

補助事業番号 2025M-473

補助事業名 2025年度 再利用可能で導電性を示す長寿命ビトリマー樹脂の開発 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クリック反応性イオン液体モノマーを基盤材料として、再利用可能で導電性を示す長寿命ビトリマー樹脂を開発する。

2 研究の目的と背景

熱硬化性樹脂は、軽量化の観点から自動車やオートバイ部品、また高機能性の観点から住宅建材などに広く使用されている。しかし、熱硬化性樹脂は加熱しても再成形が不可能であり、使用後には産業廃棄物として処理されるケースが多く、これが環境負荷の増加につながっている。また、熱硬化性樹脂は絶縁性が高く、用途によっては静電気の発生を防ぐことも重要である。

こうした背景を踏まえ、リサイクル可能な樹脂としてビトリマー材料が注目されている。ビトリマーは、熱硬化性樹脂のような強度や耐熱性を持ちながら、加熱によって架橋構造が動的に交換され、再成形が可能な新素材である。しかし、ビトリマーの多くは重合プロセスが煩雑であり、また電気を通さないため、帯電対策の課題が残されている。

申請者はこれまで、クリック反応性イオン液体モノマーおよびその重合体の開発に取り組んできた。このモノマーは無溶媒系で加熱のみで重合が進行し、高分子イオン液体を合成できる。本事業では、クリック反応性モノマーを基盤とした重合体を合成し、そのビトリマー特性、機械的性質、イオン伝導性を評価した。さらに、そのスケールアップ生産技術の確立を目指した。

3 研究内容

(1) 実施内容

① 再利用可能な導電性ビトリマーの開発

クリック反応性イオン液体モノマーを基盤として、新規モノマー（3種類）と架橋剤（2種類）、それらの濃度を変化した導電性ビトリマーを合成した。

② 開発した材料を用いた、機械的性質、イオン伝導性の評価

開発物の粘弾性測定より、弾性率を測定した。また、一度、作製後、破壊した試料を加圧成形した場合のイオン伝導度の変化をインピーダンスアナライザーで評価した。

③ 導電性ビトリマー原料のスケールアップ製造

項目①で得られたモノマー合成プロセスを改良して、十グラムスケールでモノマーを合

成した。さらに、それを原料としたビトリマー合成に関する検討をおこなった。

(2) 成 果

① 再利用可能な導電性ビトリマーの開発

申請者が開発してきたクリック反応性モノマー（特許第7376072号）を基盤として、モノマー3種と架橋剤2種を合成・調製した。レオメータを使った温度に対する粘弾性測定と応力緩和試験を実施した。

図1には、例としてアニオンの異なる2種のイオン伝導性樹脂の形状とそれらの粘弾性測定（温度に対する粘弾性変化）結果を示す。まず、本材料はアニオン交換により、ほぼ100%アニオンを交換できることが確認された。また、導入するアニオンの種類によって樹脂の色が変わることがわかった。

レオロジー測定結果より、どちらの樹脂も加熱した場合に、 G' が一定値を示した。このことから、安定な架橋構造を有することが示唆された。一方で、アニオン種がIの場合は、応力緩和試験より、著しい応力緩和挙動が見られた。このことから、アニオン種がIの樹脂は、ビトリマー特性（再成形性）を示すことが示唆された。実際に、アニオン種がIのビトリマーを破碎し、180℃で2時間加圧成形すると、フィルムが再成形された。以上の結果から、導電性ビトリマーの再成形性が確認された。

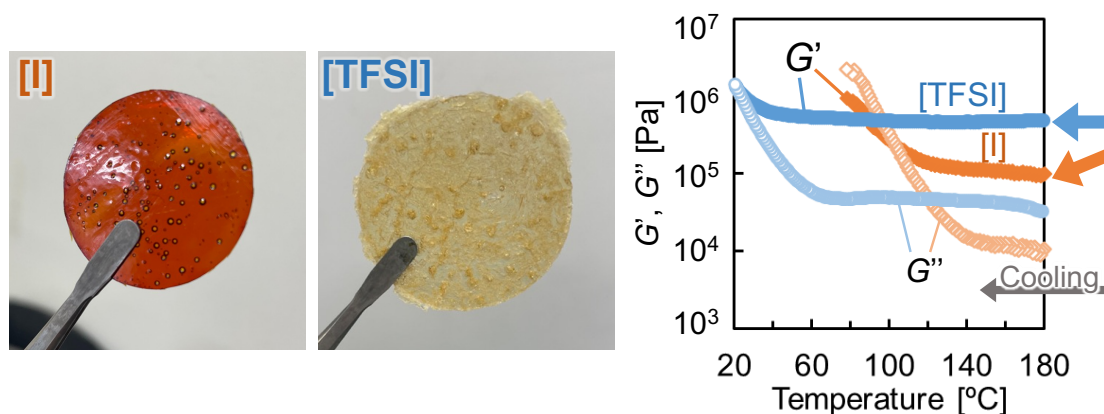


図1. 作製した導電性ビトリマーとレオロジー特性（一例）

② 開発した材料を用いた、機械的性質、イオン伝導性の評価

導電性ビトリマーの引張強度を万能力学試験機で測定した。図2のように、導電性ビトリマーは弾性的な性質を示し、最大応力に達した後、すぐに破断した。この傾向は典型的な架橋樹脂の応力歪み曲線である。このサンプルでは、破断応力120 kPa, 破断歪み 48%であ

った。また、イオン伝導性をインピーダンスアナライザーで評価したところ、図1のアニオンがIのサンプルで、30°Cで 10^{-7} S/cmオーダーであることがわかった。その後、様々なモノマーを開発し、イオン伝導性の向上に取り組んだところ、30°Cで 10^{-6} S/cmオーダーまでイオン伝導度を向上することに成功した(図2)。

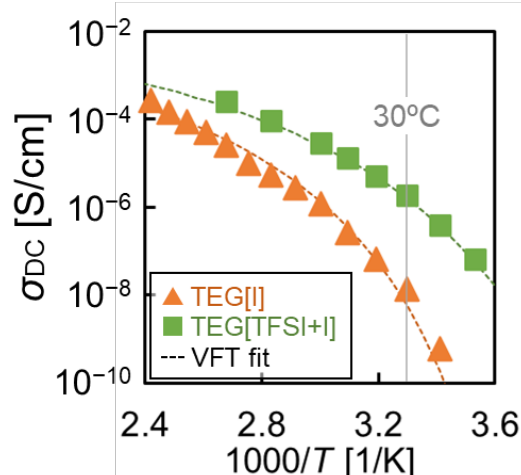


図2. イオン伝導性ビトリマーの応力ひずみ曲線の一部

③ 導電性ビトリマー原料のスケールアップ製造

モノマー合成のスケールアップに取り組んだ。数グラムスケールでの重合から十グラムスケールの合成手法に取り組んだ。具体的には、スケールアップのボトルネックとなっていたカラム精製の一部を沈殿操作で精製するプロセスに変更することで十グラムスケールのモノマー合成を達成した。

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導電性ビトリマーは、既存のイオンゲル材料と異なり、無溶媒でイオン伝導性とリサイクル性を示す材料である。無溶媒系であるため、使用時の溶媒漏出リスクがなく、リサイクル可能な点から長寿命材料でもある。この材料は、帯電防止樹脂、高機能接着剤の他に、高分子電解質や歪センサーなどのイオンエレクトロニクスへの応用も期待される。

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、最近開発した高イオン伝導性高分子をリサイクル可能な架橋樹脂(無溶媒系)として展開した一例である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

Hikari Tsunekawa, Atsushi Matsumoto, Yuya Iida, Tsutomu Ono, **Takaichi Watanabe***,
“Ion-Conductive Vitrimers Based on Backbone-Type Triazolium Poly(ionic liquid)s:
Counterion-Dependent Dynamics and Backbone Flexibility” *ACS Applied Polymer Materials*, in
press (2026) Selected as ACS Editor’s Choice and Cover Art

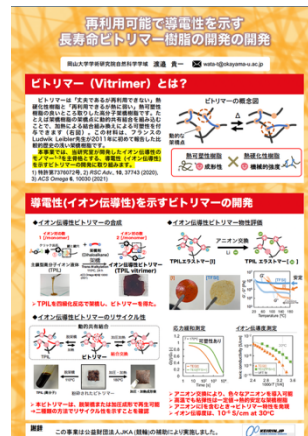
7 補助事業に係る成果物

(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

(URL)

<http://achem.okayama-u.ac.jp/interface/master/wp-content/uploads/2026/04/3227cf92fc52826c2731578eb05c0664-1.png>



(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ゼンカクガクイ
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/>