

PJ: 非可食性バイオマス为原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発

担当機関名: 東京大学新領域創成科学研究科

問合せ先: 伊藤耕三(kohzo@edu.k.u-tokyo.ac)、加藤尚樹(naokikato@g.ecc.u-tokyo.ac.jp)



■超分子や自己修復、動的架橋などの最先端のポリマー技術を海洋プラ問題に展開。環境への流失が不可避で回収困難な農業用資材、タイヤ摩耗粉、漁業用資材向けプラスチックの環境分解を対象とし、分解性と耐久性を両立するマルチロック機構を導入し、オンデマンド分解を実現します。また、非可食性バイオマス原料を用いてCO2削減も達成します。

概要図



検討体制

NEDO	委託先 再委託先	機関代表 leader
担当 材料・ナノテクノロジー部 バイオエコノミー推進室	2 三菱ケミカル 3 プリチストン 5 クレハ	楠野 篤志TL 浜谷 悟司TL 正木 崇士TL
伊藤 P J 伊藤耕三 P.M	東京大学	伊藤 耕三
事務局	1 京都工芸繊維大学 神戸大学 大阪公立大学 信州大学 長岡技術科学大学 化学物質評価研究機構	岡崎 進 吉江 尚子 佐々木 園 佐藤 春実 佐藤 絵理子 高坂 泰弘 笠井 大輔 菊地 貴子
委託先 : 1 機関 再委託先 : 6 機関	6 九州大学 7 名古屋大学 8 山形大学	高原 淳 上垣外 正己 伊藤 浩志 松野 寿生
企業 : 3 機関 アカデミア : 14 機関 (17Gr)	9 地球環境産業技術研究機構 10 産業技術総合研究所 11 愛媛大学 12 東京工業大学	乾 将行 森田 裕史 日向 博文 佐藤 浩太郎

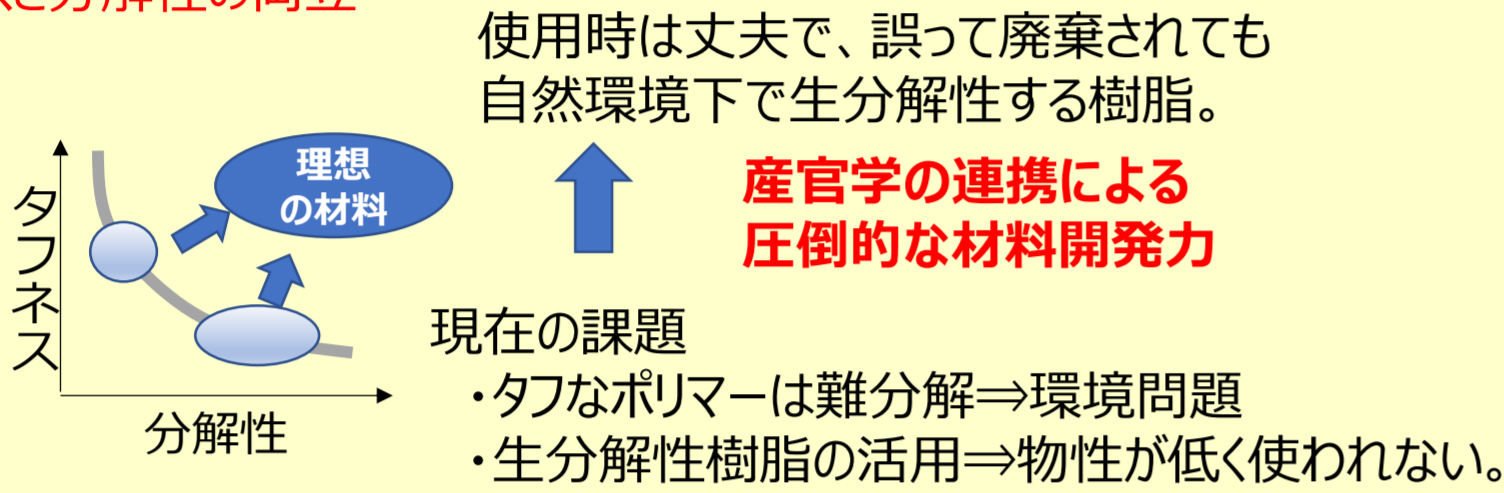


共通課題	目標	代表機関	メンバー
E1+E3 マルチロック型分解機構 (スイッチ機能) の開発	モデル樹脂やエラストマーを対象に、コポリマー、動的架橋、触媒、酵素などを利用して、海洋環境で想定される複数の刺激でオンデマンド分解可能なマルチロック型分解機構を開発する。	東大, 名大, RITE, 東工大, 産総研	大阪公大, 信州大, 長岡技科大
E2 海洋も含む環境分解機構の解明	海洋も含む自然環境下での、モデル樹脂やエラストマーの分解機構を解明する。	九大, 京都工織大, 神戸大	産総研, CERI
E3-1 非可食性バイオマスを原料としたポリマーの開発	非可食性バイオマスを原料とするモノマーを、酵素や有機合成を利用して合成するとともに、その重合法についても検討する。	名大, 東工大, 信州大	大阪公大, RITE
E3-2 環境分解性ポリマーの耐久性および強靱性の向上	成形加工技術、動的架橋、コポリマー、超分子などを用いることで、海洋も含む環境分解性ポリマーの耐久性および強靱性向上について検討すると共に、自己修復性に関する検討も行う。	山形大, 九大, 東大, 名大	産総研
E4 海洋も含む環境分解性の評価	海洋中でのプラゴミや繊維くず、漁網、タイヤ摩耗粉の動態解析と海洋中での分解評価、高速分解評価手法の開発を検討する。	愛媛大, CERI	
E5 オリゴマーの海洋生分解性と安全性	各企業で開発しているポリマーに相当するオリゴマーを合成し、海洋分解性と安全性を評価する。	九大, 名大, 東工大, 信州大	CERI
E6 CO2固定用海藻を原料としたポリマーの開発	ARPA-Eから提供されるCO2固定性能が優れた海藻 (Macroalgae) を原料として海洋生分解性プラスチックを合成し、その海洋生分解性と機械特性を評価する (ARPA-Eとの共同研究)。	東大, RITE, 名大, 東工大, 信州大	愛媛大, CERI, 山形大

1. 目的・コンセプト

【目的】 非可食資源から製造される脂肪族ポリエステルに**マルチロック機構を組み込み**、複数外部刺激によってロックを解除した後は**速やかに海水中で生分解するバイオプラスチック**の開発を行う。また動的架橋や超分子の導入、高次構造の最適化などによって良好な生分解性を維持しつつ生分解性プラスチックを強靱化することを目指す。本研究では**ポリブチレンサクシネート (PBS) 樹脂へのマルチロック機構の導入と強靱化**について検討する。

【コンセプト】 (内閣府主導のムーンショットプログラム) **タフネスと分解性の両立**



2. 目標

- FY2022 中間目標: マルチロック機構の概念実証
 - 外部刺激が 1 種類と複数の場合で、分解速度が 3 倍以上異なる
- FY2024 中間目標: **マルチロック機構と強靱化の両立**
 - 外部刺激が 1 種類と複数の場合で、分解速度が 10 倍以上異なる
 - 既存脂肪族ポリエステルと比較して、引裂強度 5 倍以上
- FY2027 中間目標: **ベンチスケール実証**
 - 20 kg 以上のスケールで製造可能であることを示す
- FY2029 最終目標: 以下の項目をスケールアップ品で達成する
 - マルチロック機構, ロック解除後の海洋生分解性: 海水中 (25 °C) の BOD試験で、**30日で分解度 40%**
 - **引裂強度**: 既存バイオポリマーの**10倍以上**
 - ベンチスケール以上の規模でのポリマー製造

3. アカデミア・三菱ケミカル検討内容

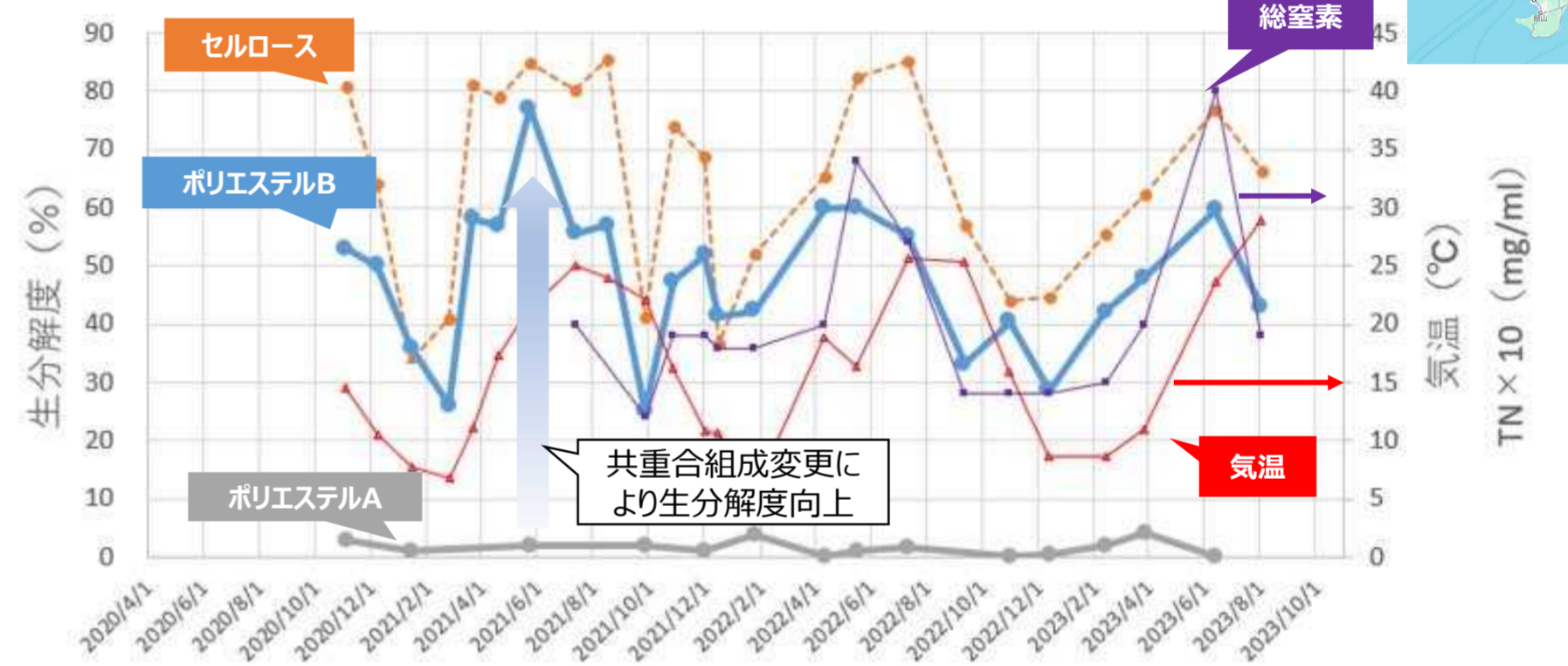
2023-2024年の方針

- ①分解性制御 (分解機構解明、トリガー機構の導入)
- ②引裂き強度の向上 (引裂きの解明と向上)

担当	研究内容
東京大 (伊藤耕先生)	タフネス改善、生分解促進 (PRの応用)
山形大 (伊藤浩先生)	タフネス改善 (引裂きメカニズム解明と混練技術)
山形大 (松野先生)	水環境下の酵素分解挙動の解析 (AFM)
京都工繊大 (佐々木先生)	引裂き過程における時間分解X線散乱測定 (SPring-8)
九州大 (高原先生)	光酸化劣化による構造変化と分解性 (自然環境モデル)
神戸大 (佐藤先生)	高次構造、分子間相互作用における分解性の影響 (テラヘルツ、低周波数ラマン分光法)
三菱ケミカル	マルチロック機構の導入 (共重合モノマー、促進剤、分解酵素を導入し、スイッチ機能を発現)

4. 生分解性経時変化

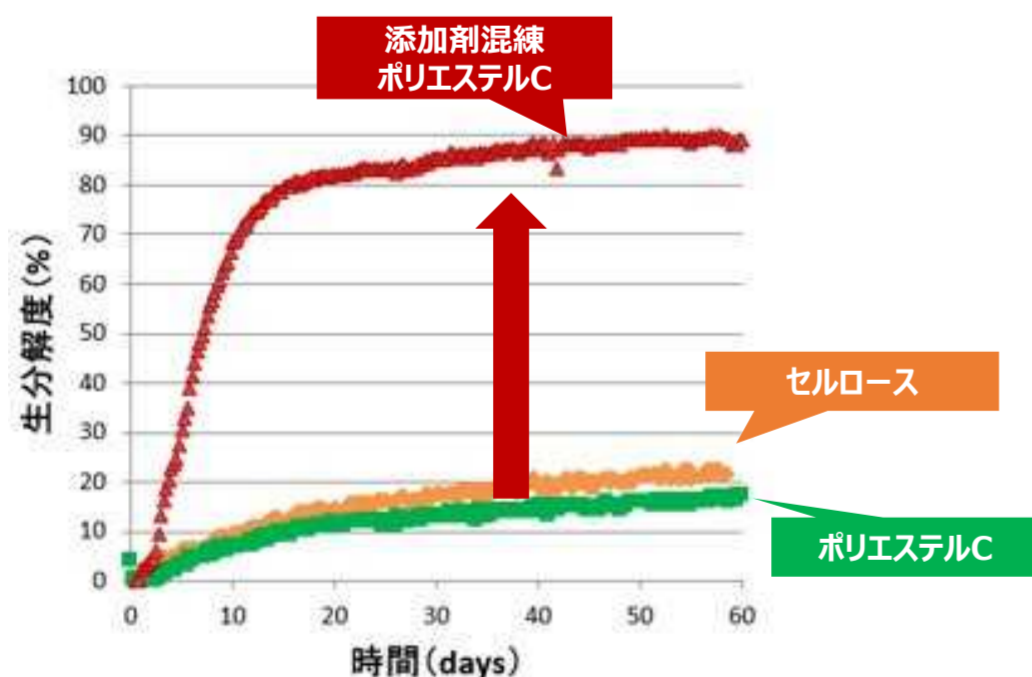
・定点 (東京湾) で採取した海水を用いて、セルロース、ポリエステルA、Bの生分解度測定を実施



- ・共重合組成変更 (ポリエステルA→ポリエステルB) により、大幅に海水生分解性を向上
- ・ポリエステルBは、セルロース同様、年間を通して比較的高い生分解性を維持
- ・ポリエステルB、セルロースの生分解性は、海水中の総窒素量と相関

5. 分解促進剤混練ポリエステル

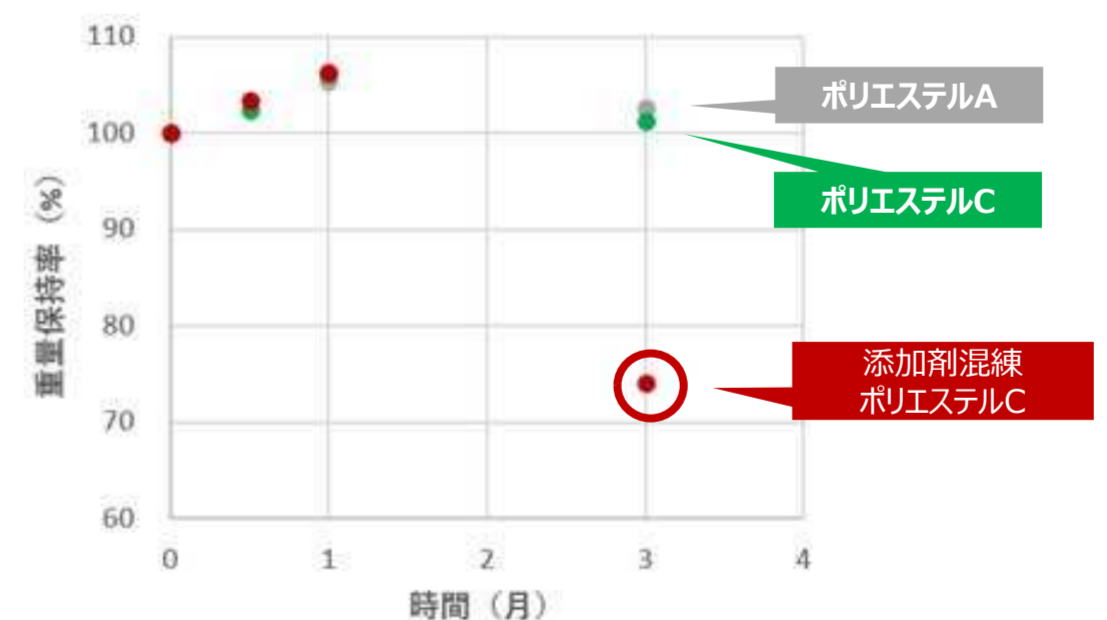
- ・ポリエステルCに各種添加剤を混練し、生分解性を評価。
- ・多くの添加剤で分解促進を確認。



- ・添加剤の混練により大幅な生分解性向上
- ・海水中の微生物 + 添加剤の作用で生分解促進
- ・スピード制御達成

6. フィールドテスト

- ・伊藤PJによる愛媛県愛南町でのフィールドテストに参加
- ・各種ポリエステルフィルムの重量変化等を評価



- ・表層に設置した添加剤混練ポリエステルCは3ヶ月後における顕著な重量減少を確認
- ・ポイント制御的な分解挙動

7. まとめと予定

●2023年度成果

- ・in situでのPBS, PBSAフィルム引裂過程での引裂部分のナノ構造変化追跡に成功。(京都工繊大・佐々木先生)
- ・PBSの引裂過程でのα晶からβ晶への結晶構造変化を検出。引裂向上のためのPBS/PR/触媒ブレンド検討実施。(山形大・伊藤先生)
- ・PBSAへのPRおよびPRナノシート添加により、靱性と生分解性向上を確認。PRナノシート表面への分解酵素導入検討。(東京大・伊藤先生)
- ・PBS共重合フィルムの抽出海水中における結晶構造、水素結合状態の繰り返し変化を確認。(神戸大・佐藤先生)
- ・PBS, PBSA光酸化分解に伴うα晶→β晶転移を観測。光分解は非晶領域で優先的に進行。生分解性はUV照射により促進。(九州大・高原先生)
- ・PBSAの加水分解酵素による表面構造変化をin situ AFM観察により評価。結晶配向の違いで分解速度の明確な差異を確認。(山形大・松野先生)
- ・PBS共重合体の年間を通しての高い海水生分解性を確認。添加剤混練共重合ポリエステルのフィールドテストで重量減少確認。(三菱ケミカル)

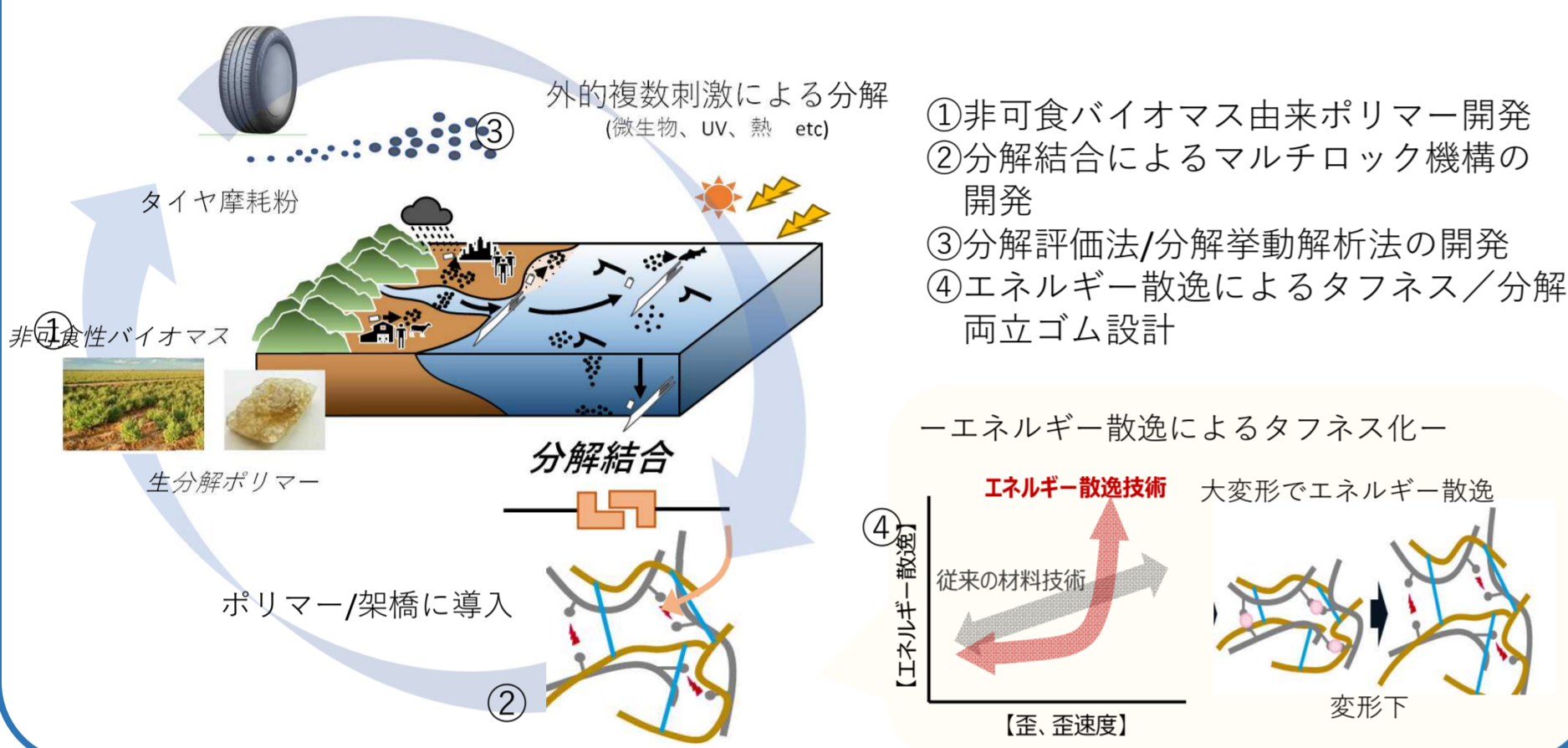
●今後の予定

- ①分解性制御 (ポイント制御の導入) ②引裂き強度の向上 (引裂きの解明と向上)

【本プロジェクトの研究項目】

近年、タイヤ摩耗粉の環境への影響が危惧されている。実質的な悪影響の有無については議論の余地がある一方、環境負荷低減/資源循環の観点からも技術開発が求められている。本検討では非可食性バイオマス为原料とし、使用後は速やかに分解可能なマルチロック機構を持つマルチロック型バイオポリマーを開発することにより、それら課題の解決を目指す。これまでImpACTプロジェクト(2014年~2019年)で培ってきたエネルギー散逸によるタフネス化技術を組み合わせ、タイヤ使用時の入力にはエネルギー散逸による強靭さを発揮し、摩耗粉状態ではタイヤ使用時にはない刺激(微生物もしくは光、熱、酸素など)に速やかに分解するタイヤを実現させる。

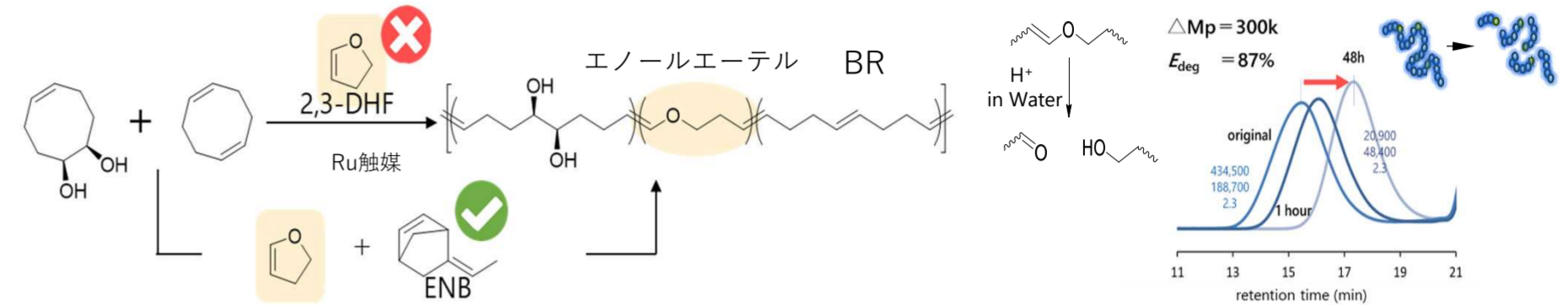
—タイヤ摩耗粉の生分解サイクル—



【マルチロック機構導入分解促進技術】

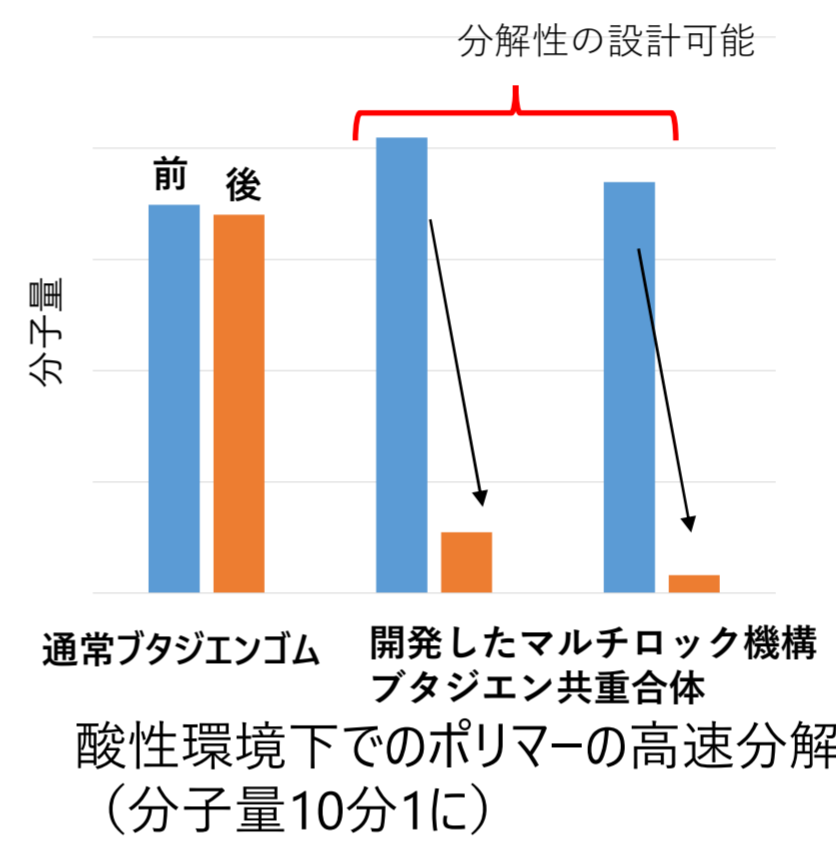
アカデミア連携で、ある刺激により速やかに分解するマルチロック機構を導入したジエンゴム共重合体の合成検討

【分子設計】 東大吉江教授連携

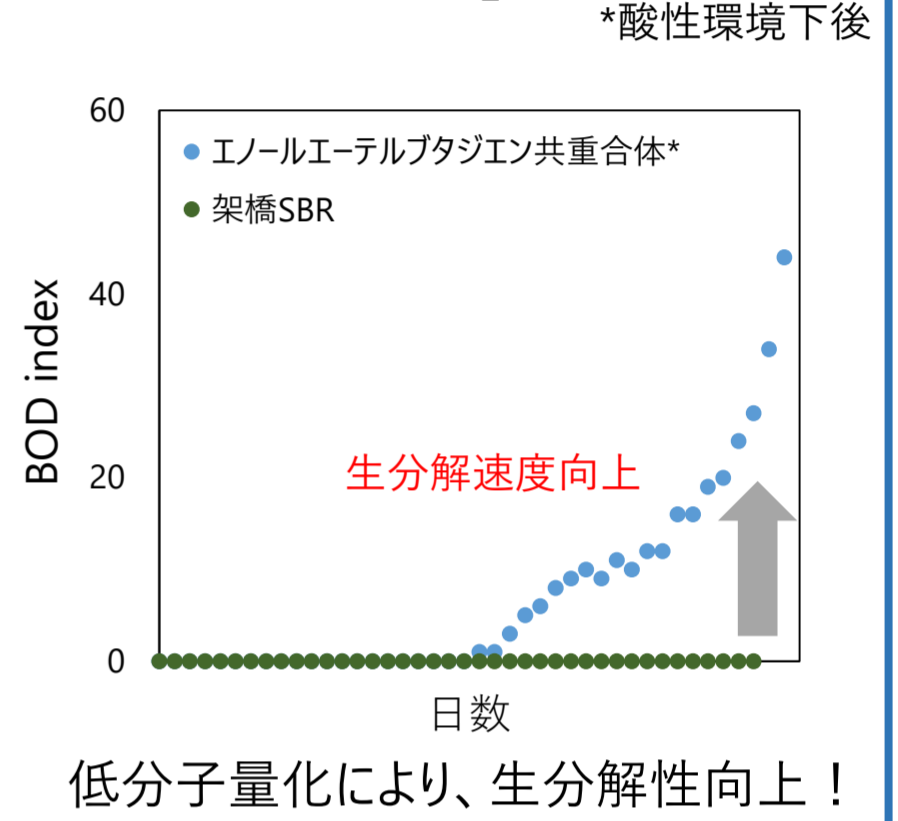


分解ユニットを導入できる合成経路を発見
⇒ マルチロック機能導入ブタジエン共重合体を開発

【ラボ分解検証】



【海洋生分解試験結果】

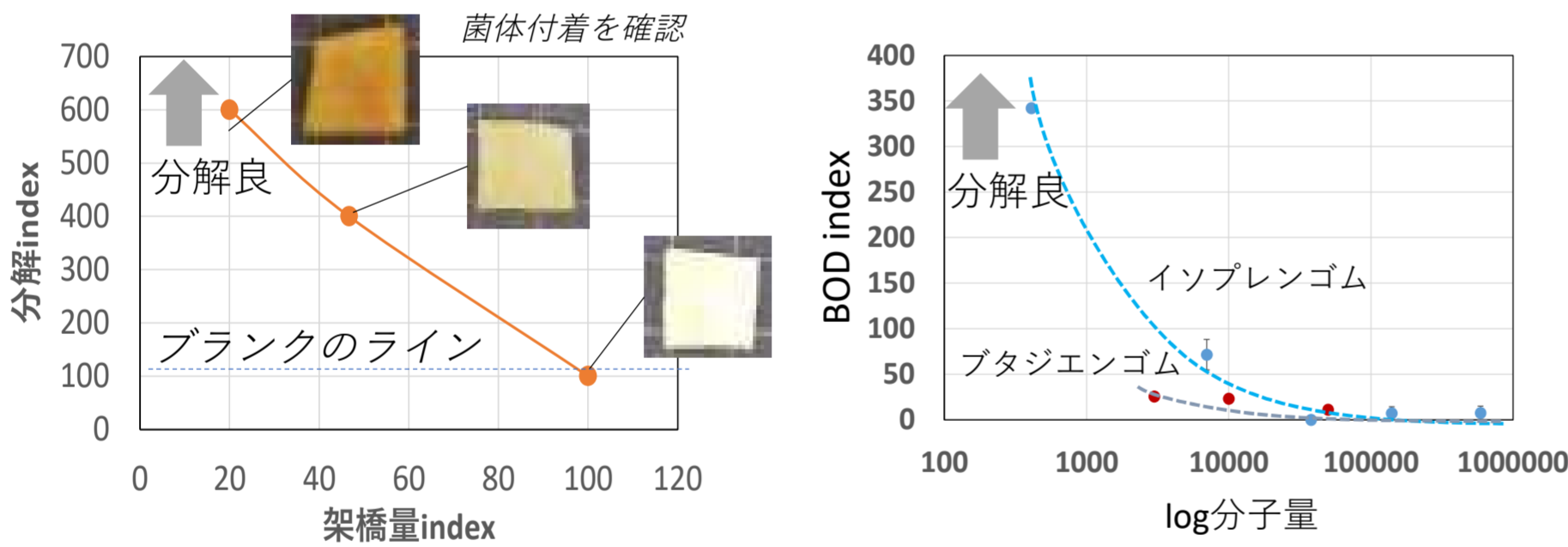


マルチロック機構導入ゴムを開発。生分解性を10倍以上向上するPOC達成

【マルチロック分解機構】

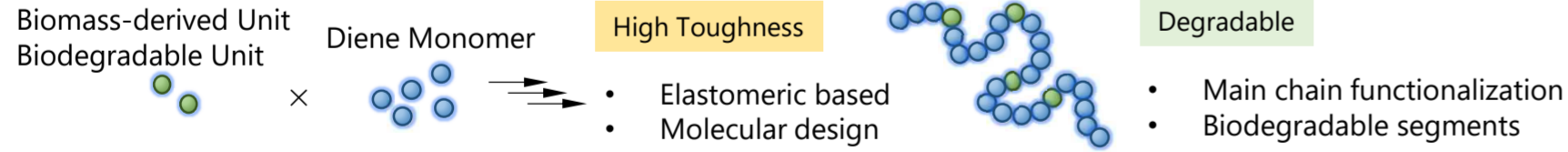
★ゴムを生分解させるには2つのロックを解除する必要がある！

【インプレングム分解菌試験 架橋量違い】 【海洋生分解試験 分子量違い】
長岡技科大笠井准教授連携



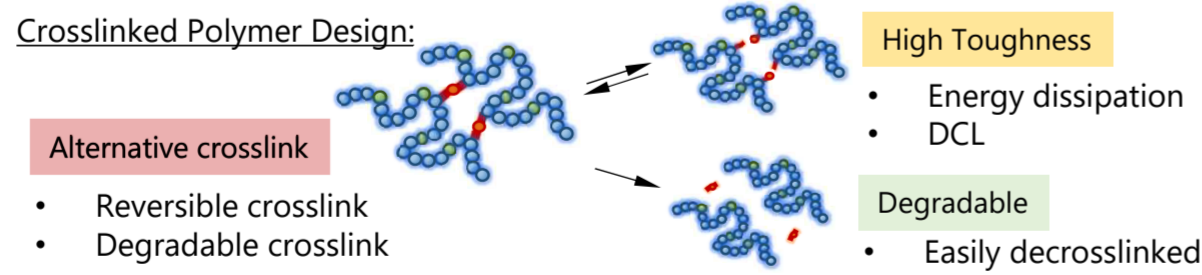
【低分子量化に向けた生分解性ポリマー開発】

アカデミア連携でのポリマーデザイン

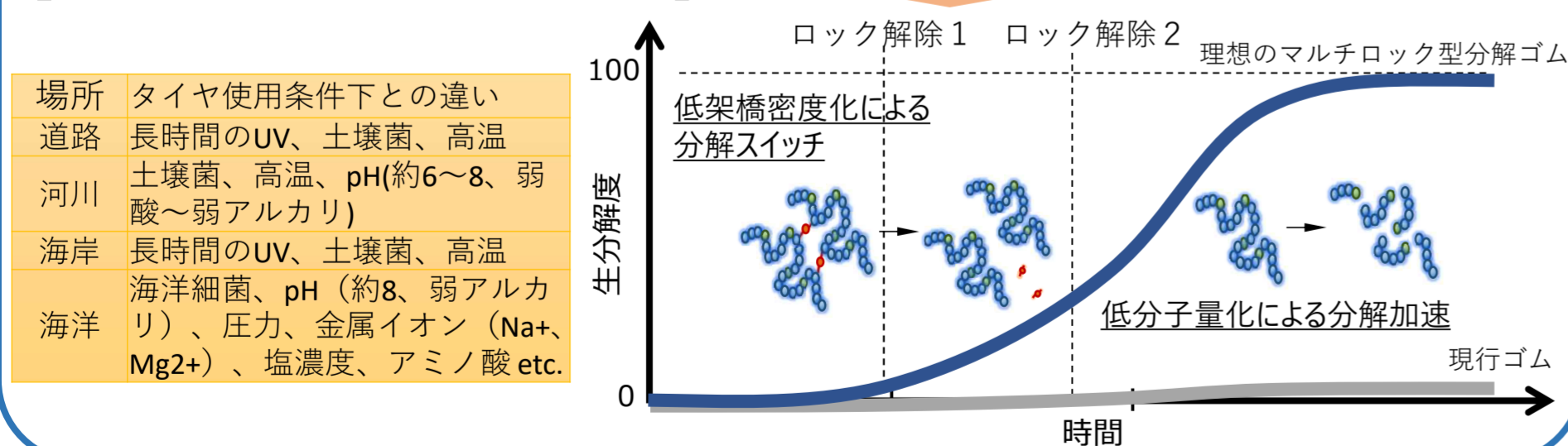


【低架橋密度化に向けた可逆/分解結合開発】

アカデミア連携での
タフ化と生分解を両立する
結合デザイン/DCLデザイン
※DCL: Dual Cross Link



【マルチロック機構分解スキーム】

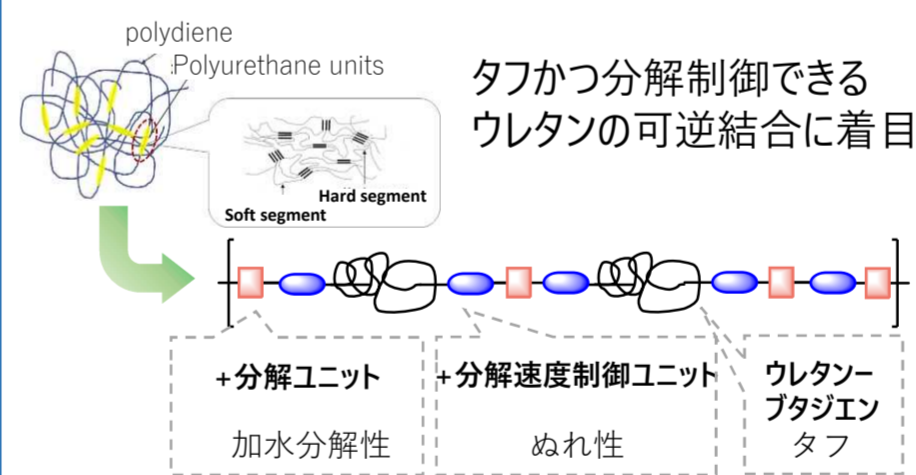


【マルチロック機構による分解タフ化両立技術】

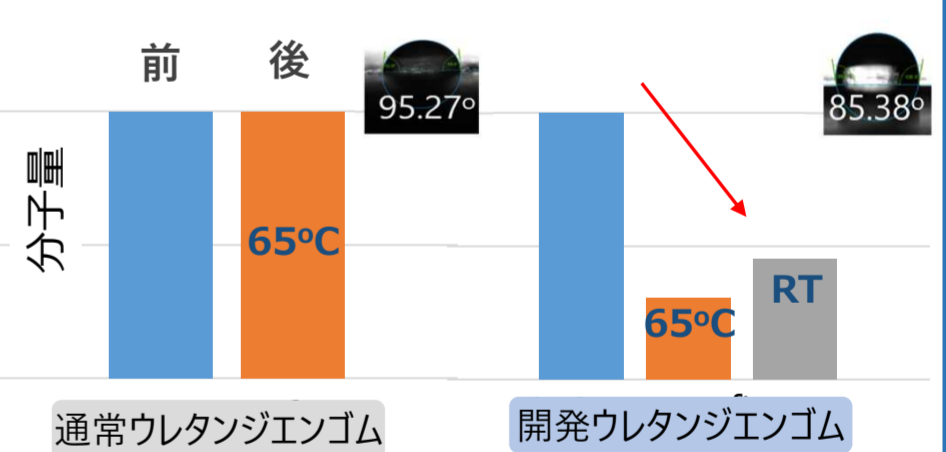
アカデミアと連携し、エネルギー散逸によるタフネス化技術である可逆結合を拡張し、さらなるタフネス化を保ちながら海洋で分解可能な結合を設計

★ブタジエンにさらにタフかつ分解制御するロック機能を追加

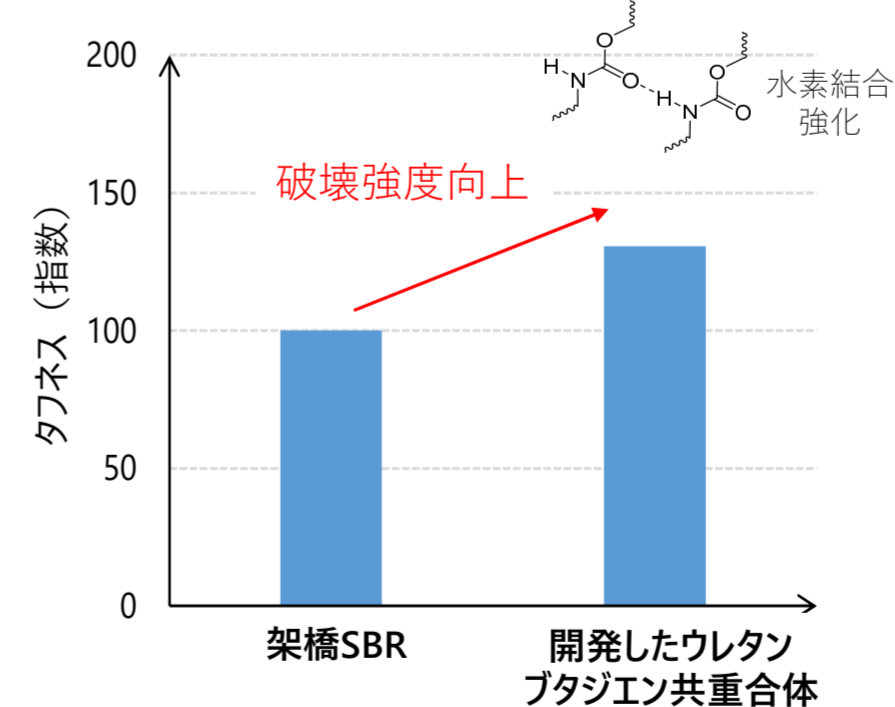
【分子設計】



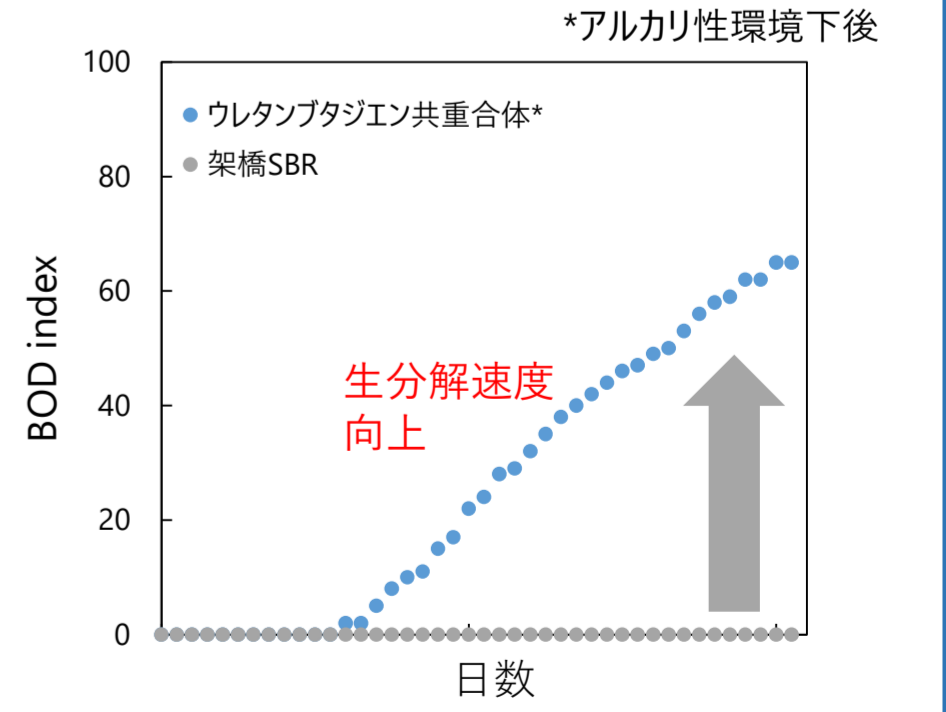
【ラボ分解検証】 アルカリ環境下での分解促進



【物性試験結果】



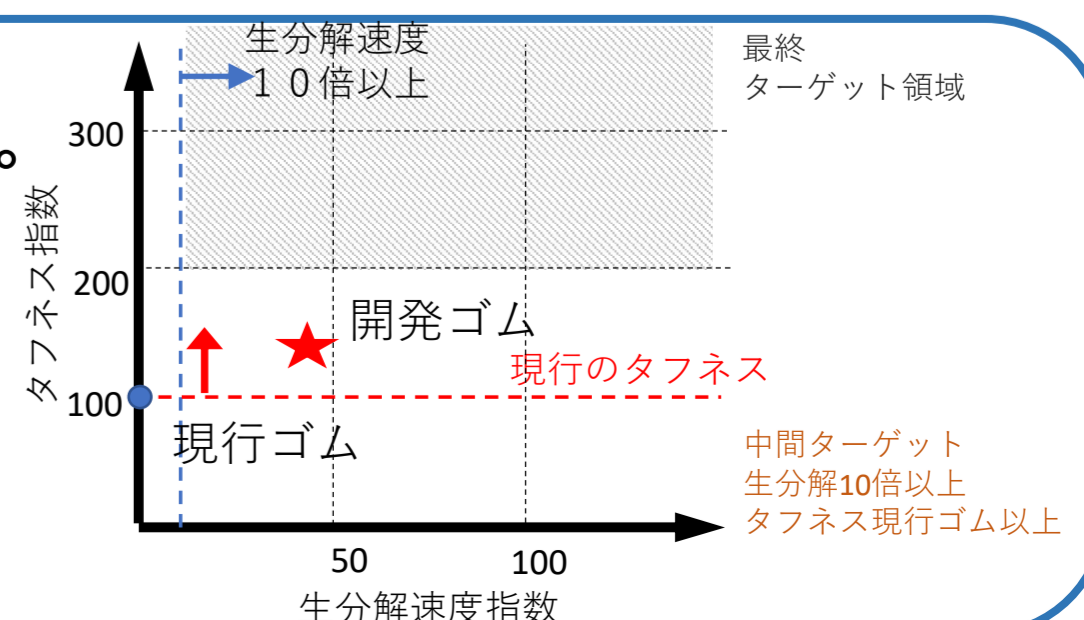
【海洋生分解試験結果】



マルチロック機構導入ジエンゴムを開発。タフネス同等以上、生分解速度10倍以上を達成

【成果まとめ】

- アカデミア連携でマルチロック分解機構を持つ高分子量体のジエンゴム共重合体を開発した。
⇒ある刺激により速やかに分解することを確認、生分解速度10倍以上向上を達成した。
- さらに可逆結合を改良、マルチロック機構を持ち、分解とタフを両立するジエンゴム共重合体を開発した。
⇒現行同等以上のタフネスを示し、マルチロック機構により、ある刺激により速やかに分解し、生分解速度10倍以上向上することを確認した。



番号: A-15-4J

PJ: 非可食性バイオマス为原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発

テーマ名: 生分解可能で強靱性を有する漁網用バイオポリマーの開発

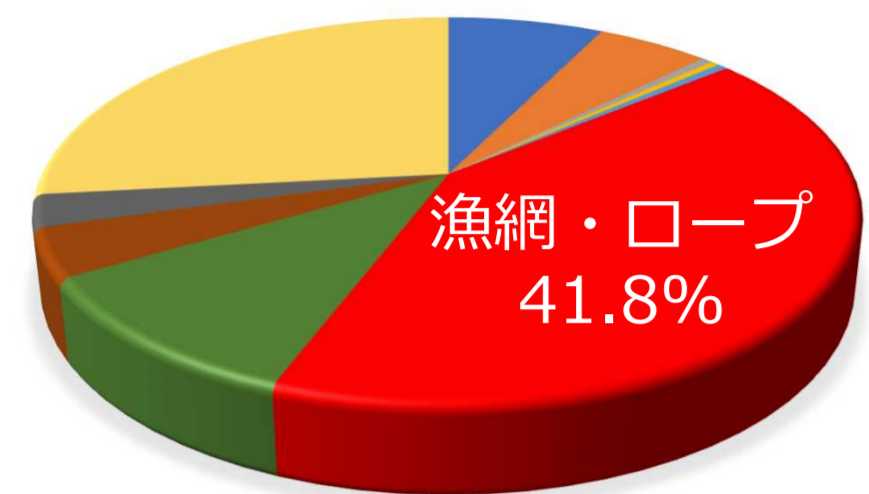
担当機関名: 株式会社クレハ

問合せ先: 正木崇士 / taka-masaki@kureha.co.jp



Introduction

<漂着プラスチックの種類別割合>



環境省「海洋ごみをめぐる最近の動向」(平成30年9月)より引用

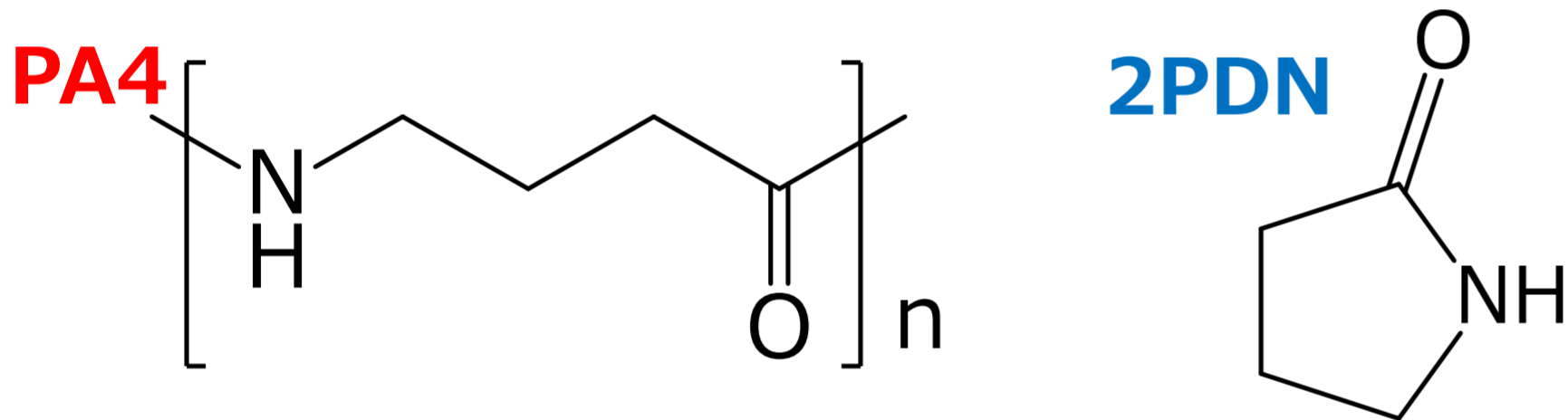
<逸失漁具の海洋生物への影響>



Wikipediaより引用

- ✓ 漂着プラスチック中には漁網, ロープが多く含まれ, 海洋生物への影響事例も多く報告がある
- ✓ 分解性の製品(釣り糸など)も存在するが, 一般的に低強度であるとともに, 使用途中での加水分解など長期使用では耐久面にも課題

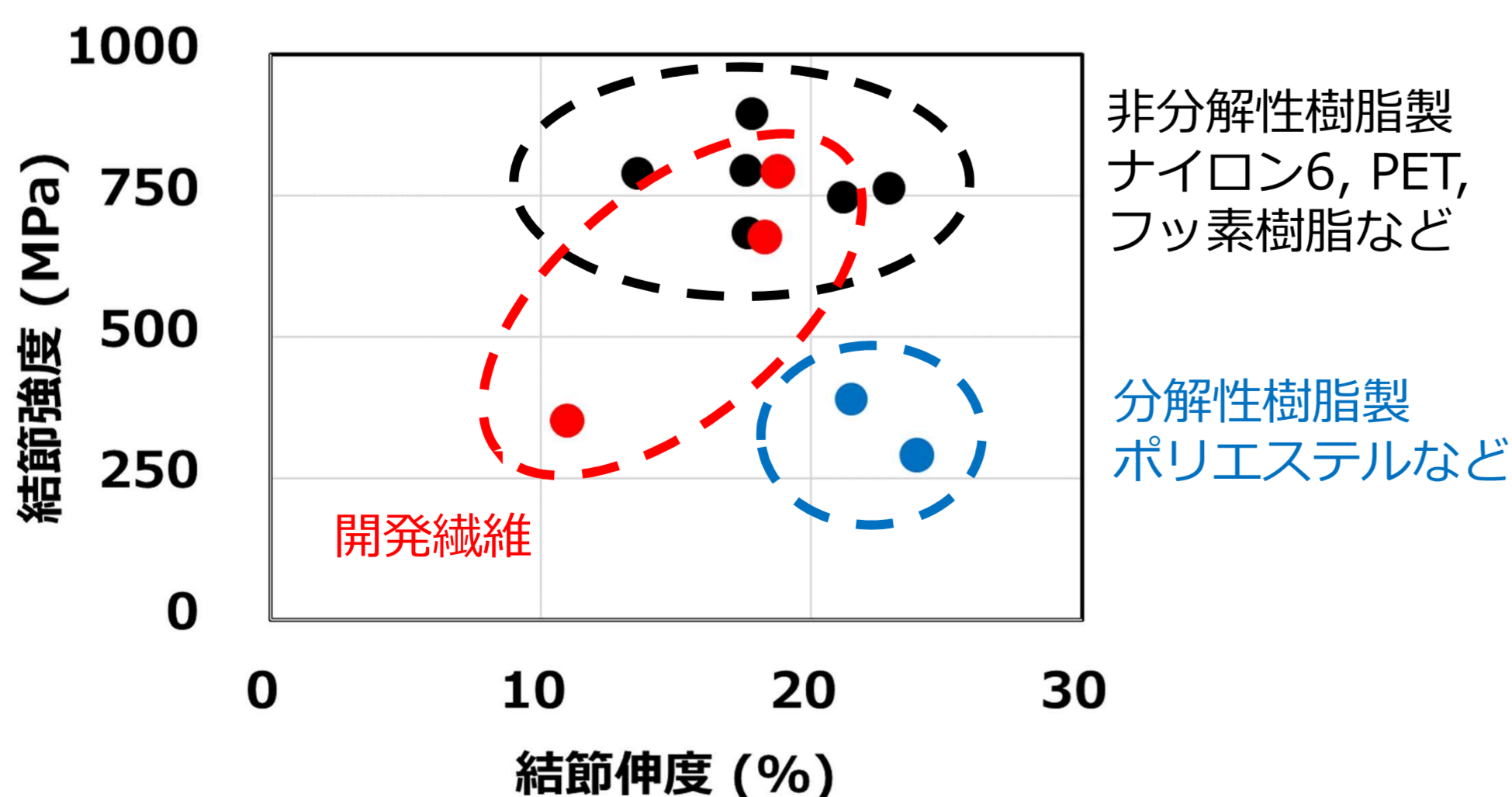
Polyamide 4 (PA4)



- ✓ 2-ピロリドン(2PDN)为原料として合成される脂肪族ポリアミド(ナイロン)樹脂
- ✓ 土壌中, 海水中など幅広い環境で生分解性を示す
- ✓ 一般的な環境では加水分解せず, 安定性に優れる
- ✓ ナイロン6と同等以上の機械強度を有する一方, 融点と熱分解温度が近く加工に工夫を要する

開発繊維の機械強度特性

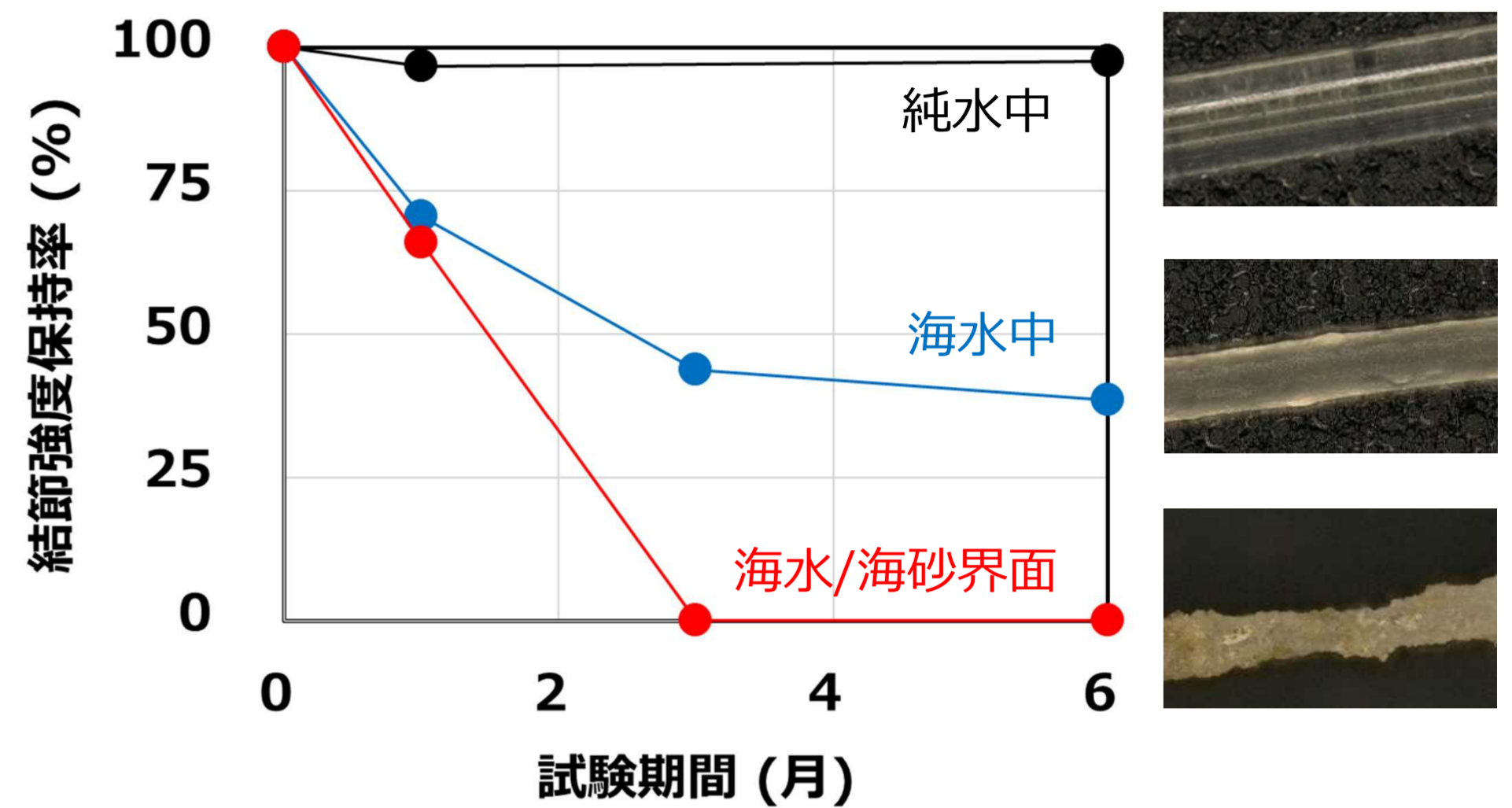
<開発繊維および市販釣り糸の結節強伸度>



✓ 非分解性樹脂製と同等レベルの結節強伸度を達成

開発繊維の分解性

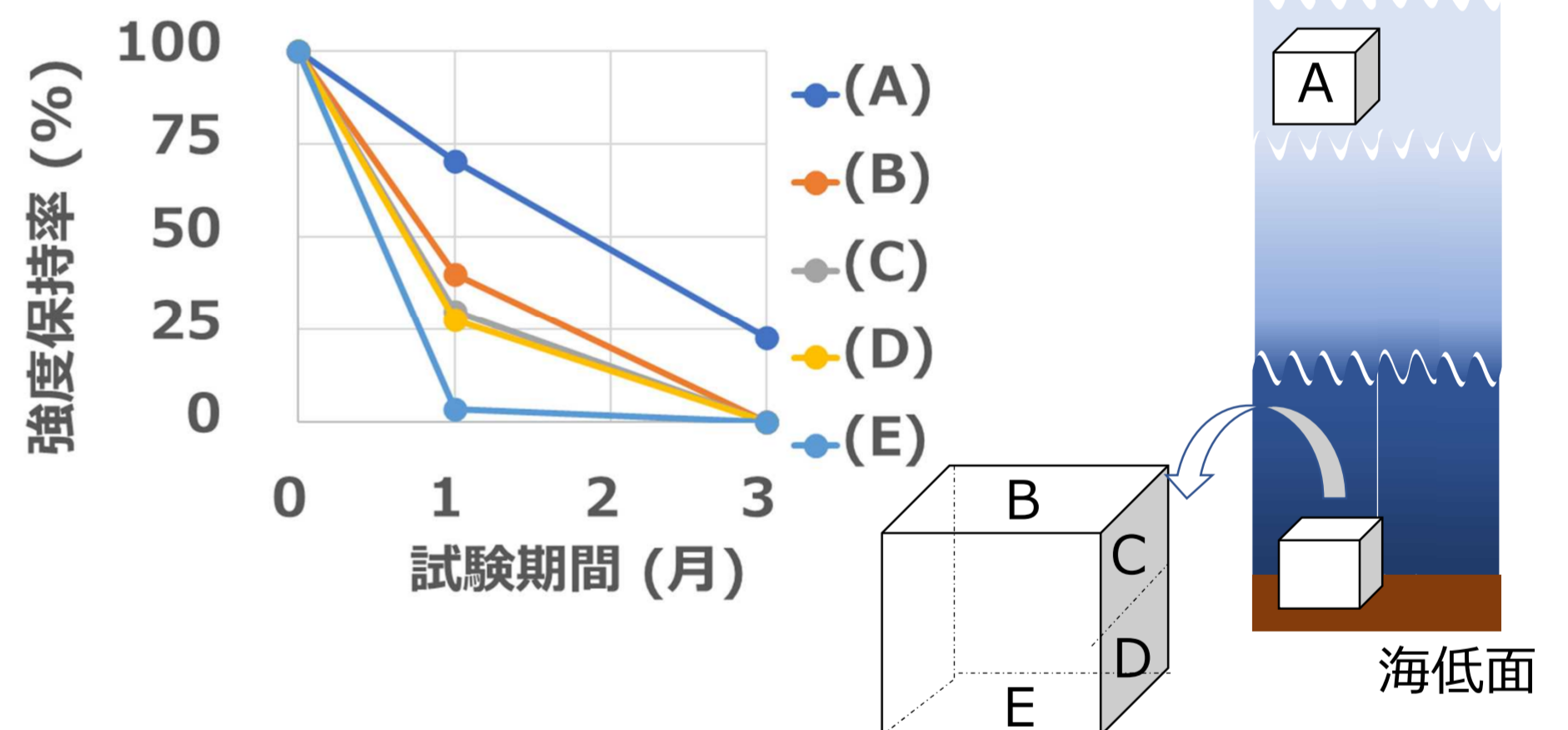
<海水(福島県沿岸)を用いたラボ分解試験での強度と外観変化>



- ✓ 純水中での物性維持, 海水中での分解(強度低下/細径化)を確認
- ✓ 遺棄後を想定した海水/海砂界面では海水中よりも分解が加速

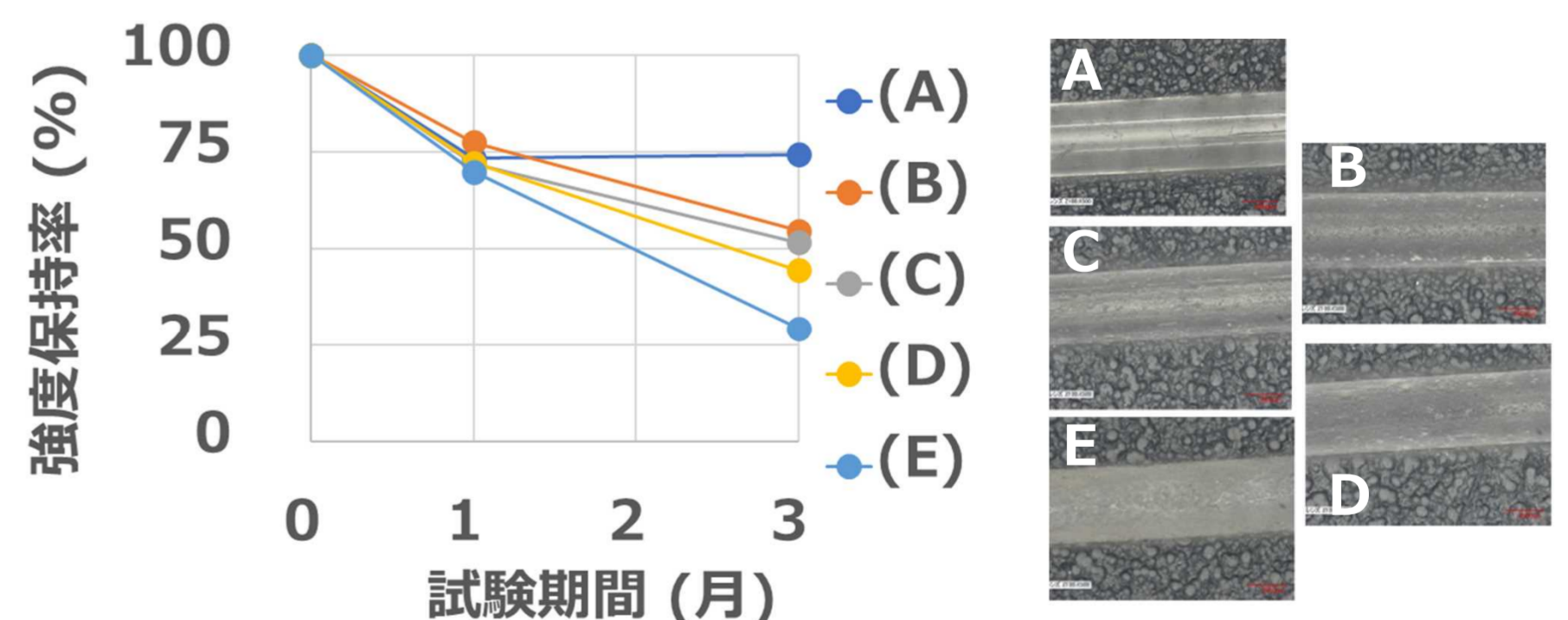
実海域での分解性

<実海域(愛媛県愛南町)試験での強度変化>



分解制御

<改質ポリマーを用いた実海域試験での強度変化>

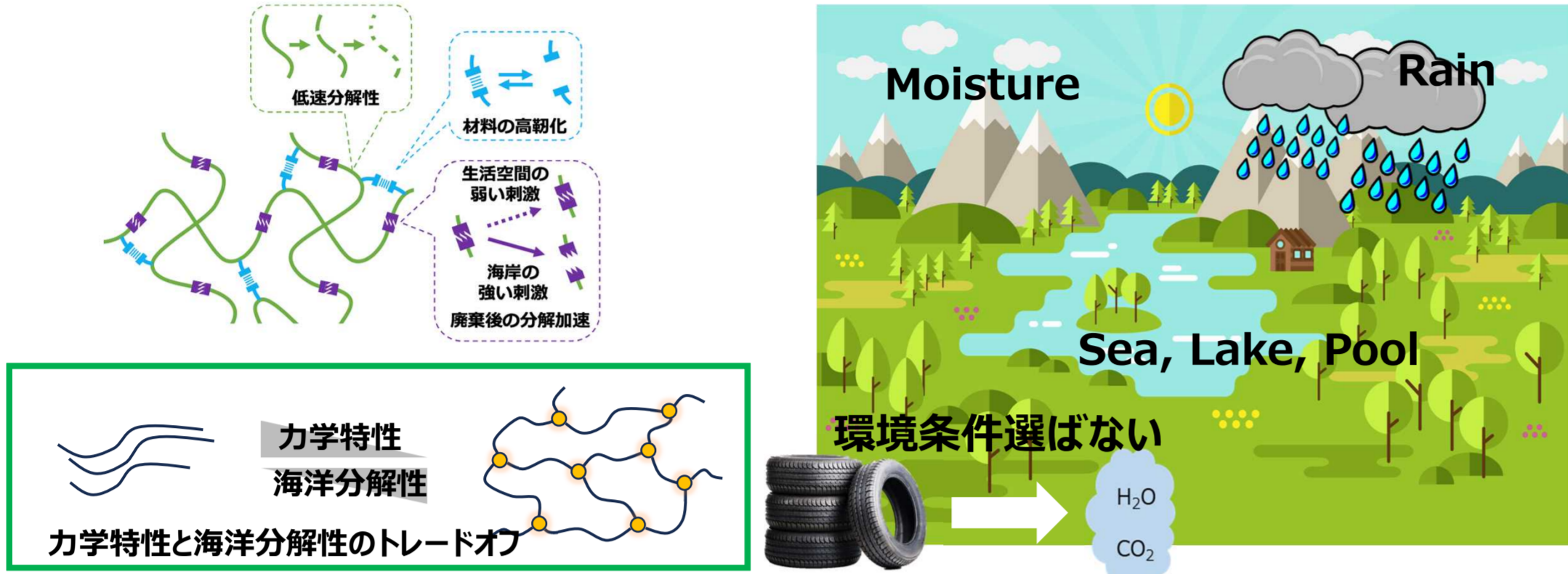


まとめ

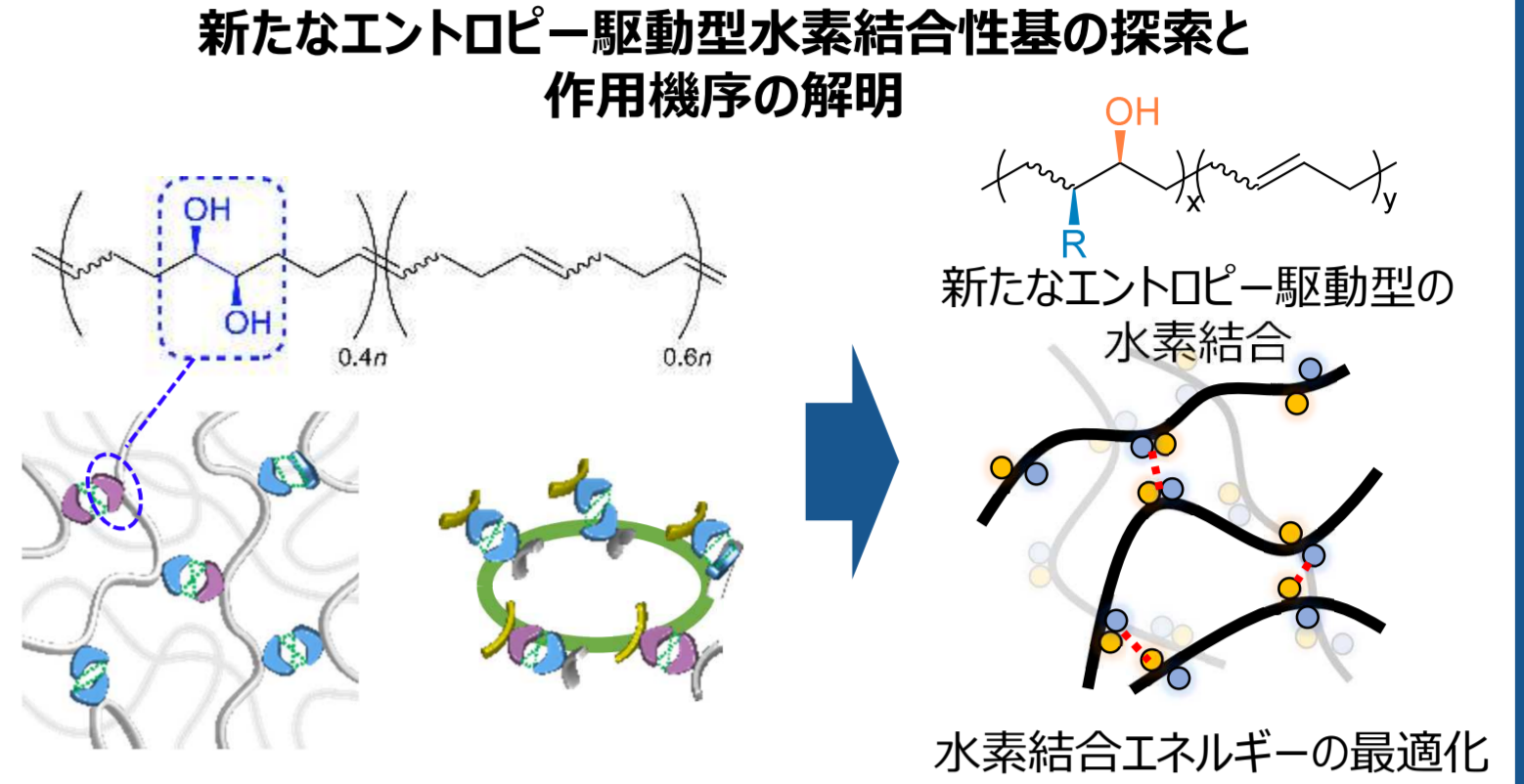
- ✓ 生分解可能で強靱性を有する漁網用バイオポリマーとして, ポリアミド4をベースとした開発を実施
- ✓ 市販の非分解樹脂製釣り糸と同等レベルの繊維強度を達成
- ✓ ラボ及び実海域での分解進行と強度低下を確認
- ✓ 長期使用を想定した分解制御技術により, 分解を遅延

Introduction

課題1:マルチロック型分解機構の開発



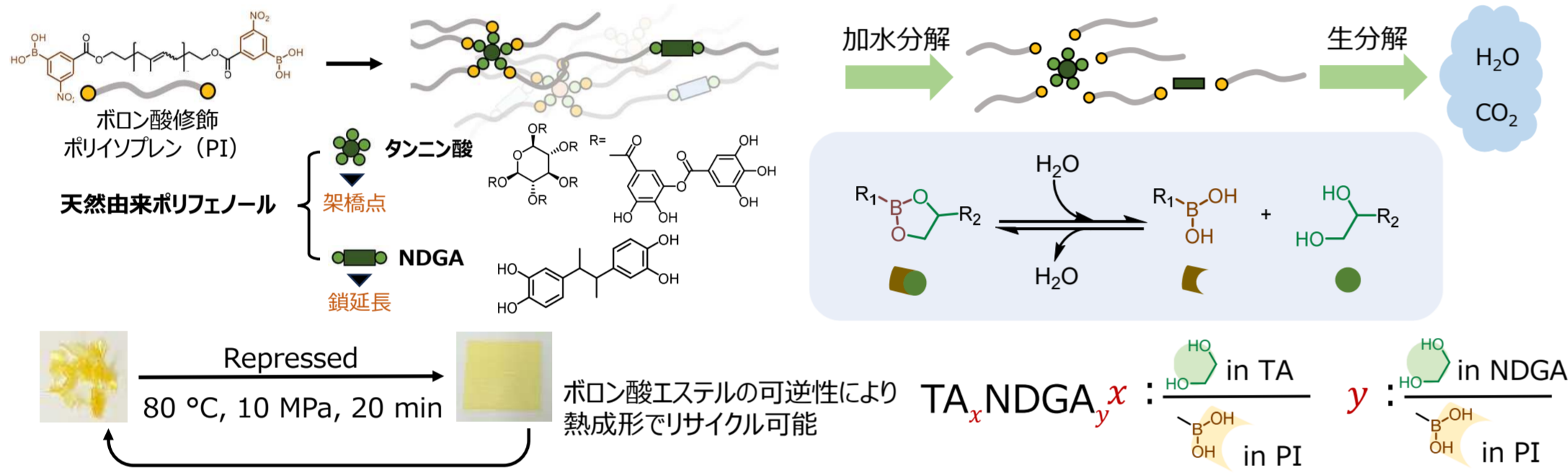
課題2:架橋と分解性の両立



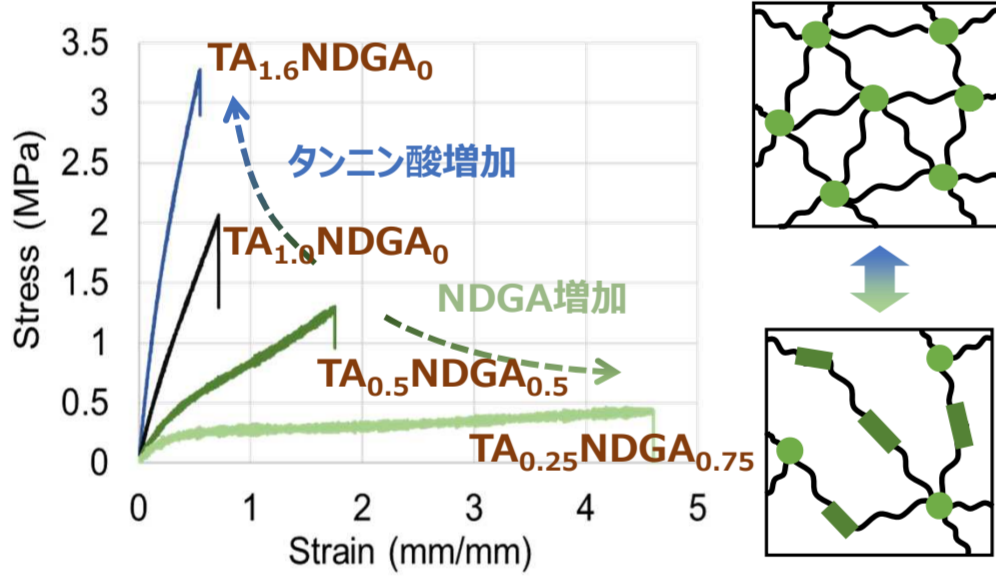
使用時の力学強度と海洋中での分解加速を両立した材料の開発

天然ゴムへの海洋生分解性付与:

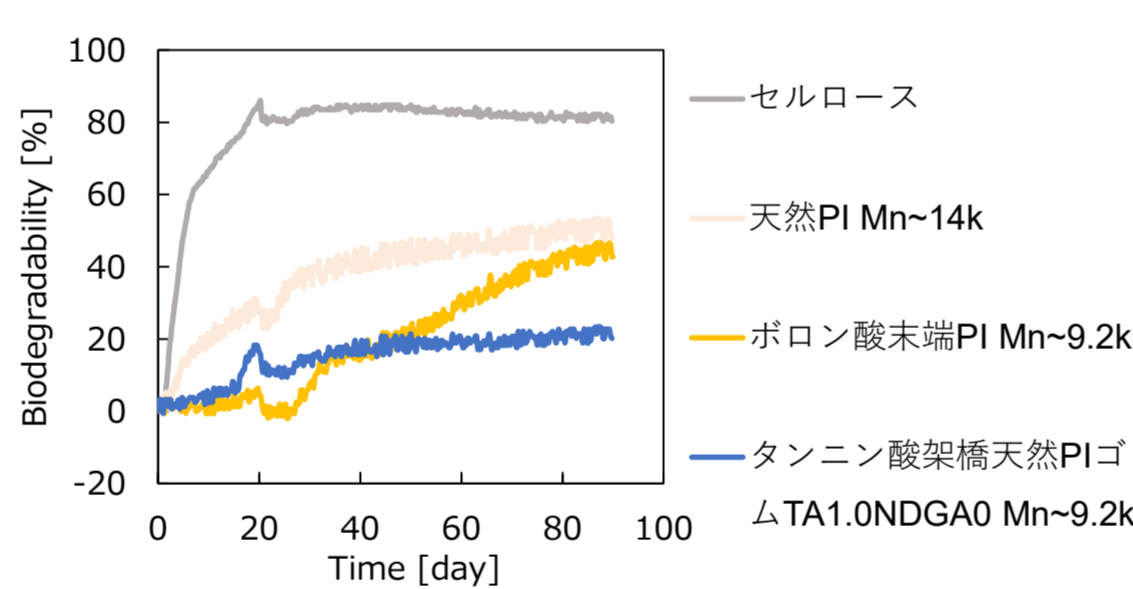
ボロン酸エステル利用



一軸伸長試験

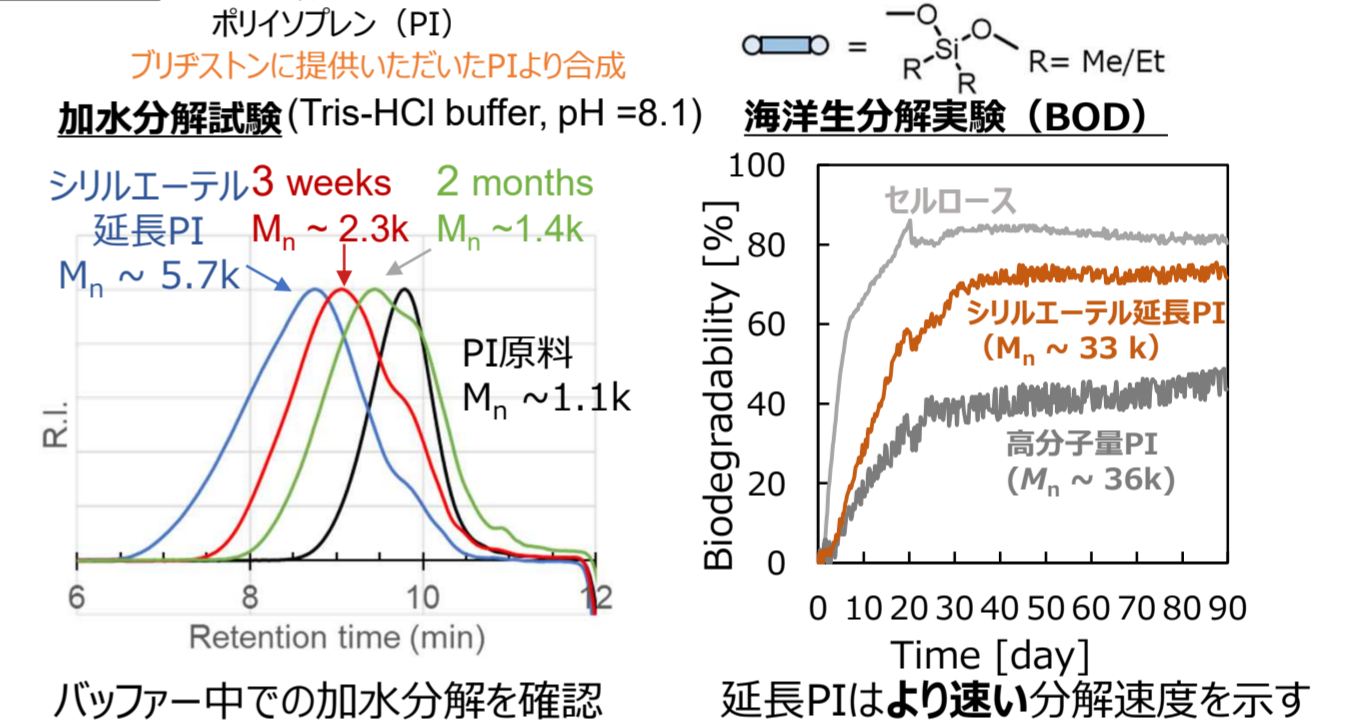


海洋生分解実験 (BOD)

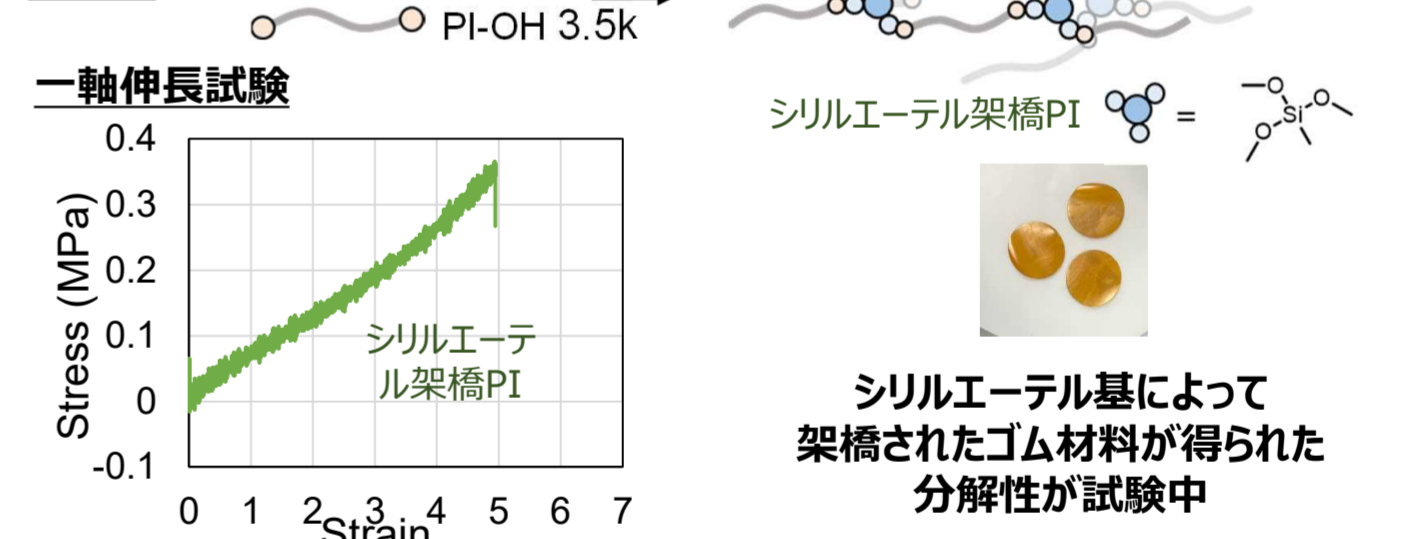


シリルエーテルの利用

鎖延長

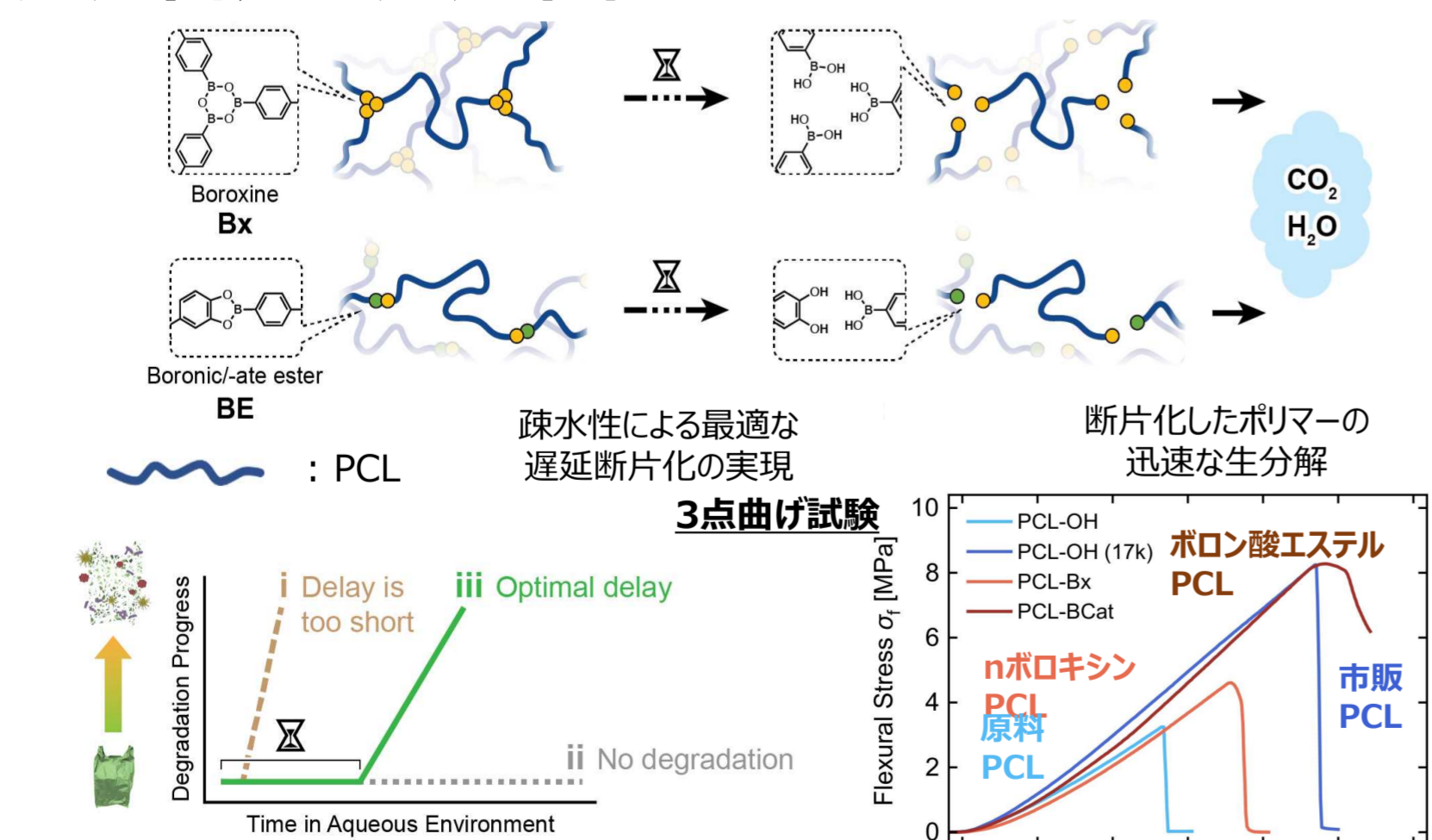


架橋

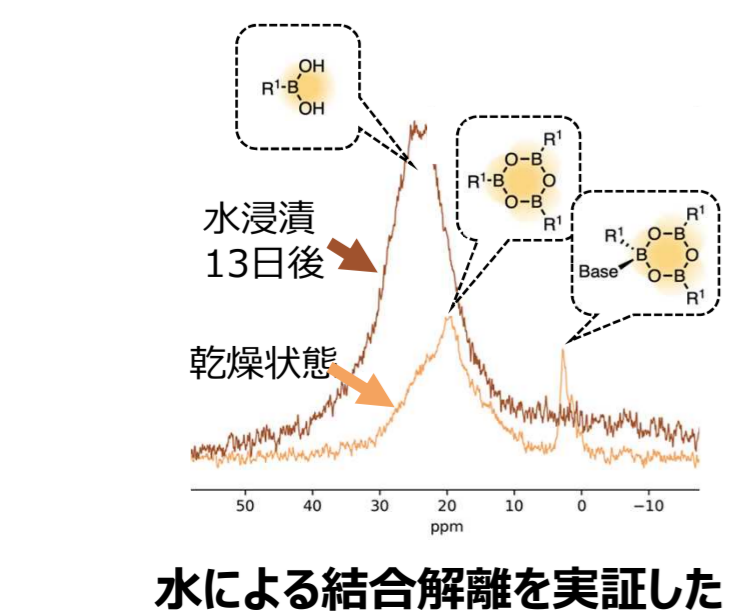


高速分解性PCLポリマーの分解開始の遅延制御

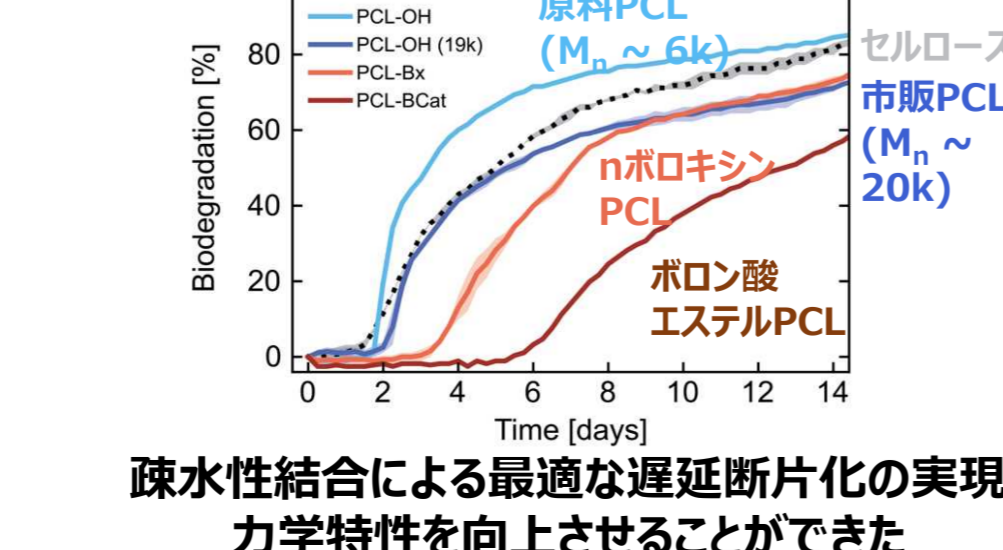
水応答性 & 疎水性結合利用



固体¹¹B NMR



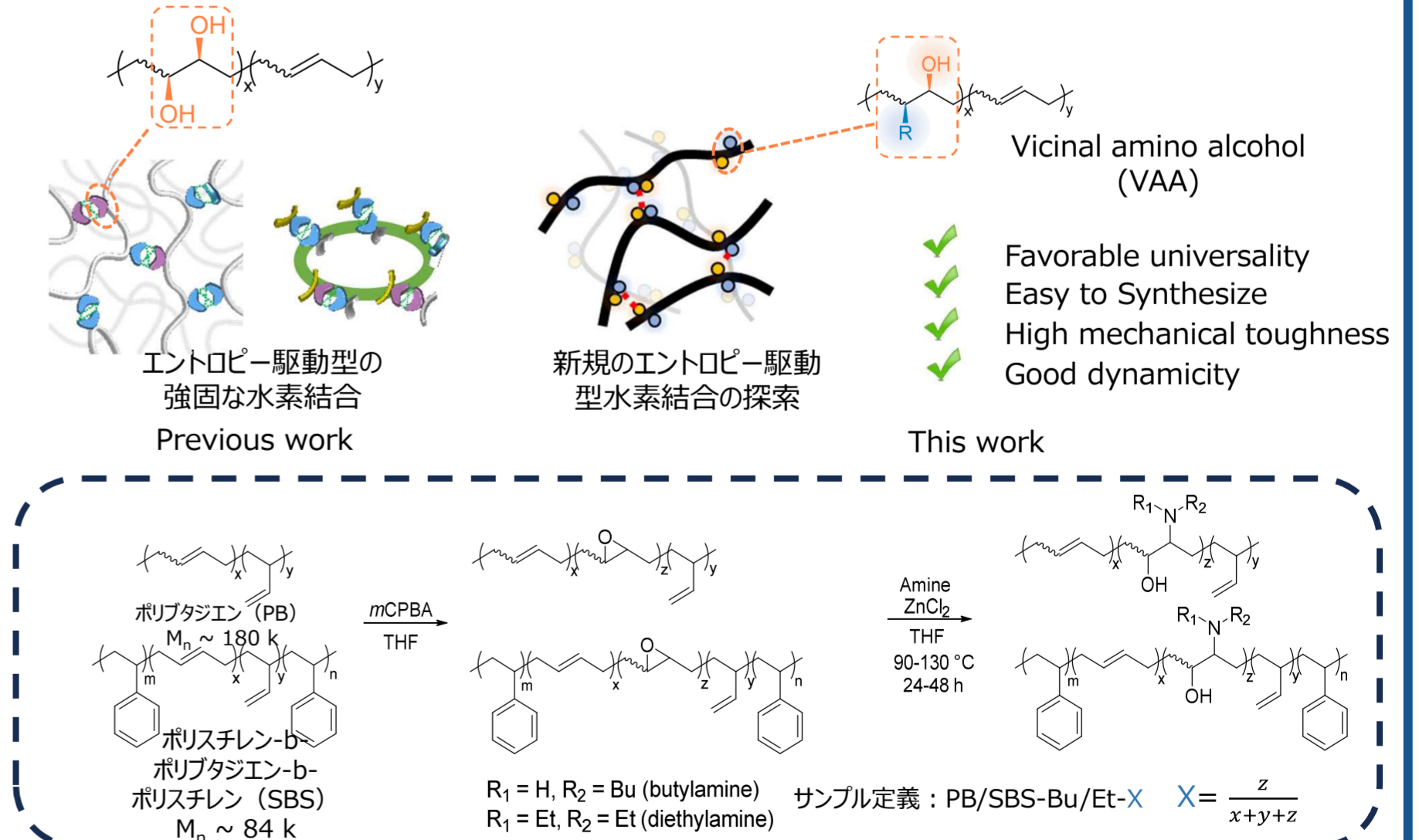
BOD試験



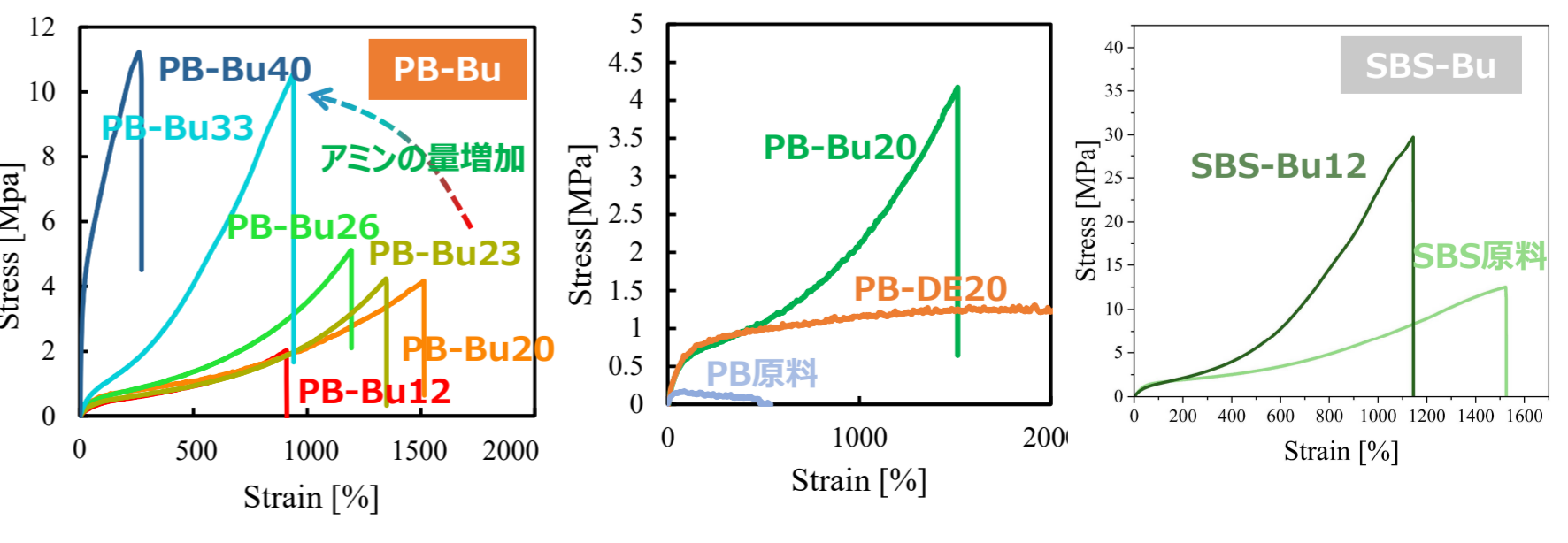
水による結合解離を実証した

疎水性結合による最適な遅延断片化の実現 力学特性を向上させることができた

新たなエントロピー駆動型水素結合性基の探索



一軸伸長試験



1. はじめに

産総研グループの保有技術

- ・アトミックから粗視化までの
- ・ **高分子材料シミュレーション技術**
- ・ **インフォマティクス技術**を用いた材料解析

マルチロック型ポリマー材料の研究の課題

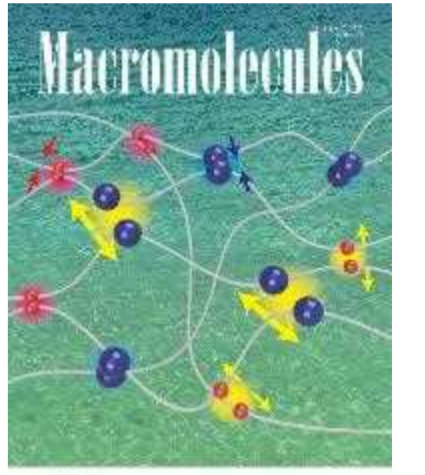
- マルチロック分解機構の開発
 - 物理架橋によるタフ化
- 材料として使うときには壊れずにタフであるが、意図に関わらずゴミとなった際には、マルチロックが外れて容易に分解する機構を有する材料が必要

2024年度までの目標 (テーマ)

・ **マルチロックポリマーの分解過程のモデル研究**: 海洋分解可能なバイオタフポリマーのモデル化研究を行う。海洋プラに必要な要素となる使用時のタフ性と海洋中の分解性を両立する材料として、吉江Gが提案する**動的架橋エラストマー**がある。吉江Gによる実験結果によりより高度なモデルとしての提案を進め、実験に対してフィードバックするためのシミュレーションを実施できるまでの高度化研究を実施する。また、分解の素過程モデルの構築を行う。

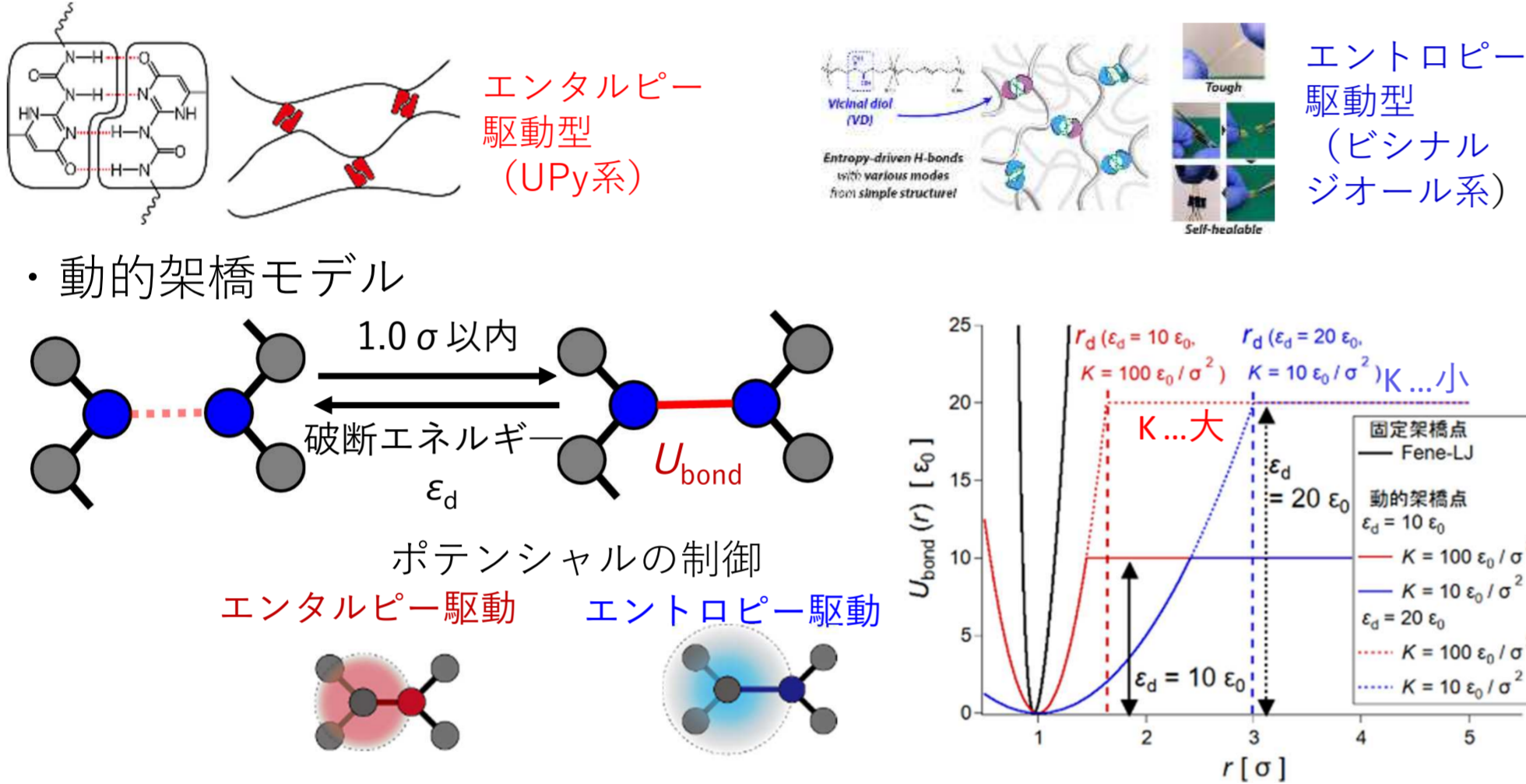
2. 進捗: マルチロックポリマーの分解過程のモデル研究

Y. Yasuda, et al., Macromolecules, 2023, 56(18), 7432

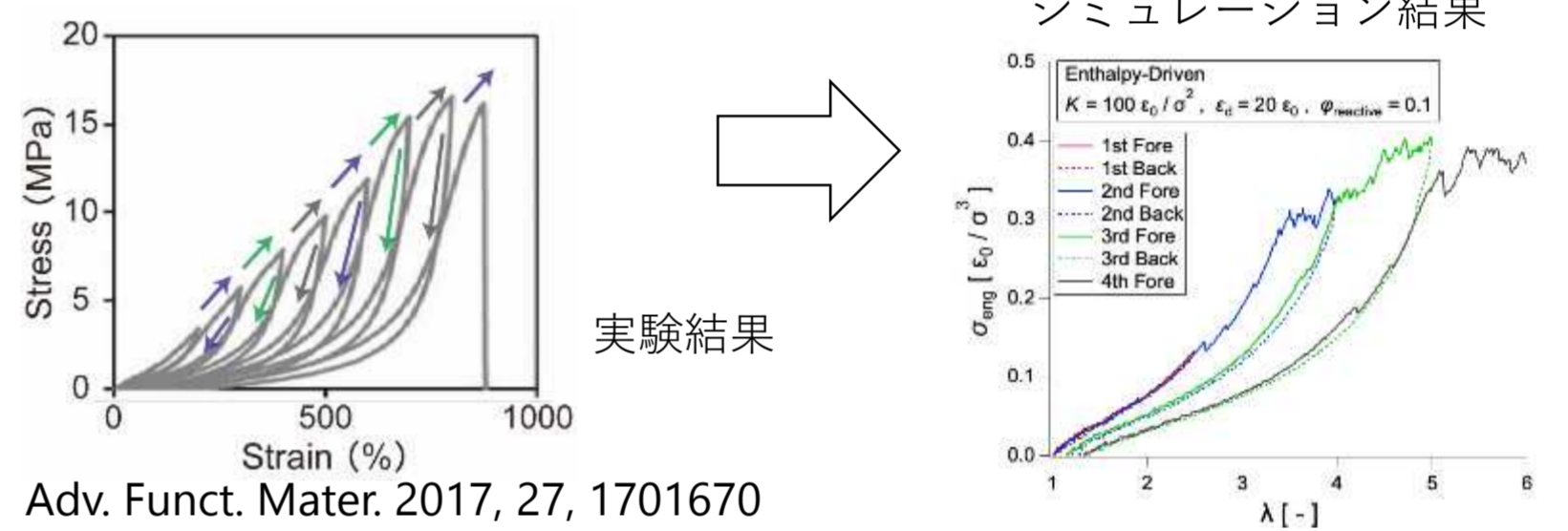


2.1 動的架橋エラストマーモデルの構築

・ 吉江Gで開発中の動的架橋エラストマー

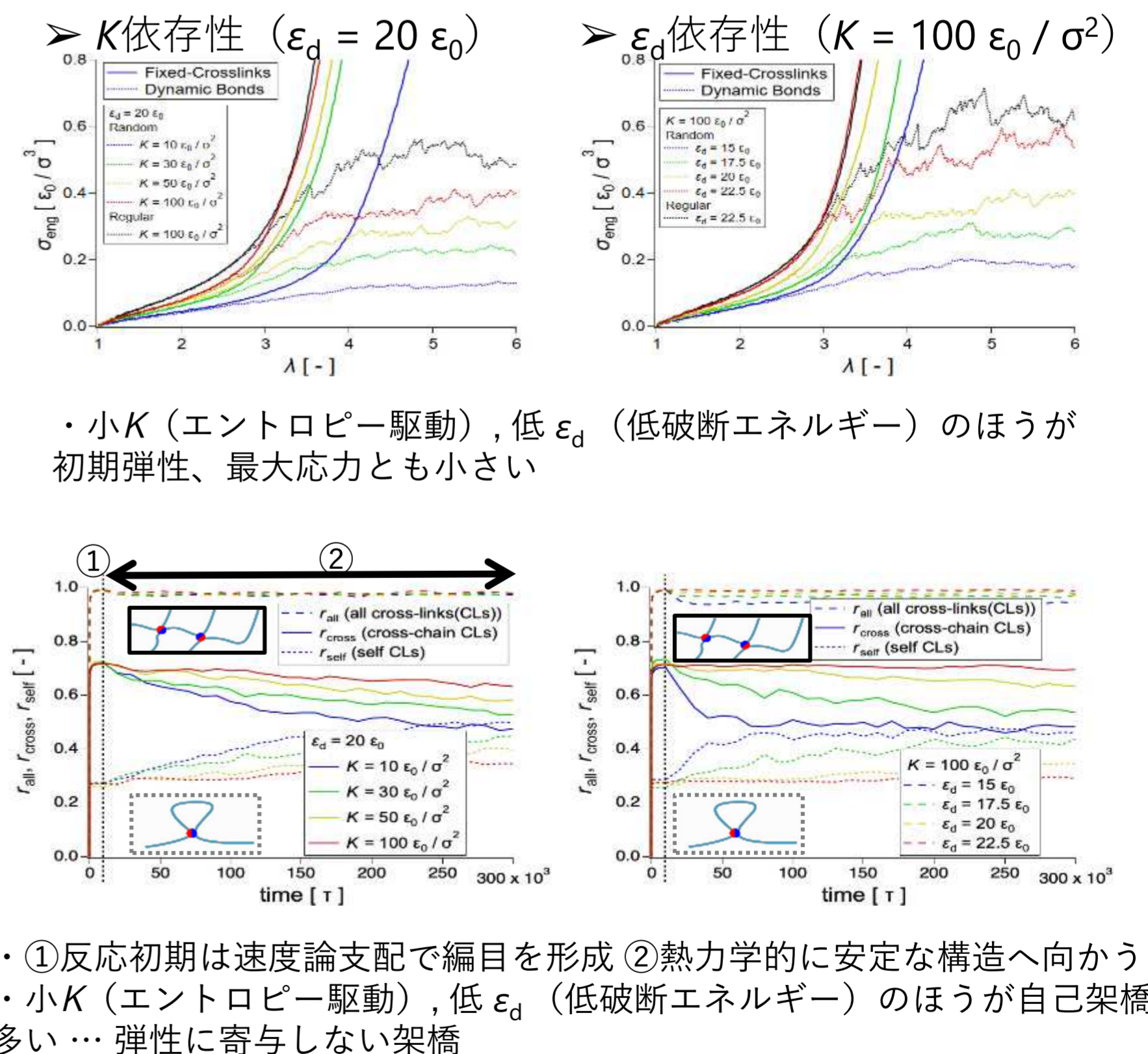
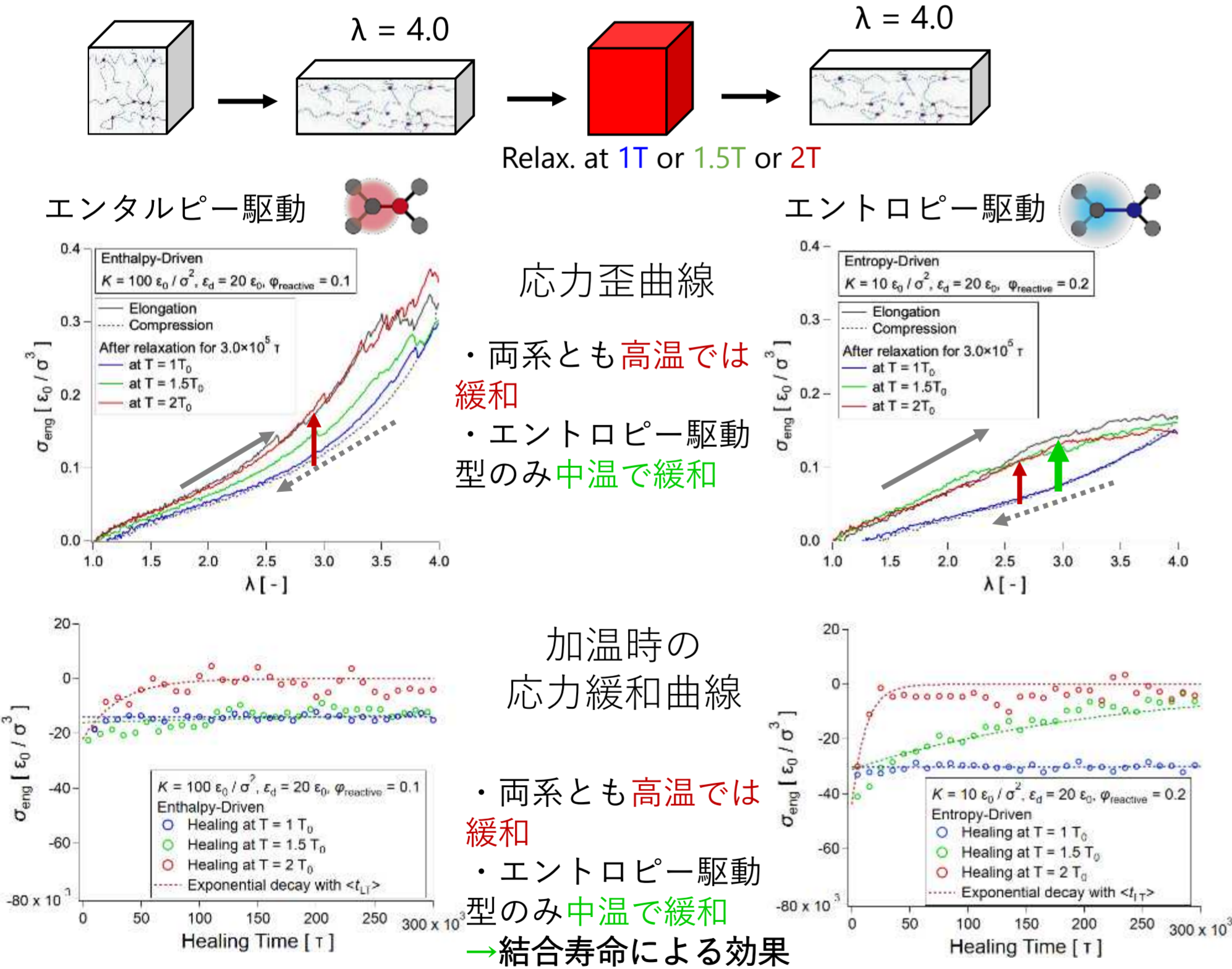


・ 実験結果の再現: サイクル特性



2.2 動的架橋エラストマーの応力回復特性

2.3 動的架橋の伸張時の形態変化



4. 今後の予定

マルチロックポリマーの分解過程のモデル研究

- ・ 実験により対応させたモデルの精密化とそのモデルを用いたシミュレーション研究の実施。実験ではわからない会合の状態の詳細解析を進める。
- ・ 企業との連携研究の強化。材料設計に貢献するシミュレーションの実施

番号: A-15-7J

PJ: 非可食性バイオマス为原料とした海洋分解可能なマルチロック型バイオポリマーの研究開発

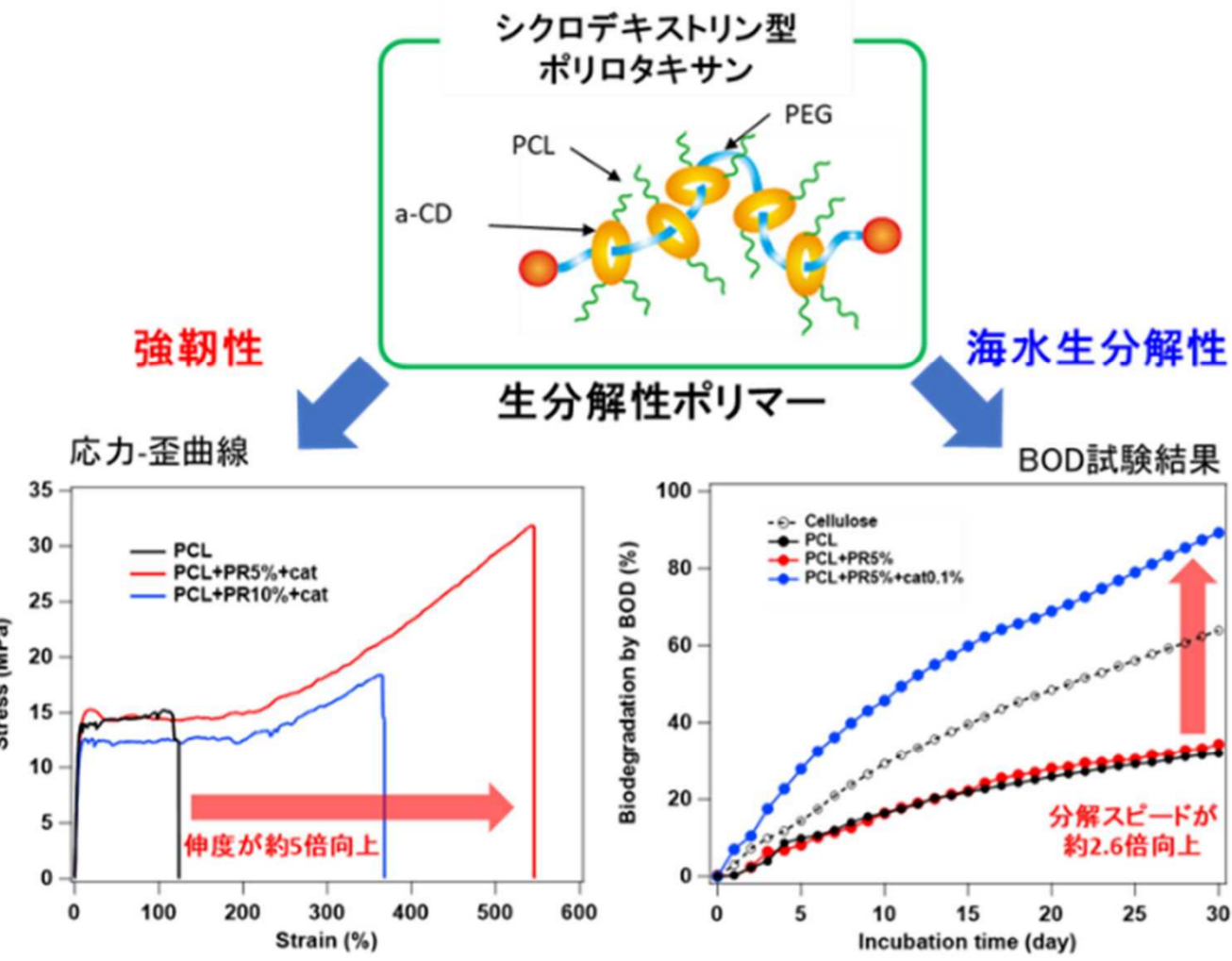
テーマ名: マルチロック機構と強靱性を両立した分解性超分子ポリマーの開発研究

担当機関名: 東京大学

問合せ先: 伊藤 耕三・安藤 翔太



ポリロタキサン添加による生分解性樹脂強靱化と海水分解性両立



強靱性と海水分解性(スピード制御)の両立を達成。PRを用いたポイント制御と生分解機構解明を目指す。

PRの添加効果確認

- 以下生分解性樹脂の強靱性と生分解性の両立を確認
- Polycaprolactone (PCL)
- Polyvinylalcohol (PVA)
- Polybutylenesuccinate (PBS)
- Polybutylenesuccinate-co-adipate (PBSA)
- エステル交換反応により強靱性と生分解性をさらに向上できる可能性を発見
- エステル交換型ビトリマーの強靱化と生分解性の付与を達成

新規スイッチ機能の探索

- 末端刺激分解型PRの合成
- 光刺激による架橋鎖の切断
- 刺激分解型官能基
- 包接率、軸分子量、グラフト密度、グラフト種など構造パラメータを制御したPRの合成
- 包接率、軸分子量、グラフト密度、グラフト種

社会実装向けPR量産検討

- PRのワンポット合成による生産コスト減および包接率の制御
- PR抽出精製法による製造コスト減
- 構成成分、溶媒など原料コスト減
- CD、PEGの安価合成方法の検討

ポリロタキサン添加エポキシ系ビトリマー樹脂の強靱化検討

エポキシ系ビトリマー-架橋ネットワーク

溶接性: T_g 以上で加熱

傷修復性: 0s, 10s, 60s

再加工性: 200°C, 20 kN, 2h

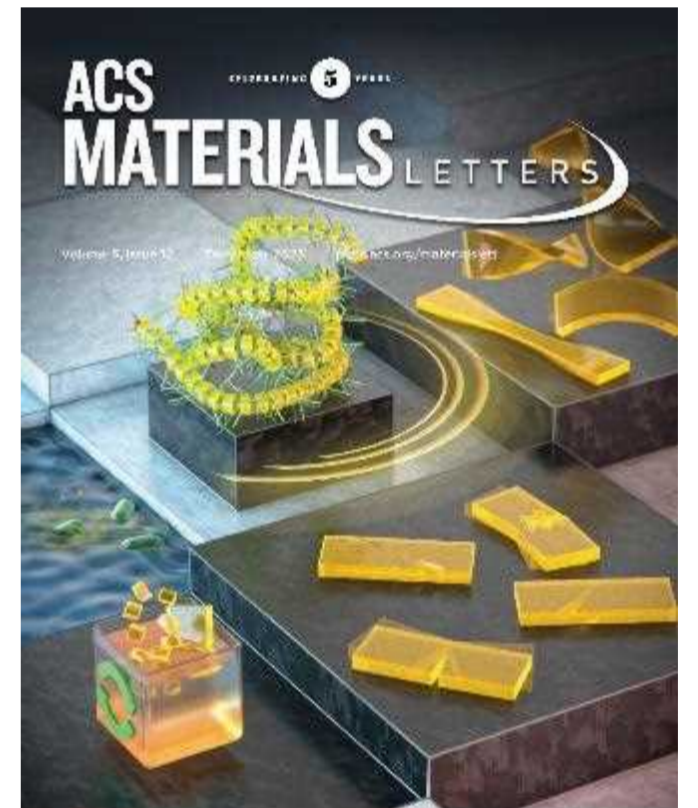
形状記憶・再記憶性: Deformed at $T > T_g$, Recovered at $T < T_g$

PR添加により、硬さを変えずに強靱化を達成

PR添加による強靱化に加え、スライド運動による結合交換反応のエネルギーポテンシャルが低下。

ケミカルリサイクル性: 12h

海洋生分解性: Biodegradation by BOD (%) vs Incubation time (day)



S. Ando, M. Hirano, L. Watababe, H. Hideaki, K. Ito, "Environmentally Friendly Sustainable Thermoset Vitriimer-Containing Polyrotaxane", ACS Materials Lett., 2023, 5, 3156.

疑ポリロタキサンナノシート活用による酵素スイッチング分解の開発

環状オリゴ糖(シクロデキストリン)とポリエーテルの非共有結合性集合から成る、全く新しいタイプのナノシート材料。2019年に当研究室において見出された。

β-CD + Carboxyl-terminated EO₂-PCL-EO₂ triblock copolymer → Inclusion complex → Pseudo-polyrotaxane nanosheet (PPRNS)

- 高生体適合性
- 構成分子は生分解性
- 簡便な作成法
- ナノスケールの厚さ
- 表面にポリマー鎖

Chem. Commun, 2019, 55, 4158.

Size: 1-2 μm, Thickness: 16 nm

Monoclinic crystal: a = 1.91, b = 2.43, c = 1.57(nm), α = γ = 90°, β = 111°

◆ 静電相互作用によるPPRNS表面への酵素持

軸ポリマー末端の電離基が表面に露出

酵素

分解性ポリマー

酵素持PPRNS

酵素持PPRNSフィルターによる分解性ポリマー強靱化

◆ 海洋中の塩濃度による分解性スイッチング

酵素持PPRNS + NaCl → 海洋中

① 高塩濃度でPPRNSとの相互作用が弱まり酵素が脱離

② 脱離酵素によるポリマーの生分解促進

③ PPRNSも徐々に分解・生分解される

塩濃度スイッチングによる強靱性・生分解性の両立

企業連携 (三菱ケミカル)

○PBS・PBSAの農業用被覆肥料殻への応用

被覆肥料 溶出後

プラスチックフィルムによる肥料被覆は長期間一定量の肥料を植物に供給できる。日本の水田約6割で利用。

海岸で回収されたプラスチック殻

一定量ずつ肥料を放出するための材料強靱性が必要。PEがよく使用される。

PEと同程度の靱性を持つ生分解性樹脂での代替が期待

NHK webニュースより抜粋

Polybutylenesuccinate (PBS)

強度は高いが脆性的、海洋生分解性が低い

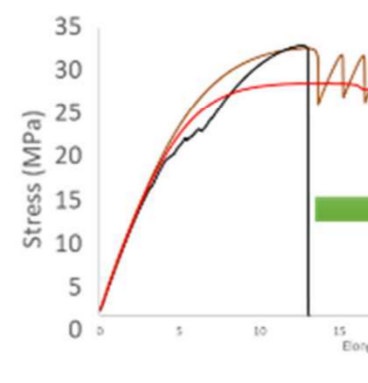
Polybutylenesuccinate-co-adipate (PBSA)

PBSよりも柔らかく延性的、海洋生分解性が高い

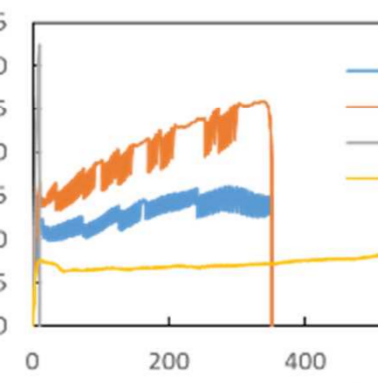
低包接率PR添加により強度を維持しつつ、延性と生分解性向上

PPRNS添加により延性、生分解性を維持しつつ、強度を向上

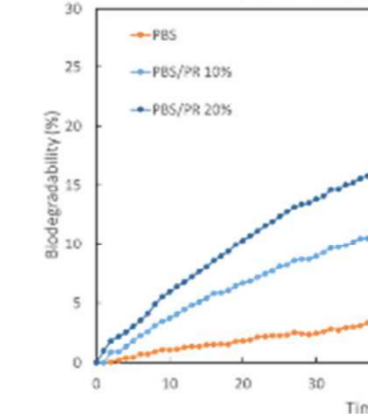
PBS+PR S-Sカーブ



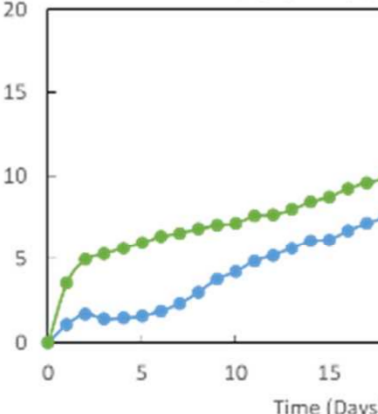
PBSA+PPRNS S-Sカーブ



PBS+PR 海水生分解性

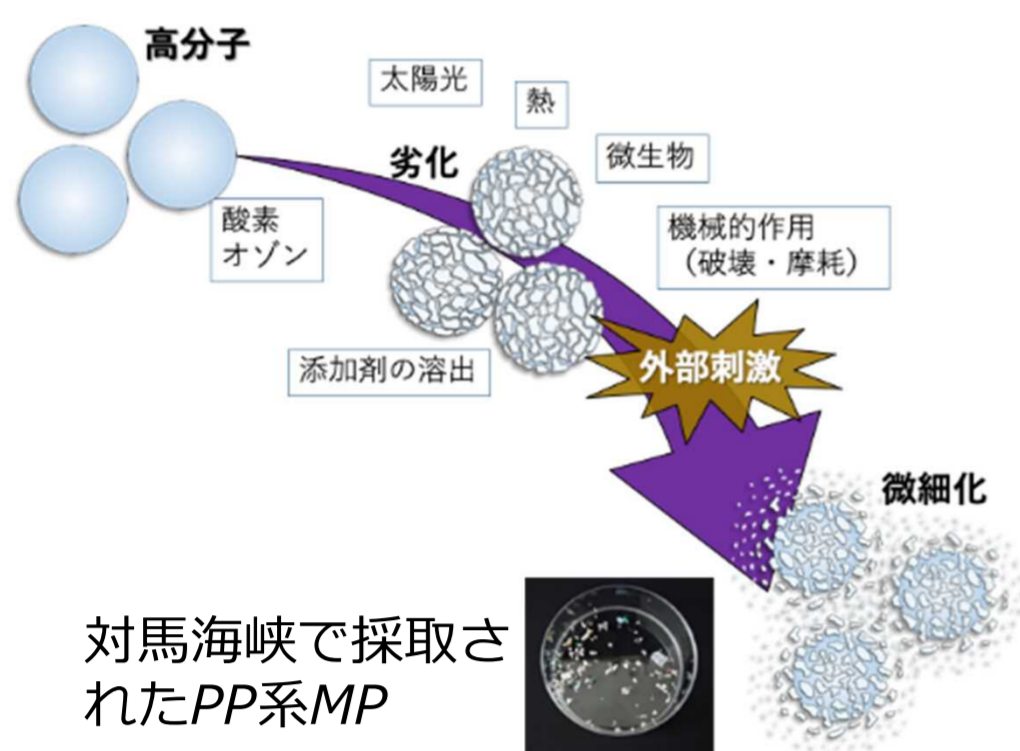


PBSA+PPRNS 海水生分解性



高次構造の異なるアイソタクチックポリプロピレン(itPP)膜の環境分解とマイクロプラスチック(MP)形成 加速UV劣化(光酸化)試験

マイクロプラスチックの生成過程



目的：高分子の環境劣化と欠片化によりマイクロプラスチック化の評価のためのモデル実験系の確立

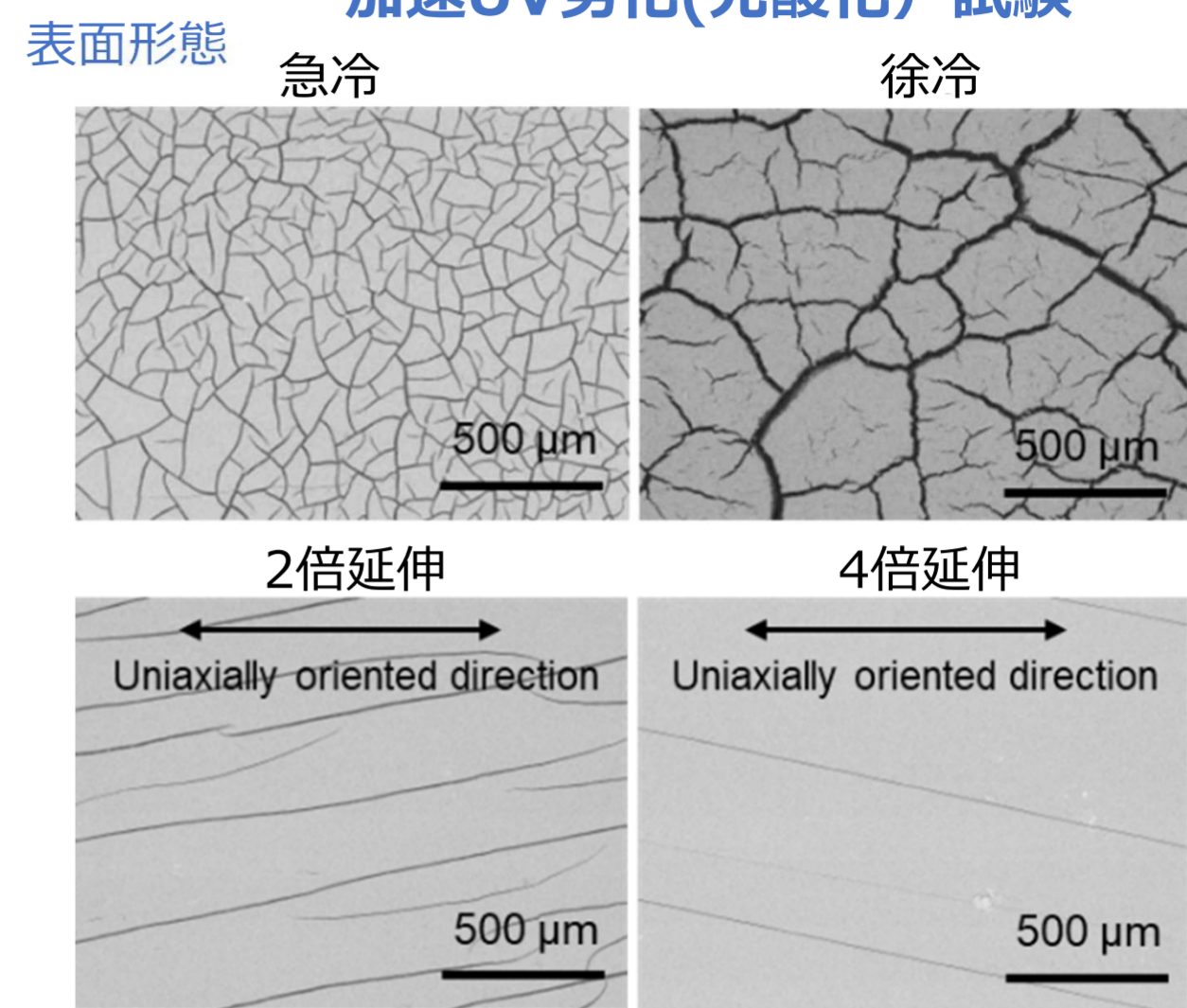
実験

itPP膜	X_c (%)	f_{040}
急冷	41.8	0
徐冷	55.2	0
2倍延伸	56.0	0.379
4倍延伸	60.2	0.477

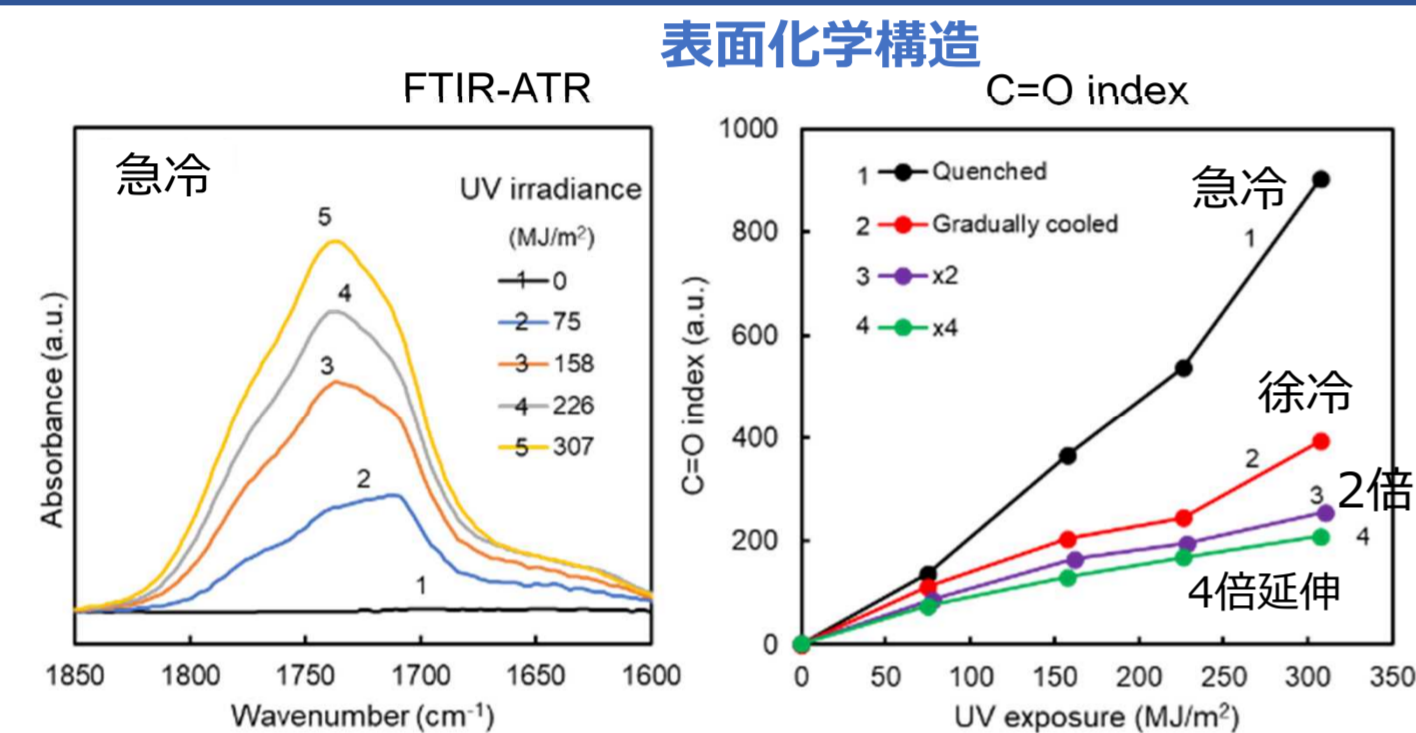
急冷、徐冷、2倍延伸、4倍延伸 itPP膜を調製

加速UV劣化試験

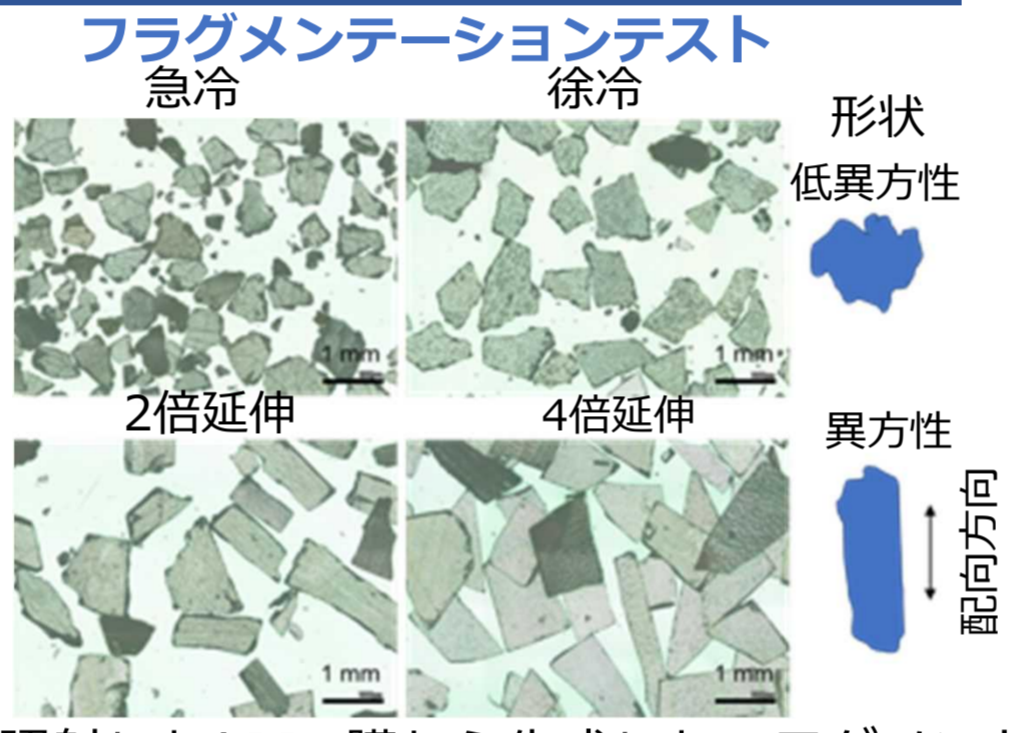
フラグメンテーションテスト



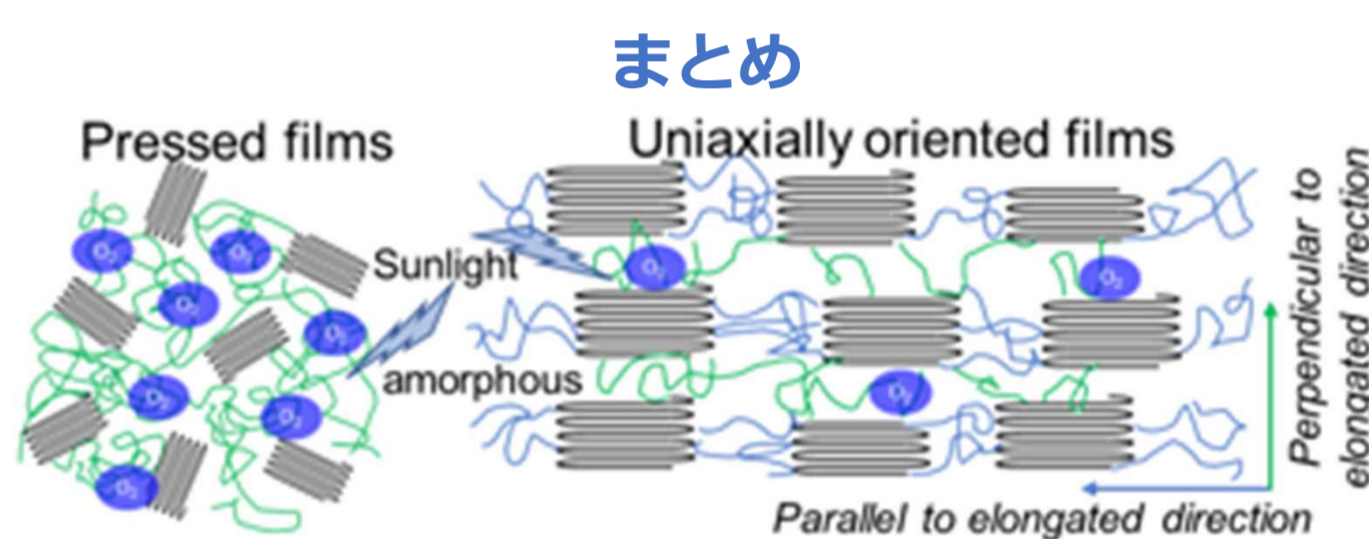
結晶化度の低い急冷 itPP 膜は高い密度のクラック生成 延伸物では延伸方向にクラック生成



- 光酸化分解の進行はカルボニル基の吸収により確認
- 徐冷あるいは延伸によりC=Oインデックスが低下

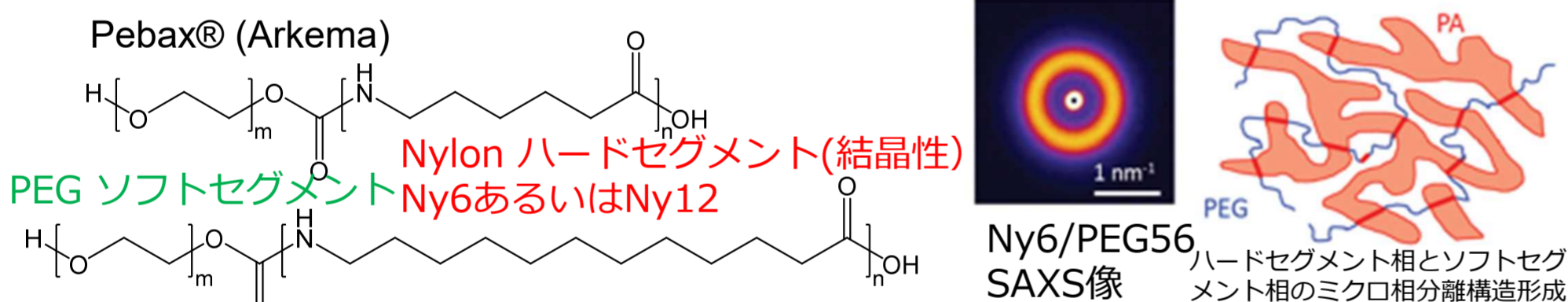


- UV照射したitPP 膜から生成したフラグメント
- 高次構造を反映した欠片を観測
- 実際の海洋MPも配向高次構造を維持



- 結晶性高分子のitPP では光酸化分解は非晶域で選択的に起こり、配向高次構造を反映した欠片を形成
- 光酸化+フラグメンテーションはMP化し易さのスクリーニング法を提案

Poly(ether-block-amide) 膜の環境分解



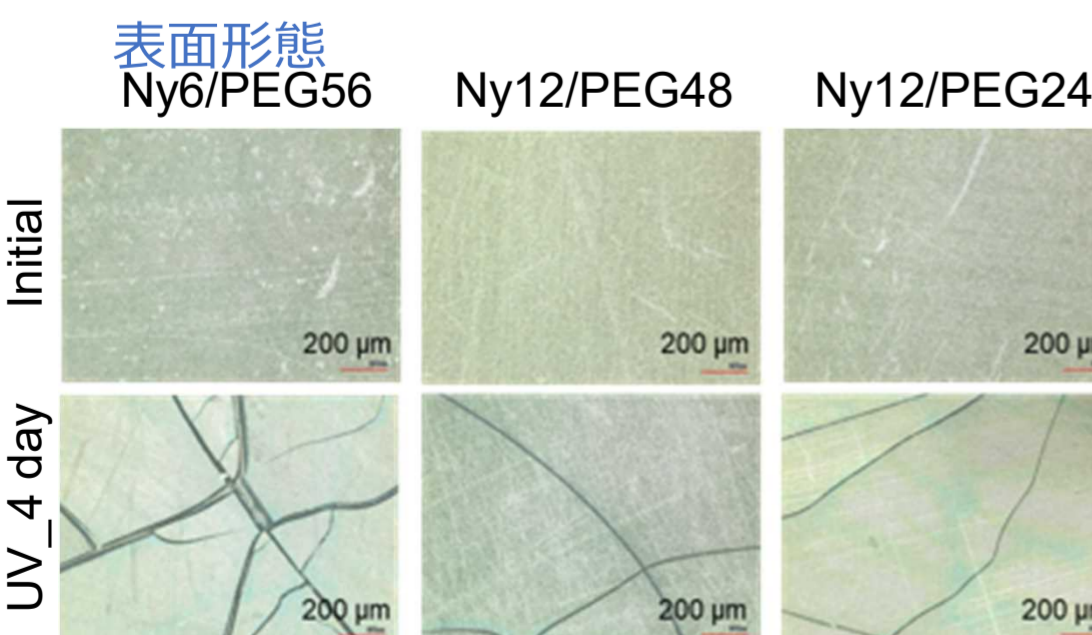
目的：ハードセグメント(ナイロン部分の)構造の異なるブロック共重合体エラストマーの環境分解性を評価

環境劣化試験(光酸化劣化、海洋生分解)

- 1) 試料調製
 - 圧縮成形
- 2) 環境分解試験
 - 加速UV劣化試験 (125 W/m², BPT: 63°C)
 - 生分解 (BOD)試験

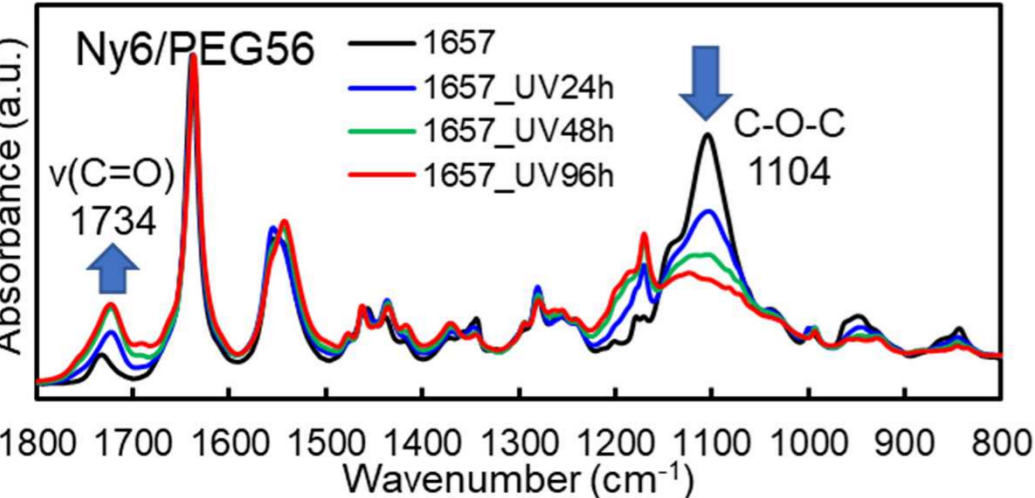
Pebax	PEG (wt%)	ハードセグメント
1657	56	Ny6
1074	48	Ny12
1041	24	Ny12

光酸化劣化 (UV)

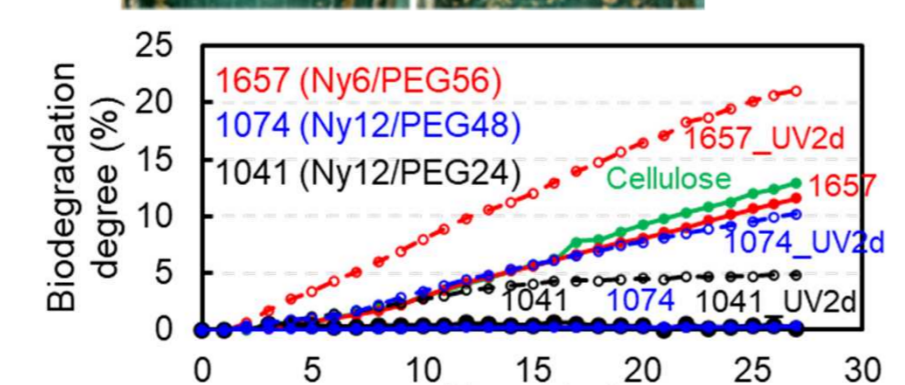


PEG分率の増大とともに光酸化後に明確な表面クラック形成

表面化学構造評価 FTIR-ATR (赤外吸収)



光酸化によるNy6/PEG56中のPEGの酸化劣化



- Ny6/PEG系は海洋生分解性
- 光酸化により海洋分解性が向上
- ナイロン6オリゴマーの生分解性確認
- フィールド試験でも生分解を確認

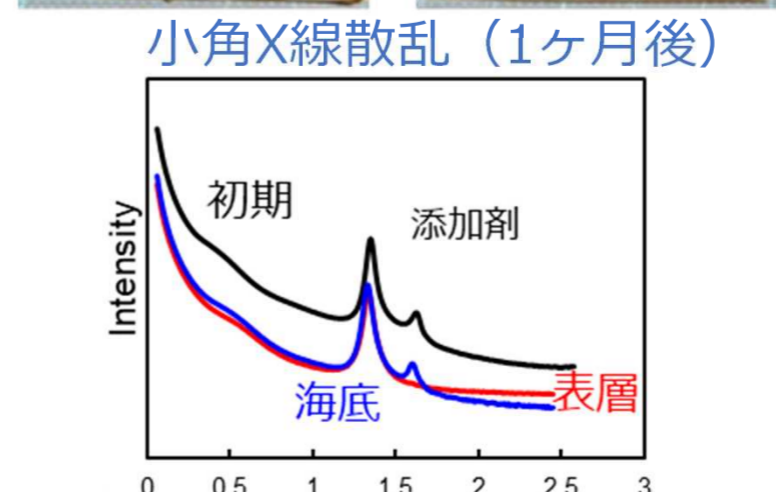
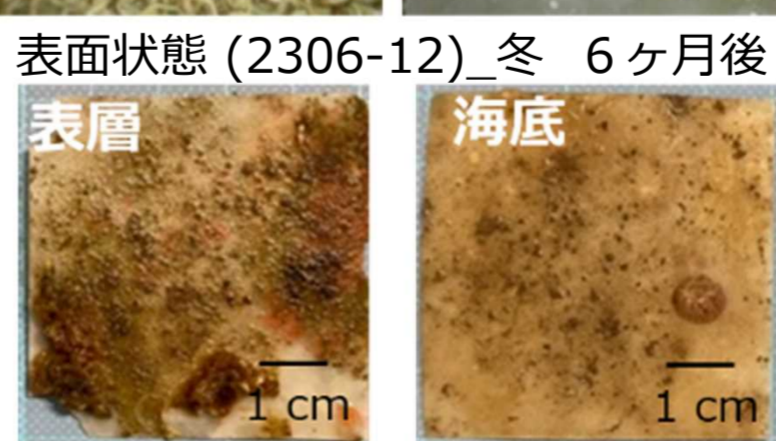
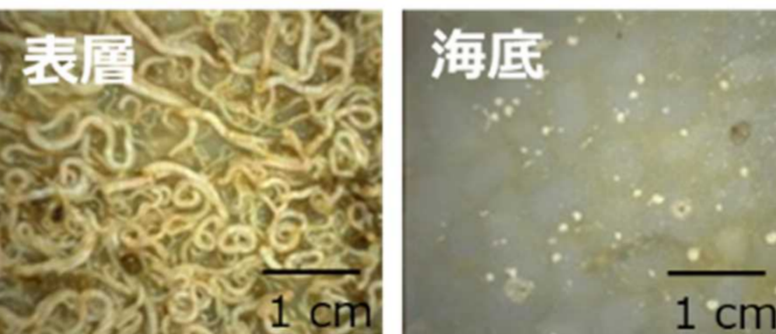
フィールド試験後の光酸化生分解添加剤(P-Life) 含有PP表面の特性解析

目的：フィールド試験回収試料の特性解析法を確立



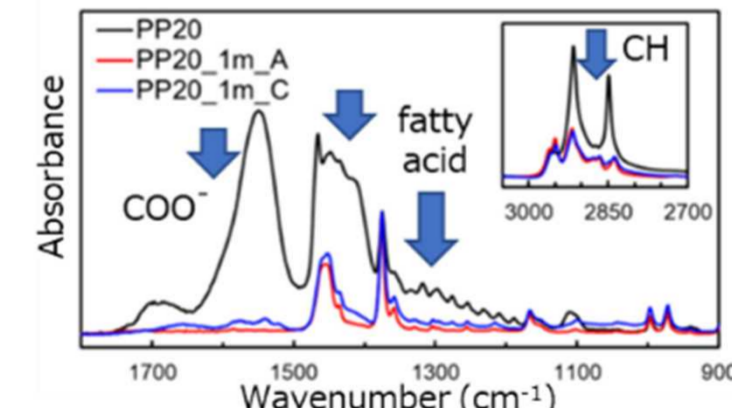
試料：光酸化生分解添加剤(脂肪酸Mn塩)*を含むP-Life (PP20)膜 サンプルはフレームに固定後、海に浸漬 *光照射により酸化を誘起する添加剤(世界的に禁止の方向)

表面形態



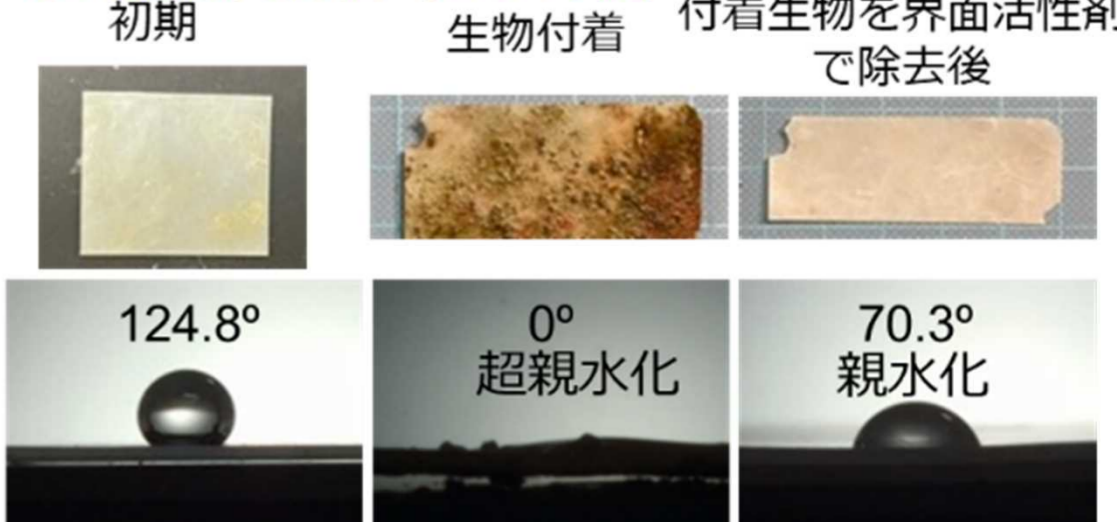
表層におけるフィールド試験後、添加剤からの散乱が消失

FTIR-ATR (1ヶ月)



フィールド試験後、添加剤の吸収が消失 光酸化生分解添加剤は太陽光によって光分解あるいは海水へ溶解

水の接触角評価 (6ヶ月後)



生物付着により超親水化、太陽光照射により光酸化し親水化

接触角測定、赤外吸収測定、X線散乱、接触測定によるフィールド試験後の特性評価を確立