

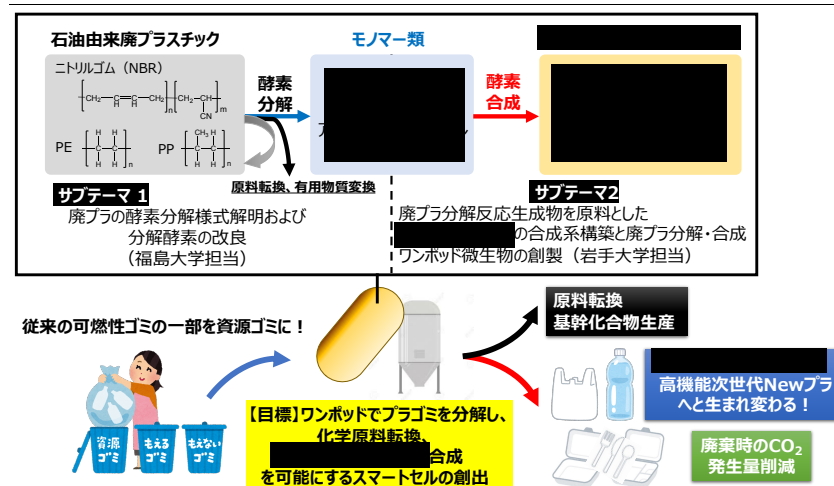
1. 研究背景、研究開発目的及び研究目標

【研究背景】

資源枯渇、地球温暖化、環境汚染の元凶とも言える石油由来プラスチック。現在、使用済みプラスチックの革新的なリサイクル技術およびマイクロプラスチック対策技術の開発が急務の課題となっている。

【研究開発目的】

バイオ法により使用済みプラスチックを高効率分解しつつ、さらにその分解物を原料として [] 等の有用物質を同時に生産する技術開発を行うことを目的とした。



Confidential

1. 研究背景、研究開発目的及び研究目標

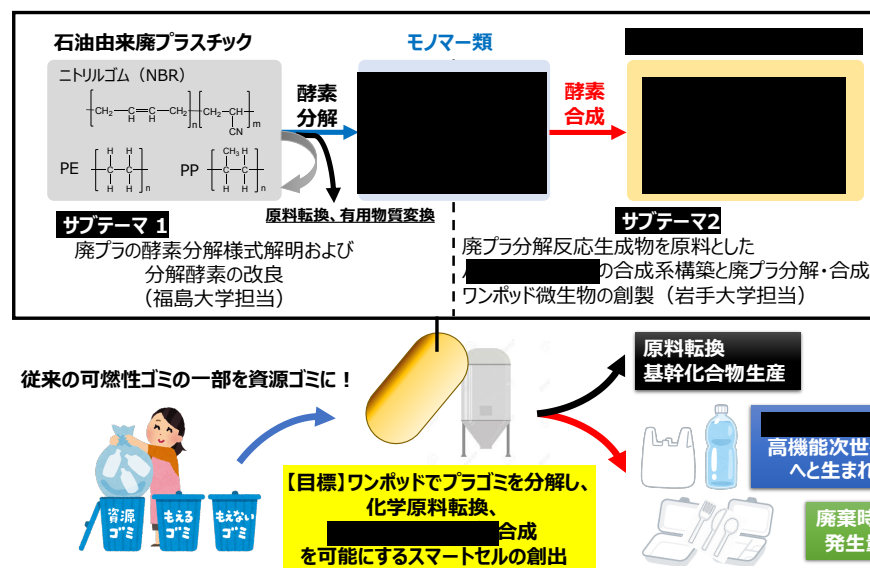
【研究目標(全体目標)】

廃棄プラスチックを原料に酵素分解と人工代謝微生物合成系を利用した有用物質生産技術を確立し、廃棄プラスチック(廃プラ)のバイオリサイクルシステムを開発する。

具体的には、ニトリルゴム(NBR)、ポリプロピレン(PP)、ポリエチレン(PE)の酵素分解メカニズムを明らかにする。さらに、分解酵素遺伝子、分解産物、分解経路を解明、改良し、廃プラ分解速度を増強するとともに、廃プラを原料とした有用物質生産法を確立する。

そのために本研究では、以下について取り組む。

- 1) 廃プラ分解酵素遺伝子の取得、遺伝子改変による分解力の増強
- 2) 廃プラ分解菌を用いた [] の直接合成の検討
- 3) 人工代謝経路を導入した遺伝子組換え微生物による [] のワンポット合成法の開発



2. 研究目標の進捗状況

(1) 進捗状況に対する自己評価(サブテーマ1)

サブテーマ1: 廃棄プラスチックの酵素分解に関する研究(福島大・杉森)

【サブテーマ1の研究目標】

廃棄プラ分解酵素の分解力を飛躍的に増強し、廃棄PP、PE、NBRを高速分解する技術を開発する。当初の分解速度1~10%/d(約50%/55 d)を50%/d以上まで向上させることを目標とする。さらに、酵素分解メカニズム解明を行うとともに有用物質生産の可能性を明らかにする。また、サブテーマ2の██████合成原料として有用性を確認する。

【令和4年度研究計画】

各プラ分解酵素の機能解析、遺伝子取得を行う。酵素分解生成物の有用性を明らかにする。

【令和5年度研究計画】

廃棄プラ分解酵素の遺伝子配置を明らかにし、分解代謝経路を把握する。さらに、サブテーマ2のスマートセルに導入する酵素遺伝子を取得する。また、廃棄プラ分解酵素の改良に着手する。

【令和6年度研究計画】

廃棄プラ分解酵素の改良(AI設計含む)を進め、分解速度50%/d以上を目指す。同時に、無選別廃プラへの対応、サブテーマ2にフィットした酵素に改変する。

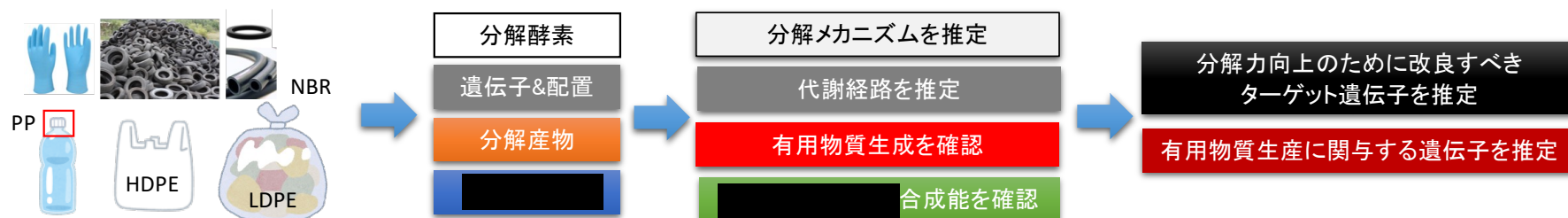
【自己評価】計画以上の進展がある

2. 研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ1)

【具体的な理由・根拠】

各プラ分解酵素の機能解析を進め、遺伝子およびその配置を推定した。プラ分解生成物のなかに高付加価値物質が複数種含まれていることを明らかにした。PP分解菌の多くが[]する能力を有することを見出した。さらに、NBR、PEの[]が起こることを発見した。分解菌のなかには、[]を示す菌株が存在することを明らかにした。廃プラ分解代謝経路の把握を進め、サブテーマ2のスマートセル創製においてキーとなる酵素遺伝子を推定した。



新発見 PP分解菌が[]を分解することを見出し []に成功！

[]:増強に成功！

【目標達成の見通し】

「令和5, 6年度研究計画」の一部を既に進めることができおり、知財確保の可能性も高いことから、全体目標達成の見通しは明るいと考えている。

新産業創出への期待

- ・ サークュラーエコノミー
- ・ プラ[]技術
- ・ プラ[]加工
- ・ [](制御プラ) 創出
- ・ []

2. 研究目標の進捗状況 NBR分解菌(サブテーマ1)

菌による分解(1週間培養)

分解率: [] %
分解量: [] mg



半導体産業
医療、食品関連



廃タイヤ

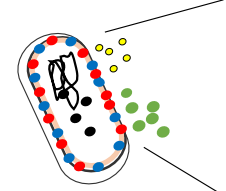
製造時端材、使用済み廃棄物



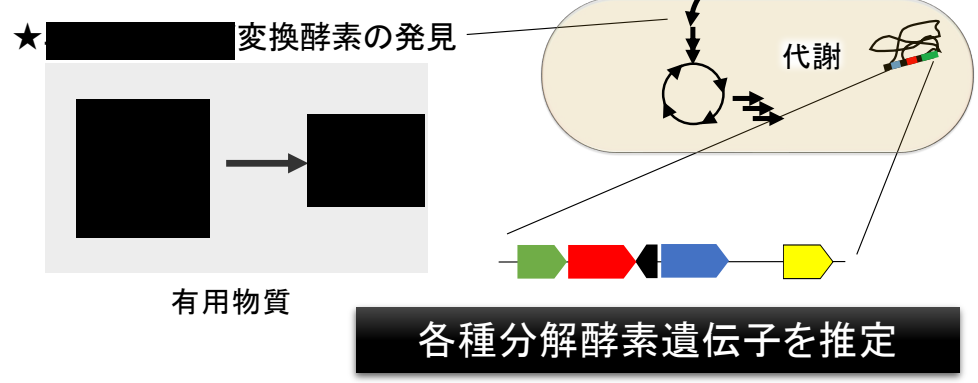
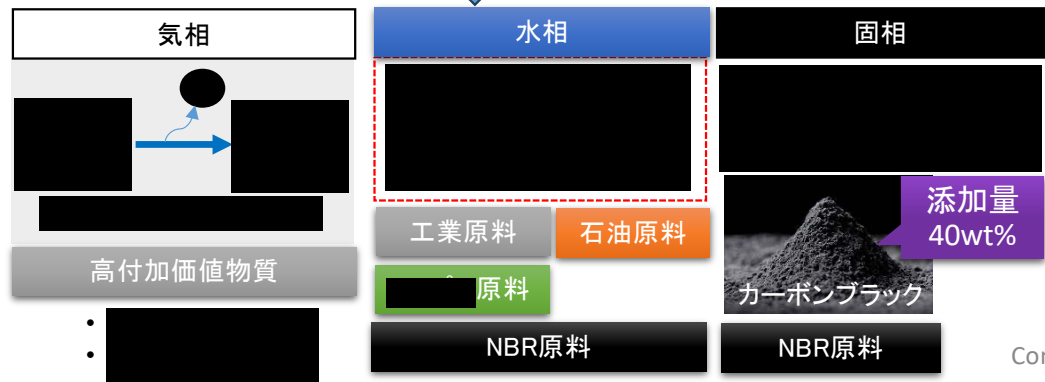
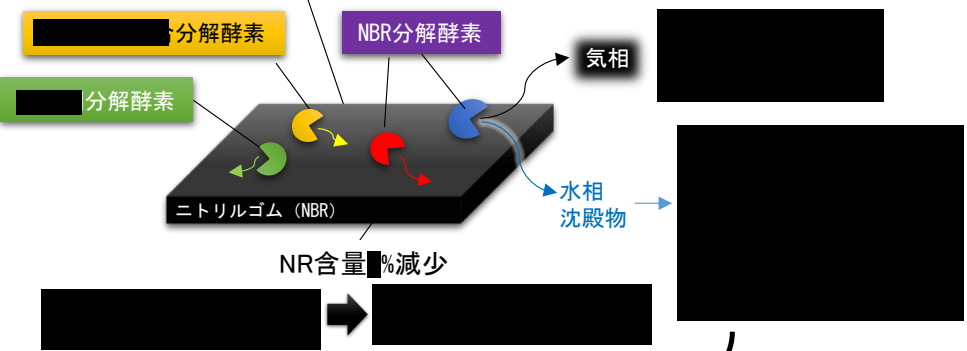
ホース、パッキン類

酵素による分解(24時間反応)

分解率: [] %
分解量: [] mg



が格段にアップ!



Confidential

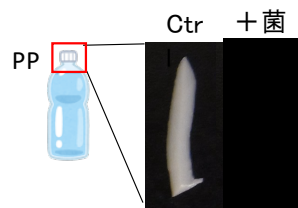
2. 研究目標の進捗状況 PP分解菌(サブテーマ1)

分解菌取得&種レベルでの分布を把握

酵素局在解明

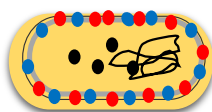
酵素遺伝子推定

菌による分解(2~60日培養)

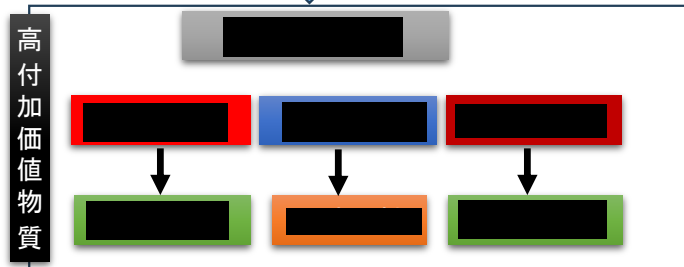
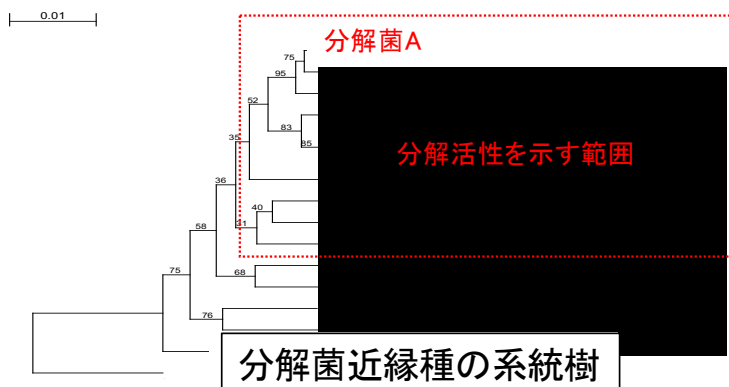
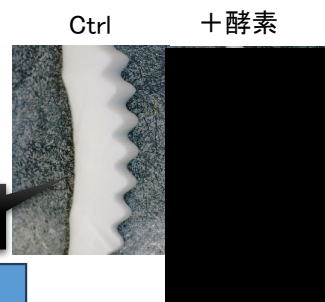


分解率: [] %
分解量: [] mg

24時間酵素分解

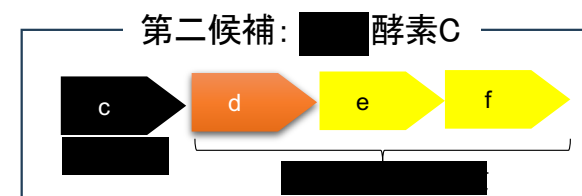
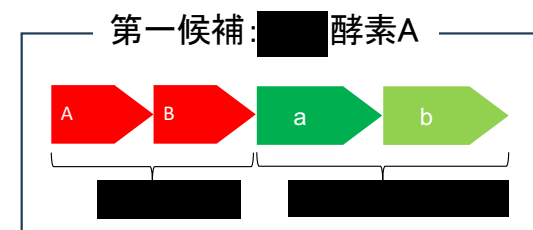


分解率: [] %
分解量: [] mg



Confidential

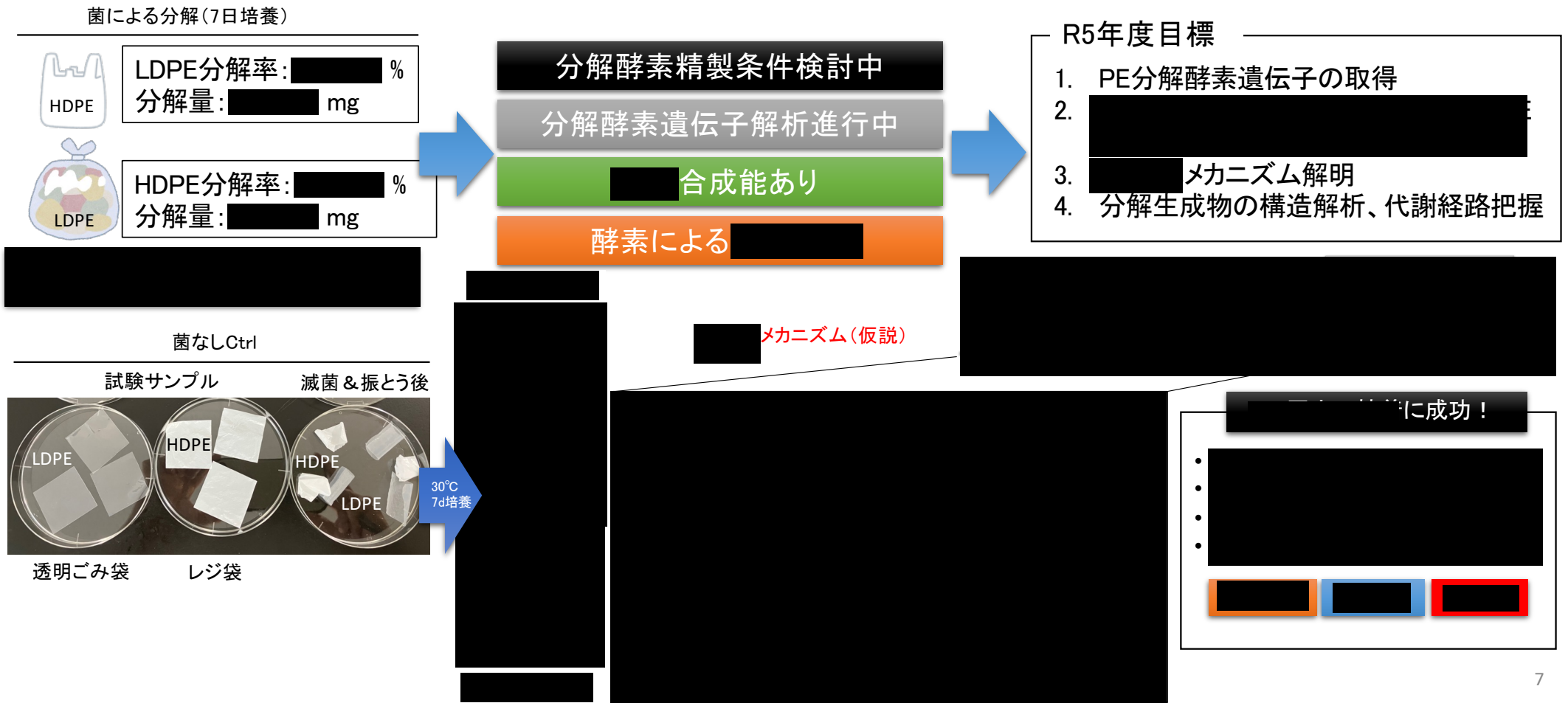
PP分解酵素として、以下の2遺伝子群を推定した。



その他

[] 酵素遺伝子を推定

2. 研究目標の進捗状況 PE分解菌(サブテーマ1)



2. 研究目標の進捗状況

(1) 進捗状況に対する自己評価(サブテーマ2)

サブテーマ2: 廃プラ酵素分解反応生成物を原料とした[]の微生物合成系の構築と廃プラ分解・[]合成ワンポット微生物の創製(岩手大・山田)

【サブテーマ2の研究目標】

- ・ 廃プラ分解と[]合成の両能力を兼ね備えた新たなスマートセルを創出する。
- ・ さらに、合成された[]の材料としての性質(物性)についても明らかとする。
- ・ また、多様な高分子分解物を原料とすることで、既存の[]合成微生物の代謝経路を改良し、新たな物性を有する新規組成の[]合成に繋げることを目指す。

【令和4年度研究計画】

サブテーマ1で得られる廃プラの酵素分解物を原料とした[]合成経路のデザインを行う。デザインした代謝系に必要な遺伝子のクローニングを行い、組換え大腸菌に各種遺伝子を導入し、発現検討を行う。さらに、廃プラ分解菌そのものによる[]合成の可能性についても検討する。

【令和5年度研究計画】

令和4年度に作成した組換え大腸菌を用い、廃プラ分解物を添加した培養条件で[]合成を試みる。培養時に生育阻害等が確認された場合、阻害物質の特定を行う。また、廃プラ分解菌そのものによる[]合成が確認された場合は、廃プラ分解菌を利用した[]合成量向上を目指し、培養条件を検討する。

【令和6年度研究計画】

廃プラ分解と[]合成を一細胞内で可能なワンポット微生物を創製する。創製したワンポット微生物を大量培養(スケールアップ)試験を行い、[]生産効率を最大化させる最適培養条件を確立する。さらに、微生物合成[]の物性解析を行い、応用先を考慮する際の基礎データを蓄積する。

【自己評価】計画通り進展している

2. 研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ2)

【具体的な理由・根拠】

- ・本研究では、2つのアプローチによって、廃プラ分解と██████████合成を両立できる微生物(スマートセル)の創製を目指している。サブテーマ1において廃プラ分解酵素の特定と関連代謝経路の解明が難航し、最近、人工代謝経路のデザインを作成したところであることから、大腸菌組換え法は当初の計画よりも進捗がやや遅れている。
- ・一方で、廃プラ分解菌を用いたアプローチでは、廃プラ分解菌の一部は██████████合成能力を有していること、さらにPP分解菌のなかには██████████を合成できる菌株が存在することを見出した(スライド10右図)。本成果は、自然界から分離した廃プラ分解菌が、廃プラ分解と██████████合成を両立したスマートセルの原石であることを意味し、計画以上の進展があったと言える。

以上より、全体としては計画通り進展していると判断した。

【目標達成の見通し】(スライド11)

一部の廃プラ原料を用いた際は、本研究で目標としている廃プラ分解と██████████合成能力を有しているスマートセル創製の原型は構築できつつある。目標達成に向けて、培養条件の検討や各廃プラ分解菌の遺伝子組換え系を構築することによって、廃プラ分解効率と██████████生産量の向上を達成することは十分可能な範囲と考えている。その後、最終年度に大スケール培養を試み、廃プラを原料として微生物合成した██████████の化学構造や物性を明らかにする。これらの方策によって、サブテーマ2の目標が達成できる見込みである。

2. 研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ2)

プロジェクト前半までの目標：廃プラ分解と██████████合成を両立できる微生物（スマートセル）の創製

戦略1: 組換え大腸菌を宿主とした試み

培養実験の結果、大腸菌は、NBR酵素分解物を成長に利用できないと示唆された。

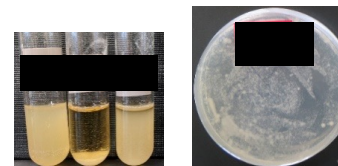
NBR分解菌のゲノム情報検索 + サブテーマ1の成果



NBR分解とNBR分解生成物の代謝に関与する可能性
がある酵素群を予測することに成功

戦略2: 廃プラ分解菌を宿主とした試み

廃プラ分解菌14株

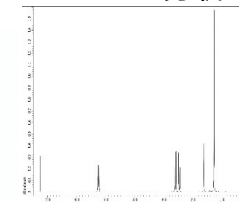


多様な条件で培養

合成能力の評価

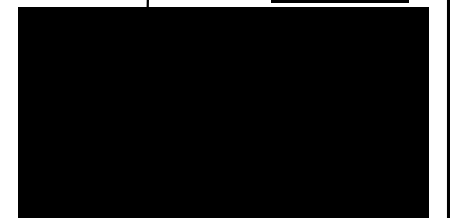
¹H-NMR分析

GC分析



成果の一例

PPを主とした培地で
培養した菌体から抽出した



と同様の組成!

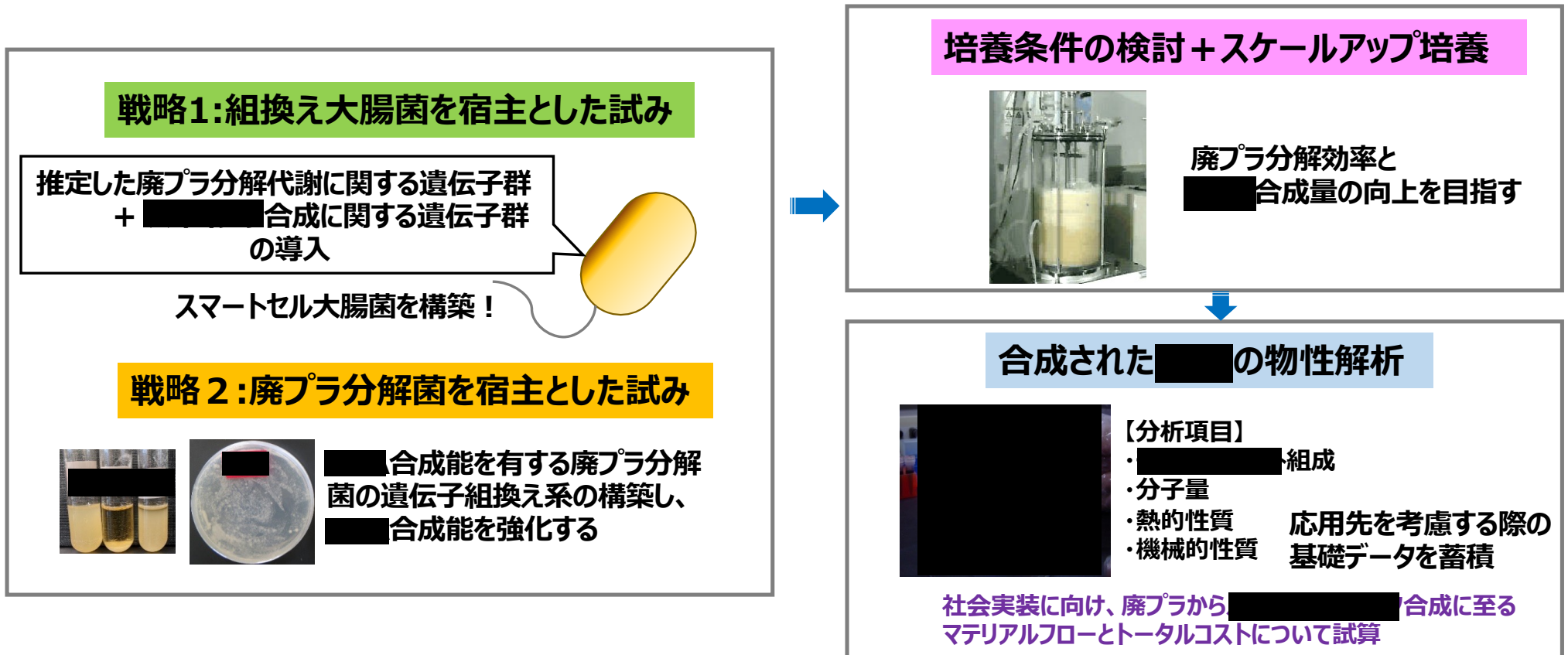
約 ████████ mg (乾燥菌体重量当たり
約 ████████ wt%) 生成

一部の廃プラ分解菌が ████████ 合成能力を有している
(目標のスマートセルの原石である) ことを発見!!

2. 研究目標の進捗状況

(2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し(サブテーマ2)

今後の予定と目標達成の見込み



3. 研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献）

【行政等が活用することが見込まれる成果】

本研究成果は、「革新的なプラスチックリサイクル技術の開発」および「サーキュラーエコノミーおよび新産業創出」につながる事が期待でき、世界規模の波及効果も期待できる。

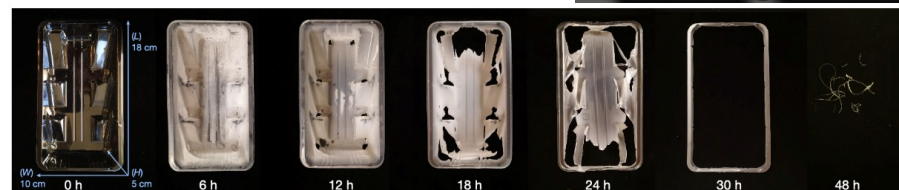
2030年までに廃棄プラスチックの3割を原料転換する目標やCO₂排出量を46%削減(2013年度比)する目標を掲げているものの、革新的技術開発に至っていない現状では達成は極めて困難な状況と言える。さらに、国外では革新的技術開発が次々と発表され、社会実装に至っているケースも出始めており、我が国は世界各国に大きく遅れをとっている現状にある。

本研究成果は、将来的に世界に先駆けた革新的技術開発になる可能性を秘めている。

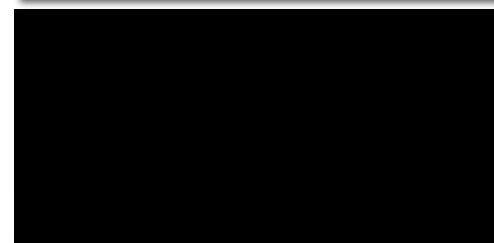


世界各国で進む技術革新

- 2025年 PETの酵素リサイクルプラント稼働予定
- PE→エチレン、プロピレン



本PJが目指す技術革新



Confidential

4. 研究成果の発表状況

【誌上発表(査読あり):1件、執筆中1件】

山田美和、杉森大助、バイオ法によるプラスチックリサイクル技術—その現状と課題、未来—、静電気学会誌, 47(5)印刷中

未だ特筆する成果はないが、特許出願後にはNatureなどのハイイパクトジャーナルへの投稿を目指す。

【口頭発表(学会等):0件、予定6件】

1. 石油学会(10/27): 2件発表予定
2. Asian Congress on Biotechnology (10/15~19)2件発表予定
3. 第3回 日本スイスドイツ酵素工学国際会議(9/10~13): 2件発表予定
4. 酵素工学研究会(11/10): 2件発表予定
5. 日本農芸化学会(3月下旬): 2件発表予定

【知的財産権(出願予定):6件】

1. NBR分解菌
2. 廃プラスチック分解菌
3. NBR分解酵素
4. 廃プラスチック分解酵素
5. XXXXXXXXXX技術
6. XXXXXXXXXX技術

【国民との科学・技術対話:3件】

1. 杉森大助、酵素を利用したプラスチックリサイクルと時限分解の現状、石油学会東北支部講演(2022.12.1、盛岡)一般、高校生含む
2. 杉森大助、山田美和、廃棄プラスチックの新たなリサイクル法開発を目指して(2023.1.18、岩手大) ERCA_PJ研究についても紹介一般、高校生含む
3. 杉森大助、日本農芸化学会出前授業、すごすぎるぜ遺伝子(郡山ザベリオ学園中) ERCA_PJ研究についても紹介

JSBA 生命・食・環境を科学する学会
公益社団法人 日本農芸化学会

対話リスト#3

中学校・高等学校へへの出前授業

日本農芸化学会の会員(科学者や知識人など)が、講師として中・高等学校へ出向き、農芸化学(動物・植物・微生物の生命現象、生物が生産する物質、食品と健康などを化学的な考え方に基づき研究する学問)に関わる授業を、最先端の研究内容の紹介などを含めながら、講義を通して有意義に学びます。

回数	開催日	場所	授業の名称・講師
第68回	2023年7月13日(木)	(福島県) 郡山ザベリオ学園中学校	「すごすぎるぜ遺伝子—最新の酵素研究: 遺伝子をいじると驚異の能力を発揮?!」 杉森 大助 氏(福島大学 理工学群 共生システム理工学類 物質科学コース・教授 博士(工学))

対話リスト#2

学内・一般向けシンポジウム

廃棄プラスチックの新たなリサイクル法
開発を目指して

日時: 2023年1月18日(水)
14:30~16:30

場所: 岩手大学農学部 ぼらんホール
[岩手大学総合教育研究棟(生命系)]

14:30 ~ 14:45	はじめに ~AICおよびERCAプロジェクトについてご紹介~ 山田 美和 (岩手大学 農学部 准教授) (岩手大学次世代アグリ研究センター 生物生産部門長)
14:45~15:35	「バイオ法によるプラスチックリサイクル技術開発の 現状と課題、そして未来」 杉森 大助 (福島大学 共生システム理工学類 教授)
15:35 ~ 16:25	「産業廃棄物を原料とした 微生物によるバイオプラスチック合成」 山田 美和
16:25 ~ 16:30	おわりに 下野 裕之 (岩手大学 農学部 教授) (岩手大学次世代アグリ研究センター センター長)

【お問い合わせ・参加申込み】岩手大学次世代アグリイノベーション研究センター
E-mail: aic@iwate-u.ac.jp, Tel: 019-621-6851

主催: 岩手大学次世代アグリ研究センター(AIC)
環境省・(独)環境再生保全機構(ERCA)「環境研究総合推進費
1-2205 廃棄プラスチックのバイオリサイクル技術の開発」

事前
申し込み制

5. 研究の効率性

本研究では

- マンパワー不足を補うためにアルバイト学生雇用や受託分析、装置購入などにより、研究成果をあげるため効果的に研究費を執行できた。
- サブテーマ間で密な情報共有を行い、月1以上の研究打ち合わせ、月次報告書提出など、課題管理も適切に行った結果、効率的に研究が実施できた。

研究の効率性: 本来の目標とは、少しずれるが [] という画期的な成果を得た点で、効率性が高い取り組みができたことを強調したい。

本研究では将来的に以下の各項目に貢献できる成果が得られた。

- 1) 資源循環
- 2) CO₂排出削減
- 3) マイクロプラ対策(プラ寿命制御技術)への応用
- 4) プラ [] への応用
- 5) サーキュラーエコノミー、新産業創出

現状の分解率10%での試算

- PP, PE廃棄削減量: 50万トン → CO₂排出削減量: 150万トン
- ゴム廃棄削減量: 1万トン → CO₂排出削減量: 3万トン



プラスチック1トンあたり

3 t CO₂

重油から生産

サーキュラーエコノミー

プラ廃棄削減効果: 100億円 (廃棄コスト2万円/t)

カーボンブラック (3万t/yr @Jpn) : @¥0.4~1万/kg

有用物質生産 (収率1%) : A : @¥10,000/mg []

B : @¥7,000/L []

10%(3千トン)をリサイクル品
→300億円+重油代コストダウン

PHA : @¥400~1400/kg
オリゴマー原料、

Confidential

+

新産業創出: プラスチック [] の開発