

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6271288号  
(P6271288)

(45) 発行日 平成30年1月31日(2018.1.31)

(24) 登録日 平成30年1月12日(2018.1.12)

(51) Int.Cl. F I  
**B 2 5 J 9/10 (2006.01)** B 2 5 J 9/10 A  
**F 1 6 H 21/54 (2006.01)** F 1 6 H 21/54

請求項の数 7 (全 22 頁)

|           |                               |           |                                       |
|-----------|-------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2014-30425 (P2014-30425)    | (73) 特許権者 | 000102692<br>NTN株式会社                  |
| (22) 出願日  | 平成26年2月20日(2014.2.20)         |           | 大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号                   |
| (65) 公開番号 | 特開2015-155124 (P2015-155124A) | (74) 代理人  | 100086793<br>弁理士 野田 雅士                |
| (43) 公開日  | 平成27年8月27日(2015.8.27)         | (74) 代理人  | 100087941<br>弁理士 杉本 修司                |
| 審査請求日     | 平成29年1月26日(2017.1.26)         | (72) 発明者  | 坂田 清悟<br>静岡県磐田市東貝塚1578番地 NTN<br>株式会社内 |
|           |                               | (72) 発明者  | 西尾 幸宏<br>静岡県磐田市東貝塚1578番地 NTN<br>株式会社内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リンク作動装置の制御装置および制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基端側のリンクハブに対し先端側のリンクハブを、3組以上のリンク機構を介して姿勢を変更可能に連結し、前記各リンク機構は、それぞれ前記基端側のリンクハブおよび先端側のリンクハブに一端が回転可能に連結された基端側および先端側の端部リンク部材と、これら基端側および先端側の端部リンク部材の他端に両端がそれぞれ回転可能に連結された中央リンク部材とでなり、前記3組以上のリンク機構のうち2組以上のリンク機構に、前記基端側の端部リンク部材であるアームを回転させることにより、前記基端側のリンクハブに対する前記先端側のリンクハブの姿勢を任意に変更させるアクチュエータを設け、前記先端側のリンクハブにエンドエフェクタを設置したリンク作動装置、を制御する制御装置であって、

前記リンク作動装置の前記各リンク機構は、前記リンク作動装置が如何なる姿勢をとっていても、前記リンク機構を直線で表現した幾何学モデルが、前記中央リンク部材の中央部に対する基端側部分と先端側部分とが対称を成す形状であり、

前記制御装置は、

前記エンドエフェクタが作業する被作業面上の前記エンドエフェクタが移動する始点から終点までの経路を通過点で複数の区間に分割し、前記通過点の位置を設定する分割区間設定手段と、

指定された一定速度の目標移動速度および前記各区間の距離から定まる各区間内の移動の時間と、前記各区間における前記各アームの回転角移動量とから、前記各区間における

前記各アームが等速回転する回転速度を計算するアーム回転速度計算手段と、

前記各区間内での前記各アームの回転速度を前記回転速度計算手段で計算された値として、前記各区間を加減速無しで連続して前記各アームを回転させるように前記各アクチュエータを位置決め制御する姿勢変更制御手段と、

を備えることを特徴とするリンク作動装置の制御装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のリンク作動装置の制御装置において、前記エンドエフェクタが作業する前記被作業面は平面であるリンク作動装置の制御装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のリンク作動装置の制御装置において、前記エンドエフェクタが作業する前記被作業面は球面であるリンク作動装置の制御装置。

10

【請求項 4】

請求項 2 に記載のリンク作動装置の制御装置において、前記アーム回転速度計算手段は、前記始点、終点、および各通過点のいずれかの点である各ポイントへの前記各アームの回転速度を計算するものであって、この回転速度を、前記被作業面を示す直交座標系の任意の 2 ポイント間の距離と前記目標移動速度から求められる時間と、前記 2 ポイント間の前記各アームの回転角移動量とから計算するリンク作動装置の制御装置。

【請求項 5】

請求項 3 に記載のリンク作動装置の制御装置において、前記アーム回転速度計算手段は、前記始点、終点、および各通過点のいずれかの点である各ポイントへの前記各アームの回転速度を、球面三角法より得られる任意の 2 ポイント間の移動量と前記目標移動速度から求められる時間と、前記 2 ポイント間の前記各アームの回転角移動量とから、前記各区間における前記各アームの回転速度を計算するリンク作動装置の制御装置。

20

【請求項 6】

請求項 1 ないし請求項 5 のいずれか 1 項に記載のリンク作動装置の制御装置において、前記各区間における、前記各通過点の位置と、前記各区間における前記各アームの回転速度につき、リンク作動装置の実使用の前に計算した値を記憶する区間対応設定情報記憶手段を有し、前記姿勢変更制御手段は、実使用時は、前記区間対応設定情報記憶手段に記憶された前記各通過点の位置と、前記各アームの回転速度を読み出して制御するリンク作動装置の制御装置。

30

【請求項 7】

基端側のリンクハブに対し先端側のリンクハブを、3 組以上のリンク機構を介して姿勢を変更可能に連結し、前記各リンク機構は、それぞれ前記基端側のリンクハブおよび先端側のリンクハブに一端が回転可能に連結された基端側および先端側の端部リンク部材と、これら基端側および先端側の端部リンク部材の他端に両端がそれぞれ回転可能に連結された中央リンク部材とでなり、前記 3 組以上のリンク機構のうち 2 組以上のリンク機構に、前記基端側の端部リンク部材であるアームを回転させることにより、前記基端側のリンクハブに対する前記先端側のリンクハブの姿勢を任意に変更させるアクチュエータを設け、前記先端側のリンクハブにエンドエフェクタを設置したリンク作動装置、を制御する制御方法であって、

40

前記リンク作動装置の前記各リンク機構は、前記リンク作動装置が如何なる姿勢をとっていても、前記リンク機構を直線で表現した幾何学モデルが、前記中央リンク部材の中央部に対する基端側部分と先端側部分とが対称を成す形状であり、

前記制御方法は、

前記エンドエフェクタが作業する被作業面上の前記エンドエフェクタが移動する始点から終点までの経路を通過点で複数の区間に分割し、

指定された目標移動速度および前記各区間の距離から定まる各区間内の移動の時間と、前記各区間における前記各アームの回転角移動量とから、前記各区間における前記各アームの回転速度を計算し、

前記各区間内での前記各アームの回転速度を前記の計算された値として、前記各区間を

50

加減速無しで連続して前記各アームを回転させるように前記各アクチュエータを位置決め制御することで、

前記被作業面上の分割された複数点間を始点から終点まで実質的に一定速度に動作させることを特徴とするリンク作動装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、産業機器等の精密で広範な作動範囲を必要とする機器に用いられるリンク作動装置の制御装置および制御方法に関する。

【背景技術】

10

【0002】

三次元空間における複雑な加工や処理等の作業を高速かつ精密に行うリンク作動装置として、例えば特許文献1～3に、4節連鎖のリンク機構を3組以上有し、2自由度の動作を可能とした装置が開示されている。これらのリンク作動装置は、例えば図9に示すように、基端側のリンクハブ14と、先端側のリンクハブ15と、これらリンクハブ14, 15を互いに連結する3組のリンク機構11, 12, 13とでなる。各リンク機構11, 12, 13は、基端側の端部リンク部材11a, 12a, (13a)、先端側の端部リンク部材11b, 12b, 13b、および中央リンク部材11c, 12c, 13cで構成されている。なお、図9では、基端側の端部リンク部材13aは図示されていないが、区別のために符号を用いて説明する。また、前記基端側の端部リンク部材11a, 12a, 13aを、以下、アーム11a, 12a, 13aと称する。

20

【0003】

この種のリンク作動装置は、3組以上のリンク機構4を2個以上のモータ等のアクチュエータ(図示せず)により駆動することで、基端側のリンクハブ14に対する先端側のリンクハブ15の姿勢(以下「リンクハブ先端姿勢」または単に「姿勢」と称す)を変更する。リンクハブ先端姿勢は、折れ角と旋回角により決定される。折れ角は、基端側のリンクハブ14の中心軸QAに対する先端側のリンクハブ15の中心軸QBの傾斜角度であり、旋回角は、基端側のリンクハブ14の中心軸QAに対する先端側のリンクハブ15の中心軸QBの旋回角度である。

【0004】

30

リンクハブ先端姿勢の制御は、具体的には、前記折れ角および旋回角から、各アーム11a, 12a, 13aの回転角(以下「アーム回転角」と称す)( $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ )を求め、アーム11a, 12a, 13aを駆動するアクチュエータに位置決めさせる。例えば、図10(A), (B)に示すある姿勢A( $\theta_a, \theta_a$ )と異なる姿勢B( $\theta_b, \theta_b$ )について、各々の姿勢A, Bに対応する各アーム回転角は、下記の折れ角および旋回角とアーム回転角との関係を示す式(1)によりA( $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ )、B( $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ )として求められる。

【0005】

$$\cos(\theta/2) \sin \theta_n - \sin(\theta/2) \sin(\theta + \theta_n) \cos \theta_n + \sin(\theta/2) \dots \text{式(1)}$$

40

は、アーム11a, 12a, 13aに回転自在に連結された中央リンク部材11c, 12c, 13cの連結端軸と、先端側の端部リンク部材11b, 12b, 13bに回転自在に連結された中央リンク部材11c, 12c, 13cの連結端軸とが成す角度である。

$\theta_n$ ( $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ )(図示せず)は、基準となるアーム11aに対する各基端側の端部リンク部材11a, 12a, 13aの円周方向の離間角である。リンク機構11, 12, 13の数が3組で、各リンク機構11, 12, 13が円周方向に等配である場合、各アーム11a, 12a, 13aの離間角 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ はそれぞれ $0^\circ, 120^\circ, 240^\circ$ となる。

【0006】

ここで、姿勢Aから姿勢Bへの姿勢変更は、各アーム11a, 12a, 13aの回転角

50

が 1 a から 1 b、 2 a から 2 b、 3 a から 3 b へそれぞれ変化することで実行される。

【0007】

また、特許文献4では、基端側のリンクハブ14の中心軸QAの延長上に設定された基端側のリンクハブ14の中心軸QAと垂直な直交座標から、最小自乗法による収束演算を用いてリンクハブの姿勢(折れ角、旋回角)を取得している。これにより、エンドエフェクタが作業する被作業面(直交座標平面)の任意の座標への位置決めが可能となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2004-66888号公報

【特許文献2】特開2005-144627号公報

【特許文献3】特開2012-82937号公報

【特許文献4】特開2013-202725号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

リンクハブ先端姿勢につき姿勢A( $\theta_{a1}$ 、 $\theta_{a2}$ )から姿勢B( $\theta_{b1}$ 、 $\theta_{b2}$ )への姿勢変更量が大きい場合、姿勢Aから姿勢Bまで単にポイントツーポイント(Point-to-Point)制御で同期して等速運動で制御すると、特に姿勢Aと姿勢B間の経路の中間部付近において、ポイントツーポイント制御で決定されるアーム回転角 $\theta_{11}$ が、前記式(1)から定まるアーム回転角 $\theta_{11a}$ と比べて大きく異なる位置に位置決め指令される。そのため、各アーム11a、12a、13a間に干渉が生じ、リンク機構11、12、13の駆動に過大なトルクが必要になる。

【0010】

そこで、姿勢変更量が大きい場合にリンク作動装置の各部に過大な負荷をかけずに駆動するために、姿勢Aから姿勢Bの間を複数の姿勢に分割し、分割された各区間をポイントツーポイント制御で姿勢変更する制御装置を先に提案した(特願2013-063948号)。例えば、旋回角 $\theta_{11}$ を15°に固定した状態で折れ角 $\theta_{12}$ を-60°から60°に姿勢変更する際、A、B間を移動するリンクハブ先端姿勢の経路が最短となるようにA、B間の折れ角 $\theta_{12}$ を分割する。

【0011】

具体例を示すと、旋回角 $\theta_{11}$ を15°に固定した状態で、折れ角 $\theta_{12}$ を-60°から60°に姿勢変更する際、A、B間を移動するリンクハブ先端姿勢の経路が最短となるように折れ角 $\theta_{12}$ を分割した場合、アーム回転角 $\theta_{11}$ と折れ角 $\theta_{12}$ の関係が、前記式(1)より、図11の実線M1~M3で表わされる。旋回角 $\theta_{11}$ を15°に固定した状態での、各折れ角(-60°、-45°、-30°、...)における各アーム回転角 $\theta_{11}$ が実線M1~M3上にプロットされる。

一方、旋回角 $\theta_{11}$ を15°に固定した状態で折れ角 $\theta_{12}$ を-60°から60°に一気にポイントツーポイント制御で姿勢変更する場合のアーム回転角 $\theta_{11}$ と折れ角 $\theta_{12}$ の関係は、図11の点線L1~L3で表わされる。

【0012】

つまり、旋回角 $\theta_{11}$ を15°に固定した状態で折れ角 $\theta_{12}$ を-60°から60°に姿勢変更する例において、ポイントツーポイント制御で姿勢変更する場合は、全てのアームにつきアーム回転角 $\theta_{11}$ の経路が直線(L1~L3)になるのに対し、折れ角 $\theta_{12}$ を分割した場合のアーム回転角 $\theta_{11}$ は、曲線(M1~M3)を通過する経路で各姿勢が決まる。ここでは、姿勢変更の一例を挙げたが、全ての姿勢変更において、折れ角 $\theta_{12}$ を分割した場合に各アーム回転角 $\theta_{11}$ が直線になるとは限らない。これは、姿勢Aから姿勢Bの区間において、リンクハブ先端姿勢を等速で変化させるためには、各アーム回転角 $\theta_{11}$ を非線形に動作させる必要があることを示す。例えば、先端側のリンクハブ15に設置されたエンドエフェクタの被

10

20

30

40

50

作業面を球面とした場合において、姿勢Aから姿勢Bまでを複数の区間に分割し、分割された各区間を連続的に変化させると、姿勢Aが被作業面上に指す位置から姿勢Bが被作業面上に指す位置までの移動速度は一定にならない。

【0013】

したがって、図9、図10に示すような、4節連鎖のリンク機構を3組以上有するリンク作動装置を用い、レーザによる加工や、ディスペンサ、インクジェットによる塗布、または溶接等を行う場合、被作業面上でのエンドエフェクタの不等速動作により、加工ムラや塗装ムラ、および溶接の際の肉厚ムラ等が発生する。

【0014】

この発明の目的は、上記課題を解消し、4節連鎖のリンク機構を3組以上有するリンク作動装置を用いてエンドエフェクタで作業を行うときに、エンドエフェクタが被作業面上を実質的に等速で移動しながら作業を行うことができるリンク作動装置の制御装置および制御方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0015】

この発明のリンク作動装置の制御装置4は、次のリンク作動装置1を制御対象とする。このリンク作動装置1は、基端側のリンクハブ14に対し先端側のリンクハブ15を、3組以上のリンク機構11～13を介して姿勢を変更可能に連結し、前記各リンク機構11～13は、それぞれ前記基端側のリンクハブ14および先端側のリンクハブ15に一端が回転可能に連結された基端側および先端側の端部リンク部材11a～13a、11b～13bと、これら基端側および先端側の端部リンク部材11a～13a、11b～13bの他端に両端がそれぞれ回転可能に連結された中央リンク部材11c～13cとでなり、前記3組以上のリンク機構11～13のうち2組以上のリンク機構に、前記基端側の端部リンク部材であるアーム11a～13aを回転させることにより、前記基端側のリンクハブ14に対する前記先端側のリンクハブ15の姿勢を任意に変更させるアクチュエータ3を設け、前記先端側のリンクハブ15にエンドエフェクタ8を設置してなる。前記各リンク機構11～13は、前記リンク作動装置1が如何なる姿勢をとっていても、このリンク機構11～13を直線で表現した幾何学モデルが、前記中央リンク部材11c～13cの中央部に対する基端側部分と先端側部分とが対称を成す形状である。

【0016】

前記制御装置4は、

前記エンドエフェクタ8が作業する被作業面60上の前記エンドエフェクタ8が移動する始点から終点までの経路を通過点で複数の区間に分割し、前記通過点の位置を設定する分割区間設定手段42と、

指定された目標移動速度Vおよび前記各区間の距離から定まる各区間内の移動の時間と、前記各区間における前記各アーム11a、12a、13aの回転角移動量とから、前記各区間における前記各アーム11a、12a、13aが等速回転する回転速度を計算するアーム回転速度計算手段43と、

前記各区間内での前記各アーム11a～13aの回転速度を前記回転速度計算手段43で計算された値として、前記各区間を加減速無しで連続して前記各アームを回転させるように前記各アクチュエータ3を位置決め制御する姿勢変更制御手段41と、  
を備える。

【0017】

この構成によると、エンドエフェクタ8の始点から終点までの移動、つまり先端側のリンクハブ15の始点姿勢A( $\theta_a$ 、 $\phi_a$ )から終点姿勢B( $\theta_b$ 、 $\phi_b$ )への移動において、分割区間設定手段42に区間を複数に分割して設定する際に、分割する区間はエンドエフェクタ8が作業する被作業面60上での経路を基準に区間設定する。

アーム回転速度計算手段43は、エンドエフェクタ8の被作業面60上を移動する速度が始点から終点まで一定の前記目標移動速度となるように、各区間の移動ごとに各アーム11a、12a、13aの等速回転する回転速度( $\omega_1$ 軸、 $\omega_2$ 軸、 $\omega_3$ 軸の移動速度)

10

20

30

40

50

を計算する。この回転速度の計算は、指定された目標移動速度および前記各区間の距離から定まる各区間内の移動の時間と、前記各区間における前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の回転角移動量とから行う。例えば、 $\text{回転速度} = (\text{回転角移動量}) \div (\text{移動時間})$  とする。前記目標移動速度はオペレータが設定する速度である。

姿勢変更制御手段 4 1 は、前記各区間内での前記各アーム 1 1 a ~ 1 3 a の回転速度を、前記の計算された回転速度に設定し、この設定された回転速度で、前記各区間内を加減速無しで連続して回転させるように前記各アクチュエータ 3 を位置決め制御する。

#### 【 0 0 1 8 】

これにより、エンドエフェクタが作業する被作業平面（直交座標）上の複数点を実質的に等速で動作することが可能となる。すなわち、始点から終点への位置決め制御が、途中の被作業面 6 0 上の任意の点を加減速無しで通過することになる。そのため、エンドエフェクタとして、例えばレーザ加工ヘッド、ディスペンサ、インクジェットノズル、溶接器具等をリンクに付加した際、レーザの加工ムラやディスペンサ、インクジェットによる塗布ムラ、溶接による溶接ムラをなくすることができる。

#### 【 0 0 1 9 】

なお、区間の分割数は エンドエフェクタ 8 の被作業面 6 0 上を移動する速度が実質的に等速となるように設定する。「実質的に等速」とは、換言すれば「近似的に等速」であり、始点付近での動作開始時と終点付近での動作終了時を除き、エンドエフェクタ 8 による作業の観点から等速であると見なせる程度に速度の変化が生じないことを言う。

分割区間設定手段 4 2 における区間の設定は、指令入力手段 4 0 から各通過点を入力することで設定しても、また分割区間設定手段 4 2 が各通過点を計算により求めて設定するようにしても良い。

また、アーム 1 1 a ~ 1 3 a に着目すると、ある区間のアーム回転速度と、次の区間のアーム回転速度とでは差が生じ、区間の隣合う箇所ではアーム回転の加減速が生じるが、被作業面 6 0 でのエンドエフェクタ 8 の移動は、前記アーム 1 1 a ~ 1 3 a の加減速が無視できる程度の近似的な等速になる。

#### 【 0 0 2 0 】

前記被作業面 6 0 は、平面であっても、球面であっても、またその他の面であっても良い。前記被作業面 6 0 が平面である場合は、前記アーム回転速度計算手段は、前記始点、終点、および各通過点のいずれかの点である各ポイントへの前記各アームの回転速度を計算するものであって、この回転速度を、前記被作業面 6 0 を示す直交座標系の任意の 2 ポイント間の距離と前記目標移動速度から求められる時間と、前記 2 ポイント間の前記各アームの回転角移動量とから計算するようにしても良い。

これにより、被作業面 6 0 が平面にある場合に、前記各区間における前記各アームの回転速度を的確に計算できる。

#### 【 0 0 2 1 】

前記被作業面 6 0 が球面である場合は、前記アーム回転速度計算手段は、前記始点、終点、および各通過点のいずれかの点である各ポイントへの前記各アームの回転速度を、球面三角法より得られる任意の 2 ポイント間の移動量と前記目標移動速度から求められる時間と、前記 2 ポイント間の前記各アームの回転角移動量とから、前記各区間における前記各アームの回転速度を計算するようにしても良い。

これにより、被作業面 6 0 が球面である場合に、前記各アームの回転速度を正確にかつ簡単に計算できる。

#### 【 0 0 2 2 】

この発明において、前記各区間における、前記各通過点の位置と、前記各区間における前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の回転速度につき、リンク作動装置 1 の実使用の前に計算した値を記憶する区間対応設定情報記憶手段 4 6 を設け、前記姿勢変更制御手段 4 1 は、実使用時は、前記区間対応設定情報記憶手段 4 6 に記憶された前記各通過点の位置と、前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の回転速度を読み出して制御するようにしても良い。

10

20

30

40

50

リンク作動装置 1 を用いて同じ作業を繰り返して行う場合がある。そのような場合、各  
 区間における前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の回転速度を予め区間対応設定情報記  
 憶手段 4 6 に記憶させておき、前記姿勢変更制御手段 4 1 はその記憶内容を読み出して制  
 御を行うようにすれば、区間の設定や回転速度の計算を毎回行う必要がなく、制御が簡単  
 な装置で迅速に行える。一度だけの作業であっても、予め区間およびアーム回転速度を予  
 め計算して設定しておくことが便利な場合がある。

なお、この構成の場合、分割区間設定手段 4 2 およびアーム回転速度計算手段 4 3 は、  
 姿勢変更制御手段 4 1 とは互いに別のコンピュータ等に設けられていても良い。また、上  
 記の「実使用時」とは、実際にエンドエフェクタ 8 で加工や処理を行うときを言う。

#### 【 0 0 2 3 】

この発明のリンク作動装置の制御方法は、この発明の制御装置と同じ構成のリンク作動  
 装置 1 を制御する方法であり、次のように制御する。

すなわち、このリンク作動装置の制御方法は、

前記エンドエフェクタ 8 が作業する被作業面 6 0 上の前記エンドエフェクタ 8 が移動す  
 る始点から終点までの経路を通過点で複数の区間に分割し、

指定された目標移動速度および前記各区間の距離から定まる各区間内の移動の時間と、  
 前記各区間における前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の回転角移動量とから、前記各  
 区間における前記各アーム 1 1 a , 1 1 b 1 2 a , 1 1 c 1 3 a の回転速度を計算し、

前記各区間内での前記各アームの回転速度を前記の計算された値として、前記各区間を  
 加減速無しで連続して前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a を回転させるように前記各ア  
 クチュエータ 8 を位置決め制御することで、

前記作業面 6 0 上の分割された複数点間を始点から終点まで実質的に一定速度に動作さ  
 せる方法である。

この制御方法によると、この発明の制御装置につき前述したと同様に、エンドエフェク  
 タ 8 が被作業面 6 0 上を実質的に等速で移動しながら作業を行うことができる。

#### 【発明の効果】

#### 【 0 0 2 4 】

この発明のリンク作動装置の制御装置は、基端側のリンクハブに対し先端側のリンクハ  
 ブを、3組以上のリンク機構を介して姿勢を変更可能に連結し、前記各リンク機構は、そ  
 れぞれ前記基端側のリンクハブおよび先端側のリンクハブに一端が回転可能に連結された  
 基端側および先端側の端部リンク部材と、これら基端側および先端側の端部リンク部材の  
 他端に両端がそれぞれ回転可能に連結された中央リンク部材とでなり、前記3組以上のリ  
 ンク機構のうち2組以上のリンク機構に、前記基端側の端部リンク部材であるアームを回  
 転させることにより、前記基端側のリンクハブに対する前記先端側のリンクハブの姿勢を  
 任意に変更させるアクチュエータを設け、前記先端側のリンクハブにエンドエフェクタを  
 設置したリンク作動装置、を制御する制御装置であって、

前記リンク作動装置の前記各リンク機構は、前記リンク作動装置が如何なる姿勢をとっ  
 ていても、前記リンク機構を直線で表現した幾何学モデルが、前記中央リンク部材の中央  
 部に対する基端側部分と先端側部分とが対称を成す形状であり、

前記制御装置は、前記エンドエフェクタが作業する被作業面上の前記エンドエフェクタ  
 が移動する始点から終点までの経路を通過点で複数の区間に分割し、前記通過点の位置を  
 設定する分割区間設定手段と、指定された一定速度の目標移動速度および前記各区間の距  
 離から定まる各区間内の移動の時間と、前記各区間における前記各アームの回転角移動量  
 とから、前記各区間における前記各アームが等速回転する回転速度を計算するアーム回転  
 速度計算手段と、前記各区間内での前記各アームの回転速度を前記回転速度計算手段で計  
 算された値として、前記各区間を加減速無しで連続して前記各アームを回転させるよう  
 に前記各アクチュエータを位置決め制御する姿勢変更制御手段とを備えるため、エンドエフ  
 ェクタが作業する被作業平面上を実質的に等速で動作することが可能となり、エンドエフ  
 ェクタとして、例えばレーザ加工ヘッド、ディスペンサ、インクジェットノズル、溶接器  
 具等をリンクに付加した際、レーザの加工ムラやディスペンサ、インクジェットによる塗

10

20

30

40

50

布ムラ、溶接による溶接ムラをなくすることができる。

【0025】

この発明のリンク作動装置の制御方法は、基端側のリンクハブに対し先端側のリンクハブを、3組以上のリンク機構を介して姿勢を変更可能に連結し、前記各リンク機構は、それぞれ前記基端側のリンクハブおよび先端側のリンクハブに一端が回転可能に連結された基端側および先端側の端部リンク部材と、これら基端側および先端側の端部リンク部材の他端に両端がそれぞれ回転可能に連結された中央リンク部材とでなり、前記3組以上のリンク機構のうち2組以上のリンク機構に、前記基端側の端部リンク部材であるアームを回転させることにより、前記基端側のリンクハブに対する前記先端側のリンクハブの姿勢を任意に変更させるアクチュエータを設け、前記先端側のリンクハブにエンドエフェクタを

10

設置したリンク作動装置、を制御する制御方法であって、  
前記各リンク機構は、前記リンク作動装置が如何なる姿勢をとっていても、前記リンク機構を直線で表現した幾何学モデルが、前記中央リンク部材の中央部に対する基端側部分と先端側部分とが対称を成す形状であり、

前記制御方法は、前記エンドエフェクタが作業する被作業面上の前記エンドエフェクタが移動する始点から終点までの経路を通過点で複数の区間に分割し、指定された目標移動速度および前記各区間の距離から定まる各区間内の移動の時間と、前記各区間における前記各アームの回転角移動量とから、前記各区間における前記各アームの回転速度を計算し、前記各区間内での前記各アームの回転速度を前記の計算された値として、前記各区間を加減速無しで連続して前記各アームを回転させるように前記各アクチュエータを位置決め

20

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】この発明の第1の実施形態に係るリンク作動装置の制御装置のブロック図とその制御対象となるリンク作動装置の一部省略正面図とを組み合わせた説明図である。

【図2】同リンク作動装置の図1と異なる動作状態を示す一部省略正面図である。

30

【図3】同リンク作動装置のリンク作動装置本体の斜視図である。

【図4】同リンク作動装置のリンク機構の一つを直線で表現した幾何学的モデル図である。

【図5】同リンク作動装置の基端側のリンクハブ、基端側の端部リンク部材、および中央リンク部材の断面図である。

【図6】同リンク作動装置に搭載されたエンドエフェクタが作業する平面からなる被作業面上の移動経路の簡易化例を表す直交座標系の図である。

【図7】同リンク作動装置に搭載されたエンドエフェクタが作業する平面からなる被作業面上の移動経路の一般化例を表す直交座標系の図である。

【図8】同リンク作動装置に搭載されたエンドエフェクタが作業する球面からなる被作業面上の移動経路の例を表す曲座標系の図である。

40

【図9】従来の4節連鎖のリンク機構を3組以上設けたリンク作動装置の一例の斜視図である。

【図10】同リンク作動装置の姿勢変更動作の説明図である。

【図11】同リンク作動装置を姿勢変更する場合の折れ角と基端側の端部リンクの回転角との関係を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0027】

<第1の実施形態>

この発明の第1の実施形態に係るリンク作動装置の制御装置および制御方法を図面と

50

共に説明する。まず、制御対象となるリンク作動装置を、図1ないし図5と共に説明する。図1および図2に示すように、このリンク作動装置1は、リンク作動装置本体2と、このリンク作動装置本体2を作動させる複数の姿勢制御用のアクチュエータ3とを備え、これら姿勢制御用のアクチュエータ3が制御装置4により制御される。図の例では、リンク作動装置本体2が、その基端側で、支持部材5にスペーサ6を介して吊り下げ状態に設置されている。リンク作動装置本体2の先端側には、先端取付部材7を介してエンドエフェクタ8が搭載されている。アクチュエータ3は例えばサーボモータであり、位置検出器35を有している。エンドエフェクタ8は、例えばレーザ加工ヘッド、ディスペンサ、インクジェットノズル、溶接トーチ等であり、テーブル装置50(図2)上のワークWの表面である作業面60上で作業を行う。

10

#### 【0028】

リンク作動装置本体2は、背景技術の欄で説明した図9のリンク作動装置1と基本的に同じ構成である。このため一部が繰り返しになるが、各部の構造をより詳しく説明する。図3に示すように、リンク作動装置本体2は、3組のリンク機構11, 12, 13(以下、「11~13」と表記する)を具備する。なお、図1および図2では、リンク機構11の形状につき1組のみを表示し、図1では他の2組のリンク機構12, 13について、制御の説明のためにブロックで示している。これら3組のリンク機構11~13のそれぞれは幾何学的に互いに同一形状をなす。すなわち、各リンク機構11~13は、後述の各リンク部材11a~13a, 11b~13b, 11c~13cを直線で表現した幾何学モデルが、中央リンク部材11c~13cの中央部に対する基端側部分と先端側部分が対称を成す形状である。

20

#### 【0029】

各リンク機構11, 12, 13は、基端側の端部リンク部材11a, 12a, 13a(以下、「11a~13a」と表記する)、中央リンク部材11c, 12c, 13c(以下、「11c~13c」と表記する)、および先端側の端部リンク部材11b, 12b, 13b(以下、「11b~13b」と表記する)で構成され、4つの回転対偶からなる4節連鎖のリンク機構をなす。基端側および先端側の端部リンク部材11a~13a, 11b~13bはL字状をなし、基端がそれぞれ基端側のリンクハブ14および先端側のリンクハブ15に回転自在に連結されている。中央リンク部材11c~13cは、両端に基端側および先端側の端部リンク部材11a~13a, 11b~13bの先端がそれぞれ回転自在に連結されている。基端側のリンクハブ14および先端側のリンクハブ15は六角柱状で、外周面を構成する6つの側面16のうちの1つ置きに離れた3つの側面16に、基端側および先端側の端部リンク部材11a~13a, 11b~13bがそれぞれ回転自在に連結されている。なお、基端側の端部リンク部材11a~13aは、請求項で言う「アーム」であり、以下の説明において、「アーム11a~13a」と称する場合がある。

30

#### 【0030】

リンク作動装置本体2は、2つ球面リンク機構を組み合わせた構成であって、リンクハブ14, 15と端部リンク部材11a~13a, 11b~13bの各回転対偶、および端部リンク部材11a~13a, 11b~13bと中央リンク部材11c~13cの各回転対偶の中心軸が、基端側と先端側において、それぞれの球面リンク中心PA, PB(図1、図2)で交差している。また、基端側と先端側において、リンクハブ14, 15と端部リンク部材11a~13a, 11b~13bの各回転対偶とそれぞれの球面リンク中心PA, PBからの距離も同じであり、端部リンク部材11a~13a, 11b~13bと中央リンク部材11c~13cの各回転対偶とそれぞれの球面リンク中心PA, PBからの距離も同じである。端部リンク部材11a~13a, 11b~13bと中央リンク部材11c~13cとの回転対偶の中心軸は、ある交差角をもっているもよいし、平行であってもよい。

40

#### 【0031】

つまり、3組のリンク機構11~13は、幾何学的に同一形状をなす。幾何学的に同一形状とは、各リンク部材11a~13a, 11b~13b, 11c~13cを直線で表現

50

した幾何学モデル、すなわち各回転対偶と、これら回転対偶間を結ぶ直線とで表現したモデルが、中央リンク部材 11c ~ 13c の中央部に対する基端側部分と先端側部分が対称を成す形状であることを言う。図 4 は、一つのリンク機構 11 を直線で表現した図である。

#### 【0032】

この実施形態のリンク機構 11 ~ 13 は回転対称タイプで、基端側のリンクハブ 14 および基端側の端部リンク部材 11a ~ 13a と、先端側のリンクハブ 15 および先端側の端部リンク部材 11b ~ 13b との位置関係が、中央リンク部材 11c ~ 13c の中心線 C に対して回転対称となる位置構成になっている。図 1 は、基端側のリンクハブ 14 の中心軸 QA と先端側のリンクハブ 15 の中心軸 QB とが同一線上にある状態を示し、図 2 は、基端側のリンクハブ 14 の中心軸 QA に対して先端側のリンクハブ 15 の中心軸 QB が所定の作動角をとった状態を示す。各リンク機構 11 ~ 13 の姿勢が変化しても、基端側と先端側の球面リンク中心 PA, PB 間の距離 H は変化しない。

10

#### 【0033】

図 5 は、基端側のリンクハブ 14 と基端側の端部リンク部材 11a ~ 13a の連結部を示す断面図である。基端側のリンクハブ 14 の側面 16 から軸部 18 が突出し、この軸部 18 に複列の軸受 17 の内輪（図示せず）が外嵌し、基端側の端部リンク部材 11a ~ 13a の基端側のリンクハブ側の端部に軸受 17 の外輪（図示せず）が内嵌している。つまり、内輪は基端側のリンクハブ 14 に固定され、外輪が基端側の端部リンク部材 11a ~ 13a と共に回転する構造である。軸受 17 は、例えば深溝玉軸受、アンギュラ玉軸受等の玉軸受であって、ナット 19 による締付けでもって所定の予圧量を付与して固定されている。軸受 17 としては、図示例のように玉軸受を複列で配列する以外に、ローラ軸受や滑り軸受を用いてもよい。先端側のリンクハブ 15 と先端側の端部リンク部材 11b ~ 13b の連結部も、同様の構造である。

20

#### 【0034】

また、基端側の端部リンク部材 11a ~ 13a と中央リンク部材 11c ~ 13c の連結部も複列の軸受 20 を介して互いに回転自在に連結されている。すなわち、基端側の端部リンク部材 11a ~ 13a に軸受 20 の外輪（図示せず）が外嵌し、中央リンク部材 11c ~ 13c に設けた軸部 21 に軸受 20 の内輪（図示せず）が外嵌している。軸受 20 は、例えば深溝玉軸受、アンギュラ玉軸受等の玉軸受であって、ナット 22 による締付けでもって所定の予圧量を付与して固定されている。軸受 20 としては、図示例のように玉軸受を複列で配列する以外に、ローラ軸受や滑り軸受を用いてもよい。先端側の端部リンク部材 11b ~ 13b と中央リンク部材 11c ~ 13c の連結部も、同様の構造である。

30

#### 【0035】

前記リンク機構 11 ~ 13 において、端部リンク部材 11a ~ 13a, 11b ~ 13b の軸部 18 の角度、長さ（球面リンク中心 PA, PB からの長さ）、および端部リンク部材 11a ~ 13a, 11b ~ 13b の幾何学的形状が基端側と先端側で等しく、また、中央リンク部材 11c ~ 13c についても基端側と先端側で形状が等しいとき、中央リンク部材 11c ~ 13c の対称面に対して中央リンク部材 11c ~ 13c と、入先端側のリンクハブ 14, 15 と連結される端部リンク部材 11a ~ 13a, 11b ~ 13b との角度位置関係を基端側と先端側で同じにすれば、幾何学的対称性から基端側のリンクハブ 14 および基端側の端部リンク部材 11a ~ 13a と、先端側のリンクハブ 15 および先端側の端部リンク部材 11b ~ 13b とは同じに動き、基端側と先端側は同じ回転角になって等速で回転することになる。この等速回転するときの中央リンク部材 11c ~ 13c の対称面を等速二等分面という。

40

#### 【0036】

このため、基端側のリンクハブ 14 および先端側のリンクハブ 15 を共有する同じ幾何学形状のリンク機構 11 ~ 13 を円周上に複数配置させることにより、複数のリンク機構 11 ~ 13 が矛盾なく動ける位置として中央リンク部材 11c ~ 13c が等速二等分面上のみの動きに限定され、これにより基端側と先端側は任意の作動角をとっても等速回転が

50

得られる。

【 0 0 3 7 】

各リンク機構 1 1 ~ 1 3 における 4 つの回転対偶の回転部、つまり、基端側のリンクハブ 1 4 と基端側の端部リンク部材 1 1 a ~ 1 3 a との連結部分、先端側のリンクハブ 1 5 と先端側の端部リンク部材 1 1 b ~ 1 3 b との連結部分、および基端側および先端側の端部リンク部材 1 1 a ~ 1 3 a , 1 1 b ~ 1 3 b と中央リンク部材 1 1 c ~ 1 3 c との 2 つの連結部分を軸受構造とすることにより、その連結部分での摩擦抵抗を抑えて回転抵抗の軽減を図ることができ、滑らかな動力伝達を確保できると共に耐久性を向上できる。

【 0 0 3 8 】

このリンク作動装置本体 2 の構成によれば、基端側のリンクハブ 1 4 に対する先端側のリンクハブ 1 5 の可動範囲を広くとれる。背景技術の欄で説明したように、例えば、基端側のリンクハブ 1 4 の中心軸 Q A と先端側のリンクハブ 1 5 の中心軸 Q B の折れ角 の最大値 ( 最大折れ角 ) を約  $\pm 90^\circ$  とすることができる。また、基端側のリンクハブ 1 4 に対する先端側のリンクハブ 1 5 の旋回角 を  $0^\circ \sim 360^\circ$  の範囲で設定できる。

【 0 0 3 9 】

図 1 および図 2 において、前記複数のアクチュエータ 3 は、支持部材 5 の上に円周方向に等配で設置されている。アクチュエータ 3 の個数は、リンク機構 1 1 , 1 2 , 1 3 と同数の 3 個である。ただし、アクチュエータ 3 の個数が 2 個であっても、リンク作動装置本体 2 の動作を規定できる。この実施形態では、アクチュエータ 3 はモータからなり、その出力軸 3 a にピニオン 3 0 が設けられている。一方、前記端部側の端部リンク部材 1 1 a ~ 1 3 a における前記軸部 1 8 との回転対偶部に連結部材 3 1 ( 図 5 ) が固定して取付けられ、この連結部材 3 1 に、前記ピニオン 3 0 と噛み合う扇形ギア 3 2 が設けられている。扇形ギア 3 2 の中心軸は、軸部 1 8 ( 図 5 ) の中心軸と一致する。前記ピニオン 3 0 と扇形ギア 3 2 とで減速機 3 3 を構成する。

【 0 0 4 0 】

各アクチュエータ 3 を回転駆動すると、その回転が減速機構 3 3 を介して軸部 1 8 ( 図 5 ) に伝達されて、基端側のリンクハブ 1 4 に対する基端側の端部リンク部材であるアーム 1 1 a ~ 1 3 a の角度が変更される。それにより、基端側のリンクハブ 1 4 に対する先端側のリンクハブ 1 5 の姿勢が決まる。この姿勢は、折れ角 ( 図 3 ) および旋回角 ( 図 3 ) により規定される。アーム 1 1 a ~ 1 3 a の回転角  $\theta_1$  ,  $\theta_2$  ,  $\theta_3$  は、回転角検出手段 3 5 により検出された値と減速機構 3 3 の減速比との値から見積もられる。

【 0 0 4 1 】

次に、図 1 と共に制御装置 4 について説明する。制御装置 4 は、基端側のリンクハブ 1 4 に対する先端側のリンクハブ 1 5 の姿勢を始点姿勢から終点姿勢へ変更すると共に、その際、被作業面 6 0 上の経路を作業点が指令入力手段 4 0 で設定された目標移動速度 V で移動して姿勢変更するように、各アクチュエータ 3 を制御する装置である。前記作業点は、例えば前記エンドエフェクタ 8 の先端部となる点である。

前記支点姿勢は、現在の姿勢であり、個々のアーム 1 1 a ~ 1 3 a の始点は、現在の各アーム 1 1 a ~ 1 3 a の位置である。この始点は、前回移動時の終点とされ、または各回転角検出手段 3 5 により検出された値と減速機構 3 3 の減速比との値から見積られる現在位置、または定められた基準位置等とされる。支点姿勢は、この制御装置 4 に対する外部の指令入力手段 4 0 から与えるようにしても良い。

指令入力手段 4 0 は、キーボードやマウス等のオペレータの操作により入力を行う機器であっても、またこの制御装置 4 に対する上位の制御装置や、その他の情報機器類から情報を得る通信手段や記憶媒体のドライブ手段であっても良い。

【 0 0 4 2 】

制御装置 4 は、コンピュータによる数値制御式のものであり、分割区間設定手段 4 2 、アーム回転速度計算手段 4 3 、区間対応設定情報記憶手段 4 6 、および姿勢変更制御手段 4 1 を備える。

【 0 0 4 3 】

10

20

30

40

50

分割区間設定手段 4 2 は、エンドエフェクタ 8 が作業する被作業面 6 0 上の前記エンドエフェクタ 8 が移動する始点から終点までの経路を複数または一つの通過点で複数の区間に分割し、前記通過点の位置を設定する手段である。被作業面 6 0 上の前記始点から終点までの経路は、前記指令入力手段 4 0 から直交座標で入力され、また前記各通過点も、分割区間設定手段 4 2 では、直交座標で示される。ここで、区間の分割数は エンドエフェクタ 8 の被作業面 6 0 上を移動する速度が実質的に等速となるよう設定する。前記経路を通過点で複数の区間に分割する処理は、指令入力手段 4 0 からオペレータが入力するようにしても良く、また分割区間設定手段 4 2 に分割機能を持たせて自動で分割するようにしても良い。オペレータが入力するように構成する場合、前記分割区間設定手段 4 2 は、単に前記始点、終点、および通過点の座標を記憶する手段となる。

10

**【 0 0 4 4 】**

前記分割区間設定手段 4 2 が各通過点を計算して区分を設定する構成とする場合、定められた規則により、前記始点から終点までの経路を、例えば一定の分割数で等分割し、アーム回転速度計算手段 4 3 に回転速度の計算を行わせて、始点から終点までを実質的に等速となるように制御できるか否かを判定し、できない場合は分割数を変更して再度アーム回転速度計算手段 4 3 に回転速度の計算を行わせる処理を繰り返し、始点から終点までを実質的に等速となるように制御できると判定する処理によって定めても良い。

**【 0 0 4 5 】**

アーム回転速度計算手段 4 3 は、オペレータにより指令入力手段 4 0 から入力して指定された目標移動速度、および前記各区間の距離から定まる各区間内の移動の時間と、前記各区間における前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の回転角移動量とから、前記各区間における前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a が等速回転する回転速度を計算する手段である。

20

**【 0 0 4 6 】**

区間対応設定情報記憶手段 4 6 は、各区間毎に、前記アーム回転速度計算手段 4 3 で計算された各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の、前記各区間に対応する前記始点、通過点、または終点であるポイントの位置と、アーム回転速度を記憶する手段である。

**【 0 0 4 7 】**

姿勢変更制御手段 4 1 は、前記各区間内での前記各アーム 1 1 a ~ 1 3 a の回転速度を前記回転速度計算手段 4 3 で計算された値として、前記各区間を加減速無しで連続して回転させるように前記各アクチュエータ 3 を位置決め制御する手段である。姿勢変更制御手段 4 1 は、指令読み出し部 5 1、同期制御部 5 2、および前記アクチュエータ 3 と同数の個別制御部 5 3 からなる。指令読み出し部 5 1 は、前記区間対応設定情報記憶手段 4 6 に記憶された各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の各区間毎の、各ポイントの位置とアーム回転速度を読み出す手段である。指令読み出し部 5 1 は、前記区間対応設定情報記憶手段 4 6 から読み出す代わりに、アーム回転速度計算手段 4 3 から各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の各区間毎の、各ポイントの位置とアーム回転速度を読み出すようにしても良い。

30

**【 0 0 4 8 】**

各個別制御部 5 3 は、対応するアクチュエータ 3 を、与えられたポイントからポイントへポイントツーポイントで位置制御する手段である。個別制御部 5 3 は、具体的には、例えばアーム回転角をアクチュエータ移動量に変換する動作量変換部（図示せず）と動作指令生成部（図示せず）とサーボコントローラ部（図示せず）とからなり、動作指令生成部は前記台形速度制御の速度曲線に従ってパルス払い出し等によってサーボコントローラ部へ動作指令を与え、サーボコントローラ部は、その与えられた動作指令と前記回転角検出手段 3 5 の検出値を用いてフィードバック制御を行う。

40

同期制御部 5 2 は、各アーム 1 1 a ~ 1 3 a が、同時に始点から回転を始め、同時に終点で止まるように、各個別制御部 5 3 に対して同期制御を行わせる手段である。

**【 0 0 4 9 】**

前記アーム回転速度計算手段 4 3 で用いる具体的な回転速度の計算方法を説明する。まず簡単な例で説明する。

50

図6にエンドエフェクタ8が作業する平面の被作業面60上の任意の3つのポイント(A、B、C)を示す。前記各ポイント(A、B、C)は直交座標で示された点である。ポイントAとBの間の距離を $L_{ab}$ 、ポイントBとCの間の距離を $L_{bc}$ とすると、 $L_{ab}$ と $L_{bc}$ は次の式となる。

【0050】

【数1】

$$L_{ab} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad 10$$

$$L_{bc} = \sqrt{(X_3 - X_2)^2 + (Y_3 - Y_2)^2}$$

【0051】

被作業平面60上でのエンドエフェクタ8の速度(なぞる速度)を $V$ とすると、 $L_{ab}$ の距離を移動する時間 $T_{ab}$ と、 $L_{bc}$ の距離を移動する時間 $T_{bc}$ は以下の式となる。速度 $V$ は前記目標移動速度である。加減速時間はゼロとして計算する。

$$T_{ab} = L_{ab} / V \quad 20$$

$$T_{bc} = L_{bc} / V$$

【0052】

ポイントA、B、Cにおけるリンクハブの姿勢(折れ角、旋回角)を姿勢A( $\alpha_a$ )、姿勢B( $\alpha_b$ )、姿勢C( $\alpha_c$ )とすると、姿勢A、B、Cに対応するアーム回転角は、リンクハブとアーム回転角との前記関係式(1)からそれぞれ回転角A( $\theta_{1a}$ 、 $\theta_{2a}$ 、 $\theta_{3a}$ )、回転角B( $\theta_{1b}$ 、 $\theta_{2b}$ 、 $\theta_{3b}$ )、回転角C( $\theta_{1c}$ 、 $\theta_{2c}$ 、 $\theta_{3c}$ )として関係が成り立つ。ポイントAからBへ移動する時の1軸、2軸、3軸の各回転角移動量を $\Delta\theta_{1ab}$ 、 $\Delta\theta_{2ab}$ 、 $\Delta\theta_{3ab}$ とすると、各軸の回転速度である移動速度 $V_{1ab}$ 、 $V_{2ab}$ 、 $V_{3ab}$ は以下の式で表せる。なお、前記1軸、2軸、3軸は、それぞれ前記各アーム11a~13aの回転中心回りの回転について示す。

【0053】

【数2】

$$V_{1ab} = \frac{|\Delta\theta_{1ab}|}{T_{ab}} = \frac{|\beta_{1a} - \beta_{1b}|}{T_{ab}}$$

$$V_{2ab} = \frac{|\Delta\theta_{2ab}|}{T_{ab}} = \frac{|\beta_{2a} - \beta_{2b}|}{T_{ab}} \quad 40$$

$$V_{3ab} = \frac{|\Delta\theta_{3ab}|}{T_{ab}} = \frac{|\beta_{3a} - \beta_{3b}|}{T_{ab}}$$

【0054】

上記と同様に、ポイントBからCへ移動する時の1軸、2軸、3軸の各移動量を

50

$1_{bc}$ 、 $2_{bc}$ 、 $3_{bc}$ とすると、各軸の移動速度 $V1_{bc}$ 、 $V2_{bc}$ 、 $V3_{bc}$ は次の式となる。

【0055】

【数3】

$$V1_{bc} = \frac{|\Delta\beta 1_{bc}|}{T_{bc}} = \frac{|\beta 1_b - \beta 1_c|}{T_{bc}}$$

$$V2_{bc} = \frac{|\Delta\beta 2_{bc}|}{T_{bc}} = \frac{|\beta 2_b - \beta 2_c|}{T_{bc}}$$

$$V3_{bc} = \frac{|\Delta\beta 3_{bc}|}{T_{bc}} = \frac{|\beta 3_b - \beta 3_c|}{T_{bc}}$$

10

20

【0056】

アーム回転速度計算手段43は、先端側のリンクハブ15に付加したエンドエフェクタ8が平面の被作業面60上の3つのポイントA B Cをなぞる動作の際、1軸、2軸、3軸の各移動量と、上記式より求めた速度を各区間毎に設定し、各区間内は加減速なしで連続位置決め制御する。なお、「加減速なしで連続位置決め」とは、止まらずに連続して回転させる意味である。

【0057】

図7に一般化して示す。同図に示すように、エンドエフェクタ8が平面の被作業面60上の各ポイントを指定された目標移動速度Vでなぞる動作において、nポイント目の直交座標を $(X_n, Y_n)$ とし、n-1ポイント目の直交座標を $(X_{n-1}, Y_{n-1})$ とし、n-1ポイント目からnポイント目への1軸、2軸、3軸の各移動量を1、2、3とすると、Nポイント目に移動する際の各軸の移動速度 $V1_n$ 、 $V2_n$ 、 $V3_n$ は次の式で表せる。

【0058】

30

【数4】

$$V_{1n} = \frac{|\Delta\beta 1|}{T} \quad \text{式(2)}$$

$$V_{2n} = \frac{|\Delta\beta 2|}{T} \quad \text{式(3)}$$

$$V_{3n} = \frac{|\Delta\beta 3|}{T} \quad \text{式(4)}$$

$$T = \frac{\sqrt{(X_n - X_{n-1})^2 + (Y_n - Y_{n-1})^2}}{V} \quad \text{式(5)}$$

【0059】

アーム回転速度計算手段43は、これらの式(2)~(5)に従って、各区間の移動時間Tと、これら各区間における各アーム回転速度である各軸の移動速度 $V_{1n}$ 、 $V_{2n}$ 、 $V_{3n}$ を計算する。また、アーム回転速度計算手段43は、上記の式(2)~(5)による計算に先立って、このアーム回転速度計算手段43が有する指令変換部44により、前記被作業面60上の直交座標で示された各ポイントの座標位置を、前記のリンクハブとアーム回転角との関係式(1)に従って各アーム11a~11cの回転に変換し、上記各軸の移動量1、2、3を求める。

【0060】

この実施形態の構成によると、このようにエンドエフェクタ8の始点から終点までの移動、つまり先端側のリンクハブ15の始点姿勢A( $\theta_a$ 、 $\phi_a$ )から終点姿勢B( $\theta_b$ 、 $\phi_b$ )への移動において、分割区間設定手段42に区間を複数に分割して設定する際に、分割する区間はエンドエフェクタ8が作業する被作業面60上での経路を基準に区間設定する。

アーム回転速度計算手段43は、エンドエフェクタ8の作業面上を移動する速度が始点から終点まで一定の前記目標移動速度Vとなるように、各区間の移動ごとに各アーム11a、12a、13aの等速回転する回転速度(1軸、2軸、3軸の移動速度)を計算する。この回転速度の計算は、指定された目標移動速度Vおよび前記各区間の距離から定まる各区間内の移動の時間と、前記各区間における前記各アーム11a、12a、13aの回転角移動量とから行う。

姿勢変更制御手段41は、前記各区間内での前記各アーム11a~13aの回転速度を、前記の計算された回転速度に設定し、この設定された回転速度で、前記各区間内を加減速無しで連続して回転させるように前記各アクチュエータ3を位置決め制御する。

【0061】

これにより、エンドエフェクタ8が作業する平面の被作業面(直交座標)上の複数点を実質的に等速で動作することが可能となる。すなわち、始点から終点への位置決め制御が、途中の被作業面上の任意の点を加減速無しで通過することになる。そのため、エンドエフェクタとして、例えばレーザ加工ヘッド、ディスペンサ、インクジェットノズル、溶接器具等をリンクに付加した際、レーザの加工ムラやディスペンサ、インクジェットによる

塗布ムラ、溶接による溶接ムラをなくすることができる。

【0062】

<第2の実施形態>

この発明の第2の実施形態を、図8を参照して説明する。この実施形態において、特に説明した事項の他は、第1の実施形態と同様である。この実施形態は、図1における分割区間設定手段42、アーム回転速度計算速度計算手段43、および区間対応設定情報記憶手段46の機能につき、第1の実施形態とは一部を異ならせたものである。区間対応設定情報記憶手段46は、記憶する値が第1の実施形態とは異なる。

【0063】

第1の実施形態では、エンドエフェクタ8の被作業面60が平面である場合の等速移動について示したが、これと同様に被作業面60が球面である場合に、この球面状の被作業面60上でのエンドエフェクタ8の先端の動作を等速にすることもできる。これは、先端側のリンクハブ15の動作を等速にすることになる。

【0064】

ここでは、先端側のリンクハブ15の動作を等速にする時の各軸（1軸、2軸、3軸）の移動速度について示す。図8に示すように、あるポイント（ $n-1$ ）と $n$ における先端側リンクハブ15の姿勢（折れ角、旋回角）を姿勢A（ $\theta_{n-1}$ 、 $\phi_{n-1}$ ）、姿勢B（ $\theta_n$ 、 $\phi_n$ ）とする。姿勢A、Bに対応するアーム回転角は、前記リンクハブとアーム回転角との関係式（1）より、それぞれ回転角A（ $\alpha_{1n-1}$ 、 $\alpha_{2n-1}$ 、 $\alpha_{3n-1}$ ）、回転角B（ $\alpha_{1n}$ 、 $\alpha_{2n}$ 、 $\alpha_{3n}$ ）として関係が成り立つ。また、姿勢A（ $\theta_{n-1}$ 、 $\phi_{n-1}$ ）から姿勢B（ $\theta_n$ 、 $\phi_n$ ）へ移動したときの回転角移動量（rad）は、球面三角法より以下の式で近似して表せる。

【0065】

【数5】

$$\begin{aligned} \gamma = & \cos^{-1} \{ \sin(90^\circ - \theta_{n-1}) \times \sin(90^\circ - \theta_n) \\ & + \cos(90^\circ - \theta_{n-1}) \times \cos(90^\circ - \theta_n) \times \cos(\phi_n - \phi_{n-1}) \} \end{aligned} \quad 30$$

【0066】

先端側リンクハブ15の指定された目標移動速度を $V$ （rad/s）とすると、移動量（rad）にかかる時間は次の式となる。

$$T = \text{移動量} / V$$

あるポイント（ $n-1$ ）からポイント $n$ へ移動するときの各軸の回転角の移動速度である回転速度 $V_{1n}$ 、 $V_{2n}$ 、 $V_{3n}$ は、次の式となる。

【0067】

【数6】

$$V_{1n}' = \frac{|\beta_{1n} - \beta_{1n-1}|}{T} \quad \text{式(6)}$$

$$V_{2n}' = \frac{|\beta_{2n} - \beta_{2n-1}|}{T} \quad \text{式(7)}$$

$$V_{3n}' = \frac{|\beta_{3n} - \beta_{3n-1}|}{T} \quad \text{式(8)}$$

10

20

30

40

50

## 【0068】

1軸、2軸、3軸の各移動量と、上記式より求めた速度を各区画毎、つまり各ポイント毎に設定し、各ポイントを加減速なしで連続位置決め制御する。

## 【0069】

図1と共に説明すると、図1の分割区間設定手段42は、球面からなる被作業面60上の前記エンドエフェクタ8が移動する始点から終点までの経路を通過点で複数の区間に分割する。すなわち、前記各ポイントを定める。前記アーム回転速度計算手段43は、指定された目標移動速度Vおよび前記各区間の距離から定まる各区間内の移動の時間Tと、前記各区間における前記各アーム11a、12a、13aの回転角移動量とから、前記各区間における前記各アーム11a、12a、13aが等速回転する回転角の移動速度である回転速度 $V_{1n}$ 、 $V_{2n}$ 、 $V_{3n}$ を、上記の式(6)~(8)によって計算する。前記姿勢変更制御手段41は、前記ポイント間の各区間内での前記各アーム11a、12a、13aの回転速度 $V_{1n}$ 、 $V_{2n}$ 、 $V_{3n}$ を前記回転速度計算手段43で計算された値として、前記各区間を加減速無しで連続して回転させるように前記各アクチュエータ3を位置決め制御する。

10

## 【0070】

このように、被作業面60が球面である場合も、エンドエフェクタ8が被作業面60上を実質的に等速で移動しながら作業をすることができる。

## 【0071】

<第3の実施形態>

この発明の第3の実施形態を説明する。この実施形態は、図2に想像線で示すように、テーブル装置50の移動によって対象ワークWがリンク作動装置1のエンドエフェクタ8に対して相対移動する場合に、その相対移動の速度を等速とする例である。テーブル装置50は、テーブル面が直交2軸方向に移動するXYテーブルであり、同図の例では表面が平面の被作業面60となる対象ワークWを移動させるが、リンク作動装置1をテーブル装置50に搭載し、ワークWを位置固定としても良い。この実施形態において、特に説明する事項の他は、第1の実施形態と同様である。この実施形態は、図1における分割区間設定手段42、アーム回転速度計算速度計算手段43、および区間対応設定情報記憶手段46の機能につき、第1の実施形態とは一部が異なっている。区間対応設定情報記憶手段46は、記憶する値が第1の実施形態とは異なる。

20

30

## 【0072】

第1の実施形態においては、リンク作動装置1と被作業面60上の対象ワークWの位置は固定であったが、実際にレーザ加工や塗布、溶接等を行う場合、対象ワークWをXYテーブル(すなわち、テーブル可動面が直交2軸方向に移動可能なテーブル装置)上に搭載するか、またはリンク作動装置1をXYテーブルに搭載する構成が一般的となる。

ここでは、前記リンク作動装置1の3軸(1軸、2軸、3軸)と、XYテーブルからなるテーブル装置50(図2)の2軸(X軸、Y軸)とが可動であるテーブル併用リンク作動装置のシステム構成において、エンドエフェクタ8が平面状の被作業面60上の各ポイントを指定された速度Vで等速移動する際の合成速度 $V_n$ について示す。

## 【0073】

対象ワークWの直交座標は、図7と同様に、nポイント目の直交座標を( $X_n$ 、 $Y_n$ )とし、n-1ポイント目の直交座標を( $X_{n-1}$ 、 $Y_{n-1}$ )とする。n-1ポイント目からnポイント目への1軸、2軸、3軸、X軸、Y軸の各移動量を $1$ 、 $2$ 、 $3$ 、 $x$ 、 $y$ とすると、nポイント目に移動する際の各軸の移動速度 $V_{1n}$ 、 $V_{2n}$ 、 $V_{3n}$ 、 $V_{xn}$ 、 $V_{yn}$ は次の式で表せる。1軸、2軸、3軸の移動速度は、回転角の移動速度である。

40

## 【0074】

【数 7】

$$V_{1n}'' = \frac{|\Delta\beta 1|}{T} \quad \text{式 (9)}$$

$$V_{2n}'' = \frac{|\Delta\beta 2|}{T} \quad \text{式 (10)}$$

$$V_{3n}'' = \frac{|\Delta\beta 3|}{T} \quad \text{式 (11)}$$

$$V_{xn}'' = \frac{|\Delta x|}{T} \quad \text{式 (12)}$$

$$V_{yn}'' = \frac{|\Delta y|}{T} \quad \text{式 (13)}$$

$$T = \frac{\sqrt{(X_n - X_{n-1})^2 + (Y_n - Y_{n-1})^2}}{V} \quad \text{式 (14)}$$

【0075】

アーム回転速度計算手段43は、先端側リンクハブ15に付加したエンドエフェクタ8が平面状の被作業面60上の各ポイントをなぞる動作の際、1軸、2軸、3軸、X軸、Y軸の各移動量と、上記式より求めた速度を各区分毎、つまり各ポイント毎に設定し、各ポイントを加減速なしで連続位置決め制御する。

【0076】

図1と共に説明すると、図1の分割区分設定手段42は、XY方向に相対移動する平面からなる被作業面60上の、前記エンドエフェクタ8がその相対移動する始点から終点までの経路を通過点で複数の区分に分割する。すなわち前記各ポイントを定める。前記アーム回転速度計算手段43は、指定された目標移動速度Vおよび前記各区分の距離から定まる各区分内の移動の時間Tと、前記各区分における前記各アーム11a、12a、13aの回転角移動量1、2、3とから、前記各区分における前記各アーム11a、12a、13aが等速回転する回転角の移動速度である回転速度 $V_{1n}''$ 、 $V_{2n}''$ 、 $V_{3n}''$ を、上記の式(9)~(11)(14)によって計算する。アーム回転速度計算手段43は、上記各軸の回転速度の他に、X軸、Y軸の移動速度 $V_{xn}''$ 、 $V_{yn}''$ を上記の式(12)(13)(14)で計算する機能を付加した構成としても良い。

【0077】

前記姿勢変更制御手段41は、前記ポイント間の各区分内での前記各アーム8の回転速度 $V_{1n}''$ 、 $V_{2n}''$ 、 $V_{3n}''$ を前記回転速度計算手段43で計算された値として、前記各区分を加減速無しで連続して回転させるように前記各アクチュエータ3を位置決め制御する。X軸、Y軸の制御手段(図示せず)は、上記のように計算したX軸、Y軸の移動速度 $V_{xn}''$ 、 $V_{yn}''$ を設定してその速度でテーブル装置50の各軸を移動させる。

【0078】

このように、リンク作動装置1がテーブル装置50によって相対移動する場合に、エンドエフェクタ8がその相対移動を加味して被作業面60上を実質的に等速で移動しながら作業をするように制御することができる。

【0079】

なお、前記各実施形態では、いずれも、実使用時に制御装置4が各通過点の位置(各区分)の設定、および各区分におけるアーム回転速度の計算を行うようにしたが、これら各

10

20

30

40

50

通過点の位置と、前記各区分における前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の回転速度につき、リンク作動装置 1 の実使用の前に計算した値を区分対応設定情報記憶手段 4 6 に記憶させておき、前記姿勢変更制御手段 4 1 は、実使用時は、前記区分対応設定情報記憶手段 4 6 に記憶された前記各通過点の位置と、前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の回転速度を読み出して制御するようにしても良い。この場合に、各通過点の位置と、前記各区分における前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の回転速度を設定し、計算する装置は、姿勢変更制御手段 4 1 を持つ制御装置 4 とは別のコンピュータに設けられていても良い。

【 0 0 8 0 】

リンク作動装置 1 を用いて同じ作業を繰り返して行う場合がある。そのような場合、各区分における前記各アーム 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a の回転速度を予め区分対応設定情報記憶手段 4 6 に記憶させておき、前記姿勢変更制御手段 4 1 はその記憶内容を読み出して制御を行うようにすれば、区分の設定や回転速度の計算を毎回行う必要がなく、制御が簡単な装置で迅速に行える。一度だけの作業であっても、予め区分およびアーム回転速度を予め計算して設定しておくことが便利な場合がある。

なお、上記の「実使用時」とは、試し運転を除く実際にエンドエフェクタ 8 で加工や処理を行うときを言う。

【符号の説明】

【 0 0 8 1 】

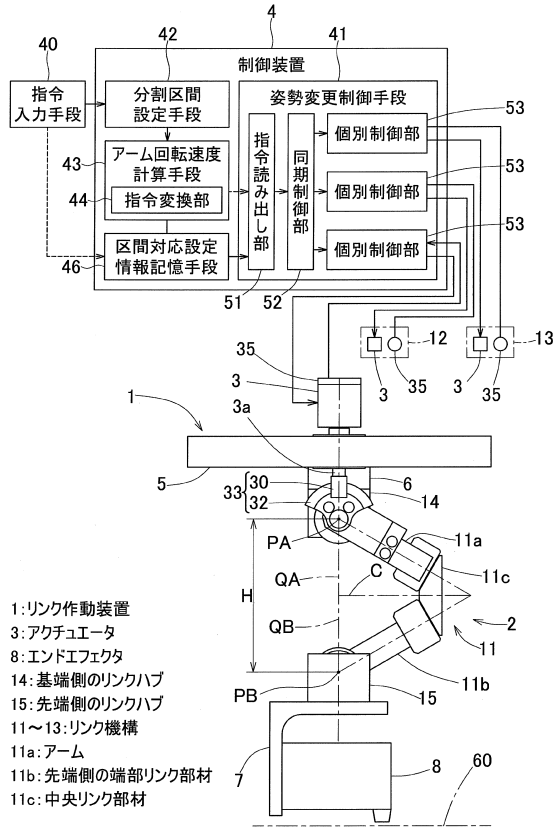
- 1 ... リンク作動装置
- 3 ... アクチュエータ
- 4 ... 制御装置
- 8 ... エンドエフェクタ
- 1 4 ... 基端側のリンクハブ
- 1 5 ... 先端側のリンクハブ
- 1 1 ~ 1 3 ... リンク機構
- 1 1 a , 1 2 a , 1 3 a ... 基端側の端部リンク部材 (アーム)
- 1 1 b , 1 2 b , 1 3 b ... 先端側の端部リンク部材
- 1 1 c , 1 2 c , 1 3 c ... 中央リンク部材
- 4 0 ... 指令入力手段
- 4 1 ... 姿勢変更制御手段
- 4 2 ... 分割区分設定手段
- 4 3 ... アーム回転速度計算手段
- 4 4 ... 指令変換部
- 4 6 ... 区分対応設定情報記憶手段
- 5 0 ... テーブル装置
- 6 0 ... 被作業面
- 6 1 ... 経路

10

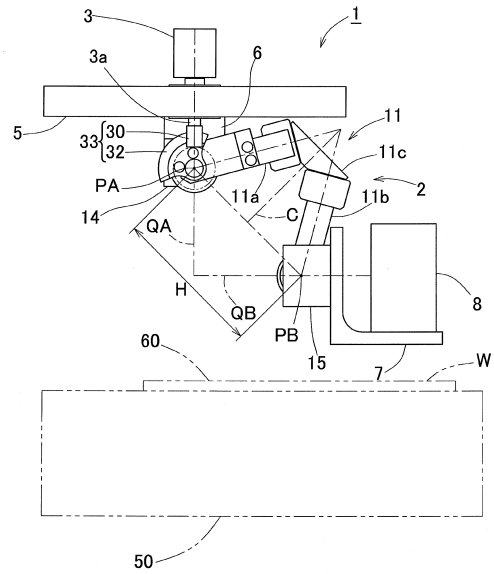
20

30

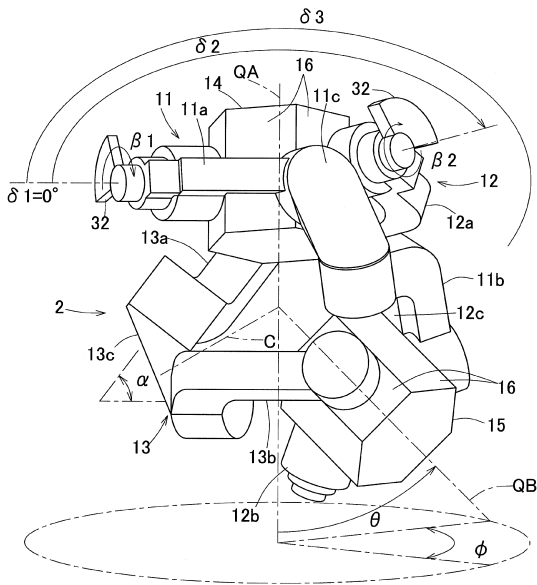
【図1】



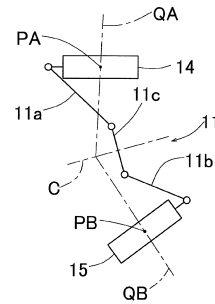
【図2】



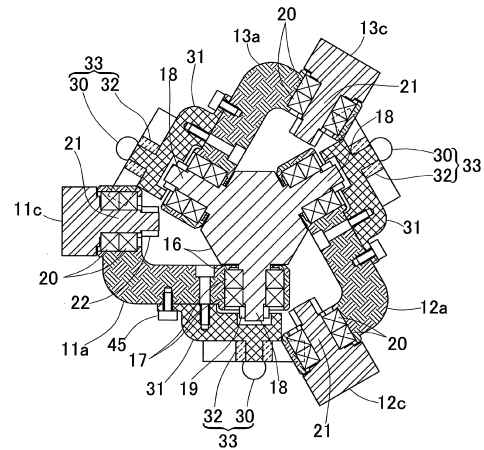
【図3】



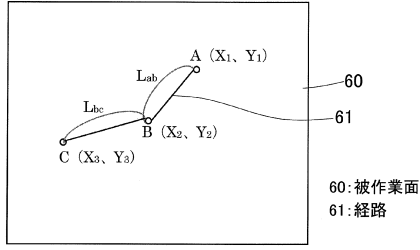
【図4】



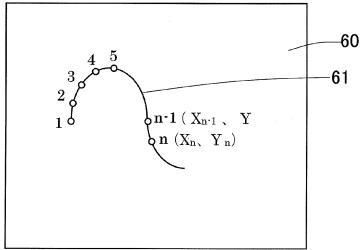
【図5】



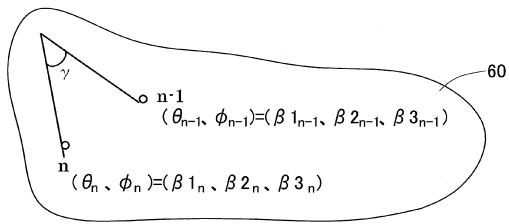
【図 6】



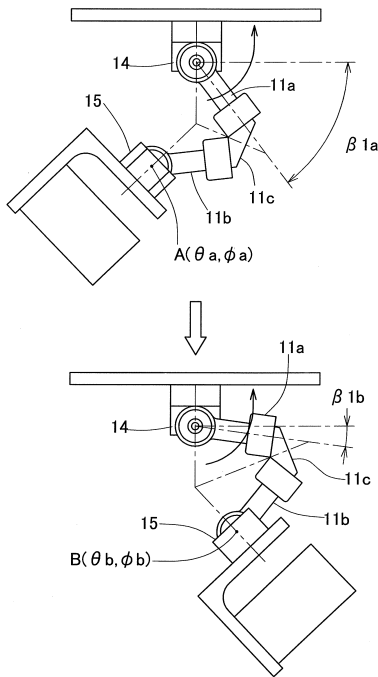
【図 7】



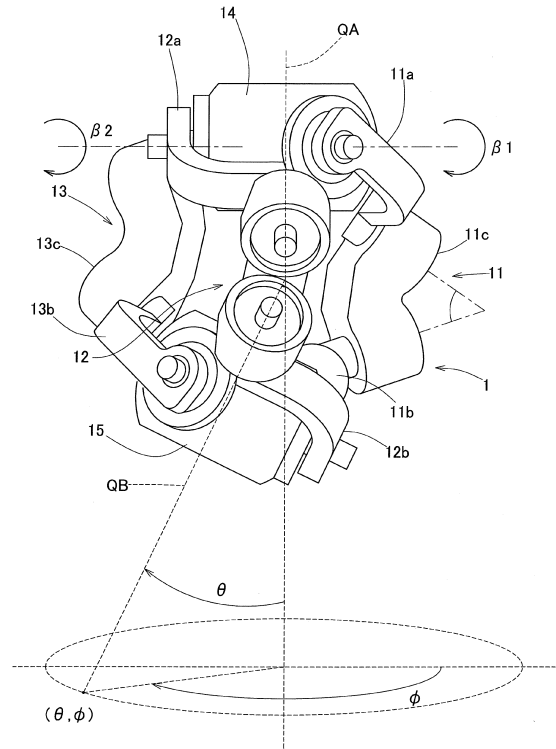
【図 8】



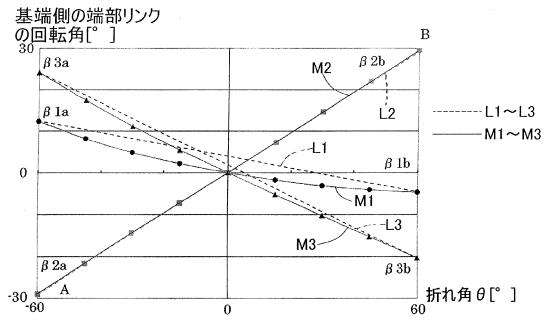
【図 10】



【図 9】



【図 11】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 磯部 浩  
静岡県磐田市東貝塚1578番地 NTN株式会社内
- (72)発明者 山田 裕之  
静岡県磐田市東貝塚1578番地 NTN株式会社内

審査官 藤島 孝太郎

- (56)参考文献 特開昭61-168019(JP,A)  
特開2005-144627(JP,A)  
特開2005-056171(JP,A)  
特開2013-215864(JP,A)  
特開2013-059852(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B25J 1/00 - 21/02