

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：15301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656171

研究課題名(和文) 気体発生可逆化学反応現象を利用した自立型アクチュエータ

研究課題名(英文) New mobile pneumatic actuator using reversible chemical reactions of water

研究代表者

鈴森 康一 (SUZUMOSRI, KOICHI)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：00333451

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：空圧アクチュエータは、軽量、簡単構造、等々、様々なユニークな特徴を持っているが、駆動にはコンプレッサと制御バルブが必要で、自立した使い方ができないエアチューブ付きのアクチュエータであった。この欠点を解決すれば素晴らしいアクチュエータとなる。

本研究では、両面に電極を形成したプロトン交換膜を利用した水の分解/合成反応にフォーカスを当て研究を進めた。その結果、内部に2つの圧力室を持つゴムチューブを形成し、その隔壁にプロトン交換膜を埋め込むことで、「電気で作る空圧ラバーアクチュエータ」の実現に成功した。気液反応時にはエネルギーを回収できることも実証した。

研究成果の概要(英文)：While pneumatic actuators have unique advantages such as light and simple structures, an air compressor and control valves are necessary to drive them. This makes them difficult to work as mobile actuators. Releasing them from air tubes would make them very useful actuators.

In this project, I have focused on a gas/liquid reversible chemical reaction of water using a proton exchange membrane (PEM) with thin electrodes on its both surfaces. I have fabricated a rubber tube with two internal chambers filled with pure water. The internal wall separating two chamber is made of PEM. It works very well, resulting in a pneumatic rubber actuators driven by battery. The energy is recovered during gas to water process.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：アクチュエータ 空圧アクチュエータ ガス圧源 空圧ロボット ソフトロボット

1. 研究開始当初の背景

空圧アクチュエータは、安価、軽量、柔軟動作、といった他にない特色を有するアクチュエータで、産業界や今後の福祉ロボットなどで幅広く使われる。しかし、3つの重大な弱点がある。

①駆動にはコンプレッサが必要である。このため、ポータブルIT機器や外出先で使える介護支援機器への適用が、現在は事実上不可能である。

②エネルギー効率が悪い。高圧状態にある空気をそのまま大気に排出する仕組みが原因である。

③排気音がうるさい。工場等に利用範囲が限定され、家庭用機器への適用は困難である。空圧アクチュエータは、せっかく素晴らしい可能性を持っているのに、上記の3つの欠点が致命的となり、その適用範囲が限定されている。

従来、物質の物理的/化学的反応を利用したポータブルなガス圧源の試作研究が、国内外で進められている。二酸化炭素の相変化の利用(東工大)、過酸化水素水の分解(バンダービルト大学)、炭酸カルシウムと酒石酸の化学反応(研究代表者)がその例である。

しかし、これらの方法ではダメである。まず、電気でアクチュエータの動き(ガスの発生)をコントロールできない。また、原理上、装置に積載した物質をガスの形に変えて放出しているだけなので、ガスの発生量には限界がある。上記問題②と③の解決策にもならない。また、駆動するための周辺装置や溶媒等が必要で、原理から期待されるほど(ガスの発生モル数)/(装置の容積)比が上がらない。

2. 研究の目的

本研究では、空圧アクチュエータを、電池で手軽に駆動できる現在の電磁モータのように、取り扱いやすいアクチュエータに変える。

本研究では、電流のコントロールにより、ガスを発生/吸収する可逆的な液⇌気の化学反応を利用して、空圧アクチュエータを駆動する手法の実現に取り組む。研究期間の2年間に、①理論と実験の両面から適切な反応系を選ぶ、②マイクロリアクタを用いて可逆反応を実現する、③気⇌液反応過程においてエネルギー回生を実現する、④特性(ガス発生量、発生圧力、エネルギー効率、動特性)を理論と実験で評価する、⑤空圧アクチュエータの制御を実証する。

3. 研究の方法

気液可逆化学反応である水の電気分解/合成を、純水中に設置したイオン交換膜への通電を利用することで制御する。この原理に基づいた圧力源を新たに考案し、試作・検討

を行った。これは、気体発生/吸収を電流で制御でき、容易に圧力増減を調整可能である。また、気体吸収時にはエネルギーを回収し、これを再利用できるといった優れた特長もある。

本研究では、この圧力制御方法とエネルギー回生方法を提案し、携帯ガス圧アクチュエータ用圧力源としての有効性を実証する。また、応答性に影響を与える触媒層や電極面積、圧力容器の特性等を調整することで、任意の圧力領域で使用可能であることを示した。

次に、この圧力源を柔軟な空圧ラバーアクチュエータに搭載するために改良し、試作・評価を行った。

4. 研究成果

(1)水の電気分解/合成を用いたガス圧制御

図1にガス圧制御実験装置源を示す。装置全体は150[mm]×90[mm]×100[mm]で、純水を満たしたタンクと、両面に電極を形成したプロトン交換膜からなる燃料電池(PEMFC)で構成される。

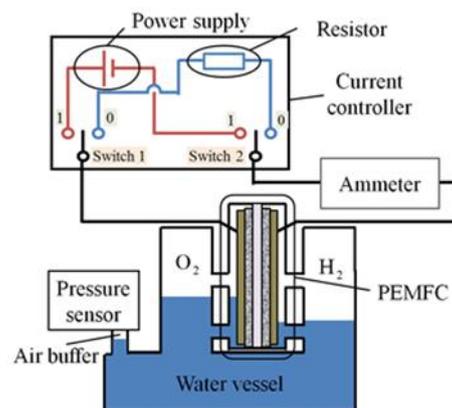


図1 ガス圧制御実験装置

プロトン交換膜(PEM)に通電すると、正極側に酸素が、負極側に水素が発生し、内部の圧力が上昇する。この際、電極間の電位差が生じるので、スイッチを切り替えて抵抗をはさんで短絡させると、水素と酸素が再び水に戻る。このようにしてガス圧の制御に成功した。

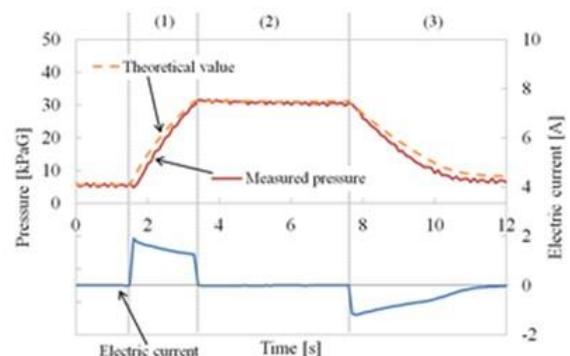


図2 圧力制御の実験データ

図2は圧力発生/減少時の実験結果である。(1)は圧力増加モード、(2)は圧力維持モード、(3)は圧力減少モードのタイミングを示している。

図3は圧力をセンサで検出し、サーボをかけたときの応答である。

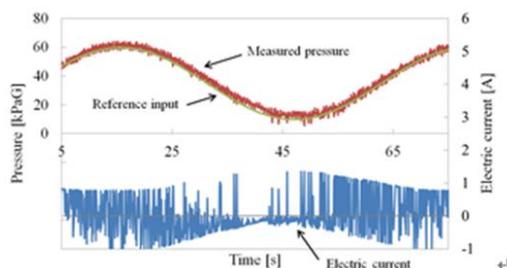


図3 圧力サーボ実験結果

### (2)エネルギー回生

図1で示した抵抗の代わりに2次電池を接続すれば、減圧時に発生する電気エネルギーを回収し、再び加圧する際に利用することができることを実験で成功した。空気圧アクチュエータの絵寝る儀効率の低さは、加圧空気を大気に放出することに大きな原因の一つがあるので、これを解消する重要な成果である。

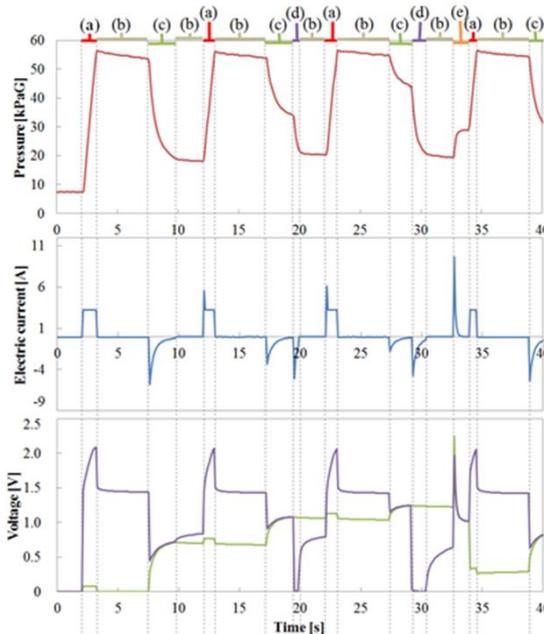


図4 エネルギー回生実験

図4はエネルギー回生実験の一例である。上段が圧力を、中段がプロトン交換膜を流れる電流を、下段がプロトン交換膜の電圧と、2次電池の電圧を示している。横軸は時間であり、(a)は外部電源から通電している期間を、(b)は電源、2次電池ともプロトン交換膜から切り離れた状態を、(c)は2次電池に充電している(つまり水合成により圧力は下がる)、(d)はプロトン交換膜(PEM)の電圧が下がり2次電池への充電が困難になったので抵抗で熱

として回収している状態、(e)は回収した2次電池のエネルギーを再使用して圧力を上げている状態、をそれぞれ示している。

### (3)アクチュエータの試作と駆動

PEMFCを空圧ラバーアクチュエータであるFMA(Flexible Micro Actuator)に搭載することで、電気駆動する自立空圧アクチュエータを実現し、評価を行った。

図5、図6に製作するアクチュエータの構造を示す。図5に示すように、FMAは断面が半円形の2つの空気室を有しており、周方向が繊維強化されている。図6はFMA内のPEMFCの配置を示している。FMA内部の各部屋にはPEMFCの電極から発生する酸素と水素によって圧力が加わる。酸素と水素の発生量は1:2の割合であるため、各空気室の軸方向への伸長量に差が生じ、全体として湾曲動作と軸方向への伸長が発生する。なお、周方向に繊維強化が施されているため、径方向への膨張は生じない。

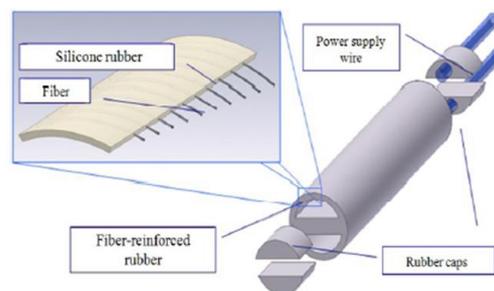


図5 FMAの構造

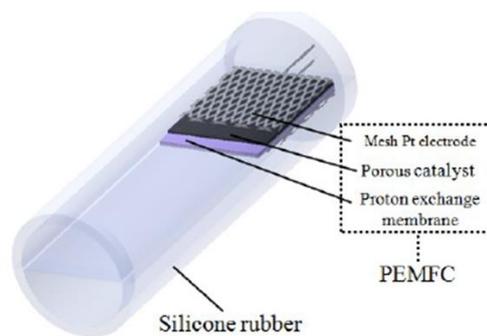


図6 プロトン交換膜の配置

製作したアクチュエータを図7に示す。全長106[mm]、外径12[mm]であり、PEMFCの気体発生とその際のアクチュエータ内部の観察を容易に行うために、透明なシリコンゴムと強化繊維を使用した。

図8にはPEMFCとFMAの主な構成材料であるシリコンゴムとの接着状態を示す。PEMFCはプロトン交換膜と触媒層と白金電極の3種の材料から構成されているが、それらすべて接着構造とした。

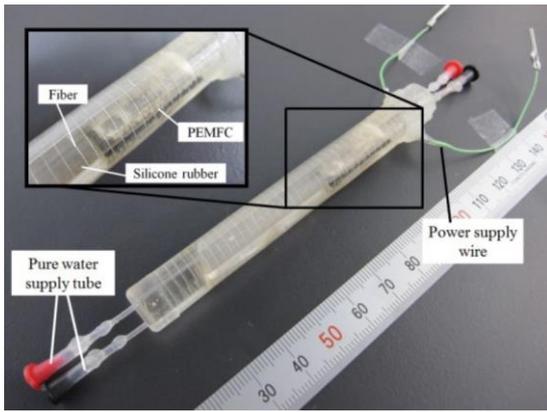


図7 PEMFCを搭載したFMAの試作例

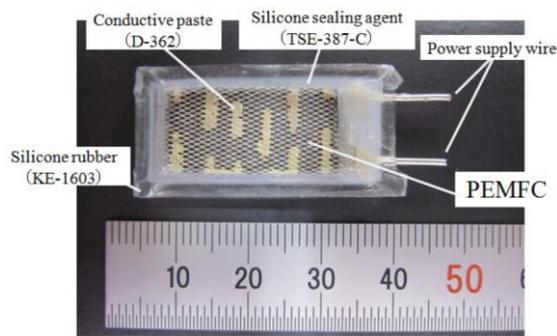


図8 PEMFC

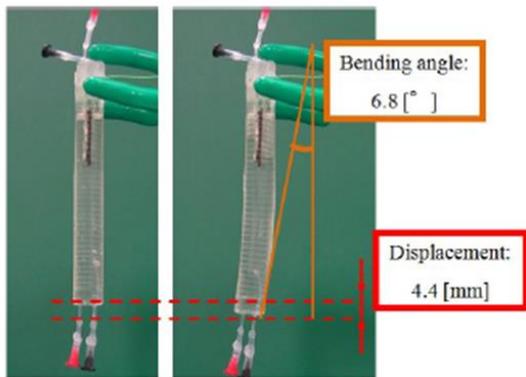


図9 試作したFMAの動作例

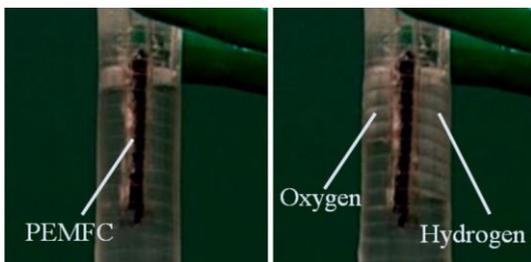


図10 ガス発生の様子

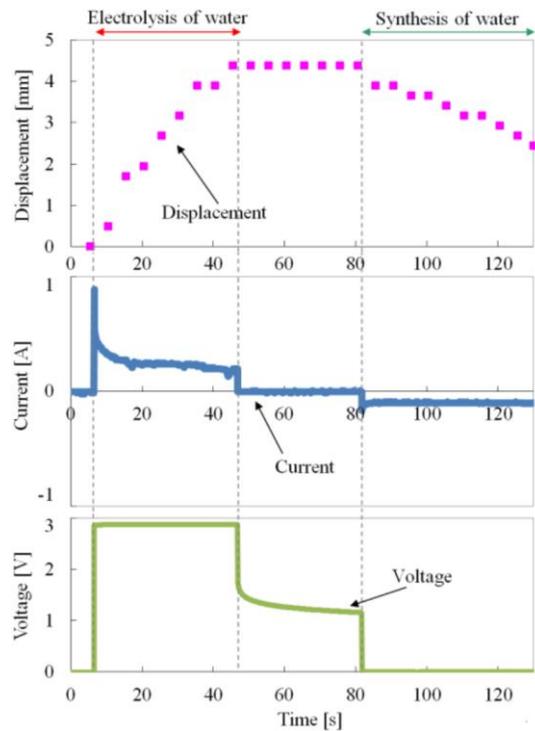


図11 FMAの動作実験結果の一例(上:FMA先端の変位,中:PEMFCに流れる電流,下:PEMFCの電圧)

図9, 図10, 図11に実験結果を示す. 図9(a)に初期状態, 図8(b)にはアクチュエータの最大変位時の様子を示している. このとき, 変位角  $6.8^\circ$ , 軸方向へ  $4.4[\text{mm}]$ の伸長を確認した.

また, 図10に最大変位時のPEMFC付近での気体発生の様子を示す. アクチュエータの各チャンバーには酸素, 水素が発生し, その割合が1:2になっていることも確認した.

図11には駆動実験時のアクチュエータの変位, PEMFCの電流と電圧を示す. 水の電気分解による圧力上昇に伴い, アクチュエータの変位量も上昇し, 電流停止時にはアクチュエータの動作も停止する. その後, PEMFCに負荷抵抗を接続すると水合成反応が起こり, 圧力減少に伴い, アクチュエータの変位量が減少することがわかる.

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Koichi Suzumori, Akira Wada, Shuichi Wakimoto, New mobile pressure control system for pneumatic actuators using reversible chemical reactions of water, Sensors and Actuators A:Physical, Vol.201, 2013, pp.148-153,

10.1016/j.sna.2013.07.008

〔学会発表〕（計 8 件）

- ① 和田ほか，可逆化学反応現象を利用したガス圧制御システムの開発(第 3 報：エネルギー回生の実現)
- ② Koichi Suzumori，ほか，A new mobile pressure control system for pneumatic actuators using reversible chemical reactions of water, The 2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 9-12 July 2013, Wollongong, Australia
- ③ 鈴森ほか，水の電気分解／合成反応を用いたガス圧制御システムの開発－第 2 報 圧力サーボ系の実現－，日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会，2012 年 9 月 17 日，札幌
- ④ 鈴森ほか，可逆化学反応現象を利用したガス圧制御システムの開発－第 1 報；水の分解／合成を使用した試作実験，日本機械学会路簿ティクス・メカトロニクス講演会 2012，2012 年 5 月 27 日，浜松〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

岡山大学システム構成学研究室

[http://www.act.okayama-u.ac.jp/kouseigaku/research/research2013/extreme\\_Gr2014j.html](http://www.act.okayama-u.ac.jp/kouseigaku/research/research2013/extreme_Gr2014j.html)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

鈴森 康一 (SUZUMORI, Koichi)  
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号：00333451

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし