

研究助成研究成果報告書

令和 5 年 9 月 20 日

公益財団法人江野科学振興財団
理事長 江野 眞 一 郎 殿

貴財団より助成のありました研究の成果について下記のとおり報告します。

申請者名 雨森 翔悟



記

1.研究課題名

和 文 添加剤による物理架橋制御を利用した刺激応答性エラストマーの開発
英 文 Development of stimuli-sensitive elastomer by controlling physical cross-links with additives

2.申請者名(代表研究者)

氏 名 雨森翔悟	ローマ字表記 Shogo Amemori
所属大学・機関名 金沢大学	英訳表記 Kanazawa University
学部・部課名 ナノマテリアル研究所	英訳表記 NanoMaterials Research Institute
役職名 助教	英訳表記 Assistant Professor

3.共同研究者（下段 英訳表記）

氏 名	所属機関名・学部名・役職
(氏 名)	
(英訳表記)	(英訳表記)
(氏 名)	
(英訳表記)	(英訳表記)
(氏 名)	
(英訳表記)	(英訳表記)
(氏 名)	
(英訳表記)	(英訳表記)

4. 英文抄録 (300 語以内)

Temperature-responsive polymers with lower critical solution temperature (LCST) undergo aggregation and phase separation when heated in solutions. Many reports have confirmed that hydrogel materials, which consist of polymers with LCST, harden when heated above the phase transition temperatures and soften when cooled below these temperatures. However, only polymer gels containing solvents exhibit this behavior. Therefore, the purpose of this research is to develop polymer materials without solvents that exhibit such responsiveness.

In this study, we focused on a system consisting of thermoplastic elastomer and additives that disrupt the physical crosslinks of the polymer through non-covalent bonds at a low temperature. The non-covalent bonds weaken at a high temperature, decreasing the inhibition of physical crosslinking by the additive and consequently toughening the polymer.

To achieve the above concept, we used PDMS polyurea with naphthalene moiety as the thermoplastic elastomer and pyromellitic diimide derivative as the additive. The additive exhibits charge-transfer interaction with the naphthalene moiety. Consequently, the mixed film containing the additive and the polyurea undergoes less softening when heated compared to the film of polyurea alone. However, toughening by heating has not been achieved. In future, polyurethane using naphthalene diimide moieties as a thermoplastic elastomer and pyrene derivative as an additive should be utilized to prove our concept and develop a temperature-responsive elastomer that hardens upon heating and softens upon cooling.

5. 研究目的

加熱で硬く、冷却で再び柔らかく可逆的に変化する材料は一般的な材料のイメージと大きく異なっている。一方、溶媒（特に水）で膨潤した高分子ゲルにおいて、加熱で硬化し冷却で軟化する温度応答性高分子ゲル材料が多数報告されている。この現象は相転移温度より高温で凝集・相分離が生じる下限臨界共溶温度（LCST）型の温度応答性を利用しており、低温で溶媒と混和した状態は柔らかいが、高温で相分離が生じ高分子鎖が凝集することで、硬化する仕組みである。この LCST 型の温度応答性は、低温で高分子鎖に溶媒和していた水分子が、高温で水分子・高分子間の相互作用が切断され、脱溶媒和することで生じる。したがって、相溶による柔らかさと、溶媒和・脱溶媒和を担う水分子（溶媒分子）の存在が不可欠となる。水などの溶媒を含まない高分子で加熱すると硬くなり、冷却すると再び硬くなる現象を発現させることができれば、上述材料の新しい用途開発に繋がる。そこで本研究では熱可塑性エラストマーに着目し、添加剤を用いた二成分系で加熱によって硬くなる刺激応答性（温度応答性）エラストマーを開発することを検討した。

熱可塑性エラストマーは非共有結合によって物理架橋を形成する高分子鎖（ハードセグメント）と柔軟な高分子鎖（ソフトセグメント）が連結された高分子である。物理架橋が形成される条件ではゴム弾性を示す固体であるが、物理架橋を形成する非共有結合が切断されるような条件では溶融状態となる。したがって、物理架橋が硬さに大きな影響を与えている。ここで、低温時には物理架橋を阻害し軟化させ、高温時に物理架橋から脱離し硬化させる添加剤を熱可塑性エラストマーに添加することができれば加熱によって硬くなり、冷却によって柔らかくなることが期待される。本研究では、上述のようなメカニズムを達成可能な添加剤と熱可塑性エラストマーを探索することで、加熱によって硬くなる温度応答性エラストマーの開発を目指した。

6.研究内容及び成果の本文

別紙に作成添付してください。(冒頭に所属、氏名、研究課題を記載ください)

7.今後の研究の見通し

電子ドナー部位としてナフタレン部位を有するポリウレアに電子アクセプター性の芳香族化合物を添加することで、物理架橋阻害による軟化が示唆された。また添加剤を添加した混合膜では加熱による軟化が、ポリウレア単体と比べて抑制されていることが示された。一方で、本研究の狙う加熱による硬化までは達成できていない。現在、添加剤をより多く添加可能なナフタレンジイミド部位を有するポリウレタンの合成に成功しており、今後力学特性の評価と、結果を踏まえた分子設計の最適化を行う予定である。これにより本研究のコンセプトの実証、加熱によって硬くなり、冷却によって軟化する温度応答性エラストマーの開発を目指す。

8.本助成金による主な発表論文、著書名

浜元涼輔, 雨森翔悟, 重田泰宏, 栗原拓也, 井田朋智, 水野元博「添加剤との電荷移動相互作用を利用した熱可塑性 PDMS エラストマーの力学特性制御」第 71 回高分子年次大会, 2022 年 5 月 25 日・27 日, オンライン開催

[注 1] 本報告書は、助成金を受けた翌年 9 月末までに必ず提出してください。

[注 2] (お願い)印刷物の郵送と電子媒体の添付ご提供をお願いします。インターネットメールでの送付を歓迎します。<E-Mail: enozaidan@kokoku-intech.com>

[注 3] この報告書を当財団のホームページに掲載させていただきますので、予めご了承ください。