

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



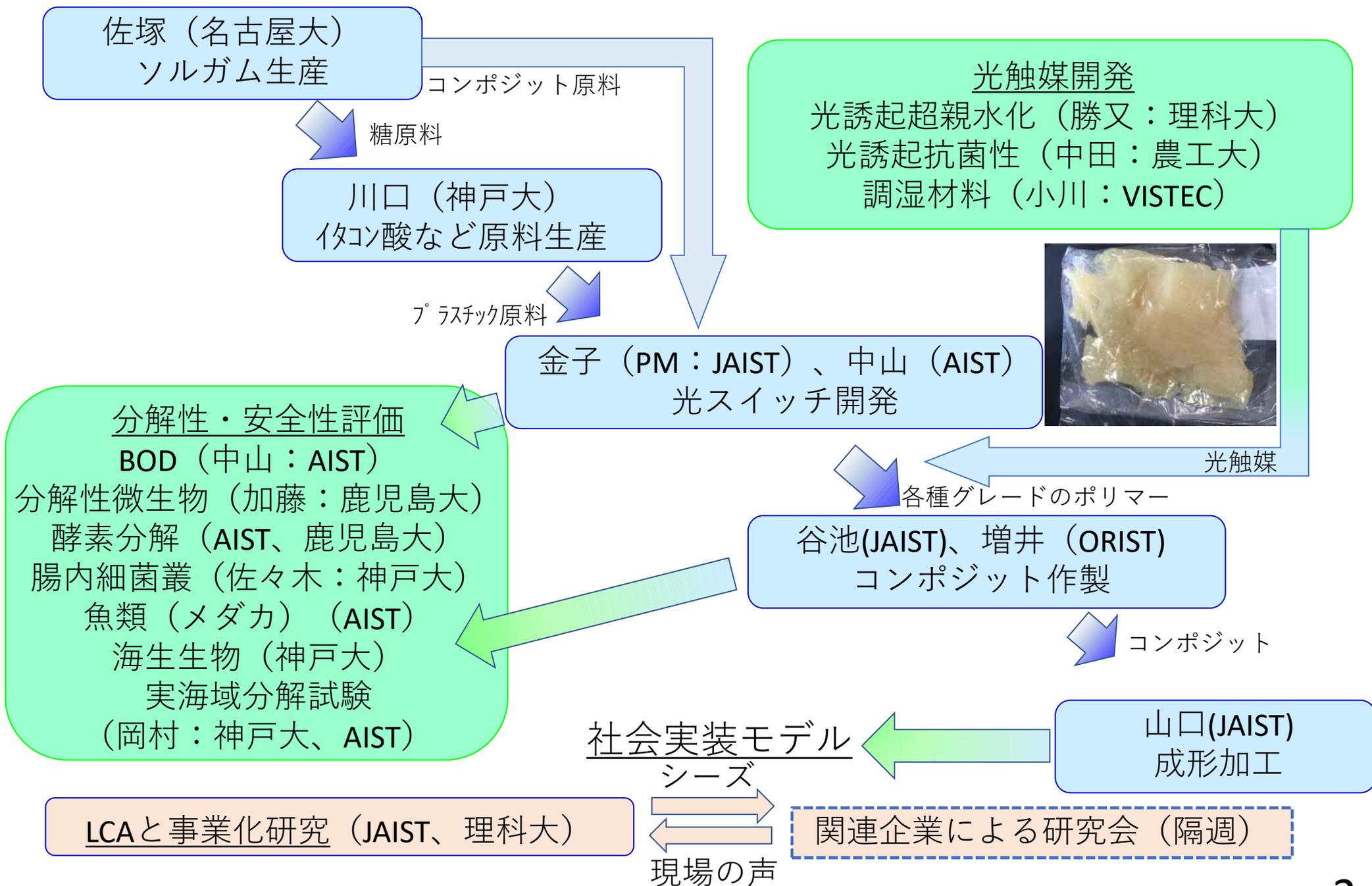
PM：金子達雄
北陸先端科学技術大学院大学 教授

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

実施体制

【実施期間】 2020年度～2029年度



各研究項目

NEDOおよびPD

指示・協議

PMマネジメント方針：地域性（繊維90%）と国際性（ACS、欧州・アジアでも活動）を生かし、国内外の産官学の連携を通し柔軟かつ大胆にマネジメントを行う。

産業技術総合研究所

研究開発実施場所：バイオメディカル研究部門（池田市）

研究項目②-2 海洋分解性プラスチックと抗菌性光触媒のコンポジット化

研究項目③-2 ラボ試験による海水生分解および安全性評価：BOD試験

研究項目④-1 消化酵素中における分解性評価

研究項目④-3 魚類を用いた分解性および安全性試験

大阪産業技術研究所

研究開発実施場所：応用材料化学研究部（和泉市）

研究項目②-3 OFF型およびON/OFF型光スイッチ生分解性コンポジットの抗菌活性評価

東京理科大学

研究開発実施場所：基礎工学部材料工学科（東京都葛飾区）

研究項目①-2 ON型光スイッチシステムに資する光触媒の新規開発

研究項目⑦-2 事業基盤強化および環境醸成

東京農工大学

研究開発実施場所：農学研究院生物システム科学部門（小金井市）

研究項目②-1 還元型抗菌性光触媒の開発

委託

北陸先端科学技術大学院大学

研究開発実施場所：先端科学技術研究科（能美市）

研究項目①-1 イタコン酸からのナイロンブロックの組み込み重合による各種ポリマーの開発

研究項目①-3 ON型光スイッチ生分解性ポリマーの分解を制御する添加剤システムの開発

研究項目①-4 ON型光スイッチ生分解性プラスチックの成形加工

研究項目⑦-1 LCA計算

委託

神戸大学

研究開発実施場所：大学院科学技術イノベーション研究科および内海域環境教育研究センター（神戸市）

研究項目⑥ ソルガムからのイタコン酸の発酵生産

研究項目③-1 実海域における分解性評価

研究項目④-2 疑似腸内環境における分解性および安全性評価研究項目

研究項目④-4 プラスチックの分解産物が海洋生態系に及ぼす影響評価

委託

委託

委託

名古屋大学

研究開発実施場所：生物機能開発利用研究センター（名古屋市）

研究項目⑤-1 高バイオマス収量に優れた根系を有する品種の開発

委託

委託

鹿児島大学

研究開発実施場所：大学院理工学研究科理学専攻（鹿児島市）

研究項目④-5 ナイロン分解酵素の特定とin vitro分解評価

研究項目④-6 ナイロン分解酵素を用いたコンポスティング

委託

開発スケジュール

| 研究開発項目 | | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
|---|-----|--------------|------------------------|------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|----------------------------|-----------|
| 研究開発項目① ON型光スイッチ生分解性プラスチックの作製 | ①-1 | ON型ブロック合成 | | | ON型ブロック導入ポリマー合成 | | | | | ON型ポリマー大量合成 | |
| | ①-2 | | ON型スイッチ光触媒の開発および合成法の確立 | | | | ON型スイッチ光触媒と調湿材料の複合体の開発 | | | | |
| | ①-3 | ON型スイッチ等劣化立証 | | | | 安定化剤開発・光触媒試験 | | | | 添加剤システム完成 | |
| | ①-4 | レオロジー特性把握 | | 繊維化・高強度化 | | フィルム化・高強度化 | | | 芯鞘繊維・多層フィルムの調製 | | |
| 研究開発項目② 光触媒の抗菌機能を活用したOFF型光スイッチ生分解性プラスチックの開発 | ②-1 | | 光触媒の合成法確立 | | | 光触媒の改質と抗菌活性評価 | | | | 光触媒のコンポジット化 | |
| | ②-2 | | スイッチ性能評価法の確立 | | OFF型材料の開発と評価 | | | ON/OFF具有型材料の開発と評価 | | | |
| | ②-3 | | 抗菌活性評価系の構築 | | 光スイッチ性能（抗菌性）評価 | | | | | 実環境試験との相関性評価 | |
| 研究開発項目③ 光スイッチ型生分解性プラスチックの海洋分解性評価 | ③-1 | | | ON型、OFF型樹脂の実海域評価 | | | | | | ON/OFF具有型の実海域評価 | |
| | ③-2 | | 閉環型ON型樹脂の安定性確認 | OFF型スイッチ性能の評価 | | 開環型ON型のBOD評価 | | | | ON/OFF具有型のBOD評価 | |
| 研究開発項目④ 光スイッチ型生分解性プラスチックの酵素分解性および安全性評価 | ④-1 | | ON/OFF型樹脂の分解性評価 | | | 分解機構の解析 | | | | 高分子構造の影響評価 | |
| | ④-2 | | ヒト腸内細菌叢モデルによる分解性評価系の構築 | 安全性評価系構築 | | 海洋動物の腸内細菌叢モデルによる分解性評価系の構築 | 安全性評価系構築 | | | | |
| | ④-3 | | ON/OFF型樹脂の経口摂取/排泄挙動の評価 | | | 水溶性樹脂(開環ON型)の評価 | | | | ON/OFF具有型の評価 | |
| | ④-4 | | オリゴナイロン6i誘導体・OFF型の評価 | | | 水溶性樹脂(開環ON型)の評価 | | | | ON/OFF具有型の評価 | |
| | ④-5 | | 微生物スクリーニング | | 性質付け・酵素遺伝子単離 | | | | 分解条件最適化・酵素機能強化 | | |
| | ④-6 | | 微生物機能強化・分子育種・コンポスト | スティング条件検討 | | | コンポストシステム開発 | | | パイロット試験 | |
| 研究開発項目⑤ 光スイッチ型海洋分解性プラスチックの原料として最適化したソルガム品種の開発 | ⑤-1 | ゲノムワイド関連解析 | | | | | | | | | QTL集積育種 |
| 研究開発項目⑥ ソルガムからの生分解性プラスチック原料の発酵生産 | ⑥-1 | | 糖化プロセスの開発および発酵阻害の影響解析 | | | | | | | デザイン化ソルガムの糖化プロセス開発 | |
| | ⑥-2 | | イタコン酸生産モデルおよび株の構築 | | | | | | | OFF型プラスチック原料生産菌の開発 | |
| | ⑥-3 | | 低酸素適合生産菌の開発 | | | | | | | 低炭素プロセスによるソルガムバイオマスからの物質資産 | |
| 研究開発項目⑦ 光スイッチ型海洋分解性プラスチック生産における事業基盤強化およびマネジメント業務 | ⑦-1 | | ラボデータによるLCA課題明確化 | | | 量産スケールLCA計算モデル構築 | | | | 世界規模GHG削減効果算定 | |
| | ⑦-2 | 海プラ問題の概要把握 | | | 研究会設立準備 | 研究会活動推進・協創基盤構築 | | アプリケーション探索・コンセプト検証 (PoC) | | アプリケーション決定・PoC完 | コンソーシアム結成 |

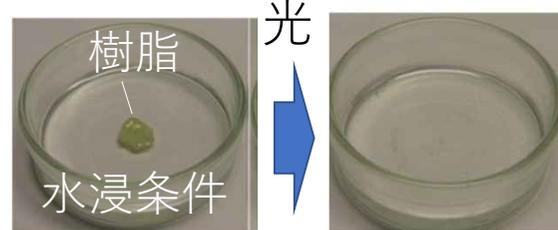
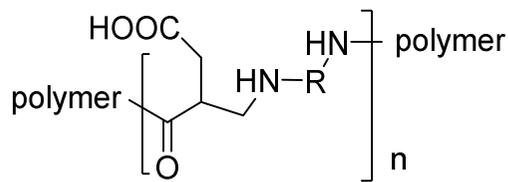
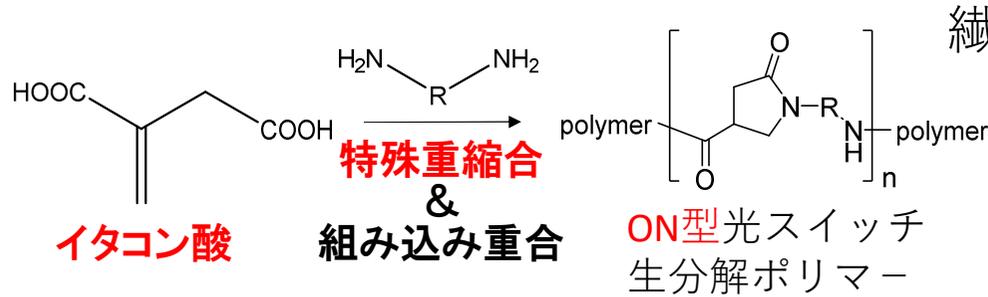
最終目標（2029年度）と社会実装のイメージ

【最終目標（2029年度）】ソルガム新品種から生産したイタコン酸と生分解性高分子を用いて新規開発の高機能光触媒をコンポジット化し光スイッチ型海洋生分解性の可食プラスチックを開発する

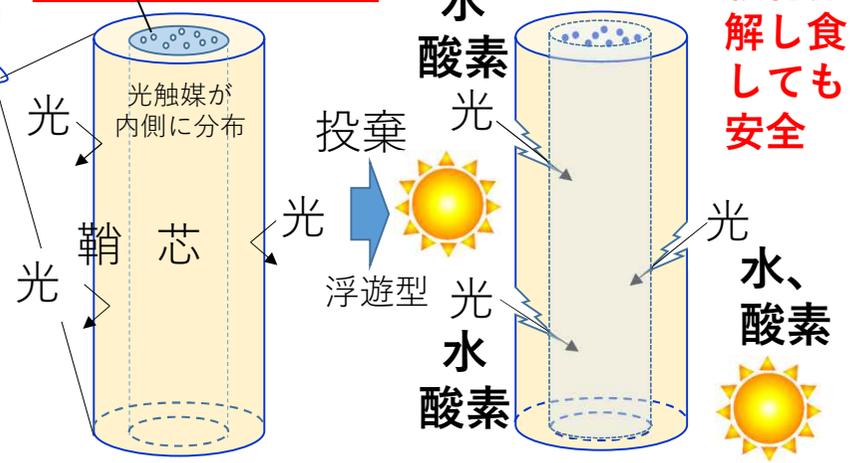


研究開発項目・内容 (ON型とOFF型スイッチ)

1. ON型光スイッチ海洋生分解性プラスチック



光誘起超親水化を活用



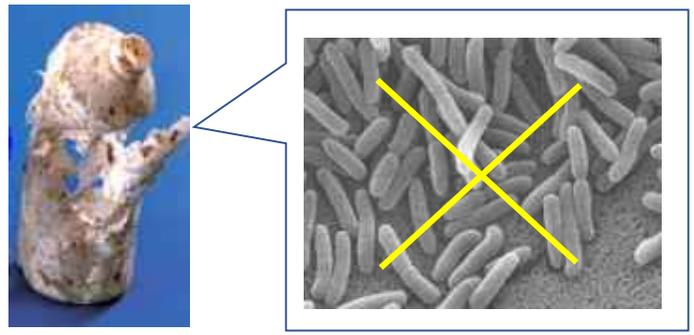
使用中は短波可視光は芯部まで届かない

物理的破壊により芯部の光触媒が機能し破損部より親水化生分解開始

軟化分解し食しても安全

光誘起開環親水化

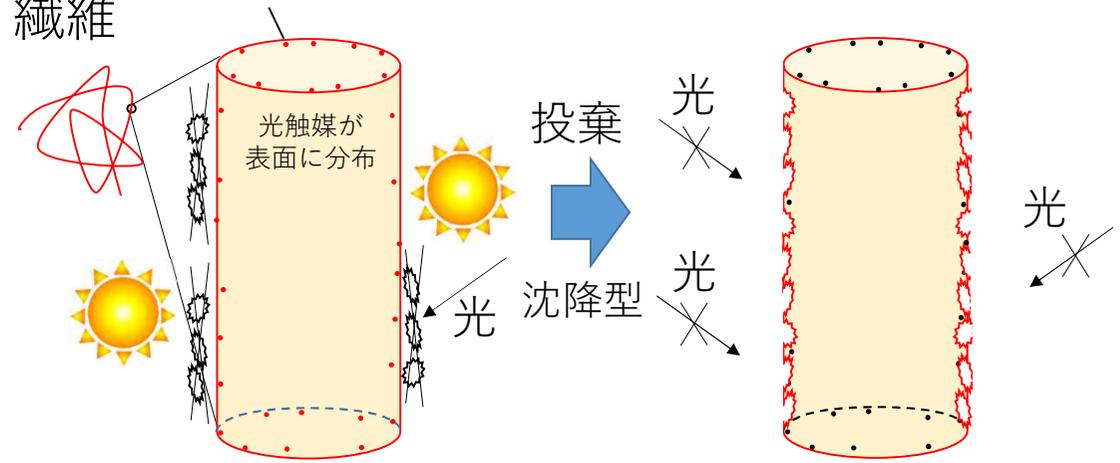
2. OFF型光スイッチ海洋生分解性プラスチック



従来生分解プラスチックの分解菌光制御

生活空間の露光で生分解抑制し、暗所 (海中・海底) で初めて機能する OFF型光スイッチ生分解プラ

光誘起抗菌性を活用

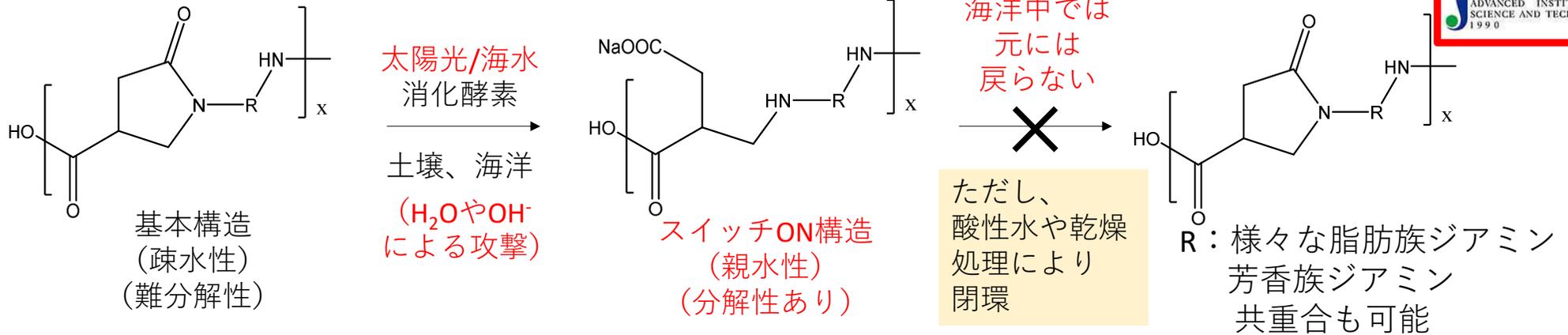


使用中は広い波長域で効率よく抗菌 (非分解化)

暗所で光触媒が機能せず生分解開始

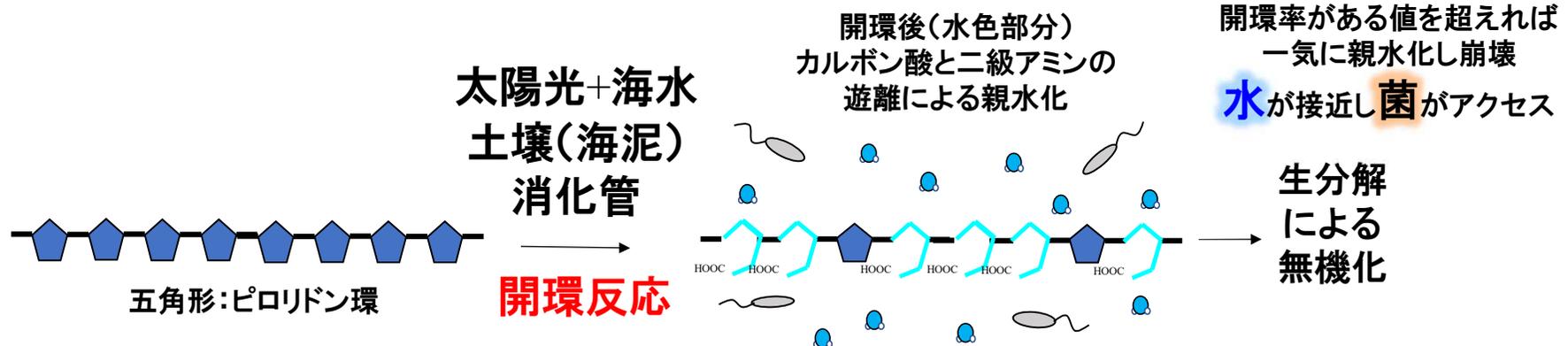
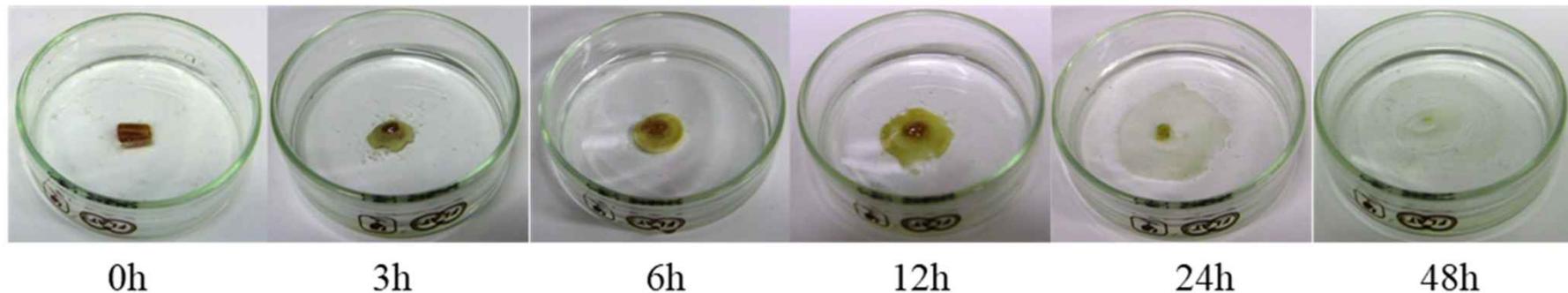
3. ON/OFF型光スイッチ海洋生分解性プラスチック

ON型光スイッチを装備したバイオナイロンの機能

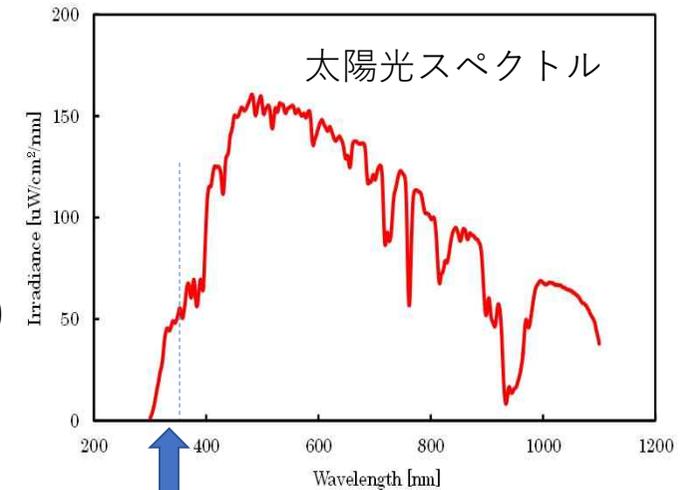
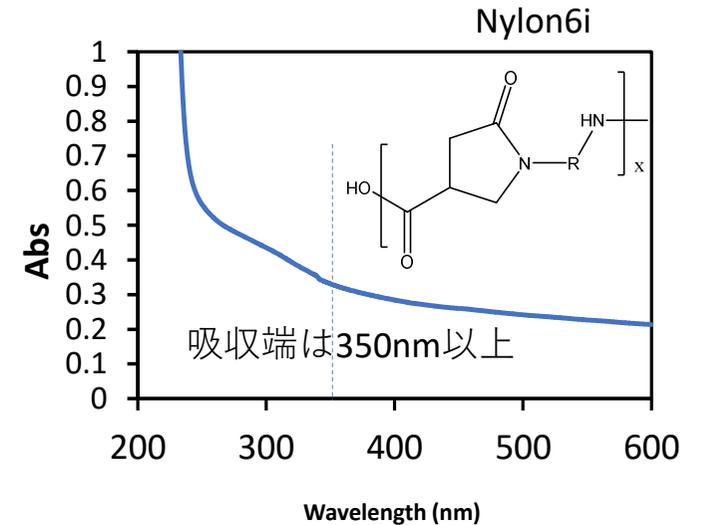
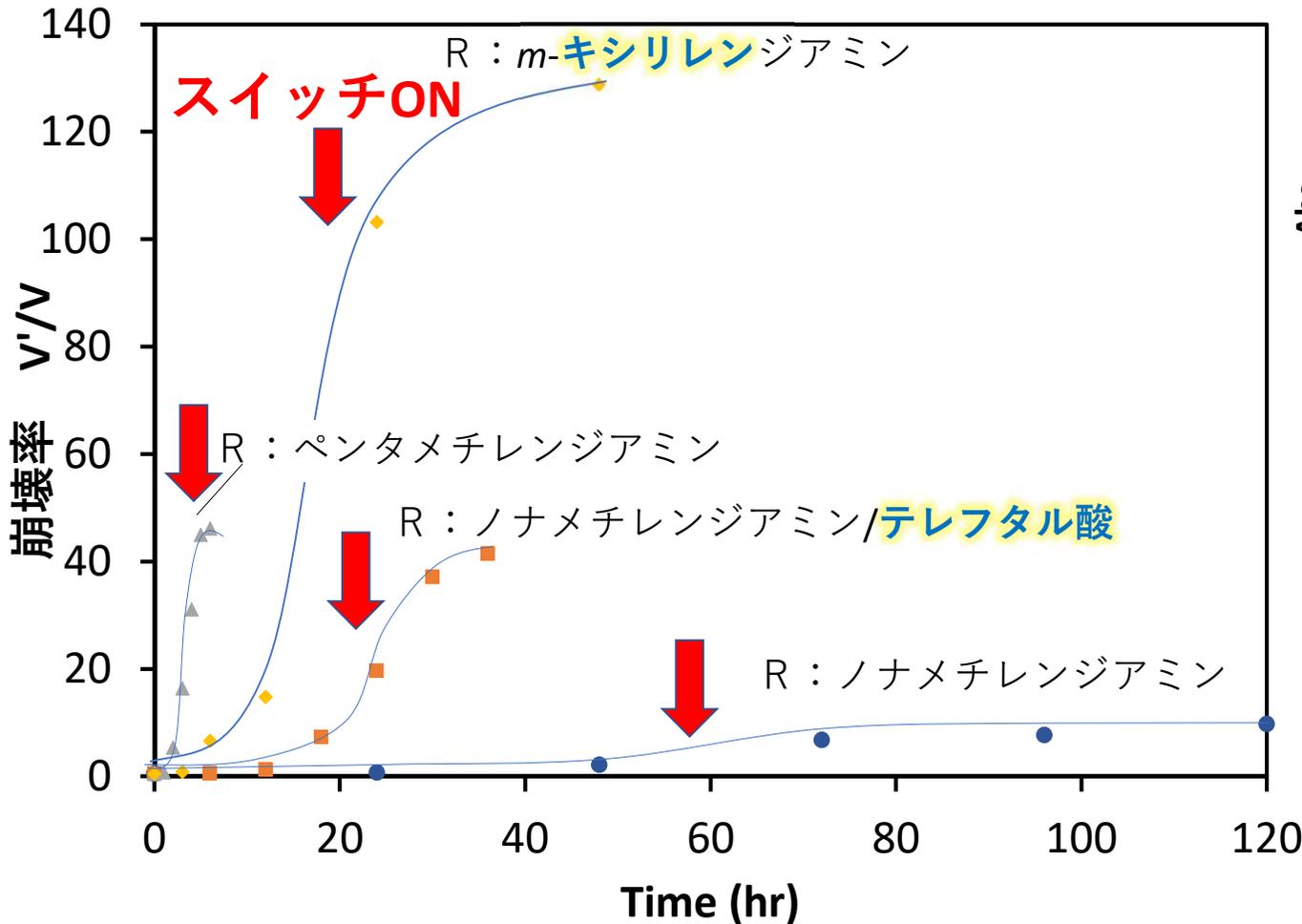


光と水の刺激による崩壊の様子 (カルボニル励起、OH⁻などの作用)

R: *m*-キシリレンジアミンの場合

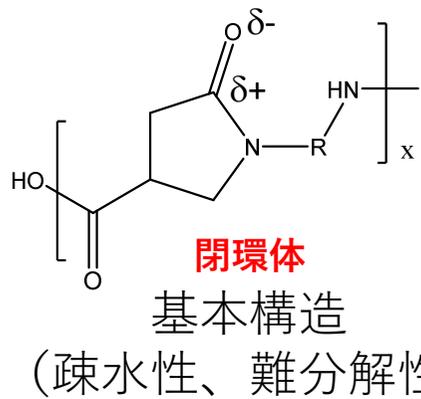


高圧水銀灯 (波長:250-450 nm, 照度150 mW/cm²)
(1時間照射が太陽光1か月照射に相当)

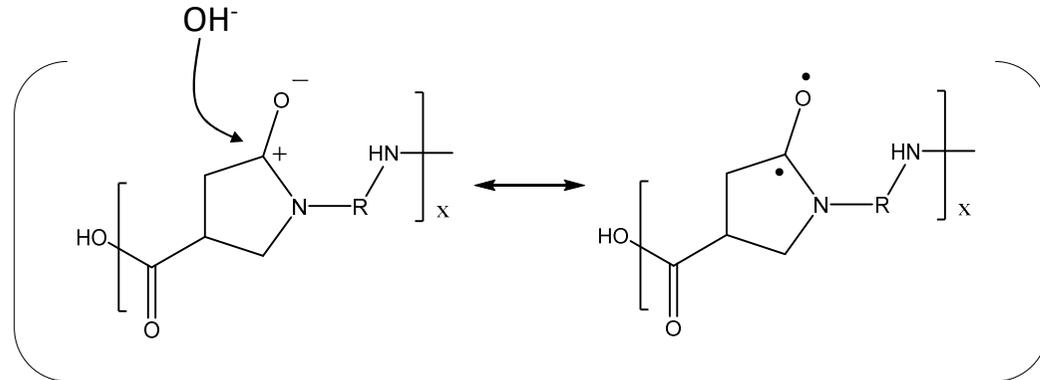


- ・ 脂肪鎖が長い (疎水性が高い) ほど崩壊速度が低い
- ・ 芳香族が入ると崩壊速度が速まる (光吸収が重要)

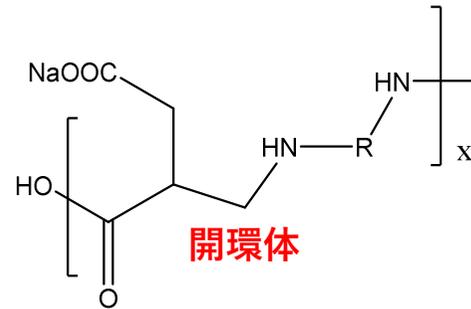
↑
スペクトルの重なり部分



太陽光
 $\pi-\pi^*$

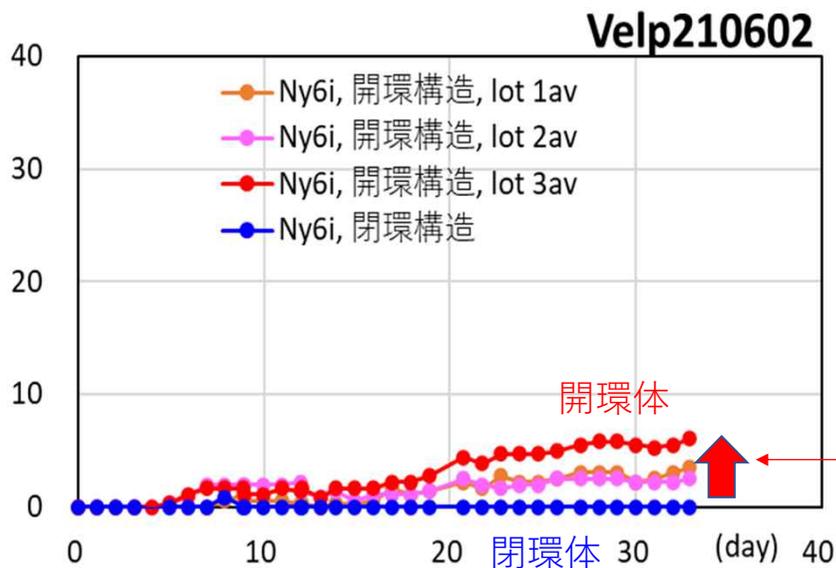


海水 (アルカリ性)
開環による親水化

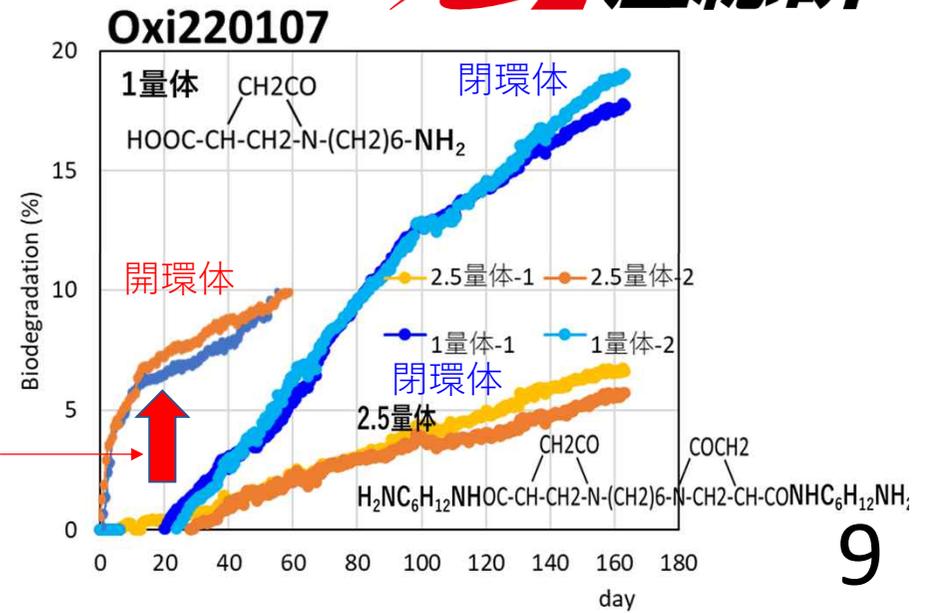


スイッチON構造
(親水性)
(分解性あり)

土壌微生物、加水分解酵素 + OH⁻

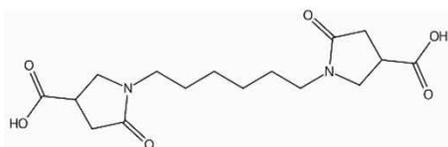


光開環反応
の効果

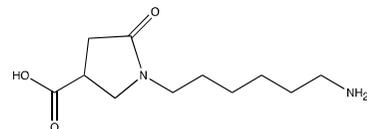


④-4 分解産物の海洋生物への毒性評価 (神戸大、産総研、鹿児島大、北陸先端大)

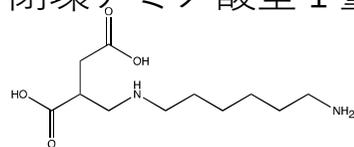
- ・ **開発内容**：課題①で開発されるポリマーに由来する分解産物の生態リスクを評価し、結果をフィードバックする。
- ・ **最終目標**：分解産物が藻類、甲殻類、魚類などの水生生物に及ぼす影響を生態毒性試験によって評価し、**推定無影響濃度(PNEC)**を算出する。環境分解性を考慮して**推定残留濃度(PEC)**を求め、生産量に応じたPEC/PNEC比から生態リスクを推定する。



閉環ジカルボン酸型1.5量体



C₁₁H₂₀N₂O₃, FW 228.29, CASRN 2140294-83-1
閉環アミノ酸型1量体



C₁₁H₂₂N₂O₄, FW 246.29
開環アミノ酸型1量体

生態毒性試験の概略

1. 4種の海産生物および3種の淡水産生物への影響を評価した。
2. 供試試料の初期pHを培地・飼育水のpHに調整して試験した。

表1 バイオナイロンが水生生物に及ぼす急性毒性
(EC50, LC50 in mg/l, 初期pHを調整)

| 試験生物 | 閉環型 | | 開環型 |
|---------|------------------|-----------|-----------|
| | ジカルボン酸型 1.5量体 | アミノ酸型1量体* | アミノ酸型1量体* |
| 海産発光細菌 | > 1,000 | >10,000 | >10,000 |
| 海産微細藻類 | > 1,000 | 7,200 | 7,100 |
| 塩水性甲殻類 | > 1,000 | >10,000 | >10,000 |
| 海産ワムシ | > 1,000 | >10,000 | >10,000 |
| 淡水産微細藻類 | > 1,000 | 3,800 | 4,400 |
| 淡水産甲殻類 | 820 | >10,000 | 7,600 |
| 淡水産ワムシ | 370 | >10,000 | 6,300 |

*塩分を含む

まとめ(2022.8.22)

- ・ **閉環ジカルボン酸型1.5量体**について、2生物群(藻類、甲殻類)の信頼できる知見が得られたとしてアセスメント係数1000を用いる。最も低い数値(370 mg/l)を1,000で除して、**急性毒性値によるPNECは370 ug/l**が得られた。
- ・ **閉環アミノ酸型1量体**について、2生物群(藻類、甲殻類)の信頼できる知見が得られたとしてアセスメント係数1000を用いる。最も低い数値(3,800 mg/l)を1,000で除して、**急性毒性値によるPNECは3,800 ug/l**が得られた。
- ・ **開環アミノ酸型1量体**について、2生物群(藻類、甲殻類)の信頼できる知見が得られたとしてアセスメント係数1000を用いる。最も低い数値(4,400 mg/l)を1,000で除して、**急性毒性値によるPNECは4,400 ug/l**が得られた。
- ・ 各物質について、上記のPNECを超える濃度で水環境に残留する場合には、生態毒性があると判断される。

なお、魚類試験については、数グラムオーダーの試料が必要となるため実施していない。試料を得て、魚類試験を実施して10,000 mg/lで影響が50%以下である場合には、アセスメント係数は100となるので、上記のPNECはそれぞれ10倍濃度となる。

オオミジンコ *Daphnia magna* NIES-R系統



♀

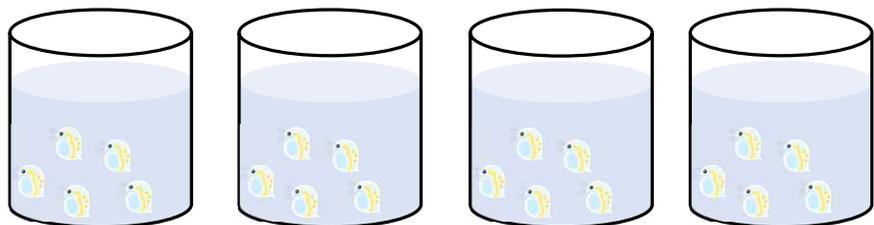
1mm

♂

出典; 国立環境研究所HPより

試験方法の概略

- 5匹/ビーカー、4ビーカー/濃度区 (計20匹)
- 設定濃度; 対照区、濃度区 (7.5 mg/L)
- ばく露期間; 48時間 (OECD TG 202)
- ばく露方法; 止水式、試料ばく露のみ
- 観察項目; 遊泳障害、生残率



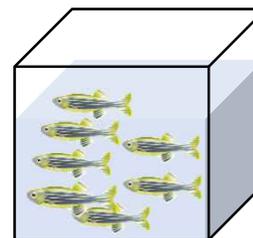
ゼブラフィッシュ *Danio rerio* NIES-R系統



試験方法の概略

- 7匹/水槽
- 設定濃度; 対照区、濃度区
- ばく露期間; 96時間 (OECD TG 203)
- ばく露方法; 試料ばく露 7mg 1日2回給餌
- 観察項目; 生残率

給餌 → 水換え → 給餌



成果

1. 既存プラスチックの粉碎物の粒径解析
2. 既存プラ粉末の蛍光染色法を確立
3. プラ粉末を効率的に経口摂取させる手法の確立
4. 取り込んだプラ粉末の体内動態のイメージング
5. PS, Ny6-L, Ny6i(0.5%TiO₂), Ny6i(1%TiO₂), Ny6i(1.5量体), Ny6i 75%, Ny6i 11 50%, Ny6i 11 50% CuI NaNbO₃の急性毒性評価
→毒性は認められなかった
6. ON型樹脂を経口摂取させた際の遺伝子発現解析

メダカによる経口摂取/急性毒性試験

OECD TG203に準拠
3 L ガラスビーカー



メダカ 7匹

適正給餌量：体重(約250mg)の2~3% ≒ 7.3mg/匹/日 → 360mg/週
餌360mgにMPを180mg混合
→ MP：3.7mg/匹/日

| MPの種類 | 急性毒性 |
|------------------------------------|------|
| Ny6 | なし |
| Ny6-L | なし |
| Ny6i(0.5%TiO ₂) | なし |
| Ny6i(1%TiO ₂) | なし |
| Ny6i(1.5量体) | なし |
| Ny6i 75% | なし |
| Ny6i 11 50% | なし |
| Ny6i 11 50% CuI NaNbO ₃ | なし |

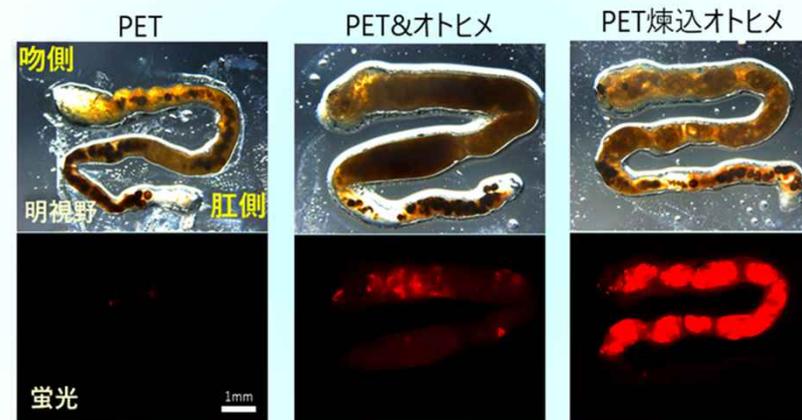
ただし、TG203は水溶性の化合物の評価方法のためMPのような固形物ではメダカが実際どのぐらいMPを摂取しているか不明

↓
NMRで摂取量の定量ができないか検討中

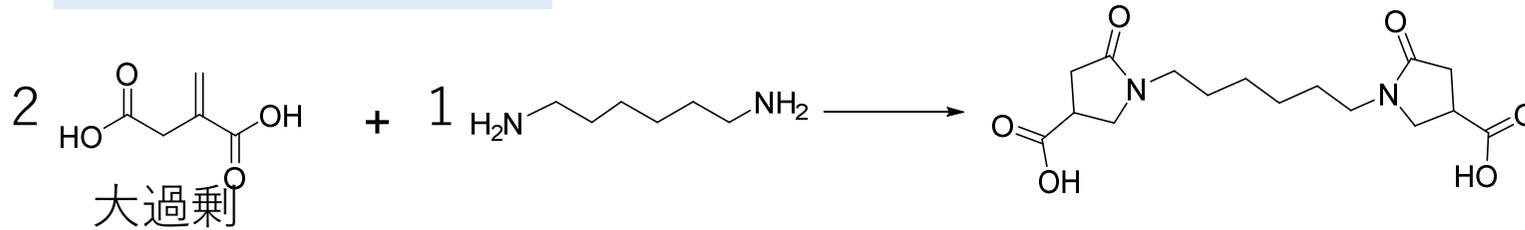
今後

1. MPをメダカに摂食させたときの摂食量の定量
1. 開発中のプラ素材の急性毒性確認
2. 開発中のプラ素材をメダカに摂食させたときの遺伝子発現解析
3. 微小MPの体内取り込み観察

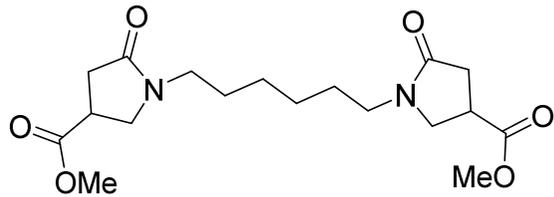
蛍光染色とイメージング



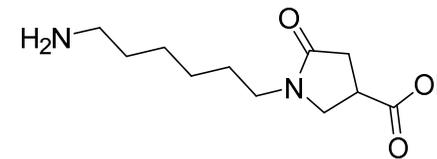
光スイッチの合成



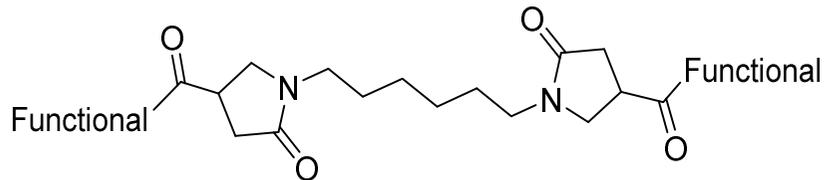
ジカルボン
酸型1.5量体
(ポリエステルおよび
ポリアミド用)



ジエステル酸型1.5量体
(ポリエステル用)

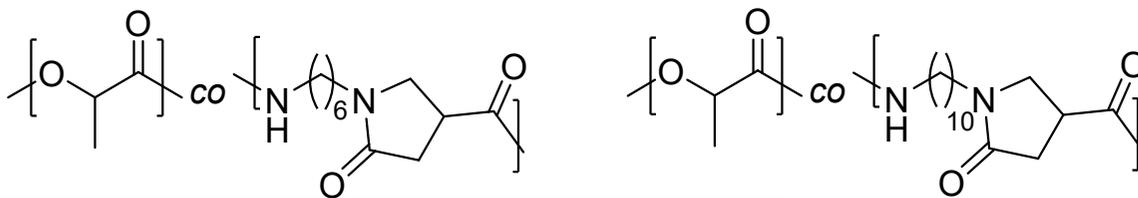


アミノ酸型1量体
(非対称ポリマー用：
水中で合成)

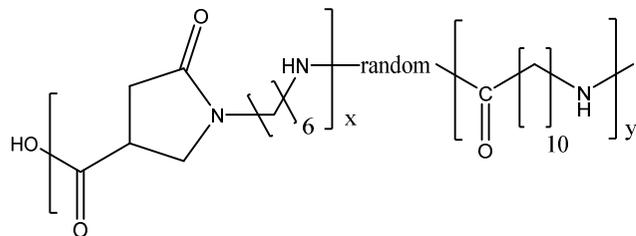


末端アミノ化やヒドロキシ化ナイロンブロック
(ポリエステル、ポリアミド、ポリウレタン)

光スイッチの組み込み



PETやPLAに10i単量体が効率よくポリ乳酸に組み込むことが出来ることが判明した



アミノ酸型1量体のナイロン
11への組み込みに成功

- 【特許出願人】 国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学
- 【出願日】 令和2年10月29日
- 【出願番号】 特願2020-181536
- 【発明者】 金子 達雄、王 懐玉、マニンダー シン
- 【発明の名称】 ポリアミド系ポリマー

ストランド



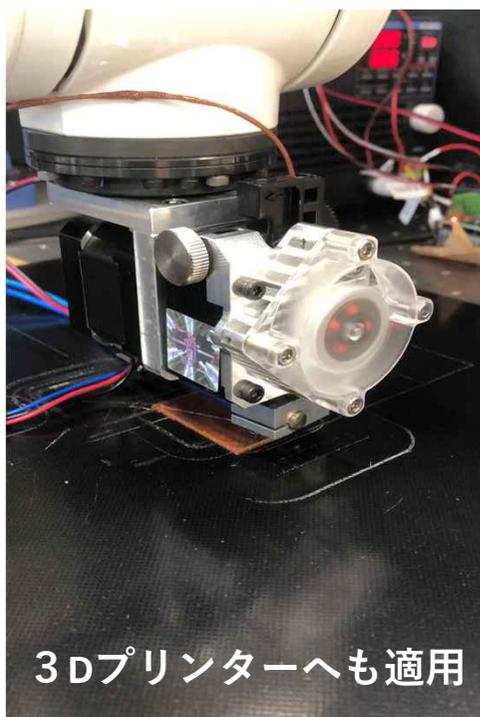
繊維化



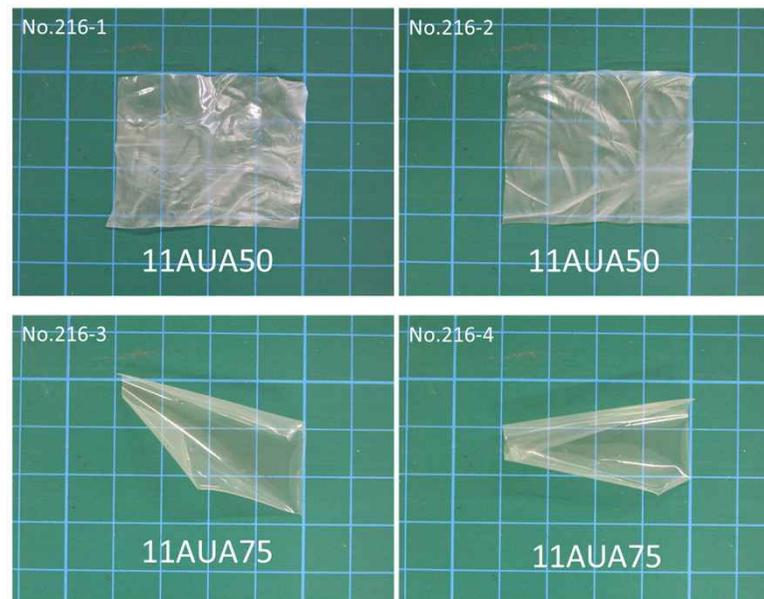
射出成型



ペレット化も可能

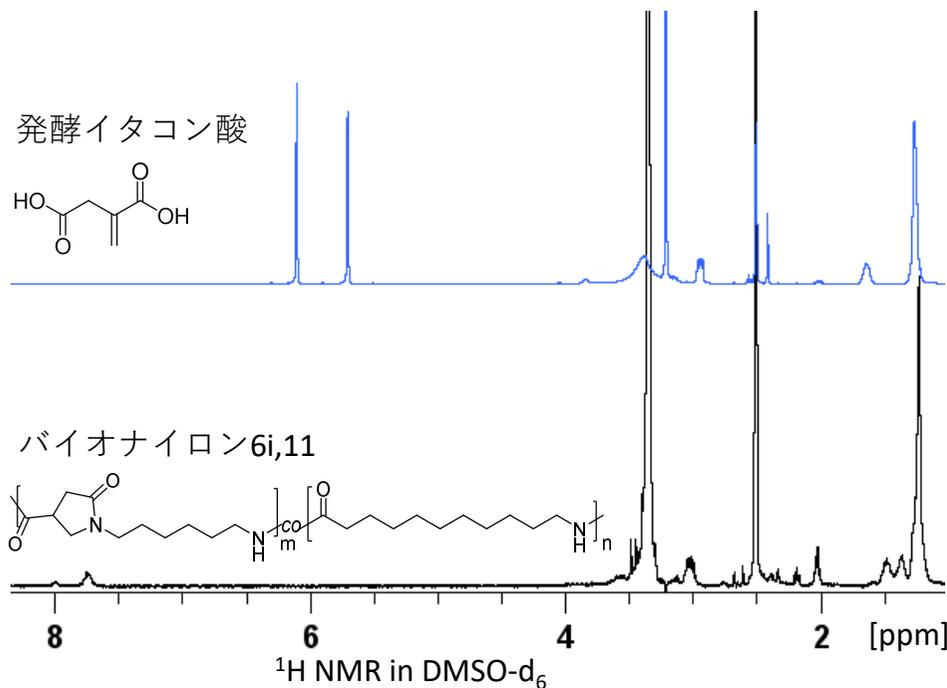


キャストフィルム



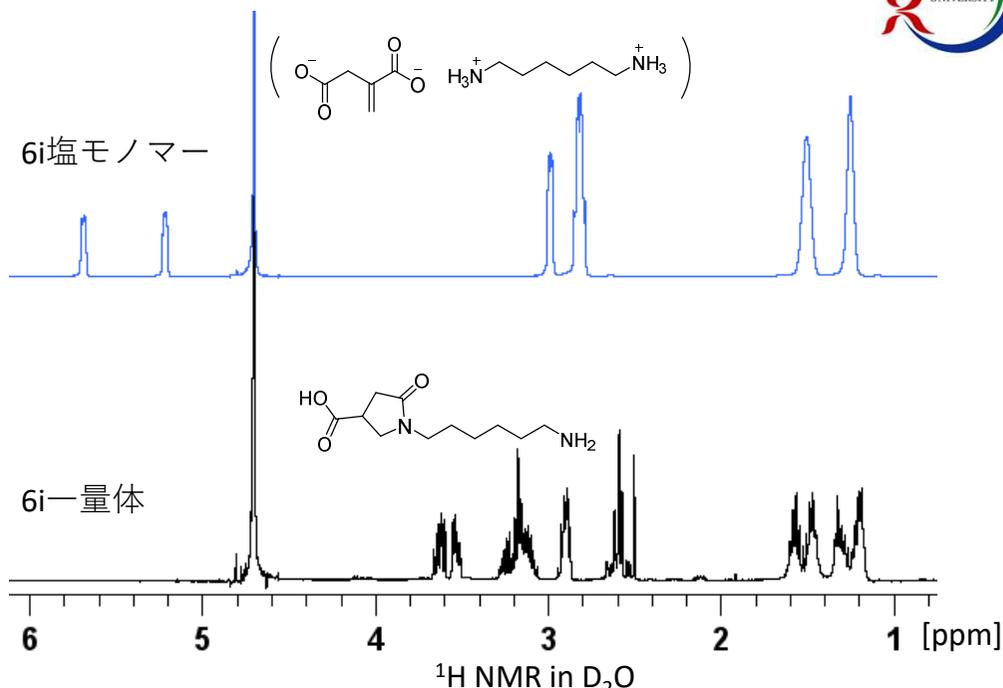
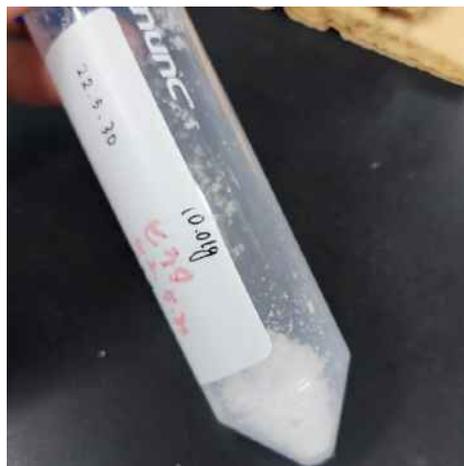
極めて成形性の高いポリマーであった

ソルガム糖液から発酵生産イタコン酸をヘキサメチレンジアミンと反応させ、6i塩モノマーおよび6i一量体を合成した。さらに、11アミノウンデカン酸と共重合させ、ナイロン6i,11がされ、繊維を得た。



発酵イタコン酸

ナイロン6i,11



ナイロン繊維



発酵生産イタコン酸が塩、抽出溶媒などの不純物が含まれているが、ナイロン塩の合成過程で不純物が取り除くことができ、ナイロンの合成には影響がない。

今後：原料の低コスト化、低炭素化を目指してバイオマスチーム、LCAチームが研究展開



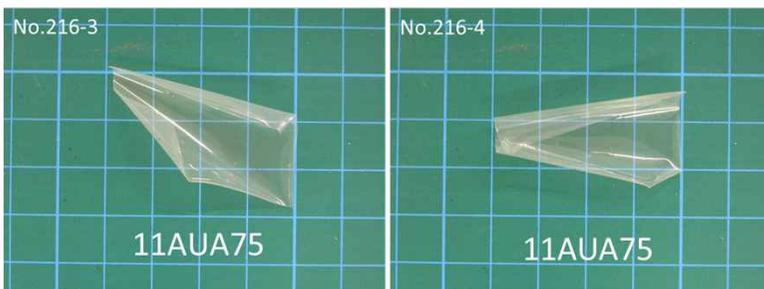
0 hour

16 hours

72 hours

>100 hours

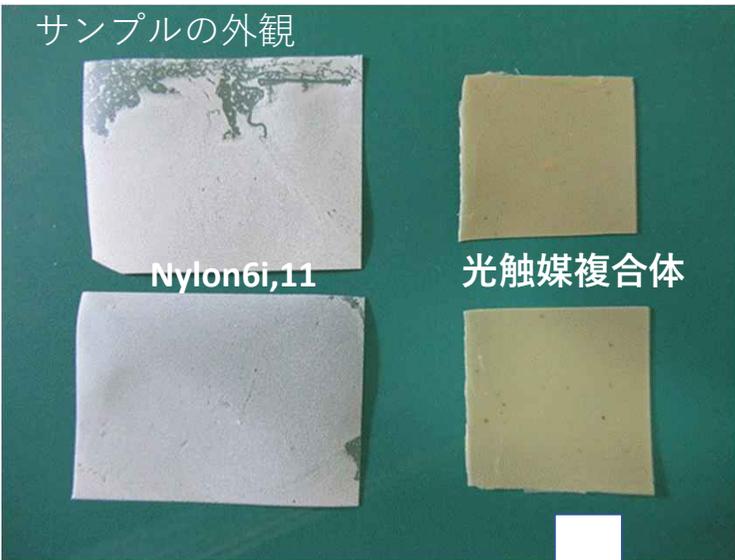
水浸下における光崩壊を確認



海中における
光崩壊を確認中



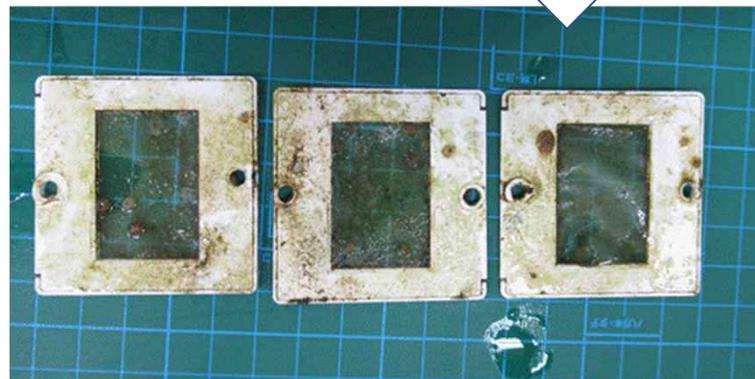
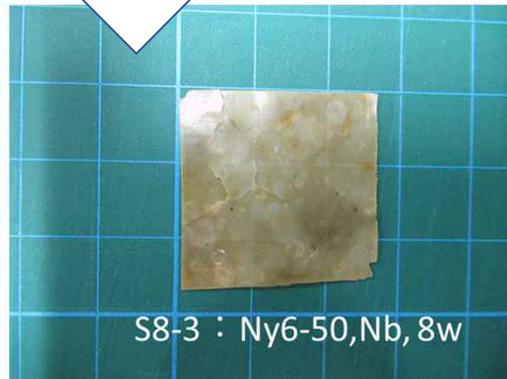
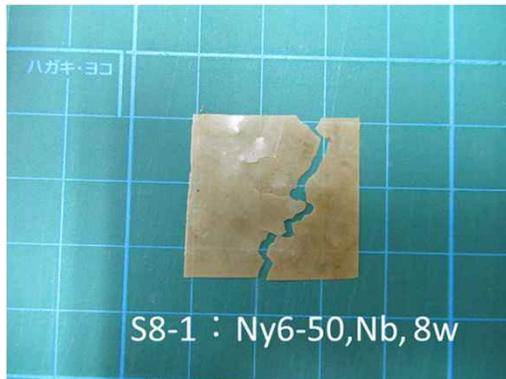
6/9~



8/1~



データ整理
解析中



実海域環境中で光スイッチ型ナイロン11に集積する細菌叢の挙動解析



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

ナイロン6iフィルム：JAIST金子教授より供与
菌叢解析：JAMSTEC若井研究員との共同研究

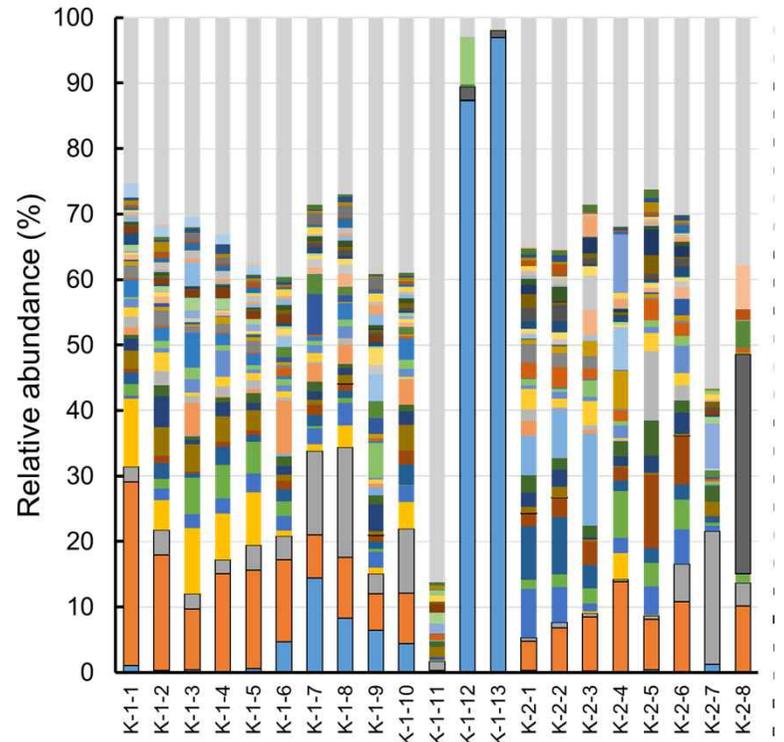
浸漬用治具



フィルムマウント



2021.08 夏季および2021.12 冬季
サンプル収集

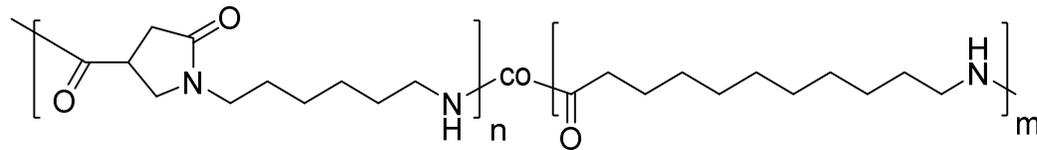


フィルム表面に集積する菌叢情報
水深における菌叢の違い、海水・底泥サンプルとの比較

海水や底泥、PET等とは異なる細菌叢の形成
→実海域でのサンプル浸漬実験の有用性確認

本サンプルの開環体の「BOD試験による生分解」「ナイロン分解酵素による分解試験」も進めている

ON型光スイッチ組み込みNylon11



11-アミノウンデカン酸を導入し重合できる条件を見出した。(10Lベンチスケール合成条件も確立: **前倒し課題**)



フィルムと射出成形体
(原料作製に関し)



表1 長鎖脂肪鎖を有するバイオナイロンの熱的力学的物性

| Diamine, diacid | Tensile Strength (MPa) | Elongation (%) | Young's Moduli (MPa) | T_{d5} (°C) | T_g (°C) | T_m (°C) |
|-----------------|------------------------|----------------|----------------------|---------------|------------|------------|
| 10,i | 91 | 10 | 242 | 402 | 57 | ND |
| 12,i | 96 | 12 | 255 | 399 | 55 | ND |
| 10,i12 | 120 | 70 | 200 | 427 | 50 | 155 |
| 12,i12 | 115 | 65 | 180 | 423 | 45 | 155 |
| 6,i11 | 120 | 60 | 214 | 428 | 40 | 170 |
| 6,i14 | ND | ND | ND | 392 | 48 | 160 |
| 6,i16 | 98 | 9 | 200 | 389 | 50 | 161 |
| 6,i18 | 101 | 10 | 215 | 421 | 48 | 166 |
| 6,i20 | 96 | 10 | 189 | 412 | 44 | 158 |

スプレー法によりコーティング

課題1: コーティング性

課題2: コートの安定性

課題3: 使用後の分解性

(分解スイッチング)

イタコン酸由来ナイロンの構造多様性を拡大

【特許出願人】 国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学
 【出願日】 令和3年12月28日
 【出願番号】 特願2021-215456
 【発明者】 金子 達雄、多宮宗弘、マニンダー シン
 【発明の名称】 ポリアミド系ポリマー

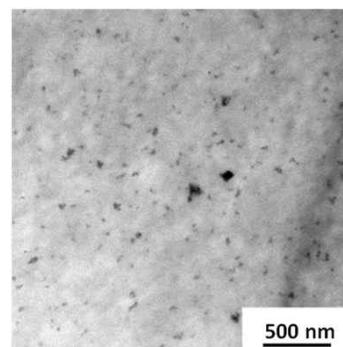
1. 溶融混練・圧縮成形によるコンポジットフィルム調製



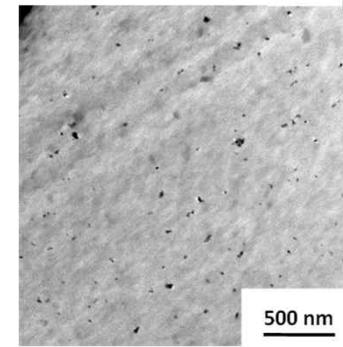
+CuI (1.0 wt%)
安定化剤のみ



+CuI (1 wt%)+NaNbO₃ (0.5 wt%)
安定化剤+光親水化素材



500 nm



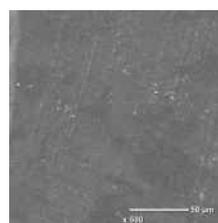
500 nm

ソルボサーマル法とより実用的な固相法で
合成したNaNbO₃の分散はいずれも良好

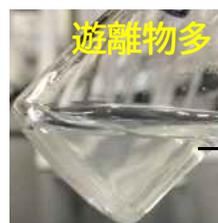
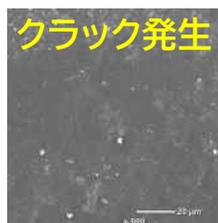
バイオナイロンは、空気中ではナイロン11よりも安定だが、水中で光照射により加水分解。
CuIを添加することで光劣化を抑制、NaNbO₃を添加することで光加水分解を促進。

2. 劣化メカニズム(35℃, キセノンランプ, 塩水霧囲気)

+CuI (1.0 wt%)



+CuI (1 wt%)
+NaNbO₃ (0.5 wt%)



フィルム外観

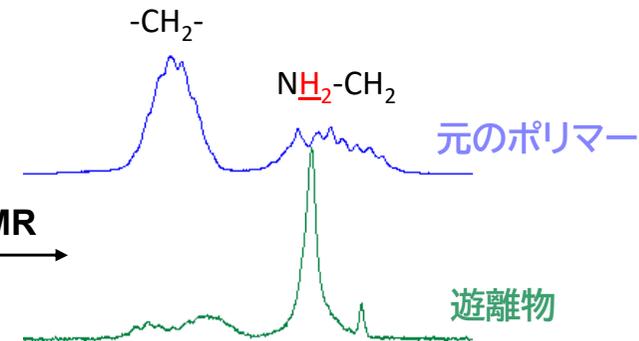
表面形態

劣化物遊離

遊離物の
大量調製
(7週間照射)



¹H-NMR



遊離物は末端アミンを大量に含む
(加水分解を支持)。

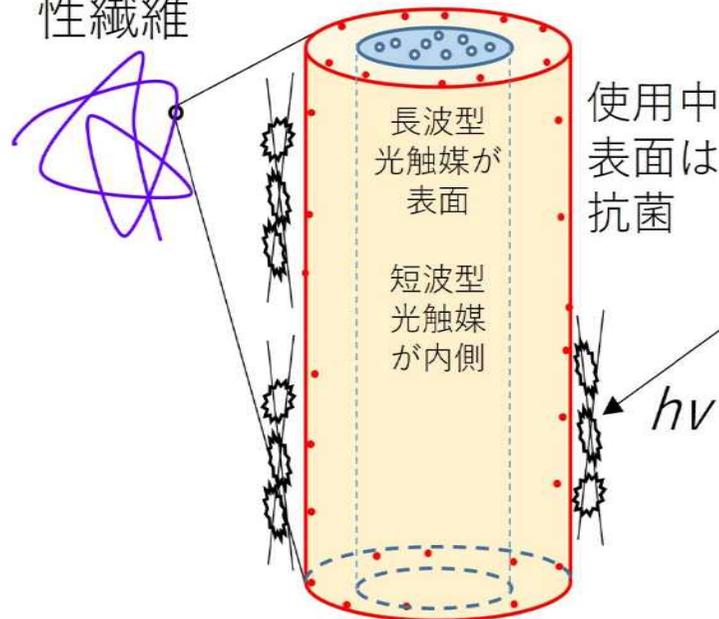
BOD試験、毒性試験、LC-MS測定

OFF型光スイッチ海洋生分解システム

ON/OFF型
光スイッチ
海洋分解
性繊維

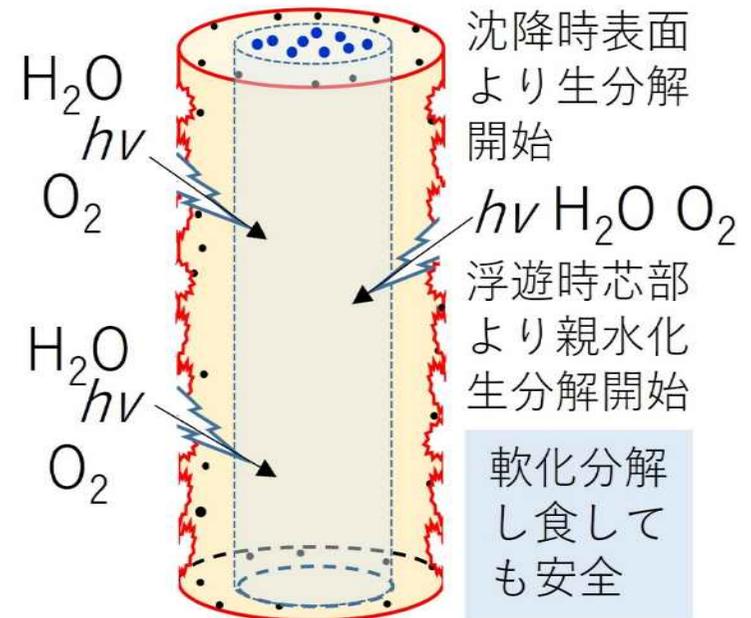
使用中
内側は
不活性

ON型の光スイッチのコントロールにも使える



投棄

浮沈型
(比重~1)

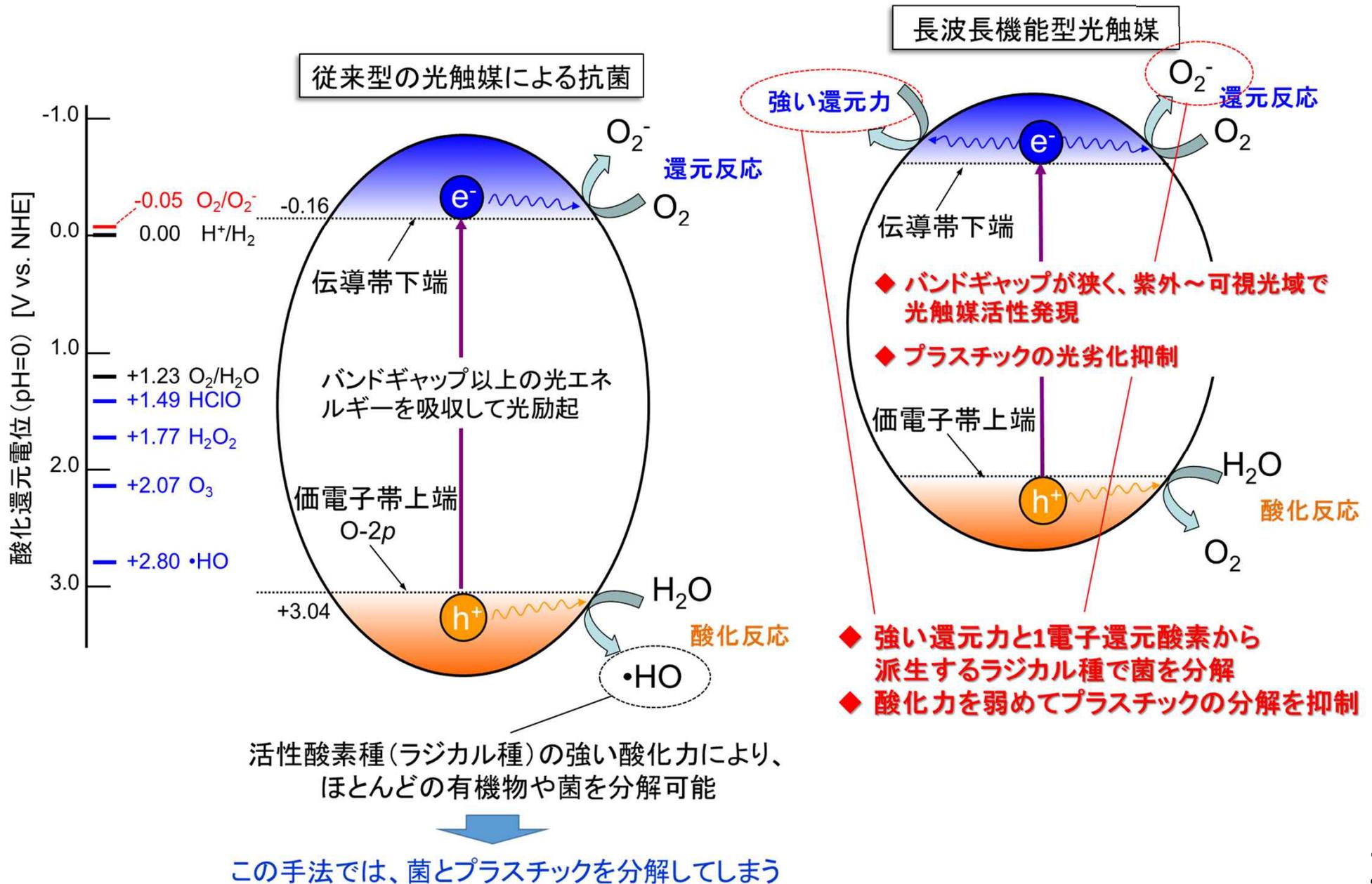


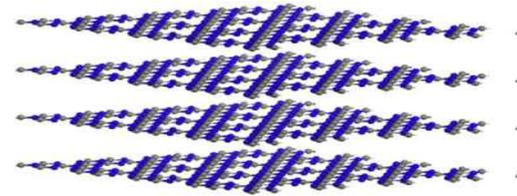
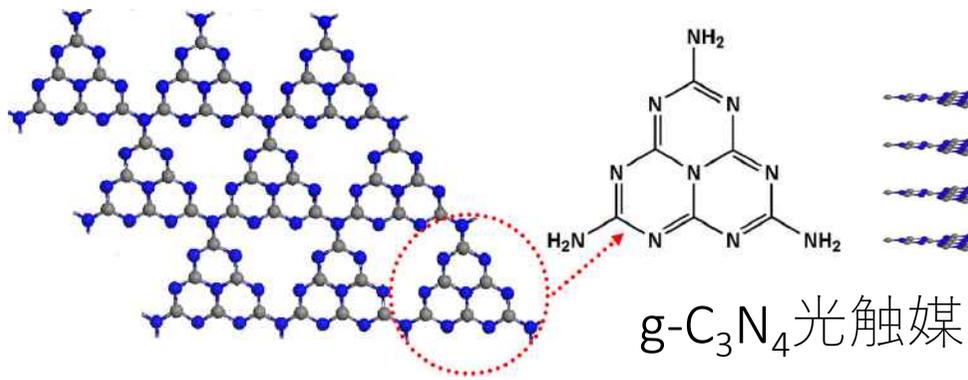
ON/OFF型光スイッチ海洋分解性プラスチック用途に向けた
抗菌性光触媒の開発

OFF型開発のポイント

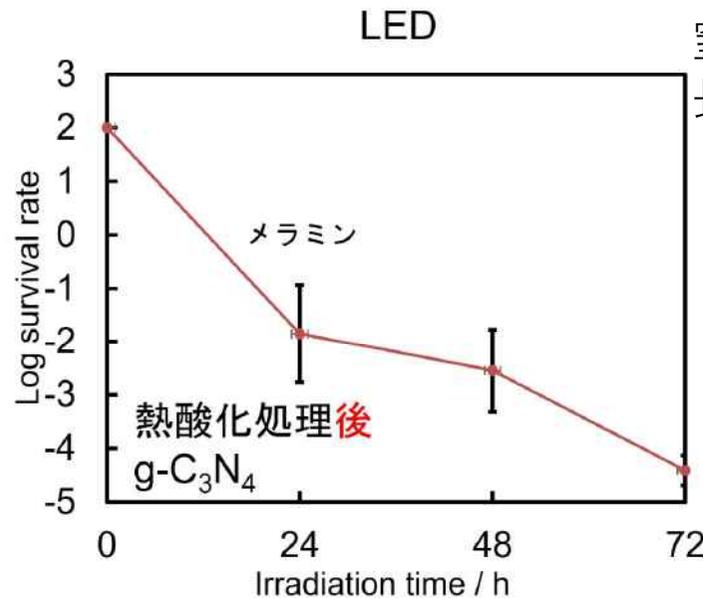
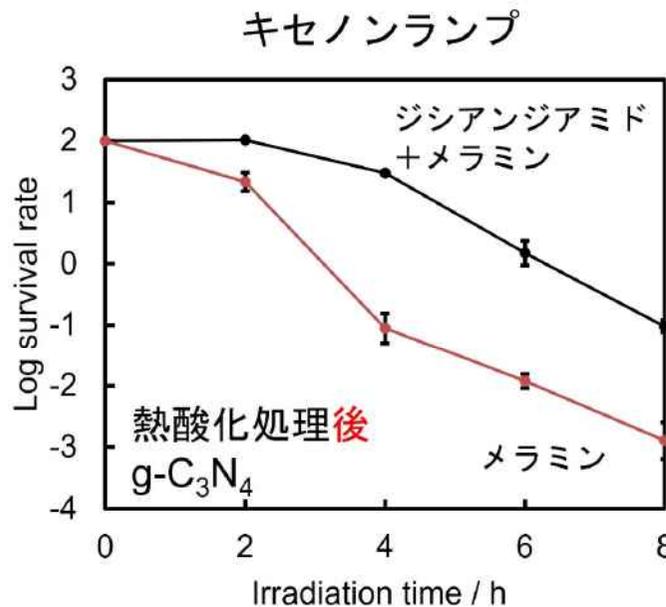
- 1) 樹脂は分解させないが抗菌は行える特殊な光触媒の開発
- 2) ラボおよび実環境における分解性の評価方法の確立

①可視光下、②高分子を分解せず、③殺菌できる

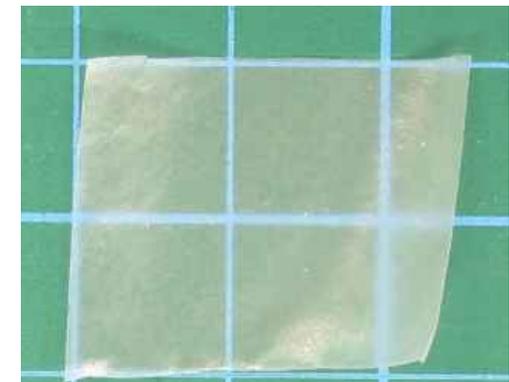




未ドーピング (メラミン) リンドーピング (メラミン) リンドーピング (メラミン+シアヌル酸)



窒化炭素へのりんドーピングにより長波長光を吸収することを確認



PCLへのコンポジット化も可能であった

図. 抗菌試験(Visible light=1000 W/m²)

図. 抗菌試験(Visible light=6000ルクス)

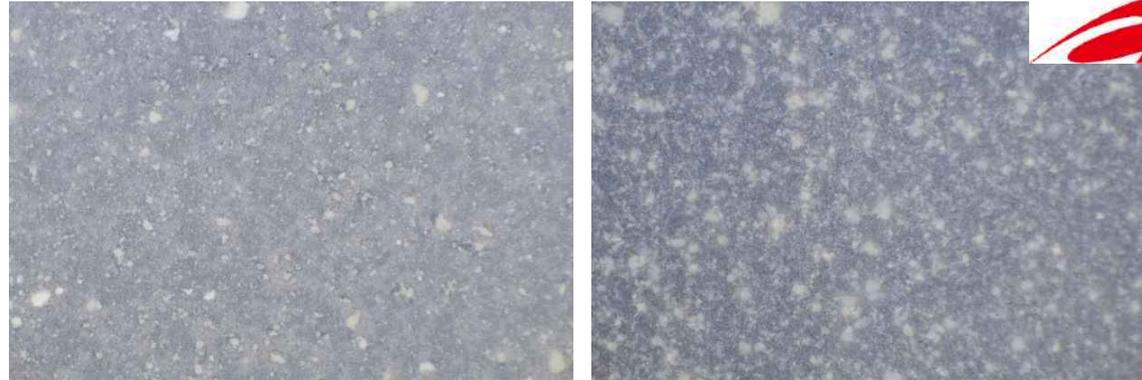
- 原料を変更することにより抗菌活性が向上することを確認
- LED下でも抗菌性を発揮

安定性評価



LEDランプ照射強度
5,000 Lx
コンポジットフィルム
混合法により作製

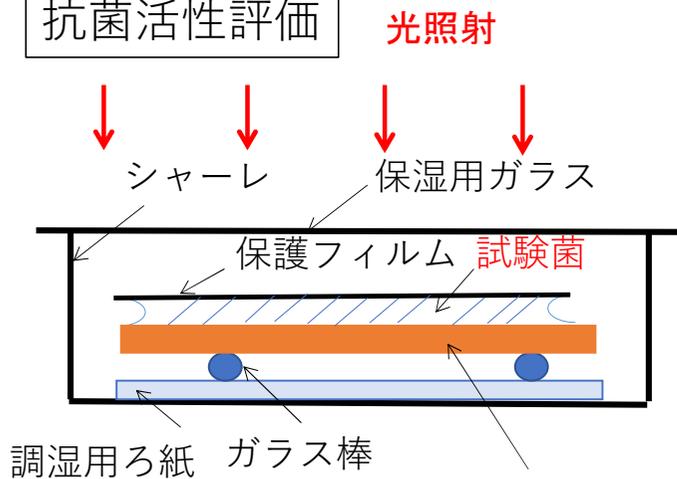
600 h 照射後のフィルム表面の顕微鏡写真



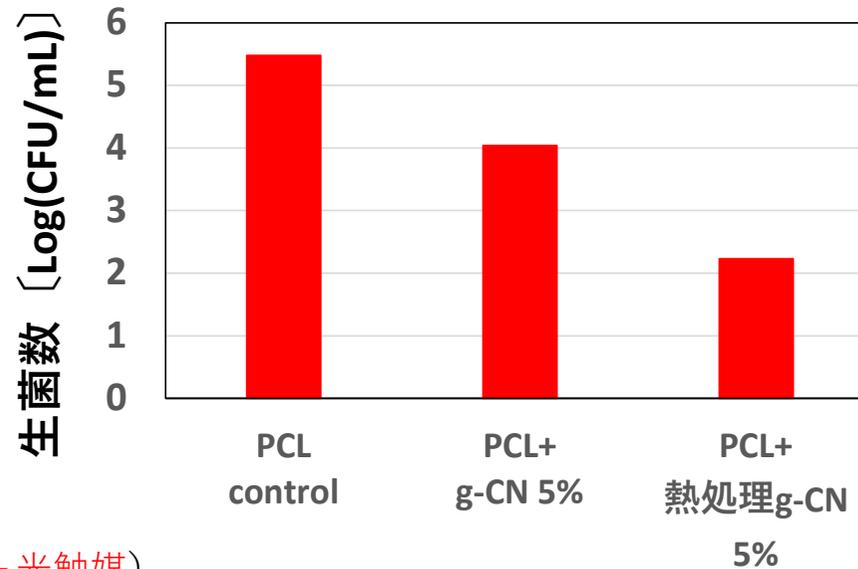
PCL + g-C₃N₄ 5% PCL + 熱処理g-C₃N₄ 5%
クラック等の発生は見られない。

光源：キセノン Sun light type
12,000 Lx、0.20 mW/cm²、4 h 照射後

抗菌活性評価



コンポジットフィルム
(生分解性プラスチック+光触媒)



熱処理g-CN添加
フィルムおよびg-
CN添加フィルムは
コントロールより
も抗菌性が向上し
ていた。

実環境試験 (海洋生分解性評価)



神戸大 (深江)



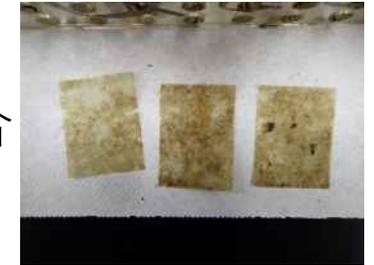
浸漬試料Box

浸漬期間

1. (2021.11/26-12/9) 2w
2. (2022.2/10-4/28) 8w
3. (2022.6/9-6/23) 2w
4. (2022.8/4-8/10) 1w

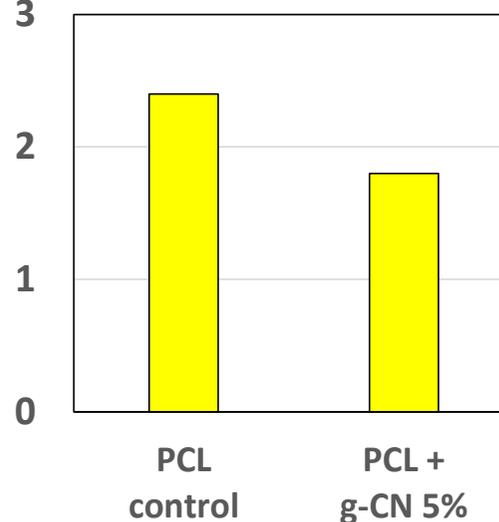
使用フィルム

- 混合
- 混合
- 粉碎混合
- 粉碎混合

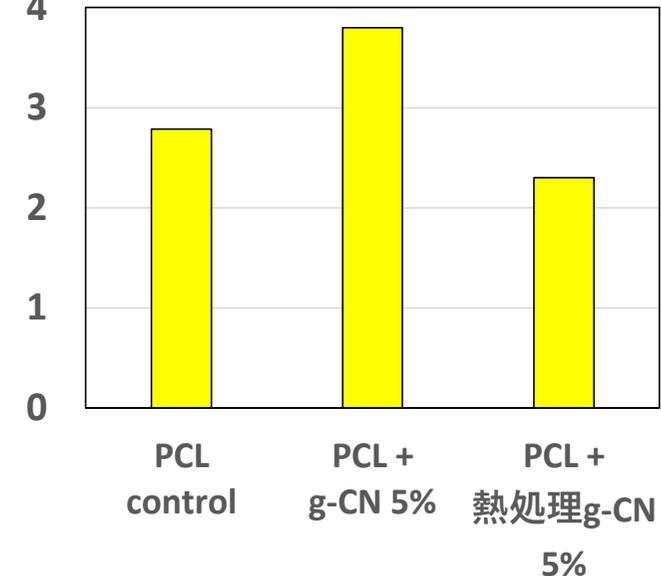


膜厚分解速度

表面汚れが少ない状態
(管理された状態)



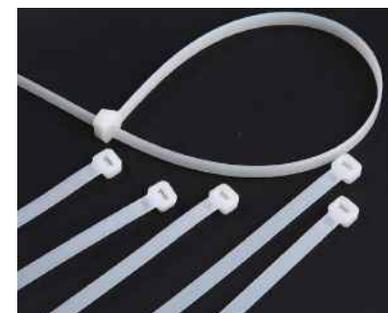
表面汚れが激しい状態
(海洋ごみ状態) → 分解が進行



最上層
3層目
2層目
最下層

光照射により顕著な抗菌性を示す熱処理g-CN
コンポジットフィルムにおいて膜厚分解速度
が減少 → 生分解抑制効果の発現

1) 農業用資材の多様な用途。例えば、つる性農産植物の支柱用のメインポールではない横木、その結束部のバンド、ビニールハウス内の構造部パーツ



2) 磯焼け対策のスポアバックや磯に設置する人工種苗の型枠
海藻の繁茂により光が遮られることでスイッチが機能し崩壊⇒生分解が始まる



3) ブルーカーボン対策用機材のロープにON/OFF型の材料を用い、海藻と共に海底に沈め、海洋プラスチック問題を回避しつつ、地球温暖化対策に貢献

※地球温暖化対策（ブルーカーボン）の一環で、東南アジアなどの沖合の海で、海に浮かべた直径約10mのリングに放射状にロープをはり、海藻を根づかせ、育った海藻を海底に沈めて、一定期間、炭素を海底に閉じ込める試みが検討されている。



海藻が育成する過程でON型樹脂が太陽光照射と海水の作用で崩壊し、海洋中で生分解(完全分解)

OFF型樹脂は海藻の重量に耐え切れず、切断⇒海藻と共に海底に沈み、堆積

海底の太陽光未照射環境で、OFF型樹脂は微生物の作用により生分解(完全分解)

研究会活動をベースに用途探索/サプライチェーン構築を推進

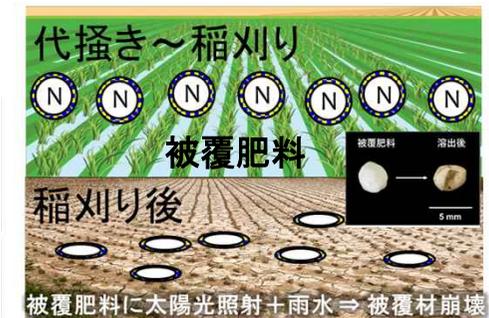
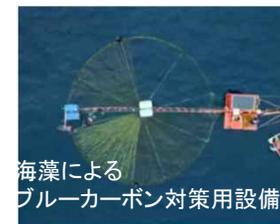
① 「プラスチックの未来を考える会」

- 10機関で2回/月開催
 - 三菱ガス化学、豊田通商、クボタ、高六商事、日本海環境サービス、東京都立産業技術研究センター、産業技術総合研究所、北陸先端科学技術大学院大学、東京理科大、昭和女子大学

② 用途探索：原理を好適に活用できる用途

原理：光照射/水 ⇒ 崩壊(水和) ⇒ 微生物による生分解

- 被覆肥料(ON型被覆材)
 - 施肥 ⇒ 肥料溶出(水中/太陽光弱) ⇒ 稲刈り ⇒ 被膜殻光照射 ⇒ 水和 ⇒ 生分解
- 海藻によるブルーカーボン対策用設備(ON/OFF型ロープ材)
 - 海藻繁殖/太陽光照射/水 ⇒ ロープ切断
 - ⇒ 海藻/ロープ深海堆積(CO₂長期固定) ⇒ 生分解



③ 研究開発段階のサプライチェーン構築

- 光スイッチ材料、光触媒製造メーカーとの連携（金子教授、勝又准教授）
 - 原材料メーカーからアプリケーション開発企業に高品質/安定品質な材料を大量供給できる体制を構築し、アプリケーション開発を促進

現時点の主な成果

1. ON型光スイッチ海水分解性を示すバイオナイロン繊維を、育成植物から一気通貫生産することに成功

2. 各構成要素のモデルとなる組成物を確定

ON型ナイロン：Nylon 6i,11で企業とサンプルワーク

OFF型ポリマー：PCLなど生分解の速い上市樹脂

ON型光触媒：光誘起超親水化 NaNbO_3

OFF型光触媒：光誘起抗菌性 $\text{g-C}_3\text{N}_4$

3. ON型光スイッチ海洋生分解性に関する微生物の単離と実環境にて試験開始、光触媒による光誘起加水分解性の促進

4. OFF型コンポジットのラボ光照射下および実海域浸漬試験における生分解抑制効果を確認、研究会を設立し用途の提案

| 特許 | | 論文 | | 学会発表 | |
|----|----|------|------|------|-----|
| 国際 | 国内 | 査読あり | 査読無し | 国際 | 国内 |
| 0 | 5 | 75 | 10 | 47 | 103 |

成果のエビデンス

<https://www.jaist.ac.jp/project/moonshot/>

