

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード [*] (参考)
G01B 11/00		G01B 11/00	B 2F065

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2002 - 46610(P 2002 - 46610)

(22)出願日 平成14年 2月22日(2002.2.22)

(71)出願人 390014306

防衛庁技術研究本部長

東京都新宿区市谷本村町 5 番 1 号

(72)発明者 内田 康之

神奈川県相模原市淵野辺 1 - 18 - 33 4 - 304

(72)発明者 大崎 馨

東京都港区白金 1 - 7 - 3

(74)代理人 100067323

弁理士 西村 教光

F タ-ム(参考) 2F065 AA04 AA06 AA58 AA59 BB05

CC00 DD06 FF04 FF05 GG04

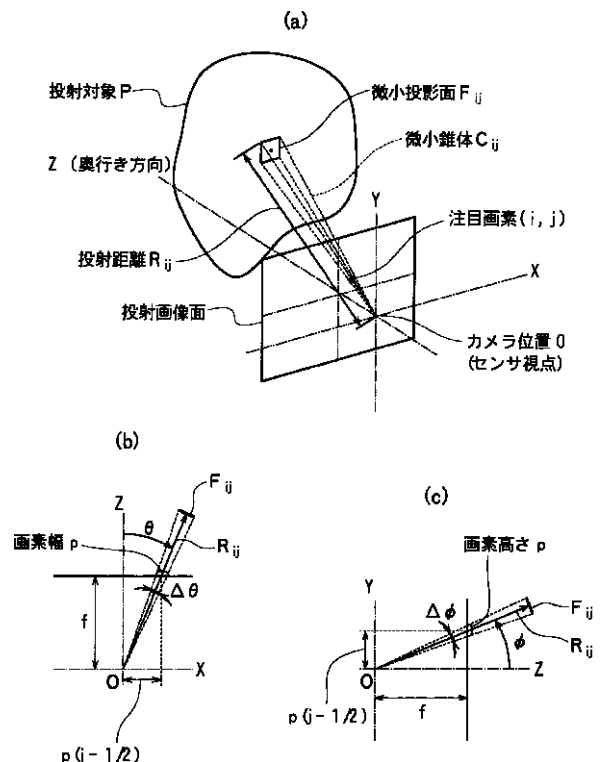
HH12 JJ03 JJ05 JJ08 JJ26

(54)【発明の名称】体積計測方法及び体積計測プログラム

(57)【要約】

【目的】 空間体積を計測し、土木事業等における掘削作業の作業効率の向上並びに体積計測処理の高速化及び低コスト化の実現を図る。

【構成】 ステレオビジョン、レーザレンジファインダ等は、デバイスに応じた一定の規則に基づいた配列で、原点から放射状に3次元空間内の対象物までの距離を計測しているため、各計測点に関して、距離に応じた広がり角度を定義することは容易であり、隣接する点同士が占める領域が空間内で重なり合うことなく隙間なく定義し、距離に応じた半径と広がり角度に基づき球体の一部の体積として算出することで、それらの積算により容易に物体表面までの体積を計算する手法である。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 センサ視点から投射対象に対し放射状に投射して得られる投射画像から前記投射対象の 3 次元データを計測する 3 次元計測センサを用いて体積を計測する体積計測方法であって、

前記 3 次元計測センサから得られた前記 3 次元データに基づいて、前記センサ視点から前記投射画像内の注目画素を投影した前記投影対象上の微小投影面までの投射距離及び前記微小投影面の微小投影面積を導出するデータ導出ステップと、

前記センサ視点を頂点とし前記投射距離を高さとし前記微小投影面を底面とする微小錐体の要素体積を計測する要素体積計測ステップと、

前記要素体積を総ての微小投影面にまで積分して、前記センサ視点から前記投射対象までの投射領域の総体積を計測する総体積計測ステップと、を具備することを特徴とする体積計測方法。

【請求項 2】 前記投射領域内に計測対象を設けずに計測した前記投射領域の総体積と、前記投射領域内に前記計測対象を設けて同一センサ視点から同一方向に投射して計測した投射領域の総体積と、を比較して、前記計測対象の体積を計測する比較計測ステップを具備することを特徴とする請求項 1 記載の体積計測方法。

【請求項 3】 過去に計測した前記投射領域の総体積と、同一センサ視点から同一方向に投射して計測した現在の投射領域の総体積と、を比較して、その体積変化量を計測する比較計測ステップを具備することを特徴とする請求項 1 記載の体積計測方法。

【請求項 4】 センサ視点から投射対象に対し放射状に投射する 3 次元計測センサから得られる投射画像に基づいて計測される前記投射対象の 3 次元データを用いて、コンピュータに体積を計測させる体積計測プログラムであって、

前記コンピュータを、

前記 3 次元計測センサから得られた前記 3 次元データに基づいて、前記センサ視点から前記投射画像内の注目画素を投影した前記投影対象上の微小投影面までの投射距離及び前記微小投影面の微小投影面積を導出するデータ導出手段、

前記センサ視点を頂点とし前記投射距離を高さとし前記微小投影面を底面とする微小錐体の要素体積を計測する要素体積計測手段、

前記要素体積を総ての微小投影面にまで積分して、前記センサ視点から前記投射対象までの投射領域の総体積を計測する総体積計測手段、として機能させることを特徴とする体積計測プログラム。

【請求項 5】 前記コンピュータを、更に、前記投射領域内に計測対象を設けずに計測した前記投射領域の総体積と、前記投射領域内に前記計測対象を設けて同一センサ視点から同一方向に投射して計測した投射

領域の総体積と、を比較して、前記計測対象の体積を計測する比較計測手段として機能させることを特徴とする請求項 4 記載の体積計測プログラム。

【請求項 6】 前記コンピュータを、更に、過去に計測した前記投射領域の総体積と、同一センサ視点から同一方向に投射して計測した現在の投射領域の総体積と、を比較して、その体積変化量を計測する比較計測手段として機能させることを特徴とする請求項 4 記載の体積計測プログラム。

10 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、センサ視点から放射状に投射して投射対象までの距離を計測する 3 次元計測センサを用いて体積を計測する体積計測方法、及び、センサ視点から投射対象に対し放射状に投射する 3 次元計測センサから得られる投射画像に基づいて計測される前記投射対象の 3 次元データを用いて、コンピュータに体積を計測させる体積計測プログラムに関するものである。特に、建設機械や産業用ロボットの様な作業用アームがある場合には作業計画のプランニングや作業遂行量等の計測に、また、無人の移動車両に搭載した場合には、障害物までの空間の体積と自分の体積を比較することで自律航行するための指令値の導出に有用である。なお、本明細書において、体積とは、計測対象等の物体の体積の他に、投射領域等の空間の体積（容積）を含むものである。

【0002】

【従来の技術】従来は、図 10 (a) に示すように、計測値から得られた座標 (x , y , z) を x y 平面に投影して隣接する座標との間で領域を区切って底面とし、これが高さ z を持つ角柱であるとして全ての座標について体積を積算する手法や、同図 (b) に示すように、隣接する座標を相互に結んで対象物の表面を覆うように三角形を構成し、それらを投影した角柱を作り体積を積算する手法などがある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図 10 に示す様な方法では、空間の体積を計測することができず、例えば、土木事業等での掘削作業において、掘削して形成された穴の容積を計測することができない。この場合、上述した図 9 に示す従来の計測方法では、掘削した土砂の体積を計測するしかなく、掘削土が毎回異なる場所に捨てられる場合は、その場所の分、複数台の計測機器が必要となり、計測効率を悪化させる原因となっていた。

【0004】また、図 10 に示す様な方法では、計測する座標が多くなるほど相互の位置関係から隣接点を探索し境界線を求めるための計算量が急激に増大するという問題がある。したがって、高性能の計測機器が必要となり、コストが増大する原因となっていた。

【0005】更に、図11に示すように、円錐台又は角錐台を逆さにしたような物体Wでは、単純に各座標 a , b , c , d を水平面に投影すると、座標 a , b から投影された微小柱体 A , B は正確に体積を算出できるが、座標 c , d から投影された微小柱体 C , D においては、物体Wの内外のどちらに存在するか区別なく体積を計算されてしまうこととなる。このため、この積算誤差の出現を回避するために、計測した点に関し、どの領域が物体Wの表面なのかを認識する必要があり、面の方向などの判別をするという複雑な処理が必要となるという問題がある。

【0006】本発明は、上述した従来技術の問題点を解消するため、空間体積の計測を実現するとともに、土木事業等における掘削作業の作業効率の向上を図ることを目的としている。また、体積計測処理の高速化及び低コスト化の実現を図ることにある。更に、計測対象Wの体積計測の高精度化を図ることにある。

【0007】

【問題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1記載の体積計測方法は、センサ視点Oから
10 投射対象Pに対し放射状に投射して得られる投射画像から前記投射対象Pの3次元データを計測する3次元計測センサ10を用いて体積を計測する体積計測方法であって、前記3次元計測センサ10から得られた前記3次元データに基づいて、前記センサ視点Oから前記投射画像内の注目画素(i, j)を投影した前記投影対象P上の微小投影面F_{ij}までの投射距離R_{ij}及び前記微小投影面F_{ij}の微小投影面積S_{ij}を導出するデータ導出ステップと、前記センサ視点Oを頂点とし前記投射距離R_{ij}を高さとし前記微小投影面F_{ij}を底面とする微小錐体C_{ij}の要素体積V_{ij}を計測する要素体積計測ステップと、前記要素体積V_{ij}を総ての微小投影面F_{ij}にまで積分して、前記センサ視点Oから前記投射対象Pまでの投射領域PAの総体積Vを計測する総体積計測ステップと、を具備することを特徴とする。

【0008】また、請求項2記載の体積計測方法は、請求項1記載の体積計測方法において、前記投射領域PA内に計測対象Wを設けずに計測した前記投射領域PAの総体積Vと、前記投射領域PA内に前記計測対象Wを設けて同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した
20 投射領域PAの総体積Vと、を比較して、前記計測対象Wの体積を計測する比較計測ステップを具備することを特徴とする。

【0009】更に、請求項3記載の体積計測方法は、請求項1記載の体積計測方法において、過去に計測した前記投射領域PAの総体積Vと、同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した現在の投射領域PAの総体積Vと、を比較して、その体積変化量を計測する比較計測ステップを具備することを特徴とする。

【0010】また、請求項4記載の体積計測プログラム

は、センサ視点Oから投射対象Pに対し放射状に投射する3次元計測センサ10から得られる投射画像に基づいて計測される前記投射対象Pの3次元データを用いて、コンピュータに体積を計測させる体積計測プログラムであって、前記コンピュータを、前記3次元計測センサ10から得られた前記3次元データに基づいて、前記センサ視点Oから前記投射画像内の注目画素(i, j)を投影した前記投影対象P上の微小投影面F_{ij}までの投射距離R_{ij}及び前記微小投影面F_{ij}の微小投影面積S_{ij}を導出するデータ導出手段3、前記センサ視点Oを頂点とし前記投射距離R_{ij}を高さとし前記微小投影面F_{ij}を底面とする微小錐体C_{ij}の要素体積V_{ij}を計測する要素体積計測手段4、前記要素体積V_{ij}を総ての微小投影面F_{ij}にまで積分して、前記センサ視点Oから前記投射対象Pまでの投射領域PAの総体積Vを計測する総体積計測手段5、として機能させることを特徴とする。

【0011】更に、請求項5記載の体積計測プログラムは、請求項4記載の体積計測プログラムにおいて、前記コンピュータを、更に、前記投射領域PA内に計測対象Wを設けずに計測した前記投射領域PAの総体積Vと、
30 前記投射領域PA内に前記計測対象Wを設けて同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した投射領域PAの総体積Vと、を比較して、前記計測対象Wの体積を計測する比較計測手段7として機能させることを特徴とする。

【0012】また、請求項6記載の体積計測プログラムは、請求項4記載の体積計測プログラムにおいて、前記コンピュータを、更に、過去に計測した前記投射領域PAの総体積Vと、同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した現在の投射領域PAの総体積Vと、を比較して、その体積変化量を計測する比較計測手段7として機能させることを特徴とする。

【0013】上記発明によれば、投射領域PAの空間体積の計測が実現することができる。また、投射領域PA内の体積変化量が計測可能となるため、作業アームを用いた掘削作業、搬送作業等に適用することが可能である。更に、投射領域PA内に存在する計測対象Wの体積の計測が可能となるため、無人の移動車両における自立走行に適用することができる。

【0014】また、計測対象Wの体積計測においては、複数台の3次元計測センサ10の各投射対象Pを予め設定された仮想平面とし、その投射領域PAを任意の閉空間とする。そして、各閉空間が重複せず、かつ、連続して接合するように、計測対象Wの周囲に複数台の3次元計測センサ10を配置する。そして、各センサに基づいて計測された各体積を合計することで、計測対象Wの体積を計測することができる。これにより、計測対象Wの複雑な形状を認識する必要なく、正確な体積が計測することができる。この3次元計測センサ10の数は、好ましくは3台以上であり、また、各センサ毎の仮想平面を

表す平面方程式を同一とすることにより、それぞれ計測対象Wを中心としてその周囲に等間隔に配置することが可能となる。

【 0 0 1 5 】

【発明の実施の形態】まず、本発明の体積計測プログラムの実施の形態について図 1 ~ 図 4 を用いて説明する。体積計測プログラムは、ROM, HDD, CD-ROM 等の記録媒体に格納されており、不図示のコンピュータに接続されることで、3次元計測センサ10から計測される3次元データを用いて、コンピュータに体積を計測させるプログラムである。この体積計測プログラムは、コンピュータを、後述する各手段3, 4, 5, 7として機能させるプログラムである。

【 0 0 1 6 】 3次元計測センサ10は、例えばステレオビジョン、レーザーレンジファインダー等、センサ視点Oから投射対象Pに対し放射状に投射して得られる投射画像から投射対象Pの3次元データを計測するセンサである。この3次元計測センサ10は、コンピュータに接続されており、図2に示すように、計測された投射対象Pの各計測地点の3次元座標データは、図1に示す3次元データメモリ2に格納される。

【 0 0 1 7 】 データ導出手段3は、3次元計測センサ10から得られた3次元データに基づいて、図2に示すように、センサ視点Oから投射画像内の注目画素(i, j)を投影した投影対象P上の微小投影面F_{ij}までの投射距離R_{ij}及び微小投影面F_{ij}の微小投影面積S_{ij}を導出する。

【 0 0 1 8 】 要素体積計測手段4は、図2に示すように、導出されたデータに基づいて、センサ視点Oを頂点とし、投射距離R_{ij}を高さとし、微小投影面F_{ij}を底面とする微小錐体C_{ij}の体積(以下、要素体積V_{ij}と呼ぶ)を計測する。

【 0 0 1 9 】 総体積計測手段5は、要素体積V_{ij}を総ての微小投影面F_{ij}にまで積分して、即ち、各微小錐体C_{ij}の要素体積V_{ij}を積算し、センサ視点Oから投射対象Pまでの投射領域PAにおける総体積Vを計測することとなる。これにより、隣接する微小錐体C_{ij}同士が占める領域が空間内で重なり合うことなく隙間なく定義されるので、距離に応じた半径と広がり角度に基づき球体の一部の体積として計測可能であり、それらの積算により容易に投射対象面Pまでの体積を計測することが可能となる。

$$\begin{cases} \theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} \left(i - \frac{1}{2} \right) \right) & (i > 0) \\ \theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} \left(i + \frac{1}{2} \right) \right) & (i < 0) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \phi_j = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} \left(j - \frac{1}{2} \right) \right) & (j > 0) \\ \phi_j = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} \left(j + \frac{1}{2} \right) \right) & (j < 0) \end{cases} \dots\dots (1)$$

【 0 0 2 0 】 比較計測手段7は、投射領域PA内に計測対象Wを設けずに計測した投射領域PAの総体積Vと、前記投射領域PA内に計測対象Wを設けて同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した投射領域PAの総体積Vと、を比較して、計測対象Wの体積を計測する。また、過去に計測した投射領域PAの総体積Vと、同一センサ視点Oから同一方向に投射して計測した現在の投射領域PAの総体積Vと、を比較して、その体積変化量を計測する。

【 0 0 2 1 】 図2(a)~(c)は、3次元計測センサ10として、ステレオビジョンを適用した場合の原理図であり、複数台のセンサ10により同一被写体(計測対象W)を写したときに、その位置関係により生じる像のずれから3次元データを算出するステレオビジョンに適用した場合の例を示したものである。また図3は、そのフローチャートである。

【 0 0 2 2 】 ステレオビジョン10では、得られた距離画像はCCDの画素毎に輝度値で距離画像が表示されているので、基準カメラのCCDの画素配列に基づき計算すると考えられる。まず、得られた距離画像から得られる3次元座標計測データ(X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})を読み込む(SP1)。

【 0 0 2 3 】 次に読み込んだ各3次元座標計測データ(X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij})を、3次元データメモリ2から各画素ごとに抽出する(SP2~SP8)。

【 0 0 2 4 】 次に、ステレオビジョン10では、抽出した画素(i, j)の3次元座標計測データは極座標ではないので(SP8-NO)、極座標に変換する(SP9)。すなわち、図2に示すように基準カメラ位置Oをセンサ視点Oとする。そして、図2(b)に示すように、XZ平面において、Z軸と、センサ視点Oと注目画素(i, j)中心を結ぶ線分と、のなす角をθとする。また、図2(c)に示すように、YZ平面において、Z軸と、センサ視点Oと注目画素(i, j)中心を結ぶ線分と、のなす角をφとする。及びθは下記式(1)により求めることができる。なお、ここではθ(i, j)に対して1/2画素分を引いて(あるいは足して)いる。またpは注目画素(i, j)の画素幅又は画素高さ、fは焦点距離である。

【 0 0 2 5 】
【数1】

10
20
30
40

【 0 0 2 6 】また、投射距離 R_{ij} は、センサ視点 O から、注目画素 (i , j) から投影された微小投影面 F_{ij} までの距離であり、複数のカメラにおける同一注目画素 (i , j) の視差値が距離 R_{ij} として計測される。これにより、注目画素 (i , j) から投影された微小投影面 F_{ij} の座標 $(X_{ij} , Y_{ij} , Z_{ij})$ が、極座標 $(R_{ij} , \theta_{ij} , \phi_{ij})$ に変換される。

【 0 0 2 7 】次に、投影対象 P における各注目画素 (i , j) からの微小投影面 F_{ij} の微小投影面積 S_{ij} を

$$\begin{cases} \Delta \theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} i \right) - \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (i - 1) \right) & (i > 0) \\ \Delta \theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (i + 1) \right) - \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} i \right) & (i < 0) \\ \dots\dots(2) \\ \Delta \phi_j = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} j \right) - \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (j - 1) \right) & (j > 0) \\ \Delta \phi_j = \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} (j + 1) \right) - \tan^{-1} \left(\frac{p}{f} j \right) & (j < 0) \end{cases}$$

【 0 0 2 9 】この注目画素 (i , j) に映っている範囲が投射距離 R_{ij} を持つものとする、この部分の体積は半径 R_{ij} の球のうちセンサ視点 O と注目画素 (i , j) の縁を結ぶ延長線により区切られた部分であると考えることができる。したがって、投影対象 P における各注目画素 (i , j) からの微小投影面 F_{ij} の微小投影面積 S_{ij} は、半径 R_{ij} の球の表面積 $(4 \pi R_{ij}^2)$ に対して表面積 $(R_{ij} \Delta \theta_i \cdot R_{ij} \Delta \phi_j)$ となる。

$$V_{ij} = \left(\frac{4}{3} \pi R_{ij}^3 \right) \left(\frac{R_{ij}^2 \Delta \theta_i \cdot \Delta \phi_j}{4 \pi R_{ij}^2} \right) = \frac{R_{ij}^3 \Delta \theta_i \cdot \Delta \phi_j}{3}$$

.....(3)

【 0 0 3 2 】これを全画素について積み上げることにより、即ち、下記式 (4) により、センサ視点 O から投影対象 P までの空間 (投射領域 PA) について体積 V が計測される (SP 1 2)。

【 0 0 3 3 】

【数 4】
$$V = \sum_{ij} V_{ij} \quad \dots\dots(4)$$

【 0 0 3 4 】計測された総体積 V は、総体積データメモリ 6 に格納される (SP 1 3)。なお、上述の例は 3 次元計測センサ 1 0 としてステレオビジョンを適用した例であるが、レーザレンジファインダを適用した場合、レーザレンジファインダから得られる 3 次元座標計測データは、極座標であるため (SP 8 - YES)、極座標変換をする必要はない。

【 0 0 3 5 】なお、本手法はカメラから見た投影対象 P 又は物体 (計測対象 W) までの空間体積 (投射領域 PA) を求めるものであり、投影対象 P の体積や、センサ視点 O から投影対象 P までの投射領域 PA 内に存在する計測対象 W の体積を直接求めることはできない。しか

計測する (SP 1 0)。ここで、センサ視点 O から見て注目画素 (i , j) の幅 p (X 方向) に相当する角度を θ_{ij} 、注目画素 (i , j) の高さ p (Y 方向) に相当する角度を ϕ_{ij} とする。注目画素 (i , j) の幅 (高さ) に相当する角度は下記式 (2) により求めることができる。

【 0 0 2 8 】

【数 2】

【 0 0 3 0 】次に、センサ視点 O を頂点とし、注目画素 (i , j) を通過する投射距離 R_{ij} を高さとし、注目画素 (i , j) が投影された微小投影面 F_{ij} を底面とする微小錐体 C_{ij} を作成する。この微小錐体 C_{ij} の体積 (要素体積) V_{ij} は、下記式 (3) によって求められる (SP 1 1)。

【 0 0 3 1 】

【数 3】

し、カメラ位置が固定されているような場合には計測した空間体積の変化は計測対象 W の体積変化に等しくなる。

【 0 0 3 6 】そこで、図 4 及び図 5 を用いて、計測対象 W の体積を計測する例について説明する。まず、図 4 (a) に示すように、3 次元計測センサ 1 0 を固定し、投影対象 P としての床面に向けて投射する。これにより、同図 (a) 中、点線で示されている投射領域 PA の空間体積 V が計測される (SP 1 ~ SP 1 5)。

【 0 0 3 7 】次に、同図 (b) に示すように、同一投射領域 PA 内における床面に計測対象 W を載置する。そして、床面及び計測対象 W の表面を投影対象 P' とすることで、SP 1 ~ SP 1 3 の処理により、同図 (b) 中、点線で示されている投射領域 PA' の空間体積 V' を計測する (SP 2 0)。同図 (a) 及び同図 (b) における投射領域 PA, PA' の総体積 V, V' を総体積データメモリ 6 から読み出す (SP 2 1)。そして、両総体積 V, V' の差分を取ることで、計測対象 W の体積 $(V - V')$ が計測される (SP 2 2)。

【 0 0 3 8 】また図 5 ~ 図 7 を用いて、掘削や盛土作業

40

50

における作業量の計測に適用する場合について説明する。図 6 に示すように、3次元計測センサ 10 及び体積計測プログラムは、パワーショベル機 11 に搭載されている。

【0039】まず、図 7 (a) に示すように、平らな地形では、その地面を投射対象 P として、センサ視点 O から地面までの 3次元空間である投射領域 P A (図中点線の範囲) の空間体積 V を計測する。

【0040】次に、同図 (b) に示すように、所定量の土を掘削して穴 12 (12 a) を形成した場合、投射対象 P a は、穴 12 a の底面及び内周壁並びに地面となり、同図 (a) の投射領域 P A に比べ、同図 (b) の投射領域 P A a が掘削土の掘削量分体積が増加して (図中点線の範囲) 、空間体積 V a が計測される。

【0041】この状態から更に掘削して穴 12 b を形成すると、同図 (c) に示すように、投射対象 P b は、穴 12 a の底面及び内周壁、穴 12 b の底面及び内周壁、並びに地面となり、同図 (b) の投射領域 P A a に比べ、同図 (c) の投射領域 P A b が掘削土の掘削量分体積が増加して (図中点線の範囲) 、空間体積 V b が計測される。

【0042】したがって、同図 (b) での掘削体積を計測する場合は、同図 (a) と同図 (b) との空間体積 V , V a を比較してその差分 (V - V a) をとることで計測される。また、同図 (c) での掘削体積を計測する場合は、同図 (a) と同図 (c) との空間体積 V , V b を比較してその差分 (V - V b) をとることで計測される。更に、同図 (b) から同図 (c) への掘削体積を計測する場合は、同図 (b) と同図 (c) との空間体積 V a , V b を比較してその差分 (V a - V b) をとることで計測される。

【0043】これにより、掘削作業中に掘削土の体積を把握することができ、目標とする掘削体積まで正確に掘削することが可能となる。

【0044】次に、他の例について説明する。本例は、図 8 に示すように、複数 (図では 2 台) の 3次元計測センサ 10 (10 a , 10 b) を計測対象 W の周囲に、計測対象 W から放射状に等角度で固定配置して計測対象 W の体積を計測する例である。

【0045】本例の 3次元計測センサ 10 は、平面方程式を用いて仮想的に投影対象面 P I を定義する。すなわち、センサ視点 O から仮想投影対象面 P I までをセンサ 10 の最大投射距離 R max として予め設定しておき、実際に計測した投射距離 R i j が、最大投射距離 R max を越えたと、最大投射距離 R max に変換処理する。これにより、各 3次元計測センサ 10 a , 10 b の最大計測空間体積を設定し、投影領域 P A を P A 1 と P A 2 に分割するようにしている。

【0046】従って、図 8 (a) に示すように、床面に計測対象 W が載置されていない場合、一方の 3次元計測

センサ 10 a の投射対象 P 1 は、投射された床面と床面から仮想的に垂設する仮想投影対象面 P I となり、空間体積 V 1 が計測される。同様に、他方の 3次元計測センサ 10 b の投射対象 P 2 は、投射された床面と床面から仮想的に垂設する仮想投影対象面 P I となり、空間体積 V 2 が計測される。

【0047】そして、図 8 (b) に示すような、円錐台又は角錐台を逆さにした計測対象 W を、両投射領域 P A 1 , P A 2 に渡るように床面に載置する。そして、この計測対象 W に向けて両センサ 10 a , 10 b から投射すると、空間体積 V 1 ' 及び V 2 ' が計測される。そして、一方のセンサ 10 a 側では、空間体積 V 1 と空間体積 V 1 ' の差分により、仮想投影対象面 p I を境界にして、計測対象 W の略右半部 W a の体積 (V 1 - V 1 ') が計測される。同様に他方のセンサ 10 b 側で空間体積 V 2 と空間体積 V 2 ' の差分により、仮想投影対象面 P I を境界にして、計測対象 W の略左半部 W b の体積 (V 2 - V 2 ') が計測される。この略右半部の体積と略左半部の体積を合計することで、計測対象 W の体積 V を計測することが可能となる。

【0048】これにより、計測対象 W の周囲から死角のない状態で複数の計測を行うときに、各視野を基準点の位置関係から重複することのないように閉空間で構成し合成することとなるので、複雑な物体認識を必要とせず計測対象 W の体積を計算することが可能となる。

【0049】図 8 では、3次元計測センサ 10 を 2 台用いた場合について説明したが、図 9 に示すように、3台用いてもよい。この場合、各センサの仮想投影対象面 P I 、すなわち平面方程式を各センサ 10 A , 10 B , 10 C につき 2 面定義することで、投射領域 P A a , P A b , P A c 及びその空間体積を 3 分割することができ、各投射領域 P A に渡るように計測対象 W を載置することで、三方から計測対象 W に投射して体積を計測し、これらを合計することで、上記と同様に計測対象 W の体積を計測することが可能となる。

【0050】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、計測する座標が多くなっても相互の位置関係から隣接点を探索し境界線を求める必要がなく、センサに応じた規則性のある配列情報に基づいて、順次必要な体積を計算できるので、行程が少なくアルゴリズムも簡素化することができる。また、計測地点の増加による処理速度の低下を回避でき、逆に計測地点数を多くすることが可能となり、計算精度の向上、リアルタイム性の向上も図れる。

【0051】また、複雑な形状をした物体についても、各計測地点について計測対象の内外のどちらに存在する点かの区別、どの領域が計測対象の表面なのかの認識や、面の方向などの判別が必要なく、アルゴリズムの簡素化と処理速度の向上が図れる。

【 0 0 5 2 】また、実時間処理の可能性から、時々刻々と変化する環境の中で、実時間で判断しなければならない、遠隔操縦や自動化を図った作業機に関する作業プランニングや高速移動を可能とする無人車両等のナビゲーション等への適用も可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】本発明の体積計測プログラムを示す概略ブロック構成図である。

【 図 2 】本発明の体積計測プログラムにおける体積計測原理を示す図である。

【 図 3 】本発明の体積計測プログラムを示すフローチャートである。

【 図 4 】平面上にある計測対象の体積算出方法の一例を示した図である。

【 図 5 】計測対象の体積計測を示すフローチャートである。

【 図 6 】本発明の体積計測プログラムをパーソナル機に搭載した例を示す図である。

【 図 7 】本発明の体積計測プログラムをパーソナル機に搭載したときの掘削体積を計測する概略図である。

【 図 8 】平面上にある計測対象の体積算出方法の他の例を示した図である。

【 図 9 】平面上にある計測対象の体積算出方法の応用例を示した図である。

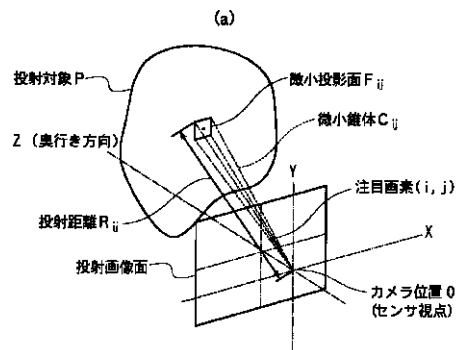
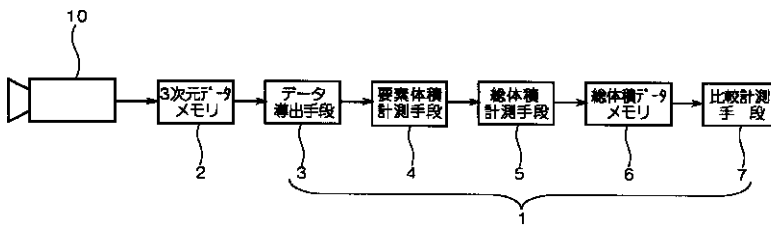
【 図 1 0 】従来の計算手法における計測点の扱い方を示した図である。

【 図 1 1 】対象物が複雑な形状の時に生じる問題点を示した図である。

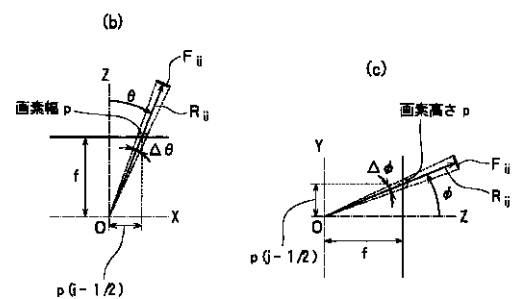
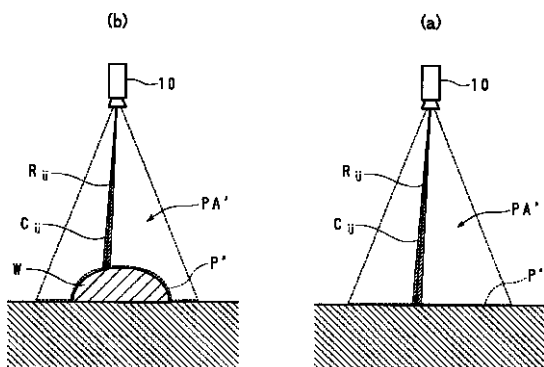
- 1 ... 体積計測プログラム
- 3 ... データ導出手段
- 4 ... 要素体積計測手段
- 10 5 ... 総体積計測手段
- 7 ... 比較計測手段
- 1 0 ... 3 次元計測センサ
- (i , j) ... 注目画素
- C_{ij} ... 微小錐体
- F_{ij} ... 微小投影面
- O ... センサ視点
- P ... 投射対象
- PA ... 投射領域
- R_{ij} ... 投射距離
- S_{ij} ... 微小投影面積
- V ... 総体積
- V_{ij} ... 要素体積

【 図 1 】

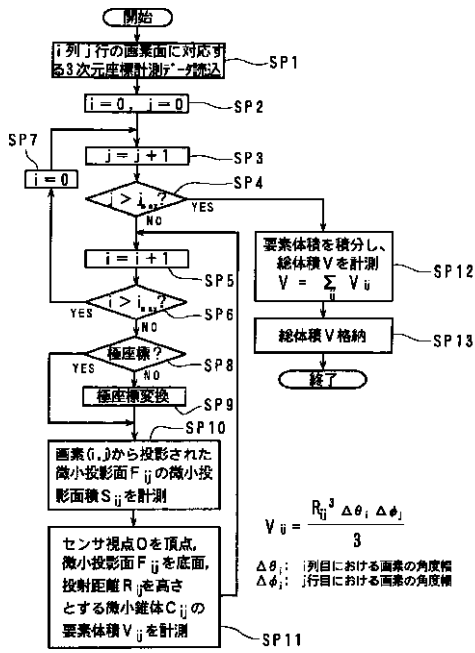
【 図 2 】



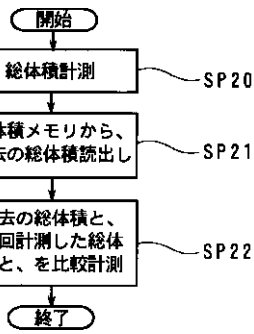
【 図 4 】



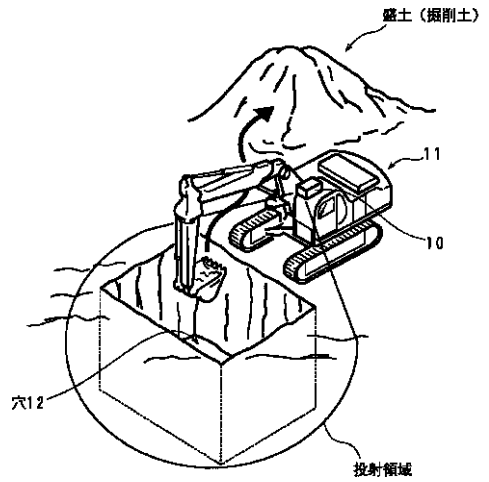
【図3】



【図5】

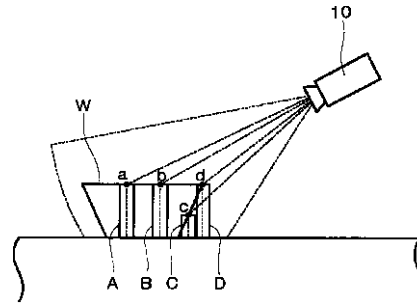
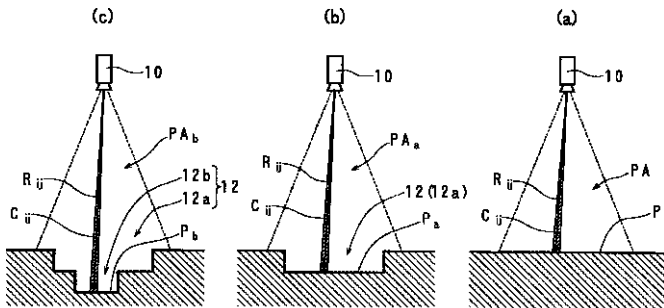


【図6】

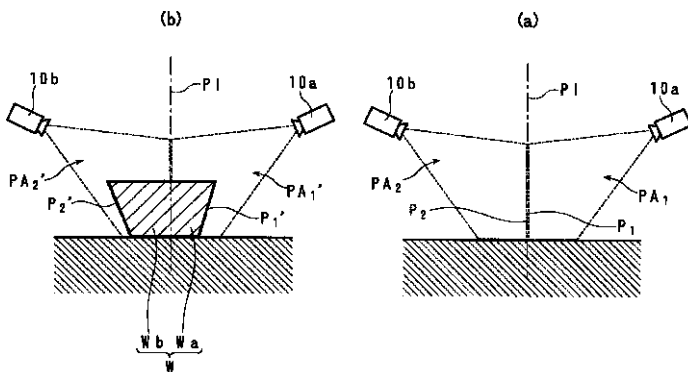


【図11】

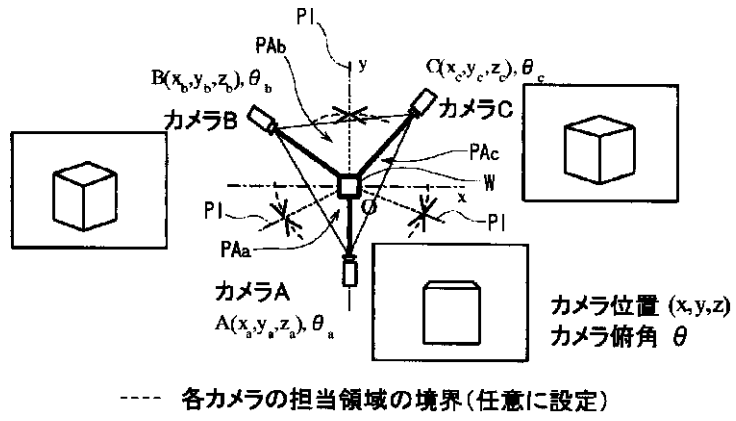
【図7】



【図8】



【図9】



【図10】

