

# 高分子アクチュエータ・センサ統合系の自励駆動について

東京工業大学 ○田中 千博, 杉浦 元將, 山北 昌毅  
東京電機大学 釜道 紀浩, 理化学研究所 向井 利春

## Self-Excited Actuation of EAP Actuator

○Kazuhiro Tanaka, Motonobu Sugiura and Masaki Yamakita (Tokyo Institute of Technology)  
Norihiro Kamamichi(Tokyo Denki University), Toshiharu Mukai(RIKEN)

**Abstract :** Bucky-gel device is a novel polymer which is composed of carbon nanotube, ionic liquid and polymer. It can be activated in low voltage and dry condition. It exhibit a bending motion under an applied electric current and it has also ability of sensor. In this paper, we have manufactured the integrated Bucky-gel actuator-sensor system with a common electrolyte film and examined the electric interference between actuator-part and sensor-part. Also, we built feedback system with the integrated device and investigated control of self-excited actuation of it.

### 1 はじめに

バッキーゲル素子は、低電圧で駆動し、空気中で駆動できる特徴をもった高分子アクチュエータの1つである [1]. この素子は、材料を型に流し込んだり、プリントすることで容易に任意の形に成形できる。バッキーゲル素子はセンサとしても利用可能であることが報告されており、別々に製作した2枚のバッキーゲルを並列に固定し、それぞれをセンサとアクチュエータとしてフィードバック制御を行うことも実現されている [2].

本研究では、アクチュエータ部とセンサ部を並列に一体成形したバッキーゲル素子を使い、アクチュエータ部からの電氣的干渉を補償して、センサシステムを作成した。また、センサ情報からフィードバック系を構成し、自励駆動制御を試みた。

### 2 バッキーゲル素子

バッキーゲル素子の基本構成を Fig.1 に示す。バッキーゲル素子は、イオン液体をベースポリマーでゲル化した電解質層と、カーボンナノチューブとイオン液体をベースポリマーでゲル化した電極層から成る。

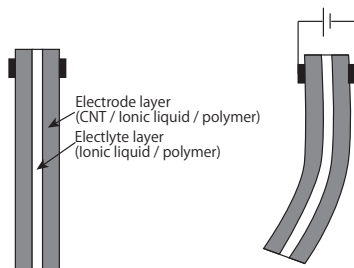


Fig. 1 Schematic diagram of Bucky gel device

### 2.1 アクチュエータ

バッキーゲル素子の表裏の電極に電位差を加えると、陽極側へと屈曲する。屈曲の大きさは、素子の大きさ、厚さ、材料の配合などに依存するが、20mm×5mm のサイズの素子の一端に 3V の電圧入力をするると先端部で数 mm ほどの変位が発生する。

### 2.2 センサ

バッキーゲル素子に屈曲を加えると、アクチュエータとしての働きとは反対に、表裏の電極間に電位差が発生する。素子の変形量と出力電圧の間には動特性が存在するが、この動特性を線形時不変システムとして表現し、補償することができる。発生する電圧は素子の大きさ、厚さ、材料の配合などによるが、おおむね 0.01~0.1mV のオーダーである。

### 3 システム

#### 3.1 アクチュエータ・センサ統合バッキーゲル

今回使用した、アクチュエータ/センサ統合バッキーゲル素子を Fig.2 に示す。この素子は2組の並列に並んだ電極層と、共通の電解質層からなる。この形状は、容易に作成しやすいという利点がある一方で、共通の電解質層を伝わってアクチュエータに加えた電圧入力にセンサ部に干渉する原因となる。実験では、アクチュエータ部に 3.5V の電圧をかけるとセンサ部で本来のセンサ電圧の 5~10 倍の干渉が観察された。この電氣的干渉を補償する必要がある。

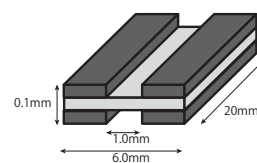


Fig. 2 Bucky gel actuator-sensor

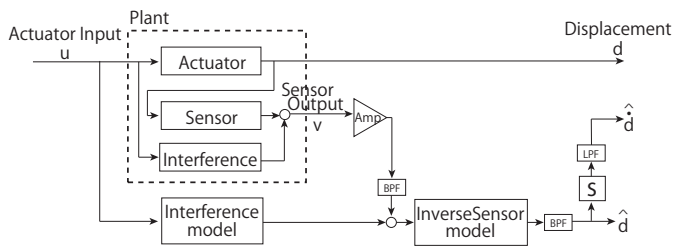


Fig. 3 Block diagram of integrated system

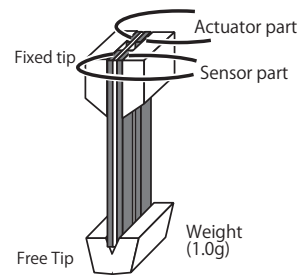


Fig. 4 Situation of buckygel actuator

### 3.2 センサシステム

アクチュエータ部からセンサ部への電氣的干渉を補償し、またセンサ電圧からバッキーゲル素子の変位を推定するために、Fig.3 に示すセンサシステムを構築した。干渉モデルとセンサモデルは、2 次の LTI システムとしてあらかじめ同定をしておく。アクチュエータ入力から干渉モデルを使ってセンサへの干渉電圧を推定し、センサ電圧から引くことで干渉を補償した。

### 3.3 自励駆動フィードバック

アクチュエータを固有振動数で駆動させると、共振により効率的な動きが実現できる。しかし、強制振動による駆動では、負荷の変動による固有振動数の変化に対応できない。そこで適当なフィードバック入力を用いることで、固有振動数の変化に対してロバストな自励振動系が構成できる [3]。

今回は、推定したバッキーゲル素子の変位から、以下のフィードバック則を適用して自励駆動を試みた。

$$u = V_{max} \times \text{sign}(\hat{d}) \quad (1)$$

ここで、 $\hat{d}$  はセンサシステムで求めた推定変位速度である。また  $V_{max}$  はバッキーゲル素子が十分駆動し、また破損しない電圧として 4.0V とした。

## 4 実験

Fig.4 に示すように、アクチュエータ・センサ統合バッキーゲル素子の先端を固定して振り子のように垂らし、下端に固有振動数を調整するために、1g のおもりを取り付けた。下端部の変位をレーザー変位計で実測し、センサシステムで推定した変位と比較する。また、自励駆動フィードバックを行い、実際に固有振動数での振動が起こるかを観察した。

Fig.5(a) は、センサシステムで得た推定変位を使って自励駆動系としたときのバッキーゲル下端の変位の様子である。比較のため Fig.5(b) に固有振動数のパルス波を加えたときのバッキーゲルの変位の様子を示す。推定変位の誤差により、強制振動ほどは振幅が大きくなるが、固有振動数に近い周期での運動を実現できた。

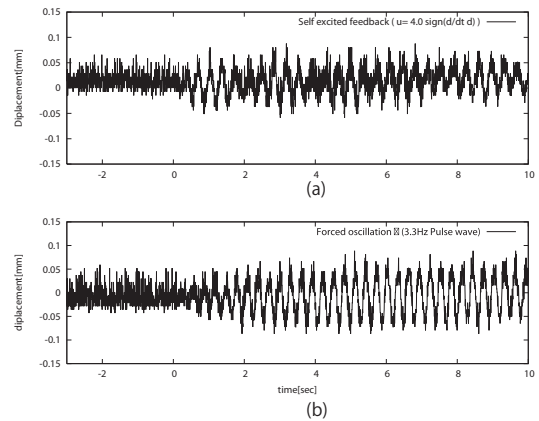


Fig. 5 (a)Self-excited feedback,(b)Forced oscillation with natural frequency

## 5 おわりに

本稿では、電極層が共通のアクチュエータ・センサ統合型バッキーゲル素子を用いて自励駆動系を実現した。センサ部にアクチュエータ部からの電氣的干渉が発生するため、これを LTI モデルで推定し補償することで、センサ電圧から変位の推定を行った。

今後はさらに精密な制御を実現するために、干渉の推定精度を上げる、センサ出力を変える、積層構造を変更するなど、より正確な変位推定の実現が望まれる。

## 参考文献

- [1] T.Fukushima et al. : “Fully Plastic Actuator though Layer-by-Layer Casting with Ionic-Liquid Based Bucky Gel,” *Angewandte Chemie Int. Ed.*,Vol.44,16,pp2410-2413,2005.
- [2] N.Kamamichi et al. : “Experimental Verifications on Control and Sensing of Bucky Gel Actuator /Sensor”, *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*,pp.1172-1177,2007
- [3] 小野京右他,” 自励振動アクチュエータに関する研究 (第 1 報,2 自由度自励振動系の特性解析)”, 日本機械学会論文集 (C 編) 60 巻 577 号,pp92-99,1994