

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7349605号
(P7349605)

(45)発行日 令和5年9月25日(2023.9.25)

(24)登録日 令和5年9月14日(2023.9.14)

(51)国際特許分類 F I
B 2 5 J 9/10 (2006.01) B 2 5 J 9/10 A

請求項の数 2 (全17頁)

(21)出願番号	特願2021-524708(P2021-524708)	(73)特許権者	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府門真市元町2番6号
(86)(22)出願日	令和2年4月24日(2020.4.24)	(74)代理人	100106116 弁理士 鎌田 健司
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/017624	(74)代理人	100131495 弁理士 前田 健児
(87)国際公開番号	WO2020/246171	(72)発明者	上田 紘義 大阪府門真市松葉町2番7号 パナソニックスマートファクトリーソリューションズ株式会社内
(87)国際公開日	令和2年12月10日(2020.12.10)	(72)発明者	中田 広之 大阪府門真市松葉町2番7号 パナソニックスマートファクトリーソリューションズ株式会社内
審査請求日	令和4年10月12日(2022.10.12)		
(31)優先権主張番号	特願2019-104609(P2019-104609)		
(32)優先日	令和1年6月4日(2019.6.4)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ロボットの制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも第1関節部、第2関節部、第3関節部及び第4関節部を有するロボットアームの動作を制御するロボットの制御方法であって、

前記第1関節部、前記第2関節部、前記第3関節部及び前記第4関節部は、それぞれ回転軸を有し、

前記第1関節部及び前記第4関節部は、それぞれの回転軸の傾きが前記ロボットアーム先端の位置ずれに影響を及ぼすように構成され、

前記第2関節部及び前記第3関節部は、それぞれの回転軸が重力方向に回転するように構成されており、

前記第1関節部のモーメント剛性と、該第1関節部の回転軸が傾く方向にかかる重力トルクとに基づいて、該第1関節部のたわみ角度を算出するステップと、

前記第2関節部のバネ定数と、該第2関節部の回転方向にかかる重力トルクとに基づいて、該第2関節部のたわみ角度を算出するステップと、

前記第3関節部のバネ定数と、該第3関節部の回転方向にかかる重力トルクとに基づいて、該第3関節部のたわみ角度を算出するステップと、

前記第4関節部のモーメント剛性と、該第4関節部の回転軸が傾く方向にかかる重力トルクとに基づいて、該第4関節部のたわみ角度を算出するステップと、

前記ロボットアーム先端の作業点から、前記第2関節部の回転軸の軸心及び前記第3関節部の回転軸の軸心を通る仮想直線までの距離に基づいて、判定値を算出するステップと、

前記判定値を所定の閾値と比較するステップと、

前記判定値が前記閾値よりも大きい場合に、前記第 1 関節部、前記第 2 関節部、及び前記第 4 関節部のたわみ角度に基づいて、該第 2 関節部のたわみ補償量を算出するとともに、該第 1 関節部、前記第 3 関節部、及び該第 4 関節部のたわみ角度に基づいて、該第 3 関節部のたわみ補償量を算出するステップと、

前記判定値が前記閾値よりも小さい場合に、前記第 1 関節部、前記第 2 関節部、及び前記第 4 関節部のたわみ角度と、該閾値とに基づいて、該第 2 関節部のたわみ補償量を算出するとともに、該第 1 関節部、前記第 3 関節部、及び該第 4 関節部のたわみ角度と、該閾値とに基づいて、該第 3 関節部のたわみ補償量を算出するステップと、

前記第 2 関節部及び前記第 3 関節部の前記たわみ補償量に基づいて、該第 2 関節部及び該第 3 関節部を回動させるステップとを備えたことを特徴とするロボットの制御方法。

10

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記判定値は、前記第 2 関節部及び前記第 3 関節部の回転軸の軸心間の距離と、前記ロボットアーム先端の作業点から前記仮想直線までの距離とを積算した値であることを特徴とするロボットの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットの制御方法に関するものである。

20

【背景技術】

【0002】

従来より、複数の関節部を有するロボットアームを備えた多関節ロボットが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

ところで、このような多関節ロボットでは、アームの自重やアームの先端にかかる負荷によって、アームがたわみ変形することがある。このアームの変形は、回転軸を有する関節部で特に顕著に生じる。つまり、可動部位のある関節部を形成する部材が弾性変形を起こすことにより、関節部が目標とする位置から可動方向に変位することがある。

【0004】

特許文献 1 には、アーム毎に関節部の実際の角度を求め、求めた実際の角度と制御装置からの制御用の指令角度との差であるずれ量を求め、これに基づいて制御装置から関節部に付与する指令角度を補償するようにした構成が開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開 2010 - 58256 号公報

【発明の概要】

【0006】

ところで、特許文献 1 の発明では、重力方向に回動する回転軸を有する関節部の角度のみを補償するものであり、重力方向に回動しない関節部については、何ら考慮されていない。

40

【0007】

具体的に、重力方向に回動する回転軸を有しない関節部であっても、関節部内の減速機やベアリングの弾性変形によって、回転軸自体が傾く方向にたわんでしまうこととなる。そのため、アーム先端の位置決めを精度良く行うことができず、ロボットを用いて行う加工の精度が低下するという問題があった。

【0008】

本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的は、ロボットアームの関節部のたわみに起因するロボットアーム先端の位置ずれを抑えることにある。

50

【 0 0 0 9 】

本発明は、少なくとも第 1 関節部、第 2 関節部、第 3 関節部及び第 4 関節部を有するロボットアームの動作を制御するロボットの制御方法を対象とし、次のような解決手段を講じた。

【 0 0 1 0 】

すなわち、第 1 の発明は、第 1 関節部、第 2 関節部、第 3 関節部及び第 4 関節部は、それぞれ回転軸を有し、

第 1 関節部及び第 4 関節部は、それぞれの回転軸の傾きがロボットアーム先端の位置ずれに影響を及ぼすように構成され、

第 2 関節部及び第 3 関節部は、それぞれの回転軸が重力方向に回動するように構成されており、

第 1 関節部のモーメント剛性と、第 1 関節部の回転軸が傾く方向にかかる重力トルクとに基づいて、第 1 関節部のたわみ角度を算出するステップと、

第 2 関節部のバネ定数と、第 2 関節部の回動方向にかかる重力トルクとに基づいて、第 2 関節部のたわみ角度を算出するステップと、

第 3 関節部のバネ定数と、第 3 関節部の回動方向にかかる重力トルクとに基づいて、第 3 関節部のたわみ角度を算出するステップと、

第 4 関節部のモーメント剛性と、第 4 関節部の回転軸が傾く方向にかかる重力トルクとに基づいて、第 4 関節部のたわみ角度を算出するステップと、

ロボットアーム先端の作業点から、第 2 関節部の回転軸の軸心及び第 3 関節部の回転軸の軸心を通る仮想直線までの距離に基づいて、判定値を算出するステップと、

判定値を所定の閾値と比較するステップと、

判定値が閾値よりも大きい場合に、第 1 関節部、第 2 関節部、及び第 4 関節部のたわみ角度に基づいて、第 2 関節部のたわみ補償量を算出するとともに、第 1 関節部、第 3 関節部、及び第 4 関節部のたわみ角度に基づいて、第 3 関節部のたわみ補償量を算出するステップと、

判定値が閾値よりも小さい場合に、第 1 関節部、第 2 関節部、及び第 4 関節部のたわみ角度と、閾値とに基づいて、第 2 関節部のたわみ補償量を算出するとともに、第 1 関節部、第 3 関節部、及び第 4 関節部のたわみ角度と、閾値とに基づいて、第 3 関節部のたわみ補償量を算出するステップと、

第 2 関節部及び第 3 関節部のたわみ補償量に基づいて、第 2 関節部及び第 3 関節部を回動させるステップとを備えたことを特徴とするものである。

【 0 0 1 1 】

第 1 の発明では、ロボットアーム先端の作業点から、第 2 関節部の回転軸の軸心及び第 3 関節部の回転軸の軸心を通る仮想直線までの距離に基づいて算出した判定値を、所定の閾値と比較する。

【 0 0 1 2 】

判定値が閾値よりも大きい場合には、第 2 関節部のたわみ補償量を、第 1 関節部、第 2 関節部、及び第 4 関節部のたわみ角度に基づいて算出する。また、第 3 関節部のたわみ補償量を、第 1 関節部、第 3 関節部、及び第 4 関節部のたわみ角度に基づいて算出する。

【 0 0 1 3 】

一方、判定値が閾値よりも小さい場合には、第 2 関節部のたわみ補償量を、第 1 関節部、第 2 関節部、及び第 4 関節部のたわみ角度と、閾値とに基づいて算出する。また、第 3 関節部のたわみ補償量を、第 1 関節部、第 3 関節部、及び第 4 関節部のたわみ角度と、閾値とに基づいて算出する。

【 0 0 1 4 】

そして、第 2 関節部及び第 3 関節部を、それぞれ算出されたたわみ補償量に基づいて回動させる。

【 0 0 1 5 】

このように、重力方向に回動可能な第 2 関節部及び第 3 関節部を用いて、第 2 関節部及

10

20

30

40

50

び第3関節部のたわみ角度を補償するだけでなく、第1関節部及び第4関節部の回転軸の傾きについても補償することで、ロボットアーム先端の位置ずれを抑えることができる。

【0016】

ここで、たわみ角度は、目標とする設定角度に対してずれている角度である。

【0017】

なお、判定値と閾値とを比較した結果に基づいて、第2関節部及び第3関節部のたわみ補償量の算出方法を変更しているのは、以下のような理由による。

【0018】

本願発明者は、ロボットアームが所定の姿勢のときに、たわみ補償量が急激に増大してしまうという、特異姿勢が存在することを見出した。そして、このような特異姿勢は、ロボットアーム先端の作業点と仮想直線までの距離が「0」に近づくことで生じることを見出した。

【0019】

そこで、本発明では、ロボットアームが特異姿勢に近付いたと判定するための閾値を設定して、判定値が閾値よりも小さい場合には、たわみ補償量が急激に増大するのを抑えることが可能な計算式を用いて、たわみ補償量を算出するようにした。

【0020】

これにより、ロボットアームの動作を連続的に補正して、制御が不安定となるのを抑えることができる。

【0021】

第2の発明は、第1の発明において、

判定値は、第2関節部及び第3関節部の軸心間の距離と、ロボットアーム先端の作業点から仮想直線までの距離とを積算した値であることを特徴とするものである。

【0022】

第2の発明では、判定値として、第2関節部及び第3関節部の回転軸の軸心間の距離と、ロボットアーム先端の作業点から仮想直線までの距離とを積算した値を用いるようにしている。

【0023】

本発明によれば、ロボットアームの関節部のたわみに起因するロボットアーム先端の位置ずれを抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】図1は、本実施形態に係るロボットの構成を示す側面図である。

【図2】図2は、従来のロボットアームのシステム構成をモデル化して示す図である。

【図3】図3は、本実施形態のロボットアームのシステム構成をモデル化して示す図である。

【図4】図4は、ツールの作業点と各関節部との水平方向及び垂直方向の距離を示す図である。

【図5】図5は、第2関節部の関節角を -90° に設定したときのロボットアームの姿勢を示す図である。

【図6】図6は、第2関節部の関節角を 0° に設定したときのロボットアームの姿勢を示す図である。

【図7】図7は、第2関節部の関節角を 90° に設定したときのロボットアームの姿勢を示す図である。

【図8】図8は、第2関節部の関節角とツールの作業点の水平方向の誤差との関係を示すグラフ図である。

【図9】図9は、第2関節部の関節角とツールの作業点の垂直方向の誤差との関係を示すグラフ図である。

【図10】図10は、第3関節部の関節角を -60° に設定したときのロボットアームの姿勢を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 1 1】図 1 1 は、第 3 関節部の関節角を 0° に設定したときのロボットアームの姿勢を示す図である。

【図 1 2】図 1 2 は、第 3 関節部の関節角を 90° に設定したときのロボットアームの姿勢を示す図である。

【図 1 3】図 1 3 は、第 3 関節部の関節角とツールの作業点の水平方向の誤差との関係を示すグラフ図である。

【図 1 4】図 1 4 は、第 3 関節部の関節角とツールの作業点の垂直方向の誤差との関係を示すグラフ図である。

【図 1 5】図 1 5 は、ロボットアームが特異姿勢のときの状態を示す図である。

【図 1 6】図 1 6 は、判定値と補正角度との関係を示すグラフ図である。

10

【図 1 7】図 1 7 は、判定値と閾値との比較結果に応じて計算式を変更したときの、判定値と補正角度との関係を示すグラフ図である。

【図 1 8】図 1 8 は、判定値と第 2 関節部の補正角度との関係を示すグラフ図である。

【図 1 9】図 1 9 は、判定値と第 3 関節部の補正角度との関係を示すグラフ図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。なお、以下の好ましい実施形態の説明は、本質的に例示に過ぎず、本発明、その適用物或いはその用途を制限することを意図するものではない。

【0026】

20

図 1 に示すように、ロボット 1 は、6 軸の多関節型のロボットアーム 10 と、ロボットアーム 10 の動作を制御する制御部 20 とを備えている。

【0027】

ロボットアーム 10 は、台座部 11 と、肩部 12 と、下アーム部 13 と、第 1 の上アーム部 14 と、第 2 の上アーム部 15 と、手首部 16 と、取付部 17 とを有する。ロボットアーム 10 は、さらに、第 1 関節部 J1 と、第 2 関節部 J2 と、第 3 関節部 J3 と、第 4 関節部 J4 と、第 5 関節部 J5 と、第 6 関節部 J6 とを有する。第 1 関節部 J1、第 2 関節部 J2、第 3 関節部 J3、第 4 関節部 J4、第 5 関節部 J5 および第 6 関節部 J6 は、それぞれ回転軸を有する。

【0028】

30

肩部 12 は、台座部 11 に対して、第 1 関節部 J1 の回転軸を中心に水平方向に旋回可能に支持されている。下アーム部 13 は、肩部 12 に対して、第 2 関節部 J2 の回転軸を中心に重力方向に回動可能に支持されている。

【0029】

第 1 の上アーム部 14 は、下アーム部 13 に対して、第 3 関節部 J3 の回転軸を中心に重力方向に回動可能に支持されている。第 2 の上アーム部 15 は、第 1 の上アーム部 14 に対して、第 4 関節部 J4 の回転軸を中心に捻り回動可能に支持されている。

【0030】

手首部 16 は、第 2 の上アーム部 15 に対して、第 5 関節部 J5 の回転軸を中心に重力方向に回動可能に支持されている。取付部 17 は、手首部 16 に対して、第 6 関節部 J6 の回転軸を中心に捻り回動可能に支持されている。取付部 17 には、溶接トーチ等のツール 18 が取り付けられている。

40

【0031】

第 1 関節部 J1 から第 6 関節部 J6 には、図示しないアクチュエータが内蔵されている。制御部 20 は、ティーチング等によって予め入力された動作プログラムに基づいて、第 1 関節部 J1 から第 6 関節部 J6 がそれぞれ目標位置（指令角度）に達するように、第 1 関節部 J1 から第 6 関節部 J6 のアクチュエータの駆動を制御する。

【0032】

図 2 は、従来のロボットアーム 10 のシステム構成をモデル化して示す図である。図 2 には、ロボットアーム 10 の各関節部で生じるたわみ方向を白塗り矢印で示し、たわみを

50

解消するための補償方向について、黒塗り矢印で示している。

【 0 0 3 3 】

なお、第 5 関節部 J 5 及び第 6 関節部 J 6 で生じるたわみは、ロボットアーム 1 0 先端にあるツール 1 8 の作業点の位置ずれに及ぼす影響が小さく無視できるため、第 5 関節部 J 5 及び第 6 関節部 J 6 については考慮しないものとする。

【 0 0 3 4 】

第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 は、それぞれ重力方向に回動可能である。図 2 に示すように、従来のロボットアーム 1 0 では、第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 で生じる静的弾性たわみのみを考慮して、このたわみを解消するようにしていた。

【 0 0 3 5 】

具体的には、第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 には、図 2 で時計回り方向に重力トルクが作用して、それぞれの回転軸が回動する方向にたわみが生じる。そこで、第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 を、図 2 で反時計回り方向にそれぞれ回動させ、第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 で生じるたわみを打ち消すことで、ツール 1 8 の作業点に生じる位置ずれを補償するようにしていた。

【 0 0 3 6 】

しかしながら、図 2 に点線矢印で示すように、第 1 関節部 J 1 及び第 4 関節部 J 4 についても、それぞれの回転軸が傾く方向に重力トルクが作用している。この重力トルクが、第 1 関節部 J 1 及び第 4 関節部 J 4 の図示しない減速機やベアリングの弾性変形を引き起こす。これによって、第 1 関節部 J 1 及び第 4 関節部 J 4 でそれぞれの回転軸が傾く方向にたわみが生じる。そのため、実際には、ツール 1 8 の作業点の位置ずれが点線矢印の分だけ大きくなってしまふこととなる。

【 0 0 3 7 】

そこで、本実施形態では、第 1 関節部 J 1 及び第 4 関節部 J 4 で生じる静的弾性たわみについても考慮して、第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 を回動させることで、ツール 1 8 の作業点の位置ずれを解消できるようにしている。

【 0 0 3 8 】

具体的に、図 3 に示すように、第 1 関節部 J 1 及び第 4 関節部 J 4 には、図 3 で時計回り方向に重力トルクが作用して、それぞれの回転軸が傾く方向にたわみが生じる。一方、第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 にもそれぞれ、図 3 で時計回り方向に重力トルクが作用して、それぞれの回転軸が回動する方向にたわみが生じる。

【 0 0 3 9 】

そこで、第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 を、図 3 で反時計回り方向にそれぞれ回動させて、第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 のたわみ量を補償するとともに、第 1 関節部 J 1 及び第 4 関節部 J 4 のたわみ量についても補償するようにしている。

【 0 0 4 0 】

これにより、ツール 1 8 の作業点のたわみ量（白塗り矢印で図示）を打ち消すだけの補償量（黒塗り矢印で図示）を得ることができ、ツール 1 8 の作業点の位置ずれを解消することができる。

【 0 0 4 1 】

以下、第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 への補償量の算出方法について説明する。図 4 に示すように、ツール 1 8 の作業点と第 i 関節部との水平方向の距離を r_i [m]、ツール 1 8 の作業点と第 i 関節部との垂直方向の距離を z_i [m]、第 i 関節部の関節角を θ_i [$^\circ$]、第 i 関節部のねじりバネ定数（以下、単にバネ定数という）を k_i [N m / rad]、第 i 関節のモーメント剛性を M_i [N m / rad] とする。本実施形態では、 i は 1 , 2 , 3 または 4 である。

【 0 0 4 2 】

また、ロボットアーム 1 0 及びツール 1 8 の質量を m [k g]、ロボットアーム 1 0 及びツール 1 8 の重心位置を x_g 、ロボットアーム 1 0 及びツール 1 8 の長さを L [m] とする。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 3 】

そして、第 i 関節部の回動方向にかかる重力トルク τ_i [Nm] は、 $\tau_i = f_1(m, x_g, L, \theta_i)$ の関数で表すことができる。また、第 i 関節部の回転軸の傾く方向にかかる重力トルク W_i [Nm] は、 $W_i = f_2(m, x_g, L, \theta_i)$ の関数で表すことができる。

【 0 0 4 4 】

また、ツール 18 の作業点と第 i 関節部との水平方向の距離 r_i は、 $r_i = f_3(L, \theta_i)$ の関数で表すことができる。また、ツール 18 の作業点と第 i 関節部との垂直方向の距離 z_i は、 $z_i = f_4(L, \theta_i)$ の関数で表すことができる。

【 0 0 4 5 】

次に、第 2 関節部 J 2 及び第 3 関節部 J 3 の回動方向にかかる重力トルクによるたわみ角度を算出する。具体的に、第 2 関節部 J 2 のたわみ角度は、 θ_2 / k_2 で表すことができる。また、第 3 関節部 J 3 のたわみ角度は、 θ_3 / k_3 で表すことができる。なお、これらの演算は、制御部 20 によって行われる。

10

【 0 0 4 6 】

次に、第 1 関節部 J 1 及び第 4 関節部 J 4 の回転軸の傾きが、ツール 18 の作業点に与える変位、つまり、たわみ量を算出する。補償量は、水平方向及び垂直方向のたわみ量に基づいて算出することができる。

【 0 0 4 7 】

具体的に、水平方向の合計たわみ量 r は、下記 (1) 式で算出することができる。

【 0 0 4 8 】

$$r = (W_1 / M_1) \cdot z_1 + (W_4 / M_4) \cdot z_4 \cdots (1)$$

また、垂直方向の合計たわみ量 z は、下記 (2) 式で算出することができる。

【 0 0 4 9 】

$$z = (W_1 / M_1) \cdot r_1 + (W_4 / M_4) \cdot r_4 \cdots (2)$$

そして、第 i 関節部への補償量を θ_i [rad] とすると、第 2 関節部 J 2 への補償量 θ_2 は、下記 (3) 式で算出することができる。

【 0 0 5 0 】

$$\theta_2 = (\theta_2 / k_2) + (z_3 \cdot \theta_3 - r_3 \cdot \theta_1) / (z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2) \cdots (3)$$

つまり、第 2 関節部 J 2 の補償量 θ_2 は、第 1 関節部 J 1、第 2 関節部 J 2、及び第 4 関節部 J 4 のたわみ角度に基づいて算出される。

30

【 0 0 5 1 】

また、第 3 関節部 J 3 への補償量 θ_3 は、下記 (4) 式で算出することができる。

【 0 0 5 2 】

$$\theta_3 = (\theta_3 / k_3) + (r_2 \cdot \theta_1 - z_2 \cdot \theta_2) / (z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2) \cdots (4)$$

つまり、第 3 関節部 J 3 の補償量 θ_3 は、第 1 関節部 J 1、第 3 関節部 J 3、及び第 4 関節部 J 4 のたわみ角度に基づいて算出される。

【 0 0 5 3 】

そして、制御部 20 は、第 2 関節部 J 2 の補償量 θ_2 に基づいて、第 2 関節部 J 2 を駆動させる一方、第 3 関節部 J 3 の補償量 θ_3 に基づいて、第 3 関節部 J 3 を駆動させる。これにより、第 1 関節部 J 1 から第 4 関節部 J 4 で生じたたわみを解消することができる。

40

【 0 0 5 4 】

以下、第 2 関節部 J 2 の関節角 θ_2 と、ツール 18 の作業点の目標位置に対する誤差との関係について説明する。

【 0 0 5 5 】

まず、ロボットアーム 10 の下アーム部 13、第 1 の上アーム部 14、及び第 2 の上アーム部 15 を一直線状に伸ばした状態で、図 5 に示すように、第 2 関節部 J 2 の関節角 θ_2 を -90° に設定する。この状態では、ロボットアーム 10 は、図 5 で右方向に水平に

50

延びた姿勢となっている。

【0056】

次に、図6に示すように、第2関節部J2の関節角 θ_2 を 0° に設定する。この状態では、ロボットアーム10は、図6で上方向に垂直に延びた姿勢となっている。

【0057】

そして、図7に示すように、第2関節部J2の関節角 θ_2 を 90° に設定する。この状態では、ロボットアーム10は、図7で左方向に水平に延びた姿勢となっている。

【0058】

ここで、ロボットアーム10が、図5～図7に示す姿勢となるように第2関節部J2の関節角 θ_2 を順に変更する際に、ツール18の作業点の水平方向の誤差と、垂直方向の誤差とを、制御部20においてリアルタイムで算出する。その結果を、図8及び図9のグラフ図に示す。

10

【0059】

図8には、従来なたわみ補償方法、つまり、第2関節部J2及び第3関節部J3で生じるたわみのみを考慮した場合の、第2関節部J2の関節角 θ_2 と水平方向の誤差との関係を点線で示している。また、本実施形態なたわみ補償方法、つまり、第1関節部J1から第4関節部J4で生じるたわみを全て考慮した場合の、第2関節部J2の関節角 θ_2 と水平方向の誤差との関係を実線で示している。

【0060】

図9には、従来なたわみ補償方法による第2関節部J2の関節角 θ_2 と垂直方向の誤差との関係を点線で示している。また、本実施形態なたわみ補償方法による第2関節部J2の関節角 θ_2 と垂直方向の誤差との関係を実線で示している。

20

【0061】

図8及び図9に示すように、本実施形態なたわみ補償方法では、従来なたわみ補償方法に比べて、目標位置(誤差0の位置)に対する水平方向及び垂直方向の誤差が大きく算出されていることが分かる。

【0062】

そのため、補償量を算出するのにあたって、従来なたわみ補償方法に比べて、実際のたわみ角度を考慮した補償量を算出することができ、ツール18の作業点の位置ずれを抑えることができる。

30

【0063】

次に、第3関節部J3の関節角 θ_3 と、ツール18の作業点の目標位置に対する誤差との関係について説明する。

【0064】

まず、図10に示すように、ロボットアーム10の下アーム部13を上方向に垂直に延ばした姿勢とする。そして、第1の上アーム部14及び第2の上アーム部15を一直線状に延ばした状態で、第3関節部J3の関節角 θ_3 を -60° に設定する。この状態では、ロボットアーム10の第1の上アーム部14及び第2の上アーム部15は、図10で左斜め下方に延びた姿勢となっている。

【0065】

40

次に、図11に示すように、第3関節部J3の関節角 θ_3 を 0° に設定する。この状態では、ロボットアーム10の第1の上アーム部14及び第2の上アーム部15は、図11で左方向に水平に延びた姿勢となっている。

【0066】

そして、図12に示すように、第3関節部J3の関節角 θ_3 を 90° に設定する。この状態では、ロボットアーム10の第1の上アーム部14及び第2の上アーム部15は、図12で上方向に垂直に延びた姿勢となっている。

【0067】

ここで、ロボットアーム10が、図10～図12に示す姿勢となるように第3関節部J3の関節角 θ_3 を順に変更する際に、ツール18の作業点の水平方向の誤差と、垂直方向

50

の誤差とを、制御部 20 においてリアルタイムで算出する。その結果を、図 13 及び図 14 のグラフ図に示す。

【0068】

図 13 には、従来のだわみ補償方法、つまり、第 2 関節部 J2 及び第 3 関節部 J3 で生じるたわみのみを考慮した場合の、第 3 関節部 J3 の関節角 θ_3 と水平方向の誤差との関係を点線で示している。また、本実施形態のだわみ補償方法、つまり、第 1 関節部 J1 から第 4 関節部 J4 で生じるたわみを全て考慮した場合の、第 3 関節部 J3 の関節角 θ_3 と水平方向の誤差との関係を実線で示している。

【0069】

図 14 には、従来のだわみ補償方法による第 3 関節部 J3 の関節角 θ_3 と垂直方向の誤差との関係を点線で示している。また、本実施形態のだわみ補償方法による第 3 関節部 J3 の関節角 θ_3 と垂直方向の誤差との関係を実線で示している。

10

【0070】

図 13 及び図 14 に示すように、本実施形態のだわみ補償方法では、従来のだわみ補償方法に比べて、目標位置（誤差 0 の位置）に対する水平方向及び垂直方向の誤差が大きく算出されていることが分かる。

【0071】

そのため、補償量を算出するのにあたって、従来のだわみ補償方法に比べて、実際のたわみ角度を考慮した補償量を算出することができ、ツール 18 の作業点の位置ずれを抑えることができる。

20

【0072】

以上のように、本実施形態に係るロボット 1 の制御方法は、重力方向に回動可能な第 2 関節部 J2 及び第 3 関節部 J3 の回転軸が回動する方向のたわみ角度だけでなく、第 1 関節部 J1 及び第 4 関節部 J4 の回転軸が傾く方向のたわみ角度も用いて、第 2 関節部 J2 及び第 3 関節部 J3 への補償量 Δ_2 及び Δ_3 を算出する。このように算出された補償量 Δ_2 及び Δ_3 は、ロボットアーム 10 先端の位置ずれを低減する。

【0073】

特異姿勢について

本願発明者は、ロボットアーム 10 が所定の姿勢のときに、たわみ補償量が急激に増大してしまうという、特異姿勢が存在することを見出した（図 15 参照）。

30

【0074】

具体的に、上述の(3)式は、第 2 関節部 J2 の補償量 Δ_2 を導出する。上述の(4)式は、第 3 関節部 J3 への補償量 Δ_3 を導出する。(3)式および(4)式は、いずれも、第 2 項の分母の変数として $(z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2)$ を含む。

【0075】

ここで、変数 $(z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2)$ は、距離 D1 と距離 D2 とを積算した値と等価である。距離 D1 は、第 2 関節部 J2 及び第 3 関節部 J3 の回転軸の軸心間の距離である。距離 D2 は、ロボットアーム 10 先端の作業点から、第 2 関節部 J2 の軸心及び第 3 関節部 J3 の軸心を通る仮想直線 30 までの距離である。

【0076】

そして、変数 $(z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2)$ が「0」に近付くと、たわみ補償量、つまり、補正角度が無限に発散してしまい、補正角度が急激に増大することとなる。以下の説明では、変数 $(z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2)$ を、特異姿勢を判定するための判定値とする。

40

【0077】

図 16 は、判定値と補正角度との関係を示すグラフ図である。なお、図 16 のグラフ図では、説明のために、上述した計算式における第 2 項の分子の変数を固定値としている。

【0078】

図 16 に示すように、ロボットアーム 10 を動作させると、ロボットアーム 10 の姿勢に応じて、判定値がマイナス値からプラス値に変化する。そして、判定値がマイナス値から「0」に近付くと、補正角度がマイナス方向に発散する。また、判定値がプラス値から

50

「0」に近付くと、補正角度がプラス方向に発散する。

【0079】

そのため、ロボットアーム10が特異姿勢であるにもかかわらず、上述した(3)式及び(4)式を用いてたわみ補償量を算出すると、補正角度が急激に変化することとなる。そのため、ロボットアーム10の安全機能が働いて装置が停止するおそれがある。

【0080】

そこで、本実施形態では、判定値の絶対値 $(|z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2|)$ が所定の閾値 D_{th} よりも小さい場合に、安定性を重視して連続的に変化する補正角度となるように、たわみ補償量の計算式を変更するようにした。

【0081】

具体的に、図17に示す例では、閾値 D_{th} を0.1に設定している。そして、判定値の絶対値が閾値よりも大きい場合 $(|z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2| > D_{th})$ には、上述した(3)式及び(4)式を用いて、たわみ補償量を算出する。

【0082】

一方、判定値の絶対値が閾値よりも小さい場合 $(|z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2| < D_{th})$ には、第2項の分母に判定値が含まれておらず、たわみ補償量が急激に増大するのを抑えることが可能な計算式を用いて、たわみ補償量を算出する。

【0083】

例えば、図17でハッチングを付した範囲 $(-0.1から+0.1)$ は、判定値の絶対値が閾値よりも小さい。この範囲内では、図17に示すように補正角度の変化が線形補完された形状となってもよい。これにより、補正角度が発散することなく、連続的に補正することができる。

【0084】

以下、判定値が閾値よりも小さい場合に、たわみ補償量を算出するための計算式について説明する。第2関節部J2の補償量 δ_2 は、下記(5)式で算出することができる。

【0085】

$$\delta_2 = (\delta_2 / k_2) + (z_3 \cdot r - r_3 \cdot z) \cdot (z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2) / D_{th}^2 \dots (5)$$

つまり、第2関節部J2の補償量 δ_2 は、第1関節部J1、第2関節部J2、及び第4関節部J4のたわみ角度と、閾値 D_{th} とに基づいて算出される。

【0086】

また、第3関節部J3への補償量 δ_3 は、下記(6)式で算出することができる。

【0087】

$$\delta_3 = (\delta_3 / k_3) + (r_2 \cdot z - z_2 \cdot r) \cdot (z_3 \cdot r_2 - r_3 \cdot z_2) / D_{th}^2 \dots (6)$$

つまり、第3関節部J3の補償量 δ_3 は、第1関節部J1、第3関節部J3、及び第4関節部J4のたわみ角度と、閾値 D_{th} とに基づいて算出される。

【0088】

図18は、第2関節部J2の補償量である補正角度の変化を示すグラフ図である。図18のグラフ図では、第2関節部J2の実際の補正角度を示している。つまり、たわみ補償量の計算式における第2項の分子の変数も変動している。また、図18に示す例では、閾値 D_{th} を0.1に設定している。

【0089】

そして、判定値が -0.1 よりも小さい領域、及び判定値が 0.1 よりも大きい領域では、上述した(3)式を用いて、第2関節部J2の補償量 δ_2 を算出する。一方、図18でハッチングを付した閾値の範囲 $(-0.1から+0.1)$ 内では、上述した(5)式を用いて、第2関節部J2の補償量 δ_2 を算出する。

【0090】

図19は、第3関節部J3の補償量である補正角度の変化を示すグラフ図である。図19のグラフ図では、第3関節部J3の実際の補正角度を示している。つまり、たわみ補償

10

20

30

40

50

量の計算式における第 2 項の分子の変数も変動している。図 19 に示す例では、閾値 D_{th} を 0.1 に設定している。

【0091】

そして、判定値が -0.1 よりも小さい領域、及び判定値が 0.1 よりも大きい領域では、上述した(4)式を用いて、第 3 関節部 J3 の補償量 Δ_3 を算出する。一方、図 19 でハッチングを付した閾値の範囲(-0.1 から +0.1)内では、上述した(6)式を用いて、第 3 関節部 J3 の補償量 Δ_3 を算出する。

【0092】

このように、図 18 及び図 19 に示す例では、第 2 関節部 J2 及び第 3 関節部 J3 において、たわみ補償量を増大させず、且つ連続的に補正することができていることが分かる。これにより、ロボットアーム 10 の動作を連続的に補正して、制御が不安定となるのを抑えることができる。

10

【0093】

なお、上記の実施の形態では、ロボットアーム 10 は、第 1 関節部 J1、第 2 関節部 J2、第 3 関節部 J3 および第 4 関節部 J4 をこの順に有する。本発明は、第 1 関節部 J1 ~ 第 4 関節部 J4 を上記の実施の形態とは異なる順に有するロボットアームにも適用可能である。例えば、ロボットアームは、第 1 関節部 J1、第 4 関節部 J4、第 2 関節部 J2 および第 3 関節部 J3 の順に、これらを有してもよい。第 1 関節部 J1 及び第 4 関節部 J4 は、実施の形態と同様に、それぞれの回転軸の傾きがロボットアーム 10 の先端の位置ずれに影響を及ぼすように構成されている。第 2 関節部 J2 及び第 3 関節部 J3 は、実施の形態と同様に、それぞれの回転軸が重力方向に回動するように構成されている。

20

【産業上の利用可能性】

【0094】

以上説明したように、本発明は、ロボットアームの関節部のたわみに起因するロボットアーム先端の位置ずれを抑えることができるという実用性の高い効果が得られることから、きわめて有用で産業上の利用可能性は高い。

【符号の説明】

【0095】

- 1 ロボット
- 10 ロボットアーム
- 30 仮想直線
- J1 第 1 関節部
- J2 第 2 関節部
- J3 第 3 関節部
- J4 第 4 関節部

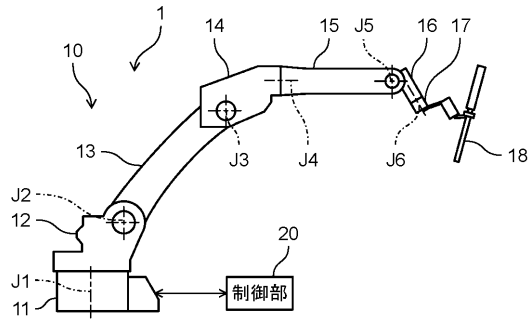
30

40

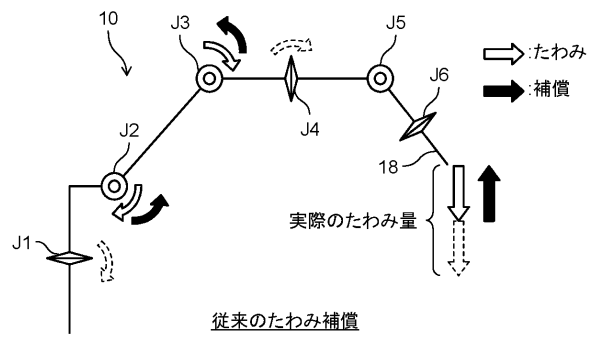
50

【図面】

【図 1】

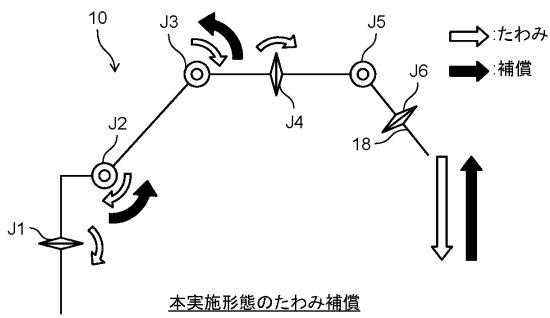


【図 2】

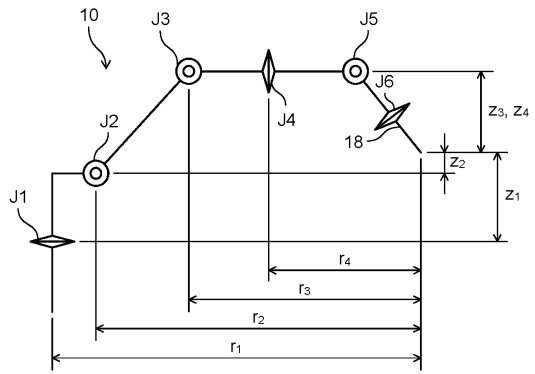


10

【図 3】



【図 4】



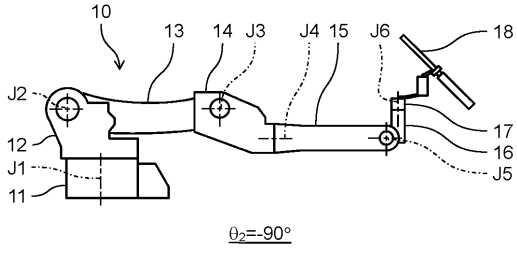
20

30

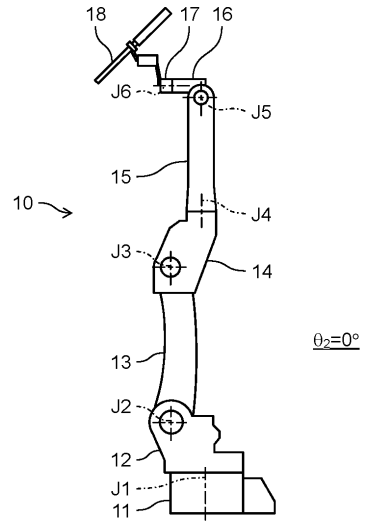
40

50

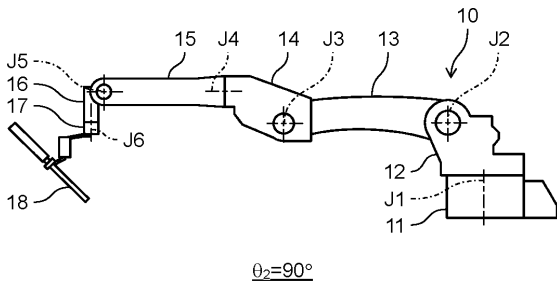
【図5】



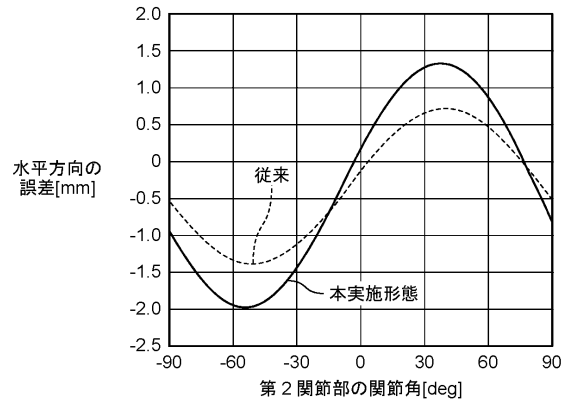
【図6】



【図7】



【図8】



10

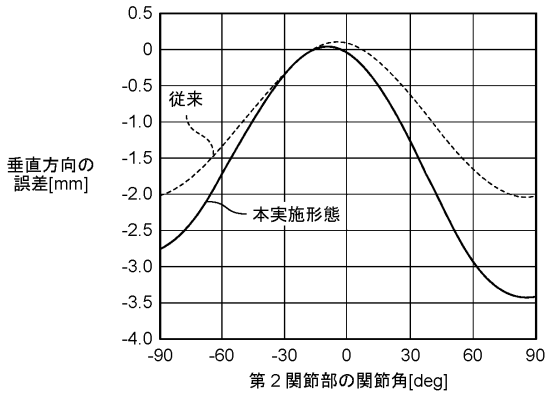
20

30

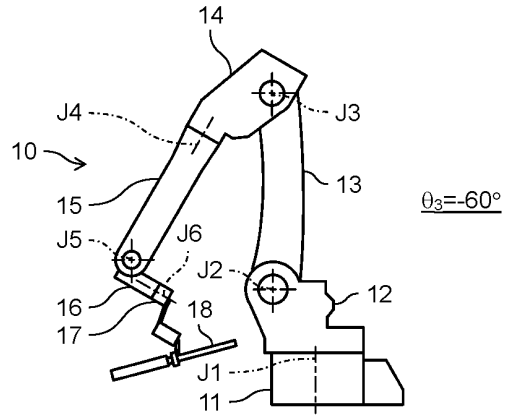
40

50

【図 9】

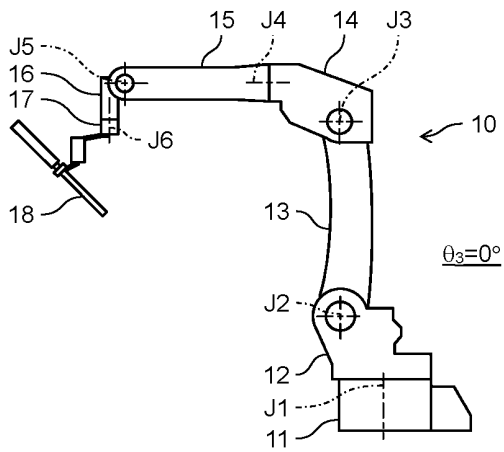


【図 10】

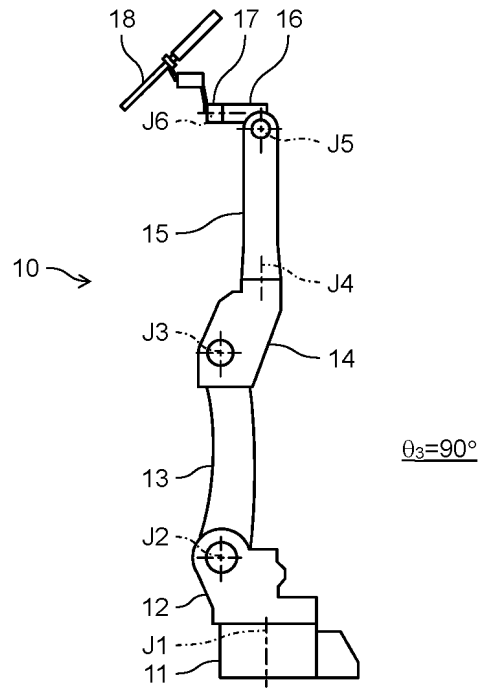


10

【図 11】



【図 12】



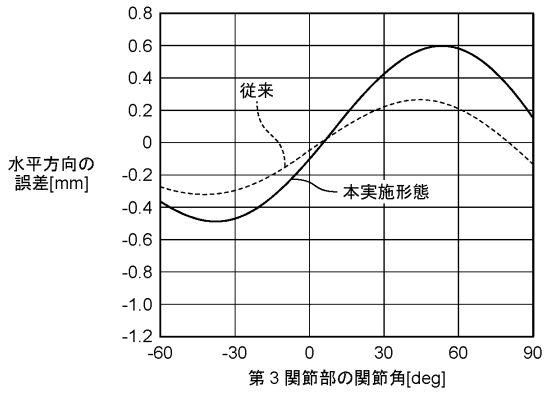
20

30

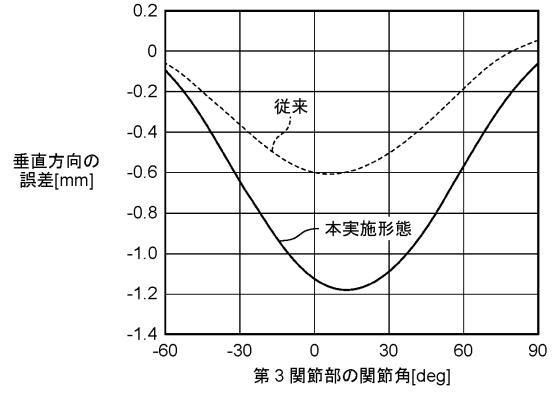
40

50

【図13】

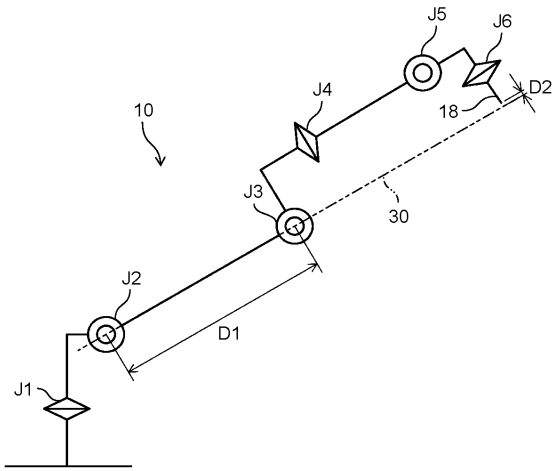


【図14】

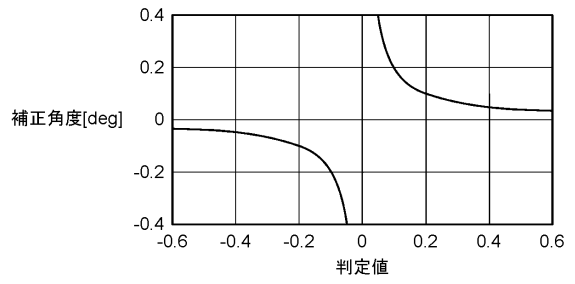


10

【図15】



【図16】



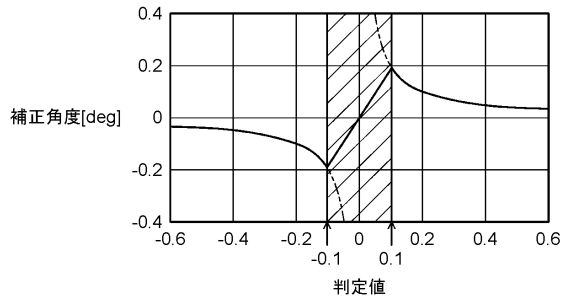
20

30

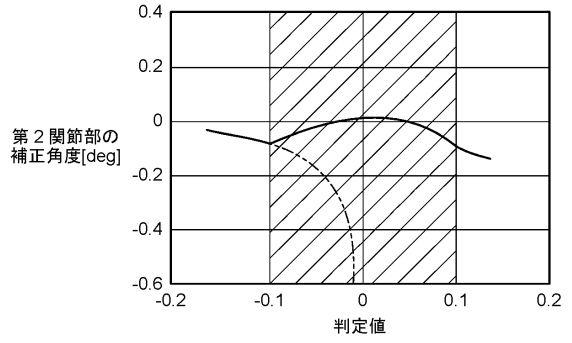
40

50

【 図 1 7 】

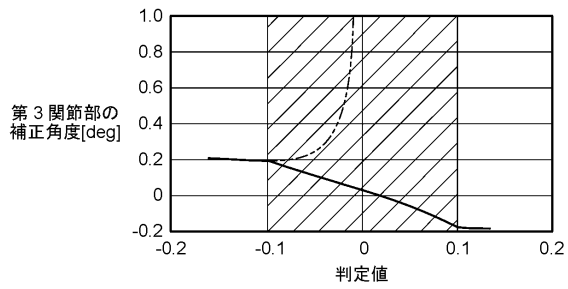


【 図 1 8 】



10

【 図 1 9 】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 橋本 敦実
大阪府門真市松葉町 2 番 7 号 パナソニックスマートファクトリーソリューションズ株式会社内
- (72)発明者 山本 良祐
大阪府門真市松葉町 2 番 7 号 パナソニックスマートファクトリーソリューションズ株式会社内
- (72)発明者 岩谷 正義
大阪府門真市松葉町 2 番 7 号 パナソニックスマートファクトリーソリューションズ株式会社内
- 審査官 仁木 学
- (56)参考文献 特開平 9 - 1 7 4 4 6 6 (J P , A)
特開 2 0 1 4 - 1 8 0 7 2 6 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
B 2 5 J 1 / 0 0 - 2 1 / 0 2