

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2009年11月5日(05.11.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/133956 A1

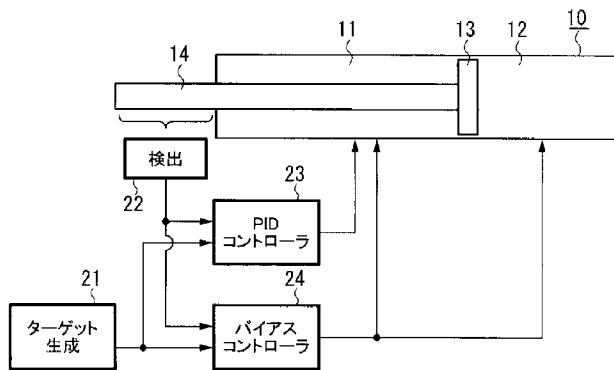
- (51) 国際特許分類:
F15B 11/06 (2006.01) G05D 3/00 (2006.01)
F15B 9/09 (2006.01) B25J 19/00 (2006.01)
F15B 15/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/058619
- (22) 国際出願日: 2009年5月7日(07.05.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-120785 2008年5月2日(02.05.2008) JP
特願 2008-204612 2008年8月7日(07.08.2008) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人筑波大学(University of Tsukuba, National University Corporation) [JP/JP]; 〒3058577 茨城県つくば市天王台一丁目1番1号 Ibaraki (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 星野 聖 (HOSHINO Kiyoshi) [JP/JP]; 〒3058577 茨城県つくば市天王台一丁目1番1号 国立大学法人筑波大学内 Ibaraki (JP). ペラガラ ドン ガヤン クリシャンタ (Weragala Don Gayan Krishantha) [LK/JP]; 〒3058577 茨城県つくば市天王台一丁目1番1号 国立大学法人筑波大学内 Ibaraki (JP).
- (74) 代理人: 角田 芳末, 外(TSUNODA Yoshisue et al.); 〒1510073 東京都渋谷区笹塚1-64-8 笹塚サウスビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) Title: ACTUATOR, ACTUATOR CONTROL METHOD, AND ACTUATOR CONTROL PROGRAM

(54) 発明の名称: アクチュエータ、アクチュエータの制御方法及びアクチュエータの制御プログラム

[図2]
FIG. 2



21... TARGET GENERATION
 22... SENSING
 23... PID CONTROLLER
 24... BIAS CONTROLLER

(57) Abstract: The objective is to perform good control with reduced overshoot when controlling an actuator such as an air cylinder. Therefore, the present invention, when the cylinder chamber interior has first and second chambers that are partitioned by a piston, has first and second control valves (42, 44), which steplessly regulate the supply of fluid pressure to each chamber, and first and second release valves (41, 43), which control the flow of fluid from the first and second chambers (11, 12). First and second control means are provided to control at least one of the two control valves (42, 44). The first control means executes feedback control to minimize the deviation between the target piston slide position and the detected piston slide position. The second control means performs differential forward PD control to minimize deviation between the target piston slide position and the detected piston slide position, relative to the bias pressure supplied commonly to both the first and second chambers.

(57) 要約: エアシリンダ等のアクチュエータの制御が、オーバーシュートを低減させた良好な制御で行えることを目的とする。このため本発明は、シリンダ室内をピストンで仕切られた第1、第2のチャンバを備える場合に、各チャンバへの流体圧供給を無段階で調整する第1、第2の制御バルブ42、44と、第1、第2のチャンバ11、12からの流体の流出を制御する第1、第2の排出バルブ41、43を備える。両制御バルブ42、44の少なくとも何れか一方の制御を行う制御手段として、第1、第2の制御手段を備える。第1の制御手段は、ピストンの目標スライド位置と、ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるようにフィードバック制御を行う。第2の制御手段は、第1、第2のチャンバへ共通に供給するバイアス圧力に対して、ピストンの目標スライド位置と、ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるように、微分先行型PD制御を行う。

WO 2009/133956 A1

(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
- 補正された請求の範囲及び説明書 (条約第 19 条(1))

明 細 書

発明の名称：

アクチュエータ、アクチュエータの制御方法及びアクチュエータの制御プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、エアシリンダなどの流体シリンダを用いたアクチュエータ、及びアクチュエータの制御方法、並びにアクチュエータの制御プログラムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献1に示されるように、ロボットの関節を動かすためのアクチュエータとしては、従来からサーボモータ等の電動モータが用いられている。これはモータであれば、比較的手軽に入手できるためである。しかしながらモータは、ロボット全体が大型化する問題があり、また重量があるためにロボットの機械的強度の設計も重要になる。エアシリンダ等の流体シリンダは、モータと比較して、小形軽量であり、また構造が単純でメンテナンスも容易である等の利点があるため、ロボット用のアクチュエータとして有用なものと考えられている。

[0003] 特許文献2には、本願の発明者が先に提案したアクチュエータについての記載がある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2003-311667号公報

特許文献2：WO2005-45257号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながらエアシリンダのような流体シリンダの適用を阻む最も大きな

欠点としては、任意の位置においてピストンを動かしにくくする性能すなわち剛性を発揮させることが難しいという欠点がある。これはモータと異なり力発生の応答性が低いために、ピストンの位置を保つために外力へ抗する力をすばやく発生できないことが主な原因であると考えられている。これを解消するために、摩擦ブレーキやラッチなどを付加する方法が存在するが、それらを付加するのであれば、モータのみを使う方が合理的である。したがって、極力単純な機構でこの剛性を与える方法が必要である。しかしながら、従来はこの要求に応えることができる技術は提案されていない。

[0006] この問題点を解決するために、本願の発明者らは、先にバルブの開度が可変できる排出バルブ機構を備えたアクチュエータを提案した（特許文献2）。

この先に提案した排出バルブを備えて、エアシリンダ内の圧力を制御すれば、アクチュエータとして、所望の動作状態が得られる。

[0007] このようなエアシリンダを制御する手法としては、例えばPID制御が広く知られている。PID制御は、フィードバック制御の一種であり、操作量を、現在値と目標値との偏差に比例した量、偏差の時間積分に比例した量及び偏差の変化量に比例した量の3つの要素で制御する手法である。PID制御の内のPは、偏差に比例した比例制御（Proportional制御）であり、Iは積分制御（Integral制御）であり、Dは微分制御（Differential制御）である。

PID制御は、エアシリンダの制御に限らず、各種制御状態を目標位置に近づける制御を行う際に、広く普及した制御方式である。

[0008] PID制御をエアシリンダの制御に適用して、シリンダ内の空気圧の制御で迅速にエアシリンダ内のピストンを動かした場合、高速なピストンの移動で、目標位置を通り過ぎることなく、正確にピストンを止めることは困難である。通常のPID制御で高速にシリンダを移動させる場合には、目標位置をある程度通り過ぎてから、その目標位置に戻すような制御が行われるのが一般的である。一度、目標位置に戻るだけで、目標位置に止まればまだ良い

が、実際には目標位置を通り過ぎるオーバーシュートが何度か発生しながら、上下に振れる量が次第に小さくなって、最終的に目標位置に止まるような状態となっている。

[0009] エアシリンダの制御でこのようなオーバーシュートが生じると、例えば目標位置の近傍までピストンが高速で移動したとしても、最終的に目標位置にシリンダが止まるまでには時間がかかることになり、好ましくない制御状態になってしまう。

[0010] 本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、エアシリンダの如き流体アクチュエータの制御が、オーバーシュートを低減させつつ、かつ素早い応答を実現できるようにすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明は、シリンダ室にスライド自在に配置されて、シリンダ室を第1チャンバと第2チャンバとに仕切るピストンと、第1及び第2チャンバ内の気体又は液体の流体の圧力を制御して、ピストンのスライド位置を制御するアクチュエータに適用される。

構成としては、流体圧源と第1及び第2のチャンバとの間に配置されて、第1及び第2のチャンバへの流体圧供給を無段階で調整する第1及び第2の制御バルブと、第1及び第2のチャンバ側から大気または低圧源側に向かう出方向に流体を流すことを許容する排出バルブとを備える。

そして、第1及び第2の制御バルブの少なくとも何れか一方の制御を行う制御手段として、第1の制御手段と第2の制御手段とを備える。

第1の制御装置は、ピストンの目標スライド位置と、ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるようにフィードバック制御を実行する。

第2の制御装置は、第1及び第2のチャンバへ共通に供給するバイアス圧力を、ピストンの目標スライド位置と、ピストンの検出したスライド位置との偏差が最小になるようにフィードバック制御を実行する。

発明の効果

[0012] 本発明によると、第1の制御手段により、ピストンの目標スライド位置と

、ピストンの検出したスライド位置との偏差に比例ゲインを乗算した値、偏差の時間積分に積分ゲインを乗算した値、偏差の変化量に微分ゲインを乗算した値を組み合わせた、いわゆるPID制御が行われる。そして、その第1の制御手段によるPID制御状態を補正するように、第2の制御手段により、第1及び第2のチャンバへ共通に供給されるバイアス圧力を増減させる処理が行われる。従って、いわゆるPID制御を基本とした目標位置に迅速に到達する制御が行われると共に、オーバーシュートをバイアス圧力の補正で取り除くことができ、目標位置へ迅速に動かすことが可能となる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の実施の形態によるエアシリンダの制御状態の基本構成例を示す説明図である。

[図2]本発明の第1の実施の形態による制御構成例を示す説明図である。

[図3]本発明の第1の実施の形態によるPIDコントローラの例を示すブロック図である。

[図4]本発明の第1の実施の形態によるバイアスコントローラの例を示すブロック図である。

[図5]本発明の第1の実施の形態による圧力変化状態の例を示す特性図である。

[図6]本発明の第1の実施の形態による制御状態の例を示す特性図である。

[図7]本発明の第1の実施の形態による発生圧力から見た制御状態の例を示す特性図である。

[図8]本発明の第2の実施の形態による制御構成例を示す説明図である。

[図9]本発明の第3の実施の形態による制御構成例を示す説明図である。

[図10]本発明の第4の実施の形態による制御構成例を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明の実施の形態の例を、添付図面を参照して説明する。

本実施の形態においては、アクチュエータとして構成されたエアシリンダに適用したものである。

図 1 は、本実施の形態のエアシリンダとそのエアシリンダに圧縮空気を送る構成例を示したものである。

[0015] 図 1 に示すように、エアシリンダ 10 は、シリンダ 10 内をスライド可能にピストン 13 が配置された復動型エアシリンダである。そのスライド可能なピストン 13 により、シリンダ 10 の内部が、第 1 チャンバ 11 と第 2 チャンバ 12 とに区切られる構成としてある。

ピストン 13 には、ピストン棒 14 が取り付けられてあり、本例の場合にはこのピストン棒 14 により何らかの駆動を行うものとする。ここでは、エアシリンダ 10 からのピストン棒 14 の突出長 D により、その駆動状態が決まる。

[0016] 第 1 チャンバ 11 には、流体圧源からの流体圧供給を無段階に調整できる第 1 の制御バルブ 41 及び大気または低圧源側に向かう出方向に流体を流すことを許容する第 1 の排出バルブ 42 が取り付けられてあり、第 2 チャンバ 12 には、流体圧源からの流体圧供給を無段階に調整できる第 2 の制御バルブ 43 及び大気または低圧源側に向かう出方向に流体を流すことを許容する第 2 の排出バルブ 44 が取り付けられてある。第 1 及び第 2 の制御バルブ 41 及び 43 は、チャンバ 11 及び 12 内に流体を供給する方向への流入が自由な一方方向バルブである。第 1 及び第 2 の排出バルブ 42 及び 44 は、排出流量を制御するバルブである。第 1 及び第 2 の制御バルブ 41 及び 43 の入力側には、図示しない流体圧源としてのエアコンプレッサを接続して、そのエアコンプレッサからの圧縮空気が各チャンバ 11, 12 内に供給される。この第 1, 第 2 の制御バルブ 41, 43 と第 1, 第 2 の排出バルブ 42, 44 を備えることで、それぞれのチャンバ 11, 12 内の空気の圧力が制御されることになる。本実施の形態でのその制御処理については後述する。

[0017] 次に、図 1 に示した制御バルブと排出バルブとで、エアシリンダ 10 内の圧力が制御される状態について説明する。

まず、本発明の実施の形態の制御処理を説明する前に、図 1 に示した如き構成の復動型エアシリンダ 10 で、第 1, 第 2 の排出バルブ 42, 44 を使

用した一般的な制御処理について説明すると、第 1、第 2 の排出バルブ 4 2、4 4 には、絞りが一定のもの、機械的に絞りを調整するもの、手動で排気量を調節するものの 3 種類がある。スピードコントローラとも称される手動で排気量を調節する排出バルブにはつまみが付いており、つまみを回転することで空気の流路を狭くしたり広くしたりする。流路を狭くすると、シリンダ 1 0 から排出される空気の流量は少なくなる。その結果、シリンダ内のピストン 1 3 が進む速度が遅くなる。空気の流出量とシリンダの速度のあいだには、下記の関係が成り立つ。

[0018] [数1]

$$V = \frac{Q}{60 * A} \quad (1)$$

[0019] ここで、V はピストンの移動速度 [cm/s]、Q は空気の流出量 [cm³/min]、A はシリンダの断面積 [cm²] である。

(1) 式から、空気の流出量が大きくなれば、すなわちスピードコントローラの排気開度が大きくなれば、ピストンの移動速度が速くなることが分かる。

ここで、図 1 に示したシリンダにおいて、図中に示したように、F は発生力、F₁ と F₂ は各チャンバ内での発生力、P₁ と P₂ は各チャンバ内での空気圧、D は変位としたとき、以下の 2 つの式が成り立つ。

[0020] [数2]

$$F = F_1 - F_2 \propto P_1 - P_2 \quad (2)$$

[0021] [数3]

$$\frac{\partial F}{\partial D} = 0 \quad (3)$$

[0022] すなわち、排気開度が開放の復動型エアシリンダでは受動剛性 $\partial F / \partial D = 0$ となるため、任意の位置においてピストンを動かしにくくする性能、すなわち剛性を発揮しようとするれば、排気流路を細かく変化させ、入出する空気の流量抵抗（ダンパ効果）の制御によって受動的な抗力を生じさせなければ

ばならない。

[0023] いま、希望するピストン移動速度の大小と、剛性の大小の、合計4条件について、推進側と抵抗側の2つのチャンバ内で必要となる目標の空気圧を考えてみると、目標圧力が高い場合は高剛性を得ようとしているし、反対に、目標圧力が低い場合は低剛性を得ようとしている傾向になる。すなわち、高剛性を得ようと思ったら、推進側、抵抗側ともに目標圧力を高くしてやれば良い。つまり目標圧力の高さに応じて排気開度を絞ってやれば良い。このことから、目標圧力と排出バルブ開度が相対的に逆比例の関係になるようにバルブ開度を設定すれば良いことになる。

[0024] 本実施の形態においては、以上述べた理論的考察に基づいて、図1に示した第1、第2の制御バルブ41、43と第1、第2の排出バルブ42、44によるピストン棒14の突出長Dの制御を行う。

図1に示した第1、第2の制御バルブ41、43と第1、第2の排出バルブ42、44による構成では、高い圧力の空気を大量にエアシリンダへ流入させ、ピストンを高速に運動できるようにするため、空気の流入のみを自由とする第1、第2の制御バルブ41、43を備える。この供气用の第1、第2の制御バルブ41、43と排気用の第1、第2の排出バルブ42、44との組み合わせにより、共通バイアス圧力制御が可能な構成としてある。

[0025] 次に、ピストン棒14の突出長Dの制御系について説明する。

エアシリンダの制御系としては、背景技術の欄で説明したPID制御の他に、そのPID制御の拡張であるI-PD制御（比例・微分先行型PID制御）などが知られている。I-PD制御は、次式のモデルにより表現される。

[0026] [数4]

$$u(t) = -K_p y(t) + K_i \int e(t) d\tau - K_d \frac{dy(t)}{dt} \quad (4)$$

[0027] (4)式において、 $u(t)$ は操作量、 $y(t)$ は制御量（現在値）、 $e(t)$ は偏差、 K_p は比例ゲイン、 K_i は積分ゲイン、 K_d は微分ゲインで

ある。I-PD制御においては、積分項のみを偏差に作用させ、比例項と微分項は制御量に作用させる。これにより、目標値がステップ状に与えられた際の微分成分による不必要な操作量の変動を抑えることができ、また良い収束を得ることができる。反面、積分項の影響が強いため、空気圧式アクチュエータの利点である速い追従性が出にくくなる。ある実験例では、立ち上がり時間、すなわち最終値の10%から90%まで変化するのに掛かる時間が1秒以上かかってしまうことがある。

[0028] ここで本実施の形態においては、立ち上がり時間が短いPID制御を利用して、さらにそのPID制御を行う際の問題点を解決するようにしたものである。

PID制御は、複雑な制御方式なしに外乱抑止と目標値追従が可能であり、実装が容易で、現場調整も容易であるため、産業界における機械装置の90%以上にPID制御が採用されている。

PID制御は、次式のモデルにより表現される。

[0029] [数5]

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

[0030] ここで、 $u(t)$ は操作量、 $e(t)$ は偏差、 K_p は比例ゲイン、 K_i は積分ゲイン、 K_d は微分ゲインである。ところがエアシリンダを用いてPID制御を行う場合、とくにエアシリンダ自身が速い応答性を持つため、高速に位置制御を行おうとすると、応答速度が速ければ速いほど、大きなオーバーシュートが発生してしまう。また、制御すべき自由度が増えるに従って、さらにその制御性が悪くなるので、PID制御を用いて多自由度の高速で正確な制御は困難である。

[0031] ここで本実施の形態においては、図1に示したエアシリンダとそのエアシリンダに圧縮空気を送る空気圧の制御装置を構成して、2つのチャンバ11、12に与えられる圧力を制御して、PID制御により生じるオーバーシュートを改善して、正確な位置制御と素早い応答性を実現するものである。

以下、本実施の形態での制御状態に説明すると、2つのチャンバへの目標圧力 P_L と P_R であるが、推進側および抵抗側の2つチャンバ11, 12内の圧力差を P' とすると、2つチャンバに加えられる等しい圧力 P_{bias} （バイアス圧力）も制御することができる。バイアス圧力は次式のように表現される。

[0032] [数6]

$$P_{bias} = P_0 - P' = P_1 \quad (6)$$

[0033] ただし、 $P' = P_0 - P_1$, $P_0 \geq P_1$ である。

このバイアス圧力制御も用いて、正確な位置制御と素早い応答性を実現するものである。

[0034] 図2は、本実施の形態の制御構成例を示した図である。

図2の構成例は、第1チャンバ11側を推進側とし、第2チャンバ12側を抵抗側とした場合の例、即ち図2でピストン13が右側に動かす場合の例である。ピストンの動く方向が逆の場合には、第1チャンバ11側への接続と第2チャンバ側への接続は、逆になる。

エアシリンダ10の各チャンバ11, 12内の空気の圧力は、既に図1に示した第1, 第2の制御バルブ41, 43と第1, 第2の排出バルブ42, 44を備えて制御される。各チャンバ11, 12内の空気の圧力は、第1, 第2の制御バルブ41, 43で制御されることになるが、その制御を行う制御手段として、バイアス圧力を付与する制御を行うバイアスコントローラ24（第1の制御手段）と、PID制御を行うPIDコントローラ23（第2の制御手段）とを設ける構成としてある。

[0035] それぞれのコントローラ23, 24は、ターゲット生成部21から与えられたピストンの目標位置のデータと、ピストン位置検出部22が検出した実際のピストン位置のデータとが供給される。

そして、双方のコントローラ23, 24で得られる圧力値を合計した圧力値となるように、第1チャンバ11側の第1の制御バルブ41からの流体圧

供給量を制御する。

[0036] 第2チャンバ12側では、バイアスコントローラ24で得られる圧力値で、第2の制御バルブ43を制御する。

[0037] 図3は、PIDコントローラ23の構成例を示した図である。

PIDコントローラ23は、PID制御を行うためのものであり、前述のPID制御の圧力算出式である(5)式に基いて、付与する圧力が決まる。

その構成としては、ターゲット値入力部51に、ターゲット生成部21からターゲット値(ピストンの目標位置)が得られ、検出値入力部52に、ピストン位置検出部22が検出したピストン位置の検出値が得られ、両値の差分が減算器54で検出される。

[0038] そして、減算器54で検出された差分の値を、積分器55で積分し、その積分値を積分ゲイン乗算器56で積分ゲイン K_i を乗算する。

また、減算器54で検出された差分の値を、比例ゲイン乗算器57に供給して、比例ゲイン K_p を乗算する。

さらに、減算器54で検出された差分の値を、微分器58で微分し、その微分値を微分ゲイン乗算器59に供給して、微分ゲイン K_d を乗算する。

[0039] 積分ゲイン乗算器56の出力と、比例ゲイン乗算器57の出力と、微分ゲイン乗算器59の出力とは、それぞれ加算器60に供給して加算し、1系統の制御値として、その制御値を制御値出力部53から出力させる。

[0040] 図4は、バイアスコントローラ24の構成例を示した図である。

バイアスコントローラ24は、ターゲット値入力部61に、ターゲット生成部21からターゲット値(ピストンの目標位置)が得られ、検出値入力部62に、ピストン位置検出部22が検出したピストン位置の検出値が得られ、両値の差分が減算器70で検出される。

[0041] そして、減算器70で検出された差分の値を、微分器65で微分し、その微分値を微分ゲイン乗算器66に供給して、微分ゲイン K_d を乗算する。

また、減算器70で検出された差分の値を、比例ゲイン乗算器64に供給して、比例ゲイン K_p を乗算する。

微分ゲイン乗算器 66 の出力と、比例ゲイン乗算器 64 の出力とは、それぞれ加算器 67 に供給する。

[0042] また、バイアスコントローラ 24 は、固定バイアス設定部 69 を備える。この固定バイアス設定部 69 では、基準バイアス圧力の値を設定する。固定バイアス設定部 69 で設定された基準バイアス圧力値についても、加算器 67 に供給する。

[0043] 加算器 67 では、基準バイアス圧力値に、比例ゲイン乗算器 64 の出力値を加算すると共に、微分ゲイン乗算器 66 の出力を減算する。

その加算器 67 の出力を、最大バイアス設定部 68 に供給して、ピストンに接続されたエアコンプレッサが供給可能な最大バイアス圧力以下に制限された圧力の制御値に調整し、その調整された制御値を、制御値出力部 63 から出力させる。

[0044] そして、図 3 の制御値出力部 53 から出力される制御値と、図 4 の制御値出力部 63 から出力される制御値とを加算した制御値（圧力値）となるように、図 1 の排出制御バルブ 42 又は 44 の制御が行われる。

[0045] 各コントローラ 23, 24 での制御状態について説明すると、PID コントローラ 23 は、PID 制御を行うためのものであり、ピストンの検出したスライド位置との距離差に、比例ゲインと積分ゲインと微分ゲインとを個別に乗算した値を加算し、その加算値で制御する処理が行われる。即ち、前述の PID 制御の圧力算出式である (5) 式に基いて、付与する圧力が決まる。

[0046] 一方、バイアス圧力制御は、次式により表される。

[0047] [数7]

$$P_{bias} = P_{standard} + \left\{ K_1 (x_{target} - x_t) + K_2 \frac{dx_t}{dt} \right\} \quad (7)$$

[0048] ここで、P b i a s はバイアス圧力、P s t a n d a r d は基準バイアス圧力、x t a r g e t は目標位置、x t は現在位置、K 1 はバイアス圧力の比例ゲイン、K 2 はバイアス圧力の微分ゲインである。

本実施の形態では、バイアス圧力については、PID制御とは異なり、積分ゲインを使用しなかった。これは、積分ゲインを使うとすぐにエアコンプレッサの供給圧力の限界を超える、積分値のリセットが必要、3種類のパラメータ調整が必要という問題があり、また積分ゲインを採用しても応答の顕著な改善が見られないからである。

本実施の形態では、固定バイアス設定部69で設定される基準バイアス圧力 $P_{standard} = 2$ 気圧とした。基準バイアス圧力は、エアコンプレッサが供給可能な空気圧力の上限のなかで、なるべく大きなダイナミックレンジのバイアス圧力を利用できる値が望ましい。ただし、それほど厳密に設定する必要はない。

[0049] それぞれの制御ゲイン推定を行う際には、実際に制御対象を動かしてみた挙動や値から最適なものを決定する手法と、理論的に推定値を導き出す手法とがある。前者では制御対象の動きが予想しにくいいため、ロボットアームなどに大きな負荷が掛かる恐れがある。しかし、非線形性が大きく、モデリングが容易ではない新しい機械装置では、後者のような理論的に推定値を求める手法が必ずしも使えるとは限らない。

そこで、例えば、PIDコントローラ23内の制御ゲインは後者の手法により、バイアスコントローラ24内の制御ゲインは前者の手法により、2段階で決定する手法を適用する。その手法について、ステップ1~4として以下に示す。

[0050] ステップ1：PIDコントローラにおける比例ゲイン K_p 、積分ゲイン K_i 、微分ゲイン K_d を推定する。このときには、たとえば北森の手法として文献(S. Shin and T. Kitamori, "Model reference learning control for discrete-time nonlinear systems," Adaptive Systems in Control and Signal Processing 1989, Pergamon Press, pp. 101-106, 1990)などに記述された処理で推定する。その際、PID制御のステップ入力に対して、オーバーシュートが現れるような、なるべく応答性の速いゲイン値を選択する。

[0051] ステップ2：バイアスコントローラでのバイアス圧力の比例ゲイン $K_1 =$

1、微分ゲイン $K_2 = 0$ 、0.1に初期値設定する。ただし、次のステップから K_1 を徐々に増やしていくので、1よりも小さな値から始めても良い。一方、 K_2 は K_1 の100分の1程度に初期値設定する。

[0052] ステップ3：バイアスコントローラでの比例ゲイン K_1 を徐々に増やしていき、オーバーシュートの大きさが変化しなくなる程度にまで K_1 を大きくする。

[0053] ステップ4：振動の様子を観察しながら、バイアスコントローラでの微分ゲイン K_2 を増減させる。微分ゲイン K_2 を大きくすれば振動し続け、収束しなくなる。反対に、微分ゲイン K_2 を小さくすると、振動はしないが応答がほぼ比例ゲイン K_1 で決まるようになる。すなわち、応答の素早さがなくなってくる。速い応答性を得るためには多少は振動させる必要があるので、微分ゲイン K_2 は多少大きめにする。

[0054] このように制御されるエアシリンダの負荷のダイナミクスは、次式のような運動方程式により表すことができる。

[0055] [数8]

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = A_1 (P_1 + P_{bias}) - A_2 (P_2 + P_{bias}) - K_v \frac{dy}{dt} - K_r \operatorname{sgn} \left(\frac{dy}{dt} \right) \quad (8)$$

[0056] ここで、 m は負荷、 A_1 はロッド内側の断面積、 A_2 はロッド側の断面積、 P_1 はロッド内側の圧力、 P_2 はロッド側の圧力、 P_{bias} はバイアス圧力、 K_v は可動部分の粘性摩擦係数、 K_r はクーロン摩擦力である。

次に、制御バルブ、あるいは制御バルブと排出バルブの組み合わせの、物理的な特性を考える。前述の(8)式右辺において、発生力となる圧力の差分による力 $A_1 (P_1 + P_{bias}) - A_2 (P_2 + P_{bias})$ が時間 $t = 0$ の時に発生すると想定されている。しかし実際は、その圧力を制御している制御バルブの性能上、圧力応答に時間が掛かってしまう。すなわち、(8)式で想定しているように瞬時に目標に達しない。その時間の遅れは、ある測定結果では、例えば150ms程度かかってしまう。エアシリンダを高速に制御するためには、この時間遅延を考慮に入れる必要が出てくる。

[0057] 制御バルブに圧力を供給する側、すなわちエアコンプレッサの圧力が不変だと考えると、制御バルブからの空気の流量速度 M_i は、制御バルブの開度を制御バルブに指令する電圧 v_i に比例する。ここで、 $i = 1, 2$ であり、推進側か抵抗側かを表す。

そして、チャンバ内の圧力変化 dP_i / dt は次式のように表すことができる。

[0058] [数9]

$$\frac{dP_i}{dt} = k_{1i} M_i \quad (9)$$

[0059] ここで、 k_{1i} は比例定数、 $i = 1, 2$ である。また、電圧 v は目標とする圧力と現在の圧力との差分にも比例することから、次式も成り立つ。

[0060] [数10]

$$v_i = k_{2i} (P_{target\ i} - P_{current\ i}) \quad (10)$$

[0061] ここで、 $P_{target\ i}$ は i 番目のチャンバの目標圧力、 $P_{current\ i}$ は i 番目のチャンバの現在の圧力、 k_{2i} は比例定数である。

(9)式と(10)式を整理すると、次式を導くことができる。

[0062] [数11]

$$\frac{dP_i}{dt} = K_i (P_{target\ i} - P_{current\ i}) \quad (11)$$

[0063] ここで、 K_i は比例定数である。

そこで、(11)式における比例定数 K_i を求めるため、バイアス圧力を1から4気圧まで変えた時の立ち上がり速度を測定したものが、図5である。ここで、2つのチャンバ内の圧力差($P' = P_1 - P_2$)はすべて0.5気圧としてある。図5の縦軸の立ち上がり速度とは、最終値の10%から90%までの圧力を、その変化に要した時間で割った値である。図5から得られた結果は、直線回帰式で近似して差し支えないため、(11)式は次式のように書き換えることが可能となる。

[0064]

[数12]

$$\frac{dP_i}{dt} = K_i (\alpha P_b + \beta) (P_{target i} - P_{current i}) \quad (12)$$

[0065] この(12)式に基づいて、最小自乗法を当てはめた結果、 $\alpha = 8.103$ 、 $\beta = 0.279$ が得られた。これをもって制御バルブの物理的な特性とすることで、良好な結果が得られる。

[0066] 本実施の形態の処理で、エアシリンダと空気圧制御装置と制御弁から構成されるシステムを構築して、シミュレーションした例について、図6及び図7を参照して説明する。ここではモデルとして、負荷のダイナミクスを示す(8)式と制御バルブの物理的な特性を示す(11)式を用いた。負荷は200gで、エアシリンダの可動範囲は0~10cmのものと設定した。

図6は、ピストン位置の目標値を5cmとした時の、本実施の形態によるPIDコントローラとバイアスコントローラを併用した場合のステップ応答の特性Daと、従来例に相当するPIDコントローラのみでのステップ応答の特性Dbとを示す。

[0067] PIDコントローラのみでの時はオーバーシュートが約20%であったのに対して、PIDコントローラとバイアスコントローラを併用した場合は、オーバーシュートが4%まで大幅に抑えられている。

[0068] 図7は、本実施の形態によるPIDコントローラとバイアスコントローラを併用した場合の発生力の時間変化の特性Paと、従来例に相当するPIDコントローラのみでの時間変化の特性Pbを示す。PIDコントローラのみでの特性と比較すると判るように、本実施の形態による特性Paの場合には、不必要な力を発生させていない傾向が認められ、これが、PID制御だけの場合と同程度の速い立ち上がりを実現しているながら、非常に少ないオーバーシュートに抑えることができる要因と推測される。

[0069] 以上の説明から判るように、本実施の形態によると、PID制御だけを行う場合と同程度の素早い立ち上がり時間を実現しながら、大幅にオーバーシュートが抑制できる効果を有する。

エアシリンダは、モータと比較した場合、構造が単純、保守が容易、小形軽量、大きな力を発生するなど多くの利点を持つ。しかし、空気という圧縮性を有する流体を使用するため、正確な速度制御や位置制御が容易ではない。また、負荷に影響されやすい、すなわち任意の位置においてピストンを動かすににくくする性能すなわち剛性を発揮することが困難であるなどの問題点を持っているが、本実施の形態の処理構成によりこれらの問題が解決されるエアシリンダが構成される。

[0070] 次に、本発明の第2の実施の形態を、図8を参照して説明する。この図8において、第1の実施の形態で説明した図1～図7に対応する部分には、同一符号を付し、その詳細説明は省略する。

本実施の形態における基本的な制御状態については、上述した第1の実施の形態で説明したように、PID制御とバイアス圧力制御との双方を行うようにしたものであり、その具体的な制御手法についても、各数式を説明した例と同じである。

そして、本実施の形態においては、エアシリンダ10内のピストンを駆動する際に、1組のPIDコントローラ23とバイアスコントローラ24とを制御手段として設けて制御する点は、図2の例と同様であるが、PIDコントローラ23とバイアスコントローラ24の出力は、推進側のチャンバ（図8の例では第1のチャンバ11側）の圧力の制御だけを行い、抵抗側のチャンバは、一定圧力とするようにしたものである。

[0071] 即ち、図8に示すように、PIDコントローラ23とバイアスコントローラ24の出力に基づいて、推進側のチャンバ11内の圧力を制御する。また、一定圧力付与部27の出力により、抵抗側のチャンバ12内の圧力を制御する。一定圧力付与部27で与えられる一定の圧力値は、少なくともバイアスコントローラ24で付与されるバイアス圧力に近い圧力となるようにしてある。例えば、一定圧力付与部27で与えられる一定の圧力値として、後述するバイアスコントローラ24内の固定バイアス設定部69で設定される基準バイアス圧力としてある。

[0072] このようにして、推進側でPID制御とバイアス圧力制御、抵抗側でバイアス圧力制御を行う。

この図8に示した構成としたことでも、良好な制御が可能となる。

[0073] 次に、本発明の第3の実施の形態を、図9を参照して説明する。この図9においても、第1の実施の形態で説明した図1～図7に対応する部分には、同一符号を付し、その詳細説明は省略する。

本実施の形態における基本的な制御状態については、上述した第1の実施の形態で説明したように、PID制御とバイアス圧力制御との双方を行うようにしたものであり、その具体的な制御手法についても、各数式を説明した例と同じである。

そして、エアシリンダ10内のピストンを駆動する際に、上述した第1の実施の形態では、図2に示したように、推進側のチャンバ11だけを、PID制御とバイアス圧力制御との双方を行うようにして、抵抗側のチャンバ12については、一定のバイアス圧力に相当するものを与えるようにしたが、本実施の形態の場合には、図9に示すように、推進側および抵抗側の双方で、それぞれの最適なゲイン値に従い、PID制御とバイアス圧力制御を行う制御手段を設けたものである。

[0074] 即ち、図9に示すように、推進側のチャンバ11内の圧力を制御する制御手段として、PIDコントローラ33とバイアスコントローラ34とを設ける。また、抵抗側のチャンバ12内の圧力を制御する制御手段として、PIDコントローラ35とバイアスコントローラ36とを設ける。それぞれのコントローラ33, 34, 35, 36には、ターゲット生成部31が生成させた目標位置と、ピストン位置検出部32が検出したピストン位置とを供給する。

[0075] このようにして、推進側と抵抗側のそれぞれで、PID制御とバイアス圧力制御とを行う。PIDコントローラ33, 35は、それぞれ図3に示した如き構成で、比例ゲインと積分ゲインと微分ゲインとを個別に乗算した値を加算し、その加算値で制御する。バイアスコントローラ34, 36は、それ

ぞれ図 4 に示した如き構成で、比例ゲインと微分ゲインと個別に乗算した値を、基準バイアス圧力に加算又は減算してバイアス圧力を算出し、その算出値で制御する。

なお、ピストンの動く方向が逆になると、推進側のコントローラ 33, 34 が抵抗側のコントローラとなり、抵抗側のコントローラ 35, 36 が推進側のコントローラとなる。

[0076] この図 9 に示した構成としたことでも、良好な制御が可能となる。

[0077] 次に、本発明の第 4 の実施の形態を、図 10 を参照して説明する。この図 10 においても、第 1 の実施の形態で説明した図 1 ~ 図 7 に対応する部分には、同一符号を付し、その詳細説明は省略する。

本実施の形態における基本的な制御状態については、上述した第 1 の実施の形態で説明したように、PID 制御とバイアス圧力制御との双方を行うようにしたものであり、その具体的な制御手法についても、各数式を説明した例と同じである。

そして、エアシリンダ 10 内のピストンを駆動する際に、上述した第 1 の実施の形態では、図 2 に示したように、推進側のチャンバ 11 と抵抗側のチャンバ 12 とで、バイアスコントローラを共通のものとしたが、本実施の形態の場合には、図 10 に示すように、推進側および抵抗側の双方で、それぞれ個別にバイアスコントローラ 34, 36 を設ける構成の制御手段としたものである。

[0078] 即ち、図 10 に示すように、推進側のチャンバ 11 内の圧力を制御する制御手段として、PID コントローラ 33 とバイアスコントローラ 34 とを設ける。また、抵抗側のチャンバ 12 内の圧力を制御する制御手段として、バイアスコントローラ 36 を設ける。それぞれのコントローラ 33, 34, 36 には、ターゲット生成部 31 が生成させた目標位置と、ピストン位置検出部 32 が検出したピストン位置とを供給する。

[0079] このようにして、推進側で PID 制御とバイアス圧力制御とを行い、抵抗側でバイアス圧力制御を行う。PID コントローラ 33 は、図 3 に示した如

き構成で、比例ゲインと積分ゲインと微分ゲインとを個別に乗算した値を加算し、その加算値で制御する。バイアスコントローラ 34, 36 は、それぞれ図 4 に示した如き構成で、比例ゲインと微分ゲインと個別に乗算した値を、基準バイアス圧力に加算又は減算してバイアス圧力を算出し、その算出値で制御する。

なお、ピストンの動く方向が逆になると、推進側のコントローラ 33, 34 が抵抗側のコントローラとなり、抵抗側のコントローラ 36 が推進側のコントローラとなる。

[0080] この図 10 に示したように、一方のチャンバの制御を PID 制御とバイアス圧力制御とで行い、他方のチャンバの制御をバイアス圧力制御で行う構成としたことでも、良好な制御が可能となる。

[0081] なお、上述した各実施の形態では、シリンダ内の流体として空気を使用したエアシリンダを例にして説明したが、その他の流体のシリンダ内の圧力を制御して、同様の制御を行う構成としてもよい。また、各特性として示した値は、好適な一例を示したものであり、説明した値に限定されるものではない。

[0082] また、上述した各実施の形態では、シリンダ内の流体の制御を行う専用の制御手段としてコントローラを構成させた例について説明したが、各コントローラは例えば各バルブの制御指令を発するコンピュータ装置とし、そのコンピュータ装置に、各実施の形態で説明したそれぞれの制御処理に相当する処理ステップを実行するプログラム（ソフトウェア）を実装して、同様の構成が実現されるようにしてもよい。その場合のプログラムについては、各種媒体を介して配布するか、あるいは何らかの伝送路を経由してダウンロードさせるようにしてもよい。

符号の説明

[0083] 10…エアシリンダ、11…第1チャンバ、12…第2チャンバ、13…ピストン、14…ピストン棒、21…ターゲット生成部、22…ピストン位置検出部、23…PIDコントローラ、24…バイアスコントローラ、25、

26…符号変換部、27…一定圧力付与部、31…ターゲット生成部、32…ピストン位置検出部、33…PIDコントローラ、34…バイアスコントローラ、35…PIDコントローラ、36…バイアスコントローラ、41…第1の制御バルブ、42…第1の排出バルブ、43…第2の制御バルブ、44…第2の排出バルブ、51…ターゲット値入力部、52…検出値入力部、53…制御値出力部、54…減算器、55…積分器、56…積分ゲイン乗算器、57…比例ゲイン乗算器、58…微分器、59…微分ゲイン乗算器、60…加算器、61…ターゲット値入力部、62…検出値入力部、63…制御値出力部、64…比例ゲイン乗算器、65…微分器、66…微分ゲイン乗算器、67…加算器、68…最大バイアス設定部、69…固定バイアス設定部、70…減算器

請求の範囲

[請求項1]

シリンダ室にスライド自在に配置されて、前記シリンダ室を第1チャンバと第2チャンバとに仕切るピストンと、

前記第1及び第2チャンバ内の気体又は液体の流体の圧力を制御して、前記ピストンのスライド位置を制御するアクチュエータであり、

流体圧源と前記第1及び第2のチャンバとの間に配置されて、前記第1及び第2のチャンバへの流体圧供給を、無段階で調整する第1及び第2の制御バルブと、

前記第1及び第2のチャンバ側から大気または低圧源側に向かう出方向に前記流体を流すことを許容する第1及び第2の排出バルブとを備え、

前記第1及び第2の制御バルブの少なくとも何れか一方の制御を行う制御手段として、

前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるようにフィードバック制御を実行する第1の制御手段と、

前記第1及び第2のチャンバへ共通に供給するバイアス圧力を、前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が最小になるようにフィードバック制御を実行する第2の制御手段とを備えるアクチュエータ。

[請求項2]

前記第2の制御手段では、前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるように、微分先行型PD制御による制御手段を備えた請求項1に記載のアクチュエータ。

[請求項3]

前記目標スライド位置が前記第1及び第2の制御手段に与えられたとき、

前記第1の制御手段では、オーバーシュートが現われる応答性の早いゲインを設定し、

前記第2の制御手段では、前記フィードバック制御を実行する際の比例ゲインを、初期値から徐々に増やして前記オーバーシュートを打ち消すと共に、前記フィードバック制御を実行する際の微分ゲインの増減で調整する請求項1または2に記載のアクチュエータ。

[請求項4] 前記第2の制御手段で設定される前記微分ゲインの初期値は、前記第2の制御手段で設定される前記比例ゲインの初期値の約 $1/100$ とした請求項3に記載のアクチュエータ。

[請求項5] 前記第1及び第2の制御バルブの何れか一方で、前記第1の制御手段による制御を行い、前記第1及び第2の制御バルブの両方で、前記第2の制御手段による制御を行う請求項1～4のいずれか1項に記載のアクチュエータ。

[請求項6] 前記第1及び第2の制御バルブの何れか一方で、前記第1の制御手段による制御と、前記第2の制御手段による制御とを行い、他方の制御バルブで、所定の圧力をチャンバ内に与える制御を行う請求項1～4のいずれか1項に記載のアクチュエータ。

[請求項7] 前記第1及び第2の制御バルブの何れか一方で、前記第1の制御手段による制御を行い、

前記第2の制御バルブの制御を実行する際には、それぞれ別々に設定した、前記フィードバック制御用のゲインを用いて制御を行う請求項1～4のいずれか1項に記載のアクチュエータ。

[請求項8] 前記第1の制御手段と前記第2の制御手段を、前記第1の制御バルブ制御用と、前記第2の制御バルブ制御用にそれぞれ別々に設定した、前記フィードバック制御用のゲインを用いて制御を行う請求項1～4のいずれか1項に記載のアクチュエータ。

[請求項9] シリンダ室にスライド自在に配置されて、前記シリンダ室を第1チャンバと第2チャンバとに仕切るピストンを備え、前記第1及び第2チャンバ内の気体又は液体の流体の圧力を制御して、前記ピストンのスライド位置を制御するアクチュエータの制御方法であり、

流体圧源と前記第 1 及び第 2 のチャンバとの間に配置されて、前記第 1 及び第 2 のチャンバへの流体圧供給を、無段階で調整する第 1 及び第 2 の制御バルブと、前記第 1 及び第 2 のチャンバ側から大気または低圧源側に向かう出方向に前記流体を流すことを許容する第 1 及び第 2 の排出バルブとを備えたアクチュエータの制御方法において、

前記第 1 及び第 2 の制御バルブの少なくとも何れか一方の制御として、

前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるようにフィードバック制御を実行する第 1 の制御処理と、

前記第 1 及び第 2 のチャンバへ共通に供給するバイアス圧力を、前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が最小になるようにフィードバック制御を実行する第 2 の制御処理とを行うアクチュエータの制御方法。

[請求項10]

シリンダ室にスライド自在に配置されて、前記シリンダ室を第 1 チャンバと第 2 チャンバとに仕切るピストンを備え、前記第 1 及び第 2 チャンバ内の気体又は液体の流体の圧力を制御して、前記ピストンのスライド位置を制御するアクチュエータの制御プログラムであり、

流体圧源と前記第 1 及び第 2 のチャンバとの間に配置されて、前記第 1 及び第 2 のチャンバへの流体圧供給を、無段階で調整する第 1 及び第 2 の制御バルブと、前記第 1 及び第 2 のチャンバ側から大気または低圧源側に向かう出方向に前記流体を流すことを許容する第 1 及び第 2 の排出バルブとを備えたアクチュエータの制御プログラムにおいて、

前記第 1 及び第 2 の制御バルブの少なくとも何れか一方の制御として、

前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるようにフィードバック制御を実行する

第 1 の制御処理を行うステップと、

前記第 1 及び第 2 のチャンバへ共通に供給するバイアス圧力を、前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が最小になるようにフィードバック制御を実行する第 2 の制御処理を行うステップとを備えるアクチュエータの制御プログラム。

[2009年10月6日 (06.10.2009) 国際事務局受理]

【請求項1】(補正後)

シリンダ室にスライド自在に配置されて、前記シリンダ室を第1チャンバと第2チャンバとに仕切るピストンを備えて、前記第1及び第2チャンバ内の気体又は液体の流体に共通するバイアス圧力を変化させて、前記ピストンに生じる前記バイアス圧力による剛性を変化させつつ、前記第1及び第2チャンバ内の気体又は液体の流体の圧力を制御して、前記ピストンのスライド位置を制御するアクチュエータであり、

流体圧源と前記第1及び第2のチャンバとの間に配置されて、前記第1及び第2のチャンバへの流体圧供給を、無段階で調整する第1及び第2の制御バルブと、

前記第1及び第2のチャンバ側から大気または低圧源側に向かう出方向に前記流体を流すことを許容する第1及び第2の排出バルブとを備え、

前記第1及び第2の制御バルブの少なくとも何れか一方の制御を行う制御手段として、

前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるようにフィードバック制御を実行する第1の制御手段と、

前記第1及び第2のチャンバへ共通に供給するバイアス圧力を、前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が最小になるようにフィードバック制御を実行する第2の制御手段とを備えるアクチュエータ。

【請求項2】

前記第2の制御手段では、前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるように、微分先行型PD制御による制御手段を備えた請求項1に記載のアクチュエータ。

【請求項3】

前記目標スライド位置が前記第1及び第2の制御手段に与えられたとき、

前記第1の制御手段では、オーバーシュートが現われる応答性の早いゲインを設定し、

前記第2の制御手段では、前記フィードバック制御を実行する際の比例ゲインを、初期値から徐々に増やして前記オーバーシュートを打ち消すと共に、前記フィードバック制御を実行する際の微分ゲインの増減で調整する請求項1または2に記載のアクチュエータ。

【請求項4】

前記第2の制御手段で設定される前記微分ゲインの初期値は、前記第2の制御手段で設定される前記比例ゲインの初期値の約1/100とした請求項3に記載のアクチュエータ。

【請求項5】

前記第1及び第2の制御バルブの何れか一方で、前記第1の制御手段による制御を行い、前記第1及び第2の制御バルブの両方で、前記第2の制御手段による制御を行う請求項1～4のいずれか1項に記載のアクチュエータ。

【請求項6】

前記第1及び第2の制御バルブの何れか一方で、前記第1の制御手段による制御と、前記第2の制御手段による制御とを行い、他方の制御バルブで、所定の圧力をチャンバ内に与える制御を行う請求項1～4のいずれか1項に記載のアクチュエータ。

【請求項7】

前記第1及び第2の制御バルブの何れか一方で、前記第1の制御手段による制御を行い、

前記第2の制御バルブの制御を実行する際には、それぞれ別々に設定した、前記フィードバック制御用のゲインを用いて制御を行う請求項1～4のいずれか1項に記載のアクチュエータ。

【請求項8】

前記第1の制御手段と前記第2の制御手段を、前記第1の制御バルブ制御用と、前記第2の制御バルブ制御用にそれぞれ別々に設定した、前記フィードバック制御用のゲインを用いて制御を行う請求項1～4のいずれか1項に記載のアクチュエータ。

【請求項9】(補正後)

シリンダ室にスライド自在に配置されて、前記シリンダ室を第1チャンバと第2チャンバとに仕切るピストンを備えて、前記第1及び第2チャンバ内の気体又は液体の流体に共

通するバイアス圧力を変化させて、前記ピストンに生じる前記バイアス圧力による剛性を変化させつつ、前記第1及び第2チャンバ内の気体又は液体の流体の圧力を制御して、前記ピストンのスライド位置を制御するアクチュエータの制御方法であり、

流体圧源と前記第1及び第2のチャンバとの間に配置されて、前記第1及び第2のチャンバへの流体圧供給を、無段階で調整する第1及び第2の制御バルブと、前記第1及び第2のチャンバ側から大気または低圧源側に向かう出方向に前記流体を流すことを許容する第1及び第2の排出バルブとを備えたアクチュエータの制御方法において、

前記第1及び第2の制御バルブの少なくとも何れか一方の制御として、

前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるようにフィードバック制御を実行する第1の制御処理と、

前記第1及び第2のチャンバへ共通に供給するバイアス圧力を、前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が最小になるようにフィードバック制御を実行する第2の制御処理とを行うアクチュエータの制御方法。

【請求項10】(補正後)

シリンダ室にスライド自在に配置されて、前記シリンダ室を第1チャンバと第2チャンバとに仕切るピストンを備えて、前記第1及び第2チャンバ内の気体又は液体の流体に共通するバイアス圧力を変化させて、前記ピストンに生じる前記バイアス圧力による剛性を変化させつつ、前記第1及び第2チャンバ内の気体又は液体の流体の圧力を制御して、前記ピストンのスライド位置を制御するアクチュエータの制御プログラムであり、

流体圧源と前記第1及び第2のチャンバとの間に配置されて、前記第1及び第2のチャンバへの流体圧供給を、無段階で調整する第1及び第2の制御バルブと、前記第1及び第2のチャンバ側から大気または低圧源側に向かう出方向に前記流体を流すことを許容する第1及び第2の排出バルブとを備えたアクチュエータの制御プログラムにおいて、

前記第1及び第2の制御バルブの少なくとも何れか一方の制御として、

前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が小さくなるようにフィードバック制御を実行する第1の制御処理を行うステップと、

前記第1及び第2のチャンバへ共通に供給するバイアス圧力を、前記ピストンの目標スライド位置と、前記ピストンの検出したスライド位置との偏差が最小になるようにフィードバック制御を実行する第2の制御処理を行うステップとを備えるアクチュエータの制御プログラム。

第19条(1)の規定に基づく説明書

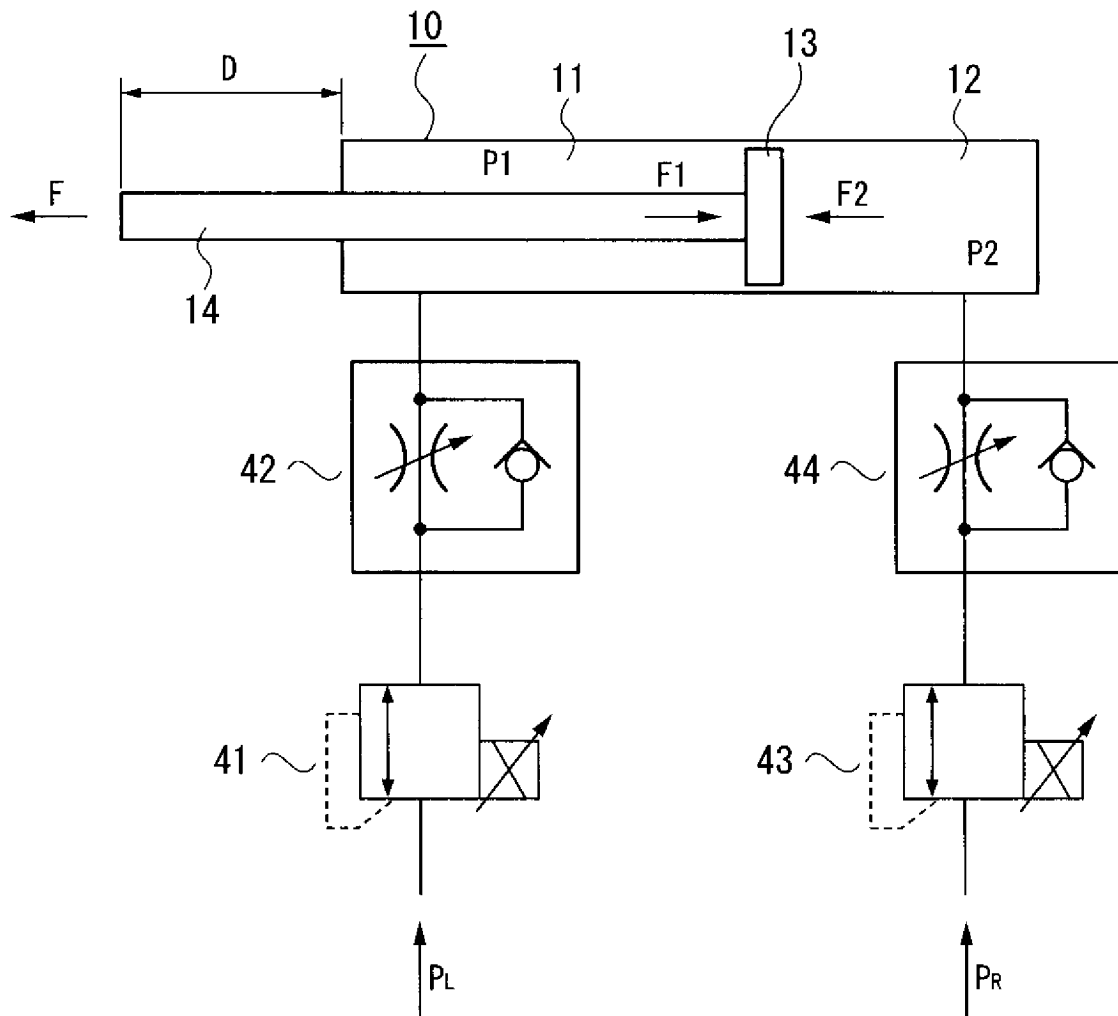
請求項1, 9, 10は、出願時における請求項と差し替える。請求項2～8は変更しない。請求項1, 9, 10で補正した箇所は、それぞれの請求項の最初の段落に「第1及び第2チャンバ内の気体又は液体の流体に共通するバイアス圧力を変化させて、前記ピストンに生じる前記バイアス圧力による剛性を変化させつつ」との記載を加えた点であります。

文献1, 2, 3に記載されている技術は、いずれも本願発明で特徴となる点である、バイアス圧力を加える点についての記載がありません。本願発明は、ピストンで仕切られた2つのチャンバに共通のバイアス圧力を加えて、剛性を高めることで、設定された位置でピストンを動きにくくしたり、反対に、剛性を下げることで、動きやすくするものであります。そのバイアス圧力を状況に応じて自動的に変化させることで、ピストンが迅速に動いている状態でより速く目標位置に停止したり、反対に、ピストンを急速に動かし始めるという独自の効果を有します。

具体的には、目標スライド位置と実際のスライド位置との偏差が小さくなるようにフィードバック制御を行う点は、文献1, 2, 3に記載された処理と類似しますが、バイアス圧力についても、目標スライド位置と、検出したスライド位置との偏差が最小になるようにフィードバック制御を実行する点は、いずれも文献にも全く記載がありません。

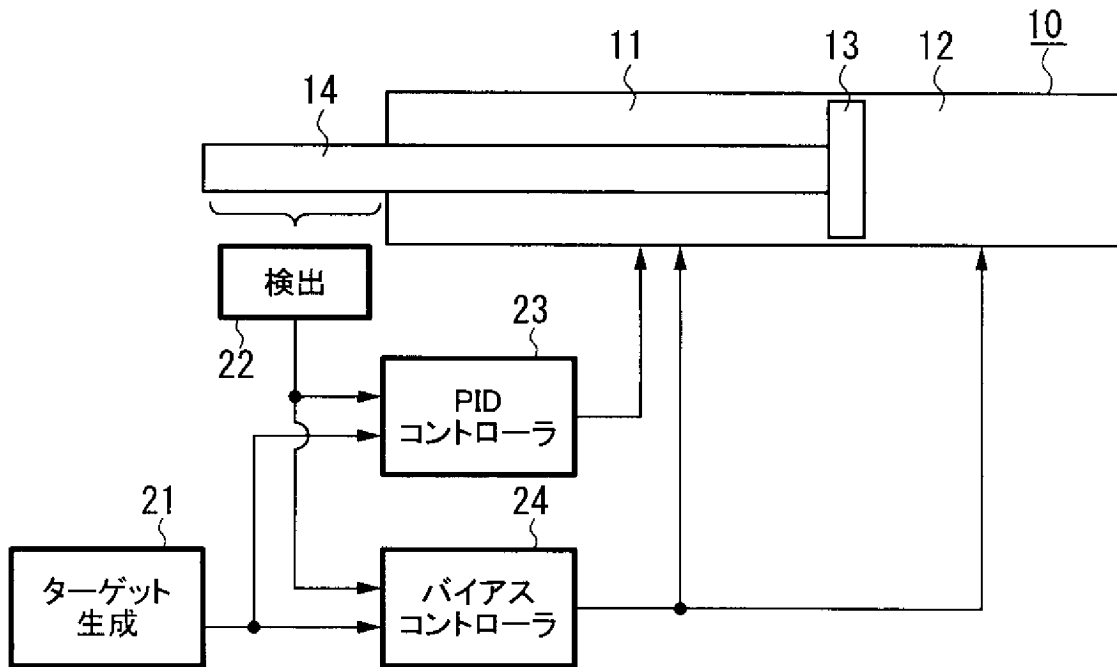
19条補正の根拠は、明細書の第28段落で、本発明が立ち上がりの早いPID制御を利用して、さらにPID制御の問題点を解決しようとする技術であること。第31段落～第33段落で、2つのチャンバに等しく加えられるバイアス圧力の制御も用いることで、正確な位置決めと素早い応答性の両方を実現するものであること。第68段落～第69段落および図7で、評価実験の結果、本発明にはバイアス圧力制御により不要な力を発生させない傾向が認められ、それにより素早い立ち上がりと少ないオーバーシュートの両方を実現している可能性が推測されること。の記載に基づくものであります。

[図1]

FIG. 1

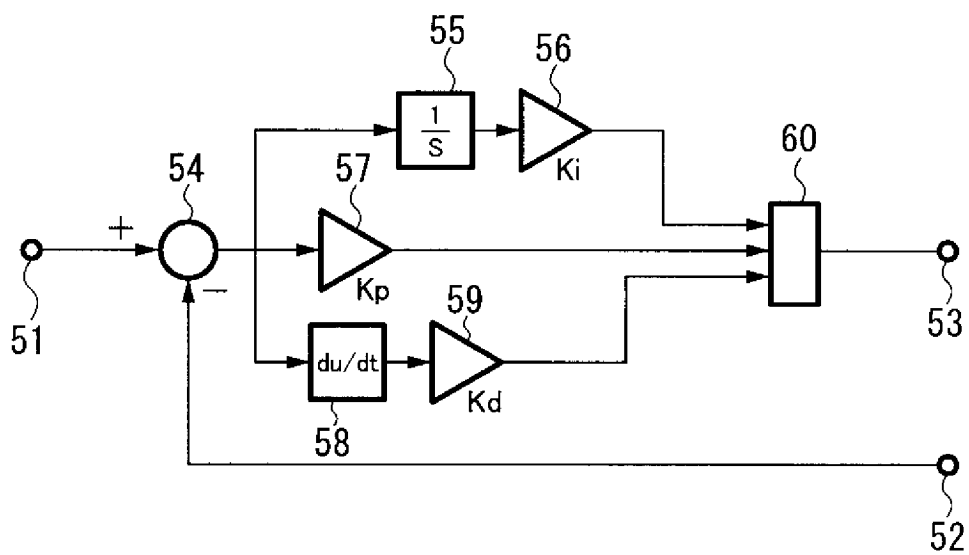
[図2]

FIG. 2

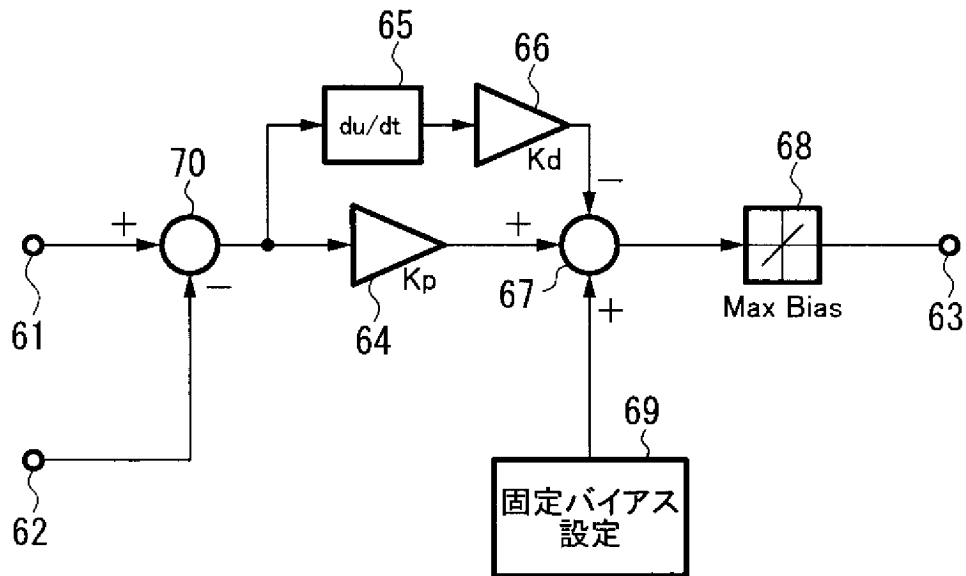


[図3]

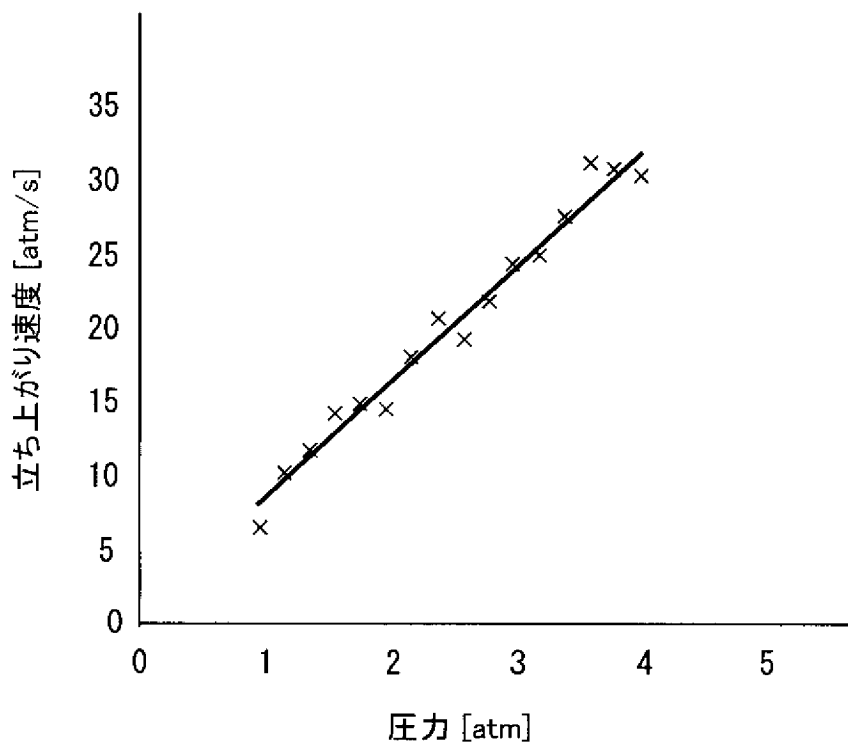
FIG. 3



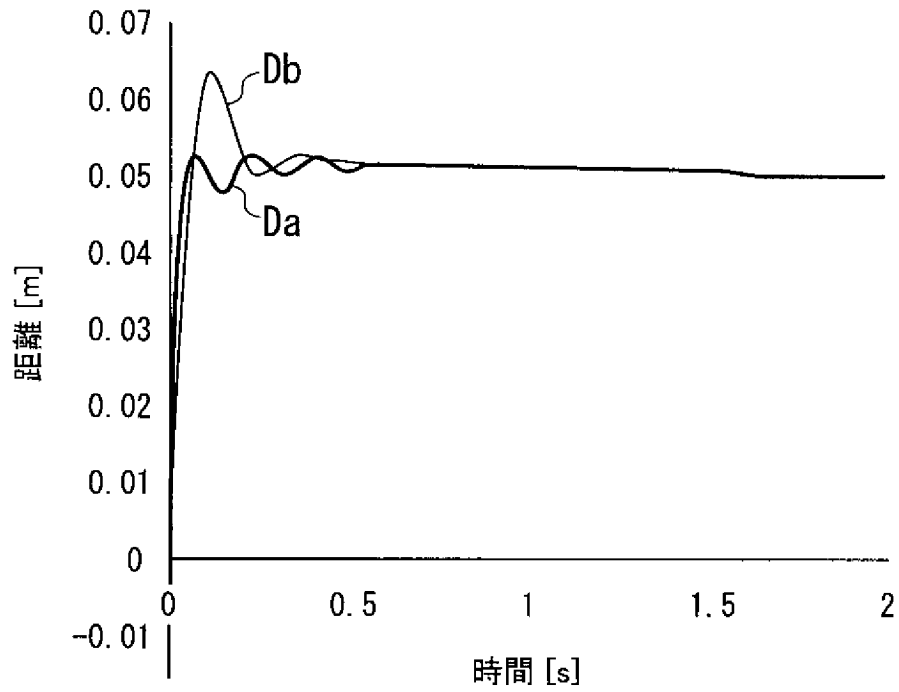
[図4]

FIG. 4

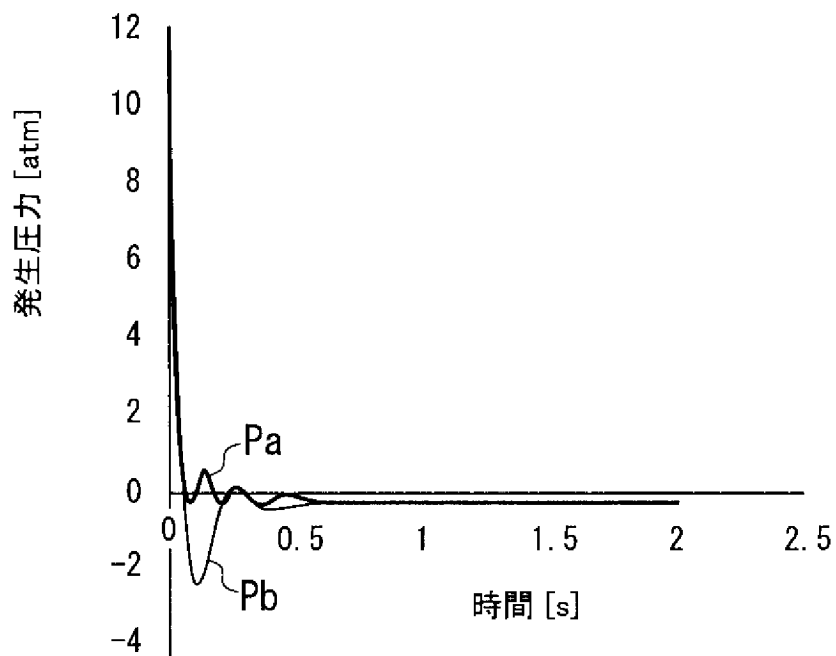
[図5]

FIG. 5

[図6]

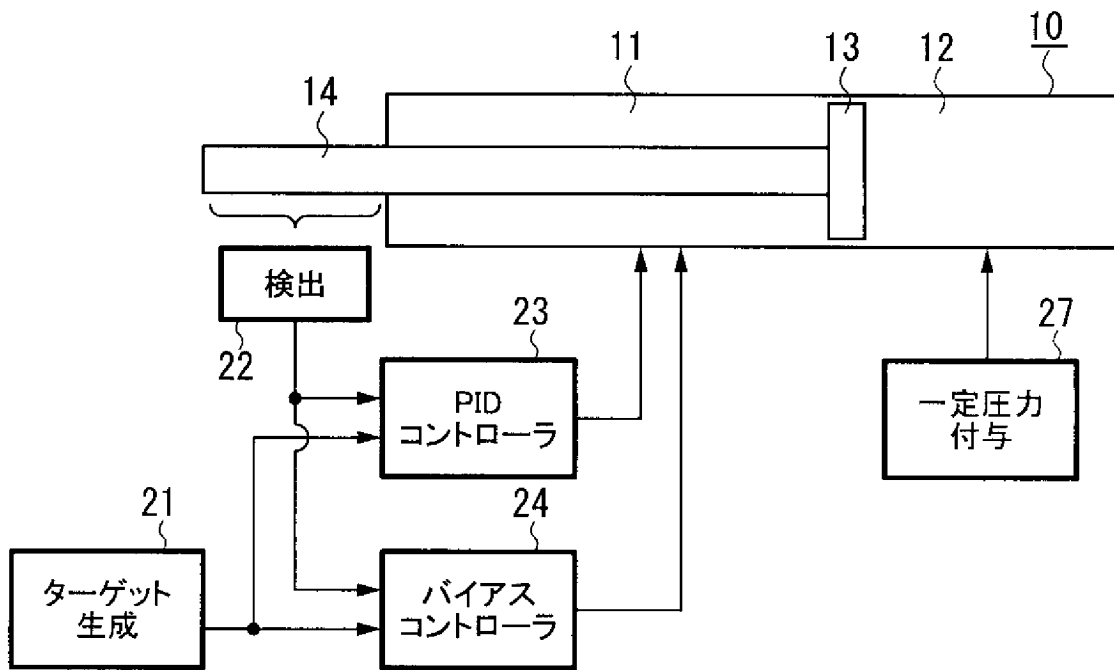
FIG. 6

[図7]

FIG. 7

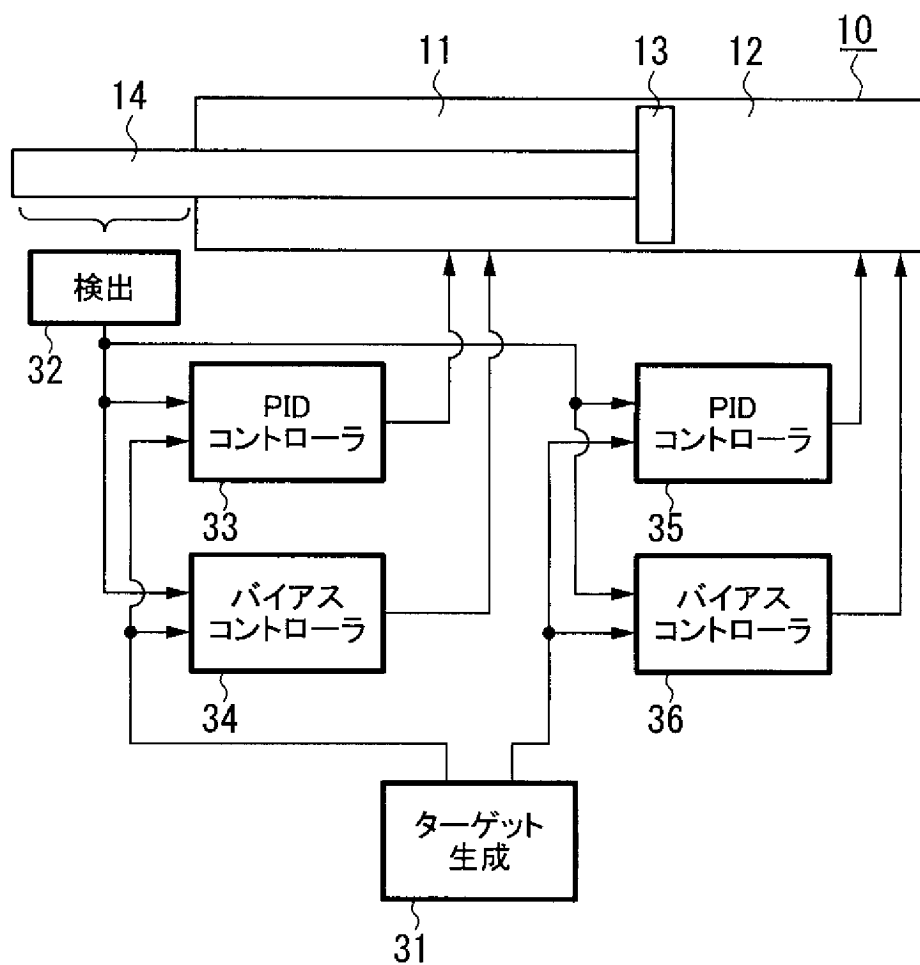
[図8]

FIG. 8



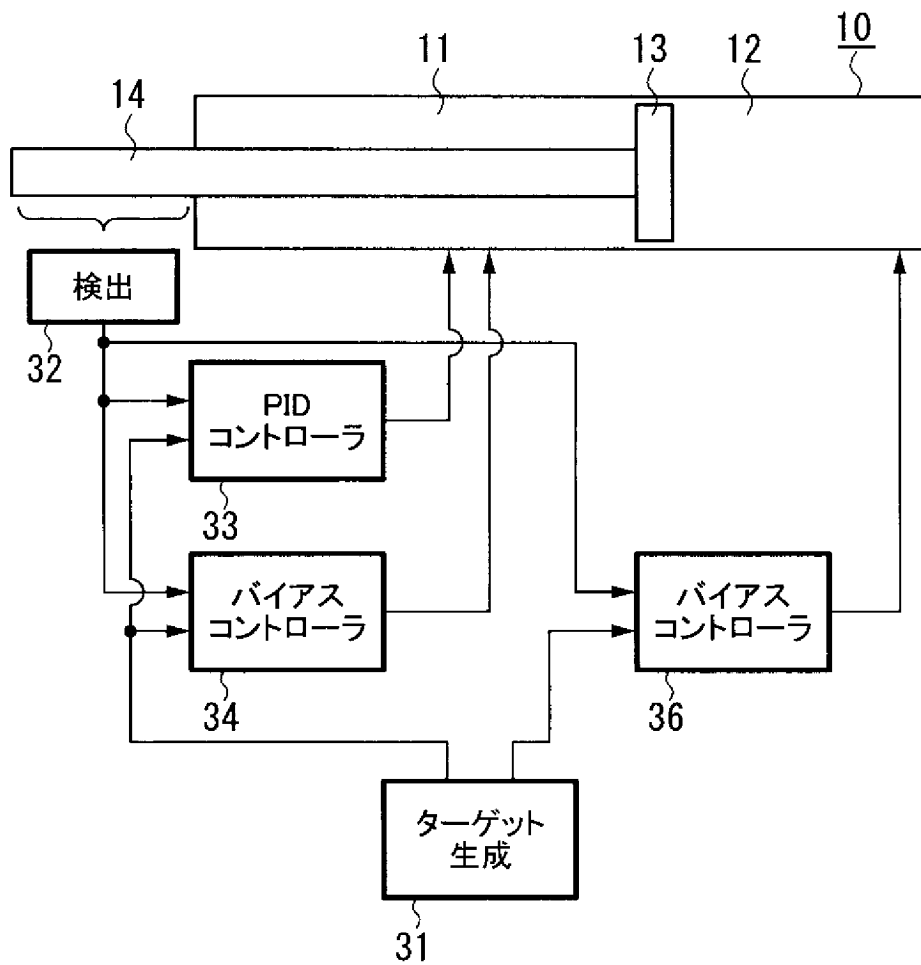
[図9]

FIG. 9



[図10]

FIG. 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/058619

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
F15B11/06(2006.01)i, *F15B9/09*(2006.01)i, *F15B15/28*(2006.01)i, *G05D3/00*
 (2006.01)i, *B25J19/00*(2006.01)n
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F15B11/00-15/22, *F15B9/09*, *F15B15/00-15/28*, *G05D3/00*, *B25J19/00*

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2006-57724 A (SMC Corp.), 02 March, 2006 (02.03.06), Par. Nos. [0005] to [0030]; Figs. 1, 2 & US 2006/0037466 A1 & DE 102005031732 A & FR 2874410 A & KR 10-2006-0050035 A & CN 1737381 A	1-10
X	JP 8-19873 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 23 January, 1996 (23.01.96), Par. Nos. [0026] to [0085]; Figs. 1, 2 (Family: none)	1-10
X	US 5457959 A (Mannesmann AG.), 17 October, 1995 (17.10.95), Full text; all drawings & EP 632202 A1 & DE 4319022 A1	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 31 July, 2009 (31.07.09)	Date of mailing of the international search report 11 August, 2009 (11.08.09)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/058619

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2000-199502 A (SMC Corp.), 18 July, 2000 (18.07.00), Full text; all drawings & US 6305264 B1 & DE 19953075 A & CN 1253241 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F15B11/06(2006.01)i, F15B9/09(2006.01)i, F15B15/28(2006.01)i, G05D3/00(2006.01)i, B25J19/00(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F15B11/00-15/22, F15B9/09, F15B15/00-15/28, G05D3/00, B25J19/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2006-57724 A (SMC株式会社) 2006.03.02, 段落【0005】 - 【0030】、図1, 2 & US 2006/0037466 A1 & DE 102005031732 A & FR 2874410 A & KR 10-2006-0050035 A & CN 1737381 A	1-10
X	JP 8-19873 A (日産自動車株式会社) 1996.01.23, 【0026】 - 【0085】、図1, 2 (ファミリーなし)	1-10
X	US 5457959 A (Mannesmann Aktiengesellschaft) 1995.10.17, 全文、 全図 & EP 632202 A1 & DE 4319022 A1	1-10

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31.07.2009

国際調査報告の発送日

11.08.2009

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

北村 一

30

3734

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2000-199502 A (エスエムシー株式会社) 2000.07.18, 全文、全 図 & US 6305264 B1 & DE 19953075 A & CN 1253241 A	1-10