

(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2012-130201  
(P2012-130201A)

(43) 公開日 平成24年7月5日(2012.7.5)

(51) Int.Cl.  
H02N 11/00 (2006.01)

F I  
H02N 11/00 Z

テーマコード (参考)

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2010-281235 (P2010-281235)  
(22) 出願日 平成22年12月17日 (2010.12.17)

(71) 出願人 504180239  
国立大学法人信州大学  
長野県松本市旭三丁目1番1号  
(72) 発明者 橋本 稔  
長野県上田市常田三丁目15番1号 国立  
大学法人信州大学繊維学部内  
(72) 発明者 柴垣 南  
長野県上田市常田三丁目15番1号 国立  
大学法人信州大学繊維学部内

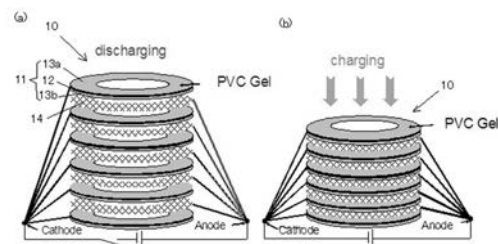
(54) 【発明の名称】 収縮型ゲルアクチュエータの制御方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 収縮型ゲルアクチュエータの動作を高精度に制御することを可能とし、位置制御等に利用できる収縮型ゲルアクチュエータの制御方法を提供する。

【解決手段】 陽極14と陰極12との間に、誘電性高分子材料からなるゲル13a、13bが介装され、陽極14と陰極12との間に電圧を印加することにより厚さ方向に収縮する作用を有する収縮型ゲルアクチュエータ10の厚さ方向の変位を制御する方法であって、収縮型ゲルアクチュエータ10に印加電圧Eを作用させた際の変位xについてのサンプリング値から、印加電圧Eをフィードバック制御する収縮型ゲルアクチュエータの制御方法。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

陽極と陰極との間に、誘電性高分子材料からなるゲルが介装され、前記陽極と陰極との間に電圧を印加することにより厚さ方向に収縮する作用を有する収縮型ゲルアクチュエータの厚さ方向の変位を制御する方法であって、

収縮型ゲルアクチュエータに印加電圧Eを作用させた際の変位xについてのサンプリング値から、次式(1)に基づいて印加電圧Eをフィードバック制御する収縮型ゲルアクチュエータの制御方法。

$$E = k_p (x_d - x) + E_d \quad (1)$$

$x_d$  : 収縮型ゲルアクチュエータの目標変位

$E_d$  : 収縮型ゲルアクチュエータの印加電圧にともなう変位についての実測結果から、印加電圧と変位とを線形近似したときの、目標変位 $x_d$ に対する印加電圧

$k_p$  : 比例ゲイン

## 【請求項 2】

前記収縮型ゲルアクチュエータは、

印加電圧を徐々に上昇させ、徐々に下降させた際の、印加電圧にともなう変位についての特性が、ヒステリシス特性を備えるものであることを特徴とする請求項1記載の収縮型ゲルアクチュエータの制御方法。

## 【請求項 3】

前記収縮型ゲルアクチュエータは、

前記陽極がメッシュ状に形成され、前記陰極が箔状に形成された電極からなり、前記陰極の一方の面と他方の面に前記ゲルを被着したゲル体を、層間に前記陽極を介在させて、複数層に積層して形成したものであることを特徴とする請求項1または2記載の収縮型ゲルアクチュエータの制御方法。

## 【請求項 4】

前記収縮型ゲルアクチュエータは、

前記ゲルが、アジピン酸ジブチルを加えたPVCからなるものであることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項記載の収縮型ゲルアクチュエータの制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本出願は、収縮型ゲルアクチュエータの制御方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

人間共存型ロボットの研究が活発に行われている近年、モータに代わる駆動源として小型軽量でソフトな動きが可能な高分子材料を用いた次世代型のアクチュエータの開発が注目されている。中でも、PVCゲルを用いたアクチュエータは、大気中での電場による安定駆動が可能であるため比較的制御し易いといった利点を持つ。

収縮型ゲルアクチュエータは、電場の作用によって駆動される性質を有するゲルを、メッシュ状の陽極と箔状の陰極とで挟む構造としたものであり、電極間に電圧を印加すると、陽極の網目の隙間にゲルが引き込まれ、これによって厚さ方向に収縮する作用を有する。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 9 - 2 7 3 2 0 4 号公報

【非特許文献】

【 0 0 0 4 】

【非特許文献 1】Polymer Preprints, Japan, Vol.55, No.2pp.4557-4558, 2006

【非特許文献 2】Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2008), Bangkok, Thailand, pp.745-750, 2009

【非特許文献 3】多層PVC ゲルアクチュエータの特性評価, 第9回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp.283-284, 2008

【非特許文献 4】伸縮型PVC ゲルアクチュエータの開発, 日本機械学会北陸信越支部第46期総会・講演会講演論文集, pp.415-416, 2009

【非特許文献 5】“Characteristics Evaluation of PVC Gel Actuators”, The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2009), St. Louis, USA, pp.2898-2903, 2009

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

収縮型ゲルアクチュエータは電極間に電圧を印加する操作をON-OFFすることにより、厚さ方向に収縮する状態と元の状態に復帰する状態を繰り返す。したがって、この作用を利用してブレーキ等の種々の作用をなすアクチュエータとして利用することができる。ところで、このような収縮作用をなすアクチュエータの用途として、単に収縮作用を利用する他に、その収縮動作(伸縮動作)を高精度に制御することにより、位置制御等の高精度の制御を可能とする制御要素として利用することが可能である。収縮型アクチュエータとして、高精度の制御が可能になれば、ロボット等の動作を制御するといった場合に、きわめて有効である。

【 0 0 0 6 】

本発明は、収縮型ゲルアクチュエータの動作を高精度に制御することを可能とし、位置制御等に好適に利用することを可能にする収縮型ゲルアクチュエータの制御方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本出願に係る収縮型ゲルアクチュエータの制御方法は、陽極と陰極との間に、誘電性高分子材料からなるゲルが介装され、前記陽極と陰極との間に電圧を印加することにより厚さ方向に収縮する作用を有する収縮型ゲルアクチュエータの厚さ方向の変位を制御する方法であって、収縮型ゲルアクチュエータに印加電圧Eを作用させた際の変位xについてのサンプリング値から、次式(1)に基づいて印加電圧Eをフィードバック制御することを特徴とする。

$$E = k_p (x_d - x) + E_d \quad (1)$$

$x_d$ : 収縮型ゲルアクチュエータの目標変位、 $E_d$ : 収縮型ゲルアクチュエータの印加電圧にもなう変位についての実測結果から、印加電圧と変位とを線形近似したときの、目標変位 $x_d$ に対する印加電圧、 $k_p$ : 比例ゲイン。

【 0 0 0 8 】

前記収縮型ゲルアクチュエータは、印加電圧を徐々に上昇させ、徐々に下降させた際の、印加電圧にもなう変位についての特性が、ヒステリシス特性を備えるものであることを特徴とする。

また、前記収縮型ゲルアクチュエータは、前記陽極がメッシュ状に形成され、前記陰極が箔状に形成された電極からなり、前記陰極の一方の面と他方の面に前記ゲルを被着したゲル体を、層間に前記陽極を介在させて、複数層に積層して形成したものであることを特徴とし、また、前記収縮用ゲルアクチュエータは、前記ゲルが、アジピン酸ジブチルを加えたPVCからなるものであることを特徴とする。

## 【発明の効果】

## 【0009】

本発明に係る収縮型ゲルアクチュエータの制御方法によれば、収縮型ゲルアクチュエータの変位を高精度に制御することが可能であり、位置制御用の制御素子等として収縮型ゲルアクチュエータを利用することが可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0010】

【図1】収縮型ゲルアクチュエータの構成及び作用を示す説明図である。

【図2】収縮型ゲルアクチュエータの印加電圧に対する変位を測定した結果を示すグラフである。

【図3】収縮型ゲルアクチュエータをフィードバック制御する制御装置のブロック図である。

【図4】収縮型ゲルアクチュエータをフィードバック制御した場合の、電圧印加後の変位の過渡特性を示すグラフである。

【図5】収縮型ゲルアクチュエータを開ループ制御した場合(a)と、閉ループ制御した場合(b)の収縮型ゲルアクチュエータの動作を示すグラフである。

【図6】収縮型ゲルアクチュエータに印加する電圧の周波数を変えたときのゲイン曲線を示すグラフである。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0011】

(収縮型ゲルアクチュエータ)

図1は、本発明に係る収縮型ゲルアクチュエータの制御方法を適用する収縮型ゲルアクチュエータの構成とその作用を示す。

本実施形態の収縮型ゲルアクチュエータ10は、箔状に形成した電極12の一方の面と他方の面にゲル13a、13bを被着したゲル体11を、メッシュ状に形成したメッシュ電極14を層間に介在させて、厚さ方向に複数段に積み重ねて形成されている。図示例の収縮型ゲルアクチュエータ10は、中央部に連通空間を設けるように電極12等を円形リング状としているが、ゲル本体11等は円形等の任意の形状に形成できる。

## 【0012】

図1(a)は、電極12とメッシュ電極14との間に電圧を印加していない状態、図1(b)は電極を印加した状態である。図のように、電極12を陰極、メッシュ電極14を陽極として電圧を印加すると、収縮型ゲルアクチュエータ10は厚さ方向に収縮し(図1(b))、電圧の印加を解除すると、元の厚さに復帰する(図1(a))。この収縮型ゲルアクチュエータ10の収縮作用は、電圧を印加すると、メッシュ電極14のメッシュの隙間にゲルが引き込まれ(入り込む)ゲルが引き込まれることによって厚さが薄くなる(圧縮される)ことによって生じる。

## 【0013】

電場を作用させた際にこのような作用をなすゲルとしては、ポリ塩化ビニル(PVC)、ポリメタクリル酸メチル、ポリウレタン、ポリスチレン、ポリ酢酸ビニル、ナイロン6、ポリビニルアルコール、ポリカーボネイト、ポリエチレンテレフタレート、ポリアクリロニトリル等の誘電性高分子材料が知られている。

## 【0014】

本実施形態においては、ゲル13a、13bとして、可塑剤としてアジピン酸ジブチル(DBA)を加えたPVCを使用した。ゲルの膜厚は0.6~1.0mmである。

また、電極12には、厚さ0.01mmのステンレス箔を使用し、メッシュ電極14には、線径0.2mm、メッシュ孔1.1x1.1mm、厚さ0.4mmのステンレスメッシュを使用した。

収縮型ゲルアクチュエータ10の厚さ方向の変位量は、ゲル体11の積層数を多くすることによって大きくなる。下記の実験で使用した収縮型ゲルアクチュエータ10はゲル体11を8層としたものである。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 5 】

( 収縮ゲルアクチュエータの特性 )

本実施形態の収縮型ゲルアクチュエータは、600 V の電圧印加時の変位率が10%以上、アクチュエータとしての応答特性が約7 Hz、収縮時の発生力は約3kPaであった。また、印加する電場にもなっアクチュエータとしての剛性が増加することが認められた。

図2は、上記収縮型ゲルアクチュエータについて、印加電圧にもなう変位量(収縮変位)を測定した結果を示す。測定は、印加電圧を0Vから600Vの間を連続的に上昇・下降させ、レーザ変位計を用いてゲルアクチュエータの変位を測定する方法によって行った。本実験において、0Vから600Vまで上昇させ、600Vから0Vまで下降させるまでの一周期の時間は10(sec)である。繰り返し、上昇・下降させた際も、ほぼ同一のヒステリシスカーブを描く。

10

## 【 0 0 1 6 】

図2に示すグラフは、収縮型ゲルアクチュエータに電圧を印加すると、電圧を上昇させていった際と、電圧を下降させていった際とで、変位量が異なるというヒステリシスの特性を示している。すなわち、収縮型ゲルアクチュエータは、印加電圧に対して変位量が常に一定になるとは限らず、電圧の印加履歴により、同一の電圧を印加したとしても変位量が異なる場合がある。

実際の収縮型ゲルアクチュエータは、使用するゲルの素材や、ゲルの厚さ、大きさ、ゲル体の積層数といった特性に関与する種々の要因があるから、印加電圧に対する変位量やヒステリシスの特性もいろいろと異なることが十分に考えられる。収縮型ゲルアクチュエータのこのようなヒステリシス特性は従来から知られているものではなく、今回、新たに得られた特徴的な作用である。

20

## 【 0 0 1 7 】

このように、印加電圧に対する変位量やヒステリシス特性がさまざまに異なる収縮ゲルアクチュエータを、高精度に変位を制御することが求められる位置制御等の制御要素として利用できるようにするには、単に、特定の変位を生じさせる電圧を印加するといった制御方法では不十分であり、ヒステリシス特性を備えていることを考慮して制御方法を工夫する必要がある。

以下では、このようなヒステリシス特性を備える収縮型ゲルアクチュエータを位置制御する方法について述べる。

30

## 【 0 0 1 8 】

( フィードバック制御方法 )

本発明においては、このようなヒステリシス特性を備える収縮型ゲルアクチュエータを制御する方法として、収縮型ゲルアクチュエータに作用させる電圧を収縮型ゲルアクチュエータの変位を計測し、その結果に基づき特定の補正を加えてフィードバック制御する。

本発明においては、次式(1)に示す制御則にしたがってフィードバック制御する。

$$E = k_p ( x_d - x ) + E_d \cdot \cdot ( 1 )$$

$$E_d = x_d / \cdot \cdot \cdot ( 2 )$$

## 【 0 0 1 9 】

上記(2)式は、図2に示した印加電圧に対する変位量の測定結果から、印加電圧と変位量が線形関係にあると近似したときの、目標変位 $x_d$ を得るための印加電圧 $E_d$ を表す。は近似直線の傾きである。

40

(1)式の第1項目は、目標変位 $x_d$ と、サンプリングして得た実際の変位 $x$ との差と、比例ゲイン $k_p$ との積であり、目標とする変位と実際の変位との差に基づいて印加電圧に補正を加える項である。第2項目は、線形モデルから導いた目標とする変位を生じさせる印加電圧であり、いわばオフセット項である。

## 【 0 0 2 0 】

図3は、上述したフィードバック制御方法を用いて収縮型ゲルアクチュエータを制御する制御装置のブロック図である。この制御装置においては、収縮型ゲルアクチュエータ10の変位量をレーザ変位計20により検知し、レーザ変位計20の計測結果に基づいてコ

50

ンピュータ30により収縮型ゲルアクチュエータ10に加える印加電圧を演算し、演算結果を収縮型ゲルアクチュエータ10に作用させる電圧としてフィードバックする。

#### 【0021】

(実験結果)

図4は収縮型ゲルアクチュエータの目標変位を $x_d = 0.4\text{mm}$ 、 $0.5\text{mm}$ 、 $0.6\text{mm}$ と設定して、上述したフィードバック制御を行った場合の収縮型ゲルアクチュエータの変位を測定した結果を示す。フィードバック制御は、レーザ変位計のサンプリングタイムを $0.1(\text{ms})$ として行った。

いずれについても、電圧を印加開示時から約 $0.2\text{s}$ 経過時までは目標変位から外れる過渡的状态が見られるが、約 $0.2\text{s}$ 経過後には目標変位に収束し、それ以後、目標変位を維持している。

この実験結果は、前述したフィードバック制御方法が、収縮型ゲルアクチュエータの変位を正確に制御する方法として有効に機能することを示している。

#### 【0022】

図5は、収縮型ゲルアクチュエータを周期的に変位させる(周期的に伸縮させる)制御を行った場合のゲルアクチュエータの挙動を測定した結果を示す。図5(a)は、開ループ制御、すなわち、収縮型ゲルアクチュエータに印加する電圧を、目標とする変位が生じるように線形モデルに基づいて印加した場合である。測定結果は、目標とする周期的変位に対して、収縮型ゲルアクチュエータの動作が外れ、目標とする周期的動作を完全にはなし得ていないことがわかる。

#### 【0023】

図5(b)は、閉ループ、すなわち上述したフィードバック制御を適用して収縮型ゲルアクチュエータを制御した場合である。実験結果は、この場合には、目標とする周期的変位に完全に合致した動作をなし得ていることを示す。

図5は、収縮型ゲルアクチュエータに上述したフィードバック制御を適用する方法が、収縮型ゲルアクチュエータの変位を制御する方法としてきわめて有効であることを示している。

#### 【0024】

図6は、図1に示した収縮型ゲルアクチュエータに印加する電圧の周波数を変えたときに、周波数によって、ゲインがどのように変わるかを測定した結果を示す。図6の実験結果は、フィードバック制御しない場合には、印加電圧の周波数が $1\text{Hz}$ を超えると徐々にゲインが減少する傾向にあるのに対し、フィードバック制御した場合には、 $10\text{Hz}$ 程度まではゲインが減少せず、 $10\text{Hz}$ を超えてゲインが減少したことを示す。この実験結果は、フィードバック制御が、収縮ゲルアクチュエータの応答特性を改善する作用としても有効に機能していることがわかる。

#### 【0025】

上述した実験結果は、ヒステリシス特性を有する収縮ゲルアクチュエータを高精度に位置制御する方法として、上述した制御則に基づくフィードバック制御を行う方法が有効であることを示すものである。

本発明に係るフィードバック制御方法が、上述した高精度の位置制御に有効に機能する理由は、収縮ゲルアクチュエータをフィードバック制御する印加電圧( $E$ )として、実測して得られた印加電圧と変位量の関係を線形近似して得たオフセット値( $E_0$ )を印加電圧( $E$ )の制御則に取り入れたことによると考えられる。

#### 【0026】

本発明において取り上げた収縮型ゲルアクチュエータのようにヒステリシス特性を有するものに対してフィードバック制御の制御則をどのように定式化することが有効であるかは、実際にフィードバック制御を行って見ないとわからない。通常のフィードバック制御では、目標変位からのずれに基づいた値を補正項とする。本発明は、この補正項に上記のオフセット値を加えてフィードバック電圧とすることにより、収縮型ゲルアクチュエータがヒステリシス特性を有する場合であっても高精度のフィードバック制御が可能になるこ

10

20

30

40

50

とをはじめて見出したものである。収縮型ゲルアクチュエータにおいて前述したフィードバック制御が有効に機能するのは、収縮型ゲルアクチュエータが一定の弾性を備えており、オフセット値を付加することで、この弾性による変動要素を効果的に抑えることができ、安定した制御が可能になったものと考えられる。

【 0 0 2 7 】

なお、本発明において対象とする収縮型ゲルアクチュエータは、上記実施形態において使用したメッシュ電極 1 4 を陽極とし、箔状の電極 1 2 を陰極として、ゲル体 1 1 を複数個積層したゲルアクチュエータの構成に限定されるものではない。たとえば、ゲル体 1 1 を複数個積層せず、単層としたものを使用することも可能であり、表面に凹凸を設けたゲルを使用して、陽極、陰極ともに箔状に形成した電極として収縮動作をさせるように構成することも可能である。

10

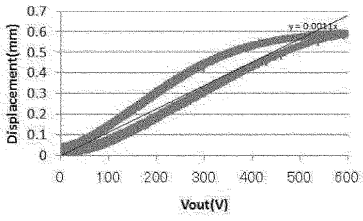
【符号の説明】

【 0 0 2 8 】

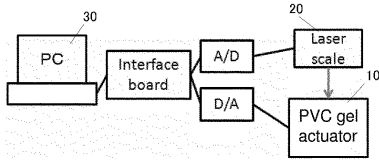
- 1 0 収縮型ゲルアクチュエータ
- 1 1 ゲル体
- 1 2 電極
- 1 3 a、1 3 b ゲル
- 1 4 メッシュ電極
- 2 0 レーザ変位計
- 3 0 コンピュータ

20

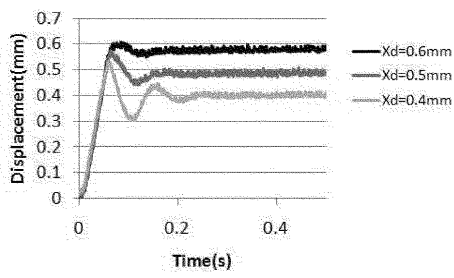
【 図 2 】



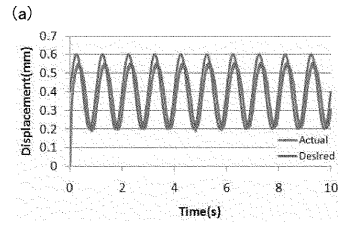
【 図 3 】



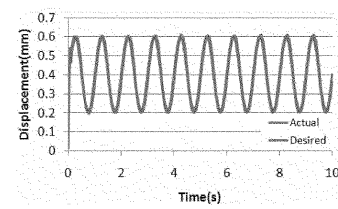
【 図 4 】



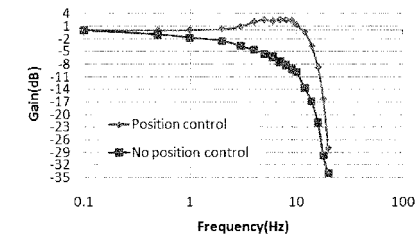
【 図 5 】



(b)



【 図 6 】



【 図 1 】

