

番号: A-17-1J

PJ: 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

担当機関名: 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

問合せ先: 中山敦好 (a.nakayama@aist.go.jp) (PM)

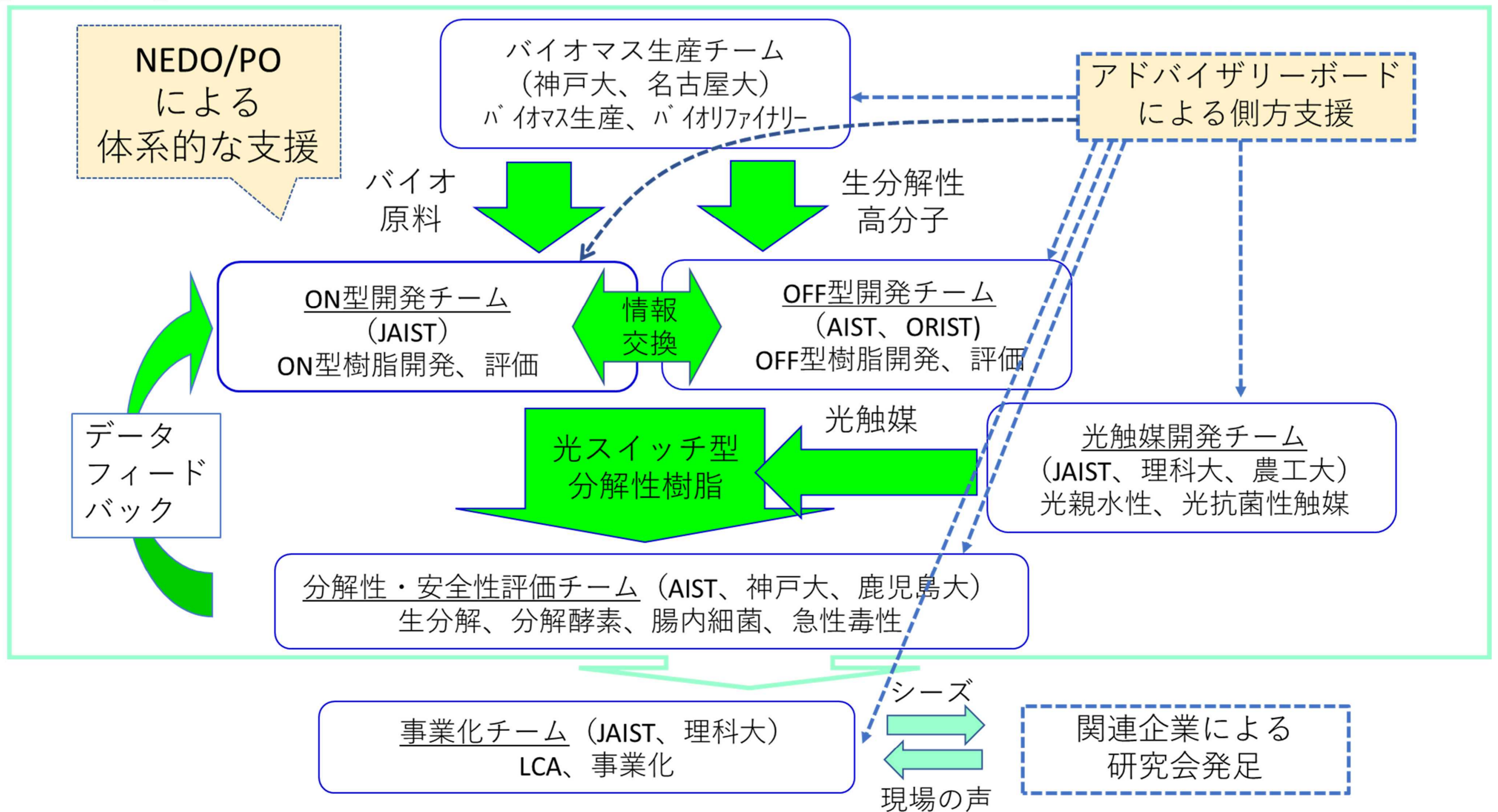


【目標】ソルガム新品種から生産したイタコン酸と生分解性高分子を用いて新規開発の高機能光触媒をコンポジット化し光スイッチ型海洋生分解性の可食プラスチックを開発する



【実施体制】

2020年度～2023年度



番号: A-17-2J

PJ: 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

テーマ名: 光スイッチ型海洋分解性プラスチックの開発

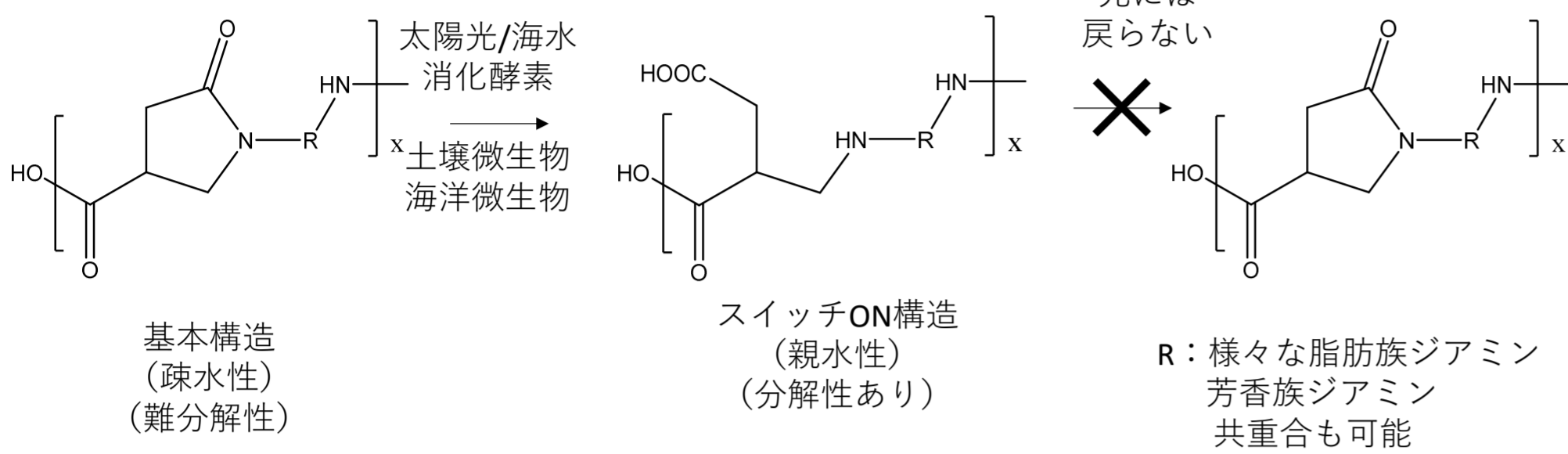
担当機関名: 北陸先端科学技術大学院大学

問合せ先: 高田 健司(takada@jaist.ac.jp) / 山口 政之(m\_yama@jaist.ac.jp) / 谷池 俊明(taniike@jaist.ac.jp)



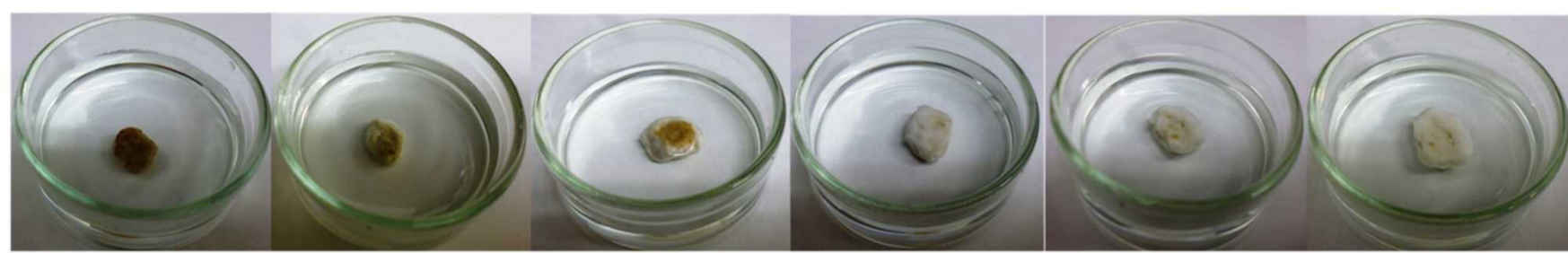
## 1.1. バイオナイロンの合成

### ON型バイオナイロンの機能

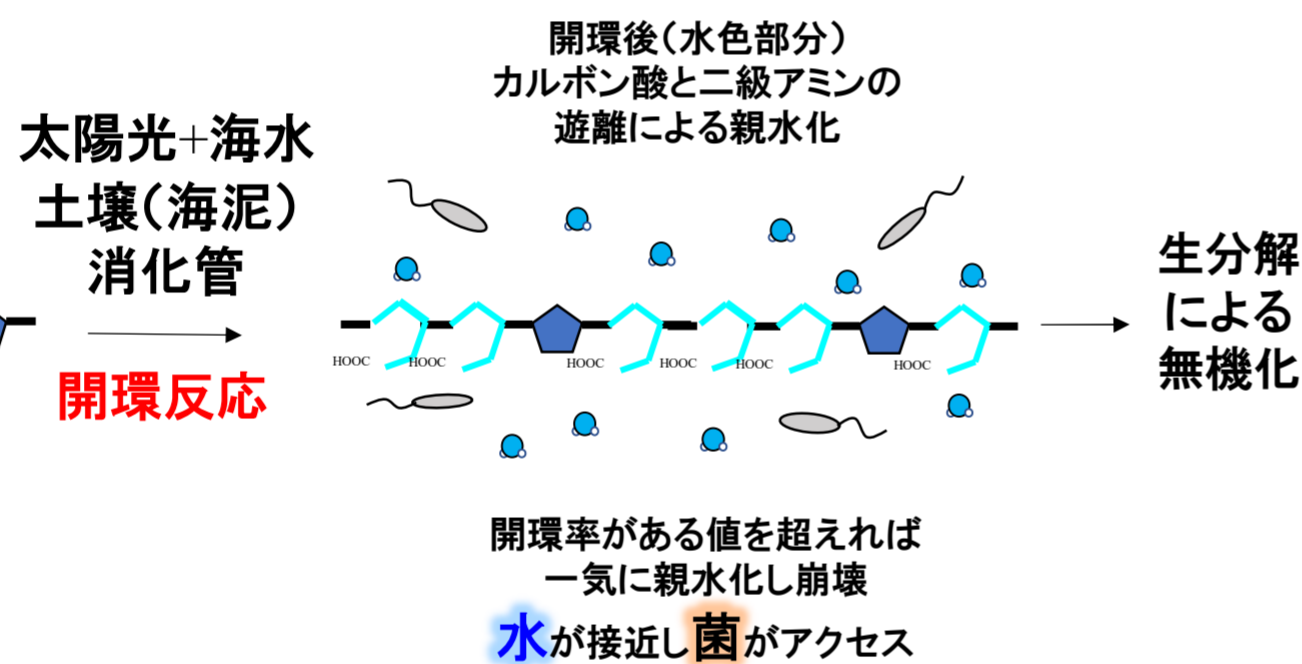
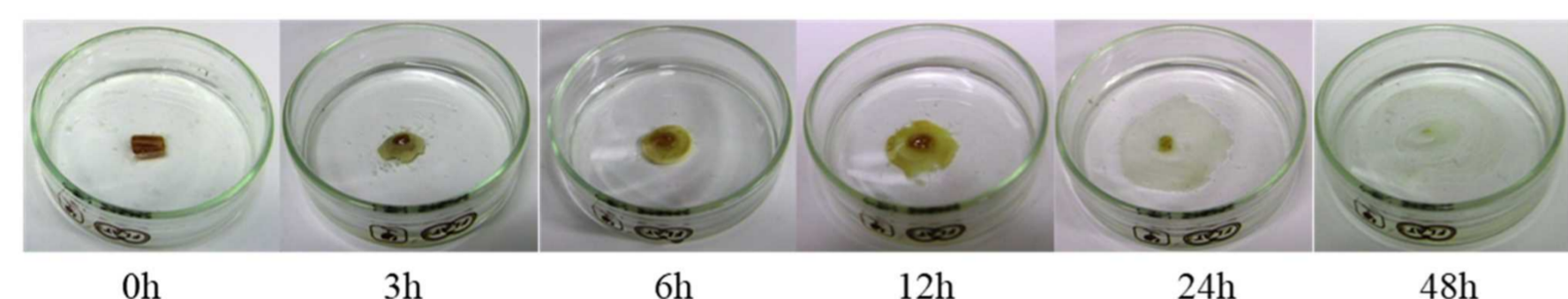


光と水の刺激による崩壊の様子 (カルボニル励起、活性酸素、OH・などの作用)

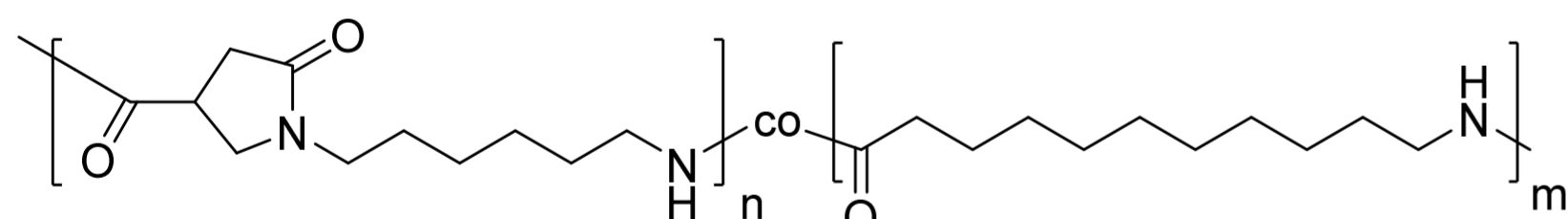
R: ノナメチレンジアミン



R: m-キシリレンジアミン

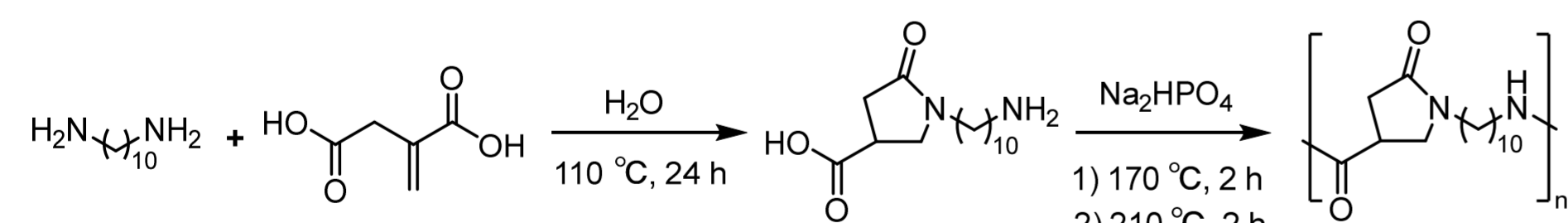


✓ 11-アミノウンデカン酸を導入し重合できる条件を見出した (10Lベンチスケール合成条件も確立→成形加工、劣化試験への提供)



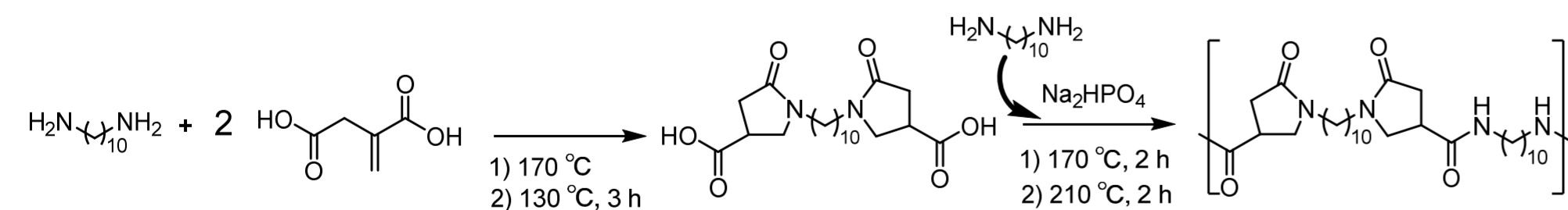
ピロリドン環を他種のポリマーに組み込むことで分解性を付与

### 1. アミノ酸型モノマー (10i-1) とポリアミド合成



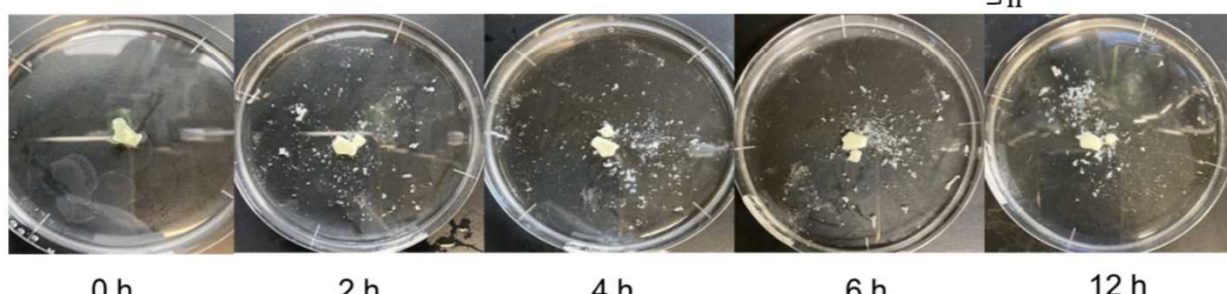
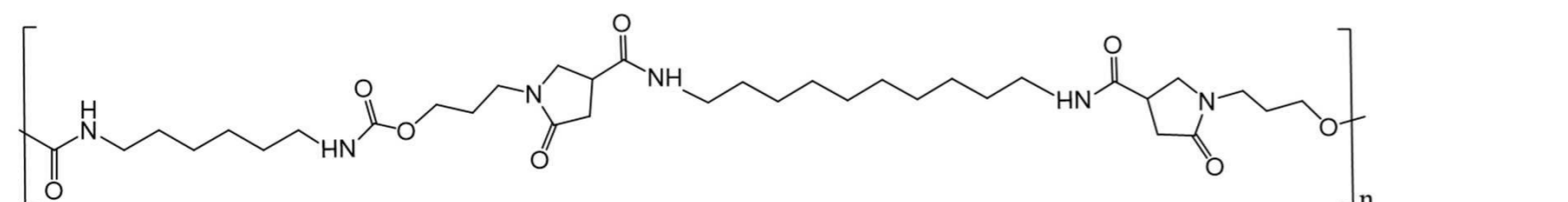
Scheme 1. Synthesis of 1-(10-aminodecyl)-5-oxopyrrolidine-3-carboxylic acid (10i-1) and polyamide10i-m0 (PA10i-m0).

### 2. ジカルボン酸型モノマー (10i-1.5) とポリアミド合成



Scheme 2. Synthesis of 1,1'-(decane-1,10-diyl)bis(5-oxopyrrolidine-3-carboxylic acid) (10i-1.5) and PA10i-m100.

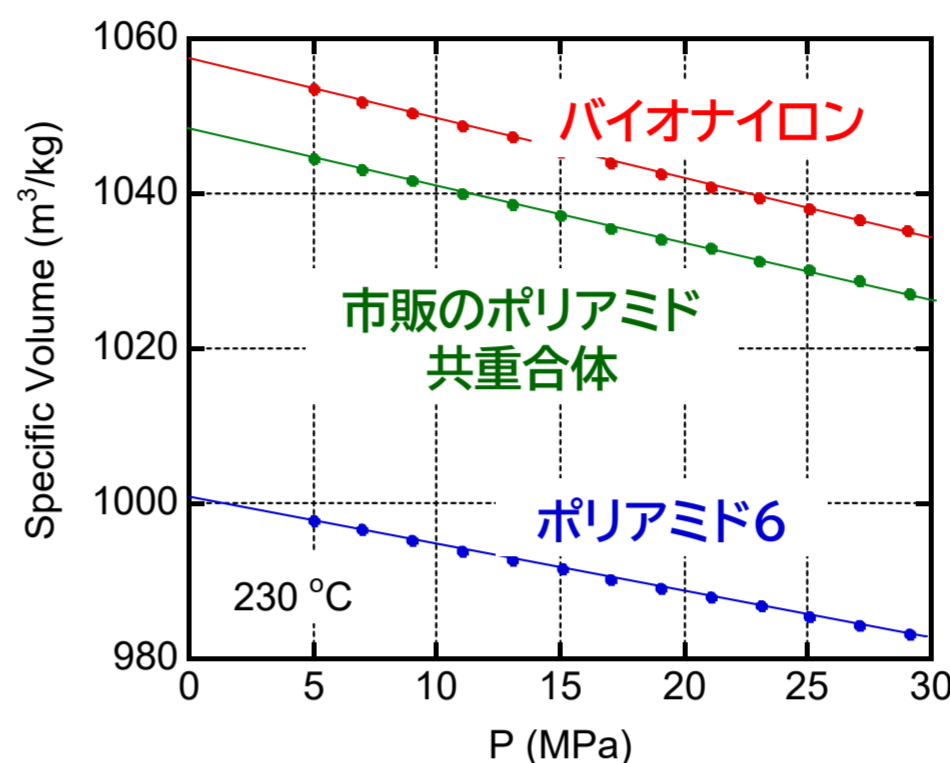
### 3. ジオール型モノマー とポリウレタン合成



## 2. 成形加工性

Nylon 6i-11-50% (バイオナイロン)

溶融体積の圧力依存性



バイオナイロン

溶融密度 946 kg/m³  
体積弾性率 1.40 GPa

共重合体\*

溶融密度 954 kg/m³  
体積弾性率 1.47 GPa

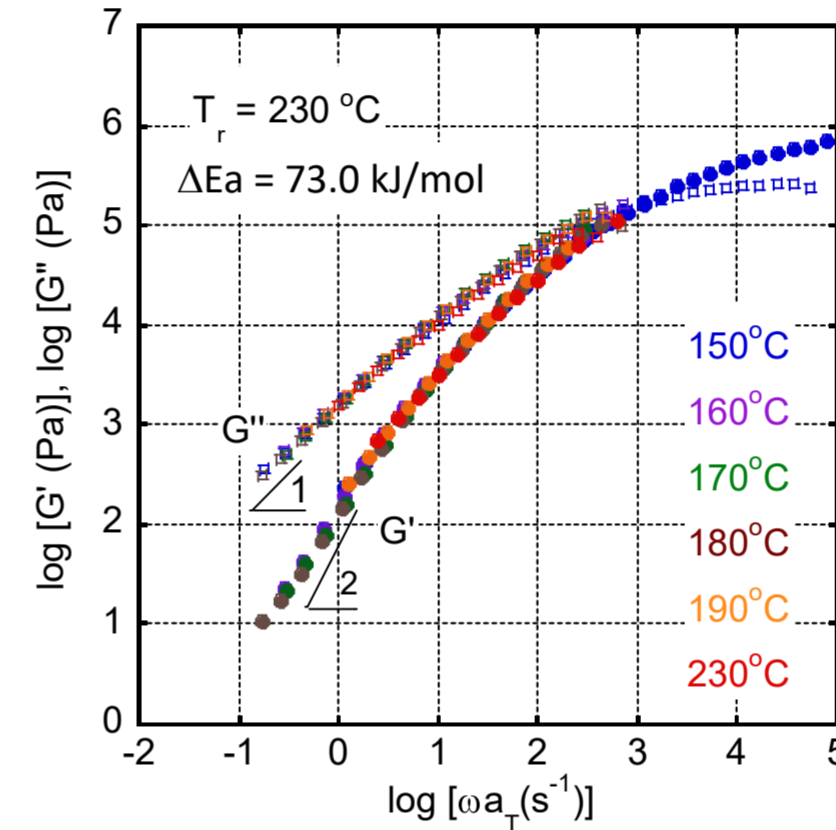
PA6

溶融密度 999 kg/m³  
体積弾性率 1.66 GPa

\* 市販共重合体の組成

PA6 55 mol  
PA66 13 mol  
PA610 32 mol

動的せん断弾性率の角速度依存性



成形加工性

紡糸性

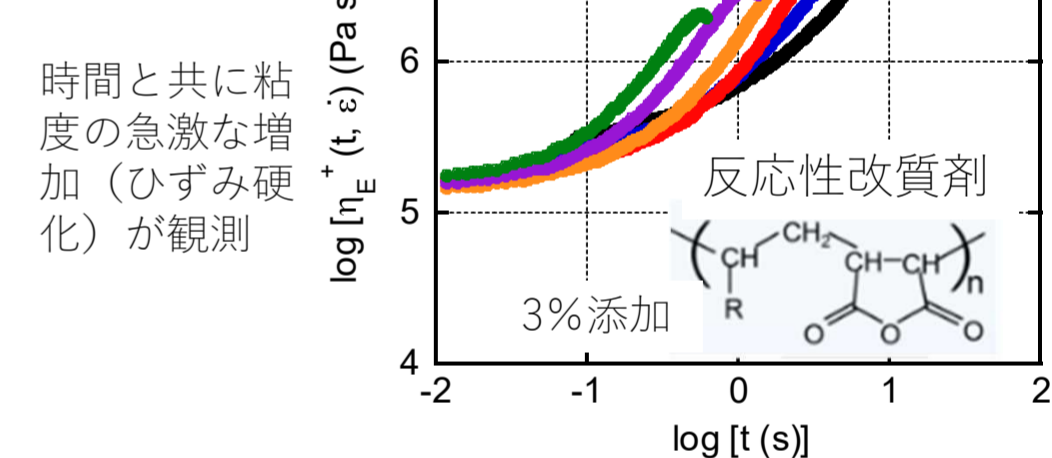
- ・溶融紡糸により直径 15-50  $\mu\text{m}$  の繊維を成形可能
- ・芯鞘構造の繊維も成形可能 (芯・鞘共に可)

フィルム、発泡、ブロー成形性

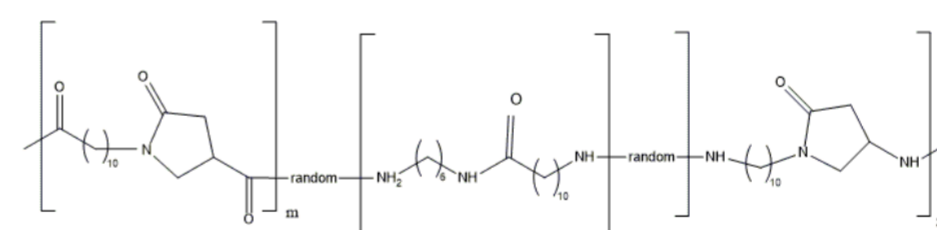
- ・反応性改質剤の少量添加により、これらの成形加工に必要な伸長粘度のひずみ硬化性を付与可能

伸長粘度の時間成長曲線

数字はひずみ速度を表す



## 3. 劣化試験



Nylon 6i-11-50%

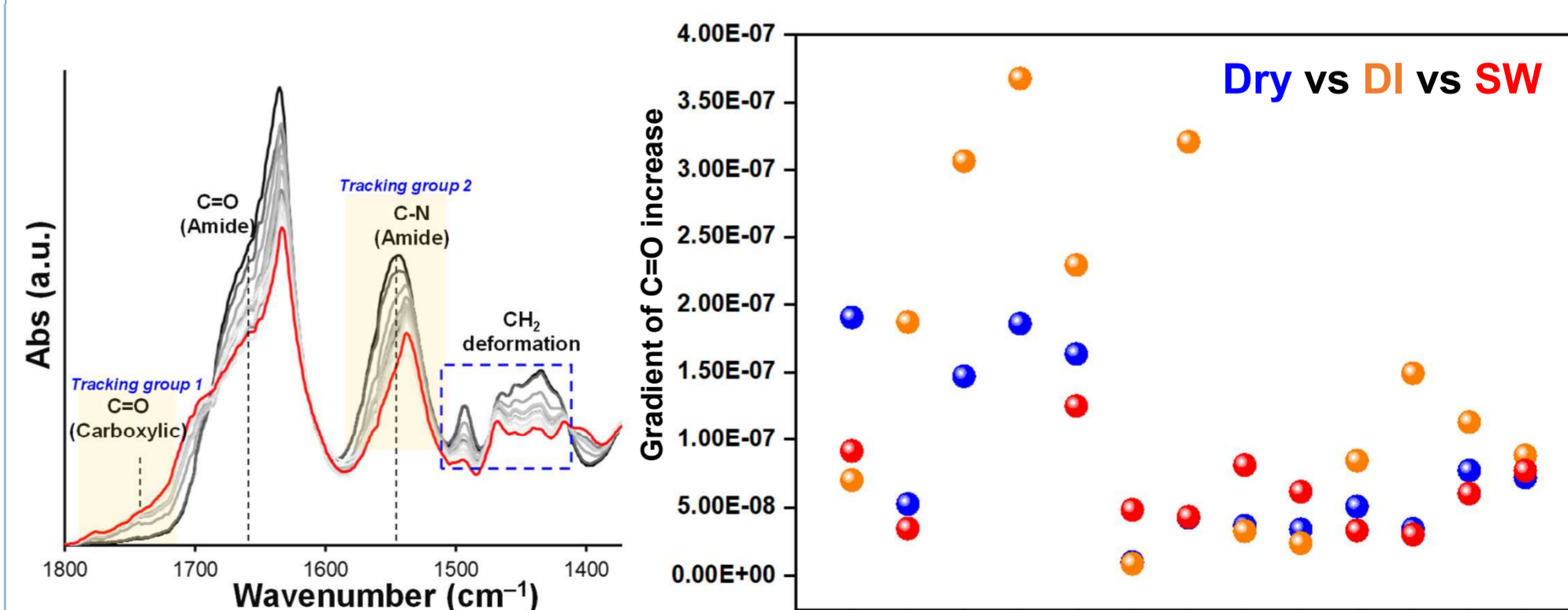
Photocatalyst (0.5 wt%) 溶融混練(140°C) フィルム成形(130°C)



Aging in dry air, pure water, and sea water (~12 weeks)

Xenon lamp (550 W/m², 35 °C)

均一な分散・フィルム外観



- ・バイオナイロンの光劣化は、ピロリドン環Nの隣接CH₂基の酸化、アミド結合の切断を伴う。
- ・ピロリドン環はナイロンの水中での光劣化を選択的に促進。
- ・光劣化は、可視光応答型TiO₂触媒によって2~3倍加速。
- ・CuIの添加は光劣化を大きく抑制。光触媒で水中での劣化を加速。

【課題】可視光下での劣化の加速、塩水中での劣化促進

### 光スイッチ型生分解性プラスチックの海洋分解性評価

1. 水中のON型試料(Nylon6i11(33), <2 mm)に紫外線ランプを照射した後、天然海水中での生分解性をBOD試験により評価した(産総研との共同研究)。

- ・照射時間に応じて水の吸光度が増加し、プラスチックから有機物が溶出した(図1)。
- ・水中で8時間、照射した試料表面の赤外スペクトルには変化が認められなかった。
- ・照射したプラスチック試料は天然海水中で1ヶ月後に4%程度が生分解したが、照射なしの試料と照射した試料の生分解率に有意差は認められなかった(表1)。

2. OFF型試料(PHBH, PBSA, PCL, CA-L)は実海域において2ヶ月後に50%以上の崩壊性を示し、特にPCLは1ヶ月で90%程度が崩壊した(図2、産総研・大阪産技研との共同研究)。

3. その他の供試プラスチックを実海域に浸漬して崩壊性を評価した(産総研・大阪産技研との共同研究)。

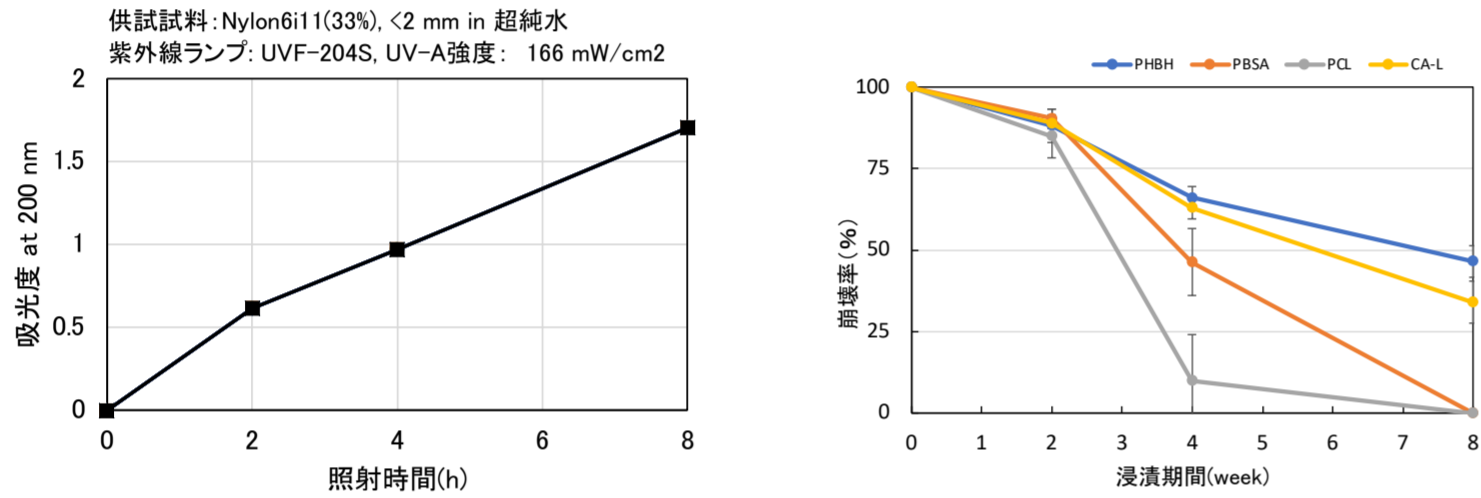


図1 水中の供試試料への紫外線照射に伴う水の吸光度の変化

図2 海水中での供試プラスチックの崩壊率 (2023.9.8-11.9, 神戸大学船舶係留池)

試料名	紫外線ランプ	UV-A強度 (mW/cm <sup>2</sup> )	照射時間 (h)	1ヶ月後の生分解率(%)
セルロース	なし	0	0	67 ± 3.1
Nylon6i11(33), <2 mm	なし	0	0	0.93 ± 1.4
Nylon6i11(33), <2 mm	HL400BH	50	8	3.9 ± 3.0
Nylon6i11(33), <2 mm	UVF-204S	166	8	4.0 ± 3.0

\*OxiTopを用いたNP強化海水中でのBOD試験(2023.11.27-12.27)

### 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

1. ON型樹脂由来の水溶性分解産物の海洋生物への推定無影響濃度(PNEC)を算出した(表2)。

- ・閉環ジカルボン酸型1.5量体: 370 μg/l
- ・閉環アミノ酸型1量体: 3,800 μg/l
- ・開環アミノ酸型1量体: 4,400 μg/l

分解産物に生態毒性があるのは、上記のPNECを超える濃度で水環境に残留する場合である。

2. ON型試料(粒子状のNylon6i11(50), Nylon6i11(50)+NaNbO<sub>3</sub>)の淡水性甲殻類(オオミジンコ)、淡水魚類(ゼブラフィッシュ)への急性毒性は認められなかった(図3)。ただし、オオミジンコの体側に粒子が付着して死亡する個体が認められた。

3. OFF型試料(粒子状のPCL, PCL+P25, TiO<sub>2</sub>, gC<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, 熱処理gC<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)のオオミジンコ、ゼブラフィッシュへの急性毒性は認められなかった。

表2 ON型ナイロン由来分解産物が水生生物に及ぼす急性毒性 (EC<sub>50</sub>, LC<sub>50</sub> in μg/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

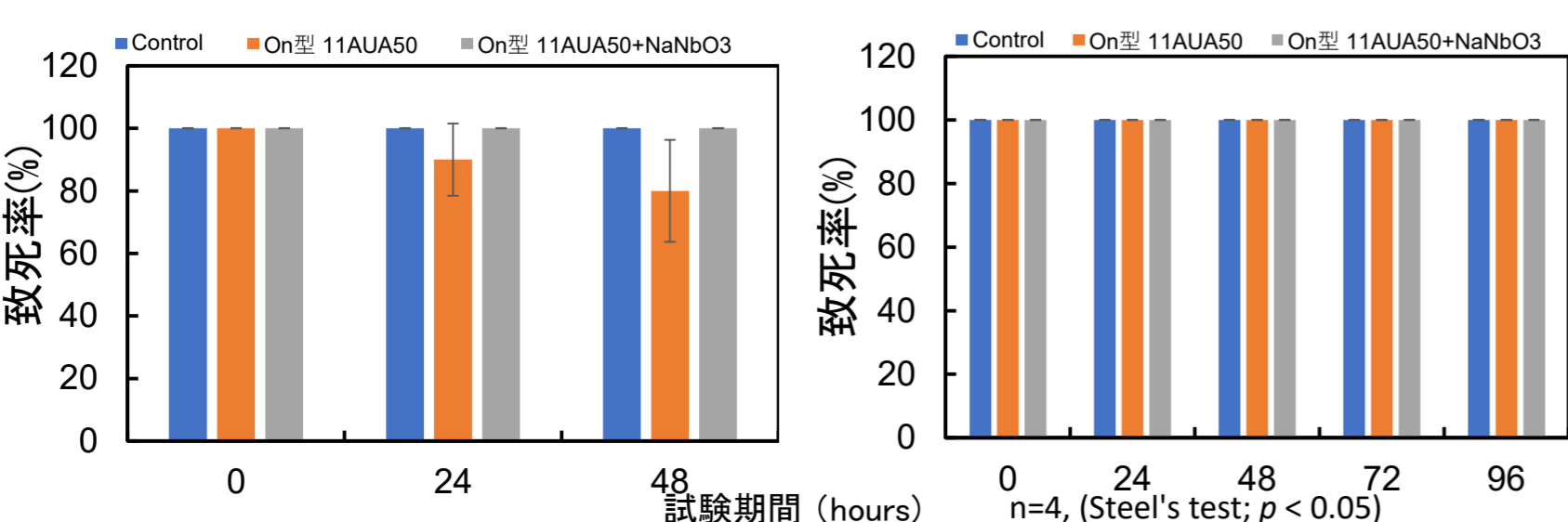
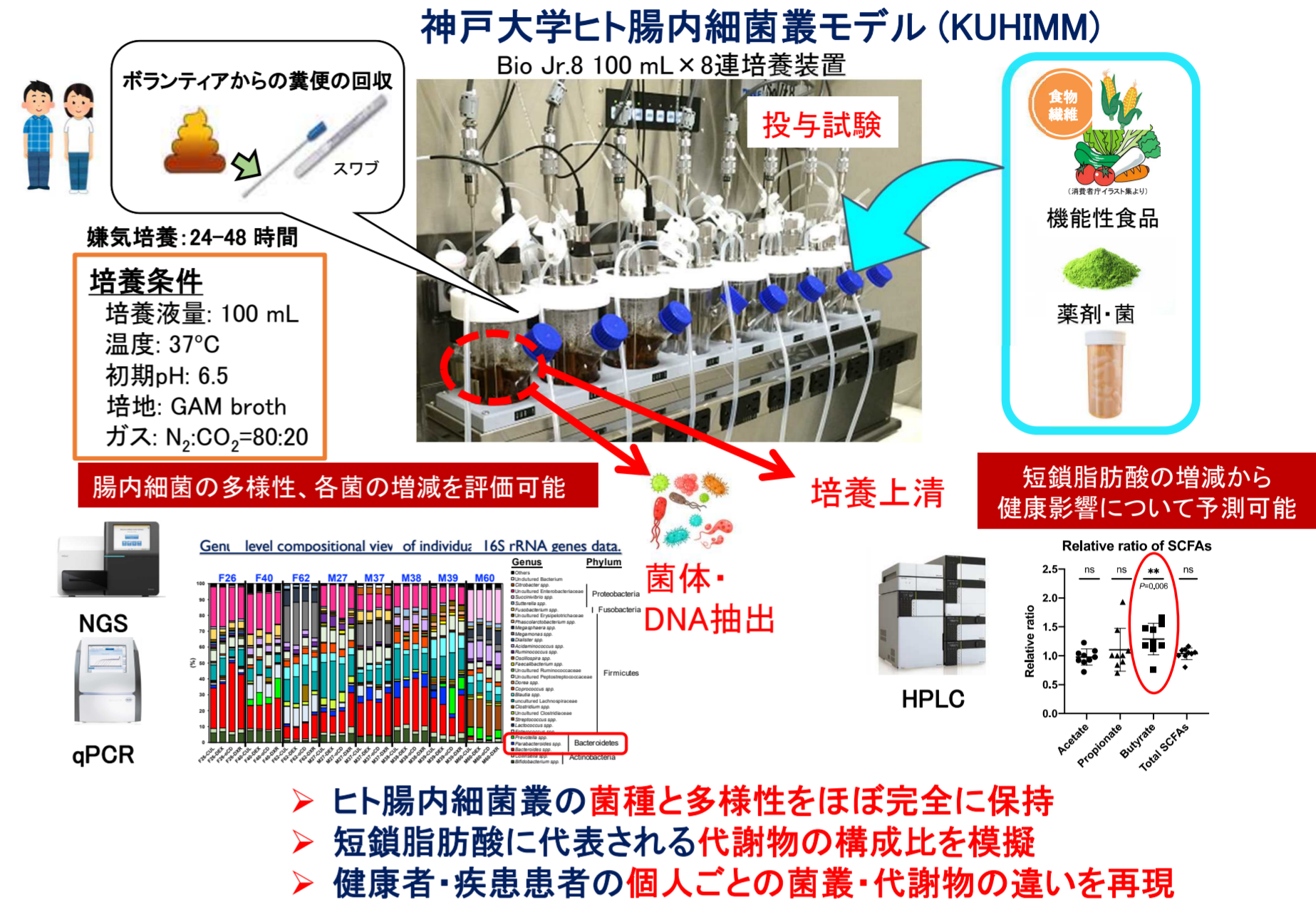


図3 ON型粒子状試料のオオミジンコ(左)とゼブラフィッシュ(右)に対する急性毒性

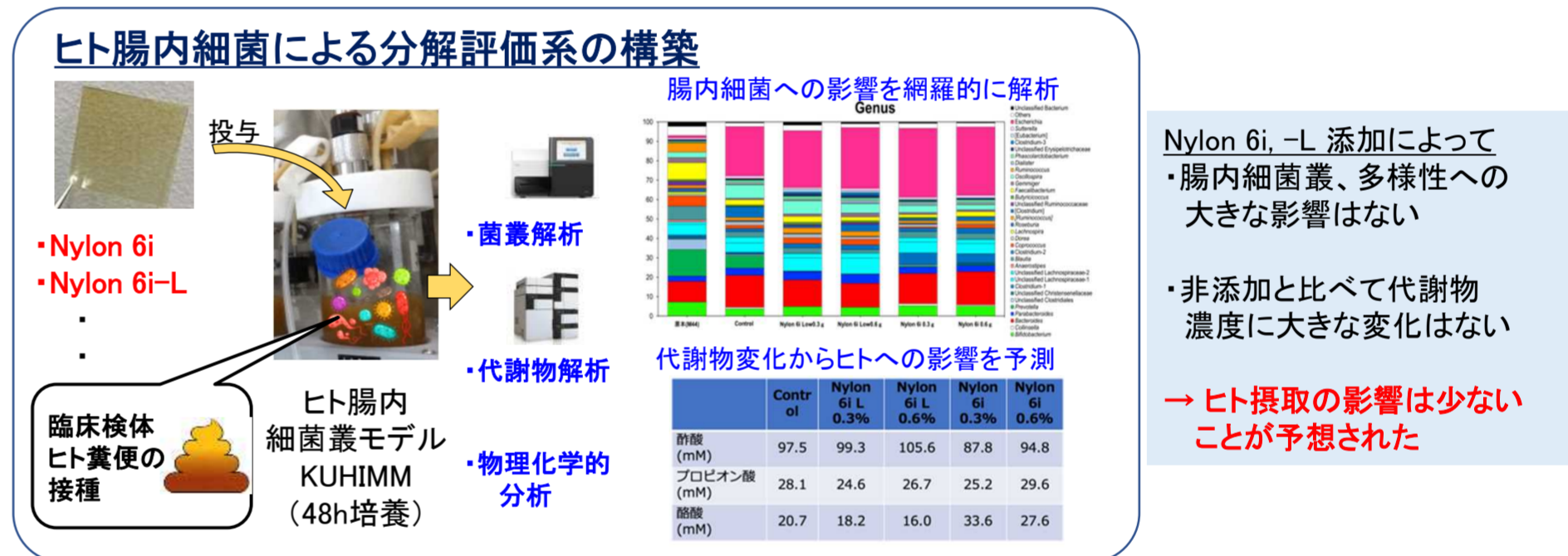
### 疑似腸内環境における分解性および安全性評価

1. 神戸大学では、ヒト大腸内細菌叢の模擬培養できる「神戸大学ヒト大腸内細菌叢培養モデル」(KUHIMM)を開発してきた。



- ▶ ヒト腸内細菌叢の菌種と多様性をほぼ完全に保持
- ▶ 短鎖脂肪酸に代表される代謝物の構成比を模擬
- ▶ 健康者・疾患患者の個人ごとの菌叢・代謝物の違いを再現

2. KUHIMMを用いて、Nylon 6i およびNylon 6i-Lの添加がヒト大腸微生物叢に及ぼす影響を調べた。



#### 【物理化学的分析】

A) 菌体を除いた培養上清の全炭素量(TOC)分析結果

培養前 (mg/L)	培養後 (mg/L)	除去量 (mg/L)	
Control (非添加)	16,000	13,500	2,500
Nylon-6i-L (0.3% 添加)	16,500	15,000	1,500
Nylon-6i-L (0.6% 添加)	19,500	17,000	2,500
Nylon-6i (0.3% 添加)	15,500	12,500	3,000
Nylon-6i (0.6% 添加)	16,500	14,179	2,321

培養前後の炭素の減少がおおよそ一定

→ 溶解成分の微生物利用の可能性は低い

ヒト腸内細菌とNylon 6i・Nylon 6i-Lの相互作用は無かった

B) 浮遊物質(SS)分析を実施 (→溶解していないNylon 6iの分解量)

$$\frac{\text{培養後の菌体+Nylon 6i乾燥重量} - \text{乾燥菌体重量 (control培養)}}{\text{乾燥重量}} = \text{SS (分解量)}$$

結果: 初期濃度: 6.0 g/Lに添加しているが、残存SSは10.0 g/Lとなった。

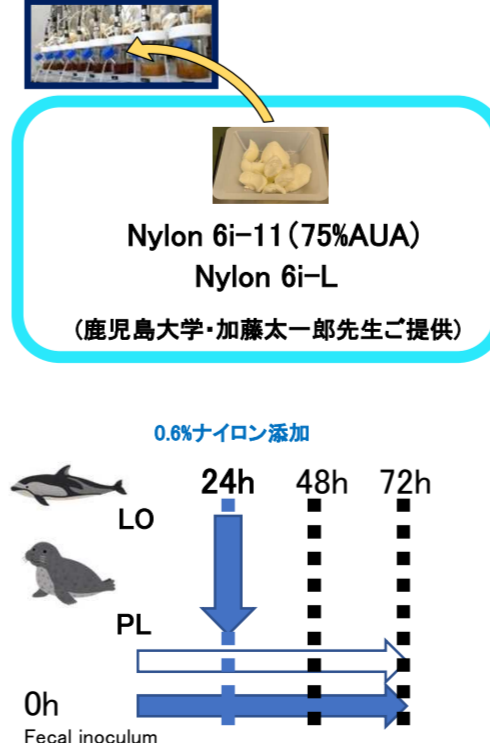
→ 分解による重量減少の可能性は低い 今後、分析方法の再検討が必要

3. 海棲哺乳類モデル(Marine-KUHIMM)を構築し、Nylon 6i-11 および Nylon 6i-Lの海棲哺乳類の腸内細菌叢へ及ぼす影響を検討した。

・ KUHIMMの条件を基に試験条件(海棲哺乳類の糞便調製、接種量、還元剤、培地組成等)を検討し、海棲哺乳類モデル Marine-KUHIMMを開発した。

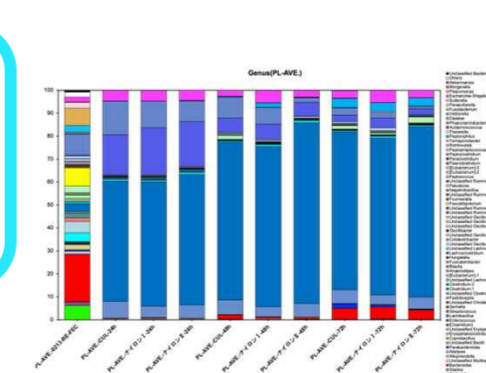
・ 下記の【方法】で、Nylon 6i-11及びNylon 6i-Lの添加試験を実施した。

#### 【方法】



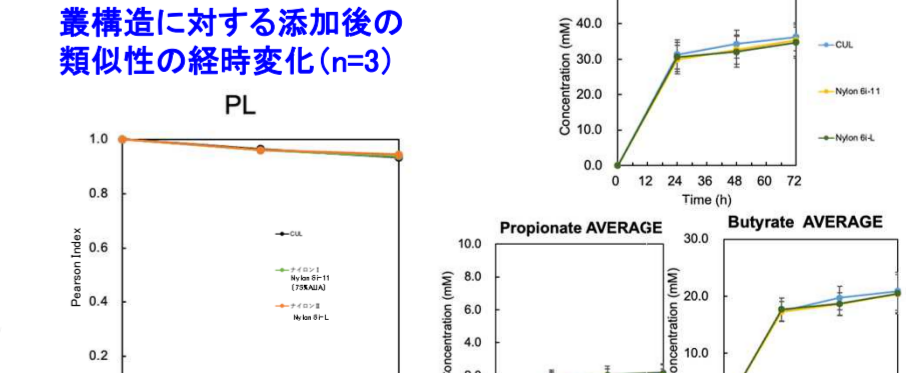
#### 【結果】

PLにおける細菌叢の構造の変化 (n=3, 平均値)



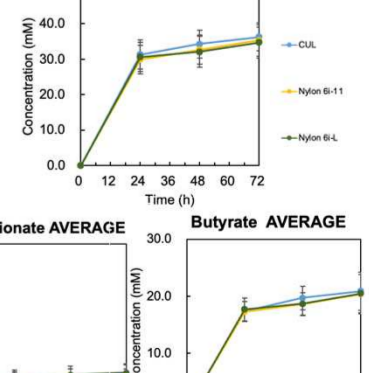
LO培養では、大腸菌属の増加が見られて、24時間後の菌叢の再現性が低かった(data not shown)が、PLの菌叢の再現性は比較的高いことが観察された。また海棲哺乳類に見られる一部の菌群の定着が観察された。

PLにおける添加直前(培養開始24時間後)の細菌叢構造に対する添加後の類似性の経時変化(n=3)



ナイロン添加後の細菌叢の構造は、ナイロン添加前と高い相関があった。ナイロン添加は、細菌叢の構造にほとんど影響を与えなかった。

代謝物の経時変化(n=3)



主要な代謝物である短鎖脂肪酸の濃度は、未添加に比べて、差が確認されなかった(Welch's t-test (vs CUL))。

Nylon 6i-11・Nylon 6i-Lの添加による海棲哺乳類の腸内細菌叢への影響は殆ど無かった

番号: A-17-4J

PJ: 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

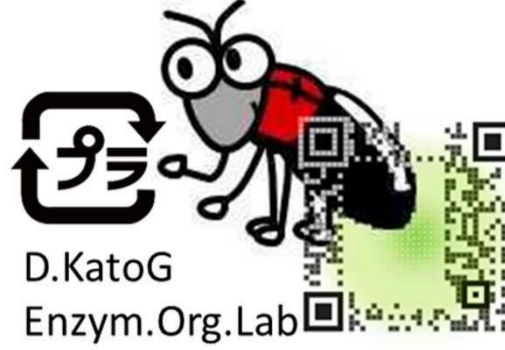
テーマ名: イタコン酸由来ナイロンの酵素による分解・再資源化アプローチ

担当機関名: 鹿児島大学

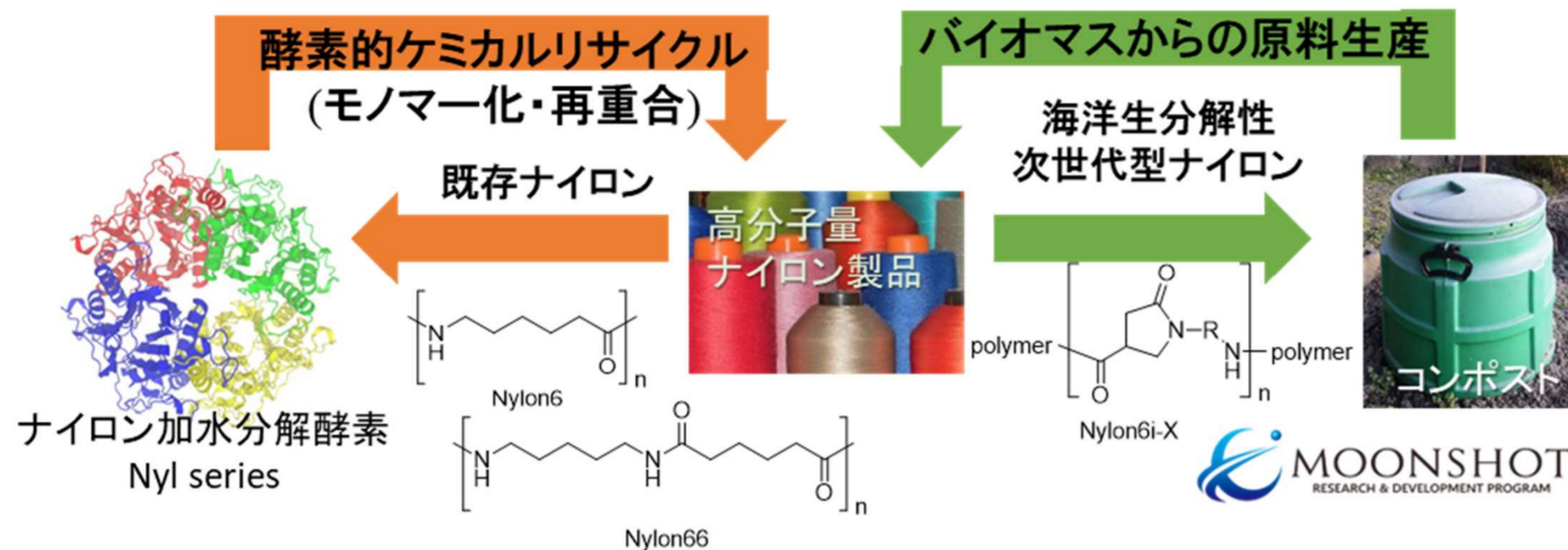
問合せ先: 加藤太一郎 (k0035454@kadai.jp)



鹿児島大学が行ってきたこと: イタコン酸由来ナイロンが自然界で生分解されるとすればどのような経路をたどりうるのかを明らかにする!

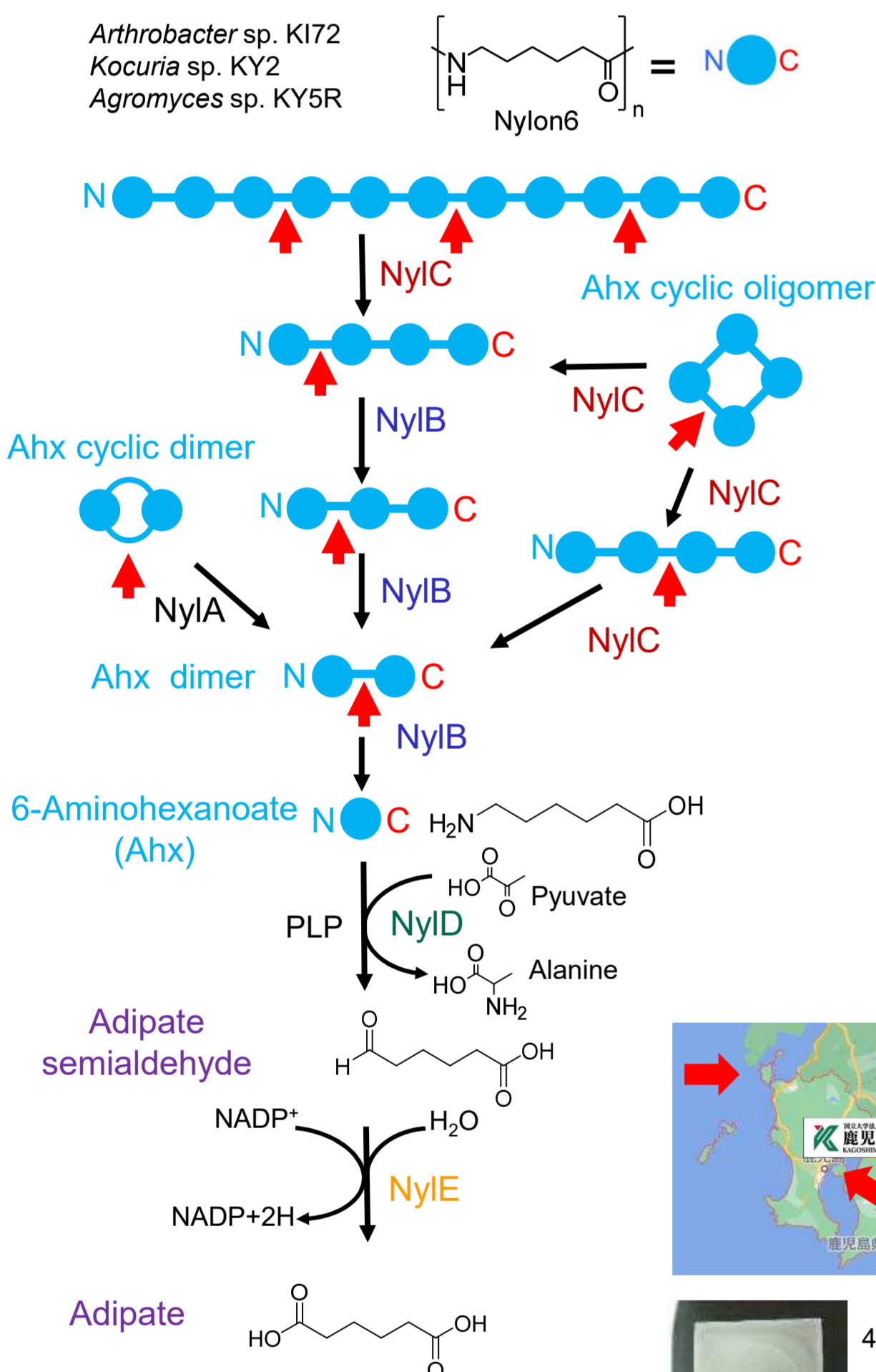


本PJへの貢献: 光スイッチ型ナイロン開発における生分解性構造探索のための基盤データの提供と、酵素的リサイクル手法への展開



- 1st ナイロン分解酵素群(Nyl series)を用いたイタコン酸由来ナイロン酵素分解の試み
- 2nd 新たなナイロン分解微生物・酵素取得の試み
- 3rd モノマー成分を資化する海洋性微生物取得の試み
- 4th 光照射によるナイロン水溶性化メカニズム解明の試み
- 5th ナイロンリサイクル実証研究への展開

保有するナイロン分解微生物とその代謝経路



**NylA**: 環状2量体分解酵素  
**NylB**: エキソ型ナイロン分解酵素  
**NylC**: エンド型ナイロン分解酵素 (p2-GYAQ)

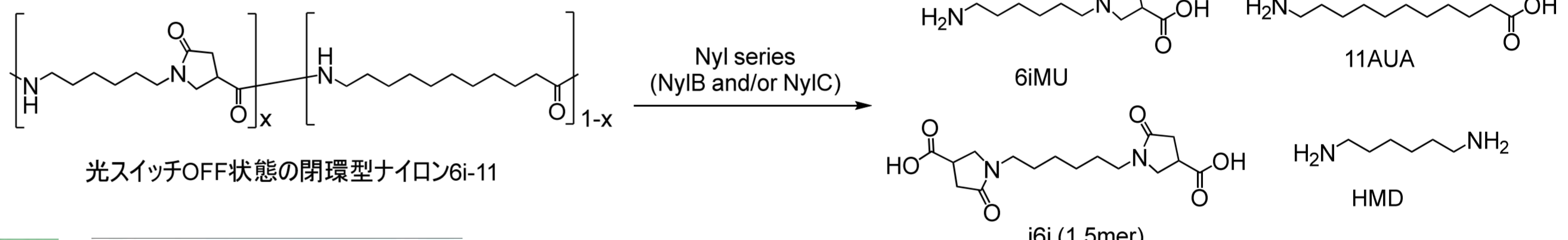
p2-GYAQの結晶構造 (4量体)  
 世界中で我々のみが保有する独自性の高い酵素

市販ナイロンの完全モノマー化を達成

1. Nylon6ペレット 2. 微細化 3. 低分子量化 4. 微細化 + 低分子量化

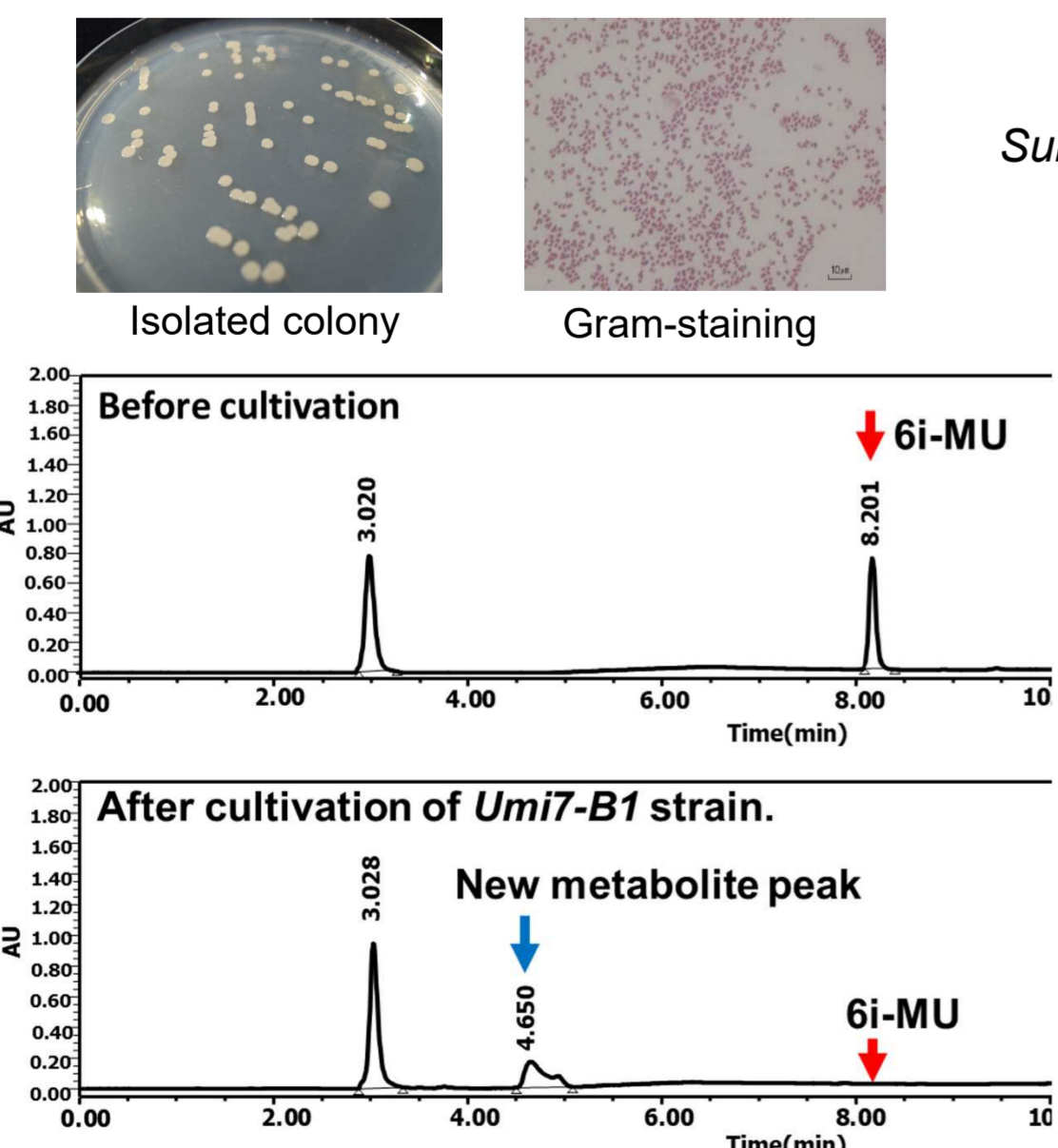
処理	モノマー化率 (%)	
	ナイロン6	ナイロン66
1. 未処理	1	2
2. 微細化	10	35
3. 低分子量化	74	86
4. 微細化 + 低分子量化	97	quant.

イタコン酸由来ナイロンの酵素分解特性



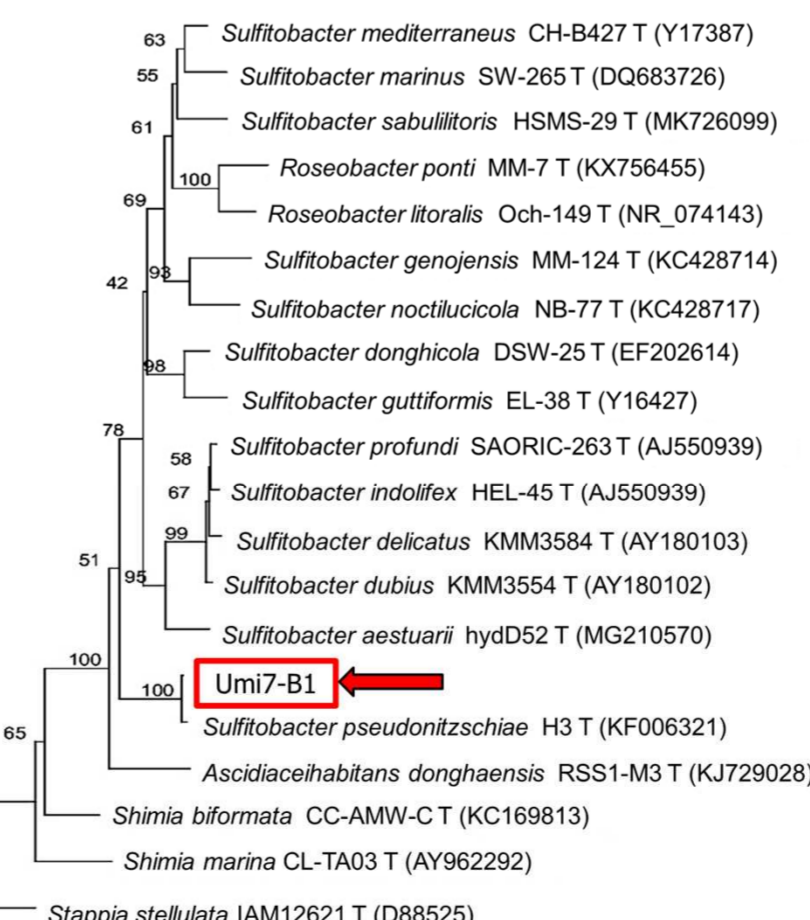
光スイッチナイロン	x	M <sub>w</sub>	前処理 <sup>1</sup>	モノマー化率 (%)
H-Nylon6i	1	67,000	なし あり	50 未検討
Nylon6i-11(50%)	0.5	61,100	なし あり	3 64
Nylon6i-11(75%)	0.25	120,800	なし あり	0.1 26

イタコン酸由来ナイロン資化細菌の単離



*Sulfitobacter gulosus* Umi7-B1

protein	Identities toward K172 enzymes
NylA	28%
NylB	35%
NylC	—
NylD	33%
NylE	41%



微生物が保有する酵素Nyl seriesによって生分解される可能性を確認

ナイロンリサイクルの実証研究 ~サーキュラーパーク九州(CPQ)への参画~

薩摩川内市川内火力発電所跡地を、脱炭素化の推進による持続可能な社会の構築に向けた資源循環実証試験の拠点とする取り組み



環境中に蓄積する6iMUを資化する新種海洋性細菌の単離に成功

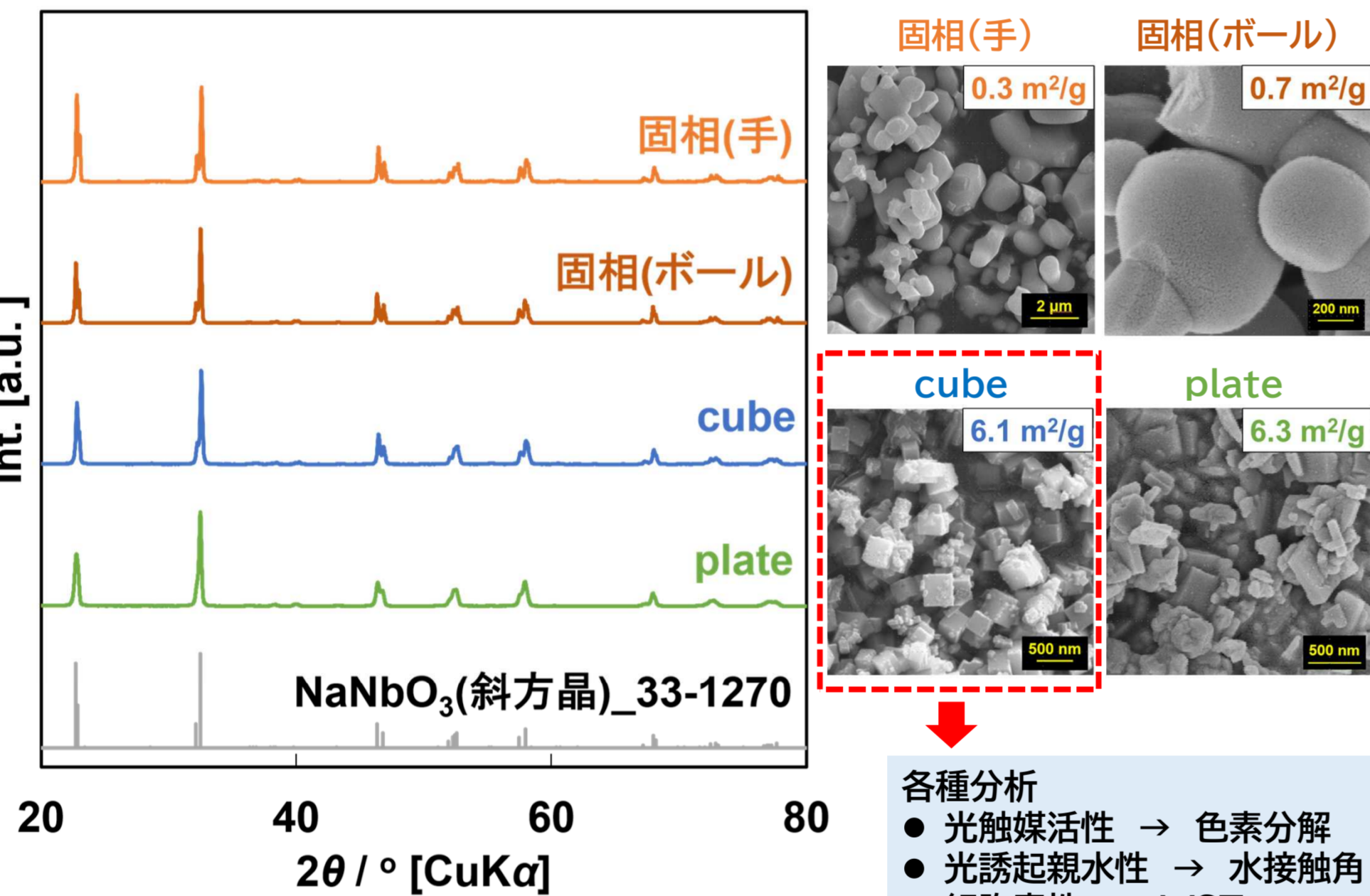
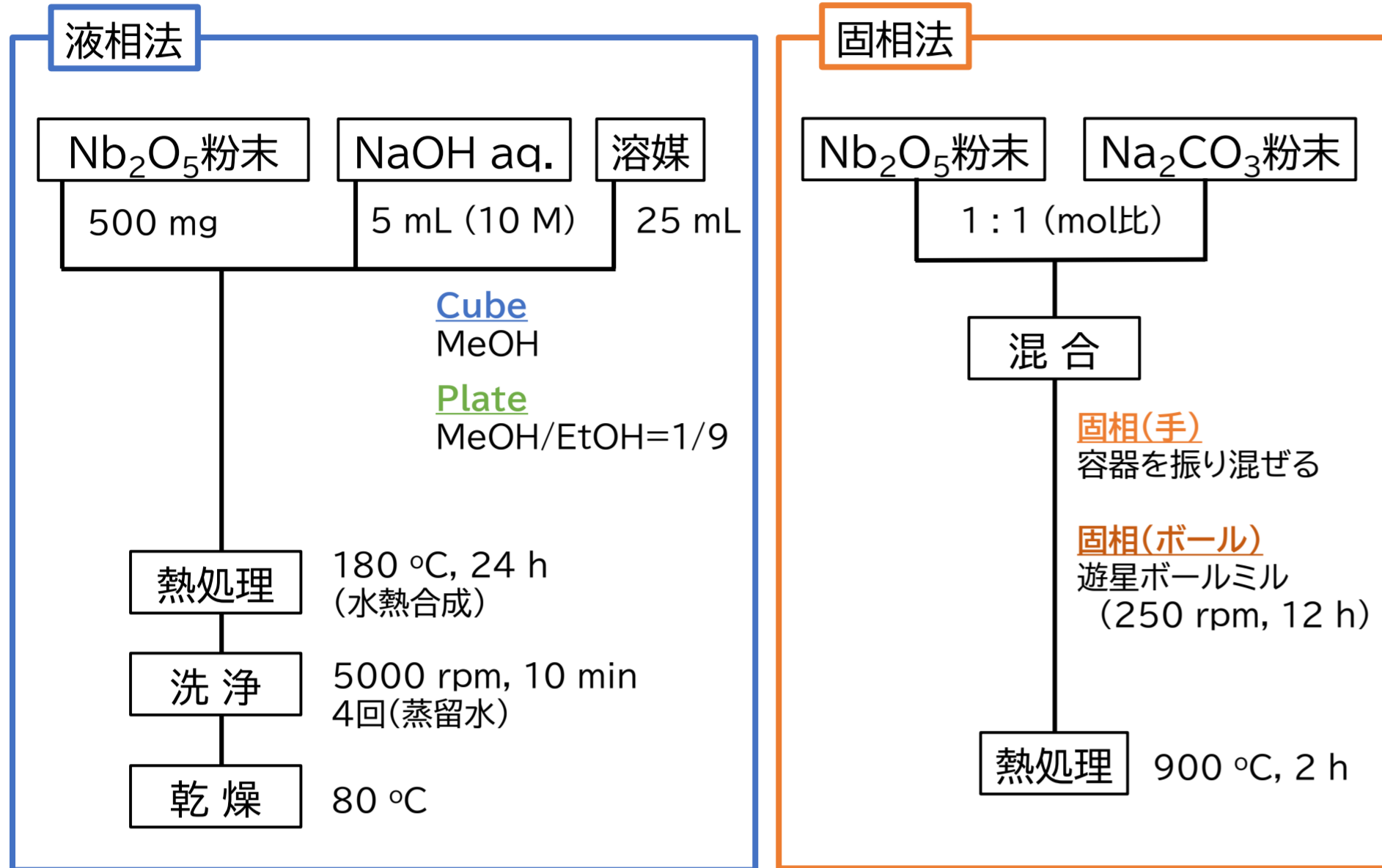
国内特許出願済 特願2022-034081

2024/2/28, 29 @東京 第1回サーキュラーパーク九州サミット開催予定

2023.04.06\_プレスリリース: [https://www.kyuden.co.jp/press\\_h230406-1.html](https://www.kyuden.co.jp/press_h230406-1.html)

ナイロンケミカルリサイクルのスタートアップ起業を、鹿児島から!

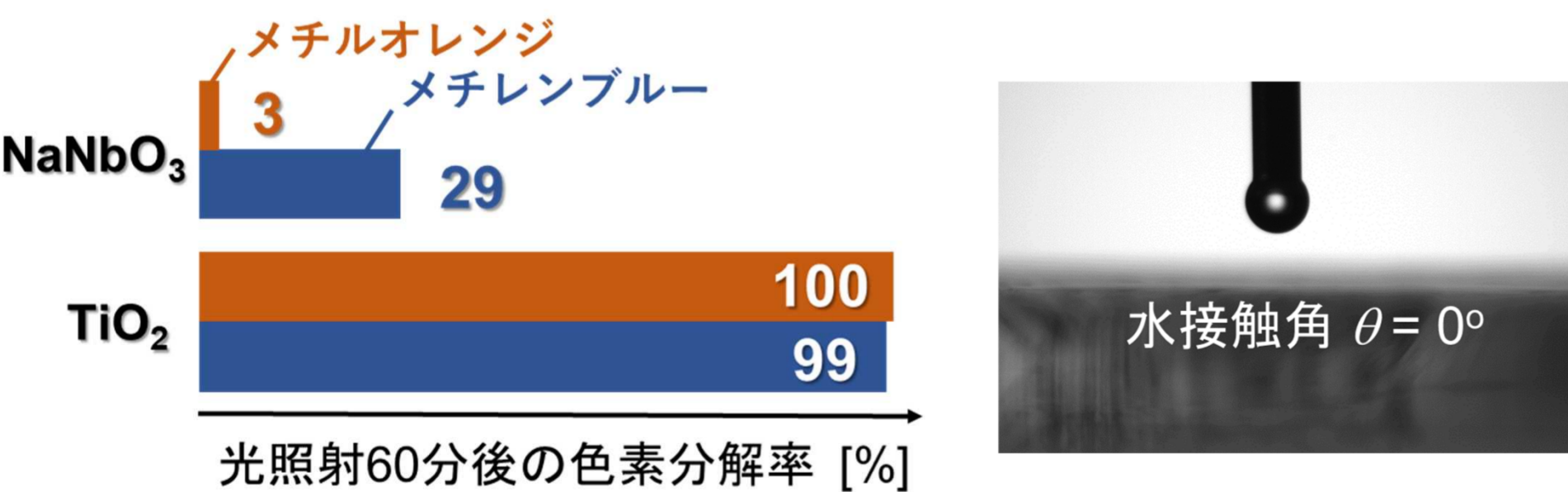
## 1. ON型光触媒の合成



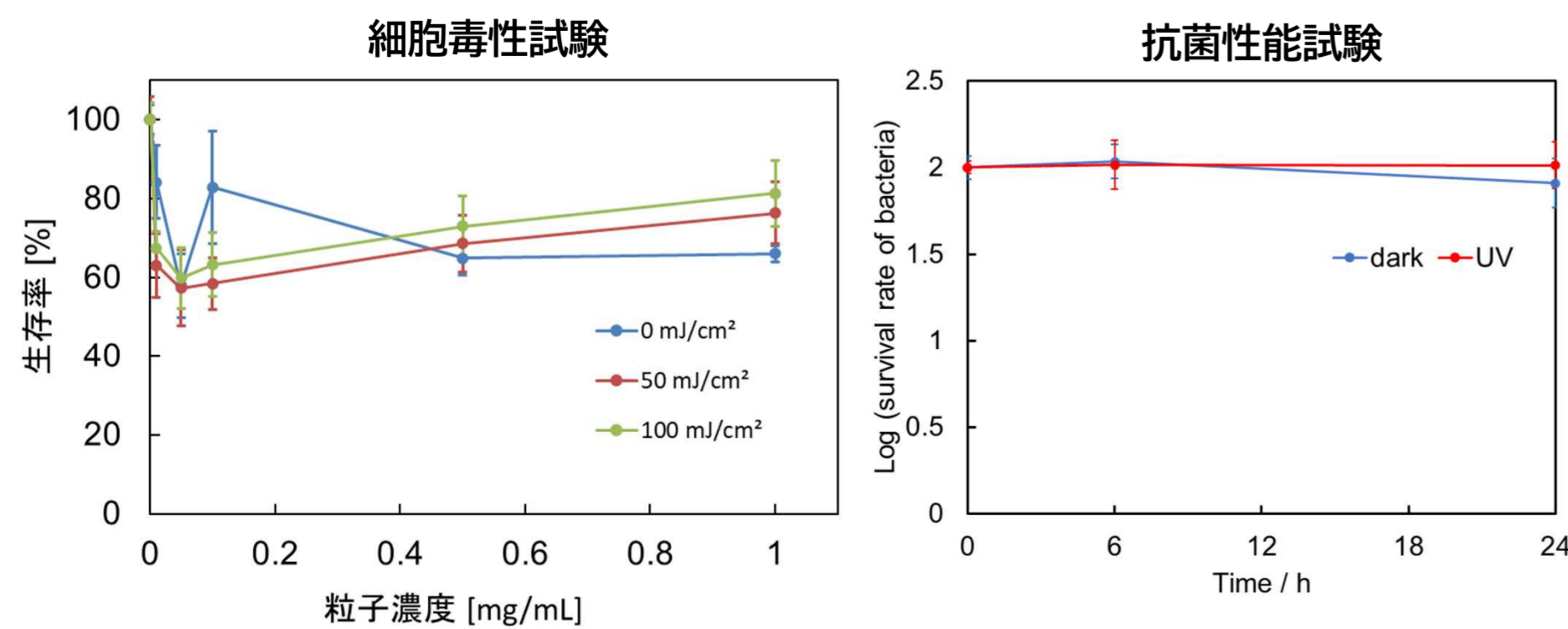
合成法によらず同じNaNbO<sub>3</sub>が合成可能

- 各種分析
- 光触媒活性 → 色素分解
  - 光誘起親水性 → 水接触角
  - 細胞毒性 → WST assay
  - 抗菌性 → 大腸菌

## 2. 光触媒活性の評価



NaNbO<sub>3</sub>はTiO<sub>2</sub>に比べて分解活性が低い。  
NaNbO<sub>3</sub>はTiO<sub>2</sub>と同等の光誘起超親水性を示す。

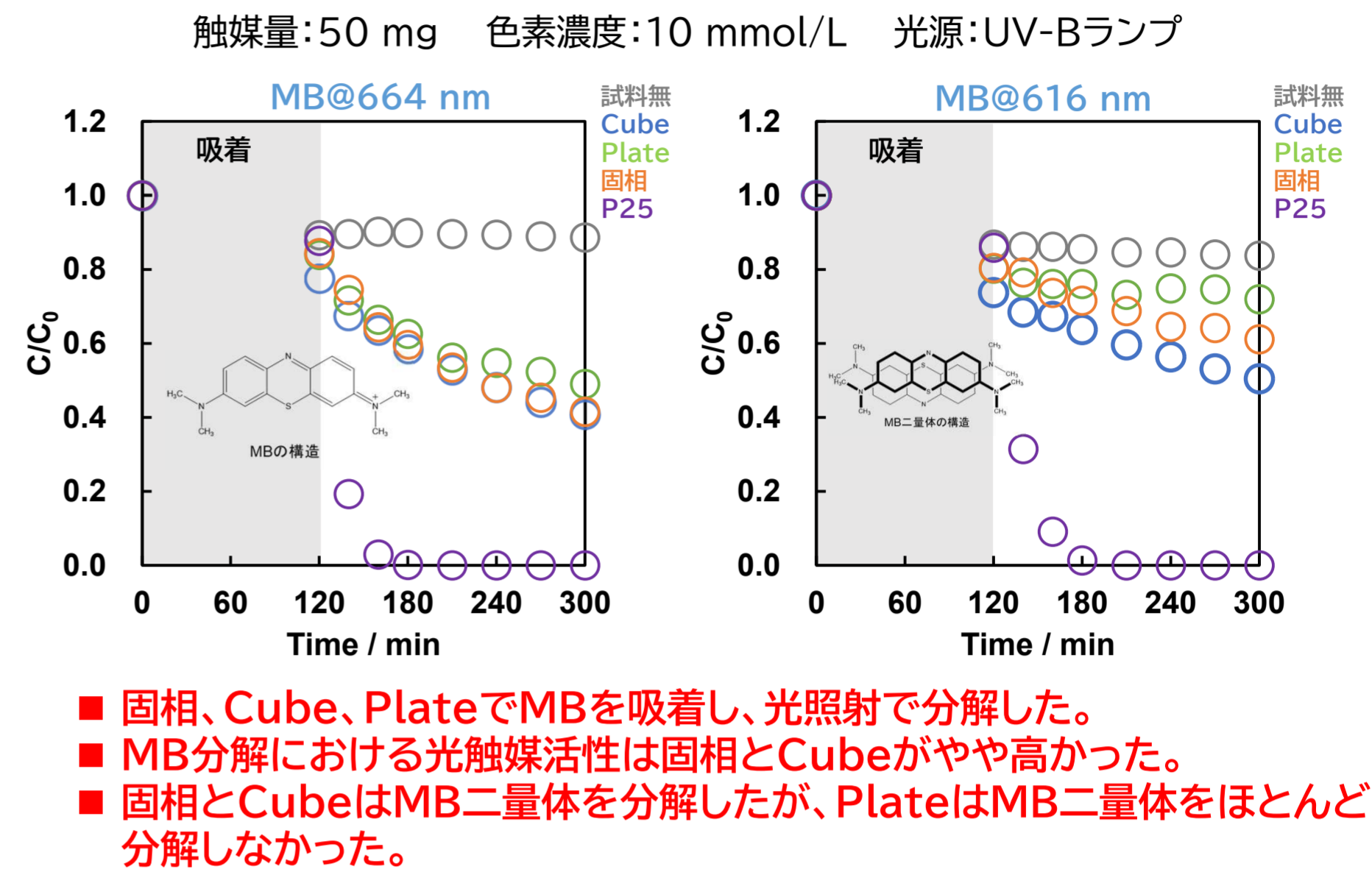


NaNbO<sub>3</sub>は光照射条件下で細胞毒性はほとんどない。  
※神戸大学 荻野 千秋 教授

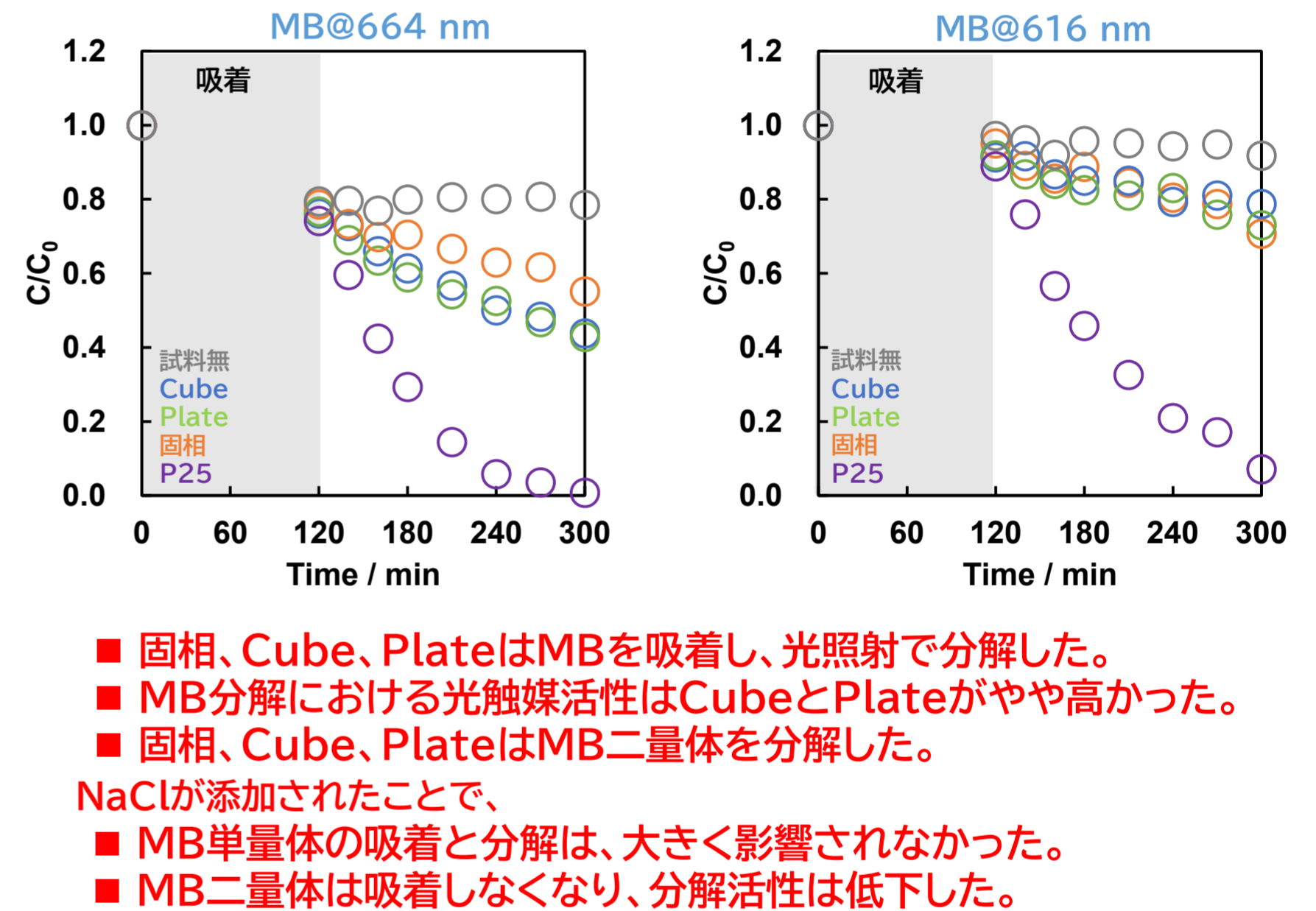
NaNbO<sub>3</sub>は光照射条件下で抗菌性能はほとんどない。  
※東京農工大学 中田 一弥 准教授、臼杵 翔 助教

## 3. ON光触媒の機構説明

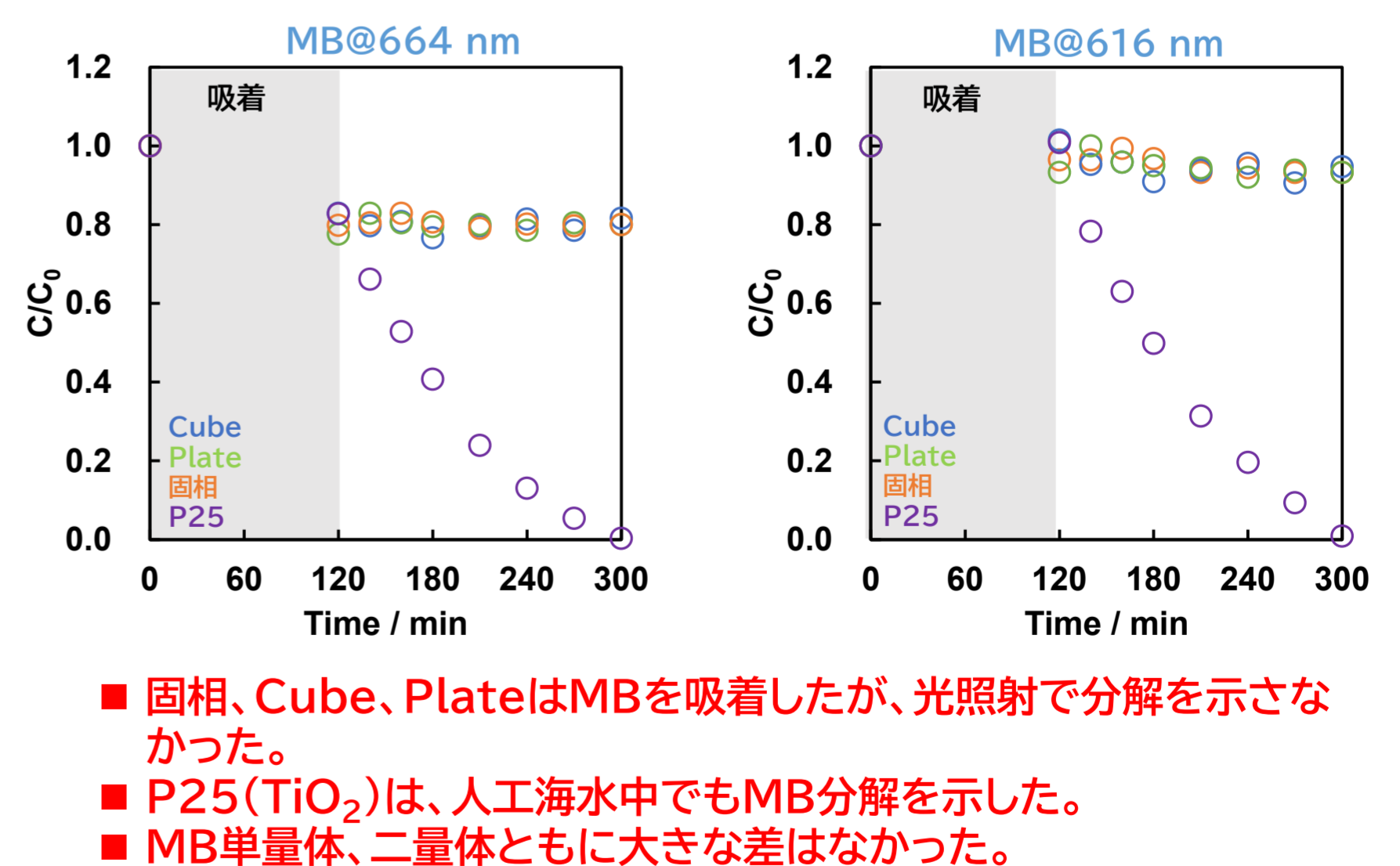
### メチレンブルー(MB)色素の酸化分解: 純水中



### メチレンブルー(MB)色素の酸化分解: NaCl添加



### メチレンブルー(MB)色素の酸化分解: 人工海水



## 4. まとめ

低分解活性かつ光誘起親水性を示すニオブ酸ナトリウム光触媒の合成プロセスを検討し、粒径制御、形態制御したニオブ酸ナトリウムを合成することができた。この光触媒は、酸化チタンと比較して酸化分解活性は低く、高度に親水化し、細胞毒性および抗菌性はほとんどないことが分かった。

## 5. 謝辞

本研究は、NEDOムーンショット事業(JPNP18016)の支援のもとで行われたものです。感謝申し上げます。

番号: A-17-6J

PJ: 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

テーマ名: OFF型光触媒コンポジット設計

担当機関名: 東京農工大学、東京理科大学、産業技術総合研究所、大阪産業技術研究所

問合せ先: 中田一弥 (nakata@go.tuat.ac.jp)

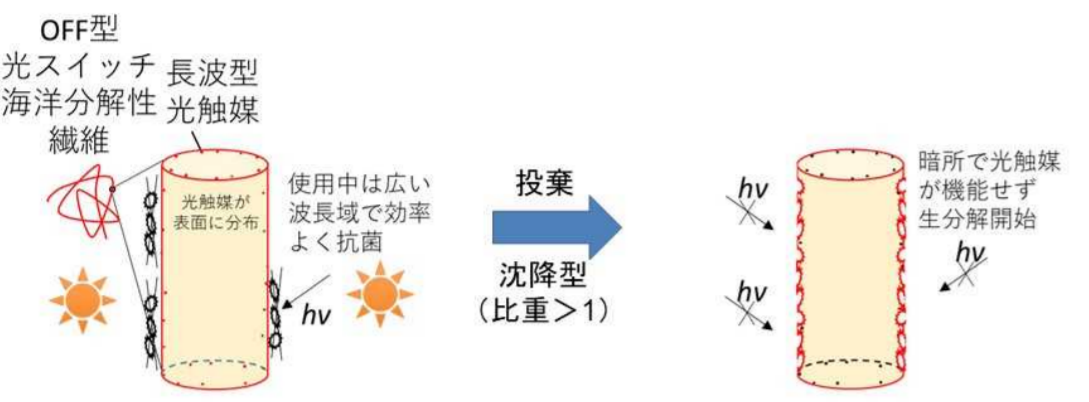


緒言

OFF型光スイッチ海洋分解性プラスチック

どのような光触媒が必要か?

活性種の比較



①可視光下で、②高分子を分解せずに、③殺菌できる、光触媒

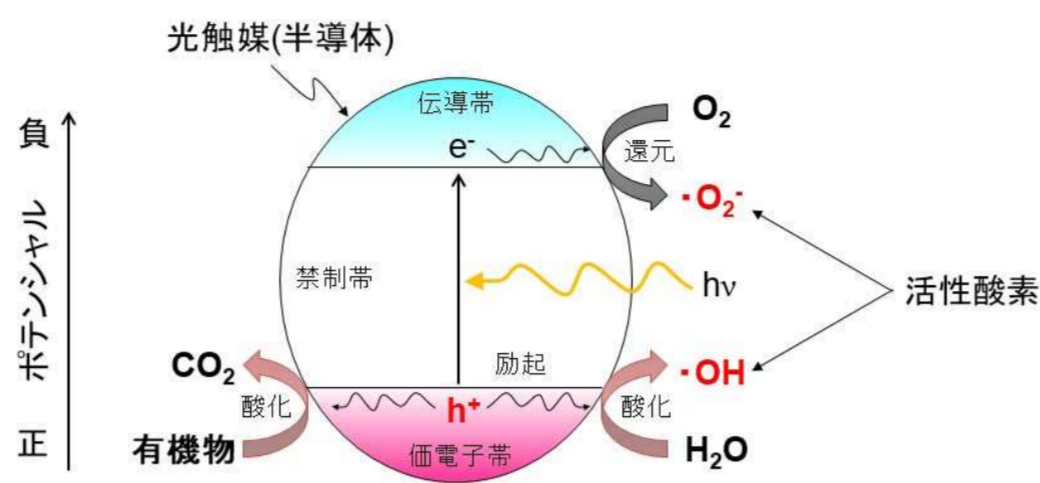
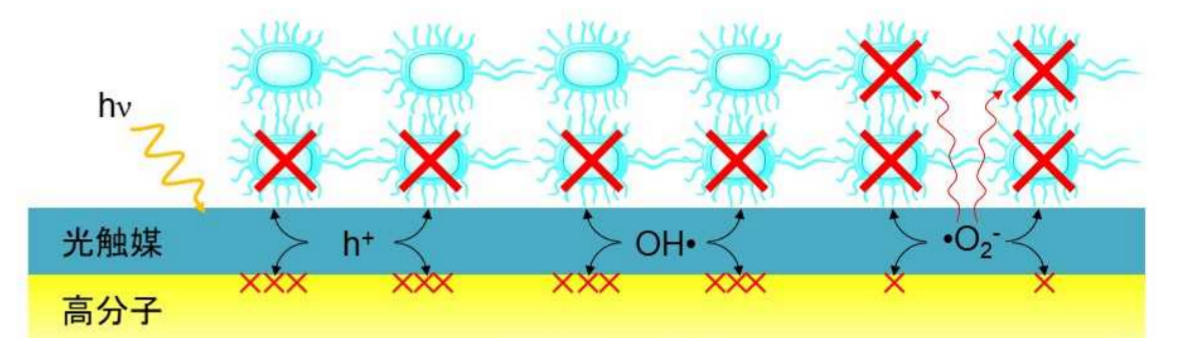


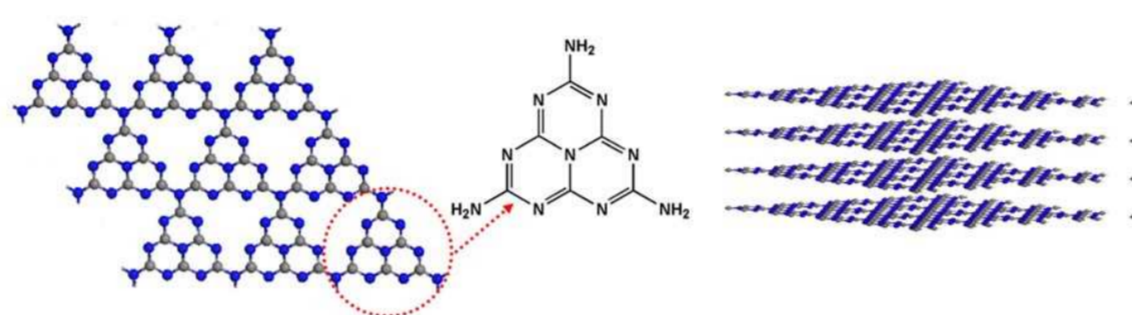
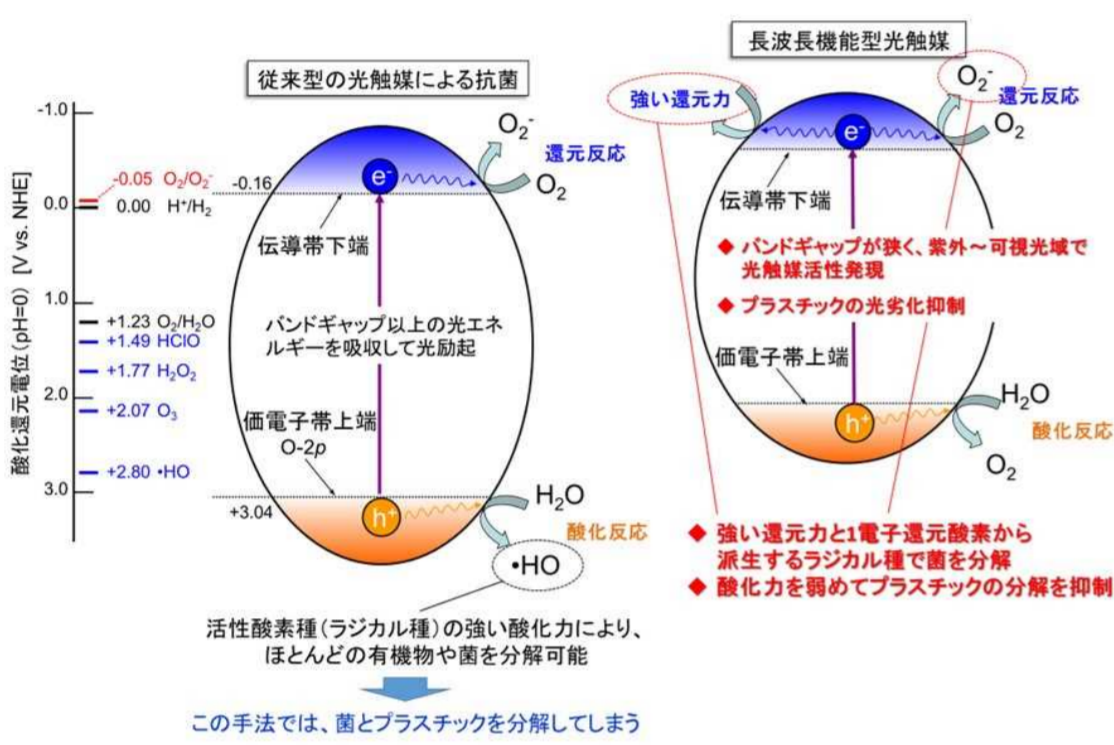
Table comparing active species: h+, OH•, and •O2- with their lifetimes, diffusion lengths, and redox potentials.



殺菌と高分子分解に関わるのは、h+, •OH, •O2-の3種類

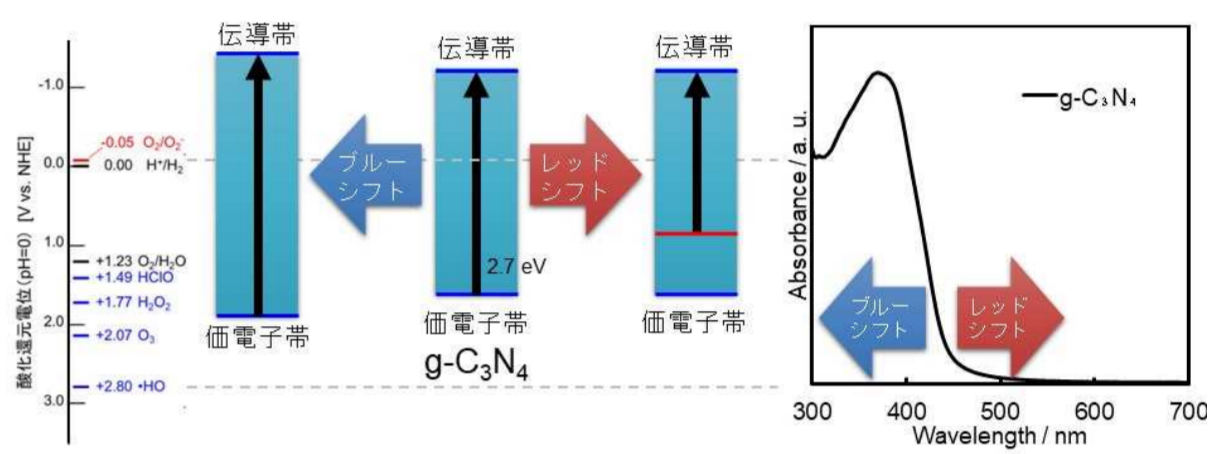
本研究

g-C3N4光触媒



- List of properties and advantages of g-C3N4 photocatalyst, including visible light response and stability.

•O2-による殺菌が望ましい g-C3N4の高活性化



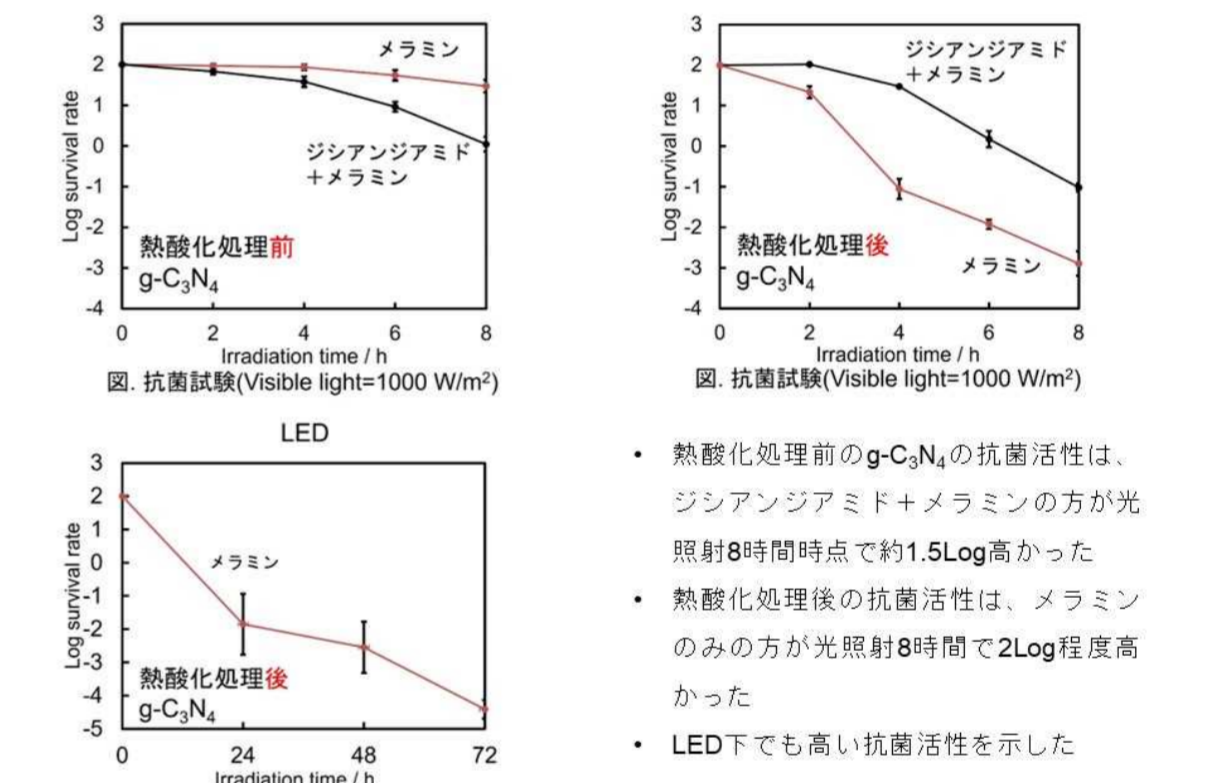
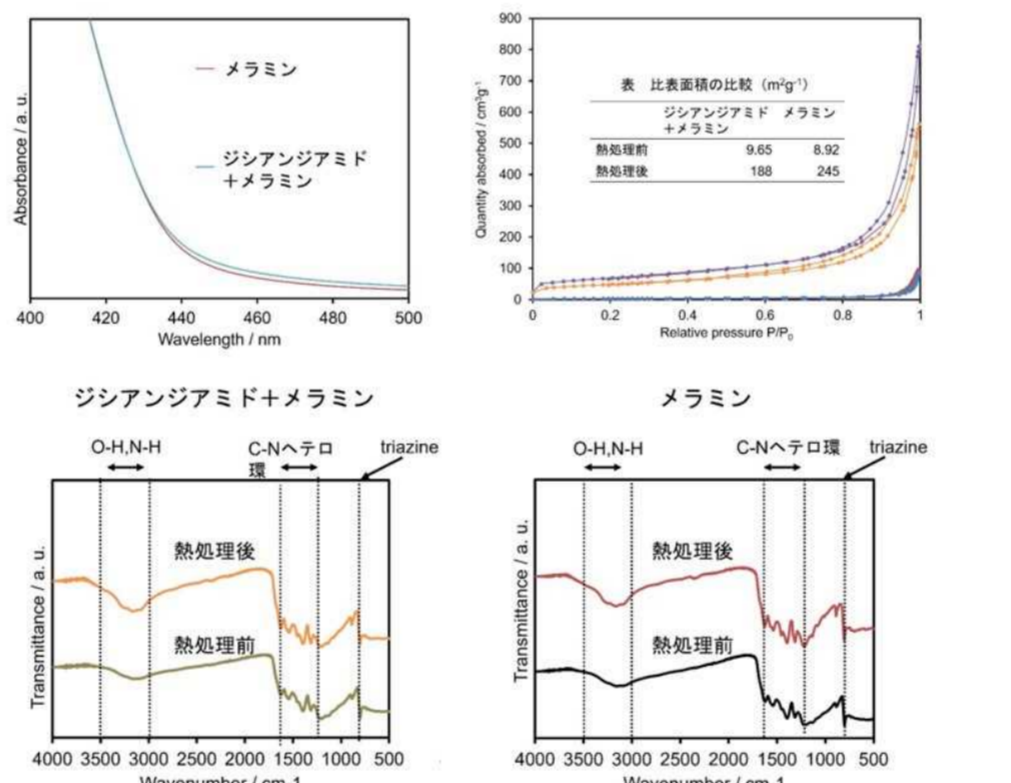
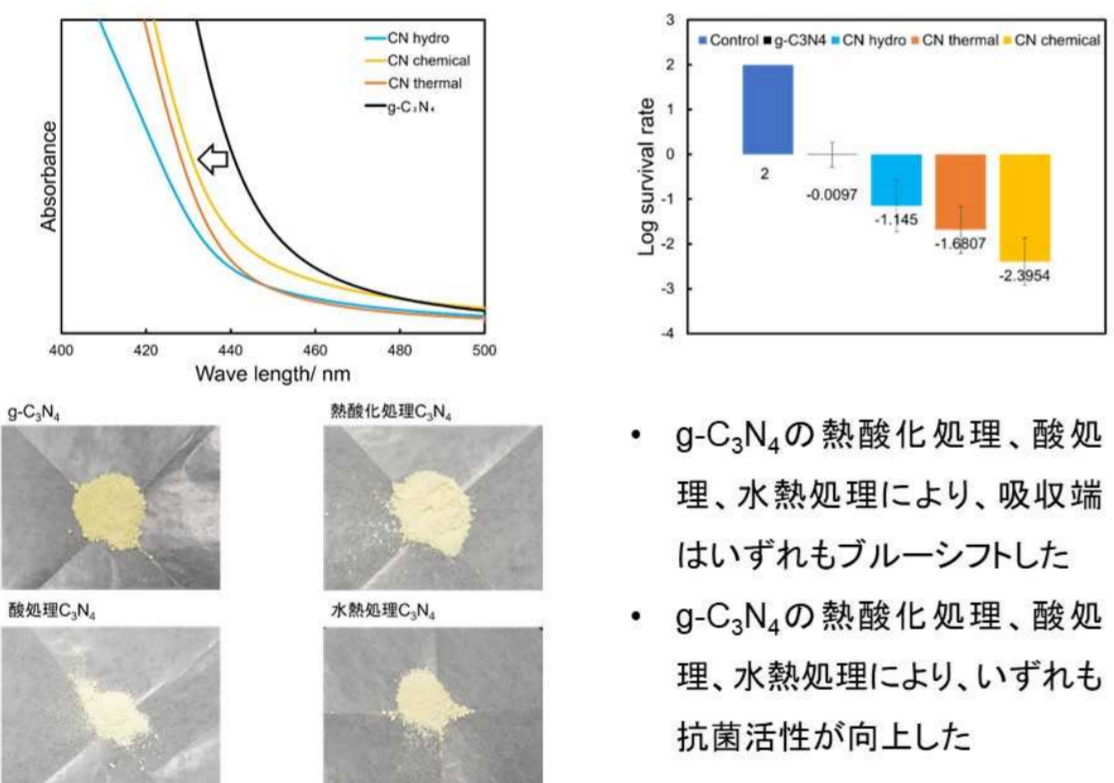
Comparison table of blue shift and red shift photocatalysis, including their characteristics and methods.

ブルーシフト窒化炭素光触媒の開発

各種処理を行ったg-C3N4

試料の各種評価

抗菌試験



レッドシフト窒化炭素光触媒の開発

レッドシフト型窒化炭素の作製: BC-GCNの合成

XPS

抗菌試験

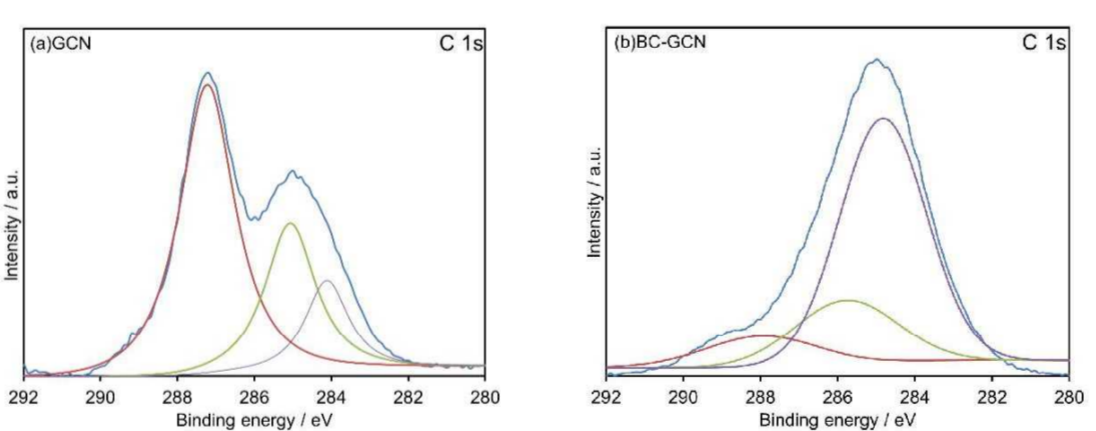
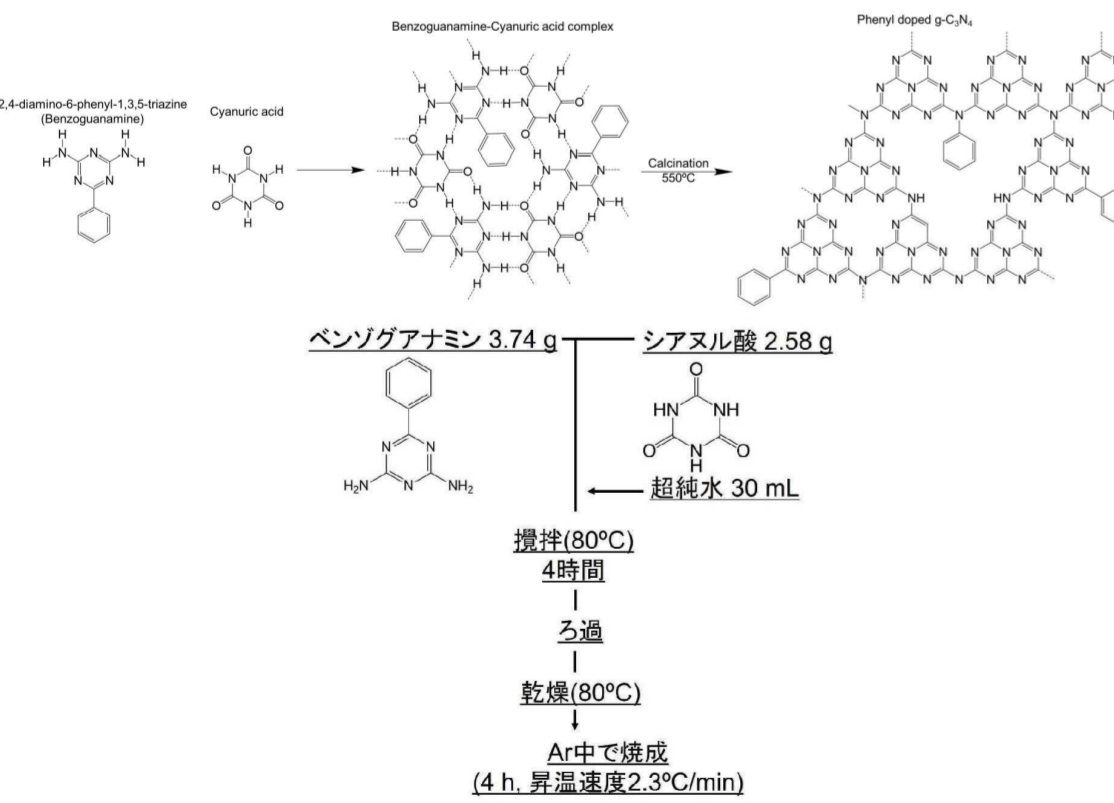
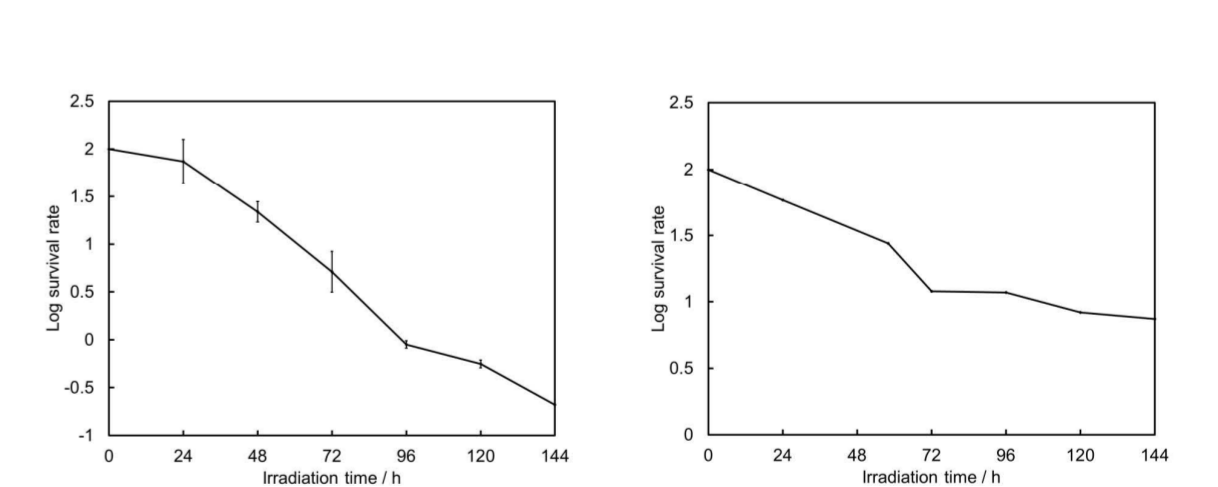


Table showing atomic percentages of C, N, and O for GCN and BC-GCN samples.

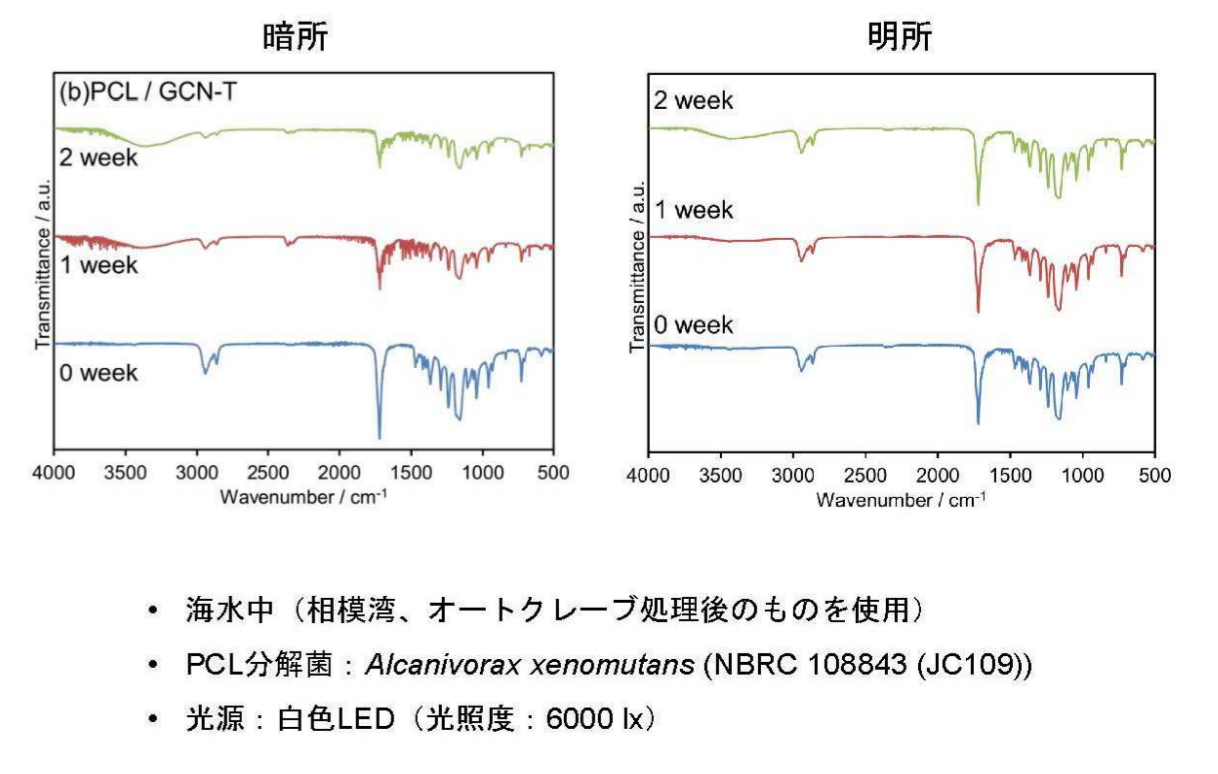
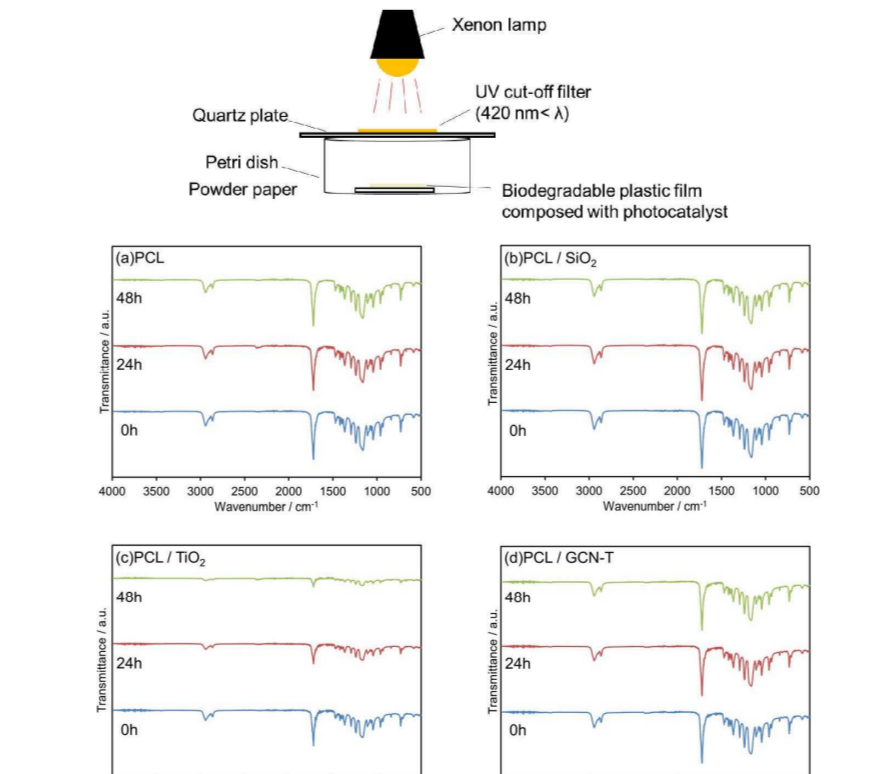
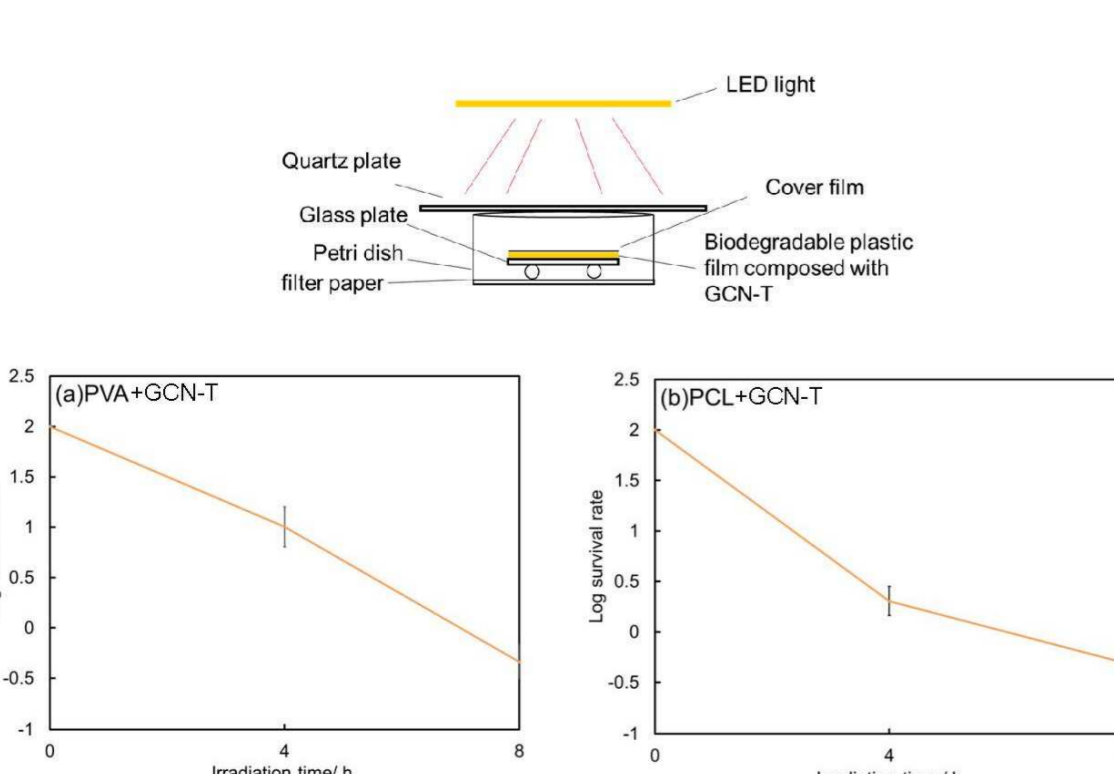


OFF型光スイッチング

プラスチック/光触媒コンポジットフィルムの抗菌性能

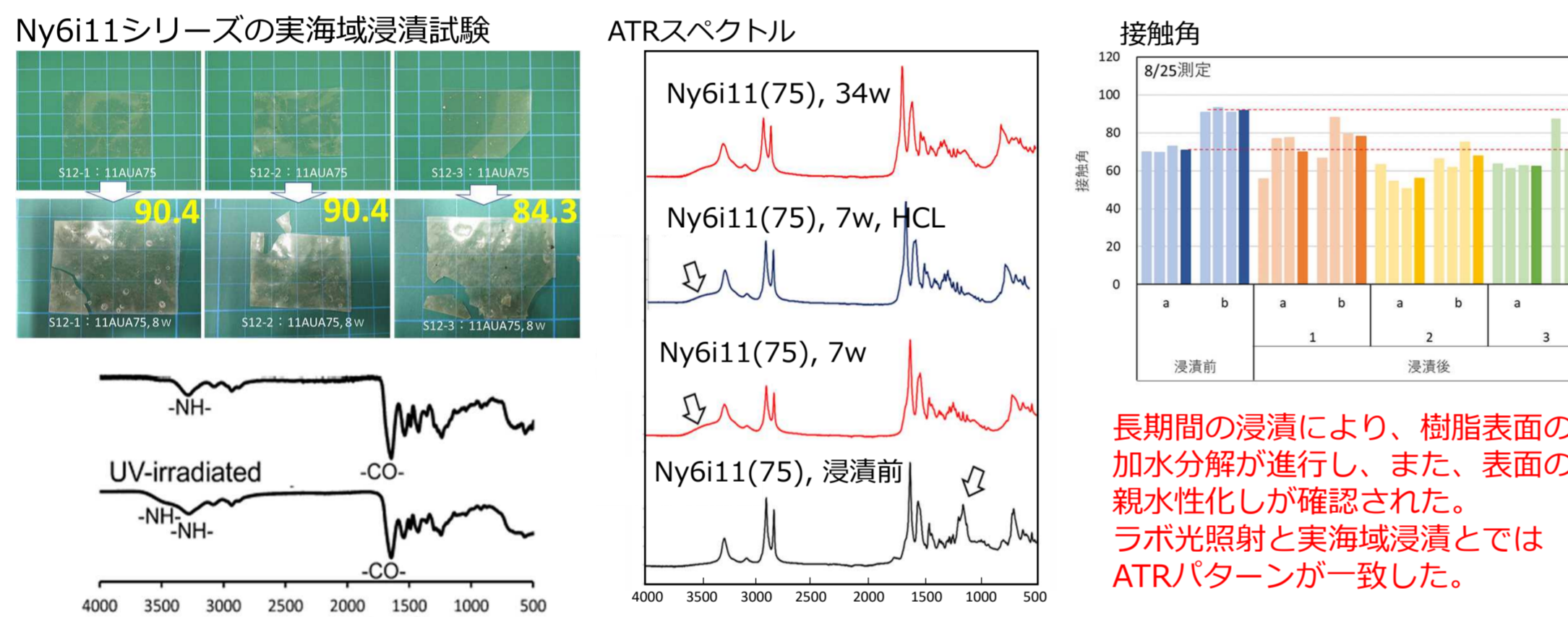
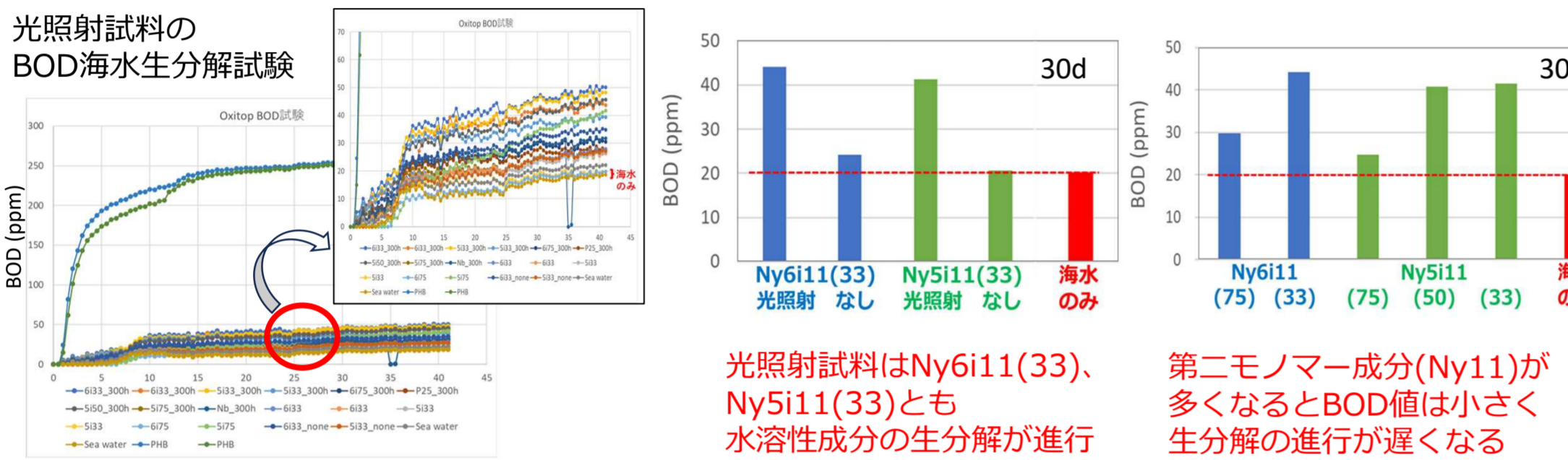
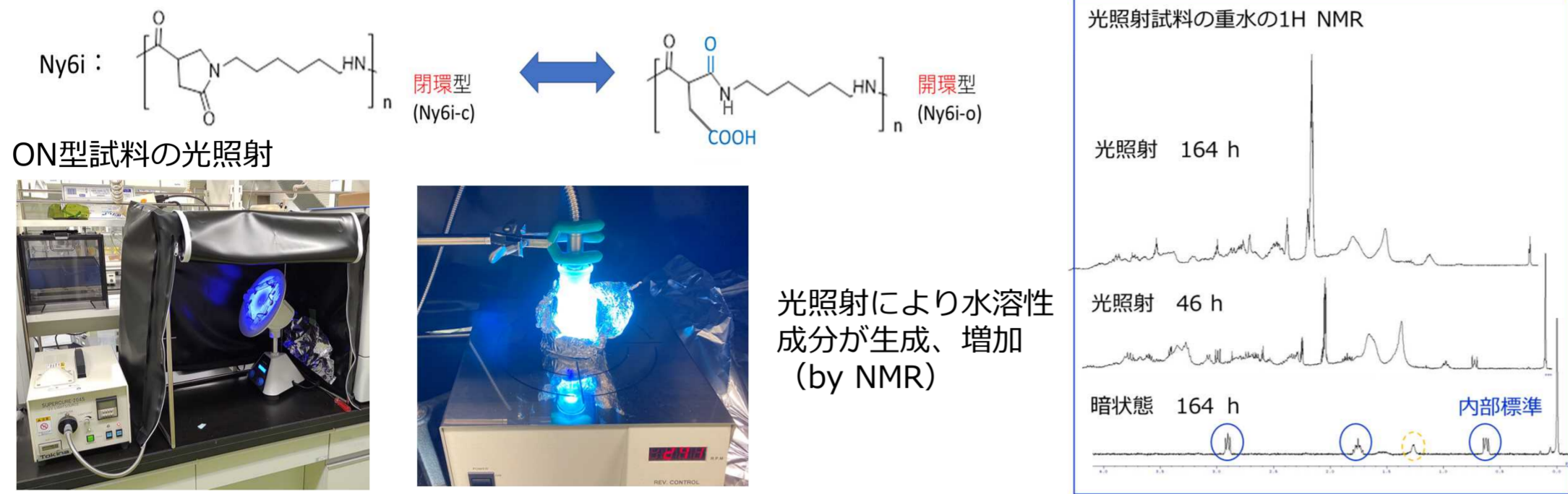
光触媒によるプラスチックの分解 (PCL)

スイッチの評価

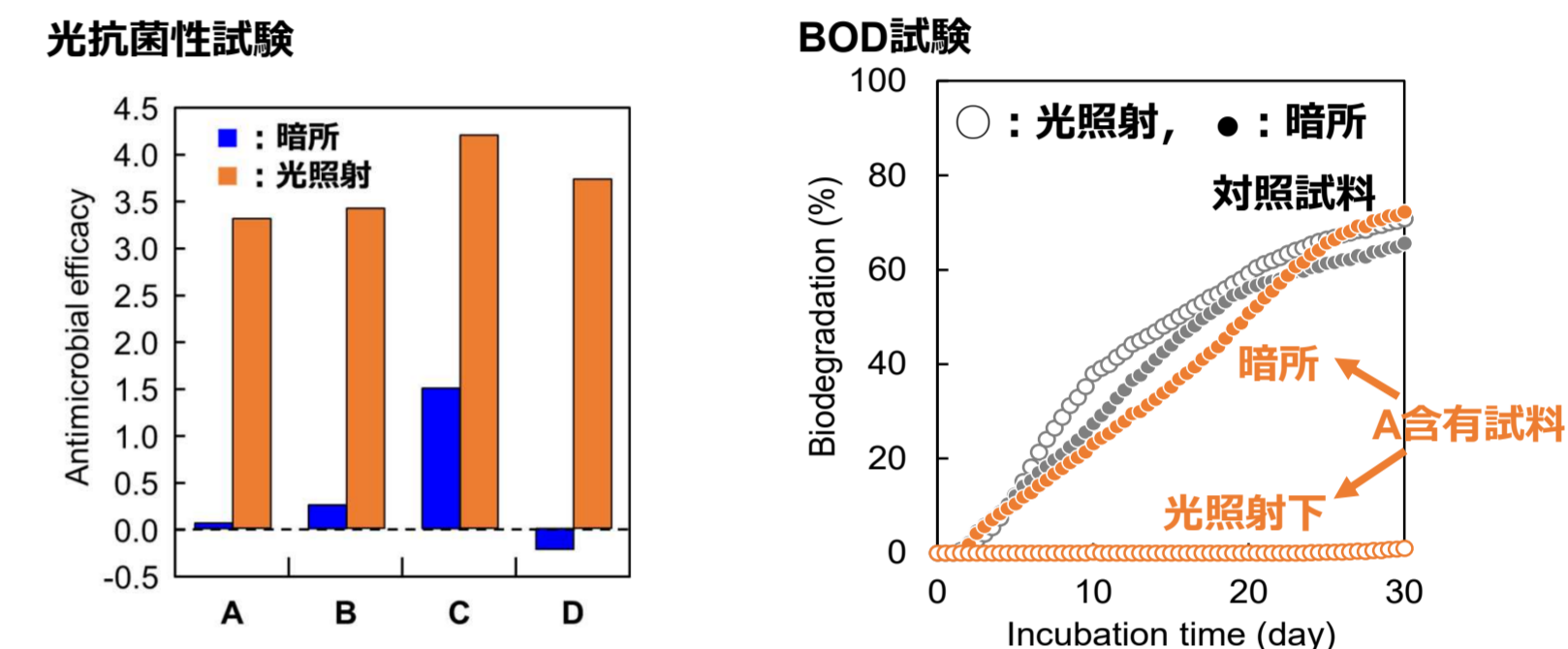
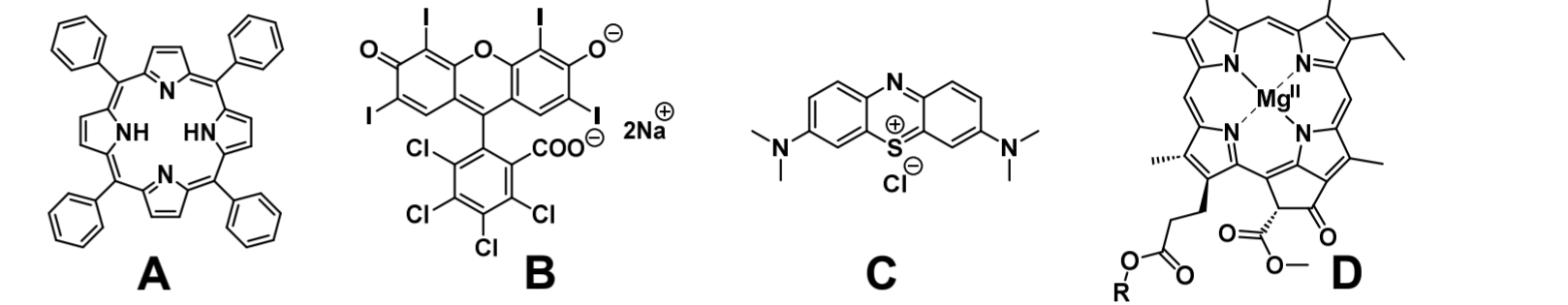
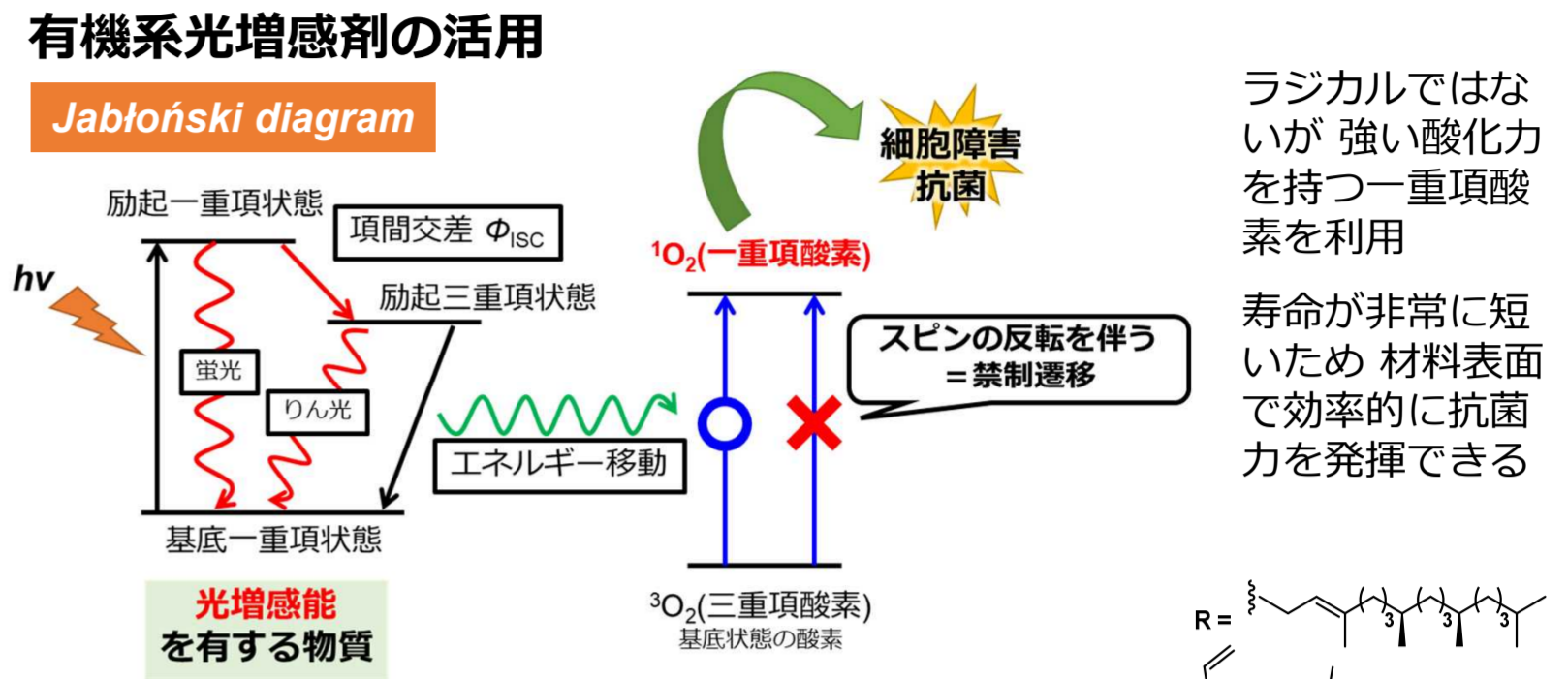


- Experimental conditions for antibacterial tests: seawater, PCL-degrading bacteria, and white LED light.

### 光スイッチの動作性と生分解性 ...ON型



### 色素系OFF型樹脂とその生分解



光照射条件で抗菌活性値が2を超える ⇒ 光抗菌性が発揮されている

光抗菌性の大きな物質A含有樹脂において 海水生分解性 (BOD試験) が大きく抑制

試験後菌数 (cfu/mL)	光照射 (×10 <sup>3</sup> )	暗所 (×10 <sup>3</sup> )
Blank海水	915	10
ポリマーのみ	7,725	6,417
物質A含有	50	2,045

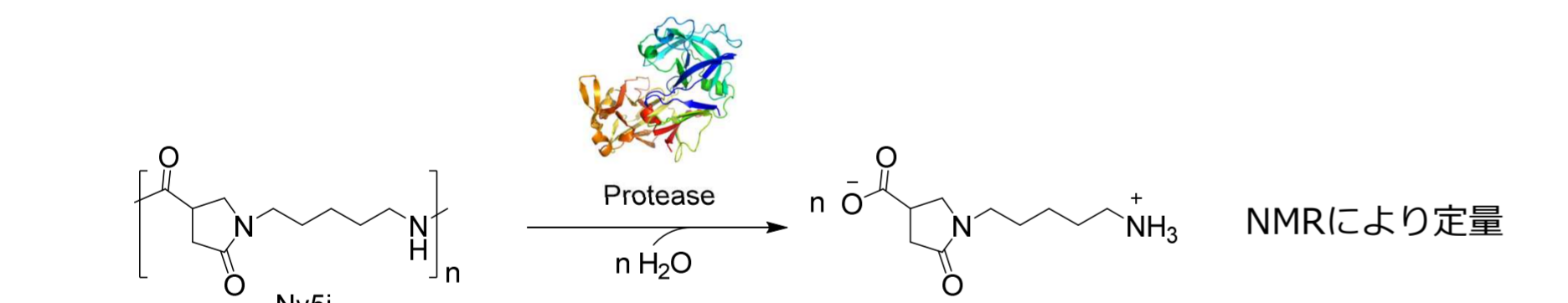
物質A含有・光照射条件における 試験海水中の菌数が大幅に減少 ⇒ 活性酸素によって殺菌されている

光抗菌力が分解抑制に寄与している

日野 他, 特願2022-188315

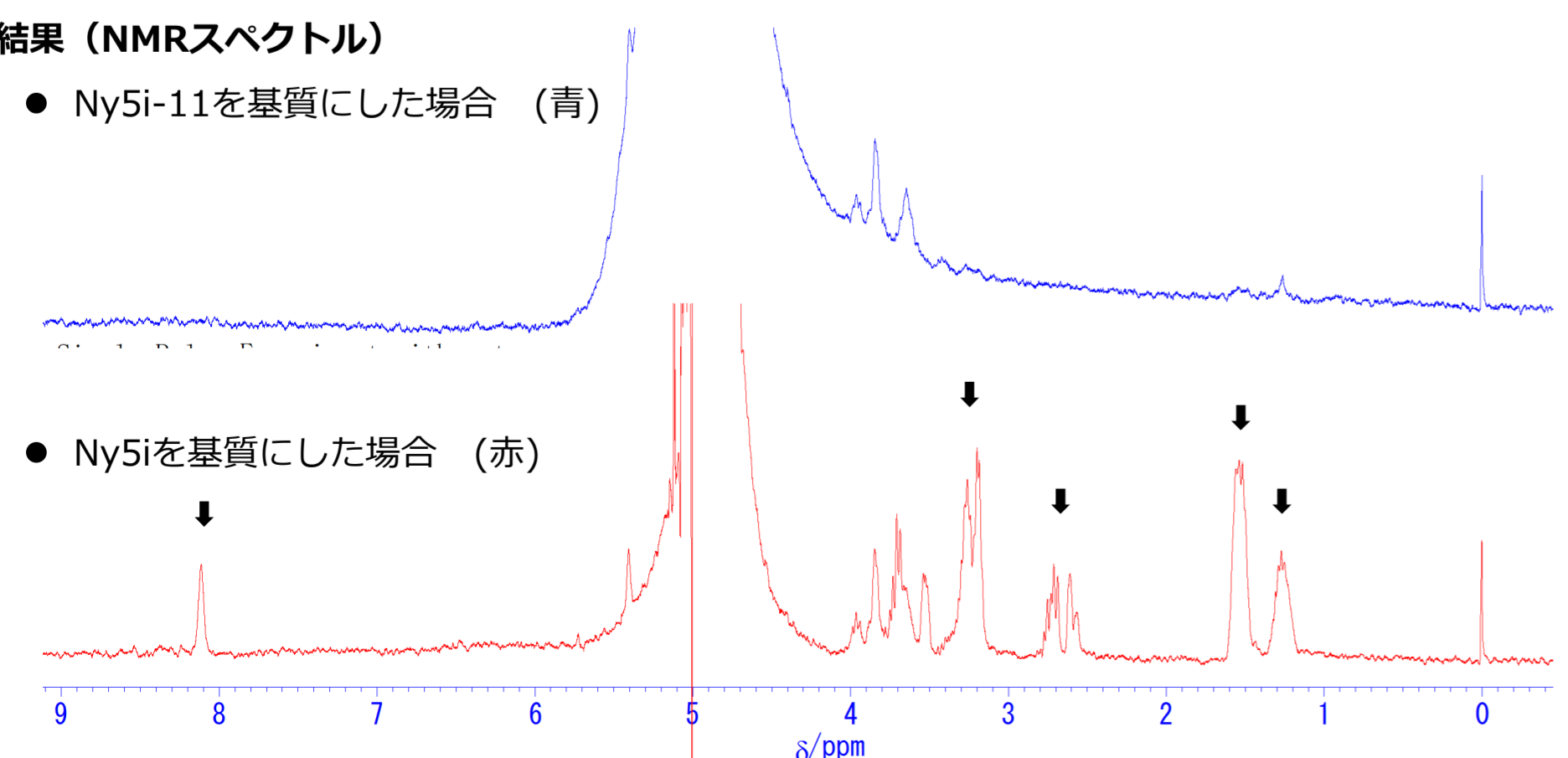
### ポリマーの酵素分解評価

アミド基含有ポリマーの生体内酵素による分解可能性を評価するための手法を開発した。生体内でタンパク質の消化を担い、アミド結合の加水分解を触媒する各種プロテアーゼをポリマーと混合し、分解生成物をNMR測定により検出した。



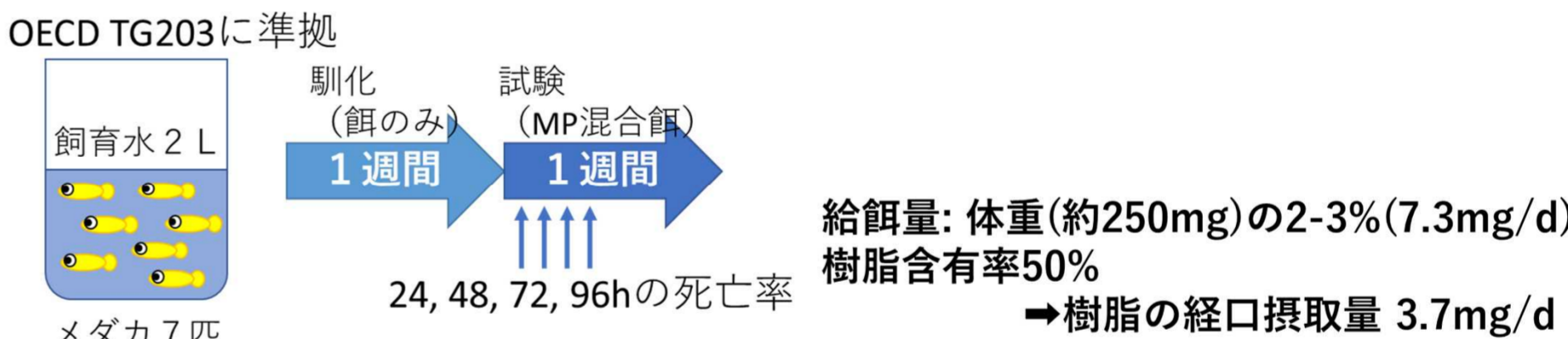
- 試験用プロテアーゼ、至適pH等一覧
1. ペプシン (アスパラギン酸プロテアーゼ)、至適pH1-3、酸性 or 芳香族性アミノ酸の隣のアミド結合を切断
  2. パパイン (システインプロテアーゼ)、至適pH7-8、塩基性アミノ酸 or G or Lの隣のアミド結合を切断
  3. トリプシン (セリンプロテアーゼ)、至適pH7-8、塩基性アミノ酸の隣のアミド結合を切断
  4. キモトリプシン (セリンプロテアーゼ)、至適pH8-9、芳香族アミノ酸の隣のアミド結合を切断

試験手法  
各種プロテアーゼとポリマー (Ny5i or Ny5i-11)を混合し、至適pHで反応後、固体をろ取して水溶性のモノマーをNMRにより検出した。



Ny5i-11を基質にした場合は酵素由来のピークのみが観察された。  
Ny5iを基質にした酵素反応後のスペクトルにおいて、特徴的なピークが観察された。  
検出されたピークに関して、由来を確認中。

### メダカによる経口摂取/急性毒性試験



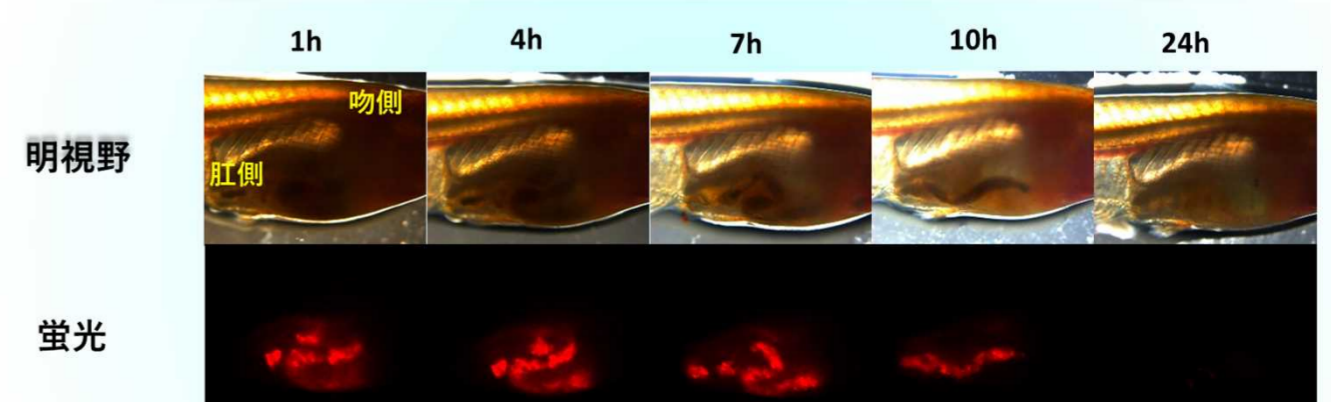
#### ON型樹脂

MPの種類	急性毒性
Ny6	なし
Ny6-L	なし
Ny6i(0.5%TiO <sub>2</sub> )	なし
Ny6i(1%TiO <sub>2</sub> )	なし
Ny6i(1.5量体)	なし
Ny6i 75%	なし
Ny6i 11 50%	なし
Ny6i 11 50% CuI NaNbO <sub>3</sub>	なし
Ny6i11-33	なし
Ny5i11-33	なし
Ny5i11-50	なし
Ny5i11-75	なし

#### OFF型樹脂

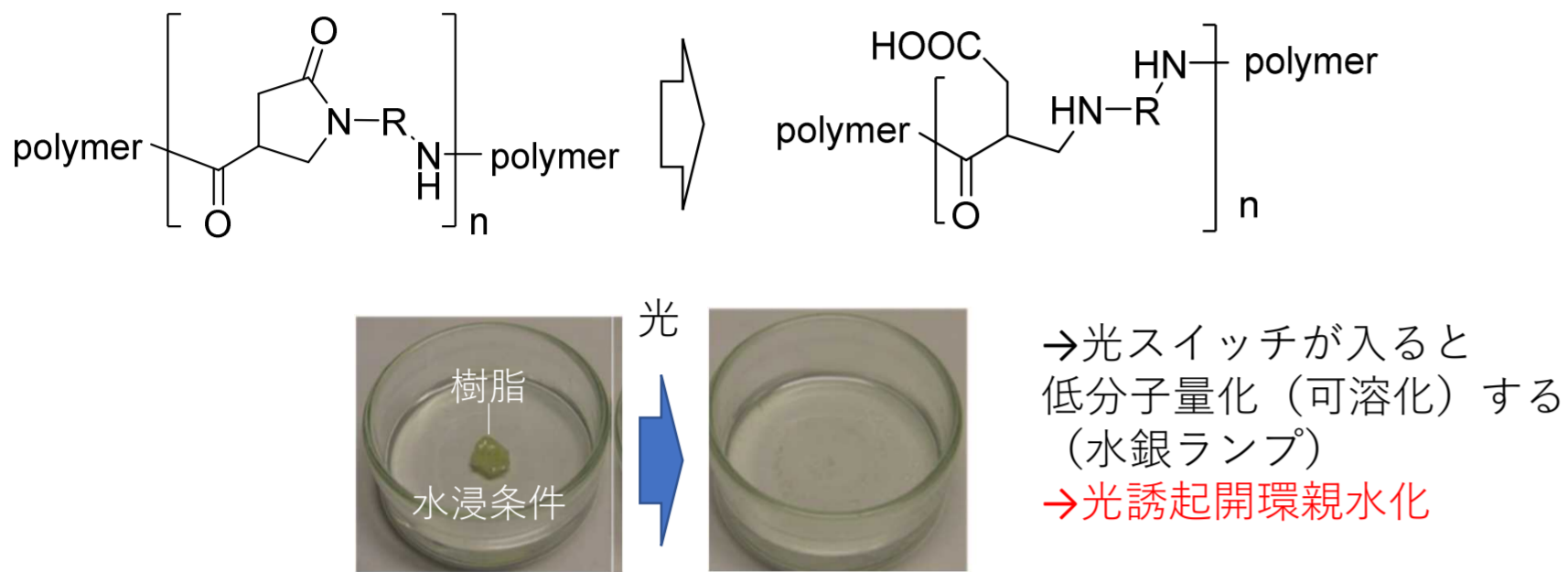
MPの種類	急性毒性
PS	なし
PCL	なし
PCL 5% アナターゼ	なし
PCL 5% P25	なし
PCL 5% gC <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	なし
PCL 5% 熱処理gC <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	なし

<摂食後のプラ粉末の排出までのモニタリング> ...蛍光染色(ナイルレッド)PET使用



⇒接種後、24hで排出

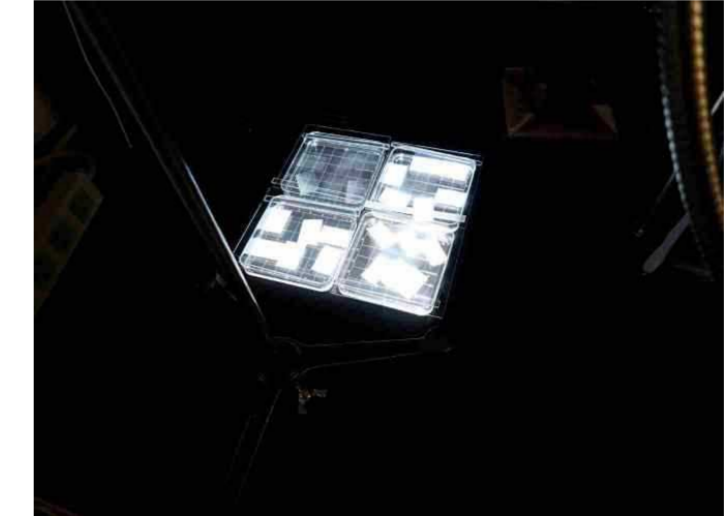
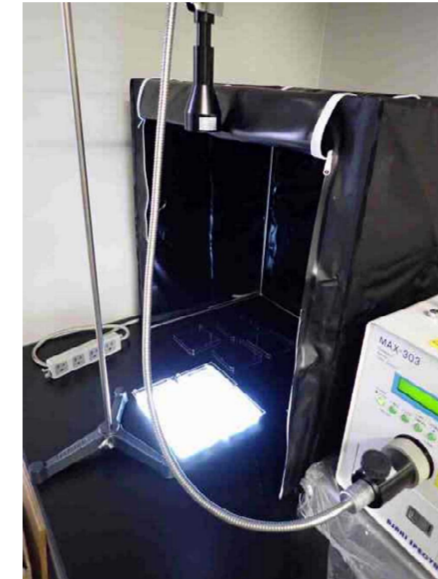
### ON型光スイッチ型生分解性プラスチック



- ・試料の長期的な分解性を評価するには、ある程度現実的かつ加速的にスイッチが入った試料が必要
- ・試料に光を当て、海試験用の加速的スイッチ試料を作製し、生分解性プラスチックの中長期的な評価に向けた知見を得る。

### ON型加速的スイッチ試料

- ・ポリマー: バイオナイロン Ny5i11-33
- ・光触媒: 無機系2種類、有機系1種類
- ・加速的スイッチ試料: Ny5i11-33 + 光触媒 1%/5%
- ・光照射条件:  
Xe照射(8,000 lx、0.45mW/cm<sup>2</sup>、人工海水中)(明所) 60h/120h  
Xe照射なし(暗所保持、人工海水中)(暗所) 60h/120h

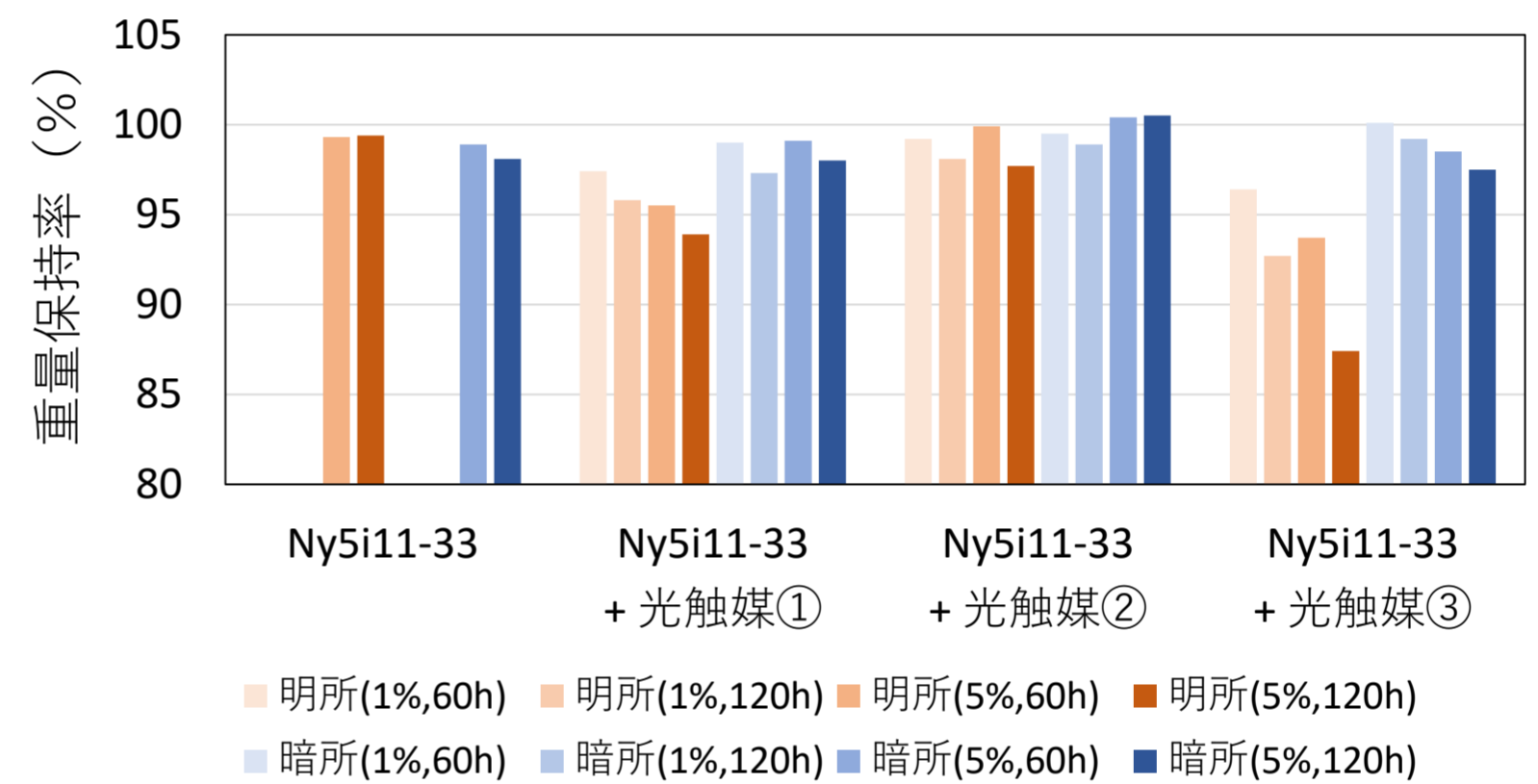


Xe照射試料(人工海水中に浸漬)

### ラボ分解性試験

Xe照射後の重量保持率 (%)

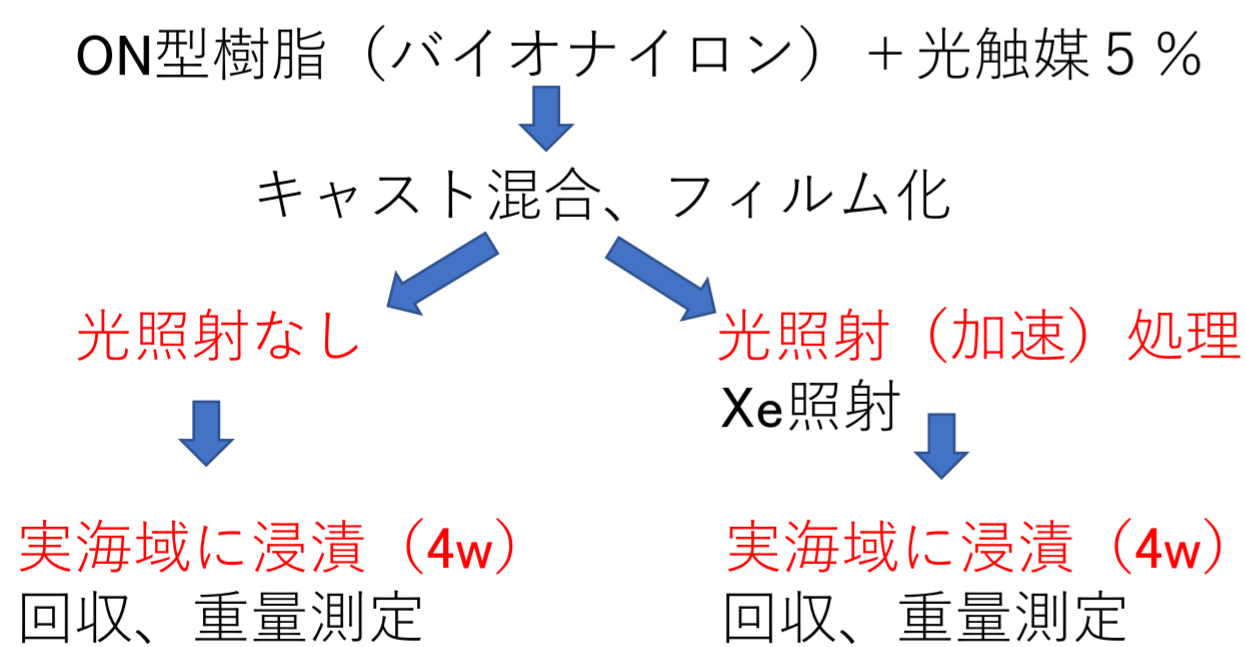
	明所				暗所			
	光触媒1% 照射60h	1% 120h	5% 60h	5% 120h	1% 60h	1% 120h	5% 60h	5% 120h
Ny5i11-33			99.3	99.4			98.9	98.1
Ny5i11-33 + 光触媒①	97.4	95.8	95.5	93.9	99.0	97.3	99.1	98.0
Ny5i11-33 + 光触媒②	99.2	98.1	99.9	97.7	99.5	98.9	100.4	100.5
Ny5i11-33 + 光触媒③	96.4	92.7	93.7	87.4	100.1	99.2	98.5	97.5



- ・Ny(バイオナイロン)のみのフィルムは、夏の屋外光程度のXe照射(8,000 lx、0.45mW/cm<sup>2</sup>)では分解が進まない。
- ・光触媒の添加による重量保持率の減少が見られた。

### 実環境分解性試験

#### ON型加速的スイッチ試料(コンポジット)の作製



#### 実海域浸漬後の重量保持率

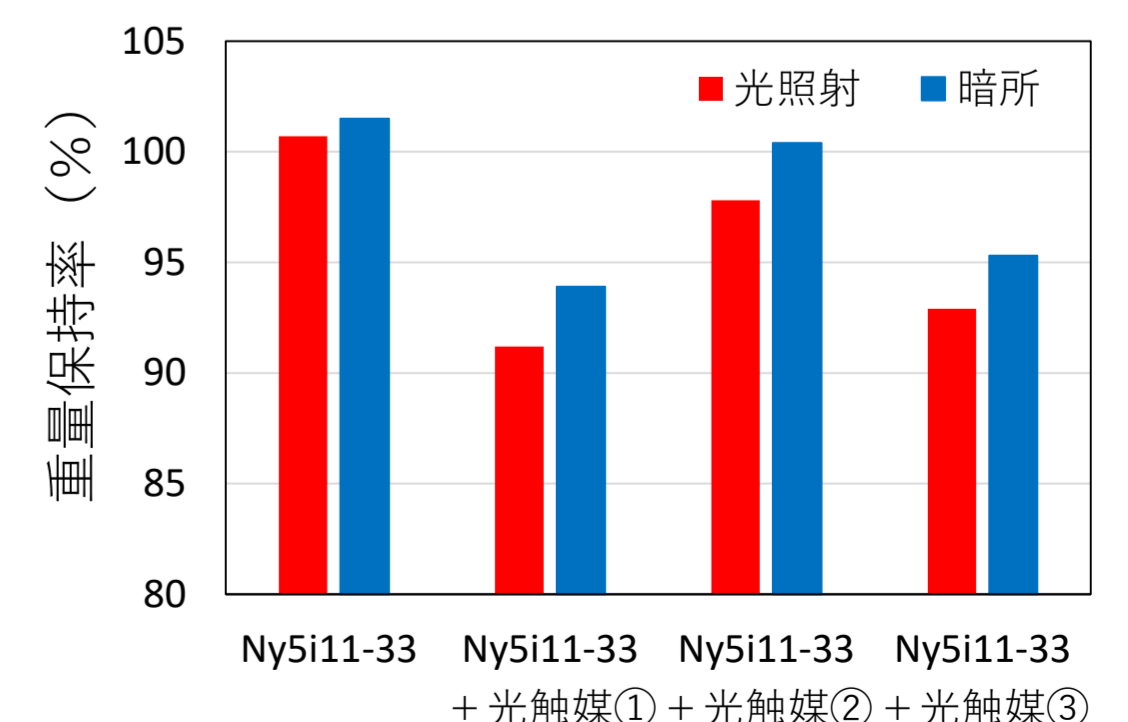
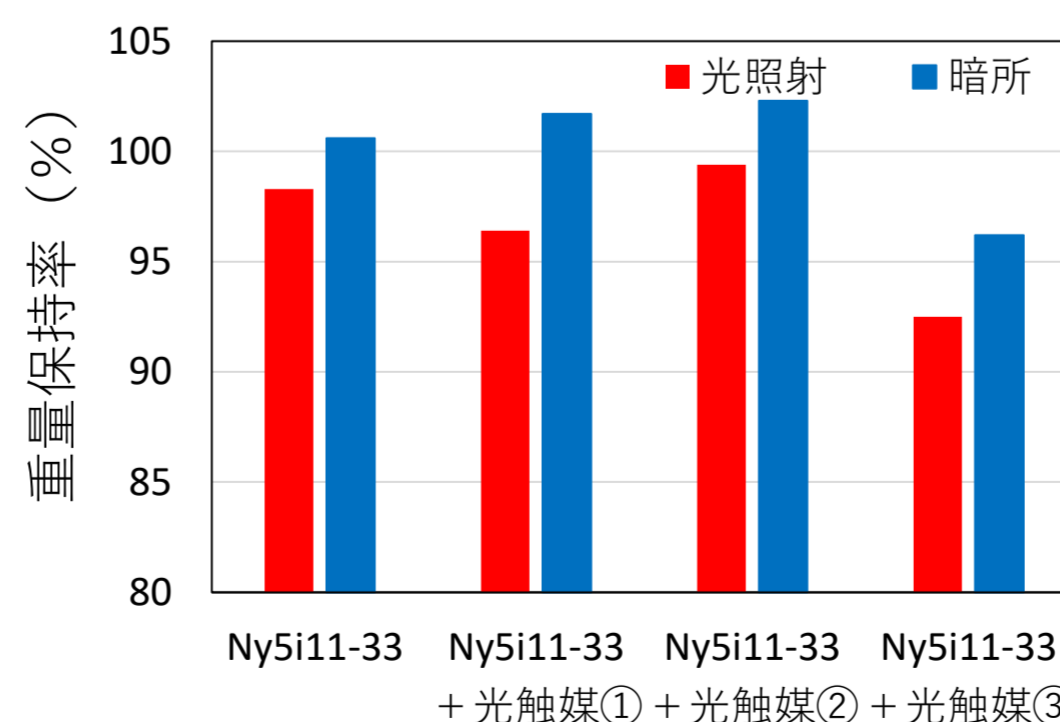
光照射なし + 浸漬4w

	重量保持率(%)	
	明所	暗所
Ny5i11-33	98.3	100.6
Ny5i11-33 + 光触媒①	96.4	101.7
Ny5i11-33 + 光触媒②	99.4	102.3
Ny5i11-33 + 光触媒③	92.5	96.2

光照射 (Xe照射、0.45mW/cm<sup>2</sup>、120h) + 浸漬4w

	重量保持率(%)	
	明所	暗所
Ny5i11-33	100.7	101.5
Ny5i11-33 + 光触媒①	91.2	93.9
Ny5i11-33 + 光触媒②	97.8	100.4
Ny5i11-33 + 光触媒③	92.9	95.3

#### 実海域浸漬試験



- ・バイオナイロンのみのフィルムは、事前の光照射の有無にかかわらず、実海域浸漬後の重量保持率に差は見られない。
- ・光触媒添加フィルムは、事前の光照射により重量保持率の減少効果が見られた。

