

(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
2020年1月9日(09.01.2020)



(10) 国際公開番号

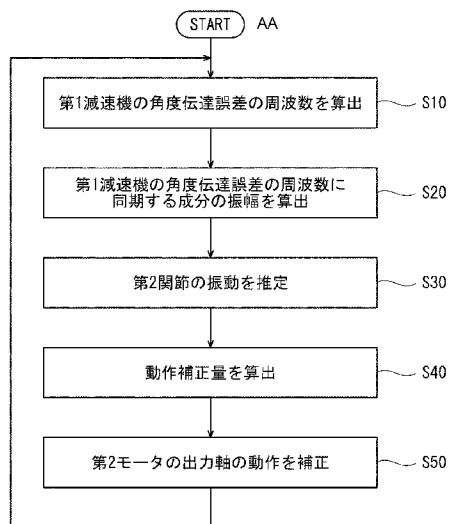
WO 2020/009237 A1

- (51) 国際特許分類:
B25J 13/00 (2006.01) H02P 6/28 (2016.01)
H02P 5/46 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/026891
- (22) 国際出願日: 2019年7月5日(05.07.2019)
- (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 2018-129328 2018年7月6日(06.07.2018) JP
特願 2018-163554 2018年8月31日(31.08.2018) JP
- (71) 出願人: 川崎重工業株式会社 (KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒6508670 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 坪井 信高(TSUBOI, Nobutaka).
- (74) 代理人: 特許業務法人 有古特許事務所 (PATENT CORPORATE BODY ARCO PATENT OFFICE); 〒6500031 兵庫県神戸市中央区東町123番地の1 貿易ビル3階 Hyogo (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, JO, 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,

(54) Title: ROBOT SYSTEM AND ROBOT SYSTEM CONTROL METHOD

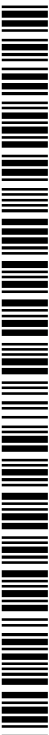
(54) 発明の名称: ロボットシステム及びロボットシステムの制御方法

[図5]



- S10 Calculate frequency of angle transmission error of first speed reducer
S20 Calculate amplitude of component synchronized with frequency of angle transmission error of first speed reducer
S30 Estimate vibration of second joint
S40 Calculate motion correction quantity
S50 Correct motion of output shaft of second motor
AA START

(57) Abstract: The present invention is provided with: a robot arm (4) having a plurality of joints including a first joint (7) and a second joint (8); a first joint drive unit (9) having a first speed reducer (13) and a first motor (11) that rotates the first joint (7) via the first speed reducer (13); a first joint control unit (21) that controls motion of an output shaft (11a) of the first motor (11); a second joint drive unit (10) having a second motor (16) that rotates the second joint (8); a detection unit (17) that acquires information about actual motion of an output shaft (16a) of the second motor (16); and a second joint control unit (26) that controls motion of the output shaft (16a) of the second motor (16). The second joint control unit (26) estimates vibration of the robot arm (4) about the rotation axis of the second joint (8) on the basis of a frequency component the same as that of the frequency of a periodic change of the angular position, the angular speed, or the torque of an output shaft (13b) of the first speed reducer (13) included in a temporal change of a second current value (i2) or the actual motion of the output shaft (16a) of the second motor (16), and corrects the motion of the output shaft (16a) of the second motor (16) so as to suppress the estimated vibration of the robot arm (4).



WO 2020/009237 A1

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, 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 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約 : 第1関節(7)及び第2関節(8)を含む複数の関節を有するロボットアーム(4)と、第1減速機(13)と、第1減速機(13)を介して第1関節(7)を回動させる第1モータ(11)とを有する第1関節駆動部(9)と、第1モータ(11)の出力軸(11a)の動作を制御する第1関節制御部(21)と、第2関節(8)を回動させる第2モータ(16)を有する第2関節駆動部(10)と、第2モータ(16)の出力軸(16a)の実動作の情報を取得する検知部(17)と、第2モータ(16)の出力軸(16a)の動作を制御する第2関節制御部(26)と、を備え、第2関節制御部(26)は、第2電流値(i2)又は第2モータ(16)の出力軸(16a)の実動作の時間変化に含まれる第1減速機(13)の出力軸(13b)の角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化の周波数と同じ周波数成分に基づいて、第2関節(8)の回動軸線周りのロボットアーム(4)の振動を推定し、推定したロボットアーム(4)の振動を抑制するように第2モータ(16)の出力軸(16a)の動作を補正する。

明 細 書

発明の名称： ロボットシステム及びロボットシステムの制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、ロボットシステム及びロボットシステムの制御方法に関する。

背景技術

[0002] ロボットの関節に用いられる減速機の振動現象を抑制する装置として、例えば特許文献1のモータ駆動装置の制御装置が知られている。この制御装置は、入力された推力指令値に基づきモータ位置指令値を生成する推力制御部と、モータ位置指令値に基づき電流値を生成するモータ制御部とを備えており、モータ制御部により、モータエンコーダにより検出されるモータ位置をフィードバックすると共に、推力制御部により、推力計により検出される推力をフィードバックする。これによって、モータ制御部のフィードバックにより減速機の振動現象を抑制し、推力制御部のフィードバックにより伝達誤差を抑制することで、俊敏かつ精密なアームの移動制御を可能にする。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2016-105686号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかし、特許文献1に記載のモータ駆動装置の制御装置は、推力計を設ける必要があり、構成が複雑になり、且つ、製造コストも高価になるという問題があった。

課題を解決するための手段

[0005] 上記課題を解決するため、本発明のある態様に係るロボットシステムは、第1関節及び第2関節を含む複数の関節を有するロボットアームと、出力軸が前記第1関節に接続された第1減速機と、出力軸が前記第1減速機の入力軸に接続され、該第1減速機を介して前記第1関節を回動させる第1モータ

とを有する第1関節駆動部と、上位装置から入力された前記第1モータに対する第1動作目標に基づいて前記第1モータの前記出力軸の動作を制御する第1関節制御部と、出力軸が前記第2関節に接続され、前記第2関節を回動させる第2モータを有する第2関節駆動部と、前記第2モータの前記出力軸の実動作の情報を取得する検知部と、前記上位装置から入力された前記第2モータに対する第2動作目標及び前記第2モータの前記出力軸の実動作との偏差に基づき前記第2モータに供給する第2電流値を算出し、且つ該第2電流値に基づき前記第2モータに電流を供給し前記第2モータの前記出力軸の動作を制御する第2関節制御部と、を備え、前記第2関節制御部は、前記第2電流値の時間変化又は前記第2モータの前記出力軸の実動作に含まれる前記第1減速機の前記出力軸の角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化の周波数と同じ周波数成分に基づいて、前記第2関節の回動軸線周りの前記ロボットアームの振動を推定し、推定した前記ロボットアームの振動を抑制するように前記第2モータの前記出力軸の動作を補正する。

[0006] この構成によれば、第1減速機の角度伝達誤差に起因するロボットアームの振動を抑制し、軌跡精度を向上させることができる。また、簡素な構成で軌跡精度を向上させることができ、製造コストも安価となる。

発明の効果

[0007] 本発明は、第1減速機の角度伝達誤差に起因するロボットアームの振動を抑制し、軌跡精度を向上させることができ、また、簡素な構成で軌跡精度を向上させることができ、製造コストも安価となるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施の形態に係るロボットシステムの構成例を概略的に示す図である。
[図2]図1のロボットシステムの制御システムの構成例を示すブロック図である。
[図3]角度伝達誤差の説明図である。
[図4]図1のロボットシステムの第1関節の構成例を示す斜視図である。
[図5]図1のロボットシステムの動作例を示すフローチャートである。
[図6A]図1のロボットシステムのロボットアームに生じた振動の測定結果を

示す図である。

[図6B]図1のロボットシステムのロボットアームに生じた振動の測定結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、実施の形態について、図面を参照しながら説明する。なお、本実施の形態によって本発明が限定されるものではない。また、以下では、全ての図を通じて、同一又は相当する要素には同一の参照符号を付して、その重複する説明を省略する。

[0010] 図1は、ロボットシステム100の構成例を概略的に示す図である。図1に示すように、ロボットシステム100は、ロボット1と、制御部2と、指令部3とを備える。

[0011] [ロボットの構成例]

ロボット1は、多関節型ロボットの産業用ロボット（多関節ロボット）である。

[0012] ロボット1は、基部30と、ロボットアーム4と、ハンド5とを含む。基部30は、例えば床面に固定されて載置され、ロボットアーム4及びハンド5を支持している。このロボットシステム100は、例えばアーク溶接を行うシステムである。アーク溶接時にロボットアーム4に振動が生じると、溶接痕にムラが生じるため、高い軌跡精度が要求される。

[0013] ロボットアーム4は、複数の関節を有し、基端部が基部30に対して回動可能に連結されている。ロボットアーム4の関節は、複数の関節が基端部から先端部に向かって一列に連なっている。ロボットアーム4の複数の関節のうち、1の関節が第1関節7（例えば第3軸）を構成し、第1関節7と異なる別の1の関節（例えば第4軸）が第2関節8を構成する。本実施形態において、第1関節7及び第2関節8は、その間に関節が介在せず、1つのリンクを介して隣り合って配置された関節である。

[0014] 図2は、図1のロボットシステム100の制御システムの構成例を概略的に示すブロック図である。なお、図2においては、第1関節7及び第2関節8以

外の関節の図示を省略している。

[0015] 図2に示すように、ロボットアーム4の各関節は、関節を駆動する駆動部を有する。各駆動部は、出力軸が対応する関節（回動軸）に接続された減速機と、出力軸が対応する減速機の入力軸に接続され、減速機を介して対応する関節を回動させる駆動源であるサーボモータと、サーボモータの出力軸の回転角を検知するエンコーダとを有する。

[0016] このように、サーボモータの出力軸は、減速機を介して対応する関節に接続されている。また、エンコーダは、サーボモータの出力軸の実動作の情報を取得する。本実施の形態においては、エンコーダはサーボモータの出力軸の角度位置（回転角）を検知し、これに基づいて、サーボモータの出力軸の実回転角を検出する。

[0017] 以下、説明の便宜上、第1関節7を駆動するサーボモータ、減速機、及びエンコーダをそれぞれ第1モータ11、第1減速機13、及び第1エンコーダ12といい、これらが第1関節駆動部9を構成する。また、第2関節8を駆動するサーボモータ、減速機、及びエンコーダをそれぞれ第2モータ16、第2減速機18、及び第2エンコーダ（検知部）17といい、これらが第2関節駆動部10を構成する。なお、本実施の形態において回転角とは、角度位置を意味するがこれに限定されない。角度位置の時間微分値、すなわち角速度や、角加速度であってもよい。

[0018] 本実施の形態において、第1関節7の減速機、すなわち第1減速機13は、例えば波動歯車装置（ハーモニックドライブ（登録商標））である。また、第2関節8の減速機は、例えば波動歯車装置に比べて角度伝達誤差が少ない減速機である。

[0019] 第1減速機13に係る波動歯車装置は、サーキュラスプラインと、フレクスプラインと、ウェーブジェネレータとを備える。サーキュラスプラインは、剛性の内歯歯車であり、例えば筐体と一体的に設けられる。フレクスプラインは、可撓性を有する外歯歯車であり、サーキュラスプラインと歯合する。フレクスプラインは、サーキュラスプラインよりも歯数が少なく、出力軸

13bと接続される。ウェーブジェネレータは、フレクスプラインの内側に接触する楕円状のカムであり、入力軸13aと接続されている。そして、入力軸を回転させることによって、ウェーブジェネレータがフレクスプラインとサーキュラスプラインとの噛み合い位置を移動させ、サーキュラスプラインとフレクスプラインの歯数差に応じてフレクスプラインが回転軸周りに回転し、出力軸が回転する。波動歯車装置は、小型・軽量、高減速比、高トルク容量、ノンバックラッシュ等の特徴からロボットの駆動機構の減速機に適した特性を有する。

[0020] ところで、図3に示すように、波動歯車装置などの減速機には、加工誤差等により、減速機に入力される入力回転角に減速比を乗じた理論上の出力回転角と、実際の出力回転角との差である角度伝達誤差が生じる。この角度伝達誤差は、入力軸の回転に伴って減速機の出力軸1回転あたり減速機の特性に定めた所定の数の波を有する周期的な変化であり、図4に示すように、出力軸の回動軸線R1周りの微振動として表れる。また、角度伝達誤差に基づく微振動の影響により、回動軸線R1と直交する軸線R2、並びに軸線R1及び軸線R2と直交する軸線R3周りの微振動としても表れる。これら軸線R2及びR3周りの微振動は、減速機を構成する部材の撓みに起因すると考えられる。これら軸線R1～R3周りの微振動はロボットアーム4に振動をもたらす。この角度伝達誤差の周波数とロボットアーム4の固有振動数とが一致すると、共振によって、ロボットアーム4の振幅が時間の経過により徐々に増大する場合があった（図6A参照）。ロボットシステム100は、この共振による振幅の増大を抑制するように動作する。

[0021] そして、図1に示すように、第2関節8の回動軸線は、第1関節7の回動軸線R1に対して傾斜する方向に延びる。更に具体的には、第2関節8の回動軸線は、第1関節7の回動軸線R1に対して直交する方向に延び、例えば、図4に示す軸線R2と平行に延びる。このように、第1関節7及び第2関節8は、それぞれの関節の軸線の相対的な位置関係が所定の固定された関係にある関節である。したがって、第1減速機13に生じた微振動のうち、軸

線 R 2 周りの成分は、第 2 関節 8 に微振動をもたらす。

[0022] ハンド 5 は、物品の保持等の所定の動作を行うことができるように構成され、ロボットアーム 4 の先端部に取り付けられている。

[0023] [制御部の構成例]

図 2 に示すように、制御部 2 は、各関節を制御し、例えばマイクロコントローラ、CPU、ASIC、FPGA 等のプログラマブルロジックデバイス (PLD) などの演算器を含む。演算器は、集中制御する単独の演算器で構成されていてもよく、互いに協働して分散制御する複数の演算器で構成されてもよい。制御部 2 は、第 1 関節制御部 2 1 と、第 2 関節制御部 2 6 とを含む。第 1 関節制御部 2 1、及び第 2 関節制御部 2 6 は、所定の制御プログラムを図示しない演算部が実行することにより実現される機能ブロックである。なお、制御部 2 は、指令部 3 と別体の演算器で構成されているが、一体であってもよい。

[0024] 第 1 関節制御部 2 1 は、指令部 3 (上位装置) から入力された第 1 モータ 1 1 に対する第 1 目標回転角 (第 1 動作目標) θ_{t1} と、第 1 エンコーダ 1 2 が検出した第 1 モータ 1 1 の出力軸 1 1 a の実回転角 θ_1 との偏差に基づき、第 1 モータ 1 1 に供給する第 1 電流値 i_1 を算出する。そして、第 1 電流値 i_1 に基づき第 1 モータ 1 1 に電流を供給し第 1 モータ 1 1 の出力軸 1 1 a の回転角を制御する。すなわち、第 1 関節制御部 2 1 は、第 1 目標回転角 θ_{t1} と実回転角 θ_1 との偏差を 0 に近づけ、第 1 モータ 1 1 の出力軸 1 1 a の回転角を第 1 目標回転角 θ_{t1} に近づける制御を基本とする第 1 モータ 1 1 のフィードバック制御を行う。

[0025] 第 2 関節制御部 2 6 は、指令部 3 から入力された第 2 モータ 1 6 に対する第 2 目標回転角 (第 2 動作目標) θ_{t2} と、第 2 エンコーダ 1 7 が検出した第 2 モータ 1 6 の出力軸 1 6 a の実回転角 θ_2 との偏差に基づき、第 2 モータ 1 6 に供給する第 2 電流値 (電流指令値) i_2 を算出する。そして、第 2 電流値 i_2 に基づき第 2 モータ 1 6 に電流を供給し第 2 モータ 1 6 の出力軸 1 6 a の回転角を制御する。すなわち、第 2 関節制御部 2 6 は、第 2 目標回転角

θ_{t2} と実回転角 θ_2 との偏差を0に近づけ、第2モータ16の出力軸16aの回転角を第2目標回転角 θ_{t2} に近づける制御を基本とする第2モータ16のフィードバック制御を行う。

[0026] また、第2関節制御部26は、第2電流値 i_2 を算出する過程において、第1減速機13に起因するロボットアーム4の振動を推定し、この振動を抑制するように第2電流値 i_2 を算出し、第2モータ16の出力軸16aの回転角を補正する（詳細は後述）。

[0027] このように、第1関節制御部21及び第2関節制御部26は、それぞれ第1関節7及び第2関節8を制御する。

[0028] ところで、第1関節7の第1減速機13の微振動の影響によって、ロボットアーム4が振動すると、この振動のうち、第2関節8の軸線を中心とする円周方向への振動成分は、第2関節8をその回動軸線周りに僅かに振動させる。この振動は、第1関節7の第1減速機13の振動と同期する振動であり、第1関節7の第1減速機13の微振動の周波数と同じ周波数を有する第2関節8の実回転角 θ_2 の周期的な変化として表れる。また、その結果、第2目標回転角 θ_{t2} と実回転角 θ_2 との間に偏差が生じ、第2モータ16のフィードバック制御を行う第2関節制御部26は、第2目標回転角 θ_{t2} と実回転角 θ_2 との偏差を0に近づけるため、第2電流値 i_2 を変化させる。この第2電流値 i_2 の時間変化も、第1関節7の第1減速機13の振動と同期する振動であり、第1関節7の第1減速機13の微振動の周波数と同じ周波数を有する。したがって、第2電流値 i_2 又は第2エンコーダ17が検出した第2モータ16の出力軸16aの実回転角 θ_2 に基づいて第1減速機13に起因する微振動の位相及び相対的な振幅の大きさを推定することが可能である。本実施の形態において、第2関節制御部26は、第2電流値 i_2 に基づいて微振動の位相及び相対的な振幅の大きさを推定する。

[0029] [指令部の構成例]

指令部3は、第1関節制御部21及び第2関節制御部26の上位装置であり、動作プログラムに基づき、各関節に対する位置指令、すなわち各関節の

目標回転角を生成し、出力する。各関節の目標回転角には、第1モータ11に対する第1目標回転角 θ_{t1} 、及び第2モータ16に対する第2目標回転角 θ_{t2} が含まれる。出力された目標回転角は、第1関節制御部21及び第2関節制御部26を含む関節制御部に入力される。

[0030] [動作例]

次に、ロボットシステム100の動作例を説明する。

[0031] 図5は、ロボットシステム100の動作例を示すフローチャートである。

[0032] まず、第2関節制御部26は、第1減速機13の角度伝達誤差に係る周波数 ω を算出する。第2関節制御部26は、第1関節制御部21から取得した第1モータ11に対する速度指令値及び第1モータ11の出力軸1回転あたりの角度伝達誤差の波の数に基づいて、第1減速機13の角度伝達誤差に係る周波数 ω を算出する（ステップS10）。周波数 ω は、第1モータ11の角速度の変化により、時々刻々と変化する値である。

[0033] なお、上述の通り、ロボットシステム100は、角度伝達誤差に基づく微振動及びロボットアーム4の共振による振幅の増大を抑制するように動作するシステムであり、以下では角度伝達誤差の周波数とロボットアーム4の固有振動数とが一致するものとして周波数 ω を用いる。

[0034] 次に、第2関節制御部26は、第1減速機13の角度伝達誤差に係る周期的な変化が一周期 $2\pi/\omega$ 経過する間、第2電流値 i_2 に含まれる第1減速機13の角度伝達誤差の周波数 ω と同期する成分 $u(t)$ の振幅及び位相をフーリエ展開によって算出する（ステップS20）。

[0035]

[数1]

$$u(t) = \frac{B}{R_g} \sin(\omega t + \phi) \quad \dots (1)$$

$$\frac{B}{R_g} = \sqrt{A \sin^2 + A \cos^2} \quad \dots (2)$$

$$\phi = \text{atan2}(A \sin, A \cos) = \arctan\left(\frac{A \cos}{A \sin}\right) \quad \dots (3)$$

$$A \sin = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_2 \sin \omega t \, dt \quad \dots (4)$$

$$A \cos = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_2 \cos \omega t \, dt \quad \dots (5)$$

但し、

R_g は、第2減速機の減速比

すなわち、第2関節制御部26は、 n 番目の周期における第2電流値 i_2 に基づいて、式(4)に示す $A \sin$ 及び式(5)に示す $A \cos$ の値を取得し、これら $A \sin$ 及び $A \cos$ に基づいて、式(2)に示す B/R_g 及び式(3)に示す ϕ の値を取得することによって、第2電流値 i_2 に含まれる周波数 ω に係る成分 $u(t)$ の振幅及び位相を取得し、それぞれ n 番目の周期における振幅 B/R_g 及び位相 ϕ とする。

[0036] 次に、第2関節制御部26は、算出した値 B 及び ϕ を用いて、 n 番目の周期における第2関節8の振動 $\theta_{2n}(t)$ を以下の式(6)によって算出することにより、ロボットアーム4に生じた振動のうち、第2関節8の回動軸線周りに生じた振動 $\theta_{2n}(t)$ を推定する(ステップS30)。

[0037] [数2]

$$\theta_{2n}(t) = -\frac{B}{J\omega_n^2} \sin(\omega t + \phi) \quad \dots (6)$$

但し、

J は、ロボットアームの第2関節より先端側(ハンド側)の部位の慣性モーメント

次に、第2関節制御部26は、以下の式(7)に示す次の $n+1$ 番目の周期における動作補正量 $\theta_{m_{n+1}}$ を算出する(ステップS40)。

[0038]

[数3]

$$\theta_{m_{n+1}}(t) = A_n \sin(\omega t + \phi_n + D) \quad \dots (7)$$

但し、

A_n は、制御入力振幅であり、 B_n に比例する大きさを有する値

D は、第1減速機の角度伝達誤差と制御入力との位相差

このように、動作補正量 $\theta_{m_{n+1}}$ は、振動 $\theta_{2n}(t)$ を抑制するように規定された振幅 A_n 及び位相差 D に基づいて算出した値である。

[0039] また、動作補正量 $\theta_{m_{n+1}}(t)$ の振幅 A_n は、第2関節8に生じた振動と相殺させ、この振動を解消するような大きな制御入力を与える値ではなく、振動の振幅が共振によって増大することを抑制する程度に小さい値であり、例えば、第2関節8に生じた振動の振幅の $1/10$ 以下の値である。これによって、第2関節8に生じた振動の振幅が許容範囲を超えて大きくなることを防止することができ、且つ、振動の推定が外れた場合において、振動の振幅を誤って大幅に増大させてしまうことを防止することができる。

[0040] 次に、第2関節制御部26は、指令部3から入力された第2モータ16に対する第2目標回転角 θ_{t2} と、第2エンコーダ17が検出した第2モータ16の出力軸16aの実回転角 θ_2 との偏差に基づき、 $n+1$ 番目の周期における第2モータ16に供給する第2電流値 i_2 を算出する際、動作補正量 $\theta_{m_{n+1}}$ を加味して第2電流値 i_2 を算出する。すなわち、第2関節制御部26は、 $n+1$ 番目の周期における位置指令値に動作補正量 $\theta_{m_{n+1}}$ を加算して、位置指令値を補正する。そして、第2関節制御部26は、この補正した位置指令値に基づいて第2電流値 i_2 を算出する。そして、第2関節制御部26は、第2電流値 i_2 に基づき第2モータ16に電流を供給し第2モータ16の出力軸16aの回転角を制御する（ステップS50）。

[0041] 次に、第2関節制御部26は、再度ステップS10を実行する。すなわち、 n 番目の周期において実施した処理を、 $n+1$ 番目の周期においても実施する。このように、第2関節制御部26は、ステップS10～ステップS50を繰り返し実行する。

[0042] 図6Aは、ロボットシステム100のロボットアーム4に生じた振動の測定結果を示すグラフであり、振動抑制制御を実施しない場合における測定結果を示すグラフである。図6Bは、ロボットシステム100のロボットアーム4に生じた振動の測定結果を示すグラフであり、振動抑制制御を実施した場合における測定結果を示すグラフである。図6A及び図6Bにおいては、縦軸に振動の角速度をとり、横軸に時間をとっている。図6Aに示すように、振動を抑制する制御入力を加えていない場合は、振動が時間の経過とともに増大しているのに対し、図6Bに示すように、振動を抑制する制御入力を加えた場合は、振動が一定の振幅に有意に抑制されていることがわかる。

[0043] 以上に説明したように、本発明のロボットシステム100は、第1関節7及び第2関節8を含む複数の関節を有するロボットアーム4と、出力軸13bが第1関節7に接続された第1減速機13と、出力軸11aが第1減速機13の入力軸13aに接続され、第1減速機13を介して第1関節7を回動させる第1モータ11とを有する第1関節駆動部9と、上位装置から入力された第1モータ11に対する第1動作目標に基づいて第1モータ11の出力軸11aの動作を制御する第1関節制御部21と、出力軸16aが第2関節8に接続され、第2関節8を回動させる第2モータ16を有する第2関節駆動部10と、第2モータ16の出力軸16aの実動作の情報を取得する検知部17と、上位装置から入力された第2モータ16に対する第2動作目標及び第2モータ16の出力軸16aの実動作 θ_1 との偏差に基づき第2モータ16に供給する第2電流値 i_2 を算出し、且つ第2電流値 i_2 に基づき第2モータ16に電流を供給し第2モータ16の出力軸16aの動作を制御する第2関節制御部26と、を備え、第2関節制御部26は、第2電流値 i_2 （又は第2モータ16の出力軸16aの実動作）の時間変化に含まれる第1減速機13の出力軸13bの角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化の周波数と同じ周波数成分に基づいて、第2関節8の回動軸線周りのロボットアーム4の振動を推定し、推定したロボットアーム4の振動を抑制するように第2モータ16の出力軸16aの動作を補正する。

- [0044] この構成によれば、第1減速機13の角度伝達誤差に起因するロボットアーム4の振動を抑制し、ハンド5の軌跡精度を向上させることができる。また、簡素な構成で軌跡精度を向上させることができ、製造コストも安価となる。
- [0045] また、第1減速機13の出力軸13bの角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化は、第1関節駆動部9の特性に起因する変化であってもよい。
- [0046] この構成によれば、第1関節駆動部9の特性に起因する第1減速機13の出力軸13bの角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化に基づくロボットアーム4の振動を適切に抑制することができる。
- [0047] 更に、第1減速機13の出力軸13bの角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化の周波数は、第1減速機13の角度伝達誤差の周波数であってもよい。
- [0048] この構成によれば、第1減速機13の角度伝達誤差に基づくロボットアーム4の振動を適切に抑制することができる。
- [0049] また、第2関節制御部26が推定する第2関節8の回動軸線周りのロボットアーム4の振動は、第1減速機13の角度伝達誤差に起因する振動であってもよい。
- [0050] この構成によれば、第1減速機13の角度伝達誤差に起因するロボットアーム4の振動を抑制することができるロボットシステムを適切に構成することができる。
- [0051] 更に、第2関節制御部26は、第2電流値 i_2 （又は第2モータ16の出力軸16aの実動作）の時間変化に含まれる周波数成分のうち第1減速機13の出力軸13bの角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化の周波数と同じ周波数成分の振幅を算出し、振幅に基づいて第2関節8の回動軸線周りのロボットアーム4の振動を推定してもよい。
- [0052] この構成によれば、より精確に第1減速機13の角度伝達誤差に起因するロボットアーム4の振動を抑制することができる。
- [0053] また、第2関節8の回動軸線は、第1減速機13の出力軸13bの回動軸

線に対して傾斜していてもよい。

[0054] この構成によれば、第1減速機13の出力軸13bの回動軸線と異なる回動軸線周りの振動を抑制することができる。すなわち、第1減速機13の出力軸13bの回動軸線R1を中心とする円周方向への振動以外の振動、すなわち軸線R2、R3を中心とする円周方向への振動を抑制することができる。

[0055] <変形例>

上記実施の形態においては、動作補正量 θm_{n+1} は式(7)で表される値としたがこれに限られるものではない。例えば、以下の式(8)で表される値としてもよい。

[0056] [数4]

$$\theta m_{n+1}(t) = A_n \sin(\omega t + \phi_n + D) + \frac{1}{2} \theta m_n(t) \quad \dots (8)$$

このように、n番目の周期において算出した動作補正量 θm_n を加味してn+1番目の周期における動作補正量 θm_{n+1} を算出することにより、周期nにおける動作補正量に対する周期n+1における補正量の急変を防止することができる。

[0057] また、上記実施の形態においては、第2関節8の回動軸線は、第1関節7の回動軸線と直交する方向に延びる軸線であったがこれに限られるものではなく、第1関節7の回動軸線に対して任意の相対的な姿勢を有していてもよい。例えば、第2関節8の回動軸線は、第1関節7の回動軸線と平行に延びていてもよく、この場合においては、ロボットシステム100は、第1減速機13の角度伝達誤差を補償することができる。

[0058] 更に、上記実施の形態において、第2関節制御部26は、第1減速機13の角度伝達誤差に起因する振動を抑制するように、第1減速機13の角度伝達誤差の角度位置の周期的な変化の周波数に基づいて動作補正量を算出した

が、これに限られるものではない。第2関節制御部26は、角度伝達誤差以外の第1関節駆動部9の特性に起因する第1減速機13の出力軸13bの角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化の周波数を用いて動作補正量を算出してもよく、例えば第1関節駆動部9のトルクリップルに起因する第1減速機13の出力軸13bのトルクの周期的な変化の周波数に基づいて動作補正量を算出してもよい。

[0059] 上記説明から、当業者にとっては、本発明の多くの改良や他の実施形態が明らかである。したがって、上記説明は、例示としてのみ解釈されるべきであり、本発明を実行する最良の態様を当業者に教示する目的で提供されたものである。本発明の精神を逸脱することなく、その構造及び／又は機能の詳細を実質的に変更できる。

符号の説明

- [0060]
- 1 ロボット
 - 2 制御部
 - 3 基部
 - 3 指令部
 - 4 ロボットアーム
 - 5 ハンド
 - 7 第1関節
 - 8 第2関節
 - 9 第1関節駆動部
 - 10 第2関節駆動部
 - 11 第1モータ
 - 13 第1減速機
 - 16 第2モータ
 - 17 第2エンコーダ
 - 21 第1関節制御部
 - 26 第2関節制御部

100 ロボットシステム

請求の範囲

- [請求項1] 第1関節及び第2関節を含む複数の関節を有するロボットアームと、
- 出力軸が前記第1関節に接続された第1減速機と、出力軸が前記第1減速機の入力軸に接続され、該第1減速機を介して前記第1関節を回動させる第1モータとを有する第1関節駆動部と、
- 上位装置から入力された前記第1モータに対する第1動作目標に基づいて前記第1モータの前記出力軸の動作を制御する第1関節制御部と、
- 出力軸が前記第2関節に接続され、前記第2関節を回動させる第2モータを有する第2関節駆動部と、
- 前記第2モータの前記出力軸の実動作の情報を取得する検知部と、
- 前記上位装置から入力された前記第2モータに対する第2動作目標及び前記第2モータの前記出力軸の実動作との偏差に基づき前記第2モータに供給する第2電流値を算出し、且つ該第2電流値に基づき前記第2モータに電流を供給し前記第2モータの前記出力軸の動作を制御する第2関節制御部と、を備え、
- 前記第2関節制御部は、前記第2電流値又は前記第2モータの前記出力軸の実動作の時間変化に含まれる前記第1減速機の前記出力軸の角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化の周波数と同じ周波数成分に基づいて、前記第2関節の回動軸線周りの前記ロボットアームの振動を推定し、推定した前記ロボットアームの振動を抑制するように前記第2モータの前記出力軸の動作を補正する、ロボットシステム。
- [請求項2] 前記第1減速機の出力軸の角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化は、前記第1関節駆動部の特性に起因する変化である、請求項1に記載のロボットシステム。
- [請求項3] 前記第1減速機の出力軸の角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化の周波数は、前記第1減速機の角度伝達誤差の周波数である、請

求項 1 に記載のロボットシステム。

[請求項4] 前記第 2 関節制御部が推定する前記第 2 関節の回動軸線周りの前記ロボットアームの振動は、前記第 1 減速機の角度伝達誤差に起因する振動である、請求項 3 に記載のロボットシステム。

[請求項5] 前記第 2 関節制御部は、前記第 2 電流値又は前記第 2 モータの前記出力軸の実動作の時間変化に含まれる周波数成分のうち前記第 1 減速機の前記出力軸の角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化の周波数と同じ周波数成分の振幅を算出し、該振幅に基づいて前記第 2 関節の回動軸線周りの前記ロボットアームの振動を推定する、請求項 1 乃至 4 の何れかに記載のロボットシステム。

[請求項6] 前記第 2 関節の回動軸線は、前記第 1 減速機の前記出力軸の回動軸線に対して傾斜する、請求項 1 乃至 5 の何れか 1 に記載のロボットシステム。

[請求項7] 第 1 関節及び第 2 関節を含む複数の関節を有するロボットアームと、

出力軸が前記第 1 関節に接続された第 1 減速機と、出力軸が前記第 1 減速機の入力軸に接続され、該第 1 減速機を介して前記第 1 関節を回動させる第 1 モータとを有する第 1 関節駆動部と、

上位装置から入力された前記第 1 モータに対する第 1 動作目標に基づいて前記第 1 モータに供給する第 1 電流値を算出し、且つ該第 1 電流値に基づき前記第 1 モータに電流を供給し前記第 1 モータの前記出力軸の動作を制御する第 1 関節制御部と、

出力軸が前記第 2 関節に接続され、前記第 2 関節を回動させる第 2 モータを有する第 2 関節駆動部と、

前記第 2 モータの前記出力軸の実動作の情報を取得する検知部と、

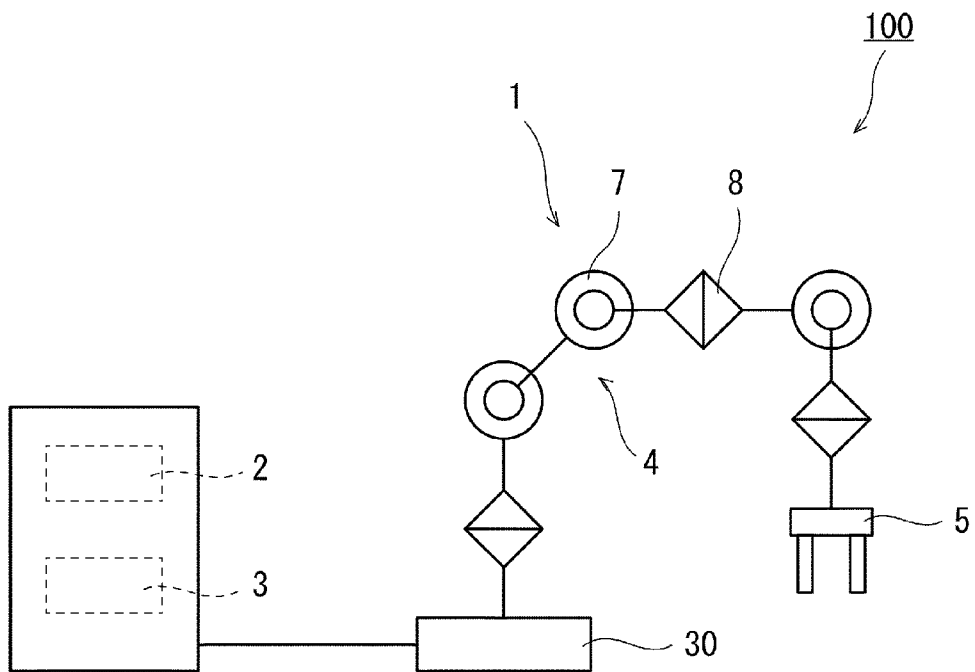
前記上位装置から入力された前記第 2 モータに対する第 2 動作目標及び前記第 2 モータの前記出力軸の実動作との偏差に基づき前記第 2 モータに供給する第 2 電流値を算出し、且つ該第 2 電流値に基づき前

記第2モータに電流を供給し前記第2モータの前記出力軸の動作を制御する第2関節制御部と、を備えるロボットシステムの制御方法であって、

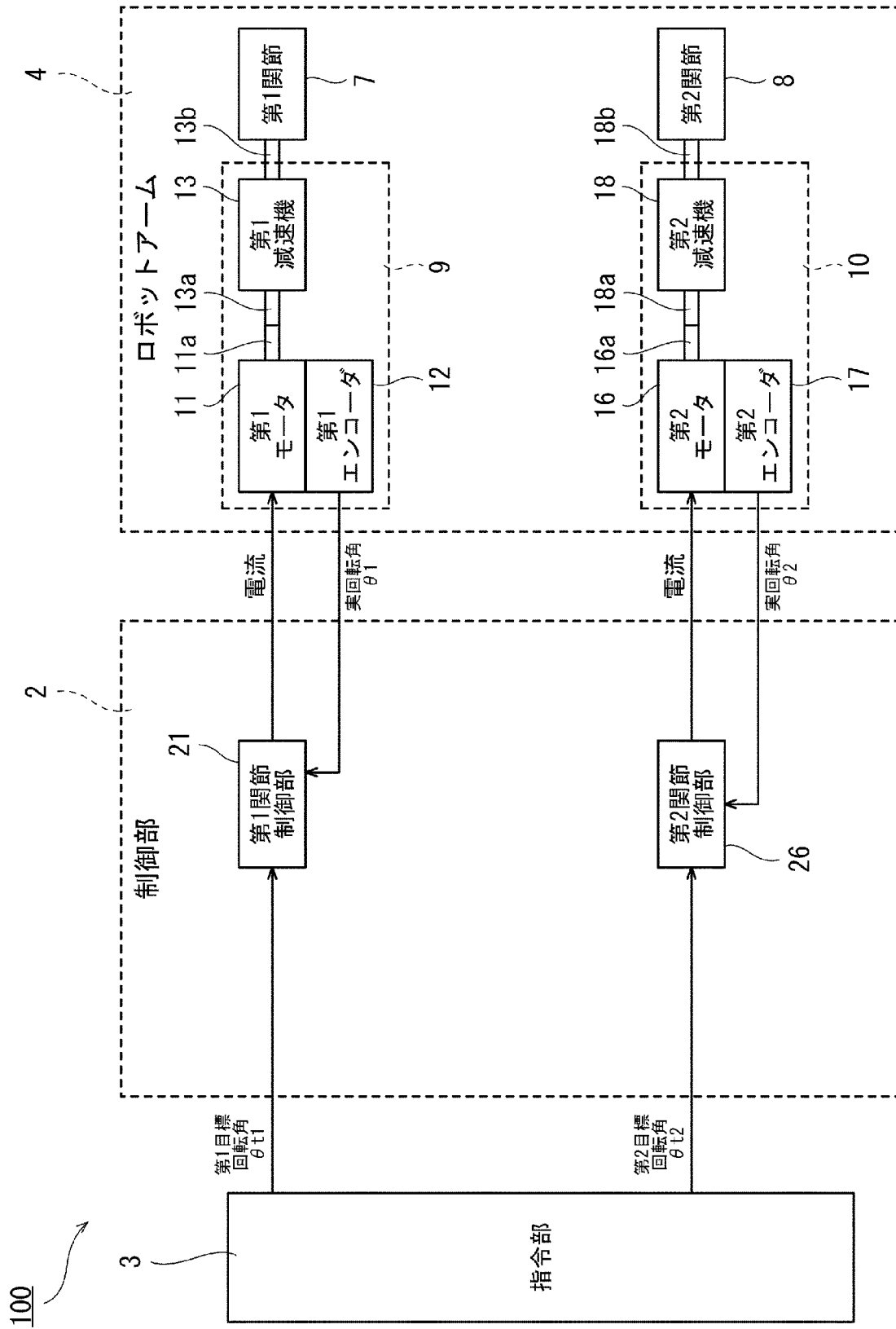
前記第2関節制御部が前記第2電流値又は前記第2モータの前記出力軸の実動作の時間変化に含まれる前記第1減速機の前記出力軸の角度位置、角速度又はトルクの周期的な変化と同じ周波数成分に基づいて、前記第2関節の回動軸線周りの前記ロボットアームの振動を推定するステップと、

推定した前記ロボットアームの振動を抑制するように前記第2モータの前記出力軸の動作を補正するステップとを有する、ロボットシステムの制御方法。

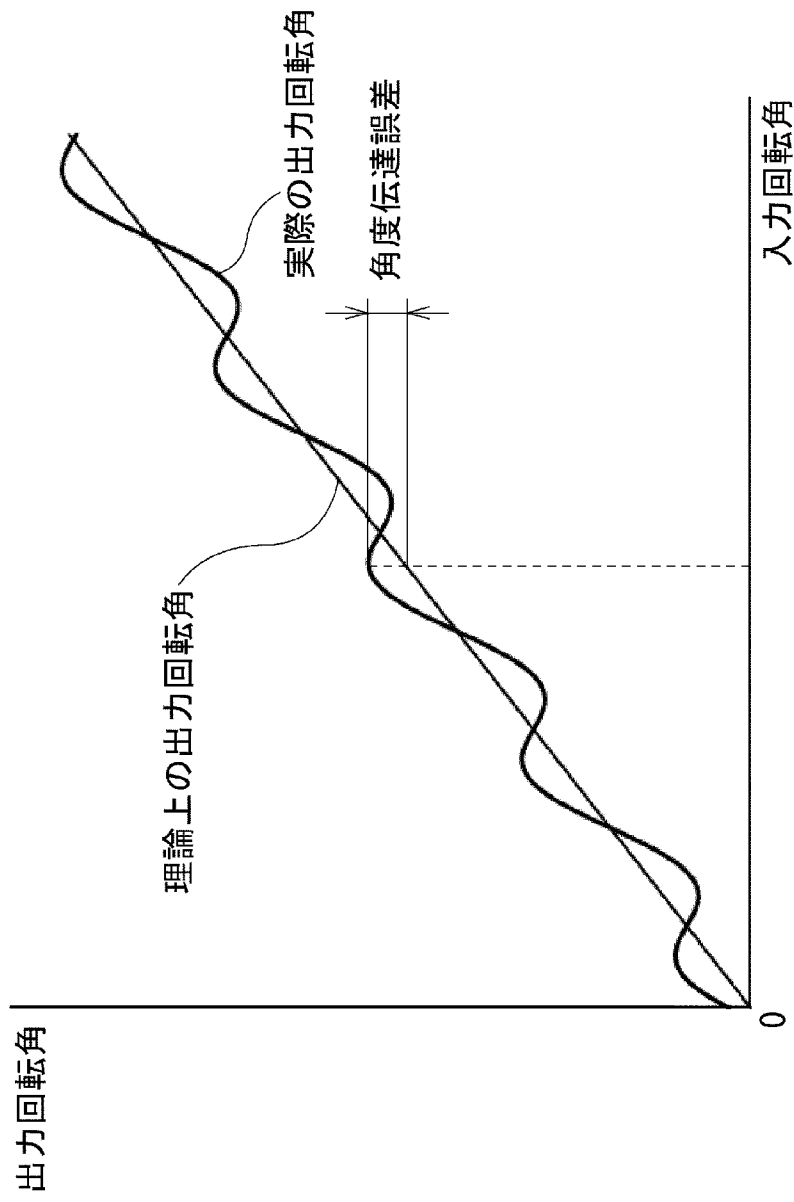
[図1]



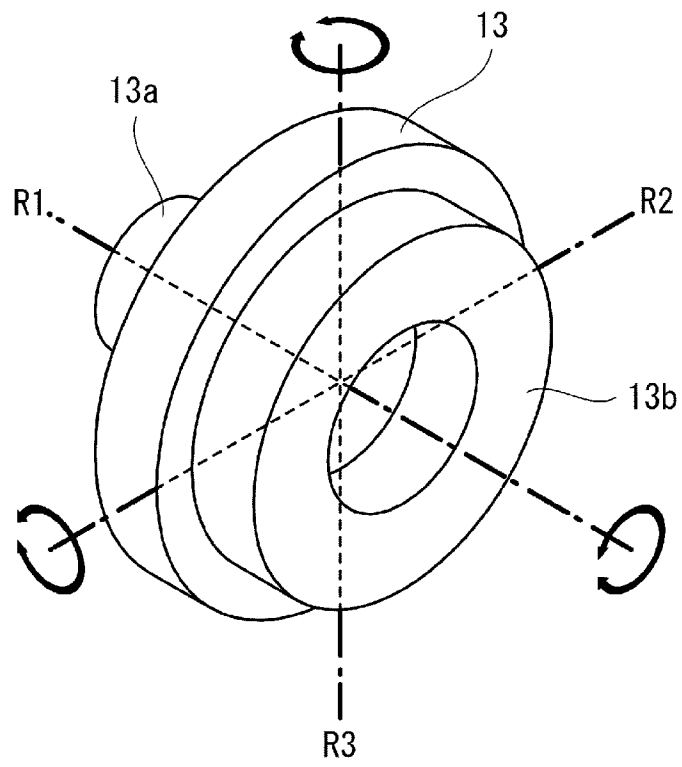
[図2]



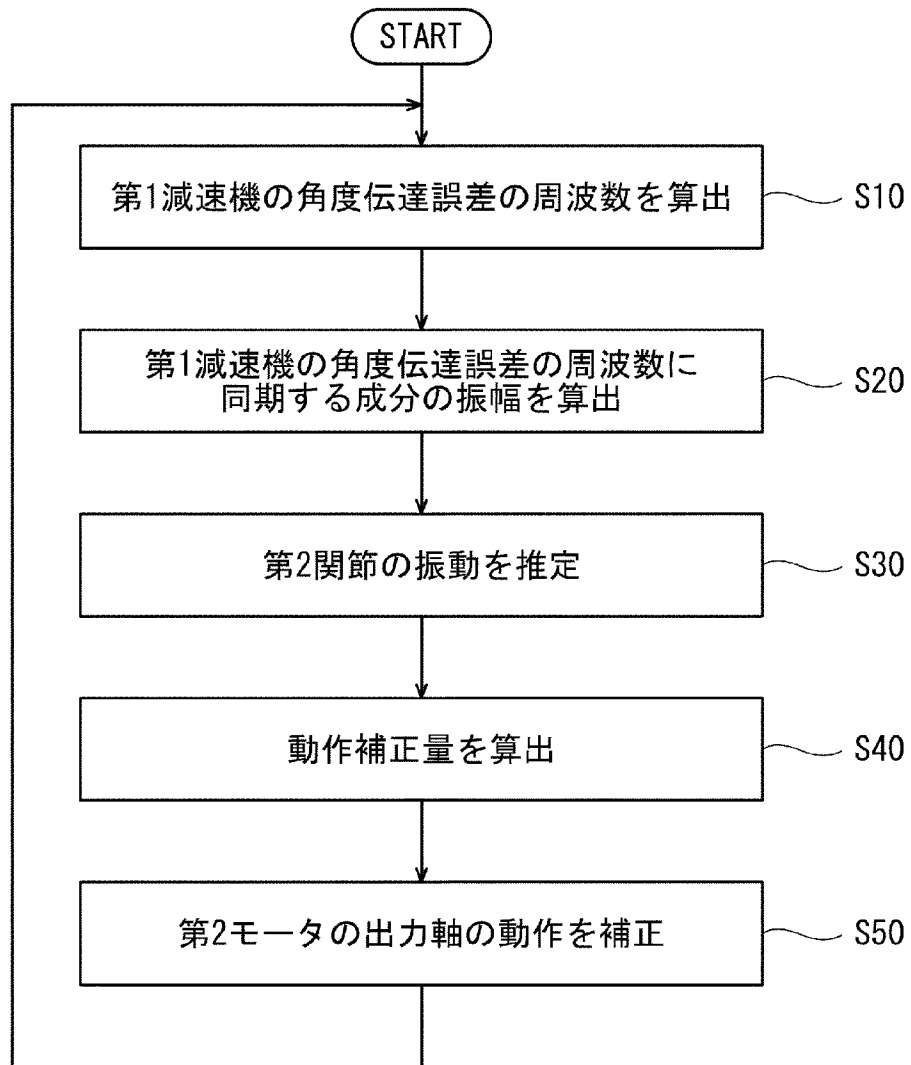
[図3]



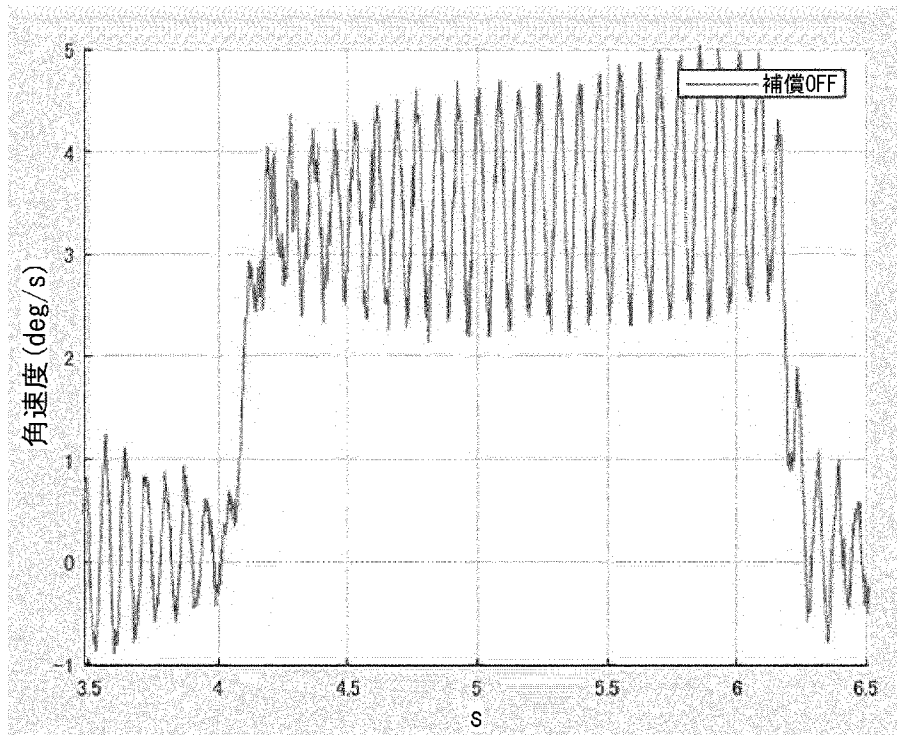
[図4]



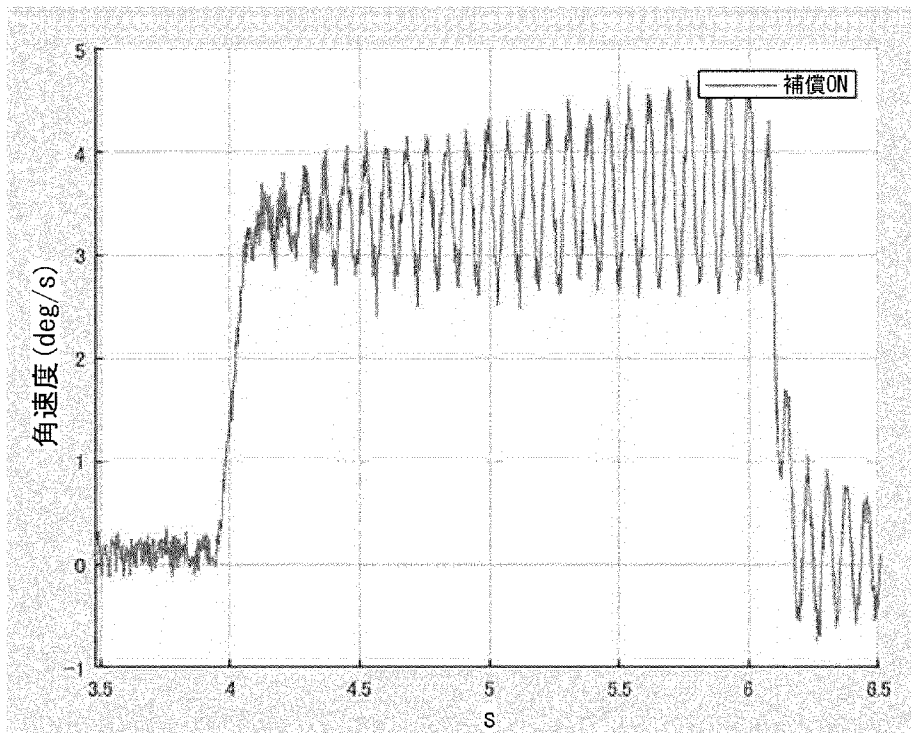
[図5]



[図6A]



[図6B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/026891

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 Int.Cl. B25J13/00 (2006.01) i, H02P5/46 (2006.01) i, H02P6/28 (2016.01) i
 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)
 Int.Cl. B25J13/00, H02P5/46, H02P6/28

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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 2014-136260 A (DAIHEN CORPORATION) 28 July 2014, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2011-224662 A (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION) 10 November 2011, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2010-149203 A (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION) 08 July 2010, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 4-310112 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 02 November 1992, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
P, A	WO 2018/235812 A1 (KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 27 December 2018, entire text, all drawings & JP 2019-5821 A	1-7

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

* Special categories of cited documents:	"I" 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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 21 August 2019 (21.08.2019)	Date of mailing of the international search report 03 September 2019 (03.09.2019)
--	--

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

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. B25J13/00(2006.01)i, H02P5/46(2006.01)i, H02P6/28(2016.01)i

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））
 Int.Cl. B25J13/00, H02P5/46, H02P6/28

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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 2014-136260 A（株式会社ダイヘン）2014.07.28, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2011-224662 A（株式会社安川電機）2011.11.10, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2010-149203 A（株式会社安川電機）2010.07.08, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7

☑ 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	の日の後に公表された文献
「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	「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「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	「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
「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）	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 21.08.2019	国際調査報告の発送日 03.09.2019
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 松田 長親 電話番号 03-3581-1101 内線 3364	3U	4032
--	---	----	------

C (続き) . 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 4-310112 A (松下電器産業株式会社) 1992. 11. 02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7
P, A	WO 2018/235812 A1 (川崎重工業株式会社) 2018. 12. 27, 全文, 全図 & JP 2019-5821 A	1-7