

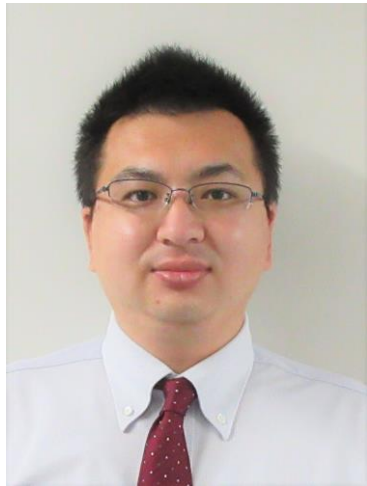
易成形・迅速応力緩和を実現する アクリル系ビトリマー

信州大学 先鋭領域融合研究群 先鋭材料研究所
准教授 高坂 泰弘

2024年8月1日

発表者紹介

2



高坂 泰弘 (こうさか やすひろ)

2011 東京工業大学 大学院理工学研究科 博士課程修了

2011 大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教

2015 信州大学繊維学部 テニユアトラック助教, 研究室を主宰(独立)

2018 信州大学繊維学部 准教授

2022 JSTさきがけ・採択

2023 信州大学 Rising Star教員・認定

高坂研究室 @繊維学部化学・材料学科

- ✓ 研究内容: 機能高分子の合成 (モノマー / 重合 / 機能の開発)
- ✓ 構成員: 19名が在籍
(准教授1名, ポスドク2名, 事務員1名, 博士課程2名, 修士課程9名, 学部4名)
- ✓ 進行中のプロジェクト: JSTさきがけ, A-STEP (可能性検証), NEDOムーンショット型研究開発事業, 科研費 基盤研究B 国際科学技術財団 (1000万円/年, JAMSTECとの共同研究)

産学連携の実績 (2019~2024)

3

共同研究: 17社

- 製品化: 2件, 開発品: 2件
- 特許: 出願 20件, 登録 3件
- 成果発表: 論文5件 (査読中1件), 学会36件
- 研究会の開催: 3件

共同研究部門 (2020-2022)

- 企業7社が参画
- 特任助教1名を雇用し, 共同研究を推進
(技術移転だけでなく, 新テーマを含む技術創出が目的)

受託事業・技術指導: 11件

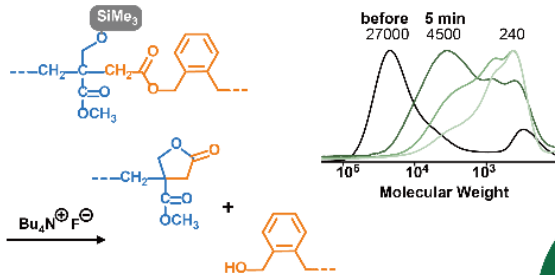
シーズ探索や, 知財化を伴わない学術指導が目的

公的研究費の獲得: JST A-STEP (可能性検証, 2023~)

研究テーマの紹介 | 易分解性高分子

1. 高速&確実な解体技術

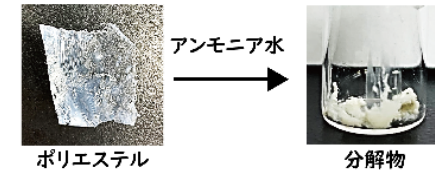
簡単に剥がせる接着剤を開発して、
材料の解体とリサイクルをアシストします!



2. 環境分解を目指した新材料



微生物によるプラスチック・繊維の
生分解を促す「分解スイッチ」を
研究しています。



3. リサイクル可能な 新プラスチック



科研費
KAKENHI

「合成が簡単」=「安定な物質」=「原料物質を再生しにくい」という
定説をくつがえす、新しいプラスチックを開発しました。

何度リサイクルしても、新品がよみがえる夢のリサイクル技術へ!

4つの挑戦で
世界を変える

4. 切れても OK ! 傷を修復するゴム

科研費
KAKENHI

本研究は、名古屋工業大学の
林 幹大 准教授との
共同研究成果です。



切断したゴムシート



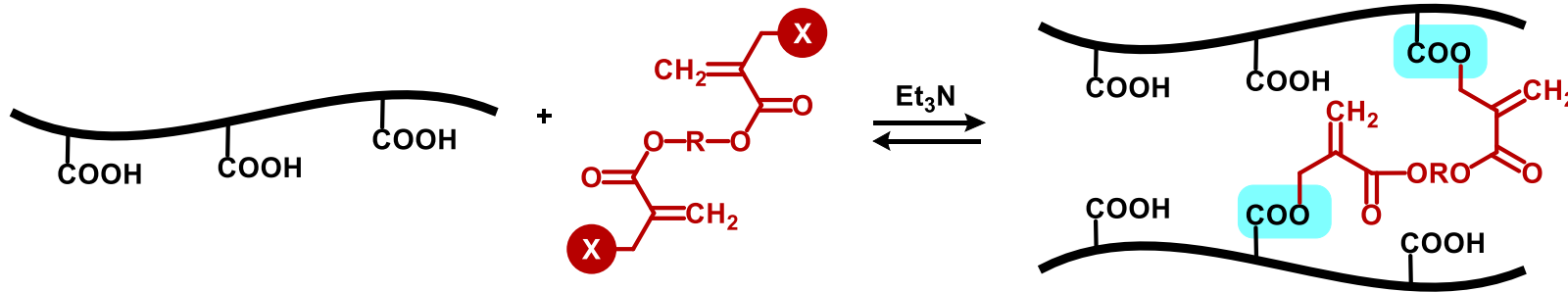
修復したゴムシート

従来のゴムは切断すると、元の形状に戻すことはできませんでした。
また、引っかき傷やヒビが生じた場合も、修復できません。
そこで私たちは、加熱すると傷が修復する新しいゴムを開発しました。

本日の発表内容 |

1. 基本特許のご紹介 (特許7441526号)

易分解性架橋樹脂に関する物質&製造法の特許



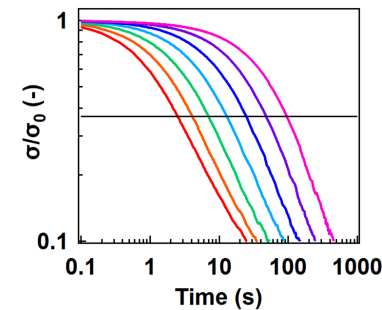
2. 基本特許を活用した注目の樹脂性能 (ビトリマー性) のご紹介



触媒
添加
→
成形可



応力
緩和

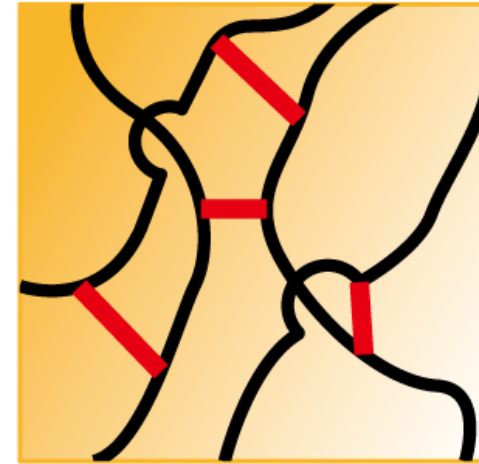


従来技術とその問題点 |



線状高分子

架橋反応



架橋高分子

低
低
低

弾性率

高

低

耐熱性

高

低

耐薬品性

高

成形性

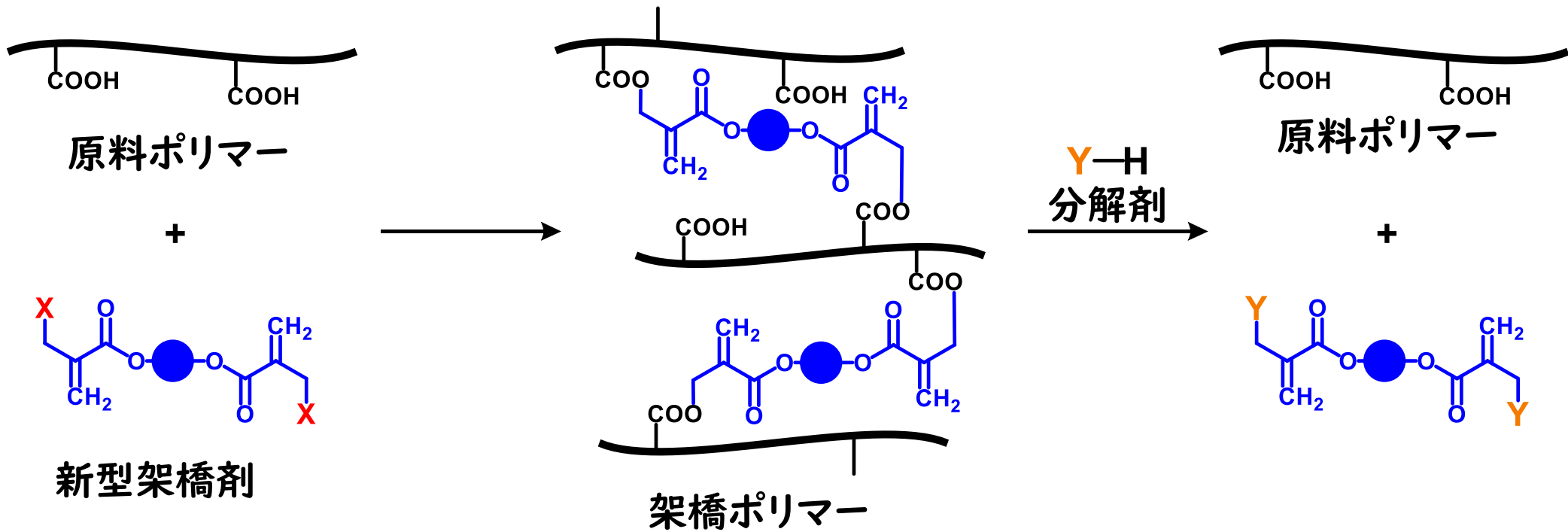
なし

溶解性

なし

新技術の特徴 |

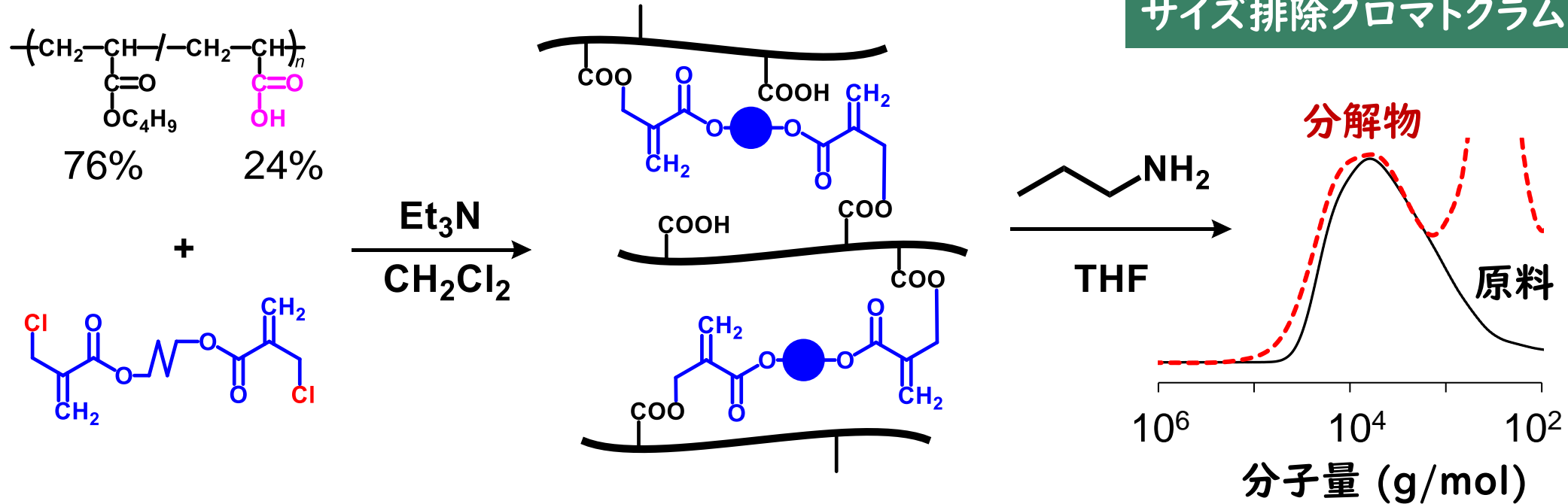
| 7



- ✓ COOH基またはOH基と、新型架橋剤の反応で架橋樹脂を合成
- ✓ 分解剤(後述)により脱架橋, 原料ポリマーを回収
- ✓ すべての反応は室温で実施可

新技術の特徴 |

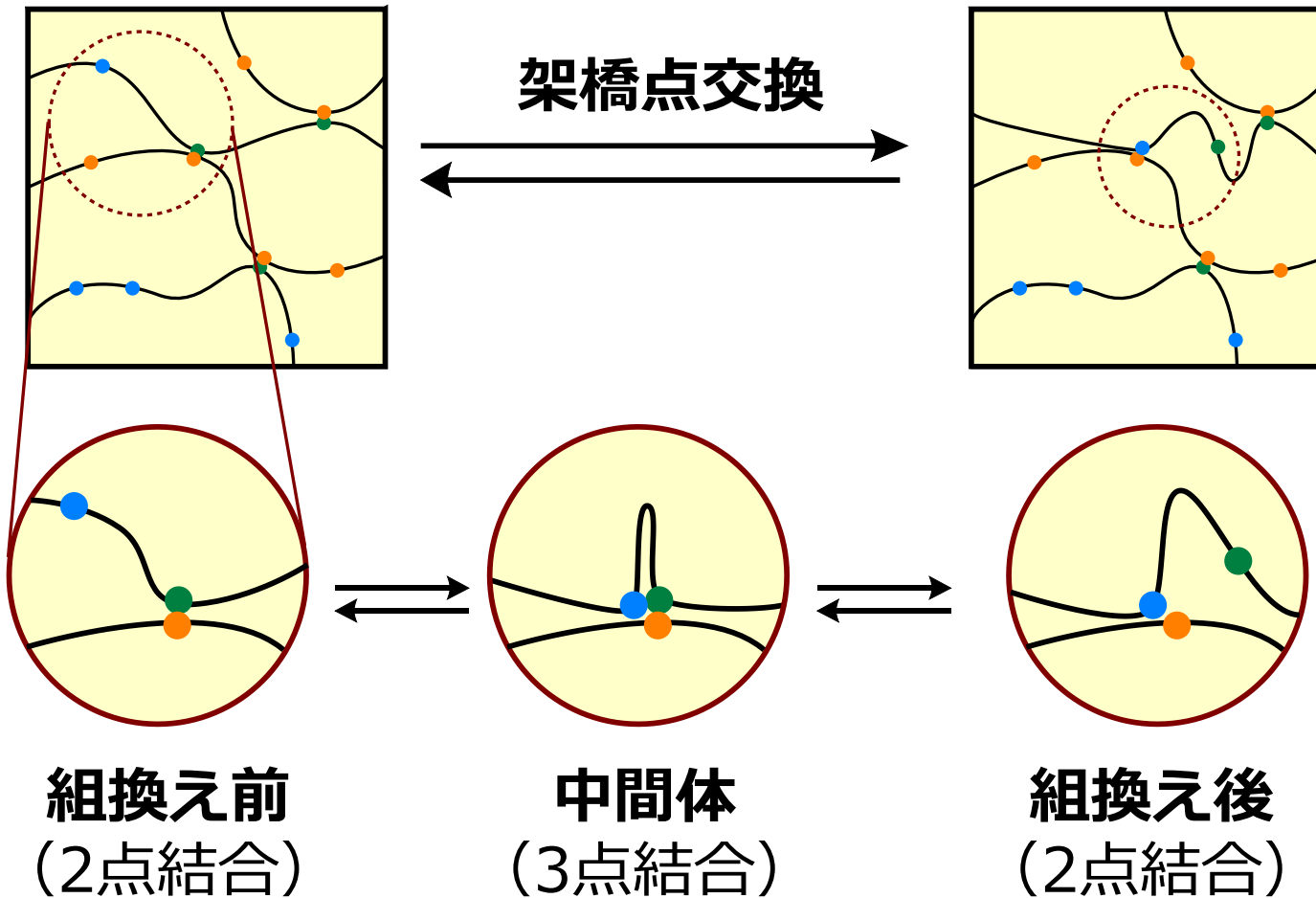
8



- ✓ COOH基またはOH基と、新型架橋剤の反応で架橋樹脂を合成
- ✓ 分解剤（後述）により脱架橋，原料ポリマーを回収
- ✓ すべての反応は室温で実施可

発明の背景 | ビトリマーとは？

架橋を解かずに架橋が組換わるネットワークポリマー



- ✓ 熔融成形可
- ✓ 加熱熔融しても高粘性を維持



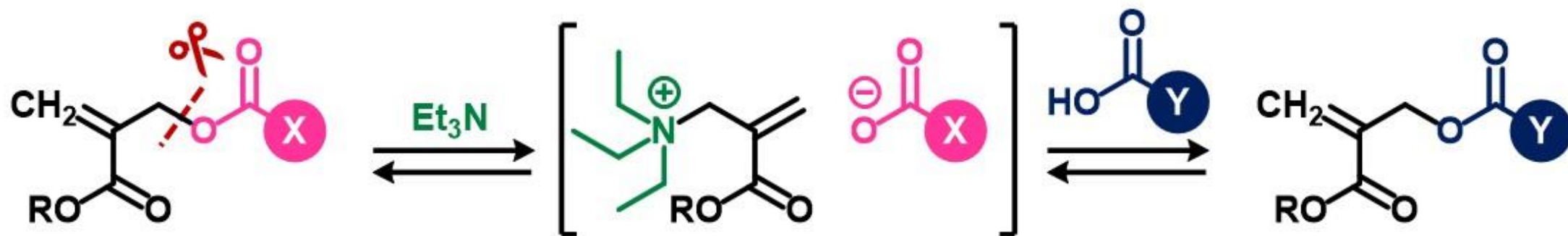
- ✓ 成形可能性
- ✓ 修復性
- ✓ リサイクル性
- ✓ 応力緩和性

発明の背景 | 新しい結合交換反応の採用

10

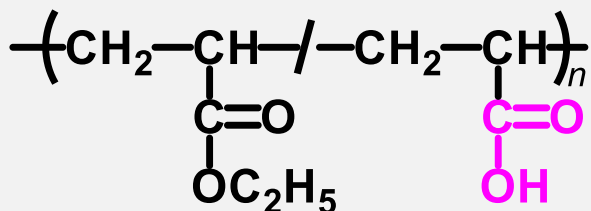
Y. Kohsaka, *Polym. J.* 2020, 52, 1175

共役置換反応によるカルボン酸交換



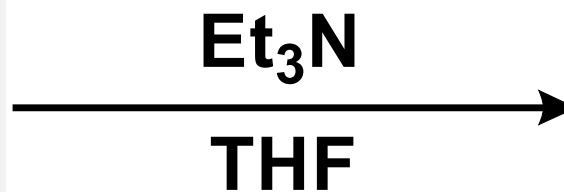
- ✓ アンモニウム中間体経由
 - ▶ 一瞬、架橋が解けるが…ビトリマーに適用できる？
- ✓ 室温でも数分以内に完了する高速結合交換

新技術の特徴 | 室温で、アクリルゴムからビトリマー | 11



71 mol% 29 mol%

$M_n = 37500, M_w/M_n = 2.61$



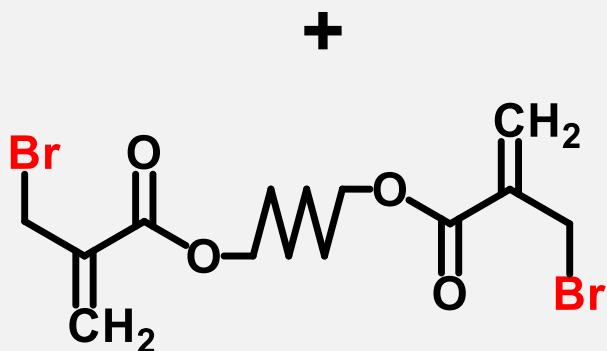
洗浄・乾燥



架橋ゴム
(成形不可)



触媒添加
(10 wt%)

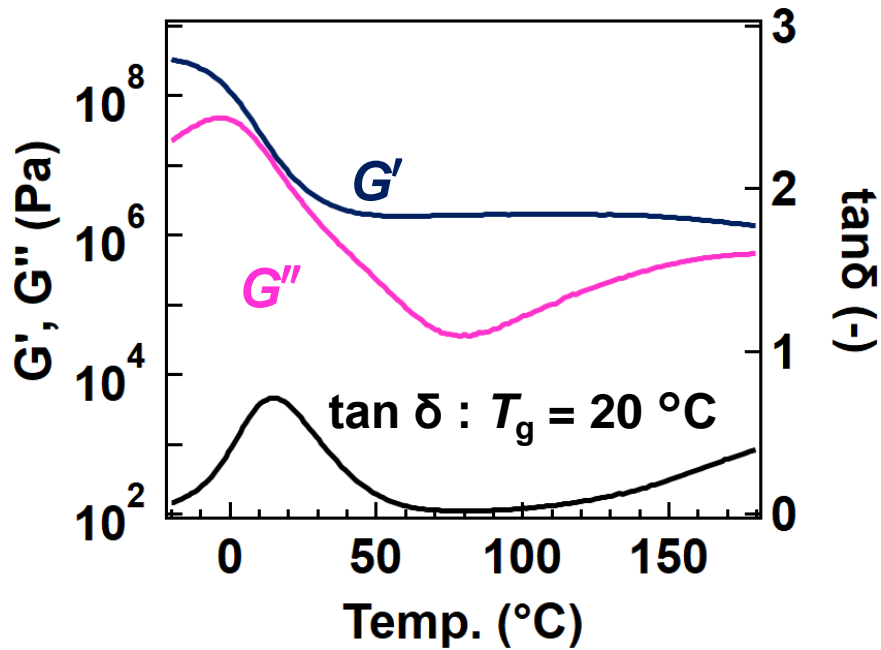


(株)ケミクレア
共同研究開発品

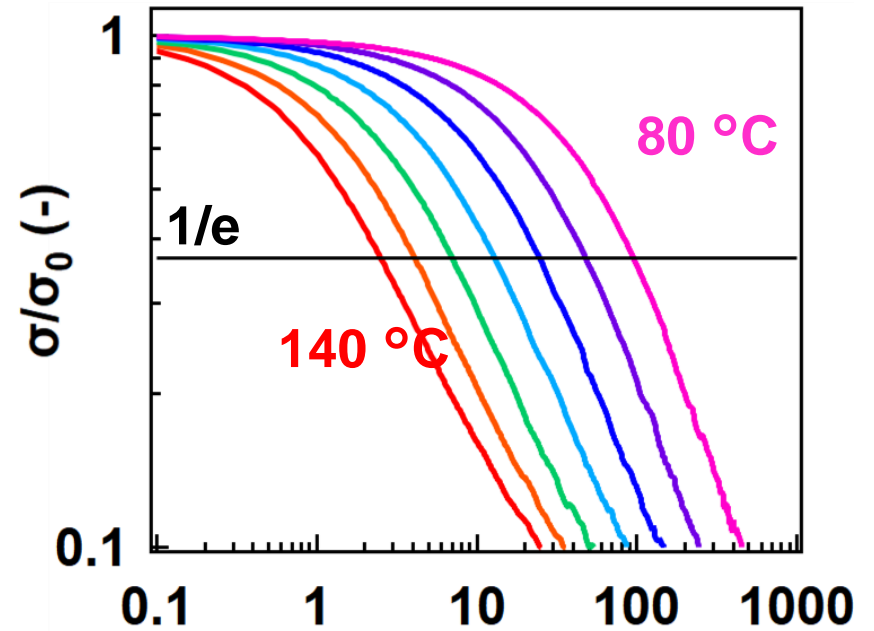


新技術の特徴 | 架橋は維持, でも迅速に応力緩和 | 12

動的粘弾性試験



応力緩和試験



ゴム状平坦領域 → 架橋構造を維持
高温で損失弾性率 G'' が増加
→ 1 Hzの振動に対し応力緩和？

既存のビトリマーと比べて
圧倒的に速い応力緩和
(140 °Cで緩和時間 τ 2秒)

従来技術との比較 | 桁違いに速い応力緩和

13

新しい結合交換反応の採用

▶▶ 既存のアクリル系ビトリマーと比べて、圧倒的に速い応力緩和

素反応	主モノマー	T_g (°C)	測定温度 (°C)	τ (sec)	Ref.
ジスルフィド交換	<i>n</i> BA	25	130	1400	1
エステル交換	HEMA	100	130	800	2
イミン交換	<i>i</i> BA	60	120	500	3
ビニローグウレタン交換	<i>n</i> BMA	90	150	30	4
ボロン酸エステル交換	MMA	100	160	6-18	5
共役置換 (カルボン酸交換)	EA	19	140	2	修論

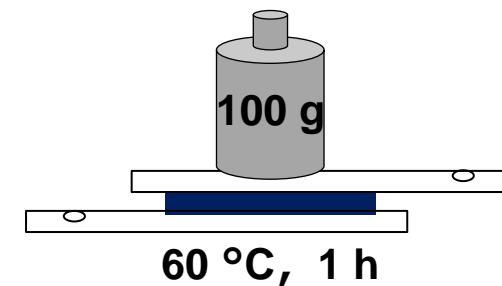
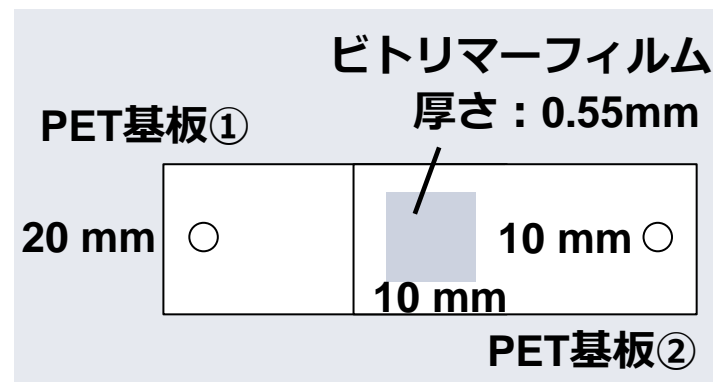
1) K. Yamawake, M. Hayashi, *Polym. Chem.* **2023**, *1*, 680. 2) S. Debnath, S. Kaushal, U. Ojha, *ACS Appl. Polym. Mater.* **2020**, *2*, 1006. 3) J.-T. Miao, M. Ge, S. Peng, J. Zhong, Y. Li, Z. Weng, L. Wu, L. Zheng, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2019**, *11*, 40642. 4) J. J. Lessard, G. M. Scheutz, S. H. Sung, K. A. Lantz, T. H. Epps III, B. S. Sumerlin, *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 283. 5) Z. Wang, Y. Gu, M. Ma, M. Chen, *Macromolecules*, **2020**, *53*, 956.

従来技術との比較 | 速い架橋点交換がもたらすもの | 14

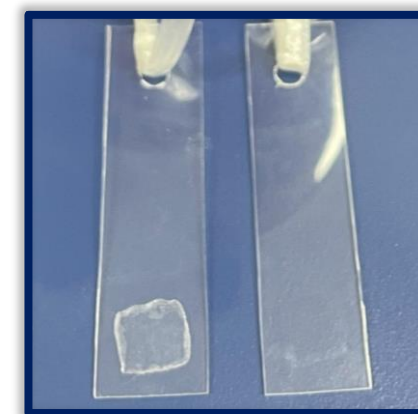
機能1 易成形加工性 (アイロンでの自己接着)



機能2 接着シートとしての応用

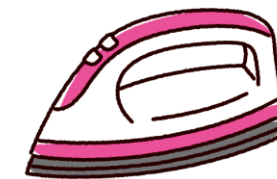
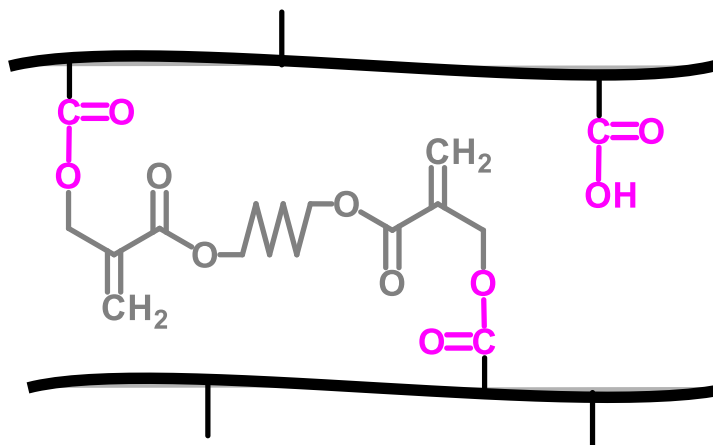
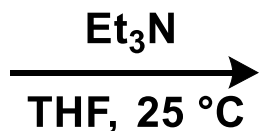
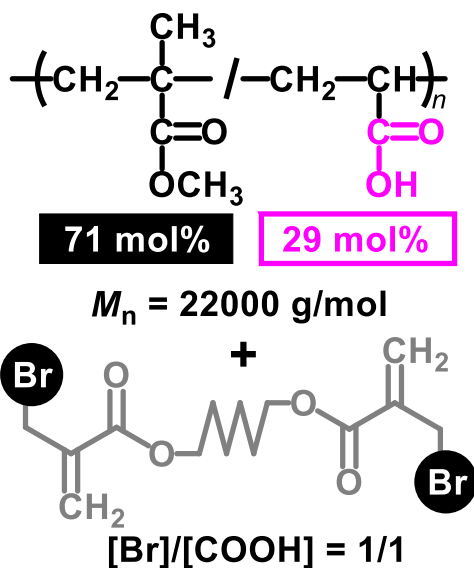


アルミ, PMMAも
接着



新技術の特徴 | 架橋アクリルガラスへの応用

15



アイロン加熱
30秒



洗浄

真空乾燥



成形前



プレス成形
160 °C, 2分

触媒添加
(10 mol%)



新技術の特徴 | 選べる樹脂タイプ



硬質タイプ (PMMAベース)

軟質タイプ (PEAベース)

引張弾性率
破断強度
破断伸度
 T_g
緩和時間
アイロン成形

1.3 GPa

35 MPa

3%

93 °C

5 sec@140 °C

可 (アルミホイルで当て布)

2.4 MPa

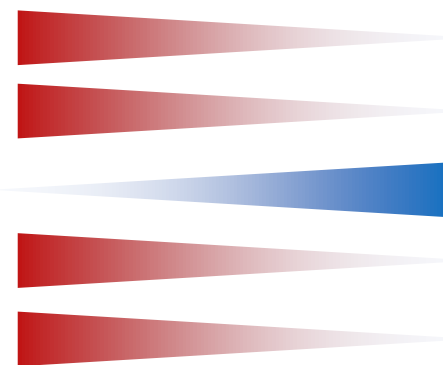
1.8 MPa

65%

19 °C

2 sec@140 °C

可 (クッキングシートで当て布)



想定される用途 |

| 17



硬質タイプ (PMMAベース)

ディスプレイ用コーティング剤
(易修復性を活用)

剥離可能な接着剤,
印刷用フィルム
(易分解性を活用)



軟質タイプ (PEAベース)

除振シート, 粘接着剤
(素早い応力緩和を活用)

異種材料の接着シート
(易成形性, 架橋点交換を活用)

実用化に向けた課題 |

18

製造プロセスの簡略化 ▶ 架橋剤の改良で克服可
(洗浄, 触媒の後添加を省略できる新設計を採用)

触媒, 反応性基の使用量の削減

- ▶ 高活性触媒 / 触媒担持型樹脂
- ▶ より高活性な結合交換反応の採用

↓
ここまでの戦略は立案済みです
(実証には時間と労力, 開発資金が不足)

用途に合わせた樹脂設計 ▶ モノマー組成, 非アクリル系

企業への期待 |

19

1. 製品化イメージの提示

- ▶ 基本となる樹脂設計, 具体的な要求性能の明確化
- ▶ 優先する開発項目を策定

2. 試作品作製に向けた資金援助, 情報提供

- ▶ 実践的な合成処方の開発
- ▶ 市場にある原料や, 受託合成先の紹介



包括的な大型共同研究, 将来的な起業支援も歓迎

企業への貢献, アピールポイント |

20

1. 基本特許がもつ広い守備範囲

- ▶ アクリル系以外も包含:
スチレン系, ペプチド, 多糖類などの架橋体も含む
- ▶ カルボン酸交換以外も包含
フェノール交換, アルコール交換も含む
- ▶ 脱ハロゲン化も想定した請求項

2. 豊富なチューニングオプション

- ▶ 樹脂設計, 触媒設計, 架橋剤設計

ビトリマーの社会実装に向けた, 先駆的な取組へ

本技術に対する知的財産権 |

| 21

- 発明の名称：
架橋高分子化合物およびその製造方法並び
に高分子化合物の生成方法
- 出願番号 : 特願2021-033673
- 登録番号 : 特許7441526号
- 出願人 : 信州大学
- 発明者 :
高坂 泰弘 (発表者)
大矢 高史, 北河 大葵 (出願当時の学生)

お問い合わせ先

株式会社信州TLO 

T E L 0268 – 25 – 5181

F A X 0268 – 25 – 5188

e-mail info@shinshu-tlo.co.jp