

『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』  
「ムーンショット型研究開発事業」(NEDO)の採択  
～クリーンアースに向けたバイオプラスチックの開発等について～

---

学長特別補佐

群馬大学大学院理工学府教授

群馬大学食健康科学教育研究センター長

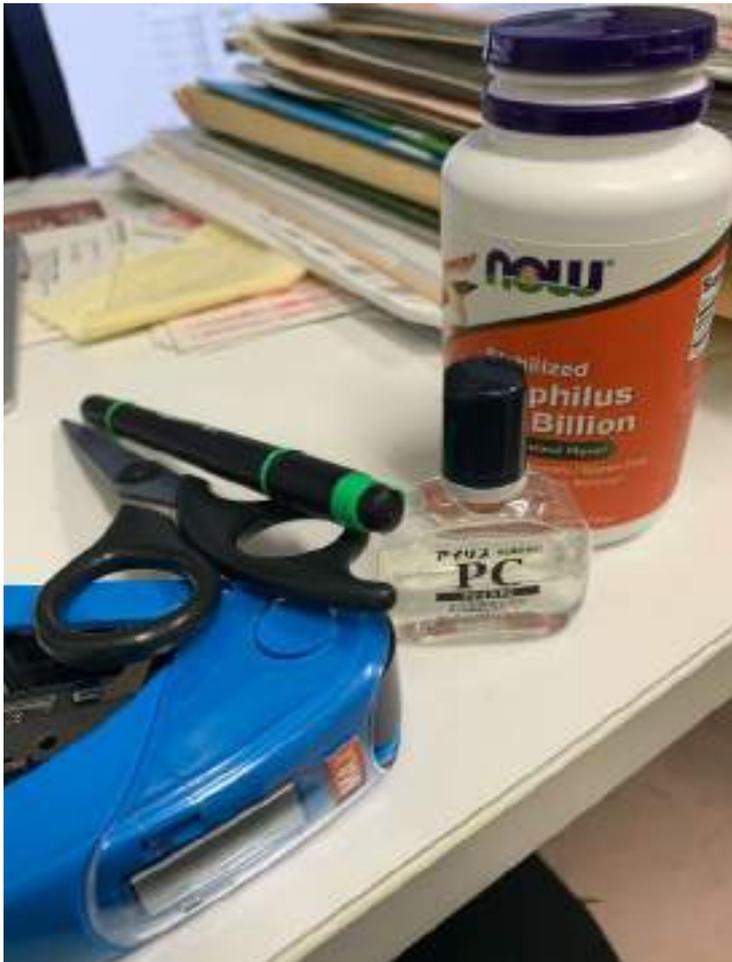
粕谷健一

発表資料



群馬大学  
GUNMA UNIVERSITY

# プラスチックってどんなところで使われている？



- 1 家庭・台所用品とプラスチック
- 2 食品容器・包装とプラスチック
- 3 文具・おもちゃ類とプラスチック
- 4 電気・電子製品とプラスチック
- 5 情報社会とプラスチック
- 6 スポーツ・レジャー用品とプラスチック
- 7 住宅・建材・家具とプラスチック
- 8 医療とプラスチック
- 9 乗物とプラスチック
- 10 農・水産業とプラスチック

# 海洋プラスチック問題

---

海洋に流れ込む**プラスチックゴミ**は、あと30年すると海洋中で、**魚の総重量**を超える！



プラスチックは安定で分解されないうえにどんどん海洋に蓄積されている。

エレンマッカーサー財団  
世界経済フォーラム2016

# 海洋プラスチックが引き起こす問題



Fig. 1. Plastic pollution in Kuju beach (Shimoda).

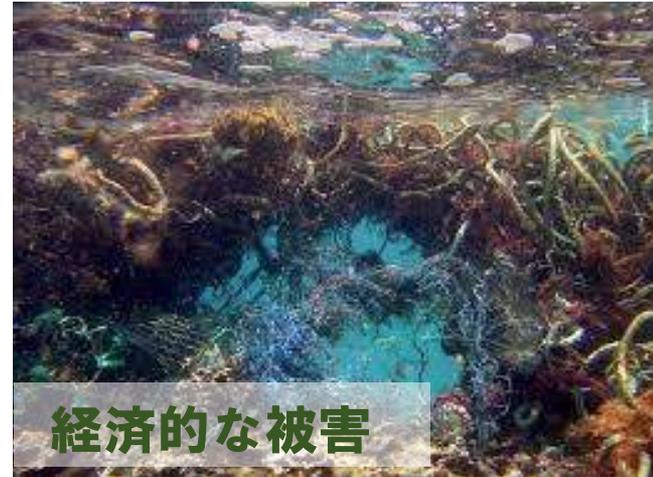


Fig. 2. Derelict fishing gear in coral reef.



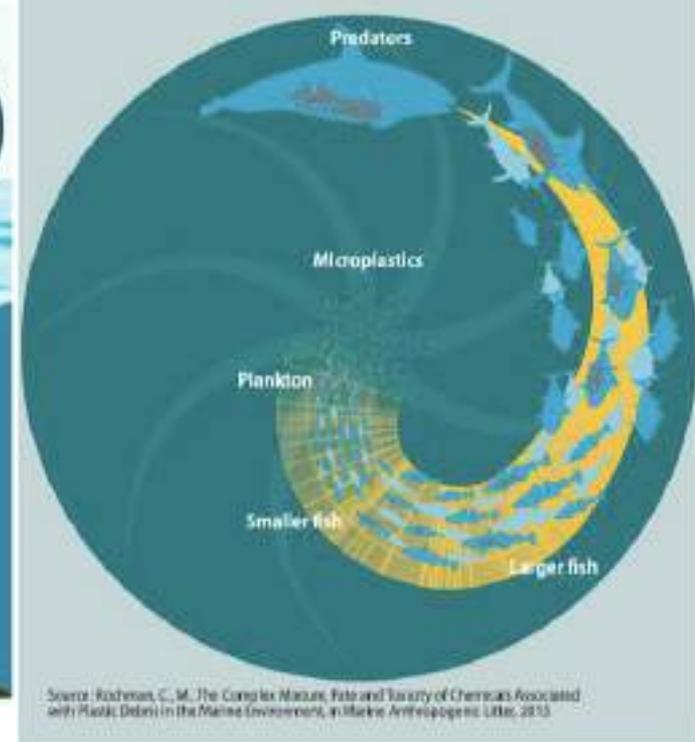
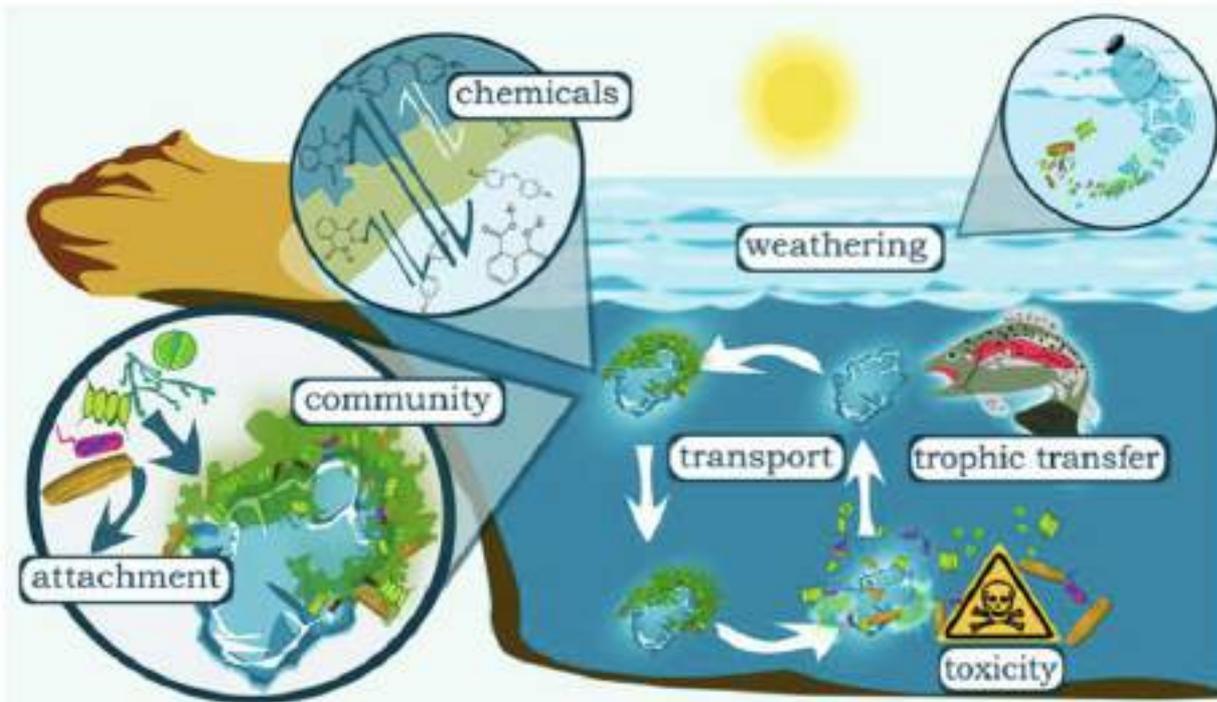
Fig. 3. ストローが鼻に刺さった亀  
20150810にテキサスA&M大学研究チームによって  
Youtubeに投稿された動画より

M. Suzuki Dr. thesis, Gunma Univ, 2018

# 海洋プラスチック問題は、 ヒトの生活も脅かし始めている……

プラスチックは汚染物質の運び屋となる

海洋生物に蓄積するプラスチック

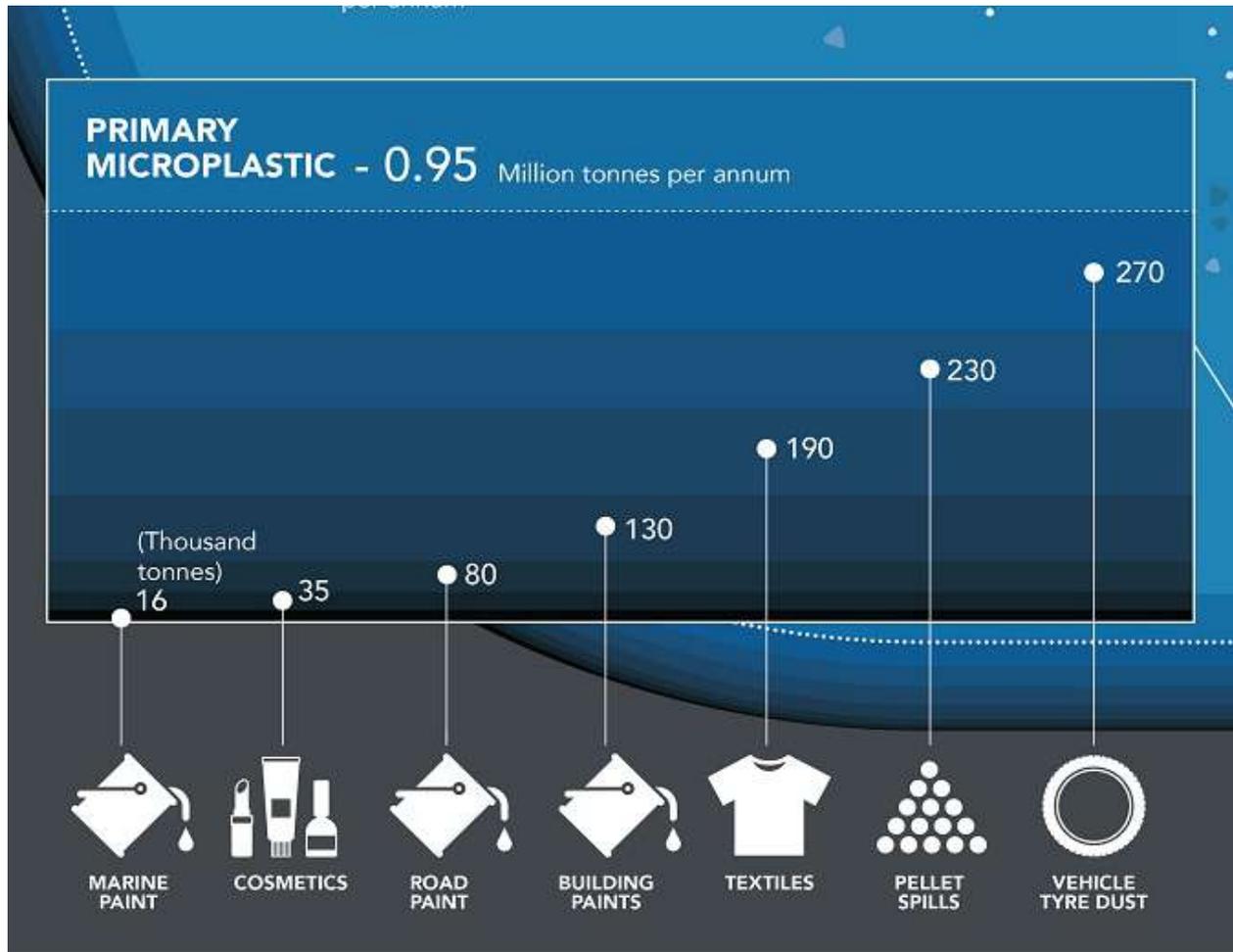


Environ Sci Tech Lett, 2017, 4, 258



食卓へ……

# 海洋のマイクロプラスチックは、どこから来る（発生源）



一部改変

<http://www.eunomia.co.uk/reports-tools/plastics-in-the-marine-environment/>

# 大型プラスチックゴミは、何が原因？（発生源）

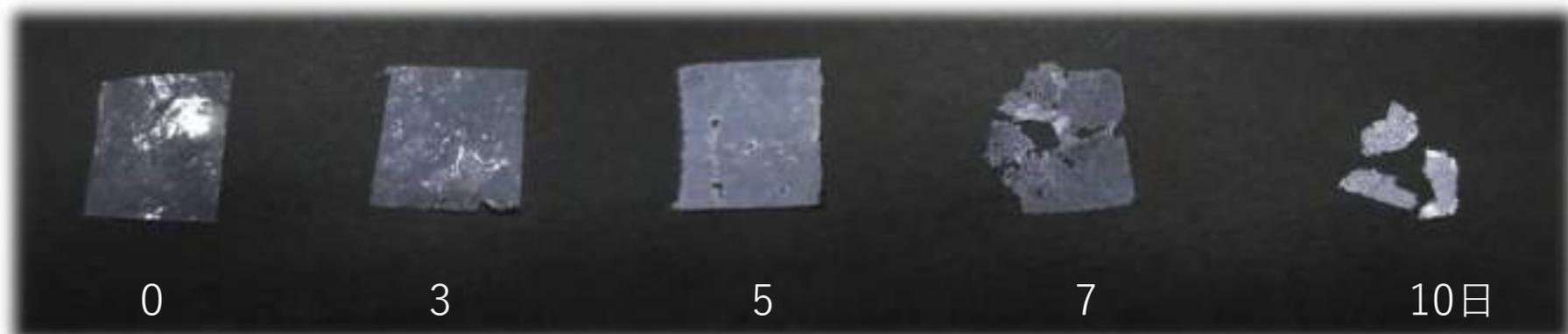
Macrolitter	Tonnes as Macrolitter			
Fishery	<b>Above 1000</b>	n.a	<i>dumped,lost</i>	PA, EPS, PP
Sewage	<b>460</b>	n.a	<i>drain</i>	various
Plastic bags	<b>60</b>	n.a	<i>river,sea</i>	PE, LDPE, PET
Other	n.a.	n.a		



## ALDFG

Abandoned Lost or otherwise Discarded Fishing Gear

# 生分解プラスチックとは

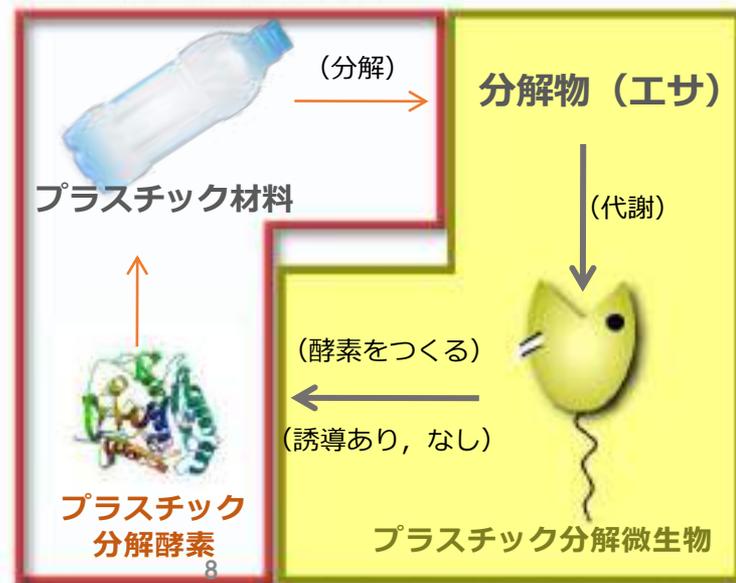


微生物によって、二酸化炭素と水に完全分解する材料。

完全に有機リサイクル可能な材料。

酸化分解型プラスチックは、EUでは使用禁止に。マイクロプラスチック源になるという理由で。

生分解経路I (化学反応)



生分解経路II (生物応答)

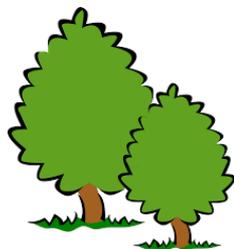
# 生分解プラスチックとは

環境に優しい2つのタイプの異なるプラスチック

→ バイオマスプラスチック と 生分解性プラスチック

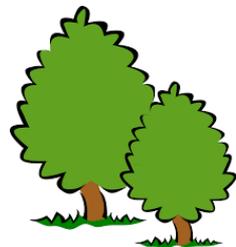
→ この2つをまとめて、バイオプラスチックと呼んでいます。

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。

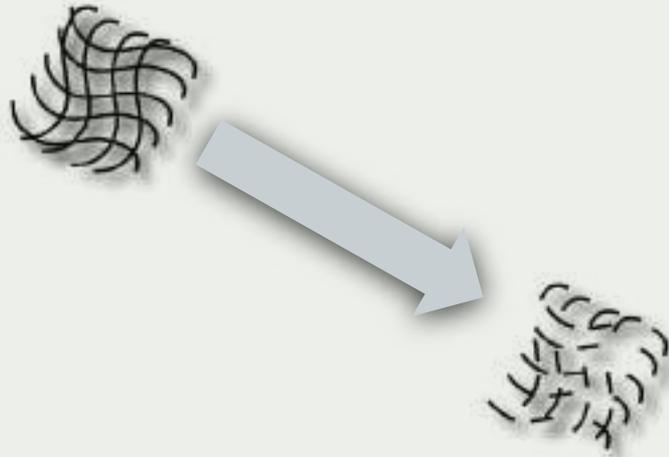
# 生分解性プラスチックは、海ゴミ問題を解決できるか？

## 生分解性プラスチックの問題点

---

### 生分解性プラスチックは

使用中：高い強度  
安定性



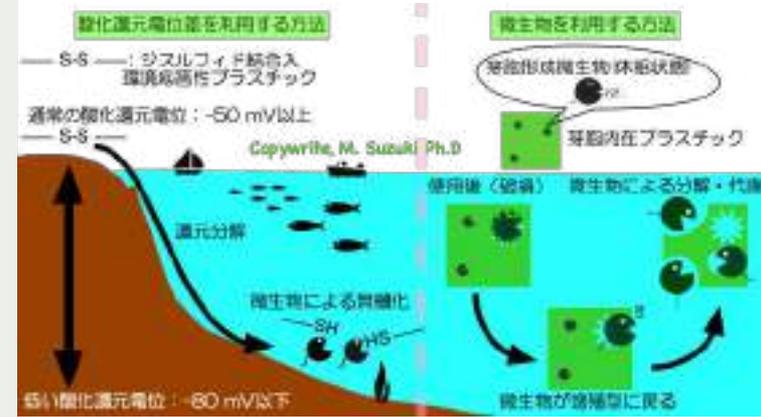
使用后：速やかな分解  
分解性

生分解性プラスチックにおける、  
使用中の高い強度と使用後の速やかな分解の両立は困難。  
生分解性プラスチックでは、材料寿命制御が難しい。

生分解性プラスチック開発におけるジレンマ

# 材料寿命制御の実現のための仕組み

- 分解**開始時期**を制御するための仕組み
  - 分解開始する仕掛け（トリガー）の導入
    - 環境を利用する（酸素濃度の利用）
    - 生物の仕組みを利用する
- 分解**速度**を制御するための仕組み
  - 環境微生物叢（バイオフィルム）の制御



実際はこれらを海洋環境中で実現する必要があります。

海洋は土壌や淡水と比較すると、  
低温、塩が存在する、微生物が極端に少ない  
など生分解に不利な条件が多い。



# ジレンマを解消した生分解性プラスチックの開発

2018年8月20日 日本経済新聞

## 生分解性プラ 海中でも分解

海に漂着するプラスチックが問題になるなか、海中など自然環境に流出しても分解する生分解性プラスチックの研究開発が進んでいる。群馬大学は酸素が少ない環境でも壊れるように工夫し、海底でも分解できるようにした。東京大学は微生物にプラスチックを作らせ、化粧品や印刷剤にも使えるようにした。海に流出しやすい食品袋や食品容器など日用品向けに応用を目指し、プラスチックゴミによる海洋汚染の防止に役立てる。

海に捨てられたレジ袋で、海底で分解を促す技術を開発した。酸素が少  
ない嫌気性と呼吸条件で  
海底に沈む。国連環境計  
画(UNEP)によると、  
世界で年間約1300万  
トンのプラスチックが海  
に流出しているという。  
群馬大学の船谷健一教  
授らは耐久性を向上し  
少ない酸素を模した水の

海で分解する生分解性プラスチックの開発が進む



群馬大 少ない酸素で機能  
東大 微生物の合成利用

### 生分解性プラスチック

#### 使い捨て容器などに

微生物などの働きで土の中などの自然環境で分解が進むプラスチック。分解や処理の手間が必要ない。雑草の生育防止や保湿に使う農業用のフィルムなどで活用されているほか、使い捨ての食品容器などでも応用が進む。

課題は耐久性とコストだ。分解しやすいため使用中に壊れてしまう恐れがある。生産コストは数倍になることもされる。

2017年の生分解性プラスチックの世界生産能力は88万トン。プラスチック全体に占める割合は1%未満にとどまる。22年には環境意識の高まりから、17年比で23%増の108万トンの生産が見込まれている。

中に入れたと見え、15日、チレンなどのプラスチック後に約7割で分解が約ま  
った。船谷教授は「深海  
などの限られた環境で分  
解を促せる」と説明して  
いる。

生分解性プラスチック  
が難しくなりつつある研  
究の課題でもある耐久性も  
向上し用途が広がる。今  
秋、レジ袋に使うポリエ  
タ



# 酸素の濃度に応じて分解するプラスチック

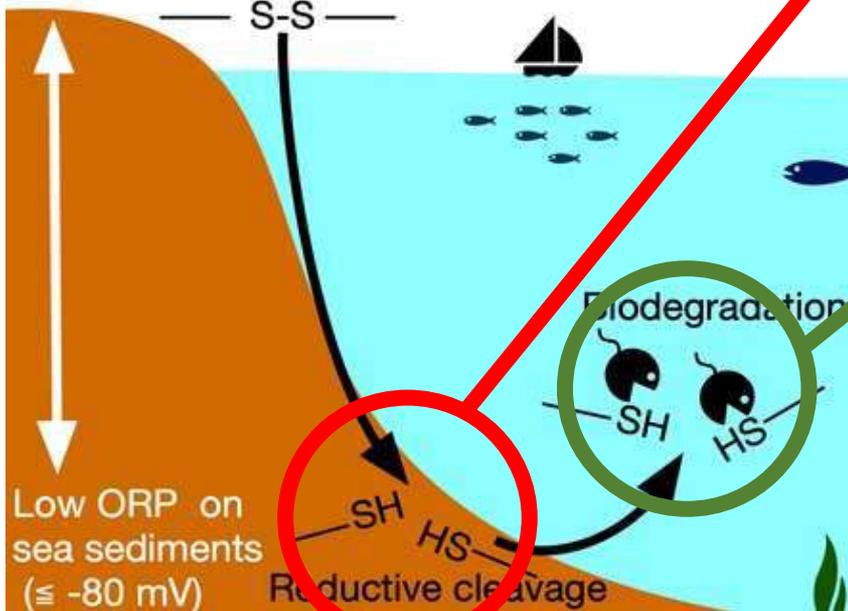
環境をトリガーとする分解開始：環境刺激応答

Environmental biodegradation control methods

Oxidation-reduction potential (ORP)

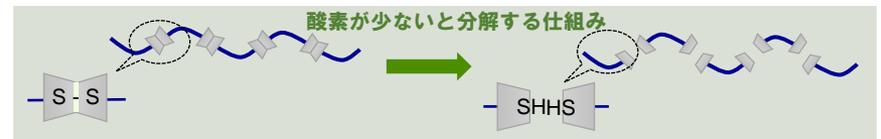
— S-S — : Plastics with disulfide bonds

High ORP in seawater ( $\cong -50$  mV)



プラスチック（漁網）が海底にタッチしてしばらくすると、分解が始まる（環境刺激応答）。

その後、微生物による完全に食べられる。

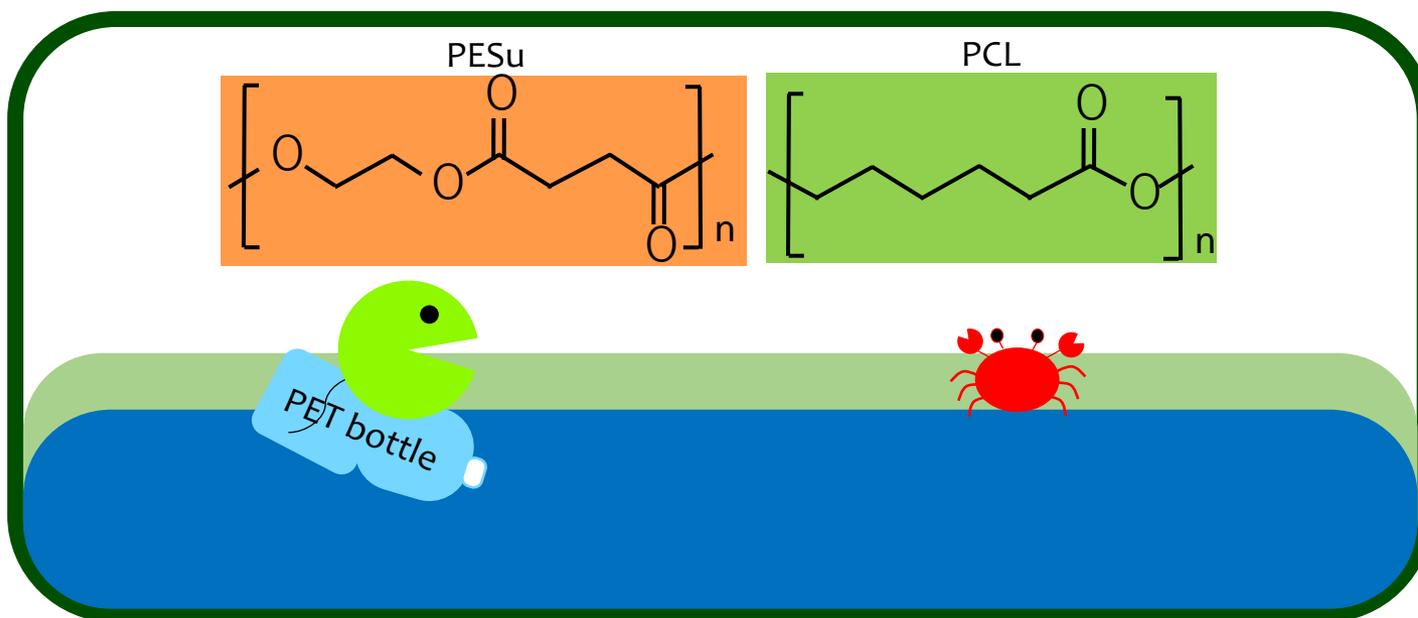


生物の仕組みを使う方法：生物刺激応答

# 微生物をプラスチックの周りに集めて、分解させる。

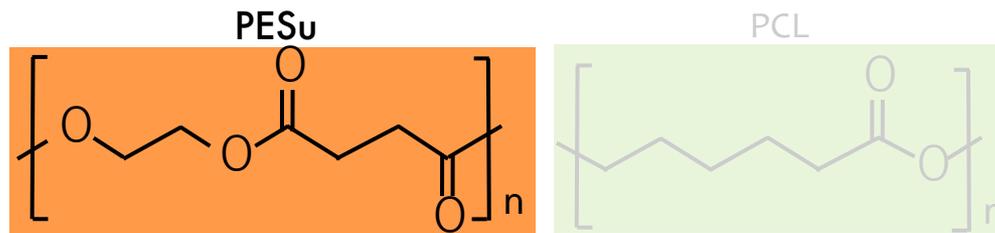
海で分解しない

海でよく分解する

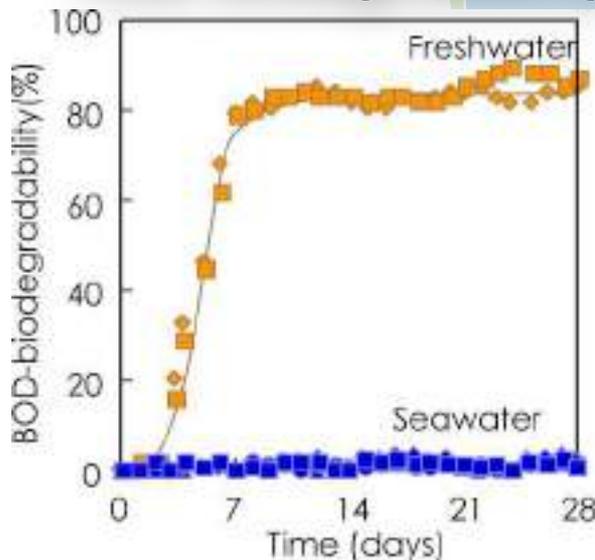


*Polym Degrad Stabil* 149, 1-8, 2018.

# 微生物をプラスチックの周りに集めて，分解させる。



## PESu Biodegradability

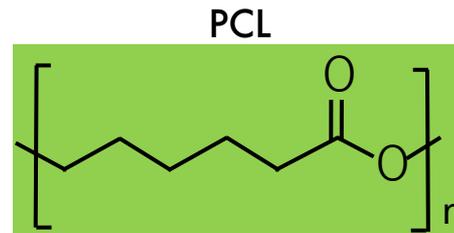
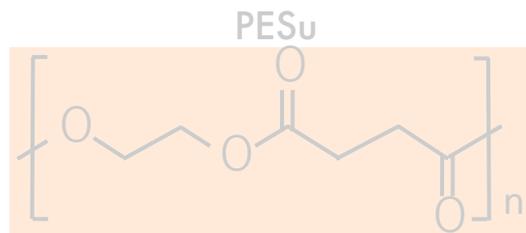


## PESu

- 海洋ではまったく分解しない。
- いろいろな酵素で分解される。PCLの分解酵素でも分解される。

Polym Degrad Stabil 149, 1-8, 2018.

# 微生物をプラスチックの周りに集めて、分解させる。



Oligomer, dimer, monomer



分解酵素

土壤中

PCL

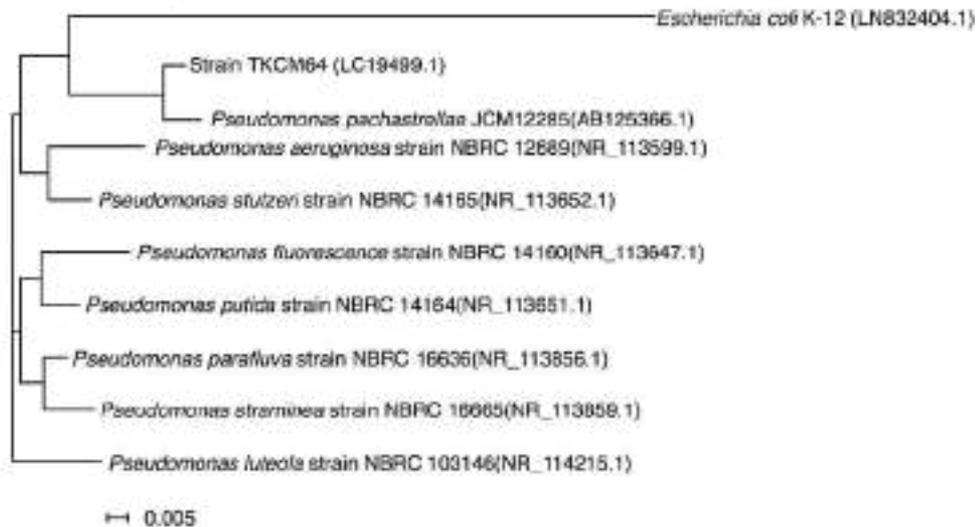
- 土壤中よく分解し，海水中でもよく分解する。
- 微生物に対して，分解酵素を生産させることができる。（誘導できる）

Polym Degrad Stabil 149, 1-8, 2018.

# 微生物をプラスチックの周りに集めて，分解させる。

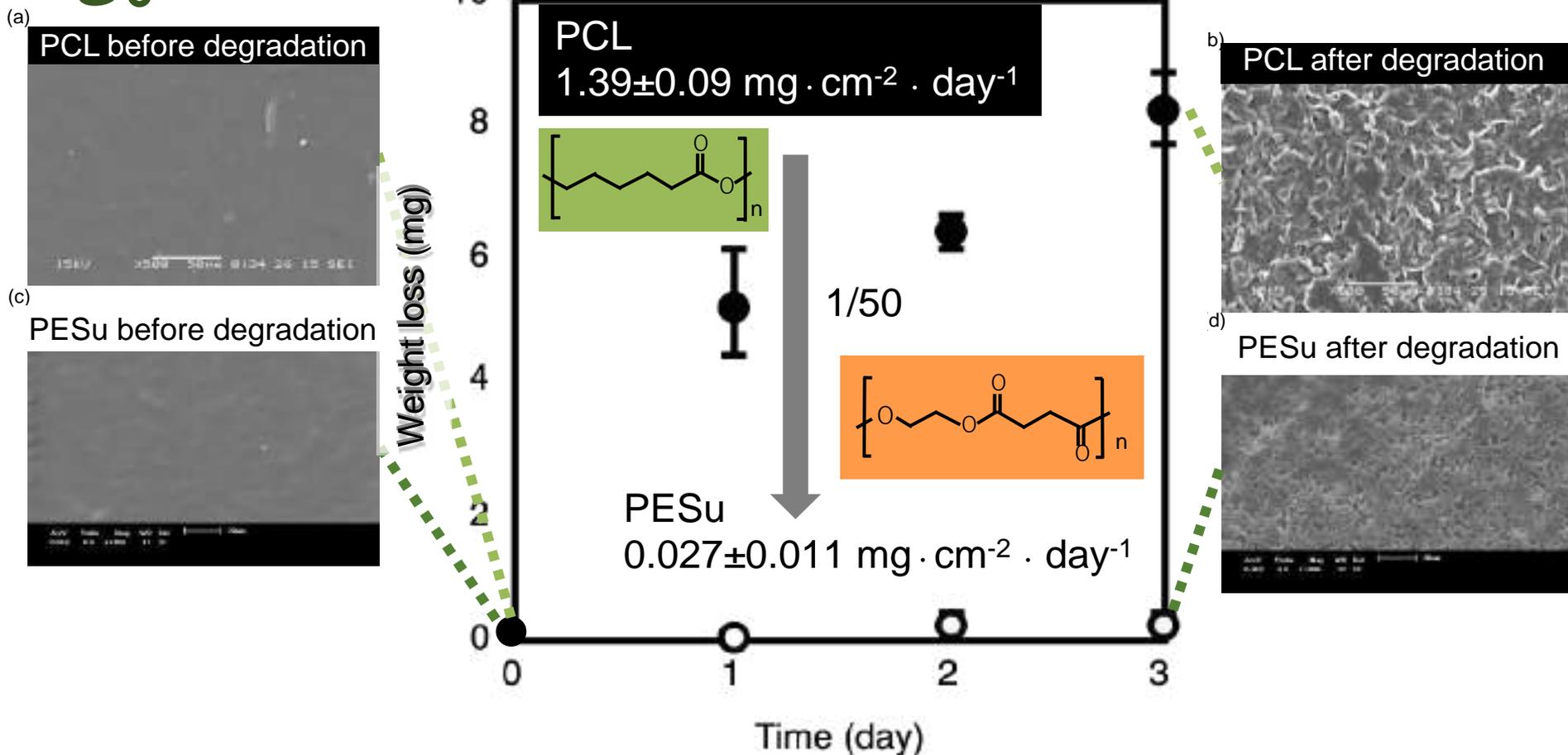


分解菌TKC64の電子顕微鏡写真



遺伝系統学的に分解菌TKC64は**海洋性細菌**であった。

# 微生物をプラスチックの周りに集めて、分解させる。



電子顕微鏡写真から、TKCM64は、海水中でPCLをよく分解し、さらにPESuも分解することがわかった。

# 微生物をプラスチックの周りに集めて，分解させる。

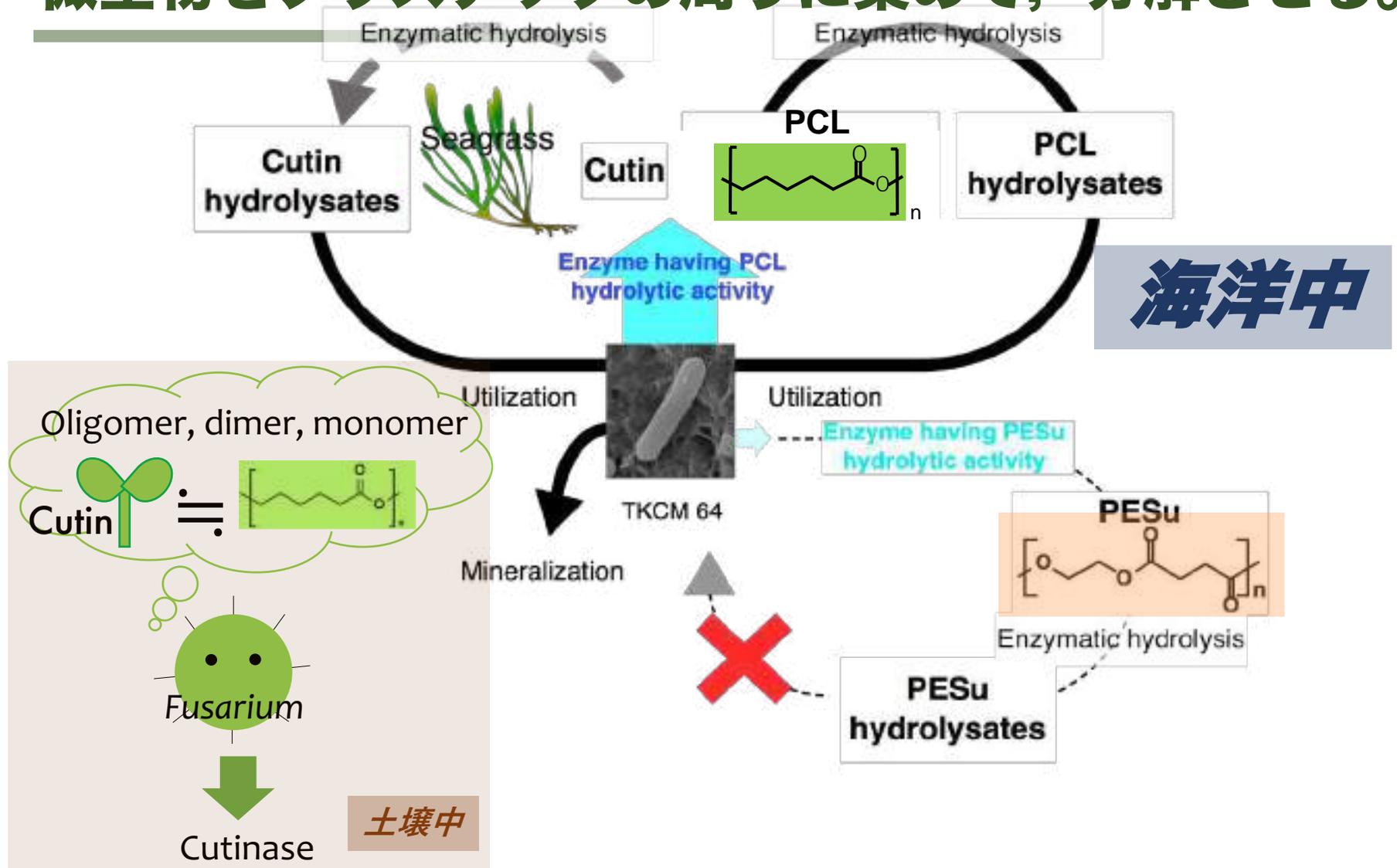
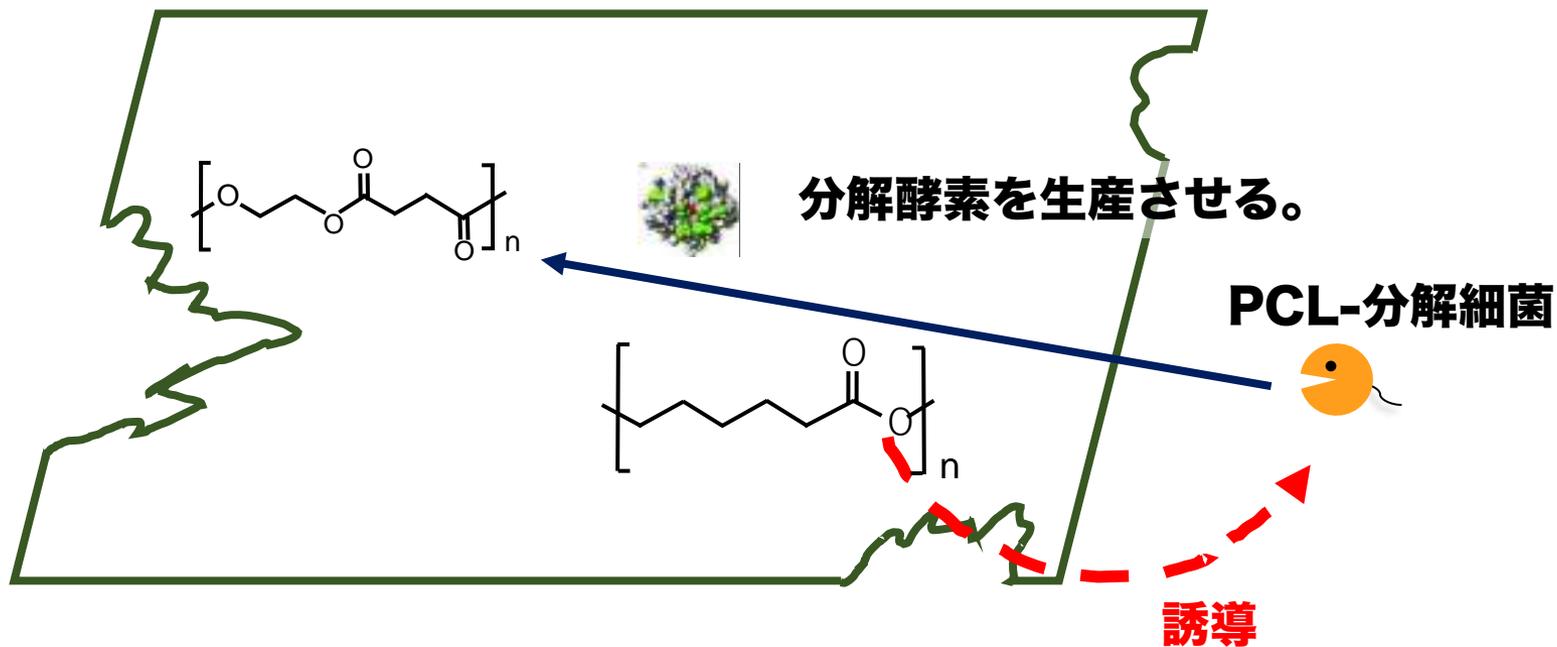


Fig. The inference of PCL and PESu-degrading mechanism in coastal environments

# 微生物をプラスチックの周りに集めて，分解させる。

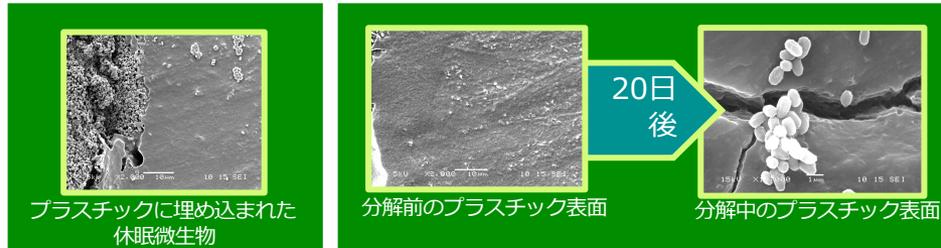


生物の仕組みを使って，海洋で分解しないPESuを分解させる。  
分解菌を集めて，分解酵素を生産させる。

# 微生物の力で、安定して海洋で分解するプラスチック

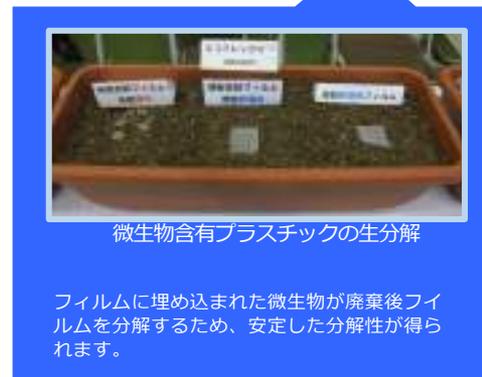
## 微生物をトリガーとする分解開始

### 微生物含有生分解性プラスチック（特許登録6310843）



海洋は微生物の数が極端に少ないため、土壌や淡水と比較して生分解性プラスチックの分解が遅い、あるいは分解が始まらない。

→ これを解消する技術。



本成果は、NHKクローズアップ現代（2015,10/29）、NHK world, Radio Japan Focus, Technology & Business（2015,11/25, on demand）で取り上げられました。

# 微生物の力で、安定して海洋で分解するプラスチック

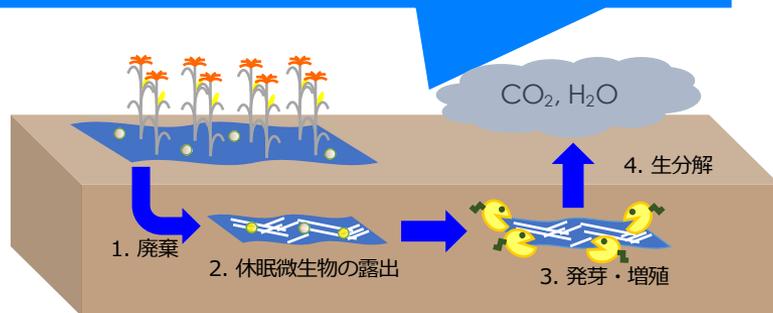
## 微生物をトリガーとする分解開始

### 環境にやさしい微生物含有生分解性プラスチック

微生物含有生分解プラスチックは

1. 使用後の土壌へのすき込み
2. プラスチック中の休眠微生物の覚醒
3. 微生物の増殖
4. 増殖した微生物によるフィルムの分解

というサイクルで環境中で完全に水と二酸化炭素に分解されます。



### 用途

微生物含有生分解性プラスチックは、農業用具、漁業用具などの分野での利用が見込まれます。



# SDGsを実現するための取り組み

2015国連サミットで採択。持続可能で多様性と包摂性のある社会の実現のための国際目標

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS  
17 GOALS TO TRANSFORM OUR WORLD



G20大阪，日本のリーダーシップ  
海洋プラスチックゴミ解決  
代替素材等に関するイノベーション

海洋生分解性プラスチックの開発に期待  
産官学あげて取り組んでいます。



持続可能な未来のために



# SDGsを実現するための取り組み



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

令和元年 5月

		2019年	2020年	2021~25年	~2030年	~2050年
<b>実用化技術の社会実装 (MBBP1.0)</b>  PHBH、PBS等  (主な用途例) レジ袋・ごみ袋 ストロー・カトラリー 洗剤用ボトル 農業用マルチフィルム 等	海洋生分解機能に係る信頼性向上	ISO策定体制構築	課題整理	ISO提案【産業技術総合研究所、日本バイオプラスチック協会 (JBPA)】 生分解機能の評価の充実にに向けた試験研究【新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 等】		
	量産化に向けた生産設備拡大、コスト改善	量産能力の増強			生分解性プラスチック製造のバイオプロセスの改善【NEDO等】	
	需要開拓	国内外の出展、ビジネスマッチングの促進【クリーン・オアシス・マテリアル・アライアンス (CLOMA)】			洗剤用ボトル 農業用マルチフィルム	
	識別表示、分別回収・処理に係る検討	レジ袋 ごみ袋	ストロー カトラリー	グリーン公共調達	識別表示の整備【JBPA】	分別回収・処理に係る検討
<b>複合素材の技術開発による多用途化 (MBBP2.0)</b>  不織布(マスク等)、発泡成形品(緩衝材等)等				セルロースナノファイバー等のコスト削減、複合方法の加工性の向上【NEDO等】	マスク 梱包用緩衝材	
<b>革新的素材の研究開発 (MBBP3.0)</b>  肥料の被覆材 漁具(漁業・養殖業用資材等)等			革新的素材の創出に向けた海洋生分解性メカニズムの解明【NEDO等】	生分解コントロール機能の付与	海洋生分解性メカニズムを応用した革新的素材の創出	肥料の被覆材 漁具(ブイ)
			新たな微生物の発見【製品評価技術基盤機構 (NITE)】			
			漁具の代替素材の導入検討【水産庁(産総研との連携)】			

※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

# 群馬大学のバイオプラスチック研究グループ

**NEDOムーンショット型研究開発事業研究開発プロジェクト，プロジェクトマネージャー 粕谷健一**  
**NEDO先導研究プログラム：海洋プラスチックごみ問題を解決する海洋分解性プラスチックの技術開発**

食健康科学教育研究センター所属



azbil PR誌2019 vol2より

理工学府分子科学部門  
環境調和型材料研究室，教授  
食健康科学教育研究センター長  
**専門：海洋生分解性プラスチック**

JST MIRAI, プラスチック微生物叢構造制御による分解速度制御



JST news Jan 2019より

理工学府分子科学部門  
環境調和型材料研究室，准教授  
**専門：バイオマスプラスチック**

JST MIRAI, 高分子材料におけるベンゼン環からビフラン骨格への転換  
JST ALCA(ホワイトバイオテクノロジー)，要素技術型  
フラン環構造特性を利用した高機能性高分子の創出



食健康科学教育研究センター，講師  
2019年4月1日JAMSTECより移籍  
**専門：酵素科学，分析化学**

JST ALCA(ホワイトバイオテクノロジー)，チーム型  
海洋微生物酵素群によるリグニン分解高度化と人工漆材料への展開

## 地球環境再生を目指すムーンショット目標で13件の研究開発プロジェクトを採択

—大気中の二酸化炭素の直接回収技術など、挑戦的な研究開発を推進—

2020年8月26日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 石塚博邦

NEDOは、「ムーンショット型研究開発事業」において、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」の達成を目指す研究開発プロジェクトを、13件採択しました。

本事業では、大気中の二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を直接回収して有益な資源に転換する技術や、農地や工場などから低濃度で排出されている窒素化合物を無害化・資源転換する技術、海洋に流出しても適切なタイミングとスピードで生分解するプラスチックの開発など、挑戦的な研究開発に取り組みます。



図 持続可能な資源循環の実現に向けて取り組む研究開発

### 1. 概要

日本発の革新的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発（ムーンショット）を推進するものとして、総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）において、「ムーンショット型研究開発制度<sup>\*1</sup>」が創設され、2020年1月に6つのムーンショット目標<sup>\*2</sup>が決定されました。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、6つの目標のうち、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」と経済産業省が策定した研究開発構想の達成に向けた、挑戦的な研究開発（ムーンショット型研究開発事業）を実施します。本事業の推進にあたり、NEDOは、プログラムディレクター（PD）に公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）副理事長・研究所長の山地憲治氏を任命し、公募を経て、13件の研究開発プロジェクトと、それらをマネジメントするプロジェクトマネージャーを採択しました。

## 【採択されたNEDOムーンショット型研究開発事業研究開発プロジェクト名】

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

【PM】 粕谷健一（群馬大学大学院理工学府）

【研究実施者】 群馬大学（東京農業大学、製品評価技術基盤機構）、  
東京大学、理化学研究所、海洋研究開発機構、  
東京工業大学（北海道大学、東京農業大学、近畿大学）、

**図についてはNEDOプレス前により未公開、内容は口頭で説明します。**

図1. MSプロジェクトにより実現を目指す資源循環



図2. MSプロジェクトの研究開発概略

『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』  
「ムーンショット型研究開発事業」(NEDO)の採択  
～クリーンアースに向けたバイオプラスチックの開発等について～

---

ご静聴ありがとうございました。

お問い合わせ先

群馬大学大学院理工学府分子科学部門環境調和型材料科学研究室

<http://greenpolymer.chem-bio.st.gunma-u.ac.jp>

Email: [kkasuya@gunma-u.ac.jp](mailto:kkasuya@gunma-u.ac.jp)

あるいは、

群馬大学食健康科学教育研究センター

<http://www.cfw.gunma-u.ac.jp>

E-mail: [suuri-shokukenkou@jimu.gunma-u.ac.jp](mailto:suuri-shokukenkou@jimu.gunma-u.ac.jp)

