1 0 0 を測定している状態が維持される。このような測定光 2 3 の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 の変更を繰り返すことにより、電線 1 0 0 の全体を簡易かつ効率よく測定することができる。

【 0 1 0 1 】

また、本実施形態の測量システム 1 によれば、探索開始点 P_{st} から探索終了点 P_{en} に向けた方向の電線ベクトルが算出されるため、電線の一端 1 0 1 から他端 1 0 2 までの領域を水平方向の左右いずれか一方に沿って連続的に測定することができる。

40

また、本実施形態の測量システム 1 によれば、一对の交点 P_n の座標の延長線上に測定光 2 3 の走査軌跡の中心が配置されるため、電線 1 0 0 が直線状に伸びる場合に、測定光 2 3 の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を変更した後も電線 1 0 0 を確実に測定することができる。

【 0 1 0 2 】

〔 第 2 実施形態 〕

次に、本発明の第 2 実施形態に係る測量システムについて説明する。第 2 実施形態の測量システムは第 1 実施形態の測量システム 1 の変形例であり、以下で特に説明する場合を

50

除き第1実施形態の測量システム1と同様であるものとする。

【0103】

第1実施形態の測量システム1において、演算制御部19は、一对の交点 P_n の midpoint の座標 M_n を始点とし、円形の走査軌跡 T_n の直径 D_n の倍の長さを有する電線ベクトル V_n を算出するものであった。それに対して、本実施形態の演算制御部19は、一对の交点 P_n のいずれか一方を終点とする電線ベクトル V_n を算出するものである。

【0104】

図16は、本実施形態の測量システムにおいて、円形のスキャンを n 回から $n+3$ 回目まで行ったときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。図16に示すように、演算制御部19は、中心位置 C_n で円形のスキャンを行うと一对の交点 P_n を検出する。

10

【0105】

演算制御部19は、中心位置 C_n を始点とし一对の交点 P_n のいずれか一方を終点とする電線ベクトル V_n を算出する。演算制御部19は、同様に、中心位置 C_{n+1} を始点とし一对の交点 P_{n+1} のいずれか一方を終点とする電線ベクトル V_{n+1} を算出する。演算制御部19は、同様に、中心位置 C_{n+2} を始点とし一对の交点 P_{n+2} のいずれか一方を終点とする電線ベクトル V_{n+2} を算出する。演算制御部19は、一对の交点 P_n, P_{n+1}, P_{n+2} のうち探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_n, P_{n+1}, P_{n+2} を終点とするように電線ベクトル V_n, V_{n+1}, V_{n+2} を算出する。

【0106】

図16に示すように、演算制御部19は、一对の交点 P_n のいずれか一方に中心位置 C_{n+1} が配置されるように電線ベクトル V_n を算出している。そのため、演算制御部19は、一对の交点 P_n のいずれか一方に中心位置 C_{n+1} が配置されるように水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を変更する。

20

【0107】

本実施形態の測定システムによれば、一对の交点 P_n の座標のいずれか一方に中心位置が配置されるため、電線100が曲線状に伸びる場合や、伸びる方向が転換する場合であっても、水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を変更した後に電線100を確実に測定することができる。

【0108】

〔第3実施形態〕

次に、本発明の第3実施形態に係る測量システムについて説明する。本実施形態の測量システムは第1実施形態の測量システム1の変形例であり、以下で特に説明する場合を除き第1実施形態の測量システム1と同様であるものとする。

30

【0109】

本実施形態は、第1実施形態のステップS807における一对の交点の座標を検出する処理の内容を変更したものである。本実施形態は、ステップS807で3点以上の交点の座標を検出した場合の具体的処理に関するものである。

【0110】

図17は、本実施形態の測量システムにおいて、電線100及び電線200を円形にスキャンした状態を示す図である。ここで、電線100は測量システム1の測定対象物であるが、電線200は測量システム1の測定対象物ではない。測量システム1から電線100までの軸線X方向の距離は、測量システム1から電線200までの軸線X方向の距離よりも短い。

40

【0111】

本実施形態の演算制御部19は、一对の交点 P_{n+1} の座標を検出する際に、一对の交点 P_n の座標に基づいて一对の交点 P_{n+1} の座標の範囲を推定する。演算制御部19は、一对の交点 P_{n+1} のうち探索開始点 P_{st} に近接する側の交点 P_{n+1} の座標の範囲 A_1 を推定する。図17に示すように、範囲 A_1 は、例えば、一对の交点 P_n を端部として電線100と同方向に伸びるように形成される円筒状の空間である。この円筒状の空間の断面の直径は電線100の直径よりも大きくするのが望ましい。演算制御部19は、探索開始

50

点 P_{st} に近接する側の交点 P_{n+1} の座標が範囲 A_1 に含まれる場合に、探索開始点 P_{st} に近接する側の交点 P_{n+1} を正しい交点として検出する。

【0112】

演算制御部 19 は、一对の交点 P_{n+1} のうち探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_{n+1} の座標の範囲 A_2 を推定する。図 17 に示すように、範囲 A_2 は、例えば、一对の交点 P_n を頂点とし電線ベクトル V_{n+1} の終点を底面とする円錐状の空間である。演算制御部 19 は、探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_{n+1} の座標が範囲 A_2 に含まれる場合に、探索終了点 P_{en} に近接する側の交点 P_{n+1} を正しい交点として検出する。

【0113】

演算制御部 19 は、電線 200 上の交点 P_{n+1} については、範囲 A_1 及び範囲 A_2 のいずれにも含まれないため、正しい交点として検出しない。これは、電線 200 上の交点 P_{n+1} は、電線 100 上の交点 P_{n+1} とは大きく異なる位置に配置されているからである。すなわち、演算制御部 19 は、図 17 に示す例では、電線 100 上の交点 P_{n+1} を正しい交点として検出し、電線 200 上の交点 P_{n+1} を正しい交点として検出しない。その結果、演算制御部 19 は、測定対象物である電線 100 上的一对の交点 P_{n+1} を検出して点群データを取得する処理を進めることができる。

【0114】

本実施形態の測定システムによれば、測定光 23 の水平角 θ_1 及び鉛直角 θ_2 を変更した後を検出される一对の交点 P_{n+1} の座標の範囲 A_1 , A_2 を推定し、その範囲 A_1 , A_2 に含まれる座標を一对の交点 P_{n+1} の座標として検出する。そのため、測定対象物である電線 100 の背後に他の測定対象物であり電線 200 が存在する場合であっても、推定した座標の範囲 A_1 , A_2 に含まれない電線 200 上の交点の座標を排除し、測定の誤りを抑制することができる。

【0115】

〔第 4 実施形態〕

次に、本発明の第 4 実施形態に係る測量システムについて説明する。本実施形態の測量システムは第 1 実施形態の測量システム 1 の変形例であり、以下で特に説明する場合を除き第 1 実施形態の測量システム 1 と同様であるものとする。

【0116】

図 6 に示すように、第 1 実施形態の測量システム 1 は、電線 100 が延びる方向と直交するように基準光軸 O を配置したものであった。また、第 1 実施形態の測量システム 1 は、測定光 23 を円形に走査するものであった。それに対して、本実施形態の測量システム 1 は、図 18 に示すように、電線 100 が延びる方向と測定光 23 の方向とが 90° よりも大きい鈍角である傾斜角 θ_3 をなすように配置したものである。また、本実施形態の測量システムは、測定光 23 を楕円形に走査するものである。

【0117】

図 19 は、本実施形態の測量システムにおいて、円形のスキャンを n 回から $n+1$ 回目まで行ったときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。図 20 は、図 19 に示す電線 100 を上方からみた図である。図 19 に示すように、演算制御部 19 は、一对の交点 P_n を結ぶ方向を短軸とした楕円形に測定光 23 を走査するように偏向部 35 の偏向作動を制御する。演算制御部 19 は、偏向部 35 を制御することにより、図 19 に示す楕円形の走査軌跡の短軸の長さを調整することができる。

【0118】

本実施形態の演算制御部 19 が楕円形の走査軌跡の短軸の長さを調整しているのは、電線 100 上の交点 P_n , P_{n+1} の間隔が第 1 実施形態と比較して広くならないようにするためである。電線 100 上の交点 P_n , P_{n+1} の間隔が広がるとスキャン密度が低下し、電線 100 から所望のスキャン密度の点群データを取得することができない。そこで、本実施形態の演算制御部 19 は、傾斜角 θ_3 に応じて測定光 23 の走査軌跡の短軸の長さを調整することで、電線 100 上の交点 P_n , P_{n+1} の間隔が第 1 実施形態と同じになるようにしている。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 9 】

図 2 0 において、電線 1 0 0 上の一对の交点 P_n の間隔は、第 1 実施形態の円形の走査軌跡 T_n の直径 D_n と同じである。演算制御部 1 9 は、電線 1 0 0 上の一对の交点 P_n の間隔が直径 D_n と同じになるように、測定光 2 3 の走査軌跡の短軸の長さを W_n に調整している。短軸の長さ W_n は軸線 X 方向の長さであり、 $W_n = D_n \cdot \sin(\theta)$ を満たす。

ここで、傾斜角 θ は、一对の交点 P_n を結ぶ直線と測定光 2 3 が X - Y 平面上でなす角度である。

【 0 1 2 0 】

演算制御部 1 9 は、測定光 2 3 の走査軌跡の短軸の長さを W_n に調整することにより、電線 1 0 0 上の交点 P_n, P_{n+1} の間隔を第 1 実施形態と同じとすることができる。演算制御部 1 9 は、一对の交点 P_n の測距データに基づいて傾斜角 θ を算出し、測定光 2 3 の走査軌跡の短軸の長さ W_n を算出する。図 2 0 に示すように、演算制御部 1 9 は、一对の交点 P_n を結ぶ長さが一定の D_n に維持されるように傾斜角 θ に基づいて偏向部 3 5 の偏向作動を制御する。

10

【 0 1 2 1 】

このように演算制御部 1 9 は、測定光 2 3 の走査軌跡が一对の交点 P_n を結ぶ方向を短軸とした楕円形となるように測定光の射出方向（水平角 α 及び鉛直角 β ）を制御する。また、演算制御部 1 9 は、短軸が一对の交点 P_n を結ぶ直線と測定光 2 3 とがなす傾斜角 θ に応じた長さ W_n となるように測定光の射出方向（水平角 α 及び鉛直角 β ）を制御する。

20

【 0 1 2 2 】

図 2 1 は、本実施形態の比較例の測量システムにおいて、円形のスキャンを n 回から $n + 1$ 回目まで行ったときに検出される交点と電線ベクトルを示す図である。図 2 2 は、図 2 1 に示す電線 1 0 0 を上方からみた図である。図 2 1 に示す比較例において、演算制御部 1 9 は、一对の交点 P_n の中心位置 C_n 回りに円形に測定光 2 3 を走査するように偏向部 3 5 の偏向作動を制御している。

【 0 1 2 3 】

図 2 2 において、一对の交点 P_n の軸線 X 方向の間隔は、第 1 実施形態の円形の走査軌跡 T_n の直径 D_n と同じである。一方、電線 1 0 0 上の一对の交点 P_n の間隔は、 D_n よりも長い D'_n となっている。そのため、本比較例では、電線 1 0 0 上の一对の交点 P_n の間隔が直径 D_n と同じにはならず、直径 D_n よりも広い間隔となっている。そのため、本比較例では、演算制御部 1 9 は、電線 1 0 0 上の交点 P_n, P_{n+1} の間隔を第 1 実施形態と同じとすることができない。本実施形態の測定システムによれば、一对の交点 P_n を結ぶ長さが一定に維持されるため、電線 1 0 0 の各部の座標を一定の間隔（スキャン密度）で取得することができる。

30

【 0 1 2 4 】

以上、本発明の実施形態について説明した。しかし、本発明は、上記実施形態に限定されず、特許請求の範囲を逸脱しない範囲で種々の変更を行うことができる。上記実施形態の構成は、その一部を省略したり、上記とは異なるように任意に組み合わせたりすることができる。

40

【 0 1 2 5 】

以上の説明において、測定対象物は電線であるものとしたが、線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成されるものであれば、他の態様であってもよい。例えば、測定対象物は、建築材料等として用いられる H 形鋼や配管パイプ、電柱、建築物の柱等であってもよい。測定対象物の幅は、測定対象物の長さに対して 3 分の 1 以下であることが望ましい。

【 0 1 2 6 】

以上の説明においては、操作者が電線 1 0 0 の探索開始点 P_{st} 及び探索終了点 P_{en} の双方を選択するものとしたが、他の態様であってもよい。例えば、探索開始点 P_{st} のみを操作者が選択するようにしてもよい。この場合、探索終了点 P_{en} を選択する代わり

50

に探索方向として水平方向の左右いずれか一方を選択させるようにするのが望ましい。探索方向は、電線ベクトルの方向を決定する際に利用される。

【0127】

以上の説明においては、偏向部35を一对の光学プリズム36a, 36bから構成するものとしたが、他の態様であってもよい。例えば、2軸ガルバノミラーを用いて一对の光学プリズム36a, 36bと同様の機能を達成するようにしてもよい。

【0128】

以上の説明においては、演算制御部19は、円形あるいは楕円形にスキャンを行うが、測定光23の走査軌跡の形状は、円形あるいは楕円形に限定されるわけではなく、他の態様であってもよい。例えば、演算制御部19は、線状、棒状および柱状の少なくともいずれかに形成される測定対象物に沿って、正弦波や三角波などの波形の形状にスキャンを行ってもよい。

【符号の説明】

【0129】

1・・・測量システム、 3・・・レーザスキャナ、 3A・・・測距部、 4・・・操作装置、 4A・・・操作画面、 11・・・測定光射出部、 12・・・受光部、 14・・・撮像部、 15・・・射出方向検出部、 17・・・姿勢検出部、 20・・・第1記憶部、 23・・・測定光、 24・・・反射測定光、 27・・・発光素子、 33・・・受光素子、 35・・・偏向部、 40・・・測定光軸、 100・・・電線、 110, 120・・・電柱、 A1, A2・・・範囲、 O・・・基準光軸、 1・・・水平角、 2・・・鉛直角、 3・・・傾斜角

10

20

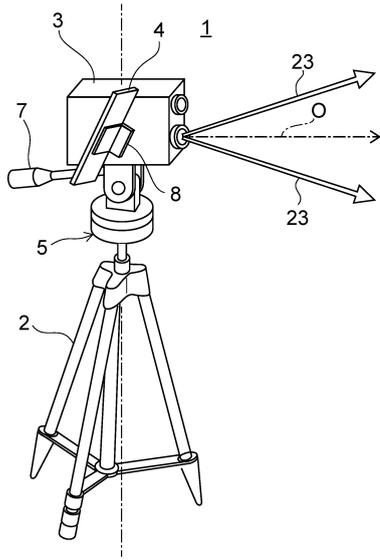
30

40

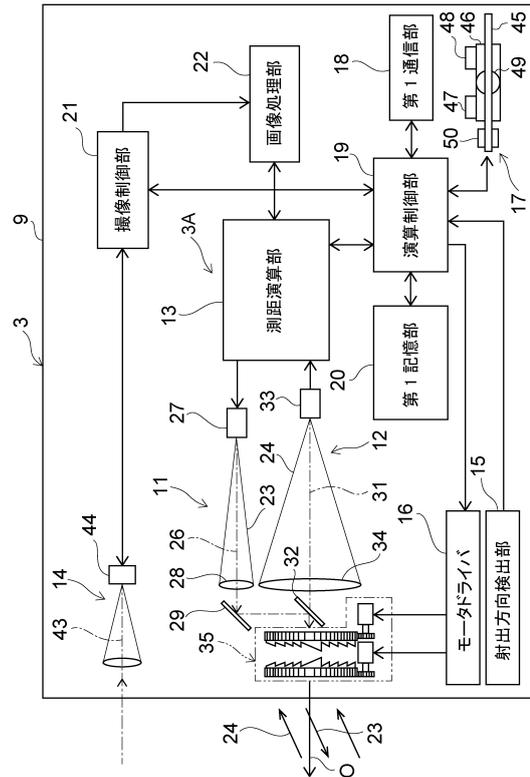
50

【図面】

【図 1】



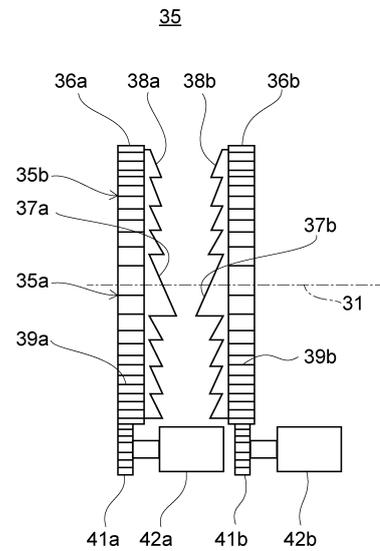
【図 2】



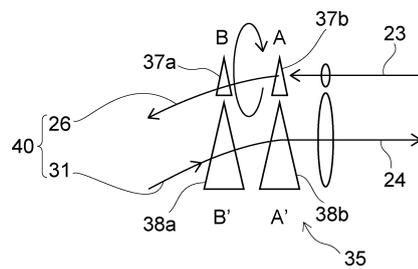
10

20

【図 3】



【図 4】

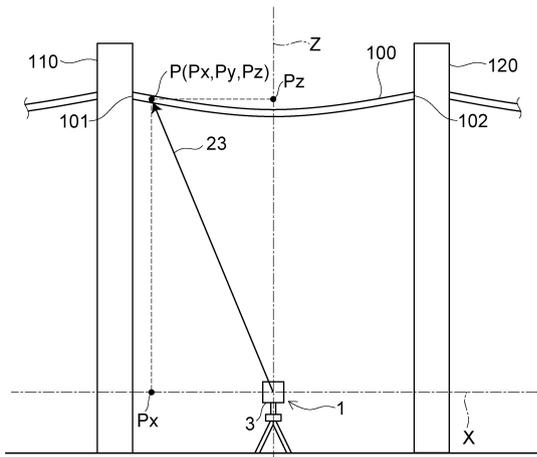


30

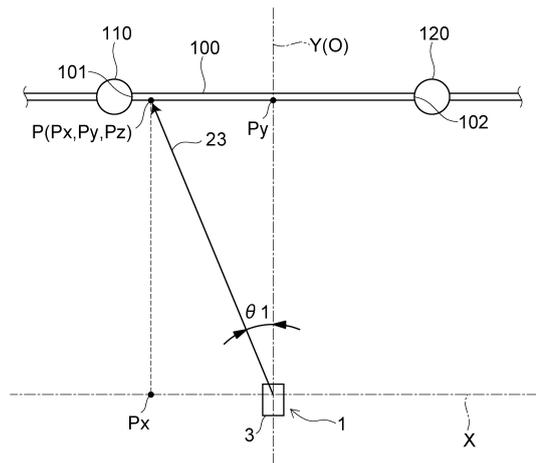
40

50

【図5】



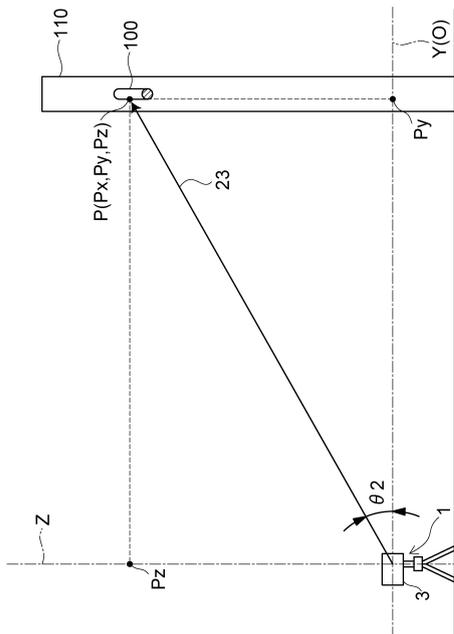
【図6】



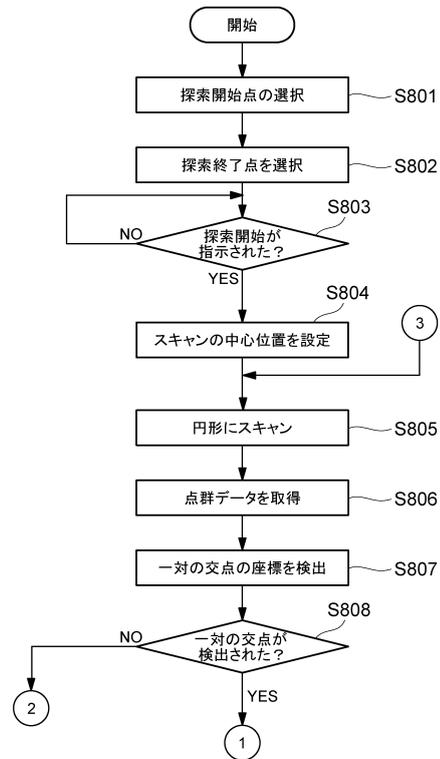
10

20

【図7】



【図8】

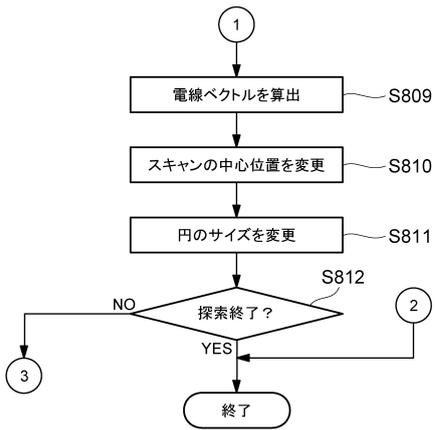


30

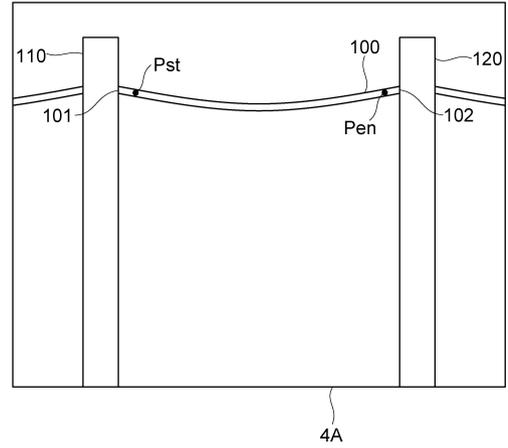
40

50

【図 9】



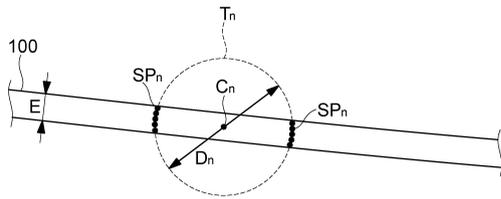
【図 10】



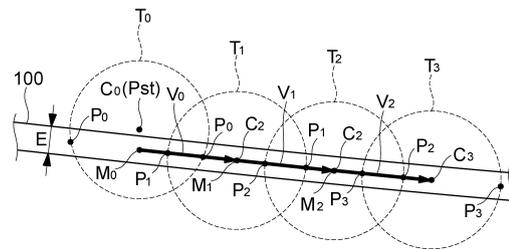
10

20

【図 11】



【図 12】

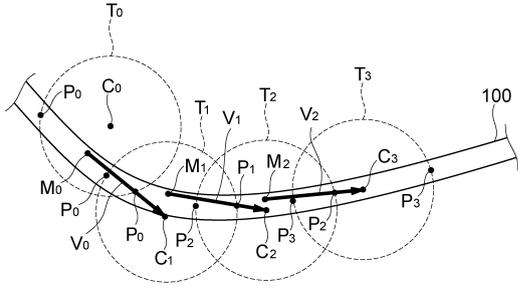


30

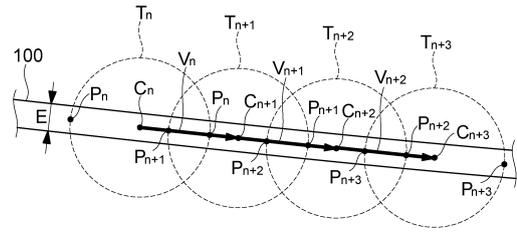
40

50

【 図 1 3 】

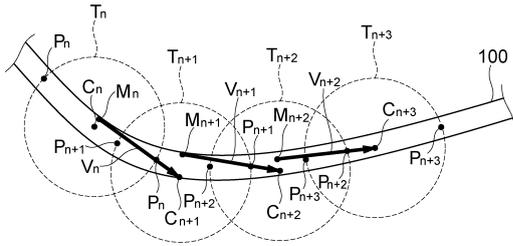


【 図 1 4 】

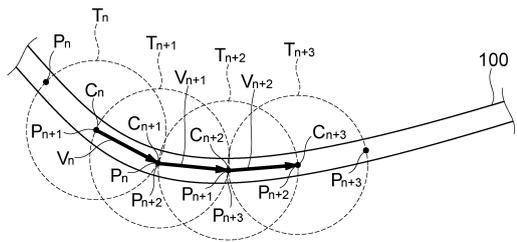


10

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



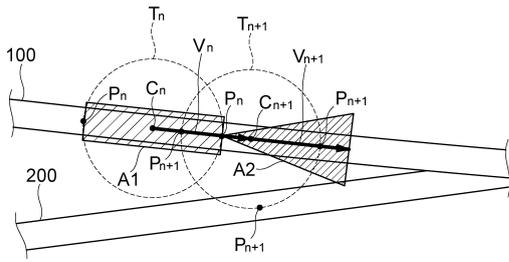
20

30

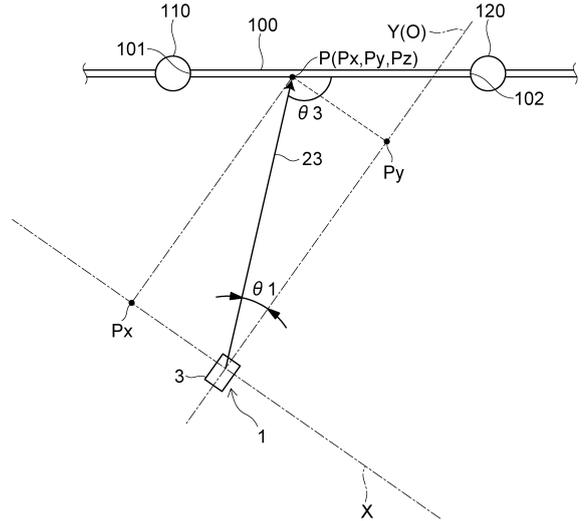
40

50

【図 17】



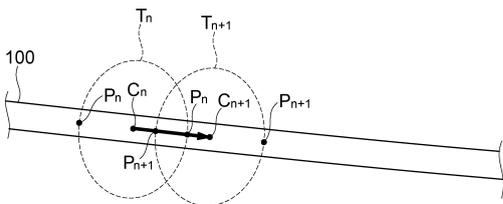
【図 18】



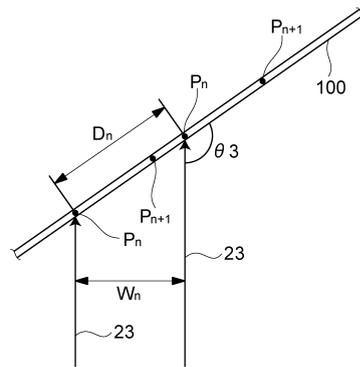
10

20

【図 19】



【図 20】

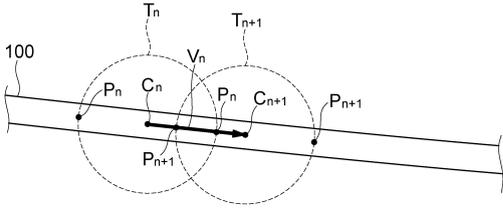


30

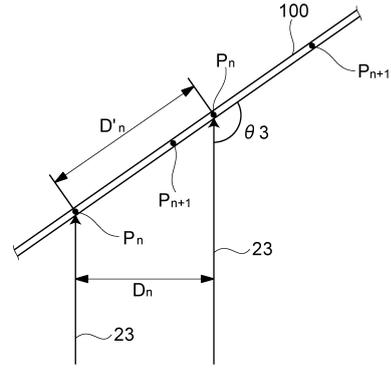
40

50

【 2 1 】



【 2 2 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2018-066571(JP,A)
特開2018-028464(JP,A)
特開2015-152411(JP,A)
特開2017-111071(JP,A)
特開2018-036769(JP,A)
特開2017-156179(JP,A)
特開2009-068951(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01C 1/00 - 1/14
5/00 - 15/14
G01B 11/00 - 11/30