

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-104789

(P2015-104789A)

(43) 公開日 平成27年6月8日(2015.6.8)

(51) Int.Cl.
B25J 13/08 (2006.01)F I
B25J 13/08テーマコード (参考)
3C707

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2013-248935 (P2013-248935)
(22) 出願日 平成25年12月2日 (2013.12.2)(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(74) 代理人 100095728
弁理士 上柳 雅誉
(74) 代理人 100116665
弁理士 渡辺 和昭
(72) 発明者 五味 晃宏
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
(72) 発明者 元▲吉▼ 正樹
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

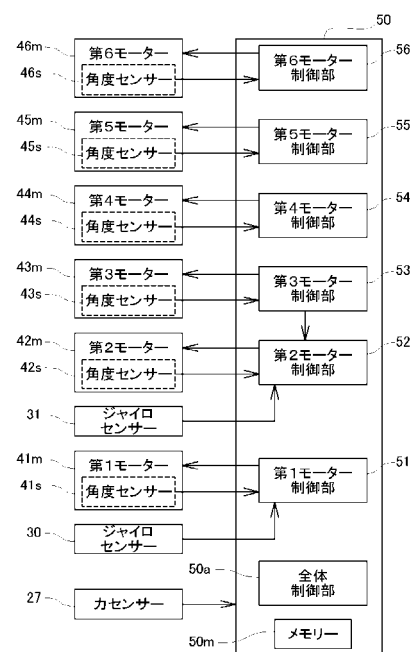
(54) 【発明の名称】 ロボット

(57) 【要約】

【課題】 ロボットのアームの振動を抑制する。

【解決手段】 第1関節、および第1関節とは回転方向が異なる方向になり得る第2関節を含む複数の関節と、基台に対して第1関節を介して回転可能に設けられた第1アーム部材を含む複数のアーム部材とを含むロボットで、第1アーム部材（または第1関節の中の第1アーム部材とともに回転する部分）に第1慣性センサーを設けて、第1慣性センサーの出力に基づいて複数の関節を制御する。こうすれば、第1慣性センサーの出力から、第1関節の動きが他の複数の関節の動きに与える影響を考慮して他の関節を制御することができるので、アームの振動を抑制することができる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 関節および前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節を含む複数の関節と、基台に対して前記第 1 関節を介して回転可能に設けられた第 1 アーム部材を含む複数のアーム部材と、

前記第 1 アーム部材または前記第 1 関節に設けられた第 1 角速度センサーと、
を備えることを特徴とするロボット。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のロボットであって、

前記複数のアーム部材の中で前記第 1 アーム部材とは異なる前記アーム部材に設けられた第 2 角速度センサーを備える
ことを特徴とするロボット。

10

【請求項 3】

請求項 2 に記載のロボットであって、

前記第 2 角速度センサーの出力に基づいて、前記第 2 角速度センサーが設けられた前記アーム部材よりも前記基台側の前記関節をフィードバック制御する制御部を備える
ことを特徴とするロボット。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のロボットであって、

前記制御部は、前記第 2 角速度センサーが設けられた前記アーム部材の前記基台側の前記関節と回転軸が同じ方向の前記関節を、前記第 2 角速度センサーの出力に基づいてフィードバック制御する
ことを特徴とするロボット。

20

【請求項 5】

第 1 関節および前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節を含む複数の関節と、

前記複数の関節によって連結された複数のアーム部材と、

前記複数のアーム部材の中の 1 の前記アーム部材に設けられた第 1 角速度センサーと、
前記第 1 角速度センサーが設けられた前記アーム部材とは異なる前記アーム部材に設けられた第 2 角速度センサーと、
を備えることを特徴とするロボット。

30

【請求項 6】

請求項 5 に記載のロボットであって、

前記第 1 角速度センサーの一軸の出力および前記第 2 角速度センサーの一軸の出力に基づいて、前記複数の関節を制御する制御部を備える
ことを特徴とするロボット。

【請求項 7】

請求項 5 に記載のロボットであって、

前記第 1 角速度センサーの一軸の出力および前記第 2 角速度センサーの三軸の出力に基づいて、前記複数の関節を制御する制御部を備える
ことを特徴とするロボット。

40

【請求項 8】

請求項 6 または請求項 7 に記載のロボットであって、

前記制御部は、前記第 1 角速度センサーの出力に基づいて、前記第 1 角速度センサーが設けられた前記アーム部材よりも前記基台側の前記関節をフィードバック制御し、且つ、前記第 2 角速度センサーの出力に基づいて、前記第 2 角速度センサーが設けられた前記アーム部材よりも前記基台側の前記関節をフィードバック制御する
ことを特徴とするロボット。

【請求項 9】

請求項 6 ないし請求項 8 の何れか一項に記載のロボットであって、

50

前記第 1 角速度センサーの出力に基づいてフィードバック制御される前記関節の回転軸と、前記第 2 角速度センサーの出力に基づいてフィードバック制御される前記関節の回転軸とは直交している

ことを特徴とするロボット。

【請求項 10】

請求項 6 ないし請求項 9 の何れか一項に記載のロボットであって、

前記第 1 角速度センサーは、両側の前記関節の回転軸が互いに異なる前記アーム部材の中で前記基台に最も近い前記アーム部材に設けられている

ことを特徴とするロボット。

【請求項 11】

10

請求項 1 ないし請求項 10 の何れか一項に記載のロボットであって、

前記第 1 角速度センサーは、振動型ジャイロセンサーである

ことを特徴とするロボット。

【請求項 12】

請求項 11 に記載のロボットであって、

前記第 1 角速度センサーは、圧電材料を含む

ことを特徴とするロボット。

【請求項 13】

第 1 関節および前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節を含む複数の関節と、

20

前記複数の関節によって連結された複数のアーム部材と、

前記複数のアーム部材の中の 1 の前記アーム部材に設けられた角速度センサーと、

前記角速度センサーが設けられた前記アーム部材の前記基台側の前記関節と回転軸の方向が一致しており、且つ、前記基台側に設けられた前記関節を、前記角速度センサーの出力に基づいて制御する制御部と、

を備えることを特徴とするロボット。

【請求項 14】

第 1 関節と、前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節と、を含むアームと、

30

前記アームに設けられた慣性センサーと、

前記慣性センサーの出力を 100 Hz 以上の周期でサンプリングすることによって、前記第 1 関節を制御する制御部と、

を備えることを特徴とするロボット。

【請求項 15】

第 1 関節と、前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、

前記慣性センサーよりも前記アームの先端側に設けられた力センサーと、

を備えることを特徴とするロボット。

【請求項 16】

40

基台に設けられた第 1 関節と、前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、を備え、

前記第 1 関節の角加速度を $2200^{\circ}/s^2$ で 90° 回動させた場合、前記アームの先端の振動が -0.05 mm から $+0.05\text{ mm}$ になるまでの時間が 1 秒以下である

ことを特徴とするロボット。

【請求項 17】

基台に設けられた第 1 関節と、前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、を備え、

50

前記第 1 関節を最大角加速度で 90° 回動させた場合、前記アームの先端の振動が -0.05 mm から $+0.05\text{ mm}$ になるまでの時間が 1 秒以下であることを特徴とするロボット。

【請求項 18】

基台に設けられた第 1 関節と、前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、を備え、

前記第 2 関節の角加速度を $2200^\circ/\text{s}^2$ で 90° 回動させた場合、前記アームの先端の振動が -0.1 mm から $+0.1\text{ mm}$ になるまでの時間が 0.5 秒以下である

ことを特徴とするロボット。

10

【請求項 19】

基台に設けられた第 1 関節と、前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、を備え、

前記第 1 関節を最大角加速度で 90° 回動させた場合、前記アームの先端の振動が -0.05 mm から $+0.05\text{ mm}$ になるまでの時間が 1 秒以下である

ことを特徴とするロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、ロボットに関する。

【背景技術】

【0002】

複数のアーム部材を関節で接続したアームを有するロボットが知られている。このロボットは、アームの先端にロボットハンドなどを取り付けることによって様々な作業を行うことができる。もっとも、作業を行うために、アームの先端のロボットハンドなどを目的の位置に移動させて停止させても、暫くの間はアームの先端が振動するので作業を開始することができない。

【0003】

そこで、アームの先端側に慣性センサーを搭載しておき、慣性センサーの出力が小さくなるように、アームの各関節の動きを制御することで、アームの振動を抑制する技術が提案されている（特許文献 1）。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2005 - 242794 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、多くの関節を備えるロボットの中には、ある関節を動かすことによって、それより先の関節の回転軸の向きが変化するようなロボットも存在しており、このロボットについては、上記の提案されている技術を適用しても、アームの振動を十分に抑制することが難しいという問題があった。これは、アームの先端が同じように振動している場合でも、例えばアームの先端側の関節についての制御内容（制御量および制御方向）は、それより根元側の関節の回転位置によって変わってしまうので、制御が複雑になるためである。また、アームの先端が振動している場合、通常は根元側の関節でも振動が発生して回転位置が刻々と変化し、その結果、先端側の関節の向きが刻々と変化するので、より一層制御が複雑になる。加えて、関節の変形や機械誤差による影響は先端になるほど蓄積する。このため、上述した課題を有するロボットに上記の提案の技術を適用すると、却って振動が増幅される場合もあった。このように、回転軸の方向が異なる複数の関節を有するロボッ

40

50

トの振動を抑制するには多くの課題が残されていた。

【 0 0 0 6 】

この発明は、従来の技術が有する上述した課題を解決するためになされたものであり、ロボットのアームの振動を抑制することが可能な技術の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上述した課題の少なくとも一部を解決するために、本発明のロボットは次の構成を採用した。すなわち、

第 1 関節および前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節を含む複数の関節と、基台に対して前記第 1 関節を介して回転可能に設けられた第 1 アーム部材を含む複数のアーム部材と、

10

前記第 1 アーム部材または前記第 1 関節に設けられた第 1 角速度センサーと、
を備えることを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

こうすれば、第 1 角速度センサーの出力から、第 1 関節を介して基台に取り付けられた第 1 アーム部材の動きを検出することができる。このため、第 1 アーム部材と基台との間の第 1 関節の動きが、その他の複数の関節の動きに与える影響を考慮して、他の関節を制御することができるので、ロボットのアームの振動を抑制することが可能となる。また、第 1 角速度センサーの出力に基づいて第 1 関節の動きを検出することができるので、アームの先端側に向かって誤差の影響が蓄積することも抑制することが可能となる。このため、各関節を制御することでアームの振動が増幅される虞も抑制することが可能となる。

20

【 0 0 0 9 】

また、上述した本発明のロボットにおいては、複数のアーム部材の中で第 1 アーム部材とは異なるアーム部材に第 2 角速度センサーを設けてもよい。

【 0 0 1 0 】

こうすれば、第 1 角速度センサーの出力に加えて、第 2 角速度センサーの出力も用いて制御することができるので、アームの振動をより一層抑制することが可能となる。また、一軸の出力を用いることとすれば、制御のための演算量が小さくなるので、アームの振動をより一層抑制することが可能となる。

【 0 0 1 1 】

30

また、上述した本発明のロボットにおいては、第 2 角速度センサーの出力に基づいて、第 2 角速度センサーが設けられたアーム部材よりも、基台側の関節をフィードバック制御する制御部を備えるようにしてもよい。

【 0 0 1 2 】

第 2 角速度センサーの出力には、第 2 角速度センサーが設けられたアーム部材の動きだけでなく、そのアーム部材よりも基台側の関節の動きが現れる。従って、第 2 角速度センサーの出力に基づいて基台側の関節をフィードバック制御してやれば、アームの振動をより一層抑制することが可能となる。また、振動が大きい基台側の関節を制御することができるので、アームの振動をより効果的に抑制することが可能となる。

【 0 0 1 3 】

40

また、上述した本発明のロボットにおいては、第 2 角速度センサーが設けられたアーム部材の基台側の関節と回転軸の方向が一致する関節を、第 2 角速度センサーの出力に基づいてフィードバック制御することとしてもよい。尚、「回転軸の方向が一致する」とは、完全な一致に限らず、実質上一致していればよい。従って、回転軸の方向が $\pm 5^\circ$ の範囲で異なっている場合は、本明細書でいうところの「回転軸の方向が一致する」場合に該当する。

【 0 0 1 4 】

第 2 角速度センサーの出力には、当然ながら、その第 2 角速度センサーが設けられたアーム部材の基台側の関節の動きが反映される。しかし、その関節に加えて、回転軸の方向が一致する関節がより基台側にも存在する場合には、その基台側の関節（第 2 角速度セン

50

サーが設けられたアーム部材の基台側の関節と回転軸の方向が一致する関節)の動きも、第2角速度センサーの出力に反映される。しかも、その基台側の関節の動きが増幅されて反映される。従って、第2角速度センサーが設けられたアーム部材の基台側の関節と回転軸の方向が一致する関節を、第2角速度センサーの出力に基づいてフィードバック制御してやれば、第2角速度センサーが設けられたアーム部材の関節以外の関節も精度良く制御することができるので、アームの振動を抑制することが可能となる。また、振動が大きい基台側の関節を制御することができるので、アームの振動をより効果的に抑制することが可能となる。

【0015】

また、本発明のロボットは、次のような態様で把握することもできる。すなわち、
第1関節および前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節を含む複数の関節と、

前記複数の関節によって連結された複数のアーム部材と、

前記複数のアーム部材の中の1の前記アーム部材に設けられた第1角速度センサーと、

前記第1角速度センサーが設けられた前記アーム部材とは異なる前記アーム部材に設けられた第2角速度センサーと、

を備えることを特徴とするロボットとして把握することもできる。

【0016】

このような本発明のロボットにおいては、第1角速度センサーおよび第2角速度センサーの出力に基づいて複数の関節を制御することができるので、ロボットのアームの振動を速やかに抑制することが可能となる。また、こうすれば、アームの振動を速やかに抑制することができるので、たとえアームの剛性(アーム部材や関節の剛性)が低い場合でも、アームの振動を抑制することが可能となる。

【0017】

また、上述した本発明のロボットにおいては、第1角速度センサーの一軸の出力および第2角速度センサーの一軸の出力に基づいて、複数の関節を制御する制御部を備えることとしてもよい。

【0018】

こうすれば、複数の角速度センサーを用いた場合でも、単純な制御でロボットのアームの振動を抑制することが可能となる。また、一軸の出力を用いることで演算量が抑制されるので、高速な制御を行うことができ、アームの振動を抑制することが可能となる。

【0019】

また、上述した本発明のロボットにおいては、第1角速度センサーの一軸の出力および第2角速度センサーの三軸の出力に基づいて、複数の関節を制御することとしてもよい。

【0020】

ある関節の回転軸の向きが他の関節の動きによって変化する場合でも、関節の回転軸の向きが変化するアーム部材には三軸の出力を使用する第2角速度センサーを取り付けておけば、複数の関節を制御してアームの振動を抑制することが可能となる。また、第1角速度センサーについては一軸の出力を使用することで演算量を抑制し、第2角速度センサーについては三軸の出力を使用することで制御の精度を確保することができる。その結果、アームの振動をより一層抑制することが可能となる。

【0021】

また、上述した本発明のロボットにおいては、第1角速度センサーおよび第2角速度センサーの出力に基づいて、次のようにして複数の関節をフィードバック制御してもよい。まず、第1角速度センサーの出力に基づいて、第1角速度センサーが設けられたアーム部材よりも基台側の関節をフィードバック制御する。且つ、第2角速度センサーの出力に基づいて、第2角速度センサーが設けられたアーム部材よりも基台側の関節をフィードバック制御する。

【0022】

関節の動きは、その関節よりも、基台から見て遠くの位置に角速度センサーを設けるこ

10

20

30

40

50

とで、より感度良く検出することができる。従って、第 1 角速度センサーの出力および第 2 角速度センサーの出力に基づいて、上述した方法で関節をフィードバック制御してやれば、精度良く制御することが可能となり、アームの振動を抑制することが可能となる。

【 0 0 2 3 】

また、上述した本発明のロボットにおいては、第 1 角速度センサーの出力に基づいてフィードバック制御される関節と、第 2 角速度センサーの出力に基づいてフィードバック制御される関節とは、回転軸が直交している関節としても良い。

【 0 0 2 4 】

回転軸が直交する関節は、それぞれ独立に制御することができるので、簡単に且つ精度良く制御することができる。その結果、アームに存在する複数の関節の動きを、簡単に且つ精度良く制御してアームの振動を抑制することが可能となる。

10

【 0 0 2 5 】

また、上述した本発明のロボットにおいては、両側の関節の回転軸が互いに異なるアーム部材の中で基台に最も近いアーム部材に、第 1 角速度センサーを設けることとしてもよい。

【 0 0 2 6 】

こうすれば、複数の関節の動きを、簡単に且つ精度良く制御することができるので、アームの振動を抑制することが可能となる。

【 0 0 2 7 】

また、上述した本発明のロボットにおいては、第 1 角速度センサーとして振動型ジャイロセンサーを用いても良い。

20

【 0 0 2 8 】

振動型ジャイロセンサーは、他の方式のジャイロセンサーに比べて小型化できるので、ロボットを小型化することが可能となる。

【 0 0 2 9 】

また、第 1 角速度センサーとして振動型ジャイロセンサーを用いる本発明のロボットにおいては、圧電材料を含んだ振動型ジャイロセンサーを、第 1 角速度センサーとして用いても良い。

【 0 0 3 0 】

振動型ジャイロセンサーの中でも、圧電材料を含む振動型ジャイロセンサー（いわゆる圧電方式の振動型ジャイロセンサー）は、静電方式の振動型ジャイロセンサーよりも小型化することができる。このため、第 1 角速度センサーとして、圧電材料を含む振動型ジャイロセンサーを用いることで、ロボットをより一層小型化することが可能となる。

30

【 0 0 3 1 】

また、本発明のロボットは、次のような態様で把握することもできる。すなわち、第 1 関節および前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節を含む複数の関節と、

前記複数の関節によって連結された複数のアーム部材と、

前記複数のアーム部材の中の 1 の前記アーム部材に設けられた角速度センサーと、

前記角速度センサーが設けられた前記アーム部材の前記基台側の前記関節と回転軸の方向が一致しており、且つ、前記基台側に設けられた前記関節を、前記角速度センサーの出力に基づいて制御する制御部と、

40

を備えることを特徴とするロボットとして把握することができる。

【 0 0 3 2 】

このような本発明のロボットにおいては、角速度センサーが設けられたアーム部材の基台側の関節と回転軸の方向が一致しており、且つ、その関節よりも基台側に設けられた関節を角速度センサーの出力に基づいて制御することができるので、関節の数よりも少ない角速度センサーを用いてアームの振動を抑制することが可能となる。また、振動が大きな基台側の関節を制御することができるので、アームの振動をより一層抑制することが可能となる。

50

【0033】

また、本発明のロボットは次のような態様で把握することもできる。すなわち、第1関節と、前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、

前記慣性センサーの出力を100Hz以上の周期でサンプリングすることによって、前記第1関節を制御する制御部と、

を備えることを特徴とするロボットとして把握することもできる。

【0034】

慣性センサーの出力をサンプリングする周期が遅すぎると、アームを制御することによって却って振動し易くなる場合がある。従って、慣性センサーの出力をサンプリングする周期を100Hz以上に設定しておけば、アームの振動を確実に抑制することが可能となる。

10

【0035】

また、本発明のロボットは、次のような態様で把握することもできる。すなわち、第1関節と、前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、

前記慣性センサーよりも前記アームの先端側に設けられた力センサーと、

を備えることを特徴とするロボットとして把握することもできる。

20

【0036】

このような本発明のロボットにおいては、慣性センサーの出力だけでなく、力センサーの出力も用いて複数の関節を制御することができるので、アームの振動を確実に抑制することが可能となる。

【0037】

また、本発明のロボットは、次のような態様で把握することもできる。すなわち、基台に設けられた第1関節と、前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、を備え、

前記第1関節の角加速度を $2200^{\circ}/s^2$ で 90° 回動させた場合、前記アームの先端の振動が -0.05mm から $+0.05\text{mm}$ になるまでの時間が1秒以下であることを特徴とするロボットとして把握することもできる。

30

【0038】

アームの先端の振動が、 -0.05mm から $+0.05\text{mm}$ になるまでの時間をこのような時間に設定しておけば、アームが振動することによる事実上の弊害を回避することが可能となる。

【0039】

また、本発明のロボットは、次のような態様で把握することもできる。すなわち、基台に設けられた第1関節と、前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節と、を含むアームと、

40

前記アームに設けられた慣性センサーと、を備え、

前記第1関節を最大角加速度で 90° 回動させた場合、前記アームの先端の振動が -0.05mm から $+0.05\text{mm}$ になるまでの時間が1秒以下である

ことを特徴とするロボットとして把握することもできる。

【0040】

あるいは、本発明のロボットは、次のような態様で把握することもできる。すなわち、基台に設けられた第1関節と、前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、を備え、

前記第2関節の角加速度を $2200^{\circ}/s^2$ で 90° 回動させた場合、前記アームの先

50

端の振動が -0.1 mm から $+0.1\text{ mm}$ になるまでの時間が 0.5 秒以下であることを特徴とするロボットとして把握することもできる。

【0041】

あるいは、本発明のロボットは、次のような態様で把握することもできる。すなわち、基台に設けられた第1関節と、前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、を備え、

前記第1関節を最大角加速度で 90° 回動させた場合、前記アームの先端の振動が -0.05 mm から $+0.05\text{ mm}$ になるまでの時間が 1 秒以下であることを特徴とするロボットとして把握することもできる。

10

【0042】

これらの態様で把握される本発明のロボットでは、アームが振動することによる事実上の弊害を回避することが可能となる。

【0043】

また、上述した本発明は、ロボットを制御する制御装置の態様で把握することもできる。すなわち、本発明の制御装置は、

第1関節および前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節を含む複数の関節と、基台に対して前記第1関節を介して回転可能に設けられた第1アーム部材を含む複数のアーム部材と、前記第1アーム部材または前記第1関節に設けられた第1角速度センサーと、を備えるロボットの制御装置であって、

20

前記第2角速度センサーの出力に基づいて、前記第2角速度センサーが設けられた前記アーム部材よりも前記基台側の前記関節をフィードバック制御する制御部を備える

ことを特徴とする制御装置として把握することができる。

【0044】

あるいは、

第1関節および前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節を含む複数の関節と、前記複数の関節によって連結された複数のアーム部材と、前記複数のアーム部材の中の1の前記アーム部材に設けられた第1角速度センサーと、前記第1角速度センサーが設けられた前記アーム部材とは異なる前記アーム部材に設けられた第2角速度センサーと、を備えるロボットの制御装置であって、

30

前記第1角速度センサーの一軸の出力、および前記第2角速度センサーの一軸または三軸の出力に基づいて、前記複数の関節を制御する制御部を備える

ことを特徴とする制御装置として把握することができる。

【0045】

あるいは、

第1関節および前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節を含む複数の関節と、前記複数の関節によって連結された複数のアーム部材と、前記複数のアーム部材の中の1の前記アーム部材に設けられた角速度センサーと、を備えるロボットの制御装置であって、

40

前記角速度センサーが設けられた前記アーム部材の前記基台側の前記関節と回転軸の方向が一致しており、且つ、前記基台側に設けられた前記関節を、前記角速度センサーの出力に基づいて制御する制御部を備える

ことを特徴とする制御装置として把握することができる。

【0046】

あるいは、

第1関節と前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節とを含むアームと、前記アームに設けられた慣性センサーと、前記第1関節の角度を検出する角度センサーと、を備えるロボットの制御装置であって、

前記慣性センサーおよび前記角度センサーの出力を 100 Hz 以上の周期でサンプリングすることによって、前記第1関節を制御する制御部を備える

50

ことを特徴とする制御装置として把握することができる。

【0047】

あるいは、

第1関節と前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節とを含むアームと、前記アームに設けられた慣性センサーと、前記慣性センサーよりも前記アームの先端側に設けられた力センサーと、を備えるロボットの制御装置であって、

前記慣性センサーの出力と前記力センサーの出力と前記力センサーの出力とに基づいて、前記複数の関節を制御する制御部を備える

ことを特徴とする制御装置として把握することもできる。

【0048】

更には、上述した本発明は、ロボットシステムとしての態様で把握することもできる。すなわち、本発明のロボットシステムは、

ロボットと前記ロボットを制御する制御装置とを備えるロボットシステムであって、前記ロボットは、

第1関節および前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節を含む複数の関節と、

基台に対して前記第1関節を介して回転可能に設けられた第1アーム部材を含む複数のアーム部材と、

前記第1アーム部材または前記第1関節に設けられた第1角速度センサーと、を備えており、

前記制御装置は、前記第2角速度センサーの出力に基づいて、前記第2角速度センサーが設けられた前記アーム部材よりも前記基台側の前記関節をフィードバック制御することを特徴とするロボットシステムとして把握することができる。

【0049】

あるいは、

ロボットと前記ロボットを制御する制御装置とを備えるロボットシステムであって、前記ロボットは、

第1関節および前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節を含む複数の関節と、前記複数の関節によって連結された複数のアーム部材と、

前記複数のアーム部材の中の1の前記アーム部材に設けられた第1角速度センサーと

前記第1角速度センサーが設けられた前記アーム部材とは異なる前記アーム部材に設けられた第2角速度センサーと、

を備えており、

前記制御装置は、前記第1角速度センサーの一軸の出力、および前記第2角速度センサーの一軸または三軸の出力に基づいて、前記複数の関節を制御する

ことを特徴とするロボットシステムとして把握することができる。

【0050】

あるいは、

ロボットと前記ロボットを制御する制御装置とを備えるロボットシステムであって、前記ロボットは、

第1関節および前記第1関節とは回転方向が異なる方向である第2関節を含む複数の関節と、

前記複数の関節によって連結された複数のアーム部材と、

前記複数のアーム部材の中の1の前記アーム部材に設けられた角速度センサーと、

を備えており、

前記制御装置は、前記角速度センサーが設けられた前記アーム部材の前記基台側の前記関節と回転軸の方向が一致しており、且つ、前記基台側に設けられた前記関節を、前記角速度センサーの出力に基づいて制御する

ことを特徴とするロボットシステムとして把握することができる。

【 0 0 5 1 】

あるいは、

ロボットと前記ロボットを制御する制御装置とを備えるロボットシステムであって、
前記ロボットは、

第 1 関節と、前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、

前記第 1 関節の角度を検出する角度センサーと、

を備えており、

前記制御装置は、前記慣性センサーおよび前記角度センサーの出力を 1 0 0 H z 以上の
周期でサンプリングすることによって、前記第 1 関節を制御する
ことを特徴とするロボットシステムとして把握することができる。 10

【 0 0 5 2 】

あるいは、

ロボットと前記ロボットを制御する制御装置とを備えるロボットシステムであって、
前記ロボットは、

第 1 関節と、前記第 1 関節とは回転方向が異なる方向である第 2 関節と、を含むアームと、

前記アームに設けられた慣性センサーと、

前記慣性センサーよりも前記アームの先端側に設けられた力センサーと、 20

を備えており、

前記制御装置は、前記慣性センサーの出力と前記力センサーの出力と前記力センサーの
出力とに基づいて、前記複数の関節を制御する

ことを特徴とするロボットシステムとして把握することもできる。

【 0 0 5 3 】

上述した本発明の制御装置、ロボットシステムによっても、アームの振動を抑制して、
ロボットの作業効率を向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 4 】

【図 1】本実施例のロボット 1 の全体構造を示す説明図である。 30

【図 2】制御部 5 0 の内部構成を示したブロック図である。

【図 3】本実施例の制御部 5 0 の動作を示したブロック図である。

【図 4】第 1 モーター制御部 5 1 の動作を示したブロック図である。

【図 5】第 2 モーター制御部 5 2 および第 3 モーター制御部 5 3 の動作を示したブロック
図である。

【図 6】第 2 モーター制御部 5 2 のゲイン係数 K_a を設定する際の回転角度 θ_3 を示した
説明図である。

【図 7】第 2 モーター制御部 5 2 のゲイン係数 K_a を設定する処理のフローチャートであ
る。

【図 8】本実施例のロボット 1 を用いた制振効果の確認条件についての説明図である。 40

【図 9】本実施例のロボット 1 を用いた制振効果の実測結果を例示した説明図である。

【図 1 0】本実施例のロボット 1 を用いた制振効果の確認結果を例示した説明図である。

【図 1 1】本実施例のロボット 1 を用いた制振効果の確認条件についての説明図である。

【図 1 2】本実施例のロボット 1 を用いた制振効果の確認結果を例示した説明図である。

【図 1 3】第 1 変形例のロボット 2 の構成を示した説明図である。

【図 1 4】第 2 変形例のロボット 3 の構成を示した説明図である。

【図 1 5】第 2 変形例の他の態様のロボット 3 において、第 2 モーター制御部 5 2 および
第 3 モーター制御部 5 3 の動作を示したブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 5 5 】 50

図 1 は、本実施例のロボット 1 の全体構造を示す説明図である。図 1 (a) には、本実施例のロボット 1 の大まかな外形形状が示されている。図示されるように、本実施例のロボット 1 は、地面に設置される基台 1 0 と、基台 1 0 に対して回転可能に取り付けられたアーム 2 0 と、基台 1 0 内に搭載されてロボット 1 の全体の動作を制御する制御部 5 0 とを備えている。

【 0 0 5 6 】

アーム 2 0 は、6 つのアーム部材 2 1 ~ 2 6 と、5 つの関節 4 2 ~ 4 6 とを備えている。この中のアーム部材 2 1 は、関節 4 1 によって回転可能に基台 1 0 に取り付けられている。また、アーム部材 2 2 は、関節 4 2 によって屈曲可能にアーム部材 2 1 に取り付けられており、アーム部材 2 3 は、関節 4 3 によって屈曲可能にアーム部材 2 2 に取り付けられている。更に、アーム部材 2 4 は、関節 4 4 によって回転可能にアーム部材 2 3 に取り付けられており、アーム部材 2 5 は、関節 4 5 によって屈曲可能にアーム部材 2 4 に取り付けられ、アーム部材 2 6 は、関節 4 6 によって回転可能にアーム部材 2 5 に取り付けられている。尚、アーム部材 2 6 の先端には、力センサー 2 7 を介して、ロボットハンド（いわゆるハンド部）や、溶接治具などの図示しない各種の治具（いわゆるエンドエフェクター）が装着される。力センサー 2 7 は、ロボットハンドやエンドエフェクターの重量や、把持したワークの重量などを検出することができる。尚、本実施例のロボット 1 は、ある関節を動かすことによって、それより先の関節の回転軸の向きが変化するロボット（いわゆる垂直多関節型ロボット）である。

【 0 0 5 7 】

また、関節 4 1 の部分には、関節 4 1 を駆動するための第 1 モーター 4 1 m が搭載されている。同様に、関節 4 2 の部分には関節 4 2 を駆動するための第 2 モーター 4 2 m が搭載され、関節 4 3 の部分には関節 4 3 を駆動するための第 3 モーター 4 3 m が、関節 4 4 の部分には第 4 モーター 4 4 m が、関節 4 5 の部分には第 5 モーター 4 5 m が、関節 4 6 の部分には第 6 モーター 4 6 m が搭載されている。

【 0 0 5 8 】

これら 6 つのアーム部材 2 1 ~ 2 6 のうちで最も基台 1 0 側のアーム部材 2 1 には、ジャイロセンサー 3 0 が取り付けられている。また、アーム部材 2 3 には、ジャイロセンサー 3 1 が取り付けられている。ここで、ジャイロセンサー 3 0 , 3 1 は、予め定められた直交する 3 軸（X 軸、Y 軸、Z 軸）を回転軸とする角速度（あるいは慣性力）を出力可能なセンサーである。ジャイロセンサー 3 0 は、関節 4 1 の回転軸がジャイロセンサー 3 0 の Z 軸と一致する向きに取り付けられている。また、ジャイロセンサー 3 1 は、関節 4 3 の回転軸がジャイロセンサー 3 1 の何れかの軸と一致する向きに取り付けられている。尚、本実施例では、慣性力として角速度を検出するものとして説明するが、ジャイロセンサー 3 0 , 3 1 の代わりに加速度センサーを用いても良い。尚、本実施例では、ジャイロセンサー 3 0 が本発明における「第 1 角速度センサー」に対応し、ジャイロセンサー 3 1 が本発明における「第 2 角速度センサー」に対応する。また、ジャイロセンサー 3 0 , 3 1 は、本発明における「慣性センサー」にも対応する。更に、アーム部材 2 1 が本発明における「第 1 アーム部材」に対応する。

【 0 0 5 9 】

また、ジャイロセンサーとしては、光学式ジャイロセンサー、振動型ジャイロセンサーなどが知られているが、ジャイロセンサー 3 0 , 3 1 は、小型化が可能という理由から、圧電材料の薄膜を用いて形成した振動型ジャイロセンサーが採用されている。すなわち、光学式ジャイロセンサーは、サニャック効果を利用する原理上に理由から小型化が困難であるが、振動型ジャイロセンサーは、コリオリ力を利用して角速度を検出するので小型化が可能である。また、振動型ジャイロセンサーにも、圧電方式や静電方式などが知られているが、水晶、あるいは水晶以外の圧電材料の薄膜を用いて角速度を検出する圧電方式の振動型ジャイロセンサーは、小型で安価に作製することが可能である。尚、角速度を検出するジャイロセンサー 3 0 , 3 1 は、加速度を検出する加速度センサーに比べて以下の点で優れている。先ず、加速度センサーは、重力の影響を考慮する必要があるため、このこ

10

20

30

40

50

とが誤差要因となる。これに対して、角速度を検出するジャイロセンサー 30, 31 は、角速度を検出しているので重力の影響を考慮する必要がない。また、加速度センサーは、加速度の検出感度を高めようとするサイズが大きくなる。これに対して、角速度を検出するジャイロセンサー 30, 31 は角速度を検出するので、小型であっても検出感度を高めることが可能である。このため、ジャイロセンサー 30, 31 の設置の自由度を高くすることができる。

【0060】

図 1 (b) には、本実施例のロボット 1 が備えるアーム部材 21 ~ 26 や、関節 41 ~ 46、ジャイロセンサー 30, 31 の位置関係が模式的に示されている。以下では、関節 41 の角度を角度 1 で表し、関節 42 の角度を角度 2、関節 43 の角度を角度 3、
関節 44 の角度を角度 4、関節 45 の角度を角度 5、関節 46 の角度を角度 6 で表すものとする。

【0061】

図 2 は、制御部 50 の内部構成を示したブロック図である。図示されるように制御部 50 には、第 1 モーター 41 m を制御するための第 1 モーター制御部 51 や、第 2 モーター 42 m を制御するための第 2 モーター制御部 52、第 3 モーター 43 m を制御するための第 3 モーター制御部 53、第 4 モーター 44 m を制御するための第 4 モーター制御部 54、第 5 モーター 45 m を制御するための第 5 モーター制御部 55、第 6 モーター 46 m を制御するための第 6 モーター制御部 56、ロボット 1 全体の動作を制御するための全体制御部 50 a、全体制御部 50 a が実行するプログラムなどを記憶したメモリー 50 m など
が搭載されている。

【0062】

第 1 モーター 41 m には、第 1 モーター 41 m の回転角度 1 を検出する角度センサー 41 s が搭載されている。同様に、第 2 モーター 42 m には、第 2 モーター 42 m の回転角度 2 を検出する角度センサー 42 s が搭載されており、第 3 モーター 43 m には、第 3 モーター 43 m の回転角度 3 を検出する角度センサー 43 s が搭載され、第 4 モーター 44 m には、第 4 モーター 44 m の回転角度 4 を検出する角度センサー 44 s が、第 5 モーター 45 m には、第 5 モーター 45 m の回転角度 5 を検出する角度センサー 45 s が、第 6 モーター 46 m には、第 6 モーター 46 m の回転角度 6 を検出する角度センサー 46 s が搭載されている。そして、それぞれのモーター制御部は、制御対象とするモーターに搭載された角度センサーからの出力に基づいて、それぞれのモーターの動作を制御する。すなわち、例えば第 6 モーター制御部 56 は、角度センサー 46 s で検出した回転角度 6 に基づいて、第 6 モーター 46 m の動作を制御する。第 3 ~ 第 5 モーター制御部 53 ~ 55 についても同様に、角度センサー 43 s ~ 45 s で検出した回転角度 3 ~ 5 に基づいて、第 3 ~ 第 5 モーター 43 m ~ 45 m の動作を制御する。但し、第 2 モーター制御部 52 については、角度センサー 42 s で検出した回転角度 2 だけでなく、ジャイロセンサー 31 の出力や、第 3 モーター制御部 53 からの情報も用いて、第 2 モーター 42 m の動作を制御する。第 2 モーター制御部 52 が行う制御の詳細については後述する。

【0063】

また、第 1 モーター制御部 51 については、角度センサー 41 s で検出した回転角度 1 だけでなく、ジャイロセンサー 30 の出力も用いて、第 1 モーター 41 m の動作を制御する。第 1 モーター制御部 51 が行う制御の詳細についても後述する。また、図 2 に示されるように、力センサー 27 の出力も制御部 50 に供給される。そして、制御部 50 は、角度センサー 41 s ~ 46 s や、ジャイロセンサー 30, 31 や、力センサー 27 の出力を、100 Hz 以上の周期でサンプリングする。

【0064】

図 3 (a) は、第 4 モーター制御部 54 が第 4 モーター 44 m を制御する動作を示したブロック図である。また、図 3 (b) は、第 5 モーター制御部 55 が第 5 モーター 45 m を制御する動作を示したブロック図であり、図 3 (c) は、第 6 モーター制御部 56 が第

6 モーター 4 6 m を制御する動作を示したブロック図である。図示されるように、第 4 モーター制御部 5 4、第 5 モーター制御部 5 5、第 6 モーター制御部 5 6 は、制御対象が第 4 モーター 4 4 m、第 5 モーター 4 5 m、第 6 モーター 4 6 m と異なるだけで制御内容は全く同様である。そこで、図 3 (a) に示した第 4 モーター制御部 5 4 を例に用いて説明する。

【 0 0 6 5 】

第 4 モーター制御部 5 4 は、図 2 に示した全体制御部 5 0 a から目標位置 P_c を受け取って、角度センサー 4 4 s の回転角度 θ_4 が目標位置 P_c となるような制御を行う。従って、基本的には角度センサー 4 4 s で検出した回転角度 θ_4 をフィードバック制御する大きなループと、その内側で角速度をフィードバック制御する小さなループが回るような制御構造となっている。すなわち、図 3 (a) に示されるように、全体制御部 5 0 a からの目標位置 P_c は位置制御部 5 4 a に入力される。この時、角度センサー 4 4 s で検出した回転角度 θ_4 は、回転角度算出部 5 4 d で位置フィードバック値 P_{fb} に変換された後、目標位置 P_c から減算されて位置制御部 5 4 a に入力される。

10

【 0 0 6 6 】

位置制御部 5 4 a では、目標位置 P_c と位置フィードバック値 P_{fb} との偏差に応じた目標角速度 c を生成して、角速度制御部 5 4 b に入力する。また、この時、角度センサー 4 4 s で検出した回転角度 θ_4 は、角速度算出部 5 4 c で角速度フィードバック値 fb に変換された後、目標角速度 c から減算されて角速度制御部 5 4 b に入力される。そして、角速度制御部 5 4 b では、目標角速度 c と角速度フィードバック値 fb との偏差に応じて、第 4 モーター 4 4 m を制御する。その結果が、角度センサー 4 4 s で検出する回転角度 θ_4 に反映されて、回転角度算出部 5 4 d を介して位置フィードバック制御が行われ、角速度算出部 5 4 c を介して角速度フィードバック制御が行われる。

20

【 0 0 6 7 】

図 4 は、第 1 モーター制御部 5 1 が第 1 モーター 4 1 m を制御する動作を示したブロック図である。第 1 モーター制御部 5 1 も、角度センサー 4 1 s で検出した回転角度 θ_1 を用いて制御する。この点では、上述した第 4 モーター制御部 5 4、第 5 モーター制御部 5 5、第 6 モーター制御部 5 6 が行う制御と同様である。しかし、第 1 モーター制御部 5 1 は、ジャイロセンサー 3 0 の出力も用いて第 1 モーター 4 1 m の動作を制御する。このことと対応して、第 1 モーター制御部 5 1 が行う制御は、角度センサー 4 1 s で検出した回転角度 θ_1 を用いて行う位置フィードバック制御および角速度フィードバック制御に、ジャイロセンサー 3 0 の出力を用いて行う角速度フィードバック制御を組み合わせたものとなっている。図 4 中では、回転角度 θ_1 を用いて行う位置フィードバック制御および角速度フィードバック制御を実線の矢印で表し、ジャイロセンサー 3 0 の出力を用いて行う角速度フィードバック制御を破線の矢印で表している。以下、図 4 に従って説明する。

30

【 0 0 6 8 】

第 1 モーター制御部 5 1 においても、全体制御部 5 0 a から目標位置 P_c は位置制御部 5 1 a に入力される。この時、角度センサー 4 1 s で検出した回転角度 θ_1 は、回転角度算出部 5 1 d で位置フィードバック値 P_{fb} に変換された後、目標位置 P_c から減算されて位置制御部 5 1 a に入力される。

40

【 0 0 6 9 】

位置制御部 5 1 a では、目標位置 P_c と位置フィードバック値 P_{fb} との偏差に応じた目標角速度 c を生成して、角速度制御部 5 1 b に入力する。また、この時、角度センサー 4 1 s からの出力と、ジャイロセンサー 3 0 からの出力とに基づいて生成された角速度フィードバック値 fb が目標角速度 c から減算されて、角速度制御部 5 1 b に入力される。角度センサー 4 1 s からの出力と、ジャイロセンサー 3 0 からの出力とに基づいて角速度フィードバック値 fb を生成する方法については後述する。

【 0 0 7 0 】

そして、角速度制御部 5 1 b では、目標角速度 c と角速度フィードバック値 fb との偏差に応じて、第 1 モーター 4 1 m を制御する。その結果、角度センサー 4 1 s で検出さ

50

れる回転角度 θ_1 が変化する。また、第 1 モーター 41m によってアーム部材 21 が回転する結果、ジャイロセンサー 30 から角速度 $A1$ が出力される。このうち、角度センサー 41s で検出した回転角度 θ_1 は、回転角度算出部 51d で位置フィードバック値 Pfb に変換される。こうして得られた位置フィードバック値 Pfb を目標位置 Pc にフィードバックすることによって、位置フィードバック制御が行われる。

【0071】

一方、角速度フィードバック値 fb は次のようにして生成される。まず、角度センサー 41s で検出された回転角度 θ_1 は角速度算出部 51c に供給される。そして、角速度算出部 51c は回転角度 θ_1 から、第 1 モーター 41m の角速度 $m1$ と、アーム部材 21 の角速度 $A1m$ とを生成する。ここでアーム部材 21 の角速度 $A1m$ とは、第 1 モーター 41m の角速度 $m1$ を、第 1 モーター 41m とアーム部材 21 との間の関節 41 の減速比で除算した値である。このアーム部材 21 の角速度 $A1m$ は、本来は、ジャイロセンサー 30 から得られた角速度 $A1$ と一致する筈である。従って、これらの偏差は、関節 41 の回転軸を中心とするアーム部材 21 の振動成分を表している。

【0072】

そこで、ジャイロセンサー 30 から得られた角速度 $A1$ から、アーム部材 21 の角速度 $A1m$ を減算することによって、振動成分に相当する振動加速度 $A1s$ を生成する。その後、このアーム部材 21 の振動加速度 $A1s$ を、変換部 51e で関節 41 の減速比を乗算することによって第 1 モーター 41m の振動加速度 $m1s$ に変換する。そして、この振動加速度 $m1s$ に、補正值算出部 51f でゲイン係数 Ka を乗算することによって、補正值 $Ka \cdot m1s$ を算出する。こうして求めた補正值 $Ka \cdot m1s$ と、角速度算出部 51c で求めた角速度 $m1$ とを加算することによって、角速度フィードバック値 fb を算出する。第 1 モーター制御部 51 では、このようにして角度センサー 41s およびジャイロセンサー 30 の出力から求めた角速度フィードバック値 fb を用いて、角速度フィードバック制御を行う。尚、ロボット 1 の動作時にアーム 20 の振動を抑制するためには、ゲイン係数 Ka を適切に設定しておくことが重要となる。本実施例のロボット 1 では、ゲイン係数 Ka の設定にも特徴があるが、この点については後ほど詳しく説明する。

【0073】

図 5 は、第 2 モーター制御部 52 が第 2 モーター 42m を制御する動作と、第 3 モーター制御部 53 が第 3 モーター 43m を制御する動作とを示したブロック図である。第 2 モーター制御部 52 の制御と第 3 モーター制御部 53 の制御とをまとめて表しているのは、図 2 に示したように、第 2 モーター制御部 52 が第 2 モーター 42m を制御する際に、第 3 モーター制御部 53 からの情報を利用するためである。これと同時に、第 2 モーター制御部 52 が第 2 モーター 42m を制御する際に出力を用いるジャイロセンサー 31 は、第 3 モーター 43m によって駆動されるアーム部材 23 に搭載されているためである。

【0074】

もっとも、第 3 モーター制御部 53 だけに着目すれば、第 3 モーター制御部 53 が行う制御は、前述した第 4 モーター制御部 54 や、第 5 モーター制御部 55、第 6 モーター制御部 56 が行う制御と同様である。そこで、まず、第 3 モーター制御部 53 が行う制御について簡単に説明する。

【0075】

第 3 モーター制御部 53 では、図 2 に示した全体制御部 50a から受け取った目標位置 Pc が位置制御部 53a に入力される。この時、角度センサー 43s で検出した回転角度 θ_3 は、回転角度算出部 53d で位置フィードバック値 Pfb に変換された後、目標位置 Pc から減算されて位置制御部 53a に入力される。位置制御部 53a では、目標位置 Pc と位置フィードバック値 Pfb との偏差に応じた目標角速度 c を生成して、角速度制御部 53b に入力する。また、この時、角度センサー 43s で検出した回転角度 θ_3 は、角速度算出部 53c で角速度フィードバック値 fb に変換された後、目標角速度 c から減算されて角速度制御部 53b に入力される。そして、角速度制御部 53b では、目標角速度 c と角速度フィードバック値 fb との偏差に応じて、第 3 モーター 43m を制御する。

その結果が、角度センサー 4 3 s で検出する回転角度 3 に反映されて、回転角度算出部 5 3 d を介して位置フィードバック制御が行われ、角速度算出部 5 3 c を介して角速度フィードバック制御が行われる。

【0076】

また、第 3 モーター 4 3 m が駆動された結果、アーム部材 2 3 が回転するので、アーム部材 2 3 に搭載されたジャイロセンサー 3 1 からは角速度 A3 が出力される。第 2 モーター制御部 5 2 は、このジャイロセンサー 3 1 の出力を角速度フィードバック制御に利用する。ジャイロセンサー 3 1 の出力を角速度フィードバック制御に利用する基本的な方法は、第 1 モーター制御部 5 1 がジャイロセンサー 3 0 の出力を利用する方法と同様である。また、第 2 モーター制御部 5 2 は、第 3 モーター制御部 5 3 の角速度算出部 5 3 c で得られた角速度 A3m も、角速度フィードバック制御に利用する。図 5 では、第 2 モーター制御部 5 2 が、ジャイロセンサー 3 1 の出力や、第 3 モーター制御部 5 3 の角速度算出部 5 3 c で得られた角速度 A3m を用いて角速度フィードバック制御する部分を、破線の矢印で表している。

【0077】

第 2 モーター制御部 5 2 においても、全体制御部 5 0 a から目標位置 P c は位置制御部 5 2 a に入力される。この時、角度センサー 4 2 s で検出した回転角度 2 は、回転角度算出部 5 2 d で位置フィードバック値 P fb に変換された後、目標位置 P c から減算されて位置制御部 5 2 a に入力される。位置制御部 5 2 a では、目標位置 P c と位置フィードバック値 P fb との偏差に応じた目標角速度 c を生成して、角速度制御部 5 2 b に入力する。また、この時、角度センサー 4 2 s からの出力や、ジャイロセンサー 3 1 からの出力や、第 3 モーター制御部 5 3 の角速度算出部 5 3 c で得られた角速度 A3m を用いて生成された角速度フィードバック値 fb が目標角速度 c から減算されて、角速度制御部 5 2 b に入力される。角度センサー 4 2 s からの出力と、ジャイロセンサー 3 1 からの出力や、第 3 モーター制御部 5 3 の角速度算出部 5 3 c で得られた角速度 A3m に基づいて角速度フィードバック値 fb を生成する方法については後述する。

【0078】

そして、角速度制御部 5 2 b では、目標角速度 c と角速度フィードバック値 fb との偏差に応じて、第 2 モーター 4 2 m を制御する。その結果、角度センサー 4 2 s で検出される回転角度 2 が回転角度算出部 5 2 d で位置フィードバック値 P fb に変換される。こうして得られた位置フィードバック値 P fb を目標位置 P c にフィードバックすることによって、位置フィードバック制御が行われる。

【0079】

また、第 2 モーター 4 2 m が駆動されることによってアーム部材 2 2 が回転し、その結果、アーム部材 2 3 が回転してジャイロセンサー 3 1 からは角速度 A3 が出力される。この角速度 A3 は、第 2 モーター制御部 5 2 の角速度フィードバック値 fb を介して、第 2 モーター 4 2 m の角速度フィードバック制御に用いられる。

【0080】

この第 2 モーター制御部 5 2 の角速度フィードバック値 fb は、次のようにして生成される。まず、角度センサー 4 2 s で検出された回転角度 2 は角速度算出部 5 2 c に供給される。そして、角速度算出部 5 2 c は回転角度 2 から、第 2 モーター 4 2 m の角速度 m2 と、アーム部材 2 2 の角速度 A2m とを生成する。アーム部材 2 2 の角速度 A2m は、第 2 モーター 4 2 m の角速度 m2 を、第 2 モーター 4 2 m とアーム部材 2 2 との間の関節 4 2 の減速比で除算することによって算出できる。

【0081】

仮に、第 3 モーター 4 3 m が固定されているとしたら、アーム部材 2 2 とアーム部材 2 3 とは一体と考えて良いので、アーム部材 2 2 の角速度 A2m は、本来は、ジャイロセンサー 3 1 から得られた角速度 A3 と一致する筈である。従って、これらの偏差は、第 3 モーター 4 3 m が固定されているとした場合のアーム部材 2 2 の振動成分を表している。しかし実際には、第 3 モーター 4 3 m は固定されていないので、関節 4 3 も回転する。従っ

10

20

30

40

50

て、ジャイロセンサー 31 から得られた角速度 $A3$ から、アーム部材 22 の角速度 $A2m$ と、アーム部材 23 の角速度 $A3m$ とを減算することによって、関節 42 での振動成分に相当する振動加速度 $A2s$ を算出することができる。

【0082】

その後、こうして得られたアーム部材 22 の振動加速度 $A2s$ を、変換部 52e で関節 42 の減速比を乗算することによって第 2 モーター 42m の振動加速度 $m2s$ に変換する。そして、この振動加速度 $m2s$ に、補正值算出部 52f でゲイン係数 Ka を乗算することによって、補正值 $Ka \cdot m2s$ を算出する。尚、このゲイン係数 Ka は、第 1 モーター制御部 51 の補正值算出部 51f で用いるゲイン係数 Ka とは異なる値とすることもできる。こうして求めた補正值 $Ka \cdot m2s$ と、角速度算出部 52c で求めた角速度 $m2$ とを加算することによって、角速度フィードバック値 fb を算出する。第 2 モーター制御部 52 では、このようにして角速度フィードバック制御を行う。尚、第 2 モーター制御部 52 においても、アーム 20 の振動を抑制するためにはゲイン係数 Ka を適切に設定しておくことが重要となる。

10

【0083】

第 2 モーター制御部 52 のゲイン係数 Ka は、アーム部材 22 に対するアーム部材 23 の回転角度 θ_3 に基づいて設定する。また、第 1 モーター制御部 51 のゲイン係数 Ka は、アーム部材 21 に対するアーム部材 22 の回転角度 θ_2 に基づいて設定する。尚、第 1 モーター制御部 51 のゲイン係数 Ka については、第 2 モーター制御部 52 のゲイン係数 Ka とほぼ同様なので、先ず始めに、第 2 モーター制御部 52 のゲイン係数 Ka について説明する。

20

【0084】

図 6 は、第 2 モーター制御部 52 のゲイン係数 Ka を設定する際の回転角度 θ_3 を示した説明図である。すなわち、アーム部材 22 の両側の関節 42 および関節 43 を結ぶ直線と、アーム部材 23 の両側の関節 43 および関節 44 を結ぶ直線とを考慮して、これらの直線がなす角度を回転角度 θ_3 として使用する。この回転角度 θ_3 が 180° に近づくほどアーム部材 22 とアーム部材 23 とが延びた状態となり、回転角度 θ_3 が 0° に近づくほどアーム部材 22 とアーム部材 23 とが折り畳まれた状態となる。本実施例では、回転角度 θ_3 が 180° に近づくほど、第 2 モーター制御部 52 のゲイン係数 Ka を大きな値に設定し、回転角度 θ_3 が 0° に近づくほど、第 2 モーター制御部 52 のゲイン係数 Ka を小さな値に設定する。これは次のような理由による。

30

【0085】

アーム部材 22 とアーム部材 23 とが延びた状態（回転角度 θ_3 が 180° に近い状態）では、関節 42 の回転軸まわりの慣性モーメントが大きくなるので、動作に伴い大きな振動が発生するようになる。その結果、振動抑制効果を高めるために、第 2 モーター 42m が大きなトルクを発生させる必要があり、第 2 モーター制御部 52 のゲイン係数 Ka は大きくすることが望ましい。また、アーム部材 22 とアーム部材 23 とが延びた状態では、アーム 20 の制御も不安定となりにくい。このため、第 2 モーター制御部 52 のゲイン係数 Ka を大きな値に設定することで、アーム 20 の振動を速やかに抑制することができる。

40

【0086】

また、アーム部材 22 とアーム部材 23 とが折り畳まれた状態（回転角度 θ_3 が 0° あるいは 360° に近い状態）では、関節 42 の回転軸まわりの慣性モーメントが小さいので、それほど大きなトルクを発生させる必要はなく、従って、第 2 モーター制御部 52 のゲイン係数 Ka を大きくしなくても振動を抑制することができる。また、アーム部材 22 とアーム部材 23 とが折り畳まれた状態では、アーム 20 の制御が不安定となりやすく、振動が発振し易いので、第 2 モーター制御部 52 のゲイン係数 Ka を小さく設定しておいた方が、アーム 20 の制御が発振することを防止し、制御を安定させることができるので望ましい。

【0087】

50

図7は、第2モーター制御部52のゲイン係数 K_a を設定する処理のフローチャートである。第2モーター制御部52のゲイン係数 K_a を設定するに際しては、先ず始めに、角度センサー43sの出力に基づいて回転角度3を検出する(ステップS101)。図6を用いて前述したように、回転角度3はアーム部材22とアーム部材23とがなす角度である。

【0088】

続いて、検出した回転角度3が第1閾値角度 $th1$ 未満か否かを判断する(ステップS102)。ここで、第1閾値角度 $th1$ は、 $0^\circ \sim 110^\circ$ の範囲(より好ましくは $45^\circ \sim 90^\circ$ の範囲)から選択された適切な角度(代表的には 90°)に設定される。その結果、回転角度3が第1閾値角度 $th1$ 未満であった場合は(ステップS102: y
e s)、第2モーター制御部52のゲイン係数 K_a を K_{a1} に設定する(ステップS103)。ここで K_{a1} は、 $0 \sim 0.3$ の範囲(より好ましくは $0 \sim 0.2$ の範囲)から選択された適切な値に設定されている。

10

【0089】

これに対して、回転角度3が第1閾値角度 $th1$ 未満ではなかった場合は(ステップS102: n o)、回転角度3が第1閾値角度 $th1$ 以上で、第2閾値角度 $th2$ 未満であるか否かを判断する(ステップS104)。第2閾値角度 $th2$ は、 $60^\circ \sim 150^\circ$ の範囲(より好ましくは $80^\circ \sim 140^\circ$ の範囲)から選択された適切な角度(代表的には 135°)に設定される。その結果、回転角度3が第1閾値角度 $th1$ 以上で第2閾値角度 $th2$ 未満であった場合は(ステップS104: y
e s)、第2モーター制御部52のゲイン係数 K_a を K_{a2} に設定する(ステップS105)。 K_{a2} は、 $0 \sim 0.5$ の範囲(より好ましくは $0.1 \sim 0.4$ の範囲)から選択された適切な値に設定されている。

20

【0090】

回転角度3が第1閾値角度 $th1$ 以上で第2閾値角度 $th2$ 未満ではなかった場合は(ステップS104: n o)、回転角度3が第2閾値角度 $th2$ 以上で、第3閾値角度 $th3$ 未満であるか否かを判断する(ステップS106)。第3閾値角度 $th3$ は、 $210^\circ \sim 300^\circ$ の範囲(より好ましくは $220^\circ \sim 280^\circ$ の範囲)から選択された適切な角度(代表的には 225°)に設定される。その結果、回転角度3が第2閾値角度 $th2$ 以上で第3閾値角度 $th3$ 未満であった場合は(ステップS106: y
e s)、第2モーター制御部52のゲイン係数 K_a を K_{a3} に設定する(ステップS107)。 K_{a3} は、 $0.1 \sim 0.8$ の範囲(より好ましくは $0.2 \sim 0.5$ の範囲)から選択された適切な値に設定されている。

30

【0091】

回転角度3が第2閾値角度 $th2$ 以上で第3閾値角度 $th3$ 未満ではなかった場合は(ステップS106: n o)、回転角度3が第3閾値角度 $th3$ 以上で、第4閾値角度 $th4$ 未満であるか否かを判断する(ステップS108)。第4閾値角度 $th4$ は、 $250^\circ \sim 360^\circ$ の範囲(より好ましくは $270^\circ \sim 315^\circ$ の範囲)から選択された適切な角度(代表的には 270°)に設定される。その結果、回転角度3が第3閾値角度 $th3$ 以上で第4閾値角度 $th4$ 未満であった場合は(ステップS108: y
e s)、第2モーター制御部52のゲイン係数 K_a を K_{a4} に設定する(ステップS109)。 K_{a4} は、 $0 \sim 0.5$ の範囲(より好ましくは $0.1 \sim 0.4$ の範囲)から選択された適切な値に設定されている。

40

【0092】

これに対して、回転角度3が第3閾値角度 $th3$ 以上で第4閾値角度 $th4$ 未満ではなかった場合は(ステップS108: n o)、第2モーター制御部52のゲイン係数 K_a を K_{a5} に設定する(ステップS110)。 K_{a5} は、 $0 \sim 0.3$ の範囲(より好ましくは $0 \sim 0.2$ の範囲)から選択された適切な値に設定されている。尚、第2モーター制御部52のゲイン係数 K_a に設定される K_{a1} 、 K_{a2} 、 K_{a3} 、 K_{a4} 、 K_{a5} は、 $K_{a1} < K_{a2} < K_{a3} < K_{a4} < K_{a5}$ となるように設定されている。ここで、 K_{a1} と K_{a5} とは同じ値を用いることができるし、異なる値を用いることもできる。同様に、 K_{a2} と K_{a4} とは同じ値を用いること

50

ができるし、異なる値を用いることもできる。

【0093】

尚、上述した本実施例では、アーム部材22に対するアーム部材23の回転角度3を5つの範囲に分けて、それぞれの範囲について第2モーター制御部52のゲイン係数Kaを適切に設定するものとして説明した。しかし、必ずしも5つの範囲に分ける場合に限られるわけではなく、例えば、2つ、3つ、4つ、または、6つ以上の範囲に分けてもよい。また、第2モーター制御部52のゲイン係数Kaを段階状に変化させるのではなく、回転角度3に応じて連続してゲイン係数Kaを変化させても構わない。

【0094】

以上では、アーム部材22に対するアーム部材23の回転角度3に応じて、第2モーター制御部52のゲイン係数Kaを設定する処理について説明した。第1モーター制御部51のゲイン係数Kaについても、ほぼ同様にして行うことができる。すなわち、アーム部材21に対するアーム部材22の回転角度2を検出し(図7のステップS101に相当)、回転角度2を、予め設定しておいた閾値の角度と比較して(図7のステップS102、S104、S106、S108、S110に相当)、その大小関係に応じて第1モーター制御部51のゲイン係数Kaの値を設定すればよい(図7のステップS103、S105、S107、S109、S111に相当)。また、この時に比較する閾値の個数は、4つに限られるわけではなく、4つより少なくても良いし、4つより多くても良い。

【0095】

以上のようにすれば、回転角度3に応じて第2モーター制御部52のゲイン係数Kaを適切に設定し、回転角度2に応じて第1モーター制御部51のゲイン係数Kaを適切に設定することができるので、アーム20の振動を速やかに減衰させることが可能となる。尚、以下では、第2モーター制御部52のゲイン係数Ka、および第1モーター制御部51のゲイン係数Kaをまとめて、単にゲイン係数Kaと呼ぶことがある。

【0096】

また、振動加速度A2sが逆位相になるときは、ゲイン係数Kaを負の値に設定することで、より速やかに振動を抑制して、制御を安定化させることができる。この場合、第2モーター制御部52のゲイン係数KaのKa1、Ka2、Ka3、Ka4、Ka5は、次のような値に設定される。

【0097】

先ず、Ka1は、-0.2~0.3の範囲(より好ましくは-0.1~0.1の範囲)から選択した適切な値とする。また、Ka2は、0.1~0.4の範囲(より好ましくは0.1~0.3の範囲)から選択した適切な値とする。Ka3は、0.3~0.7の範囲(より好ましくは0.3~0.6の範囲)から選択した適切な値とする。Ka4は、0.1~0.4の範囲(より好ましくは0.1~0.3の範囲)から選択した適切な値とする。更に、Ka5は、-0.2~0.3の範囲(より好ましくは-0.1~0.1の範囲)から選択した適切な値とすることができる。このような範囲からKa1、Ka2、Ka3、Ka4、Ka5を選択して設定することで、アーム20の振動を抑制して制御の安定化を実現することが可能となる。

【0098】

以上説明した本実施例のロボット1では、容易かつ確実に、アーム20の振動を抑制することができる。また、アーム20の先端側から逆ヤコビアンを解くなどの、膨大な演算が不要となる。このため、ロボット1の制御における応答速度を速くすることができ、また、制御部50の構成を簡素化することができる。また、逆ヤコビアンを解く場合のように特異点を含むような演算が存在しないので、演算が簡単になるだけでなく、制御が不能となる条件も存在しないので、ロボット1の制御を確実に実行することができる。

【0099】

加えて本実施例のロボット1は、アーム部材22を駆動する第2モーター42mの制御のために、アーム部材23に取り付けられたジャイロセンサー31の出力も使用している。このアーム部材23はアーム部材22よりも先端側に存在するので、ジャイロセンサー

10

20

30

40

50

3 1 の出力にはアーム部材 2 3 の振動に加えてアーム部材 2 2 の振動も含まれる。そのため、ジャイロセンサー 3 1 の出力を第 2 モーター 4 2 m の制御に利用すればアーム部材 2 3 およびアーム部材 2 2 の振動を併せて制御することが可能となり、振動抑制効果を高めることができる。また、より振動が大きい基台側の関節を制御することができるので、アーム部材 2 2 の振動をより一層有効に抑制することができる。更に、回転軸の方向が一致しているアーム部材 2 3 とアーム部材 2 2 とに対して 1 個のジャイロセンサー 3 1 で振動を抑制できるので、関節の数よりも少ない角速度センサーを用いてアームの振動を抑制することが可能となる。

【 0 1 0 0 】

また、ジャイロセンサー 3 0 はアーム部材 2 1 に取り付けられており、ジャイロセンサー 3 1 は、関節 4 2、アーム部材 2 2、および関節 4 3 を介してアーム部材 2 1 に接続されたアーム部材 2 3 に取り付けられている。そして、アーム部材 2 1 を回転させる関節 4 1 の回転軸と、関節 4 2 および関節 4 3 の回転軸とは直交している。このため、(ジャイロセンサー 3 0 が取り付けられた) アーム部材 2 1 の角速度と、(ジャイロセンサー 3 1 が取り付けられた) アーム部材 2 3 の角速度とを、互いに混在しない単純な回転成分として検出することができる。その結果、より簡単に、精度良く、且つ、確実に、アーム 2 0 の振動を抑制することが可能となる。更に、アーム部材 2 1 の角速度と、アーム部材 2 3 の角速度とが混在しない単純な回転成分として検出することができるので、それぞれの成分毎にフィードバック制御を行うことで、より確実にアーム 2 0 の振動を抑制することが可能となる。

【 0 1 0 1 】

加えて、アーム部材 2 2 に対するアーム部材 2 3 の回転角度 3 に応じてゲイン係数 K_a を設定することで、制御を安定させつつ、アーム 2 0 の振動を確実に抑制することが可能となる。

【 0 1 0 2 】

更に加えて、本実施例のロボット 1 のように、アーム 2 0 の先端に取り付けられたエンドエフェクターやロボットハンドに掛かる荷重を、力センサー 2 7 を用いて検出する場合には、荷重の検出感度を高めるために力センサー 2 7 の部分の剛性が低くなり、アーム 2 0 全体の剛性が低下する。そして、アーム 2 0 全体の剛性が低下すると様々な次数の共振が発生し易くなるため、アーム 2 0 の振動を抑制することは困難となる。このため従来は、荷重の検出感度を低く抑える代わりに、アーム 2 0 全体の剛性を高く保つことによってアーム 2 0 の振動をできるだけ速やかに抑制するか、もしくは、アーム 2 0 の振動を速やかに抑制することは諦める代わりに、荷重を高い感度で検出することによって、例えば壊れ易いワークを把持可能とするかの、二者択一を迫られていた。しかし、本実施例のロボット 1 では、たとえアーム 2 0 全体の剛性が低くなっても、ジャイロセンサー 3 0、3 1 の出力をフィードバック制御することでアーム 2 0 の振動を速やかに抑制することができる。このため、アーム 2 0 の振動を速やかに抑制することと、例えば壊れ易いワークを把持するような微妙な制御を実現することとを、両立させることが可能となる。

【 0 1 0 3 】

上述した本実施例のロボット 1 が、ジャイロセンサー 3 0、3 1 の出力をフィードバック制御することによる振動抑制可能なことを確認するために、以下のような確認試験を行った。まず、図 8 (a) に示したように、アーム部材 2 2 ~ 2 6 が水平に伸びた状態となるように関節 4 2 ~ 4 6 を固定する。そして、関節 4 1 を回転させて、図 8 (b) に示すようにアーム 2 0 全体を 90° 回転させて停止させる。アーム 2 0 の先端が停止する位置にレーザー式変位計を設けておき、アーム 2 0 の先端の変位 (振動) を実測した。また、アーム 2 0 を回転させる際には、関節 4 1 を最大角加速度 $2200^\circ / s^2$ 、最大角速度 $275^\circ / s$ で駆動した。アーム 2 0 の先端には、3 kg の被計測部材を取り付けた。尚、レーザー式変位計のレーザーは被計測部材の表面に当てて、アーム 2 0 の先端の変位を測定している。

【 0 1 0 4 】

図 9 は、実測結果を示す説明図である。図中の縦軸はレーザー式変位計で測定したアーム 20 先端の被計測部材の変位（単位は mm）であり、横軸は、アーム 20 を 90° 回転させた時点（アーム 20 の先端の被計測部材が目標位置を最初に通過した瞬間）からの経過時間（単位は秒）である。ちなみに、ロボット 1 の制御周期は 8 kHz であり、アーム 20 先端の変位は 1 msec のサンプリング間隔で計測した。

【0105】

図 9 中に示した破線は、ジャイロセンサー 30, 31 の出力をフィードバック制御しなかった場合（ジャイロ制御なし）の実測結果を表している。これに対して、図 9 中に示した実線は、ジャイロセンサー 30, 31 の出力をフィードバック制御した場合（ジャイロ制御あり）の実測結果を表している。図から明らかなように、ジャイロセンサー 30, 31 の出力をフィードバック制御することで、アーム 20 の先端の振動を大幅に抑制可能であることが確認できる。尚、ジャイロ制御時のゲイン係数 K_a は適切な値に設定されている。

10

【0106】

図 10 は、それぞれの場合について整定時間の計測結果を示した説明図である。ここで整定時間とは、アーム 20 の先端が停止位置（この場合は、関節 41 が 90° 回転した位置）を最初に通過してから、変位の振幅が ± 0.05 mm 以下になるまでに要する時間である。尚、図中には参考として、アーム 20 の先端に 1 kg の被計測部材を取り付けた場合も破線で示されている。

【0107】

20

図中に示されるように、アーム 20 の先端の被計測部材が 3 kg の条件では、ジャイロ制御なしの場合の整定時間が 1.8 秒であるのに対し、ジャイロ制御を行うと整定時間が 0.6 秒に短縮された。また、アーム 20 の先端の被計測部材が 1 kg の条件では、ジャイロ制御なしの場合の整定時間が 1.3 秒であるのに対し、ジャイロ制御を行うと整定時間が 0.5 秒に短縮された。もちろん、アーム 20 の先端に取り付けた被計測部材の重さが、1 kg あるいは 3 kg 以外の場合でも、ジャイロ制御を行うことで整定時間を大幅に短縮することができる。このように、アーム 20 の振動の抑制が困難な条件になるほど、ジャイロセンサー 30, 31 の出力をフィードバック制御することで大きな振動抑制効果を得ることが可能となる。

【0108】

30

また、上述した方向とは異なる方向にアーム 20 を回転させた場合についても、ジャイロ制御による振動抑制効果の確認試験を行った。すなわち、図 11 に示したようにアーム部材 22 ~ 26 が水平に伸びた状態から、関節 42 を 90° 回転させて停止させる。この結果、関節 42 よりも先端側のアーム部材 22 ~ 26 が振り上げられるような動作することになる。そして、アーム 20 の先端が停止する位置にレーザー式変位計を設けておき、アーム 20 の先端の変位（振動）を実測した。また、アーム 20 を回転させる際には、関節 42 を最大角加速度 $2200^\circ / s^2$ 、最大角速度 $275^\circ / s$ で駆動した。アーム 20 の先端には、3 kg の被計測部材を取り付けた。尚、レーザー式変位計のレーザーは被計測部材の表面に当てて、アーム 20 の先端の変位を測定している。

【0109】

40

図 12 は、アーム 20 を振り上げた場合の確認試験によって求められた整定時間の計測結果を示した説明図である。ここで、アーム 20 を振り上げた場合（振り下げる場合も同様）の整定時間は、アーム 20 の先端が停止位置（この場合は、関節 42 が 90° 回転した位置）を最初に通過してから、変位の振幅が ± 0.1 mm 以下になるまでに要する時間として定義した。また、図中には参考として、アーム 20 の先端に 5 kg の被計測部材を取り付けた場合も破線で示されている。

【0110】

アーム 20 の先端の被計測部材が 3 kg の条件では、図中に実線で示されるように、ジャイロ制御なしの場合の整定時間が 1.3 秒であるのに対し、ジャイロ制御を行うと整定時間が 0.4 秒に短縮された。また、アーム 20 の先端の被計測部材が 5 kg の条件では

50

、図中に破線で示されるように、ジャイロ制御なしの場合の整定時間が2.0秒であるのに対し、ジャイロ制御を行うと整定時間が0.6秒に短縮された。もちろん、アーム20の先端に取り付けた被計測部材の重さが、3kgあるいは5kg以外の場合でも、ジャイロ制御を行うことで整定時間を大幅に短縮することができる。このように、アーム20を振り上げる（あるいは振り下げる）場合にも、アーム20の振動の抑制が困難な条件になるほど、ジャイロセンサー30, 31の出力をフィードバック制御することで、大きな振動抑制効果が得られることが確認できる。

【0111】

上述した本実施例のロボット1には、幾つかの変形例が存在する。以下、これらの変形例について、本実施例との相違点を中心として簡単に説明する。尚、変形例の説明に際しては、本実施例と同じ構成については同じ番号を符番することとして、改めての説明は省略する。

【0112】

図13は、第1変形例のロボット2の構成を示した説明図である。上述した実施例および変形例では、アーム部材21のジャイロセンサー30と、アーム部材23のジャイロセンサー31とを搭載していた。しかし、アーム部材23に搭載するジャイロセンサー31の代わりに、アーム部材22にジャイロセンサー32を搭載しても良い。この場合、ジャイロセンサー32が搭載されたアーム部材22を駆動する第2モーター42mの制御は、ジャイロセンサー30が搭載されたアーム部材21を駆動する第1モーター41mの制御と同様となる。従って、第1変形例のロボット2における第2モーター制御部52の制御内容は、図4を用いて前述した第1モーター制御部51の制御内容と同様となる。

【0113】

また、第1変形例のロボット2のアーム部材23にはジャイロセンサー31は搭載されていないので、アーム部材23を駆動する第3モーター43mの制御は、アーム部材24を駆動する第4モーター44mや、アーム部材25を駆動する第5モーター45m、アーム部材26を駆動する第6モーター46mの制御と同様となる。従って、第1変形例のロボット2における第3モーター制御部53の制御内容は、図3を用いて前述した第4モーター制御部54や、第5モーター制御部55、第6モーター制御部56の制御内容と同様となる。

【0114】

図14は、第2変形例のロボット3の構成を示した説明図である。上述した実施例および第1変形例では、アーム部材21のジャイロセンサー30と、アーム部材23のジャイロセンサー31とを搭載していた。しかし、アーム部材22にもジャイロセンサー32を搭載しても良い。この場合、ジャイロセンサー32が搭載されたアーム部材22を駆動する第2モーター42mの制御、およびジャイロセンサー31が搭載されたアーム部材23を駆動する第3モーター43mの制御は、ジャイロセンサー30が搭載されたアーム部材21を駆動する第1モーター41mの制御と同様となる。従って、第2変形例のロボット3における第2モーター制御部52の制御内容、および第3モーター制御部53の制御内容は、図4を用いて前述した第1モーター制御部51の制御内容と同様とすればよい。

【0115】

特に、図14に示されるように第2変形例のロボット3では、ジャイロセンサー32が搭載されたアーム部材22を駆動する第2モーター42mの回転軸と、ジャイロセンサー31が搭載されたアーム部材23を駆動する第3モーター43mの回転軸とが平行となっている。このため、ジャイロセンサー32を用いた第2モーター42mの制御と、ジャイロセンサー31を用いた第3モーター43mの制御とを独立して行うのではなく、ジャイロセンサー32の出力を用いてジャイロセンサー31の出力を補正しても良い。

【0116】

図15は、このような第2変形例のロボット3で、ジャイロセンサー32の出力を用いてジャイロセンサー31の出力を補正する場合に、第2モーター制御部52および第3モーター制御部53で行われる制御内容を例示した説明図である。上述したように、第2モ

ーター制御部 5 2 および第 3 モーター制御部 5 3 で行われる制御内容は、図 4 を用いて前述した第 1 モーター制御部 5 1 の制御内容と同様である。但し、図 1 5 に示した第 2 変形例では、ジャイロセンサー 3 1 で検出した A3 は、そのまま第 3 モーター制御部 5 3 に入力されるのではなく、ジャイロセンサー 3 2 で検出した角速度 A2 を減算してから第 3 モーター制御部 5 3 に入力されている。

【0 1 1 7】

これは、次のような理由による。まず、第 2 モーター 4 2 m の回転軸と第 3 モーター 4 3 m の回転軸とが平行なので、ジャイロセンサー 3 1 で検出される角速度 A3 は、第 3 モーター 4 3 m がアーム部材 2 3 を駆動したことによるものだけでなく、第 2 モーター 4 2 m がアーム部材 2 2 を駆動したことによるものが含まれている。従って、ジャイロセンサー 3 1 で検出した角速度 A3 から、ジャイロセンサー 3 2 で検出した角速度 A2 を減算してやることで、第 3 モーター 4 3 m がアーム部材 2 3 を駆動したことによる角速度を精度良く検出することが可能となるためである。その結果、アーム部材 2 3 の振動加速度 A3 s をより精度良く検出して、第 3 モーター 4 3 m の制御にフィードバックすることができるので、アーム 2 0 の振動を速やかに抑制することが可能となる。

【0 1 1 8】

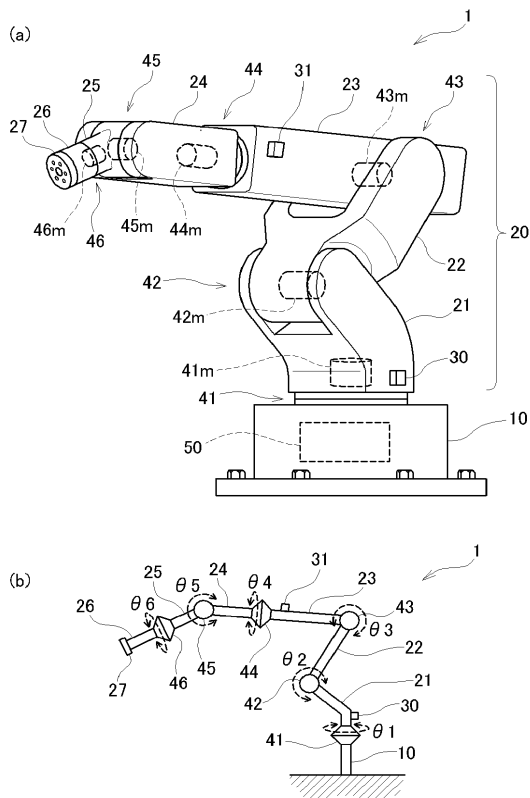
以上、本実施例および各種変形例について説明したが、本発明は上記の実施例および変形例に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様で実施することが可能である。

【符号の説明】

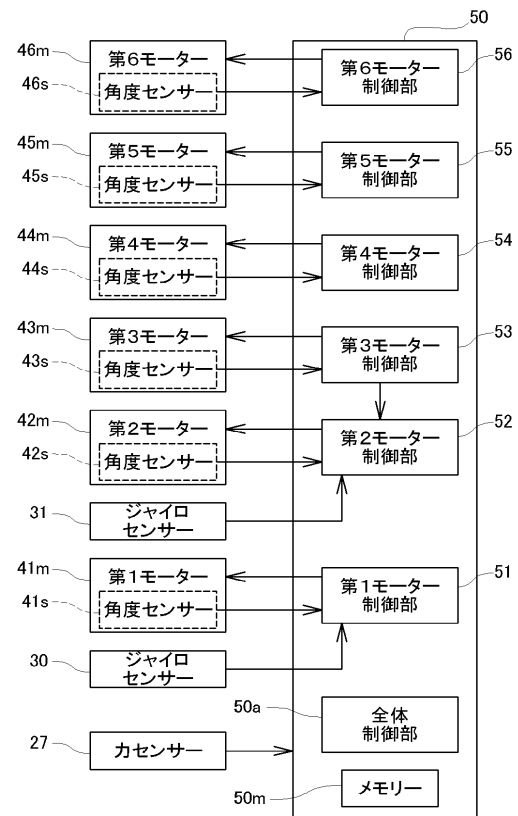
【0 1 1 9】

1 ... ロボット、 2 ... ロボット、 3 ... ロボット、 1 0 ... 基台、 2 0 ... アーム、 2 1 ~ 2 6 ... アーム部材、 2 7 ... 力センサー、 3 0 ~ 3 2 ... ジャイロセンサー、 4 1 ~ 4 6 ... 関節、 4 1 m ... 第 1 モーター、 4 1 s ... 角度センサー、 4 2 m ... 第 2 モーター、 4 2 s ... 角度センサー、 4 3 m ... 第 3 モーター、 4 3 s ... 角度センサー、 4 4 m ... 第 4 モーター、 4 4 s ... 角度センサー、 4 5 m ... 第 5 モーター、 4 5 s ... 角度センサー、 4 6 m ... 第 6 モーター、 4 6 s ... 角度センサー、 5 0 ... 制御部、 5 0 a ... 全体制御部、 5 0 m ... メモリー、 5 1 ... 第 1 モーター制御部、 5 1 a ... 位置制御部、 5 1 b ... 角速度制御部、 5 1 c ... 角速度算出部、 5 1 d ... 回転角度算出部、 5 1 e ... 変換部、 5 1 f ... 補正值算出部、 5 2 ... 第 2 モーター制御部、 5 2 a ... 位置制御部、 5 2 b ... 角速度制御部、 5 2 c ... 角速度算出部、 5 2 d ... 回転角度算出部、 5 2 e ... 変換部、 5 2 f ... 補正值算出部、 5 3 ... 第 3 モーター制御部、 5 3 a ... 位置制御部、 5 3 b ... 角速度制御部、 5 3 c ... 角速度算出部、 5 3 d ... 回転角度算出部、 5 4 ... 第 4 モーター制御部、 5 4 a ... 位置制御部、 5 4 b ... 角速度制御部、 5 4 c ... 角速度算出部、 5 4 d ... 回転角度算出部、 5 5 ... 第 5 モーター制御部、 5 6 ... 第 6 モーター制御部。

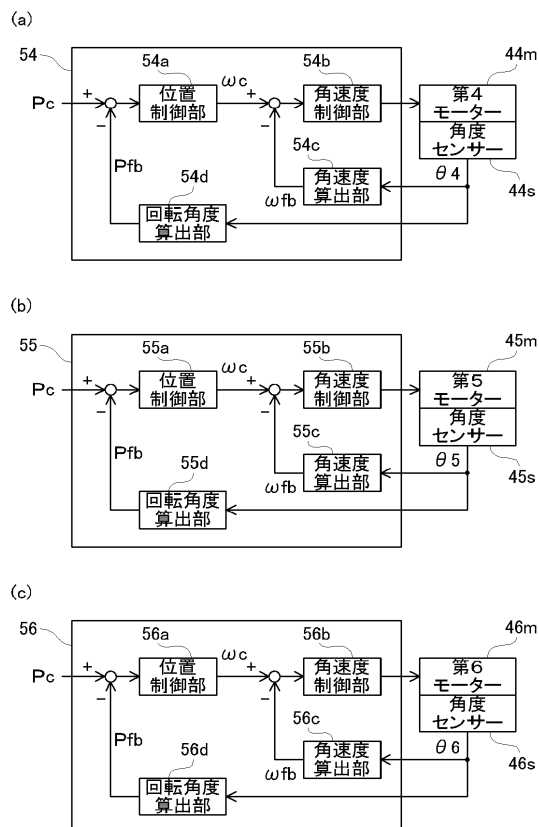
【図 1】



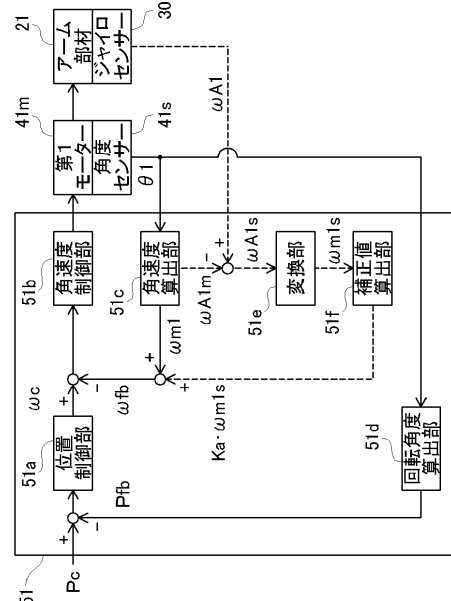
【図 2】



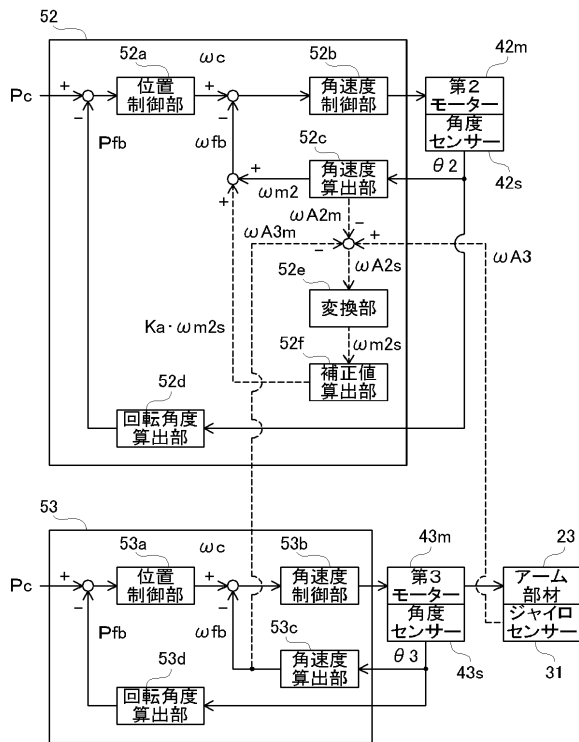
【図 3】



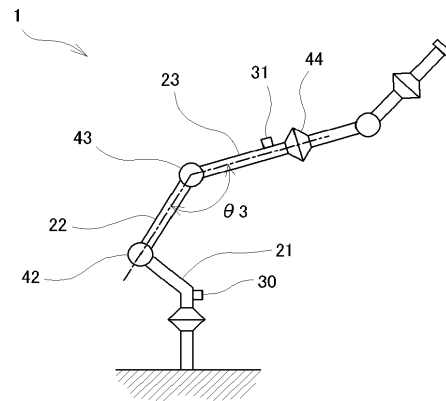
【図 4】



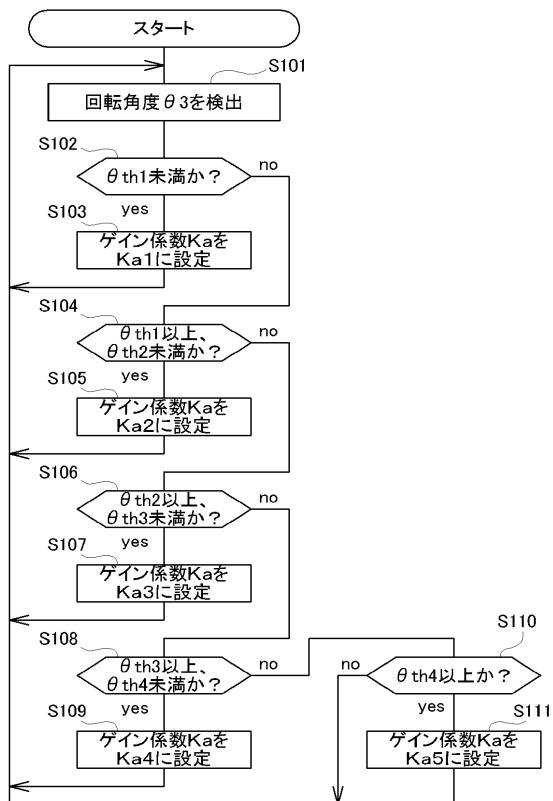
【図5】



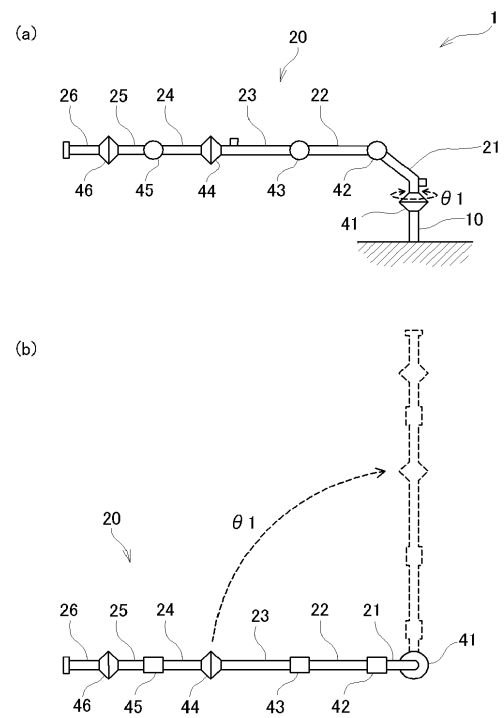
【図6】



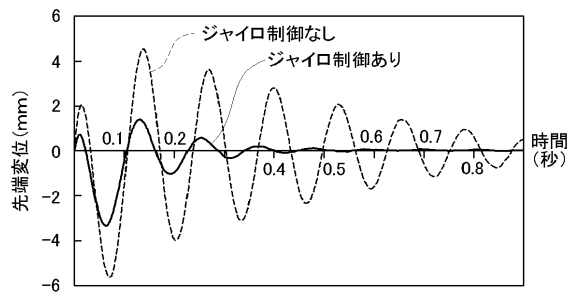
【図7】



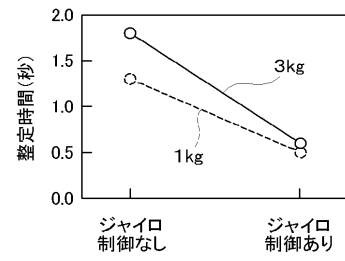
【図8】



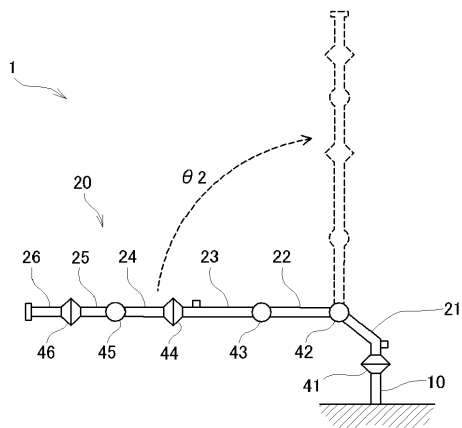
【図 9】



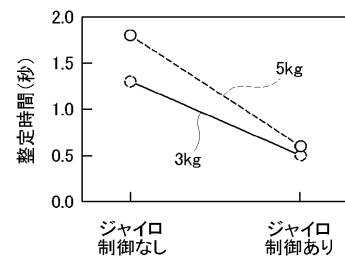
【図 10】



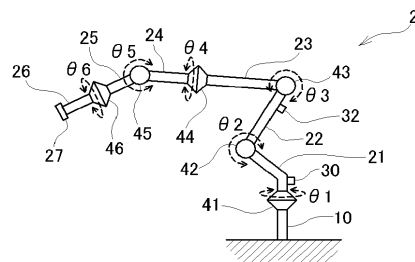
【図 11】



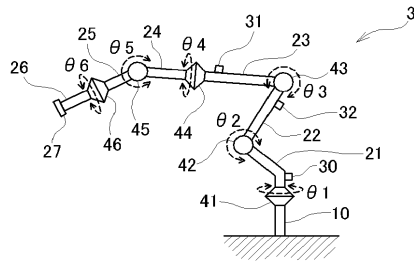
【図 12】



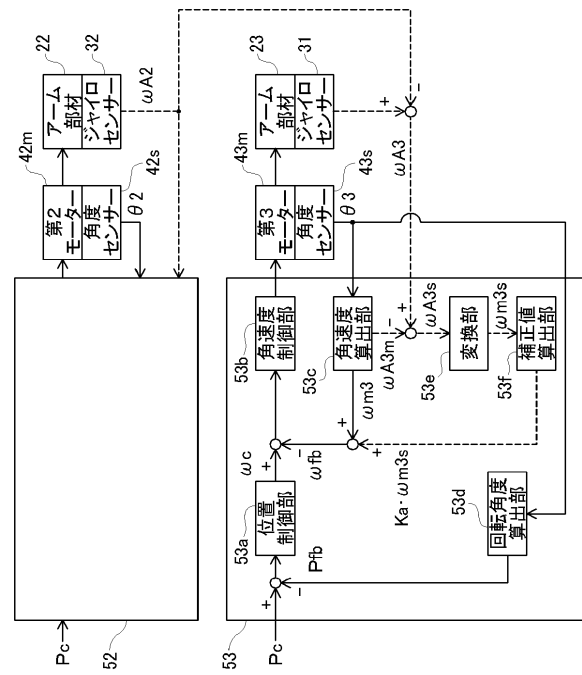
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

- (72)発明者 年光 俊介
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- (72)発明者 仁宇 昭雄
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- (72)発明者 浅田 篤
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- Fターム(参考) 3C707 BS12 KS21 KS23 KS24 KX05 LV24 MT05