



効率的な自己修復性と接着特性を備えた 動的架橋複合ハイドロゲルセンサーの開発

工学研究科 応用化学専攻

准教授 徐 于懿

 <https://researchmap.jp/yuihsu>

研究の概要

リグニンスルホン酸 (LS) - Fe^{3+} 、3-アクリルアミドフェニルボロン酸 (APBA) とセルロースナノクリスタル (CNC) の可逆的非共有結合架橋を利用した「ワンポット」法により、多機能ハイドロゲルを開発した。LS- Fe^{3+} 動的触媒システムにより、アクリルアミド (AM)、アクリル酸ナトリウム (AAS)、APBA がアンモニウムパーサルフェート (APS) を開始剤として室温で迅速に共重合できた。水素結合、APBA と CNC 間のボロン酸エステル結合、および Fe^{3+} とポリマー鎖の金属-配位子錯体化の相乗効果により、ハイドロゲルには効率的な自己修復特性が付与されている。また、AAS は物理的な架橋を提供し、優れた強靱性と圧縮特性を示した。さらに、LS によって生成される中間カテコール基は、ハイドロゲルに繰り返し自己接着特性を付与した。

研究の背景と結果

柔らかい電子材料として広く使用されている導電性ハイドロゲルは、水分含有量を調整できる3次元ネットワーク構造で形成され、人間の表皮を模倣して外部刺激からの信号を感知することができる。従来の無機フィラー（金属、金属酸化物、炭素フィラーなど）が埋め込まれたハイドロゲルとは異なり、イオン導電性ハイドロゲルは、生体適合性、構造安定性、信頼性の高いイオン透過性により、高性能で柔軟なハイドロゲルを調製するための要件を満たすことができる。したがって、優れた機械的強度、耐疲労性、変形下における高い感知安定性を兼ね備えたイオン性ハイドロゲルベースのひずみセンサーの開発は魅力的である。しかし、調製プロセスが煩雑であり、自己修復効率が低いため、実用性と再利用性が制限されている。ここでは、リグニンスルホン酸 (LS) - Fe^{3+} 動的酸化還元システムを利用して、室温での過硫酸アンモニウム (APS) ラジカルの生成を誘発した。さらに、アクリルアミド (AM)、アクリル酸ナトリウム (AAS)、および 3-アクリルアミドフェニルボロン酸 (APBA) の重合により、 Fe^{3+} とセルロースナノクリスタル (CNC) の相乗的相互作用による複数の動的架橋を介してポリマーネットワークが形成された。動的で可逆的なボロン酸エステル結合、イオン配位結合、および水素結合により、ハイドロゲルは高い伸縮性 (1170 %)、および効率的な自己修復 (91.76 %, 2 時間) 能力を備えている。興味深いことに、LS- Fe^{3+} 動的触媒システムによって生成された中間カテコール基により、ハイドロゲルは繰り返し可能で信頼性の高い接着性能を実現した。優れたイオン伝導性により、製造されたハイドロゲルセンサーは、広い感知範囲 (500 %)、迅速な応答時間 (139 ms)、および高い感度 ($\text{GF} = 8.98$) を示し、リアルタイムで特定の音声認識と微細な動きの検出を実現した。この多機能ハイドロゲルは、長寿命のウェアラブル電子機器やヘルスケア用フレキシブルデバイスに応用することを期待されている。

研究の意義と将来展望

多機能導電性ハイドロゲルは、準備プロセスに時間がかかり、エネルギーを大量に消費すること、また自己修復機能が非効率的不安定であるため、実用性が制限されている。本研究で簡便な「ワンポット」法により開発した多機能ハイドロゲルは、スマート高齢者ケアシステム用の多機能ウェアラブルセンサーに組み込むことができ、関節部、

または音や咳など弱な生理学的信号を含む人体の動きを正確に感知することを実証しており、感度が高く、効率的に感知できる次世代センサーとして応用できることが期待される。

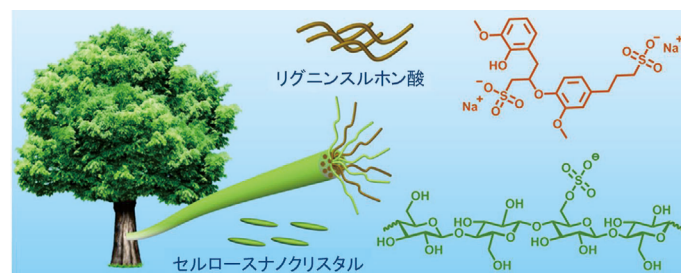


図1

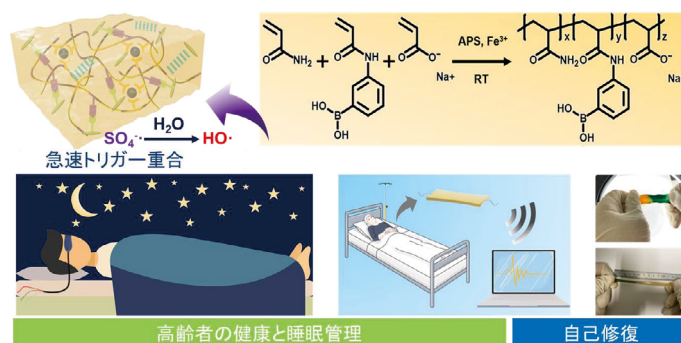


図2

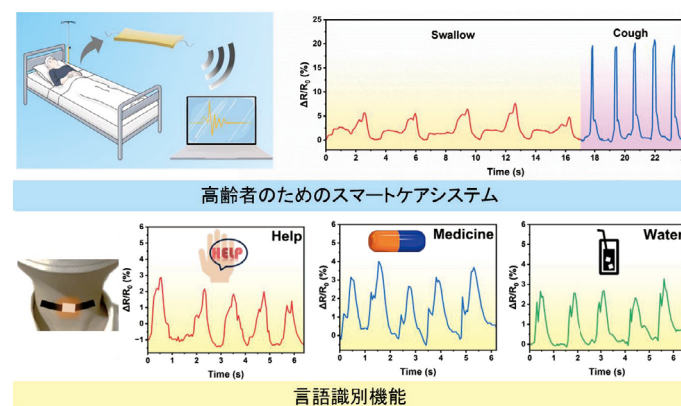


図3

特許	
論文	Wang, Juan; Hsu, Yu-I; Uyama, Hiroshi et al. Rapid preparation of dynamic-crosslinked nanocomposite hydrogel sensors with efficiency self-healing and adhesion properties for elderly health and sleep management. Chemical Engineering Journal. 2024, 480, 148324. doi: 10.1016/j.cej.2023.148324
参考URL	http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~uyamaken/
キーワード	動的架橋ナノ複合材料、ハイドロゲルセンサー、自己修復、接着性