

エネルギー高効率活用技術に関する研究開発

－温度応答性高分子のアクチュエーターへの利用－

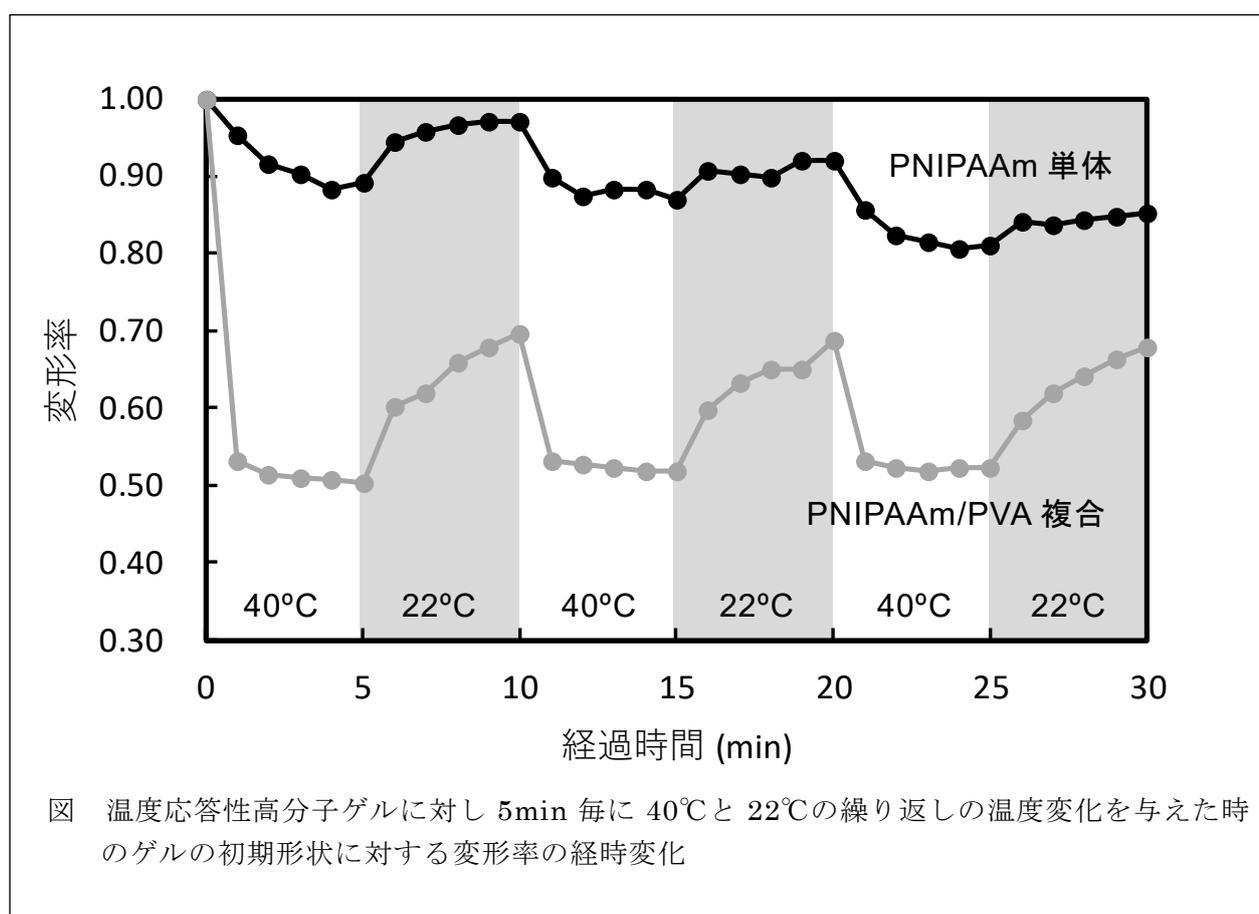
Research and development project of high-efficiency energy utilizing technique

－ Utilizing of temperature-responsive polymer for actuator －

葛西 裕、岡山 透

高分子アクチュエーターは柔らかい・軽量・静音といった特長を有し、ポンプ・マニピュレーター・カテーテル等への応用が期待されている。一方、青森県では医療機器の生産額が近年大きく上昇し、県においても青森ライフイノベーション戦略を策定し、医療福祉機器の開発に向けた研究開発支援に取り組んでいる。そこで本研究では青森県内での医療福祉関連産業の創出のために、医療機器や分析機器に使用されるマイクロポンプの駆動源として温度応答性高分子ゲルを用いた高分子アクチュエーターの適用を検討した。

ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド) (PNIPAAm) とポリビニルアルコール (PVA) とを複合化することにより温度応答性高分子ゲルを作製した。この複合ゲルは PNIPAAm 単体のゲルと比較して破断強度が 8 倍に向上した。また収縮時に対する膨張時の変形率について PNIPAAm ゲルは約 1.1 倍であったのに対して複合ゲルは 1.3 倍以上の変形率を示した。



1. 緒言

高分子アクチュエーターは柔らかい・軽量・静音といった特長を有し、ポンプ・マニピュレーター・カテーテル等への応用が期待されている。ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)(PNIPAAm)ゲルは広く研究されている温度応答性高分子ゲルであり、下限臨界溶液温度(LCST)を境に親水性と疎水性のバランスが大きく変化し体積相転移を示す¹⁾。このような性質を高分子アクチュエーターとして利用する試みがなされており、応答速度や機械的強度の向上のためPNIPAAmとポリビニルアルコール(PVA)と組み合わせた検討も行われている²⁾⁴⁾。

一方、青森県では医療機器の生産額が近年大きく上昇し、県においても青森ライフイノベーション戦略を策定し、医療福祉機器の開発に向けた研究開発支援に取り組んでいる。そこで本研究では青森県内での医療福祉関連産業の創出のために、医療機器や分析機器に使用されるマイクロポンプの駆動源として温度応答性高分子ゲルを用いた高分子アクチュエーターの適用を検討した。

2. 実験

2. 1 試料の作製

N-イソプロピルアクリルアミド 0.50g、架橋剤のN,N'-メチレン-ビス(アクリルアミド)0.010gを純水 4.0gに溶解した。これに重合開始剤のN,N,N',N'-テトラメチルエチレンジアミン 25 μ Lを加え、窒素ガスにて0.5~1hバブリングを行った。続いて氷浴中で重合開始剤の50mg mL⁻¹ペルオキシソ二硫酸カリウム水溶液 200 μ Lを加え、素早く厚さ1mmの型に流し込み室温にて1h重合を行った。得られたゲルを純水中で洗浄しPNIPAAmゲルを得た。その構造式を図1に示す。

上記と同様にPVA0.050gを含む反応溶液を重合し、得られたゲルを純水中で洗浄した後に室温にて乾燥させ、再び純水中で膨潤させることによりPNIPAAm/PVAゲルを得た。

また上記と同様にPVA0.050gを含む反応溶液を重合し、得られたゲルを純水中で洗浄し室温にて乾燥した後、160 $^{\circ}$ Cにて30minアニーリング処理を行った。これを再び純水中で膨潤させることによりPNIPAAm/PVA-Aゲルを得た。

2. 2 特性評価

引張試験は株式会社島津製作所製小型卓上試験機(EZ-L)を用いて、短冊状に切断した吸水状態のゲルに対して室温にて引張速度10mm min⁻¹にて行い、破断伸び、破断強度、および弾性率を測定した。

温度応答性試験は縦15mm×横5mmの長方形に切断した吸水状態のゲルをそれぞれ一定温度に保持した冷水(22 $^{\circ}$ C)から温水(40 $^{\circ}$ C)、続いて温水から冷水に5minごとに繰り返し移し替えた際に生じる試料の寸法変化を計測することにより行った。

3. 結果および考察

3. 1 引張特性

作製したゲルの引張試験の結果を表1に示す。PNIPAAmゲルは破断強度と弾性率が低かった。これに対して、PVAと複合化されたPNIPAAm/PVAゲルは破断強度が約4倍に向上し、破断伸びも大きかった。アニーリングを行ったPNIPAAm/PVA-Aゲルは複合化を行っていないPNIPAAm

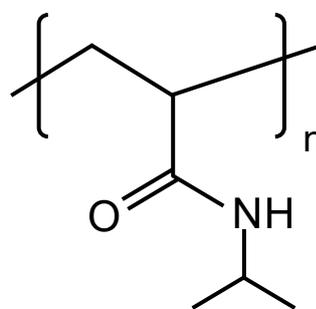


図1 ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)の構造式

表 1 各温度応答性高分子ゲルの破断伸び、破断強度、および弾性率

試料	破断伸び (%)	破断強度 (kPa)	弾性率 (kPa)
PNIPAAm	82	10	15
PNIPAAm/PVA	125	37	29
PNIPAAm/PVA-A	93	80	84

ゲルよりも破断強度が約 8 倍に大きく向上した。これはアニーリングにより PVA が結晶化され物理架橋が生じるためである。これにより PVA との複合化とアニーリング処理によりゲルの強度が向上することが確認された。

3. 2 温度応答性

各ゲルに対し 5min 毎に 40℃と 22℃の繰り返しの温度変化を与えた時のゲルの長辺の初期形状 (15mm) に対する変形率の経時変化を図 2 に示す。PNIPAAm は 32℃付近に LCST を示すのでいずれのゲルも LCST を境に体積変化が生じ、40℃では収縮、22℃では膨張することが観察された。各ゲルの温度変化の 1 サイクル目が終了した時間 (10min) の形状に対する 2 サイクル目 (20min)、および 3 サイクル目 (30min) の終了時の形状の変化率を図 3 に示す。PNIPAAm/PVA ゲルと PNIPAAm/PVA-A ゲルはサイクル数が増えても形状変化は非常に小さいが、PNIPAAm ゲルはサイクル数が増えるに従い形状が縮小する傾向を示した。これは PNIPAAm ゲルの温度による形状変化が非常にゆっくりであるため、5min の温度保持では変形が平衡に達しないためである。図 4 に各サイクルにおける収縮時に対する膨張時の形状の変化率を示す。PNIPAAm ゲルは変化率が 1.1 倍以下であり非常に小さいが、PNIPAAm/PVA ゲルでは約 1.2 倍、PNIPAAm/PVA-A ゲルでは 1.3 倍以上の変化率を示した。PNIPAAm ゲルが相転移し体積変化が生じる際には、膨張の場合にはゲルへの吸水が、収縮ではゲルからの排水が生じる。そのため、素早い体積変化のためにはこの吸水と排水がスムーズに行われる必要がある。PNIPAAm ゲルに対して PNIPAAm/PVA ゲルと PNIPAAm/PVA-A ゲルが素早く大きな形状変化を示したことは、PVA を複合化させることによりゲル中に吸排水に寄与する水の伝導パスが形成された可能性が考えられる。

4. 結言

本研究では、PNIPAAm と PVA とを複合化しアニーリング処理を行うことにより温度応答性高分子ゲルを作製した。このゲルは PNIPAAm 単体のゲルと比較して、力学強度が大きく向上し温度変化に対する形状変化率と変化速度が大きく向上した。アクチュエーターへの適用を考慮した場合には、収縮膨張のサイクルに分単位の時間を要することから、素早い応答が必要な用途よりもマイクロポンプなどのゆっくりとした駆動への適用が適していると考えられる。

5. 参考文献

- 1) T. Hirokawa and T. Tanaka, *J. Chem. Phys.*, **81**, 6379 (1984).
- 2) S.J. Kim, S.J. Park, S.M. Lee, Y.M. Lee, H.C. Kim, and S.I. Kim, *J. Appl. Polym. Sci.*, **89**, 890 (2003).
- 3) T. Hashiguchi, A. Matsuoka, Y. Kurose, and M. Higa, *Trans. Mat. Res. Soc. J.*, **28**, 821 (2003).
- 4) M. Higa, Y. Kurose, A. Matsuoka, K. Hatemura, K. Matsusaki, and N. Endo, *Trans. Mat. Res. Soc. J.*, **29**, 2607 (2004).

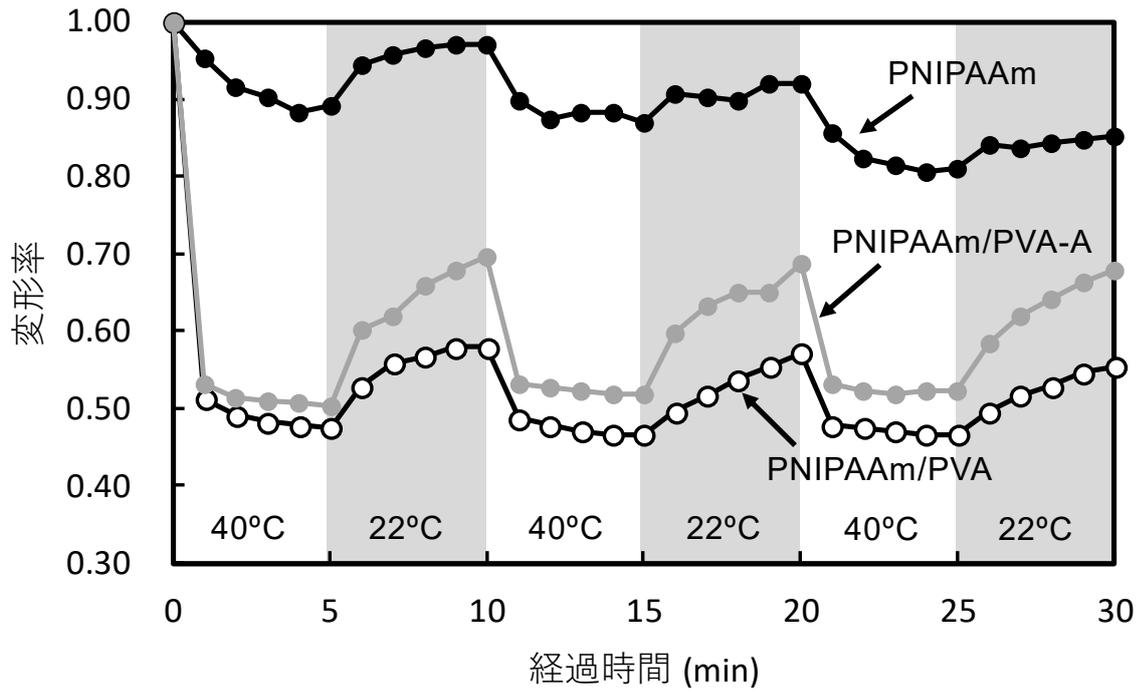


図2 各温度応答性高分子ゲルの初期形状に対する変形率の経時変化

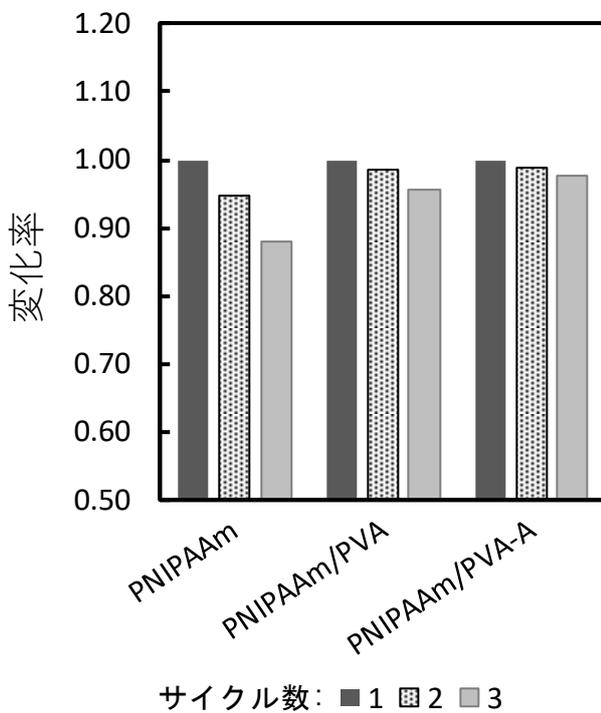


図3 1サイクル目終了時に対する各サイクル終了時の形状変化率

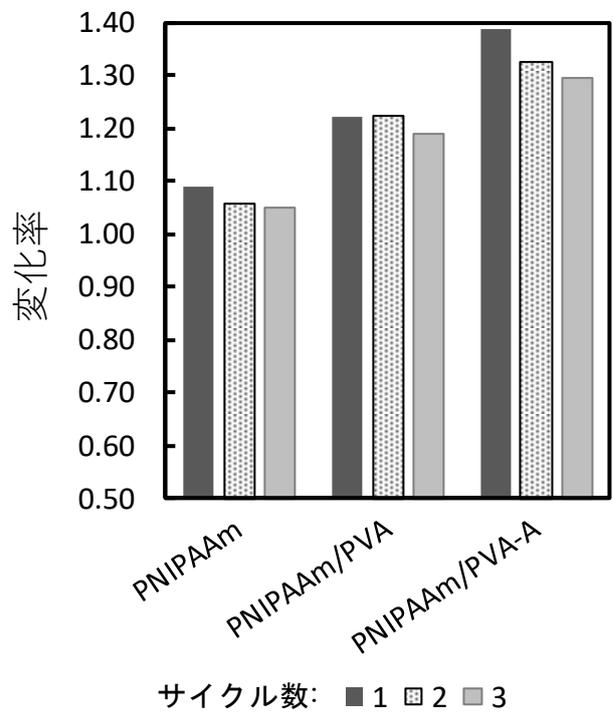


図4 各サイクルにおける収縮時に対する膨張時の形状変化率