研究助成研究成果報告書

令和８年　９月　22 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

麻生　隆彬　　印

記

1.研究課題名

和 文 親油性ネットワークと親水性ネットワークの接着によるオルガノハイドロゲルの立体造形
英 文 Fabrication of Organohydrogel by Adhesion of Oleophilic and Hydrophilic Networks

2.申請者名(代表研究者)

氏 名 麻生　隆彬	ローマ字表記 Taka-Aki Asoh
所属大学・機関名 東京理科大学	英訳表記 Tokyo University of Science
学部・部課名 先進工学部マテリアル創成工学科	英訳表記 Department of Materials Science and Technology, Faculty of Advanced Engineering
役職名 教授	英訳表記 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）

Living organisms exhibit sophisticated functions through the integration of hydrophilic and lipophilic tissues. While hydrogels have been extensively studied as biomimetic soft materials, many biological components, including lipid membranes, cholesterol-rich structures, and adipose tissues, are intrinsically lipophilic. Therefore, the development of organohydrogels consisting of both hydrogel and organogel networks is important for constructing biologically inspired functional materials. However, the fabrication of organohydrogels remains challenging because direct adhesion between hydrogels and organogels is difficult.

In this study, we developed an electrophoretic adhesion method for assembling hydrogels and organogels into three-dimensional organohydrogel structures. The method utilizes an electric field to induce the migration of oppositely charged polyelectrolytes toward the contact interface, where a polyion complex (PIC) is formed as an adhesive layer. To extend this technique from hydrogels to organogels, interfacial conductivity was enhanced through solvent mixing or emulsification at the hydrogel-organogel interface.

Cationic organogels swollen with DMSO were successfully adhered to anionic hydrogels by electric-field application. Furthermore, electrophoretic adhesion was achieved between anionic hydrogels and oleogels swollen with vegetable oil by either primer treatment with a surfactant solution or incorporation of amphiphilic poly(ethylene glycol) chains into the oleogel network. The resulting adhesion was stable in both aqueous and oily environments and could be controlled by the applied electric field.

The organohydrogels fabricated by this method were further utilized to create photothermal actuators responsive to near-infrared light. In addition, selective accumulation of fluoropolymers and cellulose nanocrystals on hydrogel surfaces enabled the fabrication of adhesive and antifouling functional surfaces. These results demonstrate that electrophoretic adhesion provides a versatile strategy for integrating hydrophilic and lipophilic polymer networks, offering a new platform for three-dimensional organohydrogel fabrication and multifunctional soft materials inspired by biological systems.

5.研究目的

生命体を構成する成分として水は極めて重要であり、水を大量に含むハイドロゲルは生体組織のモデル材料として盛んに研究されている。一方で、生体を俯瞰すると、細胞膜を構成する脂質二重膜やコレステロール類は親油性成分であり、脂肪組織は油脂を含むオルガノゲルとみなすことができる。脂肪組織は外部からの衝撃を吸収して重要な器官を保護するだけでなく、優れた断熱性によって体温を維持し、生体のエネルギー貯蔵庫としても機能している。このように生体は、親水性組織と親油性組織が複雑に複合化することで高度な機能を発現している。しかし、ハイドロゲルとオルガノゲルが一体化したオルガノハイドロゲルの研究は限定的であり、その構造体を自在に構築する手法も十分に確立されていない。

我々はこれまで、難接着材料であるハイドロゲルの接着制御法を開発し、接着を基盤とした立体造形技術を提案してきた。具体的には、カチオン性ハイドロゲルとアニオン性ハイドロゲルに電場を印加することで、高分子電解質を接触界面へ電気泳動させ、形成したポリイオンコンプレックスを接着層として利用する電気泳動接着法を開発した。本手法は任意のタイミングで接着界面を形成できるため、要素部材を組み立てるようにハイドロゲルを三次元的に集積でき、ソフトアクチュエーターや機能性ゲル材料の創製へ展開してきた。

そこで本研究では、電気泳動接着法をオルガノゲルへ展開し、ハイドロゲルとオルガノゲルの接着制御法を開発することで、両者を三次元的に集積したオルガノハイドロゲルを立体造形することを目的とした。さらに、生体にみられる親水環境と親油環境の複合構造を模倣し、接着によって形成したオルガノハイドロゲルを基盤として、フォトサーマルアクチュエーターや機能性ハイドロゲル表面を創製し、新たな生体模倣型ソフトマテリアルへの展開を目指した。

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

本研究では、電気泳動接着法を利用して親水性ネットワークと親油性ネットワークを接着し、オルガノハイドロゲルを一体的に構築できることを示した。本成果は、異なる溶媒環境で機能するソフトマテリアルを統合する新たな材料設計指針を与えるものである。今後は、本研究で確立した接着技術を発展させることで、より複雑な三次元構造を有するオルガノハイドロゲルの造形が可能になると期待される。これまでに報告してきたマイクロビーズ化ゲルの三次元接着技術と組み合わせることで、親水性ゲルビーズと親油性ゲルビーズを最小構成単位とする階層構造体や、生体組織に類似した機能分化型ソフトマテリアルの構築が可能になると考えられる。

さらに、接着位置や接着順序を制御することで、異なる機能を有するゲルを自在に集積したボトムアップ型立体造形技術への発展が期待される。また、本研究ではフォトサーマルアクチュエーターの作製や表面機能化への応用を示したが、今後は導電性、光応答性、接着性、生体適合性などの異なる機能を有するネットワークを組み合わせることで、多機能ソフトロボットや刺激応答性デバイスへの展開が期待される。親油性ネットワークを薬剤保持層や機能材料層として利用し、親水性ネットワークを生体界面や刺激応答層として組み合わせることで、単一材料では達成できない複合機能の発現が可能になると考えられる。さらに、電気泳動接着による物質輸送能を活用することで、ゲル表面の機能化や界面設計にも展開できる。フッ素ポリマーやセルロースナノクリスタルの選択的集積を発展させることで、抗汚染性、生体接着性、センシング機能を有する高機能界面材料の開発も期待される。

以上より、本研究で開発した親油性ネットワークと親水性ネットワークの接着技術は、オルガノハイドロゲルの立体造形を実現する基盤技術として位置付けられる。今後は三次元造形技術との融合や多機能ネットワークの集積化を進めることで、生体模倣材料、ソフトロボティクス、機能性界面材料など幅広い分野への展開が期待される。

8.本助成金による主な発表論文、著書名

1. Yoshiaki Kobayashi, Tatsumi Shigenari, Syuuhei Komatsu, Akihiko Kikuchi, Taka-Aki Asoh*
“Adhesion of Hydrogels to Fluoropolymers by Electrophoretic Fluoropolymer Coating”
Macromol. Rapid Commun. DOI: 10.1002/marc.70414 (2026)

2. Taka-Aki Asoh*, Megumi Nakamura, Tatsuki Koshikawa, Tatsuya Shoji, Yoshiaki Kobayashi, Yutaro Arai, Yasuo Kogo, Yasuyuki Tsuboi
“Programmable Photothermal Hydrogel Actuators Enabled by Adhesion”
Macromol. Chem. Phys. **227**, e00004 (2026)

3. Taka-Aki Asoh*, Yuka Kashihara
“Cellulose-Nanocrystal-Promoted Underwater Superoleophobic Wrinkles on Hydrogel Surfaces”
Adv. Mater. Interfaces **12**, e00555 (2025)

［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ﾍﾟｰｼﾞ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。

特に要望等はございません。貴財団理事長ならびに関係各位のご支援・ご尽力により、本研究を円滑に遂行することができました。貴重な研究機会を賜りましたことに深く感謝申し上げます。今後とも貴財団のますますのご発展をお祈り申し上げます。

アンケートへのご協力ありがとうございました。

以 上