T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエータ -第５報 変位フィードバック制御の実現-
Title	Hose-free Pneumatic Actuator using Reversible Chemical Reaction - 5th report: Displacement feedback control-
著者	和田 晃, 難波江裕之, 鈴森 康一
Author	Akira WADA, Hiroyuki NABAE, Koichi SUZUMORI
掲載誌/書名	ロボティクス・メカトロニクス講演会2016 予稿集, Vol. , No. , pp.
Journal/Book name	Proceedings of the 2016 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Issue date	2016, 6
URL	http://www.jsme.or.jp/publish/transact/index.html
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本機械学会に帰属します。

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエータ
—第５報　変位フィードバック制御の実現—

Hose-free Pneumatic Actuator using Reversible Chemical Reaction
-5th report: Displacement feedback control-

○正　和田　晃（東工大）　正　難波江裕之（東工大）
正　鈴森　康一（東工大）

Akira WADA, Tokyo Institute of Technology, wada.a.ah@m.titech.ac.jp
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Pneumatic actuator needs an air-compressor and air supply tubes, which lowers its mobility and applicability. To solve this problem, we developed a gas actuator using the gas/liquid reversible chemical reaction. While pressure control was successfully realized, the actuator has not achieved position control, which is often used in practical applications. This paper, therefore, proposes a position control method for the gas actuator, using a displacement sensor outside based on bang-bang control. In the position servo experiment, the actuator is successfully controlled by the proposed control method: the measured position well follows the reference signal of a sinusoidal wave whose frequency and amplitude are 0.07 Hz and 0.5 mm, respectively.

***Key Words*:** Actuator, Pneumatic actuator, Actuator control

1.　緒言

空圧アクチュエータは、コンプレッサや空圧配管を必要とするため携帯できなかった。この問題を解決するために、気液可逆化学反応である水の電気分解／合成反応を空圧アクチュエータに適用してきた[1]。この原理を適用することで、これまでに実現できなかった電気コントロールによる精密な制御が可能になった。これまでにこのアクチュエータの制御は、アクチュエータ内部の圧力を圧力センサによって計測して、この値を用いてフィードバック制御を行っていた。しかしながら、アクチュエータで最もよく使われる位置制御は行われていない。

そこで本論文では、本アクチュエータでの位置制御手法を提案し、試作機により位置制御が実現可能であることを実証する。

2.　ガス圧アクチュエータの概要

ガス圧アクチュエータは、イオン交換膜をシリコーンラバー(KE-1603, 信越化学工業株式会社)で覆った構造である（図１）。水の電気分解時には酸素と水素が発生するため、これらの気体が混ざらないようにそれぞれ部屋が分かれている。基本的な構成は[2]と同様である。

アクチュエータの駆動原理を図２に示す。アクチュエータ内部で水の電気分解を起こし発生するガス圧によってアクチュエータは駆動する(b)。その後、アクチュエータよりも電圧が低い充電池に繋ぐことで電流が充電地側に流れ、発生した気体を吸収し、アクチュエータは元に戻る(a)。

このときアクチュエータに流れる電子と発生気体の関係は式(1), (2)である。

$$4H^{+} + 4e^{-} \leftrightarrow 2H_2 \tag{1}$$

$$2H_2O \leftrightarrow O_2 + 4e^{-} + 4H^{+} \tag{2}$$

式(1)は負電極側の反応であり、式(2)は正電極側の反応である。式(1), (2)から電子を消去し、水と発生気体の水素と酸素に着目すると式(3)になる。

$$2H_2O \leftrightarrow 2H_2 + O_2 \tag{3}$$

このような気液可逆化学反応をアクチュエータの駆動源として用いる。また, 式(1)の化学反応において水は必要ないため、負極側に水は入れない（ドライ陰極構造[2]）。

図３に開発したガス圧アクチュエータを示す。イオン交換

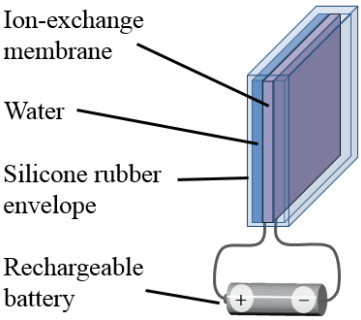

Fig. 1　Schematic diagram of the gas actuator

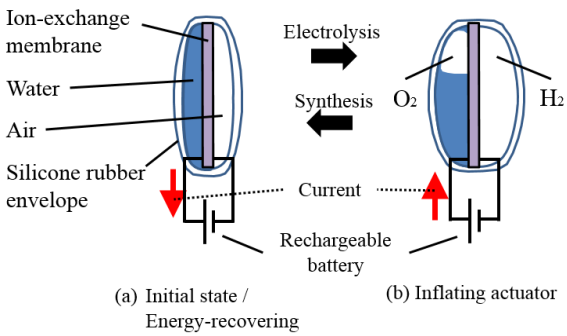

Fig. 2　Working principle of the actuator. (a) is a initial state. (b) is an inflating state.

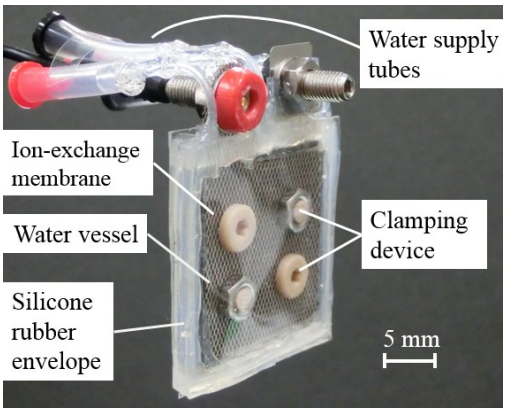

Fig. 3　Photo of the gas actuator

膜は、可逆式燃料電池（FCSU-023、株式会社 ホライゾン・フュエルセル・ジャパン）を用いた。この可逆式燃料電池は、イオン交換膜を多孔質触媒層で両側から挟み込んだ構造である。これらの膜間に電流を流して化学反応を起こすため、これらを密着させる必要がある。これらが密着していない場合、電流が抑制されて反応速度が落ちる[3, 4]。一般的な密着方法はこれらの膜全面を剛体で両側から挟み込む。しかし、この方法では膜面積分の剛体が必要になり、結果として大型かつ重くなる。よりコンパクトな密着方法として考案したのが、これらの膜に穴を開けネジとナットで締結する方法である（図３）。この方法により一般品と同等の反応速度を持ちながらコンパクトな構成にすることができた。

また、酸素発生側には水が必要なため，水を封入するためのチューブを取り付けている。

3.　制御実験システム

3.1 変位計測システム

変位計測システムを図４に示す。アクチュエータが膨張した際に一番変位する点を先端位置として，その点をレーザ変位計（CMOS レーザアナログセンサ IA-30、株式会社キーエンス）により計測する。今回は発生気体量の多い水素側面の変位を計測した。

3.2 変位フィードバック制御器

この制御器のブロック線図を図５に示す。目標変位とレーザ変位センサにより取得した変位の偏差によって、アクチュエータを膨張または収縮させるかを決定する「Bang-bang 制御法」を用いる。そして、アクチュエータの先端位置をレーザ変位計で計測して目標値との偏差を算出する。以上の流れで制御が行われるフィードバック系を用いる。

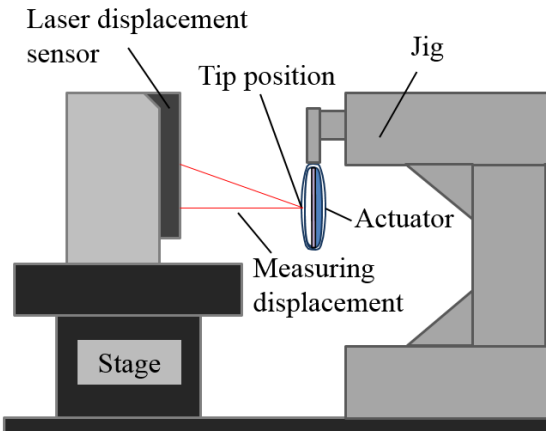

Fig. 4　Experimental setup for measuring displacement of actuator

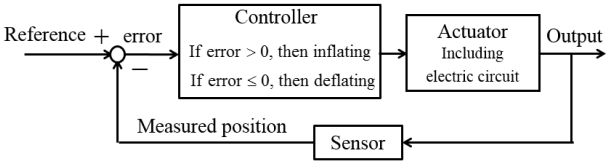

Fig. 5　Block diagram of feedback control with Bang-bang control

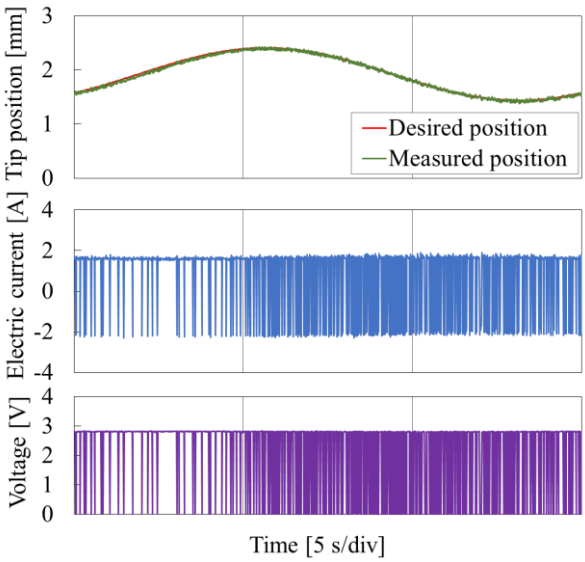

Fig. 6　Experimental result of servo control. Applied voltage is 2.9 V.

4.　実験結果

図４、５の実験システムを用いてアクチュエータの位置制御を行った。この実験結果を図６に示す。図６は上から，アクチュエータの先端位置、アクチュエータの電流そして電圧を示している。目標値と計測値が一致しており追従していることを確認した。このとき目標値として入力した正弦波は、振幅は 0.5 mm、周波数は 0.07 Hz である。サンプリング周波数は 100 Hz である。これ以上の周波数においても実験を行ったが追従できなかった。

5.　結言

気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエータの位置制御手法を提案し，試作機を用いた検証実験においてフィードバック制御を実現した。振幅 0.5 mm、周波数 0.07 Hz の正弦波に追従した。

謝　辞

本研究は，科研基盤(A)「次世代マッキベン人工筋の実現」(26249028)を受けて実施した。PEFC の積層方法についてアドバイスをくださった産業技術総合研究所の安積欣志氏、五百蔵 勉氏、堀内哲也氏、岡山大学の神田岳文准教授、脇元修一准教授、埼玉大学の山口大介助教に感謝する。

参考文献

[1] Suzumori, K., Wada, A., Wakimoto, S., “New mobile pressure control system for pneumatic actuators, using reversible chemical reactions of water,” Sensors and Actuators A: Physical, vol.A201, pp.148-153, 2013.

[2] 北守隆旺，和田　晃，難波江裕之，鈴森康一，"気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエータ（第４報，ドライ陰極構造による軽量化）", 第 16 回システムインテグレーション部門講演会, pp.1540-1543, 2015.

[3] 和田　晃，北守隆旺，鈴森康一，脇元修一，"気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエータ（第３報，電極面積比増加による応答性向上）", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 1A1-A08, 2015.

[4] 亀谷英裕，和田　晃，鈴森康一，"気液可逆反応を利用したガス圧アクチュエータ（第２報，高分子形燃料電池を組み込んだＦＭＡの試作と駆動実験）", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014, 2A2-O04, 2014.