

# Supramolecular Polymer

温故知新～超分子と汎用性高分子が織りなす未来



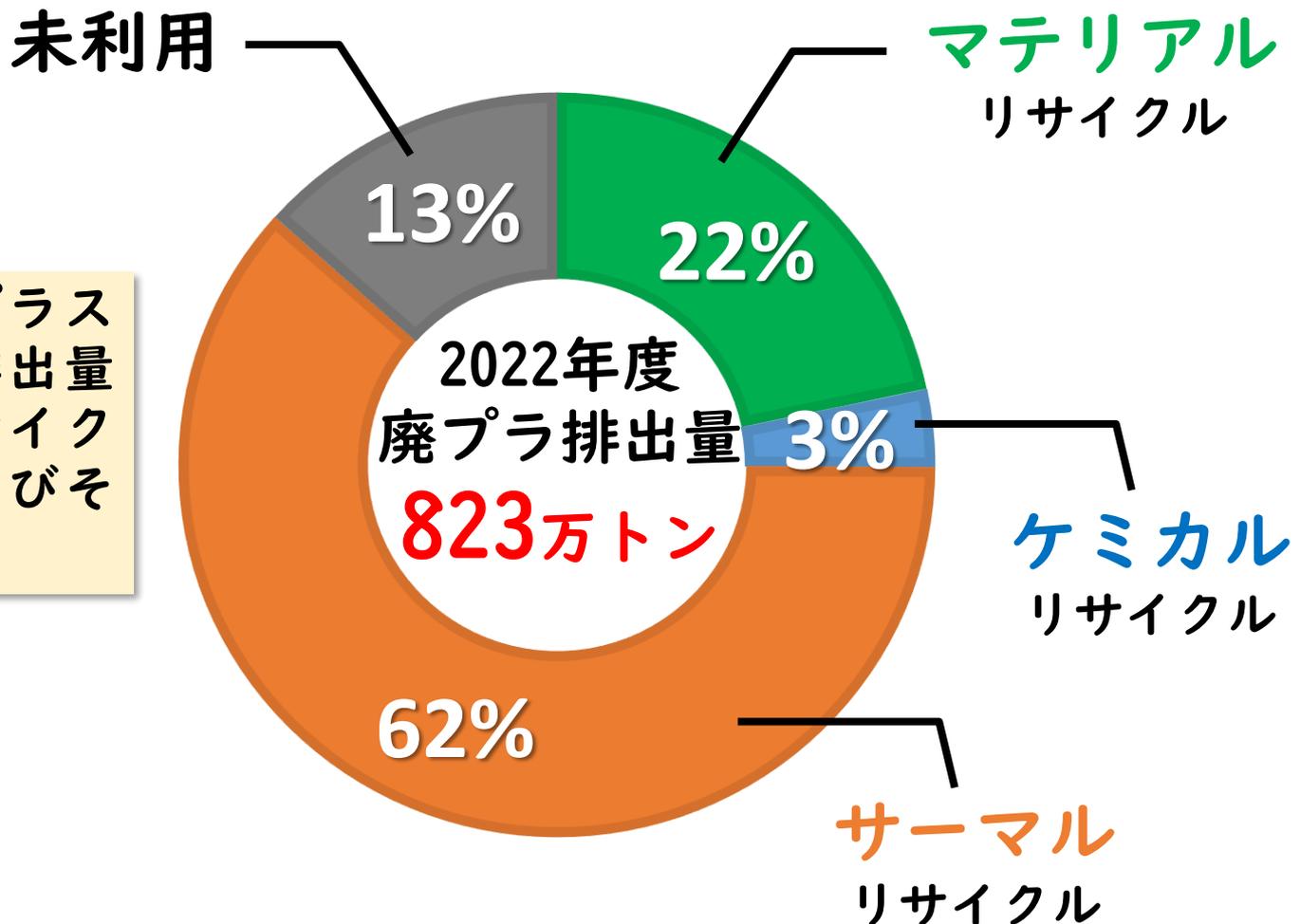
山口大学大学院 創成科学研究科 物質工学系専攻

講師 山吹一大

2024年12月3日(火)

## 今回の関連分野

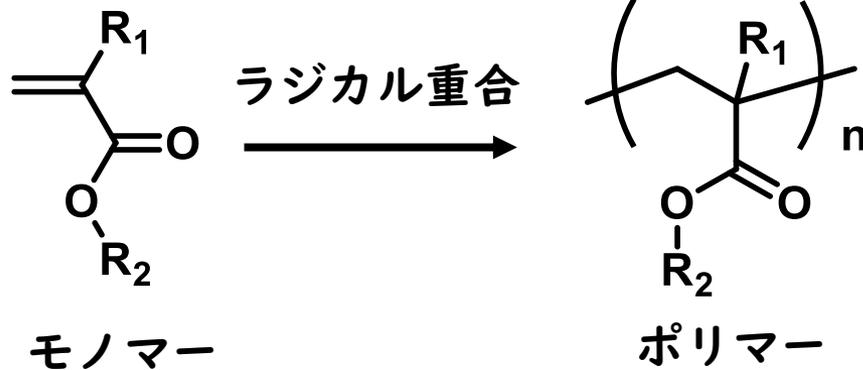
# プラスチックのリサイクル



日本の廃プラスチックの排出量とそのリサイクル方法およびその内訳

# 従来技術とその問題点

## 例) アクリル樹脂



特性：高い透明性(有機ガラス)、耐衝撃性、加工&着色容易など

用途：水族館のパネル、**コロナ感染対策用の仕切り板**、3Dプリンター、歯科用レジン、高吸水性樹脂、塗料、電池材料、自動車部品、粘着剤・接着剤、光学レンズ、ディスプレイ材料など

## 一般的なリサイクル方法～ケミカルリサイクル

- ・ 高温(400~500°C)における熱分解によってモノマーに再生 (住友化学 etc.)
- ・ マイクロ波による熱分解によってモノマーに再生 (三菱化学 etc.)

## ケミカルリサイクルの問題点

- ・ 高コスト(分解および精製に必要なエネルギーが大きい)
- ・ 設備のメンテナンス(維持管理)

## 本技術で目指すリサイクル方法

# 新・マテリアルリサイクル

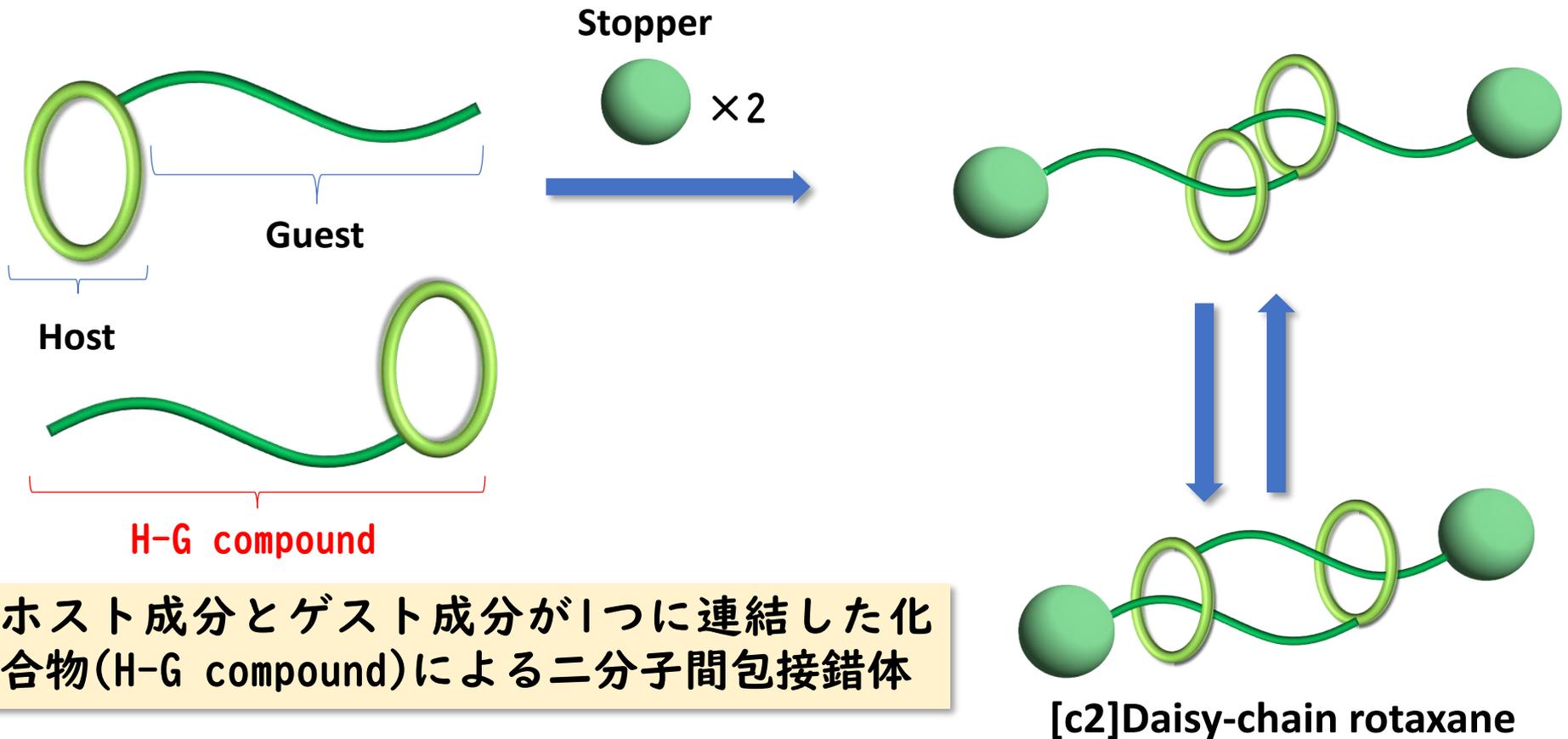
### 目指すべき効果(特徴)

- リサイクルコストをDOWN
- リサイクル時の二酸化炭素排出量をDOWN
- ポリマー純度をUP
- 別のポリマーにも再生可能

# 本技術のキー骨格

挿し違えロタキサン

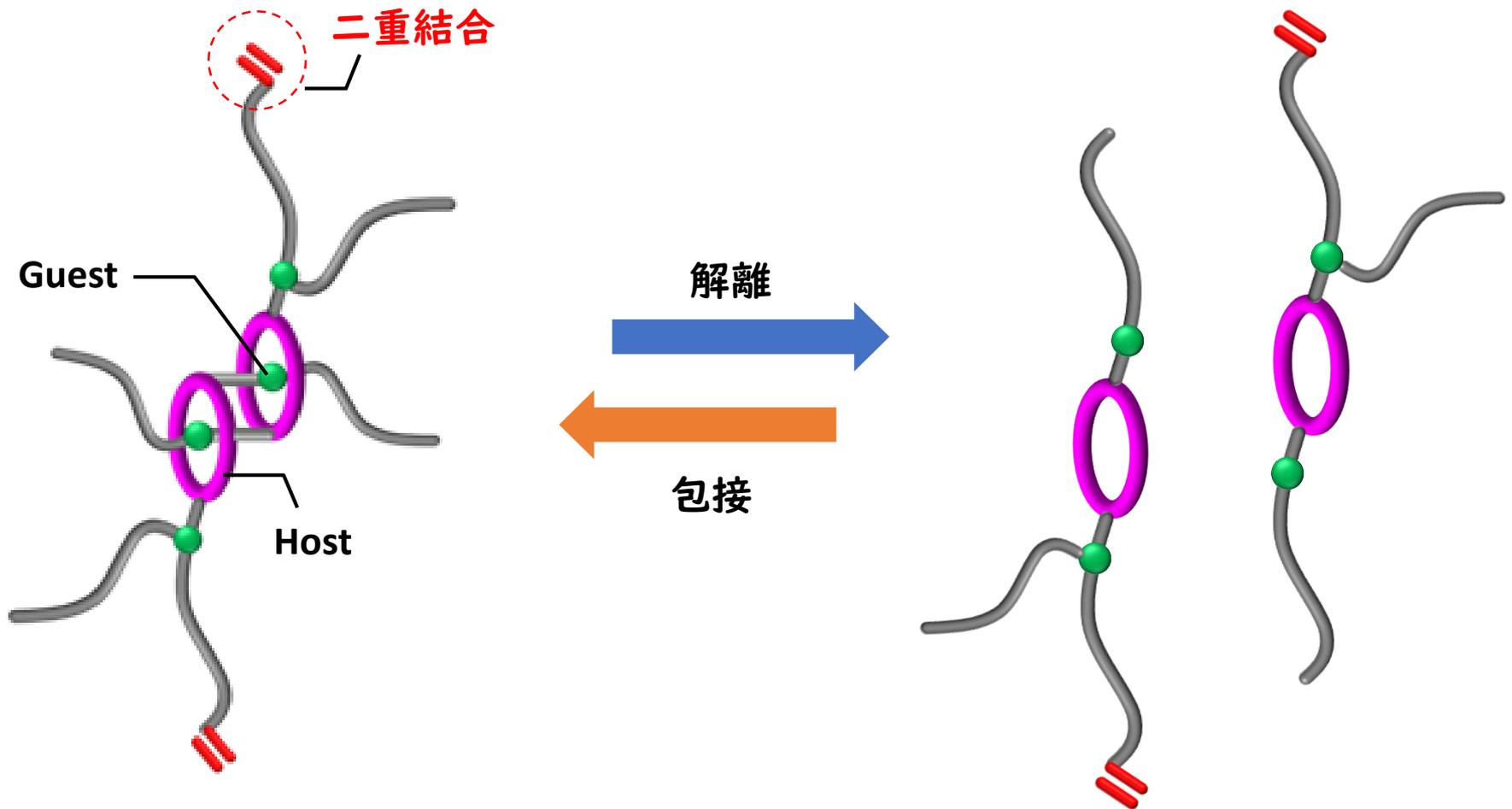
## [c2]Daisy-chain Rotaxane



# 発明①：キー骨格を用いた新規架橋剤の開発

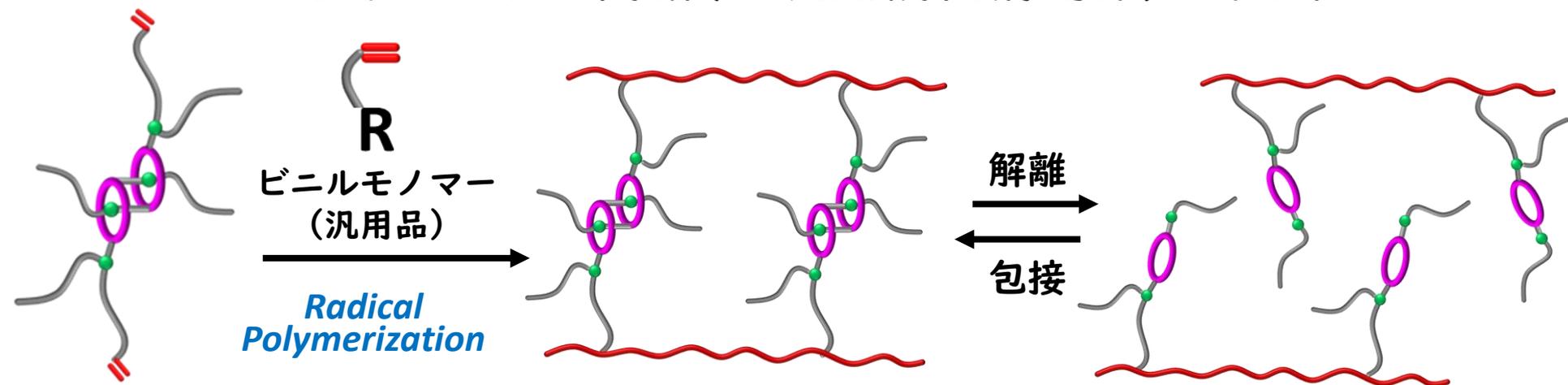
## 擬似[c2]Daisy-chain Rotaxane架橋剤

**ポイント：**ラジカル重合性を有する化合物が可逆的にジビニル体とモノマー体に変化



# 発明②：分解/再成型可能な汎用ポリマーの開発

## 汎用アクリル樹脂(三次元網状構造体)の合成



[c2]Daisy-chain  
Rotaxane 架橋剤

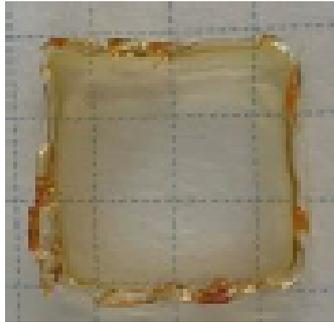
GHG-type [c2]daisy-chain rotaxane network

	MMA		MEM		DGMEM	
	MMA	Crosslinker	MEM	Crosslinker	DGMEM	Crosslinker
Molar ratio	20	1	20	1	20	1
	-	-	-	-	10	1
	-	-	-	-	1	0

※Control

# 発明②：分解/再成型可能な汎用ポリマーの開発

MMA : Rotaxane    MEM : Rotaxane



20 : 1



20 : 1

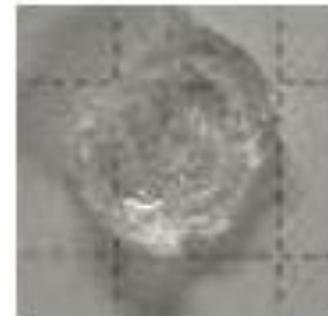
DGMEM : Rotaxane



20 : 1



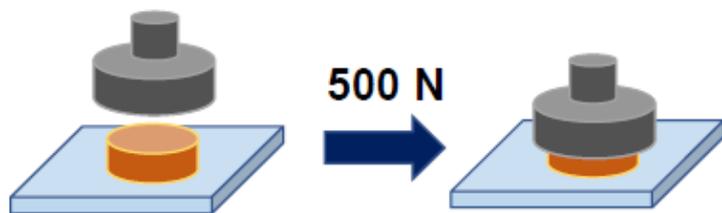
10 : 1



1 : 0 (Control)

# 発明②：分解/再成型可能な汎用ポリマーの開発

## 耐圧縮試験



Dry gel ( $\phi$  8 mm,  $t$  3 mm)

Poly (DGMEM)  
✳Control



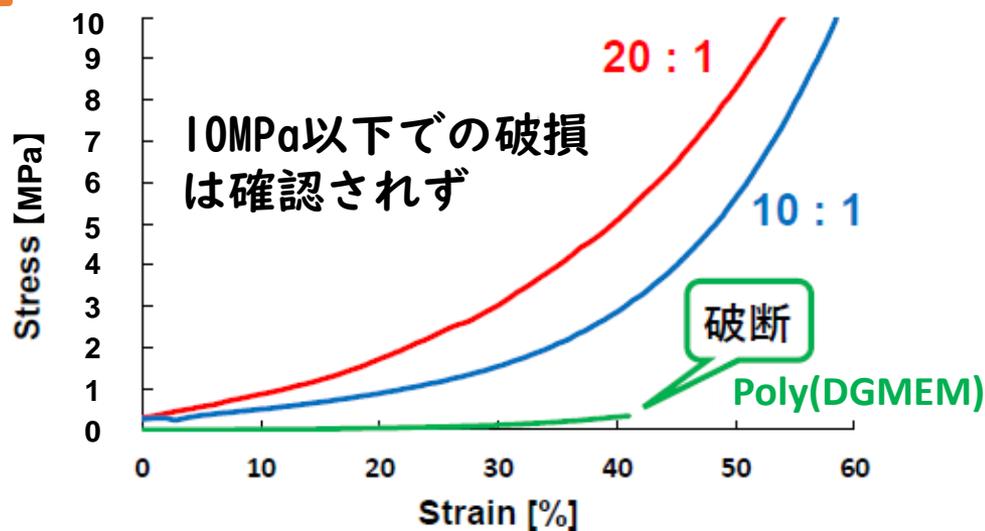
10:1



20:1



## DGMEM : Rotaxane



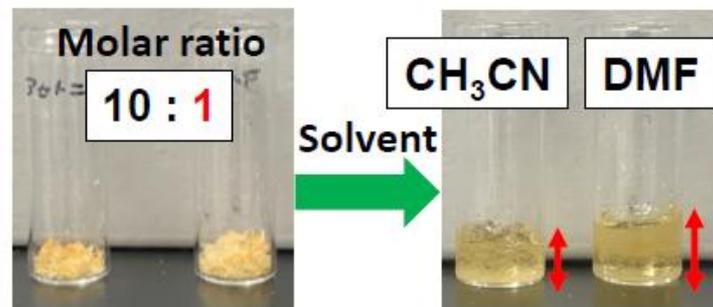
応力-ひずみ曲線 (S-S曲線)

ポリマー DGMEM:Rotaxane	ひずみ (%)	応力 (MPa)
Poly(DGMEM)	40	0.3
10 : 1	62	9.7
20 : 1	54	9.8

# 発明②：分解/再成型可能な汎用ポリマーの開発

## 膨潤度試験

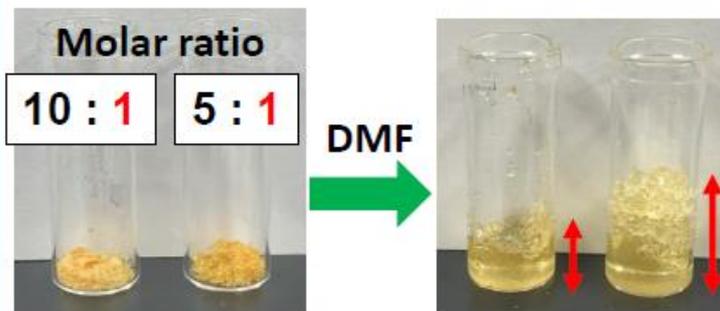
### 異なる溶媒での膨潤挙動



膨潤度 : wet(g) / dry(g) × 100    540 %    850 %

膨潤度 : CH<sub>3</sub>CN < DMF    約1.6倍

### 異なる架橋密度での膨潤挙動



膨潤度 : wet(g) / dry(g) × 100    850 %    1400 %

膨潤度 : 10:1 < 5:1    約1.6倍

5 : 1



1.5 cm



3.0 cm

DMF中で包接が解離

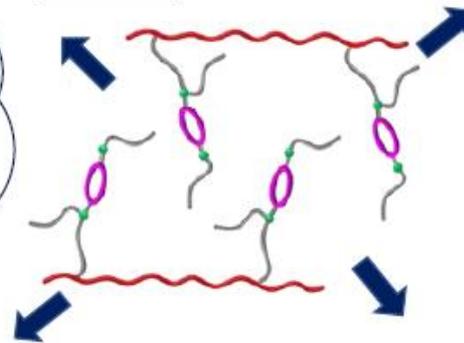


架橋密度が低下

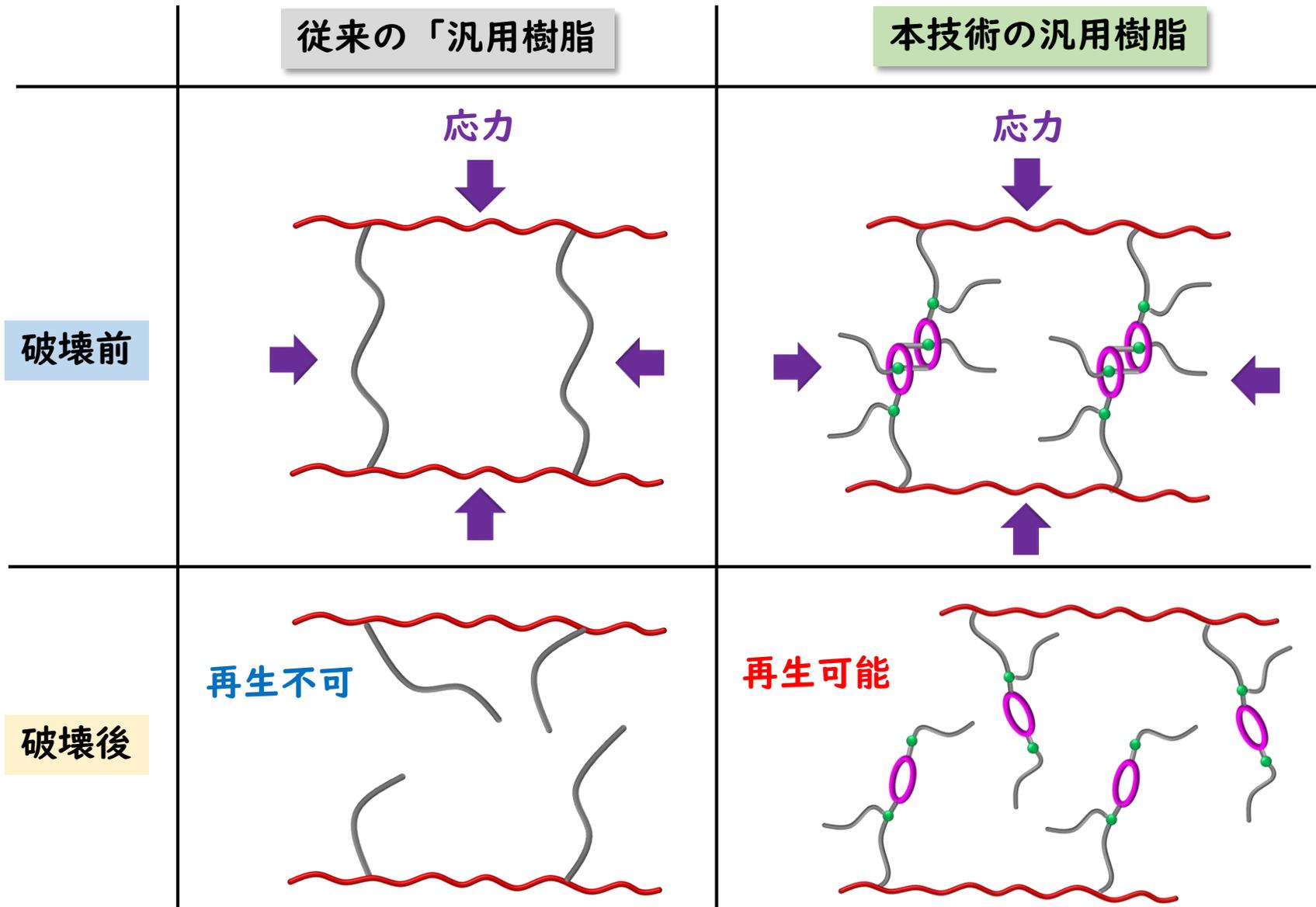


膨潤度が向上

in DMF



# 本技術のまとめ



# 想定される用途

- ラジカル重合性を有するビニルモノマーとの共重合が可能であるため、**現状の使用されているビニルポリマーの置き換え**を想定
- リサイクル材料だけでなく自己修復および刺激応答性材料とも捉えることができるため、**耐久性が求められる用途**(自動車のタイヤ、電池のゲル電解質、人工アクチュエータなど)に複合材料として利用することも想定
- ビニルモノマーに限らず、ジビニル、トリビニル、テトラビニルなどの**マルチビニル化合物**を用いた直鎖/分岐ポリマーの合成も可能(重合方法の変更)\*ご相談ください。
- **ラジカル重合性に乏しいオレフィン化合物**にも適用可能(重合方法の変更)\*ご相談ください。

# 実用化に向けた課題

- 汎用性ビニルモノマーとの共重合の条件検討： 対称としている汎用性ビニルモノマーの種類、モル比などの条件検討が不足しているため、さらなる重合反応の最適化が必要
- 汎用性ビニルモノマーを用いた実際のリサイクル特性： 現状は使用している汎用性ビニルモノマー自体が重合後にゲル化するため、別のモノマーを使った検討が必要
- 工業的なリサイクル方法の検証： 現状、ラボレベルでは再沈殿法を利用したりサイクルを検討しているが、工業レベルで採算が取れるかは要検討
- 本技術によって得られたポリマーの力学強度の評価： 既存の汎用ポリマーの代替品となり得る力学強度を実際に有しているか要検討

## 企業への期待

以下の企業との共同研究を希望（両者でリソースを提供し合うスタンス）

- ビニルモノマー製造メーカー
- ポリマー製造メーカー
- ポリマー加エメーカー
- ポリマーの物性評価が可能なメーカー
- その他、新規用途に使用されたい企業

## 企業への貢献、PRポイント

本技術は既存のポリマー合成技術や材料を一新するものではなく、新しい技術とこれまで培ってきた技術の「共存」を重要視しています。

最小限の変更で最大限の効果を発揮できるため、ポリマー合成に関してはこれまでの製造ラインに大きな変更を加えることなく、リサイクルはより簡易なプロセスにすることで、多くの企業が参画しやすい研究を目指しています。

# お問い合わせ先

山口大学 学術研究部 産学連携課

電話番号：0836-85-9961

E-mail：[yuic@yamaguchi-u.ac.jp](mailto:yuic@yamaguchi-u.ac.jp)