

光スイッチ型海洋分解性の可食プラスチック の開発研究

発表者：加藤太一郎（鹿児島大学）

PM：金子 達雄

国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 教授

PJ参画機関：国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学、国立大学法人神戸大学、
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学、国立大学法人鹿児島大学、
学校法人東京理科大学、国立大学法人東京農工大学、
国立研究開発法人産業技術総合研究所、地方独立行政法人大阪産業技術研究所

④－5 ナイロン分解酵素の特定とin vitro分解評価

ON型光スイッチを持つイタコン酸由来ナイロンを資化可能な微生物の取得、生分解に関わる酵素タンパク質の生化学反応という一連の基礎研究を行う。

検討1：ナイロン・ナイロンオリゴマー分解酵素（NylA～C）を機能改変することで、イタコン酸由来ナイロンに対する分解能力を付与・強化する。

検討2：イタコン酸由来ナイロンを資化可能な微生物を海洋資源からスクリーニングし、ナイロン分解に関与する酵素タンパク質や遺伝子の情報を得る。

2029年度最終目標：

研究室で保有するナイロン分解酵素（NylA～C）やスクリーニングにより新たに得た海洋性微生物由来ナイロン分解酵素の立体構造情報を基に各種遺伝子組換え技術を利用することでタンパク質の機能強化を試み、項目④-6に利用可能な高い分解能力および耐久性を有するナイロン分解酵素を作成する。

研究体制

加藤太一郎：研究統括

藤枝繁：海洋実験

横川由起子：有機合成

研究支援員2名

研究室所属学生



④－6 ナイロン分解酵素を用いたコンポスティング

イタコン酸由来ナイロンの再モノマー化やコンポスティングによる資源循環を実現する技術開発を行う。

検討1：イタコン酸由来ナイロンに紫外線照射や化学的前処理を行うことでポリマー主鎖の水溶性を高めた可溶化ポリマー・オリゴマーを効率よく作製する条件を確立する。

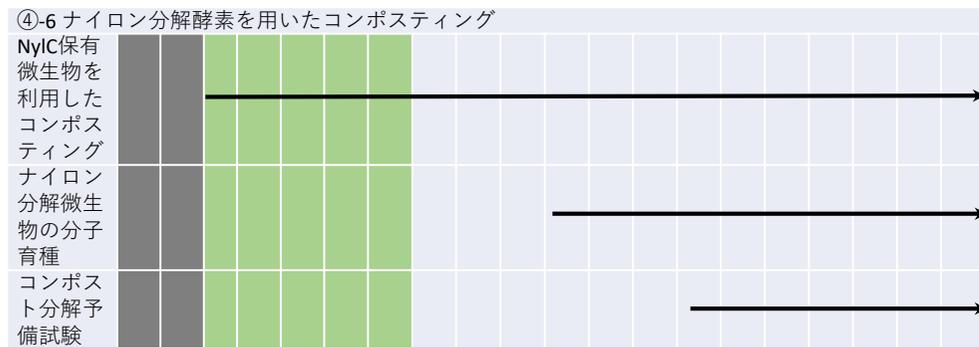
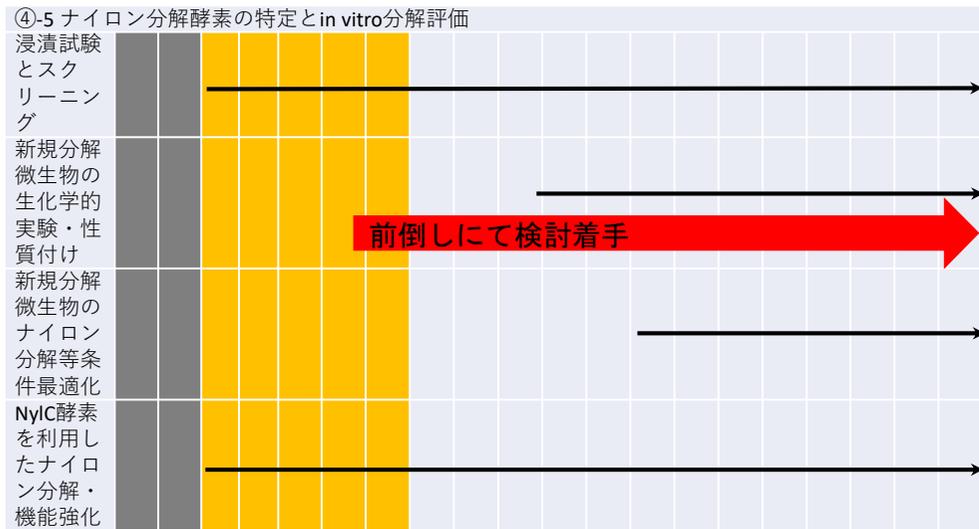
検討2：ナイロン分解酵素を利用したイタコン酸由来ナイロンのモノマー資源化、微生物を利用したコンポスティングや完全分解(CO₂, NO₃⁻, H₂O)システムを構築する。

2029年度最終目標：

使用後の高耐久性コンポジット100gに紫外線照射することでポリマー主鎖のピロリドン部位を開環させた可溶化ポリマーを20日程度で、土壌や海洋性の微生物によって分解できる程度にまで低分子量化(5～10mer)できるナイロン分解微生物コンポスティングシステムを構築する。

研究開発項目の具体的内容と実施スケジュール

項目	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	Q1	Q2	Q3	Q4																

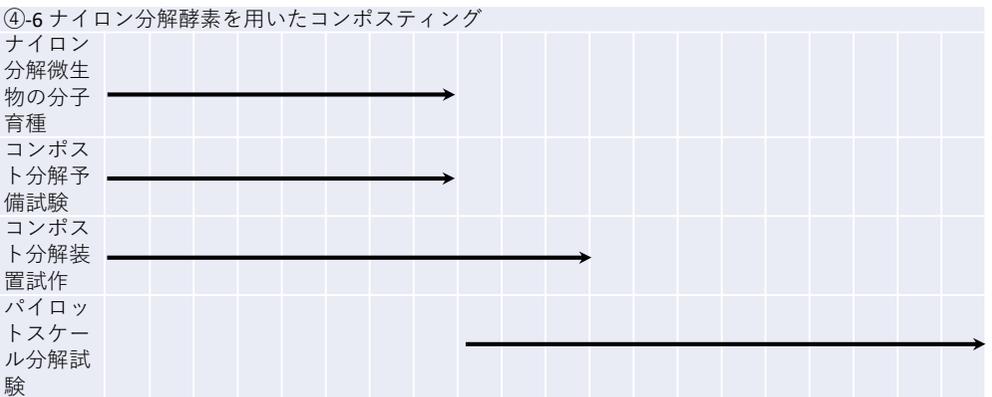
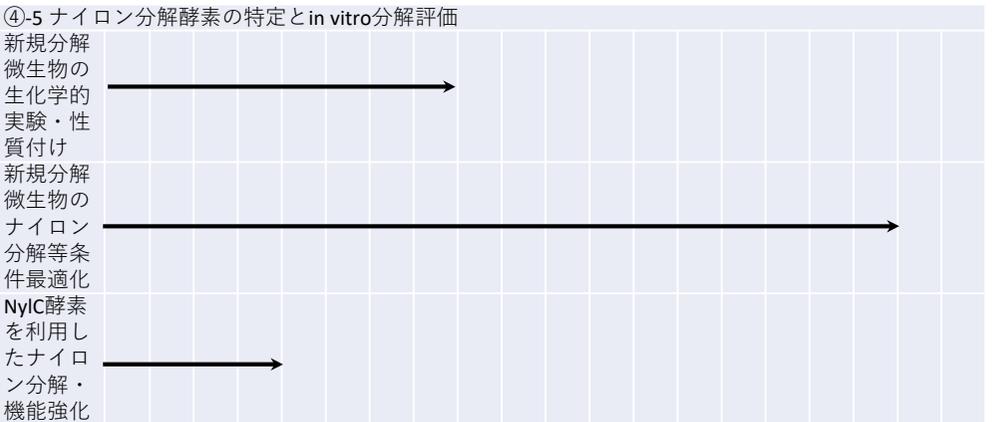


研究進捗状況：
 各項目共に検討は順調に進んでいる。
 一部項目については前倒しにて検討に着手している状況である。

注目点：

- ①世界中で唯一我々の研究室のみが保有しているナイロン分解酵素を利用して、本事業にて開発中のイタコン酸由来ナイロンの生分解システムを開発中である。
- ②イタコン酸由来ナイロンの完全分解システムを構築するために、新たな海洋性細菌の単離を試みている。

項目	2025年度				2026年度				2027年度				2028年度				2029年度			
	Q1	Q2	Q3	Q4																

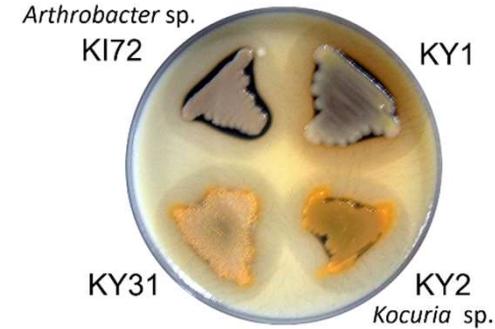


我々が保有するナイロンオリゴマー分解微生物

ナイロン6製造過程で排出される副産物(オリゴマー)を資化する微生物を工場の活性汚泥や土壌より約10種取得(1970年代~)

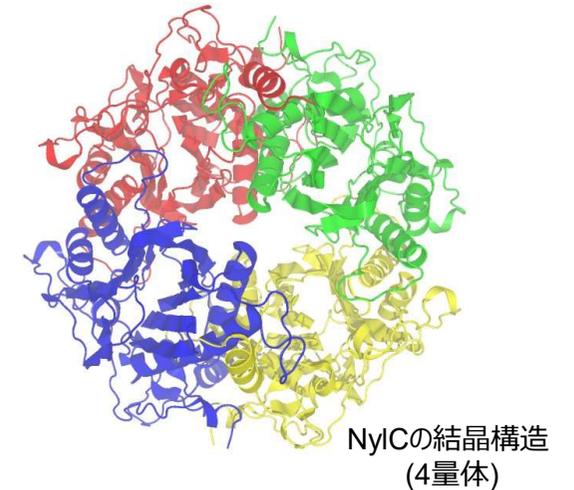
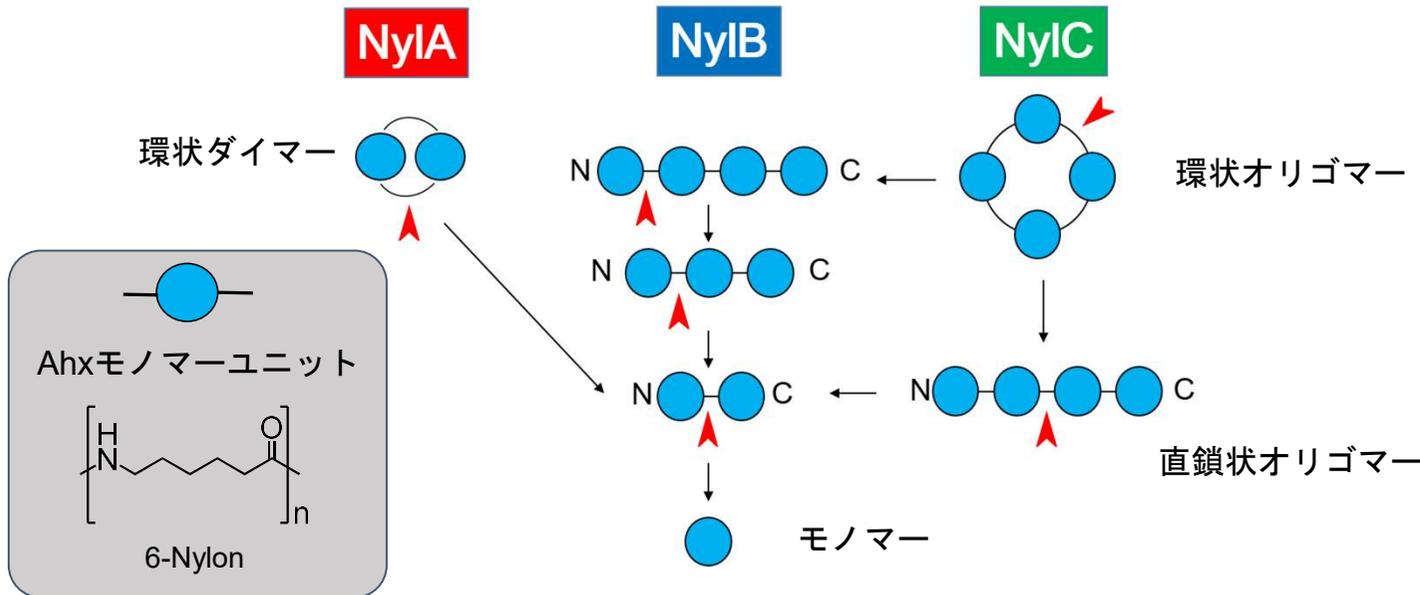
Arthrobacter sp. KI72
Agromyces sp. KY5R
Kocuria sp. KY2

→分解酵素は異なる属に幅広く分布



ナイロンオリゴマー含有寒天培地での増殖

ナイロンオリゴマー分解酵素 -3つの様式-



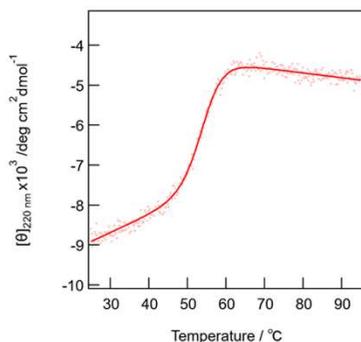
➡ **NylCに高分子ナイロン分解能力を発見!**

J. Biol. Chem., 2012, 287, 5079.

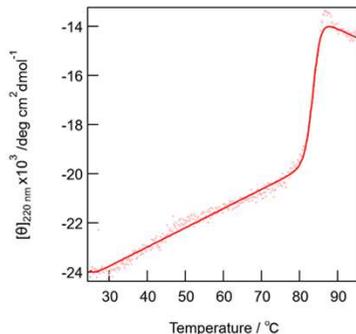
実用的な酵素的ナイロン分解手法への展開

実用的な再モノマー化に耐えられる熱安定性向上タンパク質の作成に成功

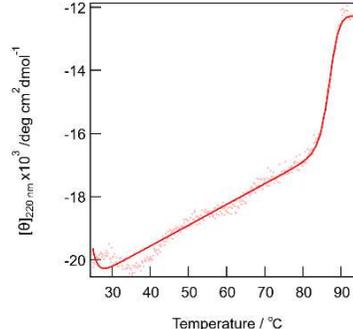
CDスペクトル測定：NylIC



GYAQ



GYAQT



NylIC野生型 : $T_m = 52^\circ\text{C}$

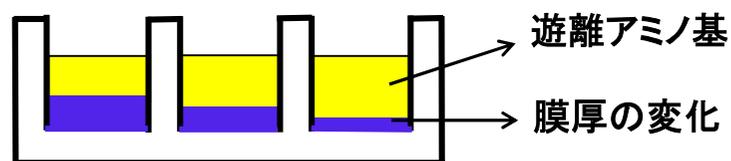
↓
GYAQ変異体 : $T_m = 83^\circ\text{C}$

↓
GYAQT変異体 : $T_m = 88^\circ\text{C}$

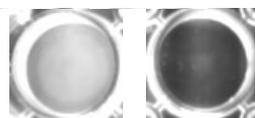
ナイロンガラス転移温度でも活性を保持できる耐熱性の付与に成功

高分子ポリアミド加水分解反応を定量的に追跡する方法の構築に成功

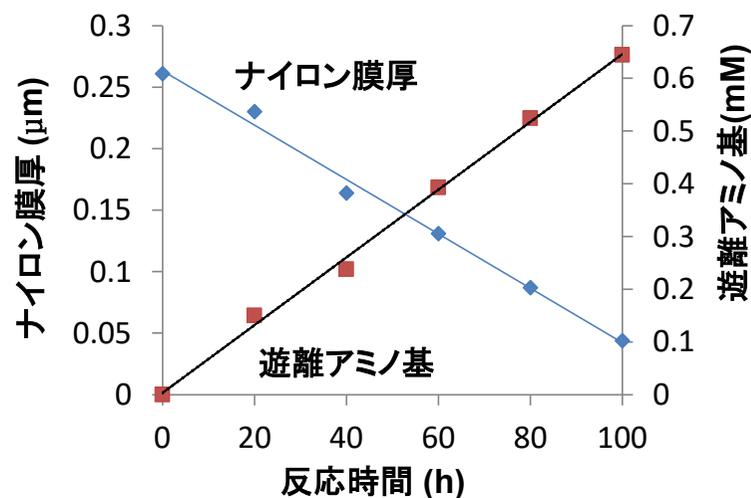
薄膜化ポリマーの利用



マイクロプレート
のナイロン薄膜



酵素反応前 反応後



耐熱性向上NylIC変異体は高分子ナイロン6だけでなく、ナイロン66、コポリマー体など広い分解特性を示す。

イタコン酸由来ナイロンの海洋環境中での分解挙動解析

2021.01.27～海水サンプル採取

東町ステーション (長島)



鴨池海づり公園

2021.02.12～海水・底泥サンプル採取
2021.08.06～ナイロンサンプル設置

水深5 m



海底から2 m (水深～20 m)



木製漁礁マリンクルードル



浸漬したナイロンフィルムに集積する細菌叢解析データの取得

NEDO海洋生分解性プラスチックの社会実装に向けた技術開発事業／海洋生分解性に係る評価手法の確立(NEDO標準化プロジェクト)

にてNITEさんが用いている方法を利用

参考：「最新の海洋生分解性プラスチックの研究動向」テクノシステム社

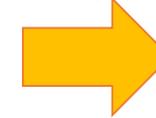
浸漬用治具



フィルムマウント



40days



水深における菌叢の違い
海水・底泥サンプルとの比較

まとめ：イタコン酸由来ナイロンの酵素による再資源化アプローチ

④－5 ナイロン分解酵素の特定とin vitro分解評価

世界中で唯一我々の研究室のみが保有しているナイロン分解酵素を利用して、本事業にて開発中のイタコン酸由来ナイロンの生分解システムを開発中

2029年度最終目標：

研究室で保有するナイロン分解酵素 (NyIA～C) やスクリーニングにより新たに得た海洋性微生物由来ナイロン分解酵素の立体構造情報を基に各種遺伝子組換え技術を利用することでタンパク質の機能強化を試み、項目④-6に利用可能な高い分解能力および耐久性を有するナイロン分解酵素を作成する。

④－6 ナイロン分解酵素を用いたコンポスティング

イタコン酸由来ナイロンの完全分解システムを構築するために、新たな海洋性細菌の単離を実施中

2029年度最終目標：

使用後の高耐久性コンポジット100gに紫外線照射することでポリマー主鎖のピロリドン部位を開環させた可溶性ポリマーを20日程度で、土壌や海洋性の微生物によって分解できる程度にまで低分子量化(5～10mer)できるナイロン分解微生物コンポスティングシステムを構築する。

