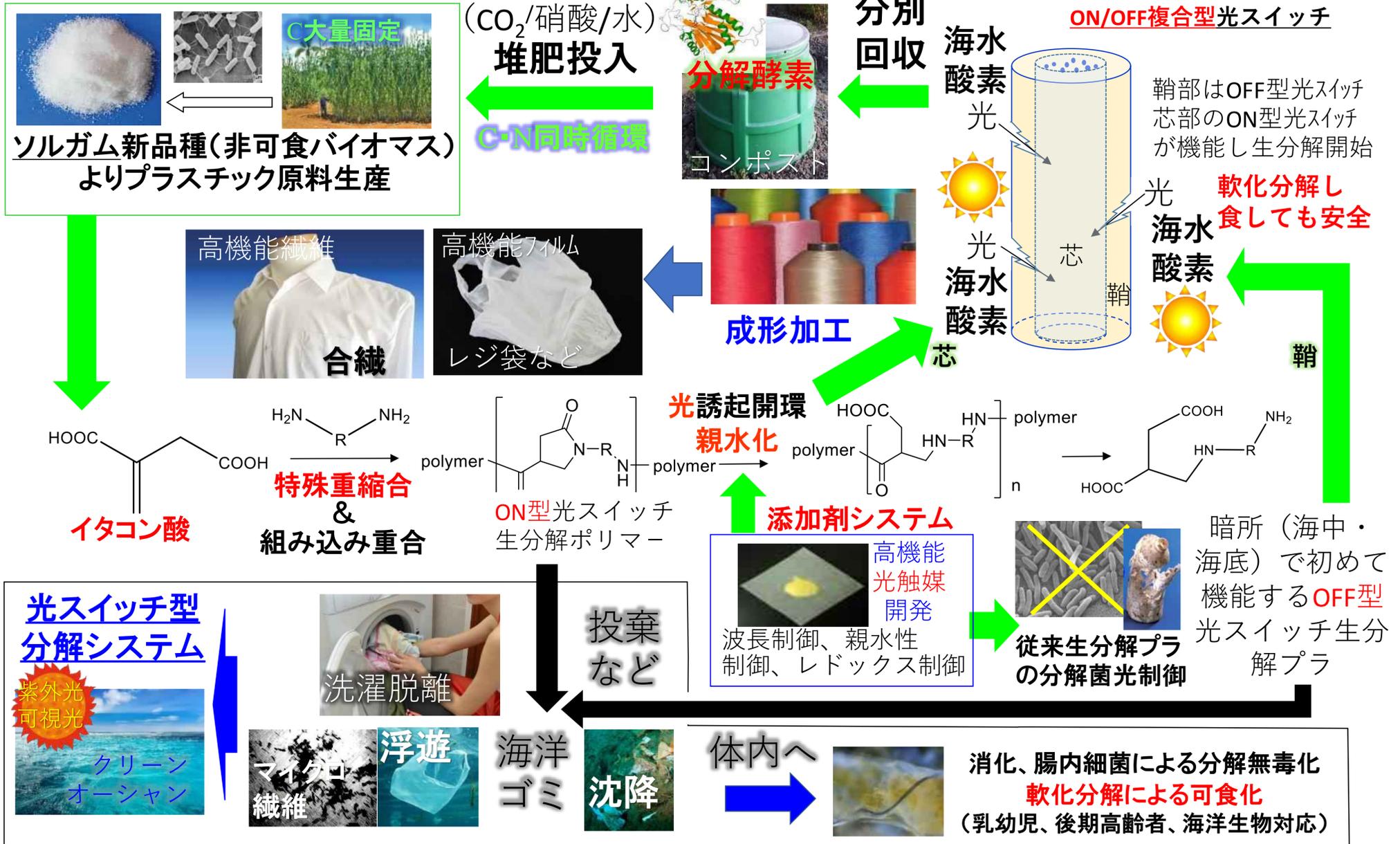


【実施期間】2020年度～2029年度

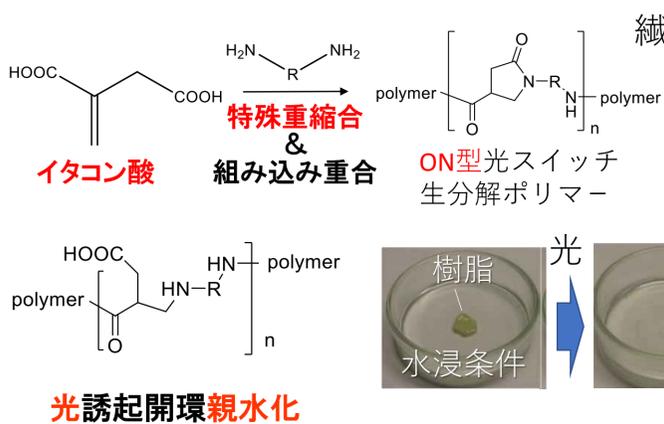
【実施機関名】: 北陸先端大、神戸大、名古屋大、鹿児島大、東理大、農工大、産総研、大阪技術研

【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

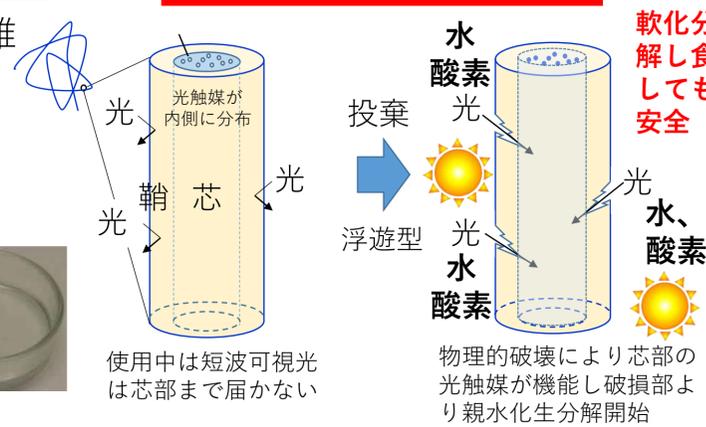


ON型およびOFF型光スイッチ

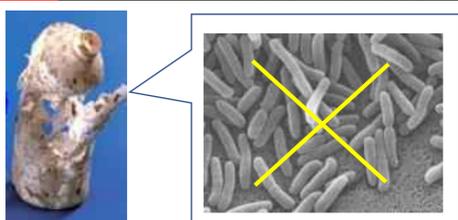
1. ON型光スイッチ海洋生分解性プラスチック



光誘起超親水化を活用



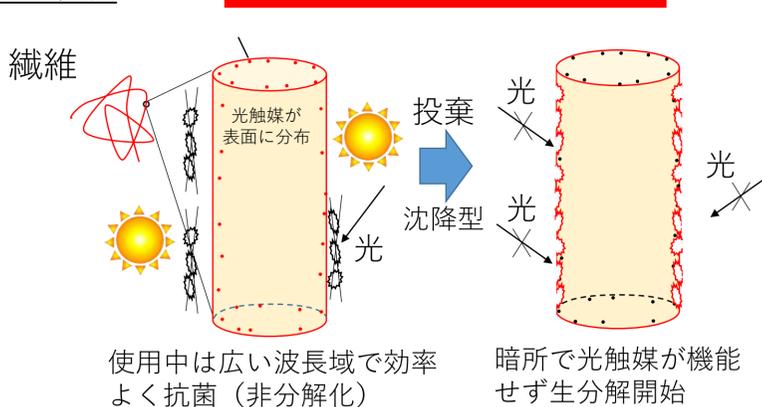
2. OFF型光スイッチ海洋生分解性プラスチック



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



3. ON/OFF複合型光スイッチ海洋生分解性プラスチック

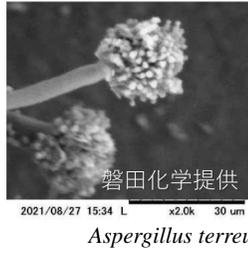
両方の光スイッチの長所が発揮できるように構造設計した理想的な樹脂





石川県の海岸にて撮影
プラスチックごみは甚大な経済的損失をももたらしている。例えば、Asia/Pacific Plastic Trash Economical loss アジア太平洋地域でのプラスチックごみによる年間の損失は、観光業0.62 billion USD/y、漁業・養殖業では0.36 billion USD/yになると推定されている(APEC Marine Resources Conservation Working Group 報告(2009))。

イタコン酸



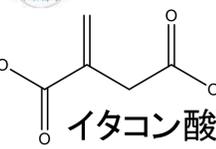
世界で年7万トン生産 (市場規模150億円)

QINGDAO KEHAI BIOCHEMISTRY CO., LTD

発酵生産

2 USD/kg

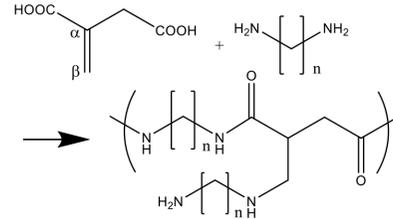
中国で大量生産



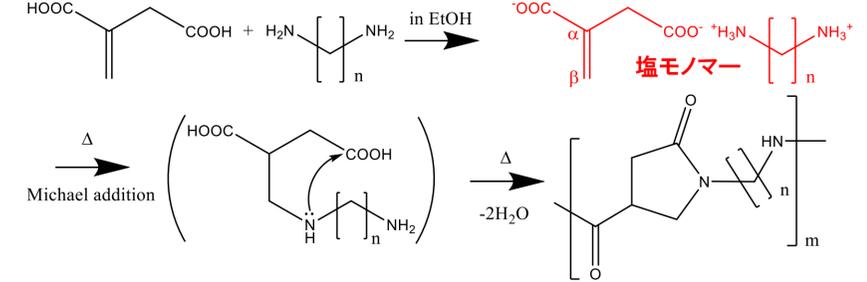
有名な生物由来ジカルボン酸であるにもかかわらずイタコン酸由来ナイロン合成は困難

今までも繊維、樹脂、ゴム、界面活性剤、接着剤などの添加物として利用(年々拡大)。

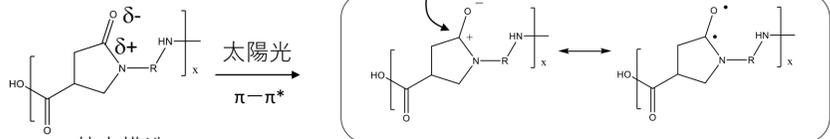
副反応(過剰のジアミンにより引き起こされる)



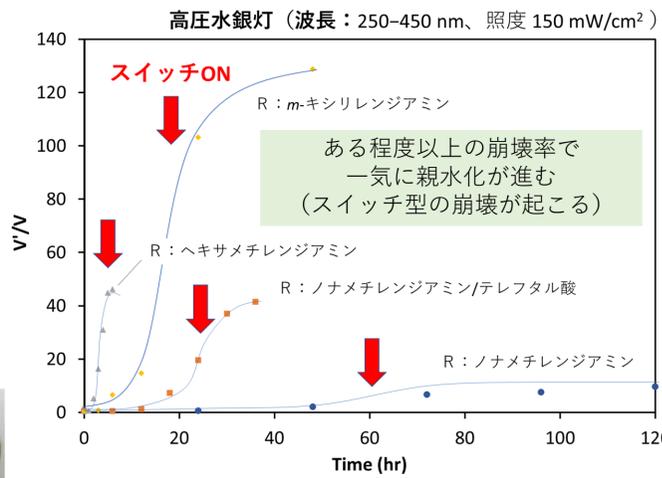
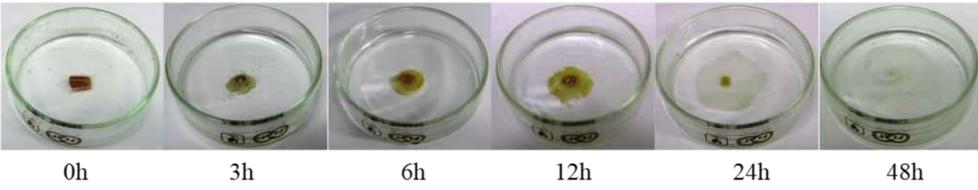
塩モノマー法



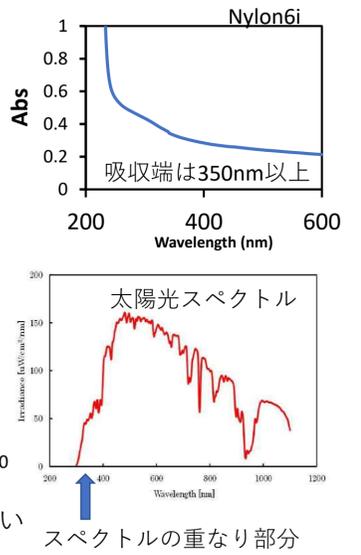
光が当たると・・・



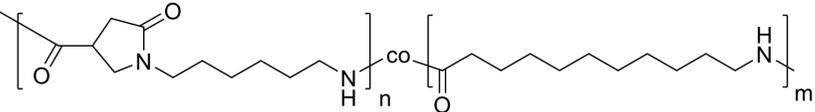
基本構造 (疎水性、難分解性) → 励起状態 (電荷分離状態とピラジカル状態の共鳴) → 開環による親水化 (海水(アルカリ性) OH⁻ / 土壌微生物、加水分解酵素 + OH⁻) → スイッチON構造 (親水性) (分解性あり) R: 様々な脂肪族ジアミン



- 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



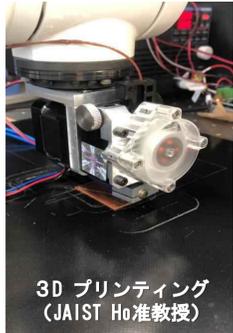
Nylon11への光スイッチの組み込み



ストランド 糸 射出成形体



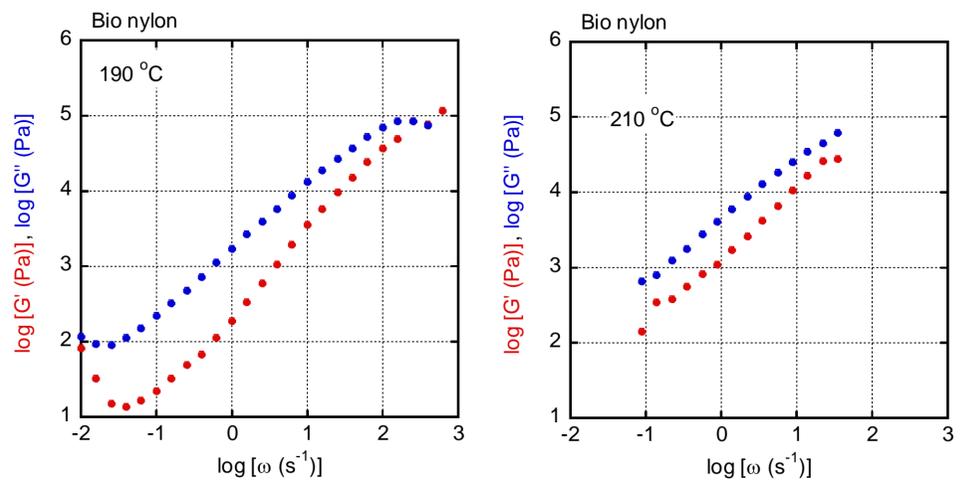
ペレット



フィルム



Cone-plate rheometer AR2000ex, TA Instruments
Condition: At 190 and 210°C under a nitrogen atmosphere.



- 合成時における架橋はほとんど無かった。
- 190°Cで窒素下、30分ほどで少しずつ架橋
- 210°Cでは短時間で架橋が進むが、成形が困難になるほどの架橋は短時間(10分程度)では生じなかった
- 細繊維を得ることができた(写真)



フィルムの光誘起親水化による崩壊現象



結論

- イタコン酸から誘導されるピロリドン環含有ナイロンは励起状態により開環を伴う加水分解を示し、それに伴う光誘起崩壊現象を示した。
- ピロリドン環含有ナイロンをナイロン11に組み込むことで、ナイロン11に光誘起崩壊性を持たせることが可能となった。
- 得られたナイロン11は細繊維を得ることが出来るほどの優れた成形性を示すことが明確となった。

番号: A-13-3J

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

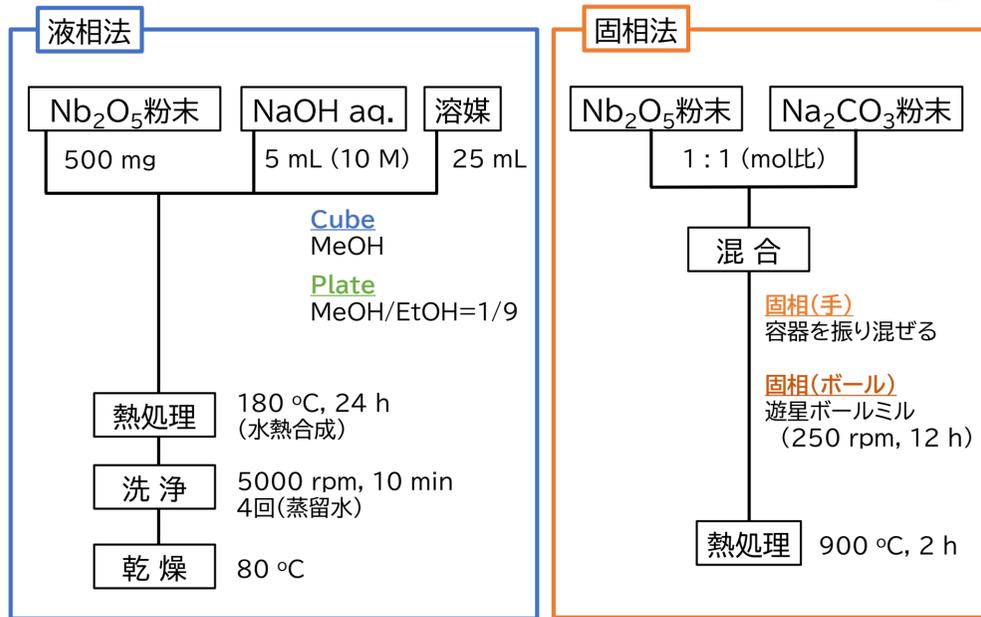
テーマ名: ON型光触媒コンポジット設計

担当機関名: 東京理科大学、北陸先端科学技術大学院大学

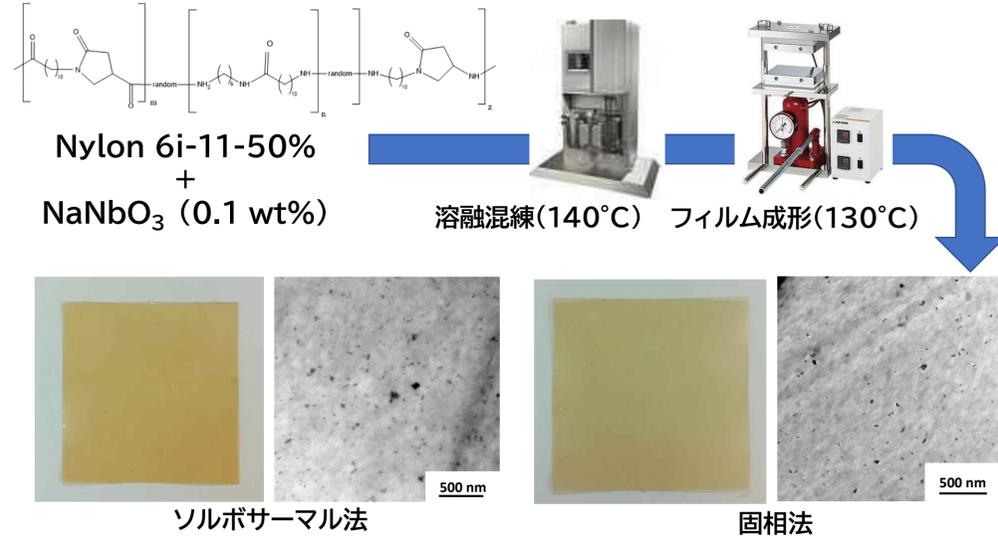
問合せ先: k.katsumata@rs.tus.ac.jp, taniike@jaist.ac.jp



1.1. ON型光触媒の合成

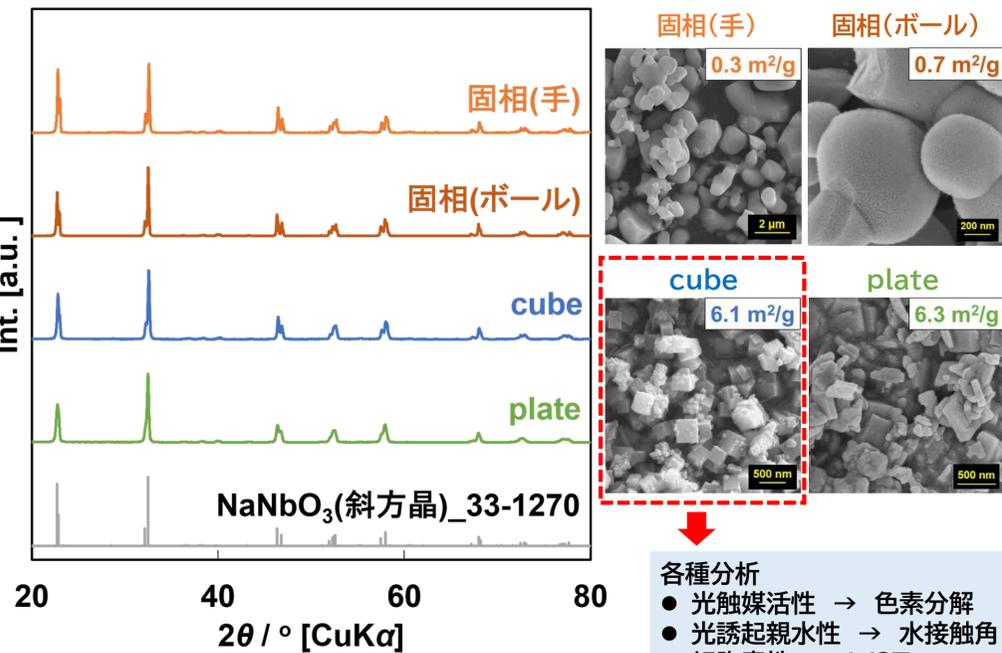


2.1. ナノコンポジット化



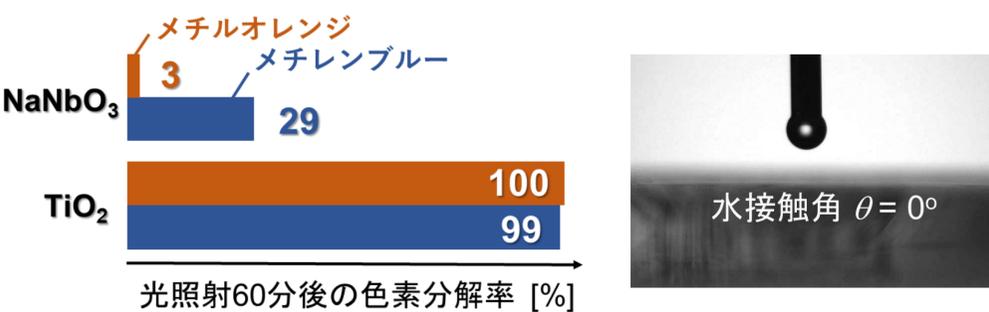
【2a】良好な分散のナノコンポジットフィルムを調製できた。

2.2. 光劣化試験

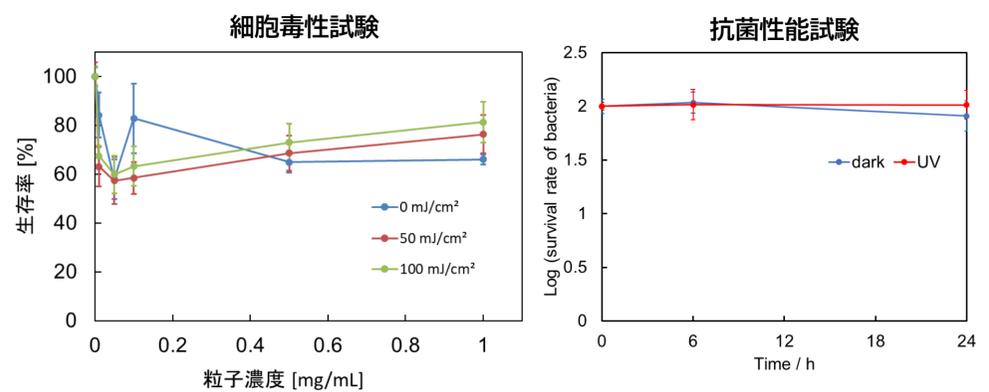


【1a】合成法によらず同じNaNbO₃が合成可能

1.2. 光触媒活性の評価

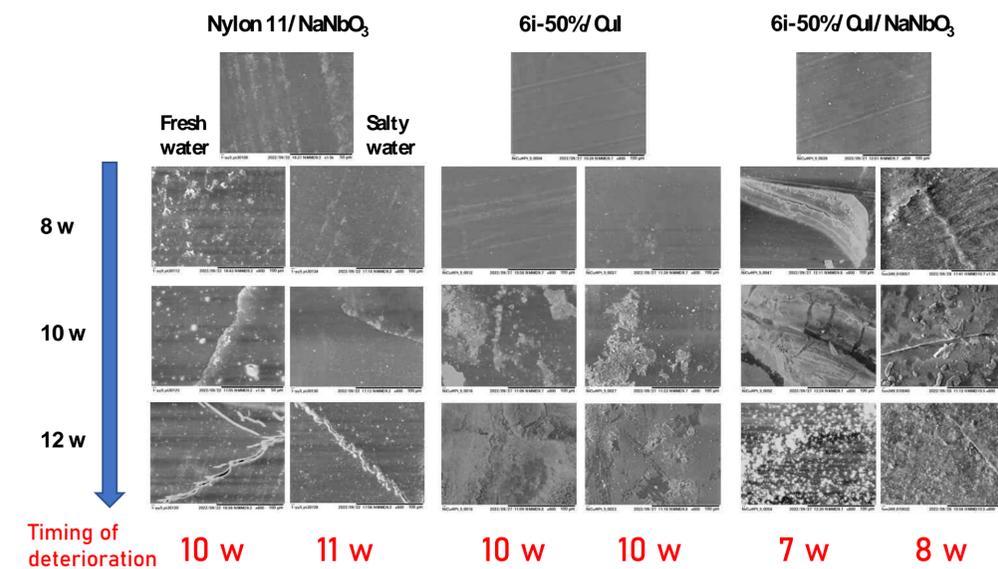


【1b】NaNbO₃はTiO₂に比べて分解活性が低い。
【1c】NaNbO₃はTiO₂と同等の光誘起超親水性を示す。

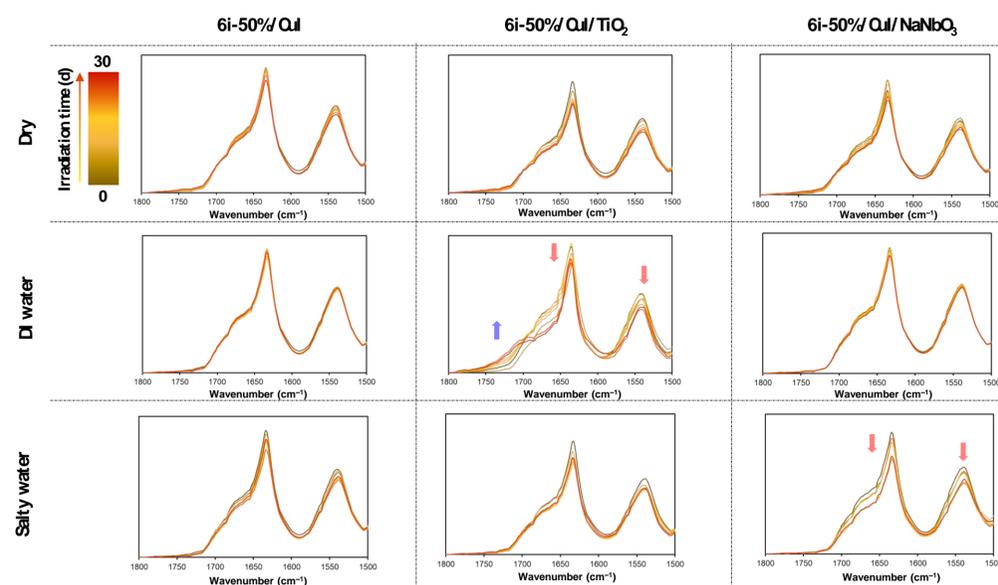


【1d】NaNbO₃は光照射条件下で細胞毒性はほとんどない。
※神戸大学 荻野 千秋 教授

【1e】NaNbO₃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



【2b】バイオナイロンはナイロン11よりやや速く劣化する。
【2c】NaNbO₃の添加はバイオナイロンの劣化を加速する。



【2d】CuI添加により雰囲気によらず劣化を抑制できる。
【2e】TiO₂添加は純水中で酸化を加速する。
【2f】NaNbO₃添加は加水分解を加速する。
【2g】ピロリドン環のN(アミド)に隣接した炭素の酸化→加水分解
※鹿児島大 加藤 太一郎 助教

海洋生物・淡水生物への安全性評価



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)を表1*から算出。

- 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
- 分解産物が、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。
*環境省の化学物質の環境リスク評価法に基づいて評価した。

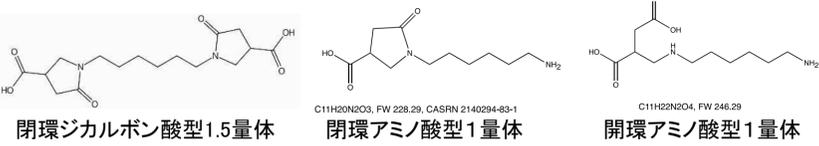
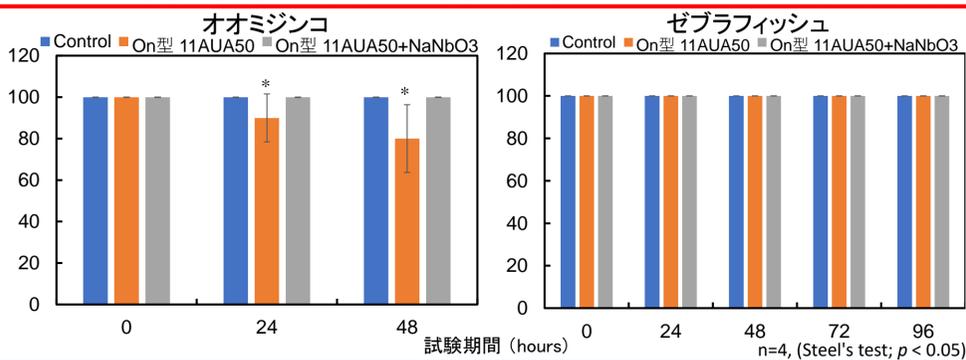


表1 ON型ナイロン由来分解産物が水生生物に及ぼす急性毒性 (EC50, LC50 in mg/l, 初期pHを調整)

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	<u>3,800</u>	<u>4,400</u>
淡水産甲殻類	820	>10,000	7,600
淡水産ワムシ	<u>370</u>	>10,000	6,300

*塩分を含む

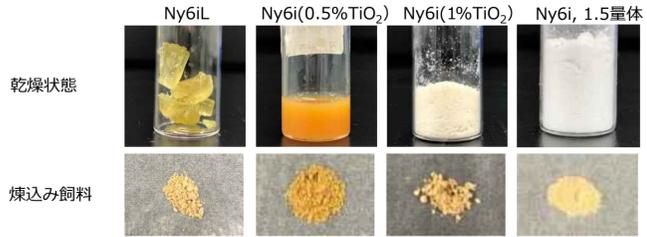
ON型試料(粒子状の11AUA50, 11AUA50+NaNbO3)の淡水性甲殻類(オオミジンコ)、淡水魚類(ゼブラフィッシュ)への急性毒性影響の有無を調べた。急性毒性影響はOECDテストガイドラインを参考に評価。



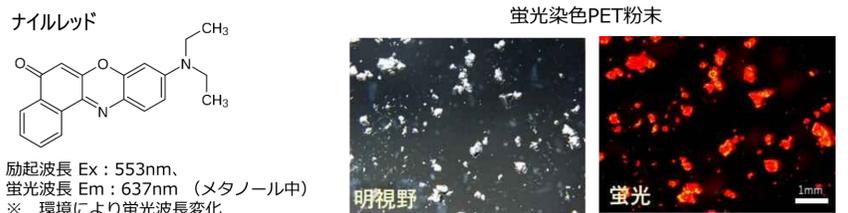
メダカを用いた安全性評価



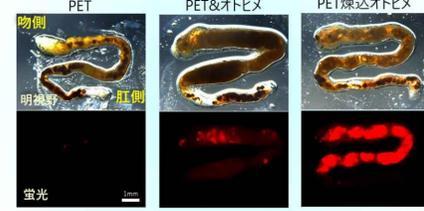
経口摂取のためのプラスチックの飼料化



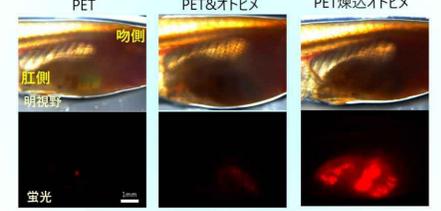
プラスチックの蛍光染色によるメダカ経口摂取のモニタリング



<抽出腸のイメージングで比較>



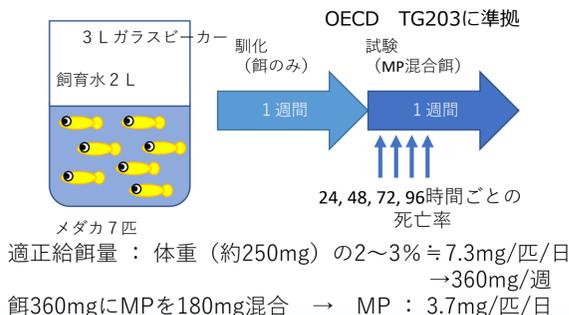
<透明メダカ個体のイメージングで比較>



※ Cab摂食後1時間後の抽出腸

※ ST摂食後1時間後の個体イメージング

メダカによる急性毒性試験



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

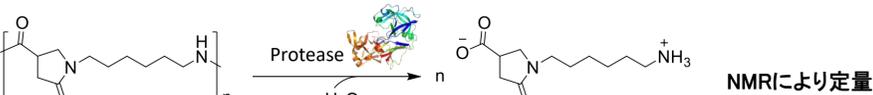
より詳細な影響を調べるため、プラ摂食後の腸における遺伝子発現変化の解析を行っている。

生体内酵素による加水分解性評価



1. NMR定量法

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。



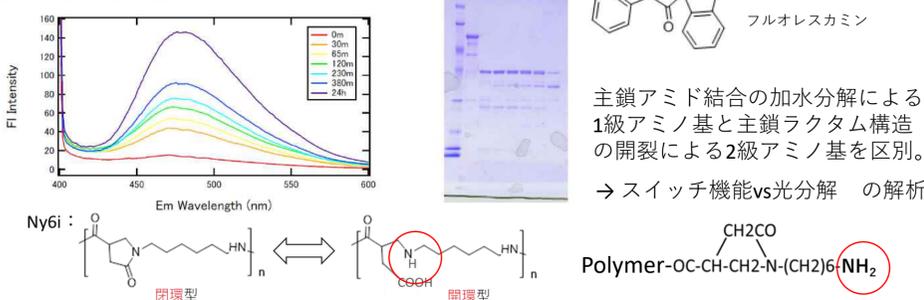
試験用プロテアーゼ、至適pH等一覧

- 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
 - パパイン(システインプロテアーゼ)、至適pH7-8、塩基性アミノ酸のG or Lの隣のアミド結合を切断
 - 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
 - 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
- 各種プロテアーゼとポリマーを混合し、至適pHで反応後、水溶性のモノマーをNMRにより検出した。

2. 分光学的手法による末端アミノ基定量法

タンパク質のプロテアーゼによる分解にともない増加するアミノ基(新たなN末端由来)を、フルオレスカミンの蛍光により検出する手法を開発。

タンパク質の分解にともない、蛍光強度が増加分光学的に高分子の酵素分解をモニター



3. 人工胃条件でのON型ナイロンの分解試験

胃液条件下でのNy6i11のペプシンでの重量減少、分子量減少を確認した。

ペプシンによる酵素加水分解試験



疑似腸内環境における分解性及び安全性評価



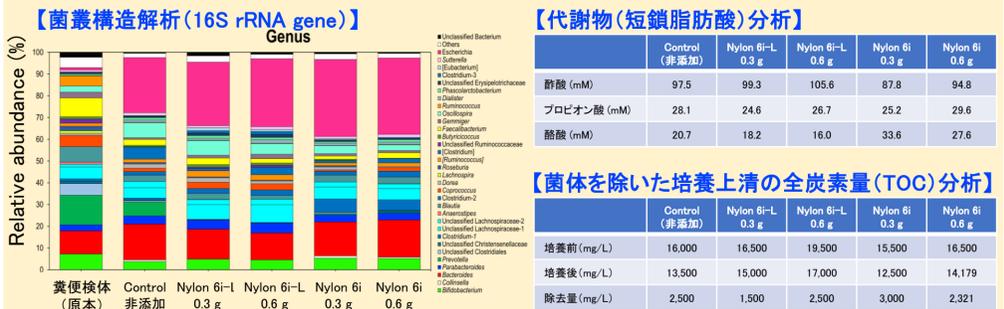
KUHIMM (Kobe University Human Intestinal Microbiota Model)

神戸大学が開発したヒトの大腸内環境を模擬できるin vitro腸内細菌培養モデル



→ KUHIMMを用いて、生分解性プラスチックがヒトや海洋生物(海棲哺乳類)に摂取された場合の分解性・安全性を評価する

ヒト腸内環境に対する影響の評価



- 供試試料を添加してもヒト腸内細菌叢の構造・多様性、およびその代謝物濃度に大きな変化はない
 - 供試試料を添加しても培養前後の全炭素減少量に大きな変化はなく、試料由来の成分の微生物利用の可能性は低い
- これらの生分解性プラスチックをヒトが摂取したとしても腸内環境への影響は少ないことが示唆された

海棲哺乳類腸内環境に対する影響の評価



番号: A-13-5J

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: ON型樹脂の海洋・海水生分解性

担当機関名: 鹿児島大学、神戸大学、産業技術総合研究所、大阪産業技術研究所

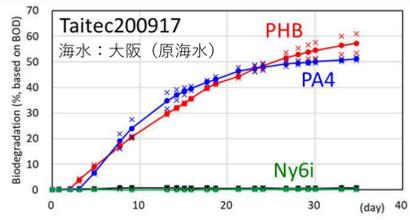
問合せ先: k0035454@kadai.jp, okamura@maritime.kobe-u.ac.jp, a.nakayama@aist.go.jp, aki@orist.jp



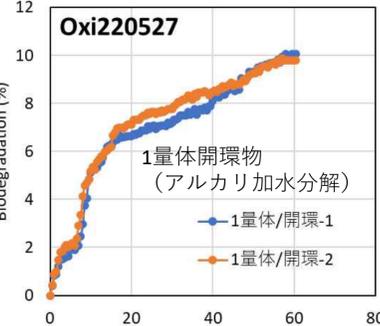
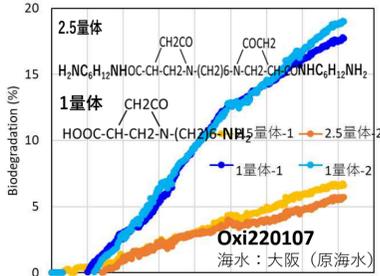
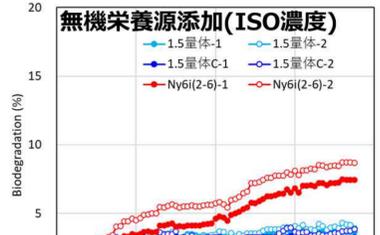
ON型樹脂の海水・海洋生分解性

ラボ海水生分解試験

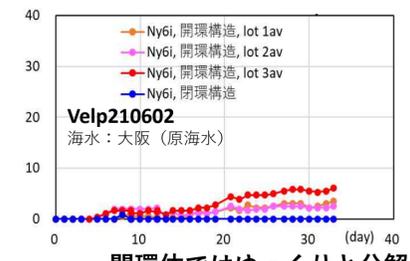
樹脂



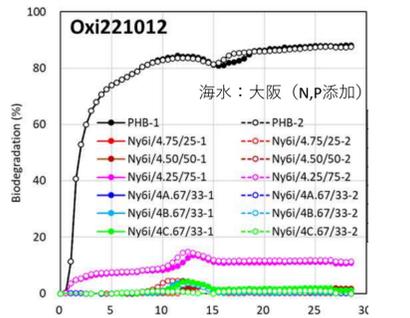
モノマー類



OFF状態(閉環体)では分解しない

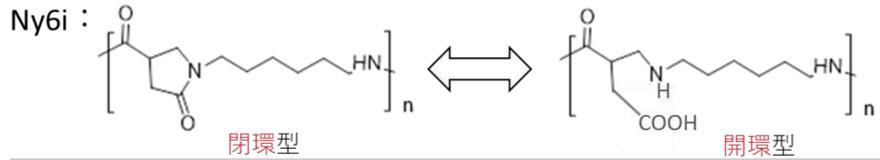


開環体ではゆっくりと分解

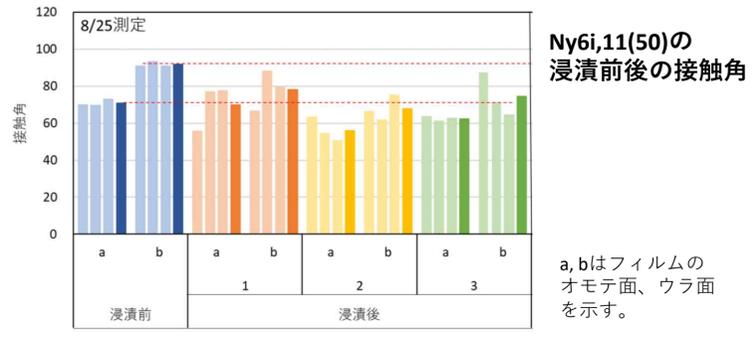
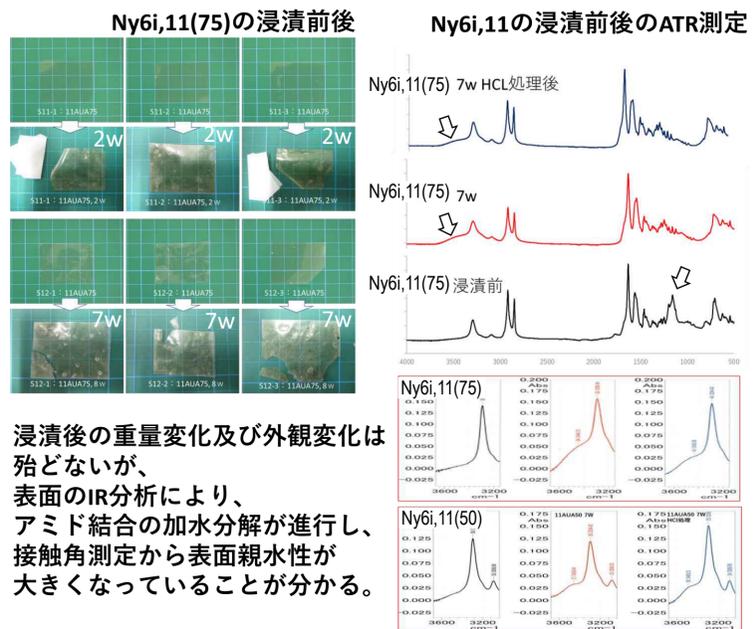
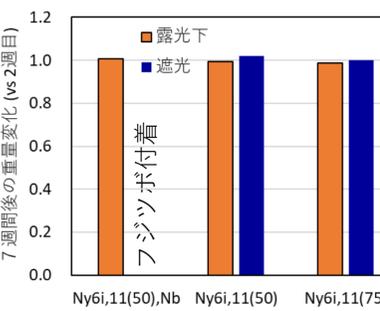


OFF状態(閉環体)でもNy4とのコポリマーでは生分解が進行

モノマー類は閉環体でも開環体でも生分解は進行



実海域海洋浸漬試験



光スイッチナイロン6i-11の酵素分解特性と資化細菌の単離

保有するナイロン分解微生物とその代謝経路

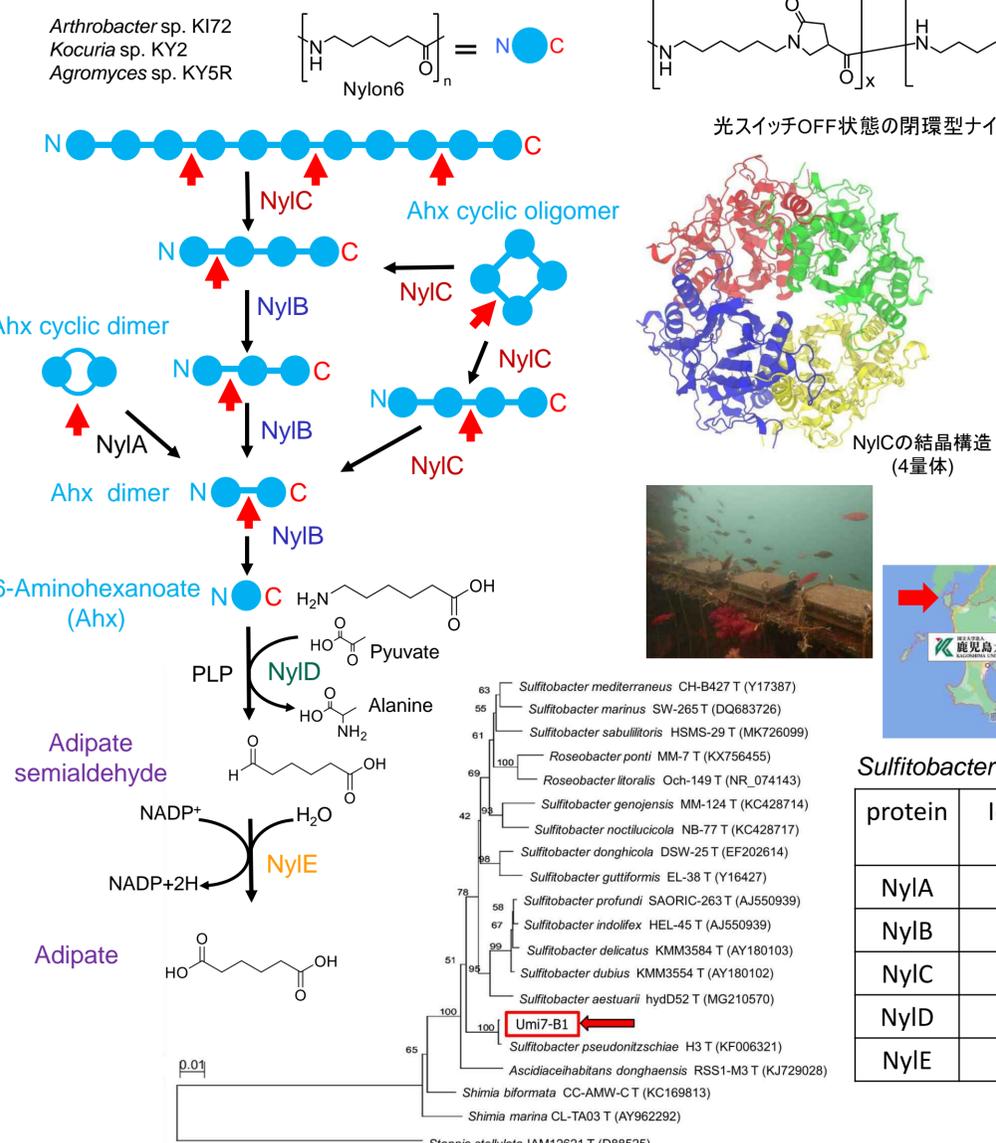
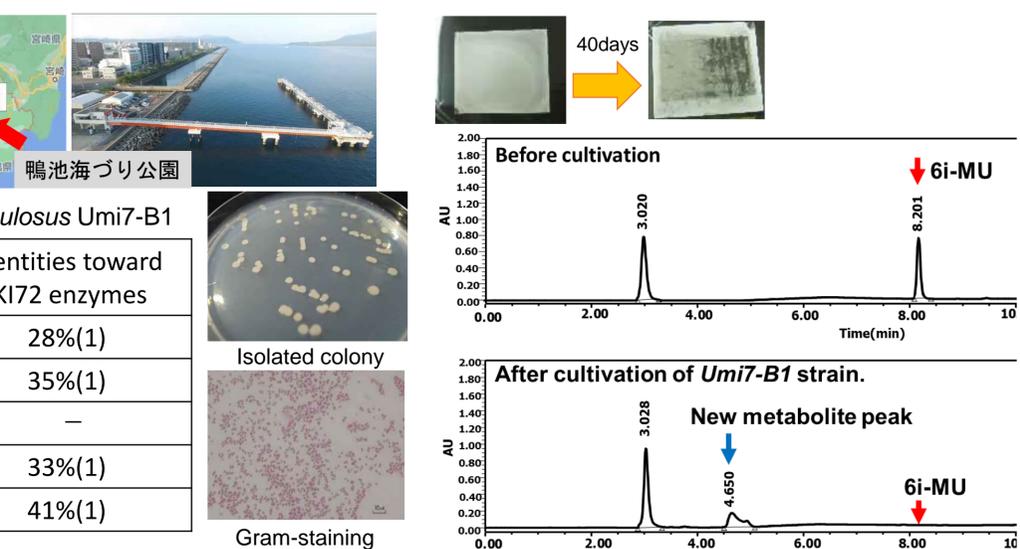


Table with 5 columns: 光スイッチナイロン, x, Mw, 前処理, モノマー化率 (%). Rows include H-Nylon6i, Nylon6i-11(50%), and Nylon6i-11(75%).

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

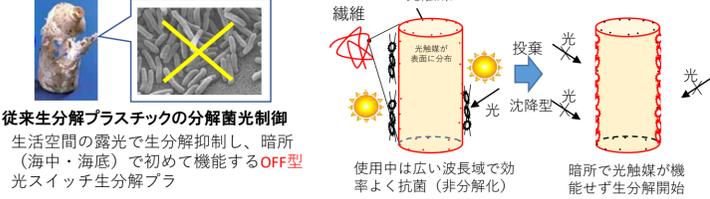


環境中に蓄積しうる6iMUを資化する新種海洋性細菌の単離に成功²

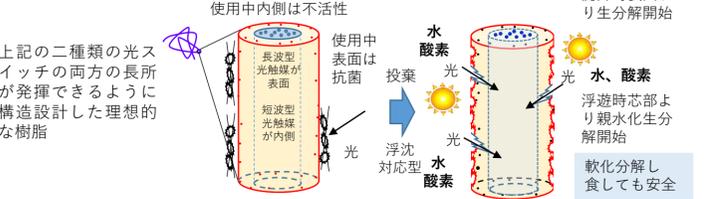
2:加藤太郎, 古野洋子, 横山理沙「細菌、ポリアミド処理剤及びポリアミド処理方法」特願2022-034081.

緒言

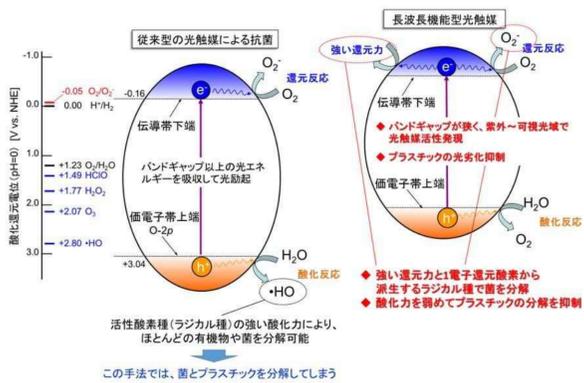
OFF型光スイッチ海洋分解性プラスチック



ON/OFF型光スイッチ海洋分解性プラスチック

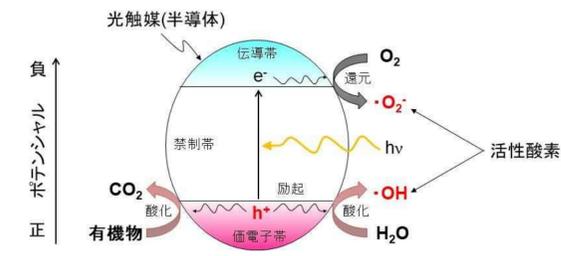


本研究



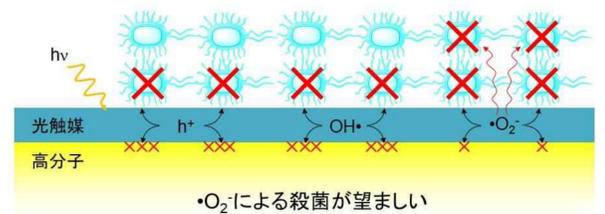
どのような光触媒が必要か?

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



活性種の比較

活性種	寿命	拡散長	酸化還元電位 (vs. NHE)
h^+	<1 ns	光触媒中	光触媒に依存
$OH\cdot$	70 ns	20 nm	+2.8 V
$\cdot O_2$	5 s	100 μm	+0.16 V

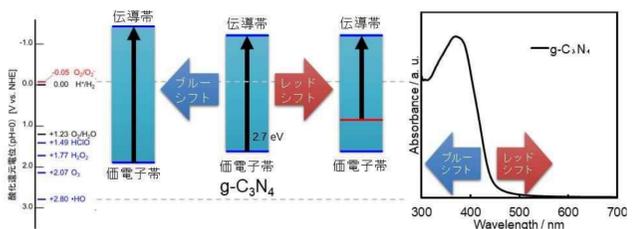


g-C₃N₄光触媒



- 炭素と窒素からなる可視光応答型光触媒
- メタルフリーのため、毒性が低いことが期待される
- 2次元シートが積み重なった層状構造を有する
- 諸種の処理によって、2次元シートの剥離が可能
- 炭素や窒素以外の元素をドーピング可能で、電子構造を制御できる
- $\cdot O_2$ を生成しやすく、OHラジカルを生成しにくい

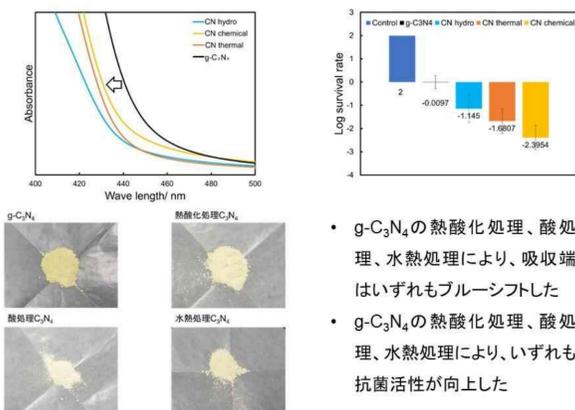
g-C₃N₄の高活性化



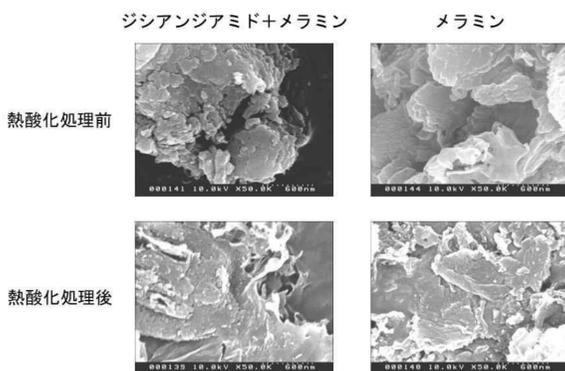
	ブルーシフト	レッドシフト
長所	酸化力の向上による高活性化 (少ない触媒量で済む)	短波長の光が存在しない環境でも機能する (幅広い環境で使用できる)
短所	短波長の光が存在しない環境では不活性化	酸化力の低下による低活性化
方法	熱酸化処理による剥離	ドーピング

ブルーシフト窒化炭素光触媒の開発

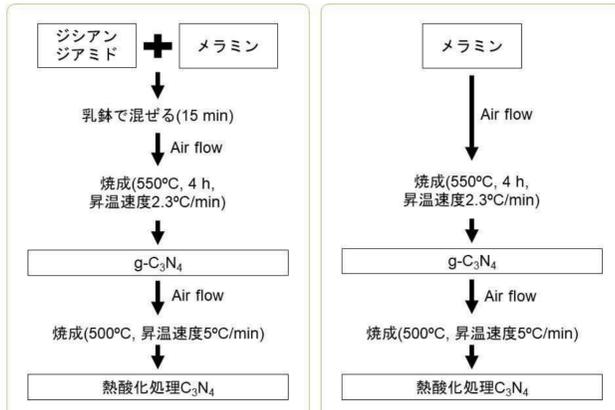
各種処理を行ったg-C₃N₄



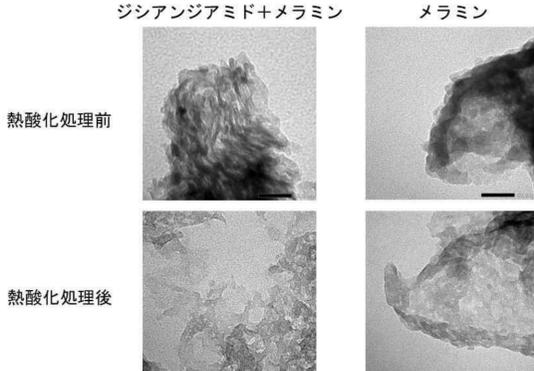
SEM



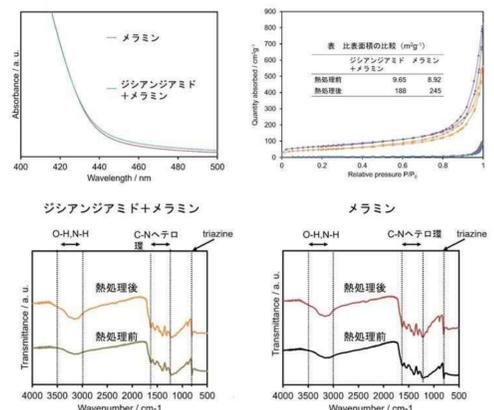
出発物質の影響



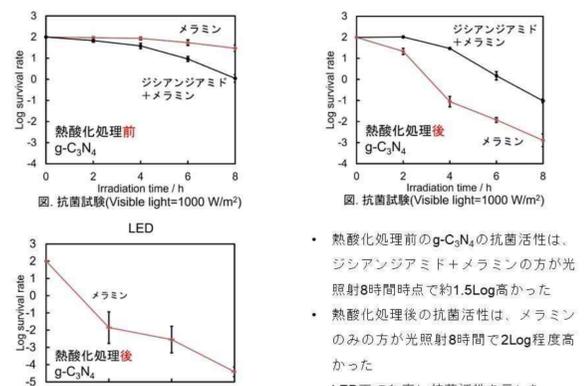
TEM



試料の各種評価

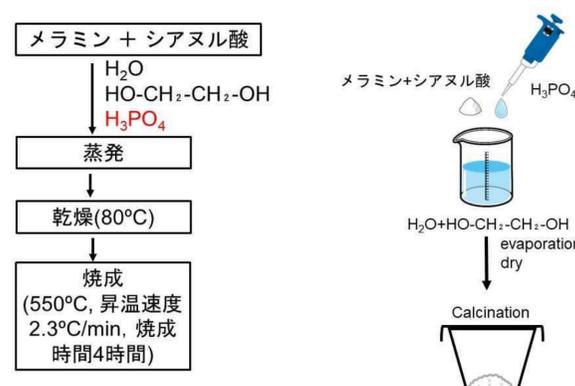


抗菌試験

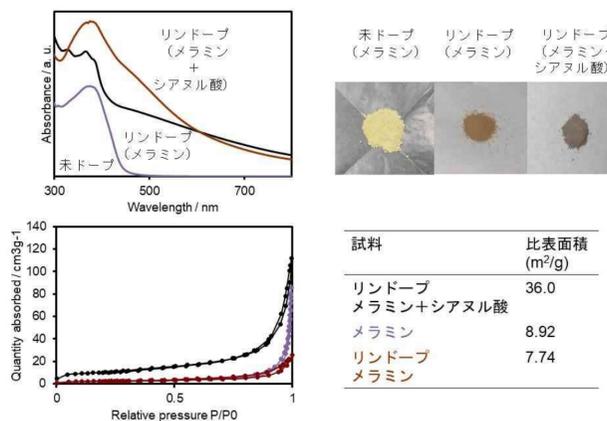


レッドシフト窒化炭素光触媒の開発

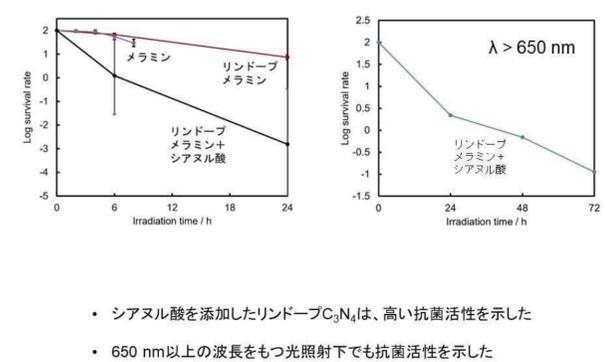
P-doped C₃N₄の合成



拡散反射スペクトル、窒素吸脱着



抗菌試験



番号: A-13-7J

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型樹脂の分解性・安全性

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

問合せ先: okamura@maritime.kobe-u.ac.jp, a.nakayama@aist.go.jp, aki@orist.jp

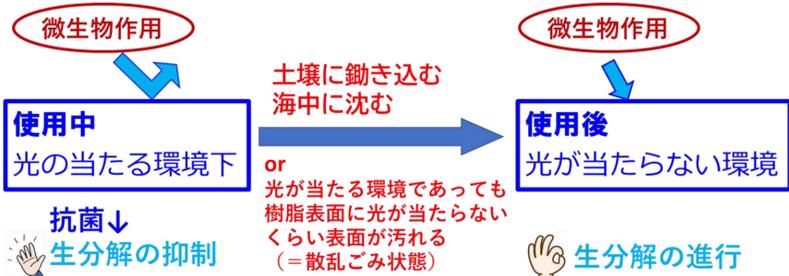


OFF型光スイッチ型生分解性プラスチックとは

生分解性プラスチックは、使用中であっても生分解がゆっくりと進行し、強度低下を引き起こすことが問題となっており、生分解が必要な時にだけ進行するようなスイッチ機能が求められている。

そこで、必要な時にだけ生分解するような光スイッチとして、露光下では分解せず、暗所で生分解するようなOFF型スイッチ機能を持つ生分解システムを開発した。

原理 光触媒の露光下での抗菌力により生分解性プラスチック表面に付着した微生物の活動を抑え、生分解の進行を抑制。



評価手法

光抗菌剤はg-C₃N₄やTiO₂等の光触媒系とポルフィリン系有機色素などを用い、生分解性樹脂にキャスト法等にて複合化したフィルムを作成、評価した。

抗菌性試験 照射下、フィルム試料と試験菌を接触させ、一定時間経過後の生菌数の増減を測定することにより抗菌性を評価した。

急性毒性試験 OECDテストガイドライン203を参考に、OFF型試料を96時間ばく露した際の魚類に及ぼす影響を評価した。

ラボ海水生分解試験 粉末orフィルム試料を海水中に入れ、12連式蛍光灯or LED灯装備の恒温器にてBOD生分解試験を実施した。また、ビーカー中での模擬海水浸漬試験にて重量変化測定を行った。

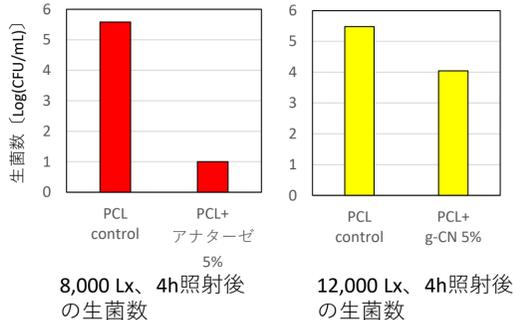
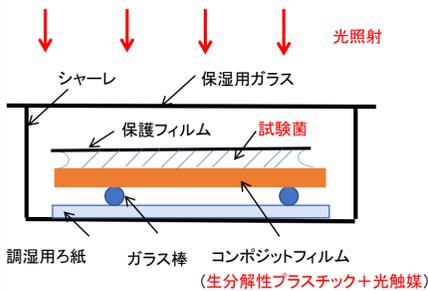
実環境浸漬試験 プラコンテナにフィルム試料を入れ、神戸大船舶係留地の海水中に深さ1m以内にて浸漬、一定期間後に回収、重量測定した。



実海域浸漬試験実施場所

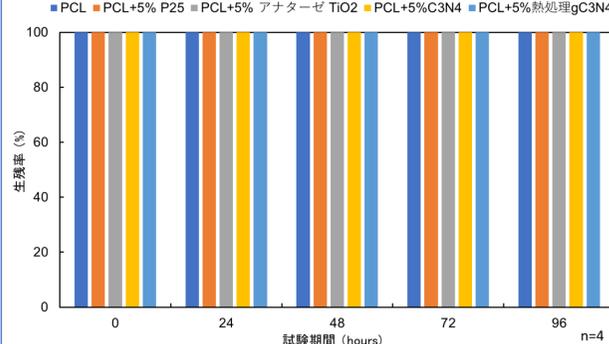
抗菌性試験

抗菌活性評価



淡水生物への安全性評価

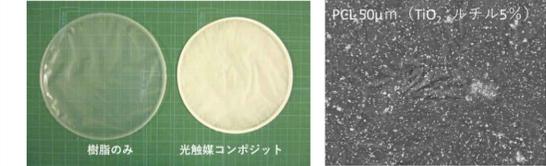
ゼブラフィッシュへの急性毒性試験



OFF型試料(粒子状のPCL、PCL+P25、PCL+5%アナーゼ TiO₂、PCL+5%gC₃N₄、PCL+5%熱処理gC₃N₄)の淡水魚類(ゼブラフィッシュ)への急性毒性影響の有無を調べたところ、供試試料に急性毒性は認められなかった。

ラボ生分解試験

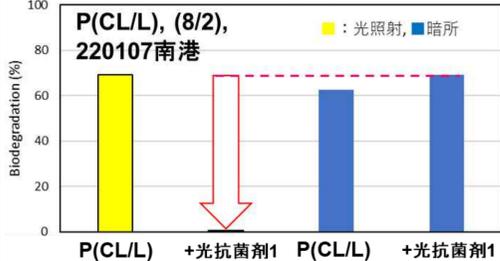
キャストフィルム



BOD試験装置

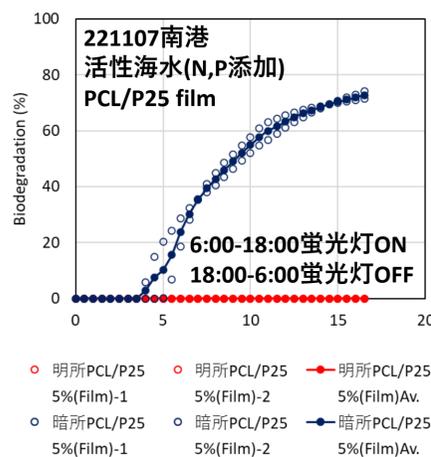


ラボ海水生分解BOD試験 I



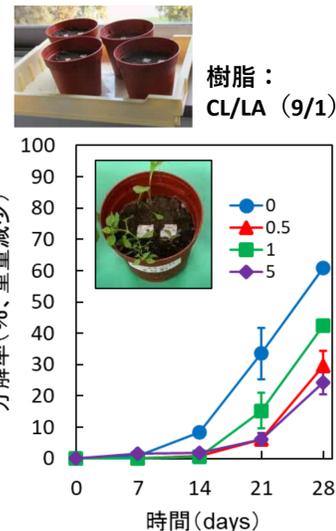
蛍光灯連続照射下での未処理天然海水中でのBOD生分解試験において、OFF型樹脂では4週間後の生分解率が大きく抑制された。

ラボ海水生分解BOD試験 II



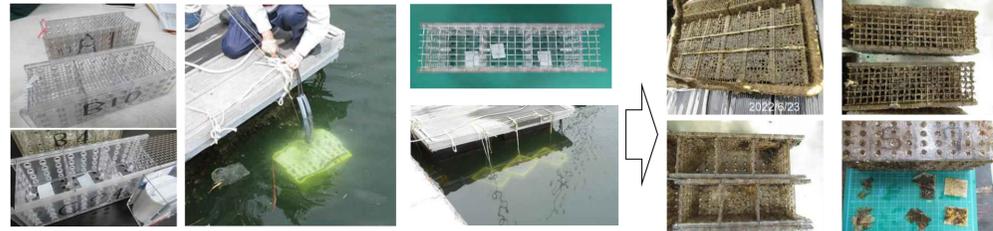
12h切り替えの光露光条件下でも良好なスイッチ性能を示した。

ラボ土壌生分解試験



実環境分解試験

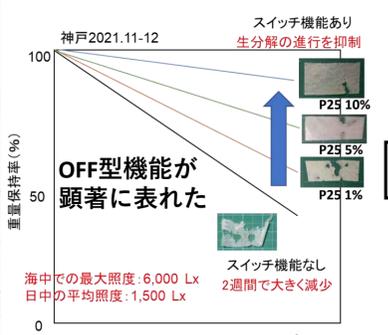
実海域浸漬試験



冬の浸漬

神戸 (2021.11.26-2021.12.9)

PCL	浸漬後写真			
	重量保持率(%)	12.9	84.6	42.8
		46.8		
PCL+アナーゼ5%	浸漬後写真			
	重量保持率(%)	89.6	79.4	89.8
		86.3		
PCL+P25 5%	浸漬後写真			
	重量保持率(%)	69.3	70.9	74.1
		71.4		



春期の浸漬

海洋浸漬実験(重量保持率(%)) 光照射

4/7-4/28 3w(c)	room1	room2	room3	Av
PCL	72.7	85.1	83.2	80.3
PCL+アナーゼ5%	77.2	86.2	84.6	82.7
PCL+P25 5%	83.0	86.6	90.6	86.7

海洋浸漬実験(重量保持率(%)) 暗所

4/7-4/28 3w(c)	room1	room2	room3	Av
PCL	52.4	52.4	57.6	54.1
PCL+アナーゼ5%	58.9	62.7	71.1	64.2
PCL+P25 5%	Lost	64.0	55.9	60.0

3-5月は海生生物の活動が活発で、フィルム表面に多くが付着し、スイッチが働きにくい。

実環境での新しい評価系の検討

ラボ海水浸漬試験 (ビーカー試験)

12hのON/OFFサイクル 照度12500-14500 Lx

海生生物による妨害がない条件下でのスイッチ性能の評価

未処理

OFF型処理

畑(マルチ)での評価

海洋に比べて試料表面の汚れが顕著ではない条件下でのスイッチ性能の評価&実証試験

番号: A-13-8J

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: バイオマス植物ソルガムの育種と可食プラスチック原料への生物変換

担当機関名: 名古屋大学、神戸大学

問合せ先: kawaguchi_h@port.kobe-u.ac.jp



課題5 原料として最適化したソルガム品種の開発

バイオリファイナリー作物: ソルガム

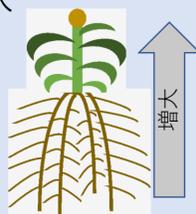


- 高バイオマス → >85t/ha
- スイート品種 → 搾汁糖液も利用可
- 転換畑でも栽培可 → 休耕地対策
- 広い栽培地域 → 赤道直下~温帯、→ 半乾燥地域での栽培可
- C4植物 → CO2固定能力が大
- 機械化播種・機械化収穫体系が確立

バイオマス収量に優れた根系を有する品種の開発

根系形態改良→バイオマス増大

- 250品種の根系形質評価
- 重要QTLの同定 (GWAS)
- MASによる重要QTLの蓄積



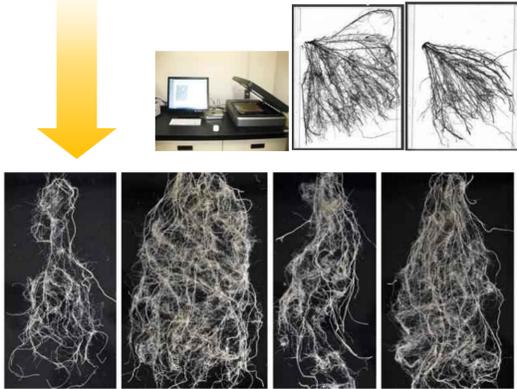
バイオプラ原料作物へと最適化

(1) 名大ソルガムパネルの根系形質の評価

世界各地から集められた250系統を供試

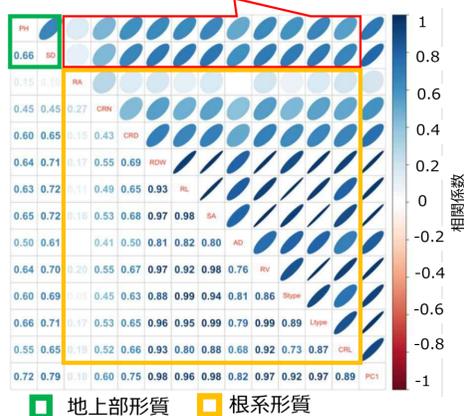


画像解析による根系の評価



相関解析

根系形質と地上部形質の相関



※楕円の細さと色は相関係数の大きさを表している

根の形質と地上部形質は正の相関を示した

地下部の改良によって地上部も改良できる可能性がある

(2) ゲノムワイド関連解析

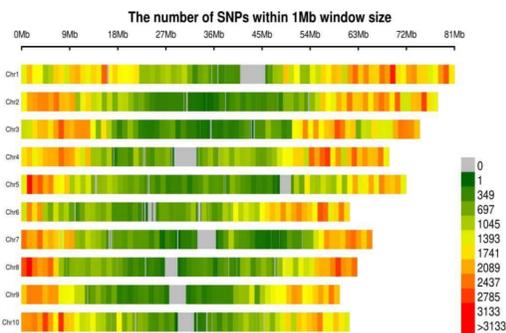
材料の全ゲノムリシーケンシング, 7.1Gb/1系統 (ゲノムサイズ約732Mb)



データベース化

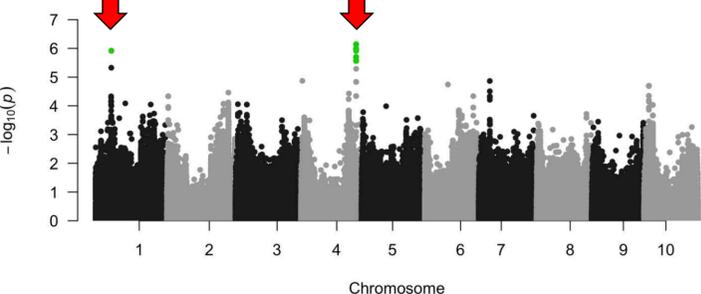
DNAマーカーの検出

1Mb中に含まれるDNAマーカーの数



検出されたDNAマーカーは高密度に存在

根の重さに関するゲノムワイド関連解析の結果

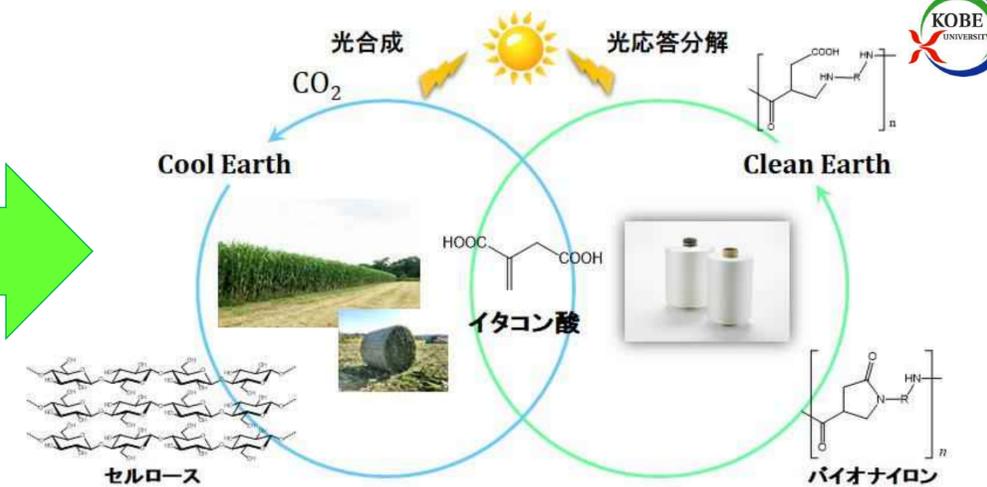


第1、第4染色体に根の重さを規定する重要遺伝子座が検出された。

根の重さは地上部形質とも正の相関があるため、これらの遺伝子は地上部バイオマスも増加させる可能性がある。

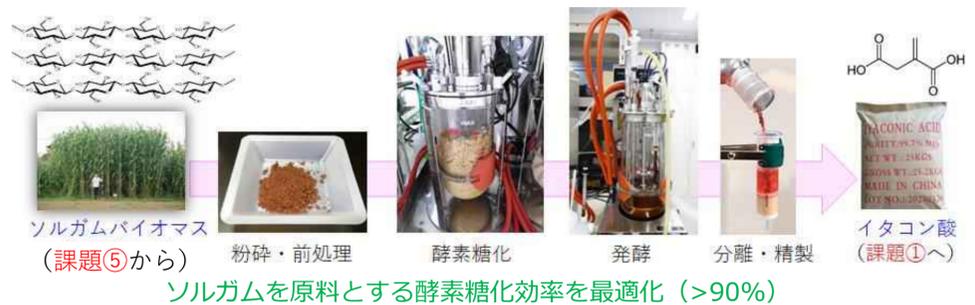
まとめ: ゲノムワイド関連解析によって、地上部バイオマスの増収に貢献できる根系関連遺伝子座の検出に成功した。

課題6 ソルガムバイオマスからのイタコン酸等生産



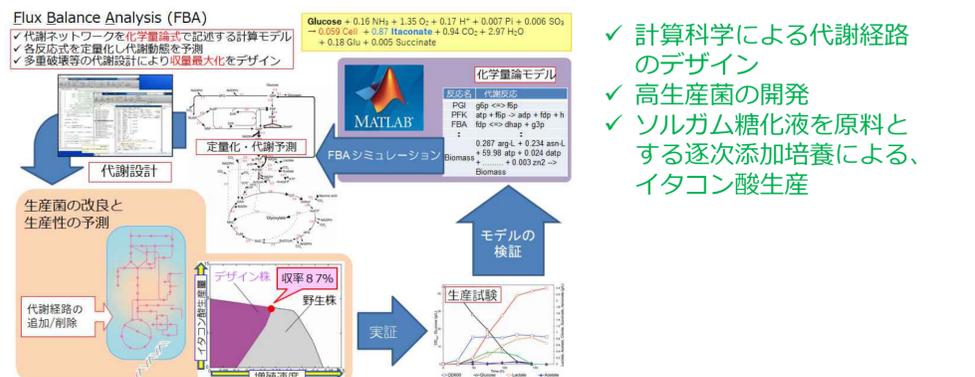
非可食かつ再生可能な資源であるソルガム残渣からイタコン酸を生産し、光スイッチ型海洋生分解性プラスチック原料として供給する、新しい生産体系の構築

(1) ソルガムバイオマスからの酵素糖化液の調製

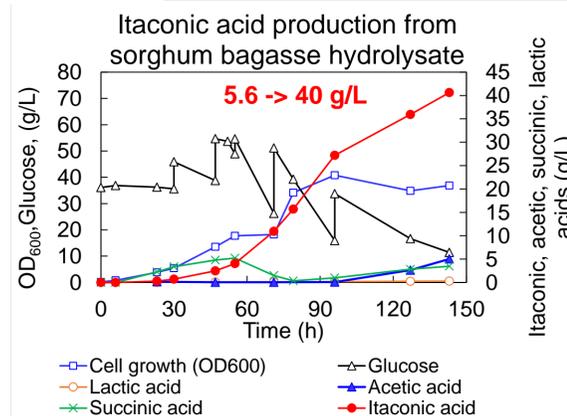


ソルガムを原料とする酵素糖化効率を最適化 (>90%)

(2) ソルガム糖化液からのイタコン酸生産



- ✓ 収率87%の代謝ネットワークをデザイン
- ✓ 終濃度が7倍に増加



(3) イタコン酸を効率的に生産可能な新規低炭素プロセスの開発

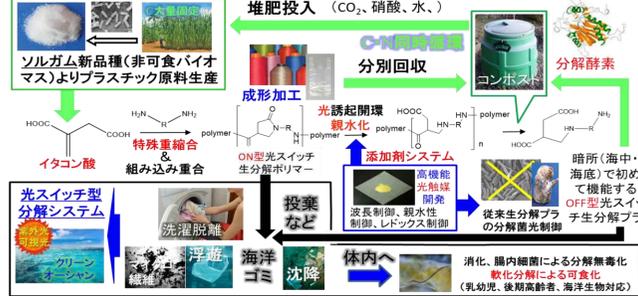
Substrate	Microorganism	Titer (g/L)	Rate (g/h/L)	Yield (g/g)	References
glucose	<i>Aspergillus terreus</i>	86.2	1.2	0.62	Kuenz, et al. (2012) Appl Microbiol Biotechnol, 96(5), 1209-1216.
glucose	<i>Escherichia coli</i>	0.086		0.01	Vuoristo, et al. (2015) AMB Express, 5(6), 561.
glucose	<i>E. coli</i>	32		0.49	Händler, et al. (2016). Metabolic Engineering, 38, 29-37.
glucose	<i>Corynebacterium glutamicum</i>	7.8	0.273	0.29	Otten, et al. (2015). Metabolic Engineering, 38, 29-37.
starch	<i>E. coli</i>	0.017	0.0007		Yamamoto, K. et al. (2015) Biotechnology Progress, 35(3).
Potato starch waste	<i>A. terreus</i> strain C1	29.7	0.138		Bafana, et al. (2019). Biotechnology Progress, 35(3).
Organosolv beech wood	<i>A. terreus</i>	7.2	0.1	0.3	Tippkötter, et al. (2014). Biorenewal Technology, 167, 447-455.
Corn stover	<i>A. terreus</i>	19.3		0.36	Li X, et al. (2016) Bioresources 11(4):9047-9058.
Sorghum (Glucose)	<i>C. glutamicum</i>	40.6 (24.8)	0.57 (0.49)	0.25 (0.37)	This work

- ✓ 低炭素プロセスの導入による生産性の向上
- ✓ ソルガム由来イタコン酸の精製と供給

背景

社会課題解決と我が国発の破壊的イノベーションの創出の両立を目指し、事業化に関する検討を推進

【研究開発プロジェクト名】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名】金子 達雄(先端科学技術研究科 環境・エネルギー領域)
【提案者名】北陸先端科学技術大学院大学、神戸大学、名古屋大学、鹿児島大学、東京理科大学、東京農工大学、産業技術総合研究所、大阪産業技術研究所
【期間(予算)】2020年度~2029年度(25億円)
【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および新規開発の高機能光触媒を用い、光スイッチ型海洋分解性の可食プラスチックを開発する
【研究開発概要】



- ⑦-1 LCA計算: (株)日本能率協会コンサルティング
- ⑦-2 事業基盤強化および環境醸成: 東京理科大

事業化に向けた必須活動

基礎研究から出発し、破壊的イノベーションを創出するには、長期間の研究開発・社会実装活動が不可欠

① 自然科学分野の研究・開発

- ・海洋プラ問題解決に向けた技術基盤確立
- 技術シーズの創出
- 動作メカニズムの解明

② 用途探索とビジネスモデル創造

- ・技術シーズにマッチする社会・市場ニーズの探索
- ・経済的成果を獲得できるビジネスモデル

③ 創造的正当化

- ・技術革新、資源動員等の革新的企てを組織で継続することに対する妥当性を得る

④ 社会的受容性

- ・革新的新技術・コンセプトが社会や国民の理解・賛同を得て、受け入れられる

推進方針①

◆ 自然科学と社会科学の融合

基礎研究から社会実装まで一貫通貫の戦略立案には、自然科学と社会科学の融合が必須



自然科学の知識 社会科学(経営学)の知識

◆ システム思考の導入

海プラ問題は複雑な問題である。さまざまな要素の複雑なつながりを「システム」として捉え、構造の全体像を俯瞰し、その複雑な挙動を理解して、システムそのものの改善を図る

海プラ問題のレバレッジポイントを追求

推進方針②

◆ グローバルメガトレンドに沿った活動 (モノ創り+コト創り)

- ・ 気候危機: 地球温暖化問題(化石燃料の縮小)
- ・ 経済の変化: サーキュラーエコノミーの拡大
- ・ 市民運動: 環境問題への関心の高まり

推進方針③

◆ 基礎研究段階に好適な用途・ビジネスモデル探索

研究段階では、発見/科学知の体系化も発展途上

海プラ問題解決に向けた大枠のコンセプト立案 (経済的・社会的価値 & 社会的受容性)

- ・ 海洋への流出を極力防止する手段の構築
- ・ 万が一、海洋に流出しても安全かつ完全分解するプラスチックの実現

動作原理に基づき、用途・ビジネスモデルを探索

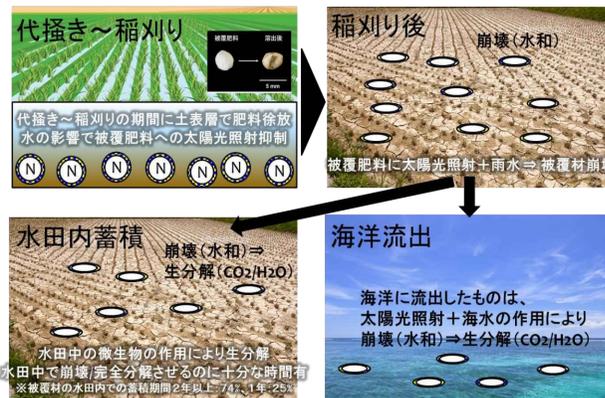
推進方針③の事例

◆ 光スイッチ型樹脂の動作原理
光照射 ⇒ 開環 ⇒ 崩壊(親水化) ⇒ 微生物による生分解

◆ 光スイッチ型樹脂の用途案

- ・ 被覆肥料のコーティング材

被覆肥料を海洋流出させずに水田中で完全分解: 65~284t/年(日本のみの量)

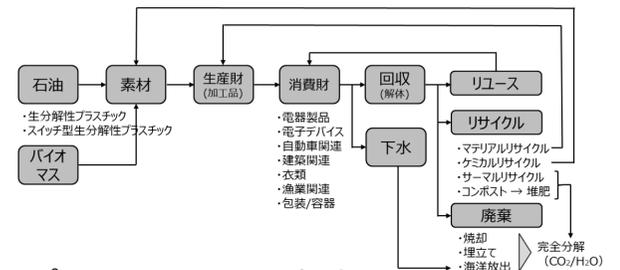


※ 石川県立大学 勝見尚也講師のデータを参考に作成

推進方針④

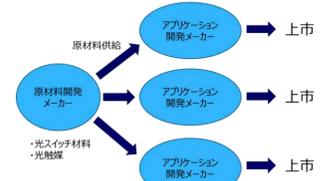
◆ 研究段階からの共創

- ・ サプライチェーンを繋ぐ産官学の共創
- 『プラスチックの未来を考える会』設立/運営
- 自然/社会科学の融合、用途・ビジネスモデル探索を促進し、創造的正当化、社会的受容性の向上に寄与



◆ アプリケーション開発の促進

- 高品質な原材料の大量供給体制構築



本プロジェクトのLCA検討の方向性

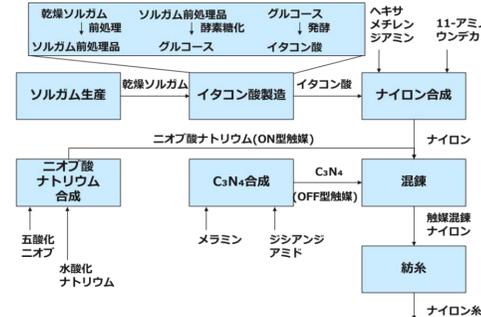
製品LCA: 新素材による新製品(衣類等)のライフサイクルのCO2排出量を詳細に算定。

新素材の原料製造段階(ソルガム生産~紡糸)におけるラボデータを収集しCO2算定を行った。

削減貢献量算定: 新素材が普及した場合に、世の中のCO2削減に貢献するかを検討し、モデル化し可能な限り定量化した。

原料製造段階の製品LCA改善

製品LCAの対象フロー



プロセス	最終製品1kgあたりのCO2排出量[kg]		
	1回目	2回目	3回目
紡糸	138.58	138.58	138.58
混練	519.39	519.39	519.39
NaNbO3の合成	16.23	15.66	15.66
CsN4の合成	53.71	53.71	53.71
ナイロン合成	2,033.97	75.30	49.90
イタコン酸製造(発酵)	1,131,860.62	12,682.53	1,283.09
イタコン酸製造(酵素糖化)	151,797.45	1,663.39	133.92
イタコン酸製造(バイオマス前処理)	1,032,747.89	6,767.94	1,099.02
ソルガム生産	0.70	0.70	0.70
合計	2,319,168.53	21,917.19	3,293.97

約1/700に削減

計算⇒フィードバックを繰り返して、計3回のLCA算定を行った結果、CO2排出量は約1/700に削減された。

ナイロン合成: スケールアップして実験を行ったことにより、CO2排出量が大幅に削減された。
イタコン酸製造: 収率のアップによりCO2排出量が大幅に削減された。

イタコン酸原料としてのソルガムの優位性

項目	CO2排出量[t/年]
ソルガム	33,002
間伐材(木材チップ)	77,703
稲わら	13,889,385

イタコン酸原料となり得る食糧と競合しない非可食バイオマスの中でもソルガムのCO2排出量は小さい。

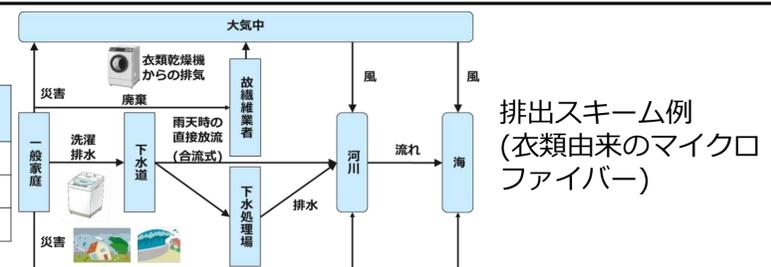
項目	数値	単位
必要乾燥ソルガム量	410,913	t/年
ソルガム水分量	70.00%	
必要ソルガム量	1,369,709	t/年
面積あたりソルガム収量	85	t/ha
必要耕地面積	16,114	ha/年
日本の耕作放棄地	423,000	ha

ソルガムの栽培可能地域は広いうえ、計算上日本の耕作放棄地で必要な生産量を賅うことができる。

削減貢献量算定

対象	海洋プラスチック排出対策	CO2排出量	単位
衣類	洗濯ネット	13,761,066	kg-CO2/年
被覆肥料	排水口ネット	3,816,093	kg-CO2/年
計		17,577,158	kg-CO2/年

新素材が普及した場合に、海洋プラスチック対策のために必要な取り組みによって排出されるCO2を削減できると想定し、計算を行った。海洋プラスチックの排出スキームを調査したうえで、実際に行われている取り組みをモデルとして計算を行った。衣類由来のマイクロファイバー及び被覆肥料のプラスチック製の流出対策によるCO2排出が削減できるとし、削減量は約18,000トン-CO2/年と計算された。



排出スキーム例 (衣類由来のマイクロファイバー)