Column 34

2016 年 8 月 3 日

高分子アクチュエータ（2）

前回のコラム(Column 33)では，PPy を一成分とする IPN を用い，H_2O の化学的な吸収・遊離に伴い伸長・収縮する電解液フリーの高分子アクチュエータを紹介した。その最大の特徴は駆動力が IPN 構造内での H_2O の濃度勾配に基ずく点である。今回のコラムで取りあげる高分子アクチュエータは，導電性高分子の PEDOT:PSS とエラストマーであるポリジメチルシロキサン(PDMS)とからなる複層構造を持った電解液フリーのアクチュエータで，ジュール熱による H_2O の物理的な吸収・遊離によって伸長・収縮を繰り返す[1)]。最大の特徴は，センサ機能を併せ持ち，適切な外部回路により，オジギソウ類似の挙動を示すことも可能である。

１．アクチュエータの作製と作用機構

アクチュエータの製造法は Figure1b に示した。シラン化処理をしたガラス基板に PMDS のプレポリマーと硬化剤からなる溶液をスピンコート法で塗布し次いで，塗布膜をプラズマ処理して PDMS エラストマーとする。その上に，フッ素系界面活性剤である Zonyl-FS300 を 1 wt%添加した PEDOT: PSS(PH 1000)水溶液をスピンコート法で 12 層積層して複層ポリマーフィルムを製造する。PEDOT:PSS に Zonyl を添加することにより，強靭で高い電気伝導度を示す PEDOT:PSS フィルムが得られることは既に，Bao ら[2)]によって報告されている。最後に，電極として Au をスパッタしてアクチュエータを作製する。PEDOT:PSS 及び PDMS の膜厚はそれぞれ 600 nm 及び 120 nm である。

アクチュエータの作用機構は以下の通りである。

（1）外部より電流を流すとジュール熱により PEDOT:PSS フィルムの表面温度が上昇し，表面からの H_2O の遊離により収縮し，アクチュエータは PEDOT:PSS 側に湾曲する（Figure1a の右図）。

（2）電流を止めると元の位置（空気中の湿度との平衡状態）に戻る（Figure1 の中央図

（3）空気中の湿度を上げると，PEDOT:PSS が H_2O を吸収して伸長し，PMDS 側に湾曲する（Figure1a の左図）。

２．アクチュエータの性能

s1,s2 及び s3 の 3 種類の表面パターン（Figure1a の PEDOT:PSS フィルム面のパターン）のアクチュエータを作製し，片持ち梁で性能測定を行っている（Figure3b）。s1~s3 の導電パスの電気抵抗はそれぞれ 1.13, 1.63 及び 2.50 kΩ であった。s1~s3 のいずれのケースでも加える電圧と共に湾曲の程度は増加する（Figure2a）。電力量と PEDOT:PSS の表面温度との関係及び表面温度と曲率との関係をそれぞれ Figure2c 及び d に示した。電力量に比例

して表面温度は PEDOT:PSS の耐熱性の上限である 200 ⁰C まで直線的に上昇する。また，表面温度の上昇に伴い曲率が小さくなり，0.4/mm 前後が最小値と考えられる。

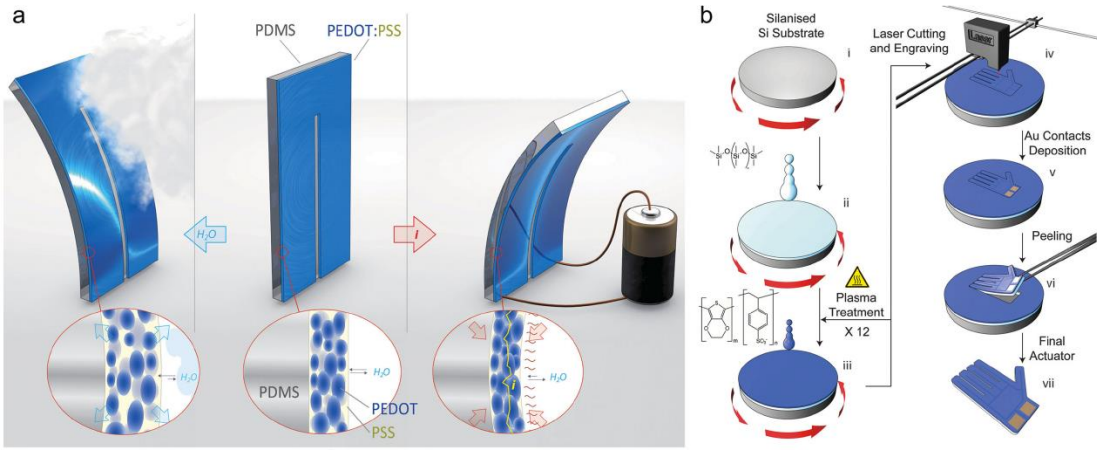

Figure 1. a) Schematic representation of the working principle behind the actuators based on the sorption/desorption of environmental moisture. b) Overview of the actuator fabrication process.

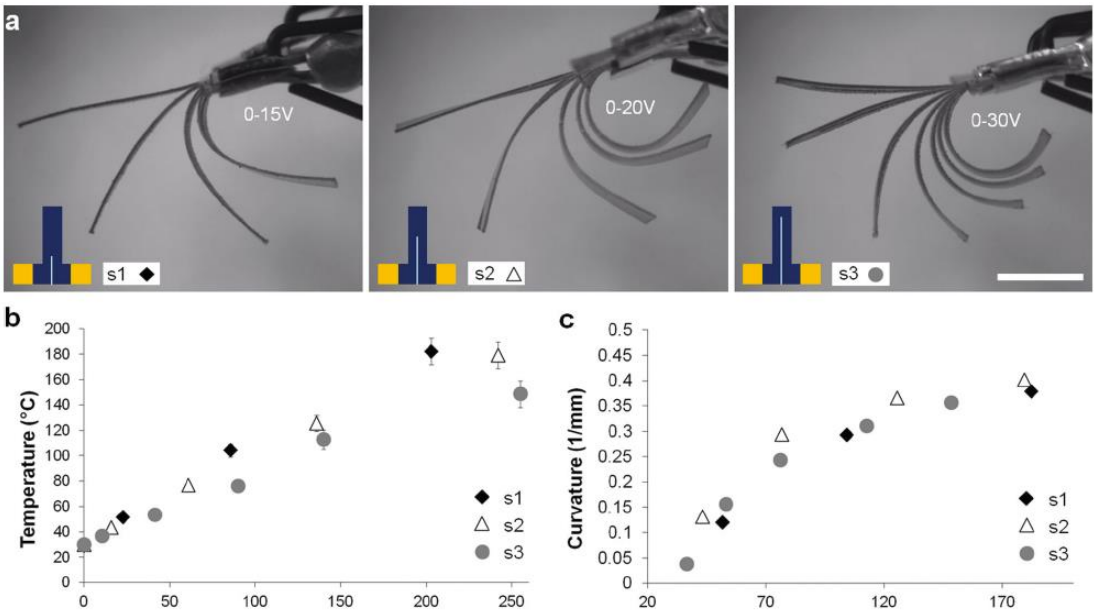

Figure 2. a) The superpositions of images taken at different input voltages for s1, s2, and s3 highlight the difference between the bending behaviors of the samples. Actuator surface temperature versus applied power. b) and curvature versus temperature c) for the three samples.

湾曲の繰り返しの安定性良好で，s3 のアクチュエータは曲率 0.35/mm まで曲げてもヒステリシスは示さない（Figure3 a）。また，同じ s3 で 20 V，0.05 Hz で繰り返した場合，1000 サイクル経過してもそのズレは僅かである（Figure3 b）。このように本アクチュエータの繰り返しの耐久性は非常に良好であるばかりでなく，自重（2.7 mg）の 12 倍のブロッキング力（32 mg）を持ち，最大 5 Hz での繰り返しが可能である。

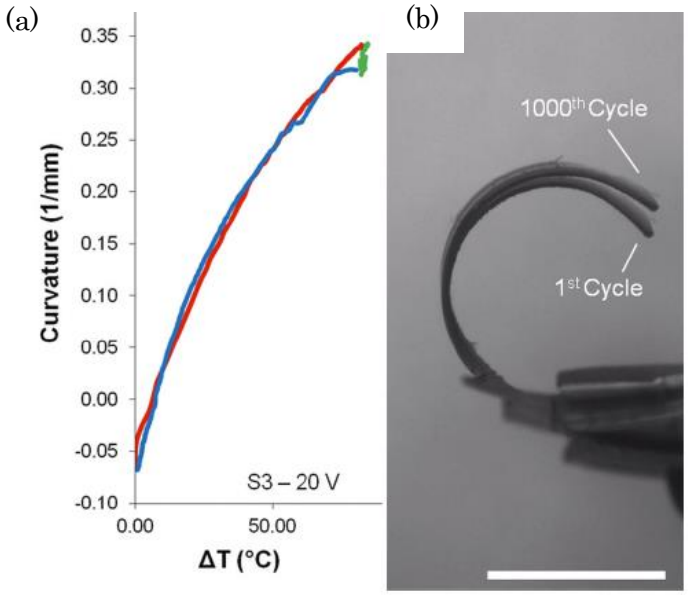

Figure3　(a) Temperature dependence of curvature g) of sample s3 in response to a step input voltage of 20 V. (b) Superposition of images taken for sample s3 before and after 1000 cycles of actuation with a square wave input voltage with a frequency of 0.05 Hz and amplitude of 20 V. All scale bars represent 5 mm..

３．多機能アクチュエータとしての性質

本アクチュエータの最大の特長はセンサとしても作用することにある。オジギソウの葉（図 4）に類似したアクチュエータを作製した。葉の一枚ずつは複層フィルムで，その表面には Figure1a と同じパターンが描かれている。微小電流を流した状態で，人が手で葉にタッチすると微小電流が変化する（Figure5 中央図）。その変化を検知して，外部回路よりアアクチュエータを作動させるのに十分な電流を供給され，ジュール熱により葉が手前側に湾曲し，オジギをした形態ととる。

図 4　オジギソウ(*mimosa pudica*)

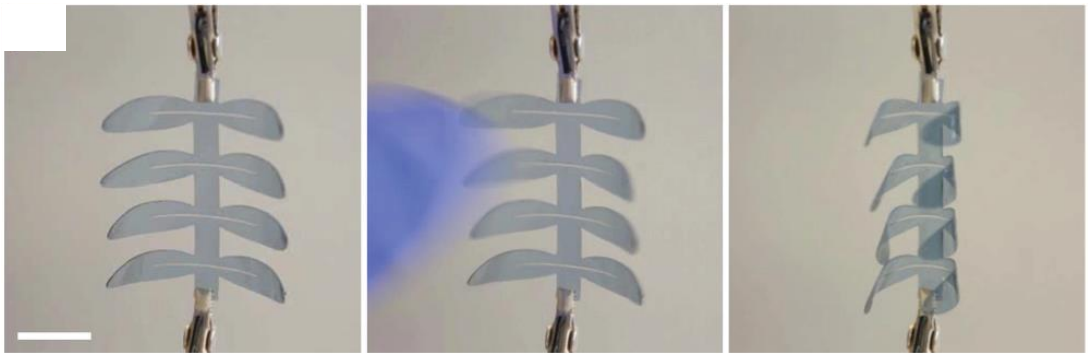

Figure 5　A leaf-shaped actuator (left) as a multifunctional system able to respond to touch stimuli (central) by closing its leaves (right). All scale bars represent 1 cm.

参考文献

[1] S. Taccola, F. Greco, E. Sinibaldi, A. Mondini, B. Mazzolai and V. Mattoli, *Adv. Mater.*, **2015**, 27, 1668

[2] a) M. Vosgueritchian, D. J. Lipomi, and Z. Bao, *Adv. Funct. Mater.*, **2012**, 22, 421, b) D. J. Lipomi, J. A. Lee, M. Vosgueritchian, B. C.-K. Tee, J. A. Bolander, and Z. Bao, *Chem. Mater.*, **2012**, 24, 373

以上

HP のトップへ：http://www5d.biglobe.ne.jp/~hightech/