

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6897398号
(P6897398)

(45) 発行日 令和3年6月30日(2021.6.30)

(24) 登録日 令和3年6月14日(2021.6.14)

(51) Int.Cl.

F 1

G 0 1 B 11/25 (2006.01)

G O 1 B 11/25

H

G 0 6 T 7/521 (2017.01)

G O 6 T 7/521

B 2 5 J 13/08 (2006.01)

B 2 5 J 13/08

A

請求項の数 3 (全 31 頁)

(21) 出願番号

特願2017-147587 (P2017-147587)

(22) 出願日

平成29年7月31日(2017.7.31)

(65) 公開番号

特開2019-27921 (P2019-27921A)

(43) 公開日

平成31年2月21日(2019.2.21)

審査請求日

令和2年6月10日(2020.6.10)

(73) 特許権者 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区新宿四丁目1番6号

(74) 代理人 100116665

弁理士 渡辺 和昭

(74) 代理人 100179475

弁理士 仲井 智至

(74) 代理人 100216253

弁理士 松岡 宏紀

(72) 発明者 塚本 健太郎

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72) 発明者 原田 智紀

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】三次元形状測定装置、ロボットシステム、及び三次元形状測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

投射部によって複数の位相パターン像を順に対象物に投射して、撮像部によって複数の前記位相パターン像のうちの1つが投射される毎に撮像画像を撮像し、三次元形状測定部によって複数の前記撮像画像に基づく位相シフト法を用いて、前記対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定装置であって、

前記投射部と、前記撮像部と、前記三次元形状測定部を制御する制御部を備え、

複数の前記位相パターン像は、

所定の方向に沿って輝度値が周期的に変化する波を表す第1位相パターン像と、

前記第1位相パターン像の表す前記波に対して位相が90度進んだ波を表す第2位相パターン像と、

前記第2位相パターン像の表す前記波に対して位相が90度進んだ波を表す第3位相パターン像と、

前記第3位相パターン像の表す前記波に対して位相が90度進んだ波を表す第4位相パターン像と、を含み、

前記制御部は、

前記投射部が備える光源が光を照射させ始めてから前記光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの間に、前記投射部に、前記対象物に対して複数の前記位相パターン像を投射させ、

前記第1位相パターン像および前記第3位相パターン像を連続して投射させ、

10

20

前記第2位相パターン像および前記第4位相パターン像を連続して投射させ、前記第1位相パターン像および前記第3位相パターン像の前記撮像画像の位置を対として処理し、前記第2位相パターン像および前記第4位相パターン像の前記撮像画像の位置を対として処理することで位相を算出する、三次元形状測定装置。

【請求項2】

投射部によって複数の位相パターン像を順に対象物に投射して、撮像部によって複数の前記位相パターン像のうちの1つが投射される毎に撮像画像を撮像し、三次元形状測定部によって複数の前記撮像画像に基づく位相シフト法を用いて、前記対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定装置と、

ロボットと、

10

前記三次元形状測定装置により測定された前記対象物の三次元形状に基づいて前記ロボットを動かすロボット制御装置と、

を備え、

前記三次元形状測定装置は、前記投射部と、前記撮像部と、前記三次元形状測定部を制御する制御部を有し、

複数の前記位相パターン像は、

所定の方向に沿って輝度値が周期的に変化する波を表す第1位相パターン像と、

前記第1位相パターン像の表す前記波に対して位相が90度進んだ波を表す第2位相パターン像と、

前記第2位相パターン像の表す前記波に対して位相が90度進んだ波を表す第3位相パターン像と、

20

前記第3位相パターン像の表す前記波に対して位相が90度進んだ波を表す第4位相パターン像と、を含み、

前記制御部は、

前記投射部が備える光源が光を照射させ始めてから前記光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの間に、前記投射部に、前記対象物に対して複数の前記位相パターン像を投射させ、

前記第1位相パターン像および前記第3位相パターン像を連続して投射させ、

前記第2位相パターン像および前記第4位相パターン像は連続して投射させ、

30

前記第1位相パターン像および前記第3位相パターン像の前記撮像画像の位置を対として処理し、前記第2位相パターン像および前記第4位相パターン像の前記撮像画像の位置を対として処理することで位相を算出する、ロボットシステム。

【請求項3】

複数の位相パターン像を順に対象物に投射して、複数の前記位相パターン像のうちの1つが投射される毎に撮像画像を撮像し、複数の前記撮像画像に基づく位相シフト法を用いて、前記対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定方法であって、

複数の前記位相パターン像は、

所定の方向に沿って輝度値が周期的に変化する波を表す第1位相パターン像と、

前記第1位相パターン像の表す前記波に対して位相が90度進んだ波を表す第2位相パターン像と、

40

前記第2位相パターン像の表す前記波に対して位相が90度進んだ波を表す第3位相パターン像と、

前記第3位相パターン像の表す前記波に対して位相が90度進んだ波を表す第4位相パターン像と、を含み、

複数の前記位相パターン像を投射する投射部が備える光源が光を照射させ始めてから前記光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの間に、複数の前記位相パターン像を前記対象物に投射し、

前記第1位相パターン像および前記第3位相パターン像を連続して投射し、

前記第2位相パターン像および前記第4位相パターン像を連続して投射し、

前記第1位相パターン像および前記第3位相パターン像の前記撮像画像の位置を対とし

50

て処理し、前記第2位相パターン像および前記第4位相パターン像の前記撮像画像の位置を対として処理することで位相を算出する、三次元形状測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、三次元形状測定装置、ロボットシステム、及び三次元形状測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

対象物の三次元形状を測定する技術についての研究や開発が行われている。

10

【0003】

これに関し、位相シフト法を用いた形状測定装置が知られている（特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2012-159412号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

位相シフト法では、互いに異なる位相を有する複数の正弦波パターンのそれぞれが投射部によって対象物に投射され、正弦波パターンが投射された対象物が撮像部によって撮像される。このため、このような形状測定装置は、投射部が備える光源から光が照射され始めてから当該光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの間、正弦波パターンが投射された対象物の撮像部による撮像を行わずに待機する。その結果、当該形状測定装置は、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることが困難な場合があった。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題の少なくとも一つを解決するために本発明の一態様は、制御部を備えた三次元形状測定装置であって、前記制御部は、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから前記光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを前記投射部により投射させるとともに、前記位相パターン像のそれぞれが前記投射部により投射される毎に、前記位相パターン像を撮像部に撮像させる処理を開始し、前記処理が行われた後、前記撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、前記位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する、三次元形状測定装置である。

30

この構成により、三次元形状測定装置は、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから当該光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部により投射させるとともに、位相パターン像のそれぞれが投射部により投射される毎に、位相パターン像を撮像部に撮像させる処理を開始し、当該処理が行われた後、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する。これにより、三次元形状測定装置は、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。

40

【0007】

また、本発明の他の態様は、三次元形状測定装置において、前記複数の前記位相パターン像は、4つの前記位相パターン像であり、前記4つの前記位相パターン像それぞれは、前記位相パターン像上の第1方向に沿って輝度値が周期的に変化する波を表し、前記4つの前記位相パターン像には、基準となる前記波を表す前記位相パターン像である第1位相パターン像と、前記第1位相パターン像が表す前記波に対して位相が90度進んだ前記波を表す前記位相パターン像である第2位相パターン像と、前記第2位相パターン像が表す

50

前記波に対して位相が90度進んだ前記波を表す前記位相パターン像である第3位相パターン像と、前記第3位相パターン像が表す前記波に対して位相が90度進んだ前記波を表す前記位相パターン像である第4位相パターン像とが含まれ、前記制御部は、前記第1位相パターン像、前記第3位相パターン像、前記第2位相パターン像、前記第4位相パターン像の順に前記投射部に投射させる構成が用いられてもよい。

この構成により、三次元形状測定装置は、第1位相パターン像、第3位相パターン像、第2位相パターン像、第4位相パターン像の順に投射部に投射させる。これにより、三次元形状測定装置は、第1位相パターン像、第3位相パターン像、第2位相パターン像、第4位相パターン像の順に投射された第1位相パターン像、第2位相パターン像、第3位相パターン像、第4位相パターン像に基づいて、誤差を低減することができるとともに、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。10

【0008】

また、本発明の他の態様は、三次元形状測定装置において、前記制御部は、操作を受け付ける操作受付部と、前記操作受付部が受け付けた操作に応じて、前記複数の前記位相パターン像を生成する画像生成部と、前記画像生成部が生成した前記複数の前記位相パターン像のそれぞれを前記投射部に投射させる投射タイミングと、前記投射部により投射された前記位相パターン像のそれを前記撮像部に撮像させる撮像タイミングとを制御するタイミング制御部と、前記タイミング制御部により制御された前記投射タイミングに応じて、前記画像生成部が生成した前記複数の前記位相パターン像のそれを前記投射部に投射させる投射制御部と、前記タイミング制御部により制御された前記撮像タイミングに応じて、前記位相パターン像を前記撮像部に撮像させる撮像制御部と、前記撮像部により撮像された前記撮像画像に基づいて、前記対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定部と、を備える、構成が用いられてもよい。20

この構成により、三次元形状測定装置は、操作を受け付け、受け付けた操作に応じて、複数の位相パターン像を生成し、生成した複数の位相パターン像のそれぞれを投射部に投射させる投射タイミングと、投射部により投射された位相パターン像のそれを撮像部に撮像させる撮像タイミングとを制御し、制御された投射タイミングに応じて、生成した複数の位相パターン像のそれを投射部に投射させ、制御された撮像タイミングに応じて、位相パターン像を撮像部に撮像させ、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、対象物の三次元形状を測定する。これにより、三次元形状測定装置は、投射タイミング及び撮像タイミングに基づいて、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。30

【0009】

また、本発明の他の態様は、三次元形状測定装置において、前記操作受付部は、ユーザーから前記操作を受け付ける、構成が用いられてもよい。

この構成により、三次元形状測定装置は、ユーザーから操作を受け付ける。これにより、三次元形状測定装置は、ユーザーから受け付けた操作に応じて、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。

【0010】

また、本発明の他の態様は、三次元形状測定装置において、前記操作受付部は、他の装置からの要求を前記操作として受け付ける、構成が用いられてもよい。40

この構成により、三次元形状測定装置は、他の装置からの要求を操作として受け付ける。これにより、三次元形状測定装置は、他の装置から受け付けた操作に応じて、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。

【0011】

また、本発明の他の態様は、三次元形状測定装置において、前記制御部は、前記撮像部により撮像された撮像画像に基づく位相シフト法を用いて、前記位相パターン像が投射された前記対象物の三次元形状を測定する、構成が用いられてもよい。

この構成により、三次元形状測定装置は、撮像部により撮像された撮像画像に基づく位相シフト法を用いて、位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する。これ50

により、三次元形状測定装置は、位相シフト法による対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。

【0012】

また、本発明の他の態様は、制御部を備え、対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定装置と、ロボットと、前記三次元形状測定装置により測定された前記対象物の三次元形状に基づいて前記ロボットを動かすロボット制御装置と、を備え、前記制御部は、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから前記光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを前記投射部により投射させるとともに、前記位相パターン像のそれぞれが前記投射部により投射される毎に、前記位相パターン像を撮像部に撮像させる処理を開始し、前記処理が行われた後、前記撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、前記位相パターン像が投射された前記対象物の三次元形状を測定する、ロボットシステムである。10

この構成により、ロボットシステムは、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから当該光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部により投射させるとともに、位相パターン像のそれぞれが投射部により投射される毎に、位相パターン像を撮像部に撮像させる処理を開始し、当該処理が行われた後、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する。これにより、ロボットシステムは、ロボットに行わせる作業に要する時間を短くすることができる。

【0013】

また、本発明の他の態様は、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから前記光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを前記投射部により投射させるとともに、前記位相パターン像のそれぞれが前記投射部により投射される毎に、前記位相パターン像を撮像部に撮像させる処理を開始する処理ステップと、前記処理ステップにより前記処理が行われた後、前記撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、前記位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する測定ステップと、を有する三次元形状測定方法である。

この構成により、三次元形状測定方法は、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから前記光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部により投射させるとともに、位相パターン像のそれぞれが投射部により投射される毎に、位相パターン像を撮像部に撮像させる処理を開始し、処理が行われた後、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する。これにより、三次元形状測定方法は、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。30

【0014】

また、本発明の他の態様は、ロボットシステムであって、プロセッサーを備え、対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定装置と、ロボットと、前記三次元形状測定装置により測定された前記対象物の三次元形状に基づいて前記ロボットを動かすロボット制御装置と、を備え、前記プロセッサーは、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから前記光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを前記投射部により投射させるとともに、前記位相パターン像のそれぞれが前記投射部により投射される毎に、前記位相パターン像を撮像部に撮像させる処理を開始し、前記処理が行われた後、前記撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、前記位相パターン像が投射された前記対象物の三次元形状を測定する指令を実行するように構成されていることを特徴する、ロボットシステムである。40

この構成により、ロボットシステムは、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから当該光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部により投射させるととも50

に、位相パターン像のそれぞれが投射部により投射される毎に、位相パターン像を撮像部に撮像させる処理を開始し、当該処理が行われた後、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する。これにより、ロボットシステムは、ロボットに行わせる作業に要する時間を短くすることができる。

【0015】

以上により、三次元形状測定装置、及び三次元形状測定方法は、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから当該光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部により投射させるとともに、位相パターン像のそれぞれが投射部により投射される毎に、位相パターン像を撮像部に撮像させる処理を開始し、当該処理が行われた後、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する。これにより、三次元形状測定装置、及び三次元形状測定方法は、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。10

また、ロボットシステムは、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから当該光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部により投射させるとともに、位相パターン像のそれぞれが投射部により投射される毎に、位相パターン像を撮像部に撮像させる処理を開始し、当該処理が行われた後、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する。これにより、ロボットシステムは、ロボットに行わせる作業に要する時間を短くすることができる。20

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】実施形態に係る三次元形状測定システム1の一例を示す図である。

【図2】複数の情報処理装置によって三次元形状測定装置30が構成される場合における三次元形状測定装置30のハードウェア構成の一例である。

【図3】対象物Oを含まない投射範囲R1に投射された場合における4つの位相パターン像それぞれの一例を示す図である。

【図4】投射部5が備える光源から照射される光の輝度が時間的に変化する場合における4つの位相パターン像それぞれの平均輝度値の時間的变化を示す図である。

【図5】図4に示したグラフであって4つの位相パターン像のそれぞれが投射部5により投射されるタイミングの順を変化させた場合におけるグラフを示す図である。30

【図6】三次元形状測定装置30の機能構成の一例を示す図である。

【図7】三次元形状測定装置30が対象物Oの三次元形状を測定する処理の流れの一例を示す図である。

【図8】実施形態の変形例1に係るロボットシステム2の一例を示す構成図である。

【図9】ロボット制御装置70がロボット60に所定の作業を行わせる処理の流れの一例を示す図である。

【図10】実施形態の変形例2に係るロボットシステム3の一例を示す構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

<実施形態>

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。

【0018】

<三次元形状測定システムの概要>

まず、三次元形状測定システム1の概要について説明する。

【0019】

三次元形状測定システム1は、対象物に位相パターン像を投射部によって投射し、位相パターン像が投射された対象物を撮像部によって撮像し、当該対象物が撮像された撮像画像に基づいて、対象物の三次元形状を測定する。位相パターン像は、投射部により投射される投射画像のうち画像上の第1方向に沿って画像上の画素値が周期的に変化する波（例50

えば、正弦波)を表す投射画像のことである。第1方向は、この一例において、投射画像の長手方向に沿った方向である。なお、第1方向は、当該長手方向に沿った方向に代えて、投射画像上の他の方向であってもよい。当該画素値は、この一例において、輝度値である。なお、当該画素値は、輝度値に代えて、明度値、彩度値等の他の画素値であってもよい。

【0020】

ここで、投射部が備える光源から照射される光の輝度は、当該光源が光を照射し始めてから当該光源の物理的な特性が安定するまでの間、時間的に変化する。以下では、説明の便宜上、当該光源が光を照射し始めてから当該光源の物理的な特性が安定するまでの間の時間を立上時間(すなわち、立ち上がり時間)と称して説明する。すなわち、当該光源から照射される光の輝度は、当該光源が光を照射し始めてから立上時間が経過した後、電圧の揺らぎ等によって生じる揺らぎ、光源の劣化等による減少を除いて、時間的に変化しない。

10

【0021】

光源から照射される光の輝度が時間的に変化する場合、当該輝度の変化に応じて位相パターン像の平均輝度値も変化する。ある位相パターン像の平均輝度値は、当該位相パターン像上の各点における輝度値の平均値のことである。このような場合、位相パターン像が投射された対象物が撮像部により撮像された撮像画像に基づく三次元形状の測定は、誤差が大きくなる場合がある。

【0022】

20

このような理由から、三次元形状測定システム1と異なる三次元形状測定システムX(例えば、従来の三次元形状測定システム)は、対象物に位相パターン像を投射部によって投射した後、当該光源が光を照射し始めてから立上時間が経過するまでの間、撮像部による対象物Oの撮像を行わずに待機する。その結果、三次元形状測定システムXは、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることが困難な場合があった。

【0023】

そこで、三次元形状測定システム1は、投射部が備える光源が光を照射させ始めてから当該光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部により投射させるとともに、位相パターン像のそれぞれが投射部により投射される毎に、位相パターン像を撮像部に撮像させる投射撮像処理を開始する。そして、三次元形状測定システム1は、投射撮像処理を行った後、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する。これにより、三次元形状測定システム1は、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。

30

【0024】

以下では、三次元形状測定システム1の構成と、上記のような方法によって対象物の三次元形状の測定を行う際に発生する誤差を三次元形状測定システム1が抑制する処理と、三次元形状測定システム1が対象物の三次元形状の測定する処理について説明する。

【0025】

<三次元形状測定システムの構成>

40

以下、三次元形状測定システム1の構成について説明する。

図1は、実施形態に係る三次元形状測定システム1の構成の一例を示す図である。三次元形状測定システム1は、上記の投射部の一例である投射部5と、上記の撮像部の一例である撮像部10と、三次元形状測定装置30と、入力装置40と、表示装置50を備える。なお、三次元形状測定システム1は、投射部5と撮像部10と入力装置40と表示装置50との一部又は全部を備えない構成であってもよく、投射部5と撮像部10と三次元形状測定装置30との一部又は全部が一体に構成される構成であってもよく、入力装置40がタッチパネル装置として表示装置50と一緒に構成される構成であってもよく、入力装置40と表示装置50とのいずれか一方又は両方が三次元形状測定装置30と一緒に構成される構成であってもよい。

50

【0026】

投射部5は、例えば、投射画像を投射するための液晶ライトバルブ、投射レンズ、液晶駆動部を備えるプロジェクターである。また、投射部5は、超高圧水銀ランプ、メタルハライドランプ等を光源として備えるプロジェクターである。投射部5は、図1に示した作業台TBの上面に載置された対象物Oを含む範囲である投射範囲R1に投射画像を投射可能な位置に設置される。

【0027】

作業台TBは、例えば、テーブル等の台である。なお、作業台TBは、テーブルに代えて、対象物Oを載置することが可能な台であれば、他の台であってもよい。

【0028】

対象物Oは、上記の対象物の一例である。対象物Oは、例えば、製品に組み付けるプレート、ネジ、ボルト等の産業用の部品や部材である。図1では、図の簡略化のため、対象物Oを直方体形状の物体として表している。なお、対象物Oは、産業用の部品や部材に代えて、日用品、生体等の他の物体であってもよい。また、対象物Oの形状は、直方体形状に代えて、他の形状であってもよい。

【0029】

投射部5は、ケーブルによって三次元形状測定装置30と通信可能に接続されている。ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）やUSB（Universal Serial Bus）等の規格によって行われる。なお、投射部5は、Wi-Fi（登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によって三次元形状測定装置30と接続される構成であってもよい。

【0030】

撮像部10は、例えば、CCD（Charge Coupled Device）、CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）等を、集光された光を電気信号に変換する撮像素子として備えたカメラである。撮像部10は、図1に示した作業台TBの上面に載置された対象物Oを含む範囲である撮像範囲R2を撮像可能な位置に設置される。以下では、一例として、撮像範囲R2の全体が投射範囲R1の内側に含まれる場合について説明する。なお、撮像範囲R2は、これに代えて、投射範囲R1と部分的に重なる構成であってもよく、投射範囲R1の全体を内側に含む構成であってもよい。

【0031】

撮像部10は、ケーブルによって三次元形状測定装置30と通信可能に接続されている。なお、ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）やUSB等の規格によって行われる。また、撮像部10は、Wi-Fi（登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によって三次元形状測定装置30と接続される構成であってもよい。

【0032】

三次元形状測定装置30は、少なくとも1つのプロセッサーと、少なくとも1つのメモリーとによって構成される。三次元形状測定装置30において、当該少なくとも1つのプロセッサーは、1つの装置に備えられる構成であってもよく、複数の情報処理装置に分散されて備えられている構成であってもよい。また、三次元形状測定装置30において、当該少なくとも1つのメモリーは、1つの装置に備えられる構成であってもよく、複数の情報処理装置に分散されて備えられている構成であってもよい。

【0033】

図1に示した例では、三次元形状測定装置30は、情報処理装置PC1に備えられた1つのプロセッサーであるプロセッサー31と、情報処理装置PC1に備えられた1つのメモリーであるメモリー32とによって構成されている。なお、情報処理装置PC1は、プロセッサー31に加えて、他のプロセッサーを備える構成であってもよく、メモリー32に加えて、他のメモリーを備える構成であってもよい。

【0034】

情報処理装置PC1は、例えば、ワークステーション、デスクトップPC（Personal Computer）、ノートPC、タブレットPC、多機能携帯電話端末（スマートフォン）、通

10

20

30

40

50

信機能付きの電子書籍リーダー、PDA (Personal Digital Assistant) 等である。

【0035】

プロセッサー31は、例えば、CPU (Central Processing Unit) である。なお、プロセッサー31は、FPGA (Field-Programmable Gate Array) 等の他のプロセッサーであってもよい。プロセッサー31は、メモリー32に格納された各種の指令を実行する。また、プロセッサー31は、他の装置のメモリーに格納された各種の指令を実行する。

【0036】

メモリー32は、例えば、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Drive)、EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)、ROM (Read-Only Memory)、RAM (Random Access Memory) 等を含む。すなわち、メモリー32は、一時的な記憶装置と、非一時的な記憶装置とを含む。なお、メモリー32は、情報処理装置PC1に内蔵されるものに代えて、USB等のデジタル入出力ポート等によって接続された外付け型の記憶装置であってもよい。メモリー32は、プロセッサー31又は他の装置のプロセッサーが処理する各種の情報、指令321、322等のコンピューターにより実行可能な各種の指令 (例えば、プログラム、コード等)、各種の画像等を格納する。

【0037】

指令321及び指令322はそれぞれ、プロセッサー31が三次元形状測定装置30を構成するためにプロセッサー31が実行する複数の指令 (すなわち、コンピューターにより実行可能な複数の指令) のうちの一部である。

【0038】

また、情報処理装置PC1は、他の装置と通信を行うため、ハードウェア機能部として通信部34を備える。

通信部34は、USB等のデジタル入出力ポート、イーサネット (登録商標) ポート等を含んで構成される。

【0039】

なお、三次元形状測定装置30は、1つのプロセッサー31と、1つのメモリー32とを備える情報処理装置PC1に代えて、図2に示したように、複数の情報処理装置のうちの一部又は全部によって構成されてもよい。図2は、複数の情報処理装置によって三次元形状測定装置30が構成される場合における三次元形状測定装置30のハードウェア構成の一例である。

【0040】

図2に示した情報処理装置PC2は、1つのプロセッサーであるプロセッサー41と、1つのメモリーであるメモリー42と、通信部44を備える。なお、情報処理装置PC2は、プロセッサー41に加えて、他のプロセッサーを備える構成であってもよい。また、情報処理装置PC2は、メモリー42に加えて、他のメモリーを備える構成であってもよい。

【0041】

情報処理装置PC2は、例えば、ワークステーション、デスクトップPC、ノートPC、タブレットPC、多機能携帯電話端末 (スマートフォン)、通信機能付きの電子書籍リーダー、PDA等である。

【0042】

プロセッサー41は、CPUである。なお、プロセッサー41は、FPGA等の他のプロセッサーであってもよい。プロセッサー41は、メモリー32に格納された各種の指令を実行する。また、プロセッサー41は、他の装置のメモリーに格納された各種の指令を実行する。

【0043】

メモリー42は、例えば、HDD、SSD、EEPROM、ROM、RAM等を含む。すなわち、メモリー42は、一時的な記憶装置と、非一時的な記憶装置とを含む。なお、

10

20

30

40

50

メモリー42は、情報処理装置PC2に内蔵されるものに代えて、USB等のデジタル入出力ポート等によって接続された外付け型の記憶装置であってもよい。メモリー42は、プロセッサー41又は他の装置のプロセッサーが処理する各種の情報、各種の指令（例えば、プログラム、コード等）、各種の画像等を格納する。

【0044】

通信部44は、USB等のデジタル入出力ポート、イーサネット（登録商標）ポート等を含んで構成される。

【0045】

図2に示した情報処理装置PC3は、1つのプロセッサーであるプロセッサー51と、1つのメモリーであるメモリー52と、通信部54を備える。なお、情報処理装置PC3は、プロセッサー51に加えて、他のプロセッサーを備える構成であってもよい。また、情報処理装置PC3は、メモリー52に加えて、他のメモリーを備える構成であってもよい。
10

【0046】

情報処理装置PC3は、例えば、ワークステーション、デスクトップPC、ノートPC、タブレットPC、多機能携帯電話端末（スマートフォン）、通信機能付きの電子書籍リーダー、PDA等である。

【0047】

プロセッサー51は、CPUである。なお、プロセッサー51は、FPGA等の他のプロセッサーであってもよい。プロセッサー51は、メモリー52に格納された各種の指令を実行する。また、プロセッサー51は、他の装置のメモリーに格納された各種の指令を実行する。
20

【0048】

メモリー52は、例えば、HDD、SSD、EEPROM、ROM、RAM等を含む。すなわち、メモリー52は、一時的な記憶装置と、非一時的な記憶装置とを含む。なお、メモリー52は、情報処理装置PC3に内蔵されるものに代えて、USB等のデジタル入出力ポート等によって接続された外付け型の記憶装置であってもよい。メモリー52は、プロセッサー51又は他の装置のプロセッサーが処理する各種の情報、各種の指令（例えば、プログラム、コード等）、各種の画像等を格納する。

【0049】

通信部54は、USB等のデジタル入出力ポート、イーサネット（登録商標）ポート等を含んで構成される。
30

【0050】

図2に示した例では、情報処理装置PC1と、情報処理装置PC2とが無線又は有線によって互いに通信可能に接続されている。また、当該例では、情報処理装置PC1と、情報処理装置PC3とがLAN（Local Area Network）を介して無線又は有線によって互いに通信可能に接続されている。また、当該例では、情報処理装置PC2と、情報処理装置PC3とがLANを介して無線又は有線によって互いに通信可能に接続されている。

【0051】

図2に示した例では、三次元形状測定装置30は、プロセッサー31と、プロセッサー41と、プロセッサー51のうちの少なくとも1つと、メモリー32と、メモリー42と、メモリー52のうちの少なくとも1つとによって構成される。プロセッサー31と、プロセッサー41と、プロセッサー51のうちの2つ以上によって三次元形状測定装置30が構成される場合、三次元形状測定装置30を構成する当該2つ以上のプロセッサーは、通信部による通信を行うことにより、連携して三次元形状測定装置30の機能を実現する。また、当該場合、当該2つ以上のプロセッサーは、メモリー32と、メモリー42と、メモリー52のうちの少なくとも1つに格納された指令に基づいて、三次元形状測定装置30の機能による処理を実行する。
40

【0052】

なお、図2に示した例のように、三次元形状測定装置30が複数の情報処理装置によっ

50

て構成される場合、投射部 5、撮像部 10 のそれぞれは、当該複数の情報処理装置の少なくとも 1 つと通信可能に接続される。また、当該場合、入力装置 40、表示装置 50 のそれぞれは、当該複数の情報処理装置の少なくとも 1 つと通信可能に接続される。

【 0 0 5 3 】

図 1 に戻る。三次元形状測定装置 30 は、投射部 5 に位相パターン像を投射範囲 R 1 へ投射させる。三次元形状測定装置 30 は、位相パターン像が投射された投射範囲 R 1 に含まれる撮像範囲 R 2 を撮像部 10 に撮像させる。撮像範囲 R 2 には、対象物 O が含まれている。すなわち、三次元形状測定装置 30 は、対象物 O を含む範囲である撮像範囲 R 2 を撮像部 10 に撮像させる。三次元形状測定装置 30 は、撮像部 10 が撮像した撮像画像を撮像部 10 から取得する。三次元形状測定装置 30 は、取得した撮像画像に基づいて、対象物 O の三次元形状の測定を行う。ここで、対象物 O の三次元形状を測定するとは、この一例において、対象物 O の三次元形状を示す情報である三次元形状情報を生成することを意味する。10

【 0 0 5 4 】

具体的には、三次元形状測定装置 30 は、取得した撮像画像上の点であって当該撮像画像内の領域のうち対象物 O が撮像された領域である対象物領域内に含まれる点毎に、点の三次元位置（三次元座標）を検出し、検出した三次元位置を当該点に対応付ける。このようにして、三次元形状測定装置 30 は、対象物 O を含む撮像範囲 R 2 が撮像された撮像画像であって対象物領域内の各点に三次元位置が対応付けられた撮像画像を、対象物 O の三次元形状を示す三次元形状情報として生成する。20

【 0 0 5 5 】

ここで、撮像画像から検出する三次元位置は、ロボット座標系における三次元位置であってもよく、ワールド座標系における三次元位置であってもよく、他の三次元座標系における三次元位置であってもよい。以下では、一例として、三次元形状測定装置 30 が、取得した撮像画像に基づいて、対象物領域内に含まれる各点のロボット座標系における三次元位置を検出する場合について説明する。

【 0 0 5 6 】

なお、以下では、三次元形状測定装置 30 には、撮像部によって撮像された撮像画像上の各点における位置を示す撮像部座標系の X Y 平面上の座標と、ロボット座標系における X Y 平面上の座標とを対応付けるキャリブレーションが予め行われている場合について説明する。撮像部座標系の X Y 平面は、撮像部座標系における X 軸及び Y 軸によって張られる平面のことである。ロボット座標系の X Y 平面は、ロボット座標系における X 軸及び Y 軸によって張られる平面のことである。30

【 0 0 5 7 】

入力装置 40 は、キーボード、マウス、タッチパッド等である。なお、入力装置 40 は、他の入力装置であってもよい。

【 0 0 5 8 】

入力装置 40 は、ケーブルによって三次元形状測定装置 30 と通信可能に接続されている。ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）や U S B 等の規格によって行われる。なお、入力装置 40 は、近距離無線通信、W i - F i （登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によって三次元形状測定装置 30 と接続される構成であってもよい。40

【 0 0 5 9 】

表示装置 50 は、液晶ディスプレイパネル、有機 E L (ElectroLuminescence) ディスプレイパネル等を備えるディスプレイである。なお、表示装置 50 は、他の表示装置であってもよい。

【 0 0 6 0 】

表示装置 50 は、ケーブルによって三次元形状測定装置 30 と通信可能に接続されている。ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）や U S B 等の規格によって行われる。なお、表示装置 50 は、近距離無線通信、W i - F i （登録商標）等50

の通信規格により行われる無線通信によって三次元形状測定装置 30 と接続される構成であってもよい。

【 0 0 6 1 】

< 三次元形状測定装置が対象物の三次元形状を測定する方法 >

以下、三次元形状測定装置 30 が対象物 O の三次元形状を測定する方法について説明する。

【 0 0 6 2 】

三次元形状測定装置 30 は、この一例における位相シフト法である位相シフト法改によって、互いに異なる複数の位相パターン像を用いて対象物 O の三次元形状を測定する。より具体的には、三次元形状測定装置 30 は、前述した通り、投射部 5 が備える光源が光を照射させ始めてから立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部により投射させるとともに、位相パターン像のそれぞれが投射部により投射される毎に、位相パターン像を撮像部に撮像させる投射撮像処理を開始する。この投射撮像処理において、三次元形状測定装置 30 は、複数の位相パターン像のそれを、予め決められた順に投射部 5 に投射させる。なお、位相シフト法改と異なる位相シフト法（例えば、従来の位相シフト法）では、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部 5 に投射させる順番には、決まりが無い。10

【 0 0 6 3 】

三次元形状測定装置 30 は、投射撮像処理によって撮像部 10 が撮像した撮像画像に基づいて、複数の位相パターン像のうち基準となる位相パターン像が表す波の位相であって当該位相パターン像が撮像された撮像画像上の各位置における位相を算出する。三次元形状測定装置 30 は、算出した位相に基づいて、当該撮像画像上の各位置に対応する位置であって当該基準となる位相パターン像上の位置である対応位置を算出する。三次元形状測定装置 30 が当該位相に基づいて対応位置を算出する方法は、既知の方法であってもよく、これから開発される方法であってもよい。三次元形状測定装置 30 は、算出した対応位置に基づいて、対象物 O の三次元形状を測定する。三次元形状測定装置 30 が当該対応位置に基づいて対象物 O の三次元形状を測定する方法は、既知の方法であってもよく、これから開発される方法であってもよい。このように、三次元形状測定装置 30 は、位相シフト法改によって、対象物 O の三次元形状を測定する。20

【 0 0 6 4 】

以下では、一例として、前述の互いに異なる複数の位相パターン像が、互いに異なる 4 つの位相パターン像である場合について説明する。すなわち、三次元形状測定装置 30 は、互いに異なる 4 つの位相パターン像を用いた位相シフト法改（4 ステップ法の位相シフト法改）によって対象物 O の三次元形状を測定する。なお、互いに異なる複数の位相パターン像は、互いに異なる 3 つの位相パターン像であってもよく、互いに異なる 5 つ以上の位相パターン像であってもよい。30

【 0 0 6 5 】

互いに異なる 4 つの位相パターン像は、当該 4 つの位相パターン像のそれぞれが表す波の位相が互いに異なる。以下では、一例として、当該 4 つの位相パターン像が、前述の基準となる波を表す位相パターン像である第 1 位相パターン像 P1 と、第 1 位相パターン像 P1 が表す波に対して位相が 90 度進んだ波を表す位相パターン像である第 2 位相パターン像 P2 と、第 2 位相パターン像 P2 が表す波に対して位相が 90 度進んだ波を表す位相パターン像である第 3 位相パターン像 P3 と、第 3 位相パターン像 P3 が表す波に対して位相が 90 度進んだ波を表す位相パターン像である第 4 位相パターン像 P4 とを含む場合について説明する。すなわち、第 1 位相パターン像 P1 が表す波の位相を 0 とした場合、第 2 位相パターン像 P2 が表す波の位相は、 $\pi/2$ である。また、当該場合、第 3 位相パターン像 P3 が表す波の位相は、 π である。また、当該場合、第 4 位相パターン像 P4 が表す波の位相は、 $3\pi/2$ である。40

【 0 0 6 6 】

ここで、図 3 は、対象物 O を含まない投射範囲 R1 に投射された場合における 4 つの位50

相パターン像それぞれの一例を示す図である。図3に示したように、当該4つの位相パターン像である第1位相パターン像P1、第2位相パターン像P2、第3位相パターン像P3、第4位相パターン像P4のそれぞれは、画像上の第1方向に沿って画像上の輝度値が周期的に変化する波を表している。また、第2位相パターン像P2が表す波の位相は、第1位相パターン像P1が表す波の位相よりも90度進んでいる。また、第3位相パターン像P3が表す波の位相は、第2位相パターン像P2が表す波の位相よりも90度進んでいる。また、第4位相パターン像P4が表す波の位相は、第3位相パターン像P3が表す波の位相よりも90度進んでいる。この場合、第1位相パターン像P1が表す波の位相は、第4位相パターン像P4が表す波の位相よりも90度進んでいる。

【0067】

10

また、第1位相パターン像P1、第2位相パターン像P2、第3位相パターン像P3、第4位相パターン像P4のそれぞれが表す波は、空間的に拡がる波である。なお、第1位相パターン像P1、第2位相パターン像P2、第3位相パターン像P3、第4位相パターン像P4のそれぞれが表す波は、時間的に拡がる波であってもよい。この場合、第1位相パターン像P1、第2位相パターン像P2、第3位相パターン像P3、第4位相パターン像P4のそれぞれは、時間の経過毎に輝度値が変化する複数の位相パターン像と対応付けられる。そして、三次元形状測定装置30は、第1位相パターン像P1、第2位相パターン像P2、第3位相パターン像P3、第4位相パターン像P4のそれぞれと、第1位相パターン像P1、第2位相パターン像P2、第3位相パターン像P3、第4位相パターン像P4のそれぞれに対応付けられた複数の位相パターン像とを投射範囲R1に順に投射させる。

20

【0068】

なお、この一例において、第1位相パターン像P1、第2位相パターン像P2、第3位相パターン像P3、第4位相パターン像P4のそれぞれが表す波は、第1方向に沿って進行する平面波であるが、これに代えて、球面波であってもよい。

【0069】

4ステップ法の位相シフト法改では、三次元形状測定装置30は、対象物Oを含む投射範囲R1へ、このような4つの位相パターン像である第1位相パターン像P1、第2位相パターン像P2、第3位相パターン像P3、第4位相パターン像P4のそれぞれを、予め決められた順に、投射部5に投射させる。

30

【0070】

ここで、位相シフト法改について、より具体的に説明する。4ステップ法の位相シフト法改では、三次元形状測定装置30は、第1位相パターン像P1、第2位相パターン像P2、第3位相パターン像P3、第4位相パターン像P4のそれぞれを対象位相パターン像として予め決められた順に1つずつ選択する。三次元形状測定装置30は、選択した対象位相パターン像毎に、対象位相パターン像を対象物Oを含む投射範囲R1へ投射部5に投射させ、その後、対象位相パターン像が投射された対象物Oを含む撮像範囲R2を撮像部10に撮像させる。これにより、三次元形状測定装置30は、第1位相パターン像P1が投射された対象物Oが撮像された撮像画像である第1撮像画像C1と、第2位相パターン像P2が投射された対象物Oが撮像された撮像画像である第2撮像画像C2と、第3位相パターン像P3が投射された対象物Oが撮像された撮像画像である第3撮像画像C3と、第4位相パターン像P4が投射された対象物Oが撮像された撮像画像である第4撮像画像C4とを撮像部10から取得する。なお、この一例において、第1撮像画像C1～第4撮像画像C4のそれぞれのような撮像部10により撮像された撮像画像上の各位置は、当該撮像画像上の位置を示す撮像部座標系の座標によって表される。

40

【0071】

三次元形状測定装置30は、位相シフト法改において、第1撮像画像C1～第4撮像画像C4のうち、基準となる位相パターン像である第1位相パターン像P1が撮像された撮像画像である第1撮像画像C1上の各位置における位相を算出する。具体的には、三次元形状測定装置30は、位相シフト法において、撮像部座標系のある座標(x, y)が示す

50

位置であって第1撮像画像C1上の位置における輝度値 $I_1(x, y)$ と、撮像部座標系のある座標 (x, y) が示す位置であって第2撮像画像C2上の位置における輝度値 $I_2(x, y)$ と、座標 (x, y) が示す位置であって第3撮像画像C3上の位置における輝度値 $I_3(x, y)$ と、座標 (x, y) が示す位置であって第4撮像画像C4上の位置における輝度値 $I_4(x, y)$ と、以下に示した式(1)に基づいて、座標 (x, y) が示す位置であって第1撮像画像C1上の位置における位相 (x, y) を算出する。

【0072】

【数1】

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{I_4(x, y) - I_2(x, y)}{I_1(x, y) - I_3(x, y)} \quad \cdots (1)$$

10

【0073】

ここで、図3に示したように第1位相パターン像P1～第4位相パターン像P4のそれぞれが表す波が周期性を有するため、投射部5が備える光源から照射される当該光の輝度が時間的に変化しない場合、第1位相パターン像P1～第4位相パターン像P4のそれぞれの平均輝度値は、互いにほぼ同じ値となる。第1位相パターン像P1の平均輝度値は、第1位相パターン像P1上の各位置における輝度値の平均値のことである。第2位相パターン像P2の平均輝度値は、第2位相パターン像P2上の各位置における輝度値の平均値のことである。第3位相パターン像P3の平均輝度値は、第3位相パターン像P3上の各位置における輝度値の平均値のことである。第4位相パターン像P4の平均輝度値は、第4位相パターン像P4上の各位置における輝度値の平均値のことである。

20

【0074】

一方、投射部5が備える光源から照射される光の輝度が時間的に変化する場合、第1位相パターン像P1～第4位相パターン像P4のそれぞれの平均輝度値は、互いに異なる値となる。すなわち、投射部5が備える光源から照射される光の輝度が時間的に変化する場合、上記の式(1)における分母と分子に含まれている4つの輝度値である $I_1(x, y)$ 、 $I_2(x, y)$ 、 $I_3(x, y)$ 、 $I_4(x, y)$ のそれぞれは、当該輝度の変化とともに変化してしまう。これは、当該輝度が時間的に変化する場合、誤差が増大することを意味している。この誤差の増大を抑制するため、三次元形状測定装置30は、4つの位相パターン像のそれぞれを投射部5に投射させる際、4つの位相パターン像の中から予め決められた順に1つずつ対象位相パターン像を選択し、選択した対象位相パターン像を投射部5に投射させる。当該予め決められた順は、上記の式(1)、すなわち、基準となる位相パターン像が表す波の位相であって当該位相パターン像が撮像された撮像画像上における当該位相と、4つの位相パターン像のそれぞれが撮像された4つの撮像画像上の輝度値との対応関係を示す式に応じた順である。

30

【0075】

ここで、図4及び図5を参照し、位相シフト法改における予め決められた順について説明する。図4は、投射部5が備える光源から照射される光の輝度が時間的に変化する場合における4つの位相パターン像それぞれの平均輝度値の時間的变化を示す図である。図4に示したグラフの横軸は、投射部5が備える光源が光を照射し始めてからの経過時間を示す。また、当該グラフの縦軸は、4つの位相パターン像それぞれの平均輝度値を示す。また、図4に示した曲線F1は、第1位相パターン像P1の平均輝度値の時間的变化を示す曲線である。なお、図4では、第2位相パターン像P2～第4位相パターン像P4それぞれの平均輝度値の時間的变化を示す曲線は、第1位相パターン像P1の平均輝度値の時間的变化を示す曲線とほぼ重なるため、曲線F1によって代用されている。

40

【0076】

図4に示した例では、三次元形状測定装置30が、図4に示したタイミングT(P1)に第1位相パターン像P1を投射部5に投射させた場合、第1位相パターン像P1の平均輝度値は、I(P1)である。また、当該例では、三次元形状測定装置30が、図4に示

50

したタイミング T (P 2) に第 2 位相パターン像 P 2 を投射部 5 に投射させた場合、第 2 位相パターン像 P 2 の平均輝度値は、 I (P 2) である。タイミング T (P 2) は、タイミング T (P 1) よりも後のタイミングである。また、 I (P 2) は、 I (P 1) よりも高い値である。また、当該例では、三次元形状測定装置 3 0 が、図 4 に示したタイミング T (P 3) に第 3 位相パターン像 P 3 を投射部 5 に投射させた場合、第 3 位相パターン像 P 3 の平均輝度値は、 I (P 3) である。タイミング T (P 3) は、タイミング T (P 2) よりも後のタイミングである。また、 I (P 3) は、 I (P 2) よりも高い値である。また、当該例では、三次元形状測定装置 3 0 が、図 4 に示したタイミング T (P 4) に第 4 位相パターン像 P 4 を投射部 5 に投射させた場合、第 4 位相パターン像 P 4 の平均輝度値は、 I (P 4) である。タイミング T (P 4) は、タイミング T (P 3) よりも後のタイミングである。また、 I (P 4) は、 I (P 3) よりも高い値である。図 4 では、 I (P 1) と I (P 3) との差分は、 D 1 1 によって示されている。また、図 4 では、 I (P 2) と I (P 4) との差分は、 D 1 2 によって示されている。
10

【 0 0 7 7 】

差分 D 1 1 が小さいほど、上記の式 (1) における分母に含まれる誤差は、小さくなる。また、差分 D 1 2 が小さいほど、上記の式 (1) における分子に含まれる誤差は、小さくなる。

【 0 0 7 8 】

そこで、三次元形状測定装置 3 0 は、位相シフト法改において、4つの位相パターン像のそれぞれを投射部 5 に投射させる順を、図 4 に示した順と異なる順にし、4つの位相パターン像のそれを当該順に、投射部 5 に投射させる。図 5 に示したように、三次元形状測定装置 3 0 は、図 4 に示したタイミング T (P 2) と図 4 に示したタイミング T (P 3) とを入れ替えることにより、上記の式 (1) における分母に含まれる誤差と、上記の式 (1) における分子に含まれる誤差とを小さくすることができる。
20

【 0 0 7 9 】

図 5 は、図 4 に示したグラフであって4つの位相パターン像のそれぞれが投射部 5 により投射されるタイミングの順を変化させた場合におけるグラフを示す図である。図 5 では、 I (P 1) と I (P 3) との差分は、 D 2 1 によって示されている。D 2 1 は、 D 1 1 よりも小さい値である。また、図 5 では、 I (P 2) と I (P 4) との差分は、 D 2 2 によって示されている。D 2 2 は、 D 1 2 よりも小さい値である。すなわち、三次元形状測定システム 1 は、予め決められた順として、第 1 位相パターン像 P 1 、第 3 位相パターン像 P 3 、第 2 位相パターン像 P 2 、第 4 位相パターン像 P 4 の順に、4つの位相パターン像のそれを投射部 5 に投射されることにより、上記の式 (1) における分母に含まれる誤差と、上記の式 (1) における分子に含まれる誤差とを小さくすることができる。すなわち、三次元形状測定装置 3 0 は、位相シフト法改を用いることによって、対象物 O の三次元形状の測定を行う際に発生するこれらの誤差を抑制することができる。その結果、三次元形状測定装置 3 0 は、投射部 5 が備える光源から照射される光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの待機時間を省略することができ、対象物 O の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。
30

【 0 0 8 0 】

ここで、図 5 に示した順であって4つの位相パターン像のそれを投射部 5 に投射させる順は、上記の式 (1) 、すなわち、基準となる位相パターン像が表す波の位相であって当該位相パターン像が撮像された撮像画像上における当該位相と、4つの位相パターン像のそれが撮像された4つの撮像画像上の輝度値との対応関係を示す式に応じて決定される。具体的には、当該順は、当該式の分母に含まれる輝度値のそれに対応する位相パターン像同士が連続して投射される順であり、且つ、当該式の分子に含まれる輝度値のそれに対応する位相パターン像同士が連続して投射される順である。この一例のように4ステップ法の位相シフト法改では、当該分母に含まれる輝度値に対応する位相パターン像は、第 1 位相パターン像 P 1 と第 3 位相パターン像 P 3 である。また、当該位相シフト法改では、当該分子に含まれる輝度値に対応する位相パターン像は、第 2 位相パターン像
40

ン像 P 2 と第 4 位相パターン像 P 4 である。このため、三次元形状測定装置 3 0 は、図 5 に示した順はであって 4 つの位相パターン像のそれぞれを投射部 5 に投射させる順を、第 1 位相パターン像 P 1 、第 3 位相パターン像 P 3 、第 2 位相パターン像 P 2 、第 4 位相パターン像 P 4 の順とすることにより、対象物 O の三次元形状の測定を行う際に発生するこれらの誤差を抑制することができる。なお、4 ステップ法を除く n ステップ法（n は、4 を除く 3 以上の整数）の場合、n 個の位相パターン像のそれぞれを投射部 5 に投射させる順は、n ステップ法における当該式の分子及び分母それぞれに含まれる輝度値に対応する位相パターン像に応じて決まる。

【 0 0 8 1 】

なお、三次元形状測定システム 1 は、予め決められた順として、第 2 位相パターン像 P 2 、第 4 位相パターン像 P 4 、第 1 位相パターン像 P 1 、第 3 位相パターン像 P 3 の順に、4 つの位相パターン像のそれぞれを投射部 5 に投射させる構成であってもよい。また、三次元形状測定システム 1 は、予め決められた順として、第 2 位相パターン像 P 2 、第 4 位相パターン像 P 4 、第 3 位相パターン像 P 3 、第 1 位相パターン像 P 1 の順に、4 つの位相パターン像のそれぞれを投射部 5 に投射させる構成であってもよい。また、三次元形状測定システム 1 は、予め決められた順として、第 4 位相パターン像 P 4 、第 2 位相パターン像 P 2 、第 1 位相パターン像 P 1 、第 3 位相パターン像 P 3 の順に、4 つの位相パターン像のそれぞれを投射部 5 に投射させる構成であってもよい。また、三次元形状測定システム 1 は、予め決められた順として、第 4 位相パターン像 P 4 、第 2 位相パターン像 P 2 、第 3 位相パターン像 P 3 、第 1 位相パターン像 P 1 の順に、4 つの位相パターン像のそれを投射部 5 に投射させる構成であってもよい。また、三次元形状測定システム 1 は、予め決められた順として、第 3 位相パターン像 P 3 、第 1 位相パターン像 P 1 、第 2 位相パターン像 P 2 、第 4 位相パターン像 P 4 の順に、4 つの位相パターン像のそれを投射部 5 に投射させる構成であってもよい。また、三次元形状測定システム 1 は、予め決められた順として、第 3 位相パターン像 P 3 、第 1 位相パターン像 P 1 、第 4 位相パターン像 P 4 、第 2 位相パターン像 P 2 の順に、4 つの位相パターン像のそれを投射部 5 に投射させる構成であってもよい。また、三次元形状測定システム 1 は、予め決められた順として、第 1 位相パターン像 P 1 、第 3 位相パターン像 P 3 、第 4 位相パターン像 P 4 、第 2 位相パターン像 P 2 の順に、4 つの位相パターン像のそれを投射部 5 に投射させる構成であってもよい。

【 0 0 8 2 】

< 三次元形状測定装置の機能構成 >

以下、図 6 を参照し、三次元形状測定装置 3 0 の機能構成について説明する。図 6 は、三次元形状測定装置 3 0 の機能構成の一例を示す図である。

【 0 0 8 3 】

三次元形状測定装置 3 0 は、メモリー 3 2 と、通信部 3 4 と、制御部 3 6 を備える。

【 0 0 8 4 】

制御部 3 6 は、三次元形状測定装置 3 0 の全体を制御する。制御部 3 6 は、操作受付部 3 6 1 と、タイミング制御部 3 6 2 と、撮像制御部 3 6 3 と、投射制御部 3 6 5 と、画像取得部 3 6 7 と、対応付部 3 7 1 と、三次元形状測定部 3 7 3 と、記憶制御部 3 7 5 と、表示制御部 3 7 7 と、画像生成部 3 7 9 を備える。制御部 3 6 が備えるこれらの機能部は、例えば、プロセッサー 3 1 が、メモリー 3 2 に記憶された指令 3 2 1 、3 2 2 等の各種の指令を実行することにより実現される。また、当該機能部のうちの一部又は全部は、L S I (Large Scale Integration) や A S I C (Application Specific Integrated Circuit) 等のハードウェア機能部であってもよい。

【 0 0 8 5 】

操作受付部 3 6 1 は、入力装置 4 0 を介してユーザーからの操作を受け付ける。また、操作受付部 3 6 1 は、他の装置からの要求を三次元形状測定装置 3 0 に対する操作として受け付ける。

【 0 0 8 6 】

10

20

30

40

50

タイミング制御部 362 は、後述する画像生成部 379 が生成した複数の位相パターン像のそれぞれを投射部 5 に投射させる投射タイミングと、投射部 5 により投射された複数の位相パターン像のそれぞれを撮像部 10 に撮像させる撮像タイミングとを制御する。

【0087】

撮像制御部 363 は、撮像部 10 が撮像可能な撮像範囲 R2 を撮像部 10 に撮像させる。

【0088】

投射制御部 365 は、投射部 5 が投射画像を投射可能な投射範囲 R1 に投射画像を投射させる。

【0089】

画像取得部 367 は、撮像部 10 が撮像した撮像画像を撮像部 10 から取得する。

10

【0090】

対応付部 371 は、画像取得部 367 が撮像部 10 から取得した撮像画像のうち前述の第 1 撮像画像 C1 ~ 第 4 撮像画像 C4 のそれぞれに基づいて、基準となる位相パターン像である第 1 位相パターン像 P1 が表す波の位相であって第 1 位相パターン像 P1 が撮像された第 1 撮像画像 C1 上の各位置における位相を算出する。対応付部 371 は、算出した位相に基づいて、前述の対応位置を算出する。

【0091】

三次元形状測定部 373 は、対応付部 371 が算出した対応位置に基づいて、例えば、三角測量法によって対象物 O の三次元形状を測定する。なお、三次元形状測定部 373 は、当該対応位置に基づく他の方法によって対象物 O の三次元形状を測定する構成であってもよい。

20

【0092】

記憶制御部 375 は、三次元形状測定部 373 の測定結果をメモリー 32 に記憶させる。なお、記憶制御部 375 は、当該測定結果を、三次元形状測定装置 30 と通信可能に接続された他の装置が備えるメモリー、クラウド上の情報処理装置が備えるメモリー等に記憶させる構成であってもよい。

【0093】

表示制御部 377 は、表示装置 50 に表示させる各種の画像を生成する。表示制御部 377 は、生成した画像を表示装置 50 に表示させる。

30

【0094】

画像生成部 379 は、操作受付部 361 から受け付けた操作に応じて、複数の位相パターン像を生成する。

【0095】

<三次元形状測定装置が対象物の三次元形状を測定する処理>

以下、図 7 を参照し、三次元形状測定装置 30 が対象物 O の三次元形状を測定する処理について説明する。図 7 は、三次元形状測定装置 30 が対象物 O の三次元形状を測定する処理の流れの一例を示す図である。なお、図 7 の説明において、図 6 に示した制御部 36 が備える各機能部が行う処理は、すなわち、情報処理装置 PC1 が備えるプロセッサー 31 が行う処理のことである。

40

【0096】

操作受付部 361 は、対象物 O の三次元形状を測定する処理を開始させる操作である測定開始操作を、入力装置 40 を介して受け付けるまで待機する(ステップ S110)。例えば、操作受付部 361 は、表示制御部 377 により表示装置 50 に予め表示された操作画面を介してユーザーから測定開始操作を受け付ける。測定開始操作を入力装置 40 を介して受け付けたと操作受付部 361 が判定した場合(ステップ S110 - YES)、画像生成部 379 は、前述の 4 つの位相パターン像、すなわち、第 1 位相パターン像 P1 ~ 第 4 位相パターン像 P4 のそれぞれを生成する(ステップ S120)。なお、第 1 位相パターン像 P1 ~ 第 4 位相パターン像 P4 のそれぞれは、メモリー 32 に予め格納されている構成であってもよい。この場合、記憶制御部 375 は、第 1 位相パターン像 P1 ~ 第 4 位

50

相パターン像 P 4 のそれぞれを、ステップ S 110 の処理が行われるよりも前のタイミングにおいて、ユーザーからの操作に応じてメモリー 32 に格納する（記憶させる）。また、操作受付部 361 は、ステップ S 110 において、測定開始操作を、他の装置から受け付けるまで待機する構成であってもよい。当該他の装置は、例えば、図 2 に示した情報処理装置 PC2、情報処理装置 PC3 等のことである。なお、記憶制御部 375 は、第 1 位相パターン像 P 1 ~ 第 4 位相パターン像 P 4 のそれぞれを、ステップ S 110 の処理が行われるよりも前のタイミングにおいて、ユーザーからの操作に応じて、他の装置が備えるメモリー、クラウド上の情報処理装置が備えるメモリー等に格納する（記憶させる）構成であってもよい。

【0097】

10

次に、投射制御部 365 は、ステップ S 120 において生成された 4 つの位相パターン像のそれぞれを、図 5 に示した順、すなわち、第 1 位相パターン像 P 1、第 3 位相パターン像 P 3、第 2 位相パターン像 P 2、第 4 位相パターン像 P 4 の順に 1 つずつ対象位相パターン像として選択する（ステップ S 130）。そして、投射制御部 365 と、撮像制御部 363 と、タイミング制御部 362 と、画像取得部 367 と、記憶制御部 375 のそれぞれは、ステップ S 140 ~ ステップ S 170 の処理を繰り返し行う。この際、投射制御部 365 は、ステップ S 140 ~ ステップ S 170 の繰り返し処理のうちの 1 回目に実行されるステップ S 140 の処理が開始される前のタイミングにおいて、投射部 5 が備える光源に光の照射を開始させる。ただし、投射制御部 365 と、撮像制御部 363 と、タイミング制御部 362 と、画像取得部 367 と、記憶制御部 375 のそれぞれは、当該 1 回目に実行されるステップ S 140 の処理を、当該光源が光を照射させ始めてから前述の立上時間が経過するまでの間において開始する。

20

【0098】

ステップ S 130 において対象位相パターン像を選択した後、投射制御部 365 は、選択した対象位相パターン像を投射部 5 に投射範囲 R 1 へ投射させる（ステップ S 140）。具体的には、ステップ S 140 においてタイミング制御部 362 は、予め決められたタイミングのうちの前述の投射タイミングを投射制御部 365 に出力する。投射制御部 365 は、タイミング制御部 362 から取得した投射タイミングに応じて、ステップ S 130 において選択した対象位相パターン像を投射部 5 に投射範囲 R 1 へ投射させる。

【0099】

30

次に、撮像制御部 363 は、撮像部 10 が撮像可能な撮像範囲 R 2 を撮像部 10 に撮像させる（ステップ S 150）。具体的には、ステップ S 150 においてタイミング制御部 362 は、予め決められたタイミングのうちの前述の撮像タイミングを撮像制御部 363 に出力する。撮像制御部 363 は、タイミング制御部 362 から取得した撮像タイミングに応じて、撮像範囲 R 2 を撮像部 10 に撮像させる。なお、直近に実行されたステップ S 140 における投射タイミングと、ステップ S 150 における撮像タイミングとの間の時間が短いほど、図 5 に示した D 21 及び D 22 に起因する誤差は、小さくなる。

【0100】

なお、投射制御部 365 が投射タイミングを制御するとともに、撮像制御部 363 が撮像タイミングを制御する場合、三次元形状測定装置 30 は、タイミング制御部 362 を備えない構成であってもよい。また、タイミング制御部 362 は、操作受付部 361 がユーザーから受け付けた操作に応じて、投射タイミングと撮像タイミングとのいずれか一方又は両方を変更可能な構成であってもよい。この場合、タイミング制御部 362 は、例えば、ミリ秒単位で投射タイミングと撮像タイミングとのいずれか一方又は両方を変更可能である。これにより、三次元形状測定装置 30 は、投射部 5 が備える光源が光を照射させ始めてから立上時間が経過するまでの間において、より確実に投射撮像処理を開始することができる。

40

【0101】

次に、画像取得部 367 は、ステップ S 150 において撮像部 10 が撮像した撮像画像を撮像部 10 から取得する（ステップ S 160）。

50

【0102】

次に、記憶制御部375は、ステップS160において画像取得部367が取得した撮像画像をメモリー32に記憶させる(ステップS170)。なお、記憶制御部375は、当該撮像画像を、他の装置が備えるメモリー、クラウド上の情報処理装置が備えるメモリー等に記憶させる構成であってもよい。

【0103】

ステップS170の処理が行われた後、投射制御部365は、ステップS130に遷移し、次の対象位相パターン像を選択する。なお、ステップS130において、対象位相パターン像として未選択の位相パターン像が存在しない場合、対応付部371は、ステップS180に遷移する。

10

このように、投射制御部365と、撮像制御部363と、タイミング制御部362と、画像取得部367と、記憶制御部375のそれぞれは、ステップS130～ステップS170の処理を、投射部5が備える光源が光を照射させ始めてから立上時間以下の時間内において開始する。

【0104】

ステップS130～ステップS170の繰り返し処理が行われた後、対応付部371は、繰り返し実行されたステップS170においてメモリー32に記憶された4つの撮像画像をメモリー32から読み出す(ステップS180)。

【0105】

次に、対応付部371は、ステップS180においてメモリー32から読み出した4つの撮像画像、すなわち、第1撮像画像C1～第4撮像画像C4のそれぞれと、上記の式(1)に基づいて、基準となる位相パターン像である第1位相パターン像P1が撮像された撮像画像である第1撮像画像C1上の各位置における位相を算出する(ステップS190)。

20

【0106】

次に、対応付部371は、ステップS190において算出された位相であって第1撮像画像C1上の各位置における位相に基づいて、前述の対応位置を算出する(ステップS200)。

【0107】

次に、三次元形状測定部373は、ステップS200において算出した対応位置に基づいて、対象物Oの三次元形状を測定する(ステップS210)。すなわち、三次元形状測定装置30は、ステップS210において、対象物Oの三次元形状を示す三次元形状情報を生成する。そして、三次元形状測定部373は、処理を終了する。

30

【0108】

以上のように、三次元形状測定装置30は、投射部(この一例において、投射部5)が備える光源が光を照射させ始めてから当該光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部により投射させるとともに、位相パターン像のそれぞれが投射部により投射される毎に、位相パターン像を撮像部(この一例において、撮像部10)に撮像させる処理(この一例において、投射撮像処理)を開始し、当該処理が行われた後、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、位相パターン像が投射された対象物(この一例において、対象物O)の三次元形状を測定する。これにより、三次元形状測定装置30は、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。

40

【0109】

また、三次元形状測定装置30は、第1位相パターン像(この一例において、第1位相パターン像P1)、第3位相パターン像(この一例において、第3位相パターン像P3)、第2位相パターン像(この一例において、第2位相パターン像P2)、第4位相パターン像(この一例において、第4位相パターン像P4)の順に投射部に投射させる。これにより、三次元形状測定装置30は、第1位相パターン像、第3位相パターン像、第2位相パターン像、第4位相パターン像の順に投射部に投射された第1位相パターン像、第2位

50

相パターン像、第3位相パターン像、第4位相パターン像に基づいて、誤差を低減することができるとともに、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。

【0110】

また、三次元形状測定装置30は、操作を受け付け、受け付けた操作に応じて、複数の位相パターン像を生成し、生成した複数の位相パターン像のそれぞれを投射部に投射させる投射タイミングと、投射部により投射された位相パターン像のそれぞれを撮像部に撮像させる撮像タイミングとを制御し、制御された投射タイミングに応じて、生成した複数の位相パターン像のそれぞれを投射部に投射させ、制御された撮像タイミングに応じて、位相パターン像を撮像部に撮像させ、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、対象物の三次元形状を測定する。これにより、三次元形状測定装置30は、投射タイミング及び撮像タイミングに基づいて、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。10

【0111】

また、三次元形状測定装置30は、ユーザーから操作を受け付ける。これにより、三次元形状測定装置30は、ユーザーから受け付けた操作に応じて、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。

【0112】

また、三次元形状測定装置30は、他の装置からの要求を操作として受け付ける。これにより、三次元形状測定装置30は、他の装置から受け付けた操作に応じて、対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。20

【0113】

また、三次元形状測定装置30は、撮像部により撮像された撮像画像に基づく位相シフト法（この一例において、位相シフト法改）を用いて、位相パターン像が投射された対象物の三次元形状を測定する。これにより、三次元形状測定装置30は、位相シフト法による対象物の三次元形状の測定に要する時間を短くすることができる。

【0114】

<実施形態の変形例1>

以下、図8及び図9を参照し、実施形態の変形例1について説明する。なお、実施形態の変形例1では、実施形態と同様な構成部に対して同じ符号を付して説明を省略する。

【0115】

図8は、実施形態の変形例1に係るロボットシステム2の一例を示す構成図である。実施形態の変形例1では、上記の実施形態において説明した三次元形状測定装置30をロボットシステム2が備える。より具体的には、ロボットシステム2は、投射部5と、撮像部10と、三次元形状測定装置30と、入力装置40と、表示装置50と、ロボット60と、ロボット制御装置70を備える。ロボットシステム2では、三次元形状測定装置30は、ロボット制御装置70と無線又は有線によって通信可能に接続される。そして、ロボットシステム2では、三次元形状測定装置30は、ロボット制御装置70からの要求に応じて対象物Oの三次元形状を測定する。そして、ロボット制御装置70は、三次元形状測定装置30が測定した対象物Oの三次元形状に基づいてロボット60を動かす。30

【0116】

<ロボットシステムの構成>

以下、図8を参照し、ロボットシステム2の構成について説明する。

【0117】

三次元形状測定装置30は、この一例において、ロボット制御装置70からの要求に応じて、対象物Oの三次元形状を測定する。

【0118】

入力装置40は、この一例において、三次元形状測定装置30ではなく、ロボット制御装置70と無線又は有線によって通信可能に接続される。

【0119】

表示装置50は、この一例において、三次元形状測定装置30ではなく、ロボット制御

10

20

30

40

50

装置 7 0 と無線又は有線によって通信可能に接続される。

【 0 1 2 0 】

ロボット 6 0 は、可動部 A と、可動部 A を支持する支持台 B を備える単腕ロボットである。単腕ロボットは、この一例における可動部 A のような 1 本のアーム（腕）を備えるロボットである。なお、ロボット 6 0 は、単腕ロボットに代えて、複腕ロボットであってもよく、ガントリロボットのような直動ロボットであってもよく、スカラロボットであってもよく、その他のロボットであってもよい。複腕ロボットは、2 本以上のアーム（例えば、2 本以上の可動部 A ）を備えるロボットである。なお、複腕ロボットのうち、2 本のアームを備えるロボットは、双腕ロボットとも称される。すなわち、ロボット 6 0 は、2 本のアームを備える双腕ロボットであってもよく、3 本以上のアーム（例えば、3 本以上の可動部 A ）を備える複腕ロボットであってもよい。10

【 0 1 2 1 】

可動部 A は、エンドエフェクター E と、マニピュレーター M を備える。

エンドエフェクター E は、物体を保持するエンドエフェクターである。この一例において、エンドエフェクター E は、指部を備え、当該指部によって物体を挟んで持つことにより当該物体を保持する。なお、エンドエフェクター E は、これに代えて、空気の吸引や磁力、他の治具等によって物体を持ち上げることにより当該物体を保持する構成であってもよい。すなわち、この一例において、保持するとは、物体を持ち上げることが可能な状態にすることを意味する。

【 0 1 2 2 】

エンドエフェクター E は、ケーブルによってロボット制御装置 7 0 と通信可能に接続されている。これにより、エンドエフェクター E は、ロボット制御装置 7 0 から取得される制御信号に基づく動作を行う。なお、ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）や U S B 等の規格によって行われる。また、エンドエフェクター E は、 W i - F i （登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によってロボット制御装置 7 0 と接続される構成であってもよい。20

【 0 1 2 3 】

マニピュレーター M は、6 つの関節を備える。また、6 つの関節はそれぞれ、図示しないアクチュエーターを備える。すなわち、マニピュレーター M を備える可動部 A は、6 軸垂直多関節型のアームである。なお、可動部 A は、これに代えて、6 軸水平多関節型のアームであってもよい。可動部 A は、支持台 B と、エンドエフェクター E と、マニピュレーター M と、マニピュレーター M が備える6 つの関節それぞれのアクチュエーターとによる連携した動作によって6 軸の自由度の動作を行う。なお、可動部 A は、5 軸以下の自由度で動作する構成であってもよく、7 軸以上の自由度で動作する構成であってもよい。30

【 0 1 2 4 】

マニピュレーター M が備える6 つの（関節に備えられた）アクチュエーターはそれぞれ、ケーブルによってロボット制御装置 7 0 と通信可能に接続されている。これにより、当該アクチュエーターは、ロボット制御装置 7 0 から取得される制御信号に基づいて、マニピュレーター M を動作させる。なお、ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）や U S B 等の規格によって行われる。また、マニピュレーター M が備える6 つのアクチュエーターのうちの一部又は全部は、 W i - F i （登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によってロボット制御装置 7 0 と接続される構成であってもよい。40

【 0 1 2 5 】

なお、ロボット 6 0 は、投射部 5 と、撮像部 1 0 とのいずれか一方又は両方を備える構成であってもよい。

【 0 1 2 6 】

ロボット制御装置 7 0 は、少なくとも1 つのプロセッサーと、少なくとも1 つのメモリーとによって構成される。ロボット制御装置 7 0 において、当該少なくとも1 つのプロセッサーは、1 つの装置に備えられる構成であってもよく、複数の情報処理装置に分散され50

て備えられている構成であってもよい。また、ロボット制御装置70において、当該少なくとも1つのメモリーは、1つの装置に備えられる構成であってもよく、複数の情報処理装置に分散されて備えられている構成であってもよい。

【0127】

図8に示した例では、ロボット制御装置70は、情報処理装置PC4に備えられた1つのプロセッサーと、情報処理装置PC4に備えられた1つのメモリーとによって構成されている。なお、情報処理装置PC4は、当該プロセッサーに加えて、他のプロセッサーを備える構成であってもよく、当該メモリーに加えて、他のメモリーを備える構成であってもよい。

【0128】

ロボット制御装置70が備えるプロセッサーは、例えば、CPUである。なお、当該プロセッサーは、FPGA等の他のプロセッサーであってもよい。ロボット制御装置70が備えるプロセッサーは、ロボット制御装置70が備えるメモリーに格納された各種の指令を実行する。また、当該プロセッサーは、他の装置のメモリーに格納された各種の指令を実行する。

10

【0129】

ロボット制御装置70が備えるメモリーは、例えば、HDD、SSD、EEPROM、ROM、RAM等を含む。すなわち、当該メモリーは、一時的な記憶装置と、非一時的な記憶装置とを含む。なお、当該メモリーは、情報処理装置PC1に内蔵されるものに代えて、USB等のデジタル入出力ポート等によって接続された外付け型の記憶装置であってもよい。当該メモリーは、ロボット制御装置70が備えるプロセッサー又は他の装置のプロセッサーが処理する各種の情報、コンピューターにより実行可能な各種の指令（例えば、プログラム、コード等）、各種の画像等を格納する。

20

【0130】

なお、ロボット制御装置70は、1つのプロセッサーと、1つのメモリーとを備える情報処理装置PC4に代えて、複数の情報処理装置のうちの一部又は全部によって構成されてもよい。複数の情報処理装置によって三次元形状測定装置30が構成される場合におけるロボット制御装置70のハードウェア構成は、図2に示した情報処理装置PC1を情報処理装置PC4に置き換えた場合のハードウェア構成と同様の構成であるため、説明を省略する。

30

【0131】

また、ロボット制御装置70は、他の装置と通信を行うため、ハードウェア機能部として通信部を備える。

当該通信部は、USB等のデジタル入出力ポートやイーサネット（登録商標）ポート等を含んで構成される。

【0132】

ロボット制御装置70は、ユーザーから受け付けた操作に応じて、又は他の装置から受け付けた要求に応じて、三次元形状測定装置30に対象物Oの三次元形状を測定させる。ロボット制御装置70は、三次元形状測定装置30が生成した対象物Oの三次元形状を示す三次元形状情報を三次元形状測定装置30から取得する。ロボット制御装置70は、取得した三次元形状情報に基づいて、ロボット座標系における対象物Oの位置及び姿勢を算出する。ロボット制御装置70は、算出した対象物Oの位置及び姿勢に基づいて、ロボット60に所定の作業を行わせる。所定の作業は、例えば、ロボット60に対象物Oを保持させる作業である。なお、所定の作業は、これに代えて、対象物Oに関する他の作業であってもよい。

40

【0133】

なお、ロボット制御装置70は、三次元形状測定装置30と一緒に構成されてもよい。また、ロボット制御装置70は、ロボット60に内蔵される構成であってもよい。

【0134】

<ロボット制御装置がロボットに所定の作業を行わせる処理>

50

以下、図9を参照し、ロボット制御装置70がロボット60に所定の作業を行わせる処理について説明する。図9は、ロボット制御装置70がロボット60に所定の作業を行わせる処理の流れの一例を示す図である。

【0135】

ロボット制御装置70は、三次元形状測定装置30に対象物Oの三次元形状を測定させる要求である三次元形状測定要求を三次元形状測定装置30に出力する（ステップS310）。例えば、ロボット制御装置70は、ロボット制御装置70が表示装置50に予め表示させたロボット操作画面を介して、三次元形状測定要求を三次元形状測定装置30に出力させる操作をユーザーから受け付ける。そして、ロボット制御装置70は、受け付けた当該操作に応じて、三次元形状測定要求を三次元形状測定装置30に出力する。三次元形状測定要求を受け付けた三次元形状測定装置30の操作受付部361は、図7に示したステップS110において、測定開始操作を受け付けたと判定する。そして、三次元形状測定部373は、ステップS120～ステップS210の処理を行い、対象物Oの三次元形状を測定する。10

【0136】

次に、ロボット制御装置70は、ステップS310において出力した三次元形状測定要求に対する応答として、三次元形状測定装置30が生成した対象物Oの三次元形状を示す三次元形状情報を三次元形状測定装置30から取得する（ステップS320）。

【0137】

次に、ロボット制御装置70は、ステップS320において取得した三次元形状情報に基づいて、ロボット座標系における対象物Oの位置及び姿勢を算出する（ステップS330）。三次元形状情報に基づいてロボット座標系における対象物Oの位置及び姿勢を算出する方法は、既知の方法であってもよく、これから開発される方法であってもよい。20

【0138】

次に、ロボット制御装置70は、ステップS330において算出した位置及び姿勢に基づいて、ロボット60に所定の作業を行わせ（ステップS340）、処理を終了する。

【0139】

以上のように、ロボットシステム2は、投射部（この一例において、投射部5）が備える光源が光を照射させ始めてから当該光の輝度が時間的に変化しなくなるまでの時間である立上時間が経過するまでの間ににおいて、互いに異なる複数の位相パターン像のそれぞれを投射部により投射させるとともに、位相パターン像のそれぞれが投射部により投射される毎に、位相パターン像を撮像部（この一例において、撮像部10）に撮像させる処理（この一例において、投射撮像処理）を開始し、当該処理が行われた後、撮像部により撮像された撮像画像に基づいて、位相パターン像が投射された対象物（この一例において、対象物O）の三次元形状を測定する。これにより、ロボットシステム2は、ロボット（この一例において、ロボット60）に行わせる作業に要する時間を短くすることができる。30

【0140】

<実施形態の変形例2>

以下、図10を参照し、実施形態の変形例2について説明する。なお、実施形態の変形例2では、実施形態及び実施形態の変形例1と同様な構成部に対して同じ符号を付して説明を省略する。40

【0141】

図10は、実施形態の変形例2に係るロボットシステム3の一例を示す構成図である。実施形態の変形例2では、上記の実施形態において説明した三次元形状測定装置30をロボットシステム3が備える。より具体的には、ロボットシステム3は、投射部5と、撮像部10と、三次元形状測定装置30と、入力装置40と、表示装置50と、ロボット制御装置70と、ロボット80を備える。ロボットシステム3では、三次元形状測定装置30は、ロボット制御装置70と無線又は有線によって通信可能に接続され、ロボット制御装置70とともにロボット80に内蔵される。そして、ロボットシステム3では、三次元形状測定装置30は、ロボット制御装置70からの要求に応じて対象物Oの三次元形状を測定する。50

定する。そして、ロボット制御装置 70 は、三次元形状測定装置 30 が測定した対象物 O の三次元形状に基づいてロボット 80 を動かす。なお、ロボットシステム 3 は、撮像部 10 と、入力装置 40 と、表示装置 50 のうちの一部又は全部を備えない構成であってもよい。

【0142】

<ロボットシステムの構成>

以下、図 10 を参照し、ロボットシステム 3 の構成について説明する。

【0143】

三次元形状測定装置 30 は、この一例において、ロボット制御装置 70 からの要求に応じて、対象物 O の三次元形状を測定する。

10

【0144】

入力装置 40 は、この一例において、三次元形状測定装置 30 ではなく、ロボット制御装置 70 と無線又は有線によって通信可能に接続される。

【0145】

表示装置 50 は、この一例において、三次元形状測定装置 30 ではなく、ロボット制御装置 70 と無線又は有線によって通信可能に接続される。

【0146】

ロボット 80 は、第 1 アーム A 1 と、第 2 アーム A 2 と、第 1 アーム A 1 及び第 2 アーム A 2 を支持する支持台 B S と、支持台 B S の内側にロボット制御装置 70 とともに三次元形状測定装置 30 を備える双腕ロボットである。

20

【0147】

支持台 B S は、ロボット 80 が設置された設置面に直交する方向に沿って 2 つの部分に分割されている。なお、支持台 B は、分割されていない構成であってもよく、3 つ以上の部分に分割されている構成であってもよい。当該 2 つの部分のうち当該設置面から遠い方の部分は、当該 2 つの部分のうち当該設置面から近い方の部分に対して回動可能である。当該遠い方の部分が回動する場合の回動面は、例えば、当該設置面に対して平行である。なお、当該回動面は、当該設置面に対して非平行であってもよい。

【0148】

第 1 アーム A 1 は、第 1 エンドエフェクター E 1 と、第 1 マニピュレーター M 1 を備える。

30

【0149】

第 1 エンドエフェクター E 1 は、物体を保持するエンドエフェクターである。この一例において、第 1 エンドエフェクター E 1 は、指部を備え、当該指部によって物体を挟んで持つことにより当該物体を保持する。なお、第 1 エンドエフェクター E 1 は、これに代えて、空気の吸引や磁力、他の治具等によって物体を持ち上げることにより当該物体を保持する構成であってもよい。

【0150】

第 1 エンドエフェクター E 1 は、ケーブルによってロボット制御装置 70 と通信可能に接続されている。これにより、第 1 エンドエフェクター E 1 は、ロボット制御装置 30 から取得される制御信号に基づく動作を行う。なお、ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）、U S B 等の規格によって行われる。また、第 1 エンドエフェクター E 1 は、Wi-Fi（登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によってロボット制御装置 70 と接続される構成であってもよい。

40

【0151】

第 1 マニピュレーター M 1 は、7 つの関節と、第 1 撮像部 21 を備える。また、当該 7 つの関節のそれぞれは、図示しないアクチュエーターを備える。すなわち、第 1 マニピュレーター M 1 を備える第 1 アーム A 1 は、7 軸垂直多関節型のアームである。第 1 アーム A 1 は、支持台 B S と、第 1 エンドエフェクター E 1 と、第 1 マニピュレーター M 1 と、当該 7 つの関節それぞれのアクチュエーターとによる連携した動作によって 7 軸の自由度の動作を行う。なお、第 1 アーム A 1 は、6 軸以下の自由度で動作する構成であってもよ

50

く、8軸以上の自由度で動作する構成であってもよい。

【0152】

第1アームA1が7軸の自由度で動作する場合、第1アームA1は、6軸以下の自由度で動作する場合と比較して取り得る姿勢が増える。これにより第1アームA1は、例えば、動作が滑らかになり、更に第1アームA1の周辺に存在する物体との干渉を容易に回避することができる。また、第1アームA1が7軸の自由度で動作する場合、第1アームA1の制御は、第1アームA1が8軸以上の自由度で動作する場合と比較して計算量が少な
く容易である。

【0153】

第1マニピュレーターM1が備える7つのアクチュエーターはそれぞれ、ケーブルによってロボット制御装置70と通信可能に接続されている。これにより、当該アクチュエーターは、ロボット制御装置70から取得される制御信号に基づいて、第1マニピュレーターM1を動作させる。なお、ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）、USB等の規格によって行われる。また、第1マニピュレーターM1が備える7つのアクチュエーターのうちの一部又は全部は、Wi-Fi（登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によってロボット制御装置70と接続される構成であってもよい。10

【0154】

第1撮像部21は、例えば、CCD、CMOS等を、集光された光を電気信号に変換する撮像素子として備えたカメラである。この一例において、第1撮像部21は、第1マニピュレーターM1の一部に備えられる。そのため、第1撮像部21は、第1マニピュレーターM1の動きに応じて移動する。また、第1撮像部21が撮像可能な範囲は、第1アームA1の動きに応じて変化する。第1撮像部21は、当該範囲の二次元画像を撮像する。なお、第1撮像部21は、当該範囲の静止画像を撮像する構成であってもよく、当該範囲の動画像を撮像する構成であってもよい。20

【0155】

また、第1撮像部21は、ケーブルによってロボット制御装置70と通信可能に接続されている。ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）、USB等の規格によって行われる。なお、第1撮像部21は、Wi-Fi（登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によってロボット制御装置70と接続される構成であってもよい。30

【0156】

第2アームA2は、第2エンドエフェクターE2と、第2マニピュレーターM2と、第2力検出部C2を備える。

【0157】

第2エンドエフェクターE2は、物体を保持するエンドエフェクターである。この一例において、第2エンドエフェクターE2は、指部を備え、当該指部によって物体を挟んで持つことにより当該物体を保持する。なお、第2エンドエフェクターE2は、これに代えて、空気の吸引や磁力、他の治具等によって物体を持ち上げることにより当該物体を保持する構成であってもよい。

【0158】

第2エンドエフェクターE2は、ケーブルによってロボット制御装置70と通信可能に接続されている。これにより、第2エンドエフェクターE2は、ロボット制御装置70から取得される制御信号に基づく動作を行う。なお、ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）、USB等の規格によって行われる。また、第2エンドエフェクターE2は、Wi-Fi（登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によってロボット制御装置70と接続される構成であってもよい。40

【0159】

第2マニピュレーターM2は、7つの関節と、第2撮像部22を備える。また、当該7つの関節のそれぞれは、図示しないアクチュエーターを備える。すなわち、第2マニピュレーターM2を備える第2アームA2は、7軸垂直多関節型のアームである。第2アーム50

A 2 は、支持台 B と、第 2 エンドエフェクター E 2 と、第 2 マニピュレーター M 2 と、当該 7 つの関節それぞれのアクチュエーターとによる連携した動作によって 7 軸の自由度の動作を行う。なお、第 2 アーム A 2 は、6 軸以下の自由度で動作する構成であってもよく、8 軸以上の自由度で動作する構成であってもよい。

【 0 1 6 0 】

第 2 アーム A 2 が 7 軸の自由度で動作する場合、第 2 アーム A 2 は、6 軸以下の自由度で動作する場合と比較して取り得る姿勢が増える。これにより第 2 アーム A 2 は、例えば、動作が滑らかになり、更に第 2 アーム A 2 の周辺に存在する物体との干渉を容易に回避することができる。また、第 2 アーム A 2 が 7 軸の自由度で動作する場合、第 2 アーム A 2 の制御は、第 2 アーム A 2 が 8 軸以上の自由度で動作する場合と比較して計算量が少な
10 く容易である。

【 0 1 6 1 】

第 2 マニピュレーター M 2 が備える 7 つのアクチュエーターはそれぞれ、ケーブルによってロボット制御装置 7 0 と通信可能に接続されている。これにより、当該アクチュエーターは、ロボット制御装置 3 0 から取得される制御信号に基づいて、第 2 マニピュレーター M 2 を動作させる。なお、ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）、U S B 等の規格によって行われる。また、第 2 マニピュレーター M 2 が備える 7 つのアクチュエーターのうちの一部又は全部は、W i - F i（登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によってロボット制御装置 7 0 と接続される構成であってもよい。

【 0 1 6 2 】

第 2 撮像部 2 2 は、例えば、C C D、C M O S 等を、集光された光を電気信号に変換する撮像素子として備えたカメラである。この一例において、第 2 撮像部 2 2 は、第 2 マニピュレーター M 2 の一部に備えられる。そのため、第 2 撮像部 2 2 は、第 2 マニピュレーター M 2 の動きに応じて移動する。また、第 2 撮像部 2 2 が撮像可能な範囲は、第 2 アーム A 2 の動きに応じて変化する。第 2 撮像部 2 2 は、当該範囲の二次元画像を撮像する。なお、第 2 撮像部 2 2 は、当該範囲の静止画像を撮像する構成であってもよく、当該範囲の動画像を撮像する構成であってもよい。

【 0 1 6 3 】

また、第 2 撮像部 2 2 は、ケーブルによってロボット制御装置 7 0 と通信可能に接続されている。ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）、U S B 等の規格によって行われる。なお、第 2 撮像部 2 2 は、W i - F i（登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によってロボット制御装置 7 0 と接続される構成であってもよい。

【 0 1 6 4 】

また、ロボット 2 0 は、第 3 撮像部 2 3 と、第 4 撮像部 2 4 を備える。

第 3 撮像部 2 3 は、例えば、C C D、C M O S 等を、集光された光を電気信号に変換する撮像素子として備えたカメラである。第 3 撮像部 2 3 は、第 4 撮像部 2 4 が撮像可能な範囲を第 4 撮像部 2 4 とともにステレオ撮像可能な部位に備えられる。第 3 撮像部 2 3 は、ケーブルによってロボット制御装置 7 0 と通信可能に接続されている。ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）、U S B 等の規格によって行われる。なお、第 3 撮像部 2 3 は、W i - F i（登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によってロボット制御装置 7 0 と接続される構成であってもよい。

【 0 1 6 5 】

第 4 撮像部 2 4 は、例えば、C C D、C M O S 等を、集光された光を電気信号に変換する撮像素子として備えたカメラである。第 4 撮像部 2 4 は、第 3 撮像部 2 3 が撮像可能な範囲を第 3 撮像部 2 3 とともにステレオ撮像可能な部位に備えられる。第 4 撮像部 2 4 は、ケーブルによって通信可能にロボット制御装置 7 0 と接続されている。ケーブルを介した有線通信は、例えば、イーサネット（登録商標）、U S B 等の規格によって行われる。なお、第 4 撮像部 2 4 は、W i - F i（登録商標）等の通信規格により行われる無線通信によってロボット制御装置 7 0 と接続される構成であってもよい。

10

20

30

40

50

【0166】

上記で説明したロボット80が備える各機能部は、この一例において、ロボット80に内蔵されたロボット制御装置70から制御信号を取得する。そして、当該各機能部は、取得した制御信号に基づいた動作を行う。なお、ロボット80は、ロボット制御装置70を内蔵する構成に代えて、外部に設置されたロボット制御装置70により制御される構成であってもよい。また、ロボット80は、第1撮像部21、第2撮像部22、第3撮像部23、第4撮像部24のうちの一部又は全部を備えない構成であってもよい。

【0167】

なお、ロボットシステム3が撮像部10を備えない場合、三次元形状測定装置30は、ロボット制御装置70を制御し、ロボット80が備える第1撮像部21～第4撮像部24のうちの一部又は全部に撮像範囲R2を撮像させる。10

【0168】

以上のように、ロボットシステム3は、単腕ロボットであるロボット60に代えて、双腕ロボットであるロボット80を備える構成であっても、実施形態の変形例1と同様の効果を得ることができる。

【0169】

以上、この発明の実施形態を、図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない限り、変更、置換、削除等されてもよい。

【0170】

また、以上に説明した装置（例えば、三次元形状測定装置30、ロボット制御装置70）における任意の構成部の機能を実現するためのプログラムを、コンピューター読み取り可能な記録媒体に記録し、そのプログラムをコンピューターシステムに読み込ませて実行するようにしてもよい。なお、ここでいう「コンピューターシステム」とは、OS(Operating System)や周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピューター読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD(Compact Disk)-ROM等の可搬媒体、コンピューターシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピューター読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムが送信された場合のサーバーやクライアントとなるコンピューターシステム内部の揮発性メモリー(RAM)のように、一定時間プログラムを保持しているものも含むものとする。2030

【0171】

また、上記のプログラムは、このプログラムを記憶装置等に格納したコンピューターシステムから、伝送媒体を介して、あるいは、伝送媒体中の伝送波により他のコンピューターシステムに伝送されてもよい。ここで、プログラムを伝送する「伝送媒体」は、インターネット等のネットワーク（通信網）や電話回線等の通信回線（通信線）のように情報を伝送する機能を有する媒体のことをいう。

また、上記のプログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、上記のプログラムは、前述した機能をコンピューターシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であってもよい。40

【符号の説明】**【0172】**

1…三次元形状測定システム、2…ロボットシステム、5…投射部、10…撮像部、30…三次元形状測定装置、31、41、51…プロセッサー、32、42、52…メモリー、40…入力装置、50…表示装置、60…ロボット、70…ロボット制御装置、321、322…指令、361…操作受付部、362…タイミング制御部、363…撮像制御部、365…投射制御部、367…画像取得部、371…対応付部、373…三次元形状測定部、377…表示制御部、379…画像生成部、C1…第1撮像画像、C2…第2撮像画像、C3…第3撮像画像、C4…第4撮像画像、P1…第1位相パターン像、P2…第50

2位相パターン像、P3…第3位相パターン像、P4…第4位相パターン像、PC1～PC4…情報処理装置

【図1】

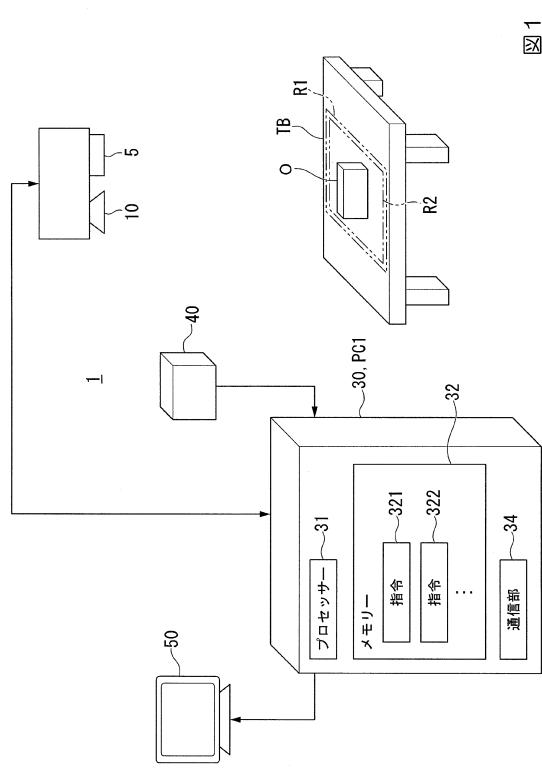


図1

【図2】

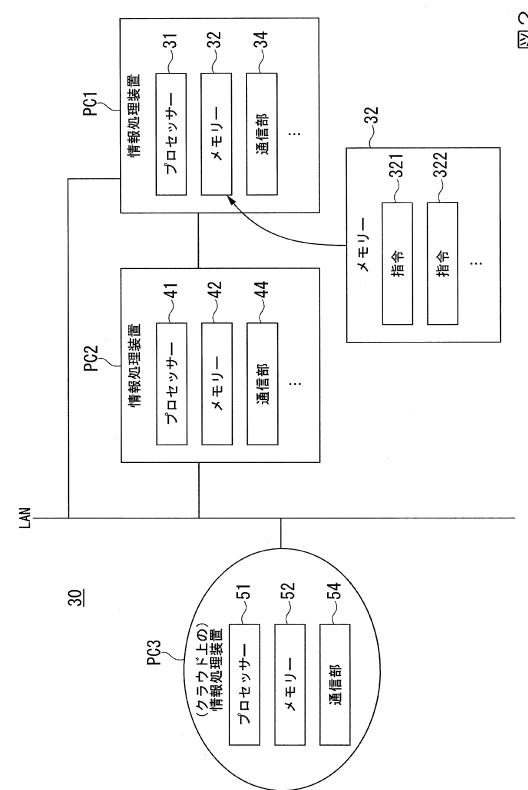


図2

【図3】

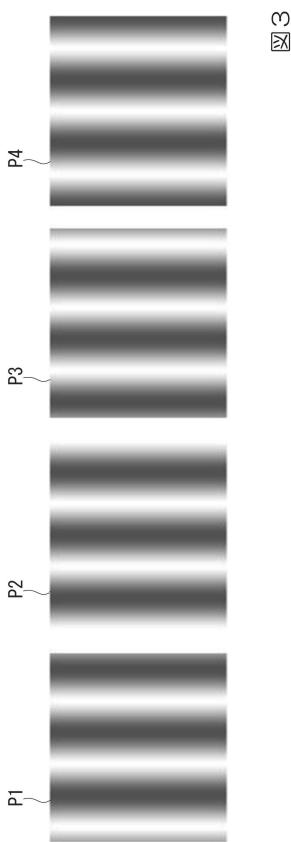


図3

【図4】

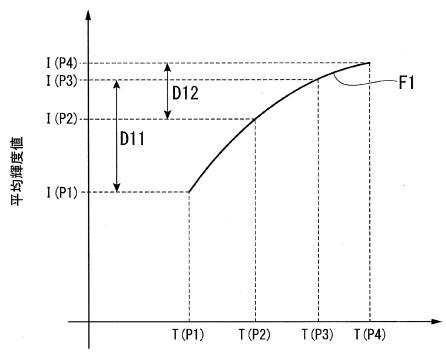


図4

【図5】

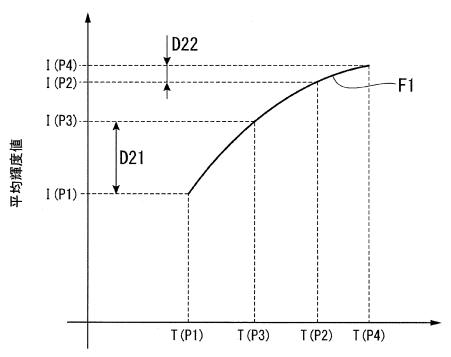


図5

【図6】

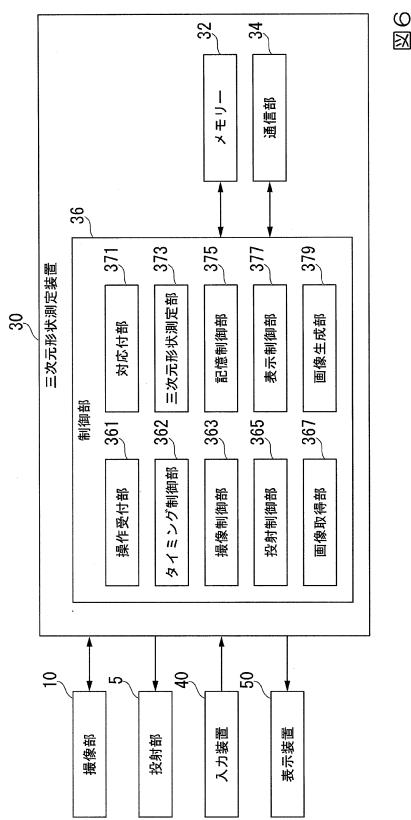


図6

【図7】

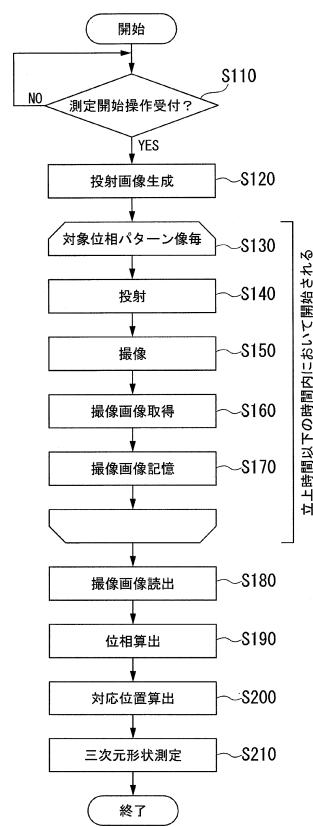
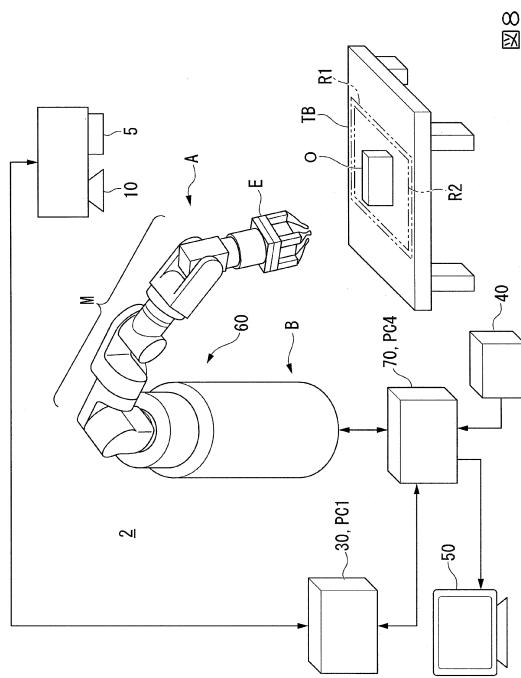


図7

【図8】



【図9】

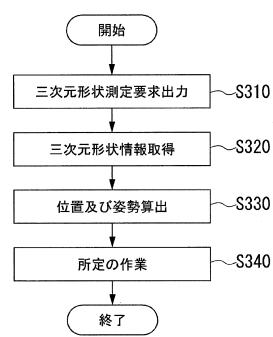
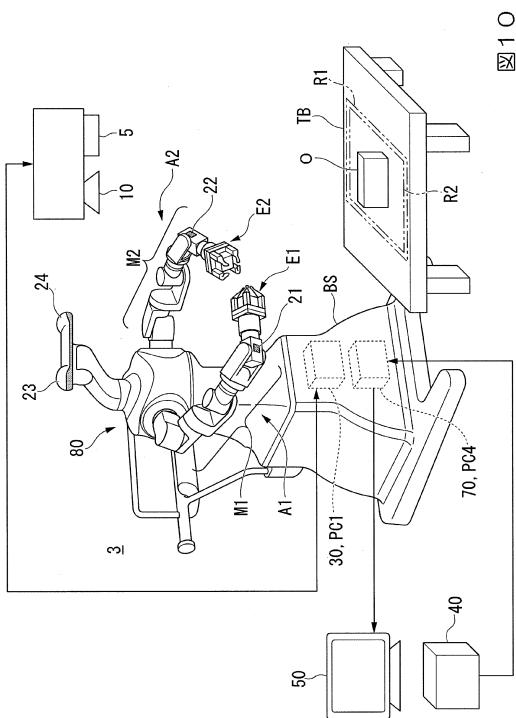


図9

【図10】



フロントページの続き

審査官 山 崎 和子

(56)参考文献 特開2012-093235(JP,A)
特開2015-203588(JP,A)
特開2016-031284(JP,A)
米国特許出願公開第2011/0058023(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 01 B 11/00 - 11/30
B 25 J 1/00 - 21/02
G 06 T 7/00 - 7/90