

補助事業番号 2024M-427

補助事業名 2024年度 湿潤環境でも使用できる耐水性に優れた高分子イオン液体ゲル型
ウェアラブル歪みセンサーの開発 補助事業

補助事業者名 岡山大学 渡邊貴一

1 研究の概要

補助事業者が近年開発した超高分子量高分子イオン液体ゲルを基盤材料として用いて、機械的強度に優れ、湿気や乾燥に強く、さらには水中でも機能する、肌に密着可能な革新的なゲル型歪みセンサーを開発する。

2 研究の目的と背景

Internet of Things (IoT)機器やビッグデータなどの情報通信技術の著しい発展に伴い、生体情報を計測する技術の重要性が増している。なかでも体の動きや検知するウェアラブル歪みセンサーとして、柔軟で肌にも馴染むハイドロゲルが注目されている。精度良く生体計測するには、センサーを直接測定対象に接触させることが重要となる。ハイドロゲル型歪みセンサーはスポーツ科学、リハビリ、バイオメカニクス研究、医療における患者の生体反応モニタリングなどへの応用が期待されている。しかし、ハイドロゲル型歪みセンサーは機械的強度が低い、湿度に弱い、乾燥しやすい点はその長期使用の課題となっている。より機械的強度と感度に優れ、水にも強く、肌にも密着する新しいゲル型歪みセンサーの開発が求められている。

近年、補助事業者は疎水性の架橋高分子イオン液体(PIL)ネットワークに、疎水性ILを膨潤した新しいタイプのイオンゲル(PILゲル)を開発した。このゲルは、高イオン伝導性、不揮発性、 -30°C から 400°C の熱安定性、水中で膨潤しないという特徴を有する。また、ナノ材料を加えると、ダブルネットワーク(DN)構造が形成され、機械的強度が大幅に向上することもわかった。さらに、イオンゲルを作る際のイオン液体モノマーの構造や重合条件を工夫することで、架橋剤を使わずに超高分子量のPILゲルの作製に成功した。このゲルは、高強度かつ伸びやすく、室温で瞬時に自己修復する能力がある。本補助事業では、自己修復性超高分子量PILゲルのウェアラブル歪みセンサー評価を目的とする。

3 研究内容

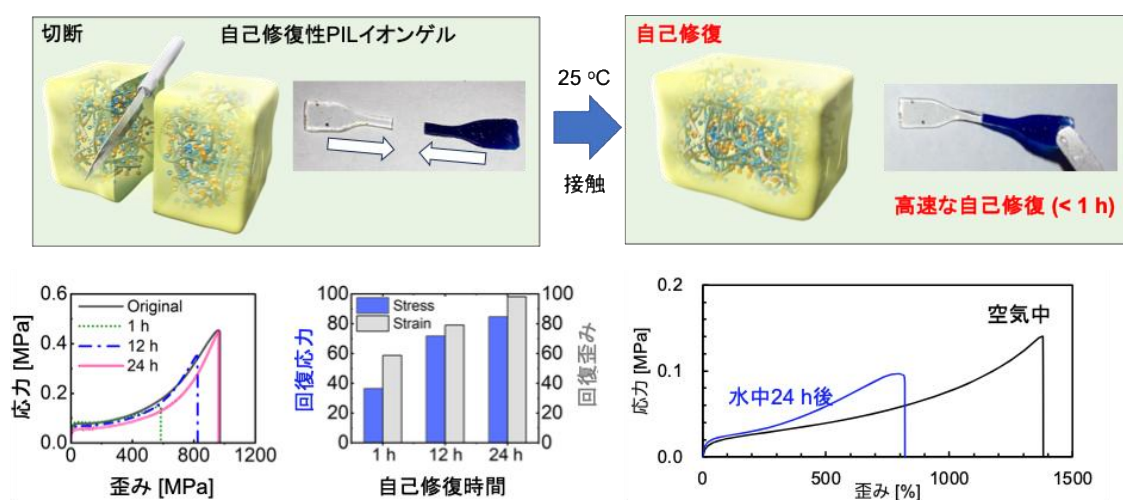
(1) 湿潤環境でも使用できる耐水性に優れた高分子イオン液体ゲル型ウェアラブル歪みセンサーの開発

<http://achem.okayama-uac.jp/interface/master/wp-content/uploads/2025/05/723f561586ec81ed542777980c84178c.pdf>

① 空気中・水中でも、機械的性質に優れたPILゲルの開発に関する研究

補助事業者が開発してきた疎水性高分子イオン液体の合成プロセスを基盤として、モノマー構造とイオン液体(溶媒)種、それらの濃度を変更したイオンゲルを作製した。図1に

は、作製した自己修復性PILイオンゲルの機械的性質の評価結果を示す。自己修復性に特化したイオンゲルは、優れたタフネスを示すことが確認された。また、このイオンゲルを切断し、25 °Cで破断面を接触しておく、10分以内にバルク界面の自己修復が完了し、24時間後には力学特性が9割程度回復することがわかった。しかし、このゲルは水中に浸漬した後、自己修復性を失った。調査の結果、この原因は、疎水性であるものの、このゲルが水を吸い、高分子鎖の一部を凝集しているためと推察された。そこで、このモノマーまたはILを変更し、ゲルの疎水性を向上させたところ、水中でも取り扱い可能なゲルが得られた。このゲルは水中でも自己修復性を示し、破断応力と破断歪みが約60%程度回復することが確認された (図



1, 2)。以上より、耐水性に優れた自己修復性PILイオンゲルの開発に成功した。



図1. 作製した自己修復性PILイオンゲルの機械的性質 (一例)

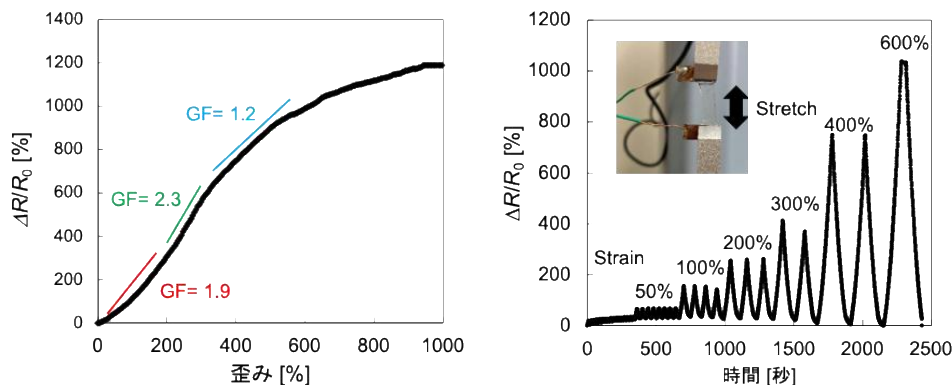
図2. 作製した自己修復性PILイオンゲルの水中における自己修復

②開発した材料を用いた、空气中・水中における歪みセンサー機能および耐久性評価

作製したイオンゲルを引張試験機と抵抗測定器に接続し、一軸引張下で抵抗変化比 ($\Delta R/R_0$) を測定した (図3)。結果として、歪みに応じた抵抗値の増加が観察され、ゲージファクター (GF) は1.0~2.5の範囲であった。これは、導電性高分子ゲル材料として実用的な範囲にあり、外部応力に応じた電氣的応答性を有することを示している。GF値の違いは歪みの

程度やイオン移動の程度に依存すると考えられ、応答の直線性も良好であった。

図4のように、実際に人の「指」、「手首」、「ひじ」にイオンゲルを装着し、日常的な動作における応答性を評価したところ、いずれの部位でも運動に応じた明瞭な抵抗変化が観測された。特に、可動域の広い「ひじ」においてもゲルが破断せず、安定したセンサー応答を



示したことから、本材料が柔軟性と耐久性に優れていることが示唆された。

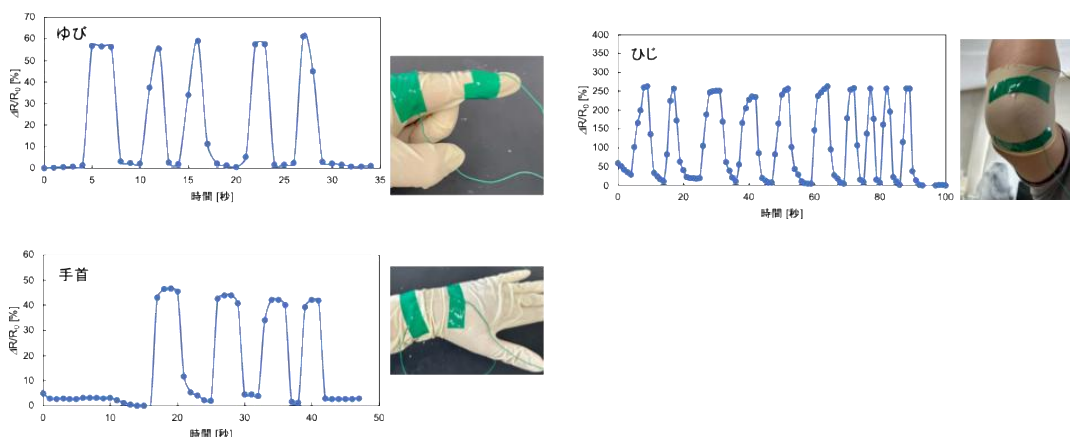


図3. 作製した自己修復性PILイオンゲルの歪みセンサー機能評価

図4. 作製した自己修復性PILイオンゲルの歪みセンサー装着時の応答性評価

③ PILゲル型歪みセンサーのスケールアップ製造

本研究ではPILイオンゲルをUV照射によるラジカル重合で調製している。特にUV照射時にゲルフィルムのサイズと厚みを規定するために、モールドを使用している。そのシリコンモールドのサイズとプレートの厚みを変えることにより、PILイオンゲルのスケールアップ検討を試みた。その結果、研究室所有のモールドにおいてサイズとしては20 cm x 20 cmで、0.1 mm厚みのゲル膜をこれまでと同一重合条件で作成できることがわかった。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で開発された超高分子量高分子イオン液体（PIL）ゲル型歪みセンサーは、既存のハイドロゲルセンサーでは困難だった「高い機械的強度」「湿潤耐性」「自己修復性」などの要求を同時に解決し得る、新たな材料基盤を提供するものである。これらの特徴を活かし、海洋探索やウェアラブルデバイスへの展開が期待される。具体的には、生体の関節部や筋肉の動きをモニタリング可能な柔らかいセンサーとして、海洋生物の運動解析や医療リハビリテーションの運動解析への応用が期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者は、イオン液体の材料化研究の一環として、PILイオンゲルの強靱化や機能の重畳化について研究してきた。本研究は、最近開発した耐水性と自己修復性を兼ね揃えたPILイオンゲルが様々な人体部位に装着可能な歪みセンサーとして機能することを実証したものと見える。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

該当なし。

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

研究内容紹介リーフレット

<https://x.gd/UaYNk>

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし。



8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域

(オカヤマダイガクガクジュツケンキュウインカンキョウセイメイシゼンカガクガクイキ)

住 所： 〒700-8530

岡山県岡山市北区津島中3-1-1

担 当 者： 准教授 渡邊 貴一（ジュンキョウジュ ワタナベ タカイチ）

担 当 部 署： 界面プロセス工学研究室（カイメンプロセスコウガクケンキュウシツ）

E - m a i l: wata-t@okayama-u.c.jp

U R L: <http://achem.okayama-u.ac.jp/interface/>