(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
2025年1月2日(02.01.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/004194 A1

(51) 国際特許分類:
B25J 13/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/023847

(22) 国際出願日： 2023年6月27日(27.06.2023)

(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:三菱電機株式会社(**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者:村田 健二(**MURATA, Kenji**); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

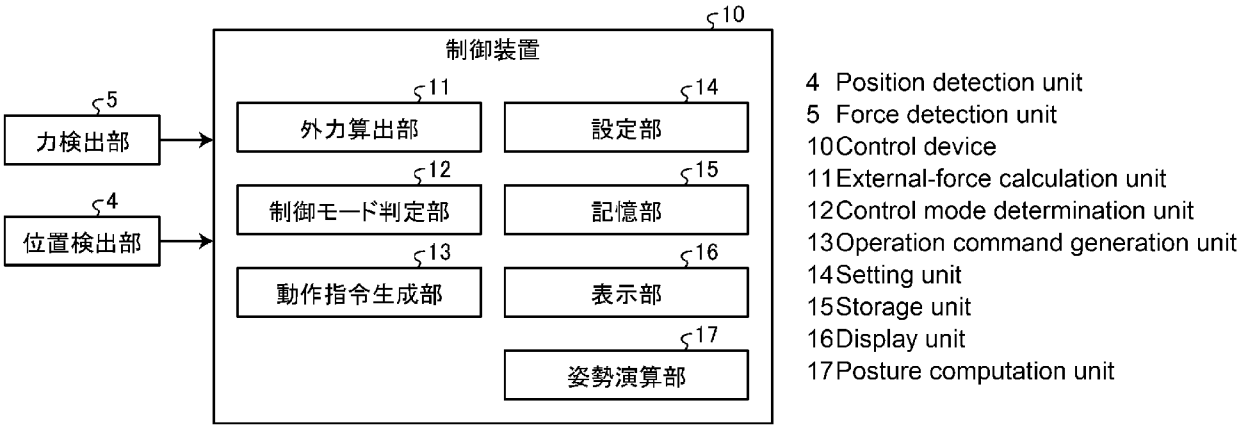
(74) 代理人:高村 順(**TAKAMURA, Jun**); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎ノ門ダイビルイースト 弁理士法人酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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,

WO 2025/004194 A1

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

(54) 発明の名称： 制御装置、ロボットシステム、および制御方法



(57) **Abstract:** A control device (10) comprises: an external-force calculation unit (11) that, on the basis of a force and moment applied to a robot by an operator and the position and posture of a robot control point that is a control point for the operator to control the robot, calculates force information that is information on the force and moment applied to the robot by the operator; a control mode determination unit (12) that, on the basis of the force information and velocity information that is information on the velocity or angular velocity of the robot, determines which of a normal control mode and a detailed control mode is to be selected, the normal control mode controlling the robot such that the larger the force and moment of the force information, the faster the robot operates, the detailed control mode controlling the robot while limiting at least one of the operation velocity and operation direction of the robot; and an operation command generation unit (13) that, when the normal control mode is selected, generates an operation command corresponding to the normal control mode and outputs the operation command to the robot, and, when the detailed control mode is selected, generates an operation command corresponding to the detailed control mode and outputs the operation command to the robot.

[続葉有]

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, CV, 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, ME, 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:制御装置(１０)が、作業者がロボットに加えた力およびモーメントと、ロボットへの作業者による制御点であるロボット制御点の位置および姿勢とに基づいて、作業者がロボットに加えた力およびモーメントの情報である力情報を算出する外力算出部(１１)と、力情報の力およびモーメントが大きいほどロボットが速く動作するようにロボットを制御する通常制御モードと、ロボットの動作速度および動作方向の少なくとも一方を制限しながらロボットを制御する詳細制御モードとの何れを選択するかを、ロボットの速度または角速度の情報である速度情報と、力情報とに基づいて、判定する制御モード判定部(１２)と、通常制御モードが選択された場合には通常制御モードに対応する動作指令を生成してロボットに出力し、詳細制御モードが選択された場合には詳細制御モードに対応する動作指令を生成してロボットに出力する動作指令生成部(１３)とを備える。

明　細　書

発明の名称 ： 制御装置、ロボットシステム、および制御方法

技術分野

[0001] 本開示は、ロボットの動作を制御する制御装置、ロボットシステム、および制御方法に関する。

背景技術

[0002] ロボットの動作を制御するための制御プログラムが作成される際の技術の１つに、作業者が、ロボットを操作し、ワークに対するロボット内の制御点の位置および姿勢を定める技術がある。この作業者による作業は、教示作業と呼ばれる。教示作業におけるロボット操作の簡略化を狙った機能として、ダイレクトティーチと呼ばれる操作方式が知られている。ダイレクトティーチでは、作業者がロボットアームに直接触れて、動作させたい方向に力を加えることで、力を加えた方向にロボットを動作させ、教示したい位置にロボットを移動させる。このダイレクトティーチでは、作業者が直感的にロボットを操作できるので、協働ロボット等の操作には、ダイレクトティーチが広く利用されている。

[0003] ダイレクトティーチでは、作業者が、直感的に操作ができる反面、高精度な位置調整が難しい。作業者は、例えば、ロボットの先端部に配置されたエンドエフェクタの高さだけを微調整するために、Ｚ軸方向だけに０．１ｍｍ程度だけエンドエフェクタを動作させたい場合、Ｘ軸方向およびＹ軸方向に全く力を発生させずに、Ｚ軸方向だけに僅かな力を伝える必要があるので、力の方向および大きさの繊細なコントロールを強いられることになる。

[0004] 特許文献１に記載の制御装置は、通常の制御を行う第１制御モードと詳細な位置調整を行う第２制御モードを設け、力の大きさが力閾値以上である継続時間が、継続時間閾値未満の場合には第２制御モードを選択し、継続時間閾値以上の場合には第１制御モードを選択することで、制御モードの切替えを自動化した高精度な位置調整手法を提案している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２０１９－２０２３６４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、上記特許文献１の技術では、作業者が意図したタイミングで制御モードを瞬時に切り替えができない。また、力の大きさが一瞬だけ低下した場合であっても制御モードを切替えてしまう。このため、作業者が所望しない制御モードになるタイミングが発生し、このタイミングでは、高精度なティーチングを容易に実現できないという問題があった。

[0007] 本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、高精度なティーチングを容易に実現できる制御装置を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示の制御装置は、作業者がロボットに加えた力およびモーメントと、ロボットへの作業者による制御点であるロボット制御点の位置および姿勢とに基づいて、作業者がロボットに加えた力およびモーメントの情報である力情報を算出する外力算出部を備える。また、本開示の制御装置は、力情報の力およびモーメントが大きいほどロボットが速く動作するようにロボットを制御する通常制御モードと、ロボットの動作速度および動作方向の少なくとも一方を制限しながらロボットを制御する詳細制御モードとの何れを選択するかを、ロボットの速度または角速度の情報である速度情報と、力情報とに基づいて、判定する制御モード判定部を備える。また、本開示の制御装置は、通常制御モードが選択された場合には通常制御モードに対応する動作指令を生成してロボットに出力し、詳細制御モードが選択された場合には詳細制御モードに対応する動作指令を生成してロボットに出力する動作指令生成部を備える。

発明の効果

[0009] 本開示にかかる制御装置は、高精度なティーチングを容易に実現できるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]実施の形態１にかかる制御装置の構成を示す図

[図2]実施の形態１にかかる制御装置を備えたロボットシステムの構成を示す図

[図3]実施の形態１にかかる制御装置が通常制御モードを実行する際のエンドエフェクタの動作を説明するための図

[図4]実施の形態１にかかる制御装置が詳細制御モードを実行する際のエンドエフェクタの動作を説明するための図

[図5]実施の形態１にかかる制御装置がダイレクトティーチ制御モード時に実行する処理の処理手順を示すフローチャート

[図6]実施の形態１にかかる制御装置が力情報および速度情報の第１例に対して選択する制御モードの例を説明するための図

[図7]実施の形態１にかかる制御装置が力情報および速度情報の第２例に対して選択する制御モードの例を説明するための図

[図8]実施の形態２にかかる制御装置が詳細制御モード中に力検出部が検出した力ベクトルの方向に基づいて決定する動作方向を説明するための図

[図9]実施の形態２にかかる制御装置が詳細制御モード中に力検出部が検出したモーメントベクトルの方向に基づいて決定する動作方向を説明するための図

[図10]実施の形態３にかかる制御装置が制御する、詳細制御モード中におけるエンドエフェクタの移動量を説明するための図

[図11]実施の形態１～３にかかる制御装置を実現するハードウェア構成例を示す図

発明を実施するための形態

[0011] 以下に、本開示の実施の形態にかかる制御装置、ロボットシステム、および制御方法を図面に基づいて詳細に説明する。

[0012] 実施の形態１．

図１は、実施の形態１にかかる制御装置の構成を示す図である。制御装置１０は、ロボット（後述するロボット１）の動作を制御する装置である。制御装置１０は、ロボット１に所望の動作をさせるため後述するアクチュエータ３を制御する。

[0013] 制御装置１０は、位置制御モード、またはダイレクトティーチ制御モードでロボット１を制御する。位置制御モードは、位置指令に従ってロボット１を制御する制御モードである。ダイレクトティーチ制御モードは、作業者が、ロボット１が備える後述のエンドエフェクタ６などに直接外力を加えて手動でロボット１を動作させる制御モードである。作業者が力を加える箇所は、ロボット１のうち移動可能な箇所である。

[0014] なお、作業者が外力を加える位置である制御点（後述するロボット制御点７）は、エンドエフェクタ６に限らず、ロボットアームのアーム部、ロボットアームの関節部など、何れの位置であってもよい。

[0015] また、ダイレクトティーチ制御モードには、後述する通常制御モードと、後述する詳細制御モードとがある。作業者は、ダイレクトティーチによって、制御装置１０にロボット１の動作位置を教示することができる。

[0016] 以下の説明では、主にダイレクトティーチ制御モードについて説明する。実施の形態１の制御装置１０は、ダイレクトティーチ制御において、通常制御モードおよび詳細制御モードの中から、作業中の作業者の意図に合わせた制御モードに自動的に切替える。

[0017] 制御装置１０は、ダイレクトティーチ制御モードの際には、作業者によるロボット１への手動操作に基づいて、作業者がロボット１を移動させた位置にロボット１を移動させるための動作指令を生成する。制御装置１０が生成する動作指令は、ロボット１の動作を制御するための指令である。制御装置１０は、動作指令を生成すると、動作指令に従って、ロボット１の位置を制御する。このように、制御装置１０は、ダイレクトティーチ制御モードで生成した動作指令を用いて、ロボット１の制御を実行する。

[0018] 制御装置１０は、力検出部５および位置検出部４に接続されている。制御装置１０は、外力算出部１１と、制御モード判定部１２と、動作指令生成部１３と、設定部１４と、記憶部１５と、表示部１６と、姿勢演算部１７とを備えている。

[0019] 力検出部５は、ロボット１が備えるロボットアームの先端部とエンドエフェクタ６との間などに配置されている。力検出部５は、エンドエフェクタ６に作用する力およびモーメントを計測するセンサである。力検出部５は、計測した力およびモーメントを制御装置１０に送信する。このように、力検出部５は、エンドエフェクタ６に加えられた外力を検出して制御装置１０に送信する。

[0020] なお、力検出部５は、エンドエフェクタ６に作用する力およびモーメントを、力およびモーメントを計測する６軸力センサを用いて直接計測してもよいが、他の手段で計測してもよい。力検出部５は、例えば、ロボット１の全ての関節に取り付けられたトルクセンサを用いて、ロボット１の手先に作用する力を演算することで力およびモーメントを計測してもよい。

[0021] 位置検出部４は、ロボット１が備えるロボットアームの関節部などに配置されている。位置検出部４は、関節部に配置されている後述のアクチュエータ３の回転角度を検出するセンサである。位置検出部４が検出する回転角度は、アクチュエータ３のフィードバック制御に利用されるとともに、制御装置１０に送信される。

[0022] 姿勢演算部１７は、位置検出部４が検出した回転角度に対して順運動学を用いた演算を実行することにより、ロボット１による作業点であるロボット制御点７の位置および姿勢を算出する。ロボット制御点７は、作業者がダイレクトティーチの際に移動させる点であり、制御装置１０は、作業者に教示してもらったロボット制御点７の位置に基づいて、制御プログラムを生成する。

[0023] また、姿勢演算部１７は、算出したロボット制御点７の位置および姿勢の変化の情報（差分情報）に基づいて、ロボット制御点７の速度および角速度

を算出することができる。

[0024] このように、姿勢演算部１７は、検出した回転角度に基づいて位置および姿勢を算出し、算出した位置および姿勢の変化の情報に基づいて、速度および角速度と加速度および角加速度を算出する。

[0025] 外力算出部１１は、計測された力およびモーメントから、ロボットアームなどの重力、慣性力、遠心力、コリオリ力等の影響を取り除き、作業者が、ロボット１の先端部に加えた力（外力）およびモーメントを算出する。すなわち、外力算出部１１は、計測された操作力に基づいて、作業者による操作力を算出する。

[0026] 重力、慣性力、遠心力、コリオリ力等の計算に用いられる動力学モデルは、記憶部１５に格納されている。外力算出部１１は、記憶部１５から読み出した動力学モデルを用いて、作業者による操作力を算出する。具体的には、外力算出部１１は、動力学モデルに、力検出部５が検出した力およびモーメントと、姿勢演算部１７が算出した位置、姿勢、速度、および角速度と、外力算出部１１が算出した加速度および角加速度とを適用することで、ロボット１の先端部に加えられた力およびモーメントを算出する。

[0027] 作業者によってロボット１に力が加えられていない場合、ロボット１の動作（姿勢、トルクなど）に基づいて検出される力およびモーメントは、センサを用いて検出された力およびモーメントと略同じになるはずである。したがって、ロボット１の動作に基づいて検出される力およびモーメントと、センサを用いて検出された力およびモーメントとに差がある場合、この差が作業者による操作力であると考えられる。したがって、外力算出部１１は、ロボット１の動作に基づいて検出される力およびモーメントと、センサを用いて検出された力およびモーメントとの差に基づいて、作業者による操作力を算出してもよい。

[0028] なお、以下の説明では、力検出部５が検出した力およびモーメントを、それぞれ検出力、検出モーメントという場合がある。外力算出部１１は、算出した操作力（作業者が加えた力およびモーメント）を制御モード判定部１２

および動作指令生成部１３に送信する。

[0029] 制御モード判定部１２は、外力算出部１１が算出した力およびモーメントである操作力（力情報）と、位置検出部４が検出した変化率情報とに基づいて、ダイレクトティーチ制御モードにおける制御モードを判定する。位置検出部４が検出する変化率情報は、例えば、アクチュエータ３の動作の速度を示す速度データである。なお、変化率情報は、アクチュエータ３の動作の角速度を示す角速度データであってもよい。速度データは、ロボット制御点７の位置の変化率に対応し、各速度データは、ロボット制御点７の姿勢の変化率に対応している。実施の形態１の制御装置１０がダイレクトティーチ制御モード時に用いる制御モードは、通常制御モードと、詳細制御モードとの何れかである。

[0030] ここで、通常制御モードおよび詳細制御モードについて説明する。通常制御モードは、ロボット１の大まかな位置調整に利用することを想定した通常のダイレクトティーチ制御の制御モードである。通常制御モードでは、作業者がロボット１に加えた力およびモーメントを用いた、フィードバック制御系（力フィードバック制御系およびモーメントフィードバック制御系）が組まれている。通常制御モードでは、ロボット１に加えられた力およびモーメントの方向にロボット１が動作し、この時の動作速度は力およびモーメントが大きいほど速くなる。

[0031] 詳細制御モードは、ロボット１の詳細な位置調整に利用することを想定したダイレクトティーチ制御の制御モードである。詳細制御モードでは、詳細な位置調整を行い易くするため、ダイレクトティーチの際のロボット１の動作速度および動作方向のうちの少なくとも一方が制限される。すなわち、詳細制御モードは、通常制御モードの制御系に対して、動作速度の上限値と動作可能な軸方向との少なくとも一方が設定されることで、動作速度を予め定められた値に制限するか、または動作方向を予め定められた方向に制限する。

[0032] 制御モード判定部１２は、通常制御モードおよび詳細制御モードの何れを

適用するかを判定する。制御モード判定部１２は、詳細制御モードでロボット１を制御すると判定した場合は、動作させる軸（以下、動作可能軸という）を判定する。動作可能軸は、例えば、エンドエフェクタ６を移動させる軸方向である。換言すると、動作可能軸は、例えば、エンドエフェクタ６の移動を許可する軸方向である。制御モード判定部１２は、動作モードの判定結果および動作可能軸を動作指令生成部１３に送信する。

[0033] 動作指令生成部１３は、外力算出部１１が算出した操作力と、制御モード判定部１２が判定した制御モードおよび動作可能軸とに基づいて、ロボット１への動作指令（ロボット動作指令）を生成する。制御装置１０では、操作力を打ち消す方向にロボット１が動作するような力制御系が組まれる。

[0034] 動作指令生成部１３は、ロボット１の大まかな位置調整を可能にする通常制御モードでは、作業者がかける力およびモーメントが大きいほどロボット１が速く動作するように動作指令を生成する。

[0035] また、動作指令生成部１３は、ロボット１の詳細な位置調整を可能にする詳細制御モードでは、作業者がかける力およびモーメントの大きさに関わらず、動作速度と動作可能な軸方向が制限されるように動作指令を生成する。

[0036] 詳細制御モードにおける動作速度の上限値および動作可能軸（動作可能な方向）は、予め作業者によって設定変更が可能となっている。詳細制御モードにおける動作速度の上限値および動作可能軸は、設定部１４を介して記憶部１５に登録される。動作指令生成部１３は、記憶部１５に登録されている動作速度の上限値および動作可能軸の少なくとも一方に基づいて、詳細制御モードでの動作指令を生成する。これにより、詳細制御モードでは、ロボット１の移動速度および移動方向に制限が課される。

[0037] 詳細制御モードの際に動作可能な軸方向は、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向のうちの１軸方向または２軸方向である。例えば、詳細制御モードの際に動作可能な軸方向がＸ軸方向である場合、ロボット１に加えられた力にＹ軸方向の力およびＺ軸方向の力が含まれていても、制御装置１０は、ロボット１をＸ軸方向に平行な方向のみに移動させ、Ｙ軸方向およびＺ軸方向

には移動させない。すなわち、制御装置１０は、詳細制御モードの際に動作可能な軸方向がＸ軸方向である場合、ロボット１に加えられた力のうちＸ軸方向の力のみを抽出してロボット１をＸ軸方向に移動させる。

[0038] また、詳細制御モードの際に動作可能な軸方向がＸ軸方向およびＹ軸方向の２方向である場合、ロボット１に加えられた力にＺ軸方向の力が含まれていても、制御装置１０は、ロボット１をＸＹ平面に平行な平面内で移動させ、Ｚ軸方向には移動させない。

[0039] なお、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向で示されるデカルト座標系（直交座標系）は、任意に定義することが可能である。作業者は、デカルト座標系として、ワールド座標系、ロボットハンドに取り付けたツール座標系、または対象ワーク（後述するワーク３０）に取り付けたワーク座標系などを事前に選択することが可能である。ツール座標系は、ロボットアームの先端部に取り付けられたツールの位置を原点として定義された座標系である。ワーク座標系は、載置されたワーク３０の位置を原点として定義された座標系である。

[0040] 制御装置１０は、詳細制御モードでは、作業者によって予め定義された座標系で、作業者が予め設定した軸方向にのみエンドエフェクタ６を動作させる。このように、制御装置１０は、詳細制御モードの動作方向の制限において、動作可能な方向を、予め定義されたデカルト座標系上のＸ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向のうちの何れかの軸方向に平行な方向に限定する。

[0041] なお、制御装置１０は、デカルト座標系として、Ｘ軸方向周りのＡ軸方向、Ｙ軸方向周りのＢ軸方向、およびＺ軸方向周りのＣ軸方向のうちの、予め設定された軸方向にのみエンドエフェクタ６を動作させてもよい。制御装置１０は、Ａ軸方向、Ｂ軸方向、およびＣ軸方向のうちの１軸方向または２軸方向に平行な方向にのみエンドエフェクタ６を動作させてもよい。すなわち、制御装置１０は、例えば、予め定義されたデカルト座標系上のＸ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向の何れかの軸の周りの回転方向に動作方向を限定してもよい。

[0042] 動作指令生成部１３は、詳細制御モードの場合には、記憶部１５から動作速度の上限値および動作可能な軸方向である動作可能軸を読み出す。動作指令生成部１３は、詳細制御モードの場合には、記憶部１５から読み出した動作速度の上限値よりも遅い動作速度で、かつ動作可能軸の軸方向にロボット制御点７を移動させる動作指令を生成する。

[0043] 設定部１４は、外部端末などから送られてくる制御に用いられる種々の制御設定を受信して、制御用の情報に設定する。設定部１４は、例えば、作業者が外部端末などに入力した制御設定を外部端末から受信して、制御用の情報に設定する。設定部１４は、制御用の情報が変更される際に、外部端末などから制御設定を受信する。設定部１４は、制御用の情報を記憶部１５などに格納する。

[0044] 記憶部１５は、ロボット１の動力学モデルに関する物理情報、制御に用いる種々の情報（制御設定など）を格納する。記憶部１５が格納している情報の例は、制御装置１０が用いる座標系の情報、詳細制御モードの際の動作速度の上限値および動作可能軸の情報などである。

[0045] 表示部１６は、制御装置１０が用いる情報を表示する。なお、表示部１６は、制御装置１０の構成要素に含まれていなくてもよい。この場合、表示部１６は、制御装置１０の外部に配置され、制御装置１０に接続される。

[0046] このように、実施の形態１の制御装置１０は、作業者による操作力である力情報（外力算出部１１が算出した力およびモーメント）と、ロボット制御点７の位置または姿勢の変化率（速度データまたは角速度データ）とに基づいて、通常制御モードと、詳細制御モードとを切替える。

[0047] 図２は、実施の形態１にかかる制御装置を備えたロボットシステムの構成を示す図である。ロボットシステム２は、ロボット１と、制御装置１０とを備えている。ロボットシステム２では、制御装置１０がロボット１に接続されており、制御装置１０がロボット１を制御する。

[0048] ロボット１は、１または複数の関節を有している。ロボット１には、各関節にアクチュエータ３と位置検出部４とが搭載されている。制御装置１０は

、位置検出部４が検出した位置、姿勢、速度、および角速度に基づいて、アクチュエータ３を駆動することで、ロボット１の姿勢を制御する。また、ロボット１は、ロボットアームの先端部に力検出部５を備えている。また、ロボット１には、力検出部５の先にハンド等のエンドエフェクタ６が搭載されている。ロボット制御点７は、例えば、エンドエフェクタ６内の何れかの位置である。ロボット制御点７は、作業者によって任意に変更可能である。制御装置１０は、作業者によって設定されたロボット制御点７に基づいて、ダイレクトティーチ制御モードでロボット１を制御する。

[0049] 制御装置１０は、ダイレクトティーチ制御モードでロボット１を制御する際に、力検出部５が検出した力情報（検出力および検出モーメント）と、位置検出部４が検出した変化率情報（速度および角速度）とを用いて、制御モードを通常制御モードまたは詳細制御モードに切替える。

[0050] ここで、通常制御モードが実行される際のエンドエフェクタ６の動作、および詳細制御モードが実行される際のエンドエフェクタ６の動作について説明する。図３は、実施の形態１にかかる制御装置が通常制御モードを実行する際のエンドエフェクタの動作を説明するための図である。

[0051] 通常制御モードは、ロボット１の大まかな位置調整が実行される際に適用される制御モードである。作業者は、エンドエフェクタ６の位置を教示する際に、エンドエフェクタ６を大きな力または高速で移動させる場合がある。図３では、作業者がエンドエフェクタ６を位置２１から、ワーク３０が載置されている位置の近傍の位置である位置２２まで、大きな力または高速で移動させる場合を示している。

[0052] 図４は、実施の形態１にかかる制御装置が詳細制御モードを実行する際のエンドエフェクタの動作を説明するための図である。図４では、図４の紙面に垂直な方向をＸ軸方向とし、図４の紙面内で互いに垂直な２つの方向をＹ軸方向およびＺ軸方向としている。詳細制御モードは、ロボット１の詳細な位置調整が実行される際に適用される制御モードである。

[0053] 作業者は、エンドエフェクタ６の位置を教示する際に、エンドエフェクタ

６を小さな力で且つ低速で移動させる場合がある。図４では、作業者がエンドエフェクタ６を位置２３から、ワーク３０が載置されている位置２４まで、小さな力で且つ低速で移動させる場合を示している。

[0054] ロボット１への教示作業は、図３に示すように、エンドエフェクタ６を教示位置の周辺まで動作させる作業（以下、大移動作業という場合がある）と、図４に示すようにエンドエフェクタ６を詳細な位置に微調整する作業（以下、小移動作業という場合がある）とに大別できる。作業者が大移動作業を実行する際には、エンドエフェクタ６が大きな力または高速で移動させられるので、制御装置１０は通常制御モードを選択する。一方、作業者が小移動作業を実行する際には、エンドエフェクタ６が小さな力で且つ低速で移動させられるので、制御装置１０は詳細制御モードを選択する。

[0055] 制御装置１０は、作業者がエンドエフェクタ６に加えた力情報が特定値（後述する力判定値）よりも大きいか、または作業者が移動させたエンドエフェクタ６の速度情報が特定値（後述する速度判定値）よりも大きい場合に、通常制御モードを適用する。この場合、制御装置１０は、エンドエフェクタ６に加えられた力の方向に、力の大きさに応じた速度または角速度でエンドエフェクタ６を移動させる。

[0056] 制御装置１０は、作業者がエンドエフェクタ６に加えた力情報が力判定値以下で、且つ作業者が移動させたエンドエフェクタ６の速度情報が速度判定値以下の場合に、詳細制御モードを適用する。この場合、制御装置１０は、エンドエフェクタ６の移動速度および移動方向の少なくとも一方に制限を与える。

[0057] 制御装置１０が、通常制御モードおよび詳細制御モードの何れを適用するかを判定する際に用いる力情報は、作業者がエンドエフェクタ６に加えた力およびモーメントである。したがって、力判定値は、力の基準値の情報と、モーメントの基準値の情報とを含んでいる。

[0058] 制御装置１０は、作業者がエンドエフェクタ６に加えた力が力の基準値よりも大きい場合、および作業者がエンドエフェクタ６に加えたモーメントが

モーメントの基準値よりも大きい場合の少なくとも一方が成立する場合に、力情報が力判定値よりも大きいと判定する。

[0059] また、制御装置１０は、作業者がエンドエフェクタ６に加えた力が力の基準値以下の場合、且つ作業者がエンドエフェクタ６に加えたモーメントがモーメントの基準値以下の場合に、力情報が力判定値以下であると判定する。

[0060] 制御装置１０が、通常制御モードおよび詳細制御モードの何れを適用するかを判定する際に用いる速度情報は、作業者が移動させたエンドエフェクタ６の速度および角速度である。したがって、速度判定値は、速度の基準値の情報と、角速度の基準値の情報とを含んでいる。

[0061] 制御装置１０は、作業者が移動させたエンドエフェクタ６の速度が速度の基準値よりも大きい場合、および作業者が移動させたエンドエフェクタ６の角速度が角速度の基準値よりも大きい場合の少なくとも一方が成立する場合に、速度情報が速度判定値よりも大きいと判定する。

[0062] また、制御装置１０は、作業者が移動させたエンドエフェクタ６の速度が速度の基準値以下の場合、且つ作業者が移動させたエンドエフェクタ６の角速度が角速度の基準値以下の場合に、速度情報が速度判定値以下であると判定する。

[0063] このように、制御装置１０は、以下の条件Ｃ１～Ｃ４の何れかが成立する場合に、通常制御モードを適用する。

（Ｃ１）エンドエフェクタ６に加えられた力が力の基準値よりも大きい

（Ｃ２）エンドエフェクタ６に加えられたモーメントがモーメントの基準値よりも大きい

（Ｃ３）エンドエフェクタ６の速度が速度の基準値よりも大きい

（Ｃ４）エンドエフェクタ６の角速度が角速度の基準値よりも大きい

[0064] 一方、制御装置１０は、以下の条件Ｃ５～Ｃ８の全てが成立する場合に、詳細制御モードを適用する。

（Ｃ５）エンドエフェクタ６に加えられた力が力の基準値以下である

（Ｃ６）エンドエフェクタ６に加えられたモーメントがモーメントの基準値

以下である

（Ｃ７）エンドエフェクタ６の速度が速度の基準値以下である

（Ｃ８）エンドエフェクタ６の角速度が角速度の基準値以下である

[0065] 図５は、実施の形態１にかかる制御装置がダイレクトティーチ制御モード時に実行する処理の処理手順を示すフローチャートである。ここでは、制御装置１０が、ダイレクトティーチ制御モード時に通常制御モードと詳細制御モードとの何れを選択するかの選択処理について説明する。

[0066] 制御装置１０の外力算出部１１は、力検出部５が検出した検出力および検出モーメントを力検出部５から受信する。また、外力算出部１１は、位置検出部４が検出した位置、姿勢、速度、および角速度を位置検出部４から受信する。

[0067] 外力算出部１１は、力検出部５が計測した力およびモーメントと、位置検出部４が検出した位置、姿勢、速度、および角速度と、動力学モデルとに基づいて、作業者が、エンドエフェクタ６に加えた力およびモーメントを算出する。外力算出部１１は、算出した力およびモーメントを示す力情報（操作力）を、制御モード判定部１２に送信する。また、外力算出部１１は、速度および角速度を示す速度情報を制御モード判定部１２に送信する。

[0068] 制御モード判定部１２は、速度情報が速度判定値よりも大きいか否かを判定する（ステップＳ１０）。すなわち、作業者が移動させたエンドエフェクタ６の速度が速度の基準値よりも大きいか否か、または作業者が移動させたエンドエフェクタ６の角速度が角速度の基準値よりも大きいか否かを判定する。

[0069] 制御モード判定部１２は、速度情報が速度判定値よりも大きいと判定した場合（ステップＳ１０、Ｙｅｓ）、制御モードを通常制御モードに決定する（ステップＳ２０）。制御モード判定部１２は、通常制御モードに決定したことを動作指令生成部１３に通知する。これにより、動作指令生成部１３は、通常制御モードに応じた制御を実行する。すなわち、動作指令生成部１３は、作業者がかける力およびモーメントが大きいほどロボット１が速く動作

するように動作指令を生成する。

[0070] 動作指令生成部１３が通常制御モードに応じた制御を実行している間、制御モード判定部１２は、速度情報が速度判定値よりも大きいか否かを判定する（ステップＳ１０）。制御モード判定部１２は、速度情報が速度判定値以下であると判定した場合（ステップＳ１０、Ｎｏ）、力情報が力判定値よりも大きいか否かを判定する（ステップＳ３０）。すなわち、作業者がエンドエフェクタ６に加えた力が力の基準値よりも大きいか否か、または作業者がエンドエフェクタ６に加えたモーメントがモーメントの基準値よりも大きいか否かを判定する。

[0071] 制御モード判定部１２は、力情報が力判定値よりも大きいと判定した場合（ステップＳ３０、Ｙｅｓ）、制御モードを通常制御モードに決定する（ステップＳ２０）。制御モード判定部１２は、通常制御モードに決定したことを動作指令生成部１３に通知する。これにより、動作指令生成部１３は、通常制御モードに応じた制御を実行する。

[0072] 一方、制御モード判定部１２は、力情報が力判定値以下であると判定した場合（ステップＳ３０、Ｎｏ）、制御モードを詳細制御モードに決定する（ステップＳ４０）。制御モード判定部１２は、詳細制御モードに決定したことを動作指令生成部１３に通知する。これにより、動作指令生成部１３は、詳細制御モードに応じた制御を実行する。すなわち、動作指令生成部１３は、動作速度の上限値と動作可能な軸方向に制限を与えながらエンドエフェクタ６の動作を制御する。制御装置１０は、ステップＳ１０～Ｓ４０の処理を繰り返す。

[0073] このように、制御装置１０は、速度情報および力情報に基づいて、ダイレクトティーチ制御モードを、通常制御モードおよび詳細制御モードの何れかに自動的に切替える。このように、制御装置１０が、作業者の意図と一致する制御モードに自動変更できるので、作業者は、制御モードを手動で切替える必要が無い。

[0074] つぎに、大移動作業の場合の力情報および速度情報の例と、小移動作業の

場合の力情報および速度情報の例とについて説明する。図６は、実施の形態１にかかる制御装置が力情報および速度情報の第１例に対して選択する制御モードの例を説明するための図である。図６では、停止しているエンドエフェクタ６が作業者による操作によって移動を開始し、その後、移動を停止する場合の力情報の推移および速度情報の推移の例を示している。図６に示す上段および下段のグラフの横軸は時間である。また、図６に示す上段のグラフの縦軸は力情報であり、下段のグラフの縦軸は速度情報である。

[0075] 図６では、大移動作業において、作業者がロボット１に加えた力に対応する力情報と、ロボット制御点７の速度に対応する速度情報と、選択される制御モードとの関係を示している。作業者は、大移動作業を実行する際には、ロボット１を大きく移動する必要があるので、エンドエフェクタ６を適度に速く動かしたいという心理が働き、エンドエフェクタ６に加える力が必然的に大きくなる。したがって、制御装置１０は、動作開始直後は、詳細制御モードを選択しているが、瞬時に通常制御モードに切替えるので、ストレスのない移動が可能となる。

[0076] すなわち、大移動作業の実行前および大移動作業が開始された直後は、力情報が力判定値Ｖ１以下であり、且つ速度情報が速度判定値Ｖ２以下であるので、制御装置１０は、詳細制御モードを選択する。そして、大移動作業が開始された後、力情報が力判定値Ｖ１よりも大きくなるか、速度情報が速度判定値Ｖ２よりも大きくなると、制御装置１０は、通常制御モードに切替える。図６では、力情報が力判定値Ｖ１よりも大きくなり、且つ速度情報が速度判定値Ｖ２よりも大きくなる時間を時刻Ｔ１で示している。

[0077] また、大移動作業の動作途中に加えられる力が一瞬だけ弱くなるような場合も想定されるが、力情報の変動に対して速度情報の追従が緩やかであるので、制御モードが不用意に切替えられることはない。

[0078] この後、作業者が、エンドエフェクタ６を停止させようとすると、力情報が力判定値Ｖ１以下になり、且つ速度情報が速度判定値Ｖ２以下になる。図６では、力情報が力判定値Ｖ１以下となった後に、速度情報が速度判定値Ｖ

２以下となる時間を時刻Ｔ２で示している。このように、制御装置１０は、力情報が力判定値Ｖ１以下になり、且つ速度情報が速度判定値Ｖ２以下になると、詳細制御モードに切替える。

[0079] 図７は、実施の形態１にかかる制御装置が力情報および速度情報の第２例に対して選択する制御モードの例を説明するための図である。図７では、詳細制御モードの際の力情報の推移および速度情報の推移の例を示している。図７に示す上段および下段のグラフの横軸は時間である。また、図７に示す上段のグラフの縦軸は力情報であり、下段のグラフの縦軸は速度情報である。

[0080] 図７では、小移動作業において、作業者がロボット１に加えた力に対応する力情報と、ロボット制御点７の速度に対応する速度情報と、選択される詳細制御モードとの関係を示している。作業者は、小移動作業を実行する際には、ロボット１の微細な位置調整を行うので、ロボット１をゆっくり動かそうという心理が働き、エンドエフェクタ６に加える力が必然的に小さくなる。したがって、制御装置１０は、小移動作業の場合には、詳細制御モードを常時選択することとなる。

[0081] 図７では、力情報が力判定値Ｖ１以下であり、速度情報が速度判定値Ｖ２以下であり、詳細制御モードが選択されている状態を示している。制御装置１０は、詳細制御モードを選択している間は、動作速度に上限を設けておく。図７では、制御装置１０が、詳細制御モードの間に、動作速度の上限値である速度リミッタＶ３を設けている場合を示している。速度リミッタＶ３は、速度判定値Ｖ２以下の値である。

[0082] 制御装置１０は、力の入力に対する動作感度を調整できるようなダイレクトティーチ制御システムに適用される場合がある。この場合、ダイレクトティーチ制御では、力制御系が組まれているので、応答の感度は力フィードバックゲインによって大きく変わる。そして、外力×ゲイン（外力とゲインとの乗算値）が速度に比例するので、ゲインを上げると、弱い力でも速度が上がることとなる。このような場合、弱い力で操作されたにもかかわらず速度

が大きくなる場合が想定されるが、制御装置１０は、詳細制御モードの間は動作速度に上限を設けているので、不用意な制御モードの切替えを抑制することが可能となる。

[0083] このように、作業者は、目標の教示位置までエンドエフェクタ６を大まかな移動をさせる場合は、比較的大きな力でエンドエフェクタ６を動作させようとするので、エンドエフェクタ６の動作速度も速くなる。一方、作業者は、細かな位置調整を行う場合は、比較的小さな力でエンドエフェクタ６を動作させようとするので、エンドエフェクタ６の動作速度も遅くなる。

[0084] したがって、制御装置１０は、以下の制御モードの切替条件例に基づいて、制御モードを切替えることにより、作業者の意図に合う制御モードに自動的に切替えることができる。また、制御装置１０は、力情報および速度情報の両方の情報を用いることにより、通常制御モード中に一瞬だけ力が変動しても、不用意に制御モードが切替わることを防止できるので、モード切替えの誤判定を防ぐことができる。

[0085] ＜制御モードの切替条件例＞

通常制御モード：（Ｆ＞３Ｎｍ）または（Ｖ＞１０ｍｍ／ｓ）

詳細制御モード：（Ｖ≦１０ｍｍ／ｓ）かつ（Ｆ≦３Ｎｍ）

なお、ここでのＦは、作業者が加えた力であり、Ｖはロボット制御点７の速度である。

[0086] 制御装置１０を上述した構成および動作とすることで、作業者が意図した通りの制御モードが自動選択されるユーザインタフェースを提供できる。

[0087] 図６に示したように、力情報は急激に変化する場合がある。このような場合において、速度情報を考慮せずに制御モードを切替えると、突発的な力の変化であっても制御モードを切替えてしまい、不安定な制御となってしまう。このため、速度情報を考慮せずに制御モードの切替え判定を正しく行うためには、長時間の力の測定が必要となる。この場合、力を加えてから制御モードが切替わるまでにタイムラグが発生し、力の大きさに応じた適切な制御モードで制御することができなくなる。すなわち、速度情報を考慮しない場

合、制御モードの切替え判定の安定化のためには数サイクル分の力の変化情報を用いる必要があるので、制御モードの切替えに時間遅れが生じ、作業者の意図した制御モードに瞬時に切替わらない。

[0088] 一方、実施の形態１の制御装置１０は、力情報とともに速度情報も考慮して制御モードを詳細制御モードと通常制御モードとの何れかに設定しているので、力の大きさに応じた適切な制御モードでロボット１を制御することができる。

[0089] これにより、制御装置１０は、ダイレクトティーチにおいても、高精度なティーチングを容易に実現できるとともに、作業者の意図した制御モードに自動的に切替えることができるので、操作性が向上する。また、制御装置１０が適用された場合、作業者は、ダイレクトティーチ中に制御モードを切替える必要がないので、ダイレクトティーチの操作が容易になり、何れの作業者であっても直感的に操作することが可能となる。

[0090] このように実施の形態１の制御装置１０は、速度情報および力情報に基づいて、通常制御モードまたは詳細制御モードを設定しているので、高精度なティーチングを容易に実現できる。

[0091] 実施の形態２．

つぎに、図８および図９を用いて実施の形態２について説明する。実施の形態２では、制御装置１０が、詳細制御モード中の動作方向を、力検出部５が検出した検出力または検出モーメントの方向に基づいて制限する。

[0092] 図８は、実施の形態２にかかる制御装置が詳細制御モード中に力検出部が検出した力ベクトルの方向に基づいて決定する動作方向を説明するための図である。図８では、図８の紙面に垂直な方向をＸ軸方向とし、図８の紙面内で互いに垂直な２つの方向をＹ軸方向およびＺ軸方向としている。図８では、詳細制御モード中のデカルト座標系におけるエンドエフェクタ６に加えられる力のイメージを示している。

[0093] 制御装置１０は、力検出部５が検出した検出力の方向に基づいて、作業者がロボット制御点７をデカルト座標系の何れの軸方向（Ｘ軸方向、Ｙ軸方向

、Ｚ軸方向）に動作させようとしているかを演算し、動作させようとしている軸方向のみにエンドエフェクタ６を動作させる。すなわち、制御装置１０が、詳細制御モード中に力検出部５が検出した検出力の方向に基づいて、作業者がエンドエフェクタ６を移動させようとする方向が、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向の何れの方向であるかを判定する。そして、制御装置１０は、判定した方向にのみエンドエフェクタ６の移動を許可する。

[0094] 図８では、作業者が、ツール座標系のＺ軸方向にエンドエフェクタ６を動作させようとしている場合を示している。この場合において、エンドエフェクタ６に実際に作用する力ベクトル５１には、ツール座標系上のＸ軸方向の成分およびＹ軸方向の成分も僅かに含まれている。

[0095] 制御装置１０は、力検出部５が検出した検出力のベクトルである力ベクトル５１とデカルト座標系の各軸ベクトル（Ｘ軸ベクトル５０Ｘ、Ｙ軸ベクトル５０Ｙ、Ｚ軸ベクトル５０Ｚ）との内積を比較することで、作業者が何れの軸方向にエンドエフェクタ６を動作させようしているかを推定する。具体的には、制御装置１０は、力ベクトル５１とデカルト座標系の各軸ベクトルとの内積のうち、内積が最大の軸ベクトルの方向にのみエンドエフェクタ６の移動を許可する。このように、制御装置１０は、内積を比較することで、作業者が何れの軸方向にエンドエフェクタ６を動作させようとしているかを容易に推定できる。

[0096] 図８に示す例では、力ベクトル５１とＺ軸ベクトル５０Ｚとの内積が、他の内積よりも大きいので、制御装置１０は、作業者がＺ軸方向にエンドエフェクタ６を動作させようとしていることを容易に推定できる。この場合、制御装置１０は、Ｘ軸方向およびＹ軸方向にエンドエフェクタ６が動作しないように、エンドエフェクタ６の動作に制限をかける。これにより、制御装置１０は、作業者の操作に応じた軸方向にのみエンドエフェクタ６を動作させることができるので、詳細制御モードにおいて詳細な操作を実現することができる。

[0097] なお、デカルト座標系は、任意に定義することが可能である。作業者は、

デカルト座標系として、ワールド座標系、ロボットハンドに設定したツール座標系、または対象ワークに設定したワーク座標系などを事前に選択することが可能である。制御装置１０は、作業者によって定義された座標系に基づいて、作業者が何れの軸方向にエンドエフェクタ６を動作させようしているかを推定する。

[0098] なお、制御装置１０が、詳細制御モード中にエンドエフェクタ６を動作させる軸方向は１方向に限らず、２方向でもよい。すなわち、制御装置１０が、詳細制御モード中にエンドエフェクタ６をＸＹ平面内、ＹＺ平面内、およびＺＸ平面内の何れかの面内で移動させてもよい。換言すると、制御装置１０は、詳細制御モード中には、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向のうちの１軸方向または２軸方向への動作を制限する。

[0099] 制御装置１０は、例えば、力検出部５が検出した各軸方向の検出力の大きさに基づいて、ＸＹ平面内、ＹＺ平面内、およびＺＸ平面内の何れかの面内で移動させるか、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向の何れかの軸方向に移動させるかを判定する。

[0100] 例えば、Ｘ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向のうち、力が最も大きな軸方向を第１軸方向、力が２番目に大きな軸方向を第２軸方向、力が最も小さな軸方向を第３軸方向とする。この場合において、制御装置１０は、第１軸方向の力と、第２軸方向の力との差が第１の閾値以下である場合に、第１軸方向および第２軸方向を含む面内方向にのみエンドエフェクタ６を移動させ、他の方向にはエンドエフェクタ６を移動させない。この場合、制御装置１０は、第１軸方向の力と、第２軸方向の力との差が第１の閾値よりも大きい場合に、第１軸方向にのみエンドエフェクタ６を移動させ、他の方向にはエンドエフェクタ６を移動させない。

[0101] また、制御装置１０は、第２軸方向の力と、第３軸方向の力との差が第２の閾値以上の場合に、第１軸方向および第２軸方向を含む面内方向にのみエンドエフェクタ６を移動させ、他の方向にはエンドエフェクタ６を移動させないようにしてもよい。この場合、制御装置１０は、第２軸方向の力と、第

３軸方向の力との差が第２の閾値よりも小さい場合に、第１軸方向にのみエンドエフェクタ６を移動させ、他の方向にはエンドエフェクタ６を移動させないようにする。

[0102] このように、制御装置１０は、詳細制御モードの動作方向の制限において、動作可能な方向を、予め定義されたデカルト座標系上のＸ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向のうちの何れかの軸方向に平行な方向に限定する。制御装置１０は、エンドエフェクタ６の移動方向が、力検出部５が検出した力の方向に一番近い軸方向となるように、ロボット１を制御する。

[0103] なお、実施の形態２において、制御装置１０は、デカルト座標系におけるＸ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向の代わりに、Ｘ軸周りの回転であるＡ軸方向、Ｙ軸周りの回転であるＢ軸方向、Ｚ周りの回転であるＣ軸方向を用いてもよい。制御装置１０は、軸周りの軸方向を用いる場合も、デカルト座標系での処理と同様の処理によって、エンドエフェクタ６の動作を特定方向の動作のみに限定する。

[0104] 図９は、実施の形態２にかかる制御装置が詳細制御モード中に力検出部が検出したモーメントベクトルの方向に基づいて決定する動作方向を説明するための図である。図９では、図９の紙面に垂直な方向の回転軸方向をＡ軸方向とし、図９の紙面内で互いに垂直な２つの方向の回転軸方向をＢ軸方向およびＣ軸方向としている。図９では、詳細制御モード中のデカルト座標系におけるエンドエフェクタ６に加えられるモーメントのイメージを示している。

[0105] 制御装置１０は、力検出部５が検出した検出モーメントの方向に基づいて、作業者がロボット制御点７をデカルト座標系の何れの軸方向（Ａ軸方向、Ｂ軸方向、Ｃ軸方向）に動作させようとしているかを演算し、動作させようとしている軸方向のみにエンドエフェクタ６を動作させる。そして、制御装置１０は、判定した方向にのみエンドエフェクタ６の移動を許可する。

[0106] 図９では、作業者が、ツール座標系のＣ軸方向（Ｚ軸周りの回転）にエンドエフェクタ６を回転させようとしている場合を示している。この場合にお

いて、エンドエフェクタ６に実際に作用するモーメントベクトル６１には、ツール座標系上のＡ軸方向（Ｘ軸周りの回転）の回転成分およびＢ軸方向（Ｙ軸周りの回転）の回転成分も僅かに含まれている。

[0107] 制御装置１０は、力検出部５が検出した検出モーメントのベクトルであるモーメントベクトル６１とデカルト座標系の各軸ベクトル（Ａ軸ベクトル６０Ａ、Ｂ軸ベクトル６０Ｂ、Ｃ軸ベクトル６０Ｃ）との内積を比較することで、作業者が何れの軸方向にエンドエフェクタ６を動作させようとしているかを推定する。

[0108] 図９に示す例では、モーメントベクトル６１とＣ軸ベクトル６０Ｃとの内積が、他の内積よりも大きいので、制御装置１０は、作業者がＣ軸方向にエンドエフェクタ６を動作させようとしていることを容易に推定できる。この場合、制御装置１０は、Ａ軸方向を回転軸とした動作、およびＢ軸方向を回転軸とした動作が行われないように、エンドエフェクタ６の動作に制限をかける。

[0109] このように、制御装置１０は、詳細制御モードの動作方向の制限において、動作可能な方向を、予め定義されたデカルト座標系上のＸ軸方向、Ｙ軸方向、Ｚ軸方向の何れかの軸の周りの回転方向に限定する。制御装置１０は、エンドエフェクタ６の回転方向が、力検出部５が検出したモーメントの方向に一番近い方向となるように、ロボット１を制御する。

[0110] このように実施の形態２によれば、制御装置１０は、詳細制御モードの際に力情報および速度情報に基づいて、制御モードを切替えるので、実施形態１と同様の効果を得ることができる。

[0111] また、制御装置１０は、エンドエフェクタ６の移動方向が、力検出部５が検出した力の方向に一番近い軸方向となるようにロボット１を制御するので、作業者が微小な位置調整を行う際に、動作させたくない方向には動作しないように制御でき、これにより作業性を向上させることができる。

[0112] また、制御装置１０は、エンドエフェクタ６の回転方向が、力検出部５が検出したモーメント力の方向に一番近い回転方向となるようにロボット１を

制御するので、作業者が微小な位置調整を行う際に、動作させたくない方向には回転しないように制御でき、これにより作業性を向上させることができる。

[0113] 実施の形態３．

つぎに、図１０を用いて実施の形態３について説明する。実施の形態３では、制御装置１０が、詳細制御モード中の動作を、連続的に動作させるのではなく、予め定めた微小量の移動と、停止とを特定周期で繰り返すように制御する。

[0114] 図１０は、実施の形態３にかかる制御装置が制御する、詳細制御モード中におけるエンドエフェクタの移動量を説明するための図である。図１０に示すグラフの横軸は時間であり、縦軸はエンドエフェクタ６の移動量である。

[0115] 実施の形態３の制御装置１０は、作業者がエンドエフェクタ６に対して連続的に力を加えた場合であっても、エンドエフェクタ６の一時停止と、エンドエフェクタ６の移動とを繰り返すようにエンドエフェクタ６の動作を制御する。この場合の１回当たりの一時停止時間は、一定時間であり、ロボット１の１回当たりの移動量は一定量Ｍ１である。したがって、作業者がエンドエフェクタ６に対して一定の力を加える場合、一定時間の停止と、一定速度での移動（一定量Ｍ１の移動）とが繰り返される。

[0116] なお、１回当たりの一時停止時間および１回当たりの移動時間が、一定時間であってもよい。この場合も、作業者がエンドエフェクタ６に対して一定の力を加える場合、一定時間の停止と、一定速度での移動（一定量Ｍ１の移動）とが繰り返される。

[0117] ロボット１の１回当たりの移動量である一定量Ｍ１は、作業者が制御装置１０に設定可能となっている。また、ロボット１の１回当たりの移動時間は、作業者が制御装置１０に設定可能となっている。また、ロボット１の１回当たりの一時停止時間は、作業者が制御装置１０に設定可能となっている。

[0118] ロボット１の１回当たりの移動量が一定量Ｍ１である場合、制御装置１０は、作業者によって設定されたロボット１の１回当たりの移動量に基づいて

動作指令を生成する。また、１回当たりの移動時間が一定時間である場合、制御装置１０は、作業者によって設定されたロボット１の１回当たりの移動時間に基づいて動作指令を生成する。また、１回当たりの一時停止時間が一定時間である場合、制御装置１０は、作業者によって設定されたロボット１の１回当たりの一時停止時間に基づいて動作指令を生成する。

[0119] エンドエフェクタ６の移動量は、一定量Ｍ１であるので、エンドエフェクタ６が高速で操作された場合、エンドエフェクタ６の移動時間は短くなり、エンドエフェクタ６が低速で操作された場合、エンドエフェクタ６の移動時間は長くなる。

[0120] なお、エンドエフェクタ６の移動時間が一定時間である場合、エンドエフェクタ６が高速で操作された場合、エンドエフェクタ６の移動量は大きくなり、エンドエフェクタ６が低速で操作された場合、エンドエフェクタ６の移動量は小さくなる。

[0121] 制御装置１０は、エンドエフェクタ６に対する力の大きさに応じてエンドエフェクタ６の速度を変えてもよいし、エンドエフェクタ６に対する力の大きさが特定量以上である場合には、力の大きさにかかわらずエンドエフェクタ６の速度を一定にしてもよい。制御装置１０が、エンドエフェクタ６の速度を一定に制御する場合、エンドエフェクタ６は、予め定められた微小量だけの移動を繰り返すこととなる。

[0122] 図１０では、作業者が、時刻Ｔ３でエンドエフェクタ６に連続的な力を加えはじめた場合を示している。この場合、制御装置１０は、時刻Ｔ３からエンドエフェクタ６が一定量Ｍ１を移動するまでの時間（時刻Ｔ３から時刻Ｔ４までの時間）だけエンドエフェクタ６を移動させ、一定量Ｍ１を移動した時刻Ｔ４でエンドエフェクタ６を停止させる。制御装置１０は、時刻Ｔ４から一定時間（時刻Ｔ４から時刻Ｔ５までの時間）だけエンドエフェクタ６を一時停止させ、時刻Ｔ５で一時停止を解除する。

[0123] そして、制御装置１０は、エンドエフェクタ６への力の印加が継続している場合には、時刻Ｔ５からエンドエフェクタ６が一定量Ｍ１を移動するまで

の時間（時刻Ｔ５から時刻Ｔ６までの時間）だけエンドエフェクタ６を移動させ、一定量Ｍ１を移動した時刻Ｔ６でエンドエフェクタ６を停止させる。制御装置１０は、時刻Ｔ６から一定時間（時刻Ｔ３から時刻Ｔ４までの時間と同じ時間）だけエンドエフェクタ６を一時停止させ、その後、一時停止を解除する。

[0124] エンドエフェクタ６へかけられる力の大きさが一定である場合、時刻Ｔ３から時刻Ｔ４までの間にエンドエフェクタ６が移動する移動量と、時刻Ｔ５から時刻Ｔ６までの間にエンドエフェクタ６が移動する移動量とは一定量Ｍ１である。

[0125] このように、制御装置１０は、エンドエフェクタ６に連続的な力が加えられている場合であっても、エンドエフェクタ６の移動と停止とを繰り返す。図１０では、一時停止時間および移動時間が、一定時間である場合を示している。この場合、エンドエフェクタ６の移動と停止とは、一定周期（特定周期）Ｔｘで繰り返される。一定周期Ｔｘの時間は、時刻Ｔ３から時刻Ｔ５までの時間である。

[0126] 制御装置１０は、移動量を小さい値に設定することで、移動量単位での微細な位置調整および微小な姿勢調整を容易に実現できる。

[0127] このように実施の形態３によれば、制御装置１０は、微小量の移動と停止とを一定周期Ｔｘで繰り返すようにエンドエフェクタ６の移動を制御しているので、力を加えた方向にエンドエフェクタ６が動き続けるというダイレクトティーチの利便性を損なうことなく、一定量単位での細かな位置調整が可能となる。

[0128] ここで、制御装置１０のハードウェア構成について説明する。図１１は、実施の形態１～３にかかる制御装置を実現するハードウェア構成例を示す図である。制御装置１０は、入力装置３００、プロセッサ１００、メモリ２００、および出力装置４００により実現することができる。プロセッサ１００の例は、ＣＰＵ（Central Processing Unit、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、ＤＳＰ（Digital Si

gnal Processor）ともいう）またはシステムＬＳＩ（Large Scale Integration）である。メモリ２００の例は、ＲＡＭ（Random Access Memory）、ＲＯＭ（Read Only Memory）である。

[0129] 制御装置１０は、プロセッサ１００が、メモリ２００で記憶されている制御装置１０の動作を実行するための、コンピュータで実行可能な、制御プログラムを読み出して実行することにより実現される。制御装置１０の動作を実行するためのプログラムである制御プログラムは、制御装置１０の手順または方法をコンピュータに実行させるものであるともいえる。

[0130] 制御装置１０で実行される制御プログラムは、外力算出部１１と、制御モード判定部１２と、動作指令生成部１３と、設定部１４と、姿勢演算部１７とを含むモジュール構成となっており、これらの構成要素が主記憶装置上にロードされ主記憶装置上に生成される。

[0131] 入力装置３００は、力検出部５が検出した力およびモーメントを力検出部５から受信してプロセッサ１００に送る。また、入力装置３００は、位置検出部４が検出した位置、姿勢、速度、および角速度を位置検出部４から受信してプロセッサ１００に送る。

[0132] メモリ２００は、力判定値Ｖ１、速度判定値Ｖ２、速度リミッタＶ３などを記憶する。また、メモリ２００は、プロセッサ１００が各種処理を実行する際の一時メモリに使用される。出力装置４００は、ロボット１に制御動作を出力する。

[0133] 制御プログラムは、インストール可能な形式または実行可能な形式のファイルで、コンピュータが読み取り可能な記憶媒体に記憶されてコンピュータプログラムプロダクトとして提供されてもよい。また、制御プログラムは、インターネットなどのネットワーク経由で制御装置１０に提供されてもよい。なお、制御装置１０の機能について、一部を専用回路などの専用のハードウェアで実現し、一部をソフトウェアまたはファームウェアで実現するようにしてもよい。

[0134] なお、制御装置１０が備える構成要素の一部のハードウェア構成を、図１

１に示したハードウェア構成としてもよい。

[0135] 以上の実施の形態に示した構成は、一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、実施の形態同士を組み合わせることも可能であるし、要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

符号の説明

[0136] １　ロボット、２　ロボットシステム、３　アクチュエータ、４　位置検出部、５　力検出部、６　エンドエフェクタ、７　ロボット制御点、１０　制御装置、１１　外力算出部、１２　制御モード判定部、１３　動作指令生成部、１４　設定部、１５　記憶部、１６　表示部、１７　姿勢演算部、２１～２４　位置、３０　ワーク、５０Ｘ　Ｘ軸ベクトル、５０Ｙ　Ｙ軸ベクトル、５０Ｚ　Ｚ軸ベクトル、５１　力ベクトル、６０Ａ　Ａ軸ベクトル、６０Ｂ　Ｂ軸ベクトル、６０Ｃ　Ｃ軸ベクトル、６１　モーメントベクトル、１００　プロセッサ、２００　メモリ、３００　入力装置、４００　出力装置、Ｍ１　一定量、Ｔ１～Ｔ６　時刻、Ｔｘ　一定周期、Ｖ１　力判定値、Ｖ２　速度判定値、Ｖ３　速度リミッタ。

請求の範囲

[請求項1] 作業者がロボットに加えた力およびモーメントと、前記ロボットへの前記作業者による制御点であるロボット制御点の位置および姿勢とに基づいて、前記作業者が前記ロボットに加えた力およびモーメントの情報である力情報を算出する外力算出部と、

前記力情報の力およびモーメントが大きいほど前記ロボットが速く動作するように前記ロボットを制御する通常制御モードと、前記ロボットの動作速度および動作方向の少なくとも一方を制限しながら前記ロボットを制御する詳細制御モードとの何れを選択するかを、前記ロボットの速度または角速度の情報である速度情報と、前記力情報とに基づいて、判定する制御モード判定部と、

前記通常制御モードが選択された場合には前記通常制御モードに対応する動作指令を生成して前記ロボットに出力し、前記詳細制御モードが選択された場合には前記詳細制御モードに対応する動作指令を生成して前記ロボットに出力する動作指令生成部と、

を備える、

ことを特徴とする制御装置。

[請求項2] 前記動作指令生成部は、前記詳細制御モードが選択された場合には、前記動作方向の制限として、予め定義されたデカルト座標系上のＸ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向のうちの１軸方向または２軸方向への動作を制限する前記動作指令を生成する、

ことを特徴とする請求項１に記載の制御装置。

[請求項3] 前記動作指令生成部は、前記作業者が前記ロボットに加えた力の方向から１番近い軸方向への動作を許可した前記動作指令を生成する、

ことを特徴とする請求項２に記載の制御装置。

[請求項4] 前記動作指令生成部は、前記詳細制御モードが選択された場合には、前記動作方向の制限として、予め定義されたデカルト座標系上のＸ軸方向、Ｙ軸方向、およびＺ軸方向の軸の周りに回転するＡ軸方向、

Ｂ軸方向、およびＣ軸方向のうちの１軸方向または２軸方向への動作を制限する前記動作指令を生成する、

ことを特徴とする請求項１に記載の制御装置。

[請求項5] 前記動作指令生成部は、前記作業者が前記ロボットに加えたモーメントの方向に１番近い軸方向への動作を許可した前記動作指令を生成する、

ことを特徴とする請求項４に記載の制御装置。

[請求項6] 前記制御装置は、前記作業者によって設定されたデカルト座標系に基づいて前記動作指令を生成する、

ことを特徴とする請求項２から５の何れか１つに記載の制御装置。

[請求項7] 前記動作指令生成部は、前記詳細制御モードが選択された場合には、前記ロボットの移動と一時停止とを繰り返す前記動作指令を生成する、

ことを特徴とする請求項１から６の何れか１つに記載の制御装置。

[請求項8] 前記詳細制御モードが選択された場合の前記一時停止の時間は一定時間である、

ことを特徴とする請求項７に記載の制御装置。

[請求項9] 前記制御装置は、前記作業者によって設定された前記ロボットの１回当たりの一時停止の時間に基づいて前記動作指令を生成する、

ことを特徴とする請求項８に記載の制御装置。

[請求項10] 前記詳細制御モードが選択された場合の前記ロボットの１回当たりの移動の時間は、一定時間であり、

前記動作指令生成部は、前記詳細制御モードが選択された場合には、前記ロボットの移動と一時停止とを特定周期で繰り返す前記動作指令を生成する、

ことを特徴とする請求項７から９の何れか１つに記載の制御装置。

[請求項11] 前記制御装置は、前記作業者によって設定された前記ロボットの１回当たりの移動の時間に基づいて前記動作指令を生成する、

ことを特徴とする請求項１０に記載の制御装置。

[請求項12] 前記詳細制御モードが選択された場合の前記ロボットの１回当たりの移動量は、一定量である、

ことを特徴とする請求項７から９の何れか１つに記載の制御装置。

[請求項13] 前記制御装置は、前記作業者によって設定された前記ロボットの１回当たりの移動量に基づいて前記動作指令を生成する、

ことを特徴とする請求項１２に記載の制御装置。

[請求項14] ロボットと、前記ロボットを制御する制御装置と、

を有し、

前記制御装置は、

作業者が前記ロボットに加えた力およびモーメントと、前記ロボットへの前記作業者による制御点であるロボット制御点の位置および姿勢とに基づいて、前記作業者が前記ロボットに加えた力およびモーメントの情報である力情報を算出する外力算出部と、

前記力情報の力およびモーメントが大きいほど前記ロボットが速く動作するように前記ロボットを制御する通常制御モードと、前記ロボットの動作速度および動作方向の少なくとも一方を制限しながら前記ロボットを制御する詳細制御モードとの何れを選択するかを、前記ロボットの速度または角速度の情報である速度情報と、前記力情報とに基づいて、判定する制御モード判定部と、

前記通常制御モードが選択された場合には前記通常制御モードに対応する動作指令を生成して前記ロボットに出力し、前記詳細制御モードが選択された場合には前記詳細制御モードに対応する動作指令を生成して前記ロボットに出力する動作指令生成部と、

を備える、

ことを特徴とするロボットシステム。

[請求項15] ロボットを制御する制御装置が、作業者が前記ロボットに加えた力およびモーメントと、前記ロボットへの前記作業者による制御点であ

るロボット制御点の位置および姿勢とに基づいて、前記作業者が前記ロボットに加えた力およびモーメントの情報である力情報を算出する外力算出ステップと、

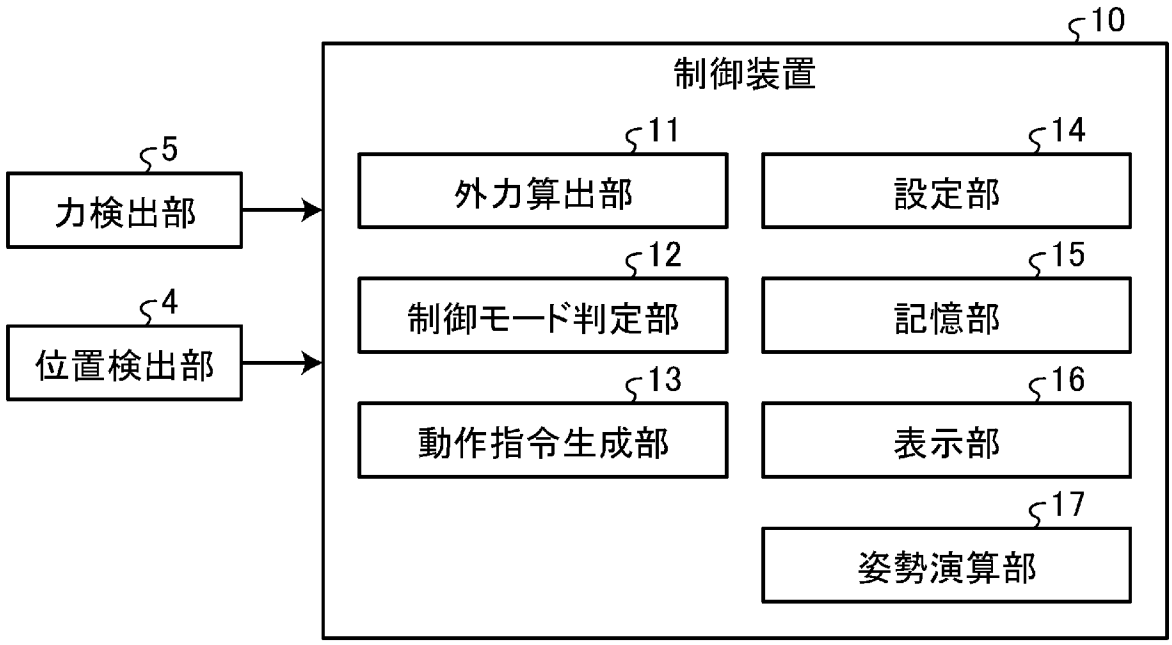
前記制御装置が、前記力情報の力およびモーメントが大きいほど前記ロボットが速く動作するように前記ロボットを制御する通常制御モードと、前記ロボットの動作速度および動作方向の少なくとも一方を制限しながら前記ロボットを制御する詳細制御モードとの何れを選択するかを、前記ロボットの速度または角速度の情報である速度情報と、前記力情報とに基づいて、判定する制御モード判定ステップと、

前記制御装置が、前記通常制御モードが選択された場合には前記通常制御モードに対応する動作指令を生成して前記ロボットに出力し、前記詳細制御モードが選択された場合には前記詳細制御モードに対応する動作指令を生成して前記ロボットに出力する動作指令生成ステップと、

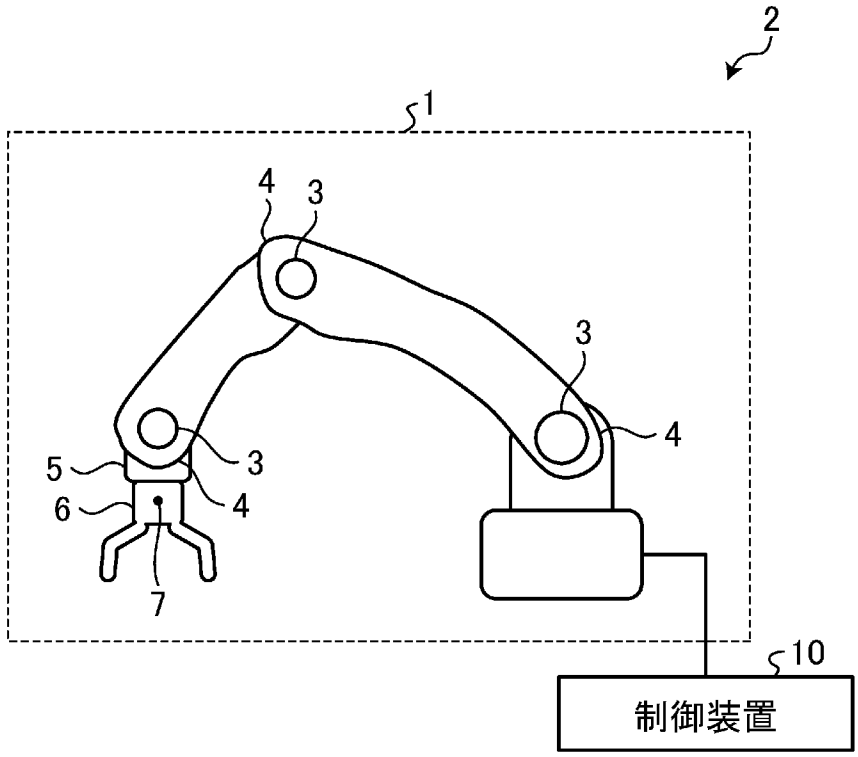
を含む、

ことを特徴とする制御方法。

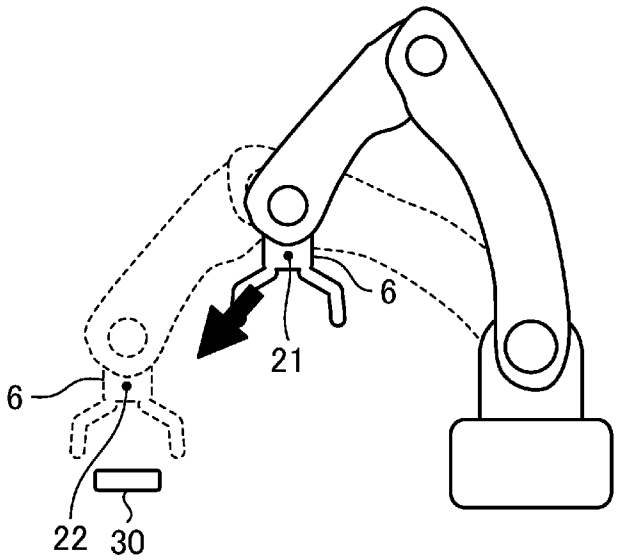
[図1]


10
制御装置
5
力検出部
4
位置検出部
11
外力算出部
12
制御モード判定部
13
動作指令生成部
14
設定部
15
記憶部
16
表示部
17
姿勢演算部

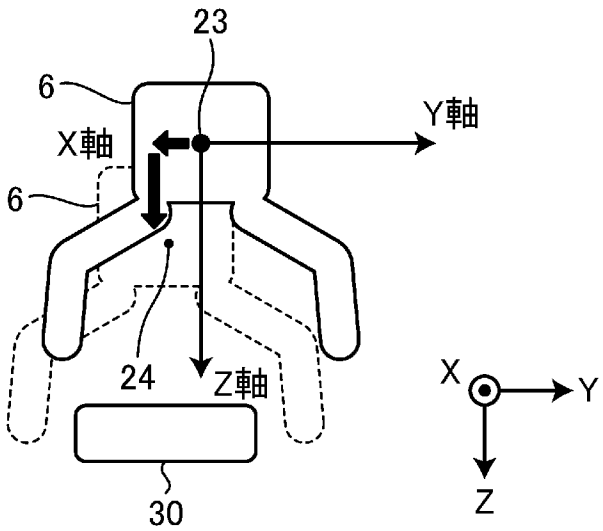
[図2]


2
1
4
3
3
4
5
3
6
4
7
10
制御装置

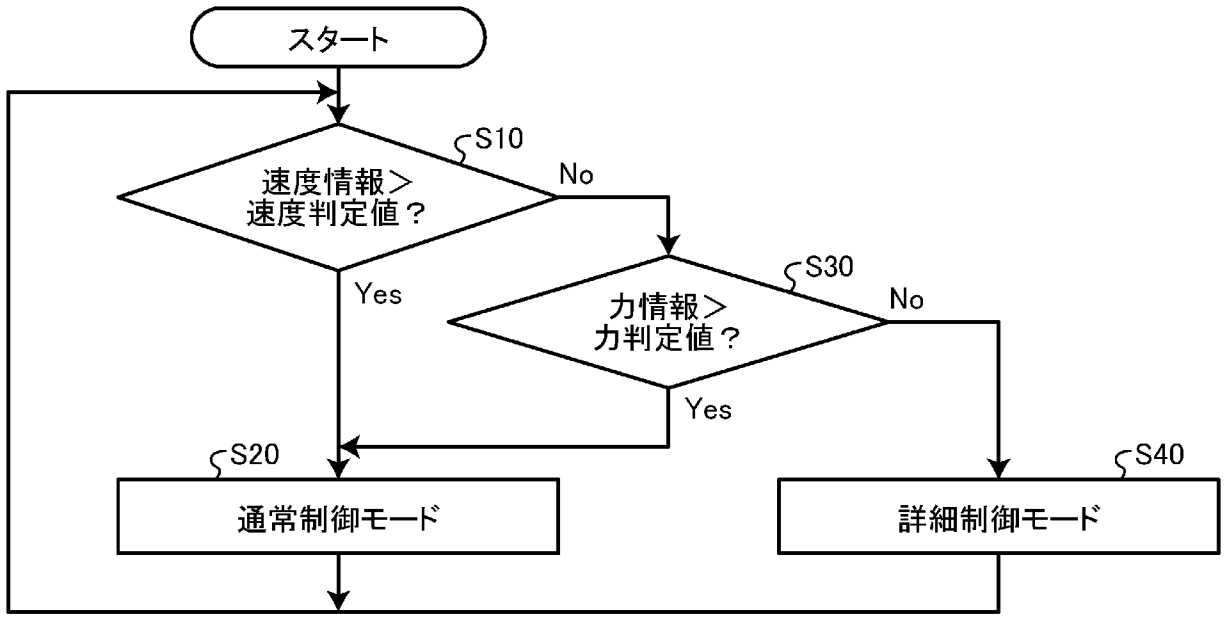
[図3]



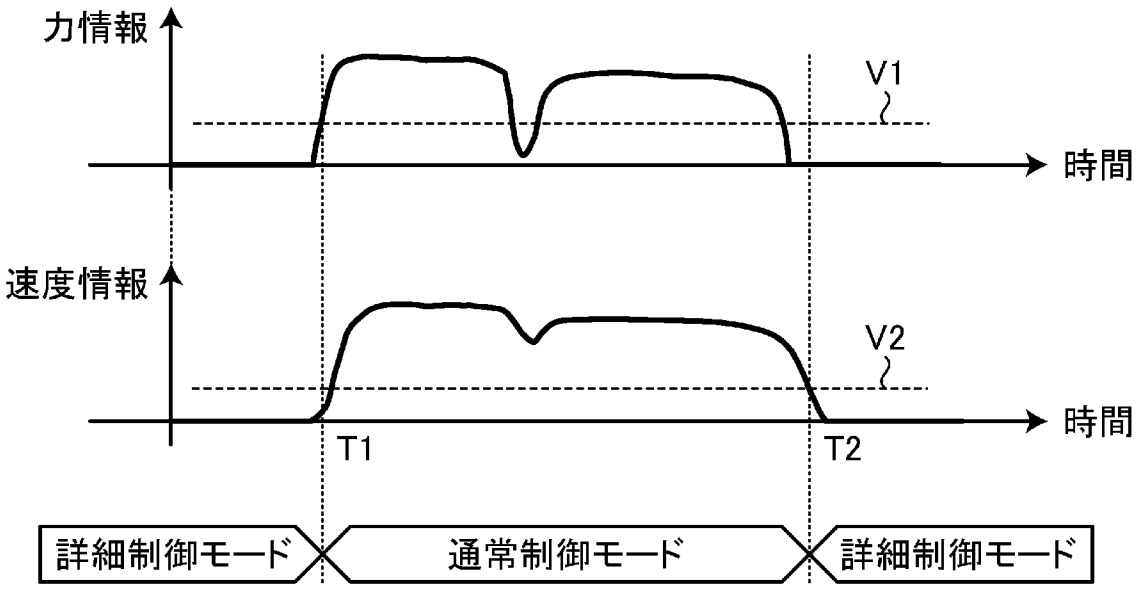
[図4]



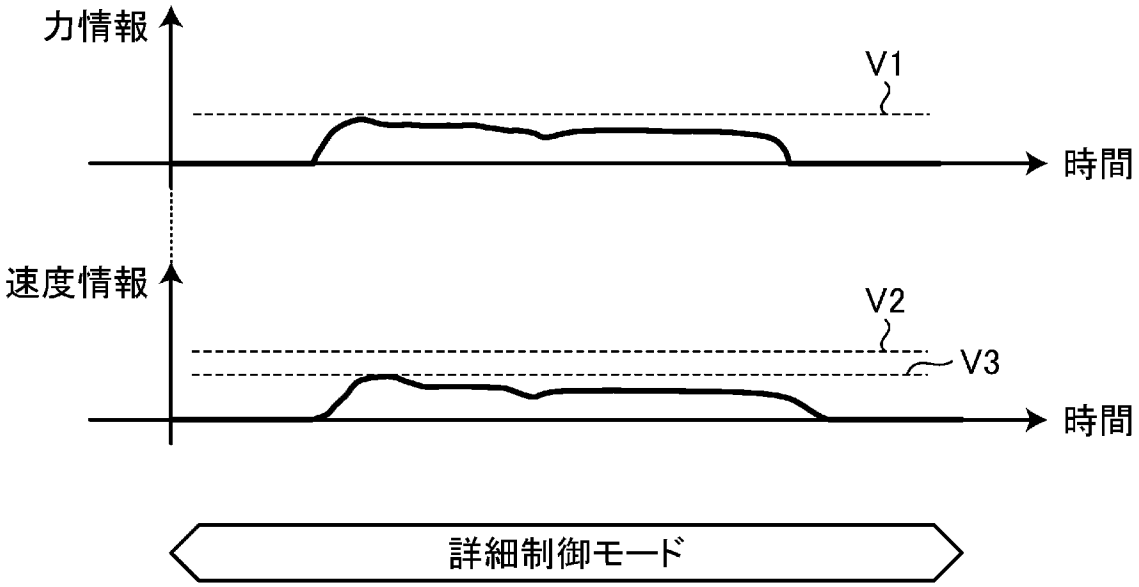
[図5]


スタート
S10
速度情報＞
速度判定値？
No
Yes
S30
力情報＞
力判定値？
No
Yes
S20
通常制御モード
S40
詳細制御モード

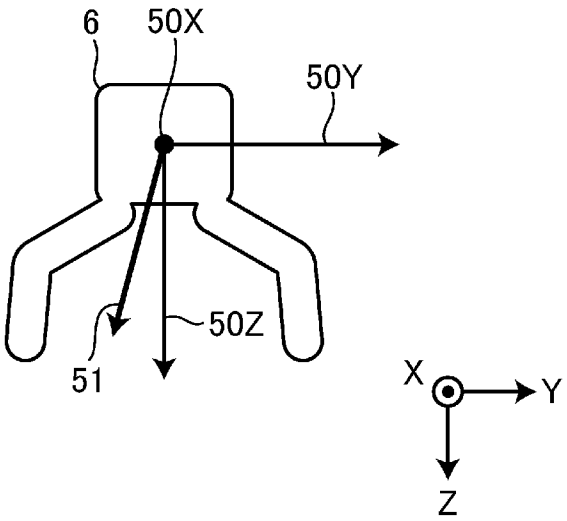
[図6]


力情報
V1
時間
速度情報
V2
時間
T1
T2
詳細制御モード
通常制御モード
詳細制御モード

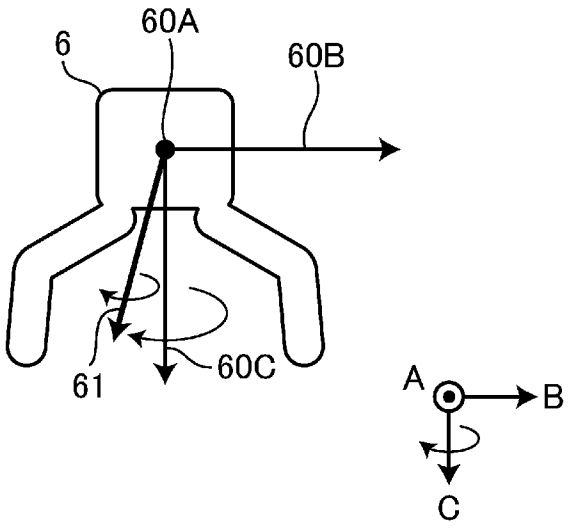
[図7]



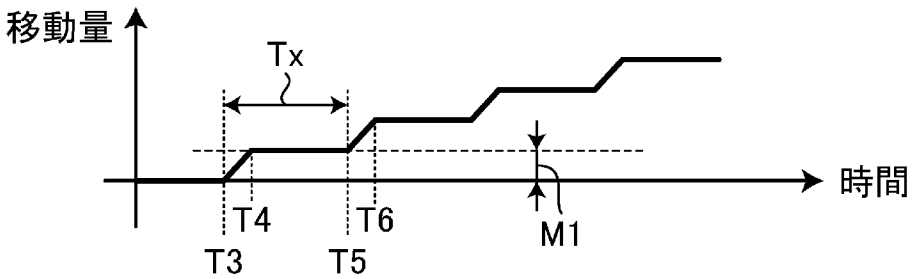
[図8]



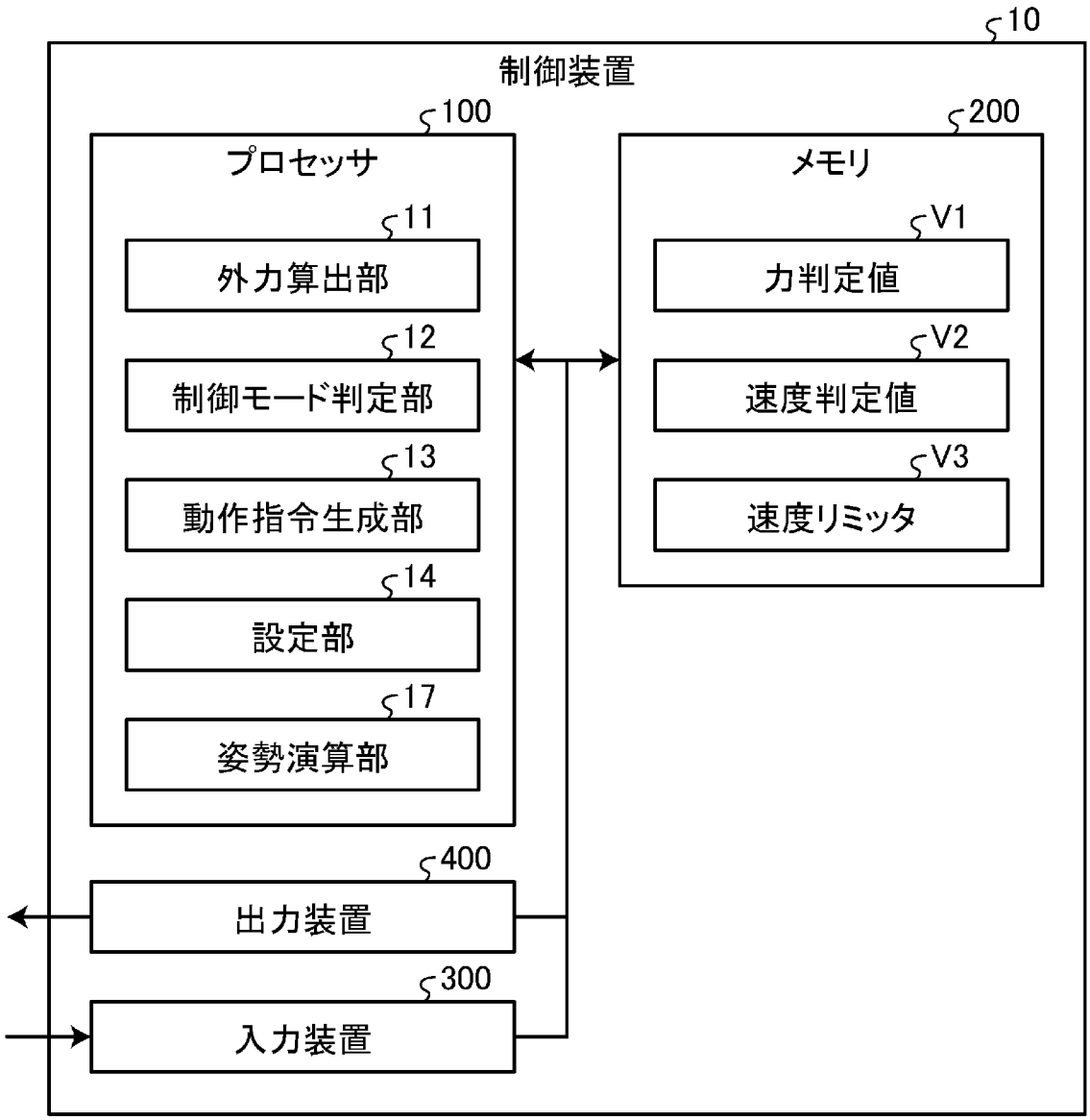
[図9]



[図10]



[図11]


10
制御装置
100
プロセッサ
11
外力算出部
12
制御モード判定部
13
動作指令生成部
14
設定部
17
姿勢演算部
200
メモリ
V1
力判定値
V2
速度判定値
V3
速度リミッタ
400
出力装置
300
入力装置

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/023847

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 13/00(2006.01)i
FI: B25J13/00 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)

B25J13/00

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 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
Y	JP 2020-39397 A (DENSO CORPORATION) 19 March 2020 (2020-03-19) paragraphs [0013]-[0062], fig. 1-6	1-15
Y	JP 2010-69584 A (YASKAWA ELECTRIC CORP.) 02 April 2010 (2010-04-02) paragraphs [0007]-[0017]	1-15
Y	JP 2005-219147 A (YASKAWA ELECTRIC CORP.) 18 August 2005 (2005-08-18) paragraphs [0018]-[0022]	6-13

☐ 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
15 August 2023	**29 August 2023**

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/JP2023/023847

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2020-39397 A	19 March 2020	(Family: none)	
JP 2010-69584 A	02 April 2010	(Family: none)	
JP 2005-219147 A	18 August 2005	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/023847

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

B25J 13/00(2006.01)i
FI: B25J13/00 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））

B25J13/00

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	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３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
Y	JP 2020-39397 A (株式会社デンソー) 19.03.2020 (2020-03-19) 段落 [0013] ～ [0062]，第1～6図	1-15
Y	JP 2010-69584 A (株式会社安川電機) 02.04.2010 (2010-04-02) 段落 [0007] ～ [0017]	1-15
Y	JP 2005-219147 A (株式会社安川電機) 18.08.2005 (2005-08-18) 段落 [0018] ～ [0022]	6-13

☐ 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
15.08.2023	29.08.2023

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）
杉山　悟史 3U 3322
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/JP2023/023847

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2020-39397 A	19.03.2020	（ファミリーなし）	
JP 2010-69584 A	02.04.2010	（ファミリーなし）	
JP 2005-219147 A	18.08.2005	（ファミリーなし）	