

(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2018-144130

(P2018-144130A)

(43) 公開日 平成30年9月20日(2018.9.20)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)  
**B 2 5 J 13/00 (2006.01)** B 2 5 J 13/00 Z 3 C 7 0 7

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2017-39423 (P2017-39423)	(71) 出願人	304019399 国立大学法人岐阜大学 岐阜県岐阜市柳戸1番1
(22) 出願日	平成29年3月2日(2017.3.2)	(74) 代理人	100105957 弁理士 恩田 誠
		(74) 代理人	100068755 弁理士 恩田 博宣
		(72) 発明者	毛利 哲也 岐阜県岐阜市柳戸1番1 国立大学法人岐阜大学 内
		(72) 発明者	川▲崎▼ 晴久 岐阜県岐阜市柳戸1番1 国立大学法人岐阜大学 内
		Fターム(参考)	3C707 EU01 EU02 EU07 HS26 HS27 KS17 KS21 KS35 LV03 LV06 LV10 LV19 LV23 LW07 MT04

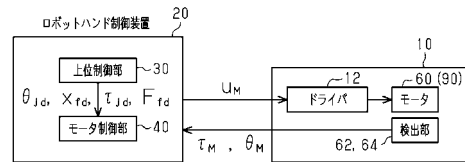
(54) 【発明の名称】 ロボットハンド装置

(57) 【要約】

【課題】 駆動部に関する作動状態パラメータと該駆動部により作動する指部材に関する作動状態パラメータとの関係が非線形の関係となっているロボットハンドの指部材の作動をフィードバック制御で制御する際に、その制御精度を向上することができるロボットハンド装置を提供する。

【解決手段】 ロボットハンド制御装置20は、フィードバック制御で得られる演算値に対して、第1行列と第2行列の積の逆行列を乗算して得られた結果を駆動モータ60のドライバ12へ出力する。第1行列は、リンク機構を介して指部材に動力を伝達する直動体の作動状態パラメータと指部材の関節の作動状態パラメータのヤコビ行列とする。また、第2行列は、駆動モータの作動状態パラメータと直動体の作動状態パラメータのヤコビ行列とする。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

指部材と、前記指部材を関節により揺動自在に支持する指支持部材と、を備え、前記指支持部材には、直動自在に設けられた直動体と、前記直動体の動力を前記指部材に対して非線形で伝達して揺動を付与する伝達機構と、前記直動体に動力を付与する駆動部と、前記指部材または前記関節の作動状態を示すパラメータを取得する作動状態取得部と、を有するロボットハンドと、

前記指部材を、前記パラメータに基づいて、前記駆動部を介して前記指部材の作動をフィードバック制御する制御部を備えたロボットハンド装置であって、

前記制御部は、前記フィードバック制御で得られる演算値に対して、第 1 行列と第 2 行列の積の逆行列を乗算して得られた結果を前記駆動部のドライバへ出力するものであり、

第 1 行列は、前記直動体の作動状態パラメータと前記関節の作動状態パラメータのヤコビ行列であり、

第 2 行列は、前記駆動部の作動状態パラメータと前記直動体の作動状態パラメータのヤコビ行列であるロボットハンド装置。

**【請求項 2】**

前記駆動部は回転式モータであり、前記直動体は前記回転式モータに作動連結されたボールネジにより直動するものであり、前記伝達機構はリンク機構である請求項 1 に記載のロボットハンド装置。

**【請求項 3】**

前記駆動部は前記直動体を直動する直動モータであり、前記伝達機構はリンク機構である請求項 1 に記載のロボットハンド装置。

**【請求項 4】**

前記作動状態取得部は、前記関節の作動状態を示すパラメータとして前記関節の関節角度を検出または演算により取得するものであり、

前記駆動部の作動状態パラメータは、前記駆動部の作動量であり、

前記直動体の作動状態パラメータは、前記直動体の移動量であり、

前記関節の作動状態パラメータは、関節角度である請求項 2 または請求項 3 に記載のロボットハンド装置。

**【請求項 5】**

前記作動状態取得部は、前記指部材の作動状態を示すパラメータとして前記指部材の先端位置を検出または演算により取得するものであり、

前記駆動部の作動状態パラメータは、前記駆動部の作動量であり、

前記直動体の作動状態パラメータは、前記直動体の移動量であり、

前記関節の作動状態パラメータは、関節角度である請求項 2 または請求項 3 に記載のロボットハンド装置。

**【請求項 6】**

前記作動状態取得部は、前記関節の作動状態を示すパラメータとして前記関節の関節トルクを検出または演算により取得するものであり、

前記駆動部の作動状態パラメータは、駆動部トルクであり、

前記直動体の作動状態パラメータは、前記直動体の推力であり、

前記関節の作動状態パラメータは、関節トルクである請求項 2 または請求項 3 に記載のロボットハンド装置。

**【請求項 7】**

前記作動状態取得部は、前記指部材の作動状態を示すパラメータとして前記指部材の先端力を検出または演算により取得するものであり、

前記駆動部の作動状態パラメータは、駆動部トルクであり、

前記直動体の作動状態パラメータは、前記直動体の推力であり、

前記関節の作動状態パラメータは、関節トルクである請求項 2 または請求項 3 に記載のロボットハンド装置。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットハンド装置に関する。

【背景技術】

【0002】

本出願人は、特許文献1のロボットハンドを提案している。図2は前記ロボットハンドを構成している各指を作動させる構成の原理図である。同図に示すように、指部材50の基端は関節となる関節軸52にて、隣接する指支持部材54に回動自在に支持されている。なお、前記指支持部材54は、隣接する他の指部材、または、掌部材である。指部材50は、前記指支持部材54に設けられた回転式モータである駆動モータ60、及び駆動モータ60の動力を伝達する伝達機構70により作動する。

10

【0003】

伝達機構70は、ギヤヘッド72、ギヤヘッド72の入力軸と駆動モータ60の出力軸間に設けられた平歯車列74、ギヤヘッド72の出力軸とボールネジ78の入力軸間に設けられた平歯車列76、ボールネジ78により直動する直動体（例えばナット体）80、直動体80と関節軸52間に連結された一対のリンク81、82とを有している。リンク81、82、ボールネジ78、及び直動体80は、スライダークランク機構を構成する。駆動モータ60が回転すると、平歯車列74、ギヤヘッド72、及び平歯車列76が作動してボールネジ78が回転し、ボールネジ78の回転により、直動体80が移動することにより、一対のリンク81、82及び関節軸52を介して指部材50が回転する。

20

【0004】

上記のように構成された指部材50（指）を有するロボットハンドの従来制御方法について説明する。まず、この制御方法において、関係する各種のパラメータについて説明する。ボールネジ78により生じる直動体80の移動量 $x_b$ は、下記の通りである。

【0005】

【数1】

$$x_b = \frac{\theta_M P_h}{2\pi G_h G_b} = f_1(\theta_M) \quad \dots\dots(1)$$

30

ただし、

$G_h$  : ギヤヘッド減速比、 $G_b$  : 機構減速比（平歯車列等）、

$P_h$  : ボールネジ78のリード[m]、 $\theta_M$  : 駆動モータ60の回転角度

である。

モータトルク $T_M$ により生じるボールネジ78の推力 $F_b$ 式(2)に示す。なお、ここより下の式には機構等の効率は含まれていない。

40

【0006】

【数 2】

$$F_b = \frac{2\pi G_h G_b \tau_M}{P_h} = g_1(\tau_M) \quad \dots\dots(2)$$

$F_b$  : ボールネジ 78 の推力[N]

$\tau_M$  : モータトルク[Nm]

次に直動体 80 の移動量  $x_b$  により生じる関節角度  $\theta_j$  を式 (3) に示す。なお、下付き「j」は、ロボットハンド 10 (図 7 参照) の関節の数である。 10

【0007】

【数 3】

$$\theta_j = \theta_{j0} + \alpha_2 = f_2(x_b) \quad \dots\dots(3)$$

ただし、式 (3) 中のパラメータ等は、以下の式 (4) ~ 式 (8) 及びパラメータで定義される。

$\theta_{j0}$  : 関節軸 52 の初期角度[rad]

20

$x_0$  : 直動体 80 の初期位置[m]

【0008】

【数 4】

$$x = x_0 + x_b \quad \dots\dots(4)$$

【0009】

【数 5】

$$y = \sqrt{x^2 + l_3^2} \quad \dots\dots(5)$$

30

$y$  : 関節軸 52 と直動体 80 間の距離

$l_3$  : ボールネジ 78 の軸心と関節軸 52 間の距離

【0010】

【数 6】

$$\alpha_3 = \tan^{-1}\left(\frac{l_3}{x}\right) \quad \dots\dots(6)$$

$\alpha_3$  : 関節軸 52 と直動体 80 間を結ぶ直線と、ボールネジ 78 と平行な直線

40

との間の角度

【0011】

【数 7】

$$\alpha_1 = \alpha_3 + \cos^{-1} \left( \frac{l_2^2 + y^2 - l_1^2}{2 l_2 y} \right) \quad \dots\dots(7)$$

$\alpha_1$  : リンク 8 2 とボールネジ 7 8 間の角度

$l_1$  : リンク 8 1 の長さ、 $l_2$  : リンク 8 2 の長さ

【 0 0 1 2 】

【数 8】

10

$$\alpha_2 = -\alpha_3 + \cos^{-1} \left( \frac{l_1^2 + y^2 - l_2^2}{2 l_1 y} \right) \quad \dots\dots(8)$$

$\alpha_2$  : リンク 8 1 とボールネジと平行な直線との角度

直動体 8 0 の推力  $F_b$  により生じる関節トルク  $\tau_j$  を式 ( 9 ) に示す。

【 0 0 1 3 】

【数 9】

$$\tau_j = \frac{l_1 F_b \sin(\alpha_1 + \alpha_2)}{\cos \alpha_1} = g_2(F_b) \quad \dots\dots(9)$$

20

$\tau_j$  : 関節トルク[Nm]

関節角度  $\theta_j$  により生じる指先位置  $x_f$  を式 ( 1 0 ) に示す。なお、下付の「f」はロボットハンド 1 0 の指先の数である。

【 0 0 1 4 】

【数 1 0】

$$x_f = x_{f0} + r \times \theta_j = f_3(\theta_j) \quad \dots\dots(10)$$

$r$  : 関節軸 5 2 から指部材 5 0 の先端までの長さ (指長)

30

関節トルク  $\tau_j$  により生じる指先力  $F_f$  を式 ( 1 1 ) に示す。

【 0 0 1 5 】

【数 1 1】

$$\tau_j = J^T F_f \quad \dots\dots(11)$$

【 0 0 1 6 】

【数 1 2】

$$F_f = (J^T)^{-1} \tau_j = g_3(\tau_j) \quad \dots\dots(12)$$

40

ただし、 $F_f$  : 指先力[N]、 $J = \frac{\partial x_f}{\partial \theta_j}$  : 関節角度  $\theta_j$  と指先位置  $x_f$  のヤコビ行列

である。また、Tは転置行列であることを示す。

駆動モータ 6 0 の回転角度  $\theta_m$  と指先位置  $x_f$  の関係は、式 ( 1 0 ) により、非線形であることが分かる。また、駆動モータ 6 0 のモータトルク  $\tau_m$  と指先力  $F_f$  との関係も式 ( 1 2 ) により非線形であることが分かる。

【 0 0 1 7 】

50

### < 関節角度の制御 >

図7の制御ブロックで示すように、従来の一般的な関節角度のフィードバック制御では、例えばPID制御により行っている。

【0018】

このPID制御について説明すると、図7に示すように、減算器100により、図示しない上位制御部から出力された目標値である  $\theta_{jd}$  と、関節角度  $\theta_j$  との偏差が算出され、該偏差は比例演算部110で比例ゲインが乗算されてその算出結果が加算器160に出力される。

【0019】

なお、関節角度  $\theta_j$  は、演算器180により式(1)、式(3)等に基づいて算出される。また、回転角度  $\theta_M$  は、駆動モータ60に設けられた図示しない検出部(ロータリーエンコード等)により検出される。式(1)、式(3)及びこれらの式に関するパラメータは、固定値、または、式(5)~式(8)で算出される値である。前記固定値は、前記制御ブロックを実現する図示しない制御装置の記憶部に記憶される。以下、他の制御で使用される式、及び固定値も同様である。また、前記偏差は、積分器120及び積分ゲイン演算部130にて演算されてその演算結果が加算器160に出力される。また、前記偏差は、微分器140及び微分ゲイン演算部150にて演算されてその演算結果が加算器160に出力される。加算器160は、比例演算部110、積分ゲイン演算部130、及び微分ゲイン演算部150の出力値を加算して得たトルク指令  $u_M$  を、ロボットハンド10の各指をそれぞれ駆動する駆動モータ60の図示しないドライバに出力する。

【0020】

図7に示す関節角度の制御(PID制御)で得られるトルク指令  $u_M$  は、式(13)で表わすことができる。

【0021】

【数13】

$$u_M = K_P(\theta_{jd} - \theta_j) + K_I \int (\theta_{jd} - \theta_j) dt + K_D(\dot{\theta}_{jd} - \dot{\theta}_j) \quad \dots\dots(13)$$

なお、 $u_M$  はモータ入力、添字  $d$  は目標値である。

$K_P$  : 比例ゲイン、 $K_I$  : 積分ゲイン、 $K_D$  : 微分ゲイン

### < 指先位置の制御 >

次に、従来の指先位置の制御について説明する。図8の制御ブロックで示すように、従来の一般的な指先位置のフィードバック制御では、例えばPID制御により行っている。このPID制御について説明すると、図8に示すように、減算器200により、図示しない上位制御部から出力された目標値である  $x_{fd}$  と、ロボットハンド10の指先位置  $x_f$  との偏差が算出される。

【0022】

なお、指先位置  $x_f$  は、駆動モータ60に設けられた図示しない検出部(ロータリーエンコード等)が検出した回転角度  $\theta_M$  を入力した演算器280により式(10)、及び式(10)に関連したパラメータを算出する式(3)~式(8)等に基づいて算出される。

【0023】

前記偏差は、比例演算部210で、比例ゲインが乗算されるとともにトルク変換されてその算出結果が加算器260に出力される。また、前記偏差は、積分器220で積分されて、積分ゲイン演算部230で積分ゲインが乗算されるとともにトルク変換されてその演算結果が加算器260に出力される。また、前記偏差は、微分器240で微分されて、微分ゲイン演算部250で微分ゲインが乗算されるとともにトルク変換されてその演算結果が加算器260に出力される。

【0024】

加算器260は、比例演算部210、積分ゲイン演算部230、及び微分ゲイン演算部250の出力値を加算して得たトルク指令  $u_M$  を、ロボットハンド10の各指をそれぞれ

10

20

30

40

50

駆動する駆動モータ60の図示しないドライバに出力する。

【0025】

図8に示す関節角度の制御(PID制御)で得られるトルク指令 $u_M$ は、式(14)で表わすことができる。

【0026】

【数14】

$$u_M = K_P J^T (x_{jd} - x_f) + K_I \int J^T (x_{jd} - x_f) dt + K_D J^T (\dot{x}_{jd} - \dot{x}_f) \quad \dots\dots(14)$$

< 関節トルクの制御 >

従来の関節トルクの制御について説明する。図9の制御ブロックで示すように、従来の一般的な関節トルクのフィードバック制御では、例えばPI制御により行っている。図9に示すように、減算器300により、図示しない上位制御部から出力された目標値である $j_d$ と、関節トルク $j$ との偏差が算出される。前記関節トルク $j$ は、図示しないモータトルクの検出部(例えばモータ電流の検出部)から出力したモータトルク $M$ を入力する演算器380によって算出される。具体的には、演算器380は、式(9)及び式(9)中のパラメータを算出する式(2)~式(8)等に基づいて、関節トルク $j$ を算出する。

10

【0027】

前記偏差は比例演算部310で、比例ゲインが乗算されてその算出結果が加算器360に出力される。また、前記偏差は、積分器320及び積分ゲイン演算部330により演算されてその演算結果が加算器360に出力される。加算器360は、比例演算部310、及び積分ゲイン演算部330の出力値を加算して得たトルク指令 $u_M$ を、ロボットハンド10の各指をそれぞれ駆動する駆動モータ60の図示しないドライバに出力する。

20

【0028】

図9に示す関節角度の制御(PI制御)で得られるトルク指令 $u_M$ は、式(15)で表わすことができる。

【0029】

【数15】

$$u_M = K_P (\tau_{jd} - \tau_j) + K_I \int (\tau_{jd} - \tau_j) dt \quad \dots\dots(15)$$

30

< 指先力の制御 >

従来の指先力の制御について説明する。図10の制御ブロックで示すように、従来の一般的な指先力のフィードバック制御では、例えばPI制御により行っている。図10に示すように、減算器400により、図示しない上位制御部から出力された目標値である $F_d$ と、指先力 $F_f$ との偏差が算出される。前記指先力 $F_f$ は、図示しないモータトルクの検出部(例えばモータ電流の検出部)から出力したモータトルク $M$ を入力する演算器480によって算出される。具体的には、演算器480は、式(12)及び式(12)中のパラメータを算出する式(2)、式(9)等に基づいて、関節トルク $j$ を算出する。前記偏差は比例演算部410で、比例ゲインが乗算されるとともにトルク変換されて加算器460に算出結果が出力される。

40

【0030】

また、前記偏差は、積分器420で積分されて、積分ゲイン演算部430で積分ゲインが乗算されるとともにトルク変換されてその演算結果が加算器460に出力される。また、目標値である $F_d$ は、トルク変換部440でトルク変換されて、その演算結果が加算器460に出力される。加算器460は、比例演算部410、積分ゲイン演算部430及びトルク変換部440の出力値を加算して得たトルク指令 $u_M$ を、ロボットハンド10の各指をそれぞれ駆動する駆動モータ60の図示しないドライバに出力する。

【0031】

図10に示す関節角度の制御(PI制御)で得られるトルク指令 $u_M$ は、式(16)で

50

表わすことができる。

【 0 0 3 2 】

【 数 1 6 】

$$u_M = K_P J^T (F_{fd} - F_f) + K_I \int J^T (F_{fd} - F_f) dt + J^T F_{fd} \quad \dots\dots(16)$$

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 3 3 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 4 - 5 4 7 2 0 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 3 4 】

ところで、上記ロボットハンドの指部材の作動を上述したフィードバック制御で行う場合、前述したように、駆動モータ 60 の回転角度  $\theta_M$  と指先位置  $x_f$  の関係は、式 ( 1 0 ) により、非線形となる。

【 0 0 3 5 】

また、駆動モータ 60 のモータトルク  $T_M$  と指先力  $F_f$  との関係も式 ( 1 2 ) により非線形となる。このため、上記従来の制御法は、モータ等の駆動部に関する作動状態パラメータと該駆動部により作動する指部材に関する作動状態パラメータとの関係が非線形の関係であるのに対して、その非線形に対応した制御が行えていないため、制御精度が悪い問題がある。

【 0 0 3 6 】

本発明の目的は、駆動部に関する作動状態パラメータと該駆動部により作動する指部材に関する作動状態パラメータとの関係が非線形の関係となっているロボットハンドの指部材の作動をフィードバック制御で制御する際に、その制御精度を向上することができるロボットハンド装置を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 3 7 】

本発明のロボットハンド装置は、指部材と、前記指部材を関節により揺動自在に支持する指支持部材と、を備え、前記指支持部材には、直動自在に設けられた直動体と、前記直動体の動力を前記指部材に対して非線形で伝達して揺動を付与する伝達機構と、前記直動体に動力を付与する駆動部と、前記指部材または前記関節の作動状態を示すパラメータを取得する作動状態取得部と、を有するロボットハンドと、前記指部材を、前記パラメータに基づいて、前記駆動部を介して前記指部材の作動をフィードバック制御する制御部を備えたロボットハンド装置であって、前記制御部は、前記フィードバック制御で得られる演算値に対して、第 1 行列と第 2 行列の積の逆行列を乗算して得られた結果を前記駆動部のドライバへ出力するものであり、第 1 行列は、前記直動体の作動状態パラメータと前記関節の作動状態パラメータのヤコビ行列であり、第 2 行列は、前記駆動部の作動状態パラメータと前記直動体の作動状態パラメータのヤコビ行列である。

【 0 0 3 8 】

また、前記駆動部は回転式モータであり、前記直動体は前記回転式モータに作動連結されたボールネジにより直動するものであり、前記伝達機構はリンク機構で構成してもよい。

【 0 0 3 9 】

また、前記駆動部は前記直動体を直動する直動モータであり、前記伝達機構はリンク機構としてもよい。

また、前記作動状態取得部は、前記関節の作動状態を示すパラメータとして前記関節の関節角度を検出または演算により取得するものであり、前記駆動部の作動状態パラメータは、前記駆動部の作動量であり、前記直動体の作動状態パラメータは、前記直動体の移動量であり、前記関節の作動状態パラメータは、関節角度としてもよい。

10

20

30

40

50



## 【 0 0 4 0 】

また、前記作動状態取得部は、前記指部材の作動状態を示すパラメータとして前記指部材の先端位置を検出または演算により取得するものであり、前記駆動部の作動状態パラメータは、前記駆動部の作動量であり、前記直動体の作動状態パラメータは、前記直動体の移動量であり、前記関節の作動状態パラメータは、関節角度としてもよい。

## 【 0 0 4 1 】

また、前記作動状態取得部は、前記関節の作動状態を示すパラメータとして前記関節の関節トルクを検出または演算により取得するものであり、前記駆動部の作動状態パラメータは、駆動部トルクであり、前記直動体の作動状態パラメータは、前記直動体の推力であり、前記関節の作動状態パラメータは、関節トルクとしてもよい。

10

## 【 0 0 4 2 】

また、前記作動状態取得部は、前記指部材の作動状態を示すパラメータとして前記指部材の先端力を検出または演算により取得するものであり、前記駆動部の作動状態パラメータは、駆動部トルクであり、前記直動体の作動状態パラメータは、前記直動体の推力であり、前記関節の作動状態パラメータは、関節トルクとしてもよい。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 4 3 】

本発明によれば、駆動部に関する作動状態パラメータと該駆動部により作動する指部材に関する作動状態パラメータとの関係が非線形の関係となっているロボットハンドの指部材の作動をフィードバック制御で制御する際に、その制御精度を向上することができる効果を奏する。

20

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 4 4 】

【 図 1 】 ロボットハンド装置の全体概略図。

【 図 2 】 ロボットハンドの指部材の作動原理図。

【 図 3 】 第 1 実施形態のロボットハンドの制御ブロック図。

【 図 4 】 第 2 実施形態のロボットハンドの制御ブロック図。

【 図 5 】 第 3 実施形態のロボットハンドの制御ブロック図。

【 図 6 】 第 4 実施形態のロボットハンドの制御ブロック図。

【 図 7 】 従来 of ロボットハンドの制御ブロック図。

30

【 図 8 】 従来 of ロボットハンドの制御ブロック図。

【 図 9 】 従来 of ロボットハンドの制御ブロック図。

【 図 1 0 】 従来 of ロボットハンドの制御ブロック図。

【 図 1 1 】 第 5 ~ 8 実施形態のロボットハンドの指部材の作動原理図。

【 図 1 2 】 スライダークランク機構の設計パラメータの説明図。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 4 5 】

( 第 1 実施形態 )

以下、本発明を具体化した第 1 実施形態のロボットハンド装置を図 1、図 2、図 3 を参照して説明する。本実施形態は、関節角度を制御するための例である。

40

## 【 0 0 4 6 】

図 1 に示すようにロボットハンド装置は、ロボットハンド 1 0 と、ロボットハンド 1 0 を制御するロボットハンド制御装置 2 0 を備えている。ロボットハンド制御装置 2 0 は、制御部に相当する。本実施形態のロボットハンド 1 0 を構成している各指を作動させる構成は、背景技術で説明した図 2 と同じであるため、各部材の詳細な説明を省略する。リンク 8 1、8 2 は、リンク機構に相当し、伝達機構 7 0 は、リンク機構を有する。このことにより、駆動モータ 6 0 の回転角度  $\theta_M$  と指先位置  $x_f$  の関係は、非線形であり、駆動モータ 6 0 のモータトルク  $T_M$  と指先力  $F_f$  との関係も非線形となっている。

## 【 0 0 4 7 】

図 1 に示すように、ロボットハンド制御装置 2 0 は、図示しない CPU ( 中央処理装置

50

)、ROM(リードオンリーメモリ)及び、RAM(ランダムアクセスメモリ)等を備えている。本実施形態では、前記CPUにより、上位制御部30と、モータ制御部40とが構成される。上位制御部30は、ロボットハンド10を制御するための各種指令値(すなわち、目標値)をモータ制御部40に出力する。モータ制御部40は、前記各種指令値に基づいて、トルク指令 $u_M$ を、駆動部としての駆動モータ60のドライバ12に出力する。ドライバ12はトルク指令 $u_M$ に基づいて駆動モータ60を駆動する。

【0048】

図1、図2に示すように駆動モータ60には、モータの回転角度 $\theta_M$ を検出する検出部62、及びモータトルク $T_M$ を検出する検出部64を備えている。検出部62は、例えば、ロータリーエンコード等からなる。検出部64は、例えば、トルクセンサにて構成してもよく、或いは、ドライバ12から付与される駆動モータ60に付与されるモータ電流を検出して、該モータ電流に基づいてトルクを検出するようにしてもよい。

10

【0049】

< 関節角度の制御 >

次にロボットハンド制御装置20によるロボットハンド10の関節角度のフィードバック制御について説明する。

【0050】

図3に示すように、本実施形態の関節角度のフィードバック制御は、PID制御である。本実施形態では、背景技術で説明した図7の制御ブロックの構成中、加算器160の出力側に、乗算器170が設けられているところが、異なっているため、背景技術で説明した各制御ブロックと同一または相当する構成については、同一符号を付して、その説明を省略する。

20

【0051】

乗算器170は、加算器160から出力された演算値に $(J_2 J_1)^{-1}$ を乗算し、得た値をトルク指令 $u_M$ として、図1に示す、ドライバ12に出力する。

図3に示す関節角度の制御(PID制御)で得られるトルク指令 $u_M$ は、式(17)で表わすことができる。

【0052】

【数17】

$$u_M = (J_2 J_1)^{-1} \left\{ K_P (\theta_{jd} - \theta_j) + K_I \int (\theta_{jd} - \theta_j) dt + K_D (\dot{\theta}_{jd} - \dot{\theta}_j) \right\} \quad \dots\dots(17)$$

30

ここで、 $J_2$ 及び $J_1$ は、式(19)及び式(18)で表わされる。

【0053】

【数18】

$$J_1 = \frac{\partial f_1}{\partial \theta_M} \quad \dots\dots(18)$$

【0054】

【数19】

$$J_2 = \frac{\partial f_2}{\partial x_b} \quad \dots\dots(19)$$

40

なお、 $J_1$ は、固定値(すなわち、定数)となるため、予めゲイン(比例ゲイン、積分ゲイン、微分ゲイン)に含ませてもよい。また、 $J_2$ は、可変値であり、乗算器170が演算する。

【0055】

$J_1$ は、駆動モータ60(駆動部)の回転角度 $\theta_M$ (作動量)と、直動体の移動量のヤコビ行列であって、第2行列に相当する。また、前記回転角度は、駆動部の作動量及び、駆動部の作動状態パラメータに相当する。

【0056】

50

一方、 $J_2$  は、直動体の移動量と関節角度のヤコビ行列であって、第 1 行列に相当する。関節角度は、関節の作動状態パラメータに相当する。また、演算器 180 は、作動状態取得部に相当する。

【0057】

本実施形態では、下記の特徴を有する。

(1) 上記のように、本実施形態では、関節角度のフィードバック制御で得られる演算値に対して、第 1 行列と第 2 行列の積の逆行列を乗算して得られた結果をドライバ 12 へ出力する。このため、直動体 80 の動力を指部材 50 に対して非線形で伝達して揺動を付与する伝達機構を有していても、ロボットハンドの指部材の作動を、すなわち、関節角度をフィードバック制御で制御する際に、その制御精度を向上することができる。

10

【0058】

(第 2 実施形態)

図 4 を参照して、第 2 実施形態のロボットハンド装置、すなわち、指先位置の制御を行うロボットハンド装置を説明する。なお、本実施形態を含めた、以下の実施形態では、ロボットハンド装置のハード構成は、第 1 実施形態と同様であるため、ハード構成の説明を省略する。

【0059】

< 指先位置の制御 >

次に指先位置のフィードバック制御について説明する。

図 4 に示すように、本実施形態の指先位置のフィードバック制御は、PID 制御である。本実施形態では、背景技術で説明した図 8 の制御ブロックの構成中、加算器 260 の出力側に、乗算器 270 が設けられているところが異なっているため、背景技術で説明した各制御ブロックと同一または相当する構成については、同一符号を付して、その説明を省略する。

20

【0060】

乗算器 270 は、加算器 260 から出力された演算値に  $(J_2 J_1)^{-1}$  を乗算し、得た値をトルク指令  $u_M$  として、図 1 に示すドライバ 12 に出力する。なお、乗算器 270 は、前記実施形態の乗算器 170 と同様の構成である。

【0061】

図 4 に示す関節角度の制御 (PID 制御) で得られるトルク指令  $u_M$  は、式 (20) で表わすことができる。

30

【0062】

【数 20】

$$u_M = (J_2 J_1)^{-1} \left\{ K_P J^T (x_{fd} - x_f) + K_I \int J^T (x_{fd} - x_f) dt + K_D J^T (\dot{x}_{fd} - \dot{x}_f) \right\} \dots\dots(20)$$

本実施形態では、演算器 280 は、作動状態取得部に相当する。

【0063】

本実施形態では、下記の特徴を有する。

40

(1) 本実施形態では、指先位置のフィードバック制御で得られる演算値に対して、第 1 行列と第 2 行列の積の逆行列を乗算して得られた結果をドライバ 12 へ出力する。このため、直動体 80 の動力を指部材 50 に対して非線形で伝達して揺動を付与する伝達機構を有していても、ロボットハンドの指部材の作動を、すなわち、指先位置をフィードバック制御で制御する際に、その制御精度を向上することができる。

【0064】

(第 3 実施形態)

図 5 を参照して、第 3 実施形態のロボットハンド装置、すなわち、関節トルクの制御を行うロボットハンド装置を説明する。

【0065】

50

< 関節トルクの制御 >

図5に示すように、本実施形態の関節トルクのフィードバック制御は、PI制御である。本実施形態では、背景技術で説明した図9の制御ブロックの構成中、加算器360の出力側に、乗算器370が設けられているところが、異なっているため、背景技術で説明した各制御ブロックと同一または相当する構成については、同一符号を付して、その説明を省略する。

【0066】

乗算器370は、加算器360から出力された演算値に $(J_4 J_3)^{-1}$ を乗算し、得た値をトルク指令 $u_M$ として、図1に示す、ドライバ12に出力する。

図5に示す関節トルクの制御(PI制御)で得られるトルク指令 $u_M$ は、式(21)で表わすことができる。

【0067】

【数21】

$$u_M = (J_4 J_3)^{-1} \left\{ K_P (\tau_{jd} - \tau_j) + K_I \int (\tau_{jd} - \tau_j) dt \right\} \quad \dots\dots(21)$$

ここで、 $J_3$ 及び $J_4$ は、式(22)及び式(23)で表わされる。

【0068】

【数22】

$$J_3 = \frac{\partial g_1}{\partial \tau_M} \quad \dots\dots(22)$$

【0069】

【数23】

$$J_4 = \frac{\partial g_2}{\partial F_b} \quad \dots\dots(23)$$

なお、 $J_3$ は、固定値となるため、予めゲイン(比例ゲイン、積分ゲイン)に含ませてもよい。

【0070】

$J_3$ は、駆動モータ60(駆動部)のモータトルク $\tau_M$ と、直動体の推力のヤコビ行列であって、第2行列に相当する。ここで前記モータトルク $\tau_M$ は、駆動部の作動状態パラメータ及び駆動部トルクに相当する。直動体の推力は、直動体の推力の作動状態パラメータに相当する。

【0071】

一方、 $J_4$ は、直動体の推力と関節トルクのヤコビ行列であって、第1行列に相当する。関節トルクは、関節の作動状態パラメータに相当する。また、演算器380は、作動状態取得部に相当する。

【0072】

本実施形態では、下記の特徴を有する。

(1)上記のように、本実施形態では、関節トルクのフィードバック制御で得られる演算値に対して、第1行列と第2行列の積の逆行列を乗算して得られた結果をドライバ12へ出力する。このため、直動体80の動力を指部材50に対して非線形で伝達して揺動を付与する伝達機構を有していても、ロボットハンドの指部材の作動を、すなわち、関節トルクをフィードバック制御で制御する際に、その制御精度を向上することができる。

【0073】

(第4実施形態)

図6を参照して、第4実施形態のロボットハンド装置、すなわち、指先力の制御を行うロボットハンド装置を説明する。

【0074】

10

20

30

40

50

< 指先力の制御 >

図 6 に示すように、本実施形態の指先力のフィードバック制御は、P I 制御である。

本実施形態では、背景技術で説明した図 9 の制御ブロックの構成中、加算器 4 6 0 の出力側に、乗算器 4 7 0 が設けられているところが、異なっているため、背景技術で説明した各制御ブロックと同一または相当する構成については、同一符号を付して、その説明を省略する。

【 0 0 7 5 】

乗算器 4 7 0 は、加算器 4 6 0 から出力された演算値に  $(J_4 J_3)^{-1}$  を乗算し、得た値をトルク指令  $u_M$  として、図 1 に示す、ドライバ 1 2 に出力する。

図 6 に示す指先力の制御 (P I 制御) で得られるトルク指令  $u_M$  は、式 (24) で表わすことができる。

【 0 0 7 6 】

【 数 2 4 】

$$u_M = (J_4 J_3)^{-1} \left\{ K_P J^T (F_{fd} - F_f) + K_I \int J^T (F_{fd} - F_f) dt + J^T F_{fd} \right\} \quad \dots\dots(24)$$

演算器 4 8 0 は、作動状態取得部に相当する。

【 0 0 7 7 】

本実施形態では、下記の特徴を有する。

(1) 本実施形態では、指先力のフィードバック制御で得られる演算値に対して、第 1 行列と第 2 行列の積の逆行列を乗算して得られた結果をドライバ 1 2 へ出力する。このため、直動体 8 0 の動力を指部材 5 0 に対して非線形で伝達して揺動を付与する伝達機構を有していても、ロボットハンドの指部材の作動を、すなわち、指先力をフィードバック制御で制御する際に、その制御精度を向上することができる。

【 0 0 7 8 】

次に、第 5 ~ 8 実施形態について説明する。

図 1 1 に示すように、第 5 ~ 8 実施形態のロボットハンド装置は、第 1 ~ 4 実施形態のハード構成中、ボールネジ 7 8、及び伝達機構 7 0 (ギアヘッド 7 2、平歯車列 7 4、7 6) が省略されるとともに、直動体 8 0 の回転式モータである駆動モータ 6 0 を、直動モータ (例えば、リニアモータ) に変更したものである。すなわち、スライダークランク機構の構成が変更されている。図 1 1 では、直動モータ 9 0 は、フラット型のリニアモータであって、交互に N S の磁石列 (図示しない) を可動方向へ配列した固定子 9 2 上を、直動体である可動子 9 4 が直動するようにされている。ロボットハンド装置の他の構成は、第 1 ~ 第 4 実施形態と同様に構成されている。なお、リニアモータは、フラット型に限定するものではなく、他の形式のものであってもよい。

【 0 0 7 9 】

(第 5 実施形態)

第 5 実施形態は、図 1 及び図 1 1 で示すロボットハンド装置が、関節角度を制御するための例である。

【 0 0 8 0 】

< 関節角度の制御 >

図 3 において、本実施形態では、乗算器 1 7 0 は、加算器 1 6 0 から出力された演算値に  $(J_2 J_1)^{-1}$  を乗算し、得た値をトルク指令  $u_M$  として、図 1 に示す、ドライバ 1 2 に出力する。

【 0 0 8 1 】

なお、本実施形態では、上述したように直動モータ 9 0 により、可動子 9 4 (直動体) を駆動するため、ヤコビ行列  $J_1 = 1$  である。このことから、実質的には、乗算器 1 7 0 は、 $(J_2)^{-1}$  を乗算することになる。

【 0 0 8 2 】

図 3 に示す関節角度の制御 (P I D 制御) で得られるトルク指令  $u_M$  は、式 (25) で

10

20

30

40

50

表わすことができる。

【 0 0 8 3 】

【 数 2 5 】

$$u_M = (J_2)^{-1} \left\{ K_P (\theta_{jd} - \theta_j) + K_I \int (\theta_{jd} - \theta_j) dt + K_D (\dot{\theta}_{jd} - \dot{\theta}_j) \right\} \quad \dots\dots(25)$$

( 第 6 実施形態 )

第 6 実施形態は、図 1 及び図 1 1 で示すロボットハンド装置が、指先位置を制御するための例である。

【 0 0 8 4 】

< 指先位置の制御 >

図 4 において、本実施形態では、乗算器 2 7 0 は、加算器 2 6 0 から出力された演算値に  $(J_2)^{-1}$  を乗算し、得た値をトルク指令  $u_M$  として、図 1 に示す、ドライバ 1 2 に出力する。

【 0 0 8 5 】

第 5 実施形態と同様に本実施形態では、乗算器 1 7 0 が  $(J_2)^{-1}$  を乗算することは、第 1 実施形態が、 $(J_2 J_1)^{-1}$  を乗算していることと相違しているように見えるが、上述したように直動モータ 9 0 により、可動子 9 4 ( 直動体 ) を駆動するため、ヤコビ行列  $J_1 = 1$  である。このことから、 $(J_2 J_1)^{-1}$  を乗算していると同義である。

【 0 0 8 6 】

図 4 に示す指先位置の制御 ( P I D 制御 ) で得られるトルク指令  $u_M$  は、式 ( 2 6 ) で表わすことができる。

【 0 0 8 7 】

【 数 2 6 】

$$u_M = (J_2)^{-1} \left\{ K_P J^T (x_{fd} - x_f) + K_I \int J^T (x_{fd} - x_f) dt + K_D J^T (\dot{x}_{fd} - \dot{x}_f) \right\} \quad \dots\dots(26)$$

( 第 7 実施形態 )

第 7 実施形態は、図 1 及び図 1 1 で示すロボットハンド装置が、関節トルクを制御するための例である。

【 0 0 8 8 】

< 関節トルクの制御 >

図 3 において、本実施形態では、乗算器 3 7 0 は、加算器 3 6 0 から出力された演算値に  $(J_4 J_3)^{-1}$  を乗算し、得た値をトルク指令  $u_M$  として、図 1 に示す、ドライバ 1 2 に出力する。

【 0 0 8 9 】

なお、本実施形態では、上述したように直動モータ 9 0 により、可動子 9 4 ( 直動体 ) を駆動するため、ヤコビ行列  $J_3 = 1$  である。このことから、実質的には、乗算器 3 7 0 は、 $(J_4)^{-1}$  を乗算することになる。

【 0 0 9 0 】

図 5 に示す関節トルクの制御 ( P I 制御 ) で得られるトルク指令  $u_M$  は、式 ( 2 7 ) で表わすことができる。

【 0 0 9 1 】

【 数 2 7 】

$$u_M = (J_4)^{-1} \left\{ K_P (\tau_{jd} - \tau_j) + K_I \int (\tau_{jd} - \tau_j) dt \right\} \quad \dots\dots(27)$$

( 第 8 実施形態 )

第 8 実施形態は、図 1 及び図 1 1 で示すロボットハンド装置が、指先力を制御するための例である。

【 0 0 9 2 】

10

20

30

40

50

< 指先力の制御 >

図 6 において、本実施形態では、乗算器 470 は、加算器 460 から出力された演算値に  $(J_4 J_3)^{-1}$  を乗算し、得た値をトルク指令  $u_M$  として、図 1 に示す、ドライバ 12 に出力する。

【0093】

なお、本実施形態では、上述したように直動モータ 90 により、可動子 94 (直動体) を駆動するため、ヤコビ行列  $J_3 = 1$  である。このことから、実質的には、乗算器 370 は、 $(J_4)^{-1}$  を乗算することになる。

【0094】

図 6 に示す指先力の制御 (PID 制御) で得られるトルク指令  $u_M$  は、式 (28) で表わすことができる。

10

【0095】

【数 28】

$$u_M = (J_4)^{-1} \left\{ K_P J^T (F_{fd} - F_f) + K_I \int J^T (F_{fd} - F_f) dt + J^T F_{fd} \right\} \quad \dots\dots(28)$$

なお、本発明の実施形態は前記実施形態に限定されるものではなく、下記のように変更しても良い。

【0096】

・第 1 実施形態及び第 5 実施形態では、関節角度  $\theta_j$  を演算器 180 で算出したが、関節角度  $\theta_j$  を検出する角度検出部を作動状態取得部として関節軸 52 に設けて、演算器 180 を省略してもよい。

20

【0097】

・第 2 実施形態及び第 6 実施形態では、指先位置  $x_f$  を演算器 280 で算出したが、指先位置  $x_f$  を検出する位置検出部を作動状態取得部として指部材 50 に設けて、演算器 280 を省略してもよい。

【0098】

・第 3 実施形態及び第 7 実施形態では、関節トルク  $\tau_j$  を演算器 380 で算出したが、関節トルク  $\tau_j$  を検出する関節トルク検出部を作動状態取得部として関節軸 52 に設けて、演算器 380 を省略してもよい。

【0099】

・第 4 実施形態及び第 8 実施形態では、指先力  $F_f$  を演算器 480 で算出したが、指先力  $F_f$  を検出する指部材 50 の先端に設けて、演算器 180 を省略してもよい。例えば、圧力センサを作動状態取得部として、指部材が物を把持する指先に設けて、該圧力センサにより指先力  $F_f$  を検出するようにしてもよい。

30

【0100】

・PID 制御で説明した実施形態 (第 1 実施形態、第 2 実施形態、第 5 実施形態、第 6 実施形態) を、PI 制御、PD 制御または P 制御に変更してもよい。

・PI 制御で説明した実施形態 (第 3 実施形態、第 4 実施形態、第 7 実施形態、及び第 8 実施形態) を、PID 制御、PD 制御または P 制御に変更してもよい。

【0101】

・前記第 2 実施形態及び第 6 実施形態では、指先位置の制御としたが、指先以外の、指部材の先端位置のフィードバック制御にすることも可能である。

40

・伝達機構 70 はリンク機構に限定するものではなく、非線形で動力を伝達する他の機構であってもよい。

【0102】

< ロボットハンドの設計方法 >

図 12 を参照して、ロボットハンドの設計方法を説明する。

スライダークランク機構を利用したロボットハンドの設計パラメータは、指部材の指長  $r$ 、スライダークランク機構の設計パラメータ  $l_1, l_2, l_3, x$ 、指先力  $F_f$ 、関節トルク  $\tau_j$  である。

50

## 【0103】

これらの設計パラメータの設計方法は、(1)指先力 $F_f$ 、指長 $r$ 、(2)関節トルク $\tau_j$ 、(3)スライダークランク機構の設計パラメータ $l_1, l_2, l_3, x$ 、(4)ボールネジ(ネジ部材)と駆動モータ(駆動部)間の減速機構に関する設計パラメータ、(5)モータ特性、のそれぞれの決定が必要である。

## 【0104】

一般的には、決定した(1)の設計パラメータを基に(3)~(5)の設計パラメータを試行錯誤的に求める。なお、(2)の関節トルク $\tau_j$ は、(1)のパラメータが決定されれば、式(11)に基づいて一般的に一意に決まる。

## 【0105】

しかし、例えば、(4)、(5)の設計パラメータを決定してこれらを条件にしても、(3)は複数のパラメータ候補が存在するため、一意に決定することができない。なお、第1実施形態では、ボールネジ78と駆動モータ60(駆動部)間の減速機構は、平歯車列74、76、ギヤヘッド72にて構成されている。このため、(4)の、ボールネジとモータ(駆動部)間の減速機構に関連するパラメータは、ギヤヘッド減速比 $G_h$ 、機構減速比(平歯車等) $G_b$ 、ボールネジのリード $P_h$ である。

## 【0106】

ここで、ロボット指の小型化、ひいてはロボットハンドの小型化を課題の一つとした場合、(4)及び(5)の設計パラメータについては、駆動モータ及びボールネジを小型とするための選択肢は限定される。

## 【0107】

このため、前記小型化を課題とすることを前提にして(4)及び(5)を決定し、これを条件として、図12に示すようにスライダークランク機構の設計パラメータ $l_1, l_2, l_3, x$ で囲まれる面積(または和)が最小となるように決定すれば、小型化の課題を解決することができる。なお、(4)及び(5)の設計パラメータの設定時期は、(1)及び(2)の設定時期よりも前、後、または同時であってもよい。

## 【0108】

上記のことから、ロボット指でロボットハンドの小型化の課題を解決するロボットハンドの設計パラメータの設計方法として、下記の技術的思想が見いだせる。

<本発明以外の技術的思想>

指部材と、前記指部材を関節により揺動自在に支持する指支持部材と、を備え、

前記指支持部材には、駆動部と、前記駆動部の回転を減速する減速機構と、前記減速機構を介して前記駆動部の動力を前記関節に伝達する伝達機構とを備え、

前記伝達機構は、ネジ部材と、前記ネジ部材により直動する直動体及び該直動体の直動を前記関節に非線形で伝達して揺動を前記指部材に付与する複数のリンクとにより構成されるスライダークランク機構を含む、ロボットハンドの設計方法において、前記指部材の指長及び指先力を決定する第1段階と、前記指先力に基づいて、関節トルクを算出する第2段階と、第1段階及び第2段階の順番よりも前、或いは後、或いは同時に行われる第3段階であって、ロボットハンドの最小化を目的にして前記減速機構に関する設計パラメータと、前記駆動部の特性を選択する第3段階と、前記スライダークランク機構の設計パラメータを求める際、該スライダークランク機構の設計パラメータで二次元的に囲まれる形状の面積を最小化することにより、該スライダークランク機構の設計パラメータを算出する第4段階を含むロボットハンドの設計方法。

## 【符号の説明】

## 【0109】

10...ロボットハンド、12...ドライバ、

20...ロボットハンド制御装置(制御部)、

30...上位制御部、40...モータ制御部、50...指部材、

52...関節軸(関節)、54...指支持部材、60...駆動モータ、

62、64...検出部、70...伝達機構、72...ギヤヘッド、

10

20

30

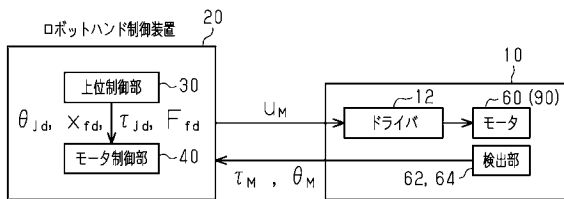
40

50

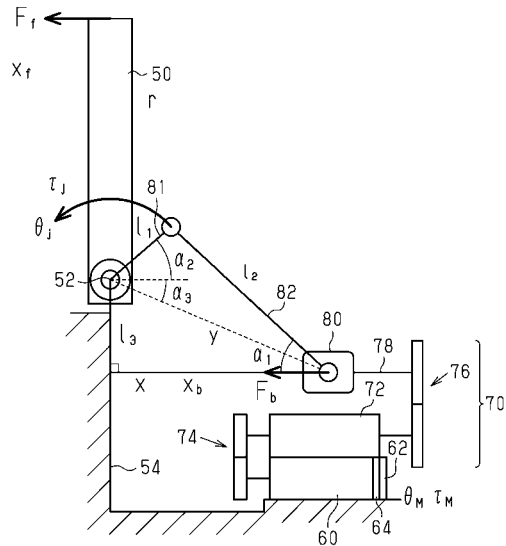


- 74、76...平歯車列、78...ボールネジ、80...直動体、
- 81、82...リンク(リンク機構)、90...直動モータ、92...固定子、
- 94...可動子(直動体)、100...減算器、110...比例演算部、
- 120...積分器、130...積分ゲイン演算部、140...微分器、
- 150...微分ゲイン演算部、160...加算器、170...乗算器、
- 180...演算器(作動状態取得部)、200...減算器、
- 210...比例演算部、220...積分器、230...積分ゲイン演算部、
- 240...微分器、250...微分ゲイン演算部、260...加算器、
- 270...乗算器、280...演算器(作動状態取得部)、
- 300...減算器、310...比例演算部、320...積分器、
- 330...積分ゲイン演算部、360...加算器、370...乗算器、
- 380...演算器(作動状態取得部)、400...減算器、
- 410...比例演算部、420...積分器、430...積分ゲイン演算部、
- 440...トルク変換部、460...加算器、470...乗算器、
- 480...演算器(作動状態取得部)。

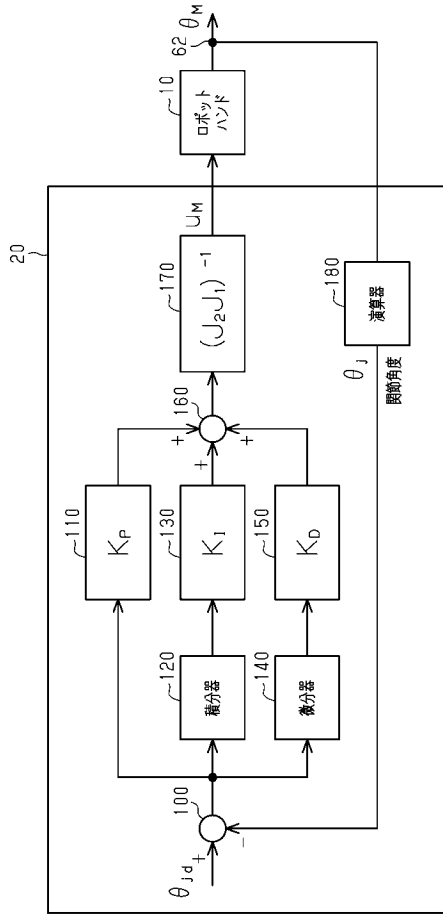
【図1】



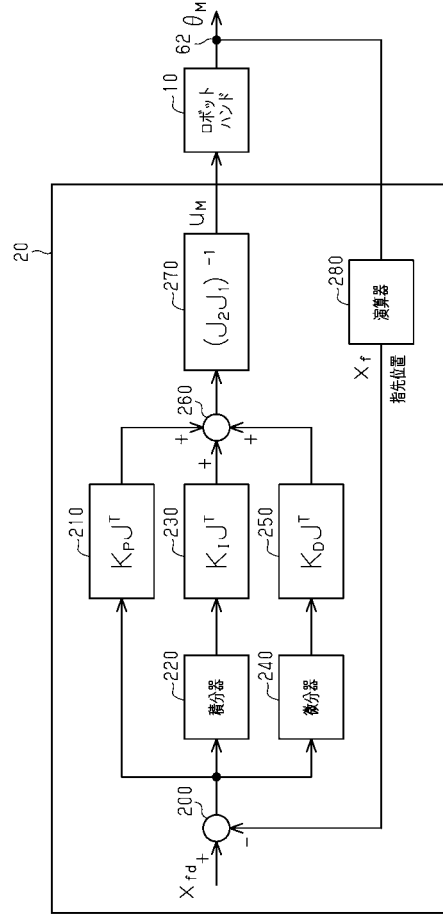
【図2】



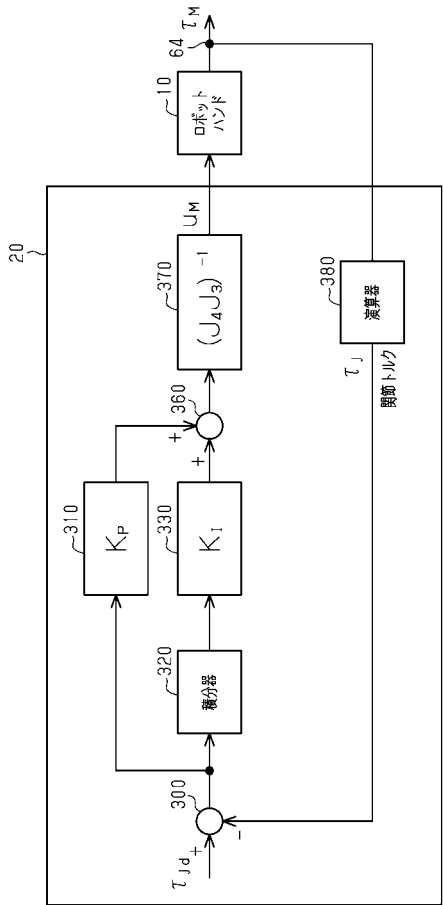
【 図 3 】



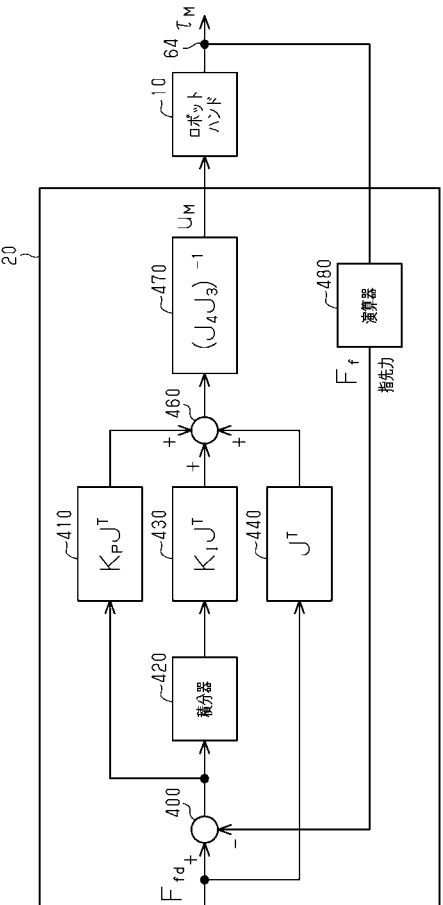
【 図 4 】



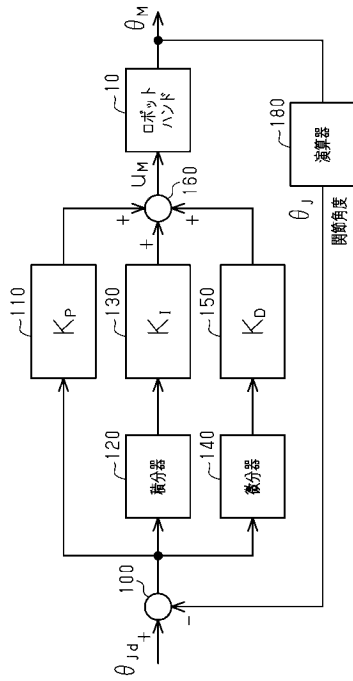
【 図 5 】



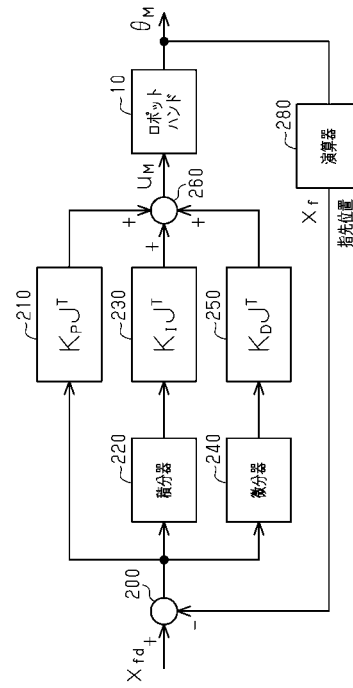
【 図 6 】



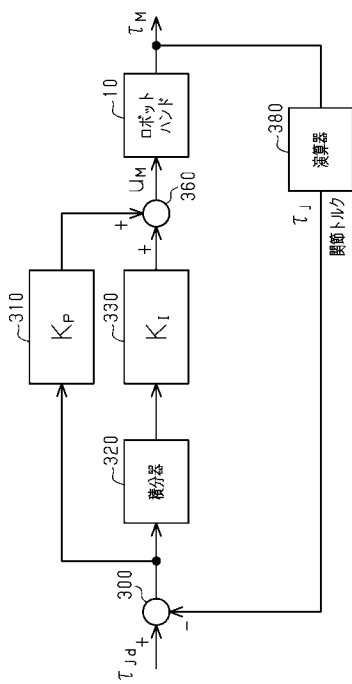
【 図 7 】



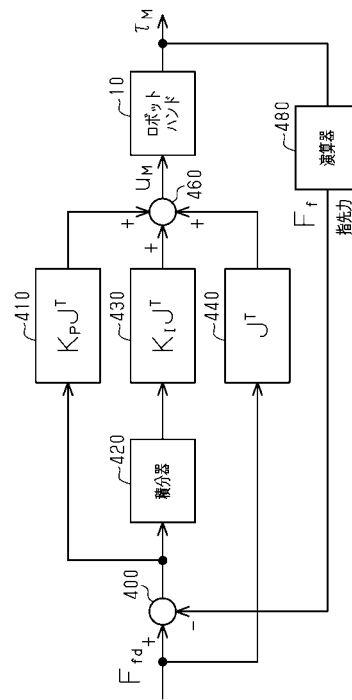
【 図 8 】



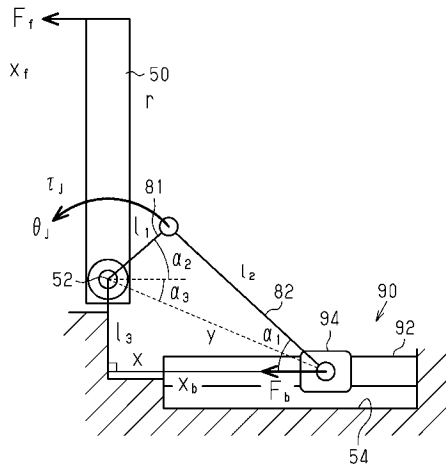
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

