

(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2016-206178

(P2016-206178A)

(43) 公開日 平成28年12月8日 (2016. 12. 8)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 C 15/00 (2006.01) GO 1 C 15/00 1 O 3 A
GO 1 C 15/06 (2006.01) GO 1 C 15/06 T

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2016-75068 (P2016-75068)	(71) 出願人	390023249 国際航業株式会社
(22) 出願日	平成28年4月4日 (2016. 4. 4)		東京都千代田区六番町2番地
(31) 優先権主張番号	特願2015-87085 (P2015-87085)	(74) 代理人	100158883 弁理士 甲斐 哲平
(32) 優先日	平成27年4月21日 (2015. 4. 21)	(72) 発明者	大泉 純也 東京都府中市晴見町2-24-1 国際航業株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	清水 真人 東京都千代田区六番町2番地 国際航業株式会社内

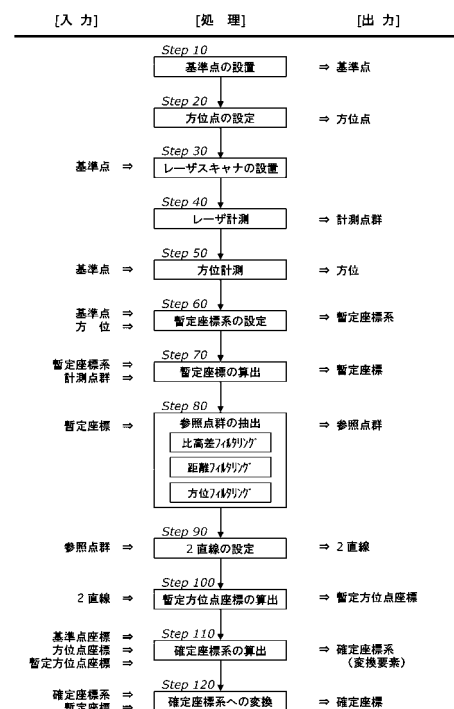
(54) 【発明の名称】 レーザ計測方法、レーザ計測用標識、及び座標算出プログラム

(57) 【要約】

【課題】本願発明の課題は、従来の問題を解決することであり、すなわち効率的に計測することで従来よりも計測コストを軽減するレーザ計測を提供することであり、具体的には、標点を設置することなく計測できるレーザ計測方法、及びこの方法で得られる計測点群の位置座標を求めることができる座標算出プログラムを提供することである。

【解決手段】本願発明のレーザ計測方法は、位置座標が既知である基準点及び方位点に基づいて、レーザ計測による計測点群の位置座標を求める方法であり、機械設置工程と、計測工程、暫定座標算出工程、参照点群抽出工程、暫定方位点座標算出工程、確定座標算出工程を備えている。参照点群抽出工程では、比高差フィルタリング、距離フィルタリング、方位フィルタリング、これら3つのフィルタリングから選択される1又は2のフィルタリングによって参照点群が抽出される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザ計測を行って得られた計測点群の位置座標を、位置座標が既知である基準点及び方位点に基づいて求めるレーザ計測方法において、

前記基準点にレーザ計測機械を設置する機械設置工程と、

前記レーザ計測機械からレーザを掃射することで、計測対象物の計測点群を得る計測工程と、

前記基準点を基準とする暫定座標系を設定し、該暫定座標系に基づいて計測点群に暫定座標を付与する暫定座標算出工程と、

計測点群の中から、前記方位点を求めるための参照点群を抽出する参照点群抽出工程と

10

、
前記参照点群に基づいて、前記暫定座標系における前記方位点の位置座標を暫定方位点座標として算出する暫定方位点座標算出工程と、

前記基準点の位置座標及び前記方位点の位置座標、並びに前記暫定方位点座標に基づいて、前記暫定座標系を変換して確定座標系を得るとともに、計測点群に付与された前記暫定座標を該確定座標系に変換する確定座標算出工程と、を備え、

前記参照点群抽出工程では、前記基準点と前記方位点の比高差を照らし合わせて計測点群を間引く比高差フィルタリング、前記基準点と前記方位点の距離を照らし合わせて計測点群を間引く距離フィルタリング、及び前記基準点と前記方位点によって求められる方位を照らし合わせて計測点群を間引く方位フィルタリングによって、前記参照点群が抽出される、ことを特徴とするレーザ計測方法。

20

【請求項 2】

前記基準点を基点とした方位を計測する方位計測工程を、さらに備え、

前記暫定座標算出工程では、方位計測工程で計測された方位と前記基準点に基づいて暫定座標系を設定する、ことを特徴とする請求項 1 のレーザ計測方法。

【請求項 3】

前記方位点が、2つの鉛直又は略鉛直な面によって形成される観測線上に設けられた、ことを特徴とする請求項 1 記載又は請求項 2 記載のレーザ計測方法。

【請求項 4】

標識を設置する標識設置工程を、さらに備え、

30

前記標識は、底板、及びレーザの反射面となる2つの側板を有し、該2つの側板は該底板に対して垂直又は略垂直に配置されて該底板に固定されるとともに、該2つの側板が互いに垂直又は略垂直に配置され、かつ該2つの側板によって観測線が形成される構造であり、

前記標識設置工程では、前記2つの側板が鉛直又は略鉛直となる姿勢で、前記標識が設置され、

前記方位点が、前記観測線上に設けられた、ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載のレーザ計測方法。

【請求項 5】

前記参照点群を2組の点群に分け、各組の点群に基づいてそれぞれ直線を設定する直線設定工程を、さらに備え、

40

前記暫定方位点座標算出工程では、前記直線設定工程で設定された2直線の交点を暫定方位点座標として算出する、ことを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 記載のレーザ計測方法。

【請求項 6】

レーザ計測を行って得られた計測点群の位置座標を、位置座標が既知である基準点及び方位点に基づいて求めるレーザ計測方法に用いられる、該方位点設定用の標識であって、

底板、及びレーザの反射面となる2つの側板を有し、

前記2つの側板は前記底板に対して垂直又は略垂直に配置されて、該底板に固定され、

さらに前記2つの側板は、互いに垂直又は略垂直に配置されるとともに、該2つの側板

50

によって観測線が形成される、ことを特徴とするレーザ計測用標識。

【請求項 7】

前記底板に、小孔が設けられ、

前記小孔の中心が、前記観測線の延長線上にある、ことを特徴とする請求項 6 記載のレーザ計測用標識。

【請求項 8】

レーザ計測を行って得られた計測点群の位置座標を、位置座標が既知である基準点及び方位点に基づいて求める座標算出プログラムにおいて、

前記基準点及び前記方位点の位置座標を、読み出す既知点座標読み出し処理と、

前記基準点に設置されたレーザ計測機械がレーザ掃射した結果、取得された計測対象物の計測点群を、読み出す計測点群読み出し処理と、

前記基準点を基準とする暫定座標系を設定し、該暫定座標系に基づいて計測点群に暫定座標を付与する暫定座標算出処理と、

計測点群の中から、前記方位点を求めるための参照点群を抽出する参照点群抽出処理と

、
前記参照点群に基づいて、前記暫定座標系における前記方位点の位置座標を暫定方位点座標として算出する暫定方位点座標算出処理と、

前記基準点の位置座標及び前記方位点の位置座標、並びに前記暫定方位点座標に基づいて、前記暫定座標系を変換して確定座標系を得るとともに、計測点群に付与された前記暫定座標を該確定座標系に変換する確定座標算出処理と、をコンピュータに実行させる機能を備え、

前記参照点群抽出処理では、前記基準点と前記方位点の比高差を照らし合わせて計測点群を間引く比高差フィルタリング、前記基準点と前記方位点の距離を照らし合わせて計測点群を間引く距離フィルタリング、及び前記基準点と前記方位点によって求められる方位を照らし合わせて計測点群を間引く方位フィルタリングによって、前記参照点群が抽出される、ことを特徴とする座標算出プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願発明は、レーザ計測に関する技術であり、より具体的には、その位置座標が既知である基準点と方位点に基づいて計測点群に位置座標を付与するレーザ計測方法、レーザ計測用標識、及び座標算出プログラムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

地形図を作製するため広範囲に渡って計測を行う場合、従来では航空機から撮影した空中写真を利用するのが一般的であったが、昨今では航空レーザ計測も多用されるようになった。さらに、地上にレーザ計測器（以下、「レーザスキャナ」という。）を設置して計測する地上型レーザ計測も広まりつつある。

【0003】

航空レーザ計測は、計測したい地形の上空を航空機で飛行し、地形に対して照射したレーザパルスの反射信号を受けて計測するものである。航空機には通常、GPS (Global Positioning System) などの測位計とIMU (Inertial Measurement Unit) などの慣性計測装置が搭載されているので、レーザパルスの照射位置 (x, y, z) と照射姿勢 (ω , ϕ , κ) を把握することができ、その結果、照射時刻と受信時刻の時間差から計測点（レーザパルスが反射した地点）の 3 次元座標を得ることができる。

【0004】

一方、地上型レーザ計測は、これまで地上計測の主流であったトータルステーションと同様、既地点上に水平姿勢でレーザスキャナを設置し、計測対象に対して照射したレーザパルスの反射信号を受けて計測する。このとき、鉛直面内で照射方向を変えながら（つま

10

20

30

40

50

り首を振りながら)、しかも水平回転(鉛直軸周り回転)しながら照射するため、レーザスキャナの設置周辺のあらゆる地物(計測対象)を一度に計測することができる。また、レーザパルスが到達して反射することができる場所までは計測可能であるから、その計測範囲は半径1 km程度と極めて広い。加えて、一般的なレーザスキャナのスキャンレートは毎秒1万~5万点であり、高密度な地物計測点群を取得することができる。

【0005】

このように多くの特長をもつ地上型レーザ計測は、様々なところで利用される傾向にあり、例えば特許文献1では落石や土石流のおそれがある斜面を遠方監視するために地上型レーザ計測を利用する技術を提案している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2012-83237号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで地上型レーザ計測は、航空レーザ計測とは異なり、IMUなどの慣性計測装置をほとんどの場合用いることがない。これは、レーザスキャナを水平姿勢で固定して設置できるためであり、照射方向は機械的に演算処理できるからである。しかしながら、照射する鉛直角度(つまり仰角)は計算できるものの、照射する方位(いわば北を基準とする絶対的な水平角)は、何らかの情報を与えない限り計算で求めることはできない。言い換えれば、X軸-Y軸-Z軸からなる3次元座標軸のうち、水平面が把握できることからZ軸は特定できるが、水平面内におけるX軸-Y軸の向きは特定できないわけである。

【0008】

そこで従来では、レーザスキャナの設置位置をあらかじめ取得しておき、さらに目印となる標点を利用することでX軸-Y軸の向きを特定することとしていた。具体的には、レーザ計測によって自動認識できる標点をあらかじめ設置しておき、レーザ計測で得られた計測点群の中からこの標点を自動抽出する。もちろん標点の位置座標は事前に測量しておき、3点以上の標点の既知座標とレーザスキャナ位置の既知座標によってヘルマート変換を行い、水平面座標系(X軸-Y軸)を特定するわけである。なお図15は、レーザ計測で自動認識できる標点の例を示すモデル図であり、(a)は市松模様の標点を、(b)は半径Rが既知の球形標点を示している。市松模様の標点は、黒と白で極端に反射強度が異なることを利用したものであり、球形標点は、特殊形状である球面は半径が既知であれば認識できることを利用したものである。

【0009】

しかしながら、このような特殊な標点を利用するためにはその製作や維持にコストが掛かる上、標点の設置及び測量が必要となり、この手間が計測コストを相当に押し上げていた。特に標点の設置に関しては、設置場所の選定や固定の方法など計測現場ごとに検討しなければならない、事前の現地調査を含め計測コストに大きな影響を与えていた。

【0010】

一方、レーザ計測で取得された点群は、地物ごとにその形状を再現するため3次元でモデル化されることがある。ところが、既述のとおりレーザスキャナのスキャンレートは著しく高速であるため、夥しい数の計測点が取得されることになる。すなわち、この膨大な計測点の中から、しかも計測点が主に3次元座標の情報しか具備しない条件下で、地物の3次元モデルを作成することは容易ではなく、自動計算で行うには相当な時間を要しているのが現状である。

【0011】

本願発明の課題は、従来の問題を解決することであり、すなわち効率的に計測することで従来よりも計測コストを軽減するレーザ計測を提供することであり、具体的には、標点を設置することなく計測できるレーザ計測方法、及びこの方法で得られらる計測点群の位

10

20

30

40

50

位置座標を求めることができる座標算出プログラムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本願発明は、位置座標が既知である方位点を設定し、多数の計測点群の中から種々のフィルタリング処理を行って「参照点群」を抽出し、この参照点群から「暫定方位点座標」を算出したうえで座標変換するという点に着目したものであり、従来にはなかった発想に基づいてなされた発明である。

【0013】

本願発明のレーザ計測方法は、位置座標が既知である基準点及び方位点に基づいて、レーザ計測による計測点群の位置座標を求める方法であり、機械設置工程と、計測工程、暫定座標算出工程、参照点群抽出工程、暫定方位点座標算出工程、確定座標算出工程を備えている。このうち機械設置工程では、レーザ計測機械が基準点に設置され、計測工程では、レーザ計測機械からレーザを掃射することで計測対象物の計測点群が得られる。暫定座標算出工程では、基準点を基準とする暫定座標系が設定され、この暫定座標系に基づいて計測点群に暫定座標が付与される。参照点群抽出工程では、計測点群の中から方位点を求めるための参照点群が抽出され、暫定方位点座標算出工程では、参照点群に基づいて暫定座標系における方位点の位置座標が暫定方位点座標として算出される。そして確定座標算出工程では、基準点の位置座標、方位点の位置座標、及び暫定方位点座標に基づいて、暫定座標系を変換した確定座標系が得られるとともに、計測点群に付与された暫定座標が確定座標系に変換される。なお参照点群抽出工程では、基準点と方位点の比高差を照らし合わせて計測点群を間引く「比高差フィルタリング」、基準点と方位点の距離を照らし合わせて計測点群を間引く「距離フィルタリング」、及び基準点と方位点によって求められる方位を照らし合わせて計測点群を間引く「方位フィルタリング」によって参照点群が抽出される。

【0014】

本願発明のレーザ計測方法は、基準点を基点とした方位を計測する方位計測工程をさらに備えた方法とすることもできる。この場合、暫定座標算出工程では、方位計測工程で計測された方位と基準点に基づいて暫定座標系が設定される。

【0015】

本願発明のレーザ計測方法は、2つの略鉛直（鉛直含む）な面によって形成される基線（以下、「観測線」という。）上に設けられた方位点を、使用する方法とすることもできる。

【0016】

本願発明のレーザ計測方法は、標識を設置する工程（標識設置工程）をさらに備えた方法とすることもできる。この標識は、底板、及び2つの側板（レーザの反射面となる）を有しており、底板に対して略垂直（垂直含む）に配置された2つの側板が、その底板に固定された構造である。また、2つの側板は互いに略垂直（垂直含む）に配置され、しかもこれら2つの側板によって基線（観測線）が形成される。なお、標識設置工程では、2つの側板が略鉛直（鉛直含む）となる姿勢で標識が設置され、そして方位点は観測線上に設けられる。

【0017】

本願発明のレーザ計測方法は、直線設定工程をさらに備えた方法とすることもできる。この直線設定工程では、参照点群を2組の点群に分け、各組の点群に基づいてそれぞれ直線が設定される。この場合、暫定方位点座標算出工程では、直線設定工程で設定された2直線の交点が暫定方位点座標として算出される。

【0018】

本願発明のレーザ計測用標識は、底板と、2つの側板（レーザの反射面となる）を有するものである。2つの側板は底板に対して略垂直（垂直含む）に配置され、その底板に固定される。また、2つの側板は互いに略垂直（垂直含む）に配置され、しかもこれら2つの側板によって基線（観測線）が形成される。

【0019】

本願発明のレーザ計測用標識は、底板に小孔が設けられたものとすることもできる。なお、この小孔の中心は、観測線の延長線上に位置している。

【0020】

本願発明の座標算出プログラムは、位置座標が既知である基準点及び方位点に基づいて、レーザ計測による計測点群の位置座標を求めるプログラムであり、既知点座標読み出し処理と、計測点群読み出し処理、暫定座標算出処理、暫定方位点座標算出処理、確定座標算出処理を備えたものである。このうち既知点座標読み出し処理は、基準点と方位点の位置座標を読み出す処理であり、計測点群読み出し処理は、基準点に設置されたレーザ計測機械のレーザ掃射により得られた計測対象物の計測点群を読み出す処理である。暫定座標算出処理は、基準点を基準とする暫定座標系を設定し、この暫定座標系に基づいて計測点群に暫定座標を付与する処理である。参照点群抽出処理は、計測点群の中から方位点を求めるための参照点群を抽出する処理であり、暫定方位点座標算出処理は、参照点群に基づいて、暫定座標系における方位点の位置座標を暫定方位点座標として算出する処理である。そして確定座標算出処理は、基準点の位置座標、方位点の位置座標、及び暫定方位点座標に基づいて、暫定座標系を変換して確定座標系を得るとともに、計測点群に付与された暫定座標を確定座標系に変換する処理である。なお参照点群抽出処理では、基準点と方位点の比高差を照らし合わせて計測点群を間引く「比高差フィルタリング」、基準点と方位点の距離を照らし合わせて計測点群を間引く「距離フィルタリング」、及び基準点と方位点によって求められる方位を照らし合わせて計測点群を間引く「方位フィルタリング」によって参照点群が抽出される。

【発明の効果】

【0021】

本願発明のレーザ計測方法、レーザ計測用標識、及び座標算出プログラムには、次のような効果がある。

(1) 従来使用していた市松模様の標点や球形標点など特殊な標点を必要としないことから、製作や維持、設置手間にかかるコストを大幅に削減することができる。

(2) 本願発明に必要な方位点は、2つの鉛直面が交差する直線上に設定することができるため、既設の様々な物が方位点として利用できる。その結果、特殊な準備を行うことなく手軽に計測することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本願発明のうちの計測段階の主な処理の流れを示すフロー図。

【図2】ビルの角部に設定された方位点を示すモデル図。

【図3】(a)は2面が入隅状に直交する標識の平面図、(b)はこの標識の正面図、(c)はこの標識の斜視図。

【図4】(a)は三脚に設置した標識を示す側面図、(b)は三脚に設置した標識を上方から見た平面図。

【図5】三脚に設置する標識を正面から見た斜視図。

【図6】(a)は三脚に設置する標識の断面図、(b)は三脚に設置する標識を上方から見た平面図。

【図7】2直線付近に点在する参照点群を示す平面図。

【図8】基準点(あるいはレーザスキャナ計測中心)を座標原点とする暫定座標系のX-Yに、配置された算出方位点と変換方位点を示すモデル図。

【図9】本願発明のうちのモデル化段階の主な処理の流れを示すフロー図。

【図10】3軸からなる確定座標系に配置された計測点群と構成断面を示すモデル図。

【図11】3軸からなる確定座標系に配置されたセグメント点群と構成断面を示すモデル図。

【図12】セグメント点群に基づいて生成されたラインデータを示すモデル図。

【図13】(a)はZ軸構成断面に基づいて生成されたラインデータを示すモデル図、(

10

20

30

40

50

b) はそのラインデータから作成された 3 次元モデルを示すモデル図。

【図 1 4】 (a) は Y 軸構成断面に基づいて生成されたラインデータを示すモデル図、 (b) はそのラインデータから作成された 3 次元モデルを示すモデル図。

【図 1 5】 (a) はレーザ計測で自動認識できる市松模様の標点を示すモデル図、 (b) はレーザ計測で自動認識できる半径既知の球形標点を示すモデル図。

【発明を実施するための形態】

【0023】

本願発明のレーザ計測方法、レーザ計測用標識、及び座標算出プログラムの実施形態の一例を、図に基づいて説明する。なお本願発明は、大きく 2 つの段階に分けられる。1 つは、現地で計測を行いそのデータを基に座標計算する「計測段階」、もう 1 つは、計測段階で得られた座標を基に地物の 3 次元モデルを作成する「モデル化段階」である。以下、計測段階とモデル化段階について順を追って説明する。

【0024】

1. 計測段階

図 1 は、本願発明のうちの計測段階の主な処理の流れを示すフロー図であり、中央の列に実施する処理を示し、左列にはその処理に必要な入力情報を、右列にはその処理から生まれる出力情報を示している。このフロー図にしたがって、本願発明の計測段階について説明する。

【0025】

(既知点の設置)

はじめに、基準点を設置し (Step 10)、方位点を設定する (Step 20)。基準点はレーザスキャナを設置する点であり、目的とする対象物をレーザ計測するのに都合がよい地点に設置される。一方、方位点は後述するように座標系を確定させるためのものであり、本願発明のため新たに設置することもできるし、既存の構造物等を利用して設定することもできる。基準点と方位点は、それぞれ位置座標を既知とする必要があり、トータルステーションや衛星観測システム (GNSS: Global Navigation Satellite System) といった従来手法により事前に測量しておく。なお、ここで得られる基準点と方位点の位置座標は、平面座標値と高さからなる 3 次元座標であり、平面座標値とは緯度と経度あるいは直交座標系 (X 座標, Y 座標) で表されるものであって、高さとは標高など所定の基準水平面からの鉛直方向の距離を意味する。

【0026】

図 2 は、ビルの角部に設定された方位点を示すモデル図である。この図に示すように方位点は、既設構造物を利用して設定することができる。特に、略直交 (直交含む) する 2 面 (図 2 では壁面) によって形成される線分 (つまり 2 面が交差した隅角部の鉛直線) 上に方位点を設定するとよい。なお、ここではこの線分 (直線の一部) のことを便宜上「観測線」ということとする。図 2 では、観測線のうち最上端に方位点を設定しているが、もちろん最下端に設定しても、中間部に設定してもよい。

【0027】

また、図 2 のような出隅状の 2 面交差に限らず、入隅状の 2 面交差の観測線上に方位点を設定することもできる。図 3 は、2 面が入隅状に直交する標識 10 であり、(a) は平面図、(b) は正面図、(c) は斜視図である。この図に示す標識 10 を適切な位置に設置し、2 面交差の観測線上に方位点を設定するわけである。

【0028】

さらに、三脚 20 に設置することができる標識 10 (以下、特に「三面標識 10 S」という。) に方位点を設定することもできる。図 4 は、三脚 20 に設置した三面標識 10 S を示す図であり、(a) はその側面図、(b) は上方から見た平面図である。この図に示すように三面標識 10 S は、円形気泡管や整準ねじを具備する整準台 30 を用いて、三脚 20 に設置することができる。

【0029】

ここで、図 5 と図 6 を参照しながら三面標識 10 S の構造について詳しく説明する。図

10

20

30

40

50

5は、三面標識10Sを正面から見た斜視図であり、図6(a)は三面標識10Sの断面図、そして図6(b)は三面標識10Sを上方から見た平面図である。図5に示すように三面標識10Sは、底板11S上に、2つの側板12Sが固定された構造である。具体的には、図6(a)に示すように2つの側板12Sが底板11Sに対して略垂直(垂直含む)姿勢で配置され、さらに図6(b)に示すように2つの側板12Sが互いに略垂直(垂直含む)となるよう配置され、溶接等によって底板11Sに固定される。なお、図示する底板11Sは、2つの側板12Sの配置にあわせたL形の形状としているが、これに限らず矩形や円形など種々の形状として設計することができる。

【0030】

また図5から分かるように、三面標識10Sには、2つの側板12Sによって観測線が形成されている。より詳しくは、2つの側板12Sが当接(交差)しており、その当接部分に境界線(線分)、つまり観測線が形成されている。さらに底板11Sには、整準台30に取り付けるための小孔13Sが設けられており、観測線を延長した線(図5に示す矢印)はこの小孔13Sの中心点を貫いている。なお2つの側板12Sは、独立した2枚の板を組み合わせたものとしてもよいし、1枚の板を折り曲げたものとしてもよい。また、小孔13Sの形状は、図5に示す円形とすることもできるし、六角形や楕円など任意の形状を選択することもできる。

【0031】

三面標識10Sには、図5や図6(a)に示す切り欠き部14Sを設けることもできる。三面標識10Sを整準台30に取り付ける際、整準台30の一部(ねじやナット等)を収容できる空間を用意するのが、この切り欠き部14Sである。したがって切り欠き部14Sは、小孔13Sの直上に設けるとよい。

【0032】

次に、図4を参照しながら三面標識10Sを利用した場合の方位点の設定(Step 20)について詳しく説明する。まず、3次元座標が既知の点(ここでは、地面上に固定された測量鉾)に、トランシットやトータルステーションと同様、三脚20を利用して水平姿勢を保ちながら整準台30をセットする。そして、小孔13Sに挿通した整準台30の一部(例えば、ねじ)を利用して、三面標識10Sを整準台30に取り付ける(標識設置工程)。このとき、小孔13Sの中心点と、測量鉾(座標既知点)の平面位置が一致するように、三面標識10Sを取り付けるとよい。換言すれば、測量鉾が小孔13Sの中心点の鉛直下方に位置するように、三面標識10Sは設置される。さらに三面標識10Sは、底板11Sが略水平(水平含む)となる姿勢で、すなわち2つの側板12Sが略鉛直(鉛直含む)となる姿勢で設置される。

【0033】

三面標識10Sが設置できると、三面標識10Sに形成された観測線上の任意位置(図4(a)では最上端)に方位点を設定し、この方位点に3次元座標を与える。既述したとおり、また図4(b)からも分かるように(この図では便宜上、底板11Sを破線で示している)、整準台30に取り付けられた三面標識10Sの観測線(その平面位置)は、小孔13Sの中心点と一致している。したがって、方位点の3次元座標のうち平面座標(X座標とY座標、あるいは緯度と経度)は、測量鉾の座標から得ることができる。一方、3次元座標のうち高さに関しては、図4(a)に示すように、測量鉾から方位点までの高さHを計測し、この値を測量鉾の座標に加えることで得ることができる。

【0034】

なおここまでは、座標既知点である測量鉾の位置に三面標識10Sを設置する場合で説明したが、座標既知点(測量鉾等)を利用することなく、三脚20と整準台30を用いて三面標識10Sを任意の位置に設置し、その後方位点を直接計測して3次元座標を付与することもできる。ただしこの場合も、2つの側板12Sが略鉛直(鉛直含む)となる姿勢で三面標識10Sを設置するとよい。

【0035】

(計測)

10

20

30

40

50

基準点の設置 (Step 10) や、方位点の設定 (Step 20) といった準備が整うと、実際に計測を行う。まず、トランシットやトータルステーションと同様、三脚を利用して水平姿勢を保ちながら、基準点に地上型レーザ計測用のレーザスキャナ (以下、「地上型レーザスキャナ」という。) を設置する (Step 30)。このとき、基準点からレーザスキャナ計測中心までの高さ (以下、「機械高」という。) を測っておく。そして地上型レーザスキャナにより、レーザ計測を開始する (Step 40)。既述のとおり地上型レーザスキャナは、鉛直面内 (つまり水平軸周り) で回転して照射方向を変えながら、しかも水平面内 (つまり鉛直軸周り) にも回転しながらレーザパルス照射する。三面標識 10 S にレーザパルスが照射された場合は、主に 2 つの側板 12 S がレーザの反射面となる。

10

【0036】

一方で、基準点を中心とした方位 (例えば北) を、コンパス等を利用して計測する (Step 50)。このときの方位は、正確な計測による必要はなく、概略の方位が把握できればよい。したがって、地上型レーザスキャナに内蔵されたセンサ (電子コンパス等) によって得られる概略の方位を用いることもできる。

【0037】

(暫定座標系と暫定座標)

基準点を中心とした方位が把握できると、基準点を基準とする 3 次元の座標系を設定する (Step 60)。例えば、基準点を座標原点とし、南北方向、東西方向、鉛直方向を 3 軸とする座標系を設定する。あるいはレーザスキャナ計測中心を座標原点とする座標系を設定してもよい。この暫定座標系の設定も、地上型レーザスキャナが内蔵する計算機で処理することができる。なお、得られた方位は概略の値であることから、ここで設定される座標系は「暫定座標系」ということとする。

20

【0038】

レーザパルスの反射信号を受けた地上型レーザスキャナは、設定された暫定座標系に基づいて、レーザパルスの照射点 (反射点) の位置座標を計算する (Step 70)。ここで求めた位置座標は暫定座標系上のものであることから、「暫定座標」ということとする。

【0039】

ここまでの処理 (Step 10 ~ Step 70) はレーザ計測を行う現地でのものであり、ここから説明する処理は主にコンピュータを使用することから事務所など屋内で行うことができる。もちろん、現地にて引き続き処理してもよい。

30

【0040】

(フィルタリングと参照点群)

計測点群の暫定座標に基づいて方位点を算出するため、まずは参照点群を抽出する (Step 80)。レーザ計測で得られた多数の計測点をすべて使用して方位点を求めると、相当の計算時間を要することとなる。そこで、多数の計測点のうち方位点算出に役立つものの、すなわち方位点周辺の計測点を「参照点群」として選出し、限られた数の計測点によって方位点を求めることで、計算時間の短縮を図るわけである。

【0041】

計測点群から参照点群を抽出するということは、言い換えれば計測点群から不要な計測点をふるい落とす (間引く) ことであり、ここではこの処理をフィルタリングということとする。本願発明では、比高差フィルタリングと、距離フィルタリング、方位フィルタリングの 3 種類のフィルタリングが用意される。以下、それぞれ詳しく説明する。

40

【0042】

比高差フィルタリングは、暫定座標が所定高さである計測点のみを抽出する処理である。基準点と方位点の座標が既知であり、機械高も得られていることから、暫定座標系における方位点の高さ (Z 軸座標) を計算することができる。例えば、レーザスキャナ計測中心を暫定座標系の座標原点とした場合、既知座標に基づいて求められる基準点と方位点の比高差から、機械高を減じた値が、暫定座標系における方位点の高さとなる。したがって

50

、暫定座標系における方位点の高さ周辺にある計測点、例えば標高閾値内にある計測点（最も高い標高と最も低い標高の間など）を抽出することができる。

【0043】

距離フィルタリングは、基準点から所定距離にある計測点のみを抽出する処理である。基準点と方位点の座標が既知であることから、基準点と方位点間の距離を求めることができる。したがって、暫定座標系における基準点（例えば座標原点）から所定距離にある計測点を抽出することができる。この所定距離は、最小値と最大値を定めるなどある程度範囲（バッファ）を持って設定するとよい。

【0044】

方位フィルタリングは、基準点から所定方向にある計測点のみを抽出する処理である。基準点と方位点の座標が既知であることから、基準点と方位点を結んだ方向（ベクトル）を求めることができる。したがって、暫定座標系における基準点（例えば座標原点）から所定方向にある計測点を抽出することができる。この所定方向も、最小値と最大値を定めるなどある程度範囲（バッファ）を持って設定するとよい。

【0045】

3種類のフィルタリングを行うにあたってはどの順を選択してもよいが、フィルタリングで残された計測点を対象として次のフィルタリング処理を行うこととし、徐々に計測点を絞り込んでいく。例えば、計測点群に対して比高差フィルタリングを行って計測点を絞り込み、この絞り込まれた計測点を対象に距離フィルタリングが行われ、ここで抽出された計測点に対してさらに方位フィルタリングが行われ、参照点群が抽出される。

【0046】

（暫定方位点座標の算出）

3種類のフィルタリングを経て抽出された参照点群は、比高差フィルタリングを経ていることから概ね平面上に点在している。特に、観測線（2面交差の直線）上に方位点を設定した場合、計測点群（つまり参照点群）は2面（三面標識10Sであれば2つの側板12S）のうちいずれかに反射することから、参照点群は概ね2つの直線付近に点在することとなる。図7は、2直線付近に点在する参照点群を示す平面図である。この2直線の交点が、つまり方位点の位置と考えられるわけである。

【0047】

そこで、この2直線を設定し（Step90）、方位点として交点座標を求める（Step100）。具体的には、まず参照点群を2つのグループに分け、次にそれぞれのグループで回帰直線を求め、暫定座標系における直線式として算出される。暫定座標系上での2直線が特定できれば、この2直線の交点座標を計算し、暫定座標系上における方位点の座標（以下、「暫定方位点座標」という。）として求める。なお、ここで設定する2直線は3次元空間での直線式であるから、必ずしも交差するとは限らない。したがって、2直線がもっとも近づく位置を交点とみなすとよい。あるいは、あらかじめ定めた平面（例えば水平面）上で、回帰直線を設定することとしてもよい。

【0048】

（確定座標系と確定座標）

ところで、方位点は実際には絶対座標系（例えば世界測地系）における既知点であり、同じく絶対座標系における既知点である基準点との関係から、方位点を暫定座標系に配置することができる。つまり暫定座標系において、既述した2直線の交点から求める方位点（以下、便宜上「算出方位点」という。）と、基準点との関係から配置される方位点（以下、便宜上「変換方位点」という。）の2種類で方位点を表すことができる。本来、算出方位点と変換方位点は一致するはずであるが、方位を概略の値としたことから、あるいは計測誤差が原因で、両者は一致しない場合がある。

【0049】

図8は、基準点（あるいはレーザスキャナ計測中心）を座標原点とする暫定座標系のX-Yに、配置された算出方位点と変換方位点を示すモデル図である。基準点から方位点に向かう方向（ベクトル）は、本来、基準点から変換方位点に向かうベクトルであるべきと

10

20

30

40

50

ころ、基準点から算出方位点に向かうベクトルは異なる方向に向かっている。つまり、両者の方向の差から生じる回転角 ϕ が、正しい座標系と暫定座標系のずれであり、言い換えれば暫定座標系を回転角 ϕ だけ回転すると正しい座標系となる。したがって、暫定座標系を回転変換して正しい座標系（以下、「確定座標系」という。）を求め（Step 110）、この確定座標に基づいてレーザ計測で得られた計測点群の暫定座標の座標変換を行い、変換後の座標を「確定座標」として取得する（Step 120）。

【0050】

なお既述のとおり地上型レーザ計測では、X軸—Y軸—Z軸からなる3次元座標軸のうち、水平面が把握できることからZ軸は特定できるが、水平面内におけるX軸—Y軸の向きが特定できない。したがって、ここで行う座標系の変換は、水平面に配置される2軸（例えばX軸—Y軸）のみを回転させる。つまり図8で求められる回転角 ϕ は、X座標とY座標のみを使用しており、Z座標は用いていない。

【0051】

また、図8から分かるように、算出方位点と変換方位点は、基準点からの方向が異なるだけではなく、基準点からの距離も異なる場合がある。つまり、座標系を変換するに当たっては、座標系の回転変換のみならず、ヘルマート変換やアフィン変換といった平面を變形する変換手法も考えられる。もちろんこのような変換手法を使用することもできるが、地上型レーザ計測の性質上、平面を變形しない単なる回転変換とする方が良い結果が得られる。

【0052】

2. モデル化段階

図9は、本願発明のうちのモデル化段階の主な処理の流れを示すフロー図であり、中央の列に実施する処理を示し、左列にはその処理に必要な入力情報を、右列にはその処理から生まれる出力情報を示している。このフロー図にしたがって、本願発明のモデル化段階について説明する。なお、モデル化段階の各処理はコンピュータを使用して実行されるものであり、ここで説明する処理は、具体的にはコンピュータに実行させるためのプログラムを構成する機能である。

【0053】

（構成断面の設定）

はじめに、計測点群記憶手段から、ここで記憶されている計測点群とその確定座標を読み出す（Step 130）。ここで読み出した計測点群は、当然ながら3軸からなる確定座標系に配置することができる。ここでは便宜上、確定座標系の3軸を、X軸—Y軸—Z軸の場合で説明する。

【0054】

本願発明では、モデル化を行うに当たって「構成断面」を設定する（Step 140）のが1つの特徴となっている。図10は、3軸からなる確定座標系に配置された計測点群と構成断面を示すモデル図である。なお、この図に示す計測点群は、例えば図2に示すようなオフィスビルをレーザ計測して得られたものである。図10に示すように構成断面は、座標軸（この図ではZ軸）に直交する平面である。つまり構成断面は3方向で設定することができ、便宜上ここでは、X軸に直交する構成断面を「X軸構成断面」と、Y軸に直交する構成断面を「Y軸構成断面」、Z軸に直交する構成断面を「Z軸構成断面」ということとする。

【0055】

構成断面は、1つの軸に対して2以上が設定される。例えば図10では、4つのZ軸構成断面が設定されている。なお、2以上の構成断面は、一定間隔で複数設定すると良いが、モデル化する対象に応じて不等間隔で2以上の構成断面を設定することもできる。またモデル化を行うに当たって、1種類（例えば、Z軸構成断面のみ）の構成断面を設定することもできるが、2種類（例えば、Y軸構成断面とZ軸構成断面）の構成断面を設定することもできるし、3種類すべての構成断面を設定することもできる。

【0056】

10

20

30

40

50

(セグメント点群)

構成断面が設定できると、次にセグメント点群を設定する (Step 150)。図 11 は、3 軸からなる確定座標系に配置されセグメント点群と構成断面を示すモデル図である。この図に示すようにセグメント点群は、確定座標系に配置した計測点群のうち構成断面の周辺にあるものが抽出されて設定される。具体的には、構成断面から閾値距離以内にある計測点を抽出してセグメント点群を設定する。したがって、それぞれの構成断面でセグメント点群は設定され、言い換えれば、セグメント点群と構成断面は紐付けられているわけである。

【0057】

(ラインデータ)

セグメント点群が設定できると、ラインデータを生成する (Step 160)。図 12 は、セグメント点群に基づいて生成されたラインデータを示すモデル図である。本願発明は、計測対象物の外周線を「ラインデータ」として求め、複数のラインデータから構成される 3 次元形状を計測対象物の 3 次元モデルとすることを特徴としている。図 11 に示すセグメント点群は、ある程度、計測対象物の輪郭は想定できるものの、3 次モデルを作成できるほどシャープではない。そこで、セグメント点群に基づくラインデータを生成するわけである。

【0058】

ラインデータは、平面 (例えば構成断面) 上に配置される複数の線分で形成されるデータであり、セグメント点群に基づいて生成される。したがって、セグメント点群ごとにラインデータは生成され、つまりラインデータも構成断面は紐付けられている。ラインデータは、いくつかの手法で生成することができる。例えば、セグメント点群のうち任意の 1 点を「起点」として指定し、その周辺 (例えば最も近い点) の点を「ライン構成点」として抽出して連結し、これを繰り返し行うことでラインデータを生成することができる。このとき、起点から連結していく方向をあらかじめ決めておくこともできる。また、起点の指定は、オペレータ操作によって行うこともできるし、あらかじめ定めたルール (例えば X 座標最小値など) にしたがって自動的に指定することもできる。

【0059】

また、セグメント点群をあらかじめ構成断面上に投影したうえで、ラインデータを生成することができる。具体的には、構成断面上に投影された計測点群 (以下、単に「投影点」という。) のうち任意の 1 点を「起点」として指定し、その周辺の点をライン構成点としていく。この場合、ライン構成点として選出された投影点は、次のライン構成点を選出する当投影点からは除くと良い。つまり、順次ライン構成点を減じていき、徐々にライン構成点の選出時間を短縮するわけである。

【0060】

起点から順次連結していきながらラインデータを生成する手法に変えて、セグメント点群の配置形状から所定のラインを推定することでラインデータを生成することもできる。この場合、従来から用いられているハフ変換といった変換処理技術を採用することができる。またこの場合も、計測点群が構成断面上に投影された投影点の配置形状からラインデータを生成することもできる。

【0061】

(3 次元モデル)

ラインデータが生成できると、計測対象物の 3 次元モデルを作成する。まずは、複数のラインデータを重ね合わせるように配置し (Step 170)、そこから複数の外形面を推定し (Step 180)、さらにこの外形面に基づいて 3 次元モデルを作成する (Step 190)。

【0062】

ところで、既述のとおりセグメント点群は構成断面ごとに設定され、ラインデータはセグメント点群ごとに生成される。つまり、ラインデータは、構成断面の数だけ生成されるわけである。また構成断面は、3 種類すべて (つまり 3 軸に対して) の設定することも

10

20

30

40

50

できるし、1種類のみ設定できると述べた。したがって、ラインデータもZ軸に直交するものだけが生成されることもあるし、3軸すべてに直交するラインデータ（つまり3軸方向のラインデータ）が生成されることもある。図13（a）は、Z軸構成断面に基づいて生成されたラインデータを示すモデル図であり、図13（b）は、そのラインデータから作成された3次元モデルを示すモデル図である。一方、図14（a）は、Y軸構成断面に基づいて生成されたラインデータを示すモデル図であり、図14（b）は、そのラインデータから作成された3次元モデルを示すモデル図である。

【0063】

図13（b）や図14（b）に示すように、複数のラインデータは所定位置（例えば、構成断面の位置）に配置され、複数のラインデータによっていくつかの「面」が設定され、この面に基づいて計測対象物の3次元モデルが作成される。もちろん、図13や図14のように、1種類の構成断面からなるラインデータで3次元モデルを作成することもできるし、2種類の構成断面からなるラインデータから作成することもできるし、3種類の構成断面からなるラインデータから作成することもできる。

【産業上の利用可能性】

【0064】

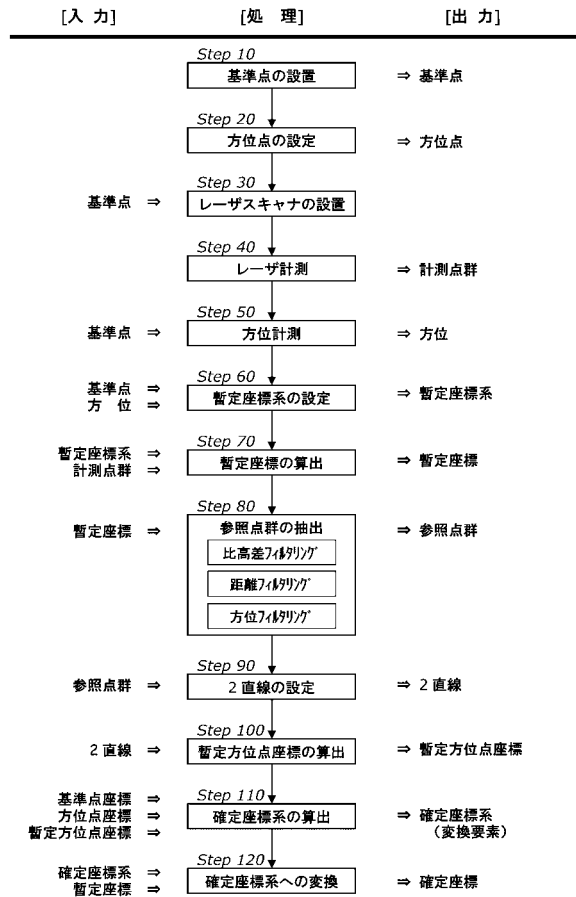
本願発明のレーザ計測方法、レーザ計測用標識、及び座標算出プログラムは、地上で計測する地上型レーザ計測や、上空からの航空レーザ計測で利用することができる。また、屋外にある対象物のほか、屋内の対象物を計測する際にも利用することができる。

【符号の説明】

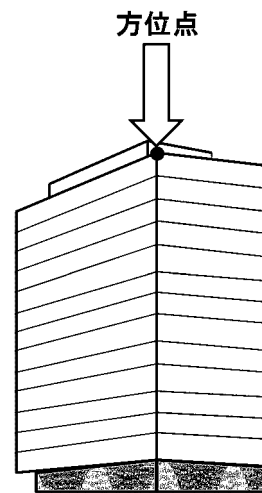
【0065】

- 10 標識
- 10S 三面標識
- 11S （三面標識の）底板
- 12S （三面標識の）側板
- 13S （三面標識の）小孔
- 14S （三面標識の）切り欠き部
- 20 三脚
- 30 整準台

【図 1】



【図 2】

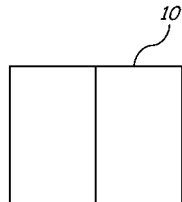


【図 3】

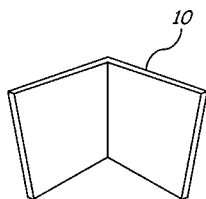
(a)



(b)

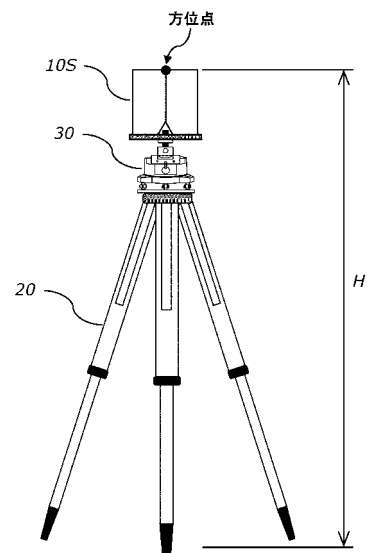


(c)

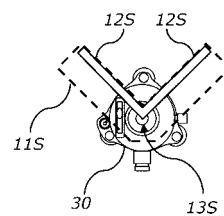


【図 4】

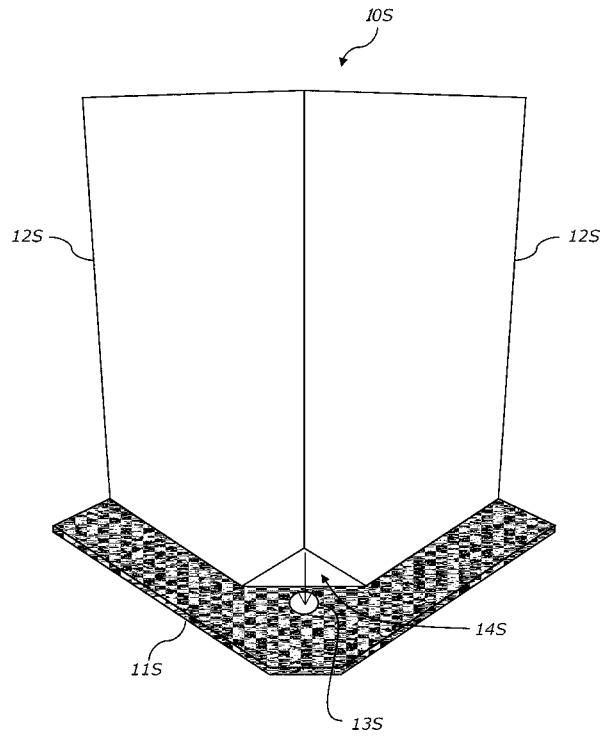
(a)



(b)

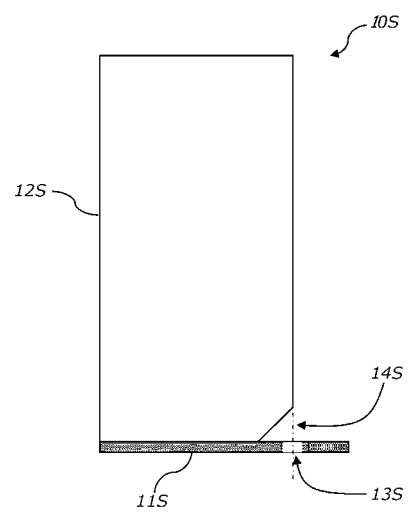


【図 5】

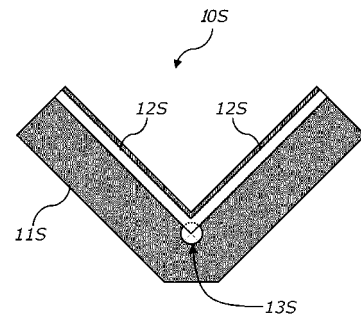


【図 6】

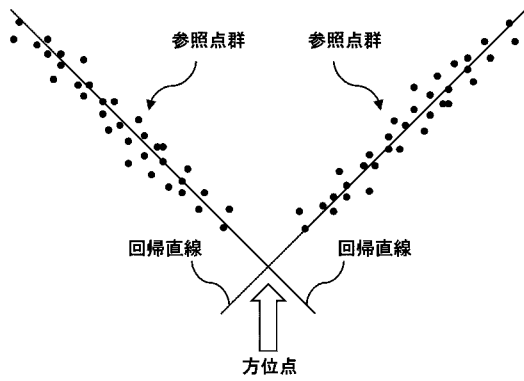
(a)



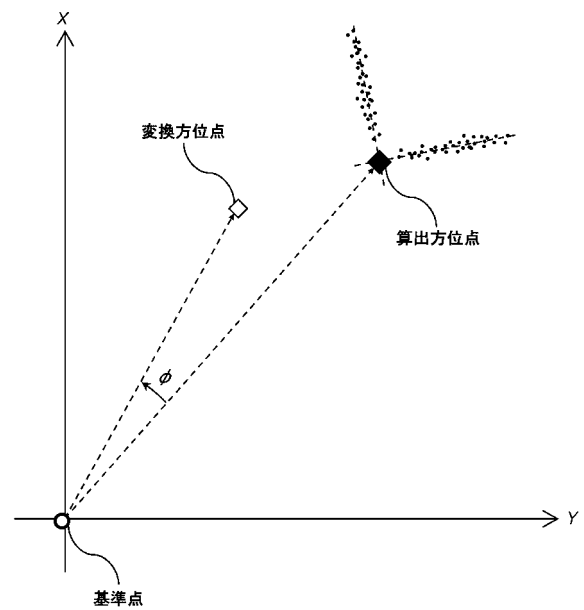
(b)



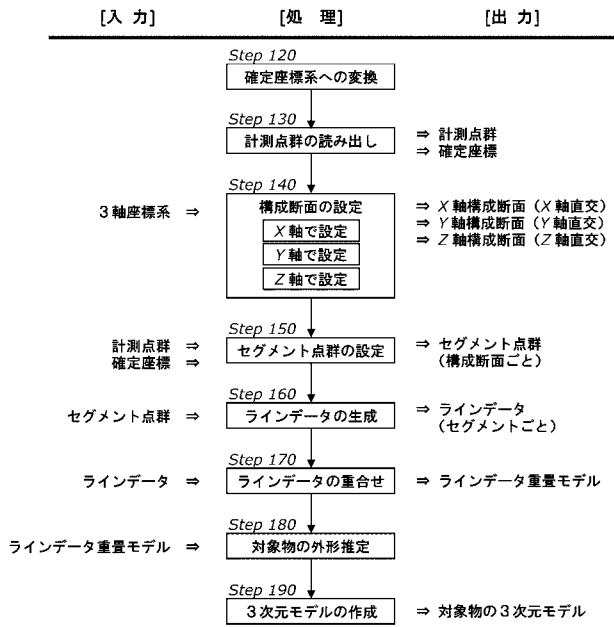
【図 7】



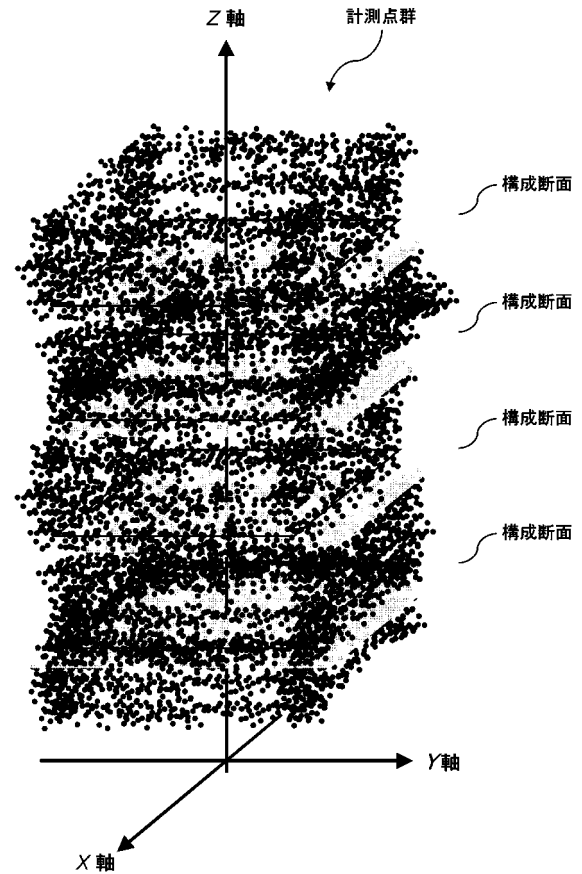
【図 8】



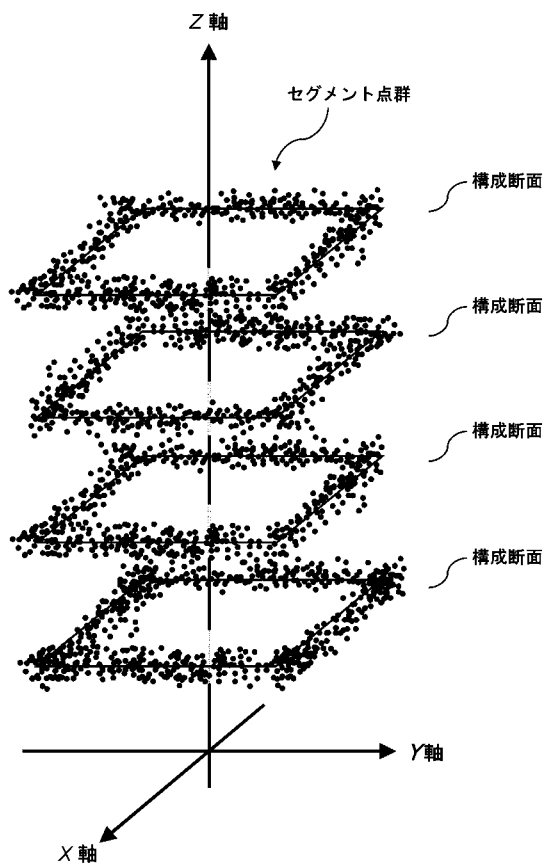
【図 9】



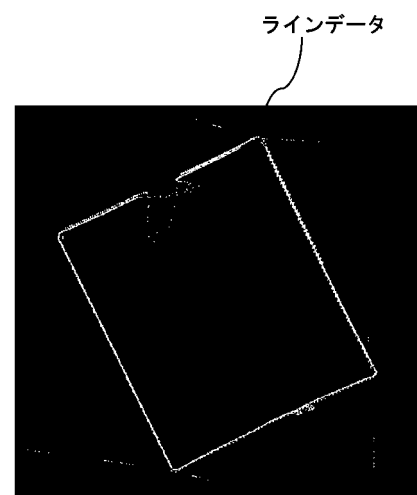
【図 10】



【図 11】

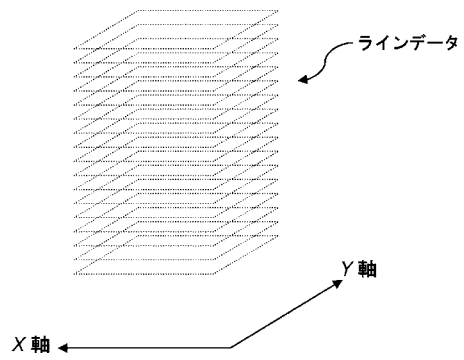


【図 12】



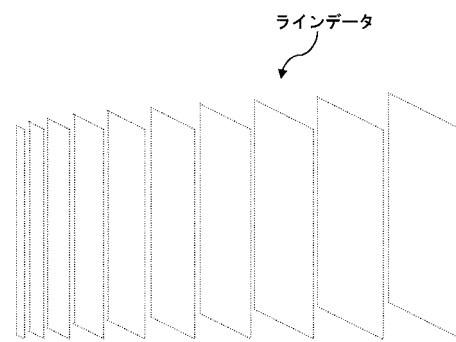
【図 1 3】

(a)



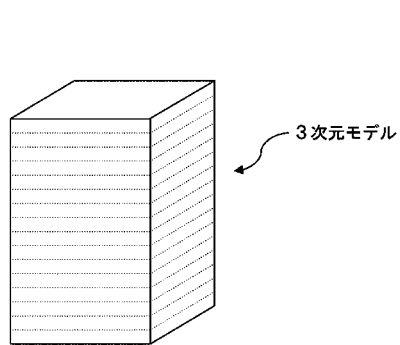
【図 1 4】

(a)

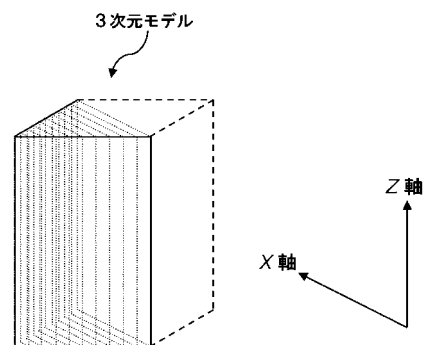


(b)

(b)

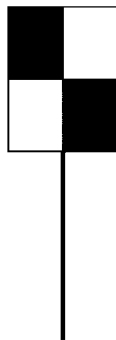


3次元モデル



【図 1 5】

(a)



(b)

