

非可食性バイオマスを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



発表者：伊藤 耕三（国立大学法人東京大学）

PM：伊藤 耕三

国立大学法人東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授

PJ参画機関：国立大学法人東京大学、三菱ケミカル株式会社、
株式会社ブリヂストン、株式会社クレハ、
国立大学法人九州大学、国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学、
国立大学法人山形大学、公益財団法人地球環境産業技術研究機構、
国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人愛媛大学、
国立大学法人東京工業大学

分解性とタフネス（強靱性・耐久性）の両立

回収できないプラゴミ、タイヤ摩耗粉、繊維くず、漁具などが地球環境にとって深刻な問題

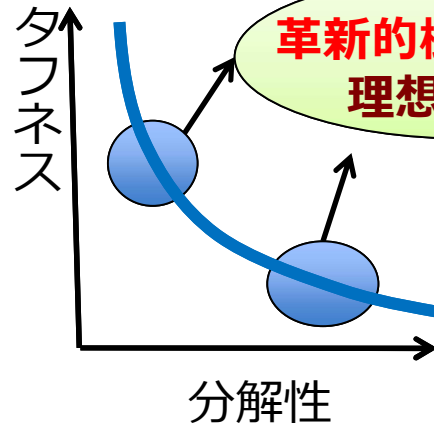
理想的なポリマー

使用時は丈夫で、誤って廃棄されたとき海洋などでもすぐに壊れて自然環境下で最終的に水とCO₂に還元

従来技術の問題点

環境分解性とタフネス（強靱性・耐久性）の両立が困難

環境分解のメカニズムが未だに十分解明されていない



革新的概念による理想の材料

次世代の我が国の製造業を支える材料開発力の醸成

マルチロック型：分解に複数の条件（分子構造、光、水、酸素、塩、酵素、微生物、）を必要とすることでスイッチング機能を実現

Clean & Cool Earth

分解性とタフネス（強靱性・耐久性）を両立するマルチロック型バイオポリマー
使用時には分解を抑えてタフネスを保ち
環境中に誤って拡散した際には迅速なオンデマンド分解を実現

非可食性バイオマスを原料とすることも重要！

産官学に渡る世界最高レベル技術（分子合成、バイオ・成形プロセス、構造解析・物性評価、シミュレーション、海洋動態・生分解評価）を結集した圧倒的な材料開発力

研究開発体制図（マトリクス運営）

	Aプラスチック 三菱ケミカル TL 楠野篤志	Bタイヤ ブリヂストン TL 浜谷悟司	C繊維 帝人、帝人フ ロンティア TL 山本智義	D漁網 クレハ TL 正木崇士	E共通課題 アカデミア TL 伊藤耕三
E1:マルチロック分解 東大	●	●	●	●	●
E2:構造物性評価 九大、京都工織大、 神戸大	●	●	●	●	●
E3:合成・プロセス 名大、山形大、 RITE、東工大、 大阪市大、信州大、 長岡技科大	●	●	●	●	●
E4:海洋分解 産総研、愛媛大、 CERI	●	●	●	●	●

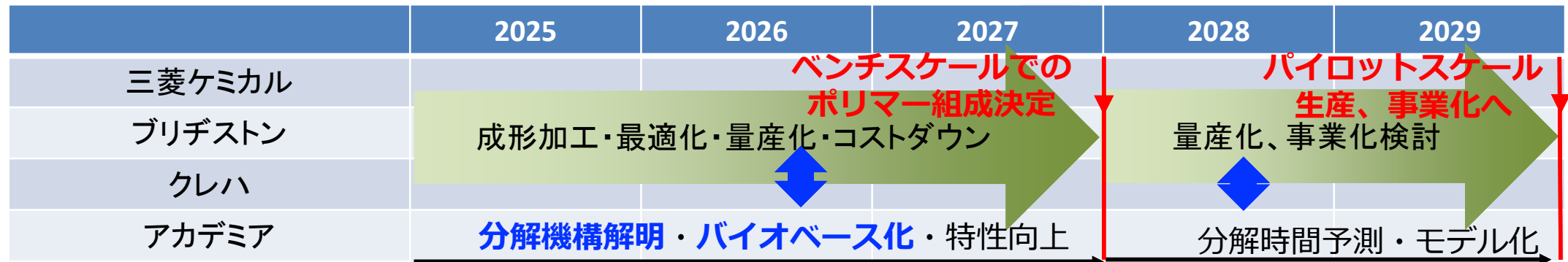
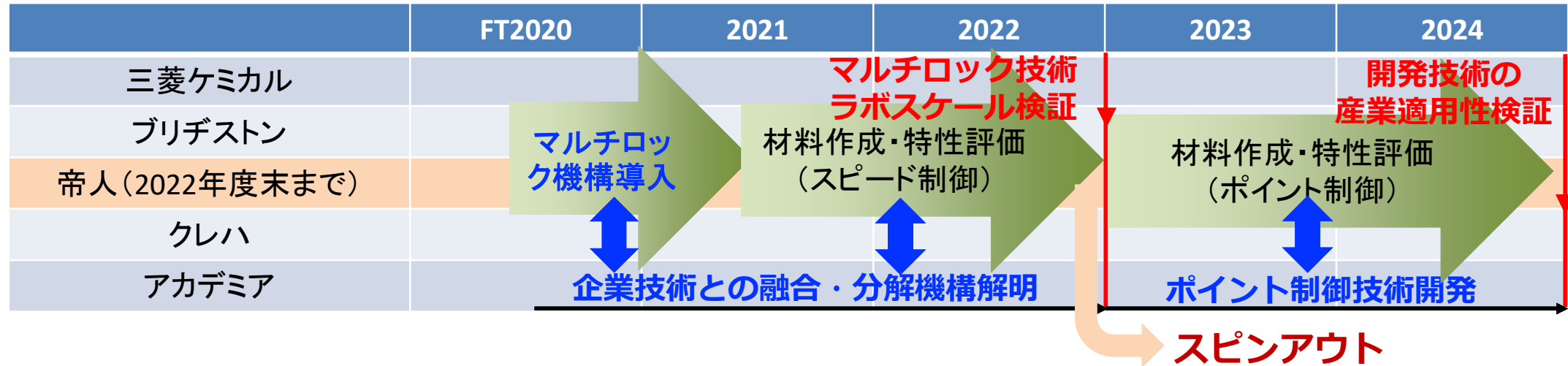
スピリアウト

- ・ A～Dは競争領域（クローズ）、Eは協調領域（オープン）
- ・ 1つの企業が多数のアカデミアと同時に共同研究を実施（産学ともに相乗効果）
- ・ 企業とアカデミアの組み合わせは開発ステージによって柔軟に変化（常に最適化）

各チーム進捗状況

担当機関 対象	三菱ケミカル プラスチック	ブリヂストン タイヤ摩耗紛	クレハ 漁網	アカデミア マルチロック
技術課題	非可食性バイオマスを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	非可食性バイオマスを原料とした強靱さと分解性を併せもつポリマー/タイヤの開発	生分解性樹脂であるポリアミド4およびポリグリコール酸を主骨格とするバイオポリマーを用いた漁具開発	新規スイッチ機構の開発、強靱性と海洋生分解性の両立、分解機構の解明、実海域でのフィールド試験
開発目標 2029年	非可食資源から製造される脂肪酸族ポリエステルであって、BOD試験(25°C)で、30日で分解度40%を有し、既存バイオポリマーの10倍以上の靱性を有することを、ベンチ以上の規模の試作品レベルで実証する。	非可食バイオマスを原料としたポリマーでマルチロック型バイオタフポリマーを開発し、トレッドに適用したタイヤをパイロットレベルで製造する。ラボ摩耗試験での耐摩耗指数とラボ分解試験での分解速度指数バランスが10倍以上向上することを確認する。	マルチロック分解機構の導入等により、物性維持と海洋生分解の両立(3年以内に80%以上が生分解)を達成する。また、商業生産のコストレベルでバイオマス化技術を含めてパイロットスケールで確認するとともに、糸物性の制御技術を確立し、実用上要求される諸物性(を達成する。	マルチロック解除前後で10倍以上の分解速度差、現行の10倍以上の耐久性、分解酵素の10倍以上の活性向上、実海域での分解速度を10倍以上高速化
成果 TOPICS	PBS系において、 添加剤の混練によって分解性が大幅に加速することを確認 、スピード制御の達成に成功した。 フィールド試験を実施 し、実海域での生分解性を評価した。 ポリロタキサンの添加により、破断伸び2.3倍、海洋生分解性が3~5倍程度、同時に向上した。	ブタジエンの共重合化 や分解ユニットの導入により、 生分解性の10倍以上の向上 を達成した。海洋環境中で分解する 可逆結合導入ゴムを開発 。 破壊強度2倍以上、分解速度10倍以上の両立 に成功した。	非海洋生分解性釣り糸と同程度の結節強伸度を有し、海洋生分解性を示す釣り糸の開発に成功した。 釣り糸は遺棄後に海底に沈むと分解が加速する。実際に 実海洋域でのフィールド試験で、釣り糸の分解性を確認した。	実海域での大規模フィールド試験を実施した。 ポリロタキサンや擬ポリロタキサンナノシートを利用して 強靱性と分解性の向上の両立に成功した。 様々なポリエステルを分解可能な 耐熱性エステラーゼを発見した。

年次計画 (平均的イメージ)



作成中

～2023/12まで集計～

外部アドバイザー
(13名)

伊藤PM

研究開発担当補佐
アシスタント

実施管理
支援チーム

- **全体会議**(PM,全参画機関,AD) * 年1回
本プログラムに関する情報共有

4回(20/9,21/4,22/4,23/4)

- **班会議**(主にアカデミア) * 年2回/合宿
基盤的共通課題の成果報告、議論

企業はオブザーバー参加 7回(21/1,7,22/1,8,23/1,8,24/1)

- ・ **共通課題検討会**(主にアカデミア) * 随時
基盤的共通課題を課題毎に議論

29回(DB-WG,フィールドテスト含む)

- **国際ワークショップ** * 随時
国際連携の取組み

2回(22/8,23/10)

- **アドバイザー会議**(PM,評価AD) * 年1回
研究機関の評価(来期予算に反映)

3回

- **若手研究会** * 年1回/合宿
若手研究者のPJ参画、企業交流の機会

21/11,22/10,23/10

- **PM面談** * 随時

72回(PM-アカデミア)

87回(アカデミア-アカデミア)

- **チーム進捗会議**(PM,TL,チームメンバー)
* 2～3ヶ月毎(site-visitを交互に実施)

59回(各企業チーム15回)

- **チームミーティング** * 随時
(TL,関係アカデミア,チームメンバー,PM)
企業チーム主導で主要課題を議論

20回(各企業チーム対応)

- **チーム-アカデミア個別面談** * 随時

172回(企業-アカデミア)

- **知財運営委員会**(関係機関,常任委員) * 随時
知財に関わる課題を審議・決定する

- ・ **発明説明会** * 随時

2回(21/10,22/4)

アカデミア発明の企業活用を図る

- **企業は月報、アカデミアはQ報**

各企業32回 各アカデミア11回

- **PM月報** 33回

横断的共通課題

	共通課題	目標	メンバー
E1+ E3	マルチロック型分解機構の開発	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。	吉江、伊藤耕、岡崎、上垣外、乾、佐藤浩、森田、高坂、佐藤絵、笠井
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。	高原、佐々木、松野、佐藤春、森田、岡崎、菊地、森田
E3-1	非可食性バイオマス为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。	上垣外、乾、佐藤浩、高坂、佐藤絵
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。	伊藤浩、高原、吉江、上垣外、伊藤耕、岡崎、森田
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 実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。	日向、菊地、伊藤耕
E5	オリゴマーの海洋分解性と安全性	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	高原、上垣外、佐藤浩、佐藤絵、高坂、菊地
E6	CO2固定用海藻为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)。	伊藤耕、乾、上垣外、佐藤浩、佐藤絵、高坂、日向、菊地、伊藤浩

研究項目の組替えや新規な課題設定など、横断的共通課題を機動的に取り組んでいる。

リーダー

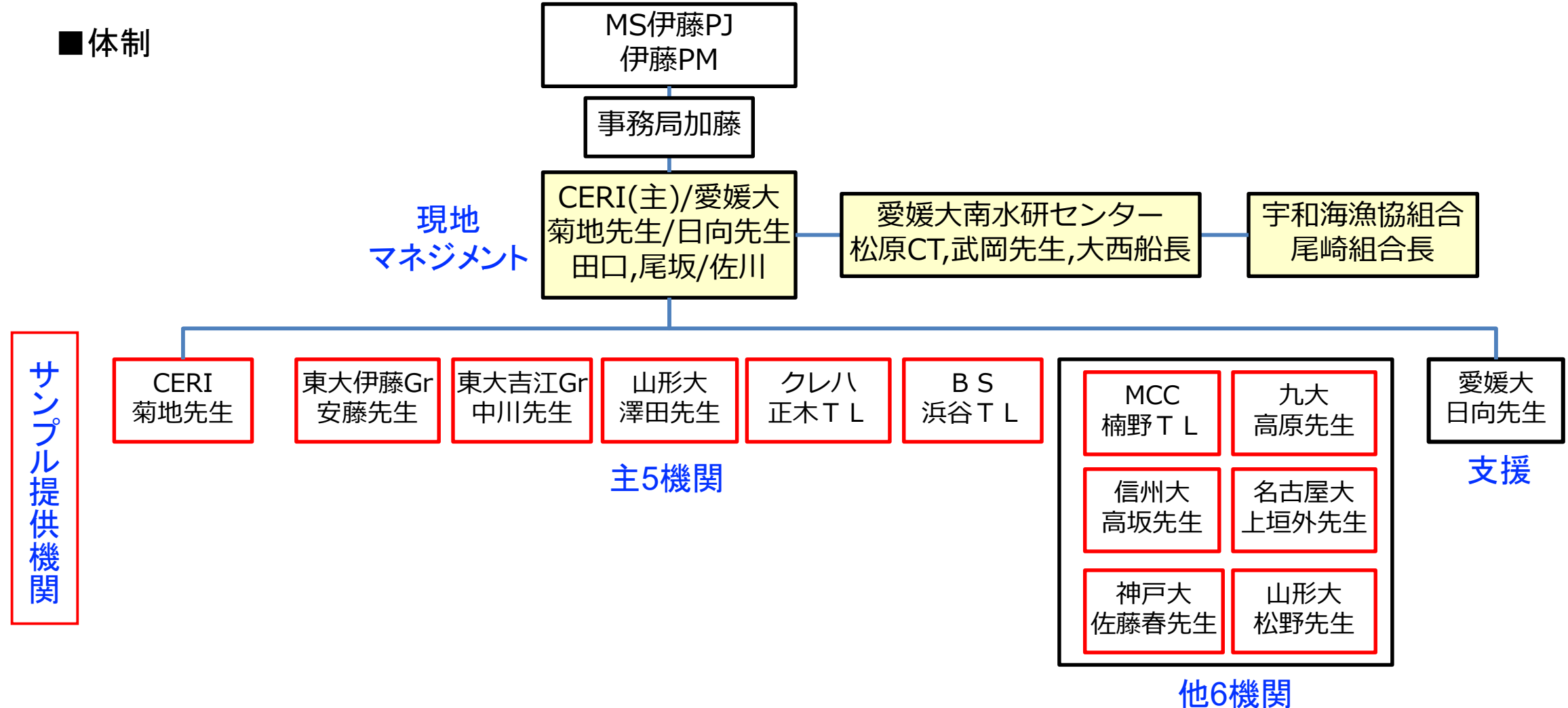
発表内容

- **フィールド試験**
- スイッチ機能
- 強靱性の向上
- 研究進捗状況（アカデミア、企業）
- 国際連携

■ 目的：海洋生分解性評価について、ラボ加速テストに加え、**実海洋環境でのデータ取得**を行う

■ 試験場所：愛媛県愛南町

■ 体制



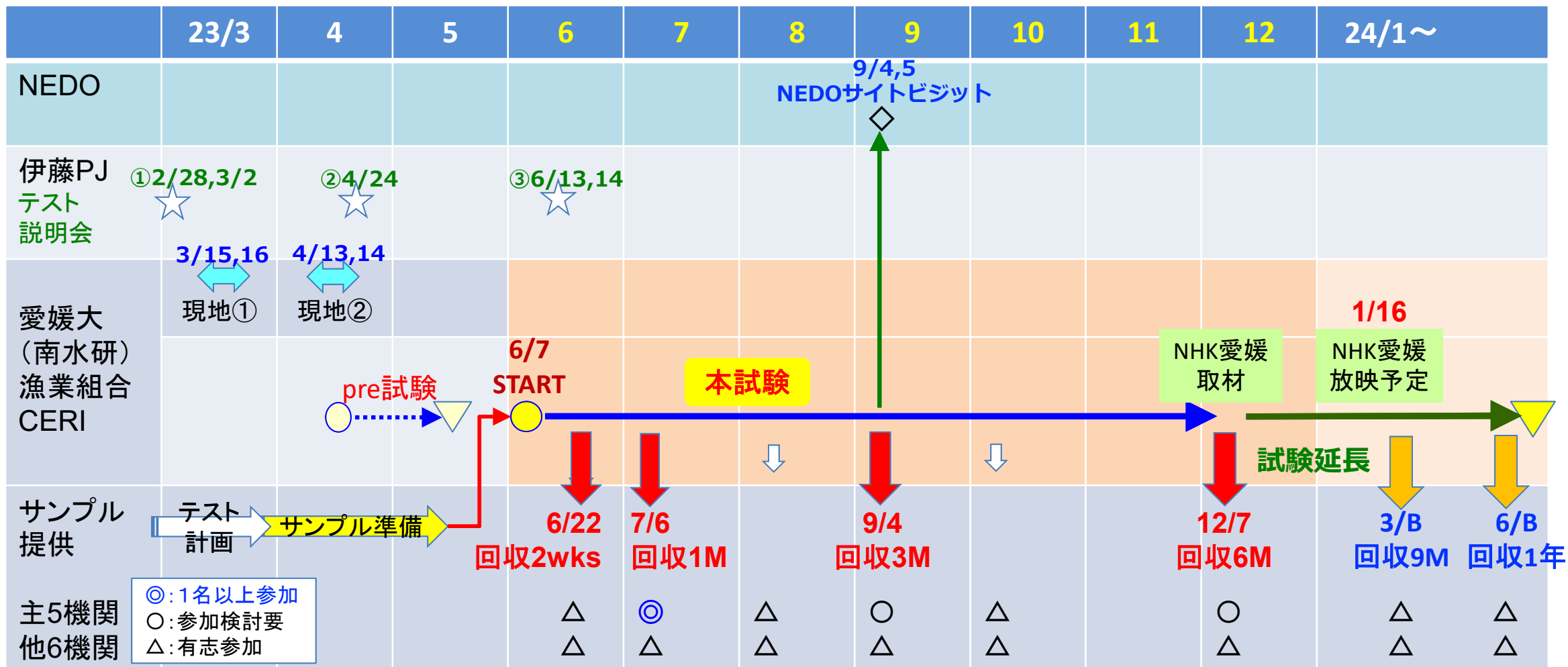
暴露地点



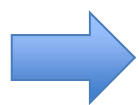
	I 湾内 (6/8- 本試験)	II 外海 (CERIのみ実施)
水深	15-20m	30-50m
波浪	穏やか 流出リスク低	時期によって8m 流出リスク高?
試験水深	A 表層 C 海底	A 表層 B 中層 C 海底
その他 環境因子	河川影響がゼロとも いえないが	海流早い 海底砂泥少ない?



計画変更：当初計画6ヶ月浸漬→12ヶ月に延長 *回収3ヶ月の結果から更に貴重なデータ取得を見込むため



サンプル総計 1,078
(同一サンプルの重複あり:n=2~3)



データベースに登録



環境データ等の測定

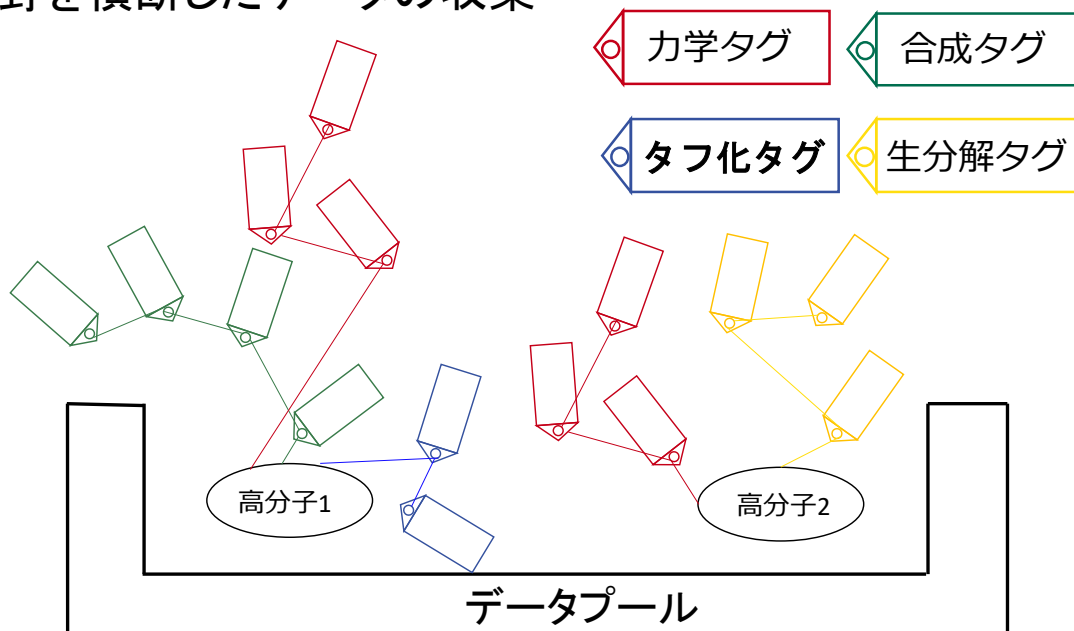


入カソフトを完成、クラウド上にシステムを構築

海洋生分解性試験 多次元データへの対応 高分子生分解データの一例(CERI提供)

最先端タグツリー形式によるデータ管理

分野を横断したデータの収集



試験条件に関する情報									
項目名称	数値・文字列	単位							
相模湾採取場所情報	名称	徳之島							
	北緯	27° 44'40.17"N							
	東経	129° 01'46.27"E							
	水温	25	°C						
試験系条件	気温	25	°C						
	経度	海水							
	容水量	150	mL						
	増殖物質	1	g						
	塩化アンモニウム	0.1	g/L						
	リン酸二水素カリウム	0.1	g/L						
	試験温度	25	°C						
攪拌	200	rpm							
試験結果のデータ ※時間に対する数値のデータです。									
項目名称: CO2発生量									
試験時間 (単位: day)	BKn1	BKn2	セルロースn1	セルロースn2	PCLn1	PCLn2	← サンプル名称		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	} 単位: mg	
3	5.57	5.57	6.16	5.97	5.55	7.12			
8	8.63	8.90	10.93	10.26	9.93	11.74			
15	11.13	11.15	18.63	22.53	20.76	23.30			
22	13.34	13.00	25.19	35.65	33.29	33.72			
30	15.07	14.78	34.24	43.26	41.51	42.13			
項目名称: 生分解度									
			セルロースn1	セルロースn2	PCLn1	PCLn2	← サンプル名称		
0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	} 単位: %	
3			1.0	0.7	-0.1	1.8			
8			4.1	2.8	1.4	3.7			
15			14.1	21.4	11.9	15.0			
22			22.5	42.3	24.8	25.3			
30			36.4	53.3	32.8	33.5			

1000サンプルを超える海洋生分解性試験結果のデータベース化

発表内容

- ・ フィールド試験
- ・ **スイッチ機能**
- ・ 強靱性の向上
- ・ 研究進捗状況（アカデミア、企業）
- ・ 国際連携

スイッチ機能

■NEDO方針

- ・クールアースの研究課題
現状実現できていない機能（生分解のタイミングをコントロールする機能、多様な海洋環境でも適切に分解する機能、分解による中間生成物も含めた生物への安全性等）を付加すること。
- ・スイッチ機能の例示（まだ研究段階であり、社会実装の例はない）



マルチロック：分解に複数の条件（コポリマー、動的架橋、超分子、添加剤、光、水、酸素、塩、酵素、微生物・・・）を必要とすることでスイッチング機能を実現（実使用環境下では分解せず、海中または海底で速やかに分解）

表8. スイッチ機能を有する生分解性プラスチックの開発一例 [24][25][26][27]

対象	現状	技術例
スイッチ機能を有する生分解性プラスチック	ラボ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 分解開始のポイントを制御する技術 <ul style="list-style-type: none"> ・ pHや塩濃度などの変化によって化学構造が変化することで分解開始 ・ 流出に伴う物理的刺激によって材料内の酵素が活性化することで分解開始 ✓ 分解のスピードを制御する技術 <ul style="list-style-type: none"> ・ 結晶化度や結晶厚を変えることで分解速度を制御するもの ・ バイオフィームなど微生物による分解速度を制御するもの

ポイント制御

スピード制御

- ・ **コポリマー** + 添加剤、水、海洋微生物、その他(光など)
分解ユニットの導入(企業T、名大、東工大、信州大、大坂市大)
- ・ **酵素** + 海洋環境
酵素(企業T、RITE、長岡技科大)

- ・ **添加剤** + 光、塩、海洋微生物
クラスター触媒(東大)、ポリロタキサン(企業T、東大)
- ・ **動的架橋** + 水 and/or 海洋微生物
水素結合(企業T、東大)

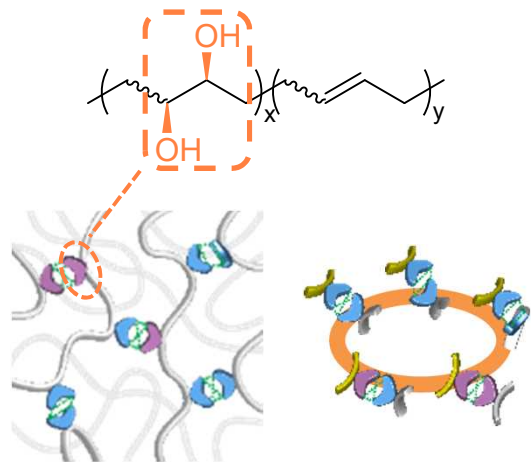
国内外に他には無い独自技術を用いてスイッチ機能の制御(ポイント制御)に挑戦!

- 1) エントロピー駆動型動的架橋(東大吉江+産総研森田)
→ 海中の金属イオンによるスイッチオン(強靱性の向上にも成功) → 企業に展開(スケールアップ)
- 2) 擬ポリロタキサンナシートを担体とした耐熱性LCC(東大伊藤+RITE乾)、
→ 海中の塩イオンによるスイッチオン(強靱性の向上にも成功) → 企業に展開
- 3) 新規スイッチ結合の網羅的探索と精密重合によるキレの良いスイッチ機能の実現(スイッチ結合のデータセット構築)
(名大上垣外+東工大佐藤+大阪公大佐藤+信州大高坂)+東大伊藤(生分解性試験)
→ 海中の塩イオン、酸化還元電位、金属イオンなどによるスイッチオン → データベースに集積

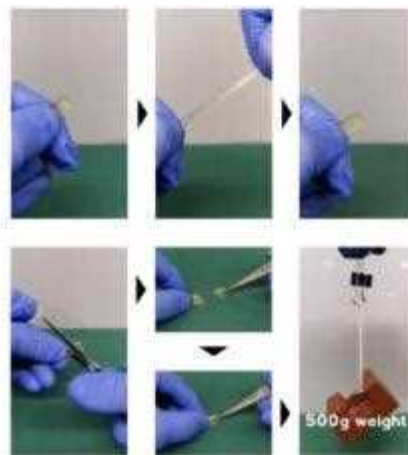
動的結合を利用したマルチロック分解性と力学特性の両立



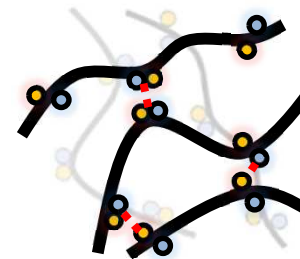
東京大学 吉江尚子



エントロピー駆動型の
強固な水素結合



優れたゴム弾性と迅速な自己修復性



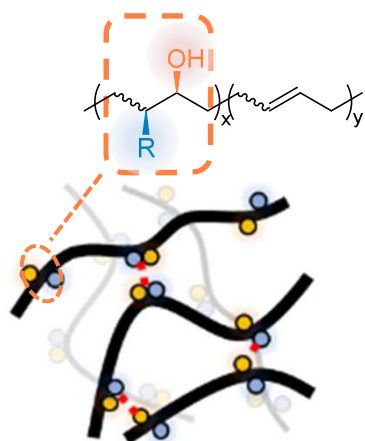
VAA間の水素結合は
物理架橋とみなされる

Vicinal diol (VDO)

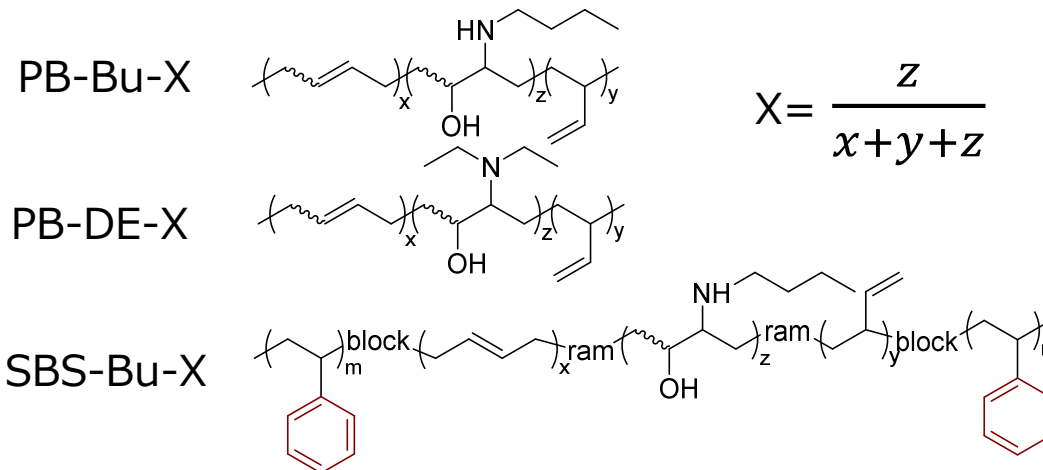
- ✓ Incredible dynamicity
- ✓ Excellent mechanical toughness
- ✗ Poor universality
- ✗ Synthesis is complex

Previous work

新たなエントロピー駆動型水素結合性基の探索



新規のエントロピー駆動型
水素結合の探索



Vicinal amino alcohol (VAA)

- ✓ Favorable universality
- ✓ Easy to Synthesize
- ✓ High mechanical toughness
- ✓ Good dynamicity

This work

俯瞰的視点による海洋分解ポリマーのための 双方向マルチスケール解析技術の研究開発

産業技術総合研究所 森田裕史 保田侑亮



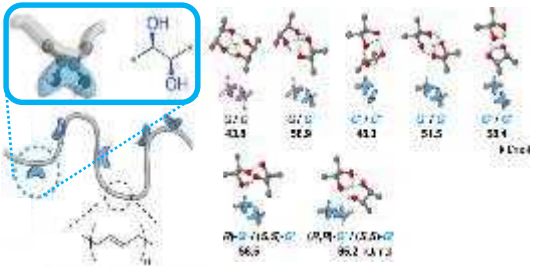
保有技術
材料シミュレーション技術
+ インフォマティクス技術

物理架橋によるタフ化のための材料設計技術開発
マルチロック分解機構の開発のための分解メカニズム解明

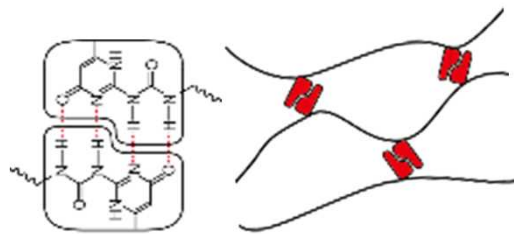
動的架橋エラストマーの開発 (東大吉江G)

エントロピー駆動性

エンタルピー駆動性



Kim et al. Macromolecules,
2020, 53, 4121.

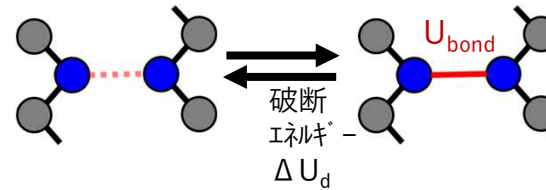


Yoshida et al. Adv. Funct. Mater.
2017, 27, 1701670.

動的架橋エラストマーのシミュレーションモデル (当グループ)

分解制御モデル

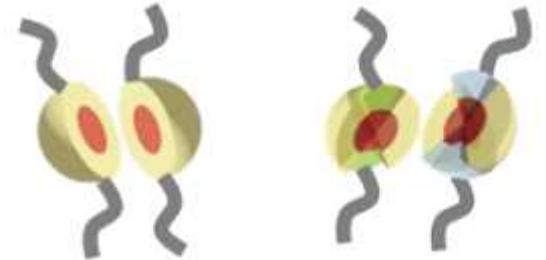
会合異方性制御モデル



$$U_{\text{bond}}(r) = \frac{1}{2} K(r - 1.0)^2$$

エントロピー駆動性

エンタルピー駆動性



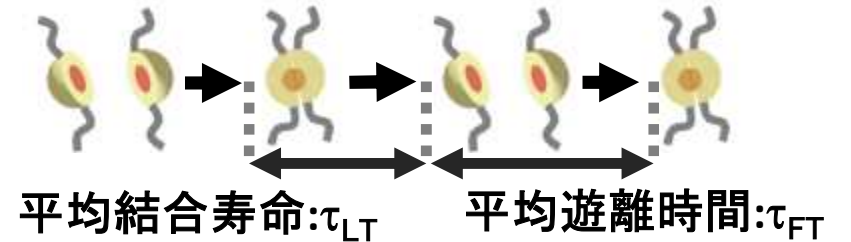
実験で観測されている

○ サイクル特性

○ 自己修復性

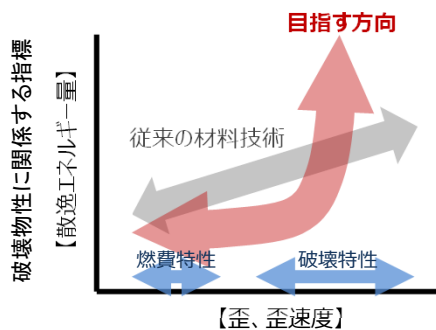
をシミュレーションでも確認

結合の分解・再結合の現象が
起こっていることを確認

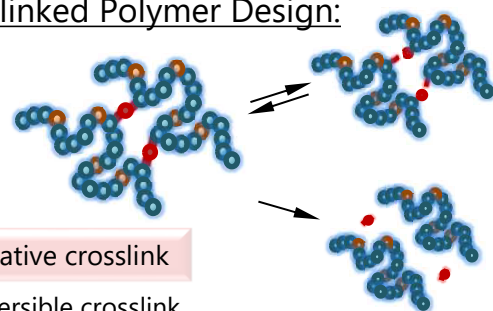


動的架橋を用いた分解とタフ化の両立技術

アカデミア連携でエネルギー散逸によるタフネス化できる可逆結合を拡張し、タフネス化コンセプトを保ち、海洋で分解可能な結合を設計



Crosslinked Polymer Design:



High Toughness

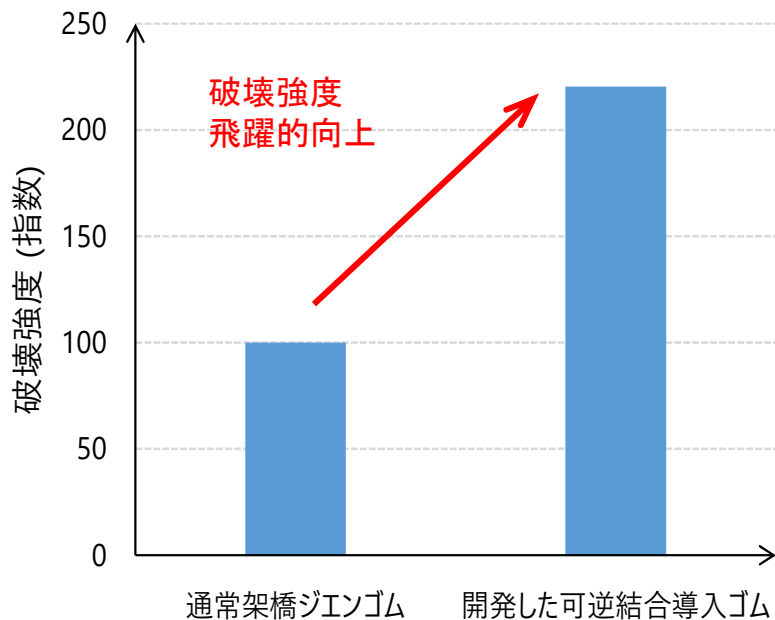
- Energy dissipation

Degradable

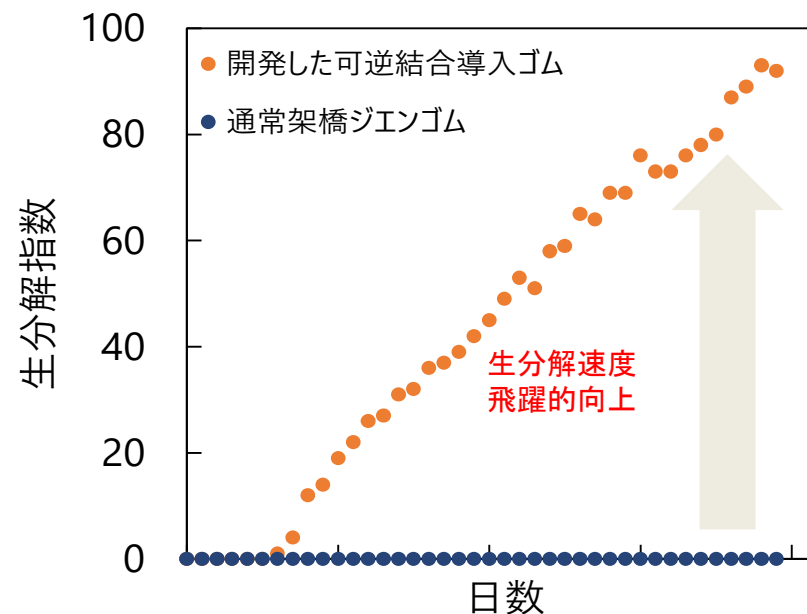
- Easily decrosslinked

- Alternative crosslink
- Reversible crosslink
 - Degradable crosslink

【物性試験結果】



【海洋生分解試験結果】

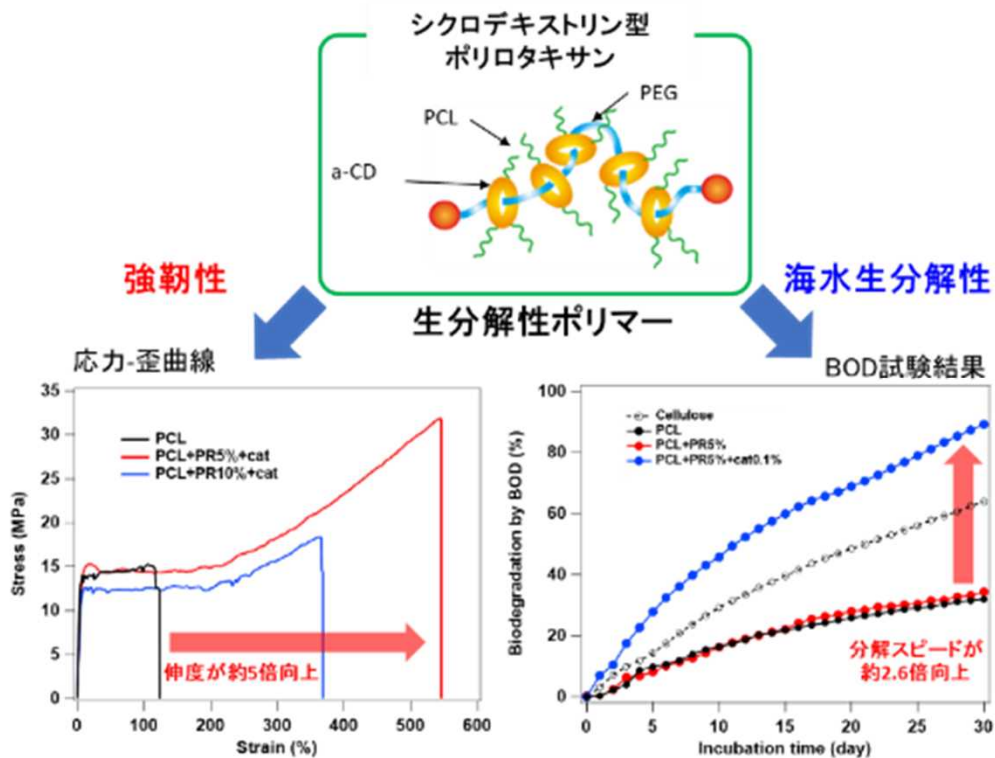


分解可能な可逆結合導入したゴムの開発に成功。破壊強度2倍以上、生分解速度10倍以上を達成

ポリロタキサン(PR)と擬ポリロタキサンナノシート(PPRNS)を用いた強靱性と海洋生分解性の同時向上

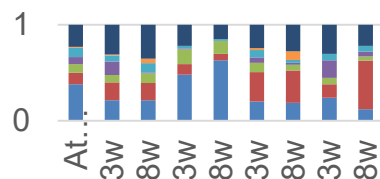


○ ポリロタキサン(PR)添加による生分解性樹脂強靱化と海洋生分解性の同時向上

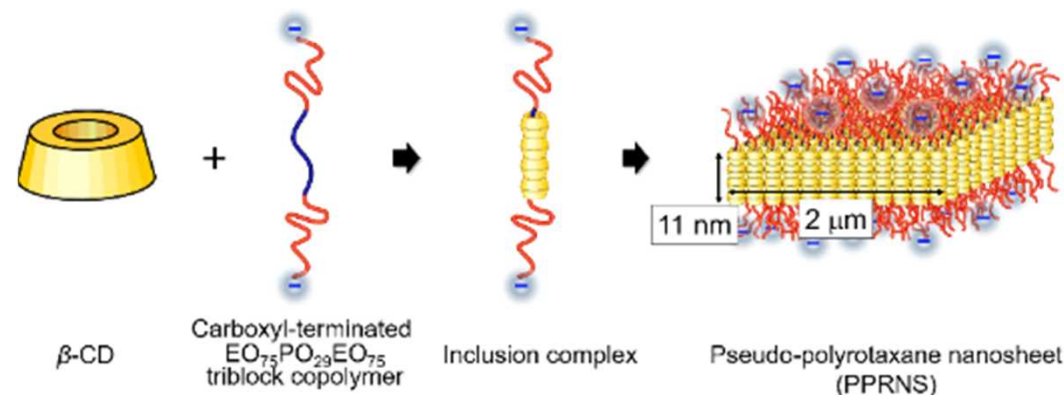


強靱性と海水分解性(スピード制御)の両立を達成。
PRを用いたポイント制御と生分解機構解明を目指す。

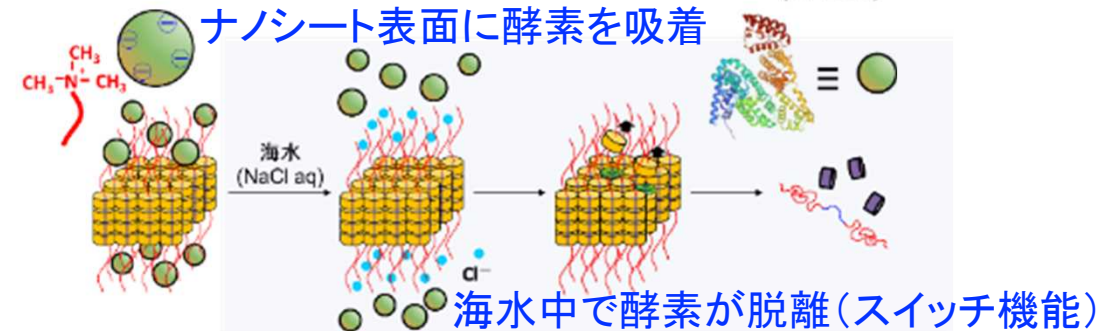
PR分解機構の解明(菌叢解析)
長岡技科大笠井先生との連携



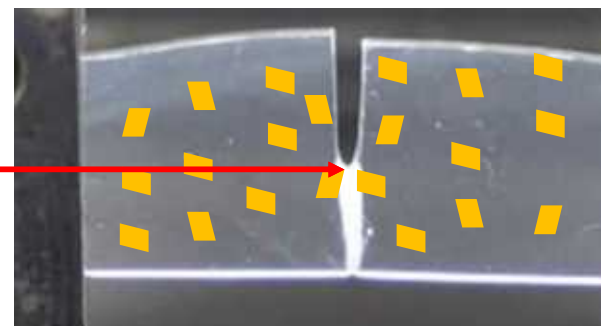
○ 擬ポリロタキサンナノシート(PPRNS)の新規酵素担体材料としての応用



ナノシート表面に酵素を吸着



き裂先端

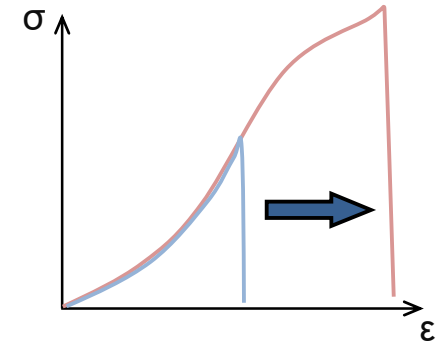
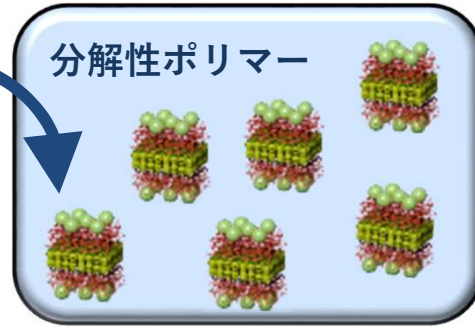
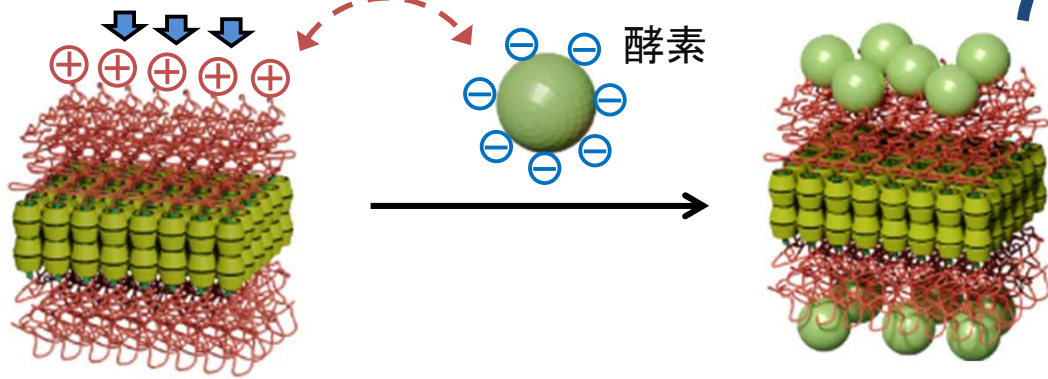


シート状のフィラーが亀裂の進展を抑制

強靱性の向上

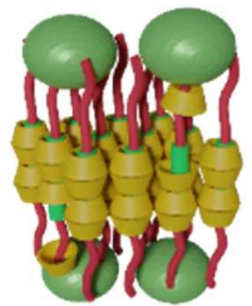
◆ 静電相互作用によるPPRNS表面への酵素担持

軸ポリマー末端の電離基
が表面に露出



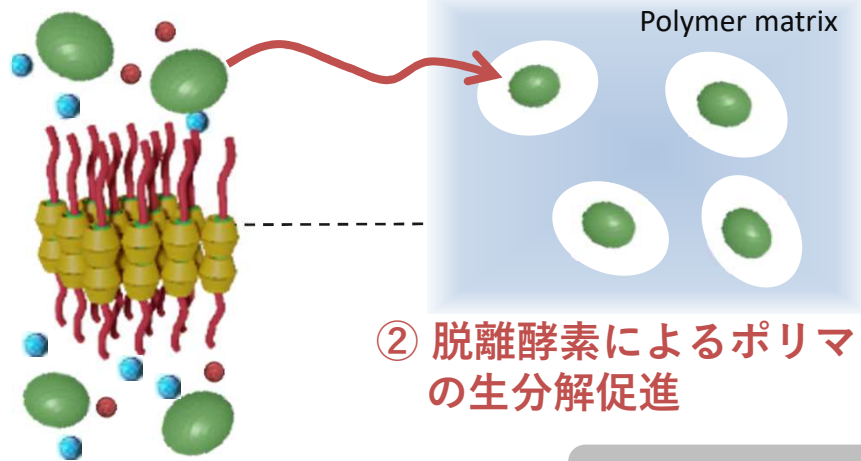
➤ 酵素担持PPRNSフィラーによる分解性ポリマー強靱化

◆ 海洋中の塩濃度による分解性スイッチング



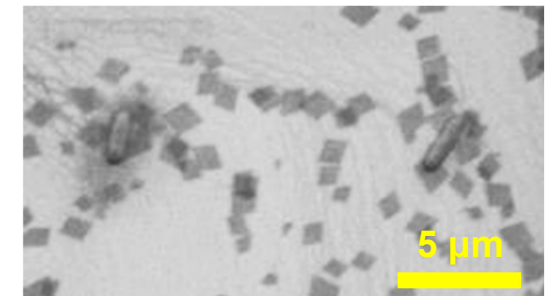
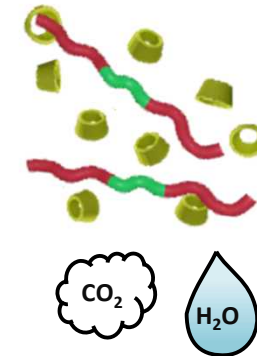
酵素担持PPRNS

+ NaCl
海洋中



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



▲ PPRNS周辺にみられたバクテリアとみられるもの

① 高塩濃度でPPRNSとの相互作用が弱まり酵素が脱離

➤ 塩濃度スイッチングによる強靱性・生分解性の両立

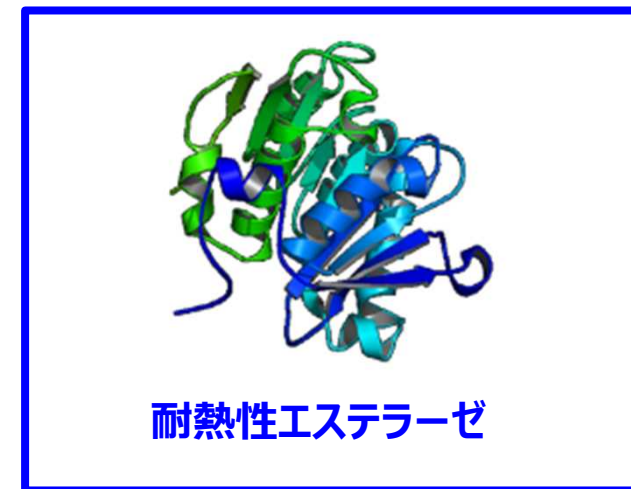
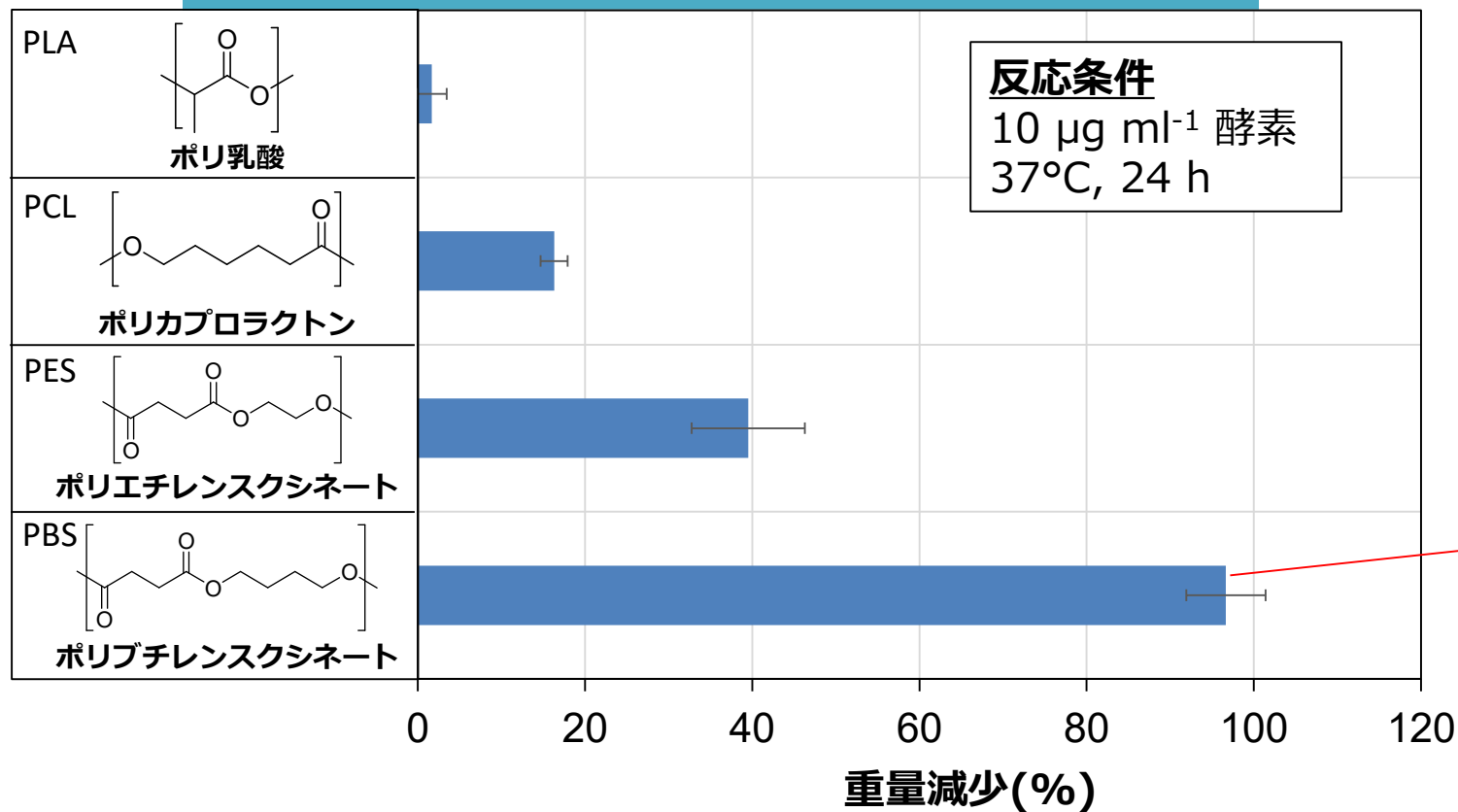
非可食バイオマスを原料としたバイオモノマー 生産とポリマー分解酵素の開発

乾 将行



MS伊藤PJ

各種ポリマー酵素処理後の重量減少



耐熱性エステラーゼ



酵素処理前 酵素処理後

**PBSは24時間でほぼ
100%の重量減少**

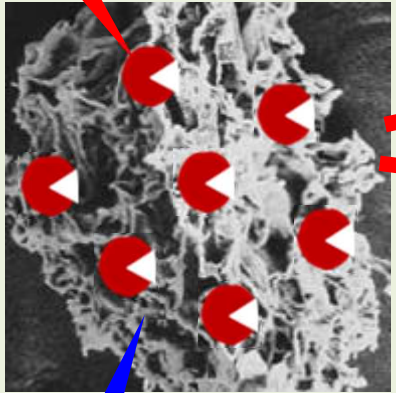
スクリーニングの結果、様々なポリエステルを分解可能な耐熱性エステラーゼを発見

担体への固定化によるポリマー分解酵素活性の塩濃度スイッチング

ポリマー分解酵素の高機能化

固定化酵素

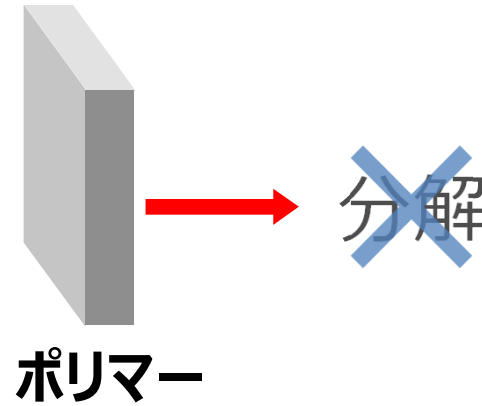
ポリマー分解酵素



キャリア担体

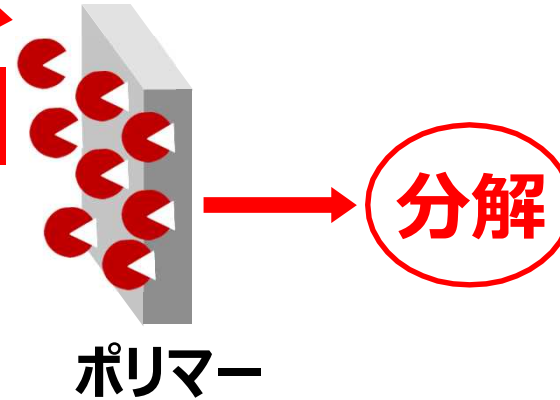
塩なし条件

分解酵素は担体から遊離しないため
ポリマーは加水分解されない。

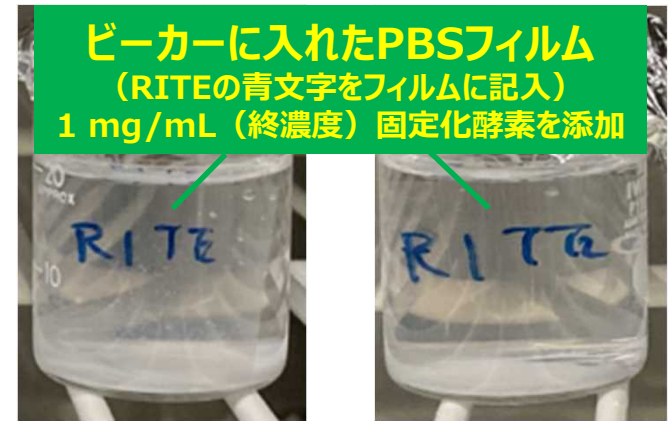


塩あり（海洋）条件

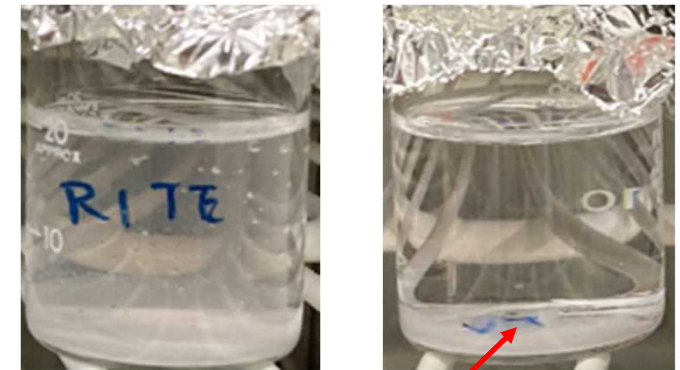
海水の塩濃度（ ~ 0.5 M NaCl）
では酵素が担体から遊離するため、
ポリマーは加水分解される。
＝ポイント制御機構（スイッチ機構）



+ 水道水(塩なし) + 実海水(塩あり)



37°C, 48 h

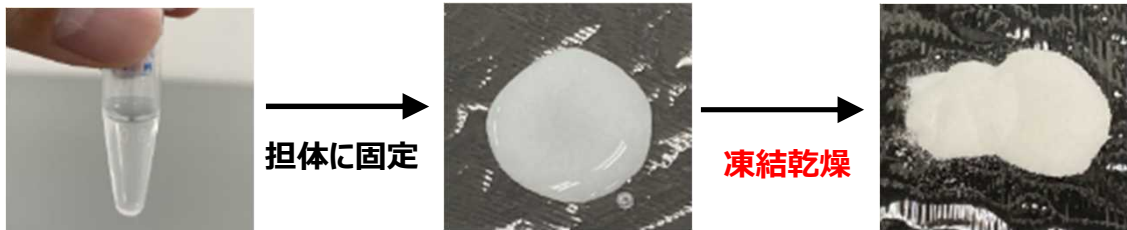


ビーカーの底に崩壊したフィルム

実海水でのポリマー分解酵素活性の塩濃度スイッチングを実証

固定化酵素の粉末化による耐熱性向上とPBSへの混練、および塩によるスイッチングの検証

ポリマー分解酵素の高機能化



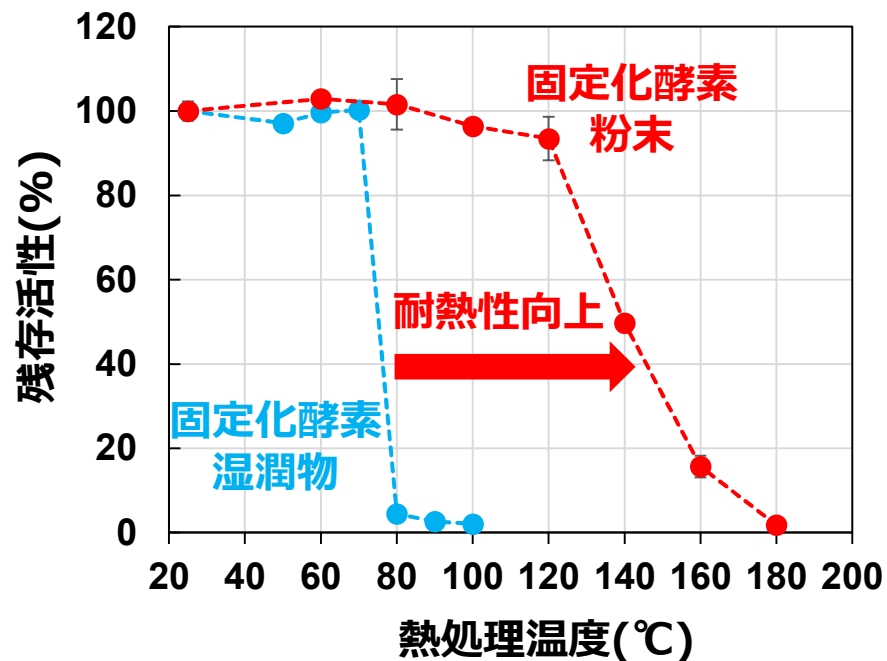
精製酵素溶液

担体に固定

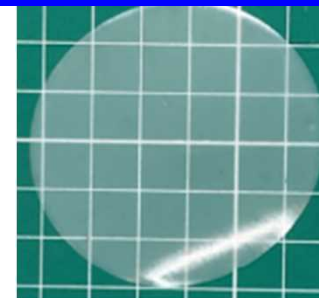
固定化酵素
「湿潤物」

凍結乾燥

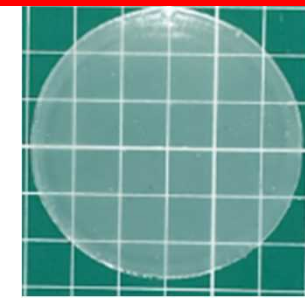
固定化酵素
「粉末」



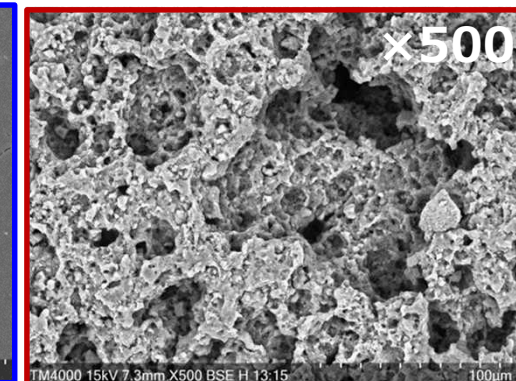
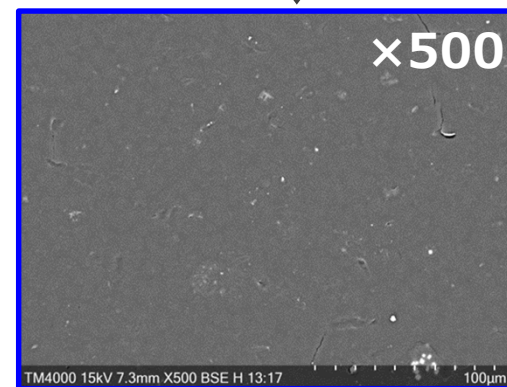
担体のみを混練した
PBSフィルム



固定化酵素を混練した
PBSフィルム



実海水、37°C、5日間



固定化酵素の粉末化により耐熱性が飛躍的に向上し、PBSへの混練後も活性を確認

E3-1班による合成・分解技術開発のまとめ



- 1. スイッチとなるさまざまな結合の導入が可能** → 加水分解、pH、酸化還元、金属イオン、結晶非晶スイッチなど
アセタール、ヘミアセタールエステル、シロキシ、チオエーテル、チオアセタール、共役エステル、ペルオキシ結合など
- 2. さまざまなポリマーへの導入が可能** → **ポリエステルからビニルポリマーなど広範囲のポリマーへ適用可能**
PBS、PVL、PCL、ポリアクリレート、ポリアクリルアミド、ポリスチレン、ポリ酢酸ビニル、ポリビニルエーテルなど
- 3. 分解生成物の長さの制御が可能** → **分解生成物を規定する上で環境面からも重要**
重合度が均一なポリエステルのオリゴマー合成、分子量分布の狭いビニルポリマーのオリゴマー分解生成物
- 4. 非可食バイオマスや再生可能資源の利用が可能** → **持続可能な技術開発の上で重要**
PBSなどのポリエステルはバイオベース化可能、**スイッチ部分のバイオ生産技術の利用可能**、**酸素をモノマーとした重合**
- 5. 連携を通じた生分解性（BOD）およびフィールド試験の実施** → **海洋生分解性を担保する上で重要**
構造の明確なPBSの高い生分解性の証明、各種スイッチ機能を有するポリマーのBODおよびフィールド試験の実施中
- 6. 新規モノマー、新規重合系の開発** → **学術的、工業的に重要、「科学の基礎をおさえてチャレンジする（NEDO）」**
重合度の制御されたオリゴマー・ポリマー合成技術、**新しい制御分解技術**、**新しいモノマーによる合成・分解技術**

E3-1班による合成・分解技術開発のまとめ

結合	化学構造	スイッチ			導入ポリマー例
		pH	酸化還元	金属イオン	
アセタール結合		Y	—	(Y)	ポリエステル
ヘミアセタールエステル結合		Y	—	(Y)	ポリエステル 、ポリ酢酸ビニル、ポリメタクリレート
チオアセタール結合		Y	Y	(Y)	ポリビニルエーテル、ポリアクリレート、 ポリイソプレン
チオエステル結合		Y	Y	(Y)	ポリアクリレート、 ポリイソプレン
エーテル結合		Y	—	(Y)	ポリ酢酸ビニル
チオエーテル結合		Y	Y	(Y)	ポリアクリレート、ポリ酢酸ビニル、ポリスチレン
シロキシ結合		Y	—	(Y)	ポリエステル
カーボネート結合		Y	—	—	ポリビニルエーテル
アルコキシアミン結合		Y	(Y)	(Y)	ポリスチレン、 ポリイソプレン
アминаール結合		Y	—	(Y)	ポリアクリレート
共役エステル結合		Y	—	—	ポリエステル
ペルオキシ結合		—	Y	Y	ポリジエン
ジスルフィド結合		—	Y	(Y)	ポリメタクリレート

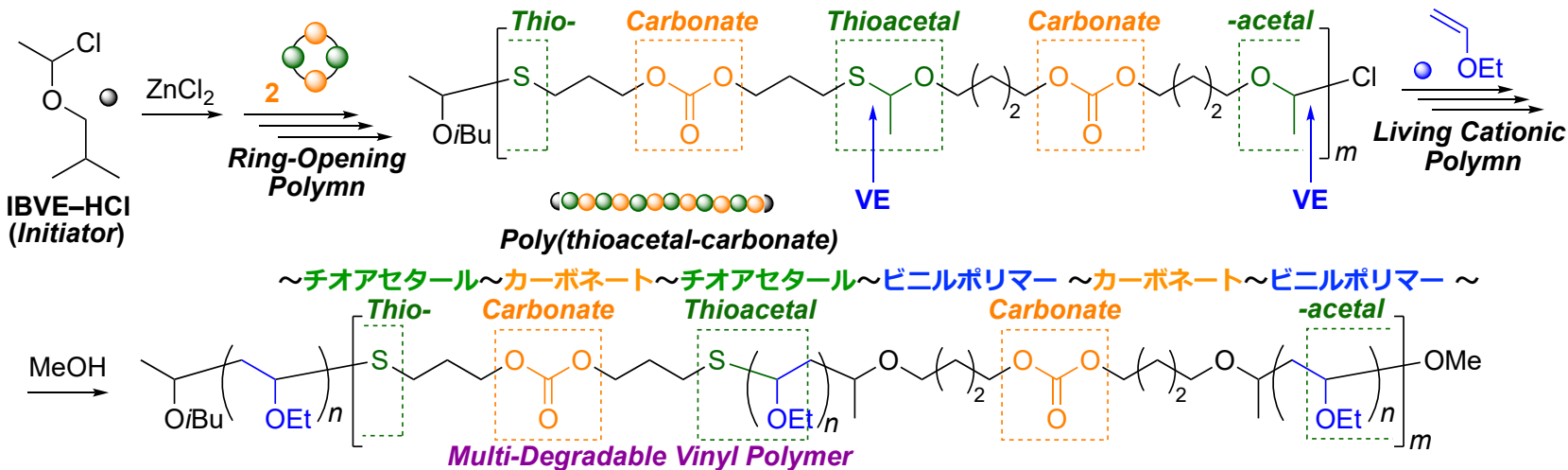
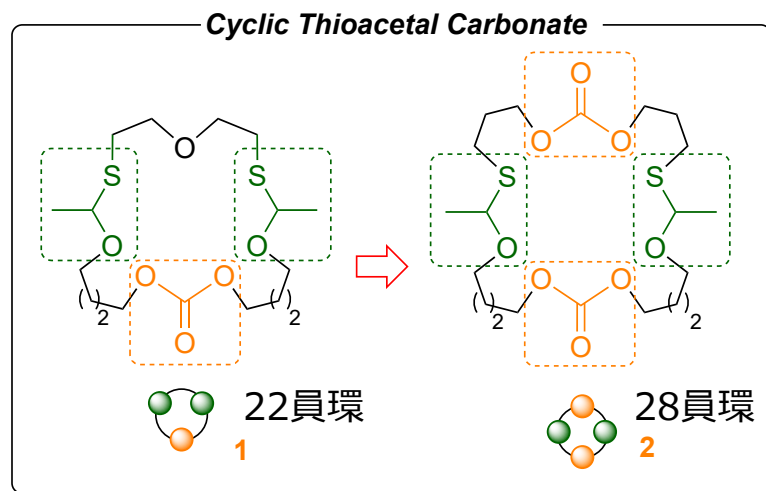
環状チオアセタールカーボネートとビニルエーテルのリビングカチオン共重合



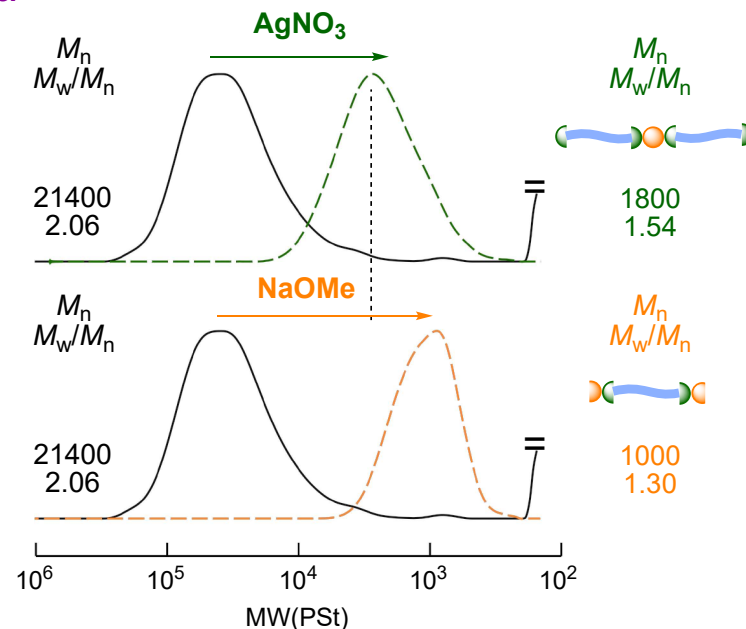
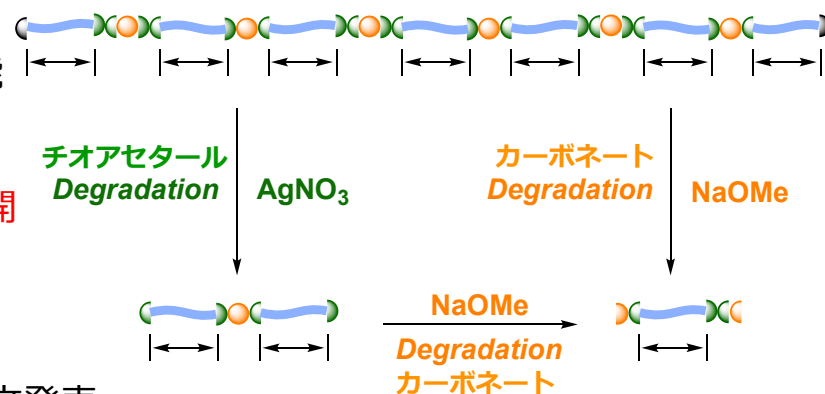
藤PJ

異なる分解スイッチ（C-S結合とカーボネート結合）の導入と分解生成物の長さ制御

上垣外 正己



- 新規環状チオアセタールカーボネートの合成
 - ビニルエーテルとのリビングカチオン共重合が可能
 - 酸でもアルカリでも分解
 - 分解前後のポリマーの長さの制御が可能
- 海洋環境スイッチ（pH、酸化還元など）への展開



- 7員環チオアセタールに関しては論文発表
- ビニルエーテルとのリビングカチオン共重合が可能
- 分解前後のポリマーの長さの制御が可能

Uchiyama, M.; Murakami, Y.; Satoh, K.; Kamigaito, M. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2023**, 53, e202215021. (Hot Article, Inside Cover, 日経産業新聞、日刊工業新聞、化学工業日報、日経オンライン)

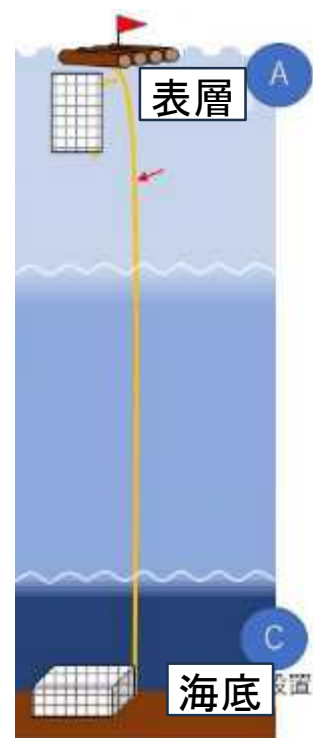
分子解体可能なバイオポリマーの設計と評価



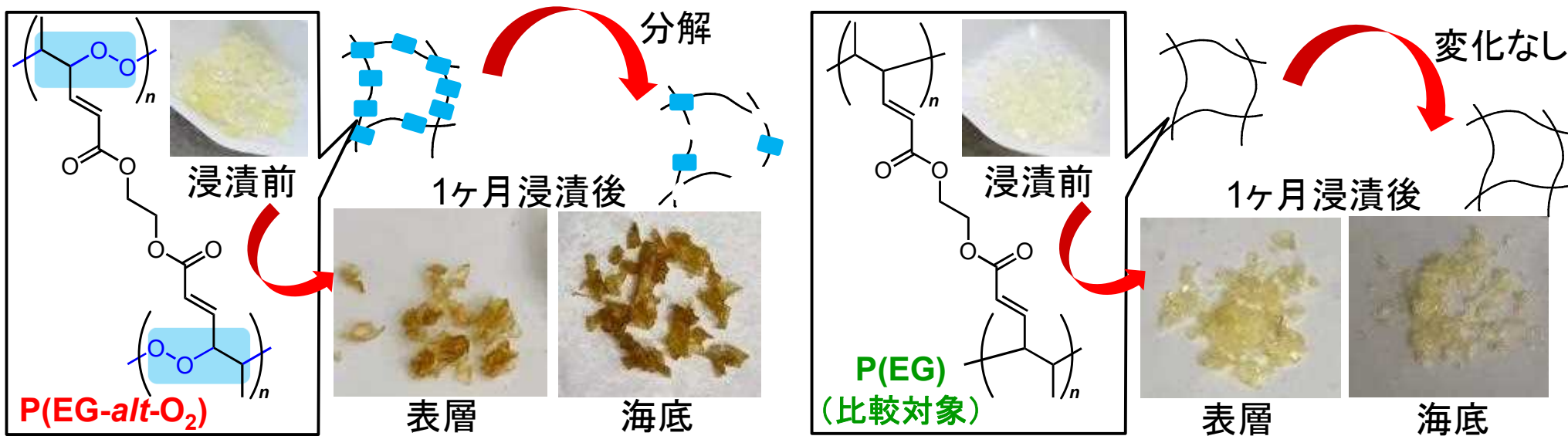
大阪公立大学 佐藤絵理子

CERI、愛媛大と連携

試験海域：
愛媛県南宇和愛南町
湾内
2023年8月～、1ヶ月



水深: 15-20 m



ポリマー / 分解性結合	深度	ポリマー残存率 (wt%)
P(EG-alt-O₂) / ペルオキシド、エステル	A, 表層	44 ± 2
	C, 海底	58 ± 1
P(EG) (比較対象) / エステル	A, 表層	94 ± 6
	C, 海底	90 ± 18

ペルオキシ結合とエステル結合含有架橋ポリマー (**P(EG-alt-O₂)**) の海洋分解挙動を評価し、1ヶ月でca. 50%の重量減少が起こることを明らかにした。比較対象であるエステル結合のみを含む架橋ポリマー (**P(EG)**) では、重量減少は見られなかったことから、ペルオキシ結合が選択的に分解したことを確認した。

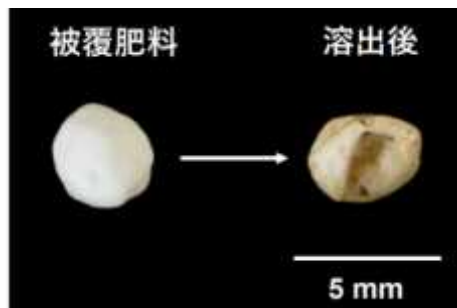
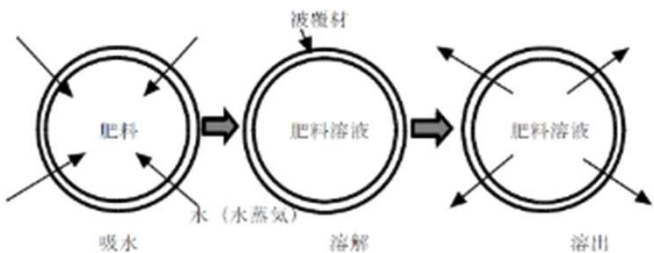
発表内容

- ・フィールド試験
- ・スイッチ機能
- ・**強靱性の向上**
- ・研究進捗状況（アカデミア、企業）
- ・国際連携

海洋生分解性ポリマーの農業用被覆肥料殻への応用

○PBS・PBSAの農業用被覆肥料殻への応用

マイクロカプセル(MC)肥料



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韧性が必要。PEがよく使用される。

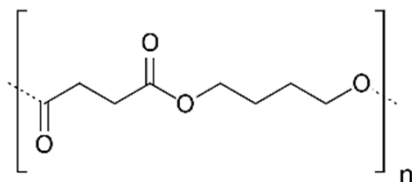
PEと同程度の韧性を持つ生分解性樹脂での代替が期待

NHK webニュースより抜粋

プラスチックフィルムで肥料を被覆することで、長期にわたり一定量を植物に供給できる。日本の水田約6割で利用。



BioPBS™(バイオPBS)

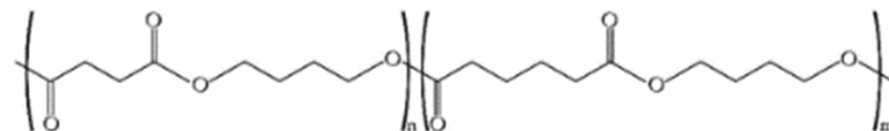


Polybutylenesuccinate (PBS)

強度は高いが脆性的
海洋生分解性が低い



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



Polybutylenesuccinate-co-adipate (PBSA)

PBSよりも柔らかく延性的
海洋生分解性が高い



PPRNS添加により延性、生分解性を維持しつつ、強度を向上



海洋生分解性ポリマーの成形加工による高次構造制御と高タフネス化

山形大学
伊藤浩志



MS伊藤PJ

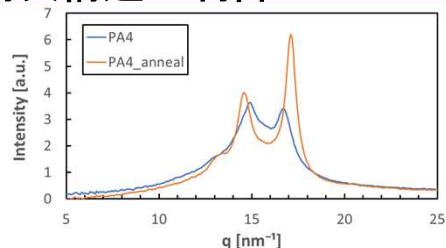


概要

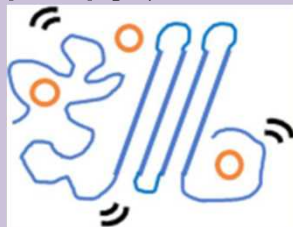
(1) 役割: 成形加工技術・評価技術に基づいて、海洋生分解性ポリマーに石油系ポリマーと同等のタフネスを付与する

(2) 研究内容:

高次構造の制御



高タフネス化に向けた設計指針

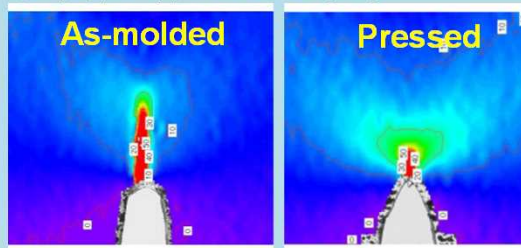


ポリマーブレンド・コンポジット化

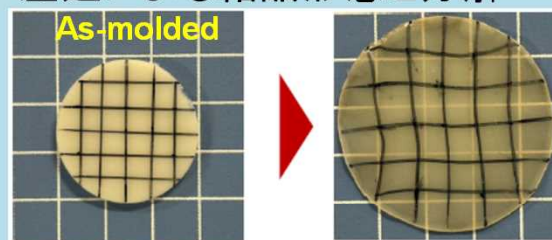


アカデミア課題

引裂先端の応力集中

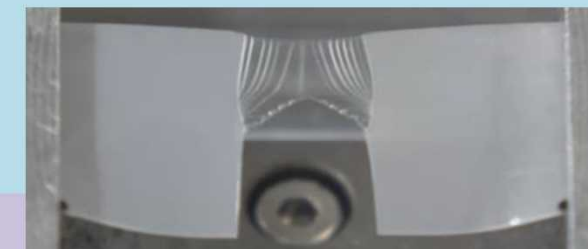


圧延による結晶形態と分解



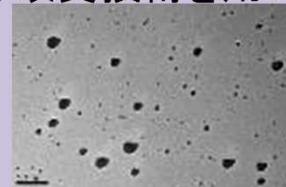
企業連携

実用的なフィルム引き裂き性

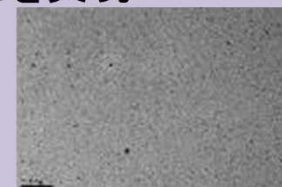


新規改質材、改質技術を用い、高タフネス化を実現

Mechanical mixing



Reactive extrusion



タンパク質系のフィラー

Field test in Ehime

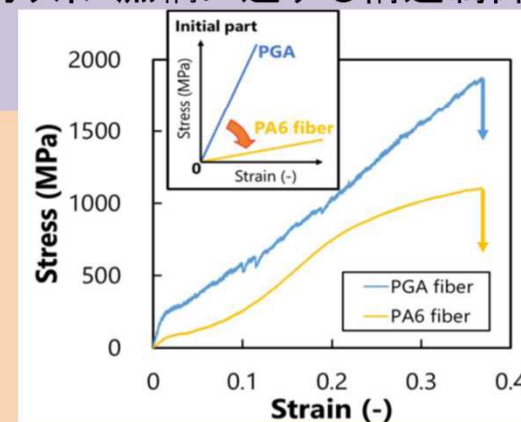


分解酵素の耐熱範囲での混練技術

Bio-degradation in seawater



釣り糸・漁網に適する構造制御

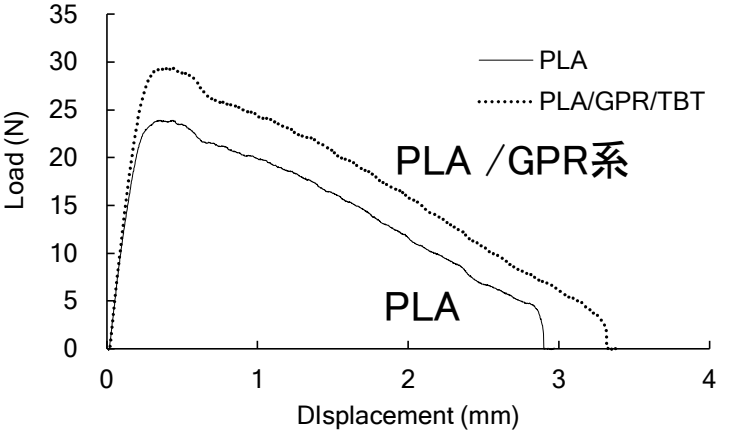
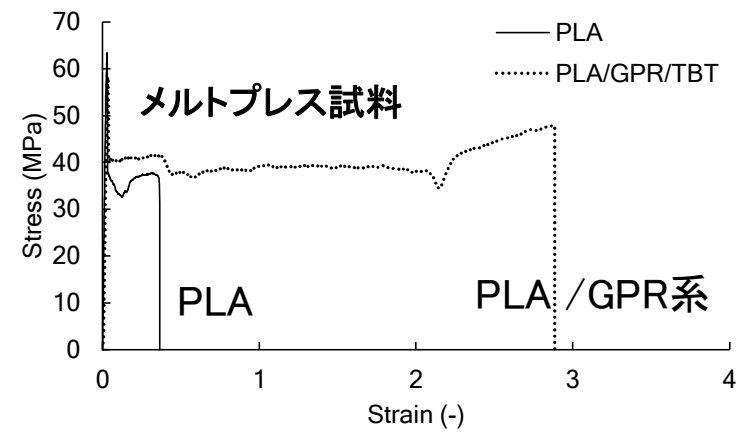


海洋生分解性ポリマーの成形加工による高次構造制御と高タフネス化

1. 引裂先端における応力集中を緩和する技術を開発

(1) 前年度迄の成果と課題

引張試験ではタフネス目標を達成。
しかし、引裂の変位量は殆ど向上しない。

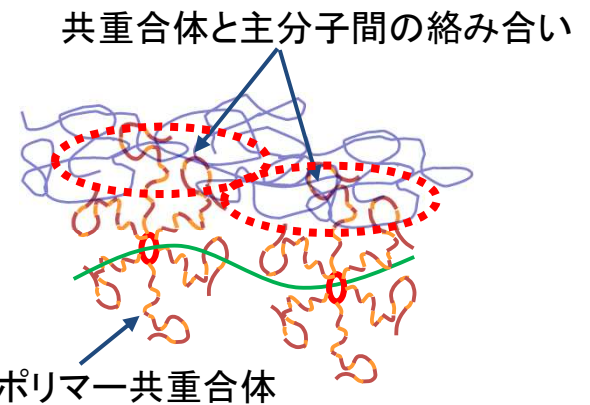


(2) 本年度の成果と計画

① 反応混練による分子量増大の確認

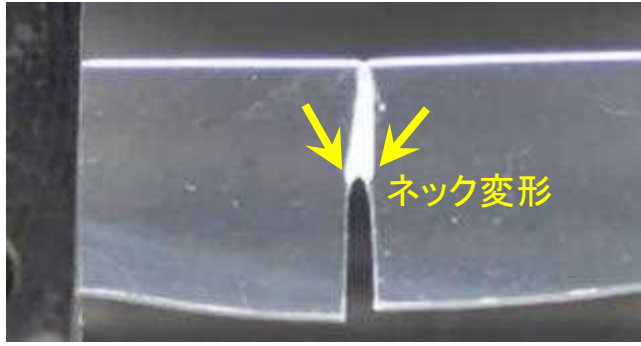
緩和時間 τ_1 の変化 (緩和弾性率解析)

	TBT有	TBT無
PBS/GPR	25.7 s	24.6 s
PLA/GPR	0.45 s	0.30 s
PGA/GPR	6.6 s	4.0 s



② 二段階で応力を緩和するメカニズムの提案

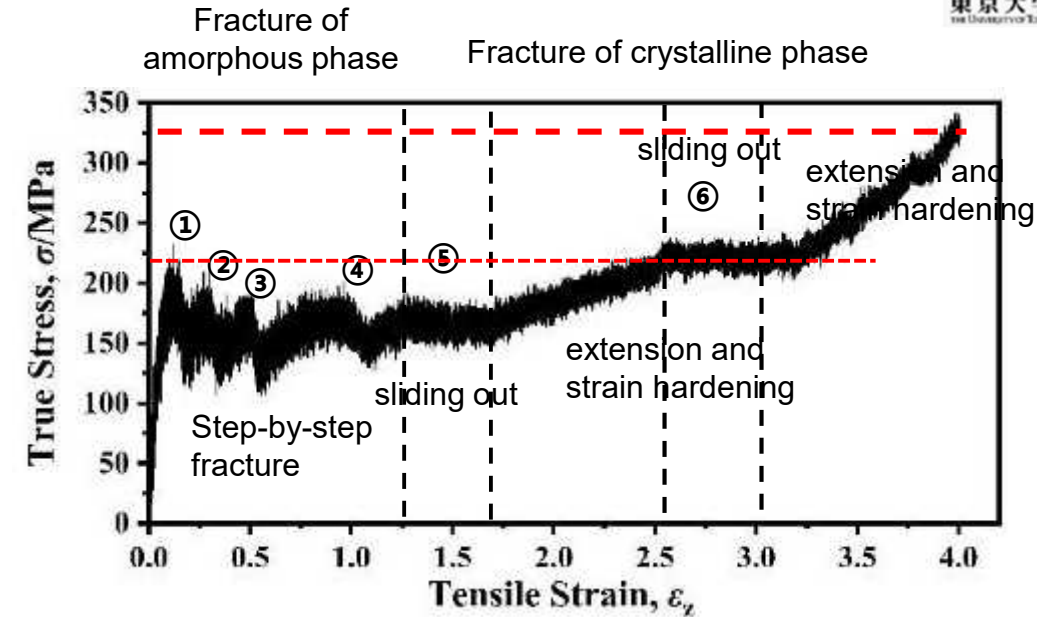
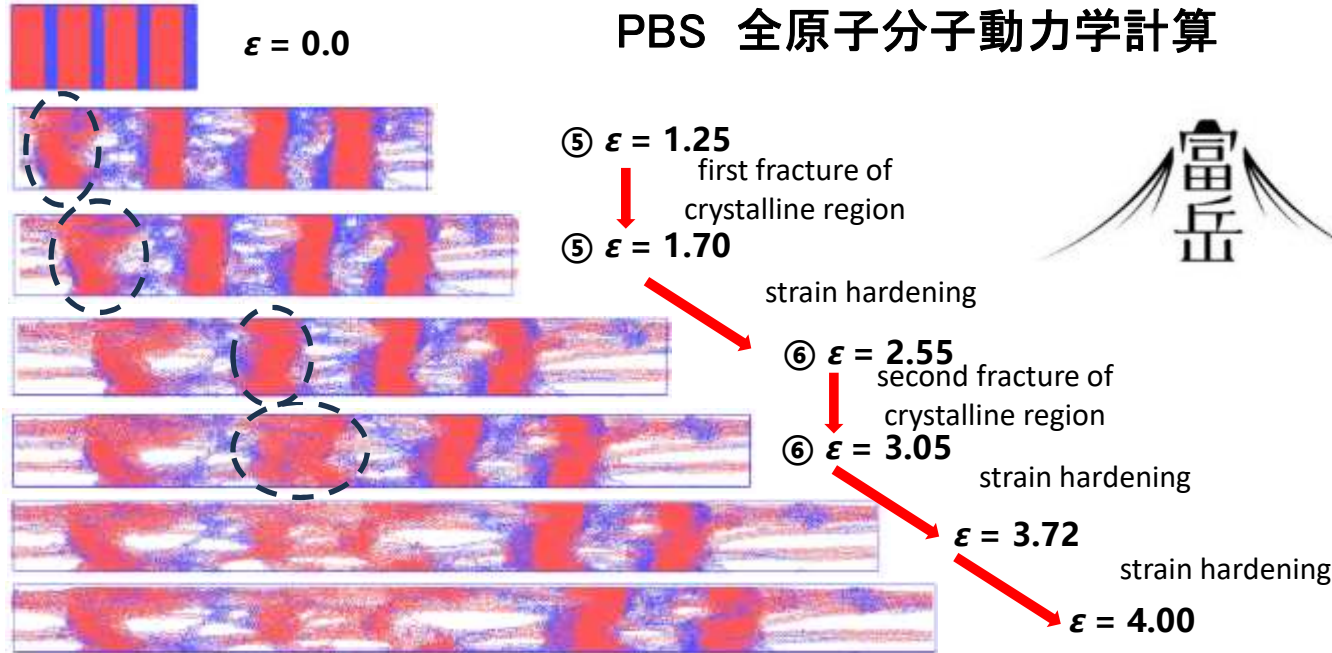
GPRによってネック変形時にボイドを生成させ応力集中を緩和(第一段階の緩和)



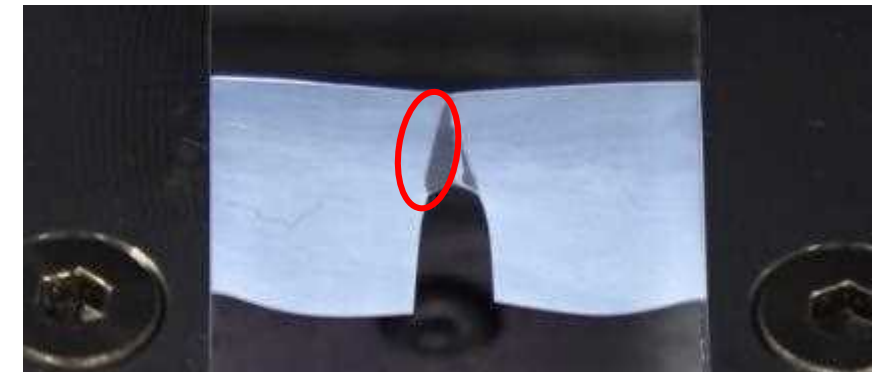
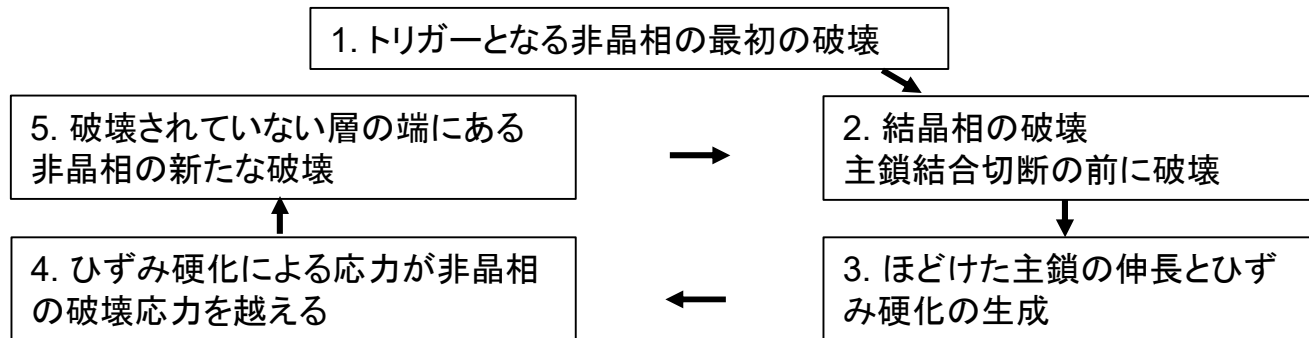
第二段階として、より応力の高い亀裂先端で応力集中を緩和する機構を検討 (海島構造形態最適化、共重合体生成、フィラー充填等)

海洋生分解性ポリマーの耐久性および強靱性の向上

東京大学 岡崎 進



ラメラ構造の破壊とネッキングの伝搬・拡大の分子機構



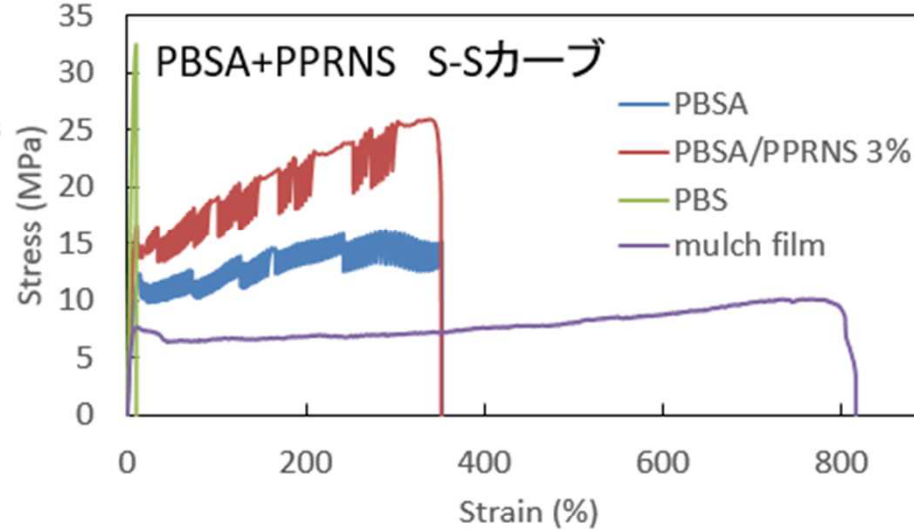
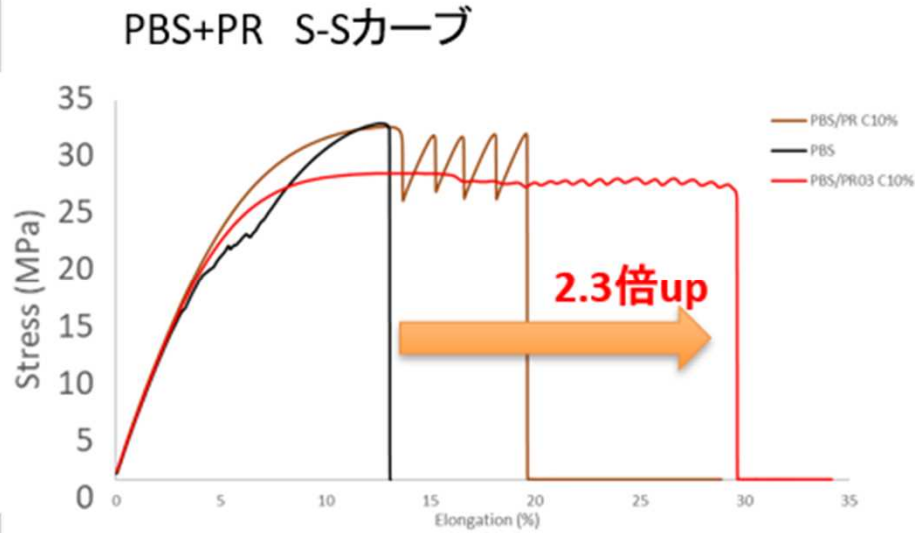
山形大 伊藤(浩)グループ 実験

ポリロタキサン(PR)、擬ポリロタキサンナノシート(PPRNS)による PBS、PBSAの強靱化と海洋生分解性の同時向上

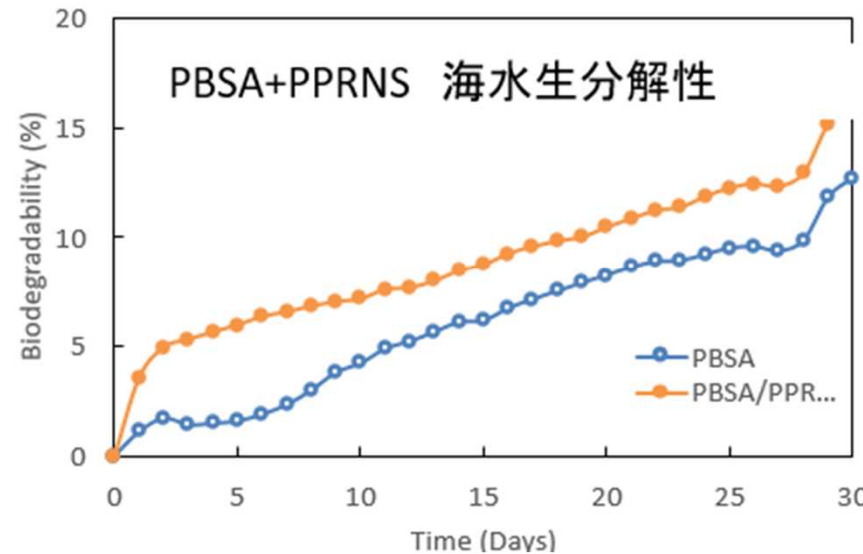
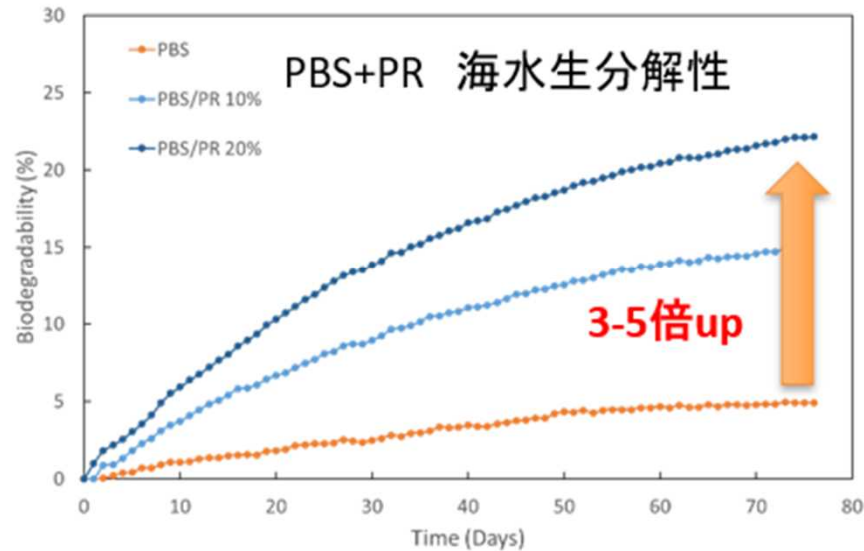
東京大学 伊藤耕三



MS MS伊藤PJ



PE mulch film



PR, PPRNS添加により
靱性と生分解性が
向上した。

発表内容

- ・フィールド試験
- ・スイッチ機能
- ・強靱性の向上
- ・**研究進捗状況**（**アカデミア**、**企業**）
- ・国際連携

マルチロック型バイオポリマーの環境分解過程における構造と物性の変化

九州大学 高原 淳



MS伊藤PJ



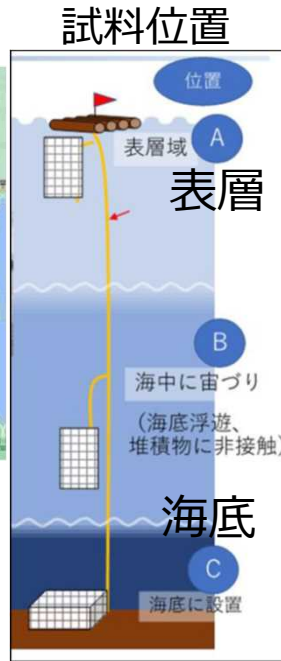
フィールド試験後の光酸化生分解添加剤(P-Life)含有PP表面の特性解析

フィールドテスト (23.06-12)

豊後水道

愛媛県 愛南町

高知県 宿毛市



サンプルはフレームに固定後、海に浸漬



試料：光酸化生分解添加剤（脂肪酸Mn塩）*を含むP-Life (PP20)膜

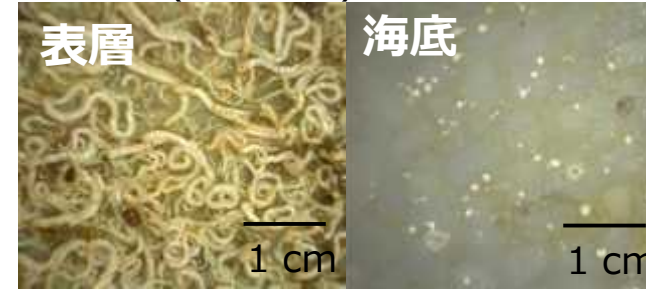


* 光照射により酸化を誘起する添加剤（世界的に禁止の方向）

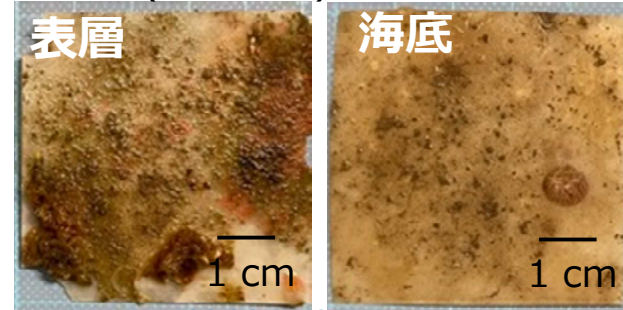
目的：フィールド試験後回収した試料の特性解析法を確立する

表面形態

表面状態(2306-07)_夏 1ヶ月後

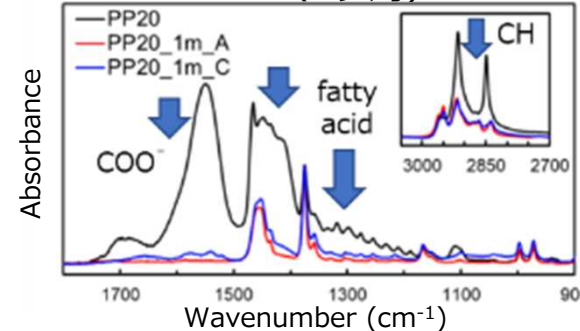


表面状態(2306-12)_冬 6ヶ月後



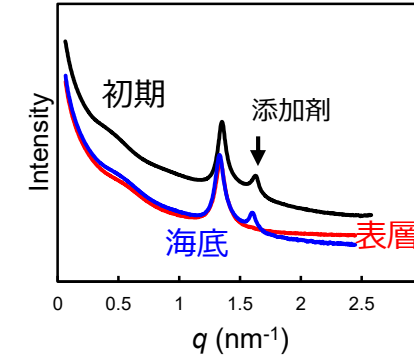
特性解析

FTIR-ATR (1ヶ月)



フィールド試験後、添加剤の吸収が消失

小角X線散乱 (1ヶ月後)



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

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)

初期

生物付着

付着生物を界面活性剤で除去後



124.8°

0°
超親水化

70.3°
親水化

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

海岸での分解モデル及び海底堆積モデルの開発

愛媛大学 日向博文



MS伊藤PJ

■ 海岸での分解モデル開発

粉碎試験により生成発泡スチロール(FPS)粒子のサイズ分布の時間的変化を解析



実験で生成したサイズ別FPS粒子数
=FPSを加えた粉碎試験ー空白試験

↓

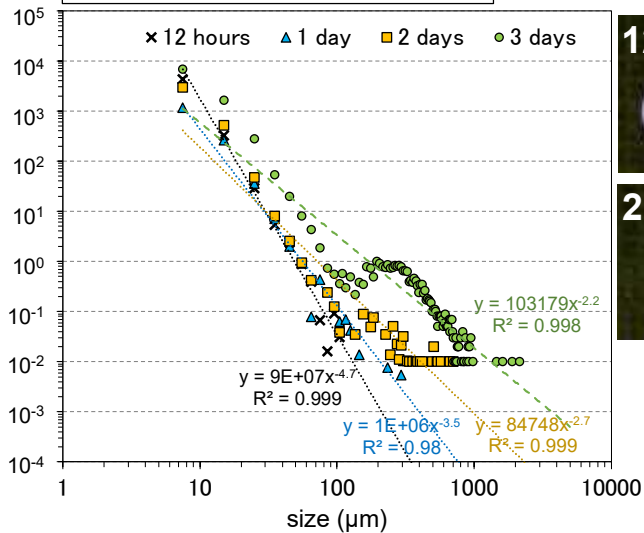
海岸の砂, 超純水, 新品の球状FPS (5 mm台、100個)

↓

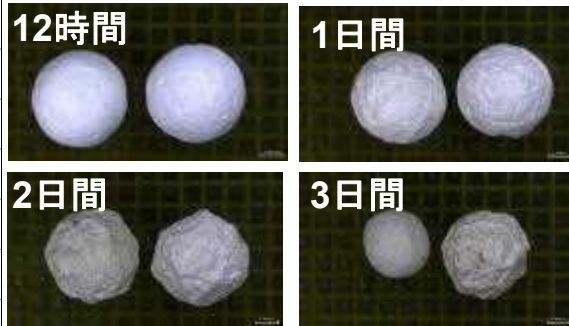
海岸の砂, 超純水

Pot mill (PM-002, AS ONE)

5 μm以上のFPS生成量



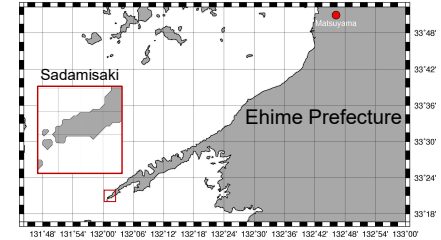
回転時間のみを変えた4ケースを実施



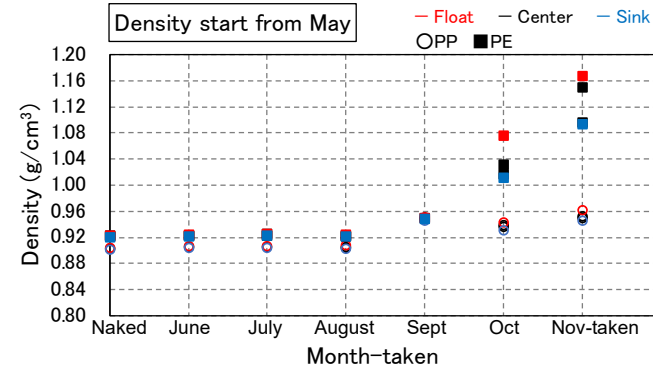
回転時間が1日を超えると100 μm以上の粒子が生成され、破壊モードが変化する

■ 海底堆積モデル開発

愛媛県佐田岬での現地実験によるバイオフィルム形成過程の解明



Started from May	June-taken	July-taken	August-taken	September-taken	October-taken	November-taken
Polypropylene (PP) sample Size 8 × 2 cm Thick 0.2 mm						
Polyethylene (PE) sample Size 5 × 7 cm Thick 0.04 mm						



プラスチックの密度を計測併せて環境データを取得

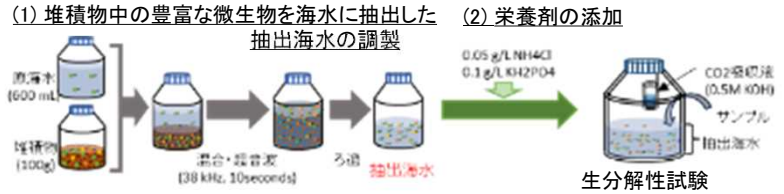
マルチロック型ポリマーの生分解性評価法の開発 一般財団法人化学物質評価研究機構(CERI) 菊地貴子



(1) 海洋生分解性評価の加速試験法の開発

開発した加速試験法

簡単な操作で、迅速に調製が可能

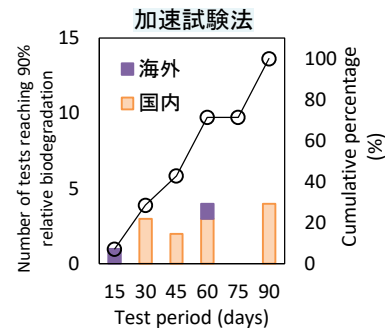
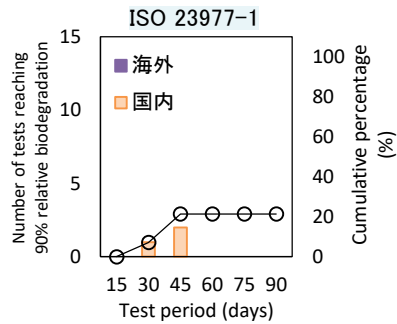


国内・海外の海域における加速試験法の有効性検証

(1) 国内15地点の海域 (2) 海外2地点の海域(イギリス海峡・タイランド湾)



PCLの相対生分解度が90%に到達する試験期間と試験の割合



(2) フィールドテスト及びラボテストとの比較検証

フィールドテスト及び開発した加速試験法(ラボ)とフィールド試験との比較検証

ラボテスト

閉鎖空間で長期間培養



- ✓ 生分解度試験
- ✓ 質量減少率

相関性評価

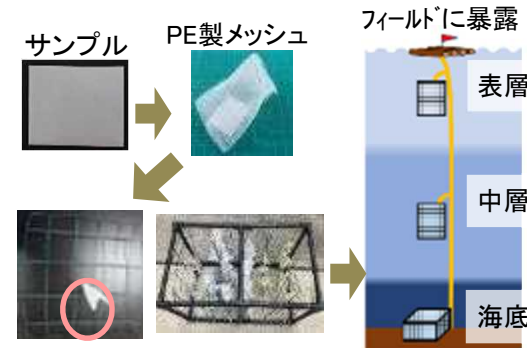


フィールドテスト

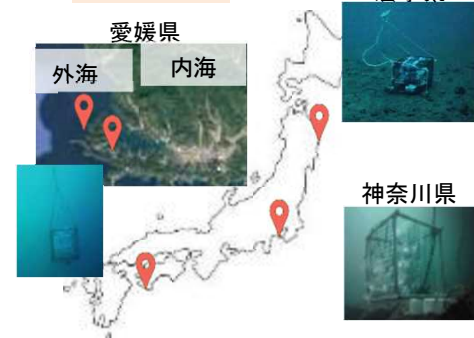
- ✓ 質量減少率

開放系

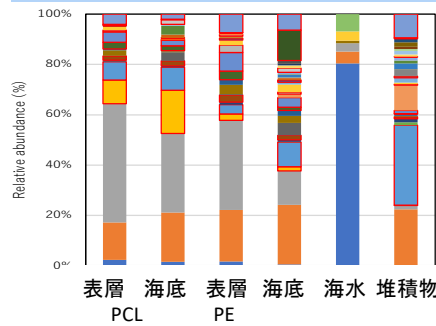
フィールドテスト概要



試験海域

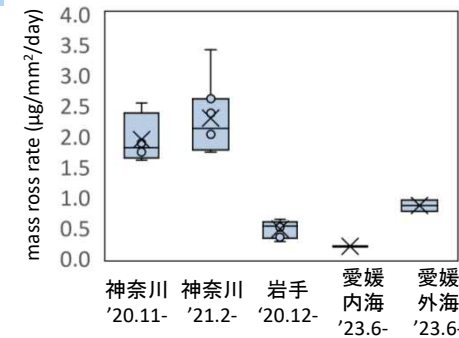


サンプル付着菌・海水・堆積物の網レベルの菌叢(愛媛内海)



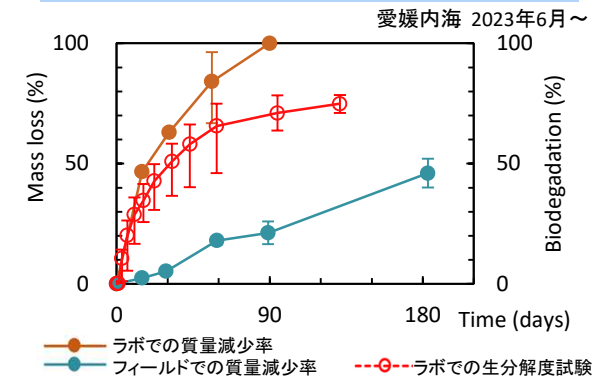
表層に暴露したサンプルから堆積物由来の微生物が検出

5海域におけるPCL初期分解速度



PCLの分解速度は海域により異なる

ラボ/フィールドにおける分解性評価



ラボ/フィールドでは分解速度が異なる

今後、分解過程の酵素活性や遺伝子解析等を組み合わせて、ラボ/フィールドの相関を検証

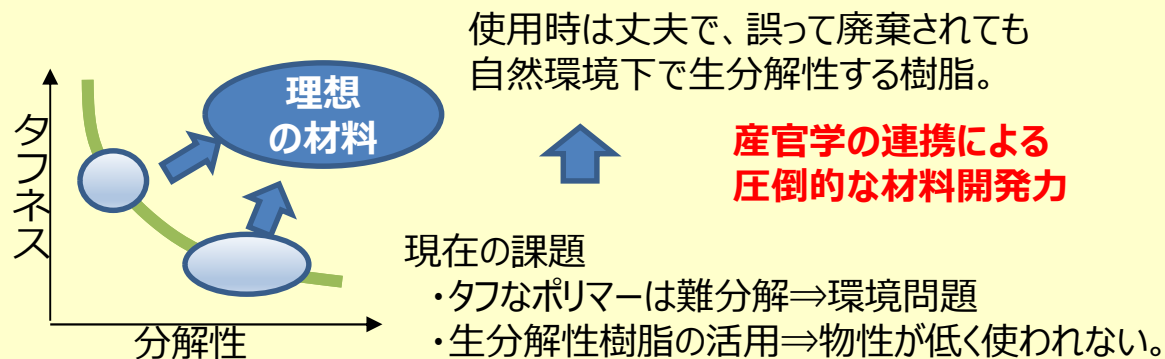
発表内容

- ・フィールド試験
- ・スイッチ機能
- ・強靱性の向上
- ・**研究進捗状況**（アカデミア、**企業**）
- ・国際連携

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



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

共重合ポリエステルAの生分解度

・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の生分解度の季節変化を評価



BOD: Biochemical Oxygen Demand (生物化学的酸素要求量)
モノマー代謝過程で消費される酸素量から生分解度を算出



共重合組成変更により生分解度向上

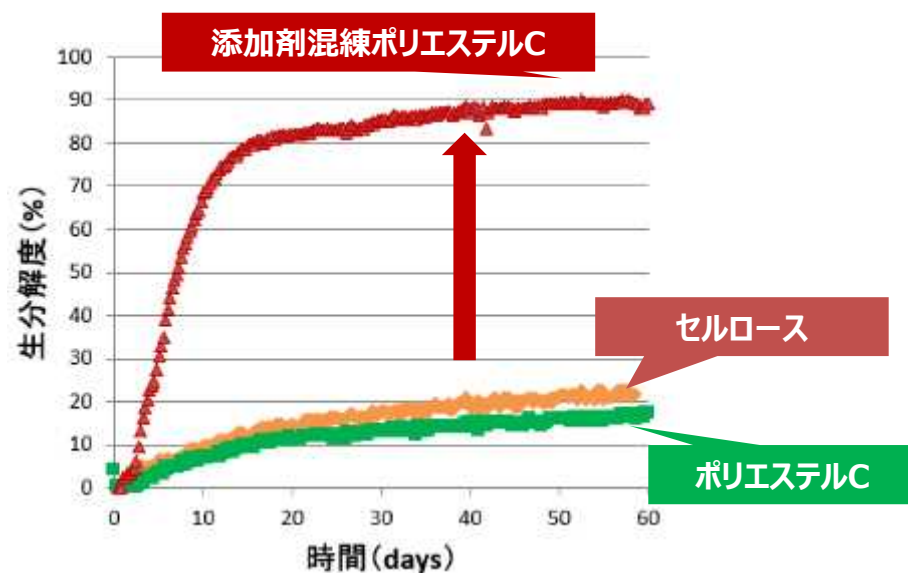
- ・共重合組成変更（ポリエステルA→ポリエステルB）により、大幅に海水生分解性が向上
- ・ポリエステルBは、セルロース同様、年間を通して比較的高い生分解性を維持
- ・ポリエステルB、セルロースの生分解性は、海水中の総窒素量と相関

“マルチロック型で強靱性を有するバイオプラスチックの開発”

MS伊藤PJ

分解促進剤混練ポリエステルCのBOD試験

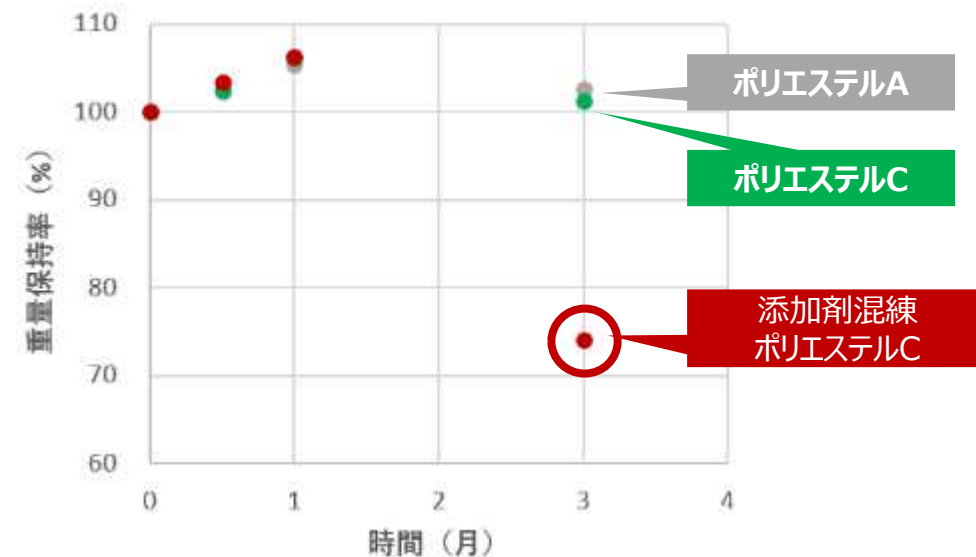
- ・ポリエステルCに各種添加剤を混練し、生分解性評価。
- ・多くの添加剤で生分解促進を確認。



- ・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

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
- ・3cm×3cm×200μmの各種ポリエステルフィルムの重量変化評価

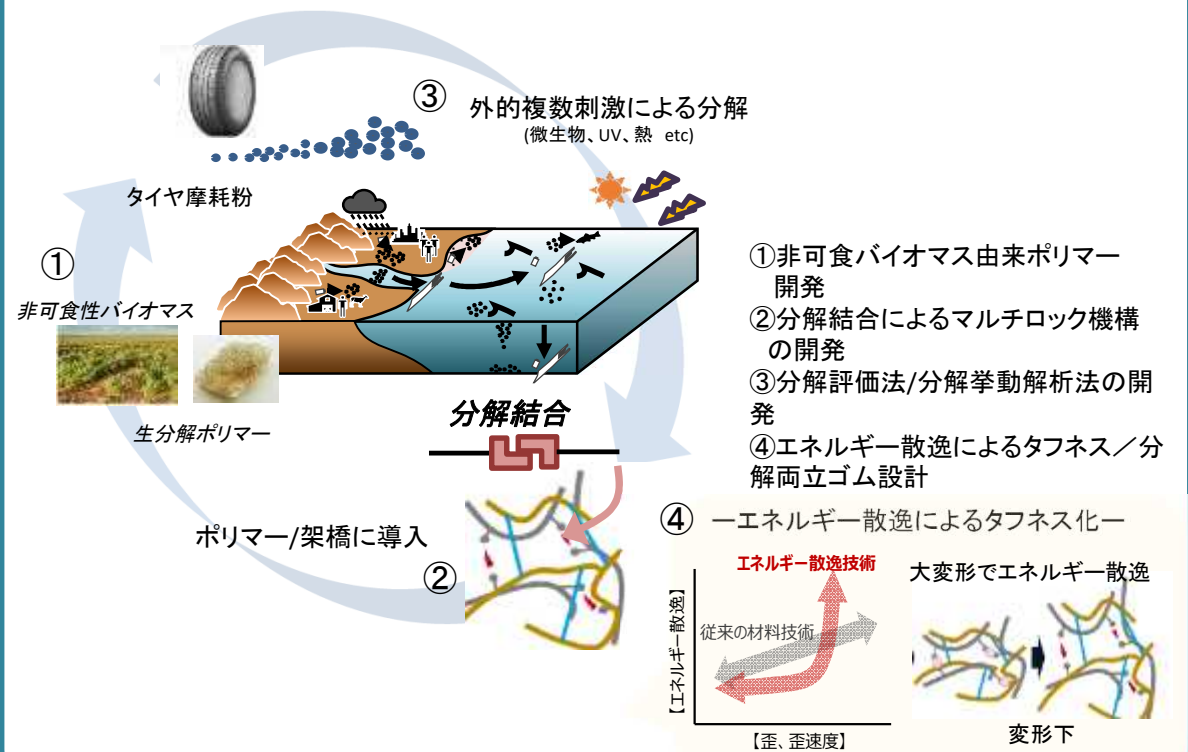


- ・表層に設置した添加剤混練ポリエステルCの3ヶ月後における顕著な重量減少を確認
- ・ポイント制御的な分解挙動

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を原料とし、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タフ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、酸素などの組み合わせ）により速やかに分解するタイヤを実現させる。

ータイヤ摩耗粉の生分解サイクルー



マルチロック分解機構開発アプローチ

★ゴムの生分解には2つのロックを解除する必要がある！

【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

- ・植物由来モノマー×ジエンゴム共重合体
- ・生分解ポリマー×ジエンゴム共重合体
- ジエンゴムへの生分解性ユニット導入

Biomass-derived Unit
Biodegradable Unit

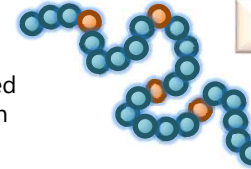
Diene Monomer



High Toughness

- ・Elastomeric based
- ・Molecular design

Polymer Design:



Degradable

- ・Main chain functionalization
- ・Biodegradable segments

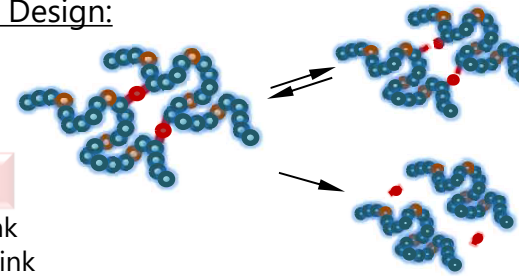
【低架橋密度化に向けた可逆/分解結合開発】

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

Crosslinked Polymer Design:

Alternative crosslink

- ・Reversible crosslink
- ・Degradable crosslink



High Toughness

- ・Energy dissipation
- ・DCL (Dual Cross Link)

Degradable

- ・Easily decrosslinked

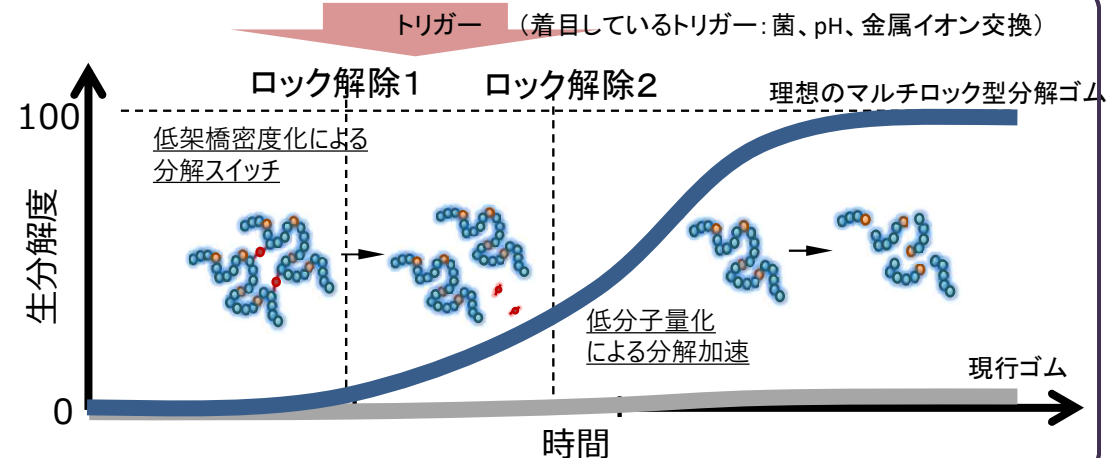
【狙いのマルチロック型分解スキーム】

タイヤ摩耗粉状態での環境条件をトリガーとする



場所	タイヤ使用条件下との違い
道路	長時間のUV、土壌菌、高温
河川	土壌菌、高温、pH(約6~8、弱酸~弱アルカリ)
海岸	長時間のUV、土壌菌、高温
海洋	海洋細菌、pH(約8、弱アルカリ)、圧力、金属イオン(Na ⁺ 、Mg ²⁺)、塩濃度、アミノ酸、たんぱく質 etc.

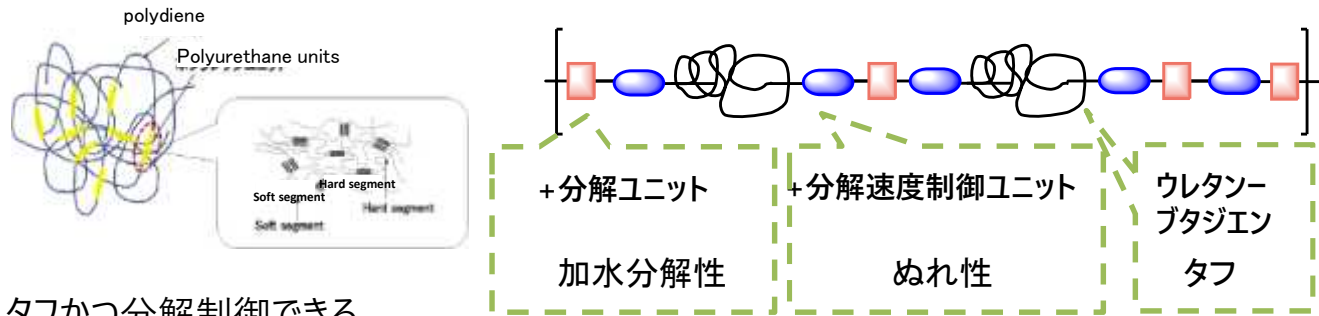
IUCN report 2019, Review of plastic footprint methodologies



低分子量化と低架橋密度化の制御により生分解性向上を目指す

マルチロック機構による分解とタフ化両立技術

【分子設計】 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

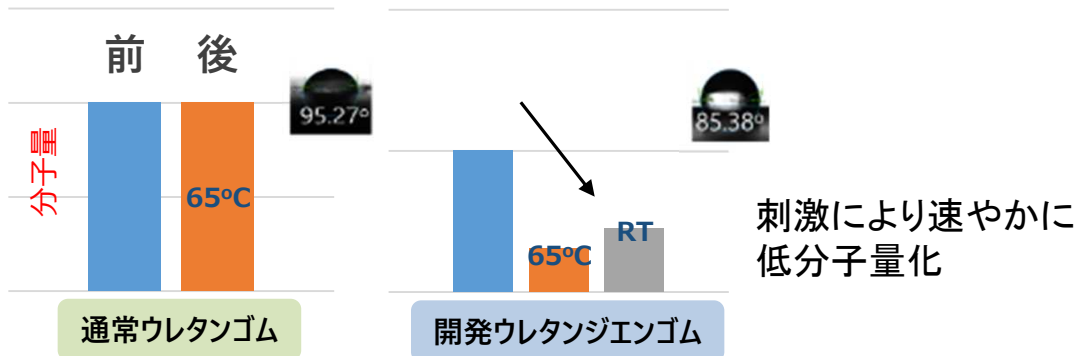


タフかつ分解制御できる
ウレタンの可逆結合に着目

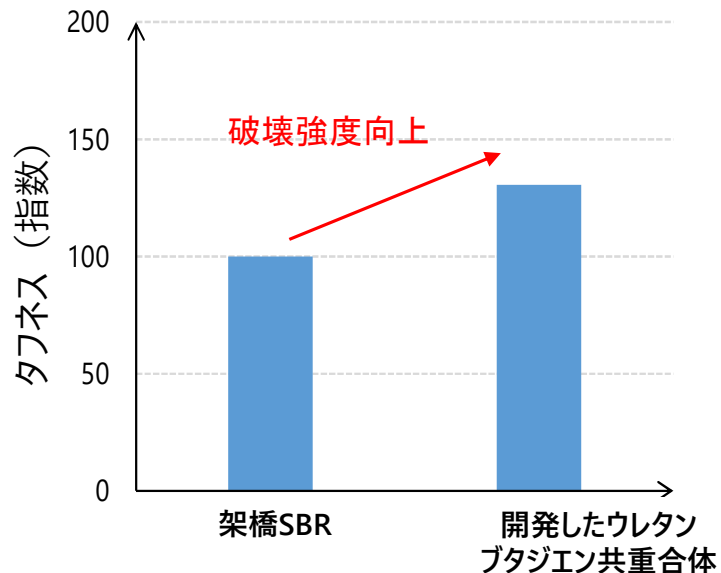
⇒ マルチロック機能導入タフ化ブタジエン共重合体を開発

【ラボ分解検証】

アルカリ環境下での分解促進

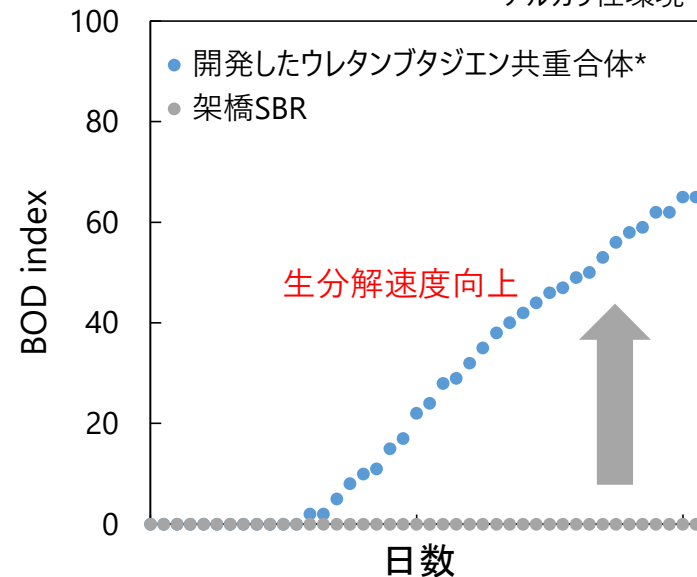


【物性試験結果】



【海洋生分解試験結果】

*アルカリ性環境下後

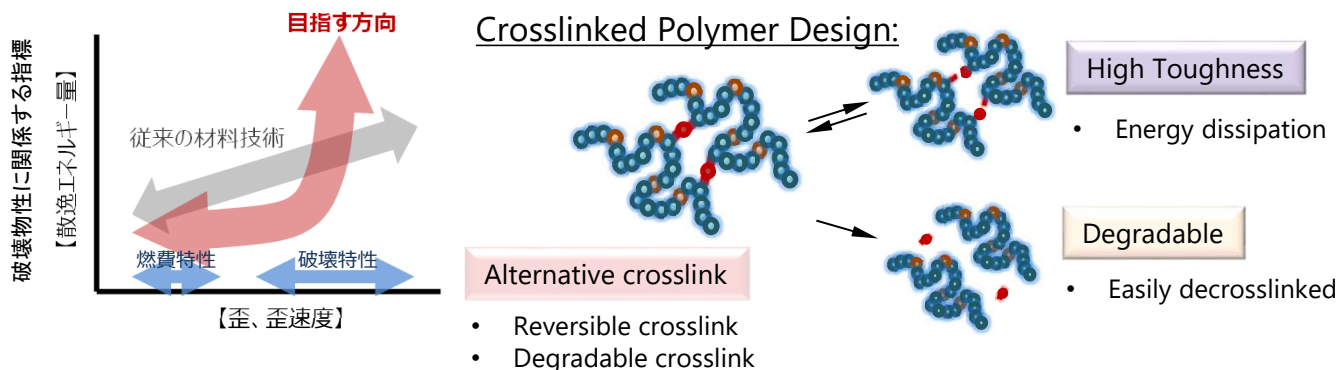


マルチロック機構導入ジエンゴムを開発。タフネス同等以上、生分解性の10倍以上向上を達成

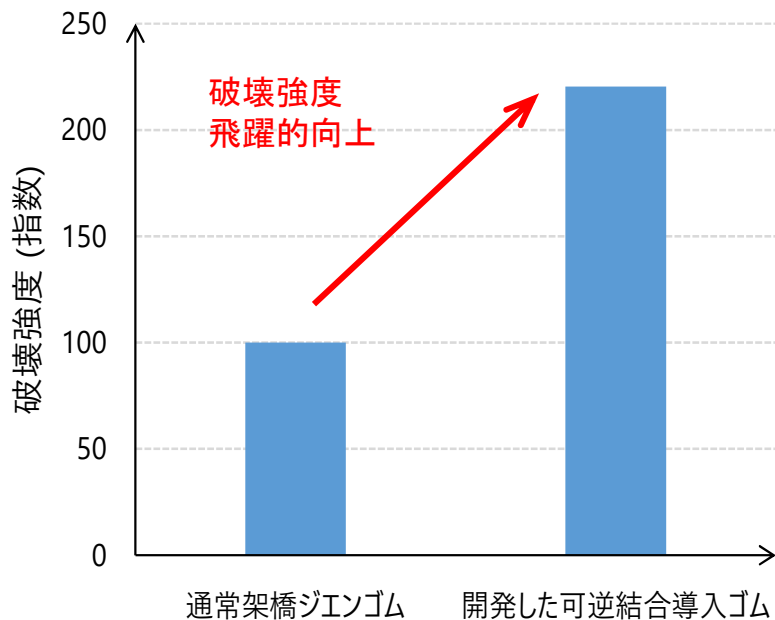
海洋での低架橋密度化による分解とタフ化両立技術

MS伊藤PJ

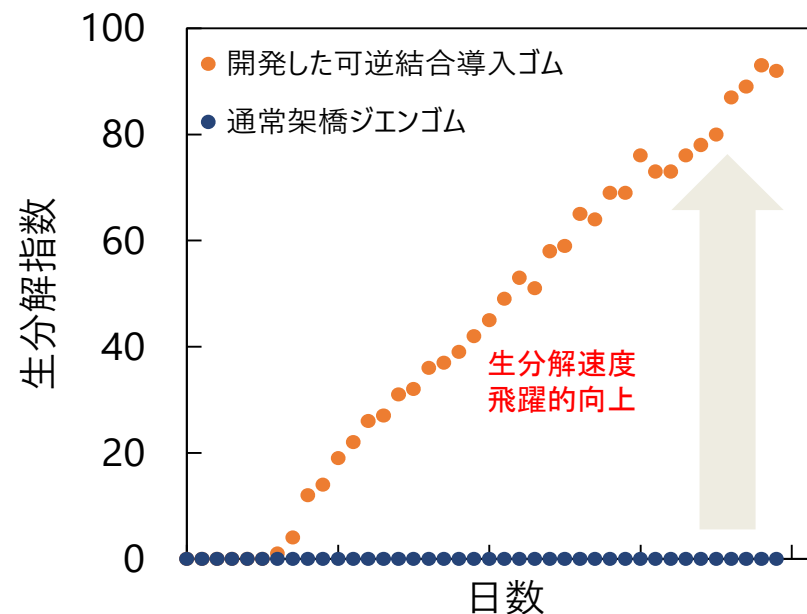
アカデミア連携でエネルギー散逸によるタフネス化できる可逆結合を拡張し、タフネス化コンセプトを保ち、海洋で分解可能な結合を設計



【物性試験結果】



【海洋生分解試験結果】



分解可能な可逆結合導入したゴムの開発に成功。破壊強度2倍以上、生分解速度10倍以上を達成

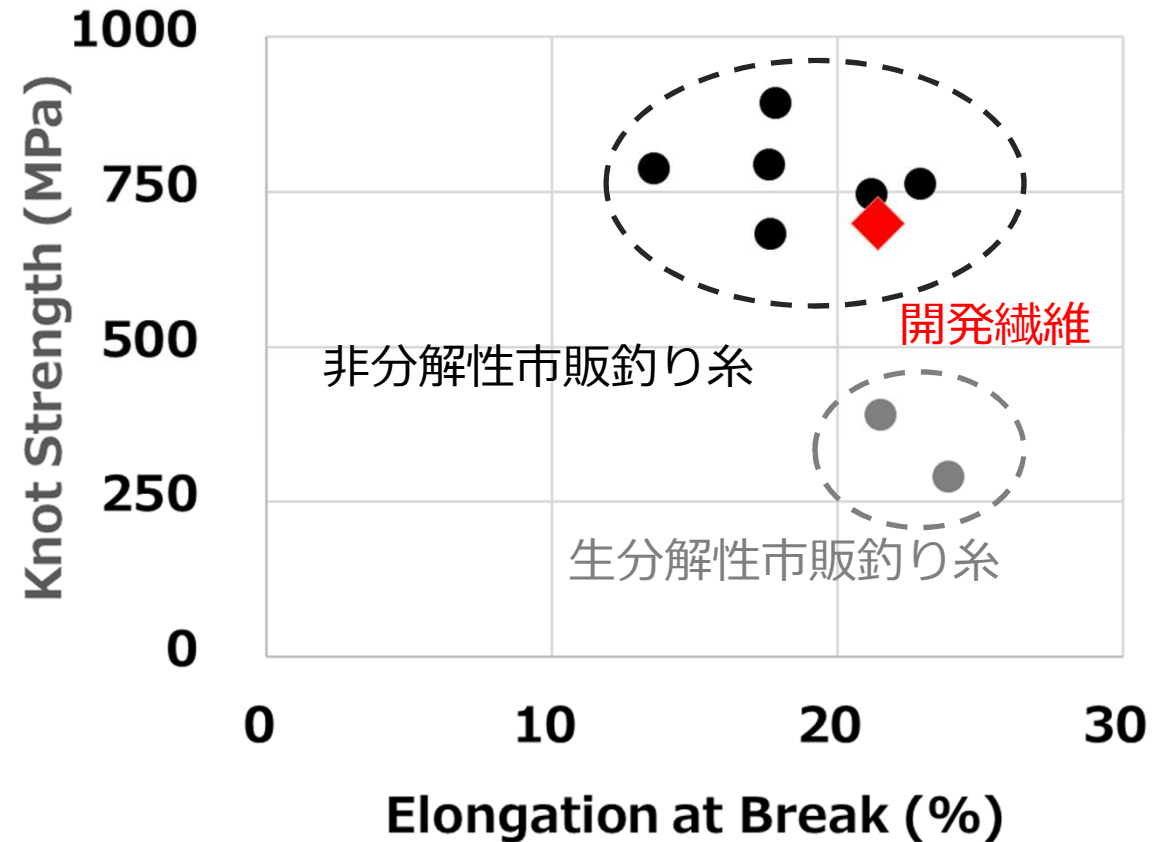
生分解可能で強靱性を有する漁網用バイオポリマーの開発 株式会社クレハ

✓ 開発内容

海洋プラ問題の対策の一つとして生分解性樹脂の利用が検討されているが、海洋では遅々として生分解が進行しない、十分な強度を発揮できないなど課題が多い。生分解性ポリアミド（PA）、ポリグリコール酸（PGA）は共に海水中での生分解が確認されている樹脂であり、同時にポリマー骨格中の高いアミド基、エステル基濃度により極めて高い強度を示す。

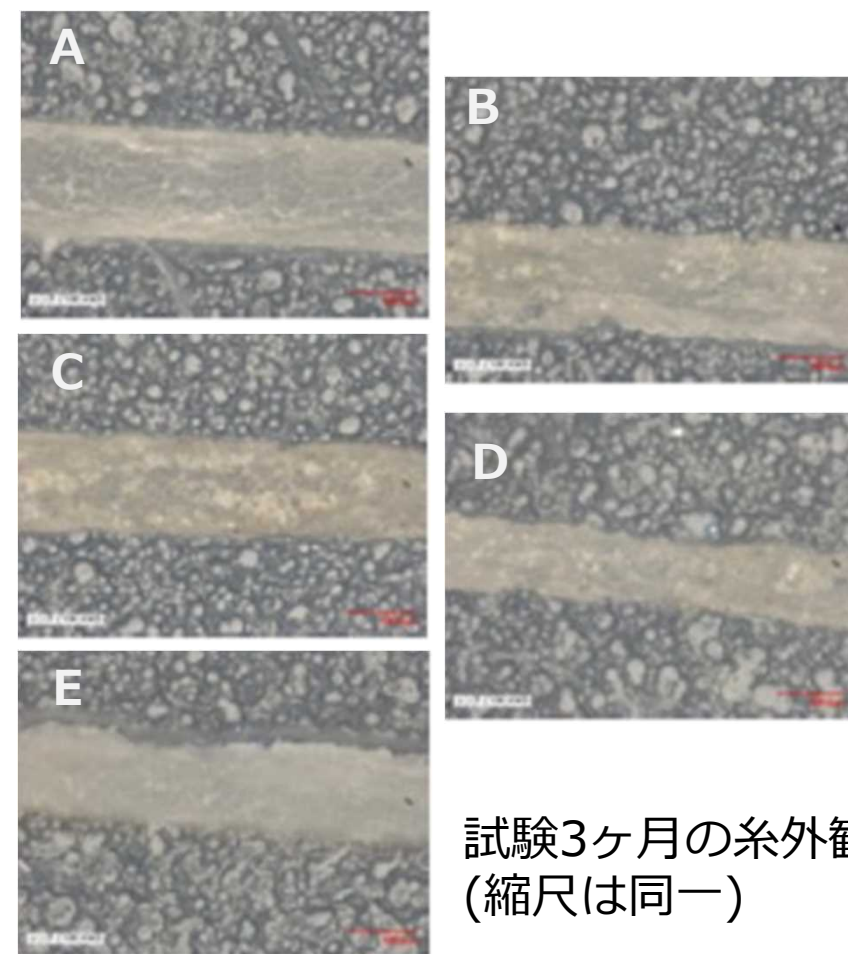
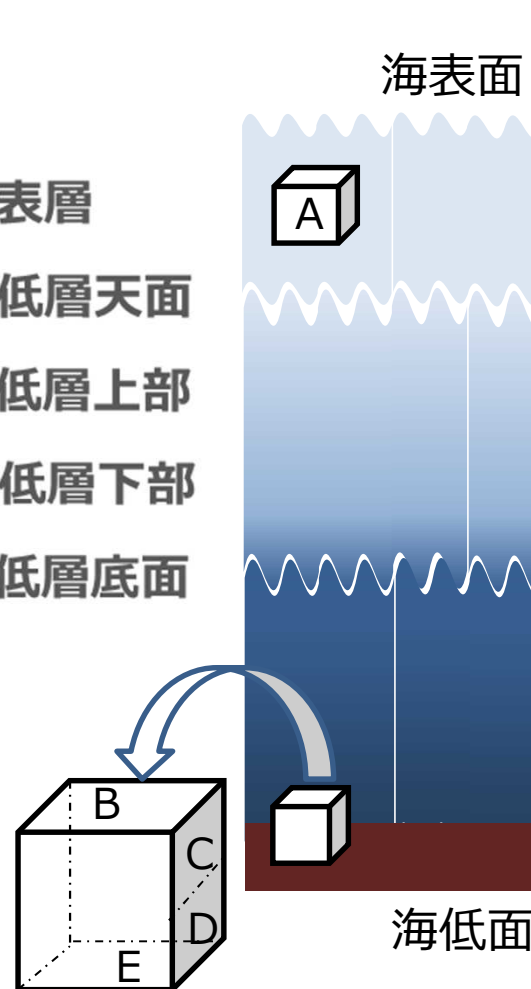
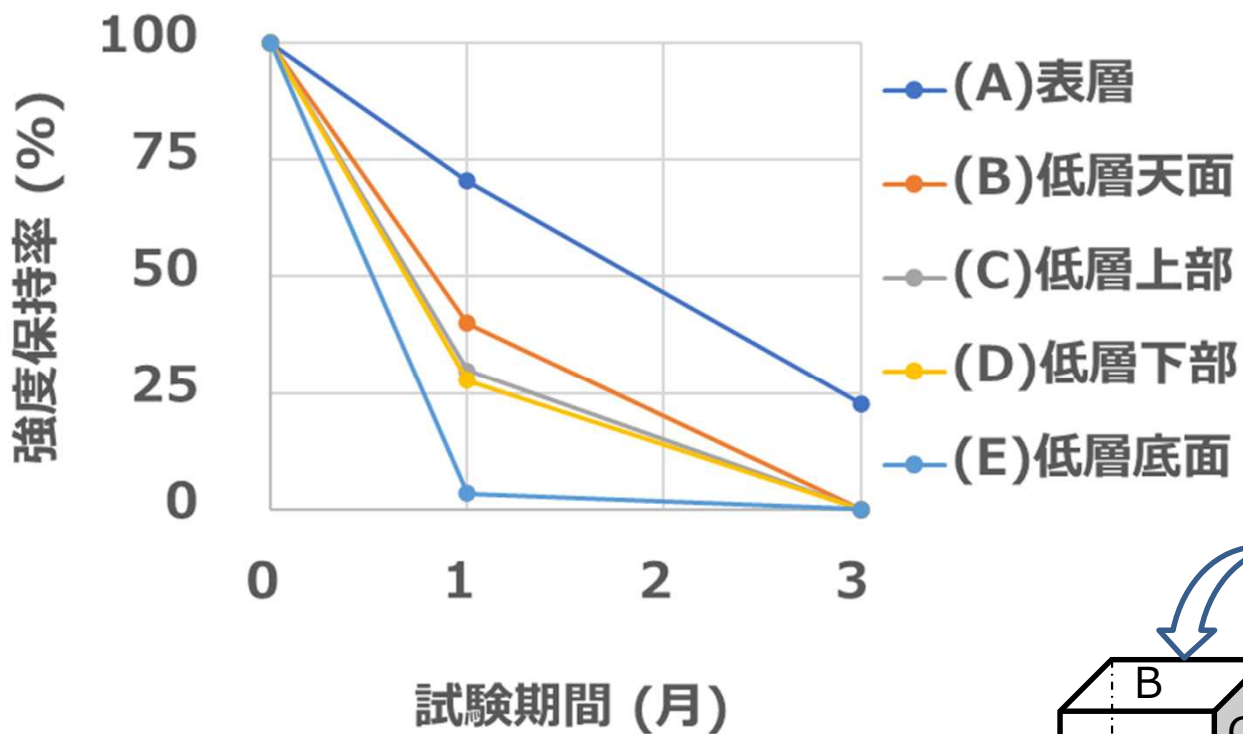
生分解性PAの分解物はアミノ酸、PGAの分解物はサトウキビ等にも含まれるグリコール酸（GA）であり、従来から自然界に存在する物質であり分解物の海洋環境への負荷は小さい。本研究では生分解性PAおよびPGAを主骨格とするバイオポリマーを用いた生分解可能で強靱性を有する釣糸、漁網等の漁具を開発する。

✓ 開発繊維と市販釣り糸との強度比較



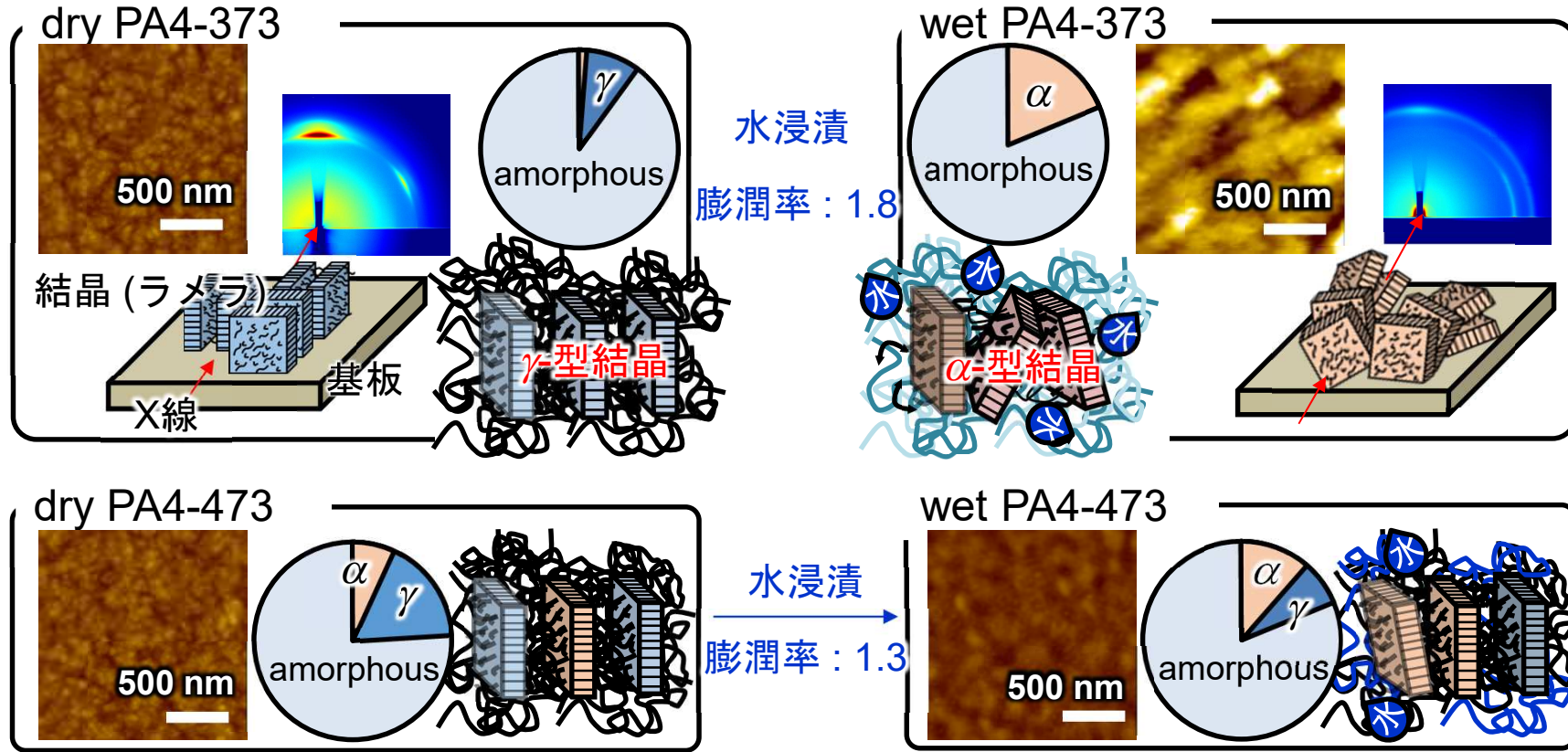
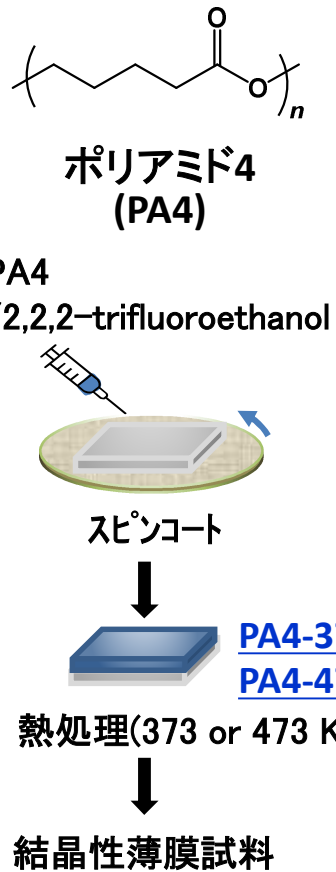
開発品の実海域における生分解挙動

開発繊維(分解性PA)の強度変化

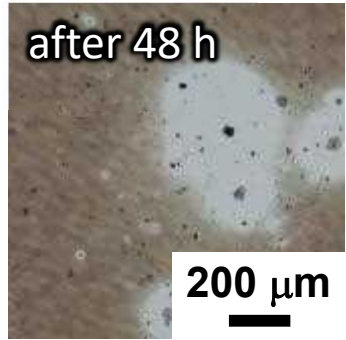
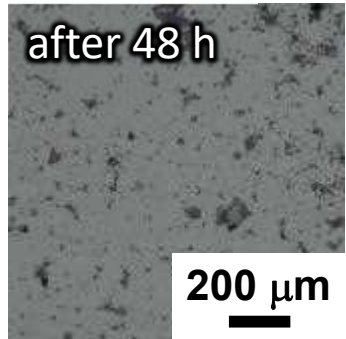


試験3ヶ月の糸外観 (縮尺は同一)

抽出海水によるポリアミド4薄膜の結晶多形依存的分解挙動



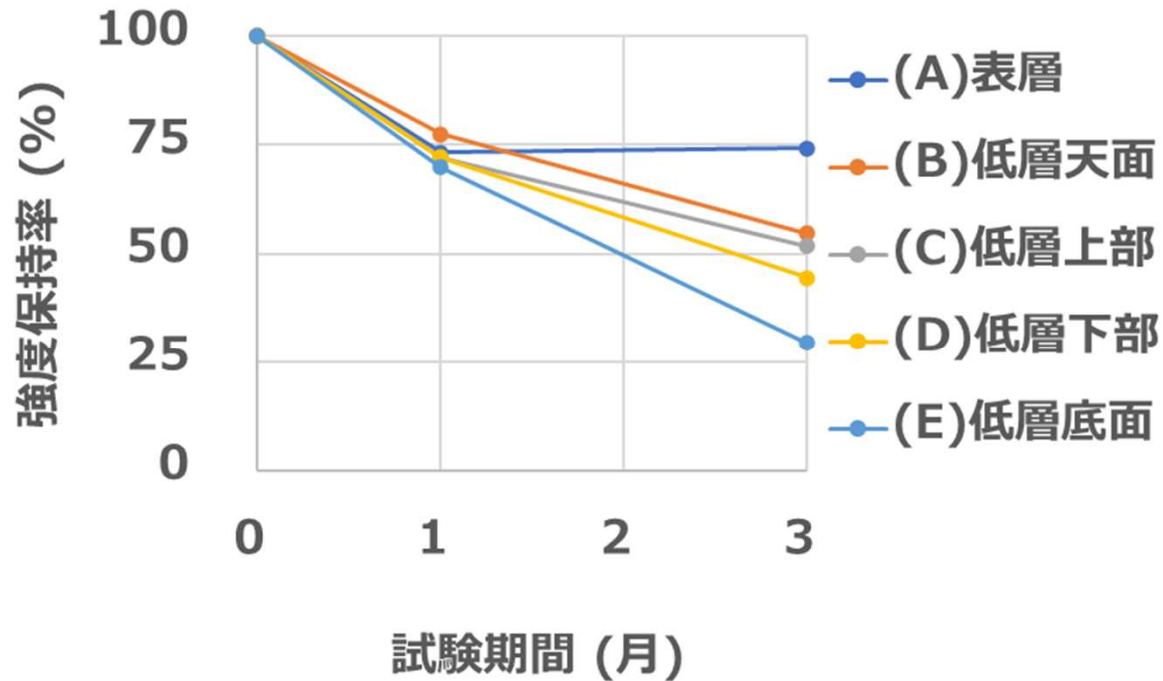
抽出海水処理



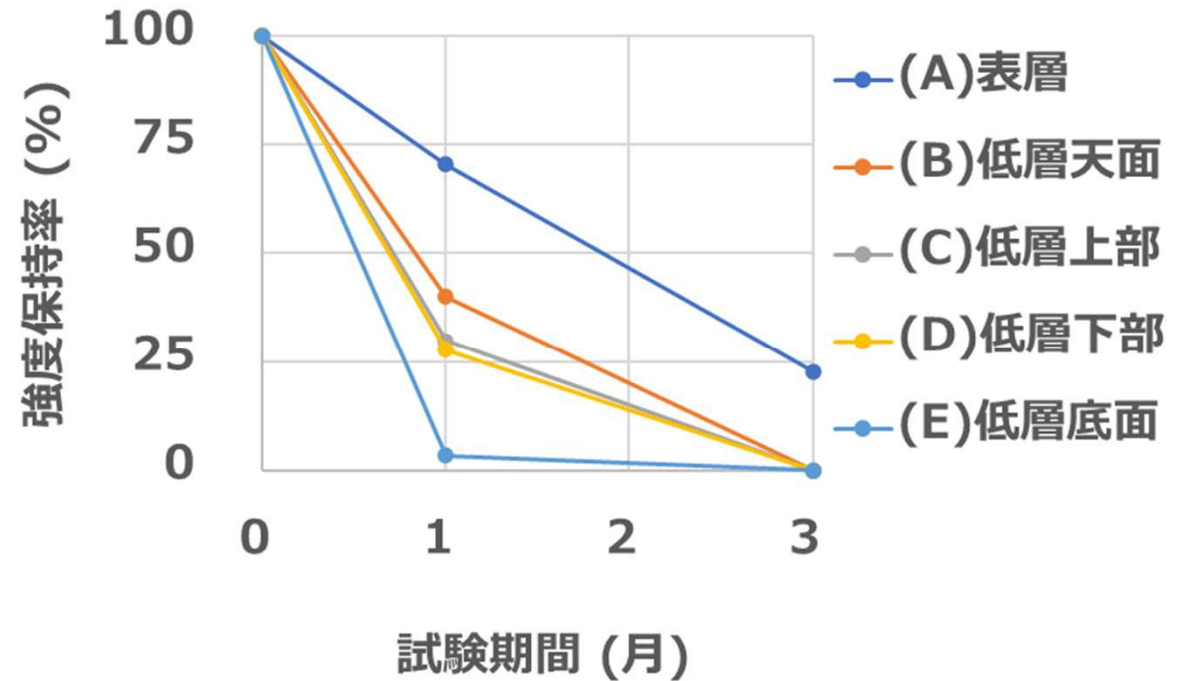
PA4薄膜は、α型とγ型結晶が混在しておりその存在比は熱処理条件に依存した。α結晶が少なく結晶化度が低いPA4-373薄膜は水分子をより吸着した。両薄膜において水吸着に伴い、γ→α結晶転移が起こったが、PA4-473薄膜では、水浸漬後もγ結晶が存在した。水分子をより吸着するPA4-373薄膜は抽出海水による分解がより速く、初期結晶構造が分解挙動に影響することがわかった。

長期使用に向けた分解制御の検討

➤ 開発繊維(分解性PA)の強度変化：改質品



➤ 開発繊維(分解性PA)の強度変化：未改質



論文 69報 (出版,受理済み)

Polym. Chem. 12, 1186-1198 (2021). (Front Cover, Hot Paper)
Macromolecules 54, 6440-6448 (2021)
Environmental Pollution 310 (2022)119811
Angew. Chem. Int. Ed. 2023, 53, e20215021 など

総説・著書 21件

特許出願 25件 (うち企業 14件) **出願予定 5件**
⇒**PCT出願 11件** (うち各国移行 2件)

招待講演 190件 (国内：123件、海外：67件)
学会発表 314件 (国内：257件、海外：57件)

各種受賞 51件

報道関係 63件 (内海外26件以上)

- 2020/12/22 化工日「複数の刺激で生分解」
- 2021/6/1 朝日新聞「海底層にプラごみ」
- 2022/10/11 愛媛大プレスリリース「別府湾海底堆積物が語る海洋マイクロプラスチック汚染状況の変遷」
- 2022/10/13 日経電子版「高分子鎖の新しい吸着機構を発見」
- 2022/10/30 NHKニュース「MP堆積量の長期変化」
- 2022/11/21 名大・東工大プレスリリース「分解性ビニルポリマーの開発」
- 2022/12/1 日経電子版他「分解性ビニルポリマーの開発」
- 2022/12/9 日経新聞「海洋生分解性の釣り糸開発」
- 2023/6/11 NHKスペシャル：ヒューマン・エイジ／人新世～地球をのみこむ欲望～愛媛大成果
- 2023/9/3 読売新聞「海に残らないプラ開発」
- 2023/10/31 東大プレスリリース「伸びる・治る・分解するポリロタキサン含有高機能樹脂の作製に成功」

海洋生分解性プラスチック

クレハなど漁具用開発

海洋ごみ問題が深刻化し、海でも分解する生分解性プラスチックが注目される。サイセルは漁具に使用する実証試験に乗り出す。大カは生分解性の地盤を普及させる。ただ、耐久性能の高め、西原教授は「耐久性を確保する必要がある」と指摘する。また、環境省は「海洋生分解性プラスチック」を推進する。サイセルは「生分解性の地盤を普及させる。ただ、耐久性能の高め、西原教授は「耐久性を確保する必要がある」と指摘する。また、環境省は「海洋生分解性プラスチック」を推進する。

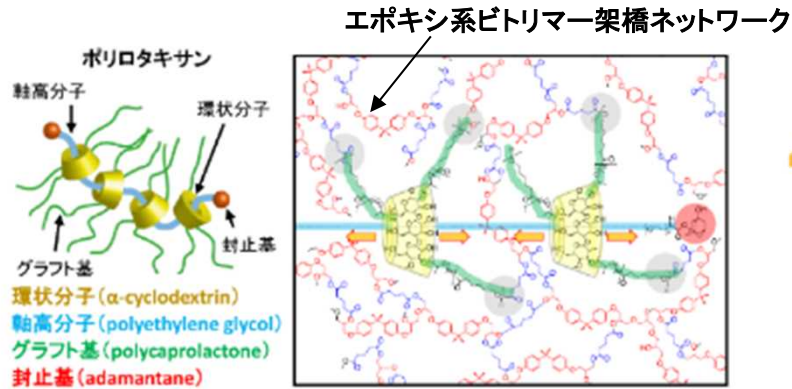
Techワード

海ごみ対策、国際規格を目指す

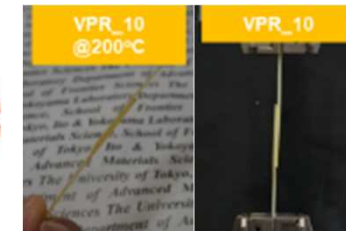
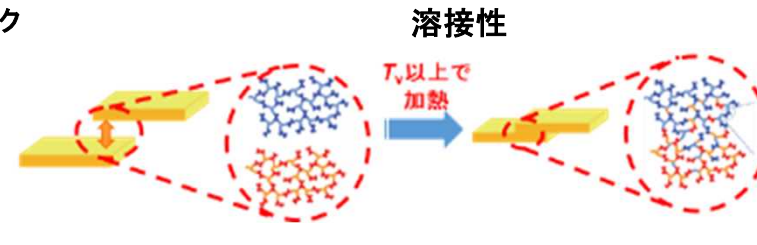
「海洋生分解性プラスチック」を開発したサイセルは、漁具に使用する実証試験に乗り出す。大カは生分解性の地盤を普及させる。ただ、耐久性能の高め、西原教授は「耐久性を確保する必要がある」と指摘する。また、環境省は「海洋生分解性プラスチック」を推進する。



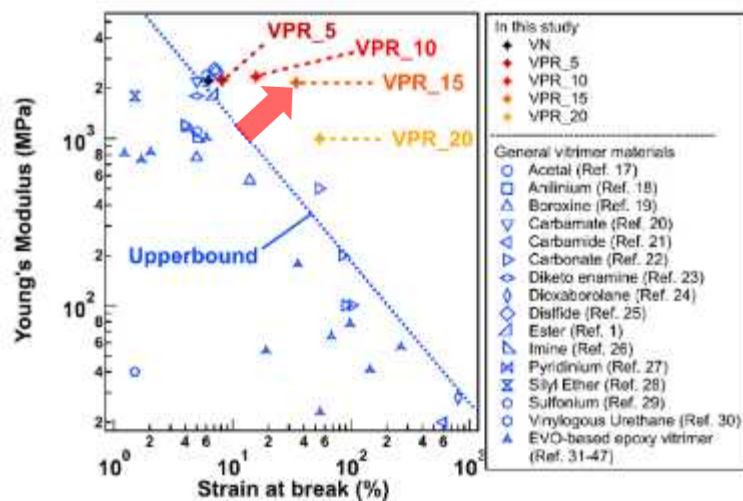
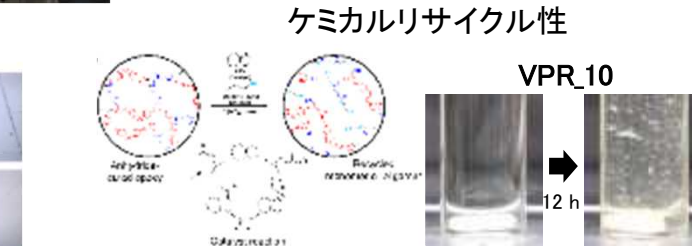
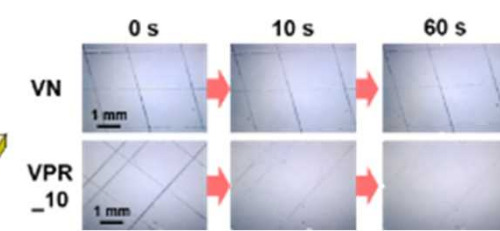
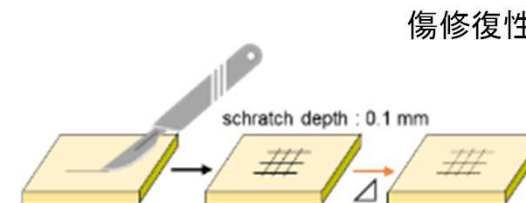
ポリロタキサン添加エポキシ系ビトリマー樹脂の強靱化検討(添加剤と母材の動的結合形成)



結合交換反応によりPRと架橋ネットワークを化学的に結合かつ均一分散

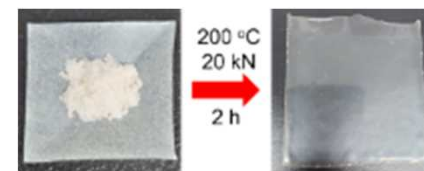


PR添加による強靱化に加え、スライド運動による結合交換反応のエネルギーポテンシャルが低下。



PR添加により、硬さを変えずに強靱化を達成

再加工性



形状記憶性と記憶編集

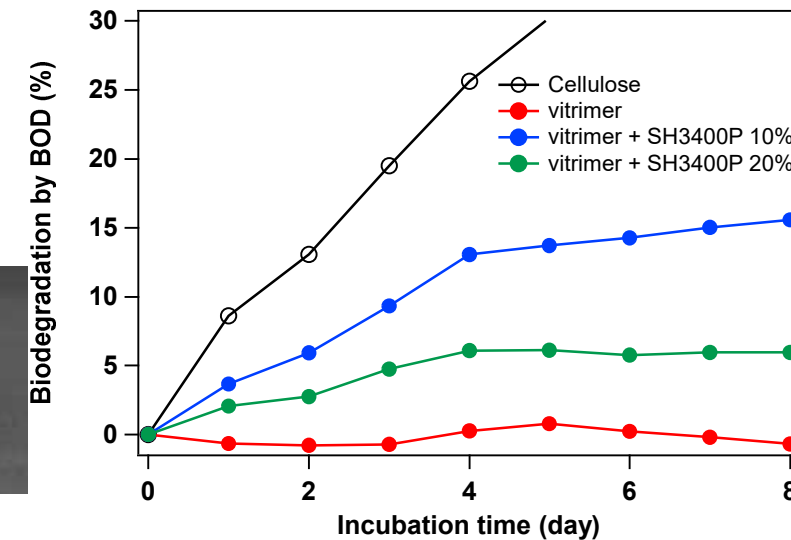


飛行機

平面

鶴

海洋生分解性



ポリロタキサン含有ビトリマー論文の注目度

RETURN TO ISSUE | < PREV LETTER NEXT >

Environmentally Friendly Sustainable Thermoset Vitriimer-Containing Polyrotaxane

Shota Ando*, Masaki Hirano, Lisa Watakabe, Hideaki Yokoyama, and Kohzo Ito*

Cite this: *ACS Materials Lett.* 2023, 5, 12, 3156–3160

Publication Date: October 30, 2023

<https://doi.org/10.1021/acsmaterialslett.3c00895>

Copyright © 2023 The Authors. Published by American Chemical Society. This publication is licensed under

[CC-BY-NC-ND 4.0.](#)

Open Access

Article Views Altmetric Citations

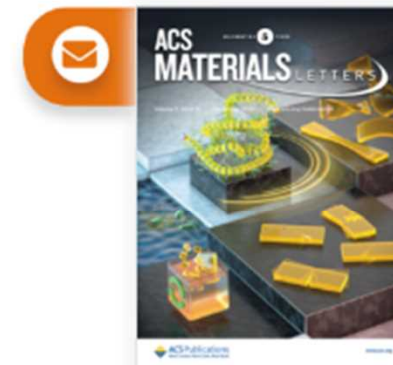
4770

200

-

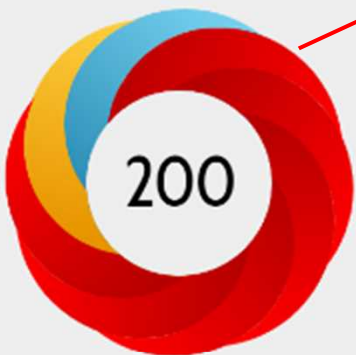
LEARN ABOUT THESE METRICS

Share Add to Export



ACS Materials Letters

公開日: 2023年10月30日
2024年1月4日時点の閲覧数とAttention score



About this Attention Score

In the top 5% of all research outputs scored by Altmetric

MORE...

Mentioned by
24 news outlets
3 blogs
7 X users

SUMMARY News Blogs X

Title Environmentally Friendly Sustainable Thermoset Vitriimer-Containing Polyrotaxane
Published in ACS Materials Letters, October 2023
DOI 10.1021/acsmaterialslett.3c00895
Authors Shota Ando, Masaki Hirano, Lisa Watakabe, Hideaki Yokoyama, Kohzo Ito

X Demographics Mendeley readers Attention Score in Context

This research output has an Altmetric Attention Score of 200. This is our high-le Attention Score, as well as the ranking and number of research outputs shown by 2023.

ALL RESEARCH OUTPUTS #191,379 of 24,946,857 outputs
OUTPUTS FROM ACS MATERIALS LETTERS #3 of 506 outputs



26件の海外ニュースに取り上げられ、
全論文トップ0.8%の注目度

Youtube 90万回再生、1.8万いいね



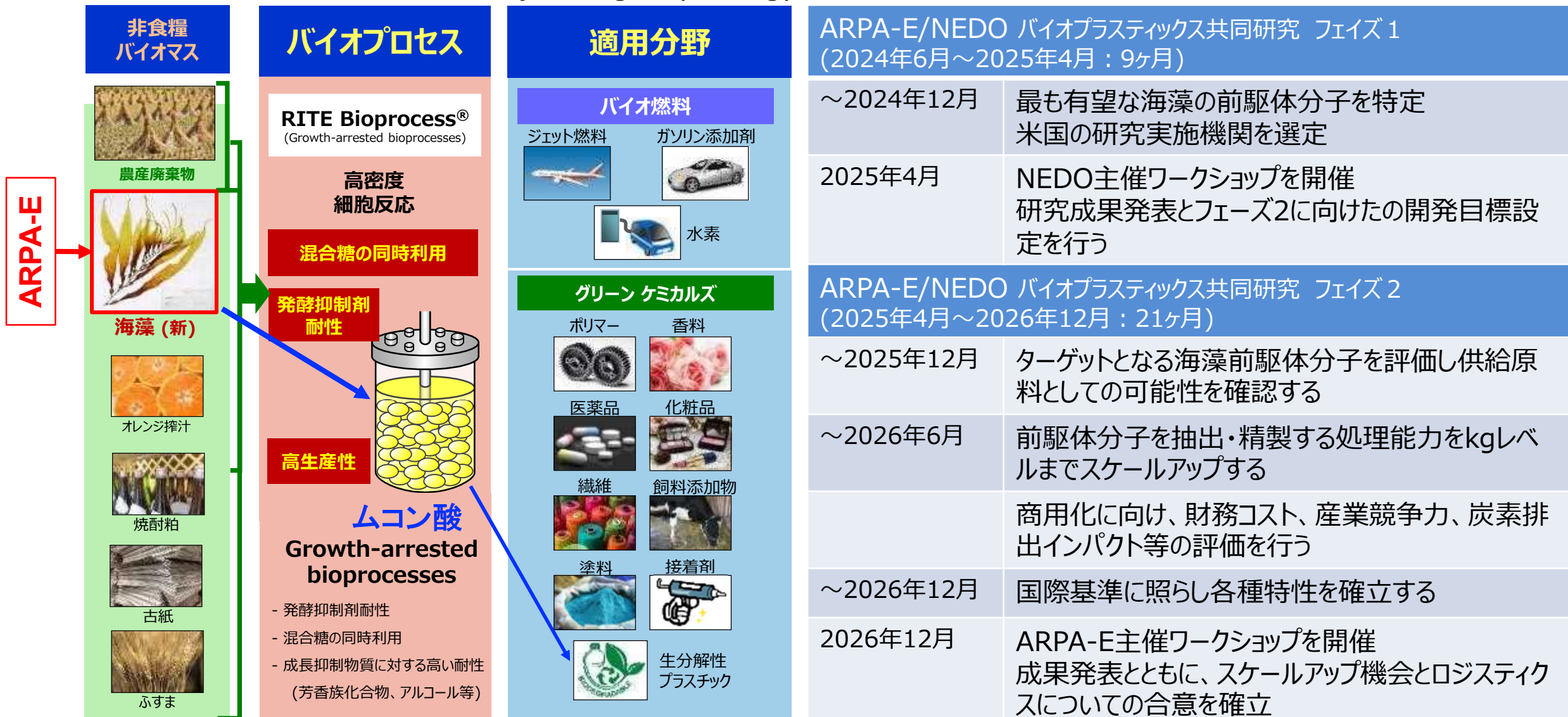
安藤 翔太

発表内容

- ・フィールド試験
- ・スイッチ機能
- ・強靱性の向上
- ・研究進捗状況（アカデミア、企業）
- ・国際連携

米国ARPA-Eとの国際連携

ARPA-E: Advanced Research Projects Agency-Energy (エネルギー高等研究計画局), DOEプログラム部局



ARPA-E/NEDO バイオプラスチック共同研究 フェーズ 1 (2024年6月～2025年4月：9ヶ月)	
～2024年12月	最も有望な海藻の前駆体分子を特定 米国の研究実施機関を選定
2025年4月	NEDO主催ワークショップを開催 研究成果発表とフェーズ2に向けたの開発目標設定を行う
ARPA-E/NEDO バイオプラスチック共同研究 フェーズ 2 (2025年4月～2026年12月：21ヶ月)	
～2025年12月	ターゲットとなる海藻前駆体分子を評価し供給原料としての可能性を確認する
～2026年6月	前駆体分子を抽出・精製する処理能力をkgレベルまでスケールアップする
	商用化に向け、財務コスト、産業競争力、炭素排出インパクト等の評価を行う
～2026年12月	国際基準に照らし各種特性を確立する
2026年12月	ARPA-E主催ワークショップを開催 成果発表とともに、スケールアップ機会とロジスティクスについての合意を確立

■ 2023年10月3日 NEDOとARPA-Eの間でMOUを締結、両国間で技術の重複無し (両国間で技術の重複無し、ムーンショットに限らないMOUであり、広くNEDOとARPA-Eとで情報交換、連携が可能)

東南アジア地域での試験実施・広報活動の展開(粕谷PJと連携)

■日泰国際シンポジウム(伊藤PJ)

チュラロンコン大,VISTEC

(2023/10/5-10)

参加者:160名

タイ、シンガポール、台湾、中国

日本。タイの大手化学企業も参加



■インドネシア連携(伊藤PJ)

インドネシア国立研究革新庁(BRIN)

ジャカルタ(2023/10/31-11/1)



マングローブ

- ミャンマー
- ベトナム
- ラオス
- タイ
- カンボジア
- マレーシア
- インドネシア
- シンガポール
- ブルネイ
- フィリピン
- 東ティモール

・海洋生分解性プラスチックの分解試験実施

(マレーシア・タイ・インドネシア)

・ワークショップ開催

(タイ・マレーシア(予2024秋))

他のASEAN諸国も参加

■マレーシアサイエンス大学(粕谷PJ)

マレーシアサイエンス大学(USM)

マングローブでのプラスチック分解評価



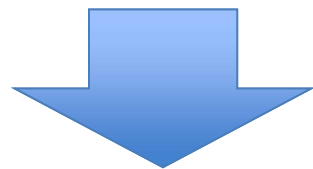
マングローブ内での設置

@ Malindo, Penang,

2023年11月13-19日 日本代表团（外務省、経済産業省、水産庁、環境省）

第3回政府間交渉の結果概要

- ・ 一次プラスチックポリマーの生産制限
- ・ 懸念のある化学物質・ポリマー・問題のあるプラスチック製品の規制
- ・ 2040年までの追加的汚染をゼロにする（日本の主張）
- ・ テーマ2「海洋及び海洋環境」の中で、我が国の関連する取組（環境中プラスチックのモニタリング手法国際調和・データベース開発、自治体連携、漁業者連携による海洋ごみ回収促進・各種マニュアル策定、**代替素材開発**支援等）の紹介
- ・ 2022年11月～2024年末までに5回開催され、国際文書（条約）の策定に係る作業の完了を目指す



環境に流出して回収が困難なポリマーが海洋を汚染

**農業資材（肥料被覆材など）、タイヤの摩耗粉、
漁業資材（釣り糸、漁網、ブイ、発泡スチロールなど）を
海洋生分解性ポリマーに置き換える必要**

プラスチック汚染を終わらせる！

南予地域だけで、軽トラック
32,000台分の漁具由来のプ
ラゴミが海岸に打ち上がり、
マイクロプラスチックの発生源
となっている（愛媛県）。



まとめ

- ・企業とアカデミアの共同研究が進展し、アカデミアの成果の企業での活用が進んだ結果、社会実装に向けて研究開発が順調に進捗し、2024年度目標は十分に達成される見込み。帝人については実用化に近い段階まで進んだことから、2023年度末でスピンアウトした。
- ・愛媛県で、実海域の大規模(サンプル数1,000件以上)フィールド試験を実施した。得られた膨大なデータは、データベースに集積する。
- ・エントロピー駆動型動的架橋、ポリロタキサン(PR)、擬ポリロタキサンナノシート(PPRNS)、耐熱性エステラーゼなど国内外に他に例がない独自技術を用いて、塩濃度、pH、酸化還元電位などをトリガーとする革新的スイッチ機能を開発した。
- ・三菱ケミカルではPBS系において、添加剤の混練によって分解性が大幅に加速することを確認した。フィールド試験を実施し、実海域での生分解性を評価した。PRの添加により、破断伸び2.3倍、海洋生分解性が3～5倍程度、同時に向上した。
- ・ブリヂストンでは、ブタジエンの共重合化や分解ユニットの導入により、生分解性の10倍以上の向上を達成した。海洋環境中で分解する可逆結合導入ゴムを開発。破壊強度2倍以上、分解速度10倍以上の両立に成功した。
- ・クレハでは、非海洋生分解性釣り糸と同程度の結節強伸度を有し、海洋生分解性を示す釣り糸の開発に成功した。釣り糸は遺棄後に海底に沈むと分解が加速する。実際に実海洋域でのフィールド試験で、釣り糸の分解性を確認した。
- ・成果として、論文69報、特許25件、招待講演154件、報道63件(内海外26件以上)などが出ている。

