

エラストマーを用いた電熱高分子アクチュエータの電気力学特性

Electromechanical Properties of Electrothermal Polymer Actuators Using Elastomers

山梨大院 °藤原由紀乃, 勝山直哉, 奥崎秀典

Univ. of Yamanashi, °Yukino Fujiwara, Naoya Katsuyama, Hidenori Okuzaki

E-mail: okuzaki@yamanashi.ac.jp

導電性高分子やイオン伝導性高分子に代表されるソフトアクチュエータは、軽量、柔軟かつ安価であり、騒音や廃棄物がでないクリーンシステムである。また、分子レベルで駆動するため小型化が容易であり、マイクロ・ナノマシンの作製が可能である。しかし、高分子ゲルや導電性高分子アクチュエータは、電解液中または膨潤状態でのみ使用可能であった。そこで、エラストマーと導電性高分子を融合させた新たなソフトアクチュエータに着目した。一般に、ゴムに代表されるエラストマーは、ソフトで高伸縮、安価といった利点がある。また、加熱により収縮する「エントロピー弾性」を示すことが知られている。一方、導電性高分子は軽量でフレキシブル、低コストというメリットがある。さらに、高い電気伝導性を有するため、大きな電流を流すことも可能である。導電性高分子のジュール熱を用いてエラストマーを収縮させることができれば、低電圧で駆動するソフトアクチュエータの作製が可能である。本研究では、ポリジメチルシロキサン (PDMS) からなるシリコンエラストマーと導電性高分子のポリ (3,4-エチレンジオキシチオフェン) /ポリ (4-スチレンスルホン酸) (PEDOT:PSS) を組み合わせた電熱高分子 (electrothermal polymer: ETP) アクチュエータを作製し、電気力学特性について検討した。

Fig. 1 に示すように、エラストマーを伸長したときの張力 F はケルビンの関係式で表され、第一項は内部エネルギーに起因するエネルギー弾性、第二項はエントロピーに起因するエントロピー弾性を表している。すなわち、エントロピー弾性は温度に依存し、その傾きである $(\partial F / \partial T)$ はエントロピー弾性係数として重要なパラメータとなる。そこで、PDMS エラストマーのエントロピー弾性を詳細に検討するため、延伸した状態で熱機械分析 (TMA) 測定を行った。PDMS エラストマーを延伸したときの引張ひずみ γ を変化させたときの結果を Fig. 1 に示す。 $\gamma < 10\%$ では昇温により応力が低下することから、エラストマーの熱膨張を示している。これに対し、 $\gamma > 10\%$ では昇温とともに応力が増大することから、エントロピー弾性の発現が確認された。ここで、エントロピー弾性係数は γ に比例して増加することが明らかになった。そこで、PDMS エラストマーと PEDOT:PSS を組み合わせ、ETP アクチュエータを作製した。まず初めに、50%延伸した PDMS エラストマー上に、当研究室で合成した PEDOT:PSS 水分散液とポリグリセリン (PG) の混合溶液をキャストした。これを空气中 120°C で乾燥させることで、PEDOT:PSS-PG フィルムを積層した。最後に、ひずみを取り除くことにより、PEDOT:PSS-PG/PDMS からなる ETP アクチュエータを作製した。電圧印加によりアクチュエータは収縮し、電圧を OFF にすると元の長さに回復することがわかった。

$$F = \left(\frac{\partial U}{\partial L} \right)_{p,T} - T \left(\frac{\partial S}{\partial L} \right)_{p,T} = \left(\frac{\partial U}{\partial L} \right)_{p,T} + T \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_{p,L}$$

F : Force, U : Internal energy, L : Length, S : Entropy, p : Pressure, T : Temperature

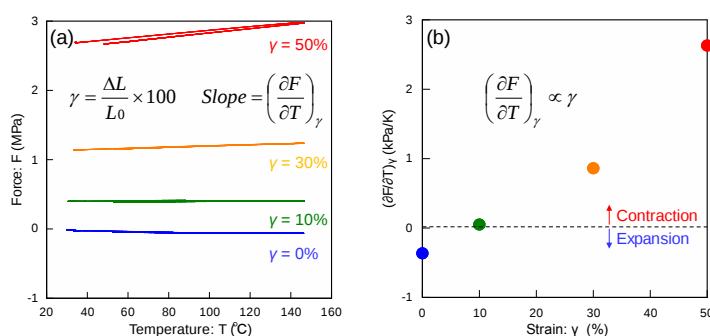


Fig. 1 (a) TMA curves of PDMS elastomer measured under various strains (γ) and (b) relationship between γ and $(\partial F / \partial T)$ for PDMS elastomer.