

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

**特許第6457775号
(P6457775)**

(45) 発行日 平成31年1月23日(2019. 1. 23)

(24) 登録日 平成30年12月28日(2018. 12. 28)

(51) Int. Cl. F 1
GO 1 B 11/245 (2006.01) GO 1 B 11/245 H

請求項の数 7 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2014-209046 (P2014-209046)	(73) 特許権者	500140127
(22) 出願日	平成26年10月10日 (2014. 10. 10)		エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社
(65) 公開番号	特開2016-80399 (P2016-80399A)		社
(43) 公開日	平成28年5月16日 (2016. 5. 16)		東京都中央区東日本橋一丁目8番1号
審査請求日	平成29年7月28日 (2017. 7. 28)	(73) 特許権者	504454060
			株式会社アプライド・ビジョン・システムズ
			茨城県つくば市梅園2-7-3 つくばシティビル403
		(74) 代理人	100108453
			弁理士 村山 靖彦
		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元形状計測装置及び3次元形状計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ステレオカメラにおける第1撮像装置の撮像した第1撮像データ及び第2撮像装置の撮像した第2撮像データから所定の関係式により3次元画像を形成する3次元座標系形成部と、

第1撮像装置及び第2撮像装置のいずれか一方のカメラパラメータを、所定の範囲で調整するカメラパラメータ調整部と、

第1撮像データ及び第2撮像データから前記3次元画像を形成する前記関係式を、調整された前記カメラパラメータにより補正する関係式変換部と、

既知の基準量を有する基準対象物の画像を用い、所定の範囲で調整された前記カメラパラメータから得られた前記3次元画像のなかから、前記基準対象物の基準量と、この基準量に対応する前記基準対象物の3次元画像である画像基準対象物における画像基準量との差分が最小となる3次元画像を抽出する判定部と

を備えることを特徴とする3次元形状計測装置。

【請求項2】

前記基準対象物として特徴的な部分の基準量の数値が既知である物体を用いる

ことを特徴とする請求項1に記載の3次元形状計測装置。

【請求項3】

前記基準対象物としてカラーバーを用い、当該カラーバーにおいて交互に配列された色の異なる領域のピッチを基準量として用いる

10

20

ことを特徴とする請求項 2 に記載の 3 次元形状計測装置。

【請求項 4】

前記カメラパラメータが撮像装置の撮像方向の輻輳角及び仰角である

ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の 3 次元形状計測装置。

【請求項 5】

前記判定部が、前記輻輳角及び仰角のいずれか一方の調整されたカメラパラメータにより補正した関係式により形成された前記 3 次元画像から、前記画像基準対象物の前記画像基準量と前記基準量との前記差分が最小となる 3 次元画像を抽出した後、この抽出された 3 次元画像を形成した関係式の補正に用いたいずれか一方のカメラパラメータを固定し、他方のカメラパラメータを調整して関係式を補正し、前記基準対象物の基準量と、この基準量に対応する前記基準対象物の 3 次元画像である画像基準対象物 における画像基準量との前記差分が最小となる 3 次元画像を抽出する

10

ことを特徴とする請求項 4 に記載の 3 次元形状計測装置。

【請求項 6】

前記画像基準対象物の前記画像基準量と前記基準対象物の前記基準量との前記差分が予め設定した判定閾値を超えている場合、第 1 撮像装置及び第 2 撮像装置の各々のキャリブレーションを行うことを促す警告を出力する制御部をさらに有する

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 3 次元形状計測装置。

【請求項 7】

3 次元座標系形成部が、ステレオカメラにおける第 1 撮像装置の撮像した第 1 撮像データ及び第 2 撮像装置の撮像した第 2 撮像データから所定の関係式により 3 次元画像を形成する 3 次元画像形成過程と、

20

カメラパラメータ調整部が、第 1 撮像装置及び第 2 撮像装置のいずれか一方のカメラパラメータを、所定の範囲で調整するカメラパラメータ調整過程と、

関係式変換部が、第 1 撮像データ及び第 2 撮像データから前記 3 次元画像を形成する前記関係式を、調整された前記カメラパラメータにより補正する関係式変換過程と、

判定部が、既知の基準量を有する基準対象物の画像を用い、所定の範囲で調整された前記カメラパラメータから得られた前記 3 次元画像のなかから、前記基準対象物の基準量と、この基準量に対応する前記基準対象物の 3 次元画像である画像基準対象物 における画像基準量との差分が最小となる 3 次元画像を抽出する判定過程と

30

を含むことを特徴とする 3 次元形状計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、3 次元形状計測装置及び 3 次元形状計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から 3 次元物体の 3 次元形状を計測を行うため、2 台以上のカメラ（撮像装置）を用いたステレオ計測法が多く利用されている（例えば、特許文献 1 参照）。

このステレオ計測法は、カメラの視差を利用して 3 次元位置を計測する方法である。各々の視点の異なる 2 台のカメラそれぞれにより画像を撮像し、撮像された画像上で 3 次元位置を計測したい点の対応点を求める。そして、これら各画像上の対応点及び既知である各カメラの位置関係から三角測量の原理を用い、3 次元座標系における 3 次元物体の 3 次元位置を算出している。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2001-33211 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0004】

しかしながら、ステレオ計測法において、2台のカメラの相対位置は固定台に固定されているためずれないが、配置された2台のカメラの各々の撮像方向が移動中の振動や衝撃などによりずれてしまう。

これにより、いずれかあるいは双方のカメラの撮像方向が少しでもずれてしまうと、キャリブレーション時と異なるカメラパラメータとなるため、高い精度で3次元物体の3次元形状の計測が行えなくなる。

また、キャリブレーションが行われるまで、使用しているユーザにはカメラ方向（視線方向）がずれたか否かを確認することができない。そのため、カメラ位置がずれた後、次のキャリブレーションが行われるまで、低い精度の3次元計測が行われてしまう。

10

【0005】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、ステレオカメラを構成する2台の撮像装置の相対的な撮像方向がずれた場合でも、2台の撮像装置の各々が撮像した2次元画像である撮像データそれぞれを用いて形成される3次元物体の3次元画像を校正（補正）して所定の精度で3次元計測が行える3次元形状計測装置及び3次元形状計測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】

【0006】

この発明は上述した課題を解決するためになされたもので、本発明の3次元形状計測装置は、ステレオカメラにおける第1撮像装置の撮像した第1撮像データ及び第2撮像装置の撮像した第2撮像データから所定の関係式により3次元画像を形成する3次元座標系形成部と、第1撮像装置及び第2撮像装置のいずれか一方のカメラパラメータを、所定の範囲で調整するカメラパラメータ調整部と、第1撮像データ及び第2撮像データから前記3次元画像を形成する前記関係式を、調整された前記カメラパラメータにより補正する関係式変換部と、既知の基準量を有する基準対象物の画像を用い、所定の範囲で調整された前記カメラパラメータから得られた前記3次元画像のなかから、前記基準対象物の基準量と、この基準量に対応する前記基準対象物の3次元画像である画像基準対象物における画像基準量との差分が最小となる3次元画像を抽出する判定部とを備えることを特徴とする。

20

【0007】

本発明の3次元形状計測装置は、前記基準対象物として特徴的な部分の基準量の数値が既知である物体を用いることを特徴とする。

30

【0008】

本発明の3次元形状計測装置は、前記基準対象物としてカラーバーを用い、当該カラーバーにおいて交互に配列された色の異なる領域のピッチを基準量として用いることを特徴とする。

【0009】

本発明の3次元形状計測装置は、前記カメラパラメータが撮像装置の撮像方向の輻輳角及び仰角であることを特徴とする。

【0010】

本発明の3次元形状計測装置は、前記判定部が、前記輻輳角及び仰角のいずれか一方の調整されたカメラパラメータにより補正した関係式により形成された前記3次元画像から、前記画像基準対象物の前記画像基準量と前記基準量との前記差分が最小となる3次元画像を抽出した後、この抽出された3次元画像を形成した関係式の補正に用いたいずれか一方のカメラパラメータを固定し、他方のカメラパラメータを調整して関係式を補正し、前記基準対象物の基準量と、この基準量に対応する前記基準対象物の3次元画像である画像基準対象物における画像基準量との前記差分が最小となる3次元画像を抽出することを特徴とする。

40

【0011】

本発明の3次元形状計測装置は、前記画像基準対象物の前記画像基準量と前記基準対象物の前記基準量との前記差分が予め設定した判定閾値を超えている場合、第1撮像装置及

50

び第2撮像装置の各々のキャリブレーションを行うことを促す警告を出力する制御部をさらに有することを特徴とする。

【0012】

本発明の3次元形状計測方法は、3次元座標系形成部が、ステレオカメラにおける第1撮像装置の撮像した第1撮像データ及び第2撮像装置の撮像した第2撮像データから所定の関係式により3次元画像を形成する3次元画像形成過程と、カメラパラメータ調整部が、第1撮像装置及び第2撮像装置のいずれか一方のカメラパラメータを、所定の範囲で調整するカメラパラメータ調整過程と、関係式変換部が、第1撮像データ及び第2撮像データから前記3次元画像を形成する前記関係式を、調整された前記カメラパラメータにより補正する関係式変換過程と、判定部が、既知の基準量を有する基準対象物の画像を用い、所定の範囲で調整された前記カメラパラメータから得られた前記3次元画像のなかから、前記基準対象物の基準量と、この基準量に対応する前記基準対象物の3次元画像である画像基準対象物における画像基準量との差分が最小となる3次元画像を抽出する判定過程とを含むことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0013】

この発明によれば、ステレオカメラを構成する2台の撮像装置の相対的な撮像方向がずれた場合でも、2台の撮像装置の撮像した撮像データから形成される3次元画像を校正して所定の精度で3次元計測が行える3次元形状計測装置及び3次元形状計測方法を提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の一実施形態による3次元形状計測装置の構成例を示す概略ブロック図である。

【図2】本実施形態で第1撮像装置2及び第2撮像装置3を備えるステレオ撮像装置の構成例を示す図である。

【図3】本実施形態において用いられる基準対象物の一例のカラーバーを説明する図である。

【図4】カメラパラメータ制御部14が行う第1カメラパラメータ及び第2カメラパラメータを制御するルールを説明する図である。

30

【図5】本発明の3次元形状計測装置1による3次元画像の補正処理の動作例を示すフローチャートである。

【図6】本発明の3次元形状計測装置1による第1カメラパラメータの設定の処理の動作例を示すフローチャートである。

【図7】本発明の3次元形状計測装置1による第2カメラパラメータの設定の処理の動作例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。図1は、本発明の一実施形態による3次元形状計測装置の構成例を示す概略ブロック図である。図1における本発明の実施形態は、制御部11、撮像制御部12、3次元座標系形成部13、カメラパラメータ制御部14、関係式変換部15、判定部16、画像記憶部17、制御情報記憶部18及び表示部19の各々を備えている。本実施形態においては、3次元計測の対象である被撮像体100を撮像する際、被撮像体100と共に基準対象物が撮像されるように、撮像データ(後述する第1撮像データ及び第2撮像データ)を撮像する。

40

【0016】

そして、基準対象物の有する基準量(既知の数値)、例えば2点間の長さ、面積、角度などを基準として、撮像装置のカメラパラメータの補正を行い、3次元計測を行う被対象物の画像である3次元画像(3次元座標系における3次元物体の画像)の構成を高い精度で行う。基準対象物は、後述するカラーバー、あるいはマンホールの直径及び面積、道路

50

標識の辺の長さ及び面積、電信柱の柱とボルトの成す角度など、既知の数値が基準量として用いることができるもの、あるいは数値が既知であり誰でも容易に基準量が得られる物体であれば何を用いても良い。

【0017】

また、図1において、被撮像体100の画像データを撮像する撮像装置として第1撮像装置2及び第2撮像装置3が示されている。第1撮像装置2及び第2撮像装置3の各々は、例えばCCD (Charge Coupled Device) あるいはCMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) を撮像センサとして有するデジタルカメラである。

【0018】

図1において、制御部11は、3次元形状計測装置1の各部の制御を行う(後述)。

10

撮像制御部12は、同期を取って同一タイミングにおいて、第1撮像装置2及び第2撮像装置3の各々に対する撮像制御を行う。また、撮像制御部12は、第1撮像装置2の撮像した第1撮像データと第2撮像装置3が撮像した第2撮像データとを、それぞれ第1撮像装置2の識別情報及び第2撮像装置3の識別情報を付加して、画像記憶部17に対して対応付けて書き込んで記憶させる。

【0019】

3次元座標系形成部13は、ステレオ法により3次元計測を行う被撮像体のある3次元画像を構成するため、2次元画像である第1撮像データ及び第2撮像データを画像記憶部17から読み出す。また、3次元座標系形成部13は、読み出した第1撮像データ及び第2撮像データ各々において対応する各画素間の対応関係と、第1撮像データ及び第2撮像データの各々の2次元座標と3次元座標系(第1撮像データ及び第2撮像データから形成される3次元画像の座標系)間の座標の各々を関係付ける関係式とを用い、撮像された2次元画像である第1撮像データ及び第2撮像データの各々の座標に基づいて3次元画像を生成する。

20

【0020】

カメラパラメータ制御部14は、第1撮像装置2及び第2撮像装置3のいずれか一方、例えば本実施形態においては第2撮像装置のカメラパラメータである撮像方向の上へ方向の角度を示す仰角の数値を示す第1カメラパラメータと、第2撮像装置の撮像方向の左右方向の角度を示す輻輳角の数値を示す第2カメラパラメータとを予め設定したルールに従い制御する。このルールについては、後に詳述する。

30

【0021】

関係式変換部15は、カメラパラメータ制御部14が第1カメラパラメータ及び第2カメラパラメータの数値を変更する毎に、変更した数値に対応するように、上述した関係式を変更する。

判定部16は、3次元座標系形成部13が第1撮像データ及び第2撮像データの各々から構成した3次元座標系における基準対象物の3次元画像である画像基準対象物の画像基準量が、基準対象物の基準量に近いあるいは一致するかの判定を行う。画像基準量は、基準対象物の基準量に対応する、画像基準対象物における物理量を示している。

【0022】

画像記憶部17は、第1撮像装置2が撮像した第1撮像データと、第2撮像装置3が撮像した第2撮像データとが、それぞれ第1撮像装置2及び第2撮像装置3の識別情報と組として書き込まれて記憶される。

40

制御情報記憶部18は、後述するカメラパラメータ制御部14の行うパラメータ変更のルールと、第1撮像データ及び第2撮像データ各々において対応する各画素間の対応関係と、第1撮像データ及び第2撮像データ各々の2次元座標と、3次元画像間の各々の座標を関係付ける関係式と、基準対象物の基準量とが予め書き込まれて記憶されている。

表示部19は、例えば液晶画面を表示画面とする液晶パネルである。

【0023】

図2は、本実施形態で第1撮像装置2及び第2撮像装置3を備えるステレオ撮像装置の構成例を示す図である。ステレオ撮像装置は、例えばステレオカメラである。

50

図2において、本実施形態のステレオ撮像装置は、一对の第1撮像装置2及び第2撮像装置3を筐体4に固定して形成されている。第1撮像装置2及び第2撮像装置3との間の距離（視差あるいは基線長） d と、第1撮像装置2の撮像方向21及び第2撮像装置3の撮像方向22のなす角度（輻輳角）とが一定の値で保持されるように、筐体4に対して機械的に固定されて配置されている。

【0024】

また、本実施形態においては、カメラキャリブレーションが行われていることを前提としている。カメラパラメータとしては、外部パラメータと内部パラメータとがある。外部パラメータとしては、撮像装置本体の位置の座標変化 x 軸、 y 軸、 z 軸の3つの自由度、カメラの撮像方向の座標変化 x 軸、 y 軸、 z 軸の3つの自由度の6個のパラメータがある。また、内部パラメータとしては、レンズの焦点距離、画像が投影される撮像素子の角度（ x 軸、 y 軸及び z 軸を回転軸とする回転角の3個の自由度）、撮像素子自体のずれ、レンズの歪みの5個のパラメータがある。本実施形態においては、外部パラメータにおける撮像装置の撮像方向における x 軸方向のずれ（すなわち輻輳角のずれ）と、 y 軸方向のずれ（仰角のずれ）とにより関係式の補正を行う。

【0025】

これは、一般的に、3次元形状計測装置は、第1撮像装置及び第2撮像装置の各々のいずれか一方が最も動きやすいという経験に基づいている。そして、外部パラメータの x 軸（輻輳角）のずれ及び y 軸（仰角）のずれに対応させて関係式を修正し、構成される3次元形状を補正する。特に、輻輳角の変化に対しては、ずれがほんのわずかであるとしても、3次元座標系における奥行き方向の距離の測定に大きな誤差を生じさせることになる。上述したように、本実施形態においては、カメラキャリブレーション後の3次元計測の精度を維持させる構成の3次元形状計測装置としている。

【0026】

図3は、本実施形態において用いられる基準対象物の一例のカラーバーを説明する図である。図3(a)は、カラーバー5の構成例を示している。所定の長さ及び太さの棒が所定の距離 L をピッチとして赤白に着色された領域が交互に配列されている。領域50、領域52、領域54及び領域56が白色に着色され、領域51、領域53及び領域55が赤色に着色されている。基準対象物の基準量として、本実施形態は例えば領域51及び領域53の各々の中央部分の距離（すなわちピッチの距離 L ）を用いている。

図3(b)は第2撮像装置3が撮像した第2撮像データを示している。図3(c)は第1撮像装置2が撮像した第1撮像データを示している。図3(b)及び図3(c)の各々には、カラーバー5の画像（画像対象物）105及び画像205それぞれが存在している。

【0027】

図4は、カメラパラメータ制御部14が行う第1カメラパラメータ及び第2カメラパラメータを制御するルールを説明する図である。以下、第1カメラパラメータ（仰角 ϕ ）を例として説明する。図4(a)は、 ϕ_0 がカメラキャリブレーション時に設定された仰角 ϕ の角度であり、 $\phi = \phi_0$ とする。そして、 $\phi_0 - 10 \Delta \phi_1 \leq \phi \leq \phi_0 + 10 \Delta \phi_1$ の調整範囲において第1カメラパラメータを ϕ_0 から $\pm \Delta \phi_1$ ずつ10通り、すなわち合計20通りに変更することを示している。

【0028】

図4(b)は、図4(a)における20通りの変更した仰角のうち、矢印200（図4(a)）が示す $\phi = \phi_0 - 2 \Delta \phi_1$ にて補正した関係式により構成された3次元画像における画像基準対象物の画像基準量が、基準対象物の基準量に最も近くなったため、仰角を $\phi_0 - 2 \Delta \phi_1$ を中心としている。そして、 $\phi_0 - 2 \Delta \phi_1 - 10 \Delta \phi_2 \leq \phi \leq \phi_0 - 2 \Delta \phi_1 + 10 \Delta \phi_2$ の調整範囲において第1カメラパラメータを $\phi_0 - 2 \Delta \phi_1$ から $\Delta \phi_2$ ずつ10通り、すなわち20通りに変更することを示している。

【0029】

図4(c)は、図4(b)における20通りの変更した仰角のうち、矢印201（図4

10

20

30

40

50

(b)) が示す $\phi = \phi_0 - 2 \Delta \phi_1 + 3 \Delta \phi_2$ にて補正した関係式により構成された 3 次元画像における画像基準対象物の画像基準量が、基準対象物の基準量に最も近くなったため、仰角を $\phi_0 - 2 \Delta \phi_1 + 3 \Delta \phi_2$ を中心としている。そして、 $\phi_0 - 2 \Delta \phi_1 + 3 \Delta \phi_2 - 10 \Delta \phi_3 \leq \phi \leq \phi_0 - 2 \Delta \phi_1 + 3 \Delta \phi_2 + 10 \Delta \phi_3$ の調整範囲において第 1 カメラパラメータを $\phi_0 - 2 \Delta \phi_1 + 3 \Delta \phi_2$ から $\Delta \phi_3$ ずつ 10 通り、すなわち 20 通りに変更することを示している。 $\Delta \phi_1$ 、 $\Delta \phi_2$ 及び $\Delta \phi_3$ の各々は、単位調整量である。

【0030】

そして、図 4 (c) における 20 通りの変更した仰角のうち、矢印 202 が示す $\phi = \phi_0 - 2 \Delta \phi_1 + 3 \Delta \phi_2 + 6 \Delta \phi_3$ にて補正した関係式により構成された画像基準対象物の画像基準量が、基準対象物の基準量に最も近くなった。

10

このように、所定の単位調整量による関係式を補正するカメラパラメータの最適値の探索が終了した後、調整の分解能を向上させるため、探索が終了した単位調整量に比較してより小さい単位調整量を用いて、再度、関係式を補正するカメラパラメータの最適値を探索する処理を繰り返す。この繰り返しの回数は、3 次元画像に対する必要な計測精度によって、適時設定する。ここで、本実施形態においては、 ϕ_1 が 10^{-2} であり、 ϕ_2 が 10^{-3} であり、 ϕ_3 が 10^{-4} である。

【0031】

上述したように、大きい単位調整量 ϕ_1 により第 1 カメラパラメータである仰角 ϕ の調整が終了した後、探索結果において適正值として得られた仰角 ϕ の値を中心として、この中心に対して \pm 単位調整量 $\Delta \phi_1$ を新たに所定の範囲とする。そして、単位調整量 $\Delta \phi_1$ を所定の数に分割 (本実施形態においては 10 分割) し、より小さい単位調整量 $\Delta \phi_2$ を生成し、この単位調整量 $\Delta \phi_2$ によりこの分解能における最適値の探索を行う。

20

【0032】

また、第 1 カメラパラメータが上述したルールにおいて、画像基準対象物の画像基準量が、基準対象物の基準量に最も近くなった関係式の補正に用いた仰角 ϕ を用い、第 2 カメラパラメータである輻輳角 θ の調整を、上述した仰角 ϕ と同様の手順で行い、再度関係式の補正を行う。

そして、最も画像基準対象物の画像基準量が、基準対象物の基準量に近くなった 3 次元画像を構成した関係式の補正に用いた輻輳角 θ を抽出する。

30

これにより、既知である基準対象物の基準量を用い、第 1 カメラパラメータ及び第 2 カメラパラメータの各々を調整し、関係式により第 1 撮像データ及び第 2 撮像データのおののから構成される 3 次元画像である被撮像体 100 の寸法の測定における測定精度を向上させる。

【0033】

図 5 は、本発明の 3 次元形状計測装置 1 による 3 次元座標系の補正処理の動作例を示すフローチャートである。第 1 撮像装置 2 及び第 2 撮像装置 3 のいずれのカメラパラメータを変更して関係式を補正しても良いが、本実施形態においては、第 2 撮像装置 3 のカメラパラメータを変更する。

ステップ S1 :

40

制御部 11 は、ユーザの入力する撮像指示に対応し、撮像制御部 12 に対して撮像を指示する制御信号を出力する。

これにより、撮像制御部 12 は、第 1 撮像装置 2 及び第 2 撮像装置 3 の各々に対して、同期させて同一タイミングにて撮像信号を出力する。

【0034】

第 1 撮像装置 2 及び第 2 撮像装置 3 の各々は、被撮像体 100 を撮像し、それぞれ 2 次元画像の第 1 撮像データ、第 2 撮像データを生成する。

撮像制御部 12 は、第 1 撮像装置 2 及び第 2 撮像装置 3 の各々から、それぞれ第 1 撮像データ、第 2 撮像データを読み出す。

そして、撮像制御部 12 は、読み出した第 1 撮像データと第 2 撮像データとの各々を、

50

それぞれに第1撮像装置2、第2撮像装置3の識別情報を付加し、画像記憶装置17に書き込んで記憶させる。

【0035】

ステップS2:

制御部11は、画像記憶部17から第1撮像データと第2撮像データとを読み出し、図3(b)、図3(c)に示すように表示部19の表示画面に画像表示する。

ユーザは、表示画面に表示された図3(b)、図3(c)の画像において、図示しない入力手段(例えば、マウスやキーボードなど)により基準対象物を選択し、この基準対象物における基準量を設定する。本実施形態の場合、基準対象物はカラーバー5であり、基準量が長さである。したがって、図3(b)、図3(c)の画像において、それぞれ画像105、画像205を基準対象物としてマウスなどのポインティングデバイスなどで選択する。そして、画像105及び画像205の各々において、寸法が既知となる距離を設定できる2点をそれぞれ選択する。

【0036】

ステップS3:

ユーザの基準対象物と基準量との設定が終了すると、制御部11は、3次元座標系形成部13に対して3次元画像(被撮像体100の画像及び画像基準対象物の画像なども含む)の構成を指示する制御信号を出力する。

3次元座標系形成部13は、画像記憶部17から第1撮像データ及び第2撮像データの各々を読み出し、制御情報記憶部18から関係式とを読み出す。

そして、3次元座標系形成部13は、関係式により2次元画像である第1撮像データ及び第2撮像データから、3次元画像を構成する。

【0037】

ステップS4:

判定部16は、制御情報記憶部18から基準対象物の基準量を読み出す。また、判定部16は、3次元座標系形成部13の構成した3次元画像において、画像基準対象物の基準量を抽出する。ここで、画像基準対象物は、図3(b)、図3(c)の画像において選択された画像105及び画像205の各々から構成されたものである。基準量は、寸法が既知となる距離を設定できる2点間の距離である。

【0038】

そして、判定部16は、基準量と画像基準量との差分を算出し、この差分の絶対値が予め設定された調整閾値未満であるか否かの判定を行う。この調整閾値は3次元計測の精度に合わせて適時設定される。

このとき、判定部16は、基準量と画像基準量との差分の絶対値が調整閾値未満である場合、カメラキャリブレーションの後にカメラパラメータにずれが生じておらず3次元計測の精度が保てるため補正の処理を終了する。一方、判定部16は、基準量と画像基準量との差分の絶対値が調整閾値以上である場合、処理をステップS5へ進める。

【0039】

ステップS5:

カメラパラメータ制御部14が第2カメラパラメータをカメラキャリブレーション時の数値に固定した状態で、第1カメラパラメータを調整し、関係式変換部15が調整された第1カメラパラメータにより関係式を補正し、3次元座標系形成部13が補正された関係式を用いて3次元画像を構成する。

そして、判定部16が画像基準対象物の画像基準量が、基準対象物の基準量に最も近くなる3次元画像となった3次元座標系を抽出し、この3次元画像を構成した際に用いた関係式を選択する(この処理については後述する)。これにより、関係式を補正するための第1カメラパラメータの最適値が得られる。

【0040】

ステップS6:

カメラパラメータ制御部14は、第1カメラパラメータを最適値に固定した状態で、第

10

20

30

40

50

2カメラパラメータを調整し、関係式変換部15が調整された第2カメラパラメータにより、ステップS5で選択された関係式(第1補正関係式)を補正する。そして、3次元座標系形成部13は、補正された第1補正関係式を用いて、2次元画像の第1撮像データ及び第2撮像データの各々から3次元画像を構成する。

そして、判定部16は、画像基準対象物の画像基準量が、基準対象物の基準量に最も近くなる画像基準対象物を有する3次元画像となった3次元座標系を抽出する。そして、判定部16は、抽出された3次元画像を構成した際に用いた第1補正関係式を第2補正関係式として選択する(この処理については後述する)。これにより、最適値である第1カメラパラメータに加え、関係式を補正するための第2カメラパラメータの最適値が得られる。

【0041】

ステップS7:

判定部16は、第1カメラパラメータ及び第2カメラパラメータの調整量の絶対値を、それぞれ判定閾値と比較する。そして、判定部16は、調整量の絶対値が判定閾値以上である場合、カメラキャリブレーションが必要であるとして、処理をステップS9へ進める。

一方、判定部16は、調整量の絶対値が判定閾値未満の場合、カメラキャリブレーションが必要でないとして、処理をステップS8へ進める。

ここで、判定閾値は、図4(a)に示すように、矢印301及び矢印302の各々で指し示した $\pm 7 \Delta \phi_1$ として設定されている。この絶対値 $|\pm 7 \Delta \phi_1| = 7 \Delta \phi_1$ が判定閾値である。この判定閾値は、適時任意に第1撮像装置2及び第2撮像装置3の各々の設置状態などの条件に対応して設定される。

【0042】

ステップS8:

制御部11は、判定部16の判定結果を受けて、カメラキャリブレーションの必要がないことを表示部19の表示画面に表示する。

その後、表示部19の表示画面に第2補正関係式により、2次元画像の第1撮像データ及び第2撮像データの各々から構成された3次元画像を表示部19の表示画面に表示する。

また、制御部11は、第2補正関係式を用いて2次元画像の第1撮像データ及び第2撮像データの各々から構成した3次元画像を表示する。そして、制御部11は、ユーザに対して表示した3次元画像に対する3次元計測の開始を促す表示を行う。

【0043】

この後、ユーザは入力手段により3次元画像の2点間を選択する。これにより、制御部11は、選択された2点間の距離を測定して、測定値を数値情報として表示部19の表示画面に表示する。

また、ユーザは入力手段により複数の点を選択すると、制御部11は、選択された複数の点を線で結び、線分内の面積を計算して、計算値を数値情報として表示部19の表示画面に表示する。

【0044】

ステップS9:

制御部11は、判定部16の判定結果を受けて、カメラキャリブレーションが必要であることを表示部19の表示画面に表示する。

その後、表示部19の表示画面に第2補正関係式で構成された3次元画像を表示部19の表示画面に表示する。

また、制御部11は、第2補正関係式により構成した3次元画像を表示し、ユーザに対して3次元計測の開始を促す表示を行う。

【0045】

この後、ユーザは入力手段により3次元画像の2点間を選択する。これにより、制御部11は、ユーザにより入力手段を介して選択された3次元画像の2点間の距離を測定して

10

20

30

40

50

、測定値を数値情報として表示部 19 の表示画面に表示する。

また、ユーザは入力手段により複数の点を選択すると、制御部 11 は、選択された複数の点を線で結び、線分内の面積を計算して、計算値を数値情報として表示部 19 の表示画面に表示する。

【0046】

図 6 は、本発明の 3 次元形状計測装置 1 による第 1 カメラパラメータの設定の処理の動作例を示すフローチャートである。以下の第 1 カメラパラメータの最適値を抽出する処理は、第 2 カメラパラメータをカメラキャリブレーション時の数値に固定した状態で行う。

ステップ S11 :

カメラパラメータ制御部 14 は、制御情報記憶部 18 から第 1 カメラパラメータの調整を示すルールを読み出す。このルールは、図 4 で説明した第 1 カメラパラメータの仰角 ϕ の各調整範囲及び調整範囲毎の単位調整量 ($\Delta\phi_1$ 、 $\Delta\phi_2$ 、 $\Delta\phi_3$) である。

カメラパラメータ制御部 14 は、調整範囲において、例えば図 4 (a) の $\phi_0 - 10\Delta\phi_1 \leq \phi \leq \phi_0 + 10\Delta\phi_1$ において調整を開始する仰角 ϕ の初期値を設定する。一例としては、カメラパラメータ制御部 14 は、 $\phi_0 - 10\Delta\phi_1$ を初期値とする。

【0047】

ステップ S12 :

カメラパラメータ制御部 14 は、設定された仰角 ϕ が調整範囲内の数値であるか否か、すなわち仰角 ϕ が $\phi_0 - 10\Delta\phi_1 \leq \phi \leq \phi_0 + 10\Delta\phi_1$ であるか否かの判定を行う。

このとき、カメラパラメータ制御部 14 は、設定された仰角 ϕ が調整範囲内の数値である場合、第 1 カメラパラメータの変更の処理が終了していないとして、処理をステップ S13 へ進める。一方、カメラパラメータ制御部 14 は、設定された仰角 ϕ が調整範囲内に含まれる数値でない場合、第 1 カメラパラメータの変更の処理が終了したとして、処理をステップ S17 へ進める。

【0048】

ステップ S13 :

関係式変換部 15 は、現在の仰角 ϕ に基づき、第 1 撮像データ及び第 2 撮像データ各々において対応する各画素間の対応関係と、第 1 撮像データ及び第 2 撮像データの 2 次元座標及び 3 次元画像の各々の座標を関係付ける関係式とを補正する。そして、関係式変換部 15 は、制御情報記憶部 18 に対して、このときの第 1 カメラパラメータ及び第 2 カメラパラメータの数値の組と、関係式とを対応させて書き込んで記憶させる。このとき、関係式変換部 15 は、関係式を補正したことを制御部 11 に対して通知する。

そして、制御部 11 は、カメラパラメータ制御部 14 から関係式を補正したことを示す通知が供給されると、3 次元座標系形成部 13 に対し、補正した関係式により第 1 撮像データ及び第 2 撮像データ各々から 3 次元画像を生成することを指示する制御信号を出力するとともに、関係式を供給する。

【0049】

ステップ S14 :

3 次元座標系形成部 13 は、画像記憶部 17 から第 1 撮像データ及び第 2 撮像データの各々を読み出し、読み出された第 1 撮像データ及び第 2 撮像データを用い、上記対応関係及び供給された関係式により 3 次元画像を生成する。

そして、3 次元座標系形成部 13 は、3 次元画像を生成した関係式に対応させ、制御情報記憶部 18 に対して書き込んで記憶させる。

【0050】

ステップ S15 :

制御部 11 は、3 次元座標系形成部 13 の生成した 3 次元画像において、画像基準対象物の画像基準量を測定する。

そして、制御部 11 は、測定した画像基準量と基準対象物の基準量との差分値の絶対値を求めて、3 次元画像を生成した関係式に対応させ、制御情報記憶部 18 に対して書き込んで記憶させる。

【0051】

ステップS16:

カメラパラメータ制御部14は、現在の仰角 ϕ に対して単位調整量 $\Delta\phi$ を加算し、新たな第1カメラパラメータとし、処理をステップS12へ進める。

【0052】

ステップS17:

判定部16は、制御記憶部18に記憶されている差分値のなかで最も小さい数値（最小値）を検索し、その差分値に対応する第1カメラパラメータである仰角 ϕ を最適値として抽出する。

【0053】

上述した処理を図4で説明したように、3次元計測の精度に合わせて、調整範囲と単位調整量とを変更して、すなわち徐々に小さくしていき、画像基準対象物の画像基準量を基準対象物の基準量となるように仰角 ϕ を調整する。

【0054】

図7は、本発明の3次元形状計測装置1による第2カメラパラメータの設定の処理の動作例を示すフローチャートである。以下の処理において、第1カメラパラメータは、図6のフローチャートの処理で最適値となった仰角 ϕ に固定されている。以下、図4における仰角 ϕ を輻輳角 θ に置き換えて説明する。

ステップS21:

カメラパラメータ制御部14は、制御情報記憶部18から第2カメラパラメータの調整を示すルールを読み出す。このルールは、図4で説明した第1カメラパラメータの仰角 ϕ の場合と同様に、輻輳角 θ の各調整範囲及び調整範囲毎の単位調整量（ $\Delta\theta_1$ 、 $\Delta\theta_2$ 、 $\Delta\theta_3$ ）である。

カメラパラメータ制御部14は、調整範囲において、例えば、図4(a)に示しように、 $\theta_0 - 10\theta_1 \leq \theta \leq \theta_0 + 10\Delta\theta_1$ において調整を開始する輻輳角 θ の初期値を設定する。一例としては、カメラパラメータ制御部14は、 $\theta_0 - 10\Delta\theta_1$ を初期値とする。

【0055】

ステップS22:

カメラパラメータ制御部14は、設定された仰角 ϕ が調整範囲内の数値であるか否か、すなわち輻輳角 θ が $\theta_0 - 10\Delta\theta_1 \leq \theta \leq \theta_0 + 10\Delta\theta_1$ であるか否かの判定を行う。

このとき、カメラパラメータ制御部14は、設定された輻輳角 θ が調整範囲内の数値である場合、第2カメラパラメータの変更が終了していないとして、処理をステップS13へ進める。一方、カメラパラメータ制御部14は、設定された輻輳角 θ が調整範囲内に含まれる数値でない場合、第2カメラパラメータの変更が終了したとして、処理をステップS27へ進める。

【0056】

ステップS23:

関係式変換部15は、現在の輻輳角 θ に基づき、第1撮像データ及び第2撮像データの各々において対応する各画素間の対応関係と、第1撮像データ及び第2撮像データの2次元座標及び3次元画像の各々の座標を関係付ける関係式とを補正する。そして、関係式変換部15は、制御情報記憶部18に対して、このときの第1カメラパラメータ及び第2カメラパラメータの数値の組と、関係式とを対応させて書き込んで記憶させる。このとき、関係式変換部15は、関係式を補正したことを制御部11に対して通知する。

そして、制御部11は、カメラパラメータ制御部14から関係式を補正したことを示す通知が供給されると、3次元座標系形成部13に対し、上記対応関係及び補正した関係式により3次元画像を生成することを指示する制御信号を出力するとともに、関係式を供給する。

【0057】

10

20

30

40

50

ステップ S 2 4 :

3次元座標系形成部 1 3 は、画像記憶部 1 7 から第 1 撮像データ及び第 2 撮像データの各々を読み出し、供給された関係式を用いて読み出された第 1 撮像データ及び第 2 撮像データと上記対応関係及び供給された関係式とにより、3次元画像を生成する。

そして、3次元座標系形成部 1 3 は、3次元画像を生成した関係式に対応させ、制御情報記憶部 1 8 に対して書き込んで記憶させる。

【0058】

ステップ S 2 5 :

制御部 1 1 は、3次元座標系形成部 1 3 の生成した3次元画像において、画像基準対象物の画像基準量を測定する。

そして、制御部 1 1 は、測定した画像基準量と基準対象物の基準量との差分値の絶対値を求めて、3次元画像を生成した関係式に対応させ、制御情報記憶部 1 8 に対して書き込んで記憶させる。

【0059】

ステップ S 2 6 :

カメラパラメータ制御部 1 4 は、現在の輻輳角 θ に対して単位調整量 $\Delta \theta 1$ を加算し、新たな第 2 カメラパラメータとし、処理をステップ S 2 2 へ進める。

【0060】

ステップ S 2 7 :

判定部 1 6 は、制御情報記憶部 1 8 に記憶されている差分値のなかで最も小さい数値を検索し、その差分値に対応する第 2 カメラパラメータである輻輳角 θ を最適値として抽出する。

【0061】

上述した処理を図 4 で説明したように、3次元計測の精度に合わせて、調整範囲と単位調整量とを変更して、すなわち徐々に小さくしていき、画像基準対象物の画像基準量を基準対象物の基準量となるように輻輳角 θ を調整する。本実施形態においては、仰角 ϕ の適正值を求めた後に輻輳角 θ の適正值を求めているが、輻輳角 θ の適正值を求めた後に仰角 ϕ の適正值を求めるように構成しても良い。

【0062】

図 5 及び図 6 の各々のフローチャートで求められた最適値の仰角 ϕ 及び輻輳角 θ が関係式の補正に用いられる第 1 カメラパラメータ及び第 2 カメラパラメータとして用いられる。

再生される3次元画像において、画像基準対象物の画像基準量が基準対象物の基準量と同様の数値となることにより、第 1 撮像データ及び第 2 撮像データを用いて関係式により求められる3次元画像の寸法が実際の撮像対象である被撮像体 1 0 0 の寸法と等しく再現されていることが判る。

【0063】

本実施形態において、基準対象物を利用者が選択して基準量を調整するとして説明したが、予め基準調整物の形状を設定しておき、画像認識で撮像した画像から基準対象物を抽出するように構成しても良い。

例えば、図 3 (a) に示すカラーバー 5 を基準対象物として設定しておき、基準量としても白領域と赤領域とのピッチの寸法を既知の数値を設定しておき、制御部 1 1 を以下の処理を行うように構成する。

【0064】

そして、制御部 1 1 は、再現した3次元画像から、赤色及び白色の領域が順番に繰り返された直線上の形状であり、かつ赤色及び白色の領域のピッチの寸法が基準量に近い形状の画像として、カラーバー 5 の画像を抽出する。

そして、制御部 1 1 は、すでに本実施形態で説明したように、第 1 撮像装置 2 あるいは第 2 撮像装置 3 のいずれかのカメラパラメータを調整し、関係式を補正して、関係式により形成される3次元画像の校正を行う。

10

20

30

40

50

【0065】

上述したように、本実施形態によれば、ステレオ計測法において、筐体4に固定された第1撮像装置2及び第2撮像装置3の各々の撮像方向が移動中の振動や衝撃などにより、カメラキャリブレーションした状態からずれても、形成される3次元画像における画像基準対象物の基準量が基準対象物の基準量と一致するようにカメラパラメータを調整することにより生成される3次元画像を容易に校正することができ、従来に比較して高い精度で3次元物体の3次元形状の計測が行える。

【0066】

また、本実施形態によれば、キャリブレーションを行わなくとも、カメラパラメータの調整を行う際に、カメラキャリブレーションした際のカメラパラメータからどの程度ずれているかが明確に判る。そのため、本実施形態によれば、カメラキャリブレーションを行った後にカメラパラメータがいつずれたか、あるいはカメラキャリブレーションを行う必要な程度を撮像装置の撮像方向がずれたか否かの判定を行うことができる。

【0067】

以上、この発明の実施形態を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。したがって、本発明の範囲は、特許請求の範囲及びその均等範囲によってのみ規定されるものである。

【0068】

また、図1の示す3次元形状計測装置の機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することにより3次元画像の校正の処理を行ってもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、OSや周辺機器等のハードウェアを含むものとする。

【0069】

また、「コンピュータシステム」は、WWWシステムを利用している場合であれば、ホームページ提供環境（あるいは表示環境）も含むものとする。

また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。

【0070】

さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間の間、動的にプログラムを保持するもの、その場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものも含むものとする。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであっても良く、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイルであっても良い。

【0071】

以上、この発明の実施形態を図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

【符号の説明】

【0072】

- 1 … 3次元形状計測装置
- 2 … 第1撮像装置
- 3 … 第2撮像装置
- 4 … 筐体
- 5 … カラーバー
- 11 … 制御部
- 12 … 撮像制御部

- 1 3 … 3次元座標系形成部
- 1 4 … カメラパラメータ制御部
- 1 5 … 関係式変換部
- 1 6 … 判定部
- 1 7 … 画像記憶部
- 1 8 … 制御情報記憶部
- 1 9 … 表示部
- 1 0 0 … 被撮像体

【図1】

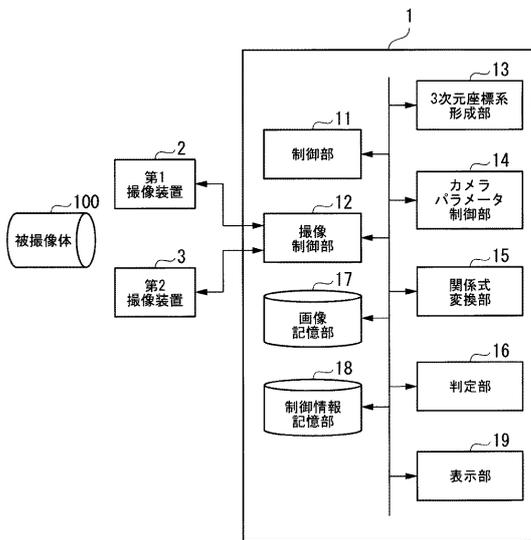


図1

【図2】

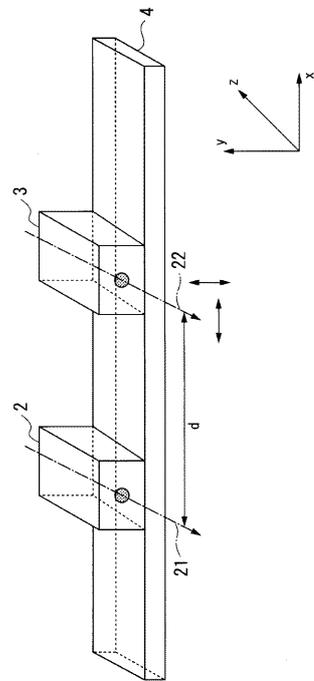
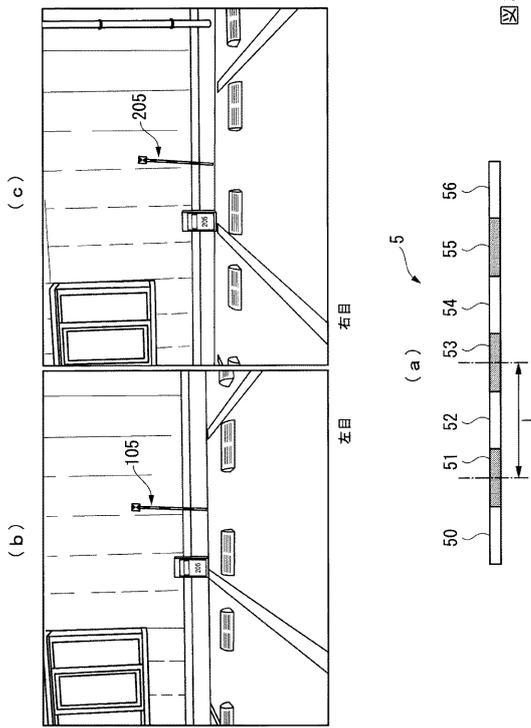
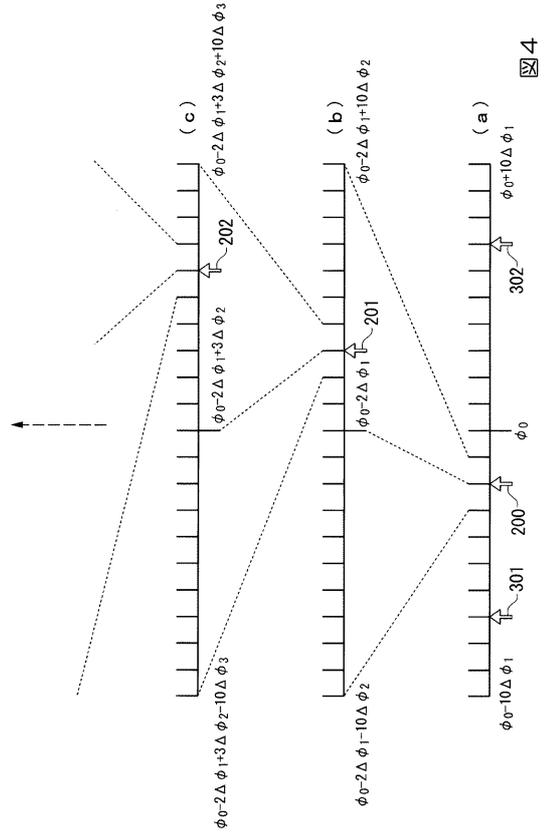


図2

【図3】



【図4】



【図5】

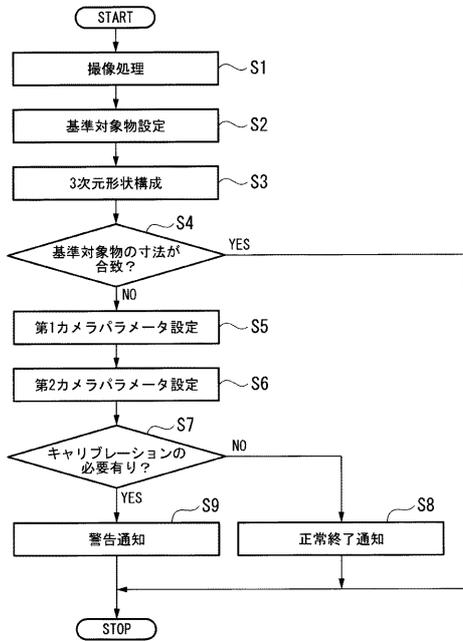


図5

【図6】

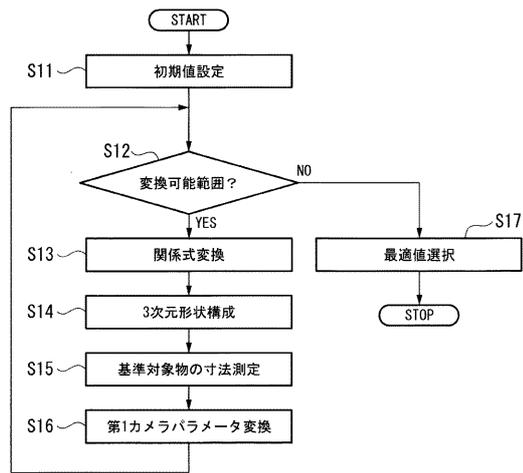


図6

【図 7】

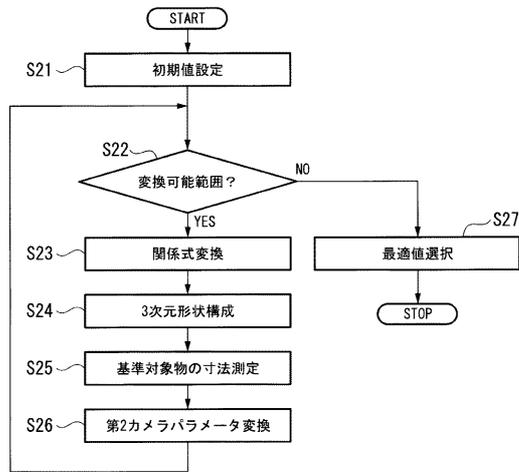


図 7

フロントページの続き

(72)発明者 南橋 丈二

東京都中央区東日本橋一丁目8番1号 エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社内

(72)発明者 高橋 裕信

茨城県つくば市吾妻2-5-1 つくば市産業振興センター205 株式会社アプライド・ビジョン・システムズ内

(72)発明者 水口 祐司

茨城県つくば市吾妻2-5-1 つくば市産業振興センター205 株式会社アプライド・ビジョン・システムズ内

審査官 梶田 真也

(56)参考文献 特開2010-197198 (JP, A)

国際公開第2013/062087 (WO, A1)

特開2013-113600 (JP, A)

特開平05-026639 (JP, A)

特開2014-174088 (JP, A)

特開2005-017286 (JP, A)

特開2008-292407 (JP, A)

米国特許出願公開第2013/0070048 (US, A1)

国際公開第2013/145665 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30

G01C 3/00 - 3/32

G06T 1/00 - 1/40

G06T 3/00 - 5/50

G06T 9/00 - 9/40