

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

測定対象物を単カメラにより重複させながら順次撮影する三次元計測用画像撮影装置において；

撮影者が複数の撮影位置から前記測定対象物を撮影して撮影画像を取得する撮影部と；

前記撮影部で取得された撮影画像における前記測定対象物の特徴点を抽出する特徴点抽出部と；

前記撮影画像の測定対象物の領域を前記特徴点抽出部で抽出された 3 以上の特徴点で囲まれた領域（当該特徴点を含む）からなる撮影領域に区分する撮影領域区分部と；

前記特徴点抽出部で抽出された特徴点の複数の撮影画像における画面位置から、前記特徴点の三次元座標を求める三次元位置測定部と；

前記測定対象物の撮影範囲を三次元空間に表現する撮影範囲画像の座標空間に前記三次元位置測定部で三次元座標が求められた各特徴点を書き込み、前記撮影範囲画像の座標空間に書き込まれた特徴点のうち、前記撮影領域を囲む 3 以上の特徴点を結線して前記撮影領域毎に区画し、前記撮影範囲画像をワイヤフレーム画像として形成する撮影範囲画像形成部と；

前記撮影範囲画像に撮影不足領域が有るか否かを判定する撮影不足領域判定部と；

前記撮影範囲画像形成部で形成された撮影範囲画像を表示する表示部とを備える；

三次元計測用画像撮影装置。

10

**【請求項 2】**

前記撮影画像を前記撮影領域に区分して記憶する撮影領域画像記憶部を備え；

前記撮影範囲画像形成部は、前記撮影範囲画像に区画された撮影領域に、前記撮影領域画像記憶部に記憶された各撮影領域の画像を、前記撮影領域を囲む 3 以上の特徴点の位置が合致するように当てはめて、撮影範囲画像をテクスチャ画像として形成する；

請求項 1 に記載の三次元計測用画像撮影装置。

20

**【請求項 3】**

前記撮影部が新たな撮影画像を取得する都度、前記撮影範囲画像形成部は新たな撮影範囲画像を形成し、前記表示部は新たに形成された撮影範囲画像を表示する；

請求項 1 又は請求項 2 に記載の三次元計測用画像撮影装置。

30

**【請求項 4】**

前記撮影部が新たな撮影画像を所定枚数取得した後に、前記撮影範囲画像形成部は新たな撮影範囲画像を形成し、前記表示部は新たに形成された撮影範囲画像を表示する；

請求項 1 又は請求項 2 に記載の三次元計測用画像撮影装置。

40

**【請求項 5】**

各前記撮影領域について、異なる撮影画像に含まれる撮影回数を計数する領域撮影回数計数部を備え；

前記撮影不足領域判定部は、前記領域撮影回数計数部で計数された撮影回数に基づいて前記撮影範囲画像に撮影不足領域が有るか否かを判定する；

請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか 1 項に記載の三次元計測用画像撮影装置。

40

**【請求項 6】**

前記三次元位置測定部は、抽出された特徴点の複数の撮影画像における画面位置から、前記撮影位置の三次元座標を求め；

予め定められた複数の撮影予定位置を記憶する撮影予定位置記憶部と；

前記三次元位置測定部で求められた撮影位置と前記撮影予定位置記憶部に記憶された複数の撮影予定位置とを比較して、前記複数の撮影予定位置から次回撮影予定位置を選択する次回撮影予定位置選択部と；

前記次回撮影予定位置に対する撮影位置の相対的位置を求める移動情報演算部と；

前記移動情報演算部で求められた相対位置に基づいて前記撮影位置から前記次回撮影予定位置へ撮影者が移動するようにガイド情報を作成し、前記表示部に報知させる移動情報報知部とを備える；

50

請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか 1 項に記載の三次元計測用画像撮影装置。

【請求項 7】

前記撮影部は、移動中の撮影者が現在位置で測定対象物を撮影することによりライブ画像を取得し；

前記三次元位置測定部は、前記ライブ画像が取得された場合は、前記現在位置の三次元座標を求め、前記次回撮影予定位置選択部は、前記三次元位置測定部で位置座標が求められた現在位置と前記撮影予定位置記憶部に記憶された複数の撮影予定位置とを比較して、前記複数の撮影予定位置から次回撮影予定位置を選択する；

請求項 6 に記載の三次元計測用画像撮影装置。

【請求項 8】

前記撮影予定位置記憶部は、前記三次元位置測定部で位置座標が求められた撮影位置を既撮影位置として記憶し；

前記次回撮影予定位置選択部は、前記複数の撮影予定位置から前記撮影予定位置記憶部に記憶された既撮影位置を除いて次回撮影予定位置を選択する；

請求項 6 又は請求項 7 に記載の三次元計測用画像撮影装置。

【請求項 9】

前記撮影不足領域判定部は、前記撮影予定位置記憶部において全ての前記撮影予定位置が前記既撮影位置として記憶された場合に撮影不足領域が無いと判定する；

請求項 8 に記載の三次元計測用画像撮影装置。

【請求項 10】

前記測定対象物を模擬した模擬対象物に係る撮影範囲画像を記憶する見本画像記憶部を備え；

前記撮影不足領域判定部は、前記測定対象物に係る撮影範囲画像を前記模擬対象物に係る撮影範囲画像と比較することにより、撮影不足領域が有るか否かを判定する；

請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか 1 項に記載の三次元計測用画像撮影装置。

【請求項 11】

前記撮影不足領域判定部の判定結果を前記表示部に表示させる撮影不足情報報知部を備える；

請求項 5、請求項 9 又は請求項 10 に記載の三次元計測用画像撮影装置。

【請求項 12】

前記特徴点は自他識別可能な識別コードを有するマークを含み；

前記特徴点抽出部で抽出されたマークの識別コードを識別するコード識別部を備える；

請求項 1 ないし請求項 11 のいずれか 1 項に記載の三次元計測用画像撮影装置。

【請求項 13】

前記撮影範囲画像は、前記測定対象物の三次元モデル画像、オルソ画像又は前記測定対象物を全周囲から中心点に向けて投影し連続的に配列した全周囲画像のいずれかである；

請求項 1 ないし請求項 12 のいずれか 1 項に記載の三次元計測用画像撮影装置。

【請求項 14】

前記撮影部及び前記表示部を有する第 1 ユニットは前記三次元位置測定部及び前記撮影範囲画像形成部を有する第 2 ユニットから独立して移動可能に構成され、前記第 1 ユニットと前記第 2 ユニットとは、有線又は無線により通信可能に構成されている；

請求項 1 ないし請求項 13 のいずれか 1 項に記載の三次元計測用画像撮影装置。

【請求項 15】

測定対象物を単カメラにより重複させながら順次撮影する三次元計測用画像撮影方法において；

撮影者が複数の撮影位置から前記測定対象物を撮影して撮影画像を取得する撮影工程と；

前記撮影工程で取得された撮影画像における前記測定対象物の特徴点を抽出する特徴点抽出工程と；

前記撮影画像の測定対象物の領域を前記特徴点抽出工程で抽出された 3 以上の特徴点で

10

20

30

40

50

囲まれた領域（当該特徴点を含む）からなる撮影領域に区分する撮影領域区分工程と；

前記特徴点抽出工程で抽出された特徴点の複数の撮影画像における画面位置から、前記特徴点の三次元座標を求める三次元位置測定工程と；

前記測定対象物の撮影範囲を三次元空間に表現する撮影範囲画像の座標空間に前記三次元位置測定工程で求められた各特徴点を書き込み、前記撮影範囲画像の座標空間に書き込まれた特徴点のうち、前記撮影領域を囲む３以上の特徴点を結線して前記撮影領域毎に区画し、前記撮影範囲画像をワイヤフレーム画像として形成する撮影範囲画像形成工程と；

前記撮影範囲画像に撮影不足領域があるか否かを判定する撮影不足領域判定工程と；

前記撮影範囲画像形成工程で形成された撮影範囲画像を表示する表示工程とを備える；  
三次元計測用画像撮影方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は三次元計測用画像撮影装置及びその方法に関する。詳しくは、測定対象物を単カメラにより重複させながら順次撮影する際に、撮影の進捗状況を把握しながら撮影を進める三次元計測用画像撮影装置及びその方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

測定対象物の全体像を把握し、三次元モデル画像に再現するには、複数の撮影位置から撮影した撮影画像を連結していく必要がある。このように撮影者が移動しながら撮影した複数の撮影画像から撮影装置または対象物の三次元座標を測定するには、２枚以上の各撮影画像上で相互に対応する特徴点（対象物上の同一点を表す）を求め、これを追跡する必要がある。この場合、三次元計測に不適切な特徴点が撮影画像に混入し得るので、撮影画像における特徴点の適否を判定しながら、その撮影装置の撮影位置、姿勢又は対象物の位置座標を精度良く計測できる画像処理装置が提案されている。（特許文献１参照）

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

【特許文献１】特開２００７－１８３２５６号公報（図１～図１１、段落００２１～００６５）

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

単カメラを用いて移動しながら撮影を行い、測定対象物の三次元計測を行う場合に、多数の方向からかつ画像を重複させながら撮影を行い、画像を連続的に接続して行く必要がある。しかしながら、測定対象物の全周撮影を行う場合や、測定対象物が大きい場合・広い場合、形状が複雑な場合等には、撮影枚数が多数になり、三次元計測に必要な画像の重複状態が不明になったり、撮りこぼしが生じたりして、結果的に撮影画像に不足が生じ、解析ができない、再度現場に行き撮り直しする必要がある等、効率が悪くなるという問題があった。他方、撮影不足を補うために予め撮影枚数を多目にとると、解析時の画像処理や作業の手間が多くなり、やはり結果的に効率が悪くなるという問題があった。

40

【０００５】

本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであり、単カメラを用いて移動しながら撮影を行う場合に、撮影の進捗状況を把握できれば、撮影を過不足なく効率的に行なうことが可能になる。すなわち、１回撮影すれば外観を捉えることができるが、三次元計測には２つの撮影画像に重複して撮影された特徴点を使用するため２回以上の撮影が必要である。また、撮影画像をパノラマ画像のように接続するためには、接続に使用される特徴点は３回以上撮影される必要がある。また、特徴点の撮影回数が多い程、当該特徴点の三次元計測の精度が向上する。そこで、撮影の途中において、撮影の重複状況や不足状況等の進捗状況を把握できるようにすることが望まれていた。

50

## 【 0 0 0 6 】

本発明は、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる三次元計測用画像撮影装置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】

## 【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するため、本発明の第 1 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1 は、例えば図 1 に示すように、測定対象物 2 を単カメラにより重複させながら順次撮影する三次元計測用画像撮影装置において、撮影者が複数の撮影位置から測定対象物 2 を撮影して撮影画像を取得する撮影部 3 と、撮影部 3 で取得された撮影画像における測定対象物 2 の特徴点を抽出する特徴点抽出部 6 1 と、撮影画像の測定対象物 2 の領域を特徴点抽出部 6 1 で抽出された 3 以上の特徴点で囲まれた領域（当該特徴点を含む）からなる撮影領域に区分する撮影領域区分部 8 1 と、特徴点抽出部 6 1 で抽出した特徴点の複数の撮影画像における画面位置から、特徴点の三次元座標を求める三次元位置測定部 7 と、測定対象物 2 の撮影範囲を三次元空間に表現する撮影範囲画像の座標空間に三次元位置測定部 7 で三次元座標が求められた各特徴点を書き込み、撮影範囲画像の座標空間に書き込まれた特徴点のうち、撮影領域を囲む 3 以上の特徴点を結線して撮影領域毎に区画し、撮影範囲画像をワイヤフレーム画像として形成する撮影範囲画像形成部 8 5 と、撮影範囲画像に撮影不足領域が有るか否かを判定する撮影不足領域判定部 8 6 と、撮影範囲画像形成部 8 5 で形成された撮影範囲画像を表示する表示部 4 とを備える。

## 【 0 0 0 8 】

ここにおいて、撮影範囲画像とは、測定対象物 2 の撮影範囲を三次元空間に表現する画像である。撮影範囲画像は、最初は座標空間だけであるが、撮影範囲画像形成部 8 5 により各特徴点を書き込まれ、撮影領域を囲む 3 以上の特徴点を結線して撮影領域毎に区画されることによりワイヤフレーム画像として形成され、必要に応じて、区画された撮影領域に撮影画像を当てはめる（貼り付ける）ことによりテクスチャ画像として形成される。また、撮影が進むにつれて、特徴点、撮影領域が追加され、ワイヤフレーム画像やテクスチャ画像として表現される範囲が増加していく。また、撮影領域は、ここでは 3 以上の特徴点に囲まれた領域である。必ずしも撮影画像の範囲（実際に撮影された範囲）に一致しなくても良く、例えば、この領域に焦点を当てて撮影したいというように、撮影の目標と成り得る領域であっても良い。撮影領域を撮影画像内の特徴点に囲まれた最大の多角形領域としても良いが、この場合は他の撮影画像と一部重複することが見出されたら、重複部分と非重複部分で撮影回数に差異が生じるので、重複部分と非重複部分に分割するのが良い。また、3 つの特徴点に囲まれた小領域としても良いが、撮影領域数が多くなり、コンピュータの処理量が多くなるので、撮影回数が等しい複数の小領域を統合するのが良い。撮影画像の重複を見るためであれば、撮影画像全体の  $1/2 \sim 1/10$  程度が好適、 $1/3 \sim 1/5$  程度がより好適である。また、撮影画像における全ての撮影領域でカバーされる範囲が実際に撮影された範囲より狭くなり、これらの撮影領域外の部分が撮影されなかったとみなしても、確実に撮影された領域で撮影回数を計数していけば、重複を確実にする意味で安全サイドなので、必要な重複撮影を実行する上で問題はない。また、撮影領域画像記憶部 5 4 に記憶する撮影領域の部分は、その撮影領域が撮影されたいずれかの撮影画像から取得できるが、できるだけ当該撮影領域に垂直方向から撮影した撮影領域の部分を取得するのが、撮影範囲画像に当てはめる（貼り付ける）際の変形を少なくできるので好適である。また、三次元空間に表現される画像として、典型的には透視図、投影図からなる三次元モデル画像が挙げられるが、オルソ画像、全周囲画像も三次元空間を特定方向から見て表現される画像なので、三次元空間に表現される画像に含まれるものとする。また、ワイヤフレーム画像は測定対象物の三次元形状を線で表現した画像をいうが、線は必ずしも測定対象物の起伏に沿っておらず、例えば特徴点を直線で接続した画像を含むものとする。また、ワイヤフレーム画像を構成する特徴点は離散的に抽出されても良い。また、テクスチャ画像は測定対象物の表面の質感を表わすために撮影画像を貼り付けた画像をいうが、表面は必ずしも測定対象物の起伏に沿っておらず、例えば特徴点を直線で繋いで区

画した面を含むものとする。また、テクスチャ画像を構成する面は曲折があっても良く、特徴点は離散的に抽出されても良い。

【 0 0 0 9 】

本態様のように構成すると、単カメラを用いて移動しながら撮影を行う場合に、撮影範囲画像を用いて撮影範囲を視覚的に明示するので、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる三次元計測用画像撮影装置を提供できる。

【 0 0 1 0 】

本発明の第 2 の態様の三次元計測用画像撮影装置は、第 1 の態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 1 に示すように、撮影画像を撮影領域に区分して記憶する撮影領域画像記憶部 5 4 を備え、撮影範囲画像形成部 8 5 は、撮影範囲画像に区画された撮影領域に、撮影領域画像記憶部 5 4 に記憶された各撮影領域の画像を、撮影領域を囲む 3 以上の特徴点の位置が合致するように当てはめてテクスチャ画像としての撮影範囲画像を形成する。

10

【 0 0 1 1 】

ここにおいて、撮影範囲画像に区画された撮影領域に撮影領域画像記憶部 5 4 に記憶された撮影領域の画像を当てはめるとは、撮影領域を囲む 3 以上の特徴点の特徴点番号が撮影領域画像記憶部 5 4 に記憶された撮影領域の画像と撮影範囲画像に区画された撮影領域とで合致するように、撮影領域画像記憶部 5 4 に記憶された撮影領域の画像を伸縮して、撮影範囲画像の当該撮影領域の位置に当てはめる（貼り付ける）ことをいう。例えば、撮影領域を囲む 3 以上の特徴点の全てが同一平面上にある場合は、二次元平面上で伸縮して貼り付ければ良い。全ての特徴点が同一平面上にない場合は、各 3 つの特徴点を選択して二次元平面上で伸縮して貼り付け、それを合成していくことにより撮影領域の画像を形成しても良い。本態様のように構成すると、撮影範囲画像に撮影画像を貼り付けるので、撮影範囲画像をテクスチャ画像として実物ライクに表現でき、撮影の過不足及び進捗状況をビジュアルに把握できる。

20

【 0 0 1 2 】

本発明の第 3 の態様の三次元計測用画像撮影装置は、第 1 又は第 2 の態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 1 6 に示すように、撮影部 3 が新たな撮影画像を取得する都度、撮影範囲画像形成部 8 5 は新たな撮影範囲画像を形成し、表示部 4 は新たに形成された撮影範囲画像を表示する。

30

このように構成すると、撮影の進行中に撮影の進捗状況を撮影毎に、いわばオンラインに把握できる。

【 0 0 1 3 】

本発明の第 4 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1 A は、第 1 又は第 2 の態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 1 7 に示すように、撮影部 3 が新たな撮影画像を所定枚数取得した後に、撮影範囲画像形成部 8 5 は新たな撮影範囲画像を形成し、表示部 4 は新たに形成された撮影範囲画像を表示する。

ここにおいて、所定枚数とは、例えば測定対象物を撮影する撮影回数を適当に選定し、選定した撮影回数に応じて、8 回、16 回等適当に定めることができる。また、例えば、撮影予定位置を予め定めておき、所定枚数を撮影予定位置数、その 1 / 2、1 / 4 等としても良い。本態様のように構成すると、画像処理を所定枚数毎にまとめて行えるので効率的である。

40

【 0 0 1 4 】

本発明の第 5 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1 は、第 1 ないし第 4 のいずれかの態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 1 に示すように、各撮影領域について、異なる撮影画像に含まれる撮影回数を計数する領域撮影回数計数部 8 3 を備え、撮影不足領域判定部 8 6 は、領域撮影回数計数部 8 3 で計数された撮影回数に基づいて撮影範囲画像に撮影不足領域が有るか否かを判定する。

ここにおいて、撮影領域の撮影回数として、当該撮影領域を囲む全ての特徴点が抽出できた撮影回数を用いても良い。本態様のように構成すると、実際に撮影された回数で判定

50

するので、判定が確実になる。

【 0 0 1 5 】

本発明の第 6 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1 D は、第 1 ないし第 4 のいずれかの態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 2 8 に示すように、三次元位置測定部 7 は、抽出された特徴点の複数の撮影画像における画面位置から、撮影位置の三次元座標を求め、予め定められた複数の撮影予定位置を記憶する撮影予定位置記憶部 5 7 と、三次元位置測定部 7 で求められた撮影位置と撮影予定位置記憶部 5 7 に記憶された複数の撮影予定位置とを比較して、複数の撮影予定位置から次回撮影予定位置を選択する次回撮影予定位置選択部 9 2 と、次回撮影予定位置に対する撮影位置の相対的位置を求める移動情報演算部 9 1 と、移動情報演算部 9 1 で求められた相対位置に基づいて撮影位置から次回撮影予定位置へ撮影者が移動するようにガイド情報を作成し、表示部 4 に報知させる移動情報報知部 9 3 とを備える。

10

このように構成すると、撮影予定位置を定めて撮影を行うので、計画的に撮影ができる。また、ガイド情報により撮影者を撮影予定位置にガイドするので、撮影予定位置で撮影できる確実性が高い。

【 0 0 1 6 】

本発明の第 7 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1 E は、第 6 の態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 4 0 に示すように、撮影部 3 は、移動中の撮影者が現在位置で測定対象物 2 を撮影することによりライブ画像を取得し、三次元位置測定部 7 は、ライブ画像が取得された場合は、現在位置の三次元座標を求め、次回撮影予定位置選択部 9 2 は、三次元位置測定部 7 で位置座標が求められた現在位置と撮影予定位置記憶部 5 7 に記憶された複数の撮影予定位置とを比較して、複数の撮影予定位置から次回撮影予定位置を選択する。

20

【 0 0 1 7 】

ここにおいて、ライブ画像とは、移動中の撮影者が現在位置でビデオカメラやデジタルカメラ等で測定対象物 2 を撮影した画像をいう。通常は、ビデオカメラやデジタルカメラを用いて撮影者が移動しながらディスプレイ等に測定対象物をライブ画像として表示する。本態様のように構成すると、ライブ画像を見本画像と比較しながら撮影予定位置に移動できるので、撮影予定位置で撮影できる確実性が高い。

【 0 0 1 8 】

30

本発明の第 8 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1 D は、第 6 又は第 7 の態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 2 8 に示すように、撮影予定位置記憶部 5 7 は、三次元位置測定部 7 で位置座標が求められた撮影位置を既撮影位置として記憶し、次回撮影予定位置選択部 9 2 は、複数の撮影予定位置から撮影予定位置記憶部 5 7 に記憶された既撮影位置を除いて次回撮影予定位置を選択する。

このように構成すると、不要な重複撮影を防止できる。

【 0 0 1 9 】

本発明の第 9 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1 D は、第 8 の態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 2 9 に示すように、撮影不足領域判定部 8 6 は、撮影予定位置記憶部 5 7 において全ての撮影予定位置が既撮影位置として記憶された場合に撮影不足領域が無いと判定する。

40

このように構成すると、予定された撮影位置での撮影を確実に完了でき、撮影不足領域が生じる確率が低い。

【 0 0 2 0 】

本発明の第 1 0 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1 B は、第 1 ないし第 4 のいずれかの態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 2 0 に示すように、測定対象物 2 を模擬した模擬対象物に係る撮影範囲画像を記憶する見本画像記憶部 5 6 を備え、撮影不足領域判定部 8 6 は、測定対象物 2 に係る撮影範囲画像を模擬対象物に係る撮影範囲画像と比較することにより、撮影不足領域の有るか否かを判定する。

【 0 0 2 1 】

50

ここにおいて、模擬対象物とは、例えば、測定対象物が自動車である場合には、測定対象物に似た自動車又は自動車に似た模型をいう。形状が似ているほど好ましい。ただし、同じ型式の自動車や同一自動車で、ボケた部分や異物混入部分を修正したい、より高画質の撮影画像を得たい、条件を変えて撮影したい等の場合もあるので、模擬対象物は同じ型式の物や測定対象物自体を含むものとする。本態様のように構成すると、測定対象物に係る撮影範囲画像を模擬対象物に係る撮影範囲画像と比較することにより、自動的に撮影不足領域を検出できる。また、測定対象物に係る撮影範囲画像と模擬対象物に係る撮影範囲画像を表示部 4 に並べて表示し、撮影者が比較・確認できるようにしても良い。

#### 【0022】

本発明の第 11 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1 は、第 9 又は第 10 の態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 1 に示すように、撮影不足領域判定部 86 の判定結果を表示部 4 に表示させる撮影不足情報報知部 87 を備える。

このように構成すると、判定結果の報知により、撮影者は撮影不足か否かを適時に知ることができる。

#### 【0023】

本発明の第 12 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1C は、第 1 ないし第 11 のいずれかの態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 22 に示すように、特徴点は自他識別可能な識別コードを有するマークを含み、特徴点抽出部 61 で抽出されたマークの識別コードを識別するコード識別部 63 を備える。

#### 【0024】

ここにおいて、自他識別可能な識別コードを有するマークには、数字列、文字列、記号のように識別可能な符号を用いたコード、バーコード、2次元バーコード、カラーコードのようにパターン配置に識別性を持たせたコードが含まれる。このうち、実施例では主にカラーコードを使用する例を説明する。マークの配置は、例えば、測定対象物 2 の全容を把握できるように測定対象物 2 の表面にほぼ均等な間隔で配置することが好ましい。また、形状が複雑な部分や変化の大きい部分には詳細を把握しやすいように高密度に配置することが好ましい。

本態様のように構成すると、識別コードを利用して、特徴点抽出や対応点探索が容易になり、三次元位置計測が効率的になる。また、自他識別可能な識別コードを有するマークを用いるので、撮影画像の接続、マーク位置の三次元計測、三次元モデル画像の形成等の画像処理の自動化に有利である。

#### 【0025】

本発明の第 13 の態様の三次元計測用画像撮影装置 1 は、第 1 ないし第 12 のいずれかの態様の三次元計測用画像撮影装置において、例えば図 25 に示すように、撮影範囲画像は、測定対象物 2 の三次元モデル画像、オルソ画像又は測定対象物 2 を全周囲から中心点に向けて投影し連続的に配列した全周囲画像のいずれかである。

#### 【0026】

ここにおいて、三次元モデル画像とは、2枚以上の立体写真から被写体が撮影されたときの状態に再現されたとき得られる立体像のことをいう。求められた三次元座標から撮影範囲画像空間に特徴点を配置し構築すれば三次元モデル画像、平面図に並行投影にて投影すればオルソ画像、中心投影のまま平面上に投影し各モデル画像を投影し連続的に配列していけば全周囲画像となる。本態様のように構成すると、三次元モデル画像等を用いて、撮影範囲画像に既撮影範囲をビジュアルに表現でき、進捗状況を容易かつ正確に把握できる。

#### 【0027】

本発明の第 14 の態様の三次元計測用画像撮影装置は、第 1 ないし第 13 のいずれかの態様の三次元計測用画像撮影装置において、撮影部 3 及び表示部 4 を有する第 1 ユニットは三次元位置測定部 7 及び撮影範囲画像形成部 85 を有する第 2 ユニットから独立して移動可能に構成され、第 1 ユニットと第 2 ユニットとは、有線又は無線により通信可能に構成されている。



本態様のように構成すると、撮影者は負担が小さく敏速に行動できる。また、高性能・高速処理のコンピュータ処理に適する。

【 0 0 2 8 】

本発明の第 1 5 の態様の三次元計測用画像撮影方法は、例えば図 1 6 及び図 1 7 に示すように、測定対象物 2 を単カメラにより重複させながら順次撮影する三次元計測用画像撮影方法において、撮影者が複数の撮影位置から測定対象物 2 を撮影して撮影画像を取得する撮影工程 ( S 1 0 0 ) と、撮影工程で取得された撮影画像における測定対象物 2 の特徴点を抽出する特徴点抽出工程 ( S 1 2 0 ) と、特徴点抽出工程で求められた 3 以上の特徴点で囲まれた領域 ( 当該特徴点を含む ) からなる撮影領域に区分する撮影領域区分工程 ( S 2 2 0 ) と、撮影画像を撮影領域に区分して記憶する撮影領域画像記憶工程 ( S 2 2 5 ) と、特徴点抽出工程で抽出された特徴点の複数の撮影画像における画面位置から、特徴点の三次元座標を求める三次元位置測定工程 ( S 1 4 0 ) と、測定対象物 2 の撮影範囲を三次元空間に表現する撮影範囲画像の座標空間に三次元位置演算工程で求められた各特徴点を書き込み、撮影範囲画像に撮影領域画像記憶工程で記憶された各撮影領域を、撮影領域を囲む 3 以上の特徴点の位置が合致するように結線して撮影領域毎に区画する撮影範囲画像形成工程 ( S 2 4 0 ) と、撮影範囲画像に撮影不足領域が有るか否かを判定する撮影不足領域判定工程 ( S 1 7 0 ) と、撮影範囲画像形成工程で形成された撮影範囲画像を表示する表示工程 ( S 1 6 0 ) とを備える。

【 0 0 2 9 】

本態様のように構成すると、単カメラを用いて移動しながら撮影を行う場合に、撮影範囲画像を用いて撮影範囲を視覚的に明示するので、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる三次元計測用画像撮影方法を提供できる。

【 発明の効果 】

【 0 0 3 0 】

本発明によれば、単カメラを用いて移動しながら撮影を行う場合に、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる画像撮影装置を提供できる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 1 】

【 図 1 】 実施例 1 に係る三次元計測用画像撮影装置の構成例を示すブロック図である。

【 図 2 】 対応点探索を説明するための図である。

【 図 3 】 特徴点及び対応点の例を示す図である。

【 図 4 】 相互標定を説明するための図である。

【 図 5 】 ステレオ法を説明するため図である。

【 図 6 】 撮影対象物である土器に特徴点としてのマークが貼付された撮影画像の例を示す図である。

【 図 7 】 撮影範囲画像の座標空間に書き込まれた特徴点の位置の例を示す図である。

【 図 8 】 撮影範囲画像における撮影領域の区画例を示す図である。

【 図 9 】 撮影範囲画像における撮影領域を撮影回数で区別した例を示す図である。

【 図 1 0 】 撮影範囲画像に撮影領域が追加されていく例を示す図である。

【 図 1 1 】 撮影範囲画像の完成例を示す図である。

【 図 1 2 】 実施例 1 における撮影範囲画像に撮影画像を貼付表示した例を示す図である。

【 図 1 3 】 撮影範囲画像がオルソ画像である例を示す図である。

【 図 1 4 】 撮影範囲画像がワイヤフレーム画像である例を示す図である。

【 図 1 5 】 撮影範囲画像が全周画像である例を示す図である。

【 図 1 6 】 実施例 1 における画像撮影の処理フロー例を示す図である。

【 図 1 7 】 実施例 1 における撮影範囲画像形成の処理フロー例を示す図である。

【 図 1 8 】 実施例 2 に係る三次元計測用画像撮影装置の構成例を示すブロック図である。

【 図 1 9 】 実施例 2 における画像撮影の処理フロー例を示す図である。

【 図 2 0 】 実施例 3 に係る三次元計測用画像撮影装置の構成例を示すブロック図である。

【 図 2 1 】 実施例 3 における撮影範囲画像形成の処理フロー例を示す図である。

【図 2 2】実施例 4 に係る三次元計測用画像撮影装置の構成例を示すブロック図である。  
 【図 2 3】カラーコードターゲットの例を示す図である。  
 【図 2 4】レトロターゲットを用いた重心位置検出の説明図である。  
 【図 2 5】実施例 4 における撮影範囲画像の例を示す図である。  
 【図 2 6】実施例 4 における画像撮影の処理フロー例を示す図である。  
 【図 2 7】カラーコードターゲットとレトロターゲットとを共に識別性マークとして用いる例を示す図である。

【図 2 8】実施例 6 に係る三次元計測用画像撮影装置の構成例を示すブロック図である。  
 【図 2 9】実施例 6 における画像撮影の処理フロー例を示す図である。  
 【図 3 0】測定対象物と撮影予定位置との位置関係を示す図である。

10

【図 3 1】撮影予定位置を撮影範囲画像に書き込んだ例（その 1）を示す図である。  
 【図 3 2】撮影予定位置を撮影範囲画像に書き込んだ例（その 2）を示す図である。  
 【図 3 3】撮影範囲画像に撮影位置を指示した例（その 1）を示す図である。  
 【図 3 4】撮影範囲画像に撮影位置を指示した例（その 2）を示す図である。  
 【図 3 5】撮影範囲画像に撮影領域を形成した例（その 1）を示す図である。  
 【図 3 6】撮影範囲画像に撮影領域を形成した例（その 2）を示す図である。  
 【図 3 7】撮影範囲画像に撮影領域を形成した例（その 3）を示す図である。  
 【図 3 8】撮影範囲画像に撮影領域を貼付表示した例（その 1）を示す図である。  
 【図 3 9】撮影範囲画像に撮影画像を貼付表示した例（その 2）を示す図である。

【図 4 0】実施例 7 に係る三次元計測用画像撮影装置の構成例を示すブロック図である。

20

【図 4 1】ライブ画像と見本画像の表示例（その 1）を示す図である。  
 【図 4 2】ライブ画像と見本画像の表示例（その 2）を示す図である。  
 【図 4 3】ライブ画像と見本画像の表示例（その 3）を示す図である。  
 【図 4 4】実施例 7 における画像撮影の処理フロー例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0032】

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。尚、各図において、互いに同一又は相当する部分には同一符号を付し、重複した説明は省略する。以下の実施例は、測定対象物を単カメラにより重複させながら順次撮影する際に、撮影の進捗状況を把握しながら撮影を進める三次元計測用画像撮影装置及び撮影方法に関する。

30

【実施例 1】

【0033】

実施例 1 では、測定対象物の特徴点の三次元座標を求め、撮影画像を 3 以上の特徴点に囲まれた撮影領域に区分して、測定対象物の撮影範囲を三次元空間に表現する撮影範囲画像を形成する例を説明する。また、撮影の都度、新たな撮影範囲画像を形成し、表示する例を説明する。また、撮影不足領域の有無の判定は、撮影領域の撮影回数を計数し、所定の撮影回数に達していない撮影領域の有無により行なう例を説明する。

【0034】

〔装置構成〕

図 1 は本発明の実施例 1 に係る三次元計測用画像撮影装置 1 の構成例を示すブロック図である。三次元計測用画像撮影装置 1 は、測定対象物 2 を撮影する撮影部 3、撮影画像及び画像処理した画像等を表示する表示部 4、操作者がデータや指示等を入力する入力部 4A、撮影画像及び画像処理した画像、特徴点や撮影領域の位置や撮影回数等を記憶する記憶部 5、撮影画像から特徴点を抽出する特徴抽出部 6、測定対象物 2 の特徴点及び撮影位置の三次元座標を求める三次元位置測定部 7、撮影画像を撮影領域に区分する、特徴点や撮影領域の撮影回数を計数する、撮影範囲画像を形成する、撮影不足領域の有無を判定する等の画像処理を行う画像処理部 8、三次元計測用画像撮影装置 1 及びそれを構成する各部を制御する制御部 10 を備える。記憶部 5 は、撮影画像記憶部 51、特徴点撮影回数記憶部 52、領域撮影回数記憶部 53、撮影領域画像記憶部 54、特徴点位置関係記憶部 55 を有する。特徴抽出部 6 は、特徴点抽出部 61 を有する。三次元位置測定部 7 は、対応

40

50

点探索部 7 1、標定部 7 2、三次元位置演算部 7 3 を有する。画像処理部 8 は、撮影領域区分部 8 1、特徴点撮影回数計数部 8 2、領域撮影回数計数部 8 3、測定対象物境界抽出部 8 4、撮影範囲画像形成部 8 5、撮影不足領域判定部 8 6、撮影不足情報報知部 8 7 を有する。なお、特徴抽出部 6、三次元位置測定部 7、画像処理部 8、制御部 10 はパーソナルコンピュータ (PC) 15 内に構成される。

#### 【0035】

本実施例に係る三次元計測用画像撮影装置 1 は、測定対象物 2 の全周撮影を行う場合や、測定対象物 2 が大きい場合・広い場合、形状が複雑な場合等の撮影に適している。

撮影部 3 は、単カメラ、例えばビデオカメラやデジタルカメラで構成される。撮影者は、撮影部 3 としての単カメラを用いて、例えば測定対象物 2 の周りを移動しながら、重複撮影領域を設けて順次撮影する。三次元計測するには、重複撮影領域を共有する 2 つの撮影画像をステレオ画像として、その重複撮影領域から特徴点を抽出し、これらの特徴点の三次元座標を求めるため、重複して撮影することが必要である。ビデオカメラではシャッター操作により通常は撮影画像を外部のメモリに記憶するが、内部メモリがあればそこに記憶される。デジタルカメラではシャッター操作により撮影画像を内部メモリに記憶する。

表示部 4 は、例えば、液晶ディスプレイ等のディスプレイを有する。少なくとも、測定対象物 2 の撮影範囲画像を表示し、その中に特徴点や撮影領域を表示する。その他、撮影画像、画像処理した画像、オルソ画像、全周囲画像等を表示しても良い。また、音声表示する場合にはスピーカを有する。

入力部 4 A は、例えばマウスやキーボードを有し、操作者がデータ及び指示を入力するために使用される。

#### 【0036】

記憶部 5 は、例えばハードディスクで構成され、データベースとして使用される。撮影画像及び画像処理した画像を記憶する撮影画像記憶部 5 1、各特徴点について、撮影回数を特徴点番号と対応付けて記憶する特徴点撮影回数記憶部 5 2、各撮影領域について、撮影回数を当該撮影領域を囲む特徴点の特徴点番号と対応付けて記憶する領域撮影回数記憶部 5 3、撮影画像から各撮影領域の画像を抽出して記憶する撮影領域画像記憶部 5 4、各特徴点について、特徴点番号を三次元位置座標及び各撮影画像中の位置座標と対応付けて記憶する特徴点位置関係記憶部 5 5 を有する。撮影画像記憶部 5 1 としてカメラの内部メモリを用いても良いが、PC 15 のハードディスクを用いる方が高速、多様な処理に適しているので好ましい。本実施例では、外部メモリを用いるカメラでは撮影画像を記憶部 5 に直接記憶し、内部メモリを用いるカメラでは撮影画像を記憶部 5 に転送するものとする。

#### 【0037】

##### [ 特徴抽出部 ]

特徴抽出部 6 は、撮影画像から特徴点を抽出する特徴点抽出部 6 1 を有する。特徴点抽出部 6 1 は複数の撮影画像から特徴点を抽出する。特徴点には、例えば測定対象物 2 の中心位置、重心位置、コーナー位置、他と異なる特徴を有する位置、測定対象物 2 に貼付された又は投影された標識などがある。特徴点抽出には特徴抽出オペレータが使用される。ここではモラベック (MORAVEC) オペレータを用いる例を説明する。

#### 【0038】

MORAVEC オペレータは、汎用の特徴抽出器として古くから使用されている。MORAVEC オペレータは、例えば、ある注目画素の周囲  $3 \times 3$  画素をマスクとし、マスクが注目画素の周囲 4 方向に各 1 画素移動した際の濃度差分 (方向濃度差分) の最小値をその注目画素の特徴量とする。処理が単純で高速であること、比較的容易にハード化が可能なことなどが特徴である。なお、高速処理を行うためには、画像の数倍のメモリが必要となる。ここではモラベックオペレータによる特徴点抽出を説明したが、他のオペレータ、例えばハリスオペレータやその他のもの、特徴点を検出できるものならなんでもよい。

#### 【0039】

### [ 三次元位置測定部 ]

三次元位置測定部 7 は、特徴抽出部 6 で抽出された特徴点の撮影画像における画面位置から、撮影対象物 2 の特徴点の三次元位置座標を求める。三次元位置測定部 7 は、特徴点抽出部 6 1 で抽出された特徴点について、ステレオ画像で対応点を求める対応点探索部 7 1、対応点探索部 7 1 で求められた対応点に基づいて、撮影部 3 におけるカメラの位置と傾きを求める標定を行なう標定部 7 2、標定部 7 2 で求められたカメラの位置と傾きを用いて特徴点の三次元位置座標を求める三次元座標演算部 7 3 を有する。

### 【 0 0 4 0 】

三次元計測では、2 枚以上の撮影画像における重複部分の特徴点を用いて、対応点探索、相互標定を行い、測定対象物 2 の特徴点の三次元座標を求める。まず、2 枚の撮影画像をステレオ画像（一方を基準画像、他方を探索画像とする）とし、対応点探索部 7 1 にて特徴点の対応付け（対応点探索）を行なう。例えば、相互相関処理により対応点探索を行なう。ステレオ画像の選択は、例えば撮影の順序に添って、最後に撮影した既撮影画像と新たに撮影した撮影画像をステレオ画像とする。また、新たな撮影画像との重複領域が最も大きい既撮影画像と新たな撮影画像をステレオ画像としても良く、新たな撮影画像との共有特徴点数が最も多い既撮影画像と新たな撮影画像をステレオ画像としても良い。

10

### 【 0 0 4 1 】

#### [ 相互相関処理 ]

相互相関係数による方法

#### 【 数 1 】

20

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

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

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

30

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

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

$I_{(a,b)}(m_1, n_1)$  : 入力画像の部分画像

$T(m_1, n_1)$  : テンプレート画像

40

### 【 0 0 4 2 】

図 2 は対応点探索を説明するための図である。図 2 に示すように  $N_1 \times N_1$  画素のテンプレート画像を、それより大きい  $M_1 \times M_1$  画素の入力画像内の探索範囲  $(M_1 - N_1 + 1)^2$  上で動かし、上式の  $C(a, b)$  が最大になるようなテンプレート画像の左上位置を求めて、テンプレート画像に対し探索されたとみなす。左右画像の場合には、例えば左画像上に  $N_1 \times N_1$  画素のテンプレート画像を設定し、右画像上に  $M_1 \times M_1$  画素の探索領域を設定し、この操作を各画像上での位置について行えばよい。

ここでは、対応点探索に関し、正規化相互相関処理について説明したが、他の手法、例

50

えば、残差逐次検定法（SSDA）などを用いてもよい。

【0043】

図3に特徴点及び対応点の例を示す。図3（a）は左画像から抽出された特徴点、図3（b）は右画像から抽出された特徴点、図3（c）は対応付けされた特徴点を示す。左画像と右画像はステレオペアを構成し、左右に僅かにずれた位置で撮影されている。左画像及び右画像において、測定対象物2としての自動車に付された多数の点の位置が特徴点として抽出された点の位置である。対応点探索によりこれらの特徴点の大部分が対応付けられ、図3（c）において三次元座標空間（ここでは透視図を使用）に表示されている。これらの特徴点には特徴点番号が付され、三次元位置座標及び左右画像における位置座標が特徴点位置関係記憶部55に記憶される。

10

【0044】

[外部標定要素の算出：相互標定]

次に、左右画像の対応付けられた点から、相互標定法によってカメラの位置、傾きを求める方法について説明する。相互標定は標定部72にて行なう。

モデル画像とは、2枚以上の撮影画像から被写体が撮影されたときの状態に再現されたとき得られる立体像のことをいう。相対的に相似なモデル画像を形成することを、相互標定という。すなわち、相互標定とは、撮影画像の対応する2本の光束が交会するように、左右それぞれのカメラの投影中心の位置および傾きを定めるものである。

【0045】

図4は相互標定を説明するための図である。次に、各モデル画像の標定計算の詳細について説明する。この計算により、左右それぞれのカメラの位置（三次元座標と三軸の傾き）が求められる。

20

以下の共面条件式によりこれらのカメラの位置に係るパラメータを求める。

【数2】

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

30

$X_{01}$ 、 $Y_{01}$ 、 $Z_{01}$ ：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

【0046】

40

モデル座標系の原点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 $\theta_{1z}$ 、Y軸の回転角 $\theta_{1y}$ 、右側のカメラのZ軸の回転角 $\theta_{2z}$ 、Y軸の回転角 $\theta_{2y}$ 、X軸の回転角 $\theta_{2x}$ の5つの回転角となる。この場合左側のカメラのX軸の回転角 $\theta_{1x}$ は0なので、考慮する必要ない。

【0047】

このような条件にすると、（式1）の共面条件式は（式2）のようになり、この式を解けば各パラメータが求まる。

## 【数 3】

$$F(\kappa_1, \phi_1, \kappa_2, \phi_2, \omega_2) = \begin{vmatrix} Y_1 & Z_1 \\ Y_2 & Z_2 \end{vmatrix} = Y_1 Z_2 - Y_2 Z_1 = 0 \cdots (\text{式2})$$

## 【0048】

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（式3）、（式4）が成り立つ。

## 【数 4】

10

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_1 & 0 & \sin \phi_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi_1 & 0 & \cos \phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa_1 & -\sin \kappa_1 & 0 \\ \sin \kappa_1 & \cos \kappa_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -c \end{pmatrix} \cdots (\text{式3})$$

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega_2 & -\sin \omega_2 \\ 0 & \sin \omega_2 & \cos \omega_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_2 & 0 & \sin \phi_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi_2 & 0 & \cos \phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa_2 & -\sin \kappa_2 & 0 \\ \sin \kappa_2 & \cos \kappa_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdots (\text{式4})$$

20

## 【0049】

これらの式を用いて、次の手順により、未知パラメータを求める。

(a) 未知パラメータの初期近似値は通常0とする。

(b) 共面条件式（式2）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3）、（式4）により求め、観測方程式をたてる。

(c) 最小二乗法をあてはめ、近似値に対する補正量を求める。

(d) 近似値を補正する。

(e) 補正された近似値を用いて、(b)～(e)までの操作を収束するまで繰り返す。

30

未知パラメータ（ $\kappa_1, \phi_1, \kappa_2, \phi_2, \omega_2$ ）を求めることにより、カメラの位置と傾きが求まる。

相互標定法によってカメラの位置が求まれば、ステレオ法によって対象空間点上の三次元座標、すなわち特徴点の三次元座標を求めることが可能となる。

## 【0050】

## 〔ステレオ法〕

図5はステレオ法を説明するための図である。

簡単のために、同じカメラを2台（C1, C2）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CCD面までの距離  $c$  が等しく、CCDは光軸に直角に置かれているものとする。2つの光軸間距離（基線長）を  $B$  とする。

40

物体上の点  $P(x, y, z)$  とカメラ C1, C2 の撮影画面上の点  $P1(x1, y1)$ 、 $P2(x2, y2)$  の座標の間には、以下のような関係がある。

$$x1 = c x / z \quad \cdots (\text{式5})$$

$$y1 = y2 = c y / z \quad \cdots (\text{式6})$$

$$x2 - x1 = c B / z \quad \cdots (\text{式7})$$

但し、全体の座標系（ $x, y, z$ ）の原点をカメラ C1 のレンズ主点にとるものとする。

## 【0051】

50

(式7)より $z$ を求め、これを用いて(式5)、(式6)より $x$ 、 $y$ が求められる。

求められた特徴点の位置座標を撮影範囲画像にマッピングできれば、マッピングされた特徴点から撮影領域を囲む3以上の特徴点を選択して結線することにより、撮影範囲画像を区画し、撮影範囲画像をワイヤフレーム画像として形成することができる。

#### 【0052】

また、各特徴点の三次元座標が求めれば、三次元モデル画像、オルソ画像、全周囲画像を形成できる。求められた三次元座標から撮影範囲画像空間に特徴点を配置し構築すれば三次元モデル画像、平面図に並行投影にて投影すればオルソ画像、中心投影のまま平面上に各モデル画像を投影し連続的に配列していけば全周囲画像となる。すなわち、撮影範囲画像を三次元モデル画像、オルソ画像、全周囲画像で表現できる。また、テクスチャ画像、ワイヤフレーム画像等で表現できる。また、三次元モデル画像は透視図や投影図等で任意の方向から表現できる。また、三次元座標を用いることにより撮影範囲画像の精度を向上できる。

#### 【0053】

##### [画像処理部]

図1に戻り、画像処理部8は、撮影画像について、測定対象物2の領域を3以上の特徴点で囲まれた領域(当該特徴点を含む)からなる撮影領域に区分して撮影領域番号を付与する撮影領域区分部81、各特徴点について、異なる撮影画像に含まれる撮影回数を計数する特徴点撮影回数計数部82、各撮影領域について、異なる撮影画像に含まれる撮影回数を計数する領域撮影回数計数部83、測定対象物2と背景の境界を抽出する測定対象物境界抽出部84、三次元位置測定部7で位置座標が測定された特徴点を撮影範囲画像に書き込み、撮影範囲画像の座標空間に書き込まれた特徴点のうち、撮影領域を囲む3以上の特徴点を結線して撮影領域毎に区画し、撮影範囲画像をワイヤフレーム画像として形成する撮影範囲画像形成部85と、撮影範囲画像に撮影不足領域が有るか否かを判定する撮影不足領域判定部86と、撮影不足領域判定部86の判定結果を表示部4に表示させる撮影不足情報報知部87を有する。

#### 【0054】

撮影範囲画像とは、測定対象物2の撮影範囲を三次元空間に表現する画像である。撮影範囲画像は、最初は座標空間だけであるが、撮影範囲画像形成部85により各特徴点が書き込まれ、撮影領域を囲む3以上の特徴点を結線して撮影領域毎に区画されることによりワイヤフレーム画像として形成され、必要に応じて、区画された撮影領域に撮影画像を当てはめる(貼り付ける)ことによりテクスチャ画像として形成される。また、撮影が進むにつれて、特徴点、撮影領域が追加され、ワイヤフレーム画像やテクスチャ画像として表現される範囲が増加していく。

#### 【0055】

撮影領域区分部81は、撮影画像において、測定対象物2の領域を撮影領域に区分する。3以上の特徴点を頂点とする多角形で測定対象物2の領域を多数の領域に区分することができる。本実施例では、撮影領域の重複状況を把握するのが目標なので、撮影画像の範囲に応じた大きさの撮影領域に区分するのが好ましい。撮影領域を細かく多数にすると画像処理に時間がかかり、撮影領域をあまり大きくすると撮影画像からはみだして撮影回数を計数できなくなるので、撮影画像の範囲に応じて適切な大きさの撮影領域に区分するのが好ましい。例えば、ほぼ一平面内にあり焦点が合う範囲を、面積に応じて1~4分割する等である。撮影領域を撮影画像内(実際に撮影された範囲)の特徴点に囲まれた最大の多角形領域としても良いが、この場合は他の撮影画像と一部重複することが見出されたら、重複部分と非重複部分で撮影回数に差異が生じるので、重複部分と非重複部分に分割していくことが好ましい。また、3つの特徴点に囲まれた小領域としても良いが、撮影領域数が多くなり、コンピュータの処理量が多くなるので、撮影回数が等しい複数の小領域を統合していくことが好ましい。撮影画像の重複を見るためであれば、撮影画像全体の1/2~1/10程度が好適、1/3~1/5がより好適である。

#### 【0056】

対象物境界抽出部 8 4 は撮影画像における測定対象物 2 と背景の境界を抽出する。撮影画像における測定対象物 2 と背景の境界については、境界及びその周辺からも特徴点が抽出される。これらの特徴点が測定対象物 2 と背景のどちらに属するかは、三次元計測された特徴点の座標の位置から判定可能である。すなわち、測定対象物 2 と背景との境界では三次元座標が断続的に変化する。このようにして測定対象物 2 と背景の境界を抽出することができる。なお、境界上の特徴点は通常は測定対象物 2 に属するので、これらの特徴点と測定対象物 2 側の特徴点を結線して撮影領域を形成できる。この場合、例えば自動車の屋根とボンネットとの距離差については、距離差が閾値内であり自動車と背景との境界ではないと判定しても良く、屋根とボンネットで別の撮影領域を形成することとし、焦点に近い一方を選択し、他方を再度撮影しても良い。また、測定対象物 2 と背景の色彩の差異からその境界を抽出することも可能である。例えば、対象物境界抽出部 8 4 に測定対象物 2 の色彩を認識させておき、これらと異なる色彩の部分を背景と判定するようにする。なお、背景を白・黒等の特定の色彩にしておく、測定対象物 2 と背景の色彩の差異を抽出するのに好適である。この場合、背景は無模様単色とするのが好ましい。

10

20

30

40

50

#### 【0057】

特徴点撮影回数計数部 8 2 は、各特徴点について、異なる撮影画像に含まれる撮影回数を計数する。すなわち、撮影画像記憶部 5 1 に記憶された各撮影画像から当該特徴点を抽出し、抽出できた回数を当該特徴点の撮影回数とする。計数された撮影回数は、当該特徴点の特徴点番号と対応付けて特徴点撮影回数記憶部 5 2 に記憶する。撮影回数 1 回でも特徴点番号が抽出され、特徴点番号が付され、特徴点撮影回数記憶部 5 2 に記憶される。特徴点撮影回数記憶部 5 2 は、全ての特徴点について撮影回数を記憶する必要はなく、少なくとも、撮影領域を形成するに十分な数の特徴点を選択して記憶すれば良い。

#### 【0058】

領域撮影回数計数部 8 3 は、各撮影領域について、異なる撮影画像に含まれる撮影回数を計数する。すなわち、記憶部 5 に記憶された各撮影画像から当該撮影領域を囲む特徴点を抽出し、当該撮影領域を囲む全ての特徴点が抽出できた回数を当該撮影領域の撮影回数とする。これらの特徴点の 1 つでも欠けていれば、撮影領域全体が撮影されたことにならないので、計数されない。計数された撮影回数は、当該撮影領域を囲む特徴点の特徴点番号と対応付けて領域撮影回数記憶部 5 3 に記憶する。撮影回数が 1 回でも撮影領域が抽出され、撮影領域番号が付され、領域撮影回数記憶部 5 3 に記憶される。また、撮影画像における全ての撮影領域でカバーされる範囲が実際に撮影された範囲より狭くなり、これらの撮影領域外の部分が撮影されなかったとみなしても、確実に撮影された領域で撮影回数を計数していけば、重複を確実にする意味で安全サイドなので、必要な重複撮影を実行する上で問題はない。

#### 【0059】

撮影範囲画像形成部 8 5 は、第 1 に、三次元位置測定部 7 で位置座標が測定された特徴点を撮影範囲画像の座標空間に書き込む。

#### 【0060】

図 6 に撮影対象物 2 である土器にマーク（カラーコードターゲット及びレトロターゲット）が貼付された撮影画像の例を示す。カラーコードターゲット（図 2 3 参照）及びレトロターゲットについては実施例 4 で後述するが、ここでは、特徴点として使用することとする。

#### 【0061】

図 7 に撮影範囲画像の座標空間に書き込まれた特徴点の位置を示す。図 7 の特徴点の位置は図 6 のマークの位置を撮影範囲画像の座標空間に書き込んで表示したものである。撮影範囲画像の透視図の座標空間に特徴点の位置が正方形で表示され、それぞれに対応する特徴点番号（1～24）が表示されている。

#### 【0062】

撮影範囲画像形成部 8 5 は、第 2 に、撮影範囲画像の座標空間に書き込まれた特徴点のうち、撮影領域を囲む 3 以上の特徴点を結線して撮影領域毎に区画し、撮影範囲画像をワ



ワイヤフレーム画像として形成する。すなわち、撮影範囲画像に書き込まれた特徴点には特徴点番号が対応付けられている。従って、撮影領域を囲む3以上の特徴点について、これらと特徴点番号が一致する撮影範囲画像の特徴点の位置座標を結線することにより多角形が形成され、それが撮影範囲画像における当該撮影領域に該当することになる。このようにして、撮影画像において区分された全ての撮影領域（車底等の見えない部分を除く）について、その撮影領域を囲む3以上の特徴点について、撮影範囲画像における同じ特徴点番号が付された特徴点の位置座標を結線して区画することにより、撮影範囲画像をワイヤフレーム画像として形成することができる。

#### 【0063】

図8に撮影範囲画像における撮影領域の区画例を示す。透視図の座標空間に自動車の領域が複数の撮影領域に区分されている例である。これらの領域の多くは四角形であり、少なくとも3つの特徴点で囲まれた領域が1つの撮影領域として区分されている。

#### 【0064】

図9に撮影範囲画像における撮影領域を撮影回数で区別した例を示す。撮影範囲画像をワイヤフレーム画像として形成している。透視図の座標空間に自動車の領域が複数の撮影領域に区分され、色分け表示されている例である。色分け（図では模様別）表示された領域が重複撮影領域、白色で表示された領域が単一撮影領域、黒色で表示された領域が未撮影領域である。このように、撮影領域を色分けすることにより、撮影不足領域をビジュアルに把握でき、撮影の効率化が促進される。本実施の形態によれば、重複して撮影されなければ、特徴点の三次元座標は定まらないので撮影範囲画像には重複撮影領域以外は表示されない。ただし、予め撮影領域とこれを囲む3以上の特徴点の位置を予測しておき、撮影範囲画像にこの予測値を入力しておけば、単一撮影領域及び未撮影領域を表示することが可能である。特徴点の三次元座標が測定された場合には予測値を測定値に置換する。この撮影範囲画像はかような場合の例である。

#### 【0065】

図10に撮影範囲画像に撮影領域が順次追加されていく例を示す。測定対象物2は自動車であり、撮影範囲画像は透視図でワイヤフレーム画像として示されている。撮影部3が新たな撮影画像を取得する都度、撮影範囲画像形成部85は新たな撮影範囲画像を形成し、表示部4は新たに形成された撮影範囲画像を表示する。このため、撮影が行なわれる度に、新たな撮影領域が形成され、撮影範囲画像に新たな撮影領域が追加されていく。撮影の進捗につれて、撮影範囲画像に撮影領域が順次追加されている。図10(a)では撮影領域Q1が形成され、図10(b)では撮影領域Q2が追加され、図10(c)では撮影領域Q3が追加され、図10(d)では撮影領域Q4が追加されている。

#### 【0066】

図11に撮影範囲画像の完成例を示す。図10(d)の後に、更に幾つかの撮影領域（Q5等）が追加されて、撮影範囲画像が完成したものである。測定対象物2は自動車であり、撮影範囲画像は透視図でワイヤフレーム画像として示されている。このように、撮影範囲画像に測定対象物2の全ての撮影領域が示されることによって、撮影が完了したことが解る。なお、一方向から見た撮影範囲画像だけでは反対側が見えないので撮影の完了を判断できないが、反対側からの画像も表示可能であり、これにより撮影の完了を判断できる。

#### 【0067】

図12に撮影範囲画像に撮影画像を貼付表示した例を示す。撮影範囲画像は三次元モデル画像（テクスチャ画像）として示されている。透視図で表わされた撮影範囲画像の座標空間にワゴン車が表現され、区画された各撮影領域に撮影画像が当てはめ（貼り付け）られている。例えば、撮影領域画像記憶部54に、撮影画像から撮影領域の画像を抽出して記憶しておき、撮影範囲画像形成部85にて、撮影範囲画像の座標空間に三次元座標が測定された特徴点を書き込み、撮影領域画像記憶部54から各撮影領域の画像を抽出し、撮影範囲画像に書き込まれた特徴点の位置に、撮影領域を囲む3以上の特徴点の位置が合致するように各撮影領域の画像を伸縮させて貼り付けることによって、テクスチャ画像と

10

20

30

40

50

しての撮影範囲画像を形成する。表現されていない部分は未重複撮影領域である。これにより、撮影範囲画像を実物ライクに表現でき、撮影の進捗状況をビジュアルに把握できる。

#### 【0068】

図13に撮影範囲画像がオルソ画像である例を示す。図13(a)は撮影画像、図13(b)はこれらの撮影画像に基づいて撮影範囲画像としてのオルソ画像を形成した例を示す。オルソ画像は、三次元位置測定部7で求められた三次元座標から撮影範囲画像空間に特徴点を配置し、平面図に並行投影して形成される。重複撮影領域が実物ライクに表現されている。撮影が行なわれる毎に撮影領域が追加されていく。

#### 【0069】

図14に撮影範囲画像がワイヤフレーム画像である例を示す。撮影範囲画像としてのオルソ画像を撮影領域に区画し、各撮影領域を色分け(図では模様別)表示したものである。撮影が行なわれる毎に撮影領域が追加されていく。

#### 【0070】

図15に撮影範囲画像が全周囲画像である例を示す。全周囲画像は、三次元位置測定部7で求められた三次元座標から撮影範囲画像空間に特徴点を配置し、周囲各方向から、中心投影(図14での中心点は(1.50, 0.75))のまま平面上に各モデル画像を投影し連続的に配列していくことにより形成される。図15では、周囲7方向、高さ2方向からの画像を示す。全体(撮影が完了した状態)で、周囲12方向、高さ2方向からの画像となる。

#### 【0071】

図1に戻り、撮影不足領域判定部86は、撮影範囲画像に撮影不足領域が有るか否かを判定する。本実施例では、領域撮影回数計数部83で計数された撮影回数に基づいて撮影範囲画像に撮影不足領域が有るか否かを判定する。撮影回数1回でも撮影領域は形成され、撮影領域番号が付与され、領域撮影回数記憶部53に記憶される。撮影回数1回の領域があれば撮影不足領域が有ることとなる。また、重複させながら撮影していくので、未撮影領域があれば、必ず撮影回数1回の領域が存在する。したがって、未撮影領域が撮影範囲画像に表現されなくても、領域撮影回数計数部83で計数された撮影回数に基づいて撮影範囲画像に撮影不足領域が有るか否かを判定できる。撮影不足領域が有るか否かの判定は、撮影の都度行なわれる。すなわち、撮影の都度、撮影範囲画像が新たに形成され、撮影不足領域が有るか否かの判定がされる。このように、本実施例では撮影不足領域判定部86が撮影不足領域の有無を判定するが、撮影者が撮影範囲画像を見て判定することも可能である。

撮影不足領域報知部87は、撮影不足領域判定部86の判定結果を表示部4に表示させる。表示部4に表示された判定結果を見て、撮影者は撮影不足か否かを撮影の都度知ることができる。

#### 【0072】

制御部10は、内臓メモリに制御プログラムを有し、三次元計測用画像撮影装置1及びこれを構成する各部を制御し、信号及びデータの流れを制御し、三次元計測用画像撮影装置としての機能を実行させる。

#### 【0073】

##### [処理フロー]

図16に画像撮影の処理フロー例を示す。撮影部が新たな撮影画像を取得する都度、新たな撮影範囲画像を形成し、表示する例を説明する。

まず、撮影部3により、測定対象物2を撮影する(撮影工程:S100)。撮影された撮影画像は撮影画像記憶部51に記憶される(撮影画像記憶工程:S105)。次に、特徴点を抽出する(特徴点抽出工程:S120)。すなわち、撮影された撮影画像から、特徴点抽出部61にて特徴点を抽出する。次いで複数の撮影画像から、重複し合う2つの撮影画像の特徴点について対応点探索部71にて対応付けを行う(対応点探索工程:S130)。2つの撮影画像は、例えば撮影の順序に添って、最後に撮影した既撮影画像と新た

10

20

30

40

50

に撮影した撮影画像をステレオ画像とする。また、新たな撮影画像との重複領域が最も大きい既撮影画像と新たな撮影画像をステレオ画像として選択しても良く、新たな撮影画像との共有特徴点数が最も多い既撮影画像と新たな撮影画像をステレオ画像として選択しても良い。その際、既撮影画像を基準画像、新たな撮影画像を探索画像とする。次に、対応点探索部 7 1 で対応付けされた各特徴点の三次元座標を算出する（三次元座標算出工程：S 1 4 0）。標定部 7 2 にて標定を行い、カメラの位置と傾きを求め、三次元位置演算部 7 3 にて各特徴点の三次元座標を算出する。なお、測定対象物境界抽出部 8 4 は、特徴点の三次元座標から測定対象物 2 と背景の境界を抽出する。次に、撮影範囲画像形成部 8 5 にて撮影範囲画像を形成する（撮影範囲画像形成工程：S 1 5 0）。

#### 【 0 0 7 4 】

図 1 7 に撮影範囲画像形成工程（S 1 5 0）の処理フロー例を示す。まず、撮影領域区分部 8 1 にて、撮影画像における測定対象物 2 の領域を 3 以上のマークで囲まれた領域（当該特徴点を含む）からなる撮影領域に区分して、撮影領域番号を付与する（撮影領域区分工程：S 2 2 0）。撮影領域に区分された撮影画像は撮影領域画像記憶部 5 4 に記憶される（撮影領域画像記憶工程：S 2 2 5）。他方、特徴点撮影回数計数部 8 2 にて、各特徴点について異なる撮影画像に含まれる撮影回数を計数する。そして、領域撮影回数計数部 8 3 にて、各撮影領域について異なる撮影画像に含まれる撮影回数を計数する（領域撮影回数計数工程：S 2 3 0）。例えば、各撮影領域を囲む全ての特徴点が撮影されている場合に当該撮影領域が撮影されているとして撮影回数を計数する。これらの特徴点の 1 つでも撮影されていない場合は撮影領域全体が撮影されたことにならないので撮影回数として計数されない。そして、領域撮影回数記憶部 5 3 にて、計数された各撮影領域の撮影回数を、当該撮影領域を囲む特徴点の特徴点番号と対応付けて記憶する（領域撮影回数記憶工程：S 2 3 5）。

#### 【 0 0 7 5 】

次に、撮影範囲画像形成部 8 5 にて、測定対象物 2 の撮影範囲を三次元空間に表現する撮影範囲画像の座標空間に三次元位置測定部 7 で求められた各特徴点を書き込み、撮影範囲画像の座標空間に書き込まれた特徴点のうち、撮影領域を囲む 3 以上の特徴点を結線して撮影領域毎に区画し、撮影範囲画像をワイヤフレーム画像として形成する（撮影範囲画像形成工程：S 2 4 0）。すなわち、撮影領域区分部 8 1 で区分された撮影領域を囲む 3 以上の特徴点には特徴点番号が対応付けられており、これらと特徴点番号が一致する撮影範囲画像に書き込まれた特徴点を結線することにより多角形が形成され、それが撮影範囲画像における当該撮影領域に該当することになる。次に、撮影範囲画像における撮影領域を色分けする又は撮影領域に撮影画像を貼り付ける（S 2 5 0）。撮影領域を色分けする場合、これらの撮影領域は典型的には重複撮影領域であり、重複撮影領域が撮影領域毎に色分けされる。これにより、重複撮影領域と未重複撮影領域を大別することができる。なお、予め撮影領域とこれを囲む 3 以上の特徴点の位置を予測しておき、撮影範囲画像にこの予測値を入力しておけば、単一撮影領域及び未撮影領域を表現することも可能である。また、撮影領域に撮影画像を貼り付ける場合、撮影領域画像記憶部 5 4 から各撮影領域の画像を抽出し、撮影範囲画像に区画された撮影領域に、撮影領域を囲む 3 以上の特徴点の位置が合致するように各撮影領域の画像を伸縮させて当てはめる（貼り付ける）。これにより、撮影範囲画像が三次元モデル画像（テクスチャ画像）として形成され、撮影範囲画像を実物ライクに表現でき、撮影の進捗状況をビジュアルに把握できる。また、撮影範囲画像から、並行投影によりオルソ画像を、中心投影により全周囲画像を形成しても良い。

#### 【 0 0 7 6 】

ここで図 1 6 に戻る。表示部 4 にて、撮影範囲画像形成部 8 5 にて形成された撮影範囲画像を表示する（表示工程：S 1 6 0）。撮影領域を色分け表示すること、又は、撮影領域に撮影画像を貼り付けた撮影範囲画像を表示することにより、撮影の進捗状況をビジュアルに把握できる。次に、撮影不足領域判定部 8 6 にて、撮影範囲画像に撮影不足領域があるか否かを判定する（撮影不足領域判定工程：S 1 7 0）。本実施例では、領域撮影回

数計数部で計数された撮影回数に基づいて撮影範囲画像に撮影不足領域が有るか否かを判定する。そして、撮影不足領域報知部 87 にて、撮影不足領域判定部 86 の判定結果を表示部 4 に表示させる。撮影不足領域が有るか否かの判定は、撮影の都度行なわれる。すなわち、撮影の都度、撮影範囲画像が新たに形成され、撮影不足領域が有るか否かの判定がされる。撮影不足領域が有ると判定された場合には、撮影工程 (S100) に戻り、撮影工程 (S100) ~ 撮影不足領域判定工程 (S170) の処理が繰り返される。撮影不足領域が無いと判定された場合には、画像撮影の処理フローが終了する。

#### 【0077】

本実施例によれば、単カメラを用いて移動しながら撮影を行う場合に、撮影範囲画像を用いて撮影範囲を視覚的に明示するので、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる三次元計測用画像撮影装置を提供できる。

10

#### 【実施例 2】

#### 【0078】

実施例 1 では、撮影の都度、新たな撮影範囲画像を形成し、表示する例を説明したが、実施例 2 では、所定回数撮影後にまとめて特徴点抽出、三次元座標演算、撮影範囲画像の形成を行い、表示し、撮影不足領域があればさらに撮影を行なう例を説明する。

#### 【0079】

図 18 に実施例 2 に係る三次元計測用画像撮影装置 1A の構成例をブロック図で示す。実施例 1 の三次元計測用画像撮影装置の構成 (図 1 参照) に撮影回数判定部 31 が追加される。撮影回数判定部 31 は PC15 内に設けられ、図示しない撮影回数カウンタを有し、撮影回数カウンタで取得された撮影画像数を計数し、予定撮影回数に達したか否かを判定する。撮影回数カウンタには入力部 4A から予定撮影回数を設定できる。また、撮影回数カウンタが予定撮影回数に達した場合には、リセット信号を出力し、予定撮影回数をリセットすると共に、特徴抽出部 6 にリセット信号を送信する。また、表示部 4 に予定撮影回数に達した旨の表示がされ、撮影者は新たな撮影範囲画像が表示される迄撮影を行わずに待機する。

20

#### 【0080】

図 19 に実施例 2 における画像撮影の処理フロー例を示す。実施例 1 における図 16 の撮影画像記憶工程 (S105) と特徴点抽出工程 (S120) の間に撮影回数判定工程 (S110) が挿入される。撮影回数の判定は撮影回数カウンタからのリセット信号の出力の有無により行なわれる。特徴抽出部 6 ではリセット信号を受信すると、予定撮影回数に相当する枚数の撮影画像から特徴点の抽出を開始する。そして、特徴点抽出工程 (S120) ~ 表示工程 (S160) が行なわれる。対応点探索工程 (S130) ではステレオ画像が選択される。例えば撮影の順序に添って、 $i$  番目と  $i-1$  番目 ( $i \geq 2$ ) の撮影画像をステレオ画像とする等である。また、 $i$  番目の撮影画像との重複領域が最も大きい  $1 \sim i-1$  番目のいずれかの撮影画像と  $i$  番目の撮影画像をステレオ画像としても良く、 $i$  番目の撮影画像との共有特徴点数が最も多い  $1 \sim i-1$  番目のいずれかの撮影画像と  $i$  番目の撮影画像をステレオ画像としても良い。

30

#### 【0081】

実施例 1 の場合には 1 枚毎に進捗状況を把握できるので、確実性が高いが、実施例 2 では処理をまとめてできるので画像撮影処理全体の処理時間を短縮できる。その他の構成及び処理フローは実施例 1 と同様であり、実施例 1 と同様に、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる三次元計測用画像撮影装置を提供できる。

40

#### 【実施例 3】

#### 【0082】

実施例 1 及び実施例 2 では、特徴点の三次元座標を求め、撮影画像を撮影領域に区分して、撮影範囲画像を作成する例を説明したが、実施例 3 では、撮影領域に区分せずに、撮影画像から座標変換して撮影範囲画像を形成する例を説明する。また、撮影不足領域の有無の判定は、測定対象物を模擬した模擬対象物の撮影範囲画像を記憶し、測定対象物の撮影範囲画像と模擬対象物の撮影範囲画像を比較することにより行なう例を説明する。

50

## 【 0 0 8 3 】

図 2 0 に実施例 3 に係る三次元計測用画像撮影装置 1 B の構成例をブロック図で示す。実施例 1 の構成（図 1 参照）に比して、記憶部 5 では、特徴点位置関係記憶部 5 5、見本画像記憶部 5 6 が追加され、特徴点撮影回数記憶部 5 2、領域撮影回数記憶部 5 3、撮影領域画像記憶部 5 4 が削除されている。また、画像処理部 8 では、画像座標変換部 8 8 が追加され、撮影領域区分部 8 1、特徴点撮影回数計数部 8 2、領域撮影回数計数部 8 3 が削除されている。特徴点位置関係記憶部 5 5 は、特徴抽出部 6 で抽出された特徴点について、特徴点番号を付し、三次元位置測定部 7 で求められた三次元座標と各撮影画像における画面上の位置とを対応付けて記憶する。見本画像記憶部 5 6 は、測定対象物 2 に類似する模擬対象物についての撮影範囲画像を記憶する。模擬対象物とは、測定対象物に似た対象物又は対象物の模型をいう。形状が似ているほど好ましい。ただし、同じ型式の対象物や同一の対象物で、ボケた部分や異物混入部分を修正したい、より高画質の撮影画像を得たい、条件を変えて撮影したい等の場合もあるので、模擬対象物は同じ型式の対象物や測定対象物自体を含むものとする。本実施例では、模擬対象物についての撮影範囲画像は、撮影不足領域判定部 8 6 において測定対象物に係る撮影範囲画像を模擬対象物に係る撮影範囲画像と比較することにより、撮影不足領域の有るか否かを判定するために用いられる。典型的には、模擬対象物についての特徴点の位置が三次元測定され、これらの特徴点を用いて撮影不足領域のない撮影範囲画像が形成されている。ただし、予め撮影領域とこれを囲む特徴点の位置を予測しておき、この予測値を用いて作成した撮影不足領域のない撮影範囲画像を記憶し、これを用いて比較しても良い。

10

20

## 【 0 0 8 4 】

また、画像座標変換部 8 8 はアフィン変換やヘルマート変換等の座標変換を行う。撮影範囲画像形成部 5 は、特徴点位置関係記憶部 5 5 に記憶された各特徴点の位置データ（三次元測定値、撮影画像の画面上の位置座標）に基づいて、撮影画像記憶部 5 1 に記憶された撮影画像を、当該撮影画像の各特徴点の位置が三次元計測された撮影範囲画像における各特徴点の位置に合致するように、撮影範囲画像に座標変換して当てはめる。これによりテクスチャ画像としての撮影範囲画像が形成される。座標変換には、画像座標変換部 8 8 を用いて、アフィン変換やヘルマート変換を使用して行なう。なお、図 2 0 には撮影回数判定部 3 1 が記載されているが、これは、実施例 2 のように撮影画像を所定枚数取得した後に撮影範囲画像を形成することも可能にするためである（省略しても良い）。

30

## 【 0 0 8 5 】

図 2 1 に実施例 3 における撮影範囲画像形成の処理フロー例を示す。実施例 1 における処理フロー（図 1 7 参照）に比して、撮影範囲画像形成工程が異なる。この工程を S 1 5 0 A で示す。まず、特徴点位置関係記憶部 5 5 にて、特徴抽出部 6 で抽出された特徴点について、特徴点番号を付し、三次元位置測定部 7 で求められた三次元座標と各撮影画像における画面上の位置とを対応付けて記憶する（特徴点位置関係記憶工程：S 2 1 5）。測定対象物境界抽出部 8 4 は例えば各特徴点の三次元座標から測定対象物と背景との境界を抽出する。次に、撮影範囲画像形成部 8 5 において、座標変換により撮影範囲画像を形成する（撮影範囲画像形成工程：S 2 5 0 A）。すなわち、特徴点位置関係記憶部 5 5 に記憶された各特徴点の位置データ（三次元測定値、撮影画像の画面上の位置座標）に基づいて、撮影画像記憶部 5 1 に記憶された撮影画像を、当該撮影画像の各特徴点の位置が撮影範囲画像における各特徴点の位置に合致するように、撮影範囲画像に座標変換して当てはめることにより、撮影範囲画像をテクスチャ画像として形成する。また、撮影不足領域判定工程（S 1 7 0）では、撮影不足領域判定部 8 6 において、測定対象物 2 に係る撮影範囲画像を模擬対象物に係る撮影範囲画像と比較することにより、撮影不足領域の有るか否かを判定する。すなわち、測定対象物 2 に類似する模擬対象物についての撮影範囲画像を予め見本画像記憶部 5 6 に記憶しておき、撮影不足領域判定部 8 6 は、測定対象物に係る撮影範囲画像を模擬対象物に係る撮影範囲画像と比較して、撮影不足領域の有るか否かを判定する。

40

## 【 0 0 8 6 】

50

実施例 1 に比して撮影領域に区分する処理、撮影画像を貼り付ける処理に代えて座標変換を行っているが、撮影領域を囲む 3 以上の特徴点と同じ特徴点を用いて座標変換するのであれば、ほぼ同様な撮影範囲画像を得ることができる。変換に用いる特徴点を選択すれば、撮影領域に区分しないのでテクスチャ画像を座標変換により直接得られるが、撮影領域毎に区画し、色分けした撮影範囲画像を表示することはできない。その他の構成及び処理フローは第 1 の実施の形態と同様であり、実施例 1 と同様に、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる三次元計測用画像撮影装置を提供できる。

#### 【実施例 4】

#### 【0087】

以上の実施例では、測定対象物の特徴点を抽出して、三次元座標を求める例を説明したが、実施例 4 では、測定対象物に自他識別可能な識別コードを有するカラーコードターゲットを貼付けて特徴点として使用する例を説明する。

#### 【0088】

図 22 に、実施例 4 に係る三次元計測用画像撮影装置 1 C の構成例をブロック図で示す。実施例 1 の構成（図 1 参照）に比して、特徴抽出部 6 に、マーク抽出部 62 とコード識別部 63 が追加されている。マーク抽出部 62 は、撮影画像からカラーコードターゲットやレトロターゲット等のマークを特徴点として抽出する。コード識別部 63 は、マーク抽出部 71 で抽出されたマークの識別コードを識別し、識別コードをマークに付与される特徴点番号と対応付ける。また、三次元位置測定部 7 は、マーク抽出部 62 で抽出されたマークを特徴点として、他の特徴点と同様にマークの位置の三次元座標を求める。なお、実施例 2 のように撮影画像を所定枚数取得した後に撮影範囲画像を形成することが可能なように、撮影回数判定部 31 が追加され、実施例 3 のように座標変換が可能なように、記憶部 5 に、特徴点位置関係記憶部 55、見本画像記憶部 56 が追加され、画像処理部 8 に、画像座標変換部 88 が追加されている（これらは省略しても良い）。

#### 【0089】

#### 〔カラーコードターゲット〕

図 23 にカラーコードターゲット C T の例を示す。図 23 (a) はカラーコードの単位領域が 3 個、図 23 (b) は 6 個、図 23 (c) は 9 個のカラーコードターゲットである。図 23 (a) ~ (c) のカラーコードターゲット C T (C T 1 ~ C T 3) は、位置検出用パターン（レトロターゲット部）P 1、基準色パターン（基準色部）P 2、カラーコードパターン（カラーコード部）P 3、空パターン（白色部）P 4 で構成されている。

#### 【0090】

レトロターゲット部 P 1 は、ターゲット自体の検出用、その重心検出用、ターゲットの向き検出用、ターゲット領域検出用として使用する。

#### 【0091】

基準色部 P 2 は、照明やカメラ等の撮影条件による色のずれに対応するために、相対比較時の参照用、色ずれを補正するためのカラーキャリブレーション用として使用する。さらに、基準色部 P 2 は、簡易な方法で作成されたカラーコードターゲット C T の色彩補正用として使用できる。例えば、色管理がなされていないカラープリンター（インクジェット・レーザー・昇華型等のプリンタ）で印刷したカラーコードターゲット C T を使用する場合は、使用プリンタ等で色彩に個体差が出るが、基準色部 P 2 とカラーコード部 P 3 の色を相対比較し補正することで、個体差の影響を押さえることができる。

#### 【0092】

カラーコード部 P 3 は、その各単位領域への配色の組み合わせによってコードを表現する。コードに使用するコード色の数により表現可能なコード数が変化する。例えば、コード色数が  $n$  の場合、 $n \times n \times n$  通りのコードを表せる。信頼度を上げるため、他の単位領域に使用されている色を重複して使用しないという条件を課した場合でも、 $n \times (n - 1) \times (n - 2)$  通りのコードを表せる。そして、コード色数を増やせばコード数を増加できる。さらに、カラーコード部 P 3 の単位領域の数とコード色数を等しくするという条件を課すと、全てのコード色がカラーコード部 P 3 に使用されるため、基準色部 P 2 との比

較のみで無く、カラーコード部 P 3 の各単位領域間で色を相対比較することにより、各単位領域の色彩を確認して識別コードを決定することができ、信頼性を上げることができる。さらに、各単位領域の面積を全て同じにする条件を追加すると、カラーコードターゲット C T を画像中から検出する際にも使用できる。これは、異なる識別コードをもつカラーコードターゲット C T 間でも各色の占有する面積が同じになるため、カラーコード部全体からの検出光からはほぼ同様な分散値が得られるからである。また、単位領域間の境界は等間隔に繰り返され、明確な色彩差が検出されるので、このような検出光の繰り返しパターンからもターゲット C T を画像中から検出することが可能である。

#### 【 0 0 9 3 】

白色部 P 4 は、カラーコードターゲット C T の向き検出用と色ずれのキャリブレーション用として使用する。ターゲット C T の四隅の内、一カ所だけレトロターゲットが配置されない箇所があり、これをターゲット C T の向き検出用に使用できる。このように白色部 P 4 はレトロターゲットと異なるパターンであれば良い。したがって、白色部には目視でコードを確認するための番号などの文字列を印刷しても良く、また、バーコード等のコード領域としても使用しても良い。さらに、検出精度を上げるために、テンプレートマッチング用のテンプレートパターンとして使用することも可能である。

#### 【 0 0 9 4 】

マーク抽出部 6 2 は、撮影部 3 で取得された複数の撮影画像におけるマークを特徴点として抽出する。本実施例では測定対象物である自動車や土器に自他識別可能な識別コードを有するマークとしてのカラーコードターゲットが貼り付けられており、カラーコードターゲットを特徴点として使用できる。

#### 【 0 0 9 5 】

コード識別部 6 3 はカラーコードターゲット C T の識別コードを識別する。パターン配置とコード番号の対応関係を記録するカラーコードターゲット対応表を用いて、カラーコードターゲット C T のカラーコード部 P 3 における色彩の配列から識別コードを判別し、カラーコードターゲット C T に番号を付与する。

#### 【 0 0 9 6 】

カラーコードターゲット C T の位置はレトロターゲット P 1 を検出することにより求められる。カラーコードターゲット C T 以外にレトロターゲットが貼付される場合、カラーコードターゲット C T に代えてレトロターゲットが貼付される場合も、マークの位置はレトロターゲットを検出することにより求められる。

#### 【 0 0 9 7 】

図 2 4 はレトロターゲットを用いた重心位置検出の説明図である。本実施例ではレトロターゲットは 2 つの同心円で形成されている。図 2 4 ( A 1 ) は同心円のうち小円の内側である内円部 2 0 4 の明度が明るく、小円と大円との間に形成された円環状の部分である外円部 2 0 6 の明度が暗いレトロターゲット 2 0 0 、図 2 4 ( A 2 ) は ( A 1 ) のレトロターゲット 2 0 0 の直径方向の明度分布図、図 2 4 ( B 1 ) は内円部 2 0 4 の明度が暗く、外円部 2 0 6 の明度が明るいレトロターゲット 2 0 0 、図 2 4 ( B 2 ) は ( B 1 ) のレトロターゲット 2 0 0 の直径方向の明度分布図を示している。レトロターゲットが図 2 4 ( A 1 ) のように内円部 2 0 4 の明度が明るい場合は、測定対象物 1 の撮影画像において重心位置での反射光量が多く明るい部分になっているため、画像の光量分布が図 2 4 ( A 2 ) のようになり、光量分布の閾値  $T_0$  からレトロターゲットの内円部 2 0 4 や中心位置を求めることが可能となる。本実施例では、( A 1 ) の場合、正方形の位置検出用パターン P 1 の中心部に小円に相当する円が一つ形成されていればよく、大円の外側は明るくても暗くてもよいが、暗くするのが良い。暗い場合は、実質的に一つの円 ( 小円 ) が形成されているだけである。( B 1 ) の場合は、大円の外側は明るくても暗くてもよいが、大円の外側が明るい場合は、実質的に明るい下地に暗い 1 つの円 ( 小円 ) が形成されているだけである。

#### 【 0 0 9 8 】

ターゲットの存在範囲が決定されると、例えばモーメント法によって重心位置を算出す

る。例えば、図 2 4 ( A 1 ) に表記されたレトロターゲット 2 0 0 の平面座標を ( x 、 y ) とする。そして、レトロターゲット 2 0 0 の明度が、閾値 T o 以上の x 、 y 方向の点について、( 式 8 )、( 式 9 ) を演算する。

$$x g = \{ x * f ( x , y ) \} / f ( x , y ) \quad \text{--- ( 式 8 )}$$

$$y g = \{ y * f ( x , y ) \} / f ( x , y ) \quad \text{--- ( 式 9 )}$$

( x g 、 y g ) : 重心位置の座標、 f ( x 、 y ) : ( x 、 y ) 座標上の光量

なお、図 2 4 ( B 1 ) に表記されたレトロターゲット 2 0 0 の場合は、明度が閾値 T o 以下の x 、 y 方向の点について、( 式 8 )、( 式 9 ) を演算する。これにより、レトロターゲット 2 0 0 の重心位置が求まる。

#### 【 0 0 9 9 】

10

図 2 5 に実施例 4 における撮影範囲画像の例を示す。図 6 に示すカラーコードターゲットが貼り付けられた土器を測定対象物 2 として、撮影画像から、カラーコードターゲットを抽出し、その三次元位置座標を求め、撮影範囲画像に撮影領域を区画し、各撮影領域に撮影画像を張り付けてテクスチャ画像としての撮影範囲画像を形成したものである。重複撮影領域がテクスチャ画像として表現され、未重複撮影領域は空間のままである。特徴点として、カラーコードターゲットにおけるレトロターゲットのみを用いても良いが、他のレトロターゲットや特徴点も用いると、精度の高い撮影範囲画像を得ることができる。図 2 5 には、土器の表面に特徴点としてのカラーコードターゲット ( A 1 ~ A 8 ) 及びレトロターゲット ( T 1 ~ T 8 ) の位置が示されている。なお、1つのカラーコードターゲットは3つのレトロターゲットを有している。このように、撮影範囲画像をテクスチャ画像として実物ライクに表現すると、撮影の進捗状況をビジュアルに把握できる。なお、撮影領域に区分する代わりに座標変換により撮影範囲画像を形成しても良い。

20

#### 【 0 1 0 0 】

図 2 6 に実施例 4 における画像撮影の処理フロー例を示す。実施例 1 の処理フロー ( 図 1 6 参照 ) に比して、特徴点抽出工程 ( S 1 2 0 ) に代わりカラーコードターゲット抽出工程 ( S 1 2 0 A ) を有し、カラーコードターゲット抽出工程 ( S 1 2 0 A ) と対応点探索工程 ( S 1 3 0 ) の間にコード識別工程 ( S 1 2 5 ) を有する。カラーコードターゲット抽出工程 ( S 1 2 0 A ) では、マーク抽出部 6 2 にて、撮影部 3 で取得された複数の撮影画像におけるカラーコードターゲットを特徴点として抽出する。コード識別工程 ( S 1 2 5 ) では、コード識別部 6 3 にてカラーコードターゲット C T の識別コードを識別する。パターン配置とコード番号の対応関係を記録するカラーコードターゲット対応表を用いて、カラーコードターゲット C T のカラーコード部 P 3 における色彩の配列から識別コードを判別し、カラーコードターゲット C T に番号を付与する。特徴点として自他識別可能な識別コードを有するマークを使用することにより、識別コードを利用して、特徴点抽出や対応点探索が容易になり、三次元位置計測が効率的になる。その他の構成及び処理フローは実施例 1 と同様であり、実施例 1 と同様に、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる三次元計測用画像撮影装置を提供できる。

30

#### 【 実施例 5 】

#### 【 0 1 0 1 】

40

実施例 4 では、測定対象物に自他識別可能な識別コードを有するカラーコードターゲットを貼付けて特徴点として使用する例を説明したが、実施例 5 では、当該マーク自体では識別性がない非コードマークを、識別性マークとして利用する例を説明する。すなわち、それ自体識別性を持たないレトロターゲットでも、自他識別可能なコードを有するマークカラーコードターゲットとの配置関係により識別性を持たせることができる。

#### 【 0 1 0 2 】

図 2 7 は、カラーコードターゲットとレトロターゲットとを共に識別性マークとして用いる例を示す図である。測定対象物 2 としての土器にカラーコードターゲット ( A 1 0 ~ A 1 3 ) とレトロターゲット ( T 1 0 , T 1 1 等 ) が貼付されている。例えば、レトロターゲット T 1 0 は、カラーコードターゲット ( A 1 0 ~ A 1 2 ) が形成する三角形の中にあり、カラーコードターゲット ( A 1 0 ~ A 1 2 ) に対してその位置関係が特定されれば

50



、識別性が生じる。また、レトロターゲット T 1 1 は、カラーコードターゲット ( A 1 1 ~ A 1 3 ) が形成する三角形の中にあり、カラーコードターゲット ( A 1 1 ~ A 1 3 ) に対してその位置関係が特定されれば、識別性が生じる。例えば、特定のコードを有するマークからの方向と距離、特定のコードを有する 3 つのマークが形成する三角形への投影点 ( 垂線の交点 ) と距離等により特定可能である。これを利用すると、非コードマークであるレトロターゲット ( T 1 0 , T 1 1 等 ) を識別性マークとして利用できる。又は、この配置関係を三次元空間上に投影し、配置関係の合致性から非コードマークを識別してもよい。図示しない非コードマーク識別部は、マーク抽出部 6 2 で抽出された非コードマークについて他の自他識別可能なコードを有するマークとの配置関係から非コードマークを識別し、配置関係により識別性が生じた非コードマークに特徴点番号を付与する。これにより、多数のレトロターゲットを識別性マークとして利用できるのも、少ないカラーコードターゲットでも、高精度の三次元計測が可能になる。

10

#### 【実施例 6】

#### 【0103】

以上の実施例では、撮影位置を特定していないが、実施例 6 では、撮影予定位置の座標を予め入力しておき、撮影予定位置で順次撮影を行なうと共に、撮影者を次回撮影予定位置へガイドする例を説明する。

#### 【0104】

図 2 8 に、実施例 6 に係る三次元計測用画像撮影装置 1 D の構成例をブロック図で示す。実施例 4 の構成 ( 図 2 2 参照 ) に比して、入力部 4 A に撮影予定位置入力部 4 1 が追加され、記憶部 5 に撮影予定位置記憶部 5 7 が追加され、さらに、ガイド情報処理部 9 が追加され、撮影回数判定部 3 1 が追加されている。ガイド情報処理部 9 は、予め定められた撮影予定位置と撮影者の現在位置の情報を取得し、撮影者を撮影予定位置へガイドするための情報を作成するもので、移動情報演算部 9 1、次回撮影予定位置選択部 9 2、移動情報報知部 9 3 を有する。撮影予定位置入力部 4 1 は、予め定められた複数の撮影予定位置を入力し、撮影予定位置記憶部 5 7 は撮影予定位置入力部 4 1 から入力されたこれらの撮影予定位置を記憶する。撮影回数判定部 3 1 は撮影不足領域の有無を判定するために使用される。すなわち、撮影不足領域判定部 8 6 は、撮影予定位置記憶部 5 7 において全ての撮影予定位置が既撮影位置として記憶された場合 ( 撮影回数が撮影予定位置に達した場合 ) に撮影不足領域が無いと判定する。なお、ガイド情報処理部 9 はパーソナルコンピュータ ( P C ) 1 5 内に構成される。

20

30

#### 【0105】

また、三次元位置測定部 7 は、三次元位置演算部 7 3 において、特徴抽出部 6 で抽出された特徴点の複数の撮影画像における画面位置から、特徴点の三次元座標と共に撮影位置 ( 撮影部 3 の現在位置 ) の三次元座標を求める。特徴点としてカラーコードマーク等の自他識別可能な識別コードを有するマーク使用し、例えば、測定対象物としての自動車 2 等の周囲の地面等に配置しておく。抽出されたマーク ( カラーコードターゲット、レトロターゲット等 ) の位置が既知の場合には D L T 法を使用して測定対象物 2 の特徴点及び撮影位置の三次元座標を求めることができる。

#### 【0106】

40

#### [ D L T 法 ]

D L T 法は、写真座標と被写体の三次元座標 ( 特徴点座標 ) との関係を三次の射影変換式で近似したものである。

D L T 法の基本式は ( 式 1 0 ) となる。

【数 5】

$$x = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$

$$y = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \quad (\text{式10})$$

 $(x, y)$  : 写真座標

 $(X, Y, Z)$  : 対象点座標

 $L_1 \sim L_{11}$  : DLT法の未知変量

【0107】

(式10)に対し、分母を消去すると、次の線形式を導き出せる。

【数 6】

$$XL_1 + YL_2 + ZL_3 + L_4 - xXL_9 - xYL_{10} - xZL_{11} = x$$

$$XL_5 + YL_6 + ZL_7 + L_8 - yXL_9 - yYL_{10} - yZL_{11} = y$$

$$\dots\dots\dots (\text{式11})$$

【0108】

更に、(式11)を変形すると、以下の式となる。

【数 7】

$$\begin{vmatrix} X & Y & Z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -xX & -xY & -xZ \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X & Y & Z & 1 & -yX & -yY & -yZ \end{vmatrix} \begin{vmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \\ L_5 \\ L_6 \\ L_7 \\ L_8 \\ L_9 \\ L_{10} \\ L_{11} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} \quad \dots\dots\dots (\text{式12})$$

【0109】

(式12)を直接、最小二乗法を用いて解くと、写真座標と対象点座標との関係を決定する $L_1 \sim L_{11}$ の11個の未知変量を取得できる。したがって、位置座標が既知の6点について(式12)を解くことにより、被写体の写真座標 $(x, y)$ と被写体の三次元座標(特徴点座標) $(X, Y, Z)$ との関係が求まり、写真座標 $(x, y)$ と特徴点座標 $(X, Y, Z)$ を結ぶ直線の収束点にあたる撮影位置の位置座標 $(0, 0, 0)$ を求めることができる。この場合、撮影位置は、特徴点座標に対して $(-X, -Y, -Z)$ の位置になる。

【 0 1 1 0 】

[ テクスチャマッピング ]

また、三次元位置測定部 7 は、三次元位置演算部 7 3 において、特徴点抽出部 6 1 で抽出された特徴点の複数の撮影画像における画面位置から、例えば、テクスチャマッピングにより、撮影位置（撮影部 3 の現在位置）の三次元座標を求める。

撮影範囲画像に書き込みする特徴点の位置として、テクスチャマッピングで求められた三次元座標を使用できる。このようにすると、撮影範囲画像の精度を向上できる。次に、写真に撮影した画像を空間座標（X、Y、Z）上に形成されるモデル画像上にテクスチャマッピングする方法について説明する。画像上の各画素（ピクセル）の空間座標を計算する。この処理では、写真上の画像座標（x、y）を空間座標（X、Y、Z）に変換する。空間座標（X、Y、Z）は、三次元計測によって計算された値である。写真の画像座標（x、y）に対応する空間座標（X、Y、Z）は、以下の式で与えられる。このようにして、画像上の各ピクセルの濃度取得位置を求め、画像を三次元空間上にマッピングする。

【 0 1 1 1 】

【 数 8 】

$$X = X_0 + x\Delta X$$

$$Y = Y_0 - y\Delta Y$$

$$Z = -\frac{aX + bY + d}{c}$$

ここで、（ $X_0$ 、 $Y_0$ ）：空間座標系での写真画像の左上の位置、（ $X$ 、 $Y$ ）：空間座標系での 1 画素の大きさ、（ $x$ 、 $y$ ）：写真画像の画像座標、（ $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ）：空間画像座標  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ ：ある画像座標（ $x$ 、 $y$ ）を内挿する複数の基準点により形成される平面方程式の係数である。

【 0 1 1 2 】

この係数は、例えば、三角形内挿処理（Triangulated Irregular Network, TIN）の平面の方程式の係数である。TIN は、3 次元座標を内挿する方法として三角形を構成単位とするメッシュを生成するもので、三角網とも呼ばれる。（TIN についての詳細は、「伊理正夫、腰塚武志：計算幾何学と地理情報処理、pp 127」、「Franz Aurenhammer, 杉原厚吉訳：Voronoi 図、一つの基本的な幾何データ構造に関する概論、ACM Computing Surveys, Vol. 23, pp 345 - 405」等を参照。）

【 0 1 1 3 】

撮影画像の特徴点を撮影範囲画像にマッピングできれば、撮影領域毎に区画した撮影範囲画像を形成できる。これにより、撮影領域について重複撮影領域、未重複撮影領域等をビジュアルに判別でき、撮影を効率化できる。また、各撮影領域に撮影画像を当てはめる（貼り付ける）ことにより、図 25 のような三次元モデル画像（テクスチャ画像）を形成できる。また、三次元モデル画像からオルソ画像や全周囲画像を形成できる。これらにより、撮影範囲画像に既撮影範囲をビジュアルに表現でき、進捗状況を容易かつ正確に把握できる。

【 0 1 1 4 】

移動情報演算部 9 1 は、三次元位置演算部 7 3 で求められた撮影位置（撮影部 3 の現在位置）の三次元座標と撮影予定位置記憶部 5 7 に記憶された撮影予定位置から、撮影予定位置に対する撮影位置の方向と距離を求める。次回撮影予定位置選択部 9 2 は、求められた撮影位置の位置座標に基づいて、複数の撮影予定位置の中から次回撮影予定位置を選択する。次回撮影予定位置選択部 9 2 は、複数の撮影予定位置の位置座標と、当該撮影予定位置において撮影済か未撮影かを記憶した撮影予定位置表を有し、撮影予定位置表を参照

して、例えば、求められた撮影位置と各撮影予定位置との距離（測定対象物が間に入る場合はこれを迂回した距離）を比較し、未撮影の撮影予定位置のうち求められた撮影位置と最短距離にある撮影予定位置を次回撮影予定位置として選択する。移動情報報知部 9 3 は、撮影位置と次回撮影予定位置の位置情報から、撮影者にガイドする情報を作成し、表示部 4 に表示させる。撮影回数判定部 3 1 は P C 1 5 内に設けられ、図示しない撮影回数カウンタを有し、撮影回数カウンタで取得された撮影画像数を計数する。撮影回数カウンタには入力部 4 A から予定撮影回数として撮影予定位置数を設定する。撮影不足領域判定部 8 6 は撮影回数判定部 3 1 を参照して、予定撮影回数に達したか否かを判定する。撮影予定位置記憶部 5 7 において全ての撮影予定位置が既撮影位置として記憶された時に、撮影回数カウンタの計数が予定撮影回数に達するので、予定撮影回数に達したか否かを判定できる。すなわち、撮影回数判定部 3 1 は、実施例 2 におけるものと構成は同じであるが、予定撮影回数として撮影予定位置数を使用する点、撮影後ではなく、ガイド情報表示後に判定を行なう点異なる。なお、撮影回数判定部 3 1 は撮影予定位置記憶部 5 7 における既撮影位置を示すフラグを計数して、撮影予定位置記憶部 5 7 において全ての撮影予定位置が既撮影位置として記憶されたか否かを判定しても良い。

10

20

30

40

50

#### 【0115】

図 2 9 に、実施例 6 における画像撮影の処理フロー例を示す。まず、撮影予定位置入力部 4 1 は、予め定められた複数の撮影予定位置を入力し（撮影予定位置入力工程：S 4 0 0）、撮影予定位置記憶部 5 7 は撮影予定位置入力部 4 1 から入力されたこれらの撮影予定位置を記憶する（撮影予定位置記憶工程：S 4 0 1）。次に、撮影部 3 により、測定対象物 2 を撮影する（撮影工程：S 4 1 0）。撮影された撮影画像は撮影画像記憶部 5 1 に記憶される（撮影画像記憶工程：S 4 1 5）。次に、特徴点を抽出する（特徴点抽出工程：S 4 2 0）。次いで複数の撮影画像から、重複し合う 2 つの撮影画像の特徴点について対応点探索部 7 1 にて対応付けを行う（対応点探索工程：S 4 3 0）。撮影工程（S 4 1 0）～対応点探索工程（S 4 3 0）は実施例 1（図 1 6 参照）の撮影工程（S 1 0 0）～対応点探索工程（S 1 3 0）と同じである。次に、対応点探索部 7 1 で対応付けされた各特徴点の三次元座標を算出すると共に撮影位置の三次元座標を算出する（三次元座標算出工程：S 4 4 0）。標定部 7 2 にて標定を行い、カメラの位置と傾きを求め、三次元位置演算部 7 3 にて各特徴点及び撮影位置の三次元座標を算出する。撮影位置の三次元座標が算出されたら、ガイド情報処理部 9 で撮影者へのガイド情報を作成する。まず、移動情報演算部 9 1 にて、三次元位置演算部 7 3 で求められた撮影位置（撮影部 3 の現在位置）の三次元座標と撮影予定位置記憶部 5 7 に記憶された撮影予定位置から、撮影予定位置に対する撮影位置の方向と距離を求める（移動方向算出工程：S 4 5 0）。次に、次回撮影予定位置選択部 9 2 にて、求められた撮影位置の位置座標に基づいて、複数の撮影予定位置の中から次回撮影予定位置を選択する。次に、移動情報報知部 9 3 にて、撮影位置と次回撮影予定位置の位置情報から、撮影者を撮影位置から次回撮影予定位置へガイドするガイド情報を作成し、表示部 4 に表示させる（移動ガイド表示工程：S 4 6 0）。次に、撮影回数判定部 3 1 にて撮影回数が予定撮影回数に達したか否かを判定する（撮影回数判定工程：S 4 7 0）。撮影回数の判定は撮影回数カウンタからのリセット信号の出力の有無により行なわれる。リセット信号が出力されるまで、撮影工程（S 4 0 0）～移動ガイド表示工程（S 4 6 0）が繰り返される。撮影範囲画像形成部 8 5 ではリセット信号を受信すると、予定撮影回数に相当する枚数の撮影画像から撮影範囲画像を形成する（撮影範囲画像形成工程：S 4 8 0）。

#### 【0116】

撮影範囲画像形成工程（S 4 8 0）は実施例 1 の撮影範囲画像形成工程（S 1 5 0）と同様である（図 1 7 参照）。次に、表示部 4 にて、撮影範囲画像形成部 8 5 にて形成された撮影範囲画像を表示する（表示工程：S 4 9 0）。表示工程（S 4 9 0）は実施例 1 の表示工程（S 1 6 0）と同様である（図 1 7 参照）。次に、撮影不足領域判定部 8 6 にて、撮影範囲画像に撮影不足領域があるか否かを判定する（撮影不足領域判定工程：S 5 0 0）。本実施例では、撮影予定位置記憶部 5 7 において既に撮影された撮影予定位置を既

撮影位置として記憶し、撮影予定位置記憶部 57 において全ての撮影予定位置が既撮影位置として記憶された場合に撮影不足領域が無いと判定する。そして、撮影不足領域報知部 87 にて、撮影不足領域判定部 86 の判定結果を表示部 4 に表示させる。撮影不足領域が有るか否かの判定は、撮影回数が撮影予定位置数に達し、撮影範囲画像が表示された時に行なわれる。撮影不足領域が有ると判定された場合には、撮影予定位置入力工程 (S400) に戻り、撮影工程 (S410) ~ 撮影不足領域判定工程 (S500) の処理が繰り返される。この場合、撮影予定位置入力工程 (S400) では、典型的には既撮影位置を除く撮影予定位置が入力される。ただし、既撮影位置での撮影画像にボケ等の品質不良が生じた場合には撮影予定位置として入力できる。撮影不足領域が無いと判定された場合には、画像撮影の処理フローが終了する。

10

#### 【0117】

図 30 は測定対象物と撮影予定位置との位置関係を示す図である。撮影対象物 2 と撮影予定位置との位置関係を二次元的に表すもので、撮影位置画像 13 と称することとする。撮影位置画像 13 には、撮影対象物 2 の設置領域 14 が中心に、撮影予定位置がその周囲に表示されている。撮影予定位置には番号が付され (内に 1 ~ 8 の番号を付して示す)、各撮影予定位置 (内に 1 ~ 内に 8) から撮影対象物 2 を観察・撮影する方向が矢印で表されている。撮影者は撮影予定位置に付された番号順に撮影予定位置へ移動して、順次、撮影対象物 2 を撮影すれば良い。

#### 【0118】

図 31 に撮影予定位置を撮影範囲画像に書き込んだ例 (その 1) を示す。撮影範囲画像としての平面図に撮影予定位置がプラスマーク + で示され、番号 1001 ~ 1032 が付されている。抜けがある番号 (1022, 1024, 1025, 1029) は未入力の撮影予定位置であるが、今後入力される。測定対象物 2 は中心 (0.150, 0.125) に設置される予定であり、これを全周囲から取り囲むように撮影予定位置が配置されている。典型的には三次元座標 (X, Y, Z) が入力されるが、平面的配置を見るには平面図が適している。

20

#### 【0119】

図 32 に撮影予定位置を撮影範囲画像に書き込んだ例 (その 2) を示す。撮影範囲画像としての透視図に撮影予定位置が四角形で示され、番号が付されている。測定対象物 2 は中心 (0, -1.500, 0) に設置される予定であり、これを全周囲から取り囲むように、さらに斜め上方からも撮影するように撮影予定位置が配置されている。一般的には三次元座標 (X, Y, Z) が入力される。立体的配置を見るには透視図が適している。

30

#### 【0120】

図 33 に撮影範囲画像に撮影予定位置を指示した例 (その 1) を示す。撮影範囲画像としての平面図に既撮影の撮影予定位置がプラスマーク + で示され、番号が付されている。未撮影の撮影予定位置はプラスマーク + も番号も付されていない。図では番号 1003 と 1006 の撮影予定位置が未撮影になっている。このうち、番号 1003 の撮影予定位置に矢印が表示され、次回撮影予定位置として指定され、撮影方向が矢印の方向で示されている。

#### 【0121】

図 34 に撮影範囲画像に撮影予定位置を指示した例 (その 2) を示す。撮影範囲画像としての透視図に既撮影の撮影予定位置が四角形で示され、番号が付されている。未撮影の撮影予定位置 (図では 1箇所) には四角形も番号も付されていない。未撮影の撮影予定位置に矢印 (図では太い矢印) が表示され、次回撮影予定位置として指定され、撮影方向が矢印の方向で示されている。

40

#### 【0122】

図 35 に撮影範囲画像に撮影領域を形成した例 (その 1) を示す。撮影範囲画像としての平面図 (ワイヤフレーム画像) に既撮影の撮影予定位置がプラスマーク + で示され、番号が付されている。未撮影の撮影予定位置はプラスマークも番号も付されていない。図では番号 1006 の撮影予定位置が未撮影になっている。また、測定対象物としての自動車

50

2 が撮影領域に区分けされ、未撮影領域が黒色（図では細かい網目模様）、単一撮影領域が白色、重複撮影領域が模様を付して示されている。本実施の形態によれば、重複して撮影されなければ、特徴点の三次元座標は定まらないので撮影範囲画像には重複撮影領域以外は表示されない。ただし、予め撮影領域とこれを囲む 3 以上の特徴点の位置を予測しておき、撮影範囲画像にこの予測値を入力しておけば、単一撮影領域及び未撮影領域を表示することが可能である。特徴点の三次元座標が測定された場合には予測値を測定値に置換する。この撮影範囲画像はかような場合の例である。

#### 【 0 1 2 3 】

図 3 6 に撮影範囲画像に撮影領域を形成した例（その 2）を示す。撮影範囲画像として透視図（ワイヤフレーム画像）に撮影予定位置が四角形で示されている。測定対象物としての土器 2 が中心に設置され、土器 2 の撮影領域のうち、重複撮影領域が色分け（図では模様別）表示され、未重複撮影領域が表示されていない。図では矢印の方向から撮影する撮影予定位置が未撮影の位置（1 箇所）になっており、この位置からの撮影が行なわれれば、土器 2 の全ての撮影領域が重複撮影領域となる。

#### 【 0 1 2 4 】

図 3 7 に撮影範囲画像に撮影領域を形成した例（その 3）を示す。図 3 6 の未撮影の撮影予定位置からの撮影が行なわれた後の透視図（ワイヤフレーム画像）である。土器 2 の撮影領域のうち、未重複撮影領域がなくなっている。

#### 【 0 1 2 5 】

図 3 8 に撮影範囲画像に撮影領域を貼付表示した例（その 1）を示す。撮影範囲画像としての透視図（三次元モデル画像、テクスチャ画像）に撮影予定位置が四角形で示されている。測定対象物としての自動車 2 の既撮影領域に撮影画像が当てはめ（貼り付け）られている。このうち、単一撮影領域は暗く表示されている。また、未撮影領域には撮影画像が貼り付けられておらず、黒色で示されている。本実施例では、重複して撮影されなければ、特徴点の三次元座標は定まらないので撮影範囲画像には重複撮影領域以外は表示されない。ただし、予め撮影領域とこれを囲む 3 以上の特徴点の位置を予測しておき、撮影範囲画像にこの予測値を入力しておけば、単一撮影領域及び未撮影領域を表示することが可能である。特徴点の三次元座標が測定された場合には予測値を測定値に置換する。この撮影範囲画像はかような場合の例である。

#### 【 0 1 2 6 】

図 3 9 に撮影範囲画像に撮影領域を貼付表示した例（その 2）を示す。撮影範囲画像としての透視図（三次元モデル画像、テクスチャ画像）に撮影予定位置が四角形で示されている。図では矢印の方向から撮影する撮影予定位置が未撮影の位置（1 箇所）になっている。測定対象物としての土器 2 の重複撮影領域に撮影画像が当てはめ（貼り付け）られている。未重複撮影領域には撮影画像が貼り付けられておらず、空間になっている。なお、土器の内側が灰色で表示されている。図では 1 つの撮影予定位置が未撮影の位置になっており、この位置からの撮影が行なわれれば、土器 2 の全ての撮影領域が重複撮影領域となる。

#### 【 0 1 2 7 】

本実施例によれば、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる三次元計測用画像撮影方法を提供できる。さらに、撮影予定位置を定め、撮影者を現在位置から次回撮影予定位置へガイドすることにより、撮影を計画的に実行できる。

#### 【 実施例 7 】

#### 【 0 1 2 8 】

実施例 6 では、撮影予定位置の座標を予め入力しておき、撮影予定位置で順次撮影を行なうと共に、撮影者を次回撮影予定位置へガイドする例を説明したが、実施例 7 ではさらにライブ画像と見本画像を表示して、ガイドする例を説明する。

#### 【 0 1 2 9 】

図 4 0 に実施例 7 に係る三次元計測用画像撮影装置の構成例をブロック図で示す。実施例 6 の構成（図 2 8 参照）に比して、記憶部 5 にライブ画像記憶部 5 8 が追加されている

。撮影部 3 は、例えばビデオカメラやデジタルカメラで構成され、シャッター操作などにより静止画像である撮影画像を撮影して取得する。また、撮影者が移動しながらビデオカメラ又はデジタルカメラで撮影されたライブ画像は常時記憶部 5 のテンポラリメモリに上書きされて、表示部 4 に転送される。表示部 4 は、例えば、液晶ディスプレイ等のディスプレイやファインダーにライブ画像を表示する。また、撮影者が現在位置を知りたい場合には、シャッター操作により現在位置で測定対象物 2 を撮影してライブ画像を取得し、撮影位置の三次元位置測定やガイド情報処理に使用する。したがって、ライブ画像記憶部 5 8 はテンポラリメモリと現在位置のライブ画像を記憶するメモリを有する。現在位置のライブ画像を記憶するメモリには所定期間（一時的に）ライブ画像が保存される。所定期間は例えば次回撮影予定位置へのガイド情報が表示されるのに十分な時間であれば良い。なお、現在位置のライブ画像を記憶するメモリに保存されるライブ画像は単数でも複数でも良い。シャッター操作により取得する撮影画像とライブ画像の区別は、例えば撮影者が図示しない入力キーから、撮影画像の場合は 1 を、ライブ画像の場合は 2 を入力して行なう。また、記憶部 5 は、見本画像記憶部 5 6 に、撮影予定位置と略同じ相対的位置関係で予め撮影された模擬対象物の見本画像等を記憶する。同じ相対的位置関係とは、撮影部 3 と測定対象物 2 との方向及び距離が、見本画像を撮影した撮影装置と模擬対象物との方向及び距離と等しいことを意味する。また、各見本画像は撮影予定位置と対応付けて記憶される。表示部 4 は、少なくとも、撮影部 3 の現在位置でのライブ画像と次回撮影予定位置で撮影された模擬対象物の見本画像とを同一画面内に表示する。両画像を左右に又は上下に並べて表示するのが比較し易いので好適であるが、同一画面内に表示されれば比較できるのでそれでも良い。また、表示部 4 は音声ガイドをする場合にはスピーカを有する。

#### 【 0 1 3 0 】

図 4 1 ~ 図 4 3 に、ライブ画像と見本画像の表示例を示す。左側にライブ画像 1 1 を右側に見本画像 1 2 を並べて表示する。模擬対象物の見本画像 1 2 とは、撮影対象物 2 が例えば自動車である場合には、他の自動車について（形状が似ているほど好ましい）撮影予定位置と略同じ相対的位置関係（方向、距離）で既に撮影された自動車の撮影画像（静止画像）から選択された画像をいう。表示部 4 は、記憶部 5 の見本画像記憶部 5 8 に記憶された見本画像のうち次回撮影予定位置に対応付けられた画像から選んで表示する。また、撮影対象物と撮影予定位置との位置関係を二次元的に表す撮影位置画像 1 3 を表示する。撮影位置画像 1 3 には、撮影対象物 2 の設置領域 1 4 が表示され、撮影予定位置には番号が付され（ 内に 1 ~ 8 の番号を付して示す）、各撮影予定位置（ 内に 1 ~ 内に 8 ）から撮影対象物 2 を観察・撮影する方向が矢印で表されている。撮影者は撮影予定位置に付された番号順に撮影予定位置へ移動して、順次、撮影対象物 2 を撮影すれば良い。シャッター操作により撮影が行なわれ、撮影者が入力キーから 1 を入力すると撮影画像が取得され、ガイド情報部 9 が次回撮影予定位置を選択し、見本画像 1 2 は次の次回撮影予定位置の画像に変化する。また、移動中に現在位置を知るため、ライブ画像を取得する際には、撮影者が入力キーから 2 を入力する。

#### 【 0 1 3 1 】

図 4 1 の表示画面は撮影部 3 が撮影予定位置（ 内に 2 ）にある場合を示している。ライブ画像 1 1 及び見本画像 1 2 には右前方から撮影された自動車が表示され、自動車の方向が略一致している。撮影位置画像 1 3 には次回撮影予定位置（ 内に 2 ）が例えば赤色で表示され、他の撮影予定位置（ 内に 1 , 3 ~ 8 ）が例えば黒色で表示されている。

#### 【 0 1 3 2 】

図 4 2 の表示画面は撮影部 3 が撮影予定位置（ 内に 1 ）と撮影予定位置（ 内に 8 ）の中間にある場合を示している。例えば撮影者が撮影予定位置（ 内に 1 ~ 7 ）での撮影を終えて撮影予定位置（ 内に 8 ）に移動する時に行き過ぎた場合である。ライブ画像 1 1 には前方やや左方から撮影された自動車が表示され、見本画像 1 2 には左前方から撮影された自動車が表示され、撮影位置画像 1 3 には次回撮影予定位置（ 内に 8 ）が例えば赤色で表示され、他の撮影予定位置（ 内に 1 ~ 7 ）が例えば黒色で表示されている。また、ライブ画像 1 1 には、「右に移動してください」との文字表示がされ、また、右方向

への矢印が表示され、撮影者に次回撮影予定位置である撮影予定位置（ 内に 8 ）の方向に移動するようにガイド情報を報知している。また、撮影位置画像 1 3 の撮影予定位置（ 内に 1 ）と撮影予定位置（ 内に 8 ）との間に撮影予定位置（ 内に 8 ）に向かう矢印が表示され、撮影者に撮影予定位置（ 内に 8 ）の方向に移動するようにガイド情報を報知している。なお、ガイド情報は、上記文字表示と 2 つの矢印表示のいずれか 1 つを表示するものでも良く、音声で「右に移動してください」とアナウンスしても良い。撮影者がこのガイド情報に従って自動車 8 に対して右回りに移動すれば、次回撮影予定位置（ 内に 8 ）に到達できる。

#### 【 0 1 3 3 】

図 4 3 は次回撮影予定位置（ 内に 8 ）に到達した場合を示している。ライブ画像 1 1 と見本画像 1 2 における自動車の方向が略一致するので、次回撮影予定位置（ 内に 8 ）に到達したことがわかる。なお、図 4 4 には、ライブ画像 1 1 又は撮影位置画像 1 3 に「OK」と到達したことを示す文字表示がされている。ガイド情報は、上記 2 つの OK 表示のいずれか 1 つを表示するものでも良く、音声で「OK」とアナウンスしても良い。撮影画像が取得されると、ガイド情報部 9 が次回撮影予定位置を選択し、見本画像 1 2 は次の次回撮影予定位置に対応付けられた画像に変化する。全ての撮影予定位置（ 内に 1 ~ 8 ）での撮影が行なわれれば、次回撮影予定位置に対応付けられた画像はなくなるので見本画像 1 2 は空白になる。この場合、見本画像 1 2 に「撮影完了」と文字表示をしても良く、音声で「撮影完了」とアナウンスしても良い。

10

#### 【 0 1 3 4 】

移動情報演算部 9 1 は、三次元位置演算部 7 3 で求められた撮影位置（撮影部 3 の現在位置）の三次元座標と撮影予定位置記憶部 5 7 に記憶された撮影予定位置から、撮影予定位置に対する撮影位置の方向と距離を求める。なお、移動情報演算部 9 1 は、撮影部 3 すなわち撮影者の現在位置でのライブ画像 1 1 と見本画像 1 2 とを比較して、次回撮影予定位置に対する撮影部 3 の移動方向を算出し、移動情報報知部 9 3 は移動情報演算部 9 1 が算出した移動方向を表示部 4 に表示させても良い。例えば、データベースに多くの見本画像 1 2 を撮影予定位置（ 内に 1 ~ 8 ）と対応付けて蓄積し、これらの見本画像のパターンからライブ画像 1 1 に比較的似たパターンを抽出してライブ画像 1 1 と比較する。例えば、撮影予定位置（ 内に 1 ）と撮影予定位置（ 内に 2 ）の両方のパターンに似ている場合には、撮影部 3 は撮影予定位置（ 内に 1 ）と撮影予定位置（ 内に 2 ）の中間に在ると判定し、その中で、撮影予定位置（ 内に 1 ）の見本画像により似ていれば、撮影予定位置（ 内に 1 ）により近い方にあり、撮影予定位置（ 内に 2 ）の見本画像により似ていれば、撮影予定位置（ 内に 2 ）により近い方にあると判定する。ライブ画像 1 1 のパターンと見本画像 1 2 のパターンの類似性は、例えばライブ画像 1 1 と見本画像 1 2 から特徴点を抽出し、対応する特徴点の画像間での距離を統計的に処理して求めても良い。また、撮影予定位置（ 内に 1 ~ 8 ）以外の位置に対応付けられる見本画像（例えば撮影予定位置の中間と略同じ相対的位置関係で撮影された見本画像、斜め上方から撮影された見本画像等）も比較の対象として用いても良い。

20

30

#### 【 0 1 3 5 】

撮影予定位置に対する撮影部 3 の相対的位置（方向、距離）は、撮影画像内の測定対象物の方向と寸法から判定される。例えば、画像記憶部 6 に多数の方向、距離から撮影された見本画像を、方向、距離と対応付けて蓄積しておき、取得したライブ画像 1 1 をこれらの見本画像と比較し、類似性の高い画像を抽出して、撮影予定位置に対する撮影部 3 の相対的位置を判定する。取得されたライブ画像に自動車が大きく写っているときは撮影部 3 は自動車の近くにあり、自動車が小さく写っているときは撮影部 3 は自動車の遠くにあると判定される。また、ライブ画像 1 1 を、撮影予定位置（ 内に 1 ）の方向から取得した場合は自動車の前方、撮影予定位置（ 内に 2 ）の方向から取得した場合は自動車の右前方、撮影予定位置（ 内に 3 ）の方向から取得した場合は自動車の右方、撮影予定位置（ 内に 4 ）の方向から取得した場合は自動車の右後方、撮影予定位置（ 内に 5 ）の方向から取得した場合は自動車の後方、撮影予定位置（ 内に 6 ）の方向から取得した場合は

40

50



自動車の左後方、撮影予定位置（ 内に 7 ）の方向から取得した場合は自動車の左方、撮影予定位置（ 内に 8 ）の方向から取得した場合は自動車の左前方と判定される。また、これらの中間位置、例えば、撮影予定位置（ 内に 1 ）と撮影予定位置（ 内に 2 ）の中間から取得した場合は自動車の前方やや右側にあると判定される。

#### 【 0 1 3 6 】

移動情報報知部 9 3 は、撮影部 3 の現在位置から次回撮影予定位置へ撮影者が移動するようにガイド情報を作成し、表示部 4 に報知させる。移動情報報知部 9 3 は移動情報演算部 9 1 による次回撮影予定位置に対する撮影部 3 の相対的位置を判定に基づいてガイド情報を報知する。例えば、撮影部 3 が撮影予定位置（ 内に 1 ）や撮影予定位置（ 内に 2 ）にある場合には、ガイド情報を作成しなくても良く、「OK」と作成しても良い。また、例えば、撮影予定位置（ 内に 1 ）と撮影予定位置（ 内に 8 ）の中間にあり、次回撮影予定位置が撮影予定位置（ 内に 8 ）の場合には、「右に移動してください」とのガイド情報を作成し、表示部 4 であるディスプレイに文字表示させたり、スピーカにアナウンスさせる。また、例えば、撮影予定位置（ 内に 1 ）と撮影予定位置（ 内に 2 ）の中間にあり、次回撮影予定位置が撮影予定位置（ 内に 2 ）の場合には、「左に移動してください」とのガイド情報を作成し、表示部 4 であるディスプレイに文字表示させたり、スピーカにアナウンスさせる。また、ガイド情報は方向及び距離をガイドするものでも良いが、距離に係るガイドは方向でも表現できるので、方向のみをガイドするものでも良い。さらに、測定対象物 2 を周囲から撮影する等、測定対象物 2 と各撮影予定位置（ 内に 1 ~ 8 ）との距離が予め決められている（例えば 5 m）場合、遠方からの撮影で距離の影響が無視できる場合には、「右へ」、「左へ」等横方向へのガイドでも良い。

#### 【 0 1 3 7 】

図 4 4 に、本実施例における画像撮影の処理フロー例を示す。実施例 6 の処理フロー（図 2 9 参照）に比して、撮影予定位置入力工程（S 4 0 0）と撮影工程（S 4 1 0）の間にライブ画像表示工程（S 4 0 5）が挿入されている。すなわち、ライブ画像を表示部 4 に表示する。その際に、表示部 4 にライブ画像と共に最初の次回撮影予定位置に対応付けられた見本画像を表示する。撮影者が、ライブ画像 1 1 と見本画像 1 2 を比較しながら、最初の次回撮影予定位置に到達したと判断すると、シャッター操作により撮影画像を取得する（S 4 1 0）。撮影工程（S 4 1 0）～三次元座標算出工程（S 4 4 0）は実施例 6 と同様である。移動方向算出工程（S 4 5 0）では、移動情報演算部 9 1 にて、三次元位置演算部 7 3 で求められた撮影位置（ライブ画像から取得された撮影者の現在位置）の三次元座標と撮影予定位置記憶部 5 7 に記憶された撮影予定位置から、撮影予定位置に対する撮影位置の方向と距離を求める。移動ガイド表示工程（S 4 6 0）では、撮影者にガイドする情報を作成し、表示部 4 に表示させる。まず、次回撮影予定位置選択部 9 2 にて、求められた撮影位置の位置座標に基づいて、複数の撮影予定位置の中から次回撮影予定位置を選択し、次に、移動情報報知部 9 3 にて、撮影位置と次回撮影予定位置の位置情報から、撮影者を撮影位置から次回撮影予定位置へガイドするガイド情報を作成し、表示部 4 のライブ画像及び見本画像を含む画面にガイド情報が表示される。

#### 【 0 1 3 8 】

移動ガイド表示工程（S 4 6 0）の次に撮影回数判定工程（S 4 7 0）に進む。撮影回数判定工程（S 4 7 0）以後の工程は、撮影回数判定工程（S 4 7 0）からの戻り先が撮影工程（S 4 1 0）の代わりにライブ画像表示工程（S 4 0 5）である点を除いて実施例 6 と同様である。

#### 【 0 1 3 9 】

本実施例によれば、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる三次元計測用画像撮影方法を提供できる。さらに、ライブ画像を用いて、撮影者を現在位置から次回撮影予定位置への確にガイドできる。

#### 【 実施例 8 】

#### 【 0 1 4 0 】

実施例 8 では、三次元計測用画像撮影装置が複数のユニットに分離でき、各ユニット間

で有線又は無線により通信可能に構成される例を説明する。

例えば、第1ユニットは撮影部3及び表示部4を有し、第2ユニットはPC15、入力部4A、記憶部5を有するものとする。第1ユニットは第2ユニットから独立して移動可能に構成される。第1ユニットは携帯可能であり、撮影者は第1ユニットを携帯して、移動しながら撮影を行なうことができ、負担が小さく敏速に行動できる。第2ユニットはPC15内に三次元位置測定部7及び画像処理部8（撮影範囲画像形成部85を含む）を有し、演算処理、画像処理が可能である。PC15をオフィス等に設置することにより、高性能・高速処理のコンピュータ処理に適する。前記第1ユニットと前記第2ユニットとは、有線又は無線により通信可能に構成され、通信を介してデータやコマンドを送受信して、画像撮影処理ができる。その他の構成及び処理フローは以上の実施例と同様である。

10

#### 【0141】

また、本発明は、以上の実施の形態のフローチャート等に記載の三次元計測用画像撮影方法の発明、当該方法の発明を三次元計測用画像撮影装置に実行させるためのプログラムとしても実現可能である。プログラムは三次元計測用画像撮影装置の内蔵記憶部に蓄積して使用してもよく、外付けの記憶装置に蓄積して使用してもよく、インターネットからダウンロードして使用しても良い。また、当該プログラムを記録した記録媒体としても実現可能である。

#### 【0142】

以上説明したように、本発明によれば、単カメラを用いて移動しながら撮影を行う場合に、撮影の進捗状況を把握でき、撮影を過不足なく効率的に行なえる三次元計測用画像撮影装置を提供できる。

20

#### 【0143】

以上、本発明の実施の形態について説明したが、本発明は上記の実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で実施例に種々変更を加えられることは明白である。

#### 【0144】

例えば、以上の実施例では、撮影範囲画像の形成を撮影毎に又は所定枚数撮影毎に行なう、撮影範囲画像の形成を撮影領域に区画して行う又は撮影画像の特徴点を座標変換して行う、撮影領域に区画して行う場合に撮影領域を色分け表示する又は撮影画像を貼付けて表示する等の例を説明したが、これらの選択肢を自由に選択可能である。また、特徴点として自他識別可能な識別コードを有するマークを使用する、撮影予定位置を定めガイドを行なう、撮影予定位置を定める場合にライブ画像を利用する等の選択肢も自由に選択可能である。また、撮影不足領域の判定について、撮影領域の撮影回数を用いる、撮影予定位置数を用いる、模擬対象物に係る撮影範囲画像を用いる例を説明したが、これらのいずれを用いても良く、2以上を用い補完するようにしても良い。また、撮影領域の大きさはそれを囲むマークの組み合わせを変えることで自由に変更可能である。例えば、撮影回数を3回に統一したい場合には、撮影画像全体の約1/3になるように選択し、撮影画像が約1/3ずつ変化するように移動しながら撮影する等である。また、任意の撮影位置で一歩ずらした一対の位置で撮影するようにすれば常にステレオ画像に近い画像を得ることができ、標定や三次元計測に利用し易い。また、撮影範囲画像はテクスチャ画像、ワイヤフレーム画像の他に、鳥瞰図などで表現しても良い。また、三次元座標空間として、透視図を使用する例を説明したが、投影図を用いても良い。また、以上の実施例では、撮影不足領域の有無の判断を撮影不足領域判定部86にて自動的に行う例を説明したが、撮影者が行なっても良い。その他、撮影の所定枚数、使用する特徴点数やマーク数、撮影予定位置数等は適宜変更可能である。

30

40

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0145】

本発明は、撮影の進捗状況を把握しながら撮影を進める三次元計測等に利用できる。

#### 【符号の説明】

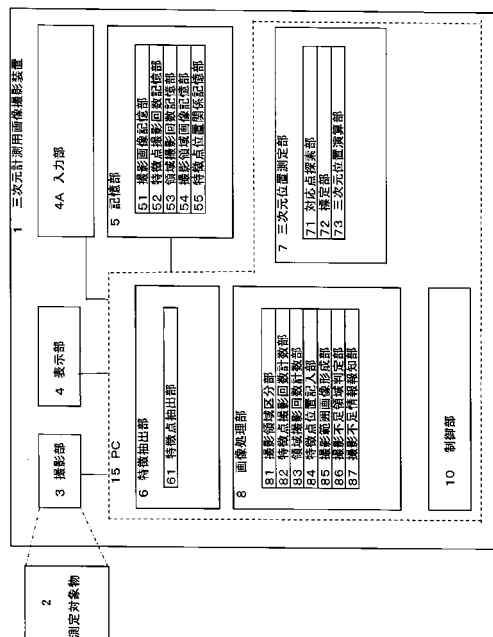
#### 【0146】

50

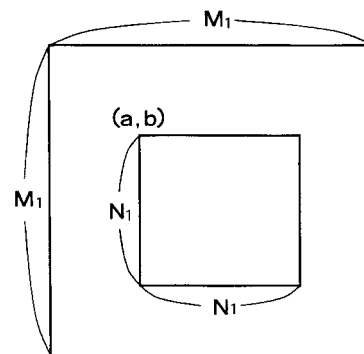
1 , 1 A ~ 1 E	三次元計測用画像撮影装置	
2	測定対象物	
3	撮影部	
4	表示部	
4 A	入力部	
5	記憶部	
6	特徴抽出部	
7	三次元位置測定部	
8	画像処理部	
9	ガイド情報処理部	10
1 0	制御部	
1 1	ライブ画像	
1 2	見本画像	
1 3	撮影位置画像	
1 4	撮影対象物の設置領域	
1 5	パーソナルコンピュータ ( P C )	
3 1	撮影回数判定部	
4 1	撮影予定位置入力部	
5 1	撮影画像記憶部	
5 2	特徴点撮影回数記憶部	20
5 3	領域撮影回数記憶部	
5 4	撮影領域画像記憶部	
5 5	特徴点位置関係記憶部	
5 6	見本画像記憶部	
5 7	撮影予定位置記憶部	
5 8	ライブ画像記憶部	
6 1	特徴点抽出部	
6 2	マーク抽出部	
6 3	コード識別部	
7 1	対応点探索部	30
7 2	標定部	
7 3	三次元位置演算部	
8 1	撮影領域区分部	
8 2	特徴点撮影回数計数部	
8 3	領域撮影回数計数部	
8 4	測定対象物境界抽出部	
8 5	撮影範囲画像形成部	
8 6	撮影不足領域判定部	
8 7	撮影不足情報報知部	
8 8	画像座標変換部	40
9 1	移動情報演算部	
9 2	次回撮影予定位置選択部	
9 3	移動情報報知部	
2 0 0	レトロターゲット	
2 0 4	内円部	
2 0 6	外円部	
A 1 ~ A 8 , A 1 0 ~ A 1 3	カラーコードターゲット	
C T	カラーコードターゲット	
P 1	レトロターゲット部	
P 2	基準色部	50

P 3 カラーコード部  
P 4 白色部  
Q 1 ~ Q 5 撮影領域  
T 1 ~ T 8 , T 1 0 , T 1 1 レトロターゲット  
T o 閾値

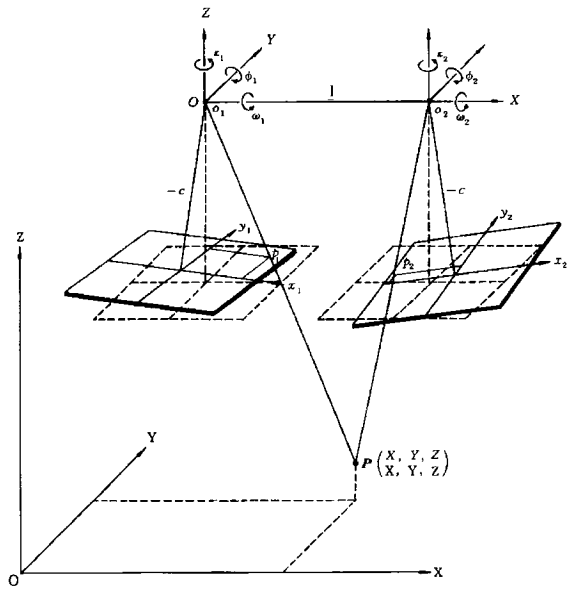
【図 1】



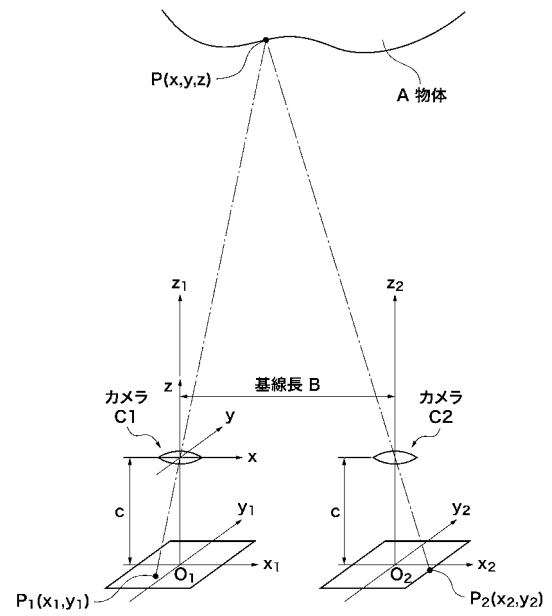
【図 2】



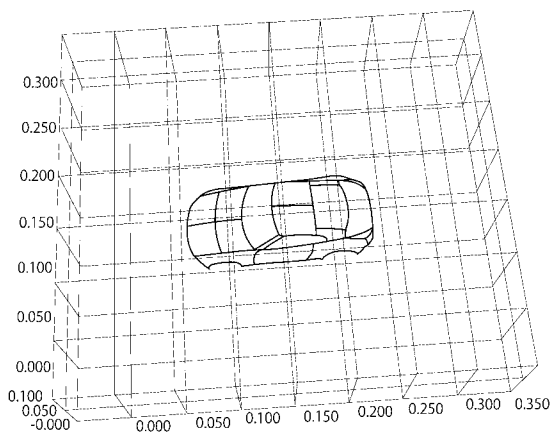
【 図 4 】



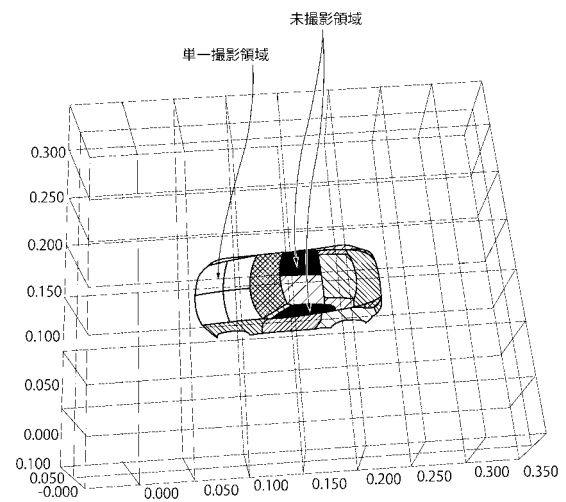
【 図 5 】



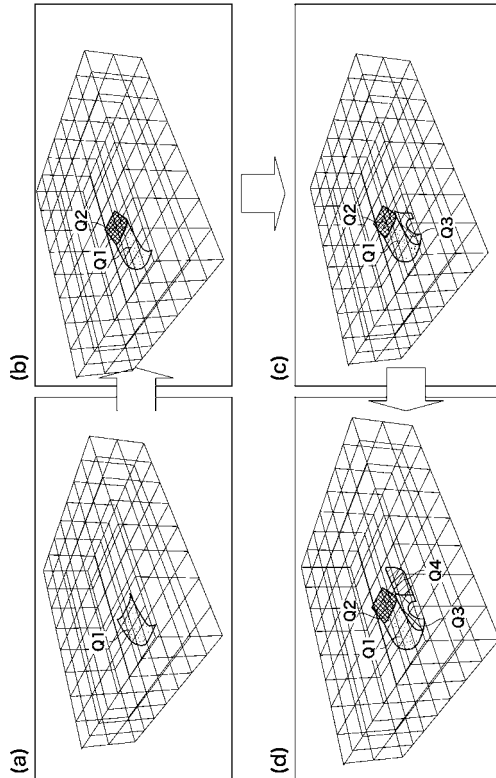
【 図 8 】



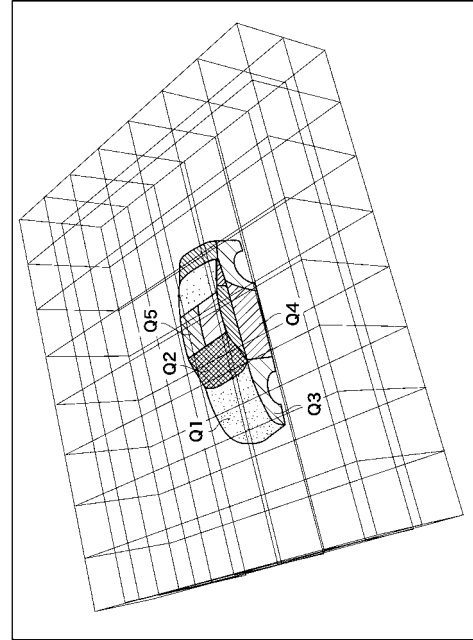
【 図 9 】



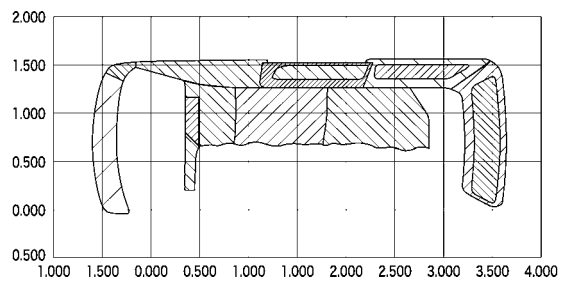
【図 10】



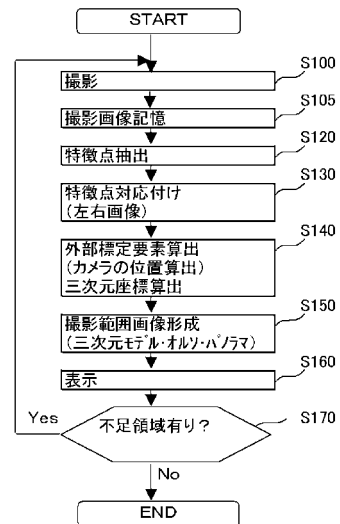
【図 11】



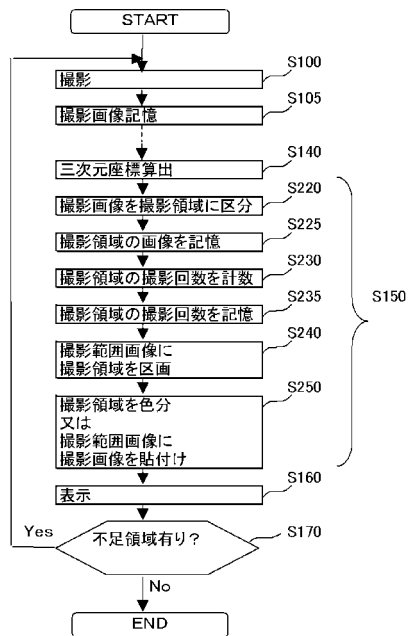
【図 14】



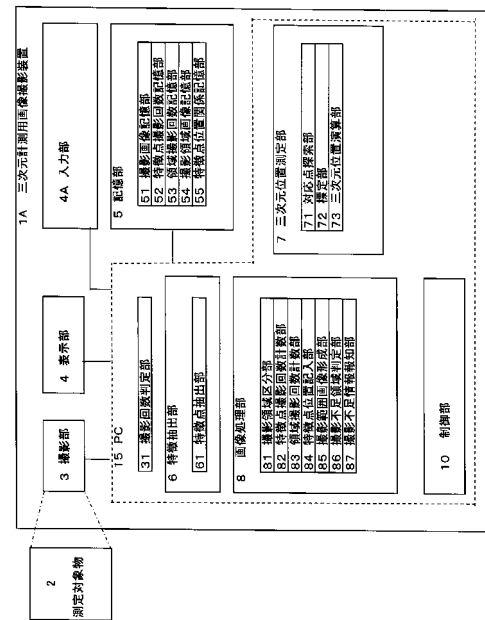
【図 16】



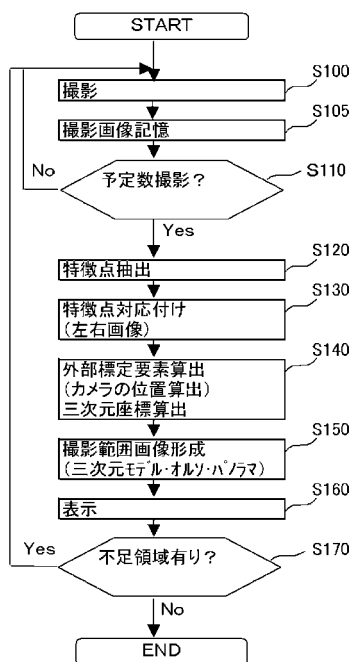
【図 17】



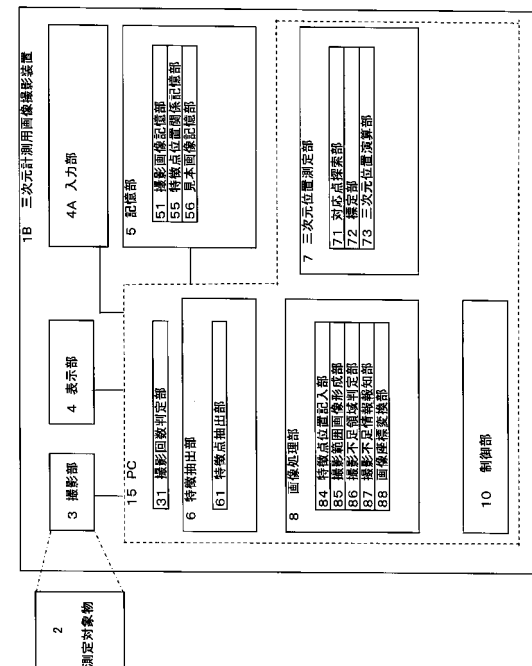
【図 18】



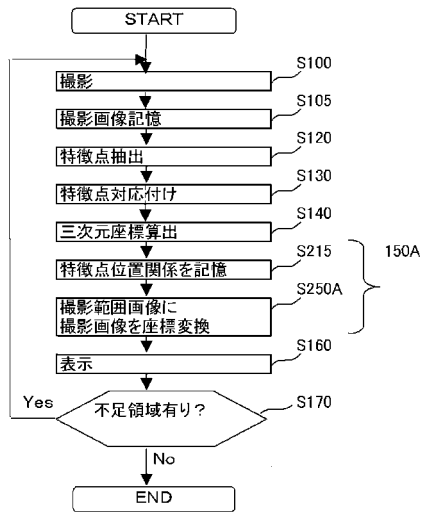
【図 19】



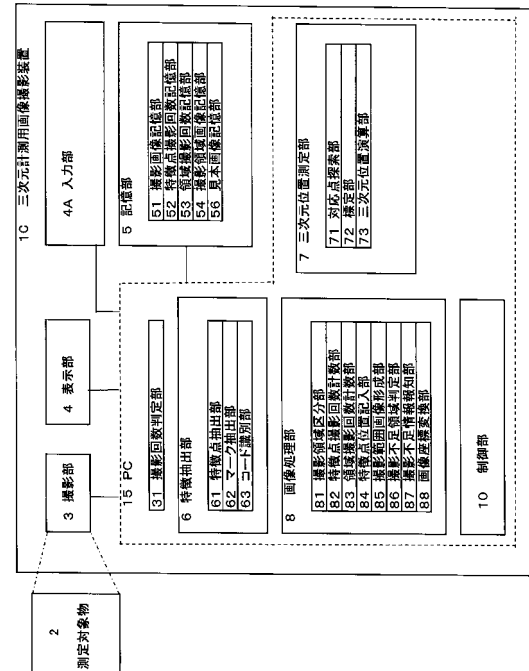
【図 20】



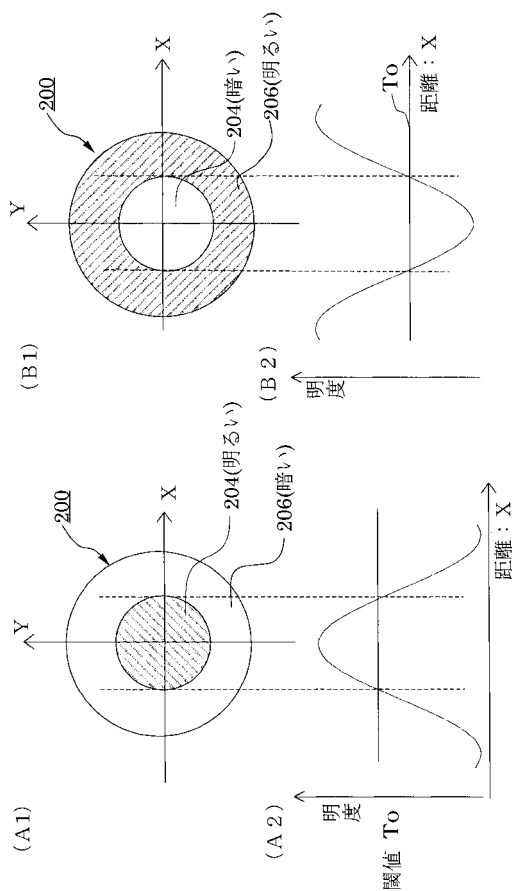
【図 2 1】



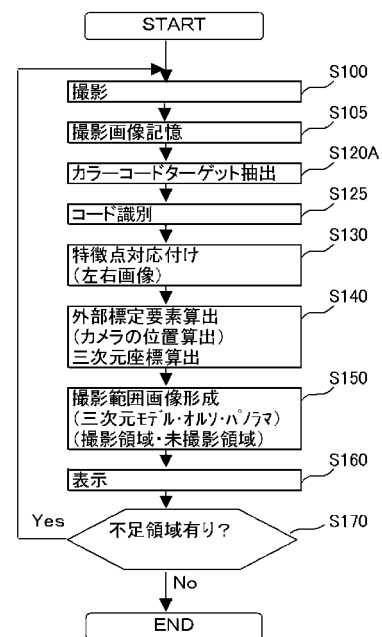
【図 2 2】



【図 2 4】

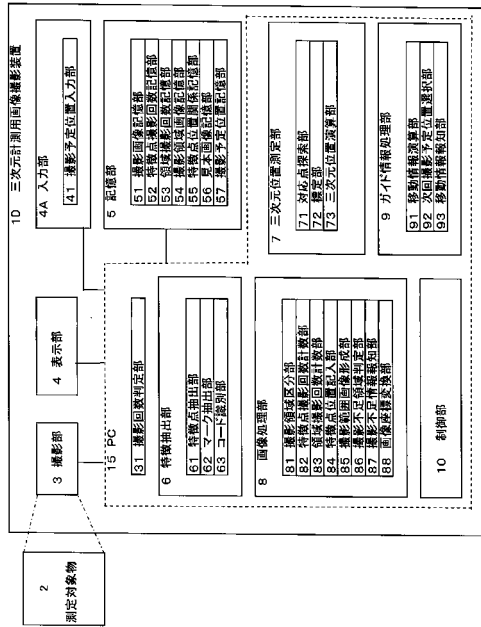


【図 2 6】

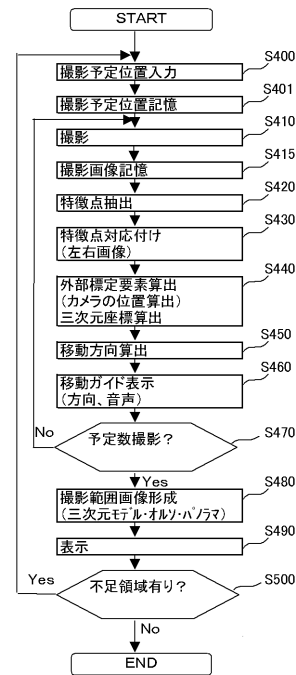




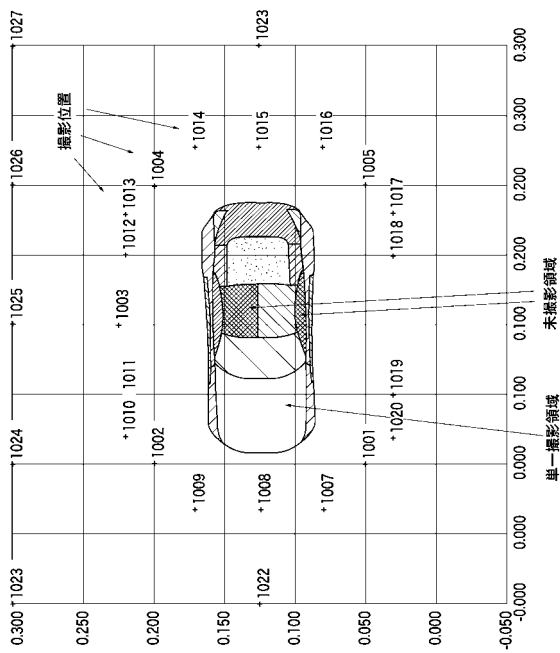
【図 28】



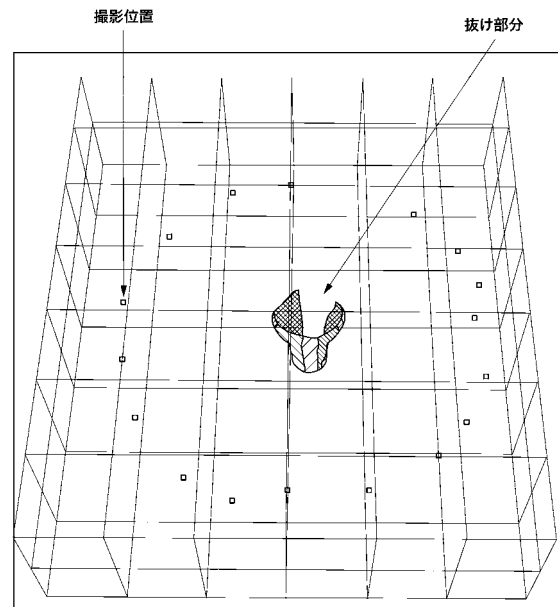
【図 29】



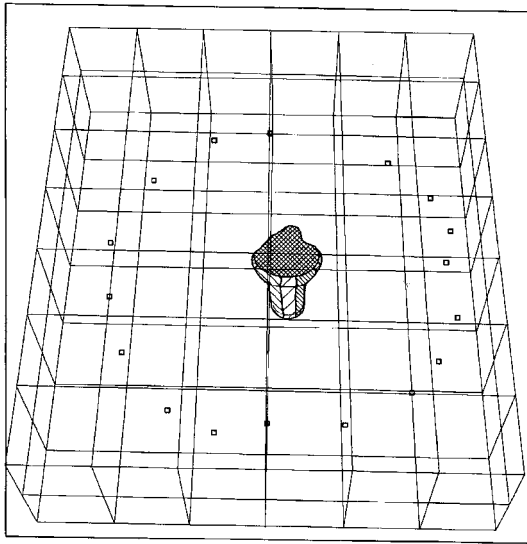
【図 35】



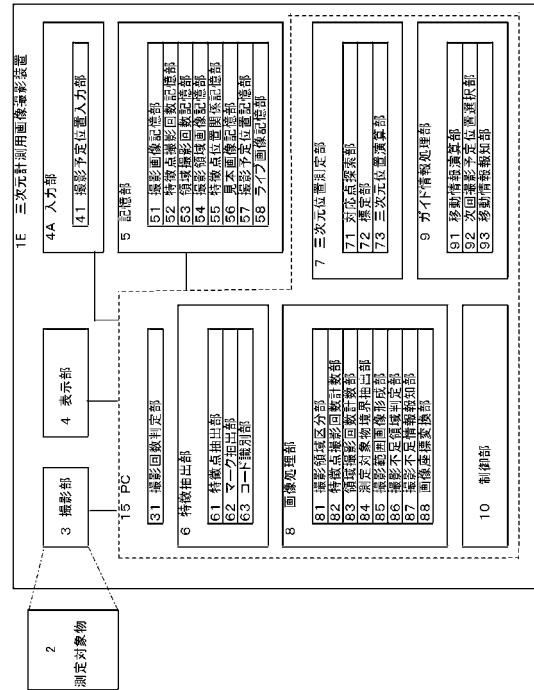
【図 36】



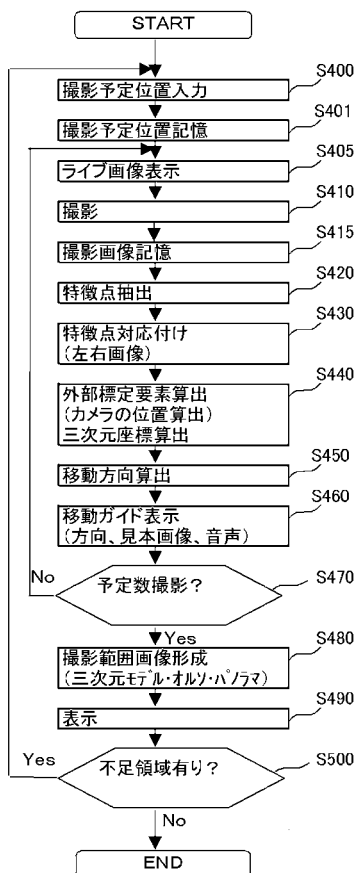
【図 37】



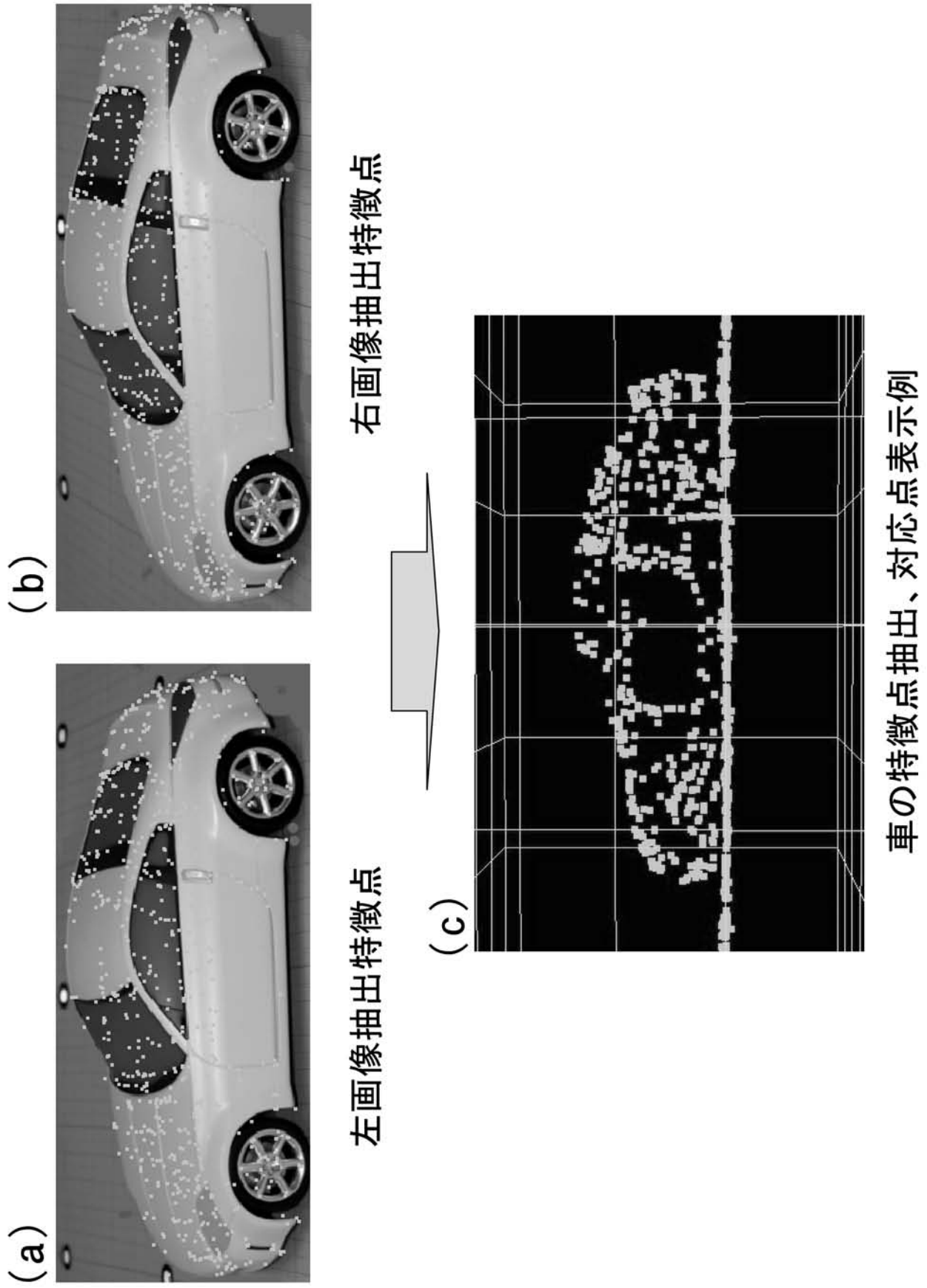
【図 40】



【図 44】



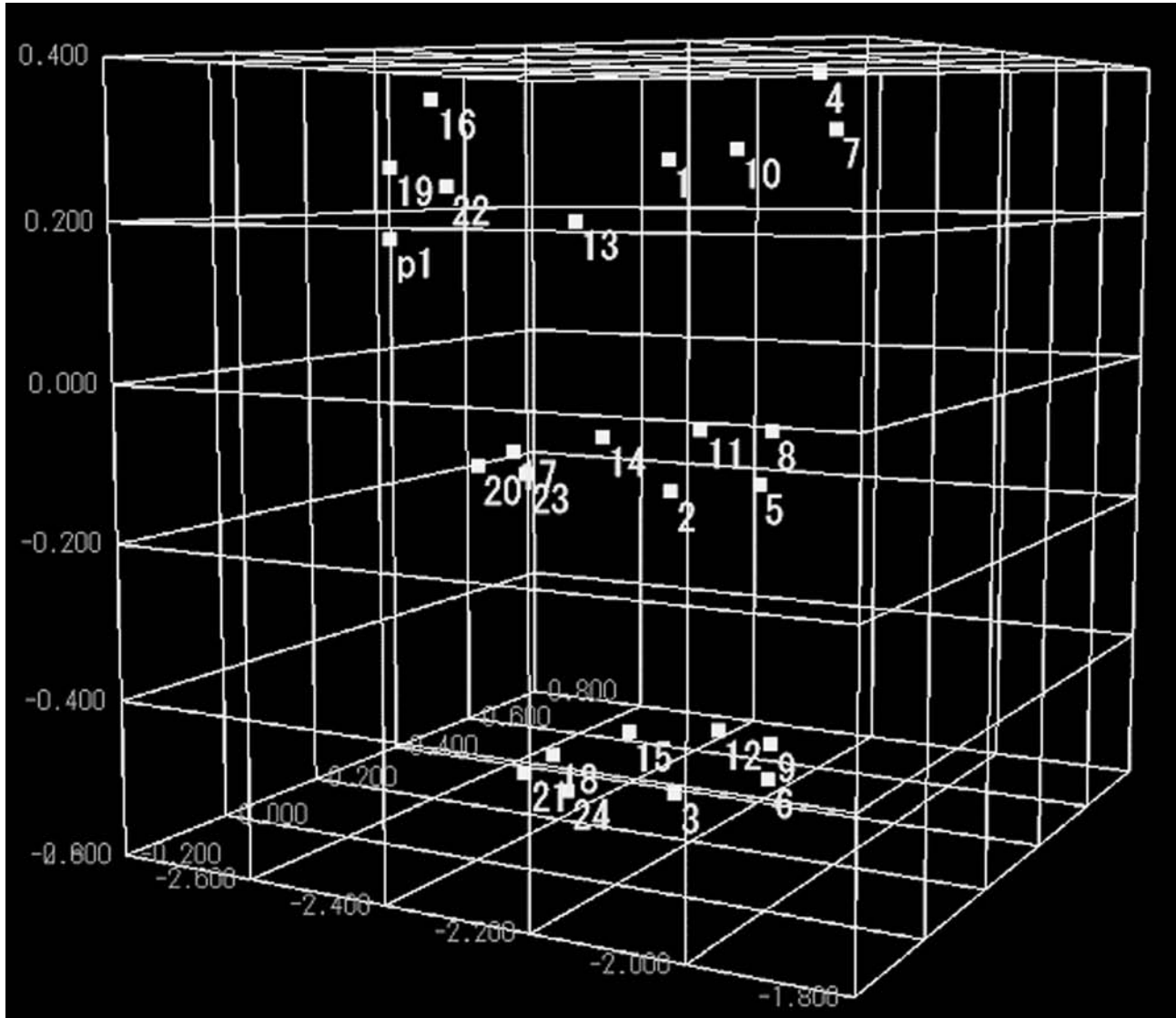
【図 3】



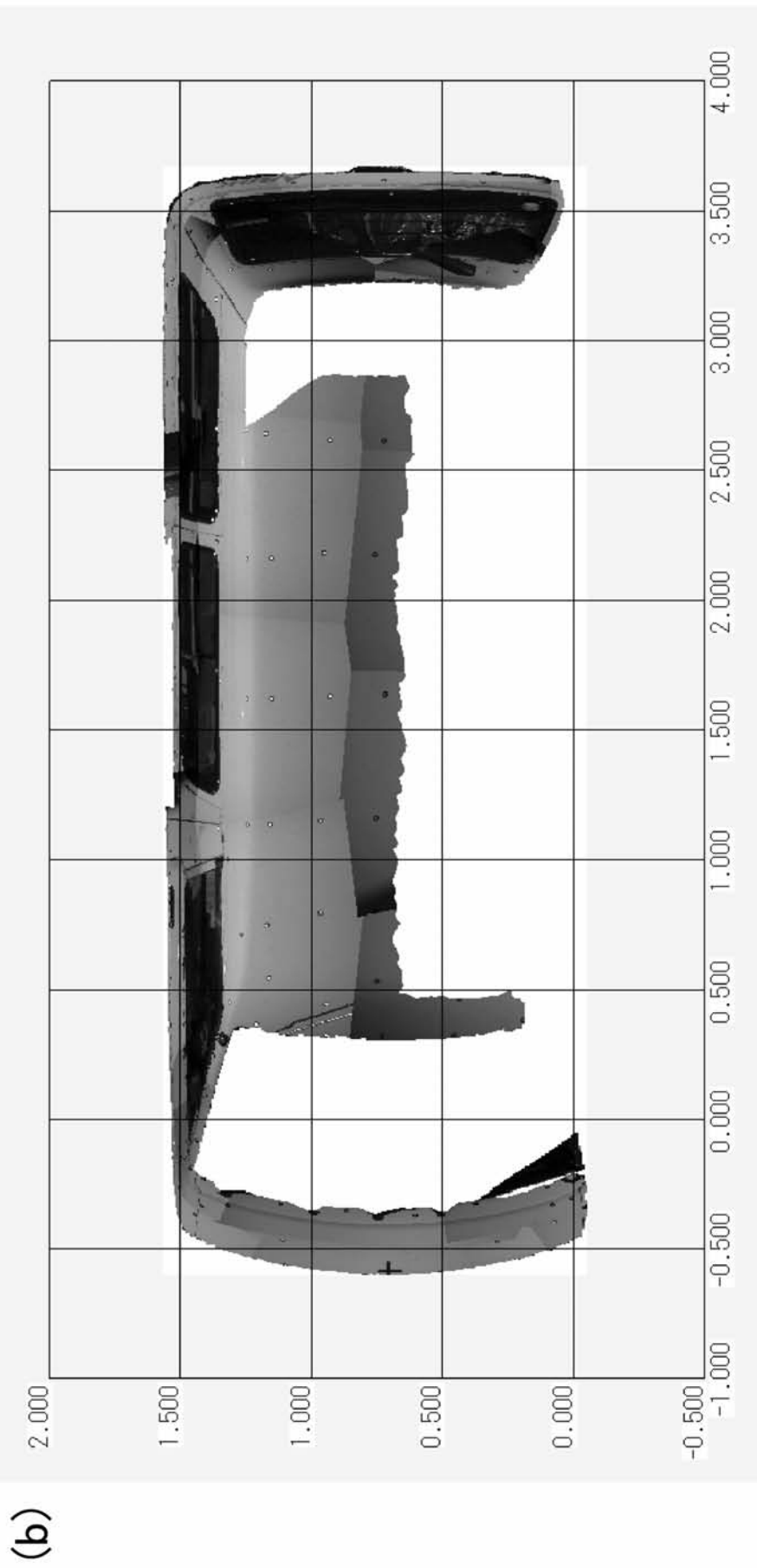
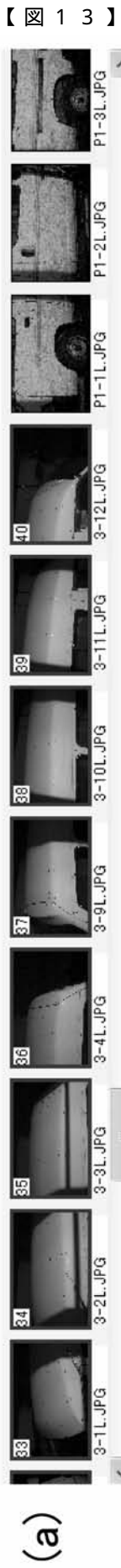
【 図 6 】



【 図 7 】





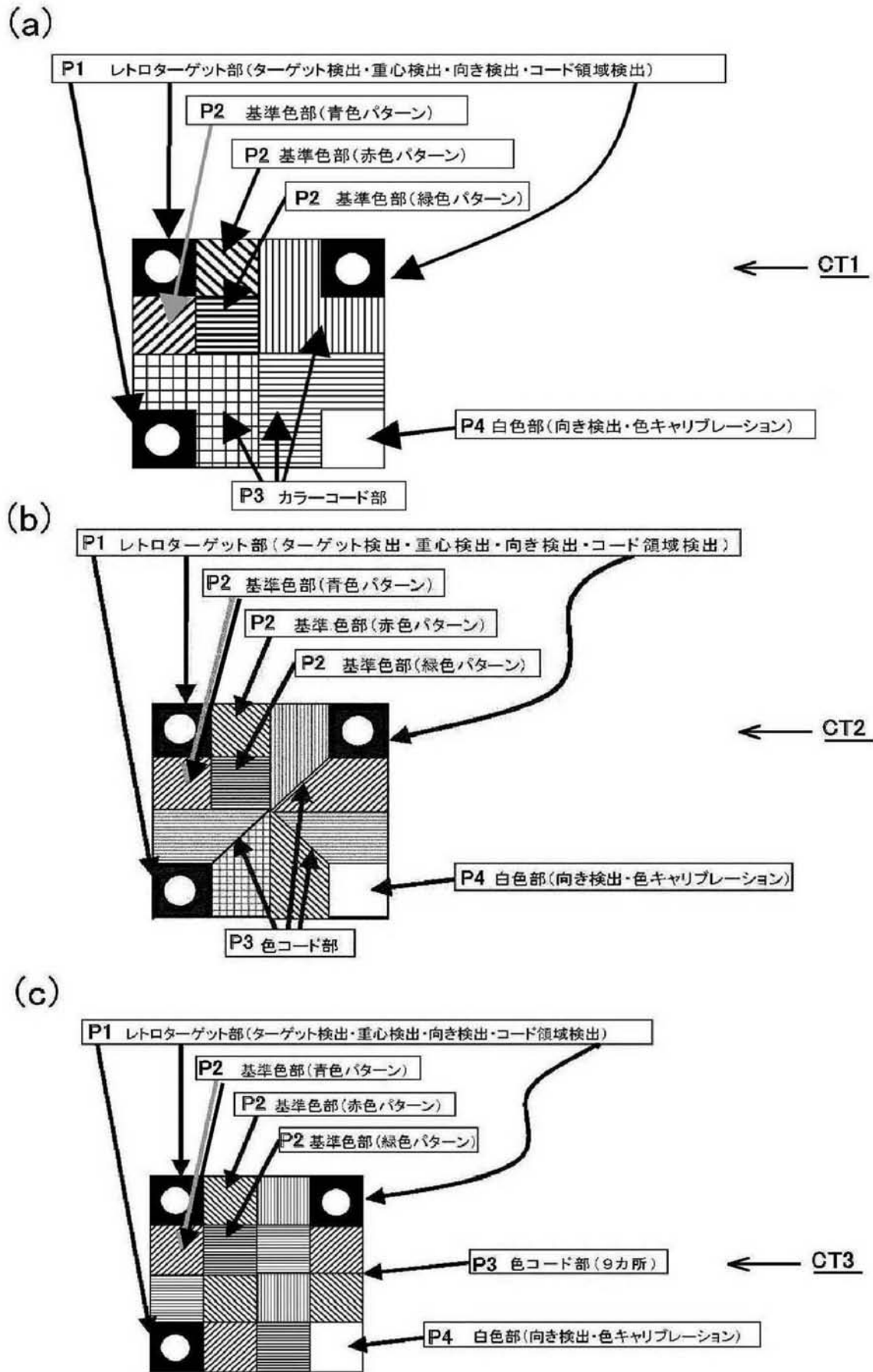


【 図 1 5 】

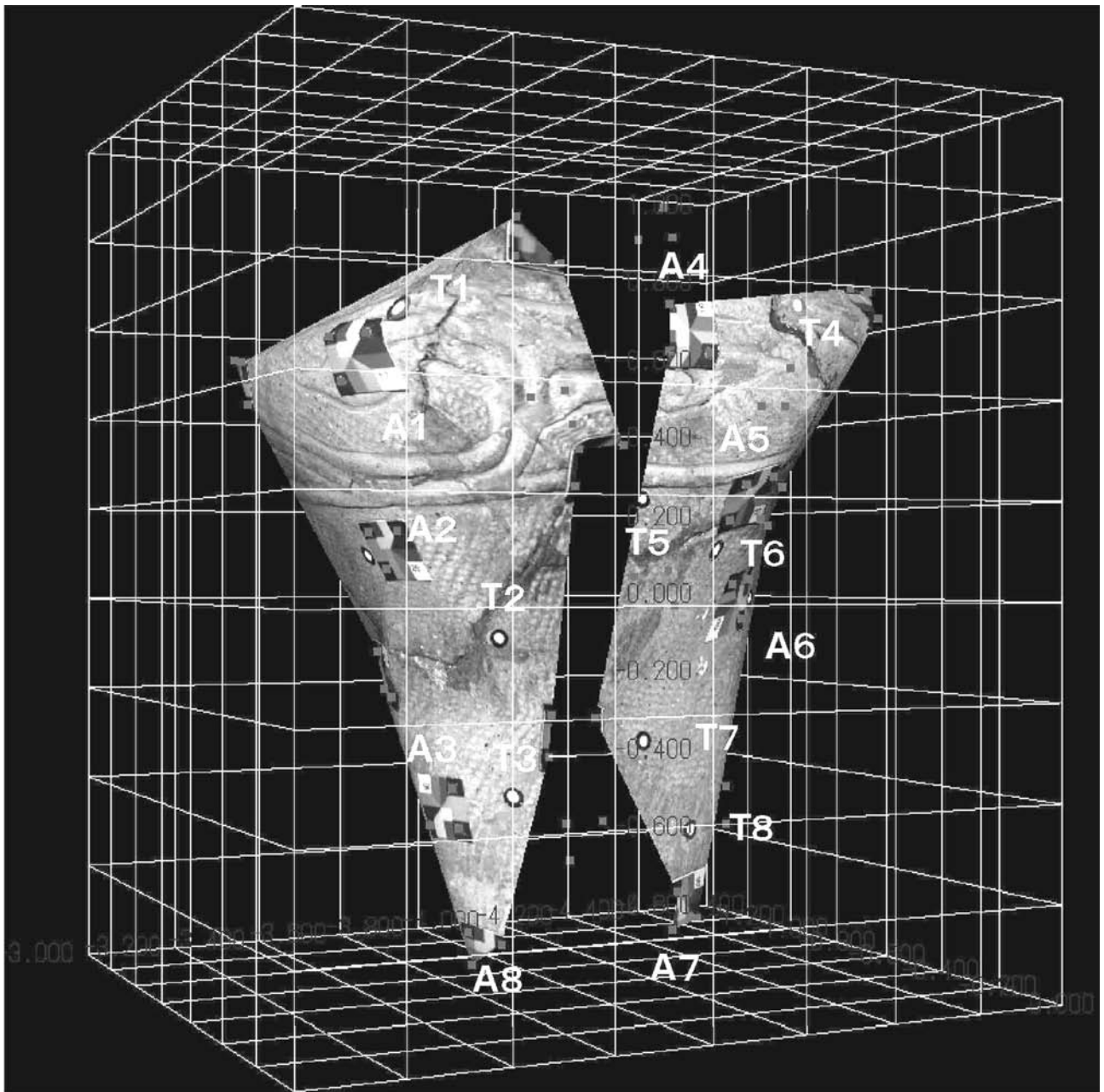




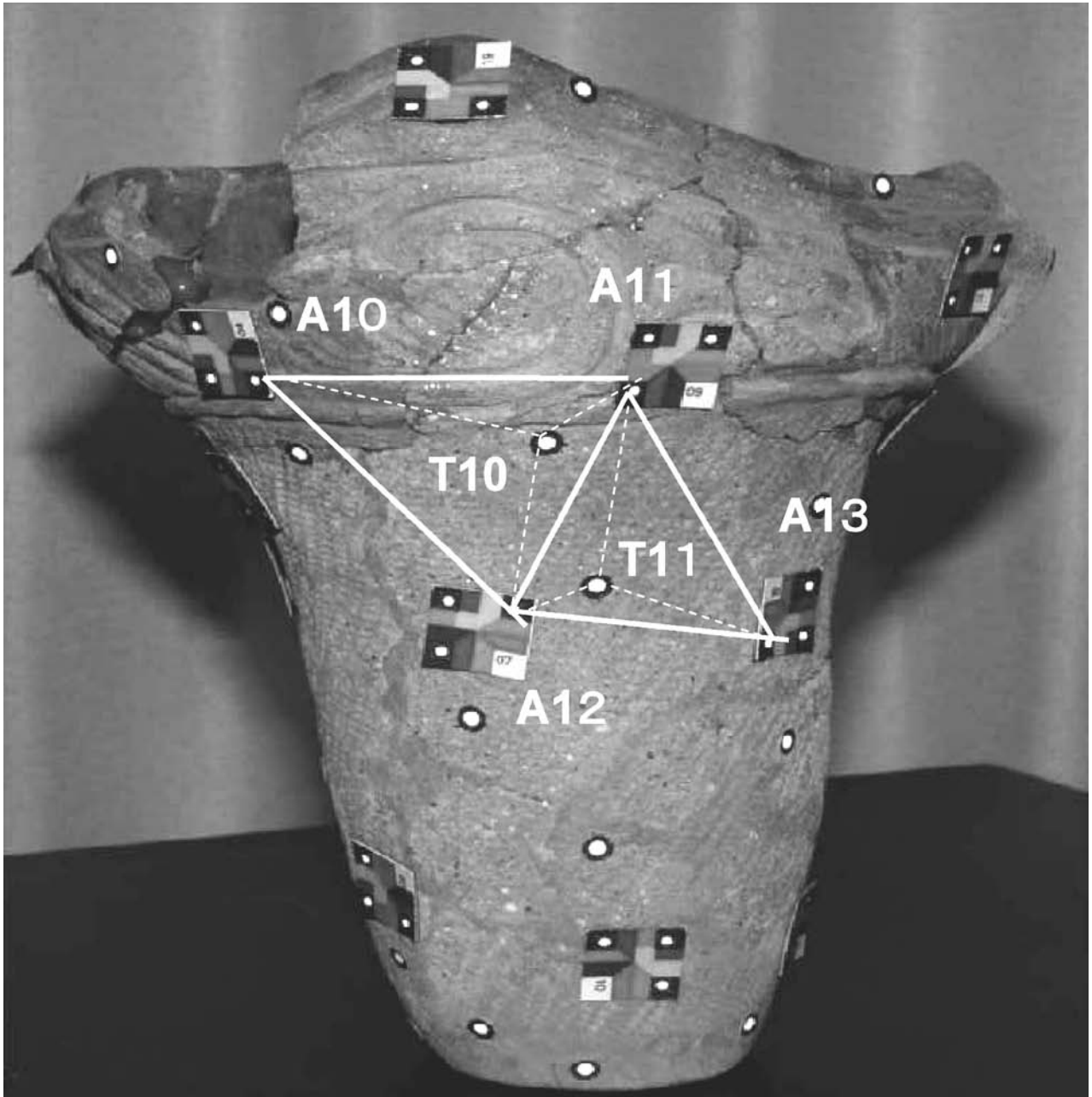
【図 23】



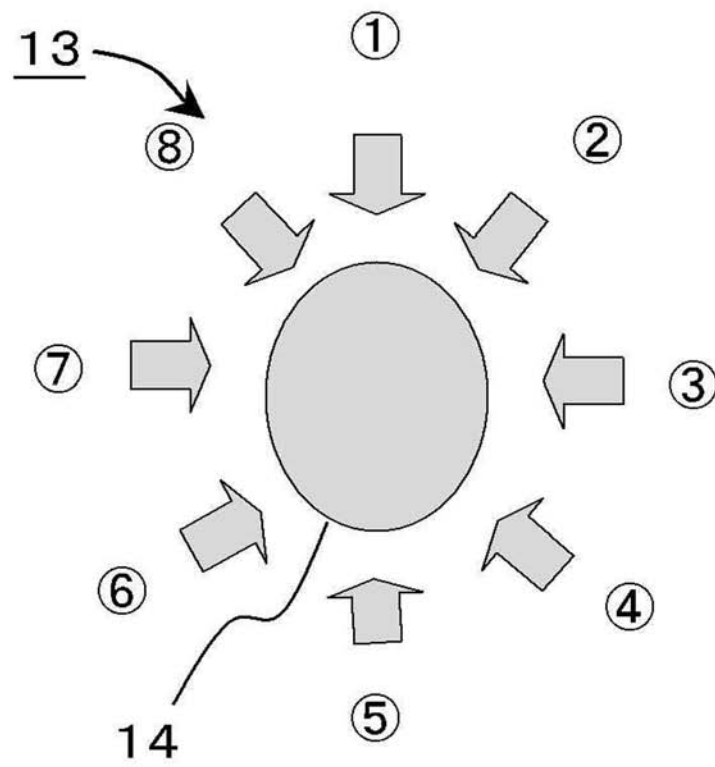
【図 25】



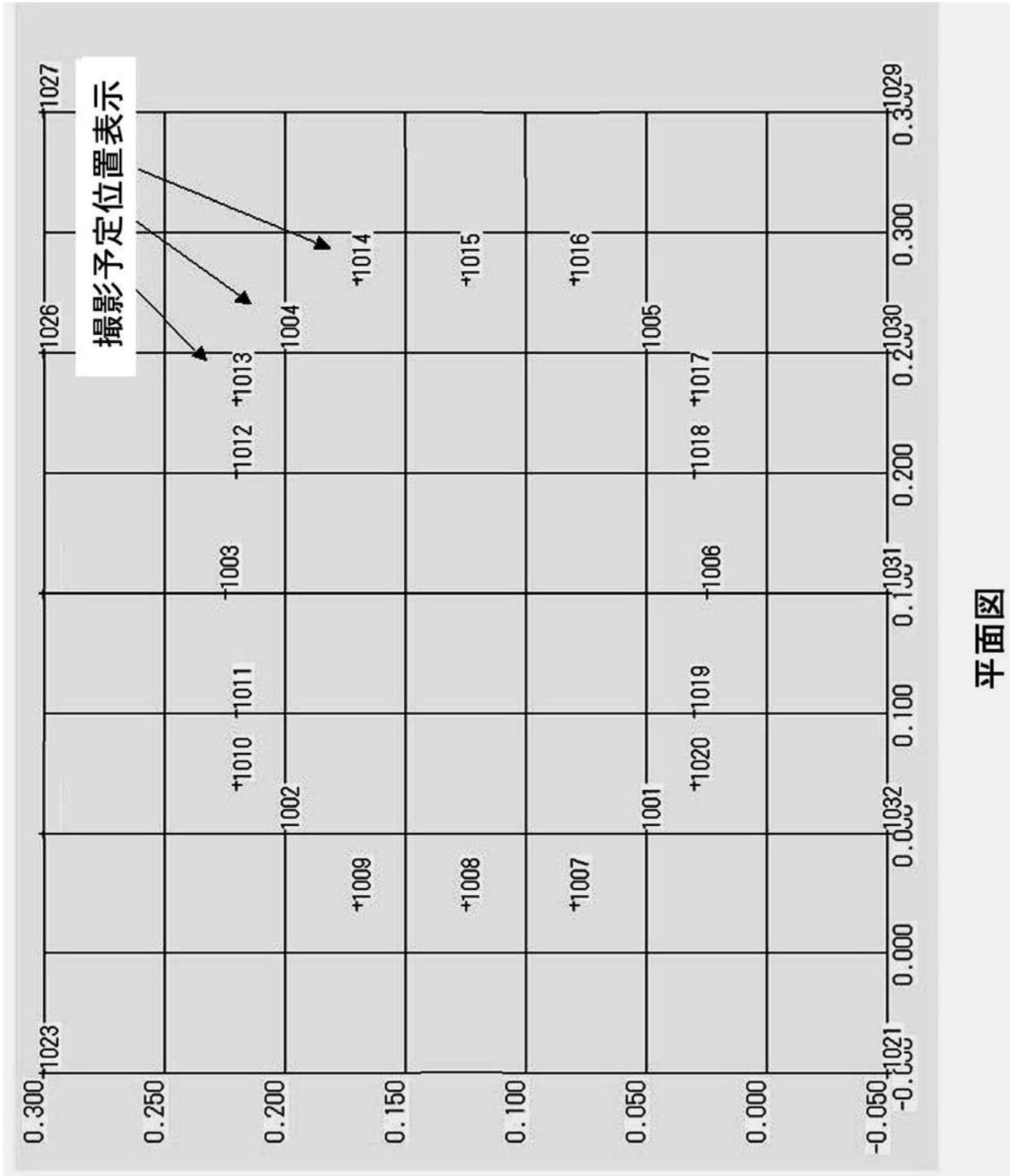
【図 27】



【図 30】

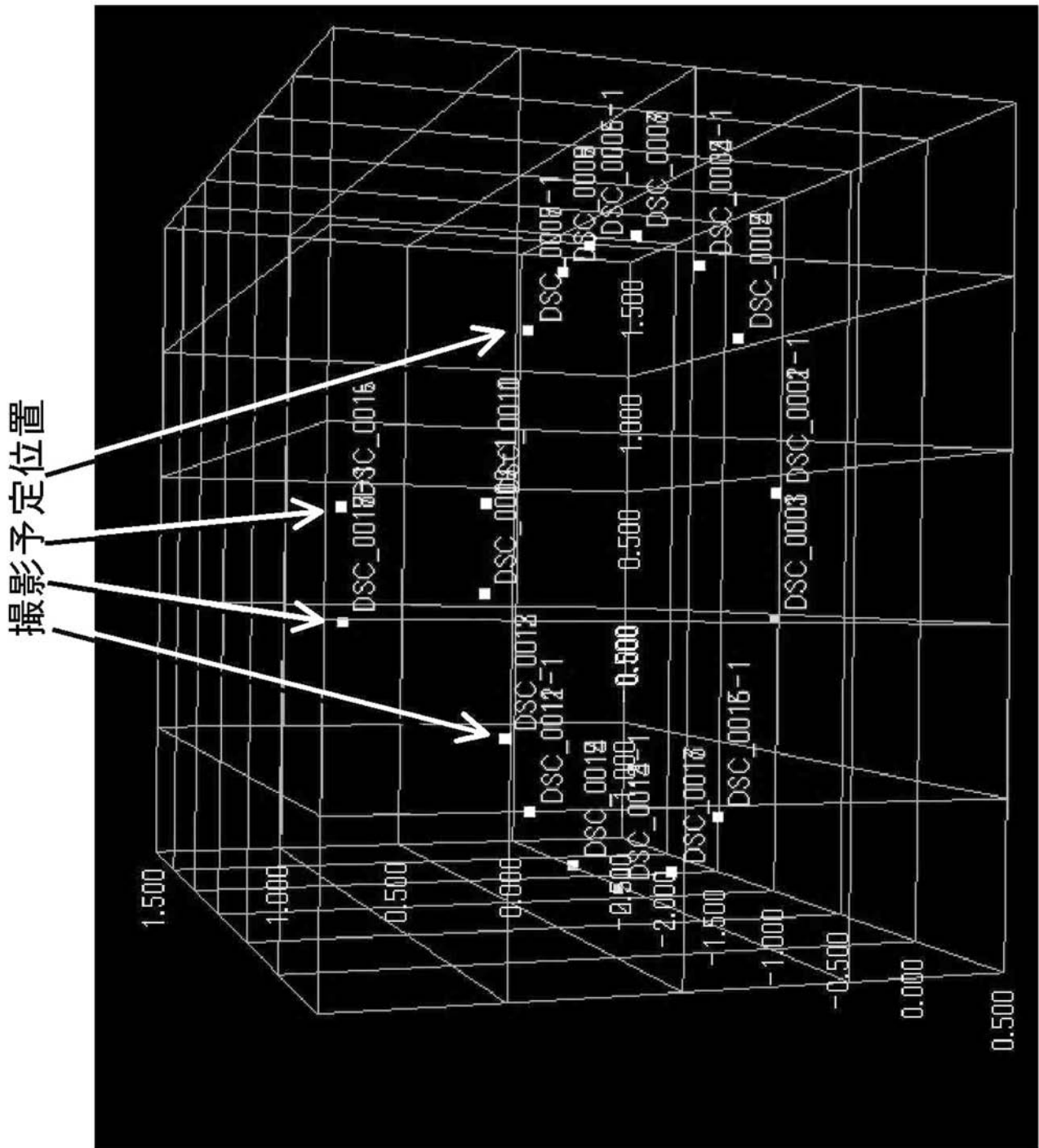


【図 3 1】

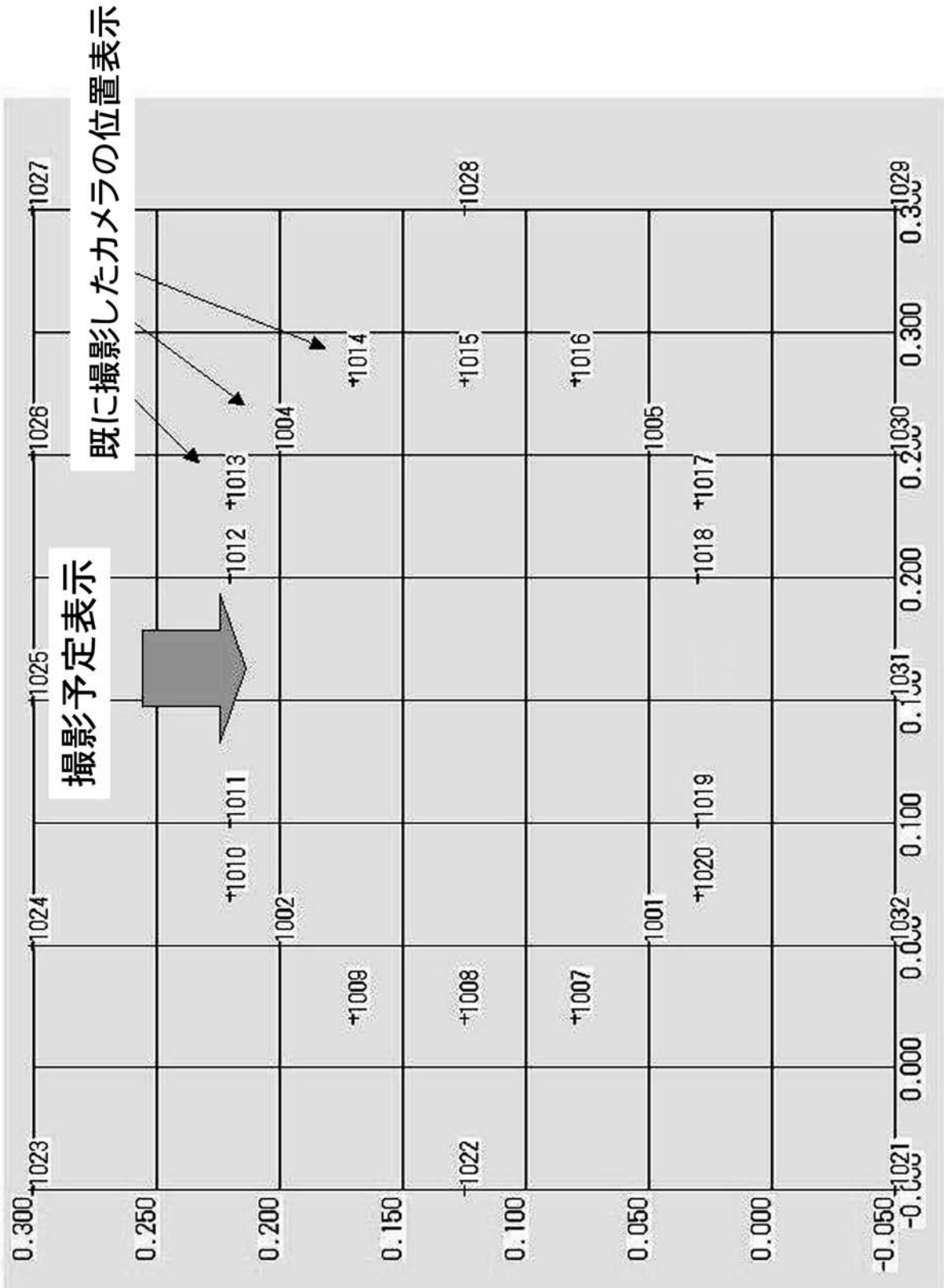


平面図

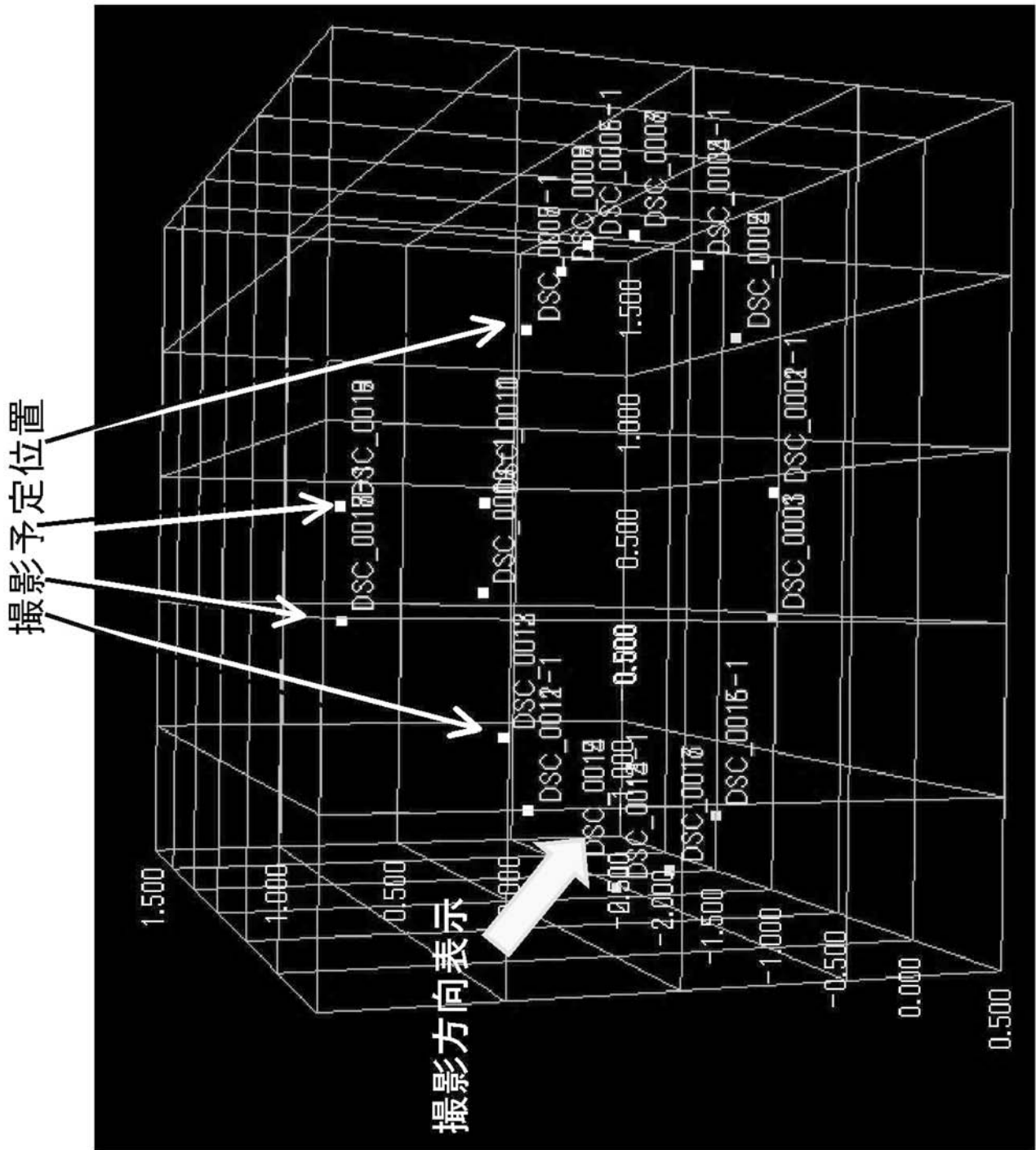
【図 3 2】



【図 33】

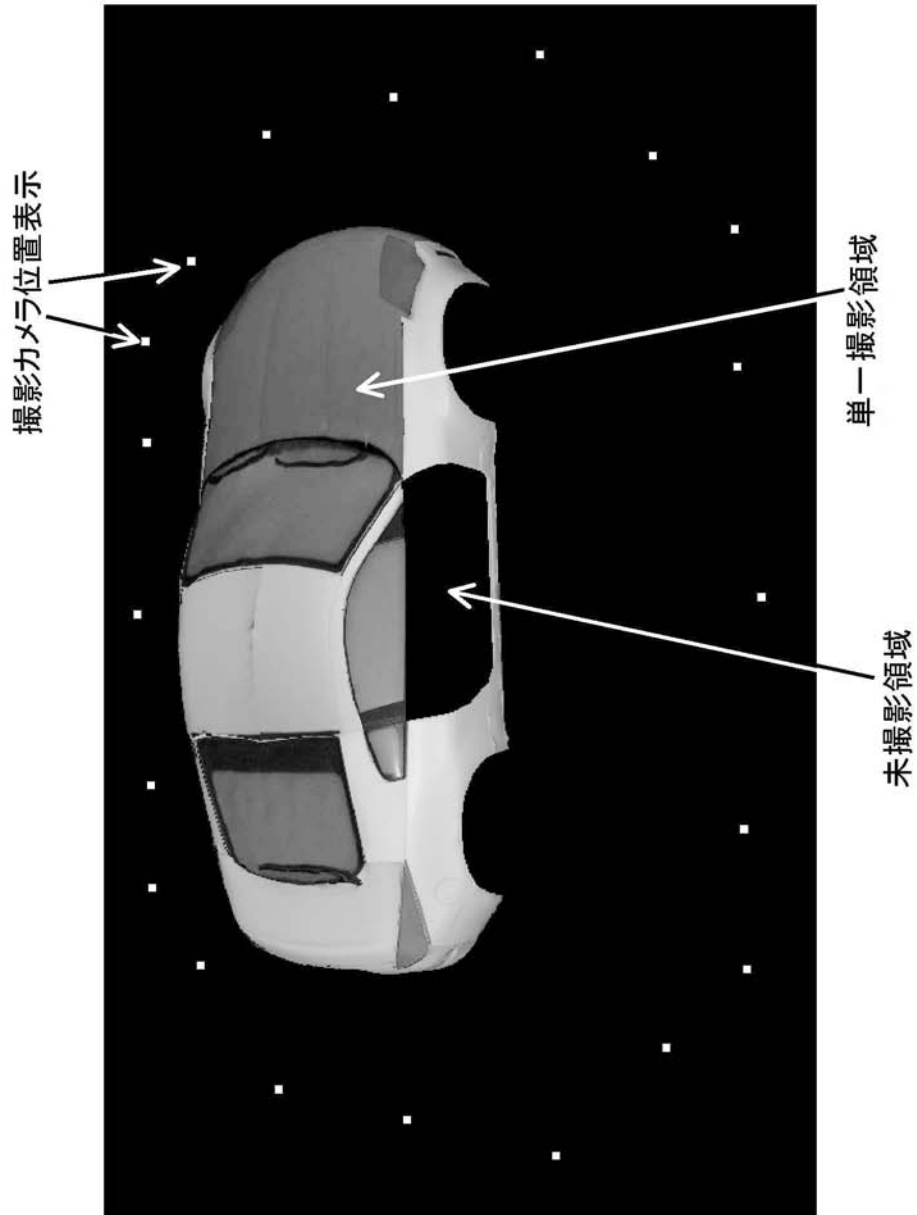


【図 3 4】

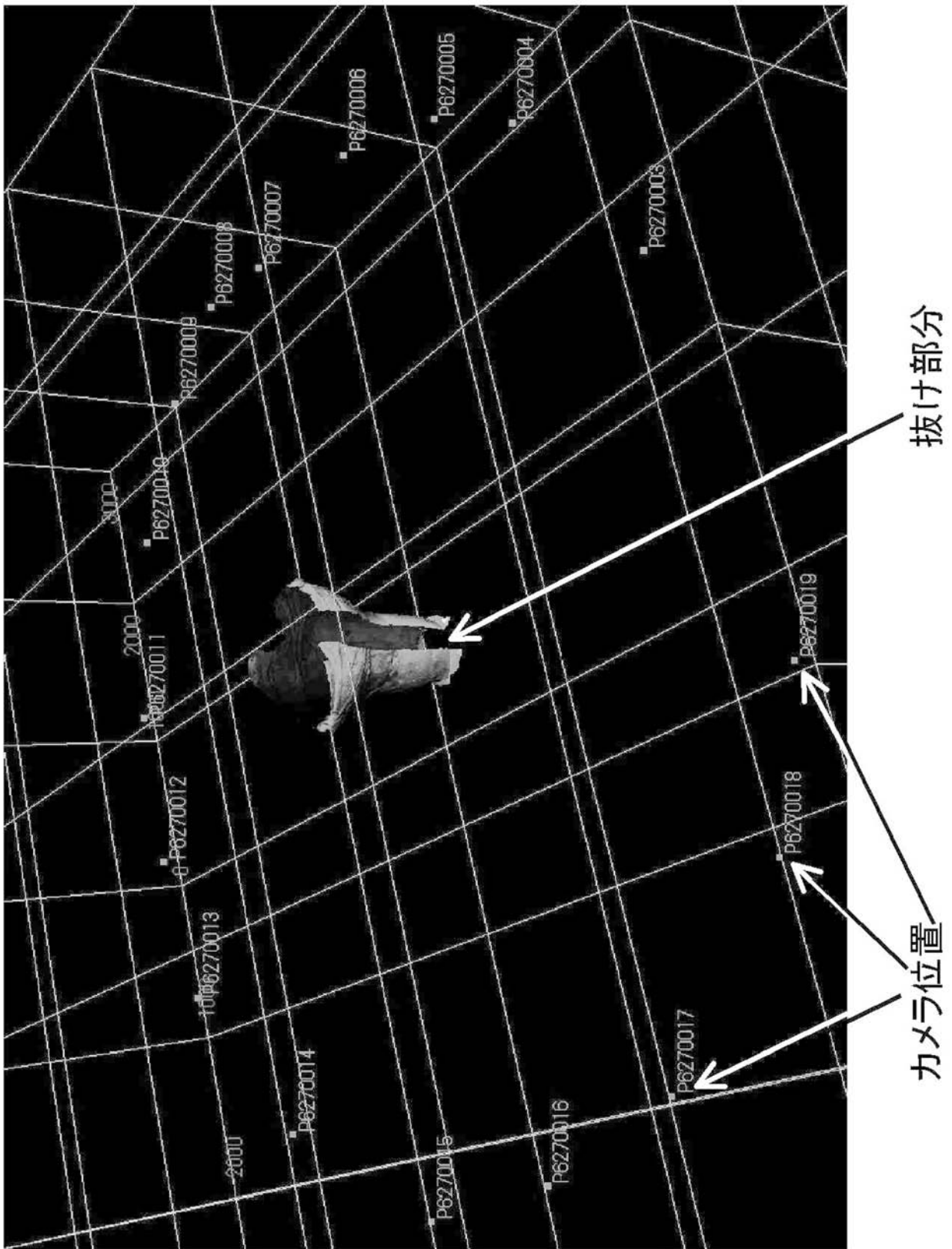




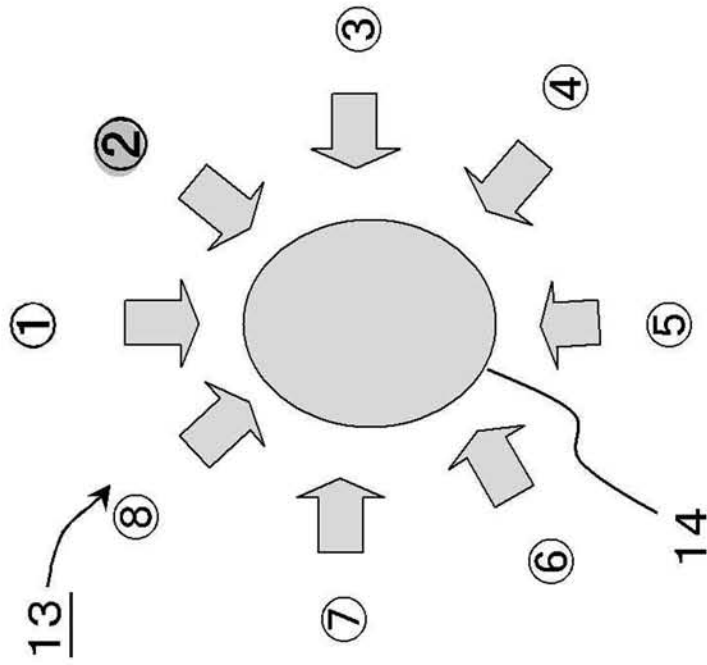
【図 38】



【図 39】



【図 4 1】



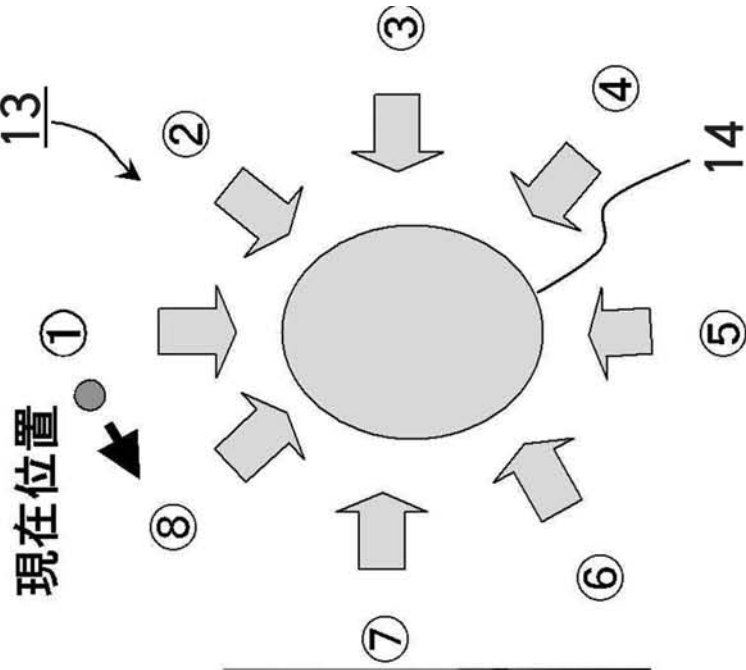
12 見本画像



11 ライブ画像



【図 4 2】



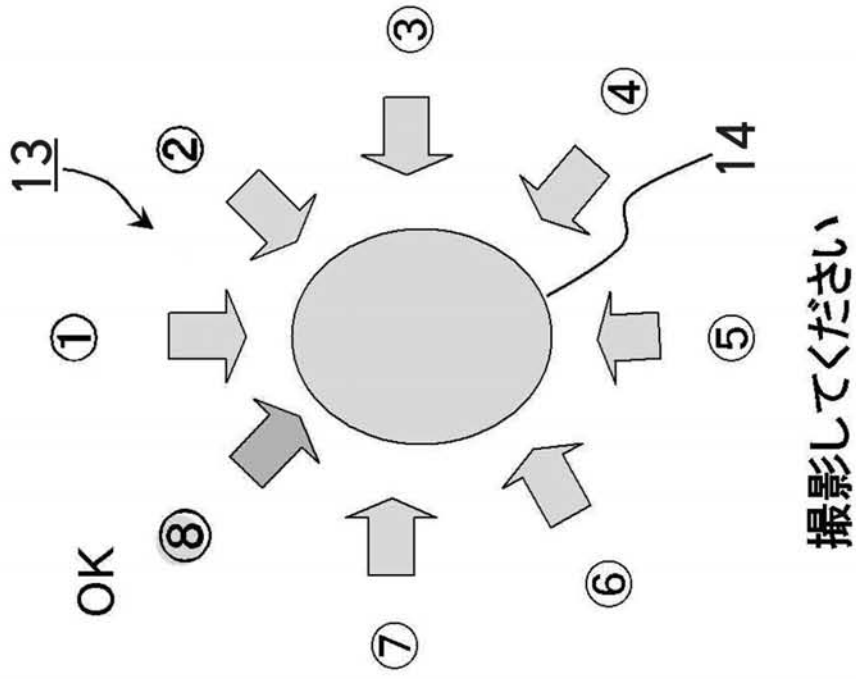
12 見本画像



11 Live画像



【図 43】



撮影してください

12 見本画像



11 Live画像



---

フロントページの続き

(72)発明者 高地 伸夫

東京都板橋区蓮沼町 7 5 番 1 号 株式会社トプコン内

(72)発明者 森山 拓哉

東京都板橋区蓮沼町 7 5 番 1 号 株式会社トプコン内

(72)発明者 渡邊 広登

東京都板橋区蓮沼町 7 5 番 1 号 株式会社トプコン内

F ターム(参考) 2F065 AA04 BB27 FF04 JJ19 JJ26 MM23 QQ24 QQ25 QQ28 QQ31  
SS02  
5B050 BA04 BA09 BA13 DA07 EA06 EA07 EA18 EA19 EA27 EA28  
FA02 FA06  
5B057 BA02 CA08 CA13 CA16 DA07 DB03 DB09 DC16 DC32 DC33  
5C122 DA13 EA42 FA10 FH10 FH11 FH14 FH18 FK12 FK37 FK41  
HA65 HA86 HA88 HB01 HB05 HB06 HB09 HB10