研究助成研究成果報告書

令和　8年　9月　25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
呉羽　拓真　　印

記

1.研究課題名

和 文 高分子側鎖を基盤とした架橋エラストマー材料の力学特性制御
英 文 Controlling the mechanical properties of crosslinked elastomer materials based on polymer side chains

2.申請者名(代表研究者)

氏 名 呉羽　拓真	ローマ字表記 Kureha Takuma
所属大学・機関名 弘前大学大学院	英訳表記 Hirosaki University
学部・部課名 理工学研究科	英訳表記 Graduate School of Science and Technology
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）

We developed solvent-free elastomer materials based on poly(oligo ethylene glycol methacrylate) (pOEG) by simply drying hydrogels synthesized through aqueous free-radical polymerization. The effects of ethylene oxide (EO) side-chain length on the structure and mechanical properties of the resulting elastomers were systematically investigated. Elastomers with short EO side chains, OEG(S) (n = 4 or 5), remained transparent and flexible after drying and exhibited large extensibility. In contrast, elastomers with long EO side chains, OEG(L) (n = 19 or 20), became opaque and rigid, showing a Young's modulus several orders of magnitude higher than that of OEG(S). X-ray diffraction and differential scanning calorimetry revealed that the long EO side chains formed polyethylene glycol-like crystalline domains with a melting temperature of approximately 40 °C. These crystalline domains act as physical crosslinking points that reinforce the covalently crosslinked polymer network.

Furthermore, copolymerization of crystalline OEG(L) with amorphous OEG(S) enabled control of crystallinity and mechanical properties over a wide range. A marked change in mechanical behavior was observed around an OEG(L) content of 50–60 mol%. The crystalline structure was also found to be thermally tunable: heating induced melting of the side-chain crystals and softening of the elastomer, whereas cooling promoted crystallization and mechanical reinforcement. These results demonstrate that side-chain crystallization can be utilized as a dynamic physical crosslinking mechanism and provide a new molecular design strategy for controlling the mechanical properties of water-derived elastomer materials.

5.研究目的

本研究では、側鎖にエチレンオキシド（EO）基を有する poly(oligo ethylene glycol methacrylate)（pOEG）を基盤として、水系で合成したハイドロゲルを乾燥させるのみで得られる溶媒フリーエラストマーを創製し、高分子側鎖の構造とエラストマーの力学特性との相関を明らかにすることを目的とした。pOEG は親水性の EO 側鎖を有するため水中で架橋高分子ネットワークを形成できる一方、比較的低いガラス転移温度を有することから、水を除去した後も柔軟なエラストマーとして利用できる可能性がある。そこで、EO 側鎖長の異なる pOEG ハイドロゲルを水系フリーラジカル重合により合成し、乾燥によってエラストマー化するとともに、側鎖長が内部構造および力学特性に及ぼす影響を評価した。さらに、結晶性を示す長鎖 EO 側鎖と非晶性の短鎖 EO 側鎖を組み合わせることで、側鎖結晶化を利用した力学特性制御を実現し、環境調和型かつ高機能なエラストマー材料の分子設計指針を確立することを目指した。

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

今後は、本研究で明らかにした側鎖結晶化を物理架橋点として利用するという設計概念をさらに発展させ、pOEG エラストマーの力学特性をより精密に制御することを目指す。まず、長鎖 OEG と短鎖 OEG の共重合比、架橋密度、乾燥条件および熱処理条件を系統的に変化させ、結晶化度、結晶サイズ・分布と弾性率、破断伸び、破断応力などの力学特性との定量的な相関を明らかにする。特に、本研究では OEG(L)含有率 50～60 mol%付近で力学特性が大きく変化することが示されたことから、この組成領域における結晶形成と高分子ネットワーク構造との関係を詳細に解析する。

さらに、約 40 ℃で生じる側鎖結晶の融解と、冷却による再結晶化を利用し、熱履歴による力学特性変化の再現性、可逆性および繰り返し耐久性を検証する。これにより、使用温度や環境に応じて硬さや柔軟性が変化する温度応答型エラストマーへの展開を図る。また、本助成期間中の関連研究から、側鎖長だけでなく側鎖末端官能基や分子間相互作用も架橋高分子の力学特性を大きく左右することが明らかになった。今後は、側鎖長、結晶性、末端官能基を組み合わせた分子設計へと展開し、ハイドロゲルから溶媒フリーエラストマーまでを統一的に設計できる新たな架橋高分子材料の構築を目指す。

8.本助成金による主な発表論文、著書名

Takuma Kureha*:
“Multiscale design of hydrogel networks via hydrophilic side-chain length control”
Polymer Journal, accepted, DOI: 10.1038/s41428-024-00929-2 (2026)

Yuka Wakayama, Taku Sakurai, Takahiro Okabe, Takuma Kureha*:
“Supramolecularly interactive terminal side chains enhance robustness of hydrogel materials”
Chemical Communications, 62, pp12668-12672 (2026)

［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。**

※当財団へのご意見・ご要望がございましたら、下記へご記入ください。
お寄せいただいたご意見・ご要望は今後の参考にさせていただきます。

このたびは、本研究に対し多大なるご支援を賜り、誠にありがとうございました。貴財団からの助成により研究を大きく進展させることができ、学会発表や論文発表にもつなげることができました。心より御礼申し上げます。今後も本助成による成果をさらに発展させてまいります。

アンケートへのご協力ありがとうございました。

以 上