

(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2004-213472
(P2004-213472A)

(43) 公開日 平成16年7月29日(2004.7.29)

(51) Int.C1.⁷

G05D 3/12
B23Q 15/013
G05B 11/32
G05B 19/404
H02P 5/00

F 1

G05D 3/12 306G
G05D 3/12 305L
B23Q 15/013
G05B 11/32 F
G05B 19/404 G
H02P 5/00

テーマコード(参考)

3C001
5H004
5H269
5H303
5H550

審査請求 有 請求項の数 11 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号
(22) 出願日特願2003-1368 (P2003-1368)
平成15年1月7日 (2003.1.7)

(71) 出願人 390008235
ファナック株式会社
山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358
O番地
(74) 代理人 100082304
弁理士 竹本 松司
(74) 代理人 100088351
弁理士 杉山 秀雄
(74) 代理人 100093425
弁理士 湯田 浩一
(74) 代理人 100102495
弁理士 魚住 高博
(72) 発明者 岩下 平輔
山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358
O番地 ファナック株式会社内
最終頁に続く

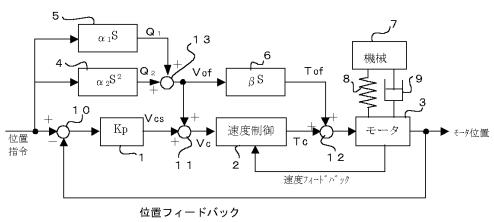
(54) 【発明の名称】制御装置

(57) 【要約】

【課題】低剛性の機械の可動部位置制御において、応答遅れ及びそれにともなう振動発生を抑制する。

【解決手段】低剛性の機械7を駆動するモータ3を位置、速度ループ制御する。位置指令を微分した指令速度に比例する補正量 Q_1 と、2階微分した指令加速度に比例する補正量 Q_2 を求める。補正量 Q_1 、 Q_2 を加算して推定ねじれ量に相当する速度オフセット量 V_{of} を求める。該速度オフセット量の微分値に係数 β を乗じてトルクオフセット量 T_{of} を求める。速度オフセット量 V_{of} を位置ループ制御1で求められた速度指令 V_{cs} に加算する。速度ループ制御2で出力されるトルク指令 T_c にトルクオフセット量 T_{of} を加算してモータへの駆動指令とする。速度、トルクオフセット量 V_{of} 、 T_{of} により、モータ3と機械間のねじれ量が制御される。通常の位置、速度ループ制御により機械位置、速度が正確に制御される。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

指令位置と検出モータ位置との位置偏差を求めるポジションゲインを乗じて速度指令を求める位置ループ制御と、速度指令と検出モータ速度に基づいて速度ループ制御を行ってサーボモータを制御し、該サーボモータで駆動される機械可動部の位置を制御する制御装置において、

指令加速度に比例した速度オフセット量を位置ループ制御によって出力される速度指令に加算し速度ループ制御への速度指令とする速度指令生成手段と、

該速度オフセット量を微分した微分値に基づいてトルクオフセット量を算出する手段と、前記加算された速度指令に基づく速度ループ制御によって出力されるトルク指令に前記トルクオフセット量を加算し補正されたトルク指令とする手段と、

を備えたことを特徴とする制御装置。

【請求項 2】

指令位置と検出モータ位置との位置偏差を求めるポジションゲインを乗じて速度指令を求める位置ループ制御と、速度指令と検出モータ速度に基づいて速度ループ制御を行ってサーボモータを制御し、該サーボモータで駆動される機械可動部の位置を制御する制御装置において、

指令速度に比例したオフセット量と、指令加速度に比例したオフセット量とを加算して速度オフセット量を求める手段と、

位置ループ制御によって出力される速度指令に速度オフセット量を加算し速度ループ制御への速度指令とする速度指令生成手段と、

該速度オフセット量を微分した微分値に基づいてトルクオフセット量を算出する手段と、前記加算された速度指令に基づく速度ループ制御によって出力されるトルク指令に前記トルクオフセット量を加算し補正されたトルク指令とする手段と、

を備えたことを特徴とする制御装置。

【請求項 3】

指令位置とサーボモータで駆動される機械可動部に取り付けられた位置検出器によって検出された機械可動位置より位置偏差を求めるポジションゲインを乗じて位置のフルクローズド・ループ制御により速度指令を求める手段を設け、前記速度指令生成手段の代わりに、前記位置ループ制御によって出力される速度指令に速度オフセット量を加算した指令の高周波成分と位置のフルクローズド・ループ制御による速度指令の低周波成分を加算し速度ループ制御への速度指令とする速度指令生成手段とした請求項1又は請求項2に記載の制御装置。

【請求項 4】

前記速度指令生成手段は、位置のフルクローズド・ループ制御による速度指令から前記位置ループ制御による速度指令と速度オフセット量とを減算したものをローパスフィルタで処理して得られた低周波成分と、前記位置ループ制御によって出力される速度指令と、速度オフセット量とを加算して速度ループ制御への速度指令とする請求項3に記載の制御装置。

【請求項 5】

指令位置とサーボモータの回転位置を検出する検出器によって検出された位置より位置偏差を求めるポジションゲインを乗じて第1の速度指令を求める手段と、

指令位置とサーボモータで駆動される機械可動部に取り付けられた位置検出器によって検出された機械可動位置より位置偏差を求めるポジションゲインを乗じて第2の速度指令を求める手段と、

速度指令とサーボモータの回転速度を検出する検出器によって検出された速度に基づいて速度ループ制御を行いトルク指令を求める速度制御手段と、

前記第2の速度指令と第1の速度指令の差の速度指令差を算出する手段と、

指令加速度に比例したオフセット量から前記速度指令差を減じ、その高周波成分を速度オフセット量として求める手段と、

10

20

30

40

50

該速度オフセット量を微分した微分値に基づいてトルクオフセット量を算出する手段と、前記速度指令差の低周波成分と第1の速度指令と速度オフセット量を加算し速度制御手段への速度指令とする手段と、

速度制御手段から出力されるトルク指令に前記トルクオフセット量を加算し補正されたトルク指令とする手段と、

を備えたことを特徴とする制御装置。

【請求項6】

速度オフセット量として求める手段は、前記指令加速度に比例したオフセット量と共に指令速度に比例したオフセット量を加算して前記速度指令差を減じたものの高周波成分を速度オフセット量として求めようとした請求項5に記載の制御装置。

10

【請求項7】

前記指令加速度に比例したオフセット量は位置指令を2階微分して求める請求項1乃至6の内いずれか1項に記載の制御装置。

【請求項8】

前記トルクオフセット量を算出する手段は、前記速度オフセット量の微分値に所定比例係数を乗じて求める請求項1乃至7の内いずれか1項に記載の制御装置。

【請求項9】

前記トルクオフセット量を算出する手段は、前記速度オフセット量の微分値の大きさを分割し各分割領域における速度オフセット量の微分値に対するトルクオフセット量を直線式で表し、該直線式に基づいてトルクオフセット量を求める請求項1乃至7の内いずれか1項に記載の制御装置。

20

【請求項10】

前記トルクオフセット量を算出する手段は、速度オフセット量の微分値に対応するトルクオフセット量をテーブルとして記憶しておき、該テーブルから求めるようにした請求項1乃至7の内いずれか1項に記載の制御装置。

【請求項11】

指令位置と検出モータ位置との位置偏差を求めポジションゲインを乗じて速度指令を求める位置ループ制御と、速度指令と検出モータ速度に基づいて速度ループ制御を行ってサーボモータを制御し、該サーボモータで駆動される機械可動部の位置を制御する制御装置において、

30

指令加加速度に比例したトルクオフセット量を前記速度ループ制御によって出力されるトルク指令に加算し補正されたトルク指令とする手段を備えたことを特徴とする制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、サーボモータで駆動される機械可動部の位置を制御する制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

大型の機械などでは、機械可動部を駆動するモータと機械可動部の間の機械要素にねじれ要素等が存在し低剛性である。このような低剛性の場合には、このねじれ要素等は一定の範囲では加速度に比例してねじれ量が大きくなるバネ的な特性を示し、このモータと機械の間がバネ結合されているとみなされる。この場合、機械の移動開始時に機械の移動を遅らせたり、機械可動部が振動する原因となる。

40

【0003】

このような大型の機械においては機械可動部の振動を抑えるために、位置ループのポジションゲインを大きくすることができます、その結果として機械可動部の移動の遅れが発生する。例えば、大型の工作機械においては、この遅れに起因して加工精度が低下するという問題がある。

【0004】

この機械の低剛性による遅れを補償する方法として、加速度指令値にボールネジ駆動系の

50

総合たて剛性の逆数を乗じたものと、ボールネジ駆動系の総合ねじれ剛性の逆数を乗じたものを加算し、その加算値に負荷側慣性モーメントを乗じてたわみ補償値を求め、これを微分してたわみ速度補償値を求め、さらにこれを微分してトルク補償値を求め、これらたわみ補償値、たわみ速度補償値、トルク補償値をそれぞれ位置指令値、速度指令値、トルク指令値に加算することによって、ボールネジ駆動系のたわみ補償を行う方法が知られている（例えば、特許文献1参照）。

【0005】

又、移動指令の加速度に比例したオフセット量を位置ループ制御で求めた速度指令に加算して速度ループへの速度指令とすることによって、低剛性によるねじれ分の遅れを補償するようにした方法も知られている（例えば、特許文献2参照）。

10

【0006】

【特許文献1】

特開平10-326114号公報

【特許文献2】

特許第3308656号公報

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、機械可動部と該機械可動部を駆動するモータ間に低剛性の機械要素があるとき、この機械要素のねじれ等により、指令に対して機械可動部の移動が遅れることを抑制し、遅れに伴って発生する機械振動を低減することにある。

20

【0008】

【課題を解決するための手段】

請求項1に係わる発明は、指令位置と検出モータ位置との位置偏差を求めるポジションゲインを乗じて速度指令を求める位置ループ制御と速度指令と検出モータ速度に基づいて速度ループ制御を行ってサーボモータを制御し、該サーボモータで駆動される機械可動部の位置を制御する制御装置において、指令加速度に比例した速度オフセット量を位置ループ制御によって出力される速度指令に加算し速度ループ制御への速度指令とする速度指令生成手段と、該速度オフセット量の微分し該微分値に基づいてトルクオフセット量を算出する手段と、前記加算された速度指令に基づく速度ループ制御によって出力されるトルク指令に前記トルクオフセット量を加算し補正されたトルク指令とする手段とを備えることにより、低剛性の機械のねじれを補正し、応答遅れを低減させて振動発生を抑制した。又、請求項2に係わる発明は、速度オフセット量として、指令加速度に比例したオフセット量に指令速度に比例したオフセット量を加算したものとした。

30

【0009】

請求項3に係わる発明は、指令位置とサーボモータで駆動される機械可動部に取り付けられた位置検出器によって検出された機械可動位置より位置偏差を求めるポジションゲインを乗じて位置のフルクローズド・ループ制御により速度指令を求める手段を設け、請求項1, 2に係わる発明の速度指令生成手段の代わりに、前記位置ループ制御によって出力される速度指令に速度オフセット量を加算した指令の高周波成分と位置のフルクローズド・ループ制御による速度指令の低周波成分を加算し速度ループ制御への速度指令とする速度指令生成手段とした。請求項4に係わる発明は、請求項3に係わる発明における速度指令生成手段を、位置のフルクローズド・ループ制御により速度指令から前記位置ループ制御による位置指令を減算したものをローパスフィルタで処理して得られた低周波成分と前記位置ループ制御によって出力される速度指令と速度オフセット量とを加算して速度ループ制御への速度指令とするものとした。

40

【0010】

請求項5に係わる発明は、指令位置とサーボモータの回転位置を検出する検出器によって検出された位置より位置偏差を求めるポジションゲインを乗じて第1の速度指令を求める手段と、指令位置とサーボモータで駆動される機械可動部に取り付けられた位置検出器によって検出された機械可動位置より位置偏差を求めるポジションゲインを乗じて第2の速度指

50

令を求める手段と、速度指令とサーボモータの回転速度を検出する検出器によって検出された速度に基づいて速度ループ制御を行いトルク指令を求める速度制御手段と、第2の速度指令と第1の速度指令の差の速度指令差を算出する手段と、指令加速度に比例したオフセット量から速度指令差を減じ、その高周波成分を速度オフセット量として求める手段と、該速度オフセット量の微分し該微分値に基づいてトルクオフセット量を算出する手段と、速度指令差の低周波成分と第1の速度指令と速度オフセット量を加算し速度制御手段への速度指令とする手段と、速度制御手段から出力されるトルク指令にトルクオフセット量を加算し補正されたトルク指令とする手段とを備え、ねじれをフィードバック制御するようとした。又、請求項6に係わる発明は、請求項5に係わる発明において、速度オフセット量として求める手段を、指令加速度に比例したオフセット量と共に指令速度に比例したオフセット量を加算して速度指令差を減じたものの高周波成分を速度オフセット量とした。
10

【0011】

そして、請求項7に係わる発明は、前述の各発明において、位置指令を2階微分して指令加速度に比例したオフセット量を求めるようにしたものである。又、トルクオフセット量を算出する手段を、請求項8に係わる発明は、速度オフセット量の微分値に所定比例係数を乗じて求めるようにし、請求項9に係わる発明は、速度オフセット量の微分値の大きさを分割し各分割領域における速度オフセット量の微分値に対するトルクオフセット量を直線式で表し、該直線式に基づいてトルクオフセット量を求めるようにし、請求項10に係わる発明は、速度オフセット量の微分値に対応するトルクオフセット量をテーブルとして記憶しておき、該テーブルから求めるようにした。
20

又、請求項11に係わる発明は、単に、指令加速度に比例したトルクオフセット量を前記速度ループ制御によって出力されるトルク指令に加算し補正されたトルク指令とする手段を設けることにより前記課題を解決するようにした。

【0012】

【発明の実施の形態】

低剛性の機械をバネ結合したモデルで表すと図1に示すものとなる。バネ系の運動方程式は、バネ系への入力であるモータの出力をF、バネ定数をk、機械の停止位置からの移動量をX、モータの停止位置からの移動量（機械の移動量の単位と同一とする）をX₀、機械の加速度をa、モータの加速度をa₀、機械の質量をM、モータ駆動部の質量をmとすると、次の1式、2式で表される。
30

$$Ma = k(X_0 - X) \quad \dots (1)$$

$$ma_0 = F - k(X_0 - X) \quad \dots (2)$$

すなわち、モータから伝えられる力はモータの加速とバネの伸縮になり、バネの伸縮が制御対象の機械を動かすことになる。

【0013】

十分に長い時定数をもって力Fが増加する場合、微小時間での加速度は0とみなすことができる。この場合、上記(2)式より、バネの伸縮量(X₀ - X)は、F/kとなる。力Fを与える場合に理想的に伸縮量F/kが生じるならば、力Fを伸縮量F/kと一致させるように与えることで、バネ系は剛体と同じ挙動を示すことになる。
40

【0014】

機械に対する移動指令に対してモータ駆動部の移動は上述したバネの伸縮量を含んだ移動量となるが、通常の位置ループ制御においては、制御対象の機械の位置（フルローズドロープの場合）、若しくは該機械を駆動するモータ駆動部の位置（セミクローズド・ループの場合）と移動指令との位置偏差からモータ駆動部への速度指令を作成している。そのため、バネの伸縮量は位置ループの応答性に依存し、フルローズドロープの場合には、ポジションゲインが小さいときには、モータ駆動部の動作が緩慢になり、バネ系は安定するが精度の低下を招く。又、逆にポジションゲインが大きいときには、モータ駆動部の動作が急峻になり、必要以上にバネを伸ばして振動を引き起こす結果となる。

【0015】

又、セミクローズの場合においても、ポジションゲインが小さいときには、機械の追従が遅れ、指令位置に対する機械位置のずれが大きくなり精度を低下させる。又、ポジションゲインが大きいときには、前述したように振動を引き起こす原因となる。

【0016】

そこで、本発明は、低剛性の機械において、低剛性の機械要素のねじれ等のバネとみなされる要素の伸縮量がモータの加速度 a_0 に比例することを利用して、この加速度 a_0 とほぼ同値である移動指令の2階微分値（指令加速度）からねじれ量（バネの伸縮量）を推定し、必要なねじれ量が発生するようにモータに対してフィードフォワード的に速度指令を補正することによって、安定にねじれを発生させ、位置ループ安定化させる。

なお、機械に摩擦 f が存在する場合には、機械の運動方程式は、

10

$$M a = k (X_0 - X) - f$$

となり、速度一定の場合には (f / k) に相当する位置偏差が生じる。フルクローズドループの場合には機械位置 X が指令位置に一致するように制御が働くが、セミクローズドループの場合にはモータ位置 X_0 が指令位置に一致するため、機械位置 X に位置偏差が生じてしまう。これを解決するためには (f / k) に比例した速度オフセットを速度指令に加算して、機械位置 X が指令位置に一致するように補正すればよい。

【0017】

さらに、低剛性の機械の場合、速度ループにおけるゲインも大きくすることはできない。そのため、フィードフォワード的に速度指令を補正しても、モータの回転は遅れ、必要なねじれ量が発生するには時間遅れが生じる。本発明は、この遅れを、トルク指令に補正することによって、モータの応答をよくして、必要なねじれ量を応答よく発生させようとする。

20

【0018】

図2は、本発明の第1の実施形態の機械可動部の位置を制御する制御装置のモータ制御系のプロック図である。

図2中、符号1は位置ループにおけるポジションゲイン K_p の伝達関数を示す項、符号2は速度制御部の項、符号3はサーボモータを示す。該サーボモータ3には、工作機械等の機械7の可動部が接続され、サーボモータ3と機械の間は低剛性の要素で接続されているとして、バネ8で結合されているものとして模式的に表している。なお、9は摩擦の項を示す。

30

【0019】

さらに、本実施形態では、バネ8で示される機械とサーボモータ間の低剛性の機械要素のねじれを推測してそのねじれ量を補うための位置指令の加速度に補正係数 α_2 を乗じて得られる加速度に比例量を出力する項4、指令速度に補正係数 α_1 を乗じて得られる機械の摩擦9の対応する指令速度に比例する成分を出力する項5を備え、項4、5の出力を加算器13で加算して推定ねじれ量に相当の速度オフセット量 V_{of} を求め、該速度オフセット量を加算器11で位置ループ制御1で求めた速度指令 V_{cs} に加算し、速度制御部2への速度指令 V_c とするようにしている。

さらに、項6で速度制御部2の遅れを補うために速度オフセット量 V_{of} の微分値に補正係数 β を乗じてトルクオフセット量 T_{of} を求め、トルク指令 T_c に加算器12で加算してモータ3へのトルク指令（電流指令）としている。

40

【0020】

減算器10で位置指令とサーボモータ3に取り付けられた位置検出器からフィードバックされるモータ位置を減じて位置偏差を求め該位置偏差に項1のポジションゲイン K_p を乗じて速度指令 V_{cs} を求める（位置ループ制御）。さらに、項5で位置指令を微分した指令速度に補正係数 α_1 を乗じて、摩擦に対応するオフセット値を求める。又、項4で位置指令を2階微分した指令加速度に補正係数 α_2 を乗じてねじれ量の加速度分に相当するオフセット値を求め、この項4、項5で求められた2つのオフセット値を加算器13で加算して速度オフセット量 V_{of} とし、該速度オフセット量 V_{of} を加算器11で位置ループ制御で求めた速度指令 V_{cs} に加算して速度指令 V_{cs} を補正する。この補正された速度

50

指令 V_c を速度制御部 2 への指令とする。

【0021】

速度制御部 2 では、この補正された速度指令 V_c とサーボモータ 3 に取り付けられた速度検出器からフィードバックされる実速度に基づいて、比例、積分制御等の速度ループ制御を行いトルク指令 T_c を出力する。一方、項 6 では、速度オフセット量 V_{o_f} を微分し、その微分値に補正係数 K_p を乗じて、トルクオフセット量 T_{o_f} を求め、加算器 12 で該トルクオフセット量 T_{o_f} を速度制御部 2 から出力されたトルク指令 T_c に加算して、サーボモータ 3 へ出力し駆動する。

【0022】

速度制御部 2 に遅れがないとすれば、摩擦と加速度に比例した速度オフセット量 V_{o_f} によりバネ 8 が伸縮されるから、位置指令とフィードバックされるモータ位置による位置偏差にポジションゲイン K_p を乗じた位置ループ制御による速度指令 V_{c_s} は、バネを考慮することなく機械を移動させる速度指令となる。

【0023】

しかし、速度制御部 2 においても制御対象の機械が低剛性であることから、ゲインを大きくとることができないので、この速度制御部 2 でも指令に対してモータ及び機械可動部の動作は遅れる。そこで、本実施形態では、速度オフセット量 V_{o_f} の微分値に比例するトルクオフセット量 T_{o_f} を速度制御部 2 から出力されるトルク指令 T_c に加算することによって、この速度制御部 2 の遅れを補正して、機械 7 を位置指令に応答よく追従させるようしている。

【0024】

図 3 は、速度オフセット量 V_{o_f} とトルクオフセット量 T_{o_f} の説明図である。

位置指令の微分値、すなわち、指令速度が図 3 (a) に示すものとすると、速度オフセット量 V_{o_f} における加速度比例成分は、この指令速度を微分した値に比例する図 3 (b) に示す破線で示すようなものとなる。そして、速度オフセット量 V_{o_f} は図 3 (b) の破線で示すこの加速度比例成分に図 2 の速度に比例する成分を加算したものとなる。

又、トルクオフセット量 T_{o_f} は、この速度オフセット量 V_{o_f} の微分に比例したものであるから図 3 (a) で実線で示すようなものとなる。

【0025】

図 4 は、本発明の第 2 の実施形態のモータ制御系のブロック図である。

この第 2 の実施形態では、位置のフルクローズド・ループ制御を追加している点で第 1 の実施形態と相違する。

この第 2 の実施形態では、位置指令と機械可動部の位置を検出する位置検出器からフィードバックされる機械位置との位置偏差を減算器 17 で求め、項 15 でこの位置偏差にポジションゲイン K_p (このポジションゲインは項 1 のポジションゲインと同じ値) を乗じて速度指令 V_{c_f} を求める。このフルローズドループ制御による速度指令から、セミクローズド・ループ制御で求めた速度指令 V_{c_s} に速度オフセット量 V_{o_f} を加算して補正した速度指令を減算器 18 で減じて、ローパスフィルタ 16 でフィルタ処理し、このローパスフィルタ 16 の低周波成分の出力を加算器 11 で速度オフセット量 V_{o_f} で補正された速度指令 V_{c_s} に加算して速度制御部 2 への指令 V_c としている。速度制御部 2 以降の制御は第 1 の実施形態と同一である。

【0026】

この第 2 の実施形態では、速度オフセット量 V_{o_f} で補正されたセミクローズド・ループの速度指令 V_{c_s} が減算器 18、ローパスフィルタ 16 を通り、再びこの速度オフセット V_{o_f} で補正されたセミクローズド・ループの速度指令 V_{c_s} に加算されることから、速度制御部 2 に入力される速度指令 V_c は、フルクローズド・ループ制御の速度指令 V_{c_f} の低周波成分と、速度オフセット量 V_{o_f} で補正されたセミクローズド・ループの速度指令 V_{c_s} から低周波成分を除去した高周波成分が合成されたものとなる。このことは、モータが加減速される過渡状態（高周波成分を含む状態）では、速度オフセット量 V_{o_f} で補正されたセミクローズド・ループの速度指令 V_{c_s} が有効に機能し、モータを制御する

10

20

30

40

50

。一方、指令速度に達し速度一定となったような定常状態（高周波成分は含まず、低周波成分のみ）では、速度オフセット量 V_{o_f} で補正されたセミクローズド・ループの速度指令 V_{c_s} はカットされ、フルクローズド・ループ制御による速度指令 V_{c_f} のみが有効に機能し、定常状態では位置のフルクローズド・ループ制御が行われることになる。

【0027】

ローパスフィルタ14の出力を $V_{c_f L} - (V_{c_s L} + V_{o_f L})$ とすると、速度制御部に入力される速度指令 V_c は次のようになる。

$$\begin{aligned} V_c &= V_{c_s} + V_{o_f} + (V_{c_f L} - (V_{c_s L} + V_{o_f L})) \\ &= V_{c_s} - V_{c_s L} + V_{o_f} - V_{o_f L} + V_{c_f L} \end{aligned}$$

10

ここで、 $V_{c_s L}$ は V_{c_s} の低周波成分であるから、 $(V_{c_s} - V_{c_s L})$ はセミクローズド・ループ制御による速度指令の高周波成分 $V_{c_s H}$ を意味し、同様に $(V_{o_f} - V_{o_f L})$ は速度オフセット量 V_{o_f} の高周波成分 $V_{o_f H}$ を意味する。すなわち、速度制御部に入力される速度指令 V_c は、セミクローズド・ループの速度指令 V_{c_s} と速度オフセット量 V_{o_f} の高周波成分 $V_{c_s H}$ 、 $V_{o_f H}$ と位置のフルクローズド・ループ制御による速度指令 V_{c_f} の低周波成分 $V_{c_f L}$ で構成されることになる。

【0028】

これにより、加減速時には高周波成分が存在するから、セミクローズド・ループ制御による速度指令が有効に機能する。しかし、速度が一定となった定常状態では、高周波成分はなく、 $V_{c_s} = V_{c_s L}$ 、 $V_{o_f} = V_{o_f L}$ となり、速度制御部2に入力される速度指令 $V_c = V_{c_f L} = V_{c_f}$ となり、位置の制御はフルクローズド・ループ制御のみが有効になされることになる。なお、セミクローズド・ループの速度指令 V_{c_s} と速度オフセット量 V_{o_f} を加算したもに配パスフィルタを通し、高周波成分としたものと、フルクローズド・ループ制御による速度指令 V_{c_f} をローパスフィルタに通し低周波成分としたものを加算して速度制御部2に入力される速度指令としても等々の効果を得ることができる。

20

【0029】

図5は、本発明の第3の実施形態のモータ制御系のブロック図である。

この第3の実施形態では、第2の実施形態と同様に、位置のセミクローズド・ループ制御とフルクローズド・ループ制御が行われるものである。

位置のフルクローズド・ループ制御により項15より出力される速度指令 V_{c_f} から位置のセミクローズド・ループ制御による項1から出力される速度指令 V_{c_s} を減算器18で減じて実ねじれ量に相当する分を求める。

30

また、項4の出力である位置指令の加速度に比例する部分 Q_2 と項5の出力である機械の摩擦9に対応する部分 Q_1 を加算した推定ねじれ量に相当する分から前記実ねじれ量に相当する分を減じる演算を加減速器20で行い、この演算結果をハイパスフィルタ19に通して速度オフセット量 V_{o_f} を求める。

【0030】

加算器21では、項1から出力される位置のセミクローズド・ループ制御による速度指令 V_{c_s} に求めた速度オフセット量 V_{o_f} を加算する共に、フルクローズド・ループ制御による速度指令 V_{c_f} とセミクローズド・ループ制御による速度指令 V_{c_s} との差をローパスフィルタ16に通したものを加算し、これを速度制御部2への速度指令 V_c とする。また、この速度制御部2の出力であるトルク指令 T_c に、項6で速度オフセット量 V_{o_f} を微分して補正係数₁を乗じて求めたトルクオフセット量 T_{o_f} を加算して補正し、サーボモータ3への指令とする。

40

【0031】

この第3の実施形態では、位置指令に対する機械位置の偏差を_f、モータ位置の偏差を_sとすると、減算器18で求められる値は「 $K_p \times (x_f - x_s)$ 」である。 $(x_f - x_s)$ は、機械位置とモータ位置の差を表すから、実際に生じているねじれ量を表している。よって、減算器18の出力は実ねじれ量に相当する値が出力されていることになる。一方、指令速度に補正係数₁を乗じて得られた値 Q_1 と、指令加速度に補正係数₂を

50

乗じて得られた値 Q_2 を加算して求めた推定ねじれ量に相当する値であり、この推定ねじれ量に相当する値から実ねじれ量に相当する値を減じた値は、ねじれ量の偏差である。推定ねじれ量に相当する値は指令するものであり、実ねじれ量に相当する値はフィードバックにより得られた値であるので、このねじれ量偏差をハイパスフィルタで処理して出力される速度オフセット量 V_{o_f} によって、このねじれ量偏差を「0」にするようにフィードバック制御されることになる。いわばこの第3の実施形態では、ねじれ量に対する独自のフィードバック制御を行うような形となる。

【0032】

このことは、推定ねじれ量の指令によって、実際のねじれ量が制御されることになるから、機械位置は、セミクローズド・ループ制御（項1）またはフルクローズド・ループ制御（項15）による速度指令 V_{c_s} 、 V_{c_f} で制御されることになる。しかも、加減速時の過渡状態では、ローパスフィルタ16で高周波成分がカットされるから、セミクローズド・ループ制御の速度指令 V_{c_s} が作用するが、加減速が終了し、定常状態では、高周波成分はなく、低周波成分となることから、フルクローズド・ループ制御（項15）による速度指令 V_{c_f} が有効に作用することになる。すなわち、ローパスフィルタ16の出力を（ $V_{c_fL} - V_{c_sL}$ ）とし、定常状態では上述したように高周波成分はなく速度オフセット量 V_{o_f} は「0」、 $V_{c_s} = V_{c_sL}$ となる。よって、加算器21から出力される速度指令 V_c は次のようになる。

【0033】

$$\begin{aligned} V_c &= V_{c_s} + (V_{c_fL} - V_{c_sL}) + V_{o_f} \\ &= V_{c_s} - V_{c_sL} + V_{c_fL} \\ &= V_{c_fL} = V_{c_f} \end{aligned}$$

10

20

30

40

以上のようにして、加減速区間以外の定常状態では、位置の制御はフルクローズド・ループ制御がなされることになる。

【0034】

図6は、上述した各実施形態を実施する制御装置50の要部ブロック図である。但し、図1で示した実施形態の場合には、機械可動部の位置を検出する位置検出器56がなく、機械可動部位置のフィードバックもないものである。

【0035】

数値制御装置51は移動指令等の各種指令指令を、共有メモリ52を介してデジタルサーボ回路53に出力する。デジタルサーボ回路53は、プロセッサやROM、RAM等のメモリ等で構成され、指令された移動指令と、サーボモータ3の回転位置、速度を検出する位置・速度検出器55からフィードバックされるモータ位置、速度に基づいて、さらに、機械7の可動部位置を検出する位置検出器56からフィードバックされる機械位置に基づいて、位置、速度のフィードバックから制御処理を行うことによって、図1または図4または図5の処理を処理してトルク指令を求めるアンプ54を介してサーボモータ3を駆動し、機械7の可動部を移動させる。この図6に示す構成は、従来から公知のものであるので、詳細な構成の説明は省略する。

【0036】

図7は、図1に示した第1の実施形態の制御を行うときのデジタルサーボ回路のプロセッサが所定周期毎実行する処理のフローチャートである。

数値制御装置51は入力されたプログラムに基づいて、移動指令を分配周期毎共有メモリ52を介してデジタルサーボ回路53に出力する。デジタルサーボ回路53はこの移動指令を受けて所定周期毎図7の処理を開始し、まず、所定周期毎の移動指令を取得する（ステップ100）。この移動指令は所定周期間ににおける移動指令であるから、実質的に指令速度となる。そして、位置・速度検出器55からフィードバックされる位置、速度のフィードバック量を読み取る（ステップ101）。

【0037】

50

次に、取得した所定周期毎の移動指令（指令速度）と前周期の移動指令の差より指令の加速度を求める（ステップ102）。指令速度に補正係数₁を乗じた値と、指令加速度に補正係数₂を乗じた値を加算して速度オフセット量 V_{o_f} を求める（ステップ103）。ステップ100で求めた移動指令とステップ101で求めた位置のフィードバック量に基づいて位置偏差を求め、該位置偏差にポジションゲイン K_p を乗じて速度指令 V_{c_s} を求める（ステップ104）。

【0038】

次に、ステップ103、104で求めた速度指令 V_{c_s} と速度オフセット量 V_{o_f} を加算して補正された速度指令 V_c を求める（ステップ105）。さらに、前周期と当該周期の速度オフセット量 V_{o_f} の差より速度オフセット量の変化量（微分値）を求め、この変化量に補正係数₃を乗じてトルクオフセット量 T_{o_f} を求める（ステップ106、107）。

【0039】

また、ステップ105で求めた速度指令とステップ101で求めた速度フィードバック量に基づいて、速度ループ処理を行いトルク指令 T_c を求める（ステップ108）。求めたトルク指令 T_c に、ステップ107で求めたトルクオフセット量 T_{o_f} を加算して電流制御部へトルク指令（電流指令）として出力する（ステップ109）。図示していないが、電流制御部では従来と同様にこのトルク指令に基づいて電流ループ処理等を行い、サーボアンプ54を介してサーボモータ3を駆動制御する。

【0040】

図8は、図4に示す第2の実施形態におけるデジタルサーボ回路53のプロセッサが所定周期毎実施する処理のフローチャートである。

第1の実施形態の処理と比較して、ステップ202で機械位置のフィードバック量を読み取る点が追加されただけで、ステップ200～205までの処理は第1の実施形態のステップ100～104と同一である。この第2の実施形態では、ステップ200で求めた所定周期の移動指令量とステップ202で読み取った機械位置フィードバック量とにより位置偏差を求め、該位置偏差にポジションゲイン K_p を乗じて基づいてフルクローズドの位置ループ処理を行い速度指令 V_{c_f} を求める（ステップ206）。

【0041】

求めた速度指令 V_{c_f} から、ステップ204で求めた、速度オフセット量 V_{o_f} と、ステップ205での位置のセミクローズド・ループ処理（モータ位置のフィードバック量による位置ループ処理）で求めた速度指令 V_{c_s} を減じたものに対してローパスフィルタの処理を行う（ステップ207）。そして、このローパスフィルタ処理結果と速度オフセット量 V_{o_f} とセミクローズド・ループ処理で求めた速度指令 V_{c_s} を加算して速度指令 V_c を求める（ステップ208）。

【0042】

この速度指令に基づいて速度ループ処理してトルク指令 T_c を求め、さらに速度オフセット量からトルクオフセット量 T_{o_f} を求めて軽く指令 T_c に加算して電流ループ処理経出力するステップ209～212までの処理は、第1の実施形態の図7に示すフローチャートのステップ106～109と同一である。

【0043】

図9は、図5に示す第3の実施形態におけるデジタルサーボ回路53のプロセッサが所定周期毎実施する処理のフローチャートである。

数値制御装置51から出力される移動指令より所定周期毎の移動指令（速度指令）を求めると共に、モータ位置、機械位置のフィードバック量を読み取り、移動指令（速度指令）を微分して（前周期の移動指令との差より求め）、指令加速度を求める（ステップ300～303）。この点は第2の実施形態のステップ200～203と同一である。次に、速度指令（所定周期間の移動指令量）に補正係数₁を乗じた補正值 Q_1 と指令加速度に補正係数₂を乗じた補正值 Q_2 を算出する（ステップ304）。

【0044】

10

20

30

40

50

さらに、移動指令量とモータ位置のフィードバック量より位置偏差を求め、その位置偏差にポジションゲイン K_p を乗じる位置のセミクローズド・ループ処理を行い速度指令 V_{c_s} を求める（ステップ 305）。また、同様に、移動指令量と機械位置のフィードバック量より位置偏差を求め、その位置偏差にポジションゲイン K_p を乗じる位置のフルクローズド・ループ処理を行い速度指令 V_{c_f} を求める（ステップ 306）。

【0045】

ステップ 304 で求めた補正量 Q_1 , Q_2 を加算して推定ねじれ量に相当する値（ $Q_1 + Q_2$ ）を求め、かつ、ステップ 306 で求めたフルクローズド・ループ処理による速度指令 V_{c_f} からステップ 305 で求めたセミクローズド・ループ処理による速度指令 V_{c_s} を減じて、実際のねじれ量に相当する値（ $V_{c_f} - V_{c_s}$ ）を求め、推定ねじれ量に相当する値（ $Q_1 + Q_2$ ）から実際のねじれ量に相当する値（ $V_{c_f} - V_{c_s}$ ）を減じてねじれ量偏差に対応する値（ $Q_1 + Q_2 - (V_{c_f} - V_{c_s})$ ）を求める。このねじれ量偏差に対応する値に対してハイパスフィルタ処理を行い速度オフセット量 V_{o_f} を求める（ステップ 307）。

【0046】

さらに、実ねじれ量に相当する値（ $V_{c_f} - V_{c_s}$ ）に対しローパスフィルタの処理を行い（ステップ 308）、このローパスフィルタ処理後の値とセミクローズド・ループ処理を行い速度指令 V_{c_s} 及び速度オフセット量 V_{o_f} を加算して速度指令 V_c を求める（ステップ 309）。

【0047】

速度指令 V_c を求めた後の処理は、第 1、第 2 の実施形態のステップ 106～109 またはステップ 209～212 の処理と同一であり、速度オフセット量 V_{o_f} からトルクオフセット量 T_{o_f} を求め、速度指令 V_c に基づいて速度ループ処理して求めたトルク指令 T_c にトルクオフセット量 T_{o_f} に加算して電流ループ処理に出力する（ステップ 310～313）。

【0048】

上述した各実施形態では、トルクオフセット量 T_{o_f} を速度オフセット量の変化量、すなわち速度オフセット量の微分値に所定補正係数 K_p を乗じて求めた。この関係はグラフで示すと図 10 (a) に示す関係となる。しかし、図 10 (b) に示すように、速度オフセット量の微分値とトルクオフセット量の関係を折れ線で定義し、速度オフセット量の大きさの範囲に応じて直線式を定義して記憶しておき、速度オフセット量の大きさによってトルクオフセット量をこの定義した直線式から求めるようにしてもよい。さらには、図 10 (c) に示すように、速度オフセット量の微分値とトルクオフセット量との対応関係をテーブルで記憶しておき、このテーブルに基づいて速度オフセット量からトルクオフセット量を求めるようにしてもよい。

【0049】

なお、上述した各実施形態では、速度オフセット量を指令加速度に比例するオフセット量と指令速度に比例するオフセット量を加算して求めたが、指令速度に比例する摩擦に対応したオフセット量は無視し、指令加速度に比例したオフセット量のみで速度オフセット量を構成してもよい。

さらに、速度オフセット量の補正を行わずトルクオフセット量の補正のみでも、ある程度目的を達成することもできる。すなわち、位置指令を 3 階微分して指令の加加速度を求め、この指令加加速度に係数を乗じてトルクオフセット量を求め、速度ループ制御によって出力されるトルク指令にこのトルクオフセット量を加算してトルク指令を補正し、この補正されたトルク指令でサーボモータを駆動するようにすればよい。

【0050】

そこで、本発明の効果を判断するために図 11 に示すような構成で実験を行った。図 11 において、サーボモータ 3 にねじれ要素 61 を介して所定イナーシャを有する部材 60 を取り付け、かつこの部材 60 の回転位置を検出する位置検出器 56 を取り付け、かつサーボモータ 3 のロータ軸にもその回転位置、速度を検出する位置・速度検出器 55 を取り付

10

20

30

40

50

け、位置検出器 5 6 及び位置・速度検出器 5 5 の出力を制御装置 5 0 にフィードバックするように構成した。

【0051】

この実験装置で、まず、従来として、速度オフセット補正、トルクオフセット補正を行わないセミクローズド・ループによる位置、速度ループ制御により、速度 4 0 0 0 での移動指令を与えて、加減速したときの指令位置と機械位置との位置偏差を測定したものが図 12 (a) で示すグラフである。加速時、減速時に位置偏差が増大し大きな振動が発生している。位置偏差の最大は 30 μm であった。

一方、図 4 に示す第 2 の実施形態の制御方式に制御系を変え、この実験装置を駆動し、速度 4 0 0 0 での移動指令を与えて、加減速したときの指令位置と機械位置との位置偏差を測定した。その結果が図 12 (b) で示すグラフである。この図 12 (b) に示されるように加減速時においても振動は発生せず、位置偏差も最大で 10 μm となり、大きく改善されていることが分かる。

【0052】

【発明の効果】

大型の機械等におけるモータと機械可動部間にねじれ要素等が存在する低剛性の機械可動部の位置を制御するとき、この低剛性によって生じる応答の遅れ、及びこの遅れによって生じる振動を、本発明は抑制し、遅れが少なく、振動を低減させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】低剛性の機械をバネ結合したモデルのモデルの説明図である。

20

【図 2】本発明の第 1 の実施形態のモータ制御系のブロック図である。

【図 3】同実施形態における速度オフセット量、トルクオフセット量の説明図である。

【図 4】本発明の第 2 の実施形態のモータ制御系のブロック図である。

【図 5】本発明の第 3 の実施形態のモータ制御系のブロック図である。

【図 6】本発明の各実施形態を実施する制御装置の要部とモータ、機械との結合を表すブロック図である。

【図 7】同第 1 の実施形態の制御を行うときのデジタルサーボ回路のプロセッサが所定期毎実行する処理のフローチャートである。

【図 8】同第 2 の実施形態の制御を行うときのデジタルサーボ回路のプロセッサが所定期毎実行する処理のフローチャートである。

30

【図 9】同第 3 の実施形態の制御を行うときのデジタルサーボ回路のプロセッサが所定期毎実行する処理のフローチャートである。

【図 10】各実施形態において、速度オフセット量の微分値とトルクオフセット量の関係を定義する例の説明図である。

【図 11】本発明の効果を判断するために行った実験装置の構成の説明図である。

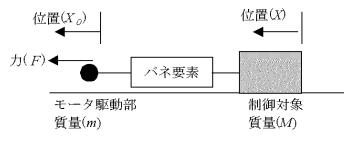
【図 12】実験結果をグラフで表した図である。

【符号の説明】

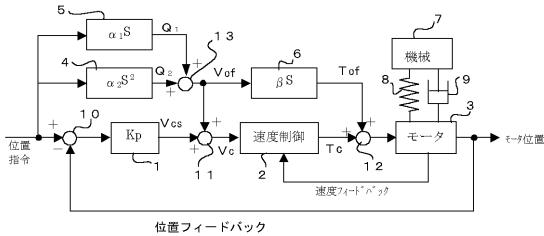
8 バネ要素

9 摩擦要素

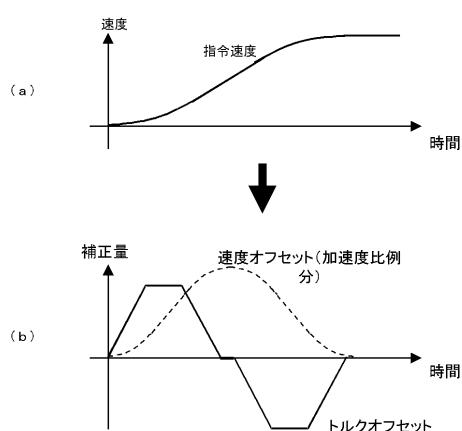
【図1】



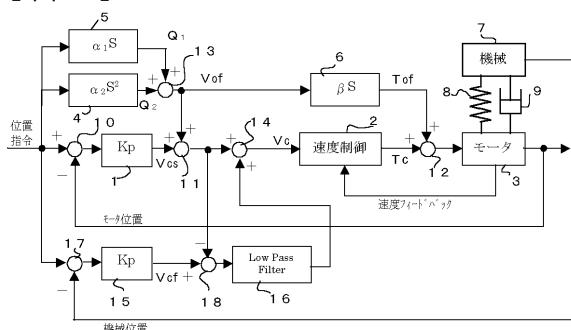
【図2】



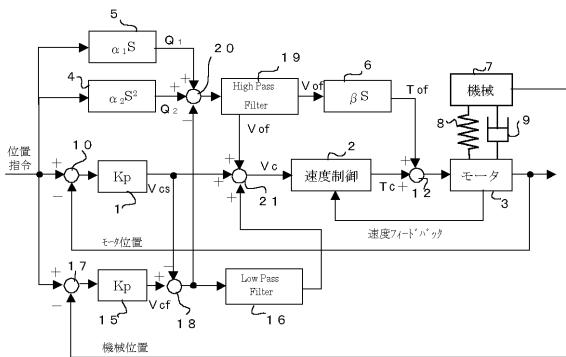
【図3】



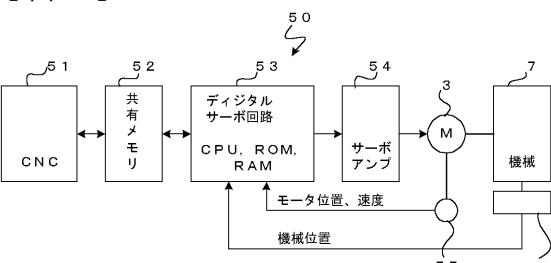
【図4】



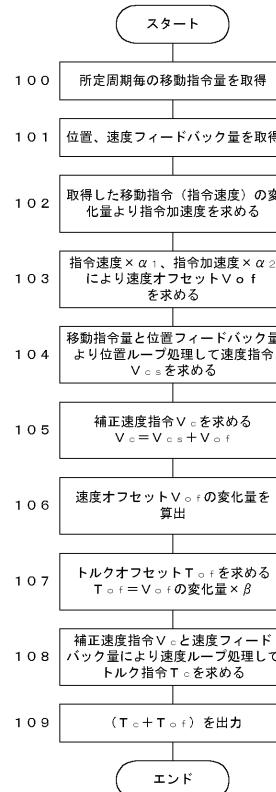
【図5】



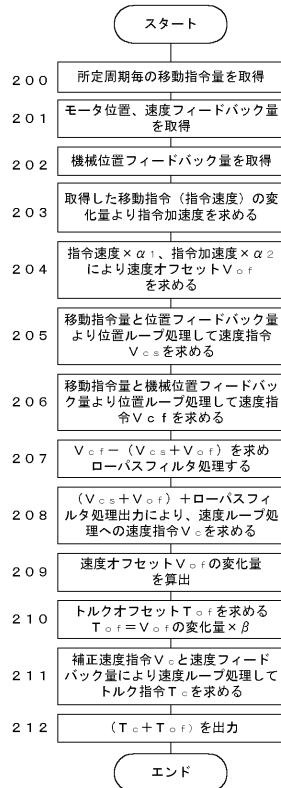
【図6】



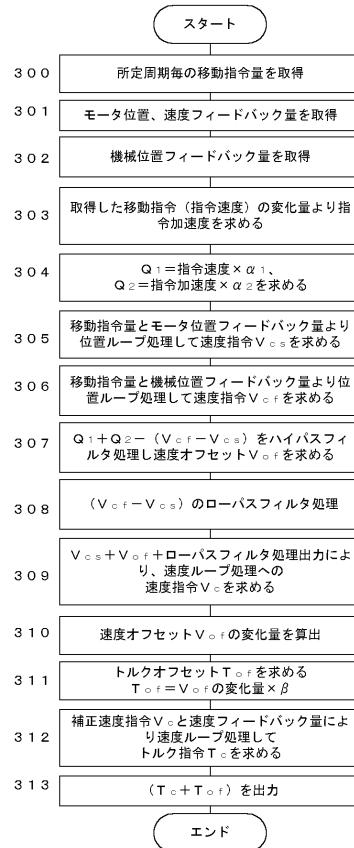
【図7】



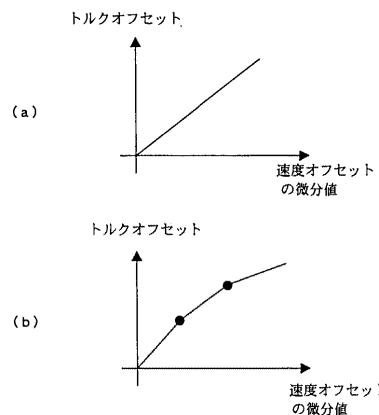
【図8】



【図9】

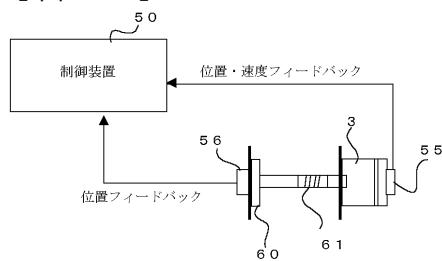


【図10】

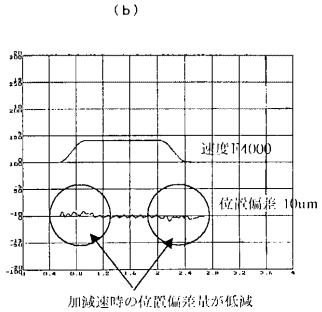
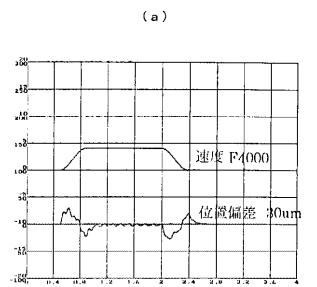


速度オフセットの微分値	0	1	2	3	4	5	6	...
トルクオフセット	0	10	18	25	33	40	49	

【図11】



【図 1 2】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.⁷

F I

テーマコード(参考)

H 02 P 5/00

F

(72)発明者 河村 宏之

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

Fターム(参考) 3C001 KA01 TA05 TB01 TC03 TD01

5H004 GA05 GA09 HA07 HB07 HB08 KB02 KB06 KB32 MA12 MA13
5H269 AB01 BB03 EE01 EE05 FF06 GG02
5H303 BB01 BB06 BB11 CC04 DD01 FF03 HH05 JJ01 KK04 KK14
KK17 KK28
5H550 AA18 GG01 GG02 GG03 GG10 JJ03 KK06 LL32