

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

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、
帝人株式会社、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

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

PM 伊藤 耕三（東京大学大学院教授）

副PM 吉江 尚子（東京大学生産技術研究所）



参画機関

【アカデミア】 東大、九大、名大、山形大、RITE、産総研、愛媛大、東工大、
京都工繊大、神戸大、大阪市大、信州大、長岡技科大、CERI

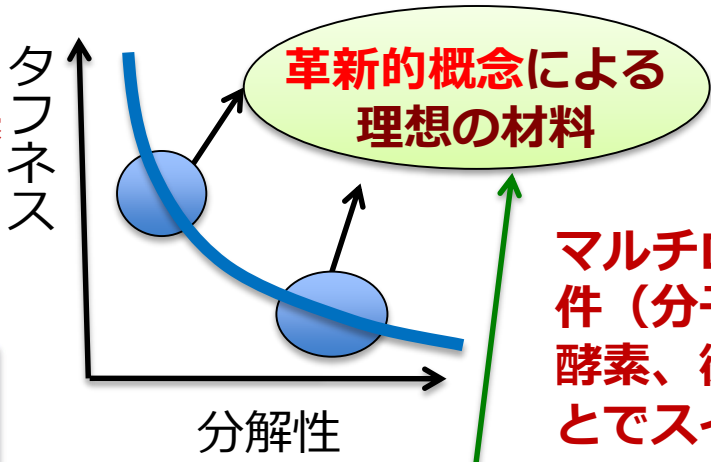
【産業界】 三菱ケミカル、ブリヂストン、帝人、帝人フロンティア、クレハ

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



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

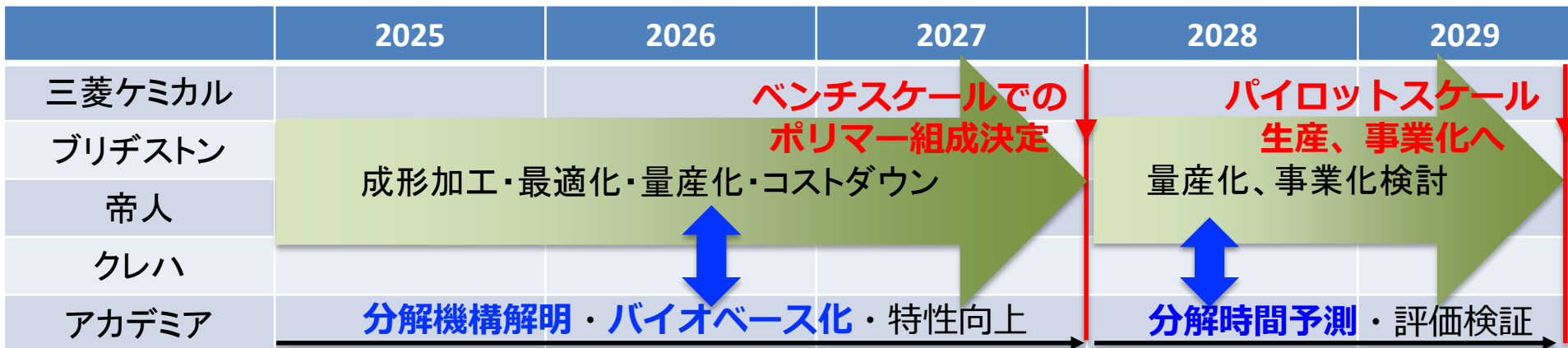
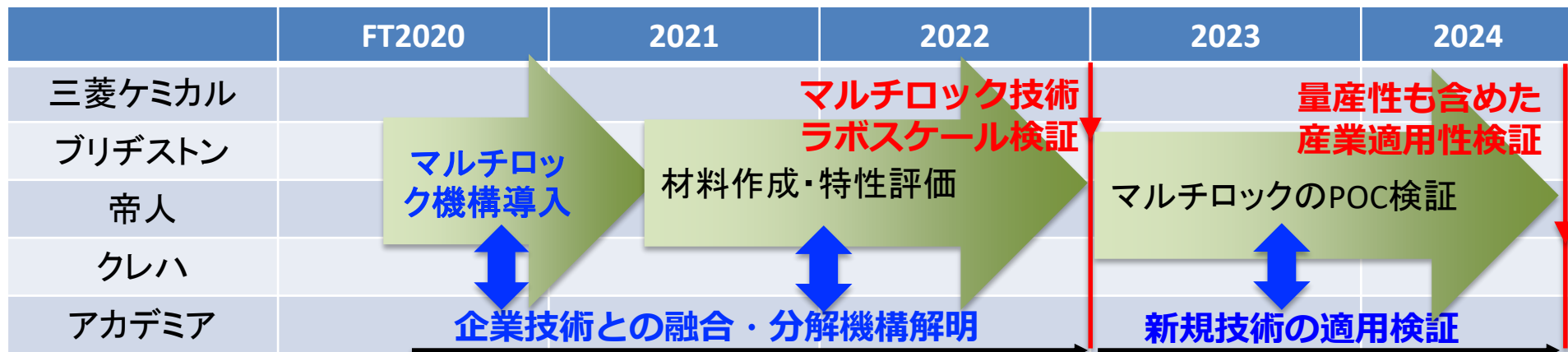
	Aプラスチック 三菱ケミカル TL 加藤聡	Bタイヤ ブリヂストン TL 浜谷悟司	C繊維 帝人、帝人フ ロンティア TL 山本智義	D漁網 クレハ TL 正木崇士	E共通課題 アカデミア TL 伊藤耕三
E1:マルチロック分解 東大	●	●	●		●
E2:構造物性評価 九大、京都工繊大、 神戸大	●	●		●	●
E3:合成・プロセス 名大、山形大、 RITE、東工大、 大阪市大、信州大、 長岡技科大	●	●	●	●	●
E4:海洋分解 産総研、愛媛大、 CERI	●	●	●	●	●

- ・ 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	帝人 繊維くず	クレハ 漁網	アカデミア マルチロック
技術課題	PBS樹脂にマルチロック機構を組み込み、引裂強度を向上	非可食性バイオマス为原料とした強靱さと分解性を併せもつタイヤの開発	非分解性ポリマー(PET)の易分解化・強靱化・バイオ化	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用いた漁具開発	耐久性と分解性の両立、マルチロック機構の開発
開発目標 2029年	海水中のBOD試験(30日で生分解度40%)、引裂強度が既存の10倍以上	基準ゴムに比べ10倍以上の耐摩耗/分解速度、パイロットレベルでのタイヤの製造	芳香族ポリエステルで高分解性を示すポリマーとその繊維の生産技術、海水中にて6か月で90%の生分解度	実用期間中の物性維持と使用後の海洋生分解の両立(遺棄後3年以内に80%が生分解)、ナイロン6と同等の強度	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
成果 TOPICS	添加剤によるスイッチ機能を達成、強靱化傾向も確認、担体担持型生分解促進剤モデルのマルチロック機構コンセプトを確認	DCLコンセプトにより既成概念を超える高強度化を達成、開発した生分解性ポリマーでタフ化と分解性の両立を確認	主鎖の加水分解と微生物分解によりPET系の海洋生分解が可能であることを確認、共重合・分解促進剤・光分解剤でマルチロックの可能性を確認	PA4試作糸で市販の非分解釣糸と同程度の結節強伸度を発現、海水中での分解の進行と沈降後を想定した環境での加速を確認	海洋分解性加速試験法を確立(CERI)、クラスター触媒等によるスイッチ機能を達成(東大)、PET分解酵素の30倍活性向上に成功(RITE)

年次計画（平均的イメージ）





- **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

2回(20/9,21/4)

- **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 3回(21/1,21/7,22/1)

- ・ **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

7回(計算科学含む)

- **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)

2021年度(11/1,8)

- **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

- **PM面談** * 随時 37回(PM-アカデミア)

(2021/12まで) 26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)

28回(各企業チーム7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

8回(各企業チーム1-4回)

- **チーム-アカデミア個別面談** * 随時

87回(企業-アカデミア) (2021/12まで)

- **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 1回(21/10)
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13回 各アカデミア4回

- **PM月報** 14回

スイッチ機能(マルチロック化)

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

- **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(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(東大)
- **動的架橋** + 水 and/or 海洋微生物
水素結合(東大)

弊社は生分解性樹脂を開発し、BioPBS™を展開しています。生分解性樹脂の普及のため、**実用物性と海洋分解性を両立できる樹脂開発**をこのプロジェクトに参画して、マルチロック機構を持つ海洋生分解グレードの実用化を目指しています。図1に示すように、生分解性樹脂は引裂強度と海洋生分解性がトレードオフの関係にあります。このトレードオフの関係を打ち破ることができれば、地球環境問題の解決に貢献するものと考えています。

当PJでは、**海洋生分解性の評価法の確立**が重要と考えます。そこで、弊社では、当PJの正式発足に先立ち、社内検討にて、BOD(Biochemical Oxygen Demand)試験による海洋生分解性評価法の確立のための検討を行ってきました。確立された手法の概要を図2に示します。

- 【目標】
- (i) PBS樹脂の海洋生分解性グレードに、マルチロック機構を組込む。
 - (ii) 強靭化として、引裂強度の向上を主眼に検討する。
 - (iii) これらを、海洋生分解性を損なうことなく実現する。



図1. 物性と海洋分解性

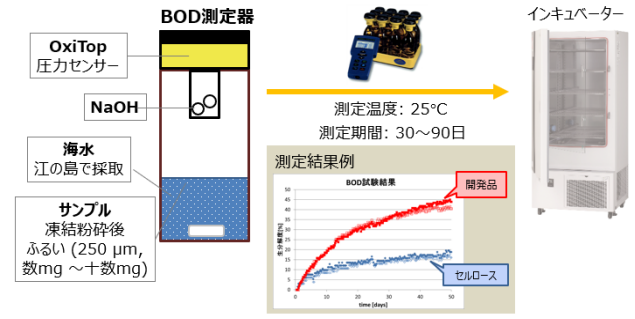
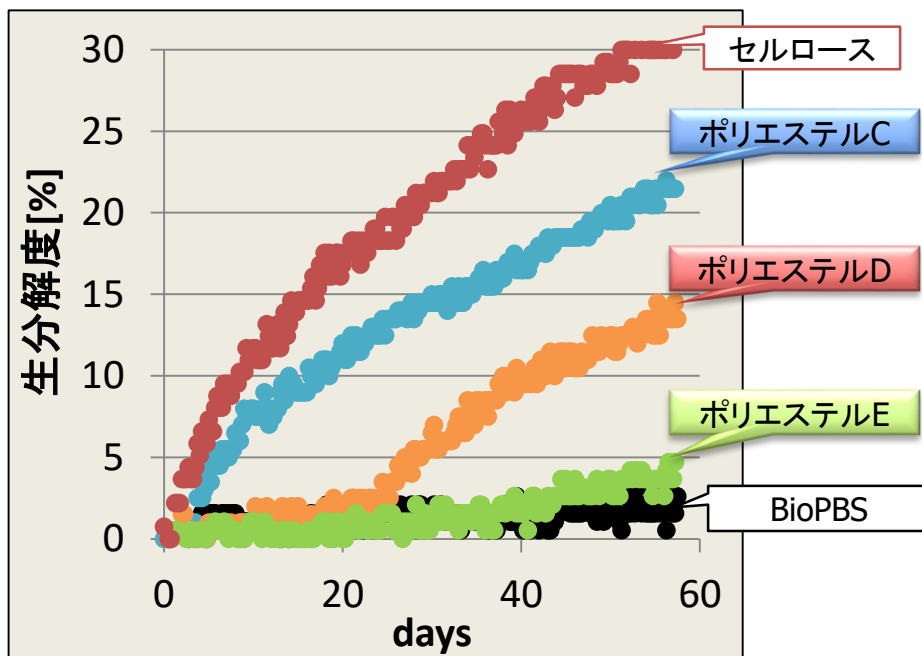


図2. 海洋分解性評価の整備

BioPBS: 海洋生分解性向上の方法論

BOD 試験による海洋生分解性評価

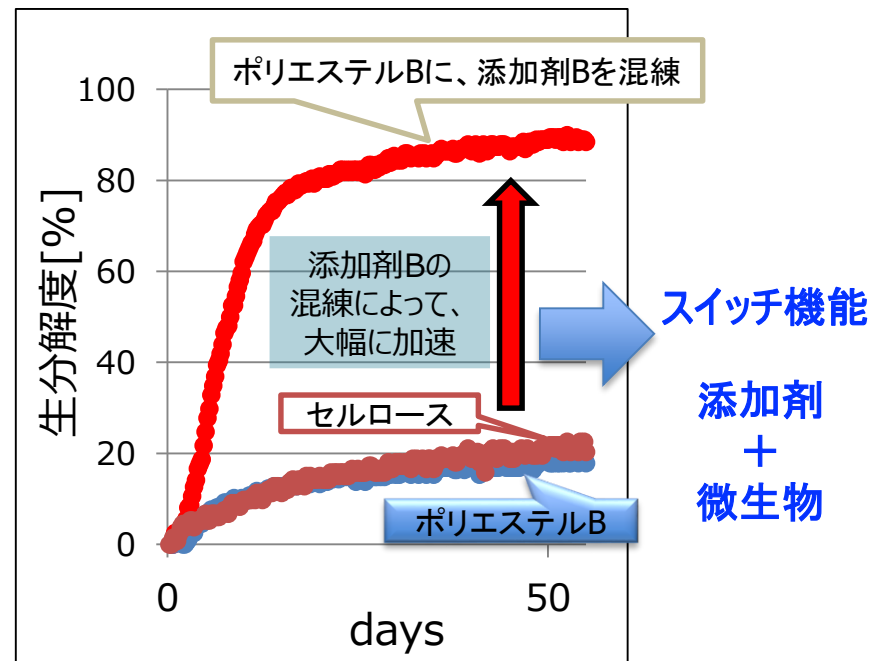


- BioPBSに、**新たなコモノマー**を共重合で加える

↓

海洋生分解性↑

BOD 試験による海洋生分解性評価



- 海洋生分解性を示す樹脂に、「**ある種の添加剤**」を共存させる

↓

海洋生分解性↑

2021年度進捗まとめ

● 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

● 目標に対する達成度 : 計画通り進捗

● 2021年度成果

- ・引裂き前後の**結晶構造変化が解析**可能となった。(京工繊大・佐々木先生)
- ・PBS系において、**添加剤による強靱化**傾向を確認した。(山形大・石神先生)
- ・共重合系生分解樹脂の**結晶構造、水素結合状態の検出**。(神戸大佐藤先生)
- ・耐候性試験による**高次構造変化、酵素による表面劣化の解析**。(九大高原先生)
- ・酵素による**表面構造変化を確認**。(九大松野先生)
- ・**担体担持型生分解促進剤モデル**のマルチロック機構コンセプトを確認した。(MCC)

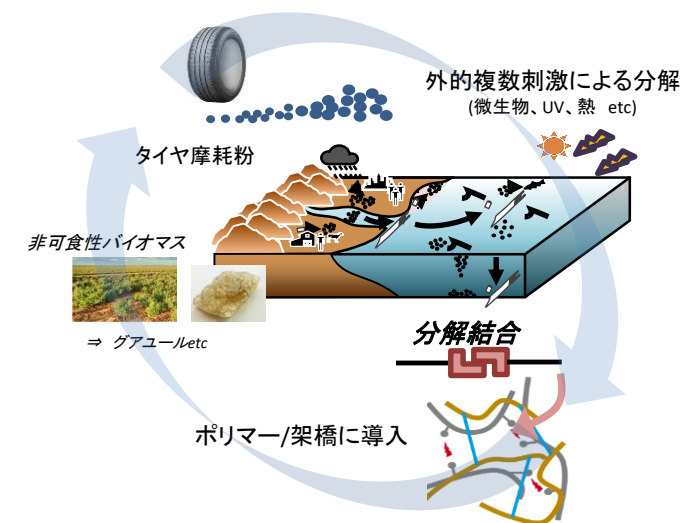
「摩耗粉を生分解可能にする非可食性バイオマス为原料とした
タイヤの開発」

MS伊藤PJ

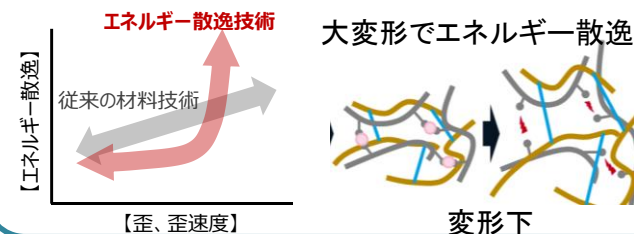
【内容】非可食性バイオマスを原料とし、ある複数刺激で分解可能なマルチロック機構を持つマルチロック型バイオタフポリマーを開発する。これまでImPACTプロジェクト(2014年～2019年)で培ってきたエネルギー散逸によるタフネス化技術と合わせて、タイヤ用トレッドゴムに適用して、**タイヤ使用時にはエネルギー散逸による強靭さを発揮し、摩耗粉状態ではタイヤ使用時にはない刺激(微生物もしくは光、熱、酸素などの組み合わせ)により速やかに分解し、海洋マイクロプラスチックへの影響が少ないタイヤを実現する。**

【検討状況】本テーマは①非可食バイオマス由来ポリマー開発、②分解結合によるマルチロック機構の開発と③分解評価法/分解挙動解析法の開発からなる。共通基盤技術を開発するアカデミアと連携し、エネルギー散逸によるタフネス化検討や生分解検討などを進めている。

—タイヤ摩耗粉の生分解サイクル—



—エネルギー散逸によるタフネス化—



本プロジェクトの研究項目

「摩耗粉を生分解可能にする非可食性バイオマス为原料としたタイヤの開発」

【開発内容】

非可食性バイオマス为原料とした
 強靭さと分解性を併せもつポリマー/タイヤの開発

バイオマスポリマー

アカデミア連携
 新規バイオポリマー
 の合成開発
 非可食バイオマス

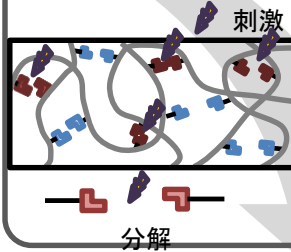


タイヤ用ジエンゴム



分解、マルチロック機構

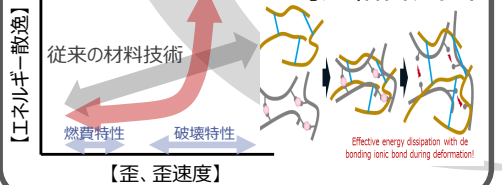
アカデミア連携
 ポリマー分解技術の開発



- ・異種刺激分解
- ・低分子量化
- ・生物学的分解

タフネス化

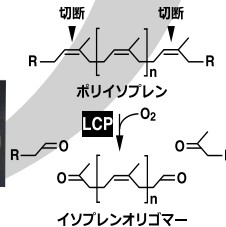
アカデミア連携
 タフ化技術の開発
 エネルギー散逸
 目指す方向
 DCLコンセプト
 可逆結合デザイン



分解評価/解析

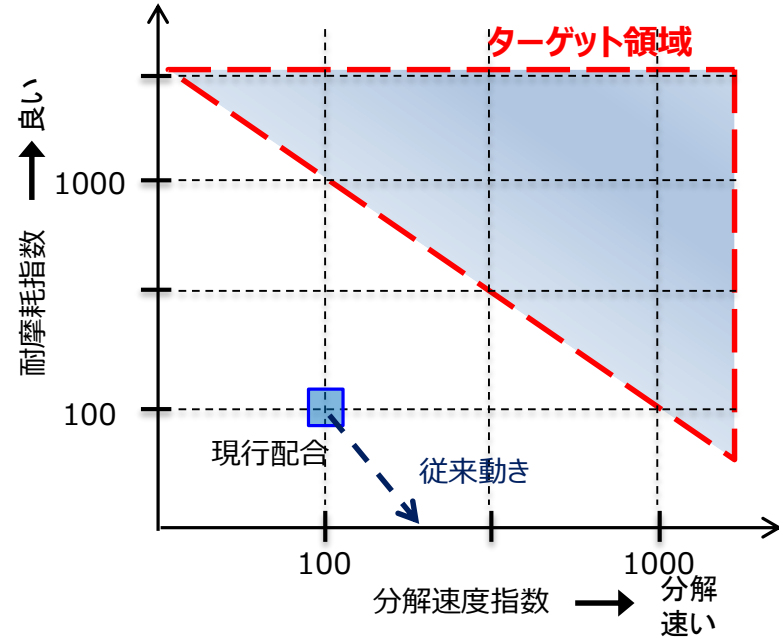
アカデミア連携
 ポリマー分解評価法の開発

ゴムの分解評価



【最終開発目標】

トレードオフを打破する
 断トツのイノベーション

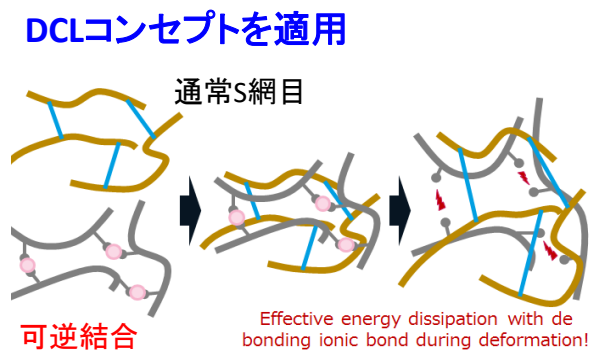
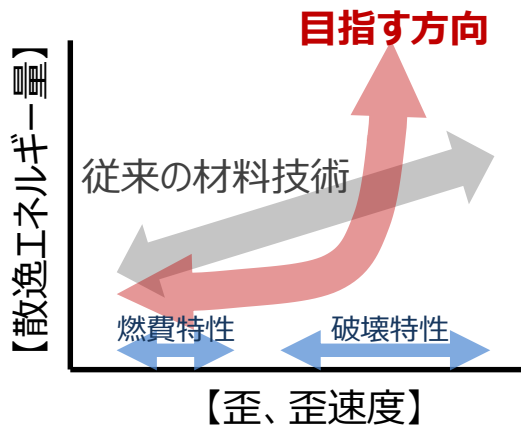


【開発目標（基準ゴム対比指数）】
 耐摩耗/分解速度バランス改良 ⇒
 <10倍

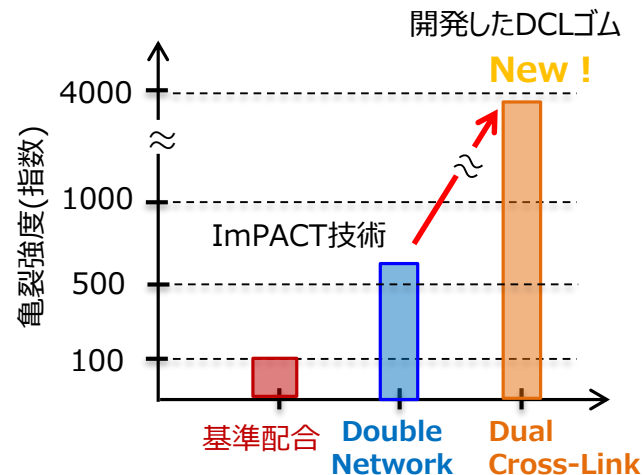
分解の実証、タフ化との両立

進捗成果 DCLタフ化開発/バイオポリマー開発

破壊物性に関する指標

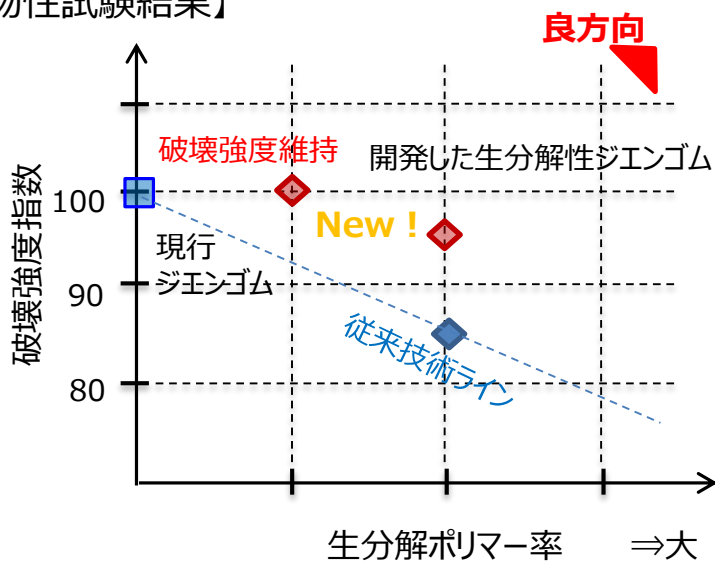


タフネス化

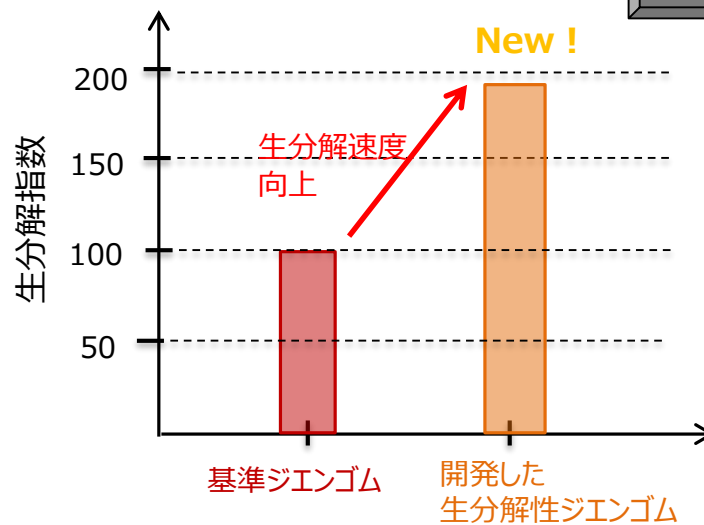


ImPACT研究成果からの発展、DCLコンセプトにより、既成概念を超える高強度化実現の可能性

【物性試験結果】



【海洋生分解試験結果】



開発した生分解性ポリマーでタフ化向上と分解性向上を確認。タフ化と分解性両立の可能性を示した

「高分解性ポリエステル系マルチロック型 バイオタフポリマー およびその繊維の研究開発」

MS伊藤PJ

難分解性である芳香族ポリエステルに、マルチロック型分解技術を活用した易分解化、モノマーの非可食バイオマス原料化さらにはポリマーの強靱化技術を施すことで、**通常使用時の安定性を維持しつつ使用後に特定の刺激で分解するポリエステル繊維及び成形物の開発**を目標とする。

具体的には、

- 1) 共重合等によるポリマー主鎖改質およびモノマーのバイオ化技術
- 2) 分解促進剤添加技術
- 3) 分解促進剤の徐放制御技術

を開発することによって、加水分解等による主鎖分解(1次分解)と微生物分解(2次分解)が制御された海洋生分解性芳香族ポリエステル系ポリマーおよびその繊維の実現を目指す。



TEIJIN

高分解性ポリエステル系マルチロック型バイオタフポリマーおよびその繊維の研究開発

1. 最終目標 (2029年)

- 非分解性芳香族ポリエステル系ポリマーを改良し、特定の刺激下で高分解性を示すマルチロック型バイオタフポリマーとその繊維の生産技術が完成する
- 得られた繊維が海洋生分解性認証を取得する
- 2030年度より商業生産が開始される
- 非可食バイオマス由来のモノマー合成技術も完成している

2. 開発項目・内容

課題：非分解性ポリマー(PET)の易分解化・強靱化・バイオ化



⇒ **解決策：** 主鎖分解(1次分解)と微生物分解(2次分解)を制御
 (1) ポリマー主鎖改質およびバイオ化 (2) 分解促進剤／強靱化剤添加
 (3) 分解促進剤の徐放(繊維構造制御) によって実現を目指す

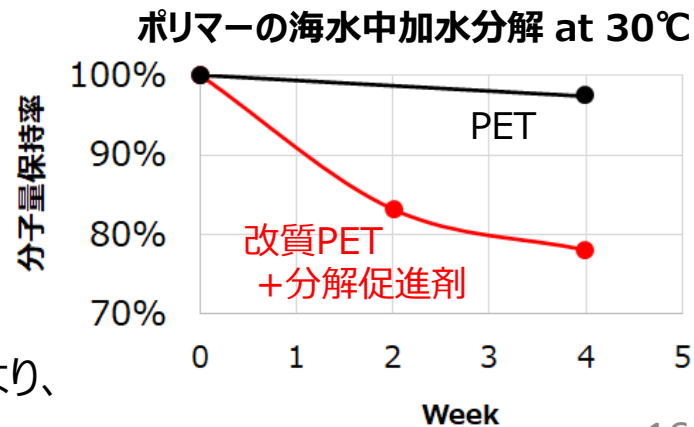
3. 現時点の成果

(1) 共重合などによるポリマー主鎖改質およびバイオ化

- 特定の成分を共重合した易分解性PETポリマーの設計および合成を完了した
- モノマーバイオ化の共同研究をアカデミアと実施中

(2) 分解促進剤／強靱化剤添加

- 大量の水が存在する環境下でポリマーを分解開始する新規分解促進剤を開発した
- この分解促進剤と上記(1)-i.のポリマーの組合せにより、30℃海水中で分解可能なポリマーを得た。(右図)



高分解性ポリエステル系マルチロック型バイオタフポリマーおよびその繊維の研究開発

3. 現時点の成果

(2) 分解促進剤／強硬化剤添加

- iii. 光分解剤(アカデミア技術)を添加したPETポリマーは、海水環境下で分解が促進されることを確認した。(右上図)
- iv. 上述のポリマーに強硬化剤を添加し、機械物性評価を実施する

(3) 分解促進剤の徐放 (繊維構造制御)

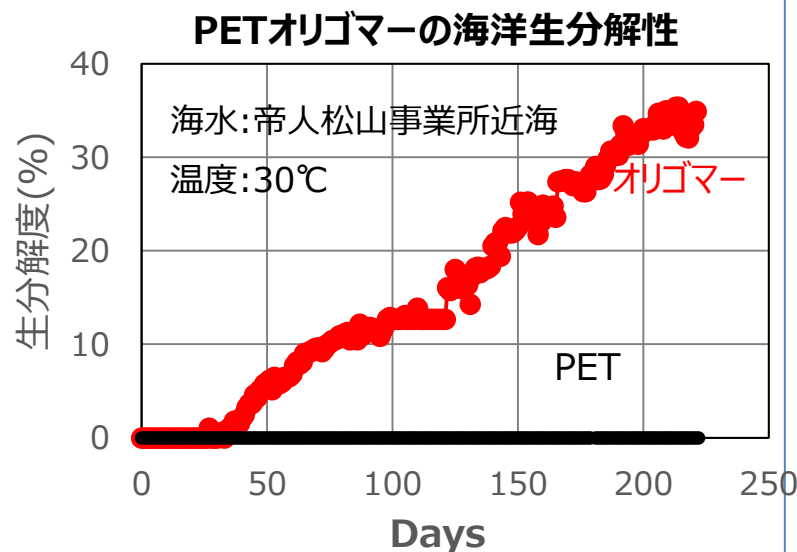
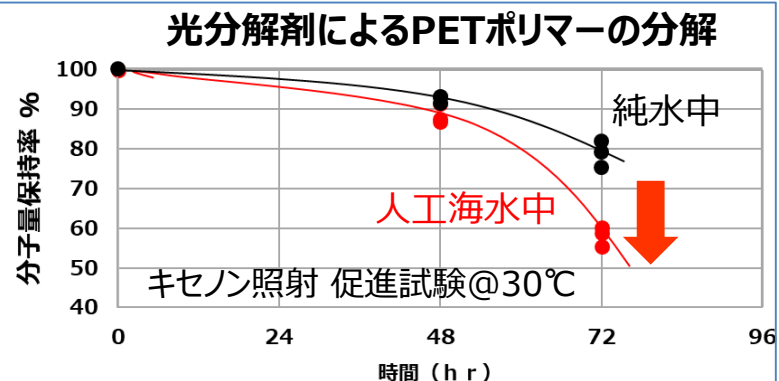
- 上述のポリマーの繊維化を実施中である。今後繊維物性および海洋生分解性評価を進める

(4) 海洋生分解性評価技術の確立

- BOD法による海洋生分解性評価技術を確立した

(5)オリゴマーの海洋生分解性

- PETオリゴマーは海洋生分解性を有することが確認された。(右下図)
- オリゴマーの安全性評価も実施中



4. まとめ

- 主鎖の加水分解を促進してオリゴマー化したのち、微生物分解することによって、PET系ポリマーを海洋生分解化することが可能であることを確認した
- 次の2種類のマルチロック化の可能性を確認した
 - ① 共重合PET + 新規分解促進剤 [3.(2)- ii 項] : 水環境 + 微生物
 - ② 共重合PET + 特定の光分解剤 [3.(2)- iii 項] : 光 + 海水 + 微生物

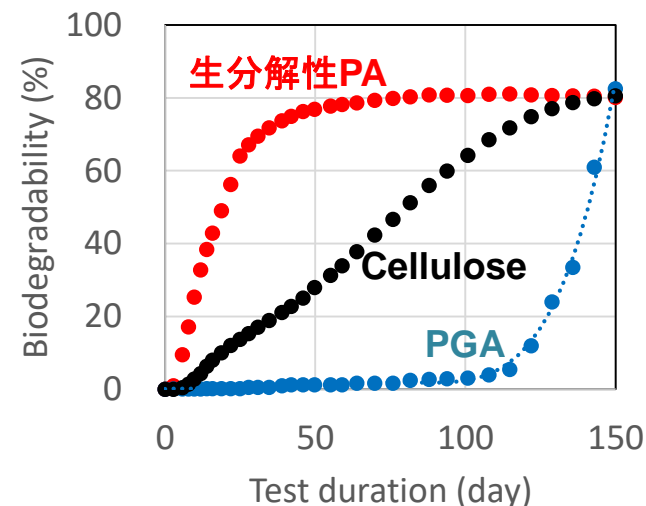
「生分解可能で強靱性を有する漁網用バイオポリマーの開発」

MS伊藤PJ

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。

海水中での生分解挙動 (ISO19679, 25±2℃)



PGAの分解による崩壊と消失



KUREHA

➤ プロジェクト担当開発テーマ

・ **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**

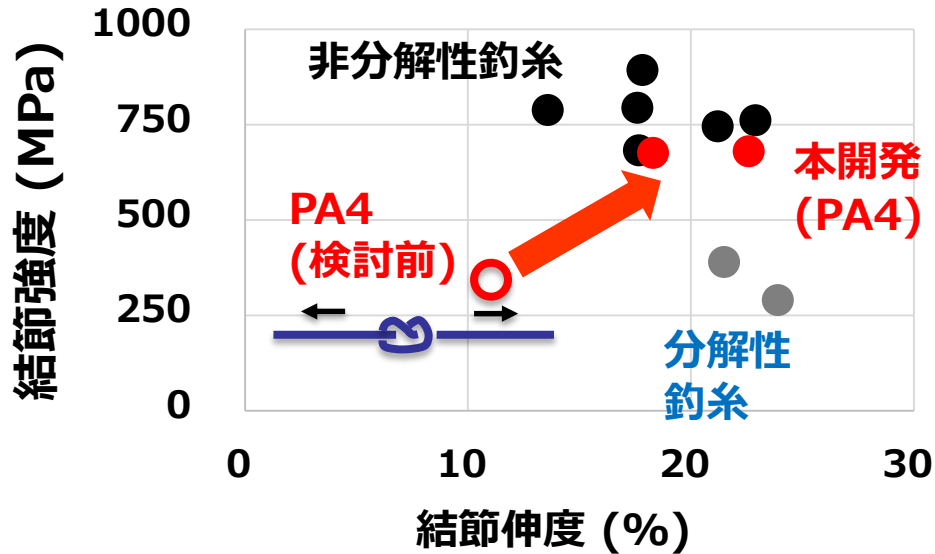
➤ 開発内容

- ・ 生分解性樹脂であるポリアミド4(PA4)およびポリグリコール酸(PGA)を主骨格とするバイオポリマーを用いた釣糸、漁網等の漁具開発

➤ 最終テーマ目標

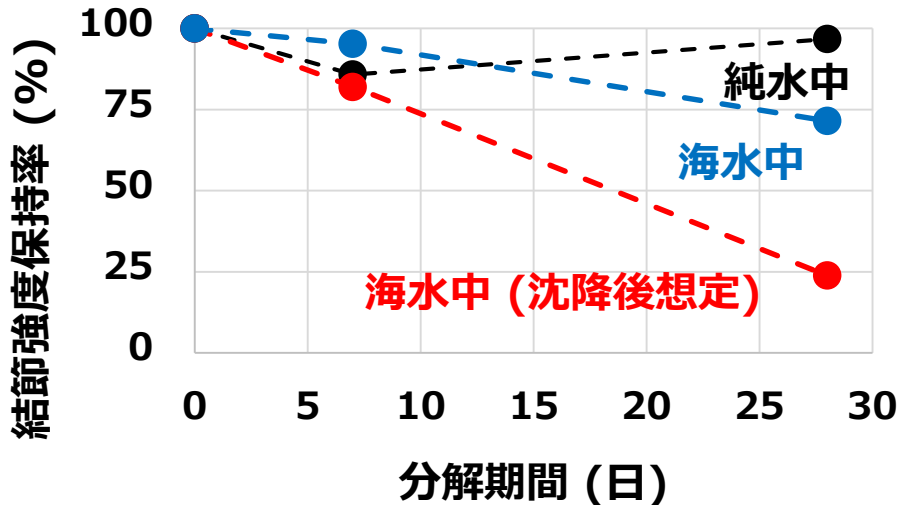
- ・ 実用期間中の物性維持と使用後の海洋生分解の両立
(遺棄後、3年以内に80%が生分解)
- ・ 商業生産に使用できるレベルでのモノマーのバイオマス化技術の開発
(想定モノマーコスト：数百円/kg)
- ・ 紡糸加工技術、構造制御技術の開発による強度等、諸物性の達成
(従来使用されているナイロン6製漁具と同程度の強伸度発現)

強度目標の達成状況

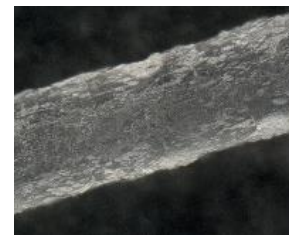


- ✓ 重合方法、紡糸条件、高次構造制御といった本開発における検討により、PA4試作糸において市販の非分解釣糸と同程度の結節強伸度を発現

物性維持と分解の達成状況 (25℃分解試験における強度変化)



- ✓ 海水中での分解試験を実施し、海水中での分解の進行と沈降後を想定した環境での加速を確認



分解1ヶ月の様子 (海水中・沈降後想定)

共通課題 成果トピックス

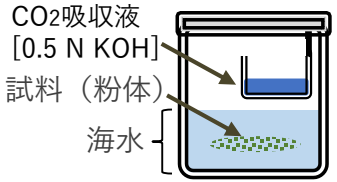
共通課題		目標	メンバー
E1+ E3	マルチロック型分解機構(スイッチ機能)の開発	モデル樹脂やエラストマーを対象に、コポリマー、動的架橋、触媒、酵素などを利用して、海洋環境で想定される複数の刺激でオンデマンド分解可能なマルチロック型分解機構を開発する。	東大、名大、RITE、東工大、産総研、大阪市大、信州大、長岡技科大
E2	海洋も含む環境分解機構の解明	海洋も含む自然環境下での、モデル樹脂やエラストマーの分解機構を解明する。	九大、京都工繊大、神戸大、産総研、CERI
E3-1	非可食性バイオマスを原料としたポリマーの開発	非可食性バイオマスを原料とするモノマーを、酵素や有機合成を利用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、RITE、東工大、信州大
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	九大、名大、東工大、信州大、CERI

環境分解性の評価 マルチロック型ポリマーの生分解性評価法の開発

海洋生分解性評価の加速試験法の開発

化学物質評価研究機構

海洋生分解度の評価はばらつきが大きく、試験期間が長い
(6ヵ月~2年)



←ISO 23977-1による
海洋生分解度 装置概要

(2)活性の維持：N、P添加

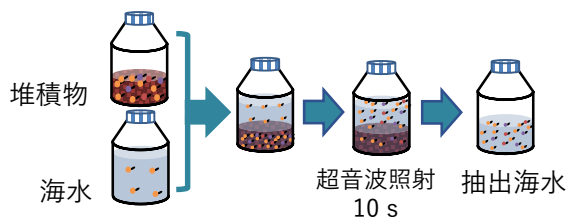
・栄養源となるNH₄Cl 0.5g/L、KH₂(PO₄) 0.1g/Lを添加

(3)海洋生分解度の評価

- ・海洋生分解評価の加速化
- ・海水によるばらつきの減少

(1)初期活性の向上：堆積物を用いた抽出海水

1) 抽出海水の調整

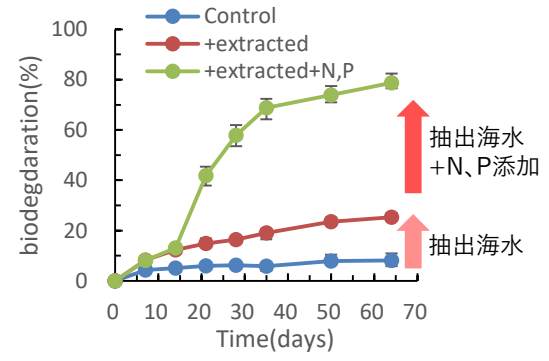
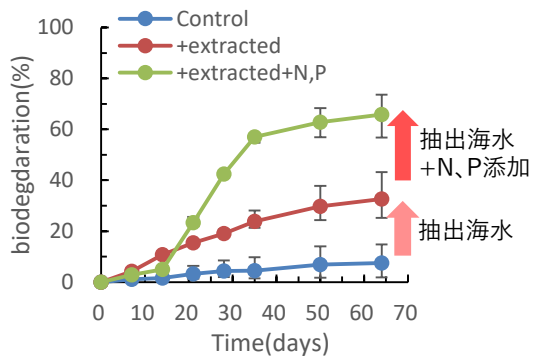


2) 海水・堆積物中の菌叢解析



抽出海水を用いることで、海水のみと比較して菌叢の多様化が期待される。

セルロースの生分解度



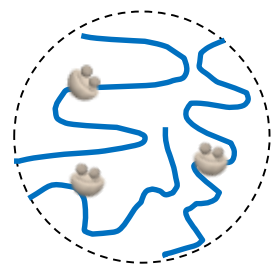
- ✓ 海水による海洋生分解度試験において、抽出海水を用い、栄養源N、Pを添加することで、**生分解速度の加速化**が図れた。今後、継続して加速試験の検証を実施する。
- ✓ 分解過程の中間生成物の分析を行い、**安全性の評価**を実施する。
- ✓ ラボ試験と並行して、**フィールド試験での分解過程**を調査する。

23機関で導入中

海洋中を想定した複数の環境下(刺激下)での選択的な高分子分解

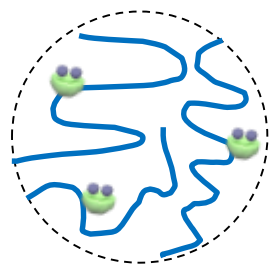
MS伊藤PJ

1種類の環境下
(通常使用環境)



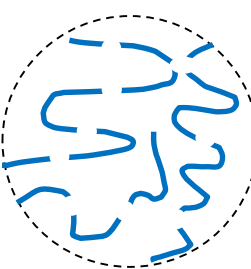
分解活性 無

海洋流出時を想定した複数種類の環境下



分解活性 有

例えば
光+塩
光+水
光+熱



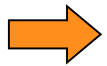
低分子化

触媒
生分解

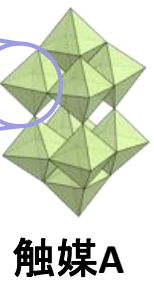
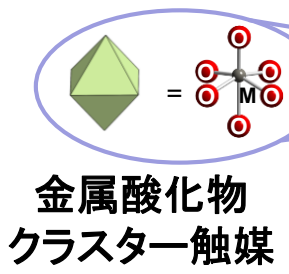
CO₂
H₂O

完全分解

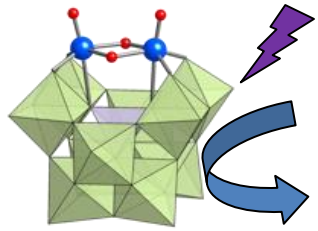
触媒Bと海洋環境を想定した添加剤Cの両方があると分解



スイッチ機能を実現



触媒A

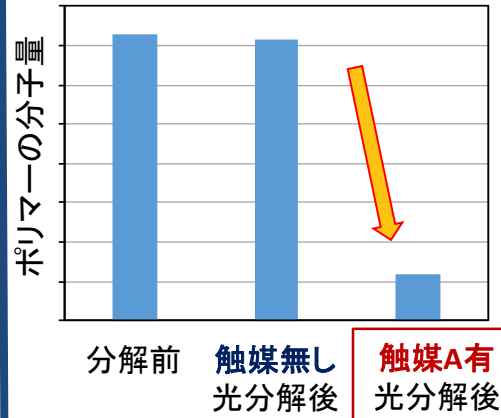


触媒B

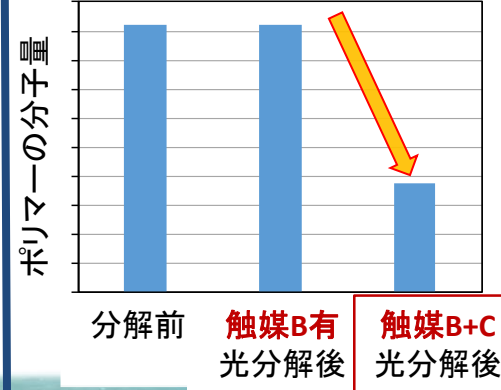
- 光 刺激①
- 海水 刺激②
- 分解活性種



ポリアクリル酸ブチルの分解



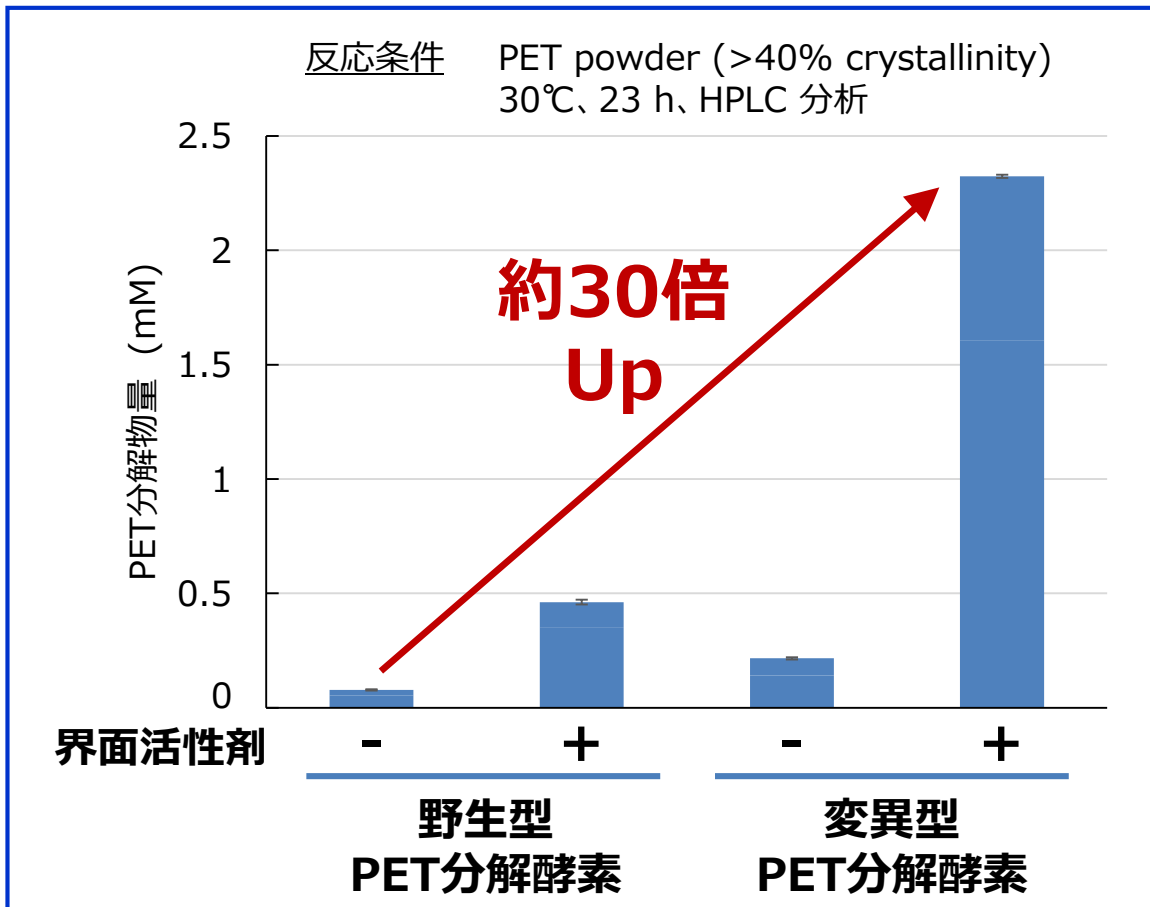
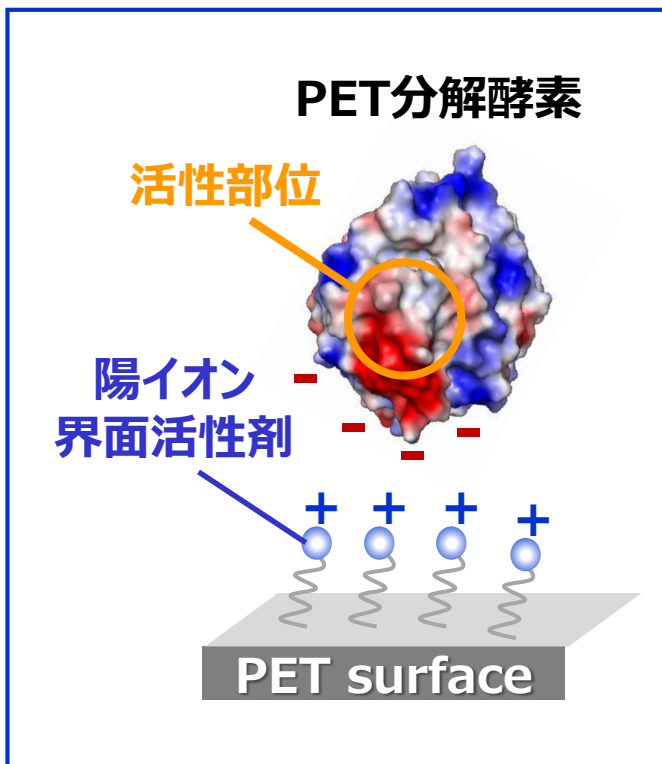
ポリテトロヒドロフランの分解



PET分解酵素活性への陽イオン界面活性剤添加の効果

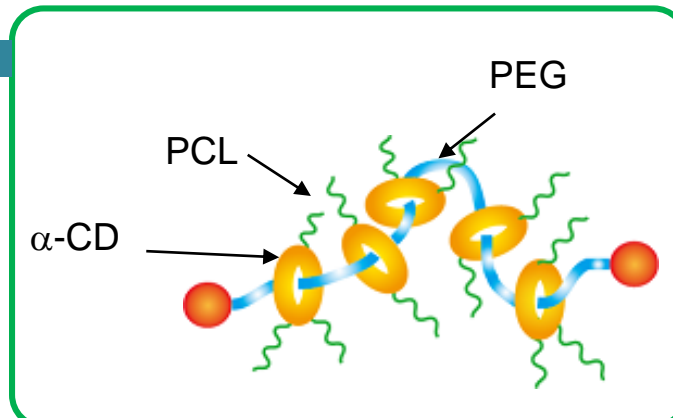
ポリマー分解酵素の高機能化

地球環境産業技術研究機構



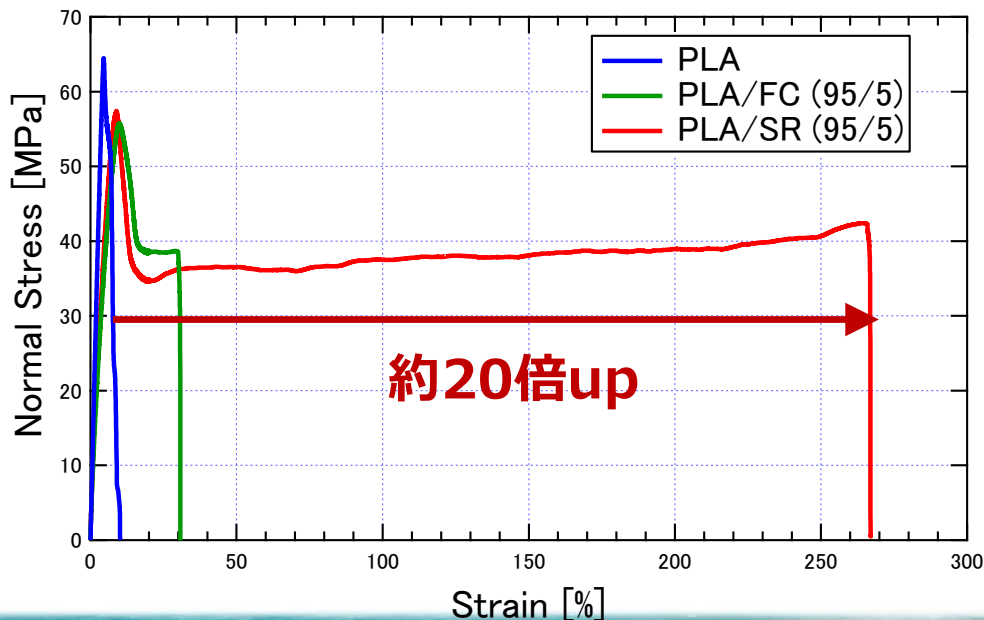
ごく低濃度の陽イオン界面活性剤を添加した結果、野生型酵素と比べて約30倍と顕著な活性向上に成功

ポリロタキサン (PR)
海洋生分解性分子より構成
(シクロデキストリン、
ポリカプロラクトン、
ポリエチレングリコール)

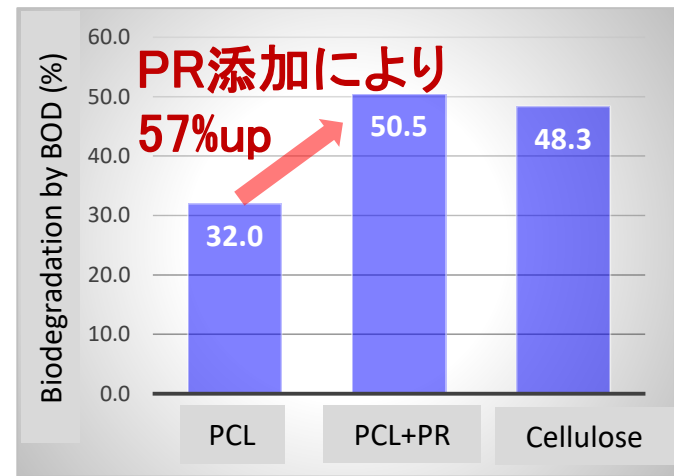


ポリロタキサンを添加剤とすることで、海洋生分解性のスイッチ機能と強靱性向上の同時実現を目指す。

強靱性と海洋生分解性の両立



30日経過後

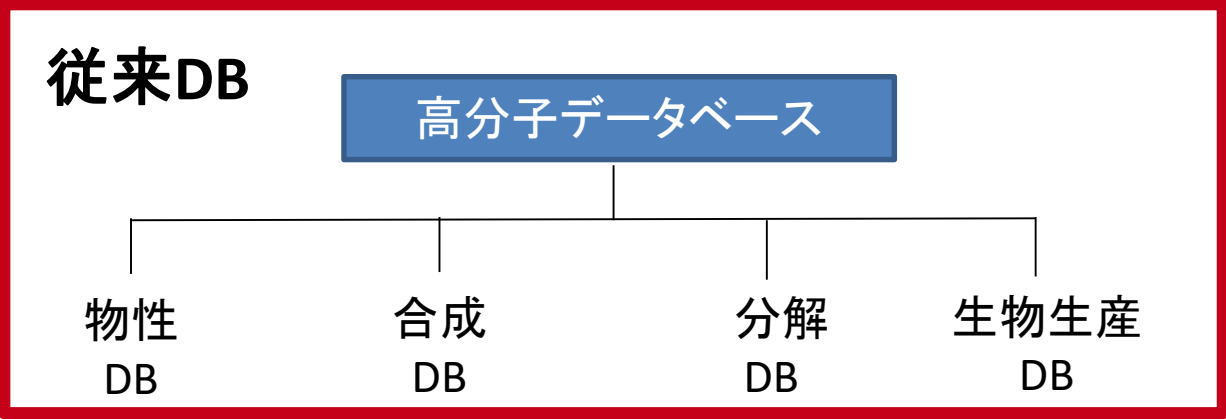


ポリロタキサン添加によるポリ乳酸樹脂の破断伸び向上

ポリロタキサン添加によるポリカプロラクトン樹脂の海洋生分解性促進効果

高分子分解・破壊標準データベースの構築

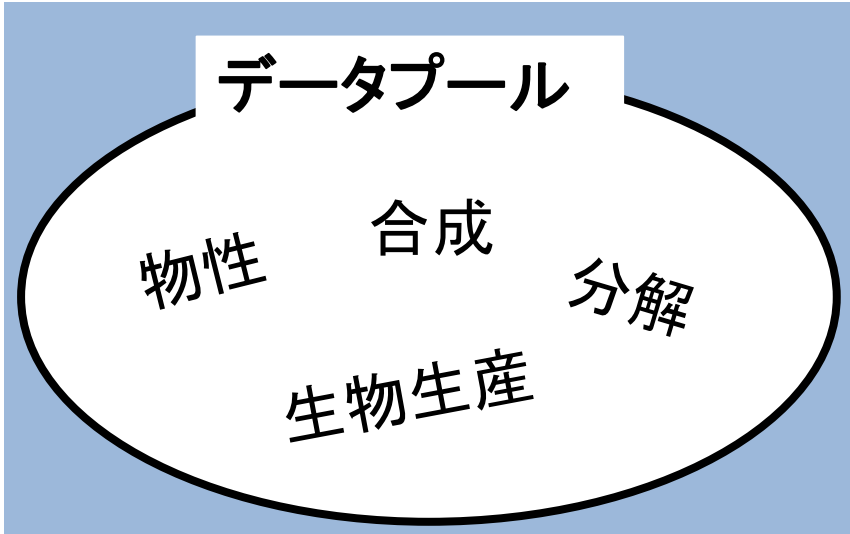
MS伊藤PJ



従来のDBの考え方では、分野毎に異なるDBを作成するしかない。

「分解と強靱性」という分野を横断した概念を生み出せない

MSにおけるDB



- ✓ GUI
- ✓ 検索機能



HyperClassified
多次元ツリー (タグツリー) による異分野データの統合整理

特徴: 分野に縛られず、データを集約したデータプールを作成し、外部機能によりデータベースを生み出す。

各分野特有の実験ノートの項目から解放される必要がある

成果リスト

～2022/1までの積算件数～

MS伊藤PJ

論文 25報 (出版済み)

Polym. Chem. 12, 1186-1198 (2021). (Front Cover, Hot Paper)
Macromolecules 54, 6440-6448 (2021)など

総説・著書 10件

特許出願 8件 (うち企業2件)

招待講演 76件 (国内: 53件、海外: 23件)

学会発表 111件 (国内: 80件、海外: 31件)

各種受賞 17件

報道関係 13件

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」



成果のまとめ

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	帝人 繊維くず	クレハ 漁網	アカデミア マルチロック
技術課題	PBS樹脂にマルチロック機構を組み込み、引裂強度を向上	非可食性バイオマス为原料とした強靱さと分解性を併せもつタイヤの開発	非分解性ポリマー(PET)の易分解化・強靱化・バイオ化	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用いた漁具開発	耐久性と分解性の両立、マルチロック機構の開発
成果 TOPICS	添加剤によるスイッチ機能を達成、強靱化傾向も確認、担体担持型生分解促進剤モデルのマルチロック機構コンセプトを確認	DCLコンセプトにより既成概念を超える高強度化を達成、開発した生分解性ポリマーでタフ化と分解性の両立を確認	主鎖の加水分解と微生物分解によりPET系の海洋生分解が可能であることを確認、共重合・分解促進剤・光分解剤でマルチロックの可能性を確認	PA4試作糸で市販の非分解釣糸と同程度の結節強伸度を発現、海水中での分解の進行と沈降後を想定した環境での加速を確認	海洋分解性加速試験法を確立(CERI)、金属酸化物クラスター触媒等によるスイッチ機能を達成(東大)、PET分解酵素の30倍活性向上に成功(RITE)