(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年9月14日(14.09.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/170877 A1

(51) 国際特許分類:
B25J 9/10 (2006.01) *G01B 11/00* (2006.01)
B25J 19/02 (2006.01) *G01B 11/26* (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/010673

(22) 国際出願日： 2022年3月10日(10.03.2022)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 株式会社ニコン (**NIKON CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1086290 東京都港区港南二丁目１５番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 宮川 智樹 (**MIYAKAWA Tomoki**); 〒1086290 東京都港区港南二丁目１５番３号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

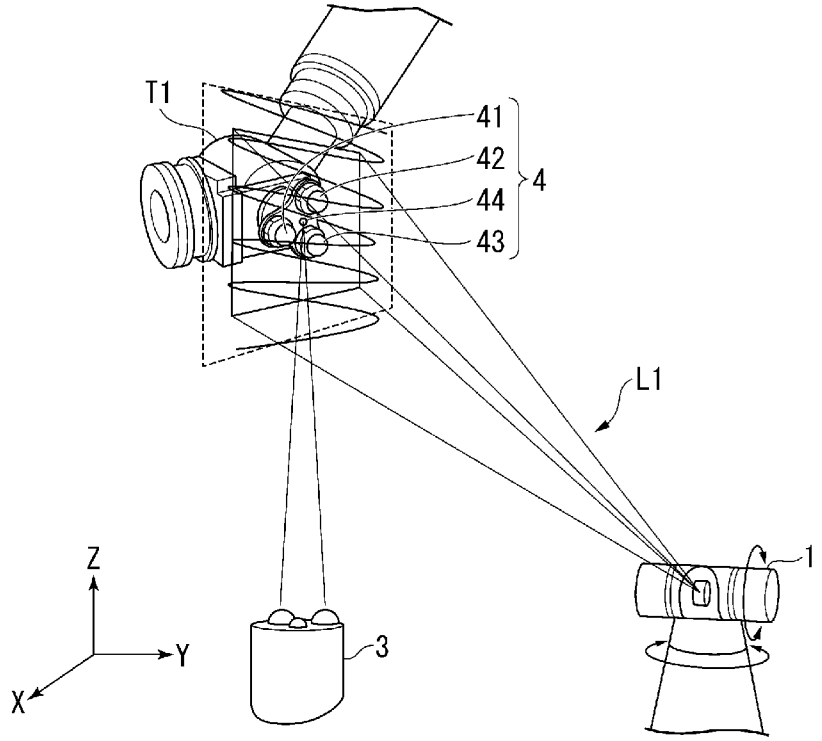
(74) 代理人: 西澤 和純，外 (**NISHIZAWA Kazuyoshi** et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目９番２号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

WO 2023/170877 A1

(54) **Title:** MEASUREMENT DEVICE, ROBOT SYSTEM, MANAGEMENT METHOD, TARGET MEMBER, AND MEASUREMENT METHOD

(54) 発明の名称： 測定装置、ロボットシステム、管理方法、ターゲット部材、および測定方法



(57) **Abstract:** A measurement device according to the present invention is a measurement device that measures a position of a movable robot, and a position in a rotational direction. The measurement device includes a radiating unit that is capable of radiating measurement light to each of at least three reflecting elements attached to a robot, a photoreceptor that is capable of receiving reflected light reflected by each of the three reflecting elements, and a position acquiring unit that acquires, on the basis of a result of light received by the photoreceptor, positional information relating to a first axis of

［続葉有］

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

the robot, positional information relating to a second axis that intersects the first axis, positional information relating to a third axis that intersects the first axis and the second axis, information relating to a position in a rotational direction about the first axis, information relating to a position in a rotational direction about the second axis, and information relating to a position in a rotational direction about the third axis.

(57) 要約:測定装置は、移動可能なロボットの位置および回転方向の位置を測定する測定装置であって、ロボットに取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに測定光を照射可能な照射部と、３つの反射素子それぞれによって反射された反射光を受光可能な受光部と、受光部による受光結果に基づいて、ロボットの第１軸に関する位置情報、第１軸と交差する第２軸に関する位置情報、および、第１軸および第２軸と交差する第３軸に関する位置情報と、第１軸周りの回転方向の位置に関する情報、第２軸周りの回転方向の位置に関する情報、および第３軸周りの回転方向の位置に関する情報を取得する位置取得部と、を備える。

明　細　書

発明の名称 ：

測定装置、ロボットシステム、管理方法、ターゲット部材、および測定方法

技術分野

[0001]　本発明は、測定装置、ロボットシステム、管理方法、ターゲット部材、および測定方法に関する。

背景技術

[0002]　ロボットや工作機械によって加工や組み立ての工程が自動で行われている。当該工程においては、加工や組み立ての精度を高めるために、制御対象のロボットのアームの位置および姿勢を高精度で測定する必要がある。例えば、ロボット装置の所定の一部の位置を外部の測定装置により測定する装置が知られている（特許文献１）。

ロボットの制御において当該ロボットの位置および姿勢を高精度において測定することが求められている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第２００７／００２３１９号

発明の概要

[0004]　本発明の一態様は、移動可能なロボットの位置および回転方向の位置を測定する測定装置であって、前記ロボットに取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに測定光を照射可能な照射部と、前記３つの反射素子それぞれによって反射された反射光を受光可能な受光部と、前記受光部による受光結果に基づいて、前記ロボットの第１軸に関する位置情報、前記第１軸と交差する第２軸に関する位置情報、および、前記第１軸および前記第２軸と交差する第３軸に関する位置情報と、前記第１軸周りの回転方向の位置に関する情報、前記第２軸周りの回転方向の位置に関する情報、および前記第３

軸周りの回転方向の位置に関する情報を取得する位置取得部と、を備える測定装置である。

[0005] 本発明の一態様は、上記の測定装置を備えるロボットシステムである。

[0006] 本発明の一態様は、上記の測定装置を用いてロボットを管理する管理方法である。

[0007] 本発明の一態様は、移動可能な測定対象の、第１軸に関する位置情報、前記第１軸と交差する第２軸に関する位置情報、および前記第１軸および前記第２軸と交差する第３軸に関する位置情報と、前記第１軸周りの回転方向の位置に関する情報、前記第２軸周りの回転方向の位置に関する情報、および前記第３軸周りの回転方向の位置に関する情報を取得するために測定光が照射される、第１の反射素子、第２の反射素子、および、第３の反射素子を備え、前記測定対象に取り付け可能なターゲット部材であって、前記第１の反射素子が配置される第１位置と前記第２の反射素子が配置される第２位置とを結ぶ第１辺、前記第２位置と前記第３の反射素子が配置される第３位置とを結ぶ第２辺、および前記第３位置と前記第１位置を結ぶ第３辺の長さはそれぞれ異なるターゲット部材である。

[0008] 本発明の一態様は、測定対象の位置を測定する測定装置であって、前記測定対象に取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに測定光を逐次照射可能な照射部と、前記３つの反射素子それぞれによって反射された前記測定光の反射光を逐次受光可能な受光部と、前記受光部による受光結果に基づいて、前記測定対象の位置に関する情報を取得する情報取得部と、を備える測定装置である。

[0009] 本発明の一態様は、測定対象の位置を測定する測定装置であって、前記測定対象に取り付けられた少なくとも３つの反射素子を通過可能な軌道に沿って測定光を走査可能な照射部と、前記３つの反射素子それぞれによって反射された前記測定光の反射光を受光可能な受光部と、前記受光部による受光結果に基づいて、前記測定対象の位置に関する情報を取得する情報取得部と、を備える測定装置である。

[0010] 本発明の一態様は、測定対象の位置を測定するための第１の反射素子、第２の反射素子、および、第３の反射素子を備え、前記測定対象に取り付け可能なターゲット部材であって、前記第１の反射素子が配置される第１位置と前記第２の反射素子が配置される第２位置とを結ぶ第１辺、前記第２位置と前記第３の反射素子が配置される第３位置とを結ぶ第２辺、および前記第３位置と前記第１位置を結ぶ第３辺の長さはそれぞれ異なるターゲット部材である。

[0011] 本発明の一態様は、移動可能なロボットの位置および回転方向の位置を測定する測定方法であって、前記ロボットに取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに測定光を照射することと、前記３つの反射素子それぞれによって反射された反射光を受光することと、前記受光することによる受光結果に基づいて、前記ロボットの第１軸に関する位置情報、前記第１軸と交差する第２軸に関する位置情報、および、前記第１軸および前記第２軸と交差する第３軸に関する位置情報と、前記第１軸周りの回転方向の位置に関する情報、前記第２軸周りの回転方向の位置に関する情報、および前記第３軸周りの回転方向の位置に関する情報を取得することと、を含む測定方法である。

[0012] 本発明の一態様は、測定対象の位置を測定する測定方法であって、前記測定対象に取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに測定光を逐次照射することと、前記３つの反射素子それぞれによって反射された前記測定光の反射光を逐次受光することと、前記受光することによる受光結果に基づいて、前記測定対象の位置に関する情報を取得することと、を含む測定方法である。

[0013] 本発明の一態様は、測定対象の位置を測定する測定方法であって、前記測定対象に取り付けられた少なくとも３つの反射素子を通過可能な軌道に沿って測定光を走査することと、前記３つの反射素子それぞれによって反射された前記測定光の反射光を受光することと、前記受光することによる受光結果に基づいて、前記測定対象の位置に関する情報を取得することと、を備える

測定方法である。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]第１の実施形態に係る測定装置が測定対象の位置および姿勢を測定する様子の一例を示す図である。

[図2]第１の実施形態に係る３つの反射素子とマーカとの配置の一例を示す図である。

[図3]第１の実施形態に係る測定装置の構成の一例を示す図である。

[図4]第１の実施形態に係る反射素子の断面の構成の一例を示す図である。

[図5]第１の実施形態に係る反射素子の外観の一例を示す図である。

[図6]第１の実施形態に係る反射素子が測定光を反射する様子の一例を示す図である。

[図7]第１の実施形態に係る測定装置の機能構成の一例を示す図である。

[図8]第１の実施形態に係る測定光による走査の様子の一例を示す図である。

[図9]第１の実施形態に係る位置情報が直角座標によって示される場合の座標軸回りの回転方向の位置の一例を示す図である。

[図10]第１の実施形態に係る測定処理の一例を示す図である。

[図11]第１の実施形態に係るラフサーチの処理の一例を示す図である。

[図12]第１の実施形態に係るファインサーチの処理の一例を示す図である。

[図13]第１の実施形態に係るエリアスキャンにおける測定光の軌道の一例を示す図である。

[図14]第１の実施形態に係る反射素子に測定光が渦巻状の軌道に沿って走査されながら照射される様子の一例を示す。

[図15]第１の実施形態に係る走査の過程において４分割ＰＳＤの視野内を反射素子の像が移動する様子の一例を示す図である。

[図16]第１の実施形態に係る測定光のアジマス方向の照射方向に対する４分割ＰＳＤの視野内の反射素子の水平方向の位置の一例を示す図である。

[図17]第１の実施形態に係る測定光のエレベーション方向の照射方向に対する４分割ＰＳＤの視野内の反射素子の鉛直方向の位置の一例を示す図である

。

[図18]第１の実施形態に係る走査の結果得られる４分割ＰＳＤの視野内の反射素子の位置の一例を示す図である。

[図19]第１の実施形態に係るエリアスキャンの一例を示す図である。

[図20]第１の実施形態に係る測定光のアジマス方向の照射方向に対する４分割ＰＳＤの視野内の３つの反射素子の水平方向の位置の一例を示す図である。

[図21]第１の実施形態に係る測定光のエレベーション方向の照射方向に対する４分割ＰＳＤの視野内の３つの反射素子の鉛直方向の位置の一例を示す図である。

[図22]第１の実施形態に係る測定光の軌道が波線状である場合のエリアスキャンの一例を示す図である。

[図23]第１の実施形態に係る位置姿勢取得処理の一例を示す図である。

[図24]第１の実施形態に係る円軌道の算出方法の一例を示す図である。

[図25]第１の実施形態に係る姿勢取得処理の概要の一例を示す図である。

[図26]第１の実施形態に係る既知座標系おける座標が既知である４つの点を４つの反射素子の位置に重ね合わせる処理の一例を示す図である。

[図27]第１の実施形態に係る誤差ベクトルの大きさを示すグラフの一例を示す図である。

[図28]第１の実施形態に係るターゲット部材の構成の一例を示す図である。

[図29]第１の実施形態に係る反射素子が保持部に保持された状態における断面図の一例を示す図である。

[図30]第１の実施形態に係る設置面上における３つの反射素子の高さの一例を示す図である。

[図31]第２の実施形態に係る測定対象が移動する場合の測定光によって位置および姿勢を測定する様子の一例を示す。

[図32]第２の実施形態に係る位置姿勢取得処理の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] （第１の実施形態）

以下、図面を参照しながら第１の実施形態について詳しく説明する。図１は、本実施形態に係る測定装置１が測定対象の位置および姿勢を測定する様子の一例を示す図である。測定装置１は、移動可能な測定対象の位置および回転方向の位置を測定する。回転方向の位置は、姿勢、向きなどともいう。本実施形態において測定装置１が位置および姿勢を測定する測定対象は、一例として、ロボットＴ１である。ロボットＴ１は、可動部、即ち移動可能な部分を備える。ロボットＴ１の可動部の位置および姿勢は変化し得る。つまり、ロボットＴ１は、移動可能なロボットである。ロボットＴ１は、例えば、工場などの製造現場において加工や組み立ての工程を行うロボットである。

[0016] なお、測定対象においては、位置および姿勢のうち一方が固定されて変化しなくてもよい。また、測定対象は、位置および姿勢が固定されて変化しなくてもよい。つまり、測定対象は、移動可能でなくてもよい。

なお、測定対象は、移動可能な工作機械などであってもよい。また、測定対象は、マシニングセンタの加工ヘッド、加工ヘッドに交換可能に取り付けられる工具、加工ヘッドに交換可能に取り付けられる工具とは別に測定用の部材（固定具）を加工ヘッドに固定した部材であってもよい。また、航空機等の大型製品の組立時に大型製品を構成する部品や三次元測定機の計測ヘッド等を測定対象にしてもよい。

[0017] ロボットＴ１の可動部には、ターゲット部材４が取り付けられている。ターゲット部材４は、少なくとも３つの反射素子を備える。本実施形態では、ターゲット部材４は、反射素子４１と、反射素子４２と、反射素子４３との３つの反射素子を備える。また、本実施形態では、ターゲット部材４は、マーカ４４を備える。

[0018] 図２に、当該３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）とマーカ４４との配置の一例を示す。マーカ４４は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）がマーカ４４の

近傍に配置されるように配置される。マーカ４４の近傍とは、マーカ４４からの距離が所定以下である範囲である。マーカ４４は、一例として、発光ダイオード（ＬＥＤ：Ｌｉｇｈｔ　Ｅｍｉｔｔｉｎｇ　Ｄｉｏｄｅ）等の発光体であってもよく、非発光体であってもよい。

[0019] 次に、測定装置１の構成について説明する。図３は、本実施形態に係る測定装置１の構成の一例を示す図である。測定装置１は、筐体１０と、光コム干渉計１１と、４分割ＰＳＤ１２と、ビームステアリングミラー１３と、ポインティングミラーアッシー（Ｐｏｉｎｔｉｎｇ　Ｍｉｒｒｏｒ　Ａｓｓｙ：ＰＭＡ）１４と、ハーフミラー１５とを備える。

[0020] 筐体１０は、測定装置１本体を設置対象に設置するための部材である。本実施形態では、設置対象とは、工場の床やＡＧＶ（Ａｕｔｏｍａｔｉｃ　Ｇｕｉｄｅｓ　Ｖｅｈｉｃｌｅ）、ＡＭＲ（Ａｕｔｏｎｏｍｏｕｓ　Ｍｏｂｉｌｅ　Ｒｏｂｏｔ）等の自走する搬送装置などである。

筐体１０は、例えば、自身の荷重によって測定装置１を設置対象に対して固定する。なお、筐体１０は、測定装置１を設置対象に固定する機構を備えてもよい。

[0021] また、筐体１０には、測定装置１の各部品が備えられる。筐体１０には、測定装置１の各部品が取付けられる。筐体１０の外側には、ビームステアリングミラー１３、ＰＭＡ１４が取付けられる。筐体１０の内側には、光コム干渉計１１、４分割ＰＳＤ１２、ＰＭＡ１４が備えられる。また、筐体１０は、測定光、反射光が伝搬するための空間を内側に有する。

[0022] 光コム干渉計１１は、自身から測定対象までの距離を測定する。光コム干渉計１１は光コム光源を含む。光コム光源は、周波数軸上で等間隔に並んだ周波数成分を含む光（以降、「光周波数コム」と称する）をパルス光として生成可能な光源である。この場合、光コム光源は、周波数軸上で等間隔に並んだ周波数成分を含むパルス光を、測定光として射出する。ここで反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３は互いに同様の構成を有するため、以下の説明においては、反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４

３を反射素子４１に代表させて説明する場合がある。光コム干渉計１１は、測定対象に配置された反射素子４１に測定光として光周波数コムを照射する。光コム干渉計１１は、反射素子４１によって当該光周波数コムが反射されて発生した反射光を受光する。

[0023] 本実施形態では、光コム干渉計１１は、単一の測定光源（つまり、光コム光源）を備える。なお、光コム干渉計１１は、複数の測定光源を備えていてもよく、例えば、第１測定光源と、第２測定光源とを備えていてもよい。複数の測定光源は、互いに位相同期され且つ干渉性のある複数の測定光をそれぞれ射出する。例えば、複数の測定光源は、発振周波数が異なっていてもよい。このため、複数の測定光源がそれぞれ射出する複数の測定光は、パルス周波数（例えば、単位時間当たりのパルス光の数であり、パルス光の発光周期の逆数）が異なる複数の測定光となる。一例として、第１測定光源は、パルス周波数が２５ＧＨｚとなる第１測定光を射出し、第２測定光源は、パルス周波数が２５ＧＨｚ＋α（例えば、＋１００ｋＨｚ）となる第２測定光を射出してもよい。

[0024] 光コム干渉計１１を用いた距離の測定では、光周波数コムの異なるパルス間の干渉縞の発生位置に基づいて、光コム干渉計１１から反射素子４１までの距離が測定される。光コム干渉計１１では、例えば、サブマイクロメートルのオーダーの精度において当該距離を測定できる。

[0025] 光コム干渉計１１は、照射部と、受光部と、信号処理部とを含む。照射部は、光コム光源、周波数制御部などを含む。照射部は、当該光コム光源が発生させたパルス光を測定光として測定対象に照射する。また照射部は、当該光コム光源が発生させたパルス光の一部を分岐させて参照光として光コム干渉計１１内の基準面に照射する。受光部は、光検出器を含む。当該光検出器は、反射光と、基準面に照射された参照光との干渉光を検出する。信号処理部は、光検出器による検出結果が入力されると、反射光と参照光との間の干渉光を作るパルス光の発生位置に基づいて、光コム干渉計１１から反射素子４１までの距離を算出する。

[0026] ここで光コム干渉計１１が光コム干渉計１１から反射素子４１までの距離を算出する原理についてより詳しく説明する。

光コム干渉計１１は、光コム光源として、第１光コム光源と、第２光コム光源との２つを備える。光コム干渉計１１は、光検出器として、第１光検出器と、第２光検出器との２つを備える。

[0027] 第１光コム光源は測定光として、第１のパルス周波数をもつパルス光である第１測定光を発生させる。第２光コム光源は測定光として、第２のパルス周波数をもつパルス光である第２測定光を発生させる。第１のパルス周波数と、第２のパルス周波数とは互いに異なる周波数である。

[0028] 第１測定光は、第１光コム光源から射出されると、測定対象（つまり、反射素子４１）に照射されず、第１光コム光源内の光学系によって反射された後、第１反射光として第１光検出器に入射する。一方、第２測定光は、第２光コム光源から測定対象（つまり、反射素子４１）に照射され当該測定対象に反射された後、第２反射光として第２光検出器に入射する。

[0029] 第１測定光の一部は分岐されて第１参照光として光コム干渉計１１内の基準面に照射された後、第２光検出器に入射する。一方、第２測定光の一部は分岐されて第２参照光として光コム干渉計１１内の基準面に照射された後、第１光検出器に入射する。

[0030] 第１測定光のパルス周波数と第２測定光のパルス周波数とが異なるため、第１反射光のパルス周波数と第２参照光のパルス周波数とが異なる。従って、第１反射光と第２参照光との干渉光は、第１反射光を構成するパルス光と第２参照光を構成するパルス光とが同時に第１光検出器に入射したタイミングに同期してパルス光が現れる干渉光となる。

[0031] 同様に、第１参照光のパルス周波数と第２反射光のパルス周波数とが異なる。従って、第１参照光と第２反射光との干渉光は、第１参照光を構成するパルス光と第２反射光を構成するパルス光とが同時に第２光検出器に入射したタイミングに同期してパルス光が現れる干渉光となる。

[0032] ここで、第２光検出器が検出する干渉光を作るパルス光の位置（時間軸上

の位置）は、光コム干渉計１１と測定対象との位置関係に基づいて変動する。なぜならば、第２光検出器が検出する干渉光は、測定対象を介して第２光検出器に向かう第２反射光と、測定対象を介することなく第２光検出器に向かう第１参照光との干渉光であるからである。一方で、第１光検出器が検出する干渉光を作るパルス光の位置（時間軸上の位置）は、光コム干渉計１１と測定対象との位置関係に基づいて変動することはない。

[0033] このため、第２光検出器が検出する干渉光を作るパルス光と第１光検出器が検出する干渉光を作るパルス光との時間差は、光コム干渉計１１と測定対象との位置関係（典型的には、光コム干渉計１１と測定対象との間の距離）を間接的に示している。したがって、光コム干渉計１１は、第２光検出器が検出する干渉光を作るパルス光と第１光検出器が検出する干渉光を作るパルス光との時間差に基づいて、光コム干渉計１１から反射素子４１までの距離を算出することができる。

[0034] ここで光コム干渉計１１が照射する測定光は、ハーフミラー１５を透過した後に、ビームステアリングミラー１３によって反射されて反射素子４１に照射される。ここで反射素子４１に照射される測定光の光路と、反射素子４１によって反射された反射光とは、筐体１０内において一部が共通する。

[0035] ハーフミラー１５は、光コム干渉計１１から照射される測定光を透過させる。また、ハーフミラー１５は、測定光が反射素子４１によって反射された反射光の一部を光コム干渉計１１の方へと透過させ、残りの一部を４分割ＰＳＤ１２の方へと反射させる。

[0036] ４分割ＰＳＤ１２は、反射素子４１からの反射光を検出することによって反射素子４１の位置を測定する。当該反射光は、光コム干渉計１１が照射した測定光が反射素子４１によって反射された反射光である。当該反射光は、ハーフミラー１５によって一部が反射されて４分割ＰＳＤ１２に入射する。

[0037] ４分割ＰＳＤ１２は、例えば、フォトダイオードと抵抗体とを含む。フォトダイオードは、アレイ状に配置される。つまり、４分割ＰＳＤ１２は、フォトダイオードアレイを含む。４分割ＰＳＤ１２は、検出面が４つに分割さ

れている。４分割ＰＳＤ１２は、４つに分割された検出面のそれぞれにおいて検出された反射光のスポット光の光量に基づいて、スポット光の位置を測定する。

[0038] ４分割ＰＳＤ１２は、ステレオカメラ３によってマーカ４４の位置を粗く捉えた後に、測定光Ｌ１を用いた走査によって３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を推定するために用いられる。

なお、測定装置１は、ステレオカメラ３を備えていなくてもよい。測定装置１がステレオカメラ３を備えていない場合、４分割ＰＳＤ１２は、ステレオカメラ３によってマーカ４４の位置が粗く捉えられた結果を用いずに、測定光Ｌ１を用いた走査によって３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を推定してもよい。

なお、測定装置１は、４分割ＰＳＤ１２に代えて、他の位置検出器を備えてもよい。他の位置検出器とは、例えば、ラインセンサ、２次元センサ（エリアセンサともいう）、位相検出方式の距離計測器などである。

[0039] ビームステアリングミラー１３は、光コム干渉計１１から照射される測定光を反射素子４１の方向へと反射する。また、ビームステアリングミラー１３は、反射素子４１から測定光が反射された反射光を、光コム干渉計１１の方向へと反射する。ビームステアリングミラー１３は、可動ミラーの一例である。

[0040] ＰＭＡ１４は、ビームステアリングミラー１３の方向を移動（変更）する。ＰＭＡ１４は、一例として、ジンバル部と、ロータリーエンコーダ（不図示）とを備える。ビームステアリングミラー１３の向きは、ジンバル部が駆動されジンバル部の回転角度が変更されることによって変更される。ジンバル部は、ビームステアリングミラー１３を経度方向および緯度方向のそれぞれを変更可能に回転可能である。ロータリーエンコーダは、ジンバル部の回転角度を計測する。

[0041] ここで図４から図６を参照し、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子

４２、および反射素子４３）の構成を反射素子４１に代表させて説明する。

図４は、本実施形態に係る反射素子４１の断面の構成の一例を示す図である。図５は、本実施形態に係る反射素子４１の外観の一例を示す図である。反射素子４１は、レンズ４１０と、ミラー面４１１と、収納部材４１２と、マーカ設置面４１３とを備える。

[0042] レンズ４１０は、略球形のレンズである。本実施形態では、レンズ４１０の直径は、一例として、３５ｍｍである。レンズ４１０は、測定光Ｌ１の波長に対して所定の屈折率を有する。

レンズ４１０は、その球の表面にミラー面４１１を有する。ミラー面４１１は、球形のレンズ４１０のうち一部を覆うように、ミラー蒸着が施されて形成される。ミラー面４１１は、測定光Ｌ１の波長に対して所定以上の反射率を有する。

[0043] 収納部材４１２は、レンズ４１０を収納する。レンズ４１０は、収納部材４１２に収納されて、レンズ４１０の一部が露出するように収納部材４１２に接着固定される。一部とは、球形のレンズ４１０のうちミラー面４１１が形成されていない部分と略一致する。反射素子４１が入射光を反射できる範囲を十分に広くするためには、レンズ４１０のうち少なくとも半球が露出することが好ましい。なお、収納部材４１２はレンズ４１０を固定することから、保持部と称されてもよい。

[0044] 収納部材４１２は、マーカ設置面４１３を備える。マーカ設置面４１３には、ＬＥＤや反射シールが設置されてもよい。

[0045] 図６は、本実施形態に係る反射素子４１が測定光を反射する様子の一例を示す図である。図６では、測定装置１が反射素子４１に照射する測定光Ｌ１の例として、測定光Ｌ１１、および測定光Ｌ１２が示されている。測定光Ｌ１１、および測定光Ｌ１２はそれぞれ、レンズ４１０に入射した後、入射した方向にミラー面４１１によって反射されている。反射素子４１は、ビームが自身に対していずれの位置または方向から入射したかによらず、ビームを入射方向に反射する光学素子である。つまり、反射素子４１は、再帰反射機

能を有する。

[0046] 図７は、本実施形態に係る測定装置１の機能構成の一例を示す図である。測定装置１は、位置測定部２０と、制御部２１と、第１撮像部２２と、通信部２３と、記憶部２４とを備える。

[0047] 位置測定部２０は、距離測定部２００と、照射方向駆動部２０４と、照射方向測定部２０５と、位置取得部２０６とを備える。

距離測定部２００は、反射素子４１に測定光を照射し、反射光を受光して反射素子までの距離を測定する。距離測定部２００は、照射部２０１と、受光部２０２と、信号処理部２０３とを含む。照射部２０１は、測定対象の可動部に取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに測定光を照射する。つまり、照射部２０１は、ロボットＴ１に取り付けられた少なくとも３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれに測定光Ｌ１を照射可能である。受光部２０２は、反射光を受光する。ここで受光部２０２は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれによって反射された反射光を受光可能である。

[0048] 信号処理部２０３は、受光部２０２からの信号を処理して反射素子４１までの距離情報を取得する。距離測定部２００は、光コム干渉計１１を含む。

照射部２０１は、光コム干渉計１１に備えられる光コム光源を含む。照射部２０１は、光コムを測定光Ｌ１として照射可能である。照射部２０１は、ビームステアリングミラー１３の反射面を介して、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）のそれぞれに測定光Ｌ１を照射する。

受光部２０２は、光コム干渉計１１に備えられる受光部を含む。受光部２０２は、ビームステアリングミラー１３の反射面を介して、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれからの反射光を受光する。

信号処理部２０３は、光コム干渉計１１に備えられる信号処理部を含む。

[0049] 照射方向駆動部２０４は、測定光の照射方向を変更する。照射方向を変更

することは、照射方向を移動するともいう。照射方向駆動部２０４は、ＰＭＡ１５に含まれるジンバル部を含む。

[0050] 照射方向測定部２０５は、測定光の照射方向を測定する。照射方向測定部２０５は、ＰＭＡ１５に含まれてジンバル部の角度を計測するロータリーエンコーダを含む。照射方向測定部２０５は、照射方向の測定結果を、方向情報として距離測定部２００の位置取得部２０６に出力する。

[0051] 位置取得部２０６は、距離測定部２００が測定した反射素子４１までの距離（距離情報）と、照射方向測定部２０５が測定した測定光の照射方向（方向情報）とから、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれについての三次元空間内の位置（位置情報）を取得する。また、位置取得部２０６は、３つの反射素子それぞれについての位置情報に基づいて、３つの反射素子それぞれについて方向情報を算出する。

[0052] 位置情報には、測定対象（本実施形態において、ロボットＴ１）の第１軸に関する位置情報、第１軸と交差する第２軸に関する位置情報、および、第１軸および第２軸と交差する第３軸に関する位置情報が含まれる。第１軸とは、例えば、測定対象が配置される空間に設定された直交座標系におけるｘ軸である。第２軸とは、例えば、当該直交座標系におけるｙ軸である。第３軸とは、例えば、当該直交座標系におけるｚ軸である。第１軸に関する位置情報とは、例えば、ｘ軸の座標である。第２軸に関する位置情報とは、例えば、ｙ軸の座標である。第３軸に関する位置情報とは、例えば、ｚ軸の座標である。

[0053] 方向情報には、測定対象の第１軸（例えば、ｘ軸）周りの回転方向の位置に関する情報、第２軸（例えば、ｙ軸）周りの回転方向の位置に関する情報、および第３軸（例えば、ｚ軸）周りの回転方向の位置に関する情報が含まれる。つまり、方向情報とは、所定の軸回りの回転方向の位置を示す情報である。換言すれば、方向情報とは、測定対象の姿勢、または向きを示す情報である。

[0054] 位置取得部２０６は、受光部２０２による受光結果に基づいて、ロボット

Ｔ１の第１軸（ｘ軸）に関する位置情報、第１軸（ｘ軸）と交差する第２軸（ｙ軸）に関する位置情報、および、第１軸（ｘ軸）および第２軸（ｙ軸）と交差する第３軸（ｚ軸）に関する位置情報と、第１軸（ｘ軸）周りの回転方向の位置に関する情報、第２軸（ｙ軸）周りの回転方向の位置に関する情報、および第３軸（ｚ軸）周りの回転方向の位置に関する情報を取得する。なお、位置情報、および方向情報の取得についての詳細は後述する。

[0055] 制御部２１は、測定装置１に備えられるその他の各機器、部品の制御を行う。制御部２１は、例えばＣＰＵ（Ｃｅｎｔｒａｌ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）や、ＧＰＵ（Ｇｒａｐｈｉｃｓ Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）、ＦＰＧＡ（Ｆｉｅｌｄ－Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ Ｇａｔｅ Ａｒｒａｙ）などを備えており、種々の演算や情報の授受を行う。制御部２１は、ＲＯＭからプログラムを読み込み、読み込んだプログラムに従って各種の制御を実行する。

[0056] なお、制御部２１と、測定装置１に備えられる各機器、部品とは、例えば、信号線によって接続される。なお、制御部２１と、測定装置１に備えられる各機器、部品とは、光や電波等の電磁波を用いた近距離無線通信によって通信を行ってもよい。また、制御部２１は、種々の演算を実行する。

[0057] 第１撮像部２２は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の少なくとも一部を撮像する。第１撮像部２２は、４分割ＰＳＤ１２を含む。

[0058] 通信部２３は、外部装置と通信を行う。外部装置とは、例えば、反射素子４１が設置されたロボットＴ１を制御する制御システム、第２撮像部３０である。

通信部２３は、送信部と、受信部とを含む。送信部は、位置測定部２０に含まれる位置取得部２０６よって取得された反射素子４１の位置情報、および方向情報を、当該制御システムに送信する。通信部２３は、無線ネットワークを介して通信を行うための通信インターフェース（Ｉ／Ｆ）を含む。

[0059] 通信部２３による通信として、例えば、第５世代移動通信システム、また

は、ミリ波よりも波長が短い光を用いた移動通信システムが用いられてもよい。第５世代移動通信システムでは、周波数帯として、４５０Ｍｈｚから６０００Ｍｈｚの周波数帯と、２４２５０Ｍｈｚから５２６００Ｍｈｚの周波数帯が用いられる。

[0060] 第２撮像部３０は、マーカ４４を撮像する。第２撮像部３０は、自然光または電球、蛍光灯、水銀灯、ＬＥＤ、ストロボなどの人工光が反射素子４１によって反射された反射光によってマーカ４４の像を撮像する。上述したように、マーカ４４は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）に対して所定の位置に配置される。第２撮像部３０は、ステレオカメラ３を含む。

なお、本実施形態では、第２撮像部３０が、測定装置１とは別体として備えられる場合の一例について説明するが、これに限られない。第２撮像部３０は、測定装置１と一体となって備えられてもよい。

[0061] 記憶部２４は、各種の情報を記憶する。記憶部２４には、例えば、反射素子配置情報が予め記憶される。反射素子配置情報とは、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの配置を示す情報である。当該配置は、ターゲット部材４において３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）が配置される位置に応じて決まっている。

[0062] 測定装置１は、ロボットＴ１に取り付けられた３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれに測定光Ｌ１を照射する。測定装置１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれによって測定光Ｌ１が反射された反射光を受光する。測定装置１は、当該反射光の受光結果に基づいて、ロボットＴ１の位置および回転方向の位置を測定する。

[0063] ステレオカメラ３は、マーカ４４を撮像することによって、マーカ４４の位置を推定する。ステレオカメラ３は、１対のカメラの視差に基づいてマーカ４４の位置を、粗い精度において推定する。粗い精度とは、例えば、１０

０ｍｍ程度の精度である。

[0064] 測定装置１は、ステレオカメラ３によって推定されたマーカ４４の位置に基づく所定の範囲を測定光Ｌ１によって走査する。図８に、測定光Ｌ１による走査の様子の一例を示す。推定範囲Ｒ１は、ステレオカメラ３によって推定されたマーカ４４の位置に基づく所定の範囲である。推定範囲Ｒ１は、ステレオカメラ３によって推定されたマーカ４４の位置を含む。推定範囲Ｒ１は、例えば、一辺が１００ｍｍ程度の長方形の範囲である。

[0065] 測定装置１は、推定範囲Ｒ１を含む所定の範囲を走査範囲Ｒ２とする。走査範囲Ｒ２は、測定光Ｌ１によって走査を行う範囲である。測定装置１は、軌道ＴＲ１に沿って走査を行う。軌道ＴＲ１は、例えば、波線状、または渦巻状の軌道などである。上述したように３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）はマーカ４４の近傍に配置されているため、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置は、走査範囲Ｒ２に含まれる。

[0066] 測定装置１は、測定光Ｌ１が照射された３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を位置検出素子（Ｐｏｓｉｔｉｏｎ Ｓｅｎｓｉｔｉｖｅ Ｄｅｔｅｃｔｏｒ：ＰＳＤ）を用いて推定する。当該ＰＳＤは、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれによって測定光Ｌ１が反射された反射光を検出する。

[0067] 測定装置１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を通過可能な所定の軌道に沿って測定光Ｌ１を走査する。当該軌道は、ＰＳＤによる３つの反射素子の位置の推定結果に基づいて算出される。測定装置１は、走査による測定光Ｌ１が３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれによって反射された反射光の受光結果に基づいて、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の位置をそれぞれ測定する。測定装置１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の位置をそれぞ

れ測定結果に基づいて、ターゲット部材４が取り付けられたロボットＴ１の位置および回転方向の位置を測定する。

[0068] 本実施形態において、ロボットＴ１の位置とは、当該ロボットＴ１の可動部に取り付けられたターゲット部材４の位置である。当該位置を示す位置情報は、基準位置に対するターゲット部材４の位置を示す情報である。基準位置は、ターゲット部材４が配置される空間内の所定の位置である。

[0069] ターゲット部材４の位置を示す位置情報は、ターゲット部材４が配置される空間内における座標系（基準座標系という）の座標によって示される。位置情報は、例えば、直角座標（Ｘ、Ｙ、Ｚ）によって示される。座標Ｘ、座標Ｙ、および座標Ｚの組は、直角座標（Ｘ、Ｙ、Ｚ）内の位置を示す。なお、座標Ｘ、座標Ｙ、座標Ｚはそれぞれ、Ｘ方向の距離、Ｙ方向の距離、Ｚ方向の距離と呼ばれてもよい。

[0070] ロボットＴ１の回転方向の位置とは、ターゲット部材４が取り付けられた可動部の回転方向の位置である。当該回転方向の位置を示す回転方向の位置に関する情報（方向情報という）は、基準座標系の３つの座標軸について、それぞれの座標軸回りの回転方向の位置によって示される。それぞれの座標軸回りの回転方向の位置は、回転を示す角度によって示される。方向情報は、上記の位置情報が直角座標によって示される場合、当該直角座標の座標軸の周りの回転方向の位置によって示される。つまり、方向情報は、Ｘ軸回りの位置、Ｙ軸回りの位置、およびＺ軸回りの位置によって示される。

図９に位置情報が直角座標によって示される場合の座標軸回りの回転方向の位置の一例を示す。図９では、Ｘ軸回りの位置が回転角θＸによって示され、Ｙ軸回りの位置が回転角θＹによって示され、Ｚ軸回りの位置が回転角θＺによって示されている。

なお、軸回りの回転方向の位置は、方向、または姿勢などと呼ばれてもよい。

[0071] 測定装置１は、測定した位置情報および方向情報を、ロボットＴ１の制御システム（不図示）に送信する。基準位置、および座標系は、測定装置１と

制御システムとの間で予め共有されている。当該制御システムは、測定装置１から受信した位置情報に基づいて、ロボットＴ１の位置を取得できるため、ロボットＴ１を高精度に校正できる。

[0072] なお、本実施形態では、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を備えるターゲット部材４がロボットＴ１に取り付けられる場合、つまり３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）がロボットＴ１に取り付けられる場合の一例について説明するが、これに限られない。ロボットＴ１には、少なくとも３つ以上の反射素子が取り付けられていればよい。例えば、ロボットＴ１には、４つ以上の反射素子が取り付けられてもよい。

[0073] 次に図１０を参照し、測定装置１による位置情報および方向情報を取得する処理である測定処理について説明する。図１０は、本実施形態に係る測定処理の一例を示す図である。測定処理は、制御部２１によって実行される。なお、本実施形態では、測定装置１が測定処理を行う間、ロボットＴ１は移動しないものとする。つまり、測定装置１が測定処理を行う間、ロボットＴ１の位置および姿勢は変化しないものとする。

[0074] 制御部２１は、ラフサーチを実行する（ステップＳ１０）。

ここで図１１を参照し、ラフサーチの処理の詳細について説明する。図１１は、本実施形態に係るラフサーチの処理の一例を示す図である。

[0075] 制御部２１は、第２撮像部３０を用いて、マーカ４４の像を撮像する（ステップＳ１１０）。制御部２１は、通信部２３を介して、第２撮像部３０を制御する。第２撮像部３０は、制御部２１によって制御されて、ステレオカメラ３によってマーカ４４の像を撮像する。

[0076] ステレオカメラ３は、ステレオカメラ３が向けられている方向の視野の画像を１対のカメラそれぞれによって撮像する。ここで、ステレオカメラ３は、ターゲット部材４が配置されている方向に予め向けられているものとする。

[0077] ステレオカメラ３は、１対のカメラそれぞれによって撮像された画像から

画像処理によって高コントラスト画像を生成する。高コントラスト画像は、当該画像処理を行う前の画像に比べてコントラストが高い画像である。ステレオカメラ３は、一例として、人工知能（ＡＩ：Ａｒｔｉｆｉｃｉａｌ　Ｉｎｔｅｌｌｉｇｅｎｃｅ）に基づいて、高コントラスト画像の全体の領域からマーカ４４の画像に対応する領域を判定する（セグメンテーションともいう）。ＡＩとしては、各種の機械学習が用いられてよい。ステレオカメラ３は、１対のカメラそれぞれによって撮像された画像それぞれについて、マーカ４４の画像に対応する領域を判定する。

[0078] ステレオカメラ３は、判定した領域に基づいて、マーカ４４の画像内の位置を判定する。ステレオカメラ３は、マーカ４４の画像内の位置を画像内の２次元の座標として判定する。ステレオカメラ３は、１対のカメラそれぞれによって撮像された画像それぞれについて、マーカ４４の画像内の位置を判定する。ステレオカメラ３は、１対のカメラそれぞれによって撮像された画像それぞれについてのマーカ４４の画像内の位置と、１対のカメラの視差とに基づいてマーカ４４の位置を推定する（ステップＳ１２０）。マーカ４４の位置とは、上述したようにターゲット部材４が配置される空間内における位置である。

[0079] ステレオカメラ３は、推定したマーカ４４の位置を示す位置情報であるマーカ位置情報を測定装置１の通信部２３を介して制御部２１に送信する（ステップＳ１３０）。制御部２１は、通信部２３を介して、ステレオカメラ３からマーカ位置情報を取得する。制御部２１は、取得したマーカ位置情報に基づいて、マーカ４４が位置する方向に測定光の照射方向を向けるよう照射方向駆動部２０４を制御する（ステップＳ１４０）。ここで制御部２１は、マーカ位置情報に基づいて、照射方向駆動部２０４を制御することによって、測定光の照射方向をマーカ４４が位置する方向に向ける。

[0080] なお、ステップＳ１２０において、ステレオカメラ３が向けられている方向の視野に複数のマーカ４４が配置されている場合、ステレオカメラ３は、当該複数のマーカ４４それぞれについて、マーカ４４の位置を推定してよい

。その場合、ステレオカメラ３は、位置を推定したマーカ４４それぞれについてマーカ位置情報を測定装置１に送信してよい。

[0081] なお、ステップＳ１２０においては、マーカ４４の画像を判定するためにＡＩが用いられる場合の一例について説明したが、これに限られない。マーカ４４の画像を判定するために、テンプレートマッチングが用いられてもよい。

[0082] なお、ステレオカメラ３によってマーカ４４の位置が推定されてマーカ位置情報として測定装置１に送信される場合の一例について説明したが、これに限られない。マーカ４４の画像に対応する領域を判定する処理と、１対のカメラの視差に基づいてマーカ４４の位置を推定する処理とのうち少なくとも一方は、制御部２１によって実行されてもよい。

また、ステレオカメラ３が測定装置１に備えられる場合には、マーカ４４の画像に対応する領域を判定する処理と、１対のカメラの視差に基づいてマーカ４４の位置を推定する処理とは、制御部２１によって実行される。

[0083] 図１０に戻って位置測定処理の説明を続ける。

制御部２１は、ファインサーチの処理を実行する（ステップＳ２０）。ファインサーチは、上述したラフサーチと比べて位置測定の精度が高いサーチである。また、ファインサーチは、ラフサーチと比べてサーチ範囲が狭いサーチであってもよい。ここで図１２を参照し、ファインサーチの処理の詳細について説明する。図１２は、本実施形態に係るファインサーチの処理の一例を示す図である。

[0084] 制御部２１は、エリアスキャンを実行する（ステップＳ２１０）。ここで制御部２１は、図８に示したように、制御部２１は、ステレオカメラ３によって推定されたマーカ４４の位置に基づく所定の範囲を測定光Ｌ１によって走査する。制御部２１は、照射方向駆動部２０４と、第１撮像部２２とを制御することによってエリアスキャンを実行する。制御部２１は、エリアスキャンの結果に基づいて反射素子の中心の位置を推定する（ステップＳ２２０）。

[0085] ここで図１３から図２２を参照し、エリアスキャンの詳細について説明する。

図１３は、本実施形態に係るエリアスキャンにおける測定光Ｌ１の軌道の一例を示す図である。図１３では、測定光Ｌ１の軌道は、渦巻状の軌道である。図１３では、エリアスキャンを行う所定の範囲は、アジマス、およびエレベーションによって示されている。アジマスは、水平方向の位置（方位角）を示す。エレベーションは、垂直方向の方位（仰角）を示す。推定範囲Ｒ１１は、ステレオカメラ３によって推定されたマーカ４４の位置に基づく所定の範囲を示す。推定範囲Ｒ１１は、測定装置１とターゲット部材４との距離が１０ｍである場合に、４分割ＰＳＤ１２の視野にして一辺が３００ｍｍの長方形の範囲である。

[0086] 制御部２１は、推定範囲Ｒ１１を含む所定の範囲を測定光Ｌ１によって走査する。制御部２１は、当該所定の範囲を渦巻状の軌道に沿って測定光Ｌ１によって走査する。渦巻の中心から外側に向かって走査が行われてもよいし、外側から渦巻の中心に向かって走査が行われてもよい。点Ｐ１１は、測定光Ｌ１の現在の照射位置を示す。

[0087] 図１３では、一例として、推定範囲Ｒ１１内に１つの反射素子Ａ１１が位置している。ここで説明のために、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）のうち１つのみがターゲット部材４に取付けられている場合を考える。反射素子Ａ１１は、当該１つの反射素子である。

[0088] ４分割ＰＳＤ１２は、反射素子Ａ１１によって測定光Ｌ１が反射された反射光を検出する。図１４に、反射素子Ａ１１に測定光Ｌ１が渦巻状の軌道に沿って走査されながら照射される様子の一例を示す。図１４に示すように、測定光Ｌ１は、一例として、０．１ｍｓ毎に断続的に照射される。換言すれば、測定光Ｌ１は、１０ｋＨｚで照射される。

[0089] なお、エリアスキャンにおいては、測定光Ｌ１は、４分割ＰＳＤ１２が反射素子からの反射光を検出するために照射され、光コム干渉計１１による距離の測定は行われない。

[0090] ４分割ＰＳＤ１２は、測定光Ｌ１が反射された反射光を検出し、測定光Ｌ１の光路と反射光の光路とは一致している。そのため、測定光Ｌ１の照射方向と、４分割ＰＳＤ１２の視野の方向とは一致している。つまり、エリアスキャンによって測定光Ｌ１の照射方向が変化することに応じて、４分割ＰＳＤ１２の視野の方向は変化する。

[0091] 図１５は、本実施形態に係る走査の過程において４分割ＰＳＤ１２の視野内を反射素子の像が移動する様子の一例を示す図である。像Ａ１２１、および像Ａ１２２はそれぞれ、４分割ＰＳＤ１２によって検出された反射素子Ａ１１の像が、渦巻状の軌道に沿って走査が行われる場合に４分割ＰＳＤ１２の視野内を移動する様子を示す。

[0092] 反射素子Ａ１１の位置を推定するためには、反射素子Ａ１１の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合の４分割ＰＳＤ１２の視野の方向を判定する必要がある。上述したように、４分割ＰＳＤ１２の視野の方向とは、測定光Ｌ１の照射方向である。測定光Ｌ１の照射方向は、ジンバル部の回転角度として、照射方向測定部２０５によって測定される。

[0093] 図１６、図１７、および図１８に、走査の結果得られる、測定光Ｌ１の照射方向と、４分割ＰＳＤ１２の視野内の反射素子Ａ１１の位置との関係を示す。図１６は、測定光Ｌ１のアジマス方向の照射方向に対する、４分割ＰＳＤ１２の視野内の反射素子Ａ１１の水平方向の位置を示す。図１７は、測定光Ｌ１のエレベーション方向の照射方向に対する、４分割ＰＳＤ１２の視野内の反射素子Ａ１１の鉛直方向の位置を示す。図１８は、走査の結果得られる４分割ＰＳＤ１２の視野内の反射素子Ａ１１の位置を示す。

[0094] 図１６、および図１７それぞれに示す４分割ＰＳＤ１２の視野内の反射素子Ａ１１の位置のプロットから、反射素子Ａ１１の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合の４分割ＰＳＤ１２の視野の方向が判定される。

[0095] 制御部２１は、図１６に示す４分割ＰＳＤ１２の視野内の反射素子Ａ１１の位置のプロットを最小二乗法に基づいて直線によって近似する。直線Ｆ１

は、当該近似によって得られた直線を示す。制御部２１は、直線Ｆ１と、軸ＡＸ１との交点が示すアジマス方向を、反射素子Ａ１１の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合の測定光Ｌ１のアジマス方向の照射方向として判定する。軸ＡＸ１は、図１６に示す座標平面の横軸であり、４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１の水平方向の位置を示す。

[0096] 同様に、制御部２１は、図１７に示す４分割ＰＳＤ１２の視野内の反射素子Ａ１１の位置のプロットを最小二乗法に基づいて直線によって近似する。直線Ｆ２は、当該近似によって得られた直線を示す。制御部２１は、直線Ｆ２と、軸ＡＹ１との交点が示すエレベーション方向を、反射素子Ａ１１の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合の測定光Ｌ１のエレベーション方向の照射方向として判定する。軸ＡＹ１は、図１７に示す座標平面の横軸であり、４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１の鉛直方向の位置を示す。

[0097] 以上により、制御部２１は、反射素子Ａ１１の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合の測定光Ｌ１のアジマス方向の照射方向と、エレベーション方向の照射方向とをそれぞれ判定する。制御部２１は、判定した測定光Ｌ１の照射方向を、反射素子Ａ１１の中心の位置として判定する。

[0098] 次に図１９、図２０、および図２１を参照し、複数の反射素子についてそれぞれの中心の位置を推定する場合について説明する。図１９は、本実施形態に係るエリアスキャンの一例を示す図である。推定範囲Ｒ１２は、ステレオカメラ３によって推定されたマーカ４４の位置に基づく所定の範囲を示す。図１９と図１３とを比較すると、図１９では、推定範囲Ｒ１２内に３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）が位置している点以外は、図１３と同様である。

[0099] 図２０、および図２１に、走査の結果得られる、測定光Ｌ１の照射方向と、４分割ＰＳＤ１２の視野内の３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の位置それぞれとの関係を示す。図２０は、測定

光Ｌ１のアジマス方向の照射方向に対する、４分割ＰＳＤ１２の視野内の３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の水平方向の位置をそれぞれ示す。図２１は、測定光Ｌ１のエレベーション方向の照射方向に対する、４分割ＰＳＤ１２の視野内の３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の鉛直方向の位置をそれぞれ示す。

[0100] 図２０、および図２１に示すように、推定範囲Ｒ１２内に複数の反射素子が位置している場合、複数の反射素子は、複数の反射素子同士を区別することなく４分割ＰＳＤ１２によって検出される。制御部２１は、それぞれの反射素子が検出された時刻に基づいて、検出結果について複数の反射素子のいずれの検出結果であるか分類する。

[0101] 渦巻状など所定の軌道に沿って走査を行う場合、ある反射素子が検出されてから次回に当該反射素子が検出されるまでの時間は予め決まっている。当該時間に基づいて制御部２１は、検出結果同士を１つの反射素子の検出結果として分類する。図２０、および図２１に示す例では、制御部２１は、渦巻状の軌道に沿って走査を行う場合にある反射素子が検出されてから次回に当該反射素子が検出されるまでの時間に基づいて、検出結果について３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）のいずれの検出結果であるか分類する。

[0102] 制御部２１は、図２０に示す検出結果について、分類した検出結果毎に、当該検出結果が示すプロットを最小二乗法に基づいて直線によって近似する。図２０において、直線Ｆ１１は、反射素子４１の検出結果として分類されたプロットが当該近似によって得られた直線を示す。直線Ｆ１２は、反射素子４２の検出結果として分類されたプロットが当該近似によって得られた直線を示す。直線Ｆ１３は、反射素子Ａ２３の検出結果として分類されたプロットが当該近似によって得られた直線を示す。

[0103] 制御部２１は、直線Ｆ１１と、軸ＡＸ２との交点が示すアジマス方向を、反射素子４１の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合

の測定光Ｌ１のアジマス方向の照射方向として判定する。制御部２１は、直線Ｆ１２と、軸ＡＸ２との交点が示すアジマス方向を、反射素子４２の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合の測定光Ｌ１のアジマス方向の照射方向として判定する。制御部２１は、直線Ｆ１３と、軸ＡＸ２との交点が示すアジマス方向を、反射素子Ａ２３の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合の測定光Ｌ１のアジマス方向の照射方向として判定する。軸ＡＸ２は、図２０に示す座標平面の横軸であり、４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１の水平方向の位置を示す。

[0104] 同様に、制御部２１は、図２１に示す検出結果について、分類した検出結果毎に、当該検出結果が示すプロットを最小二乗法に基づいて直線によって近似する。図２１において、直線Ｆ２１は、反射素子４１の検出結果として分類されたプロットが当該近似によって得られた直線を示す。直線Ｆ２２は、反射素子４２の検出結果として分類されたプロットが当該近似によって得られた直線を示す。直線Ｆ２３は、反射素子Ａ２３の検出結果として分類されたプロットが当該近似によって得られた直線を示す。

[0105] 制御部２１は、直線Ｆ２１と、軸ＡＹ２との交点が示すエベレーション方向を、反射素子４１の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合の測定光Ｌ１のエレベーション方向の照射方向として判定する。制御部２１は、直線Ｆ２２と、軸ＡＹ２との交点が示すエレベーション方向を、反射素子４２の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合の測定光Ｌ１のエレベーション方向の照射方向として判定する。制御部２１は、直線Ｆ２３と、軸ＡＹ２との交点が示すエレベーション方向を、反射素子Ａ２３の像が４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１に検出される場合の測定光Ｌ１のエレベーション方向の照射方向として判定する。軸ＡＹ２は、図２１に示す座標平面の横軸であり、４分割ＰＳＤ１２の視野の中心ＰＣ１の鉛直方向の位置を示す。

[0106] なお、本実施形態では、制御部２１が、４分割ＰＳＤ１２による検出結果を最小二乗法に基づいて直線によって近似する場合の一例について説明した

が、これに限られない。制御部２１は、４分割ＰＳＤ１２による検出結果を直線によって近似する場合に、他のフィッティング方法を用いてもよい。

[0107] なお、本実施形態では、エリアスキャンにおける測定光Ｌ１の軌道が渦巻状の軌道である場合の一例について説明したが、これに限られない。エリアスキャンにおける測定光Ｌ１の軌道は、波線状であってもよい。図２２に、測定光Ｌ１の軌道が波線状である場合のエリアスキャンの一例を示す。図２２と図１９とを比較すると、図２２では、測定光Ｌ１の軌道が波線状である点以外は、図１９と同様である。

[0108] 図１０に戻って測定処理の説明を続ける。

制御部２１は、位置および姿勢を取得する（ステップＳ３０）。

ここで図２３を参照し、位置および姿勢を取得する処理である位置姿勢取得処理の詳細について説明する。図２３は、本実施形態に係る位置姿勢取得処理の一例を示す図である。

[0109] 制御部２１は、反射素子の中心の位置に基づいて円軌道ＴＣ１を算出する（ステップＳ３１０）。反射素子の中心の位置とは、ファインサーチの処理（ステップＳ２０）において推定した３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの中心の位置である。円軌道ＴＣ１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を通過可能な所定の軌道の一例である。

[0110] なお、円軌道ＴＣ１を算出する処理は、測定装置１とは別体の制御装置によって行われてもよい。当該制御装置は、位置取得部２０６によって取得された測定結果であって所定の範囲を渦巻状の軌道に沿って走査された測定光Ｌ１による測定結果に基づいて、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を通過する測定光Ｌ１の軌道（一例として、円軌道ＴＣ１）を算出する。なお、制御部２１は、測定装置１を制御する制御装置の一例である。つまり、本実施形態では、測定装置１は当該制御装置を制御部２１として備える。

[0111] ここで図２４を参照し、円軌道ＴＣ１の算出方法について２通りの方法を

説明する。図２４は、本実施形態に係る円軌道ＴＣ１の算出方法の一例を示す図である。円軌道ＴＣ１の算出する１番目の方法は、２次元平面における円の方程式を、３次元空間における円の方程式に拡張するものである。

[0112] 図２４において、位置Ｐ１、位置Ｐ２、および位置Ｐ３は、反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３それぞれの中心の位置を示す。円軌道ＴＣ１は、位置Ｐ１、位置Ｐ２、および位置Ｐ３を通る円を示す。

[0113] ３次元空間における円の方程式は、式（１）によって示される。なお、図２４の説明においては、３次元ベクトルを、「Ｘ→」のように文字に矢印の記号を付して示す。

[0114] [数1]

$$\vec{X} = \vec{A} + r\cos(t)\vec{u} + r\sin(t)\vec{v} \qquad \cdots(1)$$

[0115] ここで３次元ベクトルＸ→は、円軌道ＴＣ１の任意の時刻における点の位置を示す。３次元ベクトルＡ→は、円軌道ＴＣ１が示す円の中心ＣＰ１の位置を示す。ｒは、円軌道ＴＣ１が示す円の半径を示す。３次元ベクトルｕ→は、中心ＣＰ１から位置Ｐ１への向きを向きにもつ単位ベクトルを示す。３次元ベクトルｖ→は、位置Ｐ１、位置Ｐ２、および位置Ｐ３を含む２次元平面πにおいて３次元ベクトルｕ→と直交する単位ベクトルを示す。なお、当該２次元平面πにおいて３次元ベクトルｕ→と直交する単位ベクトルは２通りあるが、３次元ベクトルｖ→は、当該２通りの単位ベクトルのうちいずれであってもよい。ｔは時刻に対応するパラメータを示す。

[0116] 図２４に示す例では、以下の３つの条件に基づいて、３次元ベクトルＡ→の成分を変数とする連立方程式を解くことによって３次元ベクトルＡ→が算出される。１つ目の条件は、中心ＣＰ１が２次元平面π上にあるという条件である。２つ目の条件は、位置Ｐ１を始点とし位置Ｐ３を終点とするベクトルと、位置Ｐ１と位置Ｐ３との中点を始点とし中心ＣＰ１を終点とするベクトルｊ→とが直交するという条件である。３つ目の条件は、位置Ｐ１を始点とし位置Ｐ２を終点とするベクトルと、位置Ｐ１と位置Ｐ２との中点を始点

とし中心ＣＰ１を終点とするベクトルｋ→とが直交するという条件である。

[0117] 円軌道ＴＣ１の算出する２番目の方法は、クォータニオン（四元数ともいう）を用いる方法である。クォータニオンを用いる方法では、回転させる対象となる点の座標を、クォータニオンｐに対応させ、回転後の点の座標を、クォータニオンｐ’に対応させる。クォータニオンｐと、クォータニオンｐ’との関係は、式（２）によって示される。

[0118] [数2]

$$p' = qpq^{-1} \qquad \cdots(2)$$

[0119] ここでクォータニオンｑは、回転軸と回転量を示す。クォータニオンｑ－１は、クォータニオンｑの共役となるクォータニオンを示す。

時刻ｔにおける、軌道上の点の座標を示す３次元ベクトルｓ→は、式（３）のように示される。

[0120] [数3]

$$\vec{s} = \vec{A} + \overrightarrow{p'} \qquad \cdots(3)$$

[0121] ここで、３次元ベクトルＡ→は、円軌道ＴＣ１の中心の座標を示す３次元ベクトルである。３次元ベクトルｐ’→は、クォータニオンｐ’に対応する３次元ベクトルである。

[0122] クォータニオンを用いる方法では、３次元ベクトルを用いる方法に比べて、３次元空間における回転を算出するための演算負荷を小さくできる。そのため、反射素子の中心の位置に基づいて円軌道ＴＣ１を算出する処理には、クォータニオンを用いる方法が好適である。

[0123] 図２３に戻って位置姿勢取得処理の説明を続ける。

制御部２１は、算出した円軌道ＴＣ１に沿って測定光Ｌ１を照射することによって３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を取得する（ステップＳ３２０）。制御部２１は、照射部２０１、および照射方向駆動部２０４を制御して、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を取得する

。

[0124] 制御部２１は、ロボットＴ１の位置を取得する（ステップＳ３３０）。制御部２１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置に基づいてロボットＴ１の位置を取得する。

[0125] ここでロボットＴ１の位置は、ロボットＴ１の可動部に取り付けられているターゲット部材４の基準位置である。ターゲット部材４の基準位置は、例えば、ターゲット部材４の所定の部分の所定の位置である。ターゲット部材４の所定の部分は、例えば、ターゲット部材４のうちロボットＴ１の可動部に近い部分である。ターゲット部材４の所定の部分は、例えば、後述する設置部材４５である。ターゲット部材４の所定の部分の所定の位置は、例えば、設置部材４５のロボットＴ１の可動部に接する面の中心の位置、または後述する設置面４６の中心の位置などである。

[0126] ロボットＴ１の可動部の位置が移動した場合、当該可動部に取り付けられているターゲット部材４の基準位置は移動する。ロボットＴ１の位置情報とは、ロボットＴ１の可動部に取り付けられているターゲット部材４の基準位置を示す情報である。

[0127] ３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置と、ターゲット部材４の基準位置とは、所定の位置関係にある。制御部２１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置に基づいて、ターゲット部材４の基準位置を算出する。つまり、制御部２１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置情報に基づいてロボットＴ１の位置情報を取得する。

[0128] ここで照射部２０１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を通過可能な所定の軌道（円軌道ＴＣ１）に沿って測定光Ｌ１を走査可能である。さらに、照射部２０１は、所定の速度以上で円軌道ＴＣ１に沿って走査しながら３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれに測定光Ｌ１を逐次照射する。つまり

、照射部２０１は、所定の速度以上で所定の軌道に沿って走査しながら３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれに測定光Ｌ１を逐次照射可能である。

[0129] ここで測定対象であるロボットＴ１の位置情報と、回転方向の位置に関する情報とを取得するためには、ロボットＴ１に取り付けられた少なくとも３つの反射素子の位置情報を取得する必要がある。ある時刻におけるロボットＴ１の位置情報および回転方向の位置に関する情報を取得するためには、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置情報が取得される時間差はなるべく小さいこと（つまり、３つの反射素子それぞれの位置情報はなるべく同時刻に取得されること）が求められる。

[0130] 本実施形態に係る測定装置１では、照射部２０１は、１つの光コム干渉計１１を備える。本実施形態に係る測定装置１では、照射部２０１が、所定の速度以上で所定の軌道に沿って走査しながら３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれに測定光Ｌ１を逐次照射する。そのため、本実施形態に係る測定装置１では、１つの光コム干渉計１１しか備えない場合であっても、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置情報が取得される時間差を小さくできる。

[0131] 上述したように、円軌道ＴＣ１は、４分割ＰＳＤ１２による３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置の検出結果（ファインサーチの結果）に基づいて算出された軌道である。４分割ＰＳＤ１２による位置の検出結果とは、第１撮像部２２による撮像結果である。つまり、円軌道ＴＣ１は、第１撮像部２２による３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の撮像結果に基づいて算出された軌道である。また、上述したように、測定光Ｌ１は、円軌道ＴＣ１に沿って照射される。したがって、測定光Ｌ１は、第１撮像部２２による３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の撮像

結果に基づいて照射される。

[0132] また、本実施形態では、上述したように、４分割ＰＳＤ１２によるファインサーチを行うために、予めステレオカメラ３によってマーカ４４を撮像するラフサーチが行われる。つまり、第１撮像部２２によるファインサーチは、第２撮像部３０によってマーカ４４を撮像した結果に基づいて行われる。したがって、測定光Ｌ１は、第２撮像部３０による撮像結果に基づいて照射される。

[0133] なお、本実施形態では、照射部２０１が３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を通過可能な所定の軌道に沿って測定光Ｌ１を走査するための、当該所定の軌道として、円軌道ＴＣ１が算出される場合の一例について説明した。円軌道ＴＣ１は、測定光Ｌ１の照射方向の変化の加速度の変化が小さくなる軌道の一例である。つまり、本実施形態では、位置取得部２０６は、照射部２０１が所定の軌道に沿って走査を行うために、測定光Ｌ１の照射方向の変化の加速度の変化が小さくなる軌道を当該所定の軌道として算出する。測定光Ｌ１の照射方向の変化の加速度の変化が小さくなる軌道の他の例は、楕円軌道である。その場合、位置取得部２０６は、ステップＳ３１０において、所定の軌道として楕円軌道を算出する。また、測定光Ｌ１の照射方向の変化の加速度の変化が小さくなる軌道の別の一例は、リサージュ軌道（Ｌｉｓｓａｊｏｕｓ　Ｏｒｂｉｔ）である。その場合、位置取得部２０６は、ステップＳ３１０において、所定の軌道としてリサージュ軌道を算出する。

[0134] ３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を通過可能な所定の軌道は、測定光Ｌ１の照射方向の変化の加速度の変化が小さくなる軌道である方が、加速度の変化が小さくならない軌道に比べて、照射方向駆動部２０４に含まれるＰＭＡ１４のジンバル部への負荷が軽減される。

[0135] なお、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を通過可能な所定の軌道として、多角形の軌道が算出されてもよい。測

定光Ｌ１の照射方向の変化の加速度の変化が小さくなるためには、多角形のなかでも複数の反射素子の数と同じ数の頂点をもつ多角形が、所定の軌道として算出されることが好ましい。

また、測定光Ｌ１を走査するための所定の軌道として、円軌道、楕円軌道、多角形の軌道、以外の軌道（曲線軌道など）が算出されてもよい。その場合であっても、測定光Ｌ１の照射方向の変化の加速度の変化が小さくなる軌道が算出されることが好ましい。

[0136] 制御部２１は、取得した３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置に基づいて、ロボットＴ１の姿勢を取得する（ステップＳ３４０）。

[0137] ここでロボットＴ１の姿勢は、ロボットＴ１の可動部に取り付けられているターゲット部材４の回転方向の位置（姿勢、向き）である。ターゲット部材４の回転方向の位置は、例えば、例えば、ターゲット部材４のうちロボットＴ１の可動部に近い部分の回転方向の位置である。ターゲット部材４の回転方向の位置は、例えば、後述する設置部材４５の回転方向の位置、または後述する設置面４６の回転方向の位置などである。

[0138] ロボットＴ１の可動部の回転方向の位置が変化した場合、当該可動部に取り付けられているターゲット部材４の回転方向の位置は変化する。ロボットＴ１の方向情報とは、ロボットＴ１の可動部に取り付けられているターゲット部材４の方向情報を示す情報である。

[0139] ３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置と、ターゲット部材４の回転方向の位置とは、所定の関係にある。制御部２１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置に基づいて、ターゲット部材４の回転方向の位置を算出する。つまり、制御部２１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置情報に基づいてロボットＴ１の方向情報（ロボットＴ１の姿勢、または向き）を取得する。

[0140] ここで図２５から図２７を参照し、ロボットＴ１の姿勢を取得する処理で

ある姿勢取得処理について説明する。本実施形態では、ロボットＴ１に３つの反射素子が取り付けられる場合について説明しているが、姿勢取得処理の説明では、ロボットＴ１に４つの反射素子が取り付けられる場合の一例について説明する。ロボットＴ１に３つの反射素子が取り付けられる場合の姿勢取得処理は、ロボットＴ１に４つの反射素子が取り付けられる場合の姿勢取得処理と同様である。

[0141] 図２５は、本実施形態に係る姿勢取得処理の概要の一例を示す図である。姿勢取得処理では、一例として、既知の座標系を複数の反射素子にフィッティングする。既知の座標系を複数の反射素子にフィッティングするとは、既知の座標系における座標が既知である複数の点をそれぞれ、回転およびまたは並進させることによって、複数の反射素子の中心の位置にそれぞれ重ね合わせることである。姿勢取得処理では、複数の反射素子にフィッティングした既知の座標系に基づいて、複数の反射素子が取り付けられたロボットＴ１の姿勢（方向）を推定する。

[0142] ここで複数の反射素子の中心の位置についての関係は、既知であるとする。複数の反射素子の中心の位置についての関係が既知であることは、複数の反射素子がターゲット部材に取り付けられた状態において、当該複数の反射素子の中心の位置についての関係が既知であることに応じている。複数の反射素子がターゲット部材に取り付けられた状態における複数の反射素子の中心の位置についての関係は、上述したように、反射素子配置情報として記憶部２４に予め記憶されている。

なお、既知の座標系における座標が既知である複数の点の数は、複数の反射素子の数と等しい。

[0143] 図２５では、点ｘｐ、点ｙｐ、点ｚｐ、および点ｏｐはそれぞれ、４つの反射素子の中心の位置それぞれを示す。

図２５に示す例では、既知の座標系として、既知座標系Ｃ０が示されている。既知座標系Ｃ０は、一例として、点ｏ１を原点とする直交座標系である。点ｘ１は、既知座標系Ｃ０のｘ軸上の点であり、点ｘ１のｘ座標は座標Ｋ

１である。点ｙ１は、既知座標系Ｃ０のｙ軸上の点であり、点ｙ１のｙ座標は座標Ｋ２である。点ｚ１は、既知座標系Ｃ０のｚ軸上の点であり、点ｚ１のｚ座標は座標Ｋ３である。既知座標系Ｃ０において、座標Ｋ１は点ｘｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さと等しく、座標Ｋ２は点ｙｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さと等しく、座標Ｋ３点ｚｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さと等しい。

なお、既知座標系Ｃ０としては、例えば、上述した基準座標系（ターゲット部材４が配置される空間内における座標系）を選択すればよい。

[0144] 姿勢取得処理では、点ｘ１、点ｙ１、点ｚ１、および点ｏ１をそれぞれ、回転およびまたは並進の操作によって、点ｘｐ、点ｙｐ、点ｚｐ、および点ｏｐにそれぞれ重ね合わせる。ここで回転およびまたは並進の過程において、点ｘ１、点ｙ１、点ｚ１、および点ｏ１の相互間の位置関係は変化しない。つまり、回転およびまたは並進の操作は、既知の座標系における座標が既知である複数の点について共通である。

[0145] 図２５では、一例として、点ｘｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さ、点ｙｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さ、および、点ｚｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さは、互いに異なるものとする。したがって、座標Ｋ１、座標Ｋ２、および座標Ｋ３は、互いに異なる。そのため、図２５に示す例では、点ｘ１、点ｙ１、点ｚ１、および点ｏ１をそれぞれ、回転およびまたは並進の操作によって、点ｘｐ、点ｙｐ、点ｚｐ、および点ｏｐにそれぞれ重ね合わせる場合に、重ね合わせ（フィッティング）の方法は一意となる。

[0146] 既知の座標系を複数の反射素子にフィッティングするためには、回転およびまたは並進を示す座標変換を算出する必要がある。本実施形態では、一例として、主成分分析に基づいて、座標変換を示す行列のうち回転を示す行列を算出する。

[0147] ここで既知の座標系における座標が既知である複数の点の位置をそれぞれ示す３次元ベクトルＡｉ（ｉ＝１、２、・・・、Ｎ：Ｎは既知の座標系における座標が既知である複数の点の数であり、ロボットＴ１に４つの反射素子が取り付けられる場合には４である。）と、複数の反射素子の位置をそれぞ

れ示す３次元ベクトルＢｉ（ｉ＝１、２、・・・、Ｎ：Ｎは反射素子の数であり、ロボットＴ１に４つの反射素子が取り付けられる場合には４である。）とを考える。なお、ロボットＴ１に３つの反射素子が取り付けられる場合には、Ｎは３である。

式（４）によって示される行列Ｈに対して特異値分解を行うことによって、回転を示す行列Ｒを算出することができる。

[0148] [数4]

$$H=(A-centroid_A)(B-centroid_B)^T \quad \cdots(4)$$

[0149] ここで行列Ａは、３次元ベクトルＡｉを列として並べた行列である。行列Ａは、３次元ベクトルＡｉが示す点の集合を示す。行列Ｂは、３次元ベクトルＢｉを列として並べた行列である。行列Ｂは、３次元ベクトルＢｉが示す点の集合を示す。行列ｃｅｎｔｒｏｉｄＡは、式（５）に示すように、既知の座標系における座標が既知である複数の点の重心の位置を示す３次元ベクトルを列として並べた行列である。

[0150] [数5]

$$centroid_A=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}A^i \quad \cdots(5)$$

[0151] 行列ｃｅｎｔｒｏｉｄＢは、式（６）に示すように、複数の反射素子の位置の重心の位置を示す３次元ベクトルを列として並べた行列である。

[0152] [数6]

$$centroid_B=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}B^i \quad \cdots(6)$$

[0153] 式（４）に示すように、行列Ｈでは、行列Ａから行列ｃｅｎｔｒｏｉｄＡが減じられた行列に、行列Ｂから行列ｃｅｎｔｒｏｉｄＢが減じられた行列の転置行列が乗じられている。したがって、行列Ｈを考えることによって、行列Ａが示す点の集合と、行列Ｂが示す点の集合とを重ね合わせる問題を、

並進によって重ね合わせられる成分は予め減じて、回転によって重ね合わせる問題に帰着できる。

当該回転を算出するために、式（７）に示すように、行列Ｈに特異値分解を行う。

[0154] [数7]

$$[U,S,V]=SVD(H) \qquad \cdots(7)$$

[0155] ここである行列Ｅに対する特異値分解は、式（８）、および式（９）によって定義される。

[0156] [数8]

$$[U,S,V]=SVD(E) \qquad \cdots(8)$$

[0157] [数9]

$$E=USV^{T} \qquad \cdots(9)$$

[0158] 式（８）、および式（９）において、行列Ｕは左特異ベクトル行列であり、行列Ｖは右特異ベクトル行列であり、行列Ｓは特異値を対角成分に持つ行列である。

[0159] 式（７）のように行列Ｈに特異値分解を行った結果得られる行列Ｖと、行列Ｕと用いると、行列Ａが示す点の集合と、行列Ｂが示す点の集合とを重ね合わせる場合の回転を示す行列Ｒは、式（１０）のように算出される。

[0160] [数10]

$$R=VU^{T} \qquad \cdots(10)$$

[0161] 次に、並進を示す行列ｔを算出する。行列Ａと行列Ｂとは、回転を示す行列Ｒと、並進を示す行列ｔとによって式（１１）のように示される。

[0162] [数11]

$$R\times A+t=B \qquad \cdots(11)$$

[0163] 上述した行列ｃｅｎｔｒｏｉｄＡ、および行列ｃｅｎｔｒｏｉｄＢを用い

ると、式（１１）から式（１２）を得る。

[0164] [数12]

$$R \times centroid_A + t = centroid_B \quad \cdots(12)$$

[0165] 式（１２）から、並進を示す行列ｔは、回転を示す行列Ｒ、行列ｃｅｎｔｒｏｉｄＡ、および行列ｃｅｎｔｒｏｉｄＢを用いて式（１３）に示すように算出される。

[0166] [数13]

$$t = centroid_B - R \times centroid_A \quad \cdots(13)$$

[0167] 図２６に、既知座標系Ｃ０における座標が既知である４つの点である点ｘ１、点ｙ１、点ｚ１、および点ｏ１を４つの反射素子の位置に重ね合わせる処理の一例を示す。点ｘｐ、点ｙｐ、点ｚｐ、および点ｏｐはそれぞれ、４つの反射素子それぞれの位置を示す。点ｘ１、点ｙ１、点ｚ１、および点ｏ１がそれぞれ、点ｘｐ、点ｙｐ、点ｚｐ、および点ｏｐそれぞれに重ね合わせられるように、点ｘ１、点ｙ１、点ｚ１、および点ｏ１に対して回転およびまたは並進が行われる。点ｘ１、点ｙ１、点ｚ１、および点ｏ１はそれぞれ、点ｘｐ、点ｙｐ、点ｚｐ、および点ｏｐそれぞれに重ね合わせられることによって、既知座標系Ｃ０とターゲット座標系Ｃ１とは対応づけられる。

[0168] 複数の反射素子それぞれの位置を測定しただけでは、当該複数の反射素子それぞれを識別することはできない。既知座標系Ｃ０を複数の反射素子にフィッティングした後では、複数の反射素子それぞれと、既知座標系Ｃ０における座標が既知である複数の点それぞれとが対応づけられる。そのため、既知座標系Ｃ０を複数の反射素子にフィッティングした後では、複数の反射素子それぞれを識別可能である。

[0169] また、既知座標系Ｃ０が複数の反射素子にフィッティングされた後では、既知座標系Ｃ０に基づいて各種の演算を行うことができる。各種の演算とは、例えば、ロボットＴ１のツールセンターポイントの位置の算出、各種のＰＯＳＴ処理などである。例えば、ロボットＴ１のツールセンターポイントの

位置の算出は、位置取得部２０６によって行われる。つまり、位置取得部２０６は、ロボットＴ１のツールセンターポイントに関する情報を取得する。

[0170] 上述した処理においては、点ｘｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さ、点ｙｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さ、および、点ｚｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さは、互いに異なるとして、既知の座標系を複数の反射素子に重ね合わせる方法が一意となる場合について説明したが、これに限られない。点ｘｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さ、点ｙｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さ、および、点ｚｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さのうち互いに等しいものがあってもよい。

[0171] 点ｘｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さ、点ｙｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さ、および、点ｚｐと点ｏｐとを結ぶ辺の長さのうち互いに等しいものがある場合、既知の座標系を複数の反射素子に重ね合わせる方法は一意とはならない。既知の座標系を複数の反射素子に重ね合わせる方法は一意とはならないことに応じて、複数の反射素子のうち識別できないものが生じるため、複数の反射素子が配置されるターゲット部材の向きが一意には判定できない場合がある。

[0172] 例えば、４つの反射素子が正四面体の頂点に対応する位置に配置される場合、既知座標系における座標が既知である複数の点は正四面体の頂点に対応する座標をもつことになる。既知座標系における座標が既知である複数の点を頂点にもつ正四面体を、４つの反射素子の中心を頂点にもつ正四面体に重ね合わせる場合、重ね合わせの方法は一意でないため、当該４つの反射素子が配置されるターゲット部材の向きは一意には判定できない。

なお、ターゲット部材の向きは一意には判定できない場合であっても、ターゲット部材の向きが複数の向きのいずれかであることは判定できる。

[0173] 図２６には、測定装置１によるターゲット部材４の位置の測定の誤差を示す。当該誤差は、測定装置１によって測定された点ｘｐ、点ｙｐ、点ｚｐ、および点ｏｐそれぞれの座標の既知座標系Ｃ０における座標が既知である４つの点である点ｘ１、点ｙ１、点ｚ１、および点ｏ１それぞれの座標に対する誤差である。

[0174] 図２６では、その大きさによって当該誤差を示す誤差ベクトルを、点ｘｐ、点ｙｐ、点ｚｐ、および点ｏｐそれぞれについて示す。誤差ベクトルｄｘ→は、点ｘ１の位置の点ｘｐの位置に対する誤差を示す。誤差ベクトルｄｙ→は、点ｙ１の位置の点ｙｐの位置に対する誤差を示す。誤差ベクトルｄｚ→は、点ｚ１の位置の点ｚｐの位置に対する誤差を示す。誤差ベクトルｄｏ→は、点ｏ１の位置の点ｏｐの位置に対する誤差を示す。

[0175] 図２７は、誤差ベクトルの大きさを示すグラフを示す。図２７によれば、誤差ベクトルの大きさは０．６μｍ程度である。測定装置１によるターゲット部材４の位置の測定の精度が１μｍ程度である場合、ターゲット部材４の位置および姿勢の測定の精度は０．６μｍ程度となる。測定装置１によるターゲット部材４の位置の測定の精度が１ｎｍ程度である場合、ターゲット部材４の位置および姿勢の測定の精度はサブｎｍ程度となることが期待される。

[0176] 図２３に戻って位置姿勢取得処理の説明を続ける。

制御部２１は、推定した位置および姿勢を出力する（ステップＳ３５０）。制御部２１は、ロボットＴ１について、推定した位置を示す位置情報と、推定した姿勢を示す方向情報とを出力する。制御部２１は、例えば、ロボットＴ１の制御システムに送信することによって出力する。

以上で、制御部２１は、位置姿勢取得処理を終了する。

[0177] なお、本実施形態では、測定装置１が測定処理を行う間、ロボットＴ１の位置および姿勢は変化しない場合の一例について説明したが、これに限られない。測定装置１が測定処理を行う間、ロボットＴ１の位置および姿勢は変化してもよい。測定処理の間にロボットＴ１の位置および姿勢が変化する場合、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）に測定光Ｌ１が逐次照射されるそれぞれの時刻相互間において、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の位置および姿勢は変化し得る。

[0178] 測定処理の間にロボットＴ１の位置および姿勢が変化する場合、測定装置

１は、例えば、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれに測定光Ｌ１が照射された時刻の差に基づいて、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の位置を推定してもよい。測定装置１は、例えば、反射素子４１に測定光Ｌ１が照射された時刻と反射素子４２に測定光Ｌ１が照射された時刻との差、及び、反射素子４２に測定光Ｌ１が照射された時刻と反射素子４３に測定光Ｌ１が照射された時刻との差から、ある時刻における３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の位置を推定してもよい。測定装置１は、ある時刻における３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の位置を推定した結果に基づいて、ロボットＴ１の位置および姿勢を取得してもよい。

[0179] 測定装置１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）のうち１つの位置については測定値を用いて、残りの２つそれぞれの位置については推定値を用いてもよい。例えば、反射素子４２の位置を測定した時刻（つまり、反射素子４２に測定光Ｌ１を照射した時刻）を基準の時刻とする場合、測定装置１は、反射素子４２の位置については、測定値を用いる。測定装置１は、反射素子４１の位置、及び反射素子４３の時刻については、基準の時刻における推定値を算出する。なお、反射素子４１の位置を測定した時刻、または反射素子４３の位置を測定した時刻が基準の時刻とされてもよい。

[0180] なお、測定処理の間にロボットＴ１の位置および姿勢が変化する場合であっても、測定装置１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を測定した時刻相互間の時間差を無視して、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置の測定結果を、そのまま位置情報として用いてもよい。３つの反射素子それぞれの位置を測定した時刻相互間の時間差が無視できる場合とは、当該時間差が極めて短いために、測定処理の間にロボットＴ１の位置および姿勢の変化が、測定装置１による測定精度程度となる場合である。

[0181] また、測定処理の間にロボットＴ１は一時停止させられてもよい。その場合、例えば、測定開始を示す信号である測定開始信号がロボットＴ１の制御システムから測定装置１に送信されてもよい。測定開始信号がロボットＴ１の制御システムから測定装置１に送信される場合、当該制御システムは、ロボットＴ１を一時停止させた後に、測定開始信号を測定装置１に送信する。また、ロボットＴ１を一時停止させる命令を示す停止信号が測定装置１からロボットＴ１の制御システムに送信されてもよい。停止信号が測定装置１からロボットＴ１の制御システムに送信される場合、当該制御システムは、停止信号に基づいてロボットＴ１を一時停止させる。当該制御システムは、ロボットＴ１が停止したことを示す信号を測定装置１に送信する。

測定開始信号が送信される場合と、停止信号が送信される場合とのいずれの場合であっても、測定装置１は、ロボットＴ１が停止したことが確認された後に測定処理を開始する。

[0182] 上述したように、位置姿勢取得処理では、位置取得部２０６は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の位置に関する情報に基づいて、位置情報と、方向情報とを取得する。３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の位置に関する情報とは、本実施形態では一例として、４分割ＰＳＤ１２によって検出された３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を示す情報である。位置情報は、一例として、ターゲット部材４が配置される空間内における基準座標系の座標によって示され、直角座標（Ｘ、Ｙ、Ｚ）内の位置を示す。その場合、位置情報は、第１軸（Ｘ軸）に関する位置情報、第２軸（Ｙ軸）に関する位置情報、および第３軸（Ｚ軸）に関する位置情報である。方向情報は、第１軸（Ｘ軸）周りの回転方向の位置に関する情報、第２軸（Ｙ軸）周りの回転方向の位置に関する情報、および、第３軸（Ｚ軸）周りの回転方向の位置に関する情報である。

[0183] 上述したように、位置姿勢取得処理では、制御部２１に制御されて、照射部２０１によって、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および

反射素子４３）それぞれへの測定光Ｌ１の照射が繰り返し行われる。

測定装置１では、測定の過程において、測定光Ｌ１が失われた場合であっても、光コム干渉計１１によってサブマイクロメートルのオーダーの精度において測定光が３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）に照射されるよう、照射方向駆動部２０４によって照射部２０１を駆動することができる。例えば、測定光Ｌ１が失われた場合とは、測定装置１とターゲット部材４との間に障害物が居続けた場合などである。

[0184] 次に図２８から図３０を参照し、ターゲット部材４の構成について説明する。図２８は、本実施形態に係るターゲット部材４の構成の一例を示す図である。設置部材４５の設置面４６上には、保持部４７、保持部４８、および保持部４９が設けられている。保持部４７は、反射素子４１を保持する部材である。反射素子４１は、保持部４７に保持されて設置面４６上に配置される。保持部４８は、反射素子４２を保持する部材である。反射素子４２は、保持部４８に保持されて設置面４６上に配置される。保持部４９は、反射素子４３保持する部材である。反射素子４３は、保持部４９に保持されて設置面４６上に配置される。なお、設置面４６は平面であってもよい。

[0185] マーカ４４は、設置面４６上に配置される。マーカ４４は、設置面４６上において、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）が配置される位置よりも、設置面４６の中央に近い位置に配置される。つまり、マーカ４４は、設置面４６上において、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）に囲まれるように配置される。なお、マーカ４４は、保持部４７、保持部４８、または保持部４９のうちいずれかに配置されていてもよい。

[0186] 図２９に、反射素子４１が保持部４７に保持された状態における断面図を示す。反射素子４１の形状は、一例として、球である。中心ＳＣ１は、球形である反射素子４１の中心を示す。反射素子４２の形状、および反射素子４３の形状はそれぞれ、反射素子４１の形状と同じ球である。反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３の大きさは互いに等しい。反射素子４２

が保持部４８に保持された状態、および反射素子４３が保持部４９に保持された状態はそれぞれ、反射素子４１が保持部４７に保持された状態と同様である。

[0187] ここで３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）はそれぞれ、第１の反射素子、第２の反射素子および第３の反射素子それぞれの一例である。反射素子４１が保持部４７に保持された状態における反射素子４１の中心ＳＣ１の位置を、反射素子４１がターゲット部材４に配置される位置として第１位置という。同様に、反射素子４２が保持部４８に保持された状態における反射素子４２の中心の位置を、反射素子４２がターゲット部材４に配置される位置として第２位置という。反射素子４３が保持部４９に保持された状態における反射素子４３の中心ＳＣ１の位置を、反射素子４３がターゲット部材４に配置される位置として第３位置という。

[0188] 本実施形態では、反射素子４１が配置される第１位置と反射素子４２が配置される第２位置とを結ぶ第１辺、当該第２位置と反射素子４３が配置される第３位置とを結ぶ第２辺、および当該第３位置と当該第１位置を結ぶ第３辺の長さはそれぞれ異なる。なお、第１乃至第３位置をそれぞれ、反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３それぞれの中心位置としてもよい。

[0189] また、第１乃至第３位置をそれぞれ、反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３それぞれの中心位置以外としてもよい。例えば、第１乃至第３位置をそれぞれ、反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３それぞれの中心位置から設置面に下ろした垂線が設置面と交差する位置としてもよい。別の一例として、第１乃至第３位置はそれぞれ、反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３それぞれの内側に含まれる位置であれば反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３それぞれの中心からずれた所定の位置であってもよい。別の一例として、第１乃至第３位置はそれぞれ、反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３それぞれに対して予め決められた位置（つまり、所定の相対位置）であれば、反射素子４１、反射素

子４２、および反射素子４３それぞれの外側の位置であってもよい。

[0190] 上述したように、測定装置１は、円軌道ＴＣ１に沿って測定光Ｌ１を照射することによって３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を取得する。３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を取得するだけでは、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を互いに識別できない場合がある。例えば、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）が設置面４６上においてマーカ４４の位置から等しい距離の位置に配置される場合、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を取得するだけでは、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を互いに識別することはできない。

[0191] 本実施形態では、第１辺と第２辺と第３辺の長さがそれぞれ異なるため、既知座標系を、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）にフィッティングすることによって、当該３つの反射素子を互いに識別することができる。

[0192] また、図２８に示す例では、第１位置、第２位置、および、第３位置は、設置面４６上において、同心円上に位置する。当該同心円の中心の位置は、マーカ４４の位置とは異なる設置面４６上の所定の位置である。

また、設置面４６上において、反射素子４１の中心とマーカ４４との距離、反射素子４２の中心とマーカ４４との距離、および反射素子４３の中心とマーカ４４との距離は、互いに異なっている。３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）は、マーカ４４からの距離に基づいて互いに識別されてもよい。

[0193] なお、ターゲット部材４において、第１辺の長さ、第２辺の長さ、および第３辺の長さはそれぞれ変更可能とされてもよい。例えば、設置面４６上に、スライドする板状部材が３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）毎に設けられて、３つの反射素子（反射素子４１、反

射素子４２、および反射素子４３）はそれぞれ、当該板状部材に取り付けられる。当該板状部材をスライドさせることによって、第１辺の長さ、第２辺の長さ、および第３辺の長さはそれぞれ変更可能である。また、設置面４６上に、反射素子毎に複数の取り付け位置が設けられて、反射素子毎に当該複数の取り付け位置を変更することによって、第１辺の長さ、第２辺の長さ、および第３辺の長さはそれぞれ変更可能とされてもよい。

[0194] 再び図２９を参照して説明する。保持部４７には、溝４７０が設けられる。溝４７０は、接着剤を充填するための溝である。溝４７０は、リング状の形状の溝である。反射素子４１は、溝４７０に充填された接着剤によって保持部４７に接着されて保持される。ここで当該接着剤が硬化することによって凝集力が発生する。ベクトルＣＦ１は、当該凝集力を示すベクトルである。

[0195] なお、設置部材４５は、ターゲット部材４をロボットＴ１に取り付けるための部材である。設置部材４５は、一例として、ネジ穴（不図示）を介してネジによってロボットＴ１に固定される。したがって、ターゲット部材４は、測定対象に取り付け可能である。設置部材４５は、粘着テープ、接着剤、磁石などを用いてロボットＴ１に取り付けられてもよい。

[0196] 次に図３０を参照し、設置面４６上における３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の高さについて説明する。図３０は、本実施形態に係る設置面４６上における３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の高さの一例を示す図である。軸ＢＸ１は、設置面４６に垂直な方向の軸であって、マーカ４４の位置を通る軸である。軸ＢＸ１は、設置面４６の向きを示す。

[0197] ３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）は、設置面４６の向きが軸ＢＸ１と測定光Ｌ１の照射方向とのなす角度のうち小さい角度が所定の角度以下となる向きである場合に、マーカ４４が隠れない高さに配置される。測定光Ｌ１の照射方向とは、換言すれば、測定装置１からターゲット部材４をみた方向である。所定の角度とは、一例として、６

０度である。

したがって、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）は、ターゲット部材４に取り付けられた状態において、所定の向きからみた場合にマーカ４４が隠れない高さに配置される。

[0198] なお、本実施形態では、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）が取り付けられたターゲット部材４がロボットＴ１に取り付けられる場合の一例について説明したが、これに限られない。３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）は、ロボットＴ１に取り付けられてもよい。３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）がロボットＴ１に取り付けられる場合、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）は、測定装置１からロボットＴ１をみた場合に、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）は、測定装置１の視野内に３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）が入るロボットＴ１の部分に取り付けられる。

[0199] ３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）がターゲット部材４に取り付けられる場合には、ターゲット部材４の構造に応じて、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の配置は既知である。３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）がロボットＴ１に取り付けられる場合には、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の配置は既知であるとは限らない。そのため、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の配置は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）がロボットＴ１に取り付けられた後にスキャン（走査）することによって取得される。当該スキャンにおいて、第１撮像部２２は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）が取り付けられたロボットＴ１の少なくとも一部を撮像する。スキャンによって取得された３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、お

よび反射素子４３）の配置は、反射素子配置情報として記憶部２４に記憶される。

[0200] 上述したように、第１撮像部２２は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の少なくとも一部を撮像する。したがって、第１撮像部２２は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の少なくとも一部、および前記ロボットの少なくとも一部の少なくとも一方を撮像する。

[0201] 以上に説明したように、本実施形態に係る測定装置１は、移動可能なロボットＴ１の位置および回転方向の位置を測定する測定装置であって、照射部２０１と、受光部２０２と、位置取得部２０６とを備える。

照射部２０１は、ロボットＴ１に取り付けられた少なくとも３つの反射素子（本実施形態において、反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれに測定光Ｌ１を照射可能である。

受光部２０２は、３つの反射素子（本実施形態において、反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれによって反射された反射光を受光可能である。

位置取得部２０６は、受光部２０２による受光結果に基づいて、ロボットＴ１の第１軸（本実施形態において、）ｘ軸）に関する位置情報、第１軸（本実施形態において、）ｘ軸）と交差する第２軸（本実施形態において、ｙ軸）に関する位置情報、および、第１軸（本実施形態において、）ｘ軸）および第２軸（本実施形態において、ｙ軸）と交差する第３軸（本実施形態において、ｚ軸）に関する位置情報と、第１軸（本実施形態において、）ｘ軸）周りの回転方向の位置に関する情報、第２軸（本実施形態において、ｙ軸）周りの回転方向の位置に関する情報（本実施形態において、位置情報）、および第３軸（本実施形態において、ｚ軸）周りの回転方向の位置に関する情報（本実施形態において、方向情報）を取得する。

[0202] この構成により、本実施形態に係る測定装置１は、ロボットＴ１に取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに照射された測定光Ｌ１が３つ

の反射素子それぞれによって反射された反射光の受光結果に基づいて位置情報と、回転方向の位置に関する情報とを取得することができるため、ロボットＴ１の制御において当該ロボットＴ１の位置および姿勢を高精度において測定することができる。

[0203] （第２の実施形態）

以下、図面を参照しながら本発明の第２の実施形態について詳しく説明する。

上記第１の実施形態では、測定装置１が測定処理を行う間、ロボットＴ１の位置および姿勢は変化しない場合について説明をした。本実施形態では、ロボットＴ１の移動中に測定装置１による測定処理が繰り返し行われる場合について説明をする。

[0204] 図３１は、本実施形態に係る測定対象が移動する場合の測定光Ｌ１によって位置および姿勢を測定する様子の一例を示す。ロボットＴ１は、時刻ｔ０まで静止しており、時刻ｔ０に移動を開始するものとする。これに応じて、ロボットＴ１に取り付けられたターゲット部材４に備えられる３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）は、時刻ｔ０までは静止しており、時刻ｔ０に移動を開始する。

[0205] 図３１（Ａ）に示す軌道ＴＲ０は、ターゲット部材４が静止している場合に、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの中心の位置（つまり、第１位置、第２位置、および第３位置）に基づいて、位置姿勢取得処理のために算出された円軌道である。つまり、軌道ＴＲ０は、時刻ｔ０以前に算出された円軌道である。

[0206] 測定装置１は、軌道ＴＲ０に沿って測定光Ｌ１を３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）に逐次照射しながら、当該３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置の時間変化を算出する。測定装置１は、例えば、４分割ＰＳＤ１２によって検出される反射素子の位置に基づいて、方向ベクトルを３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれについ

て逐次計算する。当該方向ベクトルは、反射素子の位置の時間変化を示す。

[0207] 図３１（Ｂ）に、反射素子に照射された測定光Ｌ１が反射された反射光が４分割ＰＳＤ１２によって検出される様子を示す。図３１（Ｂ）では、図３１（Ａ）における範囲ＲＢ１が拡大されて示されており、一例として、反射素子４３に照射された測定光Ｌ１が反射された反射光が４分割ＰＳＤ１２によって検出される様子を示す。

[0208] 測定装置１は、時刻ｔ０において検出した３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置の時間変化（方向ベクトル）に基づいて、時刻ｔ１における３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を通過可能な円軌道を算出する。ここで時刻ｔ１は、時刻ｔ０より所定の時間だけ後の時刻である。測定装置１は、以降の時刻（図３１では、時刻ｔ１、時刻ｔ２、時刻ｔ３）においても同様にして、各時刻における３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）を通過可能な円軌道を算出する。

[0209] 次に図３２を参照し、測定対象が移動する場合の位置姿勢取得処理について説明する。図３２は、本実施形態に係る位置姿勢取得処理の一例を示す図である。図３２に示す位置姿勢取得処理は、図１０に示した測定処理におけるステップＳ３０として実行される。図３２に示す位置姿勢取得処理は、例えば、測定光Ｌ１が照射される位置が円軌道に沿って所定の回数だけ周回する毎に実行される。当該所定の回数とは、例えば、１回である。なお、当該所定の回数は、２回以上であってもよい。

[0210] なお、ステップＳ４１０、ステップＳ４２０、ステップＳ４３０、ステップＳ４４０、およびステップＳ４５０の各処理は、図２３におけるステップＳ３１０、ステップＳ３２０、ステップＳ３３０、ステップＳ３４０、およびステップＳ３５０の各処理と同様であるため、説明を省略する。

[0211] ステップＳ４６０：位置取得部２０６は、終了条件が満たされたか否かを判定する。終了条件は、例えば、測定処理を終了するための信号（命令）を測定装置１が取得することである。当該信号は、例えば、測定装置１のユーザ

による操作に基づいて外部装置から測定装置１に供給される。当該信号は、測定装置１に操作受付部が備えられて、操作受付部が受け付けるユーザによる操作に基づいて、測定装置１に供給されてもよい。終了条件は、測定装置１が測定処理を開始してから所定の時間が経過したことであってもよい。

[0212] 位置取得部２０６が、終了条件が満たされたと判定した場合（ステップＳ４６０；ＹＥＳ）、制御部２１は、位置姿勢取得処理を終了する。一方、位置取得部２０６は、終了条件が満たされていないと判定した場合（ステップＳ４６０；ＮＯ）、ステップＳ４７０の処理を実行する。

[0213] ステップＳ４７０：位置取得部２０６は、反射素子の撮像結果に基づいて反射素子の中心の位置の変化を推定する。反射素子の撮像結果は、測定光Ｌ１が照射された反射素子から反射される反射光が４分割ＰＳＤ１２によって検出された結果である。位置取得部２０６は、新たに取得した反射素子の撮像結果が示す反射素子の中心の位置と、前回に取得した反射素子の撮像結果が示す反射素子の中心の位置とに基づいて、反射素子の中心の位置の変化を示す方向ベクトルを算出する。位置取得部２０６は、算出した方向ベクトルに基づいて、反射素子の中心の位置の変化を推定する。

[0214] その後、位置取得部２０６は、ステップＳ４１０の処理を再度実行する。再度実行されるステップＳ４１０の処理においては、位置取得部２０６は、ステップＳ４７０において推定された反射素子の中心の位置の変化に基づく反射素子の中心の位置に基づいて円軌道ＴＣ１を算出する。

[0215] 上述したように、本実施形態に係る位置姿勢取得処理では、円軌道ＴＣ１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの中心の位置の変化に基づいて所定の時刻毎に算出される。円軌道ＴＣ１が３つの反射素子それぞれの中心の位置の変化に基づいて所定の時刻毎に算出されるため、照射部２０１は、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の移動に追従するように、所定の軌道に沿って走査しながら当該３つの反射素子それぞれに測定光Ｌ１を逐次照射する。ロボットＴ１の移動中に、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４

２、および反射素子４３）それぞれへの測定光Ｌ１の照射が繰り返し行われる。これによって、ロボットＴ１が移動中であっても、ロボットＴ１の位置および姿勢を継続して取得できる。

[0216] なお、上述した各実施形態では、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）が第１撮像部２２によって撮像された結果（つまり、ラフサーチの結果）に基づいて測定光Ｌ１が照射される場合の一例について説明したが、ラフサーチの方法はこれに限られない。

[0217] また、測定装置１は、ラフサーチを行う代わりに、ロボットＴ１の制御システムからロボットＴ１の位置および姿勢を示す情報を取得し、取り付け位置情報、および反射素子配置情報に基づいて、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置を粗い精度において取得してもよい。なお、制御システムから取得されるロボットＴ１の位置および姿勢を示す情報は、粗い精度においてロボットＴ１の位置および姿勢を示す。

[0218] 上述したいずれの場合であっても、測定装置１は、取得した３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）の位置に基づいて、ファインサーチの処理を行う。つまり、測定光Ｌ１は、撮像部（第１撮像部２２、および第２撮像部３０）による撮像結果に基づいて照射される。

[0219] なお、上述した各実施形態では、姿勢取得処理の説明以外では、３つの反射素子（反射素子４１、反射素子４２、および反射素子４３）それぞれの位置に基づいて、ロボットＴ１の位置、および姿勢が測定される場合の一例について説明したが、これに限られない。ターゲット部材４に４つ以上の反射素子が取り付けられて、測定装置１は、当該４つ以上の反射素子の位置を測定した結果に基づいてロボットＴ１の位置、および姿勢を測定してもよい。ここでロボットＴ１の位置、および姿勢を測定するためには、３つの反射素子それぞれの位置が測定されれば十分である。４つ以上の反射素子の位置が測定される場合、例えば、４つのうち１つの反射素子の位置の測定結果を、４つのうちの３つの反射素子それぞれの位置に基づいて測定されたロボット

Ｔ１の位置、および姿勢の測定結果の検定に用いてよい。その場合、例えば、測定に用いる４つのうちの３つの反射素子のいずれか２つと、検定に用いる１つの反射素子とに基づいて、ロボットＴ１の位置、および姿勢が検定用に測定される。検定用に測定されたロボットＴ１の位置、および姿勢と、測定用に測定されたロボットＴ１の位置、および姿勢が所定の精度において一致するか否かを判定することによって、測定用の測定結果の検定が行われる。

[0220] また、４つ以上の反射素子の位置の測定結果の平均値に基づいて、ロボットＴ１の位置、および姿勢が測定されてもよい。例えば、６つの反射素子を２つの組に分けて、当該組毎に３つの反射素子それぞれの位置に基づいて測定されたロボットＴ１の位置、および姿勢の測定結果から、当該組についての平均値を算出した結果が測定結果とされてもよい。

[0221] また、上述した各実施形態に係る測定装置１では、照射部２０１が１つの光コム干渉計１１を備え、複数の反射素子それぞれに測定光Ｌ１を逐次照射する場合の一例について説明したが、これに限られない。上述したように、照射部２０１は、複数の光コム干渉計を備えてもよい。照射部２０１が複数の光コム干渉計を備える場合、複数の光コム干渉計の一部が、上述した各実施形態のように複数の反射素子それぞれに測定光を逐次照射するために用いられ、複数の光コム干渉計の残りの一部の光コム干渉計はそれぞれ、当該残りの一部の光コム干渉計と同じ数の反射素子のうち自身に対応づけられた１つの反射素子に測定光を照射するために用いられてもよい。

[0222] 特に照射部２０１は、複数の反射素子と同じ数だけ光コム干渉計１１を備えてもよい。照射部２０１が複数の反射素子と同じ数だけ光コム干渉計を備える場合、照射部２０１は、複数の反射素子と同じ数の光コム干渉計それぞれから発せられる測定光を複数の反射素子それぞれに照射する。

[0223] なお、上述した各実施形態における測定装置１では、位置情報と、回転方向の位置に関する情報（方向情報）とが取得される場合の一例について説明したが、これに限られない。測定装置１は、位置情報と方向情報とのうち位

置情報のみを取得してもよい。測定装置１が位置情報と方向情報とのうち位置情報のみを取得する場合、測定装置１によって取得された位置情報に基づいて、測定装置１とは別体の演算装置によって方向情報が算出されてもよい。

[0224] なお、上述した各実施形態における測定装置１と、ロボットＴ１と、ロボットＴ１の制御システムは、ロボットシステムに備えられて工場などの生産現場において好適に用いられる。

また、上述した各実施形態における測定装置１は、測定装置１を用いて、ロボットＴ１を管理する管理方法に好適に用いられる。

[0225] なお、上述した実施形態における測定装置１の一部、例えば、位置取得部２０６、および制御部２１をコンピュータで実現するようにしてもよい。その場合、この制御機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することによって実現してもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、測定装置１に内蔵されたコンピュータシステムであって、ＯＳや周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ、ＣＤ－ＲＯＭ等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間、動的にプログラムを保持するもの、その場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものも含んでもよい。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよく、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであってもよい。

また、上述した実施形態における測定装置１の一部、または全部を、ＬＳ

Ｉ（Ｌａｒｇｅ　Ｓｃａｌｅ　Ｉｎｔｅｇｒａｔｉｏｎ）等の集積回路として実現してもよい。測定装置１の各機能ブロックは個別にプロセッサ化してもよいし、一部、または全部を集積してプロセッサ化してもよい。また、集積回路化の手法はＬＳＩに限らず専用回路、または汎用プロセッサで実現してもよい。また、半導体技術の進歩によりＬＳＩに代替する集積回路化の技術が出現した場合、当該技術による集積回路を用いてもよい。

[0226] 以上、図面を参照してこの発明の一実施形態について詳しく説明してきたが、具体的な構成は上述のものに限られることはなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲内において様々な設計変更等をすることが可能である。

符号の説明

[0227] １…測定装置、２０１…照射部、２０２…受光部、２０６…位置取得部、Ｔ１…ロボット、４１、４２、４３…反射素子、Ｌ１…測定光

請求の範囲

[請求項1] 移動可能なロボットの位置および回転方向の位置を測定する測定装置であって、

前記ロボットに取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに測定光を照射可能な照射部と、

前記３つの反射素子それぞれによって反射された反射光を受光可能な受光部と、

前記受光部による受光結果に基づいて、前記ロボットの第１軸に関する位置情報、前記第１軸と交差する第２軸に関する位置情報、および、前記第１軸および前記第２軸と交差する第３軸に関する位置情報と、前記第１軸周りの回転方向の位置に関する情報、前記第２軸周りの回転方向の位置に関する情報、および前記第３軸周りの回転方向の位置に関する情報を取得する位置取得部と、

を備える測定装置。

[請求項2] 前記３つの反射素子の少なくとも一部、および前記ロボットの少なくとも一部の少なくとも一方を撮像する撮像部をさらに備え、

前記測定光は、前記撮像部による撮像結果に基づいて照射される

請求項１に記載の測定装置。

[請求項3] 前記３つの反射素子に対して所定の位置に配置されるマーカを撮像する撮像部をさらに備え、

前記測定光は前記撮像部による撮像結果に基づいて照射される

請求項１に記載の測定装置。

[請求項4] 前記照射部は前記３つの反射素子を通過可能な所定の軌道に沿って前記測定光を走査可能である

請求項１から請求項３のいずれか一項に記載の測定装置。

[請求項5] 前記所定の軌道に沿って走査を行うために、前記測定光の照射方向の変化の加速度の変化が小さくなる軌道を前記所定の軌道として算出する

請求項４に記載の測定装置。

[請求項6] 前記所定の軌道として楕円軌道を算出する

請求項４または請求項５に記載の測定装置。

[請求項7] 前記測定装置を制御する制御装置をさらに備え、

前記制御装置は、前記位置取得部によって取得された測定結果であって所定の範囲を渦巻状の軌道に沿って走査された前記測定光による測定結果に基づいて、前記３つの反射素子を通過する前記測定光の軌道を算出する

請求項１から請求項６のいずれか一項に記載の測定装置。

[請求項8] 前記照射部は、光コムを前記測定光として照射可能である

請求項１から請求項７のいずれか一項に記載の測定装置。

[請求項9] 前記照射部は、所定の速度以上で所定の軌道に沿って走査しながら前記３つの反射素子それぞれに前記測定光を逐次照射可能である

請求項１から請求項８のいずれか一項に記載の測定装置。

[請求項10] 前記照射部は、前記３つの反射素子の移動に追従するように、所定の軌道に沿って走査しながら前記３つの反射素子それぞれに前記測定光を逐次照射する

請求項１から請求項９のいずれか一項に記載の測定装置。

[請求項11] 前記３つの反射素子それぞれへの前記測定光の照射が繰り返し行われる

請求項１から請求項１０のいずれか一項に記載の測定装置。

[請求項12] 前記ロボットの移動中に、前記３つの反射素子それぞれへの前記測定光の照射が繰り返し行われる

請求項１１に記載の測定装置。

[請求項13] 前記照射部は、可動ミラーの反射面を介して、前記３つの反射素子のそれぞれに前記測定光を照射し、

前記受光部は、前記反射面を介して、前記３つの反射素子それぞれからの反射光を受光する

請求項１から請求項１２のいずれか一項に記載の測定装置。

[請求項14] 前記３つの反射素子の位置に関する情報に基づいて、前記第１軸に関する位置情報、前記第２軸に関する位置情報、および前記第３軸に関する位置情報と、前記第１軸周りの回転方向の位置に関する情報、前記第２軸周りの回転方向の位置に関する情報、および、前記第３軸周りの回転方向の位置に関する情報を取得する

請求項１から請求項１３のいずれか一項に記載の測定装置。

[請求項15] 前記３つの反射素子は第１の反射素子、第２の反射素子および第３の反射素子であり、前記第１の反射素子が配置される第１位置と前記第２の反射素子が配置される第２位置とを結ぶ第１辺、前記第２位置と前記第３の反射素子が配置される第３位置とを結ぶ第２辺、および前記第３位置と前記第１位置を結ぶ第３辺の長さはそれぞれ異なり、前記第１位置、前記第２位置、および、前記第３位置は同心円上に位置する

請求項１から請求項１３のいずれか一項に記載の測定装置。

[請求項16] 前記位置取得部は前記ロボットのツールセンターポイントに関する情報を取得する

請求項１から請求項１５のいずれか一項に記載の測定装置。

[請求項17] 請求項１から請求項１６のいずれか一項に記載の測定装置を備えるロボットシステム。

[請求項18] 請求項１から請求項１６のいずれか一項に記載の測定装置を用いてロボットを管理する管理方法。

[請求項19] 移動可能な測定対象の、第１軸に関する位置情報、前記第１軸と交差する第２軸に関する位置情報、および前記第１軸および前記第２軸と交差する第３軸に関する位置情報と、前記第１軸周りの回転方向の位置に関する情報、前記第２軸周りの回転方向の位置に関する情報、および前記第３軸周りの回転方向の位置に関する情報を取得するために測定光が照射される、第１の反射素子、第２の反射素子、および、

第３の反射素子を備え、前記測定対象に取り付け可能なターゲット部材であって、

前記第１の反射素子が配置される第１位置と前記第２の反射素子が配置される第２位置とを結ぶ第１辺、前記第２位置と前記第３の反射素子が配置される第３位置とを結ぶ第２辺、および前記第３位置と前記第１位置を結ぶ第３辺の長さはそれぞれ異なる

ターゲット部材。

[請求項20] 前記第１辺の長さ、前記第２辺の長さ、および前記第３辺の長さはそれぞれ変更可能である

請求項１９に記載のターゲット部材。

[請求項21] マーカをさらに備え、

前記第１の反射素子、前記第２の反射素子、および前記第３の反射素子は所定の向きからみた場合に前記マーカが隠れない高さに配置される

請求項１９または請求項２０に記載のターゲット部材。

[請求項22] 測定対象の位置を測定する測定装置であって、

前記測定対象に取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに測定光を逐次照射可能な照射部と、

前記３つの反射素子それぞれによって反射された前記測定光の反射光を逐次受光可能な受光部と、

前記受光部による受光結果に基づいて、前記測定対象の位置に関する情報を取得する情報取得部と、

を備える測定装置。

[請求項23] 測定対象の位置を測定する測定装置であって、

前記測定対象に取り付けられた少なくとも３つの反射素子を通過可能な軌道に沿って測定光を走査可能な照射部と、

前記３つの反射素子それぞれによって反射された前記測定光の反射光を受光可能な受光部と、

前記受光部による受光結果に基づいて、前記測定対象の位置に関する情報を取得する情報取得部と、

を備える測定装置。

[請求項24] 測定対象の位置を測定するための第１の反射素子、第２の反射素子、および、第３の反射素子を備え、前記測定対象に取り付け可能なターゲット部材であって、

前記第１の反射素子が配置される第１位置と前記第２の反射素子が配置される第２位置とを結ぶ第１辺、前記第２位置と前記第３の反射素子が配置される第３位置とを結ぶ第２辺、および前記第３位置と前記第１位置を結ぶ第３辺の長さはそれぞれ異なる

ターゲット部材。

[請求項25] 移動可能なロボットの位置および回転方向の位置を測定する測定方法であって、

前記ロボットに取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに測定光を照射することと、

前記３つの反射素子それぞれによって反射された反射光を受光することと、

前記受光することによる受光結果に基づいて、前記ロボットの第１軸に関する位置情報、前記第１軸と交差する第２軸に関する位置情報、および、前記第１軸および前記第２軸と交差する第３軸に関する位置情報と、前記第１軸周りの回転方向の位置に関する情報、前記第２軸周りの回転方向の位置に関する情報、および前記第３軸周りの回転方向の位置に関する情報を取得することと、

を含む測定方法。

[請求項26] 測定対象の位置を測定する測定方法であって、

前記測定対象に取り付けられた少なくとも３つの反射素子それぞれに測定光を逐次照射することと、

前記３つの反射素子それぞれによって反射された前記測定光の反射

光を逐次受光することと、

前記受光することによる受光結果に基づいて、前記測定対象の位置に関する情報を取得することと、

を含む測定方法。

[請求項27] 測定対象の位置を測定する測定方法であって、

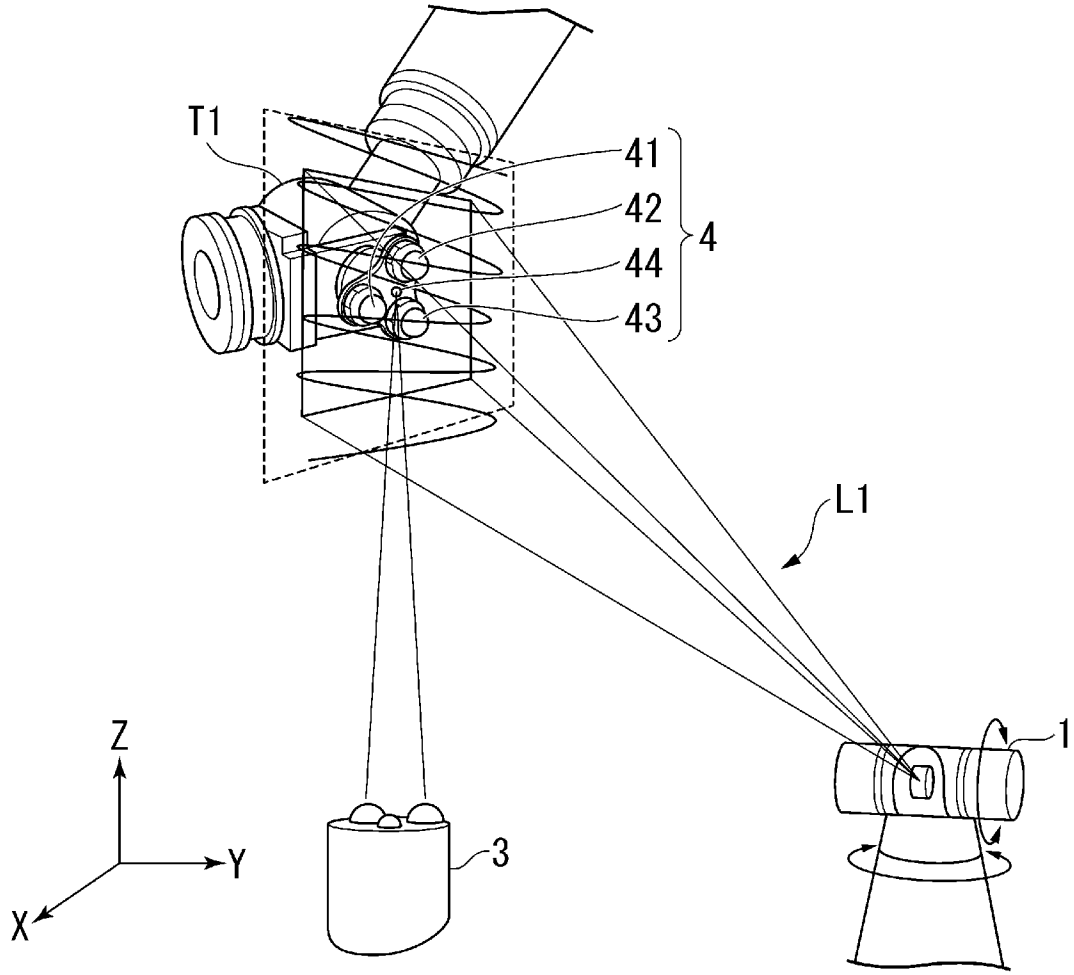
前記測定対象に取り付けられた少なくとも３つの反射素子を通過可能な軌道に沿って測定光を走査することと、

前記３つの反射素子それぞれによって反射された前記測定光の反射光を受光することと、

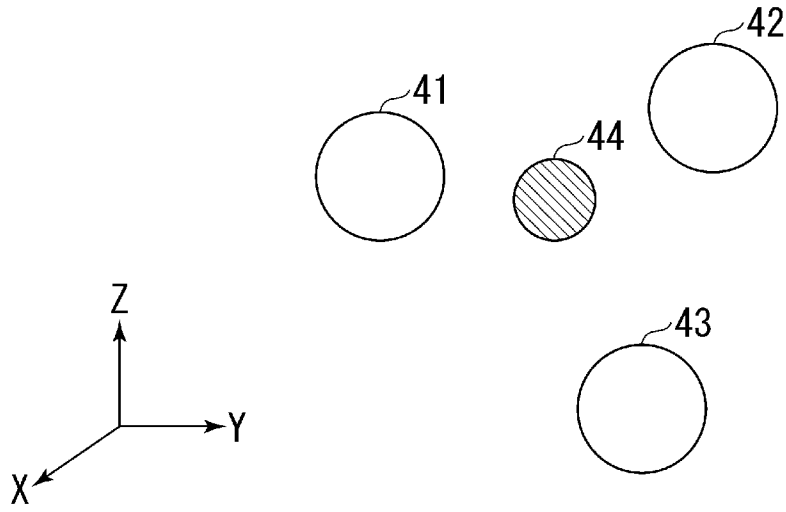
前記受光することによる受光結果に基づいて、前記測定対象の位置に関する情報を取得することと、

を備える測定方法。

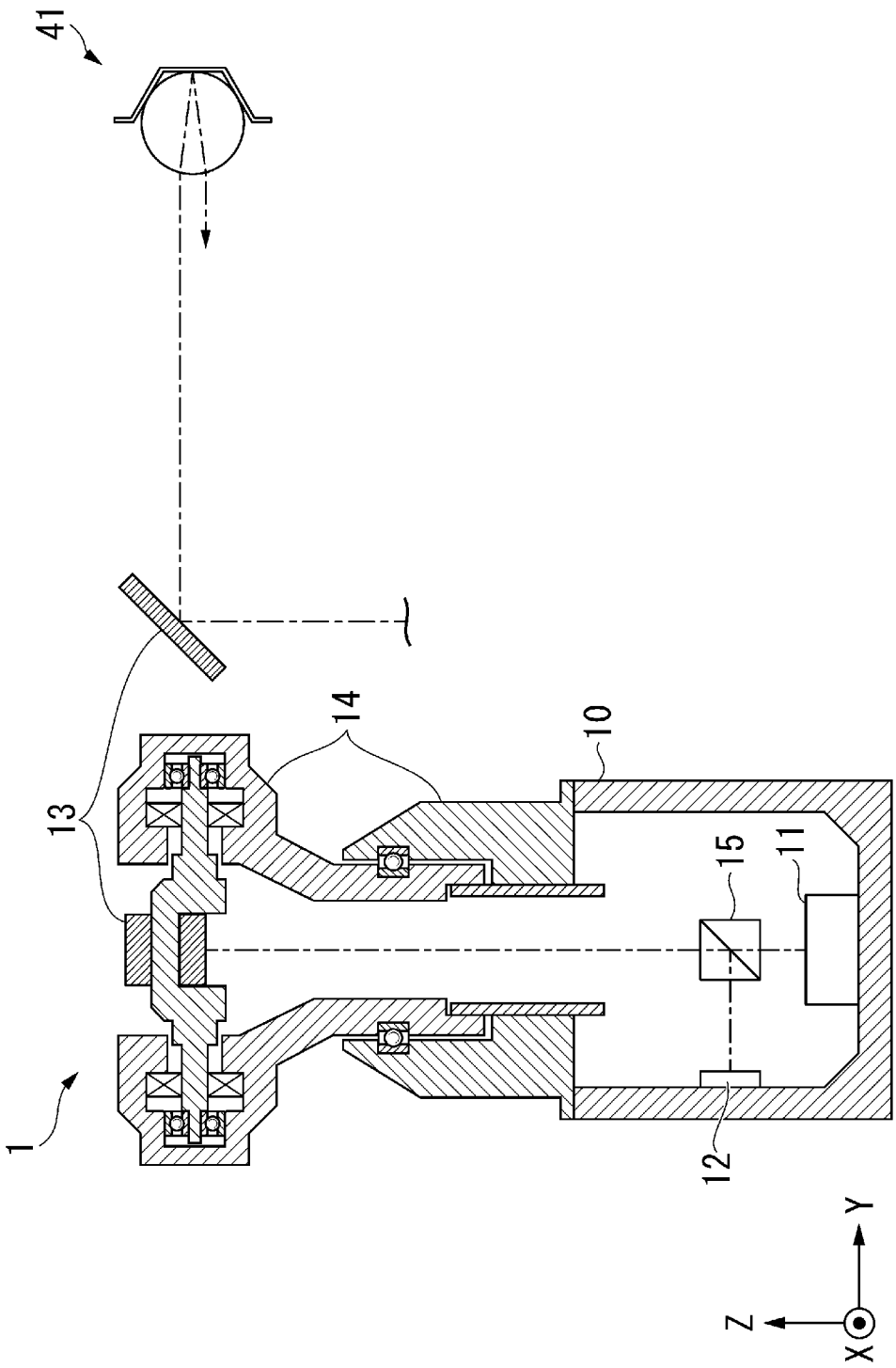
[図1]



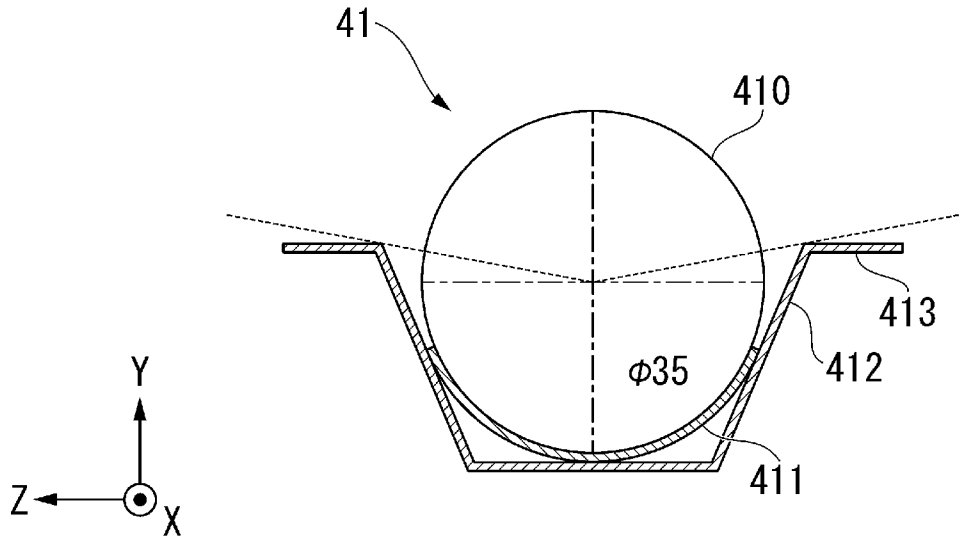
[図2]



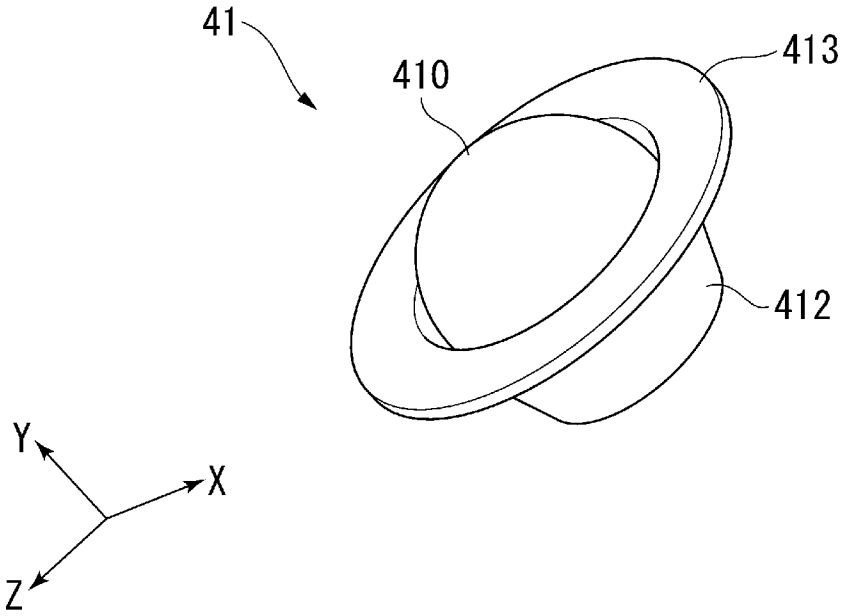
[図3]



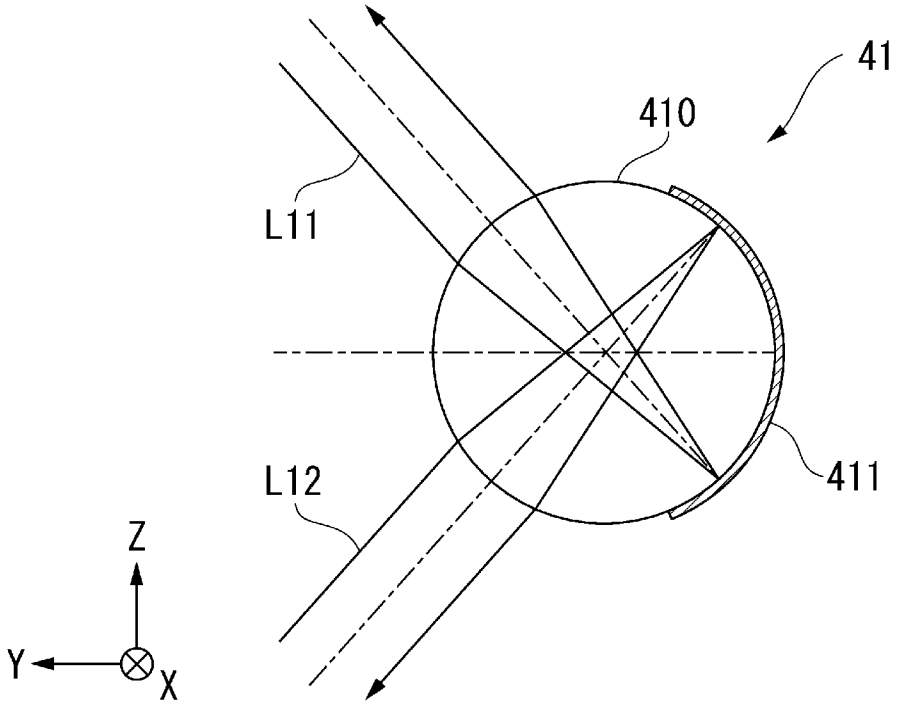
[図4]



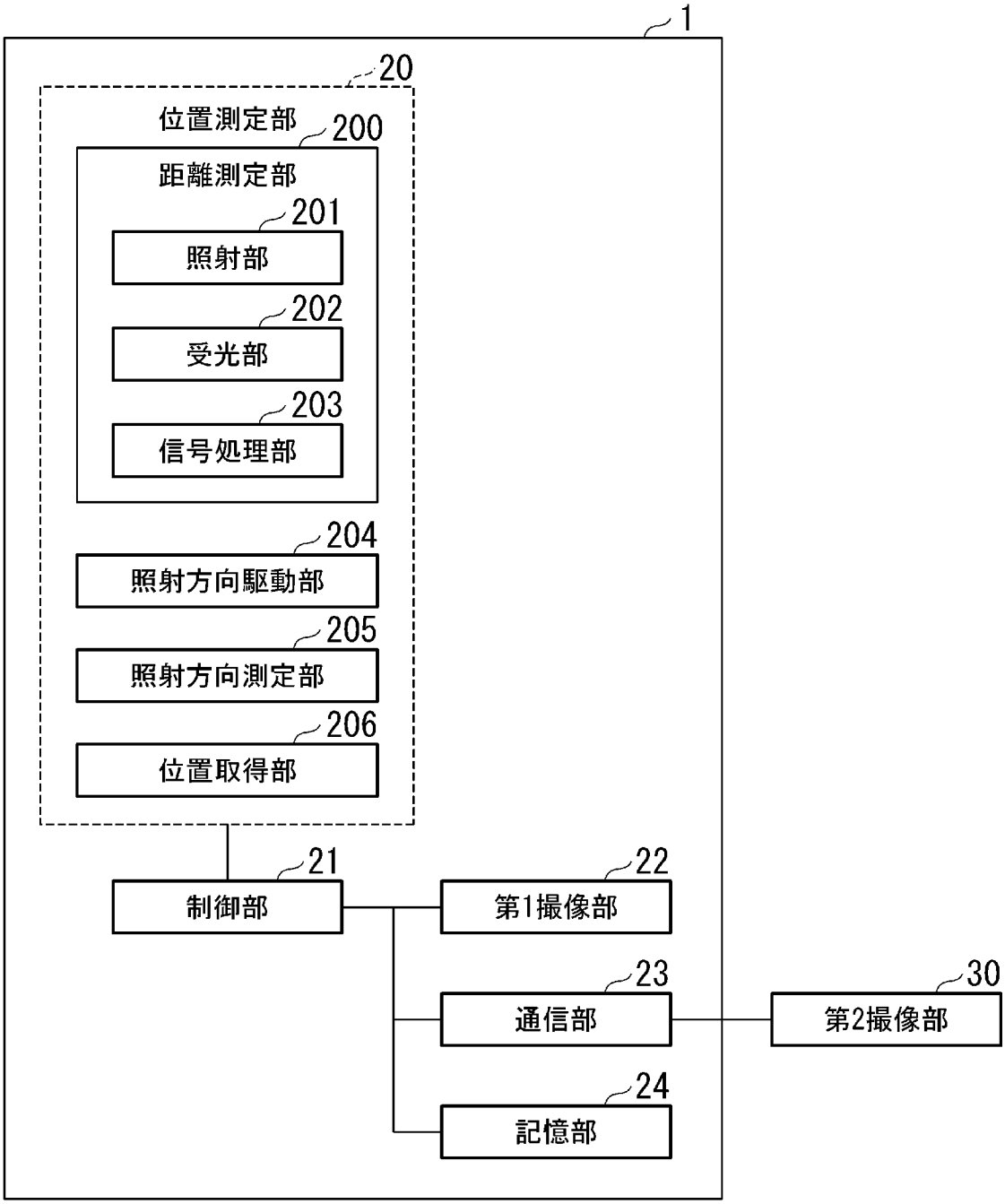
[図5]



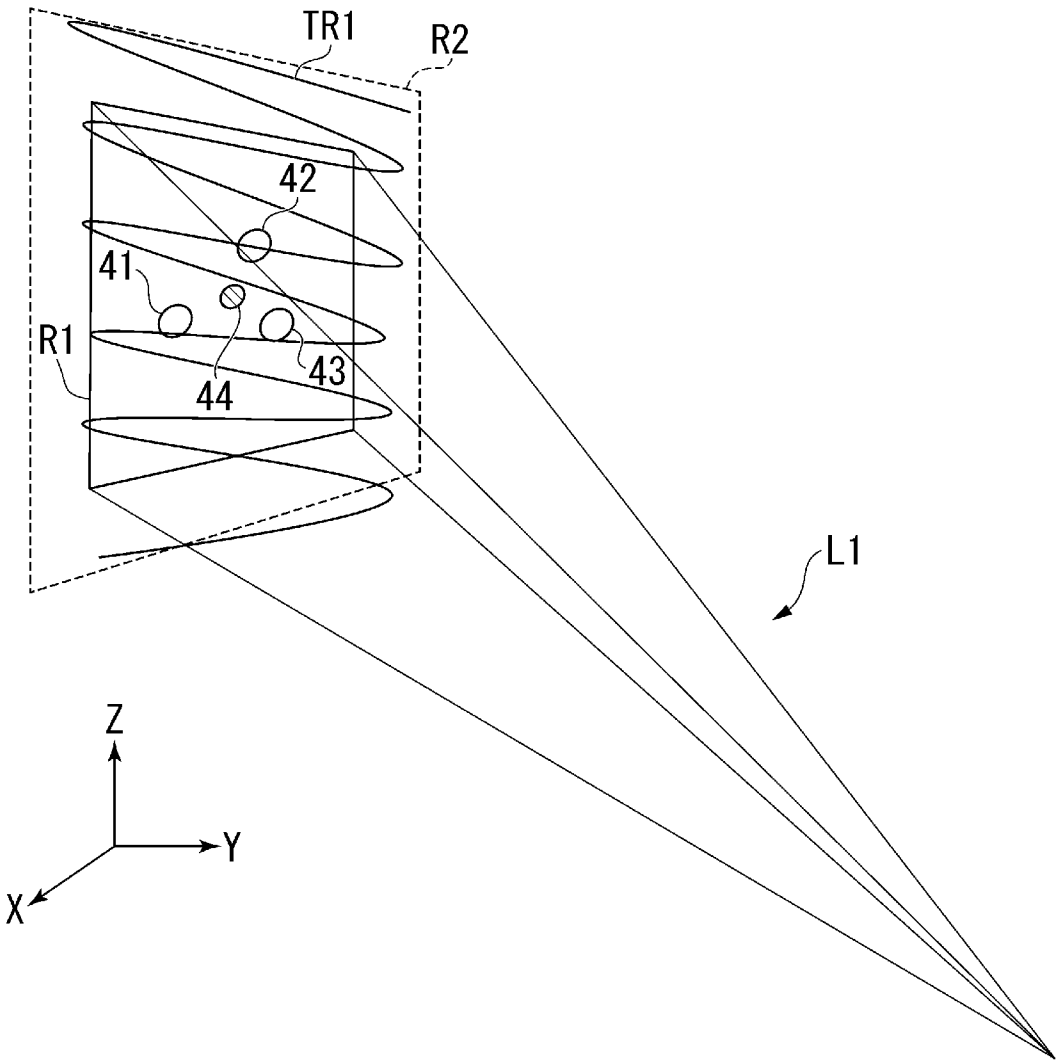
[図6]



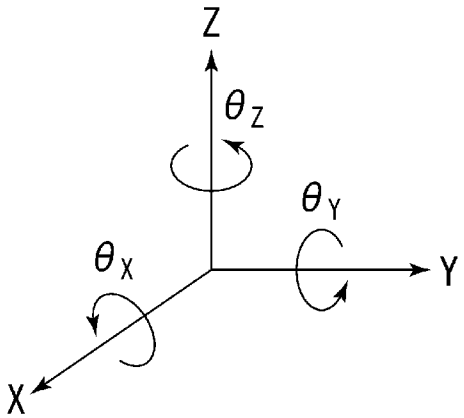
[図7]


1
20
位置測定部
200
距離測定部
201
照射部
202
受光部
203
信号処理部
204
照射方向駆動部
205
照射方向測定部
206
位置取得部
21
制御部
22
第1撮像部
23
通信部
30
第2撮像部
24
記憶部

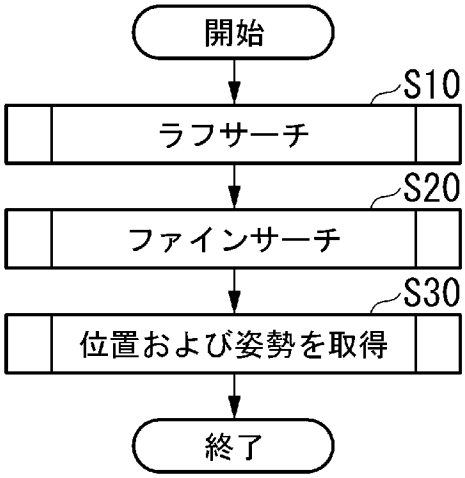
[図8]



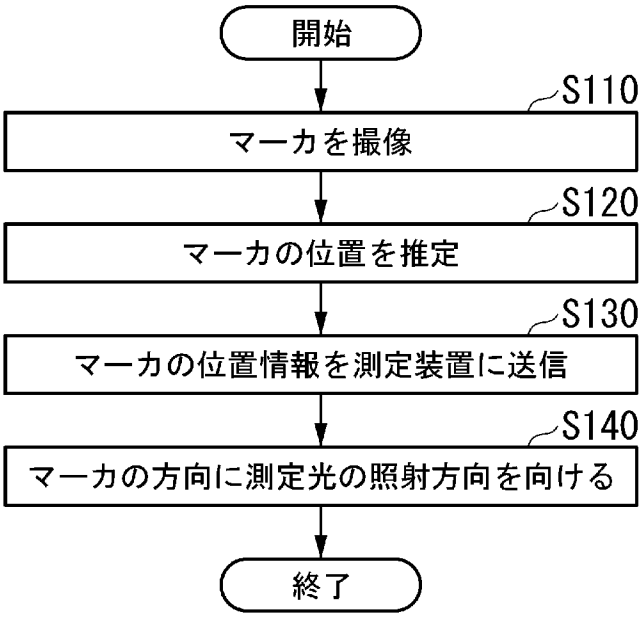
[図9]



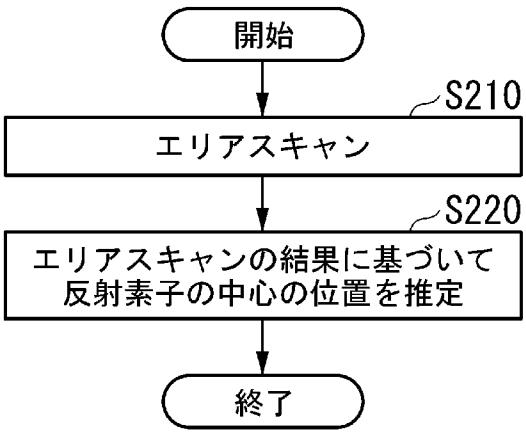
[図10]


開始
S10
ラフサーチ
S20
ファインサーチ
S30
位置および姿勢を取得
終了

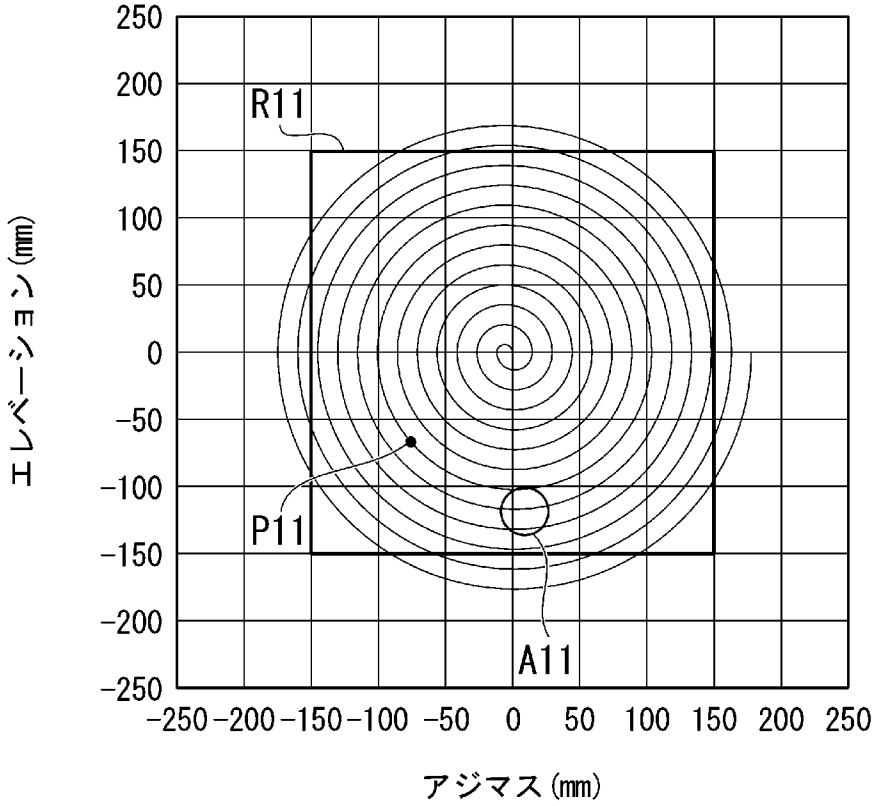
[図11]


開始
S110
マーカを撮像
S120
マーカの位置を推定
S130
マーカの位置情報を測定装置に送信
S140
マーカの方向に測定光の照射方向を向ける
終了

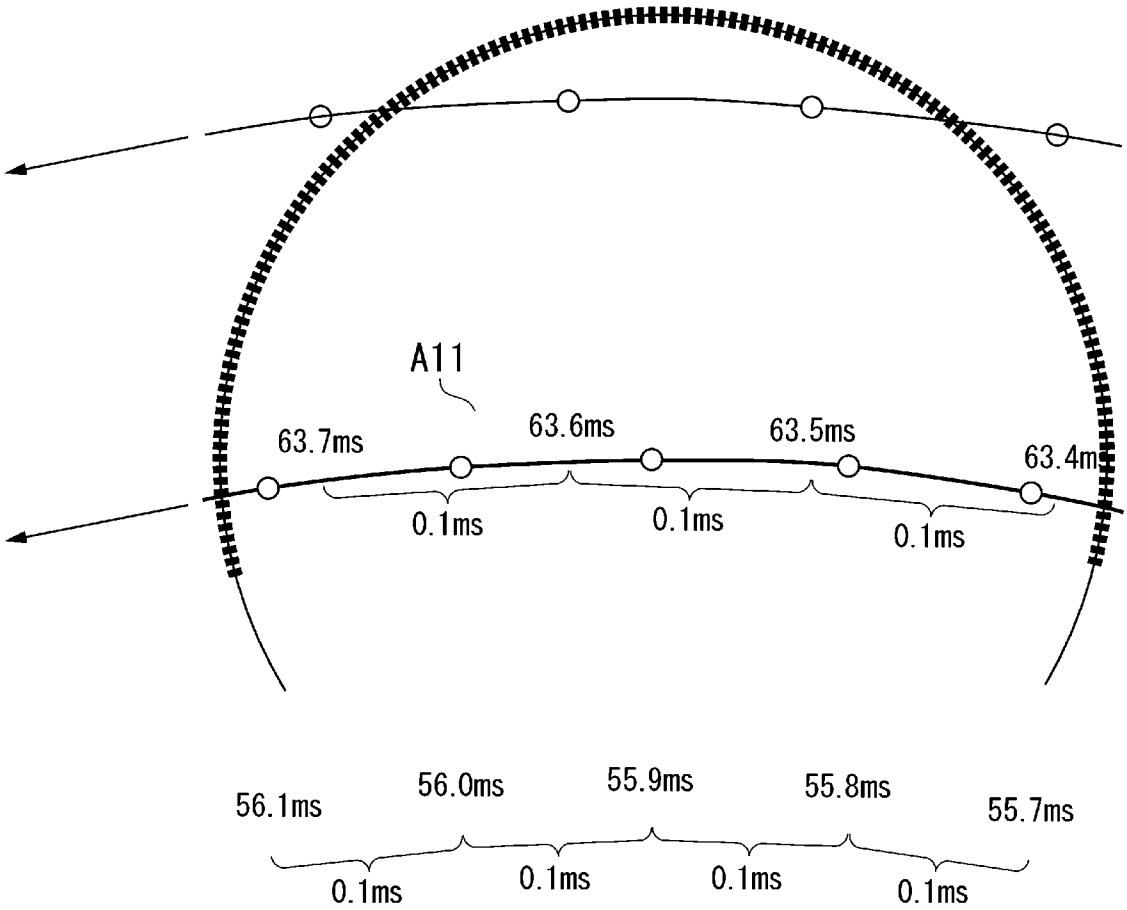
[図12]


開始
S210
エリアスキャン
S220
エリアスキャンの結果に基づいて
反射素子の中心の位置を推定
終了

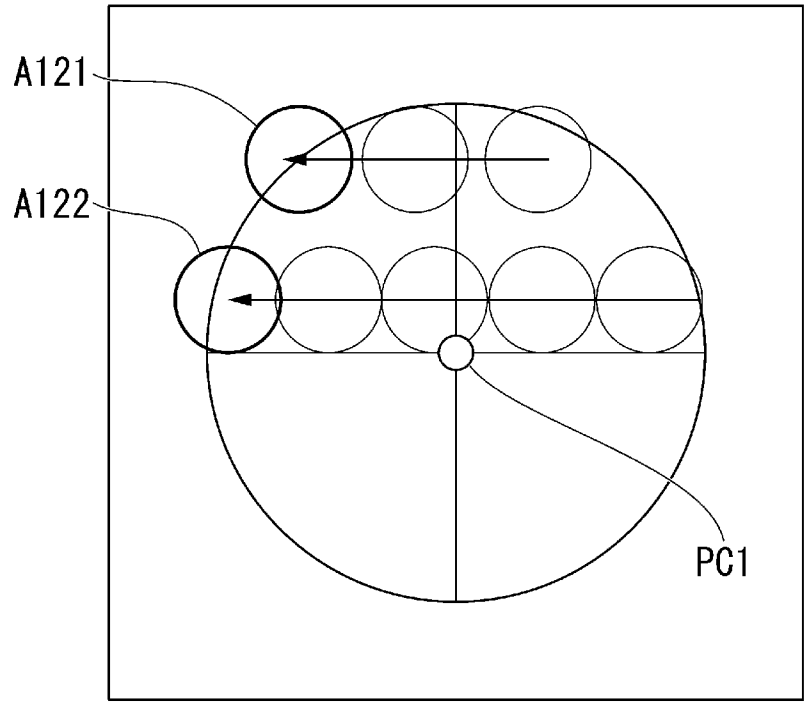
[図13]


250
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
R11
P11
A11
エレベーション(mm)
-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250
アジマス(mm)

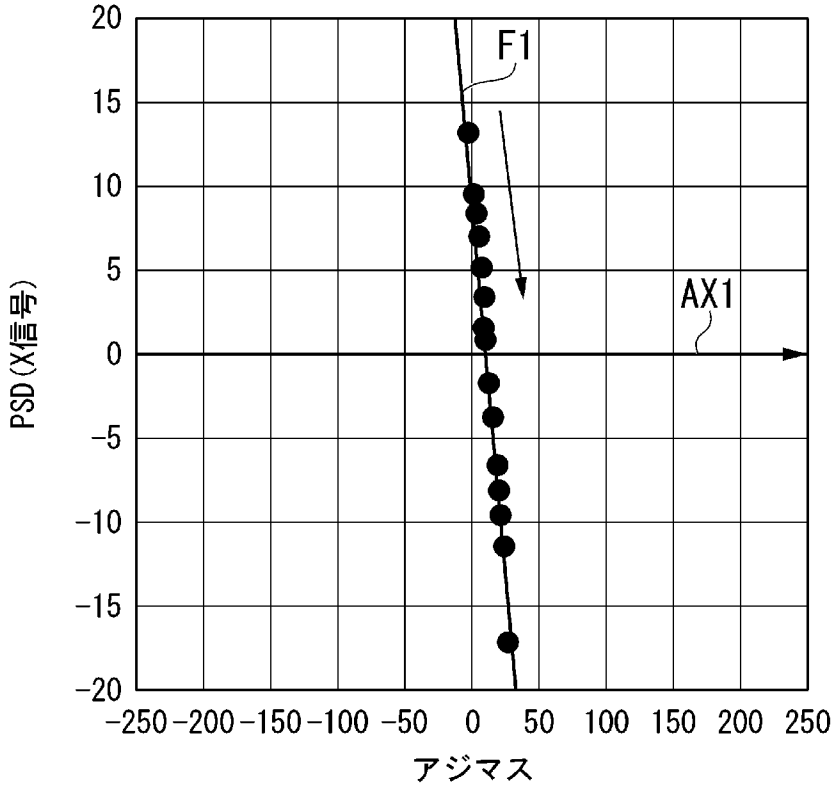
[図14]


A11
63.7ms
63.6ms
63.5ms
63.4ms
0.1ms
0.1ms
0.1ms
56.1ms
56.0ms
55.9ms
55.8ms
55.7ms
0.1ms
0.1ms
0.1ms
0.1ms

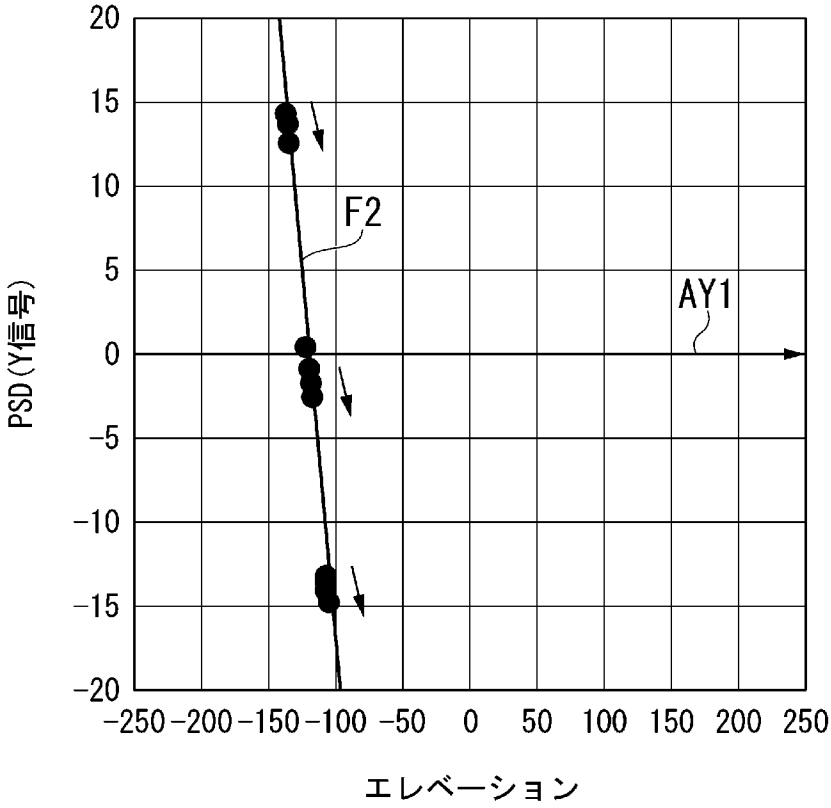
[図15]


A121
A122
PC1

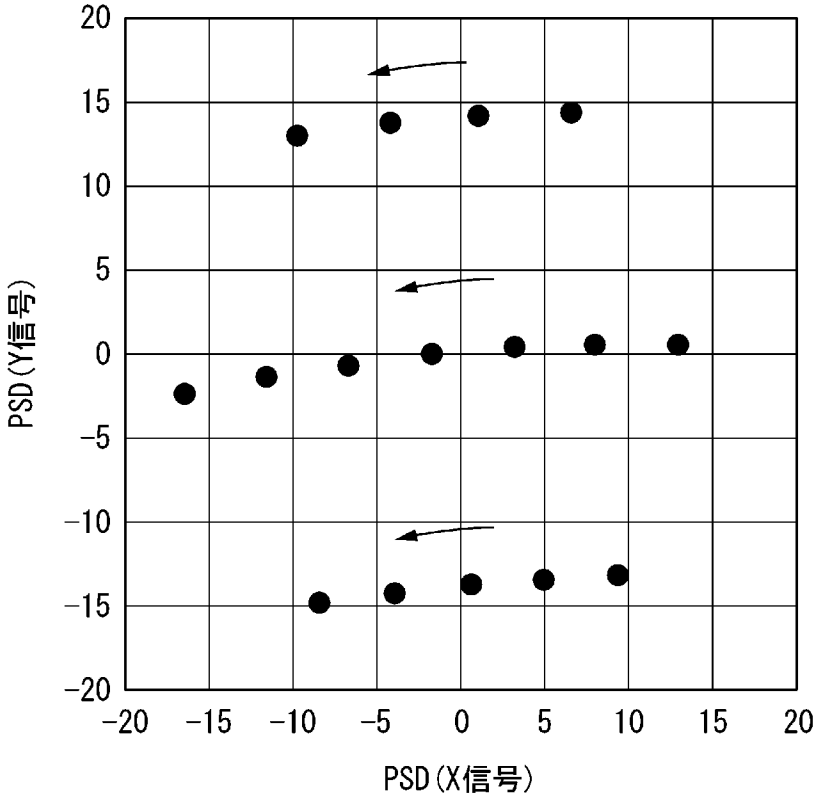
[図16]


20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
PSD(X信号)
F1
AX1
-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250
アジマス

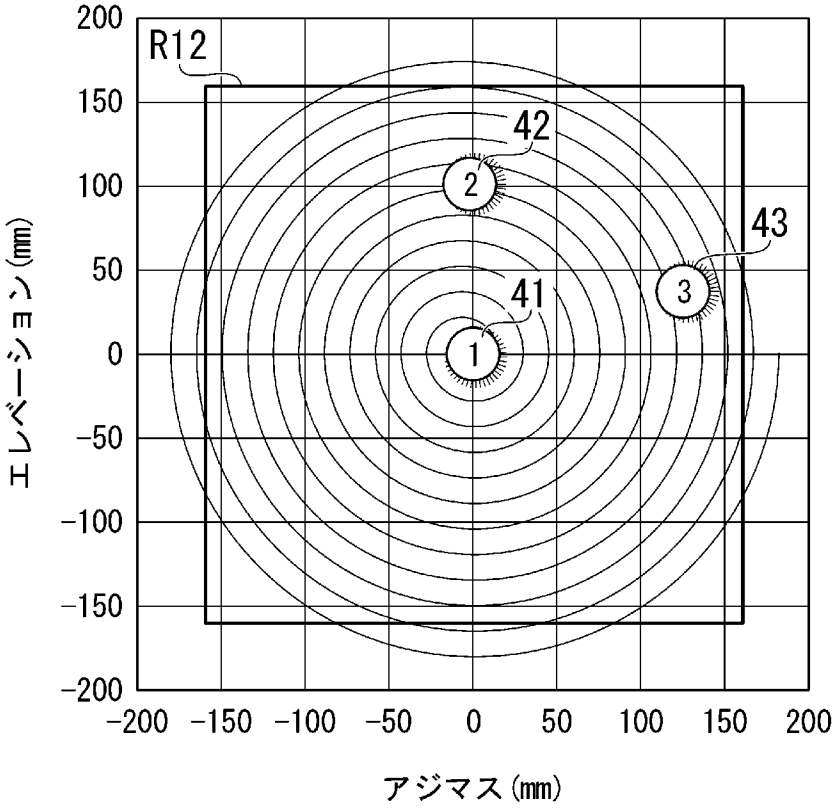
[図17]


20
15
10
5
0
−5
−10
−15
−20
−250 −200 −150 −100 −50 0 50 100 150 200 250
F2
AY1
PSD(Y信号)
エレベーション

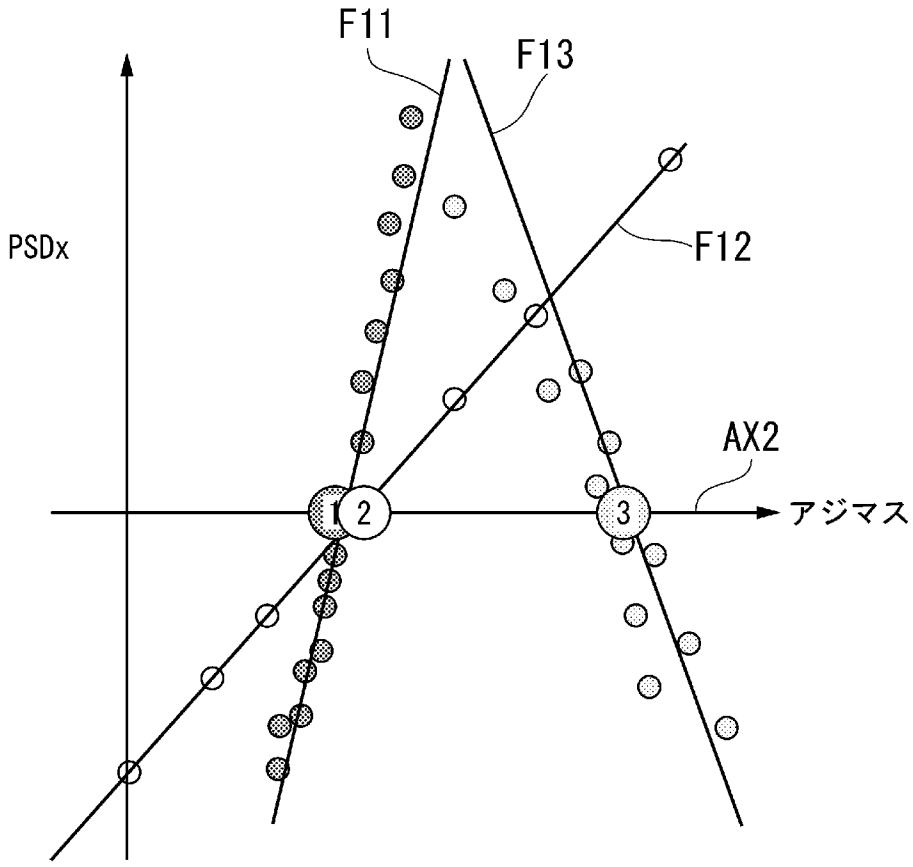
[図18]


20
15
10
5
0
−5
−10
−15
−20
−20 −15 −10 −5 0 5 10 15 20
PSD(Y信号)
PSD(X信号)

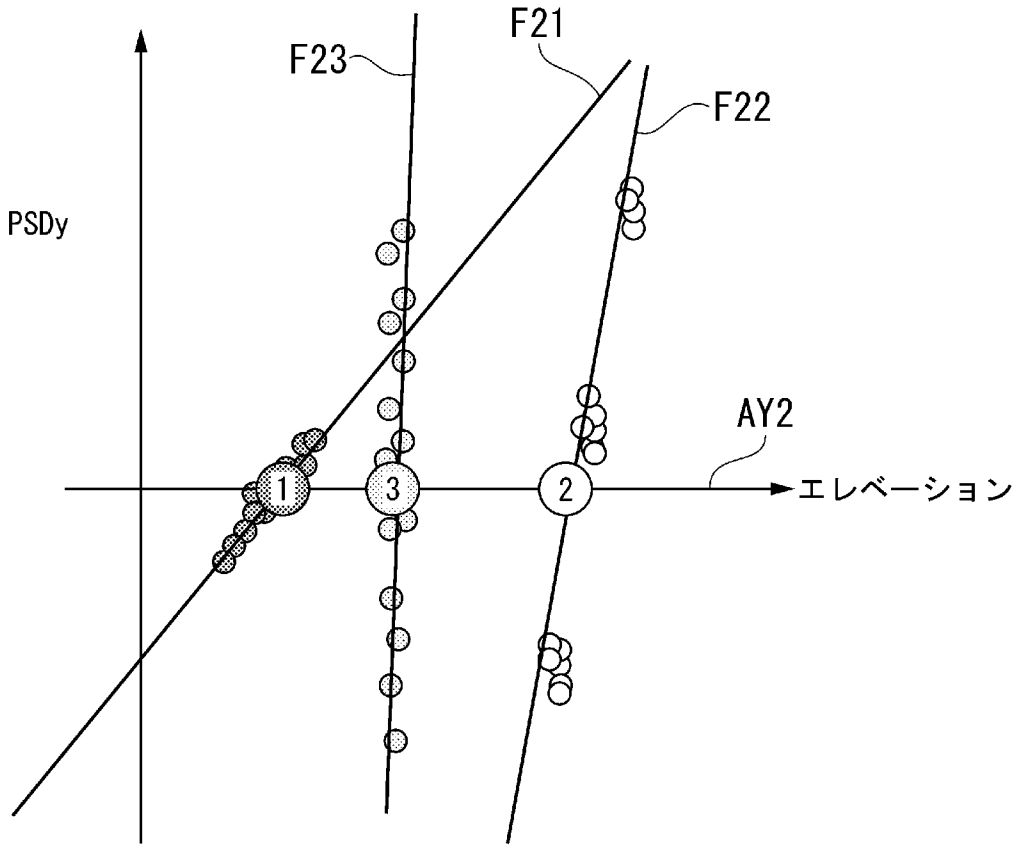
[図19]


R12
42
43
41
1
2
3
200
150
100
50
0
−50
−100
−150
−200
−200 −150 −100 −50 0 50 100 150 200
エレベーション(mm)
アジマス(mm)

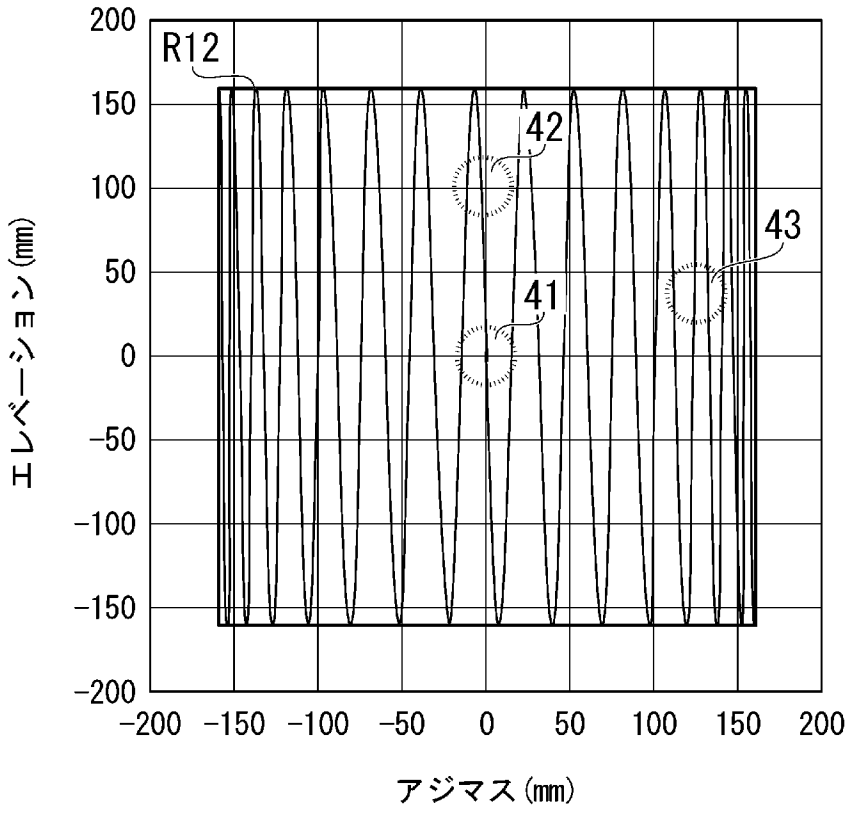
[図20]


F11
F13
F12
PSDx
AX2
1
2
3
アジマス

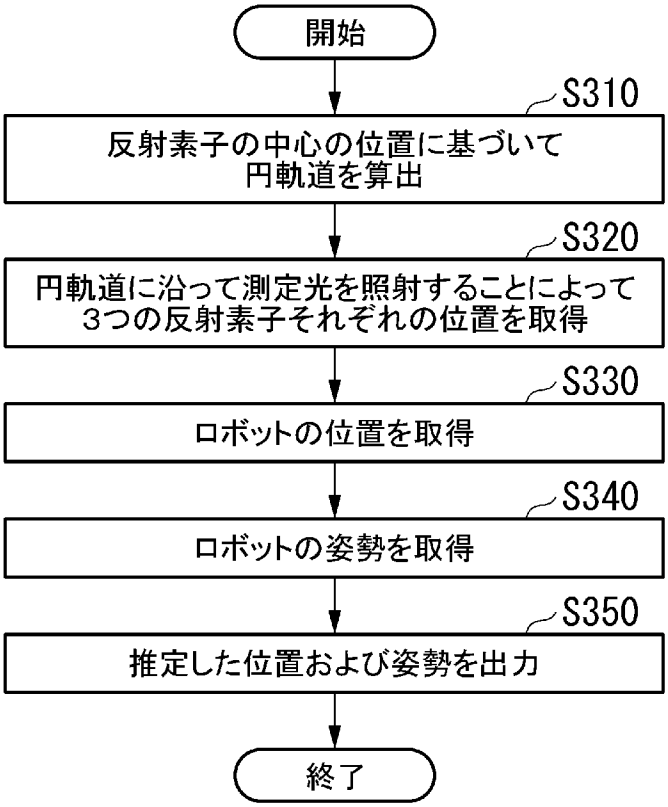
[図21]


F23
F21
F22
PSDy
AY2
エレベーション
1
3
2

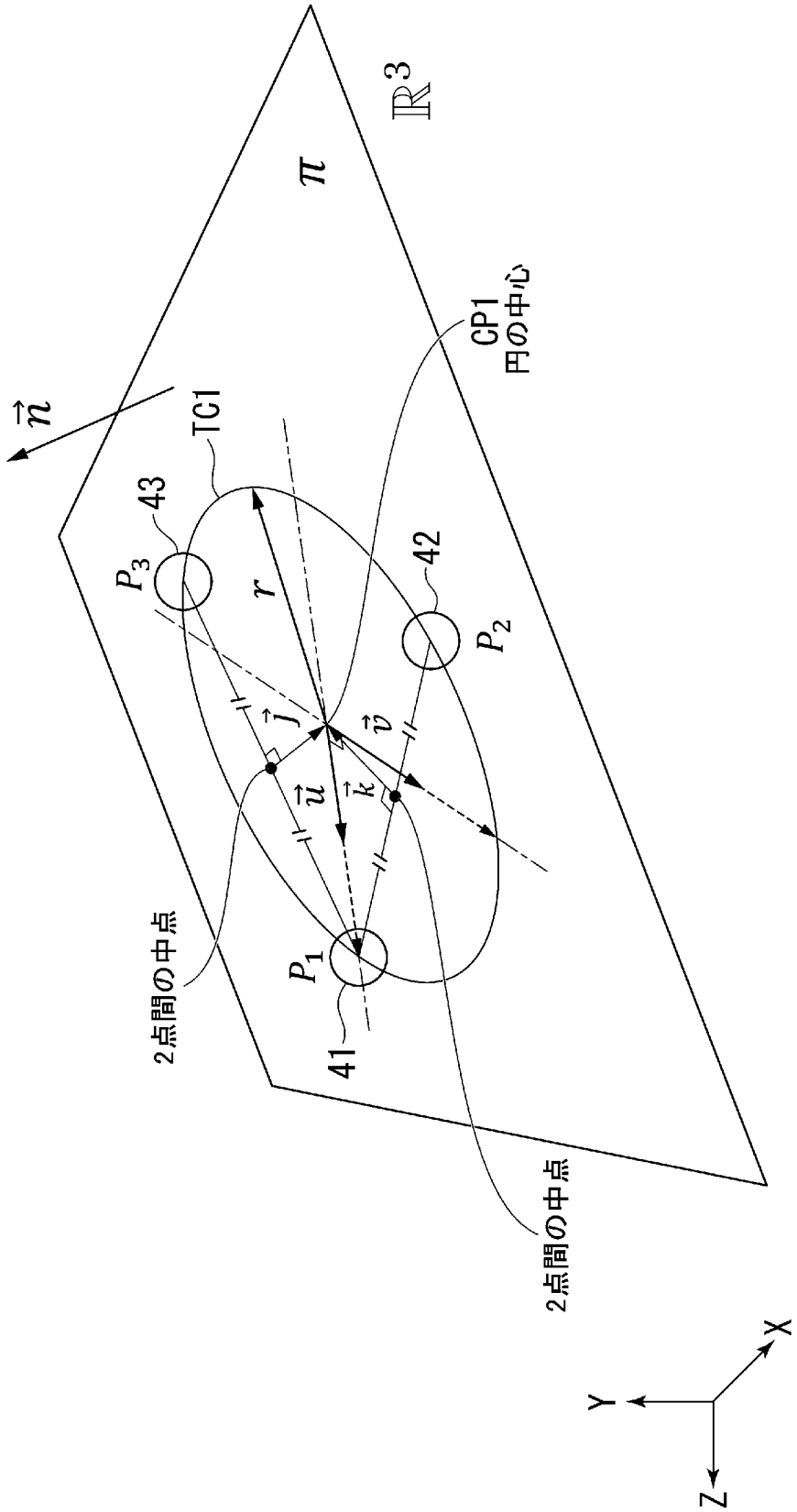
[図22]


R12
42
43
41
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200
エレベーション(mm)
アジマス(mm)

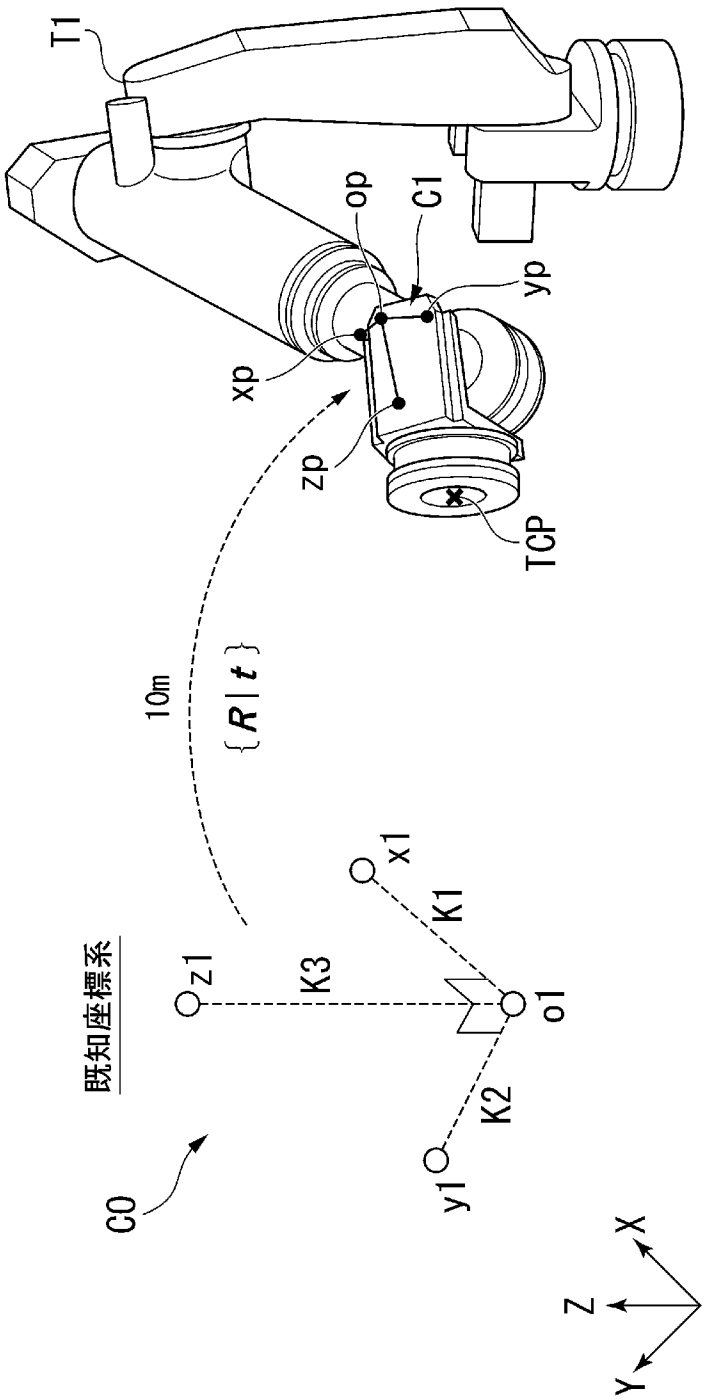
[図23]


開始
S310
反射素子の中心の位置に基づいて
円軌道を算出
S320
円軌道に沿って測定光を照射することによって
3つの反射素子それぞれの位置を取得
S330
ロボットの位置を取得
S340
ロボットの姿勢を取得
S350
推定した位置および姿勢を出力
終了

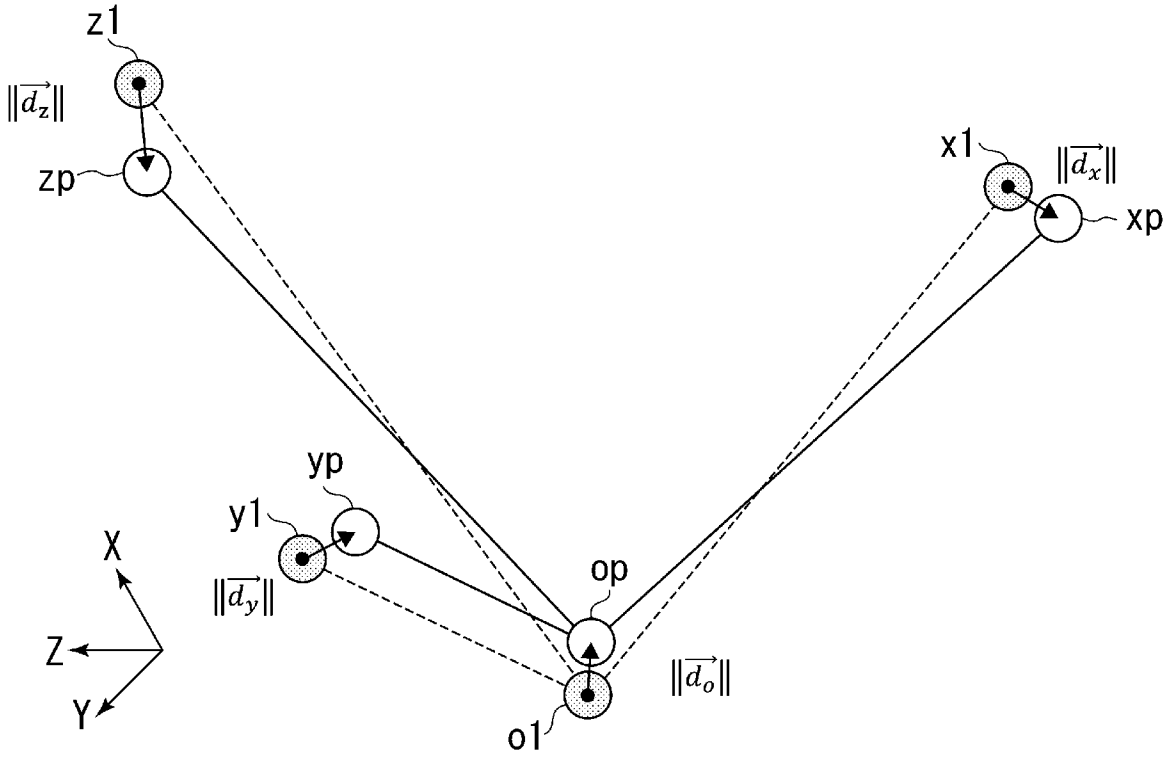
[図24]


$\mathbb{R}^3$
π
$\vec{n}$
TC1
CP1
円の中心
43
42
41
P_1
P_2
P_3
r
$\vec{j}$
$\vec{u}$
$\vec{k}$
$\vec{v}$
2点間の中点
2点間の中点
X
Y
Z

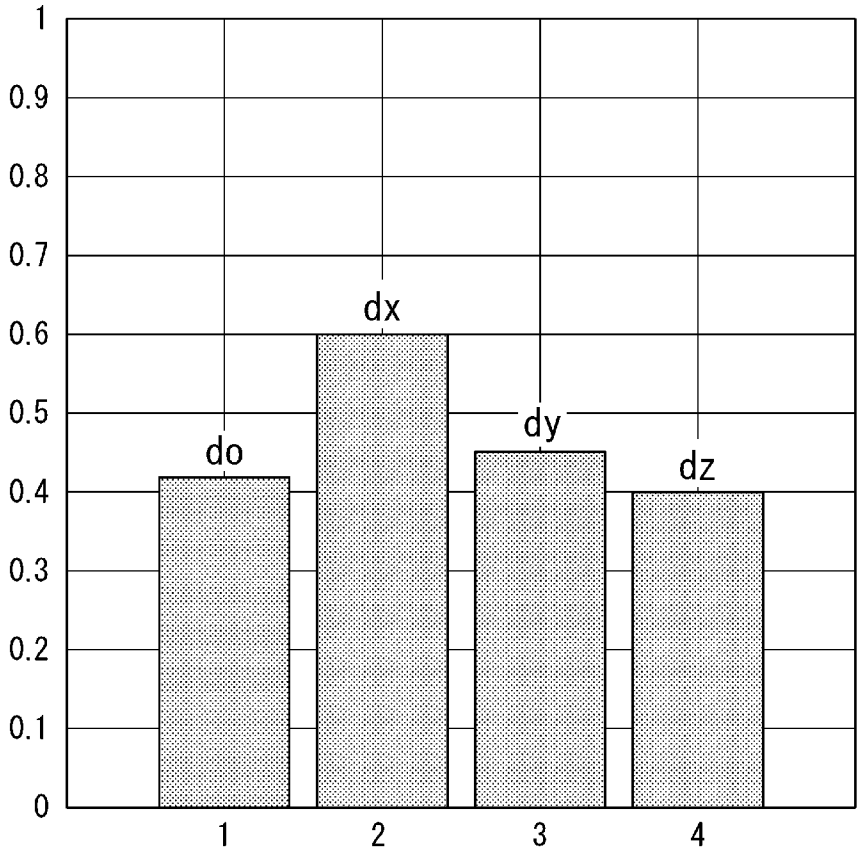
[図25]



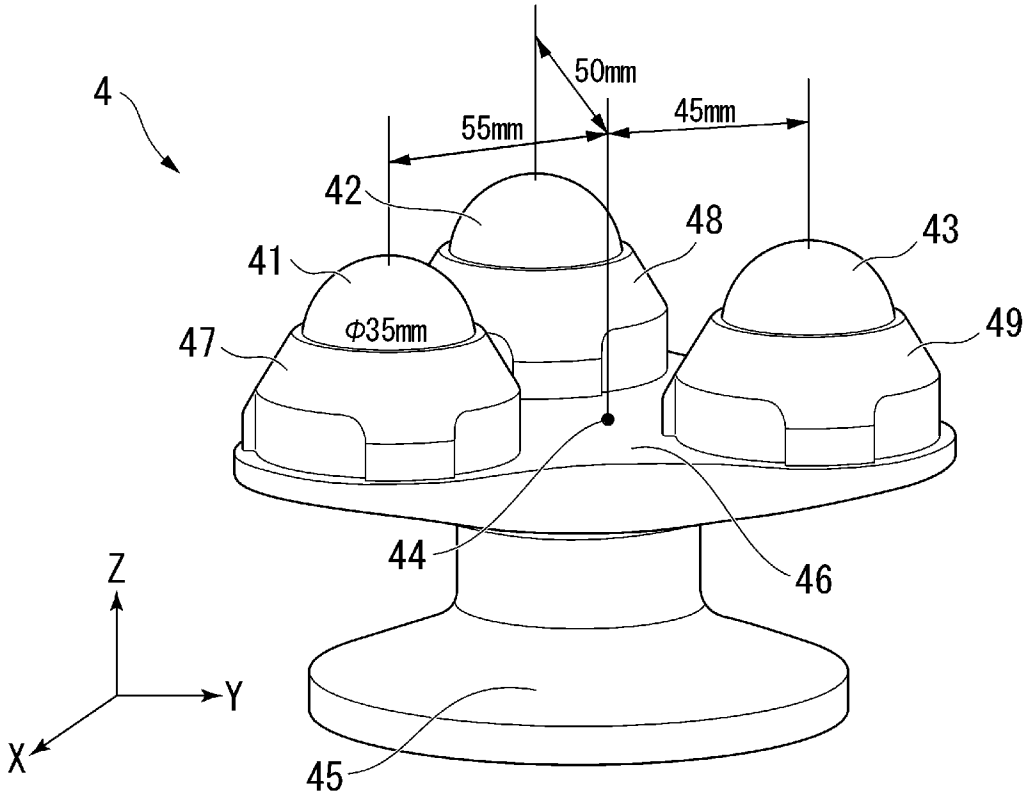
[図26]


z1
$\|\overrightarrow{d_z}\|$
zp
x1
$\|\overrightarrow{d_x}\|$
xp
yp
y1
$\|\overrightarrow{d_y}\|$
op
$\|\overrightarrow{d_o}\|$
o1
X
Z
Y

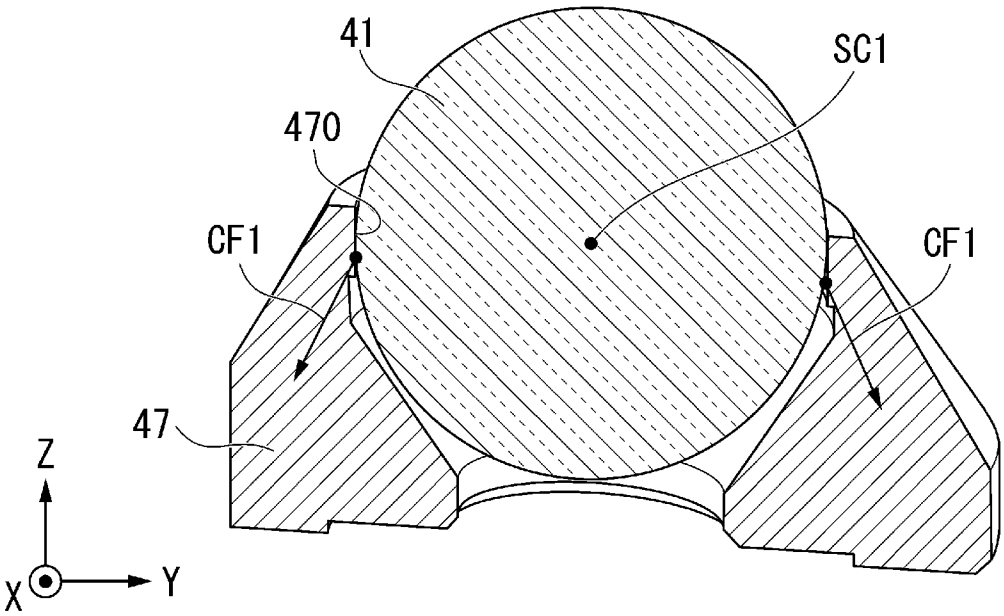
[図27]


1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
do
dx
dy
dz
1
2
3
4

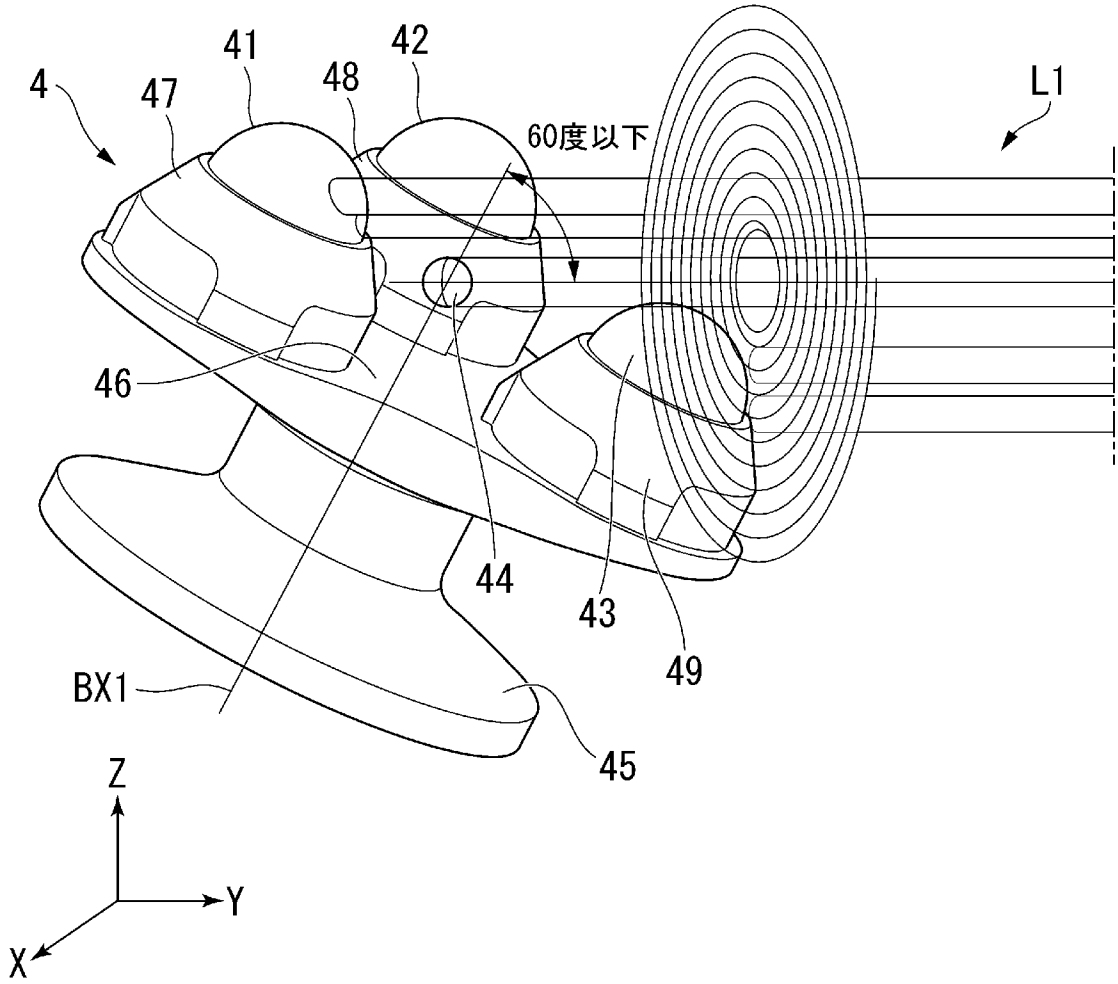
[図28]


4
50mm
55mm
45mm
42
48
43
41
φ35mm
47
49
44
46
Z
Y
X
45

[図29]

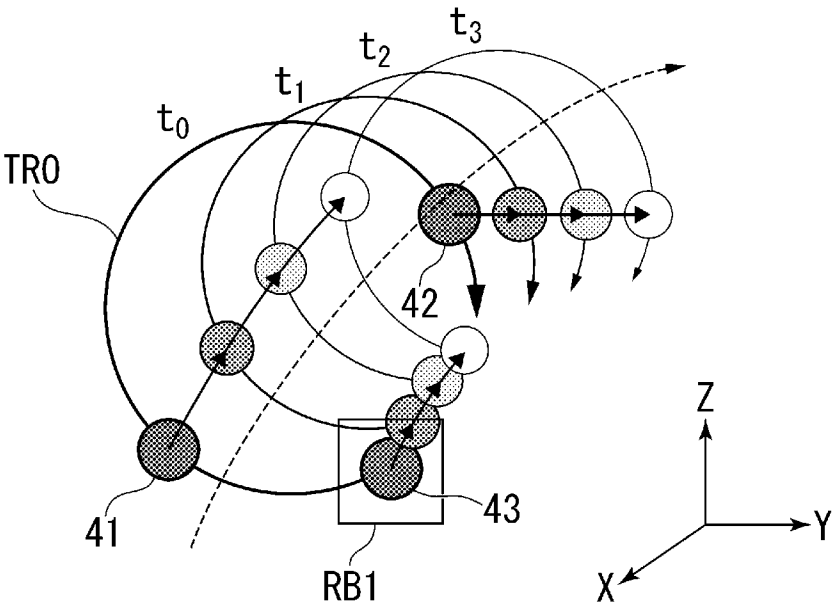

41
SC1
470
CF1
CF1
47
Z
Y
X

[図30]

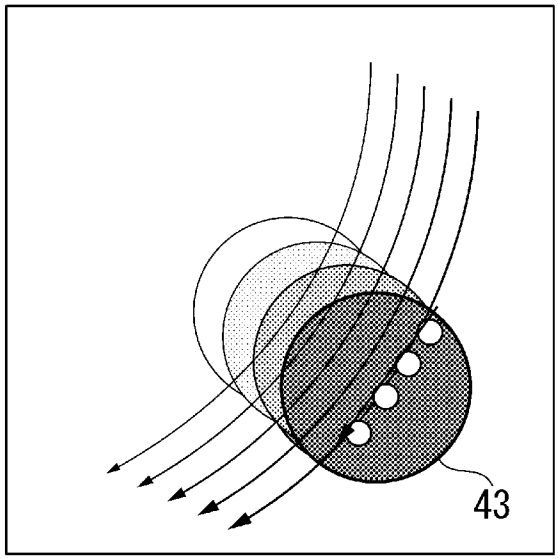


[図31]

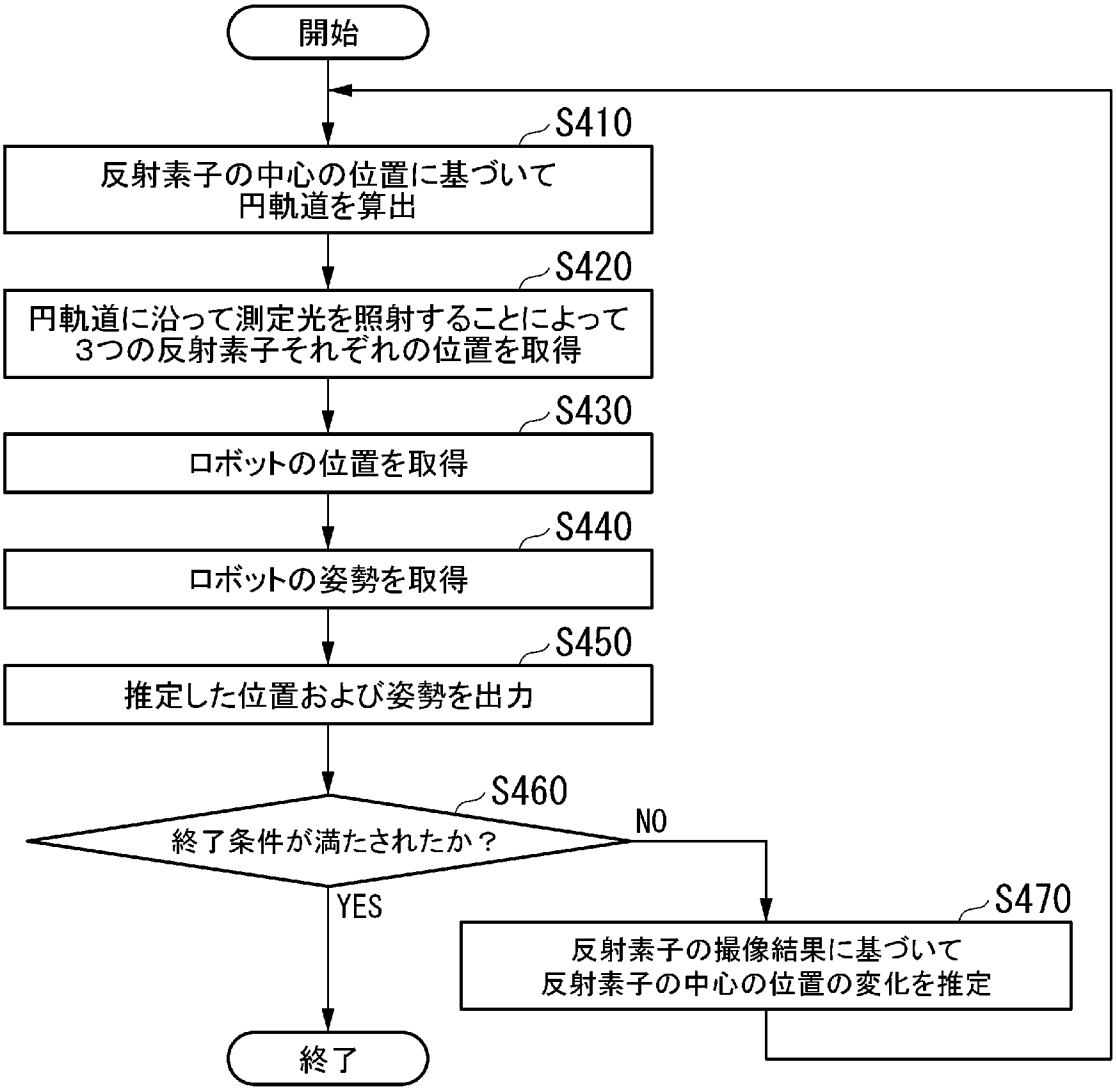
(A)



(B)



[図32]


開始
S410
反射素子の中心の位置に基づいて
円軌道を算出
S420
円軌道に沿って測定光を照射することによって
3つの反射素子それぞれの位置を取得
S430
ロボットの位置を取得
S440
ロボットの姿勢を取得
S450
推定した位置および姿勢を出力
S460
終了条件が満たされたか？
NO
YES
S470
反射素子の撮像結果に基づいて
反射素子の中心の位置の変化を推定
終了

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/010673

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 9/10(2006.01)i; ***B25J 19/02***(2006.01)i; ***G01B 11/00***(2006.01)i; ***G01B 11/26***(2006.01)i
FI: B25J19/02; G01B11/26 G; G01B11/00 C; G01B11/00 G; B25J9/10 A

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B25J1/00-21/02; G01B11/00-11/30

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2012-104136 A (THE BOEING COMPANY) 31 May 2012 (2012-05-31) paragraphs [0097], [0101], fig. 2, 6-8	1, 11-12, 14, 16-18, 22, 25-26
Y		2-5, 8-10, 13, 15, 23, 27
Y	JP 2019-72780 A (FANUC LTD) 16 May 2019 (2019-05-16) paragraph [0060]	2-3, 21
Y	US 2012/0168605 A1 (MIRRORCLE TECHNOLOGIES, INC.) 05 July 2012 (2012-07-05) paragraphs [0058]-[0061], fig. 1A, 2A, 10	4-5, 9-10, 23, 27
Y	JP 2019-49481 A (TOKYO SEIMITSU CO LTD) 28 March 2019 (2019-03-28) paragraph [0043]	8
Y	JP 2018-515774 A (FARO TECHNOLOGIES, INC) 14 June 2018 (2018-06-14) paragraphs [0108]-[0109], fig. 17A	13
X	JP 7-332923 A (KOGYO GIJUTSU INCHO) 22 December 1995 (1995-12-22) fig. 1	19-20, 24
Y		15, 21

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

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
24 May 2022	**31 May 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2020-49633 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 02 April 2020 (2020-04-02) fig. 2	1-27
A	JP 2017-19072 A (TOYOTA MOTOR CORP) 26 January 2017 (2017-01-26) entire text, all drawings	1-27
A	JP 2014-224790 A (MITUTOYO CORP) 04 December 2014 (2014-12-04) fig. 4, 9	6-7
A	US 2008/0216552 A1 (KUKA ROBOTER GMBH) 11 September 2008 (2008-09-11) entire text, all drawings	1-27
A	US 4714339 A (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF COMMERCE) 22 December 1987 (1987-12-22) entire text, all drawings	1-27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/010673

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2012-104136 A	31 May 2012	US 5903459 A column 20, lines 41-65, column 21, lines 52-61, fig. 2, 6-8 US 5920483 A WO 1997/046925 A1 EP 902919 A DE 69732905 T2 AU 3294197 A CA 2252754 A1 CN 1221500 A	
JP 2019-72780 A	16 May 2019	US 2019/0111564 A1 paragraph [0061] DE 102018124478 A CN 109648603 A	
US 2012/0168605 A1	05 July 2012	US 7924441 B1	
JP 2019-49481 A	28 March 2019	(Family: none)	
JP 2018-515774 A	14 June 2018	US 2016/0327383 A1 paragraphs [0165]-[0166], fig. 17A US 2017/0276472 A1 GB 2555027 A WO 2016/179448 A1 DE 112016002057 T5	
JP 7-332923 A	22 December 1995	(Family: none)	
JP 2020-49633 A	02 April 2020	US 2021/0299861 A1 fig. 2 WO 2020/066102 A1	
JP 2017-19072 A	26 January 2017	US 2017/0016712 A1 entire text, all drawings CN 106346498 A KR 10-2017-0008678 A	
JP 2014-224790 A	04 December 2014	(Family: none)	
US 2008/0216552 A1	11 September 2008	WO 2005/108020 A1 entire text, all drawings EP 1761363 A1 DE 102004021892 A1 CN 1980775 A ES 2663494 T3	
US 4714339 A	22 December 1987	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/010673

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

B25J 9/10(2006.01)i; B25J 19/02(2006.01)i; G01B 11/00(2006.01)i; G01B 11/26(2006.01)i
FI: B25J19/02; G01B11/26 G; G01B11/00 C; G01B11/00 G; B25J9/10 A

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

B25J1/00-21/02; G01B11/00-11/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2012-104136 A (ザ・ボーイング・カンパニー) 31.05.2012 (2012-05-31) 段落[0097], [0101], 図2, 6-8	1, 11-12, 14, 16-18, 22, 25-26
Y		2-5, 8-10, 13, 15, 23, 27
Y	JP 2019-72780 A (ファナック株式会社) 16.05.2019 (2019-05-16) 段落[0060]	2-3, 21
Y	US 2012/0168605 A1 (MIRRORCLE TECHNOLOGIES, INC.) 05.07.2012 (2012-07-05) 段落[0058]-[0061], 図1A, 図2A, 図10	4-5, 9-10, 23, 27
Y	JP 2019-49481 A (株式会社東京精密) 28.03.2019 (2019-03-28) 段落[0043]	8
Y	JP 2018-515774 A (ファロ テクノロジーズ インコーポレーテッド) 14.06.2018 (2018-06-14) 段落[0108]-[0109], 図17A	13

☑ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
24.05.2022	31.05.2022

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
岩▲崎▼　優 3U 1573
電話番号 03-3581-1101 内線 3364

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 7-332923 A (工業技術院長) 22.12.1995 (1995-12-22) 図1	19-20, 24
Y		15, 21
A	JP 2020-49633 A (三菱重工業株式会社) 02.04.2020 (2020-04-02) 図2	1-27
A	JP 2017-19072 A (トヨタ自動車株式会社) 26.01.2017 (2017-01-26) 全文, 全図	1-27
A	JP 2014-224790 A (株式会社ミツトヨ) 04.12.2014 (2014-12-04) 図4, 9	6-7
A	US 2008/0216552 A1 (KUKA ROBOTER GMBH) 11.09.2008 (2008-09-11) 全文, 全図	1-27
A	US 4714339 A (THE UNITED STATES OF AMERICA AS REPRESENTED BY THE SECRETARY OF COMMERCE) 22.12.1987 (1987-12-22) 全文, 全図	1-27

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2022/010673

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2012-104136 A	31.05.2012	US 5903459 A 第20欄第41-65行，第21欄第52-61行，図2，6-8 US 5920483 A WO 1997/046925 A1 EP 902919 A DE 69732905 T2 AU 3294197 A CA 2252754 A1 CN 1221500 A	
JP 2019-72780 A	16.05.2019	US 2019/0111564 A1 段落[0061] DE 102018124478 A CN 109648603 A	
US 2012/0168605 A1	05.07.2012	US 7924441 B1	
JP 2019-49481 A	28.03.2019	（ファミリーなし）	
JP 2018-515774 A	14.06.2018	US 2016/0327383 A1 段落[0165]-[0166]，図17A US 2017/0276472 A1 GB 2555027 A WO 2016/179448 A1 DE 112016002057 T5	
JP 7-332923 A	22.12.1995	（ファミリーなし）	
JP 2020-49633 A	02.04.2020	US 2021/0299861 A1 図2 WO 2020/066102 A1	
JP 2017-19072 A	26.01.2017	US 2017/0016712 A1 全文，全図 CN 106346498 A KR 10-2017-0008678 A	
JP 2014-224790 A	04.12.2014	（ファミリーなし）	
US 2008/0216552 A1	11.09.2008	WO 2005/108020 A1 全文，全図 EP 1761363 A1 DE 102004021892 A1 CN 1980775 A ES 2663494 T3	
US 4714339 A	22.12.1987	（ファミリーなし）	