

「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」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 材料・ナノテクノロジー部
-----	---

【公開】

—目次—

概 要.....	A-1
プロジェクト用語集.....	用語説明集-1
I. 事業の位置付け・必要性について	I-1
1. 事業の背景・目的・位置付け.....	I-1
1.1 事業の背景	I-1
1.2 事業の目的及び意義	I-2
1.3 事業の位置付け	I-3
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I-6
2.1 NEDO が関与することの意義.....	I-6
2.2 実施の効果（費用対効果）	I-6
II. 研究開発マネジメントについて	II-1
1. 事業の目標.....	II-1
2. 事業の計画内容.....	II-2
2.1 研究開発の内容及び全体スケジュールと予算.....	II-2
2.2 研究開発の実施体制	II-5
2.3 研究開発の運営管理	II-6
2.4 研究開発成果の実用化・実用化に向けたマネジメントの妥当性.....	II-7
3. 知的財産権等に関する戦略.....	II-7
4. 情勢変化への対応.....	II-8
5. 評価に関する事項.....	II-9
III. 研究開発成果について.....	III-1
1. 事業全体の成果.....	III-1
1.1 研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」（委託事業）	III-1
1.2 研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」.....	III-1
1.3 成果の普及（論文、外部発表等）	III-2
1.4 標準化、知的財産権等の確保に向けた取り組み）	III-2
2. 研究開発項目（テーマ）毎の成果.....	III-3
2.1 研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」	III-3
2.1.1 研究開発項目①	III-3
2.1.1.1 全体の概要	III-3
2.1.1.2 研究開発成果	III-19
2.1.2 研究項目①「実験室内における生分解加速試験法の開発」 ①-1 新規評価法の開発	III-24
2.1.2.1 テーマの概要	III-24
2.1.2.2 研究開発成果	III-30
2.1.3 研究項目①「実験室内における生分解加速試験法の開発」 ①-2 生分解性評価条件の最適化	III-41
2.1.3.1 テーマの概要	III-41
2.1.3.2 研究開発成果	III-42
2.1.4 研究項目②「物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明」 ②-1 分子構造相関解析	III-49
2.1.4.1 テーマの概要	III-49
2.1.4.2 研究開発成果	III-51

2.1.5 研究項目②「物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明」	
②-2 形状および結晶構造からの分解機構の解明	Ⅲ-59
2.1.5.1 テーマの概要	Ⅲ-59
2.1.5.2 研究開発成果	Ⅲ-61
2.1.6 研究項目②「物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明」	
②-3 生分解度評価手法としての質量分析技術の有用性の検証および 海洋生分解性プラスチックの安全性評価.....	Ⅲ-68
2.1.6.1 テーマの概要	Ⅲ-68
2.1.6.2 研究開発成果	Ⅲ-71
2.1.7 研究項目③「微生物、酵素による生分解メカニズムの解明」	
③-1 ラボ試験環境における微生物（叢）解析	Ⅲ-79
2.1.7.1 テーマの概要	Ⅲ-79
2.1.7.2 研究開発成果	Ⅲ-86
2.1.8 研究項目③「微生物、酵素による生分解メカニズムの解明」	
③-2 生分解性微生物菌叢特定のための解析及び試験法開発に資する 微生物添加要素技術の開発.....	Ⅲ-94
2.1.8.1 テーマの概要	Ⅲ-94
2.1.8.2 研究開発成果	Ⅲ-96
2.1.9 研究項目④「実海域におけるデータ収集、簡易生分解（崩壊度）試験法の開発」	
④-1 簡易試験法の開発と生分解データの収集	Ⅲ-106
2.1.9.1 テーマの概要	Ⅲ-106
2.1.9.2 研究開発成果	Ⅲ-111
2.1.10 研究項目④「実海域におけるデータ収集、簡易生分解（崩壊度）試験法の開発」	
④-2 実験室試験の課題確認、仮説検証、及び標準化根拠形成のための 実海域微生物及び関連データの収集.....	Ⅲ-123
2.1.10.1 テーマの概要	Ⅲ-123
2.1.10.2 研究開発成果	Ⅲ-124
2.1.11 研究項目④「実海域におけるデータ収集、簡易生分解（崩壊度）試験法の開発」	
④-3 深海実験の結果を基軸とした評価法の開発	Ⅲ-134
2.1.11.1 テーマの概要	Ⅲ-134
2.1.11.2 研究開発成果	Ⅲ-135
2.1.12 研究項目⑤「生態毒性評価法の開発」	Ⅲ-140
2.1.12.1 テーマの概要	Ⅲ-140
2.1.12.2 研究開発成果	Ⅲ-142
2.1.13 研究項目⑥「海洋プラスチック低減効果の推定」	Ⅲ-146
2.1.13.1 テーマの概要	Ⅲ-146
2.1.13.2 研究開発成果	Ⅲ-149
2.2 研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」	Ⅲ-160
2.2.1 研究開発項目②-1(1)「海洋生分解性を有する新規な多糖類長鎖短鎖 エステル誘導体の研究開発」	Ⅲ-160
2.2.1.1 テーマの概要	Ⅲ-160
2.2.1.2 研究開発成果	Ⅲ-167
2.2.2 研究開発項目②-1(2)「エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性 樹脂素材の開発」	Ⅲ-172
2.2.2.1 テーマの概要	Ⅲ-172
2.2.2.2 研究開発成果	Ⅲ-178
2.2.3 研究開発項目②-2 「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの 実用化開発」	Ⅲ-185
2.2.3.1 テーマの概要	Ⅲ-185
2.2.3.2 研究開発成果	Ⅲ-193

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて.....	IV-1
1. 事業全体の取り組み及び見通し.....	IV-1
2. 研究開発項目（テーマ）毎の取り組み及び見通し.....	IV-2
2.1 研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」.....	IV-2
2.2 研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」.....	IV-8
2.2.1 研究開発項目②-1(1)「海洋生分解性を有する新規な多糖類長鎖短鎖 エステル誘導体の研究開発」.....	IV-8
2.2.2 研究開発項目②-1(2)「エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性 樹脂素材の開発」.....	IV-11
2.2.3 研究開発項目②-2 「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの 実用化開発」.....	IV-15

(添付資料)

① プロジェクト基本計画

・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」基本計画 2020年5月制定

②特許、論文、発表リスト

概要

【公開】

		最終更新日	2022年8月23日
プロジェクト名	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	プロジェクト番号	P20008
担当推進部/ PM、担当者	材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 宇津木 功二 (2021年10月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 奥井 学 (2021年9月～2021年9月) 材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 吉木 政行 (2021年7月～2021年8月) 材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 沖 和宏 (2020年7月～2021年6月) 材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 勝田 伸一 (2021年10月～現在) 材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 柳川 裕彦 (2020年7月～2021年8月)		
0. 事業の概要	プラスチックは、日常生活の利便性をもたらす素材として幅広く活用されてきている一方で、プラスチックごみによる海洋汚染が問題視されるようになってきている。日本では、国内プラスチック生産量(年間1千万トン程度)の内、国内流通の生分解性プラスチックは2,300トン程度と国内市場に占める割合は小さく、しかも海洋生分解性を有するプラスチックの種類は僅かで、海洋生分解性に着目した取り組みは十分行われているとは言えず、海洋プラスチックごみ問題に対応する研究開発、海洋生分解性を有する新素材開発が求められている。本事業では、海洋プラスチックごみ問題の解決に向け、海洋生分解性プラスチックの市場導入を促進し、更なる製品適用拡大により普及拡大を加速させるために、海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法の開発と海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発を行う。		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>【事業の必要性】</p> <p>海洋プラスチックごみの問題解決に向け、国内外での海洋生分解性プラスチックの市場拡大を図る上では海洋生分解の評価手法やその信頼性確保が不可欠である。既にISOにて規定されている評価手法もあるが、信頼性が十分に確保されるとは言えず、課題が残されている。特に実海洋環境下で適切に生分解されることを評価する手法は国際標準化に向けて未だ途中段階である。また、現在、数種類の海洋生分解性プラスチックが存在すると言われているが、上述した通り共通の評価手法が確立されていないため信頼性が担保されず、海洋生分解性プラスチックの普及拡大の足かせの一つとなっている。</p> <p>一方、海洋生分解性を示すプラスチック素材はいくつか提案されているが、汎用プラスチックと比べ、強度・成形加工性等が劣り使用性が悪い等を理由として、十分な実用化に至っていない。これらの特性改善を図るとともに、CO₂削減と新たな市場創出を目指す。また、プラスチックは複数の樹脂のブレンドや添加剤の付与等により様々な物性を実現している。しかし、現在海洋生分解性を有する樹脂及び添加剤の種類が少ないため、実現可能な物性が限られている。そこで新たな海洋生分解性を有するプラスチックや添加剤の開発を行う必要がある。同時に原料のバイオ化やプラスチック素材そのもの等の低コスト化を行い、普及拡大する必要性に迫られている。</p> <p>【政策的位置づけ】</p> <p>2018年6月に「第4次循環型社会形成推進基本計画」が閣議決定されており、プラスチックの資源循環を総合的に推進するための戦略(「プラスチック資源循環戦略」)を策定し、これに基づく施策を進めていく事が示されている。また政府は、2019年1月の世界経済フォーラム年次総会(ダボス会議)のスピーチ及び第198回通常国会の施政方針演説において、世界の国と共に、海洋プラスチック対策に取り組んでいくことを表明しており、G20大阪サミットに向けて、我が国としての具体的な取り組みが「海洋プラスチックごみ対策アクションプラン」として取りまとめられた。その中で、代替素材の開発・転換等のイノベーションとして「海洋生分解性プラスチックの開発・導入普及ロードマップ」に基づき、官民連携により技術開発等に取り組む事が示されている。</p> <p>【技術戦略上の位置づけ】</p> <p>本プロジェクトは、「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戦略」で必要とされる技術開発の大部分を担う。</p> <p>【NEDOが関与する意義】</p> <p>現在、国内プラスチック生産量(年間1千万トン程度)のうち、国内で流通している生分解性プラスチックは2,300トン程度と国内市場に占める割合は小さく、しかも陸域の土壌又はコンポストでの分解を前提とした生分解性プラスチックが主流であり、海洋生分解性を有するプラスチックはわずかな種類しか存在しない。</p> <p>NEDOの研究開発としては1996年度～1999年度、「独創的産業技術研究開発促進事業/生物資源リグノセルロース及びデンプンからの新規な生分解性材料の創製」等において生分解性プラスチックについての研究開発が行われていた。また、2002年度～2006年度に「生物機能活用型循環産業システム創造プログラム/生分解・処理メカニズムの解析と制御技術開発」が行われている。2015年度～2019年度ではJST-ALCAの「ホワイトバイオマステクノロジー/糖質バイオマ</p>		

	<p>スからグリコール酸ポリマーを合成する微生物プロセスの開発」において、微生物に人工的なポリマー合成システムを構築し生分解性に優れたプラスチック合成技術の研究開発が行われている。</p> <p>世界各国では、海洋プラスチックごみ対策への自主的な取組が活発化している。2019年1月には、化学メーカーをはじめ約30のグローバル企業を中心にした国際アライアンス「Alliance to End Plastics Waste」(AEPW)が設立され、今後5年間で合計15億ドルを投じて海洋プラスチックごみの抑制・管理・使用後のソリューションを推進する事業を展開する予定とされており、主として海洋プラスチックごみの抑制管理を主眼としたものである。</p> <p>研究開発の取組としては、欧州においてBBi (Bio-Based Industries Joint Undertaking : EUとバイオベース産業コンソーシアムの官民パートナーシップ)の「NEWPACK/ Development of new Competitive and Sustainable Bio-Based Plastics」等で生分解性プラスチックの研究開発が行われている。</p> <p>このほかにも、国内において生分解性プラスチックへの取り組みは行われているが、海洋生分解性に着目した取り組みは十分行われているとは言えず、世界的課題となっている海洋プラスチックごみ問題に対応する研究開発が求められている。本プロジェクトでは、海洋生分解性プラスチックの市場導入を促進する為、海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法の開発を行い、国際標準化提案を行う。また、海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材開発を行い、物性、機能性を向上した新素材による、さらなる製品適用拡大により普及拡大を加速させることを目標としている。海洋生分解メカニズムに基づく評価手法の研究開発や新材料の設計や合成など基礎的な研究から、普及のトリガーとなるべくバイオ由来の原料を用いた素材の量産技術の開発が必要であり、これらを民間企業等が単独で実現することは難しく、国主導で民間企業・大学・国研等が有する優れた技術・知見・ノウハウを集約して産学官が一体となって開発を加速させることが必要であり、NEDOが積極的に関与すべきといえる。</p>
<p>2. 研究開発マネジメントについて</p> <p>事業の目標</p>	<p>本プロジェクトでは、海洋生分解性プラスチックの市場導入を促進する為、海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法の開発を行う。</p> <p>また、海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材開発を行う。これにより物性、機能性を向上した新素材による、さらなる製品適用拡大により普及拡大を加速させる。</p> <p>将来的には、世界に先駆け、新たな海洋プラスチックごみ発生ゼロの一助となる事を目指す。</p> <p>■研究開発項目①</p> <p>海洋生分解機能について、各海洋域における既存、及び新規の海洋生分解性プラスチックの生分解性評価を行い、海洋環境の違いによる生分解性の基礎データを収集し、海洋生分解性プラスチックが、好氣的条件下では水と二酸化炭素に、嫌氣的条件下では水とメタンと二酸化炭素に分解されるメカニズムを解明するとともに、海洋生分解性の評価手法を確立する。また、生分解途中に生成される中間体を含めた安全性を評価する新たな手法を開発する。研究開発期間、原則5年以内。</p> <p>【中間目標 (2022年度)】</p> <p>海洋生分解性に関する暫定的な評価手法を策定する。</p> <p>【最終目標 (2024年度)】</p> <p>製品化を行うユーザーが共通して活用できる海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法を確立し、国際標準化提案1件以上に繋げる。</p> <p>■研究開発項目②</p> <p>海洋生分解性プラスチック開発について、新規の化学構造を有する樹脂、新規のバイオ製造プロセスの開発等を行う。また、既存の樹脂を複合化して物性や機能性等を高める研究開発や樹脂へ適合する充填剤等の添加剤の開発等を行う。</p> <p>研究開発の具体的内容は、以下の通りとする。</p> <p>(1)研究開発項目②-1「新規化学構造を有する樹脂・新規バイオ製造プロセス開発等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」〔委託事業〕</p> <p>新規化学構造を有する樹脂(上市されていない実験室レベルも含む)、新たなバイオ製造プロセス等の研究開発要素が多く時間を要する開発を対象とする。研究開発期間は、原則5年以内。</p> <p>【中間目標 (2022年度)】</p> <ul style="list-style-type: none"> 海洋生分解性プラスチックの新技術・新素材の開発の目処を付ける。 <p>【最終目標 (2024年度)】</p> <ul style="list-style-type: none"> 海洋生分解性プラスチックの新技術・新素材を1件以上開発し、実用化の目処を付ける。 <p>(2)研究開発項目②-2「複合化技術等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新</p>

	<p>素材の開発」[委託事業／助成事業]</p> <p>既存の樹脂を複合化して物性や機能性等を高める開発や樹脂に適合する充填剤等の添加剤の開発等の、新たな用途を創出し社会実装を推進する開発を対象とする。委託事業の研究開発期間は、原則3年以内、助成事業の研究開発期間は、原則2年以内。</p> <p>【中間目標（2022年度）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 海洋生分解性プラスチックの新技术・新素材を1件以上開発し、実用化の目処を付ける。 <p>【最終目標（2024年度）】</p> <ul style="list-style-type: none"> 海洋生分解性プラスチックの新技术、新素材の試作等により、コスト、機能、性能等の面で、従来の汎用プラスチックと比べて総合的に競争力があることを示す。 					
事業の計画内容	実施事項	2020fy	2021fy	2022fy	2023fy	2024fy
	研究開発項目①	暫定的な評価手法策定 (委託)			評価手法の確立 (委託)	
	研究開発項目②-1 (1) (2)	新技术・新素材の開発 (委託)		新技术・新素材の開発 (委託)		
	研究開発項目②-2 SG:ステージ ゲート	新技术・新素材の開発 (委託 2年)		SG 実用化開発 (助成 2年)		
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載 (単位:百万円))	会計・勘定	2020fy	2021fy	2022fy	総額	
	総予算額 (一般会計)	260	400	413	1073	
	(委託)	260	400	346	1006	
	契約種類: ○をつける 委託(○) 助成(○) 負担率()	(助成) :助成率 1/2(大企業) 2/3(中小・ベンチャー)	-	-	67	67
開発体制	経産省担当 原課	産業技術環境局 資源循環経済課				
	プロジェクト リーダー	岩田 忠久(東京大学)				
	委託先(* 委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載) 助成先	<p>研究開発項目①</p> <ul style="list-style-type: none"> 産業技術総合研究所(AIST)、独立行政法人製品評価技術基盤機構(NITE)、東京大学、愛媛大学、静岡県環境衛生科学研究所、株式会社島津テクノリサーチ <p>研究開発項目②-1</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本電気株式会社、理化学研究所/株式会社日本触媒 <p>研究開発項目②-2</p> <ul style="list-style-type: none"> 日清紡ホールディングス株式会社 				

情勢変化への対応	<p>【2021年度追加公募の実施】</p> <p>プロジェクト開始当初（2020年度）、コロナ禍で状況下、研究開発項目②に対しては、十分な応募がなかったこと、また想定していた研究開発内容を満たす応募が少なかったことから、②-2の1件のみの採択にとどまった。2021年度に本PJの拡充のための研究開発項目②について追加公募を実施し、研究開発項目②-1について2件を採択し、新技術・新素材の研究開発対象を拡充した。</p>				
評価に関する事項	事前評価	2019年度実施 担当部 材料・ナノテクノロジー部			
	中間評価	2022年9月実施 担当部 材料・ナノテクノロジー部			
	事後評価	2025年度実施予定			
3. 研究開発成果について	◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達				
	研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」（産業技術総合研究所（AIST）、独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）、東京大学、愛媛大学、静岡県環境衛生科学研究所、株式会社島津テクノリサーチ）				
	研究項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
	全体	海洋生分解性に関する暫定的な評価手法を策定する。	1件の評価法のISO新規提案可決 1件の評価法のISO新規提案可決予定	◎ 暫定的な評価手法開発のみならずISO新規提案	特になし
	①「実験室内における生分解度加速試験法の開発」 ①-1新規評価法の開発	①ラボ好氣的海水生分解加速試験法の開発 ②上記手法によるデータ蓄積（生合成系樹脂、化学合成樹脂、天然物ベース樹脂を含む5種以上の樹脂） ③データのばらつきの評価とN数の決定（N=5以上の試験による） ④海洋生分解性ラボ試験法をISO予備提案を検討 ⑤嫌気生分解能の検証（4箇所以上の底泥試料、4種類の樹脂） ⑥生分解が認められた系について優占菌の存在量比を明らかにし、それらの系統分類学上の特徴付けを行う。	①ラボ好氣的海水生分解加速試験法を開発した。 ②5種以上の樹脂にて、上記手法によりデータを蓄積した。 ③N=5以上の試験によるデータのばらつきを調べ、適切なN数を決定する実験を実施中。 ④海洋生分解性ラボ試験法をISO予備提案した。 ⑤日本各地6箇所の底泥試料を用い、4種以上の樹脂を対象とした沿岸域海底での嫌気生分解を実施。 ⑥嫌気生分解に関する優占菌の存在量比を示し、それらの系統分類学上の特徴付けを行った。	○ ○ △ 年度内達成見込み ○ ○ ○	①加速効果の数値による評価。 →データの蓄積 ②試料の結晶化度等の状態を明確にした上でのデータの蓄積。 →データの蓄積 ③試験試料の均一化において統一すべき項目の検討。→研究項目②との連携 ④投票結果の対応→投票結果後の対応となる ⑤分解率向上に向けた培地組成検討。東日本海域からの採泥。 →データの蓄積 ⑥嫌気条件における生分解菌の特定。 →データの蓄積
②「物質評価としての	3種類のモデル材料を対象として、	3種類のモデル材料を対象として表面の結晶	△ 2022年度	陽電子消滅寿命法等によるナノ構造解析	

	<p>材料構造解析による生分解メカニズムの解明」②-1分子構造相関解析</p>	<p>質量分析や熱分解試験、陽電子消滅法等を用いて、海洋生分解性プラスチックサンプルの分子構造や物性変化の詳細を解析するための化学的分析手法を確立する。</p> <p>海洋生分解性試験を行った実用生分解性プラスチック材料2種以上について、開発した分析技術を適用し、試験前後の構造変化をマルチスケールで解明し、海洋生分解メカニズムを化学的視点から解明する。</p>	<p>分布、共重合体の組成分布等を解析可能な分析技術を構築。</p> <p>海洋生分解性試験を行った PHBH および PBSA について、各種の分析手法を適用し、試験前後の化学構造変化から分解の化学的なメカニズムを推定。</p>	<p>未達成見込み</p> <p>△ 2022 年度末達成見込み</p>	<p>手法を拡充し、複数の分析手法を組み合わせたマルチスケール構造解析を適用することにより、化学的視点から生分解メカニズムを解明する。</p>
	<p>③「微生物、酵素による生分解メカニズムの解明」③-1ラボ試験環境における微生物(叢)解析</p>	<p>①菌叢構造の多様性を数値化し、菌叢や菌数が海水生分解性に及ぼす影響を明確化 ②標準海水に求められる微生物因子の明確化 ③標準海水の調製法の提案とその汎用性の確認 ④生合成系、化学合成系樹脂のラボ試験での経時的菌叢解析を行い、優占菌の存在量比と系統分類学上の特徴付けを行う。 ⑤強力な生分解菌1種以上を単離、同定、生分解挙動を明確にする。 ⑥実海域試験の樹脂表面のバイオフィルムの菌叢解析を経時的に行い、強力な生分解菌を単離、同定する。</p>	<p>①菌叢構造の多様性を数値化し、菌叢や菌数が海水生分解性に及ぼす影響を調べた。 ②標準海水に求められる微生物因子を明確にした。 ③標準海水の調製法の提案とその汎用性を確認した。 ④生合成系、化学合成系樹脂のラボ試験での経時的菌叢解析を行い、優占菌の存在量比と系統分類学上の特徴付けを行った。 ⑤好気加速試験後の菌叢データから生分解菌の候補6属を特定した。 ⑥NITEとの連携で実海域試験の樹脂表面のバイオフィルムの菌叢解析を実施。好気加速試験の菌叢との共通性を発見した。</p>	<p>△ 年度内に達成見込み</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>△ 年度内に達成見込み</p> <p>△ 年度内に達成見込み</p>	<p>①生分解にもっとも対応する多様性の数値化統計手法の選択。→データの詳細な検討 ②詳細な解析。→データの蓄積 ③対象試料は多様であるので今後も評価を継続。 →データの蓄積 ④各樹脂の生分解率と優占菌との関係性等の評価。→データの蓄積 ⑤生分解候補菌の純粋分離培養。→実験の継続 ⑥生分解候補菌の純粋分離培養。→実験の継続</p>
	<p>④「実海域におけるデータ取</p>	<p>①実海域海水浸漬簡易試験法の提案</p>	<p>①実海域海水浸漬簡易試験法を開発し、提案</p>	<p>○</p>	<p>①なし</p>

集、簡易生分解（崩壊度）試験法の開発」 ④-1簡易試験法の開発と生分解データの収集	②上記手法で浅深度で試験を実施、問題点の洗い出し、改良を行う	②上記手法で浅深度で試験を実施し、問題点の洗い出し、改良を行った。	○	②データの蓄積 →実験の継続
	③試料表面の微生物データの蓄積	③項目③-1、③-2 と連携し、標試料表面の微生物データの蓄積を行った。	○	③データの蓄積 →実験の継続
	④3 種以上の樹脂を用いてラボ試験法と実環境試験との相関性を明確に。	④3 種以上の樹脂を用いてラボ試験法と実環境試験との相関性を明確にした。	○	④実環境は季節その他条件で変動するので継続的なデータ収集が必要 →データの蓄積
	⑤ ISO 提案を検討。	⑤簡易試験法をISO予備提案した後、NP原案を提出、投票によりアクセプトされ、本格審議が始まることが決まった。	◎	⑤ISO WG では様々な技術的意見が提出されており、その対応が必要。 →丁寧な対応とデータの補完。
研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」（日本電気株式会社、理化学研究所/株式会社日本触媒、日清紡ホールディングス株式会社）				
研究開発項目②-1(1)「海洋生分解性を有する新規な多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の研究開発」（日本電気株式会社）				
研究項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
①パラミロン/セルロース長鎖短鎖誘導体の合成と評価	1. 新規長鎖短鎖エステル誘導体を20種類以上（パラミロンベースを10種類以上、セルロースベースを10種類以上）合成	1. 2段階均一法と1段階不均一法について検討し、8種類以上合成【2021年度目標達成】。2022年度末までに20種類以上合成完了予定。	○	2. 【今後の課題】 衝撃強度の向上 【解決方針】 長鎖/短鎖成分の炭素数調整、原料多糖類の分子量(高分子量化)の調整、可撓性を付与する添加剤の検討
	2. 曲げ強度40MPa、衝撃強度4kJ/m ² 、ガラス転移温度(Tg)100℃クリア	2. 曲げ強度とガラス転移温度の目標値をクリア【2021年度目標達成】。更なる側鎖構造の調整などで衝撃強度もクリアする見込み。	△ 2023年2月達成見込み	
	3. 新樹誘導体のBOD分解度（対セルロース比）20%以上を達成	3. 一部の誘導体で目標レベルをクリア。機械特性との両立については検討中。	一部△ 2023年2月達成見込み	
				3. 【今後の課題】 海洋生分解性と物性の両立 【解決方針】 合計DSの一定レベル以下への調整による分解度向上

		4. 新規誘導体が魚類の生態に影響がないことを確認	4. 毒性評価は2022年度後半に実施。予測分解物から生態影響は問題ないと推測。	△ 2022年12月達成見込み	4. 【解決方針】 下期実施予定
	②多糖類誘導体の釣具製品としての性能評価	・新規合成した長鎖短鎖エステル（海洋性分解性良好）を用いて、釣具（エギ）としての試作成形品を製作	・先行合成品を用いた試作成形品の作成と性能評価は問題なく完了【2021年度目標達成】。新規合成品は目標物性達成に向けた分子設計中であり、大量合成待ちの状態。	△ 2023年2月達成見込み	【解決方針】 新規合成品は大量合成が完了次第、試作評価を実施し、年度末までに完了予定。
研究開発項目②-1(2)「エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性樹脂素材の開発」（理化学研究所/株式会社日本触媒）					
	研究項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
	研究項目A-1「エステルアミドポリマーの合成」	モノマー転化率90%以上およびポリマー収率80%以上かつ10g/B以上のポリマー取得。	モノマー転化率90%以上およびポリマー収率80%以上かつ10g/B以上のポリマー取得を達成した。	○	スケールアップに対応した合成手法に改良を行う。
	研究項目A-2-1「室内および実環境下での生分解性の検証」	汽水および海水を用いた生分解性検証実験を実施し、海洋生分解性があることを実証する。	合成した新規エステルアミドポリマーについて、海水を用いたBOD生分解性試験を実施し、複数のポリマーで海洋生分解性の発現を確認した。	○	化学構造や高次構造と海洋生分解性発現の関係性を評価し、ポリマーの合成にフィードバックする。
	研究項目A-2-2「魚類への生態毒性試験の実施」	魚類への生態毒性試験を実施する。	合成した海洋生分解性エステルアミドポリマーを用いて魚類への生態毒性試験を実施した。	○	適宜、実施する。
	研究項目A-3「物性および機能性の強化」	酸素ガスバリア性500 mL/m ² ・Day・atm (25 μm) 以下を達成し、酸素ガスバリア性100 mL/m ² ・Day・atm (25 μm) 以下を目指す。また、インパクト強度3kJ/m以上を達成し、10 kJ/m以上を目指す。	酸素ガスバリア性500 mL/m ² ・Day・atm (25 μm) 以下を達成した(17-256 mL/m ² ・Day・atm (25 μm))。また、インパクト強度3kJ/m以上を達成した(2.0-11.0 kJ/m)。	○	化学構造や高次構造と各種物性値との関係性について評価を行い、ポリマー合成にフィードバックする。
	研究項目B-1「高分子量化手法の確立」	重量平均分子量10万以上のポリマーを得る高分子量化手法を確立する。	ジャンプアップ手法により高分子量化を実施し、10 g/B以上の条件で、重量平均分子量10万以上のポリマーを取得することに成功した(重量平均分子量15万～100万程度)。	○	海洋生分解性、酸素ガスバリア性およびインパクト強度の全てで目標値の達成を目指す。
	研究項目C-1「エステルアミド樹脂素材の材料特性調査お	食品包装材料に関する調査を完了し、エステルアミド樹脂素材の特徴を活かした有望用	食品包装材料に関する調査を継続しており、2023年3月に目標を達成できる見込みである。また、2023年3月にエス	△ 2023年3月達成見込み	エステルアミド樹脂素材の特徴を踏まえて、様々な角度から調査を行う。

	よび市場調査」	途をポリマー3種類毎に1つ以上提案する。	テルアミド樹脂素材の特徴を活かした有望用途をポリマー3種類毎に1つ以上提案できる見込みである。		
	研究開発項目②-2「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの（実用化）開発」（日清紡ホールディングス株式会社）				
	研究項目	中間目標	成果	達成度	課題と解決方針
	①海洋生分解性化合物の開発（委託）	海水生分解度、疎水化度が目標以上のイオン結合を有する微粒子・粉体を1種以上選定する。	天然および合成高分子由来の開発素材を複数選定した。何れもセルロースと同等の海水生分解性を確認した。	○	分解メカニズムと安全性について解明を継続
	②イオン結合を有する海洋生分解性樹脂素材の開発（委託）	海洋生分解性かつ疎水性のイオン結合を有する微粒子・粉体を添加剤として含む熱可塑性の樹脂複合体1種以上について目標の海水生分解度のシートを得る。	開発素材を添加剤として汎用生分解性樹脂との複合体を調製し、海水生分解性の熱可塑性シートを開発した。	○	実用化開発で実施
	③-1プラスチックビーズ代替素材の実用化開発（助成）	試作設備において目標となる製造コストのプラスチックビーズ代替素材の製造工程を設計する。	製造工程設計を進めており、設備導入に向けた評価試験を実施している。新規化学物質の分解度予備試験を開始した。	○	-
	③-2海洋生分解性付与添加剤の実用化開発（助成）	海洋生分解性付与添加剤1種以上に目途を立てる。既存生分解樹脂との複合樹脂として生分解性、物性目標を達成する海洋生分解性付与添加剤を1種以上開発する。	開発素材の製法検討を行っている。メカニズム解明は生分解の温度依存性を試験している。ターゲット化合物を選定し、残存物評価を実施する予定である。	○	-
	投稿論文	11件			
	特許	5件（うちPCT出願4件）			
	その他の外部発表（プレス発表等）	70件（学会発表・講演58件、新聞・雑誌等への掲載8件、受賞4件）			
4. 実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	<p>1. 研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」 （産業技術総合研究所、製品評価技術基盤機構、静岡県環境衛生科学研究所、東京大学、愛媛大学、株式会社島津テクノリサーチ） ・実用化（標準化）イメージ 日本規格協会事業と一体となって、①簡易実海域フィールド試験（新規提案⇒国際審議）と②加速試験（予備提案⇒国際コンセンサス）に関する評価解析をブラッシュアップし、ISO化プロセスを推進。①については、これまで各国から多数の賛成コメント（反対ゼロ）を得ており、最終の国際審議を経て発行される可能性大（2025年発行予定）。②についても国際審議に進めると推定。また、プラスチック製品メーカーが、本研究開発項目①の成果である規格を活用し、「研究開発の促進」、「開発目標の指標」、「認証制度申請の採択確度向上」に繋がるための活用システムの構築を推進する。</p> <p>2. 研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」 2. 1 研究開発項目②-1(1)「海洋生分解性を有する新規な多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の</p>				

	<p>研究開発（日本電気株式会社）</p> <p>NECグループと、多糖類のエステル化反応を担う化学メーカーとの協業（パラレジンジャパン・コンソーシアム）により、2025年に本材料の量産技術を完成し、パイロットプラントを設置して、ヤマリアの釣具製品適用を皮切りに釣具・漁具製品に適用を広げ、最終的に漁網などを含めた漁業資材や不織布としての利用拡大を目指す。</p> <p>2. 2 研究開発項目②-1(2)「エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性樹脂素材の開発」（理化学研究所/株式会社日本触媒）</p> <p>本事業終了後、2年以内を目処にベンチスケール(50 kg/B)での試作とサンプル提供を開始予定。5年以内を目処にパイロットスケール(5 t/B)での生産開始を目指して検討し、対象製品に向けた必要な性能を実証した後、400 t/年の実生産・販売を開始する計画である。</p> <p>2. 3 研究開発項目②-2「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの（実用化）開発」（日清紡ホールディングス株式会社）</p> <p>プラスチックビーズ代替素材の実用化に向け量産化技術を開発し、2022年度に試作設備の選定と導入を行い、2023年度に量産化工程の確立と各種安全性試験を実施する。また、樹脂添加剤の実用化開発においては、開発材の海洋分解メカニズムを解明し、製品価値を高める一助とする。量産技術は関係会社と協力して進め、本事業終了後、市場動向と照らし合わせながら事業移管を行う予定である。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2020年5月 作成
	変更履歴	—

研究開発項目名（小項目名）「海洋生分解性に係る評価手法の確立」

用語	用語・略号の説明
全体（Ⅲ-2.1.1）	
海洋加速生分解試験法	既存の ISO の海洋生分解評価は、2 年間と非常に時間がかかる場合がある。本プロジェクトで開発する生分解に関する微生物量や種類を増加させることにより、半年程度で評価できる方法を想定。
海洋生分解性プラスチック	海洋環境中に存在する微生物や酵素により、好氣的条件下では二酸化炭素と水まで、嫌氣的条件下ではメタンと二酸化炭素と水まで、分解するプラスチック。分解期間を明示する必要あり。
海洋プラスチックごみ問題	生活圏から流出したプラスチックゴミで海洋環境（砂浜、海面、海底）に分解されずに退席し、海洋生物に悪影響を与えている問題。海水中にプラスチックの微粒子の存在も、環境に悪影響を与える物質の吸着や、添加剤の漏出の問題が危惧されている。
簡易実海域フィールド分解試験	既存の ISO の実海域フィールド試験は、大型で高コスト。日本やアジアの国々で、簡単に多数の試験ができるような実海域フィールド試験を本プロジェクトで開発する。
生分解性プラスチック	環境中に存在する微生物や酵素により、好氣的条件下では二酸化炭素と水まで、嫌氣的条件下ではメタンと二酸化炭素と水まで、分解するプラスチック。全ての環境条件で生分解するわけではなく、環境条件（コンポスト、土壌、活性汚泥、消化汚泥、海水等）、分解期間を明示する必要あり。
生分解度	理論発生二酸化炭素量（あるいは理論生物化学的酸素要求量（BOD））に対する生分解により発生した二酸化炭素量（あるいは BOD）の割合をパーセンテージで示したもの。実験室内で対象とする環境を模擬した反応容器に閉鎖流通系で測定する。
日本バイオプラスチック協会	生分解性プラスチックとバイオマスプラスチック製品の市場導入を促進する業界団体。ISO 規格化におけるバイオプラスチックの国内審議を担当。
日本プラスチック工業連盟	プラスチック産業に係わる業界団体。ISO 規格の TC61 プラスチック専門委員会に係わる国内審議を担当。
バイオマス由来プラスチック	石油ではなくバイオマス原料（糖類等）から、モノマーを合成、重合し作成されたプラスチック
崩壊度	生分解により、分解したサンプルの残存質量から求めた分解率をパーセンテージで示したもの。実環境中での測定で求まる分解率。
研究項目①-1、③-1、④-1（Ⅲ-2.1.2、Ⅲ-2.1.7、Ⅲ-2.1.9）	
CA	セルロースアセテート、熱可塑化したセルロース。

P3HB	ポリ 3-ヒドロキシ酪酸、生合成系ポリエステル、PHB と同じ。
PA4	ポリアミド 4, ナイロン 4。生分解性のナイロン。
PBS	ポリブチレンスクシネート。1,4-ブタンジオール/コハク酸系の合成系ポリエステル。
PBSA	ポリブチレンスクシネートアジペート。二塩基酸側はコハク酸とアジピン酸の化学合成系コポリエステル。
PCL	ポリ ϵ -カプロラクトン。合成系ポリエステル。
PG	ポリグリコール酸。加水分解性の高い合成系ポリエステル。PGA と同じ。
PGA	ポリグリコール酸。加水分解性の高い合成系ポリエステル。PG と同じ。
PHB	ポリ 3-ヒドロキシ酪酸、生合成系ポリエステル、P3HB と同じ。
PHBH	コポリ (3-ヒドロキシ酪酸/3-ヒドロキシ吉草酸)、生合成系ポリエステル。
PLA	ポリ乳酸。加水分解性の高い合成系ポリエステル。
研究項目①-2 (Ⅲ-2.1.3)	
ISO19679	ISO 19679:2020 Plastics — Determination of aerobic biodegradation of non-floating plastic materials in a seawater/sediment interface — Method by analysis of evolved carbon dioxide
栄養塩類	海水に含まれる硝酸態・亜硝酸態窒素およびリン酸態リン
外海	湾や入り江ではなく、陸地の外側に広がる海（ここでは、遠州灘を想定）
菌叢	検体に含まれる微生物の種類や構成比。微生物が存在するサンプルから直接 DNA を抽出し、PCR 増幅後シーケンス解析を行うことで得られる。
シグモイド	S 字形で表される曲線。
生菌	生きて増殖できる菌
総菌	生死にかかわらず観察される菌
内海	湾や入り江など、陸地に囲まれた海（ここでは、浜名湖、三保）
有機炭素含有率	海底砂泥中の全有機炭素（TOC : Total Organic Carbon）含有量を砂泥重量で除したもの
研究項目②-1 (Ⅲ-2.1.4)	
ATR-IR	全反射測定 (Attenuated Total Reflection) - 赤外分光分析 (IR) 法のこと。ATR プリズムの内部を透過した IR 光を試料との界面にて全反射させる。この際に試料側にわずかに赤外光が潜り込むため、全反射光を検出することで試料表面 (数 μm) の赤外スペクトルが得られる。
MALDI	マトリックス支援レーザー脱離イオン化 (Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization) のこと。質量分析におけるイオン化法の 1 つ。ソフトなイオン化法であるため過度なフラグメント化を起こさず分子

	イオンの観測に適している。
MALDI-TOFMS	MALDI により生成したイオンを飛行時間型質量分析計により観測して質量スペクトルを得ることにより、分子構造解析を行う手法
PBSA	ポリブチレンサクシネートアジペートの略称。生分解性プラスチックとして知られ、農業用資材、日用品等に使用されている。
PHBH	ポリ(3-ヒドロキシブチレート-co-3-ヒドロキシヘキサノエート)重合体の略称。バイオマスを原料とし、微生物発酵プロセスにより生産されるポリマーである。
顕微赤外分光	赤外 (IR) 光をサンプルに照射し、分光してスペクトルを得ることにより、IR 吸収の起こる波長帯から分子構造 (官能基) を分析する。この測定を微細領域について行い X 軸及び Y 軸方向に展開することで分子構造に関する 2 次元マップが得られる。
共重合組成	プラスチック (ポリマー) が 2 種類以上のモノマーから合成される場合、ポリマーを構成するモノマー比率のこと。
高次構造	分子サイズよりも大きい空間スケールで形成される構造のこと。分子構造が元素の結合状態を表すのに対し、高次構造は分子の集合体の状態を表す。例えば、結晶構造や相分離構造などがこの範疇に入る
二次元相関解析	2つのスペクトルを X 軸、Y 軸の 2 つの軸に沿って展開し、スペクトル上の各波数におけるピークにどのような相関があるか調べるインフォマティクス技術。
マルチスケール構造解析	複数の分析手法を組み合わせ、原子・分子レベルのマイクロ構造から材料レベルのマクロ構造の構造を解析し、データを統合して解析することで、化学構造の全体像を解明する手法。
研究項目②-2 (Ⅲ-2.1.5)	
BOD 生分解度	BOD とは生物化学的酸素要求量のことを意味し、BOD 値から生分解度を算出することができる。
大型放射光施設 (SPring-8)	Super Photon ring-8 GeV (Spring-8) は、兵庫県佐用郡佐用町光都に位置する大型放射光施設。電子を加速・貯蔵するための加速器群と発生した放射光を利用するための実験施設および各種付属施設
官能基	多糖類の水酸基を置換し新たな性質を付与できるもの。エステル基やエーテル基などが該当する。
結晶化度	プラスチック中の結晶の占める割合
結晶構造	高分子鎖が規則正しく 3 次元的に並んだ構造
結晶配向度	結晶がプラスチック中でどれくらい規則正しく並んでいるかの度合い
球菌	個々の細胞の形状が球形を示す原核生物 (真正細菌および古細菌) のこと
高次構造	結晶がプラスチック中に 3 次元的に分布している構造。球晶構造やシカバブ構造などがある。

分子鎖構造	高分子の立体構造をいう。非晶領域のランダムコイル構造、結晶領域のらせん構造と平面ジグザグ構造の3種類がある。
高分子多糖類	セルロース、デンプン、グルコマンナンなど、グルコースなどの単糖が長くつながったもの
桿菌	個々の細胞の形状が細長い棒状または円筒状を示す細菌のこと
置換度	グルコース当たり3つ存在する水酸基をエステル基やエーテル基などで置換した割合。全て置換すると置換度=3
バイオフィーム	プラスチックの表面に付着した微生物が形成する生物膜
放射光	円形加速器によって生み出される非常に強い光のこと。光と呼ぶが、実際は強力なX線である。
マイクロビーズ	直径10~100ミクロン程度の球体
誘導体	高分子多糖類を構成するグルコースなどに存在する水酸基をエステル基やエーテル基などで置換したもの
熔融紡糸	プラスチックを融点以上で熔融し、小さな穴から押し出すことにより得られる繊維
研究項目②-3 (Ⅲ-2.1.6)	
MP	「マイクロプラスチック」の略。5mm以下のプラスチックの総称。
PAHs	多環芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) の略。炭素と水素からなる2つ以上の縮合ベンゼン環を含む有機化合物の総称。
オリゴマー	重合体のうち、比較的重合度の低いもの。
環数	縮合ベンゼン環の数。
重合度	ポリマー (モノマーの重合によって生成する高分子化合物) を構成するモノマーの数。
収着	吸着および吸収の総称。物質表面への吸着と、物質内部への吸収が明確に区別できない場合に用いられる。
脱着	吸着していた物質が吸着面から離れること。
定性	試料中に何の物質が含まれるかを調べること。
定量	試料中に含まれる特定の物質の量を調べること。
バイオフィーム	微生物が固相表面に形成した集合体。本事業では、主に生分解試験において海洋生分解性プラスチック表面に形成されたゲル状の系を指す。
バイオフィーム間隙水	生分解過程で形成されたバイオフィームの系内に包含される水。
バージン材	生分解や物理的な刺激を受けて変化していない材料。
分解中間生成物	生分解性プラスチックの生分解過程で生成する化合物。
分解途上材	分解途中にある材料。
ベクター効果	他媒体へ化学物質が移行する時のキャリアーとしての効果。
モノマー	ポリマーを構成する構成単位。単量体。
研究項目③-2 (Ⅲ-2.1.8)	

ASV	Amplicon sequence variant の略。16S rRNA 遺伝子を PCR 増幅し、シーケンス後に得られた配列を同一配列ごとにまとめた解析操作上の分類単位。
微生物量の測定方法	染色細胞数を計数する方法や、寒天培地上での一定期間培養後のコロニー数を計数する方法、微生物が共通に有する特定遺伝子を定量 PCR により測定する方法等いくつかの異なる原理に基づく方法がある。またそれぞれの方法にバリエーションがある。一方、細胞計数時の細胞塊や非特異的染色の問題、コロニー形成しない微生物の存在や、寒天培地の生育適応性、あるいは総菌計数か死菌を含む計数か等、目的に応じて適切な選択が必要である。
メタ 16SrRNA 解析	培養に依らずに環境試料に存在する微生物種とその存在割合（菌叢）を知るため、試料から抽出した 16S rRNA 遺伝子の一部分を PCR 増幅し、網羅的にシーケンス解析を行う手法。数百 bp の領域の情報のみを対象とするため微生物種の同定精度は低いが、一度に多数の試料の菌叢情報を得ることができる。
研究項目④-2（Ⅲ-2.1.10）	
16S rRNA	リボソームは生体内で遺伝情報からタンパク質を合成するすべての生物に存在する翻訳装置で、16S rRNA はそれを形成する分子のひとつ。微生物種によってこれをコードしている DNA 配列が異なるため、微生物の系統関係を解析するための分子マーカーとして利用されている。
培養バイアスの問題	微生物を分離、純化する方法には、培養による細胞増殖を経る手法と経ない手法がある。前者の場合、多様な微生物種のすべてが或培養条件に適応することはないため、用いた培養条件に適した微生物のみが優先的に成育することとなり、分離作業に偏りが生じてしまう。この問題を避けるため、まず試料に含まれる微生物を原理的に 1 細胞ごとに分けた上で、その試料の環境に近い条件で培養する手法が用いられる。
研究項目④-3（Ⅲ-2.1.11）	
しんかい 6500	しんかい 6500 は、国立研究開発法人海洋研究開発機構が所有する大深度有人潜水調査船のこと。しんかい 6500 は、その名称が示す通り、6,500m までの大深度の潜水可能。
ファイパードルフィン（無人探査機）	国立研究開発法人海洋研究開発機構が保有・運用する有索式・遠隔操作式の無人潜水機（ROV）
研究項目⑤（Ⅲ-2.1.12）	
GLP	優良試験所基準（Good Laboratory Practice）。 GLP 基準の適合確認を受けた試験施設において生態毒性試験が実施されている。

Ring Test (リングテスト)	試験法の有用性や妥当性等を検証する目的で、同一試験を同一条件で複数の機関により実施するテスト
ISO5430	ISO/DIS 5430 Plastics — Marine ecotoxicity testing scheme for soluble decomposition intermediates from biodegradable plastic materials in products intentionally used in the marine environment
安定性試験	緩衝液(pH4 および 9)中で 1,000mg/L の濃度で、室内光下、40℃、2週間かく拌曝露させ、サンプルの重量、分子量、IR および、ろ液のDOC (溶存有機炭素) を測定する試験
高分子フロースキーム	高分子化合物の安全性評価のための試験方法。分子量分布測定、安定性試験及び溶解性試験の3つで構成される。
低懸念ポリマー (化審法)	物理化学的安定性や特定の官能基を含まない等、一定の要件を満たす高分子化合物のこと
難分解性物質	BOD による分解度が 60%未満であるか、または HPLC、GC 等の直接分析法により分解生成物が生成していることが確認された物質。
良分解性物質	BOD による分解度が 60%以上であり、あわせて HPLC、GC 等の直接分析法により分解生成物が生成していないことが確認された物質。
研究項目⑥ (Ⅲ-2.1.13)	
産総研-水系暴露解析モデル AIST-SHANEL	産総研が開発した河川流域の化学物質濃度を推定するモデル。
東京湾リスク評価モデル AIST-RAMTB	産総研が開発した東京湾の化学物質濃度を推定するモデル。
暴露解析	環境中の物質の暴露量や暴露濃度を解析すること。
有機懸濁物質	水中に懸濁している不溶解性物質 (懸濁物質) のうち、植物プランクトン等に由来するもの。
懸濁態有機炭素(POC)	土壌粒子等に吸着された懸濁態の有機物に含まれる炭素。POC は Particulate Organic Carbon の略。

研究開発項目名 (小項目名)

「海洋生分解性を有する新規な多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の研究開発」

用語	用語・略号の説明
エステル	水酸基とカルボキシル基が脱水縮合して形成される化学結合。本研究では多糖類の水酸基と長鎖/短鎖成分のカルボキシル基の結合を指す。
外部可塑剤	プラスチックの成形加工性を上げるために、ポリマーに添加する可塑剤のこと。
ガラス転移点	プラスチックの非晶領域中の分子鎖がミクロブラン運動を始める温度。非晶性プラスチックにおいては、この温度以上で熱成形が可能と

	なる。
ステアレート	ステアリン酸（炭素数 18）のエステル化物。
セルロース	D グルコースが β 1,4 結合で連なった非可食性の多糖類。木材や草本など、地上に最も大量に存在する。
多糖類	グルコースなどの単糖類がグリコシド結合で長く連なった炭水化物。現在のバイオマスプラスチックの原料の約 70%を占める重要な原料化合物。 デンプンなど可食性（人や家畜が容易に消化可能）の「貯蔵多糖」と、セルロースなど非可食性（人や家畜が容易に消化できない）の「構造多糖」に大別される。
多糖類エステル誘導体	セルロースやパラミロンなどの多糖類の構成単位であるグルコースには 3 つの水酸基がある。この水酸基をエステル基で置換したものをいう。置換するエステル基の種類や導入量（置換度）により、機械物性、熱物性、海洋分解性を制御することができる。
短鎖	炭素数が 2（酢酸）もしくは 3（プロピオン酸）の短いカルボン酸。
置換度(DS)	多糖類エステル誘導体において、多糖類の繰り返し単位である単糖（本研究開発ではグルコース）が有する 3 つの水酸基のうちいくつがエステル化されているかを示す数字。最大で置換度 = 3 となる。
長鎖	炭素数が 6（ヘキサ酸）や 12（ラウリン酸）、18（ステアリン酸）など、比較的多いカルボン酸。多糖類の内部可塑剂的役割を担うため、外部可塑剤の添加が不要となる。
パラミロン	D グルコースが β 1,3 結合で連なった非可食性の多糖類。微細藻類ユーグレナが体内に蓄積する。
パラレジソジャパン・コンソーシアム	セルロース、パラミロンという非可食性かつ大量入手可能な多糖類をベースとするバイオ素材の社会実装を目指す共同研究企業体。幹事企業としてセイコーエプソン、ユーグレナ、NEC の 3 社からなり、30 数社の参画企業で構成される。
プロピオネート	プロピオン酸（炭素数 3）のエステル化物。
溶剤処理性	エギ製品の組み立てに際し、表裏 2 つのパーツを一体化させるために施される処理。2 つのパーツを組み合わせた後、有機溶剤中に 10 秒程度浸漬して引き上げることで、2 つのパーツの表面が溶着する。素材の溶剤への適度な溶解性が求められる。

研究開発項目名（小項目名）

「エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性樹脂素材の開発」

用語	用語・略号の説明
BOD 生分解度	微生物による分解で消費される酸素の量と、完全に分解されるために必要な酸素の量の比から算出した生分解度。
PBSA	Poly(butylene succinate-co-adipate) (ポリブチレンサクシネートアジペート)の略。コハク酸(SA)とアジピン酸(AdA)、1,4-ブタンジオールから合成されるポリエステル。
PES	Polyethylene succinate(ポリエチレンサクシネート)の略。コハク酸(SA)とエチレングリコール(EG)から合成されるポリエステル。
インパクト強度	ここではフィルムの振子衝撃あな開け強さ。フィルムインパクトテスターと呼ばれる試験機に試験片を取り付けて振子を振り下ろし、振子の先端に取り付けられた半球状の衝撃球が、衝撃によって試験片にあなを開けるのに必要な仕事量を読み取る。インパクト強度は、その仕事量をフィルムの厚みで除した値。
エステルアミドポリマー	エステル部位とアミド部位を併せ持つポリマー。
海洋生分解性	海水環境中で、微生物の作用によって分解する性質。
ガスバリア性	酸素や窒素、水蒸気等のガスの侵入を遮断する性能。透過抑止性能のこと。
酸素透過率	1気圧条件下で、フィルム1m ² あたり1日に通過する酸素の量。値が大きいほど酸素が通過しやすく、小さいほど通過しにくい。
重量平均分子量	ポリマーなどの高分子の分子量を表す方法の一つ。実際にはポリマー中の体積を占める割合は高分子量体のほうが大きいため、高分子量体の寄与を反映させて算出した分子量。
生態毒性試験	化学物質の生態系への影響を評価する試験。
生分解性	自然環境中で微生物の作用によって分解する性質。
ブロックポリマー	モノマーAのみから成るポリマーとモノマーBのみから成るポリマーが結合し、組成が異なるユニットが連結、あるいは繰り返した構造を有するポリマー。
ポリマー	化学構造が繰り返しの構造単位を有する分子量の大きい分子。
ランダムポリマー	モノマーを一括で混合して合成され、各ユニットが無秩序に配列した構造を有するポリマー。

研究開発項目名（小項目名）「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの開発」

用語	用語・略号の説明
AMES 試験	遺伝子突然変異誘発性の有無を特定菌株の増加で判定する試験。
BOD	生物化学的酸素要求量。生分解性の指標。
C input	試験に投入された炭素量。
C output	試験において排出された炭素量。
Co	元素記号：コバルト。
ISO 16128	自然及びオーガニック成分の定義に関する国際標準化機構（ISO）のガイドライン。
N-アシルアミノ酸	アミノ酸と脂肪酸からなる化合物であって、アミノ酸のアミノ基と脂肪酸のカルボキシル基が結合しているもの。
ONE WAY 製品	使い捨て。一度だけ使用して廃棄するもの。
PBAT	ポリエステル的一种。ブタンジオールとアジピン酸およびテレフタル酸が重合したポリマー化合物。
PBS	ポリエステル的一种。ブタンジオールとコハク酸が重合したポリマー化合物。
PBSA	ポリエステル的一种。ブタンジオールとコハク酸およびアジピン酸が重合したポリマー化合物。
PHA	ポリヒドロキシアルカン酸。一般的には微生物が産生したポリヒドロキシアルカン酸を指す。
PLA	ポリ乳酸。乳酸を繰り返し単位に有するポリマー化合物。
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation, Restriction and Chemicals の略、欧州の化学物質管理における法規制。
SEM	走査電子顕微鏡。
TUV : MARINE	TUV AUSTRIA が実施している生分解性プラスチック認証。海水中で生分解が可能であり、その物質が海洋生物を含めた環境に安全である事を認証する。
アウトカム	outcome : 成果、結果、出口（研究開発）
アトピー素因	アトピー性皮膚炎の既往歴を有する被験者を選択し、24時間閉塞貼布した後、除去2時間後及び24時間後に皮膚の反応有無を判定する試験。
アニオン	負の電荷をもった化学種、陰イオン、負イオン。
アミノ酸	1分子中にカルボキシル基とアミノ基を有する化合物。
アルギン酸	天然の多糖類の一種。昆布等の褐藻類に含まれる。
α -L-グルロン酸	アルギン酸分子を形成する単糖の1つ。
イオン結合	陽イオンおよび陰イオン間の静電引力によって形成される化学結合。
一次マイクロプラスチック	製品や製品原料として製造されたマイクロプラスチック。

エステル	カルボン酸とアルコールとが脱水して結合した化学種、または結合。
塩交換	化合物とイオン結合しているイオンが別のイオンに置き換わること。
カーボンニュートラル	温室効果ガス（二酸化炭素やメタンガス等）の排出量と吸収量・除去量をゼロ（均衡）にさせること。
海水生分解	生分解の中で特に海洋中での生分解。
海洋生分解性付与添加剤	本開発においては、イオン結合を有するポリマー化合物からなる添加剤で、添加した樹脂の海洋生分解性を促進するもの。
灰分	石炭、木炭などが完全燃焼したあとに残る、不燃性の鉱物質。灰
加水分解	化合物に水が反応し、結果として分解生成物が得られる反応。
カチオン	正の電荷をもった化学種、陽イオン、正イオン。
カルボキシレート	カルボキシ基(COOH)から水素イオン H ⁺ が抜けて COO ⁻ となったアニオン性の置換基。
揮発物質	燃焼中にガスあるいは蒸気で失われる水以外の物質。
金属イオン	金属の原子から生じるイオン。
酵素分解	酵素が触媒として働き化合物を分解する反応。
コンポスト	堆肥または堆肥化させる容器。
脂肪酸	長鎖炭化水素基を有するカルボン酸化合物。
生分解	菌類等の微生物によって化合物が無機物に分解されること。
静的光散乱法	分子によって散乱する光の強度と、その分子の分子量およびサイズとの関係に基づき、主に溶液中の分子量とサイズを特定するために使用される技術。
接触角	固体平面上に液滴を接触させた際に、固体平面と液滴がなす角。大きいほど疎水性が強い。
絶対生分解度	生分解度の数値。もとの物質の分解された割合を絶対値で表したものの。
絶対分子量	静的光散乱法等によって測定された分子量。
相対分子量	分子量既知の基準となるポリマー化合物との比較によって定義した分子量。
相対生分解度	生分解度の数値。もとの物質の分解された割合を基準物質の生分解度に対する相対値で表したものの。
疎水性	水に対する親和性の低さ。
疎水化剤	対象となる素材を水と馴染まないようにする物資。
対照材料	事物を照らし合わせて比べるための基準となる材料。
ダンベル	引張試験等各種物性試験に用いられる試験片。
トリガー	物事の起こるひきがねやきっかけ。
二軸混練押出機	2本のスクリーによりプラスチック原料や添加剤を連続的に混合し押出す装置。
熱可塑性	加熱すると軟化し、冷却すると再び固くなる性質のこと。
バイオマス	再生可能な、生物由来の有機性資源。

バイオフィルム	微生物が固相表面に形成した集合体。
パッチテスト	24 時間閉塞貼布した後、除去 2 時間後及び 24 時間後に皮膚の反応有無を判定する試験。
引張強度	材料の引張力に対する最大の強度。
引張強さ（最大応力）	試験片が引張荷重によって破断するまでの最大応力。
皮膚刺激性試験	皮膚一次刺激性を動物実験代替法である OECD テストガイドラインの <i>in vitro</i> 皮膚一次刺激性試験法（TG439）。
複合樹脂	本開発においては、イオン結合を有するポリマー化合物と生分解性のベース樹脂とを混ぜ合わせて作成した樹脂組成物。
プラスチックビーズ	粒子上のプラスチック。5mm 以下の物を特にマイクロプラスチックビーズという。
プレポリマー	高分子量体になる前段階の中程度の分子量を持った化合物。
β -D-マンヌロン酸	アルギン酸分子を形成する単糖の 1 つ。
崩壊性	本開発においては、生分解性樹脂が劣化し断片化することで重量が減少する性質。
ポットライフ	本開発においては生分解が始まるまでの時間。
ポリエステル	エステル結合を繰り返し単位にもつポリマー化合物。
ポリカプロラクトン	カプロラクトンをモノマーとして合成されたポリマー化合物。
ポリプロピレングリコール	プロピレングリコールが繰り返し単位であるポリマー化合物。
本質的生分解性	物質に生分解する可能性があること。
マイクロプラスチック	直径 5 ミリメートル以下の小さなプラスチック。
マイクロスコープ	パソコン、テレビ等の画面上に拡大画像を表示する高画質カメラを備えた装置。
マスターペレット	プラスチックに着色剤や機能性を付与する添加剤などを高濃度・高分散させたペレット形状の製品。
眼刺激性試験	眼粘膜刺激性を動物実験代替法である OECD テストガイドラインの <i>in vitro</i> 眼粘膜刺激性試験法（TG492）。

I. 事業の位置付け・必要性について

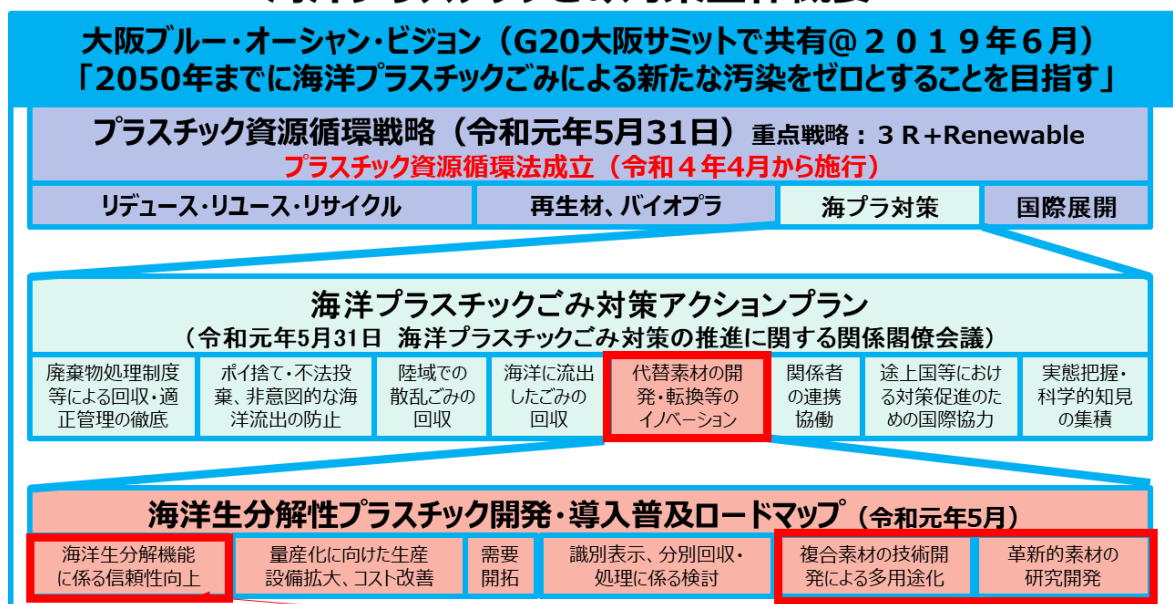
1. 事業の背景・目的・位置付け

1.1 事業の背景

プラスチックは、軽量かつ丈夫であり加工性に優れるといった特性を持ち、日常生活の利便性等をもたらす素材としてこれまで幅広く活用されてきている。その一方で、新興国の経済発展と世界的な生産量の増加に伴い、近年、プラスチックごみによる海洋汚染が問題視されるようになってきた。2015年には世界で約800万トン以上のプラスチックが陸域から海域に流出しているとの研究成果¹⁾が、2016年にはエレンマッカーサー財団の「New Plastic Economy」において、2050年に海洋中のプラスチック量が魚の量以上に増加するとの試算が相次いで発表された。

地球規模の海洋プラスチックごみ問題に対する世界的な関心の高まりを背景に、2018年6月にカナダで開催されたG7シャルルボワ・サミットではカナダ・フランス・ドイツ等が「海洋プラスチック憲章2」を承認する等、各国の取組が活発になってきている。2019年3月の国連環境総会では「海洋プラスチックごみ及びマイクロプラスチック」に関する決議等が採択され、海洋プラスチックごみ及びマイクロプラスチックに対処するための科学的・技術的知見の集積、ワンウェイ（シングルユース）のプラスチックの排出削減や産学官連携による代替素材の開発に向けたイノベーションの促進強化等、国際的な取組が求められることとなってきている。

海洋プラスチックごみ対策全体概要



本事業で取り組む領域

図 I-1 海洋プラスチックごみ対策での本事業の背景と位置付け

こうした中で我が国では2018年6月に「第4次循環型社会形成推進基本計画」が閣議決定されており、プラスチックの資源循環を総合的に推進するための戦略（「プラスチック資源循環戦略」）を策定し、これに基づく施策を進めていく事が示されている。また日本政府は、2019年1月の世界経済フォーラム年次総会（ダボス会議）のス

ピーチ及び第198回通常国会の施政方針演説において、世界の国と共に、海洋プラスチック対策に取り組んでいくことを表明しており、G20大阪サミットに向けて、我が国としての具体的な取り組みが「海洋プラスチックごみ対策アクションプラン」として取りまとめられた。その中で、代替素材の開発・転換等のイノベーションとして「海洋生分解性プラスチックの開発・導入普及ロードマップ」に基づき、官民連携により、海洋プラスチックごみ対策のためのイノベーションを推進することが示されている(図 I-1)。

2019年6月に開催されたG20大阪サミットでは、日本政府は、海洋へのプラスチックごみ及びマイクロプラスチックの流出の抑制及び削減のために適切な国内的行動を速やかに取る決意を表明し、共通の世界のビジョンとして、2050年までに海洋プラスチックごみによる追加的な汚染をゼロにまで削減することを目指す「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」が共有され、「G20海洋プラスチックごみ対策実施枠組」の中で「革新的な解決策(イノベーションの展開)」等の自主的な取り組みの実施が求められている。

【参考文献】

- 1) J. R. Jambeck et al., Science, Vol. 347, No. 6223, pp768-771 (2015)

1.2 事業の目的及び意義

本プロジェクトの第一の目的は、全世界的な課題となっている海洋プラスチックごみ問題に対し、海洋生分解性プラスチックの市場導入を促進する為、海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法の開発、すなわち「海洋生分解性に係る評価手法の確立」である。

海洋生分解性プラスチックの普及を検討する際には生分解性という性質や安全性を理解し、適切な用途を確立した上で、生分解する条件を製品に表示する仕組みを整備する等、普及方策を検討する必要がある。とりわけ海洋生分解メカニズムについては未解明な点もあり、知的基盤も構築途上であることから、市場の信頼性向上を図る技術評価の確立が急務である。コンポスト、土壌、河川、海洋、あるいは好気や嫌気といった環境下における生分解の条件を識別表示して適切な処理方法を認識してもらうこと、そして生分解の過程において、分解による中間生成物も含めて安全性評価を行い、科学的根拠に基づき環境への悪影響がないことを示すことが重要である。そのためには、生分解性の基準を定めるとともに、安全性評価のための試験方法を確立することが不可欠である。日本での廃棄物処理は熱回収を含む焼却による有効利用が主流であり、コンポスト化のインフラが十分に整備されていない我が国において海洋生分解性プラスチックを普及させるためには、まずは、世界的に取組が急がれているワンウェイのプラスチックをはじめとして、生分解性という性質が適する用途には優先して導入を図ることが必要である。さらに、国内市場以上に、海外も有望な市場開拓先であり、とりわけ環境意識の高いEUは既に生分解性プラスチックの環境価値を評価し、販売価格に反映できる市場環境にある。また、アジア地域等の新興国は、廃棄物の回収・処理のインフラが完全に整備されておらず多くの海洋プラスチックごみを排出しているため、海洋生分解性プラスチック等の製品及び技術を導入することによ

り海洋プラスチックごみ問題の解決に大きく寄与することが考えられる。

本プロジェクトの第二の目的は、「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」である。バイオマス製造プロセスで得られる原料を用い、海洋生分解メカニズムに裏付けされた新規海洋生分解性プラスチック材料を開発する。プラスチック製品は単体の樹脂で製造されることもあるが、複数の種類の樹脂をブレンドしたり、複層化したりすることで必要な機能を満たしていることが多い。海洋生分解性を有する樹脂の種類を増やすことで、様々な機能を発揮させることができれば、海洋生分解性プラスチックの適用範囲が拡張され、普及を促すことができる。また、プラスチック製品は樹脂以外の有機物として添加剤、表面処理剤、顔料・塗装、接着剤等を使用しており、樹脂以外のプラスチック製品の製造に関わる多くの原料についても海洋生分解性に留意した設計が必要である。本プロジェクトでは、更に地球温暖化対策や資源循環の観点から、バイオマス由来の原料から効率的な新素材開発を実践する。

以上のように、海洋生分解メカニズムに裏付けされた新技術・新材料を開発し、物性、機能性を向上した新素材によるさらなる製品適用拡大により普及拡大を加速させる。将来的には、世界に先駆け、新たな海洋プラスチックごみ発生ゼロの一助となる事を目指す（図 I -2）。



図 I -2 海洋生分解性プラスチックの市場導入促進を目指した研究開発

1.3 事業の位置付け

1.3.1 政策的位置付け

2019年5月31日の海洋プラスチックごみ対策の推進に関する関係閣僚会議において、海洋プラスチックごみ対策アクションプランが纏められている。その中で、新たな汚染を生み出さない世界の実現を目指した我が国としてのアクションとして、「海洋生分解性プラスチックやセルロース素材など、海洋に流出しても影響の少ない素材の開発を促進し、海洋に流出しやすい用途を中心に使用を促進していくなど、官民連携により、海洋プラスチックごみ対策のためのイノベーションを推進する。」と掲げられており、その一つとして、海洋生分解性プラスチックの開発・普及促進に向けて、

・「海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップ」に基づき、産業界やNEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）等との官民連携により、海水中での生分解メカニズムの解析、生分解性機能の高度化と新たな樹脂開発、安定的な量産化に向けた製造コスト削減、国際規格整備等の課題解決に取り組む（経済産業省）ことが明記されている。

図 I -3に経済産業省が公開している海洋生分解性プラスチックの開発・導入普及ロードマップを示す。本事業で取り組むのは、分解メカニズムの基づいた信頼性のある評価手法の開発、及び新規素材開発である。特に2024年時点で実用化、すなわち社会実装の見通しが立つように事業を進める。一方、スイッチング機能など革新的で開発に時間を要するものは、ムーンショット事業の中で進めていく計画である。

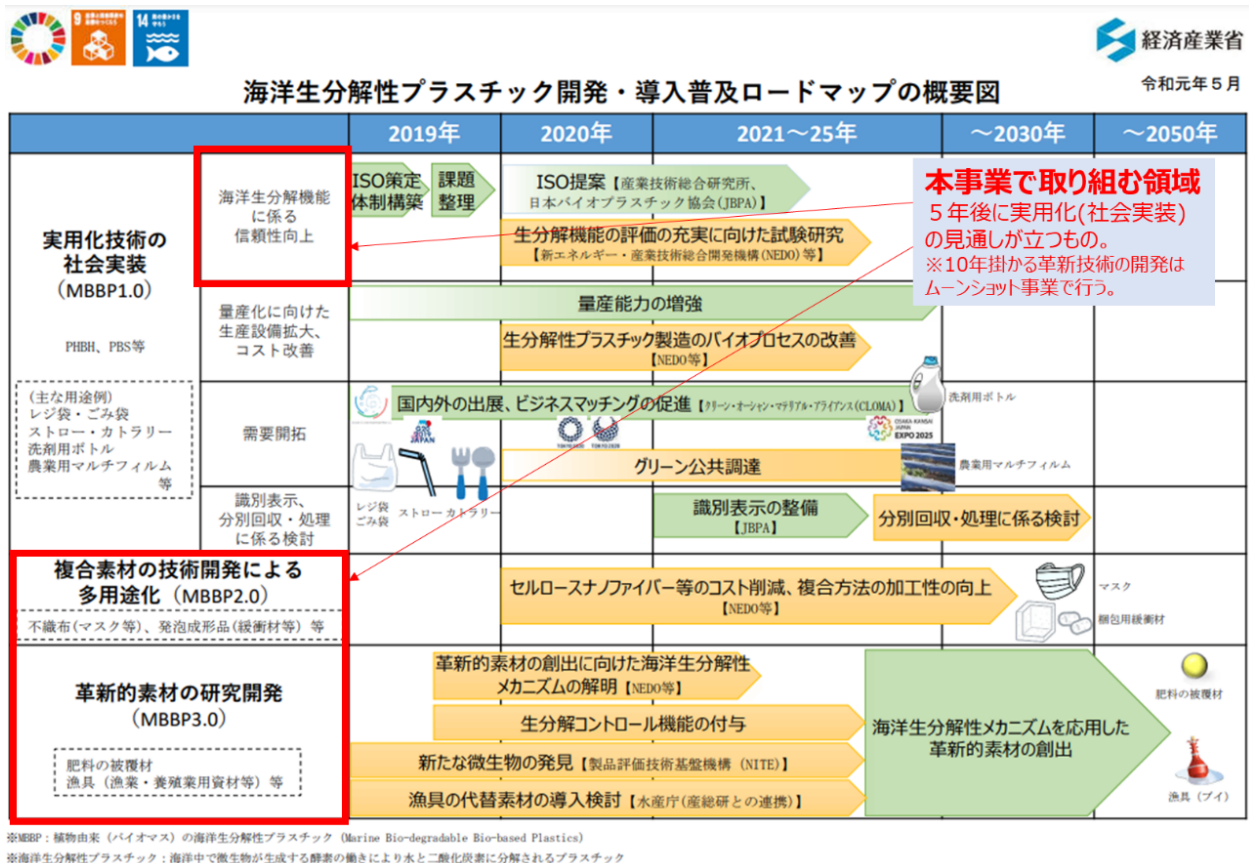


図 I -3 海洋生分解性プラスチック開発・普及ロードマップに対する本事業の位置づけと本事業で取り組む領域

(<https://www.meti.go.jp/press/2019/05/20190507002/20190507002.html>を加工して作成)

本プロジェクトはプラスチック有効利用高度化事業の中で行う。この事業は、回収された廃プラスチックの高度なりサイクルを促進する基盤技術の構築を通して、プラスチックの資源効率や資源価値を高める(1)のプロジェクトと共に、海洋分解性プラスチックの市場拡大のため、海洋分解性プラスチック導入・普及を促進する技術基盤構築を(2)として進めるものである(図 I -4)。

プラスチック有効利用高度化事業

令和4年度予算額 11.9億円（12.0億円）

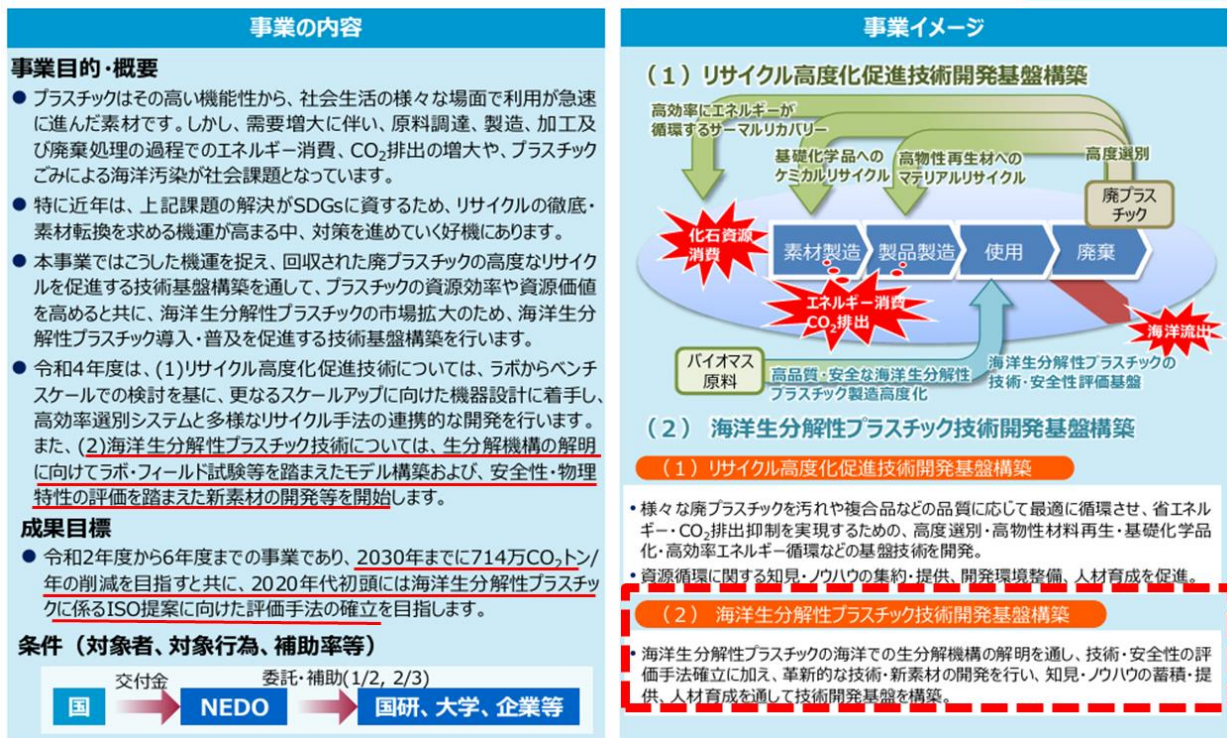


図 I -4 政府予算と本事業の関係

(www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2022/pr/en/sangi_taka_26.pdf - 2022-03-22の資料を加工して作成)

1.3.2 国内外の研究開発動向

現在、国内プラスチック生産量（年間1千万トン程度）のうち、国内で流通している生分解性プラスチックは2,300トン程度と国内市場に占める割合は小さく、しかも陸域の土壌又はコンポストでの分解を前提とした生分解性プラスチックが主流であり、海洋生分解性を有するプラスチックはわずかな種類しか存在しない。

NEDOの研究開発としては1996年度～1999年度、「独創的産業技術研究開発促進事業／生物資源リグノセルロース及びデンプンからの新規な生分解性材料の創製」等において生分解性プラスチックについての研究開発が行われていた。また、2002年度～2006年度に「生物機能活用型循環産業システム創造プログラム／生分解・処理メカニズムの解析と制御技術開発」が行われている。2015年度～2019年度ではJST-ALCAの「ホワイトバイオマステクノロジー／糖質バイオマスからグリコール酸ポリマーを合成する微生物プロセスの開発」において、微生物に人工的なポリマー合成システムを構築し生分解性に優れたプラスチック合成技術の研究開発が行われている。

世界各国では、海洋プラスチックごみ対策への自主的な取組が活発化している。2019年1月には、化学メーカーをはじめ約30のグローバル企業を中心にした国際アライアンス「Alliance to End Plastics Waste」（AEPW）が設立され、今後5年間で合計15億ドルを投じて海洋プラスチックごみの抑制・管理・使用後のソリューションを

推進する事業を展開する予定とされており、主として海洋プラスチックゴミの抑制管理を主眼としたものである。

研究開発の取組としては、欧州においてBBi（Bio-Based Industries Joint Undertaking：EUとバイオベース産業コンソーシアムの官民パートナーシップ）の「NEWPACK/ Development of new Competitive and Sustainable Bio-Based Plastics」等で生分解性プラスチックの研究開発が行われている。

このほかにも、国内において生分解性プラスチックへの取り組みは行われているが、海洋生分解性に着目した取り組みは十分行われているとは言えず、世界的課題となっている海洋プラスチックごみ問題に対応する研究開発が求められている。

2. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

2.1 NEDOが関与することの意義

海洋プラスチックゴミ問題は世界的な課題であり、本事業で研究開発を行って、イノベーションによる解決方法を示すことは、社会課題解決に大きく貢献でき、極めて公益性が高い。海洋生分解性を示す素材は幾つか開発されているが、成形性等の製造・生産技術課題が大きく、実用化に結びついていない。実用化意欲のある企業に対して委託事業で新素材開発や素材改良を進めるとともに、補助事業で生産プロセスの改良等を進め実用化に結び付けることで、市場展開を加速させるインセンティブとなる。海洋環境下で適切な生分解を評価する手法は未だ途上で、その機能解明も十分ではない。市場の信頼性を高めるためには、共通した評価方法の標準化が必要であるが、技術的ハードルも高いことから、国主導で民間企業・大学・国研等が有する優れた技術・知見・ノウハウを集約して産学官が一体となって開発を加速させることが必要である。

本プロジェクトでは、海洋生分解性プラスチックの市場導入を促進する為、海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法の開発を行い、国際標準化提案を行う。また、海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材開発を行い、物性、機能性を向上した新素材による、さらなる製品適用拡大により普及拡大を加速させることを目標としている。海洋生分解メカニズムに基づく評価手法の研究開発や新材料の設計や合成など基礎的な研究から、普及のトリガーとなるべくバイオ由来の原料を用いた素材の量産技術の開発が必要であり、これらを民間企業等が単独で実現することは難しく、国主導で民間企業・大学・国研等が有する優れた技術・知見・ノウハウを集約して産学官が一体となって開発を加速させることが必要であり、NEDOが積極的に関与すべきといえる。

2.2 実施の効果（費用対効果）

本プロジェクトは事業期間5年間、事業規模約17億円の計画で進められている。研究開発項目①は2020年度から5年間、研究開発項目②-1は2021年度から4年間、研究開発項目②-2は2020年度から4年間（委託2年、助成2年）で標準化や実用化・事業化を目指している。

(1) 事業費用の総額

17.3億円（2020年～2024年）

※2020～2021年度は執行額、2022年度は契約額、2023、2024年度は契約見込み額より総額を算出

(2)2030年での市場創出効果

国際標準化に向けたISO策定に繋げ、国際的な市場拡大の足場とする。

2030年には新たな海洋生分解性プラスチック、国内市場*20万t／年の普及を目指す。（CO₂削減量**として56万t-CO₂/年）

*レジ袋・ゴミ袋、漁具・農業フィルムは2017年の20万トンが置き換えになると想定。

**カーボンニュートラル素材になると仮定し、汎用プラ焼却時のCO₂が削減できるとして算出。

（炭素排出係数2.77t-CO₂：温室ガス総排出量算出方法ガイドラインVer.1.0、H29/3環境省政策局環境計画課より）

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

【アウトプット目標】

本プロジェクトにて、海洋生分解性メカニズムに裏付けされた海洋生分解性の評価手法を開発し海洋生分解性プラスチックの信頼性を高めると共に、国際標準化提案1件以上に繋げる。

さらに、海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発を行い新市場の創出を図る。

【アウトカム目標】

国際標準化に向けた ISO 策定に繋げ、国際的な市場拡大の足場とする。

2030年には新たな海洋生分解性プラスチック、国内市場 20 万 t / 年の普及を目指す。(CO₂削減量として 56 万 t -CO₂/年)

【アウトカム目標達成に向けての取組】

NEDOは、プラスチック業界の主要企業をメンバーとする標準化戦略を検討する組織体に研究開発成果を提供するとともに、標準化の方向性について議論を深め、海洋生分解性プラスチックの海洋生分解性に関する評価手法の国際標準獲得に向けた戦略及び活動計画の策定を支援しプロジェクト成果の普及促進を行う。また、海洋生分解性プラスチックを広く社会に普及させるため、学会発表、論文発表、展示会、シンポジウム等を通じた成果発信を積極的に行う。

上記目標を達成するため、本プロジェクトでは研究開発計画に基づき以下二つの研究開発を実施する。

研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」

研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

②-1「新規化学構造を有する樹脂・新規バイオ製造プロセス開発等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

②-2「複合化技術等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

研究開発項目①については、産学官で協力して取り組むべき基盤技術であり、委託事業として実施する。

研究開発項目②については、研究開発内容に応じて、委託事業として取り組むもの（研究開発項目②-1）と委託事業と助成事業のフェーズを設けるもの（研究開発項目②-2）を設定する。

研究開発項目②-1については、研究開発要素が多く、時間を要するハイリスクな基盤技術に関するものであり、委託事業として実施する。研究開発項目②-2については、委託事業と助成事業のフェーズを設け、フェーズ移行はステージゲートにより行い、事業化に向けた課題は、企業の積極的な関与により推進されるべき研究課題として助成事業（NEDO負担率：大企業 1 / 2、中堅・中小・ベンチャー企業 2 / 3）として実施する。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容及び全体スケジュールと予算

本プロジェクトでは研究開発項目①として海洋生分解性プラスチックの市場導入を促進する為、海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法の開発を行い、海洋生分解性プラスチックの信頼性を高めると共に、国際標準化提案1件以上に繋げる。

また研究開発項目②として海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材開発を行う。これにより物性、機能性を向上した新素材による新市場の創出や、さらなる製品適用拡大により普及拡大を加速させる。

研究開発項目①、研究開発項目②-1、研究開発項目②-2のそれぞれの全体目標は以下の通り。

研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」

委託事業（2020年度～2024年度）

海洋生分解機能について、各海洋域における既存、及び新規の海洋生分解性プラスチックの生分解性評価を行い、海洋環境の違いによる生分解性の基礎データを収集し、海洋生分解性プラスチックが、好氣的条件下では水と二酸化炭素に、嫌氣的条件下では水とメタンと二酸化炭素に分解されるメカニズムを解明するとともに、海洋生分解性の評価手法を確立する。また、生分解途中に生成される中間体を含めた安全性を評価する新たな手法を開発する。

[最終目標]（2024年度）

実用化を行うユーザーが共通して活用できる海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法を確立し、国際標準化提案1件以上に繋げる。

【中間目標】（2022年度）

海洋生分解性に関する暫定的な評価手法を策定する。

[実施機関]

研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」は、以下の6機関で共同研究体制にて実施する。各機関の役割はⅢ章にて説明する。

（実施者）：共同提案

- ・ 国立研究開発法人産業技術総合研究所（AIST）
- ・ 独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）
- ・ 静岡県環境衛生科学研究所（静岡県）
- ・ 国立大学法人東京大学
- ・ 国立大学法人愛媛大学
- ・ 株式会社島津テクノリサーチ

研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

海洋生分解性プラスチック開発について、新規の化学構造を有する樹脂、新規のバイオ製造プロセスの開発等を行う（研究開発項目②-1）。また、既存の樹脂を複合化して物性や機能性等を高める研究開発や樹脂に適合する充填剤等の添加剤の開発等を行う（研究開発項目②-2）。

研究開発項目②-1 「新規化学構造を有する樹脂・新規バイオ製造プロセス開発等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

[委託事業] (2021年度～2024年度)

海洋生分解性プラスチック開発について、新規化学構造を有する樹脂（上市されていない実験室レベルも含む）、新たなバイオ製造プロセス等の研究開発要素が多く、時間を要する開発を対象とする。

[最終目標] (2024年度)

海洋生分解性プラスチックの新技術・新素材を1件以上開発し、実用化の目処を付ける。

[中間目標] (2022年度)

海洋生分解性プラスチックの新技術・新素材の開発の目処を付ける。

[実施機関]

研究開発項目②-1については、以下の(1)、(2)の研究開発項目を実行する。

研究開発項目②-1(1):

「海洋生分解性を有する新規な多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の研究開発」
(実施者)

・日本電気株式会社

研究開発項目②-1(2):

「エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性樹脂素材の開発」
(実施者) 共同提案

・国立研究開発法人理化学研究所

・株式会社日本触媒

研究開発項目②-2 「複合化技術等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

[委託事業] (2020年度～2021年度) / [助成事業 (助成率: 2 / 3 以内)] (2022年度～2023年度)

海洋生分解性プラスチック開発について、既存の樹脂を複合化して物性や機能性等を高める開発や樹脂に適合する充填剤等の添加剤の開発等の、新たな用途を創出し社会実装を推進する開発を対象とする。

【最終目標】 (2023年度)

海洋生分解性プラスチックの新技術、新素材の試作等により、コスト、機能、性能等の面で、従来の汎用プラスチックと比べて総合的に競争力があることを示す。

【中間目標】 (2021年度)

海洋生分解性プラスチックの新技術・新素材を1件以上開発し、実用化の目処を付ける。

研究開発項目②-2については、以下の研究開発項目を実践する。

「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの開発」(委託期間)

「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの実用化開発」(助成期間)

(実施者)

日清紡ホールディングス株式会社

	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度
研究開発項目① 海洋生分解性に係る評価手法の確立 (委託)			中間評価			ISO化の取組み
研究開発項目② 海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発 (委託・助成)	②-1の場合		中間評価			事後評価
	②-2の場合		中間評価			
			ステージゲート			事業化、実用化に向けた取組み
			新技術・新素材開発 (委託)			
			実用化開発 (助成2年)			
予算 (百万円)	260	400	413	349	307	

図 II-1 プロジェクト全体のスケジュールと予算

予算

表 II-2 に研究開発テーマ毎の予算を示す。

表Ⅱ-2 プロジェクト費用（単位：百万円）

研究開発項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	合計
研究開発項目①（委託）	205	215	209	179	184	992
研究開発項目②-1（1）（委託）	—	55	64 （内加速 予算：9.5）	62	62	243
研究開発項目②-1（2）（委託）	—	61	73 （内加速 予算：12）	61	61	256
研究開発項目②-2（委託、助成）	55 （委託）	69 （委託） （内加速 予算：13）	67 （助成） （内加速 予算：12）	47 （助成）	—	238
計*	260*	400*	413*	349*	307*	1,729

*:2020～2022年度は実績、2023～2024年度は予定。

2.2 研究開発の実施体制

図Ⅱ-2に事業実施体制の全体図を示す。

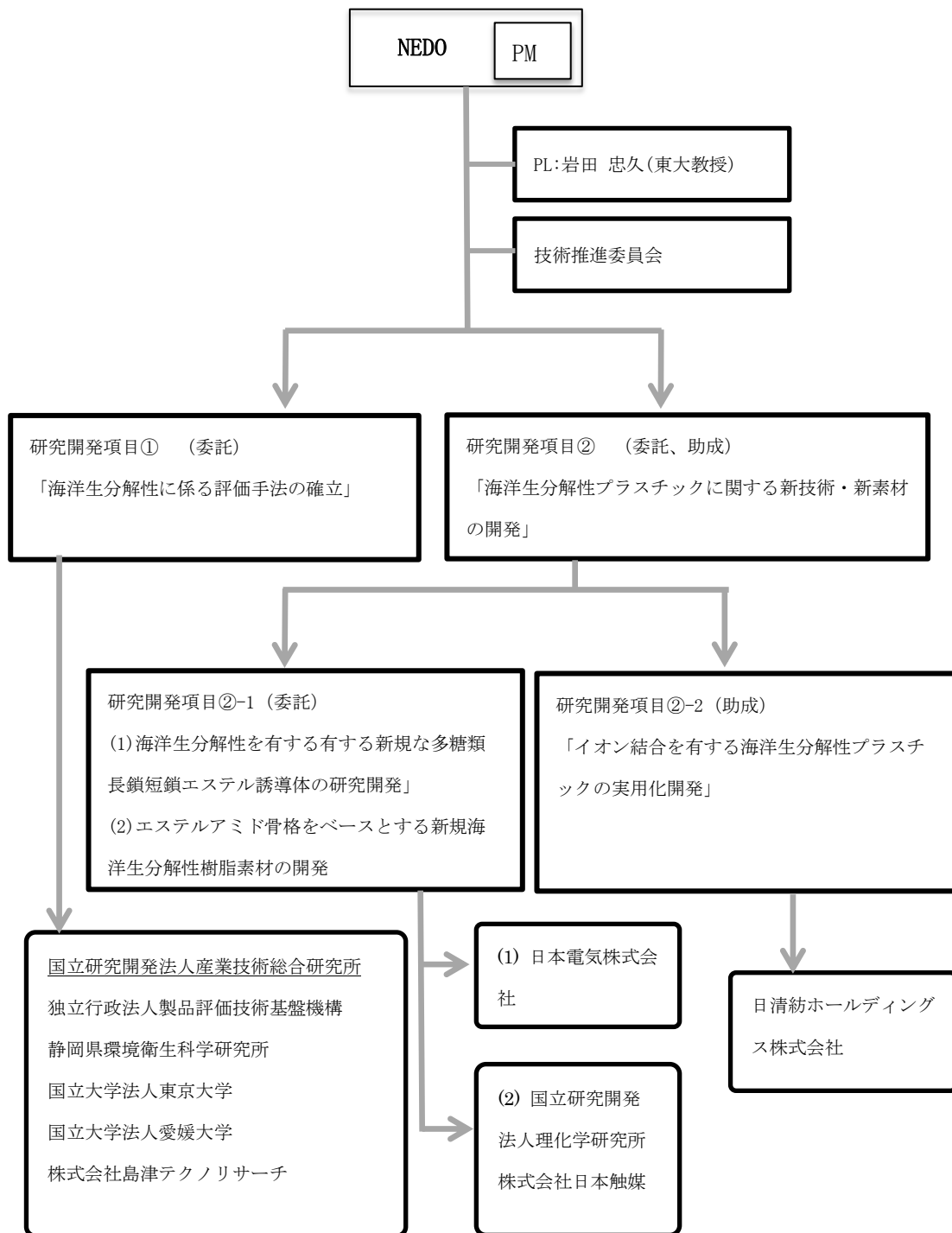


図 II -2 事業実施体制の全体図

2.3 研究開発の運営管理

事業全体の管理・執行に決定権を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的および目標に照らして適切な運営管理を実施した。具体的には、毎年度 NEDO が実施する技術推進委員会にて、外部有識者の評価を受け、研究開発計画の見直しを行った。また、研究開発の進展状況により、基礎研究開発から実用化検討への移行が相応しいと判断された研究開発テーマについて

は、ステージゲート審査委員会を開催し、外部有識者による審査を行った。

2.4 研究開発の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

表Ⅱ-3に研究開発の進捗管理・運営管理に関する実績を纏めた。会議体での進捗確認や成果の評価は勿論だが、プロジェクトリーダーやNEDOプロジェクトマネージャー（PM）らによるサイトビジットや実施者ヒヤリングを適宜行い、個別の実施者に対する進捗確認、技術指導をきめ細かく実施した。新技術・新素材開発においては月報による実施状況の把握に務めた。これらの会議・委員会は、新型コロナウイルス感染拡大に伴い、オンライン及びハイブリッドにて実施した。

表Ⅱ-3 研究開発の進捗管理・運営管理に関する実績

研究開発項目等	主な会議体・報告等	開催頻度	メンバー*	実績*	内容
全体	技術推進委員会	年1回	実、P、委、N	2回	外部委員による進捗状況の確認、修正・要改善事項提案。
①:海洋生分解性に係る評価手法の確立	幹事会	2ヶ月毎	実、N	11回	研究項目細目の代表者とNEDO担当者が集まり進捗状況、計画、課題共有。
	全体会	年4回	実	5回	約半分の研究項目細目の研究開発内容の報告（登録研究員による情報共有）。
	PJ推進委員会	年4回	実、外	5回	外部有識者12名による実施状況の共有。意見交換。
②-1(1):海洋生分解性を有する新規な多糖類鎖短鎖エステル誘導体の研究開発	PJ進捗会	毎月	実	3回	実施者間で研究開発進捗の状況報告。意見交換。
	PJ推進委員会	4半期～半期毎	実、N、外	2回	外部有識者、NEDOを招き、研究開発進捗の状況報告。意見交換。
	月報	毎月	実、N	10回	研究開発進捗状況、問題点等をNEDOに報告。
②-1(2):エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性樹脂素材の開発	PJ進捗会	1～2ヶ月毎	実	10回	実施者間で研究開発進捗の確認・情報交換。
	月報	毎月	実、N	10回	研究開発進捗状況、問題点等をNEDOに報告。
②-2:イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの開発	PJ推進委員会	年4回	実、N、外	7回	外部有識者、NEDOを招き、研究開発進捗の状況報告。意見交換。
	月報	毎月	実、N	10回	研究開発進捗状況、問題点等をNEDOに報告。
	サイトビジット	随時	実、P、N	1回	研究開発内容の確認及び目標設定の妥当性を議論。実施計画書に反映。
	ステージゲート審査委員会	1回	実、N、審	1回	研究開発の成果状況と実用化・事業化の可能性を審査。委託から助成事業への移行を決定。
その他	予算検討（加速）	年1回	実、N	2回	2021年度に期中加速（9月）、2022年度に期首加速を実施（4月）。

*：メンバー 実：実施者、P：PL、PM、委：外部評価委員、審：外部審査委員、外：外部アドバイザー、N：NEDO

*：実績：2022年6月30日時点

3. 知的財産権等に関する戦略

本事業は、経済産業省「委託研究開発における知的財産マネジメントに関する運用ガイドライン」及び「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に沿って、委託先からなる「知財委員会（または同機能）」を整備し、さらに知財の取り扱いに関する合意事項が含まれた「知財の取り扱いに関する合意書」を委託先間で締結し、知財戦略の立案、知的財産の管理を実施した。

NEDOは「知財運営委員会」への参画等を通じて、以下に記載の効果的な知的マネジメントの実施と未利用成果等の有効活用への取り組みを推進した。

図Ⅱ-3に本プロジェクト成果（技術）のオープン／クローズ戦略を示す。技術を

非競争域と競争域に分け、公開する内容、非公開にする内容に分類している。研究開発項目①において、国際標準化評価手法開発の技術に関しては基本的には特許出願しない方針をとっている。非競争域の公開すべき内容については、学会・論文・講演会・展示会等を積極的に推進する。また、研究開発項目②（新技術・新素材開発）において、競争域の公開すべき内容については、各実施者の独自技術で研究開発が進められているため、早期特許出願を行った後、学会・論文・講演会等により成果を積極的にアピールし、顧客獲得・普及へと繋げる。

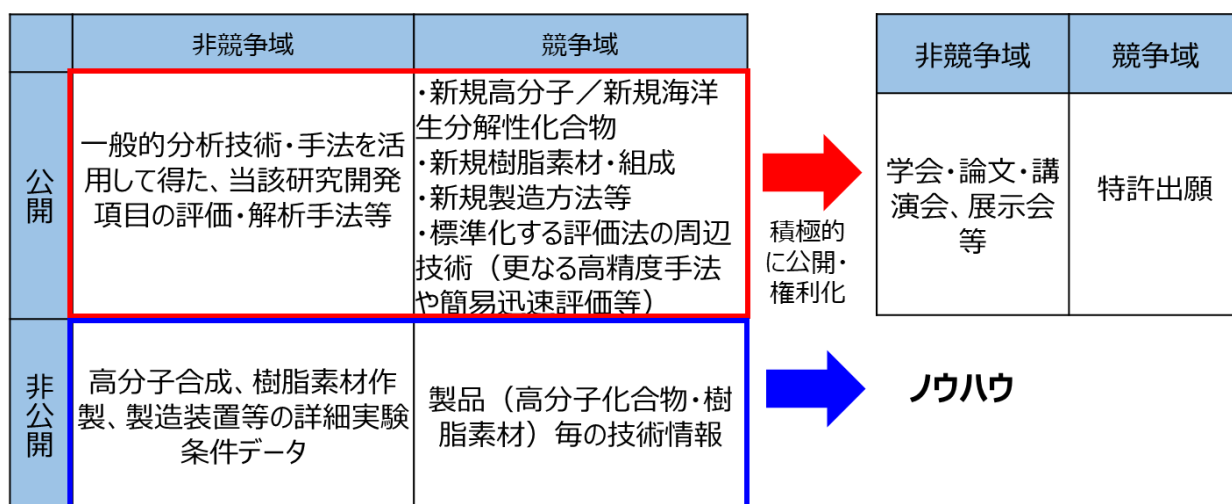


図 II -3 プロジェクト成果のオープン／クローズ戦略

4. 情勢対応への変化

事業の運営管理として、研究開発の進捗状況や技術推進委員会、ステージゲート審査の結果を踏まえ、優れた技術的成果を上げ、更なる追加予算を行い、加速的に研究を進捗させることにより、当該技術分野における国際競争力の優位性確保が期待されるテーマに関して、開発促進財源（加速予算）の配分を行った。

本プロジェクト開始当初から新型コロナ感染拡大による影響を想定した計画を立案しているが、状況に応じて計画を見直し、契約の最終年の目標が達成できるように期中に予算の前倒しや後ろ倒しを実施した。

表 II-4 開発促進財源（加速予算）投入実績

年度	区別	研究開発項目等	実施者	金額（百万円）	加速内容	目的/効果
2021	期中 (9月)	②-2:イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの開発	日清紡ホールディングス株式会社	13	・人件費増 ・分析装置の導入	・素材の開発強化 ・分子設計
2022	期首	②-1(1):海洋生分解性を有する新規な多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の研究開発	日本電気株式会社	9.5	・生分解試験装置類の増強 ・試作装置類	・材料多糖類長鎖短鎖エステルの新素材の開発強化
	期首	②-1(2):エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性樹脂素材の開発	理化学研究所/ 株式会社日本触媒	12	・生分解試験装置類の増強	・エステルアミド骨格の新素材の開発強化
	期首	②-2:イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの実用化開発	日清紡ホールディングス株式会社	12	・実用化開発に係る設備 ・安全性試験費 ・外注費・人件費増	・イオン結合を有する新素材の実用化開発の加速

5. 評価に関する事項

NEDO は、技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を 2022 年度、事後評価を 2025 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しするなど、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」 (委託事業)

(1) 中間目標(最終目標)達成状況

【中間目標】 (2022年度)

実験室内において短期間で海洋生分解の度合いが測定でき、実海域試験の結果と相関のある試験評価法の新規提案1件と予備提案1件を申請した(中間目標を大きく上回り達成)。海洋生分解性の新技術・新素材を市場に積極的に投入するには、ISO規格に裏打ちされた生分解データによる認証制度による普及策が有効であるとともに、信頼性の向上及び健全な市場拡大に繋がる。最終年度までに研究開発成果(実験データ)を更に加え、新規提案と予備提案を更にブラッシュアップする。

1.2 研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

(委託・助成事業)

(1) 中間目標(最終目標)達成状況

これまでの生分解性ポリマーは、脂肪族ポリエステルにほぼ限定されていた。本プロジェクトでは、バイオマス由来の原料からなる、多糖類エステル誘導体、エステルアミド骨格ポリマー、イオン結合を有するアルギン酸ベースポリマーなどの新規で高性能な海洋生分解性を示すポリマーの開発に成功した(中間目標をほぼ達成)。研究開発項目②-2においては、アルギン酸ベースポリマーの開発及びその複合化技術の進展状況からステージゲート審査を経て、実用化開発(委託事業から助成事業)へと移行した。

これまでの生分解性ポリマーの利用は、農業資材や包装資材などに限られていた。本研究成果により、最終目標を達成できれば釣具・漁網などの水産資材にも利用可能となり、海洋汚染問題の解決に大きく貢献できる。生分解性プラスチックの種類が増えれば、社会的な認知も広まり、消費者の目にも止まりやすくなり、益々利用用途の拡大が期待できる。将来的には全てのシングルユースのプラスチックを生分解性プラスチック代替できることが期待される。

1.3 成果の普及（論文・外部発表等）

表Ⅲ-1.3.1 論文、外部発表等の件数(内訳)【2022年6月末現在】(研究開発項目①、②の合計)

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020		0	2				
2021		11	49	3	2		4
2022		0	7	5			
合計		11	58	8	2		4

受賞：

岩田忠久（東京大学）

令和3年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰（研究部門）

業績名「生分解性バイオマスプラスチックの高性能化に関する研究」、2021年04月06日

岩田忠久（東京大学）

マテリアルライフ学会総説賞

受賞業績「生分解性プラスチックの現状と展望」、2021年07月01日

江頭佳奈（(株)島津テクノリサーチ）

第43回 京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム 優秀ポスター賞、2021年07月30-31日

「LC-TOFMSを用いた生分解性プラスチックの分解生成物の探索」

国岡正雄（産業技術総合研究所）

令和3年度 産業標準化事業表彰 経産大臣表彰、2021年10月1日

1.4 標準化、知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿ったISO化、特許取得状況）

実海域で評価手法において、1件新規提案可決。ラボ加速試験法については新規提案可決予定。

表Ⅲ-1.4.1 特許の件数（内訳）【2022年6月末現在】（研究開発項目①、②合計）

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2020			
2021	1		4
2022			
PJ期間 合計	1		4

2. 研究開発項目（テーマ）毎の成果

2.1 研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」(委託事業)

2.1.1 研究開発項目①全体

2.1.1.1 全体の概要

(1) 背景と目的

古くから海洋プラスチックごみ問題は、海洋大型哺乳類や海鳥などの海洋生物が誤食やゴーストフィッシングにより命を落とすことが報告されており、解決すべき課題と認識されていた。日本では、これらの環境問題の解決を目指して、生分解性プラスチックの研究開発が盛んで、数種類の生分解性プラスチックが小規模ながら商業生産され始めた。もちろん、これらの生分解性プラスチックは、陸系での生分解を想定しているものであった。1989年には、生分解性プラスチックの市場導入を促進する業界団体である「生分解性プラスチック研究会」(現日本バイオプラスチック協会の前身)が設立され、1997年には当研究会の申請により、生分解プラスチックの評価に関わる規格を審議するグループをISO国際標準化機構に設置された。最初の発行規格も日本提案で、日本の貢献により、その後いくつかの生分解評価に関わる規格が日本提案で発行している。ただし、汎用性プラスチックとのコスト競争力の問題等で市場導入は促進されなかった。また、2000年頃から、高騰する枯渇性資源である石油資源の温存、再生可能原料であるバイオマスの利活用を目指して、一部の生分解性プラスチックがバイオマス由来であったこと、最も商業生産規模の大きかったポリ乳酸がバイオマス由来であったこともあり、バイオマス由来のプラスチックの開発にトレンドが移っていった。

2010年頃から、徐々に海洋プラスチック汚染が深刻化し、日本政府も主導的立場で、この問題を解決することを、2016年のG7富山環境大臣会合で宣言しており、環境省は海洋プラスチックごみのモニタリング調査などを積極的に行っていた。2018年に、ウミガメの鼻から、プラスチックのストローを引き抜く痛々しい動画が世界中に拡散し、閲覧された。また、同時期に、このままプラスチックゴミが海洋に流出し続けると、海洋中における魚の量を超えるという報告がなされ、一気にプラスチック悪者説や脱プラの指向が大きくなり始めた。日本政府もこれらの社会問題を解決するために、2019年にG20大阪サミットで「大阪ブルーオーシャンビジョン」で、「2050年に新たな海洋プラスチックゴミゼロ」を宣言し、図III-2.1.1-1に示す経産省も「海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップ」を策定した。これには海洋生分解機能に係る信頼性向上において2020年より示されている「生分解機能の評価の充実に向けた試験研究」で、本NEDOプロジェクトである「海洋生分解性に係る評価手法の確立」も、海洋生分解性プラスチック製品の導入のためのイノベーションを支えるプロジェクトを担っている。

海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップの概要図

		2019年	2020年	2021～25年	～2030年	～2050年
実用化技術の社会実装 (MBBP1.0) PHBH、PBS等 (主な用途例) レジ袋・ゴミ袋 ストロー・カトラリー 洗剤用ボトル 農業用マルチフィルム等	海洋生分解機能に係る信頼性向上	ISO策定 体制構築	課題整理	ISO提案【産業技術総合研究所、日本バイオプラスチック協会(JBPA)】 生分解機能の評価の充実に向けた試験研究【新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)等】		
	量産化に向けた生産設備拡大、コスト改善	量産能力の増強 生分解性プラスチック製造のバイオプロセスの改善【NEDO等】				
	需要開拓	国内外の出展、ビジネスマッチングの促進【グリーン・イノベーション・チャレンジ・プラットフォーム(CLOMA)】		グリーン公共調達	洗濯用ボトル 農業用マルチフィルム	
	識別表示、分別回収・処理に係る検討	レジ袋 ゴミ袋 ストロー カトラリー		識別表示の整備【JBPA】	分別回収・処理に係る検討	
複合素材の技術開発による多用途化 (MBBP2.0) 不織布(マスク等)、発泡成形品(緩衝材等)等			セルロースナノファイバー等のコスト削減、複合方法の加工性の向上【NEDO等】		マスク 梱包用緩衝材	
革新的素材の研究開発 (MBBP3.0) 肥料の被覆材 漁具(漁業・養殖業用資材等)等		革新的素材の創出に向けた海洋生分解性メカニズムの解明【NEDO等】	生分解コントロール機能の付与	新たな微生物の発見【製品評価技術基盤機構(NITE)】	漁具の代替素材の導入検討【水産庁(産総研との連携)】	海洋生分解性メカニズムを応用した革新的素材の創出 肥料の被覆材 漁具(ブイ)

※MBBP: 植物由来(バイオマス)の海洋生分解性プラスチック(Marine Bio-degradable Bio-based Plastics)
 ※海洋生分解性プラスチック: 海洋中で微生物が生成する酵素の働きにより水と二酸化炭素に分解されるプラスチック

経産省HPより引用: <https://www.meti.go.jp/press/2019/05/20190507002/20190507002.html>

図Ⅲ-2.1.1-1 海洋生分解性プラスチック開発・導入普及ロードマップの概要図 ()

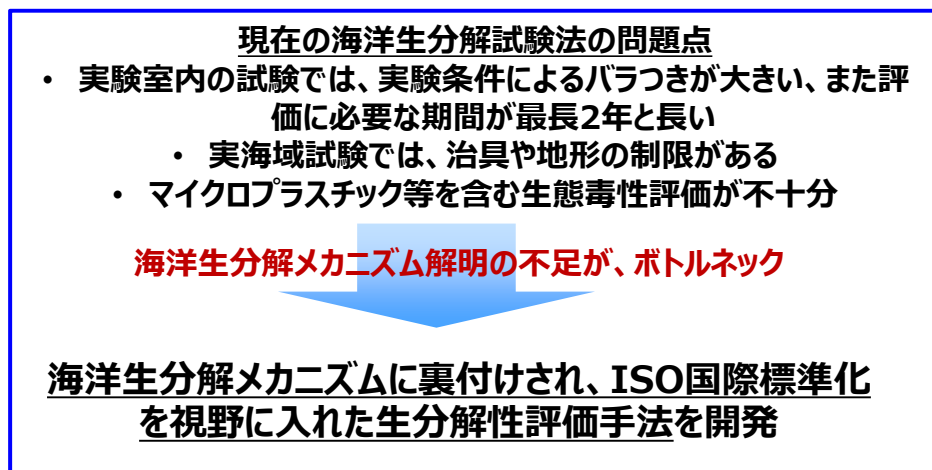
図Ⅲ-2.1.1-2 に示す海洋プラスチックごみにより、引き起こされる問題として、前述した海洋生物への影響、マイクロプラスチック化による水中汚濁物質の吸着、樹脂添加剤の溶出等が懸念されている。これらの問題の解決として海洋生分解性プラスチックの活用が考慮されている。ただし、海洋中でどの程度の速度で海洋生分解するのかが、重要な指標となる。ISOの海洋生分解の要求事項(ISO 22403)を満たすためには、2年間で90%以上、生分解する必要がある。



生分解性プラスチックの活用による問題解決のため、海洋生分解の評価法の確立が喫緊の課題

図Ⅲ-2.1.1-2 海洋プラスチックゴミから引き起こされる問題とその解決のための評価法の確立

ただし、海洋生分解性の指標である海洋生分解度を評価する方法は、すでに、数種類の方法が ISO 規格として、ヨーロッパ（イタリア、ドイツ）から提案され、国際審議の後、2016 年には ISO 19679 法、18830 法として発行されていて、日本でも試験ができるようになってきた。ただし、これらの方法は、特に生分解が遅い材料に対して、得られる生分解度のデータがばらつき、試験期間が 2 年間という長期にわたるといった問題点が認識されている。また、実海域フィールド試験として、ドイツ提案で発行している ISO 22766 は、50m の海底や、海岸に大型の治具を設置しなければならず、日本では、ほぼ実施が困難な状況となっている。図 III-2.1.1-3 に、その状況をまとめる。



図III-2.1.1-3 既存の ISO 生分解評価法の問題点

海洋生分解性プラスチック製品を市場に導入するためには、その重要な性質である生分解度をきちんと評価して、ある基準以上に生分解速度が早いものだけを製品として認めなければ、様々な条件にたっしていない製品が、市場に投入されると、製品全体の信頼性が損なわれることになってしまう。そこで、単に生分解度を測定する評価法では無く、プラスチックの構造や分解に関わる微生物、酵素によるメカニズムを明らかにして、そのメカニズムに則った生分解評価法が必要である。

本プロジェクトの目的としては、実験室内の評価法においては、精度高く生分解度の評価ができ、また、加速条件での生分解を評価することにより、約半年で評価結果ができるような加速試験を開発する。また、実海域試験においては、種々の海洋条件で多くのサンプルの試験が簡単にできるような、実海域簡易生分解試験法を開発を行う。これらの評価法をグローバルに使用して、各国の企業や機関のデータと比較・検討ができるようにするため、認証制度への活用するために、ISO 規格化を視野に入れた評価法として、開発する。

(2) 位置づけ、目標値

ISO 国際標準化を視野に入れた海洋生分解性評価法の開発をするにあたり、どのような評価法にしていくかをきちんと考えながら、開発をしていかななくてはならない。既存の ISO の評価法との関係や、どのレベルの評価法を目指すのかが重要な開発指針となり得る。標準規格化を目指す場合、あまり、高度な試験法や全ての国、特にアジア諸国がフォローできないような試

験法を開発しても意味が無い。また、日本製品のみを優位に評価するような方法は、あまり想定できないが、逆に、日本製品が排除されてしまうような方法ではいけない。また、長期間にわたり使い続けられるような方法にもしなくてはならない。試験法を何度も改定すると従前のデータを活用できなくなってしまう。また、前述したように、すでに海洋生分解評価法は既存の ISO 法が存在し、その評価法との整合性も重要である。以前の ISO 法で求めた生分解度と比較、検討できるような評価法が望ましい。

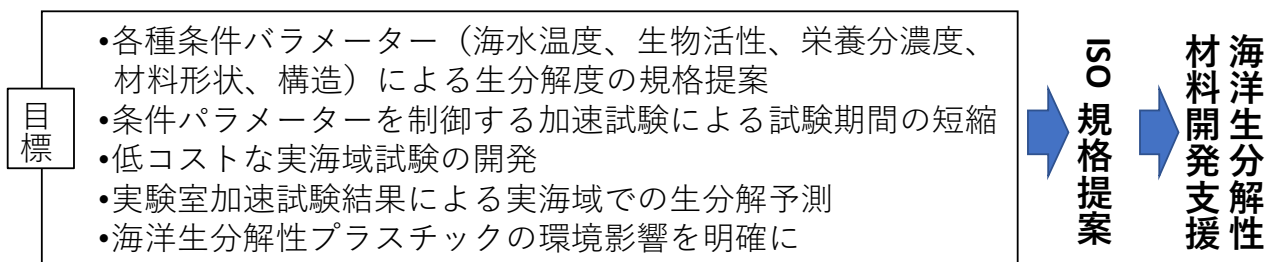
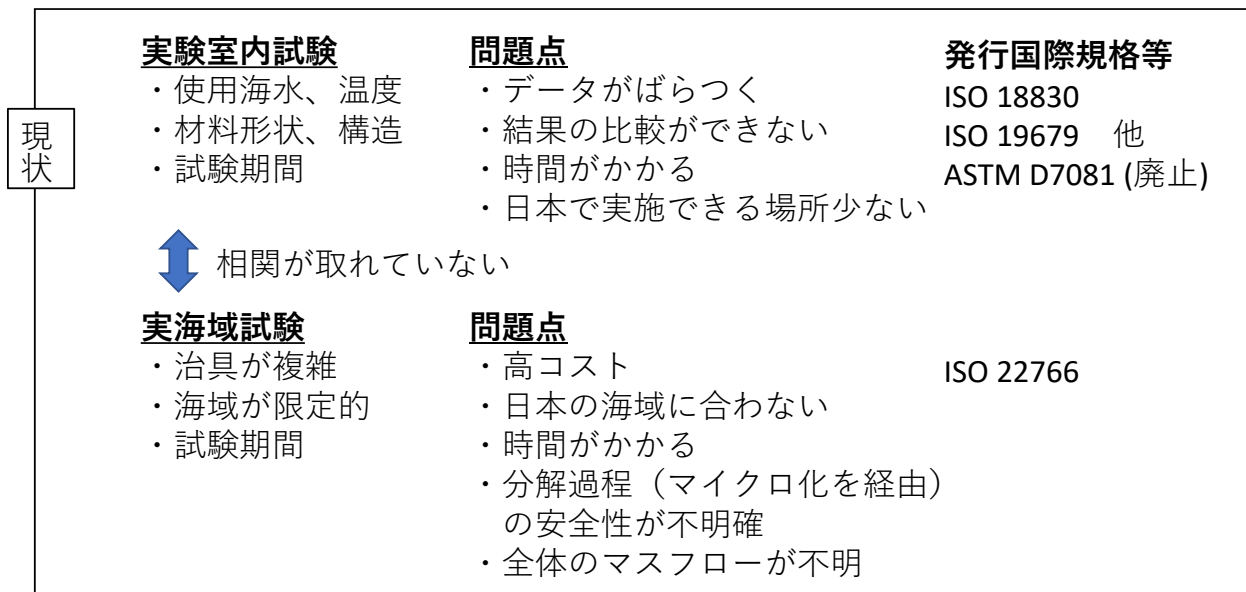
図Ⅲ-2.1.1-4に既存の ISO 評価法の現状と問題点、それに対応した目標を示す。実験室内の生分解度評価方法の問題点としては、前述したように、データがばらつくことである。これについては、後ほど詳細に説明する。また、時間がかかるため、試験をやり直すことが難しい状況でもある。1年間やってみて、やり直すことはできないし、試験開始後 1 ヶ月位であまり生分解が行かないことが確認できた場合も、何を改良することにより、もう少し、活性の高い条件で試験できるかどうかを分析することができない。また、現状、日本ではこれらの ISO 試験法を完全に実施できる試験機関は数えるほどしか無い。

実海域フィールド試験に関しても、日本で簡単に実施できるような方法を開発し、種々の海洋条件、場所、季節変動の傾向を、微生物量や微生物菌叢などの何らかの指標で分解活性の傾向をつかむことができるような評価法が必要である。また、多くのデータを解析することにより、特にフィールド試験を実施した場所で採取した海水で実験室用生分解度尾評価も行い、相関が取れるような評価法が必要である。フィールド試験の場合、二酸化炭素までの分解は確認できず、あくまでも、微細化による流出による崩壊現象を測定しているにすぎないため、実験室での二酸化炭素までの完全生分解の確認が必須である。

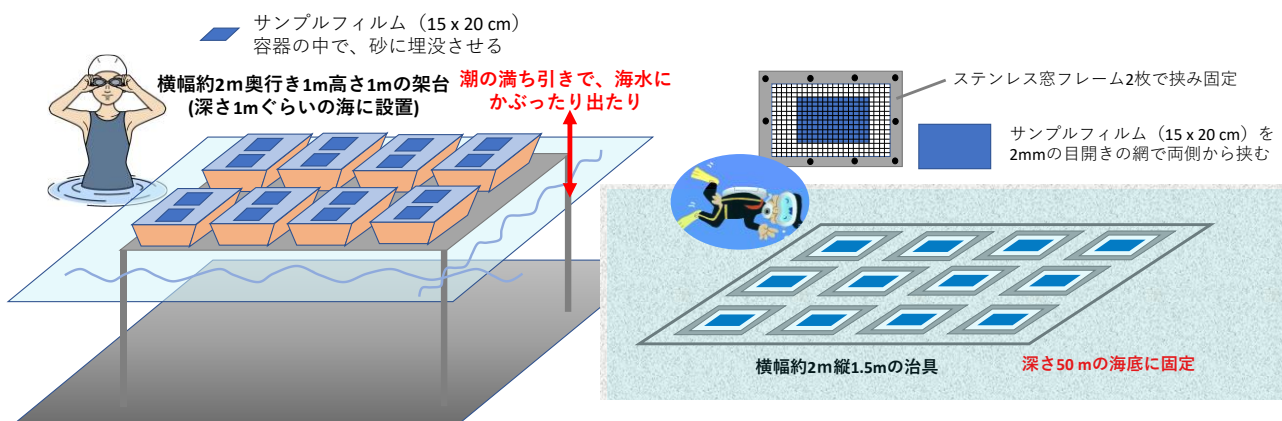
次に、既存の ISO 22766 に規定された実海域におけるプラスチック材料の生分解（崩壊）フィールド試験の実際と、目標とする開発する簡易実海域フィールド試験について、詳細に説明する。図Ⅲ-2.1.1-5に示す ISO 22766 法の実海域における試験の概要を示す。海面付近での環境と海底での環境で、プラスチックサンプルフィルムをそこに設置することにより、分解を確認するフィールド試験である。海面付近の環境とは、深さが約 1m の浅い海域に、架台を設置し、潮の満ち引きに従い、材料を砂泥に埋没させた容器が、海面から出たり入ったりするシステムである。この方法は、実海域としては、海面付近の良好な条件ではあるが、遠浅の海が少なく、台風が多く、海が荒れる地域、海岸に多くの人々が入り込む環境では、設置そのものが難しい。日本の近海では、設置許可等が降りる可能性はほとんど無く、台風等でサンプルケースといっしょに、ロストする可能性も大きい。また、架台を多数設置できなければ、一度に試験できる数もそれほど多くない。また、約 50m の海底に設置する条件も、ダイバーに頼まなければ、設置も回収もできず、低コストで実施することは困難である。

図Ⅲ-2.1.1-6に示す本 NEDO プロジェクトで開発を行っている簡易実海域フィールド試験は、海洋に漂うフィルム条件を想定して、小型のプラスチック容器の中に、フィルムを直接、または、網の袋に封入して、かごの中に入れる。多くのプラスチック容器をかごの中に入れることができる。かごで岸壁からつるすことにより、多くのサンプルを一度に試験することが可能となっている。この程度の治具であれば、多くの岸壁（公的機関、大学水産学部等が管理する）での設置許可が下りやすい。実際に、日本の各地、10カ所以上で試験が行われている。岸壁からつり下げるだけなので、設置・回収が非常に簡単で、一度に多くのサンプルを試験することができる。この方法で得られる実海域における分解に関わる詳細なデータ等は、研究項目

④の記載を参照願いたい。これらの簡易実海域フィールド試験から求まる分解の度合いは、残存質量から求まる崩壊度（Degree of disintegration）と定義している。



図III-2.1.1-4 研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」の現状と目標



図III-2.1.1-5 ISO 22766 に規定された実海域フィールド分解試験



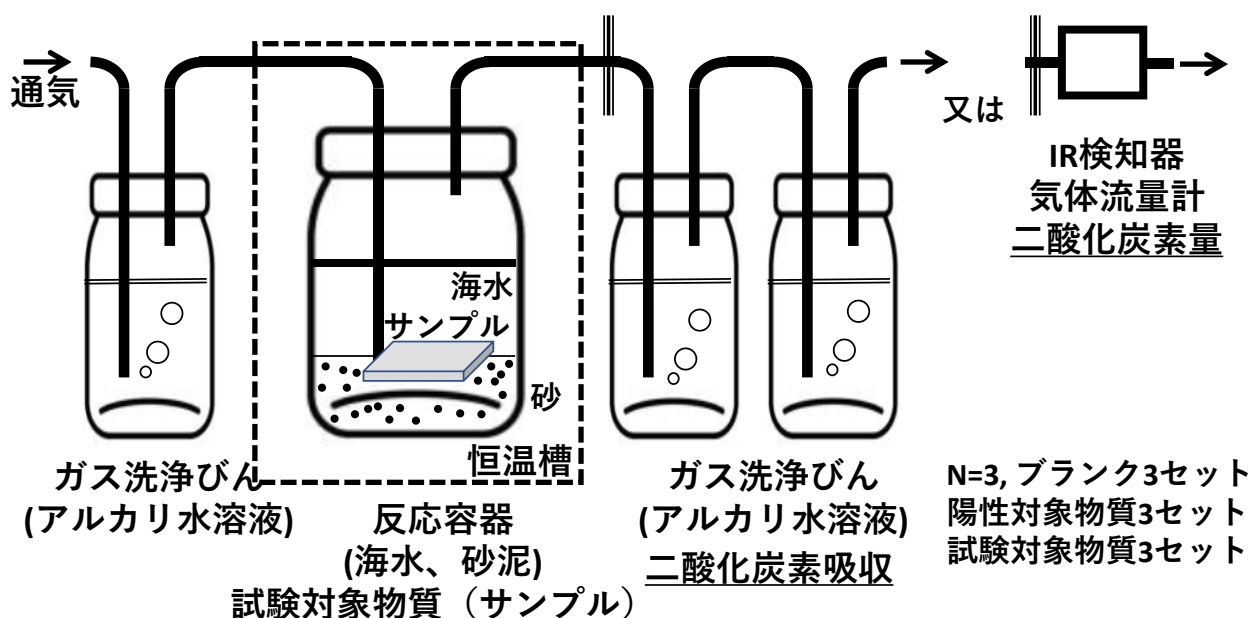
図Ⅲ-2.1.1-6 本 NEDO プロジェクトで開発する簡易実海域フィールド分解試験

次に、実験室内海洋生分解評価法の現状と開発を目指す評価法について、詳細に説明する。ISO 規格で定める生分解度 (Biodegradability) は、単なる崩壊ではなく、二酸化炭素と水まで、分解する割合を求める評価法を定めている。実海域フィールド試験等で求まる単なる重量減少による分解率は、崩壊度と定めている。そのため、生分解度を求める評価法は、各環境条件を実験室内に再現して、閉鎖密閉系を構築して、発生する二酸化炭素量や生物化学的酸素要求量 (BOD) で測定する。図Ⅲ-2.1.1-7 に示すように、恒温槽に入れた反応容器に、土壌やコンポスト、海水を入れ、そこに、実験室内空気から、二酸化炭素を除いた空気を通気する。発生する二酸化炭素をアルカリ溶液の入ったガス洗浄瓶にトラップして、滴定により、または、排気量と赤外分光測定装置により、発生二酸化炭素量を求める。図Ⅲ-2.1-7 下に記載されているように、生分解性プラスチックの分子式から、理論二酸化炭素発生量 (全量が生分解した場合の発生量) を求める。ポリ乳酸 10g の場合、ユニットの分子量 72 に対して、炭素が 36 なので、5g が炭素となり、この炭素が分子量 44 の二酸化炭素となるので、18.3g の二酸化炭素が発生する。また、サンプルを入れない反応瓶からも、そこに存在する微生物の呼吸により二酸化炭素が発生するのでこのブランク量を差し引いて、9.15g の二酸化炭素が発生すれば 50% 生分解度であり、18.3g 発生すれば、100% 生分解度が求められる。このように、ISO で定める生分解度は単に細かくなって、マイクロプラスチックとなって、回収できなくなっているだけでなく、二酸化炭素まで完全に生分解した割合を求めている。

図Ⅲ-2.1.1-8 に、既存の ISO 19679 法で求めたプラスチック材料の海洋生分解の結果と試験の妥当性を確認するための条件、現状の課題と本プロジェクトで開発する評価法の精度の目標を示す。本方法は、海水と砂泥を反応容器に入れ、海底面の環境を模した海洋生分解評価法である。生分解の結果を示す図の横軸は、測定期間で、400 日間実施している。縦軸は生分解度である。セルロース (□) と微生物ポリエステル PHBH (△) は、N=3 の平均値で、100 日程度で生分解度は、80% 程度に達し、ほぼ一定に達している。生分解が進行しなかったサンプルの生分解度がマイナス側に減少しているのは、分解しないフィルム (約 2cm x 2cm) が、砂泥面を覆ってしまい、そこに棲む微生物の呼吸活性を阻害するため、ブランクに比べ、二酸化炭素発生量が減少してしまい、マイナス側に生分解度が計算される。本方法で、課題となっているのは、生分解度の遅いサンプル、例えば、ポリブチレンサクシネートアジペーと PBSA の生分解度の結果がばらつく点である。色矢印をつけた (○、●、◇、◆) の 4 つのプロットは、

平均値ではなく、全く同じ PBSA サンプルの異なる反応容器から得られた結果である。約 60% 生分解が進行しているものと、全く生分解がいかないものが混在している。これは、生分解度が平均の 30%であることを示しているのではなく、うまく条件が整えば、全て 60%以上、生分解が進行することを示している。つまり、反応容器内に分解に寄与する微生物の量が少なすぎて、うまく分解微生物がフィルム表面上で増殖できた場合は、生分解が進行するが、増殖できなかった場合は、生分解が観測されない。このような測定結果が得られた場合、N=3 で測定結果を確保することが難しく、試験をやり直さなければならないが、400 日後に試験をやり直すのは、非常に効率が悪い。ばらつきの少ない、評価方法の開発が必須である。当プロジェクトで開発する評価法の目標としては、遅い生分解度をもつ試験材料に対して、N=3 の生分解度の数値が平均値との差が 10%以内の精度を持つ評価法を開発する。また、2 年間の試験期間は長すぎるので、半年程度で生分解度の結果の出る評価法を開発する。

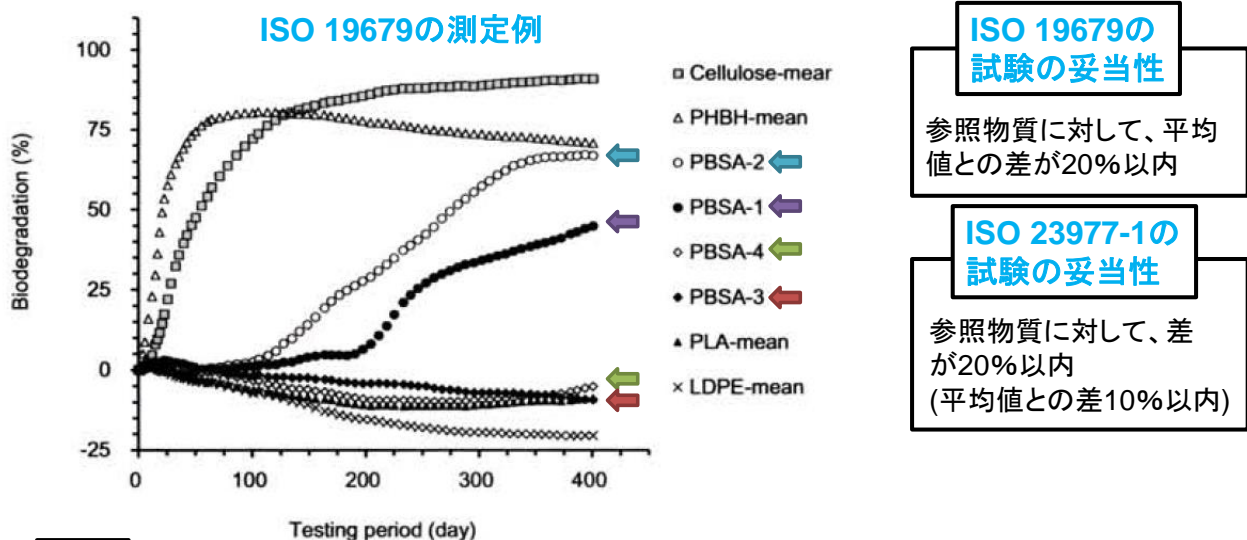
実海域のフィールド試験では、海水が絶えずサンプル近傍を流れており、その海水に住む微生物が少なくても、バイオフィルムの形成により、多くの微生物がサンプル表面に集積してくため、分解が起こったり、起こらなかったりするデータのばらつきは、ほとんど無い。



$$\text{生分解度} = \frac{\text{サンプルからのCO}_2\text{発生量} - \text{ブランクからのCO}_2\text{発生量}}{\text{理論CO}_2\text{発生量(サンプル量} \times \text{炭素含率} \times (44/12))} \times 100 (\%)$$

PLA ($n\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$, = 72 (C=36)) 10 gからの理論CO₂発生量
炭素5 g × 44/12 = 18.3 g

図III-2. 1. 1-7 実験室内海洋生分解の模式図と生分解度の計算方法



現状

遅い生分解度をもつ試験物質に対して、上記精度を得られていない。理由は分解微生物濃度が低すぎて、試験物質表面で、増殖したかしないかによる。外れ値を除外するとN=3を担保できなくなる可能性。

信頼性が高くないと製品評価結果の社会受容性が得られない。

目標

遅い生分解度をもつ試験物質に対して、N=3の生分解度の数値が平均値との差10%以内。

図III-2.1.1-8 既存の実験室内生分解度評価法(ISO 19679)の測定例、精度と開発する新規評価法の精度目標

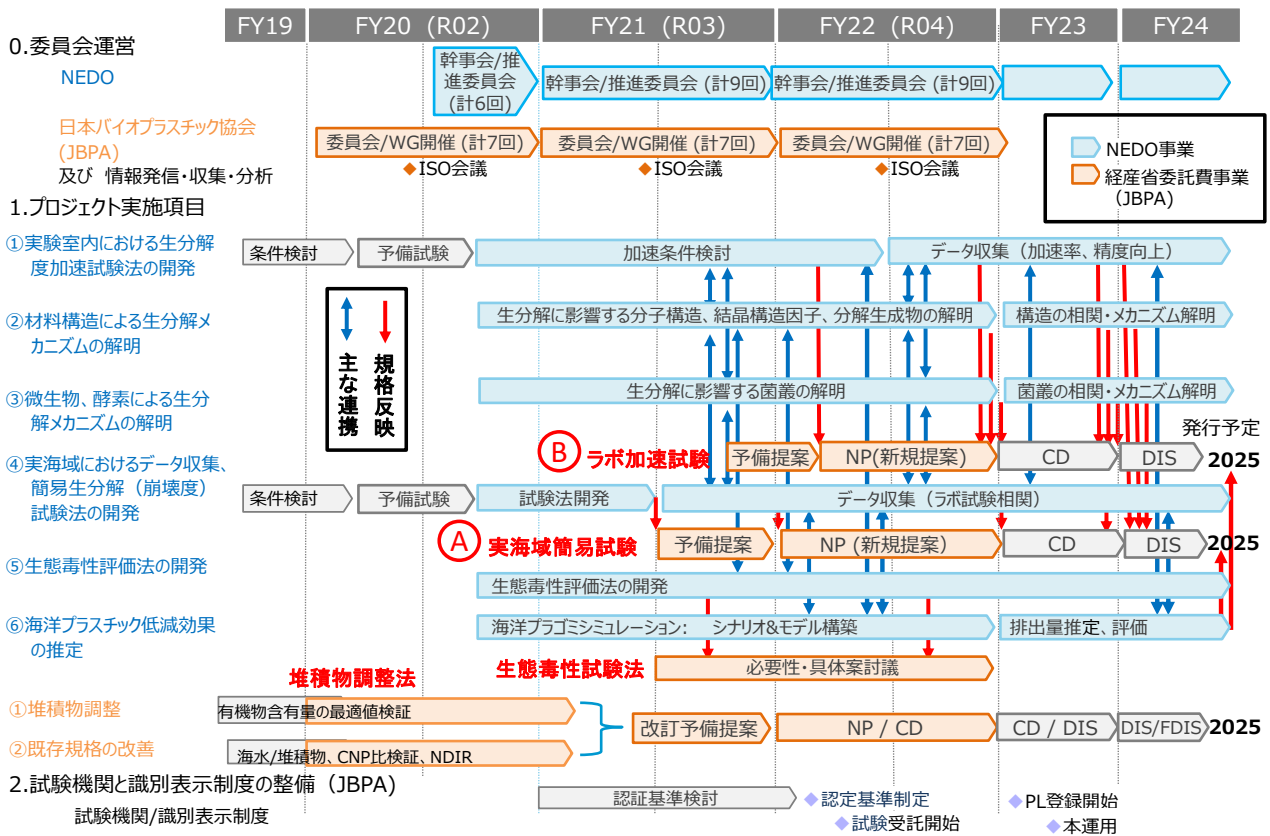
(3) 全体計画

本NEDOプロジェクトでは、図III-2.1-9に示す6つの研究項目(青字、青矢印)を設定し、研究開発を進めている。研究期間は、フェーズAが2020年度から2022年度、フェーズBが2023、2024年度となっている。また、研究開発成果をISO国際標準化するための規格開発費用(国際コンセンサス形成ロビー活動、外国で開催されるISO規格会議出席の国際旅費等)は、日本バイオプラスチック協会が、経産省から委託されている「省エネルギー等国際標準開発海洋生分解性プラスチックに係る技術評価手法の国際標準化」を2020年度から3年間(本NEDOプロジェクトのフェーズAと同期間、オレンジ矢印)、連携して実施している。詳細な、研究計画はそれぞれの研究項目の節を参考にさせていただきたいが、主に規格化を視野に入れた実験室内生分解加速試験法の開発を行う研究項目①と簡易実海域フィールド試験開発を行う研究項目④がある。それらのメカニズムを解明して評価法の規格の前処理、関連条件の測定、測定条件の最適化に貢献する研究項目②、③、生分解過程で生成する微粒子(マイクロプラスチックを含む)、中間生成物、分解物の安全性(生態毒性等)の評価方法を検討する研究項目⑤、海洋生分解性プラスチックの代替による海プラゴミの削減効果を検討する研究項目⑥から成り立っている。

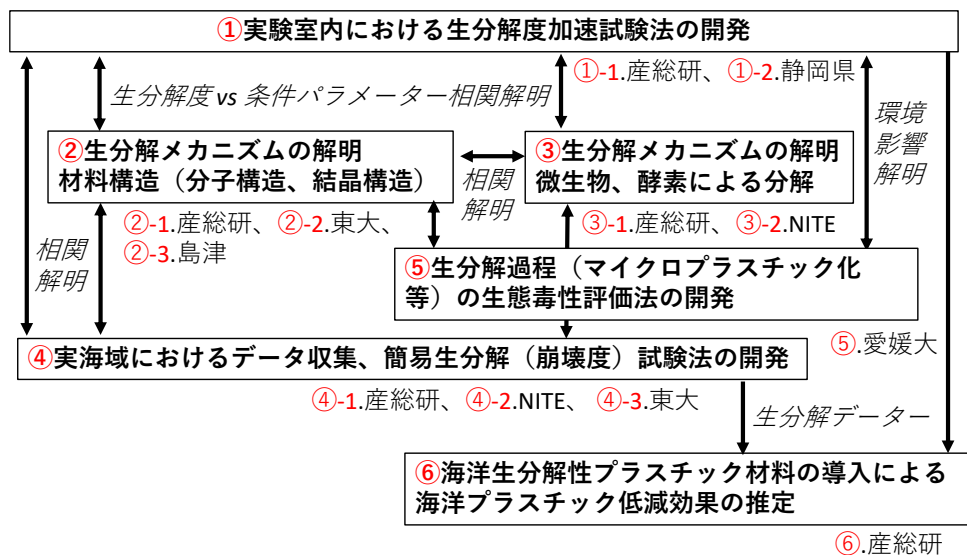
図III-2.1.1-9に示す青縦矢印は、各研究項目間の主な連携を示している。また、ISO規格開発は提案後、国際審議に時間を要するため、新規提案後に各研究項目の研究成果を縦の赤矢印で示す各国際審議の段階で、反映させていく予定になっている。国際標準化の状況は、事業原

簿のIV節で詳細に説明する。現状、簡易実海域フィールド試験（A）の新規提案が可決し、国際審議が開始され、実験室内生分解加速試験（B）の予備提案が終了し、新規提案準備中である。

各研究項目間の連携を図III-2.1.1-10に、各研究項目の想定する規格への反映項目について、表III-2.1.1-1に示す。各研究項目毎の主要な研究内容についてのフェーズAの計画を図III-2.1.1-11に、フェーズBの計画を図III-2.1.1-12に示す。



図III-2.1.1-9 本NEDOプロの各研究項目の年間計画（簡易）と日本バイオプラスチック協会受託 経産省委託費とISO国際標準化



図Ⅲ-2.1.1-10 各研究項目の連携

表Ⅲ-2.1.1-1 各研究項目の標準化に関わる実施内容、規格への反映、効果

研究項目 (担当機関)	実施内容	規格への反映	効果
①実験室内における生分解度加速試験法の開発 (1.産総研、2.静岡県)	実験室内で、海洋生分解を高精度で短時間(加速)で評価する方法を開発する。実海域の生分解予測を可能にする方法を開発する。	国際的に成果を比較できる実験室内、加速評価法(実験条件)、サンプル形状、構造を規格化する。	短期間で試験結果が得られるので研究開発の効率化できる。実海域での生分解速度が推測できるので、認証制度等での活用がより効果的になる。
②材料構造による生分解メカニズムの解明 (1.産総研、2.東大、3.島津)	生分解速度は分子構造、結晶構造に大きく影響する。その相関を明確化する。分解前後の構造解析を行うことにより構造に係わる生分解メカニズムを解明する。	サンプル調製条件として、規格に書き込む。	生分解材料、製品を設計するに当たり、どのような構造が最適であるか明確になる。
③微生物、酵素による生分解メカニズムの解明 (1.産総研、2.NITE)	生分解速度は、微生物が生産する酵素の活性、量、分解環境に依存する。そのため、どこの海水を用いるかによって、生分解の結果が大きく異なる。生物学的活性と生分解速度の関係、メカニズムを明確化する。	使用海水、微生物量を増加させた海水の生物学的活性の測定方を規格化する。	種々の条件パラメーターを活用して、実海域での生分解度の推測することで、信頼性の高い海洋生分解性製品の開発を支援する。
④実海域におけるデータ収集、簡易生分解(崩壊度)試験法の開発 (1.産総研、2.NITE、3.東大)	開発する実験室内の生分解度評価法と実海域試験の相関を解明する。簡易の実海域試験法を開発する。その生物学的活性と生分解度(崩壊度)の関係を解明する。	簡易な実海域試験法の規格化を行う。	実海域での生分解度(崩壊度)を簡便に測定することで、信頼性の高い海洋生分解性製品の開発を支援する。
⑤生態毒性評価法の開発 (愛媛大学)	生分解製品が、二酸化炭素まで、生分解する過程で、有害物質吸着、マイクロプラスチック生成等、環境に悪影響を与えないか検討する。	将来の認証制度の要求事項として考慮する。	海洋生分解性製品の環境安全性を明確化することにより、市場導入促進をはかる。
⑥海洋プラスチック低減効果の推定 (産総研)	海洋生分解性プラスチックの導入量と海洋流出を予測すると共に、生分解速度を考慮したシミュレーションを行うことで、海洋生分解性プラスチック導入による海洋プラスチック低減効果を推定する。	生分解度評価法により得られた結果の正当性や海洋プラスチック廃棄物へのガイドライン規格の策定に寄与する。	海洋生分解性材料の海洋プラスチック低減効果を明確化することにより、市場導入を促進する。

研究項目 (研究担当機関)	フェーズA		
	2020年度	2021年度	2022年度
①-1 実験室内における加速試験、新規評価法の開発(産業技術総合研究所 生命工学領域)			
好氣的生分解評価法の開発	因子の抽出	加速試験法の開発	
嫌氣的生分解評価法の開発	嫌気条件での検証・菌叢解析		微生物群のマップ化
①-2 実験室内における加速試験、生分解性評価法条件の最適化(静岡県環境衛生科学研究所)			
評価条件の研究	予備、本培養評価法の因子の抽出		最適条件の検証
②-1 物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明、分子構造相関解析(産業技術総合研究所 材料・化学領域(再委託先)東京都立産業技術研究センター)			
分子構造による生分解メカニズムの解明	メカニズム解明のための分子構造解析手法探索		メカニズム解明
実海域試験による種々変動因子の解明(外注分析)	ラボ試験に使用する海水、砂泥等の場所・季節変動の解明		
②-2 物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明、形状および結晶構造からの分解機構の解明(東京大学(再委託先)海洋研究開発機構)			
構造によるメカニズム解明	構造解析、形状・構造の異なる部材作成		
②-3 物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明、生分解度評価手法としての質量分析技術の有用性の検証および海洋生分解性プラスチックの安全性評価(島津テクノリサーチ)			
分解生成物、移行量の解明	前処理、経時的変化、吸脱着の解析		評価手法の開発
③-1 微生物、酵素による生分解メカニズムの解明、ラボ試験環境における微生物(叢)解析(産業技術総合研究所 生命工学領域)			
最適菌叢海水の開発	菌叢構造の指数化		標準海水の開発、生分解菌
③-2 微生物、酵素による生分解メカニズムの解明、生分解性微生物菌叢特定のための解析及び試験法開発に資する微生物添加要素技術の開発(製品評価技術基盤機構)			
生分解菌叢の特定と解析	生分解に関わる菌叢解析		混合微生物調製

研究項目 (研究担当機関)	フェーズA		
	2020年度	2021年度	2022年度
④-1 実海域におけるデータ収集、簡易生分解(崩壊度)試験法の開発、簡易試験法の開発と生分解データの収集(産業技術総合研究所 生命工学領域(再委託先)大阪産業技術研究所、滋賀県東北部工業技術センター、広島県西部工業技術センター、愛媛県産業技術研究所)			
実海域簡易試験法の開発	評価方法の開発	データ収集	
④-2 実海域におけるデータ収集、簡易生分解(崩壊度)試験法の開発、実験室試験の課題確認、仮説検証、及び標準化根拠形成のための実海域微生物及び関連データの収集(製品評価技術基盤機構、(再委託先)岩手大学、広島大学、島根大学、鹿児島大学)			
実海域環境微生物の解析	実海域試料からの微生物分離保管法の検討、菌叢解析		
④-3 実海域におけるデータ収集、簡易生分解(崩壊度)試験法の開発、深海実験の結果を基軸とした評価法の開発(東京大学(再委託先)海洋研究開発機構)			
深海における生分解評価	深海へのサンプル浸漬、回収、生分解・菌叢解析		
⑤ 生態毒性評価法の開発(愛媛大学)			
生態毒性評価法の開発	既存評価法の課題抽出		評価法草案の開発
⑥ 海洋プラスチック低減効果の推定(産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域)			
導入シナリオ、マテリアルフロー	シナリオ作成、マテリアルフロー解析手法構築		
河川・海洋モデル、分解試験結果の実環境への外挿手法の構築	モデルの構築、分解試験結果の実環境への外挿手法の構築		
合計 NEDO負担額[税込]	205百万円	215百万円	209百万円

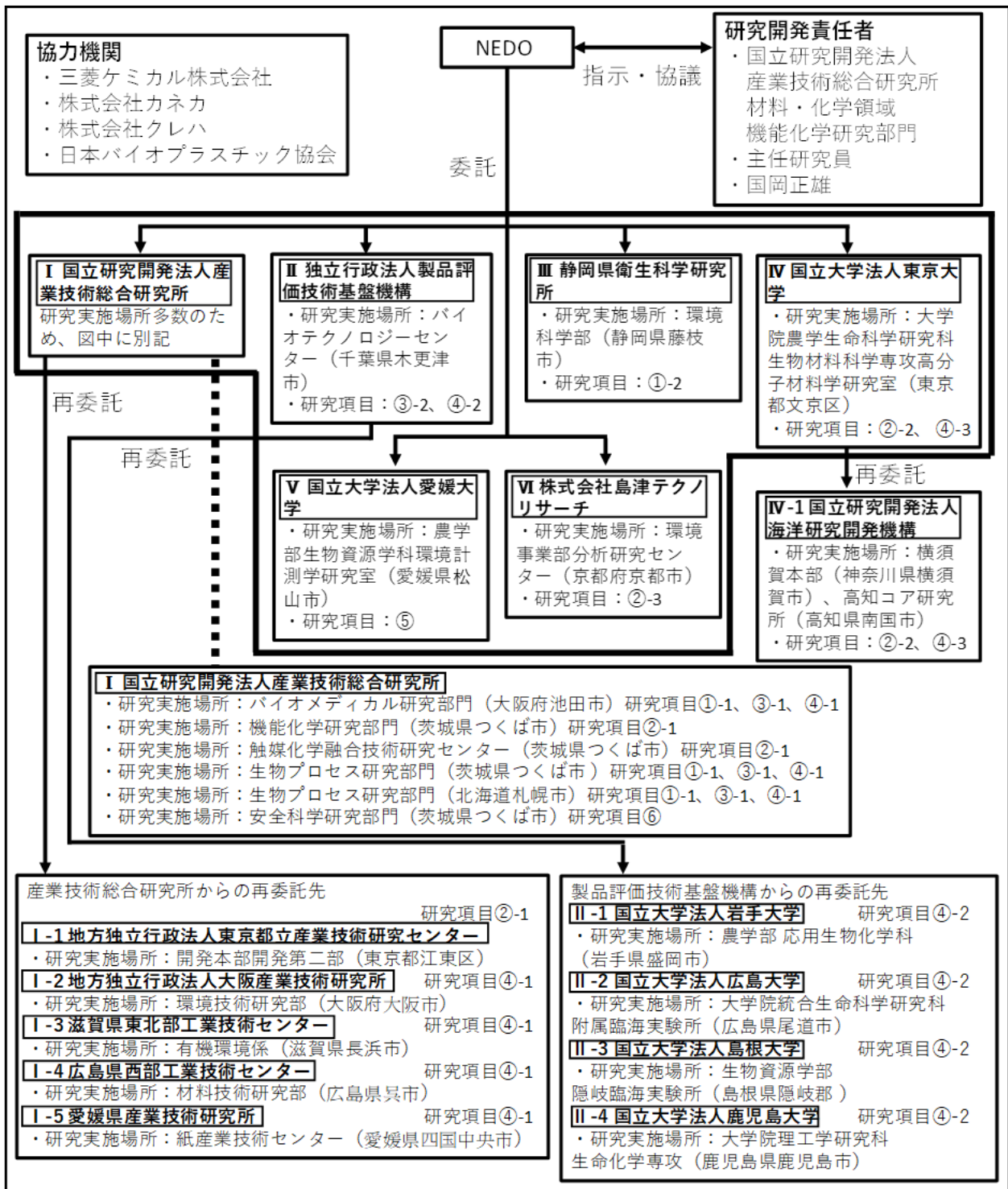
図Ⅲ-2.1.1-11 本 NEDO プロジェクトのフェーズ A (2020-2022 年度) における全体計画

研究項目 (研究担当機関)	フェーズB	
	2023年度	2024年度
①-1 実験室内における加速試験、新規評価法の開発(産業技術総合研究所 生命工学領域)		
好氣的生分解評価法の開発	外挿法の検証	
嫌氣的生分解評価法の開発	微生物群のマップ化	
①-2 実験室内における加速試験、生分解性評価法条件の最適化(静岡県環境衛生科学研究所)		
外海の評価条件の研究	本培養評価法の因子の抽出	予備、本培養評価法の最適条件
②-1 物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明、分子構造相関解析(産業技術総合研究所 材料・化学領域(再委託先)東京都立産業技術研究センター)		
分子構造による生分解メカニズムの解明	複数の手法によるマルチスケール構造解析技術の開発、劣化メカニズムの解明	
実海域試験による種々変動因子の解明(外注分析)	ラボ試験に使用する海水、砂泥等の場所・季節変動の解明	
②-2 物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明、形状および結晶構造からの分解機構の解明(東京大学(再委託先)海洋研究開発機構)		
構造によるメカニズム解明	異なる形状・構造の分解機構の解明	
②-3 物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明、生分解度評価手法としての質量分析技術の有 用性の検証および海洋生分解性プラスチックの安全性評価(島津テクノリサーチ)		
分解生成物、移行量の解明	堅牢性、汎用性の評価	ISO提案の検討
③-1 微生物、酵素による生分解メカニズムの解明、ラボ試験環境における微生物(叢)解析(産業技術総合研究所 生命工学領域)		
生分解菌の解析	ラボ試験容器内、実海域バイオフィルムの解析	
③-2 微生物、酵素による生分解メカニズムの解明、生分解性微生物菌叢特定のための解析及び試験法開発に資する 微生物添加要素技術の開発(製品評価技術基盤機構)		
混合生分解菌による評価法	混合生分解菌による評価法、安定化技術の検討	

研究項目 (研究担当機関)	フェーズB	
	2023年度	2024年度
④-1 実海域におけるデータ収集、簡易生分解(崩壊度)試験法の開発、簡易試験法の開発と生分解データの収集(産 業技術総合研究所 生命工学領域(再委託先)大阪産業技術研究所、滋賀県東北部工業技術センター、広島県 西部工業技術センター、愛媛県産業技術研究所)		
実海域簡易試験法の開発	データ蓄積、ラボ試験との相関検討、ラボ試験からの実海域生分解予測	
④-2 実海域におけるデータ収集、簡易生分解(崩壊度)試験法の開発、実験室試験の課題確認、仮説検証、及び標準 化根拠形成のための実海域微生物及び関連データの収集(製品評価技術基盤機構、(再委託先)岩手大学、広 島大学、島根大学、鹿児島大学)		
実海域環境微生物の解析	実海域試料からの微生物分離保管法の検討、菌叢解析	
④-3 実海域におけるデータ収集、簡易生分解(崩壊度)試験法の開発、深海実験の結果を基軸とした評価法の開発 (東京大学(再委託先)海洋研究開発機構)		
深海における生分解評価	深海へのサンプル浸漬、回収、生分解・菌叢解析	
⑤ 生態毒性評価法の開発(愛媛大学)		
生態毒性評価法の開発	新規生分解性プラの評価	評価法確定案の作成
	評価方法の検証・修正	
⑥ 海洋プラスチック低減効果の推定(産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域)		
海洋生分解プラと被代替プラ のフローと排出量推定	海洋生分解プラと被代替プラのフローと排出量の推定	
河川・海洋モデル、分解試験 結果の実環境への外挿手法 の構築	モデル解析によるプラ低減の評価	
合計 NEDO負担額[税込]	(179百万円)	(184百万円)

図Ⅲ-2. 1. 1-12 本NEDOプロジェクトのフェーズB(2023、2024年度)における全体計画

(4) 実施体制



図Ⅲ-2. 1. 1-13 実施体制図

(5) 運営管理

・幹事会

約2ヶ月毎に、研究項目細目の代表者とNEDO担当者が集まり（2021、2022年度はWEB会議）、進捗状況、計画、問題点等を共有している。また、各研究項目間の連携要望や、連携の実施の報告等も行い、各研究項目間の実際の活動を共有している。その他、種々の報告書（中間年報、実施方針等）やNEDO技術推進委員会、中間審査等への対応方針等を共有している。

2020年度実施状況

11月13日、12月4日、1月22日、2月26日

2021年度実施状況

5月31日、6月25日、8月20日、11月17日、2月22日

2022年度実施状況

5月13日、6月23日、以降4回程度予定

・全体会

半分くらいの研究項目細目の技術的研究内容を詳細に報告する会。再委託先も含めて、登録研究員、NEDO担当者が参加する。技術的内容を共有、議論することにより、各研究項目での相乗的な進捗、課題の解決を目指す。年3回の開催。

2020年度実施状況

12月4日、1月22日

2021年度実施状況

6月25日、11月19日、2月22日

2022年度実施状況

3回程度予定

・推進委員会

当プロジェクト内（産総研が代表機関として、委員委嘱、招集）の実施状況や計画について、外部有識者（学識、海洋生分解関連企業、日本バイオプラスチック協会等）12名による推進委員会。海洋生分解に係わる他プロジェクト（ムーンショット3件）の代表者にも委員になっていただき、進捗について情報共有している。（産総研国岡もそれぞれのプロジェクトの委員会に委員として出席）外部有識者からの意見を参考に、プロジェクト運営、研究開発実施項目の参考にしている。

2020年度実施状況

12月14日、3月22日

2021年度実施状況

8月30日、12月16日、3月2日

2022年度実施状況

8月、12月、3月を予定

・技術推進委員会

NEDO 内に設置された外部有識者による当プロジェクトの実施状況を評価し、適正に実施されているか、また、計画等に意見を頂く委員会。

2020 年度実施状況

実施せず

2021 年度実施状況

7 月 28 日

2022 年度実施状況

6 月 30 日

・その他の会議

再委託先連絡会議、微生物量測定法、微生物菌叢解析

(6) 実施の効果

本プロジェクトは、ISO 規格化を視野に入れた海洋生分解評価法の研究開発である。本プロジェクトを実施することにより、当該評価法の ISO 規格化が期待できる。ただし、規格化のみが目標ではなく、その規格を活用した認証制度等による海洋生分解性プラスチック製品の社会実装、市場導入の促進が規格化された評価法の活用により期待される。

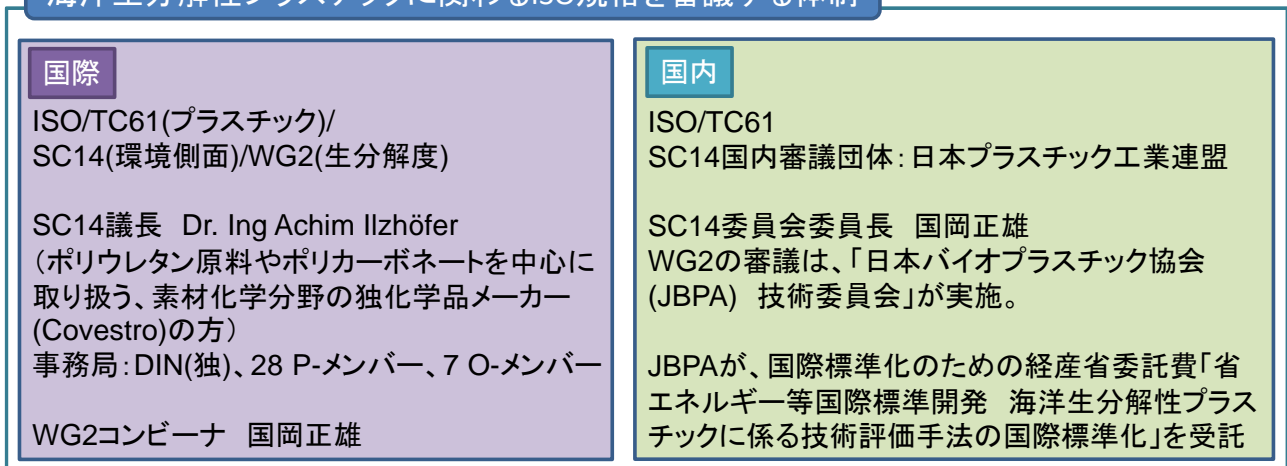
まず、本プロジェクトの成果を規格化する部分について説明する。ISO 規格は、図Ⅲ-2.1.1-14 に示す国内外の審議、プロセスを経て、発行される。例えば、良い海洋生分解評価法が開発された場合、世界中で共通な条件や手法で活用されるように、ISO 規格化を目指すことになった場合、まず、図中緑枠内での国内コンセンサスの形成を目指す。プラスチックに係わる ISO 国内審議は、プラスチック工業連盟が業界団体として担当しており、その中のバイオプラスチックに関しては、日本バイオプラスチック協会の技術委員会が担当している。これらの委員会で、ISO 規格化すべきかを審議し、図中紫枠内の ISO 審議の場である、ISO/TC61（プラスチックに関わる専門委員会）/SC14（環境側面に関わる分科委員会）/WG2（生分解度に関わる作業部会）で、国際審議される。本プロジェクトをとりまとめている本節の筆者は、国際審議をしている WG2 のコンビーナ（議長）で、国内審議をしているプラ工連の SC14 委員会の委員長で、ISO 化がスムーズに進行できることが期待される。

図中下図に示す ISO 規格を審議するプロセスを説明する。本プロジェクトで評価法の素案を作成する (①)。③、④に示す国内審議委員会での承諾が得られた場合、ISO 提案となるが、⑤の予備提案を実施し、ISO の WG2 参加者にその内容を説明する。WG2 の会議では、それほど、長い時間も取れず、また、初めて聞く内容で、すぐには理解できない場合が多い。そこで、疑義や反対意見をつぶしておくために、ロビー活動が重要である。現状では、直接外国訪問することは、難しいので、主要メンバーや関係者に WEB 会議やメールで詳細に説明、質疑応答を丁寧に行い、⑦の新規提案がなされた場合、国際投票にかけられるが、その際、新規提案が可決するよう（投票数の 2/3 の賛成、5 ヶ国以上の積極賛成）、賛成票を投じるのみならず、積極賛成を働きかけることになる。新規提案が可決すると 2、3 年程度で発行する。新規提案可決後

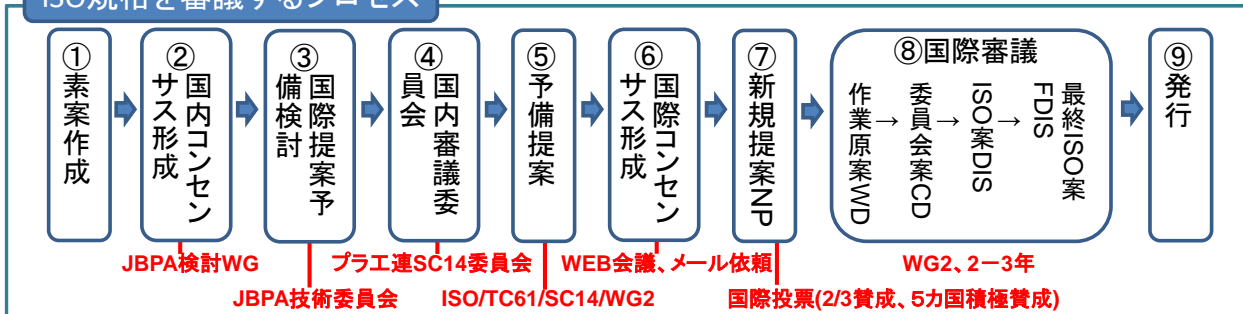
の国際審議の最中も、本プロジェクトで得られた成果を規格本文に反映させる機会が2, 3回ある。

評価方法の規格の活用方法を図III-2.1.1-15に示す。ISO規格に定義された評価法を製品製造企業が社内開発の指標として活用することができる。本プロジェクトが目指している精度が高く、評価期間が短い評価法であれば、開発製品性能の信頼性が向上すると共に、開発期間を短くすることができ、多くの評価が行えるので、製品性能の最適化をより進めることができる。また、製品開発が終了した後、認証機関に認証してもらうため、外部分析期間に評価を依頼する必要がある場合もあるが、すでに、社内評価が済んでいれば、分析期間に対しても、それをフォローしてもらうことにより、確実な結果（生分解が十分に進行）を出すことができる。こうして、認証製品、樹脂の市場導入が促進されることが期待される。

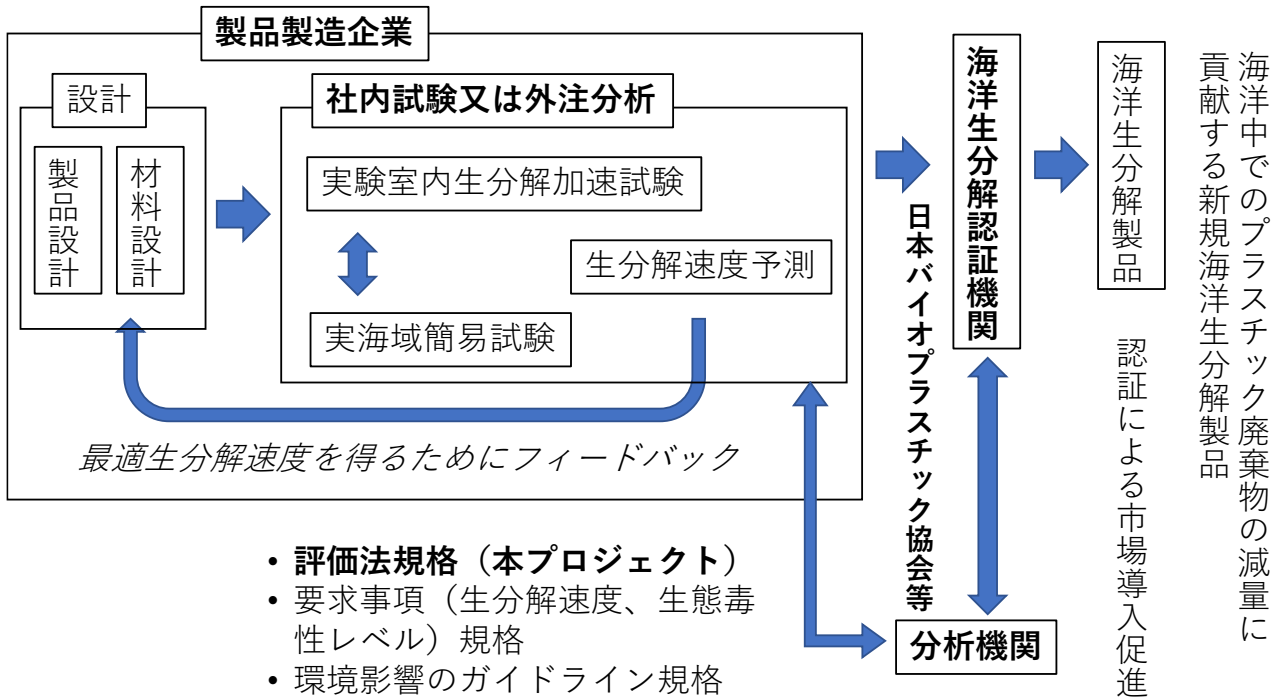
海洋生分解性プラスチックに関わるISO規格を審議する体制



ISO規格を審議するプロセス



図III-2.1.1-14 海洋生分解評価法の標準化実施体制と規格を審議するプロセス



図Ⅲ-2.1.1-15 研究開発項目①の将来の社会実装

2.1.1.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究項目	中間目標 (2022年度)	成果	達成度	今後の課題 と解決方針
全体	海洋生分解性に関する暫定的な評価手法を策定する。	1件の評価法のISO新規提案可決 1件の評価法のISO新規提案可決予定	◎ 暫定的な評価手法開発のみならずISO新規提案	特になし

（目標に対する達成度の自己評価です。表形式にしてください。◎○△×の意味は下記の通り。理由も「達成度」箇所に簡潔に記載する）

◎：大きく上回って達成（特筆した成果を記載）

○：達成（成果を記載）

△：概ね達成（成果と未達ともに記載）

×：未達（未達理由について記載）

簡易実海域フィールド試験は、中間目標である評価法の概要の開発は終了し、ISO新規提案可決段階まで、進捗しており、目標を大きく上回って、進捗している。また、実験室内生分解加速試験も、中間目標である評価法の概要の開発は終了し、ISO予備提案を終了し、新規提案

準備中であり、こちらも、目標を大きく上回って、進捗している。ただし、どちらも、ISO 案の文章中に空欄が多く存在し、それを今後、フェーズ B で得られるデータを挿入し、さらに使いやすく、信頼性の高い ISO 評価法規格としていかななくてはならない。また、これらの規格のさらなる活用、海洋生分解性プラスチックの安全性の確認のための規格等の必要性の検討、開発を進めていく。

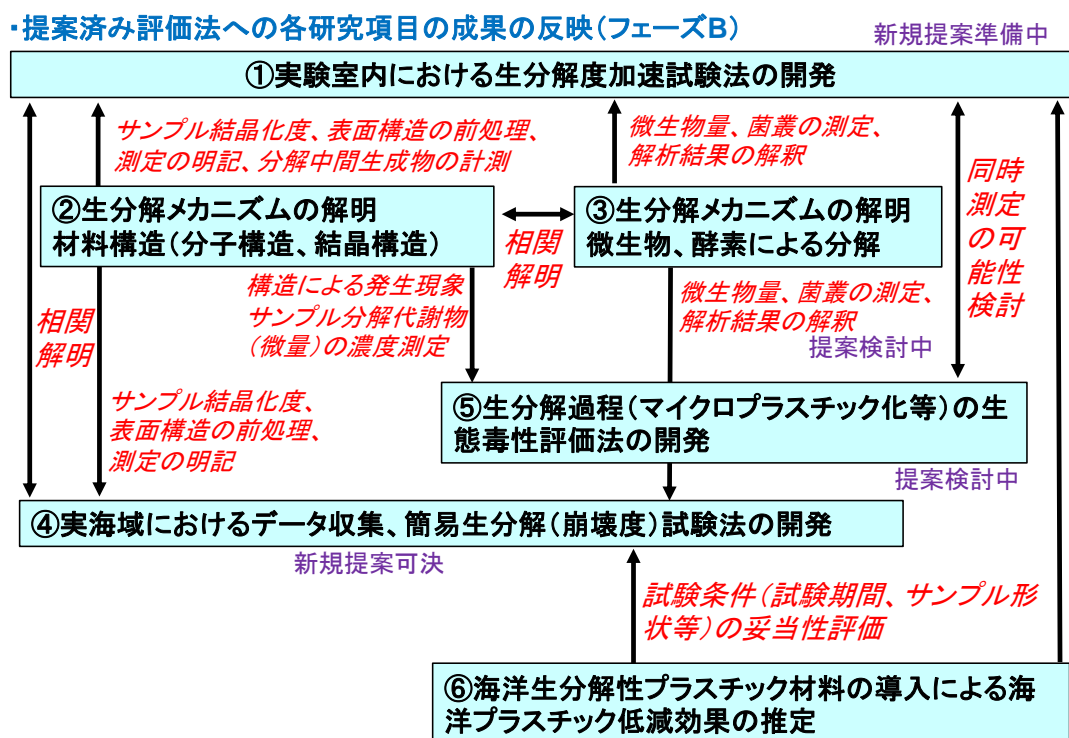
中間目標に記載は無いが、本プロジェクトの成果である海洋生分解評価法を多くの関連企業に使っていただくために、産総研に本プロジェクトの成果の活用も目的とした「産総研海洋生分解性プラスチック標準化コンソーシアム」(図Ⅲ-2.1.1-16)を2021年10月1日に設置し、関連企業との情報共有、意見交換を進めている。講演会等で、本プロジェクトの成果の報告(2022年1月19日)や、本プロジェクトの主要な実施場所である産総研関西センターの見学会(2022年7月15日)を通して、成果の普及に努めている。

産総研海洋生分解性プラスチック標準化コンソーシアム —2021年10月1日設立—



図Ⅲ-2.1.1-16 本 NEDO プロジェクトの成果 (評価法) の啓蒙のための組織設立

本プロジェクトフェーズ A で得られた実験室内生分解加速試験の ISO 規格提案は、主に研究項目①、簡易実海域フィールド試験は、主に研究項目④の成果であるが、各研究項目で得られた成果を図Ⅲ-2.1.1-17 に示す赤字の成果をフェーズ B の成果と共に、国際審議において、提案内容に反映させていく。



図Ⅲ-2.1.1-17 研究項目①、④の ISO 新規提案に対するその他の研究項目の成果の反映

(2) 成果の最終目標の達成可能性

研究項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
全体	製品化を行うユーザーが共通して活用できる海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法を確立し、国際標準化提案 1 件以上に繋げる。	◎大きく上回って達成予定 評価法 3 件程度、ISO 新規提案可決、国際審議が進行している予定。

最終目標は、「海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法を確立し、国際標準化提案 1 件以上に繋げる」ということなので、すでに、2 件の評価法（簡易実海域フィールド試験、実験室内海洋生分解加速試験法）の提案を行っているので、最終目標の達成は確実である。ただし、フェーズ A で、評価法に関わる研究開発が充分であるというわけでは無く、これらの評価法をより使いやすくするための、フェーズ B でのデータ蓄積、特に、実海域の試験結果と実験室内の試験の相関や実海域の場所や季節変動に関わる原因や比較検討が容易になるような標準条件（微生物量等）への外挿方法の開発が重要である。また、実験室内海洋生分解加速試験法の加速の度合いにあたる数値の見積もりも重要な研究開発要素である。

(3) 成果の普及

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年6月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020	0	0	2	0	0	0	0
2021	0	11	48	0	1	0	4
2022	0	0	6	5	0	0	0
合計	0	11	56	5	1	0	4

査読付きの論文発表の数は、まだ、行われていないが、今後、多くのデータが収集されれば、査読着き論文発表の数も増えていくものと予想している。また、海洋プラスチックゴミ問題の関心の高さから、主要メンバーへの種々の科学専門誌から、海洋生分解性プラスチックに関わる解説議事の執筆依頼が多くなされており、そのほかの論文が多いのが特徴となっている。展示会への出展は、2021年12月に行われたサステナブルマテリアル展への出展であるが、非常に多くの来場者からの質問を受け、多くの来訪者情報を入手することができ、評価法の重要性やその方法の認知が広まったと推測する。

2021年の東大岩田の「科学技術分野の文部科学大臣表彰」や産総研国岡の「産業標準化事業表彰の経産大臣表彰」など、この分野での活躍が認められており、プロジェクト成果に対する表彰でも有り、かつプロジェクトへの進捗に対する大きな貢献が期待される。

(4) 知的財産権、ISO国際標準などの確保に向けた取り組み

表Ⅲ-2.1.1-2に本プロジェクトの知的財産・標準化戦略、標準化の取組を示す。ISO標準化する評価法は、知財化を行ってしまうとISOの知財ポリシーに従うと、標準必須特許として、実施料の無料や平等的低額で特許を実施許諾する特許声明書を提出しなければならない。特許声明書を提出すると、ISOを審議する外国の参加者が懸念事項として問題視する場合があります。一般的には、標準として公開されるまでの他者の特許出願を防止するための牽制としての出願以外はあまり行われたい。このため、基本的には、標準化する評価法は特許出願を行わない。ただし、その評価法に関わり、さらなる高精度な方法や、簡易迅速評価など、標準化する評価法の周辺技術は知財化を検討する。

標準化戦略としては、日本バイオプラスチック協会が運営を予定している「海洋生分解性プラスチックの認証制度」に活用される規格開発を目指す。

標準化の取組としては、表 2.1-2 に示す国内外の審議団体で審議を行う。また、国内外の関連の強い個人や団体と意見交換を通して、国内外コンセンサスの形成に努める。

＜知的財産・標準化戦略＞

- 標準化する評価法は、知財化は行わない。(現状、特許出願無し)
- 周辺技術(更なる高精度、迅速簡易等)が見いだされた場合は、知財化を検討
- 日本バイオプラスチック協会が運営する予定の認証制度に活用される標準規格開発
- ISO/TC61「プラスチック」/SC14「環境側面」/WG2「生分解度」への規格提案

＜標準化の取組＞

- 国内コンセンサスの形成は、日本バイオプラスチック協会の技術委員会での審議、日本プラスチック工業連盟(ISO/TC61の国内審議団体)のSC14国内委員会での追認
- 日本バイオプラスチック協会が受託している経産省 省エネルギーに関する国際標準の獲得・普及促進事業委託費(2020-2022年度)「海洋生分解性プラスチックに係る技術評価手法の国際標準化」により、本NEDOプロジェクトの成果(簡易実海域フィールド試験、実験室内海洋生分解加速試験法)の規格開発、国際コンセンサス形成(メール会議等)を行っており、検討WG(年5回)、本委員会(年2回)で規格内容の詳細を検討

2.1.2 研究項目①「実験室内における生分解加速試験法の開発」 ①-1 新規評価法の開発

(担当：産業技術総合研究所 生命工学領域 バイオメディカル研究部門、生物プロセス研究部門)

2.1.2.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

海洋プラスチック問題は解決すべき喫緊の課題であり、その対策の一つとして、現在、生分解性プラスチックの活用が世界的にも求められている。しかしながら、従来の生分解性プラスチックは活性汚泥やコンポスト化分解など、陸域での生分解を想定した手法で生分解性が確認されているものであり、海洋での生分解が確認されているものはほとんどないのが現状である。その理由は海洋での生分解性を評価する適切な標準法の整備が遅れているためである。

現在、ISOなどで海洋生分解の標準法が整備されつつあるが、欧州を中心にその運用、評価に対してかなり厳しい姿勢が見られ、試験期間が2か年に渡るような厳しい試験法が検討されている。このような長期の試験法では開発が先行している欧州などでは支障が小さいが、これから開発される海洋生分解性樹脂では新樹脂開発の度ごとに評価に2年もかけているのは実質的な開発を進めるのはほぼ不可能である。このことから、長期にわたる厳しい生分解性試験をする前に実施可能な、「生分解性を有する樹脂のスクリーニング」および「迅速な樹脂の生分解性の簡易判定できる加速試験法」が求められている。そこで、本提案では、ラボレベルでの海水生分解加速試験法（好氣的条件）の開発を目的として、操作法、手順、試験条件の観点から、生分解に関与する各種因子を明確にし、だれでも簡便に短期間で生分解性評価ができる手法を開発する。

海洋における生分解では、水深は一つの重要なパラメーターである。表層海面は好気条件であり、海流による大規模な海水の循環により水深がある程度深くとも一定の溶存酸素濃度が維持されるとされている。しかし、プラスチックごみが蓄積するような海底域では他の有機沈降物もあるため、それら易分解性の有機物が微生物による代謝により分解される結果、酸素の欠乏が引き起こされ嫌気状態となる。そこで、現在検討されている好氣的条件での試験法に加えて、こうした海底や一部の海中で見られる嫌気条件下においても生分解性樹脂が分解されるかどうかの評価も必要である。その確認のため、実環境試験の対象となる日本各地の標準的な沿岸域から海底の底泥サンプルを採取し、数種類の樹脂材料を加えて無酸素条件で培養し、海底環境を模擬した嫌気状態においても生分解するかどうかについて実証試験を実施し、その評価手順を確立するとともに、異なる沿岸域によって嫌気条件下での生分解能力にどの程度の違いが見られるのかを評価する。生分解能の評価は、嫌氣的代謝の最終産物であるメタンガスの生成量をガスクロマトグラフにより分析し、合わせて微生物叢や樹脂表面の顕微鏡観察を行うことで、各海域における嫌氣的生分解能力とそれを担う微生物群のマッピングを試みる。

(2) 位置づけ、目標値

ラボレベルでの海水生分解加速試験法（好氣的条件）の開発を目的として、生分解に関与する海水由来、環境由来の各種因子を明確にし、だれでも簡便に短期間で生分解性評価ができる手法を開発する。現行では最長2年かかる生分解評価を最短3カ月、長くても1年以内で終了する評価法を開発する。さらに、好氣的条件での試験法に加えて、海底や一部の海中で見られる嫌気条件下においても生分解性樹脂が分解されるかどうかの評価も行う。中間目標としては好氣的海水生分解に関して、ISO法として提案するラボ好氣的海水生分解加速試験法を1つ作

成する。生合成系樹脂、化学合成樹脂、天然物ベース樹脂を含む 5 種以上の樹脂について、その手法を用いた生分解試験データを蓄積する。N=5 以上の試験により、データのばらつきを調べ、最適な N 数を決定する。嫌氣的海水生分解に関して、4 箇所以上の底泥試料を用い、生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂の 4 種類の樹脂を対象に嫌気生分解能を検証する。生分解が見られた系について優占菌の存在量比を明らかにし、それらの系統分類学上の特徴付けを行う。最終目標としては、好氣的海水生分解に関して、2022 年度までに作成したラボ生分解試験法を用いた生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂、複合系樹脂の計 5 種以上の試料を対象にした生分解試験を行い、生分解試験途上 1 か月もしくは 3 か月の試験系内の残存樹脂および樹脂由来分解生成物の定量分析を行う。また、生分解途上の分解曲線を近似できる外挿関数を 1 つ提案する。残存量分析と外挿関数の組み合わせで試験期間を 3 か月程度に短縮する手順を組み合わせたラボ好氣的海水生分解加速試験法を 1 つ以上提案する。嫌氣的海水生分解に関して、生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂の 4 種以上の樹脂を対象に、日本各地 6 箇所以上の沿岸域海底での嫌気生分解能を検証し、そのマップ化とラボ嫌氣的海水生分解試験法の確立を行う。

(3) 全体計画

研究項目	2020 年度				2021 年度				2022 年度				2023 年度				2024 年度			
	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期	第 1 四半期	第 2 四半期	第 3 四半期	第 4 四半期
(イ) 好氣的生分解加速試験法の開発																				
(イ-1) 生分解にかかわる因子の抽出																				
(イ-2) 加速試験法の提案																				
(イ-3) 外挿法の検証																				
(ロ) 海底土による嫌氣的生分解の実証試験																				
(ロ-1) 嫌気条件で生分解が起こるかの検証と菌叢解析																				
(ロ-2) 各海域の嫌氣的生分解に関与する微生物群のマップ化																				
予算額(百万円)	15				13				13				9				9			

初年度（2020 年度）は、

- ・事業項目（イ）好氣的生分解試験法の開発

(イ-1)生分解にかかわる因子の抽出として、2021 年度にかけて操作法、手順、試験条件の観点から、好氣的ラボ生分解試験に影響する各種因子を抽出する。とくに温度、攪拌、試料濃度における最適条件を明確にし、生分解が最加速される実験系を構築する。また、生合成系、化学合成系の 3 種以上の樹脂を対象にして、その試験法による再現性を明確にする。

(イ-2)加速試験法の提案として、BOD もしくは CO₂ をベースとする好氣的海水生分解加速試験法の原型の提案を 1 つ以上行う。

- ・事業項目（ロ）海底土による嫌氣的生分解の実証試験

(ロ-1) 嫌氣条件で生分解が起こるかの検証と菌叢解析として、嫌氣条件での生分解試験のための基礎実験系を構築するために、1 種類の樹脂を標準試料として 1 箇所の海域から採取した底泥を対象とし、恒温培養槽を用いた底泥試料の嫌氣培養法と、ガスクロマトグラフを用いての樹脂生分解によるメタンガス生成量の測定法についての予備試験を実施する。

2 年目(2021 年度)は、

- ・事業項目（イ）好氣的生分解試験法の開発

(イ-1)生分解にかかわる因子の抽出として、前年度からの検討を継続し、生合成系、化学合成系の 3 種以上の樹脂を対象にして、実験条件の設定による加速効果を定量化する。

(イ-2)加速試験法の提案として、前年度に作成した原型案をベースに好氣的海水生分解加速試験法が今後想定される各種生分解性樹脂に対応できているかの検証を 5 種以上の樹脂を対象に行い、必要な改良を行う。

- ・事業項目（ロ）海底土による嫌氣的生分解の実証試験

(ロ-1) 嫌氣条件で生分解が起こるかの検証と菌叢解析として、初年度に構築した嫌氣条件での生分解試験培養系において、樹脂の生分解が確認された底泥培養物から複合微生物群由来の全 DNA を抽出し、16S rRNA 遺伝子を指標とするアンプリコンシーケンスを実施する。さらに、得られた塩基配列データに基づく菌叢解析をデータ解析用 PC を用いて実施して、優占菌の存在量比と系統分類学上の特徴付けを行う。

(ロ-2) 各海域の嫌氣的生分解に関与する微生物群のマップ化について、海底環境を模擬したラボ嫌氣生分解試験に着手し、2 箇所以上の底泥試料を用い、生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂の 4 種類の樹脂を対象に嫌氣生分解能を検証する。

3 年目(2022 年度)は、

- ・事業項目（イ）好氣的生分解試験法の開発

(イ-2)加速試験法の提案として、好氣的海水生分解加速試験法を用いて、従来データがばらつきやすいとされていた PBS 系樹脂を中心に、N=5 以上の検体数にてデータのばらつきを検討し、必要に応じた実験条件の追加を行い、現実的な適切な N 数を決定する。

(イ-3) 外挿法の検証として、好氣的海水生分解加速試験法での 1 か月での試験曲線から 1 年間の生分解曲線に近似可能な複数の生分解外挿関数候補を検討し、最適のものを選択し、提案する。

- ・事業項目（ロ）海底土による嫌氣的生分解の実証試験

(ロ-2) 各海域の嫌氣的生分解に関与する微生物群のマップ化として、2021年度に開始した嫌氣培養系の生分解能力をメタンガス生成測定により引き続き検証するとともに、新たに2箇所以上の底泥試料を対象に、生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂の4種類の樹脂を用いた嫌氣培養を実施し、その生分解能の検証を開始する。また、生分解が確認された系における菌叢解析をデータ解析用PCを用いて実施して、優占菌の存在量比と系統分類学上の特徴付けを行う。

4年目(2023年度)は、

- ・事業項目(イ)好氣的生分解試験法の開発

(イ-3) 外挿法の検証として、前年度の成果をもとに生分解のしやすさの異なる各種樹脂を対象にして、その精度を示す。また、生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂、さらに複合系樹脂の計5種以上の試料を対象に、1か月もしくは3か月までの時点での試験系内での残存樹脂、中間生成物の有無について分析を行う。

- ・事業項目(ロ)海底土による嫌氣的生分解の実証試験

(ロ-2) 各海域の嫌氣的生分解に関与する微生物群のマップ化として、2021年度ならびに2022年度に開始した嫌氣培養系の生分解能力をメタンガス生成測定により引き続き検証するとともに、新たに2箇所以上の底泥試料を対象に、生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂の4種類の樹脂を用いた嫌氣培養を実施し、その生分解能の検証を開始する。また、生分解が確認された系における菌叢解析をデータ解析用PCを用いて実施して、優占菌の存在量比と系統分類学上の特徴付けを行い、マップ化のためのデータを蓄積する。

5年目(2024年度)は、

- ・事業項目(イ)好氣的生分解試験法の開発

(イ-3) 外挿法の検証として、前年度までの成果をもとに、1か月もしくは3か月までの系内の資化状況を分析し、長期予測する生分解外挿関数が必要かどうかを含めて、短期評価するシステムを作成し、国際標準法として提案、ISO法として委員会にて議論されている状態にする。

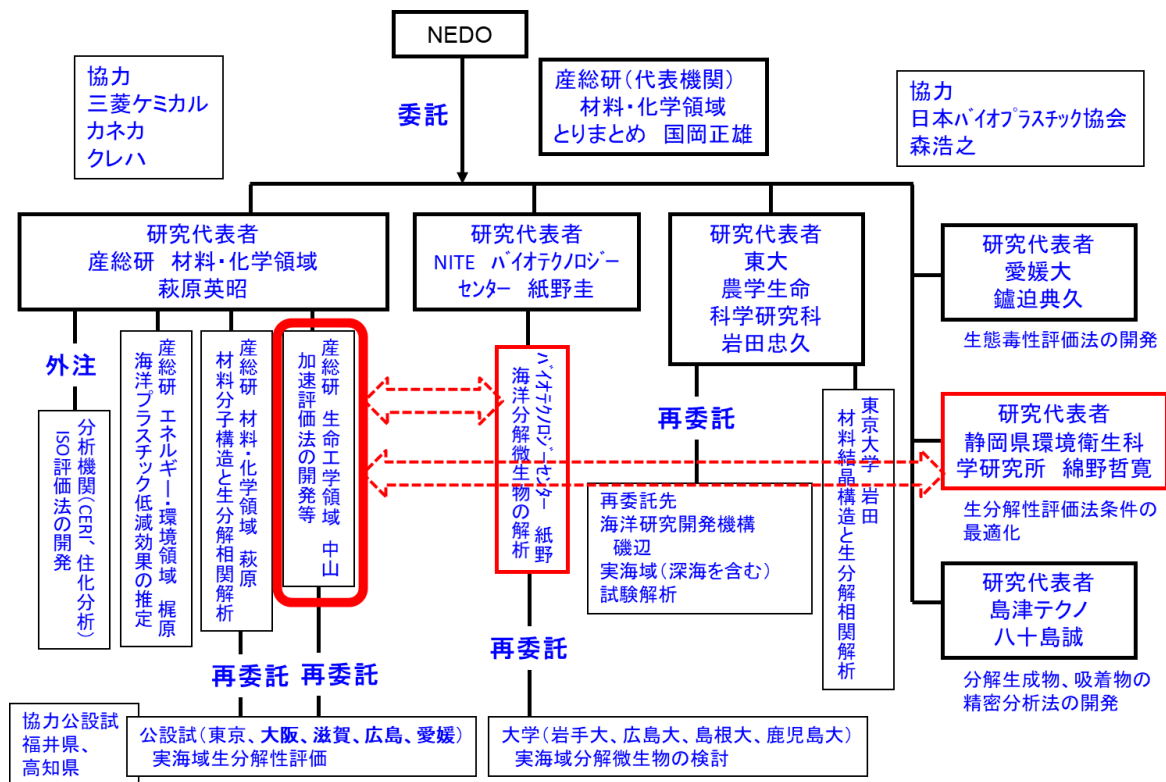
- ・事業項目(ロ)海底土による嫌氣的生分解の実証試験

(ロ-2) 各海域の嫌氣的生分解に関与する微生物群のマップ化として、2021年度から2023年度に開始した嫌氣培養系について、6箇所以上の日本各地沿岸域の海底における、4種類以上の樹脂生分解能力とそれに付随する菌叢データのマップ化を実施し、海域や樹脂の違いによって優占菌叢が異なるかどうかを検証する。さらに、これまでの嫌氣培養試験から得られたメタンガス生成量や樹脂添加量等の結果を取りまとめ、ラボ嫌氣的海水生分解試験法の確立を行う。

研究項目 (研究担当機関)	フェーズA		
	2020年度	2021年度	2022年度
①-1 実験室内における加速試験、新規評価法の開発(産業技術総合研究所 生命工学領域)			
好氣的生分解評価法の開発	因子の抽出		加速試験法の開発
嫌氣的生分解の実証	嫌氣条件での検証・菌叢解析		微生物群のマップ化
合計 NEDO負担額[税込]	15百万円 (7百万円) (8百万円)	13百万円 (6百万円) (7百万円)	13百万円 (6百万円) (7百万円)

研究項目 (研究担当機関)	フェーズB	
	2023年度	2024年度
①-1実験室内における加速試験、新規評価法の開発(産業技術総合研究所 生命工学領域)		
好氣的生分解評価法の開発	試験系内の樹脂及び中間生成物の分析	試験期間の短縮手法の検討
嫌氣的生分解の実証	嫌氣生分解過程における優先菌の定量的解析	菌叢データと優先菌叢の分布のマップ化
合計 NEDO負担額[税込]	9百万円 内訳(4百万円) (5百万円)	9百万円 内訳(2百万円) (7百万円)

(4) 実施体制



(5) 運営管理

研究項目③-1、④-1 とともに行っている。プロジェクト全体の円滑な運営を目的とし、進捗状況、計画、問題点等を報告、共有のため、「幹事会」が原則2ヶ月に1回開催され、出席している。また、研究実施者が全員集まって行う「全体会」は4ヶ月に一度開催され、具体的な研究データを紹介し、議論を行っている。外部有識者を交えた「推進委員会」は年3回程度開催され、研究概要を説明、適宜アドバイスをいただいている。別途、NEDO主催の「技術推進委員会」も年1回開催され、研究に対して多くのコメントをいただき、研究に反映させている。さらに、ISO国際標準化を達成するため、必要に応じて「JBPA(日本バイオプラスチック協会)技術委員会」に出席し、ISO標準化原案の示し、意見交換し、産業界の要望を取り入れるよう

にしている。JBPA では経産省委託事業として、本 NEDO 成果を ISO 化するための実務的な役割を果たしており、JBPA が運営している「海洋生分解性プラスチック国際標準化委員会」、および「海洋生分解性プラスチック国際標準化検討 WG」の委員、メンバーとして定期的な会合に出席している。また、年数回開催される「ISO TC61 内に設置された WG」メンバーとして予備提案から本格審議に向けて活動している。

(6) 実施の効果

本生分解評価手法により、採水場所を選ばない、どのような海水でも高活性海水として使用可能な手法を示すことができ、生分解までの期間は CO₂ 化するまでといった固定観念をバイオマス化するまでと改めることにより大幅な試験期間の短縮が可能なことを示すことができた。これらの手法を用いた標準化手法を認証制度に取り入れることで、新規生分解性材料の開発に要する期間が大幅に短縮される。また、認証マークを付けた製品が出回ることで生分解性樹脂の信頼度が上がり、安心して使用できるようになる。結果として海洋生分解性プラスチックの迅速な社会実装が可能となる。

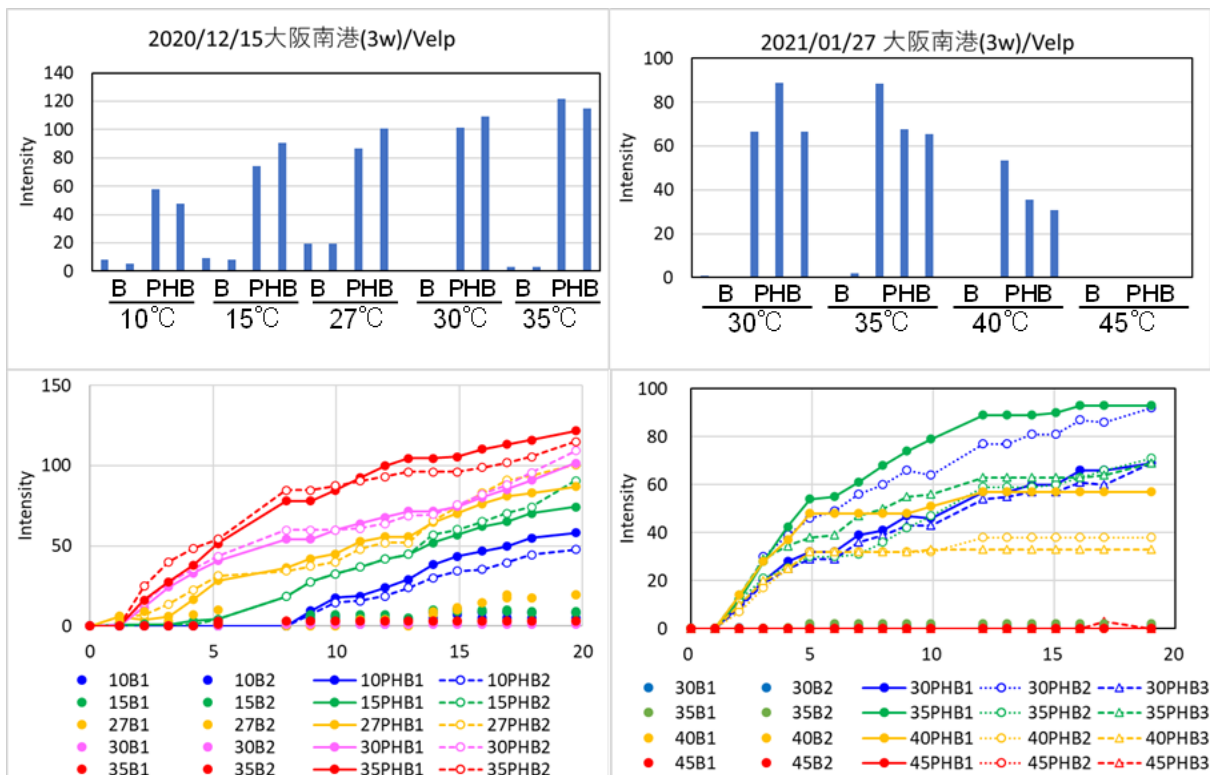
2.1.2.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

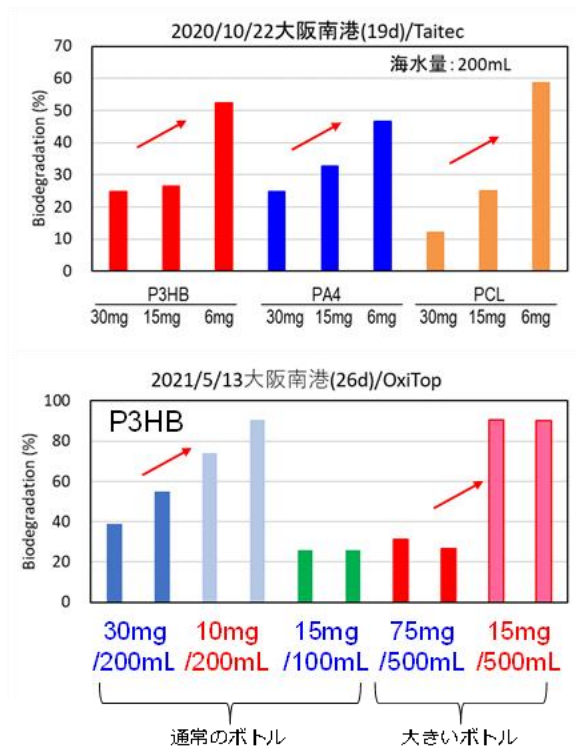
研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
好氣的生分解加速試験法の開発	①ラボ好氣的海水生分解加速試験法の開発	①ラボ好氣的海水生分解加速試験法を開発した。	○	①加速効果の数値による評価。 →データの蓄積
	②上記手法によるデータ蓄積（生合成系樹脂、化学合成樹脂、天然物ベース樹脂を含む5種以上の樹脂）	②5種以上の樹脂にて、上記手法によりデータを蓄積した。	○	②試料の結晶化度等の状態を明確にした上でのデータの蓄積。 →データの蓄積
	③データのばらつきの評価とN数の決定（N=5以上の試験による）	③N=5以上の試験によるデータのばらつきを調べ、適切なN数を決定する実験を実施中。	△ 年度内達成見込み	③試験試料の均一化において統一すべき項目の検討。 →研究項目②との連携
	④海洋生分解性ラボ試験法をISO予備提案を検討	④海洋生分解性ラボ試験法をISO予備提案した。	○	④投票結果の対応 →投票結果後の対応となる
海底土による嫌氣的生分解の実証試験	⑤嫌氣生分解能の検証（4箇所以上の底泥試料、4種類の樹脂）	⑤日本各地6箇所の底泥試料を用い、4種以上の樹脂を対象とした沿岸域海底での嫌氣生分解を実施。	○	⑤分解率向上に向けた培地組成検討。東日本海域からの採泥。 →データの蓄積
	⑥生分解が認められた系について優占菌の存在量比を明らかにし、それらの系統分類学上の特徴付けを行う。	⑥嫌氣生分解に関する優占菌の存在量比を示し、それらの系統分類学上の特徴付けを行った。	○	⑥嫌氣条件における生分解菌の特定。 →データの蓄積

成果の詳細

新規海水生分解加速試験法として、樹脂が生分解される際に発生する CO₂ 量もしくは消費される酸素量の計測を基本的な手法として、各種測定条件の最適化として、1 試験温度、2 試料濃度、3 攪拌、4 無機栄養源量 について検討した。まず試験温度は図Ⅲ-2.1.2-1 に示すように試験温度が高いほど一定期間後の生分解度は高くなるが 35℃で生分解度は頭打ちとなりそれ以上の温度では減少した。高い温度では菌叢変化が影響することが考えられることから試験温度は 30℃までの高い温度が推奨される。次いで、試料/海水比について検討した（図Ⅲ-2.1.2-2）。図では異なる 2 回の試験結果を示したが、試料/海水比が小さいほど、海水量比が大きいほど、一定期間後に到達する生分解度は大きくなった。生分解に関与する菌数が増えるためと推察される。攪拌の効果は試験海水の表面を揺らす=ヘッドスペースから試験海水への酸素供給を促進させる 効果があり、樹脂により差があるが、図Ⅲ-2.1.2-3 のように攪拌する方が一定期間後に到達する生分解度が 30-100%上昇した。また、試験終了後の試験海水の溶存酸素量(DO)を測定したところ、攪拌を行わなかった系では DO が小さくなっていった。無機塩添加の効果は大きい。図Ⅲ-2.1.2-4 左は海水の生分解活性の高い大阪南港の海水での PHB、PA4、PCL、セルロースの BOD 生分解結果だが、点線は採水した原海水であるのに対し、実線は塩化アンモニウム、及びリン酸塩を窒素換算、リン換算でそれぞれ 5ppm、0.5ppm 添加した海水での BOD 試験結果である。図からわかるように生分解速度が大きく向上していることが分かる。図Ⅲ-2.1.2-4 右は海水の生分解活性が低い大分・臼杵湾の海水であり、原海水では4週間経過後、生分解の速い試料でも生分解度は 10%程度であるが、無機塩添加で生分解速度は大きくなり、活性の高い大阪南港の海水での結果との差が大きく縮まった。しかしながら、

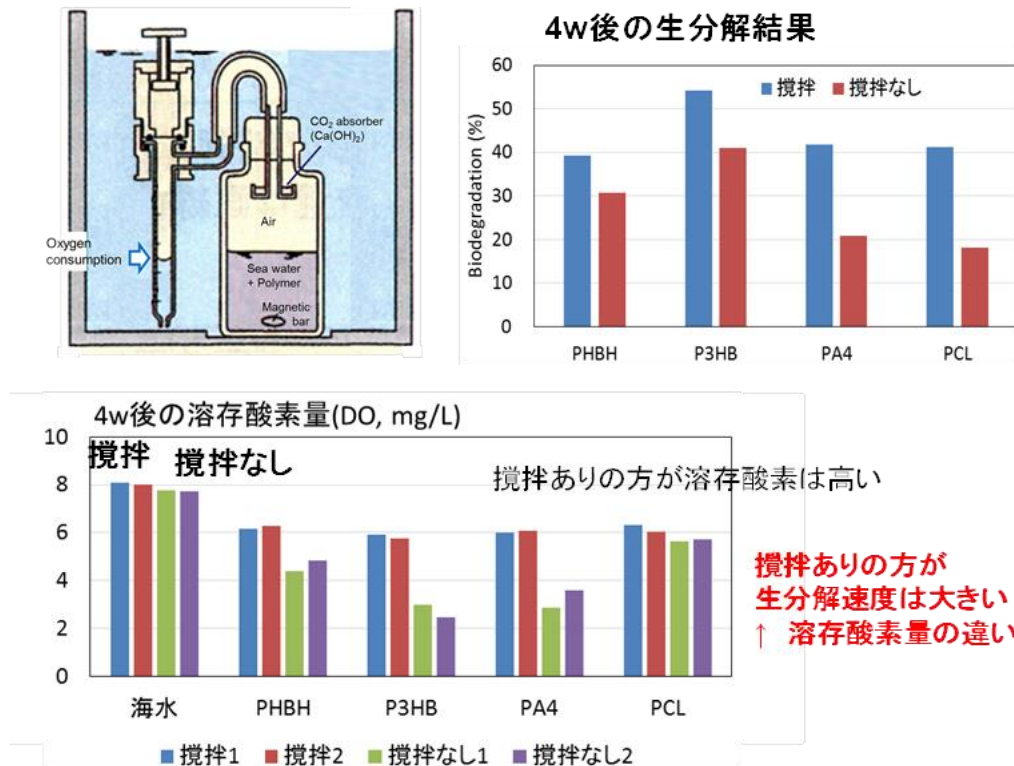


図Ⅲ-2.1.2-1 大阪南港海水での PHB のラボ BOD 試験における試験温度の違い



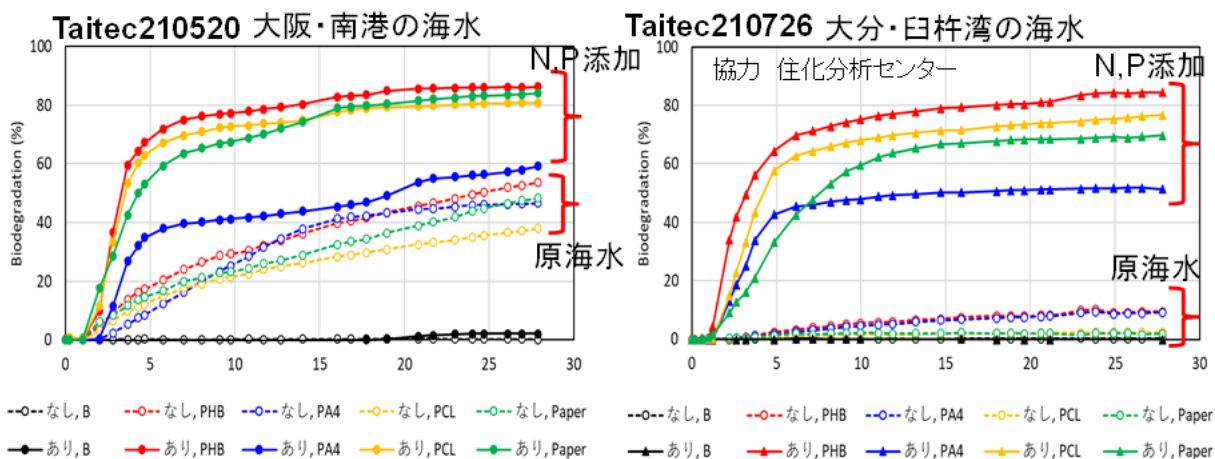
- ・試料/海水 比によって生分解速度に差
- ・試験スケールの影響は小さい

図Ⅲ-2. 1. 2-2 大阪南港海水での PHB, PA4, PCL のラボ BOD 試験における試料/海水量比の違い



図Ⅲ-2. 1. 2-3 大阪南港海水での各種樹脂のラボ BOD 試験における攪拌の有無の効果（上）と試験後試験海水中の溶存酸素濃度（下）

塩化アンモニウムを添加すると樹脂試料の無機化（CO₂化）とともに硝化が起こり、亜硝酸イオン、硝酸イオンが生成する。その量は添加によって増大し、BOD 生分解度算定の基礎となる樹脂生分解に要する理論消費酸素量に大きな影響を与える（表Ⅲ-2.1.2-1）。そのため、添加量はできるだけ少なくしたい。そこで添加量を変化させてその効果について調べ、その最低必要量を確定した。

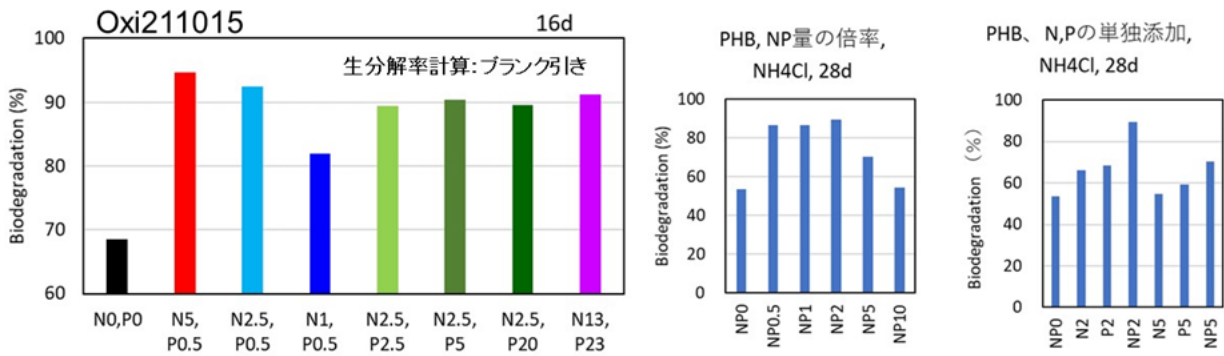


図Ⅲ-2.1.2-4 各種樹脂のラボ BOD 試験における無機塩の添加効果。左；大阪、右；大分。

新規海水生分解加速試験法のための各種測定条件の最適化（1 試験温度、2 試料濃度、3 攪拌、4 無機栄養源量）は以上の通りであり、次に独自の取り組みとして、試験に用いる海水の活性化について検討した。海水の活性化は生分解の主体である海水微生物の菌数と菌の多様性が重要であると考え、1. 菌数を増やす手段、2. 菌の多様性を高める手段 について検討し、1. 初発海水に有機栄養源を添加し海水微生物を増やす、2. 海水中の微生物の大半は 0.2 μm より大きいため、海水を 0.2 μm のフィルターでろ過し、捕集した微生物を海水中に戻すことで微生物濃縮、菌数を増やす、3. 異なる場所の複数の海水を混合し、海水中の微生物の多様性を大きくする、4. セディメント（海底土、海砂）表面の微生物を引き剥がし、海水中に加えて、菌数と菌の多様性の両方を増大させる、の 4 つの手法が有効であると判断した。

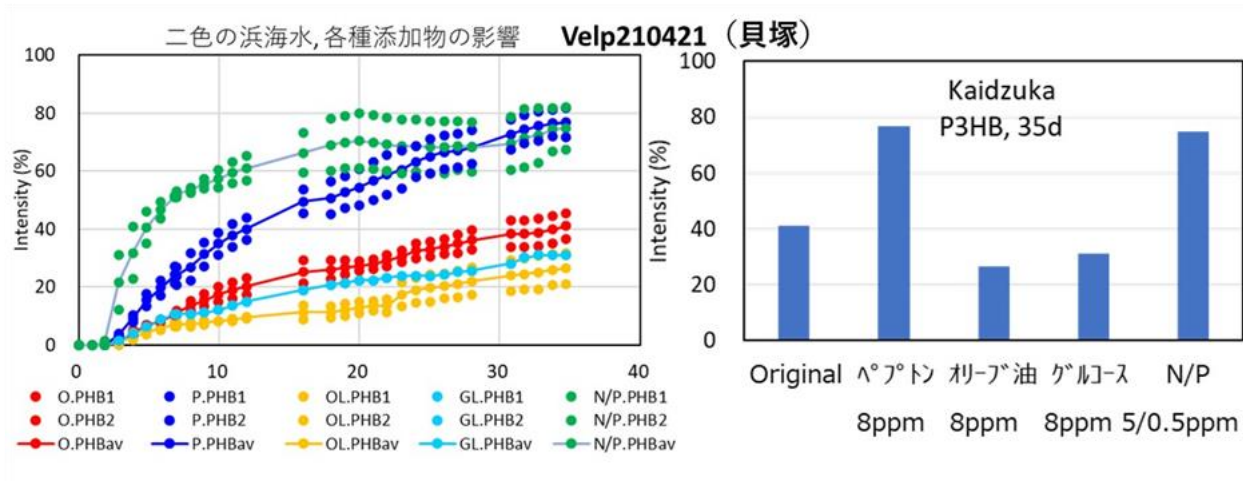
表Ⅲ-2.1.2-1 各種樹脂の無機塩添加海水における BOD 試験終了後の試験海水中の NO_x 濃度

	B		P3HB		PCL		Cel		NP _{Theo.}	
	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
添加なし	2.4, 0.6	2.5, 2.8	0, 0.7	0.6, 0	0, 0	0, 0	1.4, 0	0, 0	0	0
NP-1	15.7, 14.8	2.7, 2.8	16.9, 13.2	0.6, 0.6	15.6, 14.3	0.6, 0.8	12.8, 12.4	2.8, 2.7	16	22
NP-5	48.3, ND	3.0, ND	35.1, 33.6	1.8, 2.2	NP-1: N 5ppm, P 0.5ppm				82	111
NP-10	0.4, ND	2.6, n	46.9, 36.0	2.3, 2.6					164	221



図Ⅲ-2.1.2-5 大阪南港海水に添加する無機塩量の効果。左図では窒素、リンの添加濃度そのものを中央・右図においては NP1(窒素 5ppm、リン 0.5ppm 相当の添加)の倍数量を意味。

有機物の添加としてはペプトン、オリーブ油、グルコースを検討した(図Ⅲ-2.1.2-6)。その結果、いずれの添加も菌数増大には効果があったが、有機物添加海水によるラボ BOD 試験ではペプトンのみが生分解の加速に有効なことが分かった。また、別の実験では酵素抽出物の添加で生分解の加速化に同様の効果が認められ、含窒素有機化合物の添加が効果があることが分かった。また、その量は多い方が効果があるが、持ち込み有機物の増大に直結するため、添加量としては 4-8ppm 程度が適当であると判断した。

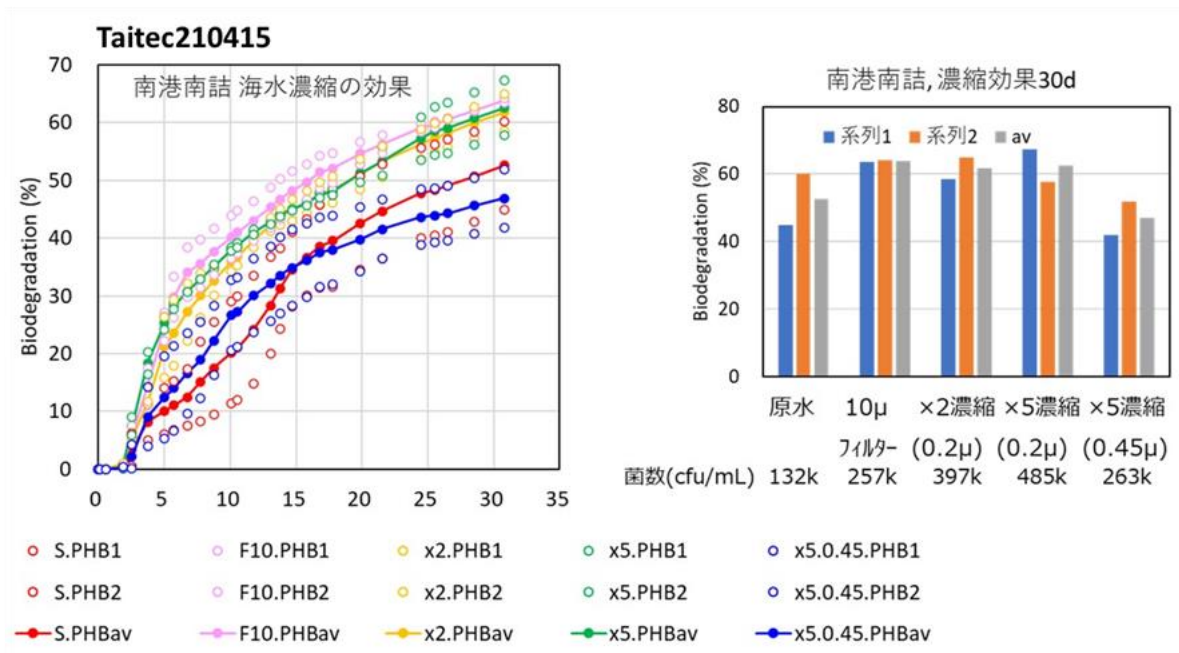


図Ⅲ-2.1.2-6 二色の浜海水への有機物添加による PHB のラボ BOD 試験への効果

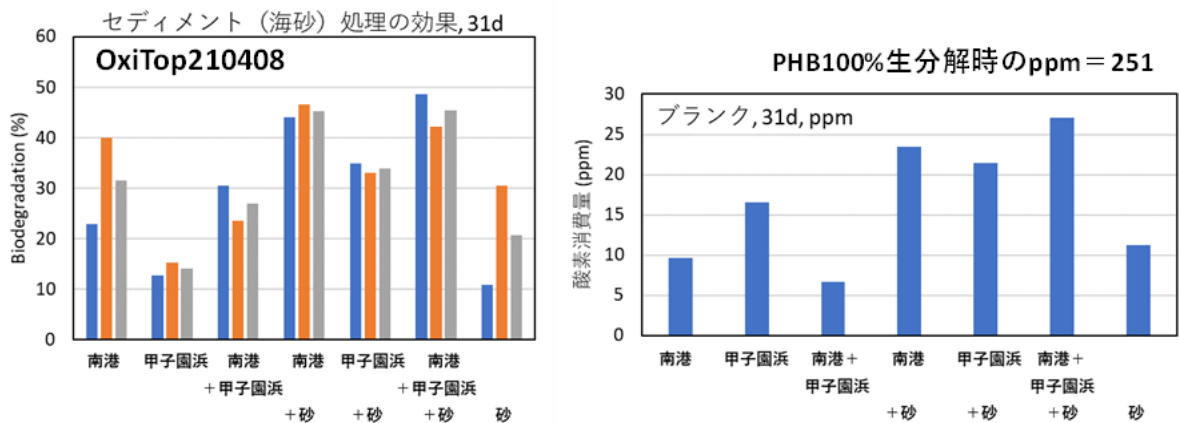
フィルターろ過による海水濃縮は、直接の濃縮ではフィルターがすぐ目詰まりを起こし、効率的には作業に支障があるため、いったん 10 μ m フィルターで大きな夾雑物を除いた上でフィルター上への微生物の捕集を行い、ラボ BOD 試験を実施した(図Ⅲ-2.1.2-7)。濃縮により海水中の菌数は増えたが計算上の数より少なく、フィルター上でろ取した微生物の海水に戻す操作が不十分であり、効率的な手順が必要である。濃縮海水による BOD 試験では原海水に比べて一定の加速効果が認められた。

異なる場所の海水の混合では、単に 2 種の海水を混合するだけではラボ BOD 試験での加速化には直結しないことが分かった。菌の多様性の増加の効果はあると考えられるが菌数の増大化の効果がないことが原因と考えられ、他の条件と組み合わせることで加速化の効果が認められた(図Ⅲ-2.1.2-8, 9)。

セディメントによる海水の前処理法では、セディメント表面上は海水とは異なる微生物環



図Ⅲ-2. 1. 2-7 フィルターろ取による海水濃縮操作をした海水を用いた PHB のラボ BOD 試験



図Ⅲ-2. 1. 2-8 大阪南港海水と西宮市甲子園浜海水の混合と甲子園浜セディメント前処理の効果

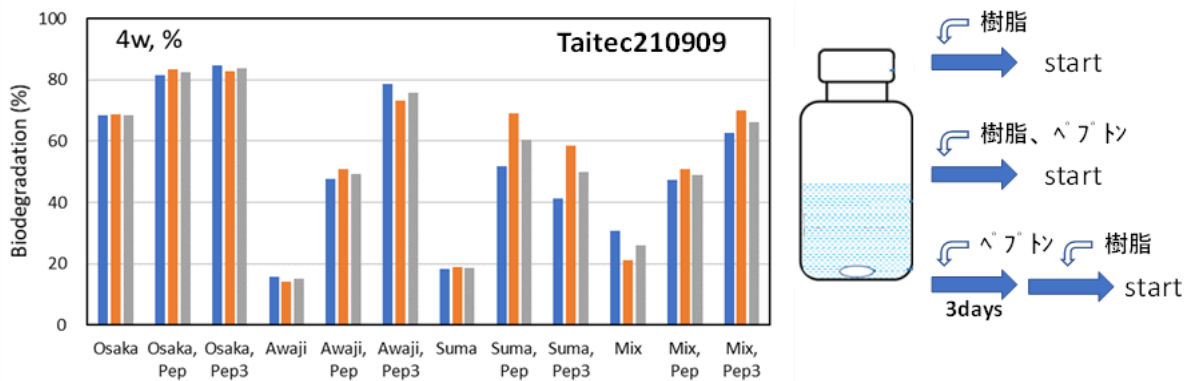
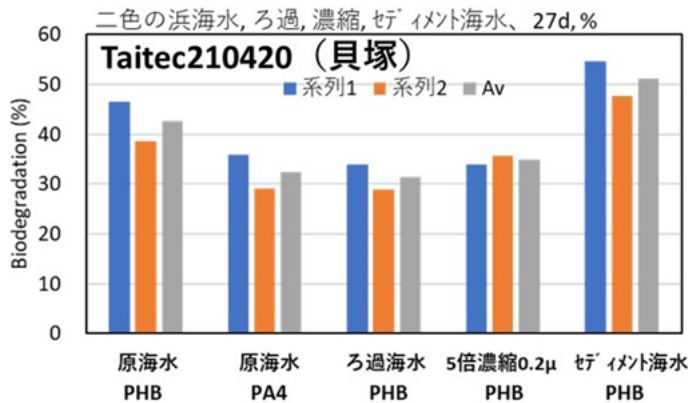


図 2. 1. 1-9 南あわじ海水、神戸須磨海水の混合と大阪南港海水の比較とペプトンの添加効果

境であるので菌叢も異なるため、両者の混合は菌叢構造の多様化と菌数増大の両方に有効であるが、セディメントに含まれる有機物成分の持ち込みはノイズとなって測定精度を下げる要因になる。そこで海水とセディメントを合わせて、超音波処理し、セディメント表面の微生物だけ海水中に引き剥がし、海水上清を使うことで有機物の持ち込みを押さえる手順を作成、その効果を調べた（図Ⅲ-2.1.2-8）。南港海水、甲子園浜海水とも甲子園浜セディメント前処理することで生分解度は大きくなった。また、同時に滅菌人工海水をセディメント前処理し、PHBのラボ BOD 試験をしても生分解は進行し、南港海水や甲子園浜海水でのセディメント処理による増加分は滅菌海水での結果分とほぼ一致した。セディメント前処理により海水ブランクの BOD 値も増加するので前処理に用いるセディメント量には制限を設けるべきである

（図Ⅲ-2.1.2-8 右）。二色の浜海水でもセディメント前処理は効果が認められ、菌数も増加した（図Ⅲ-2.1.2-10）。ただ、海水のきれいな海ではセディメント上の微生物も少ないことがあり、舞鶴海水では舞鶴セディメントで効果が認められなかった。以上のことから、海水の活性化処理は適宜組み合わせることが重要であると考えられる。



cfu/mL	
26,830	二色の浜4/20原水
13,870	二色の浜10μろ過
40,000	二色の浜10μろ過/0.2μ5倍濃縮
116,580	二色の浜+10wt%砂/上澄み
51,670	二色の浜原水1d冷蔵保存0421/1600
44,570	二色の浜27°C2d後海水
135,250	二色の浜+ペプトン/27°C2d後海水
156,080	二色の浜+グリセロール/27°C2d後海水
320,000	二色の浜+グルコース/27°C2d後海水
195,330	二色の浜+窒素,リン/27°C2d後海水

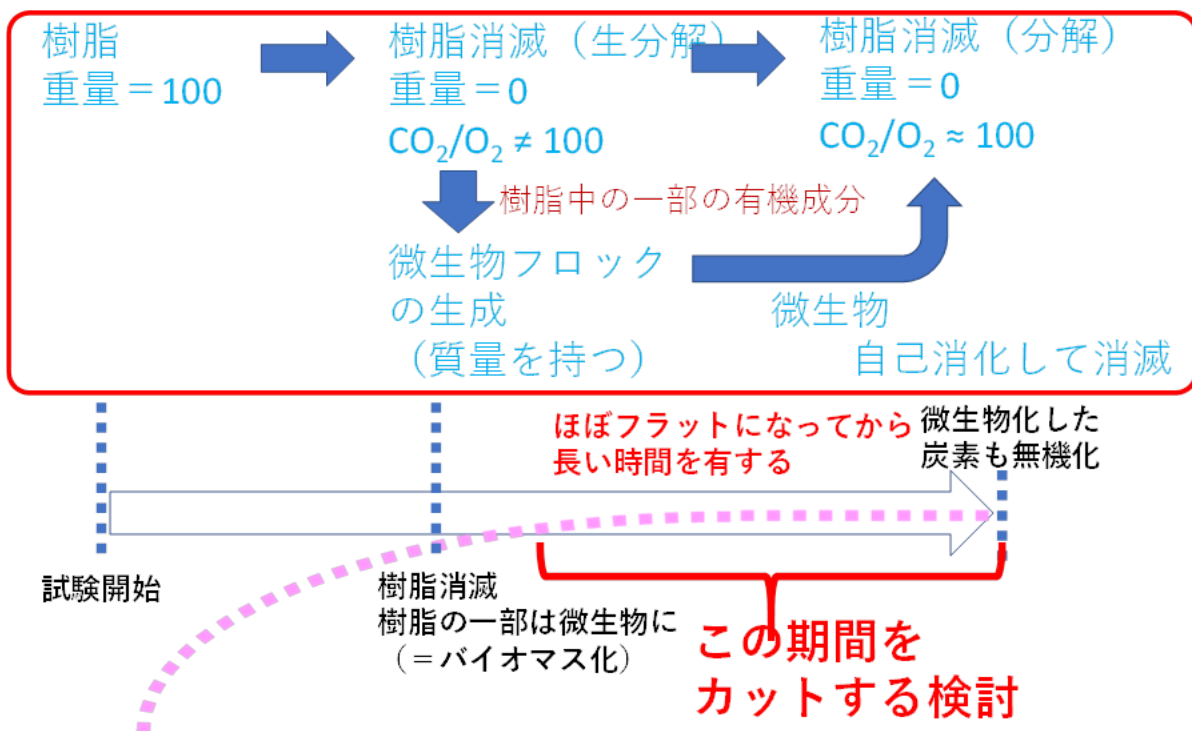
図Ⅲ-2.1.2-10 二色の浜海水の濃縮効果とセディメント前処理効果

新規海水生分解加速試験法のための各種測定条件の最適化（試験温度、試料濃度、攪拌、無機栄養源量）、海水の活性化手法（含窒素有機栄養源添加、海水濃縮、海水混合、セディメント前処理）について報告した。これらにより、生分解が加速されるが、さらに測定期間の短縮する手法について検討した。



写真Ⅲ-2.1.2-1 ラボ BOD 試験中に発生する微生物フロック

生分解性の試験方法はラボ試験であり、その測定は樹脂が完全に生分解されて生成する二酸化炭素もしくは消費される酸素量(BOD)の定量による。生分解の進行は、菌体外酵素による低分子量化がまず起こり、次いで水溶性化した分解物を菌体に取り込み、無機化されることが知られている。しかしながら、試験系内では生分解過程で樹脂の一部を栄養源にして微生物が生育、その菌数は大きく増える（写真 2.1.1-1）。その際、樹脂由来の炭素の一部は生分解によって二酸化炭素まで無機化されるのではなく、菌体成分の一部として微生物中に取り込まれてしまう。そのため、樹脂としては 100%生分解し、完全に消失しても、CO₂ 発生もしくは BOD の定量では 100%の生分解には遠く及ばない数値しか得られない。完全無機化による生分解が 100%に達するのは増大した微生物が栄養源の枯渇によってやがて死滅、自己消化されたあとになる。この間、CO₂ もしくは BOD に基づく生分解カーブはほぼフラットな状態で、長時間をかけて少しずつ増加していく。現行の評価手法では、樹脂が完全に生分解されて、その炭素は二酸化炭素と微生物（バイオマス）に変換されているにもかかわらず、微生物構成炭素が CO₂ に変換されるまで長い無駄な時間を浪費することになる。そこで途中で試験を打ち切り、内部分析することによる測定期間の大幅な短縮について検討した（図Ⅲ-2.1.2-11）。

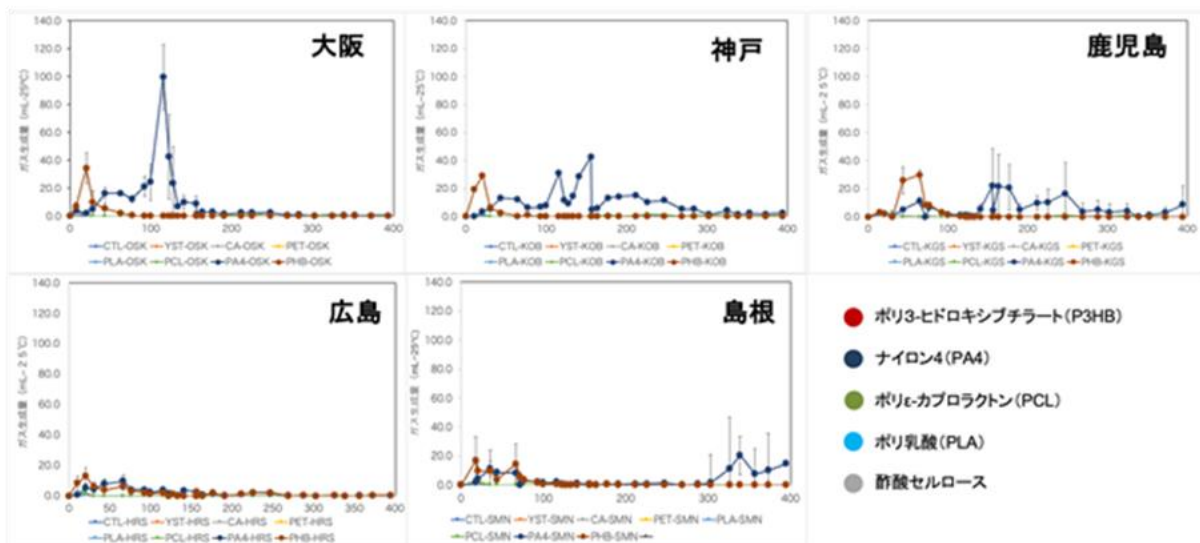


図Ⅲ-2.1.2-11 樹脂の生分解とバイオマス化

この考え方を適用できる条件として、ポジティブ試料の 60%が生分解する測定として有効性が確保された条件下で、対象樹脂の生分解度が 50%を越えており、かつ生分解カーブがほぼフラット(1%/week 以下)であることを設定し、試験系の分析プロトコルを作成した。その手法の有効性を今後検討する予定である。

嫌気生分解試験においては実験系の構築を推進した。これまでに大阪（2ヶ所）、神戸、広島、島根、鹿児島から海底泥土試料を採取した。樹脂としてポリ3-ヒドロキシブチラート

(P3HB)、ポリε-カプロラクトン (PCL)、ナイロン4 (PA4)、酢酸セルロース、ポリ乳酸 (PLA) を添加して試験を開始し、ガスの生成量や組成を測定した。広島、島根、鹿児島からの底泥試料はNITEから提供を受けた。最初の条件検討として、温度は25℃と37℃の2条件、培養物の振盪条件は縦置き 100rpm、斜め置き 100rpm、静置の3条件、培地組成としては人工海水をベースに、無機栄養塩のみ添加、無機栄養塩と酵母エキス添加の2条件を比較し、最適条件として温度 25℃、縦置き 100rpm、人工海水+無機栄養塩+酵母エキス培地を設定した。この培養条件において大阪、神戸、広島、島根、鹿児島の実験室に5種類の樹脂を添加して約1年間培養した結果、P3HB、PA4の嫌気分解によると思われるガス生成が確認された(図III-2.1.2-12)。P3HBでは培養開始から2ヶ月程度でガス生成が停止したのに対し、PA4では時間をかけた緩やかなガスの生成がみられた。ガスクロマトグラフによりメタンガスを定量して理論値に基づく分解率を試算したところ、P3HBでは0.5%以下と低い傾向にあり、樹脂の分解による有機酸等の代謝産物が培養物内で蓄積することによるpH低下が生分解の阻害要因であることが示唆された。それを確かめるために培養物に含まれる有機酸成分をHPLCにより分析したところ、大阪、神戸、島根、鹿児島の実験室において酢酸や酪酸の蓄積が確認された(表III-2.1.2-2)。この結果から、樹脂分解由来の代謝産物としてこれらの有機酸を定量して生分解率を算出する必要があることが考えられ、有機酸量を踏まえたP3HBの平均生分解率は40%~55%となった。また、大阪、神戸、広島、島根、鹿児島の実験室においてガス生成が見られたP3HBとPA4の培養物の菌叢解析を実施したところ、初期底泥では優占していなかったClostridia綱やFusobacteria門に属する嫌気性微生物が優占化したことが明らかとなった。さらに、ガス生成が確認されたP3HBとPA4の樹脂添加量を最適化するための試験を実施し、試験範囲(0.05%, 0.1%, 0.2%, 1%)においてP3HBでは0.2%、PA4では1%の添加量においてガス生成量が最大となった。今後、より高い生分解率を達成するための培地組成を検討するとともに、嫌気培養過程における有機酸量や菌叢の経時変化を分析する。さらに、ショットガンメタゲノム解析により優占微生物群が有する樹脂分解関連遺伝子の探索を実施するなどして、嫌気環境における生分解樹脂の分解に関与する微生物を特定することを試みる。



図III-2.1.2-12 国内5ヶ所から採取した底泥の樹脂分解によるガス生成量の変化

表Ⅲ-2.1.2-2 P3HB の嫌気生分解試験における有機酸の蓄積と生分解率

	大阪 (n=3)	神戸 (n=3)	鹿児島 (n=2)	島根 (n=3)
ギ酸 (gCOD/L)	0.00	0.00	0.00	0.00
酢酸 (gCOD/L)	4.41	3.80	4.59	5.63
プロピオン酸 (gCOD/L)	0.02	0.00	0.05	0.05
酪酸 (gCOD/L)	4.22	3.21	3.87	3.57
合計 COD 濃度 (g/L)	8.64	7.02	8.51	9.25
VFA-base 分解率 (%)	51.63	41.92	50.84	55.26
Gas-base 分解率 (%)	0.14	0.07	0.00	0.35
合計分解率 (%)	51.77	41.99	50.84	55.61

(2) 成果の最終目標の達成可能性

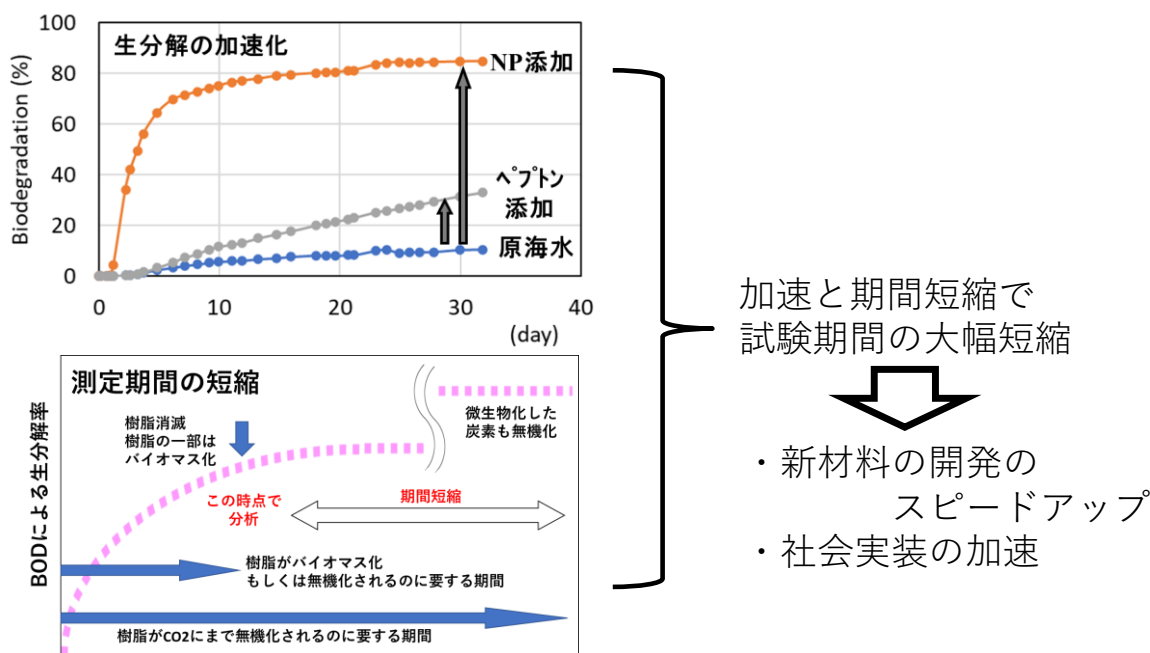
研究項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
好氣的生分解加速試験法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂、複合系樹脂の計 5 種以上の試料を対象にした生分解試験の実施 ・生分解試験途上の試験系内の残存樹脂および樹脂由来分解生成物の定量分析 ・生分解途上の分解曲線を近似できる外挿関数の提案 ・ラボ好氣的海水生分解加速試験法の提案 	いずれも達成の見込みである。
海底土による嫌氣的生分解の実証試験	<ul style="list-style-type: none"> ・生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂の 4 種以上を対象に、日本各地 6 箇所以上の沿岸域海底での嫌気生分解能を検証 ・そのマップ化とラボ嫌氣的海水生分解試験法の確立。 	いずれも達成の見込みである。

好氣的海水生分解に関して、2022 年度までに作成したラボ生分解試験法を用いた生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂、複合系樹脂の計 5 種以上の試料を対象にした生分解試験を行い、生分解試験途上 1 か月もしくは 3 か月の試験系内の残存樹脂および樹脂由来分解生成物の定量分析を行う。また、生分解途上の分解曲線を近似できる外挿関数を 1 つ提案する。残存量分析と外挿関数の組み合わせで試験期間を 3 か月程度に短縮する手順を組み合わせ

わせたラボ好気的海水生分解加速試験法を 1 つ以上提案する。嫌気的海水生分解に関して、生合成系樹脂、合成系樹脂、ポリアミド、天然物系樹脂の 4 種以上の樹脂を対象に、日本各地 6 箇所以上の沿岸域海底での嫌気生分解能を検証し、そのマップ化とラボ嫌気的海水生分解試験法の確立を行う。以上の最終目標に対して、2022 年度までに ISO 予備提案を終えており、試験プロトコルが完成しているため、順調にデータ蓄積、研究開発の進展が進むことが予想される。

(3) 成果の普及

本評価手法は基本実験項目の最適化に海水の活性化処理を加えて生分解の加速化を実現するとともに、樹脂がバイオマス化した後、CO₂ に変換されるまでの長い期間をカットすべく、試験系内を分析する手順を組み合わせることで試験期間を大幅に短縮することができる。本成果が ISO 化され、国内、海外の認証機関で海洋生分解性プラスチックを判定する基準法として使われることにより、迅速な認証手続きが実現され、社会実装がスムーズに行われる（図Ⅲ-2.1.2-13）。それによって、環境に負荷を変える用途での生分解性樹脂への置き換わりが進み、海洋プラスチックごみの低減が進む。



図Ⅲ-2.1.2-13 海洋生分解加速試験法の開発からすみやかな社会実装へ

2.1.3 研究項目①「実験室内における生分解加速試験法の開発」 ①-2 生分解性評価法条件の最適化

(担当：静岡県環境衛生科学研究所)

2.1.3.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

現在、海底砂泥面におけるプラスチック材料の生分解度評価試験としては、ISO19679 がある。ISO19679 では、試験結果の正当性の判断基準として、試験終了時に $n=3$ で試験した個々のブランクの二酸化炭素発生量及び参照物質（ろ紙）の生分解度とそれらの平均値との差が平均値の 20%以内となっていなければならないと規定されているが、長期間の試験においては、ブランク、参照物質が平均値の 20%以内に収まらないこともあり、試験の制御は容易ではない。さらに、生分解性プラスチックでは、ブランク、参照物質よりも試験結果のばらつきが大きくなっており、それが生分解性プラスチックの性質によるものか、試験に用いる海底砂泥・海水の影響によるものかもわかっていない。

そこで本研究では、以下の試験を実施し、現行 ISO の課題を解決した精度の高い生分解性プラスチックの生分解度評価試験法を提案する。

(イ) 予備培養方法の検討

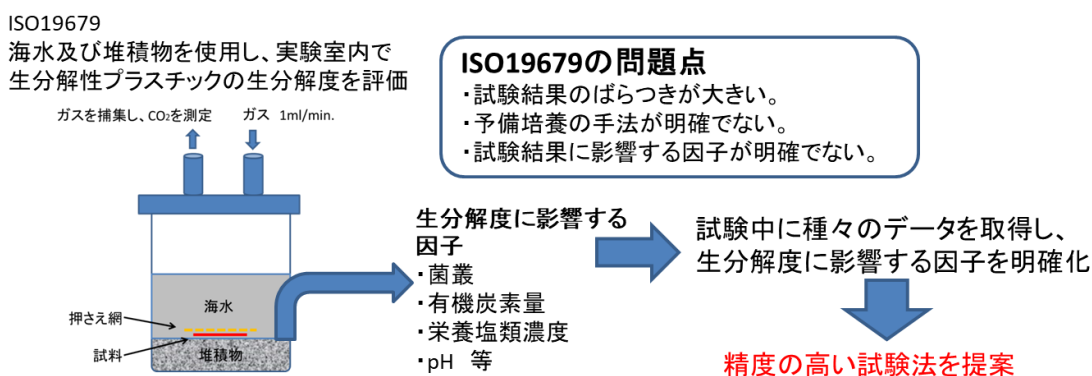
(イ-1) 季節による海底砂泥の状態の把握

(イ-2) 予備培養方法の改良

(ロ) 本培養の検討

(ロ-1) 生分解度に係る因子の抽出

(ロ-2) 最適条件の検証



(2) 位置づけ、目標値

本研究開発では、既存の ISO 規格において生分解度のバラつきに影響を与える因子を明確にする。これにより、精度の高い試験法を提案し、安定的な試験結果を得ることが可能となる。

ISO19679 では試験の正当性の判断基準として、「各生分解度について平均値との差が 20%以内」となっている。本研究開発項目では、「各生分解度の差が 20%以内（平均値との差 10%以内）」を目指すこととする。

【中間目標（2022 年度）】

2 種類以上の生分解性プラスチックを用いた生分解度評価試験を、海底砂泥の有機炭素含

有率、栄養塩類濃度等の条件を変え、実施する。試験における各試料の二酸化炭素発生量や生分解度と海底砂泥・海水の有機炭素含有率、栄養塩類の濃度及び菌叢の関係を明らかにし、試験に適した内海の海底砂泥・海水の初期状態を把握する。また、その状態にするための予備培養の方法を1つ以上提案する。

【最終目標（2024年度）】

内海とは状態の異なる外海の海底砂泥・海水を、試験に適した状態にするための予備培養方法を1つ以上提案する。

予備培養～本培養の試験全体にわたって生分解度評価に適した条件を考察し、試験の精度が最も安定する手法を1つ以上提案する。

(3) 全体計画

研究項目	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
生分解度評価試験に使用する海水、海底砂泥	●				●				●				●				●			
(イ)予備培養方法の検討					●				●				●				●			
(イ-1)季節による海底砂泥の状態の把握					●				●				●				●			
(イ-2)予備培養方法の改良					●				●				●				●			
(ロ)本培養の検討					●				●				●				●			
(ロ-1)生分解度に係る因子の抽出					●				●				●				●			
(ロ-2)最適条件の検証					●				●				●				●			
予算・開発費用(百万円)	8				31				9				9				9			

(4) 実施体制

静岡県環境衛生科学研究所 環境科学部において実施
 (植松正吾技術推進委員、八幡物産株式会社様の支援)

2.1.3.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(イ) 予備培養方法の検討 (イ-1) 季節による	予備培養期間中の内海の冬季、夏季の海底砂泥の有機炭素含有率、栄養塩類濃	・三保・浜名湖の海水・海底砂泥について季節による状態の違いを把握した。	△ 2023年3月達成見込み	【今後の課題】 保存サンプルについて、特に菌数・菌叢の測定、解析を加速

海底砂泥の状態の把握	度、菌叢等の経時変化を確認し、季節による海底砂泥の状態の違いを把握する。	・三保は砂泥粒径が大きく、有機炭素や栄養塩が豊富で、菌叢が多様であるなど、本試験に適する媒体であることを確認した。		する。 【解決方針】 担当の増員、分析手法の効率化により対処する。
(イ) 予備培養方法の検討 (イ-2) 予備培養方法の改良	ISO19679 試験を安定させる海底砂泥、海水の初期状態の把握及びその状態にするための予備培養の方法を提案する。	・三保の海水・海底砂泥が試験を安定させることを確認し、その初期状態を把握した。 ・生分解度のバラつきには、予備培養期間の長さ以上に、砂泥状態の地域性や季節性が大きく寄与することを確認した。	△ 2023年3月 達成見込み	【解決方針】 三保の春季の海水・海底汚泥を用い、生分解に適した状態での試験を実施中であり、最適な予備培養方法を検証する。
(ロ) 本培養の検討 (ロ-1) 生分解度に係る因子の抽出	内海の海底砂泥、海水を用いた ISO 19679 試験において定期的に海底砂泥、海水の有機炭素含有率、栄養塩類濃度、菌叢等の変化を確認し、生分解度のばらつきに影響を与える因子を抽出する。	・PHBH および PBSA の生分解度を評価し、PHBH において三保が生分解度の目標値である「平均値との差10%以内」を満たすことを確認した。 ・分解初期において生分解度と菌数に関係性がみられた。	△ 2023年3月 達成見込み	【今後の課題】 保存サンプルについて、特に菌数・菌叢の測定、解析を加速する。 【解決方針】 担当の増員、分析手法の効率化により対処する。
(ロ) 本培養の検討 (ロ-2) 最適条件の検証	内海の海底砂泥、海水を用いた ISO 19679 試験の結果が安定する条件を考察し、その条件で試験を実施した際の再現性を評価する。	2022 冬季（三保・浜名湖）、春季（三保）の海水・海底砂泥を使用した試験を実施中。	△ 2023年3月 達成見込み （本項は2022年3月から開始）	【今後の課題】 再現性の検証 【解決方針】 2022 夏季浜名湖の海水、砂泥を用いて最適な予備培養条件による試験を実施し、バラつきや生分解度が改善されることを検証する。

本研究開発により、既存の ISO 規格において生分解度のバラつきに影響を与える因子を明確にでき、これにより、精度の高い試験法を提案し、安定的な試験結果を得ることが可能となる。試験評価の信頼性が向上することで、海洋生分解性プラスチック製品の普及促進、海プラ問題の改善にも貢献できると考える。

成果の詳細

(イ) 予備培養方法の検討

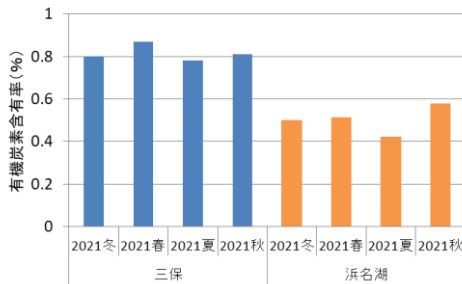
(イ-1) 季節による海底砂泥の状態の把握

予備培養に使用する内海の海水・海底砂泥の採取地は、静岡県内の三保および浜名湖とした。三保は浜名湖と比較して、砂泥粒径が大きいという特徴がみられた。

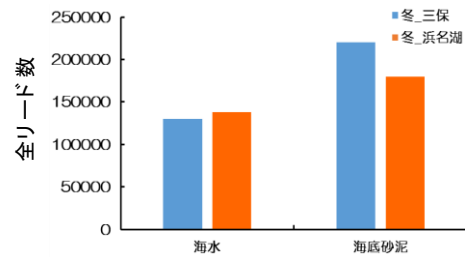


図Ⅲ-2.1.3-1 海水・海底砂泥採取地の様子（左：三保 右：浜名湖）

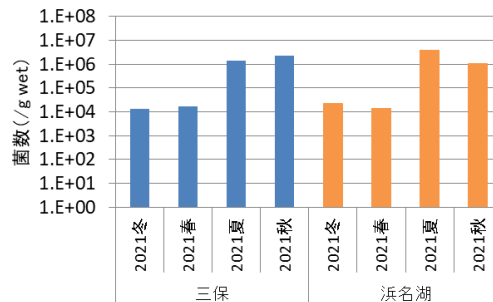
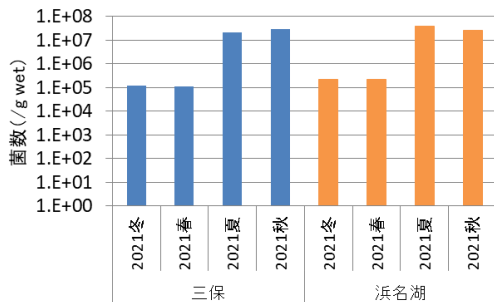
また、季節を通じて三保の方が浜名湖より有機炭素含有率が高く、硝酸イオンが多く存在するなど栄養条件がよく、三保の海底砂泥において菌叢が多様であった。一方、海水、海底砂泥中の菌数には両者間で大きな違いはみられず、海底砂泥において夏・秋に菌数が増加する傾向がみられた。



図Ⅲ-2.1.3-2 海底砂泥の有機炭素含有率

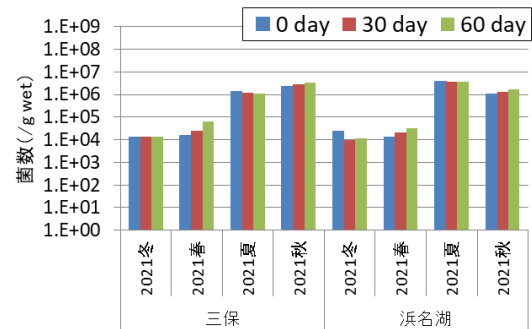
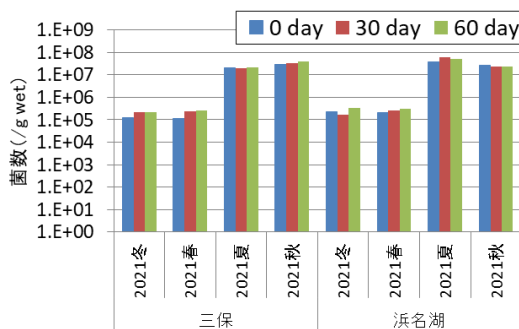


図Ⅲ-2.1.3-3 菌叢解析で得られた全リード数



図Ⅲ-2.1.3-4 海底砂泥中の菌数（左：総菌 右：生菌）

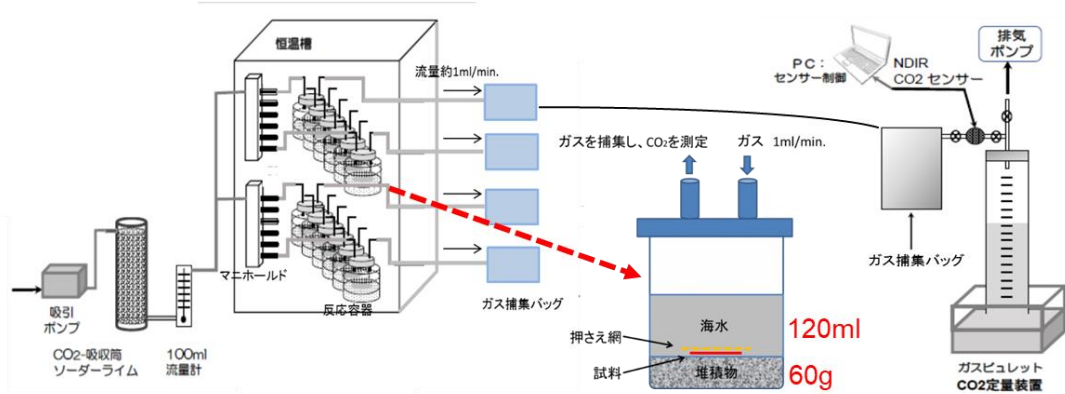
採取後は海水、海底砂泥とも室温においてエアレーションし、好気条件下で0日、30日、60日間の予備培養を行った。予備培養期間において砂泥中の有機炭素含有率や菌数に顕著な変化は見られなかった。



図Ⅲ-2.1.3-5 予備培養期間における海底砂泥中の菌数の変化（左：総菌 右：生菌）

(イ-2) 予備培養方法の改良

予備培養による生分解度試験の安定性への効果を把握するため、2021 冬、春、夏の三保、浜名湖の海水・海底砂泥（予備培養 0 日、60 日）を用いた ISO19679 試験を実施し、Blank の CO₂ 発生量、参照物質（ろ紙）の生分解度について評価した。



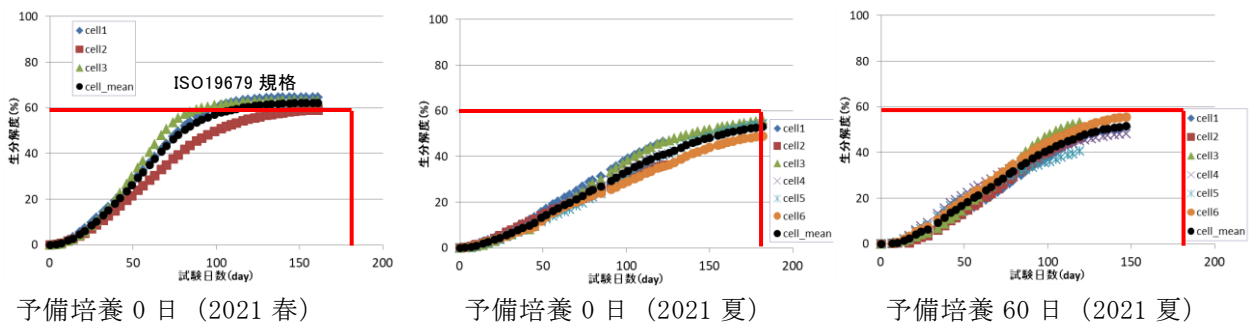
3~4日毎にCO₂発生量の測定を実施し、下記の式から生分解度を算出

$$\text{生分解度 (\%)} = \frac{\text{累積CO}_2\text{発生量 (試料)} - \text{累積CO}_2\text{発生量 (ブランク)}}{\text{理論的CO}_2\text{発生量}} \times 100$$

図III-2. 1. 3-6 生分解度評価（本培養）試験装置（出典：八幡物産株式会社）

Blank 試験では、三保、浜名湖ともに、60 日間の予備培養により CO₂ 発生量の低下がみられ、バラつきも低減された。また、浜名湖は三保と比較して CO₂ 発生量が多くなることが確認された。

一方、ろ紙の生分解度については 60 日間の予備培養を行ってもバラつきは低減されなかった。また、三保は季節間における生分解度に大きな変化がなかったが、浜名湖は冬季の生分解度が低くなった。ISO19679 では、試験の妥当性として、対照物質（セルロース）の試験開始から 180 日後の生分解度が 60%以上であることが規定されているが、三保、浜名湖ともに、春季の海水・海底砂泥（予備培養 0 日）のみ条件を満たした。また、春季は生分解度のバラつきも平均値から 6%以内となり、本研究の目標値である 10%以内におさまった。



図III-2. 1. 3-7 ろ紙の本培養試験比較（生分解度）：三保

(イ) 予備培養方法の検討—まとめ—

- ・海水と砂泥について、予備培養の効果について検討を行った結果、60 日間の予備培養後に有機炭素や菌数に大きな変化はなく、対象物質（ろ紙）の生分解度についてもバラツキの低減効果が見られなかった。
- ・三保の春季海水・海底砂泥については ISO19679 試験の妥当性評価規定をクリアしており、生分解度のバラツキについては、予備培養方法以上に、季節的な違いや地域差の影響が大きいと考えられた。
- ・三保は粒径が大きく揃っており、砂泥内の粒径の均一性や通水性が確保され、長期間にわたり好氣的分解が効率良く進むといった、物理的性状に優位性があると考えられる。現地での砂泥サンプリング時に細かいシルト分を除去することで、物理的な均一性を保ったまま各反応容器に砂泥を分配することが可能と考えられた。

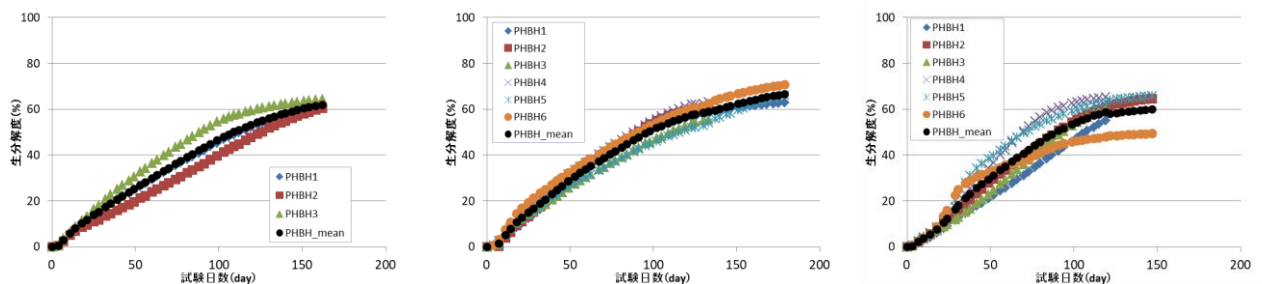
（現在、三保の 2022 春季の海水・海底汚泥を用い、生分解に適した状態での試験を実施中であり、最適な予備培養方法の検証を行っている。）

(ロ) 本培養の検討

(ロ-1) 生分解度に係る因子の抽出

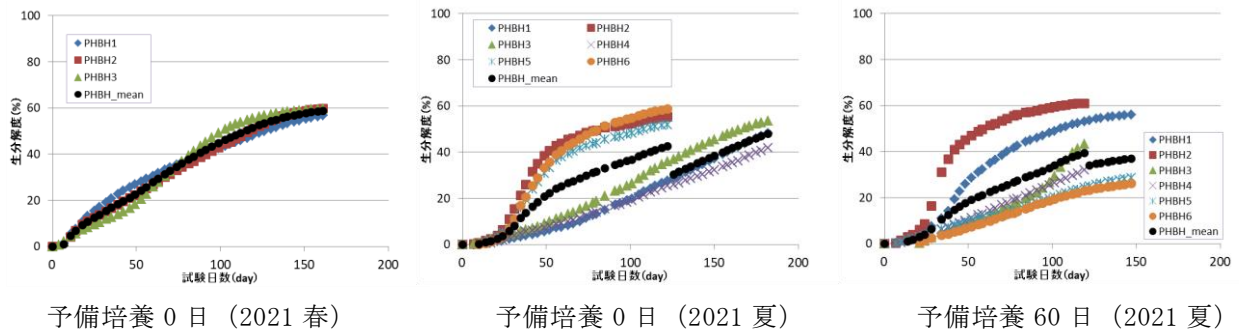
予備培養 0 日と 60 日の海水・海底砂泥を用いた ISO19679 試験を実施して PHBH、PBSA の生分解度を評価するとともに、生分解度や結果のバラツキと影響因子との関係性を把握した。

三保は季節による大きな変化はなく、PHBH ではろ紙以上の生分解度を示した。また、夏季の試験例に示したように、予備培養 60 日においてバラツキ低減の効果はみられなかった。なお、予備培養 0 日の春季、夏季ではバラツキが本研究の目標値である 10%以内におさまった。



図Ⅲ-2.1.3-8 PHBH の本培養試験比較（生分解度）：三保

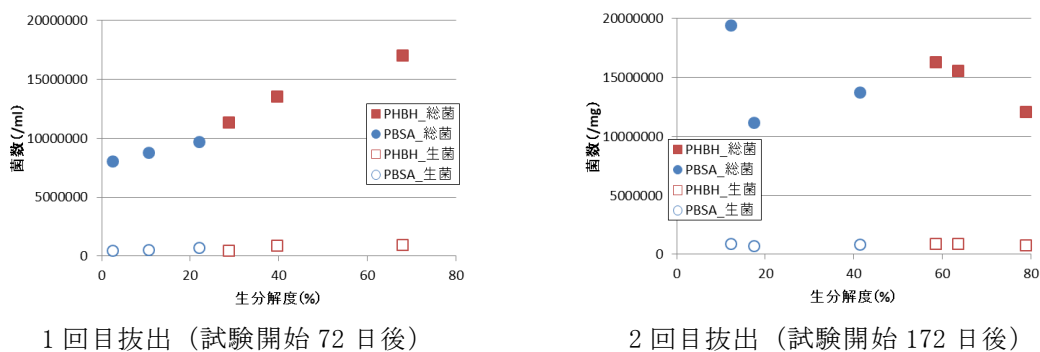
一方、浜名湖では、特に冬において三保と比較して生分解度が低くなった。また、夏において予備培養 0 日、60 日とも分解速度が大きくばらつき、シグモイド状の曲線を示すパターンとなだらかな傾きが続くパターンの 2 種類が観察された。浜名湖は三保と比較して砂泥粒径が細かくシルト状のものを多く含むため、物理的な不均一性が起こりやすく、その結果、試験容器内の分解菌の数に偏りがあった可能性が考えられた。予備培養 0 日の春季ではバラツキが本研究の目標値である 10%以内におさまった。



図Ⅲ-2.1.3-9 PHBHの本培養試験比較（生分解度）：浜名湖

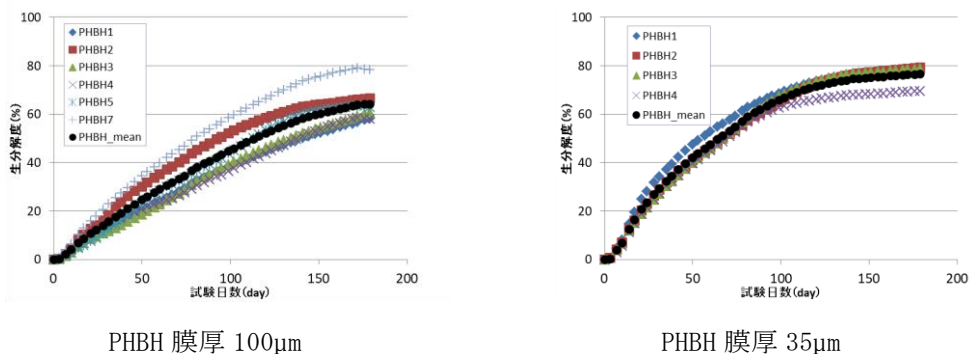
PBSAはPHBHと比較して三保、浜名湖とも分解速度が遅く、結果もバラつく傾向があった。また、予備培養によるバラつき低減効果もみられなかった。

本培養試験において試験途中で海水、海底砂泥を抜き出し、菌数を測定したところ、分解初期（1回目抜出：試験開始72日後）はPHBH、PBSAともに生分解度と砂泥中の菌数に比例関係が確認された。一方、分解後期（2回目抜出：試験開始172日後）では生分解度と菌数の間に明確な傾向はみられなかった。



図Ⅲ-2.1.3-10 生分解度と菌数の関係性：三保 2021 冬（予備培養 0 日）

樹脂側の因子として、フィルムの厚さの違いによる生分解度の変化を把握するため、PHBH、PBSAの膜厚を変えて本培養試験を行った結果、本研究で採用している厚さ100 μ mと比較して厚さ35 μ mの樹脂において分解速度が向上する傾向がみられた。



図Ⅲ-2.1.3-11 生分解度とPHBH膜厚の関係性：三保 2021 冬（予備培養 0 日）

(ロ-2) 最適条件の検証

2022 冬季（三保・浜名湖）、春季（三保）の海水・海底砂泥を使用した試験を実施中であり、試験に供するフィルムの穴あけをなくす、押さえ網を使わないなど、より簡便な方法での試験可能性を検証中である。

また、菌数が生分解度と関連性が強いと考えられたことから、試験で使用する海水・砂泥について、菌数を確保するような栄養状態とすることが重要である。試験結果が安定している三保は、有機炭素や栄養塩が豊富で、菌叢が多様であるなど、本試験に最適な媒体であると考えられる。このような条件を他地域でも得ることができるよう、現地での砂泥サンプリング時に発生する砂泥洗浄海水をろ過して試験海水として使用し、有機炭素や栄養塩、菌数、菌叢の状態を通常海水と比べてリッチな状態にしつつ、現地の状態から逸脱しない範囲での試験を現在実施し、検証を行っている。2022 夏季には、三保に比べて生分解度試験に不適な浜名湖の海水、砂泥を用いて最適な予備培養条件による試験を実施し、バラつきや生分解度が改善されることを検証する。

これらの得られた知見をもとに、溶存炭素、栄養塩、菌数、菌叢等による客観的な指標をまとめていく。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

研究項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
(イ) 予備培養方法の検討	外海の海底砂泥・海水を、試験に適した状態にするための予備培養方法を1つ以上提案する。	より有機炭素、栄養塩、菌数等の条件が厳しくなる外海であるが、フェーズ A で得られた知見を応用することにより目標達成が可能と考える。
(ロ) 本培養の検討	予備培養～本培養の試験全体にわたって生分解度評価に適した条件を考察し、試験の精度が最も安定する手法を1つ以上提案する。	同じくフェーズ A で得られた知見を応用することにより目標達成が可能と考える。

2.1.4 研究項目②「物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明」 ②-1 分子構造相関解析

(担当：産業技術総合研究所 材料・化学領域 機能化学研究部門、触媒化学融合研究センター、
(再委託先) 東京都立産業技術研究センター)

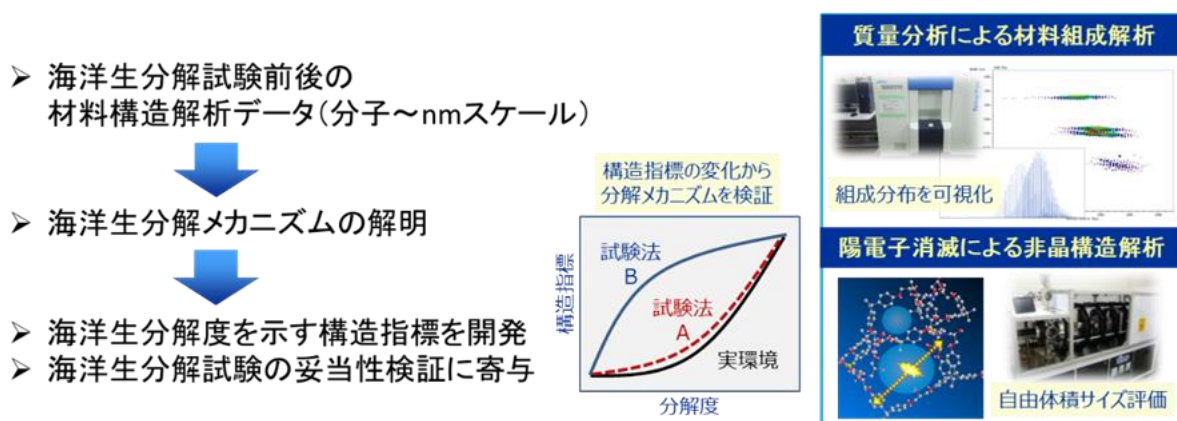
2.1.4.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

プラスチックの分解は、材料表面の劣化状況やポリマー分子鎖の主鎖構造や末端構造などの分子構造、また、結晶化度や自由体積のサイズといったナノメートルスケール構造により影響を受けると考えられる。しかし、高度な化学的知見が必要な構造解析技術をプラスチック生分解性評価の分野に適用した事例は少なく、分解の分子論的なメカニズムはほとんどわかっていない。そこで、我々が保有するトップレベルの先端分析手法である高分解能質量分析、熱分解ガスクロマトグラフィー/質量分析法、顕微赤外分光、陽電子消滅寿命測定法等を活用して、実環境下での海洋生分解性プラスチック材料の分解過程、劣化過程を評価する中で、ポリマー分子の原子・分子レベルのマイクロ構造から材料レベルのマクロ構造の状態を解析する。

(2) 位置づけ、目標値

本研究項目では、海洋生分解性プラスチックの光分解反応や加水分解反応、生分解反応等を想定し、その際の材料表面の構造変化や、生じた分解生成物を解析し、物性試験の結果も活用して、生分解メカニズムの解明に役立つ評価法の開発に取り組む。また、材料の構造情報と生分解性試験等の結果を合わせて考察し、材料構造が海洋生分解性に与える影響を調べる。さらに、化学反応に関する高い知見を活かして分析モデルの構築や分析前処理法等の開発にも取り組むことで、材料構造解析手法の高度化・信頼性化を目指す。



図Ⅲ-2.1.4-1 分子構造相関解析の位置づけ

海洋生分解前後の試験サンプルは、本プロジェクトの研究項目①、④各実施者から入手すると共に、再委託先である地方独立行政法人東京都立産業技術研究センターおよび役務外注先による海洋浸漬材料を生分解前後の分子構造の変化を解析する。また、産総研が作成した分析モデル材料の海洋生分解評価を再委託先および役務外注先が行う。

(3) 全体計画

研究項目	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
(イ) 海洋生分解性プラスチックの分子構造解析技術の研究開発																				
(ロ) 複数の分析手法を組み合わせたマルチスケール構造解析技術の開発																				
(ハ) 海洋生分解性プラスチックの物性等評価に関する研究																				
(ニ) 種々の分解試験条件における劣化メカニズムの解明																				
(ホ) 海洋生分解性プラスチックの構造と海洋生分解性の相関解析に関する研究																				
(ヘ) 種々条件による海洋生分解試験等 (外注分析他)																				
開発経費 (百万円)	30.6				40.7				40.7				40.7				40.7			

本研究項目では、保有する先端分析技術を活用して、生分解試験前後の海洋生分解性プラスチックサンプルの分子構造や高次構造を解析するための技術開発を実施する。ポリ(3-ヒドロキシブチレート-co-3-ヒドロキシヘキサノエート) [PHBH] やポリブチレンサクシネートアジペート [PBSA] など2種類以上の材料をサンプルとして、再委託や外注により海洋生分解性試験を実施し、開発した化学構造解析技術を適用して、生分解試験前後の構造解析を行う。構造解析にあたっては、分子スケールからナノ～マイクロメートルスケール複数の分析手法分析を

組み合わせでマルチスケール構造解析を行い、海洋生分解による化学構造変化を総合的に解明する。また、プラスチック材料の分子構造情報等を活用した海洋分解性の新しい評価指標を 1 つ以上構築する。当該プロジェクト内で開発、標準化提案される各種条件での海洋生分解性試験サンプルに、本研究項目の技術を適用し、分解メカニズムを解明して試験の妥当性を検証し、信頼性向上に資する情報を提供する。

(4) 実施体制

国立研究開発法人産業技術総合研究所

再委託先：地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター

2.1.4.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②-1 物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明 「分子構造相関解析」	3 種類のモデル材料を対象として、質量分析や熱分解試験、陽電子消滅法等を用いて、海洋生分解性プラスチックサンプルの分子構造や物性変化の詳細を解析するための化学的分析手法を確立する。	3 種類のモデル材料を対象として表面の結晶分布、共重合体の組成分布等を解析可能な分析技術を構築。	△ 2022 年度末達成見込み	陽電子消滅寿命法等によるナノ構造解析手法を拡充し、複数の分析手法を組み合わせたマルチスケール構造解析を適用することにより、化学的視点から生分解メカニズムを解明する。
	海洋生分解性試験を行った実用生分解性プラスチック材料 2 種以上について、開発した分析技術を適用し、試験前後の構造変化をマルチスケールで解明し、海洋生分解メカニズムを化学的視点から解明する。	海洋生分解性試験を行った PHBH および PBSA について、各種の分析手法を適用し、試験前後の化学構造変化から分解の化学的なメカニズムを推定。	△ 2022 年度末達成見込み	

成果の詳細

項目②-1では、高分解能質量分析、熱分解ガスクロマトグラフィー/質量分析法、顕微赤外分光、陽電子消滅寿命測定法等の化学構造解析技術を活用し、海洋生分解性プラスチック材料の分解過程、劣化過程を評価する中で、ポリマー分子の原子・分子レベルのマイクロ構造から材料レベルのマクロ構造の状態を解析し、海洋生分解のメカニズムを化学的に解明することを目標としている。ここで得られた成果は、項目①および④で開発する海洋生分解性試験法の標準化の根拠となるバックデータとして試験法の信頼性を学術面から支え、試験法のISO標準成立までの過程において、国際的な信頼を得るために重要な役割を担う。以下にこれまでの成果の詳細を述べる。

①海洋生分解ラボ試験

3種類のモデル材料（セルロース、PHBH、PBSA）を対象として、様々な生分解度・崩壊度の海洋生分解性プラスチックサンプル（海洋生分解残渣）を入手する目的で、ISO 19679に準拠した海洋生分解ラボ試験を2020-2021年度にかけて実施した。植種源（海水・砂泥）採取場所や時期の影響を評価するため、大分および神奈川の海水を用い、冬季および夏季の2回に分けて試験を行った。

海洋生分解性ラボ試験（FY20冬季・外注）

- 試験内容：生分解度、崩壊度、微生物量（プレート法あるいは蛍光染色法）
ISO 19679「海水/砂泥面での非浮遊性プラスチック材料の好氣的生分解度の求め方」に準拠

- 条件：(A) 海水・砂は大分県沿岸にて採取
微生物量測定はプレート法



- (B) 海水・砂は神奈川県沿岸にて採取
微生物量測定は蛍光染色法

神奈川県：一色海岸と八景島の
水を1:1混合

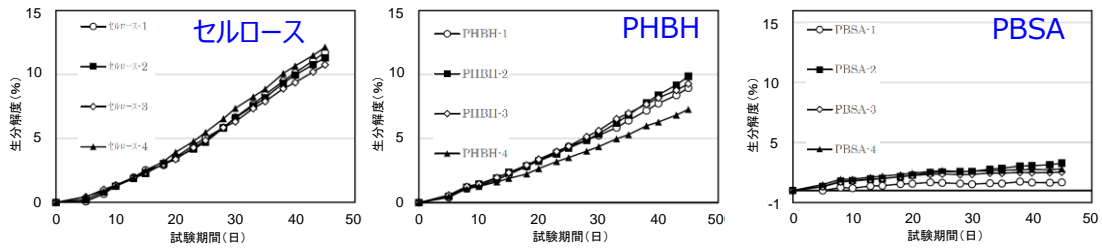


- 試料：セルロース(Whatman製定性濾紙No.42)
PHBH(ポリヒドロキシブチレートヘキサノエート)
PBSA(ポリブチレンサクシネートアジペート)
- 試験済みサンプルはNITEにて菌叢解析を実施予定

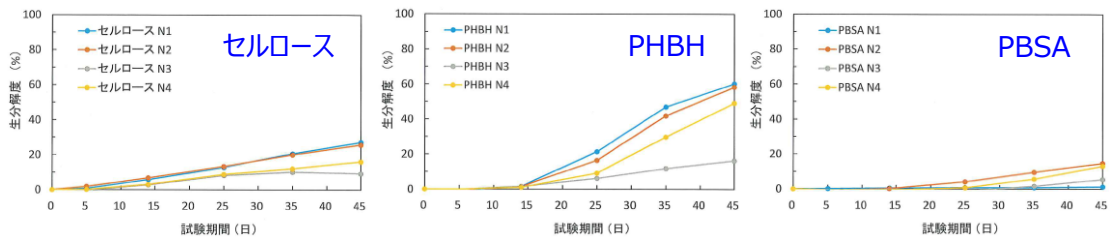
図Ⅲ-2.1.4-2 海洋生分解性ラボ試験の概要(FY20 冬季・外注)

試験結果 (FY20, 冬季・外注)

大分県採取



神奈川県採取



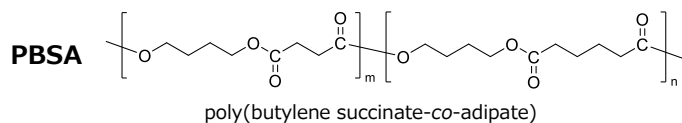
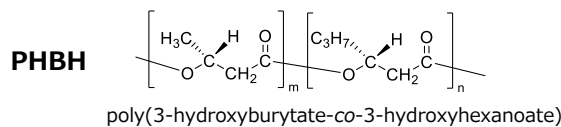
大分県採取条件よりも、神奈川県採取条件において、高い生分解度を示した

図Ⅲ-2.1.4-3 海洋生分解性ラボ試験結果(FY20 冬季・外注)

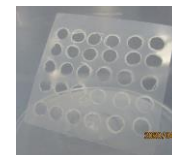
海洋生分解性ラボ試験 (FY21夏季・外注)

- **試験期間:** 2021年9月7日～12月6日 (90日間)
- **試験項目:** 生分解度*、崩壊度
- * ISO 19679「海水/砂泥面での非浮遊性プラスチック材料の好氣的生分解度の求め方」に準拠
- **植種源:** 大分県臼杵市臼杵川河口付近にて採取。
海水 (8月26日、9月6日) 砂泥 (8月26日)

- **試料:** セルロース (Whatman製定性濾紙No.42)



<サンプル形状>

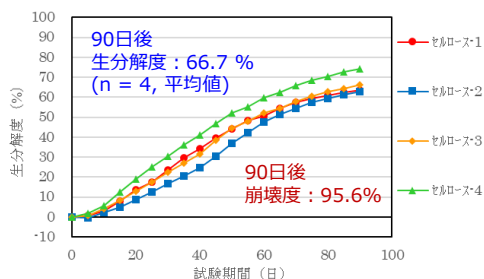


フィルム (2 cm角、厚さ 100 μm)
φ2 mmの穴30個

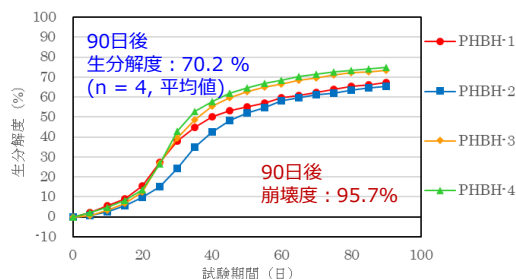
図Ⅲ-2.1.4-4 海洋生分解性ラボ試験の概要(FY21 夏季・外注)

試験結果 (FY21, 夏季・外注)

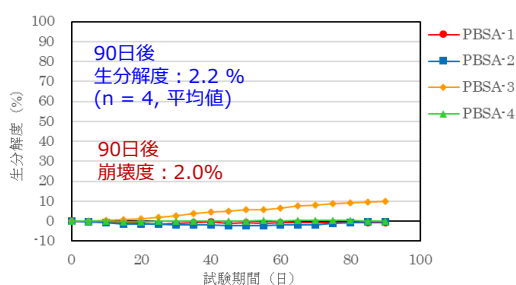
セルロース



PHBH



PBSA



図Ⅲ-2. 1. 4-5 海洋生分解性ラボ試験結果(FY21 夏季・外注)

②海洋生分解性プラスチック表面の構造変化評価

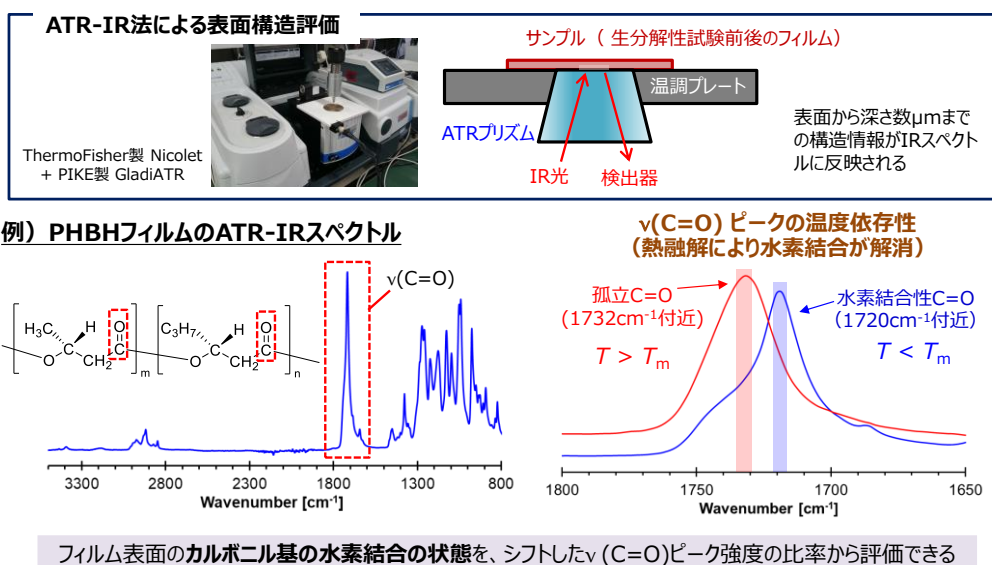
海洋生分解性プラスチックの分解メカニズムを化学的な視点から解明するためには、生分解試験前後における当該プラスチックの化学構造を明らかにする必要がある。過去の研究事例から、電子顕微鏡等を用いた表面形状観察により、生分解はサンプル表面から進行することが示唆されるが、従来の化学構造解析研究では、材料全体の分子量解析や分子構造解析を行うことが多く、表面のみの構造変化の評価が難しい（バルクの情報に埋もれてしまう）という課題があった。そこで、本項目では生分解が進行する材料表面の評価にフォーカスし、表面における構造変化をミクروسケールで2次元マッピングする新たな技術開発を実施した。具体的には、イメージング機構を備えた顕微赤外分光光度計を用い、 $32\ \mu\text{m} \times 32\ \mu\text{m}$ 四方の測定エリアを縦64×横64の区画に分割し、各区画におけるサンプル表面から深さ数 μm の分子構造を反映した全反射IR (ATR-IR) スペクトルを測定した。カルボニル基 (C=O) 伸縮振動に帰属される $1650 - 1800\ \text{cm}^{-1}$ のピークは、C=Oの水素結合状態を反映してピーク位置がシフトする（孤立状態： $1732\ \text{cm}^{-1}$ 付近、水素結合状態： $1720\ \text{cm}^{-1}$ 付近）。ポリエステル結晶中ではC=Oは水素結合を形成することから、各区画のATR-IRスペクトルのC=Oピークから水素結合の程度を解析することで、サンプル表面の結晶・非晶分布の2次元マッピングが可能となる。

本手法を海洋生分解試験前後のサンプルに適用したところ、海洋生分解試験前のサンプル表面は、測定エリア内のC=Oの水素結合状態に殆ど差が無い均一な状態であったのに対し、海洋生分解後のサンプル表面は局所的に水素結合性の高いエリアが点在する不均一な構造であった。この結果は、サンプル表面における海洋生分解が非晶部から優先的に進行し、生分解が比較的遅い結晶部の比率が高い領域が残留した状態を反映したものと考えられる。尚、本手法は

PHBH、PBSA のいずれの海洋生分解性プラスチックの評価にも適用可能であり、また比較的生分解度の低い段階のサンプルにも適用可能な初期表面生分解評価法として活用できることがわかった。本手法によって得られる ATR-IR スペクトル中の水素結合性 C=O ピークの相関値変化は、材料の構造変化に基づいた新たな分解性評価指標として応用できる可能性があり、これまで生分解性評価指標として用いられてきた CO₂ 発生量（あるいは BOD 値）による評価を補完することが期待できる。

海洋生分解性プラスチック表面の構造変化評価

顕微ATR-IR測定におけるカルボニル基の吸収ピークから、生分解が進行するサンプル表面の構造解析を実施

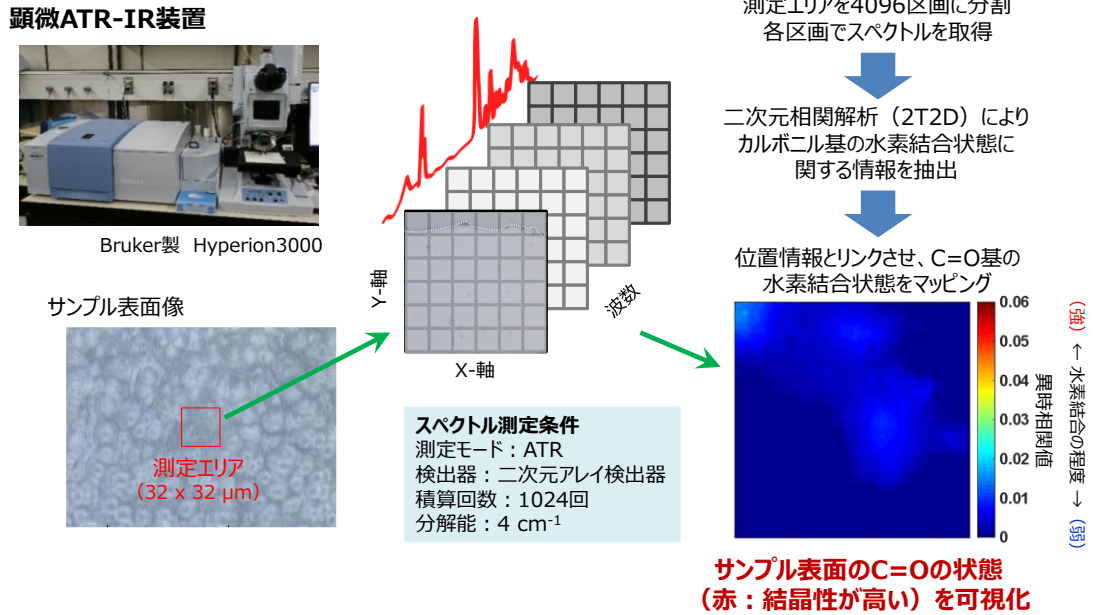


ポリエステル^の結晶中では水素結合が形成 ⇒ 水素結合の度合いを結晶性の指標に設定可能

図Ⅲ-2. 1. 4-6 海洋生分解性プラスチック表面の構造変化評価

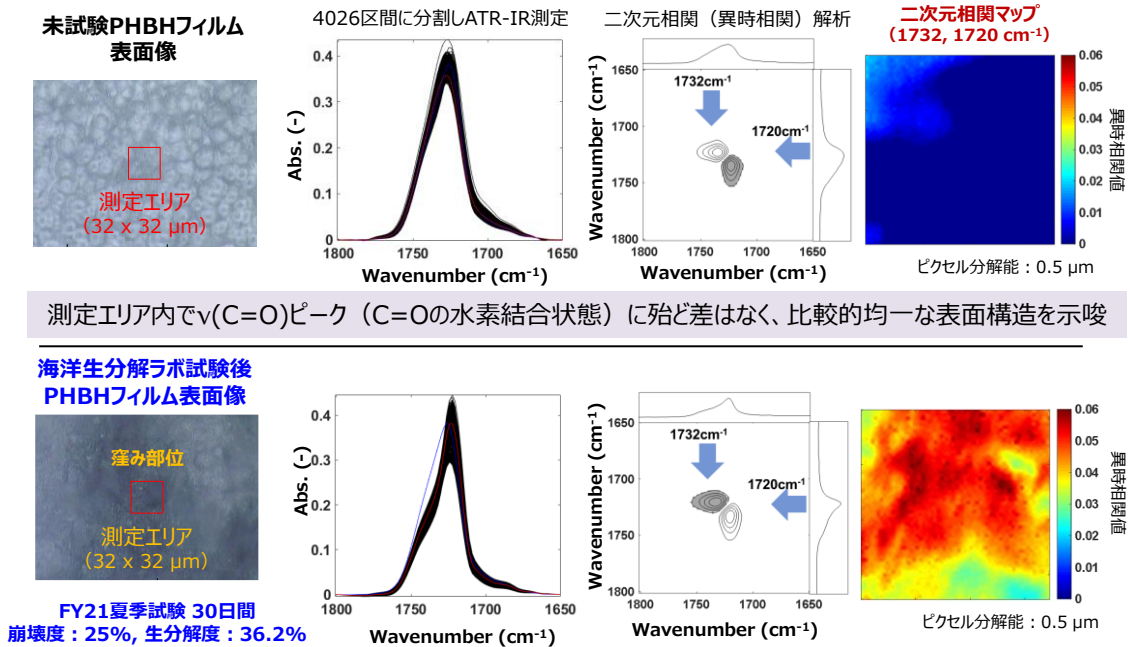
海洋生分解性プラスチック表面の分子情報マッピング

顕微ATR-IR測定とデータマイニングに基づくスペクトル解析により
サンプル表面におけるC=O基の水素結合強度分布を可視化



図Ⅲ-2. 1. 4-7 海洋生分解性プラスチック表面の分子情報マッピング

PHBHフィルム表面C=O基の水素結合状態マッピング

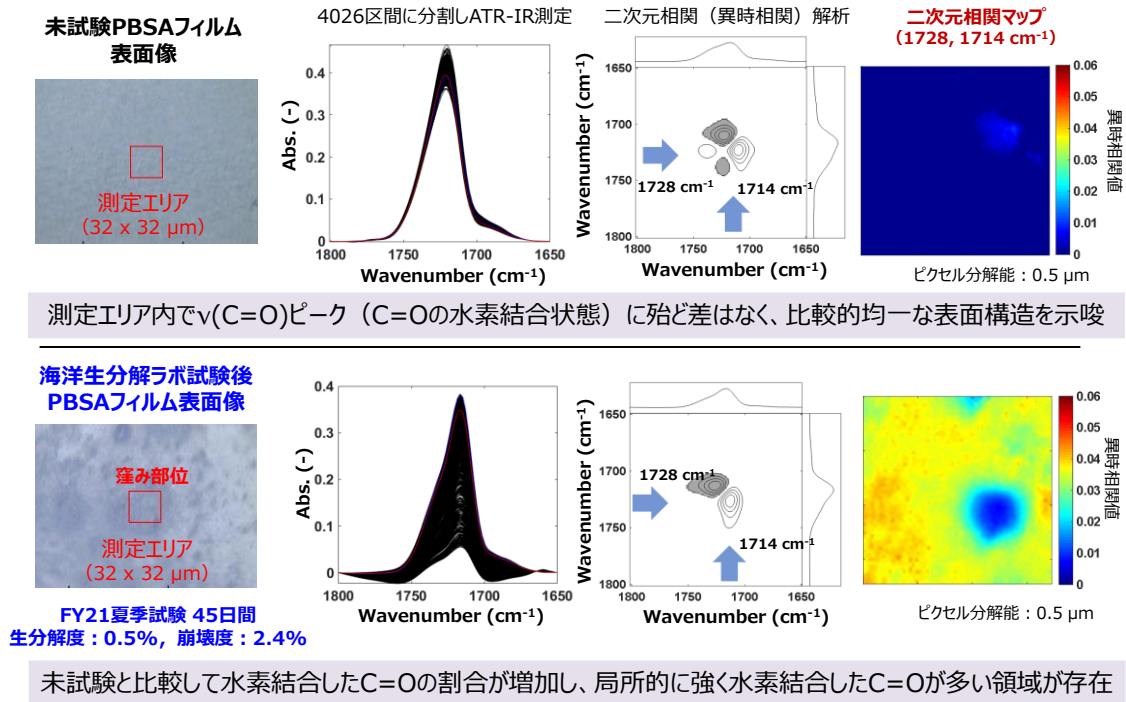


未試験と比較して水素結合したC=Oの割合が増加し、局所的に強く水素結合したC=Oが多い領域が存在

非晶部分から優先的に生分解が進み、結晶部分が残っている状態を可視化

図Ⅲ-2. 1. 4-8 海洋生分解性プラスチック (PHBH) 表面 C=O 基の水素結合状態マッピング

PBSAフィルム表面C=O基の水素結合状態マッピング



非晶部分から優先的に生分解が進み、結晶部分が残っている状態を可視化

図III-2.1.4-9 海洋生分解性プラスチック(PBSA)表面 C=O 基の水素結合状態マッピング

③生分解性プラスチック (共重合体ポリエステル) の組成分布解析

代表的な海洋生分解性プラスチックである PHBH および PBSA は、いずれも 2 種類のモノマー成分から構成される共重合体であるが、海洋生分解における共重合組成の影響はこれまで十分に解明されていない。また、海洋生分解の進行により共重合組成比が変化するような場合は、生分解の途中で分解速度が変化する可能性も考えられる。よって、海洋生分解試験の前後でサンプル中の共重合組成の変化の有無を解明することができれば、生分解メカニズムの分子論的な理解につながるものと期待される。

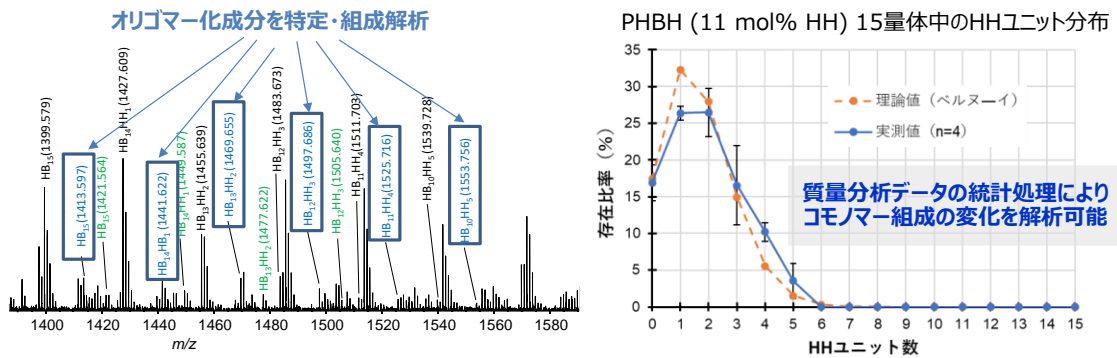
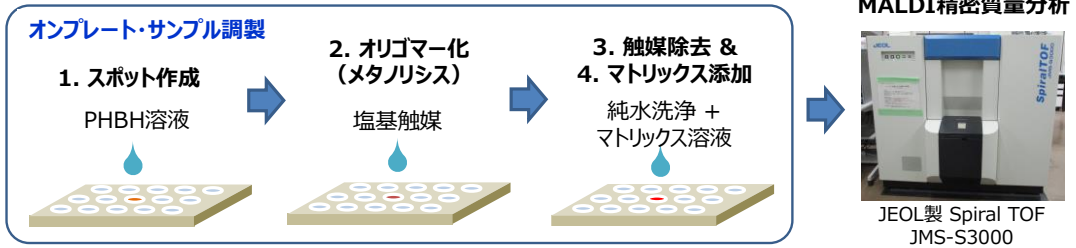
高分解能 MALDI-TOFMS 法は、分子の精密組成解析に有効な手段である。しかし、分子量が数十万以上であり、分子量に分布をもつ実用海洋生分解性プラスチック材料を直接評価することは困難であった。そこで本研究では、海洋生分解プラスチック材料を部分メタノリシス反応によりオリゴマーへ誘導し、オリゴマー生成物を対象として MALDI-TOFMS 法により共重合組成分布解析を行う手法を開発した。本手法を高分子量 PHBH サンプルに適用し、MALDI-TOFMS スペクトルデータの統計解析よりオリゴマー中の共重合組成分布を得ることに成功した。図に 15 量体オリゴマーの解析結果を示す。これより、サンプル中に含まれるモノマーである HH ユニットの比率を分布として表すことができた。

今後、海洋生分解後のサンプルについても本手法を適用し、生分解過程における共重合組成分布の変化を評価し、その結果に基づいた海洋生分解性プラスチック材料の生分解メカニズムの分子論的な理解に繋げる。さらに、このような先端分析より得られる、海洋生分解における化学構造変化の情報は、材料開発の設計指針への活用といった波及効果も期待できる。

生分解性プラスチック（共重合ポリエステル）の組成分布解析

共重合体の組成分布を解析することで、生分解挙動を分子論的に評価

⇒ サンプルをオリゴマー化して精密質量分析することで共重合組成を分析



図III-2. 1. 4-10 海洋生分解性プラスチック（共重合ポリエステル）の組成分布解析

(2) 成果の最終目標の達成可能性

研究項目	最終目標 (2024年度)	達成見通し
②-1 「物質評価としての材料 構造解析による生分解メ カニズムの解明 /分子構造相関解析」	海洋生分解性試験前後のプラスチックの構造解析により解明した生分解メカニズムに基づいて、従来のCO ₂ 発生量を利用した評価指標とは異なる、評価プラスチック材料の分子構造情報等を活用した新しい海洋生分解性試験における評価指標を1つ以上構築する。さらに、本指標を活用し、開発された海洋生分解試験法の妥当性を検証し、試験法の高信頼性化に貢献する。	達成の見込みである

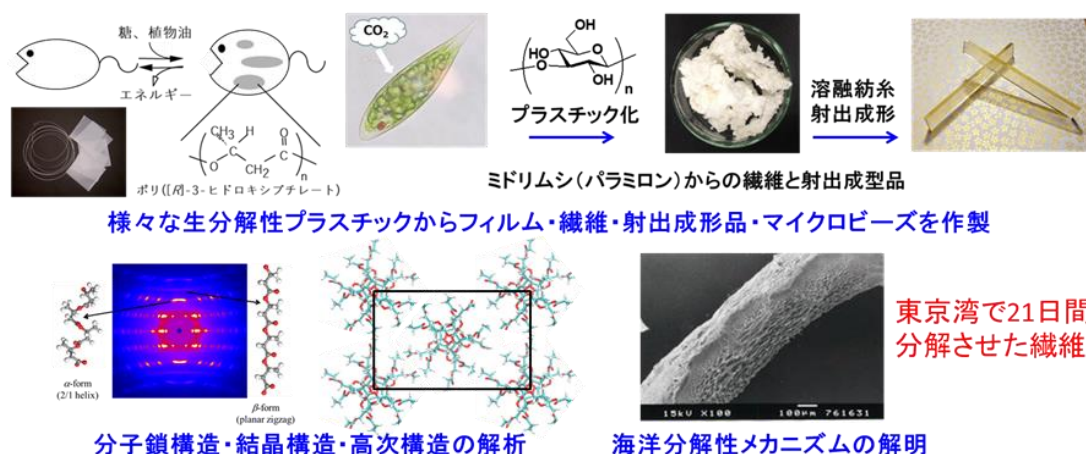
2.1.5 研究項目②「物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明」 ②-2 形状および結晶構造からの分解機構の解明

(担当：東京大学、(再委託先) 国立研究開発法人海洋研究開発機構)

2.1.5.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

生分解性プラスチックの酵素分解速度や強度を含む機械的物性は一般に、化学構造に加え、分子鎖構造、結晶構造、高次構造など様々な構造学的因子によって支配されることが知られている。実施者らはこれまで主に、微生物産生ポリエステルと単離・精製した分解酵素を用いて、分子鎖構造がらせん構造の方が平面ジグザグ構造より分解速度が遅い、材料中の結晶の量(結晶化度)が多くなる、あるいは結晶の厚みが厚くなると分解速度が遅くなるなど、酵素分解速度を制御するいくつかの因子を解明している。しかしながら、これまで分子鎖構造、結晶構造、高次構造など様々な構造学的因子と海洋分解性に関する相関の解明には至っていない。さらに、最終製品の海洋分解を考えると、材料の形状、表面積(例えば、繊維であれば繊維径など)、表面構造などにより、その分解速度は大きく変化すると考えられる。海洋分解の評価法を確立するためには、部材の形状や表面の性質や構造および結晶構造と高次構造を詳細に解析し、海洋分解性との相関を解明することが必要不可欠である。



図Ⅲ-2.1.5-1 本研究項目で作製する微生物産生ポリエステルおよび多糖エステル誘導体の部材、構造解析、海洋分解性の一例(様々な生分解性プラスチックから作製するフィルム・繊維・射出成型品・マイクロビーズ、分子鎖構造・結晶構造・高次構造、実際に東京湾で21日間分解させた繊維のSEM写真)

(2) 位置づけ、目標値

本研究項目では、微生物産生ポリエステルを始めとする様々な生分解性ポリエステル、セルロースを始めとする様々な高分子多糖類およびその誘導体を用いて、官能基の種類、置換度、置換基分布、形状および表面積、結晶構造、結晶化度、結晶配向度、高次構造などを変化させ、海洋生分解メカニズムの解明と海洋生分解速度を制御する因子の解明を試みる。特に、形状と表面構造、結晶構造と高次構造に焦点を当て、播磨の大型放射光施設(SPring-8)の強力広角X線を用いて、詳細なナノオーダーの3次元構造解析を行うとともに、長尺小角X線回折を行うことによりミクロンオーダーの高次構造の観点から、海洋分解性メカニズムの解明と分解速度制御との相関解明を試みる。

さらに本研究項目では、開発した全てのサンプルの海洋分解挙動について、主に海水を用いたBOD

試験を中心に行い、構造的観点からの海洋生分解メカニズムの解明とそれを基にした海洋生分解速度制御因子の解明を行う。また同時に、海岸で分解実験を行い、実海洋分解における生分解速度制御因子の解明を行う。さらに、海洋深層水を用いた室温・低温(4度)でのBOD試験も同時並行で行い、採取した海水の違いによる海洋生分解性メカニズムの解明と海洋生分解速度制御因子の解明を行う。これら一連の研究結果をもとに、海洋分解評価法の再現性・普遍化に対する材料学的観点からの基礎的提案を行う。

(3) 全体計画

研究項目	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
(イ) 生分解性プラスチックの構造解析																				
(ロ) 構造および形状の異なる生分解性プラスチックの部材作製																				
(ハ) 形状および構造的観点からの分解機構の解明																				
開発経費(百万円)	12.4				12.4				12.4				12.4				12.4			

本研究項目では、4種類の微生物産生ポリエステルとポリ乳酸、ポリブチレンサクシネート、ポリブチレンサクシネート/アジペート、ポリカプロラクトン、ポリブチレンアジペート/ブチレンテレフタレートなどの様々な生分解性脂肪族ポリエステルに加え、置換度の異なるセルロースエステル、パラミロンエステルなどから、ソルベントキャストフィルム、溶融プレスフィルム、溶融紡糸繊維（未延伸繊維、配向繊維）、射出成形体、マイクロビーズを作製する技術の開発を行う。その際、結晶化温度を変えることにより結晶化度、延伸倍率を変えることにより結晶配向度の異なるサンプルを調整し、それらの海洋分解性試験を行うことにより、ISO試験に適したサンプルの提案を行う。

作製したサンプルの分子鎖構造を始めとする構造解析は、実験室で保有するX線回折装置と毎年6月頃と11月頃に大型放射光施設SPring-8で行う放射光回折実験により解明する。海洋分解性に関しては、再委託先であるJAMSTECの岸壁あるいは東京湾お台場の海水を採取し、作製したサンプルのBOD試験を行う。また、年に2回（5月と10月）に再委託先のJAMSTECの運用する研究調査船に乗船し、深海底（800～5000メートル）の海水を採取し（研究項目④-3）、BOD試験を行う。

(4) 実施体制

国立大学法人東京大学

再委託先：国立研究開発法人海洋研究開発機構

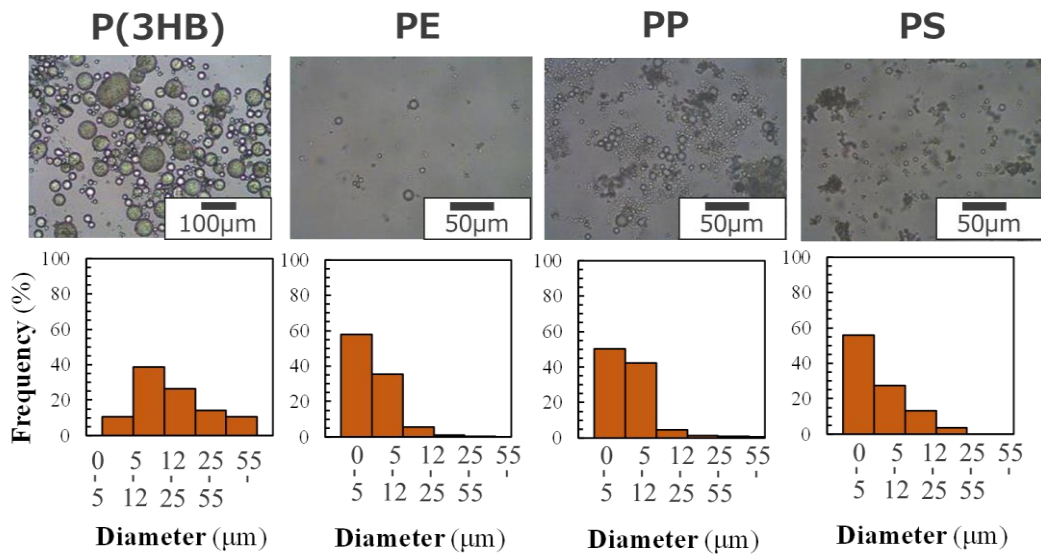
2.1.5.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

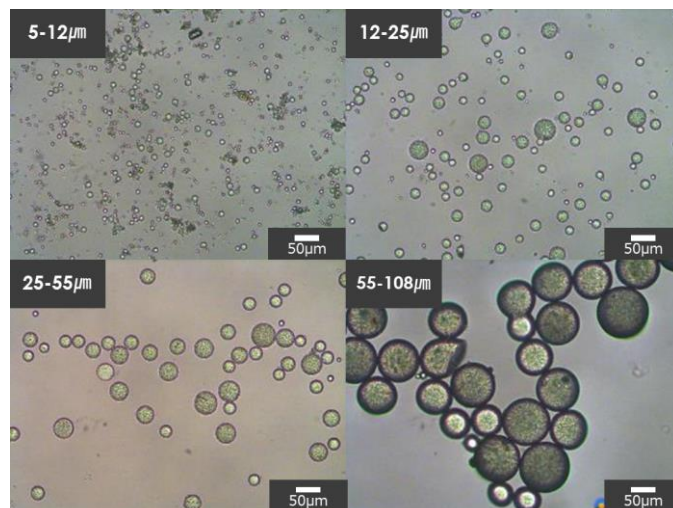
研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②-2 「物質評価と生分解メカニズムの解明／形状および結晶構造からの分解機構の解明」	5種類以上の生分解性ポリエステルおよび3種類以上の多糖類エステル誘導体から異なる結晶化度を持つ射出成形体、フィルム、繊維を作製する。	全てのサンプルの作製に成功し、構造解析およびBOD試験等に供試している。	◎	結晶化度や結晶配向度などがより精密に制御されたサンプルの作製、マイクロビーズにおいては、径のコントロールが必要である。
	BOD生分解試験を行い、岸壁分解度、深海分解度と比較し、国際標準化に必要な構造学的因子を少なくともそれぞれ1つ以上解明する。	BOD試験の安定性を向上させるため海水に適度な海底土を混ぜること、窒素とリンを加えることが有効であることを実証した。	△	【今後の課題】 BOD試験の安定性を高めること 【解決方針】 ブランクを下げる方法の検討

・5種類以上の生分解性ポリエステルおよび3種類以上の多糖類エステル誘導体から異なる結晶化度を持つ射出成形体、フィルム、繊維の作製

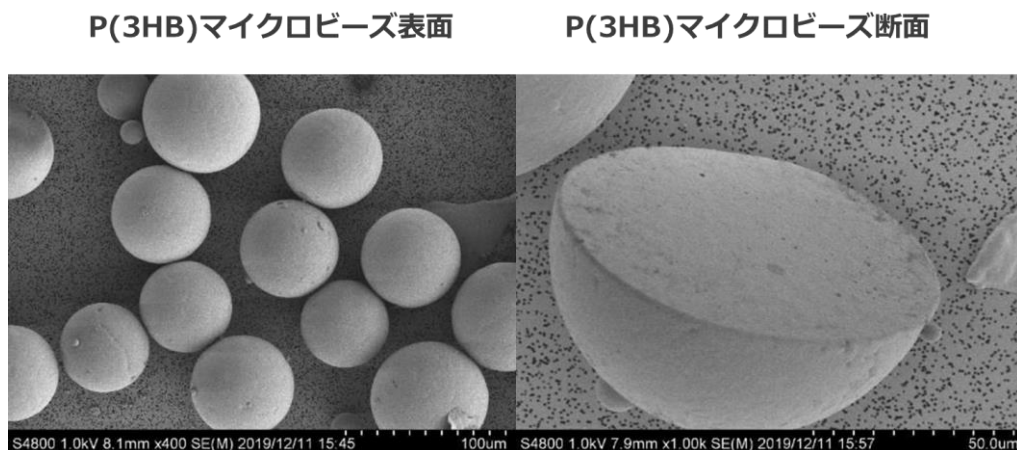
生分解性ポリエステルおよび多糖エステル誘導体から結晶化度の異なる射出成形体、フィルム、繊維の作製に成功した。さらに、微生物産生ポリエステル（P(3HB)）からマイクロビーズの作製にも成功した。図III-2.1.5-2は、P(3HB)および3種類の汎用樹脂（PE、PP、PS）から作製したマイクロビーズの光学顕微鏡写真と粒子径の分布を示した図である。いずれのマイクロビーズも50マイクロン以下で、目的の粒径のサンプルを作製することに成功した。図III-2.1.5-3は、P(3HB)のマイクロビーズをメッシュのサイズ径の異なるナイロンメッシュで分級した後の光学顕微鏡写真である。ナイロンメッシュで非常にきれいに分級することに成功した。図III-2.1.5-4は、そのうちの一つのマイクロビーズの写真である。内部までポリマーがきちっと詰まり、真球状であることが分かる。このように径が揃い表面もきれいなマイクロビーズが作製できたので、愛媛大学の鑪迫教授により行われるメダカ等を用いた安全性試験に供試した。



図III-2.1.5-2 微生物産生ポリエステル (P(3HB)) と汎用樹脂 (PE、PP、PS) から作製したマイクロビーズの光学顕微鏡写真



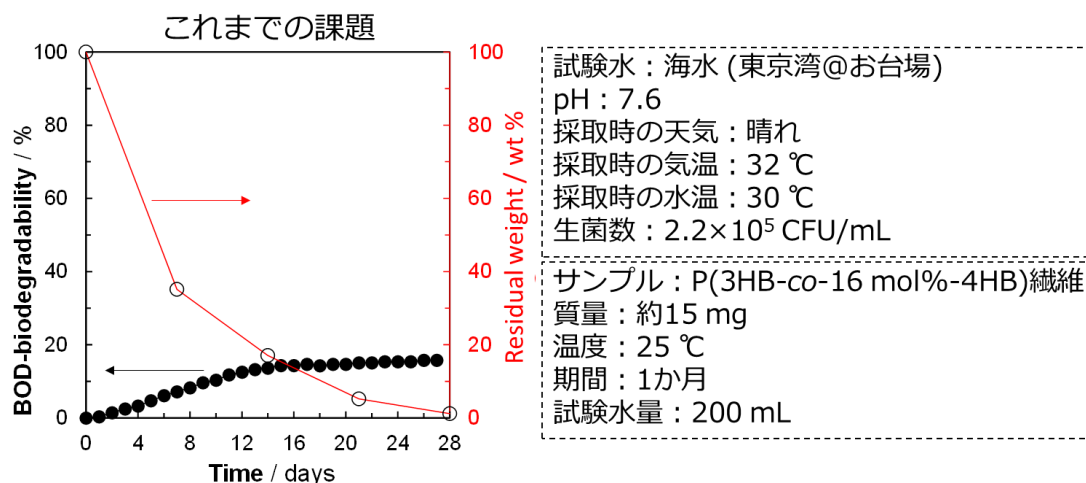
図III-2.1.5-3 微生物産生ポリエステル (P(3HB)) マイクロビーズをナイロンメッシュで分級



図III-2.1.5-4 微生物産生ポリエステル (P(3HB)) の SEM 写真

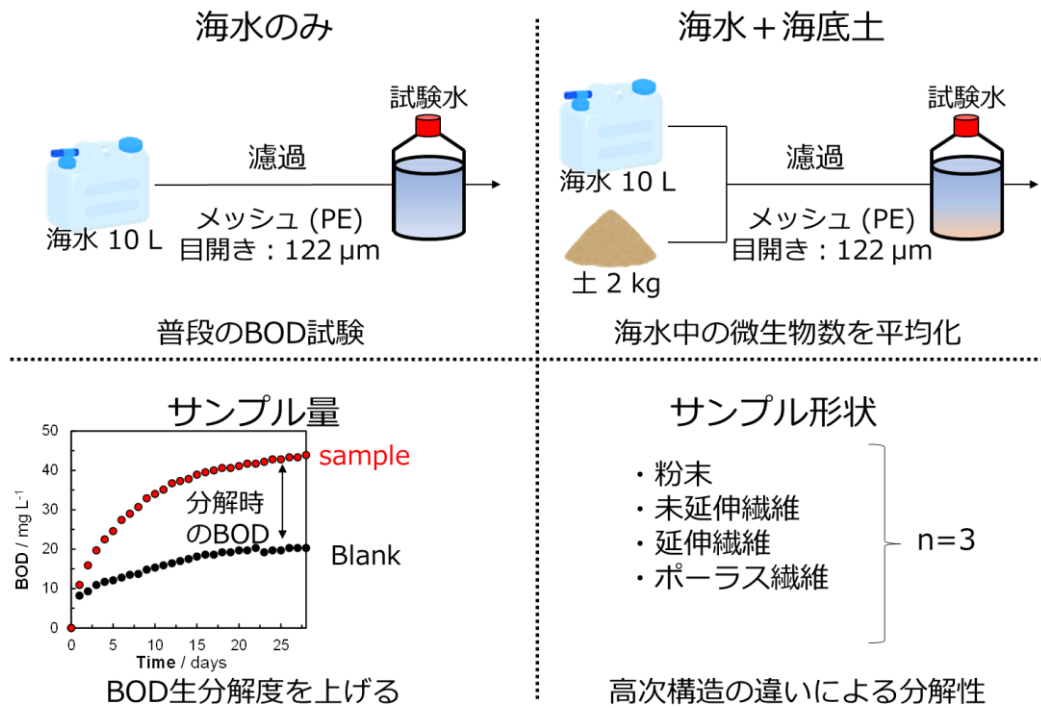
・BOD 生分解試験を行い、岸壁分解度、深海分解度と比較し、国際標準化に必要な構造学的因子を少なくともそれぞれ1つ以上解明

現在、粉体、フィルム、繊維の海水を用いた BOD 生分解試験を行っている。しかし、現行の方法では、BOD 試験結果が安定しないことがわかった。よって、現在、どのようにすれば安定した BOD 試験が行えるかについて、様々な条件検討を行っている。



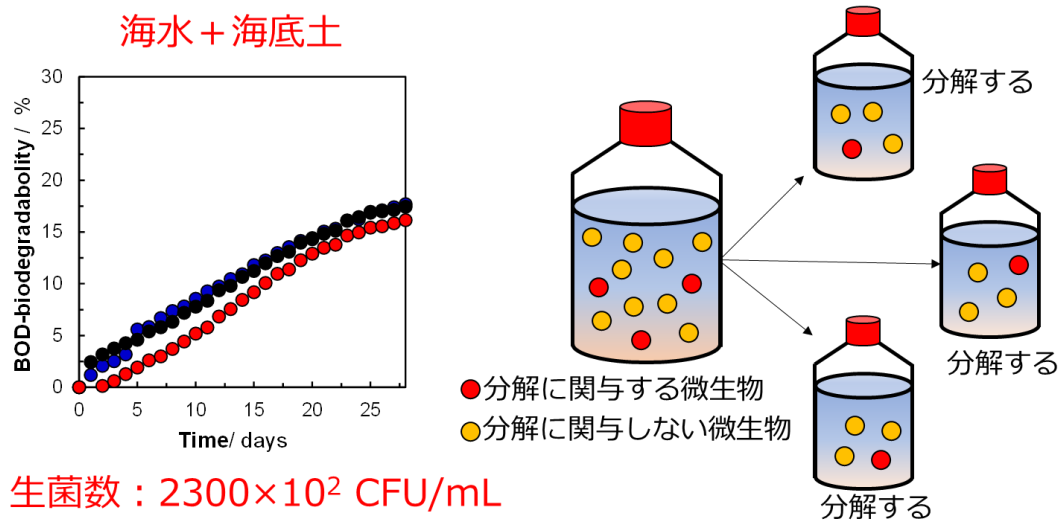
図Ⅲ-2.1.5-5 海水を用いた BOD 生分解試験におけるこれまでの結果

図Ⅲ-2.1.5-5 は、微生物産生ポリエステル繊維を用いた海水分解試験の結果である。28 日間で繊維の重量減少は 100%となっているが、その時に同時に測定している BOD 生分解度は 20%止まりである。重量減少は繊維が微生物の分泌する分解酵素によって水可溶性のオリゴマーあるいはモノマーの分解生成物に分解されれば、減っていく。従って、28 日間で分解酵素により繊維は完全に水可溶性の分解生成物へと分解されたことが分かる。しかし、BOD の値が 20%にしか達していないということは、分解生成物が微生物体内に取り込まれ、水と二酸化炭素にまで代謝されていないことを示している。重量減少と BOD 生分解にはタイムラグがあつてしかるべきであるが、本実験結果は BOD 試験が的確にできていないことも同時に示している。そこで、BOD 生分解試験がうまく行かない原因を解明することとした。



図Ⅲ-2.1.5-6 BOD 試験を行う際に検討した条件

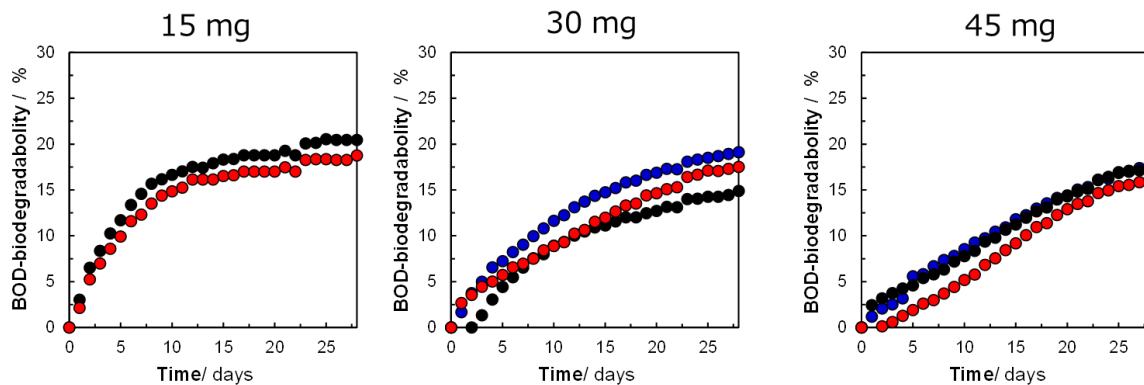
今回、BOD 試験を行うに際し、試験条件をいろいろ検討した。一つは、微生物の量が分解に大きな影響を及ぼす可能性があるため、海水だけ（微生物量が少ない）と海水に海底土を少し混ぜたもの（微生物量が多い）の2種類を用意した。さらに、サンプル量を15 mg、30mg、45 mgと変化させ、サンプル量が BOD 生分解度に及ぼす影響も検討した。また、繊維を用いて、形状が及ぼす影響についても検討した。



図Ⅲ-2.1.5-7 海水+海底土の条件による BOD 試験の結果

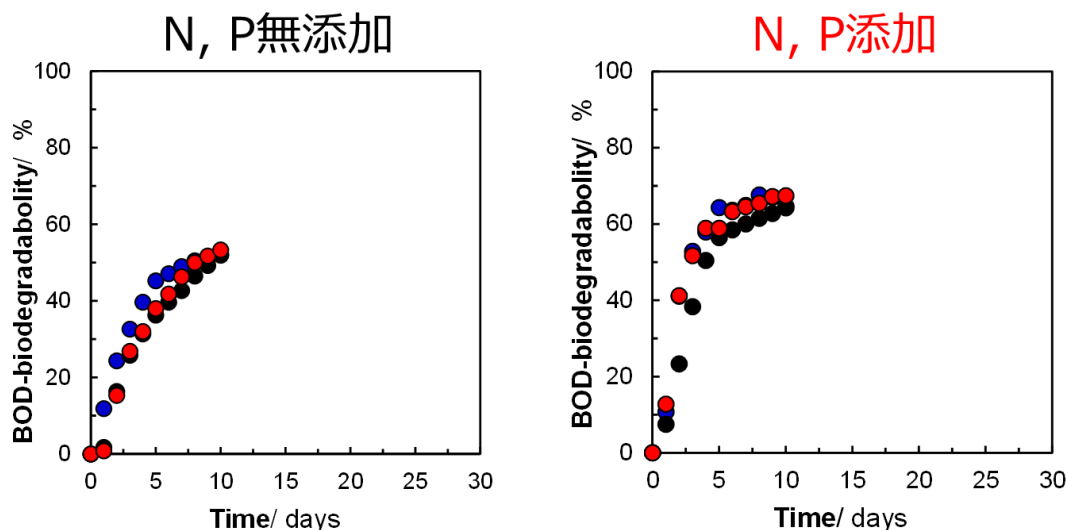
図Ⅲ-2.1.5-7 に、海水に海底土を加えて行った BOD 試験の結果を示す。3つのサンプル全てがほぼ同じ分解度を示しており、BOD 試験ボトル間での分解度のばらつきは抑制できることがわかった。これは、微生物量が増えたため、試験水を試験ボトルに分けた際の部生物量のばらつきが低減され

たためと考えられる。



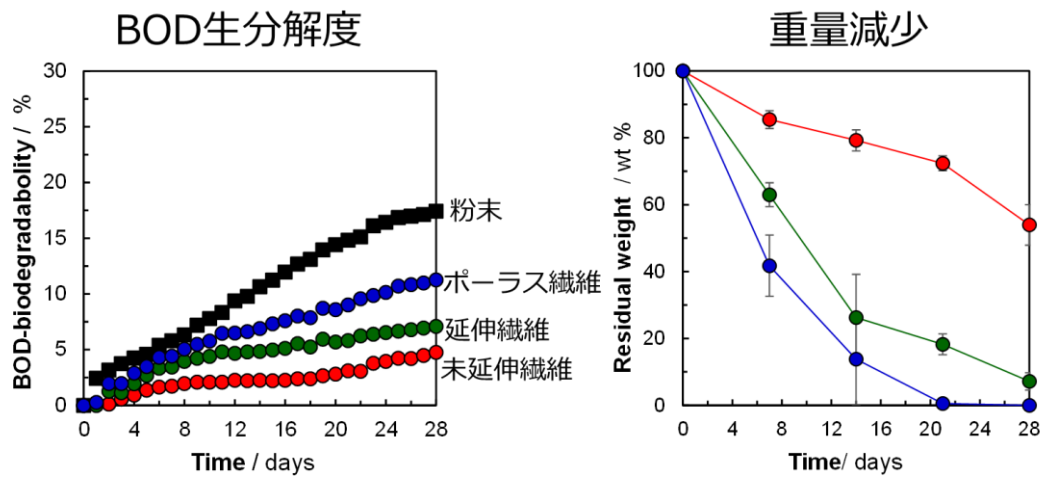
図Ⅲ-2.1.5-8 サンプルの量を変えて行った BOD 試験の結果

図Ⅲ-2.1.5-8 は、一つのボトルに入れるサンプル量を変化させた際の BOD 生分解度である。サンプル量が増えているにもかかわらず、生分解度が変わっておらず、測定がうまくいっていないことが示唆された。そこで、サンプル量を 15mg として、窒素とリンを試験水に混ぜた実験を行うこととした。



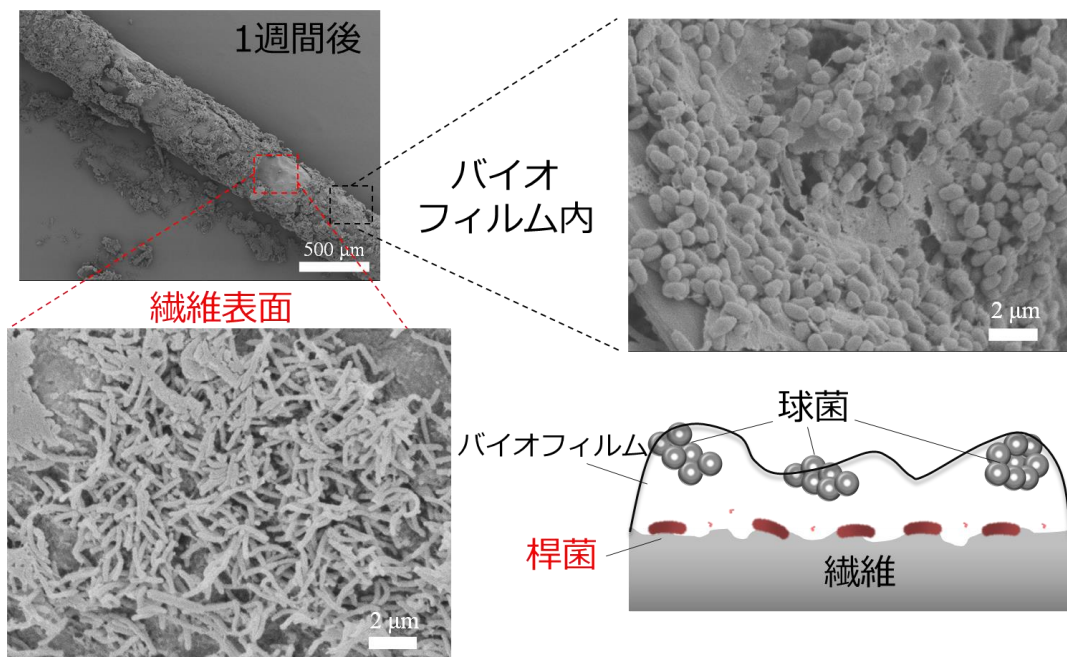
図Ⅲ-2.1.5-9 窒素とリンを試験水に混ぜて行った BOD 試験の結果

図Ⅲ-2.1.5-9 に示すように、窒素とリンを試験水に混ぜると生分解度がぐっと高くなった。よって、窒素とリンを加える方法は有効であることが分かった。これは今後の ISO 提案にも非常に重要な知見であると考えられる。



図Ⅲ-2.1.5-10 形状の異なる繊維のBOD試験結果と重量減少

試験サンプルの形状および内部構造が分解性に影響を及ぼすかどうかの検討を開始した。図Ⅲ-2.1.5-10は、粉末、3種類の繊維のBOD生分解度である。粉末が最も分解速度が速かった。繊維に関しては、ポーラス繊維、延伸繊維、未延伸繊維の順番で速度が減少しており、径が大きくなると分解速度が遅くなることがわかった。



図Ⅲ-2.1.5-11 繊維表面に付着した微生物の様子（SEM観察）

図Ⅲ-2.1.5-11に繊維表面に付着した微生物の形態を示す。繊維表面には細長い桿菌が付着していることがわかった。具体的に桿菌の種類までは同定できていないが、この桿菌が分解酵素を分泌しているものと考えられる。さらに、この桿菌を覆うように、球菌が存在し、バイオフィルムを形成している様子が見られた。このように材料面に付着する微生物の様子を今後詳細に検討することにより、どのような材料表面と付着微生物の関連性を明らかにし、ISOに用いる試験片の提案に結び付ける予定である。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

研究項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
②-2 「物質評価としての材料構造による生分解メカニズムの解明／形状および結晶構造からの分解機構の解明	BOD 生分解度、岸壁分解度、深海分解度を比較し、国際標準化に必要な構造学的因子（結晶化度、結晶配向度、分子鎖構造など）と形状因子（フィルム、粉体、成形体による表面積など）を少なくともそれぞれ3つ以上解明する。	達成の見込みである
	3つの分解試験の結果から相関性を見出し、国際標準化に適した試験片と換算式を提示する。	達成の見込みである

2.1.6 研究項目②「物質評価としての材料構造解析による生分解メカニズムの解明」 ②-3 生分解度評価手法としての質量分析技術の有用性の検証および海洋生分解性プラスチックの安全性評価 (担当；島津テクノリサーチ)

2.1.6.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

本研究開発項目は大きく 2 つのテーマに分けられる。2 つのテーマの背景と目的は次の通りである。

【①生分解度評価手法としての質量分析技術の有用性の検証】

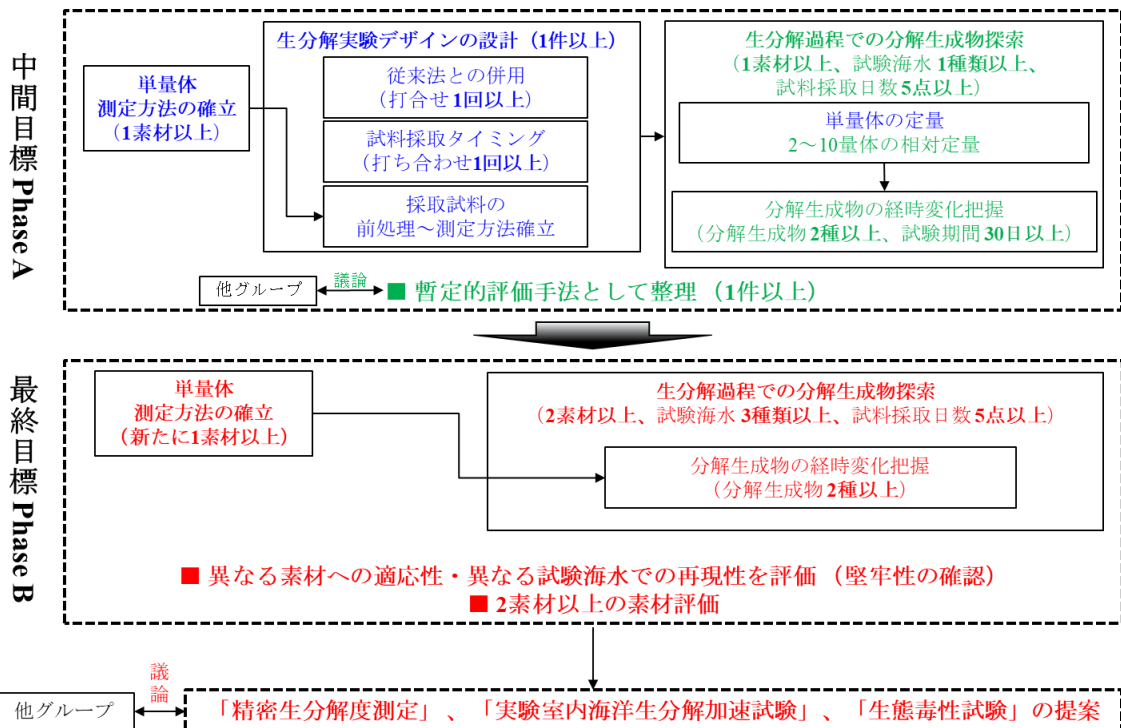
現行の生分解度は、BOD や CO₂ といった間接的指標を用いて評価されており、直接的に分解を測定しているわけではなく、測定感度は一般に mg/L 程度である。海洋生分解性プラスチックの分解中間生成物を、μg/L～ng/L 程度の高感度を有する質量分析装置を用いて測定することにより、分解の初期段階から終点までの詳細な評価が可能となる事が期待される。また、海洋生分解性プラスチックは、その分解過程において、徐々に分子サイズを小さくしていく。質量分析装置では、低分子化した海洋生分解性プラスチックの構成分子そのものを検出でき、多種多様な構成分子を質量ごとに見分ける事が可能であると考えられる。質量分析の有用性を検証し、新たな評価手法を構築する事で、生分解メカニズムの解明に迫るとともに「精密生分解度測定」、「実験室内海洋生分解加速試験」、「生態毒性試験」の提案に繋げる。

【②海洋生分解性プラスチックの安全性評価】

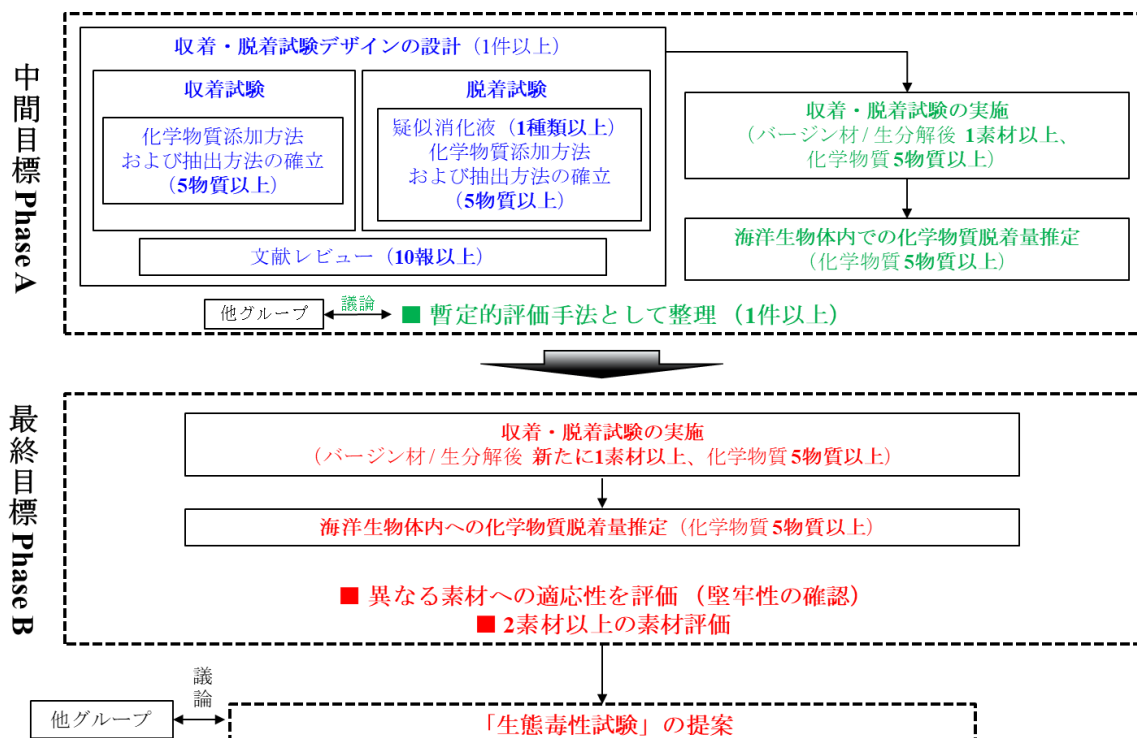
海洋プラスチックゴミのほとんどを占めるポチプロピレン、ポリエチレン、ポリスチレン等のマイクロプラスチック（以下「MP」とする）には、有機化合物が収着することが知られている。これらの化学物質を収着した MP は、海洋生物の体内に取り込まれた際に、化学物質の輸送媒体として機能する（ベクター効果）ことで、海洋生物に悪影響を与える事が懸念されている。海洋生分解性プラスチックは分解過程で、必然的に MP を経るため、ベクター効果をどの程度有するかを把握する事が海洋生分解性プラスチックの普及を後押しするものと考えられる。また、生分解性プラスチックは官能基の特性が従来の石油系プラスチックと異なる事から、親水性化合物を収着する可能性も考えられる。バージン材 or 分解途上材、疎水性化合物 or 親水性化合物について、化学物質の収着・脱着特性を評価する事で、環境安全性評価による海洋生分解性プラスチックの社会実装を推進するとともに、「生態毒性評価法」の提案に繋げる。

(2) 位置づけ、目標値

本研究開発項目の新規性は、①海洋生分解性プラスチックの分解中間生成物を高感度かつ直接的に測定し、以て、分解度評価法の構築と分解メカニズムの解明に貢献するという点、②分解途上材および親水性化合物について収着・脱着特性を評価するという点にある。これらは、用途に応じた素材・製品開発、海洋生分解性プラスチックの普及促進に繋がる。本研究開発項目の目標値を図Ⅲ-2.1.6-1 および図Ⅲ-2.1.6-2 に示す。



図Ⅲ-2.1.6-1 「①生分解度評価手法としての質量分析技術の有用性の検証」の目標値
 (青字：完了、緑字：進行中(2022年度達成予定)、赤字：未実施)



図Ⅲ-2.1.6-2 「②海洋生分解性プラスチックの安全性評価」の目標値
 (青字：完了、緑字：進行中(2022年度達成予定)、赤字：未実施)

(3) 全体計画

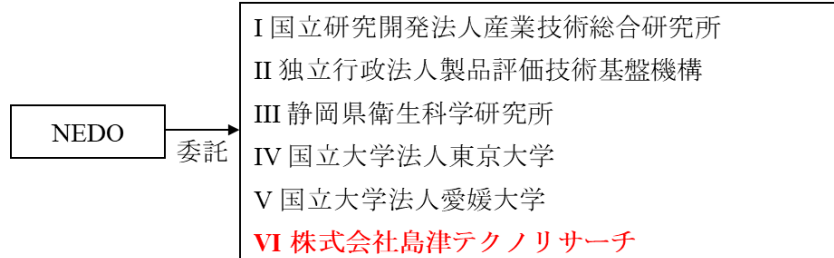
本研究開発項目の研究開発スケジュールを図Ⅲ-2.1.6-3に示す。2022年度中にフェーズAのスケジュールを滞りなく完了する予定である。

研究項目 (研究担当機関)	フェーズA			フェーズB	
	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
①生分解度評価手法 (質量分析技術の 有用性の検証)	前処理方法 検討				
	分解中間生成物の経時変化把握		実施中		
			実施中 暫定的手法の まとめ	複数の素材評価 堅牢性確認	
		反映	実施中 「精密生分解度測定」、 「実験室内海洋生分解加速試験」、 「生態毒性試験」の提案に繋げる		
②安全性評価 (収脱着特性の把握 による評価)	素材評価手法の確立		実施中		
			実施中 生体内脱着量 推定		
			実施中 暫定的手法の まとめ	複数の素材評価 堅牢性確認	
		反映	実施中 「生態毒性試験」の提案に繋げる		
合計NEDO負担額 [税込]	4.23百万円	7.08百万円	7.64百万円	7.90百万円	7.90百万円

図Ⅲ-2.1.6-3 研究開発スケジュール

(4) 実施体制

本プロジェクトの実施体制図を図Ⅲ-2.1.6-4に、各研究項目と実施機関の一覧、および、本研究開発項目と連携して開発に取り組む研究項目を図Ⅲ-2.1.6-5に示す。



図Ⅲ-2.1.6-4 本プロジェクトの実施体制図

研究項目	I	II	III	IV	V	VI
① 実験室内における生分解度加速試験法の開発	○	○				
② 材料構造による生分解メカニズムの解明	○		○			○
③ 微生物、酵素による生分解メカニズムの解明	○	○				
④ 実海域におけるデータ収集、簡易生分解試験（崩壊度）試験法の開発	○	○		○		
⑤ 生態毒性評価法の開発						○
⑥ 海底プラスチック低減効果の推定	○					

連携

図Ⅲ-2.1.6-5 各研究項目と実施機関の対応表および本研究開発項目と連携して開発に取り組む研究項目

2.1.6.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

本研究開発項目の中間目標は次のとおりである。

【①生分解度評価手法としての質量分析技術の有用性の検証】

1 素材以上の海洋生分解性プラスチックと1地点以上の海水を使用した生分解試験を実施し、分解中間生成物2種以上について経時変化を把握する。従来法と比較し1件以上の暫定的な生分解度評価手法を整理する。

【②海洋生分解性プラスチックの安全性評価】

1 素材以上の海洋生分解性プラスチック（バージン材および分解途上材）について、5つ以上の化学物質の収着・脱着特性を把握する。生体内へ移行し得る化学物質量を5物質以上について推定し、1件以上の暫定的な安全性評価手法を整理する。

上記の中間目標に対する成果、達成度、今後の課題および解決方針を表Ⅲ-2.1.6-1に示す。

表Ⅲ-2.1.6-1 中間目標に対する成果、達成度、今後の課題および解決方針

研究項目	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①	a) PHBH ペレットと実海水を用いて、ISO23977-2 に準拠した生分解試験を実施。 b) 生分解試験で得られた分解途上のペレットに付着したバイオフィーム間隙水について、分解中間生成物の定性、(相対) 定量を実施。 c) バイオフィーム間隙水における分解中間生成物の存在量は、モノマー<<オリゴマーの可能性が示唆された(数百 mg/L レベルで存在)。	△ 2022年 3月 達成 見込み	【今後の課題(未達)】 ✓ 試験の繰り返し(再現性の確認) ✓ 相対定量対象化合物の拡充 【解決方針】 ✓ 「実験室内海洋生分解加速試験」も取り入れながら、繰り返し試験を実施する。 ✓ 試料採取のタイミングを5点以上に増やし、モニターする分解中間生成物を絞り込んだ上で、経時変化を再整理する。
②	d) PHBH (バージン材) について、10 種の多環芳香族炭化水素(PAHs) の収着特性を把握した。環数の少ない PAHs ほど PHBH への分配が小さい可能性が示唆された。 e) PHBH のベクター効果を確認するため、疑似消化液を使った生体内脱着試験をデザインした。	△ 2022年 3月 達成 見込み	【今後の課題(未達)】 ✓ 収着が認められた化合物の脱着試験を実施 ✓ 分解途上材の収着・脱着試験を実施 【解決方針】 ✓ デザインした脱着試験により、バージン材の生体内脱着量を推定する。 ✓ 分解途上材を作成し(①と並行)、収着・脱着試験を実施する。

◎：大きく上回って達成(特筆した成果を記載)

○：達成(成果を記載)

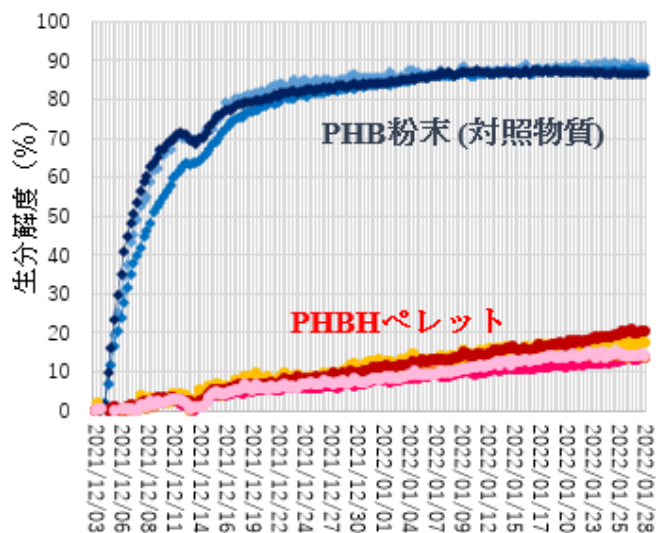
△：概ね達成(成果と未達ともに記載)

×：未達(未達理由について記載)

成果の詳細を次に示す。段落冒頭のアルファベットは、表Ⅲ-2.1.6-1 の成果に記載したアルファベットに対応するものである。

a) -----

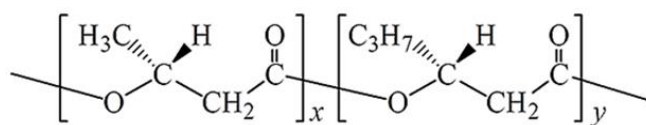
PHBH を生分解する目的で、ISO23977-2 に準拠した生分解試験を行った。栄養塩として、塩化アンモニウム 19.1 mg/L、リン酸水素二ナトリウム 2.3 mg/L となるように調整した大阪湾の海水 300 mL と、PHBH ペレット 1 粒（およそ 40mg）を入れた試験瓶に、BOD 測定器（OxiTop®-IDS、Xylem Analytics）を装着した。試験海水を攪拌子にて攪拌しながら、試験温度 27°C の条件下（暗室）で培養した。試験日数の経過に伴い、生分解度が上昇していたことから、分解の進行を確認した（図Ⅲ-2.1.6-6）。



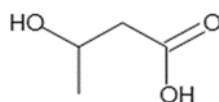
図Ⅲ-2.1.6-6 試験日数と生分解度の関係

b), c) -----

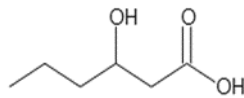
生分解試験開始後、生分解度が 10% を超えた時点で、バイオフィルムが付着した PHBH ペレットを回収した。これを、ろ過膜付遠心チューブに入れてろ過を行い、バイオフィルム間隙水を分離し、液体クロマトグラフ-飛行時間型質量分析計（以下「LC-TOFMS」とする）にて定性、液体クロマトグラフ-トリプル四重極型質量分析計（以下「LC-MS/MS」とする）にて定量を行った。PHBH は、3-ヒドロキシ酪酸（3-Hydroxybutyric Acid：以下 3-HB とする）と 3-ヒドロキシヘキサン酸（3-Hydroxyhexanoic Acid：以下 3-HH とする）を構成単位とする脱水重合ポリマーであり、構造式を図Ⅲ-2.1.6-7、図Ⅲ-2.1.6-8、図Ⅲ-2.1.6-9 に示す。オリゴマーの標準品は市販されていないため、3-HB の検量線を用いてオリゴマーの相対定量を実施した。



図Ⅲ-2.1.6-7 PHBH の構造式

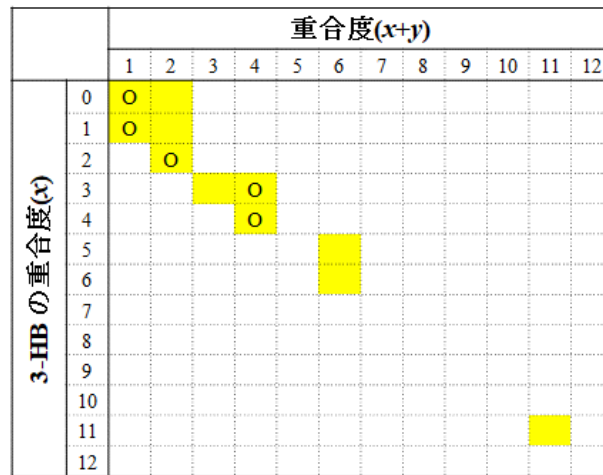


図Ⅲ-2.1.6-8 3-HB の構造式



図Ⅲ-2.1.6-9 3-HH の構造式

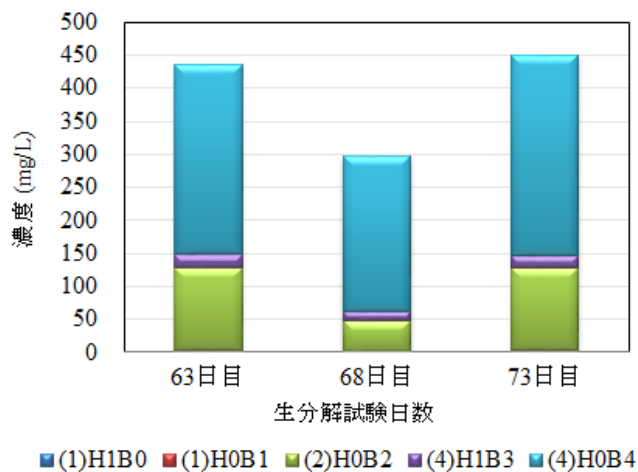
バイオフィーム間隙水を LC-TOFMS により測定し検出された化合物、および、LC-MS/MS による（相対）定量を実施した化合物の一覧を図Ⅲ-2.1.6-10 に示す。



○ : 相対定量を実施した化合物 ■ : 検出を確認した化合物

図Ⅲ-2.1.6-10 バイオフィーム間隙水において検出した化合物、および、（相対）定量を実施した化合物の一覧（ x および y は図Ⅲ-2.1.6-7 の重合度を示す）

バイオフィーム間隙水におけるモノマー、オリゴマーの濃度と生分解試験日数の関係を図Ⅲ-2.1.6-11 に示す。バイオフィーム間隙水においては、オリゴマーの存在量が多い可能性が示唆された。分解中間生成物を実測し、存在量を確認したことは、生分解性プラスチックの分解メカニズムの解明や、今後の ISO 提案にも繋がる非常に重要な知見であると考えられる。



図Ⅲ-2.1.6-11 バイオフィーム間隙水におけるモノマー、オリゴマーの濃度と生分解試験日数の関係
凡例の $(l)HmBn$ において、 l は総重合度を、 m は 3-HH の重合度を、 n は 3-HB の重合度を示す。

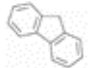




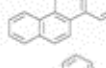





d) -----

安全性評価に使用する化学物質として、

- ・生態毒性試験で毒性が認められる
- ・リスク評価の対象である
- ・環境中での検出事例
- ・分解性

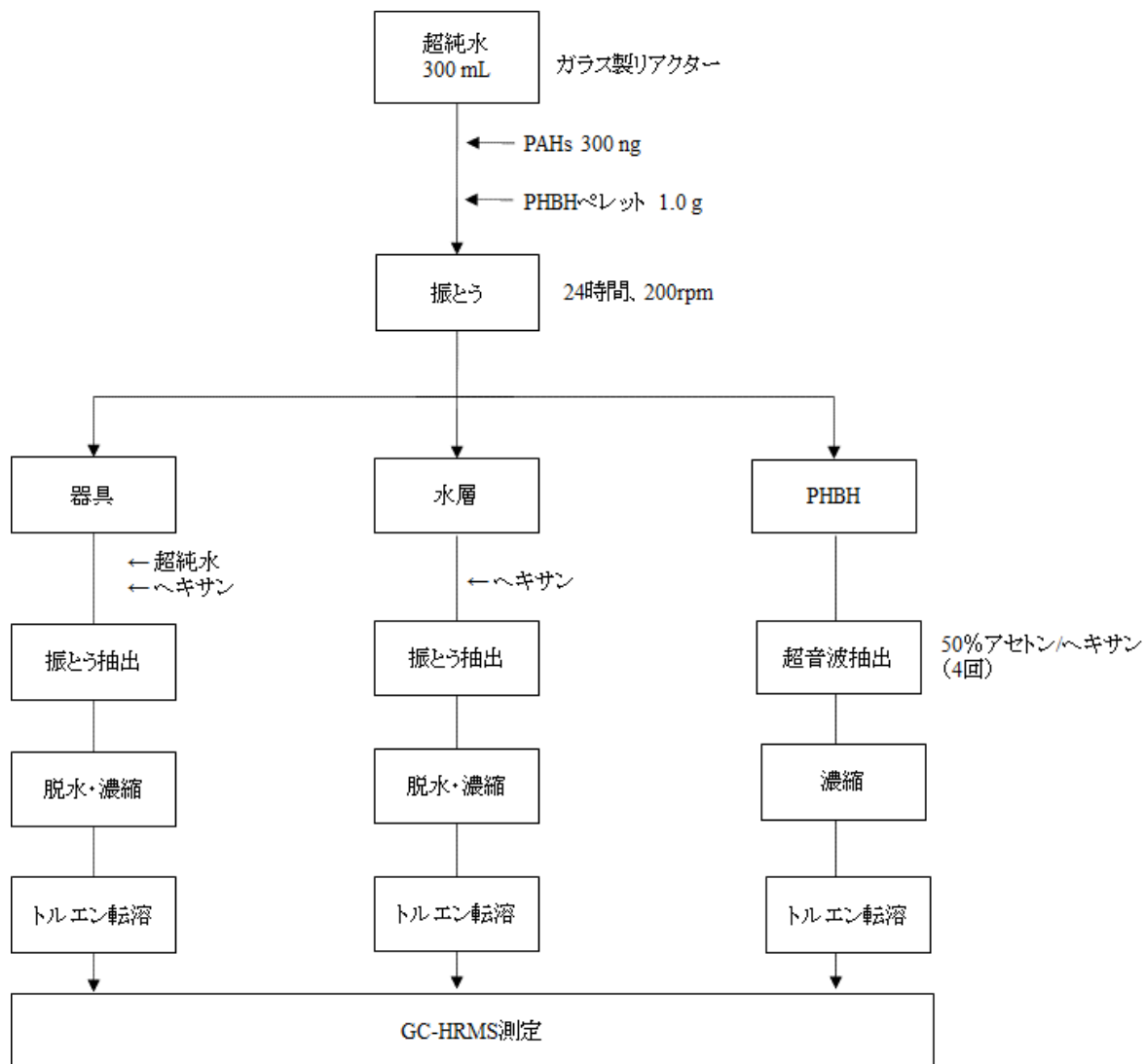
といった情報を収集し、PAHs を選定した。PHBH の収着特性を検討する実験に供した 10 種の PAHs を表Ⅲ-2.1.6-2 に示す。

表Ⅲ-2.1.6-2 収着実験に供した PAHs

名称	略称	Log K _{ow}	構造式	海洋における濃度(ng/L)
Fluorene	Fle	4.18		
Phenanthrene	Phe	4.57		
Fluoranthene	FR	5.22		
Pyrene	Pyr	5.18		
Benz[a]anthracene	BaA	5.91		
Chrysene	Chr	5.86		(PAHsとして) 7.67 ~ 9.63*
Benzo[b]fluoranthene	BbF	5.80		
Benzo[k]fluoranthene	BkF	6.00		
Indeno[1,2,3-c.d]pyrene	IDP	6.58		
Benzo[ghi]perylene	BgPe	6.50		
Dibenzo[a,h]anthracene	DBA	6.75		

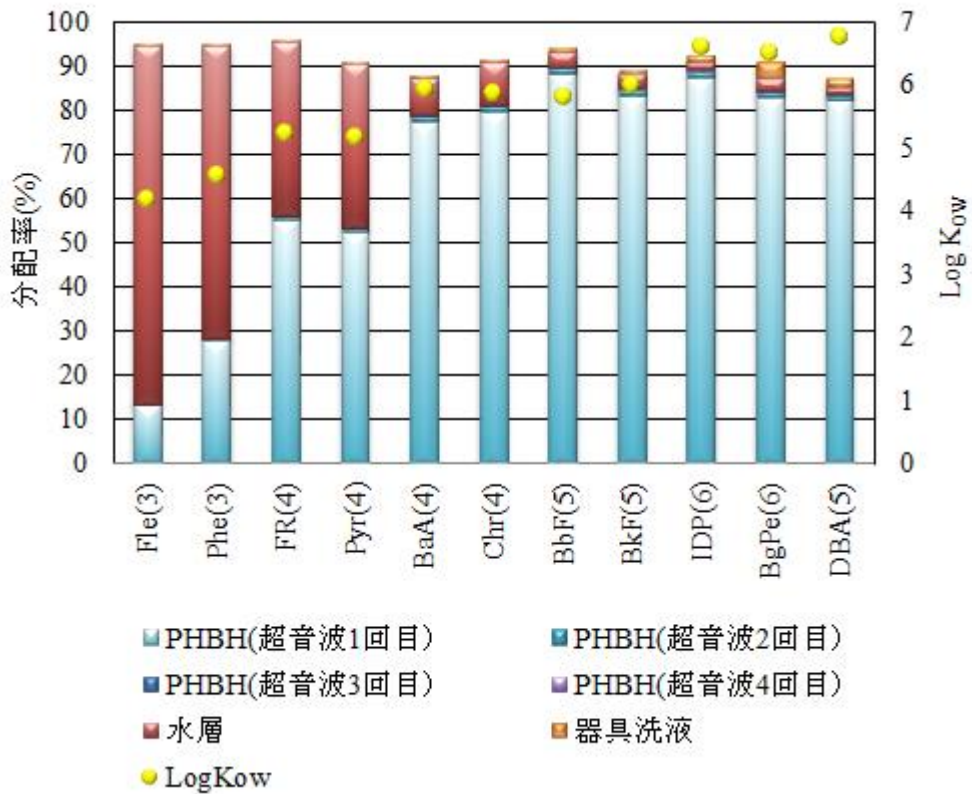
*T. Chizhova et al. :Deep-Sea Res. II, 86-87, 19-24 (2013)
戸次加奈江ほか:YAKUGAKU ZASSHI, 132(3), 325-329 (2012)

収着特性把握のための実験条件検討フローを図Ⅲ-2.1.6-12 に示す。リアクターに PHBH ペレット 1.0 g と超純水 300 mL を入れ、PAHs 300 ng を添加し、200 rpm で 24 時間振とうした。振とう後、水層、リアクター内壁、PHBH ペレットへの分配量を確認した。PAHs の測定は、ガスクロマトグラフ-高分解能質量分析計（以下「GC-HRMS」とする）にて測定した。本検討の結果を図Ⅲ-2.1.6-13 に示す。



図Ⅲ-2.1.6-12 収着特性把握のための実験条件検討フロー

実験条件を検討した結果、器具、水層、PHBH に対する PAHs の分配率は、系全体で 87～95%であり、良好な物質収支が得られた。また、PHBH への分配率は化合物によって大きく異なり、13～89%であった。縮合環数が少なく、LogK_{ow} が 5.5 未満の PAHs は、PHBH への分配率が少ない傾向にあった。化合物によって分配の傾向が異なるという知見を得たことは、収着メカニズムを考察する上で非常に重要なものである。

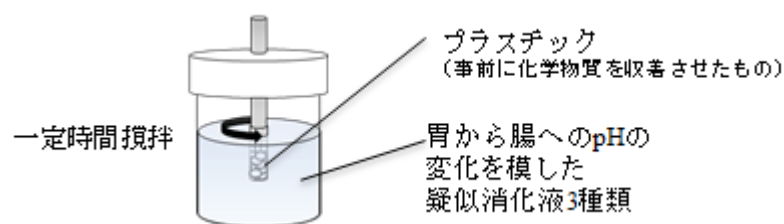


図III-2.1.6-13 PHBH に対する PAHs の収着特性
横軸の括弧内数字は PAHs の環数を示す。

e) -----
 生体内の胃から腸への pH の変化を模した疑似消化液 3 種類による脱着試験をデザインした (図III-2.1.6-14)。生理条件での脱着試験は、

- ・ 何に起因し、どこで、どの程度脱着するか？
- ・ 収着、脱着に関与する物理化学的性質が何であるか？

の情報を得ると共に、PHBH のベクター効果による影響を考察する目的がある。



図III-2.1.6-14 デザインした脱着試験の模式図

事前に化学物質を収着させたプラスチックを疑似消化液に浸漬し、一定時間攪拌した後、プラスチックと疑似消化液に分配された濃度を測定する。固液分配係数（プラスチックからの検出濃度／水層からの検出濃度）を算出し、脱着特性の把握、生体内移行量の推定を行う。疑似消化液としては、胆汁成分の一種であり、界面活性作用を持つ「タウロコール酸」を使用した下記3液の使用を計画している。

- ・第1液；NaCl+HCl+水の溶液（pH1.2）
- ・第2液；酢酸・酢酸Na緩衝液+タウロコール酸水溶液（pH4.0）
- ・第3液；リン酸塩緩衝液+水+タウロコール酸水溶液（pH6.8）

上述の脱着試験を、海洋生分解性プラスチックのバージン材および分解途上材について実施し、分解前後の脱着特性の変化を考察する予定である。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

本研究開発項目の最終目標および達成見通しを表Ⅲ-2.1.6-3に示す。

表Ⅲ-2.1.6-3 最終目標および達成見通し

最終目標 (2024年度)	達成見通し
<p>① 生分解度評価手法としての質量分析技術の有用性の検証</p> <p>中間目標で作成した暫定的手法について、異なる素材、異なる試験海水を用いて堅牢性を確認し、試験法の提案に繋げる。</p>	<p>新たに1素材以上の海洋生分解性プラスチックと、試験海水3種類以上を用いて生分解試験を実施する。異なる素材への適応性、異なる試験海水での再現性を評価し、暫定的手法の堅牢性を確認する。これを以て、「精密分解度測定」、「実験室内海洋生分解加速試験」、「生態毒性試験」の提案に繋げる。</p>
<p>② 海洋生分解性プラスチックの安全性評価</p> <p>中間目標で作成した暫定的手法について、異なる素材を用いて堅牢性を確認し、試験法の提案に繋げる。</p>	<p>新たに1素材以上の海洋生分解性プラスチック（バージン材と分解途上材）について、化学物質（5物質以上）の収着・脱着試験を実施する。異なる素材への適応性を評価し、暫定的手法の堅牢性を確認する。これを以て、「生態毒性試験」の提案に繋げる。</p>

2.1.7 研究項目③「微生物、酵素による生分解メカニズムの解明」 ③-1 ラボ試験環境における微生物（叢）解析

（担当：産業技術総合研究所 生命工学領域 バイオメディカル研究部門、生物プロセス研究部門）

2.1.7.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

樹脂の生分解は菌体が分泌する酵素による加水分解による低分子量化、水溶性化とその後に続く菌体中への取り込み、資化の順に進み無機化されていくと言われている。このように海水中での微生物は極めて重要なファクターであり、かつ、微生物生育に直結する海水中の微量成分も大きなファクターである。例えば、評価試験に用いる海水は、採水する場所によって海水の持つ生分解活性が大きく異なることが報告されている。いくら優れた生分解の標準試験が整備されても用いる海水によってはまったく生分解が進行しないこともあり得る。そこで、海水の生分解能に対する海水中に存在する微生物ファクターを明らかにするための分析、解析を行う。生分解菌は樹脂の分解に関与するのでもちろんその対象として外せないが、生分解菌は海水中に存在する多様な微生物群の一部として存在すると想定されることから、その母集団である海水中の全微生物を対象とする菌叢解析や微生物数分析も実施し、生分解菌と他の非生分解性微生物の相関関係を統計学的アプローチにより検討する。微生物の生育に欠かせない TOC（水溶性有機物）や溶解性無機態窒素／リン、粒子性有機態窒素／リンなどの影響についても分析・検討することで、微生物学的側面から海洋生分解性を評価するのに適した海水に必要な条件を明確にし、どこで採取した海水でも十分な生分解活性を付与することができる、標準海水化する調製方法の開発を行う。また、生分解に伴い変化するラボ試験海水中の菌叢解析、実環境試験での回収した樹脂表面のバイオフィルムの菌叢解析、生分解菌を標的とする集積・分離培養に関する検討も合わせて行い、樹脂表面の菌叢診断により生分解における特徴的な微生物群を見出すことで、海水の生分解ポテンシャルを予測する技術開発のための知見の蓄積を図る。これらの知見は、水産用資材分野などでニーズのある長期レンジで生分解が進む材料の評価手法の開発において重要な基盤情報となる。また、海水や生分解菌による生分解中間産物の分析とその蓄積性も明確にし、その安全性を確認する。さらに、嫌気条件における海底での樹脂の生分解に関しては世界的に見ても知見に乏しい。そこで、嫌気ラボ生分解試験における底泥サンプルや樹脂表面のバイオフィルムの菌叢解析を実施することで、嫌氣的生分解における特徴的な微生物群の特定を図り、嫌氣的生分解試験法の評価手順の提案につながる基礎的知見を蓄積する。実環境試験における菌叢解析や生分解菌を標的とする検討は、NITE が中心に取り組み計画となっており、産総研が中心に取り込むラボ試験におけるデータを NITE と共有することで、海水における樹脂の生分解メカニズムの包括的な解明を目指す。

(2) 位置づけ、目標値

樹脂の生分解には海水中での微生物は極めて重要なファクターであり、かつ、微生物生育に直結する海水中の微量成分も大きなファクターである。そこで、海水中の全微生物を対象とする菌叢解析や微生物数分析を実施し、生分解菌と他の非生分解性微生物の相関関係を統計学的アプローチにより検討する。微生物の生育に欠かせない TOC（水溶性有機物）や溶解性無機態窒素／リン、粒子性有機態窒素／リンなどの影響についても分析・検討することで、微生物学的側面から海洋生分解性を評価するのに適した海水に必要な条件を明確にし、どこで採取した

海水でも十分な生分解活性を付与することができる、標準海水化する調製方法の開発を行う。また、微生物遺伝子配列解析（外注）を活用し、生分解に伴い変化するラボ試験海水中の菌叢解析、実環境試験での回収した樹脂表面のバイオフィルムの菌叢解析、生分解菌を標的とする集積・分離培養に関する検討も合わせて行い、樹脂表面の菌叢診断により生分解における特徴的な微生物群を見出すことで、海水の生分解ポテンシャルを予測する技術開発のための知見の蓄積を図る。さらに、嫌気条件における海底での樹脂の生分解に関しては世界的に見ても知見に乏しい。そこで、嫌気ラボ生分解試験における底泥サンプルや樹脂表面のバイオフィルムの菌叢解析を実施することで、嫌氣的生分解における特徴的な微生物群の特定を図り、嫌氣的生分解試験法の評価手順の提案につながる基礎的知見を蓄積する。2022年度(中間目標年)には好氣的ラボ海水試験における生分解中間生成物を明確にし、ラボ試験系内での分解中間生成物濃度の経時変化を明確化し、系内蓄積の有無について明らかにする。終了時までにはラボ試験系内の菌叢構造の変化を解析するとともに、実海域浸漬試験試料表面に形成されるバイオフィルムの菌叢構造も解析し、さらに強力な生分解活性を有する分解菌を見出し、これらの情報をもとに、生分解性樹脂表面に形成されるバイオフィルムの特徴付けを行う。

(3) 全体計画

研究項目	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期
(イ) 海水の標準化																				
(イ-1) 菌叢構造の指数化																				
(イ-2) 標準海水の提案																				
(ロ) ラボ試験系微生物分析																				
(ロ-1) 微生物叢解析																				
(ロ-2) 系内の分解生成物の挙動解析																				
(ロ-3) 生分解菌分析																				
(ハ) 実海域微生物分析																				
(ハ-1) バイオフィルム解析																				
(ハ-2) 生分解菌分析																				
開発経費(百万円)																				
	16				12				13				16				18			

初年度（2020年度）は、

- ・事業項目（イ）海水の標準化

(イ-1) 菌叢構造の指数化について、海水中の一般微生物数等の情報に加え、菌叢構造の多様性を数値化し、微生物の組成や存在量比が海水の生分解活性にどのような影響を及ぼしているのかを 2021 年度にかけて明確にし、生分解活性の高い微生物状態を実現するための方策を検討し、その効果を検証する研究に着手する。当該年度は複数の海水を比較した際、どちらの方が微生物菌叢が豊かであるか定性的に評価する基準を 1 つ開発する。

(イ-2) 標準海水の提案として、ラボ海水生分解試験で良好な試験結果が得られる標準海水を 1 つ提案し、その調製方法を開発する。そのため、初年度には海水ラボ試験環境を整えるための添加剤を検討し、その添加効果を海水中の一般微生物数の動態の解析及び菌叢構造解析の視点から明確にする。

・事業項目 (ロ) ラボ試験系微生物分析

(ロ-1) ラボ試験系の微生物叢解析として、製品評価技術基盤機構等の他の構成員と連携し、海水や底泥試料からの核酸抽出や遺伝子シーケンス等の実験方法を共通化するための基礎的な検討を実施する。

2 年目(2021 年度)は、

・事業項目 (イ) 海水の標準化

(イ-1) 菌叢構造の指数化について、前年度から継続して海水中の菌叢構造の多様性を数値化する研究を実施し、高い生分解活性にある海水の微生物の状態を生合成系、化学合成系樹脂それぞれ 1 種以上の樹脂に関して明確化し、標準海水の提案における基盤データとする。

(イ-2) 標準海水の提案として、生合成系、化学合成系樹脂、天然物系樹脂のそれぞれ 1 種以上の樹脂に関して評価を行う。

・事業項目 (ロ) ラボ試験系微生物分析

(ロ-1) ラボ試験系の微生物叢解析として、製品評価技術基盤機構等の他の構成員と連携し、海水や底泥試料からの核酸抽出や遺伝子シーケンス等の実験方法を確立する。

(ロ-3) 生分解菌分析として、生合成系、化学合成系樹脂それぞれ 1 種以上の樹脂に関してラボ試験系で発生する生分解菌を検出し、強力な活性を有する菌に関しては NITE との連携により単離、同定する。

・事業項目 (ハ) 実海域微生物分析

(ハ-1) バイオフィーム解析として、2022 年度にかけて、実海域浸漬試験に供した生合成系、化学合成系樹脂フィルム試料表面に形成されるバイオフィームの菌叢解析を行うとともに浸漬期間の推移に伴う菌叢構造の変化を調べる。また、樹脂表面に形成されるバイオフィームの量的変動も調べる。

3 年目(2022 年度)は、

・事業項目 (イ) 海水の標準化

(イ-2) 標準海水の提案として、生合成系、化学合成系樹脂、天然物系を含む各種樹脂 5 種以上の樹脂に関して BOD 試験を行い、その再現性、データのばらつきを確認して、標準海水の汎用性について評価し、必要であれば改良を加える。

・事業項目 (ロ) ラボ試験系微生物分析

(ロ-1) ラボ試験系の微生物叢解析として、ラボ試験系の経時的な菌叢解析に着手し、優占菌の存在量比と系統分類学上の特徴付けを行うとともに、樹脂分解の中間生成物との関連を統計学的分析により明らかにする。

(ロ-2) 2023 年度にかけて、系内の分解生成物の挙動解析として、生合成系、化学合成系樹脂それぞれ 1 種以上の樹脂に関してラボ生分解試験中の分解中間生成物の分析とその量の推移について明確にする。

(ロ-3) 生分解菌分析として、前年度単離した生分解菌を用いて、生合成系、化学合成系樹脂それぞれ一種以上の樹脂の生分解挙動を明確にする。

・事業項目 (ハ) 実海域微生物分析

(ハ-1) バイオフィーム解析として、前年度から継続しているバイオフィーム菌叢解析を季節変動の観点から行い、水温その他の環境因子の影響について考察する。

(ハ-2) 生分解菌分析として、生合成系、化学合成系樹脂それぞれ 1 種以上の樹脂に関して、バイオフィーム中に存在する生分解菌を検出し、強力な活性を有する菌に関しては NITE との連携により単離、同定する。

4 年目(2023 年度)は、

・事業項目 (ロ) ラボ試験系微生物分析

(ロ-1) ラボ試験系の微生物叢解析として、前年度に引き続きラボ試験系の経時的な菌叢解析を実施し、樹脂分解の中間生成物との関連を統計学的分析により明らかにする。

(ロ-2) 系内の分解生成物の挙動解析として、前年度からの研究を継続する。とくに生分解の速い樹脂と遅い樹脂の複合系材料 2 種以上に関して生分解中間生成物の分析を行うとともに生分解の遅い樹脂がマイクロプラスチック化しないかの検討を行う。

(ロ-3) 生分解菌分析として、生合成系、化学合成系、天然物系の生分解菌の系統の異なる異種間樹脂 2 種以上の複合材料を対象に発生する分解菌の解析を行い、その時間的な推移について明確にする。

・事業項目 (ハ) 実海域微生物分析

(ハ-1) バイオフィーム解析としてフィルム表面の形状を平滑面から凹凸の激しい面まで変化させた試料、表面親水性の高いフィルムから疎水性の高いフィルムまで表面状態を変化させた試料を準備、海水浸漬し、その表面に形成されるバイオフィームにどのような影響を及ぼすか明確にする。

(ハ-2) 生分解菌分析として、(ハ-1)で対象とする多様な表面状態のフィルム試料の海水浸漬試験後のバイオフィーム中の生分解菌を検出、NITE との連携により純粋分離、同定し、表面状態の変化による生分解菌の分布に与える影響を明確にする。

5 年目(2024 年度)は、

・事業項目 (ロ) ラボ試験系微生物分析

(ロ-1) 前年度に引き続き、ラボ試験系の微生物叢解析として、ラボ試験系の経時的な菌叢解析を実施し、樹脂分解の中間生成物との関連を明らかにするとともに、実海域浸漬試験試料表面に形成されるバイオフィームの菌叢構造と比較解析することで強力な生分解活性を有する分解菌を見出す。

(ロ-2) 系内の分解生成物の挙動解析として、可塑剤や安定剤、色材などを含む生分解性材料 5 種以上の樹脂について、系内海水中に溶出する化学物質を分析し、社会実装が期待される生分解性樹脂の安全性を有害物の環境蓄積性の有無の観点から評価する。

(ロ-3) 生分解菌分析として、海水中に微量に含まれる有害有機物が生分解性樹脂表面に吸着した状態の試料を用いて 2 種以上の生分解菌による樹脂生分解挙動を調べる。

・事業項目 (ハ) 実海域微生物分析

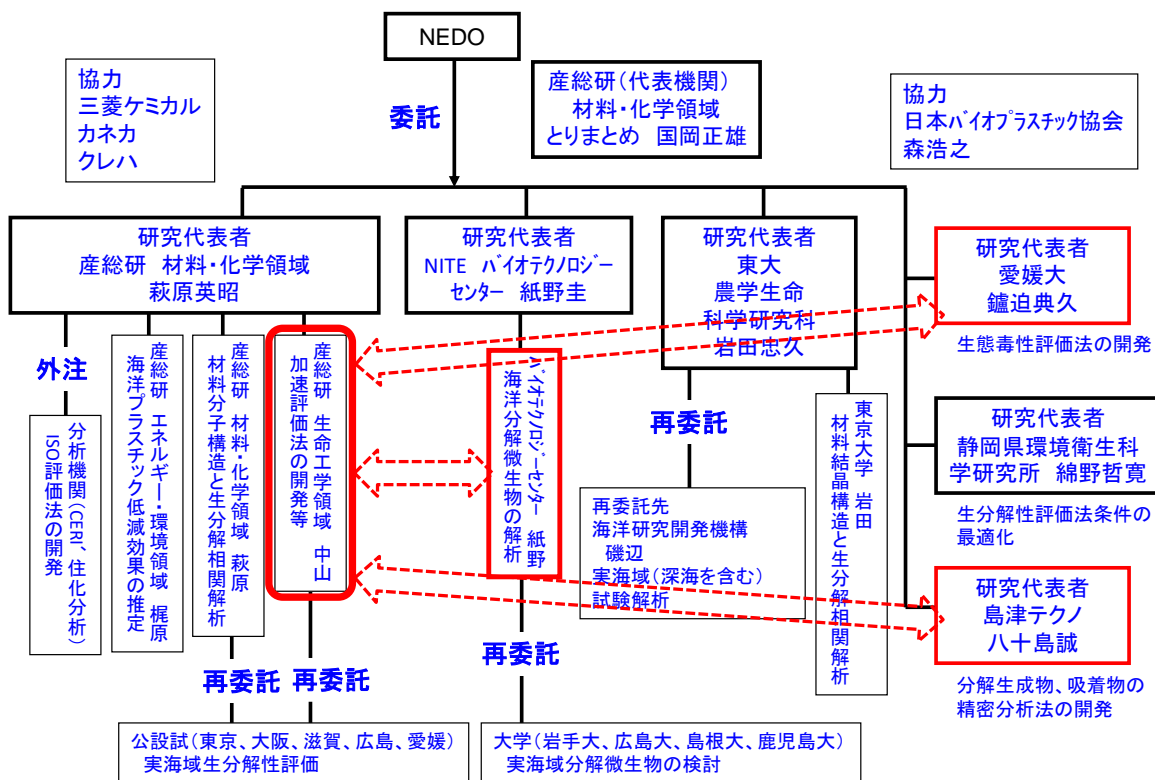
(ハ-1) バイオフィルム解析として、表面印刷された試料、可塑剤や安定剤を含む生分解性材料3種以上の樹脂についてバイオフィルム解析を行う。

(ハ-2) 生分解菌分析として表面印刷された試料、可塑剤や安定剤を含む生分解性材料3種以上の樹脂についてバイオフィルム中の生分解菌を検出、NITE との連携により純粋分離、同定し、樹脂生分解に及ぼす添加剤等の影響を明確にする。

研究項目 (研究担当機関)	フェーズA		
	2020年度	2021年度	2022年度
③-1 微生物、酵素による生分解メカニズムの解明、ラボ試験環境における微生物(叢)解析(産業技術総合研究所 生命工学領域)			
標準海水の開発、 生分解メカニズムの解明	海水菌数の挙動解析、 菌叢構造の指数化		標準海水の開発
ラボ及び実海域試験環境 における微生物(叢)解析	分解菌の単離同定、 バイオフィルムの菌叢分析		生分解挙動の解明、 バイオフィルムからの 分解菌の単離同定
合計 NEDO負担額[税込]	16百万円 (7百万円) (9百万円)	12百万円 (5百万円) (7百万円)	13百万円 (5百万円) (8百万円)

研究項目 (研究担当機関)	フェーズB	
	2023年度	2024年度
③-1 微生物、酵素による生分解メカニズムの解明、ラボ試験環境における微生物(叢)解析(産業技術総合研究所 生命工学領域)		
標準海水の開発、 生分解メカニズムの解明	経時的な菌叢変化と 中間生成物との関連の検討	樹脂表面上の微量有機成分 と菌叢との関連の検討
ラボ及び実海域試験環境に おける微生物(叢)解析	バイオフィルム形成と 生分解菌の検討	実用的な生プラ表面の バイオフィルムの検討
合計 NEDO負担額[税込]	16百万円 内訳(6百万円) (10百万円)	18百万円 内訳(10百万円) (8百万円)

(4) 実施体制



(5) 運営管理

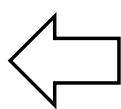
研究項目①-1、④-1 と一体で進めている。すなわち、プロジェクト全体の円滑な運営を目的とした「幹事会」、研究実施者が全員集まって行う4ヶ月に一度の「全体会」の他、外部有識者を交えた「推進委員会」は年3回程度開催され、研究概要を説明、適宜アドバイスをいただいている。別途、NEDO主催の「技術推進委員会」も年1回開催され、研究に対して多くのコメントをいただき、研究に反映させている。さらに、ISO国際標準化を達成するため、必要に応じて「JBPA（日本バイオプラスチック協会）技術委員会」に出席し、ISO標準化原案の示し、意見交換し、産業界の要望を取り入れるようにしている。JBPAでは経産省委託事業として、本NEDO成果をISO化するための実務的な役割を果たしており、JBPAが運営している「海洋生分解性プラスチック国際標準化委員会」、および「海洋生分解性プラスチック国際標準化検討WG」の委員、メンバーとして定期的な会合に出席している。また、年数回開催される「ISO TC61内に設置されたWG」メンバーとして予備提案から本格審議に向けて活動している。NITEとは2カ月に一度程度、Web定期会合を持ち、研究の連携を維持している。

(6) 実施の効果

微生物状態の解析は初発海水と生分解途上、生分解終了時の3つのフェーズがあり、初発海水の分析では、海水の生分解活性の解析の基本情報となり、標準海水の調製法や微生物カクテルの提案など、どこの場所の海水でも安定した生分解活性を持つ海水での生分解試験を行うための強力な知見となる。生分解途上の研究成果は生分解中間生成物の分析、定量と組み合わせ

て水溶性分解物による環境指標生物への影響のアセスメントにつながる。終了時海水および試験試料表面の微生物菌叢解析から生分解に関わる主要微生物群の特定により、生分解に特徴的な菌叢群をマーカーとした新たな樹脂生分解性の評価軸の提言につながると期待される。

ラボでの生分解
実海域での生分解



微生物活動に
支配されている

どのように関与するのか明確にすることが重要



NITEとの連携

ラボ試験における生分解の加速化
標準海水調製する際の微生物カクテルの提供
安全性評価： 中間生成物とその蓄積性
生分解が進行する海洋環境の診断
（大洋のど真ん中、深海、極地、その他）
樹脂表面の微生物情報からの生分解の兆候のキャッチ etc.

多くの情報が得られる可能性

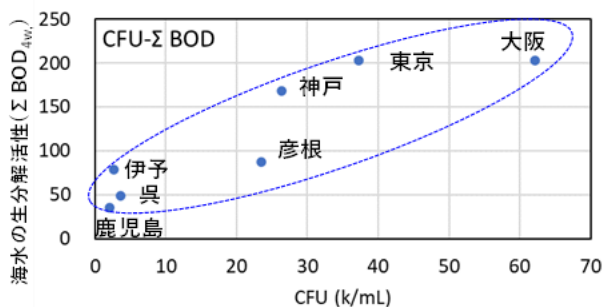
2.1.7.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

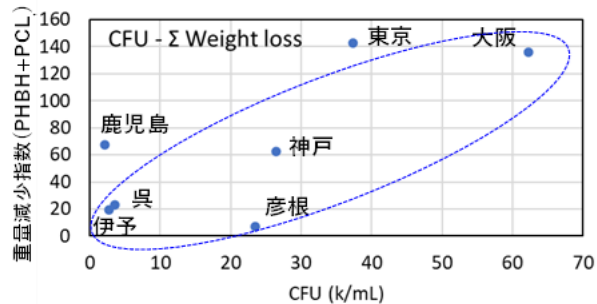
研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
標準海水の開発、生分解メカニズムの解明	<p>①菌叢構造の多様性を数値化し、菌叢や菌数が海水生分解性に及ぼす影響を明確化</p> <p>②標準海水に求められる微生物因子の明確化</p> <p>③標準海水の調製法の提案とその汎用性の確認</p>	<p>①菌叢構造の多様性を数値化し、菌叢や菌数が海水生分解性に及ぼす影響を調べた。</p> <p>②標準海水に求められる微生物因子を明確にした。</p> <p>③標準海水の調製法の提案とその汎用性を確認した。</p>	<p>△ 年度内に達成見込み</p> <p>○</p> <p>○</p>	<p>①生分解にもっとも対応する多様性の数値化統計手法の選択。 →データの詳細な検討</p> <p>②詳細な解析。 →データの蓄積</p> <p>③対象試料は多様であるので今後も評価を継続。 →データの蓄積</p>
ラボ及び実海域試験環境における微生物（叢）解析	<p>④生合成系、化学合成系樹脂のラボ試験での経時的菌叢解析を行い、優占菌の存在量比と系統分類学上の特徴付けを行う。</p> <p>⑤強力な生分解菌1種以上を単離、同定、生分解挙動を明確にする。</p> <p>⑥実海域試験の樹脂表面のバイオフィルムの菌叢解析を経時的に行い、強力な生分解菌を単離、同定する。</p>	<p>④生合成系、化学合成系樹脂のラボ試験での経時的菌叢解析を行い、優占菌の存在量比と系統分類学上の特徴付けを行った。</p> <p>⑤好気加速試験後の菌叢データから生分解菌の候補6属を特定した。</p> <p>⑥NITEとの連携で実海域試験の樹脂表面のバイオフィルムの菌叢解析を実施。好気加速試験の菌叢との共通性を発見した。</p>	<p>○</p> <p>△ 年度内に達成見込み</p> <p>△ 年度内に達成見込み</p>	<p>④各樹脂の生分解率と優占菌との関係性等の評価。 →データの蓄積</p> <p>⑤生分解候補菌の純粋分離培養。 →実験の継続</p> <p>⑥生分解候補菌の純粋分離培養。 →実験の継続</p>

成果の詳細

樹脂の生分解現象において、微生物は主役であり、海水中の微生物数もきわめて重要なファクターである。各地の海水中の微生物数とそれらの海水の生分解活性、あるいはその地点での実海域浸漬試験結果との相関を図に示す（図Ⅲ-2.1.7-1, 2）。

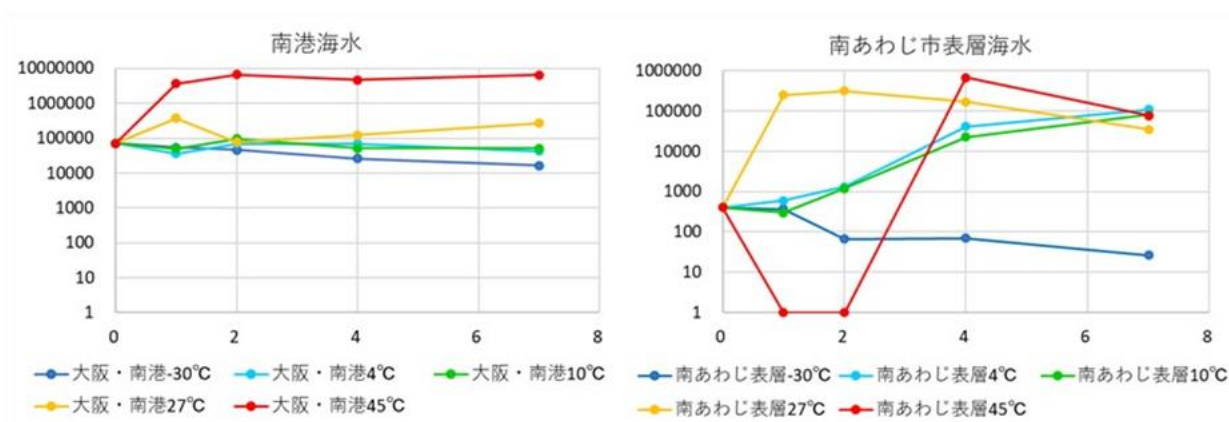


図Ⅲ-2.1.7-1 初発海水中微生物数とBODによる海水生分解性活性との関係



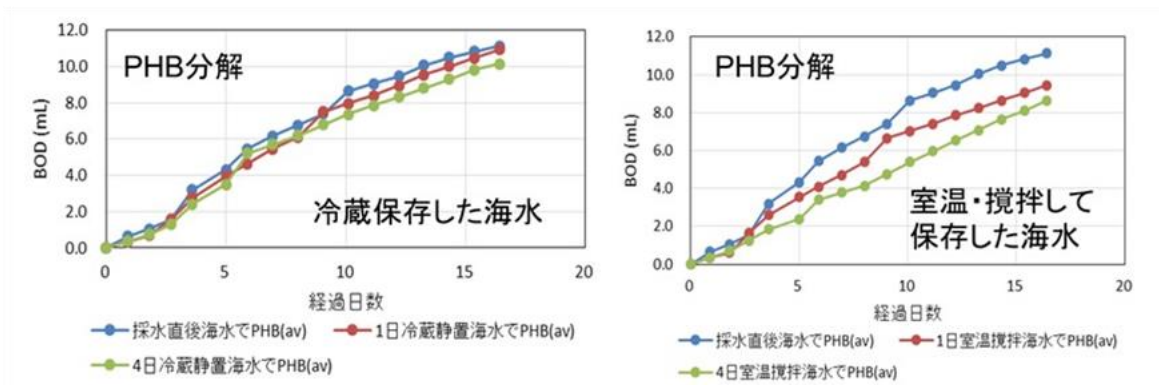
図Ⅲ-2.1.7-2 初発海水中微生物数と実海域試験試験重量減少指数との関係

BOD 試験は代表的な生分解性樹脂 3 種類（PHB、PA4、PCL）で行っており、4 週間後の到達生分解率の合計(Σ BOD_{4w})を海水の生分解活性度と見なし、これを縦軸としてプロットしたところ、一般菌数と海水の生分解活性との間には良好な相関性が見いだされた（図 2.1.3-1）。また、実海域浸漬試験で実質的な重量減少データの得られた PHBH と PCL の 2 週間後の重量減少率の合計を重量減少指数としてプロットするといくつかの例外点はあるもののこちらも相関性が認められた。鹿児島のデータが外れているのは、実海水の温度が高いためと考えられる。また、東京の高いのは近くのスラッジ処理センターの影響かもしれない。海水中の微生物数は重要であるが、採水し、持ち帰り、ラボにて保管すると菌数は変動し、実環境の実態から外れる可能性がある。そこで、海水の保存性（劣化性）について調べた（図Ⅲ-2.1.7-3）。



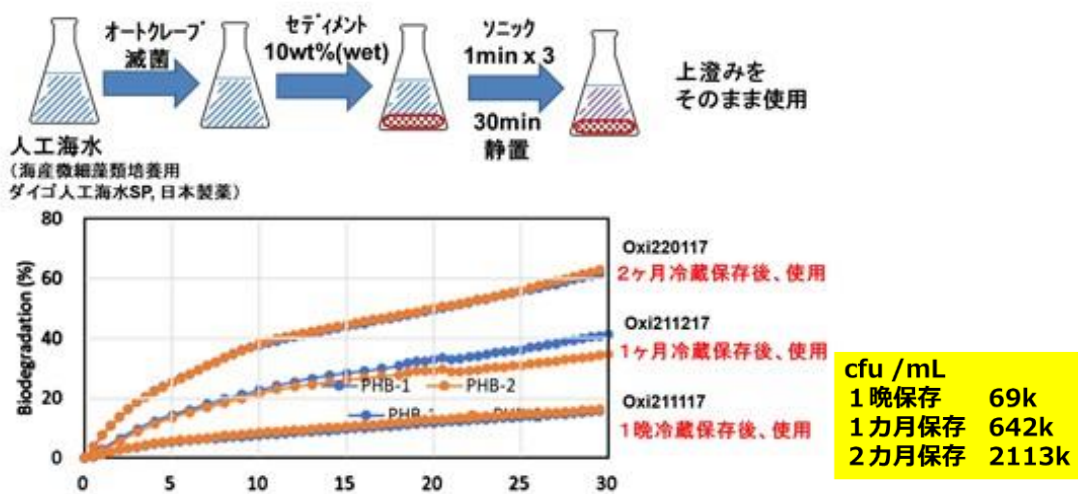
図Ⅲ-2.1.7-3 大阪南港と南あわじの海水を一定温度下で静置保存した際の菌数の変化

菌数の多い大阪南港では 4°Cから 27°Cにおいて菌数のそれほど大きな変動はなかったが、45°Cでは菌は大きく増え、また、出現コロニーは画一的で単一菌の増殖が起こっていた。-30°Cの凍結かにおいても一定の菌数は維持されていたが漸減した。菌数の少ない南あわじの海水では-30°C以外の保存で菌数は増えるが 4°C及び 10°Cでは比較的菌数の変動は少なく、菌数の観点からは保存は 4-10°Cで 2 日以内が望ましい。その一方で、生分解試験的には図Ⅲ-2.1.7-4 に示すように冷蔵 4 日でもほぼ問題なかった。室温で 4 日保存した海水（右図）では BOD カーブは採水直後の海水に比して低いように見えるが、これは室温保存の海水では天然海水由来の TOC が室温保存している間に消費されるため、その分を差し引くと採水直後海水での結果と室温 4 日保存の結果で BOD カーブは大きな違いはなかった。このことから室温で 4 日程度保管しても問題は無いように思われる。海水試料の採水現場からラボへの持ち帰り時の冷蔵の有無の影響も検討したが大きな差異はなかった。



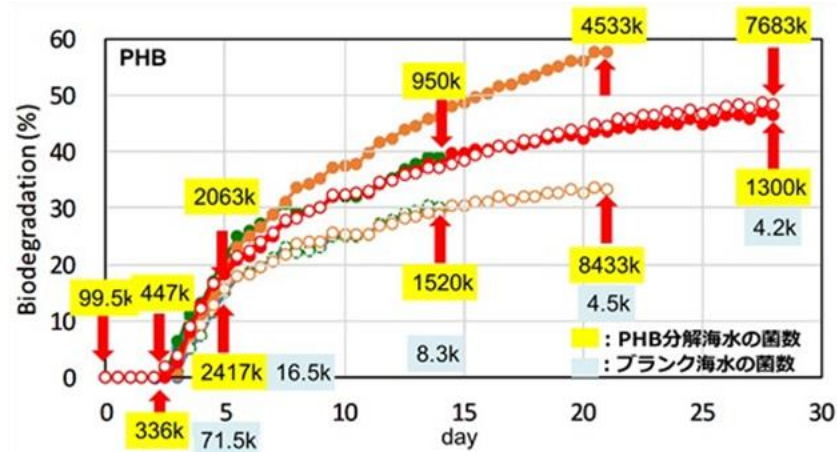
図Ⅲ-2.1.7-4 保存海水での PHB のラボ BOD 試験

一方で、セディメントは冷蔵による長期保存が可能であり、セディメントの生分解活性は採取した後、冷蔵保存 2 か月で最大になり、少なくとも保存開始から 6 か月はその活性が持続した（図Ⅲ-2.1.7-5）。



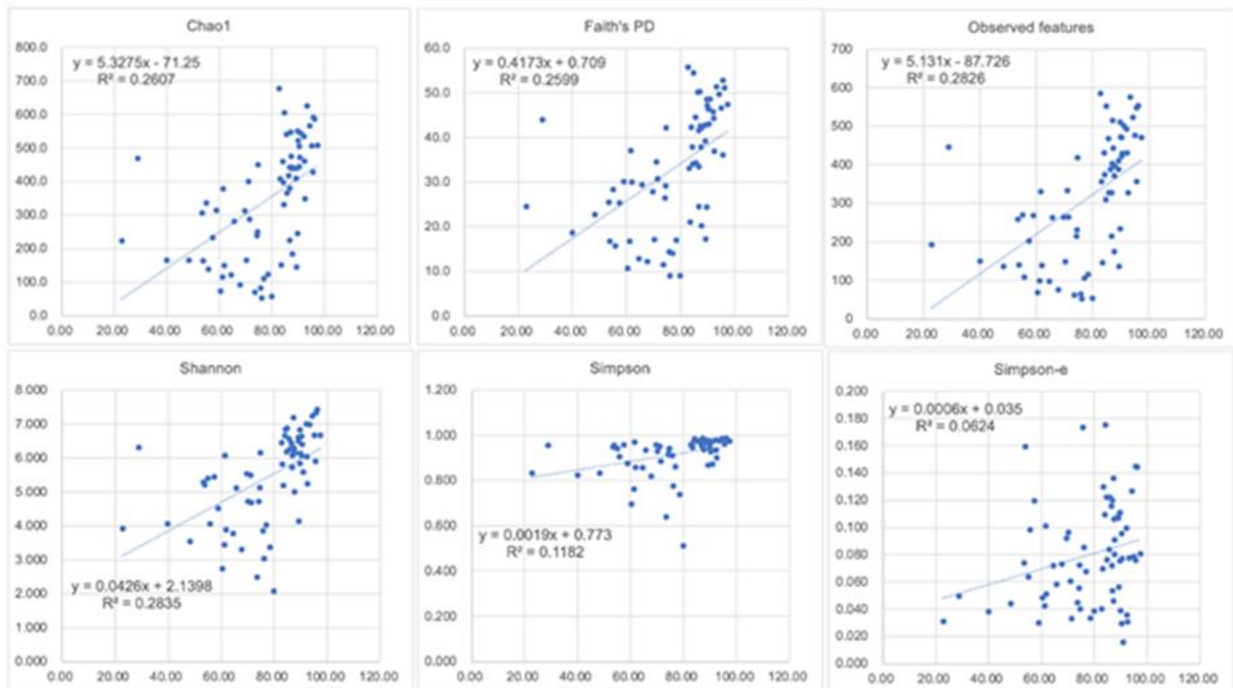
図Ⅲ-2.1.7-5 甲子園浜セディメントの冷蔵保存期間と菌数、生分解性活性との関係

生分解試験中の菌数変化の追跡を行った。分解の進行とともに系内に微生物フロックが大量発生し、短時間の超音波処理及びホモジナイザーによりフロックを粉砕し、プレート培養し、計測した(図Ⅲ-2.1.7-6)。初発海水中の一般細菌数は約 100k cfu/mL であったものが 3 週間目(BOD 生分解率, 30-55%)では多量の微生物フロックが形成され、均一化処理後に菌数計測したところ、4000-8500k cfu/mL と大きく増加した。その菌叢解析は進行中であるが、分解途上と BOD カーブがフラットになってからでは菌叢構造が異なっていると予想している。



図Ⅲ-2.1.7-6 PHB のラボ BOD 試験における分解過程の菌数変化の追跡

NITE との連携により、これまでに約 450 サンプルの好気生分解加速試験における培養物の菌叢データを取得した。各サンプルの菌叢データから 6 種類の多様性指数 (Chao1, Faith' s PD,



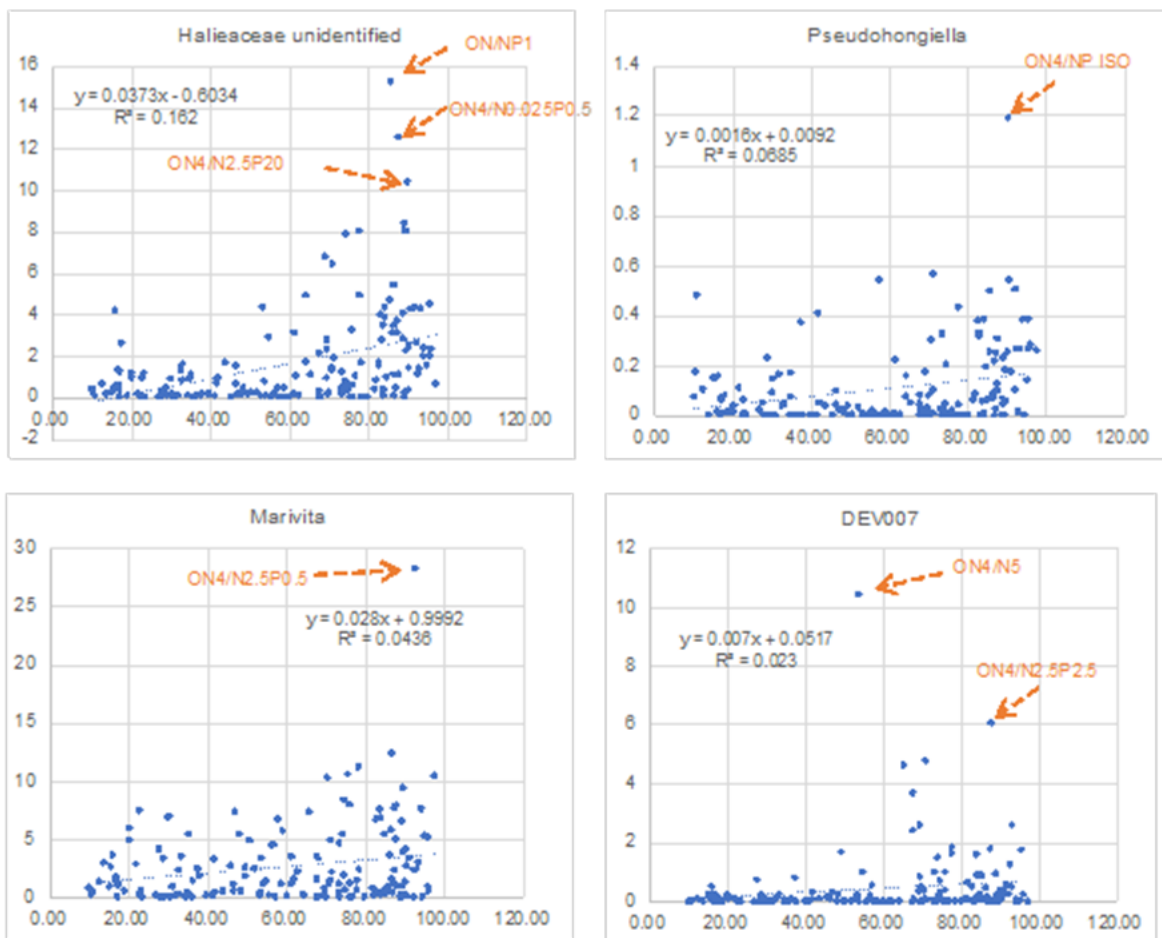
図Ⅲ-2.1.7-7 大阪南港海水 PHB 分解試験後の多様性指数と試験後生分解率との相関分析

Observed Features, Shannon, Simpson, Simpson-e) を算出し、試験後の生分解率との関係性を調査した。その結果、大阪南港海水を用いる P3HB 分解試験 (n=68 サンプル) において、試験後の多様性指数と生分解率との間に有意 (p<0.05) な正の相関関係が見られた (図Ⅲ-2.1.7-7)。さらに、分解試験を実施した全海域の海水での PHB, PA4, PCL, セルロース, CA, PBS, PGA 分解試験 (n=239 サンプル) の相関分析においても、試験後の多様性指数と生分解率との間に有意な相関が見られた。これらの結果から、試験後の菌叢構造が樹脂の生分解率に影響を及ぼしていることが示唆された。

次に、生分解樹脂の分解に関与する可能性のある微生物を特定することを目的として、菌叢プロフィールの上位 200 属までを対象に、その存在量 (%) と試験後の生分解率との間の相関分析を実施した。その結果、PHB, PA4, PCL のいずれかの樹脂の生分解率に相関がある微生物が 78 属検出された。一方、微生物の代謝機能を分析するため、好気加速生分解試験後のサンプルからショットガンメタゲノムシーケンスにより優占微生物群のドラフトゲノムを再構築した。その結果、樹脂の生分解率に相関のある 78 属のうち、26 属の微生物群についてドラフトゲノムを回収することに成功している。さらに、これまでに機能が確認されており、公共の遺伝子データベースにアミノ酸配列が登録されている PHB デポリメラーゼや、ナイロン 6 分解酵素 (6-aminohexanoate-cyclic-dimer hydrolase, 6-aminohexanoate-oligomer endohydrolase) に相同性のある酵素遺伝子をこれらのドラフトゲノム上から抽出したところ、16 属が抽出された (図Ⅲ-2.1.7-1)。また、今回のデータセットでは初期海水の菌叢データが 40 サンプル分あり、そのおよそ半数以上(19 サンプル以上)の初期海水サンプルからも検出される微生物は、Halieaceae 科の未同定属、Pseudohongiella 属、Marivita 属、Verrucomicrobiales 目の未同定属 DEV007、Ilumatobacteraceae 科の未同定属、Maricaulis 属の 6 属であった。そのうち、P3HB の生分解率に有意な相関のあった 4 属について、存在量と生分解率をプロットしたところ、窒素やリンを添加した加速試験条件において存在量が高くなる傾向が明らかとなった (図Ⅲ-2.1.7-8)。このことから、加速試験において窒素やリンを添加することで生分解性樹脂分解菌の優占化を促進することが可能になることが示唆された。今後、NITE との連携により実海域における菌叢解析の結果とも比較しながら生分解菌の純粋分離培養を試み、その生分解の挙動を把握することを目指す。

表Ⅲ-2.1.7-1 生分解樹脂の分解率と相関があり、初期海水に高頻度で検出され、既知の樹脂分解酵素をドラフトゲノム上に保有する 16 属の微生物群の系統情報

Phylum (門)	Class (綱)	Order (目)	Family (科)	Genus (属)	生分解率との相関						初期海水平均存在量 (%)	初期海水存在頻度 (per 40 samples)
					PHB	PA4	PCL	セルロース	CA	PBS		
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Celivibrionales	Halieaceae	unidentified	+	+					1.742	40
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Oceanospirillales	Pseudohongiellaceae	Pseudohongiella	+	+					1.709	39
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Rhodobacterales	Rhodobacteraceae	Marivita	+	+					1.062	36
Verrucomicrobia	Verrucomicrobiales	DEV007	DEV007	DEV007	+	+					0.043	29
Actinobacteria	Actinobacteria	Mendocinales	Ilumatobacteraceae	unidentified			+	+			0.106	24
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Caulobacteriales	Hypomonadaceae	Maricaulis			+	+			0.103	19
Planctomycetes	Planctomycetes	Planctomycetales	Gimesiaceae	Gimesia			+	+			0.019	9
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Incertae Sedis	Unknown Family	Wenzhouxiangella	+	+					0.025	7
Mycobacteria	Polyangia	Nannocystales	Nannocystaceae	unidentified				+	+		0.004	6
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Rhizobiales	Devosia	Devosia	+	+					0.012	4
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Rhizobiales	Incertae Sedis	Bauldia	+	+					0.026	2
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Alteromonadales	Marinobacteraceae	Marinobacter					+		0.002	2
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Koridomonadales	Koridomonadaceae	Koridomonas					+		0.000	1
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Sneathiiales	Sneathiaceae	Sneathiella							0.000	1
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Caulobacteriales	Hypomonadaceae	Hypobacterium							0.000	0
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Alteromonadales	Alteromonadaceae	Bowmanella							0.000	0



図Ⅲ-2.1.7-8 P3HB 好気加速生分解試験における生分解率と樹脂分解微生物群の存在量との相関図
オレンジ色の矢印は好気加速試験において窒素やリンを添加した系を示す。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

研究項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
標準海水の開発、 生分解メカニズムの 解明	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生分解速度の異なる樹脂の複合材料を対象に中間生成物・マイクロプラスチック化を検討。 ・ 印刷や添加剤含有樹脂からの溶出成分分析。 	対象樹脂を限定して達成の見込みである。
ラボ及び実海域試験 環境における微生物 (叢) 解析	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生分解速度の異なる樹脂の複合材料 2 種を対象に付着菌の経時的な菌叢解析の実施。 ・ 異種間複合材料の生分解過程での分解菌の解析と時間的な推移について調べる。 ・ 各種実海域浸漬試料表面のバイオフィーム解析と生分解進度との関係 ・ 印刷や添加剤含有樹脂のバイオフィーム解析と生分解菌の分離、同定し、表面状態の変化による生分解菌の分布に与える影響を明確にする 	対象樹脂を限定して達成の見込みである。

ラボ試験系において、生分解速度の異なる樹脂の複合材料 2 種以上を対象に、分解途上の経時的な菌叢解析を実施し、中間生成物の分析をマイクロプラスチック化も含め明確にする。また、可塑剤や安定剤、色材などを含む生分解性材料 5 種以上の樹脂について、系内海水に溶出する化学物質を分析し、社会実装が期待される生分解性樹脂の安全性を有害物の環境蓄積性の有無の観点から評価する。系内の生分解菌分析では、生合成系、化学合成系、天然物系の生分解菌の系統の異なる異種間樹脂 2 種以上の複合材料を対象に発生する分解菌の解析を行い、その時間的な推移について明確にする。海水中に微量に含まれる有害有機物が生分解性樹脂表面に吸着した状態の試料を用いて 2 種以上の生分解菌による樹脂生分解挙動を調べる。

実海域浸漬試験に供された樹脂に関しては、樹脂表面のバイオフィーム解析として各種粗さを持ったフィルム表面上のバイオフィーム形成挙動を調べ、生分解進度との関係を明確にする。また、表面印刷された試料、可塑剤や安定剤を含む生分解性材料 3 種以上の樹脂についてバイオフィーム解析を行うとともに生分解菌を検出、分離、同定し、表面状態の変化による生分解菌の分布に与える影響を明確にする。

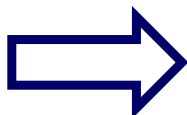
以上の最終目標に対して菌叢構造の解析、分解菌の単離同定、微生物菌叢の動的挙動の解明は基質樹脂、海水、海水成分によって組み合わせは多様であり、すべてを行うことはできないの

で、代表的なケースに絞って、解明を進める。

(3) 成果の普及

提案する新規評価法の根拠となるデータを提供することで海洋生分解性樹脂の普及を促進する。また、長期生分解性樹脂の評価法や高活性人工海水の提供とという形で成果は社会に還元される。

- ・ 初発海水の一般微生物数、菌叢構造
- ・ 生分解過程における試験水中の菌数変化、菌叢構造変化
- ・ 樹脂表面付着の微生物の静的・動的变化
- ・ 生分解に特徴的な指標微生物の特定と追跡
- ・ 優占菌の存在量比と系統分類学上の特徴付け



ラボ加速試験の有効性を裏付ける根拠の提供
標準海水を調製する際の微生物カクテルの提供
安全性評価の担保
ある場所での海水生分解性を判断する情報の提供
長期生分解予測する評価手法の原理的データの提供

提案標準法の根拠データ & 新規評価手法の開発

2.1.8 研究項目③「微生物、酵素による生分解メカニズムの解明」 ③-2 生分解性微生物菌叢特定のための解析及び試験法開発に資する微生物添加要素技術の開発

(担当：製品評価技術基盤機構)

2.1.8.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

海洋プラスチックごみの問題に対する世界規模の様々な取り組みの中で、環境に一定量漏れ出すことがやむを得ない製品に対しては生分解性素材に置き換えることが求められている。生分解性素材が社会に浸透し、メーカーが安心して生産拡大、新たな素材を市場投入するために整備が求められているのが、国際的に受け入れられる認証制度であり、そのための評価法の規格化である。特に陸圏に比べて生分解性が劣る海洋環境において、既存のISO評価法規格は、複数の課題が残されている。そのため、本事業では国際的に納得性のある、再現性、迅速性、簡便さを備えた評価法の規格化を目的とし、それを取り入れた国際的に受け入れられる認証制度の確立、それを介した海洋生分解性素材の市場浸透を加速することを目指している。

(2) 位置づけ、目標値

環境中に漏出した素材の生分解の実態は、素材に付着した微生物群による酵素分解と分解物の細胞内への取り込み、資化によるものであるが、それら生分解に寄与する微生物群の特定は容易ではない。そのため、素材に付着した「付着微生物叢」データで代替して議論されているのが実態であるが、海水中のあらゆる表面には、その素材を生分解するかどうかとは関係なく微生物が付着する。つまり、付着微生物叢には、生分解に寄与しない単に付着しただけの微生物叢が多量に含まれている。【研究項目③-2】では、【研究項目④-2】で取得する実海域の「付着微生物叢」から「生分解性微生物叢」の特定を行う。また、微生物叢と共に重要な生分解性因子としての微生物量データと合わせ、生分解者としての微生物の視点で解析、解釈を行い、【研究項目①】における評価試験法開発における条件設定の支援や試験法の根拠形成を目的とする。得られる微生物株については本研究項目における微生物添加技術の開発で活用する。

「生分解性微生物叢」の特定については、より具体的には以下の2つのアプローチで進める。DNA解析による付着微生物叢データと付着していた素材の崩壊度データ等との相関性を一定以上の規模で解析することにより推定を進める方法と、付着微生物叢を構成する主たる微生物株の生分解活性や生分解作用機作の確認を行うことで特定を進める方法であり、これらは互いに補完的である。

より具体的には、研究項目④-2で取得したメタ16SrRNA解析による微生物叢データと崩壊度等のデータとの相関性を大規模に解析することで生分解性微生物叢候補を抽出すると共に、単離微生物株の生分解活性測定、酵素やその遺伝子の有無、遺伝子発現量等の確認、解析等を行うことにより、合わせて海洋生分解性微生物叢の特定を行い、研究開発項目①の実験室内試験法開発や研究開発項目③-1の微生物菌叢の数値化による推定技術開発の根拠データとして活用する。また、研究項目①の実験室内試験における微生物叢データの取得を機関連携で行い、関係性を解析し、研究項目①における試験法開発の条件設定に対して微生物の視点で支援する。

一方、微生物叢と共に重要な生分解性因子として微生物量があるが、微生物量の測定方法には原理が異なる複数の方法があり、いずれも一長一短であるため、目的や試料の特性に応じて適切な方法を選択する必要がある。特に実海域の海水には多種多様な微生物が存在しており、

また微細な物質の混在もあるため、複数機関でラウンドロビン試験を行い、適した方法を選択するための指針を提示する。これらを通して、研究項目①における安定性向上・加速等のための実験室内試験法開発を促進し、また可能であれば微生物菌量測定法に関する規格化を検討する。

海洋環境特有の課題として挙げられるのが、海洋の主たる分解者としての微生物の密度が陸圏に比べて極端に低いことであり、それが試験に時間が掛かってしまうことや試験データのばらつき、結果の再現性を低下させる原因となっている。また実験室内での試験は、海洋環境から切り取られた極小環境となるために微生物叢は早期に変化してしまう。そのため微生物密度や微生物叢バランスを維持することが難しい。これらを克服するための方策として、海洋環境との相関性をもって特定された微生物株あるいはその混合物等を添加した実験室試験のための要素技術開発を行い、再現性や迅速性の点で優位性のある新たな試験法規格の提案を目指す。

より具体的には、実海域の微生物叢解析データと素材分解データに裏打ちされた微生物株、あるいは混合物を、微生物叢バランス、微生物菌体密度、総合的な生分解性等を考慮して調製し、それを添加した実験室試験法を開発するための要素技術開発を行う。

(3) 全体計画

研究項目	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
(イ)生分解性微生物菌叢の特定と解析																				
(イ-1)生分解性の評価																				
(イ-2)生分解作用機作の確認と生分解性菌叢の特定																				
(ロ)試験法開発に資する微生物添加要素技術の開発																				
(ロ-1)混合微生物調製・添加等の技術の検討																				
(ロ-2)混合微生物安定化技術の検討																				
(ロ-3)混合微生物添加試験のための測定方法の検討																				
予算(百万円)	57				52				52				26				20			

予算は、研究項目④-2との合算額として記載(2.1.10.1)

2.1.8.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

【中間目標(2022年度)】

実海域サイトから取得される素材付着微生物株の生分解性評価、メカニズム解析、総合的解析を行い、季節変動、地理的要因、海域性、素材の種類等の2課題以上に対応する素材生分解性微生物叢データ・微生物種を特定し、研究項目①で他の参画機関により進められる試験法開発に貢献する。

微生物添加要素技術開発においては、微生物株や微生物混合物、集積微生物を添加した際の微生物叢や生分解の再現性、安定性等の関係を明らかにし、添加する微生物種とそれら菌体の量比、総微生物量の関係の探索を進めつつ、微生物添加による試験法改良あるいは新規試験法提案の素案を作成する。

また、研究項目①で進められる実験室試験法開発における課題解析、提案試験法における課題克服の確認についても、微生物叢データ・菌株の収集を他の機関との連携により行い、それら目的達成に貢献する。

【最終目標（2024年度）】

実海域における季節変動、地理的要因、海域性、素材の種類等の通算3課題以上に対応するデータの総合的解析を通して研究項目①で他の参画機関により進められる試験法開発に貢献すると共に、実海域と実験室試験の相関性の観点で、試験法提案に必要とされるデータについて適切に公開するための整備を行う。また、他の参画機関により進められる実験室試験法開発における課題解析、試験法提案における課題克服の確認についても、微生物叢データ収集や微生物株分離、評価、解析を行うことでそれら目的達成に貢献する。

微生物添加要素技術開発においては、実海域データに裏打ちされた素材生分解性微生物株、混合微生物、あるいは集積微生物の添加による試験法改良あるいは新規試験法1種以上の提案を行い、関連する微生物株及び情報公開を開始する。

研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(イ) 生分解性微生物叢の特定と解析	1. 実海域取得素材付着微生物株の生分解性評価・解析を実施、また微生物叢、微生物量、崩壊度、環境等データとの総合的解析を実施し、2課題以上について素材生分解性微生物叢・微生物種を特定	素材付着微生物叢から素材生分解性微生物株を特定するため生分解性評価・解析方法を新たに2種開発し、既存の乳化培地法と合わせて関係性を検証、生分解性評価のプロセスを構築、実海域から分離した微生物株の評価を進めている。	△ 50% (中間目標は2022年度末達成見込み)	【今後の課題】 ・分析の効率化 ・GC分析に必要なヘリウムガス流通の外的要因で、分析に遅れ発生 【解決方針】 ・微生物叢解析から分析対象微生物株の優先種を適切に選抜することで効率化 ・ヘリウムガスの問題に対しては特になし
		実海域で取得された微生物叢データを、素材の種類と地域性、季節性の3課題でそれぞれ解析を進め、生分解性微生物株候補の特定を進めている	△ 50% (中間目標は2022年度末達成見込み)	【今後の課題】 ・微生物叢総合的解析の負荷増加 【解決方針】 ・解析方法のパターン化による効率化
(イ) 生分解性微生物	3. 研究項目①における実験室試験法開	研究項目①の実験室試験法の微生物叢解析では450サンプル以上	連携項目のため設	【今後の課題】 ・研究項目①におけ

叢の特定と解析	発の課題解析、提案試験法課題克服確認のための微生物叢・微生物株の収集により目的達成に貢献 【機関連携】	の分析を行い、隔月で機関連携の会議を持ちながら結果の解釈を行い、適宜試験法開発へのフィードバックを行っている。	定無し	る試験法規格化スケジュールに合わせたデータ取得 【解決方針】 ・優先課題の明確化と分析スケジュールの機関間での共有頻度向上
(ロ)試験法開発に資する微生物添加要素技術の開発	2. 微生物添加による生分解性や、微生物叢再現性、安定性等の解析、添加微生物種、量比、総微生物量の関係の探索を進め、試験法改良あるいは新規提案の素案作成	分離微生物株の混合物を用いて、実態としての生分解性、加速性の検証で試験法としての課題の探索、検証を進めている。試験法に応じた適切な微生物量測定法選定のため複数の原理に基づく手法のラウンドロビン試験を複数機関連携で進めており、年度内にとりまとめの方針である。	△ 15% (中間目標は2022年度末達成見込み)	【今後の課題】 現時点ではなし

成果の詳細

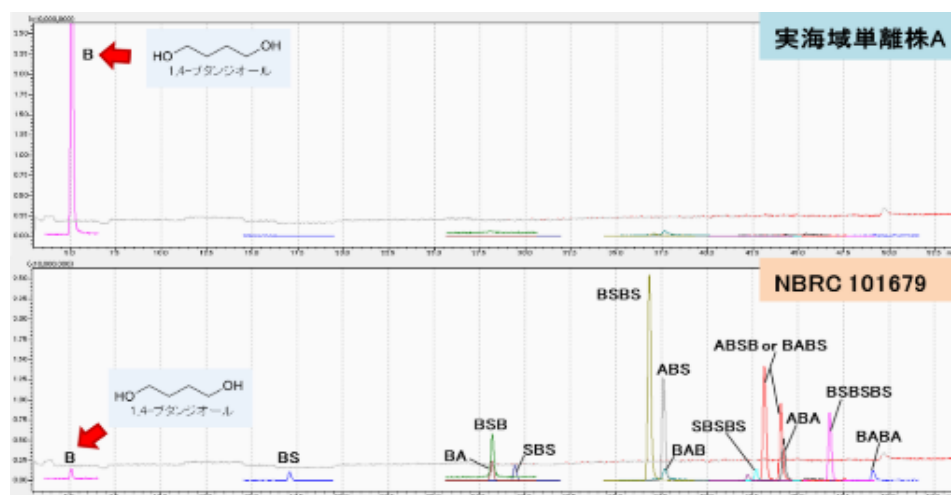
環境中に漏出した素材の生分解は、素材に付着した微生物群によるものであるが、付着微生物叢には、生分解に寄与しない単に付着しただけの微生物叢が含まれている。そのため、「素材付着微生物叢」から、実態としての「素材生分解性微生物叢」を特定する必要がある、実海域で採取された素材付着微生物叢メタ 16S 解析データに裏打ちされた候補菌株の、実態としての活性に基づく生分解性評価・解析が必要である。しかし、単離微生物株でのプラスチック分解活性の検出感度は概して高くなく、単離微生物株で短期に活性を確認、解析できる生分解性評価・解析方法が必要であった。そこで、GC/BID 法、LC/MS 法を新たに開発した。

GC/BID 法開発では、微生物の好氣的なプラスチック生分解に伴って発生する CO₂ を GC で検出する系を構築した。容積 20 mL のバイアルに人工海水とプラスチックを入れて密閉環境で 1-2 週間培養することにより、プラスチックの生分解により最終的に生成して気相に蓄積した CO₂ を、高感度かつ簡便に測定できた。複数種の細菌を用いて、本手法が単離微生物株であってもプラスチックの生分解能を短期間にかつ簡便に評価できる系であることを確認した。

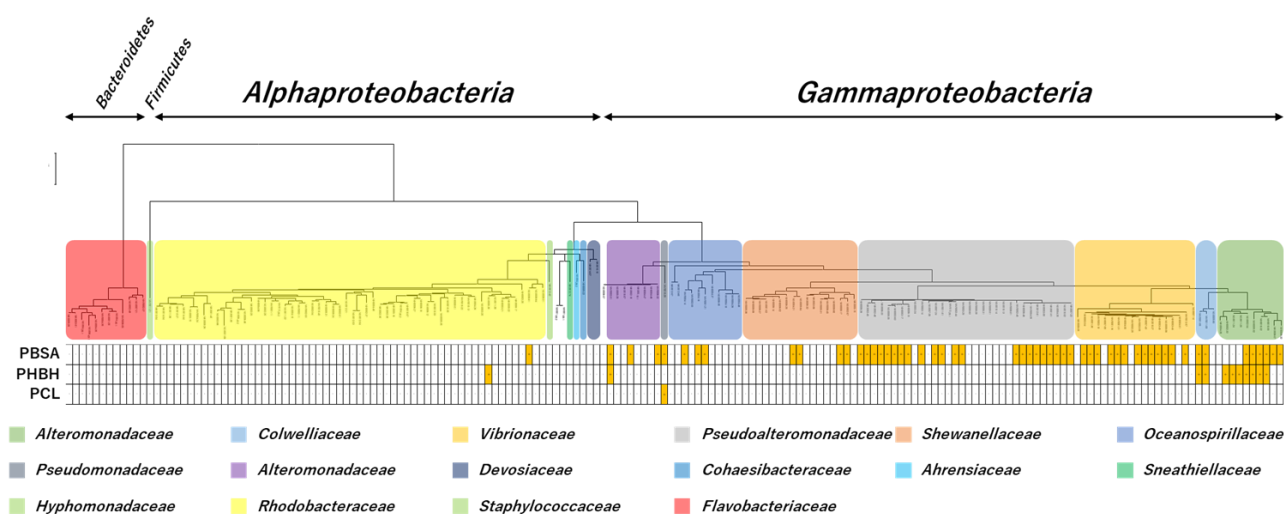
LC/MS 法開発では、プラスチックの微生物分解により生成する分解物モノマーやオリゴマーの LC-MS/MS 分析系を PBSA、PHBH、PCL、PBS、PHB について構築した。単離微生物株を人工海水中で上記プラスチックと培養し、本系で分析したところ **図 III-2.1.8-1** に示すようにモノマーのみが多量に検出されるもの、あるいは様々なオリゴマーが検出されるものなど、細菌の種類により分解様式に違いが認められた。培養開始数日後の、プラスチック分解が肉眼で確認できない状態であっても、培養液中に遊離するモノマー、オリゴマーを検出できた。本手法は、単離微生物株であってもその生分解産物を短期に検出することができ、微生物株ごとの生分解

性の評価及び分解様式の解析に有効であることを確認した。

本研究項目で開発した生分解性の評価、解析法の適性を確認するため、既存手法である生分解性プラスチックの乳化物を混釈した平板寒天培地上での生育に伴うクリアゾーン形成の有無（乳化培地法）との関連性について解析した。まず実海域試験のフィルムから分離した微生物株について、各素材の乳化培地を用いて生分解活性を測定した（図III-2.1.8-2）。



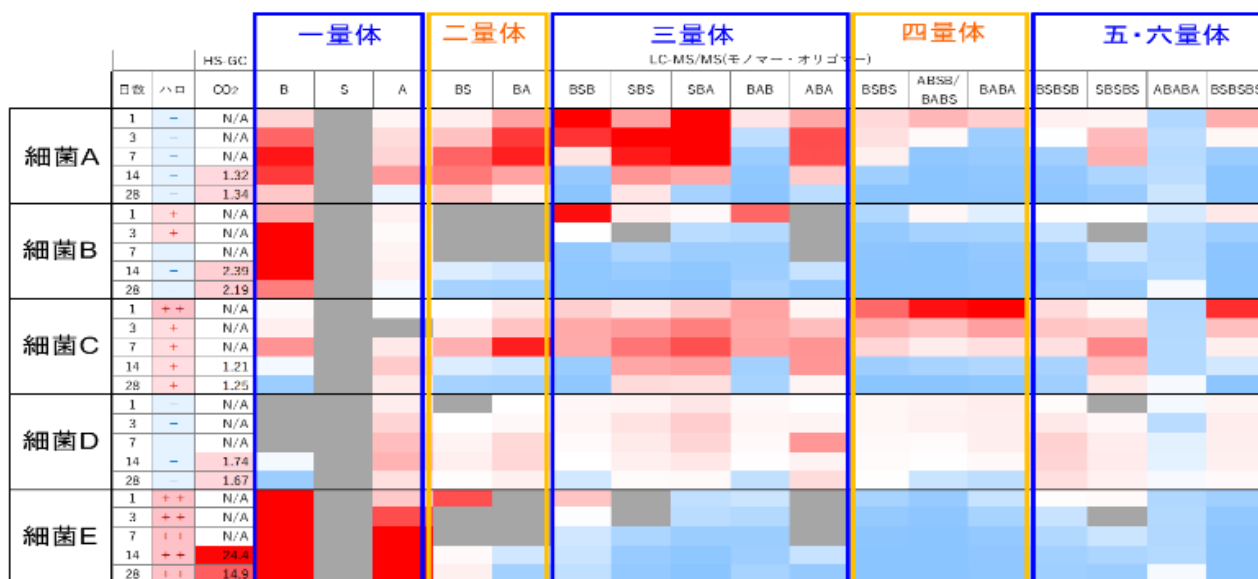
図III-2.1.8-1 海洋単離株 A（細菌）と NBRC101679（Pseudoalteromonas 属細菌）の培養液の LC-MS/MS 分析データ



図III-2.1.8-2 実海域からの単離株の乳化培地法による評価の例

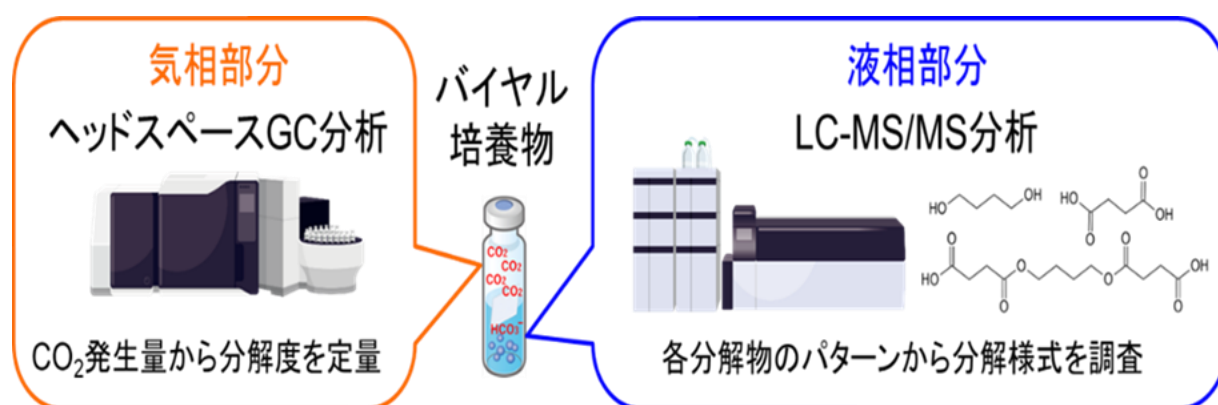
次に3つの評価・解析方法による結果の比較を行った。機器分析による生分解性評価と、乳化培地法による評価結果の間には、基本的には相関が認められたが、乳化培地法では検出できないプラスチック分解微生物株も機器分析により検出できることを確認した。特に、LC-MS/MS 分析による分解生成物の検出データと GC 分析による CO₂ 検出データを組み合わせて解析することにより、モノマーまで速やかに分解して資化できる細菌（例：図III-2.1.8-3 の細菌 E）、主としてオリゴマーへ分解する細菌（例：図3の細菌 C や D）など、生成される分解産物

の傾向が属ごとや種ごとで異なることを確認できた。すなわち、生分解性微生物叢を特定するためには生分解能の指標となる CO₂ 発生だけに依らず、分解産物にも着目する必要があると考えられた。



図III-2.1.8-3 異なる属の実海域分離株の LC-MS 法 (PBSA 生分解物)、乳化培地法、GC-BID 法による評価・解析結果のヒートマップ。(培養 1, 3, 7, 14, 28 日測定)

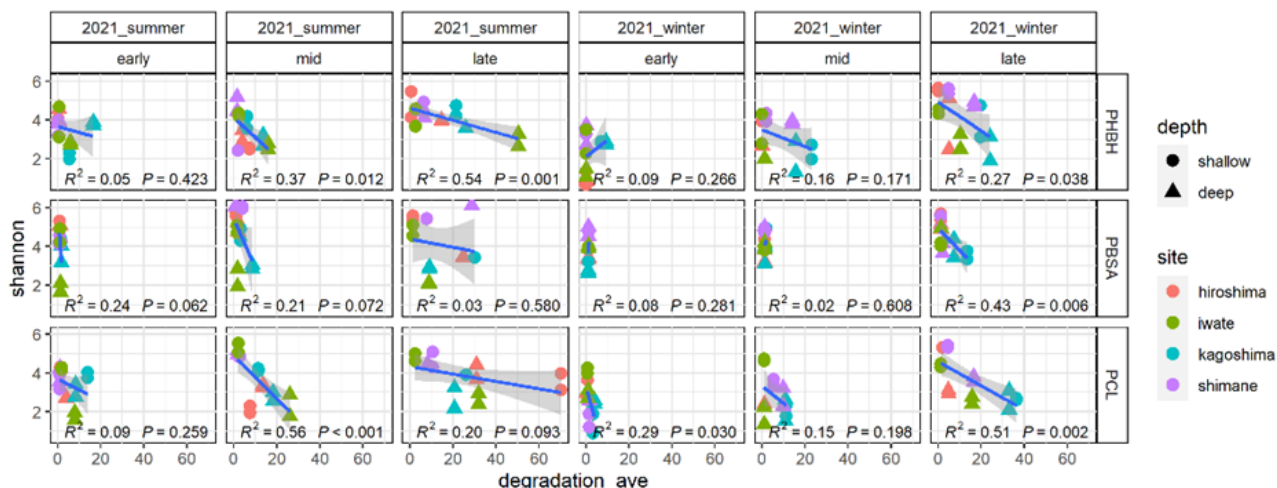
本研究項目で、単離菌株であっても短期化にプラスチック分解をスクリーニングできるスキームを確立した (図III-2.1.8-4)。これを用いて実海域単離微生物株のスクリーニングを進め、「生分解微生物叢」の特定を目指す。



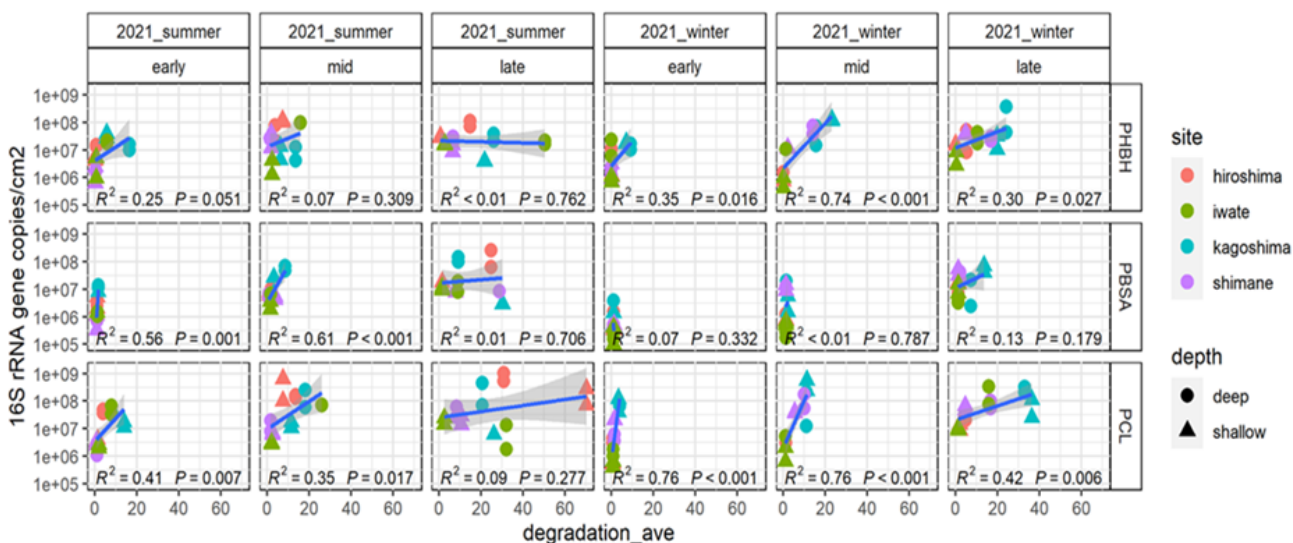
図III-2.1.8-4 バイヤル培養物の気相・液相部分の同時分析によるプラスチック生分解性評価スキーム

崩壊度と付着微生物叢の多様性または付着微生物量 (16S rRNA 遺伝子のコピー数) の関係を図III-2.1.8-5 と図III-2.1.8-6 に示した。横軸は崩壊度、縦軸はそれぞれ Shannon 指数または 16S rRNA 遺伝子のコピー数である。生分解性素材の崩壊度と Shannon 指数の関係は負の相関関係にあり、これは崩壊度が高くなると素材付着微生物叢の多様性が低くなることを示している。

一方、生分解しない汎用プラスチックや PLA では、多様性は増加の傾向であった。崩壊度と 16S rRNA 遺伝子の関係はいずれの素材においても正の相関関係にあり、崩壊度が高くなると微生物量は増加する傾向にあることを示していた。これらのことから、崩壊が進んでいた生分解性素材のフィルム上では微生物叢の集積が進んでおり、素材を栄養源として生育する微生物の優占化がおきていたものと推察された。

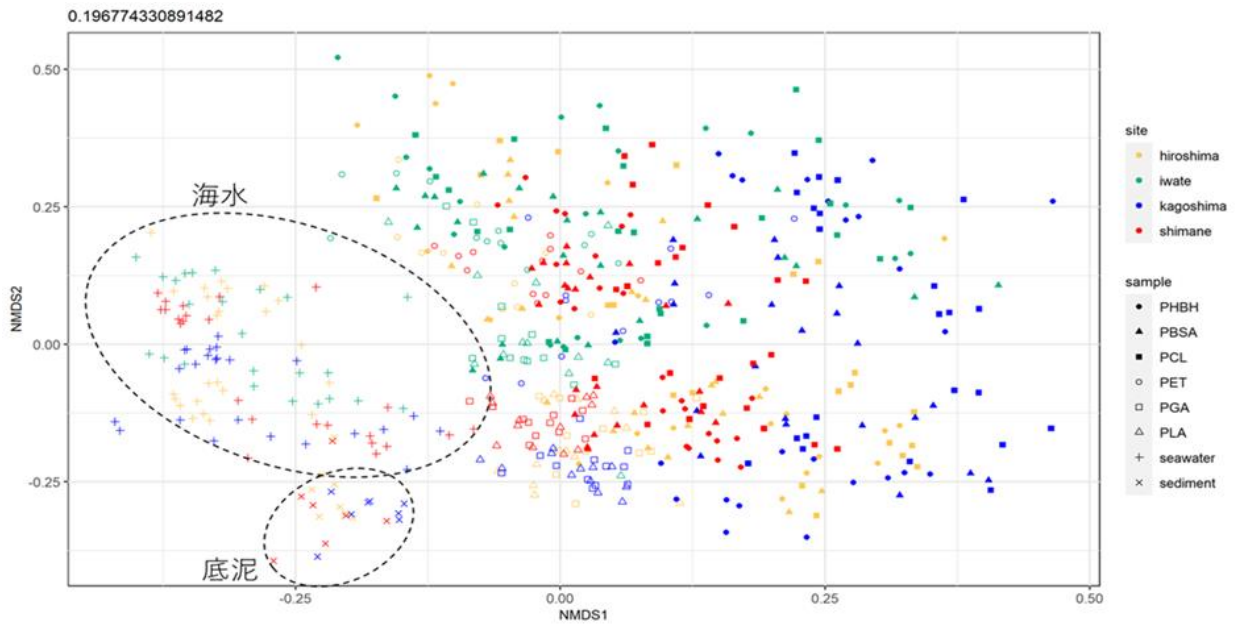


図Ⅲ-2.1.8-5 崩壊度と付着微生物叢の多様性 (shannon 指数) の関係



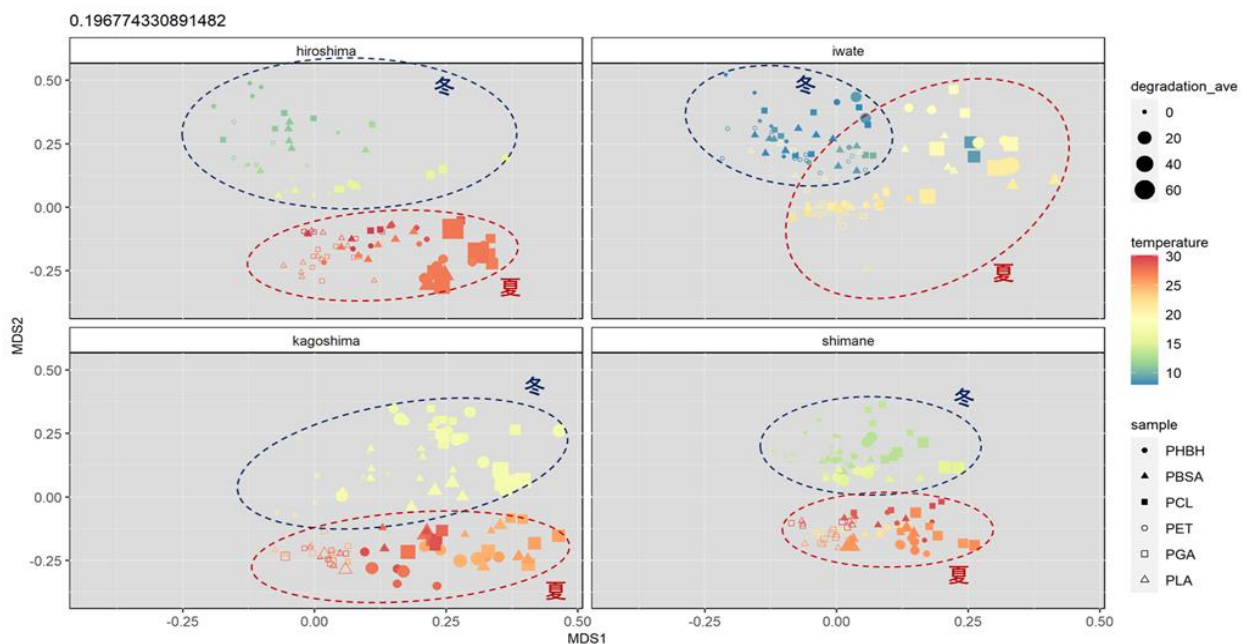
図Ⅲ-2.1.8-6 崩壊度と付着微生物量 (16S rRNA 遺伝子のコピー数) の関係

海水又は底泥の微生物叢と、素材付着微生物叢の多様性の関係を明らかにするため、Bray-curtis 非類似度による β 多様性解析を行い、NMDS プロットを行った (図Ⅲ-2.1.8-7)。その結果、海水及び底泥の微生物叢と、素材付着微生物叢は明らかに異なっていることが示された。



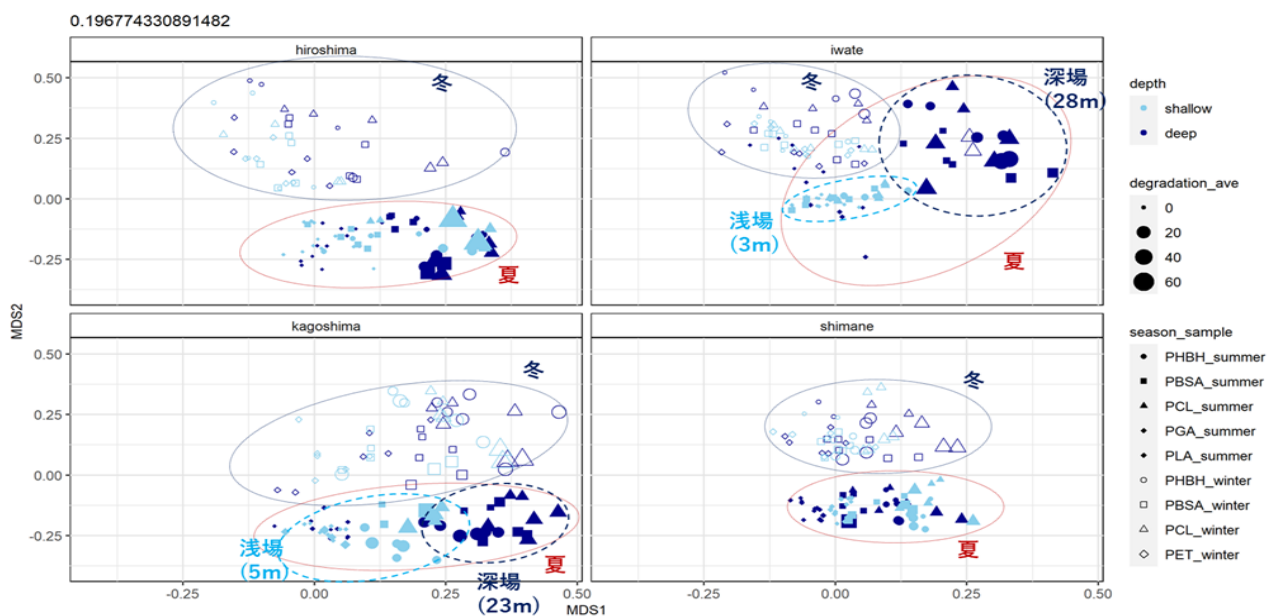
図Ⅲ-2.1.8-7 海水、底泥、及び素材付着微生物叢のβ多様性解析

次に、海域ごとにパネルを分け、海水温をプロットの色、崩壊度をプロットの大きさで表示させた（図Ⅲ-2.1.8-8）ところ、冬と夏でプロットが分かれることが確認できた。また、PHBH、PBSA、PCLのうち、崩壊度が高く集積がかかっていると考えられる微生物叢（サイズの大きいプロット）は、海域に関係なく右～右下に集まる傾向があり、崩壊が進んでいる素材上の微生物叢はある程度類似してることが示唆された。一方、PHBH、PBSA、PCLのうち、崩壊度が低い場合の微生物叢（サイズの小さいプロット）やPET、PLA、PGAといったほとんど崩壊が起きていなかったフィルムの付着微生物叢を示すプロットは真ん中あたりに散在する傾向がみられた。



図Ⅲ-2.1.8-8 素材付着微生物叢のβ多様性解析と地域ごとの海水温及び崩壊度との関係

これらの結果から、海水温（季節）は素材付着微生物叢に影響を与える重要な因子であると考えられた。また、夏期試験において、鹿児島や岩手では浅場と深場で菌叢が異なることが示され（図Ⅲ-2.1.8-9）、深度（今回の試験においては 18m 以上）も微生物叢に影響を与える要因の一つであると考えられた。但し、海流の影響もあるため、純粹に深度の影響であるかどうかは明らかではない。

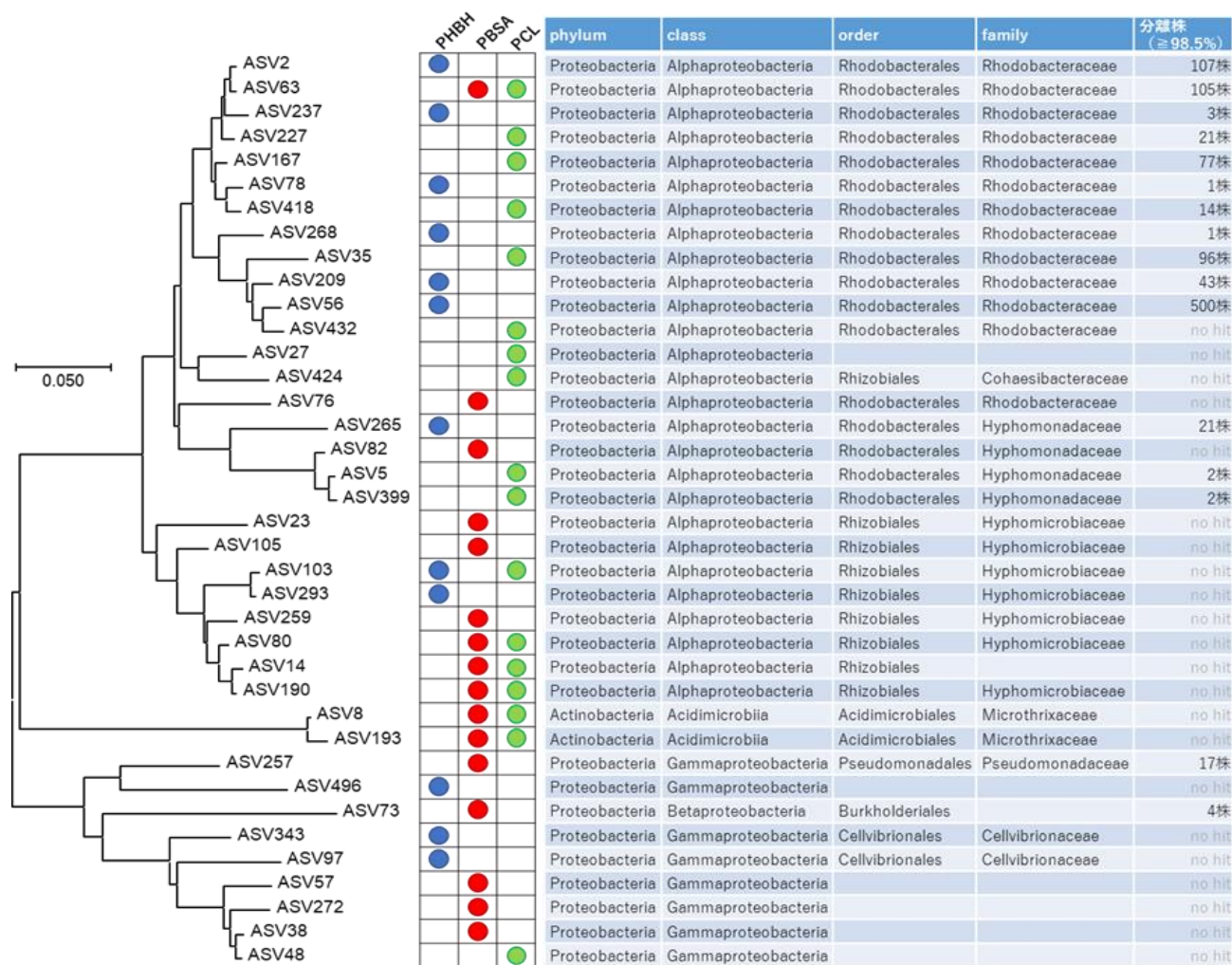


図Ⅲ-2.1.8-9 素材付着微生物叢のβ多様性解析と地域ごとの浸漬深度との関係

微生物叢解析データと崩壊度との関係性の解析から、崩壊度と相関が高い ASV の抽出を行った（図Ⅲ-2.1.8-10）。全サンプルからの検出頻度が高い上位 100 の ASV（Amplicon sequence variant）に絞り、3つの素材（PHBH、PBSA、PCL）ごとに抽出を試みたところ、38ASVsを検出することができた。

PBSA と PCL で共通しているのは 6ASVs であったが、PHBH と共通している ASV は PBSA に 1 つあるのみであった。3 種の素材すべてから検出された ASV は見られなかったが、ASV2 と ASV63 同士の相同性は 99.2% であったので、種レベルであればこれらの ASV が属する種は 3 種の素材で共通していた可能性があると考えられた。

抽出された 38ASVs のうち、実施項目イ-1 で取得した分離株と一致したのは 16ASVs であった。今後これらの ASV と相同性の高い微生物株の生分解活性測定や解析を進め、素材生分解性微生物叢を明らかにしていく。



図Ⅲ-2.1.8-10 微生物叢解析データと崩壊度に相関が高い ASV の抽出

(2) 成果の最終目標の達成可能性

総合的解析に用いるデータの取得は3課題以上を同時に進めており、すでに2課題については微生物叢の特定も始まっているため、素材生分解性微生物叢・微生物種の特定制や実環境根拠データの公開という最終目標は達成を想定している。また、すでに候補株を用いた添加試験検討を進めており、計画通りに進んでいるため、新規提案1件以上を研究項目①に提示し、関連微生物株の公開を開始するという最終目標も達成の見込みである。

研究項目	最終目標 (2024年度)	達成見通し
(イ) 生分解性微生物叢の特定と解析	1. 通算3課題以上の総合的解析により素材生分解性微生物叢・微生物種を特定し、実環境根拠データ公開のための整備を実施。また微生物量測定法の指針をとりまとめ、可能であれば規格化を検討。	総合的解析に用いるデータの取得は3課題以上を同時に進めており、すでに2課題については微生物叢の特定も始まっているため達成可能と想定している。微生物量測定についても年度内にとりまとめは終わるため、指針の作成は達成される見込み。
	3. 研究項目①における実験室試験法開発の課題解析、提案試験法課題克服確認のための微生物叢・微生物株の収集により規格化の目的達成に貢献【機関連携】	安定的に連携会議をもって計画見直しを行いながら進めてきており、試験提案も終わり補足すべき課題も明確化されてきたため、研究項目①の目的達成のために十分な貢献ができると想定している。
(ロ) 試験法開発に資する微生物添加要素技術の開発	2. 実海域データの根拠ある微生物添加による試験法改良あるいは新規提案1件以上を研究項目①に提示し、関連微生物株の公開を開始。	すでに候補微生物株を用いた添加試験検討が始まっており、計画通りに進んでおり、検討課題も適切に設定されているため、達成を想定している。微生物株の特定がなされれば、期間内の公開に懸念はない。

2.1.9 研究項目④「実海域におけるデータ収集、簡易生分解（崩壊度）試験法の開発」 ④-1 簡易試験法の開発と生分解データの収集

（担当：産業技術総合研究所 生命工学領域 バイオメディカル研究部門、生物プロセス研究部門、（再委託先）大阪産業技術研究所、滋賀県東北部工業技術センター、広島県西部工業技術センター、愛媛県産業技術研究所）

2.1.9.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

ラボ環境と実環境とでは、多くの点で条件が異なる。例えば、ラボ試験では系内に微生物はいるがプランクトンや原生動物、各種水生生物の幼生などは存在しないし、実環境では太陽光暴露や温度変化など物理的・化学的なストレスを受ける。さらにラボ試験では限定された系内の海水中微生物で生分解が起こるのに対して、実環境では樹脂試料は実質、無尽蔵の海水で表面が洗われ、多様な微生物の作用を受ける。その結果、一般には実環境である海洋に浸漬するほうが速い生分解を示すことが多々ある。最終的には実際の海洋において、どのような海洋環境で、どの程度の期間で生分解されるのかの情報が求められる。そこで、実海域で実際に試料を浸漬させる実環境試験を再委託先である地方独立行政法人大阪産業技術研究所、滋賀県東北部工業技術センター、広島県西部工業技術センター、愛媛県産業技術研究所とともにを行い、上市されている樹脂、上市間近の樹脂を中心に各種生分解性樹脂の実海域海洋生分解性を評価し、同時にその試験地点の海水を用いたラボ生分解試験とを並行して行う。それらの相関性を検討することにより、実環境での生分解に関与する因子を抽出する。それにより、ラボ試験結果から実環境での生分解予測を可能にする知見が得られる。実海域での試験はどこでもできるものではないので、その地点の海水を持ち帰って試験することで実環境での予測ができれば海洋生分解性プラスチックの信用度が大きく上がる。本課題本項目では、日本各地の標準的な沿岸域にて実環境試験を行い、その簡易実環境試験方法を確立するとともに、ラボ試験からの実環境生分解予測のための各種因子の抽出を行う。特殊な海洋環境に関しては微生物叢の特徴も大きく変わる可能性があることからその部分は NITE が主担当として分析、生分解試験を行い、産総研も連携する。

(2) 位置づけ、目標値

ラボ環境と実環境とでは、生分解に関与する生態系が異なり、かつ環境由来の物理的・化学的なストレスの有無、試験系のスケールの違いが存在する。その結果生じるラボ生分解と実環境生分解との差異を明確にする。そのために、外注により浸漬用器具を制作し、実海域で実際に試料を浸漬させる簡易実環境試験法を開発するとともに、上市されている樹脂、上市間近の樹脂を中心に各種生分解性樹脂の実海域海洋生分解試験を行い、同時にその試験地点の海水を用いたラボ生分解試験も並行して行う。それらの相関性を検討することにより、実環境での生分解に関与する因子を抽出する。それにより、ラボ試験結果から実環境での生分解予測を可能にする知見を得る。またラボ試験系と実環境の菌叢構造の相関性解析を行う。実環境試験実施海域としては、大都市圏からの排出プラごみの漂着の顕著な東京湾から瀬戸内海を主たる対象海域とし、最小限の選択として、海洋浸漬地点として関東、関西、瀬戸内海の大都市圏（大阪、広島）と地方都市圏（愛媛）、淡水圏の代表として琵琶湖を選定し、再委託先である地方独立行政法人大阪産業技術研究所、滋賀県東北部工業技術センター、広島県西部工業技術センター、

愛媛県産業技術研究所と連携して実施する。2022 年度には提案した試験法にて、全国の沿岸域での実証試験を各種生分解性樹脂の各種形態の試料にて行い、結果を蓄積する。また、浸漬する季節の影響も明確にする。試験地点の海水でのラボ生分解試験も並行して実施し、実環境試験との相関性について明確にする。終了時までには実海域海水浸漬簡易試験法を ISO 法として委員会にて議論されている状態にする。また、ラボ試験から、実海域試験を実施することなく生分解性を予測するための知見を集める。

(3) 全体計画

研究項目	2020 年度				2021 年度				2022 年度				2023 年度				2024 年度									
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期						
(イ) 実海域海水浸漬簡易試験法の開発																										
(イ-1) 簡易試験方法の提案					→																					
(イ-2) 簡易試験方法でのデータ蓄積					→																					
(イ-3) ラボ試験法との相関性検討					→																					
(イ-4) ラボ試験からの実海域生分解の予測																	→									
予算(百万円)	11				9				9				10				8									

初年度（2020 年度）は、

- ・事業項目（イ）実海域海水浸漬簡易試験法の開発

(イ-1) 簡易試験方法の提案として、実海域試験の候補手法を複数考案する。また、再委託先と連携して全国バランスの取れた4か所以上の沿岸地点で、代表的な生分解性樹脂試料 3 種以上を浅深度で海水浸漬試験を実施し、2021 年度にかけて、最も現実的・実用的な試験法を選択し、実海域海水浸漬簡易試験法の提案を1つ行う。

2 年目(2021 年度)は、

- ・事業項目（イ）実海域海水浸漬簡易試験法の開発

(イ-1) 簡易試験方法の提案として、前年度からの実海域試験を再委託先と連携して継続し、最も現実的・実用的な試験法を選択し、実海域海水浸漬簡易試験法の提案を1つ行う。また、提案した手法にて試験を1回以上実施し、操作手順及び分析過程における問題点の洗い出し、改良を行う。

(イ-2) 簡易試験方法でのデータ蓄積として、再委託先と連携して提案した手法での試験データを3種以上の樹脂試料を対象に蓄積する。問題点の洗い出し、改良を行う。

(イ-3) ラボ試験法との相関性検討として、再委託先と連携して実海域浸漬試験実施時に海水試料を採取し、3種以上の樹脂に対して、ラボ試験データを収集する。

3年目(2022年度)は、

- ・事業項目(イ)実海域海水浸漬簡易試験法の開発

(イ-2) 簡易試験方法でのデータ蓄積として、改良した試験法にて、全国の沿岸域での実証試験を生分解性の異なる3種以上の各種樹脂のフィルム、繊維など2つ以上の異なる形態の試料にて行い、生分解性や菌叢等の結果を蓄積する。

(イ-3) ラボ試験法との相関性検討を前年度に引き続き行い、再委託先との連携で全国試験地点の海水でのラボBOD試験を並行して実施し、3種以上の樹脂に関して相関性を明確にする。

4年目(2023年度)は、

- ・事業項目(イ)実海域海水浸漬簡易試験法の開発

(イ-2) 簡易試験方法でのデータ蓄積として、前年度の研究に関して、3種以上の樹脂を対象に、浸漬する2シーズン以上の季節の影響、異なる年度の結果の変動性などの多様な条件下での海洋生分解データを再委託先と連携して蓄積する。

(イ-3) ラボ試験法との相関性検討として、前年度に引き続き、再委託先と連携して全国の試験地点の海水でのラボ生分解試験を並行して実施し、海水温の相関性への影響について明確に。

(イ-4) ラボ試験からの実海域生分解の予測として、再委託先と連携して全国の定点試験場所以外の水深の違いなどを含めた1つ以上の異なる場所の海水を用いたラボ試験を行い生分解予測の予備試験を行う。

5年目(2024年度)は、

- 事業項目(イ)実海域海水浸漬簡易試験法の開発

(イ-2) 簡易試験方法でのデータ蓄積として、前年度に引き続き、再委託先と連携して全国の定点での多様な条件下でのデータ収集を行うとともに、分解の遅い樹脂フィルム及び肉厚射出成形試料、添加剤を含む試料、複合材料など5つ以上の試料を対象に、分解の遅いことが予想される試料では最長6か月、分解の速いものでは3か月の浸漬実験を行い、実海域海水浸漬簡易試験法をISO法として提案するための裏付けとなるデータ収集を行う。

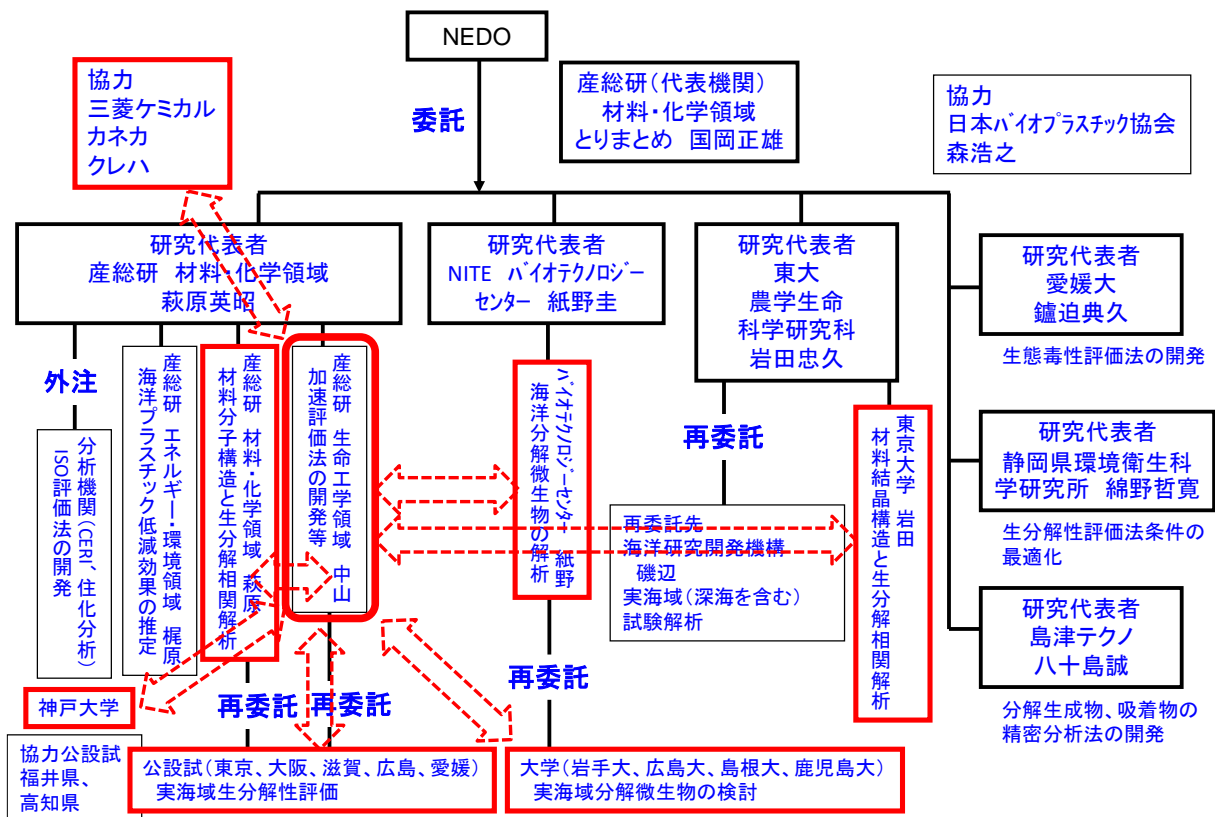
(イ-3) ラボ試験法との相関性検討として、再委託先と連携して当該年度(イ-2)で行う多様な試料を対象にラボ生分解試験を並行して実施し全国沿岸部での実海域試験との相関性を明確に。

(イ-4) ラボ試験からの実海域生分解の予測として、再委託先と連携して定点試験場所以外の水深の違いなどを含めた1つ以上の異なる場所にて実海域試験を行い、実海域試験を実施することなく生分解性を予測するための知見を集める。

研究項目 (研究担当機関)	フェーズA		
	2020年度	2021年度	2022年度
④-1実海域におけるデータ収集、簡易生分解(崩壊度)試験法の開発(簡易試験法の開発と生分解データの収集)(産業技術総合研究所 生命工学領域)			
実海域海水浸漬簡易試験法の開発	実海域海水浸漬簡易試験法の開発、ISO予備提案		データ蓄積
合計 NEDO負担額[税込]	11百万円 (含再委託先 4百万円)	9百万円 (含再委託先 4百万円)	9百万円 (含再委託先 4百万円)

研究項目 (研究担当機関)	フェーズB	
	2023年度	2024年度
④-1実海域におけるデータ収集、簡易生分解(崩壊度)試験法の開発(簡易試験法の開発と生分解データの収集)(産業技術総合研究所 生命工学領域)		
実海域海水浸漬簡易試験法の開発	季節、その他の多様な条件でのデータ収集	ラボ試験との相関性 各種樹脂、形状でのデータ収集
合計 NEDO負担額[税込]	10百万円 (含再委託先 4百万円)	8百万円 (含再委託先 4百万円)

(4) 実施体制



(5) 運営管理

研究項目①-1、③-1 と一体で進めている。すなわち、プロジェクト全体の円滑な運営を目的とした「幹事会」、研究実施者が全員集まって行う4ヶ月に一度の「全体会」の他、外部有識者を交えた「推進委員会」は年3回程度開催され、研究概要を説明、適宜アドバイスをいただいている。別途、NEDO 主催の「技術推進委員会」も年1回開催され、研究に対して多くのコメントをいただき、研究に反映させている。さらに、ISO 国際標準化を達成するため、必要に応じて「JBPA (日本バイオプラスチック協会) 技術委員会」に出席し、ISO 標準化原案の示し、意見交換し、産業界の要望を取り入れるようにしている。JBPA では経産省委託事業として、本 NEDO 成果を ISO 化するための実務的な役割を果たしており、JBPA が運営している「海洋生分

解性プラスチック国際標準化委員会」、および「海洋生分解性プラスチック国際標準化検討WG」の委員、メンバーとして定期的な会合に出席している。また、年数回開催される「ISO TC61内に設置されたWG」メンバーとして予備提案から本格審議に向けて活動している。NITEとは2カ月に一度程度、Web定期会合を持ち、研究の連携を維持している。・。

(テーマの運営について、月に一度プロジェクト進捗会議開催、月に一度進捗状況を月報(書面)にてNEDOに報告、四半期毎に全体会議開催、とか、四半期毎に一度外部有識者による委員会開催などアピールしてください。進捗管理について、情報共有に関する独自の工夫があれば、記載。知的財産権に関する戦略があれば記載)

(6) 実施の効果

研究項目①-1をはじめとする生分解性の評価手法はいずれもラボでの試験であり、必ずしも実環境と同条件だとはいえ、むしろ自然条件から外れており、生分解性樹脂に懐疑的な人々からラボ試験で分解するからと言って実際の海で分解する補償になっていないと、指摘される可能性がある。そうした不安を払しょくするための試験法であって、認証制度の中で、ラボ試験をクリアするとともに実海域試験も判定項目として取り入れることができる。そうすることで消費者にとって安心な認証マークを提示でき、普及が促進されることが考えられる。また、ラボ試験との相関性を明確にすることにより、生分解に関係する環境因子が浮き彫りとなり、その定量的検討から、各地の実際の海での生分解速度の予測が可能となる。各地の海での生分解の予測ができれば、海洋で使用したい生分解性材料をどの樹脂にすればよいか、など、高度な使い方が可能となり、応用範囲が広がり、ニーズが広がると期待される。

全国各地での実海域試験での崩壊速度は異なるが、試験地点の海水の生分解活性と一定の相関がある。




ただし、その相関にも限界があり、実海域試験では、海水温等の環境因子の影響を受ける。



環境因子の定量的解析を進めることにより、各地点での分解予測が可能となる。

意義

- ・ **実環境での分解の実証**
 - ・ **対象海域での生分解に要する、あるいは劣化するまでの期間の予測**
- 
- ・ **水産用資材への応用の際の重要な情報**

2.1.9.2 研究開発成果

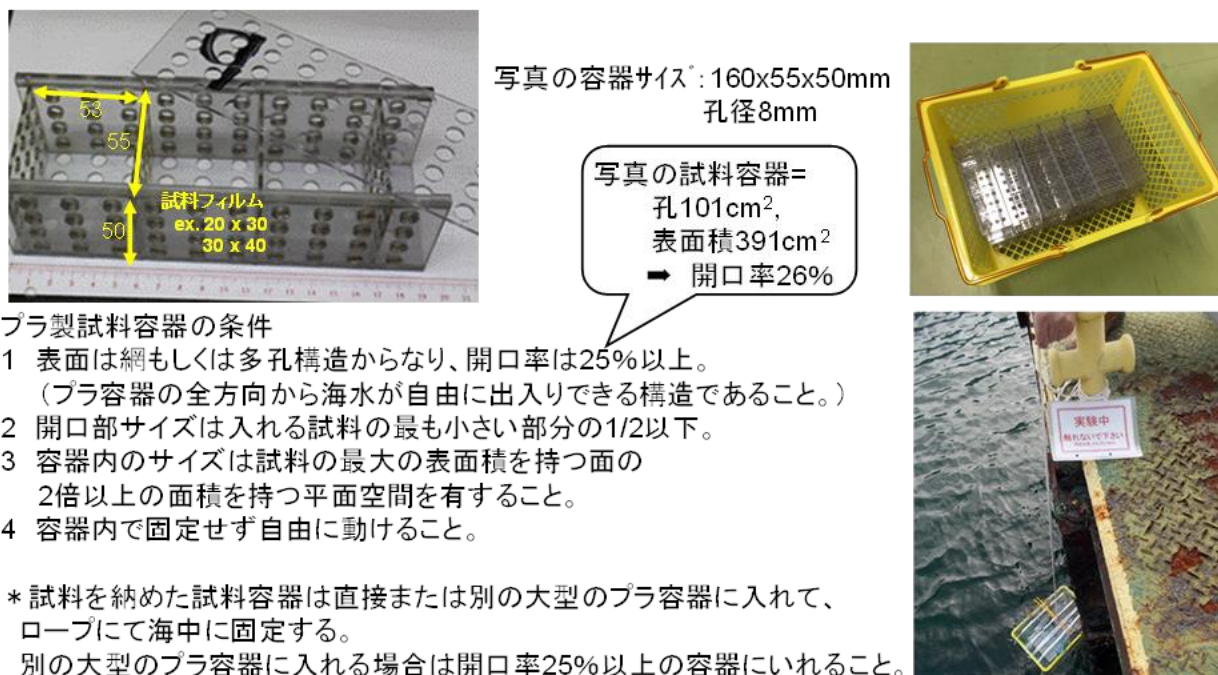
(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
実海域海水浸漬簡易試験法の開発	①実海域海水浸漬簡易試験法の提案	①実海域海水浸漬簡易試験法を開発し、提案した。	○	①なし
	②上記手法で浅深度で試験を実施、問題点の洗い出し、改良を行う	②上記手法で浅深度で試験を実施し、問題点の洗い出し、改良を行った。	○	②データの蓄積 →実験の継続
	③試料表面の微生物データの蓄積	③項目③-1、③-2と連携し、標試料表面の微生物データの蓄積を行った。	○	③データの蓄積 →実験の継続
	④3種以上の樹脂を用いてラボ試験法と実環境試験との相関性を明確に。	④3種以上の樹脂を用いてラボ試験法と実環境試験との相関性を明確にした。	○	④実環境は季節その他条件で変動するので継続的なデータ収集が必要 →データの蓄積
	⑤ISO提案を検討。	⑤簡易試験法をISO予備提案した後、NP原案を提出、投票によりアクセプトされ、本格審議が始まることになった。	◎	⑤ISO WGでは様々な技術的意見が提出されており、その対応が必要。 →丁寧な対応とデータの補完。

成果の詳細

実海域簡易浸漬試験法は既発のISO法が大掛かりで工事によって固定器具を海底に設置、ダイバーによる試料の設置、回収をする必要がない方式として、**図III-2.1.9-1**のような全方向から海水の出入りが自由な小型の塩ビ製試料収納コンテナを考えた。本試験では実際の海で確実に生分解されることを実証することを目的としており、そのため海洋で漂っている状態のプラの生分解を評価できるよう、収納コンテナ内でフィルムが動けるような空間が確保できるように設計した。コンテナの条件を暫定的に定め、このコンテナで各種浸漬実験を行った。こうした小型コンテナは買い物かごのような大型容器に約30個まとめて納めることができ、これを水面下1.5mに沈めて試験を行った。試料の浸漬はN=3で行い、一定期間ごとに3枚ずつフィル

ム試料を回収した。実施地点と実施主体機関を表Ⅲ-2.1.9-1に示した。図Ⅲ-2.1.9-2は2021年2月後半からの浸漬2週間（青）と4週間（赤）の回収試料の重量保持率を示す。



プラ製試料容器の条件

- 1 表面は網もしくは多孔構造からなり、開口率は25%以上。
(プラ容器の全方向から海水が自由に入出力できる構造であること。)
- 2 開口部サイズは入れる試料の最も小さい部分の1/2以下。
- 3 容器内のサイズは試料の最大の表面積を持つ面の2倍以上の面積を持つ平面空間を有すること。
- 4 容器内で固定せず自由に動けること。

* 試料を納めた試料容器は直接または別の大型のプラ容器に入れて、ロープにて海中に固定する。
別の大型のプラ容器に入れる場合は開口率25%以上の容器に入れること。

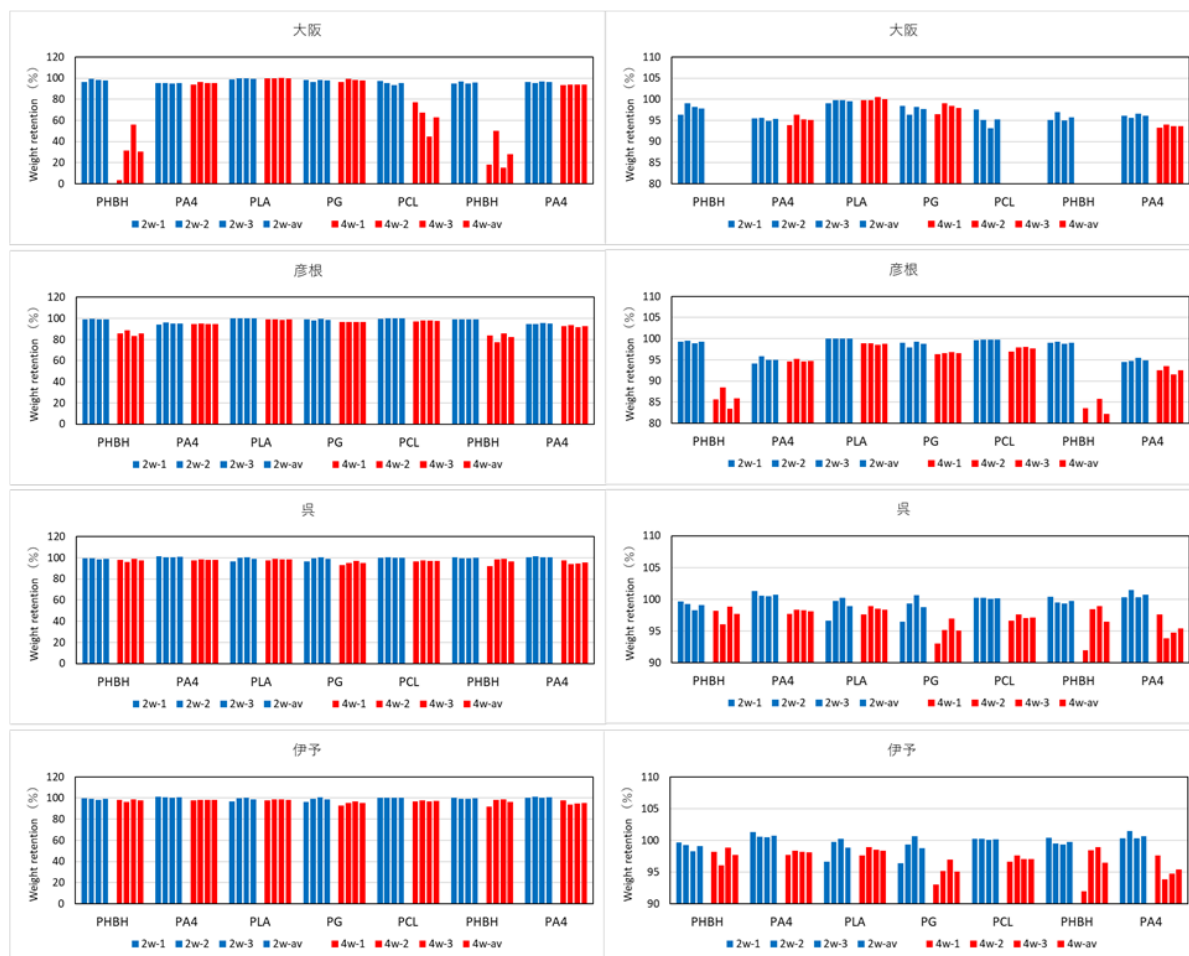
図Ⅲ-2.1.9-1 試料収納コンテナの設計と構造

表Ⅲ-2.1.9-1 浸漬場所と実施機関

浸漬場所	所在地	実施主体
大阪市港湾局	大阪府大阪市大正区	産総研
神戸大学深江キャンパス	兵庫県神戸市東灘区	産総研
大阪市港湾局	大阪府大阪市大正区	大阪技術研森之宮
滋賀県水産試験場	滋賀県彦根市八坂町	滋賀県東北部工技セ
広島県総研水産海洋技術センター	広島県呉市音戸町	広島県総研西部工技セ
愛媛県農林水産研究所 栽培資源研究所	愛媛県伊予市森	愛媛県産技研紙産セ
城南島海浜公園	東京都大田区	東京都産技研
鹿児島市鴨池海づり公園	鹿児島県鹿児島市与次郎	鹿児島大

右端の2系統はコンテナをネット(約3mmメッシュ)で覆って試験した結果だが、ネットを使わない場合と差はなかった。浸漬地点大阪にて PHBH と PCL では4週間で大きな重量減少が確認されたが他の樹脂、他の地点では重量保持率は90%台であった。これらの結果から地点によって重量減少率は大きく異なり、また樹脂により分解に差が表れることが分かる。重量減少率の大きかった PHBH と PCL ではN=3内のばらつきが大きく、重量減少率が50%を上回るとばらつきは顕著で、他の時期、他の樹脂試料の浸漬でも同様の傾向が認められた。これは、生

分解に伴う強度低下により試料回収が困難になること、洗浄時に試料が破損することなどが原因の一つと考えられ、回収試料の重量測定精度を上げるためには、回収が困難

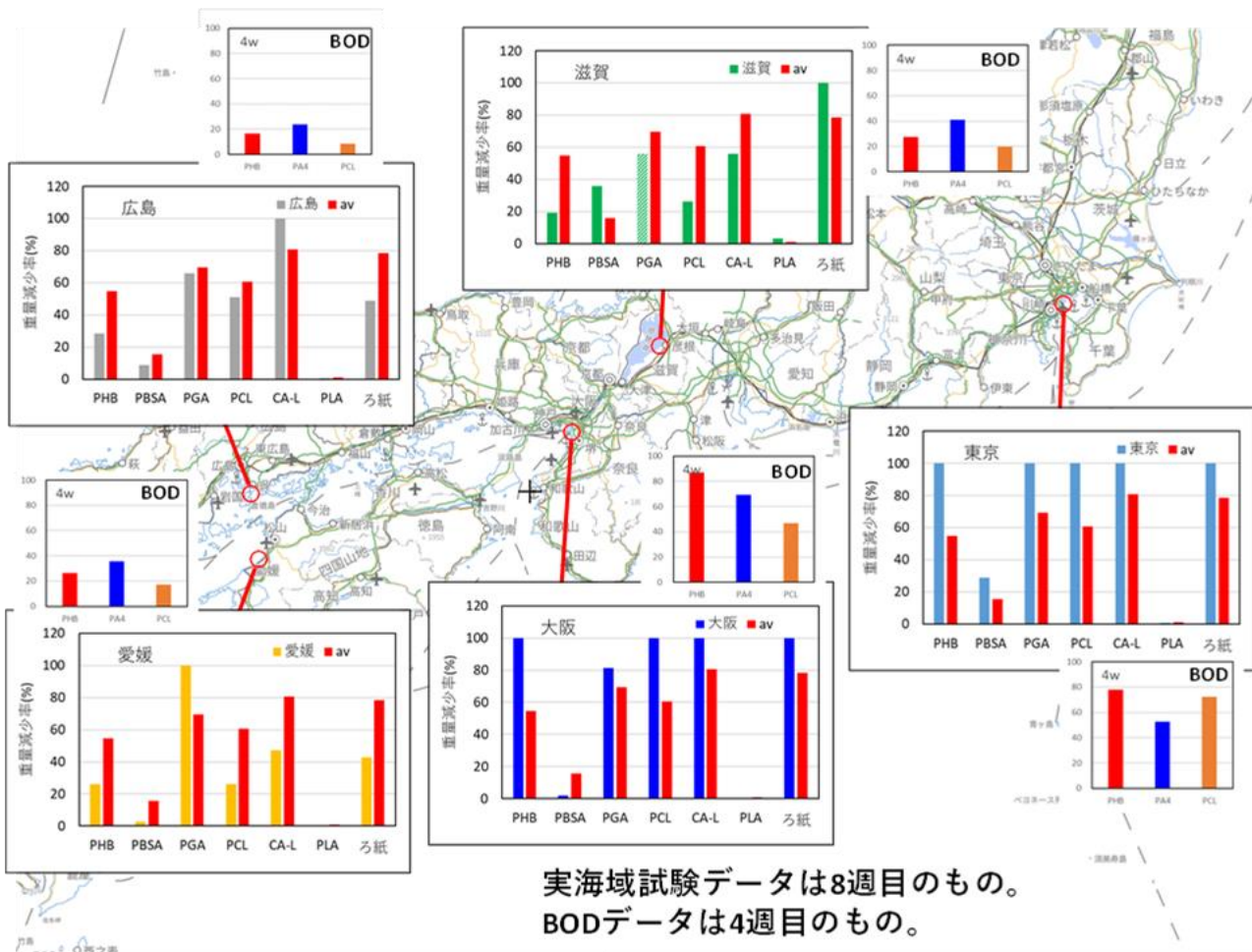


図Ⅲ-2.1.9-2 各種樹脂フィルムの2021年2月後半からの2週間、4週間の浸漬試験結果

表Ⅲ-2.1.9-2 膜厚の異なる各種樹脂フィルムの重量減少率と膜厚の変化(神戸, 2021/11-)

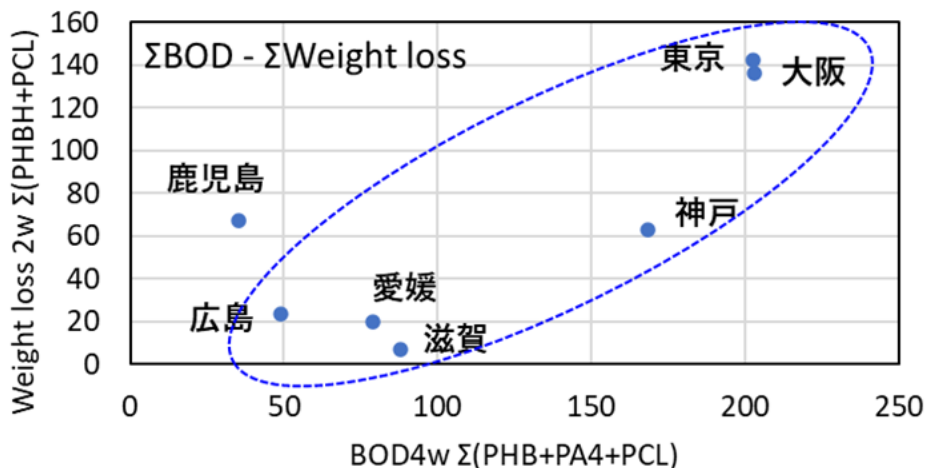
	2w 重量減少率 (%)	2w 減少厚み (μm)	3/4w 重量減少率 (%)	3/4w 減少厚み (μm)	厚み 減少速度 ($\mu\text{m}/\text{w}$)	厚み 減少速度 ($\mu\text{m}/\text{w}$)
PHBH, 35	64.0	17.2	100.0	26.9	8.6	9.0
PHBH, 100	22.0	20.5	61.2	56.9	10.2	19.0
PHBH, 200	9.1	18.0	22.0	43.4	9.0	14.5
PBSA, 35	1.7	0.6	2.9	1.0	0.3	0.3
PBSA, 100	1.4	1.4	7.0	6.8	0.7	1.7
PBSA, 200	1.6	3.7	3.5	8.1	1.9	2.0
PCL, 35	73.7	29.2	100.0	39.7	14.6	13.2
PCL, 100	40.8	40.3	62.8	61.9	20.1	20.6
PCL, 200	30.3	59.5	56.3	110.3	29.7	36.8

になるまで崩壊させないことがポイントであり、厚みを変えたフィルムを浸漬させることと浸漬期間を変えて試料回収を行うことでばらつきのすくない試料回収が実現できると考えられる。膜厚の異なるフィルムの浸漬試験を行ったところ、表Ⅲ-2.1.9-2のように膜厚の薄いものにおいて重量減少が顕著となり、膜厚の影響は大きい。しかしながら、(浸漬前膜厚)×(重量減少率)にて得られる計算上の膜厚の減少厚みを比較すると、重量減少の明確な PHBH や PCL では膜厚間の差異は解消され、膜厚に関係なく分解が表面から進行していくことが分かる。このことから浸漬結果の比較では重量減少率ではなく、減少厚みもしくは浸漬期間で除した厚み減少速度を用いるのが適当と思われる。2021年11月から浸漬を開始した各地の結果を図 2.1.4-3 に示す。各地のグラフの大きい方が実海域浸漬試験結果で赤は各地(5カ所)の平均値で、各色のものが各地点のデータである。浸漬時に同時に海水を採取し、ラボに持ち帰り、PHB、PA4、PCL のラボ BOD 生分解試験も行った。4週間後の到達生分解度の結果を同じ図Ⅲ-2.1.9-3中の小さい方のグラフとして合わせて表示した。東京や大阪では PHB の生分解度は 80%前後であり、海水の生分解活性が高いことが分かるがそうした地点では実海域試験でも重量減少率は赤字表記の平均値を上回る結果となった。浸漬地点により、分解の進行に差がでることが分かるとともにその地点の海水の生分解活性が影響していることが分かる。

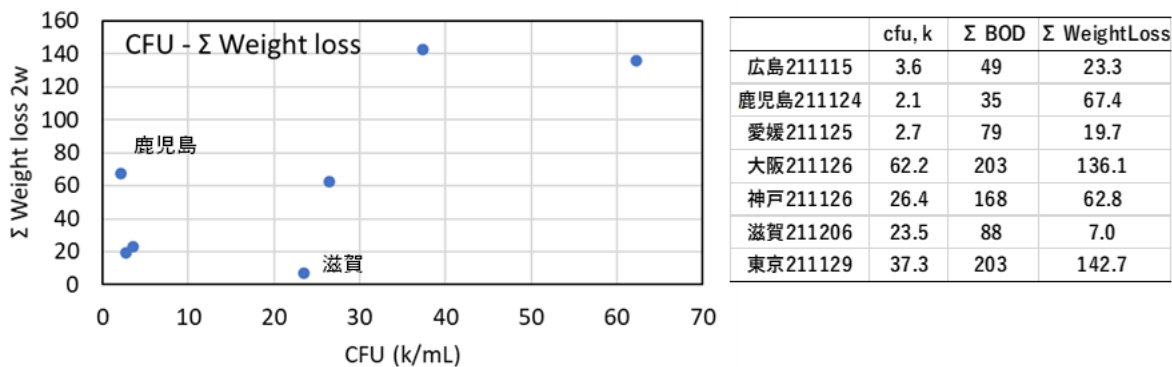


図Ⅲ-2.1.9-3 浸漬各地における重量保持率と各地点の海水によるラボ BOD 試験結果

BOD 結果と浸漬試験結果の相関図は縦軸に浸漬重量減少指数として、明確な重量変化が認められた PHBH と PCL の重量減少率の合計をとり、横軸には海水の生分解活性指数として、BOD 試験の対象であった PHB、PA4、PCL の 3 つの樹脂の 4 週後の到達生分解率の合計をとってプロットし、作成した（図Ⅲ-2.1.9-4）。全体として良好な相関性があることが分かる。その中で、鹿児島での結果が傾向から外れているが、BOD ラボ生分解試験ではいずれの海水も同一温度での試験結果であるのに対し、実環境試験では実際の海水温での試験であり、鹿児島では他の海域に比べて海水温が高く、実環境での生分解が速く進行したと考えられる。



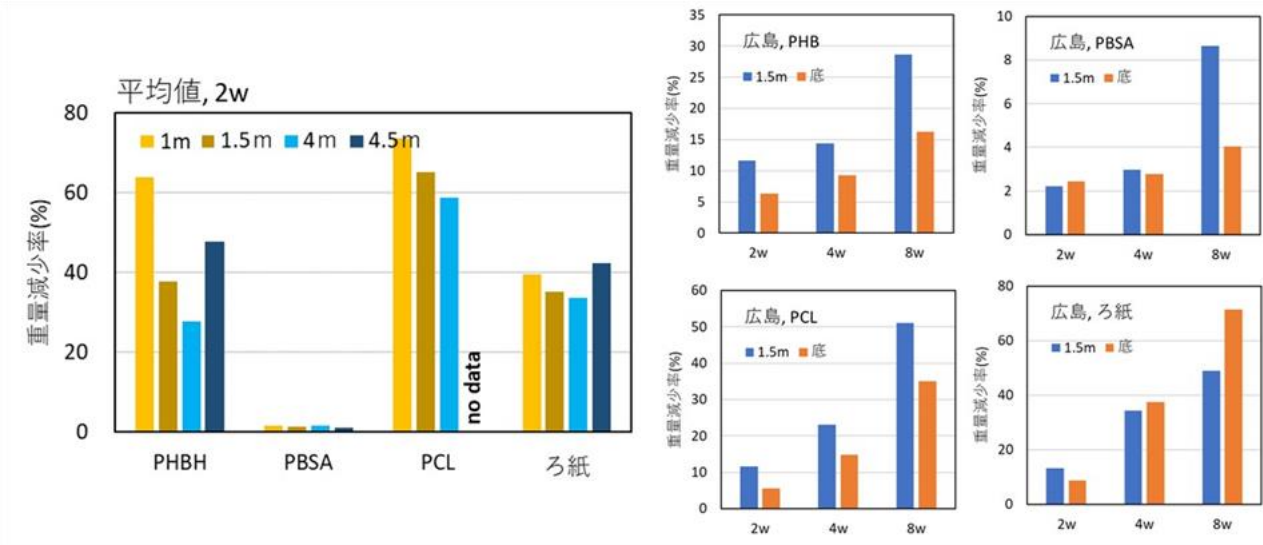
図Ⅲ-2.1.9-4 ラボ BOD 試験と実海域浸漬試験結果の相関性



図Ⅲ-2.1.9-5 各地の初発海水の微生物数と実海域浸漬試験結果（重量減少指数）との関係

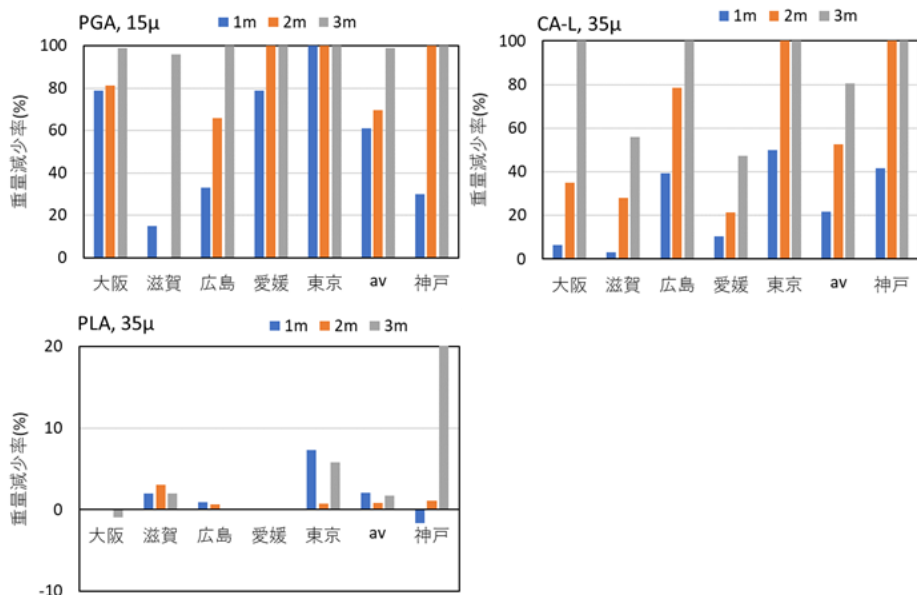
各地の海水の微生物数と実海域試験での浸漬重量減少指数との相関性は図Ⅲ-2.1.9-5 に示した。鹿児島と滋賀の 2 点が外れているが、鹿児島は海水温の影響、滋賀は淡水であるため、単純比較できないことが原因と思われる。

浸漬深さを変えた結果を図Ⅲ-2.1.9-6 に示した。の影響も大きい。神戸大深江キャンパス内ポンドの水深は 4.5m であるが、深さ 1m、1.5m、4m、4.5m（着底）にて浸漬試験を行ったところ、浅い浸漬の方が重量減少率は大きく、深くなるほど分解は遅かった。この傾向は以前報告した深さの異なる地点で採取した海水でのラボ生分解試験結果と一致した。ただし、着底した条件では浸漬による分解は速くなり、これは底泥に含まれる微生物の影響だと思われる。呉でも浸漬深さを変えて浸漬したところ類似の傾向が得られた（図Ⅲ-2.1.9-7）。



図III-2.1.9-6 神戸大 Pondにおける浸漬試験（2021.11） 図III-2.1.9-7 呉における浸漬試験（2021.11）

PGA、CA-L、PLA は最長 3 か月の長期試験を実施したが PGA と CA-L は分解が予想よりかなり速かった（図III-2.1.9-8）。PLA は 3 カ月では重量变化的に有意な変化は認められなかった。浸漬時期による分解速度には差が認められた。2 月浸漬分は膜厚 40 μm、11 月分は 100 μm と異なる厚みであるため本来単純比較できないが、膜厚減少量に換算すると 2 月に比べて 11 月ではかなり分解速度は速く、とくに分解が遅い地点においてその差は大きい（表 III-2.1.9-3）。

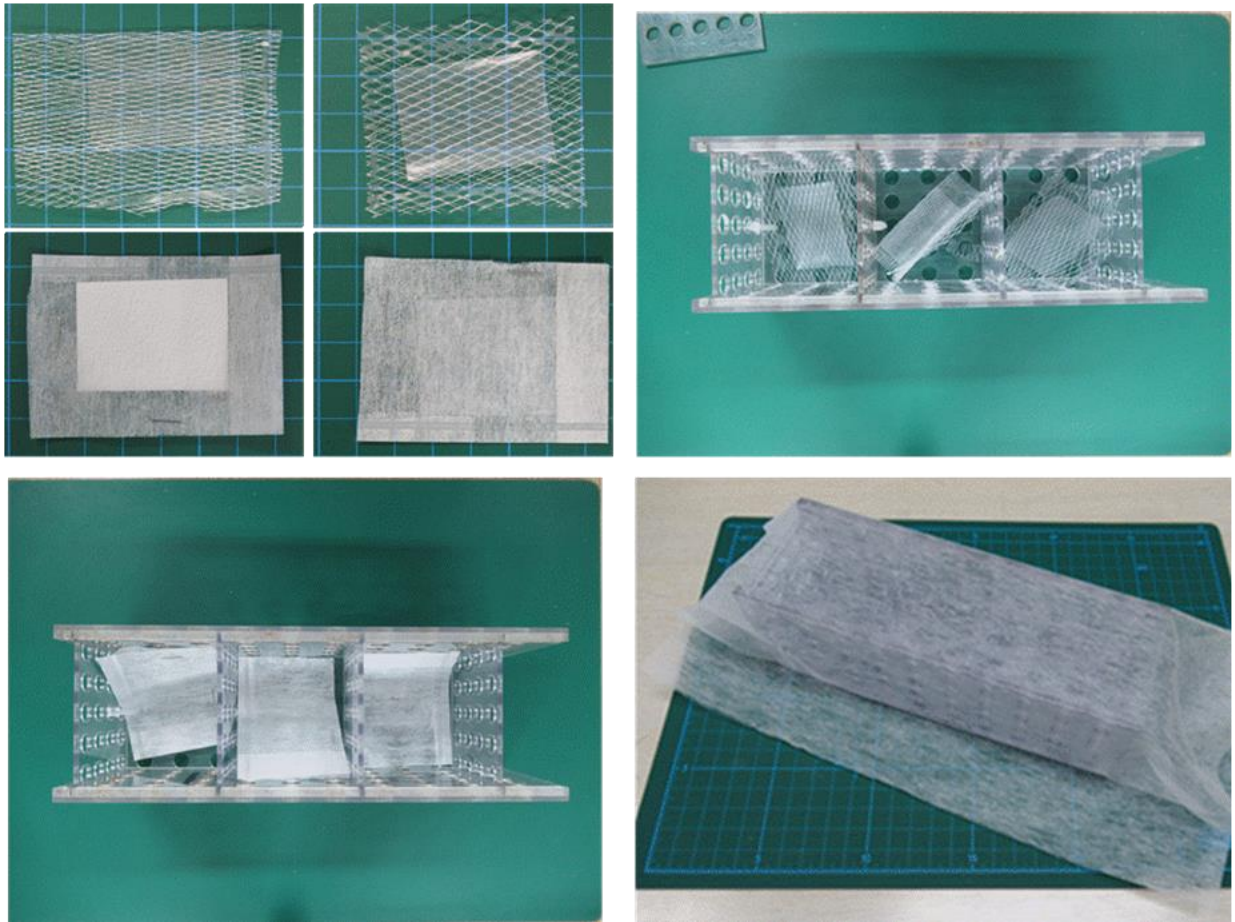


図III-2.1.9-8 PGA、CA-L、PLA の長期浸漬試験結果（2021.11-）

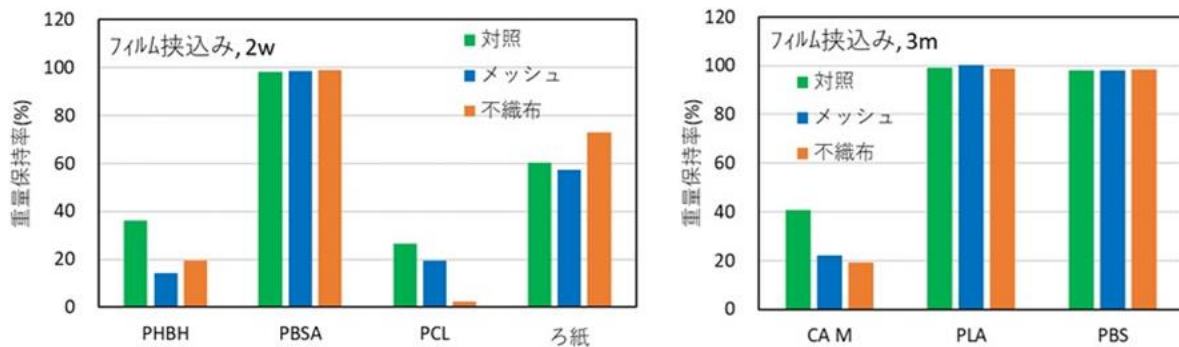
表Ⅲ-2.1.9-3 異なる時期の PHBH フィルムの 4 週間での浸漬試験結果

	Weight loss (%)		Reduction of Thickness(μm)	
	2021.2-	2021.11-	2021.2-	2021.11-
Osaka	69.6	76.0	27.1	68.4
Hikone	14.1	9.0	6.5	8.1
Kure	2.3	14.4	1.1	13.0
Iyo	1.7	18.0	0.8	16.2

試料は崩壊が進むと形状が崩れ小片化して流出していくため、正確な測定の障害となる。また、分解の遅い樹脂で長期間浸漬していると表面に貝やフジツボが付着し、剥がれなくなる。そうした、小片の流出を防ぐ手段として、あるいは付着物の低減の目的で、**図Ⅲ-2.1.9-9** のようなメッシュや不織布での挟み込みや、コンテナごとメッシュや不織布で挟み込む手法について検討した。分解が速いと思われた PHBH、PBSA、PCL、ろ紙は 2 週間で、遅いと思われた CAM、PLA、PBS では 3 カ月で、何もしない系と比較した (**図Ⅲ-2.1.9-10**)。

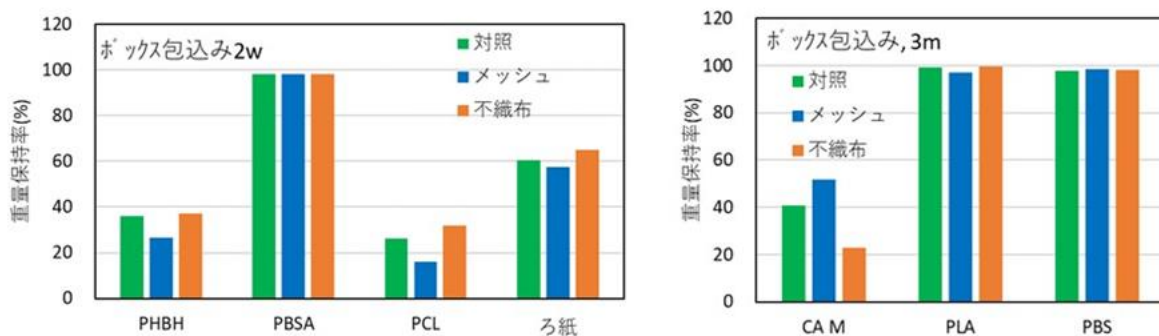


図Ⅲ-2.1.9-9 メッシュや不織布でのフィルム挟み込みや試料収納コンテナの包み込み



図Ⅲ-2.1.9-10 浸漬フィルムをメッシュ、不織布で挟み込んで浸漬した結果（神戸, 2021.11-）

その結果、分解の遅い樹脂では挟み込みによる差異は認められなかったが、分解の速い樹脂ではメッシュや不織布で挟み込んだ方が分解が速くなる傾向が認められた。理由としては、むき出しのフィルムではコンテナ内で動き回り、コンテナ壁とこすれることで表面に付着した微生物が脱落し易いのに対し、フィルムが挟み込まれることで表面が保護され、バイオフィルム形成が促進されるためかもしれない。ただ、別の試験系ではまた別の結果も出ており、データの蓄積が必要だと考えられる。コンテナそのものをメッシュもしくは不織布で包み込む手法も検討した（図Ⅲ-2.1.9-11）。包み込みの場合は短期の場合、メッシュにてやや分解が速い傾向になるが顕著な差とはいえず、適した方法といえるかもしれない。ただ、小片の散逸を防ぐという目的の点ではまだ効果が分かるような結果は得られていない。




図Ⅲ-2.1.9-11 浸漬用コンテナそのものをメッシュもしくは不織布で包み込んで浸漬試験をした結果（神戸, 2021.11-）


試料の挟み込みは既発 ISO でも固定の手段として採用されている手法であるが、材質、目の細かさの影響について調べた。PE では各種目開きのメッシュを、また、各種素材のメッシュは目開きを 1000 μ m 前後で揃えて PHBH フィルムを挟み込んでその分解を比較した（表Ⅲ-2.1.9-4）。試験は 2 回行い、素材として銅を用いた場合は全く重量減少しなかったが、その他の場合は目開きの影響や素材の違いの影響は有意な差は認められなかった（図Ⅲ-2.1.9-12）。

表Ⅲ-2.1.9-4 フィルム挟み込み用のメッシュの素材と目開き


No.	材質	平均目開き (μm)	開口率 (%)	メッシュ (/inch)	線径 (μm)	厚み (μm)
B	none	-	-	-	-	-
1	PE	276	48	67x61	122	250
2		526	47	34x32	244	500
3		924	53	20x20	346	680
4		1571	55	12x12	546	1000
5	PP	1192	56.4	16	395	
6	PET	1000	44	17		
7	Ny	1000	44	17		
8	PVDC	960	59.8	20	290	
9	ステンレス	1000		18		
10	アルミニウム	1000		18		
11	銅	1000		18		




PE,
276μm




PE,
526μm




PE,
924μm



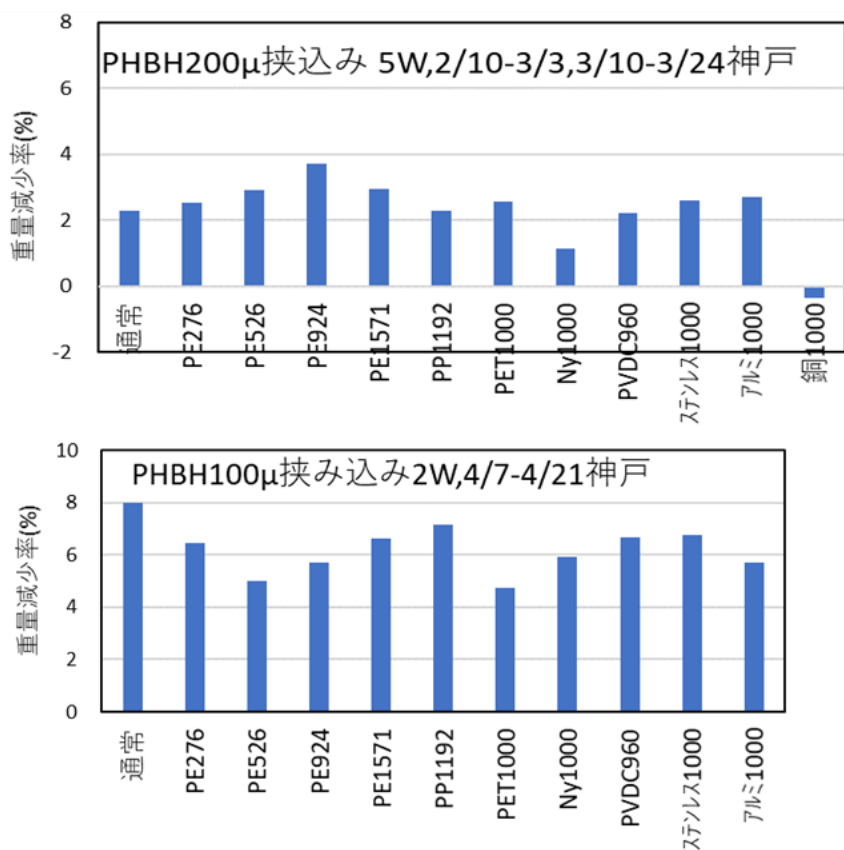
PE,
1571μm



PP,
1192μm



PET,
1000μm



図Ⅲ-2.1.9-12 各種素材で挟み込んで浸漬した PHBH フィルムの重量減少率

重量保持率(%)

	49		59		41
52		47		47	
	42		32		54
28		52		49	

3段目(上段)
Av. 46

55		52		42	
	31		50		39
45		50		52	
	22		24		51

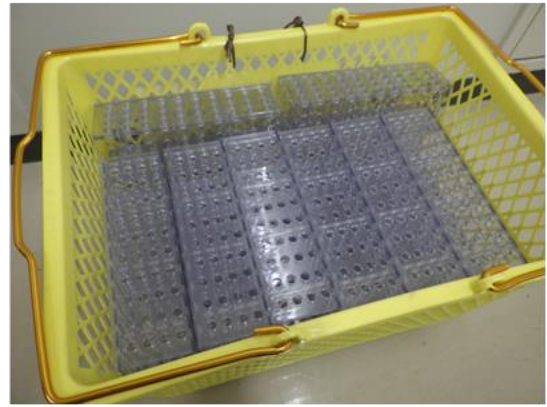
2段目(中段)
Av. 43

39		65		36	
	51		50		48
41		50		43	

1段目(下段)
Av. 47

周辺Av. 45
内部Av. 45

かごを上から見た図



図III-2.1.9-13 試料収納コンテナの設置位置の違いによる重量保持率のばらつき (神戸、2021.11-)

浸漬実験はフィルム試料をコンテナに納め、コンテナを別のかごにぎっしり納めて、まとめて沈めるため、海流の流れはコンテナの奥の方にまで達しない恐れがある。そこで、すべてのコンテナに同じフィルム (PHBH) を入れ、3 週間でどの場所のものがどの程度分解するのか、かご内のマップを作成した。図 2.1.4-13 左のマップ中の数字は重量保持率であり、分解の良く進行したベスト3を黄色網掛で、分解の遅かった3つを水色の網掛の数字で表示した。黄色網掛の数字、水色網掛けの数字、その他の数字ともとくに偏っているようには見えなかった。下層 (1 段目) から上層 (3 段目) までの各段での平均重量保持率もほぼ同じであり、外周部に位置する試料と内部に位置する試料の平均値も同じであり、個々の重量保持率はかなりばらつきは認められるが、かご内の設置場所により、分解に差が出ることはなかった。生分解性材料はそのまま用いられることもあるが、表面を印刷したり着色したりして使われることも多い。そこで表面を油性マジックや塗料で覆い、分解速度への影響について調べた。また、海洋に漂流する過程で表面が汚れると予想されるが、そのモデルとして表のようなものをフィルム表面に塗り付けて浸漬した (表III-2.1.9-5)。中段及び下段の左列は PHBH フィルムそのものであり、重量保持率 87-92%程度であった。マジックで表面に文字を書く程度では対照試料と差はなかったが片面あるいは両面を塗りつぶすと分解はかなり抑制された。中段は表面に塗ることで分解が抑制されると予想、下段は加速されると予想して浸漬試験を行ったが、アクリル塗料やクレ 556 は分解抑制されたがその他は影響はなかった。ニスも塗布による影響はなかった。下段も顕著な分解の加速は認められず、浸漬により容易に洗い流されてしまうことが原因と考えられた。

表Ⅲ-2.1.9-5 PHBH(200 μ m)フィルム表面を汚して浸漬試験した結果 (神戸、2022.2-)

3+6w	文字書き込み	片面塗り	両面塗り
黒マジック	90.6	89.3	98.7
青マジック	93.4	93.1	99.9
3+6w	処理なし	片面	両面
アクリル塗料スプレー	92.6	102.0	107.1
ニス	91.0	93.3	89.5
クレ556	90.9		99.4
わさび	89.3	89.1	88.4
絵の具	86.9		86.3
ニベアクリーム	91.7	91.9	93.2
マヨネーズ	90.9		93.9
オリーブ油	89.0	92.0	90.7
ハチミツ	86.9		82.9
マーガリン	87.6		99.6
とろけるチーズ	87.6		95.8

(2) 成果の最終目標の達成可能性

研究項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
実海域海水浸漬簡易試験法の開発	<ul style="list-style-type: none"> 異なる年、季節の影響、異なる年度の結果の変動性などの多様な条件での海洋生分解データを蓄積 全国の定点での多様な条件（水深など）下でのデータ収集 分解の遅い樹脂フィルム及び肉厚射出成形試料、添加剤を含む試料、複合材料などでのデータ収集 実海域浸漬試験とラボ試験との相関性に及ぼす海水温や複合材料などの外部因子の検討 実海域浸漬結果予測のための知見収集 	いずれも達成の見通しである

3 種以上の樹脂を対象に、異なる年、季節の影響、異なる年度の結果の変動性などの多様な条件での海洋生分解データを蓄積する。また、全国の定点での多様な条件下でのデータ収集を行うとともに、分解の遅い樹脂フィルム及び肉厚射出成形試料、添加剤を含む試料、複合材料など 5 つ以上の試料を対象に、分解の遅いことが予想される試料では最長 6 か月、分解の速いも

のでは 3 か月の浸漬実験を行い、実海域海水浸漬簡易試験法を ISO 法として提案するための裏付けとなるデータ収集を行う。また、実海域生分解性とラボ生分解性との相関性検討として、海水温の影響、社会実装されうる各種複合材料での相関性について明確にする。ラボ試験からの実海域生分解の予測として、定点試験場所と異なる場所にて実海域試験を行い、実海域試験を実施することなく生分解性を予測するための知見を集める。以上の最終目標に対して、2021年度に ISO 予備提案を終え、2022 年度には ISO NP 原案を提出、投票も終了し、本格審議に入る段階にある。すでに浸漬試験のためのプロトコルが完成しているため、順調にデータ蓄積が可能であり、研究開発は順調に進展すると考えている。

2.1.10 研究項目④「実海域におけるデータ収集、簡易生分解（崩壊度）試験法の開発」 ④-2 実験室試験の課題確認、仮説検証、及び標準化根拠形成のための実海域微生物及び関連データの収集
（担当：製品評価技術基盤機構、（再委託先）岩手大学、広島大学、島根大学、鹿児島大学）

2.1.10.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

海洋プラスチックごみの問題に対する世界規模の様々な取り組みの中で、環境に一定量漏れ出すことがやむを得ない製品に対しては生分解性素材に置き換えることが求められている。生分解性素材が社会に浸透し、メーカーが安心して生産拡大、新たな素材を市場投入するために整備が求められているのが、国際的に受け入れられる認証制度であり、そのための評価法の規格化である。特に陸圏に比べて生分解性が劣る海洋環境において、既存のISO評価法規格は、複数の課題が残されている。そのため、本事業では国際的に納得性のある、再現性、迅速性、簡便さを備えた評価法の規格化を目的とし、それを取り入れた国際的に受け入れられる認証制度の確立、それを介した海洋生分解性素材の市場浸透を加速することを目指している。

(2) 位置づけ、目標値

評価試験法の標準化は、その信用、信頼に基づくものであり、それなくしては消費者理解の観点からも社会に受け入れられず、素材・製品の利用促進、普及と、それに支えられた企業活動としての安定的な生産増強という好ましい循環が達せられない。海洋環境には、地域、地理的特性、気候等と連関して生物学的な多様性があるが、実験室内での素材生分解性評価試験法は、実環境から切り取られた小さな閉鎖人工空間で行われるものであり、実海洋環境の主たる分解者としての微生物の観点で信頼あるデータに裏打ちされる必要がある。また、我が国発の独自の試験法提案のためには、実海洋環境での微生物生分解性の観点からさらなる課題を浮上させ、検討・検証することが必要である。そのため、【研究項目④-2】では、異なる地域の実海域サイトを安定的に運用し、素材の種類、地域、地理的特性、季節等に応じた微生物叢データと微生物株を取得し、それらを対合したサブデータベースを作成することで、【研究項目③-2】の目的である実験室試験法の根拠形成や微生物添加技術の開発を目指すことを目的とする。

実海域で素材表面に形成される微生物叢試料を取得し、そのメタ 16S rRNA 微生物叢解析と微生物叢構成株の分離及び簡易同定を行う。微生物叢解析データと対合を行った分離株は、主たる付着微生物株として適切に保存する。これら付着微生物株は、【研究項目③-2】において生分解性評価を実施し、評価データと微生物叢解析データから海洋生分解に寄与する微生物叢と微生物株を特定する。実海域への浸漬は、国内4カ所（岩手県三陸沿岸部、島根県離島、瀬戸内海離島、鹿児島県沿岸部）にサイトを設置し、地理、生活圏の影響、深度、季節等を加味して行う。目的ごとに細やかな浸漬条件の検討が必要であり、また微生物分離のために現地での速やかな前処理などが求められるため、これらサイト管理や浸漬作業、現地で必要とされる前処理、一部の好氣的微生物株の分離作業等はその地域の大学に再委託する。これにより、地理的に異なる複数の実海域サイトを安定的に運用し、素材の種類、サイトの地理的特性、季節等に応じた微生物叢データと微生物株を取得し、それらを対合したサブデータベースを作成することで、【研究項目③-2】における実験室試験法の根拠形成や微生物添加技術の開発を達成する。また、他の機関が実海域で採取した試料の微生物叢解析や微生物株の分離について

も適宜連携の上で実施する。

(3) 全体計画

研究項目	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
(イ)実海域環境微生物の収集及び解析																				
(イ-1)実海域試料からの微生物分離、保管及び整備																				
(イ-2)環境微生物 DNA 情報の収集、対合及び解析																				
(イ-3)微生物菌株の簡易分類情報の付加																				
(ロ)実海域での試料採取及び前処理(再委託)																				
予算(百万円)																				

予算は、研究項目③-2 との合算額として記載 (2.1.8.1)

2.1.10.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

【中間目標 (2022 年度)】

実海域サイトを再委託先により安定的に運用しながら、素材付着微生物叢データ・微生物株を着実に取得し、季節変動、地理的要因、海域性、素材の種類等の2課題以上に対応するデータ及び主たる微生物株の取得を終了する。また、他の研究項目(①や④)で進められる実海域や実験室における試験法開発の課題解析、試験法提案における課題克服の確認についても、微生物叢データ・微生物株の収集を他の機関との連携により行い、それら目的達成に貢献する。

【最終目標 (2024 年度)】

実海域と実験室試験の相関性の観点で試験法開発に必要とされるデータ項目及び克服すべき課題に関連して、実海域環境試料から分離された素材付着微生物株及び微生物叢データの整備と適切な保管を行い、研究項目③-2の実施を介して、研究項目①における試験法条件等の実海域における根拠形成や、微生物添加要素技術の試験法への組み込みを達成する。また、他の

参画機関で進められる実海域試験法開発の課題解析、提案試験法における課題克服の確認について、微生物叢データや微生物株の収集を行うことで、実海域生分解試験法の ISO 提案等の目的達成に貢献する。

研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(イ) 実海域環境微生物の収集及び解析	素材付着微生物叢データ・微生物株を着実に取得し、季節変動、地理的要因、海域性、素材の種類等の2課題以上に対応する微生物叢データや微生物株の取得を終了する。また研究項目④-1で進められる実海域試験法開発の課題解析、提案試験法における課題克服の確認についても、微生物叢データ・微生物株の収集を他の機関との連携により行い、それら目的達成に貢献する【機関連携】	一連の実海域試料から 11,000 株以上の微生物検体を分離した。	△ 60% (中間目標に対する達成見込み時期は 2022 年度末までを想定)	【今後の課題】実海域素材付着微生物叢解析で見いだされているが、分離されていない微生物株の存在 【解決方針】分類群に応じた微生物分離の検討
		一連の実海域試料から約 600 の付着微生物叢データを取得した。また、深海域のバイオフィルム試料の微生物叢解析を実施した【機関連携】。	△ 60% (中間目標に対する達成見込み時期は 2022 年度末までを想定)	【今後の課題】特になし
		実海域試料から分離したすべての微生物検体の DNA 配列に基づく簡易同定を行った。	△ 60% (中間目標に対する達成見込み時期は 2022 年度末までを想定)	【今後の課題】特になし
(ロ) 実海域での試料採取及び前処理(再委託)	実海域サイトを再委託先により安定的に運用し、季節変動、地理的要因、海域性、素材の種類等の2課題以上に対応す	再委託先との細やかなやりとりで安定的に実海域サイトを運用し、一連の実海域試料及び環境データ取得(6種の素材に対して、4地域、2深度、異なる季節、複数の浸漬期間)	△ 70% (目標に対する達成見込み時期は 2022 年度末を想定)	【今後の課題】計画は達成の見込みながら、計画では再委託先との契約は今年

	<p>る試料の取得を終了する。</p>	<p>を 3 回実施し、再委託先と連携して微生物株の分離を行った。</p>	<p>度いっぱいのため、次年度以後の実海域 ISO 試験提案のラウンドロビンテストの実施や、実海域での補足データ、海水の取得等が困難となることが予想される</p> <p>【解決方針】</p> <p>可能であれば、一部の再委託先の契約延長による対応を検討したい</p>
--	---------------------	---------------------------------------	---

成果の詳細

本研究項目においては、(ロ) 4つの異なる地域の実海域サイトを再委託により安定的に運用して、素材の種類、地域、地理的特性、季節等に応じた微生物叢試料及び崩壊度や環境データを取得、(イ) その試料から微生物叢データ (メタ 16S rRNA 解析) や菌量データの取得と微生物株の分離を行い、微生物株については 16S rRNA 配列による簡易同定を行った上で、研究項目③-2の解析へと引き継ぐことを目的としている。また他の機関で実施される簡易実海域試験や、深海などの特殊な環境の試料の菌叢解析等を機関連携で実施する。

本研究項目では、上市済みの以下の海洋生分解性候補素材フィルム、土壌中での生分解が確認されている PLA、及び非生分解性の汎用素材として PET を用いた。

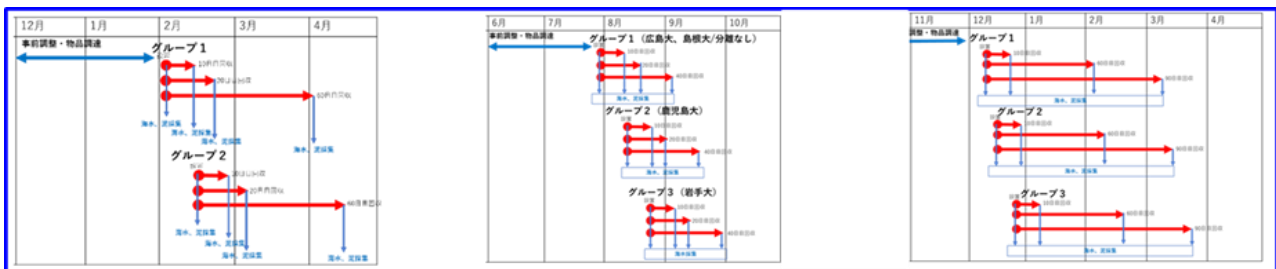
- ・ PHBH (poly3-hydroxy-butyrate-co-3-hydroxyhexanoate)
- ・ PBSA (polybutylene succinate adipate)
- ・ PCL (polycaprolactone)
- ・ PGA (polyglycolide)
- ・ PLA (polylactide)
- ・ PET (polyethylene terephthalate)

これら素材フィルムを市販のフィルムマウントに納めた上で治具に挿入し、治具を各実海域サイトに 2 深度で浸漬し、一定期間を経た後に微生物の付着した素材フィルムを試料として適宜回収した (図Ⅲ-2.1.10-1、図Ⅲ-2.1.10-2)。

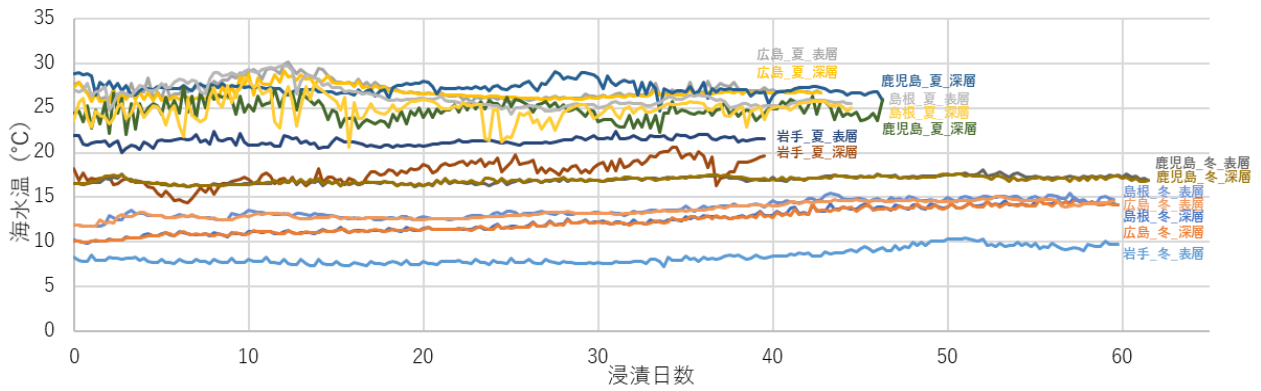
試料採取時の海水温を図Ⅲ-2.1.10-3 にまとめた。冬期試験中は、鹿児島では 17~18℃、島根では 13~16℃、広島では 11~16℃、岩手では 8~10℃であった。夏期試験中は、鹿児島では 25~29℃、島根では 22~29℃、広島では 27~30℃、岩手では 19~22℃であった。



図Ⅲ-2.1.10-1 実海域サイト4カ所と浸漬試料

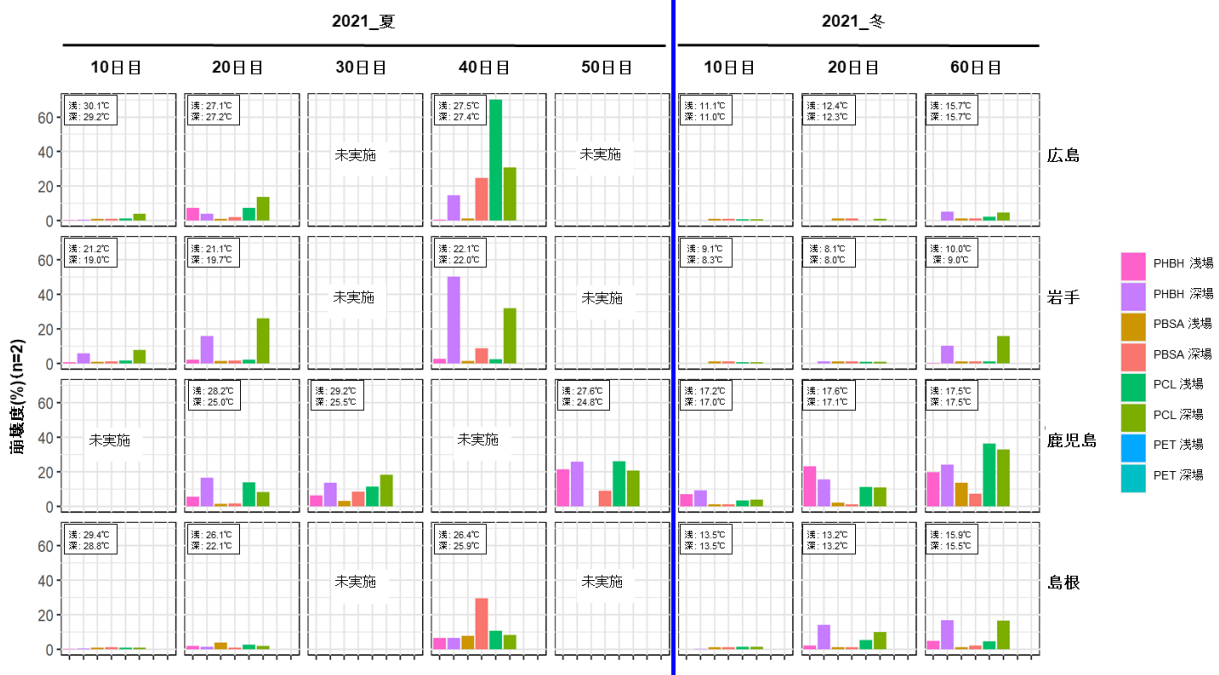


図Ⅲ-2.1.10-2 実海域サイト4カ所での試料浸漬・採取の状況



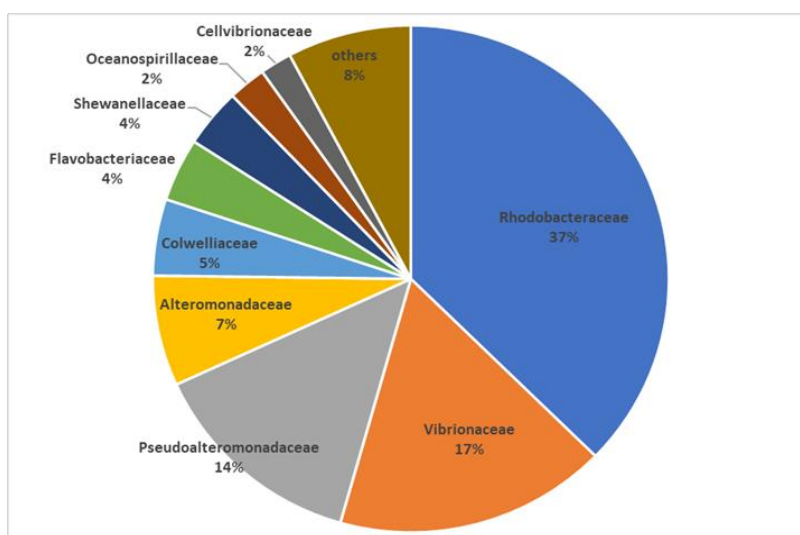
図Ⅲ-2.1.10-3 実海域サイト4カ所における試料採取時の海水温

崩壊度測定では、浸漬後のフィルム上の付着物を取り除き、乾燥させた後に重量測定を行い、試験前後の重量減少率として崩壊度を算出した。崩壊度測定結果の例について図Ⅲ-2.1.10-4に示した。冬期試験中は鹿児島において PHBH、PCL の崩壊度が 20%以上であったが、その他の地域では 20%を超えなかった。また、PBSA は全ての地域で崩壊度は比較的低かった。夏期試験中は崩壊度が地域によって異なっており、鹿児島では冬期と同程度、島根では PHBH、PCL の崩壊度が低かったが PBSA の崩壊度が約 30%であった。一方、広島では PCL の崩壊度が 60%を超え、PBSA も 20%を超えていた。岩手においては PBSA の崩壊はほとんどみられなかったものの、PHBH と PCL は 30%以上の崩壊が確認された。全体的な傾向としては、生分解性素材として知られる PHBH、PCL、PBSA はいずれも重量減少が認められ、冬期よりも夏期で崩壊度が高くなっていた。本研究項目では微生物試料の採取に主眼を置いたため、フィルムの主たる面が海水以外と触れないようにフィルムマウントを用い、治具をデザインした。そのため、素材フィルムの周縁部はマウントに隠れることになり、概してその部分の生分解は進んでいないようであった。そのため、今回得られた崩壊度のデータは本来の崩壊度よりも低く見積もられていると考えている。



図III-2.1.10-4 実海域サイトでの浸漬による各種素材の崩壊度の傾向

微生物の分離では、用いた分離用の培地や培養条件によって優占化しやすい菌種のみが分離されてしまうという培養バイアスの問題が起きる。それを避けるため、サンプルを段階希釈して液体培地に接種し、増殖による濁りが確認された高希釈画分を対象に微生物の分離を行う「希釈培養法」により素材付着微生物叢を特徴付ける主たる微生物株の分離を行った。試料は滅菌人工海水で簡易的に洗浄した後、攪拌による付着微生物群の剥離、回収を行った。液体培地 (Marine broth 2216 (BD Difco)) を入れた 96 ウェルプレートに菌液を接種し、段階希釈列を調製した上で、25°Cで1~2週間培養し、微生物の増殖が確認された最も高希釈のウェル2つの培養液をそれぞれ平板培地 (Marine agar 2216 (BD Difco)) に塗布して 25°Cで培養、出現したコロニーを回収して保存した。各微生物検体は 16S rRNA 遺伝子の部分配列を決定して簡易同定を行った。このようにして、NITEと再委託先4大学で計11,747株を分離し、最終的に10,632株の簡易同定を実施した。分離株の傾向 (図III-2.1.10-5) としては、Rhodobacteraceae科に属する細菌が最も多く3,967株、次いでVibrionaceae科が1,818株、Pseudoalteromonadaceae科が1,462株、Alteromonadaceae科が749株、Colwelliaceae科が519株、Flavobacteriaceae科が428株、Shewanellaceae科が397株、Oceanospirillaceae科が253株、Cellvibrionaceae科が212株、その他に属する細菌を827株分離した。



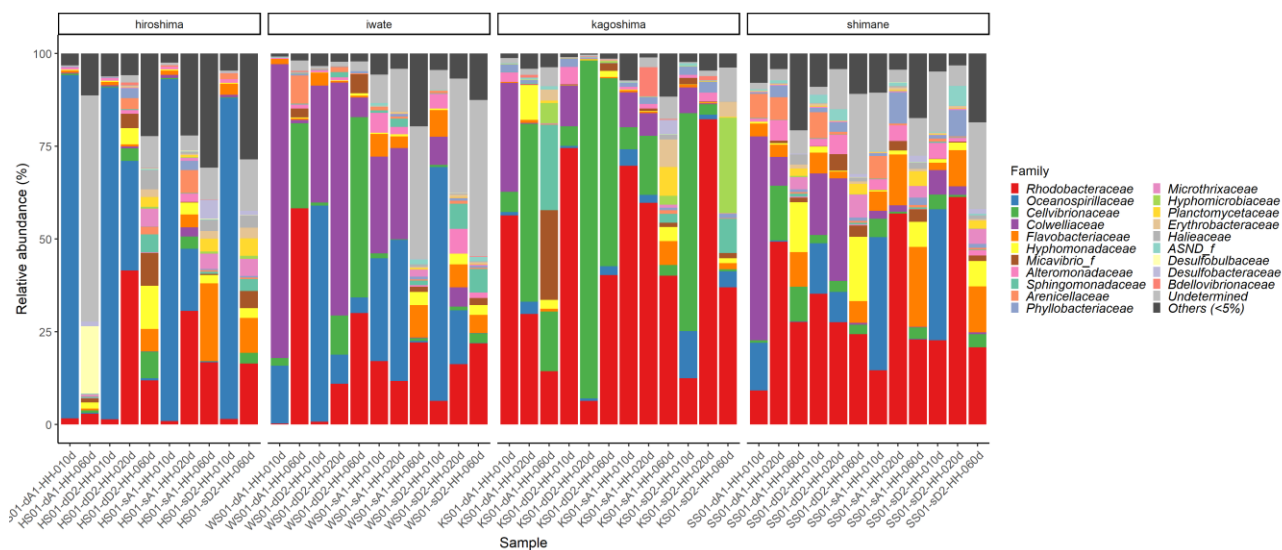
図Ⅲ-2.1.10-5 実海域から分離した微生物株の傾向

付着微生物叢の 16S rRNA 解析用のフィルムは、凍結した状態で NITE に輸送された。到着後、Extrap Soil DNA Kit Plus Ver.2 (バイオダイナミクス) を用いたビーズ破碎によりフィルムから DNA 抽出を行った。抽出した DNA を鋳型に 16S rRNA 遺伝子の V4 領域を PCR 増幅後、MiSeq (Illumina) を用いたアンプリコンシーケンスを実施し、取得したデータは QIIME2 や R による微生物叢解析に供した。さらに、リアルタイム PCR による 16S rRNA 遺伝子のコピー数測定を行った。

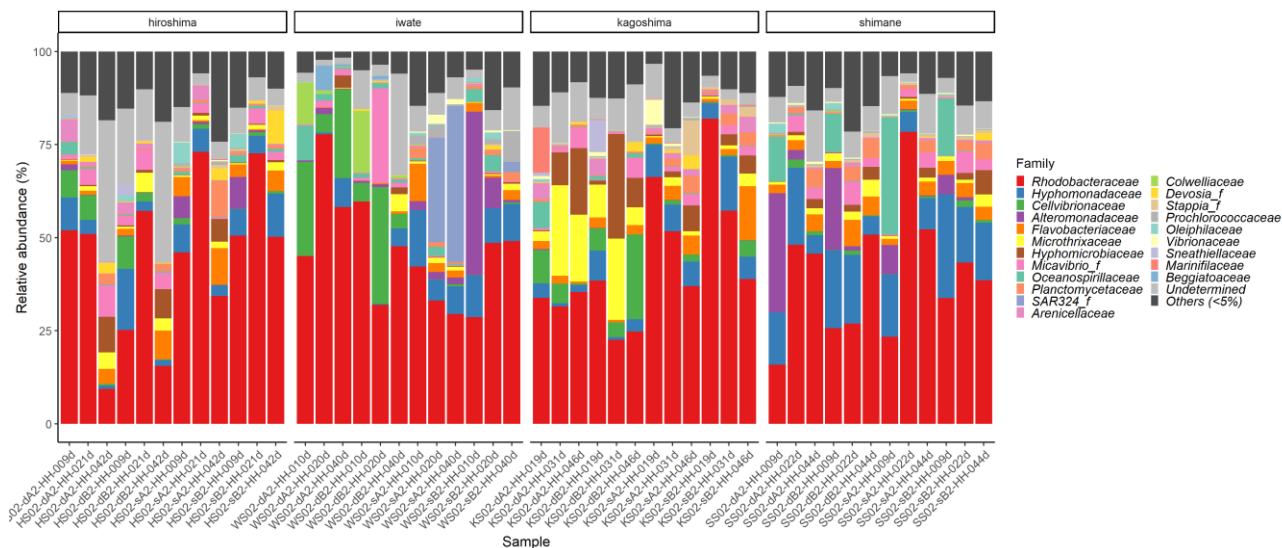
図Ⅲ-2.1.10-6 に微生物叢解析の一例として、PHBH フィルム上で検出されたメタ 16SrRNA 解析による微生物叢を family レベルで比較した積み上げグラフを示した。冬期試験 (図 6-I) において、広島の日目では Oceanospirillaceae 科が優占していたが、浸漬時間が経つとその割合は減少し、Rhodobacteraceae 科、Hyphomonadaceae 科、Flavobacteriaceae 科の割合が増加していた。岩手や島根の日目では Oceanospirillaceae 科の他に Colwelliaceae 科の割合が高くなっていたが、Rhodobacteraceae 科、Cellvibrionaceae 科、Hyphomonadaceae 科、Flavobacteriaceae 科の割合が増加していた。鹿児島の日目では Rhodobacteraceae 科が優占していて Oceanospirillaceae 科はほとんど検出されず、20 日目では Cellvibrionaceae 科が優占し、60 日目では Rhodobacteraceae 科が比較的多く検出されていた他はフィルム間でばらつきが生じていた。

夏期試験 (図 6-II) において、全体的に冬期試験に比べて Rhodobacteraceae 科の割合が増加し、最優占科となった。次いで、Hyphomonadaceae 科が各地域に共通して検出されているもののその割合は小さく、その他検出された微生物群は地域や浸漬した深度によって異なっていた。具体的には、広島の浅場では浸漬時間が経つと科が同定できなかった微生物群が増加した。岩手の深場では Cellvibrionaceae 科、浅場では Alteromonadaceae 科や SAR324_f が優占していた。鹿児島の日目では Microthrixaceae 科や Hyphomicrobiaceae 科が優占していた。島根では浅場と深場で差はさほど見られず、Rhodobacteraceae 科、Hyphomonadaceae 科、Alteromonadaceae 科、Oceanospirillaceae 科などが半分以上を占め、その他同程度の割合で検出される科で構成される微生物叢を形成していた。フィルムの素材が変わると優占する科に違いがあり、さらに冬期試験と夏期試験、特に岩手においては浅場と深場でも菌叢が異なっていた。

I)



II)



図Ⅲ-2.1.10-6 実海域での PHBH フィルム付着微生物叢 (family レベルの積み上げグラフ)

微生物叢解析で検出された微生物種のうち、各素材で検出割合の合計が上位にくる微生物種に対して、取得した分離株が含まれているかどうかの確認を行った (表Ⅲ-2.1.10-1、表Ⅲ-2.1.10-2)。PHBH、PBSA、PCL のどの素材においても、上位 20 種のうち 15 種に対応する分離株が取得できていることを確認した。

表Ⅲ-2.1.10-1 PHBH 付着微生物で上位に検出された微生物種 (対応する分離株が存在する場合を黄色の網がけで示した)

Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Rhodobacteraceae;__;__	25.60211
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;Oceanospirillales;Oceanospirillaceae;__;__	7.960878
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;Alteromonadales;Colwelliaceae;Colwellia;__	4.096025
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;Cellvibrionales;Cellvibrionaceae;__;__	3.759268
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;__;__;__	2.418294
Bacteria;__;__;__;__	2.297878
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Rhodobacteraceae;Sulfitobacter;__	2.132995
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Hyphomonadaceae;__;__	1.750038
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;Cellvibrionales;Cellvibrionaceae;Teredinibacter;__	1.365003
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Rhodobacteraceae;Phaeobacter;CYTW_s	1.146318
Bacteria;Bacteroidetes;Flavobacteria;Flavobacteriales;Flavobacteriaceae;__;__	1.109508
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Rhodobacteraceae;Pseudophaeobacter;Pseudophaeobacter leonis	1.068222
Bacteria;Actinobacteria;Acidimicrobia;Acidimicrobiales;Microthrixaceae;DQ395423_g;FN424398_s	1.066709
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodospirillales;Micavibrio_f;EU328098_g;__	0.931925
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;Cellvibrionales;Cellvibrionaceae;Aestuariicella;__	0.914737
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Rhodobacteraceae;Pseudopelagicola;Pseudopelagicola gijangensis	0.884635
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Hyphomonadaceae;CP017718_g;CP017718_s	0.820341
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Rhodobacteraceae;Shimia;__	0.807391
Bacteria;Cyanobacteria;Chroobacteria;__;__;__	0.75876
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhizobiales;Hyphomicrobiaceae;AM997334_g;AB106120_s	0.737254

* 対応する分離株が存在する場合を黄色の網がけで示した

表Ⅲ-2.1.10-2 PBSA 付着微生物で上位に検出された微生物種 (対応する分離株が存在する場合を黄色の網がけで示した)

Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Rhodobacteraceae;__;__	15.13827
Bacteria;__;__;__;__	5.821646
Bacteria;Cyanobacteria;Chroobacteria;__;__;__	4.0767
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhizobiales;Hyphomicrobiaceae;__;__	3.567625
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;__;__;__	2.935822
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;Cellvibrionales;Cellvibrionaceae;Aestuariicella;__	2.713168
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;Oceanospirillales;Oleiphilaceae;Oleiphilus;__	2.533837
Bacteria;Actinobacteria;Acidimicrobia;Acidimicrobiales;Microthrixaceae;DQ395423_g;FN424398_s	2.367822
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Hyphomonadaceae;__;__	2.010692
Bacteria;Bacteroidetes;Flavobacteria;Flavobacteriales;Flavobacteriaceae;__;__	1.611335
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Rhodobacteraceae;Sulfitobacter;__	1.361009
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;__;__;__	1.315436
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Hyphomonadaceae;Hyphomonas;__	1.306375
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;Cellvibrionales;__;__;__	1.041724
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;Oceanospirillales;Oceanospirillaceae;Spongiispira;FJ17242_s	1.006848
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Hyphomonadaceae;Ponticaulis;Ponticaulis koreensis	0.98689
Bacteria;Proteobacteria;Gammaproteobacteria;Cellvibrionales;Cellvibrionaceae;__;__	0.8668
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Sphingomonadales;Sphingomonadaceae;Sphingorhabdus;__	0.849365
Bacteria;Bacteroidetes;Flavobacteria;Flavobacteriales;Flavobacteriaceae;Tenacibaculum;__	0.842528
Bacteria;Proteobacteria;Alphaproteobacteria;Rhodobacterales;Rhodobacteraceae;Pseudophaeobacter;Pseudophaeobacter leonis	0.758199

* 対応する分離株が存在する場合を黄色の網がけで示した

(2) 成果の最終目標の達成可能性

3 課題以上に対応する微生物叢データ及び微生物株の取得を同時に進めており、既に 2 課題に対応する取得は進んでいるため、3 課題以上に対応した実海域素材付着微生物株及び微生物叢データ取得の最終目標は達成の見込みである。

研究項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
(イ) 実海域環境微生物の収集及び解析	実海域と実験室試験の相関性の観点で実海域素材付着微生物株及び微生物叢データの整備と適切な保管を行い、研究項目③-2 の実施を介して、研究項目①における試験法条件等の実海域における根拠形成や、微生物添加要素技術の試験法への組み込みを達成する。 研究項目④-1 で進められる実海域試験法開発における課題解析、試験法提案における課題克服の確認について、微生物叢データ取得や微生物株分離を行うことで、実海域生分解性試験法の ISO 規格化の目的達成に貢献する。	3 課題以上に対応する微生物叢データ及び微生物株の取得を同時に進めており、既に 2 課題に対応する取得は進んでいるため、達成の見込みである。
(ロ) 実海域での試料採取及び前処理(再委託)	計画では 2022 年度末で終了。	安定的にサイトを運用し、連携も密にとれているため、達成の見込み。

2.1.11 研究項目④「実海域におけるデータ収集、簡易生分解（崩壊度）試験法の開発」 ④-3 深海実験の結果を基軸とした評価法の開発

（担当：東京大学、（再委託先）海洋研究開発機構）

2.1.11.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

プラスチックの海洋分解性評価は、採取した海水を用いて実験室で行う BOD 生分解試験、サンプルを岸壁などに設置してその生分解性を評価する方法の2つにより行われている。プラスチックは陸上で使用された後、回収の手から漏れたプラスチックごみは川を經由して最終的には海に流れ込む。海に流れ出たプラスチックごみは光分解や物理的な崩壊によりマイクロプラスチックするが、多くのプラスチックごみは表面に微生物が付着してバイオフィルムを形成し、その重さにより深海底に沈む。これにより、分解されないプラスチックは数百年に亘って深海底に残り続ける。

生分解性プラスチックは海洋プラスチック汚染の解決策の一助として考えられているが、深海底に沈んだ生分解性プラスチックが本当に生分解されるか否かについては、これまで誰も実験を行っていない。そこで本研究では、研究項目②-2 で作製した様々な形状を持つ生分解性プラスチックを実際に深度 850メートルの深海底に設置し、その分解性の評価および付着する微生物の解析を行うことを第 1 の目的とする。さらに、同様のサンプルを岸壁にも設置し、岸壁と深海の分解様式および生分解速度の比較を行うことにより、深海分解試験を行わなくても、深海分解を推定できる換算式などの提案を行うことを目的とする。

(2) 位置づけ、目標値

東京大学と再委託先の海洋研究開発機構は、2019 年度に採択された NEDO 先導研究プログラム「様々な生分解性プラスチックの海洋分解性評価」において、2019 年 9 月に深海底（相模湾初島沖深度 850 m）および 2019 年 10 月に岸壁（東京湾・海洋研究開発機構敷地内）に、様々な生分解性プラスチックと非生分解性プラスチックを設置している。海洋研究開発機構は、有人潜水調査船「しんかい 6500」や無人探査機「ハイパードルフィン」・「かいこう」などの深海調査機器を保有する日本で唯一の深海研究に特化した研究開発機関である。本研究では、既に設置したサンプルを 2020 年 11 月頃（1 年 2 ヶ月後）と 2023 年 11 月頃（3 年 2 ヶ月後）に引き上げ、海洋生分解性の度合いとサンプル表面に付着した微生物の解析を行う。さらに、研究項目②-2 で新たに開発する生分解性速度が制御できると期待される高性能な生分解性プラスチックを、回収と同じタイミングで初島沖の同じ深海底に設置し、1 年後あるいは 2 年後に引き上げ、海洋分解性の度合いの比較を行う。

設置・回収にあたり、試験海域の物理化学環境情報（温度、塩分、溶存酸素濃度、圧力、溶存酸素濃度、pH、酸化還元電位など）の測定も同時に行い、海洋生分解の度合いに及ぼす影響評価の一助とする。

回収されたサンプルに対して、重量減少や力学強度の変化、化学組成変化（核磁気共鳴分光法・フーリエ変換赤外分光光度計）の測定をすることで、分解度を定量的に評価する。さらに、播磨 SPring-8 の大型放射光施設の高強度 X 線を用いて、深海底に長期間設置されたサンプルの内部構造変化を解析する。また、回収したサンプルに形成されるバイオフィルムの微生物相や、サンプル上で高度に発現している機能遺伝子の解析を、次世代シーケンサを用いたメタオミクス解析により明らかにする。

(3) 全体計画

研究項目	2020年度				2021年度				2022年度				2023年度				2024年度			
	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期	第1 四半 期	第2 四半 期	第3 四半 期	第4 四半 期
(イ) 深海からのサンプルの引き上げと再設置	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●
(ロ) 深海より引き上げたサンプルの分解度解析		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓
(ハ) 引き上げたサンプル表面への付着微生物の同定		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓		↓
開発経費（百万円）	7.5				7.5				7.5				7.5				7.5			

(4) 実施体制

国立大学法人東京大学

再委託先：国立研究開発法人海洋研究開発機構

2.1.11.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
④-3 実海域におけるデータ収集、簡易生分解（崩壊度）試験法の開発（深海実験の結果を基軸とした評価法の開発）	深海に設置したサンプルの引き上げと新たなサンプルの設置を少なくともそれぞれ2回以上行う。 同様に、岸壁に接したサンプルの引き上げとあたらなサンプルの設置を少なくともそれぞれ3回以上行う。	予定通り行っている	◎ 実際のプラスチックごみの流れを再現するために、岸壁に1ヶ月あるいは2ヶ月設置した後、深海に設置する実験を追加した	サンプル数が非常に多いので、解析に時間がかかるが、学生アルバイトなどを増やして少しでも早く解析を進める。
	サンプル表面に付着した微生物の同定、DNA解析を行う。	予定通り行っている	○	サンプル数が非常に多いので、時間がかかる点が課題であるが、順調に進んでいる。

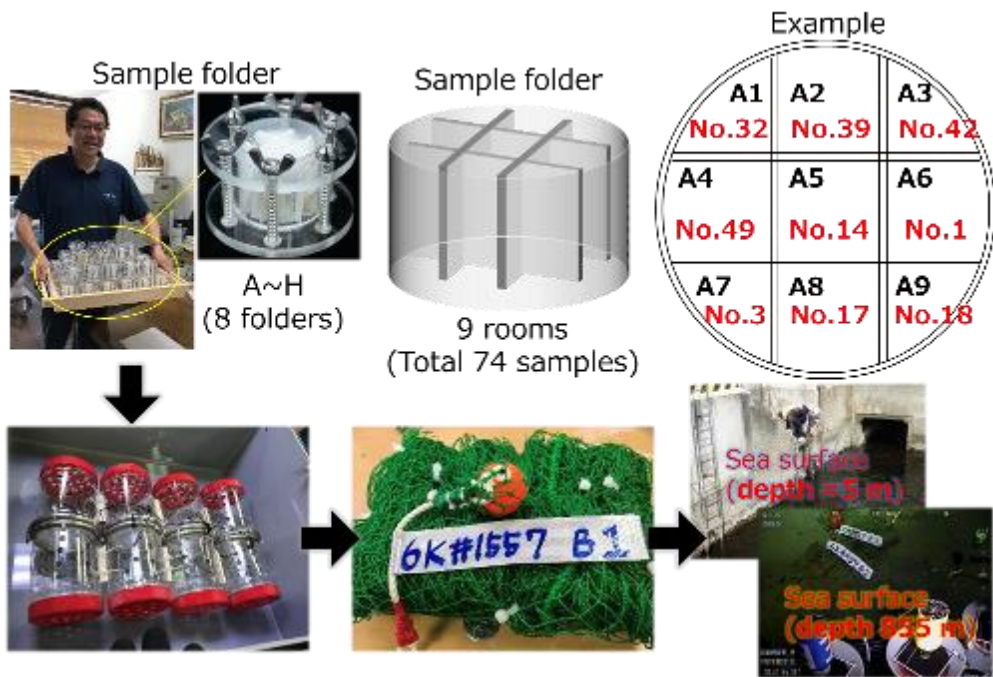
・深海と岸壁に設置したサンプルの引き上げと新たなサンプルの設置

研究項目②-2 で作製した様々な生分解性ポリエステルおよび多糖エステル誘導体の射出成形体、フィルム、繊維を 2020 年 11 月に初島沖 850m、2021 年 5 月に初島沖 850m、明神海丘 1300m、深海平原 5500m に設置した。さらに、岸壁に 2 ヶ月設置したサンプルを 2021 年 10 月に、岸壁に 1 ヶ月設置したサンプルを 2022 年 5 月にそれぞれ初島沖 850m に設置した。図Ⅲ-2.1.11-1 に設置・回収スケジュールを示す。

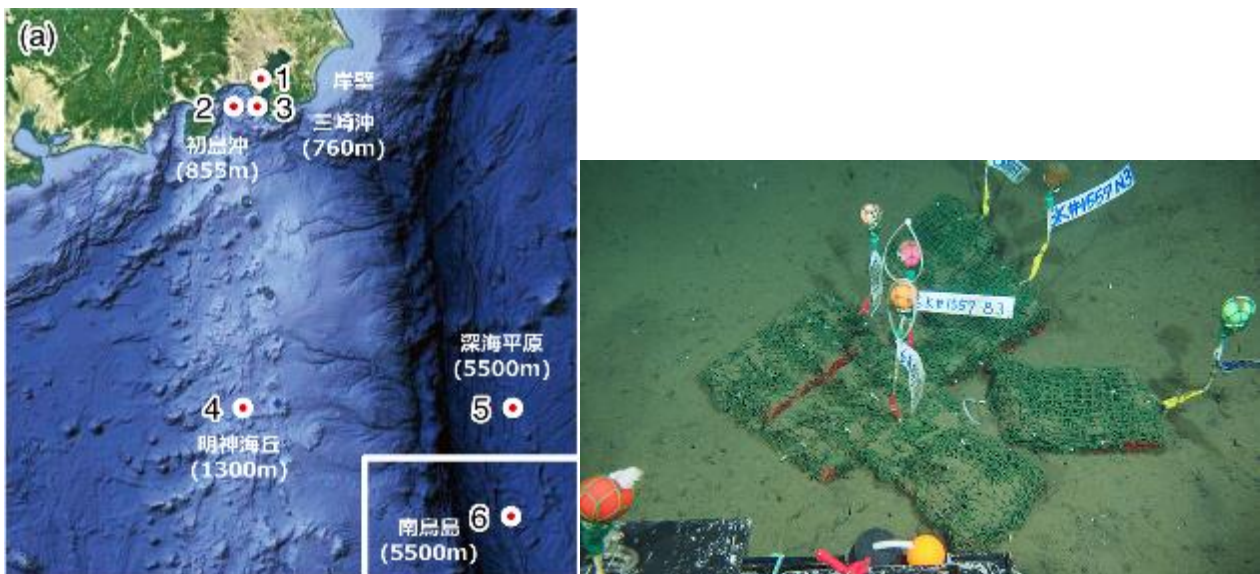
研究項目 (研究担当機関)	NEDO先導		フェーズA	
	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
①深海へのサンプルの設置と回収(東京大学、海洋研究開発機構)				
射出成形体の設置と回収	9月 ● → 1月 ● 9月 ● → 11月 ● 9月 ● → 10月 ○	11月 ●		
フィルムの設置と回収		2月 ● → 5月 ● 2月 ● → 10月 ○ 5月 ● → 10月 ○ 5月 ● → 10月 ○ 5月 ● → 10月 ○ 5月 ● → 10月 ○	明神海丘(熱水域) 深海平原	
岸壁に一定期間設置後、 深海に設置			岸壁8月 ● → 10月 ○ 岸壁5月 ● → 10月 ○	6月 ○ 6月 ○
②回収したサンプルの分解度解析と構造解析(東京大学、海洋研究開発機構)				
分解度解析・構造解析				
③サンプル表面に付着した微生物の解析(東京大学、海洋研究開発機構)				
微生物解析				

図Ⅲ-2.1.11-1 深海および岸壁への設置・回収スケジュール

図Ⅲ-2.1.11-2 に本研究のために作製したサンプルホルダーと実際に設置したサンプル形態を示す。さらに、図Ⅲ-2.1.11-3 に設置した場所の海図(a)と海底にサンプル設置 4 か月後のサンプルの様子(b)を示す。深海に一定期間設置していると海底土がサンプル上に堆積することがわかった。現在、深海から回収したサンプルの寸法変化、重量変化、サンプル表面移付着した微生物の量や種類に関して解析を行っている。



図Ⅲ-2.1.11-2 本研究のために作製したサンプルホルダーと実際に設置したサンプル

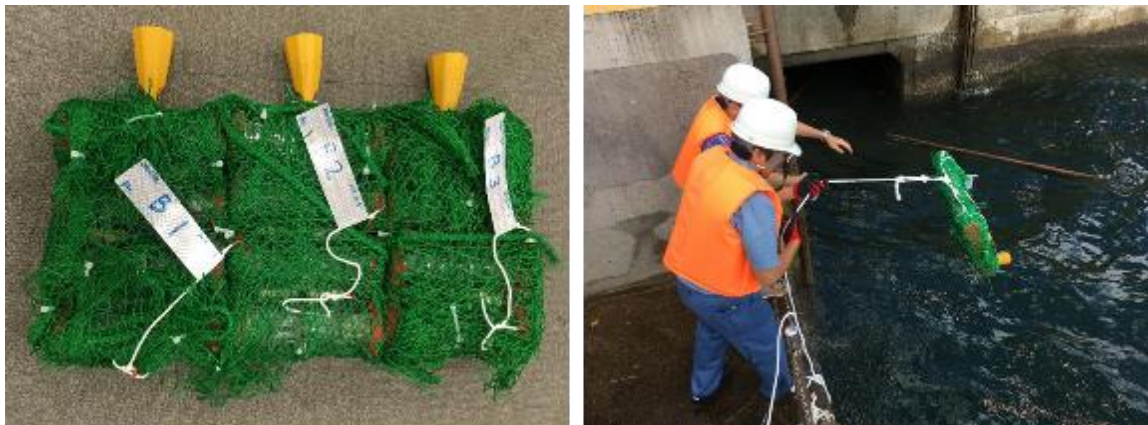


図Ⅲ-2.1.11-3 サンプルを設置した場所の海図 (a) と
初島沖 850m に設置して 4 か月後の海底でのサンプルの様子 (b)



図Ⅲ-2.1.11-4 しんかい 6500（有人潜水艇）のマニピレーター（ロボットアーム）を用いたサンプルおよび海底土の設置・回収の様子
 （左上）サンプル設置の様子、（右上）サンプル回収の様子（海底土と深海水も同時に回収）、
 （左下）サンプル回収後の海底の様子、（右下）サンプルの下の海底土の採取

本研究項目では、深海における分解試験と並行して、岸壁でも分解試験を行っている。図Ⅲ-2.1.11-5は、再委託先の海洋研究開発機構（JAMSTEC）の岸壁（横須賀）にサンプルを沈めている様子である。表Ⅲ-2.1.11-1は、岸壁に約1年間設置した射出成形体の寸法変化を示している。長さ、幅、厚みの全ての方向から分解が進行していることが分かった。

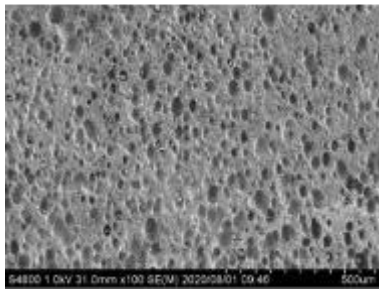


図Ⅲ-2.1.11-5 海洋研究開発機構の岸壁（横須賀）にサンプルを設置する様子

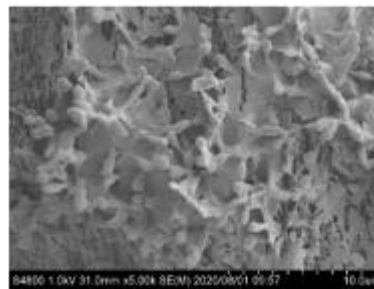
表Ⅲ-2.1.11-1 生分解性ポリエステルを1年間岸壁に設置した際の寸法変化

	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	重量 (g)
設置前	30.0	10.0	4.0	1.30
12ヶ月後	25.5	7.5	2.2	0.39
減少率	15%	24%	45%	70%

表面の様子



付着した分解微生物



図Ⅲ-2.1.11-6 岸壁での分解が進行したサンプル表面と表面に付着した微生物のSEM像

図Ⅲ-2.1.11-6 に示すように、多くの分解微生物が成形体の表面に付着し、表面を一様に分解していく様子が観察された。材料表面には無数の穴が確認され、微生物が分泌した分解酵素により分解が進行したものと考えられる。今回、岸壁で1年間分解試験を行ったところ、厚み方向で1800 μm の減少が認められた。この結果をもとに、現在使用されているレジ袋（厚さ15 μm ）を仮に生分解性プラスチックにした場合、 $15\ \mu\text{m} / 1800\ \mu\text{m} \times 12\ \text{ヶ月} = 0.2$ か月となることがわかった。これらには、微生物が最初に付着に要する期間など考慮していないために、簡単に結論は出せないが、生分解性プラスチックは非生分解性のプラスチックに比べ、間違いなく、海洋プラスチックごみ問題の解決策の一つになり得ると考えられる。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

研究項目	最終目標 (2024年度)	達成見通し
④-3 実海域におけるデータ収集、簡易生分解（崩壊度）試験法の開発（深海実験の結果を基軸とした評価法の開発）	国際標準化に用いることができる岸壁分解度と深海分解度の換算式、さらにBOD分解度と上記2つの環境分解度の換算式を提示する。	達成の見込みである
	表面に付着した微生物の同定、DNA解析などを行い、国際標準化に用いる微生物カクテルの作製を支援する。	達成の見込みである

2.1.12 研究項目⑤「生態毒性評価法の開発」

2.1.12.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

わが国では化審法による化学物質管理の枠組みの中で生態毒性評価が行われており、安定な高分子化合物については“高分子化合物の安全性評価フロースキーム”に従った評価が行われているため生態毒性評価を行う必要が無い。しかし生分解性プラスチックは様々な環境条件や時間変化によって低分子化するため、上記の評価手法での位置づけが曖昧である。一方で低分子化合物とみなせるかどうかは、明らかに既存物質と性質が異なる点が多いため今のところ判断できない。生分解性という特殊な性質を持つ高分子材料について、化学物質としての管理の枠組みが定まっていないのが現状であり、生態毒性評価の必要性の有無も含めてその位置づけについて明確にし、必要ならばその評価系を準備する必要がある。

そこで、今後その需要の増加が見込まれる生分解性プラスチックに関して、先見的に新たな安全性基準を作成し、その ISO などの国際標準化を目指すことを目標とする。

製造業者にとって、安全性基準が自主管理から公的なものになることにより、より消費者に配慮し、法規制を順守した製品を作ることができる。

標準化された安全性基準が作成されると、国民は安心を得ることができ、国は化学物質管理政策に資することができ、製造業者にとってはその基準を目標に商品の開発・上市が可能になり、国際競争力も増加する。

本研究課題開始時には、生態毒性に関する国際標準化法は存在していなかったが、現在 ISO に生分解性プラスチックに関する海洋性生態毒性試験法の提案が行われている (ISO5430)。本提案ではその試験法の動向についても注目しつつ、より良い方法の提案を目指す。さらに ISO の国際標準化と並行して、化審法の枠組みの中に生分解性プラスチックに関する特記事項の追記の提案も目指す。

(2) 位置づけ、目標値

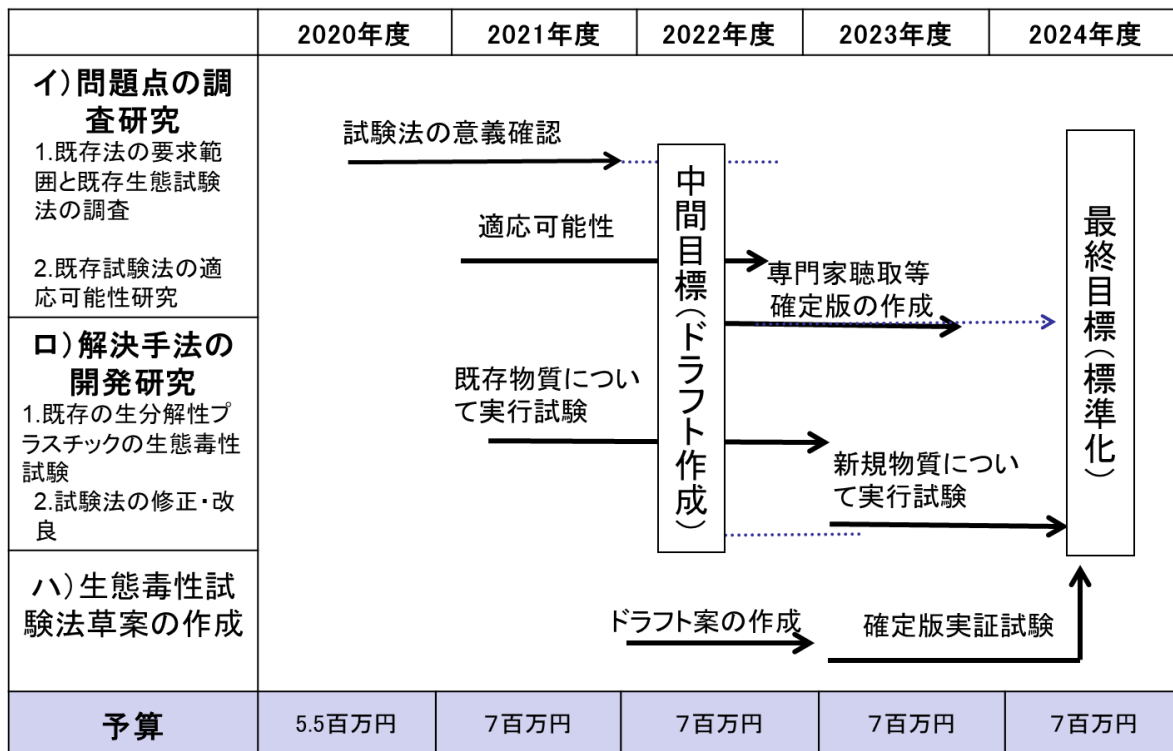
様々な種類の生分解性プラスチックについて、生態毒性評価を既存の枠組みの中に当てはめた場合の問題点についての検証を行う。

具体的には、3~5 種類程度の物性・構造等の異なる生分解性プラスチックについて、化審法の既存の生態毒性評価手法が適用できるかどうかについて実際に生物試験を行い、その結果および有識者の意見を参考にして新たな生態毒性試験法の必要性を十分に吟味したうえで、必要ならば新たな試験法を作成する。もし必要ではない場合にはその根拠となる科学的なデータを取得し公開する。例えば、既存の改訂高分子フロースキームが生分解性プラスチックに適用される可能性およびその場合の問題点、難分解、易分解化学物質に相当するかどうかの解釈、また、低分子の試験・低懸念ポリマー試験・通常のポリマー試験のいずれに分類されるか、あるいは通常新規化学物質として扱うべきか（その場合、分解産物あるいは変化物試験についての考え方も含む）等が検討項目として考えられる。仮に通常新規化学物質として扱うことになった場合、既存の枠組みと矛盾する点を明らかにし、対応案を考える。

懸念された問題に対する解決策として新たな生態毒性評価手法の開発が必要ならそれを開発し、実際に幾つかの生分解性プラスチックをその手法に適用して、安全性評価が可能かどうかについての検証を行う。

具体的には、考案した方法についての酵素や細菌による生分解性という特殊な特徴を持つ生分解性ポリマーについて、上市前または上市後の材料をその製造業者より供出してもらい、それらが新たに考案した評価スキームについて適用できるかを検証しなければならない。また国際標準化の提案を行うためには、その方法の妥当性について複数のG L P試験機関によるリングテストを実施する必要がある。

(3) 全体計画



図Ⅲ-2.1.12-1 全体計画図

(イ)：現行の化学物質管理の枠組みの中で生分解性プラスチックが有する問題点について調査し明らかにする。

(イ - 1)：生態毒性評価法の必要性および既存試験法への適用可能性について文献および(ロ)での実際の曝露実験結果等を参考にして検討する。

さらに現在ドイツ等から提案中の生分解性プラスチックの生態毒性に関する ISO 提案 (ISO5430) について、その内容を精査し、コメントを提出するなどしてその成立に協力するとともにその長所、短所を理解したうえで、独自提案作成の参考にする。

(イ - 2)：生分解性プラスチックに対して既存の生態毒性試験法を適用した場合を想定し、その問題点を予測し適切な試験法について考察する。

(ロ)：既存および新規の生分解性プラスチックについて、数種類の生物および既存の試験方法を用いて実際に試験を行い、生分解性プラスチックに適する生物種、試験方法、試験条件、前処理法等についての検討を行う。

(ロ - 1)：既に上市されているまたは業者より購入できる生分解性プラスチックについて、(イ)で検討した化審法。ISO や米国 EPA 等にある既存の生物試験法を基に生態毒性試験を行う。

(ロ-2) : (ロ-1) で得られた結果を基に、実際に試験を行った場合に生じた問題点を洗い出し、試験法の修正、改良を行う。

(ハ) : 前項 (イ) および (ロ) の検討を基にして、生態毒性試験の草案を作成する。草案を基にして、再度 (ロ-1) を実施し、草案に修正が必要であれば適宜修正を行う。また、本問題に関連した学会等に属している専門家らから意見を聴取し、試験法の妥当性についての検討を行う。具体的には迅速な生物分解による中間物の入手方法、加水分解等による前処理方法など発生した問題の解決に資する実験的な検討を行い。実証データを取得する。

2.1.12.2 研究開発成果

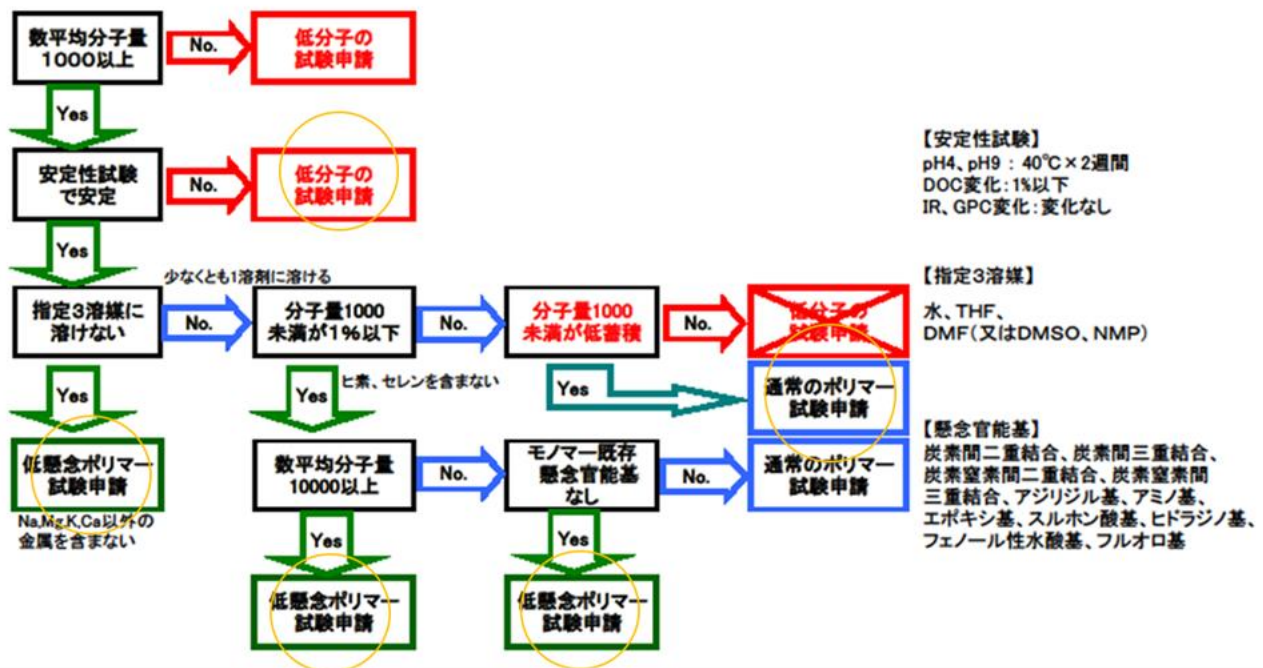
(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
問題点の調査研究	生態毒性試験実施における課題の抽出およびその整理。既存生態毒性試験法の適用性調査。	現行の化学物質管理の中で、生分解性プラスチックに対して、生態毒性試験の必要性を明らかにした。 化審法、OECD および ISO など既存の試験法を調査し、生分解プラスチックに特化した評価手法が存在しないことを確認した。現在審査中の ISO (ISO5430) の承認に貢献。	○	【今後の課題】 ISO5430 の承認に向けて協力するとともに、サンプルの調製法についてさらに情報を収集する。 【解決方針】 安定性試験を再検討し、既存の化審法に準じた考え方を模索する。
解決手法の開発研究	既存の生分解性プラスチックを対象にした、生態毒性試験の実施。	既存の生態毒性試験を適用し、その結果から実行上の課題 (サンプル前処理方法の検討など) を明確にした。	○	【今後の課題】 被験サンプルの分解物、残渣を調製する手法の検討が必要。既存生態毒性試験法の改良を検討する。 【解決方針】 生分解性プラスチックのサンプルを入手し、前処理の条件を変えて生態毒性試験を行う。
生態毒性試験法の草案作成	試験法の原案を作成する	被験サンプルの入手。生態毒性試験方法原案の作成	○実施途中 2023年2月達成見込み	【今後の課題と方針】 未決定の部分はあるがまず原案を作成し、専門家に意見を伺う。

現行の化学物質管理の中で、通常新規化学物質については生態毒性試験が義務付けられているが、生分解性プラスチック自体は、使用中および廃棄時には高分子化学物質であり、水に対して不溶性のため、化審法の枠内で一般化学物質としては生態毒性試験の対象外であるが、その分解物または残渣は水に可溶性で生態毒性試験の対象となる可能性がある。また生分解性プラスチックは高分子化学物質のため高分子フロースキームのなかで扱われる可能性がある。

生分解性プラスチックの、生態毒性試験の必要性有無について明らかにした。

図Ⅲ-2.1.12-2 で、通常生分解性プラスチックはすべて分子量 1000 以上の高分子化合物だが、種類の違いによるいくつかの特徴でフロースキームをたどると黄色い○印の低分子、通常ポリマーおよび低懸念ポリマーのどれかに該当する可能性がある。化審法ではその3つうち低分子の試験申請に該当する場合にのみ生態毒性試験が要求されている。生分解性プラスチックが低分子の試験申請になるのは、安定性試験（緩衝液(pH4 および 9)中で、室内光下、40℃でかく拌曝露を2週間行い、サンプル重量、分子量、IR および、ろ液の DOC（溶存有機炭素）の測定）を実施して、重量等に変化があった（安定ではない）場合に該当する。通常分解に数か月を要する生分解性プラスチックが無生物状態の2週間で分解するかどうかはまだ確認が終わっていない。つまり、親物質の生分解性プラスチックについては、化審法上では低分子の試験申請に該当した場合には、通常生態毒性試験が必要とされるが、通常ポリマーか低懸念ポリマーに該当した場合には、生態毒性試験は必要ないと考えられる。一方、生分解性プラスチックは環境中で分解されることを前提に作られているため必ず低分子化される。化審法では1%以上の分解物が派生する場合にはそれらの物質も生態毒性試験の対象となるため、当然生分解性プラスチックの途中分解物は生態毒性試験の対象となる可能性が高い。ただし環境中で2次に派生した低分子物質は自然界での化学反応によってできたものと考えれば化審法の対象にならないという解釈もできるが、化審法の中に生分解性プラスチックのような易分解と難分解の中間の性質を有するような新たな性質の化学物質に関する記載がないため現時点で生態毒性試験の必要性は不明であるものの、化学物質の取り扱いに対して安全側の立場から、生態毒性試験法を標準化し、毒性データを得ておくことは重要であると考えられる。



図III-2.1.12-2 化審法の高分子フロースキームに生分解性プラスチックを当てはめた場合

化審法、OECD および ISO など既存標準試験法を調査した結果、生分解プラスチックに特化した生態毒性評価手法は見当たらなかった。ただし、現在審査中のISO（ISO5430）は海洋生分解性プラスチックの生態影響に関するものであった。ISO3450の長所短所を解析し、今後我が国に適した手法や条件を考慮して新たな試験法を本プロジェクトで開発する。具体的には、使用する試験生物の種類、サンプルの前処理法などの改良を行う。

客観的に利用可能な生分解性プラスチックに適した生態毒性試験法の原案を、今年度末を目安に作成する。来年度以降に原案を用いて実際に新たな生分解性プラスチックに適用してデータを取得するとともに、専門家の意見を聴取して、必要とあれば適宜修正を行う。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

研究項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
生態毒性試験法の調査研究	試験法の問題点を明確化する。試験生物を確認する。ISO5430 承認に協力する。	サンプル前処理、試験生物の選択等の問題が明確になったので、それらについて実験的に検討し、解決する。ISO5430 はいつ承認されるか不明であるが、最後まで協力する。
生態毒性試験の開発研究	生態毒性試験に使用するサンプルの前処理法の提案	いくつかのアイデアを提案する。どれが良いかは専門家の意見も参考にしつつ解決する。
生態毒性試験法の草案作成	新規ガイドラインの草案の作成	現行の試験法を基にして実施可能なものを作成する。使いながら修正を加え、最終的な草案を作成する。

サンプルの前処理法の検討が終了したら、学会発表、論文発表等を行い、広く世間にその是非を問う。

ドラフト版ガイドラインができたなら、生分解性プラスチック製造メーカーから新規のサンプルを提供してもらい、生態毒性データをフィードバックし、メーカー側の意見も収集する。ドラフト版を修正して最終版を作成したら、それを基に環境省 GLP ラボ数社でリングテストを行い、完成版とする。もし必要があるなら、ISO 等国际標準化の提案を行う。

2.1.13 研究項目⑥「海洋プラスチック低減効果の推定」

2.1.13.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

プラスチックの海洋生分解性試験手法が確立した場合も、それだけでは海洋プラスチックごみの低減がもたらされるわけではない。海洋生分解性プラスチックの導入・普及の程度や、生分解性試験をクリアしたプラスチックの実環境での分解を評価することが必要である。また、試験方法の設計や、材料開発の方向性によっては海洋プラスチックごみの分解と海洋マイクロプラスチックの生成はトレードオフとなる可能性もあるため、両者を合わせて考慮していく必要がある。

本研究項目の目的は以下のとおりである。海洋生分解プラスチックと被代替プラスチックのフローと排出量を推定し、モデル解析によって海洋プラスチック低減の評価を行う。具体的には、代替と被代替の対象プラスチックの廃棄量と環境中への流入量を定量化する。海洋生分解性プラスチックへ適用可能な河川・海域モデル構築、海洋生分解性試験の実環境への外挿手法の構築を行い、プラスチック製品に海洋生分解性を付加することによる海洋プラスチック低減効果（海洋プラスチックごみ及びマイクロプラスチック）を定量化する。

(2) 位置づけ、目標値

本研究項目の校正を下図に示す。本研究項目では、海洋生分解性プラスチックへの代替動向を整理し、海洋生分解性プラスチックの導入シナリオを作成するとともに、海洋生分解性プラスチックの製造から廃棄までのマテリアルフロー解析手法を構築する。そして、海洋生分解性プラスチックと被代替プラスチックの国内フローと環境中への排出量を推定する。海洋生分解性プラスチックへ適用可能な河川・海域モデル構築、海洋生分解性試験の実環境への外挿手法の構築を行い、プラスチック製品に海洋生分解性を付加することによる海洋プラスチック低減効果（海洋プラスチックごみ及びマイクロプラスチック）を定量化する研究を行う。河川・海域のモデル構築では、プラスチックの移流拡散、沈降・再浮上、生分解等の動態メカニズムを反映させる。

とくに実環境での分解の評価については、海洋生分解性試験手法の構築にかかるサブテーマと連携して行う。

マテリアルフロー解析および河川・海域モデルの構築では、外注役務により解析に必要なデータの収集やモデル改良に伴うプログラムコーディング作業等を行う。分解性試験結果の実環境への外挿手法の構築では外注役務により解析に必要なデータの収集等を行う。

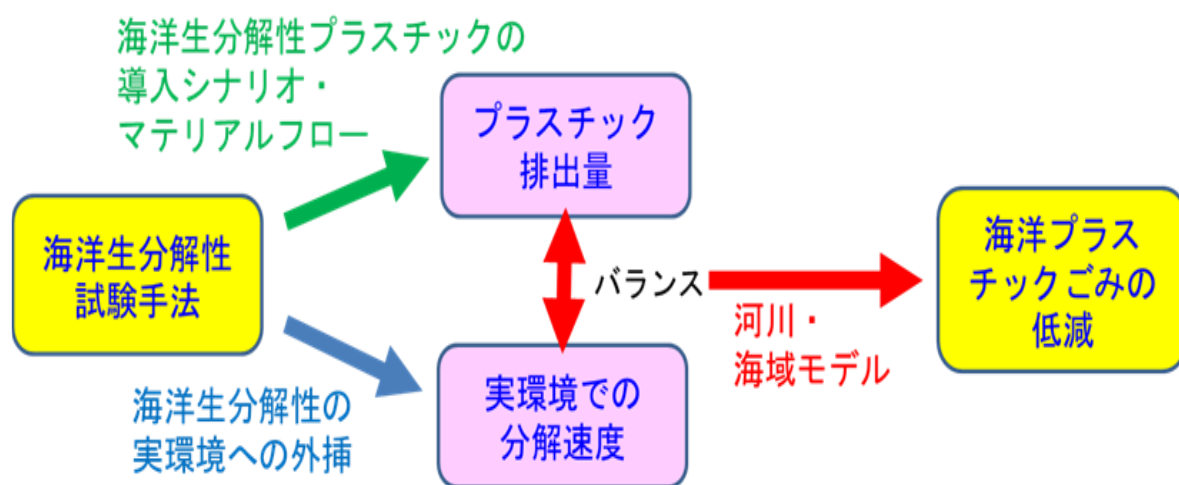
【中間目標（2022年度）】

海洋生分解性プラの低減効果をモデル解析シナリオを作成するためには、各種製品に対し、海洋生分解性プラの現実的な導入可能性を検討する必要がある。海洋生分解プラの導入シナリオを作成し、海洋生分解プラスチックのマテリアルフロー解析手法を構築する。具体的には、3つ以上の処分方法パラメータを有するプラスチックの環境中への流入フロー推定手法を作成する（事業項目イ、ロ）。また、海洋生分解プラへ適用可能な河川・海域モデルと分解性試験結果の実環境への外挿手法を構築する。具体的には、構築した改良モデルによる解析結果を河川モデル、海域モデルにおいて、それぞれ1つ以上提示する（事業項目ニ）。また、実海域で

の生分解速度を推定することができ、河川・海域モデルに適用可能な推定式の雛形を構築する（事業項目ホ）。これは、生分解試験による生分解速度関連データを、河川・海域モデルが持つパラメータと対応させる必要があるためである。

【最終目標（2024年度）】

海洋生分解プラスチックと被代替プラスチックのフローと排出量を推定し（事業項目ハ）、モデル解析によって海洋プラスチック低減の評価を行う（事業項目ヘ）。具体的には、代替と被代替の対象プラスチックの廃棄量と環境中への流入量を定量化する（事業項目ハ）。2つ以上のシナリオについて海洋プラスチックのモデル解析を行い、低減の評価を実施する（事業項目ヘ）。海洋生分解プラ代替による低減効果を明らかにするためには、代替 vs 非代替の変化を定量化する必要があるためである。



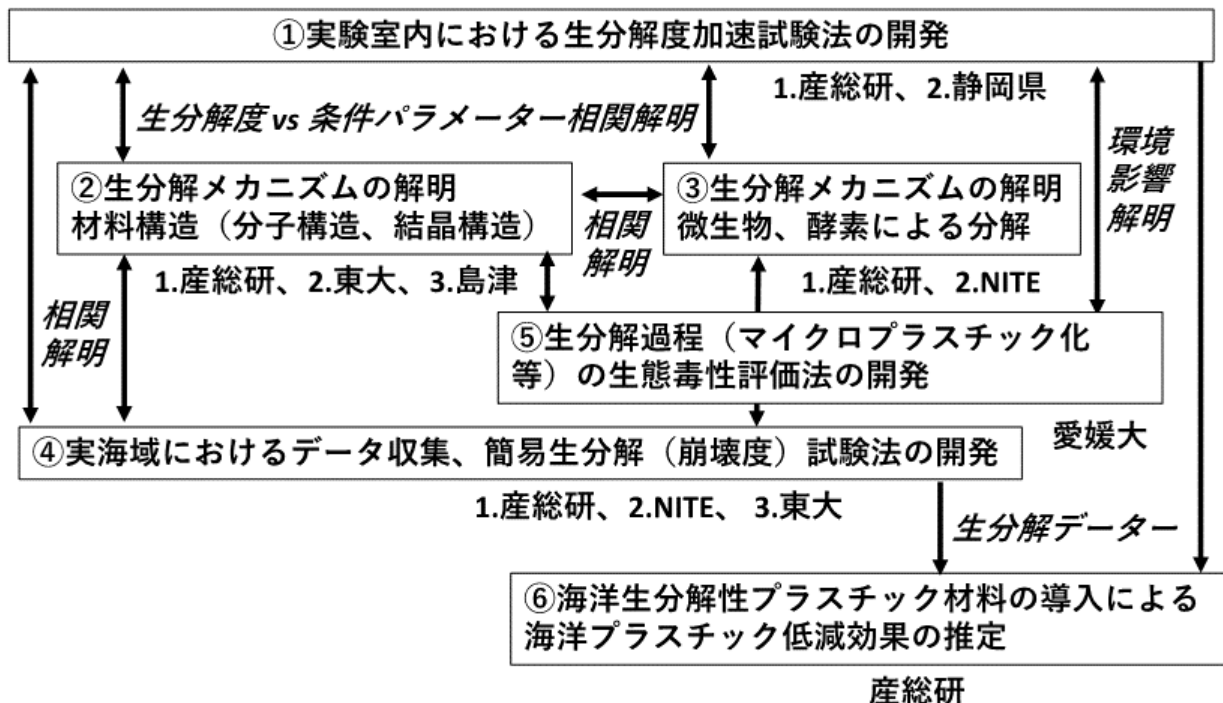
図Ⅲ-2.1.13-1 本研究項目の構成

(3) 全体計画

	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度		
(イ) 海洋生分解性プラの導入シナリオ作成	代替可能性調査		導入シナリオ作成	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px;">中間目標</div> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 5px;">最終目標</div> </div>			
(ロ) マテリアルフロー解析手法構築	プラ出荷量データ作成	環境流入起源特定	環境流入フロー推定手法作成				
(ハ) 海洋生分解プラと被代替プラのフローと排出量推定						廃棄量定量化	フロー・排出量定量化
(ニ) 海洋生分解性プラへ適用可能な河川・海洋モデルの構築	モデル改良方針検討	改良モデルによる解析結果例提示					
(ホ) 分解性試験結果の実環境への外挿手法の構築	文献調査	パラメータ抽出	雛形構築				
(ヘ) モデル解析によるプラ低減の評価						モデル妥当性評価	プラ低減の評価
	25百万円	17百万円	33百万円	40百万円	40百万円		

図Ⅲ-2.1.13-2 本研究項目の全体計画

(4) 実施体制



図Ⅲ-2.1.13-3 実施体制

2.1.13.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

中間目標の達成度を下表に示す。

表Ⅲ-2.1.13-1 中間目標の達成度

研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(イ) 海洋生分解性プラの導入シナリオ作成	海洋生分解プラの導入シナリオの作成	用途別の海洋生分解性プラスチックへの代替可能性を技術・品質の観点からまとめた。	△ 2023年2月 達成見込	【今後の課題】 【解決方針】 海洋生分解プラの導入される可能性が高い製品を抽出し、製品形状、使用方法、代替前後のプラ種類などの導入シナリオを設定する。
(ロ) マテリアルフロー解析手法構築	海洋生分解プラスチックのマテリアルフロー解析手法を構築する。具体的には、3つ以上の処分方法パラメータを有するプラスチックの環境中への流入フロー推定手法を作成する。	容器包装用途プラスチックの樹脂別・用途別廃棄量データを作成した。廃プラスチックの投棄・ポイ捨て後の河川・海域へ流入する部分のモデル化を行った。	△ 2023年2月 達成見込み	【今後の課題】 【解決方針】 河川沿いのごみ収集、ポイ捨て、不法投棄の各場所へのプラスチックの廃棄後、降雨での水位上昇による河川への廃プラスチック流入モデルを構築する。
(ニ) 海洋生分解性プラへ適用可能な河川・海洋モデルの構築	海洋生分解プラへ適用可能な河川・海域モデルと分解性試験結果の実環境への外挿手法を構築する。具体的	開発中の海洋生分解性プラスチック運命予測モデルの検討のため、生分解や沈降の有無による解析を実施し	△ 2023年2月 達成見込み	【今後の課題】 【解決方針】 海洋生分解性プラスチックへ適用可能な河川・海域モデルを構築し、仮

	には、構築した改良モデルによる解析結果を河川モデル、海域モデルにおいて、それぞれ1つ以上提示する。	た。海域モデルの東京湾の有機懸濁物質や栄養塩のデータベースを更新した。		定の海洋生分解性プラスチックの導入シナリオによるモデル解析結果を提示する。
(ホ) 分解性試験結果の実環境への外挿手法の構築	実海域での生分解速度を推定することができ、河川・海域モデルに適用可能な推定式の雛形を構築する。	生分解度試験及び崩壊度試験のデータを解析することで、実環境での生分解速度を外挿するために用いるパラメータ（水温、プラ形状）を抽出した。	△ 2023年2月 達成見込み	【今後の課題】 【解決方針】 河川・海域モデルに適用可能な、プラスチック製品の形状と水温を考慮した、実海域での生分解速度の推定式を構築する。

◎：大きく上回って達成（特筆した成果を記載）

○：達成（成果を記載）

△：概ね達成（成果と未達ともに記載）

×：未達（未達理由について記載）

本研究項目での研究によって、本プロジェクトで開発される試験方法で生分解性と判定されるプラスチックの導入が、海洋プラスチックの低減に及ぼす効果についての情報を提供することができる。そのことにより、当該試験方法の有用性を示し、国際標準化をサポートする。

(イ) 海洋生分解性プラの導入シナリオ作成

日本のプラスチック資源循環戦略では、バイオマスプラスチックを最大限（約200万t）導入している。三菱UFJリサーチ&コンサルティング（2020）では、2030年のバイオマスプラスチック国内市場規模を約100万tとしている。バイオプラスチックへの代替可能性について表III-2.1.13-2に整理した。

表Ⅲ-2.1.13-2 バイオプラスチックへの代替可能性

用途、形態	バイオプラスチック代替状況	2029年予測
食品包装、フィルム	採用が始まっている	バイオPP、バイオPBSが主 海洋生分解プラスチックは限定的（矢野経済、2020）
包装、フィルム	レジ袋、ごみ袋等の使用が開始	バイオプラスチック4万t/年、石油系PE2.8万t/年、紙・海洋生分解プラスチック0.7万t/年（矢野経済、2020）
農業土木、フィルム	農業用マルチフィルム、土木建築用ドレーン材等で使用が開始。	PLAが主
日用品・雑貨、射出成型体	カトラリー、文具等、小さい射出成型体で使用開始。	ストロー：0.59万t/年、PP、紙・海洋生分解プラスチックが各半分程度（矢野経済、2020）
容器、射出成型体	検討例はまだ少ない	飲料用カップで海洋生分解プラスチックなど0.06万t/年（矢野経済、2020）
屋外レジャー、射出成型体	ゴルフティー、釣り餌袋等で使用開始。	
発泡、発泡体	開発中、代替可能性高い	PLAが主
漁網、繊維	耐久性が課題	生分解性プラ試作品で海水中分解状況確認中の企業あり

次に、海洋生分解性プラスチックを導入した場合の海洋プラスチックごみ低減の効果を、環境（河川・海域）モデルを用いて解析するため、海洋生分解性プラスチック導入の可能性のある複数の製品を取り上げ、製品の特性を文献情報と業界団体と海洋生分解性プラスチックメーカーへのヒアリングに基づいて整理し、環境モデルの解析対象とすることの妥当性について考察を行った。

表Ⅲ-2.1.13-3 に海洋生分解性プラスチック導入の可能性のある製品群別に得られた特性を示す。漁網については現在の海洋生分解性プラスチックでは強度・耐久性の課題の克服が困難であることから、また、農業用マルチフィルムについては、農地で使用後に土壤に漉き込むという使用法が想定されるため、海洋生分解性プラスチックが導入される可能性は低いと考えられることから、解析対象製品とする妥当性は低いと考えられた。レジ袋・ゴミ袋は居住環境周辺で排出されるフィルム形状の製品であるのに対し、被覆肥料は農業活動に伴う農地で排出されるカプセル形状であるため、特徴の異なる排出シナリオを解析対象とすることが可能になると思われる。また、海洋生分解性プラスチック導入の時期や程度については、どの製品についても具体的・定量的な見通しが立っていない状況であった。製品に使われる材料が全て海洋生分解性プラスチックに置換されるシナリオを想定することで、最大でどの程度の海洋プラスチックが低減されるかを推定するのが妥当と考察した。

表Ⅲ-2.1.13-3 海洋生分解性プラスチック導入可能性のある製品群の特性

製品	現在の材料	製品形状	適用可能性*	備考
レジ袋・ゴミ袋	ポリエチレン	フィルム	○	・材料によっては引裂等の課題あり ・レジ袋有料化により当初20万トン程度だった市場が6-7割減少
漁網	ポリエチレン、 ポリアミド	繊維	△	・海洋生分解性材料では強度、耐久性の克服が困難であり、スイッチング機能の開発が必要
農業用マルチフィルム	ポリエチレン	フィルム	○	・農地で使用後に土壌に漉き込まれるため海洋での生分解性は必要でないと思われる。
被覆肥料カプセル	ポリエチレン	マイクロカプセル	○	・徐放性（有効成分がゆっくり溶け出すようにした性質）の技術が課題

*）適用可能性は当該製品に最も適した海洋生分解性材料の技術的な可能性を示す。

（○：適用可能、△：適用可能だが課題あり、×適用不可能）

出典：

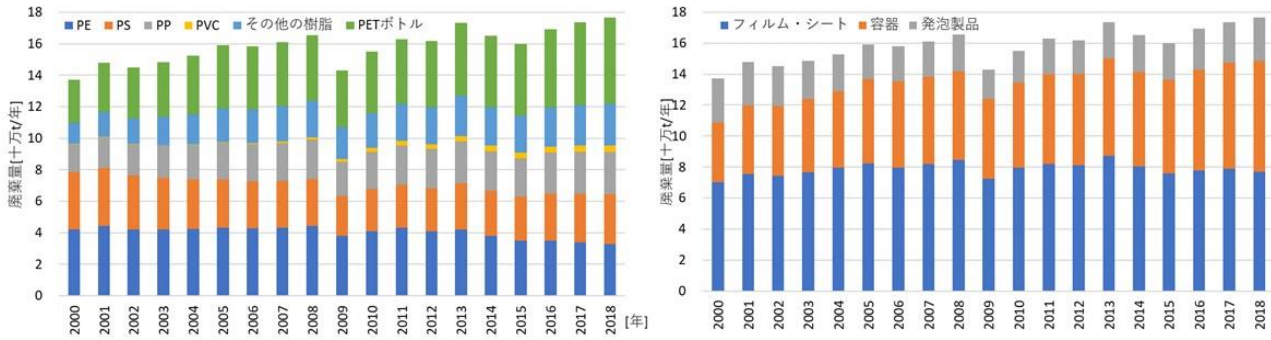
三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング（2020）平成 31 年度バイオプラスチック導入に向けた調査及びロードマップ作製にかかる委託業務報告書、1-295。

矢野経済（2020）2020 年版海洋生分解性素材市場の展望と戦略、脱プラスチックに資する容器包装素材の新たな潮流、

（ロ）マテリアルフロー解析手法構築

樹脂別・品目別のプラスチック国内需要量の年推移を定量化するために、「プラスチック製品統計年報」（樹脂別・品目別、従業員 40 人以上）をベースに、「工業統計」（樹脂別、従業員 4 人以上）でデータ補正、化学工業統計年報出荷量データ等で補った。硬質製品用途など、工業統計の方で二次製品用途のカウントが無いなどの場合は、製品統計年報のデータを採用した。上記の国内需要量データから、容器包装用途を抽出した。産業利用よりも民生利用の方が、海洋プラスチック問題へ影響が大きいと想定して、容器包装の民生利用を対象に廃棄量を推定した。

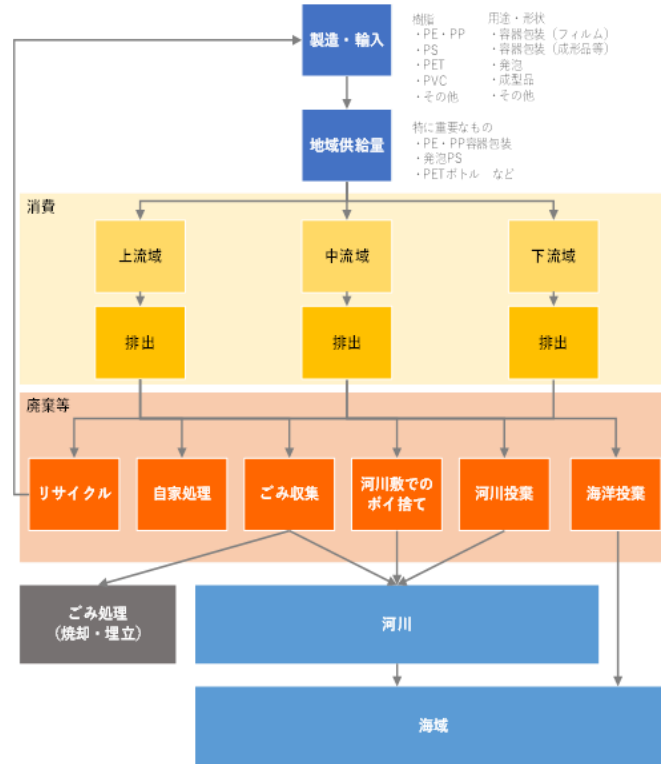
Nakatani et al. (2020)の容器包装プラスチックの産業関連分析データを参考に、国内出荷量データから輸出入後の容器包装の民生利用量データを作成する手順を整理した。Nakatani et al. (2020)の対象年（2000、2005、2011、2015 年）について、品目別の利用量を推定した。他年は、プラスチック循環協会の一般廃棄物中の容器・包装等/コンテナ類の廃棄量データをもとに内挿などで対応した。民間における容器包装の使用年数は 1 年未満と設定し、国内利用量と国内廃棄量は同等と仮定して、樹脂別・品目別の容器包装民生利用のプラスチック廃棄量を求めた（図Ⅲ-2.1.13-4 参照）。



図Ⅲ-2.1.13-4 容器包装民生利用のプラスチック廃棄量推定結果
(左：樹脂別、2000-2018年、右：品目別、2000-2018年)

廃プラスチックの河川・海域への流入について、UNEP（2016）の廃プラスチックの発生・処理構造図を参考に、ベトナム河川現地観察を踏まえて、廃プラスチックの供給から廃棄、河川・海域流入までの全体を俯瞰した基本モデルを図Ⅲ-2.1.13-5のように提案した。

そして、廃プラスチック流入の基本モデルをベースに、廃棄に関わる入出力の部分を中心に、ベトナム中部に立地するフエ省を流れるパフューム川を対象に、河川沿いのごみ集積所調査、ごみ不法投棄場所調査、ポイ捨て行動調査、廃プラスチック排出ルート調査の計画を作成した。架空のプラスチック廃棄データを与えて、2020年のパフューム川水位データをもとに、河川への廃プラスチック流入量を試算したところ、10月以降の雨期に廃プラスチック流出量が大きい結果となった。



図Ⅲ-2.1.13-5 廃プラスチックの供給から廃棄、河川・海域流入の基本モデル

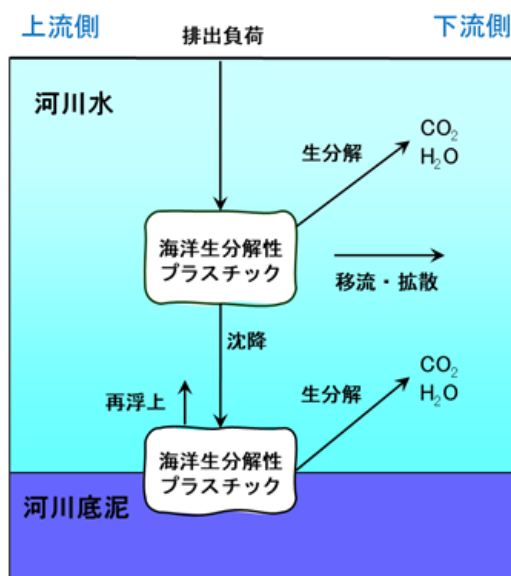
出典：

Nakatani, J., Maruyama, T., Moriguchi, Y., 2020. Revealing the intersectoral material flow of plastic containers and packaging in Japan. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.. 117(33), 19844–19853.

UNEP (2016). Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi, 1-274.

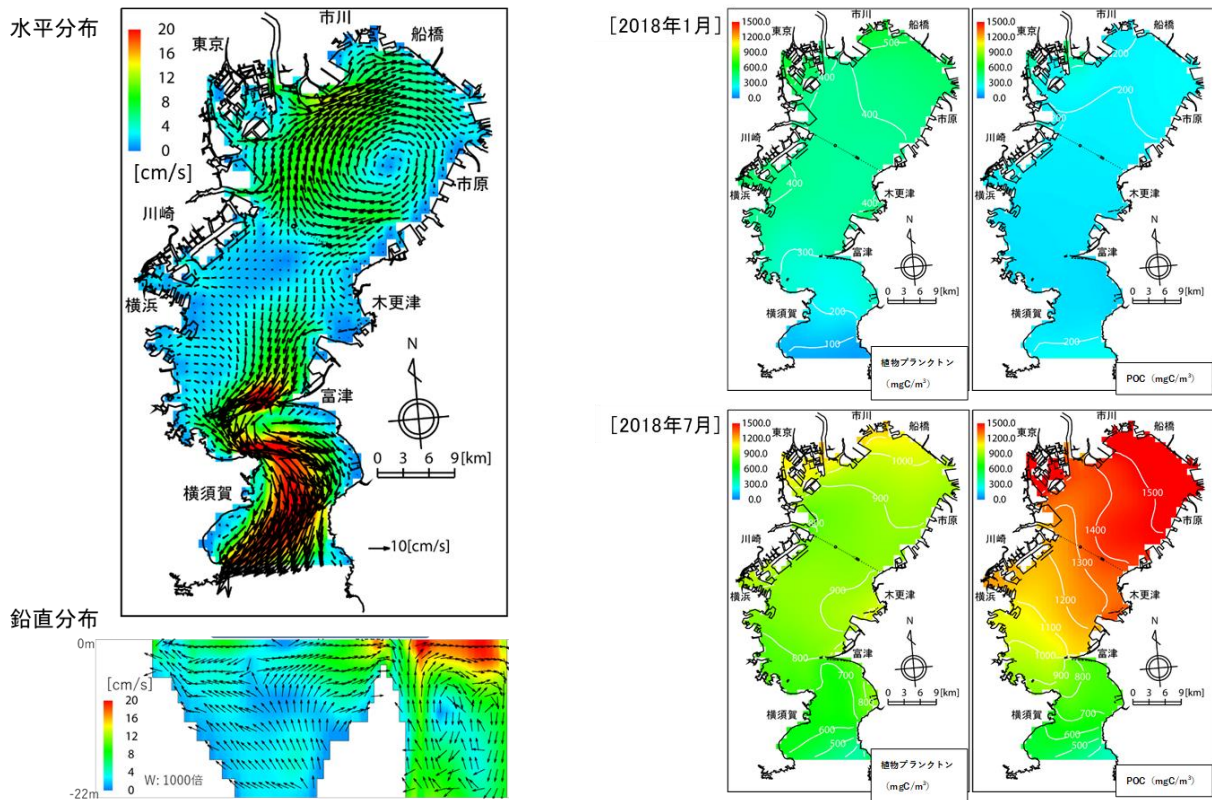
(二) 海洋生分解性プラへ適用可能な河川・海洋モデルの構築

海洋生分解性プラへ適用可能な河川・海洋モデルを構築するため、河川モデルは河川流域の 250m メッシュ・日単位の産総研一水系暴露解析モデル AIST-SHANEL、海域モデルは東京湾リスク評価モデル AIST-RAMTB を改良した。解析単位はプラスチックの重量濃度(mg/m^3)とし、プラスチックの断片化は考慮せず、粒子サイズ別に移流拡散、生分解、沈降・再浮上の動態解析を行うモデルとした（**図Ⅲ-2.1.13-6**）。出力結果からプラスチック濃度の面的分布や時系列変化の図やアニメーションを作成し、指定した期間の流出量、底泥への沈降量、浮上量、生分解量等の物質収支も算出できるようにした。解析領域は河川モデルを多摩川水系、海域モデルを東京湾とした。



図Ⅲ-2.1.13-6 海洋生分解性プラスチック動態解析モデルの概念図

海域モデルについては、入力条件に必要な流動場と有機懸濁物質分布を入手可能な最新年の2018年のデータを用いて作成した（**図Ⅲ-2.1.13-7**）。



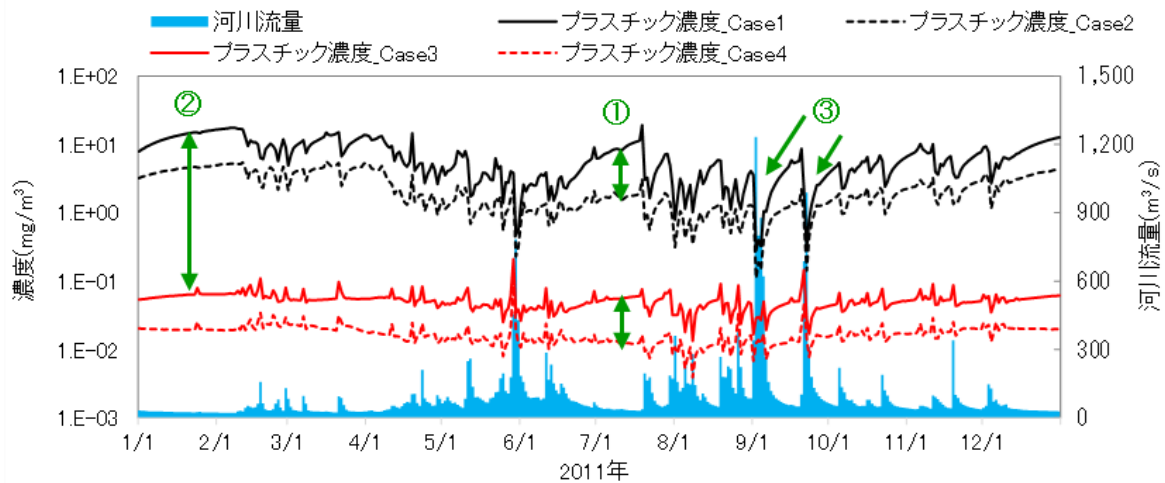
図III-2.1.13-7 流動場および有機懸濁物質等のデータベースの更新結果例（左図：流向・流速分布、右図：表層における植物プランクトンおよび懸濁態有機炭素（POC）の月平均分布）

改良したモデルの応答を確認するため、生分解や沈降の有無による解析を実施した。解析ケースは、Case1：沈降なし・生分解なし、Case2：沈降なし・生分解あり、Case3：沈降あり・生分解なし、Case4：沈降あり・生分解ありの4ケースとした。

河川モデルの計算期間は2011年1月1日～2011年12月31日（365日間）とした。プラスチックの排出量は、下水処理場の流入水と放流水のプラスチックの粒径分布¹⁾より、粒径別個数の加重平均と比重を用いて家庭排水からのプラスチック排出濃度 $4.94 \times 10^{-1} \text{ g/m}^3$ と下水処理場での除去率99.4%を推定し、排水量を乗じて地先および下水処理場からの排出量を設定した。沈降速度は、プラスチックの形状や大きさ、比重の違いを考慮した沈降速度を検討中のため、ここでは暫定的に $6.8 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ を設定した。生分解速度は、文献調査により最も短い半減期の5日（20℃）を仮定し、温度依存性を考慮して推定した。

図III-2.1.13-8 に示す最下流地点における解析ケース別プラスチック濃度の時系列変化から、以下のことが示唆された。

- ① 生分解しない Case1,3 と生分解する Case2,4 の濃度を比較すると、夏季に濃度差が大きい傾向が見られた。これは夏季は水温が高く、生分解が進みやすいことが要因と考えられる。
- ② 沈降する Case3,4 は、沈降しない Case1,2 よりも河川水濃度が低い傾向が見られた。沈降したプラスチック粒子が底泥へ移行した可能性がある。
- ③ 出水時には沈降しない Case1,2 が希釈により濃度減少し、沈降する Case3,4 は一時的に増加する傾向が見られた。底泥に沈降した粒子が出水時に巻き上がった可能性がある。

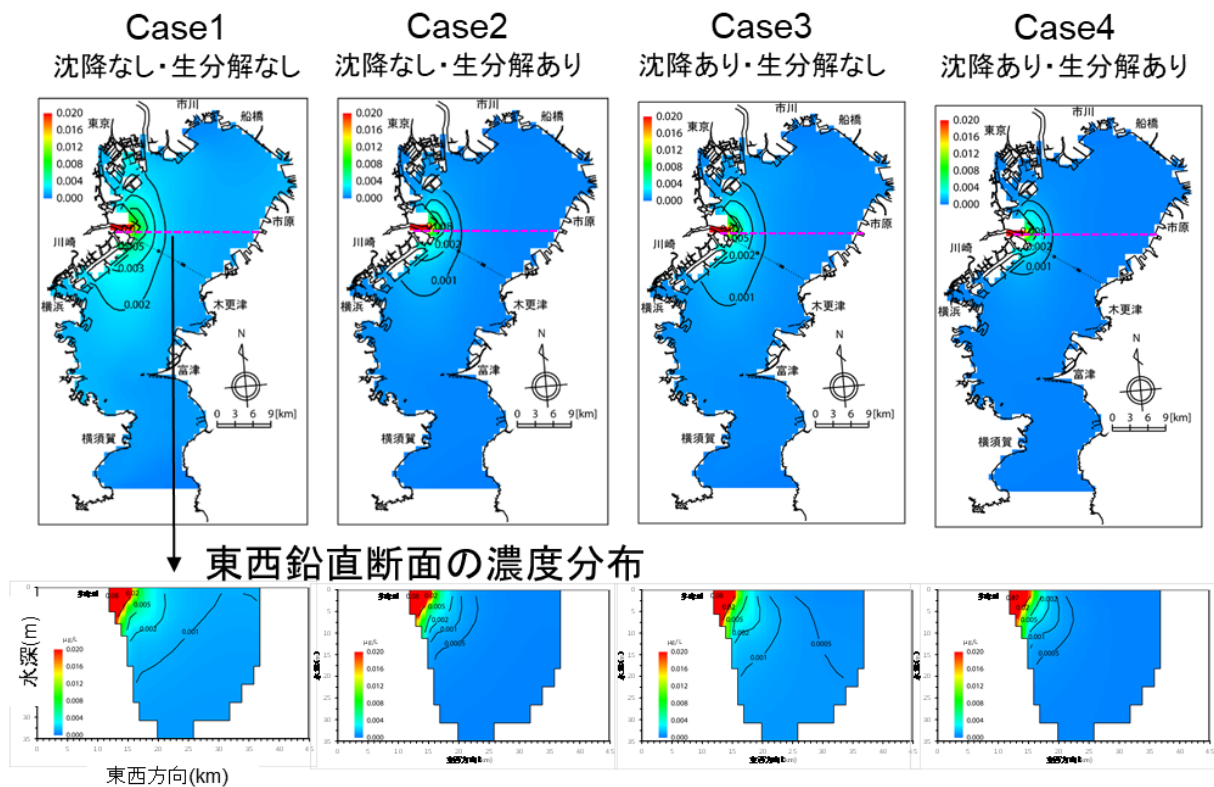


図III-2.1.13-8 最下流地点における解析ケース別プラスチック濃度の時系列変化

海域モデルの計算期間は2011年8月1日～2011年9月1日（32日間）とした。プラスチックの排出量は、河川モデルの計算結果Case1の8月の月平均負荷量0.78 kg/dayを設定した。沈降速度は、諸検討により植物プランクトンの沈降速度²⁾の10倍の0.001 cm/sを仮定した。生分解速度は、河川モデルと同様、半減期5日（20℃）を仮定した。

図III-2.1.13-9に示す2011年9月1日の表層の解析ケース別プラスチック濃度分布から、以下のことが示唆された。

- ・表層のCase2,4のプラスチック濃度はCase1,3の濃度よりも低い傾向が見られた。これは生分解による濃度低減を反映していると考えられる。
- ・Case3のプラスチック濃度はCase1と比較して鉛直方向に増加しているが、Case2とCase4の濃度分布はおおよそ同じ傾向であった。沈降よりも生分解による影響が大きかったことが考えられる。



図Ⅲ-2.1.13-9 2011年9月1日の表層の解析ケース別プラスチック濃度分布（単位： $\mu\text{g/L}$ ）

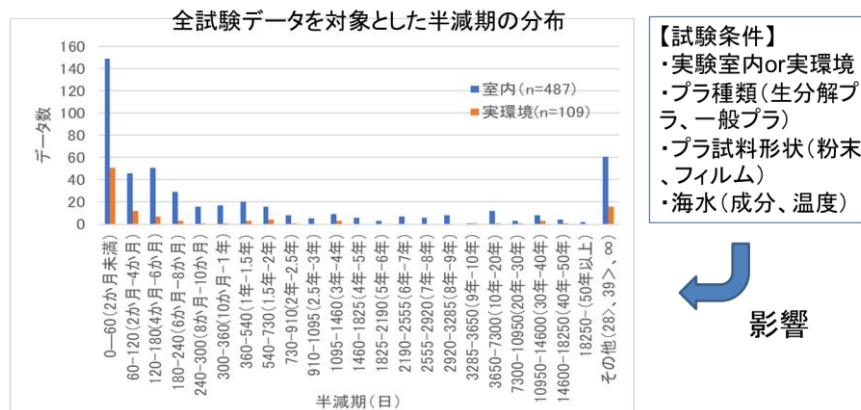
海洋生分解性プラスチック濃度の実測値はなく、モデルの検証は容易ではないが、海洋生分解性プラスチックの生分解速度や沈降速度の精度に関する検討を行い、感度解析や不確実性解析を活用しながら妥当性を考察する予定である。

出典：

- 1) 田中周平ら(2019), 土木学会論文集 G (環境), Vol.75, No.7, III_35-III_40.
- 2) 中西準子・堀口文男(2006), NEDO 技術開発機構・産総研化学物質リスク管理研究センター[共編]. 詳細リスク評価書シリーズ 8 トリブチルスズ, 丸善出版.

(ホ) 分解性試験結果の実環境への外挿手法の構築

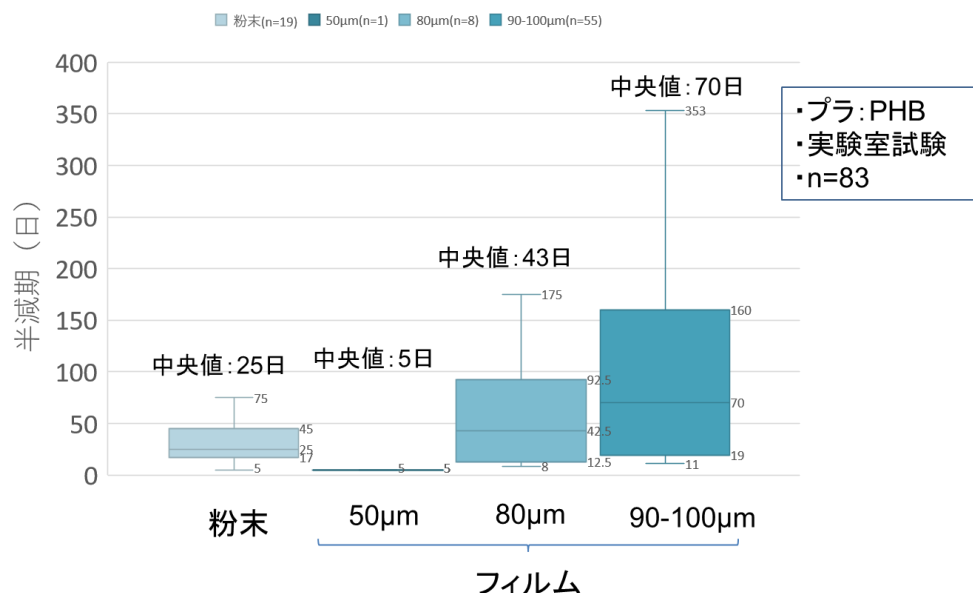
プラスチックの生分解度試験及び崩壊度試験の文献調査を行い、34件の文献から生分解速度に係る試験条件と試験結果についてのデータを収集した。文献調査によって得られた生分解度および崩壊度の試験データ (n=596) を解析対象として、半減期と試験条件について調べた。その結果、**図Ⅲ-2.1.13-10**に示すように、プラスチックの半減期は大変幅広く分布しており、試験種別（実験室内、実環境）、プラスチック種類（生分解性プラスチック、非生分解性プラスチック）、プラスチック形状（粉末、フィルムなど）、海水（成分、温度など）の影響を受けていることが示唆された。



半減期	n	最小値	最大値	中央値	評価法
室内試験	487	3日	∞	172日	BOD、CO2、重量測定、面積測定
実環境試験	109	8日	∞	64日	重量測定、面積測定
全体	596	3日	∞	150日	—

図Ⅲ-2.1.13-10 文献調査で収集されたプラスチックの生分解度試験および崩壊度試験データ (n=596)における半減期の分布

文献調査で得られたデータのうち、プラスチック材料として海洋生分解性プラスチックの一つである PHB に対する実験室試験データ (n=83) を対象に生分解半減期とプラスチック試料の形状との関係を調べたところ、図Ⅲ-2.1.13-11 に示すように生分解半減期は、粉末よりフィルムの方が長く、フィルムでは厚さが大きい方が半減期が長い傾向があった。



図Ⅲ-2.1.13-11 プラスチック試料形状と生分解半減期の関係

河川モデル AIST-SHANEL で使用している生分解速度 K (1/s) の算出式における温度と生分解速度との関係は、本プロジェクトの研究項目①-1の室内試験で得られた、プラスチックの生分解速度が 10°C と 30°C では2倍程度異なることと整合的であることが確認された。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

本研究項目の最終目標の達成可能性を以下に示す。

研究項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
(ハ) 海洋生分解プラと被代替プラのフローと排出量推定	海洋生分解プラスチックと被代替プラスチックのフローと排出量を推定する。具体的には、代替と被代替の対象プラスチックの廃棄量と環境中への流入量を定量化する。	プラスチックの廃棄量と環境中流入量を計算できるモデルを2022年度中に構築するので、海洋生分解プラスチック代替シナリオを作成することで、代替と被代替プラスチックの廃棄量と環境中流入量を推定することができる。
(ヘ) モデル解析によるプラ低減の評価	モデル解析によって海洋プラスチック低減の評価を行う。2つ以上のシナリオについて海洋プラスチックのモデル解析を行い、低減の評価を実施する。	2022年度から2023年度に2つ以上の海洋生分解性プラスチックの導入シナリオによるモデル解析および感度解析等によりモデルの妥当性を評価し、2024年度には海洋プラスチック低減の評価を達成できる見通しである。

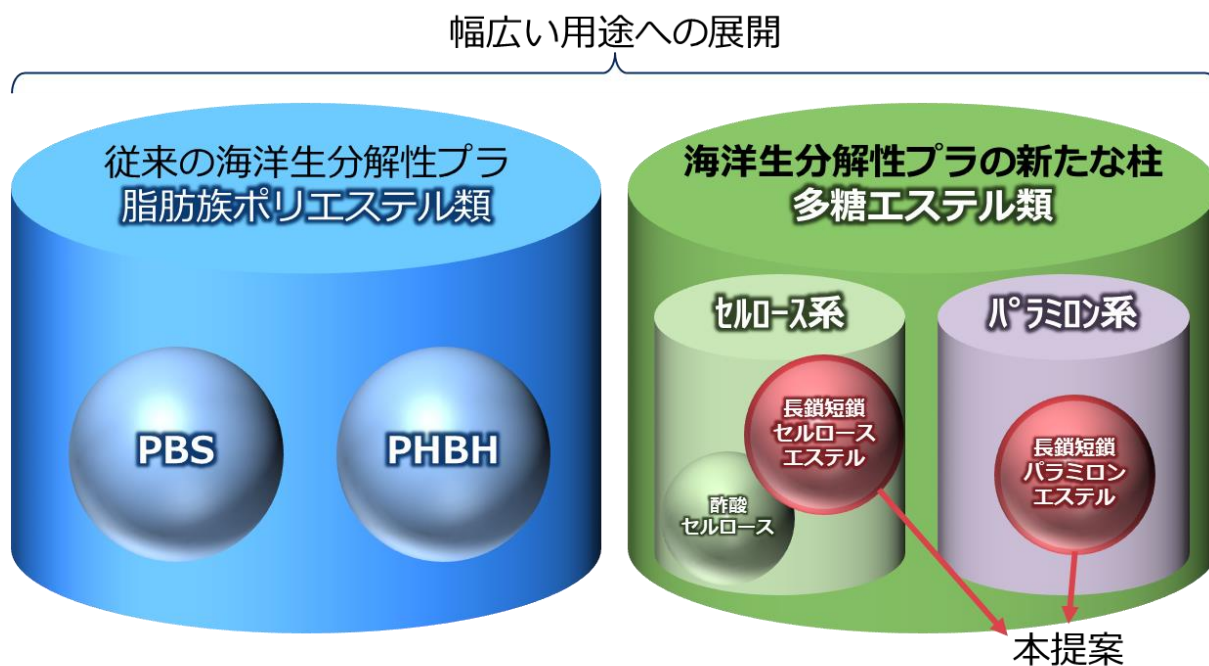
2.2 研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」（委託・助成事業）

2.2.1 研究開発項目②-1(1)「海洋生分解性を有する新規な多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の研究開発」（日本電気株式会社）

2.2.1.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

金属やガラスに比べて軽量で、高い耐久性や成形加工性を有するプラスチックは、私たちの生活に欠かせない材料である。その根幹となっているのは、5大汎用プラをはじめとする100種類以上もの樹脂分子構造の多様性である。一方で、プラスチックごみの海洋汚染問題を引き起こす存在でもあり、海洋生分解性を有するプラスチックの重要性が高まっている。しかし今日、海洋生分解性が認められるプラスチックは脂肪族ポリエステル類しか存在していない。いずれも耐熱性（ガラス転移温度）や強度がそれほど高くなく、その多様性の乏しさが適用拡大の大きな障壁となっている。本研究開発では、海洋生分解性プラの新たな柱を、多糖類を用いて構築し、海洋生分解性プラの適用拡大に資することを目的とする（図Ⅲ-2.2.1-1）。具体的には、釣具や漁具・漁網などの漁業資材に利用可能な、海洋生分解性を有する新規バイオプラスチックを、地球上に豊富に存在し安定的に調達可能な高分子多糖類（図Ⅲ-2.2.1-2）から創出する。



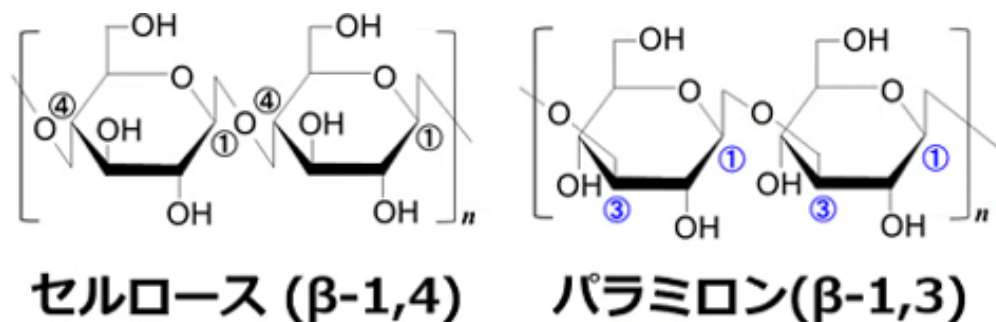
図Ⅲ-2.2.1-1 海洋生分解性プラの新たな柱（多糖エステル類）の構築による適用領域の拡大

(2) 位置づけ、目標値

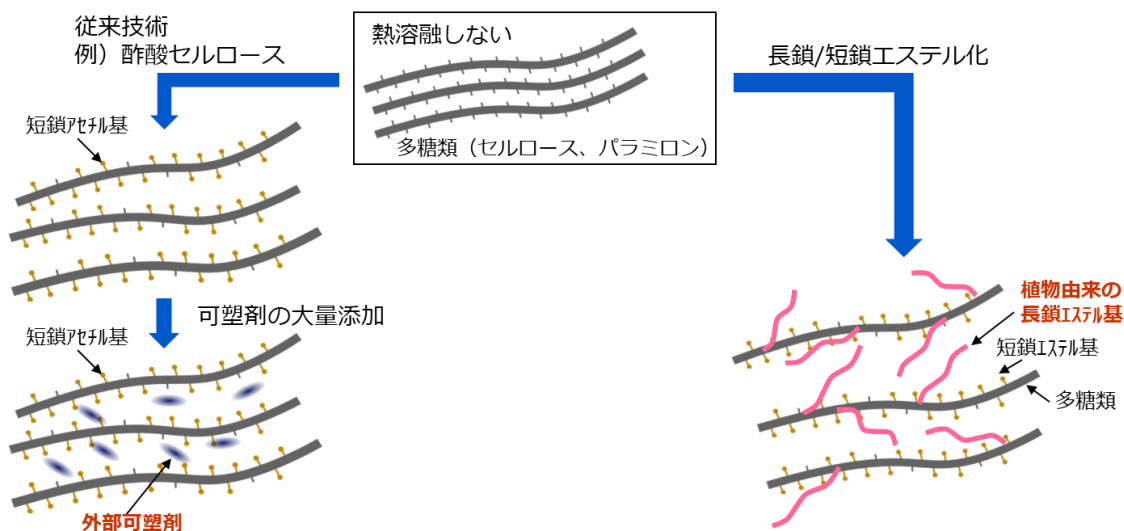
自然界には様々な高分子多糖類が存在し、いずれも生分解性を有して自然界中で循環している。しかし高分子多糖類は、その構成単位であるグルコピラノース環に存在する複数の水酸基による通常強固な水素結合のため、それ自体は熱可塑性を示さず、プラスチックとして利用することはできない。従って、熱可塑性を付与するには、水酸基をエステル基などの官能基で置換することが必要不可欠である。

従来の多糖類エステルとしては、アセチル基などの短鎖エステル基を導入した酢酸セルロースなどが挙げられる。しかし酢酸セルロースは熱流動性に乏しく、単独での加熱溶融成形ができないため、外部可塑剤を大量に添加することによりその成形性を向上させてきた

(図Ⅲ-2.2.1-3左)。その結果、釣具や漁業資材などの耐久製品に必要な強度や耐熱性は不十分となるほか、添加剤の安全性も問題となっていた。



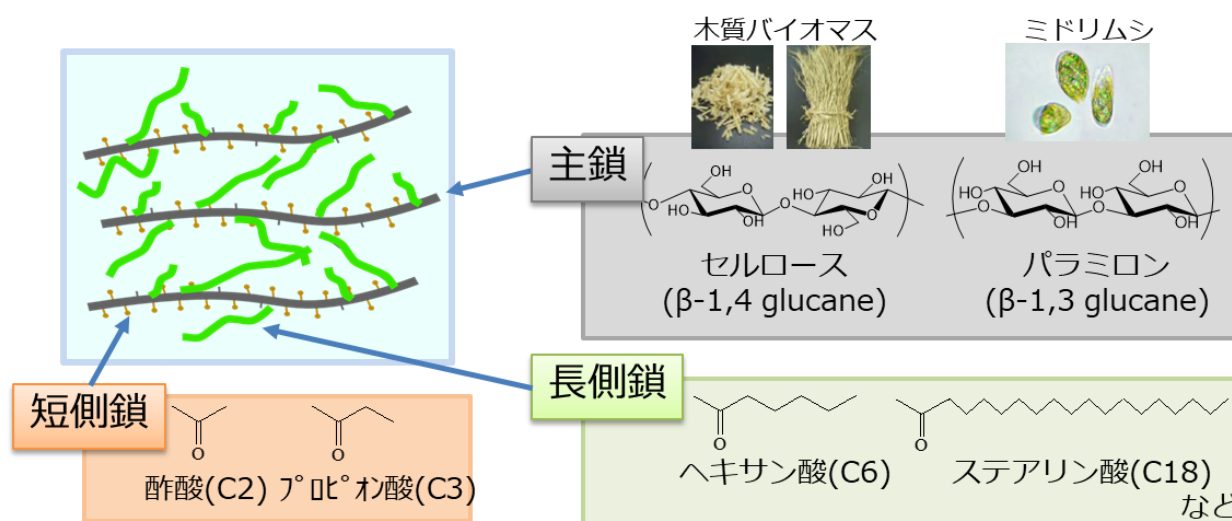
図Ⅲ-2, 2, 1-2 安定供給性の高い多糖類であるセルロース (β -1, 4-グルカン) とパラミロン (β -1, 3-グルカン) の分子構造



左：従来技術（酢酸セルロース）と本提案（右：長鎖短鎖エステル誘導体）

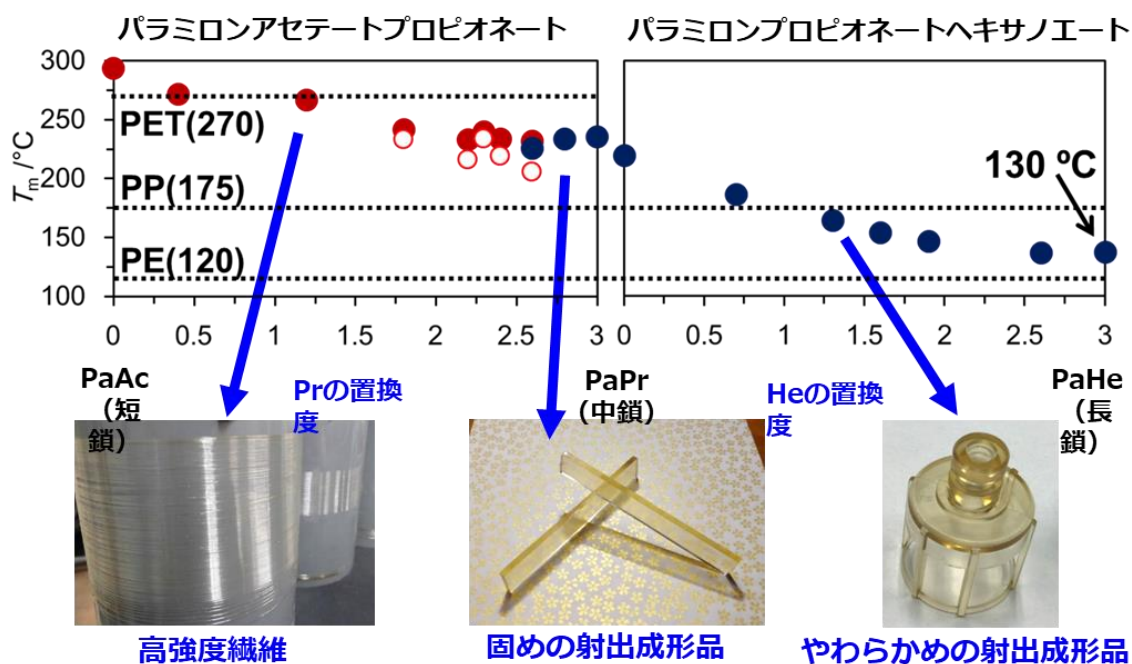
提案者らはこれまで、地球上に豊富に存在する様々な糖組成と結合様式を有する高分子多糖類を用いて、多様な機械的、熱的、光学的性質を有するバイオ素材の創製を目指した多くの基礎および応用研究を推進してきた。具体的には、高分子多糖類の水酸基に、酢酸（炭素数2）

やプロピオン酸（炭素数3）などの短側鎖成分と、ヘキサン酸（炭素数6）やステアリン酸（炭素数18）などの長側鎖成分をエステル結合で導入して多糖類長鎖短鎖エステル誘導体を合成したものである（図Ⅲ-2.2.1-4）。



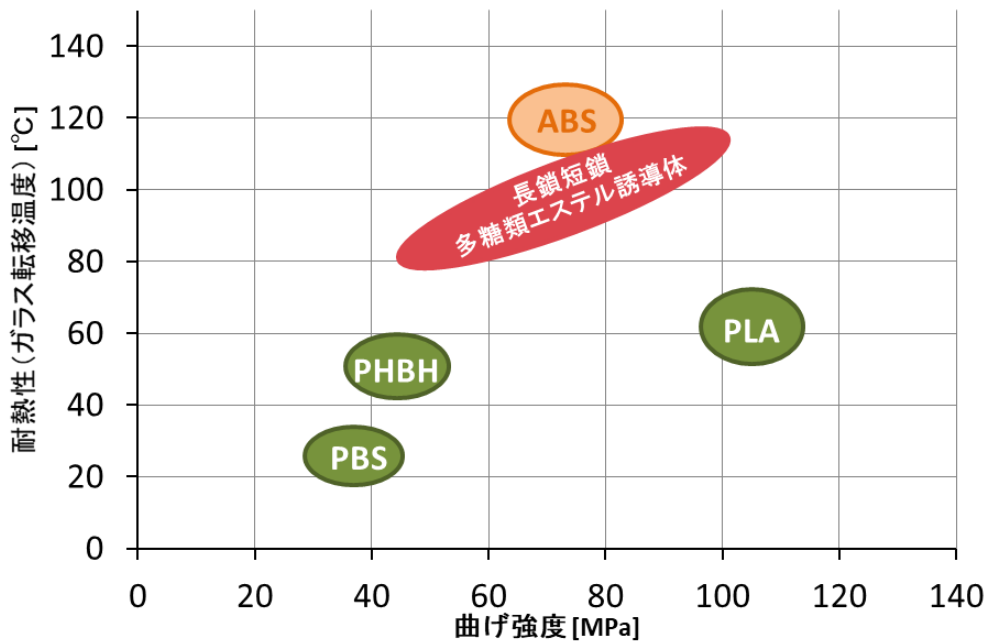
図Ⅲ-2.2.1-4 多糖類の長鎖短鎖エステル誘導体の分子構造模式図

これらの短側鎖成分、長側鎖成分の構造や導入量の調整により、剛直な性質から柔軟な性質まで、幅広い用途に適した物性を創出することが可能となる（図Ⅲ-2.2.1-5）。



図Ⅲ-2.2.1-5 多糖類の長鎖短鎖エステル化による熱物性制御と部材化

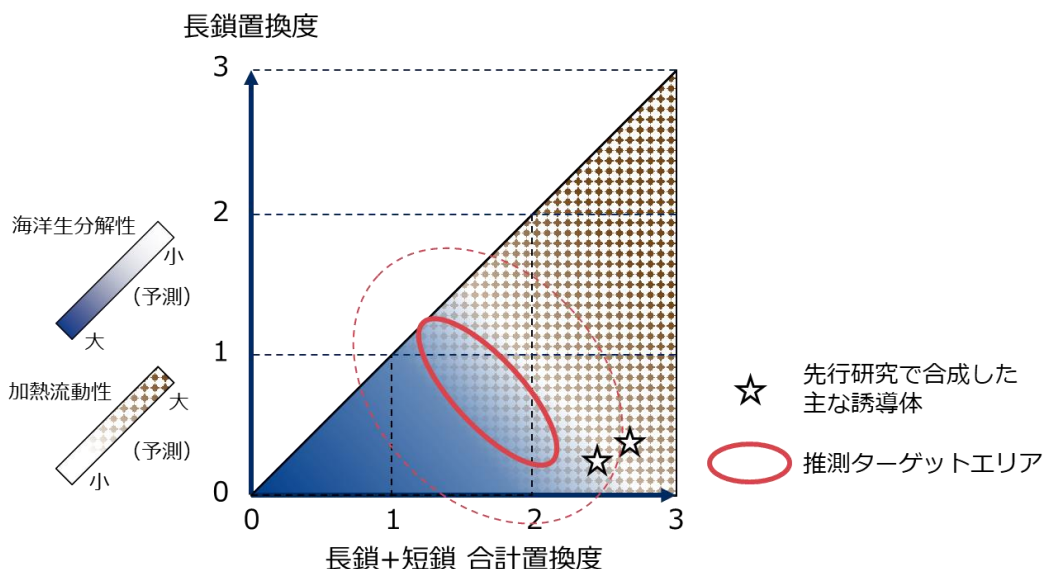
また、各種プラスチックの強度特性、熱特性をプロットしたものを図Ⅲ-2.2.1-6に示す。多糖類長鎖短鎖エステル誘導体のカバーする物性領域は広く、適用領域の拡大に寄与できるポテンシャルを有していることが判る。



図Ⅲ-2.2.1-6 幅広い物性をカバーする長鎖短鎖多糖類エステル誘導体

本研究開発では、上記の多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の分子設計技術を活用し、良好な熱可塑性や機械物性と共に海洋生分解性を有する新規誘導体を創出することを目指す。

具体的には、提案者らがこれまでに検討してきた「1段階不均一法」と「2段階均一法」の2種類の合成処方を用いて、炭素数2~3の短いエステル基（短側鎖）と炭素数6や18などの長いエステル基（長側鎖）の導入量を調整（図Ⅲ-2.2.1-7の推測ターゲットエリアの領域）して多糖類に導入することで、目標物性と海洋分解性を両立する新規誘導体を創出する。



図Ⅲ-2.2.1-7 多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の置換度と海洋分解性／加熱流動性の関係予測

【目標値】

表Ⅲ-2.2.1-1 に、本研究開発の目標値を示す。

2022年度目標（中間目標）においては、初年度（2021年度）の検討で得られた知見を基に、多糖類長鎖短鎖エステル誘導体を計20種類以上合成すること、および、得られた各種誘導体の海洋生分解性および各種物性を評価し、下記の性能を実現することを目指す。なお、物性目標値は従来ABS樹脂が用いられている釣具製品に求められる物性レベルを設定する（表Ⅲ-2.2.1-1）。

- 海洋生分解性：海水BOD試験 1ヶ月分解度20%（対セルロース比）
- 強度特性：曲げ強度40MPa、衝撃強度4kJ/m²（最終目標の80%レベル）
- 熱特性：ガラス転移温度100℃
- エギ製品形状評価：3m落下で割れ無し、耐水3気圧

2024年度目標（最終目標）においては、中間目標までに得られた知見を基に、短鎖成分／長鎖成分の構造、導入量を更に調整し、場合によっては加水分解を促す第三成分の導入も検討しながら、多糖類長鎖短鎖エステル誘導体を合成すること、および、得られた各種誘導体の海洋生分解性および各種物性を評価し、下記の性能を実現することを目指す（表Ⅲ-2.2.1-1）。

- 海洋生分解性：海水BOD試験 1ヶ月分解度40%（対セルロース比）
- 強度特性：曲げ強度50MPa、衝撃強度5kJ/m²
- 熱特性：ガラス転移温度100℃
- エギ製品形状評価：4m落下で割れ無し、耐水6気圧
- 釣糸形状評価：既存素材（PE、ナイロン、フロロカーボン）同等レベル

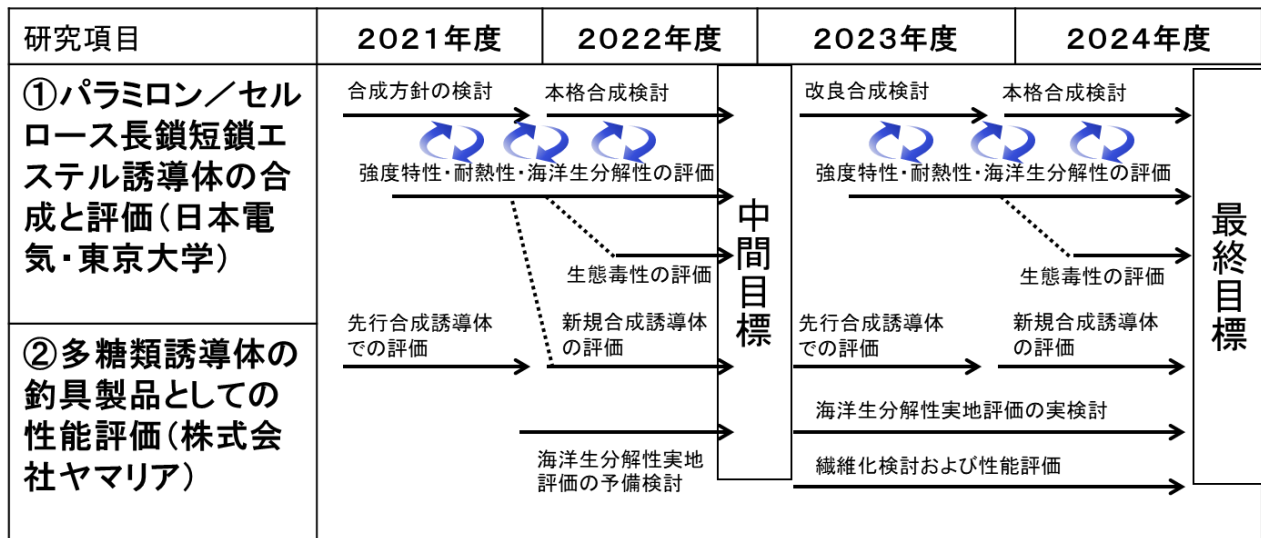
表Ⅲ-2.2.1-1 研究開発の目標レベル一覧

	2021年度	2022年度 中間目標	2024年度 最終目標	釣具製品(エギ) の要求物性
合成検討数	計8種類以上 ^(a)	計20種類以上 ^(b)	—	—
BOD分解度 (1ヶ月分解度) (対セルロース比)	—	20%	40%	40%
曲げ強度	40MPa ^(c)	40MPa	50MPa	50MPa
衝撃強度	4kJ/m ^{2(c)}	4kJ/m ²	5kJ/m ²	5kJ/m ²
ガラス転移温度	70℃ ^(c)	100℃	100℃	100℃
エギ製品 形状の評価	先行合成品の 試作評価と 課題抽出	3m落下 割れ無し 耐水3気圧	4m落下 割れ無し 耐水6気圧	4m落下 割れ無し 耐水6気圧
釣糸形状の評価	—	—	既存素材同等	PE、ナイロン、 フロロカーボン

a)セルロース4種類以上、パラミロン4種類以上 b)セルロース10種類以上、パラミロン10種類以上

c)2021年度はこれら3項目のうち2項目を達成することが目標

(3) 全体計画



図Ⅲ-2.2.1-8 研究開発のスケジュール

表Ⅲ-2.2.1-2 研究開発予算

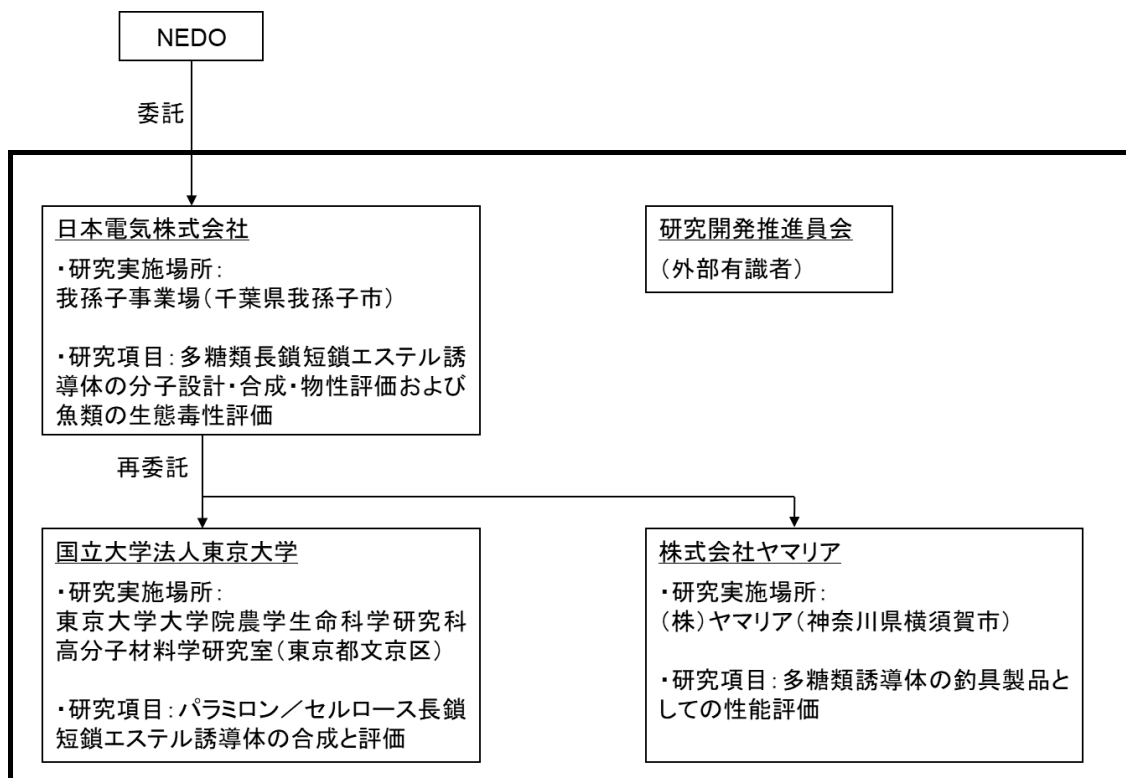
(単位:百万円)

研究項目	2021年度	2022年度	2023年度(予定)	2024年度(予定)	合計
①パラミロン／セルロース長鎖短鎖エステル誘導体の合成と評価(日本電気・東京大学)	50.6	59.0 (8.4)	55.0	55.0	219.6
②多糖類誘導体の釣具製品としての性能評価(株式会社ヤマリア)	4.4	5.45 (1.05)	6.6	6.6	23.05
合計[税込]	55.0	64.45 (9.45)	61.6	61.6	242.65

※ () は加速予算

2022年度は加速予算が加算された。これにより、海洋生分解性試験装置を増備、および撚糸試作機を購入し、より多くの条件を同時に実施可能となっている。

(4) 実施体制



(5) 運営管理

テーマの運営について、月に一度プロジェクト進捗会を開催、月に一度進捗状況を月報（書面）にてNEDOに報告。また、四半期～半期ごとを目処に外部有識者を交えた全体会議を開催して進捗を管理。知的財産権に関しては、目標物性レベルの達成可否に関わらず有用と考える成果については知財取得を積極的に検討。

(6) 実施の効果

新規多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の製造工程は、特にパラミロンを原料とする場合、微細藻類の培養から得られる食品添加物や化粧品用途のハイグレード品からプラスチック原料まで多様なグレードを同時に製造するバイオケミカルコンビナートに位置づけられる。

(詳細は非公開版に記載)

2.2.1.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①パラミロン／セルローズ長鎖短鎖エステル誘導体の合成と評価	<p>1. 新規長鎖短鎖エステル誘導体を 20 種類以上（パラミロンベースを 10 種類以上、セルローズベースを 10 種類以上）合成</p> <p>2. 曲げ強度 40MPa、衝撃強度 4 kJ/m²、ガラス転移温度 (T_g)100℃クリア</p> <p>3. 新樹誘導体の BOD 分解度（対セルローズ比）20%以上を達成</p>	<p>1. 2 段階均一法と 1 段階不均一法について検討し、8 種類以上合成【2021 年度目標達成】。2022 年度末までに 20 種類以上合成完了予定。</p> <p>2. 曲げ強度とガラス転移温度の目標値をクリア【2021 年度目標達成】。更なる側鎖構造の調整などで衝撃強度もクリアする見込み。</p> <p>3. 一部の誘導体で目標レベルをクリア。機械特性との両立については検討中。</p> <p>4. 毒性評価は 2022 年度後半に実施。予</p>	<p>○</p> <p>△</p> <p>2023 年 2 月達成見込み</p> <p>一部△</p> <p>2023 年 2 月達成見込み</p> <p>△</p>	<p>【今後の課題】 衝撃強度の向上【解決方針】 長鎖／短鎖成分の炭素数（より短い側鎖）、DS（より高い長鎖 DS）、原料多糖類の分子量（高分子量化）の調整、および可撓性を付与する添加剤の検討</p> <p>【今後の課題】 海洋生分解性と物性の両立 【解決方針】 合計 DS の一定レベル以下への調整による分解度向上</p> <p>【解決方針】 下期実施予定</p>

	4. 新規誘導体が魚類の生態に影響がないことを確認	測分解物から生態影響は問題ないと推測。	2022年12月達成見込み	
②多糖類誘導体の釣具製品としての性能評価	・新規合成した長鎖短鎖エステル（海洋性分解性良好）を用いて、釣具（エギ）としての試作成形品を作製	・先行合成品を用いた試作成形品の作成と性能評価は問題なく完了【2021年度目標達成】。新規合成品は目標物性達成に向けた分子設計中であり、大量合成待ちの状態。	△ 2023年2月達成見込み	【解決方針】 新規合成品は大量合成が完了次第、試作評価を実施し、年度末までに完了予定。

（目標に対する達成度の自己評価です。表形式にしてください。◎○△×の意味は下記の通り。理由も「達成度」箇所に簡潔に記載）

◎：大きく上回って達成（特筆した成果を記載）

○：達成（成果を記載）

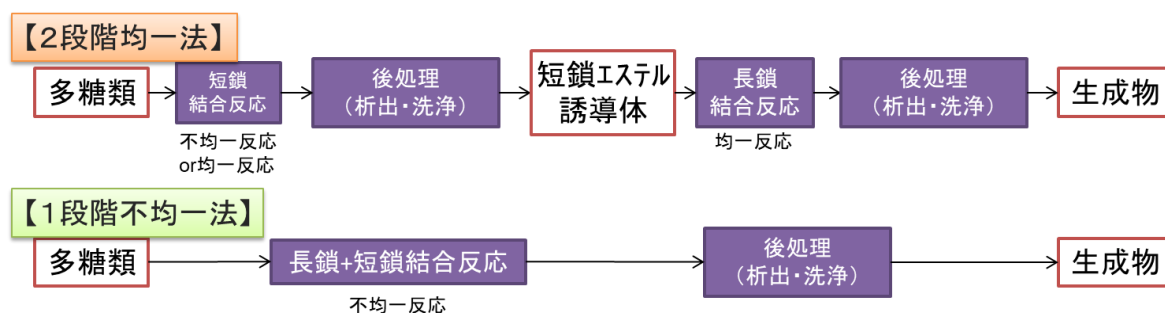
△：概ね達成（成果と未達ともに記載）

×：未達（未達理由について記載）

【成果の詳細】

■研究項目①パラミロン／セルロース長鎖短鎖エステル誘導体の合成と評価

パラミロン、およびセルロースをベースとする新規長鎖短鎖エステル誘導体の合成について、「2段階均一法」と「1段階不均一法」の2通りの合成法で検討した。それぞれの合成法の模式図を図Ⅲ-2.2.1-9に示す。



図Ⅲ-2.2.1-9 それぞれの合成処方の模式図

◎2段階均一法

まず、2段階均一法によるパラミロン長鎖短鎖エステル誘導体について検討した。具体的には、パラミロンに対して一定量(DS 1.7)の短鎖成分（炭素数 C=3）を導入し、その後で長鎖成

分（炭素数 C=18）を変化させつつ導入した長鎖短鎖エステル誘導体を合成した。物性評価の結果、熔融プレスフィルムによる物性評価の結果、長鎖成分 (C=18) の置換度を DS=0.5 以上になるとフィルムに非常に延伸性が付与され、180° フィルムを投げて破断しない優れた柔軟性を示した。また、これら誘導体の海洋生分解性を BOD 試験にて評価した結果、短鎖成分と長鎖成分の合計の置換度を 2.2 以下に制御することで一定の生分解性を有することが判明した。中でも、合計置換度 2.1 の誘導体に関しては、中間目標レベルを上回る、対セルロース当たり 30% 近い分解度を示した。

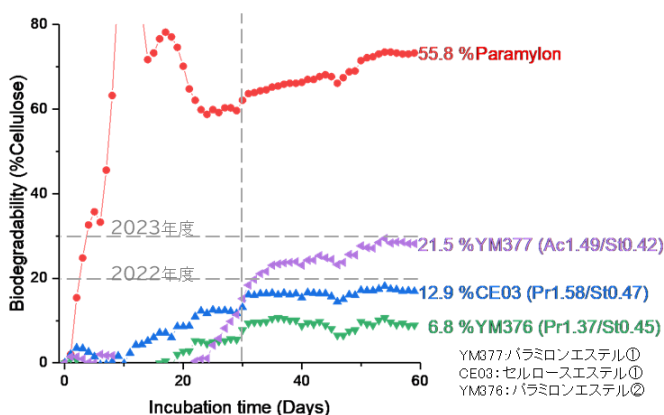
◎ 1 段階不均一法

次に、1 段階不均一法によるパラミロン／セルロース長鎖短鎖エステル誘導体の合成を検討した。具体的には、反応時に投入する長鎖成分／短鎖成分の種類や比率を変化させ、さらに異なる反応時間でサンプリングすることで効率的に誘導体合成を進めた。本検討を進める中で、機械特性については下記の傾向が判明した。

- 長鎖の鎖長を短くすることで (St (C18) ⇒ La (C12) ⇒ He (C6)) 曲げ強度と耐熱性が向上
- 短鎖も短くすることで (Pr (C3) ⇒ Ac (C2)) 曲げ強度、耐熱性が向上。また、分解度も向上
- パラミロン誘導体よりもセルロース誘導体の方が曲げ強度、耐熱性は高い

現状、耐衝撃性がいずれも低いことが課題であり、これについては誘導体の分子量が低く分子鎖の絡み合い効果が得られていないと推定している。今後、側鎖の鎖長・置換度・原料多糖類の分子量などの調整により目標物性の達成を目指す。

また、各種誘導体の海洋生分解性を評価した。ここでは、短鎖成分がより短い Ac 基の方が Pr 基より高い分解性を示した。一方、試験開始からおよそ 20 日間は分解が進行せず、その後分解が始まるという当初予想していない挙動が確認された。これについては、長鎖短鎖エステル誘導体の側鎖エステルが疎水性であるため、微生物の付着を阻害していること、および、側鎖エステルが加水分解することで親水性となり、その後微生物による生分解が起きたと推察している。



長鎖短鎖 エステル 誘導体	生成物組成 (NMR)			曲げ 強度 [MPa] 2.4mmt >40MPa	シャルピー 衝撃強度 [kJ/m ²] >4kJ/m ²	Tg [°C] DMA >100°C
	長鎖 DS	短鎖 DS	Total DS			
パラミロン エステル① YM377	St 0.42	Ac 1.49	1.91	35	ノッチ 入れ時 に破壊	137
セルロースエス テル① CE03	St 0.47	Pr 1.58	2.05	43	0.63	142
パラミロン エステル② YM376	St 0.45	Pr 1.37	1.82	24	0.57	101

図Ⅲ-2.2.1-10 1 段階不均一法による長鎖短鎖エステル誘導体の物性と海洋生分解性

■研究項目②多糖類誘導体の釣具製品としての性能評価

多糖類誘導体の釣具製品としての性能評価を実施するため、まずセルロースをベースとした先行合成品を用いた試作成形品の作成と性能評価を実施した。若干の寸法変化等の要対策点は判明したが、概ね問題なく完了し、多糖類誘導体の釣具製品としての利用可能性が示された。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

研究項目	最終目標 (2024 年度)	達成見通し
①パラミロン／セルロース長鎖短鎖エステル誘導体の合成と評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 曲げ強度 50MPa、衝撃強度 5kJ/m²、ガラス転移温度 (T_g)100℃クリア ・ 新樹誘導体の BOD 分解度 (対セルロース比) 40%以上を達成 ・ 上記物性を有する多糖類エステル誘導体のキロオーダーのスケールアップ合成の実施 	<p>海洋生分解性の目標クリアに課題はあるが、中間目標までに得られた知見を踏まえ、多糖類エステル誘導体の側鎖構造のさらなる調整、および物性補完のための添加剤の検討によって達成の見通し</p>
②多糖類誘導体の釣具製品としての性能評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新規誘導体のエギ製品性能のクリア ・ 釣り糸としての利用可能性検討 	<p>エギ製品性能試験をクリアするための必要物性は把握済みであり、研究項目①でそれを満たす誘導体を見出すことによって本目標項目も達成の見通し</p>

(3) 成果の普及

本研究成果で得られた誘導体については、NEC が化学メーカーや多様な領域のユーザー企業と共に活動するパラレジンジャパン・コンソーシアムの中でサンプルワークし、その適用領域の拡大に努める。

表 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年6月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2021							
2022	1(見込み)		2(見込み)				
合計	1		2				

(4) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

知的財産権に関しては、研究代表機関である NEC を中心に、再委託先を含めたメンバーで構成される特許推進委員会を設置・運用。具体的には、目標物性レベルの達成可否に関わらず有用と考える成果については知財取得を積極的に検討。

表 特許の件数（内訳） 【2022年6月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2021	1		
2022	1(見込み)		
PJ 期間 合計	2		

2.2.2 研究開発項目②-1(2)「エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性樹脂素材の開発」

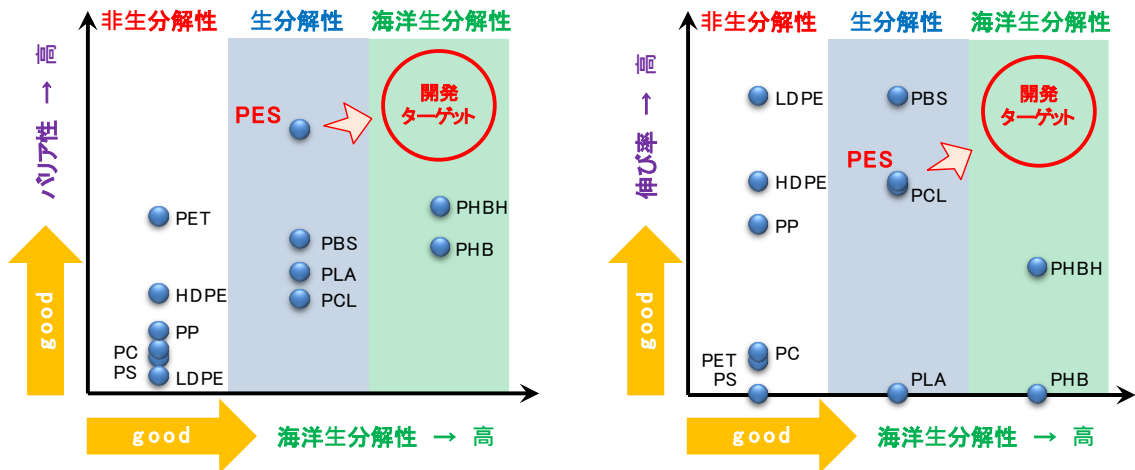
2.2.2.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

プラスチックは、軽量かつ丈夫であり加工性に優れ、日常生活の利便性等をもたらす素材として、プラスチックなしに生活している人がほぼ居ないと思われるほど、我々の日常生活において必要不可欠な材料となっている。一方で、世界的な生産量の増加に伴い、近年、プラスチックごみによる海洋汚染が問題視されるようになってきた。現在、国内プラスチック生産量の内、国内流通の生分解性プラスチックが占める割合は小さく、しかも陸域の土壌又はコンポストでの分解を前提とした生分解性プラスチックが主流であり、海洋生分解性を有するプラスチックはわずかな種類しか存在しない。そこで、世界的課題となっている海洋プラスチックごみ問題に対応する研究開発が求められている。海洋生分解性を有するプラスチックの研究開発は、国内でも盛んになっているものの実製品の原料として使用できる海洋生分解性ポリマーは限られており、新規化学構造を有する海洋生分解性樹脂・プラスチックの開発が強く望まれている。本研究開発項目では、これまでにプラスチックとして高いポテンシャルを持つことが知られているポリエチレンサクシネート(PES)を含む生分解性ポリマーや含芳香族バイオマスポリマーを原料に用いて、アミノ酸あるいはポリアミノ酸由来のアミド成分を導入した新規な化学構造を有するエステルアミドポリマーの開発を行う。開発したアミノ酸あるいはポリアミノ酸由来のアミド成分を導入した新規な化学構造を有するエステルアミドポリマーおよび樹脂素材の実海洋環境中での生分解性発現を実証し、新規海洋生分解性樹脂素材としての実用化を目指す。

(2) 位置づけ、目標値

株式会社日本触媒(以降、日本触媒と記載)は、1990年代にPES(商品名：ルナーレ SE)の開発を行っており、プレプラントレベルの製造技術を保有している。ルナーレ SEは、プラスチックフィルムの中でも高いガスバリア性能を示すことから食品包装用フィルムとして有望視されていた。また、PESはモノマー転化率95%以上、ポリマー収率95%以上と高効率で安定的な製造が可能であり、市場投入するに十分な製造技術を開発していた。しかしながら、開発当時は現在ほど生分解性樹脂のニーズがなかったこと、ポリマーフィルムとしての機械特性において、強度が低いことや加水分解速度が速いと言った課題があり、事業化を断念した。また、PESは淡水中では分解が進行するが、海水中では分解が進行しない。つまり、本プロジェクトの鍵であるポリアミノ酸ユニット・アミド成分を導入することで、従来のPESの欠点であった機械特性(インパクト強度 \approx 5 kJ/m)を、マルチフィルムやコンポストバックなどで実績があるピオノーレ(ポリブチレンサクシネートアジペート(PBSA))並みの10 kJ/mへ改善し、さらに加水分解性を改善することができれば、従来の食品包装用フィルムと比べ、高いガスバリア性能を有し、海水中で分解が進行するプラスチックフィルムの開発が行える(図Ⅲ-2.2.2-1)。



- ・「高ガスバリア」と「しなやかさ」を兼ね備えた新規海洋生分解性樹脂素材を開発
- ・既存の海洋生分解性ポリマーでは達成できていない領域を開拓

図Ⅲ-2.2.2-1 開発するターゲットポリマーと既存ポリマーの物性について

【中間目標値】

研究項目 A 「エステルアミド骨格をベースとする新規ポリマーの開発」

A-1：エステルアミドポリマーの合成システムの確立

A-1-1：新規含芳香族エステルアミドポリマーの合成

A-1-2：PES 由来新規エステルアミドポリマーの合成

A-1-3：様々な化学構造を持つ新規エステルアミドポリマーの合成

- ・モノマー転化率 90%以上およびポリマー収率 80%以上 (10 g/B 以上のポリマー取得)

A-2：室内および実環境下での生分解性の検証および魚類への生態毒性試験の実施

A-2-1：室内および実環境下での生分解性の検証

- ・汽水および海水を用いた生分解性検証実験を実施し、海洋生分解性があることを実証する。

A-2-2：魚類への生態毒性試験の実施

- ・A-2-1 で生分解が認められたポリマーを用いて、魚類への生態毒性試験を実施する。

A-3：物性および機能性の強化

A-3-1：物性および機能性の強化

A-3-2：コンパウンディングに向けた物性および機能性の評価

- ・酸素ガスバリア性(100 mL/m²・Day・atm：25 μm 以下)およびインパクト強度(10 mL/km 以上)の達成を目指す。

研究項目 B 「高効率合成システムの構築」

B-1：高分子量化手法の確立

- ・重量平均分子量 10 万以上のポリマーを得る高分子量化手法を確立する。

研究項目 C 「新規海洋生分解性エステルアミド樹脂素材の開発」

C-1：エステルアミド樹脂素材の材料特性評価および市場調査

- ・食品包装材料に関する調査を完了する。
- ・エステルアミド樹脂素材の特徴を活かした有望用途をポリマー3 種類毎に 1 つ以上提案する。

【最終目標値】

研究項目 A「エステルアミド骨格をベースとする新規ポリマーの開発」

A-1：エステルアミドポリマーの合成システムの確立

- ・ 研究項目 B に移行

A-2：室内および実環境下での生分解性の検証および魚類への生態毒性試験の実施

- ・ 研究項目 C-4 に移行

A-3：物性および機能性の強化

A-3-1：物性および機能性の強化

A-3-2：コンパウンディングに向けた物性および機能性の評価

- ・ 酸素ガスバリア性(100 mL/m²・Day・atm：25 μm 以下)およびインパクト強度(10 mL/km 以上)を達成する。

研究項目 B「高効率合成システムの構築」

B-1：高分子量化手法の確立

- ・ 研究項目 B-3 に移行

B-2：ラボスケールにおける合成システムの最適化

- ・ モノマー転化率 90%以上およびポリマー収率 90%以上でポリマーを取得する。
- ・ 1 kg/B 以上でポリマーを取得する。

B-3：高効率合成システムの構築

- ・ モノマー転化率 90%以上およびポリマー収率 90%以上でポリマーを取得する。
- ・ 5 kg/B 以上でポリマーが取得できる量産体制を構築する。

研究項目 C「新規海洋生分解性エステルアミド樹脂素材の開発」

C-1：エステルアミド樹脂素材の材料特性評価および市場調査

- ・ エステルアミド樹脂素材の特徴を最大限に発揮できる用途および市場を絞り込み、事業性を評価する。

C-2：コンパウンディングの検討

- ・ 新規海洋生分解性エステルアミド樹脂素材を開発するためのコンパウンディングの検討を実施する。

C-3：材料特性の強化および成形品の作製

- ・ エステルアミド樹脂素材の材料特性の強化を図り、成形品の作製を行う。

C-4：室内および実環境下での生分解性の検証および魚類への生態毒性試験の実施

C-4-1：室内および実環境下での生分解性の検証

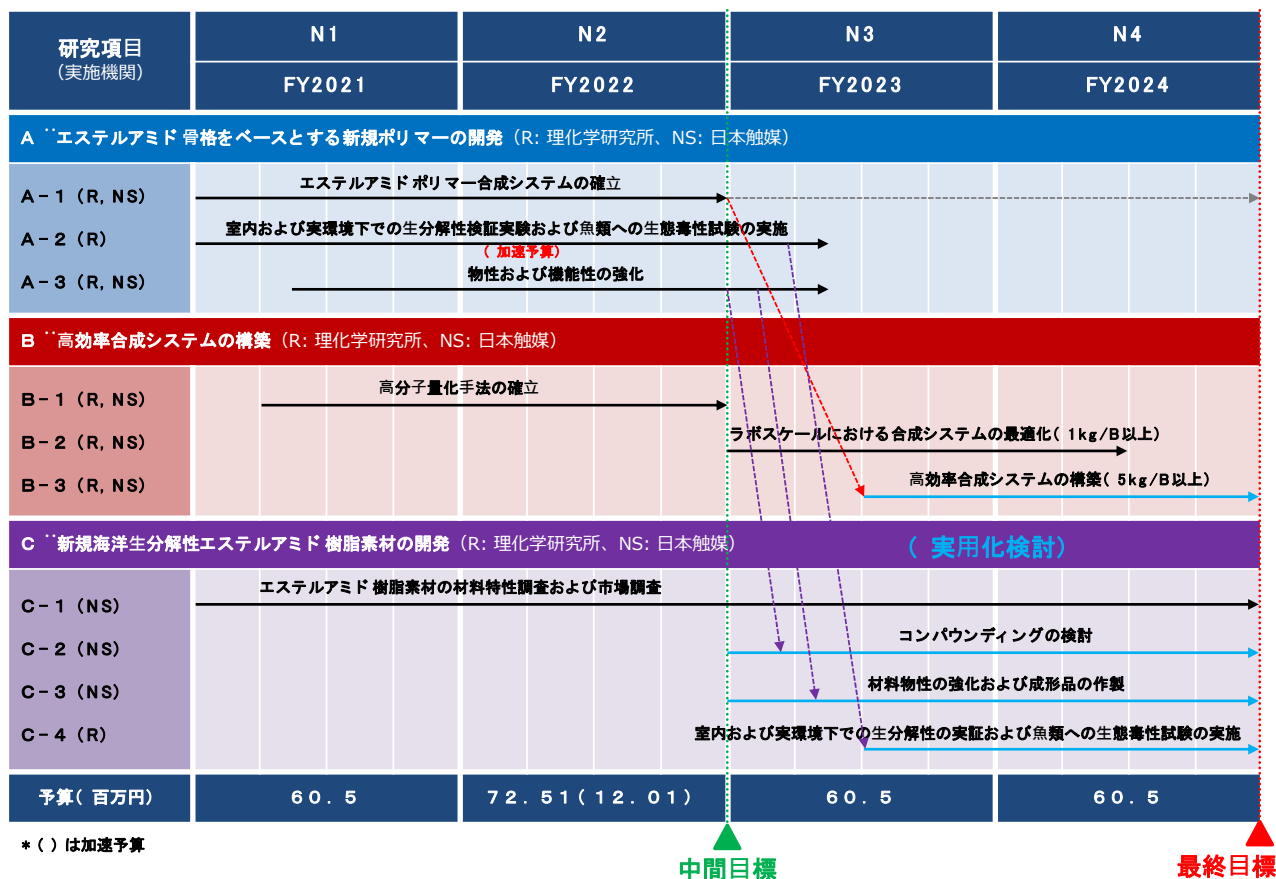
C-4-2：魚類への生態毒性試験の実施

- ・ 創出した海洋生分解性エステルアミド樹脂素材の海洋生分解性を実証する（1ヶ月後の生分解度が5%以上となる、またはフィルム浸漬試験において、1ヶ月後の重量減少率が10%以上となる）。
- ・ 創出した海洋生分解性エステルアミド樹脂素材について、魚類への生態毒性試験を実施する。

(3) 全体計画

研究開発テーマの実施計画と予算・開発費用を図Ⅲ-2.2.2-2 および図Ⅲ-2.2.2-3 に示す。中間年度までは、主にエステルアミドポリマーの合成、合成したポリマーの海水を用いた生分解性の検

証実験、高分子量化手法の確立およびエステルアミド樹脂素材の材料特性評価および市場調査を行う。海水を用いた生分解性試験は長期間かかるため、加速予算を用いて生分解性評価装置を追加購入した。中間年度以降は徐々に実用化に向けた検討に移行し、高効率合成システムの構築、コンパウンディング、材料特性の強化および成形品の作製および樹脂素材と成形品の海洋生分解性発現の実証を行う。



図Ⅲ-2.2.2-2 研究開発テーマの実施計画

研究項目 (実施機関)	N1	N2	N3	N4	合計 (単位：百万円)
	FY2021	FY2022	FY2023	FY2024	
A エステルアミド骨格をベースとする新規ポリマーの開発					
理化学研究所	30.25	42.26 (12.01)	7.26	0	79.77
日本触媒	10.89	10.89	3.388	0	25.168
B 高効率合成システムの構築					
理化学研究所	9.68	9.68	16.94	14.52	50.82
日本触媒	7.502	7.502	6.292	19.36	40.656
C 新規海洋生分解性エステルアミド樹脂素材の開発					
理化学研究所	0	0	6.05	6.05	12.10
日本触媒	2.178	2.178	20.57	20.57	45.496
研究開発予算(契約機関別合計)					
理化学研究所	39.93	51.94 (12.01)	30.25	20.57	142.69
日本触媒	20.57	20.57	30.25	39.93	111.32
合計 (単位：百万円)	60.5	72.51 (12.01)	60.5	60.5	254.01

* () は加速予算

図Ⅲ-2.2.2-3 研究開発テーマの予算・開発費用

(4) 実施体制

研究開発テーマの実施体制図を図Ⅲ-2.2.2-4に示す。



図III-2.2.2-4 研究開発テーマの実施体制図

(5) 運営管理

- [1] 月に一度進捗状況を月報(書面)にてNEDOに報告している
- [2] 1ヶ月～2ヶ月毎にプロジェクト進捗報告会を開催(対面とオンラインを併用)している
- [3] 実験進捗は実験担当者と業務責任者が密に情報共有し、プロジェクトの研究計画の変更や修正に関わる可能性がある場合は、その都度オンライン会議を実施している
- [4] 知的財産権の獲得に関する議論は、その都度実施している

(6) 実施の効果

[1] 期待売り上げ

現状の生分解性プラスチックの国内の市場規模は44億円と見積もられている(2018年実績:富士キメラ総研「2018年 プラスチックフィルム・シートの現状と将来展望」)。プロジェクト終了後5年目(2029年度)には、2022年予測の伸び率を基にして単純算出した場合、国内市場規模は、160億円と見積もれる。プロジェクト終了後5年目(2029年度)の計画では、年間400トン販売(400円/kgとして売上1.6億円)を見込んでおり、国内市場規模の約1.0%(ワールドワイドでは約0.1%)を占めると見込んでいる。プロジェクト終了後6年目(2030年度)以降は、開発した樹脂を改良し、化粧品用途やトイレタリー用途向けの販売を開始し、2050年までに樹脂分野で100億円、水溶性ポリマーで60億円、微粒子で30億円(合計190億円)の売り上げを目指す。また、諸外国で生産されている生分解性プラスチックの多くはコンポスタブルプラスチックであり、海洋生分解性プラスチックの生

産および研究開発に大きなリソースが投入されていないのが現状である。本研究開発テーマを実施し、「エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性樹脂素材」の開発に成功し、技術移転により日本触媒を通してこれらの本格生産が始まれば、国内のみならず海外においてもその市場を独占できる可能性が高いと考えている。

(参照：<https://www.enplanet.com/Ja/Market/Data/y21802.html>)

[2] 二酸化炭素削減効果

現状、レジ袋や農業用マルチフィルムなどに主として用いられている PE は、燃焼により重量ベースで 3.14 倍量の二酸化炭素排出が見積られる。本研究開発テーマでは、リグニン誘導体や PES の主原料であるエチレングリコールおよびコハク酸などのバイオマス由来の原料を用いることにしており、アミノ酸もバイオマス由来の原料として入手できることから、創出されるエステルアミド骨格をベースとする樹脂素材は、カーボンニュートラルな材料と捉えることができる。LCA による計算ではないため定量的な比較とはなっていないが、PE を原料とするプラスチック 1 kg を本研究開発テーマで創出する樹脂材料へと置き換えた場合、1 kg 当たり約 3 kg の二酸化炭素排出が削減されると予想される。本研究開発テーマ終了後の事業化計画が順調に進んだと仮定すると、2029 年度における年間の生産量を 400 トンと見積もっていることから、年間 1,200 トンの二酸化炭素削減効果が見込まれる。本研究開発テーマで創出する樹脂素材の適応範囲を拡大し、新たな市場を占有することができれば、年間生産量を 5 万トン以上にまで増強することも視野に入れているため、年間で約 15 万トンの二酸化炭素削減効果が見込める。2030 年までに達成するのは難しいと予想するが、新たな樹脂材料の市場を独占し、基本計画に書かれているように国内あるいは世界で年間 20 万トンまで生産量を増やすことができれば、年間で約 60 万トンの二酸化炭素削減効果となる。

2.2.2.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

中間目標に対する成果、達成度および今後の課題と解決方針を表Ⅲ-2.2.2-1 に示す。

表Ⅲ-2.2.2-1 中間目標に対する成果、達成度および今後の課題と解決方針

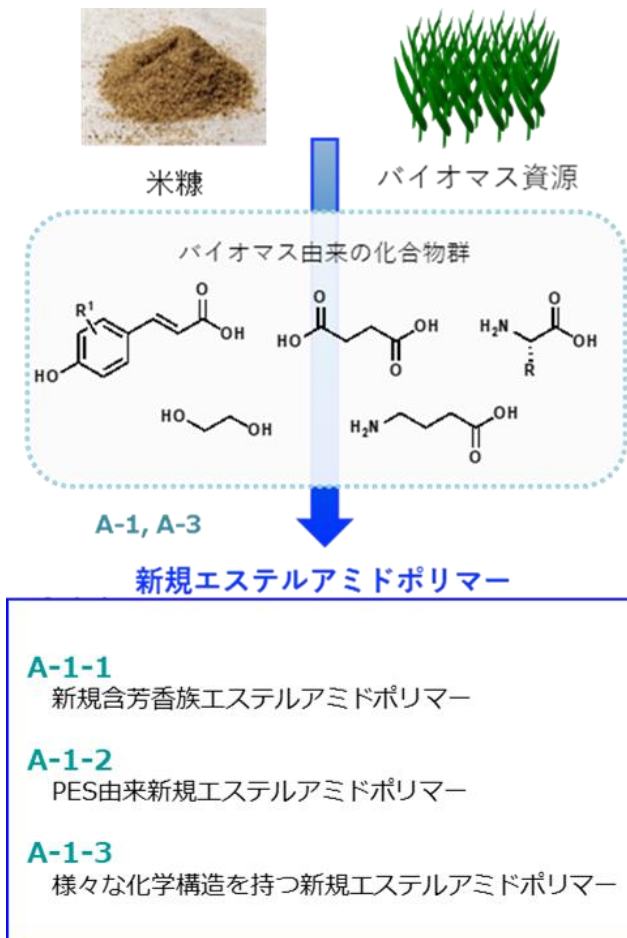
研究項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究項目 A-1 「エステルアミドポリマーの合成」	モノマー転化率 90% 以上およびポリマー収率 80%以上かつ 10g/B 以上のポリマー取得を行う。	モノマー転化率 90% 以上およびポリマー収率 80%以上かつ 10g/B 以上のポリマー取得を達成した。	○	スケールアップに対応した合成手法に改良を行っていく。

研究項目 A-2-1 「室内および実環境下での生分解性の検証」	汽水および海水を用いた生分解性検証実験を実施し、海洋生分解性があることを実証する。	合成した新規エステルアミドポリマーについて、海水を用いた BOD 生分解性試験を実施し、複数のポリマーで海洋生分解性の発現を確認した。	○	化学構造や高次構造と海洋生分解性発現の関係性を評価し、ポリマーの合成にフィードバックする。
研究項目 A-2-2 「魚類への生態毒性試験の実施」	魚類への生態毒性試験を実施する。	合成した海洋生分解性エステルアミドポリマーを用いて魚類への生態毒性試験を実施した。	○	適宜、実施する。
研究項目 A-3 「物性および機能性の強化」	酸素ガスバリア性 $500 \text{ mL/m}^2 \cdot \text{Day} \cdot \text{atm}$ ($25 \text{ } \mu\text{m}$) 以下を達成し、酸素ガスバリア性 $100 \text{ mL/m}^2 \cdot \text{Day} \cdot \text{atm}$ ($25 \text{ } \mu\text{m}$) 以下を目指す。また、インパクト強度 3 kJ/m 以上を達成し、 10 kJ/m 以上を目指す。	酸素ガスバリア性 $500 \text{ mL/m}^2 \cdot \text{Day} \cdot \text{atm}$ ($25 \text{ } \mu\text{m}$) 以下を達成した ($17\text{--}256 \text{ mL/m}^2 \cdot \text{Day} \cdot \text{atm}$ ($25 \text{ } \mu\text{m}$))。また、インパクト強度 3 kJ/m 以上を達成した ($2.0\text{--}11.0 \text{ kJ/m}$)。	○	化学構造や高次構造と各種物性値との関係性について評価を行い、ポリマー合成にフィードバックする。
研究項目 B-1 「高分子量化手法の確立」	重量平均分子量 10 万以上のポリマーを得る高分子量化手法を確立する。	ジャンプアップ手法により高分子量化を実施し、 10 g/B 以上の条件で、重量平均分子量 10 万以上のポリマーを取得することに成功した (重量平均分子量 15 万～100 万程度)。	○	海洋生分解性、酸素ガスバリア性およびインパクト強度の全てで目標値の達成を目指す。
研究項目 C-1 「エステルアミド樹脂素材	食品包装材料に関する調査を完了し、エ	食品包装材料に関する調査を継続してお	△ 2023 年 3 月	エステルアミド樹脂素材の特徴を踏まえ

<p>の材料特性調査および市場調査」</p>	<p>ステルアミド樹脂素材の特徴を活かした有望用途をポリマー3種類毎に1つ以上提案する。</p>	<p>り、2023年3月に目標を達成できる見込みである。また、2023年3月にエステルアミド樹脂素材の特徴を活かした有望用途をポリマー3種類毎に1つ以上提案できる見込みである。</p>	<p>達成見込み</p>	<p>て、様々な角度から調査を行っていく。</p>
------------------------	--	--	--------------	---------------------------

[1] 研究項目 A 「エステルアミド骨格をベースとする新規ポリマーの開発」

本研究項目では、リグニン誘導体などのバイオマス由来の芳香族化合物 (A-1-1) や、PES の原料となるコハク酸、エチレングリコール (A-1-2)、さらに様々なバイオマス由来の化合物やバイオ生産が可能な化合物 (A-1-3) を原料に用いて、アミノ酸をアミド成分として組み込んだ新規エステルアミドポリマーの合成を検討した。



図Ⅲ-2.2.2-5 本プロジェクトでターゲットとする新規エステルアミドポリマー

[1]-1). エステルアミド骨格をベースとするブロックポリマーの合成

本研究開発テーマで合成するアミノ酸およびポリアミノ酸をアミド成分として導入するエステルアミド骨格をベースとするブロックポリマーは、ポリマー構造が新規であるため、その合成手法から検討する必要がある。本研究項目では、エステルアミド骨格をベースとするブロックポリマーの合成について、様々な合成法を検討して目的のブロックポリマーの取得を試みた。その結果、ポリアミノ酸ユニットを含有する新規エステルアミドブロックポリマーを 10 件合成することに成功した。目的の新規エステルアミドブロックポリマーの合成結果は、モノマー転化率 90%以上およびポリマー収率 80~98%であり、中間目標であるモノマー転化率 90%以上およびポリマー収率 80%以上を達成した。また、1 バッチ 25 g のポリマー取得に成功しており、中間目標である 10 g/B 以上を達成した。

[1]-2). エステルアミド骨格をベースとするランダムポリマーの合成

本研究開発テーマで合成するアミノ酸をアミド成分として導入するエステルアミド骨格をベースとするランダムポリマーは、ポリマー構造が新規であるため、その合成手法から検討する必要がある。また、実製造を見据えた場合、ラボ(10 g 程度)スケールにおいても効率的に実施できる重合方法でなければならない。そのためには、アミノ酸をアミド成分として適切にポリマー骨格に導入できる合成手法を確立し、さらに 1 バッチ当り 10 g 以上のスケールにおいてポリマー収率 80%以上を確保しておく必要がある。本研究項目では、エステルアミド骨格をベースとするランダムポリマーの合成について、様々な合成法を検討して目的のランダムポリマーの取得を試みた。その結果、アミノ酸ユニットを含有する新規エステルアミドランダムポリマーを 30 件合成することに成功した。目的の新規エステルアミドランダムポリマーの合成結果は、ポリマー収率 75~94%であり、中間目標であるポリマー収率 80%以上を達成した。また、すべてのポリマー合成を 10 g/B 以上で実施しており、中間目標である 10 g/B 以上を達成した。

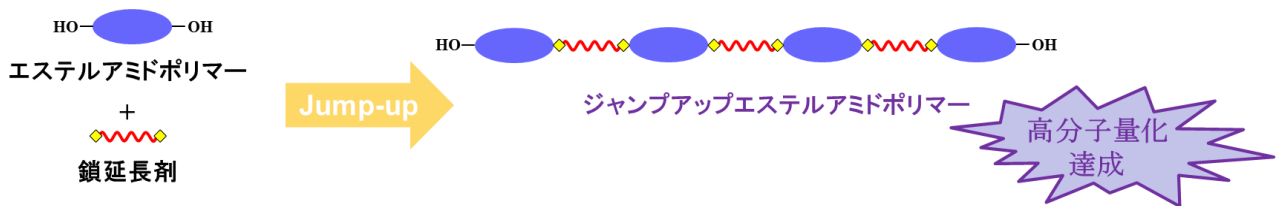
[1]-3). 室内および実環境下での生分解性の検証および魚類への生態毒性試験の実施

本研究開発テーマの達成には、合成したポリマーが海洋生分解性を有していることが必要条件となる。そのため、合成したポリマーに対する海洋生分解性の評価方法を確立する必要がある。そこで、ラボスケールでの生分解性評価方法として生物化学的酸素要求量 (BOD) 生分解性試験を採用し、擬似実環境下における生分解性を検証することで海洋生分解性を実証することにした。また、多くの化学物質の最終到着点は海などの水界であることから、水界生態系を維持している生物相に対する影響評価が重要である。しかしながら、全ての環境生物に対して試験を行うことは不可能である。そこで、水圏代表生物として、魚類を用いた生態毒性試験を実施することで、化学物質の生物への影響の程度を評価した。その結果、合成した複数のエステルアミド骨格をベースとする新規ポリマーについて、海洋生分解性発現を確認した。合成したエステルアミド骨格をベースとする新規ポリマーについて、汽水および海水を用いた生分解性検証試験を実施し、海洋生分解性があることを実証し、中間目標を達成した。また、生態毒性試験のうち、急性毒性試験である魚類急性毒性試験を実施し、中間目標を達成した。

[2] 研究項目 B 「高効率合成システムの開発」

[2]-1). 高分子量化手法の確立

研究項目 A-1「エステルアミド骨格をベースとする新規ポリマーの開発」で合成した各種エステルアミドポリマーは、重量平均分子量が 10 万未満であるものが多く、実用的な強度、加工成形性を実現するためには、より高分子量化する手法の確立が必要である。そこで、本研究項目では、エステルアミドポリマーの高分子量化反応を検討した。また、機械特性評価が実施できる加工成形性を担保する重量平均分子量としては 10 万以上を目安とした。研究項目 A-1 で合成したエステルアミド骨格をベースとする新規ブロックポリマーおよび新規ランダムポリマーを用いて、本研究項目で確立した高分子量化反応を 10 g/B 以上の条件で実施したところ、重量平均分子量は 15 万～100 万程度に向上し、中間目標である機械特性評価が実施できる加工成形性を担保する重量平均分子量 10 万以上を達成した。



図Ⅲ-2.2.2-6 エステルアミドポリマーの高分子量化

[3] 研究項目 C「新規海洋生分解性エステルアミド樹脂素材の開発」

[3]-1). エステルアミド樹脂素材の材料特性評価と市場調査

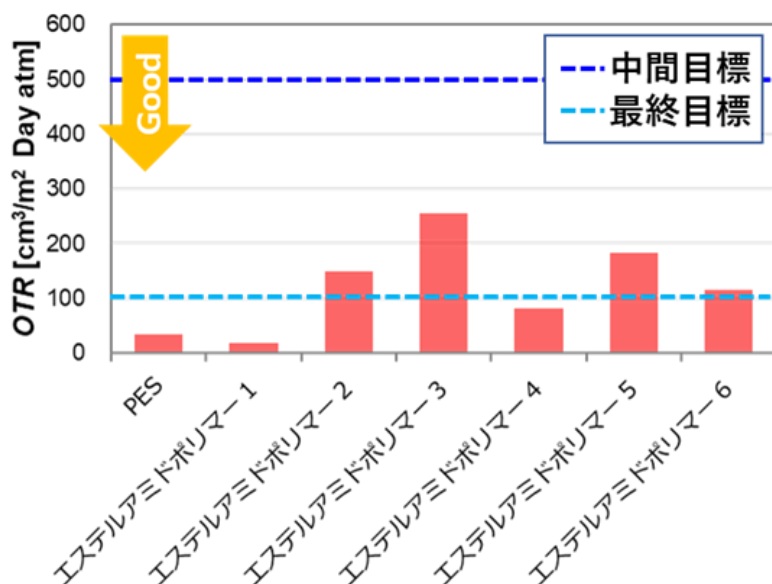
[3]-1)-1. エステルアミド樹脂素材の材料特性評価

上記で合成したエステルアミドポリマーの多くは海水での生分解性が確認されているため、意図せず海洋に流出し、海洋プラスチックごみになってしまう可能性が高い包材関連の分野での使用が期待できる。包材関連分野においては、用途ごとに求められる物性が異なるものの、ガスバリア性は共通して注目される物性である。

日本触媒は、1990 年代に PES の開発を行っており、プレプラントレベルの製造技術を保有している。PES は、プラスチックフィルムの中でも高いガスバリア性能を示すことから食品包装用フィルムとして有望視されていた。しかしながら、開発当時は現在ほど生分解性樹脂のニーズがなかったこと、フィルムとしての機械特性において、強度（インパクト強度、引き裂きなど）が低いと言った課題があり、事業化を断念した。本プロジェクトの鍵であるポリアミノ酸ユニット・アミド成分を導入することで、従来の PES の欠点であった機械特性を、マルチフィルムやコンポストバックなどで実績があるポリブチレンサクシネートアジペート (PBSA) 並みのインパクト強度 10 kJ/m 程度へ改善することができれば、海水中で分解が進行するプラスチックフィルムの開発が可能となると言える。

そこで本研究項目では、第一に合成した各種エステルアミドポリマーのフィルムの酸素ガスバリア性を評価した。なお、食品包装用フィルムの酸素ガスバリア性が 1～250 mL/m²・Day・atm(25 μm) などであることを考えれば、作成するポリマーフィルムの酸素ガスバリア性が最終的に 100 mL/m²・Day・atm(25 μm) 以下に達すれば、実用に耐えうる樹脂製品の製造を検討していくことができると考えられる。さらに、本研究項目においては、機械特性の指標としてフィルムのインパクト強度を評価した。

研究項目 A-1「エステルアミド骨格をベースとする新規ポリマーの開発」で合成した各種エステルアミドポリマーについて、酸素透過率測定を実施したところ、酸素透過率は 17～256 mL/m²・Day・atm (25 μm)であった。また、合成した各種エステルアミドポリマーについて、フィルムインパクト強度測定を実施したところ、2.0～11.0 kJ/m であった。本研究項目の中間目標である「酸素ガスバリア性 500 mL/m²・Day・atm (25 μm)以下を達成し、酸素ガスバリア性 100 mL/m²・Day・atm (25 μm)以下を目指す」および「インパクト強度 3kJ/m 以上を達成し、10 kJ/m 以上を目指す」を達成した。



図III-2.2.2-7 各種フィルムの酸素ガス透過率(25 μm 換算)

[3]-1)-2. エステルアミド樹脂素材の市場調査

MARKETSANDMARKETS「Bioplastics & Biopolymers Market」によると、生分解性プラスチックの市場規模(金額)は、2021年に7,644 M\$、2026年に23,182 M\$と予測され、5年間で約3倍に成長すると見込まれている。その内の半分以上(約60%)が包装材料に使用され、その量は約2000 ktに上る。この生分解性包装材料に使用される素材の大半は、PLA、PBATのような海洋では分解しない素材が占める。包装材料のように意図せず環境中に流出する可能性が高い用途では、非海洋分解性プラスチックから海洋分解性プラスチックへの代替が、依然として未解決の課題として存在している。

CMCリサーチ「食品包装産業を取り巻くマイクロプラスチック問題」を参考に、食品包装業界の動向を調査すると、COVID-19による内食増加、女性の就業率上昇、個食の増加を背景に、レトルト食品、インスタント食品、冷凍食品、調理済み食材など時短商品の需要が増加していることが把握できた。このような社会的側面を鑑みても食品包装材料は、長期に渡り需要を維持できる有望用途だと考えている。そして、食品包装材料について調査することで、ガスバリア性、ヒートシール性、耐ピンホール性が、多くの用途に共通して要求される機能である事を把握した。これらの機能を発現する基礎物性について深掘りし、既存材料のレベルを設定して、エステルアミド樹脂素材の評価と改良を進める方針を確認した。

EUでは、プラスチックごみの約5%が農業活動を起源とすることが報告されている(参考: A European strategy for plastic in a circular economy, 2018)。中でも、種子の保護や肥料の

徐放などを目的に使用される農業用コーティングは、意図的に環境流出を引き起こすため、EUでは規制の対象とすることが検討されている。種子や肥料のコーティング材料には、水蒸気や酸素の透過性が必要となる上、ある程度の耐久性も必要となるため、有効な代替材料が見出されていない。また、環境中での完全分解が解決策になる可能性が高いため、エステルアミド樹脂素材の海洋分解性を活かせる有望な用途と考えている。EUをはじめとする各国の規制動向、市場性について、調査を継続・深掘する予定である。

本研究項目の中間目標である「食品包装材料に関する調査を完了し、エステルアミド樹脂素材の特徴を活かした有望用途をポリマー3種類毎に1つ以上提案する」は2023年3月までに達成できる見通しである。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

最終目標の達成見通しを表Ⅲ-2.2.2-2に示す。

表Ⅲ-2.2.2-2 最終目標の達成見通し

研究項目	最終目標 (2024年度)	達成見通し
研究項目 A-3「物性および機能性の強化」	酸素ガスバリア性 100 mL/m ² ・Day・atm (25 μm) 以下およびインパクト強度 10 kJ/m 以上を達成する。	中間年度までの達成状況から酸素ガスバリア性 100 mL/m ² ・Day・atm (25 μm) 以下およびインパクト強度 10 kJ/m 以上を示す新規エステルアミドポリマーの開発は達成できると考えている。
研究項目 B-2「ラボスケールにいける合成システムの最適化」	モノマー転化率 90%以上およびポリマー収率 90%以上でポリマーを取得する。また、1 kg/B でポリマーを取得する。	スケールアップは、ランダムポリマーの合成手法を用いて行うことを考えているため、スケールアップは容易であると考えている。
研究項目 B-3「高効率合成システムの構築」	モノマー転化率 90%以上およびポリマー収率 90%以上でポリマーを取得する。また、5 kg/B でポリマーを取得できる量産体制を構築する。	研究項目 B-2 と同様に、工業生産に向けた合成手法は、ランダムポリマーの合成手法をベースとするため、量産体制の構築は可能であると考えている。
研究項目 C-1「エステルアミド樹脂素材の材料特性評価および市場調査」	エステルアミド樹脂素材の特徴を最大限に発揮できる用途および市場を絞	これまでの成果から開発している新規海洋生分解性エステルアミド樹脂素材の特徴は、食品包装用途に適していると考えられる。また、その他、農業資材

	り込み、事業性を評価する。	用途などにも展開が図れると考えており、事業性について評価を行っていく。
研究項目 C-2 「コンパウンディングの検討」	新規海洋生分解性エステルアミド樹脂素材を開発するためのコンパウンディングの検討を実施する。	中間年度までの達成状況からエステルアミド樹脂素材を開発するためのコンパウンディングは予定通り検討が行えると考えている。
研究項目 C-3 「材料特の強化および成形品の作製」	エステルアミド樹脂素材の材料特性の強化を図り、成形品の作製を行う。	中間年度までの達成状況からエステルアミド樹脂素材の成形品の作製は行えると考えている。
研究項目 C-4-1 「室内および実環境下での生分解性の実証」	創出した海洋生分解性エステルアミド樹脂素材の海洋生分解性を実証する（1ヶ月後のBOD生分解度が5%以上となる。または、フィルム浸漬試験において、1ヶ月後の重量減少率が10%以上となる）。	中間年度までの達成状況からエステルアミド樹脂素材の海洋生分解性の実証を達成できると考えている。
研究項目 C-4-2 「魚類への生態毒性試験の実施」	創出した海洋生分解性エステルアミド樹脂素材について、魚類への生態毒性試験を実施する。	エステルアミド樹脂素材およびその成形品が作製でき次第、実施する。

(3) 成果の普及

論文、外部発表等の件数を表Ⅲ-2.2.2-3 に示す。

表Ⅲ-2.2.2-3 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年6月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2021	0	0	0	0	0	0	0
2022	0	0	0	0	0	0	0
2023	(目標 4)	-	(目標 4)	(目標 2)	(目標 2)	-	-
合計	0	0	0	0	0	0	0

(4) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針に従い、知的運営委員会を整備して、知財の取り扱いや出願方針について議論した。新規海洋生分解性エステルアミド樹脂素材に関する研究開発成果を、物質特許、製法特許、用途特許について、効果的に権利化していくために、先行技術調査を実施してグループ内で情報共有化した。海洋生分解性樹脂の製品形態については、現状想定している包材関連、農業用資材のほか幅広く市場調査を進めている段階にあり、新たな市場が見出されれば、随時出願していく方針である。特許の件数を表Ⅲ-2.2.2-4 に示す。

表Ⅲ-2.2.2-4 特許の件数（内訳） 【2022年6月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2021	0	0	0
2022	0 (予定 3)	0	0
PJ 期間 合計	0	0	0

出願予定特許

- ・新規エステルアミドランダムポリマーの製造法（2022年度内に出願予定）
- ・新規エステルアミドブロックポリマーの製造法（2022年度内に出願予定）
- ・エステルアミド骨格をベースとする海洋生分解性樹脂素材の製造法（2022年度内に出願予定）

2.2.3 研究開発項目②-2「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの実用化開発」

2.2.3.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

プラスチックは、軽量かつ丈夫であり加工性に優れ、日常生活の利便性等をもたらす素材として幅広く活用されており、世界で年間約4億トンが生産されている。また、2030年には、生産量が世界で年間5億トンを超え、80兆円規模の市場になるものと想定されている。一方で世界的な生産量の増加に伴い、近年、プラスチックごみによる海洋汚染が問題視されてきている。現在、国内プラスチック生産量の内、国内流通の生分解性プラスチックが占める割合は小さく、しかも陸域の土壌又はコンポストでの分解を前提とした生分解性プラスチックが主流であり、海洋生分解性を有するプラスチックはわずかな種類しか存在していない。そこで、世界的な課題となっている海洋プラスチックごみ問題に対応する研究開発が早期に求められている状況である。

中でもマイクロプラスチックは、自然界に流出すると回収が困難であり、海洋中で有害物を吸着することにより、生態系に悪影響を及ぼすことが知られている。特に一次マイクロプラスチックと呼ばれるプラスチックビーズの用途には、パーソナルケア製品があり、これらの大半は使用後に下水へ洗い流されている。また、プラスチックビーズを含む塗料や樹脂製看板など屋外で使用される素材は、UV劣化、摩耗等によりマイクロプラスチック化しやすく、何れも経年劣化とともに土壌や下水を介して河川や海洋に流出する可能性がある。

これらのプラスチックビーズは、One Way として取り扱われるものが多く、回収困難な素材であり、プラスチックとしての機能を維持しつつ、仮に海洋中に流出したとしても速やかに生分解される、既存のプラスチックビーズの代替素材が求められている。

これらの観点を鑑み、本プロジェクトでは、既存の樹脂を複合化して物性や機能性等を高める開発や樹脂に適合する充填剤等の添加剤の検討等、新たな用途を創出し社会実装を推進する開発を対象として、海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発を行う。

将来的には、世界に先駆け、新たな海洋プラスチックごみ発生ゼロの一助となる事を目指す。

(2) 位置づけ、目標値

本プロジェクトにおいては、

2020年度～2021年度 委託事業（フェーズA）

研究開発項目②-2 イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの開発

2022年度～2023年度 助成事業（フェーズB）

研究開発項目②-2 イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの実用化開発

として2段階で研究開発、技術開発を実施している。

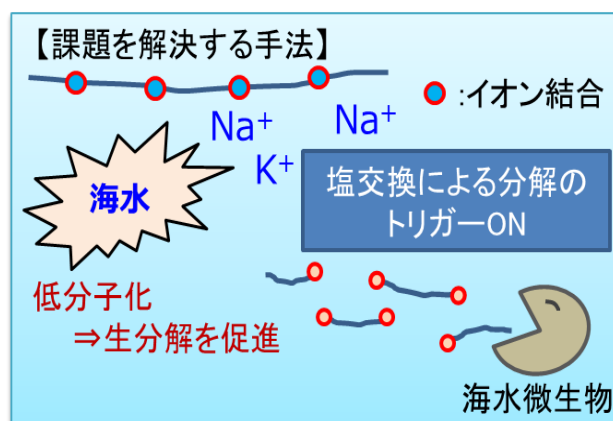
<事業概要>

本プロジェクトにおいて実用可能な海洋生分解性プラスチック素材を得るためには、水には難溶性でありながら、海洋中においては豊富に存在するNaイオンなどの金属イオンが分解開始のトリガーとして作用し、分解（分子切断）が促進するよう制御する必要がある。但し、イオン結合を持つすべての化合物が海水中で容易に生分解を引き起こすわけではないため、分子切断により低分子化した化合物も、海洋中で生分解性能を示す必要がある。

これらの観点を踏まえ、海洋生分解性と疎水性の双方を満足するイオン結合を有するポリマー化合物を検討し、これらを微粒子又は粉体状にした海洋生分解性化合物を開発する。

また、上記の微粒子又は粉体の海洋生分解性化合物を添加剤として、熱可塑性の樹脂と複合化する検討を行い、海水中で効率よく分解が進むイオン結合を有する海洋生分解性プラスチック素材を開発する。

更に、これらの海洋生分解性化合物中から有用素材の絞り込みを行い、具体的用途を選定した上で、素材の製法、用途、コストを踏まえ、普及拡大を加速させるための実用化開発を実施する。



図Ⅲ-2.2.3-1
新規海洋生分解性化合物（樹脂）の解決手段

<位置づけ>

現在、国内プラスチック生産量（年間1千万トン）のうち、国内で流通している生分解性プラスチックは、2,300トン程度と国内市場に占める割合は小さく、しかも陸域の土壌又はコンポストでの分解を前提とした生分解性プラスチックが主流であり、海水中のような微生物が極端に少ない環境下での生分解性を有するプラスチックは僅かな種類しか存在しない。先行し、海洋生分解性樹脂として開発が進められているのが、PHAなどの微生物産生のバイオポリエステルである。これら微生物産生のポリエステルはバイオマスプラスチックであり、海洋での生分解性もあることから有用な海洋生分解性樹脂の一つとして展開が進められている。しかしながら、現状は、海洋での生分解性は一部のポリエステル構造に限られてしまうことや価格面、物性、種類において依然開発の余地が残っている状況である。

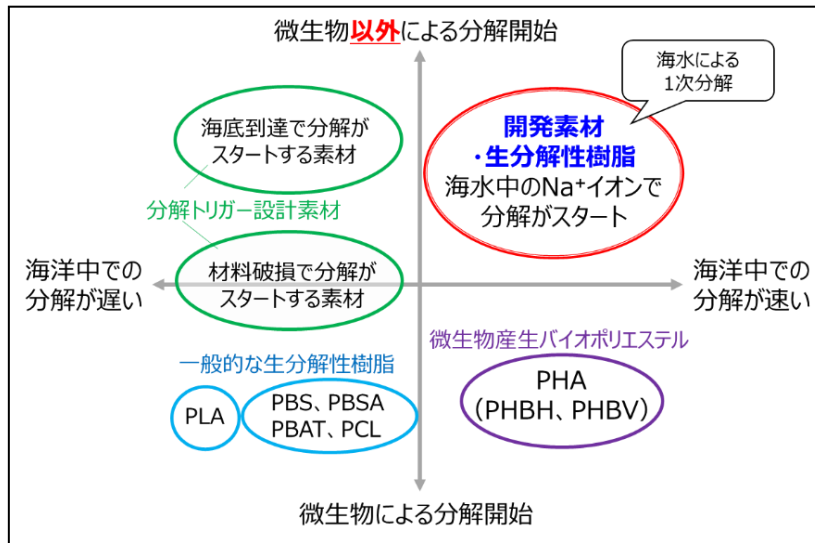
また、NEDO基本計画に記載の通り、海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材開発により物性、機能性を向上した新素材がさらなる製品適用拡大により普及拡大を加速させる為には、国内からの複数の新素材の開発が望まれている状況となっている。

新しい分解機構の提案として、海底到達で分解がスタートする素材や材料破損により分解がスタートする海洋生分解性樹脂の開発も進められているが、分解がスタートするまでのポットライフが長期にわたりやすく、ポットライフ中の海洋生態系への影響が危惧される可能性もある。

本件の研究開発における優位性は以下の通りである。

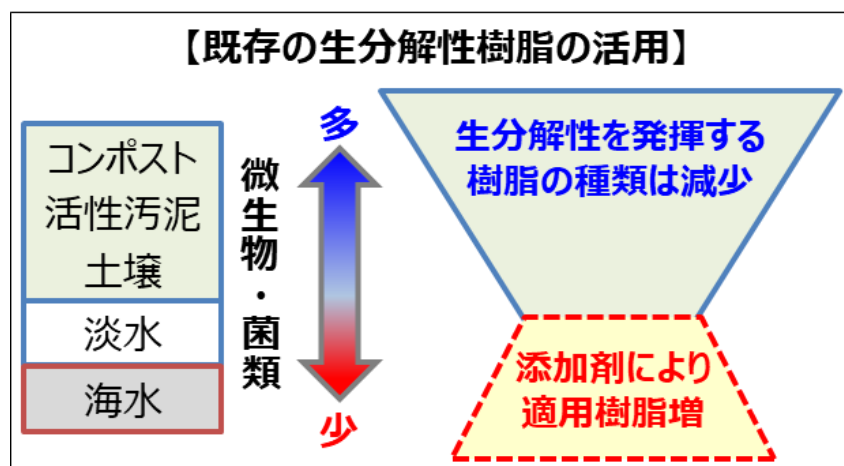
- ①塩交換をトリガーとした新規な分解機構
- ②加水分解や海域に依存しない分解性 [確実性]
- ③原料及び樹脂構成の自由度の高さ [豊富な構造による物性の付与]
- ④自然由来成分での構成も可能 (バイオプラ + 生分解プラ) [カーボンニュートラル]
- ⑤既存の生分解性樹脂との複合化による海洋生分解度向上 [既存樹脂の活用]

これらの特徴を十分活かし、実用化できれば優位性が高い素材になるものと考えている。



図Ⅲ-2.2.3-2 既存の生分解性樹脂と海洋での生分解性素材の技術開発動向

また、当該事業で成果物として得られる海洋生分解性化合物は、素材全体の海洋生分解性を高める新しい分解機構の添加剤であり、既存の生分解性樹脂と複合化することで、既存樹脂の物性を活かしつつ素材全体の海洋生分解性を高めることができ、NEDO 基本計画に沿った海洋生分解性プラスチックの普及拡大につなげることができる。このことから NEDO 基本計画の達成に向けた位置づけ及び有効性は十分あるものと考えている。



図Ⅲ-2.2.3-3 既存の生分解性樹脂の領域と期待される効果

<目標値>

[2020 年度～2021 年度]

イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの開発

表Ⅲ-2.2.3-1 中間目標

中間年度（2021年度）	中間目標
研究項目① 海洋生分解性化合物の開発	●海水生分解度、疎水化度が目標以上のイオン結合を有する微粒子・粉体を1種以上選定する。
【サブタスク】	①-1 ・海洋生分解性化合物の合成と評価 ①-2 ・海洋生分解性化合物と生分解メカニズムの関連性調査 ①-3 ・安全性試験、物性評価
研究項目② イオン結合を有する海洋生分解性プラスチック素材の開発	●海洋生分解性かつ疎水性のイオン結合を有する微粒子・粉体を添加剤として含む熱可塑性の樹脂複合体1種以上について目標の海水生分解度のシートを得る。
【サブタスク】	②-1 ・海洋生分解性化合物と熱可塑性樹脂との複合化と評価 ②-2 ・安全性試験、認証評価

【中間目標設定の根拠】

研究項目①：海洋生分解性化合物の開発

- 1) 海水中での本質的生分解性の有無を判断する。本質的生分解性試験（OECD 302C）の基準となる生分解度20%以上を採用した。
- 2) 用途展開の1つとしてプラスチックビーズの代替を考慮し、疎水性評価基準を盛りこみ、実用性のある目標とした。

研究項目②：イオン結合を有する海洋生分解性プラスチック素材の開発

- 1) 研究項目①を満たす海洋生分解性化合物と既存の生分解性樹脂との複合樹脂を開発する。
- 2) 海水中で生分解性を有する樹脂シート（フィルム）を得る。
- 3) 成型性、基本強度物性（引張強度）を評価し、素材全体の生分解性を高める添加剤としての可能性を検証する目標とした。

[2022 年度～2023 年度]

イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの実用化開発

表Ⅲ-2. 2. 3-2 最終目標

最終年度（2023 年度）	最終目標
研究項目③-1 プラスチックビーズ代替素材の 実用化開発	●試作設備において、目標となる製造コストのプラスチックビーズ代替素材の実用試作品を1種以上提案する。
【サブタスク】	③-1-1 製造工程の検討 ③-1-2 量産化検討による検証と改善（設備導入） ③-1-3 安全性試験、法規/認証対応、客先評価
研究項目③-2 海洋生分解性付与添加剤の実用 化開発	●海洋生分解度、熔融温度の目標を達成した海洋生分解性付与添加剤を1種以上開発する。 ●既存生分解樹脂との複合樹脂としても目標となる生分解性と物性を維持できる海洋生分解性付与添加剤の量産工程をマスターペレットで1種以上確立する。 ●イオン結合を有する海洋生分解性化合物の生分解メカニズムを 1) イオンによる構造分解 2) 微生物による生分解 の観点から明確にする。
【サブタスク】	③-2-1 海洋生分解性化合物の検証と改善 ③-2-2 製造工程の検討と物性評価 ③-2-3 安全性試験、認証と法規対応 ③-2-4 生分解メカニズムの解明

【最終目標設定の根拠】

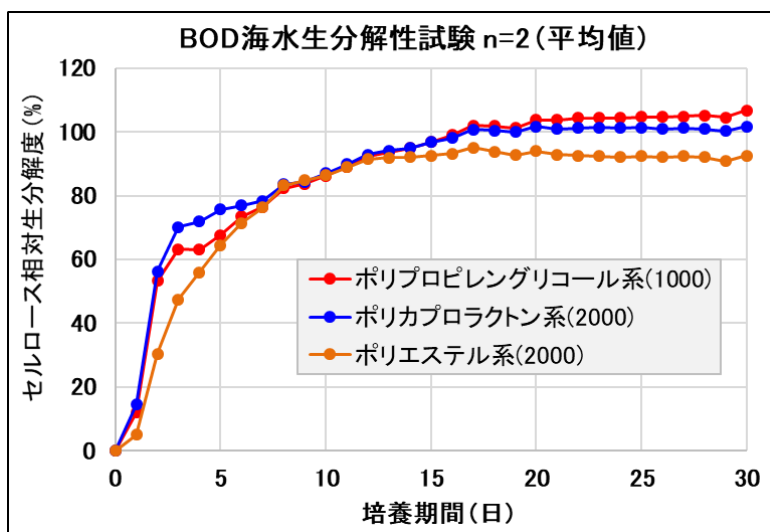
研究項目③-1：プラスチックビーズ代替素材の実用化開発

- 1) 用途展開とサンプル供給、有償化を見据え試作設備による製造工程の構築を目指す。
- 2) フェーズAにおいて天然高分子を用いたイオン結合を含む疎水化アルギン酸粒子群をターゲットに具体的な製造工程を確立する。
- 3) 用途展開とサンプル供給、有償化を見据え、実用性のある少量生産工程を構築することを目標とした。
- 4) 実用化を踏まえ、業界販売価格（上限値）を鑑み、少量生産においても有償販売可能な製造コスト（上限値）を目標値とした。

● 図III-2.2.3-4 は非公開により削除

研究項目②：海洋生分解性付与添加剤の実用化開発

- 1) フェーズAの成果をもとに生分解性と物性を両立可能な添加剤の応用開発を目指す。
- 2) 特に複合樹脂素材にターゲットを置き One Way 製品に対応可能な物性値を目標とした。
- 3) 既存の生分解性樹脂の特徴を維持しながら海洋生分解性を促進する生分解添加剤としての価値を実用化に結び付ける目標とした。
- 4) 早期実用化に向け、安全性の観点からメカニズムを検証する。



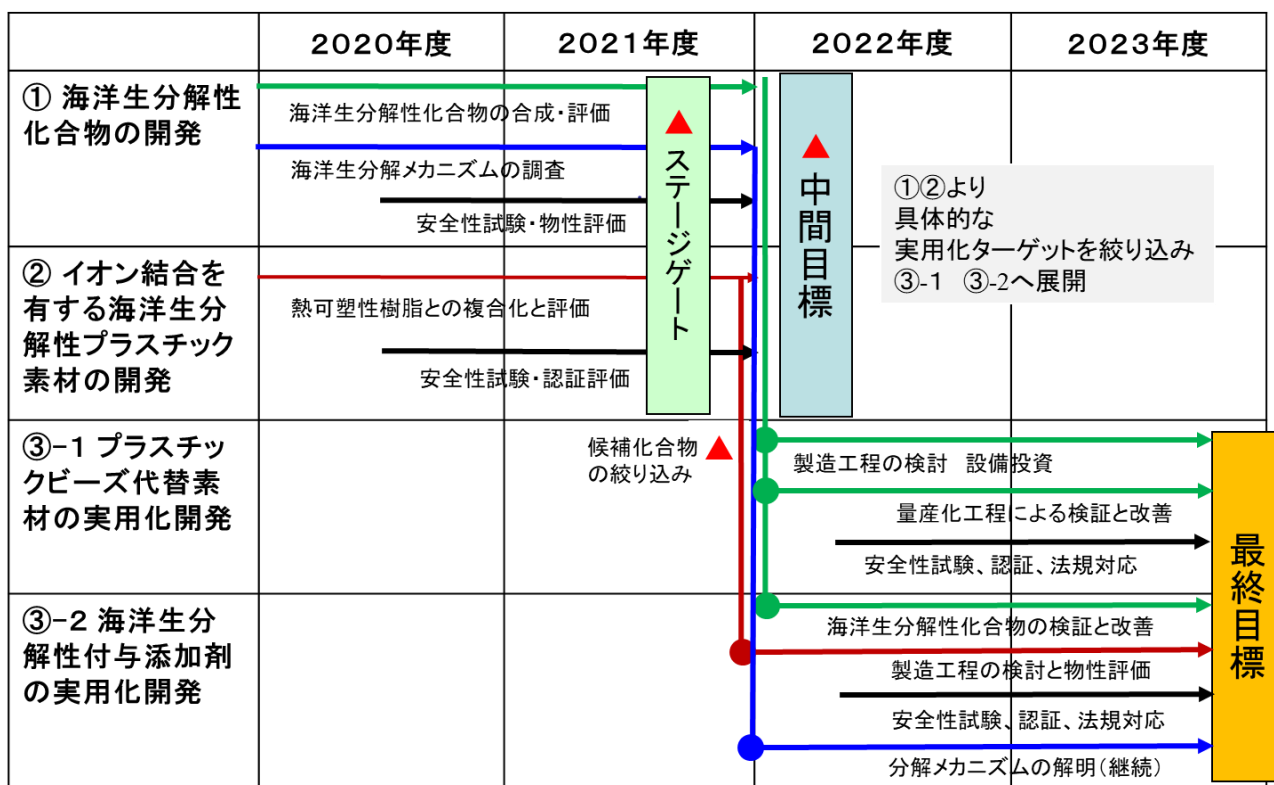
図III-2.2.3-5
フェーズAで得られた主な海洋生分解性化合物とその生分解性

(3) 全体計画

本プロジェクトにおける事業全体の計画及び開発予算については以下の通りである。

表Ⅲ-2.2.3-3 研究開発全体計画概略

(単位：百万円)



表Ⅲ-2.2.3-4 開発予算

研究項目	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度(予定)	合計
①海洋生分解性化合物の開発	23	25	0	0	48
②イオン結合を有する海洋生分解性プラスチック素材の開発	32	44	0	0	76
③-1 プラスチックビーズ代替素材の実用化開発	0	0	46	10	56
③-2 海洋生分解性付与添加剤の実用化開発	0	0	21	37	58
合計	55	69 (13)	67 (12)	47	238

※()は加速予算

<備考>

・2020年度～2021年度：委託事業費 2022年度～2023年度：1/2 助成事業費

・加速予算内訳

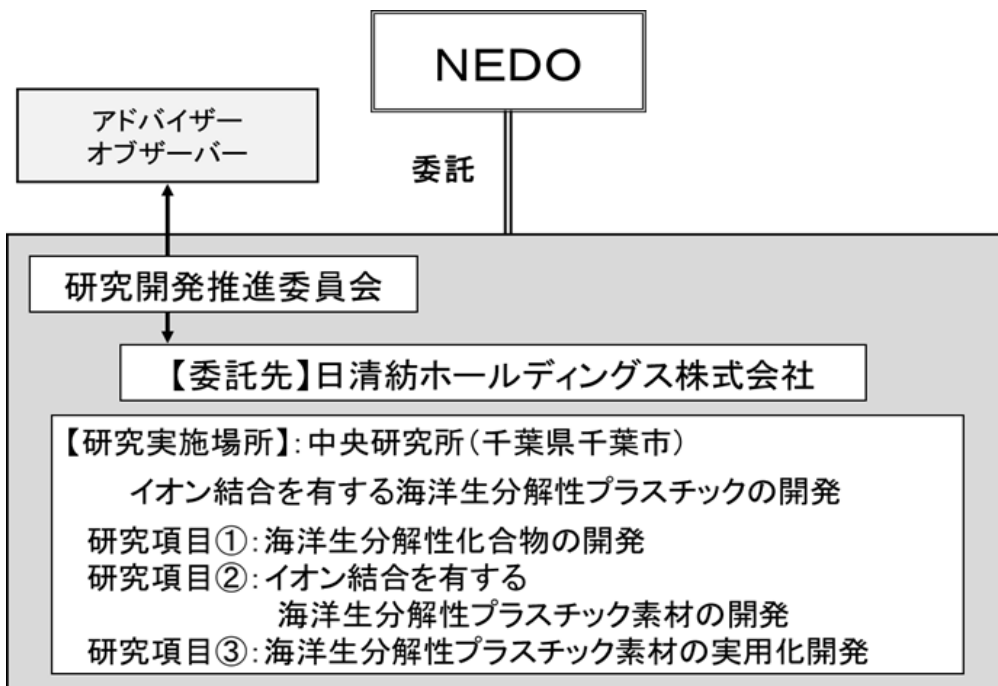
2021年度：国際競争力のある新素材の開発を加速する為、装置導入費、労務費、特許出願費の増額を実施

2022年度：早期実用化を加速する為、③-1に係る設備費、③-2に係る安全性試験費、労務費の増額を実施

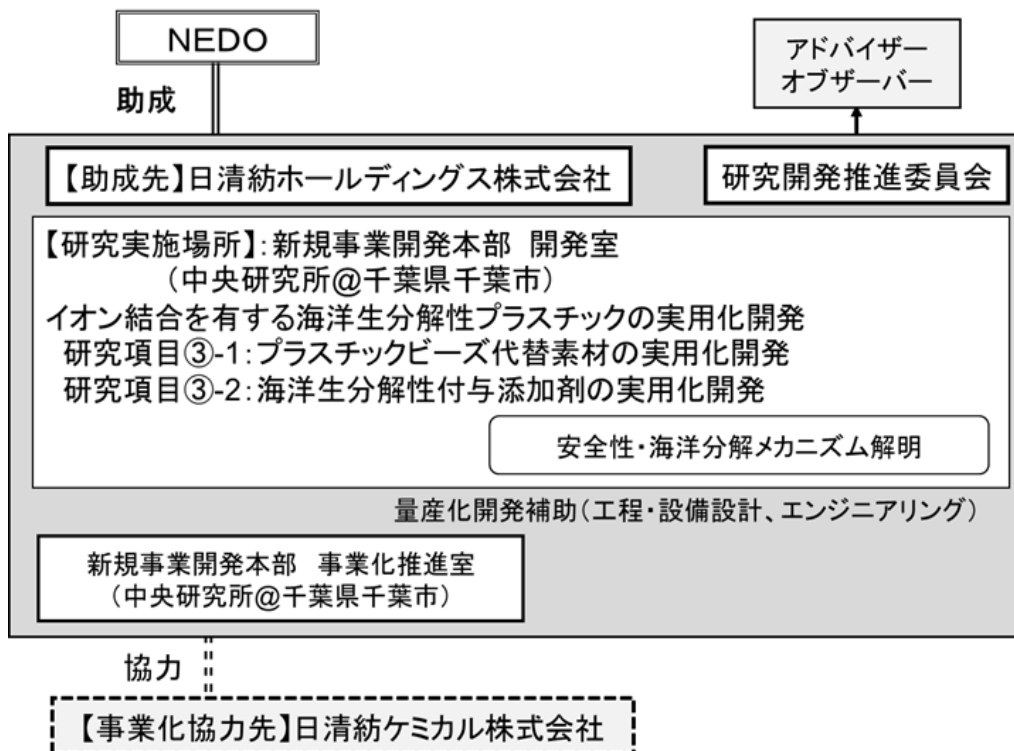
(4) 実施体制

本プロジェクトにおける実施体制は以下の通りである。

フェーズ A (委託事業)、フェーズ B (助成事業)



図Ⅲ-2.2.3-6 実施体制 1 フェーズ A 期間：2020 年度～2021 年度



図Ⅲ-2.2.3-7 実施体制 2 フェーズ B 期間：2022 年度～2023 年度

(5) 運営管理

当該事業を進めるにあたり、天然のバイオマス資源を用いた機能性高分子素材の研究開発、機能性高分子素材及び天然高分子の応用開発、生分解開始スイッチ機能を有する海洋分解性プラスチックの研究開発、微生物産生ポリエステルやセルロース等の多糖類を用いた高機能性生分解性素材の開発等に携わっている各有識者にアドバイザーとして就任頂き、事業内に設置する研究開発推進委員会への参加や材料の選定や分子構造と海洋生分解性の関係、生分解メカニズムの解明、事業化に向けた課題等に関し、学術的知見に基づくアドバイスや開発の方向性について定期的に助言を賜りつつ研究開発の効率化を進めている。

また、本研究開発及び技術開発において得られた発明、ノウハウ、知見等については当社の知財戦略に沿って、特許出願等適切な処置を講じる一方、当社知財部門と協力して、知財ポートフォリオの構築を進めており、事業化を踏まえた知財戦略を進めている。

(6) 実施の効果

本研究開発成果物の実用化は、2025年以降に予定されている REACH マイクロプラスチック規制対応に照準を合わせており、早い段階からグローバルな導入促進に向けた対応と貢献が可能であると考えている。

また、本研究開発成果物は、高い海洋生分解性を利用した促進剤としての用途展開も視野に入れており、海洋での生分解能力が劣る既存生分解性プラスチックの助長剤としても当該市場拡大に向けた効果は大きく、結果的に、国内生産波及・誘発効果、国民の利便性向上につながるものと期待している。

実施の効果は以下の通りである。

1) プロジェクト費用の総額 352 百万円（4 年間推定）

うち、NEDO 負担額 238 百万円

2) 売上予測は非公開により削除

- ・海洋生分解性樹脂の創出による地球環境課題解決に向けた費用対効果
- ・自然由来原料による CO2 削減効果（カーボンニュートラル）
- ・我が国の経済再生及び新規事業における雇用創出による費用対効果

2.2.1.2 研究開発成果

(1) 中間目標の達成度及び研究開発成果の意義

本研究開発の中間目標はほぼ達成できたものと考えている。

具体的には、イオン結合を有する構造体に着目し、海水に豊富に含まれる金属イオンをトリガーとして、海洋中で分解可能な大きさ（低分子）まで自己分解（切断）させることで、少ない微生物でも短期間で生分解が進行するよう新機構と海洋生分解性化合物及び海洋生分解性プラスチック素材の基本構造に目途を立てることができたことは、今後の海洋生分解性素材の技術開発において大きな意義があるものと考えている。

また、これまでの研究開発成果として、下記のような今までとは異なる生分解性素材の技術的優位性を得ることができたことは、今後の海洋生分解性プラスチック素材の普及拡大へ向けた応用開発や新素材開発の促進に期待が持てる技術になり得るものと考えている。

<技術成果の優位性>

- ①塩交換をトリガーとした新規な分解機構
- ②加水分解や海域に依存しない分解性 [確実性]
- ③原料及び樹脂構成の自由度の高さ [豊富な構造による物性の付与]
- ④自然由来成分での構成も可能 (バイオプラ + 生分解プラ) [カーボンニュートラル]
- ⑤既存の生分解性樹脂との複合化による海洋生分解度向上 [既存樹脂の活用]

具体的な目標及び成果については下記の通りである。

表Ⅲ-2.2.3-5 中間目標に対する成果及び達成度

研究項目	中間目標	成果	達成度
研究項目① 海洋生分解性 化合物の開発	海水生分解度、疎水化度が目標以上のイオン結合を有する微粒子・粉体を1種以上選定する。	海水での分解に有用な骨格構造を検討、疎水化アルギン酸粒子及び金属イオンを有するポリアルキレングリコール系、ポリエステル系、ポリカプロラクトン系のポリマー化合物を開発し、目標の海水生分解度、疎水化度のイオン結合を有する微粒子・粉体を複数選定した。 何れのポリマー化合物もセルロースと同等の海水生分解性を示すことを確認した。	○
研究項目② イオン結合を有する海洋生分解性プラスチック素材の開発	海洋生分解性かつ疎水性のイオン結合を有する微粒子・粉体を添加剤として含む熱可塑性の樹脂複合体1種以上について目標の海水生分解度のシートを得る。	研究項目①で開発した基本ポリマー化合物をベースに、これらを添加剤として汎用生分解性樹脂との樹脂複合体を検討し、海水生分解性のある熱可塑性シートを開発した。特に骨格構造がポリエステル系の添加剤においては、目標の海水分解度を大きく超える複合体樹脂シートの組合せが得られた。	○

◎：大きく上回って達成

○：達成

△：概ね達成

×：未達

各研究項目における課題毎の成果

表Ⅲ-2.2.3-6 研究項目①の課題毎の成果

研究項目	課題	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究項目① 海洋生分解性化合物の開発	①-1 海洋生分解性化合物の合成と評価	<ul style="list-style-type: none"> ・イオン結合を有する疎水化プラスチック素材として天然高分子を主原料とした粒子を開発した。 ・海水での分解に有用な骨格構造を検討、金属イオンを有するポリアルキレングリコール系、ポリエステル系、ポリカプロラクトン系の各プレポリマーを開発し、これらをイオン結合で連結した海水生分解性を併せ持つポリマー化合物を複数開発した。 	○	<p>【今後の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実用化ターゲットを決めて物性含めた素材を具体化 ・コストを踏まえ、製造工程の検証と確立 <p>【解決方針】</p> <p>実用化開発で実施</p>
	①-2 海洋生分解性化合物と生分解メカニズムの関連性調査	<ul style="list-style-type: none"> ・天然高分子を主原料とした疎水化アルギン酸粒子の検討を実施。疎水化剤の種類や添加量を変更し、疎水化と生分解性の関連性を検証した。 ・イオン結合を有するポリマー化合物においては、イオン結合と骨格構造、分子量、疎水化度、疎水化剤量、架橋度等の構成により、海洋での生分解性速度を調整できる構成因子を検証した。 	△	<p>【今後の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ステージゲート審査において分解メカニズムと安全性について更なる解明が必要との指摘あり <p>【解決方針】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・分解と生分解を分け安全性の観点からメカニズムを継続調査
	①-3 安全性試験、物性評価	<p>疎水化アルギン酸粒子について、安全性試験として、皮膚刺激性試験、目刺激性試験、AMES 試験、パッチテスト（2種）を実施し、安全性を確認した。微小圧縮試験機を用いた圧縮強度測定を行い、汎用アクリル粒子に類似した硬度特性を確認した。</p>	○	<p>【今後の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・技術マーケティングの実施 ・顧客ニーズとのマッチング <p>【解決方針】</p> <p>実用化開発で実施</p>

表Ⅲ-2. 2. 3-7 研究項目②の課題毎の成果

研究項目	課題	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究項目② イオン結合を有する海洋生分解性プラスチック素材の開発	②-1 海洋生分解性化合物と熱可塑性樹脂との複合化と評価	<ul style="list-style-type: none"> ・研究項目①で得られた基本化合物をベースに設計した熱可塑性海洋生分解性プラスチック素材では高分子化を達成。これらを添加剤として熱可塑性の樹脂複合体を検討し、目標の海水生分解度となるシートを複数得た。 ・研究項目①で得られた基本化合物を添加剤とした樹脂複合体は、当該添加剤を粉体として使用するか、溶解させて使用するかと組合せる主剤の種類により、強度が大きく変化することが引張強度試験の結果より、明らかとなった。 	○	<p>【今後の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・顧客ニーズに直結する素材改良 ・製造方法の確立 ・複合材の生分解性向上と物性面において実用化可能な樹脂添加剤を確立 <p>【解決方針】</p> <p>実用化開発で実施</p>
	②-2 安全性試験、認証評価	<ul style="list-style-type: none"> ・プラスチックビーズ代替として有用な疎水化アルギン酸粒子について、TÜV AUSTRIA BELGIUM NV の OK biodegradable MARINE 認証を取得した。 ・海洋生分解性を促進させる添加剤として有用なイオン結合を有する海洋生分解性化合物 2 種について、生分解性プラ識別表示基準に沿った特定元素の含有試験を実施し、規定値以下であることを確認した。 	○	<p>【今後の課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・素材の絞込み ・添加剤の安全性及び法規対応の試験を実施 <p>【解決方針】</p> <p>実用化開発で実施</p>

【成果の詳細】

以下に中間目標及び課題に対する成果について具体的に記載する。

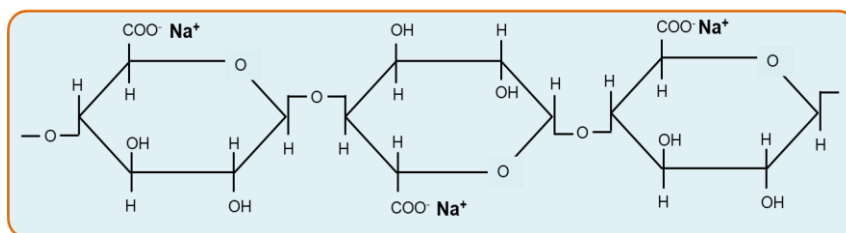
A 研究項目①： 海洋生分解性化合物の開発

A-1 海洋生分解性化合物の合成と評価（①-1）

A-1-1 天然高分子を用いた疎水化ポリマー化合物（海洋生分解性化合物）と海水生分解性評価

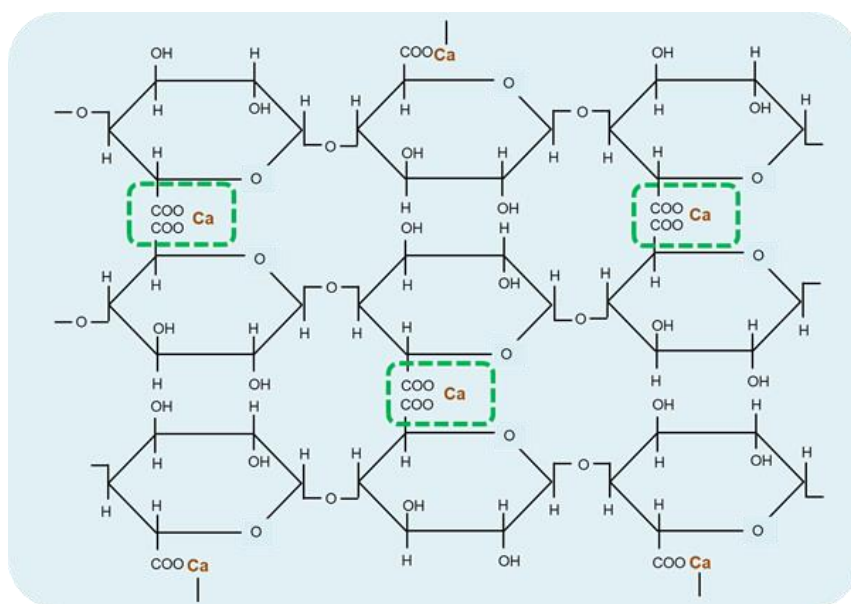
本件の研究開発を進めるにあたり、イオン結合を有するポリマー化合物として最初に着目したのが、アルギン酸塩である。アルギン酸は、コンブ、ワカメなどの褐藻類に多く含まれる天然多糖類であり、食品添加物をはじめ、増粘剤、安定剤、糊料など医薬品、化粧品、繊維加工等の様々な分野で活用されている。また、通常、アルギン酸塩として汎用的に入手が可能であり、海洋産物であることから、当該海洋生分解性化合物の骨格構造としては環境面においても理にかなうものと言える。まず、入手可能なアルギン酸 Na をベースにイオン置換によりカルシウム (Ca) へ置き換え、架橋されたアルギン酸 Ca 粒子を作製した。

下記に各アルギン酸 Na 及びアルギン酸 Ca の構造概略を示す。



図Ⅲ-2.2.3-8 アルギン酸 Na の構造

アルギン酸分子はβ-D-マンヌロン酸(M)とα-L-グルロン酸(G)が複雑に配列した糖鎖を有する。



図Ⅲ-2.2.3-9 アルギン酸 Ca の構造

アルギン酸 Ca はアルギン酸骨格のカルシウム架橋体として得られる。

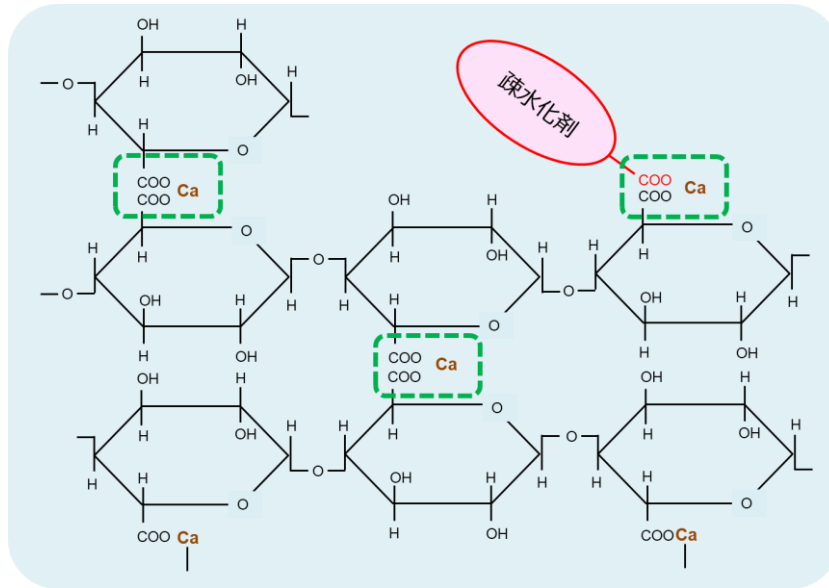
アルギン酸 Ca について予備試験として水、疑似海水 (3wt%塩化ナトリウム水溶液)、エタノール、トルエンの各種媒体において 0.5wt%で分散液を作製し、24 時間攪拌後の溶解状況について外観による評価を行った。

その結果、アルギン酸 Ca は、水、エタノール、トルエンには溶解しない一方、疑似海水においては、溶解する傾向が得られた。このことから、海水中においては豊富に存在する Na イオンなどの金属イオンが分解開始のトリガーとして作用しやすい構造体であることが確認された。

表Ⅲ-2.2.3-8 各種媒体における溶解性評価 (24 時間後)

	水 (精製水)	疑似海水 3wt%食塩水	エタノール	トルエン
アルギン酸 Ca	白濁	透明	白濁	白濁
	溶解せず	溶解	溶解せず	溶解せず

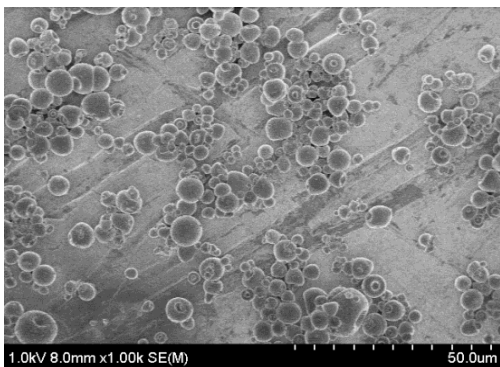
次に、アルギン酸 Ca は水には溶解しないものの吸水性が大きいいため、アルギン酸カルシウム粒子を作製する際に疎水化剤の添加を検討した。その結果、疎水化剤として脂肪酸塩やアシルアミノ化合物の塩が疎水化に効果があることを確認した。



図Ⅲ-2.2.3-10 疎水化アルギン酸 Ca 粒子の構造例

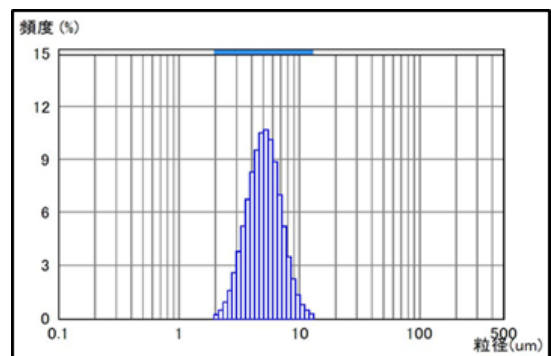
これらの結果をもとに、形状を制御することで平均粒子径 $6\mu\text{m}$ の疎水化アルギン酸 Ca 粒子を得ることに成功した。

得られた疎水化アルギン酸 Ca 粒子群の形状及び粒度分布を示す。



図Ⅲ-2.2.3-11 疎水化アルギン酸 Ca 粒子

※アシルアミノ化合物 (2wt%含有品)



図Ⅲ-2.2.3-12 粒度分布

平均粒子径： $6\mu\text{m}$

また、得られた粒子について目標の疎水性が付与されていることを確認した。

以後、未処理品のアルギン酸 Ca 粒子をアルギン酸粒子とし、疎水化処理品のアルギン酸 Ca 粒子を疎水化アルギン酸粒子と表記する。

＜海水生分解性評価＞

得られた疎水化アルギン酸粒子 1 と、別途疎水化剤を脂肪酸に変更した疎水化アルギン酸粒子 2 に対して BOD (Biochemical Oxygen Demand : 生物化学的酸素要求量) による海水生分解性試験を実施した。

その結果、疎水化アルギン酸粒子 1 及び 2 は対照材料であるセルロースと同等以上の生分解性を有することを確認した。また、疎水化剤としてアシルアミノ化合物または脂肪酸を選定した疎水化アルギン酸粒子 1 及び 2 は、疎水化剤を含まないアルギン酸粒子を超える海水での生分解性を示した。特にアシルアミノ化合物からなる疎水化アルギン酸粒子 1 では、海水での生分解性に優位性を持つ結果となった。

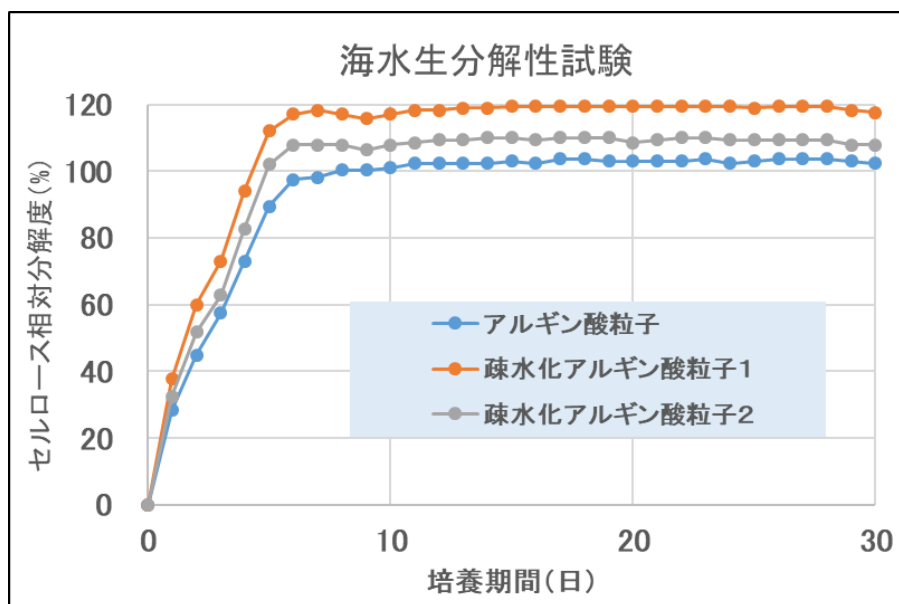
[海水生分解性試験の主な条件]

- ・試験方式：BOD
- ・測定温度：30°C ± 1
- ・海水：千葉港
- ・栄養源：あり
- ・攪拌：あり
- ・対照材料：セルロース粉末
- ・測定材料

アルギン酸粒子 (未処理品)

疎水化アルギン酸粒子 1 (アシルアミノ化合物 2wt%)

疎水化アルギン酸粒子 2 (脂肪酸 2wt%)



図III-2.2.3-13 検討した疎水化アルギン酸粒子の海水生分解性試験結果

A-1-2 金属イオンを有するプレポリマーの構造検討と生分解性評価

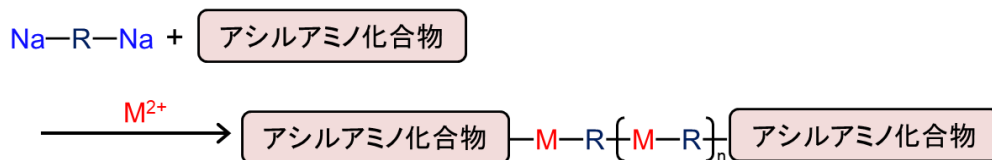
●非公開により削除

A-1-3 イオン結合を有するポリマー化合物 (海洋生分解性化合物) の検討と海水生分解性評価

●非公開により削除

A-1-4 末端を封止したイオン結合を有するポリマー化合物（海洋生分解性化合物）の検討と生分解性評価

A-1-3 で得られたポリマー化合物の実用性を高めるには、より大きな疎水性が必要であるため疎水化処理を施したポリマー化合物の検討を行った。A-1-3 の反応系に、長鎖アルキル基およびカルボキシレートを有する化合物を疎水化剤として加えることで、末端を疎水性化合物のイオン結合で封止したポリマー化合物を得た。



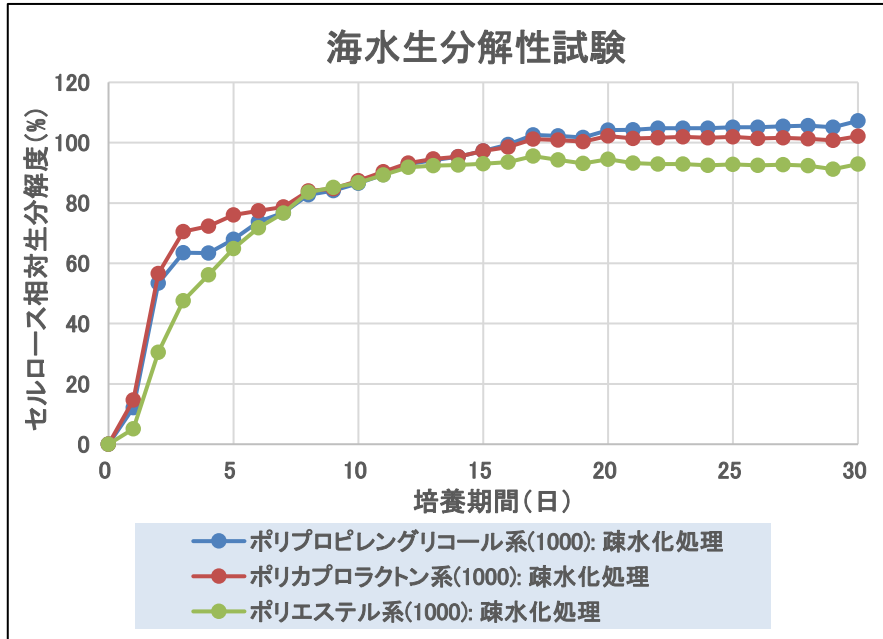
図Ⅲ-2.2.3-20 末端を疎水化処理したポリマー化合物

末端の疎水性化合物としては、アミノ酸と脂肪酸が縮合したアシルアミノ化合物を主として用いた。疎水化処理を施したイオン結合ポリマー化合物は何れも粉体として得られ、熔融温度は約 80℃であった。例として以下にポリエステル系の化合物の粉体の写真を示す。



図Ⅲ-2.2.3-21 例：ポリエステル系構造を有する化合物の粉体写真（熔融温度 80℃）

疎水化処理を施したイオン結合を有するポリマー化合物について BOD による海水生分解性試験を実施し、生分解性の有無を評価した。



図III-2. 2. 3-22 検討したポリマー化合物の海水生分解性試験結果

[海水生分解性試験の主な条件]

- ・試験方式：BOD
- ・測定温度：30℃±1
- ・海水：千葉港
- ・栄養源：あり
- ・攪拌：あり
- ・対照材料：セルロース粉末

結果として、ポリプロピレングリコール系のポリマー化合物は30日でセルロース相対分解度103%、ポリエステル系のポリマー化合物は30日でセルロース相対分解度100%、ポリカプロラクトン系のポリマー化合物は30日でセルロース相対分解度90%であり、疎水化処理を施したポリマー化合物は未処理の化合物と比較して非常に生分解性が高く、セルロースに匹敵する海水生分解性を示した。疎水化アルギン酸粒子と同様に、脂肪酸とアミノ酸から成る疎水化剤の分解促進効果であると考えられる。

表III-2. 2. 3-9 疎水化処理イオン結合ポリマー化合物まとめ

イオン結合 ポリマー化合物	プレポリマ ー分子量	末端処理	総分子量 (絶対分子量)	接触角 60° 以上	BOD 海洋生分解性
ポリエステル系	1000~2000	アシルアミノ 化合物	~30000	○	セルロースと 同等
ポリカプロラクトン系	1000~2000	アシルアミノ 化合物	~30000	○	セルロースと 同等
ポリプロピレン グリコール系	1000	アシルアミノ 化合物	~10000	△	セルロースと 同等

上記の通り、アシルアミノ化合物を用いて疎水化処理を施したポリマー化合物の合成検討、接触角測定およびBODによる海水生分解性試験を行った。絶対分子量では10000~30000のポリマー化

化合物が得られ、ポリエステル系およびポリカプロラクトン系については目標となる疎水化度を示した。

また、何れの化合物もセルロースと同等レベルの海洋生分解性を示し、海洋生分解促進剤としての利用が期待される結果であった。

A-2 海洋生分解性化合物と生分解メカニズムの関連性調査 (①-2)

A-2-1 天然高分子由来骨格を有する疎水化ポリマー化合物 (海洋生分解性化合物)

A-2-1.1 疎水化剤の添加量と海水生分解性の関連評価

天然高分子を用いた疎水化ポリマー化合物 (海洋生分解性化合物) の検討において疎水化剤は疎水性機能強化に重要な役割を果たす。しかしながら疎水化剤の活用により、海水での生分解性を低下させる可能性があるため、疎水化剤の添加量と海水生分解性との関連性について検証を行った。まず、天然高分子由来骨格を有する化合物として、アルギン酸 Na と疎水化剤として脂肪酸 1 価金属塩及びアシルアミノ化合物 1 価金属塩を選定した。

次に、アルギン酸 Na をベースに各疎水化剤の添加量を変更し、架橋剤として塩化カルシウム (CaCl_2) を用いてアルギン酸と疎水化剤との複合化を検討し、ミクロンサイズの粒子を作製した。これら作製した各粒子について BOD による海水生分解性試験を行った。

その結果、脂肪酸系の疎水化剤を活用した疎水化アルギン酸粒子 A においては、添加量 8wt% までは対照材料としたセルロースと同等以上の生分解を示すことが確認できた。また、アシルアミノ化合物系の疎水化剤を活用した疎水化アルギン酸粒子 B においては、添加量 5wt% までは対照材料としたセルロースと同等以上の生分解性を示し、添加量 15wt% では、対照材料としたセルロースに対し、90% を超える生分解性を示した。これらの結果から、検討した疎水化剤は双方ともある一定量までは添加量を増加させても高いレベルで生分解性を維持できることを確認した。

以下に各種条件およびその試験結果を示す。

《天然高分子由来骨格を有する選定化合物》

アルギン酸 Na

《疎水化剤に選定した化合物》

①脂肪酸 1 価金属塩 ②アシルアミノ化合物 1 価金属塩

《架橋剤》

塩化カルシウム (CaCl_2)

《検討した疎水化アルギン酸粒子》

①疎水化アルギン酸粒子 A (脂肪酸系) 添加量の異なる 3 種

a : 疎水化アルギン酸粒子 A-1 [疎水化剤量_2wt%]

b : 疎水化アルギン酸粒子 A-2 [疎水化剤量_5wt%]

c : 疎水化アルギン酸粒子 A-3 [疎水化剤量_8wt%]

②疎水化アルギン酸粒子 B (アシルアミノ化合物系) 添加量の異なる 3 種

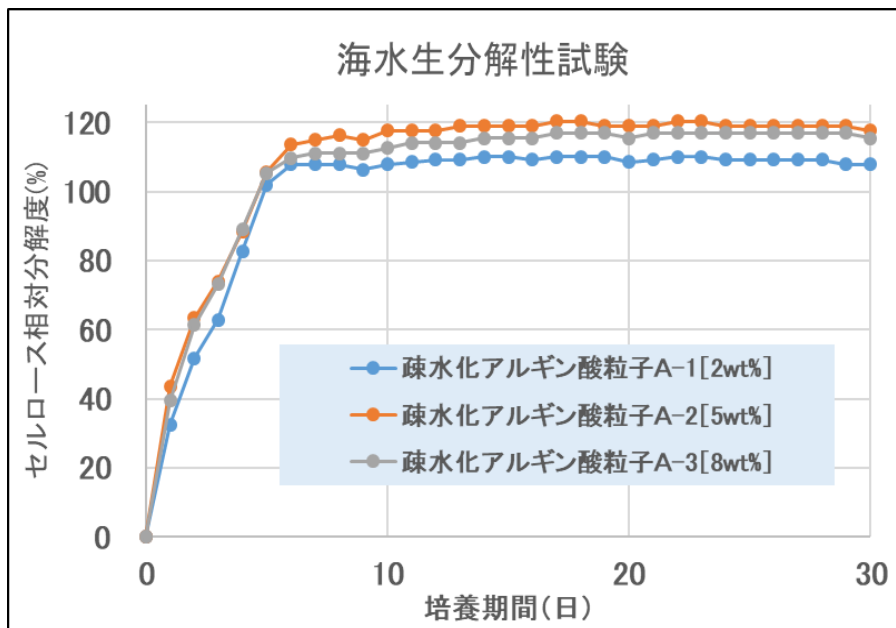
d : 疎水化アルギン酸粒子 B-1 [疎水化剤量_2wt%]

e : 疎水化アルギン酸粒子 B-2 [疎水化剤量_5wt%]

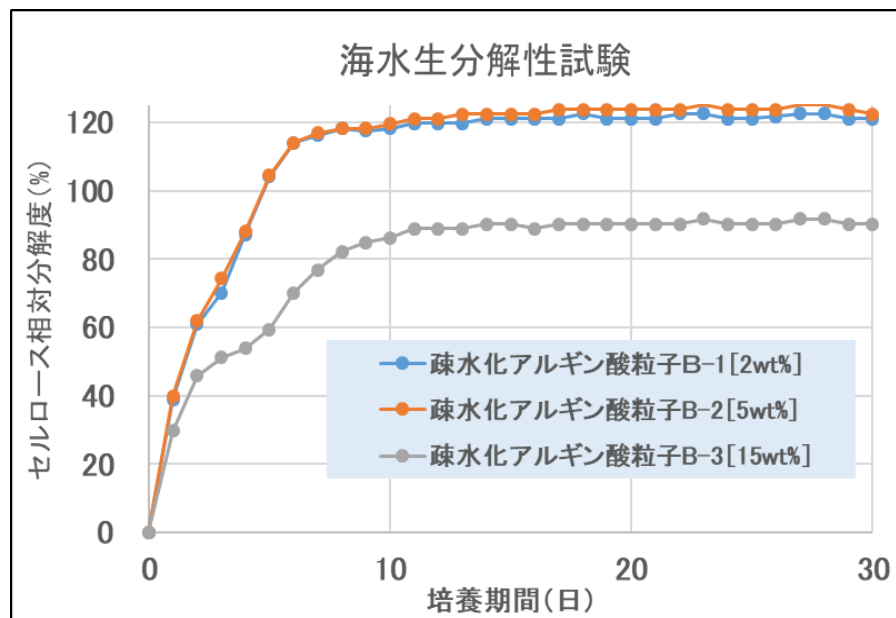
f : 疎水化アルギン酸粒子 B-3 [疎水化剤量_15wt%]

[海水生分解性試験の主な条件]

- ・試験方式：BOD
- ・測定温度：30°C±1
- ・海水：千葉港
- ・栄養源：あり
- ・攪拌：あり
- ・対照材料：セルロース粉末



図III-2. 2. 3-23 疎水化剤（脂肪酸）の添加量と海水生分解性評価①



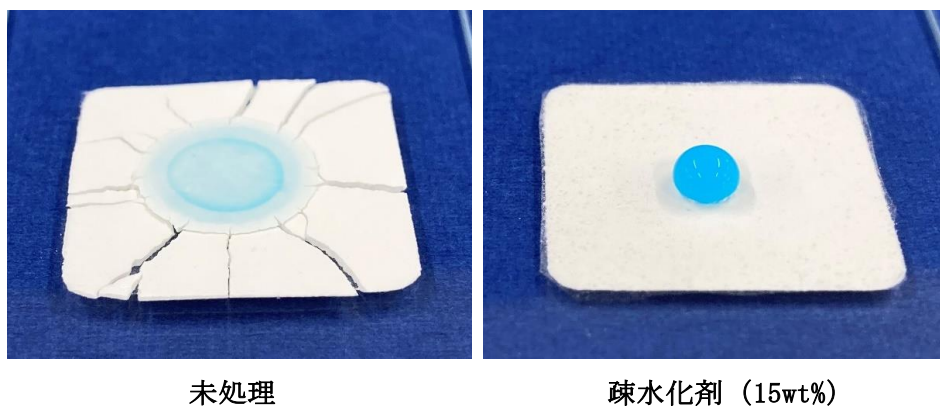
図III-2. 2. 3-24

疎水化剤（アシルアミノ化合物）の添加量と海水生分解性評価②

A-2-1.2 疎水化度と海水生分解性の関連評価

疎水化アルギン酸粒子の疎水性と海水生分解性の関連を調べるために、疎水化剤の添加量を 0～15wt% で変化させたアルギン酸粒子について接触角測定および BOD による海水生分解性試験を行った。この検討における疎水化剤はアシルアミノ化合物を用いた。

接触角測定において、疎水化剤を全く添加していないアルギン酸粒子では撥水性を示さず水滴を滴下しても即座に粒子に吸収された。一方、2wt% の疎水化剤を添加したアルギン酸粒子では撥水性が著しく向上し、目標となる疎水化度を示した。



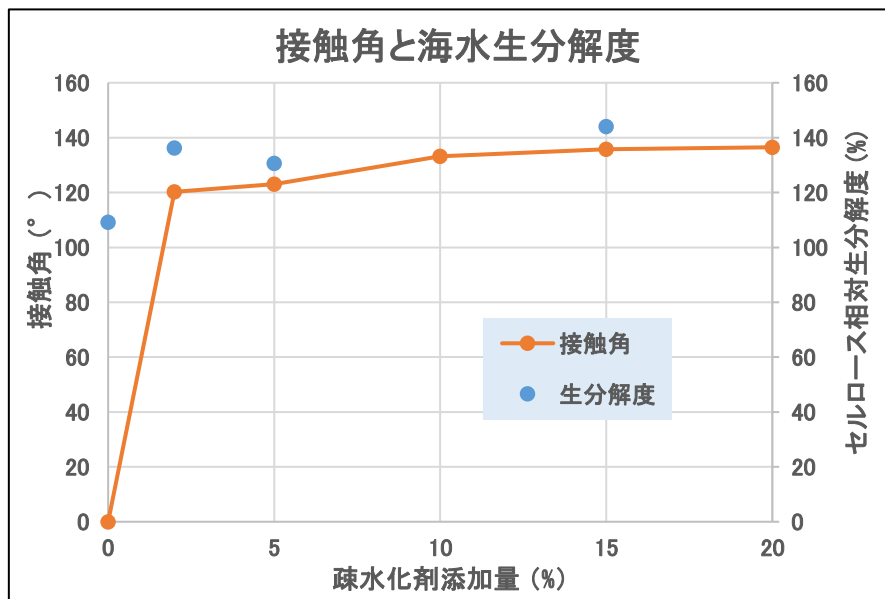
図Ⅲ-2. 2. 3-25 疎水化剤（アシルアミノ化合物）有無での撥水性変化

さらに疎水化剤の添加量を 20wt% まで順次増加させていくと、添加量 15wt% まで緩やかに疎水性が増加し、20wt% では 15wt% の場合とほぼ同様の疎水性を示した。したがって、これ以上疎水化剤の添加量を増やしても接触角はほぼ変化しないと考えられる。

続いて疎水化剤の添加量が 0、2、5、15wt% の各種疎水化アルギン酸粒子の海水生分解性を調べた。先の試験と同様に BOD による海水生分解試験を行った。その結果、すべてのアルギン酸粒子が良好な海水生分解性を示し、疎水化剤の添加量が 15wt% のアルギン酸粒子はセルロースと同等以上の海水生分解性を示した。これは疎水化剤自体も高い海水生分解性を有していることに起因していると考えられる。

以上の結果より、開発したアルギン酸粒子は高い疎水性と良好な海水生分解性を有した有用な材料であることが期待される。

以下に、アシルアミノ化合物を疎水化剤とする疎水化アルギン酸粒子の本検討結果のまとめを示す。



図Ⅲ-2.2.3-26

疎水化剤の添加量変化に伴う接触角および海水生分解性の関連性①

表Ⅲ-2.2.3-10

疎水化剤の添加量変化に伴う接触角および海水生分解性の関連性②

疎水化剤添加量 (wt%)	接触角 (°)	セルロース相対海水生分解度 (%)
0	-	110
2	120	135
5	122	128
10	132	-
15	138	141
20	138	-

A-2-2 イオン結合を有するポリマー化合物 (海洋生分解性化合物)

A-2-2.1 骨格構造の違いによる海水生分解の関連性評価

●非公開により削除

A-2-2.2 イオン結合を有するポリマー化合物の分子量の違いによる海水生分解性の関連評価

●非公開により削除

A-2-2.3 主な検討ポリマー化合物のまとめ

本検討において得られた海洋生分解性化合物について、まとめた結果を以下の表に示す。

- 1) 天然高分子由来骨格を有する疎水化ポリマー化合物
- 2) イオン結合 (M) を有するポリマー化合物

表Ⅲ-2.2.3-11 1) 天然高分子由来骨格を有する疎水化ポリマー化合物

天然由来 海洋生分解化合物	疎水化剤	接触角 60° 以上	BOD 海洋生分解性	自然由来指数 [ISO 16128]
疎水化 アルギン酸粒子	アシルアミノ 化合物 a	○	添加量 15%まで セルロースと同等	85%以上
	アシルアミノ 化合物 b	○	添加量 10%まで セルロースと同等	90%以上
	脂肪酸	○	添加量 8%まで セルロースと同等	90%以上

アシル基の炭素数 $a > b$

アルギン酸をベースとし、脂肪酸またはアシルアミノ化合物によって疎水化した疎水化アルギン酸粒子は、接触角 60° を大きく上回る良好な疎水性を示した。さらに BOD による海水生分解性試験ではセルロースと同等の生分解性を有していることを確認した。ISO 16128 に基づく自然由来指数も高く環境負荷の少ない良好な素材である。

表Ⅲ-2.2.3-12 2) イオン結合 (M) を有するポリマー化合物

イオン結合 ポリマー化合物	プレポリマー 分子量	末端処理	総分子量 (絶対分子量)	接触角 60° 以上	BOD 海洋生分解性
ポリエステル系	1000~2000	アシルアミノ 化合物	~30000	○	セルロースと 同等
ポリカプロラク トン系	1000~2000	アシルアミノ 化合物	~30000	○	セルロースと 同等
ポリプロピレン グリコール系	1000	アシルアミノ 化合物	~10000	△	セルロースと 同等

ポリエステル系、ポリカプロラクトン系、およびポリプロピレングリコール系のプレポリマーをイオン結合により高分子量化したポリマー化合物を作製した。末端を疎水化剤によって修飾することでポリエステル系およびポリカプロラクトン系のポリマー化合物は良好な疎水性を示し、ポリプロピレングリコール系は中程度の疎水性を示した。BOD による海水生分解性試験では何れのポリマー化合物もセルロースに匹敵する生分解性を示した。

●非公開により一部削除

なお、A-2 海洋生分解性化合物と生分解メカニズムの関連性調査については、ステージゲート審査において、分解生成物と安全性の観点から更なる解明が必要との指摘を受け、海洋中のイオンによる一次分解と微生物による生分解を分け、継続して調査を進めていくこととする。

A-3 安全性試験、物性評価 (①-3)

A-3-1 疎水化アルギン酸粒子の安全性評価

プラスチックビーズ代替素材の1つとしてパーソナルケア製品をターゲットとしているため、形状制御のできている疎水化アルギン酸粒子を選定し、化粧品分野で評価されている項目を中心に主要な安全性試験を実施した。

<安全性試験の選定>

事前調査の結果、パーソナルケア製品の中で、化粧品原料向けの安全性試験は、国内では一般的に、以下の9項目が基本になっているようである。しかしながら、欧州連合（EU）域内では、動物愛護の観点から、2013年以降、動物実験が行なわれた化粧品の完成品、原料等はEU内における輸入及び販売が禁止となっている。また、技術マーケティングの結果、国内外の化粧品メーカーにおいても新規原料の調達においては動物実験を経た原料は避ける動きが増えている傾向であることを確認した。

そのため、これらの安全性試験項目の内、現在、公的に採用又は確立された代替法のある試験とヒトパッチ試験を中心に選定した。

表Ⅲ-2.2.3-13 化粧品原料の主な安全性試験項目と選定

	試験項目	公的代替法	備考
1	単回投与毒性試験	---	
2	皮膚一次刺激性試験	有	3次元培養皮膚モデル 他
3	連続皮膚刺激性試験	---	
4	光毒性試験	○	<u>※成分が試験液に溶解するもの</u>
5	皮膚感作性試験	---	
6	光感作性試験	---	
7	眼刺激性試験	○	3次元培養角膜モデル 他
8	遺伝毒性試験	○	復帰突然変異（AMES） 他
9	ヒトパッチ試験	（人）	実施可否の事前審査有

<選定した疎水化アルギン酸粒子>

A-2-1.1 の疎水化アルギン酸粒子 B-1 [アルギン酸/アシルアミノ化合物 Ca 架橋体]

ターゲットとなる化粧品向けの原料は、素材の柔らかさ、滑らかさ等の触感が重要な機能の 1 つとなることから、事前の触感評価で優位性のあったアシルアミノ化合物を含む粒子を選定した。

<安全性試験項目と試験内容>

①皮膚一次刺激性試験

3次元モデル皮膚一次刺激性試験 (OECD TG439 法) [代替法]

正常なヒト表皮角化細胞によって再構築された 3次元培養表皮モデルを用いて、角層表面に試験品を処理した後、細胞の生存率を測定することで試験品の皮膚一次刺激性を推定する試験である。原料の皮膚一次刺激性試験代替法として、OECD テストガイドライン (TG439) に記載された方法である。

②眼刺激性試験

3次元モデル眼粘膜刺激性試験 (OECD TG492 法) [代替法]

正常なヒト表皮角化細胞によって再構築された 3次元培養角膜モデルを用いて、モデル角膜表面に試験品を処理した後、細胞の生存率を測定することで試験品の眼粘膜刺激性を推定する試験である。原料の目刺激性試験代替法として、OECD テストガイドライン (TG492) に記載された方法である。

③遺伝毒性試験

AMES 試験 (細菌を用いる復帰突然変異試験)

遺伝毒性発がん物質の検出を目的とした試験で、復帰突然変異試験とも呼ばれる。自らアミノ酸を作ることができない変異菌株に被験物質を投与したとき、変異原性によって自らアミノ酸を作ることができる復帰菌株としてコロニーを形成することで突然変異誘発性を検出する。ネズミチフス菌や大腸菌などを菌株として用いる in vitro 試験で、アミノ酸を含まない軟寒天培地で培養してコロニー計測を行い、コロニーが占める割合から陰性または陽性を判定する。

④ヒトパッチ試験

パッチテスト 1: 24 時間閉塞ヒトパッチテスト

パッチテスト 2: アトピー素因を有する成人対象のヒトパッチテスト

各種パッチテストの主な内容は以下の通りである。

<パッチテスト 1>

健常者に対して検体の単回貼付により生じる皮膚反応を評価する。

パッチテストユニットに検体と陰性対照物質を塗布し、被験者の背部に 24 時間閉塞貼付し、パッチテストユニットを除去後、2 時間後及び 24 時間後の皮膚反応状態を数値化し判定する。

皮膚刺激指数 = 評点総和/被験者数 × 100

表Ⅲ-2.2.3-14 化粧品の皮膚刺激数による分類 (参考)

皮膚刺激数	分類
5.0 以下	安全品
5.0~15.0	許容品
15.0~30.0	要改良品
30.0 以上	危険品

<パッチテスト 2>

アトピー性皮膚炎の既往歴（又は他のアレルギー疾患の既往歴）があり、血清総 IgE 値及び TARC 値の高い被験者に対して検体の単回貼付により生じる皮膚反応を評価する。試験方法は、パッチテスト 1 と類似方法であり、パッチテストユニットを除去後、1 時間後及び 24 時間後の皮膚反応状態を数値化し判定する。

皮膚刺激指数及び評価基準はパッチテスト 1 と同様である。

[疎水化アルギン酸粒子の安全性試験結果]

表Ⅲ-2. 2. 3-15 安全性試験結果

安全性試験項目	結果
皮膚一次刺激性試験	陰性
眼刺激性試験	陰性
AMES 試験	陰性
パッチテスト 1	安全性区分
パッチテスト 2	安全性区分

5 つの試験項目について人体に関連する安全性を確認した結果、何れも陰性もしくは安全性区分となり、優位性有る結果が得られた。

A-3-2 疎水化アルギン酸粒子の物性評価

プラスチックビーズ代替品の用途の一つとして、パーソナルケア製品が挙げられる。パーソナルケア製品の内、特に化粧品向けの素材は、人の肌に塗布して使用する用途が一般的であることから粒子としての柔らかさは重要な要素になっている。そのため、粒子の圧縮強度を測定し、対象素材との比較評価を実施した。なお、対照材料として汎用粒子として使用されているシリカ粒子、アクリル系粒子を用いた。

その結果、ほぼアクリル系粒子に類似する圧縮変位を示したことから、汎用ポリマーに近い硬度特性を有することが示唆された。

1) 比較評価サンプル

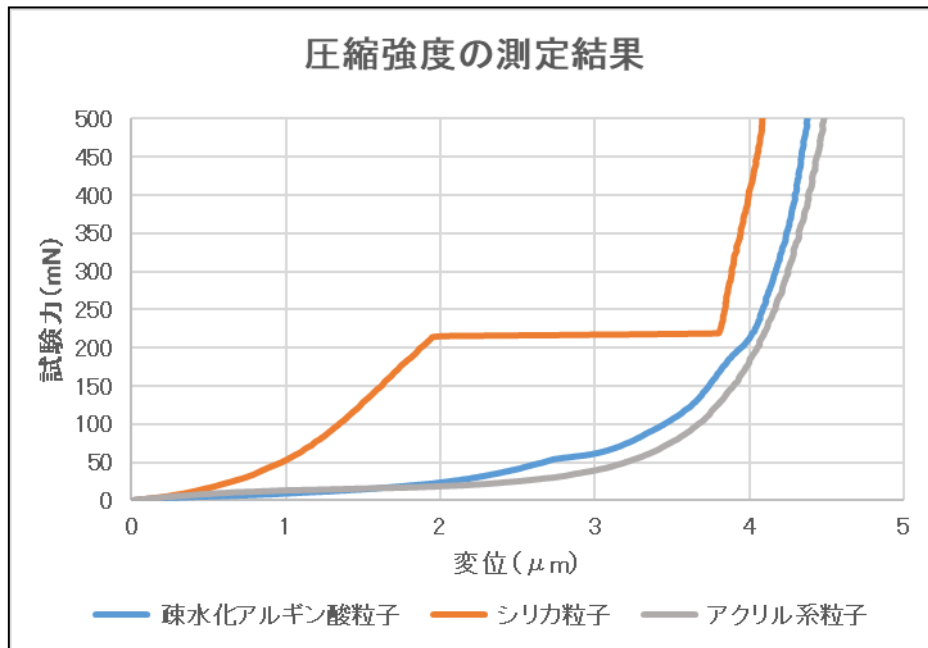
- ① 疎水化アルギン酸粒子：D50 5.8 μm
- ② シリカ粒子：D50 6.2 μm
- ③ アクリル系粒子：D50 5.5 μm

2) 評価装置

微小圧縮試験機 MCT-W501

3) 測定条件

- ・試験力：98.066mN
- ・負荷速度：1.3239mN/sec
- ・温度：室温（20℃）



図Ⅲ-2. 2. 3-27 疎水化アルギン酸粒子の圧縮強度比較

B 研究項目②： イオン結合を有する海洋生分解性プラスチック素材の開発

B-1 海洋生分解性化合物と熱可塑性樹脂との複合化と評価 (②-1)

B-1-1 疎水化アルギン酸粒子と生分解性樹脂の複合化と評価

B-1-1.1 添加量とフィルム成型性評価

A-2-1において天然高分子由来骨格を有する疎水化ポリマー化合物として疎水化アルギン酸粒子が高い疎水性と良好な海水生分解性を有した有用な素材となり得ることを明らかにした。そこで、当該素材を既存の生分解性樹脂と複合化することにより、得られるプラスチック素材の海洋生分解性を高める添加剤としての活用を視野に、複合化の可能性について検証を行った。

まず、既存の生分解性樹脂としてPBS、PBSA、PBAT、デンプン系樹脂を選定し、二軸混練押出機により各種添加量を変更しつつ、複合化とペレット化の検討を行った。

次に、加熱プレスにより膜厚 200 μm のフィルム成型を実施し、複合成型体創出の可能性について評価を行った。

その結果、PBS、PBSA、PBAT、デンプン系樹脂の何れに対しても添加量 30wt%までは均一なフィルム成型体が得られることを確認した。

下記に詳細な各種条件及び結果を示す。

1) 混練及びフィルム成型方法

下記の二軸混練押出機を用いて疎水化アルギン酸粒子と生分解性樹脂を各種添加量に調整し混練し、ペレットを作製した。

<二軸混練押出機の構成及び条件>

- ・スクリー径：12mm
- ・長径比 (L/D)：30
- ・回転数：200rpm
- ・バレル温度：50～130℃

<フィルム成型>

加熱プレス機を用いて厚さ 200 μm のシートを作製した。

2) 複合化条件

① [生分解性樹脂]

- ・PBS：ポリブチレンサクシネート
- ・PBSA：ポリブチレンサクシネート/アジペート
- ・PBAT：ポリブチレンアジペート/テレフタレート
- ・デンプン系樹脂（海外大手メーカー製）

② [添加剤]

- ・疎水化アルギン酸粒子 平均粒子径：6 μ m
- ・比較対照：アルギン酸粒子 平均粒子径：6 μ m

（B-1-1.2 成型品の強度物性評価にて比較試験実施）

③ [添加量] 10wt%、20wt%、30wt%、40wt%

3) フィルム作製検討結果

PBS、PBSA、PBAT、デンプン系樹脂に対し、添加量 30wt%までは何れも均一なフィルムが得られることを確認した。PBS、PBSA については、添加量 40wt%においても損傷がない成型性を維持できることを確認した。一方、PBAT、デンプン系樹脂においては添加量 40wt%で粒子の凝集体が散見された。

これらの結果から、添加量 40wt%以上では、粒子の凝集等が見られ均一なフィルムを得ることが難しくスクリュウ構成や混練時間等の更なる条件検討が必要であると考ええる。

表Ⅲ-2.2.3-16

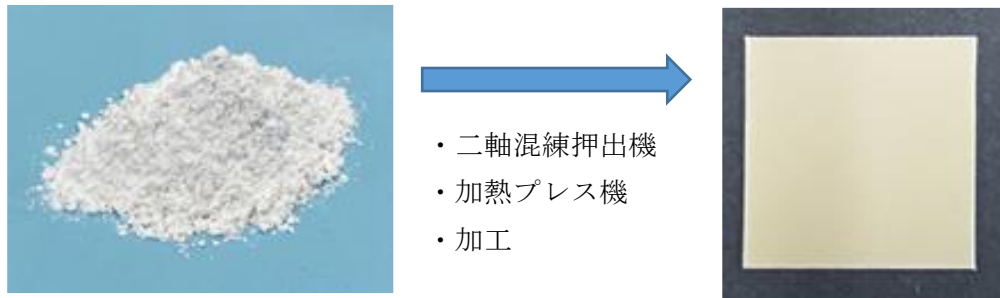
疎水化アルギン酸粒子添加量と各生分解性樹脂との成型性評価

生分解性樹脂	疎水化アルギン酸粒子の添加量			
	10wt%	20wt%	30wt%	40wt%
PBS	○	○	○	○
PBSA	○	○	○	○
PBAT	○	○	○	△
デンプン系樹脂	○	○	○	△

○：成型性良好 △：不均一な部分あり

<参考>

下記のように PBSA 樹脂に疎水化アルギン酸粒子を 30wt%添加して作製したフィルムが均一であることを確認した。



図Ⅲ-2. 2. 3-28 疎水化アルギン酸粒子と PBSA 複合化樹脂シート

B-1-1. 2 成型品の強度物性評価

疎水化アルギン酸粒子を添加剤として適用した複合化樹脂の強度物性評価を行うため、B-1-1. 1 で検討し、得られたフィルム成形体をもとに、引張試験機による引張強度を測定し、現状の強度物性を検証した。

その結果、PBSA 及び PBS 樹脂に対しては添加量の増加に伴い、引張強度が大きく低下する傾向であることが確認された。一方、デンプン系樹脂及び PBAT では、添加量 30wt%でも急激な強度低下が起きないことを確認した。これらはベースとなる生分解性樹脂成分により、強度物性が大きく異なることを示唆する結果であった。また、粒子との相溶性や粒子径、粒子の凝集等が強度物性低下の要因にもなるため、混練時のスクリュウ構成や混練時間等の更なる条件検討が必要であると考えられる。

下記に詳細な各種条件及び結果を示す。

1) 試験片作製

各種成型したシートをダンベル型打抜刃 (JIS K7139-A22) で打ち抜き、引張試験用の試験片を作製

2) 評価装置

卓上型引張圧縮試験機 MCT-2150

3) 測定項目

引張強さ (最大応力) を測定

なお、測定データは各複合化樹脂シートの引張強度をブランク相対比で示す。

4) 評価結果

PBSA 及び PBS 樹脂に対しては添加量の増加に伴い、引張強度が低下傾向であることが確認された。特に添加量 30wt%の時には、ブランク相対比で 60%を下回る結果であった。一方、デンプン系樹脂及び PBAT では、急激な強度低下は起きておらず、添加量 30wt%でもブランク相対比で 80%以上も維持できる可能性を示唆する結果であった。

以下に各種複合化樹脂の引張強度測定による物性評価のまとめを示す。

表Ⅲ-2.2.3-17 複合化樹脂の物性評価まとめ

生分解性樹脂	ブランク 引張強度 (MPa)	引張強度 最大応力ブランク相対比 (%)		
		10wt%添加	20wt%添加	30wt%添加
		PBSA	10.6	78
PBS	18.1	64	44	24
PBAT	7.1	88	83	75
デンプン系樹脂	8.6	87	83	78

添加剤：疎水化アルギン酸粒子

B-1-1.3 成型品の海水崩壊性試験と評価

分解判断の1つとして成型体の海水中における崩壊性（重量減少）が挙げられる。特に生分解の速度を上げるためには海水中において本検討の複合化樹脂（固形体）が適度な速度で崩壊していく必要がある。そこで、B-1-1.1で作製した複合化樹脂シートを用いて海水における崩壊性（重量減少）試験を水槽内で実施した。

下記に詳細な各種条件及び結果を示す。

1) 条件

- ・海水：千葉港 ※海水は、採取後フィルターろ過し使用
- ・海水温度：25℃
- ・評価用シート：20mm×20mm 厚み 200 μm
- ・試験外観：水槽 300 mm×450 mm×300 mm

2) 評価サンプル

添加剤：疎水化アルギン酸粒子

（各種疎水化アルギン酸粒子の添加量を変更した複合化樹脂で試験を実施）

- ① PBSA との複合化樹脂 ② デンプン系樹脂との複合化樹脂

●図Ⅲ-2.2.3-29 は非公開により削除

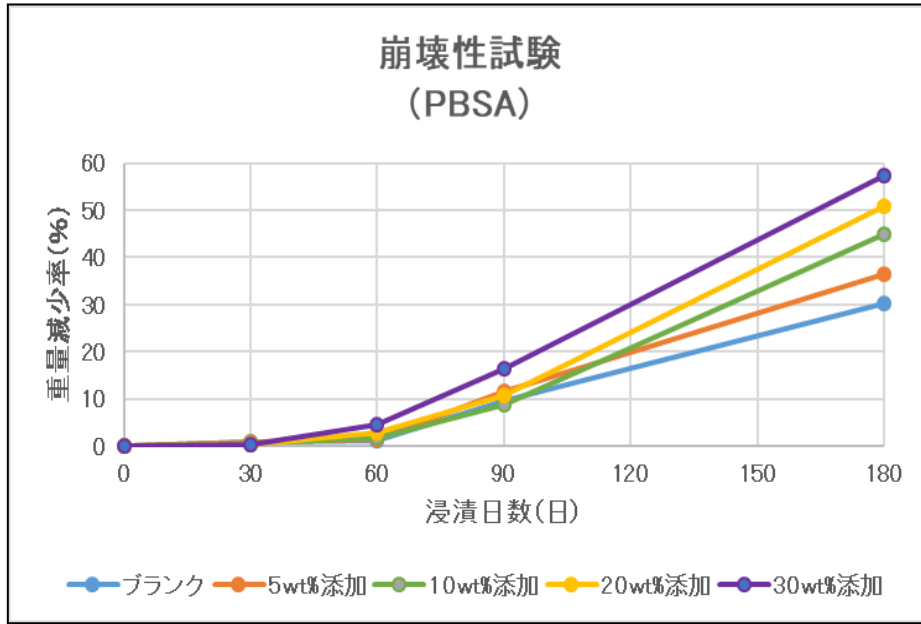
3) 評価結果

疎水化アルギン酸粒子を添加することで生分解性樹脂の重量減少を促進する効果を得ることができた。また、添加量を上げることで更なる促進効果が期待できる結果となった。

以下に各複合化樹脂の崩壊性試験の結果を示す。

① PBSA との複合化樹脂

- ・ [添加剤] 疎水化アルギン酸粒子
- ・ [添加量] 5wt%、10wt%、20wt%、30wt%
- ・ [浸漬日数] 0～180 日



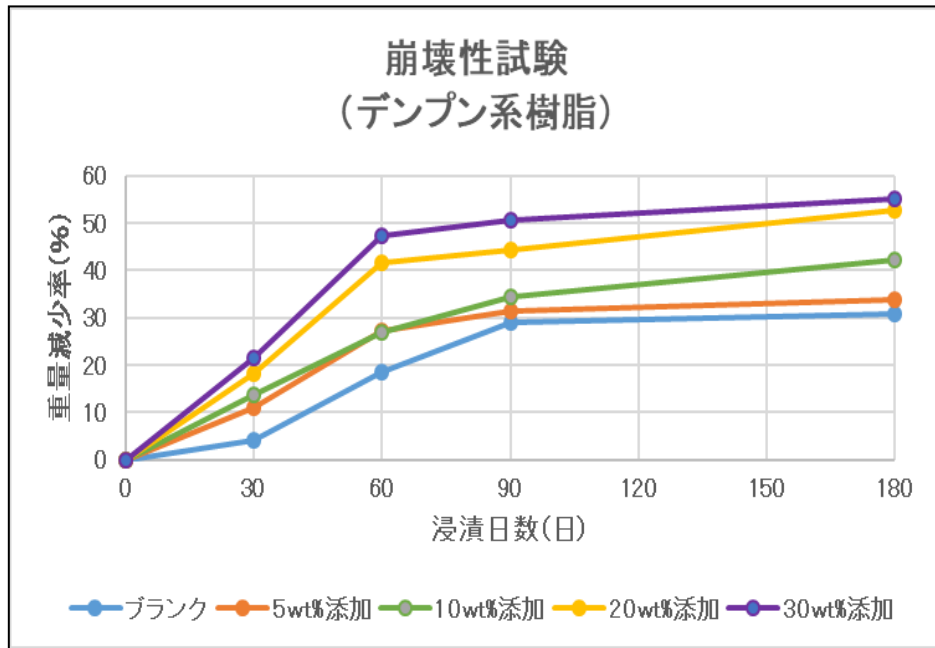
図Ⅲ-2. 2. 3-30 複合化樹脂の重量減少推移 (PBSA)

ベースとなる生分解性樹脂をPBSAとした場合、海水浸漬30日より、急激な崩壊性（重量減少）を示した。また、少ない添加量でも崩壊性は大きいことが確認できたことから生分解性樹脂全体の崩壊性（重量減少）を促進する効果を示唆する結果が得られた。

	ブランク	10wt%添加	20wt%添加	30wt%添加
試験前				
180日後				

図Ⅲ-2. 2. 3-31 海水崩壊性試験前後の複合化樹脂状態 (PBSA)

- ② デンプン系樹脂との複合化樹脂
- ・ [添加剤] 疎水化アルギン酸粒子
 - ・ [添加量] 5wt%、10wt%、20wt%、30wt%
 - ・ [浸漬日数] 0～180日



図III-2. 2. 3-32 複合化樹脂の重量減少推移 (デンプン系樹脂)

ベースとなる生分解性樹脂をデンプン系樹脂とした場合、海水浸漬後より徐々に崩壊性（重量減少）が進行していく傾向を示した。海水浸漬90日以降、崩壊性の鈍化傾向がみられるものの、早い段階で生分解性樹脂全体の崩壊性（重量減少）を促進する効果を示唆する結果であった。

	blank	10wt%添加	20wt%添加	30wt%添加
試験前				
180日後				

図III-2. 2. 3-33 海水崩壊性試験前後の複合化樹脂状態 (デンプン系樹脂)

B-1-2 イオン結合を有するポリマー化合物を含む生分解性樹脂との複合化と評価

B-1-2.1 添加量とフィルム成型性評価

A-2-2において骨格構造がポリエステル系、ポリカプロラクトン系、ポリプロピレングリコール系のイオン結合を含むポリマー化合物で、高い疎水性と良好な海水生分解性を有した有用な素材となり得ることを明らかにした。そこで、当該素材を既存の生分解性樹脂と複合化することにより、得られるプラスチック素材の海洋生分解性を高める添加剤としての活用を視野に、複合化の可能性について検証を行った。

先ず、既存の生分解性樹脂として PBSA、PBAT、デンプン系樹脂を選定し、二軸混練押出機により各種添加量を変更しつつ、複合化とペレット化の検討を行った。

次に、加熱プレスにより膜厚 200 μm のフィルム成型を実施し、複合成型体創出の可能性について評価を行った。

その結果、PBSA、BPAT に対しては、添加量 30wt% までは均一なフィルム成型体が得られることを確認した。一方、デンプン系樹脂については、添加量 30wt% では不均一な部分が散見されるフィルム成型体となることを確認した。

下記に詳細な各種条件及び結果を示す。



図Ⅲ-2.2.3-34 イオン結合を有するポリマー化合物（添加剤）の構造概略図

1) 混練及びフィルム成型方法

二軸混練押出機を用いてイオン結合を有するポリマー化合物と生分解性樹脂を各種添加量に調整し混練し、ペレットを作製した。

2) 装置構成及び条件

- ・ スクリュー径：12mm
- ・ 長径比 (L/D)：30
- ・ 回転数：200rpm
- ・ バレル温度：50～130℃

3) フィルム成型

加熱プレス機を用いて厚さ 200 μm のシートを作製した。

4) シート作製

- ① [生分解性樹脂] ・ PBSA ・ BPAT ・ デンプン系樹脂
- ② [添加剤] (イオン結合を有するポリマー化合物)
 - ・ ポリプロピレングリコール系ポリマー化合物
(ポリプロピレングリコール/アシルアミノ化合物)
 - ・ ポリカプロラクトン系ポリマー化合物
(ポリカプロラクトン/アシルアミノ化合物)
 - ・ ポリエステル系ポリマー化合物
(ポリエステルポリオール/アシルアミノ化合物)

- ③ [添加量] 10wt%、20wt%、30wt%、40wt%

5) 評価結果

PBSA、PBAT は、添加量 30wt% までは均一なフィルムが得られることを確認した。一方、デンプン系樹脂について添加量 30wt% では不均一なフィルムとなった。また、添加量 40wt% 以上では PBSA、BPAT、デンプン系樹脂どれも海島構造となり、不均一なフィルムとなった。

これらの結果から、海島構造のような相溶性に起因する不均一を解消するためには、混練機のスクリー構成や混練時間、温度等の更なる条件検討が必要であると考えられる。

以下に各種複合化樹脂のフィルム成型性のまとめを示す。

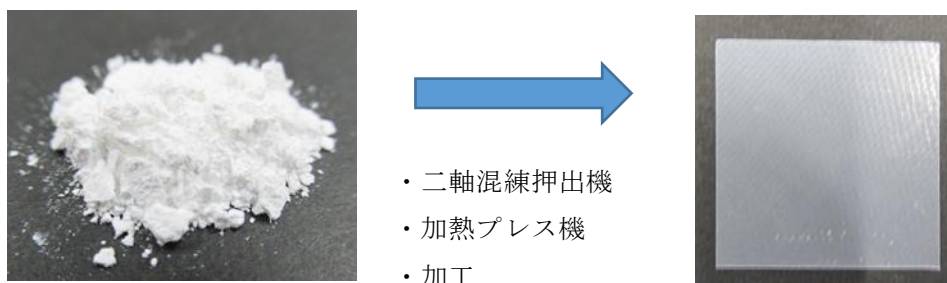
表Ⅲ-2.2.3-18 複合化樹脂フィルムの成型性結果まとめ

生分解性 樹脂	添加剤	イオン結合を有するポリマー化合物 添加量			
		10wt%	20wt%	30wt%	40wt%
PBSA	ポリプロピレングリコール系 ポリマー化合物	○	○	○	×
	ポリカプロラクトン系 ポリマー化合物	○	○	○	△
	ポリエステル系 ポリマー化合物	○	○	○	△
PBAT	ポリプロピレングリコール系 ポリマー化合物	○	○	○	×
	ポリカプロラクトン系 ポリマー化合物	○	○	○	×
	ポリエステル系 ポリマー化合物	○	○	○	×
デンプン系 樹脂	ポリプロピレングリコール系 ポリマー化合物	○	○	×	—
	ポリカプロラクトン系 ポリマー化合物	○	○	△	×
	ポリエステル系 ポリマー化合物	○	○	△	×

○：成型性良好 △：不均一な部分あり ×：不均一/海島

<参考>

下記のようにPBSA樹脂にイオン結合を有するポリマー化合物を30wt%添加して作製したフィルムが均一であることを確認した。



図Ⅲ-2.2.3-35 イオン結合を有すポリマー化合物とPBSA複合化樹脂シート

B-1-2.2 成型品の強度物性評価

イオン結合を有するポリマー化合物を添加剤として適用した複合化樹脂の強度物性評価を行うため、B-1-2.1 で得られたフィルム成形体をもとに、引張試験機による引張強度を測定し、現状の強度物性を検証した。

その結果、PBSA 及び PBAT 樹脂に対しては、添加量 20wt%まではブランクと同等もしくはそれ以上の引張強度を維持できる可能性が高いことを確認した。一方、デンプン系樹脂においては、添加量の増加に伴い、引張強度が低下する傾向となることが確認された。

なお、添加量増加に伴う強度物性低下の一因として、ベースとなる生分解性樹脂成分とイオン結合を有するポリマー化合物の相溶性に起因する海島構造などの不均一化による強度物性低下が想定されることから混練機のスクリー構成や混練時間、温度等の更なる条件検討が必要であると考えられる。

下記に詳細な各種条件及び結果を示す。

1) 試験片作製

各種成型シートをダンベル型打抜刃 (JIS K7139-A22) で打ち抜き、引張試験用の試験片を作製した。

2) 評価サンプル

[生分解性樹脂] ・PBSA 樹脂 ・PBAT 樹脂 ・デンプン系樹脂

[添加剤] (イオン結合を有するポリマー化合物)

- ・ポリプロピレングリコール系ポリマー化合物 (1000)
- ・ポリエステル系ポリマー化合物 (1000)
- ・ポリカプロラクトン系ポリマー化合物 (1000)

各種生分解性樹脂とイオン結合を有するポリマー化合物の組合せにおいて添加量を変更した各種複合化樹脂試験片で引張試験を実施した。

3) 評価装置

卓上型引張圧縮試験機 MCT-2150

4) 測定項目

引張強さ (最大応力) を測定

なお、測定データは各添加量で作製した複合化樹脂シートの引張強度をブランク相対比で示す。

5) 評価結果

PBSA、PBAT に対して添加量 20wt%まではブランクと同等の引張強度を維持できる可能性が高いことを確認した。一方、デンプン系樹脂においては、添加量の増加に伴い、引張強度が低下する傾向となることが確認された。

以下に主な複合化樹脂の引張強度測定による物性評価のまとめを示す。

表Ⅲ-2.2.3-19 主な複合化樹脂の物性評価まとめ

生分解性 樹脂	添加剤	ブランク 引張強度 (MPa)	引張強度 最大応力ブランク相対比 (%)		
			10wt%添加	20wt%添加	30wt%添加
PBSA	ポリプロピレングリコール系 ポリマー化合物	10.6	102	91	44
PBAT	ポリカプロラクトン系 ポリマー化合物	7.1	93	91	69
デンプン系 樹脂	ポリエステル系 ポリマー化合物	8.6	82	78	67

B-1-2.3 成型品の海水崩壊性試験と評価

分解判断の1つとして成型体の海水中における崩壊性（重量減少）が挙げられる。特に生分解速度を上げるためには海水中において本検討の複合化樹脂（固形体）が適度な速度で崩壊していく必要がある。そこで、B-1-2.1で作製した複合化樹脂シートを用いて海水における崩壊性（重量減少）試験を水槽内で実施した。

下記に詳細な各種条件及び結果を示す。

1) 条件

- ・海水：千葉港 ※海水は、採取後フィルターろ過し使用
- ・海水温度：25℃ ・評価用シート：20mm×20mm 厚み 200 μm
- ・試験容器：水槽 300mm×450mm×300mm

2) 評価サンプル

[生分解性樹脂]

- ① デンプン系樹脂 ② PBSA 樹脂 ③ PBAT 樹脂

[添加剤]（イオン結合を有するポリマー化合物）

- a ポリエステル系ポリマー化合物（1000）
- b ポリカプロラクトン系ポリマー化合物（1000）
- c ポリプロピレングリコール系ポリマー化合物（1000）
- d ポリエステル系ポリマー化合物（2000）
- e ポリカプロラクトン系ポリマー化合物（2000）

各種生分解性樹脂と添加剤とするイオン結合を有するポリマー化合物の組合せにおいて添加量を変更した各種複合化樹脂で試験を実施した。

3) 評価結果

ベースとなる生分解性樹脂がデンプン系の複合化樹脂である場合の崩壊性（重量減少）については、海水浸漬後より徐々に崩壊（重量減少）が進行していく傾向を示し、崩壊（重量減少）を促進

する効果があることを示唆する結果であった。また、添加剤であるポリマー化合物の構造及びイオン結合間の分子量による崩壊速度及び抑制に大きな変化は見られない結果であった。

ベースとなる生分解性樹脂がPBSA系の複合化樹脂である場合の崩壊性（重量減少）については、海水浸漬後より徐々に崩壊（重量減少）が進行していく傾向を示し、崩壊（重量減少）を促進する効果があることを示唆する結果であった。また、添加剤であるポリマー化合物の構造による崩壊性の変化では、ポリエステル系ポリマー化合物やポリカプロラクトン系ポリマー化合物に比べてポリプロピレングリコール系ポリマー化合物は崩壊性が低下し、抑制されている傾向であった。イオン結合間の分子量による崩壊性については、ポリカプロラクトン系ポリマー化合物は崩壊性に変化はないものの、ポリエステル系ポリマー化合物についてはイオン結合間の分子量が大きい程、崩壊性が抑制されている結果であった。

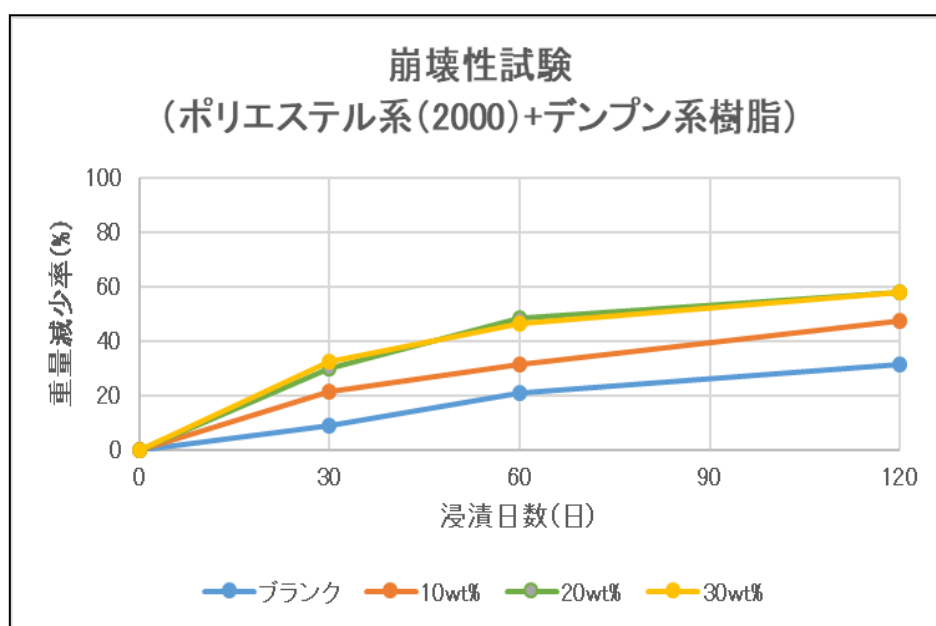
ベースとなる生分解性樹脂がPBAT系の複合化樹脂である場合の崩壊性（重量減少）については、海水浸漬後より徐々に崩壊（重量減少）が進行していく傾向を示し、崩壊（重量減少）を促進する効果があることを示唆する結果であるものの、何れの系においてもベースとなる生分解性樹脂がPBSA系の複合化樹脂と比べると崩壊速度が大きく抑制されている結果となった。また、添加剤であるポリマー化合物の構造による崩壊性の変化では、ポリエステル系ポリマー化合物やポリカプロラクトン系ポリマー化合物に比べてポリプロピレングリコール系ポリマー化合物は崩壊性が低下し、抑制されている傾向であった。イオン結合間の分子量による崩壊性については、ポリエステル系ポリマー化合物とポリカプロラクトン系ポリマー化合物の何れにおいても崩壊速度及び抑制に大きな差異は見られない結果であった。

以下にポリエステル系ポリマー化合物を添加剤とした複合化樹脂の代表的な崩壊性試験の結果と試験サンプルの経過画像を示す。









①デンプン系複合化樹脂代表例

デンプン系複合化樹脂（①-d）

- ・ [添加剤] ポリエステル系ポリマー化合物（2000）
- ・ [添加量] 10wt%、20wt%、30wt% ・ [浸漬日数] 0～120日



図Ⅲ-2. 2. 3-36 デンプン系複合化樹脂（①-d）の重量減少推移

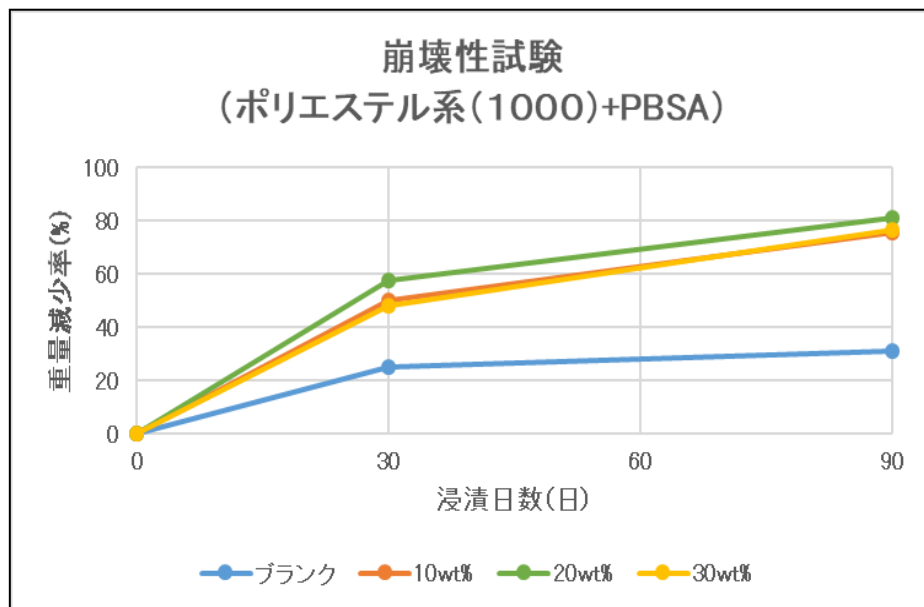
	ブランク	10wt%添加	20wt%添加	30wt%添加
試験前				
90日後				

図Ⅲ-2.2.3-37 海水崩壊性試験前後の複合化樹脂状態 (①-d)









②PBSA系複合化樹脂代表例

PBSA系複合化樹脂 (②-a)

- [添加剤] ポリエステル系ポリマー化合物 (1000)
- [添加量] 10wt%、20wt%、30wt%
- [浸漬日数] 0～90日



図Ⅲ-2.2.3-38 PBSA系複合化樹脂 (②-a) の重量減少推移

	ブランク	10wt%添加	20wt%添加	30wt%添加
試験前				
90日後				

図Ⅲ-2.2.3-39 海水崩壊性試験前後の複合化樹脂状態 (②-a)

B-1-2.4 成型品の海水崩壊性要因分析

B-1-2.3において、開発材である海洋生分解性化合物（イオン結合を有するポリマー化合物）を汎用生分解性樹脂に添加することで組成物全体の崩壊性（重量減少）を向上させる効果が確認されたことを受け、その要因分析を行った。具体的には、イオン結合を有するポリマー化合物単体で成型体を作製し、海水浸漬試験による経時変化を観察することで海水中の菌/微生物による生分解性への影響を検証した。

その結果、成型体を海水浸漬した30日後には、当該成型体の表面を覆うほどのバイオフィルムの形成が確認された。そこで、バイオフィルムが形成された成型体の表層部をSEM及びデジタルマイクロスコプで確認したところ、無数の微生物群が確認された。

このことから、当該開発材には海水中で微生物を集積させる作用があり、これらの増殖作用に起因した生分解の促進が崩壊性向上に繋がっているものと推測している。

<評価成型体の作製>

①使用海洋生分解性化合物：ポリプロピレングリコール系ポリマー化合物

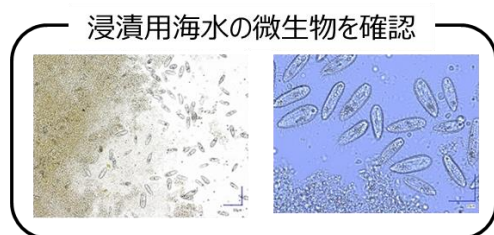
②絶対分子量：MW 10000 程度

③成型温度：100℃

④成型厚み：1.5mm

海洋生分解性化合物粉体をプレス成型し、簡易成型体を作製

<使用海水>千葉港



図Ⅲ-2.2.3-41

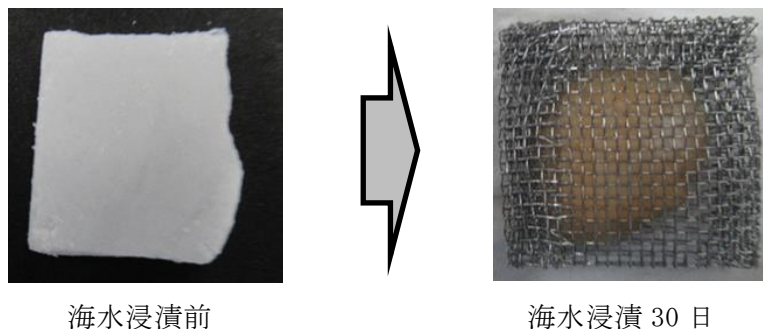
使用海水前の微生物観察（デジタルマイクロスコプ）



図Ⅲ-2.2.3-40
海水浸漬用成型体

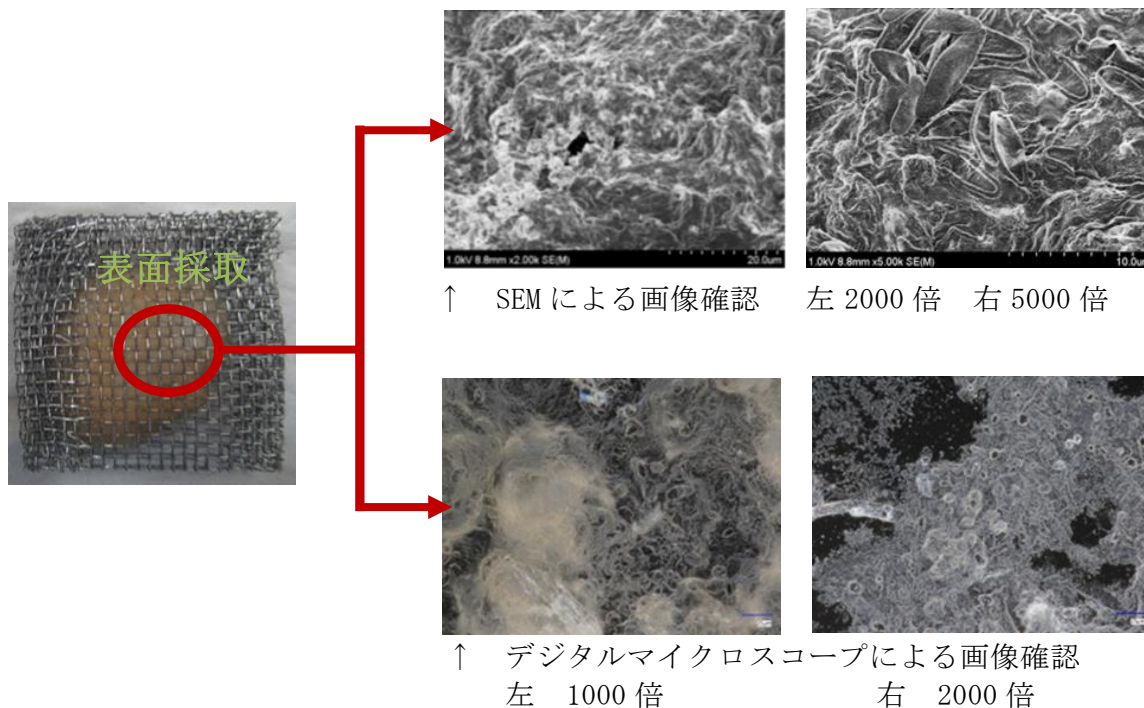
<海水浸漬試験結果>

【海水中でバイオフィーム形成を確認】



海水浸漬前 海水浸漬 30 日
図III-2. 2. 3-42 海水浸漬前後の成型体の変化

【菌/微生物の増殖状態を画像にて確認】

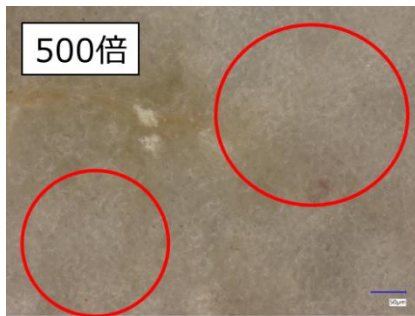


図III-2. 2. 3-43 海水浸漬後の成型体表面の観察

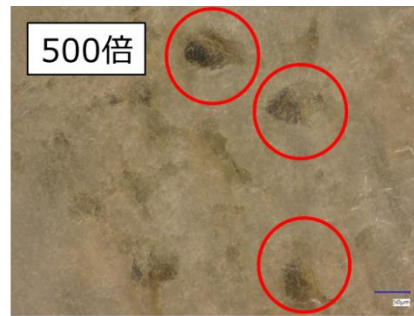
B-1-2.5 成型品の海水崩壊性比較評価

添加剤の種類による崩壊挙動の差について、顕微鏡による観察を行い、結果をまとめた。PBSA をベース樹脂として、それぞれ疎水化アルギン酸粒子およびポリエステル系のイオン結合ポリマー化合物を混練した樹脂を崩壊性試験終了後に顕微鏡で観察した。

疎水化アルギン酸粒子を添加したフィルムでは全体的に比較的均一な凹凸が生じている様子が観察され、一方、イオン結合ポリマー化合物を添加したフィルムでは一部が大きく抜け落ちたような孔が観察された。



疎水化アルギン酸粒子添加

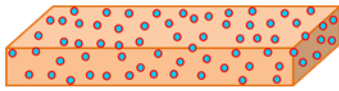


イオン結合ポリマー化合物添加

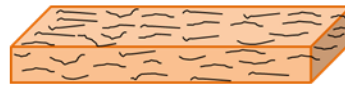
図Ⅲ-2.2.3-44 崩壊性試験後のフィルム（デジタルマイクロスコープ）

これは疎水化アルギン酸粒子が熱溶解しないために粒子として樹脂全体に分散していたのに対し、イオン結合ポリマー化合物は溶解混練しているため相分離したブレンドポリマーのように樹脂中に分布していると考えられ、それが崩壊挙動に反映された可能性がある。

分散状態の模式図



疎水化アルギン酸粒子添加



イオン結合ポリマー化合物添加

図Ⅲ-2.2.3-45 複合化樹脂の模式図

上記は、添加剤の分散状態をコントロールすることで生分解性挙動をコントロールできることを示唆する結果である。

B-1-2.6 成型品の海水生分解性試験と評価

B-1-2.3 において海水中での分解判断の1つである成型体の海水中における崩壊性（重量減少）試験を実施し、ベースとなる生分解性樹脂がデンプン系、PBSA系、PBAT系の各樹脂に当該イオン結合を有するポリマー化合物を添加剤として配合した複合化樹脂において、海水浸漬後より徐々に崩壊（重量減少）が進行し、崩壊（重量減少）を促進する効果を示唆する結果を得ることができた。

しかしながら、崩壊が促進されるだけでは、マイクロプラスチックを増加させてしまうことになりかねないため、崩壊物が海水での生分解性を有しているかが重要になる。作製した複合化樹脂シートをもとにBODによる海水生分解性試験を実施した。

下記に詳細な各種条件及び結果を示す。

1) 海水生分解性試験の主な条件

- ・試験方式：BOD
- ・測定温度：30°C±1
- ・海水：千葉港
- ・栄養源：あり
- ・攪拌：あり
- ・対照材料（ブランク）：PBSA

2) 評価サンプル

[生分解性樹脂]

PBSA 樹脂

[添加剤]（イオン結合を有するポリマー化合物）

- a：ポリエステル系ポリマー化合物（1000）
- b：ポリカプロラクトン系ポリマー化合物（1000）
- c：ポリプロピレングリコール系ポリマー化合物（1000）

※ 添加量は全て 30wt%

【評価サンプル名称】

- サンプル 1：ポリエステル系（1000） [PBSA+ a]
- サンプル 2：ポリカプロラクトン系（1000） [PBSA+ b]
- サンプル 3：ポリプロピレングリコール系（1000） [PBSA+ c]
- サンプル 4：PBSA（ブランク）

各種複合樹脂シートを粉砕機で 1mm 以下の粉体にして BOD 測定用の評価サンプルとした。

3) 評価結果

ブランクの PBSA 単体における海水生分解性と比較して、ポリエステル系ポリマー化合物やポリカプロラクトン系ポリマー化合物との複合樹脂については生分解が促進されていることを示唆する結果が得られた（サンプル 1 及び 2）。特にポリエステル系ポリマー化合物の複合樹脂においては、30 日後の絶対分解度でブランクよりも 60%ほど大きな生分解性を示し、顕著に有用性が高い結果が得られた。

一方、ポリプロピレングリコール系ポリマー化合物については、試験 30 日経過後において、ブランクより生分解が進行していたものの、それほど大きな促進効果が得られない結果であった（サンプル 3）。

以上の結果より、少なくともポリエステル系ポリマー化合物やポリカプロラクトン系ポリマー化合物といった、イオン結合を有するポリマー化合物を添加剤とする複合樹脂は、その添加剤効果により主剤樹脂の海水での生分解を助長する可能性が高いことが示唆されたため、更に、イオン結合を有したポリマー化合物の素材開発とベースとなる生分解性樹脂の選定を進めていくことで、海洋生分解性プラスチックに適した分解促進剤としての利用と新規海洋生分解性プラスチックの実用化に期待できる。

B-2 安全性試験、認証評価 (②-2)

B-2-1 疎水化アルギン酸粒子の認証試験と評価

A-3-1 で選定した疎水化アルギン酸粒子について、海洋生分解性の証明となる TÜV AUSTRIA BELGIUM NV の OK biodegradable MARINE 認証を取得した。

認証の申請に必要となる化学特性、海水生分解性、生態毒性に関する試験を外部機関にて実施した結果、全ての試験項目において、OK biodegradable MARINE 認証に必要とされる要求事項を満たす結果となった。

本プロジェクトの成果物の1つが海洋生分解性添加剤に認定されたことは、今後の実用化と事業化を進めていく上で重要な役割を果たすものと考えている。

各試験の詳細を以下に示す。尚、疎水化アルギン酸粒子は粉末試料の為、崩壊性試験については免除となった。

I. 化学特性

化学特性の試験では、試料に含まれる有機物の量が全体の50%以上を占めること、有害な重金属及びフッ素の含有量が規定値以下であることが要求事項となる。

I-A. 揮発物質(有機物)含有量の測定

1) 試験方法：

固形分量・水分量：105℃×14hr 乾燥後の重量減少から算出

揮発物質(有機物)・灰分含有量：550℃×4hr 灰化後の重量減少から算出

2) 試験結果：

表Ⅲ-2. 2. 3-20 揮発物質(有機物)含有量等の測定結果

特性	測定結果
固形分量	92.2%
水分量	7.8%
揮発物質(有機物)含有量	75.5% (固形分量に占める割合)
灰分(不揮発性無機物)含有量	24.5% (固形分量に占める割合)

疎水化アルギン酸粒子に含まれる揮発物質(有機物)含有量は、固形分量に対して75.5%となり、EN13432(2000)、CAN/BNQ 0017-088(2010)、ISO 17088(2012)に規定される有機物含有量の下限值50%を大きく上回る数値となったことから、要件を満たす事を確認した。

I-B. 重金属およびフッ素含有量の測定

1) 試験方法：

重金属：誘導結合プラズマ発光分光分析法(ICP-OES)を用いて定量

フッ素：イオンクロマトグラフを用いて定量

2) 試験結果：

すべての数値において、各規定で定められる制限値を大きく下回る結果となった。

以上の結果より、疎水化アルギン酸粒子はEN13432(2000)、ASTM D6400(2019)、CAN/BNQ 0017-088(2010)及びISO 17088(2012)に定義される有機物含有量、重金属、フッ素に係る要件を全て満たす事を確認した。

表Ⅲ-2.2.3-21 重金属及びフッ素含有量測定結果（固形分量に占める含有量）

分析	測定結果 (ppm)	制限値 (ppm)		
		EU EN 13432 (2000)	米国 ASTM D6400 (2019)	カナダ CAN/BNQ 0017-088 (2010)
As	< 1.00	≦5	< 20.5	< 19
Cd	< 0.40	≦0.5	< 19.5	< 5
Co	< 2.00	-	-	< 38
Cr	< 5.00	≦50	-	< 265
Cu	< 5.00	≦50	< 750	< 189
Hg	< 0.10	≦0.5	< 8.5	< 1
Mo	< 0.50	≦1	-	< 5
Ni	< 5.00	≦25	< 210	< 45
Pb	< 25.0	≦50	< 150	< 125
Se	< 0.75	≦0.75	< 50	< 4
Zn	< 20.0	≦150	< 1400	< 463
F	< 10	≦100	-	-

II. 海水生分解性試験 (ASTM D6691)

海水生分解性試験では、30℃の海水における生分解度（絶対値 又は 対照物質に対する相対値）が6カ月以内に90%以上に達することが要求事項となる。

1) 試験方法：

試験手順は ASTM D6691 (2017) に準じて実施された。

試験方法：CO₂発生量から生分解度を算出

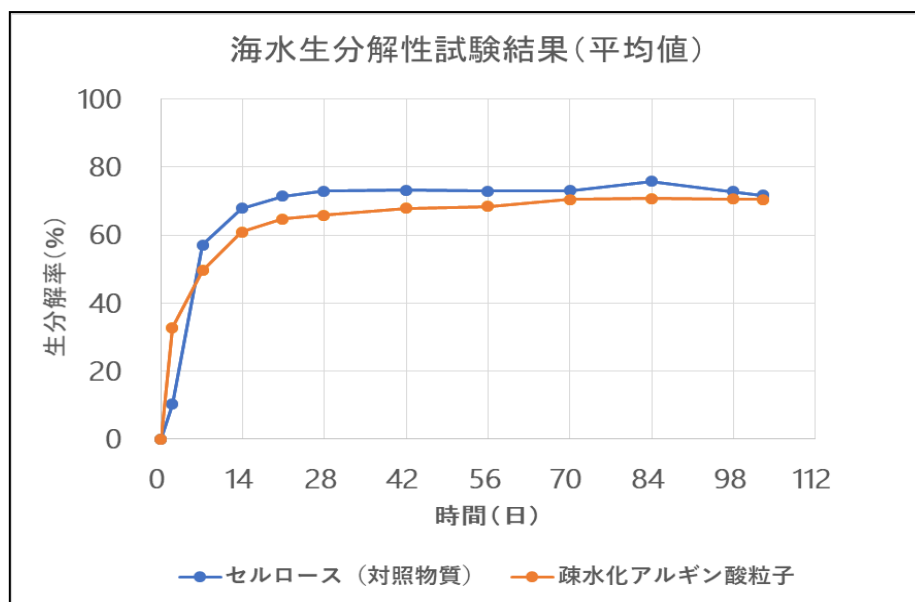
- ・海水：北海 (Belgian coast)
- ・栄養源：あり
- ・設定温度：30℃±1℃
- ・攪拌：あり
- ・対照物質：セルロース

2) 試験結果：

表Ⅲ-2.2.3-22 生分解性試験完了時（103日目）における生分解度

物質	C _{input} (mg)	C _{output} (mg)	生分解度 (%)	
			絶対値	相対値
セルロース (対照物質)	26.1	18.8	71.8	100.0
疎水化アルギン酸粒子	19.3	13.6	70.5	98.2

対照物質であるセルロースの生分解度は、試験完了時（103 日目）には 71.8%に達し、試験の有効性の閾値である 70%を上回ったことから、今回の海水生分解性試験の有効性が認められた。



図Ⅲ-2. 2. 3-46 セルロース及び疎水化アルギン酸粒子の海水生分解度（平均値）

疎水化アルギン酸粒子の生分解は、試験開始直後から早いペースで順調に進み、14 日目には生分解度が 60.9%に達した。その後、生分解の速度は徐々に減速したものの、103 日目には、絶対値で 70.5%、対照物質であるセルロースに対する相対値で 98.2%に達した。

TÜV AUSTRIA BELGIUM NV の OK biodegradable MARINE 認証スキームに示される、生分解性試験の合格条件は、対照物質及び試料の両方がプラトーに達した状態で、試料の生分解度が 6 カ月以内に、絶対値で 90%に達する事、或いは対照物質であるセルロースの最大分解度の 90%に達する事である。

疎水化アルギン酸粒子の生分解度は、期間内にセルロースの最大分解度の 90%に達したことから、生分解性の要求事項を満たす事が示された。

Ⅲ. ミジンコを用いた急性生態毒性試験 (OECD 202)

生態毒性試験では、培養液に 0.1wt%の試料を添加し、30℃で 3 か月養生した後、その液を用いてミジンコを培養し、24 時間後と 48 時間後におけるミジンコの活動率が 90%を上回ることが要求事項となる。

1) 試験条件：

培養液：

- ・水（無機栄養源、活性汚泥を含まない）
- ・コントロール（無機栄養源、活性汚泥を含む）
- ・疎水化アルギン酸粒子 1000mg/l（無機栄養源、活性汚泥を含む）
- ・培養液の養生条件：30℃、96 日間

- ・ミジンコの培養条件：20℃、静置、～48 時間
- ・ミジンコ：Daphnia magna 種、各条件 20 匹ずつ

2) 試験結果：

水及びコントロールにおけるミジンコの活動率は 24、48 時間後のいずれにおいても 100%となり、試験の有効性の閾値である 90%を上回ることから、今回の生態毒性試験の有効性が認められた。疎水化アルギン酸粒子を添加した系では、24 時間後の活動率は 100%、48 時間後は 95%となり、何れも基準値の 90%を超える結果となった。

これらの結果より、疎水化アルギン酸粒子は、ミジンコの活性に悪影響を及ぼすような毒性を有さない事が示され、生態毒性試験の要求事項を満たす事を確認した。

表Ⅲ-2. 2. 3-23 24 時間及び 48 時間後におけるミジンコの活動率

培養液	ミジンコの活動率	
	24 時間後	48 時間後
水	100%	100%
コントロール	100%	100%
疎水化アルギン酸粒子 1000mg/l	100%	95%

B-2-2 イオン結合を有するポリマー化合物の純度試験評価

海洋生分解促進剤として有用と判断したポリエステル系およびポリカプロラクトン系のイオン結合を有するポリマー化合物について、日本バイオプラスチック協会（JBPA）が定める生分解性プラスチック識別表示グリーンプラの基準の一つである特定元素の含有試験を外部分析機関にて行った。

1) 試料：

①ポリエステル系ポリマー化合物（1000）

絶対分子量：18000 末端：アシルアミノ化合物で修飾

②ポリカプロラクトン系ポリマー化合物（1000）

絶対分子量：21000 末端：アシルアミノ化合物で修飾

2) 試験方法：

重金属（水銀以外）：誘導結合プラズマ質量分析（ICP-MS）法を用いて定量

水銀：還元気化原子吸光法を用いて定量

フッ素（F）：イオンクロマトグラフを用いて定量

3) 試験結果

分析の結果、ポリエステル系及びポリカプロラクトン系のイオン結合を有するポリマー化合物において、重金属及びフッ素等の特定元素が JBPA の定める規定値以下であることが確認された。

表Ⅲ-2.2.3-24 重金属及びフッ素の測定結果

試験項目	含有量制限値 (mg/kg)	①ポリエステル系 ポリマー化合物	②ポリカプロラクトン系 ポリマー化合物
カドミウム (Cd)	0.5	<0.1	<0.1
鉛 (Pb)	50.0	<5	<5
クロム (Cr)	50.0	<5	<5
砒素 (As)	3.5	<0.1	<0.1
水銀 (Hg)	0.5	<0.1	<0.1
銅 (Cu)	37.5	<1	<1
セレン (Se)	0.75	<0.5	<0.5
ニッケル (Ni)	25.0	<1	<1
亜鉛 (Zn)	150.0	<10	<10
モリブデン (Mo)	1.0	<0.1	<0.1
フッ素 (F)	100.0	<30	<30

本研究開発（中間目標）により、イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの新技术・新素材の基本開発は、当初の計画通りに進行し、新素材開発に一定の成果を挙げることに成功した。本成果をもとに具体的なターゲットを選定し、さらなる検討を行い、実用化を推進していく。一方で、海水での分解メカニズムを分解物の安全性と海洋環境中での影響の観点からも並行して検証していく必要があると考えている。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

表Ⅲ-2.2.3-25 イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの実用化開発

研究項目	最終目標 (2023 年度)	達成見通し
研究項目③-1 プラスチックビーズ代替素材の実用化開発	●試作設備において、目標となる製造コストのプラスチックビーズ代替素材の実用試作品を1種以上提案する。	概ね達成できる見込
研究項目③-2 海洋生分解性付与添加剤の実用化開発	●海洋生分解度、熔融温度の目標を達成した海洋生分解性付与添加剤を1種以上開発する。 ●既存生分解樹脂との複合樹脂としても目標となる生分解性と物性を維持できる海洋生分解性付与添加剤の量産工程をマスターペレットで1種以上確立する。 ●イオン結合を有する海洋生分解性化合物の生分解メカニズムを 1) イオンによる構造分解 2) 微生物による生分解 の観点から明確にする。	概ね達成できる見込 概ね達成できる見込 概ね達成できる見込

【最終目標見通しの根拠】

研究項目③-1 プラスチックビーズ代替素材の実用化開発

フェーズA（中間）において得られた天然高分子を用いたイオン結合を含む疎水化アルギン酸粒子群をターゲットに基本製法を確立した。現在、基本製法に基づき量産化における課題を吸い上げ、コスト及び品質上の改善策の検討を進めている。また、具体的な製造工程と関連する設備検討も予定通り進行中である。並行して、顧客への紹介（サンプル供給含む）及び技術マーケティング等も進めており、概ね最終目標を達成できるものと考えている。

研究項目③-2 海洋生分解性付与添加剤の実用化開発

フェーズA（中間）の成果をもとに、生分解性と物性を両立可能な添加剤の応用開発を進めている。具体的には、分子量の増加や芳香族構造の導入により、熔融温度や強度物性の向上が図れる目途を立てた。並行して本海洋生分解性化合物（イオン結合を有するポリマー化合物）について基本製法の確立に向け検討を進めているところである。また、生分解メカニズムの解明においては低温海水（10℃）においても、良好な生分解性を引き起こすことが確認でき、海水中のイオンによる1次分解が全体の生分解性に大きく寄与していることが判明した。現在、予定通りの開発進捗であり、概ね最終目標を達成できるものと考えている。

(3) 成果の普及

表Ⅲ-2.2.3-26 論文、外部発表等の件数（内訳） 【2022年6月末現在】

年度	論文		その他外部発表				受賞実績
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	展示会への出展	その他	
2020	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	1	3	2	0	0
2022	0	0	1	0	0	0	0
合計	0	0	2	3	2	0	0

【主な成果の普及実績】

1) 学会での講演（2022年3月）

高分子学会・エコマテリアル研究会にて本プロジェクトの成果を講演した。

2) 展示会への出展 2つの展示会に NEDO 海プラ PJ の 1 テーマとして出展した。

①サステナブルマテリアル展（2021年12月） ②nano tech 2022（2022年1月）

3) プレス発表：2021年度 新聞等へ掲載し、NEDO 成果の一部を公表した。（3件）

4) 本プロジェクトの成果物の1つ（疎水化アルギン酸粒子）が TÜV（MARINE）認証を取得し、当該素材の顧客とのマッチングと技術マーケティングを開始した。

(4) 知的財産権などの確保に向けた取り組み

表Ⅲ-2.2.3-27 特許出願件数 【2022年6月末現在】

年度	特許出願		
	国内	外国	PCT
2020	0	0	0
2021	0	0	4
2022	(2)	0	0
2023	(2)	0	0
PJ 期間 合計	(4)	0	4

※（ ）は予定

●非公開により一部削除

IV. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

1. 事業全体の取り組み及び見通し

(1) 本事業における「実用化・事業化」の考え方

【研究開発項目①の「実用化」の考え方】

海洋プラスチック廃棄物の削減に寄与する、既存あるいは新たに開発された海洋生分解性プラスチック樹脂を用いた製品の開発や市場導入を促進するために、海洋生分解性メカニズムに裏付けされた短い試験期間で精度が高い海洋生分解性評価法・試験法を国際標準化団体 ISO に（関係団体と共に）提案し、国際標準規格として発行されることを実用化と定義する。

【研究開発項目②の「実用化・事業化」の考え方】

当該研究開発に係る新技術・新素材が海洋生分解性プラスチック素材として、新製品やその製造方法に適用されることで、社会的利用（顧客への提供等）が検討開始されることを実用化と定義し、さらに、当該研究開発に係る新技術、製品、商品、サービス等の販売や利用により、企業活動（売り上げ等）に貢献することを事業化と定義する。

(2) 事業全体の取り組み及び見通し

研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」

簡易実海域フィールド生分解試験は、ISO 新規提案を行い、2022 年 5 月に可決し、国際審議が開始されることが決定した。今後は、国際審議の各段階をクリアし、追加の成果も日本コメントとして入れ込み、2025 年には発行できるものと推測している。

実験室内生分解加速試験は、新規提案（2022 年 7 月）した。投票結果は正確に予測することが難しいが、前述のフィールド試験と同様に可決できると予想しており、事業期間中に国際審議へと進めることができると推測している。

研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

研究開発項目②-2 においては、ステージゲート審査を通じ、2022 年度から助成事業へと移行した。2022 年度内には、パーソナルケア製品および塗料に添加するプラスチックビーズの代替となる微粒子・粉体を主ターゲットにし、ラボ生産設備の導入と全体の製造工程を検討し、助成事業の最終年度には、コストを踏まえ製造工程に目処を立てる予定である。助成事業終了後、事業化へと繋げる予定である。

また、研究開発項目②-1(1), (2)については、新材料の合成検討が進み、今後、その製造手法の合理化検討も推進する。本事業終了までに漁具を始め将来製品への適用に向けた物性強化を図り、事業終了後は実用化・事業化検討に進める予定である。

2. 研究開発項目（テーマ）毎の取り組み及び見通し

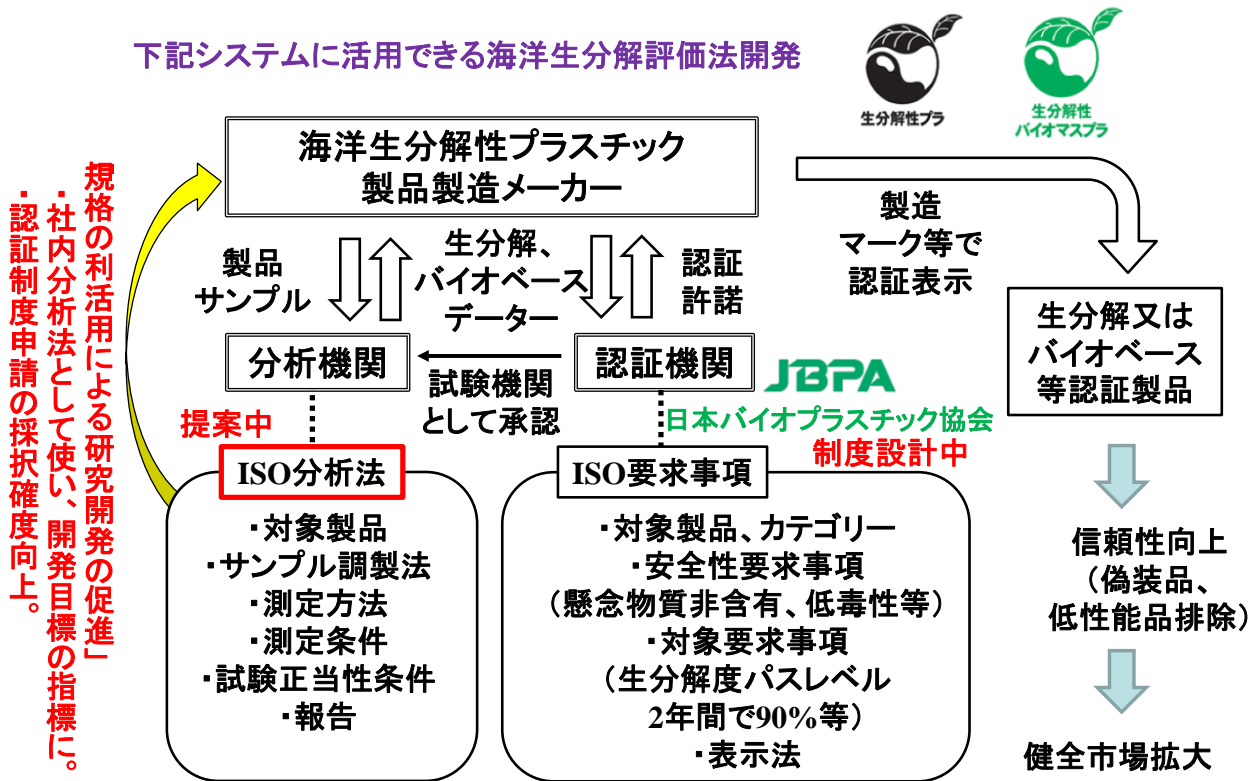
2.1 研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」（委託事業）

(1) 実用化に向けた標準化戦略

本プロジェクトの目標は、規格化を視野に入れた海洋生分解評価法の開発だが、規格化できる評価法でなくてはならない。なぜ、規格化するかは後ほど説明するが、規格化するためには、世界中の企業や研究機関が実施できなくてはならない。そのため、特殊な装置や高度な技術ではなく、汎用性のある技術や、手に入れやすい試薬や材料を使用しなくてはならない。評価法の規格は、一般的には規格化の障壁は低い。現状では、海洋生分解評価法の場合、各国からの種々の方法が提案され、まずは規格化しどれが、最終的に使いやすいか、後で判断するというような状況で、若干、評価法の規格が乱立している感も否めない。また、海洋生分解の研究がそれほど行われていなかったため、評価法の完成度が低い状況でもある。そのため、既存の海洋生分解の評価法は、改良の余地を残して、規格化されている。ただ、それを改良提案してしまうと、すでに実施している機関もあり、改良提案は様子見の状況でもある。そのため、新規提案が乱立する。日本も、新規提案を行い、既存の方法と比較検討することにした。

規格は、発行されただけでは活用されない。まずは、良い評価法であることを示すために、データの開示が重要である。この評価法で測定すれば良いデータが取れることが明示されていれば、使用者が増える。多くの機関に使用してもらわないと、データの比較検討の対象が広がらない。そして、多くの企業、団体に使ってもらえるように、継続した新たなデータ開示が重要である。図IV-2.1-1 に示すように、社内分析法として企業において、研究開発に使用してもらい開発目標製品の性能目標の指標、分析判断に使用する。そのためにも、精度が高く、評価期間の短い評価法が要望されている。そして、社内法として、事前評価しておけば、認証制度に申請するための外部分析機関での実施も、基本的には同じ ISO 評価法なので、評価分析がスムーズに実施できる。そのデータに基づいて、認証機関に製品認証を申請する。これらの分析、認証制度に活用される ISO 規格化される海洋生分解評価法の開発を目指す。

下記システムに活用できる海洋生分解評価法開発



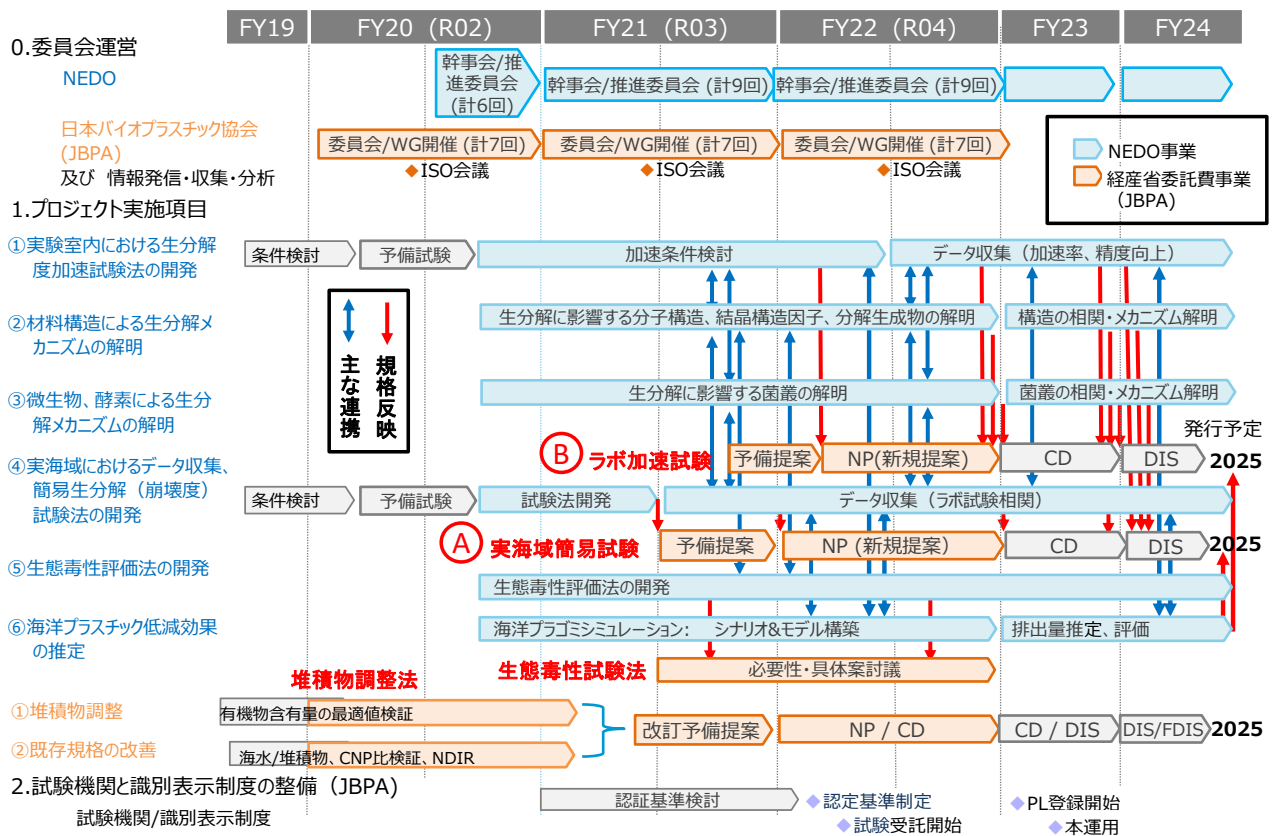
図IV-2.1-1 実用化に向けた標準化戦略

(2) 実用化に向けた具体的取組

前章の研究成果のところでも、説明したが、本プロジェクトで開発した海洋生分解の評価法の規格開発は、図IV-2.1-2（再掲）に示す日本バイオプラスチック協会が、経産省から委託されている「省エネルギー等国際標準開発 海洋生分解性プラスチックに係る技術評価手法の国際標準化」を2020年度から3年間（当NEDOプロジェクトのフェーズAと同期間、オレンジ矢印）、連携して実施している。2023年度以降の規格開発の予算は、未定であるが、(A)と(B)の日本からの新規提案の国際審議は進行するので、本プロジェクトのフェーズBで得られた各研究項目の成果も国際審議の各段階で図中の縦の赤矢印に示すように規格案に反映させていく。

また、(A)、(B)の新規提案を支えるような前処理法や微生物量、菌叢の解析方法等は、別の新規提案として検討していく。

認証制度に活用しやすい方法とするために、日本バイオプラスチック協会と意見交換をしながら、規格化を進めていく。日本バイオプラスチック協会の技術委員会での審議を通じた承認が得られなければ、国際審議における投票行動が行えないので、日本バイオプラスチック協会とのすりあわせは必然的に実施していく。



図IV-2.1-2 本NEDOプロの各研究項目の年間計画（簡易）と日本バイオプラスチック協会受託
経産省委託費とISO国際標準化

(3) 成果の実用化の見通し

ISO規格成立（発行）の見通しについて、説明する。表2.1-3に示す(A)の簡易実海域フィールド生分解試験は、①から⑥に示す事前プロセスを終了し、⑦の新規提案を行い、2022年5月に可決し、国際審議が開始されることが決定している。17ヶ国賛成で、そのうち13ヶ国が積極賛成しているという驚異的な関心の高さを示す可決結果となっている。WG2で国際審議が開始されて、途中で廃案になった案件は無い。激しい議論が行われ、発行まで時間がかかったものもあるが、評価法の場合、それほど、障害となるような状況は想定されず、国際審議の各段階を淡々と進み、フェーズBの成果も日本コメントとして入れ込み、2025年には発行できるものと推測している。

表IV-2.1-1に示す(B)実験室内生分解加速試験は、⑦の新規提案の準備中（7月5日現在）であるが、7月中には新規提案できる見込みである。新規提案がなされると、3ヶ月投票が始まるが、投票結果は正確に予測することが難しいが、(A)と同様に可決できるのではと推測している。ただし、加速試験という概念が生分解評価法に認められるかが重要な議論のポイントとなりそうだが、まずは、規格を成立させて、それを使用するかしないかは各国の判断ということになり、新規提案は、可決すると予測している。積極賛成の5ヶ国以上の獲得も、最近の傾向として、複数の新規にISO/TC61/SC14に参加したp-メンバーが、一度もあつたことがない専門家を登録する積極賛成票を入れるので、新規提案可決のハードルが下がっており、(B)の日本提案も問題なく可決できるものと推測している。

表IV-2.1-1 本 NEDO プロジェクトの成果である評価法の ISO 新規提案状況

ISO化のためのプロセス	A 簡易実海域フィールド生分解試験	B 実験室内加速生分解試験
①素案作成	NEDO成果を元に、年5回のJBPA検討WGで内容検討	同左
②国内コンセンサス形成	2021年6月10日 JBPA技術委員会での予備提案承認	2021年11月30日 同左
③国際提案予備検討	6月28日、30日 イタリア、ドイツのISO参加者に事前説明、賛成承諾 11月24日 ベルギー、フランス、韓国、ケニアへの事前説明	11月24日 同左
④国内審議委員会	8月5日 プラエ連SC14委員会で予備提案承認	12月22日 同左
⑤予備提案	9月9日 ISO/TC61/SC14/WG2で予備提案	2022年1月27日 同左
⑥国際コンセンサス形成	2022年3月12日 メールにて、7カ国+1(日本)の積極賛成確認	現在新規提案用 文書作成中
⑦新規提案	3月7日 新規提案投票開始(5/30締切) 新規提案可決(NP 16636、賛成17、反対0、棄権11、積極賛成13)	
⑧国際審議	86コメント(誤字等39、技術的36、一般11)対応検討中	
⑨発行		

規格開発に平行して、これらの評価法の啓蒙活動も実施していく。前章に説明したように、**図IV-2.1-3** (再掲) に示す NEDO 成果の評価法を含む海洋生分解に関わる情報共有、意見交換、議論の場として、2021年10月1日に、「産総研海洋生分解プラスチック標準化コンソーシアム」を設立した。海洋生分解関連の企業会員向けに、設立記念講演会(2022年1月19日)や本 NEDO プロジェクトの主要実施場所である産総研関西センターの見学会(2022年7月15日)を通して、評価法の啓蒙活動を実施している。もちろん、規格に定められた評価法の啓蒙のためにも、WEB 会議等でロビー活動をする予定である。

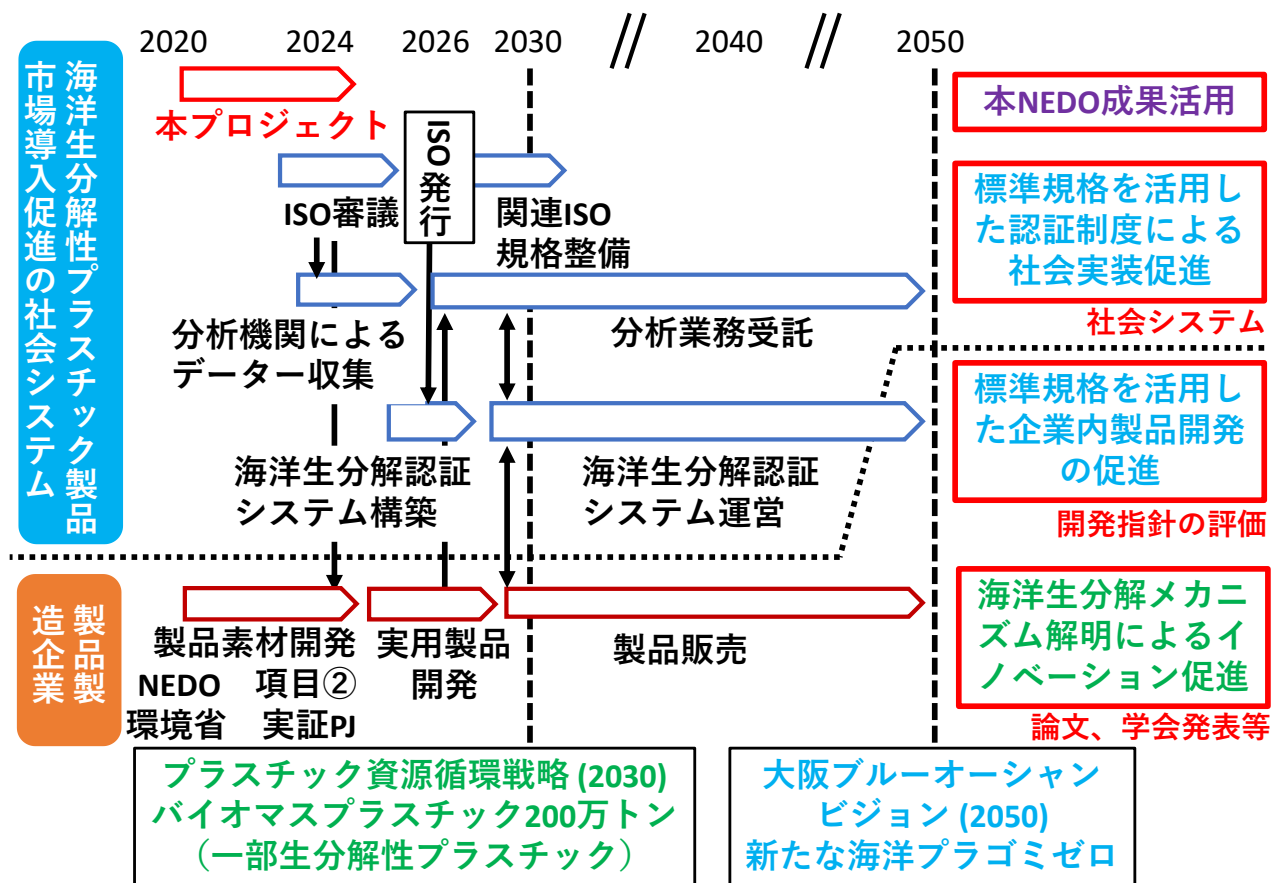
産総研海洋生分解性プラスチック標準化コンソーシアム —2021年10月1日設立—



図IV-2.1-3 本 NEDO プロジェクトの成果（評価法）の啓蒙のための組織設立

(4) 波及効果

繰り返しになるが、本 NEDO プロジェクトで開発した海洋生分解評価法を ISO 規格化し、それらを活用した認証制度や蓄積されたデータを活用し、開発期間の短縮、高精度の製品性能の目標設定、目標達成分析を加速化し、より高性能な製品の開発、その市場導入促進を目指す。また、規格開発のみならず、本 NEDO プロジェクトによる成果普及として、論文情報等によるさらなる高性能海洋生分解性プラスチックの開発の活性化に期待する。図IV-2.1-4 に示すように、これらの波及効果を通して、プラスチック資源循環戦略に掲げた 2030 年にバイオマスプラスチック 200 万トンの市場導入、大阪ブルーオーシャンビジョンに掲げた 2050 年、新たな海プラゴミゼロの実現に貢献する。



図IV-2.1-4 本NEDOプロジェクトの成果の波及効果

2.2 研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

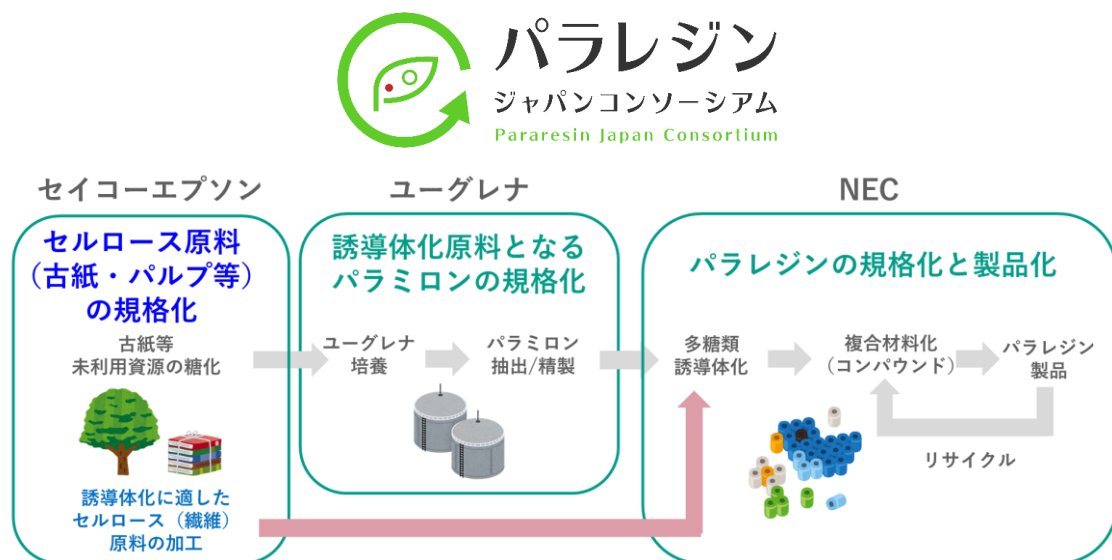
2.2.1 研究開発項目②-1(1)「海洋生分解性を有する新規な多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の研究開発」

(1) 実用化・事業化に向けた戦略

NECグループでは現在、自社開発したセルロース系バイオプラスチック（ニューサイクル）を量産提供し、主に耐久製品向けに適用を推進している。本研究開発の終了後、得られた成果を基に、ニューサイクルの新グレードとする。製造面では、NECグループと、多糖類のエステル化反応を担う化学メーカーとの協業（パラレジンジャパン・コンソーシアム）により、パイロットプラントの設置によって本材料の量産技術を完成させる。また、用途面では、海洋生分解性と耐熱・強度を活かして釣具・漁具の製品領域（国内樹脂使用量：約2万t/y）のデファクトスタンダードとなり、さらには不織布としての適用拡大を推進して、2030年に国内市場10万t/yの普及を目指す。



図IV-2.2.1-1 NECの多糖るバイオ素材の適用領域の拡大



図IV-2.2.1-2 パラレジンジャパンコンソーシアムの生産構想

(2) 実用化・実用化に向けた具体的取組

(非公開版に記載)

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

適用先製品のファーストターゲットとしては、上述のように釣具・漁具・漁業資材の領域を指向する。これら領域では、現状 ABS 樹脂などの石油系プラスチックが使われており、海洋プラスチック問題への対応に向けた海洋生分解性素材の適用が急務となっている。

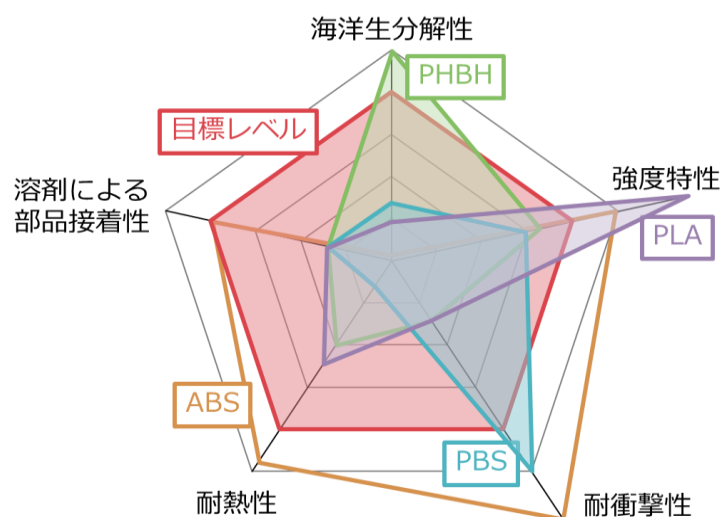
これに対し、本技術は下記のような物性面での優位性を有する。本研究開発で目指す物性レベルの他樹脂との比較を図IV-2.2.1-3に示す。

- 多糖類に導入する長鎖・短鎖エステル基の種類や導入量を調節することで、剛直な性質から柔軟な性質まで幅広い用途に適した物性を創出可能
- 上記調節で海洋生分解性の制御することにより、釣具製品に求められる耐久性と海洋生分解性の両立が可能

また、下記のような製造プロセス面での優位性を有し、他技術に比べて低コストでの提供が可能となる見通しである。

- 酢酸セルロースなどの従来のエステル化では、プラスチックとして利用するために大量の可塑剤の添加が必要
- 本提案では、短鎖エステルに加え、植物油脂由来の長鎖エステルを、これまでにない高効率な手法で導入し、高性能化、成形加工性の向上、バイオマス度の向上を実現可能

図IV-2.2.1-3 本研究開発の目標レベルと他の生分解性プラなどとの物性比較



(4) 波及効果

現状、本研究開発で創生する新規多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の製造については、上述のコンソーシアムの活用を前提に、国内で実施する予定である。パラミロンを原料とする場合、

その新規多糖類長鎖短鎖エステル誘導体の製造工程は微細藻類ユーグレナの培養からパラミロン精製などの工程とリンクする形になる。すなわち、食品添加物や化粧品用途のハイグレード品から汎用品まで様々なグレードを同時に製造するバイオケミカルコンビナートが形成されることになり、立地エリアにおける全製造品の売り上げ規模は数 1000 億円規模に達すると推定される。また、釣具・漁具製品の世界市場は国内市場の約 10 倍の 20 万 t と推定され、上述のようにデファクトスタンダードとなることで世界市場の約 50% のシェアを獲得できた場合、約 10 万 t/y の輸出に伴う収入約 1000 億円が見込まれる（素材単価を 1000 円/kg とした場合）。ただし、世界的な技術普及が地球環境保全にもつながることから、国内生産にこだわることはなく、積極的にライセンスングを実施する。

※参考：「漁業におけるプラスチック資源循環問題に対する今後の取組」2019 年 4 月、漁業におけるプラスチック資源循環問題対策協議会

本研究開発が最初のターゲットとする釣具・漁具製品は、海洋プラスチックごみにおいて大きなウェイトを占めており、太平洋ではその 46% を漁網とそれ由来のマイクロプラスチックが占める (ref1)。開発した新規多糖類長鎖短鎖エステル誘導体がこの製品領域に適用されることで、今後発生する海洋プラスチックごみの約半数近くを削減に貢献できる。プラスチックによる海洋汚染により、観光業・漁業養殖業で合わせて約 10 億ドルの経済損失が生じているという報告 (ref2) があるが、本研究開発の成果により、その中の特に漁業養殖業の損失 3.6 億ドルを半減できると推測される。

市場導入促進への貢献としては、漁業資材や農業資材、また使い捨ての製品などに対して海洋生分解性プラスチック利用を義務付ける規制の働きかけを進める。現状は海洋生分解性プラスチックの選択肢が乏しく現実的に難しかったが、本研究開発の成果により海洋生分解性プラスチックの多様性が高まることで、実現が可能となる。NEC では 2021 年 3 月、バイオベンチャー・ユーグレナ社と、セイコーエプソン社と共に多糖類エステル誘導体の社会実装を目的とする「パラレジージャパン・コンソーシアム」を設立した。NEC では本コンソーシアムを政府関係機関への提言力強化に活用し、海洋生分解性プラスチックの市場導入促進へ貢献していく。

Ref1: 「Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic」L. Lebreton et. al, *Scientific Reports* 8, 4666 (2018)

Ref2: 「APEC Marine Resources Conservation Working Group」(2009)

2.2.2 研究開発項目②-1(2)「エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性樹脂素材の開発」

(1) 実用化・事業化に向けた戦略

本研究開発テーマでは、海洋での使用も含めた様々な用途で使用される樹脂製品が、海洋あるいはその他の自然環境条件下であっても、実環境に流出した際には環境微生物によって完全に生分解されるエステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性樹脂材料の開発を行う。従来のプラスチック系樹脂が有する軽くて強いと言う性質を損なうことなく、海洋も含めた実環境下において、生態系に影響を及ぼさない状態にまで生分解される新規樹脂材料として、機能性樹脂材料、農林水産用資材、建築用資材、微粒子材料、トイレタリー分野、ヘルスケア分野および医療用分野などの製品化・実用化に向けた検討を行う。日本触媒で販売実績がある樹脂材料分野はもちろんのこと、新たな市場開拓も視野に入れて物性および機能の強化を行う。

日本触媒では、1990年代に PES (商品名：ルナーレ SE) の検討を行っていたが、生分解性ニーズが現在ほどなかったこと、および、引き裂き強度や加水分解速度などの点で課題があり、事業化を断念していた。現在、日本触媒では、経営企画室にサステナビリティ推進グループを設置するなど、石油化学メーカーとして環境問題に正面から取り組む決意を行い、これまで培った技術を活用し、バイオ由来材料・生分解性材料の開発を志向している。また、欧州を中心とする海外既存顧客からの生分解性樹脂への代替ニーズが急速に高まっており、事業面でも生分解性樹脂の開発は必要不可欠となっている。そのような動きの中で、PES の開発で培った技術に新たな知見を加えることで従来にはない優れた海洋生分解性樹脂の開発が可能であり、実用化・事業化が見込めると考えている。

【想定用途(販売予定先など)】

[1] 分別回収が困難なもの

- ・トイレタリー分野およびヘルスケア分野
- ・微粒子材料
- ・医療用分野：医療用具用の樹脂材料など
- ・食品包装用資材：食品包装用フィルム、食品包装用ガスバリアフィルム、使い捨て容器など
- ・日用品および雑貨類：レジ袋、ごみ袋、プラスチック容器やカトラリーなど

[2] 自然環境で使用されるもの

- ・農林水産用資材：農業用マルチフィルム、農薬および肥料用の徐放性被覆材、移植用苗ポットなど
- ・建築用資材：土嚢、植生ネット、環境緑地化用部材など
- ・野外レジャー用品：ゴルフティー、釣り糸、レジャーシート、テント用品など

[3] 自然災害等により環境中に流出してしまう可能性があるもの

- ・機能性樹脂材料：有機ガラス材料(透明樹脂用途)、塗料用樹脂など
- ・家屋用資材：配管のパイプ類、外装材など
- ・屋外で使用する材料：カラーコーン、園芸用プランター
- ・輸送用容器：プラスチック容器(コンテナ、バケツ、ポリタンクなど)

(2) 実用化・事業化に向けた具体的取組

本研究開発テーマの実施期間内には、最終目標にも掲げている通り、エステルアミド骨格をベースとする新規海洋生分解性ポリマーについて、1 バッチ当たり 5 kg 以上の安定生産が可能な合成システムを少なくとも 1 件以上構築することを目指す。本研究開発テーマ終了後の製品化・実用化・事業化に向けた検討は、生分解性ポリマーである PES の開発実績がある日本触媒で実施し、本研究開発テーマで構築された合成システムを基にして、2 年以内を目処にベンチスケール (50 kg/B) での生産とサンプル提供、5 年以内を目処にパイロットスケール (5 t/B) での生産開始を目指して検討する予定である。製品としての性能が実証できたものから 400 t/年の実生産・販売を開始する計画である。本研究開発テーマで創出するエステルアミド樹脂は、従来にはない構造を有する一方で、日本触媒は、PES の製造技術に関する知見・ノウハウを既に保有しており、スケールアップにあたってはこれらの知見が活用でき事業化への期間短縮を実現する能力を保有する。また、既存事業において樹脂添加剤事業を行っており、既にチャンネルを保有している点でも事業化の障壁は低い。さらに、日本触媒は、各種製品について、石化由来原料からバイオマス由来原料への転換を検討しており、本研究開発テーマで創出される樹脂材料についてもバイオマス由来原料を用いた海洋生分解性樹脂材料とすることを念頭に置いている。

本研究開発テーマで創出する製品 (食品包装資材、農林水産用資材、レジャー用品、トイレタリー用品およびヘルスケア用品など) の市場規模は、現状では国内では 44 億円と見積もられている。本研究開発テーマ終了後 5 年目 (2029 年度) には生産体制を確立し、国内市場の 1.0% シェア (ワールドワイドでは 0.1% シェア) を目指して事業化を達成したい。また、プロジェクト終了後 6 年目 (2030 年度) 以降は、開発した樹脂を改良し、化粧品用途やトイレタリー用途向けの販売を開始し、2050 年までに樹脂分野で 100 億円、水溶性ポリマーで 60 億円、微粒子で 30 億円 (合計 190 億円) の売り上げを目指す。(図 IV-2.2.2-1)

実用化・事業化マップ[®]（日本触媒）

国内生分解性プラ市場規模：44億円（2018年）
160億円（2029年予測）※ 継続して拡大する見込み

本研究開発テーマで創出する製品

- ・食品包装資材
- ・農林水産用資材
- ・レジャー用品
- ・トイレタリー用品
- ・ヘルスケア用品
- ・微粒子材料
- など



図IV-2.2.2-1 事業化に向けた具体的取組

（3）成果の実用化・事業化の見通し

[3]-1)-1「エステルアミド樹脂素材の材料特性評価」において、ガスバリア性を幅広いレンジで調整可能である事、組成を改良することで、高い強度を付与することができる事を把握した。これらのエステルアミド樹脂素材の特徴を活かし、食品包装材料および農業用コーティング材料としての実用化を目指している。

食品包装材料では多くの用途で、ガスバリア性に加え、耐ピンホール性、ヒートシール性などが必要となることを[3]-1)-2「エステルアミド樹脂素材の市場調査」から把握している。まずは、PES 骨格由来の特徴である高ガスバリア性を活用し、複層フィルム(ガスバリア層)への適応可否を見極め、市場参入の糸口としたい。次に、機能性（耐ピンホール性、ヒートシール性など）の強化を進め、レトルトなど気密性を必要とするフィルム素材への展開を可能にする。

農業用コーティング材料では、ガス透過性等が必要となってくることを[3]-1)-2「エステルアミド樹脂素材の市場調査」から把握している。水蒸気、酸素透過性を付与できる分子設計を見出すことで、種子、肥料コーティング用途への適用が可能になると考えている。

それぞれの用途に許容されるコストを実現しながら、量産化技術を確立する必要がある。そのためにはまず、バルク重合によって精製せずに均質なポリマーが再現良く取得できる製造方法を獲得する事、重要だと考えている。そして、用途ごとに設定される製品ラインナップに対して、原料調達および製造コストを試算し、事業性を評価して、工業生産に向けた理想的な製造手法へと改良することで、事業化への道が拓けると考えている。

(4) 波及効果

バイオマス由来原料から製造可能なエステルアミド樹脂素材はカーボンニュートラルな素材であり、石油由来樹脂に代わって利用拡大することによりサーキュラーエコノミーへ寄与することができる。

本プロジェクトで開発する海洋生分解性樹脂素材は新規ポリマーであるため、海洋生分解性樹脂素材のバリエーション拡充に寄与し、海洋生分解メカニズムに関する知見が蓄積される。さらに新たな海洋生分解性樹脂のポリマー設計に対して有用な情報を与えることができる。

本プロジェクトにおいては、日本触媒の企業研究員1名が理化学研究所へ出向しており、産官が一体となった研究開発体制のもと、人材交流による技術レベル向上、人脈、ネットワーク形成などの人材育成にも積極的に取り組んでいる。出向期間満了後は、生分解性樹脂に関する知識、及びその評価技術についてのノウハウを活かし、当該産業分野でのキーパーソンとなることが期待できる。

2.2.3 研究開発項目②-2「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの実用化開発」

(1) 実用化・事業化に向けた戦略

NEDO 基本計画によれば、アウトカム目標として、2030年には、海洋生分解性プラスチックの国内市場について、20万トン/年の普及を目指すことを掲げている。また、海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材開発を行い、これにより物性、機能性を向上した新素材によるさらなる製品適用拡大により普及拡大を加速させるとの記載がされており、国内からの複数の新素材の開発が望まれている状況となっている。

また、世界のバイオプラスチック市場は、2030年で8,330万トン、約21兆円規模になるものと推測されており、そのうち、バイオマスプラスチックと生分解性プラスチックの割合は量産ベースでは生分解性プラスチックが6割を超えるものと予想されている。

引用：Global Market Outlook by Plastic Type (KPMG：オランダ調査会社資料)

European Bioplastics(2020)

これらの統計より、世界の生分解性プラスチック市場規模は2030年で5,420万トン、13.5兆円規模と試算され、海洋での生分解性機能を有するプラスチック素材の開発についても、早期の実用化が望まれている状況である。

本研究開発は、2020年度NEDO委託事業、研究開発項目②-2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／海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発／複合化技術等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの開発」として採択され、プロジェクトとして2020年より2年間研究開発を進めてきた。

当該委託事業で得られた成果となる海洋生分解性化合物は素材全体の海洋生分解性を高める新しい分解機構の添加剤であり、既存の生分解性樹脂と組合せ、複合化することで素材全体の海洋生分解性を高めることができ、基本計画に沿った海洋生分解性プラスチックの普及拡大につなげることができる可能性を持った素材である。

<委託事業における主な成果として得られた優位性>

- ①塩交換をトリガーとした新規な分解機構
- ②加水分解や海域に依存しない分解性 [確実性]
- ③原料及び樹脂構成の自由度の高さ [豊富な構造による物性の付与]
- ④自然由来成分での構成も可能 (バイオプラ + 生分解プラ) [カーボンニュートラル]
- ⑤既存の生分解性樹脂との複合化による海洋生分解度向上 [既存樹脂の活用]

これらの特徴を十分活かしつつ、実用化することができれば優位性が高い素材になるものと考えている。

この委託研究開発事業で得られた成果及び成果物を更に実用化に向けて発展させるために、本助成事業においては、技術開発テーマを「イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの実用化開発」とし応用開発につなげ、早期実用化と製品用途拡大により普及を加速させることを目指すこととした。

具体的には、研究開発素材と技術マーケティングの結果を踏まえて早期に特徴を活かせるターゲット分野を2つに絞込み実用化開発を行うこととした。

イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの実用化開発（フェーズ B：助成事業）

実施項目③-1 プラスチックビーズ代替素材の実用化開発

パーソナルケア製品や塗料に添加するプラスチックビーズの代替品としてのイオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの実用化開発

実施項目③-2 海洋生分解性付与添加剤の実用化開発

既存の樹脂と複合化することによりプラスチック素材の海洋生分解性を高める添加剤としてのイオン結合を有する海洋生分解性化合物の実用化開発

ターゲットとする具体的市場は、下記の通りであり、2030 年で約 13,450 億円の市場規模を見込んでいる。

表IV-2. 2. 3-1 ターゲットとする具体的市場

ターゲット（用途）	市場規模	コスト見通し
プラスチックビーズの代替品 （パーソナルケア用途）	～3,000t/年 250 億円	
プラスチックビーズの代替品 （塗料を含む産業資材用途）	19,800t/年 400 億円	
海洋生分解性付与添加剤 （2030 年生分解性プラスチック生産量の 3%）	160 万 t /年 12,800 億円	

引用：富士キメラ総研 粉体市場の現状と将来展望（2016）

引用：Global Market Outlook by Plastic Type（KPMG）

引用：European Bioplastics(2020)

- 2026 年以降に REACH 規制により一定の生分解性を有さないプラスチックビーズを用いた製品群の販売が禁止される予定。
- まずはプラスチックビーズの代替品市場を狙い、目標製造コストのプラスチック代替素材の実用試作品を 1 種類以上提案する。
- 次に複合化樹脂として目標とする生分解性と物性を維持できる海洋生分解性付与添加剤の市場に参入する。
- 2030 年の生分解性プラスチック（5,420 万トン、13.5 兆円）の中で、海洋生分解性付与添加剤として 3%を狙う。

<各実用化開発の技術概要>

【研究項目③-1 プラスチックビーズ代替素材の実用化開発】

研究項目③-1では委託事業で検討を進めてきた海洋生分解性化合物をもとにパーソナルケア製品および塗料に添加するプラスチックビーズの代替となるイオン結合を有する微粒子・粉体について、コストを踏まえ、製造工程の検証と改善を実施する。最も実用化に近い製品群をターゲットに低コスト化製法を検討し、ラボ生産によるコスト検証を実施することで、用途・コストを踏まえた実用性のある新素材を早期に実用化に結び付ける。並行して、用途に沿った各種安全性試験、物性試験を実施し、実用化に向けた検証を進めていく。

特に、疎水化アルギン酸粒子については、海洋生分解性と共に安全性も担保でき、委託期間において、小スケールで製法の流れを検討し、その工程に目途を立てたことから、具体的なラボ設備を導入し、製法の検証とコスト低減に向けた改善を進めていく。導入設備については、当社既存設備で対応可能な工程は、それを活用し、必要なラボ設備を導入し、工程検討を進めていく。

●非公開により一部削除

具体的な目標として、2022年度には、パーソナルケア製品および塗料に添加するプラスチックビーズの代替となるイオン結合を有する微粒子・粉体を主ターゲットにし、ラボ生産設備の導入と全体の製造工程の確立を目指す。研究項目③-1において、最も実用化に近い製品群をターゲットにラボ生産設備を導入し、製造工程の検討と検証を重点的に実施する。それらをもとに、製造コストを踏まえ製造工程に目処を立てる。

2023年度には、パーソナルケア製品および塗料に添加するプラスチックビーズの代替となるイオン結合を有する微粒子・粉体について、コストを踏まえ、1つ以上の実用試作品を提案することを目指す。2022年度の実施内容を継続しつつ、ラボ設備において3t以上/年の製造工程を確立する。また、各種物性試験、安全性試験を行い、試作品を作製し、量産品での顧客評価を進める。並行して、化審法・安衛法などの法規制対応など実用化に向けた必要な試験を実施する。

【研究項目③-2 海洋生分解性付与添加剤の実用化開発】（2022年度～2023年度）

研究項目③-2では委託事業で検討を進めてきた海洋生分解性化合物をもとに既存の樹脂の海洋生分解性を高める添加剤の実用化開発を進める。委託期間においてポリエステル系、ポリカプロラクトン系、ポリプロピレングリコール系など複数のイオン結合を有する海洋生分解性化合物を検討し、既存の生分解性樹脂と複合化させることにより、生分解性を有する樹脂シートを作製し、一定の目途を立てた。本研究項目では、更に具体的な複数の物性を選定し、より実用化に適用可能な素材の応用開発を目指す。

既存の生分解性樹脂としては、ポリブチレンサクシネート(PBS)、ポリブチレンサクシネートアジペート(PBSA)、ポリ乳酸(PLA)及びデンプン系生分解性樹脂等から選定し、粒子形状の海洋生分解性化合物を溶融混練等により組成比の調整を行いながら添加することで、複合化検討を実施する。また、並行して、当該海洋生分解性付与添加剤及びマスターペレット化の製造工程の確立を目指す。

具体的な目標として、2022年度には、当該海洋生分解性付与添加剤として、

・海洋生分解性付与添加剤の海洋生分解度 60日 50%以上、溶融温度 90℃以上となる海洋分解性化合物に目途を立てる。

・複合樹脂として生分解性を維持しつつ、成形体の引張強度（最大応力）が 8MPa 以上又は主剤樹脂に対して 8 割以上の引張強度を維持できる海洋性付与添加剤の確立を目指す。

また、並行して、当該海洋生分解性付与添加剤の基本製造方法に目途を立てる。更に、継続的な事業化を目指すため、技術マーケティングで得られた顧客ニーズを鑑み、新しい構造を有する高機能化素材の検討も進めていく。

2023 年度には、2022 年度の実施内容を継続しつつ、実用可能な海洋生分解性付与添加剤を 1 つ以上の提案することを目指す。また、生分解性樹脂の高機能化に対する取り組みについては、2022 年度の実施内容を継続し、高機能化応用素材を 1 件以上提案することを目指す。

並行して 2022 年度で目途を立てた製造方法をもとにラボ設備を導入し、月産 100kg レベルの製造工程を確立し、樹脂と複合化したマスターペレットでの顧客紹介用サンプルを作製し、提案することを目指す。なお、これら実用化検討に対しては、化審法・安衛法などの法規制対応、認証取得など実用化に向けて必要な試験も実施する。

尚、本助成事業においては普及拡大へ向けた応用開発や新素材開発となる礎を構築していくことも目指すため、委託事業で進めてきた生分解メカニズムの解明については、海洋中のイオンによる構造分解と微生物による生分解を分けて、継続した分解メカニズムの評価を同時に進めていく。

(2) 実用化・事業化に向けた具体的取組

当該実用化に向けた開発は、当社（日清紡ホールディングス）が中心になって進める。当社新規事業開発本部に属する事業化推進室の全面協力を得て、コストを見据えた製造技術、設備選定、品質管理、安全性などの観点を踏まえ、基本的な製造工程と少量生産までを構築する。また、事業化移管に向けては、その 1 つとして、合成設備や他の製造設備を多く有し、化学品全般の製造技術力を有する日清紡ケミカル株式会社より、量産化に係る助言や技術協力も得て、早い段階から連携して事業化へ向けた対応を行い、市場動向を鑑みながら事業移管を判断する。

なお、海洋生分解性を含む生分解性プラスチック市場は 2030 年以降も拡大していくものと想定され、安定的な収益を目指すには、更なる低コスト化へ導く必要がある。そのためには一定量の市場を獲得する必要がある一方、2030 年以降は、市場動向や外部環境等を考慮しつつ、他社との連携やライセンス供与、OEM、買収等を視野に入れた事業の拡大化を図る必要もあると考えている。

●表IV-2. 2. 3-2 事業化計画 は非公開により削除

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

<市場拡大の優位性>

現在、国内プラスチック生産量（年間 1 千万トン）のうち、国内で流通している生分解性プラスチックは、2,300 トン程度と国内市場に占める割合は小さく、しかも陸域の土壌又はコンポストでの分解を前提とした生分解性プラスチックが主流であり、海水中のような微生物が極端に少ない環境下での生分解性を有するプラスチックはわずかな種類しか存在しない。（実施方針より）

また、基本計画より、アウトカム目標として、2030 年には、海洋生分解性プラスチックの国内市場について、20 万トン/年の普及を目指すことを掲げている。海外においても、2021 年以降、REACH マイクロプラスチック規制が法制化され、2025 年以降には汎用プラスチック用途が制限される可能性が高く、海外においても海洋生分解性プラスチックの需要は高まるものと想定される。

早期に海洋生分解性素材の開発、上市が実現でき、外部環境の変化に沿ってバイオプラスチックの更なる普及促進や標準化が進めば、事業として成功する可能性は高いと考えている。

<研究開発の優位性>

国内外の事業環境は変化しており、グローバルで海洋生分解性プラスチックの開発及びその普及に注目が集まっている一方、現時点ではその生産量、使用量ともに圧倒的に少なく、市場創出、拡大の可能性は十分にあるものと想定している。

本研究開発において、委託事業（2020～2021年）に実施したフェーズAにおいて開発を進めてきた海洋生分解性化合物とその成果物に一定の目処を立てることができ、新しい発想の海洋生分解性機構を見出せたことが大きいと考えている。また、その成果に対する特許を4件出願し、バックグラウンドIP3件と合わせて国内外の優位性を確保するよう当社知財グループと連携して知財戦略の構築を進めている状況である。

更に、コスト競争力の面においては、高品質で安全性の高い製品を如何に安く、安定的に提供できるかが実用化開発の大きな課題になるものと考えており、当社研究開発本部に属する事業化推進室の全面協力を得て、コストを見据えた製造技術や設備選定、品質管理、安全管理などの観点からも一体となり、競争力の向上を図ることができる体制を整えている状況である。

<製造（事業化）に関する優位性>

本助成事業の実用化開発により、事業の構築を目指したいと考えている。当該実用化に向けた開発は、当社新規事業開発本部に属する事業化推進室の全面協力を得て、一体となり進めるため、コストを見据えた製造技術や設備選定、品質管理、安全性などの観点からも十分な対応ができるものと考えている。また、事業化移管に向けては、その1つとして、合成設備や他の製造設備を多く有し、化学品全般の製造技術力を有する日清紡ケミカル株式会社より、量産化に係る助言や技術協力も得て、連携して事業化へ向けた対応が可能である。

なお、海洋生分解性を含む生分解性プラスチック市場は2030年以降も拡大していくものと想定され、安定的な収益を目指すためには、更なる低コスト化へ導く必要がある。そのためには一定量の市場を獲得する必要がある。それらを鑑み、2030年以降は、市場動向、外部環境等を考慮しつつ、他社との連携やライセンス供与、OEM、買収等を視野に入れた事業の拡大化を図る必要があると考えている。

<販売力に関する優位性>

研究開発と事業化の間にあるギャップ『死の谷』を如何に効率よく脱出できるかが、早期事業化達成のカギを握ると考えている。当社では、日清紡ケミカル株式会社をはじめとするグループ会社との連携及び実績ある商社と協力体制を構築できるものと考えている。製造及び販売に関する協力体制のより一層の強化により、新規ニーズのキャッチアップも当該販売網を通して得ることができると、市場ニーズに合った情報の収集と製品開発をタイムリーに行える体制が構築できる。

●非公開により部分削除

以上のことから、競合技術に対する優位性（性能面、コスト面）や量産化技術、製造、販売等の面からも当該研究開発及びその成果物を事業化へ結びつける能力は十分有しているものと考えている。

(4) 波及効果

本プロジェクト終了後、実用化及び事業の実施により、地球環境課題解決及び我が国の経済再生に以下の貢献が想定される。

【雇用】

新規事業の創出にあたり、当社が目指すターゲット市場規模 13,450 億円の内、当社が直近の目標シェアを獲得する場合、数千人規模の雇用の創出が必要なことから、本分野における経済的波及効果は大きいと考えている。

【海洋プラスチックごみの量の削減】

世界の海洋プラスチックごみの量は、推定 800 万トン/年と報告されている。（ダボス会議より）これは当時のプラスチック生産量の約 2.7%に相当する。

●非公開により部分削除

【CO2 削減】

当社の研究開発成果を実用化するには、バイオマス度 50%以上の原料を使用することを見込んでいる。カーボンニュートラルの観点からは石油由来に比べて 50%以上に相当する CO2 排出削減効果が見込めるものと期待している。

【海洋生分解性プラスチックの市場導入促進と革新的技術への貢献】

本研究開発成果物の実用化は、2025 年以降に予定されている REACH マイクロプラスチック規制対応に照準を合わせており、早い段階からグローバルな導入促進に向けた対応と貢献が可能であると考えている。

また、本研究開発成果物は、高い海洋生分解性を利用した促進剤としての用途展開も視野に入れており、海洋での生分解能力が劣る既存生分解性プラスチックの助長剤としても当該市場拡大に向けた効果は大きく、結果的に、国内生産波及・誘発効果、国民の利便性向上につながるものと期待している。

更に、技術面においては、海洋生分解性プラスチック機能だけでなく、土壌や汚泥、淡水、海水等あらゆる状況に応じて生分解可能な素材や用途に応じで生分解性を抑制する革新技術への礎となるものと期待している。

以上のように、我が国が当該分野において先導し、普及拡大を図るためには、当グループ会社内での事業化だけでなく、的確な市場分析と事業化戦略の下、更なる応用開発、知財戦略（標準化戦略含）等を考慮し、他社との連携やライセンス供与、OEMなども視野に入れて迅速な普及対応を目指すことで経済活動の活性化に大きく寄与するものと考えている。

「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」基本計画

材料・ナノテクノロジー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

プラスチックは、軽量かつ丈夫であり加工性に優れるといった特性を持ち、日常生活の利便性等をもたらす素材としてこれまで幅広く活用されてきている。その一方で、新興国の経済発展と世界的な生産量の増加に伴い、近年、プラスチックごみによる海洋汚染が問題視されるようになってきた。こうした中で我が国では2018年6月に「第4次循環型社会形成推進基本計画」が閣議決定されており、プラスチックの資源循環を総合的に推進するための戦略（「プラスチック資源循環戦略」）を策定し、これに基づく施策を進めていく事が示されている。また安倍首相は、2019年1月の世界経済フォーラム年次総会（ダボス会議）のスピーチ及び第198回通常国会の施政方針演説において、世界の国と共に、海洋プラスチック対策に取り組んでいくことを表明しており、G20大阪サミットに向けて、我が国としての具体的な取り組みが「海洋プラスチックごみ対策アクションプラン」として取りまとめられた。その中で、代替素材の開発・転換等のイノベーションとして「海洋生分解性プラスチックの開発・導入普及ロードマップ」に基づき、官民連携により技術開発等に取り組む事が示されている。

2019年6月に開催されたG20大阪サミットでは、安倍首相は、海洋へのプラスチックごみ及びマイクロプラスチックの流出の抑制及び削減のために適切な国内的行動を速やかに取る決意を表明し、共通の世界のビジョンとして、2050年までに海洋プラスチックごみによる追加的な汚染をゼロにまで削減することを目指す「大阪ブルー・オーシャン・ビジョン」が共有され、「G20海洋プラスチックごみ対策実施枠組」の中で「革新的な解決策（イノベーションの展開）」等の自主的な取り組みの実施が求められている。

②我が国の状況

現在、国内プラスチック生産量（年間1千万トン程度）のうち、国内で流通している生分解性プラスチックは2,300トン程度と国内市場に占める割合は小さく、しかも陸域の土壌又はコンポストでの分解を前提とした生分解性プラスチックが主流であり、海洋生分解性を有するプラスチックはわずかな種類しか存在しない。

NEDOの研究開発としては1996年度～1999年度、「独創的産業技術研究開発促進事業／生物資源リグノセルロース及びデンプンからの新規な生分解性材料の創製」等において

生分解性プラスチックについての研究開発が行われていた。また、2002年度～2006年度に「生物機能活用型循環産業システム創造プログラム／生分解・処理メカニズムの解析と制御技術開発」が行われている。2015年度～2019年度ではJST-ALCAの「ホワイトバイオマステクノロジー／糖質バイオマスからグリコール酸ポリマーを合成する微生物プロセスの開発」において、微生物に人工的なポリマー合成システムを構築し生分解性に優れたプラスチック合成技術の研究開発が行われている。

このほかにも、生分解性プラスチックへの取り組みは行われているが、海洋生分解性に着目した取り組みは十分行われているとは言えず、世界的課題となっている海洋プラスチックごみ問題に対応する研究開発が求められている。

③世界の取り組み状況

世界各国では、海洋プラスチックごみ対策への自主的な取組が活発化している。2019年1月には、化学メーカーをはじめ約30のグローバル企業を中心にした国際アライアンス「Alliance to End Plastics Waste」(AEPW)が設立され、今後5年間で合計15億ドルを投じて海洋プラスチックごみの抑制・管理・使用後のソリューションを推進する事業を展開する予定とされており、主として海洋プラスチックごみの抑制管理を主眼としたものである。

研究開発の取組としては、欧州においてBBi(Bio-Based Industries Joint Undertaking: EUとバイオベース産業コンソーシアムの官民パートナーシップ)の「NEWPACK/Development of new Competitive and Sustainable Bio-Based Plastics」等で生分解性プラスチックの研究開発が行われている。

④本事業のねらい

本プロジェクトでは、海洋生分解性プラスチックの市場導入を促進する為、海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法の開発を行う。

また、海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材開発を行う。これにより物性、機能性を向上した新素材による、さらなる製品適用拡大により普及拡大を加速させる。

将来的には、世界に先駆け、新たな海洋プラスチックごみ発生ゼロの一助となる事を目指す。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

本プロジェクトにて、海洋生分解性メカニズムに裏付けされた海洋生分解性の評価手法を開発し海洋生分解性プラスチックの信頼性を高めると共に、国際標準化提案1件以上に繋げる。

さらに、海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発を行い新市場の創出を

図る。

研究開発項目ごとの目標については、別紙にて定める。

②アウトカム目標

国際標準化に向けた ISO 策定に繋げ、国際的な市場拡大の足場とする。

2030 年には新たな海洋生分解性プラスチック、国内市場 20 万 t / 年の普及を目指す。

(CO₂ 削減量として 56 万 t -CO₂/年)

③アウトカム目標達成に向けての取組

NEDO は、プラスチック業界の主要企業をメンバーとする標準化戦略を検討する組織体に研究開発成果を提供するとともに、標準化の方向性について議論を深め、海洋生分解性プラスチックの海洋生分解性に関する評価手法の国際標準獲得に向けた戦略及び活動計画の策定を支援しプロジェクト成果の普及促進を行う。また、海洋生分解性プラスチックを広く社会に普及させるため、学会発表、論文発表、展示会、シンポジウム等を通じた成果発信を積極的に行う。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙 1 の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」

研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

②-1「新規化学構造を有する樹脂・新規バイオ製造プロセス開発等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

②-2「複合化技術等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

研究開発項目①については、産学官で協力して取り組むべき基盤技術であり、委託事業として実施する。

研究開発項目②については、研究開発内容に応じて、委託事業として取り組むもの（研究開発項目②-1）と委託事業と助成事業のフェーズを設けるもの（研究開発項目②-2）を設定する。

研究開発項目②-1については、研究開発要素が多く、時間を要するハイリスクな基盤技術に関するものであり、委託事業として実施する。研究開発項目②-2については、委託事業と助成事業のフェーズを設け、フェーズ移行はステージゲートにより行い、事業化に向けた課題は、企業の積極的な関与により推進されるべき研究課題として助成事業（NEDO 負担率：大企業 1/2、中堅・中小・ベンチャー企業 2/3）として実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下、「PM」という。）に NEDO 材料・ナノテクノロジー部 沖和宏を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理させ、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

NEDO は、公募により研究開発実施者を選定する。研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下、「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDO は研究開発責任者（プロジェクトリーダー（以下、「PL」という。)) を選定し、各実施者は PL の下で研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

NEDO は、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

①研究開発の進捗把握・管理

PM は、PL や研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握するとともに必要に応じて研究開発の加速・中止を検討する。

②技術分野における動向の把握・分析

PM は、プロジェクトで取り組む技術分野について、必要に応じて内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術開発の方向性や技術の普及方策等を分析、検討する。なお、調査を行う場合には、効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

③研究開発テーマの評価

研究開発を効率的に推進するため、研究開発項目②-2 を対象として、ステージゲート方式を適用する。

PM は、外部有識者による審査を活用し、2023 年度以降の研究開発テーマの継続是非、助成事業移行を 2022 年 12 月頃に決定する。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発は、2020年度から2024年度までの5年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を2022年度、事後評価を2025年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しするなど、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

研究開発実施者は、研究成果を広範に普及するよう努めるものとする。NEDOは、研究開発実施者による研究成果の広範な普及を促進する。

② 標準化施策等との連携

得られた研究開発成果については、海洋生分解性プラスチックの標準化に係る検討委員会等との連携を図ることとし、標準化に向けて、開発する評価手法の提案、データの提供等を積極的に行う事とする。

③ 知的財産権の帰属、管理等取扱いについての方針

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。なお、プロジェクトの初期段階から、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

④ 知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

⑤ データマネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDOプロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針（委託者指

定データを指定しない場合)」を適用する。

(2) 基本計画の変更

PM は、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状况、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直すなどの対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第一号ニ及び第三号及び第九号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

2020年5月 制定

(別紙1) 研究開発計画

研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」

1. 研究開発の必要性

国内外での市場拡大を図る上では海洋生分解性プラスチックの信頼性確保が不可欠である。既に ISO にて規定されている評価手法もあるが、信頼性が十分に確保されるとは言えず、課題が残されている。特に実海洋環境下で適切に生分解されることを評価する手法は国際標準化に向けて未だ途中段階である。

また、現在、数種類の海洋生分解性プラスチックが存在すると言われているが、上述した通り共通の評価手法が確立されていないため信頼性が担保されず、海洋生分解性プラスチックの普及拡大の足かせの一つとなっている。

2. 研究開発の具体的内容

海洋生分解機能について、各海洋域における既存、及び新規の海洋生分解性プラスチックの生分解性評価を行い、海洋環境の違いによる生分解性の基礎データを収集し、海洋生分解性プラスチックが、好氣的条件下では水と二酸化炭素に、嫌氣的条件下では水とメタンと二酸化炭素に分解されるメカニズムを解明するとともに、海洋生分解性の評価手法を確立する。また、生分解途中に生成される中間体を含めた安全性を評価する新たな手法を開発する。

3. 達成目標

【中間目標 (2022 年度)】

海洋生分解性に関する暫定的な評価手法を策定する。

【最終目標 (2024 年度)】

製品化を行うユーザーが共通して活用できる海洋生分解メカニズムに裏付けされた評価手法を確立し、国際標準化提案 1 件以上に繋げる。

研究開発項目②「海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

1. 研究開発の必要性

海洋生分解性を示すプラスチック素材はいくつか提案されているが、汎用プラスチックと比べ、強度・成形加工性等が劣り使用性が悪い等を理由として、十分な実用化に至っていない。これらの特性改善を図るとともに、CO₂削減と新たな市場創出を目指す。

また、プラスチックは複数の樹脂のブレンドや添加剤の付与等により様々な物性を実現している。しかし、現在海洋生分解性を有する樹脂及び添加剤の種類が少ないため、実現可能な物性が限られている。新たな海洋生分解性を有するプラスチックや添加剤の開発を行う必要がある。同時に原料のバイオ化やプラスチック素材そのもの等の低コスト化を行い、普及拡大する必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

海洋生分解性プラスチック開発について、新規の化学構造を有する樹脂、新規のバイオ製造プロセスの開発等を行う。また、既存の樹脂を複合化して物性や機能性等を高める研究開発や樹脂へ適合する充填剤等の添加剤の開発等を行う。

研究開発の具体的内容は、以下の通りとする。

(1) 研究開発項目②-1「新規化学構造を有する樹脂・新規バイオ製造プロセス開発等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」 [委託事業]

新規化学構造を有する樹脂（上市されていない実験室レベルも含む）、新たなバイオ製造プロセス等の研究開発要素が多く時間を要する開発を対象とする。研究開発期間は、原則5年以内。

(2) 研究開発項目②-2「複合化技術等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」 [委託事業/助成事業]

既存の樹脂を複合化して物性や機能性等を高める開発や樹脂に適合する充填剤等の添加剤の開発等の、新たな用途を創出し社会実装を推進する開発を対象とする。委託事業の研究開発期間は、原則3年以内、助成事業の研究開発期間は、原則2年以内。

3. 達成目標

各研究開発項目における達成目標は以下とする。

(1) 研究開発項目②-1「新規化学構造を有する樹脂・新規バイオ製造プロセス開発等による海洋生分解性プラスチックに関する新技術・新素材の開発」

【中間目標（2022年度）】

- ・海洋生分解性プラスチックの新技術・新素材の開発の目処を付ける。

【最終目標（2024年度）】

- ・海洋生分解性プラスチックの新技术・新素材を1件以上開発し、実用化の目処を付ける。

(2) 研究開発項目②-2「複合化技術等による海洋生分解性プラスチックに関する新技术・新素材の開発」

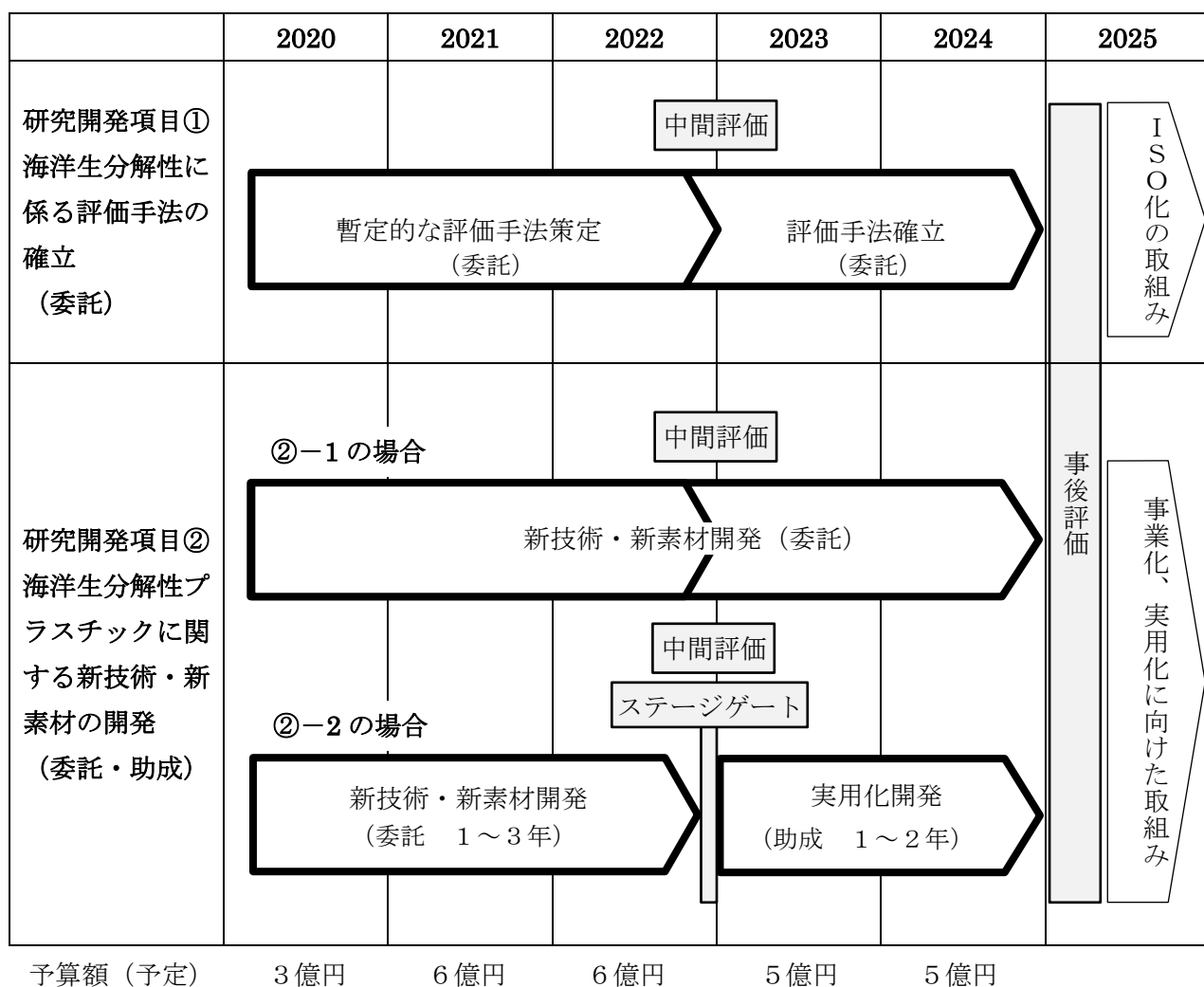
【中間目標（2022年度）】

- ・海洋生分解性プラスチックの新技术・新素材を1件以上開発し、実用化の目処を付ける。

【最終目標（2024年度）】

- ・海洋生分解性プラスチックの新技术、新素材の試作等により、コスト、機能、性能等の面で、従来の汎用プラスチックと比べて総合的に競争力があることを示す。

(別紙2) 研究開発スケジュール



(添付資料)

・特許論文等リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1 4	日清紡ホールディングス(株)	(Patent Cooperation Treaty: 特許協力条約)					
5	日本電気(株)、国立大学法人東京大学	特願 2022-013359	国内	2022/01/31	公開前	海洋生分解性を有するパラミロン誘導体、成形用樹脂組成物及び成形体	田中修吉、 岩田忠久他

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、 ページ番号	査読	発表 年月
1	岩田忠久	東京大学	生分解性プラスチックの今と未来	化学装置、5, 701-708	無	2021/05
2	紙野圭、三浦隆匡、内野佳仁、山口薫、高橋幹男	製品評価技術基盤機構 バイオテクノロジーセンター	微生物が担うプラスチックの炭素循環への入り口、最新の海洋生分解性プラスチックの研究開発動向-ブラゴみ・MPsの現状と対策-	テクノシステム(第2章第3節)、139-162	無	2021/05
3	岩田忠久	東京大学	生分解性プラスチックの高性能化と将来展望	色材協会誌、 94, 164-168	無	2021/06
4	中山敦好	産業技術総合研究所	生分解性ポリアミドと生分解性樹脂の海洋生分解性	日本接着学会誌、57(8), 338-345	無	2021/08
5	岩田忠久	東京大学	バイオプラスチックの基礎と産業展開	型技術、36, 40-45	無	2021/09
6	岩田忠久	東京大学	生分解性プラスチックとバイオマスプラスチック～正しく理解し、的確に開発する!～	ペトロテック、 44, 635-643	無	2021/09

7	中山敦好	産業技術総合研究所	生分解性プラスチックの海洋分解性評価	バイオサイエンスとインダストリー、79(5), 432-437	無	2021/09
8	岩田忠久	東京大学	特集「バイオプラスチック」の代わりに	バイオサイエンスとインダストリー、79(6), 536-537	無	2021/11
9	岩田忠久	東京大学	海洋分解性プラスチックの開発と将来展望	日本学術会議, 繊維・高分子機能加工第120委員会, 第134回講演会特別講演要旨集	無	2021/03
10	岩田忠久	東京大学	環境にやさしいプラスチックとは?	フランス政府給費留学生科学部門の会 (A B S C I F) 会報	無	2021/03
11	岩田忠久	東京大学	環境にやさしいプラスチックとは?	日仏工業技術会誌	無	2021/03

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	蒲生昌志、内藤航、篠原直秀、岩崎雄一、眞野浩行、梶原秀夫、石川百合子、恒見清孝、林彬勸、小倉勇、小野恭子、M i a n q i a n g X u e	産業技術総合研究所	海洋プラ・マイクロプラの環境リスク評価	令和2年度 安全科学研究部門講演会「安全な社会を支えるリスク評価研究」	2021/02
2	八十島誠	株式会社島津テクノリサーチ	プラスチックへの化学物質収着実験条件の最適化に関する研究	水環境学会	2021/03
3	岩田忠久	東京大学	生分解性バイオマスプラスチックの高性能化を目指して	プラスチック成形加工学会 第20回「成形加工実	2021/04

				実践講座シリーズ (材料編)」	
4	岩田忠久	東京大学	生分解性バイオマス プラスチックの高性 能化を目指して	プラスチック成 形加工学会、第20 回成形加工実践 講座シリーズ(材 料編)特別講演要 旨集	2021/04
5	中山敦好	産業技術総合 研究所	生分解性ポリマー	日本ゴム協会関 西支部第34回 サタデーセミナ ー	2021/04
6	岩田忠久	東京大学	生分解性バイオマス プラスチックの高性 能化に関する研究	高分子学会・高分 子同友会	2021/05
7	中山敦好、山野尚子、川 崎典起、中村努	産業技術総合 研究所	生分解性プラスチッ クの海水生分解加速 試験法の検討	第19回産総 研・産技連LS- BT合同研究発 表会	2021/05
8	中山敦好、山野尚子、川 崎典起、中村努	産業技術総合 研究所	生分解性樹脂のラボ 海水生分解試験に影 響する因子	第70回高分子 学会年次大会	2021/05
9	高橋勇貴	愛媛県産業技 術研究所 紙 産業技術セン ター	生分解性プラスチッ クの海洋浸漬試験	令和3年度産業 技術研究所成果 発表会	2021/05
10	岩田忠久	東京大学	海洋分解性繊維の開 発と生分解性スイッ チ機能の付与	技術情報協会セ ミナー	2021/06
11	八十島誠、嶽盛公昭、友 野卓哉、藤原英里奈、江 頭佳奈、峯孝樹	島津テクノリ サーチ	石油系プラスチック 及び海洋生分解性プ ラスチックへの化学 物質収着実験条件の 最適化並びに収着特 性	第29回環境化 学討論会	2021/06
12	岩田忠久	東京大学	高性能な海洋分解性 バイオマスプラスチ ックの開発と生分解	2021年繊維 学会年次大会	2021/06

			性評価		
13	江頭佳奈、友野卓哉、嶽盛公昭、八十島誠	島津テクノロジーサーチ	LC-TOFMSを用いた生分解性プラスチックの分解生成物の探索	第43回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム	2021/07
14	岩田忠久	東京大学	生分解性プラスチックの現状と展望	マテリアルライフ学会 受賞講演	2021/07
15	岩田忠久	東京大学	生分解性プラスチックの現状と展望	マテリアルライフ学会、学会賞受賞講演	2021/07
16	岩田忠久	東京大学	プラスチックと人類および環境の共存を目指して～海で分解するプラスチックの開発～	GREEN SEA 瀬戸内ひろしま・プラットフォーム	2021/08
17	中山敦好、川崎典起、山野尚子、日野彰大、中村努	産業技術総合研究所	大阪湾とその他の海域での生分解性プラスチックの生分解挙動	第28回「瀬戸内海研究フォーラム in 福岡」	2021/08
18	岩田忠久	東京大学	生分解性バイオマスプラスチックの基礎と高性能化技術の開発	R&D支援セミナー	2021/08
19	中山敦好、山野尚子、川崎典起、日野彰大、中村努、増井昭彦、岡村秀雄	産業技術総合研究所	実環境浸漬試験による生分解性プラスチックの生分解	令和3年度日本水産学会秋季大会	2021/09
20	佐野森、田中真美、森久保諭、濱野智子、許琛、成田武文、白波瀬朋子	東京都立産業技術研究センター	東京湾海水を用いた微生物ポリエステルの生分解性評価と試験条件の検討	TIRIクロスマーケティング2021（成果発表会）	2021/09
21	岩田忠久	東京大学	海で分解するプラスチックの開発～環境問題をプラスチックの視点から考える	日仏工業技術会	2021/09
22	黒石佳奈、森岡千香子、江頭佳奈、嶽盛公昭、八十島誠	島津テクノロジーサーチ	海洋生分解性プラスチックの分解生成物の定量・前処理条件の	第24回日本水環境学会シンポジウム	2021/09

			検討		
23	中山敦好、川崎典起、日野彰大、山野尚子、増井昭彦	産業技術総合研究所	生分解性プラスチックの海水生分解時における無機栄養源の効果	2021年度西日本・中四国・関西支部 合同大会	2021/09
24	藤原英里奈、苗田千尋、嶽盛公昭、八十島誠	島津テクノリサーチ	疎水性および親水性化合物を用いたプラスチックペレットへの収着実験条件の検討	第24回日本水環境学会シンポジウム	2021/09
25	黒田恭平 ¹ 、山本京祐 ¹ 、時沢里保 ¹ 、椎葉千慧 ¹ 、中山敦好 ² 、山野尚子 ² 、三浦隆匡 ³ 、玉木秀幸 ¹ 、成廣隆 ¹	¹ 産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門、 ² 産業技術総合研究所 バイオメディカル研究部門、 ³ 製品評価技術基盤機構 バイオテクノロジーセンター(NITE・NBRC)	嫌気海洋環境を模擬した生分解性プラスチックの分解性評価	日本微生物生態学会第34回大会(オンライン開催)	2021/10
26	三浦隆匡 ¹ 、島村麻美子 ¹ 、臼井絵里香 ¹ 、森美穂子 ¹ 、内野佳仁 ¹ 、山口薫 ¹ 、笠石里江子 ¹ 、森知里 ¹ 、寺尾拓馬 ¹ 、日高皓平 ¹ 、山田美和 ² 、加藤太郎 ³ 、吉田真明 ⁴ 、植木龍也 ⁵ 、田川訓史 ⁵ 、木下浩 ¹ 、高橋幹男 ¹ 、紙野圭 ¹	¹ NITE・NBRC、 ² 岩手大学、 ³ 鹿児島大学、 ⁴ 島根大学、 ⁵ 広島大学	実海域に浸漬した生分解性プラスチックフィルムの付着菌叢と崩壊度の関係	第34回微生物生態学会	2021/10
27	岩田忠久	東京大学	海で分解するプラスチックの開発と将来展望	日仏科学講座	2021/10
28	中山敦好	産業技術総合研究所	生分解性プラスチックとその海洋での生分解挙動	第43回講演会「マイクロプラスチック問題解	2021/10

				決へのアプローチ」	
29	佐野森、田中真美、森久保諭、濱野智子、許琛、成田武文、白波瀬朋子	東京都立産業技術研究センター	微生物産生ポリエステルの東京湾海水中における生分解挙動と試験条件の影響	プラスチック成形加工学会 第29回秋季大会 成形加工シンポジア' 21	2021/11
30	岩田忠久	東京大学	持続可能な社会に貢献する高分子	日本化学会、化学技術基礎講座2021	2021/11
31	岩田忠久	東京大学	生分解性バイオマスプラスチックの高性能化を目指して	第419回ゴム技術フォーラム、特別講演要旨集	2011/11
32	梶原秀夫、石川百合子、恒見清孝、小野恭子、蒲生昌志	産業技術総合研究所	海洋生分解性プラスチック導入の可能性がある製品群の特性化：海洋プラスチックごみ低減効果推定モデリングに向けて	日本リスク学会 第34回年次大会	2021/11
33	岩田忠久	東京大学	生分解性バイオマスプラスチックの開発動向と多糖類エステル誘導体の可能性	技術情報協会技術セミナー	2021/11
34	岩田忠久	東京大学	生分解性バイオマスプラスチックの高性能化を目指して	第419回ゴム技術フォーラム月例会	2021/11
35	岩田忠久	東京大学	多糖類エステル誘導体の高性能化と海洋分解性評価	第18回多糖コンソーシアム	2021/12
36	山口薫 ¹ 、稲葉重樹 ¹ 、三浦隆匡 ¹ 、森美穂子 ¹ 、内野佳仁 ¹ 、島村具仁子 ¹ 、田淵由希子 ¹ 、寺尾拓馬 ¹ 、日高皓平 ¹ 、山田美和 ² 、加藤太郎 ³ 、吉田真明 ⁴ 、植木龍也 ⁵ 、田川訓史 ⁵ 、岩田忠久 ⁶ 、磯部紀之 ⁷ 、木下浩 ¹ 、	¹ NITE・NBRC、 ² 岩手大学、 ³ 鹿児島大学、 ⁴ 島根大学、 ⁵ 広島大学、 ⁶ 東京大学、 ⁷ JAMSTEC	実海域に浸漬した生分解性プラスチック素材等より分離されたラビリンチュラ類について	第6回ラビリンチュラシンポジウム	2021/12

	高橋幹男 ¹ 、紙野圭 ¹				
37	中山敦好	産業技術総合研究所	海洋プラスチック問題とバイオポリマー	京都工業会 材料技術講座	2021/12
38	中山敦好	産業技術総合研究所	NEDOPJ「海洋生分解評価法—実験室内加速試験および簡易実海域試験—」	「海洋生分解性プラスチック標準化コンソーシアム」設立記念講演会	2022/01
39	中山敦好	産業技術総合研究所	生分解性ポリアミドと生分解性樹脂の海水生分解性	第273回日本接着学会関東支部月例講演会	2022/01
40	岩田忠久	東京大学	高性能な生分解性プラスチックの創製と将来展望	コンバーティック・ジャパン	2022/01
41	中山敦好	産業技術総合研究所	持続可能な社会に適したバイオプラスチック—生分解性プラスチックの実用化の現状と海洋での生分解挙動について—	産学官協働ローカルイノベーション創出事業研究会 令和3年度第1回SDGs推進技術研究会	2022/02
42	寺尾拓馬、森美穂子、島村麻美子、内野佳仁、山口薫、三浦隆匡、日高皓平、臼井絵里香、笠石里江子、森知里、木下浩、高橋幹男、紙野圭	NITE・NBRC	LC/MS/MSを用いた生分解性プラスチック分解物(モノマー/オリゴマー)の一斉分析手法の確立と海洋微生物によるプラスチック分解様式の調査	日本農芸化学会 2022年度大会(京都、オンライン開催)	2022/03
43	三浦隆匡 ¹ 、島村麻美子 ¹ 、臼井絵里香 ¹ 、森美穂子 ¹ 、内野佳仁 ¹ 、山口薫 ¹ 、笠石里江子 ¹ 、森知里 ¹ 、寺尾拓馬 ¹ 、	¹ NITE・NBRC、 ² 岩手大学、 ³ 鹿児島大学、 ⁴ 島根大学、 ⁵ 広島大学	安定的な国際標準試験法の構築に向けた実海域における生分解性プラスチック付着菌叢の季節変動の	日本農芸化学会 2022年度大会(京都、オンライン開催)	2022/03

	日高皓平 ¹ 、齋藤祐介 ² 、山田美和 ² 、加藤太一郎 ³ 、吉田真明 ⁴ 、植木龍也 ⁵ 、田川訓史 ⁵ 、木下浩 ¹ 、高橋幹男 ¹ 、紙野圭 ¹		調査		
44	齋藤祐介 ¹ 、三浦隆匡 ² 、山口薫 ² 、紙野圭 ² 、山田美和 ¹	¹ 岩手大・農、 ² NITE・NBRC	実海域に浸漬した生分解性プラスチックナイロン4における付着菌叢の解析	日本農芸化学会2022年度大会(京都、オンライン開催)	2022/03
45	黒石佳奈、苗田千尋、藤原英里奈、森岡千香子、江頭佳奈、嶽盛公昭、八十島誠	島津テクノロジーサーチ	新たな生分解度測定法の開発を目指した海洋生分解性プラスチックの分解生成物の定量	第56回日本水環境学会年会	2022/03
46	中山敦好	産業技術総合研究所	海洋プラスチック問題と生分解性ポリマー～研究と開発の現状～	京都工業会ケミカル講座	2022/03
47	岩田忠久	東京大学	海洋分解性プラスチックの開発と将来展望	繊維・高分子機能加工第120委員会第134回講演会	2022/03
48	石川百合子、梶原秀夫	産業技術総合研究所	海洋生分解性プラスチックに適用可能な河川モデルの開発	第56回日本水環境学会年会	2022/03
49	藤原英里奈、苗田千尋、嶽盛公昭、八十島誠	島津テクノロジーサーチ	石油系プラスチック及び海洋生分解性プラスチックに対する化学物質の収着特性に関する研究	第56回日本水環境学会年会	2022/03
50	岩田忠久	東京大学	高性能な生分解性バイオマスプラスチックの創製と環境生分解	化学工学会シンポジウム	2022/03
51	上村直弘	日清紡ホールディングス(株)	イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの開発	高分子学会・エコマテリアル研究会	2022/3/11

52	岩田忠久	東京大学	生分解性バイオマスプラスチックの高性能化と課題	プラスチック成型加工学会・第178回講演会	2022/05
53	岩田忠久	東京大学	高性能な生分解性バイオマスプラスチックの開発と今後の課題	日本エネルギー学会 100周年記念企画三部会 (RGB) シンポジウム	2022/05
54	岩田忠久	東京大学	高性能な生分解性バイオマスプラスチックの開発と将来展望	新化学技術推進協会 (JACI)・環境技術部会	2022/05
55	岩田忠久	東京大学	生分解性バイオマスプラスチックの高性能化と分解性評価	フレキシブルエネルギーデバイスコンソーシアム・2022年度第2回講演会	2022/06
56	岩田忠久	東京大学	高性能な生分解性バイオマスプラスチックの開発と環境分解性評価	第101回千葉地区活動高分子研究交流講演会/高分子学会	2022/06
57	上村直弘	日清紡ホールディングス (株)	天然高分子を原料とした海洋生分解性ポリマービーズ代替素材の開発	第11回 JAC I /GSC シンポジウム ポスターセッション	2022/6/16
58	岩田忠久	東京大学	生分解性バイオマスプラスチックの高性能化と包装分野への応用	日本包装技術協会 第59回中部支部会員総会機縁講演会	2022/06

(b)新聞・雑誌等への掲載

番号	発表者 (所属)	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	日清紡ホールディングス (株)	海藻由来素材の開発	化学工業日報	2021/12/2
2	日清紡ホールディングス	海水接触で機能発現	化学工業日報	2021/12/15

	グス（株）	（生分解性プラ）		
3	日清紡ホールディングス（株）	海洋生分解性素材 新コンセプト	日刊工業新聞	2022/2/18
4	岩田忠久	未来を変える新素材！分解する“夢のプラスチック”	NHK「サイエンス ZERO」	2022/4/3
5	東京大学・JAMSTEC	相模湾深海 プラごみ堆積 生分解性プラスチックの深海設置について	東京新聞，第1面	2022/6/6
6	JAMSTEC・東京大学	相模湾深海 プラごみ堆積 生分解性プラスチックの深海設置について	河北新報、東奥日報 山形新聞、岩手日報 下野新聞、茨城新聞 上毛新聞、千葉日報 伊勢新聞、北日本新聞 福井新聞、神戸新聞 山陽新聞、山陰中央新報 四国新聞、愛媛新聞 高知新聞、長崎新聞	2022/6/7
7	JAMSTEC・東京大学	相模湾深海 プラごみ堆積 生分解性プラスチックの深海設置について	東奥日報、デーリー東北 岩手日報、下野新聞 山梨日日新聞、中日新聞 静岡新聞、北日本新聞 北國新聞、福井新聞 北陸中日新聞、山陽新聞 日本海新聞、山口新聞 山陰中央新報、四国新聞 宮崎日日新聞	2022/6/8
8	岩田忠久	相模湾深海 プラごみ堆積 生分解性プラスチックの紹介	日本テレビ「スッキリ」	2022/6/8

(c)その他（展示会展示）

番号	発表者	発表名	展示会名（場所）	発表年月
1	評価手法6機関	プラスチック材料の海洋生分解 評価法の標準化	第1回サステナブルマテリアル展（幕張メッセ）	2021/12
2	日清紡ホールディングス（株）	イオン結合を有する海洋生分解 性プラスチックの開発	第1回サステナブルマテリアル展（幕張メッセ）	2021/12
3	日清紡ホールディングス（株）	イオン結合を有する海洋生分解 性プラスチックの開発	Nano tech 2022 （東京ビッグサイト）	2022/1

(d)その他（受賞）

番号	受賞者	所属	受賞名、受賞対象等	表彰	受賞年月
1	岩田忠久	東京大学	受賞業績「生分解性バイオマスプラスチックの高性能化に関する研究」	令和3年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（研究部門）	2021/4
2	岩田忠久	東京大学	受賞業績「生分解性プラスチックの現状と展望」	マテリアルライフ学会総説賞	2021/7
3	江頭佳奈、友野卓哉、嶽盛公昭、八十島誠	島津テクノリサーチ	LC-TOFMSを用いた生分解性プラスチックの分解生成物の探索	第43回京都大学環境衛生工学研究会シンポジウム、優秀ポスター賞	2021/07
4	国岡正雄	産業技術総合研究所	令和3年度産業標準化表彰	経産産業大臣表彰	2021/10