(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
2022年2月3日(03.02.2022)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2022/024976 A1

(51) 国際特許分類:
B25J 13/08 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2021/027495

(22) 国際出願日： 2021年7月26日(26.07.2021)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2020-130055 2020年7月31日(31.07.2020) JP

(71) 出願人: ファナック株式会社 (**FANUC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場３５８０番地 Yamanashi (JP).

(72) 発明者: 山岡 宣章 (**YAMAOKA Nobuaki**); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場３５８０番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP). 佐藤 貴之(**SATOU Takashi**); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場３５８０番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP).

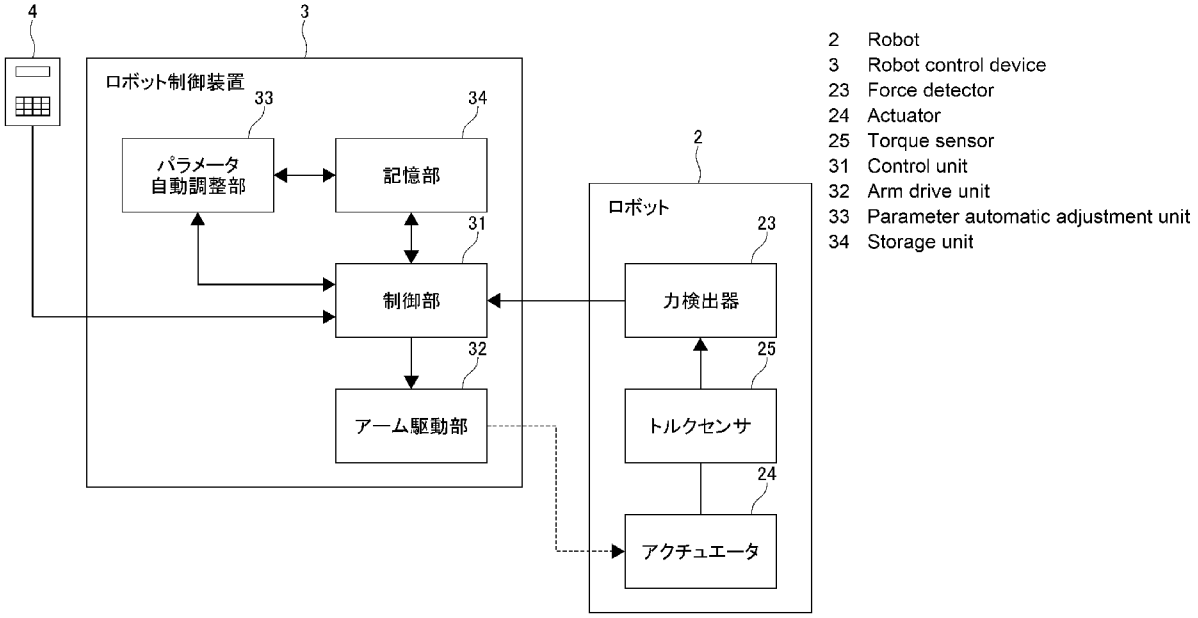
(74) 代理人: 正林 真之, 外(**SHOBAYASHI Masayuki et al.**); 〒1000005 東京都千代田区丸の内１－７－１２ サピアタワー Tokyo (JP).

(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,

(54) **Title:** ROBOT SYSTEM AND ROBOT CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称： ロボットシステム及びロボット制御装置

[図2]



(57) **Abstract:** The present invention makes it possible, in force control during production, to automatically adjust a force control parameter optimally so as not to cause oscillation of a robot or failure of work. This robot system comprises: a robot arm having a hand at the end thereof for holding a workpiece; a force detector for detecting a force and moment received by the workpiece held by the hand; and a control device for moving the workpiece held by the hand with respect to a target object while performing force control of the robot arm to correct a position error and an attitude error of the workpiece, on the basis of a predetermined force control parameter and a detected value of the force detector. The control

WO 2022/024976 A1

[続葉有]

HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, 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, 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, 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:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

device has a parameter automatic adjustment unit for automatically adjusting the force control parameter by executing the moving of the workpiece with respect to the target object a plurality of times. The parameter automatic adjustment unit automatically adjusts the force control parameter by executing the moving of the workpiece with respect to the target object from a plurality of attitude error directions among a plurality of position error directions and the plurality of attitude error directions.

(57) 要約:生産時の力制御において、ロボットの発振や作業の失敗を起こすことのない最適な力制御パラメータを自動調整可能にする。ワークを把持するハンドを先端に有するロボットアームと、ハンドに把持されたワークが受ける力及びモーメントを検出する力検出器と、所定の力制御パラメータ及び力検出器の検出値に基づいて、ワークの位置誤差及び姿勢誤差を修正するようにロボットアームの力制御を行いながら、ハンドに把持されたワークを目標対象物に対して移動させる制御装置と、を備える。制御装置は、目標対象物に対するワークの移動を複数回実行することによって、力制御パラメータを自動調整するパラメータ自動調整部を有する。パラメータ自動調整部は、目標対象物に対するワークの移動を、複数の位置誤差方向及び複数の姿勢誤差方向のうちの少なくとも複数の姿勢誤差方向から実行することによって、力制御パラメータを自動調整する。

明　細　書

発明の名称 ： ロボットシステム及びロボット制御装置

技術分野

[0001] 本開示は、ロボットシステム及びロボット制御装置に関する。

背景技術

[0002] ロボットを用いた部品の組立工程においては、ロボットアームの先端のハンドによって把持したワークの嵌合作業、面合せ作業、探索作業が行われる。嵌合作業は、把持したワークを目標対象物の嵌合穴に嵌合させる作業である。面合せ作業は、把持したワークを目標対象物の平面に突き当てて面合せする作業である。探索作業は、ワークが目標対象物の穴形状や位相に一致するように、把持したワークの位置を探索する作業である。

[0003] 従来、このようなロボットによる部品の組立作業を精度良く実行するため、ハンドに把持されたワークが受ける力及びモーメントを検出する力検出器がロボットアームに設けられる。組立作業を行う際は、その力検出器の検出値に基づいて、ワークに掛かる力がオペレータの設定した目標力に一致するように、ロボットの力制御が行われる。力制御の種類としては、インピーダンス制御、ダンピング制御、ハイブリッド制御が知られている。

[0004] ロボットを力制御することによって適切に作業を実行するためには、ワークに掛かる力とロボットの挙動との関係を定めた力制御パラメータを適切に設定することが重要である。近年は、力制御を自動的に複数回実行することによって、力制御パラメータを自動調整する技術も知られている（例えば、特許文献１参照）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２０１４－１２８８５７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、力制御パラメータの自動調整を実行しても、調整された後の力制御パラメータが最適ではない場合がある。これは、力制御パラメータの調整時とロボットを実際に稼働させる生産時とで力制御の条件が異なり、ロボットの位置及び姿勢の誤差方向が異なることが原因であると考えられる。

[0007] また、ロボットの位置及び姿勢もしくはハンドの形状等によっては、力制御の応答性を表す力制御ゲインの最適値が、位置及び姿勢の修正方向に依存することがある。そのため、力制御パラメータが、ロボットの発振限度の高い位置及び姿勢誤差の条件で調整されると、生産時にロボットが発振する場合がある。ロボットが発振すると、生産品質に影響を与えるおそれがある。最悪の場合には、ロボット自体、ハンド及び周辺機器等が破損するおそれがある。

[0008] さらに、探索作業については、力制御パラメータの調整時に、複数の位置及び姿勢誤差条件で正しい位置及び姿勢を見つけられるかどうかの動作確認を行う必要がある。生産時に複数の誤差条件で確認しないと、生産時に探索に失敗する可能性がある。

[0009] したがって、生産時の力制御において、ロボットの発振や作業の失敗を起こすことのない最適な力制御パラメータが自動調整可能であることが望まれる。

課題を解決するための手段

[0010] 本開示の一態様は、ワークを把持するハンドを先端に有するロボットアームと、前記ハンドに把持された前記ワークが受ける力及びモーメントを検出する力検出器と、所定の力制御パラメータ及び前記力検出器の検出値に基づいて、前記ワークの位置誤差及び姿勢誤差を修正するように前記ロボットアームの力制御を行いながら、前記ハンドに把持された前記ワークを目標対象物に対して移動させる制御装置と、を備え、前記制御装置は、前記目標対象物に対する前記ワークの移動を複数回実行することによって、前記力制御パラメータを自動調整するパラメータ自動調整部を有し、前記パラメータ自動

調整部は、前記目標対象物に対する前記ワークの移動を、複数の位置誤差方向及び複数の姿勢誤差方向のうちの少なくとも前記複数の姿勢誤差方向から実行することによって、前記力制御パラメータを自動調整する、ロボットシステムである。

[0011] 本開示の他の一態様は、ワークを把持するハンドを先端に有するロボットアームの動作を制御して前記ワークを目標対象物に向けて移動させ、所定の力制御パラメータと、前記ハンドに把持された前記ワークが受ける力及びモーメントを検出する力検出器の検出値と、に基づいて、前記目標対象物に対する前記ワークの位置誤差及び姿勢誤差を修正するように前記ロボットアームの力制御を行うロボット制御装置であって、前記対象物に対する前記ワークの移動を複数回実行することによって、前記力制御パラメータを自動調整するパラメータ自動調整部を有し、前記パラメータ自動調整部は、前記目標対象物に対する前記ワークの移動を、複数の位置誤差方向及び複数の姿勢誤差方向のうちの少なくとも前記複数の姿勢誤差方向から実行することによって、前記力制御パラメータを自動調整する。

発明の効果

[0012] 一態様によれば、生産時の力制御において、ロボットの発振や作業の失敗を起こすことのない最適な力制御パラメータが自動調整可能である。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]嵌合作業を行うロボットシステムを示す模式図である。

[図2]ロボットとロボット制御装置の内部構成を示す機能ブロック図である。

[図3]力制御パラメータの自動調整作業を示すフローチャートである。

[図4]力制御パラメータの自動調整時のワークと目標対象物との姿勢誤差を示す側面図である。

[図5A]図４に示すワークと目標対象物との姿勢誤差を示す平面図である。

[図5B]図５Ａに対して姿勢誤差方向を９０ｄｅｇ異ならせたワークと目標対象物とを示す平面図である。

[図5C]図５Ａに対して姿勢誤差方向を１８０ｄｅｇ異ならせたワークと目標

対象物とを示す平面図である。

[図5D]図５Ａに対して姿勢誤差方向を２７０ｄｅｇ異ならせたワークと目標対象物とを示す平面図である。

[図6]力制御パラメータの自動調整時のワークと目標対象物との位置誤差を示す側面図である。

[図7]面合せ作業を行うロボットシステムを示す模式図である。

[図8]探索作業を行うロボットシステムを示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本開示の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。図１は、嵌合作業を行うロボットシステム１を示す模式図である。ロボットシステム１は、ロボット２と、ロボット２を制御するロボット制御装置３と、オペレータがロボット制御装置３を介してロボット２を手動操作するための教示操作盤４と、を有する。

[0015] ロボット２は、複数のロボットアーム２１を有する垂直多関節ロボットである。複数のロボットアーム２１は、複数の駆動軸によってそれぞれ回転可能に連結されている。駆動軸は、ロボット制御装置３によって制御されるサーボモータ等からなるアクチュエータ２４（図２参照）によってそれぞれ回転駆動される。ロボットアーム２１の先端には、ハンド２２及び力検出器２３が設けられる。

[0016] ハンド２２は、ロボット制御装置３によって駆動制御されることによって、ワークを把持する。嵌合作業において、ワークは、ハンド２２によって把持されるワークＷ１と、作業台１００上のワークＷ２と、を有する。ワークＷ１は、例えば円柱形状を有する。ワークＷ２は、ロボット２の動作によってワークＷ１を嵌合させる目標対象物である。ワークＷ２は、ワークＷ１を嵌合可能な円柱状の嵌合穴ＭＨを有する。ワークＷ２は、嵌合穴ＭＨの開口部が上方を向くように、作業台１００上に載置される。

[0017] 力検出器２３は、ハンド２２の根元部の近傍に配置される。力検出器２３は、ハンド２２に把持されたワークＷ１が受ける力及びモーメントを検出す

る。具体的には、力検出器２３は、力覚センサによって構成される。より具体的には、力検出器２３は、Ｘ，Ｙ，Ｚ軸方向の並進力とそれらの軸周りのモーメントを検出可能な６軸センサを用いることができる。力検出器２３の検出値は、ロボット制御装置３の制御部３１に出力される。

[0018] ロボット制御装置３は、図２に示すように、制御部３１と、アーム駆動部３２と、パラメータ自動調整部３３と、記憶部３４と、を含んで構成される。このロボット制御装置３は、一般的なロボット２の動作制御のための制御装置としての機能に加えて、力制御パラメータを自動調整するための制御装置としての機能を含む。本明細書では、ロボット制御装置３における力制御パラメータを自動調整するための機能について説明し、一般的なロボット２の動作を制御するための機能の詳細については省略する。

[0019] 制御部３１は、アーム駆動部３２に対して所定のジョブに基づく移動指令を出力し、ロボット２の動作を制御する制御装置である。制御部３１は、記憶部３４に記憶される所定の力制御パラメータ及び力検出器２３の検出値に基づいて、ハンド２２に把持されたワークＷ１の位置誤差及び姿勢誤差を修正するようにロボットアーム２１の力制御を行いながら、ワークＷ１をワークＷ２に対して移動させる。

[0020] アーム駆動部３２は、制御部３１からの移動指令に基づいて、ロボット２の各駆動軸のアクチュエータ２４に駆動のための電流を印加する。これによって、ロボット２の各ロボットアーム２１が駆動し、ロボット２は様々に姿勢を変化させる。図２に示すように、ロボット２は、アクチュエータ２４のトルクを検出するためのトルクセンサ２５を有する。トルクセンサ２５は、アクチュエータ２４のトルクの検出値を力検出器２３に出力する。図２には１つのアクチュエータ２４及び１つのトルクセンサ２５のみが示されている。しかし、アクチュエータ２４及びトルクセンサ２５の組は、ロボット２の複数の駆動軸にそれぞれ設けられる。

[0021] パラメータ自動調整部３３は、制御部３１を介してロボット２の動作を制御し、力制御パラメータを自動調整する。力制御パラメータは、ロボット２

の力制御の応答性を表す力制御ゲイン、速度指令値、及び力指令値等を含む。自動調整された力制御パラメータは、記憶部３４に記憶されている力制御パラメータ（初期パラメータ）に上書きされる。パラメータ自動調整部３３による力制御パラメータの具体的な調整動作の詳細については後述する。

[0022] 教示操作盤４は、ロボット制御装置３の制御部３１に接続される。教示操作盤４は、オペレータの手動操作によって、ロボット２の動作プログラムの再生、ジョグ操作によるロボット２の教示、力制御パラメータの自動調整等の各種動作の実行を指示する。図２において、教示操作盤４は、制御部３１に対して有線によって接続されるが、無線によって接続されてもよい。

[0023] 次に、ロボット制御装置３のパラメータ自動調整部３３による力制御パラメータの自動調整作業について、図３に示すフローチャート、図４及び図５Ａ～図５Ｄに基づいてさらに説明する。以下に示すパラメータ自動調整部３３による力制御パラメータの自動調整作業は、例えば、ロボットシステム１の初期立ち上げ時、ワークの種類が変更された時、及びロボットアーム２１の先端のハンド２２が別の構造を有するハンドに交換された時に、教示操作盤４を介したオペレータからの指示によって実行される。

[0024] まず、制御部３１は、パラメータ自動調整部３３による所定のパラメータ自動調整フローに従って、ハンド２２に把持されたワークＷ１を、目標対象物であるワークＷ２に対して移動させ、ワークＷ２の嵌合穴ＭＨに嵌合する動作を複数回実行する。具体的には、パラメータ自動調整部３３は、オペレータによる教示操作盤４の手動操作によるロボット２の動作時に、記憶部３４から力制御パラメータの初期パラメータを読み出す。制御部３１は、その初期パラメータに基づいて、制御部３１を介してアーム駆動部３２に移動指令を出力し、ハンド２２によって把持したワークＷ１をワークＷ２の嵌合穴ＭＨに嵌合させるようにロボット２を動作させる１回目の嵌合動作を実行する（ステップＳ１）。

[0025] 図４は、ハンド２２に把持されたワークＷ１が、初期パラメータによるロボット２の力制御によって、ワークＷ２の嵌合穴ＭＨに嵌合する直前の状態

を示す側面図である。図５Ａは、その平面図である。図４及び図５Ａに示すように、初期パラメータに基づいてロボット２が力制御された際、ロボット２は、ワークＷ１を嵌合穴ＭＨに対して傾斜して配置した姿勢を示している。具体的には、ワークＷ１の軸線Ｗ１ａは、ワークＷ２の嵌合穴ＭＨの軸線Ｗ２ａに対して、Ｙ軸周りの－Ｘ軸方向（図４及び図５Ａの左方向）に角度Ｅ１だけ傾いている。

[0026] ワークＷ１を嵌合穴ＭＨに適正に嵌合させるためには、ロボット２は、ワークＷ１の軸線Ｗ１ａと嵌合穴ＭＨの軸線Ｗ２ａとが一致する姿勢を示している必要がある。そのため、角度Ｅ１は、嵌合開始時におけるロボット２が修正すべき姿勢誤差を表している。この角度Ｅ１は、ワークＷ１を嵌合穴ＭＨに適正に嵌合させるために必要なロボット２の姿勢の変化量、すなわち、姿勢誤差の修正量（Ｅ）である。

[0027] ここで、嵌合開始時のロボット姿勢を表す回転行列をＴＡ、嵌合後のロボット姿勢を表す回転行列をＴＢとすると、ｉｎｖ（ＴＢ）×ＴＡが姿勢誤差の修正量（Ｅ）を表す回転行列となる。ｉｎｖは逆行列である。パラメータ自動調整部３３は、この姿勢誤差の修正量（Ｅ）を算出し、記憶部３４に記憶する（ステップＳ２）。

[0028] なお、パラメータ自動調整部３３には、姿勢誤差の修正量の閾値が予め設定されている。ステップＳ２において算出された姿勢誤差の修正量（Ｅ）の絶対値が閾値以下である場合、パラメータ自動調整部３３は、姿勢誤差の修正量（Ｅ）を予め決められた値に設定する。姿勢誤差がない場合又は姿勢誤差が小さすぎる場合に意図的に姿勢誤差を与えるためである。予め決められた値は、例えば閾値である。すなわち、閾値が０．５ｄｅｇに設定され、ステップＳ２において算出された姿勢誤差の修正量が０．５ｄｅｇ以下である場合には、姿勢誤差の修正量（Ｅ）は０．５ｄｅｇに設定される。

[0029] 次に、制御部３１は、１回目の嵌合動作を実行した時と同じ位置及びロボット２の姿勢誤差の修正量（Ｅ）と同じ絶対値で、姿勢誤差方向を変えて２回目の嵌合動作を実行する（ステップＳ３）。

[0030] このステップＳ３では、パラメータ自動調整部３３は、ＴＢ×Ｔ（９０）×ｉｎｖ（ＴＢ）×ＴＡの回転行列が示す姿勢から嵌合を実行している。Ｔ（９０）は、１回目の嵌合動作に対して、嵌合方向周り（嵌合穴ＭＨの軸線Ｗ２ａ周り）に９０ｄｅｇ回転させる行列である。これによって、図５Ｂに示すように、ロボット２は、ワークＷ１の軸線Ｗ１ａがワーク Ｗ２の嵌合穴ＭＨの軸線Ｗ２ａに対して、Ｘ軸周りの＋Ｙ軸方向（図５Ｂの下方向）に角度Ｅ１だけ傾いた位置から嵌合を行う。

[0031] 次に、制御部３１は、２回目の嵌合動作を実行した時と同じ位置及びロボット２の姿勢誤差の修正量（Ｅ）と同じ絶対値で、再び姿勢誤差方向を変えて３回目の嵌合動作を実行する（ステップＳ４）。

[0032] このステップＳ４では、パラメータ自動調整部３３は、ＴＢ×Ｔ（１８０）×ｉｎｖ（ＴＢ）×ＴＡの回転行列が示す姿勢から嵌合を実行している。Ｔ（１８０）は、１回目の嵌合動作に対して、嵌合方向周り（嵌合穴ＭＨの軸線Ｗ２ａ周り）に１８０ｄｅｇ回転させる行列である。これによって、図５Ｃに示すように、ロボット２は、ワークＷ１の軸線Ｗ１ａがワーク Ｗ２の嵌合穴ＭＨの軸線Ｗ２ａに対して、Ｙ軸周りの＋Ｘ軸方向（図５Ｃの右方向）に角度Ｅ１だけ傾いた位置から嵌合を行う。

[0033] 次に、制御部３１は、３回目の嵌合動作を実行した時と同じ位置及びロボット２の姿勢誤差の修正量（Ｅ）と同じ絶対値で、再び姿勢誤差方向を変えて４回目の嵌合動作を実行する（ステップＳ５）。

[0034] このステップＳ５では、パラメータ自動調整部３３は、ＴＢ×Ｔ（２７０）×ｉｎｖ（ＴＢ）×ＴＡの回転行列が示す姿勢から嵌合を実行している。Ｔ（２７０）は、１回目の嵌合動作に対して、嵌合方向周り（嵌合穴ＭＨの軸線Ｗ２ａ周り）に２７０ｄｅｇ回転させる行列である。これによって、図５Ｄに示すように、ロボット２は、ワークＷ１の軸線Ｗ１ａがワーク Ｗ２の嵌合穴ＭＨの軸線Ｗ２ａに対して、Ｘ軸周りの－Ｙ軸方向（図５Ｄの上方向）に角度Ｅ１だけ傾いた位置から嵌合を行う。

[0035] １回目の嵌合動作から４回目の嵌合動作の各嵌合動作において、パラメー

タ自動調整部３３は、制御部３１を介して力検出器２３から出力される検出値を記録している。パラメータ自動調整部３３は、４方向（４姿勢）の嵌合動作が終了した後に、各嵌合動作時の力検出器２３の検出値から振動量を求め、その検出値のデータが最も振動的であった方向（姿勢）を選出する（ステップＳ６）。

[0036] 振動量を求める方法としては、例えば、力検出器２３の検出値をフーリエ変換し、その結果に基づいて特定の周波数の振幅を求める方法がある。また、力検出器２３の検出値の変化量の最大値又は平均値を求めることによって振動量を求めてもよい。

[0037] パラメータ自動調整部３３は、ステップＳ６において、力検出器２３の検出値のデータが最も振動的であった方向（姿勢）を選出した後、その方向（姿勢）の姿勢誤差のみで調整した力制御パラメータ１～Ｎを求め（ステップＳ７）、各力制御パラメータを性能が上がるように変更する（ステップＳ８）。Ｎは力制御パラメータの種類の数である。力制御パラメータの種類は、力制御ゲイン、速度指令値、力指令値等である。力制御パラメータの調整は、これらのパラメータを１種類ずつ行ってもよいし、複数種類のパラメータに対して同時に行ってもよい。

[0038] このようにしてステップＳ８において力制御パラメータを変更した後、制御部３１は、４方向（４姿勢）の嵌合動作のうちで、最も振動的であった方向（姿勢）の姿勢誤差によって、再びワークＷ１をワークＷ２の嵌合穴ＭＨに嵌合させるようにロボット２を動作させる（ステップＳ９）。

[0039] 力制御の性能が向上するように力制御パラメータを変更しすぎると、振動が大きくなる等のロボット２の不安定化を招き易い。例えば、力制御ゲインを上げると、発生した力に対する応答が早くなるため、嵌合時の姿勢誤差の修正が速くなり、嵌合に要する時間が短くなる。その反面、力制御ゲインを上げ過ぎると、ノイズを増幅させてロボット２が発振してしまうことがある。そのため、パラメータ自動調整部３３は、ステップＳ９において嵌合動作を実行した後、上記した方法によって力検出器２３の検出値から振動量を求

め、ロボット２が発振しているかどうかを判断する（ステップＳ１０）。なお、ロボット２が発振したかどうかは、振動量が、前回のパラメータ自動調整時の振動量よりも大きくなったこと、又は、予め設定された振動量の閾値を超えたこと等によって判断することができる。

[0040] ステップＳ１０において、ロボット２が発振していないと判断された場合（ステップＳ１０；ＮＯ）、パラメータ自動調整部３３は、ステップＳ８からの処理に戻る。すなわち、パラメータ自動調整部３３は、力制御パラメータの性能がさらに上がるように力制御パラメータを変更し、その後、最も振動的であった姿勢誤差で嵌合動作を再度実行する。その後、ステップＳ１０において、ロボット２が発振しているかどうかを再度判断する。ステップＳ８及びステップＳ９の処理は、ステップＳ１０においてロボット２が発振していると判断されるまで繰り返される。

[0041] 一方、ステップＳ１０において、ロボット２が発振していると判断された場合（ステップＳ１０；ＹＥＳ）、パラメータ自動調整部３３は、変更された力制御パラメータを１つ前の値に戻す（ステップＳ１１）。

[0042] これによって、力制御パラメータは、ロボット２が発振を起こさない限界の値に設定される。パラメータ自動調整部３３は、設定した力制御パラメータを記憶部３４に出力して上書き保存した後、力制御パラメータの自動調整作業を終了する。

[0043] ロボット２のような垂直多関節ロボットの場合では、動作方向によって振動の具合が変化する。また、ロボットアーム２１の先端に設けられたハンド２２の形状によっては、振動し易い動作が存在することがある。ロボット２が振動すると、力制御の性能が変化する。しかし、以上のように、このロボットシステム１では、パラメータ自動調整部３３が、ワークＷ１の移動を、複数の姿勢誤差方向から実行することによって力制御パラメータを自動調整する。パラメータ自動調整部３３は、複数の姿勢誤差方向のうちの最も振動的であった姿勢誤差の条件で力制御パラメータの調整を行う。これによって、ロボット２は、最も厳しい姿勢誤差の条件において安定して嵌合動作を行

うことができた力制御パラメータに基づいて嵌合動作を行うため、条件の緩い他の姿勢誤差の条件においても安定した嵌合動作を実行することができる。したがって、このロボットシステム１及びロボット制御装置３によれば、生産時の力制御において、ロボット２の発振や嵌合作業の失敗を起こすことのない最適な力制御パラメータを自動調整することができる。

[0044] ロボットアーム２１は、ロボットアーム２１を駆動するアクチュエータ２４と、アクチュエータ２４のトルクを検出するトルクセンサ２５と、を有し、力検出器２３は、トルクセンサ２５の検出値に基づいて、ワークＷ１が受ける力及びモーメントを検出している。そのため、アクチュエータ２４のトルクからワークＷ１が受ける力及びモーメントを容易に検出可能である。

[0045] また、力検出器２３は、アクチュエータ２４に印加される電流値に基づいて、ワークＷ１が受ける力及びモーメントを検出してもよい。これによれば、トルクセンサ２５は必ずしも設けられなくてもよいため、ロボット２の構成を簡素化することができる。

[0046] 以上の実施形態では、パラメータ自動調整部３３は、ワークＷ１の移動を、複数の姿勢誤差方向から実行することによって力制御パラメータを自動調整している。しかし、パラメータ自動調整部３３は、図６に示すように、ワークＷ１の移動を、複数の位置誤差方向及び姿勢誤差方向の両方から実行することによって力制御パラメータを自動調整してもよい。図６に示す場合では、初期パラメータに基づいてロボット２が力制御された際、ロボット２は、ワークＷ１を嵌合穴ＭＨに対して傾斜して配置した姿勢を示すとともに、嵌合穴ＭＨの中心から僅かに側方にずれている。具体的には、ワークＷ１の軸線Ｗ１ａは、ワークＷ２の嵌合穴ＭＨの軸線Ｗ２ａに対して、Ｙ軸周りの－Ｘ軸方向（図６の左方向）に角度Ｅ１だけ傾いているとともに、ワークＷ１は、嵌合穴ＭＨの軸線Ｗ２ａに対して、－Ｘ軸方向に距離Ｅ２だけずれている。

[0047] 以上の実施形態では、ロボット２によるワークＷ２に対するワークＷ１の移動動作が、ワークＷ１をワークＷ２が有する嵌合穴ＭＨに嵌合させる嵌合

動作である場合について説明した。しかし、ロボット２によるワークＷ２に対するワークＷ１の移動動作は、図７に示すロボットシステム１Ａのように、ハンド２２によって把持したワークＷ１をワークＷ２の平面ＳＦに対して面合せする面合せ動作であってもよい。さらに、ロボット２によるワークＷ２に対するワークＷ１の移動動作は、図８に示すロボットシステム１Ｂのように、ワークＷ１をワークＷ２が有する係合穴ＥＨの形状や位相に一致するように探索させる探索動作であってもよい。

[0048] 以上の実施形態では、力制御パラメータの自動調整時のワークＷ２に対するワークＷ１の移動を、９０ｄｅｇずつ変更した４方向（４姿勢）から実行している。しかし、変更する方向（姿勢）は、４つに限定されず、２以上の方向（姿勢）であればよい。また、変更する角度も、９０ｄｅｇに限定されない。

[0049] 以上の実施形態では、力制御パラメータの自動調整を行うパラメータ自動調整部３３は、ロボット２の動作を制御するためにロボット２に電気的に接続されるロボット制御装置３に設けられている。しかし、ロボット制御装置３のパラメータ自動調整部３３の機能又は全ての機能は、ＰＣ（パーソナルコンピュータ）及びタブレット端末等の外部端末によって実現されてもよい。

符号の説明

[0050] １，１Ａ，１Ｂ　ロボットシステム

２　ロボット

２１　ロボットアーム

２２　ハンド

２３　力検出器

２４　アクチュエータ

２５　トルクセンサ

３　ロボット制御装置

３１　制御部

３３　パラメータ自動調整部

Ｗ１　ワーク

Ｗ２　ワーク（目標対象物）

ＭＨ　嵌合穴

ＳＦ　平面

ＥＨ　係合穴

請求の範囲

[請求項1] ワークを把持するハンドを先端に有するロボットアームと、

前記ハンドに把持された前記ワークが受ける力及びモーメントを検出する力検出器と、

所定の力制御パラメータ及び前記力検出器の検出値に基づいて、前記ワークの位置誤差及び姿勢誤差を修正するように前記ロボットアームの力制御を行いながら、前記ハンドに把持された前記ワークを目標対象物に対して移動させる制御装置と、を備え、

前記制御装置は、前記目標対象物に対する前記ワークの移動を複数回実行することによって、前記力制御パラメータを自動調整するパラメータ自動調整部を有し、

前記パラメータ自動調整部は、前記目標対象物に対する前記ワークの移動を、複数の位置誤差方向及び複数の姿勢誤差方向のうちの少なくとも前記複数の姿勢誤差方向から実行することによって、前記力制御パラメータを自動調整する、ロボットシステム。

[請求項2] 前記パラメータ自動調整部は、前記目標対象物に対する前記ワークの移動を、複数の位置誤差方向及び複数の姿勢誤差方向のうちの少なくとも前記複数の姿勢誤差方向から実行し、そのうちの前記力検出器の検出値が最も振動的であった条件によって前記力制御パラメータを自動調整する、請求項１に記載のロボットシステム。

[請求項3] 前記目標対象物に対する前記ワークの移動動作は、前記ワークを前記目標対象物が有する嵌合穴に嵌合させる嵌合動作、前記ワークを前記目標対象物の平面に対して面合せする面合せ動作、及び前記ワークを前記目標対象物が有する係合穴の形状に一致するように探索させる探索動作のうちのいずれかである、請求項１又は２に記載のロボットシステム。

[請求項4] 前記力検出器は、力覚センサである、請求項１～３のいずれか１項に記載のロボットシステム。

[請求項5] 前記ロボットアームは、前記ロボットアームを駆動するアクチュエータと、前記アクチュエータのトルクを検出するトルクセンサと、を有し、

前記力検出器は、前記トルクセンサの検出値に基づいて、前記ワークが受ける力及びモーメントを検出する、請求項１～４のいずれか１項に記載のロボットシステム。

[請求項6] 前記ロボットアームは、前記ロボットアームを駆動するアクチュエータを有し、

前記力検出器は、前記アクチュエータに印加される電流値に基づいて、前記ワークが受ける力及びモーメントを検出する、請求項１～４のいずれか１項に記載のロボットシステム。

[請求項7] ワークを把持するハンドを先端に有するロボットアームの動作を制御して前記ワークを目標対象物に向けて移動させ、所定の力制御パラメータと、前記ハンドに把持された前記ワークが受ける力及びモーメントを検出する力検出器の検出値と、に基づいて、前記目標対象物に対する前記ワークの位置誤差及び姿勢誤差を修正するように前記ロボットアームの力制御を行うロボット制御装置であって、

前記対象物に対する前記ワークの移動を複数回実行することによって、前記力制御パラメータを自動調整するパラメータ自動調整部を有し、

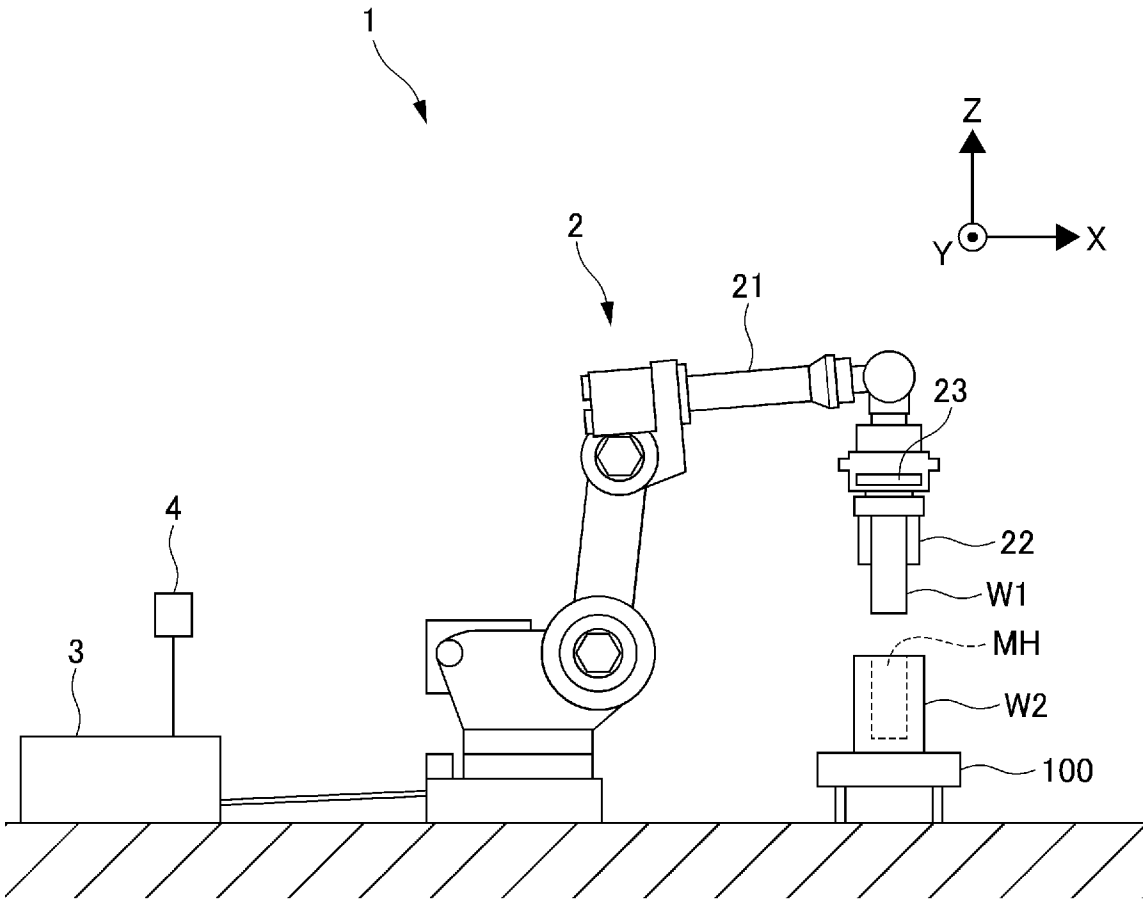
前記パラメータ自動調整部は、前記目標対象物に対する前記ワークの移動を、複数の位置誤差方向及び複数の姿勢誤差方向のうちの少なくとも前記複数の姿勢誤差方向から実行することによって、前記力制御パラメータを自動調整する、ロボット制御装置。

[請求項8] 前記パラメータ自動調整部は、前記目標対象物に対する前記ワークの移動を、複数の位置誤差方向及び複数の姿勢誤差方向のうちの少なくとも前記複数の姿勢誤差方向から実行し、そのうちの前記力検出器の検出値が最も振動的であった条件によって前記力制御パラメータを

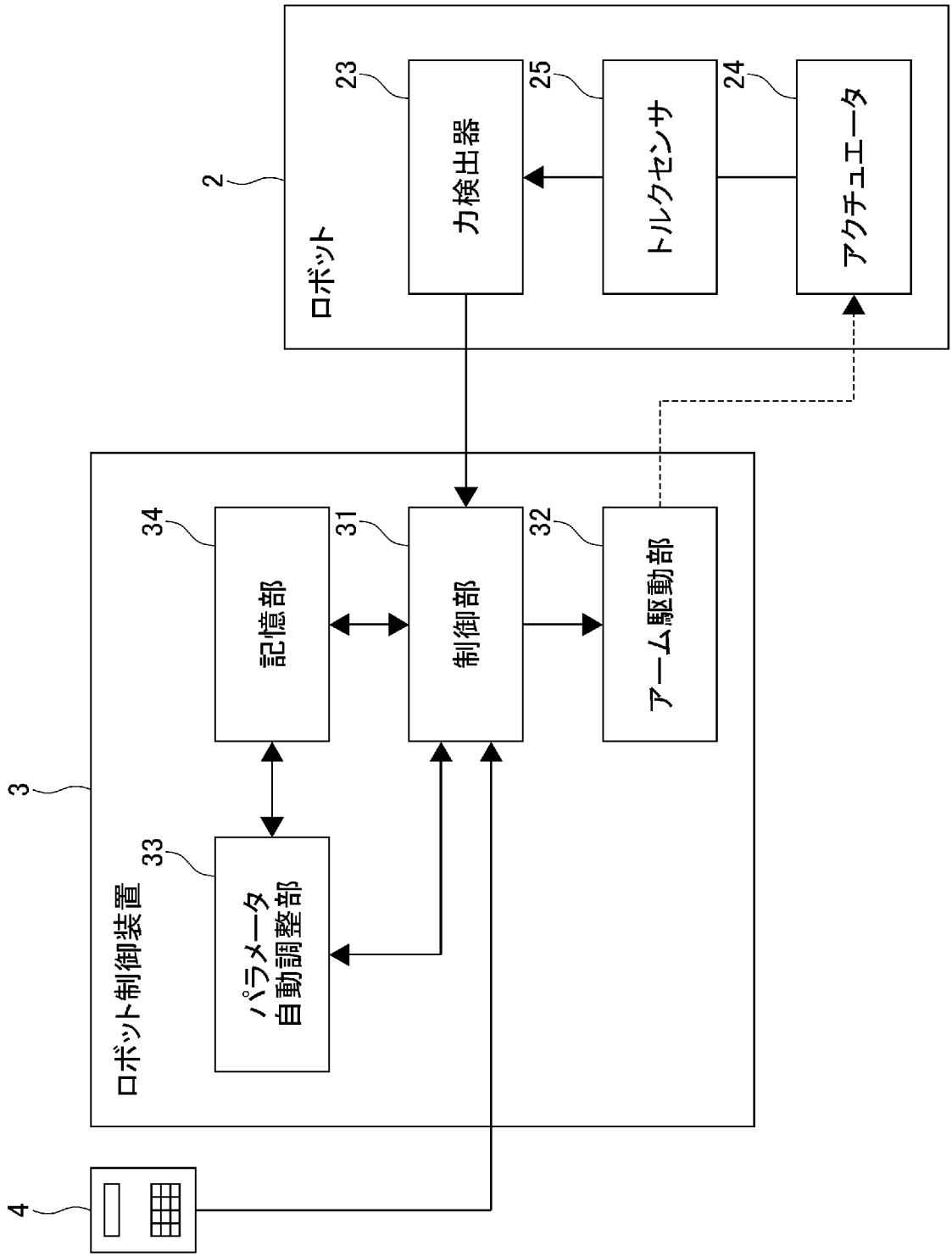
自動調整する、請求項７に記載のロボット制御装置。

[請求項9] 前記目標対象物に対する前記ワークの移動動作は、前記ワークを前記目標対象物が有する穴に嵌合させる嵌合動作、前記ワークを前記目標対象物の平面に対して面合せする面合せ動作、及び前記ワークを前記目標対象物が有する係合穴の形状に一致するように探索させる探索動作のうちのいずれかである、請求項７又は８に記載のロボット制御装置。

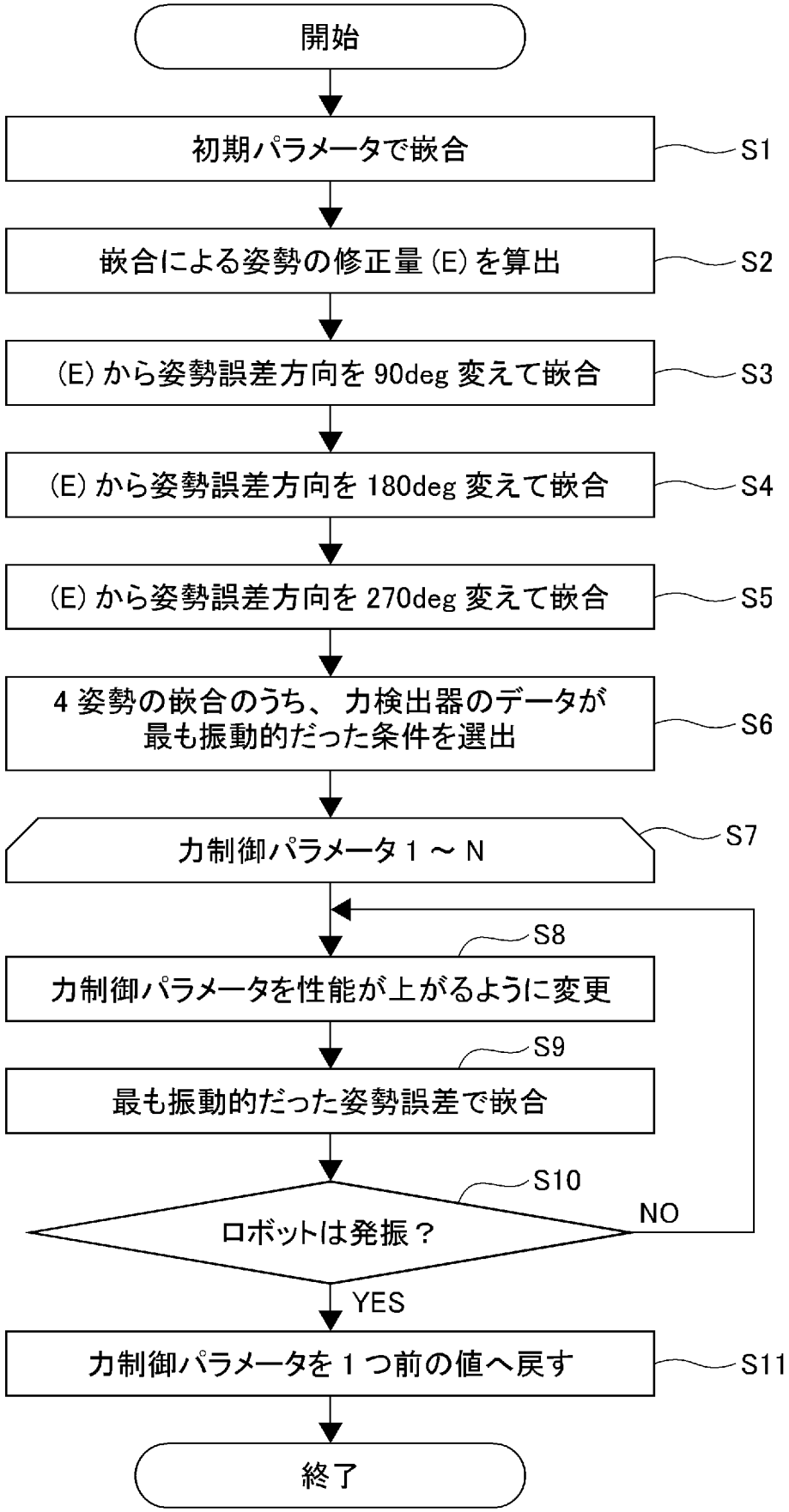
[図1]



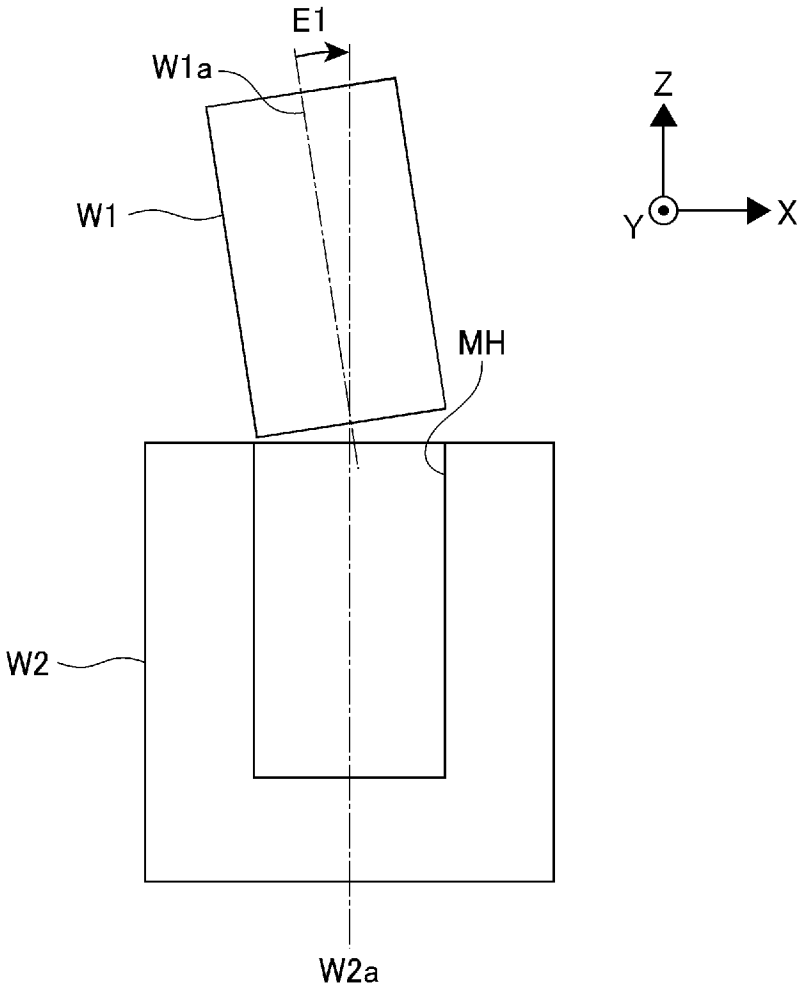
[図2]


2
ロボット
23
力検出器
25
トルクセンサ
24
アクチュエータ
3
ロボット制御装置
34
記憶部
31
制御部
32
アーム駆動部
33
パラメータ
自動調整部
4

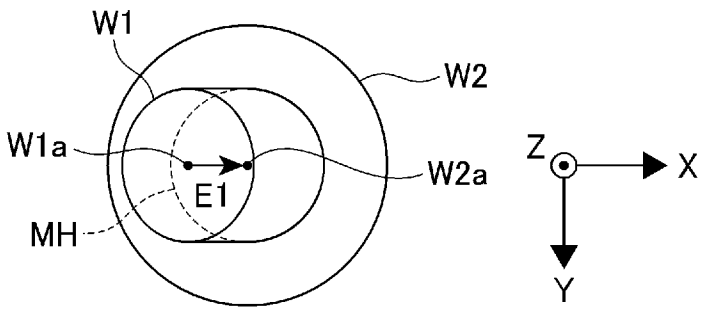
[図3]


開始
初期パラメータで嵌合
S1
嵌合による姿勢の修正量(E)を算出
S2
(E)から姿勢誤差方向を90deg変えて嵌合
S3
(E)から姿勢誤差方向を180deg変えて嵌合
S4
(E)から姿勢誤差方向を270deg変えて嵌合
S5
4姿勢の嵌合のうち、力検出器のデータが最も振動的だった条件を選出
S6
力制御パラメータ1～N
S7
S8
力制御パラメータを性能が上がるように変更
S9
最も振動的だった姿勢誤差で嵌合
S10
ロボットは発振？
NO
YES
力制御パラメータを1つ前の値へ戻す
S11
終了

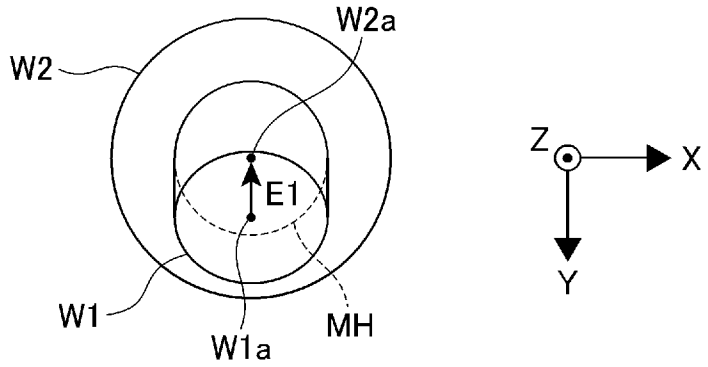
[図4]



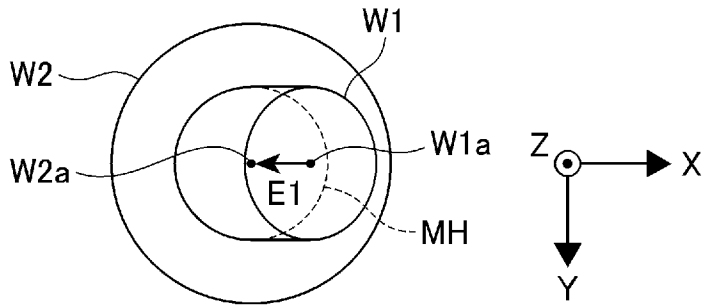
[図5A]



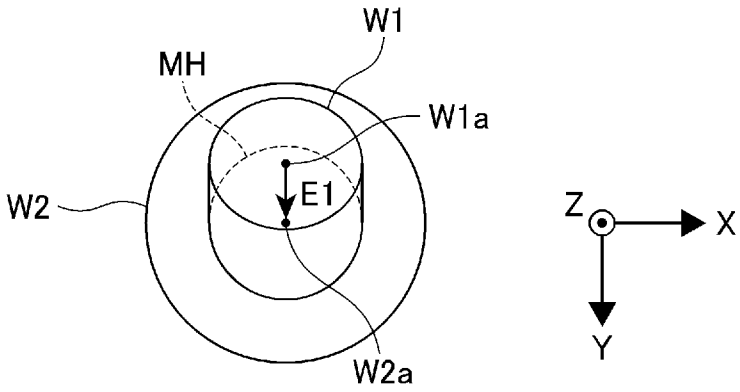
[図5B]


W2a
W2
E1
Z
X
Y
W1
W1a
MH

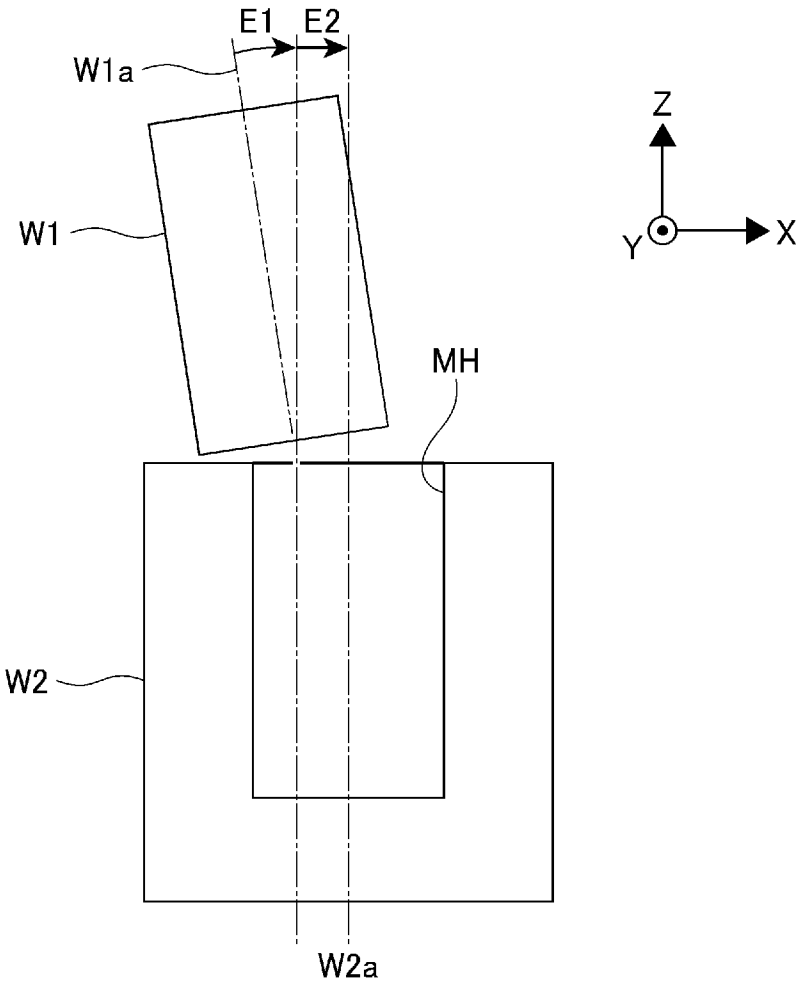
[図5C]


W1
W2
W1a
W2a
E1
Z
X
MH
Y

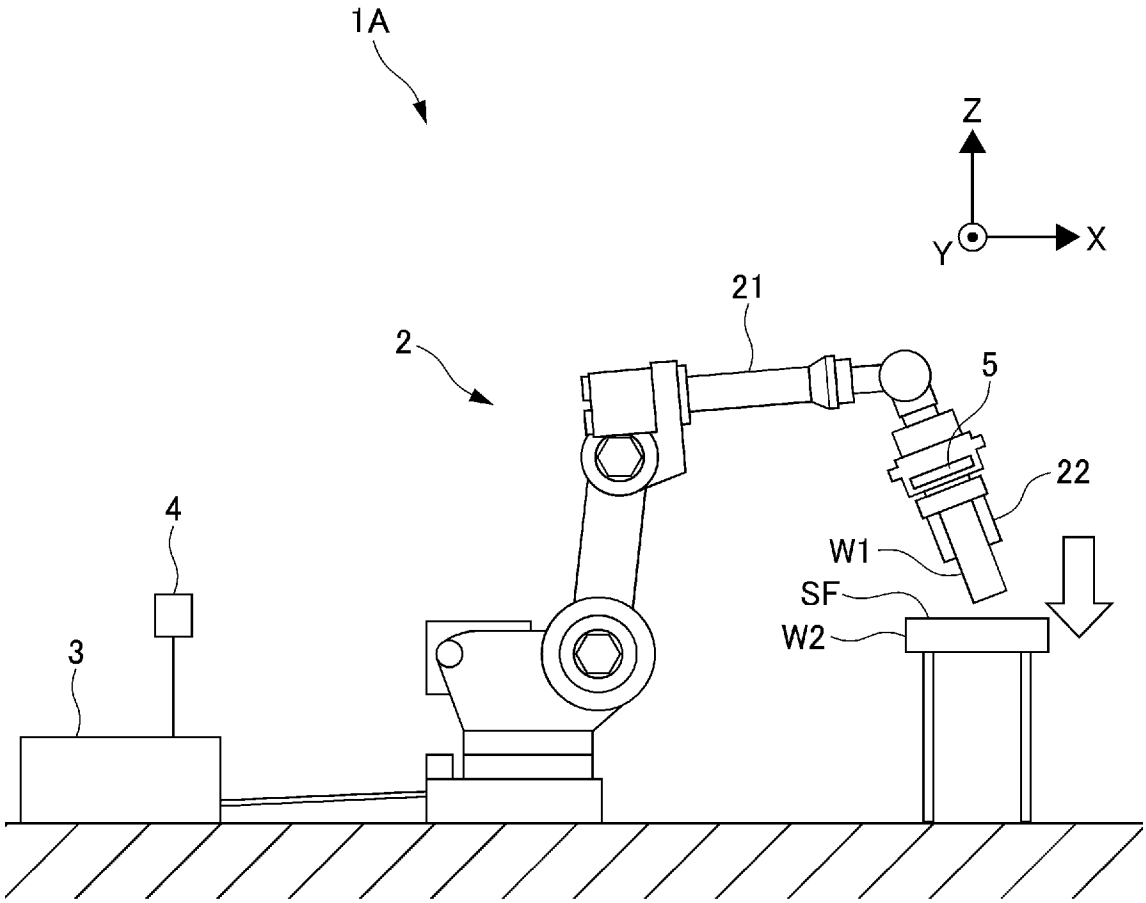
[図5D]


W1
MH
W1a
E1
W2
Z
X
Y
W2a

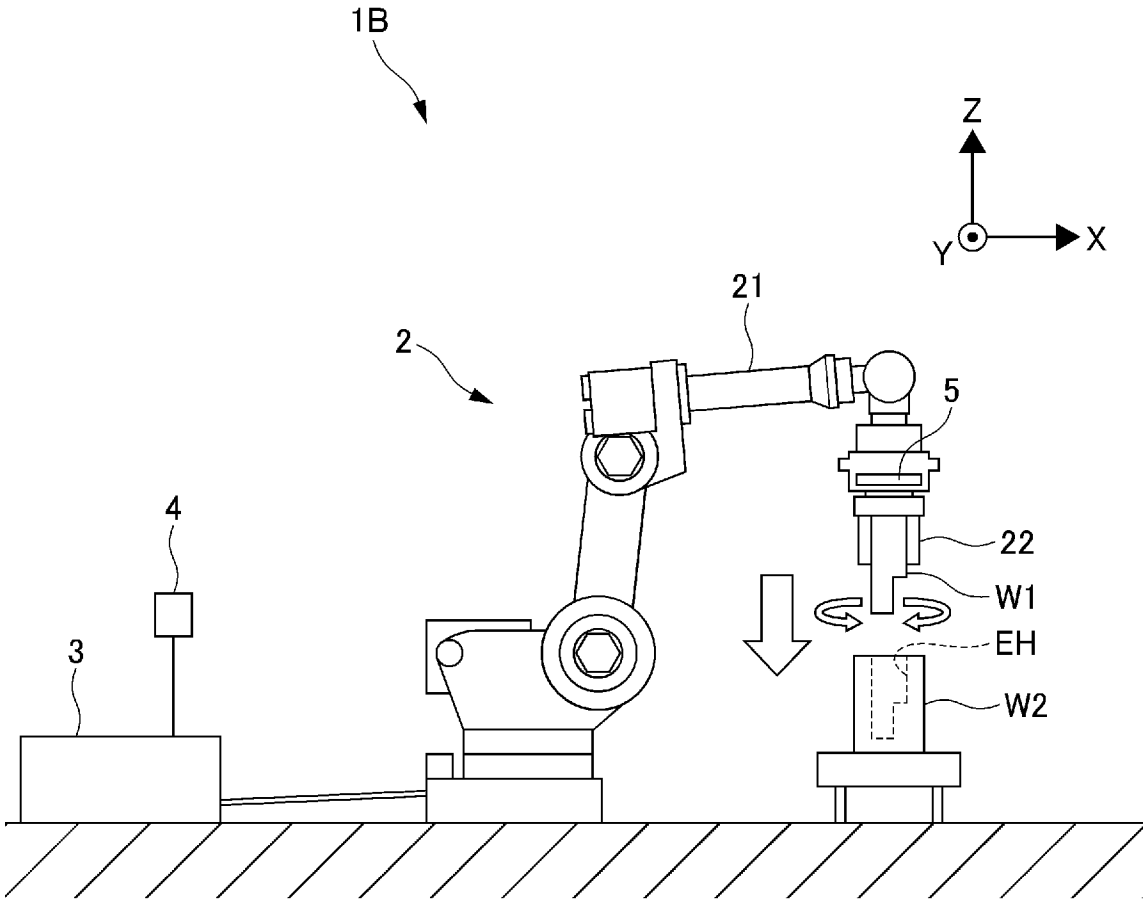
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/027495

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 13/08(2006.01)i
FI: B25J13/08 Z

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)

B25J13/08

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 1971-2021
Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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.
A	JP 2014-233814 A (YASKAWA ELECTRIC CORP.) 15 December 2014 (2014-12-15) claim 5	1-9
A	WO 2019/017416 A1 (CANON INC.) 24 January 2019 (2019-01-24)	1-9

☐ 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
27 September 2021	**12 October 2021**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/027495

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2014-233814 A	15 December 2014	US 2014/0188281 A1 claim 4	
		EP 2749974 A2	
		CN 103909516 A	
WO 2019/017416 A1	24 January 2019	US 2020/0147787 A1	
		EP 3656514 A1	
		CN 110997249 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2021/027495

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

B25J 13/08(2006.01)i
FI: B25J13/08 Z

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））

B25J13/08

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	１９７１－２０２１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２１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
A	JP 2014-233814 A (株式会社安川電機) 15.12.2014 (2014-12-15) 請求項5	1-9
A	WO 2019/017416 A1 (キヤノン株式会社) 24.01.2019 (2019-01-24)	1-9

☐ 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
27.09.2021	12.10.2021

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）
牧　初 3U 9064

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

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/JP2021/027495

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2014-233814 A	15.12.2014	US 2014/0188281 A1 claim4 EP 2749974 A2 CN 103909516 A	
WO 2019/017416 A1	24.01.2019	US 2020/0147787 A1 EP 3656514 A1 CN 110997249 A	