

簡便に作成可能な自己修復性 を持つイオン伝導性ソフト材料

国立研究開発法人物質・材料研究機構
高分子・バイオ材料研究センター
分子機能化学グループ
独立研究者 玉手 亮多

2023年12月8日

研究背景

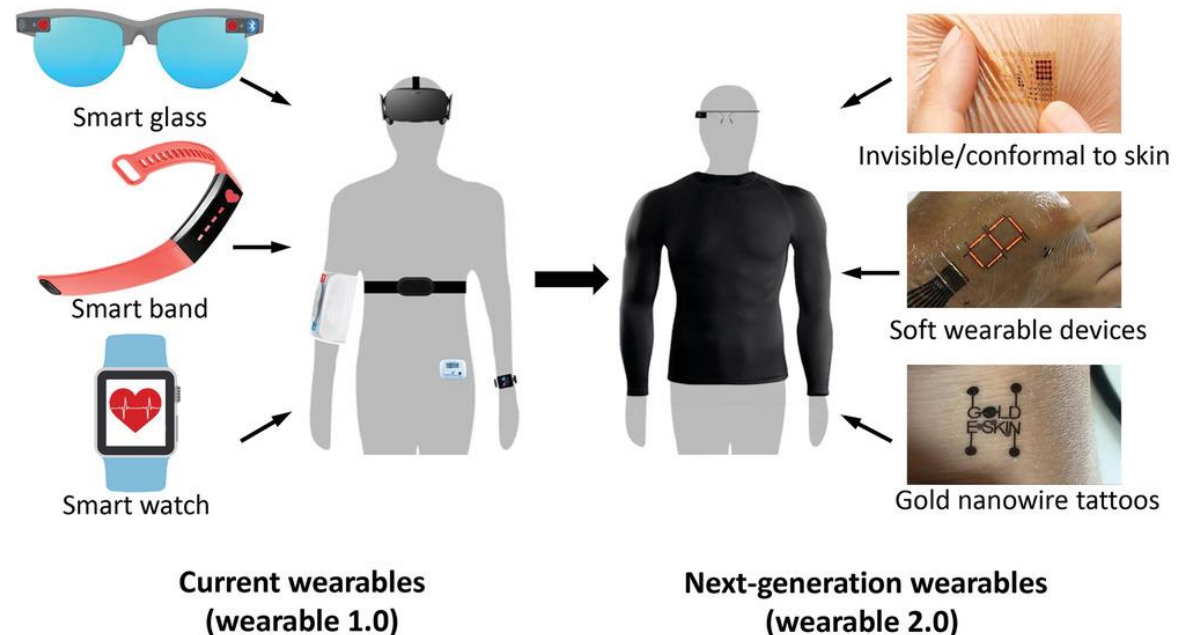
Society 5.0: サイバー空間とフィジカル(現実)空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立

→IoT(Internet of Things, モノのインターネット)



Society 5.0

ウェアラブル・フレキシブルデバイス



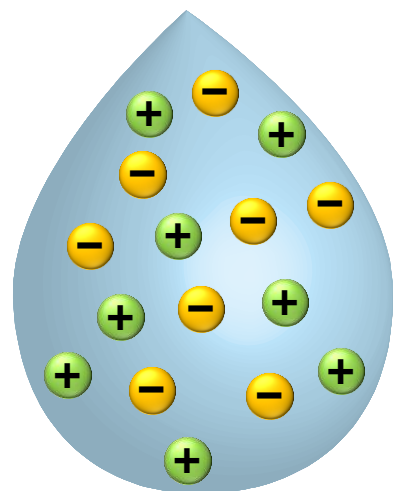
W. Cheng et al. *Adv.Mater.* **2020**, 32, 1904664.

- ✓ デバイスの軽量化・柔軟性の向上
- ✓ 生体親和性

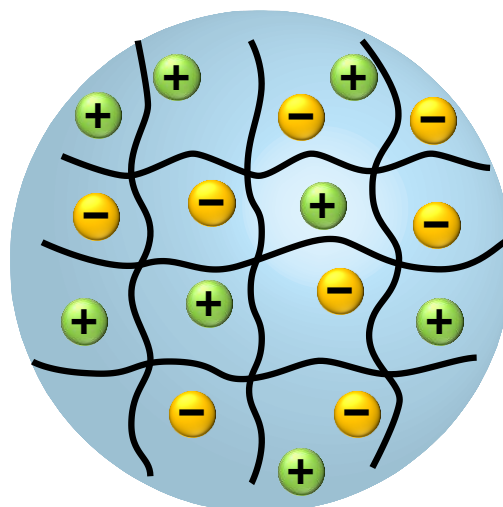
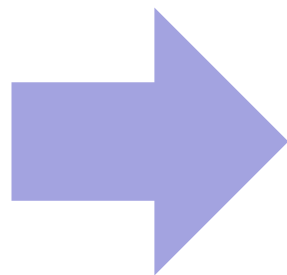
→高分子材料を用いた軽くて柔軟なデバイス開発

イオン伝導性高分子ゲル(ゲル電解質)

ゲル電解質: 高分子ネットワークが電荷キャリア(イオン)を含む溶液で膨潤した材料



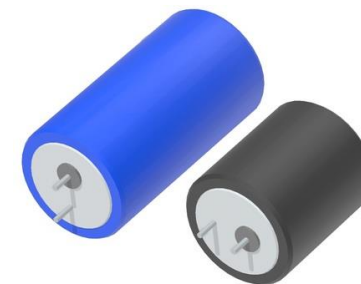
電解液



高分子ゲル電解質



蓄電池



コンデンサ(キャパシタ)



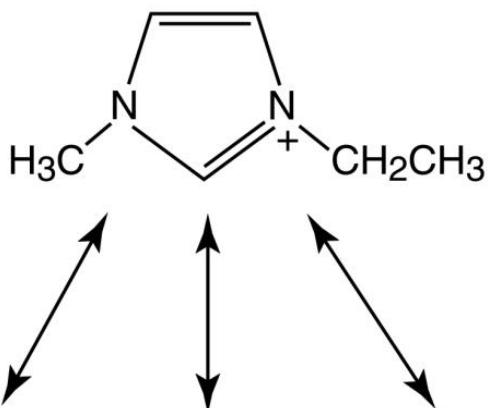
センサー

電気化学デバイスにおける重要な構成材料

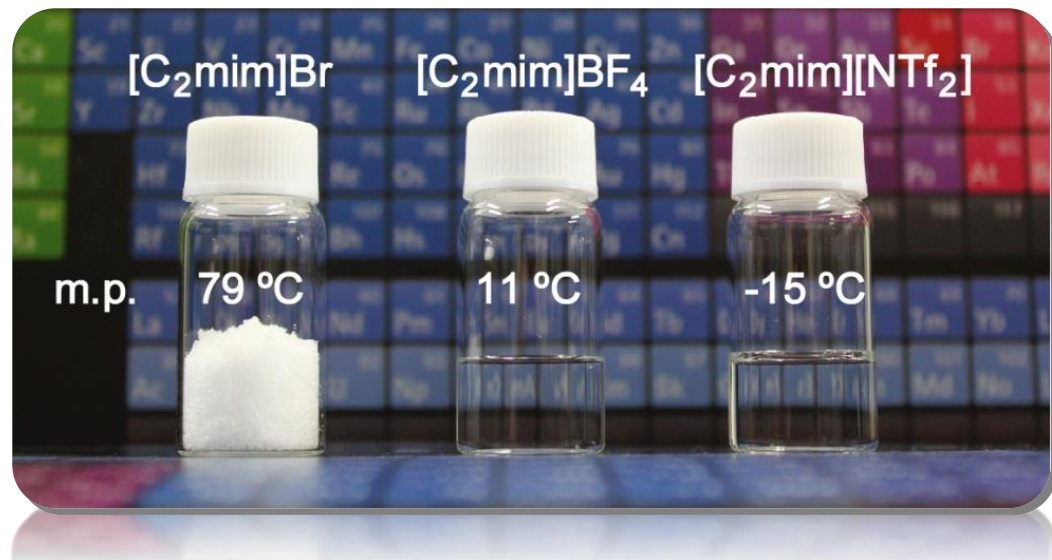
イオン液体

室温付近で液体状態となる、イオンのみから成る液体

EMI cation



Counter Anion : Br^- BF_4^- $\text{N}^-(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2$



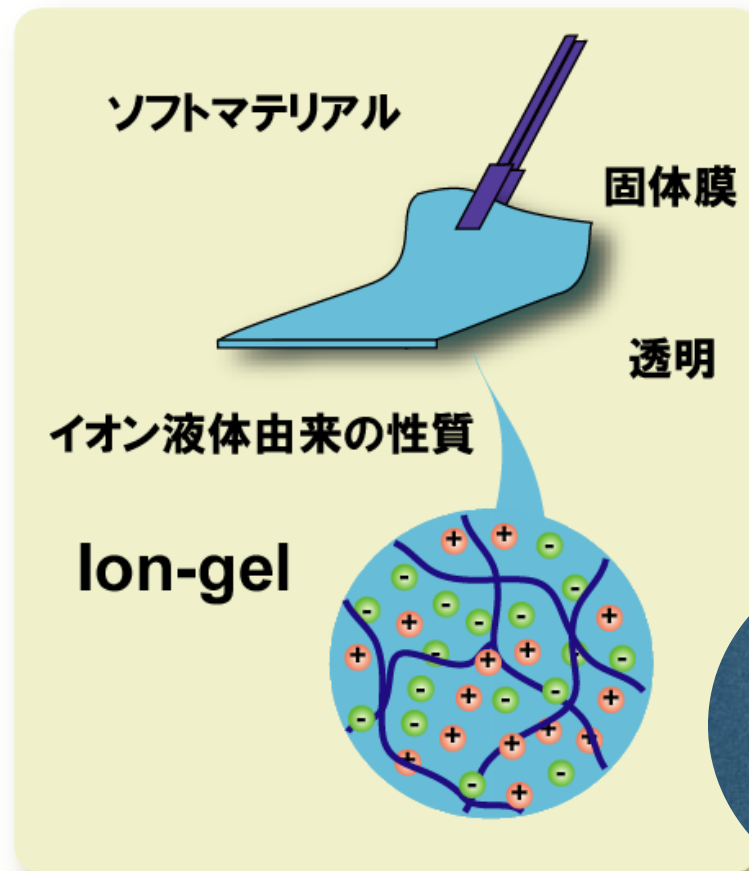
- ・構造デザイン性(親・疎水性)
- ・不燃性 ・不揮発性
- ・熱的安定性 ・化学的安定性
- ・高イオン導電性



イオン液体の特徴を活かした
新しい材料、新しいプロセス

- ・電解質 ・アクチュエータ ・キャパシタ
- ・触媒担持膜 ・分離膜
- ・難溶性物質の溶剤 ・反応溶媒
- ・・・etc.

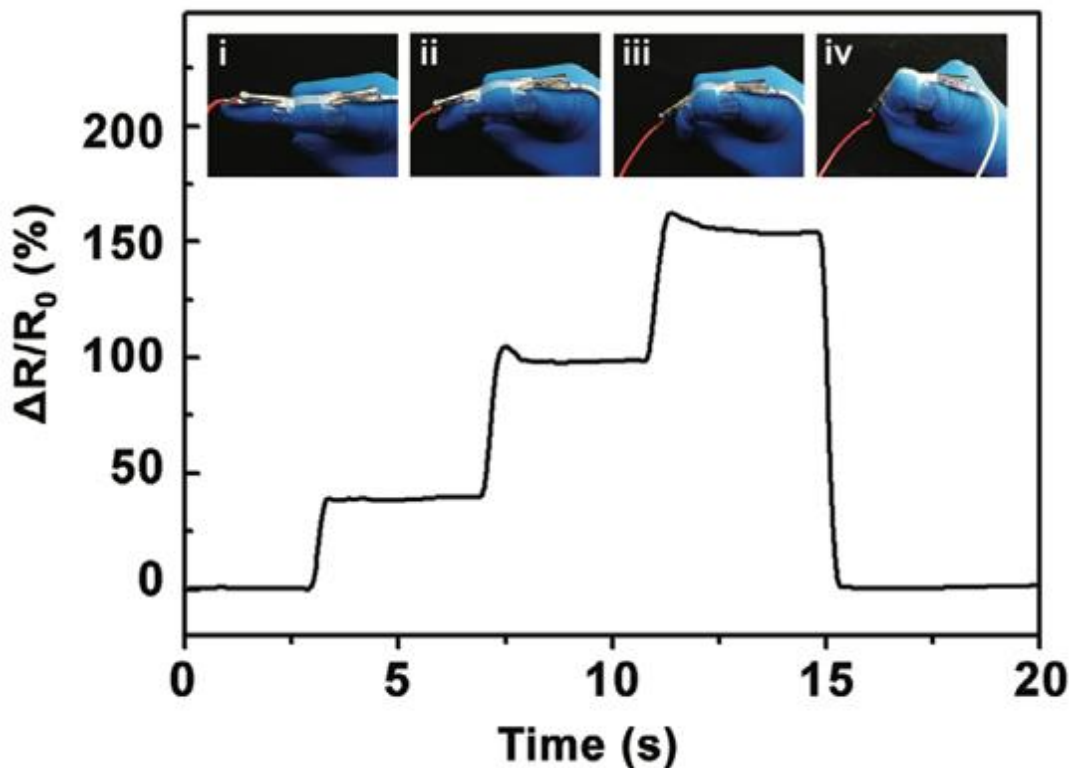
イオンゲル



- ✓ イオンゲル: 従来の無機塩を水・有機溶媒に溶解した電解液を用いたゲル電解質にはないユニークな特性を持つ
- ✓ 力学強度の向上はゲル材料共通の課題

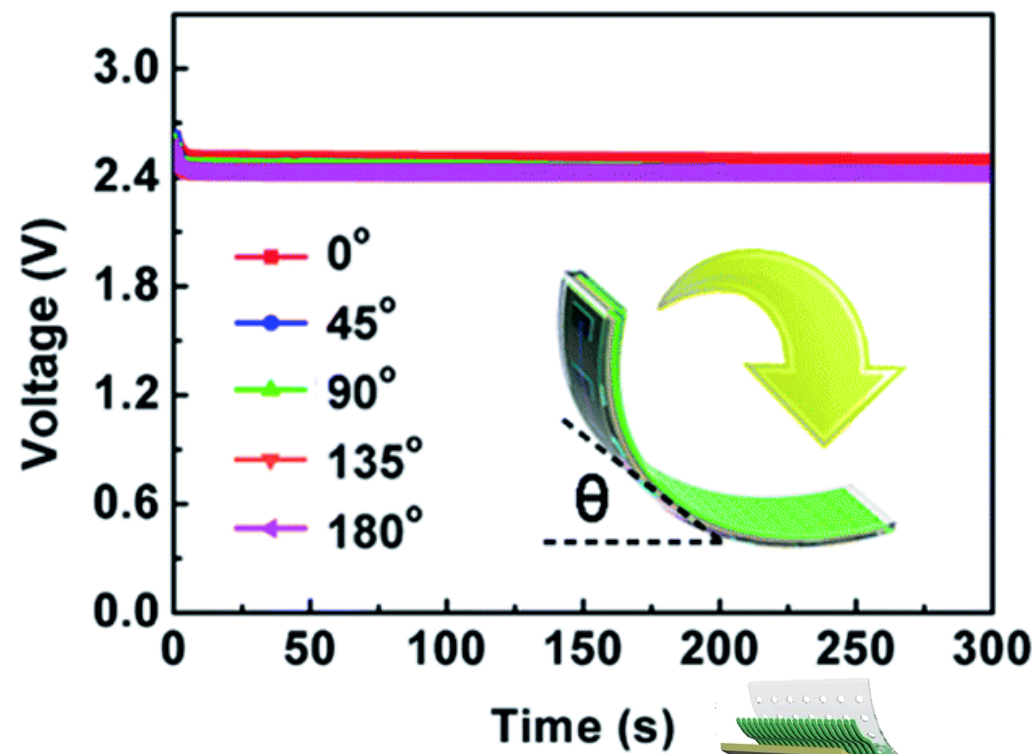
イオンゲルの応用

ひずみセンサー



J. Sun et al. *Adv. Mater.* **2020**, 32, 2002706.

フレキシブル電池

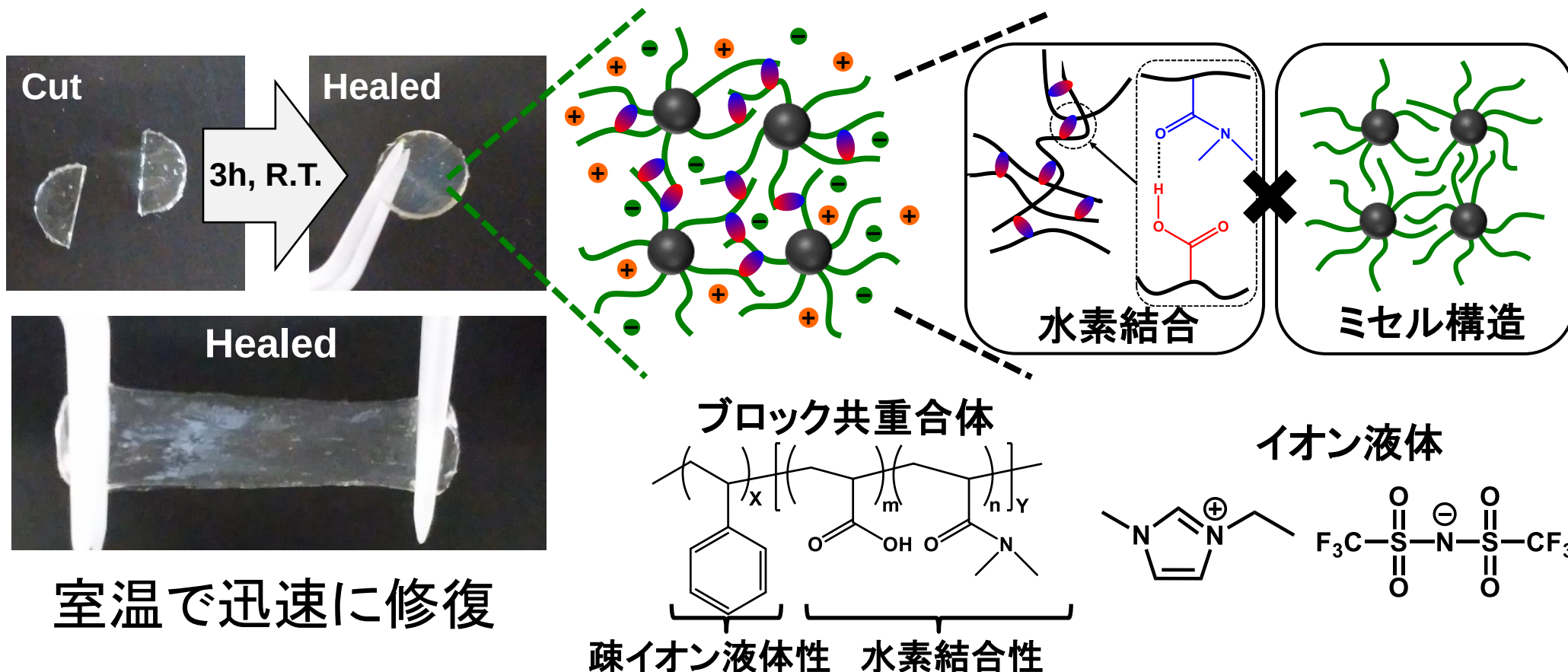


H. Peng et al. *J. Mater. Chem. A* **2016**, 4, 13419.

安全性・信頼性の高い高耐久なゲル電解質が求められる

→高い力学強度と自己修復性を併せ持つイオンゲル材料の開発に着手

自己修復性イオンゲル材料



室温で迅速に修復

イオンゲルに室温での自己修復性と高強度性を付与

従来技術とその問題点

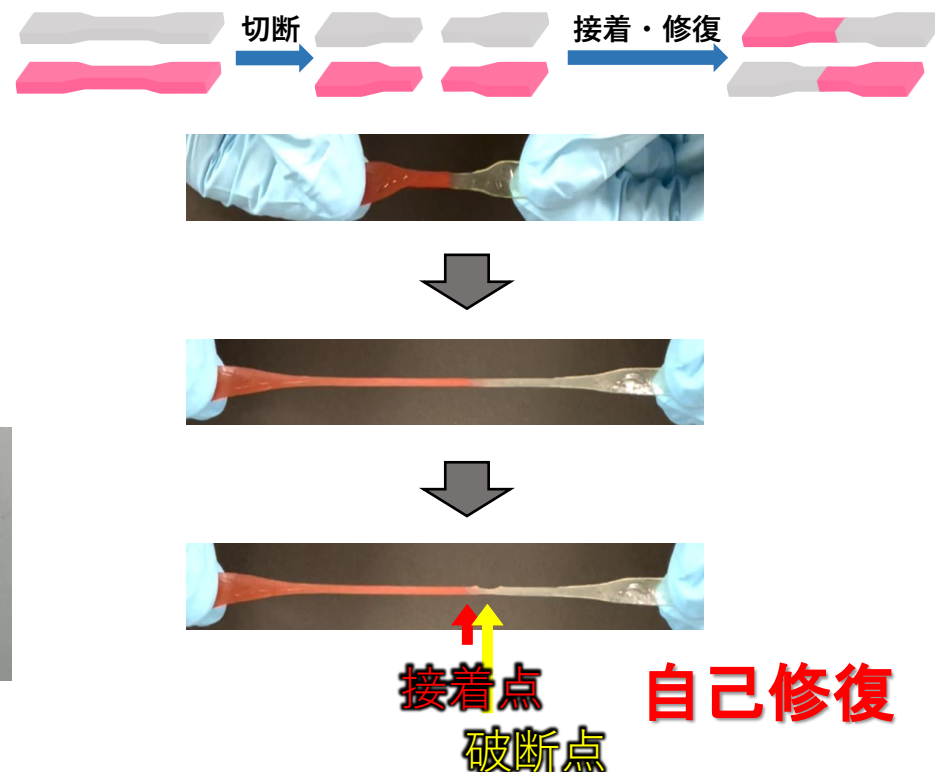
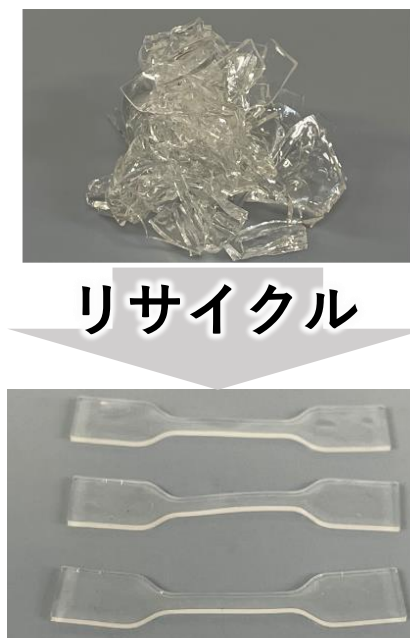
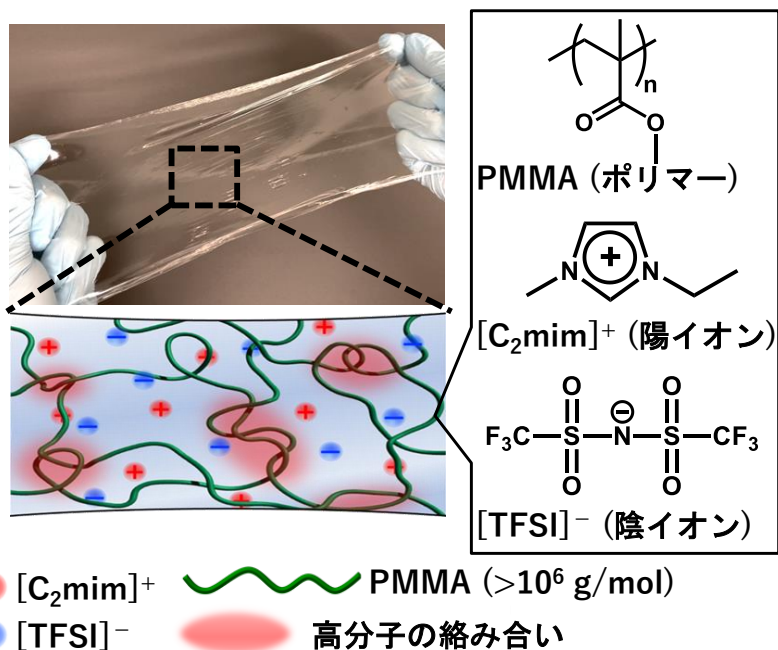
従来のゲル電解質の揮発性・可燃性を克服し、さらにゲル電解質の耐久性を向上するために、高強度性と自己修復性を両立したイオンゲルが報告されている。しかし

- 合成およびゲル作成に煩雑なステップが必要
- 合成・ゲル作成ステップで有機溶媒を使用するため環境負荷が存在

等の問題があり、実用化には至っていない。

発表概要

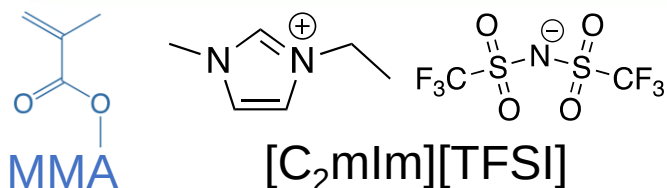
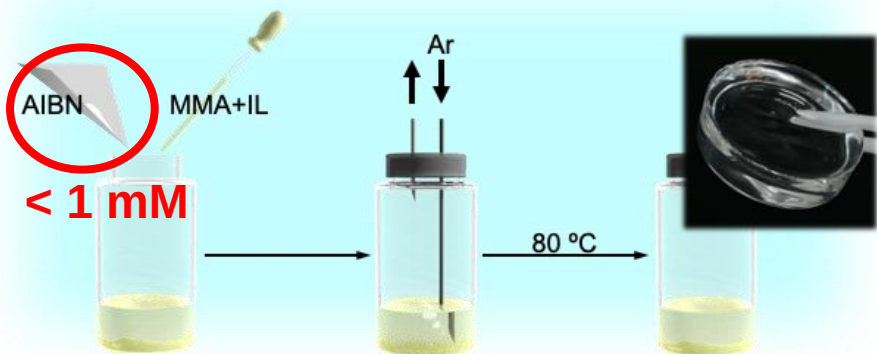
イオン液体中の非常に長い高分子鎖の絡み合いを利用した 高強度かつ自己修復性を持ったイオンゲルの開発



- ✓ 不揮発・不燃性のイオン液体を溶媒とするゲル材料
- ✓ 優れた力学特性、特に室温での迅速な自己修復性を示す
- ✓ 簡便かつ低環境負荷で合成が可能

超高分子量体に基づく自己修復イオンゲル

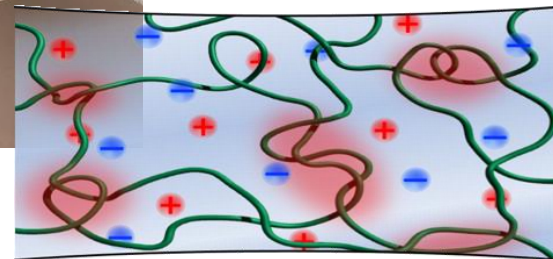
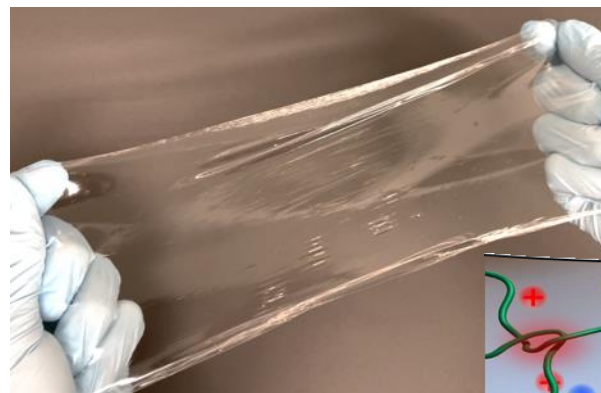
1. 低環境負荷で極めて簡単に合成可能



- ✓ 分子量>100万
- ✓ 化学架橋剤フリー
- ✓ モノマー転化率~100%

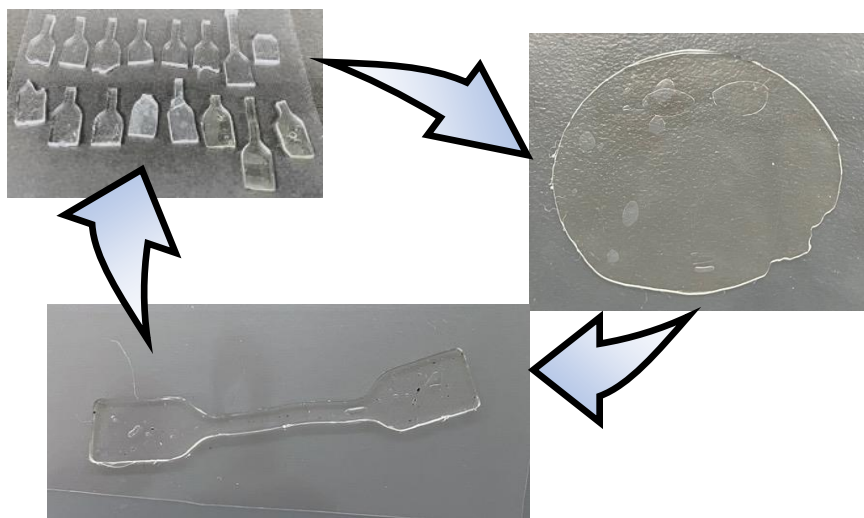
特開2022-147877

2. 高い力学強度

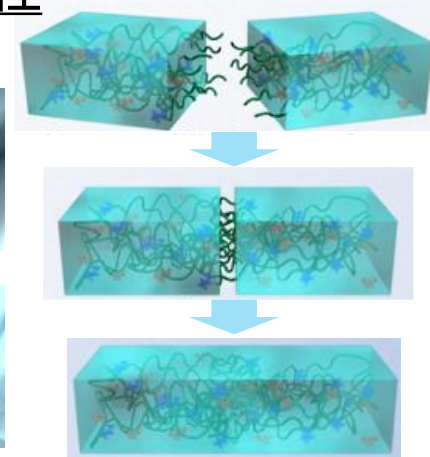
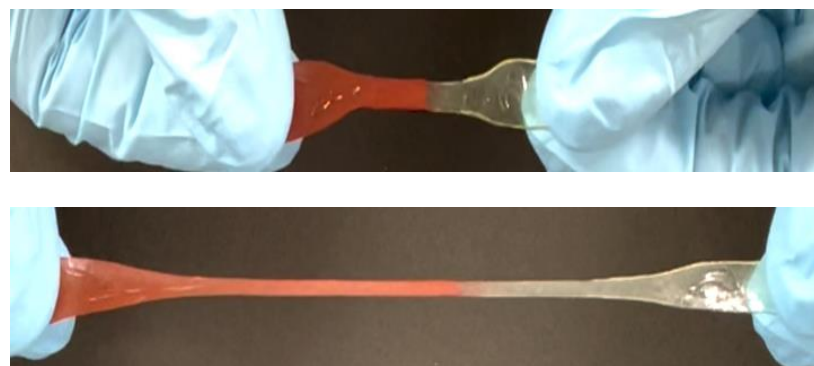


超高分子量体の物理的な絡み合いネットワーク

3. 熱成型によるリサイクル性



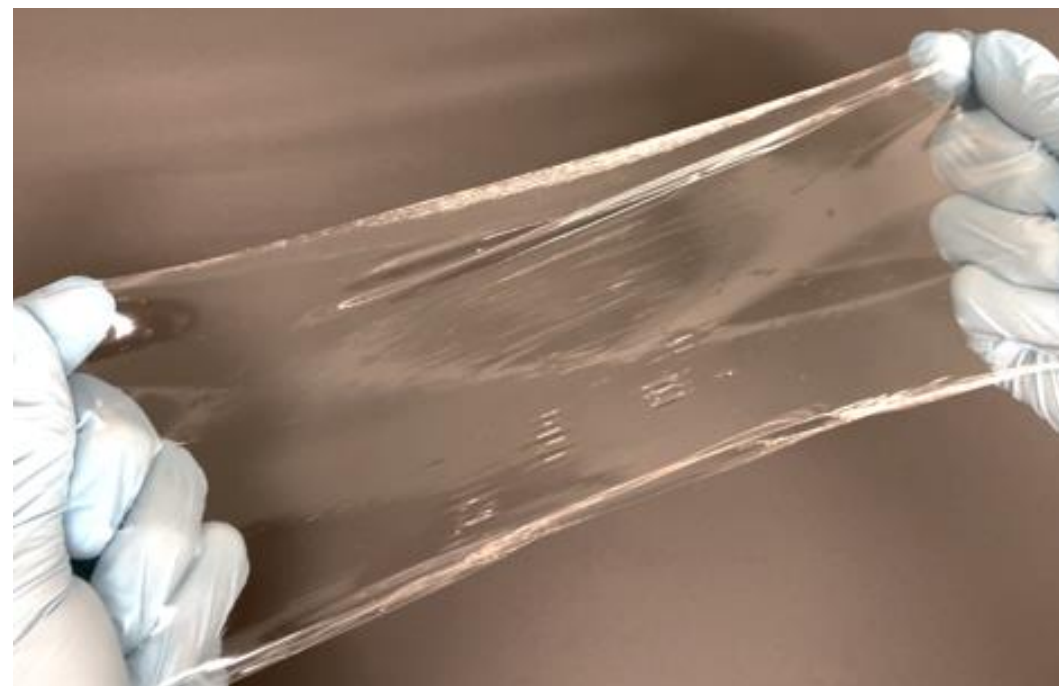
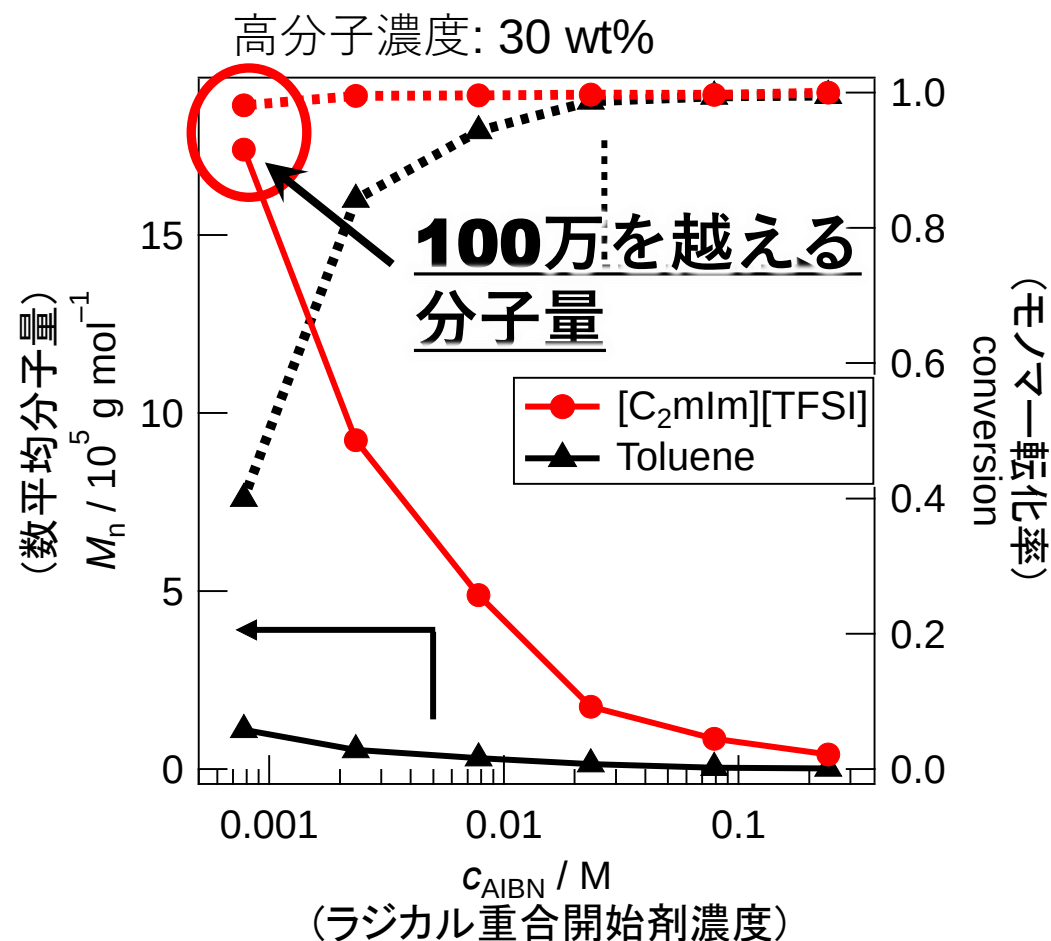
4. 室温での迅速な自己修復性



損傷部位での絡み合いの再形成による自己修復性の発現

特開2022-147878; [R. Tamate et al. Sci. Adv. 2022, 8, eadd0226.](#)

イオン液体中での超高分子量体の生成



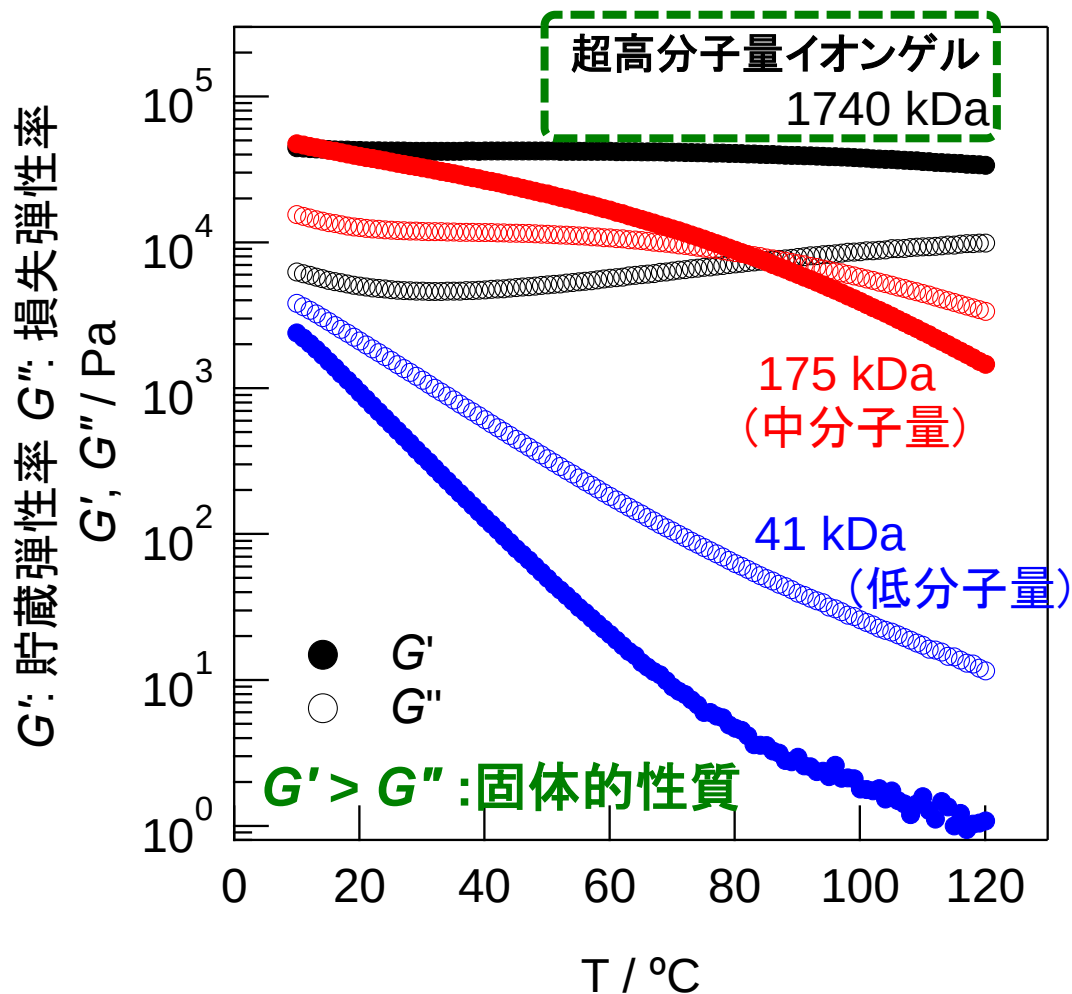
超高分子量イオンゲル

超高分子量イオンゲル

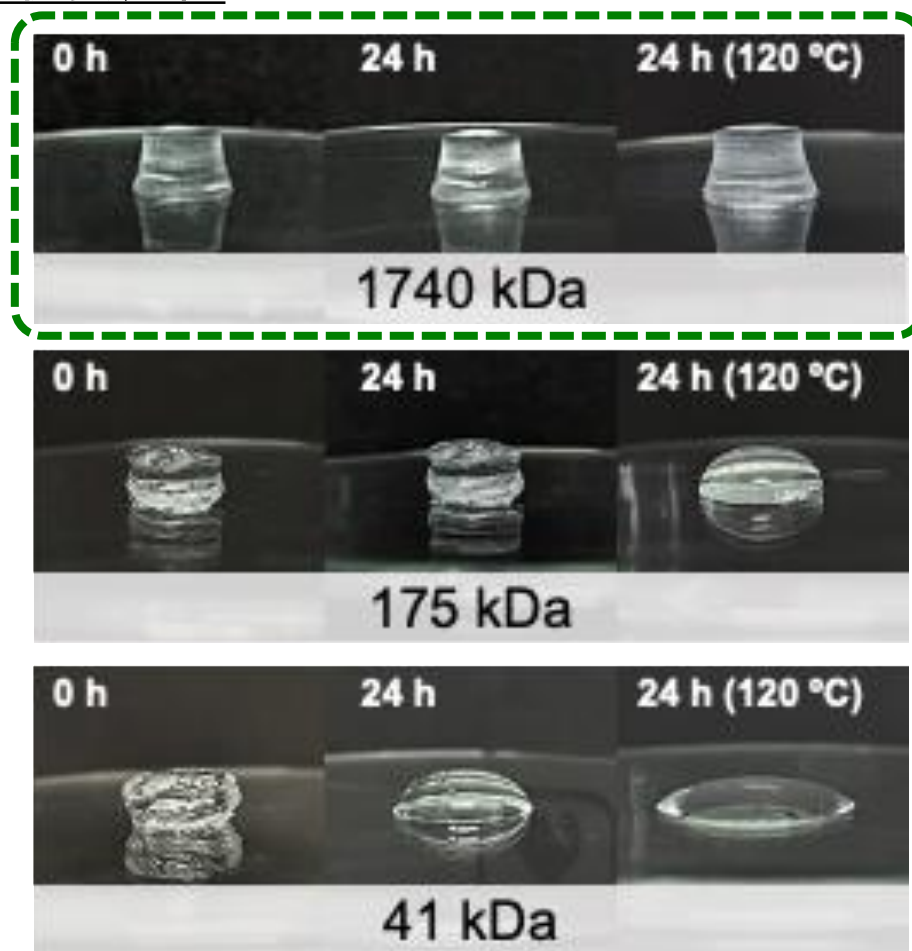
- ✓ イオン液体中で生成される超高分子量ポリマーの絡み合いにより形成
- ✓ 極めて簡便な方法かつ低環境負荷で合成可能

超高分子量イオンゲルの粘弾性

温度分散測定



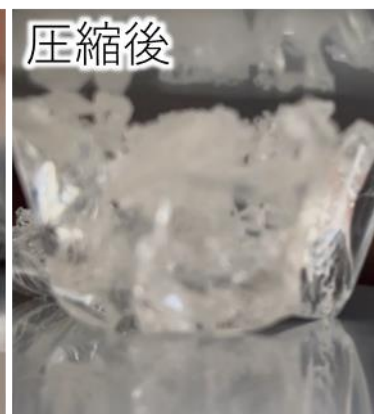
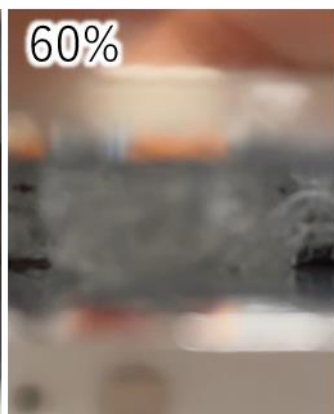
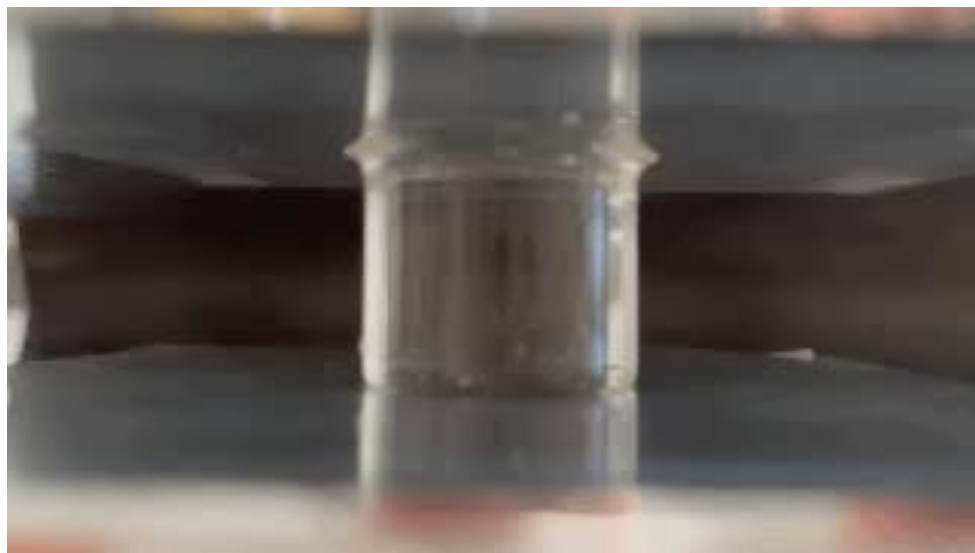
形状安定性



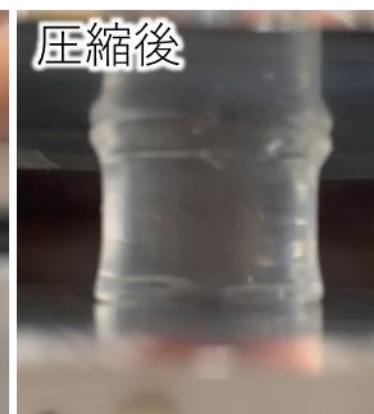
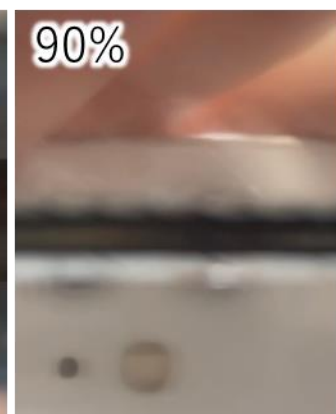
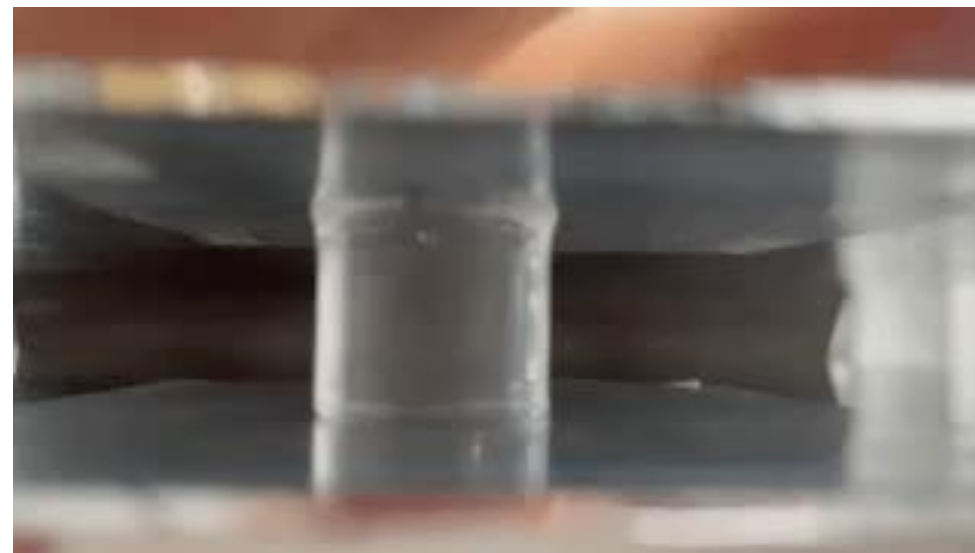
広い温度範囲で優れた形状安定性

超高分子量イオンゲルの力学特性

化学架橋イオンゲル



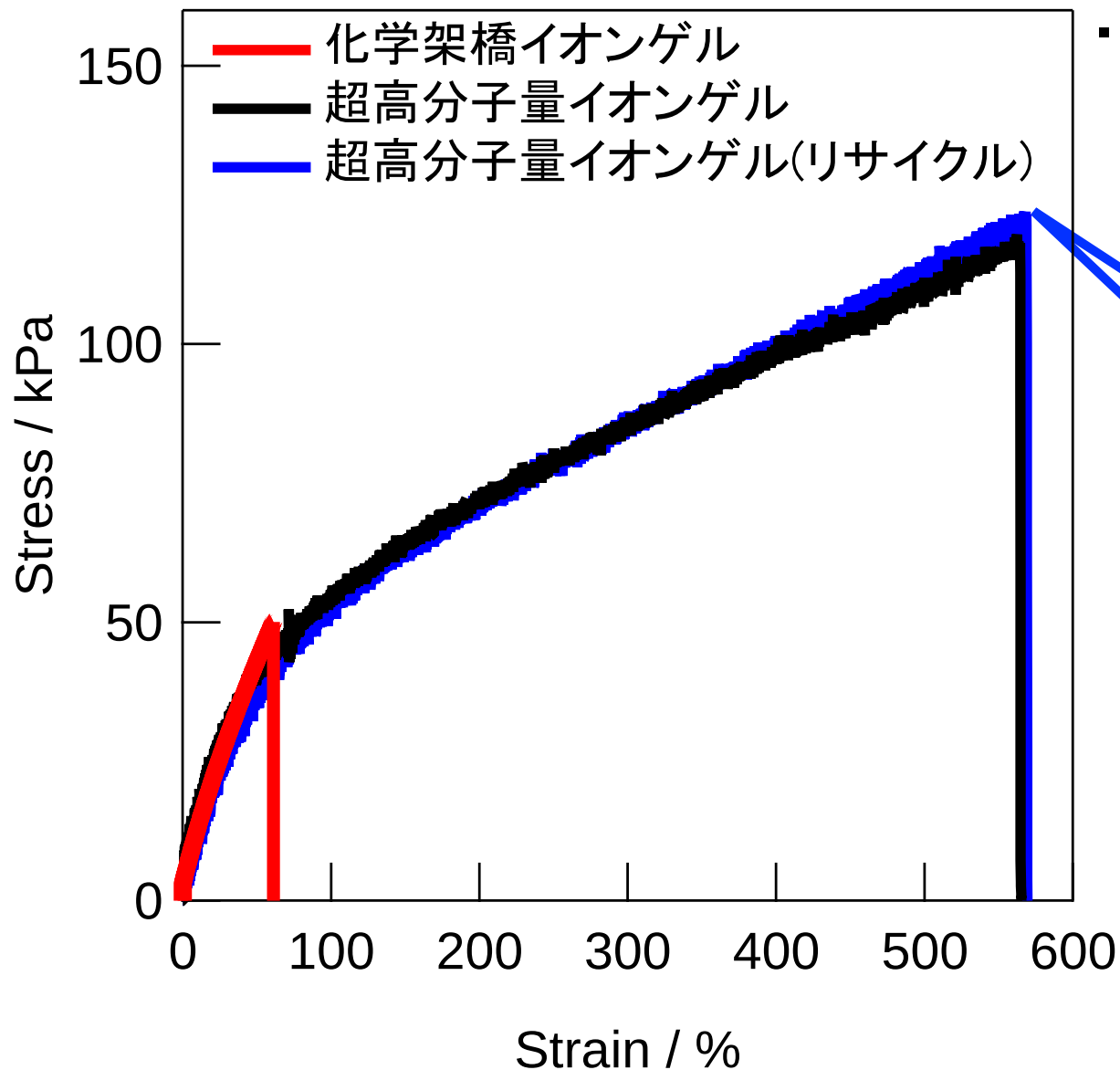
超高分子量イオンゲル



90%の変形、1トンの負荷に耐える強靱性

超高分子量イオンゲルの力学特性

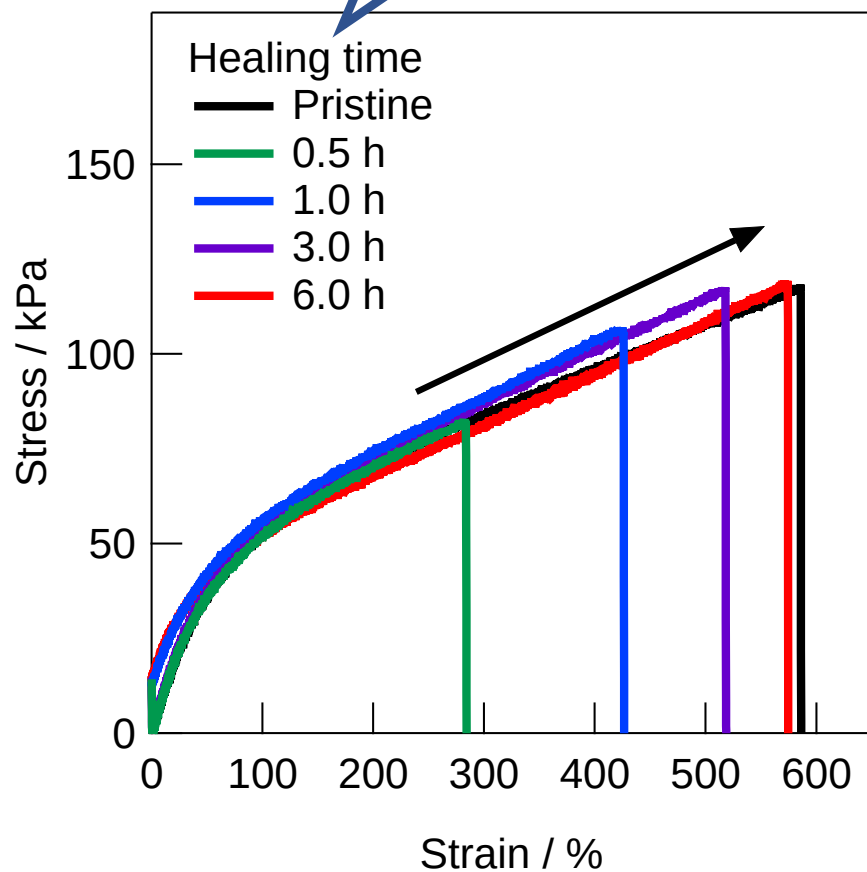
- ・網目構造を凍結していない
- ・イオン液体の不揮発性、耐熱性
→ 高温・高圧での熱成型が可能



リサイクル



超高分子量イオンゲルの自己修復性



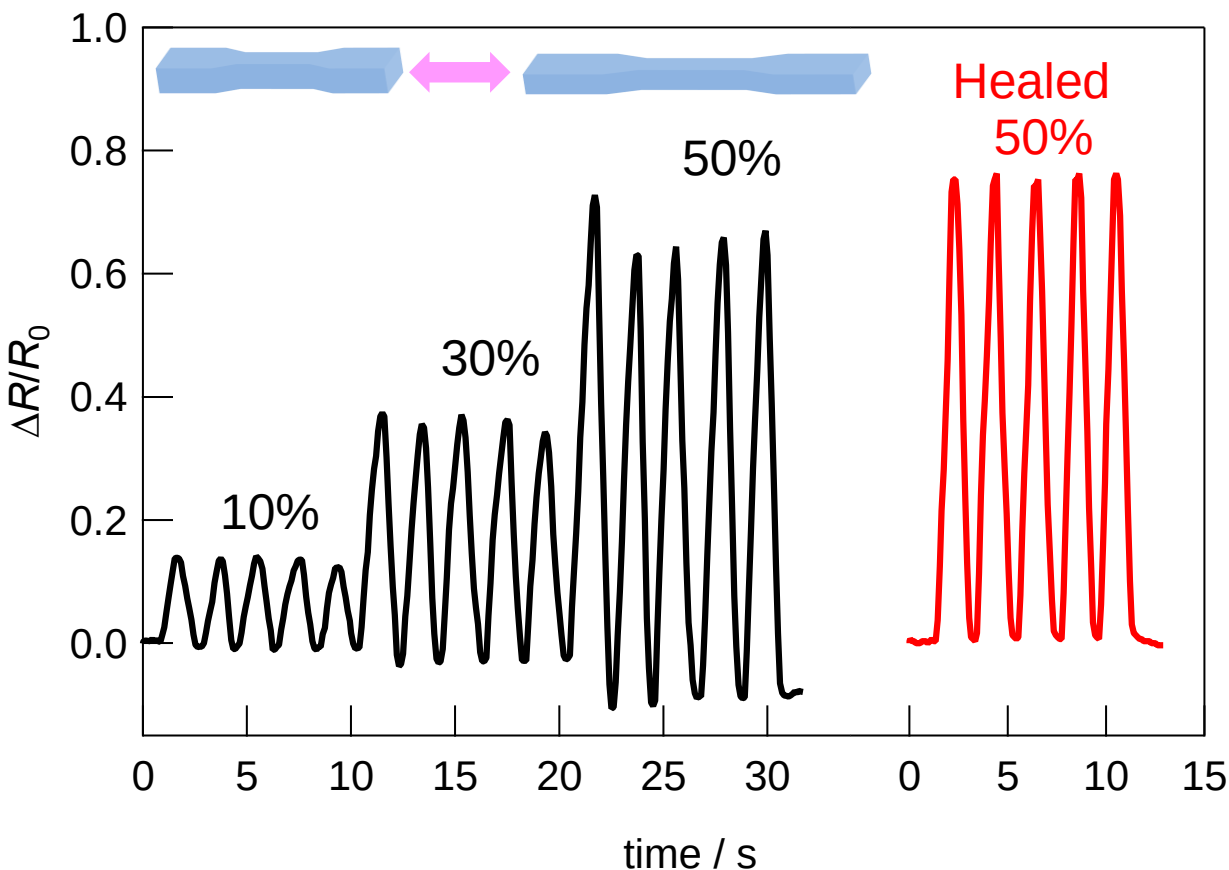
接着点

破断点

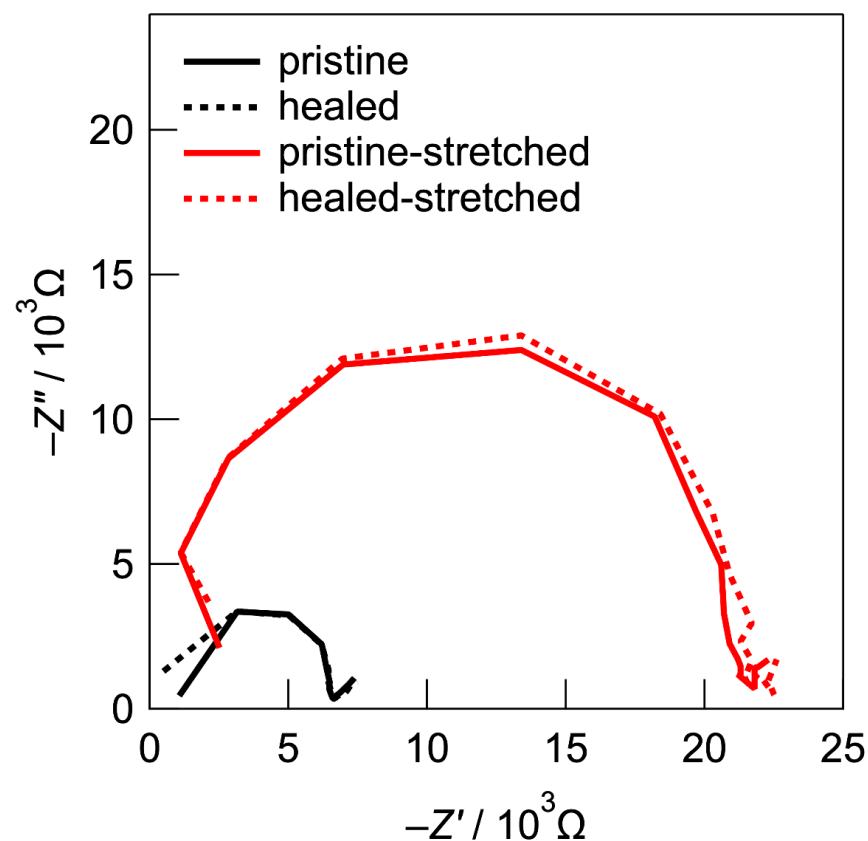
損傷部位での絡み合いの再形成により室温での迅速な自己修復性を示す

自己修復前後の電気化学特性

歪みによる抵抗の変化



修復前後のインピーダンス特性



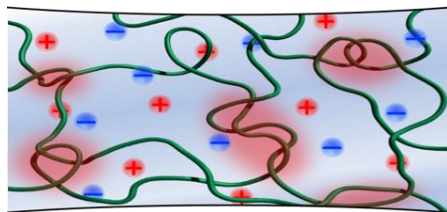
自己修復後も同等の電気化学的性質を示す

物性一覧

		超高分子量ゲル (PMMA/[C2mim][TFSI])
熱物性	ガラス転移温度 (°C)	-71
	熱分解温度 (°C)	> 200
力学物性	ヤング率 (MPa)	0.12
	破断応力 (MPa)	0.12
	破断伸び (%)	570
電気化学特性	イオン伝導率@25 °C (mS cm ⁻¹)	0.23

まとめ

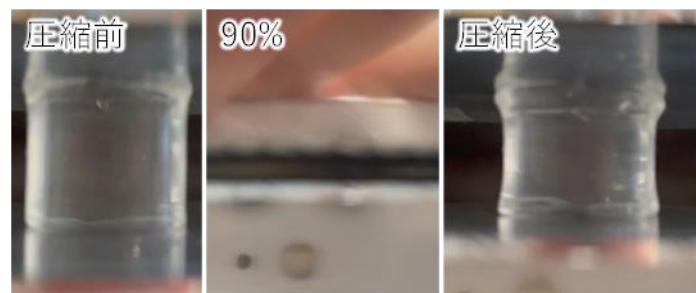
- ✓ 不揮発・不燃性なイオン液体と超高分子量ポリマーからなる安全で信頼性の高いイオン伝導性ゲル材料を創製
- ✓ 低環境負荷で簡便な作成が可能・高い力学特性・リサイクル性・室温での自己修復性などの優れた性質を持つ



低環境負荷 & 簡便な合成手法



リサイクル可能



優れた力学特性



室温での自己修復性

新技術の特徴・従来技術との比較

- ✓ 不揮発・不燃性で力学強度が高く、損傷に対する自己修復性を持つイオン伝導ソフトマテリアル(自己修復性イオンゲル)を創製できる。
- ✓ 以前に報告された自己修復性イオンゲルと比較して、非常に簡便かつ低環境負荷な作成手法を可能とした。

想定される用途

- ✓ ウェアラブル・フレキシブルデバイスの電極材料
- ✓ 生体貼付型のひずみセンサー
- ✓ サーキュラーエコノミーに資する材料応用への展開

実用化に向けた課題

- ✓ 現在、基本的な合成手法や基礎物性に関しては確立しているが、超高分子量化や自己修復機構の発現メカニズムに関しては検討中である。
- ✓ 多くのイオン液体とビニルモノマーの組合せに関して本技術が適用可能であることを実証済み。
- ✓ 実用化に向けてはイオン液体のコスト面の課題、および具体的なデバイス応用における本材料の性能優位性を実証する必要がある。

企業への期待

- ✓ 生体電極材料としての評価
- ✓ ウェアラブル・フレキシブルデバイスとしての応用可能性の評価
- ✓ 本材料の特性を活かせる用途の共同探索

本技術に関する知的財産権①

- 発明の名称 : イオンゲルの製造方法、イオンゲル、
固体電解質、及び、アクチュエータ
- 公開番号 : 特開2022-147877
- 出願人 : 国立研究開発法人物質・材料研究機構
- 発明者 : 上山祐史、玉手亮多、上木岳士

本技術に関する知的財産権②

- 発明の名称 : コーティング用組成物、膜、及び、積層体
- 公開番号 : 特開2022-147878
- 出願人 : 国立研究開発法人物質・材料研究機構
- 発明者 : 上山祐史、玉手亮多、上木岳士

お問い合わせ先

国立研究開発法人物質・材料研究機構 外部連携部門 企業連携室

企業様向け総合窓口HP(スマホ対応)

<https://technology-transfer.nims.go.jp/>



企業様向けの総合窓口です。お問い合わせ・ご相談などお気軽にご連絡ください。



基礎研究を社会へつなげる

— 企業様向け総合窓口 —

NIMSでは「**使われてこそ材料**」の理念の実現化を目指し、独創性の高い基礎研究に基づいてNIMSの技術を産業界へ橋渡しする活動を行っています。

- ・ニーズ・シーズマッチングのためにNIMS研究成果を知って頂く「**技術情報提供の場**」(“NIMSの研究を知る”へ)
- ・NIMSの技術を産業界とともに発展させる「**共同研究の場**」(“NIMSと連携する”へ)

を設け、特許ライセンスや技術指導、共同研究などを通して実用化に向けて取り組んでいます。

最新研究映像

NIMSの力

最新研究成果を動画でご覧いただけます。視聴するには画像をクリックしてください。

※クリックするとYouTubeへ移動します



NIMSと連携する

装置利用/技術提供(業務実施・技術指導)
/研究試料貸与/実施許諾/共同研究

NIMSの研究を知る

展示会でのポスターデータ等