

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003 年 2 月 13 日 (13.02.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/012368 A1

(51) 国際特許分類: G01B 11/24, G06T 1/00

(21) 国際出願番号: PCT/JP02/07710

(22) 国際出願日: 2002 年 7 月 30 日 (30.07.2002)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2001-230368 2001 年 7 月 30 日 (30.07.2001) JP
特願2001-234644 2001 年 8 月 2 日 (02.08.2001) JP
特願2001-257832 2001 年 8 月 28 日 (28.08.2001) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社トプコン (TOPCON CORPORATION) [JP/JP]; 〒174-8580 東京都板橋区蓮沼町75番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 高地 伸夫

(KOCHI,Nobuo) [JP/JP]; 〒174-8580 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内 Tokyo (JP). 大谷 仁志 (OTANI,Hitoshi) [JP/JP]; 〒174-8580 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内 Tokyo (JP). 新村 悟 (NIIMURA,Satoru) [JP/JP]; 〒174-8580 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 宮川 貞二, 外(MIYAGAWA,Teiji et al.); 〒160-0005 東京都新宿区愛住町19番地 富士ビル6階 Tokyo (JP).

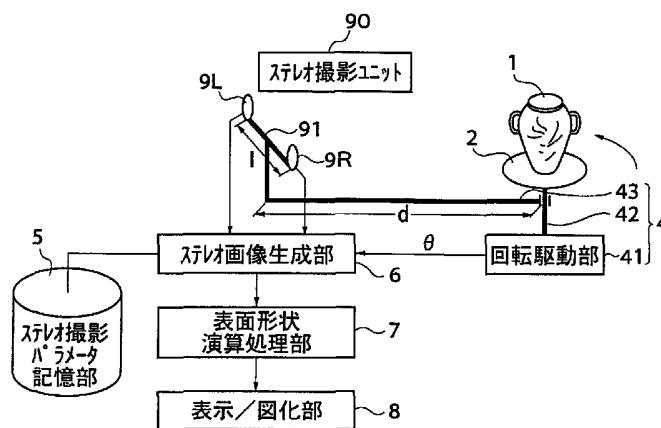
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) Title: SURFACE SHAPE MEASUREMENT APPARATUS, SURFACE SHAPE MEASUREMENT METHOD, SURFACE STATE GRAPHIC APPARATUS

(54) 発明の名称: 表面形状測定装置、表面形状測定方法、表面状態図化装置



90...STEREO-IMAGING UNIT

5...STEREO-IMAGING PARAMETER
STORAGE UNIT

6...STEREO IMAGE GENERATION UNIT

7...SURFACE SHAPE CALCULATION UNIT

8...DISPLAY/GRAPHICAL REPRESENTATION

41...ROTATION DRIVE UNIT

stereo-imaging an object (1), a relative position modification unit (4) for relatively moving the stereo image pickup unit (3) and the object (1), storage means (5) for storing stereo-imaging parameters in a plurality of directions for imaging the object (1) by the stereo image pickup unit (3), stereo image generation means (6) for imaging the object (1)

[続葉有]



WO 03/012368 A1



特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 *PCT* ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類：
— 国際調査報告書

by the stereo image pickup unit (3) from the plurality of directions where the stereo imaging parameters are stored and generating a stereo image of the object (1), and surface shape calculation means (7) for measuring a surface shape of the object (1) from the stereo image of the object (1).

(57) 要約:

対象物 1 をステレオ撮影するステレオ撮影部 3 と、ステレオ撮影部 3 と対象物 1 との位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部 4 と、ステレオ撮影部 3 が対象物 1 を撮影する複数の方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶する手段 5 と、前記ステレオ撮影パラメータの記憶された前記複数の方向から、ステレオ撮影部 3 により対象物 1 を撮影して、対象物 1 のステレオ画像を生成するステレオ画像生成手段 6 と、対象物 1 のステレオ画像から対象物 1 の表面形状を測定する表面形状演算処理手段 7 とを備えている。

明 細 書

表面形状測定装置、表面形状測定方法、表面状態図化装置

5 技術分野

本発明は、遺跡埋蔵物、人体、車両、機械構造物等の表面形状や模様を非接触で三次元的に測定する表面形状測定装置、表面形状測定方法に関する。さらに、本発明は、表面形状測定装置にて測定した遺跡埋蔵物等の表面形状や模様を図化する表面形状図化装置に関する。

10

背景技術

従来、例えば遺跡埋蔵物の代表例である土器等の表面形状を計測する場合、人が定規等で測りながらスケッチするか、接触式の計測器で土器の表面をなぞるようにして形状を計測していた。さらに、スリット光をあてて撮影したり、レーザー光をあてて計測する非接触式の表面形状測定装置も用いられている。

15

人体の場合も、例えば購買者の体型に合致した服装のサイズを決定するために、洋服販売店では店員が購買者の体格寸法を巻尺で測定している。車両、機械構造物の場合は、設計時の試作品検査、出荷時の製品検査、定期点検における交換部品の交換時期の判定に、表面形状測定装置が利用されている。

20

しかしながら、遺跡埋蔵物の表面形状を接触式又は非接触式の表面形状測定装置で計測する場合、従来の装置では設備価格が高騰するという課題があった。また、考古学的用途ではさらに遺跡埋蔵物の模様等の表面状態を図化する必要があるが、従来の装置では正確な図化が困難であるという課題があった。具体的に説明すると、遺跡埋蔵物の測定態様に応じて以下のような課題がある。

25

①人が計測してスケッチする場合は、模様等の図化には大変な手間と時間がかかり、熟練を要するにもかかわらず図化する人によって個人差が生じるという課題がある。また、寸法形状の正確さに欠けるという課題もある。

②接触式の計測器の場合は、計測において対象物としての遺跡埋蔵物の表面をなぞるという作業において手間がかかると同時に、計測したあとに遺跡埋蔵物表面

の特徴を見ながら図化する必要がある。

- ③スリット光やレーザー光等の非接触式の表面形状測定装置では、遺跡埋蔵物の表面が非接触で計測される。しかし、遺跡埋蔵物の表面形状や模様を図化するとき、実際の表面形状や模様と計測されたデータを見比べながら図化しなければならず、計測データと表面形状や模様の位置関係等について正確さにかけているという課題があった。

- ④上記①～③に共通するものとして、図面化した結果は考古学的観点から捉えられている為、実際の対象物の写真と照らし合わせて見ないと真偽のほどがわからないという課題があった。
- ⑤また公共事業や土木建設工事において、埋蔵文化財が発見されると考古学的な調査が行われるが、考古学的調査期間が長くなると工事の中断期間が長期化して、土木建設施設の建設期間が長期化する。そこで、考古学的調査期間の短縮は施工者にとって切実な願いとなっており、遺跡埋蔵物の図化が迅速化されれば、公共の利益に大きく寄与する。

- また、人体の場合も、購買者の体型を店員に測定されることは快く感じない購買者も少なくない。そこで、非接触式の人体の表面形状測定装置を小売店に設置することも考えられるが、購買者のプライバシーの問題と、設備投資額が小売店にとっては高額であるため、普及していないという課題がある。

- また、車両、機械構造物の場合は、表面形状測定装置が大変おおがかりなものとなり、計測にも時間を要しているという課題がある。特に出荷時の製品検査においては、検査に要する時間が顧客に引き渡す納期に影響するし、定期点検の場合は限られた点検期間内に迅速に測定が行われないと、顧客の設備稼動に重大な影響を与えるという課題があった。

さらに、土量計測においては、以下のような課題がある。

- ①土の上をならす場合は、手間がかかると同時に正確さにかける。
- ②光波距離計や超音波距離計の場合、土の表面全体を計測することは時間がかかりすぎて實際上採用できないという課題がある。そこで、計測時間を短縮するため、土表面の一部を計測することも行われているが、正確さにかけるという課題がある。

③GPSの場合は、作業者がGPS用受信端末装置を持って歩かなければならないので手間がかかる。

本発明の第1の目的は、上述する課題を解決したもので、遺跡埋蔵物や人体等の測定対象物の表面形状や模様を迅速に測定できる表面形状測定装置、表面形状
5 測定方法を提供することである。本発明の第2の目的は、表面形状測定装置にて測定した遺跡埋蔵物等の表面形状や模様を正確に図化できる表面形状図化装置を提供することである。

発明の開示

10 第1の発明の表面形状測定装置は、第1の目的を達成するもので、図1に示すように、対象物1をステレオ撮影するステレオ撮影ユニット90と、ステレオ撮影ユニット90と対象物1との位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部4と、ステレオ撮影ユニット90が対象物1を撮影する複数の方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部5と、前記ステレオ撮影パラメータの記憶された前記複数の方向から、ステレオ撮影ユニット90により対象物1
15 を撮影して、対象物1のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部6と、対象物1のステレオ画像から対象物1の表面形状を測定する表面形状演算処理部7とを備えている。

このように構成された装置においては、対象物1をステレオ撮影ユニット90
20 にて撮影する場所に置いて、相対位置変更部4により位置関係を相対的に移動させることによって、対象物1を複数の方向からステレオ撮影する。ステレオ撮影の方向が複数なので、一方向の場合に比較して対象物1の広い範囲の表面形状が計測できる。所定の撮影方向に対するステレオ撮影パラメータは予め記憶されているので、対象物1とステレオ撮影ユニット90との位置決めは厳密に行われて
25 いなくても、正確な表面形状測定を行うことができる。

好ましくは、相対位置変更部4は、ステレオ撮影ユニット90の位置を変位させ、又は対象物1の位置を変位させるステージ2を有して構成されているとよい。ステージ2の所定場所には、対象物1を置くと良い。また、相対位置変更部4は、前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記複数の方向と同一となる相対変位

を、ステレオ撮影ユニット 90 により対象物 1 を撮影する際に行うように構成されていると、ステレオ撮影パラメータにより正確な対象物 1 の表面形状が測定できる。

- 好ましくは、パラメータ記憶部 5 は、立体的に基準点が配置された校正用被写体 11 を対象物 1 の設置場所に置き、相対位置変更部 4 によりステレオ撮影ユニット 90 が校正用被写体 11 を撮影する方向にセットし、ステレオ撮影ユニット 90 により校正用被写体 11 を撮影し、前記撮影された校正用被写体 11 のステレオ画像からステレオ撮影パラメータを算出して、前記算出されたステレオ撮影パラメータを記憶する構成とすると良い。校正用被写体 11 は基準点の位置が正確に判っているので、ステレオ撮影パラメータが正確に算出できる。

好ましくは、パラメータ記憶部 5 は、予め記憶されている校正用被写体 11 の基準点位置と、ステレオ撮影ユニット 90 の撮影した校正用被写体 11 の基準点のステレオ画像から算出された基準点位置とを対比して、算出された撮影パラメータを記憶する構成とすると良い。

- 好ましくは、前記ステレオ撮影パラメータは、前記撮影する方向におけるステレオ撮影ユニット 90 の基線長、撮影位置、傾きの少なくとも一つを含む構成とすると良い。ステレオ撮影パラメータは、ステレオ撮影ユニット 90 で撮影した対となる画像を偏位修正画像に変換するパラメータである。偏位修正画像に変換されたステレオ画像は立体視できる状態にあるため、ステレオ画像の視差差から正確に対象物 1 表面の凸凹が算定される。好ましくは、ステレオ撮影ユニット 90 は、撮像装置取付体 91 に所定間隔 1（エル）を隔てて平行に取りつけられた少なくとも 2 台の撮像装置 9R、9L を有する構成とすると良い。ステレオ撮影ユニット 90 は 2 台の撮像装置を備えているので、対象物のステレオ画像を同時に撮影することでき、対象物の数が多くて対象物の表面形状を測定する作業量の多い場合や、振動したり移動する対象物のように同時に撮影しないと対象物のステレオ画像の得られない場合に適している。

第 2 の発明の表面形状測定装置は、第 1 の目的を達成するもので、図 17 に示すように、対象物 1 をステレオ撮影するステレオ撮影ユニット 90 と、ステレオ撮影ユニット 90 と対象物 1 との位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部

4 と、ステレオ撮影ユニット 90 により対象物 1 を撮影する方向を、対象物 1 の
主要な周面のステレオ画像が得られるように、相対位置変更部 4 により少なくと
も 3 方向移動させるステレオ撮影方向制御部 12 と、ステレオ撮影方向制御部 1
2 によって定められる方向であって、ステレオ撮影ユニット 90 が対象物 1 を撮
5 影する方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部 5 と、
前記ステレオ撮影パラメータの記憶された撮影する方向から、ステレオ撮影ユニ
ット 90 により対象物 1 を撮影して、前記撮影方向における対象物 1 のステレオ
画像を生成するステレオ画像生成部 6 と、対象物 1 のステレオ画像をステレオ撮
影方向制御部 12 によって定められる方向について合成して、対象物 1 の主要な
10 周面の表面形状を測定する表面形状演算処理部 7 とを備えている。

このように構成された装置においては、対象物の主要な周面の表面形状を測定
する機能を、ステレオ撮影方向制御部 12 の制御に基づいて相対位置変更部 4 を
作動して、ステレオ撮影ユニット 90 により対象物 1 を撮影する方向を少なくと
も 3 方向移動させて、ステレオ画像を得ることで実現している。一方向のステレ
15 オ画像から対象物 1 の表面形状を測定できる範囲は限られているが、少なくとも
3 方向からステレオ画像を撮影することで、対象物 1 の表面形状を測定できる範
囲は対象物 1 の周面の大部分がカバーされる。

第 3 の発明の表面形状測定装置は、第 1 の目的を達成するもので、図 18 に示
すように、対象物 1 を撮影する撮像装置 10 と、撮像装置 10 と対象物 1 との位
20 置関係を相対的に移動させる相対位置変更部 4 と、撮像装置 10 により対象物 1
を撮影する方向を、相対位置変更部 4 により左撮影方向と右撮影方向を一組とす
るステレオ撮影方向に制御するステレオ撮影制御部 9 と、撮像装置 10 が対象物
1 を撮影する複数のステレオ撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶す
るパラメータ記憶部 5 と、前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記複数の
25 ステレオ撮影方向から、撮像装置 10 により対象物 1 を撮影して、対象物 1 のス
テレオ画像を生成するステレオ画像生成部 6 と、対象物 1 のステレオ画像から対
象物 1 の表面形状を測定する表面形状演算処理部 7 とを備えている。

このように構成された装置においては、対象物のステレオ画像を撮影する機能
を、一台の撮像装置 10 とステレオ撮影制御部 9 を用いて実現している。第 1 の

発明のステレオ撮影ユニット 90 に比較して、撮像装置の台数が少ないので、設備価格が少なくて済み、対象物 1 の個数が少ない用途に適している。

- 好ましくは、相対位置変更部 4 は、撮像装置 10 の位置を変位させ、又は対象物 1 の位置を変位させるステージを備えるとよい。また、相対位置変更部 4 は、
- 5 前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記複数のステレオ撮影方向と同一となる相対変位を、撮像装置 10 により対象物 1 を撮影する際に行うように構成されていると、ステレオ撮影パラメータにより正確な対象物の表面形状が測定できる。

- 好ましくは、パラメータ記憶部 5 は、立体的に基準点が配置された校正用被写
- 10 体を対象物 1 の設置場所に置き、相対位置変更部 4 により撮像装置 10 が校正用被写体 11 を左撮影方向又は右撮影方向にセットし、撮像装置 10 により校正用被写体 11 を撮影し、左撮影方向及び右撮影方向における前記撮影された校正用被写体 11 のステレオ画像から撮像装置 10 のステレオ撮影パラメータを算出して、前記算出されたステレオ撮影パラメータを記憶する構成とすると良い。

- 15 好ましくは、パラメータ記憶部 5 は、予め記憶されている校正用被写体 11 の基準点位置と、撮像装置 10 の撮影した左撮影方向及び右撮影方向における校正用被写体 11 の基準点のステレオ画像から算出された基準点位置とを対比して、算出されたステレオ撮影パラメータを記憶する構成とすると良い。

- 好ましくは、前記ステレオ撮影パラメータは、前記左撮影方向と右撮影方向に
- 20 おける撮像装置 10 の撮影場所間の基線長、撮像装置 10 の撮影位置、撮像装置 10 の傾きの少なくとも一つを含む構成とすると良い。ステレオ撮影パラメータにより、ステレオ画像の視差差から正確に対象物 1 表面の凸凹が算定される。

- 第 4 の発明の表面形状測定装置は、第 1 の目的を達成するもので、図 19 に示すように、対象物を撮影する撮像装置 10 と、撮像装置 10 と対象物 1 との位置
- 25 関係を相対的に移動させる相対位置変更部 4 と、撮像装置 10 により対象物 1 を撮影する方向を、相対位置変更部 4 により左撮影方向と右撮影方向を一組とするステレオ撮影方向に制御するステレオ撮影制御部 9 と、ステレオ撮影制御部 9 により対象物 1 をステレオ撮影する方向を、対象物 1 の主要な周面のステレオ画像が得られるように、ステレオ撮影制御部 9 により少なくとも 3 方向移動させる主

要周面撮影方向制御部 13 と、撮像装置 10 が対象物 1 を撮影するステレオ撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部 5 と、主要周面撮影方向制御部 13 によって定められる方向であって、前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記ステレオ撮影方向から、撮像装置 10 により対象物 1 を
5 撮影して、対象物 1 のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部 6 と、対象物 1 のステレオ画像を前記主要周面撮影方向制御部によって定められる方向について合成して、対象物 1 の主要な周面の表面形状を測定する表面形状演算処理部 7 とを備えている。

好ましくは、第 1 又は第 2 の発明の表面形状測定装置において、さらにステレ
10 オ撮影ユニット 90 の撮影した対象物 1 のステレオ画像から、対象物 1 の正射投影画像を生成する正射投影画像生成部とを備える構成とすると良い。また、第 3 又は第 4 の発明の表面形状測定装置において、さらにステレオ撮影制御部 9 と撮像装置 10 により撮影した対象物 1 のステレオ画像から、対象物 1 の正射投影画像を生成する正射投影画像生成部とを備える構成とすると良い。好ましくは、対
15 象物 1 の正射投影画像を生成するに当たり、表面形状演算処理部 7 の測定した対象物 1 の表面形状を参酌するとよい。対象物 1 の表面形状計測データからステレオ画像を正射投影画像に再構成することにより、寸法の反映された画像を実際の撮影画像から作成できる。また、正射投影画像は、図化せずとも、画像そのものに正確な寸法が反映されているため、実際の状況が判断できると共に寸法精度が
20 高く、画像としての価値が高い。そこで、正射投影画像のまま対象物表面形状データベースとして記録保存しても資料的価値のあるものである。好ましくは、正射投影画像に対して画像処理を行って、特徴抽出やステレオ画像の鮮鋭化等を行ってもよい。

第 5 の発明の表面形状測定方法は、第 1 の目的を達成するもので、図 7、図 8
25 に示すように、立体的に基準点が配置された校正用被写体 11 を対象物 1 の設置場所に置く (S10) と共に、ステレオ撮影ユニット 90 により校正用被写体 11 を撮影する所定方向に、ステレオ撮影ユニット 90 又は校正用被写体 11 の一方をセットし (S20)、ステレオ撮影ユニット 90 により校正用被写体 11 を撮影し (S30)、前記撮影された校正用被写体 11 のステレオ画像からステレオ

撮影パラメータを算出する（S40、S48）工程を有する。好ましくは、算出されたステレオ撮影パラメータを記憶しておくが良い。次に、図12、図13に示すように、前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記複数の方向から（S70）、ステレオ撮影ユニット90により対象物1を撮影し（S80）、前記撮影された画像を前記ステレオ撮影パラメータを用いて対象物1のステレオ画像として生成し（S100、S101）、対象物1のステレオ画像から対象物1の表面形状を測定する（S102）工程を有する。

第6の発明の表面形状測定方法は、第1の目的を達成するもので、図7、図8に示すように、立体的に基準点が配置された校正用被写体11を対象物1の設置場所に置き（S10）、撮像装置10により校正用被写体11を撮影する方向を、撮像装置10のステレオ撮影方向となる左撮影方向と右撮影方向に逐次セットして（S20）、撮像装置10により校正用被写体11を前記左撮影方向と右撮影方向から逐次撮影し（S30）、前記撮影された校正用被写体11のステレオ画像からステレオ撮影パラメータを算出する（S40、S48）工程を有する。好ましくは、算出されたステレオ撮影パラメータを記憶しておくが良い。次に、図12、図13に示すように、前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記ステレオ撮影方向から（S70）、撮像装置10により対象物1を撮影し（S80）、前記撮影された画像を前記ステレオ撮影パラメータを用いて対象物1のステレオ画像として生成し（S100、S101）、対象物1のステレオ画像から対象物1の表面形状を測定する（S102）工程を有する。

第7の発明の表面状態図化装置は、第2の目的を達成するもので、第1ないし第4の発明の表面形状測定装置によって測定された対象物1のステレオ画像から、対象物1の表面状態を図化する図化装置8を備えている。好ましくは、図化にあたっては対象物1の表面状態を図化する用途に適合した人工知能エンジンをもちいると良い。例えば、対象物1が埋蔵文化財であれば、測定した表面状態を考古学的知見により適宜修正して、単なる傷や付着物を除去して考古学的に価値ある情報を抽出できる。

第8の発明の表面形状測定装置は、第1の目的を達成するもので、図20及び図21に示すように、測定対象物1をステレオ撮影するステレオ撮影ユニットを

複数有するステレオ撮影部 3 と、前記ステレオ撮影ユニットが測定対象物 1 をステレオ撮影する複数の方向毎のステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部 5 と、前記ステレオ撮影パラメータの記憶された前記複数の方向から、前記ステレオ撮影部 3 により測定対象物 1 を撮影して、測定対象物 1 のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部 6 と、測定対象物 1 のステレオ画像から測定対象物 1 の表面形状を測定する表面形状演算処理部 7 とを備えている。

このように構成された装置においては、測定対象物 1 をステレオ撮影部 3 にて撮影する場所に置いて、ステレオ撮影部 3 を構成する 2 以上のステレオ撮影ユニットにより、測定対象物 1 を複数の方向からステレオ撮影する。ここで、各ステレオ撮影ユニットは、右側撮像装置 3 R と左側撮像装置 3 L とによって測定対象物 1 をステレオ撮影するものである。ステレオ撮影の方向が複数なので、一方向の場合に比較して測定対象物 1 の広い範囲の表面形状が計測できる。所定の撮影方向に対するステレオ撮影パラメータは予め記憶されているので、測定対象物 1 とステレオ撮影部 3 との位置決めは厳密に行われていなくても、正確な表面形状測定を行うことができる。また、ステレオ撮影部 3 は 2 以上のステレオ撮影ユニットから構成されているので、測定対象物 1 の周面を広範囲に撮影する場合にも、測定対象物 1 を回転させたりステレオ撮影ユニットを移動させる必要がなく、撮影が迅速に行える。

好ましくは、パラメータ記憶部 5 は、立体的に基準点が配置された校正用被写体 1 1 を測定対象物 1 の設置場所に置き、ステレオ撮影部 3 により校正用被写体 1 1 を撮影し、前記撮影された校正用被写体 1 1 のステレオ画像から各ステレオ撮影ユニットの撮影方向のステレオ撮影パラメータを算出して、前記算出されたステレオ撮影パラメータを記憶する構成とすると良い。校正用被写体 1 1 は基準点の位置が正確に判っているため、各ステレオ撮影ユニットのステレオ撮影パラメータが正確に算出できる。

好ましくは、パラメータ記憶部 5 は、予め記憶されている校正用被写体 1 1 の基準点位置と、ステレオ撮影部 3 の撮影した校正用被写体 1 1 の基準点のステレオ画像から算出された基準点位置とを対比して、算出されたステレオ撮影パラメータを記憶する構成とすると良い。ここで、ステレオ撮影パラメータは、前記撮

影する方向における各ステレオ撮影ユニットの基線長、撮影位置、傾きの少なくとも一つを含むと良い。ステレオ撮影パラメータは、各ステレオ撮影ユニットで撮影した対となる画像を偏位修正画像に変換するパラメータである。偏位修正画像に変換されたステレオ画像は立体視できる状態にあるため、ステレオ画像の視差から正確に測定対象物 1 表面の凸凹が算定される。

第 9 の発明の表面形状測定装置は、第 1 の目的を達成するもので、図 2 4 及び図 2 5 に示すように、測定対象物 1 を予め定められた撮影方向から撮影する 3 台以上の撮像装置（10 A、10 B、…、10 H）を有する撮像装置群 20 と、撮像装置群 20 の撮像装置により撮影された測定対象物 1 の画像のうち、2 台の撮像装置の撮影した測定対象物 1 の画像の重複撮影領域を抽出するステレオ撮影領域抽出部 21 と、ステレオ撮影領域抽出部 21 により重複撮影領域の抽出された 2 台の撮像装置の撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを、撮像装置群 20 に含まれる 2 以上の 2 台組の撮像装置に関して記憶するパラメータ記憶部 5 と、前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記 2 以上の 2 台組の撮像装置の撮影方向から、前記撮像装置により測定対象物 1 を撮影して、測定対象物 1 のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部 6 と、測定対象物 1 のステレオ画像から測定対象物 1 の表面形状を測定する表面形状演算処理部 7 とを備えている。

第 10 の発明の表面形状測定装置は、第 1 の目的を達成するもので、図 2 8 及び図 3 0 に示すように、右側撮像装置と左側撮像装置とによって測定対象物 1 を第 1 の撮影方向からステレオ撮影するステレオ撮影ユニット 90 と、ステレオ撮影ユニット 90 と測定対象物 1 間の光路を変更させる光路変更部 22 であって、測定対象物 1 を第 2 の撮影方向からステレオ撮影させる光路変更部 22 と、ステレオ撮影ユニット 90 が測定対象物 1 をステレオ撮影する第 1 及び第 2 の撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部 5 と、前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記第 1 及び第 2 の撮影方向に関するステレオ撮影方向から、撮像装置 10 により測定対象物 1 を撮影して、測定対象物 1 のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部 6 と、測定対象物 1 のステレオ画像から測定対象物 1 の表面形状を測定する表面形状演算処理部 7 とを備えている。

好ましくは、第 8 ないし第 10 の発明の表面形状測定装置において、さらに測

定対象物 1 のステレオ画像から、測定対象物 1 の正射投影画像を生成する正射投影画像生成部とを備える構成とすると良い。。

第 1 1 の方法発明の表面形状測定方法は、第 1 の目的を達成するもので、図 2 0 に示すように、測定対象物 1 をステレオ撮影する 2 以上の方向数に適合するユニット数のステレオ撮影ユニット (3 R、3 L) を設けておく。次に、例えば図 2 2 に示すように、立体的に基準点が配置された校正用被写体 1 1 を測定対象物 1 の設置場所に置き (S 1 1 0)、ステレオ撮影ユニットにより校正用被写体 1 1 を 2 以上の方向からステレオ撮影し (S 1 1 1)、撮影された校正用被写体 1 1 のステレオ画像から前記 2 以上の撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを算出する (S 1 1 5)。

次に、例えば図 2 3 に示すように、ステレオ撮影パラメータの記憶された 2 以上の撮影方向から、ステレオ撮影ユニットにより測定対象物 1 をステレオ撮影し (S 1 2 1)、ステレオ撮影パラメータを用いて、ステレオ撮影された画像を測定対象物 1 のステレオ画像として生成し (S 1 2 2)、測定対象物 1 のステレオ画像から測定対象物 1 の表面形状を測定する (S 1 2 3) 工程を有する。

第 1 2 の方法発明の表面形状測定方法は、第 1 の目的を達成するもので、例えば図 2 4 及び図 2 6 に示すように、立体的に基準点が配置された校正用被写体 1 1 を測定対象物の設置場所に置き (S 1 3 0)、予め定められた撮影方向から撮影する 3 台以上の撮像装置により校正用被写体 1 1 を撮影し (S 1 3 1)、前記 3 台以上の撮像装置により撮影された校正用被写体 1 1 の画像のうち、2 台の撮像装置の撮影した校正用被写体 1 1 の画像の重複撮影領域を抽出して (S 1 3 2、S 1 3 3)、ステレオ撮影パラメータを算出する (S 1 3 7)。

次に、例えば図 2 7 に示すように、前記設置場所に置かれた測定対象物 1 を前記 3 台以上の撮像装置により撮影し (S 1 4 1)、前記 3 台以上の撮像装置により撮影された測定対象物 1 の画像のうち、2 台の撮像装置の撮影した測定対象物 1 の画像の重複撮影領域を抽出し (S 1 4 2、S 1 4 3)、前記ステレオ撮影パラメータを用いて、前記抽出された重複撮影領域を測定対象物 1 のステレオ画像として生成し (S 1 4 4)、測定対象物 1 のステレオ画像から測定対象物 1 の表面形状を測定する (S 1 4 5) 工程を有する。

第13の方法発明の表面形状測定方法は、第1の目的を達成するもので、例えば図28に示すように、右側撮像装置9Rと左側撮像装置9Lとによって第1の撮影方向からステレオ撮影するステレオ撮影ユニットと、前記ステレオ撮影ユニットにより第2の撮影方向からステレオ撮影させる光路変更部(22R、22L)とを備える表面形状測定装置を用いた表面形状測定方法に関する。まず、図31に示すように、立体的に基準点が配置された校正用被写体を測定対象物の設置場所に置き(S150)、前記ステレオ撮影ユニットに対して前記校正用被写体を前記第1の撮影方向に向け(S151)、前記光路変更部により生成される前記第2の撮影方向の前記校正用被写体の像と共に、前記ステレオ撮影ユニットに前記校正用被写体をステレオ撮影させ(S152)、前記ステレオ撮影ユニットにより前記校正用被写体がステレオ撮影される前記第1及び第2の撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを算出する(S153～S162)。次に、図32に示すように、前記測定対象物を前記設置場所に置き(S170)、前記ステレオ撮影ユニットに対して前記測定対象物を前記第1の撮影方向に向け(S171)、前記光路変更部により生成される前記第2の撮影方向の前記測定対象物の像と共に、前記ステレオ撮影ユニットに前記測定対象物をステレオ撮影させ(S172)、前記ステレオ撮影パラメータを用いて、前記第1及び第2の撮影方向から撮影された画像を前記測定対象物のステレオ画像として生成し(S173、S174、S177、S178)、前記測定対象物のステレオ画像から前記測定対象物の表面形状を測定する(S175、S176、S179、S180)。

第14の発明の表面状態図化装置は、第2の目的を達成するもので、第8ないし第10の発明の表面形状測定装置によって測定された測定対象物1のステレオ画像から、測定対象物1の表面状態を図化する図化装置8を備えている。好ましくは、図化にあたっては測定対象物1の表面状態を図化する用途に適合した人工知能エンジンをもちいると良い。例えば、測定対象物1が埋蔵文化財であれば、測定した表面状態を考古学的知見により適宜修正して、単なる傷や付着物を除去して考古学的に価値ある情報を抽出できる。

第15の発明の表面形状測定装置は、第1の目的を達成するもので、図33及び図34に示すように、測定対象物1と、測定対象物1の近傍に配置される校正

用被写体 120 であって、あらかじめ立体的な相対位置関係が定められている基準点を有する校正用被写体 120 とを、複数の方向からステレオ撮影するステレオ撮影部 3 と、ステレオ撮影部 3 にてステレオ撮影された撮影画像データから校正用被写体 120 の基準点の像を抽出して、前記基準点の位置からステレオ撮影する方向毎の撮影パラメータを求める撮影パラメータ算出部 50 と、撮影パラメータと、基準点の像が抽出された撮影画像データにおける測定対象物 1 の像位置から、測定対象物 1 の表面形状を求める表面形状測定部 60 とを備えている。

このように構成された装置においては、測定対象物 1 と校正用被写体 120 とを同時にステレオ撮影部 3 にて撮影する。ステレオ撮影部 3 のステレオ撮影の方向が複数なので、一方向の場合に比較して測定対象物 1 の広い範囲の表面形状が計測できる。測定対象物 1 の撮影方向に対する撮影パラメータは、同時に撮影される校正用被写体 120 の基準点の像と、予め判っている基準点の位置から演算される。そこで、測定対象物 1 とステレオ撮影部 3 との位置決めは厳密に行われていなくても、正確な表面形状測定を行うことができる。

好ましくは、図 33 に示すように、ステレオ撮影部 3 は、ステレオ撮影する方向毎にステレオ撮影ユニットを有する構成とするとよい。ステレオ撮影ユニットは、所定間隔 1 (エル) を隔てて平行に取りつけられた少なくとも 2 台の撮像装置 3R、3L を有するもので、測定対象物 1 のステレオ画像を同時に撮影することでき、測定対象物 1 の数が多くて測定対象物 1 の表面形状を測定する作業量の多い場合や、振動したり移動する測定対象物 1 のように同時に撮影しないと測定対象物 1 のステレオ画像の得られない場合に適している。

好ましくは、図 39 に示すように、ステレオ撮影部 3 は、複数の単眼の撮像装置 10 により測定対象物 1 を撮影すると共に、隣接する撮像装置 10 相互での重複撮影領域をステレオ撮影として取扱う構成とするとよい。隣接する単眼の撮像装置 10 の撮影した重複撮影領域をステレオ撮影として取扱う構成なので、ステレオ撮影ユニットを用いる場合に比較して、撮像装置 10 の設置位置に自由度が増す。

好ましくは、前記撮影パラメータは、前記撮影する方向におけるステレオ撮像部 3 の基線長、撮影位置、傾きの少なくとも一つを含む構成とすると良い。撮影

パラメータは、ステレオ撮像部 3 で撮影した対となる画像を偏位修正画像に変換するパラメータである。偏位修正画像に変換されたステレオ画像は立体視できる状態にあるため、ステレオ画像の視差差から正確に測定対象物 1 表面の凸凹が算定される。ステレオ撮影部 3 がステレオ撮影する方向毎にステレオ撮影ユニット

5 を有する場合には、撮影パラメータは、各ステレオ撮影ユニットの基線長、撮影位置、傾きである。ステレオ撮影部 3 が隣接する撮像装置 10 相互での重複撮影領域をステレオ撮影として取扱う場合には、撮影パラメータは、隣接する撮像装置 10 相互間の基線長、撮影位置、傾きである。

好ましくは、さらに、ステレオ撮影部 3 の撮影したステレオ画像又は測定対象

10 物 1 の像位置の少なくとも一方から、測定対象物 1 の正射投影画像を形成する正射投影画像生成部を備えるとよい。測定対象物 1 の表面形状計測データからステレオ画像を正射投影画像に再構成することにより、寸法の反映された画像を実際の撮影画像から作成できる。また、正射投影画像は、図化せずとも、画像そのものに正確な寸法が反映されているため、実際の状況が判断できると共に寸法精度

15 が高く、画像としての価値が高い。

好ましくは、図 40、図 41 に示すように、さらに、測定対象物 1 とステレオ撮影部 3 の位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部 4、相対位置変更部 4 により測定対象物 1 とステレオ撮像部 3 の少なくとも一方を移動させて、測定対象物 1 をステレオ撮影部 3 により複数の方向から撮像させるステレオ撮影制御部

20 17 とを備え、ステレオ撮影制御部 17 の制御する複数の方向からのステレオ画像を得て、測定対象物 1 の表面形状を求める構成とすると良い。

第 16 の発明の表面形状測定方法は、第 1 の目的を達成するもので、図 37 に示すように、測定対象物の近傍に、あらかじめ立体的な相対位置関係が定められている基準点が配置された校正用被写体を配置し (S201)、測定対象物 1 と校

25 正用被写体 120 の双方が撮影されるように、ステレオ撮影部により複数の方向からステレオ撮影を行い (S202)、前記ステレオ撮影部にて撮影されたステレオ画像から前記基準点の像を抽出して、前記基準点の位置から撮影パラメータを求め (S203)、前記撮影パラメータと、前記基準点の像が抽出されたステレオ画像における測定対象物 1 の像位置から測定対象物 1 の表面形状を測定する (S

203) 工程を有している。

- 第17の発明の表面形状測定装置は、第1の目的を達成するもので、図42に示すように、測定対象物1と、測定対象物1の背景近傍に配置される校正用被写体11Eであって、あらかじめ立体的な相対位置関係が定められている基準点を有する校正用被写体11Eとを、所定の方向からステレオ撮影するステレオ撮影ユニット90と、測定対象物1とステレオ撮影ユニット90の位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部4と、相対位置変更部4により測定対象物1又はステレオ撮影ユニット90の少なくとも一方を移動させて、測定対象物1をステレオ撮影ユニット90により複数の方向から撮像させるステレオ撮影制御部17と、ステレオ撮影制御部17にてステレオ撮影された撮影画像データから前記基準点の像を抽出して、前記基準点の位置からステレオ撮影する方向毎の撮影パラメータを求める撮影パラメータ算出部50と、撮影パラメータと、前記基準点の像が抽出された撮影画像データにおける測定対象物1の像位置から、測定対象物1の表面形状を求める表面形状測定部60とを備えている。
- 15 好ましくは、校正用被写体は、ステレオ撮影ユニットによる前記複数の方向からのステレオ撮影が行われている間、ステレオ撮影ユニットとの相対的な位置関係が固定されているとよい。

- 第18の発明の表面形状測定装置は、第1の目的を達成するもので、図43に示すように、測定対象物1と、測定対象物1の背景近傍に配置される校正用被写体11Eであって、あらかじめ立体的な相対位置関係が定められている基準点を有する校正用被写体11Eとを、撮影する単眼の撮像装置10と、測定対象物1と撮像装置10の位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部4と、相対位置変更部4により測定対象物1と撮像装置10の位置関係を移動させて、第1の撮影方向と第2の撮影方向とを用いて撮像装置10によりステレオ撮影を行うように制御するステレオ単方向制御部18と、相対位置変更部4により測定対象物1又は撮像装置10の少なくとも一方を移動させると共に、ステレオ単方向制御部18によりステレオ撮影を行うように撮影方向を制御して、測定対象物1を撮像装置10により複数の方向からステレオ撮像させるステレオ撮影制御部17と、撮像装置10にてステレオ撮影された撮影画像データから前記基準点の像を抽出
- 20
- 25

して、前記基準点の位置からステレオ撮影する方向毎の撮影パラメータを求める撮影パラメータ算出部50と、撮影パラメータと、前記基準点の像が抽出された撮影画像データにおける測定対象物1の像位置から、測定対象物1の表面形状を求める表面形状測定部60とを備えている。

- 5 第19の発明の表面状態図化装置は、第2の目的を達成するもので、第16、第17又は第18の発明の表面形状測定装置によって測定された測定対象物1のステレオ画像から、測定対象物1の表面状態を図化する図化装置8を備えている。好ましくは、図化にあたっては測定対象物1の表面状態を図化する用途に適合した人工知能エンジンをもちいると良い。例えば、測定対象物1が埋蔵文化財であ
- 10 れば、測定した表面状態を考古学的知見により適宜修正して、単なる傷や付着物を除去して考古学的に価値ある情報を抽出できる。

- この出願は日本国で2001年7月30日に出願された特願2001-230368号、2001年8月2日に出願された特願2001-234644号、2
- 15 001年8月28日に出願された特願2001-257832号の3件に基づいており、その内容は本出願の内容として、その一部を形成する。

- また、本発明は以下の詳細な説明によりさらに完全に理解できるであろう。本発明のさらなる応用範囲は、以下の詳細な説明により明らかとなろう。しかしながら、詳細な説明及び特定の実例は、本発明の望ましい実施の形態であり、説明
- 20 の目的のためにのみ記載されているものである。この詳細な説明から、種々の変更、改変が、本発明の精神と範囲内で、当業者にとって明らかであろう。

出願人は、記載された実施の形態のいずれをも公衆に献上する意図はなく、開示された改変、代替案のうち、特許請求の範囲内に含まれないかもしれないものも、均等論下での発明の一部とする。

25

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施の形態を説明する構成ブロック図である。

図2は、相対位置変更部の変形実施例を示す要部構成図である。

図3は、ステレオ撮影パラメータの算出に用いられる校正用被写体を説明する

構成斜視図である。

図 4 は、校正用被写体に形成される基準点マークと側面基準ターゲットの説明図である。

図 5 は、基準点マークの位置を記述する三次元座標系 $x y z$ の説明図である。

- 5 図 6 は、図 1 の装置を用いた計測対象物の計測手順の全体を概括的に説明するフローチャートである。

図 7 は、ステレオ撮影を行なう方向における初期化作業を説明するフローチャートである。

図 8 は、図 7 の初期化計測処理の詳細を説明するフローチャートである。

- 10 図 9 は、残差逐次検定法及び正規化相関法に用いられるテンプレート画像と、左右の画像の関係を説明する図である。

図 10 は、モーメント法の説明図で、縦軸は測定値 $f(x,y)$ 、横軸は空間分布 X 、 Y を表している。

- 15 図 11 は、モデル座標系 $X Y Z$ と左右のカメラ座標系 $x y z$ を用いて標定計算を説明する図である。

図 12 は、計測対象物をステレオ撮影する手続きを説明するフローチャートである。

図 13 は、表面形状演算処理部による計測処理を説明するフローチャートである。

- 20 図 14 は、偏位修正処理の一例を示す図で、処理前と処理後を左右の画像について説明してある。

図 15 は、ステレオ法の原理を説明する図である。

図 16 は、中心投影画像と正射投影画像との相違を説明する図である。

図 17 は、本発明の第 2 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。

- 25 図 18 は、本発明の第 3 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。

図 19 は、本発明の第 4 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。

図 20 は、本発明の第 5 の実施の形態を説明する要部斜視図である。

図 21 は、本発明の第 5 の実施の形態を説明する要部構成ブロック図である。

図 22 は、ステレオ撮影方向における初期化作業を説明するフローチャートで

ある。

図 2 3 は、測定対象物をステレオ撮影する手続きを説明するフローチャートである。

図 2 4 は、本発明の第 6 の実施の形態を説明する要部斜視図である。

5 図 2 5 は、第 6 の実施の形態を説明する要部構成ブロック図である。

図 2 6 は、第 6 の実施の形態における初期化作業を説明するフローチャートである。

図 2 7 は、第 6 の実施の形態における測定対象物のステレオ撮影作業のフローチャートである。

10 図 2 8 は、本発明の第 7 の実施の形態の要部構成図である。

図 2 9 は、ステレオ撮影ユニットの各撮像装置に写る測定対象物の説明図である。

図 3 0 は、本発明の第 7 の実施の形態を示す要部構成ブロック図である。

図 3 1 は、第 7 の実施の形態における初期化作業を説明するフローチャートで

15 ある。

図 3 2 は、第 7 の実施の形態における測定対象物のステレオ撮影作業のフローチャートである。

図 3 3 は、本発明の第 8 の実施の形態を説明する要部構成図で、測定対象物、校正用被写体、並びにステレオ撮影部の位置関係を示してある。

20 図 3 4 は、本発明の第 8 の実施の形態を説明する要部構成ブロック図で、ステレオ撮影部でステレオ撮影した画像の信号処理機能を説明している。

図 3 5 は、測定対象物と校正用被写体をステレオ撮影した一対の画像の説明図で、(A) は左撮影方向、(B) は右撮影方向を示している。

25 図 3 6 は、撮影パラメータの算出に用いられる校正用被写体を説明する構成斜視図である。

図 3 7 は、図 3 3 及び図 3 4 の装置を用いた測定対象物の計測手順の全体を概括的に説明するフローチャートである。

図 3 8 は、三次元計測処理を説明するフローチャートである。

図 3 9 は、本発明の第 9 の実施の形態を説明する要部構成図で、測定対象物、

校正用被写体、並びにステレオ撮影部の位置関係を示してある。

図 4 0 は、本発明の第 1 0 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。

図 4 1 は、第 1 0 の実施の形態における相対位置変更部の変形実施例を示す構成ブロック図である。

5 図 4 2 は、本発明の第 1 1 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。

図 4 3 は、本発明の第 1 2 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。

図 4 4 は、第 1 0 乃至第 1 2 の実施の形態に用いられる校正用被写体の他の例を示す平面図である。

図 4 5 は、屏風型校正用被写体を用いた測定対象物の画像を説明する図である。

10 図 4 6 は、屏風型校正用被写体の等価フレーム体を説明する斜視図である。

図 4 7 は、本発明の第 1 3 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。

発明を実施するための最良の形態

1. 第 1 の実施の形態

15 以下図面を用いて本発明を説明する。図 1 は本発明の第 1 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。図において、計測対象物 1 は遺跡埋蔵物、人体、車両、機械構造物等の表面形状や模様を非接触で三次元的に測定する対象物である。テーブル 2 は計測対象物 1 を設置する台で、ステージでもよい。ステレオ撮影ユニット 9 0 はテーブル 2 に置かれた計測対象物 1 をステレオ撮影するもので、C
20 CD(Charge-coupled Devices)、デジタルカメラ、写真フィルム式カメラ等の 2 台の撮像装置 9 R、9 L が、撮像装置取付体 9 1 としての棒体に間隔 1 にて取付けられている。2 台の撮像装置 9 R、9 L の光軸は、計測対象物 1 に対して大略平行になるように撮像装置取付体 9 1 に取付けられる。

相対位置変更部 4 は、ここではテーブル 2 を回転させる機構を有しており、モータのような回転駆動部 4 1、回転駆動部 4 1 の駆動力によりテーブル 2 を回転
25 させるテーブル回転軸 4 2、ステレオ撮影部連結棒 4 3 を備えている。ステレオ撮影部連結棒 4 3 は、テーブル 2 とステレオ撮影ユニット 9 0 との間隔 d を一定値に保持すると共に、撮像装置取付体 9 1 に取付けられた 2 台の撮像装置 9 R、9 L がテーブル 2 方向を向く姿勢に保持している。なお、回転駆動部 4 1 はテー

ブル 2 を数度の精度で位置決めできる駆動力があれば良いので、作業者によって回転されるハンドルや取っ手でもよい。

ステレオ撮影パラメータ記憶部 5 は、ステレオ撮影ユニット 9 0 が計測対象物 1 を撮影する複数の方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するものである。

- 5 なお、ステレオ撮影パラメータについては後で詳細に説明する。

ステレオ画像生成部 6 は、ステレオ撮影パラメータの記憶された複数の方向から、ステレオ撮影ユニット 9 0 により計測対象物 1 を撮影して、計測対象物 1 のステレオ画像を生成するもので、例えば画像演算処理を高速に行うプロセッサが使用される。ここでステレオ画像とは、ステレオ撮影ユニット 9 0 で撮影された
10 右撮影方向と左撮影方向の一組のステレオ撮影された画像を偏位修正して、立体視できるように調整したものをいう。ステレオ撮影ユニット 9 0 が計測対象物 1 を撮影する方向 θ は、テーブル回転軸 4 2 に設けられた回転角度センサの測定信号としてステレオ画像生成部 6 に送られたり、或いはステレオ画像に撮影角度情報として紐付けされる。

- 15 表面形状演算処理部 7 は、計測対象物 1 のステレオ画像から計測対象物 1 の表面形状を測定するもので、この測定用演算には航空写真測量等で使用されるステレオ画像による表面形状の凸凹測定の演算手法が用いられる。表面形状演算処理部 7 では、計測対象物 1 の特徴点を抽出して、この特徴点の位置を求め、求められた特徴点の位置を基準に計測対象物 1 の全体的な表面形状を測定するとよい。
- 20 表示／図化部 8 は、表面形状演算処理部 7 で測定された計測対象物 1 の表面形状を表示する C R T や液晶等の表示装置や、紙面に図形を描くプロッタやプリンタ、並びに立体的な印象データを取得するデジタル図化機等が用いられる。表示／図化部 8 としては、ステレオ視可能なステレオモニタとしてもよい。ステレオモニタを用いると、実際の計測対象物 1 を立体画像にて再現できるだけでなく、画像
25 を見ながら計測や図化といったことが容易にできるようになる。なお、ステレオ画像生成部 6、表面形状演算処理部 7、表示／図化部 8 はデジタル図化機あるいはパソコンの中に構成することもできる。

図 2 は相対位置変更部の変形実施例を示す要部構成図である。相対位置変更部 4 は、テーブル 2 の支持軸 4 4 を回転中心として、ステレオ撮影ユニット 9 0 を

回転させる構成でもよい。ステレオ撮影部回転棒 4 4 は、テーブル 2 とステレオ撮影ユニット 9 0 との間隔 d を一定値に保持すると共に、撮像装置取付体 9 1 に取付けられた 2 台の撮像装置 9 R、9 L をテーブル 2 方向に保持している。さらに、ステレオ撮影部回転棒 4 4 は、回転駆動部 4 1 の駆動力によりテーブル 2 の支持軸 4 4 を回転中心として、回転する。

図 3 はステレオ撮影パラメータの算出に用いられる校正用被写体を説明する構成斜視図で、(A) は校正用被写体が断面矩形の筒体、(B) は断面六面体の筒体、(C) は断面矩形の筒体における他の態様、(D) は断面六面体の筒体における他の態様を示してある。断面矩形の筒体の場合は、図 3 (A) に示すように、校正用被写体 1 1 に 4 個の基準側面 1 1 1 が設けられている。各基準側面 1 1 1 には少なくとも 6 箇所に基準点マーク 1 1 3 が形成してある。一平面の姿勢や座標を決定するには、少なくとも 6 箇所の既知点が必要なためである。基準点マーク 1 1 3 は、例えば黒地に白のマークや白地に黒のマーク、あるいはレトロレフラクティブ・ターゲットのように反射するマークで、基準点マーク 1 1 3 の印刷されたシールを各基準側面 1 1 1 に貼付してもよく、また各基準側面 1 1 1 に直接基準点マーク 1 1 3 を印刷してもよい。断面六面体の筒体の場合は、図 3 (B) に示すように、校正用被写体 1 1 B に 6 個の基準側面 1 1 1 B が設けられている。各基準側面 1 1 1 B には、少なくとも 6 箇所に基準点マーク 1 1 3 B が形成されており、一平面の姿勢や座標を決定するのに必要な情報が確保してある。

また、校正用被写体 1 1 に設けられる各基準側面 1 1 1 を区別する為に、直接基準点マーク 1 1 3 の他に各基準側面 1 1 1 に側面基準ターゲット 1 1 2 を形成しても良い。ここでは、側面基準ターゲット 1 1 2 は、校正用被写体 1 1 に設けられる各基準側面 1 1 1 を区別する機能に加えて、基準点マーク 1 1 3 としての機能も兼務している。断面矩形の筒体の場合は、図 3 (C) に示すように、各基準側面 1 1 1 に、5 箇所の基準点マーク 1 1 3 と 1 箇所の側面基準ターゲット 1 1 2 a、1 1 2 b が形成してある。断面六面体の筒体の場合は、図 3 (D) に示すように、校正用被写体 1 1 D に 6 個の基準側面 1 1 1 D が設けられている。各基準側面 1 1 1 D には、5 箇所の基準点マーク 1 1 3 D と 1 箇所の側面基準ターゲット 1 1 2 c、1 1 2 d、1 1 2 e が形成してある。

なお、図３（Ｃ）、（Ｄ）では、校正用被写体１１の各基準側面１１１ごとに異なる側面基準ターゲット１１２を１つ配置しているものを例示しているが、各基準側面１１１の基準点マーク１１３に全部又は一部に側面基準ターゲット１１２と同一のマークを用いても良い。また、側面基準ターゲット１１２としては、マークの大きさを異なるものとしたり、色を変えても良い。また、各基準側面１１１ごとの色を変えることで、校正用被写体１１に設けられる各基準側面１１１を区別してもよい。

図4は校正用被写体に形成される基準点マークと側面基準ターゲットの説明図で、(A)は基準点マーク、(B)は側面基準ターゲットを示している。基準点マークには、例えば交差するストライクマーク(A1)、白抜き円形(A2)、黒塗り円形(A3)のような基準点の三次元的な位置が明確に把握できる模様、図形、記号等を用いる。側面基準ターゲットは、校正用被写体11に設けられる各基準側面111を区別する為に用いられるもので、六角形(B1)、白十字(B2)、ひし形(B3)、数字1(B4)、数字2(B5)、数字3(B6)、黒塗り四角(B7)、斜線四角(B8)、格子状四角(B9)等の模様、図形、記号等を用いる。

校正用被写体 11 での基準点マーク 113 の位置は、予め精密な機器により三次元座標系を用いて計測しておく。図 5 は基準点マークの位置を記述する三次元座標系 $x y z$ の説明図である。三次元座標系 $x y z$ は、校正用被写体 11 が断面矩形の筒体の場合には、任意の基準側面 111 を基準面として、校正用被写体 11 全体の基準点マーク 113 の座標を決定する。例えば、任意の基準側面 111 を 0° 方向として $x z$ 平面を割当て、他の 3 個の基準側面 111 を其々 90° 、 180° 、 270° 方向として区別する。そして、 90° 、 270° 方向の基準側面 111 には $z y$ 平面を割当て、 180° 方向の基準側面 111 には $x z$ 平面を割当てる。

25 本実施の形態では、校正用被写体 11 の各基準側面 111 においてステレオ撮影を行なうため、基準側面 111 の数の分ステレオ撮影を行なうことになる。ステレオ撮影する方向は、各基準側面 111 をステレオ撮影ユニット 90 によりステレオ撮影する方向で、概ね各基準側面 111 の法線方向と一致させるのがよい。従って、計測対象物 1 の全周面を分割する面数によって、校正用被写体 11 の基

準側面 1 1 1 の面数を決めるのが良い。計測対象物 1 を詳細に計測したければ、校正用被写体 1 1 の基準側面 1 1 1 の分割面数を多くする。例えば図 3 (B) のように、校正用被写体 1 1 の基準側面 1 1 1 の面数を 6 面とする。

このように構成された装置における計測対象物 1 の表面形状測定を次に説明する。図 6 は図 1 の装置を用いた計測対象物の計測手順の全体を概括的に説明するフローチャートである。最初に、計測のために座標系を初期化する作業を行う (S 1)。この際に、校正用被写体 1 1 を用いて、ステレオ撮影を行なう方向におけるステレオ撮影パラメータを求めておく。次に計測対象物 1 のステレオ撮影と三次元計測を行なう (S 2)。そして、計測対象物 1 の三次元計測結果より画像成果物
5
10
15
20
25
を作成する (S 3)。例えば、等高線画像、鳥瞰図、断面図、正射画像等が作成される。

三次元計測結果を図化する場合、三次元計測により作成した計測対象物 1 の正射投影画像により図化を行なう (S 4)。もし図化しないのであれば、この S 4 を飛び越しても良い。そして、計測対象物 1 の三次元計測結果をデータとして出力する (S 5)。データ出力は、成果品を図面として、プリンタ等で印刷したり、D
X F データとしてファイル出力しても良く、その場合、他の CAD にわたして処理を行なってもよい。

次に、S 1 の座標系初期化を詳細に説明する。図 7 はステレオ撮影を行なう方向における初期化作業を説明するフローチャートである。まず、校正用被写体 1
1 をテーブル 2 に載せる (S 1 0)。次に、相対位置変更部 4 によりテーブル 2 又はステレオ撮影ユニット 9 0 の角度 θ を設定する (S 2 0)。例えば最初は 0 度とする。続いて、ステレオ撮影ユニット 9 0 により校正用被写体 1 1 のある基準側面 1 1 1 に対するステレオ撮影を行なう (S 3 0)。ステレオカメラの場合、2 台同時に撮影することになる。また、校正用被写体 1 1 に基準点マーク 1 1 3 としてレトロレフラクティブ・ターゲットが貼ってあれば、フラッシュをたいて撮影
25
する。

続いて、ステレオ撮影に必要とされる初期化計測処理を行なう (S 4 0)。そして、校正用被写体 1 1 の全ての基準側面 1 1 1 を撮影して、初期化計測処理が完了するまでこれら処理を繰り返す (S 5 0)。基準側面 1 1 1 の数は、ステレオ撮

影を行なう方向の数と一致している為である。例えば、図3 (A) のように、断面矩形の校正用被写体11を利用する場合は、基準側面111が4面あるので、角度 θ として0、90、180、270度の4種類で撮影することになる。図3

(B) の校正用被写体11Bのときは、基準側面111Bが6面あるので、角度 θ として0、60、120、180、240、300度の6種類で撮影する。

また、図7のフローチャートにおいては、校正用被写体11の各基準側面111ごとにS40の逐次初期化計測処理を行う場合を示しているが、S50の後で、全ての基準側面111分の撮影を終了してから、撮影したステレオ画像をステレオ画像生成部6と表面形状演算処理部7に転送して、初期化計測処理を一括して行うように構成しても良い。その際に、角度 θ の情報だけでなく、基準側面111を判定させるような側面基準ターゲット112を各基準側面111に配置対応させると(図3 (C)、(D) 参照)、さらに確実になる。この場合には、校正用被写体11を利用して各基準側面111を決定してから、各基準側面111について図8に示すような初期化計測処理を行わせればよい。

次に、図3 (C)、(D) に示す校正用被写体11を利用して、各画像と測定面を対応付ける処理について、以下説明する。なお、1個の側面に対して計測と図化を行う場合、各画像と測定面を対応付ける処理は必要ない。

(i) 作業者がマニュアルで行う場合は、表示/図化部8に画像を表示させて、手動にてステレオ画像となるべき基準側面111のペア画像を決める。その際に、ステレオ画像となるべき基準側面111のペア画像は、側面基準ターゲット112の形状や模様、あるいは色等の特徴により決定する。

(ii) 各基準側面111における側面基準ターゲット112を画像処理により識別させて、自動的にステレオ画像となるべき基準側面111のペア画像を決めてもよい。例えば、各基準側面111における側面基準ターゲット画像をテンプレート画像として、画像相関処理によりどのマークかを識別させる。画像相関処理には、残差逐次検定法(SSDA法)や正規化相関法等を用いる。この場合は、正規化相関処理を用いればより確実に求まる。テンプレート画像を、例えば図9に示すように、 $N1 \times N1$ の大きさの画像とし、各種類のテンプレートを $M1 \times M1$ の画像領域内を探索させる。正規化相関法の場合、結果として一番相関係数

の高かったテンプレートを、その側面とする。なお、正規化相関法の詳細は後述する。側面基準ターゲット 1 1 2 の識別は画像相関法ではなく、特徴抽出によるものや、その他を用いても良い。但し、左右画像の識別は撮影状態によって変わり判定が困難なので、例えば左→右と撮影順番を決めておくといよい。

- 5 次に、S 4 0 の初期化計測処理の詳細について説明する。図 8 は図 7 の初期化計測処理の詳細を説明するフローチャートである。初期化計測処理は各基準側面 1 1 1 ごとのステレオ画像につき行なう。従って、ステレオ撮影ユニット 9 0 で撮影した左右の画像 2 枚をステレオペアの一組として処理を行なうことになる。

- 10 まず、ステレオペアの画像 2 枚分について、基準点マーク 1 1 3 であるターゲットの重心位置検出を行なう (S 4 2)。各基準点マーク位置は、例えば相関法により概略その位置を検出し、さらに正確に重心位置を算出する。最初から正確に位置検出を行ってもよいが、その場合演算処理に多大な時間を要する。ここでは、概略位置検出のための処理として、残差逐次検定法を以下に説明する。

1. 1 [相関法]

- 15 高速に処理する場合、残差逐次検定法 (S S D A 法) 等を利用する。図 9 は残差逐次検定法に用いられるテンプレート画像と、左右の画像の関係を説明する図である。例えば、右画像から探索したいテンプレート画像として、左画像中の $N 1 \times N 1$ 画素の画像を採用する。そして、左画像中の $N 1 \times N 1$ 画素の画像により、右画像の同一ライン上で探索を行う。そして、次の式 (1) で定義される残
- 20 差 $R(a, b)$ が最小になる点が求める画像の位置である。

$$R(a, b) = \sum_{m_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_1=1}^{N_1-1} |I_{(a,b)}(m_1, n_1) - T(m_1, n_1)| \quad \dots\dots\dots (1)$$

$T(m_1, n_1)$: テンプレート画像、 $I_{(a,b)}(m_1, n_1)$: 対象画像の部分画像

(a, b) : テンプレート画像の左上座標、 $R(a, b)$: 残差

処理の高速化をはかるため、式 (1) の加算において、 $R(a, b)$ の値が過去の残差の最小値を越えたら加算を打ち切り、次の (a, b) に移るよう計算処理を行う。以上で概略位置検出ができれば、さらにその基準点マークの重心位置を正確に検出する。ここでは、正規化相関法やモーメント法、エッジ検出法等利用できるが、

基準点マークの形状や精度によって最適な処理を利用する。例えば、基準点マークが円形ターゲットの場合はモーメント法により重心検出し、ストライクマークの場合はエッジ抽出により重心検出する。ここでは、モーメント法を説明する。

[モーメント法]

- 5 図 10 はモーメント法の説明図で、縦軸は測定値 $f(x,y)$ 、横軸は空間分布 X 、 Y を表している。図中、しきい値 T 以上の測定値 $f(x,y)$ を有する点について、以下の式 (2)、(3) を施す。但し、図 10 は簡単のために 1 次元表示となっているが、実際は 2 次元で行う。

$$x_g = \{ \sum x * f(x, y) \} / \sum f(x, y) \quad \dots\dots (2)$$

10 $y_g = \{ \sum y * f(x, y) \} / \sum f(x, y) \quad \dots\dots (3)$

ここで、 (x_g, y_g) : 重心位置の座標、 $f(x, y)$: (x, y) 座標上の濃度値とする。

- なお、初期化計測処理として相関法とモーメント法を説明したが、ステレオ撮影を行なう方向におけるステレオ撮影パラメータを求めるものとして、他にも
15 様々な方式が知られている。そこで、基準点マークの形状や校正用被写体で検出しやすいものであれば、相関法やモーメント法と同一の機能を発揮する均等方法を適宜採択できる。

- 図 8 に戻り、2 枚の画像の重心位置検出された基準点マークと、予め座標を精密に計測してある校正用被写体 11 の基準点マークの対応づけを行なう (S 44)。
20 測定される基準側面 111 は、撮影角度 θ により判っているので、例えば基準点マークが 6 点の場合は、その基準側面 111 上の 6 点のみ対応づけする。基準点マークの位置は予め判っているため、どの位置に撮影されているかは、予め予測可能となる。さらに位置を明確にさせるために、各基準側面 111 における基準となる基準点マークの形を変えたり、大きさを変えたり、あるいは各基準点マ
25 クに番号をふってそれを認識することによっても対応づけを行うことができる。

次に標定計算を行い、校正用被写体 11 の座標系を基準として、撮影した各撮像装置 9R、9L の三次元位置、傾き、カメラ間距離 (基線長 : 1) 等のステレオ撮影パラメータを求める (S 46)。なお、ここでは撮像装置がカメラである場合を例に説明する。

1. 2 [標定計算式]

そこで、標定計算の詳細について説明する。標定計算は航空写真測量等で用いられているもので、標定計算により、左右それぞれの撮像装置の位置等が求められる。以下の共面条件式によりステレオ撮影パラメータを求める。

- 5 図 1 1 はモデル座標系 $X Y Z$ と左右のカメラ座標系 $x y z$ を用いて標定計算を説明する図である。モデル座標系 $X Y Z$ の原点 O を左側の投影中心にとり、右側の投影中心を結ぶ線を X 軸にとるようにする。縮尺は、基線長 1 を単位長さにとる。このとき求めるパラメータは、左側のカメラの Z 軸の回転角 κ_1 、 Y 軸の回転角 ϕ_1 、右側のカメラの Z 軸の回転角 κ_2 、 Y 軸の回転角 ϕ_2 、 X 軸の回転角 ω_2 の 5 つの回転角となる。

$$\begin{vmatrix} X_{01} & Y_{01} & Z_{01} & 1 \\ X_{02} & Y_{02} & Z_{02} & 1 \\ X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 \end{vmatrix} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

X_{01} 、 Y_{01} 、 Z_{01} : 左画像の投影中心座標

X_{02} 、 Y_{02} 、 Z_{02} : 右画像の投影中心座標

X_1 、 Y_1 、 Z_1 : 左画像の像座標

X_2 、 Y_2 、 Z_2 : 右画像の像座標

この場合左側のカメラの X 軸の回転角 ω_1 は 0 なので、考慮する必要ない。このような条件にすると、式 (4) の共面条件式は式 (5) のようになり、この式を解けば各パラメータが求まる。

$$F(\kappa_1, \phi_1, \kappa_2, \phi_2, \omega_2) = \begin{vmatrix} Y_1 & Z_1 \\ Y_2 & Z_2 \end{vmatrix} = Y_1 Z_2 - Y_2 Z_1 = 0 \dots\dots\dots (5)$$

- ここで、モデル座標系 $X Y Z$ とカメラ座標系 $x y z$ の間には、次に示すような座標変換の関係式が成り立つ。

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_1 & 0 & \sin \phi_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi_1 & 0 & \cos \phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa_1 & -\sin \kappa_1 & 0 \\ \sin \kappa_1 & \cos \kappa_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -c \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega_2 & -\sin \omega_2 \\ 0 & \sin \omega_2 & \cos \omega_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_2 & 0 & \sin \phi_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi_2 & 0 & \cos \phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa_2 & -\sin \kappa_2 & 0 \\ \sin \kappa_2 & \cos \kappa_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (7)$$

以上の式(4)、(5)、(6)、(7)を用いて、次の手順により未知パラメータを求める。

S 4 6 1 : 初期近似値は通常0とする。

5 S 4 6 2 : 共面条件式(5)を近似値のまわりにテーラー展開し、線形化したときの微分係数の値を式(6)、(7)により求め、観測方程式をたてる。

S 4 6 3 : 最小二乗法をあてはめ、近似値に対する補正量を求める。

S 4 6 4 : 近似値を補正する。

S 4 6 5 : 補正された近似値を用いて、S 4 6 2からS 4 6 5までの操作を収束するまで繰り返す。

10 以上の演算処理により、各カメラの三次元位置および傾きが校正用被写体の座標系で求められる。これらステレオ撮影パラメータを元に、立体視可能な偏位修正画像を作成できるようになるので、ステレオ法による三次元計測が可能となる。立体視可能とは、縦視差が除去され、対象物に対して平行かつ鉛直な画像をいう。

そして、求められたステレオ撮影パラメータを各基準側面1 1 1を表す角度 θ
 15 において記憶する(S 4 8)。これで座標系初期化S 1は終了である。これら処理は、各計測のたびごとに最初にやっても良いし、各座標系が経時変化による誤差を含まなければ、一度だけ行なっておけば良い。また、回転駆動部4 1をモーターとして、校正用被写体1 1を載せたテーブル2とステレオ撮影ユニット9 0との角度 θ が、測定される基準側面1 1 1の撮影角度 θ と一致するように動作する
 20 べくシーケンス制御を行えば、校正用被写体1 1をテーブル2に載せるだけで全自動で行なうことが可能である。もちろん校正用被写体1 1を載せたテーブル2

の角度が撮影角度 θ と一致するように、作業者がマニュアルにて合せ、撮影、処理させても良い。

次にS 2の計測対象物1のステレオ撮影について説明する。図1 2は計測対象物をステレオ撮影する手続きを説明するフローチャートである。まず、計測対象物1をテーブル2に載せる(S 6 0)。相対位置変更部4に対して、計測対象物1をステレオ撮影ユニット9 0にて撮影する方向となる角度 θ を設定する(S 7 0)。例えば最初なら0度にする。そして、ステレオ撮影ユニット9 0により計測対象物1を撮影する(S 8 0)。ステレオカメラの場合2枚同時に取得する。

次に、計測対象物1を撮影すべき全ての撮影方向に対応する角度にてステレオ撮影が終了したか判断する(S 9 0)。もし、終了していない場合は、相対位置変更部4に対して、次の計測対象物1をステレオ撮影ユニット9 0にて撮影する方向となる角度 θ を設定する(S 7 0)。例えば、図3 (A)のような断面矩形の校正用被写体1 1で初期化補正した場合は、0、9 0、1 8 0、2 7 0度が撮影方向となる。また、図3 (B)のような断面6角形の校正用被写体1 1で初期化補正した場合は、0、6 0、1 2 0、1 8 0、2 4 0、3 0 0度等で上記撮影を繰り返す。

計測対象物1に対するステレオ画像が全ての撮影角度にて終了したら、表面形状演算処理部7により計測処理を行なう(S 1 0 0)。但し、表面形状演算処理部7による計測処理は、各撮影方向に対応する角度におけるステレオ撮影の直後、即ちS 8 0とS 9 0の間で逐次行なっても良い。逐次行なう構成とすると、計測対象物1のステレオ撮影と表面形状演算処理部7による計測処理が並列に進行するので、全体の作業時間が短縮される。

図1 3は表面形状演算処理部による計測処理を説明するフローチャートである。表面形状演算処理部7による計測処理は、各撮影角度で取得された2枚のステレオ画像ごとに行なう。まず、予め求められたステレオ撮影パラメータから、実際の計測対象物1のステレオ画像を偏位修正処理し、立体視可能な偏位修正画像に再構成する(S 1 0 1)。なお、S 1 0 1の処理は、ステレオカメラが平行に縦視差がないように取付けてあり、かつ経時変化がなければ必要ない。しかしながら、S 1 0 1の処理を行えば、厳密にステレオカメラを設置する必要はなく、経時変

化を気にする必要なくなるという利点がある。

図 1 4 は偏位修正処理の一例を示す図で、処理前と処理後を左右の画像について説明してある。偏位修正処理により、左右の画像の縦視差が除去され、水平ラインが等しくなり、各画像の歪が除去された偏位修正画像が得られる。

- 5 次に、計測対象物 1 の各撮影角度において、計測対象物 1 の輪郭や特徴点を計測する (S 1 0 2)。計測対象物 1 の輪郭や特徴点を計測することは、表示／図化部 8 のステレオ画像の表示画像を見ながら、マウス等で左右画像の対応点を指示することで行なう。S 1 0 2 の計測処理は、各画像のステレオ撮影パラメータより、測定対象物に平行な偏位修正画像が作成できているので、左右画像の対応点
- 10 を指定するだけで、ステレオ法の原理からその位置の三次元座標が求まる。

1. 3 [ステレオ法]

- 図 1 5 はステレオ法の原理を説明する図である。ここでは、簡単のために同じカメラを 2 台使用し、それぞれの光軸は平行でカメラレンズの主点から画像 1, 2 が結像する CCD 面までの距離 a が等しく、CCD は光軸に直角に置かれているものとする。また、2 つの光軸間距離 (基線長) を 1 とする。すると、物体上
- 15 の点 $P 1 (x 1, y 1)$ 、 $P 2 (x 2, y 2)$ の座標の間には、以下のような関係がある。

$$x 1 = a x / z \quad \cdots \cdots (8)$$

$$y 1 = y 2 = a y / z \quad \cdots \cdots (9)$$

- 20 $x 2 - x 1 = a l / z \quad \cdots \cdots (10)$

但し、全体の座標系 (x 、 y 、 z) の原点をカメラ 1 のレンズ主点にとるものとする。そして、式 (10) より z を求め、これを用いて式 (8)、式 (9) より x 、 y が求められる。

- なお、S 1 0 3 にて自動計測を行う場合は、S 1 0 2 にて計測対象物 1 の輪郭
- 25 を指定することにより、自動計測範囲を設定することになる。従って特徴点は計測しなくとも、次の自動測定のために概略の輪郭 (自動測定範囲) を各画像につき指定するだけでも良い。また、自動測定範囲は、対象物までの距離情報や特徴点抽出処理等の画像処理を利用して自動設定することも可能である。

さらに、特徴点を計測した場合、これらデータは自動計測の初期値としても利

用される。また、測定面全面の三次元計測は必要なく、特徴点の計測だけ必要なときは、次の S 1 0 3 の処理は行わずとも、ここで計測されたデータのみを使用すればよい。但し、S 1 0 3 の処理を行わない場合には、後で表示／図化部 8 により画像を図化した場合に、図化された画像は S 1 0 3 の処理を行う場合に比較して正確性に乏しくなる。

続いて、自動計測（ステレオマッチング）を行なう（S 1 0 3）。ステレオマッチング処理には、正規化相関処理を用いたエリアベースのマッチングを利用する。また、S 1 0 2 で特徴点を計測してあれば、それら情報も利用する。これにより対象物表面の密な三次元座標を取得することが可能となる。

10 1. 4 [正規化相関法]

次に、正規化相関処理について説明する。図 9 に示すように、例えば左画像中の $N_1 \times N_1$ 画素の画像を右画像から探索したいテンプレート画像とし、右画像の同一ライン上で探索を行う。そして、式 1 1 にて定義される相関係数 $C(a, b)$ が最大になる点が求める画像の位置である。

$$C(a, b) = \sum_{m_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \frac{\{I_{(a,b)}(m_1, n_1) - \bar{I}\} \{T(m_1, n_1) - \bar{T}\}}{\sqrt{I_{\sigma ab} T_{\sigma}}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{ただし、} \quad \bar{I} = \frac{1}{N_1^2} \sum_{m_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} I_{(a,b)}(m_1, n_1) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\bar{T} = \frac{1}{N_1^2} \sum_{m_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} T(m_1, n_1) \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$I_{\sigma ab} = \frac{1}{N_1^2} \sum_{m_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \{I_{(a,b)}(m_1, n_1) - \bar{I}\}^2 \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$T_{\sigma} = \frac{1}{N_1^2} \sum_{m_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \{T(m_1, n_1) - \bar{T}\}^2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

$I_{(a,b)}(m_1, n_1)$ ：対象画像の部分画像

$T(m_1, n_1)$ ：テンプレート画像

自動計測によって算出された対応点座標により、その位置の三次元座標が、式(8)、(9)、(10)により算出される。これら計測された三次元座標によって、画像成果物作成が可能となる。画像成果物は、三次元座標値を元に作成されるため、三次元座標値が多ければ多いほど正確な画像成果品が作成できる。また、各
5 測定面における座標系は校正用被写体11の座標系なので、そのまま各撮影角度 θ の画像を統合するだけで、計測対象物1を全周からみた画像が作成される。

次に、図6のS4の図化について説明する。例えば、三次元座標が求まっていれば、これらを元に正射投影画像を作成することができる。図16は中心投影画像と正射投影画像との相違を説明する図である。レンズにより撮影した画像は、
10 被写体をレンズの主点から撮影しているので、中心投影となっていて像に歪がある。これに対して正射投影画像は、被写体を無限遠に位置するレンズにて平行投影とした画像で、地図のように、画像そのものに正確な被写体の寸法が現れている。

従って正射投影画像を作成すれば、計測対象物1の図面化を行なう際に、その
15 正射投影画像上をなぞれば、図面を容易に作成することが可能となる。従来の埋蔵文化財のような実物を傍において見ながら図化する作業と比較して、正射投影画像によれば多大な省力化が可能であると同時に、その寸法精度も正確なものとなる。すなわち、誰でも簡単に精度よい図化が可能となる。また、図面化せずとも、ステレオ画像や正射投影画像からいつでも計測対象物1の再現、図化が可能
20 となる為、ステレオ画像や正射投影画像の状態で保存しても大変利用価値が高い。

2. 第2の実施の形態

図17は本発明の第2の実施の形態を説明する構成ブロック図である。第1の実施の形態と比較すると、ステレオ撮影方向制御部12とステレオ画像記憶部15を有している点で相違する。ステレオ撮影方向制御部12は、ステレオ撮影ユニット90により計測対象物1を撮影する方向としての角度 θ を、計測対象物1
25 の主要な周面のステレオ画像が得られるように、相対位置変更部4により少なくとも3方向移動させる構成としている。そこで、多量の計測対象物1を計測する作業が、ステレオ撮影方向制御部12により効率化される。ステレオ撮影方向制御部12としては、例えばPLC(プログラマブル・ロジック・コントローラ)に

シーケンスプログラムを登録して回転駆動部 41 とステレオ撮影ユニット 90 を連動して制御させるとよい。

ステレオ画像記憶部 15 は、ステレオ撮影ユニット 90 により撮影された一組の計測対象物 1 のステレオ画像を記憶するもので、好ましくは撮影角度 θ と共に記憶すると良い。さらに、ステレオ画像記憶部 15 には、正射投影画像に変換された計測対象物 1 の画像も、ステレオ画像と共に記憶させると良い。

3. 第 3 の実施の形態

図 18 は本発明の第 3 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。第 1 の実施の形態と比較すると、対象物をステレオ撮影する機能を、一台の撮像装置 10 とステレオ撮影制御部 9 を用いて実現している。ステレオ撮影制御部 9 は、撮像装置 10 により計測対象物 1 を撮影する方向を、相対位置変更部 4 としての撮像装置連結棒 46 を回転制御して、左撮影方向と右撮影方向を一組とするステレオ撮影方向に制御する。撮像装置連結棒 46 は、テーブル 2 と撮像装置 10 との間隔 d を一定値に保持すると共に、回転駆動部 41 にて撮像装置 10 の位置を回転角度差 $\Delta \theta$ 離れた位置に移動させる。回転角度差 $\Delta \theta$ 離れた位置における撮像装置 10 の間隔は基線長 l (エル) となり、左撮影方向と右撮影方向に相当している。ここでは、モノラル画像記憶部 16 において、撮像装置 10 で撮影された計測対象物 1 の画像を撮影角度 θ と共に記憶すると良い。ステレオ撮影制御部 9 における一組の撮影方向と、モノラル画像記憶部 16 に記憶された所定の撮影方向の画像を 2 枚組合せることで、ステレオ画像生成部 6 による処理を可能としている。

なお、第 3 の実施の形態の場合、各ステレオペアが収束撮影、即ちそれぞれの撮影画像が対象物と直角になっているため平行にならない。そこで、左右それぞれの画像について見える範囲や縮尺が、第 1 及び第 2 の実施の形態に用いられるステレオ撮影ユニット 90 と比較して、安定性に乏しい。そこで、計測対象物 1 の形状が複雑な場合には、計測精度が安定しなかったり、自動計測（ステレオマッチング）がうまく行かない蓋然性が、第 1 及び第 2 の実施の形態に用いられるステレオ撮影ユニット 90 と比較して、高くなる。

4. 第 4 の実施の形態

図 19 は本発明の第 4 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。第 3 の実施の形態と比較すると、主要周面撮影方向制御部 13 とステレオ画像記憶部 15 を有している点で相違する。主要周面撮影方向制御部 13 は、ステレオ撮影制御部 9 により対象物 1 をステレオ撮影する方向を、対象物 1 の主要な周面のステレオ画像が得られるように、ステレオ撮影制御部 9 により少なくとも 3 方向移動させるものである。ここで、3 方向移動とは、左撮影方向と右撮影方向を一組とするステレオ撮影方向が 3 方向であることを言う。そこで、多量の計測対象物 1 を計測する作業が、主要周面撮影方向制御部 13 により効率化される。主要周面撮影方向制御部 13 としては、例えば PLC にシーケンスプログラムを登録して回転駆動部 41、ステレオ撮影制御部 9、撮像装置 10 を連動して制御させるとよい。

ステレオ画像記憶部 15 は、モノラル画像記憶部 16 に記憶された画像を、ステレオ撮影制御部 9 により撮影された一組の計測対象物 1 のステレオ画像として記憶するもので、好ましくは撮影角度 θ と共に記憶すると良い。さらに、正射投影画像に変換された計測対象物 1 の画像も、共に記憶すると良い。

なお、上記の実施の形態においては、埋蔵文化財のように計測対象物 1 を全周からみた画像が必要な場合を例に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば人体や機械構造物のように正面と左右の側面の表面形状を正確に測定する必要があるが、背面に付いては大略が判れば良いという用途では、必要とされる範囲のステレオ画像の得られる撮影角度 θ を適宜複数選択すればよい。

5. 第 5 の実施の形態

図 20 は本発明の第 5 の実施の形態を説明する要部斜視図で、(A) は校正用被写体 11、(B) は測定対象物 1 をステレオ撮影する状態を示してある。図において、測定対象物 1 は遺跡埋蔵物、人体、車両、機械構造物等の表面形状や模様を非接触で三次元的に測定する対象物である。校正用被写体 11 は、予め立体的な相対的な位置関係が定められている基準点としての基準点マークを有するもので、例えば図 3 にて説明したものをを用いる。テーブル 2 は測定対象物 1 と校正用被写体 11 を択一的に設置する台で、ステージでもよい。

ステレオ撮影部 3 はテーブル 2 に置かれた測定対象物 1 又は校正用被写体 11

をステレオ撮影するもので、各ステレオ撮影方向毎に例えば4組のステレオ撮影ユニットを有している。各ステレオ撮影ユニットは、CCD(Charge-coupled Devices)、デジタルカメラ、写真フィルム式カメラ等の2台の撮像装置3R、3Lが、例えば撮像装置取付体としての棒体（図示せず）に間隔1にて取付けられている。2台の撮像装置3R、3Lの光軸は、測定対象物1に対して大略平行になるように調整されており、また測定対象物1との距離dも大略同じ距離とする
5 と良い。さらに、精度よく求めたい場合は、ステレオ撮影ユニットとしてカメラキャリブレーションを行った撮像装置3R、3Lを使用する。ここで、カメラキャリブレーションとは、カメラの焦点距離、主点位置、歪曲収差を精度よく求めることをいう。
10

図21は本発明の第5の実施の形態を説明する要部構成ブロック図で、ステレオ撮影部でステレオ撮影した画像の信号処理機能を説明している。ステレオ撮影パラメータ記憶部5は、ステレオ撮影部3が測定対象物1をステレオ撮影する複数の方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するものである。なお、撮影パラメータとは、ステレオ撮影ユニットで撮影された画像であって、右撮影方向と
15 左撮影方向の一組のステレオ撮影された画像を偏位修正して、立体視できるように調整するためのパラメータを言い、図20に示すような各ステレオ撮影方向毎にステレオ撮影ユニットを有するステレオ撮影部3については、各ステレオ撮影ユニットの基線長、撮影位置、傾きが相当する。

ステレオ画像生成部6は、ステレオ撮影パラメータの記憶された複数の方向から、ステレオ撮影部3により測定対象物1をステレオ撮影して、測定対象物1のステレオ画像を生成するもので、例えば画像演算処理を高速に行うプロセッサが使用される。表面形状演算処理部7は、測定対象物1のステレオ画像から測定対象物1の表面形状を測定するものである。表示／図化部8は、表面形状演算処理
25 部7で測定された測定対象物1の表面形状を表示するCRTや液晶等の表示装置や、紙面に図形を描くプロッタやプリンタ、並びに立体的な印象データを取得するデジタル図化機等が用いられる。校正用被写体11は、ステレオ画像に偏位修正する際に基準となる座標系を定めると共に、ステレオ撮影部3を構成する2台の撮像装置3R、3Lの位置、傾きを求めるために使用する。校正用被写体11

の大きさは測定対象物 1 より若干大きいのが望ましく、ステレオ画像に偏位修正する際の精度が良くなる。

このように構成された装置における計測対象物 1 の表面形状測定を次に説明する。図 20 並びに図 21 に示す構成の装置を用いた計測対象物の計測手順の全体
5 は、概ね前述の図 6 に示したフローチャートと同様である。ここでは、本実施の形態における特有の計測手順の細部について更に説明する。

まず、図 6 の S 1 に相当する座標系初期化を詳細に説明する。図 22 はステレオ撮影方向における初期化作業を説明するフローチャートである。まず、立体的に基準点が配置された校正用被写体 11 を測定対象物 1 の設置場所に置く (S 1
10 10)。次に、ステレオ撮影ユニットにより校正用被写体 11 を 2 以上の方向からステレオ撮影する (S 111)。続いて、この校正用被写体 11 のステレオ画像を用いて、初期化計測処理を各基準側面 111 ごとのステレオ画像につき行なう。従って、ステレオ撮影部 3 で撮影した左右の画像 2 枚をステレオペアの一組として処理を行なうことになる。まず、ステレオペアの画像 2 枚分について、基準点
15 マーク 113 であるターゲットの重心位置検出を行なう (S 112)。そして、ターゲット重心位置検出 (S 112)、対応付け (S 113)、標定計算 (S 114)、ステレオ撮影パラメータの算出 (S 115) については、図 8 の S 42、S 44、S 46、S 48 と同様である。

そして、求められたステレオ撮影パラメータを各基準側面 111 を表すステレオ撮影方向、若しくは各撮像装置 3R、3L の組において記憶する (S 115)。
20 これで座標系初期化 S 1 は終了である。これら処理は、各計測のたびごとに最初にやっても良いし、各座標系が経時変化による誤差を含まなければ、一度だけ行なっておけば良い。

次に図 6 の S 2 に相当する測定対象物 1 のステレオ撮影について説明する。図
25 23 は測定対象物をステレオ撮影する手続きを説明するフローチャートである。まず、測定対象物 1 をテーブル 2 に載せる (S 120)。続いて、ステレオ撮影パラメータの記憶された 2 以上の撮影方向から、ステレオ撮影ユニットにより測定対象物 1 をステレオ撮影する (S 121)。測定対象物 1 に対するステレオ画像が全ての撮影方向にて終了したら、表面形状演算処理部 7 により計測処理を行なう

(S 1 2 2)。この計測処理は、ステレオ撮影パラメータを用いて、ステレオ撮影された画像を測定対象物 1 のステレオ画像として生成するもので、実際の測定対象物 1 のステレオ画像を偏位修正処理し、立体視可能な偏位修正画像に再構成するものである。なお偏位修正画像に再構成する処理は、ステレオカメラが平行に縦視差がないように取付けてあり、かつ経時変化がなければ必要ない。しかしながら、偏位修正画像に再構成する処理を行えば、厳密にステレオカメラを設置する必要はなく、経時変化を気にする必要なくなるという利点がある。

図 2 3 に戻り、測定対象物 1 の各撮影方向において、測定対象物 1 の輪郭や特徴点を計測する (S 1 2 3)。測定対象物 1 の輪郭や特徴点を計測することは、表示／図化部 8 のステレオ画像の表示画像を見ながら、マウス等で左右画像の対応点を指示することで行なう。S 1 2 3 の計測処理は、各画像のステレオ撮影パラメータより、測定対象物に平行な偏位修正画像が作成できているので、左右画像の対応点を指定するだけで、ステレオ法の原理からその位置の三次元座標が求まる。

15 なお、S 1 2 3 にて測定対象物 1 の輪郭を指定することにより、S 1 2 4 にて自動計測を行う場合における自動計測範囲が設定される。従って特徴点は計測しなくとも、次の自動測定のために概略の輪郭（自動測定範囲）を各画像につき指定するだけでも良い。また、自動測定範囲は、対象物までの距離情報や特徴点抽出処理等の画像処理を利用して自動設定することも可能である。さらに、S 1 2 3 にて測定対象物 1 の特徴点を計測した場合、これらデータは自動計測の初期値としても利用される。

20 続いて、自動計測（ステレオマッチング）を行なう (S 1 2 4)。ステレオマッチング処理には、正規化相関処理を用いたエリアベースのマッチングを利用する。また、S 1 2 3 で特徴点を計測してあれば、それら情報も利用する。これにより対象物表面の密な三次元座標を取得することが可能となる。

25 なお、測定面全面の三次元計測は必要なく、特徴点の計測だけ必要なときは、次の S 1 2 4 の処理は行わずとも、ここで計測されたデータのみを使用すればよい。但し、S 1 2 4 の処理を行わない場合には、後で表示／図化部 8 により画像を図化した場合に、図化された画像は S 1 2 4 の処理を行う場合に比較して正確

性に乏しくなる。

6. 第6の実施の形態

- 図24は第6の実施の形態を説明する要部斜視図、図25は第6の実施の形態を説明する要部構成ブロック図である。第5の実施の形態と比較すると、各ステレオ撮影方向毎にステレオ撮影ユニットを有するステレオ撮影部3に代えて、撮像装置群20とステレオ撮影領域抽出部21が設けられている。撮像装置群20は、測定対象物1を予め定められた撮影方向から撮影する8台の撮像装置10A、10B、…、10Hを有する。撮像装置10A～10Hは、北方向Nのような基準方位に対して、各撮像装置10A～10Hは、撮影方向 $\theta A \sim \theta H$ を有し、測定対象物1又は校正用被写体11との距離も $d A \sim d H$ の位置に設置される。隣接する各撮像装置10A～10Hは、それぞれの固有の光軸が測定対象物1又は校正用被写体11の方向を向いている点で、ステレオ撮影ユニットを構成する2台の撮像装置3R、3L（図20参照）が測定対象物1に対して大略平行になるように調整されている第5の実施の形態と相違している。
- ステレオ撮影領域抽出部21は、撮像装置群20の撮像装置により撮影された測定対象物1の画像のうち、2台の撮像装置の撮影した測定対象物1の画像の重複撮影領域を抽出する。重複撮影領域が、ステレオ撮影として有効な画像となる為である。ステレオ撮影パラメータ記憶部5は、ステレオ撮影領域抽出部21により重複撮影領域の抽出された2台の撮像装置の撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを、撮像装置群20に含まれる2以上の2台組の撮像装置に関して記憶する。

- このように構成された装置における校正用被写体11並びに測定対象物1の表面形状測定を次に説明する。図26は第6の実施の形態における初期化作業を説明するフローチャートである。まず、立体的に基準点が配置された校正用被写体11を測定対象物1の設置場所に置く（S130）。次に、3台以上の撮像装置としての撮像装置群20の撮像装置10A、10B、…、10Hにより、校正用被写体11を撮影する（S131）。そして、ステレオ撮影の対象となる撮像装置の組を決定する（S132）。通常は、校正用被写体11の画像の重複撮影領域の多い隣接する撮像装置をステレオ撮像装置の組とする。次に、ステレオ撮像装置の

組を構成する2台の撮像装置の撮影した校正用被写体11の画像について、ステレオ撮影領域抽出部21により重複撮影領域を抽出する(S133)。

- ターゲット重心位置検出(S134)、対応付け(S135)、標定計算(S136)、ステレオ撮影パラメータの算出(S137)については、図8のS42、S44、S46、S48と同様である。算出されたステレオ撮影パラメータは、
5 ステレオ撮影パラメータ記憶部5に記憶しておく(S137)。そして、他のステレオ撮像装置の組を構成する2台の撮像装置が存在するか判断し(S138)、存在していればS133に戻り、終了していれば校正用被写体11の測定を終了する。

- 10 図27は、第6の実施の形態における測定対象物のステレオ撮影作業のフローチャートである。まず、測定対象物1のテーブル2のような設置場所に置く(S140)。次に、設置場所に置かれた測定対象物1を撮像装置群20の撮像装置10A、10B、…、10Hにより撮影する(S141)。そして、図26のS132の結果を参照して、ステレオ撮像装置の組を構成する撮像装置の組を抽出する
15 (S142)。ステレオ撮像装置の組を構成する2台の撮像装置が撮影した測定対象物1の画像について、ステレオ撮影領域抽出部21により重複撮影領域を抽出する(S143)。そして、ステレオ撮影パラメータ記憶部5に記憶されたステレオ撮像装置の組のステレオ撮影パラメータを用いて、S143で抽出された重複撮影領域を測定対象物1のステレオ画像として生成する(S144)。

- 20 偏位修正画像作成(S144)、測定対象物の輪郭、特徴点計測(S145)、自動計測(S146)については、図23のS122～S124と同様である。測定対象物の輪郭、特徴点計測(S145)、並びに自動計測(S146)が、測定対象物1のステレオ画像から測定対象物1の表面形状を測定する工程に相当している。そして、他のステレオ撮像装置の組を構成する2台の撮像装置が存在す
25 るか判断し(S147)、存在していればS143に戻り、終了していれば測定対象物1の測定を終了する。

7. 第7の実施の形態

図28は、本発明の第7の実施の形態を説明する要部構成図である。図28に示すように、ステレオ撮影ユニット90は、右側撮像装置9Rと左側撮像装置9

Lとによって構成されるもので、測定対象物1を第1の撮影方向から直接ステレオ撮影している。また、光路変更部22としてのミラー22R、22Lを経由した光路によって第2の撮影方向を生成して、ステレオ撮影ユニット90は第2の撮影方向から測定対象物1をステレオ撮影している。

- 5 図29は、ステレオ撮影ユニットの各撮像装置に写る測定対象物の説明図である。図29に示すように、右側撮像装置9R又は左側撮像装置9Lには、一つは測定対象物1の実像、もう一つはミラー22R、22Lによる他の角度からの測定対象物1の画像が撮像される。測定対象物1の実像は、測定対象物1を第1の撮影方向から直接ステレオ撮影したものである。測定対象物1のミラー像は、測定対象物1を光路変更部22を用いて第2の撮影方向からステレオ撮影したものである。

- 図30は、本発明の第7の実施の形態を示す要部構成ブロック図である。ステレオ撮影ユニット90は、CCD、デジタルカメラ、写真フィルム式カメラ等の撮像装置を用いた一対の撮像装置9R、9Lを備えている。光路変更部22は、ステレオ撮影ユニット90により測定対象物1をステレオ撮影する方向を、第2の撮影方向からステレオ撮影するように、ステレオ撮影ユニット90と測定対象物1間の光路を変更するもので、例えば鏡が用いられる。対応被写体像抽出部25は、ステレオ撮影ユニット90がステレオ撮影した画像について、実像とミラー像を分離するもので、例えば像の大きさで第1の撮影方向と第2の撮影方向とを区別する。

- ステレオ撮影パラメータ記憶部5は、ステレオ撮影ユニット90が計測対象物1を撮影する複数の方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するもので、校正用被写体11を用いてステレオ撮影画像の右側撮影画像と左側撮影画像における実像同士、或いはミラー像同士でステレオペアとした画像に対して、ステレオ撮影パラメータを記憶する。この実施の形態では、実像とミラー像で撮影距離が異なり、縮尺その他のパラメータがステレオペアごとで異なったものとなるが、初期化設定（後述）における校正用被写体11に対して測定したステレオ撮影パラメータにより、すべて補正可能な状態となる。

ステレオ画像生成部6では、ステレオ撮影画像における右側撮影画像と左側撮

影画像における実像同士、或いはミラー像同士でステレオペアとした画像に対して、ステレオ撮影パラメータを用いて偏位修正画像を得るための処理を行う。ステレオ撮影画像では、測定対象物 1 に関して必要な精度或いは分解能を満足していればよい。即ち、測定対象物 1 を三次元計測する場合、測定対象物 1 に関して

5 求められた座標はすべて、校正用被写体 1 1 上の座標に変換されているので、撮影距離の相違は大きな影響を及ぼさない。但し、実像同士、或いはミラー像同士のステレオペアの倍率差は少ない方がよく、実像とミラー像の倍率差以内に設定する。他の構成要素については、既に説明したものと同様である。

このように構成された装置における校正用被写体 1 1 並びに測定対象物 1 の表面形状測定を次に説明する。図 3 1 は第 7 の実施の形態における初期化作業を説明するフローチャートである。まず、立体的に基準点が配置された校正用被写体 1 1 を測定対象物 1 の設置場所に置く (S 1 5 0)。次に、ステレオ撮影ユニット 9 0 を構成する撮像装置 9 R、9 L によって、校正用被写体 1 1 が撮影される方向を定める (S 1 5 1)。そして、ステレオ撮影ユニット 9 0 により校正用被写体

15 1 1 をステレオ撮影する (S 1 5 2)。

次に、対応被写体像抽出部 2 5 を用いて、ステレオ撮影された画像から校正用被写体 1 1 の実像 (第 1 の撮影方向) を抽出する (S 1 5 3)。例えば、類似した像であって形状に大小差のある 2 像がステレオ撮影画像に写っている場合には、対応被写体像抽出部 2 5 により大きい側の像を校正用被写体 1 1 の実像として取

20 扱う。ターゲット重心位置検出 (S 1 5 4)、対応付け (S 1 5 5)、標定計算 (S 1 5 6)、ステレオ撮影パラメータの算出 (S 1 5 7) については、図 8 の S 4 2、S 4 4、S 4 6、S 4 8 と同様である。続いて、対応被写体像抽出部 2 5 を用いて、ステレオ撮影された画像から校正用被写体 1 1 のミラー像 (第 2 の撮影方向) を抽出する (S 1 5 8)。例えば、類似した像であって形状に大小差のある 2 像が

25 ステレオ撮影画像に写っている場合には、対応被写体像抽出部 2 5 により小さい側の像を校正用被写体 1 1 のミラー像として取扱う。ターゲット重心位置検出 (S 1 5 9)、対応付け (S 1 6 0)、標定計算 (S 1 6 1)、ステレオ撮影パラメータの算出 (S 1 6 2) については、図 8 の S 4 2、S 4 4、S 4 6、S 4 8 と同様である。そして、他のステレオ撮影する撮影方向はあるか判断し (S 1 6 3)、Y

e s であれば S 1 5 1 に戻り、N o であれば校正用被写体 1 1 の測定を終了する。

図 3 2 は、第 7 の実施の形態における測定対象物のステレオ撮影作業のフローチャートである。まず、測定対象物 1 のテーブル 2 のような設置場所に置く (S 1 7 0)。次に、ステレオ撮影ユニット 9 0 を構成する撮像装置 9 R、9 L によって、設置場所に置かれた測定対象物 1 が撮影される方向を定める (S 1 7 1)。そして、ステレオ撮影ユニット 9 0 により測定対象物 1 をステレオ撮影する (S 1 7 2)。

次に、対応被写体像抽出部 2 5 を用いて、ステレオ撮影された画像から測定対象物 1 の実像 (第 1 の撮影方向) を抽出する (S 1 7 3)。偏位修正画像作成 (S 1 7 4)、測定対象物の輪郭、特徴点計測 (S 1 7 5)、自動計測 (S 1 7 6) については、図 2 3 の S 1 2 2 ~ S 1 2 4 と同様である。測定対象物の輪郭、特徴点計測 (S 1 7 5)、並びに自動計測 (S 1 7 6) が、測定対象物 1 のステレオ画像から測定対象物 1 の表面形状を測定する工程に相当している。続いて、対応被写体像抽出部 2 5 を用いて、ステレオ撮影された画像から測定対象物 1 のミラー像 (第 2 の撮影方向) を抽出する (S 1 7 7)。偏位修正画像作成 (S 1 7 8)、測定対象物の輪郭、特徴点計測 (S 1 7 9)、自動計測 (S 1 8 0) については、図 2 3 の S 1 2 2 ~ S 1 2 4 と同様である。そして、他のステレオ撮影する撮影方向はあるか判断し (S 1 8 1)、Y e s であれば S 1 7 1 に戻り、N o であれば測定対象物 1 の測定を終了する。

このような構成とすることで、測定対象物 1 の裏側を表側と同時にステレオ撮影していることになるので、実像又はミラー像の何れか一方のみを撮影する場合に比較して、測定対象物 1 の全周面を撮影する為に測定対象物 1 を回転させる回数を減らすことが可能となる。すなわち実像だけを撮影する場合に必要とされる回転回数に対して、半分の回数で良い。また、上記実施の形態においては、ステレオ撮影ユニット 9 0 を用いる場合を示したが、一台の撮像装置 1 0 とステレオ撮影制御部 2 4 によってステレオ撮影するようにしてもよい。

また、上記実施の形態においては、単一のステレオ撮影画像に実像とミラー像が同時に写しこまれている場合を例に説明したが、撮影枚数が増えても良い場合であって、ステレオ撮影画像に実像とミラー像の一方のみが写るようにして大き

な実像とミラー像が得たい用途も存在している。このような大きな実像とミラー像が得たい用途では、第1の撮影方向と第2の撮影方向との夫々に液晶シャッター等の遮光装置を挿入して、遮光装置を動作させてステレオ撮影画像を得るとよい。

- 5 なお、上記の実施の形態においては、埋蔵文化財のように測定対象物1を全周からみた画像が必要な場合を例に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば人体や機械構造物のように正面と左右の側面の表面形状を正確に測定する必要があるが、背面に付いては大略が判れば良いという用途では、必要とされる範囲のステレオ画像の得られる撮影方向を適宜複数選択すればよい。

10 8. 第8の実施の形態

- 図33は本発明の第8の実施の形態を説明する要部構成図で、測定対象物、校正用被写体、並びにステレオ撮影部の位置関係を示してある。図において、測定対象物1は遺跡埋蔵物、人体、車両、機械構造物等の表面形状や模様を非接触で三次元的に測定する対象物である。校正用被写体120は、予め立体的な相対的な位置関係が定められている基準点としての基準点マークを有するもので、詳細は後で図36を参照して説明する。テーブル2は測定対象物1と校正用被写体120を同時に設置する台で、ステージでもよい。

- ステレオ撮影部3はテーブル2に置かれた測定対象物1と校正用被写体120をステレオ撮影するもので、各ステレオ撮影方向毎にステレオ撮影ユニットを有している。各ステレオ撮影ユニットは、CCD(Charge-coupled Devices)、デジタルカメラ、写真フィルム式カメラ等の2台の撮像装置3R、3Lが、例えば撮像装置取付体としての棒体(図示せず)に間隔1にて取付けられている。

- 図34は本発明の第8の実施の形態を説明する要部構成ブロック図で、ステレオ撮影部でステレオ撮影した画像の信号処理機能を説明している。撮影パラメータ算出部50は、ステレオ撮影部3のステレオ撮影ユニットにてステレオ撮影された各ステレオ撮影方向の撮影画像データから校正用被写体120の基準点の像を抽出して、基準点の位置からステレオ撮影する方向毎の撮影パラメータを求めるものである。

表面形状測定部60は、撮影パラメータ算出部50で求めた撮影パラメータと、

撮影パラメータを求めた撮影画像データにおいて、校正用被写体 1 2 0 の基準点の像と共に撮影された測定対象物 1 の像位置から、測定対象物 1 の表面形状を求めるものである。図 3 5 は測定対象物と校正用被写体をステレオ撮影した一对の画像の説明図で、(A) は左撮影方向、(B) は右撮影方向を示している。図 3 5
5 に示すように、ステレオ撮影した左撮影方向と右撮影方向の一組のステレオ撮影された画像には、測定対象物と校正用被写体が同時に写っているので、校正用被写体 1 2 0 から求めた撮影パラメータは測定対象物 1 の画像にも適用できる。

表面形状測定部 6 0 における測定対象物 1 の表面形状測定は、航空写真測量等で使用されるステレオ画像による表面形状の凸凹測定の演算手法が用いられる。
10 表面形状測定部 6 0 では、測定対象物 1 の特徴点を抽出して、この特徴点の位置を求め、求められた特徴点の位置を基準に測定対象物 1 の全体的な表面形状を測定するとよい。表示／図化部 8 は、表面形状測定部 6 0 で測定された測定対象物 1 の表面形状を表示する C R T や液晶等の表示装置や、紙面に図形を描くプロッタやプリンタ、並びに立体的な印象データを取得するデジタル図化機等が用い
15 られる。なお、撮影パラメータ算出部 5 0、表面形状測定部 6 0、表示／図化部 8 はデジタル図化機あるいはパソコンの中に構成することもできる。

図 3 6 は撮影パラメータの算出に用いられる校正用被写体を説明する構成斜視図で、(A) は校正用被写体が断面矩形のフレーム体、(B) は断面六角形のフレーム体、(C) は断面矩形のフレーム体における他の態様、(D) は断面六角形の
20 フレーム体における他の態様を示してある。フレーム体としているのは、各撮影方向となる各側面方向から撮影、計測、図化する場合、校正用被写体 1 2 0 によって測定対象物 1 の表面がさえぎられずに写るようにするためである。校正用被写体 1 2 0 は、ステレオ画像に偏位修正する際に基準となる座標系を定めると共に、ステレオ撮影部 3 を構成する 2 台の撮像装置 3 R、3 L の位置、傾きを求め
25 るために使用する。校正用被写体 1 2 0 の大きさは測定対象物 1 より若干大きいのが望ましく、ステレオ画像に偏位修正する際の精度が良くなる。

図 3 6 (A) に示すように、断面矩形のフレーム体の場合は、校正用被写体 1 2 0 に 4 個の基準側面 1 2 1 が設けられている。各基準側面 1 2 1 には、フレームに沿って少なくとも 6 箇所に基準点マーク 1 2 3 が形成されている。一平面の

姿勢や座標を決定するには、少なくとも6箇所の既知点が必要なためである。基準点マーク123は、例えば黒地に白のマークや白地に黒のマーク、あるいはレトロレフラクティブ・ターゲットのように反射するマークで、基準点マーク123の印刷されたシールを各基準側面121に貼付してもよく、また各基準側面121に直接基準点マーク123を印刷してもよい。

図36(B)に示すように、断面六角形のフレーム体の場合は、校正用被写体120Bに6個の基準側面121Bが設けられている。各基準側面121Bには、少なくとも6箇所に基準点マーク123Bが形成されており、一平面の姿勢や座標を決定するのに必要な情報が確保してある。校正用被写体120での基準点マーク123の位置は、予め精密な機器により三次元座標系を用いて計測しておく。本実施の形態では、校正用被写体120の各基準側面121においてステレオ撮影を行なうため、基準側面121の数の分ステレオ撮影を行なうことになる。ステレオ撮影する方向は、各基準側面121をステレオ撮影部3によりステレオ撮影する方向で、概ね各基準側面121の法線方向と一致させるのがよい。

このように構成された装置における測定対象物1の表面形状測定を次に説明する。図37は図33及び図34の装置を用いた測定対象物の計測手順の全体を概括的に説明するフローチャートである。最初に、測定対象物1と校正用被写体120をテーブル2に置く(S201)。この置き場所は、校正用被写体120によって測定対象物1が影になるのを防止する適宜の場所とする。次に、作業者は、ステレオ撮影部3によって校正用被写体120の各基準側面121に対するステレオ撮影する(S202)。各基準側面121につきステレオ撮影を行うので、図36(A)に示す断面矩形のフレーム体の場合であれば、撮像装置3R、3Lによる撮影枚数はモノラル画像として総計8枚となる。また、図36(B)に示す断面六角形のフレーム体の場合であれば、撮像装置3R、3Lによる撮影枚数はモノラル画像として総計12枚となる。

次に、各ステレオ撮影方向にてステレオ撮影された画像に対して、校正用被写体120の基準点から求めた撮影パラメータを適用して、測定対象物1のステレオ画像に対して三次元計測処理を行う(S203)。そして、測定対象物1の三次元計測結果より画像成果物を作成する(S204)。三次元計測結果を図化する場

合、三次元計測により作成した測定対象物 1 の正射投影画像により図化を行なう (S 2 0 5)。もし図化しないのであれば、この S 2 0 5 を飛び越しても良い。そして、測定対象物 1 の三次元計測結果をデータとして出力する (S 2 0 6)。

- 次に、S 2 0 3 の三次元計測処理について、図 3 8 のフローチャートに従って
- 5 詳細に説明する。まず、撮影した画像すべてを撮影パラメータ算出部 5 0、表面形状測定部 6 0 に撮影画像データとして読み込ませる (S 2 1 0)。次に、読込んだ各撮影画像データと校正用被写体 1 2 0 の各基準側面 1 2 1 との対応付けを行う (S 2 2 0)。なお、単一の基準側面 1 2 1 の計測・図化の場合、S 2 2 0 の処理は必要ない。S 2 2 0 の処理を作業員の手作業で行う場合は、表示／図化部 8
- 10 に画像を表示させて手動にてステレオペアを決める。その際に、側面基準ターゲット 1 2 2 の形状や模様、あるいは色等の特徴が有用である。

- S 2 2 0 の処理は、画像処理にて自動で行うのに適している。すなわち、各基準側面 1 2 1 における側面基準ターゲット 1 2 2 を画像処理により識別させる。
- 例えば、各基準側面 1 2 1 における側面基準ターゲット 1 2 2 画像をテンプレート
- 15 ト画像として、画像相関処理によりどのマークかを識別させる。相関処理には、残差逐次検定法 (S S D A 法) や正規化相関法等を用いる。この場合は、正規化相関処理を用いればより確実にもとまる。また、側面基準ターゲット 1 2 2 の識別は画像相関法ではなく、特徴抽出によるものや、その他のパターン識別手法を用いても良い。

- 20 次に、各基準側面 1 2 1 におけるステレオペアを決定する (S 2 3 0)。この場合、作業者が表示／図化部 8 で表示確認を行いながら決定すると、機械的にパターン認識手法を適用する場合の過誤が排除できる。この場合、左右画像の識別は撮影時に左→右と撮影順番を決めておくとう簡単である。

- 続いて、単一の基準側面 1 2 1 におけるステレオペアの画像 2 枚分について、
- 25 側面基準ターゲット 1 2 2 や基準点マーク 1 2 3 の重心位置検出を行なう (S 2 4 0)。なお、側面基準ターゲット 1 2 2 や基準点マーク 1 2 3 は、単にターゲットとも呼ばれる。各基準点マーク位置は、例えば相関法により概略その位置を検出し、さらに正確に重心位置を算出する。最初から正確に位置検出を行ってもよいが、その場合演算処理に多大な時間を要する。そこで、概略位置検出のための

処理として、残差逐次検定法を用いるとよい。

- 次に、2枚の画像の重心位置検出された基準点マークと、あらかじめ座標を精密に計測してある基準点マークの対応づけを行なう（S 2 5 0）。例えば基準点マークが6点の場合は、その基準側面1 2 1上の6点のみ対応づけする。基準点マークの位置はあらかじめわかっているため、どの位置に撮影されているかは、あらかじめ予測可能となる。また、各基準点マークが他の基準点マークと異なっていれば、より対応付けが明確になる。次に標定計算を行い、校正用被写体1 2 0の座標系を基準として、撮影した各撮像装置3 R、3 Lの三次元位置、傾き、カメラ間距離（基線長：1）等の撮影パラメータを求める（S 2 6 0）。続いて、求められた撮影パラメータから、実際の測定対象物1のステレオ画像を偏位修正処理し、立体視可能な画像に再構成する（S 2 7 0）。
- 5
- 10

- 次に、測定対象物1の各測定面において、測定対象物1の輪郭、特徴点を計測する（S 2 8 0）。なお、測定対象物1の各測定面は、校正用被写体1 2 0の各基準側面1 2 1と密接に関連している。測定対象物1の輪郭や特徴点の計測は、表示／図化部8のステレオ画像の表示画像を見ながらマウス等で左右画像の対応点を指示することで行なう。S 2 8 0の計測処理は、各画像の撮影パラメータより、測定対象物1に平行な偏位修正画像が作成できているので、左右画像の対応点を指定するだけで、ステレオ法の原理からその位置の三次元座標が求まる。
- 15

- なお、次のS 2 9 0にて自動計測を行う場合は、S 2 8 0にて測定対象物1の輪郭を指定することにより、自動計測範囲を設定することになる。従って特徴点は計測しなくとも、S 2 9 0の自動測定のために概略の輪郭（自動測定範囲）を各画像につき指定するだけでも良い。自動測定範囲は、測定対象物1までの距離情報や特徴点抽出処理等の画像処理を利用して自動設定することも可能である。特徴点を計測した場合、これらデータは自動計測の初期値としても利用される。
- 20
- 25
- また、測定面全面の三次元計測は必要なく、特徴点の計測だけ必要なときは、次のS 2 9 0の処理は行わずとも、S 2 8 0にて計測されたデータのみを使用すればよい。但し、S 2 9 0の処理を行わない場合、正確な画像成果品は作成できなくなる。

続いて、自動計測（ステレオマッチング）を行なう（S 2 9 0）。ステレオマッ

チング処理には、正規化相関処理を用いたエリアベースのマッチングを利用する。また、S 2 8 0で特徴点を計測してあれば、それら情報も利用する。これにより対象物表面の密な三次元座標を取得することが可能となる。そして、自動計測によって算出された対応点座標により、その位置の三次元座標が、前出の式(8)、

- 5 (9)、(10)により算出される。そして、測定対象物1の各測定面におけるステレオペアの処理がすべて終了したら終了する(S 1 0 0)。終了していなかったら、S 2 4 0～S 2 9 0までの処理を測定対象物1の各測定面のステレオペア画像について処理を施す。

- 10 これら計測された三次元座標によって、画像成果物作成が可能となる。画像成果物は、三次元座標値を元に作成されるため、三次元座標値が多ければ多いほど正確な画像成果品が作成できる。また、各測定面における座標系は校正用被写体11の座標系なので、そのまま測定対象物1の各測定面の画像を統合するだけで、測定対象物1を全周からみた画像が作成される。

9. 第9の実施の形態

- 15 図39は本発明の第9の実施の形態を説明する要部構成図で、測定対象物、校正用被写体、並びにステレオ撮影部の位置関係を示してある。第8の実施の形態では、ステレオ撮影部3は各ステレオ撮影方向毎にステレオ撮影ユニットを有しており、各2台の撮像装置3R、3Lはステレオ撮影ユニットとして組を形成している。これに対して、第9の実施の形態では、ステレオ撮影部3は独立して配
- 20 置された撮像装置10A、10B、…、10Hにて構成されている。校正用被写体120として断面矩形のフレーム体を用いているので、4方向のステレオ撮影方向が得られるように8台の撮像装置がステレオ撮影部3として配置されている。

- 各撮像装置10A、10B、…、10Hは、基準方位(例えば北極星の方位N)を基準に右回りに其々配置角 θA 、 θB 、…、 θH にて配置され、測定対象物1
- 25 との距離は其々 $d A$ 、 $d B$ 、…、 $d H$ にて配置されている。そして、各撮像装置10A、10B、…、10Hにより測定対象物1と校正用被写体120を同時に撮影すると共に、隣接する撮像装置10A、10B、…、10H相互での重複撮影領域をステレオ撮影された画像データとして、撮影パラメータ算出部50と表面形状測定部60にて取扱う構成とするとよい。

このように構成されたステレオ撮影部を用いても、図34のステレオ撮影部でステレオ撮影した画像の信号処理機能を用いて、第8の実施の形態と同様な処理過程にて同様な測定対象物1の表面形状が得られる。

10. 第10の実施の形態

- 5 図40は本発明の第10の実施の形態を説明する構成ブロック図である。第8の実施の形態では、ステレオ撮影部3として各ステレオ撮影方向にて測定対象物1と校正用被写体11Eを同時に撮影できる撮像装置3R、3Lを備えたステレオ撮影ユニットが複数組用意される場合を示している。第9の実施の形態では、ステレオ撮影部3として各撮影方向にて測定対象物1と校正用被写体120を同
- 10 時に撮影できる撮像装置10A、10B、…、10Hが用意される場合を示している。しかし、ステレオ撮影方向の数が多くなると、撮像装置を必要台数確保するのも設備的に困難となる。そして、少ない撮像装置にて、測定対象物1と校正用被写体120を各ステレオ撮影方向にて撮影する装置の需要も少なくない。第10の実施の形態では、一組のステレオ撮影ユニットにより各ステレオ撮影方向
- 15 での撮影を行う装置を示している。

- 図40において、テーブル2には測定対象物1と校正用被写体11Eが同時に設置される。相対位置変更部4は、テーブル2を α 方向に回転させる機構を有しており、モータのような回転駆動部41、回転駆動部41の駆動力によりテーブル2を回転させるテーブル回転軸42、ステレオ撮影部連結棒43を備えている。
- 20 ステレオ撮影部連結棒43は、テーブル2とステレオ撮影ユニット90との間隔dを一定値に保持すると共に、撮像装置取付体91に取付けられた2台の撮像装置9R、9Lがテーブル2方向を向く姿勢に保持している。なお、回転駆動部41はテーブル2を数度程度の精度で位置決めできる駆動力があれば良いので、作業者によって回転されるハンドルや取っ手でもよい。

- 25 ステレオ撮影ユニット90は、CCD(Charge-coupled Devices)、デジタルカメラ、写真フィルム式カメラ等の2台の撮像装置9R、9Lが、例えば撮像装置取付体としての棒体91に間隔1にて取付けられている。2台の撮像装置9R、9Lの光軸は、測定対象物1に対して大略平行になるように調整されている。ステレオ撮影ユニット90が測定対象物1を撮影する方向 θ は、テーブル回転軸4

2に設けられた回転角度センサの測定信号として撮影パラメータ算出部50と表面形状測定部60に送られたり、或いはステレオ撮影画像データに撮影角度情報として紐付けされる。

- 校正用被写体11Eとしては、図36に示す形態の校正用被写体120を用いても良く、或いは、基準点マークが基準側面に対して凸凹状に変位している三次元基準点マーク113E付きの立体型校正用被写体11Eを用いても良い。立体型校正用被写体11Eでは、単一の基準側面としての正面に、少なくとも6個の三次元基準点マーク113Eが設けられている。ステレオ撮影制御部17は、回転駆動部41により測定対象物1の載置されたテーブル2を回転させて、測定対象物1をステレオ撮影部3としてのステレオ撮影ユニット90により複数の方向から撮像させるもので、例えばPLC(プログラマブル・ロジック・コントローラ)に制御プログラムを搭載して構成する。

- 図41は第10の実施の形態における相対位置変更部の変形実施例を示す構成ブロック図である。相対位置変更部4は、ここでは回転駆動部41、テーブル2の支持軸44、並びにステレオ撮影部回転棒45を備えている。ステレオ撮影部回転棒45は、テーブル2とステレオ撮影ユニット90との間隔dを一定値に保持すると共に、撮像装置取付体91に取付けられた2台の撮像装置9R、9Lをテーブル2方向に保持している。ステレオ撮影制御部17は、回転駆動部41によりステレオ撮影部回転棒45をテーブル2の支持軸44を回転中心として、回転させることにより、ステレオ撮影ユニット90の撮影方向を移動させて、測定対象物1をステレオ撮影ユニット90により複数の方向から撮像させる

- このように構成された図40並びに図41の装置における測定手順について説明する。計測手順フローは、図37に示した測定対象物の計測手順の全体を概括的に説明するフローチャートと同様である。特にS202において、ステレオ撮影ユニット90によって測定対象物1の各測定面に対してステレオ撮影する際に、ステレオ撮影ユニット90の撮影方向が測定対象物1の各測定面に向くように、テーブル2又はステレオ撮影ユニット90を回転させる。テーブル2又はステレオ撮影ユニット90の回転角 θ は、測定対象物1の測定面数により角度を決め、手動もしくは自動で行う。他の処理は、第8の実施の形態と同様である。

また、三次元計測処理のフローチャートも、図38に示した三次元計測処理を説明するフローチャートと全く同様の処理となる。なお、S220とS230は、図38に示した処理でも良いが、回転駆動部41に角度検出機構を設けることにより、S220の各画像と測定面の対応を行う処理は、画像処理をせずとも回転角 θ によって測定面の対応を判定することが可能となる。また、S230のステレオペア決定において、測定対象物1の各測定面において撮影順番を例えば左→右画像、と決めておけば校正用被写体120に側面基準ターゲット122が設けられていなくとも処理可能である。但し、校正用被写体120に側面基準ターゲット122を設けておけば、基準側面121の認識が確実に行われる。

10 11. 第11の実施の形態

図42は、本発明の第11の実施の形態を説明する構成ブロック図である。第10の実施の形態においては、テーブル2の上に測定対象物1と校正用被写体11Eが同時に載置される場合を示しているが、測定対象物1を多様な撮影方向から撮影する場合には、測定対象物1が校正用被写体11Eの影になったり、或いは撮影方向を変更するたびに校正用被写体11Eの設置位置を変更する必要があった。

第11の実施の形態においては、相対位置変更部4として、回転駆動部41、テーブル回転軸42、並びにステレオ撮影部・校正体連結棒47を備えている。ステレオ撮影部・校正体連結棒47は、テーブル2とステレオ撮影ユニット90との間隔dを一定値に保持し、テーブル2と立体型校正用被写体11Eとの間隔d1を一定値に保持すると共に、撮像装置取付体91に取付けられた2台の撮像装置9R、9Lがテーブル2方向を向く姿勢に保持している。ステレオ撮影制御部17は、回転駆動部41により測定対象物1の載置されたテーブル2を回転させて、測定対象物1をステレオ撮影部3としてのステレオ撮影ユニット90により複数の方向から撮像させる。

このように構成された装置において、相対位置変更部4により測定対象物1を載せたテーブル2がどの方向に回転しても、ステレオ撮影ユニット90の撮影する画像には、測定対象物1の背景として立体型校正用被写体11Eの正面が常に写される。この場合、測定対象物1を撮影する方向が何れの場合であっても、立体

型校正用被写体 1 1 E の正面がステレオ撮影ユニット 9 0 の撮影する画像に撮影される。従って、立体型校正用被写体 1 1 E では、単一の基準側面について三次元基準点マーク 1 1 3 E が設けられているが、相対位置変更部 4 により測定対象物 1 を載せたテーブル 2 がどの方向に回転させると、三次元基準点マーク 1 1 3 E は、測定対象物 1 を仮想的に囲むようにして配置されたのと同様となる。

即ち、ステレオ撮影制御部 1 7 によりテーブル 2 を例えば 0° 、 90° 、 180° 、 270° と回転させて測定対象物 1 を 4 方向から撮影した場合、ステレオ撮影ユニット 9 0 の撮影した画像に写る立体型校正用被写体 1 1 E は、実質的に図 3 6 (A) に示すような校正用被写体 1 2 0 として断面矩形のフレーム体を載せて撮影したのと同等になる。また、ステレオ撮影制御部 1 7 によりテーブル 2 を例えば 0° 、 60° 、 120° 、 180° 、 240° 、 300° と回転させて測定対象物 1 を 6 方向から撮影した場合、ステレオ撮影ユニット 9 0 の撮影した画像に写る立体型校正用被写体 1 1 E は、実質的に図 3 6 (B) に示すような校正用被写体 1 2 0 として断面六角形のフレーム体を載せて撮影したのと同等になる。

1 2. 第 1 2 の実施の形態

図 4 3 は、本発明の第 1 2 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。第 1 2 の実施の形態では、第 1 1 の実施の形態におけるステレオ撮影ユニット 9 0 の機能を、単眼の撮像装置 1 0 とステレオ単方向制御部 1 8 を用いて実現している。ステレオ単方向制御部 1 8 は、相対位置変更部 4 の回転駆動部 4 1 によりテーブル 2 を回転させて、測定対象物 1 と撮像装置 1 0 の位置関係を移動させて、撮像装置 1 0 により第 1 の撮影方向と第 2 の撮影方向とを用いてステレオ撮影を行うように制御する。ステレオ撮影制御部 1 7 は、ステレオ単方向制御部 1 8 によりステレオ撮影を行うように撮像装置 1 0 の撮影方向を制御して、測定対象物 1 を撮像装置 1 0 により複数の方向からステレオ撮像させる。

図 4 4 は第 1 0 乃至第 1 2 の実施の形態に用いられる校正用被写体の他の例を示す平面図である。第 1 0 乃至第 1 2 の実施の形態に用いられる立体型校正用被写体 1 1 E としては、単一の基準側面方向が計測可能であれば充分なので、屏風型校正用被写体 1 1 F としてもよい。屏風型校正用被写体 1 1 F は、中央の基準

側面 1 1 1 F と、この基準側面 1 1 1 F の左右に設けられた傾斜側面 1 1 1 H を有している。基準側面 1 1 1 F には、基準点マーク 1 1 3 F が 6 個配置されている。左右の傾斜側面 1 1 1 H には、それぞれ基準点マーク 1 1 3 H が 3 個配置されている。基準点マーク 1 1 3 F を基準とすると、基準点マーク 1 1 3 H は 3 次元状に突き出した形状となっている。

図 4 5 は屏風型校正用被写体を用いた測定対象物の画像を説明する図である。ステレオ撮影ユニット 9 0 が撮影する撮影画像データには、測定対象物 1 と屏風型校正用被写体 1 1 F が同時に写っている。屏風型校正用被写体 1 1 F は段差のある基準点マーク 1 1 3 F と基準点マーク 1 1 3 H を有しているので、測定対象物 1 の正面形状ばかりでなく、側面形状も計測可能となる。

図 4 6 は第 1 1 又は第 1 2 の実施の形態における屏風型校正用被写体の等価フレーム体を説明する斜視図である。第 1 1 又は第 1 2 の実施の形態において、立体型校正用被写体 1 1 E に代えて屏風型校正用被写体 1 1 F をテーブル 2 に置く。そして、テーブル 2 を例えば 0° 、 90° 、 180° 、 270° と回転させて測定対象物 1 を 4 方向から撮影した場合、ステレオ撮影ユニット 9 0 又は撮像装置 1 0 の撮影した画像に写る屏風型校正用被写体 1 1 F は、実質的に図 4 6 に示すような校正用被写体 1 1 G として断面星形のフレーム体を載せて撮影したのと同等になる。

第 9 乃至第 1 2 の実施の形態においては、複数の方向からステレオ撮影する場合を説明したが、単一の方向からステレオ撮影しても良い。例えば、測定対象物 1 として土砂運搬車のような粒体積載量を測定するアプリケーションに適用することができる。土砂運搬車においては過積載が行われる場合が少なくないが、過積載の土砂運搬車に対して高架道路での走行を許可すると、高架道路の寿命に対して深刻な影響を与える。そこで、土砂運搬車の積載している土砂の容量を測定する用途がある。

1 3. 第 1 3 の実施の形態

図 4 7 は本発明の第 1 3 の実施の形態を説明する構成ブロック図である。ステレオ撮影ユニット 9 0 が、測定対象物 1 としての土砂運搬車の上側に設置されている。このステレオ撮影ユニット 9 0 は、紙面方向に複数組設けられて、複数方

向からステレオ撮影が行われる。なお、ステレオ撮影ユニット90は、紙面方向以外に複数組設けられて、ステレオ撮影しても差し支えない。他方、三次元基準点マーク113Eが地表に少なくとも6点設置されている。三次元基準点マーク113Eの集合体が、校正用被写体となる。ここでは、土砂運搬車が走行しやすいように、三次元基準点マーク113Eは右側と左側に区分して、右側と左側にそれぞれ3箇所設けられている。

このように構成された装置においては、土砂運搬車を右側と左側の三次元基準点マーク113Eの間を走らせ、ステレオ撮影ユニット90にてステレオ撮影する。そして、ステレオ撮影された画像を撮影パラメータ算出部50と表面形状測定部60にて処理すれば、土砂運搬車に積載された土砂の表面形状が測定できる。そこで、測定された土砂の表面形状を、土砂運搬車について適宜の手法で積分すれば、土砂運搬車に積載された土量が測定できる。

なお、第8乃至第12の実施の形態においては、埋蔵文化財のように測定対象物1を全周からみた画像が必要な場合を例に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば人体や機械構造物のように正面と左右の側面の表面形状を正確に測定する必要があるが、背面に付いては大略が判れば良いという用途では、必要とされる範囲のステレオ画像の得られる撮影角度 θ を適宜複数選択すればよい。

また第10、第11、第13の実施の形態においては、ステレオ撮影ユニット90を用いて測定対象物1と校正用被写体11Eを右撮影方向と左撮影方向から同時に撮影する場合を示しているが、第12の実施の形態のようにステレオ撮影ユニット90に代えて単眼の撮像装置10を用いて、測定対象物1と校正用被写体11Eを右撮影方向と左撮影方向から逐次撮影して、ステレオ撮影してもよい。

25 産業上の利用の可能性

1) 第1乃至第4の実施の形態で例示される発明の効果

以上説明したように、本発明の表面形状測定装置によれば、対象物をステレオ撮影するステレオ撮影ユニットと、ステレオ撮影ユニットと対象物との位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部と、ステレオ撮影ユニットが対象物を撮影

- する複数の方向におけるステレオ撮影パラメータを予め記憶しておき、ステレオ撮影パラメータの記憶された前記複数の方向から、ステレオ撮影ユニットにより対象物を撮影して、対象物のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部と、対象物のステレオ画像から対象物の表面形状を測定する表面形状演算処理部とを備える構成としているので、ステレオ撮影ユニットと対象物の位置決めを厳格に行わなくても、正確な測定値が得られる。即ち、回転台に対象物を置いて計測する場合、通常は回転中心に厳密に設置しなければいけなかったり、回転中心を厳密に求める必要があるが、そのような作業は一切必要とせず、ただステレオ撮影パラメータを用いて正確な対象物の表面形状の測定が行える。
- 5
- 10 また、ステレオ撮影パラメータは、立体的に基準点が配置された校正用被写体を対象物の設置場所に置き、前記相対位置変更部により前記ステレオ撮影ユニットが校正用被写体を撮影する方向にセットし、前記ステレオ撮影ユニットにより校正用被写体を撮影し、撮影された校正用被写体のステレオ画像からステレオ撮影パラメータを算出する構成とすると、校正用被写体による座標系で統一されて
- 15 対象物のステレオ画像が得られ、対象物の全周画像又は主要な周面の画像が各撮影角度での画像を統合するだけで簡単に作成できる。
- さらに、対象物の正射投影画像を作成する構成とすると、正射投影画像を用いて対象物の表面形状が再現可能となり、画像情報としてデータベースを構築する場合の価値もあがり、大変利用価値が高いものとなる。
- 20 2) 第5乃至第7の実施の形態で例示される発明の効果
- 本発明の表面形状測定装置によれば、測定対象物をステレオ撮影するステレオ撮影ユニットを複数有するステレオ撮影部と、前記ステレオ撮影ユニットが前記測定対象物をステレオ撮影する複数の方向毎のステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部と、前記ステレオ撮影パラメータの記憶された前記複数の方向から、前記ステレオ撮影部により前記測定対象物を撮影して、前記測定対象物のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部と、前記測定対象物のステレオ画像から前記測定対象物の表面形状を測定する表面形状測定部とを備える構成としているので、ステレオ撮影部と測定対象物の位置決めを厳格に行わなくても、正確な測定値が得られる。また、ステレオ撮影部は2以上のステレオ撮影ユニット
- 25

から構成されているので、測定対象物の周面を広範囲に撮影する場合にも、測定対象物を回転させたりステレオ撮影ユニットを移動させたりする回数を減少させたり、不要とすることができ、撮影が迅速に行える。

- さらに、対象物の正射投影画像を生成する正射投影画像生成部を備える構成とすると、正射投影画像を用いて対象物の表面形状が再現可能となり、画像情報としてデータベースを構築する場合の価値もあがり、大変利用価値が高いものとなる。

3) 第8乃至第13の実施の形態で例示される発明の効果

- 本発明の表面形状測定装置によれば、測定対象物と、測定対象物の近傍に配置される校正用被写体であって、あらかじめ立体的な相対位置関係が定められている基準点を有する校正用被写体とを、複数の方向からステレオ撮影するステレオ撮影部と、ステレオ撮影部にてステレオ撮影された撮影画像データから校正用被写体の基準点の像を抽出して、前記基準点の位置からステレオ撮影する方向毎の撮影パラメータを求める撮影パラメータ演算部と、撮影パラメータと、基準点の像が抽出された撮影画像データにおける測定対象物の像位置から、測定対象物の表面形状を求める表面形状測定部とを備えているので、測定対象物とステレオ撮影部との位置決めは厳密に行われていなくても、正確な表面形状測定を行うことができる。

- さらに、測定対象物の正射投影画像を作成する構成とすると、正射投影画像を用いて測定対象物の表面形状が再現可能となり、画像情報としてデータベースを構築する場合の価値もあがり、大変利用価値が高いものとなる。

請 求 の 範 囲

1. 対象物をステレオ撮影するステレオ撮影ユニットと；
前記ステレオ撮影ユニットと前記対象物との位置関係を相対的に移動させる相
- 5 対位置変更部と；
前記ステレオ撮影ユニットが前記対象物を撮影する複数の方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部と；
前記ステレオ撮影パラメータの記憶された前記複数の方向から、前記ステレオ撮影ユニットにより前記対象物を撮影して、前記対象物のステレオ画像を生成す
- 10 るステレオ画像生成部と；
前記対象物のステレオ画像から前記対象物の表面形状を測定する表面形状測定部とを備える；
表面形状測定装置。
2. 前記相対位置変更部は、前記ステレオ撮影ユニットの位置を変位させ、又は
- 15 前記対象物の位置を変位させるステージを有することを特徴とする請求項1に記載の表面形状測定装置。
3. 前記相対位置変更部は、前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記複数の方向と同一となる相対変位を、前記ステレオ撮影ユニットにより前記対象物を、撮影する際に行うように構成されている請求項1に記載の表面形状測定装置。
- 20 4. 前記ステレオ撮影パラメータは、前記撮影する方向における前記ステレオ撮影ユニットの基線長、撮影位置、傾きの少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項1に記載の表面形状測定装置。
5. 前記ステレオ撮影ユニットは、撮像装置取付体に所定間隔を隔てて平行に取りつけられた少なくとも2台の撮像装置を有することを特徴とする請求項1に記載の表面形状測定装置。
- 25 6. 前記パラメータ記憶部は、立体的に基準点が配置された校正用被写体を前記対象物の設置場所に置き、前記相対位置変更部により前記ステレオ撮影ユニットが前記校正用被写体を撮影する方向にセットし、前記ステレオ撮影ユニットにより前記校正用被写体を撮影し、前記撮影された前記校正用被写体のステレオ画像

から算出されたステレオ撮影パラメータを記憶することを特徴とする請求項 1 に記載の表面形状測定装置。

7. 前記パラメータ記憶部は、予め記憶されている前記校正用被写体の基準点位置と、前記ステレオ撮影ユニットの撮影した前記校正用被写体の基準点のステレオ画像から算出された基準点位置とを対比して、算出された撮影パラメータを記憶することを特徴とする請求項 6 に記載の表面形状測定装置。

8. 対象物をステレオ撮影するステレオ撮影ユニットと；

前記ステレオ撮影ユニットと前記対象物との位置関係を相対的に移動させる相對位置変更部と；

- 10 前記ステレオ撮影ユニットにより前記対象物を撮影する方向を、前記対象物の主要な周面のステレオ画像が得られるように、前記相對位置変更部により少なくとも 3 方向移動させるステレオ撮影方向制御部と；

前記ステレオ撮影方向制御部によって定められる方向であって、前記ステレオ撮影ユニットが前記対象物を撮影する方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部と；

- 15 前記ステレオ撮影パラメータの記憶された撮影する方向から、前記ステレオ撮影ユニットにより前記対象物を撮影して、前記撮影方向における前記対象物のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部と；

前記対象物のステレオ画像を前記ステレオ撮影方向制御部によって定められる方向について合成して、前記対象物の主要な周面の表面形状を測定する表面形状測定部とを備える；

- 20 表面形状測定装置。

9. 請求項 1 乃至請求項 8 の何れか一つに記載の表面形状測定装置において；

- 25 さらに前記ステレオ撮影ユニットの撮影した前記対象物のステレオ画像から、前記対象物の正射投影画像を生成する正射投影画像生成部とを備える表面形状測定装置。

10. 対象物を撮影する撮像装置と；

前記撮像装置と前記対象物との位置関係を相対的に移動させる相對位置変更部と；

前記撮像装置により前記対象物を撮影する方向を、前記相対位置変更部により左撮影方向と右撮影方向を一組とするステレオ撮影方向に制御するステレオ撮影制御部と；

- 5 前記撮像装置が前記対象物を撮影する複数のステレオ撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部と；

前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記複数のステレオ撮影方向から、前記撮像装置により前記対象物を撮影して、前記対象物のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部と；

- 10 前記対象物のステレオ画像から前記対象物の表面形状を測定する表面形状測定部とを備える；

表面形状測定装置。

- 1 1. 前記相対位置変更部は、前記撮像装置の位置を変位させ、又は前記対象物の位置を変位させるステージを有する請求項 10 に記載の表面形状測定装置。
- 1 2. 前記相対位置変更部は、前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記複
15 数のステレオ撮影方向と同一となる相対変位を、前記撮像装置により前記対象物を撮影する際に行うように構成された請求項 10 に記載の表面形状測定装置。
- 1 3. 前記パラメータ記憶部は、立体的に基準点が配置された校正用被写体を前記対象物の設置場所に置き、前記相対位置変更部により前記撮像装置が校正用被写体を左撮影方向又は右撮影方向にセットし、前記撮像装置により前記校正用被
20 写体を撮影し、左撮影方向及び右撮影方向における前記撮影された前記校正用被写体のステレオ画像から前記撮像装置のステレオ撮影パラメータを算出して、前記算出されたステレオ撮影パラメータを記憶するように構成された請求項 10 に記載の表面形状測定装置。
- 1 4. 前記パラメータ記憶部は、予め記憶されている校正用被写体の基準点位置
25 と、前記撮像装置の撮影した左撮影方向及び右撮影方向における前記校正用被写体の基準点のステレオ画像から算出された基準点位置とを対比して、算出されたステレオ撮影パラメータを記憶するように構成された請求項 10 に記載の表面形状測定装置。
- 1 5. 前記ステレオ撮影パラメータは、前記左撮影方向と右撮影方向における前

記撮像装置の撮影場所間の基線長、前記撮像装置の撮影位置、前記撮像装置の傾きの少なくとも一つを含む請求項 10 に記載の表面形状測定装置。

16. 対象物を撮影する撮像装置と；

5 前記撮像装置と前記対象物との位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部と；

前記撮像装置により前記対象物を撮影する方向を、前記相対位置変更部により左撮影方向と右撮影方向を一組とするステレオ撮影方向に制御するステレオ撮影制御部と；

10 前記ステレオ撮影制御部により前記対象物をステレオ撮影する方向を、前記対象物の主要な周面のステレオ画像が得られるように、前記ステレオ撮影制御部により少なくとも 3 方向移動させる主要周面撮影方向制御部と；

前記撮像装置が前記対象物を撮影するステレオ撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部と；

15 前記主要周面撮影方向制御部によって定められる方向であって、前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記ステレオ撮影方向から、前記撮像装置により前記対象物を撮影して、前記対象物のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部と；

20 前記対象物のステレオ画像を前記主要周面撮影方向制御部によって定められる方向について合成して、前記対象物の主要な周面の表面形状を測定する表面形状測定部とを備える；

表面形状測定装置。

17. 請求項 10 乃至請求項 16 の何れか 1 つに記載の表面形状測定装置において；

25 さらに前記ステレオ撮影制御部と前記撮像装置により撮影した前記対象物のステレオ画像から、前記対象物の正射投影画像を生成する正射投影画像生成部とを備える表面形状測定装置。

18. 立体的に基準点が配置された校正用被写体を対象物の設置場所に置くと共に、ステレオ撮影ユニットにより前記校正用被写体を撮影する所定の方向にセットし；

前記ステレオ撮影ユニットにより前記校正用被写体を撮影し；

前記撮影された前記校正用被写体のステレオ画像からステレオ撮影パラメータを算出し；

前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記所定の方

5 撮影ユニットにより前記対象物を撮影し；

前記撮影された画像を前記ステレオ撮影パラメータを用いて前記対象物のステレオ画像として生成し；

前記対象物のステレオ画像から前記対象物の表面形状を測定する；

工程を有する表面形状測定方法。

10 1 9．立体的に基準点が配置された校正用被写体を対象物の設置場所に置き；

撮像装置により前記校正用被写体を撮影する方向を、前記撮像装置のステレオ撮影方向となる左撮影方向と右撮影方向に逐次セットして、前記撮像装置により前記校正用被写体を前記左撮影方向と右撮影方向から逐次撮影し；

15 前記撮影された前記校正用被写体のステレオ画像からステレオ撮影パラメータを算出し；

前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記ステレオ撮影方向から、前記撮像装置により前記対象物を撮影し；

前記撮影された画像を前記ステレオ撮影パラメータを用いて前記対象物のステレオ画像として生成し；

20 前記対象物のステレオ画像から前記対象物の表面形状を測定する；

工程を有する表面形状測定方法。

2 0．測定対象物をステレオ撮影するステレオ撮影ユニットを複数有するステレオ撮影部と；

25 前記ステレオ撮影ユニットが前記測定対象物をステレオ撮影する複数の方向毎のステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部と；

前記ステレオ撮影パラメータの記憶された前記複数の方向から、前記ステレオ撮影部により前記測定対象物を撮影して、前記測定対象物のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部と；

前記測定対象物のステレオ画像から前記測定対象物の表面形状を測定する表面

形状測定部とを備える；

表面形状測定装置。

- 2 1．前記パラメータ記憶部は、立体的に基準点が配置された校正用被写体を前記測定対象物の設置場所に置き、前記ステレオ撮影部により前記校正用被写体を撮影し、前記撮影された前記校正用被写体のステレオ画像から前記各ステレオ撮影ユニットの撮影方向のステレオ撮影パラメータを算出して、前記算出されたステレオ撮影パラメータを記憶することを特徴とする請求項 2 0 に記載の表面形状測定装置。

- 2 2．前記パラメータ記憶部は、予め記憶されている前記校正用被写体の基準点位置と、前記ステレオ撮影部の撮影した前記校正用被写体の基準点のステレオ画像から算出された基準点位置とを対比して、前記ステレオ撮影パラメータとして算出された値を記憶することを特徴とする請求項 2 1 に記載の表面形状測定装置。

2 3．測定対象物を予め定められた撮影方向から撮影する 3 台以上の撮像装置を有する撮像装置群と；

- 15 前記撮像装置群の撮像装置により撮影された前記測定対象物の画像のうち、2 台の撮像装置の撮影した前記測定対象物の画像の重複撮影領域を抽出するステレオ撮影領域抽出部と；

- 前記ステレオ撮影領域抽出部により重複撮影領域の抽出された 2 台の撮像装置の撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを、前記撮像装置群に含まれる 2 以上の 2 台組の撮像装置に関して記憶するパラメータ記憶部と；

前記ステレオ撮影パラメータの算出された前記 2 以上の 2 台組の撮像装置の撮影方向から、前記撮像装置により前記測定対象物を撮影して、前記測定対象物のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部と；

- 25 前記測定対象物のステレオ画像から前記測定対象物の表面形状を測定する表面形状測定部とを備える；

表面形状測定装置。

2 4．右側撮像装置と左側撮像装置とによって測定対象物を第 1 の撮影方向からステレオ撮影するステレオ撮影ユニットと；

前記ステレオ撮影ユニットと前記測定対象物間の光路を変更させる光路変更部

であって、前記測定対象物を第 2 の撮影方向からステレオ撮影させる前記光路変更部と；

前記ステレオ撮影ユニットが前記測定対象物をステレオ撮影する前記第 1 及び第 2 の撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを記憶するパラメータ記憶部
5 と；

前記ステレオ撮影パラメータの記憶された前記第 1 及び第 2 の撮影方向から、前記ステレオ撮影ユニットにより前記測定対象物をステレオ撮影して、前記測定対象物のステレオ画像を生成するステレオ画像生成部と；

前記測定対象物のステレオ画像から前記測定対象物の表面形状を測定する表面
10 形状測定部とを備える；

表面形状測定装置。

2 5．前記光路変更部はミラーであり；

前記第 1 及び第 2 の撮影方向から前記ステレオ撮影ユニットにより撮影される像が、共通のステレオ画像に撮影されるように、前記光路変更部と前記測定対象
15 物が配置される；

請求項 2 4 に記載の表面形状測定装置。

2 6．前記表面形状測定部は、前記測定対象物のステレオ画像に撮影されている像の形状を用いて、前記第 1 の撮影方向又は第 2 の撮影方向を区別して、各撮影方向毎に前記測定対象物の表面形状を測定する；

20 請求項 2 4 又は請求項 2 5 に記載の表面形状測定装置。

2 7．請求項 2 0 乃至請求項 2 6 の何れか一つに記載の表面形状測定装置において；

さらに前記測定対象物のステレオ画像から、前記測定対象物の正射投影画像を生成する正射投影画像生成部とを備える表面形状測定装置。

25 2 8．測定対象物をステレオ撮影する 2 以上の方向数に適合するユニット数のステレオ撮影ユニットを設け；

立体的に基準点が配置された校正用被写体を前記測定対象物の設置場所に置き；

前記ステレオ撮影ユニットにより前記校正用被写体を 2 以上の方向からステレ

オ撮影し；

前記撮影された前記校正用被写体のステレオ画像から前記 2 以上の撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを算出し；

前記ステレオ撮影パラメータの記憶された前記 2 以上の撮影方向から、前記ス

- 5 テレオ撮影ユニットにより前記測定対象物をステレオ撮影し；

前記ステレオ撮影パラメータを用いて、前記撮影された画像を前記測定対象物のステレオ画像として生成し；

前記測定対象物のステレオ画像から前記測定対象物の表面形状を測定する；

工程を有する表面形状測定方法。

- 10 29．立体的に基準点が配置された校正用被写体を測定対象物の設置場所に置き；

予め定められた撮影方向から撮影する 3 台以上の撮像装置により前記校正用被写体を撮影し；

- 15 前記 3 台以上の撮像装置により撮影された前記校正用被写体の画像のうち、2 台の撮像装置の撮影した前記校正用被写体の画像の重複撮影領域を抽出して、ステレオ撮影パラメータを算出し；

前記設置場所に置かれた測定対象物を前記 3 台以上の撮像装置により撮影し；

前記 3 台以上の撮像装置により撮影された前記測定対象物の画像のうち、2 台の撮像装置の撮影した前記測定対象物の画像の重複撮影領域を抽出し；

- 20 前記ステレオ撮影パラメータを用いて、前記抽出された重複撮影領域を前記測定対象物のステレオ画像として生成し；

前記測定対象物のステレオ画像から前記測定対象物の表面形状を測定する；

工程を有する表面形状測定方法。

- 25 30．右側撮像装置と左側撮像装置とによって第 1 の撮影方向からステレオ撮影するステレオ撮影ユニットと、前記ステレオ撮影ユニットにより第 2 の撮影方向からステレオ撮影させる光路変更部とを備える表面形状測定装置を用いた表面形状測定方法であって；

立体的に基準点が配置された校正用被写体を前記測定対象物の設置場所に置き；

前記ステレオ撮影ユニットに対して前記校正用被写体を前記第 1 の撮影方向に向け、前記光路変更部により生成される前記第 2 の撮影方向の前記校正用被写体の像と共に、前記ステレオ撮影ユニットに前記校正用被写体をステレオ撮影させ；

- 5 前記ステレオ撮影ユニットにより前記校正用被写体がステレオ撮影される前記第 1 及び第 2 の撮影方向におけるステレオ撮影パラメータを算出し；

前記測定対象物を前記設置場所に置き；

- 10 前記ステレオ撮影ユニットに対して前記測定対象物を前記第 1 の撮影方向に向け、前記光路変更部により生成される前記第 2 の撮影方向の前記測定対象物の像と共に、前記ステレオ撮影ユニットに前記測定対象物をステレオ撮影させ；

前記ステレオ撮影パラメータを用いて、前記第 1 及び第 2 の撮影方向から撮影された画像を前記測定対象物のステレオ画像として生成し；

前記測定対象物のステレオ画像から前記測定対象物の表面形状を測定する；

工程を有する表面形状測定方法。

- 15 3 1. 測定対象物と、当該測定対象物の近傍に配置される校正用被写体であって、あらかじめ立体的な相対位置関係が定められている基準点を有する前記校正用被写体とを、複数の方向からステレオ撮影するステレオ撮影部と；

前記ステレオ撮影部にてステレオ撮影された撮影画像データから前記基準点の像を抽出して、前記基準点の位置からステレオ撮影する方向毎の撮影パラメータ

- 20 を求める撮影パラメータ算出部と；

前記撮影パラメータと、前記基準点の像が抽出された撮影画像データにおける前記測定対象物の像位置から、前記測定対象物の表面形状を求める表面形状算出部とを備える；

表面形状測定装置。

- 25 3 2. 前記ステレオ撮影部は、ステレオ撮影する方向毎にステレオ撮影ユニットを有する請求項 3 1 に記載の表面形状測定装置。

3 3. 前記ステレオ撮影部は、複数の単眼の撮像装置により前記測定対象物を撮影すると共に、隣接する撮像装置相互での重複撮影領域をステレオ撮影として取扱う請求項 3 1 に記載の表面形状測定装置。

34. 前記撮影パラメータは、前記ステレオ撮像部の基線長、撮影位置、傾きの少なくとも一つを含むことを特徴とする請求項31に記載の表面形状測定装置。

35. 請求項31乃至請求項34の何れかに記載の表面形状測定装置において；
さらに、前記ステレオ撮影部の撮影したステレオ画像又は前記測定対象物の像位置の少なくとも一方から、前記測定対象物の正射投影画像を形成する正射投影画像形成部を備える；

表面形状測定装置。

36. 請求項31乃至請求項35の何れかに記載の表面形状測定装置において；
さらに、前記測定対象物と前記ステレオ撮像部の位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部と；

前記相対位置変更部により前記測定対象物と前記ステレオ撮像部の少なくとも一方を移動させて、前記測定対象物を前記ステレオ撮影部により複数の方向から撮像させるステレオ撮影制御部とを備え；

前記ステレオ撮影制御部の制御する複数の方向からのステレオ画像を得て、前記測定対象物の表面形状を求める表面形状測定装置。

37. 測定対象物の近傍に、あらかじめ立体的な相対位置関係が定められている基準点が配置された校正用被写体を配置し；

前記測定対象物と前記校正用被写体の双方が撮影されるように、ステレオ撮影部により複数の方向からステレオ撮影を行い；

20 前記ステレオ撮影部にて撮影されたステレオ画像から前記基準点の像を抽出して、前記基準点の位置から撮影パラメータを求め；

前記撮影パラメータと、前記基準点の像が抽出されたステレオ画像における前記測定対象物の像位置から前記測定対象物の表面形状を測定する；

測定対象物の表面形状測定方法。

25 38. 測定対象物の表面形状を測定するためにコンピュータを；

前記測定対象物の近傍に配置される校正用被写体に設けられた基準点の配置位置を記憶する手段；

前記測定対象物と前記校正用被写体の双方が撮影されるように、ステレオ撮影部により複数の方向からステレオ撮影を行なわせる撮影方向制御手段；

前記ステレオ撮影部にて撮影されたステレオ画像から前記基準点の像を抽出して、前記基準点の位置から撮影パラメータを求める手段；

前記撮影パラメータと、前記基準点の像が抽出されたステレオ画像における前記測定対象物の像位置から前記測定対象物の表面形状を測定する手段；

5 として機能させるための測定対象物の表面形状測定プログラム。

39. 測定対象物と、当該測定対象物の背景近傍に配置される校正用被写体であって、あらかじめ立体的な相対位置関係が定められている基準点を有する前記校正用被写体とを、所定の方向からステレオ撮影するステレオ撮影ユニットと；

10 前記測定対象物と前記ステレオ撮影ユニットの位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部と；

前記相対位置変更部により前記測定対象物又は前記ステレオ撮影ユニットの少なくとも一方を移動させて、前記測定対象物を前記ステレオ撮影ユニットにより複数の方向から撮像させるステレオ撮影制御部と；

15 前記ステレオ撮影ユニットにてステレオ撮影された撮影画像データから前記基準点の像を抽出して、前記基準点の位置からステレオ撮影する方向毎の撮影パラメータを求める撮影パラメータ算出部と；

前記撮影パラメータと、前記基準点の像が抽出された撮影画像データにおける前記測定対象物の像位置から前記測定対象物の表面形状を求める表面形状算出部とを備える；

20 表面形状測定装置。

40. 前記校正用被写体は、前記ステレオ撮影ユニットによる前記複数の方向からのステレオ撮影が行われている間、前記ステレオ撮影ユニットとの相対的な位置関係が固定されている；

請求項39に記載の表面形状測定装置。

25 41. 測定対象物と、当該測定対象物の背景近傍に配置される校正用被写体であって、あらかじめ立体的な相対位置関係が定められている基準点を有する前記校正用被写体とを、撮影する単眼の撮像装置と；

前記測定対象物と前記撮像装置の位置関係を相対的に移動させる相対位置変更部と；

前記相対位置変更部により前記測定対象物と前記撮像装置の位置関係を移動させて、第1の撮影方向と第2の撮影方向とを用いて前記撮像装置によりステレオ撮影を行うように制御するステレオ単方向制御部と；

- 5 前記相対位置変更部により前記測定対象物又は前記撮像装置の少なくとも一方を移動させると共に、前記ステレオ単方向制御部によりステレオ撮影を行うように撮影方向を制御して、前記測定対象物を前記撮像装置により複数の方向からステレオ撮像させるステレオ撮影制御部と；

- 10 前記撮像装置にてステレオ撮影された撮影画像データから前記基準点の像を抽出して、前記基準点の位置からステレオ撮影する方向毎の撮影パラメータを求める撮影パラメータ算出部と；

前記撮影パラメータと、前記基準点の像が抽出された撮影画像データにおける前記測定対象物の像位置から前記測定対象物の表面形状を求める表面形状算出部とを備える；

表面形状測定装置。

- 15 42. 請求項1乃至請求項17、請求項20乃至請求項27、請求項31乃至請求項36、若しくは請求項39乃至請求項41の何れか一つに記載の表面形状測定装置によって測定された前記測定対象物のステレオ画像から、前記測定対象物の表面状態を図化する表面状態図化装置。

1/39

図 1

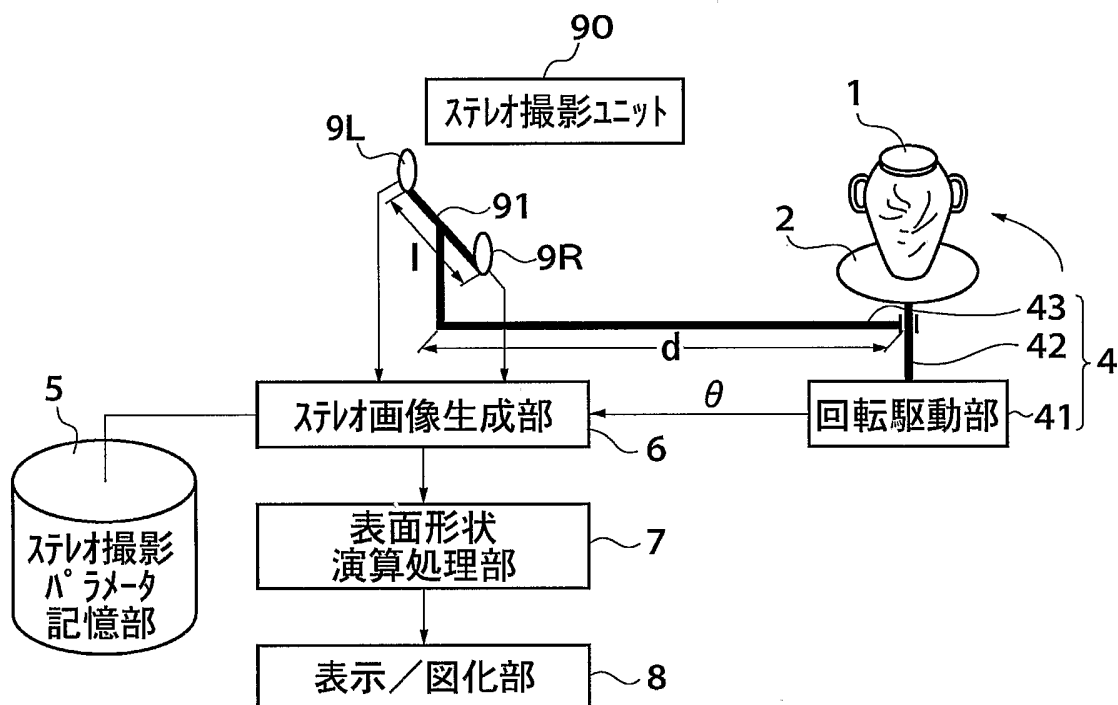
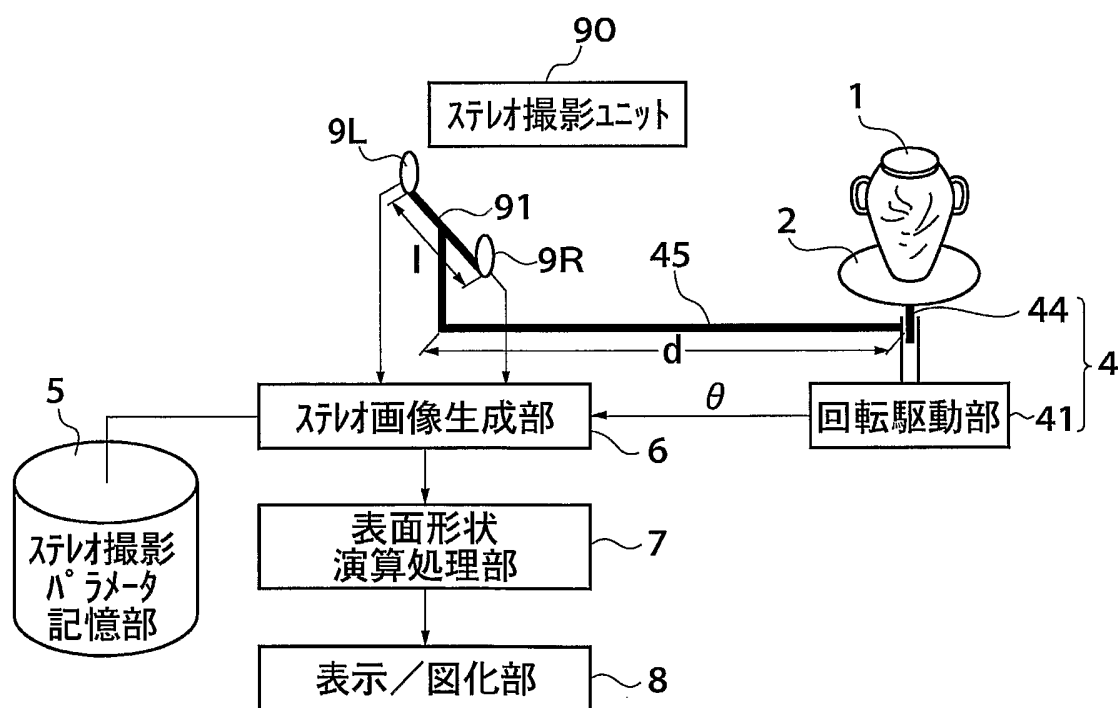


図 2



2/39

図 3

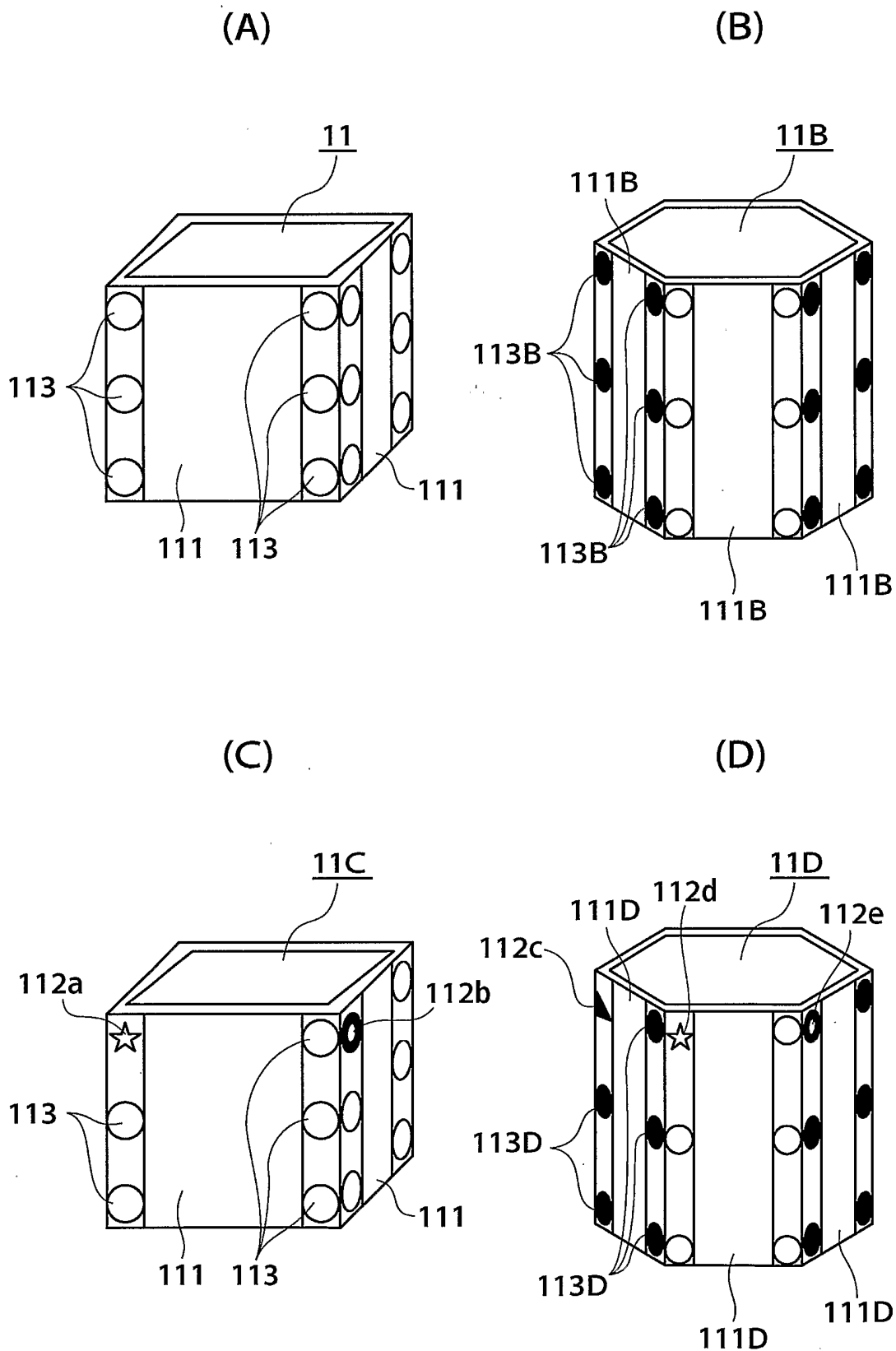
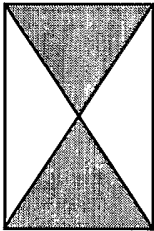


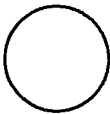
図 4

(A)

(A1)



(A2)

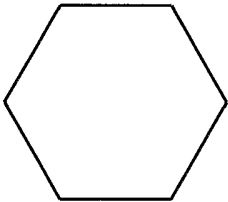


(A3)

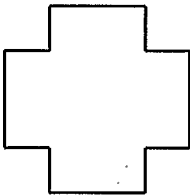


(B)

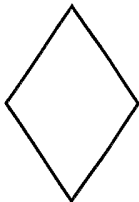
(B1)



(B2)



(B3)



(B4)

1

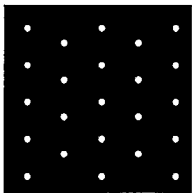
(B5)

2

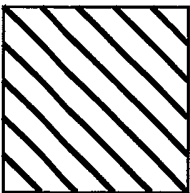
(B6)

3

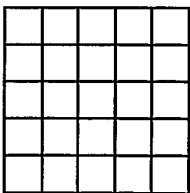
(B7)



(B8)

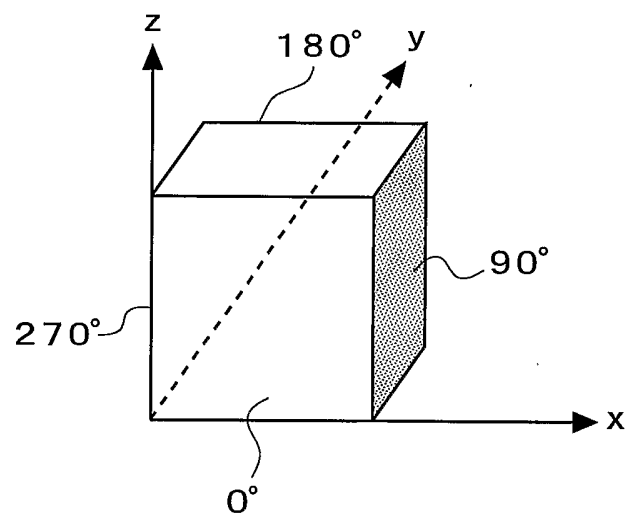


(B9)



4/39

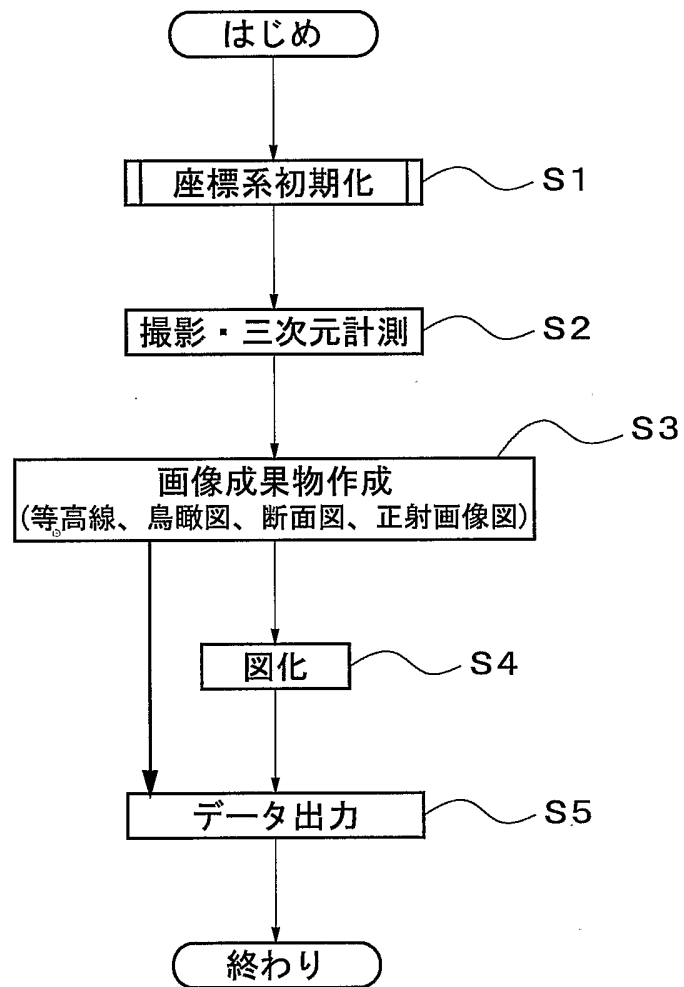
図 5



5/39

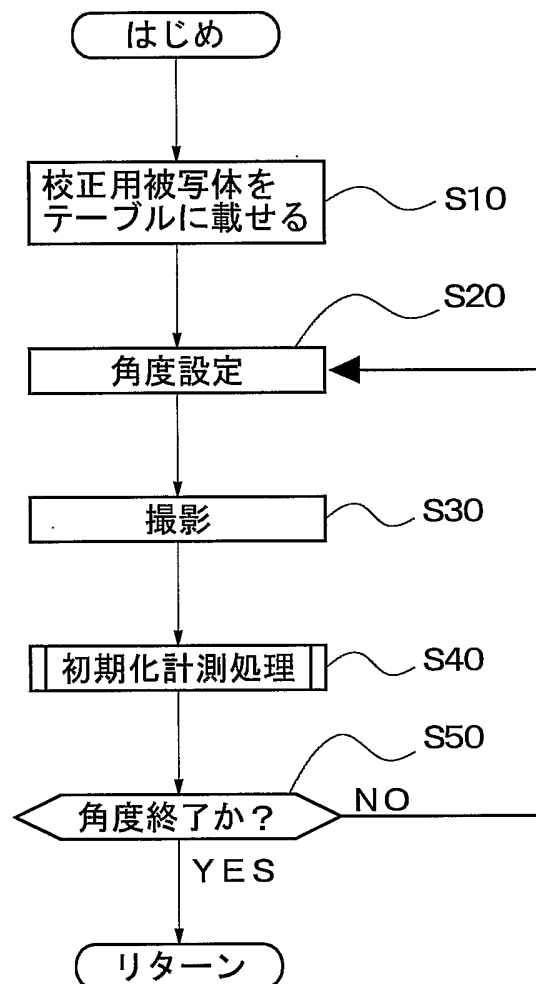
図 6

計測手順フロー



6/39

図 7



7/39

図 8

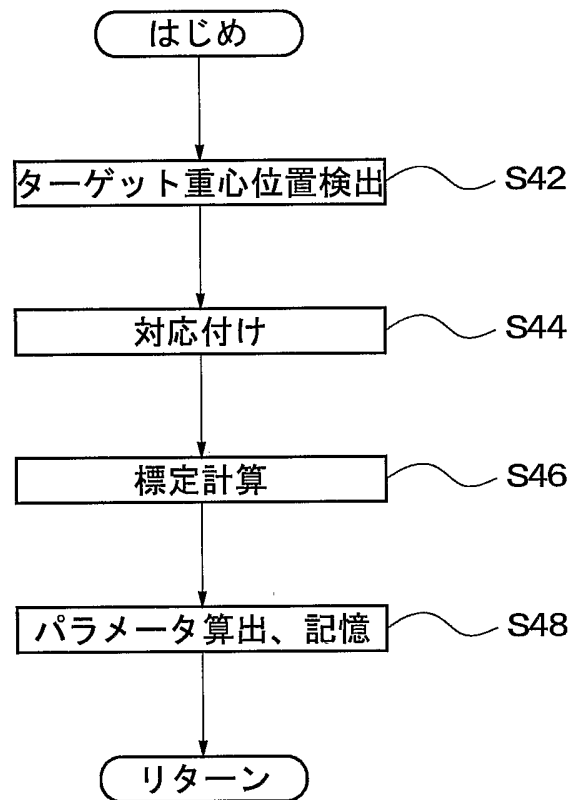


図 9

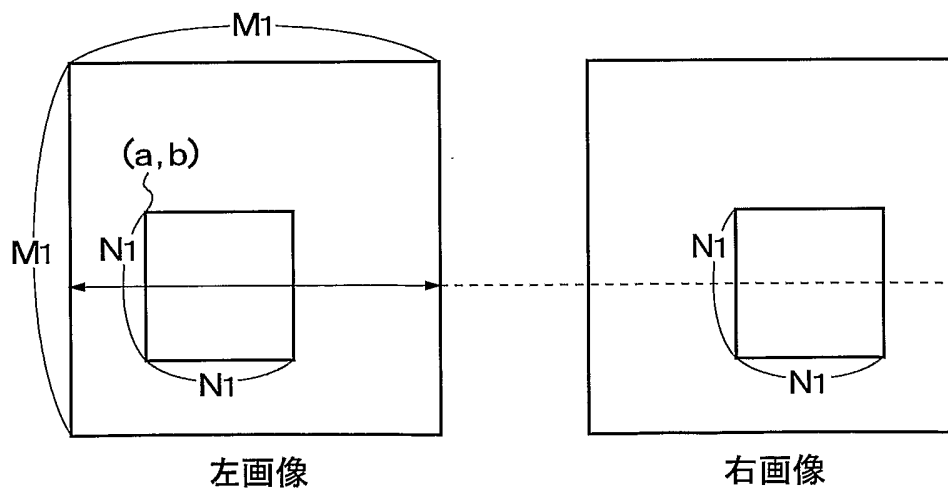
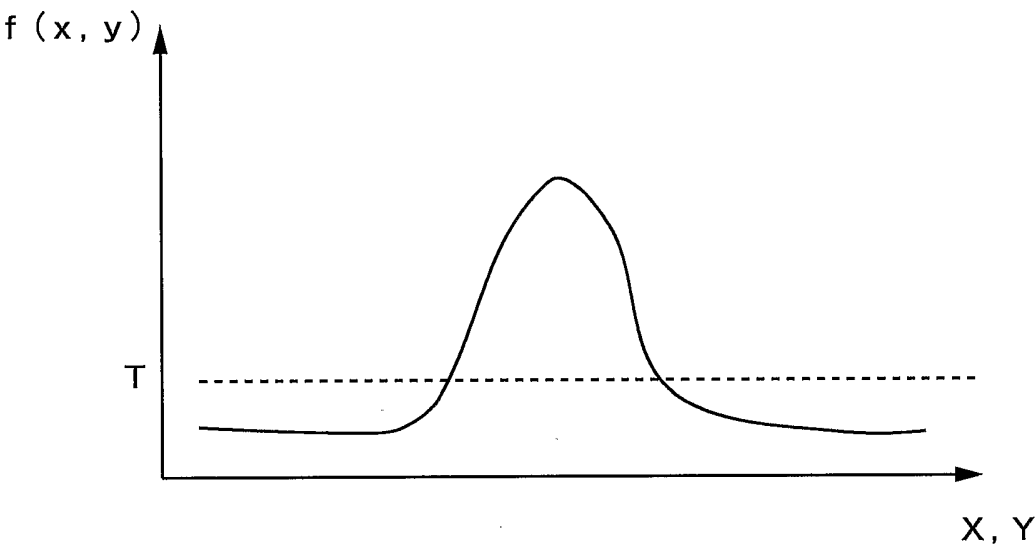
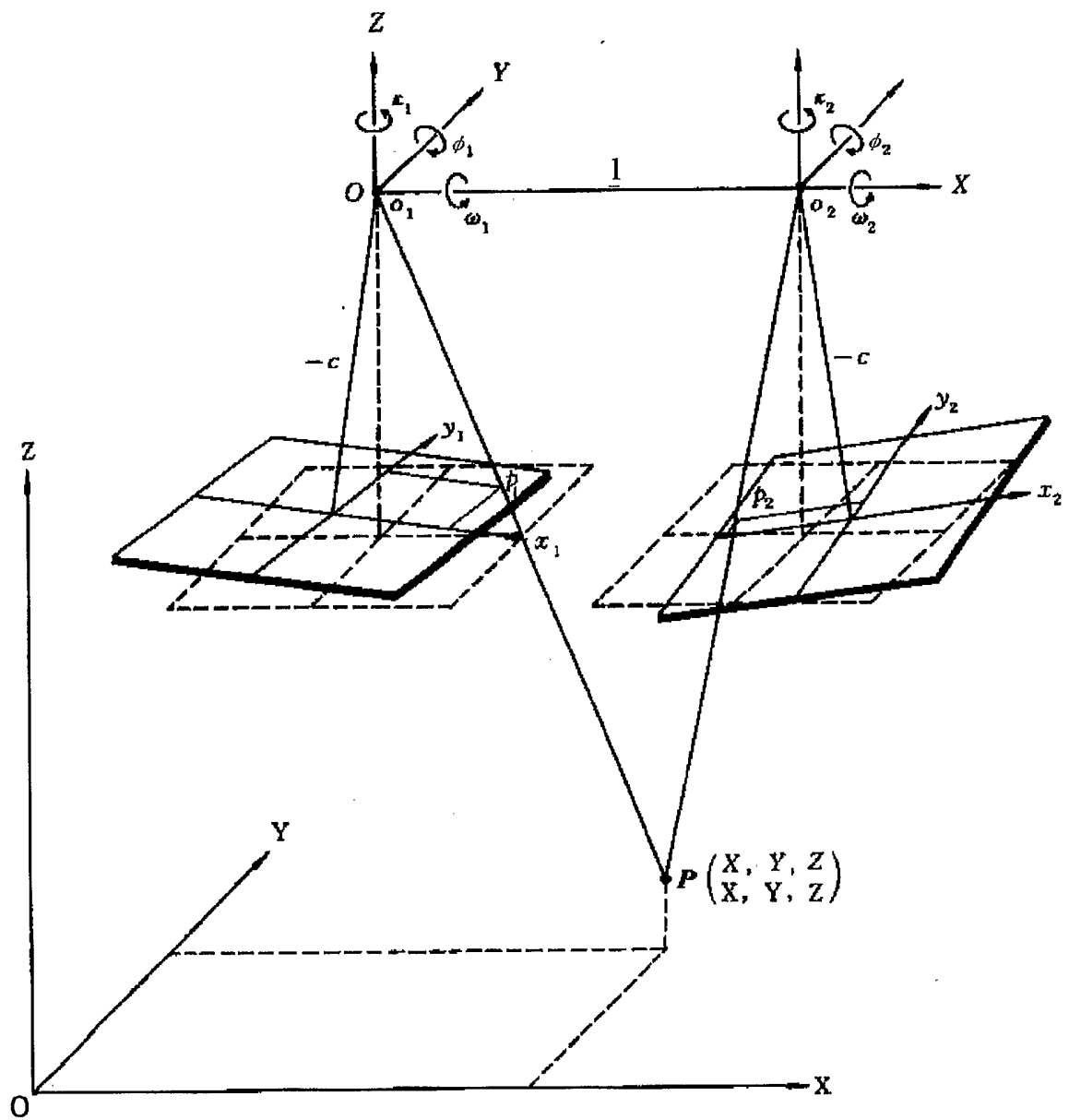


図 10



9/39

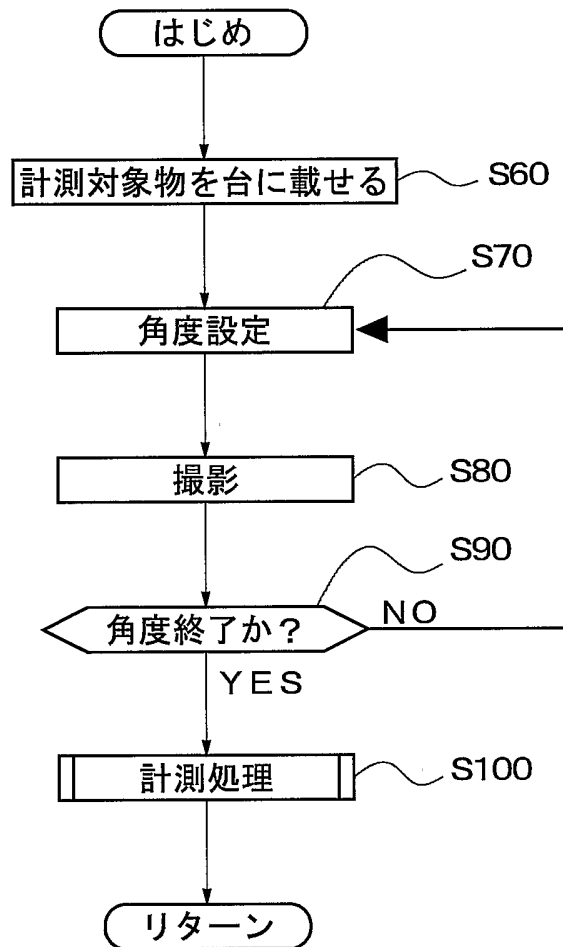
図 1 1



10/39

図 12

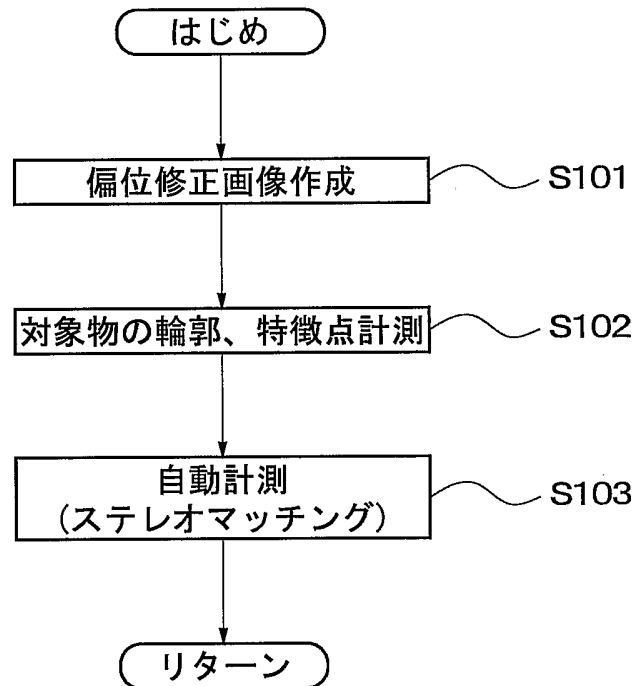
計測フロー



11/39

図 13

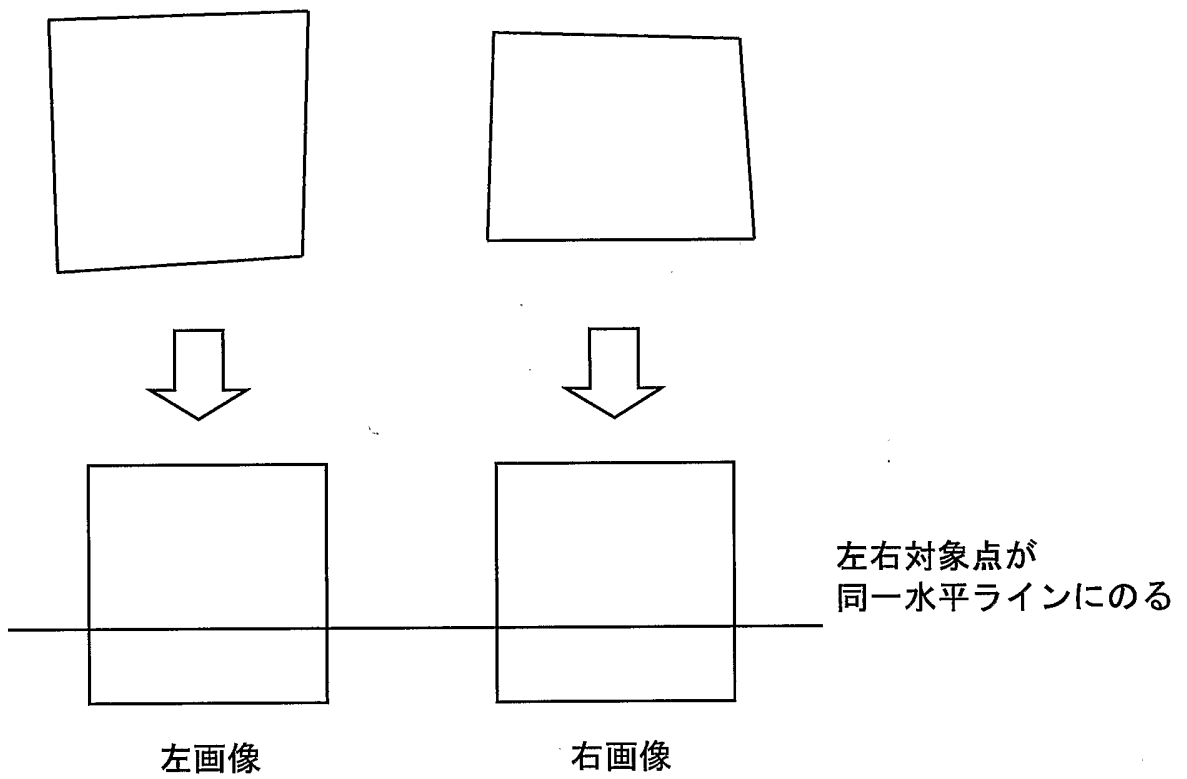
計測処理(各角度の画像につき処理する)



12/39

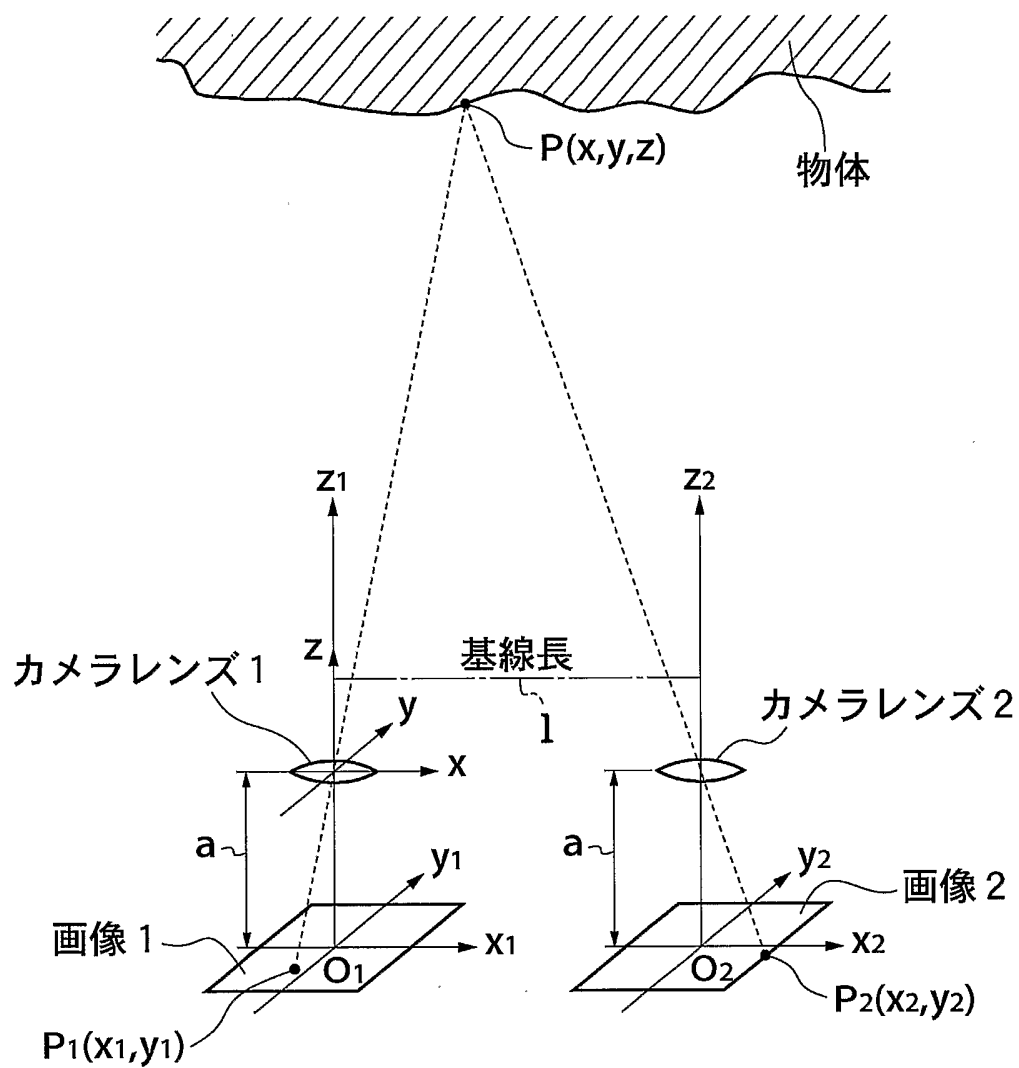
図 14

偏位修正処理



13/39

図 1 5



14/39

図 16

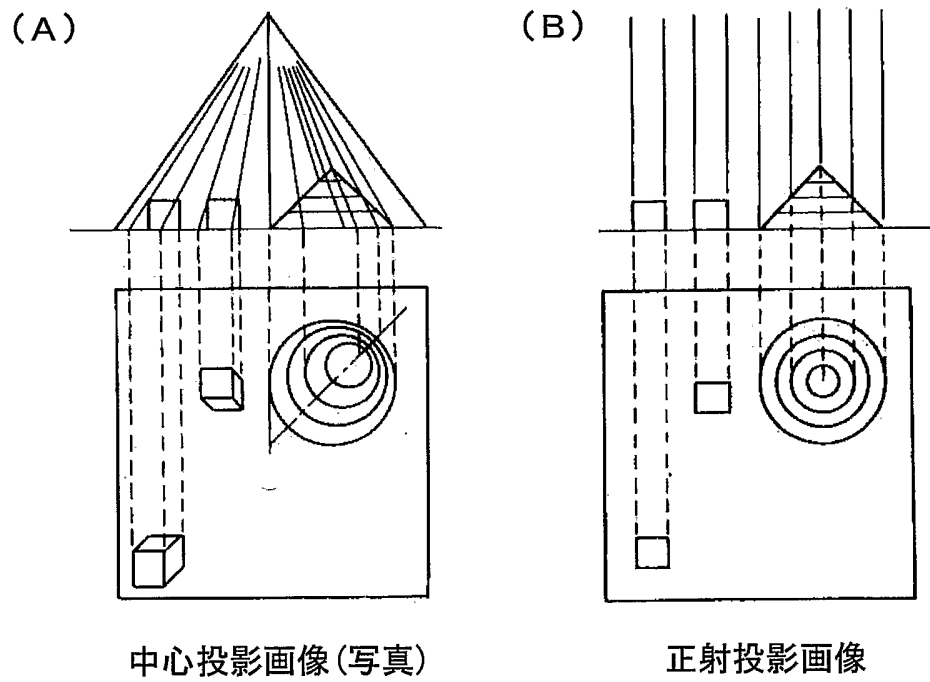


図 1 7

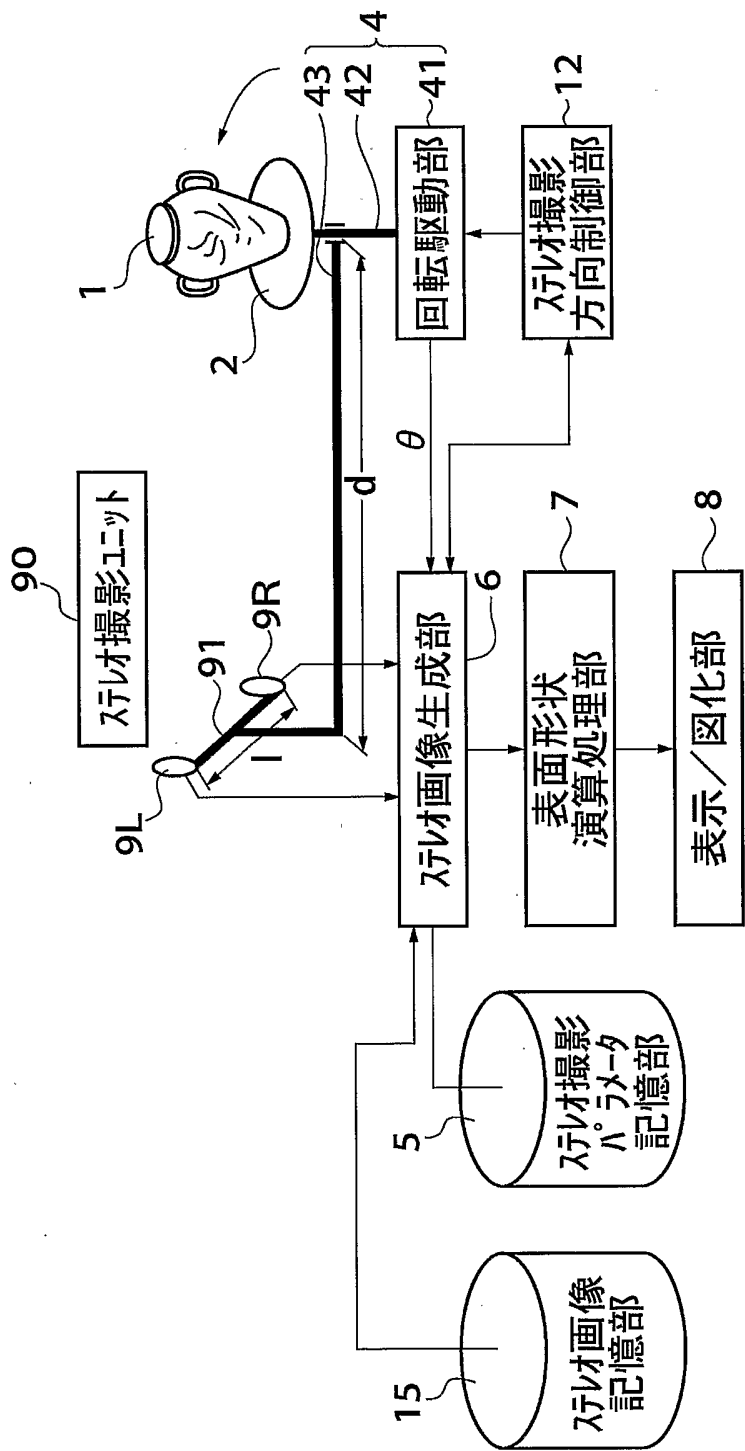


図 18

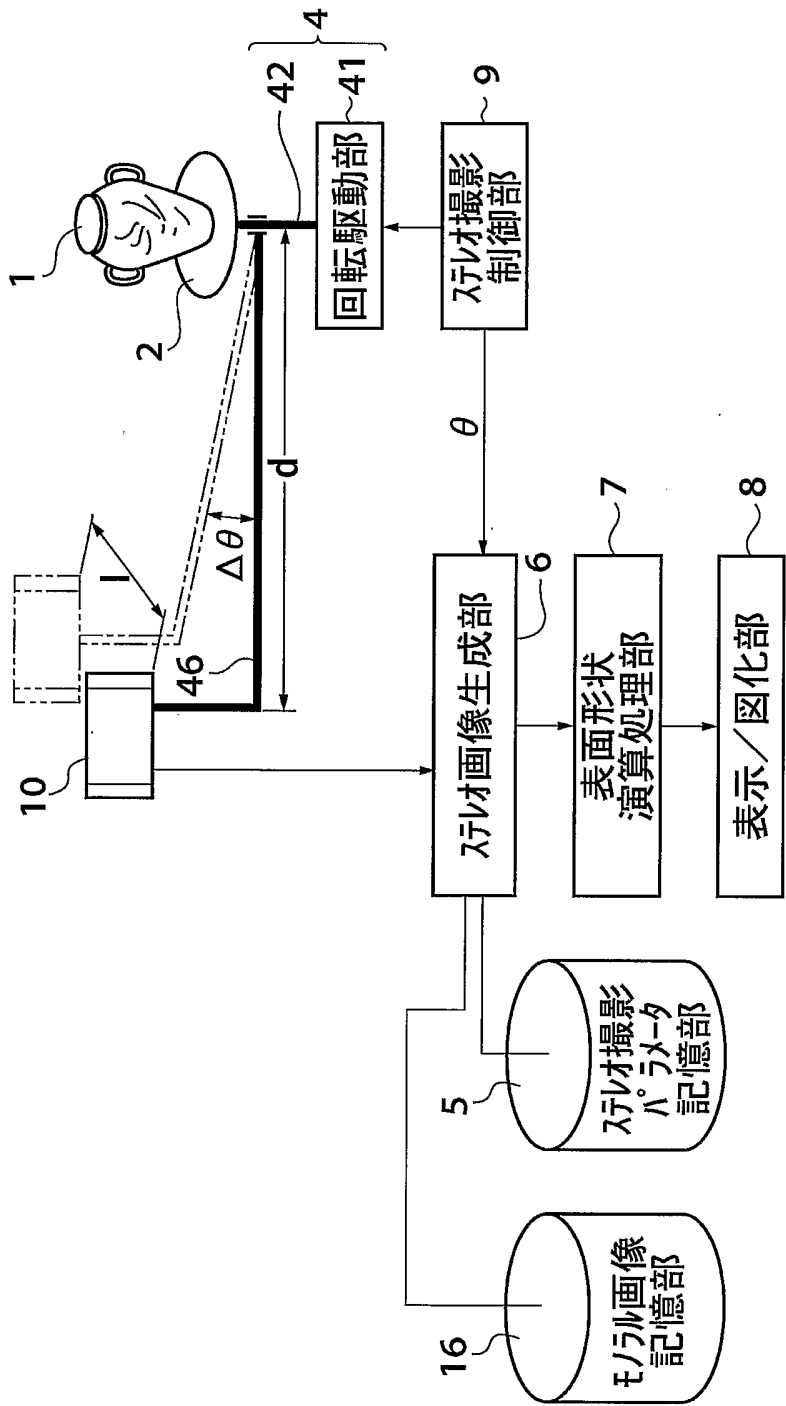
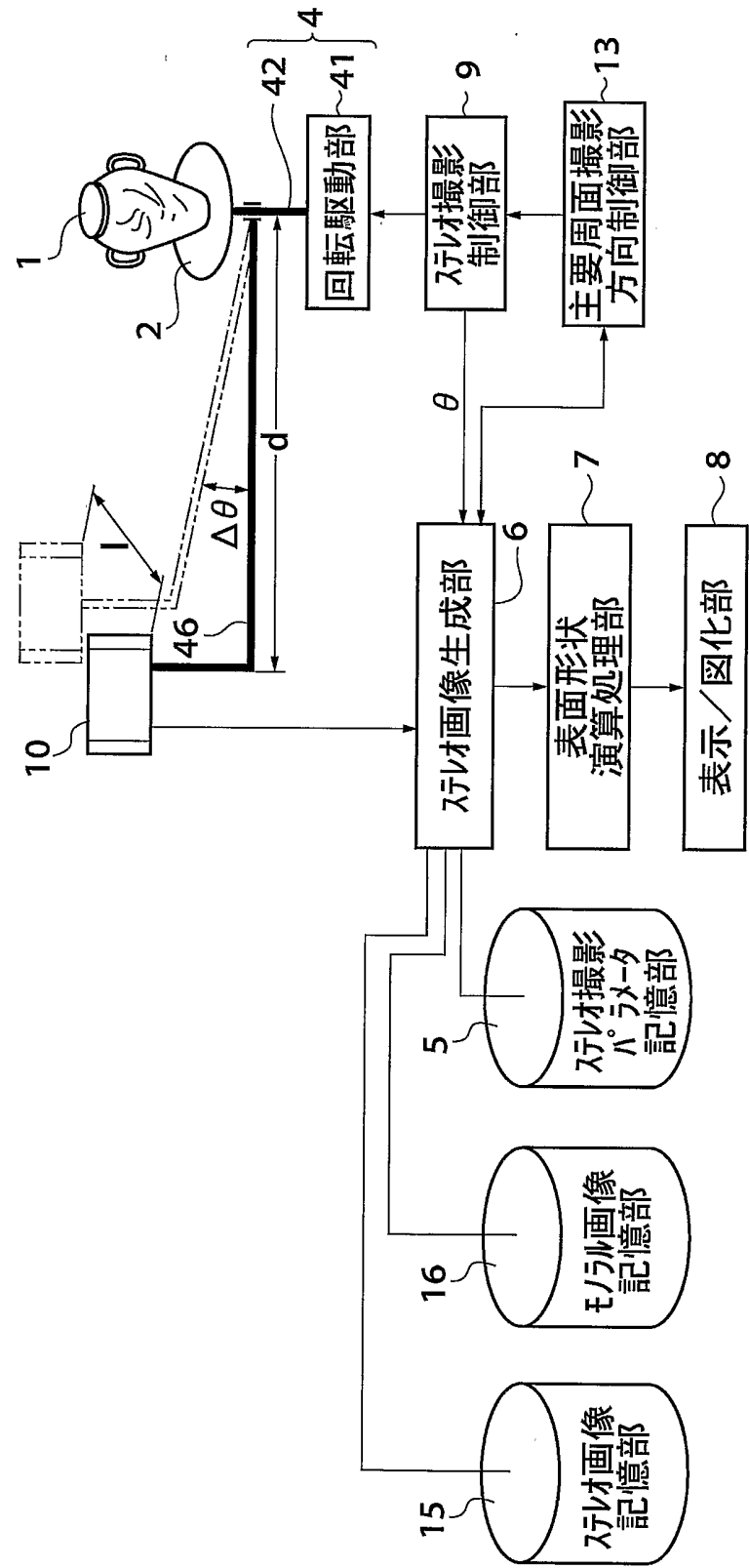
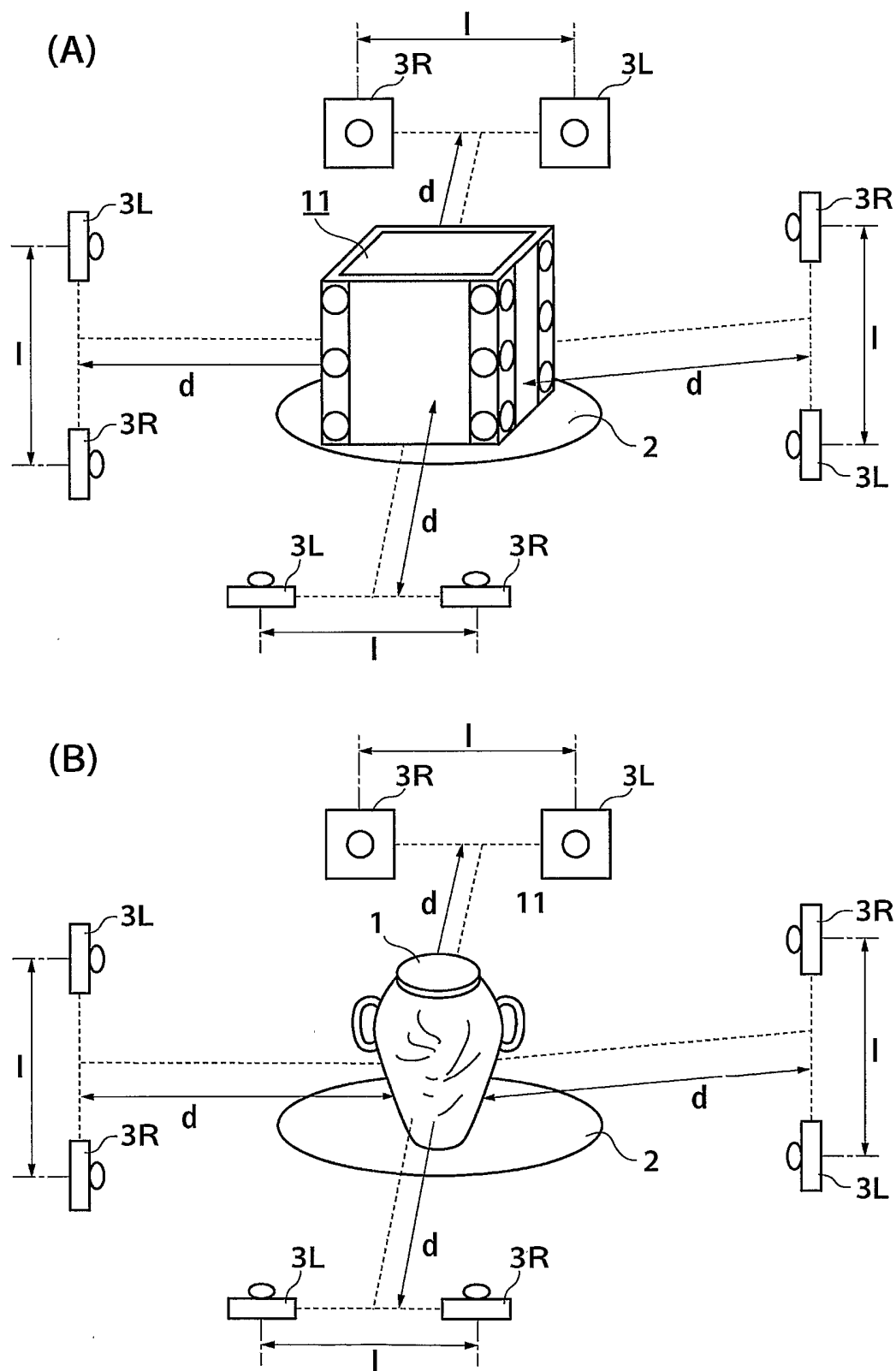


図 19



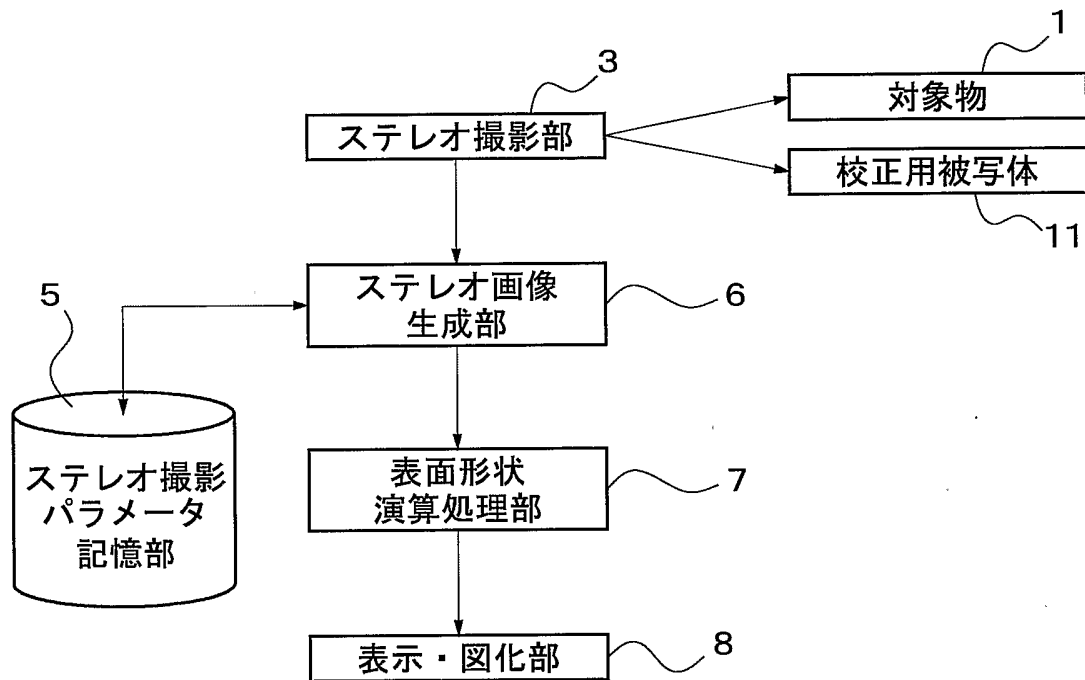
18/39

図 20



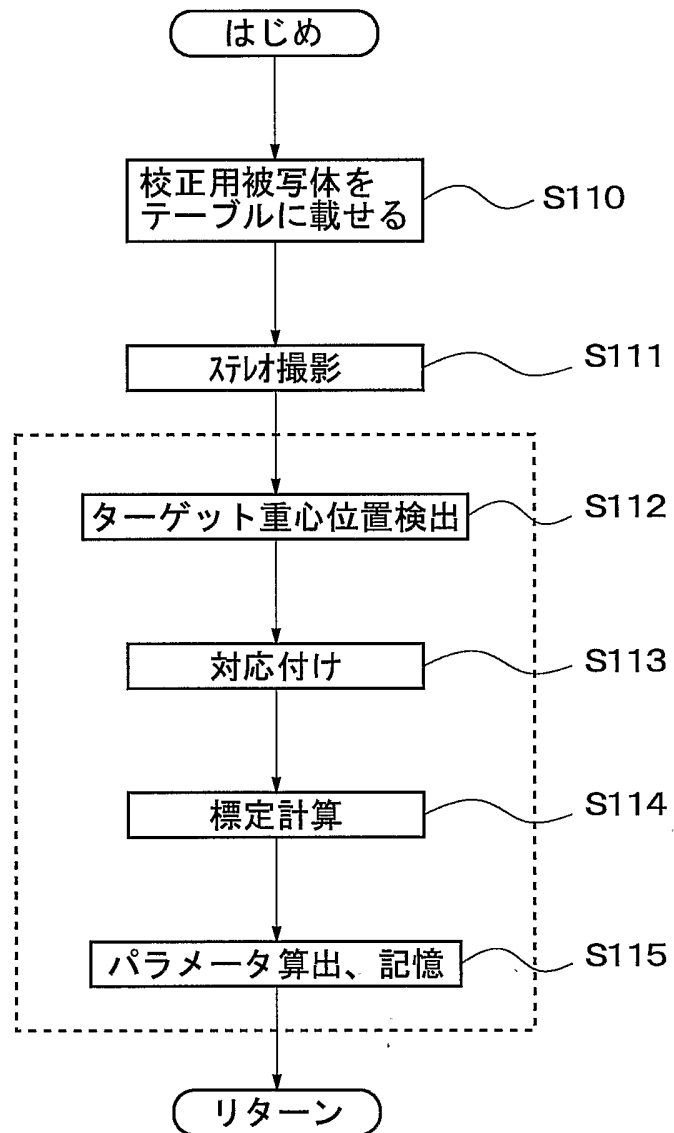
19/39

図 21



20/39

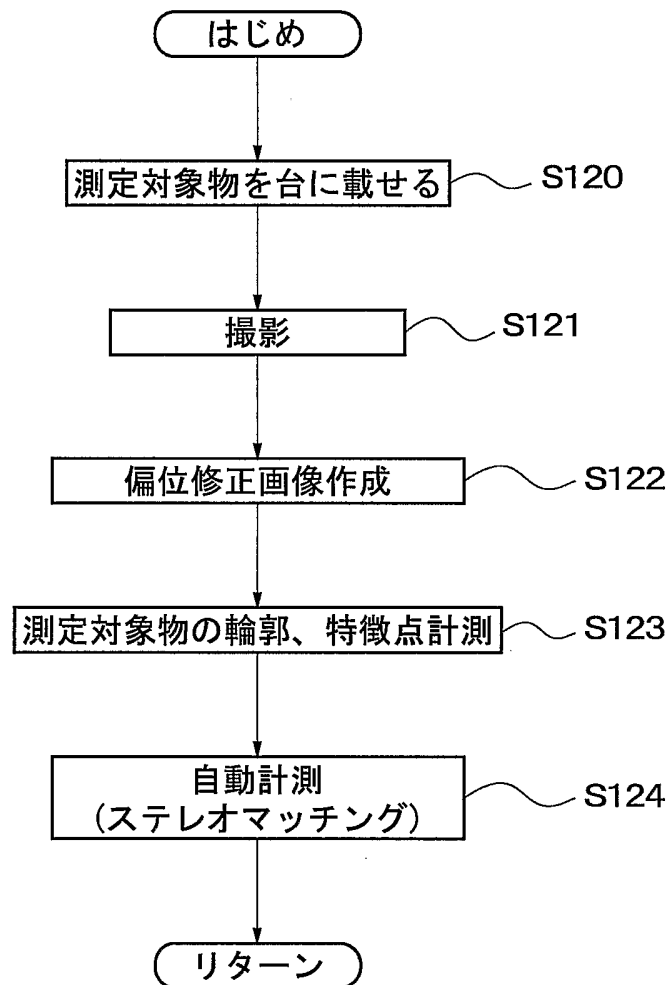
図 22



21/39

図 23

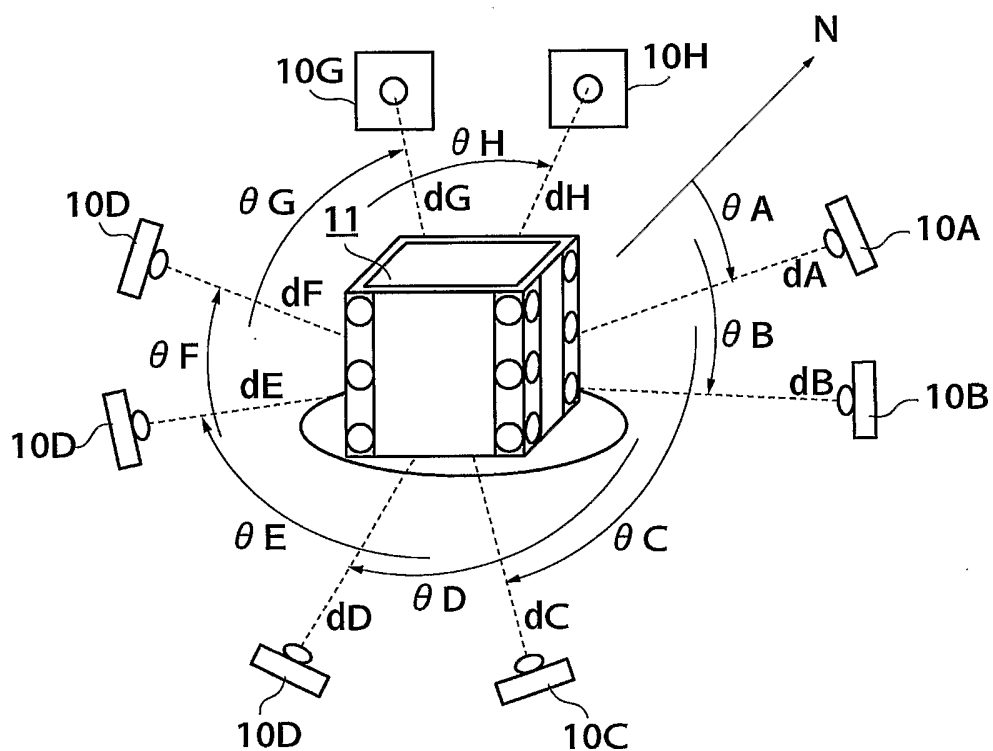
計測フロー



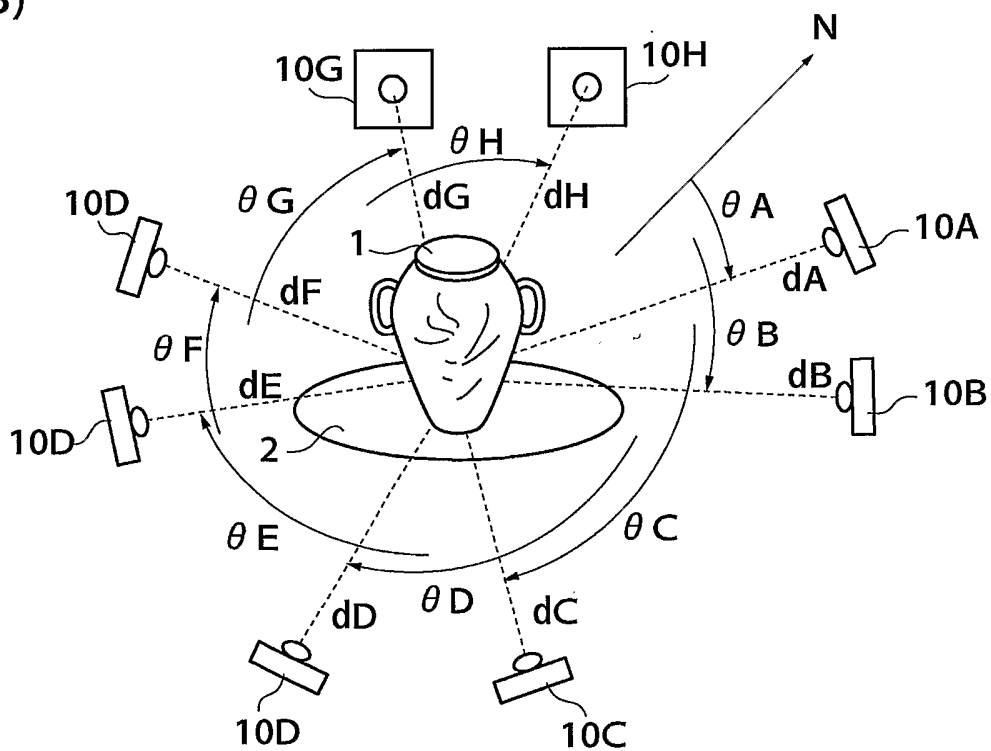
22/39

図 2 4

(A)

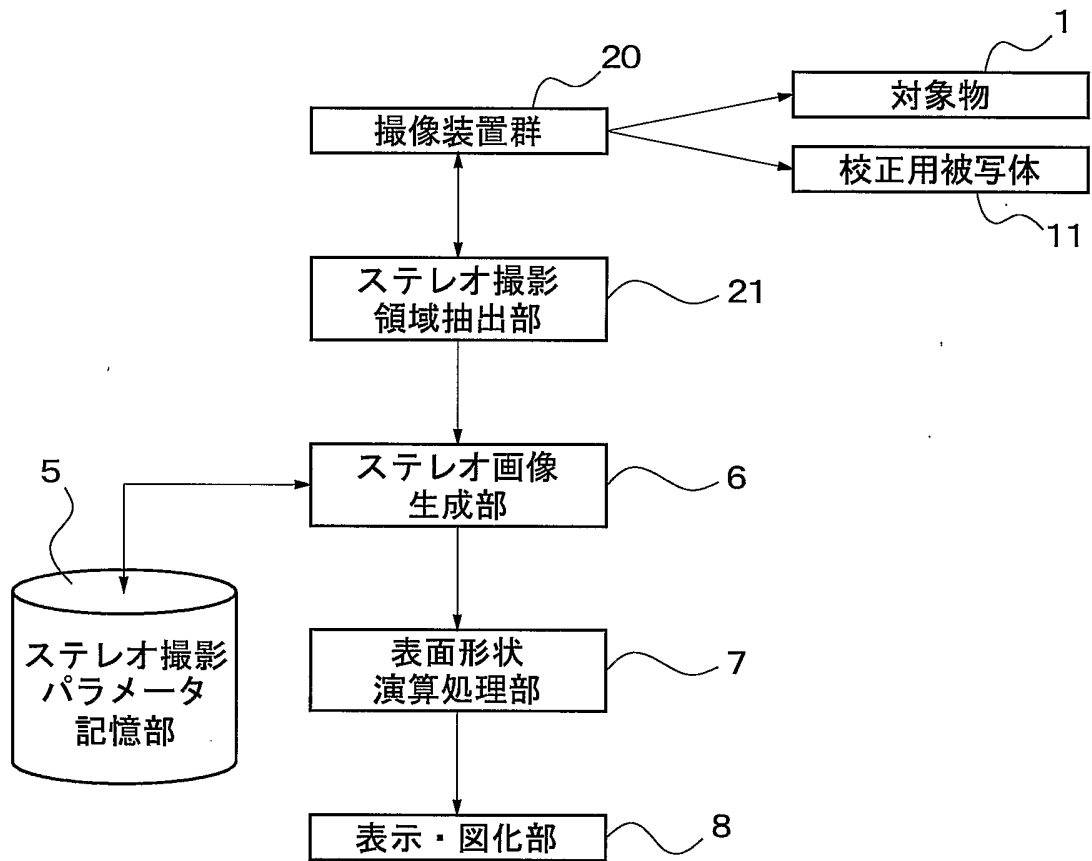


(B)



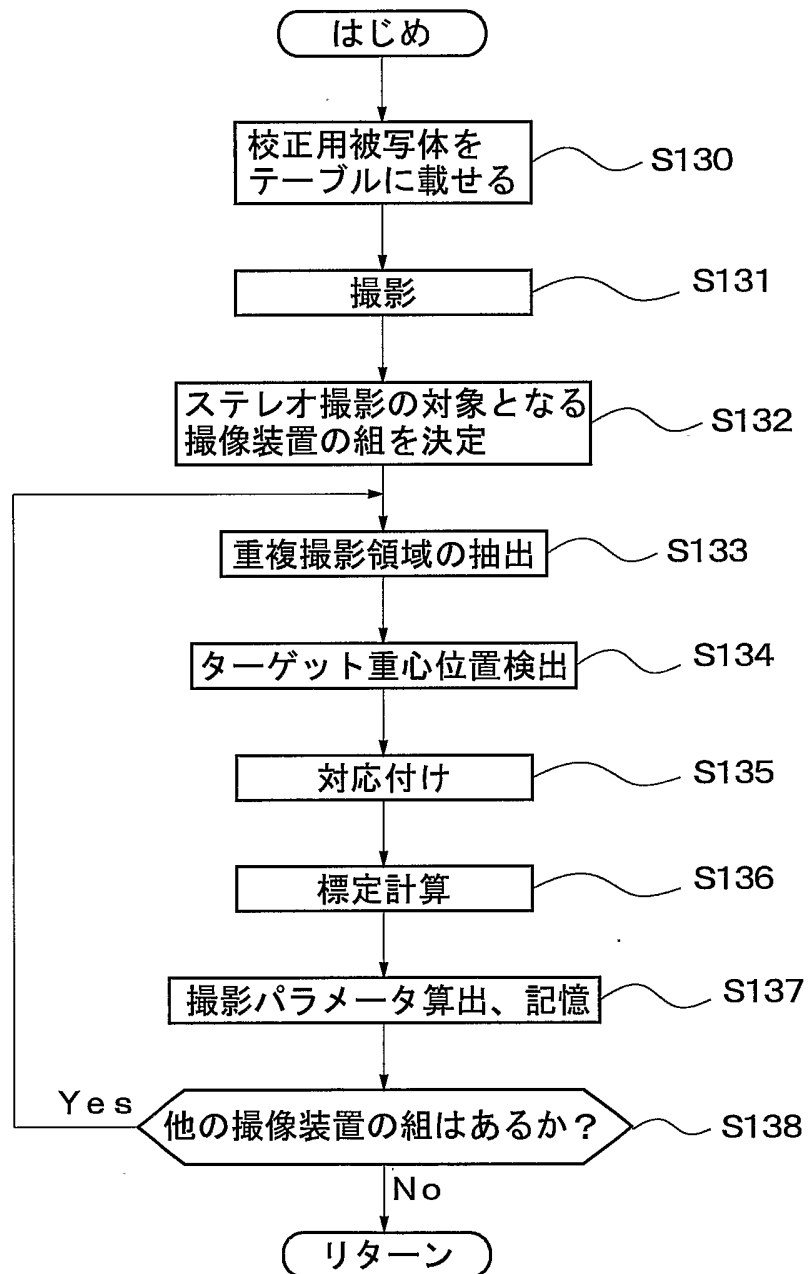
23/39

図 25



24/39

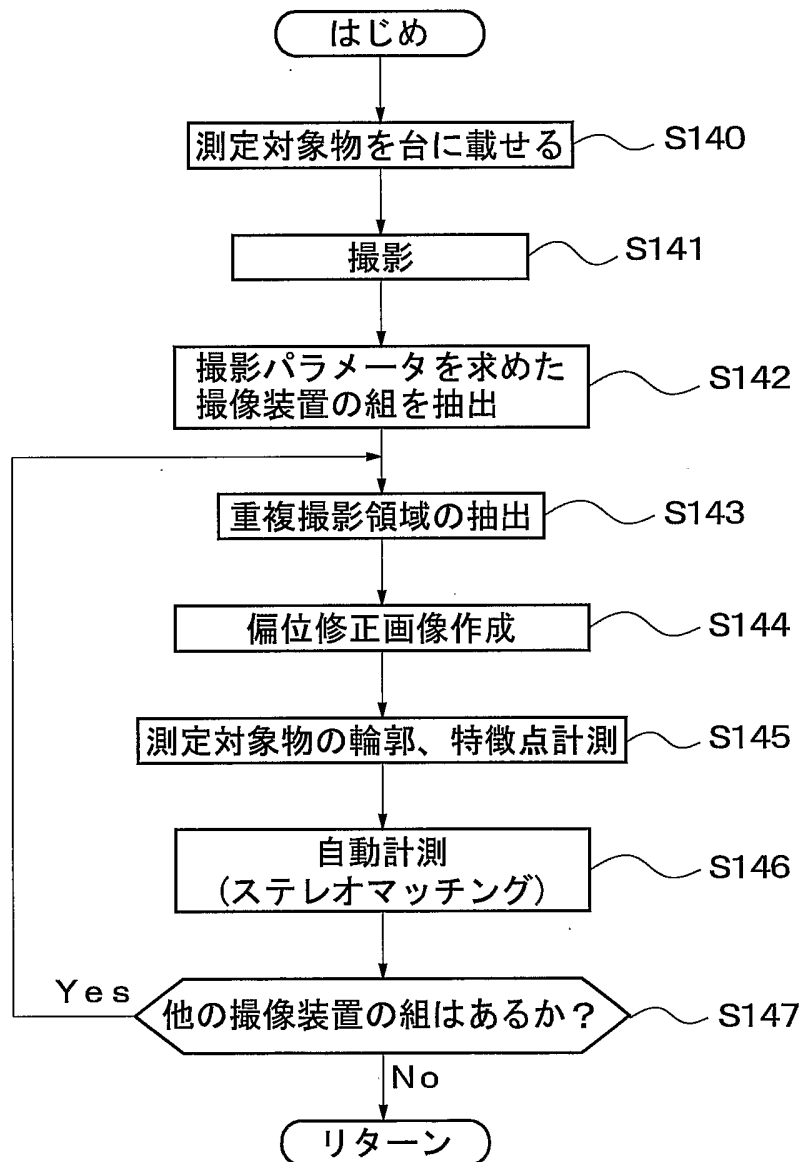
図 26



25/39

図 27

計測フロー



26 / 39

図 28

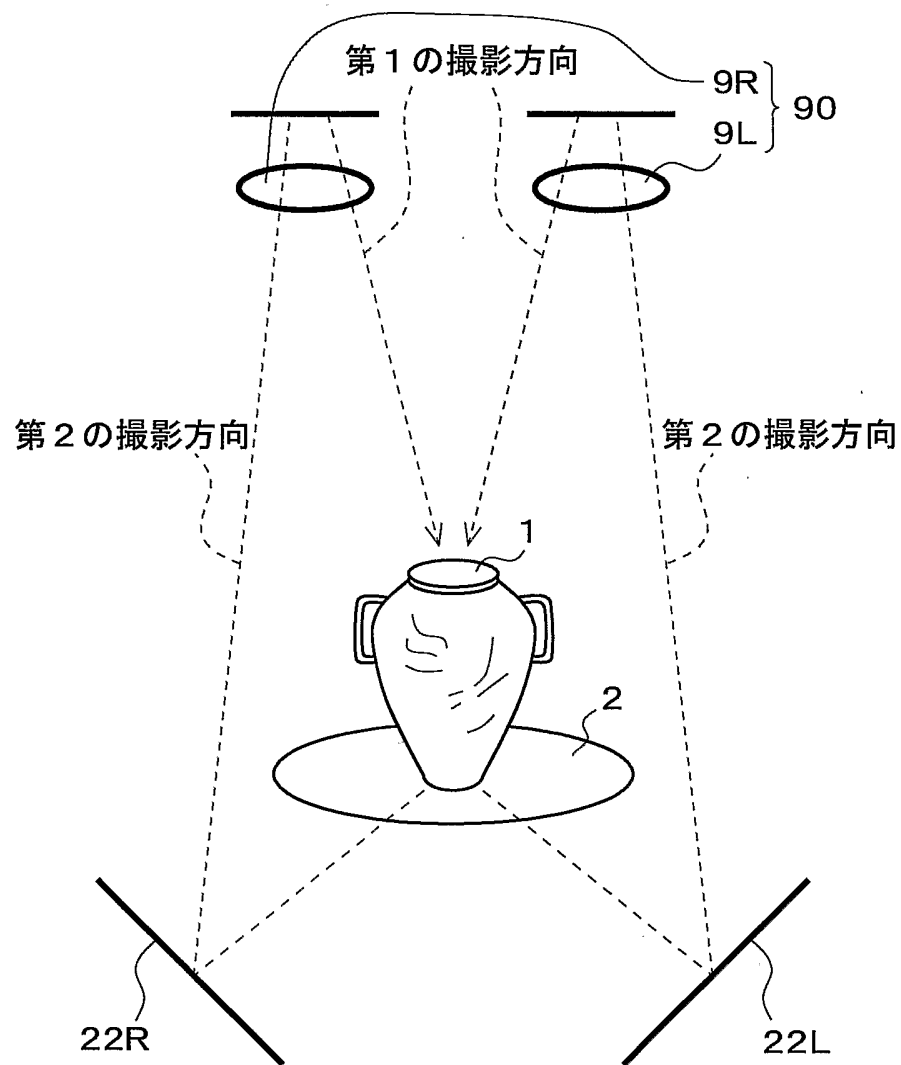


图 29

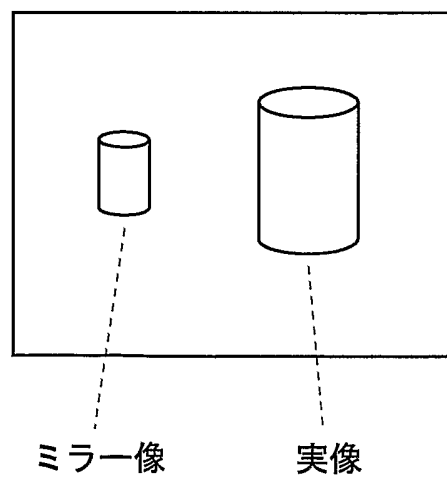
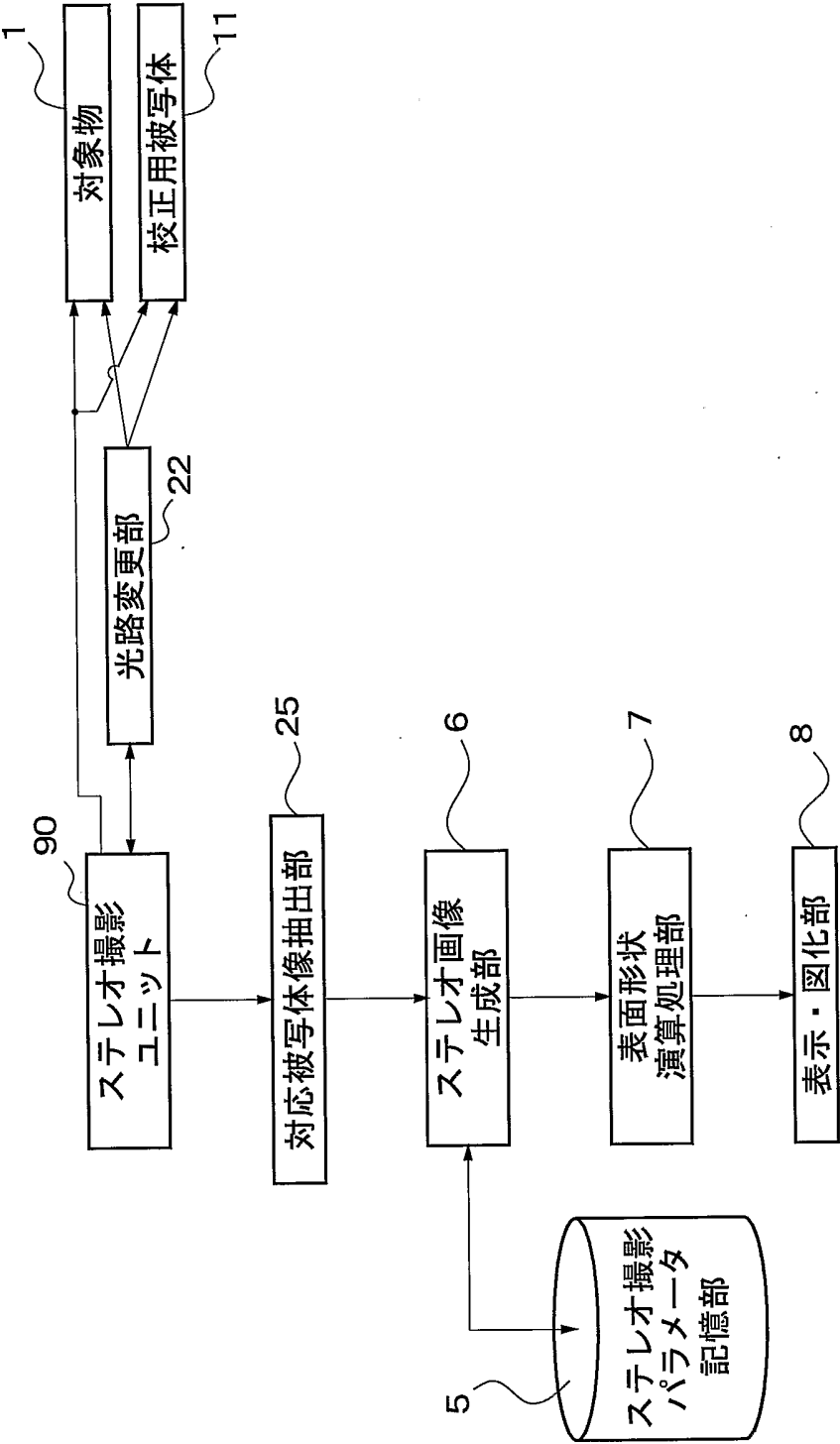
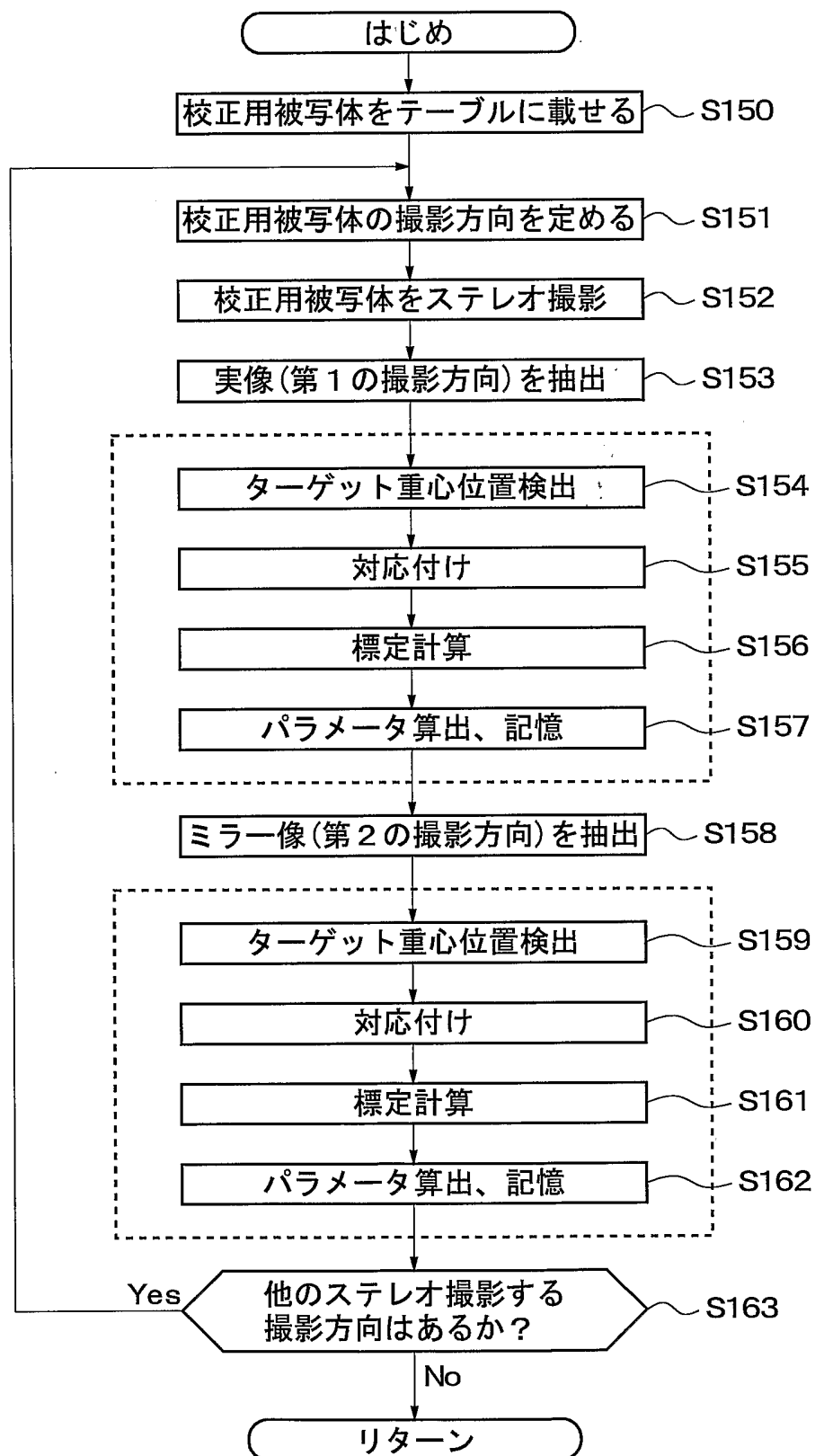


図 30



28/39

図 31



29/39

図 32

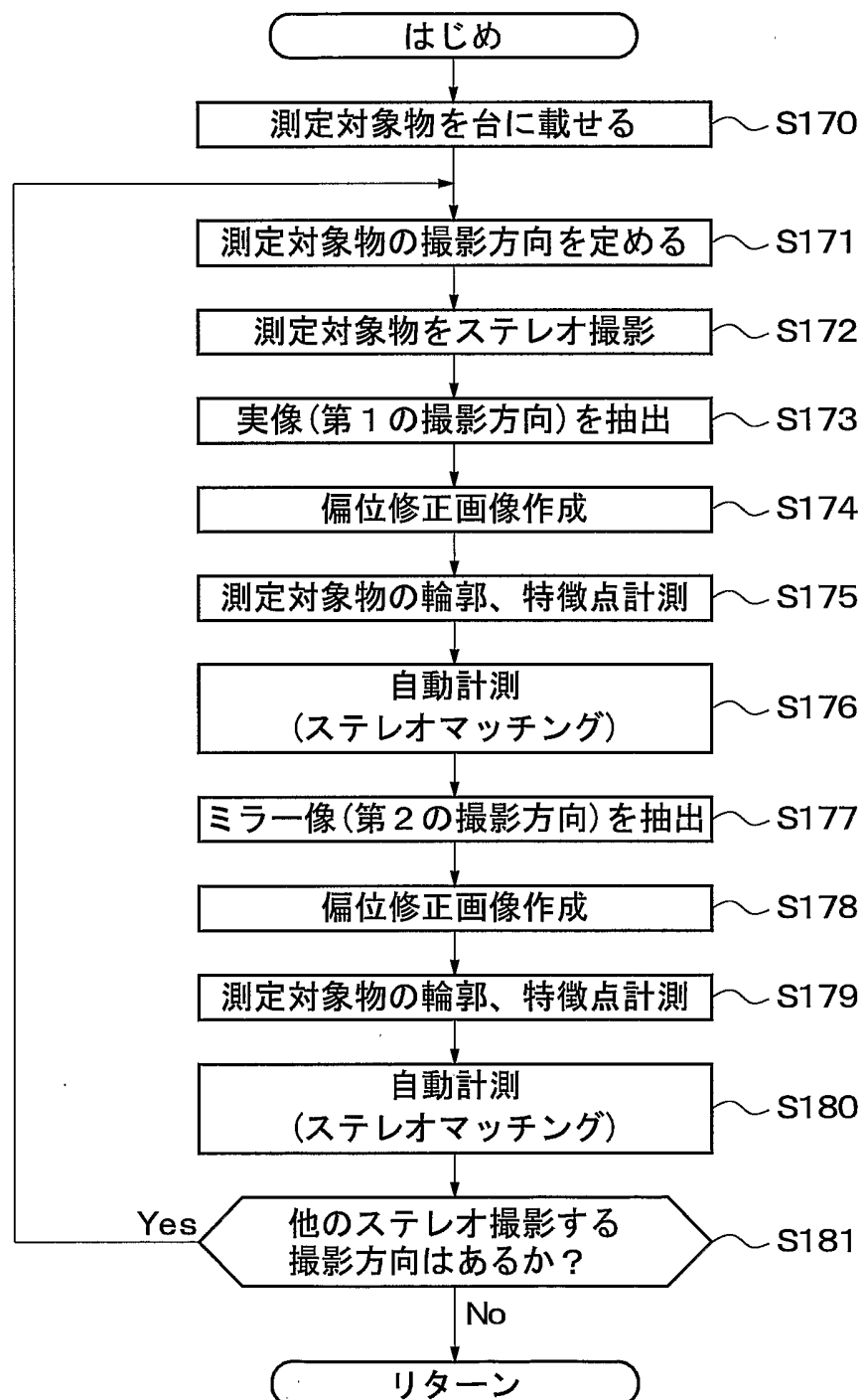
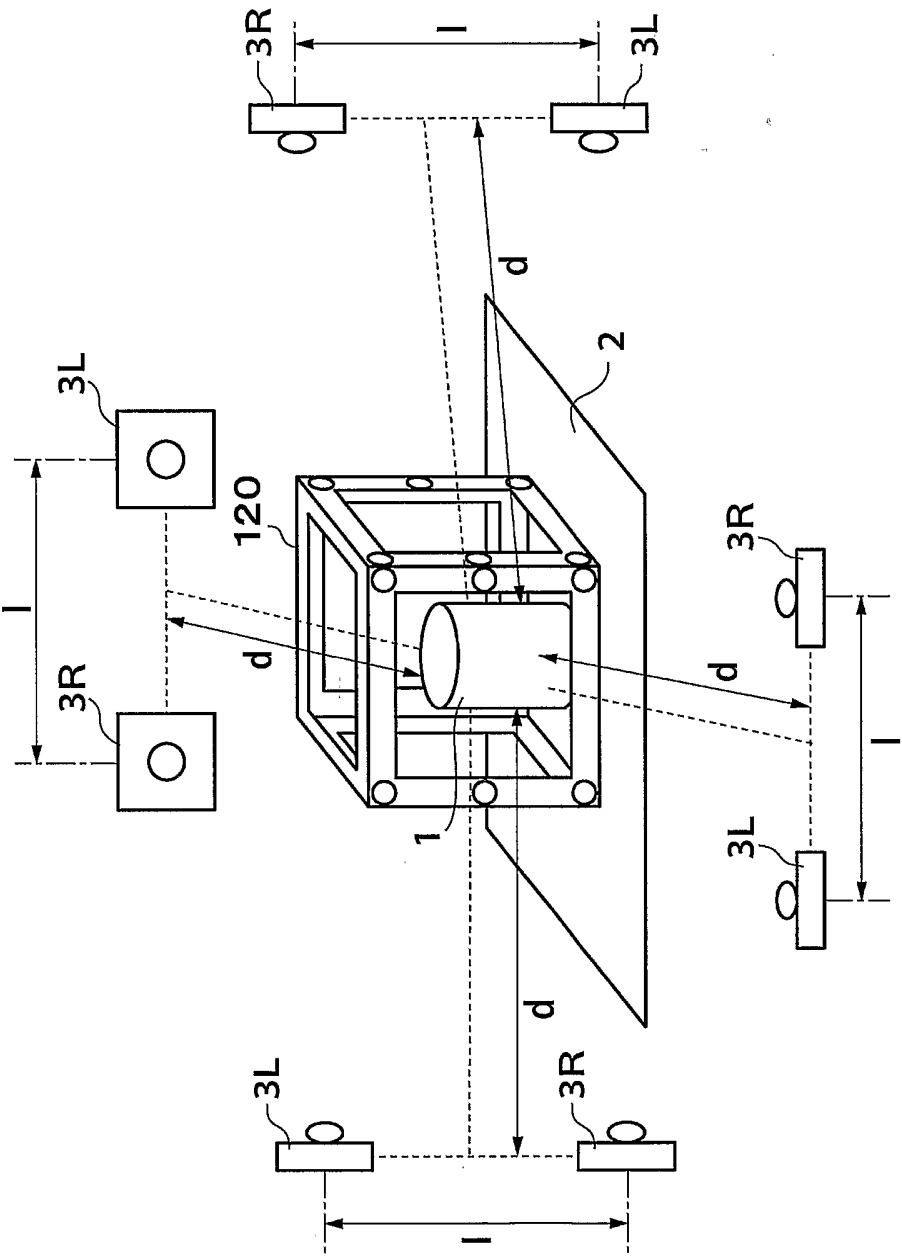


図 33



31/39

図 34

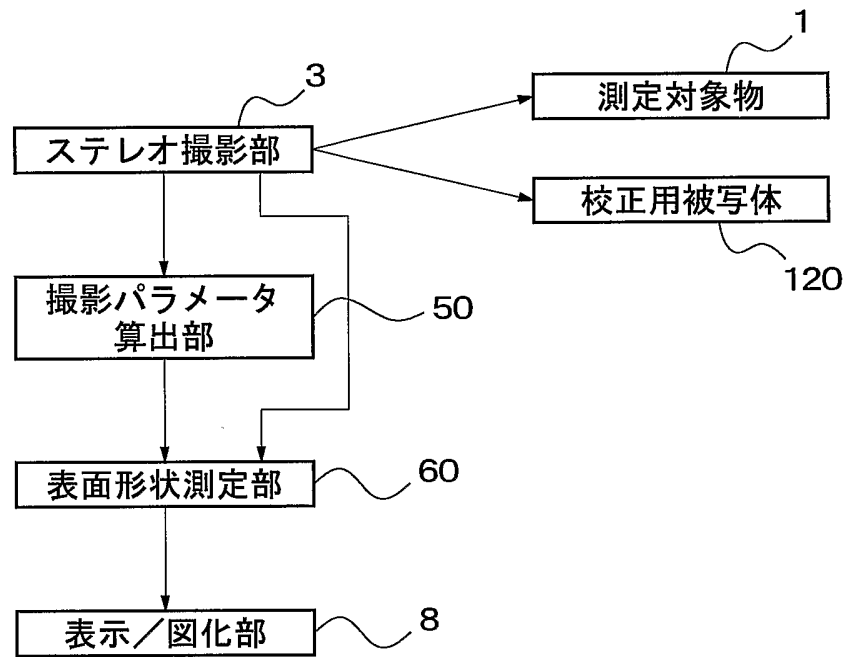
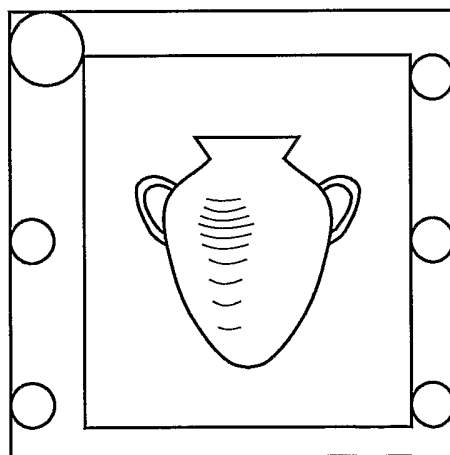


図 35

(A)



(B)

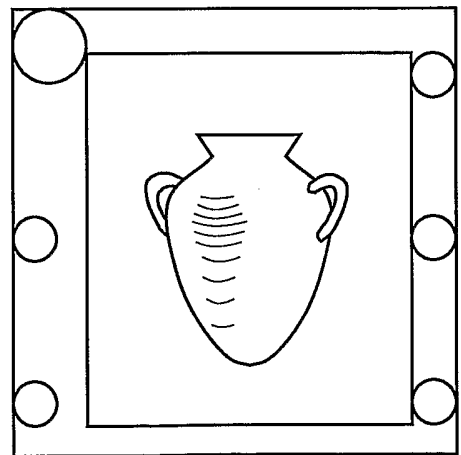
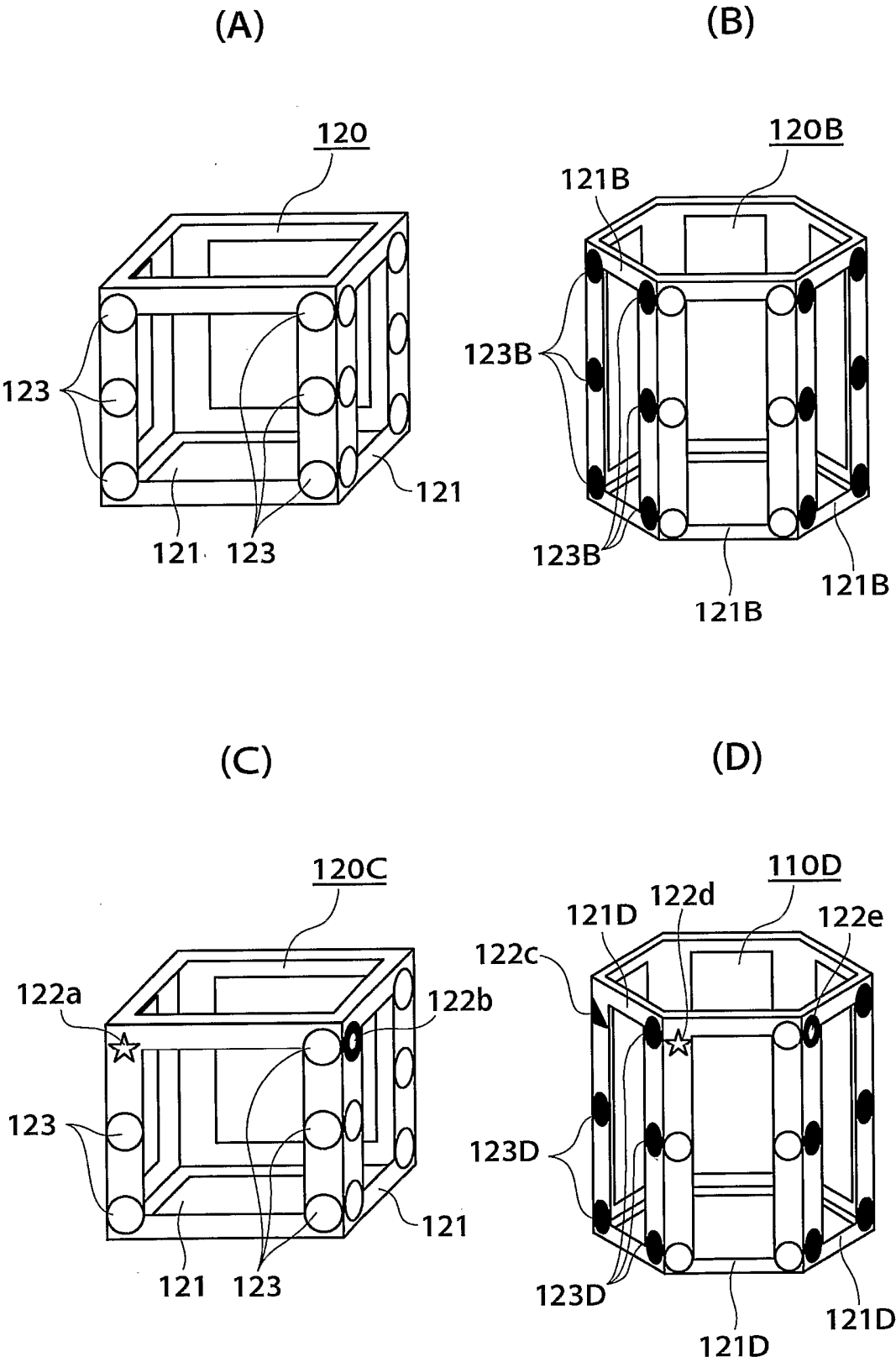


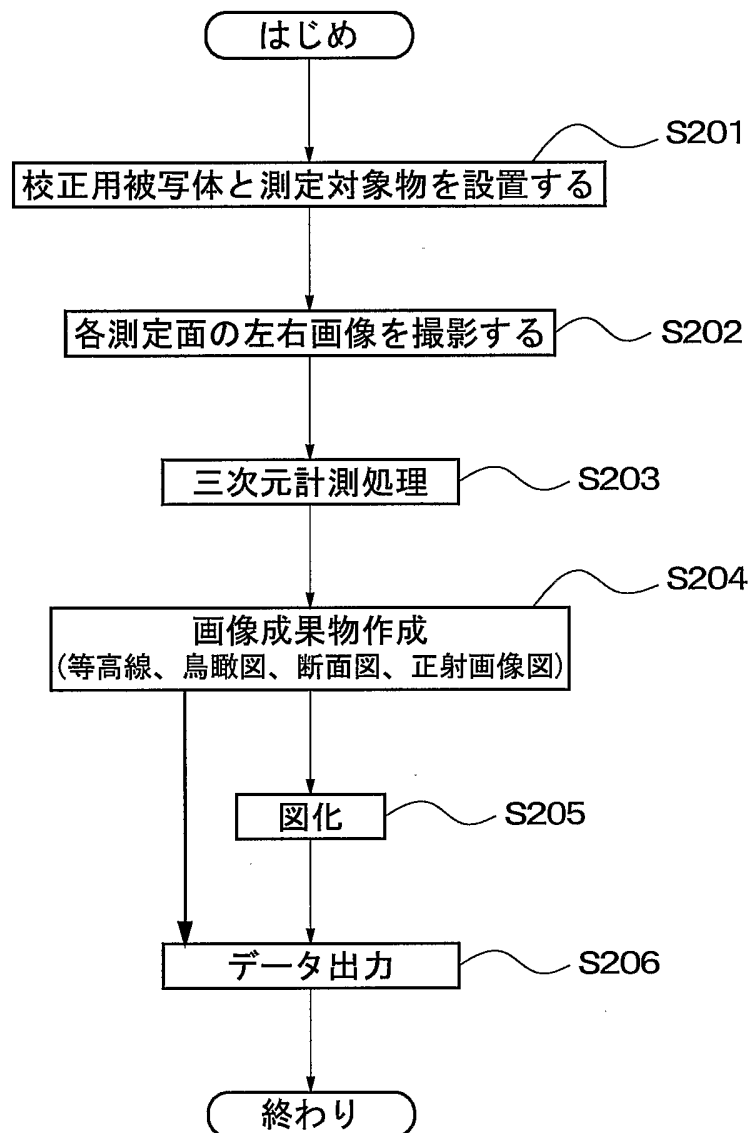
図 3 6



33/39

図 37

計測手順フロー



34/39

図 38

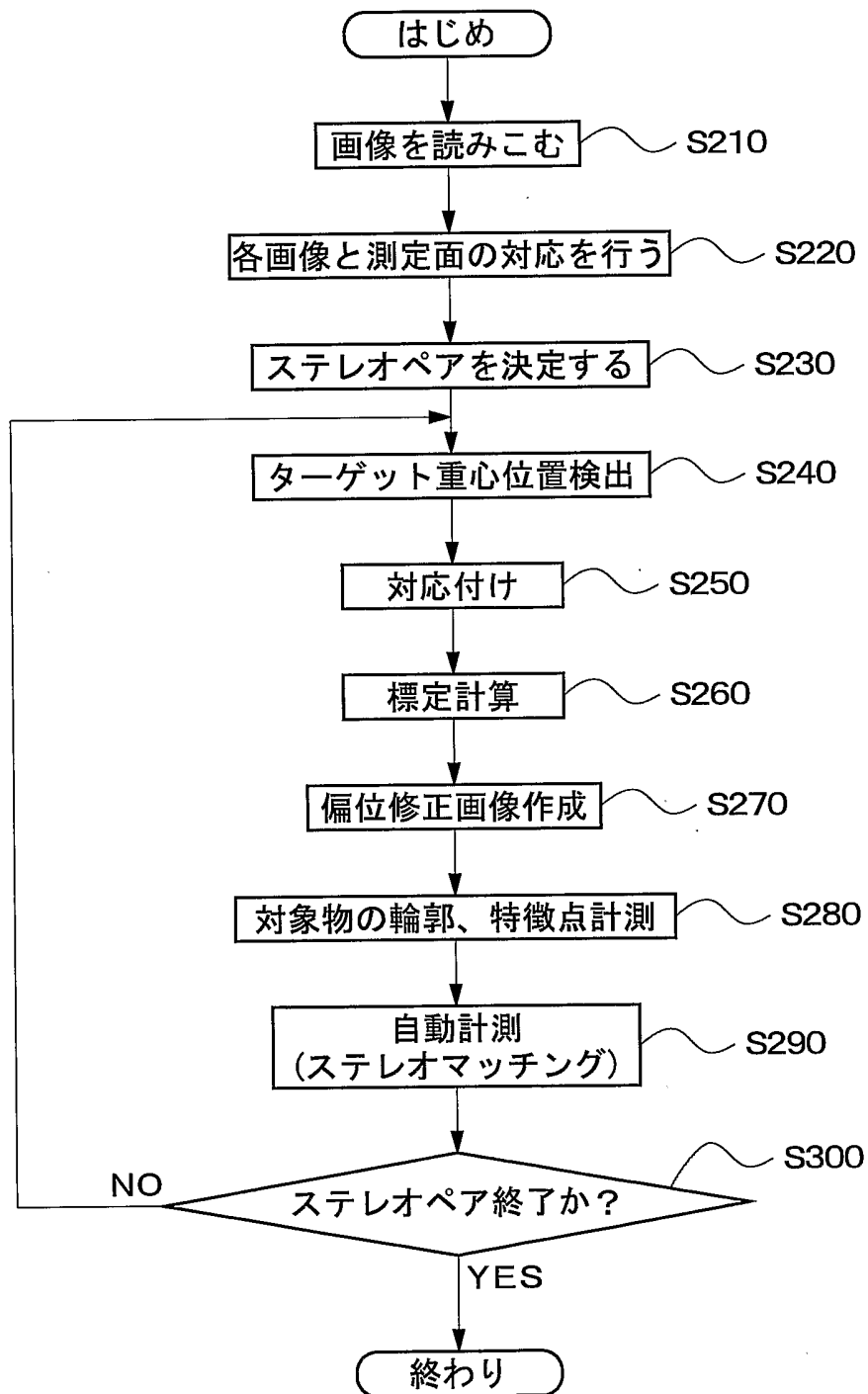
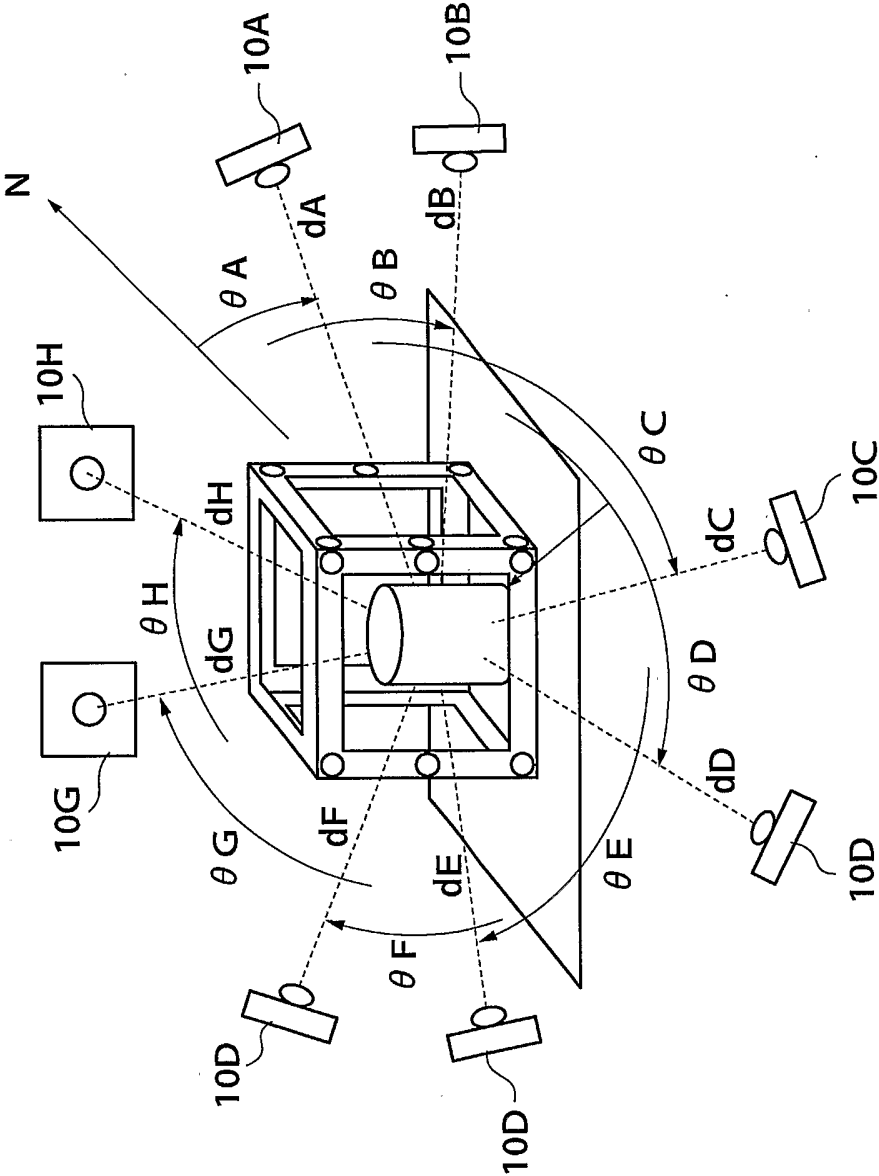


図 39



36/39

図 4 0

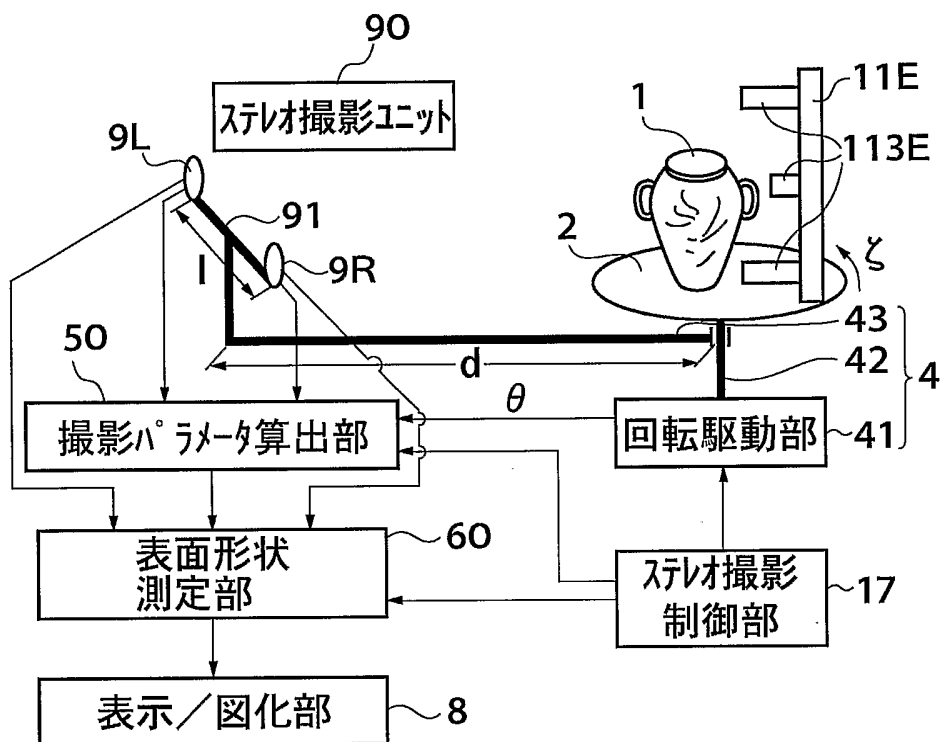
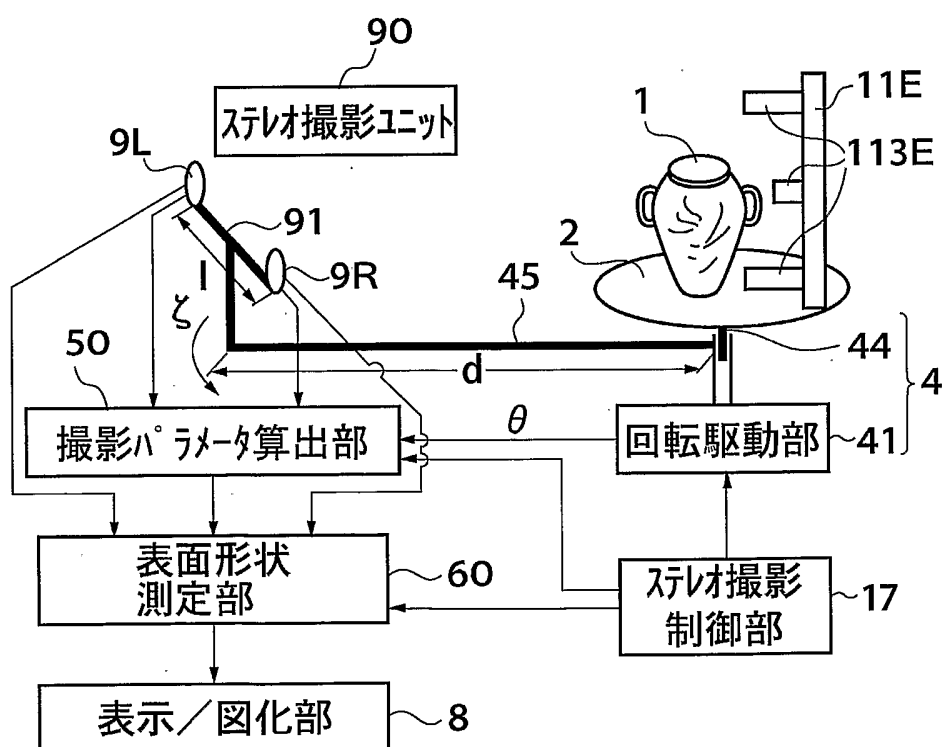


図 4 1



37/39

図 4 2

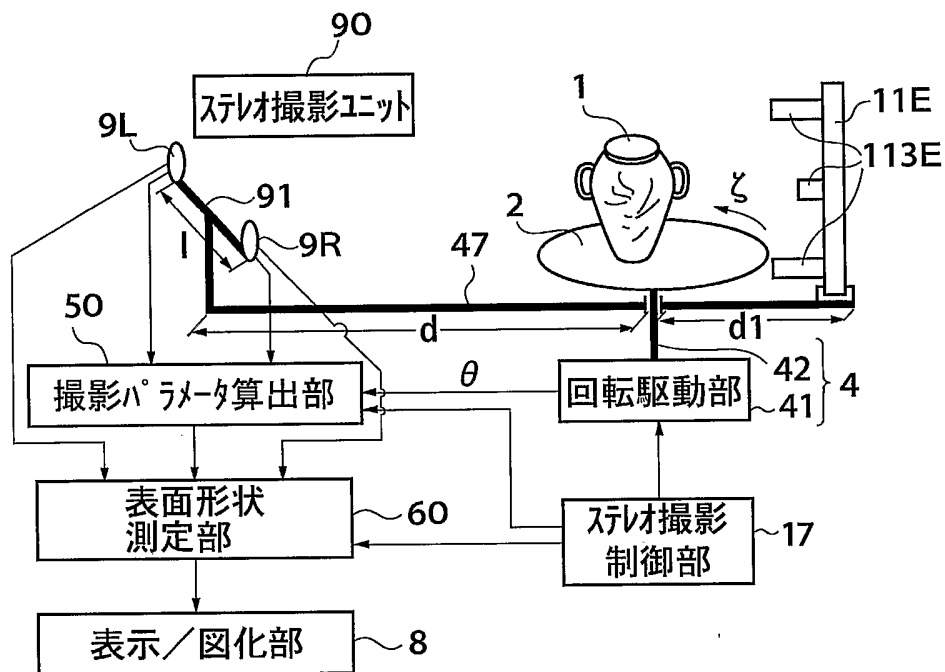
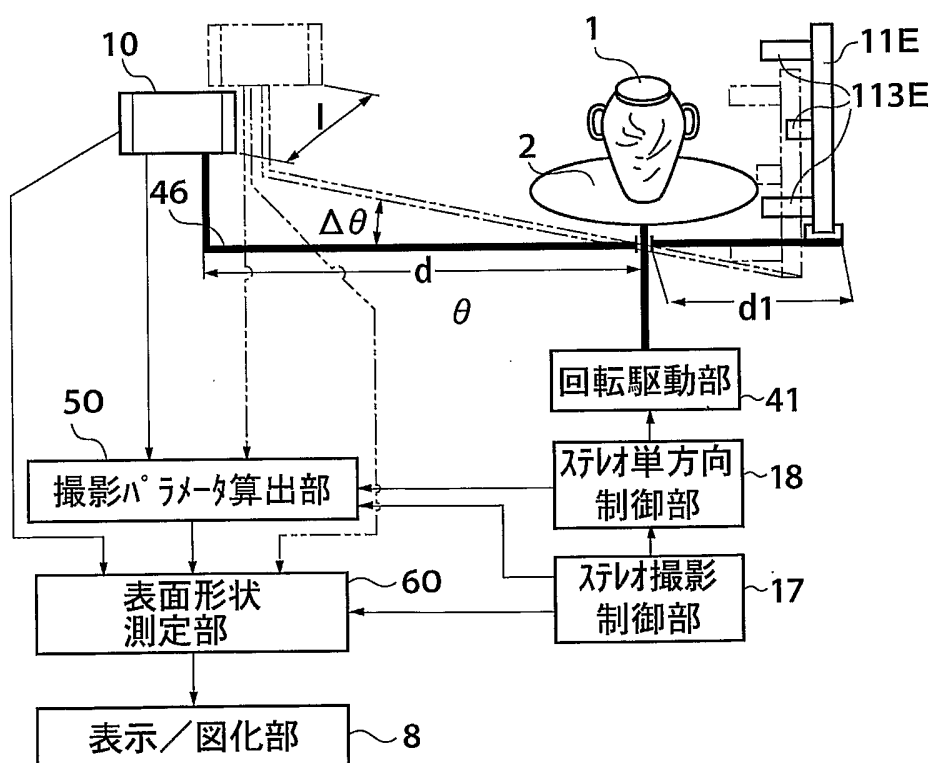


図 4 3



38/39

図 44

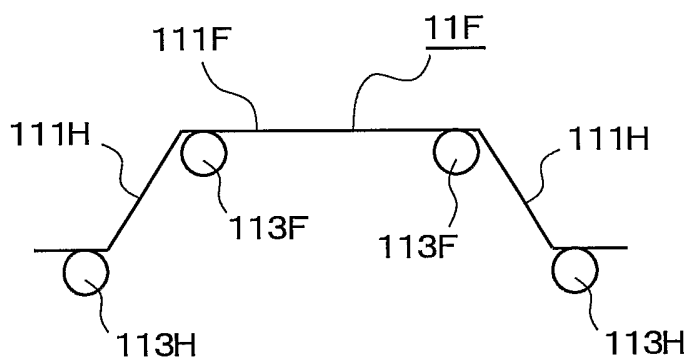


図 45

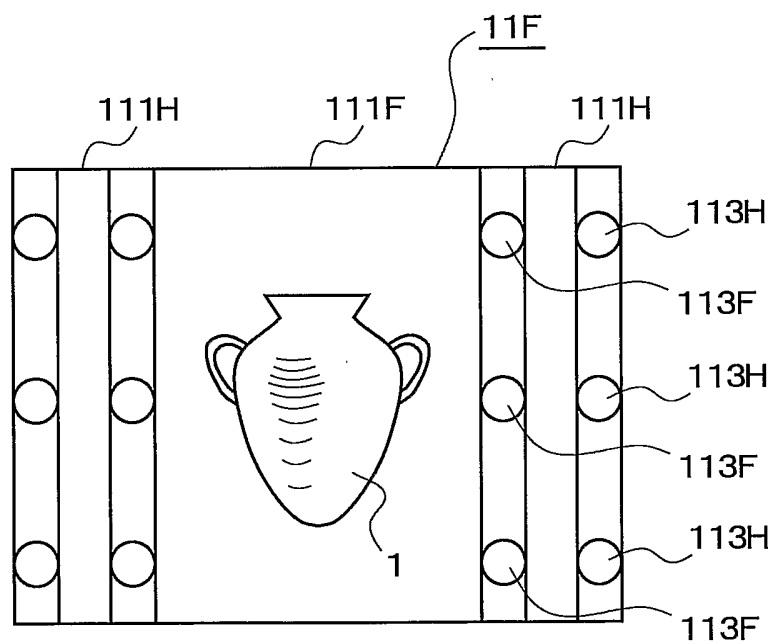


図 46

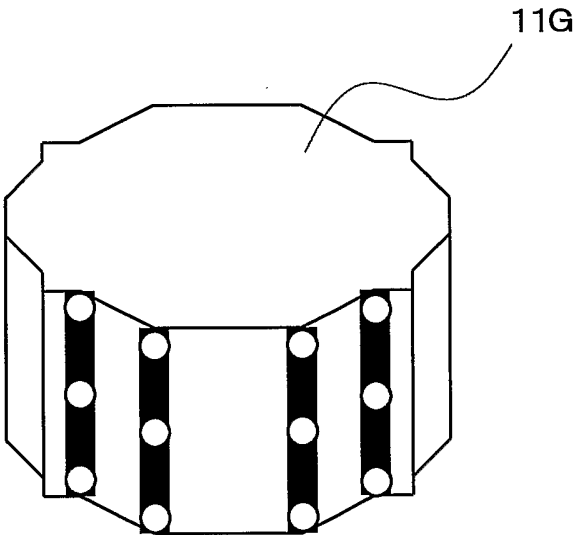
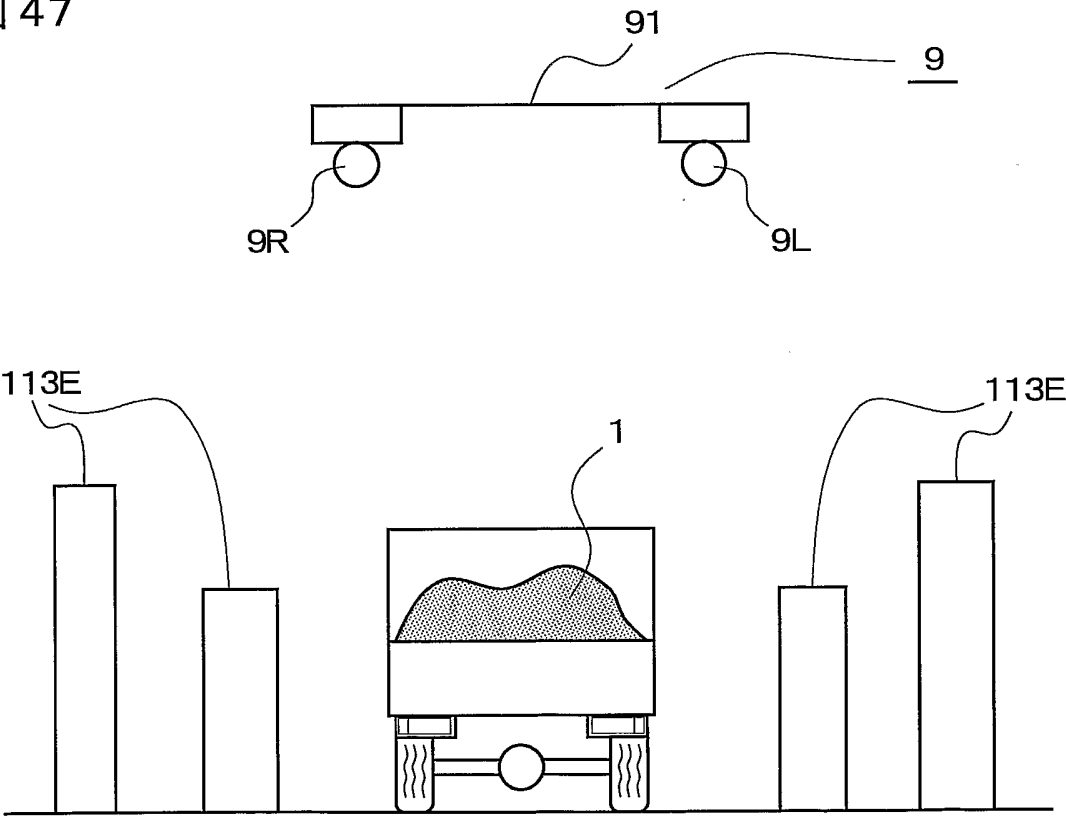


図 47



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/07710

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G01B11/24, G06T1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G01B11/00-11/30, G06T1/00-9/40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 10-91790 A (Canon Inc.), 10 April, 1998 (10.04.98), Full text; all drawings	1, 3-10, 12-23, 27-29, 31-39, 41-42
Y	(Family: none)	2, 11, 24-26, 30
A		40
Y	JP 2000-339467 A (Minolta Co., Ltd.), 08 December, 2000 (08.12.00), Full text; all drawings	2, 11
A	(Family: none)	1, 3-10, 12-42
Y	JP 10-221036 A (Hitachi, Ltd.), 21 August, 1998 (21.08.98), Par. No. [0012]; Fig. 3 (Family: none)	24-26, 30

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
11 November, 2002 (11.11.02)Date of mailing of the international search report
26 November, 2002 (26.11.02)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/07710

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-96374 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 09 April, 1999 (09.04.99), Full text; all drawings & US 6363169 B1	1-42
A	JP 2001-197521 A (Toppan Printing Co., Ltd.), 19 July, 2001 (19.07.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-42
A	JP 9-119819 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 06 May, 1997 (06.05.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-42
A	JP 9-81790 A (Canon Inc.), 28 March, 1997 (28.03.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-42
A	JP 11-161794 A (Toshiba Corp.), 18 June, 1999 (18.06.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-42

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/07710

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The group of inventions of claims 1 to 5, 8 to 12, 15 to 17, 20, 23 to 27, and 42 relate to an image pickup apparatus used for stereo imaging from a plurality of directions. The group of inventions of claims 6, 7, 13, 14, 18, 19, 21, 22, 28 to 41 relate to a calibration object used for calculating parameters in the stereo imaging from a plurality of directions. The technical feature common to these groups of inventions is stereo imaging an object from a plurality of directions to measure a surface shape, which is not novel. Consequently, there is no technical relationship among those inventions involving one or more of the same or corresponding technical features.

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int Cl⁷ G01B 11/24
G06T 1/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int Cl⁷ G01B 11/00 - 11/30
G06T 1/00 - 9/40

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2002年
日本国登録実用新案公報 1994-2002年
日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 10-91790 A (キヤノン株式会社) 1998.04.10, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 3-10, 12-23, 27-29, 31-39, 41-42
Y		2, 11, 24-26, 30
A		40

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11.11.02

国際調査報告の発送日

26.11.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

白石 光男



2S 3004

電話番号 03-3581-1101 内線 3256

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-339467 A (ミノルタ株式会社) 2000. 12. 08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	2, 11
A		1, 3-10, 12-42
Y	JP 10-221036 A (株式会社日立製作所) 1998. 08. 21, 段落番号【0012】, 図3 (ファミリーなし)	24-26, 30
A	JP 11-96374 A (三洋電機株式会社) 1999. 04. 09, 全文, 全図 & US 6363169 B1	1-42
A	JP 2001-197521 A (凸版印刷株式会社) 2001. 07. 19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-42
A	JP 9-119819 A (オリンパス光学工業株式会社) 1997. 05. 06, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-42
A	JP 9-81790 A (キヤノン株式会社) 1997. 03. 28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-42
A	JP 11-161794 A (株式会社東芝) 1999. 06. 18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-42

第 I 欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第 1 ページの 2 の続き)

法第 8 条第 3 項 (P C T 1 7 条 (2) (a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であって P C T 規則 6. 4 (a) の第 2 文及び第 3 文の規定に従って記載されていない。

第 II 欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第 1 ページの 3 の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求の範囲 1 - 5, 8 - 1 2, 1 5 - 1 7, 2 0, 2 3 - 2 7, 4 2 に記載された発明は、複数方向からのステレオ撮影に用いる撮像装置に関するものである一方、請求の範囲 6 - 7, 1 3, 1 4, 1 8, 1 9, 2 1, 2 2, 2 8 - 4 1 に記載された発明は、複数方向からのステレオ撮影においてパラメータ算出のために用いる校正用被写体に関するものである。そして、これら両者に共通する事項であるところの、対象物を複数方向からステレオ撮影し表面形状を測定するという技術は、新規なものでないから、これら両者に、一以上の同一または対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係があるとは認められない。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☒ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。