

ERCA提案プロジェクト(R2環境研究総合推進費)

環境問題対応型研究(統合領域:海洋プラスチックごみ問題対策)

主【重点課題⑥】グローバルな課題の解決に貢献する研究・技術開発(海洋プラスチックごみ問題への対応)

副【重点課題⑩】地域循環共生圏形成に資する廃棄物処理システムの構築に関する研究・技術開発

行政ニーズ(3-5)地域循環共生圏の形成に向けたバイオマス廃棄物等を対象とした処理プロセスのより一層の高度化に関する研究

[1-2005]バイオマス廃棄物由来イタコン酸からの海洋分解性バイオナイロンの開発

(研究実施期間:令和2年度-4年度)

(研究代表者)

金子達雄

北陸先端科学技術大学院大学

先端科学技術研究科 教授

(共同研究者)

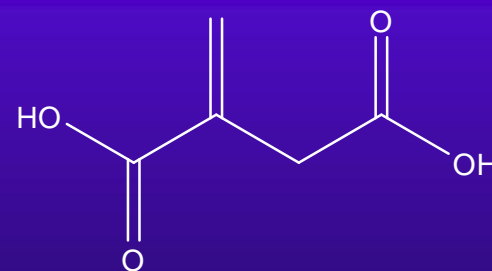
川口秀夫

神戸大学大学院

科学技術イノベーション研究科 特命准教授

若井 暁

JAMSTEC 超先鋭研究開発部門 主任研究員



1. はじめに(研究背景等)

【重点課題⑥】グローバルな課題の解決に貢献する研究・技術開発(「海洋プラスチックごみ問題への対応」)



- 世界プラゴミ総重量: **2.75 億トン**
- 海洋プラゴミ: **約1億トン**
- 一年に8 百万トン(3%)が海に集積

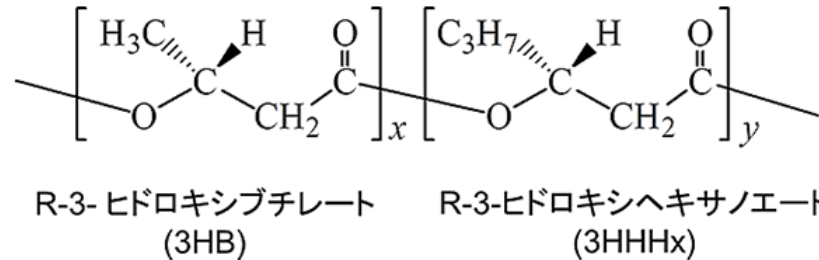


誤飲



ゴーストフィッシング

海表面付近でプラスチック繊維が引き起こす生態系への悪影響



問題解決のために、使用時には高性能プラスチックとして機能するが、廃棄後に「**海洋環境に応答して初めて分解のスイッチの入るプラスチック**」の開発が待たれている

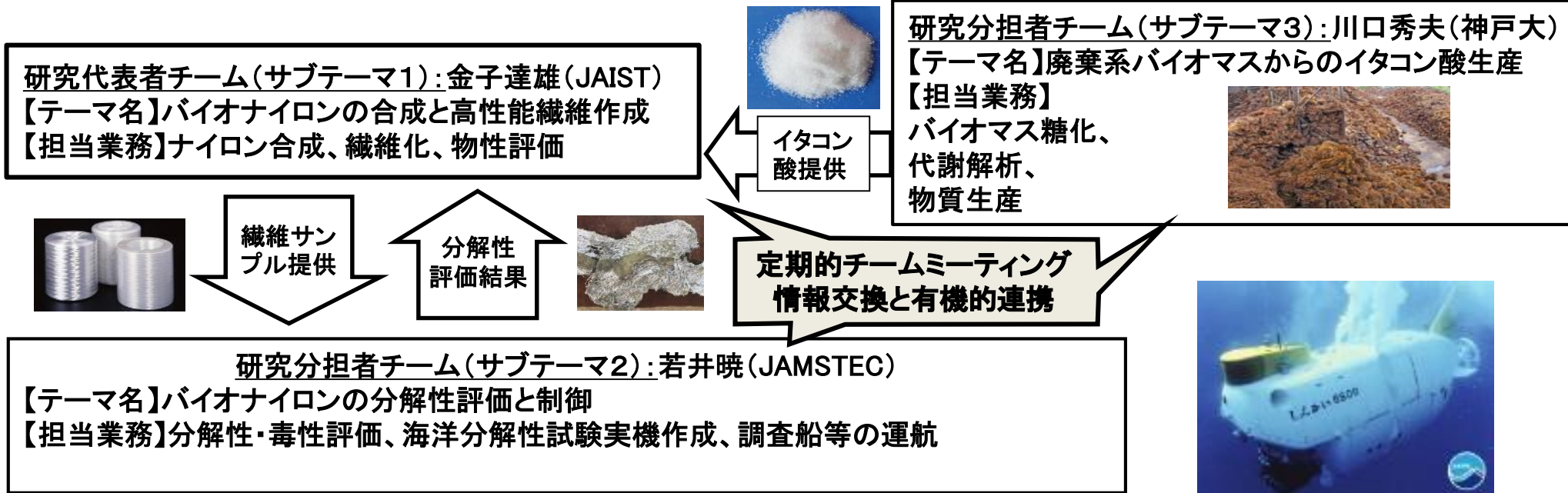
マイクロプラスチック(MP)問題
(実はナイロン系MPは存在しない)

2. 研究開発目的

我々が持つシーズ

- 1) セルロース系バイオマス廃棄物の糖化同時発酵による物質生産(関連論文・特許多数)
- 2) イタコン酸を用いた刺激応答性分解性を示す高性能バイオナイロンを設計(論文、基幹特許あり)
- 3) 海洋における材料評価および環境評価技術(関連論文・特許多数)

主題 「バイオマス廃棄物由来イタコン酸からの海洋分解性バイオナイロンの開発」



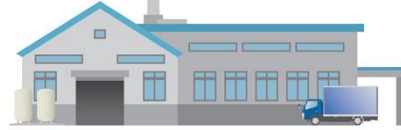
目的：本提案では、廃棄系バイオマス由来イタコン酸を用いて刺激応答分解性プラスチックを開発することを目標とする。

3. 研究目標

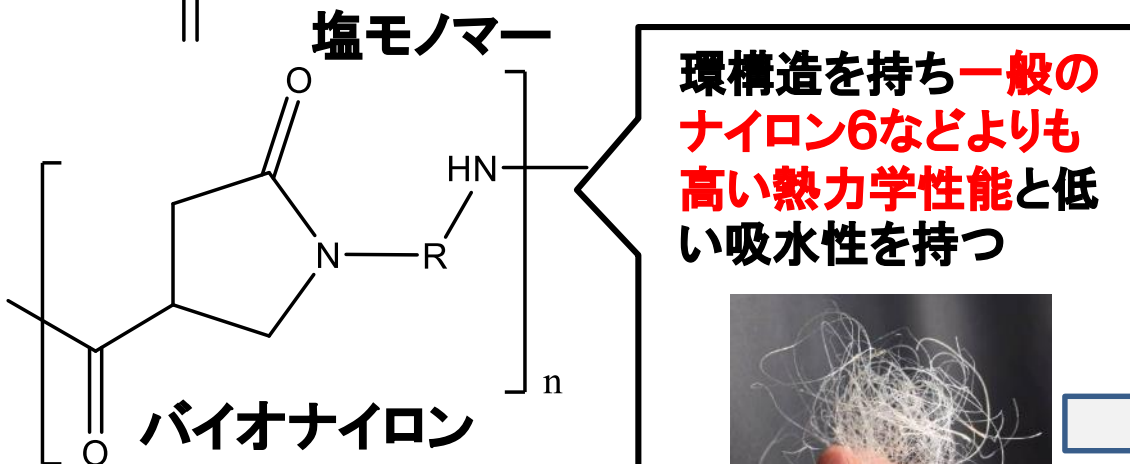
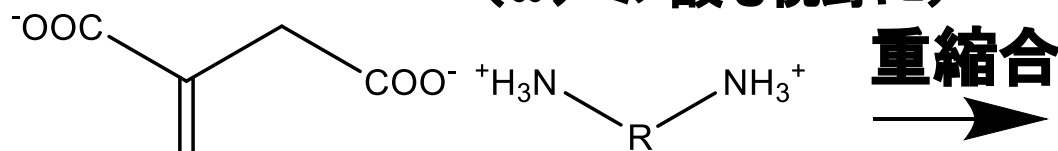
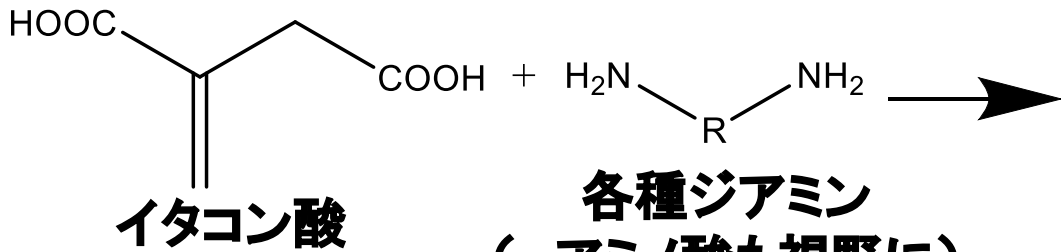
農業用廃棄物系バイオマス



紙パルプ/
リサイクルパルプ

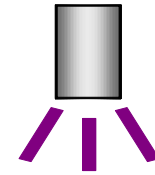


製紙工場



(添加物による耐久性、
分解性、熱力学物性の制御)

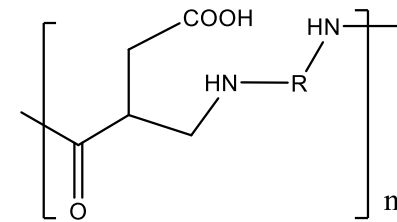
分解試験(室内)



紫外光



水中での
分解性



親水化による刺激応答分解
分解物の毒性評価

分解試験(屋外)



干潟



海洋環境



深海模擬環境

海洋環境応答分解性ナイロン繊維

3. 研究目標

サブテーマ1 バイオナイロンの合成と高性能繊維の作製

実施機関 国立大学法人 北陸先端科学技術大学院大学

目標 バイオナイロン繊維を大量作成し物質添加により熱・力学的物性コントロールを行い、高い熱・力学物性と海洋環境応答分解性を併せ持つ環境適応型プラスチック繊維を開発することを目標とする。

計画 (1)バイオナイロンのkgスケール合成と添加物の検討(ガラス転移温度50°C以上、含水率3%以下)
(2)高強度なバイオナイロン繊維の作成(力学強度100MPa以上)
(3)海洋環境で劣化・分解の進むバイオナイロン繊維の開発
(軟化温度100°C以上、タフネス100MJ/m³以上、海洋環境中で強度低下率50%)

サブテーマ2 バイオナイロンの分解性評価と制御

実施機関 国立研究開発法人 海洋研究開発機構

目標 バイオナイロンの海洋環境での分解性について、BOD試験、生物毒性評価を含む実験室内での分解実験、および実海洋環境と模擬深海環境での分解実験を行うことで新規海洋生分解性プラスチック素材としての有用性を評価する。

計画 (1)バイオナイロンの海洋環境分解性評価(分解状態評価、BOD)
(2)バイオナイロンの太陽光照射下での分解性評価と分解物生物毒性試験
・バイオナイロンの太陽光照射下での分解性評価(分解性評価法確立)
・分解物の生物毒性試験(毒性試験実施)
(3)深海模擬環境における分解特性評価(加圧培養装置内10~60 MPaで分解性評価実施)

サブテーマ3 廃棄物系バイオマスからのイタコン酸生産

実施機関 国立大学法人 神戸大学

目標 廃棄物系バイオマスである紙パルプやリサイクルパルプを原料に、バイオポリマー原料となるイタコン酸を生産する低炭素型プロセスを開発する。

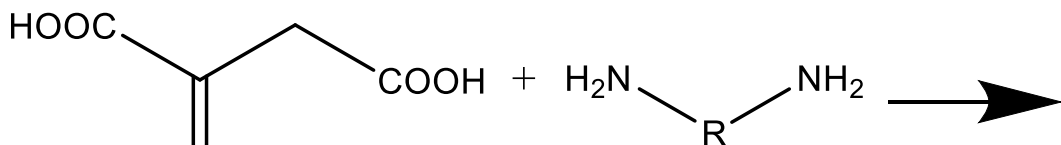
計画 (1)イタコン酸生産菌の開発(目標収率:0.3 g イタコン酸/g グルコース)
(2)廃棄物系バイオマス利用技術の開発とイタコン酸生産への影響評価(バイオマスの酵素糖化率 >85%)
(3)イタコン酸の非可食バイオマスからの高効率生産(目標収率: 0.3 g /g グルコース)

4. 研究開発内容

生産菌の開発

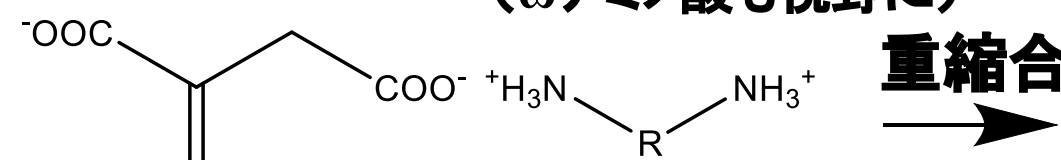


農業用廃棄物系
バイオマス
(温帯性サウキビ:
ソルガム残渣)

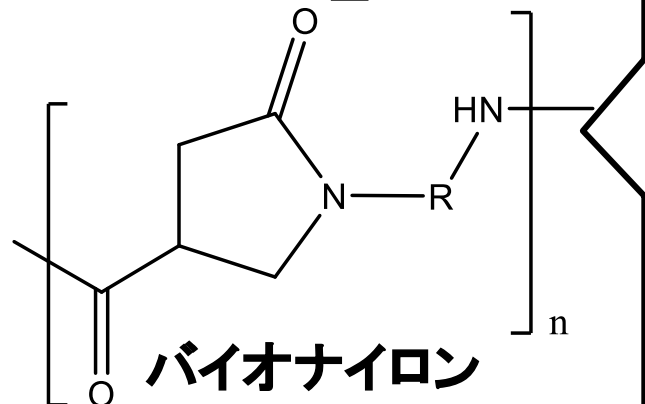


イタコン酸

各種ジアミンと添加物
(ωアミノ酸も視野に)



塩モノマー



バイオナイロン

(添加物による耐久性、
分解性、熱力学物性の制御)

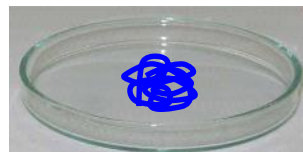
高強度かつ海洋分解
性のあるナイロン織
維を設計開発



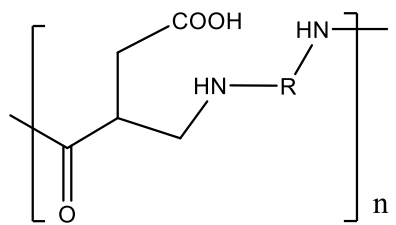
溶融紡糸

分解試験(室内)

紫外光



水中での
分解性



光刺激による
親水化

親水化による刺激応答分解
分解物の毒性評価

分解性・毒性試験

海洋環境



干潟

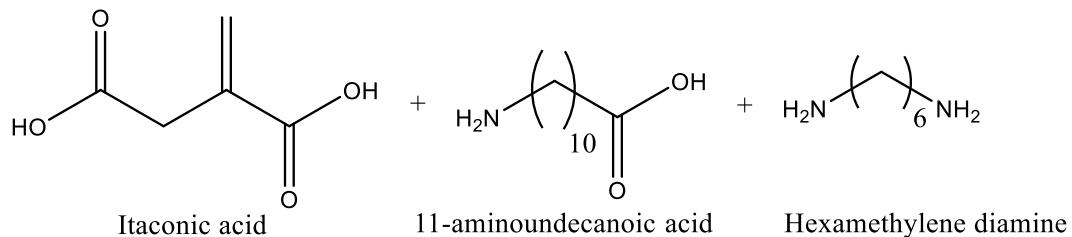


深海模擬環境

海洋環境応答分解性ナイロン繊維

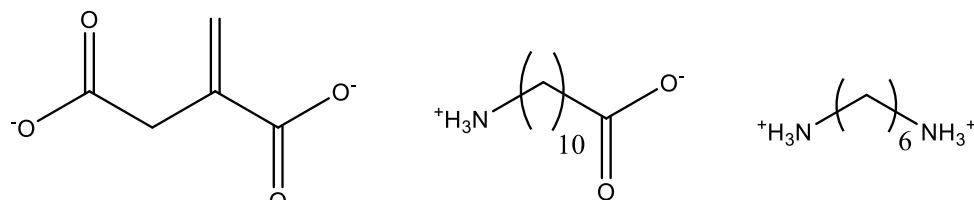
5-1. 成果の概要(サブテーマ1)

Monomers



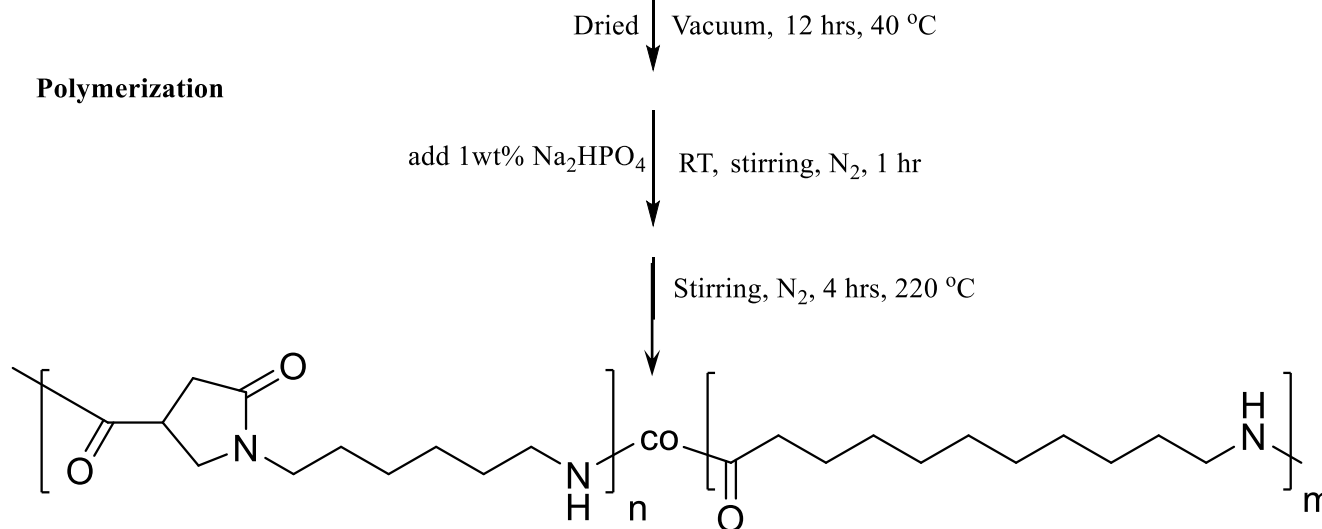
Salt monomer

Salt formation



11-アミノウンデンカン酸を導入しても重合できる条件を見出した

Polymerization



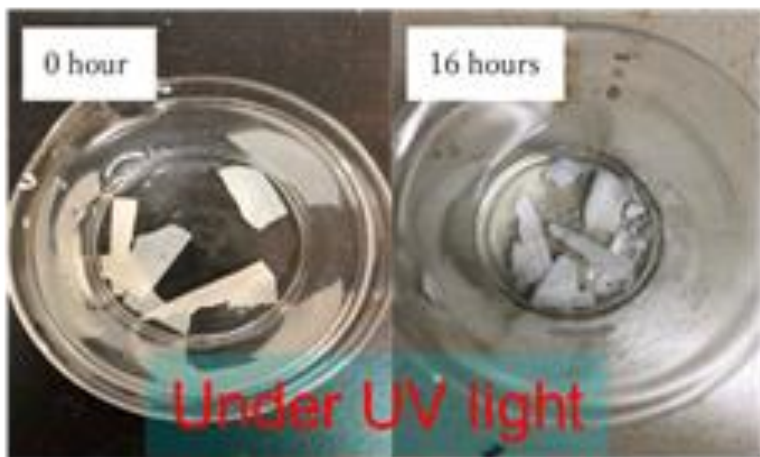
Fiber

Film

Table 1. Mechanical Property of Itaconic Acid-Bioderived Polyamides

HMDA/11AUA (m/n mol/mol)	10%重量損失 温度 (°C)	ガラス転移温 度 (°C)	引張強度 (MPa)	破断時の 伸び (%)	ヤング率 (MPa)	靱性 (MJ/m ³)
100/0	400	97	95	3	580	1.2
50/50	424	40	31	54	58	10
47/53	425	ND	41	54	69	17
44/56	424	ND	114	48	246	31
38/62	424	ND	115	49	345	33
33/67	428	ND	120	60	214	47
23/77	436	ND	80	70	200	46
17/83	425	ND	91	70	130	40

11-アミノウンデンカン酸の導入により伸度と靱性が大幅にUPした



水中で紫外線照射することで親水化しゲル状に膨潤する性質も保持、特許出願に至った

【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 懷玉、マニンダー シン
 【発明の名称】 ポリアミド系ポリマー



トラップ

攪拌機
温度制御部

反応釜
(ヒーター付)



繊維化も可能となった
(吸水率2.7%)

モンモリロナイトNaの添加により大幅に靱性向上
(クモ糸の二倍程度)

Nylon6i,11	破断強度 (MPa)	破断伸度 (%)	ヤング率 (MPa)	タフネス (MJ/m ³)
Nylon6i,11-50% NaMMT 1wt%	146	182	389	194
Nylon6i,11-75% NaMMT 1wt%	67	584	371	207

キログラムスケールにおける
合成に成功

ストランドの成形 (JAIST山口政之教授との共同研究)



2mmφのストランドが得られた



細い糸もOK



射出成形



ハイブリッド試作成形装置



射出成型により得た試験片
(成形温度 190°C ($T_m 176^{\circ}\text{C}$, $T_g 45^{\circ}\text{C}$))

射出成型体の各pH溶液下の重量変化

Condition	1 Day	3 Day	5 Day	7 Day	2 Month
pH=2 (H_2SO_4 aq.)	+2.7%	+2.6%	+2.8%	+3.0%	+4.6%
pH=7 (DI water)	+2.4%	+2.5%	+2.4%	+2.4%	+4.5%
pH=12 (NaOH aq.)	+0.4%	-1.3%	-1.5%	-2.0%	+2.9%

非常に成形性が良く、酸アルカリ耐性の高いポリマーであった

5-3. 研究目標の達成状況(サブテーマ1)

1-1) 目標を上回る成果をあげた。

10Lスケールの大量重合装置を用いて5kgスケールでバイオナイロンを得た。また本技術を企業に技術移転し、試験機でキログラムスケール合成できることを確認した。炭素数が6から18までの脂肪族二酸および炭素数が6から12まで脂肪族二アミン、11-アミノウンデカン酸を用いて種々のバイオナイロンを合成し、ガラス転移温度が40-97°C、融点が115-166°C、分解温度(10%重量減少温度)が400°C程度の熱物性のサンプルを得た。これにより**ガラス転移温度50°C以上の物性目標値を達成**した。また、11-アミノウンデカン酸などの長鎖脂肪酸を高含させた結果**含水率2.7%以下となり目標値3%以下を達成**した。光増感剤であるベンゾフェノンおよび光触媒である酸化チタンを加えても熱的力学的物性値に大きな影響を及ぼさないことを確認した。モンモリロナイトとのコンポジット作製も良好で、力学強度、弾性率、伸び率全てにおいて改善された。

1-2) 目標を大きく上回る成果をあげた。

課題1-1での検討より、生産性と物性のバランスがより繊維として適した組成物はイタコン酸12.5%、ヘキサメチレンジアミン12.5%(ペンタメチレンジアミンでも良い)、11-アミノウンデカン酸75%からなるバイオナイロンであった。これに関して、少量紡糸試験と企業による試験機を用いた紡糸により良好な紡糸性を示した。種々条件を振り配向度0.13で結晶化度55%というサンプルが得られ、最適化試料の力学物性は、**力学強度360MPaをとなり目標値を遥かに超える値**となった。サブテーマ3により得られる非可食バイオマス由来イタコン酸からのバイオナイロンも同様の結果を示すことを確認した。

1-3) 目標どおりの成果をあげた。

添加物としてモンモリロナイト、酸化チタン(光触媒)、ベンゾフェノンを選択し、コンポジットを作製した。モンモリロナイトを加えた時に**最大タフネス291 MJ/m³のサンプルが得られ目標を達成**した。これらのコンポジットの海洋分解性を評価した結果、海洋中で崩壊する現象が確認され強度測定が不可能なレベルとなった(**強度低下率100%(目標達成)**)。

5-1. 成果の概要(サブテーマ2) バイオナイロンの海洋環境分解性評価

2-1) バイオナイロンの海洋環境分解性評価

自然光暴露実験の外観



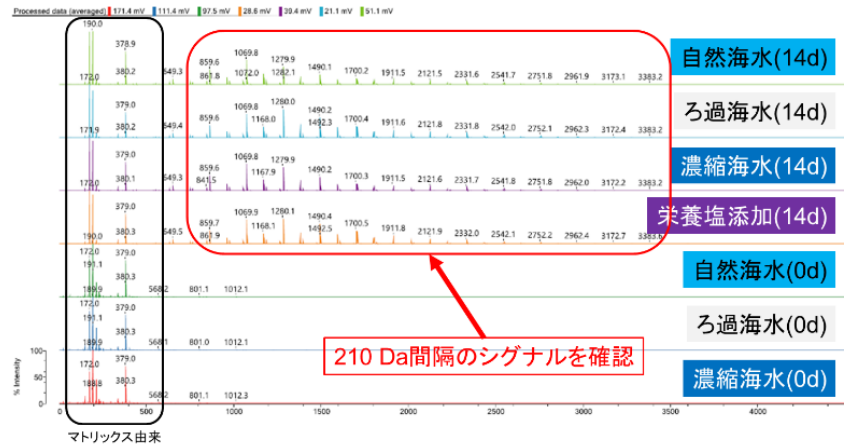
暴露初期



暴露試験後



実験後試験液の質量分析

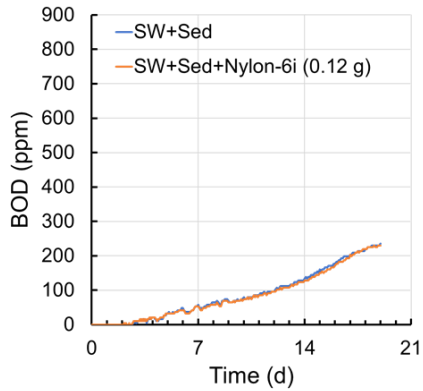


実環境を想定しつつ、試験液およびバイオナイロンを回収・分析するための自然光暴露実験を立ち上げ、Nylon 6iが水溶化する様子を捉えた。加えて、溶解したバイオナイロンオリゴマーの分子状態を質量分析により特定した。(計画以上の成果)

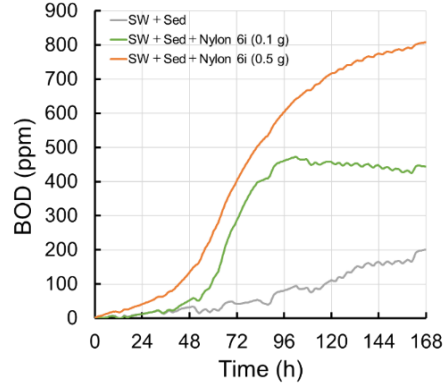
2-2) バイオナイロンの太陽光照射下での分解性評価と分解物生物毒性試験

BOD試験による生分解性試験

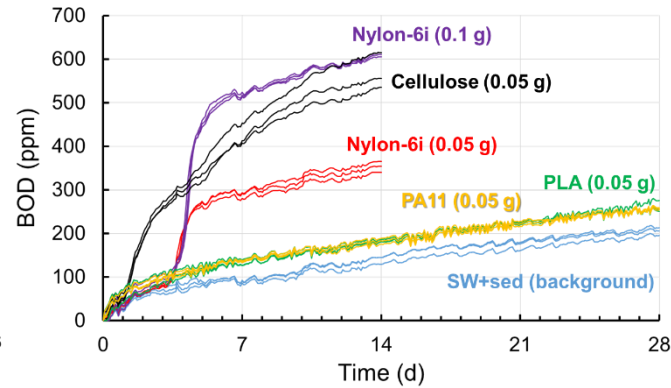
固形Nylon 6i



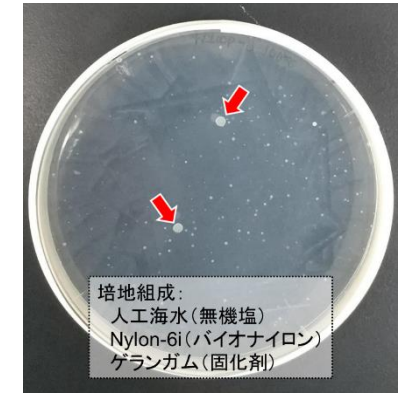
水溶化Nylon 6i



他部材との生分解性の比較



分解性微生物の獲得



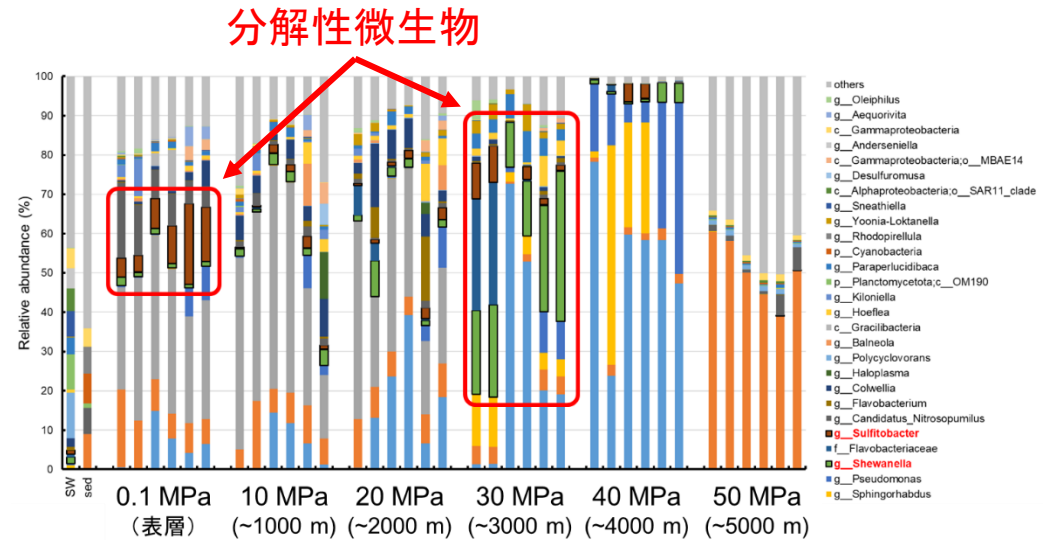
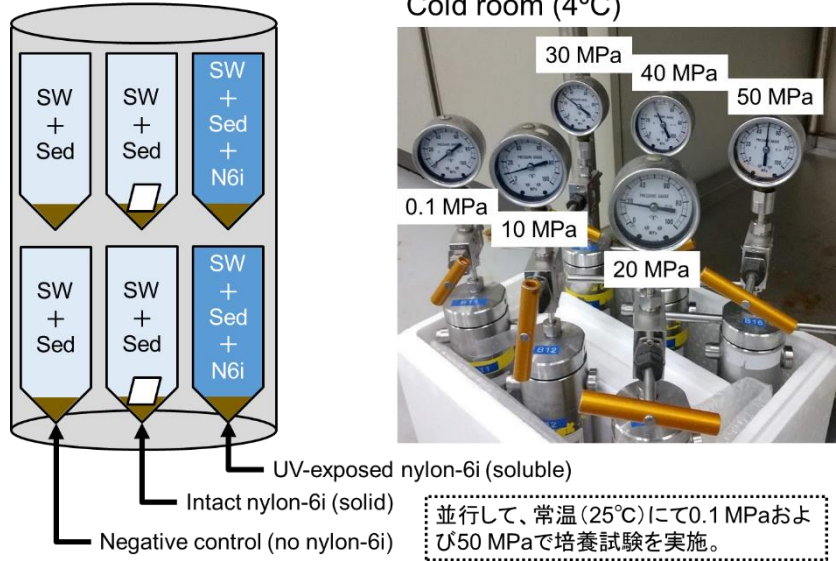
生物毒性試験

試験名	準拠した試験方法	EC50 or LC50 (ppm)
海産発光細菌	ISO 11348-1 (2007)	>1000
塩水性甲殻類	ISO/TS 20787 (2017)	>1000
海産微細藻類	ISO 10253 (2016)	>1000
淡水産微細藻類	ISO 8692 (2012)	>1000

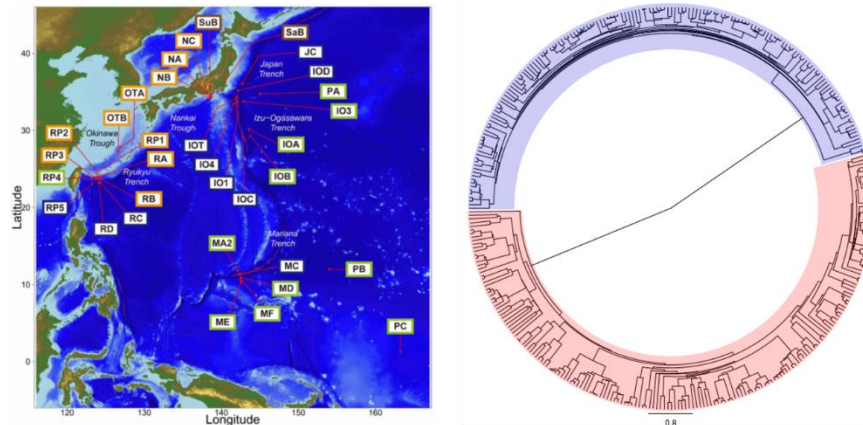
BOD試験を実施し、海水由来微生物によって水溶化Nylon 6iが**生分解されることを実証**し、他部材と比べても優れた分解性を持っている。また、このバイオナイロンを分解する**複数の分解微生物の取得に成功**(特許出願済)。また、水溶化したバイオナイロンの生物毒性が低いことも実証した。**(目標を大きく上回る成果)**

2-3) 深海模擬環境における分解特性評価

深海模擬環境での分解試験系を確立



深海データベース中の分解酵素



莫大なコストのかかる深海浸漬実験に替わる様々な深度を想定した深海模擬環境での分解試験系を確立した。圧力依存的な微生物群集構造の変化と深海適応分解微生物を見出した。また、独自に構築中の深海堆積物DNAデータベース中に複数のナイロン分解酵素遺伝子を同定。(目標を上回る成果をあげた)

5-3. 研究目標の達成状況(サブテーマ2)

2-1) 目標を上回る成果をあげた。

予定した条件セットで太陽光曝露下、海水環境中での分解試験を実施した。人工的な紫外線照射環境だけでなく、自然光においてもバイオナイロンが水溶化することを明らかにした。水溶化により当初予定していた形状や重量変化、電子顕微鏡観察が出来なかったが、質量分析を導入して水溶化したポリマー情報を得ることが出来た。この水溶化特性は、紫外線劣化による割れから生じるマイクロプラスチックの形成原理から外れており、当該材料がマイクロプラスチック化しないことを示している。また、**BOD試験や質量分析からバイオナイロンが、海水性微生物によって分解されることを実証**し、微生物群集構造解析からその役割を担う微生物についても明らかにした。

2-2) 目標を大きく上回る成果をあげた。

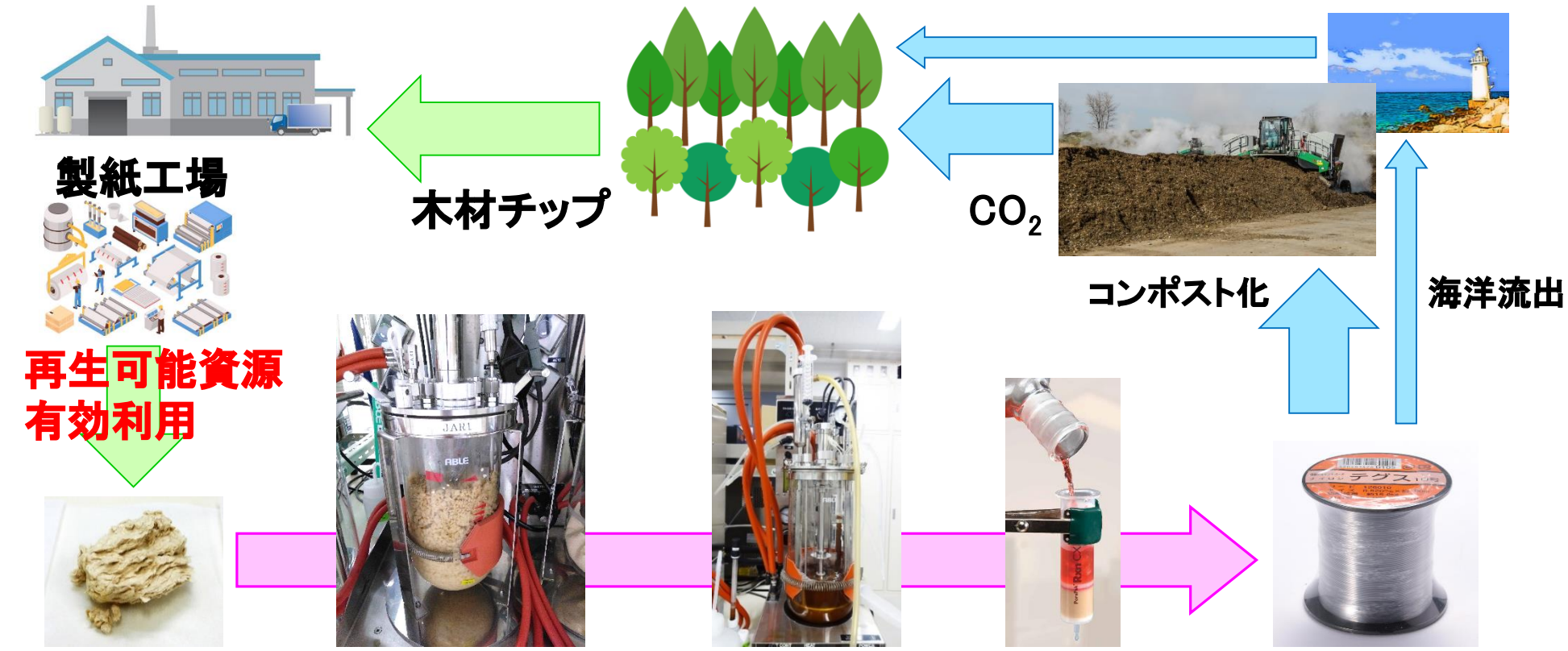
バイオナイロンが自然光でも水溶化が比較的速やかに起こることから、実環境中での試験では環境中に消失してしまうため、環境条件を明条件と暗条件に置き換え、紫外線照射試料と未照射試料を用いて詳細な分解試験を実施した。未照射試料を用いたBOD試験では、生物分解に伴う酸素消費は観察されず、紫外線照射試料でのみ、バイオナイロンの量依存的な酸素少量の増加がみられた。すなわち、海水性微生物がバイオナイロンを分解して酸素呼吸している。この時の微生物群集構造解析の結果から、特異的に一部の微生物の存在比が顕著に増殖していることから、バイオナイロンを資化(エネルギー源および炭素源として使用)できる可能性が示唆されたため、**当初想定していなかったバイオナイロン資化微生物の分離を試みた結果、複数種の微生物の純粋分離に成功**した。純粋分離した微生物株を用いたBOD試験により、単一微生物種においてポリマーのバイオナイロンを分解して、**二酸化炭素にまで分解することを明らかにした**。これらの微生物の全ゲノム解析と遺伝子発現解析の結果、複数のナイロン分解酵素が寄与していることを明らかにした。上記の分解試験とは別に、バイオナイロンの原料やモノマー材料を用いて生物毒性試験を実施した。淡水性および海産性藻類等に対する生物毒性試験の結果、**水溶化したポリマーは原料であるイタコン酸やヘキサメチレンジアミンの毒性と同程度であり、モノマー分子に至ってはさらに毒性が低いことが示された**。

2-3) 目標を上回る成果をあげた。

バイオナイロンを表層海水および海洋堆積物と共にプラスチックチューブに封入して、0.1~50 MPaの範囲で加圧培養を実施した。海水および堆積物を回収し、DNAを抽出して微生物群集構造解析を実施した結果、圧力依存的に微生物群集構造が変化すると共に、2-2)で分離したバイオナイロン資化性微生物が集積していることを明らかにした。また、バイオインフォマティクスの過去に採取された海洋堆積物中微生物の遺伝子データベースを検索したところ、**ナイロン分解酵素類似遺伝子が広く分布していることを明らかにした**。



5-1. 成果の概要(サブテーマ3): 廃棄物系バイオマスからのイタコン酸生産

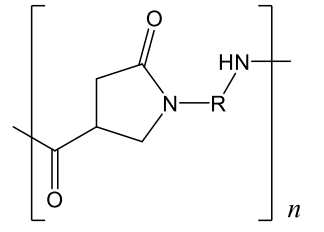
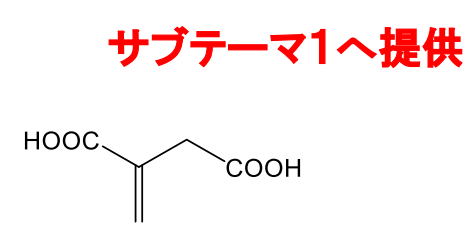


紙パルプ／リサイクルパルプ 紙パルプ／リサイクルパルプ 紙パルプ／リサイクルパルプ 紙パルプ／リサイクルパルプ 紙パルプ／リサイクルパルプ

セルロース 酵素糖化 発酵 分離・精製 ポリマー合成

アウトカム

- 社会的波及性の高いイタコン酸を非可食再生可能資源から生産する“新しい生産体系”に向けた概念実証
- 未利用資源を活用した“**地域循環共生圏の形成**”の社会実装(廃棄物エネルギーの地域での利活用)



セルロース

グルコース

イタコン酸

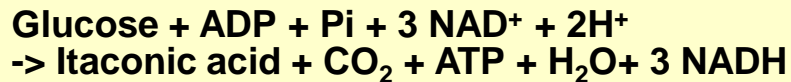
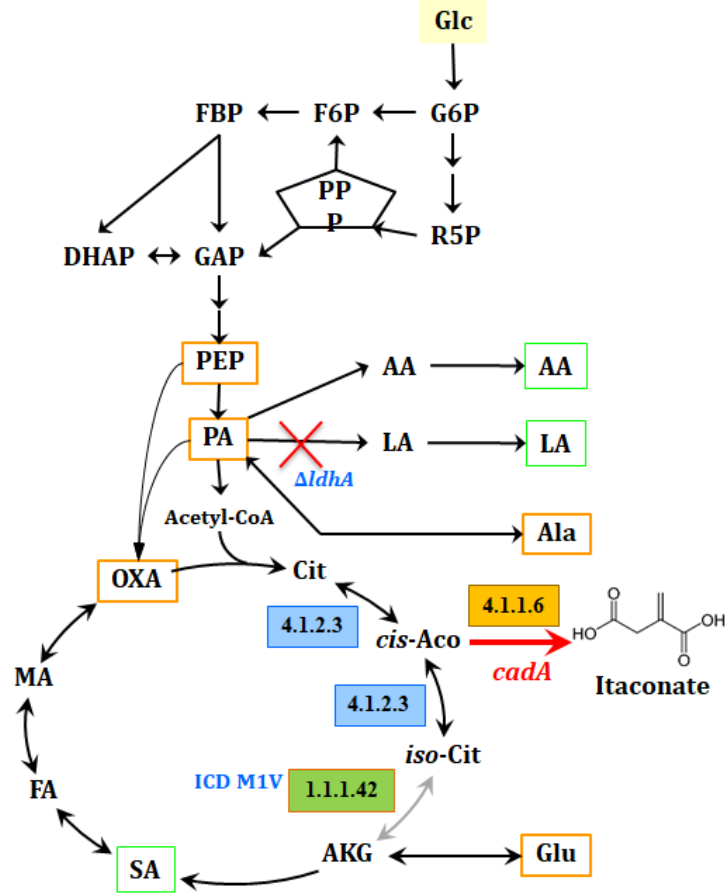
バイオナイロン¹⁸

テーマ3-1: イタコン酸生産菌(第1世代)の開発



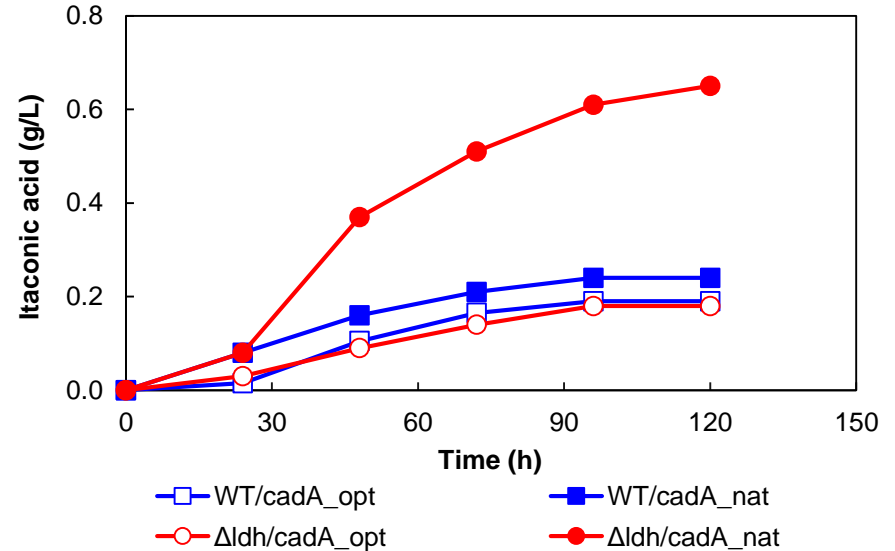
【開発項目】

- (1) イタコン酸生合経路のデザインと遺伝子導入
- (2) 機能最適化(=発現量調整)による生産性の向上
(目標収率: 0.3 g イタコン酸/g sugar)

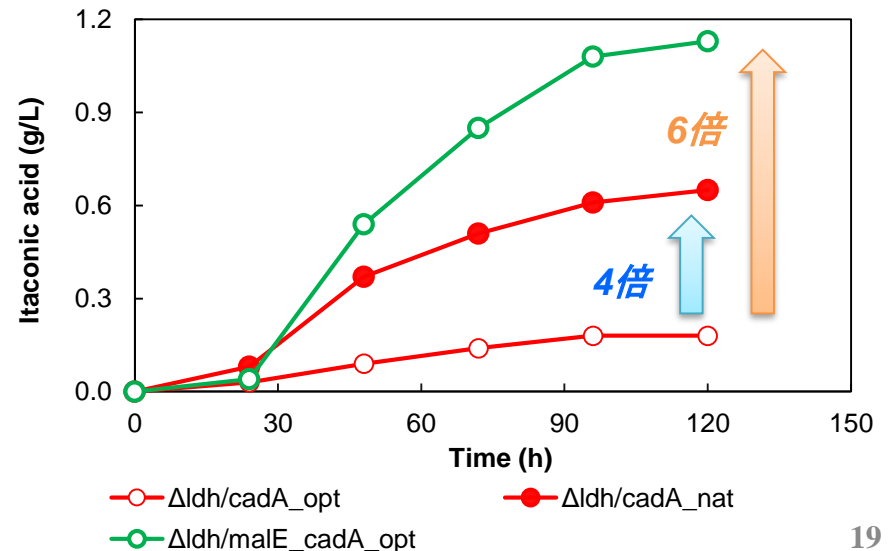


理論最大収率: 0.72 g イタコン酸/g グルコース

cadA遺伝子配列の最適化と宿主の選択

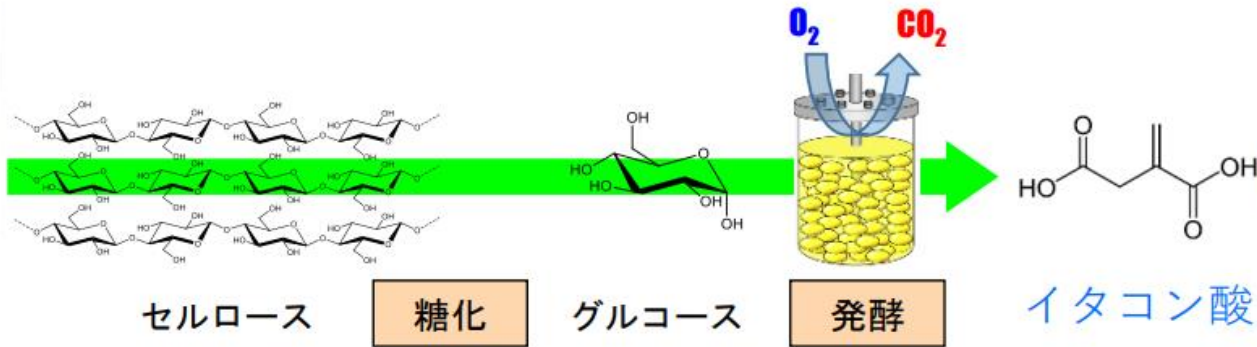


融合タンパク質を利用したcadAの安定化



テーマ3-2: 廃棄物系バイオマス利用技術の開発とイタコン酸生産への影響評価

パルプ糖化液を原料とするイタコン酸生産プロセスの最適化
 得られたイタコン酸をサブテーマ1の北陸先端大に提供

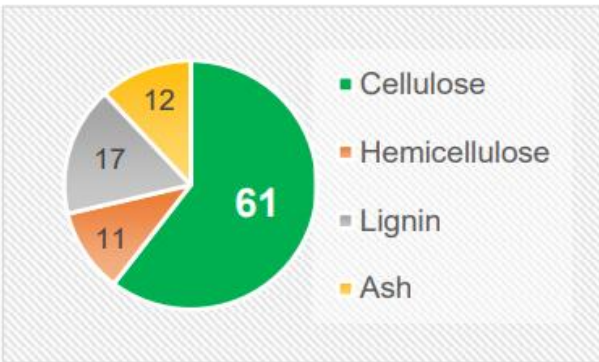


サブテーマ1
 (北陸先端大)
 に提供

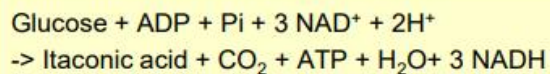
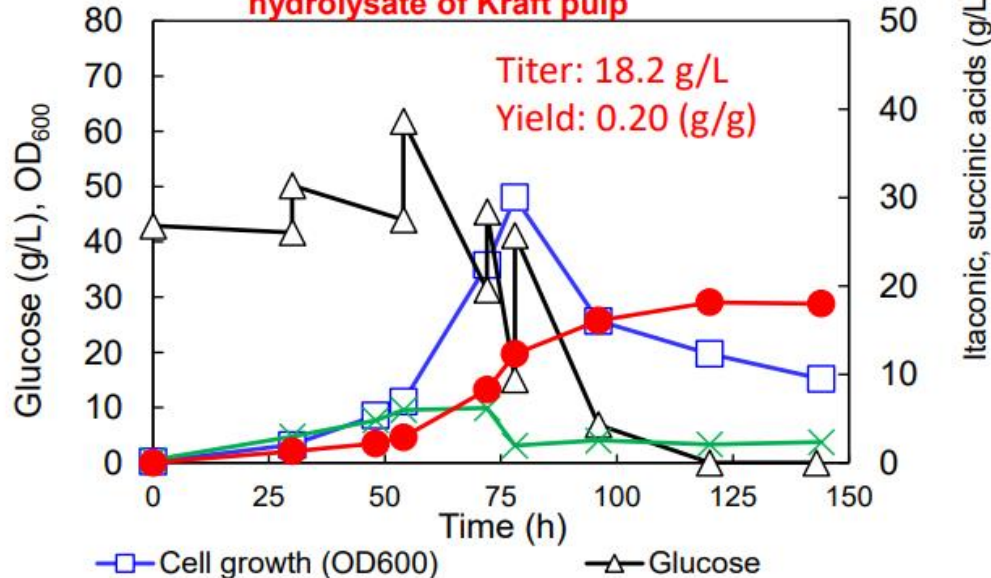
16 g
 = 9.8 g cellulose
 = 10.8 g glucose

9.6 g 8.0 g 1.6 g
 88% 20%

Total 10%



Itaconic acid production from enzymatic hydrolysate of Kraft pulp



理論最大収率: 0.72 g イタコン酸/g グルコース

5-3. 研究目標の達成状況(サブテーマ3)

3-1) 目標どおりの成果をあげた。

イタコン酸収率(0.4 g イタコン酸/g グルコース)の目標値を上回る生産菌の作製に成功した。

かくはん動力を従来の50%以下に抑制した、低炭素型生産システムを構築した。

3-2) 目標どおりの成果をあげた。

糖化プロセスの最適化により、バイオマスの酵素糖化率 >85%を達成した。バイオマス糖化液に含まれる発酵阻害候補化合物を同定し、各成分がイタコン酸発酵に与える影響を特定した。

3-3) 目標どおりの成果をあげた。

イタコン酸収率(0.3 g イタコン酸/g グルコース)の目標値を達成した。

イタコン酸の精製法を開発し、バイオマス由来イタコン酸10グラム強を、サブテーマ1(北陸先端大)に提供することに成功した。

5-2. 環境政策等への貢献

研究代表者チーム(サブテーマ1):

金子達雄(JAIST)

高い熱・力学物性と海洋環境応答分解性を併せ持つ環境適応型バイオナイロンは**海洋環境保全に有効**である。1) 力学強度400MPa、ガラス転移温度50℃以上、含水率2.7%以下のバイオナイロンを得ており**実用に資する性能**を持つ。2) 成形加工性にも優れ、**企業の技術移転**も行った状況にあり社会実装に近い。3) **高性能でありかつ環境崩壊性**を併せ持つナイロンである。これにより、**スイッチ型分解プラスチックの重要性**を提言できる



サンプル
提供

原料分解
性の知見



研究分担者チーム(サブテーマ2):

若井暁(JAMSTEC)

イタコン酸バイオナイロンの生分解性評価を行う過程において、1) 当該材料が紫外線暴露後に**マイクロプラスチック化せず**に**水溶化**すること、2) 水溶化した**ポリマーの毒性は高くない**こと、3) 海洋微生物によって**二酸化炭素まで分解**されること、4) **深海環境にも分解性微生物が存在**していること、などを明らかにした。海洋プラスチックごみ問題は海洋表層だけでなく深海環境に及んでいることが近年明らかになっており、**海洋表層だけでなく深海環境を含む全球的な分解能を持つ材料の開発と、その分解方法の規格化が必要**であると提言できる。



イタコン酸
の提供

研究分担者チーム(サブテーマ3):

川口秀夫(神戸大)

イタコン酸は本プロジェクトで開発した新規な生分解性プラスチックの原料となるだけでなく、米国エネルギー省が定める「**バイオで作るべき石油代替となる基幹12化合物**」(<https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35523.pdf>)に**選定**されている、工業的にもバイオ政策にとっても極めて有望な化合物のひとつである。

現在、イタコン酸の工業的製造は、可食資源であるデンプンやグルコースの利用に依存している。そこでサブテーマ3では、イタコン酸の製造を**廃棄系の非可食バイオマス**へと原料置換するために必要な技術要素、新しい生産菌の開発、廃棄系バイオマスが生産菌に与える影響の評価、バイオマスからの生産と精製法の開発について、その実現可能性を示すことに成功した。

すなわち本テーマで開発した技術を通じて、**第5次環境日本計画の重点戦略**が定める2つの要求事項、
1. **持続可能な生産と消費を実現するグリーンな経済システムの構築** と、
3. **地域資源を活用した持続可能な地域づくり**、
に貢献する新しい科学技術的知見を提言できる

5-2. 環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

本研究成果であるバイオナイロンの分子設計に基づく新規生分解性プラスチックの開発を提案し、「**ムーンショット型研究開発事業/地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現/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**」に採択され、経済産業省の所管である国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の各種広報で活用された。これは環境政策の一つである海洋プラスチックごみ問題への対応に資する貢献となる。

研究代表者が海洋分解性のバイオナイロン開発を代表として行っていることに基づき、**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」**において**評価委員**として依頼され承諾した。これは環境政策の一つである海洋プラスチックごみ問題への対応に資する貢献となる。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

本研究において、深海模擬環境での分解試験を実施し、本方法が深海実環境での分解実験に置換し得ることを明らかにした。現在までに標準的な圧力環境下での海洋分解性の評価方法が策定されているが、深海環境での海洋分解性については国内外においても策定されておらず、深海模擬実験を国際的な分解性評価方法の国際規格として進めることに貢献する。

環境政策の一つである海洋プラスチックごみ問題への対応に資する分解性ナイロン開発に関し計画以上の進展があり、前頁の下線事項は行政等が活用すると考えられる。

6.研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Mohammad Asif Ali, Tatsuo Kaneko, High-performance BioNylons from Itaconic and Amino Acids with Pepsin Degradability, Adv. Sus. Sys., 2100052 (2021) (IF 6.737)
- 2) H. Kawaguchi, K. Takada, T. Elkasaby, R. Pangestu, M. Toyoshima, P. Kahar, C. Ogino, T. Kaneko, A. Kondo (2022) Recent advances in lignocellulosic biomass white biotechnology for bioplastics, Bioresour Technol., 344(Part B):126165. (IF 10.89) [国際共同研究]
- 3) D. D. Hanh, T. Elkasaby, H. Kawaguchi, Y. Tsuge, C. Ogino, A. Kondo (2023) Enhanced production of itaconic acid from enzymatic hydrolysate of lignocellulosic biomass by recombinant Corynebacterium glutamicum, J Biosci. Bioeng., in press. DOI: 10.1016/j.jbiosc.2023.03.011 (IF 3.185)

(2) 口頭発表(学会等) Tatsuo Kaneko INTERNATIONAL WEBINAR SERIES ON BIOPOLYMER COMPOSITES: SERIES 1 招待講演

” New molecular design concept of high-performance bioplastics” 2021年4月2日 オンライン など28件

(3) 知的財産権

- 1) 金子 達雄、王 懷玉、マニンダー シン：国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学；「ポリアミド系ポリマー」、特願2020-181536、令和2年10月29日
- 2) 若井 暁、塚谷 京、野牧 秀隆、磯部 紀之：国立研究開発法人海洋研究開発機構；「水溶化イタコン酸由来ポリアミド分解能を有する微生物およびその利用」、特願2022-032898

(4) 国際共同研究等の状況

- ・バイオベース材料に関し、Phillip Messersmith教授(UCバークレ(米国))の共同研究を開始。意見交換を続け、接着剤への展開を図っている。
- ・海洋分解性バイオナイロンに関してMakoto Ogawa教授(VISTEC(タイ))の共同研究を開始。バイオナイロンへ光触媒をコンポジット化する研究に関してお互いの学生を指導するなどの方法で幅広く展開した。
- ・Mansoura University(エジプト)より、エジプト政府派遣の講師 TAGHREED MAGDY ABDELRAZEK ELKASABY ATALLAH氏を2020年4月より3年間受け入れ、遺伝子組み換えコリネ型細菌での多様なバイオマスからのイタコン酸生産の研究を実施した。
- ・代表者は本成果を高く評価され中華人民共和国において長江講席教授という極めて名誉ある称号を与えられた。2023年4月よりこれを通じて日中における共同研究を開始する。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施 8件

(5) マスコミ等への公表・報道等 13件