

ナノゲルファイバーの合成とナノ輸送アクチュエータの創製

芝浦工業大学 工学部 機械機能工学科

前田 真吾

要旨

本研究では、刺激応答性高分子ゲルと反応拡散系を組み合わせることで得られる蠕動性高分子ゲルをナノサイズで繊維化し、微小な輸送アクチュエータを実現することを目指した。100 μm 程度の直径の繊維化ゲル内を約 0.0083mm/sec で化学波が伝播することに成功した。

1. 研究目的と成果

化学振動反応として知られている Belousov-Zhabotinsky (BZ)反応[1]を高分子ゲル内部で誘起することで、ゲルの周期的な力学振動や蠕動運動を実現することができる[2, 3, 4]。BZ反応は、全体として金属イオン存在下におけるマロン酸などの有機酸の酸化反応である。この酸化反応が進行する中で、金属イオンの酸化還元振動を観測することができる。このような金属イオンをモノマー化し、高分子ゲルの主鎖に化学的に結合させることで、振動性のゲルを合成することができる。一般的に高分子ゲルは、鎖状分子が架橋された網目構造持ち、水などの溶媒を含んだ系である。高分子ゲルは、環境変化によって溶媒を吸収したり、排出することで、その体積を大きく変化させることができる。例えば、温度応答性高分子ゲルで知られている Poly-N-isopropylacrylamide (PNIPAAm)ゲルは、33度付近において、連続もしくは、不連続な溶解性の転移を観察することができる[5]。振動性のゲル内の Ruイオンが還元状態の溶解性と、酸化状態の溶解性が変化する。つまり、ゲルの polymer-solvent 相互作用パラメータが BZ 反応によって変化した結果、ゲルの体積は酸化状態の方が還元状態より大きくなる。したがって、等温条件下においてゲルの体積は BZ 反応の金属イオンの酸化還元振動によって、周期的な膨潤・収縮を繰り返す。また、この BZ 反応は溶液全体の濃度が不均一であれば、反応が拡散し化学波と呼ばれる非線形な波を観察することができる。したがって、この波と結合したゲルは蠕動運動性を示す[2]。このゲルを繊維化し、BZ 反応によって蠕動運動させナノアクチュエータを創成することが本

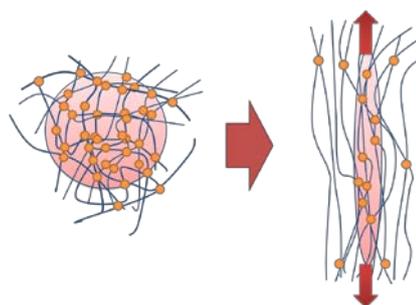


図 1. ゲルのマイクロ相分離構造



図 2. ゲルの繊維化

研究の目的である。高分子の繊維化する方法はいくつか報告されている。例えば、エレクトロスピンニング法を用いたゲルの繊維化などが挙げられる[6]。しかしながら、ES法では繊維1本を上手く取り出すことは困難であることと、ゲルの創製には条件が限定される問題がある。本研究で使用するゲルはマイクロ相分離構造を有しており(図1)、マイクロ相分離構造が外力によって伸長され繊維化する方法を提案している。

本研究では、次の手順でゲルを合成し、実験を実施した。NIPAAmモノマー0.4256g、架橋剤としてN,N'-methylenebisacrylamide (MBAA)を6mg、Ruモノマー53mg、開始剤として2,2'-azobis(isobutyronitrile) (AIBN) 6.4mgを混合し、O₂ free methanol (1.0g)に溶解させた。その後30分間スターラーで攪拌した。2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS)モノマー13.5mgをO₂-freeの純水(1.0g)に溶解させ、混合した。このモノマー溶液も30分間スターラーで攪拌し、十分に混合した。これらのモノマー溶液を混合し、さらに30分間混合した。混合後60°Cで12時間重合し、透析した。

得られた直径0.6mmのゲルに、荷重をかけ繊維化させた(図2)。約80μmの繊維を得ることができた。次に、この繊維ゲル内でBZ反応を誘起した。BZ反応溶液は、硝酸0.894M、臭素酸ナトリウム0.084M、マロン酸0.0625Mを用意した。図3は、ファイバー内を伝搬する化学波を示す。約0.0083mm/secで化学波を観察することに成功した。

2. まとめと今後の課題

本研究では、ゲルに外力を加えることで約0.13倍の直径のゲル繊維を得ることができた。さらに、このゲル繊維内でBZ反応によって誘起される化学波が約0.0083mm/secで伝播することを確認することができ、蠕動運動を実現することができたとと言える。今後の課題として、さらなるスケールダウンが可能な条件を見出すことである。

参考文献

- [1] A. M. Zhabotinsky, Chaos 1, 379 (1991).
- [2] S. Maeda, Y. Hara, R. Yoshida and S. Hashimoto, Angew. Chem. Int. Ed. 47, 6690 (2008).
- [3] S. Maeda and S. Hashimoto. Macromol. Chem. Phys., 214, 343 (2013).
- [4] S. Maeda, Y. Hara, S. Sakai, R. Yoshida and S. Hashimoto, Adv. Mater. 21, 3480 (2007).
- [5] T. Tanaka, D. Fillmore, S.-T. Sun, I. Nishio, G. Swislow, and A. Shah, Phys. Rev. Lett. 45, 1636 (1980).
- [6] S. Maeda, T. Kato, H. Kogure and N. Hosoya, Appl. Phys. Lett. 106, 171909 (2015).



図3. ゲル繊維内を伝搬する化学波の様子