

# 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：乾 将行（公益財団法人地球環境産業技術研究機構）

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

# 公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE) 乾 将行

## 「非可食バイオマス为原料とした バイオモノマー生産とポリマー分解酵素の開発」



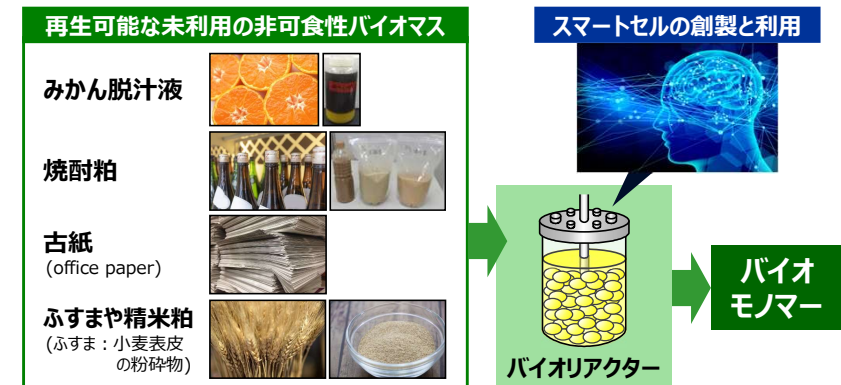
### ① 「非可食バイオマス为原料とした モノマー生産プロセスの開発」

複数企業からニーズがあった漁網・釣具、繊維等のポリマー原料となるジカルボン酸などの人工代謝経路を複数種設計した。さらに、コリネ型細菌を宿主とした遺伝子組換え体の作製やモノマーの生産条件検討などを通じて、糖原料から目的とする原料モノマーやその前駆体の一貫生産に成功した。

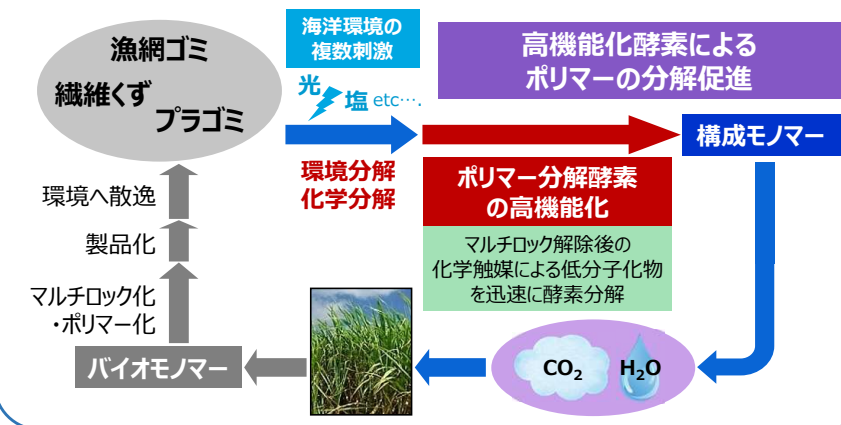
### ② 「ポリマー分解酵素の高機能化」

ポリマー分解酵素を高機能化するため、大腸菌を宿主に用いて各種のポリマー分解酵素遺伝子を導入して機能発現を検討し、3種の異種生物由来のポリマー分解酵素を活性型として高発現することに成功した。さらに、野生型酵素から変異型への改変等を通じて広い温度域における活性の向上に成功した。

#### ① 非可食性バイオマス原料からのモノマー生産



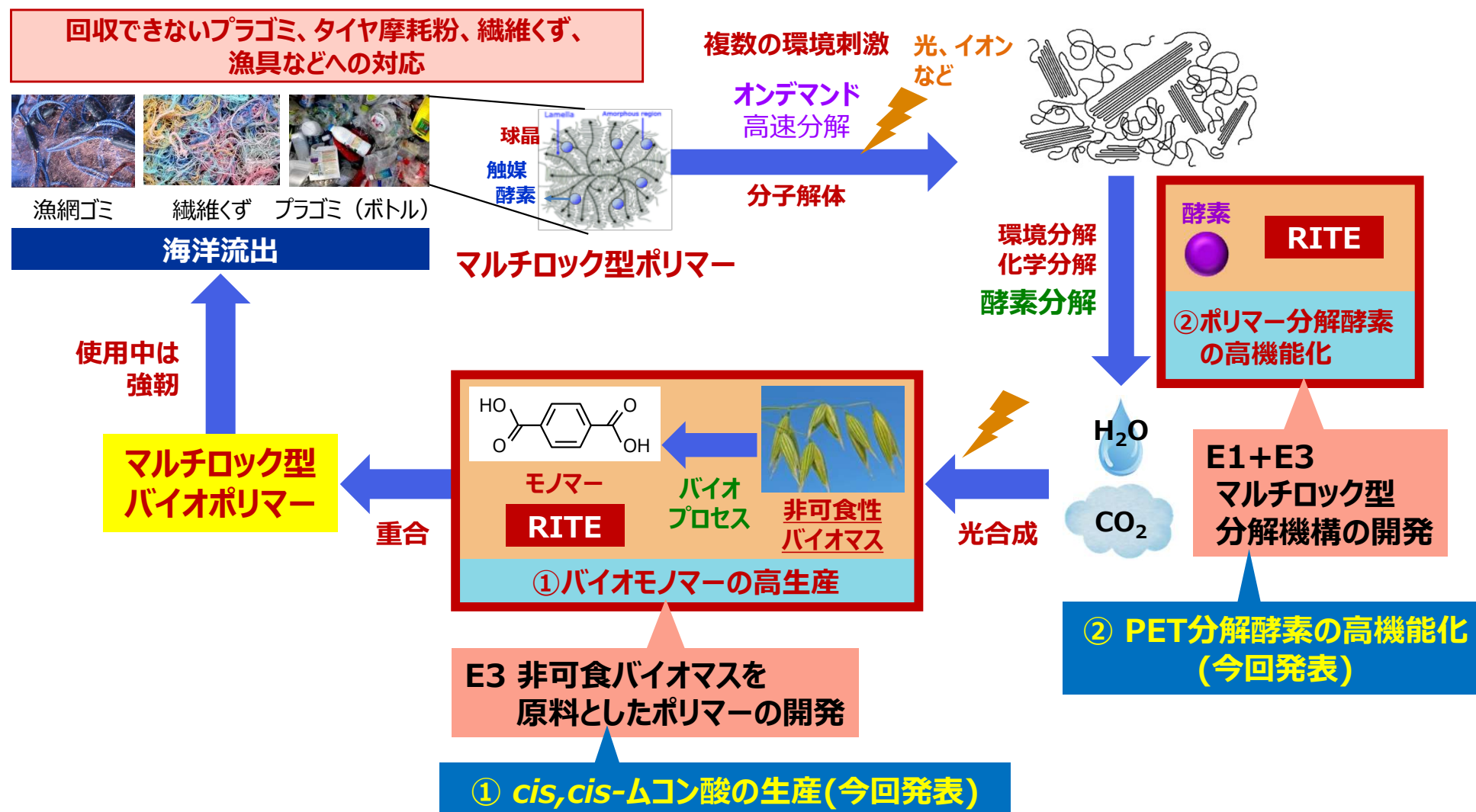
#### ② ポリマー分解酵素の高機能化



# 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 (RITE)

## 非可食性バイオマス为原料としたポリマーの開発

### 【RITEの開発項目】 ①バイオモノマーの高生産、②ポリマー分解酵素の高機能化



# 研究開発のマトリクス運営と、RITE担当部分

MS伊藤PJ

	競争領域				協調領域
	Aプラスチック 三菱ケミカル	Bタイヤ ブリヂストン	C繊維 帝人, 帝人フロンティア	D漁網 クレハ	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、長岡技術大	●	●	●	●	●
E4: 海洋分解 産総研、愛媛大、 CERI	競争課題：実際に帝人とクレハからバイオ化の要望があったモノマーのバイオ生産について、チーム進捗会議、班会議、個別会議等を行い企業連携をしながら研究開発を実施中				共通課題： バイオモノマー生産（アジピン酸）とポリマー分解酵素（PET分解酵素）を計画通り実施中
E1 + E3 RITE、東大			●		●

A～Dは競争領域（クローズ）、Eは協調領域（オープン）



# 非可食バイオマスを原料としたポリマーの開発 「バイオモノマーの高生産」

## 再生可能な未利用の非可食性バイオマス

みかん脱汁液



…飲料会社

焼酎粕



…九州・中国地方  
の焼酎会社

古紙  
(office paper)



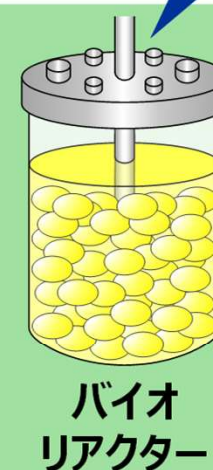
…古紙回収機関  
…化学会社

ふすまや精米粕  
(ふすま：小麦表皮の  
粉碎物)



…製粉会社や  
精米会社

スマートセルの  
創製と利用



バイオ  
リアクター

バイオ  
モノマー

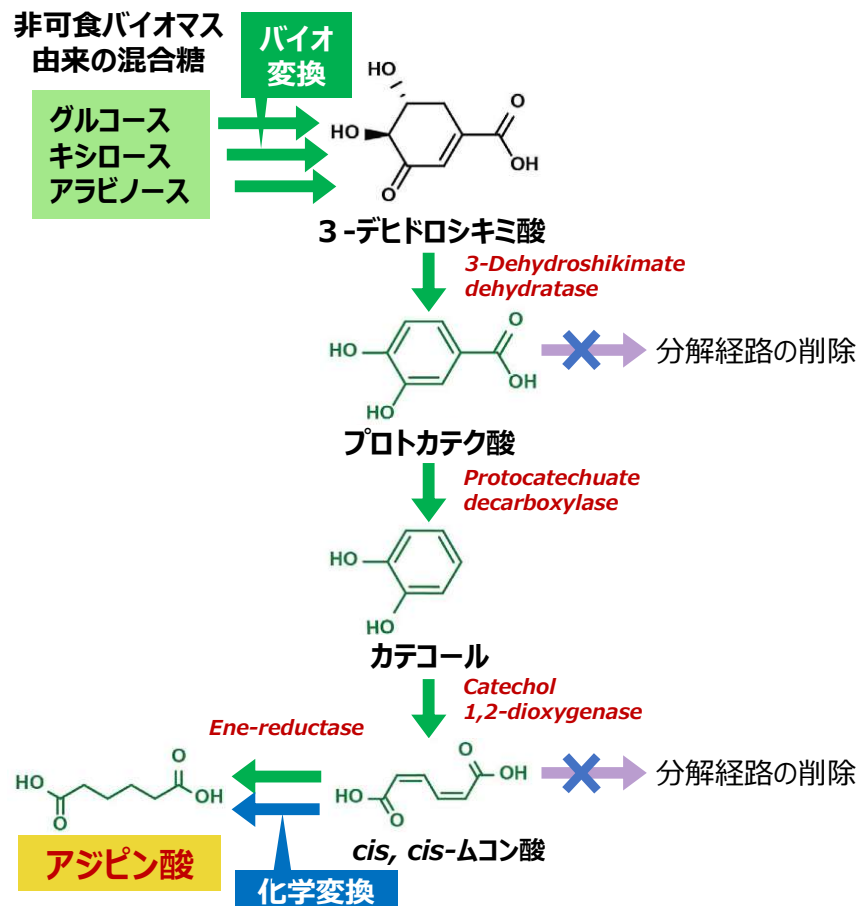
非可食性バイオマス（産廃含む）原料の利活用＝カーボンニュートラルに貢献  
➡ 社会的・経済的なインパクト大（MSのCool Earthに貢献）

# 非可食性バイオマス原料からアジピン酸前駆体である *cis,cis*-ムコン酸のバイオ生産

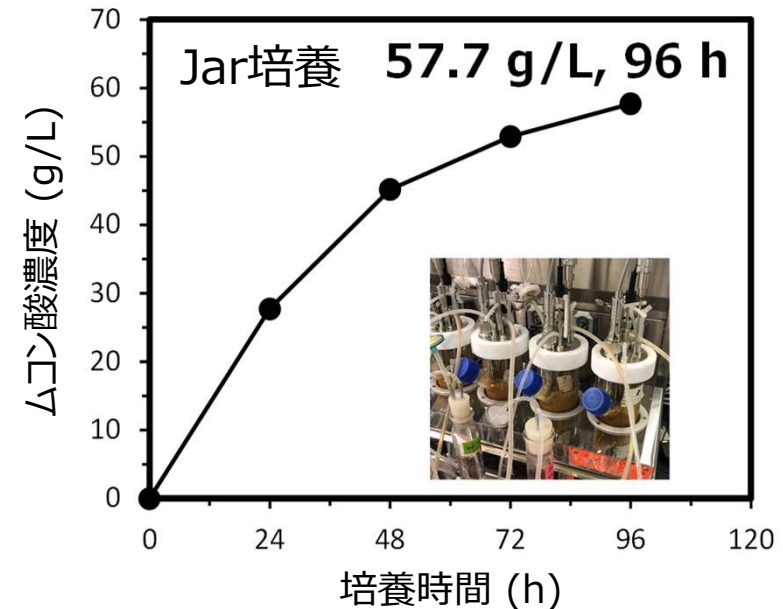
## バイオモノマーの高生産

- ポリアミドやポリエステル(漁網・釣具、繊維などの用途)向け原料モノマー、アジピン酸の前駆体となる *cis, cis*-ムコン酸のバイオ生産に成功。
- アジピン酸生成酵素について様々な遺伝子を探索中。

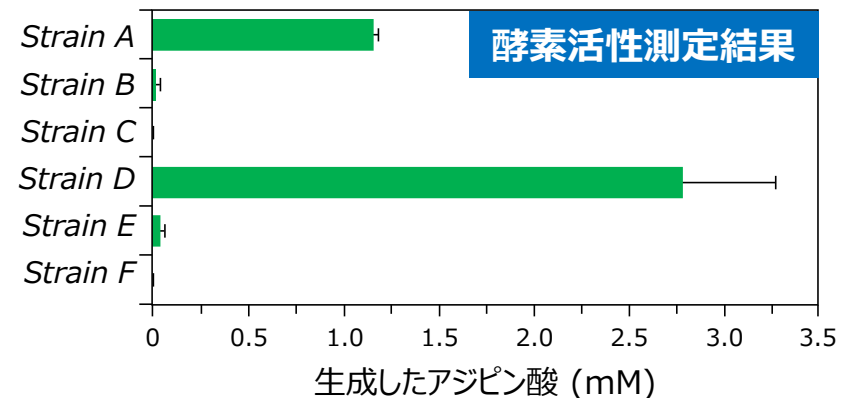
## アジピン酸の人工代謝経路



## 前駆体 *cis,cis*-ムコン酸の生産



## アジピン酸生成酵素の探索

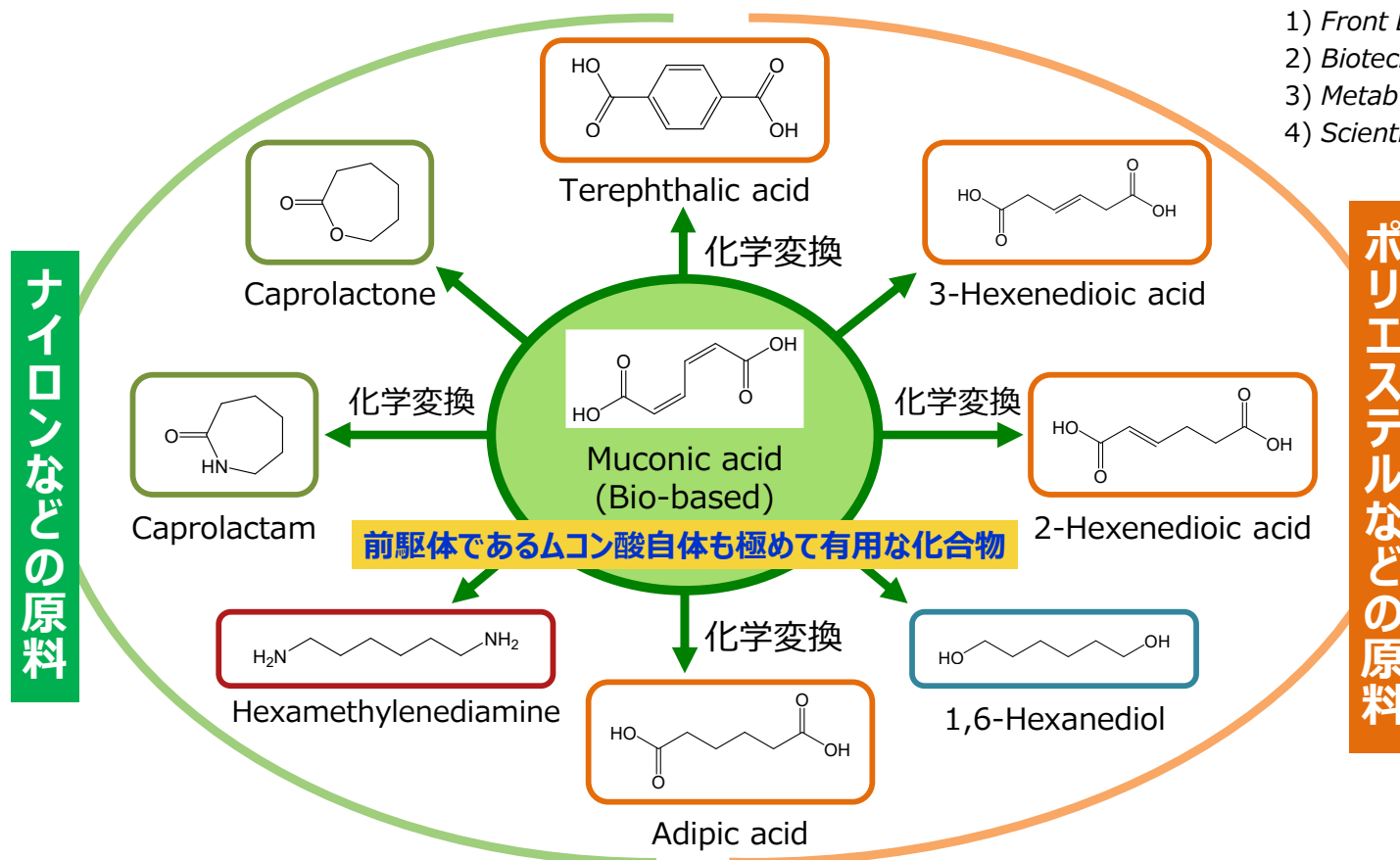


# cis, cis-ムコン酸の生産性比較と広い用途

## バイオモノマーの高生産

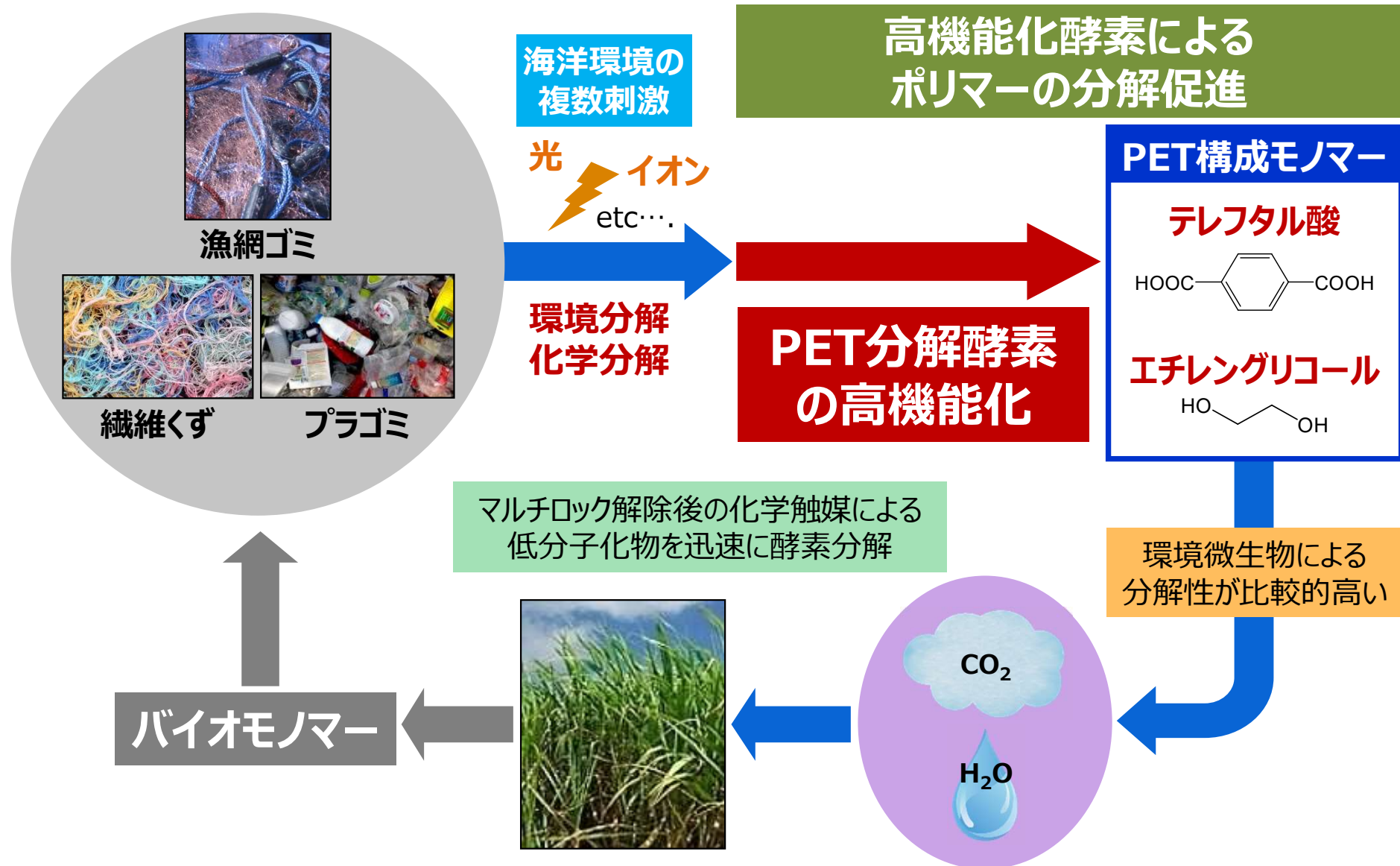
宿主	生産量	時間	研究グループ
<i>Escherichia coli</i> <sup>1)</sup>	64.5 g/L	120 h	Choi et al., 2019. (インハ大、韓国)
<i>Escherichia coli</i> <sup>2)</sup>	36.8 g/L	48 h	Niu et al., 2002. (ミシガン州立大、アメリカ)
<i>Pseudomonas putida</i> <sup>3)</sup>	22 g/L	104 h	Bentley et al., 2020. (国立再生可能エネルギー研究所、アメリカ)
<i>Corynebacterium glutamicum</i> <sup>4)</sup>	54 g/L	168 h	Choi et al., 2018. (インハ大、韓国)
<b><i>Corynebacterium glutamicum</i></b>	<b>57.7 g/L</b>	<b>96 h</b>	<b>RITE</b>

- 1) *Front Bioeng Biotechnol.* **9**;7:241. 2019.  
 2) *Biotechnol Prog.* **18**(2):201-211. 2002.  
 3) *Metab Eng.* **59**:64-75. 2020.  
 4) *Scientific Reports*, **8**:18041. 2018.



# マルチロック型分解機構の開発 「ポリマー分解酵素の高機能化」

## ポリマー分解酵素の高機能化

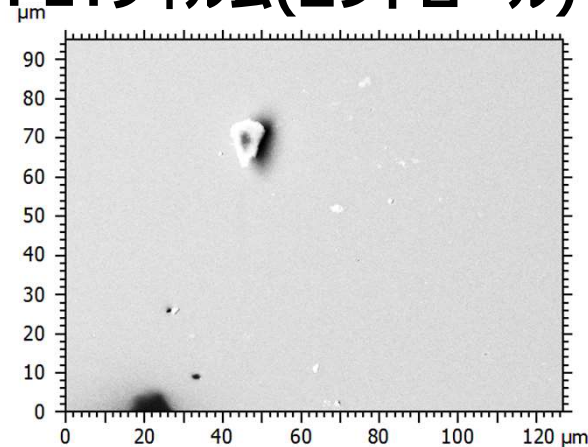




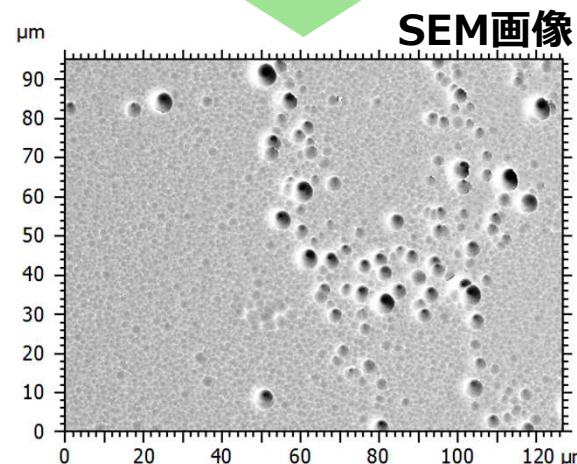
# PET分解酵素によるPETフィルム分解と、 改変による活性向上

## ポリマー分解酵素の高機能化

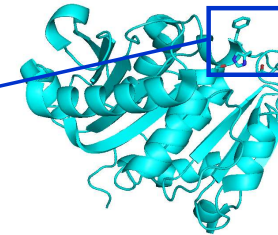
### PETフィルム(コントロール)



PET分解酵素を発現させた  
微生物で処理



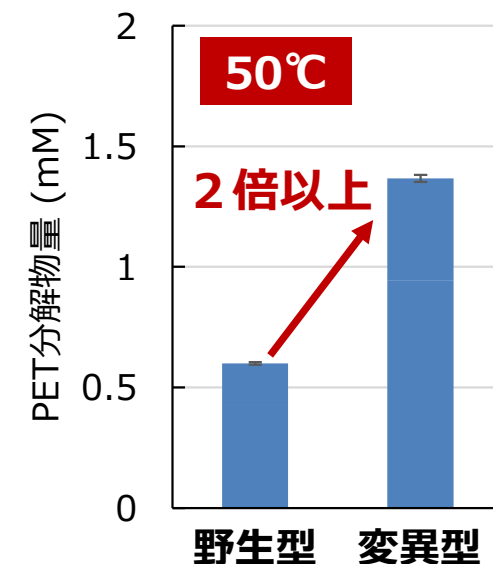
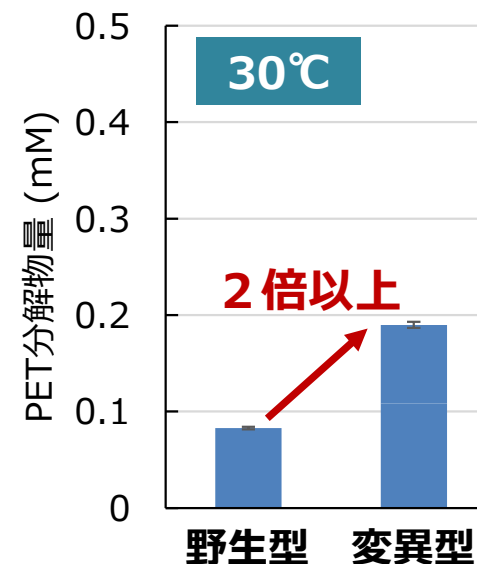
高活性型に  
なるよう改変



反応条件

PET powder (>40% crystallinity)

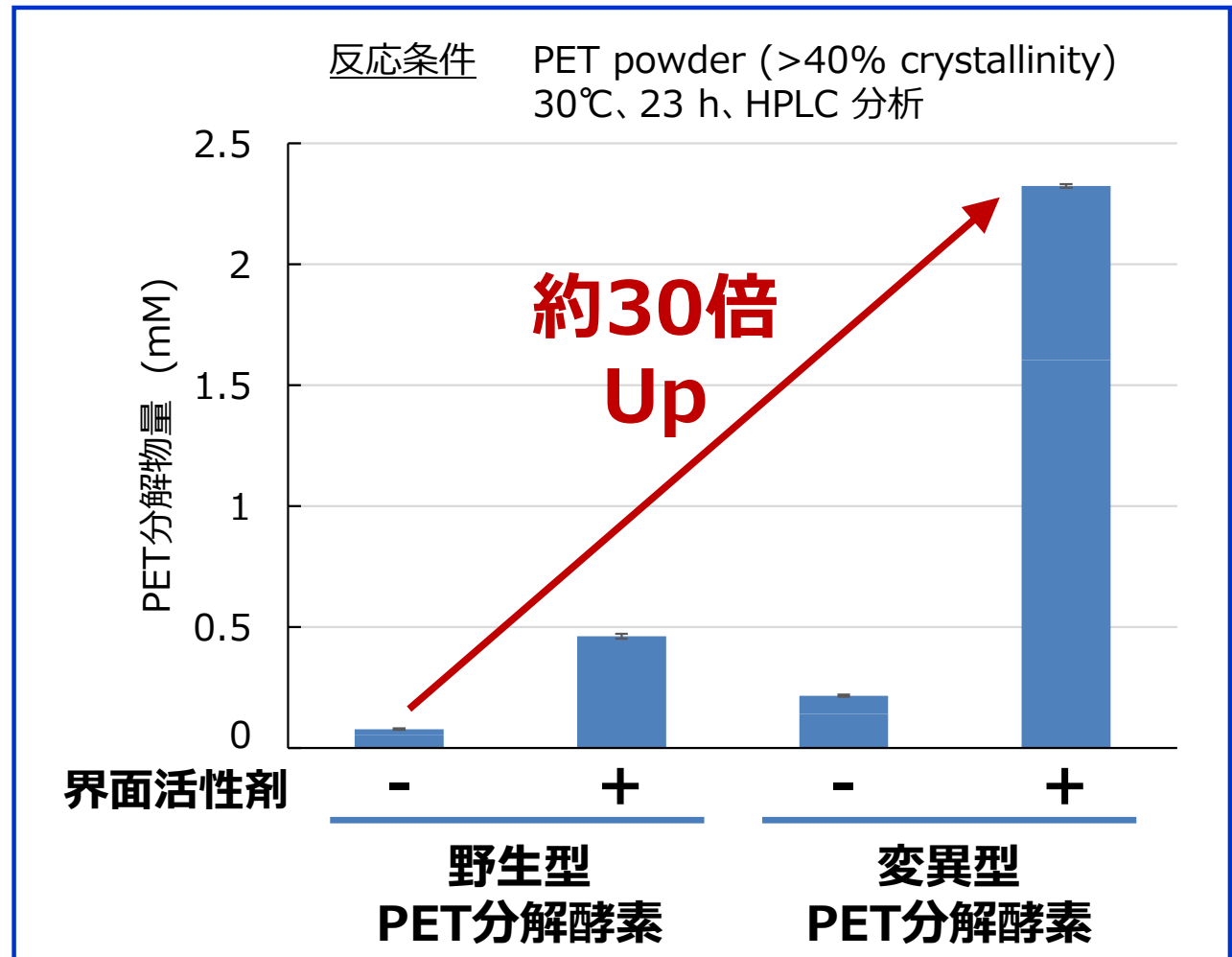
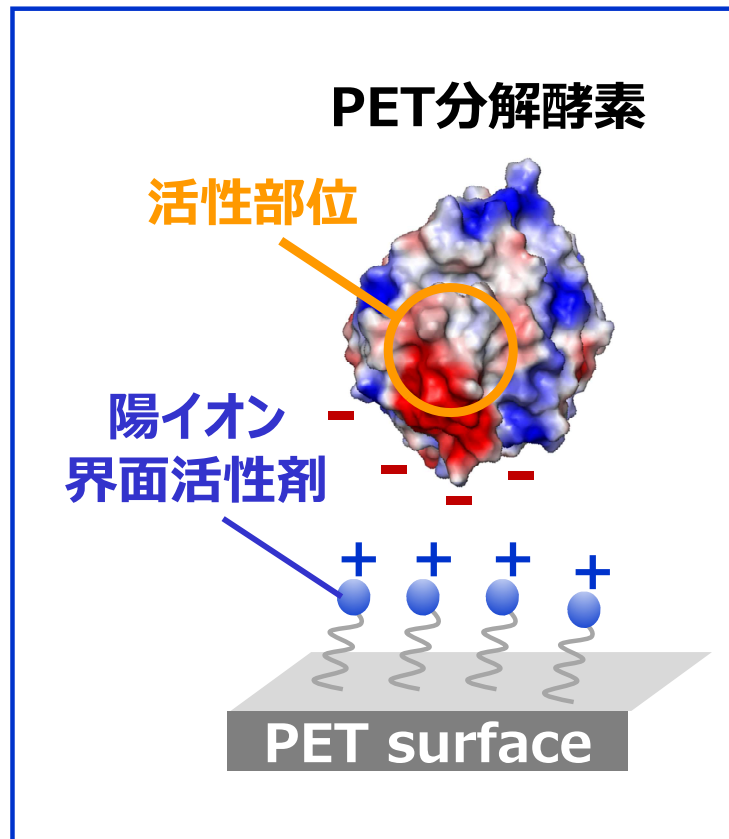
30℃ or 50℃、23h、HPLC分析



耐熱性を維持したまま  
PET分解活性が2倍以上に向上  
(常温～高温の広い範囲で活性向上に成功)

# 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



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

# 最終目標 (FY2029)

MS伊藤PJ

## 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創製

### ■ バイオモノマーの高生産

- ・パイロットスケールでのバイオモノマースケールアップ生産技術を完成。  
非可食バイオマス由来の混合糖を原料とし、  
バイオモノマーを100 g/L以上生産可能な株の構築と、  
低コストなバイオプロセスによる生産条件の最適化。

### ■ ポリマー分解酵素の高機能化

- ・ベンチスケール(数kg～10kg)で、ポリマー分解酵素の活性を10倍以上に  
向上させた酵素を、元株の5倍以上の濃度で低コスト生産し、  
ポリマー分解酵素の高生産技術を完成。

