

2 0 2 1 年度実施方針

材料・ナノテクノロジー部

1. 件名：(大項目) 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

2. 根拠法

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、第三号及び第九号

3. 背景及び目的・目標

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。

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-AICA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。

本プロジェクトでは、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。

先ず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。

[委託事業] (2020年度～2024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」

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。

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。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。

[委託事業] (2020年度～2024年度)

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」

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。

[委託事業] (2020年度～2022年度) / [助成事業(助成率: 2/3以内)] (2023年度～2024年度)

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」

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】 (2024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】 (2022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。

4. 事業内容及び進捗(達成)状況

2020年度は、研究開発項目①及び②における公募を行い、研究開発項目①について1テーマ、研究開発項目②-2について1テーマを採択した上で、§4.1の研究開発を実施した。研究開発項目②-1については、採択なし。

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 宇津木 功二を任命し、プロジェクトの進行全体の企画・管理や、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とともに、以下の研究開発を実施した。また、国立大学法人東京大学大学院農学生命科学研究科 教授 岩田 忠久 氏をプロジェクトリーダー（以下、「PL」という。）とし、以下の研究開発を実施した。

4. 1 2020年度（委託）事業内容

研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」

（実施体制：国立研究開発法人産業技術総合研究所、独立行政法人製品評価技術基盤機構、国立大学法人東京大学、国立大学法人愛媛大学、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①「実験室内における生分解度加速試験法の開発」

研究項目①-1「新規評価法の開発」

プラスチック材料の海洋生分解機能について、種々の海洋域における海水を実験室に運搬し、例えば密閉試験容器（約 500mL）にプラスチック材料（約 30mg）とともに入れ、分解により消費される酸素量や発生する二酸化炭素の量を測定することにより、海洋生分解性プラスチックの生分解性評価を行った。具体的には瀬戸内海域に位置する四国中央市及び神戸市、西宮市、大阪港の海水の生分解活性を微生物により発酵生産される樹脂、化学合成系ポリエステル、合成系ポリアミドを用いて調べた。

標準化を視野に入れたラボ試験手法として、短期間で再現性良く海洋生分解度を試験できる手法を目標とし、そのための検討項目を評価系の検討、加速条件の検討、データ処理系の検討を行った。

海洋中のプラスチック材料の生分解は、嫌気状況になる場合があることが推測される。好氣的生分解では、プラスチック材料は、二酸化炭素と水に分解するが、嫌氣的生分解では、メタンと二酸化炭素（バイオガス）と水に分解される。海洋中の嫌氣的生分解に関して、実験室内の試験系の構築のための検討を行った。嫌気性海底土として、実海域の海底土を採取し、海底土の平板培地法による生菌数計測を行うとともにそのうちの 1 箇所海底土について嫌気培養試験系を構築した。また、上記のうち 2 箇所の海底土について、微生物の種類の同定に一般的に用いられている 16S rRNA 遺伝子を標的とするどのような種類の微生物が存在しているか菌叢解析を行った。

研究項目①-2「生分解性評価法条件の最適化」

既存の ISO 規格化されているプラスチック材料の海洋生分解評価法の一部（ISO 19679, 18830）において、試験容器に実海域から採集した海水のみならず、砂泥も同時に入れる方法が採用、発行されている。ただ、この ISO 法は、再現性があまり良くない。再現性を向上

させるために、海洋海水をもちいた生分解度評価試験に適した海底砂泥試料の調整方法検討と確立のため、生分解試験を開始する前の予備培養中に海底砂泥の有機炭素含有率、栄養塩類、菌数、菌叢等の生分解度に影響すると考えられる要因を確認した。

海底砂泥試料の有機炭素含有率が海洋生分解性プラスチック材料の生分解度のばらつきに与える影響を把握するため、有機炭素含有率（残存有機物量、微生物量に相関）の異なる海底砂泥試料を用いて、ISO 既存法の試験を開始した。

研究項目②「材料構造解析による生分解メカニズムの解明」

研究項目②-1「分子構造相関解析」

海洋環境におけるプラスチック材料の分解は、微生物による生分解のみではなく、生分解に比べれば少ない影響ではあるが、日光に含まれる紫外線による光分解や、海水に含まれる水分による加水分解も同時に進行する。その分解が生分解を加速する等の効果も想定される。光分解反応や加水分解反応、生分解反応前後の生分解性プラスチックの分子構造・組成解析について、各種の質量分析の適用可能性について検証を行った。熱分解ガスクロマトグラフィー/質量分析法により、生分解性プラスチック材料3つを対象として、分子構造・組成解析を試みた。さらに、共重合構造、組成と生分解の相関を明らかにするために、共重合構造（複数種類のモノマーが重合している構造）を有する生分解性プラスチックの連鎖構造解析についても検討を進めた。高分解能質量分析法（MALDI-TOFMS）により、共重合構造を有する生分解性プラスチックの連鎖構造解析の可視化を行った。測定データを二次元プロット法（分解物の質量と元素組成）を用いて解析した。

また、種々の実海域のプラスチック材料の構造と生分解度の相関解析、生分解後のサンプル（菌叢解析、構造解析用）を得るために、外注により、3種類の材料について、冬季の国内実海域2か所において、海洋生分解性試験および微生物量測定を実施した。微生物量測定については、1か所はプレート法を、もう1か所は蛍光染色法を用いて行った。

研究項目②-2「形状および結晶構造からの分解機構の解明」

生分解度と構造の相関を明らかにするために、構造および形状の異なる一連の部材シリーズの作製を目的とし、様々な生分解性ポリエステルや多糖類誘導体などから構造および材料形状の異なる様々な部材を作製した。具体的には、5種類以上の生分解性ポリエステルから3種類の異なる結晶化度を持つ射出成形体を $n=5$ で45サンプル以上作製するとともに、2種類以上の多糖類に対し、3種類以上の置換度の異なるエステル誘導体を合成した。同時に、全てのサンプルに対して大型放射光の広角および小角X線回折を用いて、結晶構造および高次構造の解析を行った。

研究項目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」

海洋生分解性プラスチック材料の海洋中での生分解は、低分子量化、単量体（モノマー）化、その代謝により、二酸化炭素まで分解する。分解物を定量することにより、正確な海洋生分解を評価する方法を検討する。海洋生分解性プラスチックの基本構成単位である単量体分子を質量分析装置で分析するための条件検討を行った。

また、海洋中に流出した廃プラスチックのリスクとして、有害物質の吸着・濃縮が懸念されている。海洋生分解性プラスチックに対する化学物質の吸着特性の把握に向け、石油系プラスチックを用いた吸着実験手法の基礎的データの収集を行った。

研究項目③「微生物、酵素による生分解メカニズムの解明」

研究項目③-1「ラボ試験環境における微生物（叢）解析」

菌叢解析の結果は、微生物種の羅列となるため、そのままではどのような環境条件に依存しているのか、明示的に理解することが出来ない。そこで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、菌叢の構造や多様性の指数、数値化の検討に着手した。ラボ生分解試験のための標準海水として、海水の活性化に重要な因子の抽出を行った。海水中の菌数増加方法として有機栄養源の微量添加が効果的であり、ペプトンや酵母抽出物の微量添加は生合成系樹脂や合成系ポリエステル生分解を加速するがグルコースの添加は分解加速効果が少なく、樹脂によっては抑制に働くことケースもあることがわかった。また、菌数増加の別手法として海水濃縮法、セディメント海水の超音波処理法も検討し、有効な方法であることがわかった。また、ラボ試験系の微生物叢解析について、製品評価技術基盤機構等の他の構成員と連携し、海水や底泥試料の前処理方法、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盤的な検討を実施した。

研究項目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」

プラスチック材料の海洋生分解の度合い、速度は、生分解に係わる微生物の種類、その量、その分解活性に依存する。そのため、どのような微生物が、プラスチック材料の海洋生分解に係わっているかを解析することは、正確で再現性の高い生分解評価法を開発するにあたり重要な因子である。海洋生分解に関わる微生物叢を決定するため、海洋生分解性プラスチック材料の表面等に存在する微生物の単離菌株の素材生分解活性、生分解に関わる酵素やその遺伝子、それらの発現等の評価・測定方法の整備を進めるとともに、素材に付着した菌株や混合微生物群の評価を開始した。また、菌株の生分解メカニズム解明のための解析方法の整備を開始した。

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」

研究項目④-1「簡易試験法の開発と生分解データの収集」

プラスチック材料の実際の海洋中での生分解の度合いを試験する方法において、異なる

機関が、測定した結果を比較検討するためには、規格化された実海域海水浸漬簡易フィールド試験法が必要である。現存の ISO 実海域試験は大型、複雑で、簡単に試験することができない。実海域海水浸漬簡易試験法の開発として、コンパクトな試験方法を目指す中で、小型プラスチック容器（約 10 x 10 x 30 cm、5 部屋）を用いる手法を検討した。その容器内での海水浸漬生分解試験を西宮市深江にて行い、生分解に関するデータを収集した。さらに、瀬戸内海海域内の東予市、広島市、西宮市、大阪市、南あわじ市及び淡水域であるびわ湖（彦根市）を試験地点として、実海域に浸漬する時期を合わせた一斉海水浸漬試験を水深 1.5 メートルの深さで開始した。また、実海域試験とラボ試験の相関を検討するために、これらの地点の海水を採水し、ラボでの海水生分解試験も行った。

研究項目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」

プラスチック材料の海洋生分解評価法において、実験室レベルの試験法開発は実海域データとの相関性をもたせる必要がある。そのために、4 地域の実海域サイト（岩手、島根、広島、鹿児島）に設置したプラスチック試料からの微生物叢等のデータ取得及び菌株の分離、簡易的な分類情報の付加を開始するとともに、素材に付着した主たる菌株を網羅的に分離するための分離スキーム等を検証した。

研究項目④-3「深海実験の結果を基軸とした評価法の開発」

河川や海洋に流出した廃棄物であるプラスチック材料は、種々の海洋条件（河口、海岸、浅い海底、深い海底、海面等）で生分解が進行する。プラスチック廃棄物が深い海底で発見されている。深海でのプラスチック材料の生分解の状況を検討するために、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。2020 年 10 月に岸壁に接したサンプルの回収を行った。2020 年 11 月に相模湾初島沖 850 メートルに沈めた生分解性プラスチックおよび非生分解性プラスチック 74 種類を引き上げ、その分解性（崩壊度）を計測するとともに、表面に付着した微生物の同定、DNA 解析などを開始した。

研究項目⑤「生態毒性評価法の開発」

海洋生分解におけるプラスチック材料の生態毒性評価法の課題抽出およびその解決方法の検討を行った、最初に、日本バイオプラスチック協会（JBPA）が公表している生分解性プラスチックの識別表示制度基準の記載を参考に既存の生態毒性評価法について調査した。これらの試験法はすべて水溶性物質を対象とした試験法のため、水溶性物質ではない生分解性プラスチックを対象に試験する場合の適用可能性についての確認が課題として示され

た。次に化審法の枠組みでは、上記の JBPA の識別表示制度と同じく非水溶性物質での試験という点でも課題が生じた。

以上より、生分解性プラスチックの特徴的な課題として、初期状態は難水溶性高分子である親物質が生分解により低分子化合物に変化するため一般化学物質管理の枠組みに当てはまらない点、生分解途中で中間体が派生するため、環境影響を評価する上でどの分解段階で試験をすればよいか明確になっていない点、中間体が微細粒子固体の場合には、物理的影響も含めて従来の化学物質にはない新たな毒性評価基準が必要か、が生態毒性試験法の開発にあたり課題であると整理された。

研究項目⑥「海洋プラスチック低減効果の推定」

海洋生分解性プラスチックの導入シナリオ作成、マテリアルフロー解析手法構築、海洋生分解性プラスチックへ適用可能な河川・海域モデルの構築、分解性試験結果の実環境への外挿手法の構築、を進めた。

海洋生分解性プラスチックの導入シナリオ作成、及びマテリアルフロー解析手法構築のため、近年の樹脂別・用途別のプラスチック国内出荷量データを作成した。海洋生分解性プラスチックへ適用可能な河川・海域モデルの構築では、海洋生分解プラスチックへ適用するための河川・海域モデルの改良方針を決定した。分解性試験結果の実環境への外挿手法の構築では、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、30 程度の文献から生分解速度に関する試験条件と試験結果についてのデータを収集した。

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②-1「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」

研究開発項目②-1については、採択なし。

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」

(1) イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの開発

(実施体制：日清紡ホールディングス株式会社)

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して、イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの新技術・新素材の開発に着手した。

2020年度は、海洋生分解性化合物の開発及び、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を実施した。

(海洋生分解性化合物の開発)

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、また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、粒子形状の海洋生分解性化合物の開発を行った。

海洋生分解性化合物は、基本骨格となる金属イオンを有するモノマーあるいはプレポリマー（金属イオンを有する天然高分子を含む）を単独あるいは共重合することにより得られる。金属イオンを有するモノマーあるいはプレポリマーについて既存技術調査を行い、5種類の金属イオンを有する化合物と、天然高分子からアルギン酸を選定した。選定したモノマーあるいはプレポリマーを、金属イオンを介したイオン結合により重合することで海洋生分解性化合物を調製した。

得られた海洋生分解性化合物について、BOD測定による海洋生分解性の評価と、疎水性の評価として接触角とを測定し、海洋生分解性と、水への溶解性、金属イオンの種類、モノマーあるいはプレポリマーの分子構造および分子量との関連性について調査を行った。

（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）

粒子形状の海洋生分解性化合物を既存の生分解性樹脂と複合化し、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を行った。

既存の生分解性樹脂として、ポリブチレンサクシネート（以降PBSと略す）、ポリブチレンサクシネートアジペート（以降PBSAと略す）、ポリ乳酸（以降PLAと略す）の3種を選定し、粒子形状の海洋生分解性化合物を5から30%の組成比で熔融混練することにより、12種類の複合体を調製した。

得られた複合体について、実海水による海洋生分解性の評価と疎水性の評価を実施した。

4. 2 実績推移

	2020年度
	委託
実績額(百万円)	
一般勘定	—
需給勘定	260
特許出願件数(件)	0
論文発表件数(報)	0
フォーラム等(件)	4

5. 事業内容

2021年度は、§6.の事業の実施方式に従って研究開発項目②における追加公募を行い、研究開発項目②-1について2テーマを採択した。(別紙)事業実施体制の全体図に示すように「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」に関して日本電気株式会社と国立研究開発法人理化学研究所/株式会社日本触媒が担当する。2021年度の事業内容は以下の予定である。

5.1 2021年度(委託)事業内容研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」

(実施体制:国立研究開発法人産業技術総合研究所、独立行政法人製品評価技術基盤機構、国立大学法人東京大学、国立大学法人愛媛大学、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)

別紙の研究開発項目①「海洋生分解性に係る評価手法の確立」の体制において、以下の研究項目を実践する。

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

ラボ好氣的生分解試験法の開発に関しては、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、微生物発酵生産系、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。

また、海底砂泥による嫌氣的生分解の実証試験に関しては、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遺伝子解析を実施する。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。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、2箇所以上の底泥試料を用い、4種類の樹脂を対象に嫌氣生分解能を検証する。

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

海洋生分解評価においては長期評価が要求されるので、1年目に開始したISO 19679の試験を引き続き概ね1年間実施する。試験期間中、定期的に海底砂泥・海水の有機炭素含有率、栄養塩類、菌数、菌叢等の変化を確認し、試験結果に影響する因子を把握する。

海底砂泥試料の初期有機炭素含有率の違いが生分解度のばらつきに与える影響を把握し、試験に適した海底砂泥の有機炭素含有率の範囲を検討する。

研究項目②-1「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)」

海洋生分解度合いと複数の構造因子の相関を明らかにするために、3つのモデル材料について、質量分析による分子構造解析に加えて、陽電子消滅法、電子顕微鏡観察、その他分光的手法による構造解析手法や物性試験等を相補的に組み合わせることで、生分解プラスチックのマルチスケール解析（生分解の度合いと複数の構造因子の相関）を可能にする手法の構築を行う。海洋生分解性試験後のサンプルに対する分析的課題を抽出し、分析手法の改良を行う。

また2020年度に引き続き、外注により、異なる季節における3種類の材料について、海水の条件を変えて国内実海域2か所以上において、海洋生分解性試験および微生物量測定を実施する。微生物量測定も前年度同様に行う。試験条件が生分解性等に及ぼす影響を検証し、試験法の妥当性の検証を進める。

研究項目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）」

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。構造および形状の異なる一連の部材シリーズの作製を目的とし、様々な生分解性ポリエステルや多糖類誘導体などから構造（分子鎖構造、結晶構造、高次構造）および材料形状（フィルム、繊維、微粒子）の異なる様々な部材を作製する。分解機構の解明として、全てのサンプルをJAMSTECの横須賀岸壁に設置する。大型放射光の広角および小角X線回折を用いて、結晶構造および高次構造の解析を行う。

研究項目②-3「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（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）」

生分解の度合いに組み合わせる海洋生分解性プラスチックの生分解試験デザインを作成する。海洋生分解性プラスチックを構成する単量体分子を、生分解試験で得られた試料から質量分析計に供するための前処理方法を検討し確立する。また、収着・脱着特性の把握に用いる化学物質の種類を増やすとともに、化学物質収脱着試験をデザインする。

研究項目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）」

海水の標準化に関しては、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微生物発酵生産系、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。

ラボ試験系微生物分析に関しては、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（NITE）等の他の構成員と連携し、海水や底砂泥試料からの核酸抽出や遺伝子シークエ

ンス等の実験方法を確立する。また、生分解菌分析として、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。

実海域微生物分析に関しては、バイオフィルム解析として、2022年度にかけて、実海域浸漬試験に供したフィルム試料表面に形成されるバイオフィル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ルムの量的変動も調べる。

研究項目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）」

海洋生分解に係わる微生物の単離菌株の生分解性等の評価・測定により海洋生分解に関わる微生物叢を決定するための効率的なスキームを確立し、海洋での素材表面に形成される微生物叢を構成する菌株の単離や混合菌株の評価を進め、素材生分解活性と分解酵素、遺伝子情報等のデータを蓄積する。微生物添加による海洋生分解機能評価法における要素技術開発に関しては、菌株や菌株混合物、集積培養物等を添加した際の菌叢や素材生分解活性等の再現性や安定性についての検証を新たに開始する。

研究項目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）」

実海域海水浸漬簡易試験法の開発に関しては、簡易試験方法の検討として、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ISO規格化を視野に入れた案を1つ作成する。また、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作成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。さらに、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。

研究項目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）」

実海域環境に設置した海洋生分解性プラスチック試料を用いた菌株分離及び微生物叢解析を目的として、実海域サイトの安定的な運用に向けた整備を進めながら、季節要因、地理的要因、生物叢的要因等の影響を明らかにするために、各種素材試料を用いた実海域環境からの微生物叢等のデータ取得及び菌株の分離、簡易的な分類情報の付加を行い、また試験での使用を想定した単離菌株の保存方法を検討する。さらに、分離された微生物に対して、分類情報と菌叢解析データとの対合を進め、素材に付着した微生物叢を明らかにする。

研究項目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）」

既に海底に設置したサンプルの回収と新たなサンプルの深海底への設置、回収したサンプルの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。特に、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が生分解度合いのスケールとなりうるかどうかを確認するために、回収と同じタイミングで初島沖の同じ深海底に新たに設置する。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。

研究項目⑤「生態毒性評価法の開発」

既存の生態毒性試験法を生分解性プラスチックに適用した場合に、①生分解により低分子化合物に変化するため一般化学物質管理の枠組みに当てはまらない点、②生分解途中のどの分解段階で試験をすればよいか明確になっていない点、③微小固体の場合は新たな毒性評価基準が必要、という3つの課題が抽出された。そこで、その課題のうち実験的な検証が必要な②と③について、既存の代表的な2、3種類の生分解性プラスチックを使用して、②は分解時間を変化させるなどの前処理をし、被験物質の状態変化および中間体を派生させた後に生態毒性試験を行う。また中間体の定義については、その中間体が発生する環境要因および経過時間などについて実験を通じて条件を決定し、プロセスで状態を規定する。③は微小固体を曝露させ物理的阻害などを観察し、新たな評価基準の探索を行う。

以上の過程を踏まえて生態毒性試験法の草案作成の準備を開始する。

研究項目⑥「海洋プラスチック低減効果の推定」

前年度に引き続き、海洋生分解性プラスチックの導入シナリオ作成、マテリアルフロー解析手法構築、海洋生分解性プラスチックへ適用可能な河川・海域モデルの構築、分解性試験結果の実環境への外挿手法の構築、を進める。

海洋生分解性プラスチックの導入シナリオ作成では、前年度作成した海洋生分解プラスチックへの代替動向に基づき、海洋生分解性プラスチックの代替の優先度を設定する。マテリアルフロー解析手法構築では、前年度に対象にした汎用プラスチックの現状の廃棄量の調査を行う。海洋生分解性プラスチックへ適用可能な河川・海域モデルの構築では、前年度に決定した改良方針に基づいて河川・海域モデルの改良を行う。分解性試験結果の実環境への外挿手法の構築では、前年度に収集した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を抽出する。

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②-1「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

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して、新技術・新素材の開発に着手する。

研究開発項目②ー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」

(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

(実施体制：日本電気株式会社)

別紙の研究開発項目②ー1 (1) 体制図に示される研究項目を実践する。

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」

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、想定する素材製品に合わせた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機誘導体の開発に着手する。多糖類長鎖短鎖エステル誘導体は、主骨格となる多糖類の水酸基に対して長鎖成分、短鎖成分をエステル結合で導入することによって生成する。また、誘導体の性質は導入した長鎖成分、短鎖成分の比率やその導入量（置換度）によって決定される。具体的には、置換度が大きいほど熱可塑性は高まるが、生分解性は低下し、置換度が小さいほど逆の性質となる。先行研究で合成した主な誘導体は、長鎖+短鎖合計置換度が大きく、十分な分解性を有しない物であった。そこで初年度となる2021年度はまず、先行研究より合計置換度が小さく、かつ長鎖置換度が高い誘導体を得るための合成処方を検討する。

具体的にはまず、長鎖成分と短鎖成分を同時に導入する合成処方での合成を検討し、望むような置換基の誘導体を得られない場合は、短鎖成分の後に長鎖成分を導入する合成処方を検討する。ここで得られた知見をもとに、パラミロンをベースとする長鎖短鎖エステル誘導体を4種類以上、および、セルロースをベースとする長鎖短鎖エステル誘導体を4種類以上、計8種類以上合成する。

得られたパラミロン／セルロース長鎖短鎖エステル誘導体について、海水BOD試験を実施して海洋分解性の傾向を把握するとともに、射出成形体の機械特性を評価し、曲げ強度40MPa、衝撃強度4kJ/m²、ガラス転移温度70°Cのうち2つ以上の項目を達成する。

研究項目②：多糖類誘導体の釣具製品としての性能評価

まず多糖類長鎖短鎖誘導体自体の製品適用可能性を検討するため、先行して合成済みのセルロース長鎖短鎖エステル誘導体を用いて、釣具製品（エギ）としての性能評価、具体的にはA. エギ部品形状の射出成形性、B. 有機溶媒を用いた部品接着性（組み立て性）、C. 製品形状での耐久性・強度特性を実施し課題を抽出する。

(2) エステルアミド骨格をベースとする新規新規海洋生分解性樹脂素材の開発

(実施体制：国立研究開発法人理化学研究所、株式会社日本触媒)

別紙の研究開発項目②-1 (2) 体制図に示される研究項目を実践する。

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合成」

新規化学構造を有する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（新規海洋生分解性エステルアミド樹脂素材）の原料となるエステルアミド骨格をベースとする新規ポリマー（エステルアミドポリマー）の合成システムの確立を開始する（研究項目A-1）。具体的には、新規含芳香族エステルアミドポリマー（研究項目A-1-1）およびポリエチレンサクシネート(PES)由来新規エステルアミドポリマー（研究項目A-1-2）について、3件以上の新規ポリマーの合成を実施する。また、様々な化学構造を持つ新規エステルアミドポリマー（研究項目A-1-3）の合成に向けた検討を開始する。合成したエステルアミドポリマーを用いて室内での汽水および海水を用いた生分解性検証実験を開始（研究項目A-2）し、エステルアミドポリマーの物性および機能性の評価と物性強化および機能性強化に向けた検討を行う（研究項目A-3）。合成したエステルアミドポリマーについて、汎用プラスチックとして利用されるポリエチレン(HDPE, LDPE)やポリプロピレン(OPP, CPP)よりも優れた酸素ガスバリア性およびインパクト強度を示すことを確認する（研究項目A-3-1）。さらに、合成したエステルアミドポリマーに添加剤を配合するコンパウンディングを開始する（研究項目A-3-2）。

研究項目B「高効率合成システムの構築」

合成したエステルアミドポリマーについて、実材料としての使用に耐えうる高分子量体の合成が行える手法を確立する。高分子量体の合成手法を改良し、1バッチ1kgの合成が可能な合成システムの最適化を開始し、高効率合成システムの構築に向けて高分子量手法に関する知見を蓄積していく（研究項目B-1）。

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」

新規海洋生分解性エステルアミド樹脂素材は、従来にはない化学構造を有する新しい樹脂素材である。新規エステルアミド樹脂素材の機械特性、熱特性を把握し、新たに狙えるターゲット市場について調査を開始する（研究項目C-1）。

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」

(1) イオン結合を有する海洋生分解性プラスチックの開発

(実施体制：日清紡ホールディングス株式会社)

別紙の研究開発項目②-2体制図に示される研究項目を実践する。

(海洋生分解性化合物の開発)

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、また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、粒子形状の海洋生分解性化合物を開発し、1種以上を選定する。

金属イオンを有するモノマーあるいはプレポリマー（金属イオンを有する天然高分子を含む）を10種類以上合成し、選定したモノマーおよびプレポリマーを重合することで海洋生分解性化合物を調製する。

得られた海洋生分解性化合物について、海洋生分解性の評価と疎水性の評価によって絞り込みを行うと同時に、海洋生分解性と、水への溶解性、金属イオンの種類、モノマーあるいはプレポリマーの分子構造および分子量との関連性について調査を行う。また、金属イオンを有するモノマーあるいはプレポリマーの分子量測定方法を検討するとともに、優位性のある化合物について安全性の観点から各種試験を実施する。

実用化に向けて、粒子形状の海洋生分解性化合物についてプラスチックビーズの代替品としての技術マーケティングを実施するとともに、効率的な製造方法を検討し、コストを含めた課題を抽出する。

（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）

粒子形状の海洋生分解性化合物を既存の生分解性樹脂と複合化し、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と実用化開発を実施する。

既存の生分解性樹脂として、PBS、PBSA、PLA及びデンプン系生分解性樹脂等を選定し、粒子形状の海洋生分解性化合物と複合化して海洋生分解性プラスチック素材を調製する。得られた複合体の熱的、物理的物性等と海洋生分解性を評価し、海洋生分解性プラスチック素材の絞り込みを行う。

また、複合体成形物について顧客によるサンプル評価や技術マーケティングにより、実用化に向けた具体的な物性目標、コストを含めた課題を抽出する。優位性を確認した素材について毒性試験等の安全性試験を実施し、化審法、安衛法への対策や認証取得に向けた対応を行う。

5. 2 2021年度事業規模

需給勘定 300百万円（委託）

※事業規模については、変動があり得る。

6. 事業の実施方式

6. 1 公募

(1) 掲載する媒体

「NEDOホームページ」及び「e-Radポータルサイト」で行う他、新聞、雑誌等に掲載する。

(2) 公募開始前の事前周知

公募開始の1ヶ月前にNEDOホームページで行う。本事業は、e-Rad対象事業であり、e-Rad参加の案内も併せて行う。

(3) 公募時期・公募回数

2021年3月に1回行う。

(4) 公募期間

原則30日間とする。

(5) 公募説明会

新型コロナウイルス感染症による影響を考慮して、公募説明会は中止とする。説明会資料を、後日、NEDOホームページに掲載する。

6. 2 採択方法

(1) 審査方法

e-Radシステムへの応募基本情報の登録は必須とする。

事業者の選定・審査は、公募要領に合致する応募を対象にNEDOが設置する採択審査委員会（外部有識者（学識経験者、産業界の経験者等）で構成）で評価（技術評価及び事業化評価）を行う。その結果を参考に、NEDOは本事業の目的の達成に有効と認められる事業者を契約・助成審査委員会に附議して事業者を決定する。

なお、提案者に対して、必要に応じてヒアリング等を実施する。また、採択審査委員会は非公開とし、審査経過に関する問い合わせには応じない。

(2) 公募締切りから採択決定までの審査等の期間

60日間とする。

(3) 採択結果の通知

採択結果については、NEDOから申請者に通知する。なお不採択の場合は、その明確な理由を添えて通知する。

(4) 採択結果の公表

採択案件については、申請者の名称、研究開発テーマの名称・概要を公表する。

7. その他重要事項

(1) 評価の方法

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、外部有識者による研究開発の中間評価を2022年度に実施する。

(2) 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。早期実用化が可能と認められた研究開発については、期間内であっても研究を完了させ、実用化へ向けた実質的な研究成果の確保と普及に努める。

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、技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査の効率化の観点から、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

NEDOが設置する外部有識者で構成する技術検討委員会で定期的にテーマ評価を行う。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を2022年12月頃に決定する。

なお、PMは、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、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) 複数年度契約の実施

原則として、2020年度開始分は2020年度～2022年度、2021年度開始分は2021年度～2022年度の複数年度契約を行う。

(4) 知財マネジメントに係る運用

「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に従ってプロジェクトを実施する。

(5) データマネジメントに係る運用

「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）」に従ってプロジェクトを実施する。

(6) 標準化施策等との連携

研究開発実施者は、他の研究開発テーマに裨益する共通基盤技術について、研究開発テーマの垣根を越えてプロジェクト全体として研究成果の最大化を図るよう努めるものとする。特に、研究開発項目①、②は、研究開発段階において連携することが不可欠であることから、必要に応じて秘密保持契約や共同研究契約等を締結し、密接な連携関係をとること。

8. スケジュール

8. 1 本年度のスケジュール

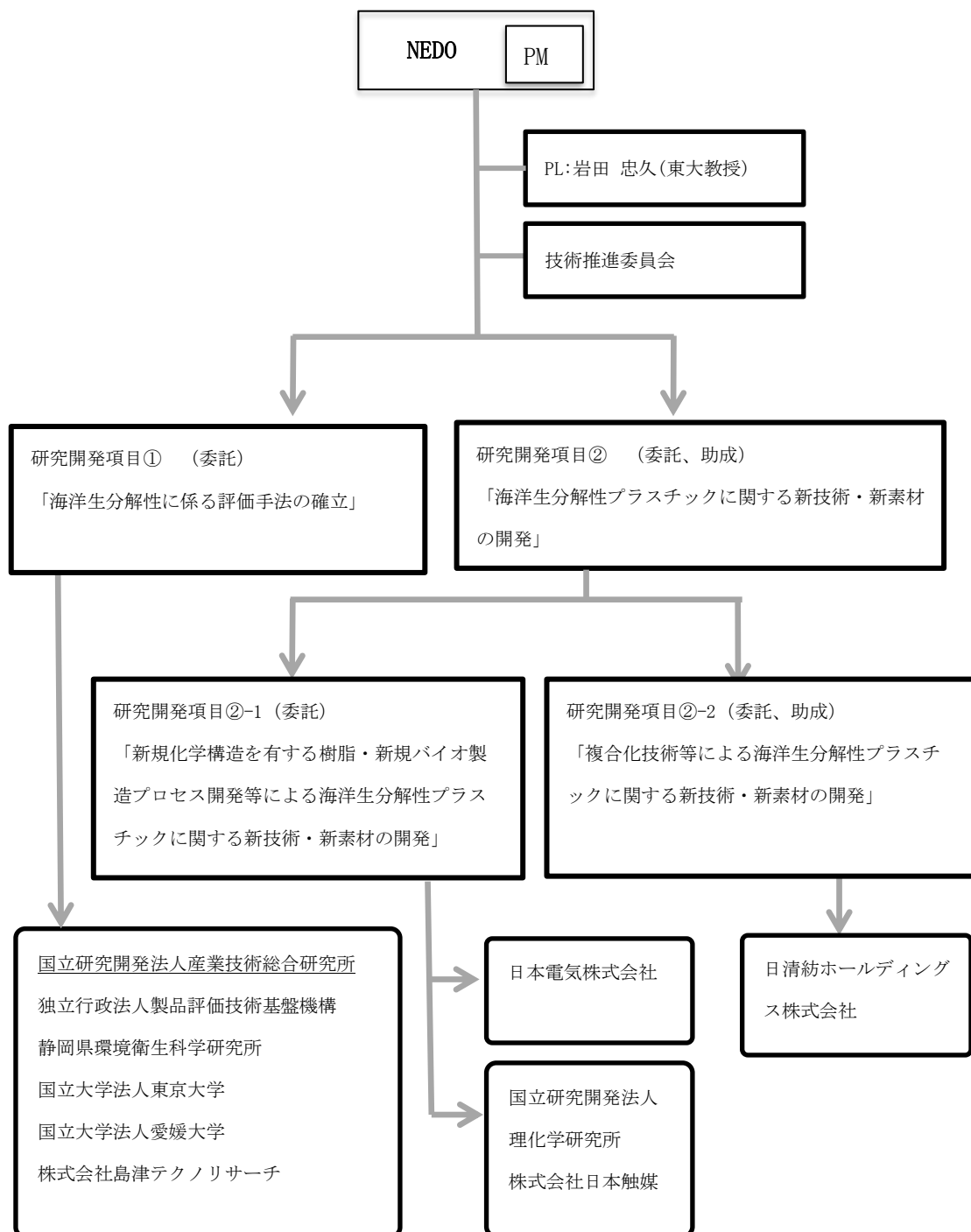
2021年3月上旬	公募開始
2021年3月中旬	公募説明会資料のホームページ掲載
2021年4月中旬	公募締切
2021年5月中旬	採択審査委員会
2021年6月上旬	契約・助成審査委員会
2021年6月上旬	採択決定

2021年12月中旬 ステージゲート評価委員会

9. 実施方針の改定履歴

- (1) 2021年2月、制定
- (2) 2021年10月、制定

(別紙) 事業実施体制の全体図

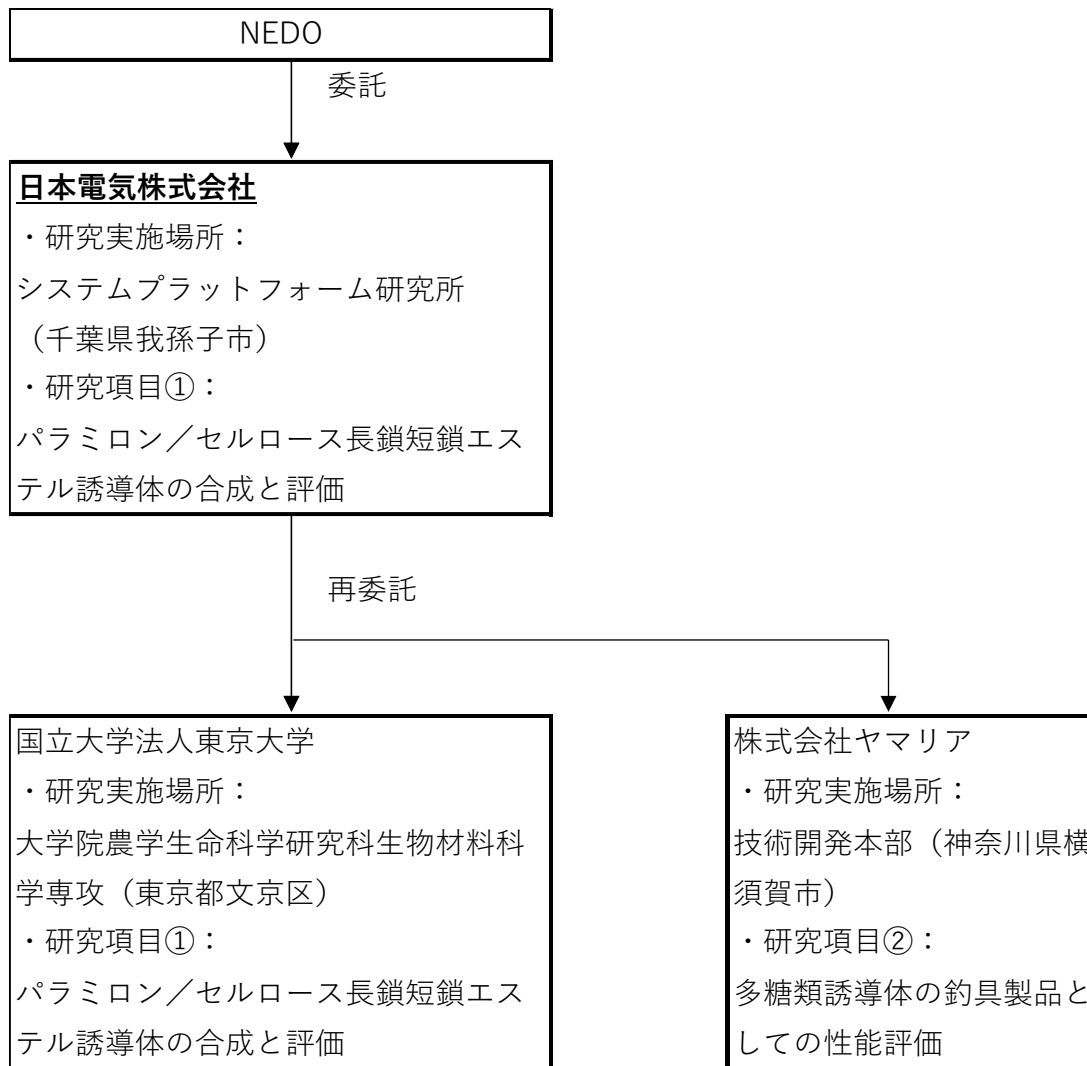


研究開発項目①

「海洋生分解性に係る評価手法の確立」体制

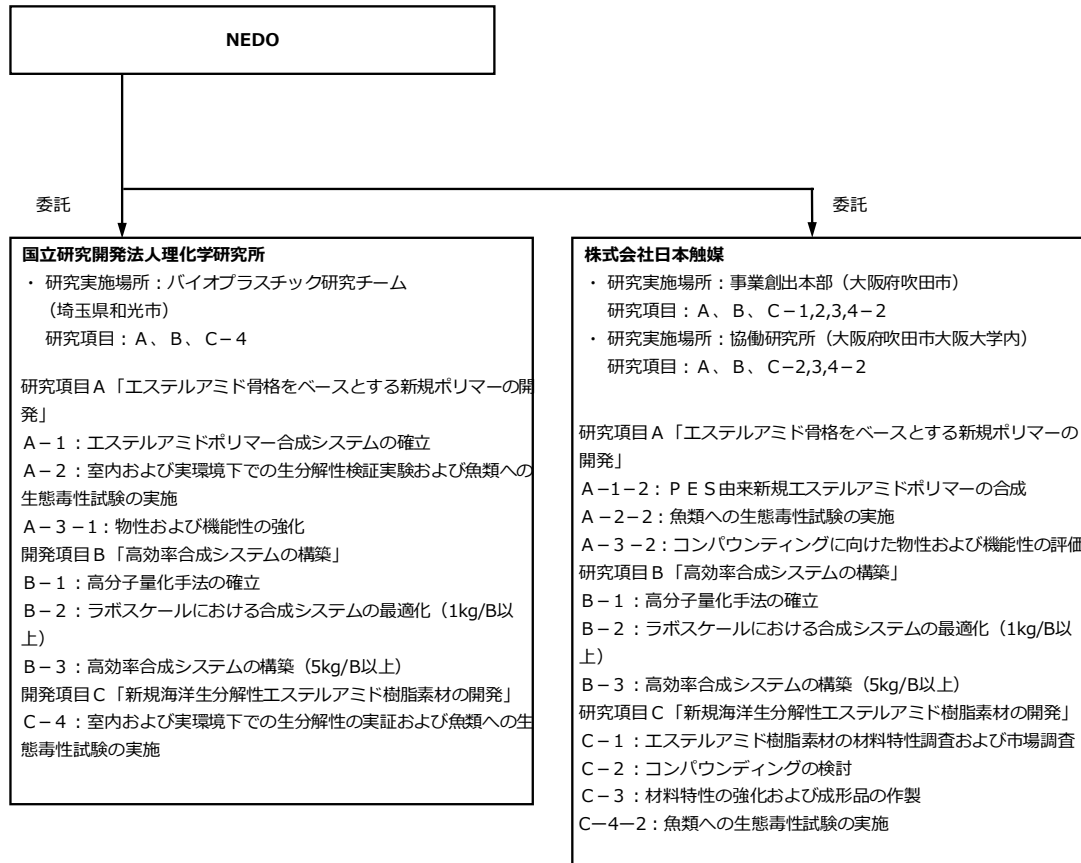
研究開発項目②-1 (1)

「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／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」体制



研究開発項目②-1 (2)

「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/エステルアミド骨格をベースとする新規新規海洋生分解性樹脂素材の開発」体制



研究開発項目②-2

「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
／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」体制

