



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2020 205 516.5**
(22) Anmeldetag: **30.04.2020**
(43) Offenlegungstag: **19.11.2020**

(51) Int Cl.: **G01B 11/03 (2006.01)**
G01B 11/25 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2019-093824 **17.05.2019** **JP**

(74) Vertreter:
**Grünecker Patent- und Rechtsanwälte PartG
mbB, 80802 München, DE**

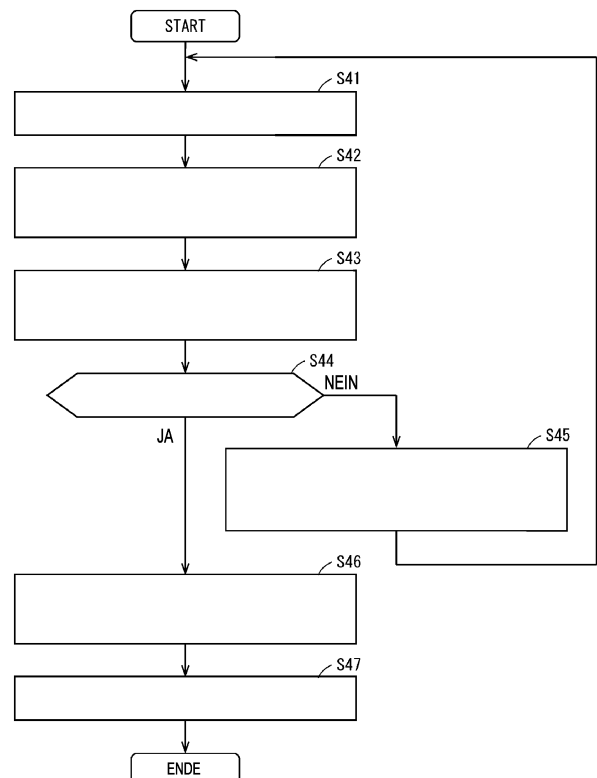
(71) Anmelder:
Keyence Corporation, Osaka, JP

(72) Erfinder:
Ikebuchi, Masayasu, Osaka, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **DREIDIMENSIONALE KOORDINATENMESSVORRICHTUNG**

(57) Zusammenfassung: Eine dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung wird bereitgestellt, die in der Lage ist, hochzuverlässige Formmessungen mit hoher Genauigkeit ohne komplizierte Kalibrierungsarbeiten durchzuführen. Eine motorisierte Drehbühne ist in Bezug auf eine Referenzbasis drehbar gelagert. Eine Referenzkamera ist an der Referenzbasis befestigt, die Referenzkamera erfasst ein Bild einer Vielzahl von Referenzmarkern, die auf der motorisierten Drehbühne angebracht sind. Zum Zeitpunkt der Kalibrierung wird eine Vielzahl von Markern des Bezugselements in jeweils unterschiedlichen Positionen der motorisierten Drehbühne erfasst. Neue Kameraparameter werden auf der Grundlage einer Vielzahl von Referenzbildern und Referenzmarker-Informationen berechnet, die die Anordnung der Vielzahl von Markern angeben, und dann werden die Kameraparameter im Hauptspeicher auf die neuen Kameraparameter aktualisiert.



Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung, die in der Lage ist, die Form und Ähnliches eines Messobjekts zu messen.

Beschreibung der verwandten Technik

[0002] Herkömmlicherweise wird eine dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung verwendet, um die Form und Ähnliches eines Messobjekts zu messen. In einer dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung werden die Positionen einer Vielzahl von Messpunkten auf der Oberfläche eines Messziels nacheinander berechnet. Die Positionen der zu berechnenden Messpunkte werden in einem dreidimensionalen Koordinatensystem dargestellt. Die Abmessungen eines gewünschten Teils des Messziels werden auf der Grundlage der berechneten Positionen der Vielzahl von Messpunkten gemessen.

[0003] Bei der in JP-A-2000-266524 beschriebenen dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung (dreidimensionale Formmessvorrichtung) wird das Messziel auf einer θ -Bühne („ θ stage“) platziert. Die θ -Bühne ist um eine vertikal verlaufende Drehachse drehbar. Ein optischer Messtaster ist über der θ -Bühne so angebracht, dass er in einer vertikalen Ebene einschließlich der Drehachse beweglich ist.

[0004] Wenn die Form des Messziels gemessen wird, wird die vertikale Position der optischen Sonde so eingestellt, dass das von der optischen Sonde ausgesandte Licht auf die Oberfläche des Messziels trifft. Außerdem bewegt sich die optische Sonde horizontal innerhalb der vertikalen Ebene und die θ -Bühne sich. Dies bewirkt, dass die optische Sonde die gesamte obere Oberfläche des Messziels abtastet.

[0005] Die Position der optischen Sonde, wenn das von der optischen Sonde emittierte Licht auf jeden von mehreren Messpunkten auf dem Messziel einfällt, wird durch eine Vielzahl von Erfassungsabschnitten, wie beispielsweise eine Vielzahl von Laser-Längenmessgeräten und Rotations-Codierern, erfasst. Die Positionen (dreidimensionale Koordinaten) der Messpunkte werden auf der Grundlage einer Vielzahl von Erfassungsergebnissen berechnet.

[0006] Wie oben beschrieben, werden in einer optischen Koordinatenmessvorrichtung die Positionen der Vielzahl von Messpunkten auf dem Messziel durch die Vielzahl der Detektionsabschnitte berechnet. Dementsprechend verhindert eine Verringerung der Erkennungsgenauigkeit der Erkennungsab-

schnitte die Messung der Form des Messziels mit hoher Genauigkeit. Die Erkennungsgenauigkeit durch die Erkennungsabschnitte wird beispielsweise durch eine Verformung verschiedener Komponenten der Erkennungsabschnitte, eine Abweichung in der Positionsbeziehung zwischen der Vielzahl der Komponenten und ähnliches reduziert. Dementsprechend müssen in der optischen Koordinatenmessvorrichtung die Detektionsabschnitte zu geeigneten Zeitpunkten kalibriert werden, um eine hohe Messgenauigkeit zu erhalten.

[0007] Im Allgemeinen bereitet die Benutzerin von Erfassungsabschnitten wie Laser-Längenmessvorrichtungen und Rotations-Codierern vorgegebene Kalibrierwerkzeuge entsprechend dem Erfassungsabschnitt vor und führt die Kalibrierung mit den Werkzeugen durch. Dementsprechend muss die Benutzerin zur Kalibrierung der Vielzahl von Erfassungsabschnitten in der oben beschriebenen dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung ein Kalibrierwerkzeug für jeden der Erfassungsabschnitte vorbereiten und die Kalibrierung durchführen. Eine solche Kalibrierarbeit ist für die Benutzerin mühsam.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0008] Gegenstand der Erfindung ist das Bereitstellen einer dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung, die in der Lage ist, ohne komplizierte Kalibrierarbeiten eine sehr zuverlässige Formmessung mit hoher Genauigkeit durchzuführen.

[0009] (1) Eine erfindungsgemäße dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung umfasst eine Messpunkt-Informationserfassungseinheit, die als Messpunktinformation Informationen über die Position eines Messpunktes auf einem Messziel erfasst, wenn eine Form eines Messziels gemessen wird; ein motorisiertes Rotationselement, auf dem die Messpunkt-Informationserfassungseinheit montierbar ist oder das Messziel platzierbar ist, wobei das motorisierte Rotationselement um eine erste Drehachse drehbar ist; eine Vielzahl von Referenzmarkern, die auf dem motorisierten Rotationselement vorgesehen sind; eine Referenzabbildungseinheit, die an einer Referenzbasis befestigt ist, wobei die Referenzabbildungseinheit die Vielzahl von Referenzmarkern erfasst; eine Speichereinheit, die Informationen über die Anordnung der Vielzahl von Referenzmarkern als Referenzmarkierungsinformationen speichert und einen Abbildungsparameter der Referenzabbildungseinheit speichert; eine Koordinatenberechnungseinheit, die Positions-/Haltungsinformationen berechnet, die eine Position und eine Haltung des motorisierten Rotationselements in Bezug auf die Referenzabbildungseinheit auf der Grundlage von Referenzbilddaten, die ein Bild der Vielzahl von Referenzmarkern, die von der Referenzabbildungseinheit erfasst werden, und die Referenzmarkierungsinformationen und

den in der Speichereinheit gespeicherten Bildparameter anzeigen, wenn die Form des Messziels gemessen wird, und die Koordinaten des Messpunkts auf der Grundlage der berechneten Positions-/Haltungsinformationen und der von der Messpunktinformationserfassungseinheit erfassten Messpunktinformationen berechnet; und eine Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit, die einen neuen Abbildungsparameter auf der Grundlage der in der Speichereinheit gespeicherten Referenzmarker-Information und einer Vielzahl von Stücken von Referenzbilddaten berechnet, die dadurch gewonnen werden, dass die Referenzbildgebungseinheit veranlasst wird, die Vielzahl von Referenzmarkern in einer Vielzahl von Zuständen zu erfassen, in denen eine Position und eine Haltung des motorisierten Rotationselements unterschiedlich sind, während das motorisierte Rotationselement veranlasst wird, sich in die Vielzahl von Zuständen zu verschieben, indem das motorisierte Rotationselement um die erste Rotationsachse gedreht wird, und den in der Speichereinheit gespeicherten Abbildungsparameter vor der Kalibrierung auf den berechneten neuen Abbildungsparameter aktualisiert, wenn die Kalibrierung der Referenzbildgebungseinheit durchgeführt wird.

[0010] Bei der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung wird die Einheit zur Erfassung der Messpunktinformationen an dem motorisierten Rotationselement befestigt oder das Messziel wird auf dem motorisierten Rotationselement platziert. Wenn sich das motorisierte Rotationselement in dem Zustand dreht, in dem die Messpunktinformations-Erfassungseinheit am motorisierten Rotationselement angebracht ist, werden die Position und die Haltung der Messpunktinformations-Erfassungseinheit in Bezug auf die Referenzbasis mit dieser Drehung geändert. Wenn sich das motorisierte Rotationselement in dem Zustand dreht, in dem das Messziel auf dem motorisierten Rotationselement platziert ist, werden alternativ die Position und die Haltung des Messziels in Bezug auf die Referenzbasis mit dieser Drehung geändert.

[0011] Wenn die Form des Messziels gemessen wird, erfasst die Messpunktinformationserfassungseinheit Informationen über die Position des Messpunkts auf dem Messziel als Messpunktinformation. Darüber hinaus erfasst die Referenzbildgebungseinheit eine Vielzahl von Referenzmarkern, die auf dem motorisierten Rotationselement vorgesehen sind, und erzeugt Referenzbilddaten. Danach werden die Positions-/Haltungsinformationen auf der Grundlage der Referenzbilddaten, der Referenzmarker-Informationen und der Abbildungsparameter berechnet, und dann werden die Koordinaten des Messpunkts auf der Grundlage der berechneten Positions-/Haltungsinformationen und der Messpunktinformationen berechnet.

[0012] Wenn die Kalibrierung der Referenz-Bildgebungseinheit durchgeführt wird, verschiebt sich das motorisierte Rotationselement in eine Vielzahl von Zuständen, in denen seine Position und Haltung unterschiedlich sind. In jedem der mehreren Zustände erfasst die Referenzabbildungseinheit die mehreren Referenzmarkern. Ein neuer Abbildungsparameter wird auf der Grundlage einer Vielzahl von Referenzbilddaten und Referenzmarker-Informationen, die auf diese Weise erfasst wurden, berechnet, und der in der Speichereinheit gespeicherte Abbildungsparameter wird auf den neuen Abbildungsparameter aktualisiert. In diesem Fall wird der in der Speichereinheit gespeicherte Abbildungsparameter auf den neuen Abbildungsparameter aktualisiert, selbst wenn sich mehrere in der Referenzabbildungseinheit enthaltene Komponenten verformen oder die Positionsbeziehung zwischen den mehreren Komponenten abweicht, ohne dass die Benutzerin komplizierte Kalibrierungsarbeiten durchführen muss.

[0013] Dadurch kann eine sehr zuverlässige Formmessung mit hoher Genauigkeit ohne komplizierte Kalibrierarbeiten durchgeführt werden.

[0014] (2) Die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung kann des Weiteren eine Kalibrierungs-Entscheidungseinheit enthalten, die die Positionen der projizierten Bilder der mehreren Referenzmarkern auf einer Lichtempfangsfläche der Referenzabbildungseinheit auf der Grundlage der Referenzmarker-Informationen und der in der Speichereinheit gespeicherten Abbildungsparameter berechnet, erkennt eine tatsächliche Position der projizierten Bilder der mehreren Referenzmarkern auf der Lichtempfangsfläche auf der Grundlage der mehreren Stücke von Referenzbilddaten, die dadurch erfasst werden, dass die Referenzbildgebungseinheit die mehreren Referenzmarkern erfasst, trifft eine Entscheidung über die Notwendigkeit der Kalibrierung der Referenzbildgebungseinheit in Abhängigkeit davon, ob eine Beziehung zwischen den berechneten Positionen der projizierten Bilder und den erfassten tatsächlichen Positionen der projizierten Bilder eine vorgegebene zulässige Bedingung erfüllt, und gibt ein Ergebnis der Entscheidung aus.

[0015] In diesem Fall kann die Benutzerin die Notwendigkeit einer Kalibrierung der Referenz-Bildgebungseinheit auf der Grundlage des Ergebnisses der Entscheidungsausgabe der kalibrierenden Entscheidungseinheit nachvollziehen.

[0016] (3) Die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung kann des Weiteren eine Präsentationseinheit enthalten, die der Benutzerin das Ergebnis der Entscheidungsausgabe der kalibrierenden Entscheidungseinheit präsentiert.

[0017] In diesem Fall wird das Ergebnis der Entscheidung in einer Präsentationseinheit dargestellt. Dies ermöglicht der Benutzerin, die Notwendigkeit der Kalibrierung der Referenzbildgebungseinheit leicht zu erfassen.

[0018] (4) Die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung kann des Weiteren einen Messtaster enthalten, der eine Vielzahl von Messmarkern aufweist und den Messpunkt auf dem Messziel bezeichnet, wobei die Messpunktinformationserfassungseinheit an dem motorisierten Rotationselement angebracht und so konfiguriert werden kann, dass sie die Vielzahl von Messmarkern des Messtasters erfassen kann, und die Messpunktinformation kann Messbilddaten enthalten, die ein Bild der Vielzahl von Messmarkern anzeigen, das von der Messpunktinformationserfassungseinheit erfasst wurde.

[0019] In diesem Fall wird bei der Messung der Form des Messziels die Vielzahl der Messmarkern der Sonde von der Messpunktinformationserfassungseinheit erfasst und Messbilddaten erzeugt. Dies ermöglicht die Berechnung der Koordinaten des von der Sonde angezeigten Messpunkts in Bezug auf die Messpunktinformationserfassungseinheit auf der Grundlage des Bildes der durch die Messbilddaten angezeigten Vielzahl von Messmarkern.

[0020] (5) Die erste Drehachse kann sich vertikal oder horizontal erstrecken.

[0021] In diesem Fall dreht sich das Messziel oder die auf dem motorisierten Rotationselement platzierte Messpunkt-Informationserfassungseinheit zusammen mit dem motorisierten Rotationselement um die vertikal oder horizontal verlaufende Drehachse.

[0022] (6) Das motorisierte Rotationselement kann auch um eine zweite Drehachse drehbar sein, wobei die erste Drehachse vertikal und die zweite Drehachse horizontal verlaufen kann.

[0023] In diesem Fall dreht sich das Messziel oder die auf dem motorisierten Rotationselement platzierte Messpunkt-Informationserfassungseinheit zusammen mit dem motorisierten Rotationselement um die vertikal oder horizontal verlaufende Drehachse.

[0024] (7) Das motorisierte Rotationselement kann innerhalb einer vorgegebenen Ebene beweglich sein.

[0025] In diesem Fall bewegt sich die an dem motorisierten Rotationselement angebrachte Messpunktinformationserfassungseinheit oder das auf dem motorisierten Rotationselement platzierte Messziel zusammen mit dem motorisierten Rotationselement innerhalb einer vorbestimmten Ebene.

[0026] Laut der Erfindung kann eine hoch zuverlässige Formmessung mit hoher Genauigkeit ohne komplizierte Kalibrierarbeiten durchgeführt werden.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung, die ein Beispiel für die Verwendung einer dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung entsprechend einer Ausführungsform der Erfindung zeigt;

Fig. 2 ist ein Blockdiagramm, das die grundlegenden Strukturen eines Abbildungskopfes und einer Verarbeitungsvorrichtung veranschaulicht;

Fig. 3 ist eine perspektivische Ansicht, die das äußere Erscheinungsbild des Abbildungskopfes veranschaulicht;

Fig. 4 ist eine perspektivische Ansicht, die das äußere Erscheinungsbild des Abbildungskopfes zeigt, von dem ein Gehäuse entfernt wurde;

Fig. 5 ist eine schematische Querschnittsansicht, die den in einer virtuellen Ebene aufgenommenen Abbildungskopf in **Fig. 3** zeigt;

Fig. 6A ist ein schematischer Vertikalschnitt, der ein Bezugselement in **Fig. 5** zeigt, und **Fig. 6B** ist eine Ansicht von unten, die das Bezugselement zeigt;

Fig. 7 zeigt Beispiele von Bildern einer Vielzahl von Markern, die durch die Aufnahme des Referenzteils mit einer Referenzkamera erhalten wurden;

Fig. 8 ist ein Blockdiagramm, das den Aufbau einer Sonde veranschaulicht;

Fig. 9 ist eine perspektivische Ansicht, die das äußere Erscheinungsbild der Sonde veranschaulicht;

Fig. 10 ist ein Blockdiagramm, das die funktionelle Struktur einer Hauptkörper-Steuerschaltung veranschaulicht;

Fig. 11 ist ein Flussdiagramm, das den Ablauf der Messverarbeitung durch die Hauptkörper-Steuerschaltung in **Fig. 2** veranschaulicht;

Fig. 12 ist ein Flussdiagramm, das den Ablauf einer Messpunkt-Koordinatenberechnung veranschaulicht;

Fig. 13 ist ein Flussdiagramm, das den Ablauf der Nachführungsverarbeitung durch die Hauptkörper-Steuerschaltung in **Fig. 2** veranschaulicht;

Fig. 14 ist ein Flussdiagramm, das den Ablauf der Kalibrierverarbeitung durch die Hauptkörper-Steuerschaltung in **Fig. 2** veranschaulicht;

Fig. 15 ist ein Flussdiagramm, das einen Fluss der Kalibrier-Entscheidungsverarbeitung durch die Hauptkörper-Steuerschaltung in **Fig. 2** veranschaulicht;

Fig. 16 zeigt ein Beispiel für die Anzeige eines Entscheidungsergebnisses durch eine Kalibrierungsentscheidungsfunktion;

Fig. 17 zeigt ein Beispiel für den Aufbau einer dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung nach einer anderen Ausführungsform; und

Fig. 18 zeigt ein weiteres Beispiel für den Aufbau der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung entsprechend der anderen Ausführungsform.

BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

Grundstruktur und Anwendungsbeispiel einer dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung

[0027] **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung, die ein Anwendungsbeispiel für eine dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung gemäß einer Ausführungsform der Erfindung darstellt. Wie in **Fig. 1** dargestellt, umfasst eine dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung **1** gemäß der Ausführungsform der Erfindung im Wesentlichen einen Abbildungskopf **100**, eine Sonde **200** und eine Verarbeitungsvorrichtung **300** und dient beispielsweise zum Messen physikalischer Größen wie die Abmessungen von Abschnitten eines großen Messziels **S**. Im Beispiel in **Fig. 1** wird ein großes Rohr als Messziel **S** dargestellt. Das Messziel **S** wird auf einer Bodenfläche platziert.

[0028] Die Sonde **200** wird von einer Benutzerin **U** getragen. Die Sonde **200** hat einen Kontaktteil **211a**. Die Benutzerin **U** bringt das Kontaktteil **211a** der Sonde **200** mit einem gewünschten Abschnitt des Messziels **S** in Kontakt. Der Abschnitt des Messziels **S**, der mit dem Kontaktteil **211a** in Kontakt kommt, ist ein Messpunkt.

[0029] Der Abbildungskopf **100** wird mit einem Referenzständer **10** beispielsweise an der Bodenfläche als Montagefläche befestigt. Eine bewegliche Kamera **120** ist im Abbildungskopf **100** vorgesehen. Die bewegliche Kamera **120** erfasst eine Vielzahl von Markern **eq** (**Fig. 9**), die später beschrieben werden, die an der Sonde **200** vorgesehen sind. Der Referenzständer **10** ist ein Stativständer und umfasst einen Befestigungsabschnitt **11** und einen Beinabschnitt **12**. Der Befestigungsabschnitt **11** hat eine ebene Oberseite. Der Referenzständer **10** ist konfiguriert, um eine Haltungsanpassung zwischen dem Befestigungsabschnitt **11** und dem Beinabschnitt **12** zu ermöglichen, so dass die Oberseite des Befestigungsabschnitts **11** horizontal befestigt wird. Die Oberseite des Befestigungsabschnitts **11** wird in der folgenden Beschreibung als horizontal befestigt angenommen.

[0030] Zusätzlich ist der Abbildungskopf **100** über ein Kabel **CA** mit der Verarbeitungsvorrichtung **300** verbunden. Die Verarbeitungsvorrichtung **300** ist beispielsweise ein Personalcomputer, an den eine Hauptanzeigeeinheit **310** und eine Hauptkörperbedieneinheit **320** angeschlossen sind. In der Verarbeitungsvorrichtung **300** wird die Position eines Messpunktes auf dem Messziel **S** auf der Grundlage der Bilddaten (im Folgenden als Messbilddaten bezeichnet) berechnet, die durch die Erfassung der Sonde **200** mit der beweglichen Kamera **120** und den später beschriebenen Positions-/Haltungsinformationen erhalten werden. Die Koordinaten eines oder mehrerer Messpunkte auf dem Messziel **S** werden berechnet und die physikalischen Größen des Messziels **S** werden auf der Grundlage des Berechnungsergebnisses gemessen.

[0031] Wenn sich die Benutzerin **U** bewegt, während sie die Sonde **200** trägt, wie in **Fig. 1** durch den gestrichelten Linienpfeil dargestellt, folgt die Ausrichtung des abbildenden Gesichtsfeldes der beweglichen Kamera **120** der Bewegung der Sonde **200**. Das heißt, die Ausrichtung der beweglichen Kamera **120** ändert sich so, dass die Sonde **200** im Sichtfeld der beweglichen Kamera **120** positioniert ist, wenn sich die Sonde **200** bewegt. Dementsprechend weist die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung **1** eine große messbare Fläche auf. Die Strukturen der einzelnen Abschnitte der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** werden im Folgenden ausführlich beschrieben.

Strukturen des Abbildungskopfes **100** und der Verarbeitungsvorrichtung **300**

[0032] **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm, das die Strukturen des Abbildungskopfes **100** und der Verarbeitungsvorrichtung **300** veranschaulicht. **Fig. 3** ist eine perspektivische Ansicht, die das äußere Erscheinungsbild des Abbildungskopfes **100** veranschaulicht, **Fig. 4** ist eine perspektivische Ansicht, die das äußere Erscheinungsbild des Abbildungskopfes **100** veranschaulicht, aus dem ein Gehäuse **90** entfernt wurde, und **Fig. 5** ist eine schematische Längsschnittansicht, die den Abbildungskopf **100** in einer virtuellen Ebene **VP** in **Fig. 3** darstellt.

[0033] Zunächst wird die Struktur des Abbildungskopfes **100** beschrieben. Wie in **Fig. 2** dargestellt, umfasst der Abbildungskopf **100** eine Referenzkamera **110**, die bewegliche Kamera **120**, eine Markertreiberschaltung **130**, eine Rotations-Treiberschaltung **140**, eine Kopfsteuerschaltung **150**, eine drahtlose Kommunikationsschaltung **160**, eine Kommunikationsschaltung **170**, eine Vogelperspektivenkamera **180** und das Bezugselement **190** als elektrische Komponenten. Diese Komponenten sind in dem in **Fig. 3** dargestellten Gehäuse **90** in dem Zustand untergebracht, in dem sie von einem der Befestigungs-

und Koppelabschnitte **20**, einem Stützelement **30** und einem beweglichen Element **40** getragen werden, die durch Punkt-Punkt-Strichlinien in **Fig. 2** gekennzeichnet sind.

[0034] Wie in **Fig. 3** dargestellt, umfasst das Gehäuse **90** ein Untergehäuse **91** und ein Obergehäuse **92**. Wie in **Fig. 3** und **Fig. 5** dargestellt, ist das Untergehäuse **91** im Wesentlichen zylindrisch und erstreckt sich um einen bestimmten Abstand vom unteren Endteil des Abbildungskopfes **100** nach oben. Das Obergehäuse **92** ist oberhalb des Untergehäuses **91** vorgesehen. Das Obergehäuse **92** ist im Wesentlichen glockenförmig und zusammen mit dem nachfolgend beschriebenen Stützelement **30** (**Fig. 4**) in einer horizontalen Ebene drehbar angeordnet.

[0035] Wie in **Fig. 3** dargestellt, ist in einem Teil des Obergehäuses **92** ein Schlitz **93** ausgebildet, der sich in Auf/Ab-Richtung erstreckt. Der Schlitz **93** führt das abbildende Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** zur Außenseite des Gehäuses **90**. Zusätzlich ist im Obergehäuse **92** ein Fenster **94** für die Vogelperspektivenkamera ausgebildet. Das Fenster **94** für die Vogelperspektivenkamera führt das bildgebende Gesichtsfeld der Vogelperspektivenkamera **180** zur Außenseite des Gehäuses **90**.

[0036] Wie in **Fig. 4** und **Fig. 5** dargestellt, umfasst der Befestigungs- und Koppelabschnitt **20** die untere Befestigungsplatte **21**, eine obere Befestigungsplatte **22**, eine Vielzahl von (beispielsweise vier) Säulen **23** und die hohle Stützwelle **24**. Die untere Befestigungsplatte **21** ist scheibenförmig und wird mit Schrauben an der Oberseite des Befestigungsabschnitts **11** des Referenzständers **10** befestigt. Die obere Befestigungsplatte **22** ist über die untere Befestigungsplatte **21** über die Vielzahl der Säulen **23** vorgesehen. Die obere Befestigungsplatte **22** ist scheibenförmig wie die untere Befestigungsplatte **21**. In der Mitte der oberen Befestigungsplatte **22** ist eine kreisförmige Öffnung ausgebildet. Die hohle Stützwelle **24** wird mit Schrauben an der Oberseite der oberen Befestigungsplatte **22** befestigt, um die Öffnung in der Mitte der oberen Befestigungsplatte **22** zu umgeben. Das Untergehäuse **91** in **Fig. 3** ist an einem der Elemente befestigt, die den Befestigungs- und Koppelabschnitt **20** bilden.

[0037] Im Befestigungs- und Koppelabschnitt **20** ist der Raum zwischen der unteren Befestigungsplatte **21** und der oberen Befestigungsplatte **22** mit verschiedenen Arten von Substraten versehen, auf denen die Rotations-Treiberschaltung **140**, die Kopfsteuerschaltung **150**, die drahtlose Kommunikationsschaltung **160** und die Kommunikationsschaltung **170** in **Fig. 2** montiert sind. Zusätzlich ist auf der unteren Befestigungsplatte **21** die Referenzkamera **110** so vorgesehen, dass sie sich von der unteren Befestigungsplatte **21** zur Innenseite der hohlen Stützwelle

24 durch die Öffnung der oberen Befestigungsplatte **22** erstreckt, wie in **Fig. 5** dargestellt. In diesem Zustand zeigt das bildgebende Gesichtsfeld der Referenzkamera **110** nach oben. In der Ausführungsform ist eine optische Achse **110c** des optischen Systems der Referenzkamera **110** mit der Mittelachse der hohlen Stützwelle **24** ausgerichtet.

[0038] Auf der unteren Befestigungsplatte **21** und der oberen Befestigungsplatte **22** ist neben verschiedenen Substrattypen und der oben beschriebenen Referenzkamera **110** ein horizontaler Drehmechanismus **141** vorgesehen. Der horizontale Drehmechanismus **141** dient zum Drehen des Stützelements **30**, das später beschrieben wird, um die Mittelachse der hohlen Stützwelle **24** (in einer Ebene parallel zur Oberseite des Referenzständers **10**). Der horizontale Drehmechanismus **141** umfasst beispielsweise einen Motor und verschiedene Arten von Kraftübertragungselementen.

[0039] Wie in **Fig. 4** dargestellt, ist das Stützelement **30** auf der hohlen Stützwelle **24** des Befestigungs- und Koppelabschnitts **20** vorgesehen. Das Stützelement **30** umfasst die Drehbasis **31** und ein Paar Stützrahmen **32** und **33**. Eine Drehbasis **31** weist in ihrer Mitte eine Öffnung auf und ist über ein Kreuzrollenlager **CB** (**Fig. 5**) am oberen Endteil der hohlen Stützwelle **24** so montiert, dass das Stützelement **30** um die Mittelachse der hohlen Stützwelle **24** drehbar ist. Das Obergehäuse **92** in **Fig. 3** ist an einem der Elemente montiert, die das Stützelement **30** bilden. Wenn sich das Stützelement **30** in Bezug auf die hohle Stützwelle **24** dreht, dreht sich das Obergehäuse **92** zusammen mit dem Stützelement **30** in Bezug auf das Untergehäuse **91**.

[0040] Das Paar der Stützrahmen **32** und **33** ist so ausgebildet, dass sie sich von einer Seite und der anderen Seite der Drehbasis **31** nach oben erstrecken, während sie einander zugewandt sind. Zwischen dem Paar von Stützrahmen **32** und **33** ist das bewegliche Element **40** in einem vorgegebenen Abstand von der Drehbasis **31** vorgesehen.

[0041] Das bewegliche Element **40** wird von den Stützrahmen **32** und **33** um eine Drehachse **30c** drehbar (in Bezug auf die horizontale Ebene neigbar) getragen, die durch die einander zugewandten Abschnitte des Stützrahmenpaares **32** und **33** verläuft. In der Ausführungsform ist die Drehachse **30c** orthogonal zur optischen Achse **110c** der Referenzkamera **110** (**Fig. 5**) und zur Mittelachse der hohlen Stützwelle **24**.

[0042] In der Nähe des oberen Endteils des einen Stützrahmens **32** ist die Vogelperspektivkamera **180** in einem Teil montiert, der auf der Drehachse **30c** auf der dem beweglichen Element **40** gegenüberliegenden Seite positioniert ist. In der Nähe des oberen

Endteils des anderen Stützrahmens **33** ist ein Kippdrehmechanismus **143** in einem Abschnitt montiert, der auf der Drehachse **30c** auf einer dem beweglichen Element **40** gegenüberliegenden Seite angeordnet ist. Der Kippdrehmechanismus **143** umfasst beispielsweise einen Motor und verschiedene Arten von Kraftübertragungselementen. Der Kippdrehmechanismus **143** dreht das bewegliche Element **40** um die Drehachse **30c**. Dabei ist zu beachten, dass der Bereich, in dem der Kippdrehmechanismus **143** das bewegliche Element **40** drehen kann, auf beispielsweise 60 Grad oder so begrenzt ist.

[0043] Das bewegliche Element **40** ist in einem im Wesentlichen quadratischen Kurzzylinder ausgebildet und weist eine obere Fläche **41** und eine untere Fläche **42** auf. Die bewegliche Kamera **120** und verschiedene Arten von Substraten, die die bewegliche Kamera **120** begleiten, sind am beweglichen Element **40** befestigt. In diesem Zustand ist eine optische Achse **120c** (**Fig. 5**) des optischen Systems der beweglichen Kamera **120** parallel zur Oberseite **41** des beweglichen Elements **40**.

[0044] Ein Substrat **43**, auf dem die Marker-Treiberschaltung **130** in **Fig. 2** montiert ist, ist im oberen Endteil des beweglichen Elements **40** vorgesehen, um die Öffnung in der Mitte davon zu schließen.

[0045] Wie in **Fig. 5** dargestellt, ist das Bezugselement **190** mit der Vielzahl von Markern **ep** (**Fig. 2**) innerhalb des beweglichen Elements **40** vorgesehen. **Fig. 6A** ist eine schematische Längsschnittansicht, die das Bezugselement **190** in **Fig. 5** und **Fig. 6B** eine Unteransicht, die das Bezugselement **190** darstellt.

[0046] Wie in den **Fig. 6A** und **Fig. 6B** dargestellt, umfasst das Bezugselement **190** ein lichtemittierendes Substrat **191**, eine Diffusionsplatte **192**, eine Glasplatte **193** und eine diffuse Reflexionsfolie **195**. Das lichtemittierende Substrat **191**, die Diffusionsplatte **192** und die Glasplatte **193** sind in dieser Reihenfolge von oben nach unten geschichtet. Die diffuse Reflexionsfolie **195** ist so vorgesehen, dass sie den äußeren Umfangsteil dieses Schichtkörpers umschließt.

[0047] Eine Vielzahl von lichtemittierenden Elementen **L** ist auf der gesamten Unterseite des lichtemittierenden Substrats **191** montiert. Die lichtemittierenden Elemente **L** sind beispielsweise Infrarot-LEDs (Leuchtdioden). Als lichtemittierende Elemente **L** können LEDs mit anderen Wellenlängen anstelle von Infrarot-LEDs oder andere Arten von lichtemittierenden Elementen wie Filamente verwendet werden. Die Marker-Treiberschaltung **130** steuert die Vielzahl der lichtemittierenden Elemente **L** auf dem lichtemittierenden Substrat **191**. Dies bewirkt, dass die Vielzahl der lichtemittierenden Elemente **L** Licht emittiert.

[0048] Die Diffusionsplatte **192** ist ein Plattenelement, das beispielsweise aus Harz besteht und das von der Vielzahl der lichtemittierenden Elemente **L** abgegebene Licht nach unten durchlässt, während das Licht gestreut wird. Die diffuse Reflexionsfolie **195** ist ein streifenförmiges Plattenelement, das beispielsweise aus Harz besteht und das Licht aus der Vielzahl der lichtemittierenden Elemente **L** zur Seite (außen) des Bezugselements **190** nach innen reflektiert, während das Licht gestreut wird.

[0049] Die Glasplatte **193** ist ein Plattenelement aus beispielsweise Quarzglas oder Sodaglas. Die Unterseite der Glasplatte **193** ist mit der Maske **194** versehen, die eine Vielzahl von kreisförmigen Öffnungen aufweist. Die Maske **194** ist eine Chrommaske, die auf der Unterseite der Glasplatte **193** beispielsweise durch ein Sputterverfahren oder ein Aufdampfverfahren gebildet wird.

[0050] In der oben beschriebenen Struktur wird das von der Vielzahl der lichtemittierenden Elemente **L** ausgesandte und von der Diffusionsplatte **192** und der diffusen Reflexionsplatte **195** gestreute Licht nach unten vom Bezugselement **190** durch die Glasplatte **193** und die Vielzahl der kreisförmigen Öffnungen der Maske **194** freigegeben. Auf diese Weise wird die Vielzahl von Selbstemissionsmarkern **ep** gebildet, die jeweils der Vielzahl der kreisförmigen Öffnungen entspricht.

[0051] In der Ausführungsform, wie in **Fig. 6B** dargestellt, ist die Vielzahl von Markern **ep** in regelmäßigen Abständen in einer Matrix auf der Unterseite (Ebene) des Bezugselements **190** angeordnet. Von der Vielzahl von Markern **ep** werden der in der Mitte befindliche Marker **ep** und ein Marker **ep**, der sich in einer Position in einem vorbestimmten Abstand vom Marker **ep** in der Mitte befindet, durch Identifikationsmarkern (Punkte in diesem Beispiel) gekennzeichnet, um diese beiden Marker von den anderen Markern **ep** zu identifizieren. Diese Identifikationsmarkern werden durch einen Teil der Maske **194** gebildet. In der folgenden Beschreibung wird zur Unterscheidung dieser beiden durch die Identifikationsmarkern **ep** bezeichneten Marker **ep** von den anderen Markern **ep** der Marker **ep** in der Mitte mit der Identifikationsmarke als ein erster Marker **ep1** bezeichnet. Darüber hinaus wird der andere Marker **ep** mit der Identifikationsmarke als zweiter Marker **ep2** bezeichnet.

[0052] In der oben beschriebenen Struktur wird das Bezugselement **190** an dem beweglichen Element **40** so angebracht, dass die nach unten gerichtete Vielzahl von Markern **ep** im Bereich des abbildenden Gesichtsfeldes der Referenzkamera **110** positioniert ist. Zusätzlich wird das Bezugselement **190** an dem beweglichen Element **40** so angebracht, dass der erste Marker **ep1** auf der optischen Achse **110c** positioniert ist, wenn die obere Fläche **41** und die untere

Fläche **42** des beweglichen Elements **40** orthogonal zur Richtung der optischen Achse **110c** der Bezugskamera **110** sind. Dabei ist zu beachten, dass das Bezugselement **190** vorzugsweise so angeordnet ist, dass die meisten der Vielzahl von Markern **ep** auf das gesamte abbildende Gesichtsfeld der Referenzkamera **110** verteilt sind.

[0053] Wenn sich das Stützelement **30** auf dem Befestigungs- und Kopplungsabschnitt **20** und das bewegliche Element **40** um die Drehachse **30c** dreht, ändert sich das Bild der Vielzahl von Markern **ep**, das man erhält, wenn die Referenzkamera **110** das Bezugselement **190** erfasst.

[0054] Fig. **7A** bis Fig. **7C** veranschaulichen Beispiele für die Bilder der Vielzahl von Markern **ep**, die erhalten werden, wenn die Referenzkamera **110** das Bezugselement **190** aufnimmt. Da Licht von der Vielzahl von Markern **ep** in Fig. **6B** freigesetzt wird, erscheinen die Bilder, die der Vielzahl von Markern **ep** entsprechen, in dem Bild des Bezugselements **190**, das mit dem Abbildungskopf **100** aufgenommen wurde.

[0055] Wenn beispielsweise das tragende Element **30** und das bewegliche Element **40** in ihren vorbestimmten Referenzhaltungen gehalten werden, wird angenommen, dass ein Bild **110i**, das in Fig. **7A** dargestellt ist, erhalten wird. In den Referenzhaltungen ist die untere Fläche des Referenzteils **190** orthogonal zur optischen Achse **110c** der Referenzkamera **110** und wird horizontal gehalten. Im Bild **110i** in Fig. **7A** sind die Marker-Bilder, d.h. die der Vielzahl von Markern **ep** entsprechen, in einer Matrix wie in der Vielzahl der tatsächlichen Marker **ep** in Fig. **6B** angeordnet. Zusätzlich ist das Markerbild **iep1**, das der ersten Marker **ep1** in Fig. **6B** entspricht, im mittleren Teil des Bildes, das der Mitte des Gesichtsfeldes der Referenzkamera **110** entspricht, dargestellt. Zusätzlich wird ein Markerbild **iep2**, das der zweiten Marke **ep2** in Fig. **6B** entspricht, in einer Position dargestellt, die einen vorbestimmten Abstand zum Markerbild **iep1** aufweist.

[0056] Wenn sich das Stützelement **30** aus der Referenzhaltung um die optische Achse **110c** dreht, ändern sich die Abstände zwischen der Vielzahl von Markern **ep** und der Referenzkamera **110** nicht wesentlich. Bei dieser Drehung, wie in Fig. **7B** dargestellt, dreht sich die Vielzahl der Markerbilder **iep** um den zentralen Teil des Bildes. In diesem Fall kann der Drehwinkel des Stützelements **30** aus der Referenzhaltung auf der Grundlage der Positionsbeziehung zwischen den beiden Markerbildern **iep1** und **iep2** ermittelt werden.

[0057] Wenn sich das bewegliche Element **40** aus der Referenzhaltung um die Drehachse **30c** dreht, ändern sich die Abstände zwischen der Vielzahl von

Markern **ep** und der Referenzkamera **110** einzeln. Zum Beispiel werden die Abstände zwischen Teilen der Vielzahl von Markern **ep** und der Referenzkamera **110** kleiner und die Abstände zwischen anderen Teilen der Vielzahl von Markern **ep** und der Referenzkamera **110** größer. Wenn sich beispielsweise das bewegliche Element **40** aus der Referenzhaltung in dem Zustand dreht, in dem das Stützelement **30** in der Drehposition gehalten wird, die dem Bild **110i** in Fig. **7B** entspricht, ändert sich dementsprechend der Anordnungszustand der Vielzahl von Markierungsbildern **iep** wie in Fig. **7C** dargestellt. In diesem Fall kann der Drehwinkel des beweglichen Elements **40** aus der Referenzhaltung auf der Grundlage der Positionsbeziehung aller Markierungsbilder **iep** einschließlich der beiden Markierungsbilder **iep1** und **iep2** ermittelt werden.

[0058] Wie oben beschrieben, sind die bewegliche Kamera **120** und das Bezugselement **190** einstückig mit dem beweglichen Element **40** verbunden. Dementsprechend können die Position und die Haltung der beweglichen Kamera **120** in Bezug auf die Referenzkamera **110** auf der Grundlage der Bilddaten (im Folgenden als Referenzbilddaten bezeichnet) berechnet werden, die durch die Erfassung der Vielzahl von Markern **ep** des Bezugselements **190** mit der Referenzkamera **110** erhalten werden. Einzelheiten zur Berechnung der Position und der Haltung der beweglichen Kamera **120** werden später beschrieben.

[0059] Zwischen dem beweglichen Element **40** und der Rotationsbasis **31** ist ein Balgen **50** vorgesehen, um einen Abbildungsraum **rs** (Fig. **5**) einschließlich des Bildgebungssichtfeldes der Referenzkamera **110** von der Referenzkamera **110** zum Bezugselement **190** von der Außenseite des Abbildungsraums **rs** räumlich zu blockieren.

[0060] Der obere Endteil des Balges **50** ist mit der Unterseite **42** des beweglichen Elements **40** und der untere Endteil des Balges **50** mit der Oberseite des Drehgestells **31** gekoppelt. Wenn sich das Stützelement **30** in der horizontalen Ebene dreht, dreht sich demnach auch der Balgen **50** zusammen mit dem Stützelement **30**.

[0061] Darüber hinaus ist der Balgen **50** in diesem Beispiel in einer im Wesentlichen quadratischen Säule ausgebildet und, wenn der Kippdrehmechanismus **143** das bewegliche Element **40** dreht, nach der Drehung verformt, wodurch der optische und räumliche Blockzustand des Abbildungsraums **rs** erhalten bleibt. Wenn der Balgen **50** nach der Drehung des beweglichen Elements **40** verformt wird, ist der Balgen **50** außerdem so vorgesehen, dass er das abbildende Gesichtsfeld der Referenzkamera **110** nicht stört.

[0062] Diese Struktur verhindert, dass Licht von der Außenseite des Abbildungsraums **rs** in den Abbil-

dungsraum rs gelangt. Darüber hinaus wird selbst bei Erwärmung eines Motors oder dergleichen um den Abbildungsraum rs herum verhindert, dass die erzeugte Wärme in den Abbildungsraum rs eintritt. Dadurch wird verhindert, dass die Atmosphäre des Abbildungsraums rs schwankt. Da die Vielzahl von Markern ep mit hoher Genauigkeit erfasst wird, können die Position und die Haltung der beweglichen Kamera **120** in Bezug auf die Referenzkamera **110** mit hoher Genauigkeit berechnet werden.

[0063] Darüber hinaus wird in der oben beschriebenen Struktur, da der Innenraum des Balges **50** räumlich vom Außenraum blockiert ist, die Atmosphäre des Innenraums des Balges **50** stabilisiert. Dementsprechend kann die außerhalb des Balgens **50** vorgesehene Wärmequelle durch einen Ventilator oder dergleichen zwangsgekühlt werden.

[0064] Dabei ist zu beachten, dass die dem Abbildungsraum rs zugewandte Innenfläche des Balges **50** vorzugsweise mit einer Farbe oder einem Material konfiguriert ist, das ein geringes Lichtreflexionsvermögen aufweist und Licht absorbiert. So kann beispielsweise die Farbe der Innenfläche des Balges **50** schwarz sein. Alternativ kann die Innenfläche des Balges **50** durch ein nicht reflektierendes Material konfiguriert werden, das das Licht nicht reflektiert. Alternativ kann die Innenfläche des Balges **50** mit einem nicht reflektierenden Material beschichtet werden. Dadurch wird verhindert, dass das von der Vielzahl von Markern ep abgegebene Licht von der Innenfläche des Balges **50** unregelmäßig reflektiert wird. Dementsprechend kann die Vielzahl von Markern ep mit hoher Genauigkeit erfasst werden.

[0065] Im Abbildungskopf **100** ist, wie in **Fig. 4** dargestellt, die bewegliche Kamera **120** vorzugsweise so vorgesehen, dass sich der Schwerpunkt der beweglichen Kamera **120** einem Schnittpunkt GC zwischen der optischen Achse **110c** der Referenzkamera **110** und der Drehachse **30c** nähert. In diesem Fall, da der Schwerpunkt der beweglichen Kamera **120** näher am Schnittpunkt GC liegt, wird die Drehung des Stützelements **30** um die optische Achse **110c** stabiler und die Drehung des beweglichen Elements **40** um die Drehachse **30c** stabiler. Darüber hinaus kann die zum Drehen des Stützelements **30** und des beweglichen Elements **40** erforderliche Antriebskraft reduziert werden. Dadurch wird die Belastung der Antriebseinheiten, wie beispielsweise des Motors, reduziert.

[0066] Wie in **Fig. 4** dargestellt, ist die Vogelperspektivenkamera **180** auf dem Stützrahmen **32** so angeordnet, dass ihr abbildendes Gesichtsfeld in die gleiche oder im Wesentlichen gleiche Richtung wie das abbildende Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** ausgerichtet ist. Der Blickwinkel der Vogelperspektivenkamera **180** ist größer als der Blickwinkel

der Referenzkamera **110** und der beweglichen Kamera **120**. Dementsprechend ist das abbildende Gesichtsfeld der Vogelperspektivenkamera **180** größer als die abbildenden Gesichtsfelder der Referenzkamera **110** und der beweglichen Kamera **120**. Dabei ist zu beachten, dass der Blickwinkel der beweglichen Kamera **120** so eingestellt ist, dass er beispielsweise einen Kreisbereich mit einem Durchmesser von etwa 15 cm an einer Position von 1,5 Metern von der beweglichen Kamera **120** entfernt liegt.

[0067] Bei der Tracking-Verarbeitung, die später beschrieben wird, wird die Vogelperspektivenkamera **180** verwendet, um die Sonde **200** über einen weiten Bereich aufzunehmen. Auch wenn beispielsweise die Sonde **200** durch die Bewegung der Sonde **200** vom abbildenden Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** abweicht, kann durch die Aufnahme der Sonde **200** mit der Vogelperspektivenkamera **180** die ungefähre Position der Sonde **200** basierend auf den Bilddaten (im Folgenden Vogelperspektive-Bilddaten genannt) durch die Aufnahme festgelegt werden. Die Position und Haltung der beweglichen Kamera **120** wird basierend auf der vorgegebenen Position so eingestellt, dass die Sonde **200** im abbildenden Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** positioniert ist.

[0068] Wie in **Fig. 2** dargestellt, sind die Referenzkamera **110**, die bewegliche Kamera **120**, die Marker-Treiberschaltung **130**, die Rotations-Treiberschaltung **140**, die drahtlose Kommunikationsschaltung **160** und die Kommunikationsschaltung **170** mit der Kopfsteuerschaltung **150** verbunden. Die Kopfsteuerschaltung **150** umfasst eine CPU (Zentrale Recheneinheit) und einen Speicher oder einen Mikrocomputer und steuert die Referenzkamera **110**, die bewegliche Kamera **120**, die Marker-Treiberschaltung **130** und die Rotations-Treiberschaltung **140**.

[0069] Jede der Referenzkamera **110**, der beweglichen Kamera **120** und der Vogelperspektivenkamera **180** umfasst einen CMOS-Bildsensor (komplementärer Metalloxidfilm-Halbleiter), der Infrarotlicht als Bildelement erfassen kann. Darüber hinaus umfasst jede der Referenzkamera **110**, der beweglichen Kamera **120** und der Vogelperspektivenkamera **180** eine Vielzahl von Linsen (optische Systeme), die nicht dargestellt sind.

[0070] Wie vorstehend beschrieben, geben die Pixel der Referenzkamera **110**, der beweglichen Kamera **120** und der Vogelperspektivenkamera **180** die analogen elektrischen Signale (im Folgenden Lichtempfangssignale genannt) entsprechend der Erfassunggröße der Kopfsteuerschaltung **150** aus.

[0071] Ein A/D-Wandler (Analog-Digital-Wandler) und ein FIFO-Speicher (First-in-First-out), die nicht dargestellt sind, sind auf der Kopfsteuerschaltung

150 montiert. Die von der Referenzkamera **110**, der beweglichen Kamera **120** und der Vogelperspektivenkamera **180** ausgegebenen lichtempfindlichen Signale werden vom A/D-Wandler der Kopfsteuerschaltung **150** in einer konstanten Abtastzeit abgetastet und in digitale Signale umgewandelt. Die vom A/D-Wandler ausgegebenen digitalen Signale werden nacheinander im FIFO-Speicher gesammelt. Die im FIFO-Speicher angesammelten digitalen Signale werden nacheinander als Pixeldaten an die Verarbeitungsvorrichtung **300** übertragen.

[0072] Die Marker-Treiberschaltung **130** treibt das lichtemittierende Substrat **191** in **Fig. 6A** unter Steuerung der Kopfsteuerschaltung **150** an. Dies bewirkt, dass die Vielzahl der lichtemittierenden Elemente **L** auf dem lichtemittierenden Substrat **191** Licht emittiert und die Vielzahl der Marker **eq** des Bezugselements **190** Licht freisetzt. Dabei ist zu beachten, dass sich diese Lichtemissionszeit mit der Aufnahmezeit der Referenzkamera **110** synchronisiert.

[0073] Die Rotations-Treiberschaltung **140** treibt den horizontalen Drehmechanismus **141** in **Fig. 4** unter Steuerung der Kopfsteuerschaltung **150** an. Dadurch wird das Stützelement **30** in **Fig. 4** am Befestigungs- und Koppelabschnitt **20** gedreht und das bewegliche Element **40** und das Obergehäuse **92** (**Fig. 3**). Zu diesem Zeitpunkt, da sich das bewegliche Element **40** dreht, dreht sich das bildgebende Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120**, die von der Innenseite zur Außenseite des Obergehäuses **92** durch den Schlitz **93** (**Fig. 3**) eingeführt wird, in horizontaler Richtung auf dem Referenzständer **10** in **Fig. 1**.

[0074] Darüber hinaus treibt die Rotations-Treiberschaltung **140** den Kippdrehmechanismus **143** in **Fig. 4** unter Steuerung der Kopfsteuerschaltung **150** an. Dadurch wird das bewegliche Element **40** in **Fig. 4** um die Drehachse **30c** zwischen dem Paar der Stützrahmen **32** und **33** gedreht. Zu diesem Zeitpunkt dreht sich das abbildende Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120**, die durch den Schlitz **93** (**Fig. 3**) hindurchgeht, in Aufwärts-Richtung entlang des Schlitzes **93** auf dem Referenzständer **10** in **Fig. 1**. Die Drehung des bildgebenden Gesichtsfeldes der beweglichen Kamera **120** durch die Rotations-Treiberschaltung **140** erfolgt auf der Grundlage einer Tracking-Verarbeitung, die später von der Verarbeitungsvorrichtung **300** beschrieben wird.

[0075] Die Kopfsteuerschaltung **150** führt eine drahtlose Kommunikation mit der Sonde **200** über die drahtlose Kommunikationsschaltung **160** durch. Darüber hinaus führt die Kopfsteuerschaltung **150** eine drahtgebundene Kommunikation mit der Verarbeitungsvorrichtung **300** über die Kommunikationsschaltung **170** und das Kabel CA durch (**Fig. 1**).

[0076] Wie in **Fig. 2** dargestellt, umfasst die Verarbeitungsvorrichtung **300** eine Kommunikationsschaltung **301**, eine Hauptkörper-Steuerschaltung **302** und einen Hauptkörperspeicher **303**. Die Kommunikationsschaltung **301** und der Hauptkörperspeicher **303** sind mit der Hauptsteuerschaltung **302** verbunden. Darüber hinaus sind eine Hauptkörperbedieneinheit **320** und eine Hauptkörper-Anzeigeeinheit **310** mit dem Hauptkörpersteuerkreis **302** verbunden.

[0077] Der Hauptkörperspeicher **303** umfasst ein ROM (Nur-Lese-Speicher), einen RAM (Direktzugriffsspeicher) und eine Festplatte. Im Hauptkörperspeicher **303** sind ein Messverarbeitungsprogramm, ein Nachverfolgungsverarbeitungsprogramm, ein Kalibrierungsprogramm und ein Programm zur Entscheidung über die Kalibrierung, die später beschrieben werden, sowie ein Systemprogramm gespeichert. Zusätzlich werden im Hauptkörperspeicher **303** die Kameraparameter der Referenzkamera **110** gespeichert. Zu den Kameraparametern der Referenzkamera **110** gehören ein Wert, der die durch die Linse verursachten und in den Referenzbilddaten enthaltenen Dehnungskomponenten betrifft, sowie ein Wert, der die relative Positionsbeziehung zwischen der Linse und der Abbildungsvorrichtung betrifft. Darüber hinaus speichert der Hauptkörperspeicher **303** als Referenzmarker-Information Informationen, die die relative Positionsbeziehung (im Entwurf definiert) zwischen der Vielzahl von Markern **ep** des Bezugselements **190** angeben. Spezifische Beispiele für die Kameraparameter und die Referenzmarker-Informationen werden später beschrieben. Darüber hinaus wird der Hauptkörperspeicher **303** zur Verarbeitung verschiedener Datentypen oder zur Speicherung verschiedener Datentypen, wie beispielsweise Pixeldaten, die durch den Abbildungskopf **100** gegeben sind, verwendet.

[0078] Die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** umfasst eine CPU. In der Ausführungsform werden die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** und der Hauptkörperspeicher **303** durch einen Personalcomputer realisiert. Die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** erzeugt Bilddaten auf der Grundlage von Pixeldaten, die vom Abbildungskopf **100** über das Kabel CA (**Fig. 1**) und die Kommunikationsschaltung **301** ausgegeben werden. Die Bilddaten sind ein Satz, der eine Vielzahl von Pixeldaten umfasst.

[0079] In den Ausführungsformen werden Referenzbilddaten, Messbilddaten und Bilddaten aus der Vogelperspektive erzeugt, die der Referenzkamera **110**, der beweglichen Kamera **120** bzw. der am Abbildungskopf **100** vorgesehenen Vogelperspektivkamera **180** entsprechen. Zusätzlich werden Bilddaten erzeugt, die einer später beschriebenen Sonden-Kamera **208** entsprechen, die auf der Sonde **200** vorgesehen ist. Die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** berechnet die Position des Kontaktteils **211a** (**Fig. 1**).

der Sonde **200** auf der Grundlage der Kameraparameter der Referenzkamera **110**, der Referenzbilddaten und der Messbilddaten, wenn die Form des Messziels **S** gemessen wird. Darüber hinaus berechnet die Hauptkörper-Steuerung **302** geeignete Kameraparameter der Referenzkamera **110** als neue Kameraparameter. Zusätzlich aktualisiert die Steuerung **302** des Hauptkörpers die im Speicher **303** des Hauptkörpers gespeicherten Kameraparameter der Referenzkamera **110** auf die neuen Kameraparameter. Dadurch wird die Referenzkamera **110** kalibriert. Einzelheiten zu den verschiedenen Funktionen der Hauptkörper-Steuerung **302** werden später beschrieben.

[0080] Die Hauptanzeigeeinheit **310** wird beispielsweise durch ein Flüssigkristall-Anzeigepanel oder eine organische EL (Elektrolumineszenz)-Platte konfiguriert. Die Hauptanzeigeeinheit **310** zeigt die Positionen der Messpunkte auf dem Messziel **S**, die Messergebnisse einzelner Teile des Messziels **S** und ähnliches auf der Grundlage der Steuerung durch die Hauptkörper-Steuerung **302** an. Zusätzlich zeigt die Hauptkörperanzeigeeinheit **310** einen Einstellbildschirm an, auf dem verschiedene Einstellungen über die Messung vorgenommen werden.

[0081] Die Hauptkörperbedieneinheit **320** umfasst eine Tastatur und eine Zeigevorrichtung. Die Zeigevorrichtung umfasst eine Maus, einen Joystick oder dergleichen. Die Hauptkörperbedieneinheit **320** wird von der Benutzerin **U** bedient.

Aufbau der Sonde **200**

[0082] **Fig. 8** ist ein Blockdiagramm, das die Struktur der Sonde **200** veranschaulicht. **Fig. 9** ist eine perspektivische Ansicht, die das äußere Erscheinungsbild der Sonde **200** veranschaulicht. Wie in **Fig. 8** dargestellt, umfasst die Sonde **200** eine Sonden-Steuereinheit **201**, eine Anzeigelampe **202**, eine Batterie **203**, eine Marker-Treiberschaltung **204**, einen Sonden-Speicher **205**, eine drahtlose Kommunikationsschaltung **206**, einen Bewegungssensor **207**, die Sonden-Kamera **208**, eine Sonden-Steuereinheit **221**, eine Touchpanel-Anzeige **230** und eine Vielzahl von (in diesem Beispiel drei) Zielelementen **290** als elektrische Komponenten.

[0083] Die Batterie **203** versorgt andere in der Sonde **200** vorgesehene Komponenten mit elektrischer Energie. Die Sonden-Steuereinheit **201** umfasst eine CPU und einen Speicher oder einen Mikrocomputer und steuert die Anzeigelampe **202**, die Marker-Treiberschaltung **204**, die Sonden-Kamera **208** und die Touchpanel-Anzeige **230**. Darüber hinaus führt die Sonden-Steuereinheit **201** verschiedene Arten von Verarbeitungen als Reaktion auf die Bedienung der Sonden-Steuereinheit **221** und der Touchpanel-Anzeige **230** durch die Benutzerin **U** durch.

[0084] Wie durch eine Punkt-Punkt-Strichlinie in **Fig. 8** dargestellt, weist die Sonde **200** ein Sonden-Gehäuse **210** auf, das die oben beschriebenen Komponenten aufnimmt oder trägt, sowie ein Griffteil **220**. Die Sonden-Steuereinheit **201**, die Anzeigelampe **202**, die Batterie **203**, die Marker-Treiberschaltung **204**, der Sonden-Speicher **205**, die drahtlose Kommunikationsschaltung **206**, der Bewegungssensor **207** und die Sonden-Kamera **208** sind im Sonden-Gehäuse **210** untergebracht. Die Vielzahl der Zielelemente **290** ist auf einem oberen Oberflächenteil **210c** (**Fig. 9**) des Sonden-Gehäuses **210** vorgesehen, das später beschrieben wird. Die Sonden-Steuereinheit **221** ist eine Taste, die gedrückt und im Griffteil **220** vorgesehen sein kann.

[0085] Die Touchpanel-Anzeige **230** umfasst eine Sonden-Anzeigeeinheit **231** und ein Touchpanel **232**. Die Sonden-Anzeigeeinheit **231** wird beispielsweise durch eine Flüssigkristallanzeigetafel oder eine organische EL-Platte konfiguriert.

[0086] Die Anzeigelampe **202** umfasst beispielsweise eine oder mehrere LEDs und ein lichtemittierender Abschnitt davon ist so vorgesehen, dass er der Außenseite des Sonden-Gehäuses **210** ausgesetzt ist. Die Anzeigelampe **202** emittiert Licht entsprechend dem Zustand der Sonde **200** unter Steuerung der Sonden-Steuereinheit **201**.

[0087] Die drei Zielelemente **290** haben im Wesentlichen die gleiche Struktur wie das Bezugselement **190** in den **Fig. 6A** und **Fig. 6B**. Die Marker-Treiberschaltung **204** ist mit der Vielzahl von Zielelementen **290** verbunden und steuert eine Vielzahl von lichtemittierenden Elementen, die in den Zielelementen **290** enthalten sind, unter Steuerung der Sonden-Steuereinheit **201**.

[0088] Der Sonden-Speicher **205** umfasst ein Aufzeichnungsmedium, wie beispielsweise einen nichtflüchtigen Speicher oder eine Festplatte. Der Sonden-Speicher **205** wird verwendet, um verschiedene Arten von Daten zu verarbeiten oder verschiedene Arten von Daten zu speichern, wie beispielsweise Bilddaten, die vom Abbildungskopf **100** ausgegeben werden.

[0089] Der Bewegungssensor **207** erfasst die Bewegung der Sonde **200**, wenn sich beispielsweise die Benutzerin **U** bewegt, während sie die Sonde **200** trägt. So erfasst der Bewegungssensor **207** beispielsweise die Bewegungsrichtung, die Beschleunigung, die Haltung und dergleichen, wenn sich die Sonde **200** bewegt. Die Sonden-Kamera **208** ist beispielsweise eine CCD-Kamera (charge-coupled device).

[0090] In der Sonden-Steuereinheit **201** sind neben der CPU und dem Speicher oder dem vorstehend beschriebenen Mikrorechner auch ein A/D-Wandler und

ein FIFO-Speicher eingebaut, die nicht dargestellt sind. Dementsprechend werden in der Sonden-Steuereinheit **201** Signale, die die vom Bewegungssensor **207** erfasste Bewegung der Sonde **200** anzeigen, in Daten vom digitalen Signaltyp (im Folgenden Bewegungsdaten genannt) umgewandelt. Darüber hinaus wandelt die Sonden-Steuereinheit **201** lichtempfindliche Signale, die von Pixeln der Sonden-Kamera **208** ausgegeben werden, in eine Vielzahl von Pixeldaten des digitalen Signaltyps um. Die Sonden-Steuereinheit **201** überträgt über die drahtlose Kommunikation die digitalen Bewegungsdaten und die Vielzahl von Pixeldaten über die drahtlose Kommunikationsschaltung **206** an den Abbildungskopf **100** in **Fig. 2**. In diesem Fall werden die Bewegungsdaten und die Vielzahl von Pixeldaten weiter an die Verarbeitungsvorrichtung **300** vom Abbildungskopf **100** übertragen.

[0091] Wie in **Fig. 9** dargestellt, ist das Sonden-Gehäuse **210** so ausgebildet, dass es sich in eine Richtung erstreckt und weist einen vorderen Endteil **210a**, einen hinteren Endteil **210b**, den oberen Oberflächenteil **210c** und einen unteren Oberflächenteil **210d** auf. Das untere Oberflächenteil **210d** ist mit dem Griffteil **220** versehen. Das Griffteil **220** ist so ausgebildet, dass es sich parallel zum Sonden-Gehäuse **210** erstreckt. Die Sonden-Steuereinheit **221** ist im Teil des Griffteils **220** nahe dem hinteren Endteil **210b** des Sonden-Gehäuses **210** vorgesehen.

[0092] Das hintere Endteil **210b** des Sonden-Gehäuses **210** ist mit dem Touchpanel-Display **230** ausgestattet. Das vordere Endteil **210a** ist mit einem Stift **211** versehen. Der Stift **211** ist ein stabförmiges Element mit dem Kontaktteil **211a** an seiner Spitze. Das vordere Endteil **210a** hat weiterhin die Sonden-Kamera **208**.

[0093] Der obere Oberflächenteil **210c** des Sonden-Gehäuses **210** ist mit den drei Zielelementen **290** versehen, die vom vorderen Endteil **210a** bis zum hinteren Endteil **210b** angeordnet sind. Von den drei Zielelementen **290** in diesem Beispiel hat das Zielelement **290**, das dem vorderen Endteil **210a** am nächsten liegt, die drei Markierungen eq. Jedes der beiden verbleibenden Zielelementen **290** hat die beiden Markierungen Gl. Die Marker Gl. sind selbst emittierende Marker, die Infrarotlicht aussenden. Dabei ist zu beachten, dass der Emissionszeitpunkt der Vielzahl von Markern eq. mit dem Aufnahmezeitpunkt der beweglichen Kamera **120** des Abbildungskopfes **100** synchronisiert ist.

[0094] Die Benutzerin **U** greift das Griffteil **220** so, dass das obere Oberflächenteil **210c** des Sonden-Gehäuses **210** dem Abbildungskopf **100** zugewandt ist. In diesem Zustand bringt die Benutzerin **U** das Kontaktteil **211a** mit einem gewünschten Teil des Messziels **S** in Kontakt. Darüber hinaus bedient die Benutzerin **U** die Sonden-Steuereinheit **221** und die

Touchpanel-Anzeige **230** und erkennt dabei visuell ein auf der Touchpanel-Anzeige **230** angezeigtes Bild.

Verfahren zur Berechnung der Koordinaten eines Messpunktes

[0095] In der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** wird entsprechend der Ausführungsform ein dreidimensionales Koordinatensystem (im Folgenden als Weltkoordinatensystem bezeichnet) definiert, das eine vorgegebene Beziehung beispielsweise zum Referenzständer **10** hat. Zusätzlich wird ein dreidimensionales Koordinatensystem (im Folgenden als Referenzkamera-Koordinatensystem bezeichnet) mit einer vorgegebenen Beziehung zur Referenzkamera **110** definiert. Zusätzlich wird ein dreidimensionales Koordinatensystem (im Folgenden als bewegliches Kamerakoordinatensystem bezeichnet) mit einer vorgegebenen Beziehung zur beweglichen Kamera **120** definiert.

[0096] Wenn die Form des Messziels **S** gemessen wird, erfasst die bewegliche Kamera **120** die Sonde **200** und erzeugt Messbilddaten. Aus den Messbilddaten lassen sich die Koordinaten im Koordinatensystem der beweglichen Kamera für die Positionen der Vielzahl von Markern eq. Bei der Sonde **200** besteht eine bestimmte Positionsbeziehung zwischen der Vielzahl der Marken Gl. und dem Kontaktteil **211a**. Dementsprechend können die Koordinaten im Koordinatensystem der beweglichen Kamera der Position eines Messpunktes auf dem Messziel **S** auf der Grundlage der berechneten Koordinaten der Vielzahl von Markern eq berechnet werden.

[0097] Die Haltung der beweglichen Kamera **120** ändert sich, wenn sich wenigstens eines der Stützelemente **30** und das bewegliche Element **40** dreht. Dementsprechend ändert sich die Beziehung zwischen dem Koordinatensystem der beweglichen Kamera und dem Weltkoordinatensystem, wenn sich die Position und die Haltung der beweglichen Kamera **120** ändern. Die Koordinaten im Weltkoordinatensystem der Position des Messpunktes sind notwendig, um die Form des Messziels **S** zu messen. Dementsprechend müssen die Koordinaten im Koordinatensystem der beweglichen Kamera des Messpunktes einer Koordinatenumrechnung unterzogen werden, so dass die Koordinaten im Weltkoordinatensystem entsprechend der Position und der Haltung der beweglichen Kamera **120** dargestellt werden.

[0098] Diese Koordinatenumwandlung wird durch die Verwendung von Informationen (im Folgenden als Positions-/Haltungsinformationen bezeichnet) erreicht, die die Position und die Haltung des beweglichen Elements **40** in Bezug auf die am Referenzständer **10** befestigte Referenzkamera **110** angeben.

[0099] Das Verfahren zur Berechnung von Positions-/Haltungsinformationen wird beschrieben. Positions-/Haltungsinformationen umfassen eine Rotationsmatrix und eine Translationsmatrix und werden durch einen Ausdruck (1) unten dargestellt, wenn die Elemente der Rotationsmatrix r_{11} , r_{12} , r_{13} , r_{21} , r_{22} , r_{23} , r_{31} , r_{32} und r_{33} und die Elemente der Translationsmatrix t_x , t_y und t_z sind.

$$\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

[0100] Die Koordinaten im Weltkoordinatensystem der Position einer Marker-EP werden als (X, Y, Z) und die Koordinaten im Referenzkamera-Koordinatensystem der Position eines Markers ep werden als (X_c, Y_c, Z_c) angenommen. In diesem Fall gelten die unten stehenden Gleichungen (2), (3) und (4) unter Verwendung der Elemente der im Ausdruck (1) dargestellten Matrizen.

$$X_c = r_{11}X + r_{12}Y + r_{13}Z + t_x \quad (2)$$

$$Y_c = r_{21}X + r_{22}Y + r_{23}Z + t_y \quad (3)$$

$$Z_c = r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}Z + t_z \quad (4)$$

[0101] Bei der Referenzkamera **110** wird angenommen, dass es sich um eine Lochkamera handelt, und die Koordinaten im Referenzkamera-Koordinatensystem des projizierten Bildes eines Markers ep auf der Lichtempfangsfläche einer Abbildungsvorrichtung werden als (u, v) angenommen. In diesem Fall, wenn der Abstand (Brennweite) von der Lichtempfangsfläche zum optischen Zentrum (Hauptpunkt der Linse) in der Referenzkamera **110** als f angenommen wird, gelten die Gleichungen (5) und (6) unten auf der Grundlage der Ähnlichkeitsbeziehung.

$$u / f = X_c / Z_c \quad (5)$$

$$v / f = Y_c / Z_c \quad (6)$$

[0102] Die Gleichungen (5) und (6) können mit Hilfe der Gleichungen (2), (3) und (4) zu den Gleichungen (7) bzw. (8) unten verformt werden.

$$u / f - (r_{11}X + r_{12}Y + r_{13}Z + t_x) / (r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}Z + t_z) = 0 \quad (7)$$

$$v / f - (r_{21}X + r_{22}Y + r_{23}Z + t_y) / (r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}Z + t_z) = 0 \quad (8)$$

[0103] Die obigen beiden Gleichungen (7) und (8) werden für einen Marker ep erzeugt. Wenn die Gesamtzahl der Marker ep des Bezugselements **190** als N angenommen wird, können dementsprechend $(N \times 2)$ Ausdrücke generiert werden.

[0104] Die Koordinaten (u, v) können auf der Grundlage der projizierten Bilder der Marker ep auf der Lichtempfangsfläche in der Referenzkamera **110** erfasst werden. Die Positionsbeziehung zwischen der Vielzahl von Markern ep wird als Referenzmarker-Information im Hauptkörperspeicher **303** gespeichert. Dementsprechend sind die oben beschriebenen X -, Y - und Z -Werte bekannte Werte, die auf der Grundlage der Positionsbeziehung in Bezug auf die ersten und zweiten Marker ep_1 und ep_2 unter Verwendung von Referenzmarker-Informationen abgeleitet werden können.

[0105] Wenn die Brennweite f der Referenzkamera **110** bekannt ist und N gleich oder größer als ein vorgegebener Wert ist, können demnach alle Elemente (Positions-/Haltungsinformationen) der Rotationsmatrix und der Translationsmatrix durch ein Verfahren wie die Least-Square-Technik auf der Grundlage von $(N \times 2)$ Gleichungen (Simultangleichungen) erfasst werden.

[0106] In diesem Fall gilt: Je größer die Anzahl N der Marker ep , desto höher ist die Zuverlässigkeit der Rotationsmatrix und der zu berechnenden Translationsmatrix. In Anbetracht dessen hat das Bezugselement **190** nach der Ausführungsform beispielsweise etwa 400 Marker ep .

Kameraparameter und Kalibrierung der Referenzkamera 110

[0107] Die in der Referenzkamera **110** auf die Lichtempfangsfläche der Abbildungsvorrichtung tatsächlich projizierten Bilder der Vielzahl von Markern ep umfassen Dehnungskomponenten, die durch die Linse verursacht werden, und Abweichungskomponenten, die durch die Positionsbeziehung zwischen Linse und Abbildungsvorrichtung verursacht werden. Im Gegensatz dazu nehmen die Koordinaten (u, v) der projizierten Bilder, die in den obigen Gleichungen (5) bis (8) verwendet werden, ein Lochkameramodell an, bei dem Dehnungskomponenten und Abweichungskomponenten in den projizierten Bildern auf der Lichtempfangsfläche in der Referenzkamera **110** nicht vorhanden sind. Dementsprechend müssen die Koordinaten des projizierten Bildes, das tatsächlich von einer Markierung ep auf die Lichtempfangsfläche projiziert wird, korrigiert werden, um die Koordinaten (u, v) der projizierten Bilder für die Berechnung von Positions-/Haltungsinformationen genau zu erfassen.

[0108] Es wird angenommen, dass die Koordinaten im Koordinatensystem der Referenzkamera für die

Position eines Markers ep (x, y, z) und die Koordinaten ($x/z, y/z$) eines projizierten Bildes eines Markers ep auf eine normalisierte Ebene (x', y') sind.

[0109] In diesem Fall kann der Abweichungsbetrag x'', y'' (verursacht durch die Linse) des projizierten Bildes einer auf die normierte Ebene projizierten Markierung ep durch die folgenden Gleichungen (9) und (10) dargestellt werden.

$$y'' = y' \left(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 \right) + 2p_1 x' y' + p_2 \left(r^2 + 2x'^2 \right) \quad (9)$$

$$y'' = y' \left(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 \right) + p_1 \left(r^2 + 2y'^2 \right) + 2p_2 x' y' \quad (10)$$

[0110] In diesen Gleichungen (9) und (10) ist $r^2 = x'^2 + y'^2$. Zusätzlich sind in den Gleichungen (9) und (10) k_1, k_2 und k_3 Korrekturkoeffizienten zur Korrektur von Dehnungskomponenten in radialer Richtung der Linse und p_1 und p_2 Korrekturkoeffizienten zur Korrektur von Dehnungskomponenten in tangentialer Richtung der Linse.

[0111] Wenn der obige Abweichungsbetrag x'', y'' erfasst werden kann, können die Koordinaten (u, v) des projizierten Bildes zur Berechnung von Positions-/Haltungsinformationen mit den folgenden Gleichungen (11) und (12) unter Verwendung der Brennweite f berechnet werden.

$$u = f \times x'' + u_0 \quad (11)$$

$$v = f \times y'' + v_0 \quad (12)$$

[0112] In diesen Gleichungen (11) und (12) stellen u_0, v_0 die Koordinaten der Position (im Folgenden als Schnittpunkt der optischen Achse bezeichnet) auf der Lichtempfangsfläche der Abbildungsvorrichtung dar, an der sich die optische Achse der Linse mit der Lichtempfangsfläche schneidet. Wenn sich der Schnittpunkt der optischen Achse am Ursprung (beispielsweise in der Mitte der Lichtempfangsfläche) der Lichtempfangsfläche befindet, ist demnach u_0 gleich 0 und v_0 gleich 0.

[0113] Wie oben beschrieben, müssen die Brennweite f , die Koordinaten (u_0, v_0) des Schnittpunkts der optischen Achse und die Korrekturkoeffizienten k_1, k_2, k_3, p_1 und p_2 , die den durch die Linse verursachten Dehnungskomponenten entsprechen, bekannt sein, um die Koordinaten (u, v) des projizierten Bildes zu berechnen, die in den Gleichungen (5) bis (8) verwendet werden. Dementsprechend werden in der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** entsprechend der Ausführungsform vorgegebene Werte, die durch die oben genannten Sym-

bole $f, u_0, v_0, k_1, k_2, k_3, p_1$ und p_2 dargestellt werden, im Hauptkörperspeicher **303** als Kameraparameter gespeichert.

[0114] Übrigens kann sich bei der Referenzkamera **110** die Linse verformen oder die Positionsbeziehung zwischen Linse und Abbildungsvorrichtung aufgrund von Temperaturänderungen im Installationsraum, jahrelangem Gebrauch und ähnlichem abweichen. In diesem Fall ändern sich die entsprechenden Werte der Kameraparameter der Referenzkamera **110** mit der Verformung der Linse und der Veränderung der Positionsbeziehung zwischen Linse und Abbildungsvorrichtung.

[0115] Wie oben beschrieben, ist das Bezugselement **190** vorzugsweise so angeordnet, dass die meisten der Vielzahl von Markern ep im gesamten abbildenden Gesichtsfeld der Referenzkamera **110** verteilt sind. Positions-/Haltungsinformationen können mit höherer Genauigkeit berechnet werden, indem Referenzbilddaten verwendet werden, die ein Bild anzeigen, in dem mehr Marker ep in einem größeren Bereich des abbildenden Gesichtsfeldes der Referenzkamera **110** verteilt sind. Von den Referenzbilddaten werden jedoch die Daten des Teils, der dem anderen Bereich als dem mittleren Teil des abbildenden Gesichtsfeldes entspricht, leicht durch die oben genannten Kameraparameter beeinflusst.

[0116] Entsprechend verfügt die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung **1** gemäß der Ausführungsform über eine Kalibrierfunktion für die Referenzkamera **110**, die die in der Vergangenheit im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Kameraparameter auf neue, derzeit geeignete Kameraparameter kalibriert.

[0117] Das so genannte Zhang-Verfahren (siehe Zhang „A flexible new technique for camera calibration“, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, Nr. 11, S. 1330 bis 1334, 2000) ist als Kamerakalibrierungsverfahren bekannt. In der Kalibrierfunktion in diesem Beispiel wird die Referenzkamera **110** nach dem Verfahren von Zhang kalibriert. Dieses Kalibrierungsverfahren wird im Detail beschrieben.

[0118] Wenn die tatsächlichen Koordinaten des projizierten Bildes einer Markierung ep auf der Lichtempfangsfläche als (u', v') angenommen werden, kann der Fehler ex und ey zwischen den Koordinaten und den obigen Koordinaten (u, v) durch die folgenden Gleichungen (13) und (14) dargestellt werden.

$$ex = u - u' \quad (13)$$

$$ey = v - v' \quad (14)$$

[0119] Wenn die Referenzkamera **110** kalibriert ist, drehen sich das Stützelement **30** und das bewegliche Element **40** nacheinander mit vorbestimmten Steigungen. Dementsprechend verschiebt sich das Bezugselement **190** in eine Vielzahl von verschiedenen Positions-/Haltungszuständen. Insbesondere dreht sich das Stützelement **30** nacheinander um die optische Achse **110c** mit einer Neigung von beispielsweise 30 Grad und das bewegliche Element **40** nacheinander um die Drehachse **30c** mit einer Neigung von beispielsweise 10 Grad.

[0120] Darüber hinaus wird die Vielzahl von Markern ep von der Referenzkamera **110** in jedem der Vielzahl von Positions-/Haltungszuständen erfasst. Basierend auf den durch diese Erfassung erfassten Bilddaten werden die Koordinaten der Vielzahl der projizierten Bilder der Vielzahl von Markern ep als die oben beschriebenen Koordinaten (u' , v') erfasst.

[0121] Die Positionsbeziehung der Vielzahl von Markern ep wird als Referenzmarker-Information im Hauptkörperspeicher **303** gespeichert. Dementsprechend sind die Werte von x , y und z oben bekannte Werte, die auf der Grundlage der Positionsbeziehung in Bezug auf die erste und zweite Marke $ep1$ und $ep2$ unter Verwendung der Referenzmarker-Information abgeleitet werden können.

[0122] Daher werden die neuen Werte (Werte, die durch die Symbole f , u_0 , v_0 , k_1 , k_2 , k_3 , p_1 und p_2 repräsentiert werden) der Kameraparameter, die für alle Bilddaten eindeutig definiert sind, so bestimmt, dass der integrierte Wert aller für die Vielzahl von Markern ep erfassten Fehler ex und ey in der Vielzahl der Positions-/Haltungszustände des Bezugselements **190** minimiert wird. Zu diesem Zeitpunkt werden die integrierten Werte der Fehler ex und ey entsprechend den ermittelten Kameraparametern im Hauptkörperspeicher **303** gespeichert.

[0123] Danach werden die vor der Kalibrierung im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Kameraparameter auf die wie oben beschrieben ermittelten neuen Kameraparameter aktualisiert. Dementsprechend wird auch bei einer Änderung der Temperaturumgebung um die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung **1** oder bei längerem Einsatz der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** eine Verringerung der Berechnungsgenauigkeit der Positions-/Haltungsinformationen verhindert.

[0124] Dabei ist zu beachten, dass die anfänglichen Kameraparameter der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** durch die oben beschriebene Kalibrierfunktion bestimmt werden, wenn die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung **1** vor der Auslieferung vom Werk oder nach der Auslieferung vom Werk zum ersten Mal verwendet wird. Die zu die-

sem Zeitpunkt ermittelten Kameraparameter werden im Hauptkörperspeicher **303** gespeichert.

Kalibrier-Entscheidungsfunktion

[0125] Die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung **1** nach der Ausführungsform umfasst des Weiteren eine Kalibrier-Entscheidungsfunktion, die über die Notwendigkeit der Kalibrierung der Referenzkamera **110** entscheidet und das Entscheidungsergebnis der Benutzerin **U** präsentiert.

[0126] Eine Kalibrierungsentscheidung wird auf der Grundlage der Frage durchgeführt, ob die Beziehung zwischen den Positionen der projizierten Bilder auf der Lichtempfangsfläche der Vielzahl von Markern ep , die auf der Grundlage der Referenzmarkierungsinformation und der im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Kameraparameter berechnet wurden, und den tatsächlichen Positionen der projizierten Bilder auf der Lichtempfangsfläche der Vielzahl von Markern ep , die auf der Grundlage der Referenzbilddaten erfasst wurden, eine vorbestimmte zulässige Bedingung erfüllt.

[0127] Es wird ein Beispiel für eine spezifische Kalibrierungsentscheidung beschrieben. Wie bei der Kalibrierung drehen sich beispielsweise zunächst das Tragelement **30** und das bewegliche Element **40** nacheinander mit jeweils vorbestimmten Steigungen, das Bezugselement **190** verschiebt sich in die Vielzahl der Zustände, in denen seine Haltung unterschiedlich ist, und die jedem der Zustände entsprechenden Referenzbilddaten werden erfasst. Dann wird der integrierte Wert (im Folgenden als zeitintegrierter Entscheidungsfehler bezeichnet) des gesamten Fehlers ex und ey , der für die Vielzahl von Markern ep in der Vielzahl von Zuständen des Bezugselements **190** erfasst wurde, unter Verwendung der Referenzmarkierungsinformation, der Kameraparameter und der Vielzahl von Referenzbilddaten erhalten.

[0128] Danach wird entschieden, ob das Verhältnis des zeitintegrierten Entscheidungsfehlers zum integrierten Wert (im Folgenden als Kalibrierzeitintegrierter Fehler bezeichnet) des Fehlers ex und ey , der bei der unmittelbar vorher durchgeführten Kalibrierung berechnet wurde, gleich oder größer als ein als zulässige Bedingung vorgegebenes Verhältnis (beispielsweise 1,5) ist. Diese zulässige Bedingung wird beispielsweise im Hauptkörperspeicher **303** im Voraus gespeichert.

[0129] Wenn dieses Verhältnis gleich oder größer als das zulässige Verhältnis ist, erscheint dementsprechend in der Anzeigeeinheit **310** des Hauptgehäuses als Entscheidungsergebnis die Meldung, dass die Referenzkamera **110** kalibriert werden sollte. Ist dieses Verhältnis dagegen kleiner als das zu-

lässige Verhältnis, erscheint in der Anzeigeeinheit **310** des Hauptteils als Entscheidungsergebnis die Meldung, dass die Referenzkamera **110** nicht kalibriert werden muss.

[0130] Dabei ist zu beachten, dass die Entscheidung über die Kalibrierung nicht auf das obige Beispiel beschränkt ist und durch die Entscheidung erfolgen kann, ob beispielsweise der integrierte Fehler der Entscheidungszeit gleich oder größer als der zulässige Bedingung vorgegebene Schwellenwert ist. In diesem Fall wird entschieden, dass die Referenzkamera **110** kalibriert werden sollte, wenn der integrierte Fehler der Entscheidungszeit gleich oder größer als der vorgegebene Schwellenwert ist. Wenn der zeitintegrierte Fehler der Entscheidungszeit hingegen kleiner als der vorgegebene Schwellenwert ist, wird entschieden, dass die Referenzkamera **110** nicht kalibriert werden muss.

Beispiel für eine Messung

[0131] Die Sonden-Steuereinheit **221** in **Fig. 9** wird von der Benutzerin **U** gedrückt, um die Koordinaten eines Messpunktes zu berechnen. So drückt beispielsweise die Benutzerin **U** die Sonden-Steuereinheit **221** in dem Zustand, in dem das Kontaktteil **211a** mit einem gewünschten Teil des Messziels **S** in Kontakt kommt. In diesem Fall werden die Koordinaten des Teils des Messziels **S**, der mit dem Kontaktteil **211a** in Kontakt steht, als Koordinaten des Messpunktes berechnet. Die berechneten Koordinaten des Messpunktes werden als Messergebnis im Hauptkörperspeicher **303** gespeichert und auf der Sonden-Anzeigeeinheit **231** und der Hauptkörper-Anzeigeeinheit **310** angezeigt.

[0132] In der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** kann die Benutzerin **U** die gewünschten Messbedingungen für das Messziel **S** einstellen, indem sie die Hauptkörperbedieneinheit **320** in **Fig. 2** oder die Touchpanel-Anzeige **230** in **Fig. 8** bedient.

[0133] Insbesondere wählt die Benutzerin **U** das geometrische Element und das Messobjekt des Messziels **S** aus. Das geometrische Element stellt die geometrische Form des Teils des zu messenden Messziels **S** dar. Die geometrische Form ist ein Punkt, eine Gerade, eine Ebene, ein Kreis, ein Zylinder, eine Kugel oder dergleichen. Darüber hinaus stellt die Messgröße die Art einer physikalischen Größe des zu messenden Messziels **S** dar, wie beispielsweise eine Entfernung, ein Winkel oder eine Ebenheit.

[0134] Nach der Auswahl des geometrischen Elements und des Messobjekts weist die Benutzerin **U** einen oder mehrere Messpunkte des ausgewählten geometrischen Elements mit der Sonde **200** an. Dadurch werden Informationen (im Folgenden als Ele-

ment spezifizierende Informationen bezeichnet) erzeugt, die das ausgewählte geometrische Element angeben, das durch einen oder mehrere Messpunkte auf dem Messziel **S** im Gerätekoordinatensystem spezifiziert ist. Danach wird der Wert des für das erzeugte Element ausgewählten Messpunktes unter Angabe von Informationen berechnet.

[0135] Wenn die Benutzerin **U** beispielsweise den Abstand zwischen einer ersten Oberfläche und einer zweiten Oberfläche (des Messziels **S**) messen möchte, die parallel zueinander und einander gegenüberliegend sind, wählt die Benutzerin **U** die geometrischen Elemente „Ebene 1“ und „Ebene 2“. Zusätzlich wählt die Benutzerin **U** einen Messpunkt „Entfernung“ aus.

[0136] Um in diesem Fall die Ebene (erste Oberfläche) auf dem Messziel **S** entsprechend dem geometrischen Element „Ebene 1“ festzulegen, gibt die Benutzerin **U** eine Vielzahl von Punkten (in diesem Beispiel drei oder mehr Punkte) auf der ersten Oberfläche des Messziels **S** als Messpunkte mit dem Messtaster **200** an. Dadurch wird das Element erzeugt, das Informationen entsprechend dem geometrischen Element „Ebene 1“ angibt.

[0137] Um zusätzlich die Ebene (zweite Oberfläche) auf dem Messziel **S** entsprechend dem geometrischen Element „Ebene 2“ festzulegen, gibt die Benutzerin **U** eine Vielzahl von Punkten (in diesem Beispiel drei oder mehr Punkte) auf der zweiten Oberfläche des Messziels **S** als Messpunkte mit dem Messtaster **200** an. Dadurch wird das Element erzeugt, das Informationen entsprechend dem geometrischen Element „Ebene 2“ angibt.

[0138] Danach wird der Abstand zwischen der ersten Oberfläche und der zweiten Oberfläche des Messziels **S**, der einem Messpunkt „Abstand“ entspricht, auf der Grundlage von zwei Elementen berechnet, die Informationen angeben, die jeweils „Ebene 1“ und „Ebene 2“ entsprechen.

[0139] Das berechnete Messergebnis wird im Hauptkörperspeicher **303** gespeichert und in der Sonden-Anzeigeeinheit **231** und der Hauptanzeigeeinheit **310** angezeigt.

Funktionelle Struktur der Hauptkörper-Steuerschaltung 302

[0140] **Fig. 10** ist ein Blockdiagramm, das die funktionelle Struktur der Hauptkörper-Steuerschaltung **302** veranschaulicht. Wie in **Fig. 10** dargestellt, umfasst die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** eine Koordinatenberechnungseinheit **391**, eine Aufnahmeeinheit **392**, eine Messeinheit **393**, eine Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394**, eine Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** und eine Anzeige-Steuer-

einheit **396**. Diese Funktionseinheiten werden dadurch erreicht, dass die CPU der Hauptkörper-Steuerschaltung **302** veranlasst wird, ein Messverarbeitungsprogramm, ein Kalibrierprogramm, ein Kalibrierentscheidungsprogramm und ähnliches, das im Hauptkörperspeicher **303** gespeichert ist, auszuführen. Dabei ist zu beachten, dass ein Teil oder die Gesamtheit der oben beschriebenen Vielzahl von Funktionseinheiten durch Hardware, wie beispielsweise elektronische Schaltungen, erreicht werden kann.

[0141] Die Koordinatenberechnungseinheit **391** erzeugt bei der Messung der Form des Messziels **S** Positions-/Haltungsinformationen, die die Position und die Haltung der beweglichen Kamera **120** in Bezug auf die Referenzkamera **110** auf der Grundlage der Referenzbilddaten und der im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Referenzmarker-Informationen und Kameraparameter angeben. Zusätzlich berechnet die Koordinatenberechnungseinheit **391** die Koordinaten eines Messpunktes auf dem Messziel **S** auf der Grundlage der erzeugten Positions-/Haltungsinformationen und der Messbilddaten.

[0142] Die Annahmeeinheit **392** akzeptiert das geometrische Element und das von der Benutzerin **U** aus der Vielzahl der vorgegebenen geometrischen Elemente und der Vielzahl der vorgegebenen Maßeinheiten ausgewählte Maßelement. Die Messeinheit **393** berechnet den Wert des ausgewählten Messelements bezüglich des ausgewählten geometrischen Elements, das durch den Messpunkt im Messziel **S** spezifiziert ist, basierend auf dem geometrischen Element und dem von der Aufnahmeeinheit **392** akzeptierten Messelement und den Koordinaten des von der Koordinatenberechnungseinheit **391** berechneten Messpunktes. Zusätzlich speichert die Messeinheit **393** den berechneten Wert im Hauptkörperspeicher **303** als Messergebnis ab.

[0143] Bei der Kalibrierung der Referenzkamera **110** dreht die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** das bewegliche Element **40** um wenigstens eine der optischen Achse **110c** und der Drehachse **30c**. Dadurch werden die bewegliche Kamera **120** und das Bezugselement **190** zusammen mit dem beweglichen Element **40** gedreht. Dies bewirkt, dass die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** die Vielzahl von Markern **ep** des Bezugselements **190** über die Referenzkamera **110** in einer Vielzahl von Zuständen erfasst, in denen deren Haltung unterschiedlich ist, während die bewegliche Kamera **120** in der Vielzahl von Zuständen verschoben wird. Darüber hinaus berechnet die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** neue Kameraparameter auf der Grundlage der Vielzahl von Referenzbilddaten und der durch diese Erfassung gewonnenen Referenzmarker-Informationen. Darüber hinaus aktualisiert die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** die im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Kameraparameter vor

der Kalibrierung auf die berechneten neuen Kameraparameter.

[0144] Die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** berechnet die Positionen der projizierten Bilder der Vielzahl von Markern **ep** auf der Lichtempfangsfläche der Referenzkamera **110** auf Grundlage der Referenzmarker-Informationen und der im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Kameraparameter. Darüber hinaus erfasst die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** die tatsächlichen Positionen der projizierten Bilder der Vielzahl von Markern **ep** auf der Lichtempfangsfläche auf der Grundlage der Referenzbilddaten, die durch die Erfassung der Vielzahl von Markern **ep** über die Referenzkamera **110** erhalten wurden. Danach entscheidet die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** über die Notwendigkeit einer Kalibrierung auf der Grundlage der Frage, ob das Verhältnis zwischen den berechneten Positionen der projizierten Bilder und den erfassten tatsächlichen Positionen der projizierten Bilder eine vorbestimmte zulässige Bedingung erfüllt, und gibt ein Entscheidungsergebnis aus. Die Anzeigesteuereinheit **396** zeigt das von der Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** ausgegebene Entscheidungsergebnis in der Hauptanzeigeeinheit **310** an.

Messverarbeitung

[0145] Fig. 11 ist ein Flussdiagramm, das einen Fluss der Messverarbeitung durch die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** in Fig. 2 zeigt. Die Messverarbeitung in Fig. 11 wird in einer vorgegebenen Zeitspanne wiederholt, indem die CPU der Hauptkörper-Steuerschaltung **302** in Fig. 2 veranlasst wird, das im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherte Messverarbeitungsprogramm auszuführen. Außerdem wird zu Beginn der Messverarbeitung der in der Hauptsteuerschaltung **302** enthaltene Timer zurückgesetzt und dann gestartet.

[0146] Zunächst entscheidet die Aufnahmeeinheit **392** der Hauptkörper-Steuerschaltung **302**, ob das geometrische Element und der Messpunkt aufgrund des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins der Bedienung der Hauptkörper-Bedieneinheit **320** in Fig. 2 oder des Touchpanel-Displays **230** in Fig. 8 durch die Benutzerin **U** (Schritt **S11**) ausgewählt wurde.

[0147] Wenn das geometrische Element und der Messpunkt ausgewählt wurden, stellt die Aufnahmeeinheit **392** der Hauptkörper-Steuerschaltung **302** das ausgewählte geometrische Element und den Messpunkt als Messbedingungen ein, indem sie das geometrische Element und den Messpunkt im Hauptkörperspeicher **303** in Fig. 2 speichert (Schritt **S12**). Danach kehrt die Aufnahmeeinheit **392** der Hauptkörper-Steuerschaltung **302** zur Verarbeitung in Schritt **S11** zurück.

[0148] Wenn das geometrische Element und der Messpunkt in Schritt **S11** nicht ausgewählt wurden, entscheidet die Messeinheit **393** der Hauptkörper-Steuerung **302**, ob das geometrische Element und der Messpunkt eingestellt wurden (Schritt **S13**). Wenn das geometrische Element und die Messposition eingestellt sind, entscheidet die Messeinheit **393** der Hauptkörper-Steuerung **302**, ob ein Befehl zum Starten der Messung des Messziels **S** empfangen wurde (Schritt **S14**). Diese Entscheidung wird beispielsweise aufgrund des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins einer Bedienung der Hauptkörper-Bedieneinheit **320** oder der Touchpanel-Anzeige **230** durch die Benutzerin **U** getroffen.

[0149] Wenn der Befehl zum Starten der Messung des Messziels **S** empfangen wurde, führt die Koordinatenberechnungseinheit **391** der Hauptkörper-Steuerung **302** die Verarbeitung der Messpunkt-Koordinatenberechnung durch (Schritt **S15**). Einzelheiten zur Verarbeitung der Messpunkt-Koordinatenberechnung werden später beschrieben. Diese Verarbeitung veranlasst die Koordinatenberechnungseinheit **391** der Hauptkörper-Steuerung **302**, die Koordinaten der Messpunkte zu berechnen, die das ausgewählte geometrische Element auf der Grundlage einer Operation der Sonde **200** durch die Benutzerin **U** angeben.

[0150] Die Koordinatenberechnungseinheit **391** der Hauptkörper-Steuerung **302** speichert im Hauptkörperspeicher **303** die Koordinaten eines oder mehrerer Messpunkte, die von der Messpunkt-Koordinatenberechnungsverarbeitung in Schritt **S15** berechnet wurden (Schritt **S16**).

[0151] Als nächstes entscheidet die Messeinheit **393** der Hauptkörper-Steuerung **302**, ob ein Befehl zur Beendigung der Messung des Messziels **S** empfangen wurde (Schritt **S17**). Diese Entscheidung wird beispielsweise auf der Grundlage des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins der Bedienung der Hauptkörper-Bedieneinheit **320** oder der Touchpanel-Anzeige **230** durch die Benutzerin **U** getroffen.

[0152] Wenn der Befehl zum Beenden der Messung nicht empfangen wurde, kehrt die Koordinatenberechnungseinheit **391** der Hauptkörper-Steuerung **302** zur oben beschriebenen Verarbeitung in Schritt **S15** zurück. Im Gegensatz dazu erzeugt die Messeinheit **393** der Hauptkörper-Steuerung **302**, wenn der Befehl zum Beenden der Messung empfangen wurde, das Element, das die Information für den geometrischen Elementsatz angibt, aus den Koordinaten eines oder mehrerer Messpunkte, die im Hauptkörperspeicher **303** gespeichert sind, in der Verarbeitung im Schritt **S16** unmittelbar zuvor (Schritt **S18**).

[0153] Danach berechnet die Messeinheit **393** der Hauptkörper-Steuerung **302** den Wert des Messpositionssatzes auf der Grundlage des Elements, das die bei der Verarbeitung in Schritt **S18** erzeugten Informationen angibt, und beendet die Messverarbeitung (Schritt **S19**). Wenn in der Entscheidung in Schritt **S13** eine Vielzahl von geometrischen Elementen (beispielsweise zwei Ebenen oder ähnliches) festgelegt wird, wird die oben beschriebene Verarbeitung in den Schritten **S14** bis **S18** für jedes der festgelegten geometrischen Elemente durchgeführt.

[0154] Wenn das geometrische Element und der Messpunkt in Schritt **S13** nicht eingestellt wurden und wenn der Befehl zum Starten der Messung des Messziels **S** in Schritt **S14** nicht empfangen wurde, entscheidet die Messeinheit **393** der Hauptkörper-Steuerung **302** anhand der Messzeit durch den eingebauten Timer, ob eine vorbestimmte Zeit nach dem Start der Messverarbeitung verstrichen ist (Schritt **S20**).

[0155] Wenn die vorgegebene Zeit nicht verstrichen ist, kehrt die Aufnahmeeinheit **392** der Hauptkörper-Steuerung **302** zur Verarbeitung in Schritt **S11** zurück. Im Gegensatz dazu führt die Koordinatenberechnungseinheit **391** der Hauptkörper-Steuerung **302** nach Ablauf der vorgegebenen Zeit die später beschriebene Messpunkt-Koordinatenberechnungsverarbeitung wie bei der Verarbeitung in Schritt **S15** durch (Schritt **S21**). Danach beendet die Koordinatenberechnungseinheit **391** der Hauptkörper-Steuerung **302** die Messverarbeitung.

[0156] Dabei ist zu beachten, dass die Verarbeitung in Schritt **S21** durchgeführt wird, um beispielsweise zu entscheiden, ob die Sonde **200** im bildgebenden Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** oder der Vogelperspektivenkamera **180** in der Tracking-Verarbeitung vorhanden ist, was später beschrieben wird.

[0157] Fig. 12 ist ein Flussdiagramm, das den Ablauf einer Messpunkt-Koordinatenberechnung veranschaulicht. Zuerst weist die Koordinatenberechnungseinheit **391** die Taststeuereinheit **201** der Sonde **200** an, Licht von der Vielzahl von Markern e_q (Fig. 9) zu emittieren, und weist die Kopfsteuerschaltung **150** des Abbildungskopfes **100** an, Licht von der Vielzahl von Markern e_p (Fig. 6B) des Bezugselements **190** zu emittieren (Schritt **S101**).

[0158] Als nächstes erzeugt die Koordinatenberechnungseinheit **391** Referenzbilddaten, indem sie die Kopfsteuerschaltung **150** veranlasst, die Vielzahl von Markern e_p des Bezugselements **190** mit der Referenzkamera **110** zu erfassen (Schritt **S102**). Darüber hinaus berechnet die Koordinatenberechnungseinheit **391** die Positions-/Haltungsinformationen, die die Position und die Haltung der beweglichen Kamera **120** anzeigen, auf der Grundlage der erzeugten

Referenzbilddaten und der Referenzmarker-Informationen und der im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Kameraparameter (Schritt **S103**).

[0159] Als nächstes erzeugt die Koordinatenberechnungseinheit **391** Messbilddaten, indem sie mit der beweglichen Kamera **120** (Schritt **S104**) die Vielzahl der Markierungen *eq* der Sonde **200** erfasst. Zusätzlich berechnet die Koordinatenberechnungseinheit **391** die Koordinaten im Koordinatensystem der beweglichen Kamera des Messpunkts auf dem Messziel **S** auf der Grundlage der erzeugten Messbilddaten (Schritt **S105**).

[0160] Danach führt die Koordinatenberechnungseinheit **391** die Koordinatenumrechnung der im Schritt **S105** berechneten Koordinaten von den Koordinaten im Koordinatensystem der beweglichen Kamera in die Koordinaten im Weltkoordinatensystem auf der Grundlage der berechneten Positions-/Haltungsinformationen durch (Schritt **S106**). Damit wird die Verarbeitung der Messpunkt-Koordinatenberechnung beendet.

[0161] Dabei ist zu beachten, dass die Verarbeitung in den oben beschriebenen Schritten **S102** und **S103** und die Verarbeitung in den Schritten **S104** und **S105** in umgekehrter Reihenfolge erfolgen kann.

[0162] Gemäß der vorstehend beschriebenen Messverarbeitung kann die Benutzerin **U** leicht eine gewünschte physikalische Größe des Messziels **S** messen, indem sie ein gewünschtes geometrisches Element und einen gewünschten Messgegenstand aus der Vielzahl der vorgegebenen geometrischen Elemente und der Vielzahl der vorgegebenen Messgegenstände auswählt.

Nachführungsverarbeitung

[0163] **Fig. 13** ist ein Flussdiagramm, das den Ablauf der Nachführungsverarbeitung durch die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** in **Fig. 2** veranschaulicht. Die Nachführungsverarbeitung in **Fig. 13** wird in einer vorgegebenen Zeitspanne wiederholt, indem die CPU des Hauptkörpersteuerkreises **302** in **Fig. 2** veranlasst wird, das im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherte Verfolgungsverarbeitungsprogramm auszuführen.

[0164] Zunächst entscheidet die Hauptkörper-Steuerschaltung **302**, ob die Sonde **200** im abbildenden Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** vorhanden ist (Schritt **S31**). Diese Entscheidung wird durchgeführt, indem entschieden wird, ob die während der Verarbeitung in Schritt **S15** und Schritt **S21** in der Messverarbeitung erzeugten Messbilddaten die Bilddaten umfassen, die der Vielzahl von Markern *eq*.

[0165] Wenn sich die Sonde **200** im bildgebenden Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** befindet, fährt die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** mit der Verarbeitung in Schritt **S38** fort, die später beschrieben wird. Im Gegensatz dazu, wenn die Sonde **200** nicht im abbildenden Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** vorhanden ist, entscheidet die Hauptkörper-Steuerschaltung **302**, ob sich die Sonde **200** im abbildenden Gesichtsfeld der Vogelperspektivenkamera **180** befindet (Schritt **S32**). Diese Entscheidung wird getroffen, indem entschieden wird, ob die während der Verarbeitung in Schritt **S15** und Schritt **S21** in der vorstehend beschriebenen Messverarbeitung erzeugten Bilddaten aus der Vogelperspektivenkamera die Bilddaten der Vielzahl von Markern *eq* entsprechen.

[0166] Wenn sich die Sonde **200** im bildgebenden Gesichtsfeld der Vogelperspektivenkamera **180** befindet, fährt die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** mit der Verarbeitung in Schritt **S37** fort, die später beschrieben wird. Im Gegensatz dazu, wenn die Sonde **200** nicht im bildgebenden Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** vorhanden ist, entscheidet die Hauptkörper-Steuerschaltung **302**, ob die Koordinatenschätzung der Sonde **200** basierend auf den von der Sonde **200** übertragenen Bewegungsdaten aktiviert wird (Schritt **S33**). Diese Entscheidung wird beispielsweise dadurch getroffen, ob die Bewegungsdaten einen abnormalen Wert anzeigen oder ob der durch die Bewegungsdaten angezeigte Wert Null ist. Wenn die Bewegungsdaten einen abnormalen Wert anzeigen oder wenn die Bewegungsdaten Null sind, wird die Koordinatenschätzung der Sonde **200** aktiviert.

[0167] Wenn die Koordinatenschätzung der Sonde **200** aktiviert ist, schätzt die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** die Position der Sonde **200** basierend auf den Bewegungsdaten. Darüber hinaus weist die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** die Einstellung der Position und der Haltung der beweglichen Kamera **120** so an, dass die Sonde **200** innerhalb des abbildenden Gesichtsfeldes der beweglichen Kamera **120** positioniert ist (Schritt **S34**). Danach kehrt die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** zur Verarbeitung in Schritt **S31** zurück.

[0168] Hier kann die Benutzerin **U** die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** anweisen, nach der Sonde **200** zu suchen, indem sie die Hauptkörper-Bedieneinheit **320** in **Fig. 2** oder die Touchpanel-Anzeige **230** in **Fig. 8** bedient.

[0169] Wenn die Koordinatenschätzung der Sonde **200** in Schritt **S33** deaktiviert ist, entscheidet die Hauptsteuerschaltung **302**, ob ein Befehl zur Suche nach der Sonde **200** empfangen wurde (Schritt **S35**). Wenn der Befehl zur Suche nach der Sonde **200** nicht empfangen wurde, kehrt die Hauptkörper-Steu-

erschaltung **302** zur Verarbeitung in Schritt **S31** zurück. Im Gegensatz dazu, wenn der Befehl zum Suchen nach der Sonde **200** empfangen wurde, weist die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** die Kopfsteuerschaltung **150** an, das Stützelement **30** des Abbildungskopfes **100** zu drehen. Auf diese Weise sucht die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** mit der Vogelperspektivenkamera **180** nach der Sonde **200** (Schritt **S36**).

[0170] Danach, wenn die Sonde **200** innerhalb des bildgebenden Gesichtsfeldes der Vogelperspektivenkamera **180** positioniert ist, berechnet die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** die Position der Sonde **200** basierend auf den Bilddaten der Vogelperspektive. Darüber hinaus weist die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** die Kopfsteuerschaltung **150** an, die Position und die Haltung der beweglichen Kamera **120** so einzustellen, dass die Sonde **200** innerhalb des abbildenden Gesichtsfeldes der beweglichen Kamera **120** positioniert ist (Schritt **S37**).

[0171] Als nächstes, wenn die Sonde **200** innerhalb des abbildenden Gesichtsfeldes der beweglichen Kamera **120** positioniert ist, weist die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** die Kopfsteuerschaltung **150** an, die Position und die Haltung der beweglichen Kamera **120** so einzustellen, dass das Baryzentrum der Vielzahl von Markern eq der Sonde **200** in der Mitte des abbildenden Gesichtsfeldes der beweglichen Kamera **120** positioniert ist (Schritt **S38**). Danach beendet die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** die Tracking-Verarbeitung.

[0172] Gemäß der vorstehend beschriebenen Tracking-Verarbeitung folgt das abbildende Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** auch bei einer Bewegung der Sonde **200** der Vielzahl von Markern eq der Sonde **200**. Daher muss die Benutzerin **U** das bildgebende Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** nicht manuell einstellen. Dementsprechend können die Koordinaten eines gewünschten Messpunktes des Messziels **S** über einen weiten Bereich gemessen werden, ohne dass eine aufwändige Justierung erforderlich ist.

Kalibrierverarbeitung

[0173] **Fig. 14** ist ein Flussdiagramm, das den Ablauf der Kalibrierverarbeitung durch die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** in **Fig. 2** veranschaulicht. Die Kalibrierverarbeitung in **Fig. 14** wird erreicht, wenn die CPU der Hauptkörper-Steuerschaltung **302** in **Fig. 2** das im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherte Kalibrierprogramm ausführt und als Reaktion auf einen Befehl zur Kalibrierverarbeitung gestartet wird, der bereitgestellt wird, wenn die Benutzerin **U** die Hauptkörper-Bedieneinheit **320** in **Fig. 2** bedient.

[0174] Wenn die Kalibrierverarbeitung gestartet wird, liest die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** der Hauptkörper-Steuerschaltung **302** die im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Referenzmarker-Informationen im Voraus aus (Schritt **S41**).

[0175] Als nächstes weist die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** den Abbildungskopf **100** an, die Haltung der beweglichen Kamera **120** so einzustellen, dass die bewegliche Kamera **120** in einen von mehreren vorgegebenen Zuständen eintritt (Schritt **S42**). Dadurch wird die Stellung der beweglichen Kamera **120** so eingestellt, dass die Stellung in einen Zustand eintritt, indem ein Drehantriebskreis **140** veranlasst wird, wenigstens einen der horizontalen Drehmechanismen **141** und einen Kippdrehmechanismus **143** in **Fig. 4** im Abbildungskopf **100** anzutreiben.

[0176] Als nächstes erzeugt die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** Referenzbilddaten, indem sie die Referenzkamera **110** veranlasst, die Vielzahl von Markern ep des Bezugslements **190** zu erfassen und diese Referenzbilddaten im Hauptkörperspeicher **303** zu speichern (Schritt **S43**).

[0177] Als nächstes entscheidet die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394**, ob die bewegliche Kamera **120** nach dem Start der laufenden Kalibrierbearbeitung alle der Vielzahl der vorgegebenen Zustände erreicht hat (Schritt **S44**).

[0178] Wenn die bewegliche Kamera **120** nicht alle der Vielzahl von vorbestimmten Zuständen in Schritt **S44** erreicht hat, weist die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** den Abbildungskopf **100** an, die Haltung der beweglichen Kamera **120** so einzustellen, dass die bewegliche Kamera **120** einen anderen Zustand erreicht, der unter der Vielzahl von vorbestimmten Zuständen nicht erreicht wurde (Schritt **S45**). Dadurch wird die Stellung der beweglichen Kamera **120** in einen anderen Zustand eingestellt, indem der Drehantriebskreis **140** veranlasst wird, wenigstens einen der horizontalen Drehmechanismen **141** und den Kippdrehmechanismus **143** in **Fig. 4** im Abbildungskopf **100** anzutreiben. Danach kehrt die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** zur Verarbeitung in Schritt **S41** zurück.

[0179] Wenn die bewegliche Kamera **120** alle der Vielzahl von vorbestimmten Zuständen in Schritt **S44** erreicht hat, berechnet die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** neue Kameraparameter auf der Grundlage der Vielzahl von Referenzbilddaten und der Referenzmarkierungsinformationen, die im Hauptkörperspeicher **303** bei der Verarbeitung in Schritt **S43** gespeichert sind (Schritt **S46**).

[0180] Danach aktualisiert die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** die im Hauptkörperspeicher **303**

gespeicherten Kameraparameter auf die berechneten neuen Kameraparameter (Schritt **S47**). Damit wird die Kalibrierbearbeitung beendet.

[0181] In dem oben beschriebenen Beispiel wird die Kalibrierbearbeitung als Reaktion auf eine Startanweisung für die Kalibrierbearbeitung gestartet, die erteilt wird, wenn die Benutzerin **U** die Hauptkörper-Bedieneinheit **320** bedient. Die Kalibrierverarbeitung ist nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann beispielsweise als Reaktion auf das Einschalten der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** automatisch gestartet werden. Alternativ kann die Kalibrierverarbeitung automatisch gestartet werden, wenn beispielsweise ein Temperaturdetektor die Temperatur um die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung **1** herum überwacht und die erfasste Temperatur außerhalb eines vorbestimmten Temperaturbereichs liegt. Alternativ kann die Kalibrierverarbeitung jedes Mal automatisch durchgeführt werden, wenn die Betriebszeit der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** eine vorbestimmte Zeit verstreicht.

Verarbeitung von Kalibrierungsentscheidungen

[0182] Fig. 15 ist ein Flussdiagramm, das einen Fluss der Kalibrier-Entscheidungsverarbeitung durch die Hauptkörper-Steuerschaltung **302** in Fig. 2 veranschaulicht. Die Verarbeitung der Kalibrierungsentscheidung in Fig. 15 wird dadurch erreicht, dass die CPU der Hauptkörper-Steuerschaltung **302** in Fig. 2 veranlasst wird, das im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherte Kalibrierungsentscheidungsprogramm auszuführen, und als Reaktion auf eine Operation der Hauptkörper-Operationseinheit **320** in Fig. 2 durch die Benutzerin **U** gestartet wird. Es wird angenommen, dass der Hauptkörperspeicher **303** den integrierten Fehler der Kalibrierzeit und den zulässigen Zustand im Voraus im Anfangszustand speichert.

[0183] Wenn die Verarbeitung der Kalibrierungsentscheidung gestartet wird, liest die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** der Hauptkörper-Steuerschaltung **302** die Referenzmarker-Information, die Kameraparameter, den integrierten Fehler der Kalibrierzeit und den zulässigen Zustand, der im Hauptkörperspeicher **303** gespeichert ist, im Voraus aus (Schritt **S51**).

[0184] Als nächstes weist die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** den Abbildungskopf **100** an, die Haltung der beweglichen Kamera **120** so einzustellen, dass die bewegliche Kamera **120** in einen von mehreren vorgegebenen Zuständen eintritt (Schritt **S52**). Zusätzlich erzeugt die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** Referenzbilddaten, indem sie den Kopf-Steuerkreis **150** veranlasst, die Vielzahl von Markern **ep** des Bezugslements **190** unter Verwendung der Referenzkamera **110** zu erfassen und

die Referenzbilddaten im Hauptkörperspeicher **303** zu speichern (Schritt **S53**).

[0185] Als nächstes entscheidet die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395**, ob die bewegliche Kamera **120** nach dem Start der laufenden Kalibrierbearbeitung alle der Vielzahl der vorgegebenen Zustände erreicht hat (Schritt **S54**).

[0186] Wenn die bewegliche Kamera **120** nicht alle der Vielzahl von vorbestimmten Zuständen in Schritt **S54** erreicht hat, weist die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** den Abbildungskopf **100** an, die Haltung der beweglichen Kamera **120** so einzustellen, dass die bewegliche Kamera **120** einen anderen Zustand erreicht, der unter der Vielzahl von vorbestimmten Zuständen nicht erreicht wurde (Schritt **S55**). Danach kehrt die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** zur Verarbeitung in Schritt **S51** zurück.

[0187] Wenn die bewegliche Kamera **120** alle der Vielzahl von vorbestimmten Zuständen in Schritt **S54** erreicht hat, berechnet die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** den Entscheidungszeit-integrierten Fehler auf der Grundlage der Vielzahl von Referenzbilddaten, der Referenzmarker-Informationen und der im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Kameraparameter bei der Verarbeitung in Schritt **S53** (Schritt **S56**).

[0188] Danach entscheidet die Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** über die Notwendigkeit einer Kalibrierung auf Grundlage des berechneten zeitintegrierten Entscheidungsfehlers, des integrierten Fehlers der Lesekalibrierungszeit und des zulässigen Lesezustands und gibt das Entscheidungsergebnis aus (Schritt **S57**). Damit wird die Verarbeitung der Kalibrierungsentscheidung beendet.

[0189] In dem oben beschriebenen Beispiel wird die Verarbeitung der Kalibrierungsentscheidung als Reaktion auf eine Startanweisung für die Verarbeitung der Kalibrierungsentscheidung gestartet, die erteilt wird, wenn die Benutzerin **U** die Hauptkörper-Bedieneinheit **320** bedient. Die Kalibrier-Entscheidungsverarbeitung ist nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann beispielsweise als Reaktion auf das Einschalten der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** automatisch gestartet werden. Alternativ kann die Verarbeitung der Kalibrierungsentscheidung automatisch gestartet werden, wenn beispielsweise ein Temperaturdetektor die Temperatur um die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung **1** herum überwacht und die erfasste Temperatur außerhalb eines vorbestimmten Temperaturbereichs liegt. Alternativ kann die Kalibrier-Entscheidungsverarbeitung jedes Mal automatisch durchgeführt werden, wenn die Betriebszeit der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** eine vorbestimmte Zeit verstreicht.

[0190] Das von der Kalibrierungs-Entscheidungseinheit **395** ausgegebene Entscheidungsergebnis wird in der Hauptanzeigeeinheit **310** in **Fig. 2** durch die Anzeigesteuereinheit **396** der Hauptkörper-Steuerung **302** angezeigt. **Fig. 16** zeigt ein Beispiel für die Anzeige des Entscheidungsergebnisses durch die Kalibrierungsentscheidungsfunktion.

[0191] Wenn entschieden wird, dass die Referenzkamera **110** als Ergebnis der Kalibrierungsentscheidung kalibriert werden soll, wie durch eine dicke gepunktete Linie in **Fig. 16A** dargestellt, wird auf dem Bildschirm der Hauptanzeigeeinheit **310** eine Meldung angezeigt, die die Benutzerin **U** zu einem Kalibrierungsvorgang auffordert. Wenn dagegen entschieden wird, dass die Referenzkamera **110** aufgrund der Kalibrierungsentscheidung nicht kalibriert werden muss, wie durch eine dicke gepunktete Linie in **Fig. 16B** dargestellt, wird auf dem Bildschirm der Hauptanzeigeeinheit **310** eine Meldung angezeigt, die besagt, dass die Benutzerin **U** keinen Kalibrierungsvorgang durchführen muss. Dadurch kann die Benutzerin **U** die Notwendigkeit der Kalibrierung der Referenzkamera **110** leicht nachvollziehen.

Verwendungsbeispiel für die Sonden-Kamera 208

[0192] Ein Bild des Messziels **S** kann in der Hauptanzeigeeinheit **310** in **Fig. 2** angezeigt werden, indem das Messziel **S** mit der Sonden-Kamera **208** in **Fig. 8** erfasst wird. Ein von der Sonden-Kamera **208** aufgenommenes Bild wird im Folgenden als aufgenommenes Bild bezeichnet.

[0193] Die Positionsbeziehung zwischen der Vielzahl von Markern ep der Sonde **200** und der Sonden-Kamera **208** und den Eigenschaften (Blickwinkel, Verzerrung und dergleichen) der Sonden-Kamera **208** werden im Voraus als Abbildungsinformationen beispielsweise im Hauptkörperspeicher **303** in **Fig. 2** gespeichert. Wenn also die Vielzahl von Markern ep innerhalb des abbildenden Gesichtsfeldes der beweglichen Kamera **120** vorhanden ist, wird der von der Sonden-Kamera **208** erfasste Bereich von der Hauptkörper-Steuerung **302** in **Fig. 2** erkannt. Das heißt, der dem aufgenommenen Bild entsprechende dreidimensionale Raum wird von der Hauptkörper-Steuerung **302** erkannt. In diesem Fall ist es möglich, das geometrische Element und das zum Zeitpunkt der Messung des Messziels **S** eingestellte Messobjekt zu überlagern und das aufgenommene Bild auf der Hauptanzeige **310** anzuzeigen.

[0194] Dabei ist zu beachten, dass das aufgenommene Bild auf der Touchpanel-Anzeige **230** der Sonde **200** angezeigt werden kann. So zeigt beispielsweise die Touch-Panel-Anzeige **230** ein aufgenommenes Bild an, das durch Erfassen eines Teils eines bestimmten Messziels **S** erhalten wurde, das mit

der Sonden-Kamera **208** im Voraus gemessen werden soll. In diesem Fall kann die Benutzerin **U** den zu messenden Abschnitt eines anderen Messziels **S** leicht identifizieren, indem sie die Sonde **200** bedient und dabei das aufgenommene Bild visuell erkennt.

Wirkungen

[0195] In der oben beschriebenen dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** wird bei der Messung der Form des Messziels **S** das Messziel **S** von der beweglichen Kamera **120** erfasst und Messbilddaten erzeugt. Zusätzlich wird die Vielzahl der Markierungen ep des Bezugselements **190**, die integral mit der beweglichen Kamera **120** vorgesehen sind, von der Referenzkamera **110** erfasst und es werden Referenzbilddaten erzeugt. Danach werden die Positions-/Haltungsinformationen auf der Grundlage der Referenzbilddaten, der Referenzmarker-Informationen und der Kameraparameter berechnet, und die Koordinaten im Weltkoordinatensystem des Messpunkts werden auf der Grundlage der berechneten Positions-/Haltungsinformationen und der Messbilddaten berechnet.

[0196] Wenn die Referenzkamera **110** kalibriert wird, verschiebt sich die bewegliche Kamera **120** in eine Vielzahl von Zuständen, in denen ihre Position und Haltung unterschiedlich ist. Die Vielzahl von Markern ep des Bezugselements **190** wird von der Referenzkamera **110** in jedem der Vielzahl von Zuständen erfasst. Neue Kameraparameter werden auf der Grundlage der Vielzahl von Referenzbilddaten und der wie oben beschrieben erhaltenen Referenzmarker-Informationen berechnet, und die im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Kameraparameter werden auf die neuen Kameraparameter aktualisiert. Dementsprechend werden die im Hauptkörperspeicher **303** gespeicherten Kameraparameter ohne komplizierte Kalibrierarbeiten durch die Benutzerin **U**, wie beispielsweise die Vorbereitung von Kalibrierwerkzeugen, auf die entsprechenden Kameraparameter aktualisiert.

[0197] Dadurch kann eine sehr zuverlässige Formmessung mit hoher Genauigkeit ohne komplizierte Kalibrierarbeiten durchgeführt werden.

Andere Ausführungsformen

[0198] (1) Obwohl jeder der Vielzahl von Markern ep des Bezugselements **190** in der oben beschriebenen Ausführung eine planare Kreisform aufweist, ist die Erfindung nicht auf dieses Beispiel beschränkt. Im Bezugselement **190** müssen die Position und die Haltung der beweglichen Kamera **120** nur auf der Grundlage der durch die Aufnahme mit der Bezugskamera **110** gewonnenen Bilddaten berechnet werden.

[0199] Die Form jedes der Marker ep ist nicht auf eine planare kreisförmige Form beschränkt und kann

eine planare polygonale Form, eine planare elliptische Form, eine planare Sternform oder eine sphärische Form sein. Alternativ kann das Bezugselement **190** beispielsweise mit einer Vielzahl von linearen Markern versehen sein, die in einem Gitter gebildet sind, mit ringförmigen Markern oder mit codierten Markern versehen sein.

[0200] (2) In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform weist jede der Vielzahl von Markern **ep** des Bezugselements **190** eine Selbstemissionsstruktur auf, in der die Vielzahl von lichtemittierenden Elementen **L** Licht durch Lichtemission freisetzt, wobei die vorliegende Erfindung nicht auf dieses Beispiel beschränkt ist. Jeder der Marker **ep** kann eine retroreflektierende Struktur aufweisen. In diesem Fall, wenn die Referenzkamera **110** die Vielzahl von Markern **ep** erfasst, müssen die Marker **ep** mit Licht bestrahlt werden.

[0201] (3) In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform wird die bewegliche Kamera **120** mit einem zyklischen Auge als bewegliche Abbildungseinheit zur Aufnahme der Sonde **200** verwendet, wobei die Erfindung nicht auf dieses Beispiel beschränkt ist. Eine Verbund-Augenkamera kann als bewegliche Abbildungseinheit verwendet werden.

[0202] (4) In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform wird die Referenzkamera **110** mit einem zyklischen Auge als Referenzbildeinheit zum Erfassen der Vielzahl von Markern **ep** des Bezugselements **190** verwendet, wobei die Erfindung nicht auf dieses Beispiel beschränkt ist. Eine Verbund-Augenkamera kann als Referenzbildeinheit verwendet werden.

[0203] (5) In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform ist die Referenzkamera **110** so vorgesehen, dass ihre optische Achse **110c** orthogonal zur Oberseite des Befestigungsabschnitts **11** des Referenzständers **10** verläuft, aber die Erfindung ist nicht auf dieses Beispiel beschränkt. Die Referenzkamera **110** kann so vorgesehen sein, dass ihre optische Achse **110c** in Bezug auf die Oberseite des Befestigungsabschnitts **11** des Referenzständers **10** geneigt ist.

[0204] (6) In der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** nach der oben beschriebenen Ausführungsform ist die bewegliche Kamera **120** so konfiguriert, dass ihr abbildendes Gesichtsfeld durch den Kippdrehmechanismus **143** vertikal bewegt werden kann, aber die vorliegende Erfindung ist nicht auf dieses Beispiel beschränkt. Der Kippdrehmechanismus **143** braucht nicht vorgesehen zu werden. In diesem Fall dreht sich das abbildende Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** nur in horizontaler Richtung um die optische Achse **110c** der Referenzkamera **110**.

[0205] (7) In der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** nach der oben beschriebenen Ausführungsform kann das abbildende Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** durch den horizontalen Drehmechanismus **141** horizontal um die optische Achse **110c** der Referenzkamera **110** gedreht werden, aber die Erfindung ist nicht auf dieses Beispiel beschränkt. Der horizontale Drehmechanismus **141** muss nicht vorgesehen werden. In diesem Fall bewegt sich das abbildende Gesichtsfeld der beweglichen Kamera **120** nur vertikal.

[0206] (8) Die bewegliche Kamera **120** kann innerhalb der horizontalen Ebene über der Referenzkamera **110** beweglich angebracht werden.

[0207] (9) In der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** nach der oben beschriebenen Ausführung ist die bewegliche Kamera **120** an dem beweglichen Element **40** befestigt, so dass dessen Haltung gegenüber dem Referenzständer **10** und der Referenzkamera **110** verändert werden kann, aber die Erfindung ist nicht auf dieses Beispiel beschränkt. Die bewegliche Kamera **120** kann so vorgesehen werden, dass die Position und die Haltung an der Referenzkamera **110** befestigt werden kann. Im Folgenden wird ein Beispiel für die Struktur beschrieben, bei der die bewegliche Kamera **120** so vorgesehen ist, dass die Position und die Haltung an der Referenzkamera **110** fixiert ist.

[0208] **Fig. 17** zeigt ein Beispiel für den Aufbau einer dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung nach einer anderen Ausführungsform. **Fig. 17** zeigt den Aufbau der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung, aus der die Verarbeitungsvorrichtung **300**, die Hauptkörper-Anzeigeeinheit **310** und die Hauptkörper-Bedieneinheit **320** in **Fig. 1** entfernt wurden.

[0209] In der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung in **Fig. 17** sind die Referenzkamera **110**, ein Standelement **620** und eine Bühnenstützvorrichtung **630** auf einem ebenen Basiselement **610** vorgesehen. Das Standelement **620** ist an einem Teil der Oberseite des Basisteils **610** befestigt, so dass es sich nach oben erstreckt. Die bewegliche Kamera **120** ist am oberen Endteil des Standelements **620** befestigt, so dass das abbildende Gesichtsfeld schräg nach unten gerichtet ist.

[0210] Die Bühnenstützvorrichtung **630** ist am Basiselement **610** befestigt und trägt eine Rotationstransferbühne **640**, auf der das Messziel **S** platziert wird, so dass die Rotationstransferbühne **640** sich horizontal bewegen, in der horizontalen Ebene drehen, sich gegenüber der horizontalen Ebene neigen und vertikal bewegen kann. Zusätzlich kann die Bühnenstützvorrichtung **630** die Position und die Haltung der Ro-

tationstransferbühne **640** als Reaktion auf eine Anweisung der Verarbeitungsvorrichtung **300** ändern.

[0211] Die Rotationstransferbühne **640** ist so gelagert, dass sich der Raum über der Rotationstransferbühne **640** innerhalb des abbildenden Gesichtsfeldes der beweglichen Kamera **120** befindet. Dadurch kann die bewegliche Kamera **120** das Messziel **S** in dem Zustand erfassen, in dem sich das Messziel **S** auf der Rotationstransferbühne **640** befindet.

[0212] Die untere Fläche der Rotationstransferbühne **640** ist mit dem Bezugselement **190** entsprechend der oben beschriebenen Ausführung versehen. Die Referenzkamera **110** ist so an dem Basiselement **610** befestigt, dass das abbildende Gesichtsfeld nach oben zeigt und die Vielzahl von Markern ep des Bezugselements **190** innerhalb des abbildenden Gesichtsfeldes der Referenzkamera **110** liegt.

[0213] In der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** mit der oben beschriebenen Struktur wird der Messpunkt auf dem Messziel **S** durch die Sonde **200** in dem Zustand angewiesen, in dem das Messziel **S** auf der Rotationstransferbühne **640** platziert ist. In diesem Fall können die Koordinaten im Koordinatensystem der beweglichen Kamera des angewiesenen Messpunktes berechnet werden, indem die bewegliche Kamera **120** veranlasst wird, die Vielzahl von Markern eq der Sonde **200** zu erfassen.

[0214] Informationen (Positions-/Haltungsinformationen), die die Position und die Haltung der Rotationstransferbühne **640** in Bezug auf die bewegliche Kamera **120** und die Referenzkamera **110** angeben, können auf der Grundlage von Referenzbilddaten berechnet werden, die durch die Erfassung des Bezugselements **190** durch die Referenzkamera **110** gewonnen wurden. Dementsprechend können bei einer Änderung der Position und der Haltung der Rotationstransferbühne **640** die Koordinaten des Messpunktes im Koordinatensystem relativ zur Rotationstransferbühne **640** auf der Grundlage der Koordinaten des Messpunktes im Koordinatensystem der beweglichen Kamera und der nach dieser Änderung berechneten Positions-/Haltungsinformationen berechnet werden. Dadurch kann die gesamte Form des Messziels **S** erfasst werden, während die Position und die Haltung des Messziels **S** in Bezug auf die bewegliche Kamera **120** geändert wird.

[0215] (10) Obwohl die Koordinaten des Messpunktes auf dem Messziel **S** auf der Grundlage von Messbilddaten berechnet werden, die dadurch gewonnen werden, dass die bewegliche Kamera **120** die Sonde **200** in der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung **1** entsprechend der oben beschriebenen Ausführungsform erfasst, ist die Erfindung nicht auf dieses Beispiel beschränkt.

[0216] Die Koordinaten des Messpunktes auf dem Messziel **S** können durch einen anderen Positionserfassungsabschnitt anstelle der oben beschriebenen beweglichen Kamera **120** und der Sonde **200** berechnet werden.

[0217] Fig. 18 zeigt ein weiteres Beispiel für den Aufbau der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung entsprechend der anderen Ausführungsform. Fig. 18 zeigt den Aufbau der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung, aus der die Verarbeitungsvorrichtung **300**, die Hauptkörper-Anzeigeeinheit **310** und die Hauptkörper-Bedieneinheit **320** in Fig. 1, wie im Beispiel in Fig. 17, entfernt wurden.

[0218] Wie in Fig. 18 dargestellt, unterscheidet sich die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung in diesem Beispiel von der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung in Fig. 17 dadurch, dass anstelle der beweglichen Kamera **120** und des Tasters **200** eine Messpunkt-Koordinatenerfassungsvorrichtung **650** vorgesehen ist.

[0219] Es wird angenommen, dass in diesem Beispiel ein dreidimensionales Koordinatensystem (im Folgenden als Unterkoordinatensystem bezeichnet) mit einer vorgegebenen Beziehung in Bezug auf die Messpunkt-Koordinatenerfassungsvorrichtung **650** definiert ist.

[0220] Die Messpunkt-Koordinatenerfassungsvorrichtung **650** ist oberhalb der Rotationstransferbühne **640** durch das Standelement **620** vorgesehen, um die Koordinaten im Unterkoordinatensystem des Messpunktes auf dem Messziel **S** berechnen zu können. In diesem Fall kann die Messpunkt-Koordinatenerfassungsvorrichtung **650** beispielsweise eine Tiefensonde für ein Rastersondenmikroskop und ein dreidimensionales Rastelement zum Abtasten der Tiefensonde oder einen optischen Messtaster zur Formmessung und ein dreidimensionales Rastelement zum Abtasten der optischen Sonde enthalten.

[0221] In der dreidimensionalen Koordinatenmessvorrichtung mit der oben beschriebenen Struktur werden die Koordinaten im Unterkoordinatensystem des Messpunktes auf dem Messziel **S** mit Hilfe der Messpunkt-Koordinatenerfassungsvorrichtung **650** in dem Zustand berechnet, in dem das Messziel **S** auf der Rotationstransferbühne **640** platziert ist. Zusätzlich werden die Positions-/Haltungsinformationen der Rotationstransferbühne **640** berechnet, indem die Referenzkamera **110** veranlasst wird, das Bezugselement **190** zu erfassen. Dementsprechend können bei einer Änderung der Position und der Haltung der Rotationstransferbühne **640** die Koordinaten des Messpunktes im Koordinatensystem relativ zur Rotationstransferbühne **640** auf der Grundlage der Koordinaten im Unterkoordinatensystem des Messpunktes und der nach dieser Änderung berechneten Positi-

ons-/Haltungsinformationen berechnet werden. Dadurch kann die gesamte Form des Messziels **S** erfasst werden, während die Position und die Haltung des Messziels **S** in Bezug auf die Messpunkt-Koordinatenerfassungsvorrichtung **650** geändert wird.

Korrespondenz zwischen Komponenten in Ansprüchen und Einheiten in der Ausführungsform

[0222] Im Folgenden wird ein Beispiel für die Übereinstimmung zwischen den Komponenten in den Ansprüchen und den Einheiten in der Ausführungsform beschrieben, aber die Erfindung ist nicht auf das folgende Beispiel beschränkt.

[0223] In der oben beschriebenen Ausführung sind die bewegliche Kamera **120** und die Messpunkt-Koordinatenerfassungsvorrichtung **650** Beispiele für die MesspunktInformationserfassungseinheit, das bewegliche Element **40** und das Bezugselement **190** Beispiele für das motorisierte Rotationselement, die Vielzahl von Markern ep des Bezugselements **190** ist ein Beispiel für die Vielzahl von Referenzmarkern, die Referenzkamera **110** ist ein Beispiel für die Referenzabbildungseinheit und der Abbildungsparameter ist ein Beispiel für den Kameraparameter.

[0224] Darüber hinaus ist der Hauptkörperspeicher **303** ein Beispiel für die Speichereinheit, die Koordinatenberechnungseinheit **391** ein Beispiel für die Koordinatenberechnungseinheit, die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit **394** ein Beispiel für die Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit, die kalibrierbestimmende Einheit **395** ein Beispiel für die kalibrierbestimmende Einheit und die Hauptanzeigeeinheit **310** ein Beispiel für die Präsentationseinheit.

[0225] Darüber hinaus ist die Sonde **200** ein Beispiel für die Sonde, die Vielzahl von Markern eq der Sonde **200** ist ein Beispiel für die Vielzahl von Messmarkern, die optische Achse $110c$ der Referenzkamera **110** oder die Drehachse **30c** des beweglichen Elements **40** ist ein Beispiel für die erste Drehachse und die Drehachse **30c** des beweglichen Elements **40** ist ein Beispiel für die zweite Drehachse.

[0226] Als Komponenten in den Ansprüchen können auch andere verschiedene Komponenten mit den in den Ansprüchen beschriebenen Strukturen oder Funktionen verwendet werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2000266524 A [0003]

Patentansprüche

1. Dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung zum Messen von Koordinaten eines Messpunktes, wobei die dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung umfasst:

eine Referenzbasis;

eine motorisierte Drehbühne, die in Bezug auf die Referenzbasis drehbar gelagert ist, wobei die motorisierte Drehbühne um eine erste Drehachse drehbar ist;

eine Vielzahl von Referenzmarkern, die auf der motorisierten Drehbühne vorgesehen sind;

eine Referenzkamera, die an der Referenzbasis befestigt ist, wobei die Referenzkamera ein Bild der Vielzahl von Referenzmarkern aufnimmt;

einen Speicher, der Informationen über die Anordnung der Vielzahl von Referenzmarkern als Referenzmarker-Information speichert und einen Abbildungsparameter der Referenzkamera speichert;

eine Koordinatenberechnungseinheit, die Positions-/Haltungsinformationen berechnet, die eine Position und eine Haltung der motorisierten Drehbühne in Bezug auf die Referenzkamera auf der Grundlage des Bildes der Vielzahl von Referenzmarkern, die von der Referenzkamera erfasst wurden, und der Referenzmarker-Informationen und des im Speicher gespeicherten Bildparameters angeben, und die Koordinaten eines Messpunktes auf der Grundlage der Positions-/Haltungsinformationen berechnet; und

eine Kalibrierungs-Aktualisierungseinheit, die einen neuen Abbildungsparameter auf der Grundlage einer Vielzahl von Referenzbildern berechnet, die jeweils das von der Referenzkamera aufgenommene Bild der Vielzahl von Referenzmarkern und die in dem Speicher gespeicherte Referenzmarker-Information enthalten, wobei jedes der Vielzahl von Referenzbildern in jeweils unterschiedlichen Positionen der motorisierten Drehbühne durch Drehen der motorisierten Drehbühne um die erste Drehachse aufgenommen wird, und die den in dem Speicher gespeicherten Abbildungsparameter auf den neuen Abbildungsparameter aktualisiert.

2. Dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung nach Anspruch 1, die des Weiteren umfasst:

eine Kalibrierungs-Entscheidungseinheit, die erste Positionen von projizierten Bildern der Vielzahl von Referenzmarkern auf einer Lichtempfangsfläche der Referenzkamera auf der Grundlage der Referenzmarker-Informationen und der im Speicher gespeicherten Bildparameter berechnet und die tatsächlichen Positionen auf der Lichtempfangsfläche erfasst, der projizierten Bilder der Vielzahl von Referenzmarkern auf der Grundlage der Vielzahl von Referenzbildern, die in jeweils unterschiedlichen Positionen der motorisierten Drehbühne aufgenommen wurden, führt eine Entscheidung in Verbindung mit einer Kalibrierung der Referenzkamera auf der Grundlage einer Beziehung zwischen den ersten Positionen der

projizierten Bilder und den tatsächlichen Positionen der projizierten Bilder und einem vorgegebenen Kriterium durch und gibt ein Ergebnis der Entscheidung aus.

3. Dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung nach Anspruch 2, die des Weiteren umfasst:

eine Präsentationseinheit, die einer Benutzerin das Ergebnis der Entscheidungsausgabe der kalibrierenden Entscheidungseinheit präsentiert.

4. Dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, die des Weiteren umfasst:

eine Sonde, die eine Vielzahl von Messmarker aufweist und den Messpunkt auf dem Messziel bezeichnet; und

eine bewegliche Kamera, die an der motorisierten Drehbühne befestigt ist und so konfiguriert ist, dass sie ein Bild der Vielzahl von Messmarkern der Sonde erfasst;

wobei die Koordinatenberechnungseinheit die Koordinaten des von der Sonde bezeichneten Messpunktes auf der Grundlage der Positions-/Haltungsinformationen und der Messpunktinformationen berechnet, die das Bild der Vielzahl der von der beweglichen Kamera erfassten Messmarkern anzeigen.

5. Dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die erste Drehachse vertikal oder horizontal verläuft.

6. Dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

wobei die motorisierte Drehbühne auch um eine zweite Drehachse drehbar ist, wobei die erste Drehachse vertikal verläuft, und

wobei die zweite Drehachse horizontal verläuft.

7. Dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die motorisierte Drehbühne innerhalb einer vorgegebenen Ebene beweglich ist.

8. Dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, umfassend:

eine Einheit zur Erfassung von Messpunktinformationen, die als Messpunktinformation Informationen über eine Position des Messpunktes auf dem Messziel erfasst,

wobei das Messziel auf dem motorisierten Rotations-tisch platziert werden kann, und

wobei die Koordinatenberechnungseinheit die Koordinaten des Messpunktes auf der Grundlage der Positions-/Haltungsinformationen und der von der Messpunktinformationserfassungseinheit erfassten Messpunktinformationen berechnet.

9. Kalibrierverfahren für eine dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung, umfassend eine Referenzbasis;
 eine motorisierte Drehbühne, die in Bezug auf die Referenzbasis drehbar gelagert ist, wobei die motorisierte Drehbühne um eine erste Drehachse drehbar ist;
 eine Vielzahl von Referenzmarkern, die auf der motorisierten Drehbühne vorgesehen sind;
 eine Referenzkamera, die an der Referenzbasis befestigt ist, wobei die Referenzkamera ein Bild der Vielzahl von Referenzmarkern aufnimmt, wobei das Kalibrierungsverfahren umfasst:
 Speichern von Informationen über die Anordnung der Vielzahl von Referenzmarkern als Referenzmarker-Information;
 Speichern eines Abbildungsparameters der Referenzkamera;
 Berechnen von Positions-/Haltungsinformationen, die eine Position und eine Haltung der motorisierten Drehbühne in Bezug auf die Referenzkamera angeben, auf der Grundlage des Bildes der von der Referenzkamera erfassten Vielzahl von Referenzmarkern und der Referenzmarker-Informationen und des Abbildungsparameters;
 Berechnen der Koordinaten eines Messpunkts auf der Grundlage der Positions-/Haltungsinformationen;
 Drehen der motorisierten Drehbühne um die erste Drehachse, um die Haltung der motorisierten Drehbühne zu ändern;
 Aufnehmen jedes einzelnen von einer Vielzahl von Referenzbildern durch die Referenzkamera in jeweils unterschiedlichen Positionen der motorisierten Drehbühne;
 Berechnen eines neuen Abbildungsparameters auf der Grundlage der Vielzahl von Referenzbildern, die jeweils das von der Referenzkamera aufgenommene Bild der Vielzahl von Referenzmarkern und die Referenzmarker-Information enthalten;
 Aktualisieren des Abbildungsparameters auf den neuen Abbildungsparameter.

10. Verfahren zur Benachrichtigung in Verbindung mit Kalibrierung für eine dreidimensionale Koordinatenmessvorrichtung, umfassend eine Referenzbasis;
 eine motorisierte Drehbühne, die in Bezug auf die Referenzbasis drehbar gelagert ist, wobei die motorisierte Drehbühne um eine erste Drehachse drehbar ist;
 eine Vielzahl von Referenzmarkern, die auf der motorisierten Drehbühne vorgesehen sind;
 eine Referenzkamera, die an der Referenzbasis befestigt ist, wobei die Referenzkamera ein Bild der Vielzahl von Referenzmarkern aufnimmt, wobei das Verfahren umfasst:
 Speichern von Informationen über die Anordnung der Vielzahl von Referenzmarkern als Referenzmarker-Information;

Speichern eines Abbildungsparameters der Referenzkamera;
 Berechnen von Positions-/Haltungsinformationen, die eine Position und eine Haltung der motorisierten Drehbühne in Bezug auf die Referenzkamera angeben, auf der Grundlage des Bildes der von der Referenzkamera erfassten Vielzahl von Referenzmarkern und der Referenzmarker-Informationen und des Abbildungsparameters;
 Berechnen der Koordinaten eines Messpunkts auf der Grundlage der Positions-/Haltungsinformationen;
 Drehen der motorisierten Drehbühne um die erste Drehachse, um die Haltung der motorisierten Drehbühne zu ändern;
 Berechnen erster Positionen auf einer Lichtempfangsfläche der Referenzkamera von projizierten Bildern der Vielzahl von Referenzmarkern auf der Grundlage der Referenzmarker-Information und der Abbildungsparameter;
 Erfassen der tatsächlichen Positionen der projizierten Bilder der Vielzahl von Referenzmarkern auf der Lichtempfangsfläche auf der Grundlage der Vielzahl von Referenzbildern, die von der Referenzkamera in jeweils unterschiedlichen Positionen der motorisierten Drehbühne aufgenommen wurden;
 Durchführen einer Entscheidung in Verbindung mit einer Kalibrierung der Referenzkamera auf der Grundlage einer Beziehung zwischen den ersten Positionen der projizierten Bilder und den tatsächlichen Positionen der projizierten Bilder und einem vorgegebenen Kriterium; und
 Ausgeben eines Entscheidungsergebnisses.

Es folgen 17 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

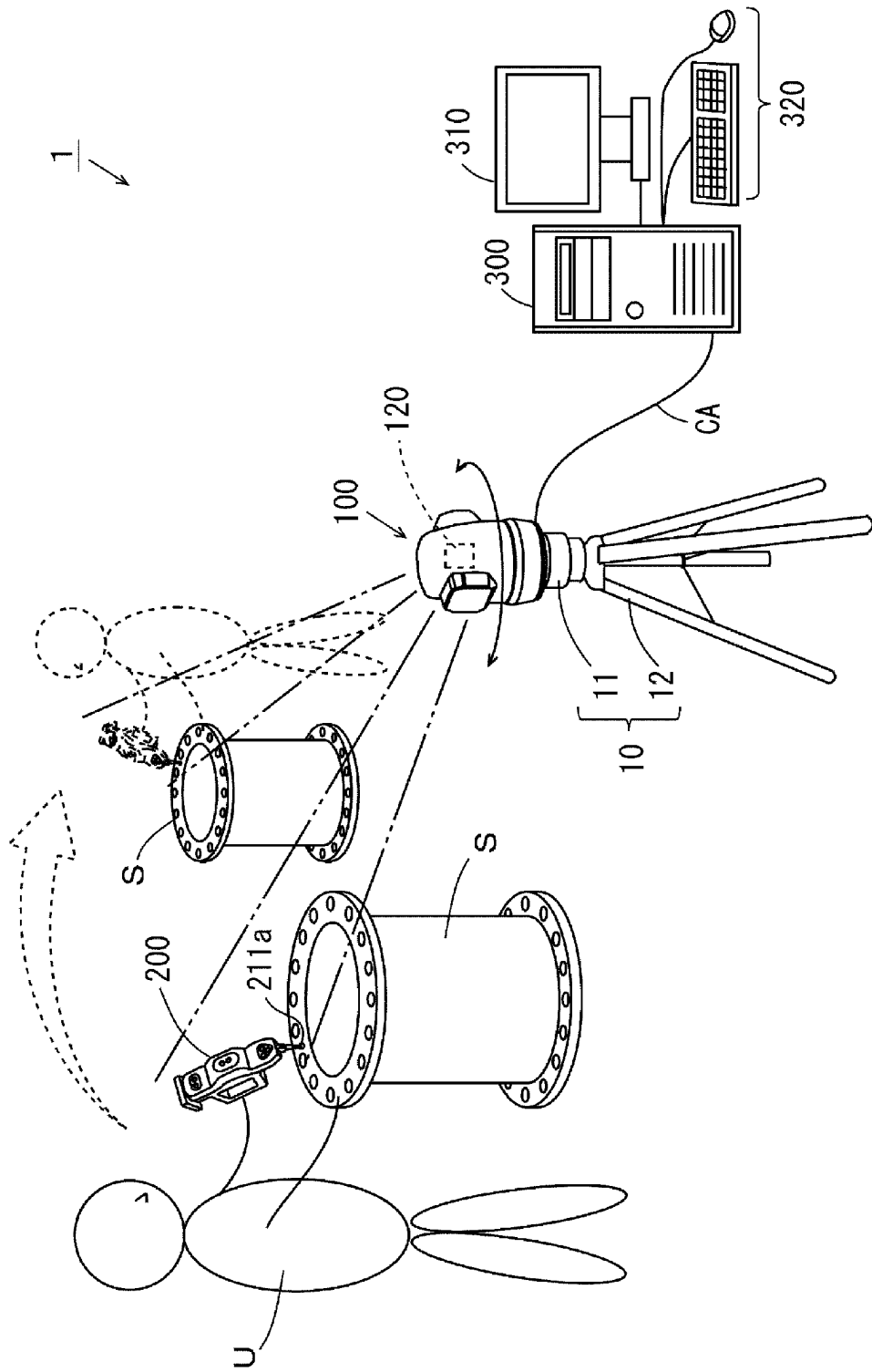


FIG. 1

FIG. 2

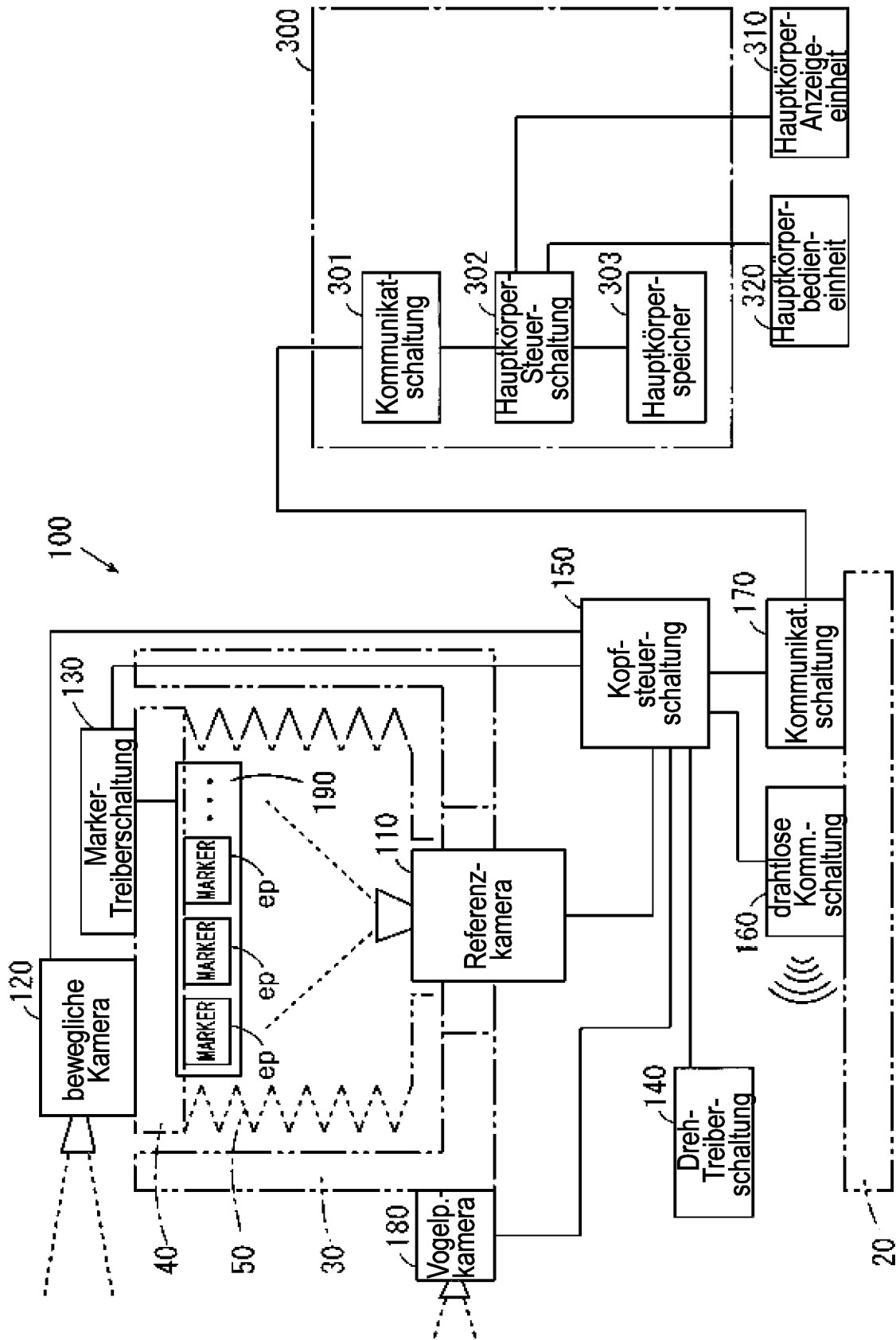


FIG. 3

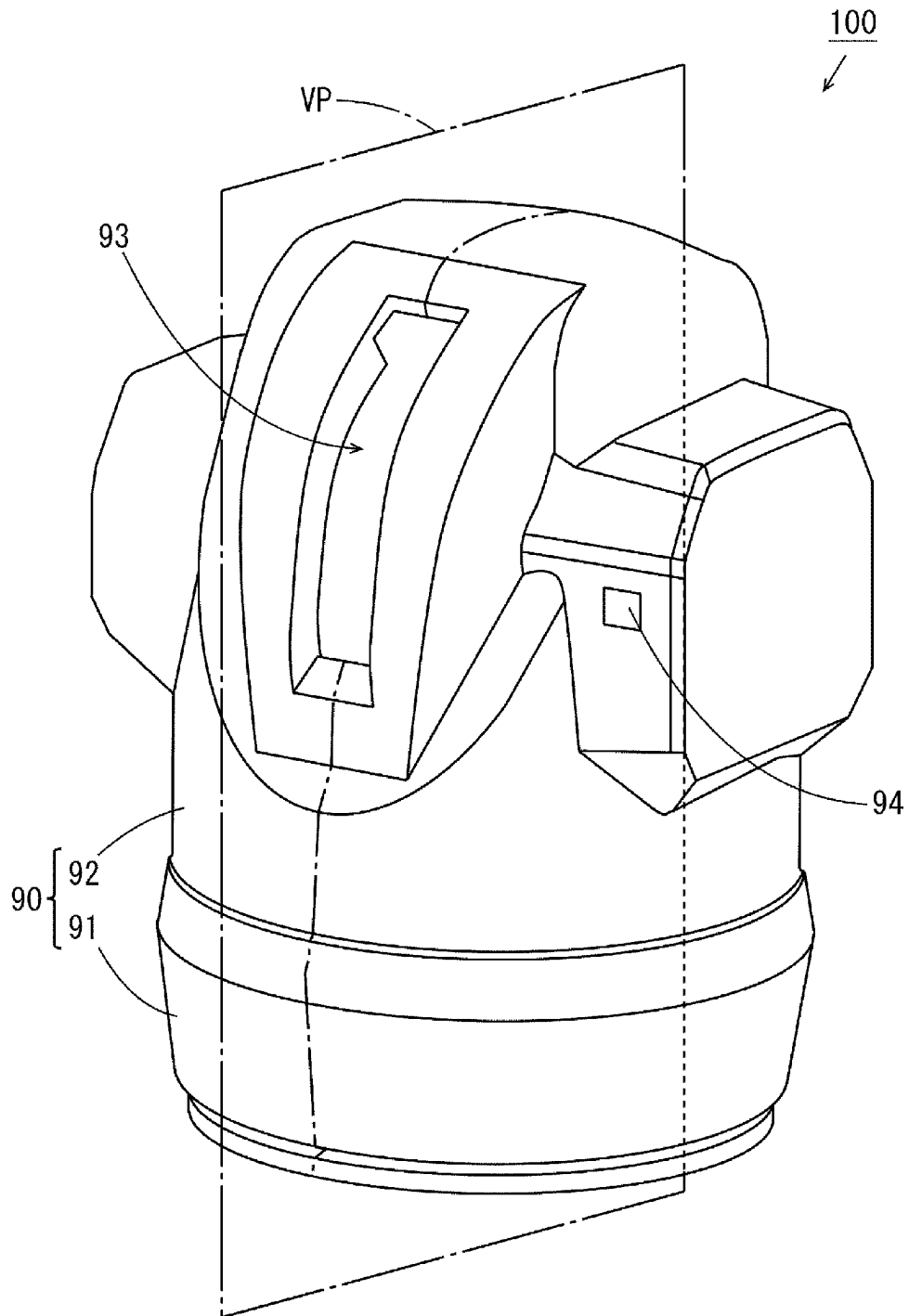


FIG. 4

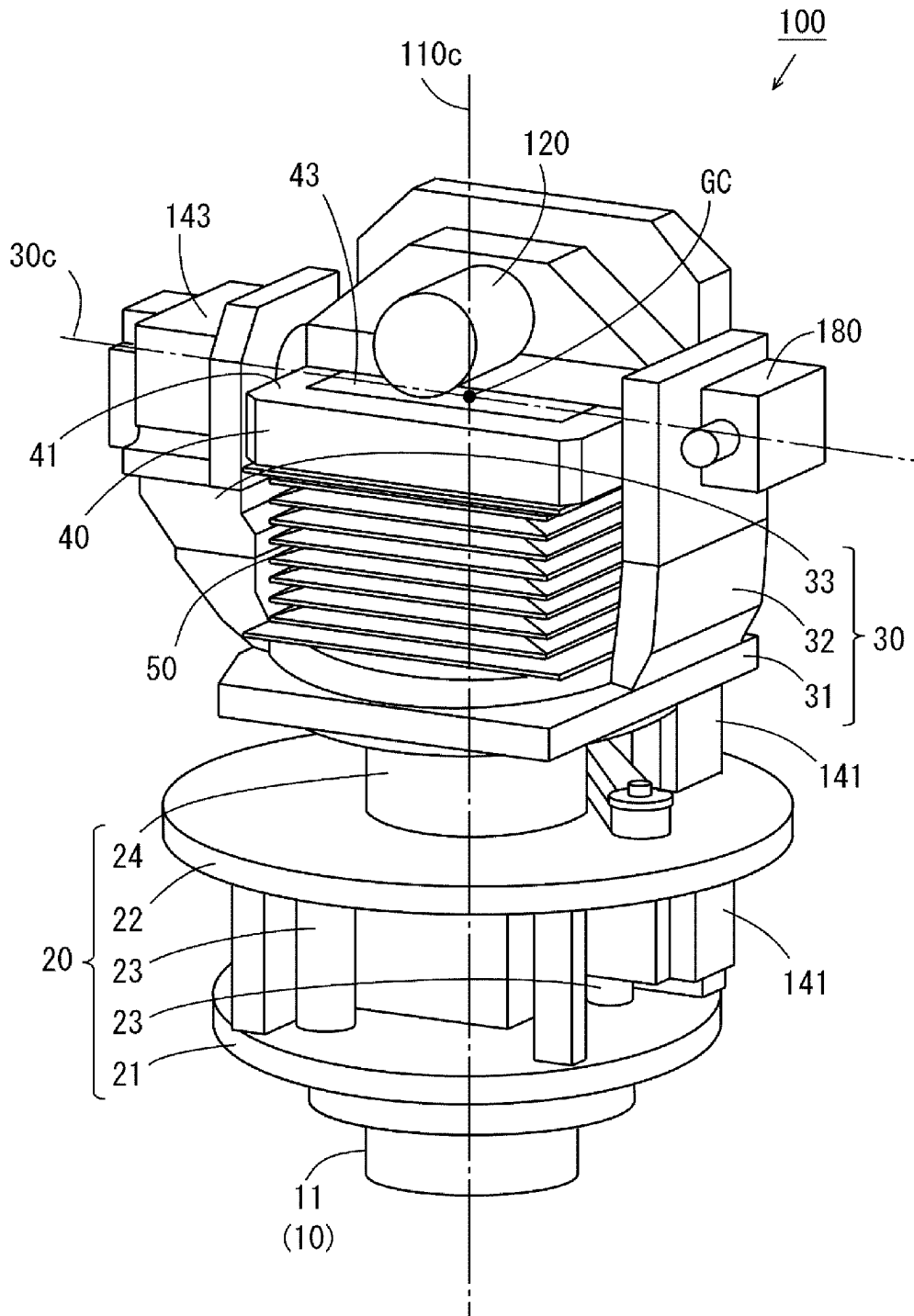


FIG. 6A

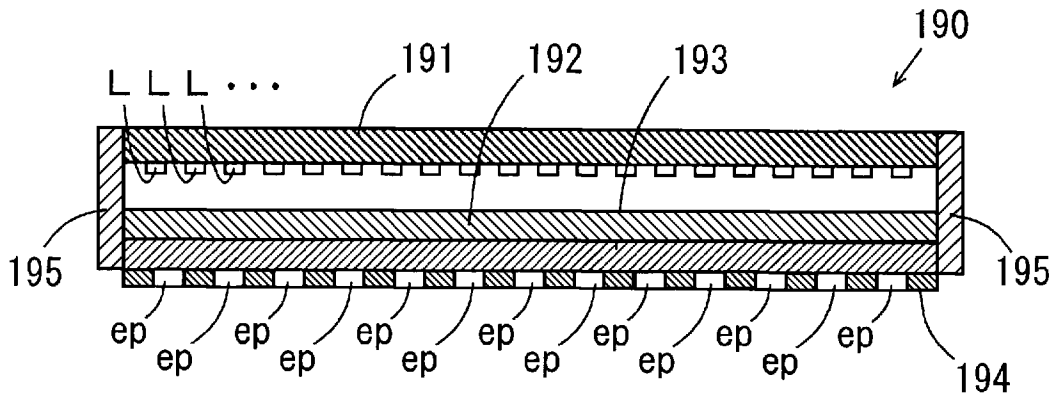


FIG. 6B

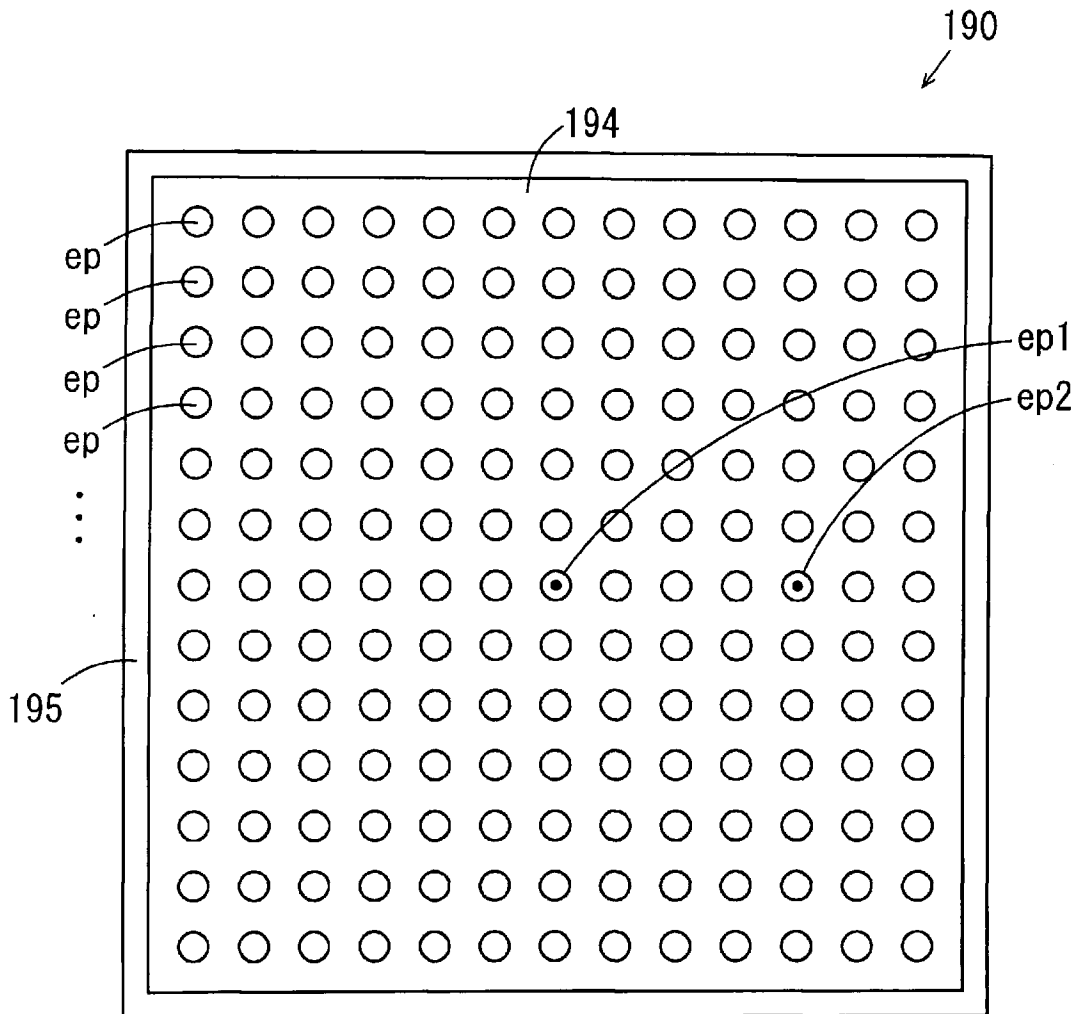


FIG. 7A

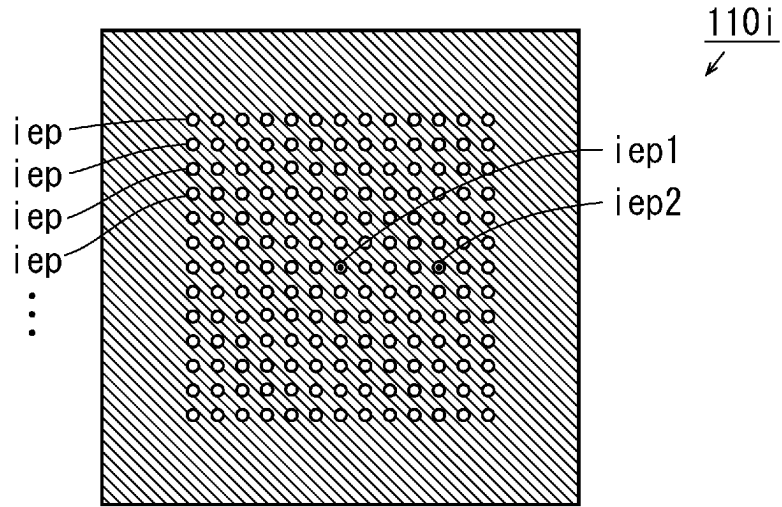


FIG. 7B

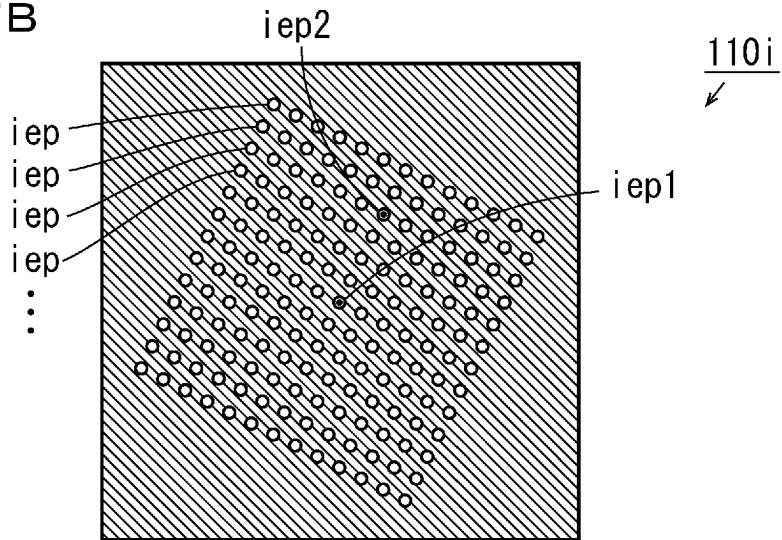


FIG. 7C

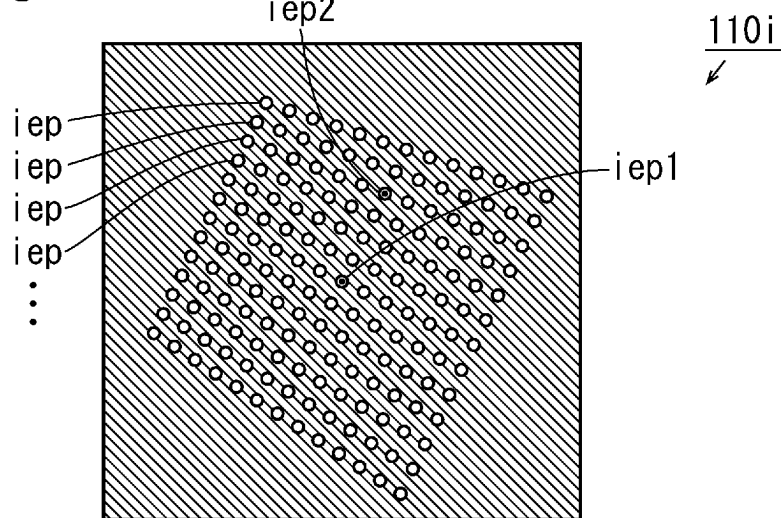


FIG. 8

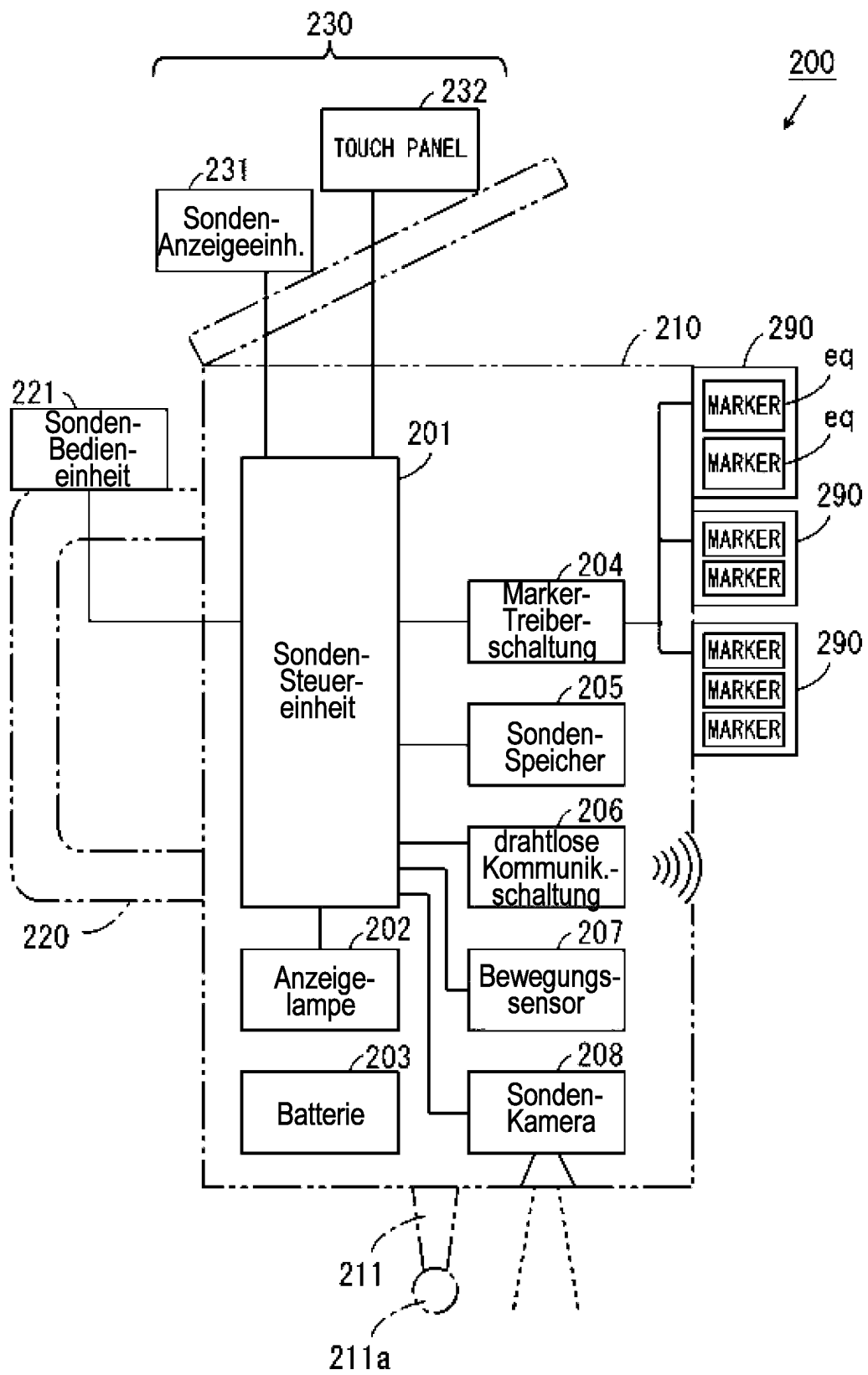


FIG. 9

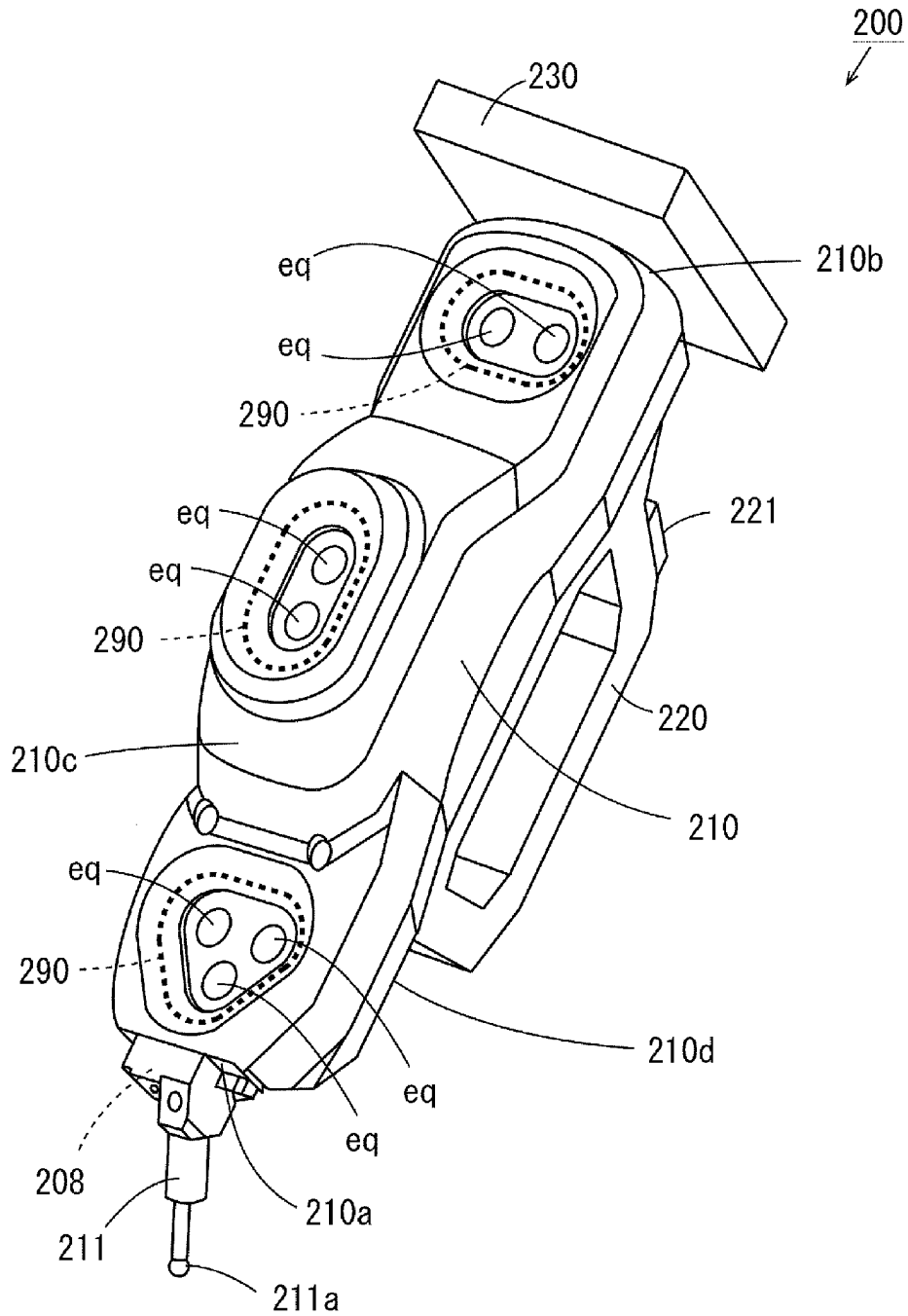


FIG. 10

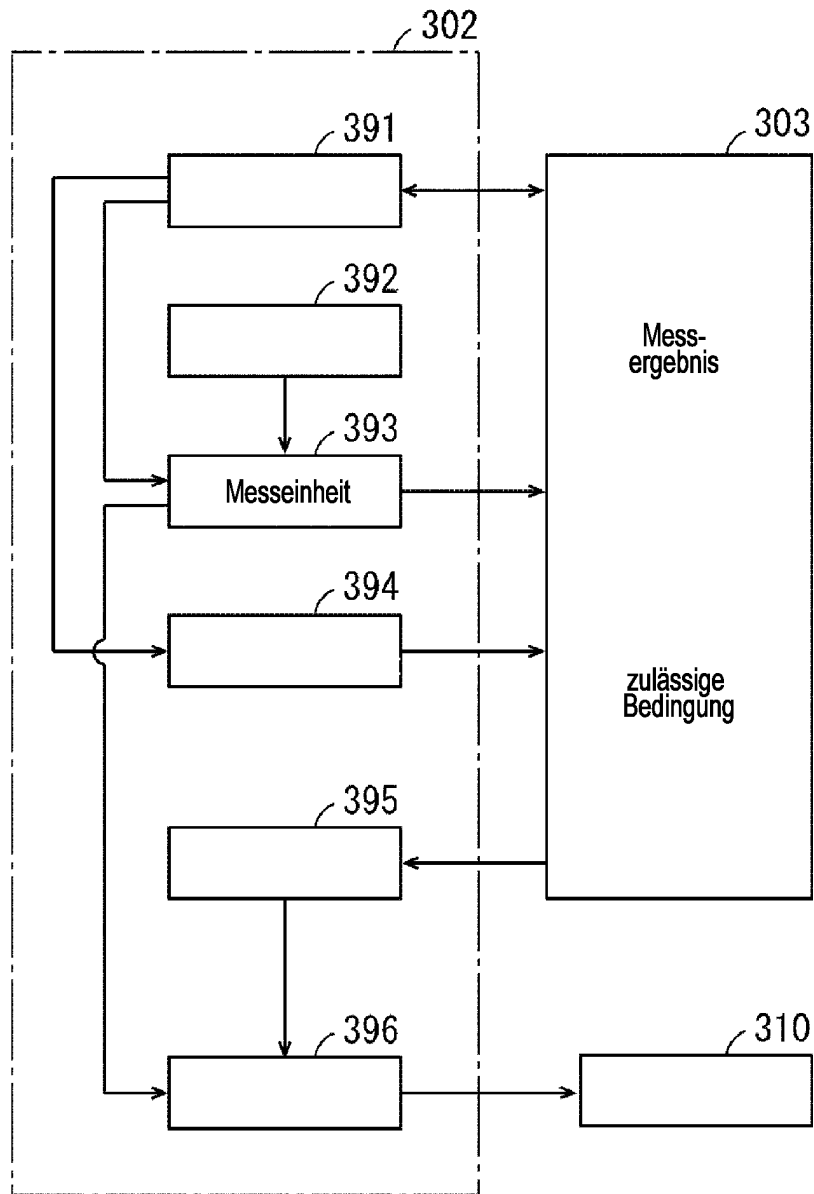


FIG. 11

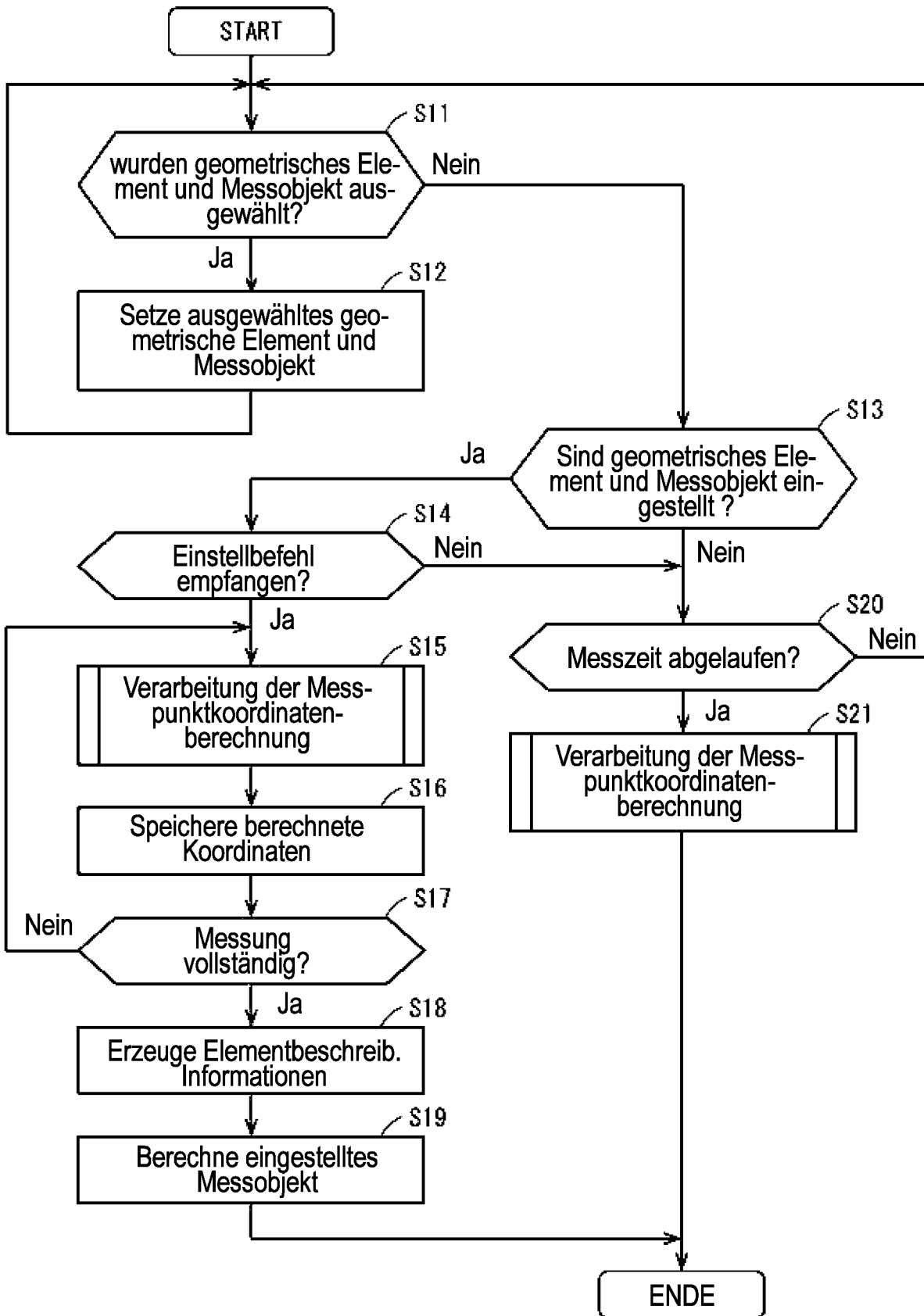


FIG. 12

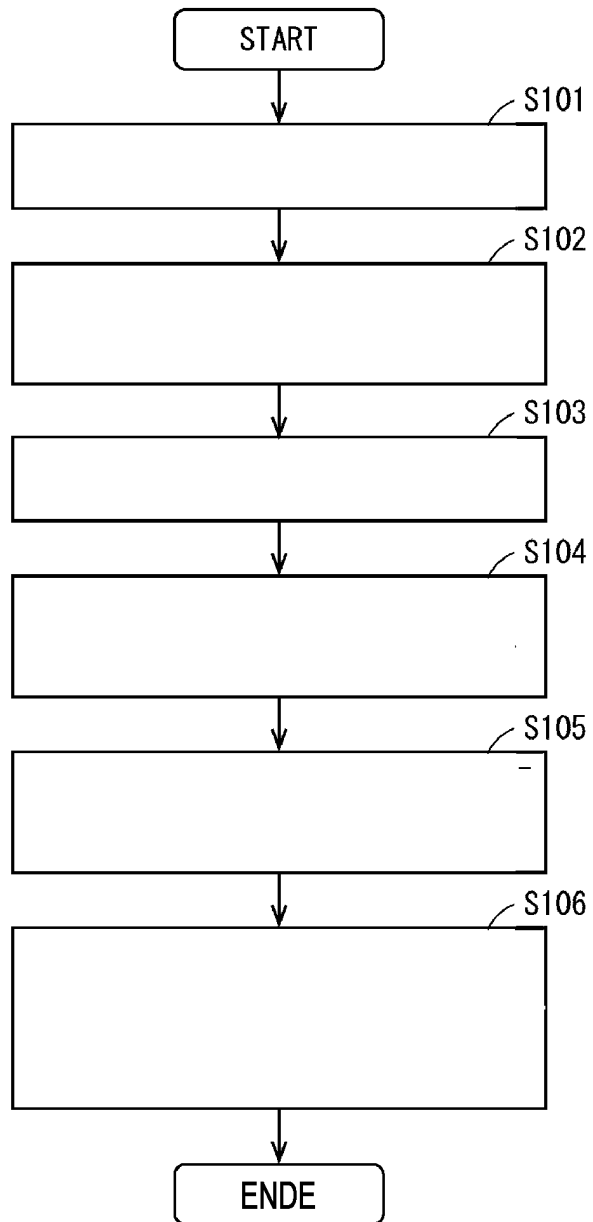


FIG. 13

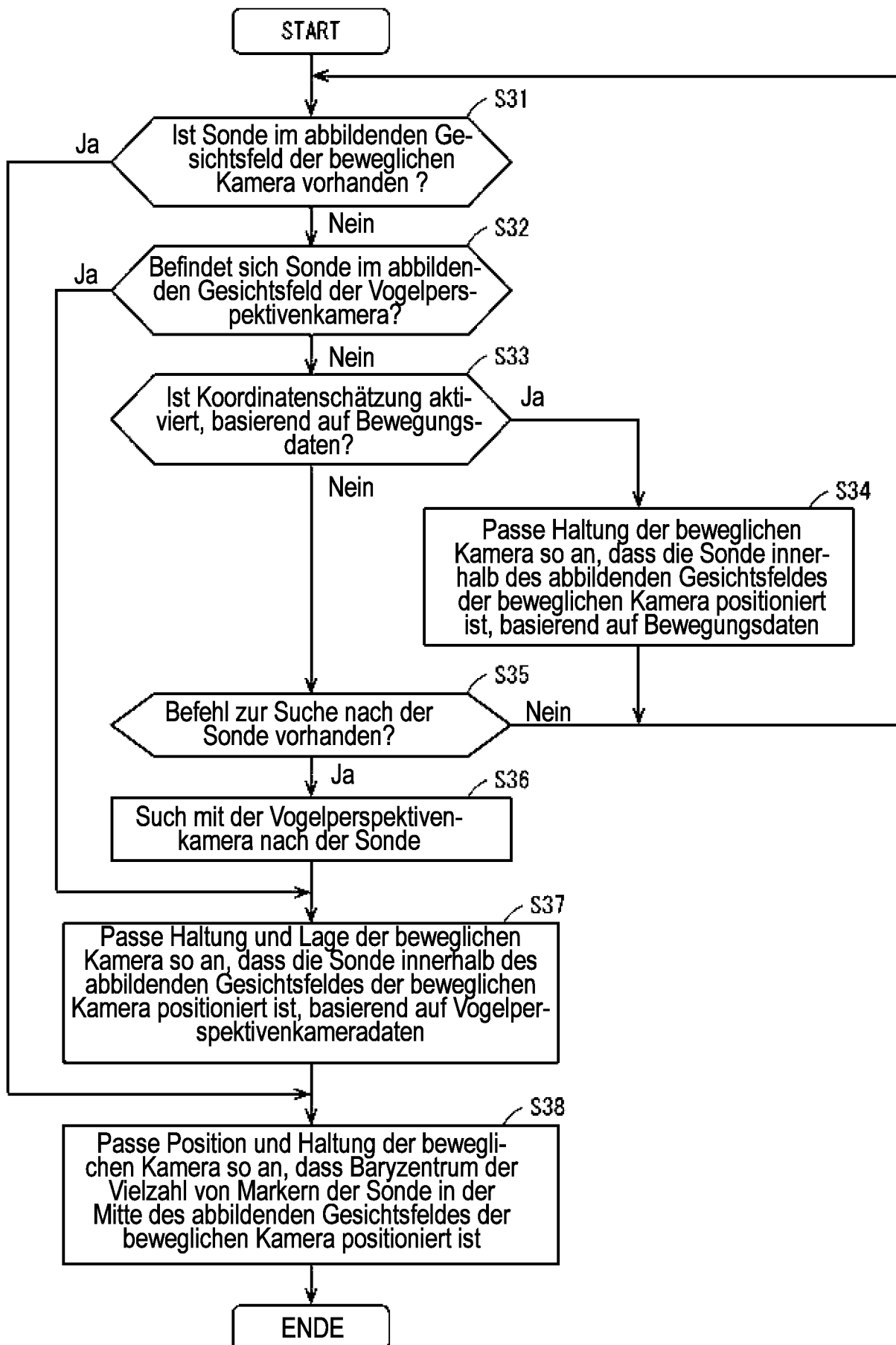


FIG. 14

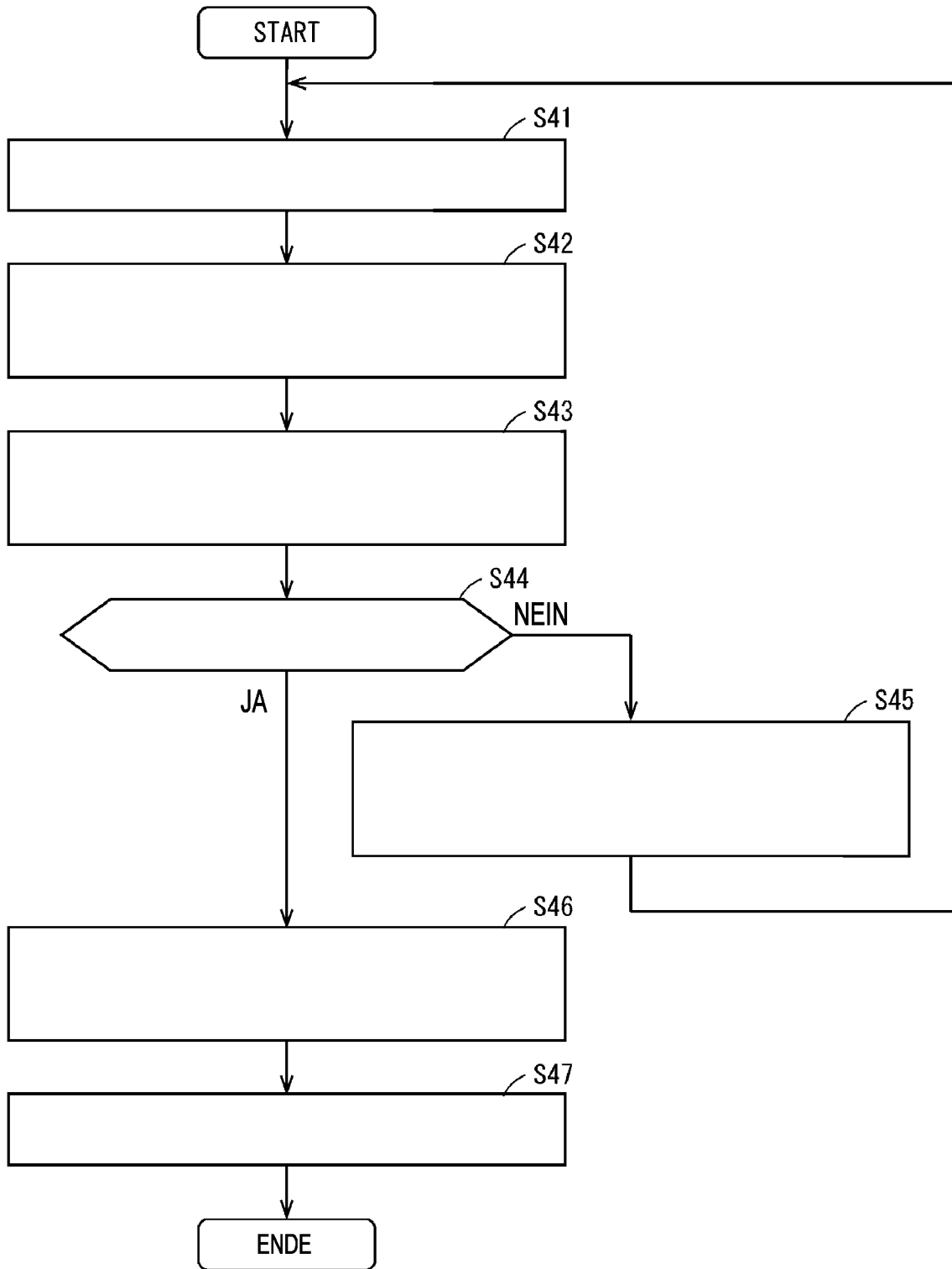


FIG. 15

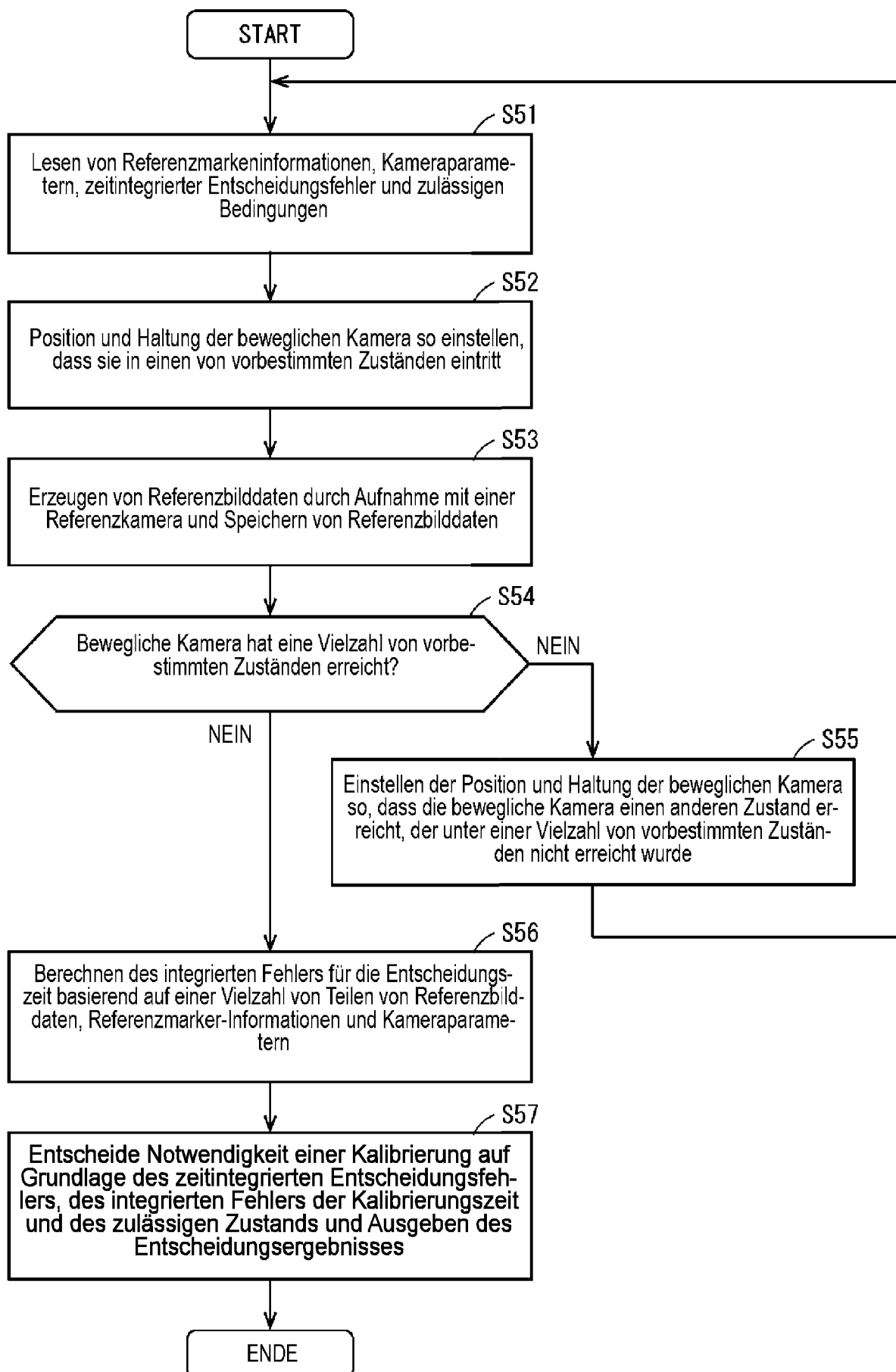


FIG. 16A

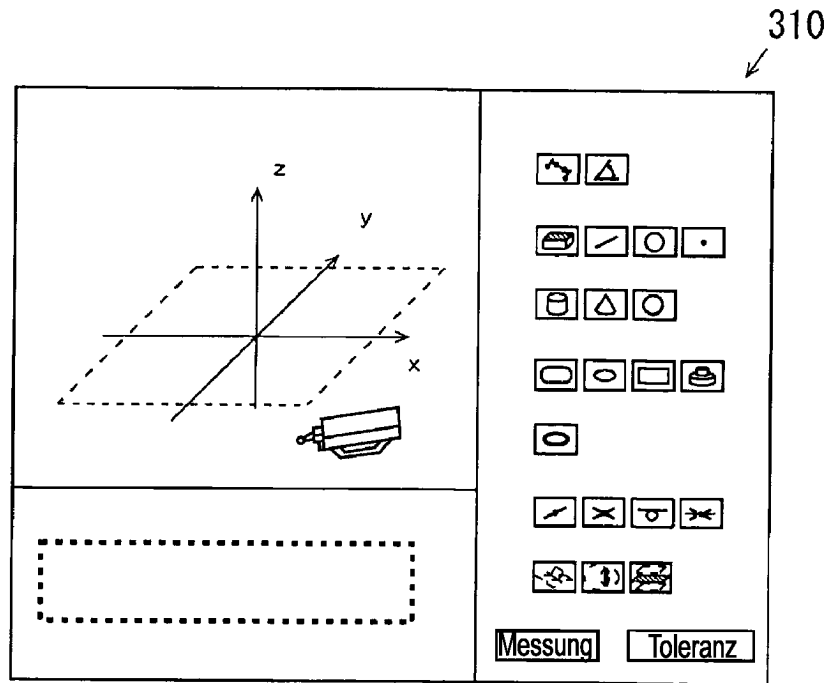


FIG. 16B

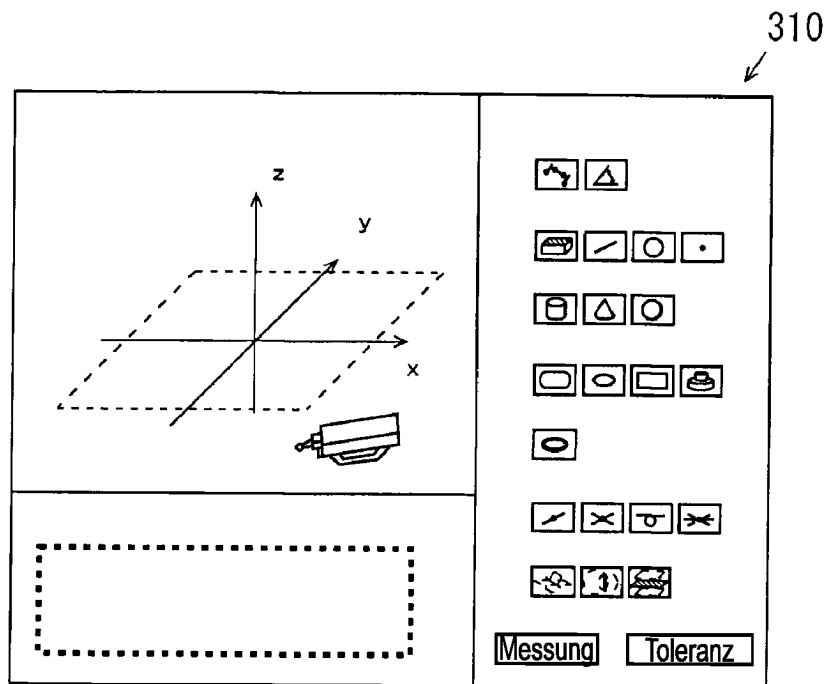


FIG. 17

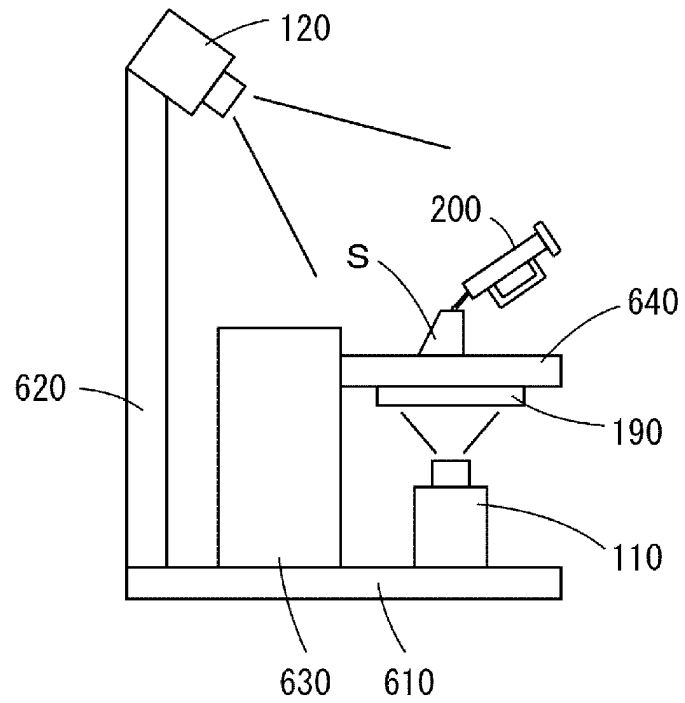


FIG. 18

