125 カーボンナノチューブとイオン液体からなる高分子アクチュエータの応答性能

Studies of polymer actuators composed of carbon nanotube-ionic liquid gels

安積欣志、清原健司、杉野卓司、向健、小川由紀子（産総研）

小阪敦子（JST ERATO-SORST 相田ナノ空間プロ）

福島孝典、相田卓三（東大院工、JST ERATO-SORST 相田ナノ空間プロ）

Kinji Asaka, Kenji Kiyohara, Takushi Sugino, Ken Mukai, Yukiko Ogawa (AIST)

Atsuko Kosaka (JST ERATO-SORST Aida Nano Space Proj.)

Takanori Fukushima, Takuzo Aida (Univ. of Tokyo, JST ERATO-SORST Aida Nano Space Proj.)

We have reported a novel low-voltage driven dry polymer actuators based on single-walled carbon nanotube gels (bucky gels) of ionic liquids. The actuator has a bimorph structure composed of polymer-supported bucky gel electrodes and a polymer-supported ionic-gel electrolyte. In order to improve the performance of the actuator, we further explored the relations between the structure of the actuator film and its performance. Herein we report details of improved response of our bucky gel actuator.

Key Words; Polymer actuator, Carbon nanotube, Ionic liquid, Soft actuator, Artificial muscle

1. 緒言

最近の医療や福祉分野へのロボット技術の期待の高まりとともに、ソフトで軽量かつコンパクトなアクチュエータ技術の開発が求められている。我々はこれまで、常温溶融塩であるイオン液体とカーボンナノチューブのゲル（バッキーゲル）をベースポリマーで固体化した電極を用いた、電気化学ソフトアクチュエータ素子について報告してきた⁽¹⁾。本素子は、3 V 以下の低電圧で屈曲角 45° 以上変形し、数 10 Hz 以上の応答性能を持つ、しかも真空中でも駆動可能な完全なドライ型素子である。また、作製法は溶液を展開し、溶媒を乾燥して作製したフィルムを積層することにより可能であり、複雑な形状、あるいは、積層による発生力の向上などが容易と考えられる。本研究では、素子のアクチュエータ性能を、作製条件や用いるイオン液体の種類を変えることにより調べ、応答メカニズムを検討し、材料面からの応答性能の向上の指針を明かにしたので報告する。

2. 実験

2.1 アクチュエータ素子の構造

Fig.1 に本アクチュエータ素子の構造の模式図と応答の写真を示す。本アクチュエータ素子は、バッキーゲルをベースポリマーで固めた 2 層の電極層により、イオン液体とベース

ポリマーからなるイオンゲル層を挟んだバイモルフの構造をしており、両電極間に電圧を加えると、両電極層にイオン液体が分極し、電極層が伸縮することにより屈曲変形する。

Fig.1 (A) Electromechanical response of the Bucky gel actuator in air when the voltage of 3.5V is applied. (B)Schematic representations of the bucky gel actuators.

2.2 素子の作製

カーボンナノチューブ(CNT)は、単層 CNT(HiPco, CNT Inc.)を用いた。イオン液体(IL)は、応答メカニズムを探り、性能向上の指針をえるために、8種類のイオン液体を用い、素子

を作製した。代表的なものは Fig.1 に示した様な化学構造をもつ 1-Ethyl-3-methyl-imidazolium-tetrafluoroborate(EMIBF₄)である。ベースポリマーは Fig.1 に示した化学構造を持つポリフッ化ビニリデン-ヘキサフルオロプロピレン共重合体(PVDF(HFP))を用いた。素子フィルムの作製法は、電極層、電解質層、それぞれの成分を少量の溶媒に十分、分散させ、それを順次、キャストし、溶媒を乾燥させることにより、アクチュエータフィルムをえた。また、電極層中の CNT/IL/PVDF(HFP)の組成比を変えることにより、組成比と応答性能の関係を調べた。さらに、キャスト量を変えることにより、素子の厚みを変化させ、素子厚と応答性能の関係を調べた。

2.3 アクチュエータ素子の評価

作製した素子は、1mm (W) x15mm (L) の短冊状に切り取り、端から 3mm の部分を金端子で固定して、かた持ちはり状にたらし、空中において、固定端から 10 mm の部分の変位をレーザー変位計により測定して評価した。

また、5mm(W)x8mm(L)の素子を同様にかた持ちはり状にたらし、ロードセルを用いて、曲げ力を測定した。

さらに、電極層の導電率を4端子法により、またヤング率を引張り試験により測定した。

3. 結果と考察

Fig.2 にイオン液体に EMIBF₄ をもちいた素子に $\pm 2.5\text{V}$ の方形波を加えた時の、電流、変位の応答波形を示す。図から明らかな様に、この電圧では、イオンの電極への充電電流のみが観測されている。一方変位は、電圧が変化すると1秒以内にプラス極側に 5 mm 程度変位し、その後、電圧が保持されると変位も保持される。これは、電極層中に分散したカーボンナノチューブにイオンが分極し、電気二重層が形成され、その作用で電極層が伸縮して、屈曲がおこり、電圧を保持して二重層が形成されている間は屈曲が保持されるためである。

この素子の駆動メカニズムは以下の通りである。両電極間に電圧を加えた際、電極層内に分散したカーボンナノチューブにイオンがチャージすることにより、イオンが電極層内にドーピングされる。その結果、電極層の体積変化がおこり、

Fig.2 Response of an actuator film at an applied voltage of $\pm 2.5\text{V}$ with a frequency of 0.1Hz. (A) Applied voltages. (B) Electric current. (C) Displacement.

両電極層間の体積変化の差によりバイモルフの原理で屈曲するものと考えられる。

電極層内のカーボンナノチューブ含量に依存して、上記のイオンチャージ量が増加、また電極層の導電率も増加する。したがって、一般的には、カーボンナノチューブ含量が多い程、変位量、発生力の大きな素子が得られるが、ポリマーゲル内にカーボンナノチューブを均一に分散させることが困難になるため、限界がある。

素子厚依存性は、電極の厚みを厚くした場合、他の条件が同じであれば、変位量は減少するが、発生力は増加する。

また、用いるイオン液体にも応答性は大きく依存する。詳細は、発表で述べる。

参考文献

- 1) T. Fukushima, K. Asaka et al., Angew. Chem. Int. Ed., 44, 2410-2413 (2005).