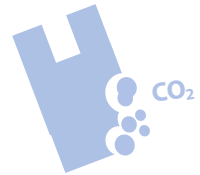


生分解性樹脂等を活用したプラスチックごみ対策

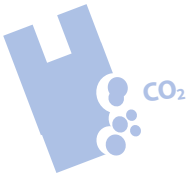
群馬大学大学院理工学府分子科学部門
群馬大学大学院食健康科学研究科
群馬大学食健康科学教育研究センター

粕谷健一



生分解性プラスチックとは？





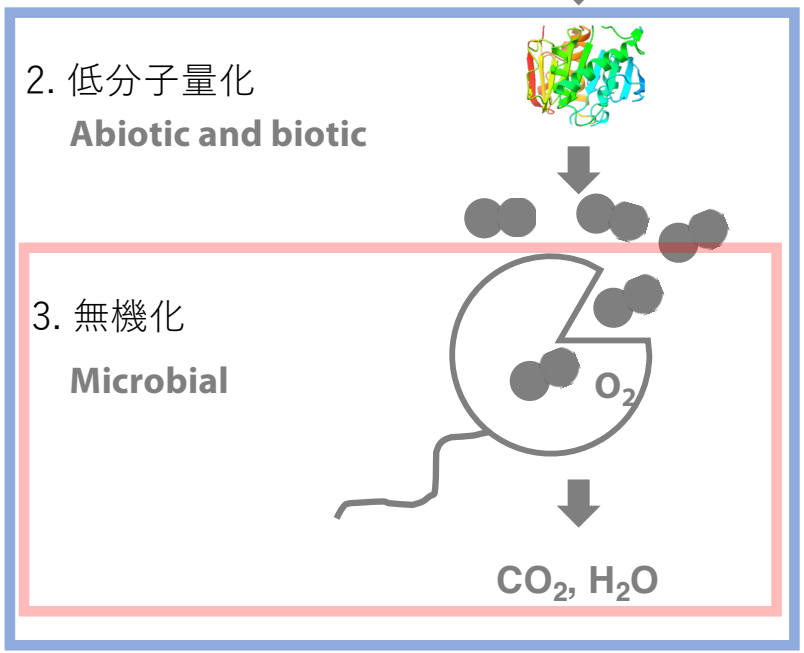
Biodegradation assessment

生分解性プラスチックとは？

生分解性をどう評価するか？　　何を評価するか，評価のポイント

1. 生物劣化，非生物劣化
   Abiotic and biotic



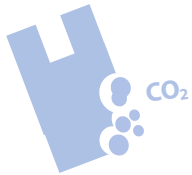


STEP1

STEP2

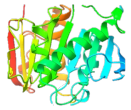
分解生物側の多様性に起因。

Step1は，加水分解，酵素分解に相当。→ 簡便，構造と高い相関，分子設計上必要。
Step2は，生分解(無機化)に相当。　→ 真の生分解，構造と相関必ずしも高くない。



Biodegradation assessment

生分解性プラスチックとは？

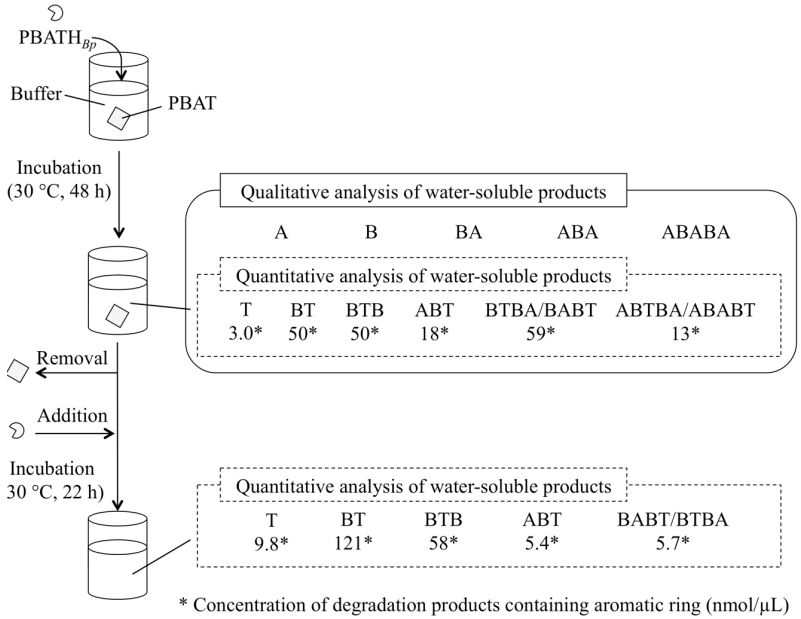


生分解性評価法

酵素分解法：STEP1に関わる情報，酵素分解，加水分解によるもの

STEP1

- 残渣
  - 残存重量
    - 分解速度[g/m²]=[W(0)-W(t)]/S(0)
  - 分子量変化
  - 材料特性変化
  - モルフォロジー変化
- バッファー中の溶解物



Polym Degrad Stabil 137, 11-22, 2017.

生分解性プラスチックとは？

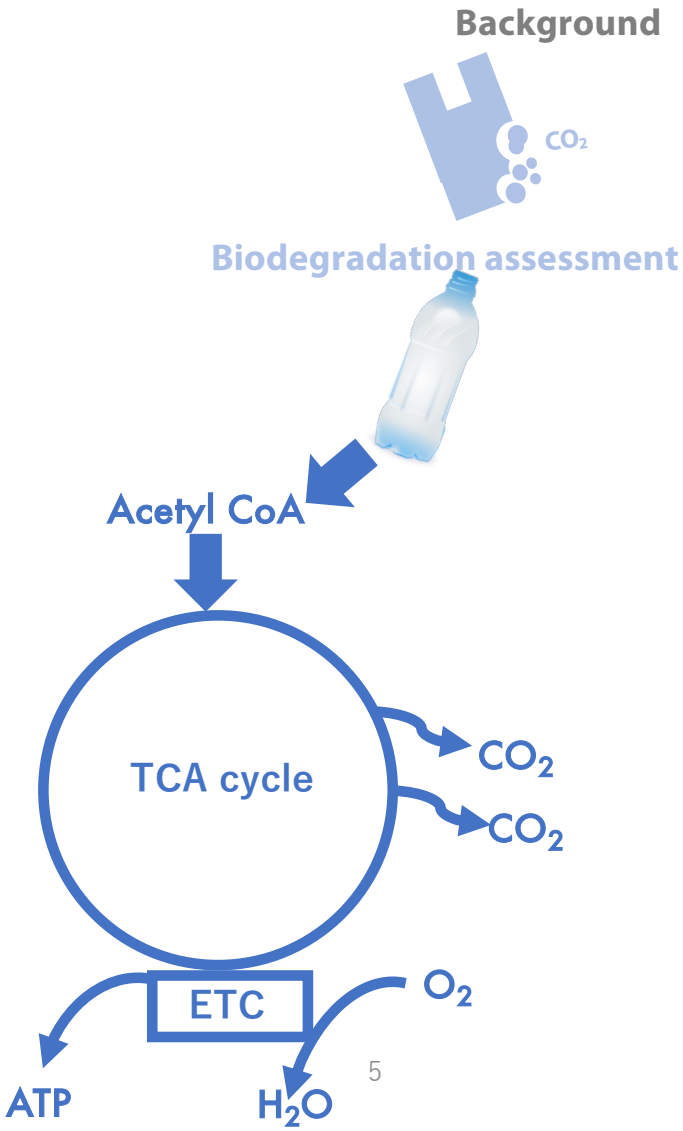
STEP2

生分解性評価法

微生物分解法：主としてSTEP2に関わる情報，生分解性

- 生分解性を追跡する方法
  - 生物化学的酸素要求量（BOD）
  - 二酸化炭素発生量
  - 溶存有機炭素量（DOC）あるいは、総有機炭素量（TOC）
  - pH変化
  - 濁度

生物による主に異化過程を定量化。



生分解性プラスチックとは？

生分解性プラスチックを取り巻く動向

欧州議会（**EU commission**）ポリシー

Circular economy-specific policy

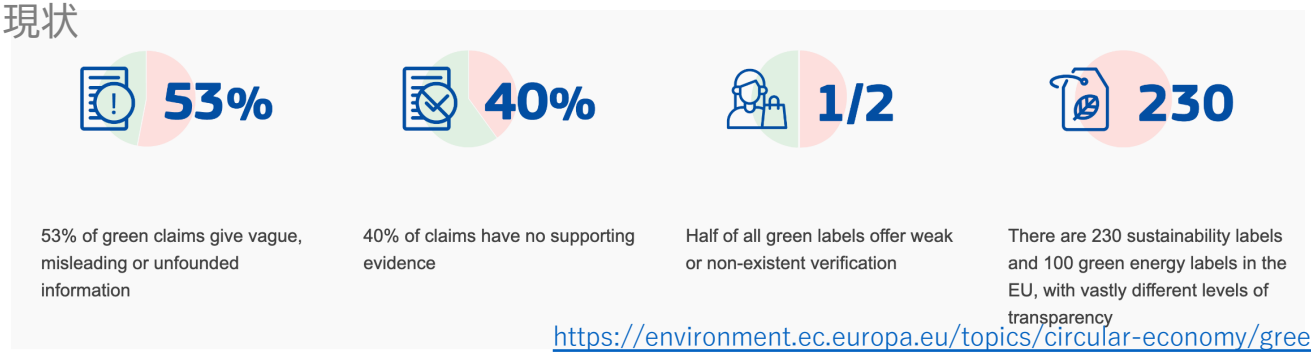
グリーンクレイム（対　グリーンウオッシュ）

Alterna 20230323記事より

「環境に優しい」はもう使えない？欧州委が「グリーンクレーム指令案」、グリーンウォッシュ規制強化へ

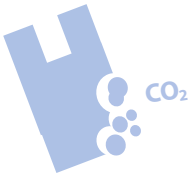
環境に配慮したように見せかける「グリーンウォッシュ」への規制が強まっている。欧州委員会は3月22日、「グリーンクレーム（環境主張）指令」を発表し、企業が環境主張を行う場合、科学的根拠に基づいて立証することを提案した。欧州委員会の調査（2020年）によると、環境配慮をうたう製品やサービス、広告などの40%には「根拠がない」という。

現状



https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/green-claims_en

Identification Labeling



生分解性プラスチックとは？

海洋生分解性プラスチックに関する識別表示について

JBPA，海洋性分解性プラスチックの新しい識別表示について
ISO 22403：ISO 18830(BOD)，19697(CO_2)，22404(CO_2)，23977(BOD，CO_2)，ASTM D6691(CO_2)
ISO 5430

JBPA 日本バイオプラスチック協会 Japan BioPlastics Association



ポジティブリスト制

TÜV AUSTRIA　ASTM D6691(CO_2)



https://www.tuv-at.be/okcert/certified-products/

エコレックス　20240624

海洋生分解性フィルムの認証について

福助工業と群馬大学で共同開発した、生分解性フィルム エコレックス FG2 が「OK biodegradable MARINE」認証を取得しました。
（認証番号 TA8062408357、認証取得日 2024年6月20日）



「OK biodegradable MARINE」認証は、海水中での生分解性を証明する国際的な認証です。エコレックス FG2は、海水中で基準物質（セルロース）に対して90%以上の生分解度を示す条件をクリアし、かつ、分解生成物の生体への安全性も証明されることで、TÜV AUSTRIAより認証されました。

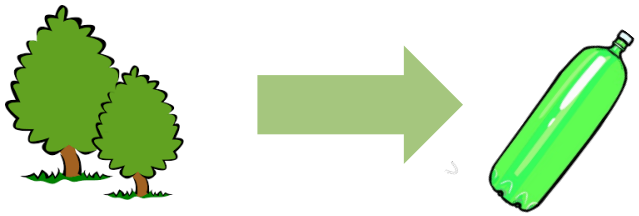
エコレックス FG2 は、自然界（土壌中、淡水中、海水中）の微生物によって水と炭酸ガスに分解される組成を有したフィルムで、レジ袋などにも使用可能です。海に流出する可能性のある従来のプラスチック製袋類を代替することで、海洋プラスチックごみ低減への貢献が期待されます。今後も、環境にやさしい製品の開発に努めてまいります。

詳細は、下記 群馬大学ホームページを御覧ください。
https://www.gunma-u.ac.jp/information/182044

生分解性プラスチックとは？

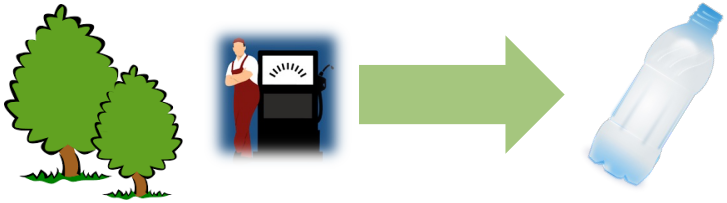
→ バイオマスプラスチック と 生分解性プラスチック
→ この２つをまとめて，**バイオプラスチック**と呼んでいる。
日本バイオプラスチック協会（JBPA）

バイオマスプラスチック（原料は植物，バイオマス）



バイオポリエチレン
バイオペット
原料が違うだけで今あるプラスチックの多くは置き換え可能

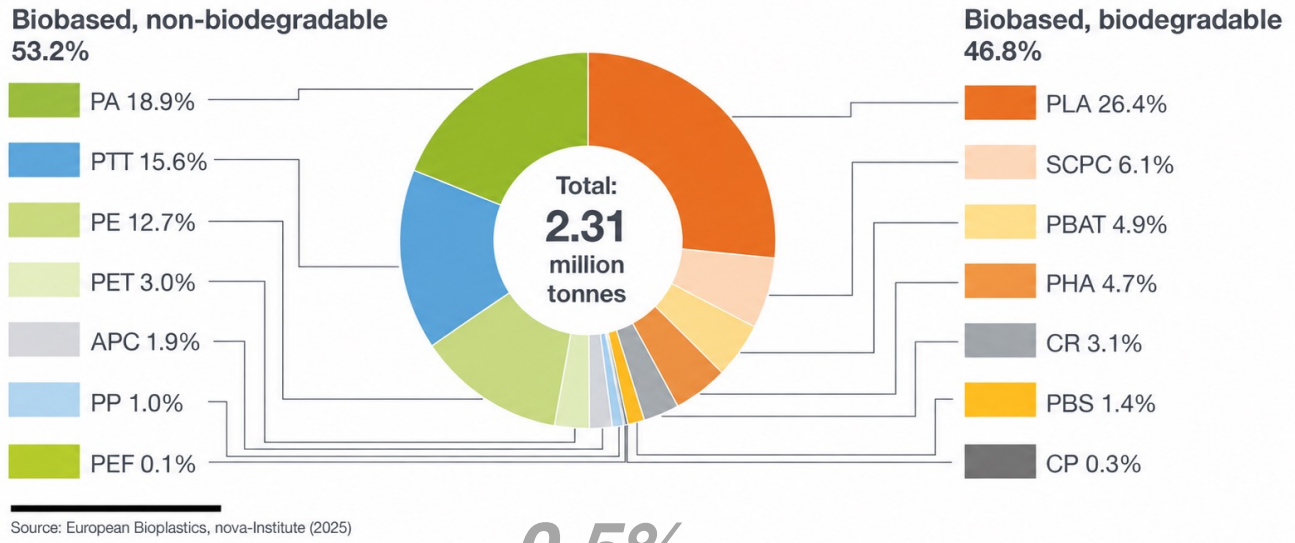
生分解性プラスチック（原料の由来は問わない，微生物により完全分解される）



ある種の脂肪族ポリエステル
現存の汎用プラスチックとは違う。

生分解性プラスチックとは？

Global production capacities of biobased plastics 2025 by material type



0.5%

BP/Total P

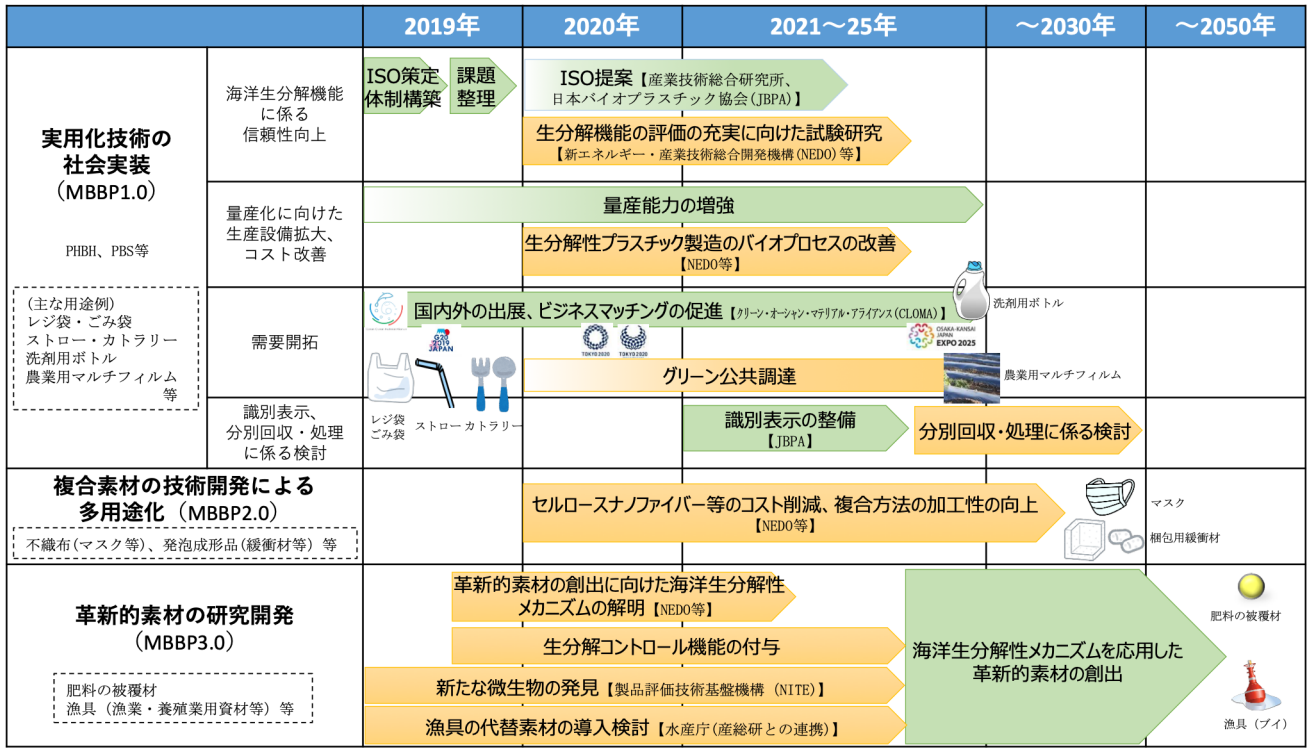
2025_Bioplastics market development update 2025, European bioplastics

海洋生分解性プラスチックの研究開発

経済産業省

令和元年５月

海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップの概要図



※MBBP：植物由来（バイオマス）の海洋生分解性プラスチック（Marine Bio-degradable Bio-based Plastics）

※海洋生分解性プラスチック：海洋中で微生物が生成する酵素の働きにより水と二酸化炭素に分解されるプラスチック

海洋生分解性プラスチックの研究開発

ムーンショット 研究開発事業

ムーンショット目標４ 2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現
Cool Earth & Clean Earth

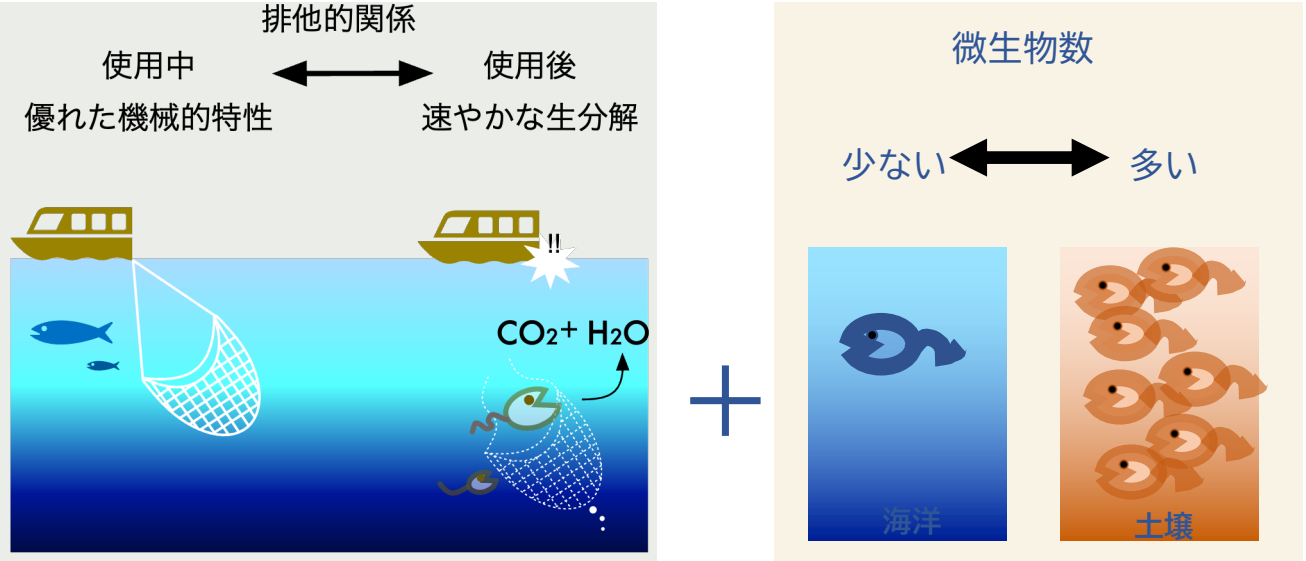


（3）生分解のタイミングやスピードをコントロールする海洋生分解性プラスチックの開発

研究開発プロジェクト	PM
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	伊藤 耕三 東京大学
生分解開始スイッチ機能を有する海洋分解性プラスチックの研究開発	粕谷 健一 群馬大学

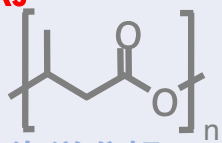
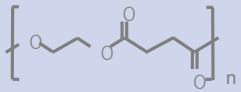
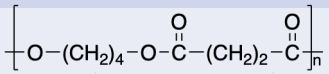
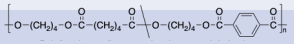
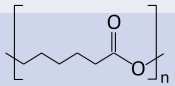
海洋生分解性プラスチックの研究開発

海洋生分解性プラスチックの２つの問題



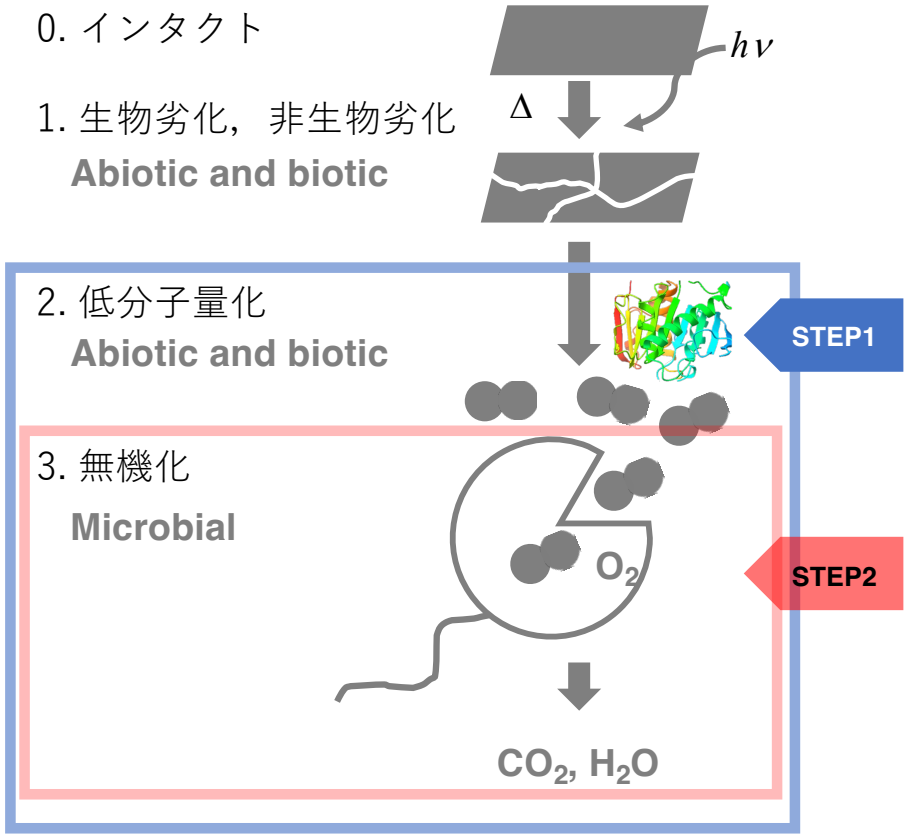
海洋生分解性プラスチックの研究開発

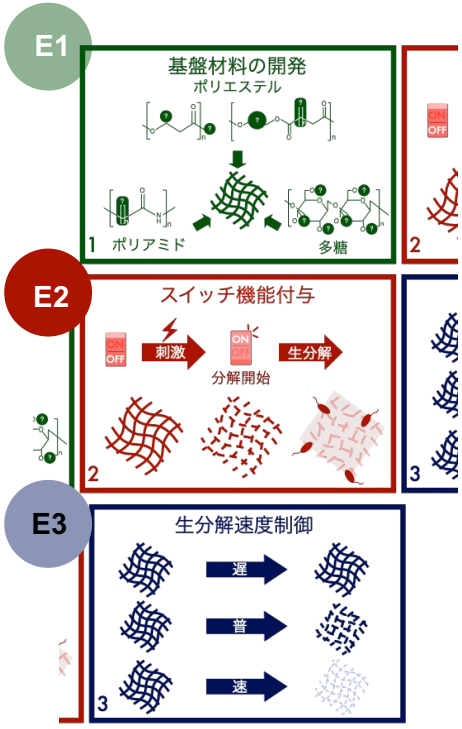
海洋生分解性プラは少ない

生分解性プラスチック	環　境　分　解　性		
	分解する	**場所による**	**分解しない**
PHAs  海洋分解 OK	土壌 淡水 汽水 **海洋** 活性汚泥 嫌気汚泥 コンポスト	-	-
PESu 	土壌 淡水 コンポスト 活性汚泥	-	海洋
PBSu 	コンポスト	土壌	海洋 活性汚泥 淡水
PBAT 	コンポスト	土壌	淡水 海洋
PLA 	コンポスト	土壌	海洋
PCL  海洋分解 OK	土壌 淡水 **海洋** コンポスト	-	-

海洋生分解性プラスチックの研究開発

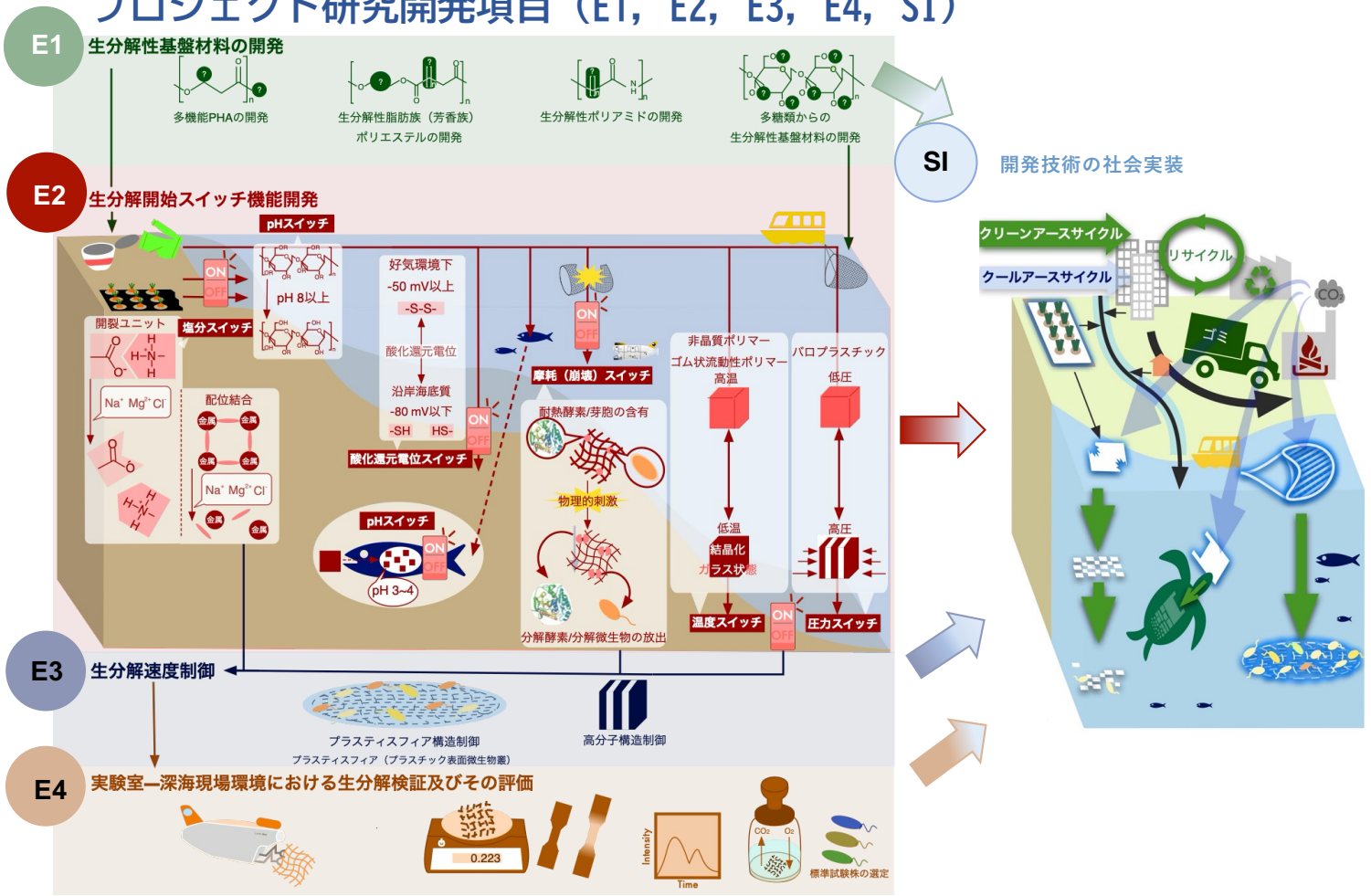
生分解の仕組みと開発戦略





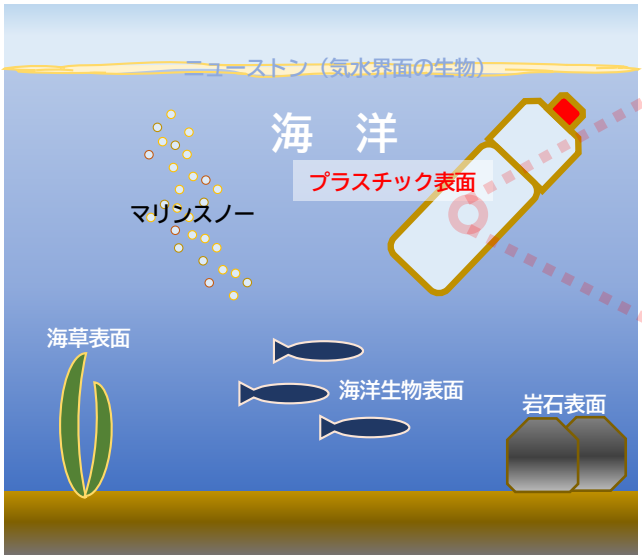
海洋生分解性プラスチックの研究開発

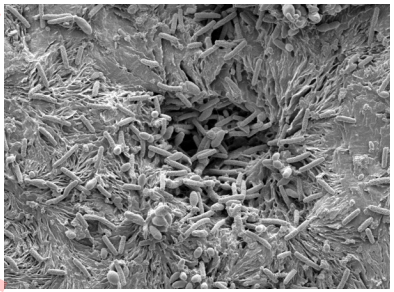
プロジェクト研究開発項目（E1，E2，E3，E4，SI）



海洋生分解性プラスチックの研究開発

E3 プラスティスフィア：プラスチック表面の微生物フローラ

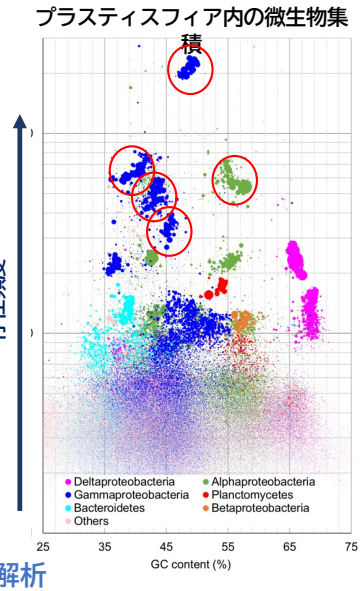




プラスティスフィアの電子顕微鏡写真.

メタゲノム解析

メタトランスクリプトーム解析

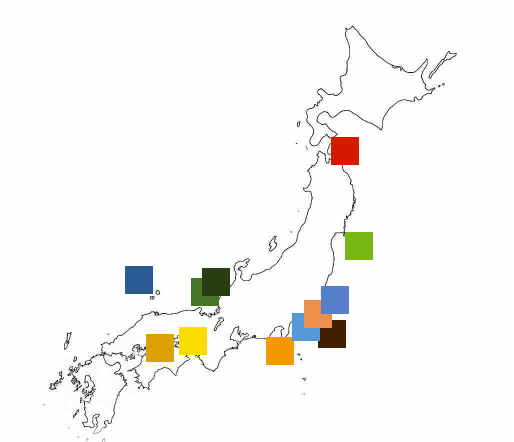


存在頻度が高い微生物
=プラスチックの生分解に関わる微生物のゲノム情報が得られる

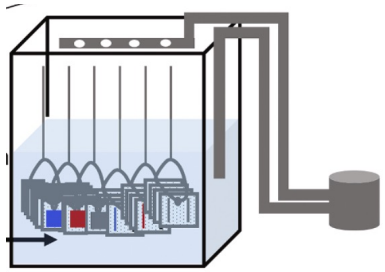
プラスチッの生分解機構の解明し分解制御へ

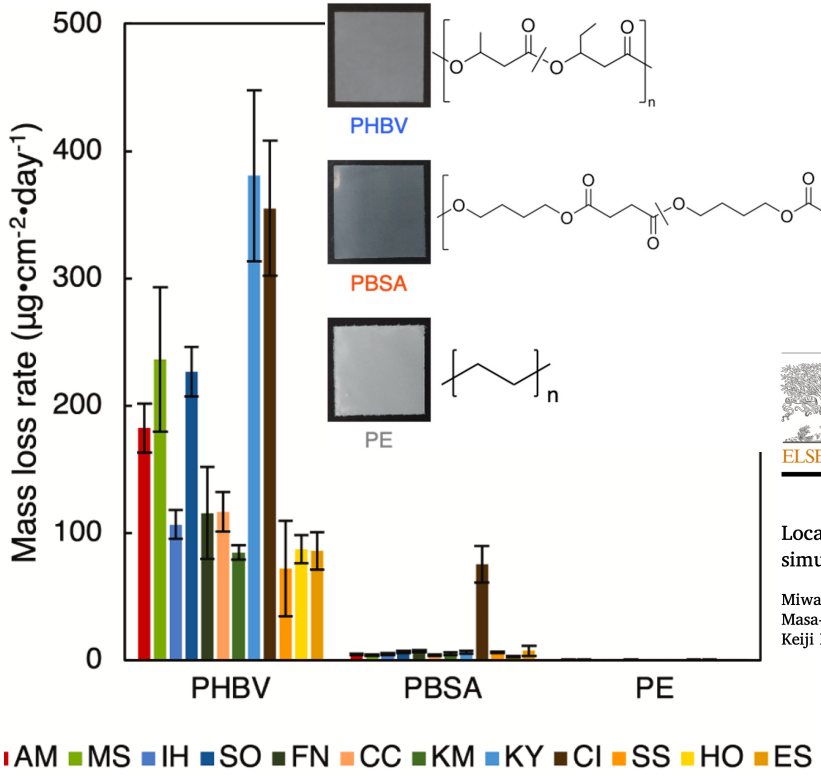
海洋生分解性プラスチックの研究開発

化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い



12 sampling points
along the Japanese coast





Biosynthetic

Chemosynthetic

Polymer Degradation and Stability 247 (2026) 111975

Contents lists available at ScienceDirect

Polymer Degradation and Stability

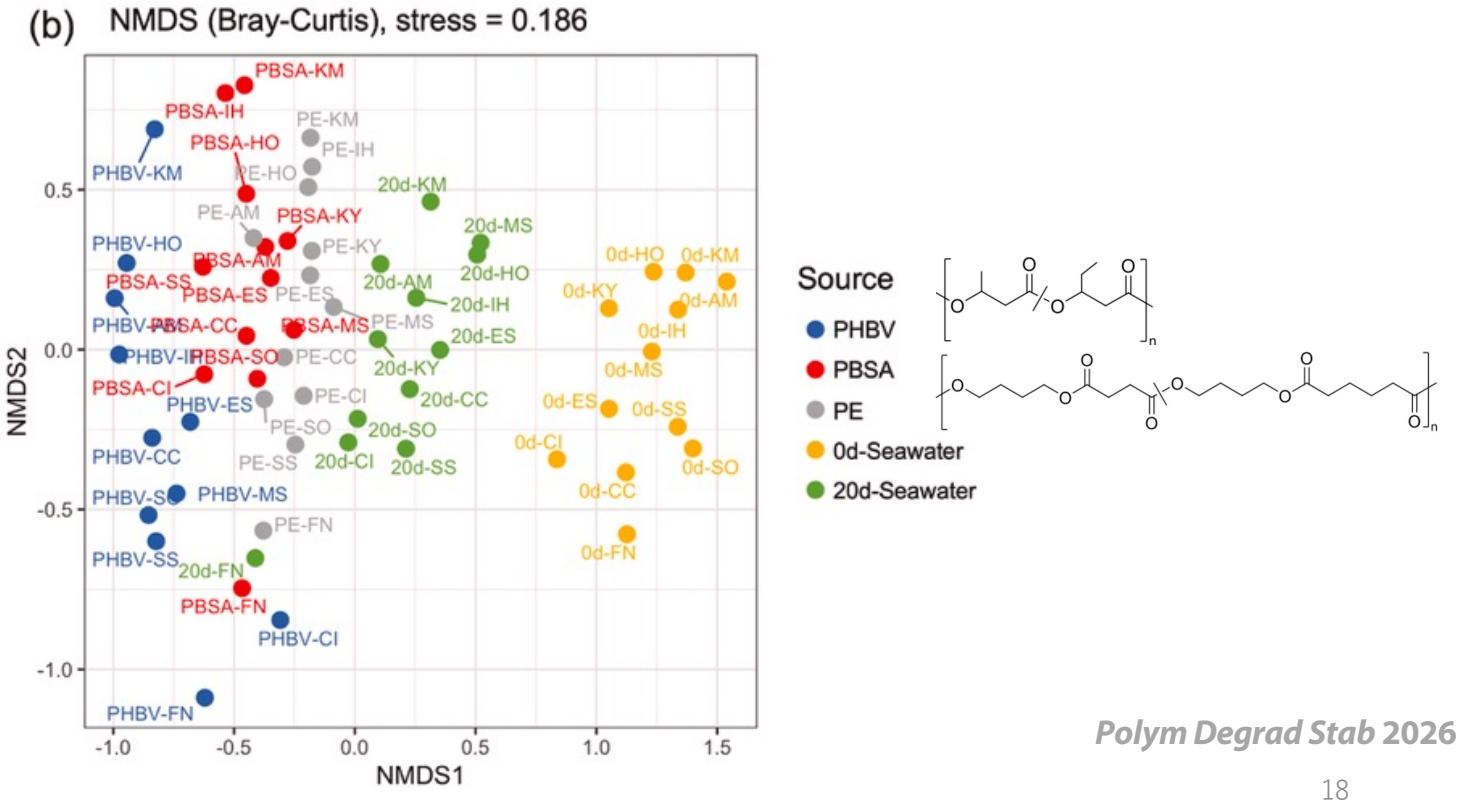
journal homepage: www.journals.elsevier.com/polymer-degradation-and-stability

Location-dependent marine biodegradability of aliphatic polyesters under simulated seawater conditions

Miwa Suzuki [a,b], Moeka Noguchi [c], Tomoya Suzuki [c], Phouvilay Soulenthone [a,b], Shun Tsuboi [d], Masa-aki Yoshida [e], Shun'ichi Ishii [f], Hiroyuki Kashima [f], Hidetaka Nomaki [f], Noriyuki Isobe [g], Keiji Numata [h], Yuya Tachibana [a,b], Ken-ichi Kasuya [a,b,*]

海洋生分解性プラスチックの研究開発

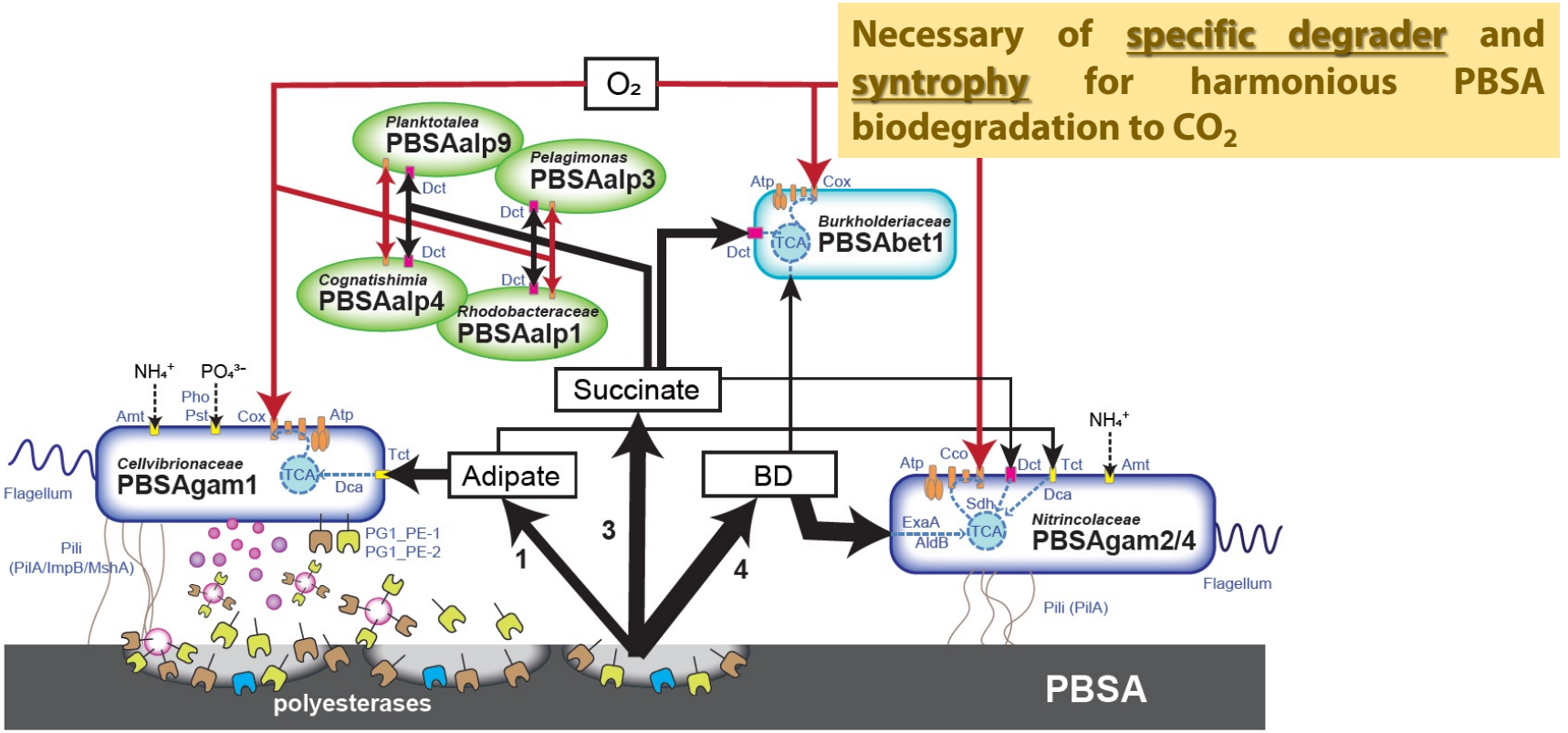
化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い



Polym Degrad Stab 2026

海洋生分解性プラスチックの研究開発

生分解には共生系が必須：化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い



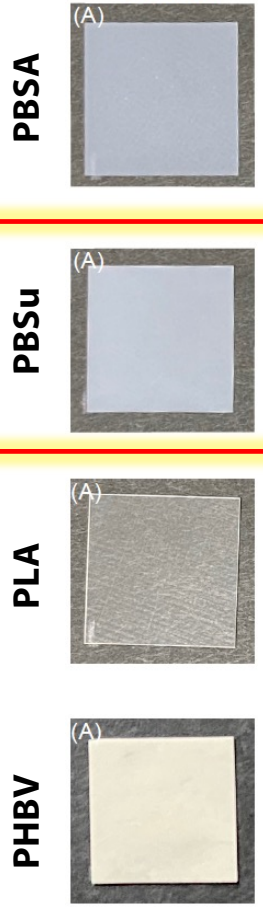
海洋生分解性プラスチックの研究開発

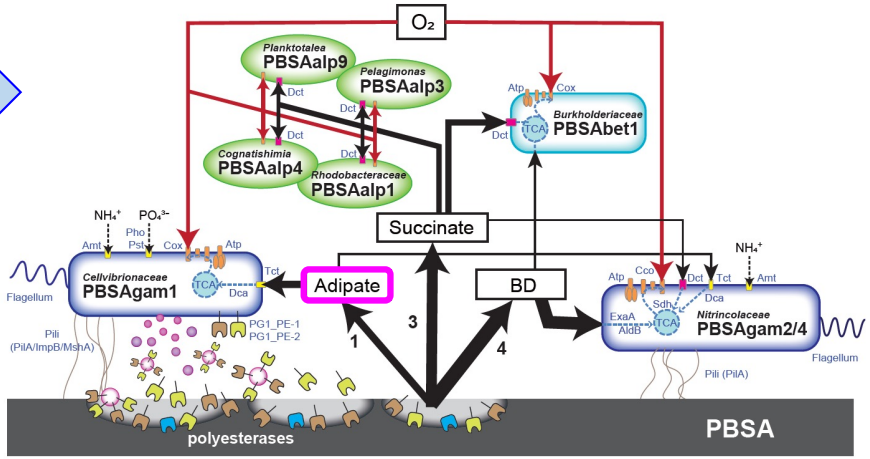
生分解性を付与させるには？ ：化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い

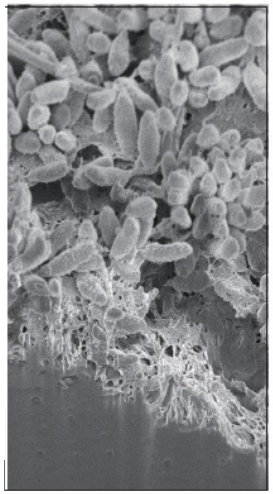
Better
Material
Properties

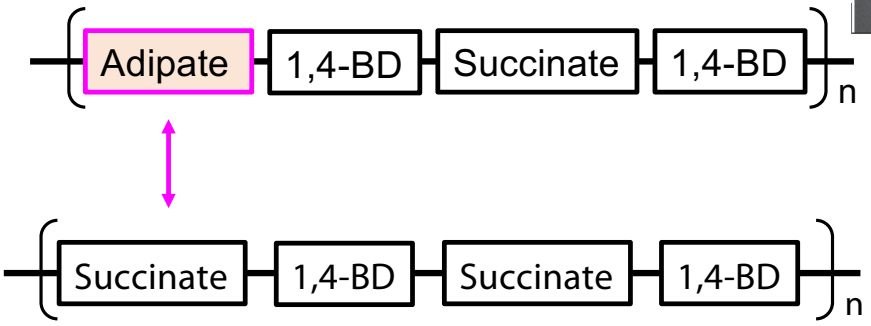


Difficult
to degrade



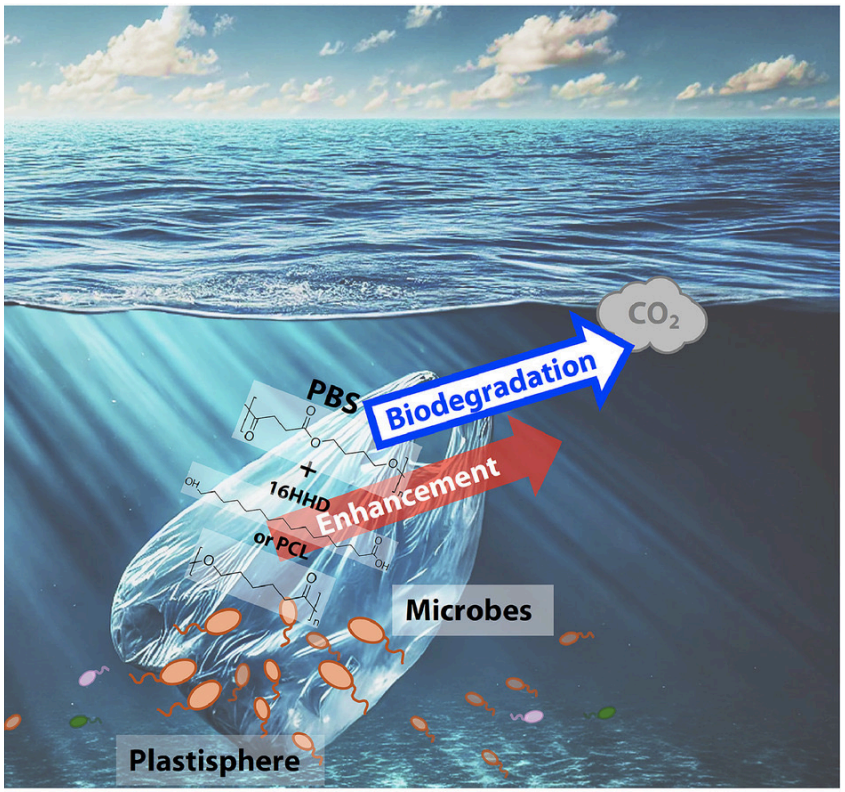






海洋生分解性プラスチックの研究開発

生分解性を付与させるには？　：化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い



Polymer Degradation and Stability 228 (2024) 110912

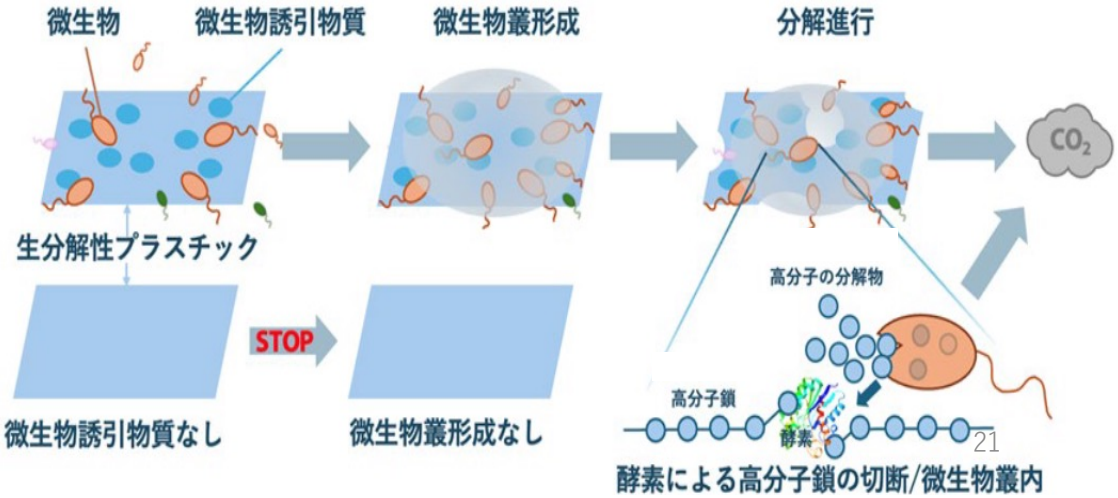
Contents lists available at ScienceDirect

Polymer Degradation and Stability

journal homepage: www.journals.elsevier.com/polymer-degradation-and-stability

Enhancing marine biodegradability of poly(butylene succinate) by blending with 16-hydroxyhexadecanoic acid and poly(ε-caprolactone)

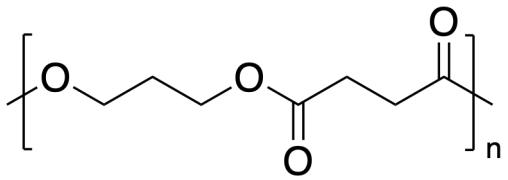
Miwa Suzuki [a], Shun'ichi Ishii [b], Minori Ota [c], Kohei Gonda [c], Hiroyuki Kashima [b], Takahiro Arai [d], Yuya Tachibana [a,c], Hiroyuki Takeno [a,c], Ken-ichi Kasuya [a,c,*]



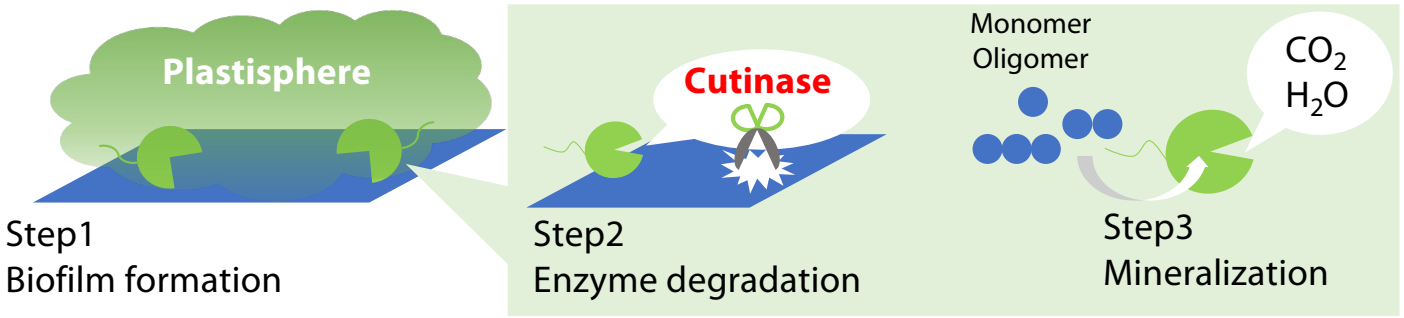
海洋生分解性プラスチックの研究開発

生分解性を付与させるには？ ：化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い

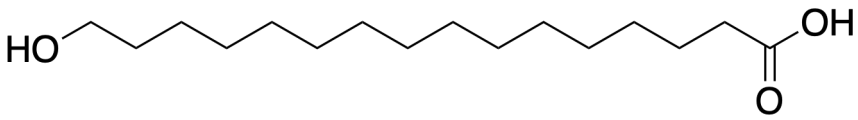
PBSuは、クチナーゼによって加水分解する



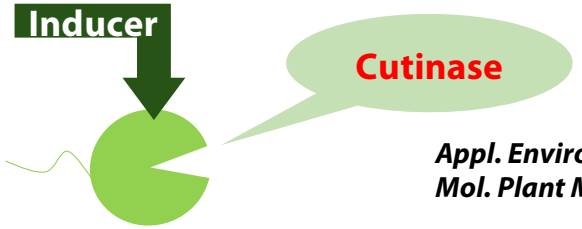
Poly(butylene succinate) (PBSu)



Low molecular mass compound that induces production of cutinase



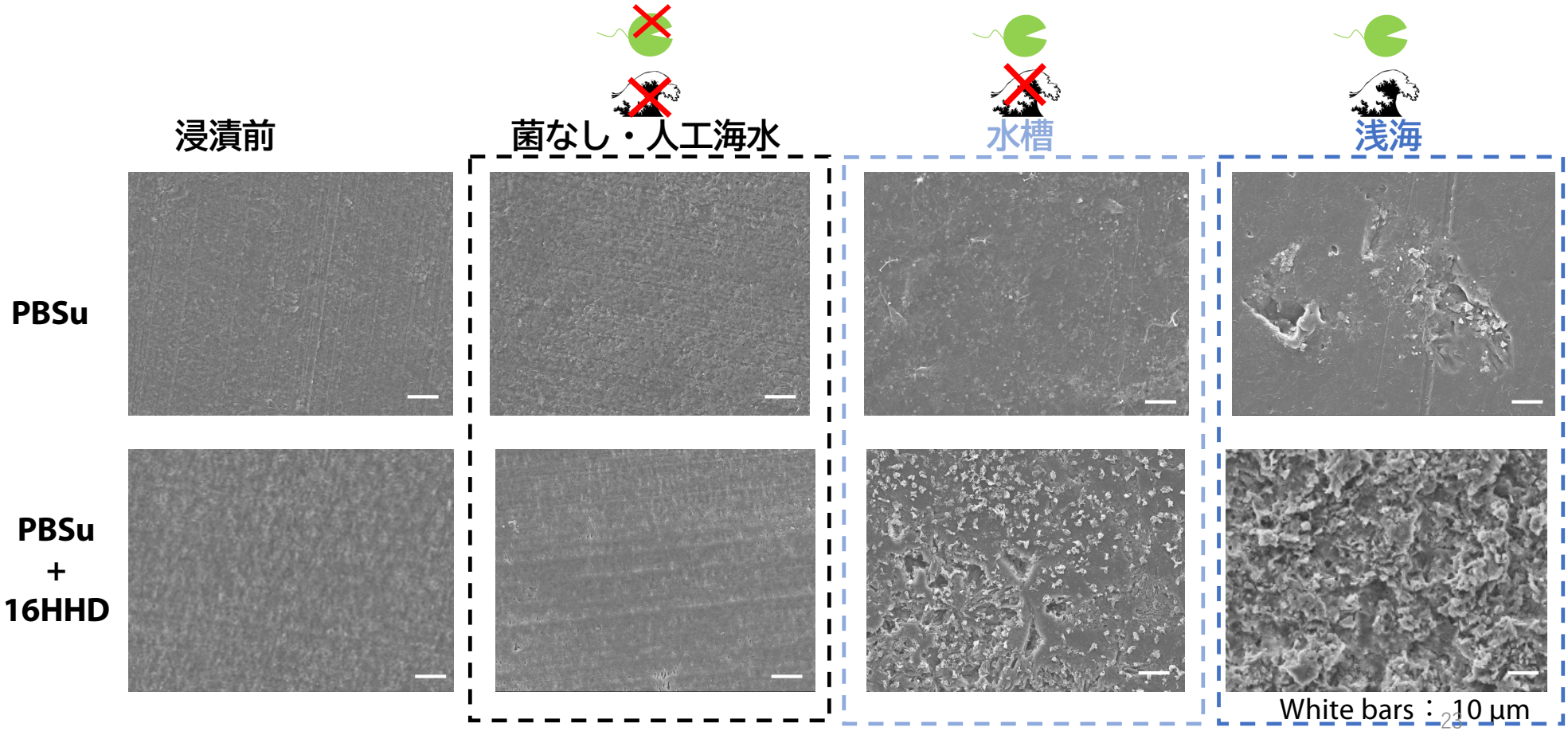
16-Hydroxyhexadecanonic acid (16HHD)



Appl. Environ. Microbial., 62.2 (1996): 456-460.
Mol. Plant Microbe Interact., 10.1 (1997): 21-29.

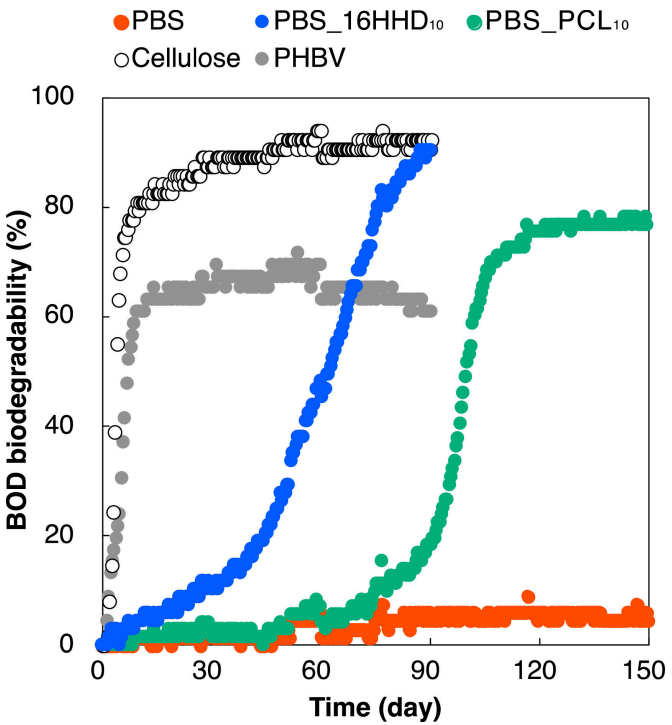
海洋生分解性プラスチックの研究開発

生分解性を付与させるには？ ：化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い

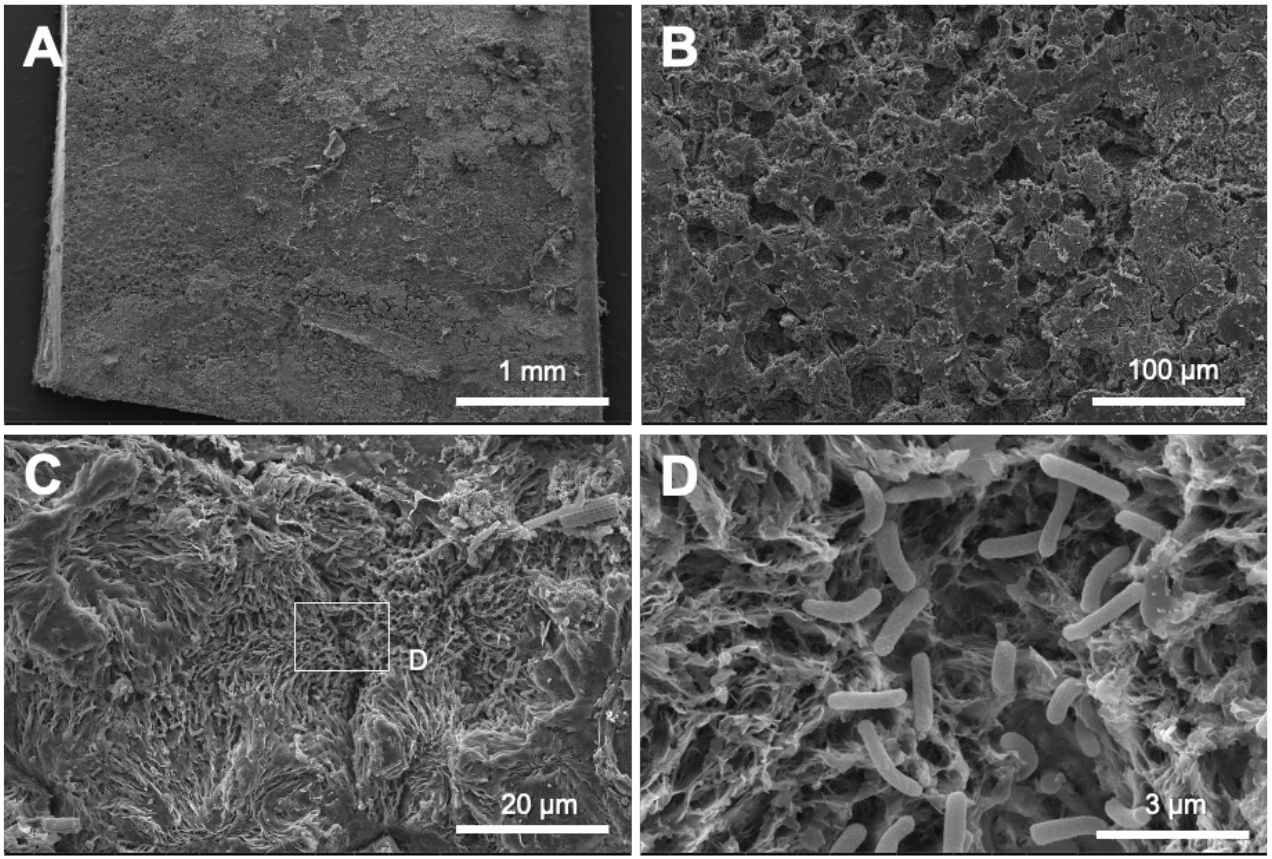


海洋生分解性プラスチックの研究開発

生分解性を付与させるには？ ：化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い



Suzuki et al. Polymer Deg Stab. 2025



Unpublished data

海洋生分解性プラスチックの研究開発

生分解性を付与させるには？ ：化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い

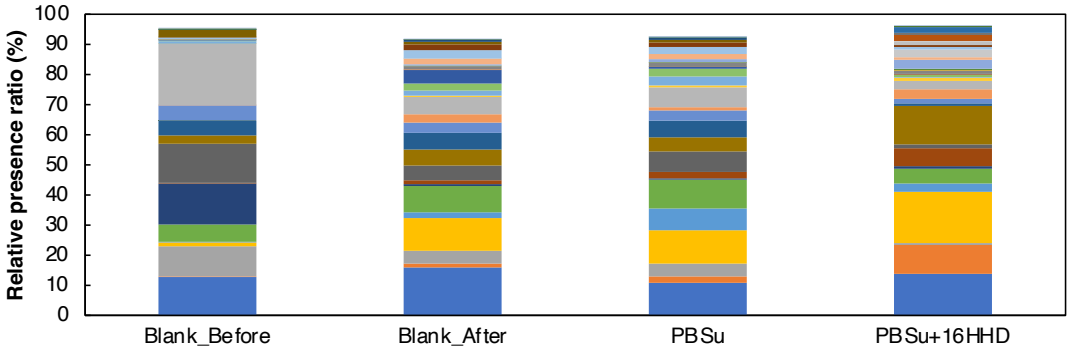


Fig. Relative abundance of microbial communities of each seawater after BOD biodegradability measurement at class levels based on amplicon sequence data for the V4 region of the 16S rRNA gene.

16HHDは、プラスティスフィアの組成を変えることができ、
海洋生分解性のないPBSを海洋で生分解させることができる。

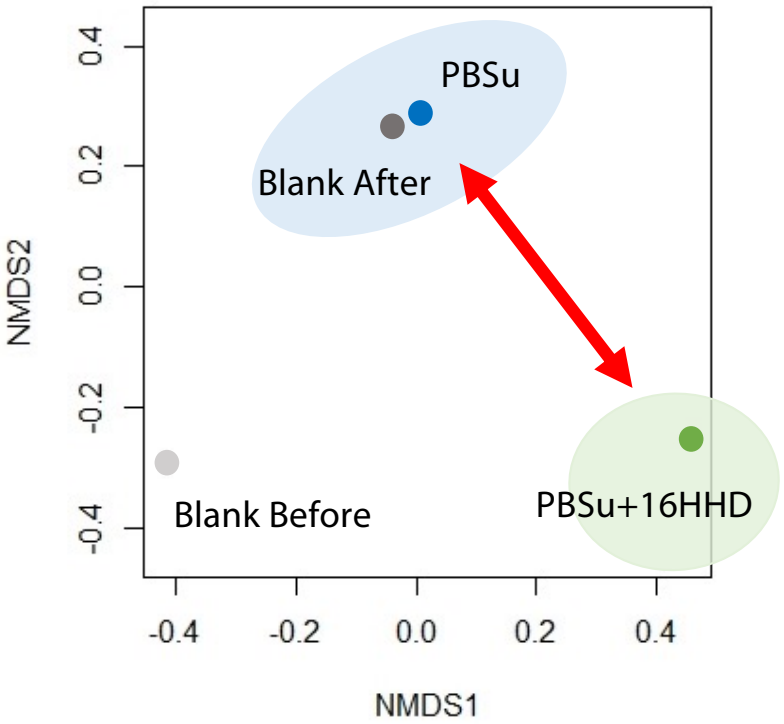


Fig. Non-metric multidimensional scaling(nMDS) ordination based on a Bray-Curtis dissimilarity index.

海洋生分解性プラスチックの研究開発

生分解性を付与させるには？ ：化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い

バイオオーギュメンテーション（芽胞）を活用した生分解性付与

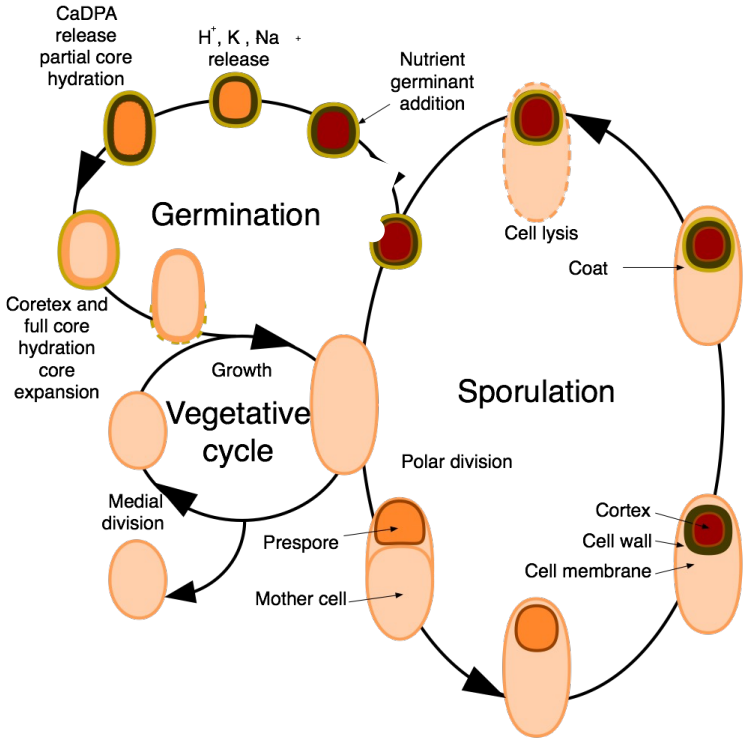
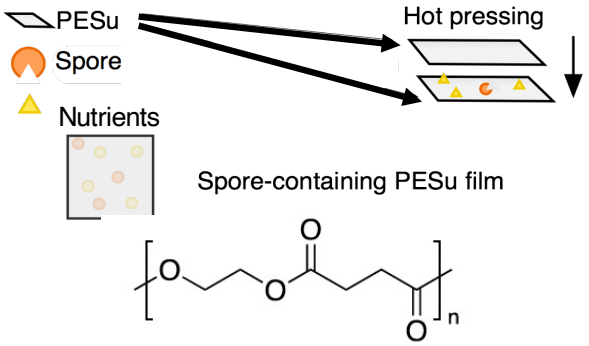


Fig. Life cycle of spore [129,130]. (Revised)

Characteristics of spore
- Heat resistance
- UV resistance
- Oxidation resistance
- Drying resistance
- Germination by water and nutrient



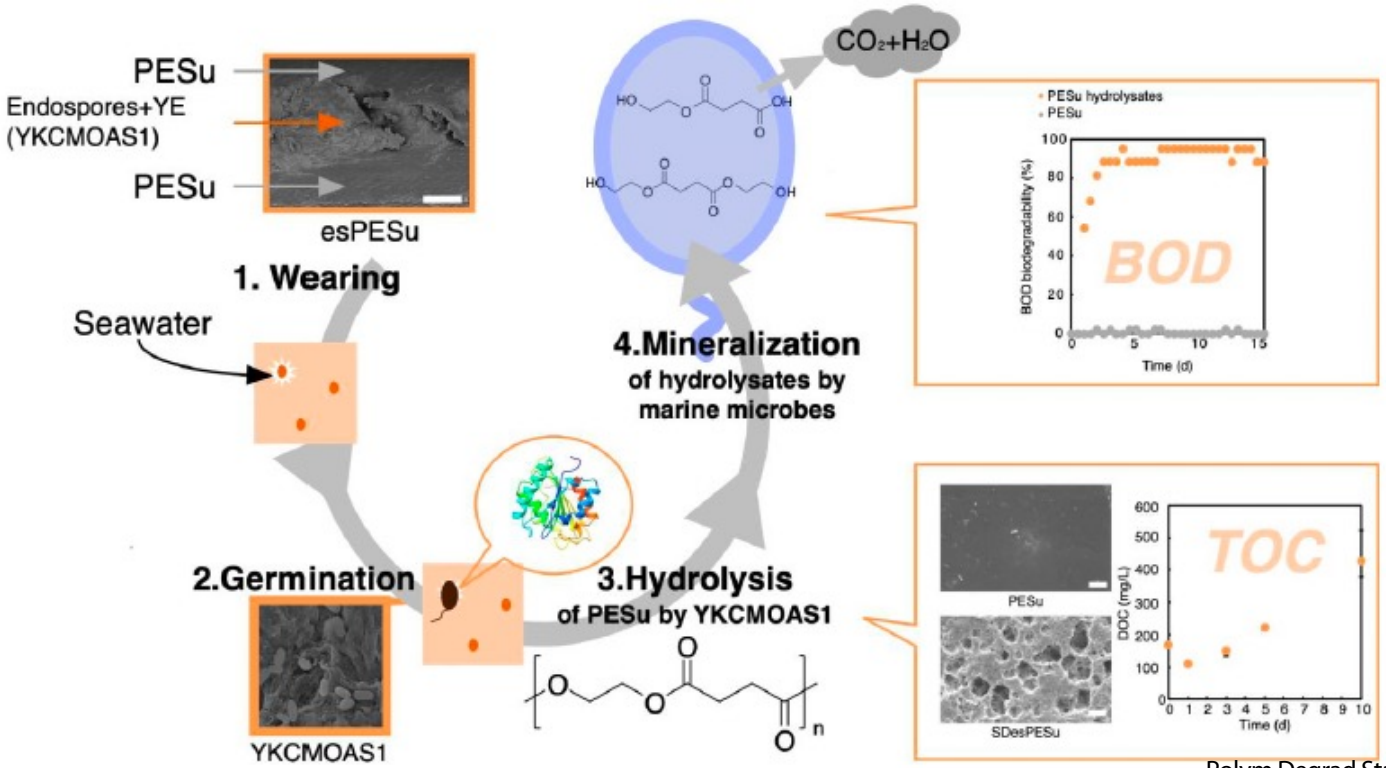
Poly(ethylene succinate), PESu

Polym Degrad Stab 2023, 215, 110446

海洋生分解性プラスチックの研究開発

生分解性を付与させるには？ ：化学合成脂肪族ポリエステルは、海では生分解し難い

バイオオーギュメンテーション（芽胞）を活用した生分解性付与

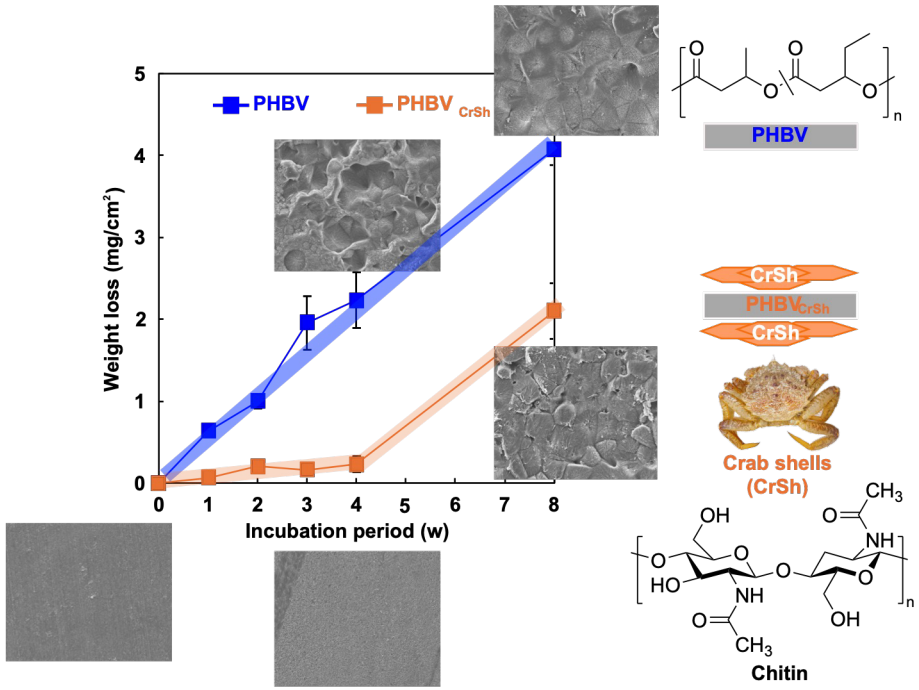


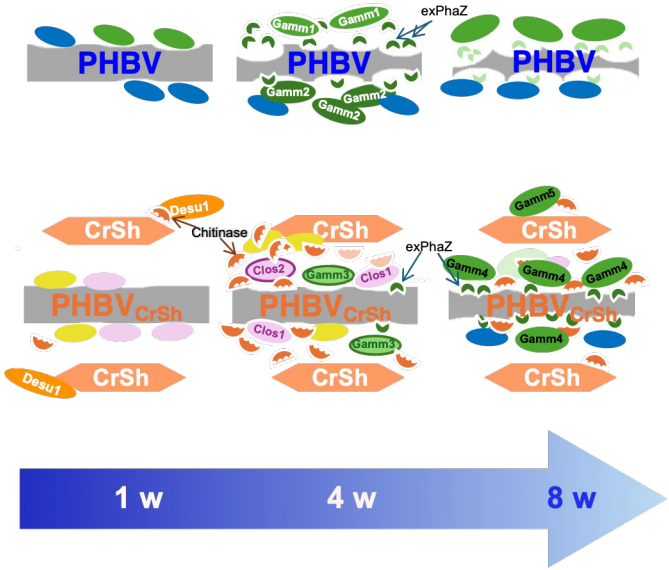
Polym Degrad Stab 2023, 215, 110446

海洋生分解性プラスチックの研究開発

生分解性を制御するには？ ：微生物ポリエステルは、海では生分解が速すぎる

カニ殻を使ったプラスティスフィア制御





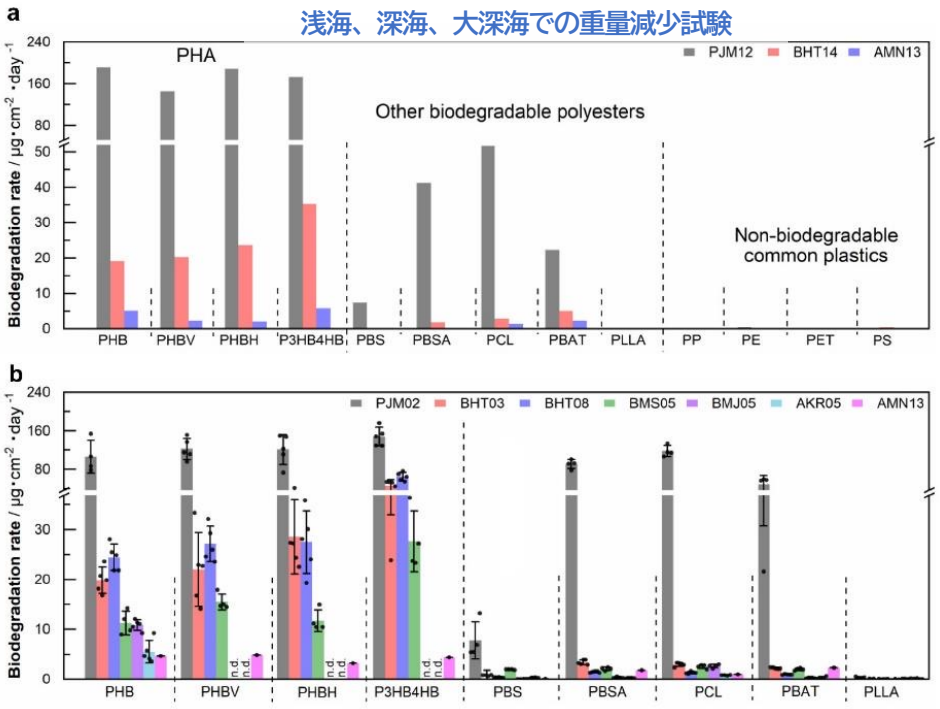
海洋生分解性プラスチックの研究開発

深海でも生分解する

生分解性プラスチックは深海でも分解することを実証

2024年1月26日（日本時間19時解禁）

浅海、深海、大深海での重量減少試験



nature communications

Article

https://doi.org/10.1038/s41467-023-44368-8

Microbial decomposition of biodegradable plastics on the deep-sea floor

Received: 10 December 2022

Accepted: 11 December 2023

Published online: 26 January 2024

Check for updates

Taku Omura[1], Noriyuki Isobe[2], Takamasa Miura[3], Shun'ichi Ishii[4], Mihoko Mori[3], Yoshiyuki Ishitani[4], Satoshi Kimura[1], Kohei Hidaka[3], Katsuya Komiyama[1], Miwa Suzuki[5], Ken-ichi Kasuya[5,6], Hidetaka Nomaki[4], Ryota Nakajima[7], Masashi Tsuchiya[7], Shinsuke Kawagucci[7], Hiroyuki Mori[8], Atsuyoshi Nakayama[9], Masao Kunioka[10], Kei Kamino[3] & Tadahisa Iwata[1]

ポリ乳酸と汎用樹脂は
深海では分解しない

ポリ乳酸を除く生分解性ポリ
エステルは、深海で分解する

Omura et al. 2024

- 新聞掲載多数
- Accesses 49K

Top 25 Life and Biological Sciences Articles of 2024

海洋生分解性プラスチックの研究開発

産業用途で実用性のある物性を有する海洋時限生分解性繊維の製造技術開発

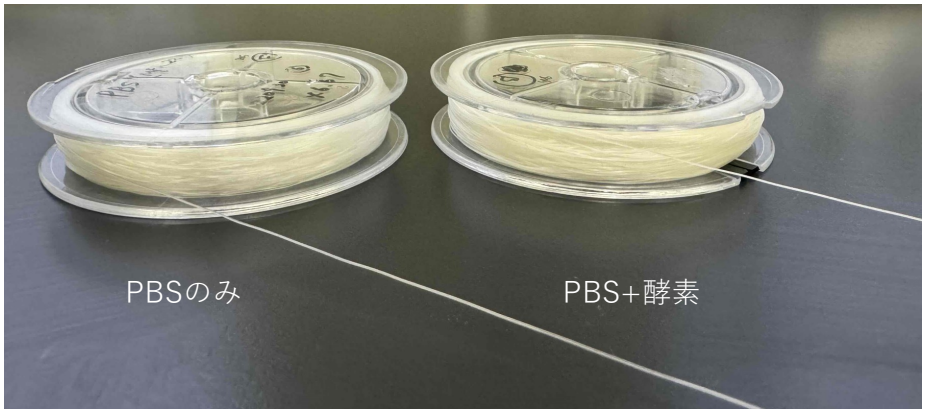
ニッケ satellite team

SI5

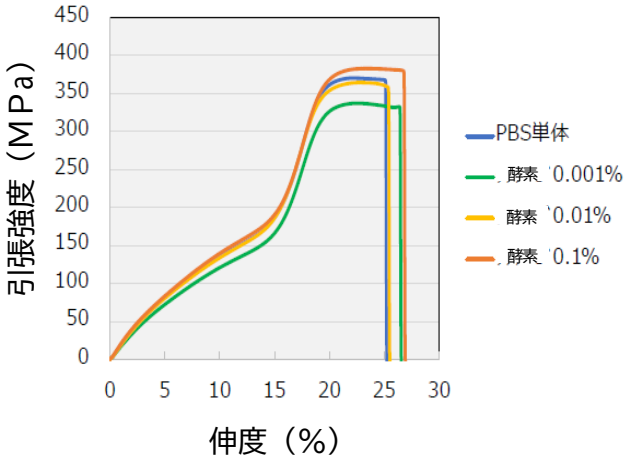
酵素内包生分解性繊維の社会実装を目指して

- 物性を保持したまま、材料への酵素包埋に成功。
- 酵素使用量の少量化により価格競争力の付与。

PBSu分解酵素を微粉化した上でPBSuに添加して紡糸し、物性を損なわずに繊維を得た。







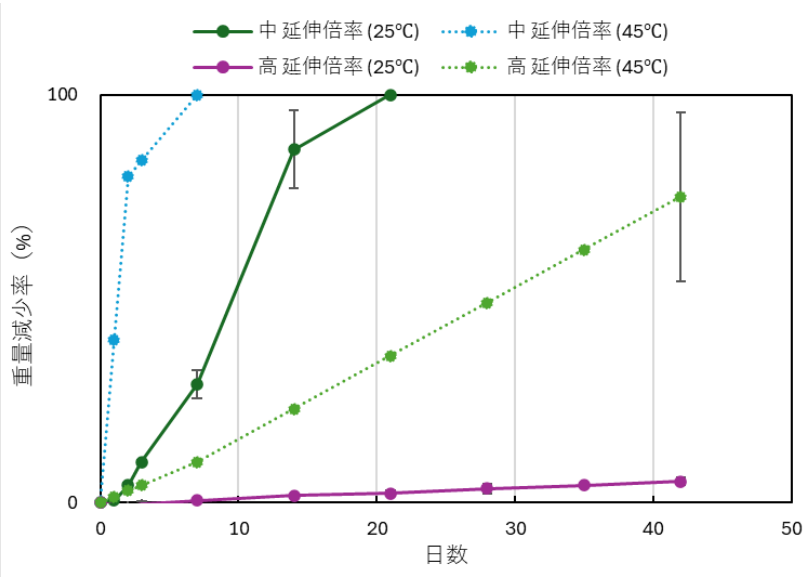
海洋生分解性プラスチックの研究開発

産業用途で実用性のある物性を有する海洋時限生分解性繊維の製造技術開発

ニッケ satellite team

SI5

酵素活性保持温度帯での繊維化を実現



PBSu/酵素 繊維の重量減少試験（25℃ vs 45℃）

酵素内包生分解性繊維の引張強度と生分解性を両立

- 酵素添加量の見極め、ポリマー中の酵素分散性向上、繊維からの酵素脱落抑制、酵素以外の生分解トリガー物質活用など**複数の施策効果検証を進めている。**
- **酵素添加量を増加**することによって高延伸繊維での短期的分解を確認。



PBS/酵素 繊維の外観

海洋生分解性プラスチックの研究開発

産業用途で実用性のある物性を有する海洋時限生分解性繊維の製造技術開発

ニッケ satellite team

SI5

釣果：40 cm / 1 kg 真鯛





釣り糸

漁網

産業資材全般

研究開発課題：基本ニーズと海洋分解性の両立

事業化課題：コスト削減、量産体制、啓発活動、法規制・ルールメイキング

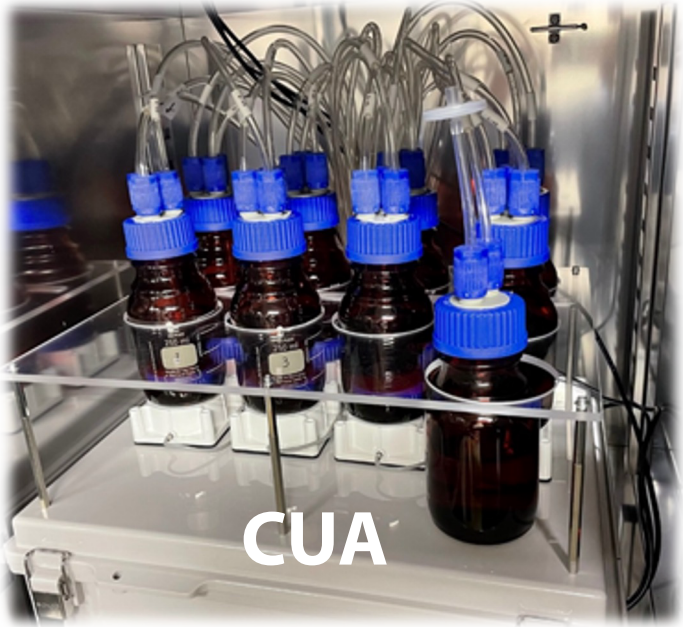
海洋生分解性プラスチックの研究開発

- 海洋生分解性プラスチックの評価装置(CUA)開発

SI5

Carlit

国立大学法人 群馬大学 GUNMA UNIVERSITY



フロー式を採用した正確な生分解度測定が可能な分析システムの開発と、海洋生分解性を有する新規材料の探索。

- 従来の評価装置に比べ、より実環境に近い条件下で培養、測定が可能。
- 検体量を増やせるため、装置起因の測定誤差を低減し、データ精度を向上。
- 測定工程の大半を自動化し、省人化により多サンプルの同時評価が可能。
- 従来装置と同等の評価データが取得できることを比較試験にて確認済。
- 評価方法および装置について、共同で特許出願済。

謝辞

国立大学法人 群馬大学 GUNMA UNIVERSITY



Prof Suzuki
(Plastic analysis & BI)



Prof Soulenthone
(Plastic analysis & BI)

Prof Tachibana
Kohei Gonda
Moeka Noguchi
Minori Ota

JAMSTEC 国立研究開発法人 海洋研究開発機構
JAPAN AGENCY FOR MARINE-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY



Dr Ishii
(DNA/RNA & BI)



Dr Kashima
(Marine test)

Dr Nomaki
(Chief Scientist of research vessel)
Dr Isobe (On board lab work)
Dr Ishitani (BI)
Liao Fangyuan (BI)
Yuka Uenaka (BI)
Tomoka Fukumi (DNA/RNA)
Yuki Sakao (DNA/RNA)
Misato Tsukatani (DNA/RNA)
Eriko Masuda (Data analysis)

株式会社 マリン・ワーク・ジャパン MARINE WORKS JAPAN LTD.

Katsuyuki Uematsu (FIB-SEM)
Takahiro Arai (SEM)

京都大学 KYOTO UNIVERSITY

Prof Numata (Conceptualization)

UTokyo

Prof Iwata (Plastic analysis)

京都府

Mr Itani
(Sample placement in Shallow waters)

MOONSHOT RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM

JST MIRAI COI-NEXT

JST共創の場形成支援プログラム
ゼロカーボンバイオ産業創出による資源循環共創拠点