

令和2年度環境省委託業務

令和2年度脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業  
(マイクロプラスチックによる汚染防止のための化石資源由来素材からの代替)  
(海洋生分解性プラスチックによる水耕栽培用ウレタン培地代替事業) 委託業務

## 成果報告書

令和3年3月

プランツラボラトリー株式会社





## 概要

本事業では、海洋生分解性を有する澱粉ポリエステル樹脂を用いて野菜等の水耕栽培用の培地を新たに開発し、現在、広く用いられているウレタン製の培地を代替することで、培地から廃根を取り除く際や廃ウレタン培地の風化等により海洋や環境中に非意図的に流出する培地由来のウレタン微細片による環境負荷を低減するとともに、これまで産業廃棄物として廃棄されていた廃根を有効利用するほか、システム全体でのコスト削減効果並びに培地製造プロセス及び培地処理プロセス等における CO2 排出削減効果を明らかにすることを目的とする。

### 1. 熱可塑化デンブンをを用いたウレタン代替培地の開発および機能性評価

海洋生分解性を有する素材を加工し、水耕栽培に適した物理的特性をもつ代替培地を開発し、開発した代替培地が水耕栽培により適した物性となるよう、素材やその加工方法を改良すること目的とする。

令和2年度は、海洋生分解性を有する素材に関する情報収集を行うとともに、代替培地開発の基礎技術として、当該素材を熱で融解させ糸状に引き伸ばし型に入れ3次元構造する方法を確立した。

また、機能性評価にあたっては、代替培地の性能を評価するための項目をリストアップし、それらを用いた代替培地の性能評価方法を開発し、当該性能評価方法を用いて、自社グループの植物工場等において代替培地による植物生育を行い、開発状況の検討にフィードバックすることで効率的な事業の進捗に寄与することを目的とする。

評価にあたっては、代替培地の各試作品ならびに既存ウレタン培地の性能について定量的に評価できる方法を確立する。

令和2年度は、上記に示す代替培地の性能評価方法の確立に向けた検討を行い、性能評価に必要な要素案を選定するとともに、植物工場から排出される培地微小片の定量化方法に関する検討を実施した。

## 2. 代替培地の海洋生分解性の評価

代替培地の海洋生分解性について証明することを目的とする。

令和2年度は、海洋生分解性を有する素材に関する情報収集を行うとともに、代替培地の海洋生分解性の確認試験について、関東・沖縄の2か所の海水温域において、海洋での生分解性試験を試験的に実施することを計画し現地調査などを実施したが、本事業の中間報告会等における評価委員の指摘・指導をふまえラボベースでの試験を優先することとしたため、試験実施を令和3年度以降に延期している。

## 3. ウレタン代替培地を含む植物残渣の有効利用技術

現行ウレタン培地では行われていない廃培地の有効利用技術を確立することで、代替培地導入時の溶液栽培事業者のトータルコスト削減ならびに循環型社会の構築への寄与を実現し、社会実装時の速やかな普及・代替を図ることを目的とする

令和2年度は、文献調査等により養殖における飼料利用を想定し、植物残渣を食用する生物に関する情報を収集した結果、植物残渣を好物とする例が報告されているウニ類が、養殖の規模や効果において最適であると推察し、数種類のウニを入手し試験的に植物残渣を与え、当該生物における廃培地の飼料利用に関する適性があることを確認した。

## 4. ウレタン代替培地利用による生産コスト削減

代替培地の製造コスト並びに代替培地の導入により削減されるコスト（手選別費用や産業廃棄物の収集運搬・処理費用等）や、飼料などの再利用用途としての販売により見込まれる収益等をそれぞれ明らかにし、本事業全体でのコスト評価を行うこと。また、本事業全体でのコストが削減されるような方策を検討することを目的とする。

令和2年度は、コスト評価を行うための基礎情報として、現行のウレタン培地の調達コストや使用時の人件費コストなどの情報を収集し、コスト削減に向けた方策として、人件費・収集運搬費・廃棄費の削減並びに再利用による販売益などを策定した。あわせて、今後のコスト評価・コスト削減に向けたスケジュールを制定した。

## 5.ウレタン代替培地利用によるライフサイクルでの温室効果ガスの削減

海洋生分解性を有する澱粉ポリエステル樹脂等の樹脂を用いて野菜等の水耕栽培用の培地を新たに開発し、現在、広く用いられているウレタン製の培地を代替することによるライフサイクル（原料調達・製造・使用・廃棄）での温室効果ガス削減効果を定量化し、その有効性を評価することを目的とする。

令和2年度は、海洋生分解性を有する樹脂を用いた代替培地のシナリオ及びシステム境界を検討し、ライフサイクルフローを定めた。また、バックグラウンドデータの引用先並びにフォアグラウンドデータの収集方針を検討した。

## Outline

In this project, we have developed a new culture medium for hydroponic cultivation of vegetables and other plants using a starch polyester resin with marine biodegradability. The purpose of this project is to reduce the environmental impact of urethane micro fragments, to effectively use waste roots that have been disposed of as industrial waste, and to clarify the cost reduction effect of the entire system and the CO<sub>2</sub> emission reduction effect of the culture medium manufacturing process and culture medium treatment process.

### 1) Development and functional evaluation of urethane substitute culture media using thermoplasticized starch

The purpose of this project is to develop alternative culture media with physical properties suitable for hydroponic cultivation by processing marine biodegradable materials, and to improve the materials and their processing methods so that the developed alternative media will have physical properties suitable for hydroponic cultivation.

In the fiscal year 2020, we collected information on marine biodegradable materials and established a method to melt the materials by heat, stretch them into threads, and put them into a mold to form a three-dimensional structure as a basic technology for developing alternative culture media.

In addition, for functional evaluation, we listed items for evaluating the performance of alternative culture media, developed a method for evaluating the performance of alternative culture media using these items, and conducted plant growth using alternative culture media at our group's plant factories, etc. using this performance evaluation method. The purpose of this project is to contribute to the efficient progress of the project.

For the evaluation, we will establish a method to quantitatively evaluate the performance of the alternative culture media prototypes and the existing urethane culture media.

In FY2020, we conducted a study to establish a method to evaluate the performance of the alternative culture media described above, selected the necessary elements for performance evaluation, and studied the quantification method of culture media micro fragments discharged from plant factories.

### 2) Evaluation of marine biodegradability of alternative culture media

The purpose of this project is to prove the marine biodegradability of alternative culture media.

In fiscal year 2020, we collected information on materials with marine biodegradability, and planned to conduct biodegradability tests in the sea at two locations in Kanto and Okinawa to confirm the marine biodegradability of the alternative culture media, and conducted field surveys.

### 3) Technology for effective utilization of plant residues including alternative urethane mediums

The purpose of this project is to establish a technology for effective utilization of waste culture media, which is not used in the current urethane culture media, in order to reduce the total cost for solution growers when introducing alternative culture media and to contribute to the establishment of a recycling-oriented society.

In the fiscal year 2020, we collected information on organisms that eat plant residues for the purpose of feed utilization in aquaculture through literature survey, etc. As a result, we inferred that sea urchins, which have been reported to prefer plant residues, would be the most suitable organism in terms of the scale and effectiveness of aquaculture.

### 4) Reduction of production cost by using alternative medium for urethane

The production cost of the alternative medium, the cost reduction by the introduction of the alternative medium (manual sorting cost, industrial waste collection, transportation and treatment cost, etc.), and the expected profit from the sale of the alternative medium for reuse as feed, etc. should be clarified, and the cost of the entire project should be evaluated. The purpose of this project is to evaluate the cost of the project as a whole, and to consider measures to reduce the cost of the project as a whole.

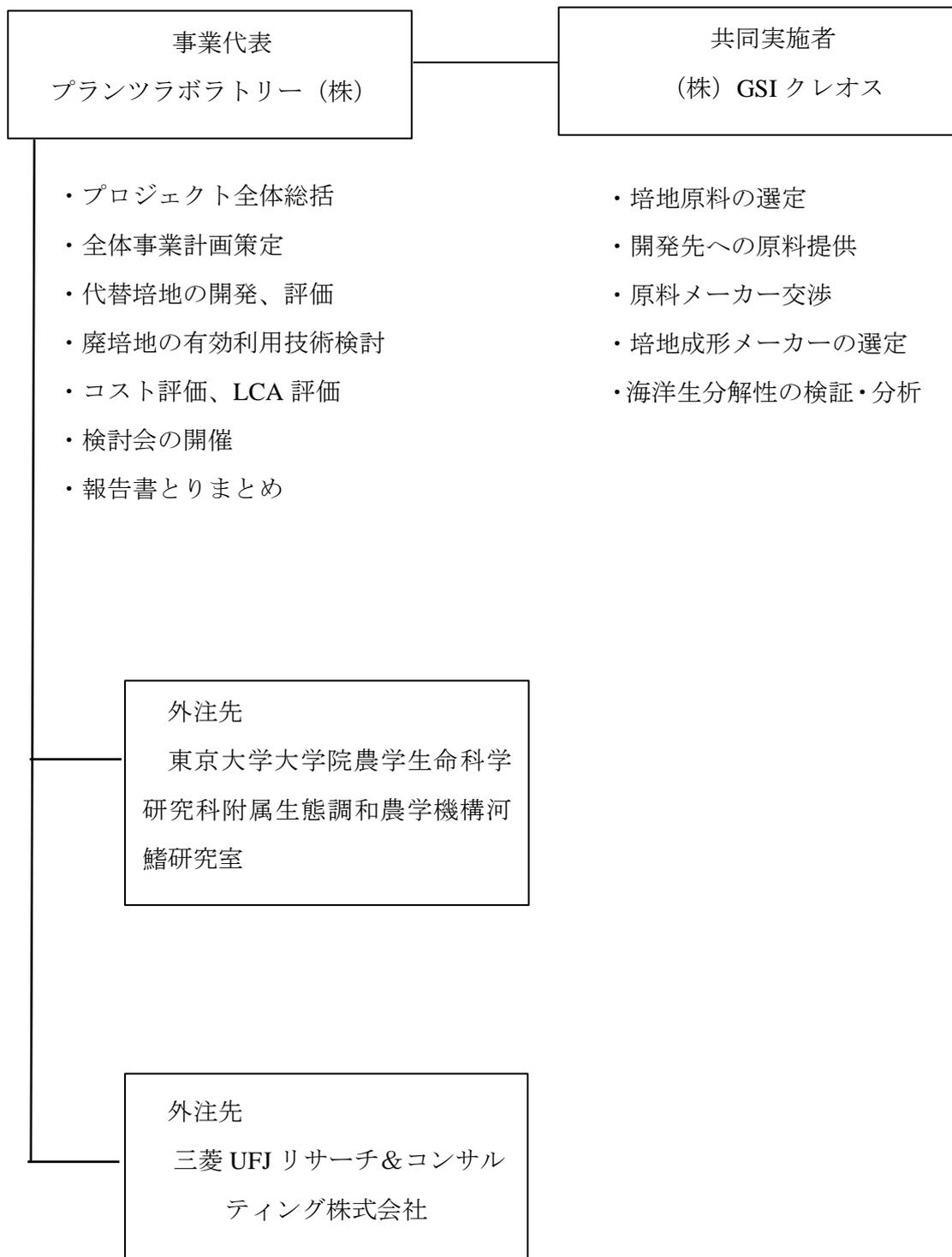
In FY2020, as basic information for cost evaluation, we collected information on the procurement cost of the current urethane culture media and labor cost at the time of use, and formulated measures for cost reduction, such as reduction of labor cost, collection and transportation cost, and disposal cost, as well as sales profit by reuse. In addition, a schedule for future cost evaluation and cost reduction was established.

### 5) Life cycle reduction of greenhouse gases by using alternative culture media to urethane

The purpose of this project is to develop a new culture medium for hydroponic cultivation of vegetables using starch polyester resin and other resins with marine biodegradability, and to quantify the effect of reducing greenhouse gases in the life cycle (procurement of raw materials, manufacturing, use, and disposal) by replacing the currently widely used urethane culture medium, and to evaluate its effectiveness. The purpose of this project is to evaluate the effectiveness of the substitution of urethane culture media.

In FY2020, we studied the scenario and system boundary of the alternative culture media using marine biodegradable resin, and defined the life cycle flow. In addition, the citation of background data and the collection policy of foreground data were discussed.

組織図



< 目 次 >

1 序論 .....	- 1 -
1.1 農作物生産において排出されるプラスチック廃棄物.....	- 1 -
1.2 ウレタン代替培地の必要性.....	- 3 -
1.3 本事業の目的 .....	- 4 -
1.4 事業体制 .....	- 6 -
1.5 事業実施期間 .....	- 6 -
2 海洋生分解性プラスチックの国内外の開発動向・評価基準 .....	- 7 -
2.1 はじめに .....	- 7 -
2.2 国内外での海洋プラスチック状況 .....	- 7 -
2.3 生分解性プラスチックの主な認証制度 .....	- 11 -
2.4 代替素材 .....	- 13 -
2.5 代替素材の生分解性.....	- 19 -
2.6 海洋分解性に係る国際認証.....	- 37 -
3 熱可塑化デンプンを用いたウレタン代替培地の開発 .....	- 42 -
3.1 緒言 .....	- 42 -
3.2 材料と方法.....	- 43 -
3.2.1 MaterBi のフォーム化に関する検討.....	- 43 -
3.2.2 PLA および MaterBi の 3 次元構造化（繊維化）による培地の試作 .....	- 43 -
3.3 結果 .....	- 44 -
3.3.1 MaterBi のフォーム化に関する検討.....	- 44 -
3.3.2 ポリ乳酸および MaterBi による繊維質培地の試作 .....	- 44 -
3.3.3 ポリ乳酸培地と MaterBi 培地の比較.....	- 44 -
3.3.4 MaterBi 培地によるレタスの栽培.....	- 45 -
3.3.5 代替培地の機能性評価.....	- 48 -

3.4	考察と今後の課題 .....	- 48 -
3.4.1	ウレタン代替培地の試作.....	- 48 -
3.4.3	培地微少片の定量.....	- 49 -
4	生分解性プラスチック候補素材の海洋生分解性ならびに機能性評価 .....	- 50 -
4.1	実海洋での海洋崩壊性試験.....	- 50 -
4.1.1	目的.....	- 50 -
4.1.2	海洋分解性試験の場所選定.....	- 51 -
4.1.3	試験機器設計 .....	- 52 -
4.2	実験室における海洋生分解性試験.....	- 53 -
4.2.1	今後の課題 .....	- 53 -
5	ウレタン代替培地を含む植物残渣の有効利用.....	- 54 -
5.1	背景 .....	- 54 -
5.2	ウニの養殖用飼料としての活用.....	- 56 -
5.2.1	方法.....	- 56 -
5.3	結果.....	- 59 -
5.4	課題と今後の対応 .....	- 62 -
6	ウレタン代替培地利用による生産コスト削減効果.....	- 64 -
6.1	目的.....	- 64 -
6.2	方法.....	- 64 -
6.2.1	コスト評価 .....	- 64 -
6.2.2	コスト削減策 .....	- 65 -
6.3	結果.....	- 65 -
6.4	考察.....	- 66 -
7	ウレタン代替培地利用による温室効果ガス削減効果.....	- 66 -
7.1	全体目標.....	- 66 -
7.2	今年度の検討の内容の概要.....	- 66 -
7.3	検討結果 .....	- 67 -
7.3.1	シナリオの検討結果.....	- 67 -

7.3.2	代替培地に使用する樹脂の想定（評価対象製品の想定） .....	- 67 -
7.3.3	機能単位の想定.....	- 68 -
7.3.4	システム境界の検討結果.....	- 68 -
7.3.5	CO <sub>2</sub> 削減効果の試算結果 .....	- 69 -
7.3.6	来年度の検討事項.....	- 70 -
8	まとめと今後の課題.....	- 71 -
8.1	生分解性プラスチックを用いたウレタン代替培地の開発.....	- 71 -
8.2	生分解性プラスチック候補素材の海洋生分解性評価ならびに代替培地の機能性評価..	- 71 -
8.3	ウレタン代替培地を含む植物残渣の有効利用 .....	- 71 -
8.4	ウレタン代替培地利用による生産コスト削減 .....	- 72 -
8.5	ウレタン代替培地利用による温室効果ガス削減効果.....	- 72 -

# 1 序論

## 1.1 農作物生産において排出されるプラスチック廃棄物

我が国の農業由来の廃プラスチックは、平成5年には189千t排出されていた[1]が、平成7年に農林水産省より発出された「園芸用使用済プラスチックの適正処理に関する基本方針」等の影響により平成6年以降は減少の傾向にある。加えて、平成13年施行の「循環型社会形成推進基本法」等により、廃プラスチック処理時における再生処理の割合は上昇傾向にあることや、生分解性樹脂による農業用マルチフィルムが徐々に市場で普及を始めるなど、一見すると農業を取り巻く廃プラスチックに係る環境負荷は軽減してきているように見える。

国内においては農業従事者や耕地面積の減少傾向[2] [3]が続いているが、このような中において養液栽培市場は、天候の影響を抑えられることや、連作障害を起こさないこと、単位面積当たりの収穫量が露地栽培と比べ多いことなどから、拡大の傾向にある[4]。しかしながら、これらの溶液栽培における利点は、温湿度管理のためにビニルハウス等の園芸施設を用いることや、土の代わりに溶液とウレタン製の培地を用いることで連作障害が起きないようにするなど、露地栽培では使用しないプラスチック製品を多く利用して得られている側面がある。そのため、養液栽培において使用されるプラスチックの排出量および環境負荷については、農業全体の減少傾向を反映していないことが懸念される。

ウレタン培地を使用した際の養液中のウレタン由来微細片の量を見積もるため、プランツラボラトリー社関連会社の植物工場（埼玉県さいたま市）から排出される植物残渣処理廃液を回収して調査したが、蛍光顕微鏡による観察では、明らかなウレタン断片の混入は確認できなかった。理由としては、ポリウレタンが、もともと天然ゴムの代替品として開発された素材であることから分かるように、ゴムと同様に高い弾性や柔軟性をもち、引張り強度、引き裂き強さが強い。耐磨耗性や衝撃強度にも優れた性能を発揮する。そのために容易には破片化しないことが考えられる。また、養液栽培では新しいウレタンを用いており、植物工場から排出されるウレタンは使用開始から1ヶ月程度と短く、設備が屋内であるために紫外線などによる劣化も生じていないためとも考えられる。

しかしながら、ウレタン培地を用いた養液栽培は国内外で広く行われており、使用後の培地は一時的にはあるが、山積みされている。ウレタンは耐熱性、耐水性に弱く、高温多湿の環境下では劣化が早まる。また空気中の窒素、紫外線、熱、微生物などの影響で徐々に分解する。したがって、回収処理まえのウレタンが劣化して、環境へ放出されてしまう懸念がある。

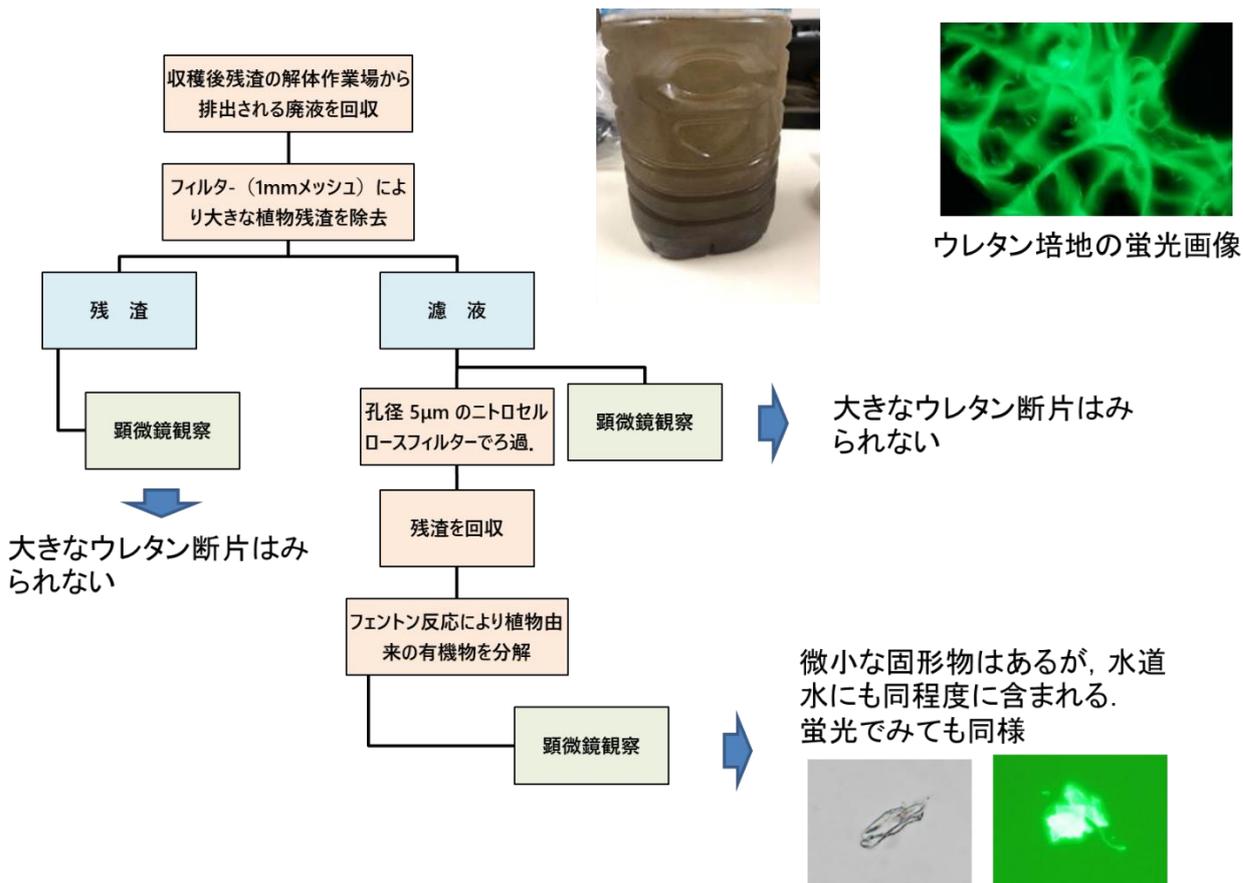


図1 植物工場の植物残渣処理廃液からのウレタン断片の回収と顕微鏡観察

## 1.2 ウレタン代替培地の必要性

現在、国内で広く行われている水耕栽培（ビニールハウス型・植物工場型）においては作物を支える培地としてウレタンあるいはロックウールが用いられる。ロックウールは保水性、通気性などにおいて培地としてすぐれた特性を持ち、作物の生育がよいため世界的に広く用いられている。しかし、使用後のロックウールの適切な処理方法がなく、リサイクルも進められているが最終的には埋め立て処分が必要になるなどの問題がある[5]。一方、ウレタンは保水性においてはロックウールに劣るが安価かつ軽量で加工しやすいため、播種用のスリットや窪みを成形しやすい、作業時の取り扱いが容易、吸水させたのちの保水性が良いというメリットがあり、国内では広く使われている。ウレタンは生産コストが安く安価に販売されているものの、販売価格には廃棄された培地の処理、環境に放出された場合の復帰コストは考慮されていない。

植物の生育に伴いウレタン培地中に根が広がり容易に分離できない状態となるため、収穫後の培地と根を分離しようとするとうレタンを破断しやすく、完全に分離することはできない。通常はウレタン培地から出ている根を切り離し、切り離した根とウレタンと根の絡み合った部分とを分別して、それぞれ産業廃棄物として廃棄している。さらに、多くの事業者では産業廃棄物重量を軽減するため、ウレタン培地に浸透している栽培溶液を、手で絞る・洗濯機にかける・自然乾燥させるなどの方法で脱水している。このように、根とウレタン培地の廃棄工程は手間・人件費がかかり、生産コストを引き上げる要因のひとつとなっている。

根を取り除く際や脱水する際にウレタン培地の一部がちぎれ、微細化して排水に流れていることが懸念され、これらの排水はそのまま排水処理後に海域に流出していたり、降雨により公共用水域に流出していたりなど、結果として海洋プラスチックになっている可能性がある。また、ウレタンは熱硬化性樹脂であることから廃棄後のリサイクルは困難であり、リユース・リサイクルが困難であるため、より環境負荷の小さいウレタン代替培地に置き換えることによりリデュースを図ることが求められる。

生分解性素材の培地に対する需要は特に海外市場で高い可能性がある。とりわけEUでは2019年にストローや皿などの使い捨てプラスチック製品の流通を禁止する法案が採択され[6]、既存プラスチック素材からの代替が進むなど、プラスチックによる環境問題に先進的に取り組んでいる。また、廃棄物の回収・処理のインフラ整備が不十分な新興国では、現地での廃棄物処理が困難なウレタン培地を用いるよりも、海洋生分解性プラスチック培地を利用した方が現実的に環境負担の軽減に寄与できる。

### 1.3 本事業の目的

本事業では、海洋生分解性を有する樹脂を用いて野菜等の水耕栽培用の培地を新たに開発し、現在、広く用いられている発泡ポリウレタン製の培地を代替することで、培地から廃根を取り除く際や廃ウレタン培地の風化等により海洋や環境中に非意図的に流出する培地由来のウレタン微細片による環境負荷を低減するとともにこれまで産業廃棄物として廃棄されていた廃根を有効利用するほか、システム全体でのコスト削減効果並びに培地製造プロセス及び培地処理プロセス等におけるCO<sub>2</sub> 排出削減効果を明らかにする。

さらに、本事業終了後にすみやかに社会実装を行い国内ならびに海外において既存培地の代替として広く普及させ、世界における溶液栽培由来のプラスチックごみ問題の環境負荷低減・解消に寄与できるように、溶液栽培事業者がウレタン培地から代替培地へ切り替える動機づけ要因（導入時のトータルコスト低減・手間の削減・廃棄の容易さなど）を明確にすることを目的とする。

以上のように、生分解性のウレタン代替培地が開発できれば、①ウレタン培地が海洋プラスチックとなる懸念を払拭できるだけでなく、②培地と根を分離せずにそのまま堆肥化・飼料化が可能であり廃棄物処理コストを削減することができる。そこで本事業では、海洋へ放出される懸念のある水耕栽培用のウレタン培地に代わる海洋生分解性プラスチックからなる培地を開発することを目的とする。さらに、新規開発した培地の導入した場合のトータルコストを削減し、廃培地の処理によるCO<sub>2</sub> 排出を削減するため、廃培地のリサイクル方法を提案する。これらの目的のため、本プロジェクトでは以下の課題に取り組む。

#### （１） 熱可塑化デンプンを用いたウレタン代替培地の開発

海洋生分解性の素材を加工し、水耕栽培に適した特性をもつ代替培地を開発する。

#### （２） 生分解性プラスチック候補素材の海洋生分解性評価

代替培地に用いる海洋生分解性素材および開発した代替培地の海洋における生分解性を評価する。

#### （３） 代替培地の機能性の評価

代替培地の性能を評価するための項目をリストアップし、それらを用いた代替培地の性能評価方法を開発する。また、当該性能評価方法に基づき、代替培地による植物生育を行い、開発する代替培地の性能を評価し、開発の検討にフィードバックする。

#### （４） ウレタン代替培地を含む植物残渣の有効利用技術

ウレタン培地では行われていない廃培地の飼料としての有効利用技術を確立する。

#### （５） 代替培地導入によるコスト削減

代替培地の製造コスト並びに代替培地の導入により削減されるコスト（手選別費用や産業廃棄物

の収集運搬・処理費用等) や、飼料などの再利用用途としての販売により見込まれる収益等をそれぞれ明らかにし、本事業全体でのコスト評価を行う。また、本事業全体でのコストが削減されるような方策を検討する。

(6) ウレタン代替培地利用によるライフサイクルでの温室効果ガスの削減

ウレタン代替培地利用によるライフサイクル(原料調達・製造・使用・廃棄)での温室効果ガス削減効果を定量化し、その有効性を評価する。

#### 1.4 事業体制

		役割
事業代表者	プランツラボラトリー (株)	水耕栽培用代替培地の開発・性能評価・廃培地の活用方法検討・コスト評価
事業代表者の外注先	東京大学大学院農学生命科学研究科附属生態調和農学機構河鱒研究室	海洋生分解性素材を用いた代替培地を製造するための基礎技術の確立及び代替培地の性能評価方法の確立に向けた検討
	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング (株)	海洋生分解性の代替培地のライフサイクルフローの検討、バックグラウンドデータの引用先並びにフォアグラウンドデータの収集方針の検討
共同実施者	(株) GSI クレオス	海洋生分解性素材に係る情報収集並びに素材提供・海洋生分解性の確認

#### 1.5 事業実施期間

令和2年10月8日から令和3年3月31日

## 2 海洋生分解性プラスチックの国内外の開発動向・評価基準

### 2.1 はじめに

代替培地の原料候補の選定を行うべく、国内外の生分解性・海洋分解性樹脂について情報収集を実施し、それらの特徴、生分解性、海洋生分解性、コスト面、供給安定性、年間生産量について以下の通りまとめた。また、代替培地の海洋分解性を実証するために収集した海洋生分解性の試験方法や条件を定めた規格についての情報も以下に示す。

### 2.2 国内外での海洋プラスチック状況

全世界で1950年以降生産されたプラスチックは83億トンを超え[7]、我々の日常には非常に多くのプラスチックがあふれている。プラスチックの軽くて丈夫、さびや腐食に強い、様々な形状に加工できるといった特性の恩恵を様々な状況で受ける一方、リサイクルされるプラスチックは全体の9%に過ぎず、残りの多くは埋め立てや投棄をされている。近年はプラスチックに関するごみ問題、特に回収が困難な海洋プラスチックの発生が問題視されている。

海洋プラスチックは、陸上から海洋に流出したプラスチックを指す。2010年推計値では年間478～1275万トン/年ものプラスチックが海洋に流出している[8]とされる。

これらのゴミによって、自然環境や我々の社会生活などに様々な影響が出ると懸念されている。海洋生物の健康や生態への影響、船舶への弊害、観光業、漁業への影響などが主な影響例として挙げられる。またプラスチックが紫外線や潮汐による刺激によって経年劣化することによりマイクロプラスチックが生成されることで、人体への影響も懸念されている。

このような状況を背景に、海洋プラスチックごみ問題の解決に向けて、生分解性、特に海洋生分解性プラスチックの使用が世界各国推奨され始めている。

生分解性樹脂のいくつかの企業での採用事例、使用可能用途

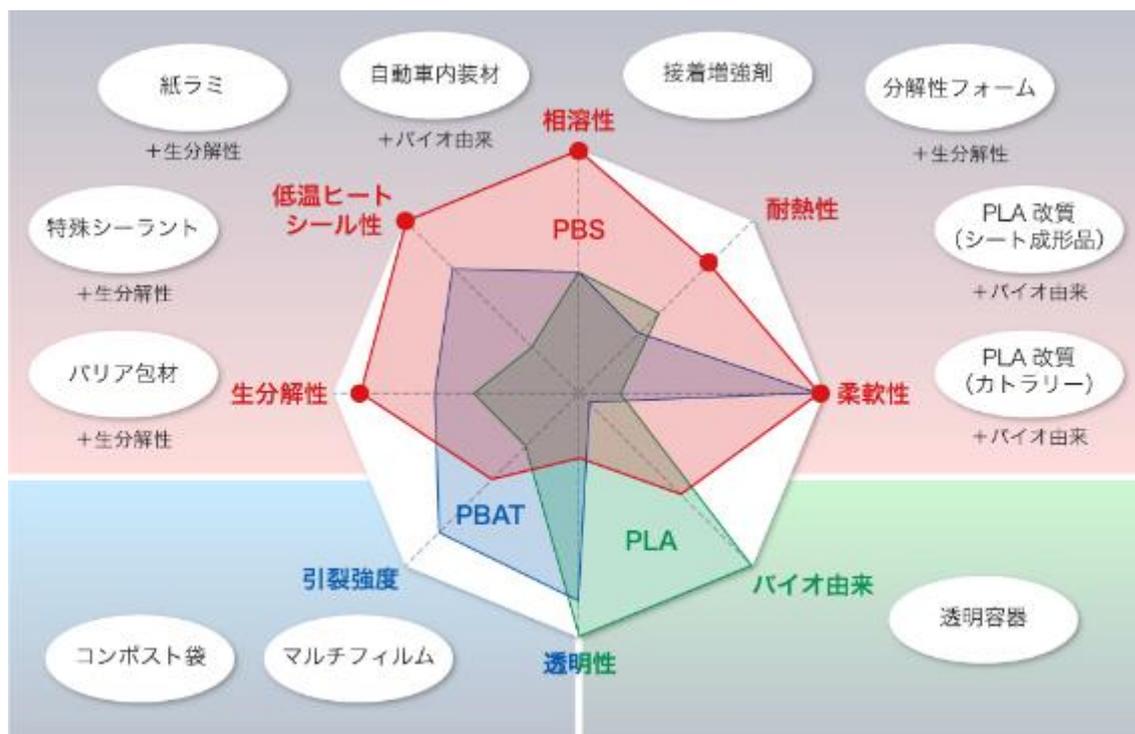


図2 BioPBS (三菱ケミカル HP より抜粋)

<https://www.m-chemical.co.jp/csr/activities/case1.html> (2020年3月25日閲覧)



図3 PBAT 農業用マルチフィルム (BioLogiQ より抜粋)

BioLogiQ コンポスト化可能コンパウンド <https://www.biologiq.com/ja/compostable-resin-blends> (2020年3月25日閲覧)



図4 Novamont 社 Mater-Bi 採用事例の一部 (Novamont 社 HP より抜粋)  
包装資材として



図5 Novamont 社 Mater-Bi 採用事例の一部 (Novamont 社 HP より抜粋) レジ袋として



図6 Novamont 社 Mater-Bi 採用事例の一部 (Novamont 社 HP より抜粋) ゴミ袋として  
図4～6 Novamont 社 Mater-Bi HP <https://materbi.com/en/> (2020年3月25日閲覧)

### 2.3 生分解性プラスチックの主な認証制度

本事業で開発予定のウレタン培地代替素材に関して、将来的な社会実装に向けて生分解性プラスチック評価について、認証を取得する必要があると考える。

生分解性プラスチック認証は世界各国様々で詳細は以下の通りになる。

表1 生分解性プラスチックの主な認証

国	認証	認証機関	備考
日本		<b>JBPA</b> (日本バイオプラスチック協会)	<p>①生分解性</p> <p>グリーンプラ製品に使うことのできる有機化合物は、紙・樹木等の天然有機物か、あるいは生分解性が国際標準分析法に基づいた生分解速度で60%以上のものに限られます。この生分解速度は、有機廃棄物や紙・樹木等と同じ程度にコンポスト施設内で微生物分解を受けることを意味します。つまり、紙や樹木よりも遅い微生物分解を受ける有機合成化合物はグリーンプラ製品に使うことはできません。グリーンプラ製品の再資源化とはコンポスト施設によるコンポスト化が本来の姿と考えられるからです。</p> <p>②安全性</p> <p>グリーンプラ製品に使うことのできる有機化合物は、天然有機物、食品添加物として登録されているもの、あるいは一定の安全性が確認されたものに限られます。法によって毒物・危険物と指定された化合物は認められません。</p> <p>(引用元：<a href="http://www.jbpaweb.net/identification/">http://www.jbpaweb.net/identification/</a> )</p>

<p>オーストリア</p>		<p>TUV Austria</p>	<p>本事業で関連する OK biodegradable MARINE について</p> <p>① Chemical Characteristics (化学特性) 有害な重金属の含有量が規定値以下であること。有機物が 50%以上であること。</p> <p>② Biodegradation (生分解性) ASTM D7081 海水中(30°C)で、生分解度が 6 ヶ月以内に 90%以上(絶対的 or 相対的)になること。</p> <p>③ Disintegration (崩壊性) 海水中(30°C)で 12 週間以内で 2mm のフルイパスが 90%以上</p> <p>④ Ecotoxicity (生態毒性) OECD 202 培養液に 0.1%濃度の試料を添加し 3 ヶ月の養生し、その養生液でミジンコ(Daphnia)を 48h 培養し、ミジンコの活性を測定する。</p> <p>( 参 照 元 : <a href="http://www.djklab.com/service/kaigai/2925">http://www.djklab.com/service/kaigai/2925</a>)</p>
<p>アメリカ ドイツ</p>		<p>アメリカ : BIODEGRADABLE PRODUCTS INSTITUTE ドイツ : DIN CERTCO</p>	<p>アメリカ : BPI 認証マークは北米における堆肥化可能な製品の ASTM 規格唯一の第三者機関。 ドイツ : TUV Austria と同じく欧州内で使用される生分解性プラスチック認証。</p>

## 2.4 代替素材

現在生産されている生分解性素材のなかから、発泡ポリウレタン代替素材として用いる候補素材を選び、それらの特徴、生分解性、海洋生分解性、供給安定性、年間生産量を以下にまとめた。コスト面に関しては具体的なコストを試算する必要があるため、原料価格、輸送費含め引き続き調査中。

### 1) PLA(ポリ乳酸)

植物由来プラスチックであるポリ乳酸 (Polylactic Acid, PLA) は、透明性が高く、剛性および引張強度が高い。堆肥化装置を使用した場合などの特殊な環境下で生分解性を発揮する。PLA メーカー大手である Nature Works では年間約 15.8 万トンの PLA の生産能力がある。世界的に生分解性プラスチックの需要が上がったことで、PLA の使用量が増加し一時供給難になり価格変動が起こったが、中国企業で PLA の生産が増えたことで現在は落ち着いている。

ポリ乳酸 (PLA) は、最も一般的な生分解性の高分子材料である。近年、微生物 (放線菌、バクテリア、カビ) を利用した PLA の生分解性や、生化学的な分解プロセスの研究が進んでいるが、PLA の高効率な生分解方法についてはまだ十分な検討がなされていない。PLA の分解性は、主に化学的加水分解(de Jong et al., 2001, Kikkawa et al., 2004, Tsuji and Nakahara, 2002)および光分解(紫外線など)に関して研究されてきた(Ikada, 1997, Tsuji et al., 2006)。PLA は生分解性ポリマーであるが、自然環境中で PLA が完全に消失するには数年かかることもある(Kimura et al., 2000)。最初に報告された PLA 分解微生物は、Pranamuda ら (1997) によって土壌から分離された *Amycolatopsis* HT-32 である。その後、好気性微生物 (放線菌、細菌、真菌) による PLA の生分解性が実験室条件下で研究されてきた。

PLA の分解は主にエステル結合の切断によって起こり、さらに酸化、光分解、熱分解、加水分解、生分解、または酵素分解など、自然界のさまざまな要因によって分解される(Nampoothiri et al., 2010)。PLA の分解の生化学的プロセスには、主に化学的加水分解と微生物による生分解とがある。PLA のエステル結合は化学的加水分解によってカルボン酸とアルコールに断片化されるが、完全な加水分解が進行するには多くのエネルギーと時間が必要である。PLA 材料は、他の生分解性ポリエステルと比較して、自然環境下では微生物により分解されにくい (Tokiwa and Calabia, 2006)。土壌埋設実験によると、PLA 材料は分解が始まるまでに長い時間がかかり、分解速度はかなり遅い(Ohkita and Lee, 2006)。しかし、これまでに土壌や水から PLA を分解できる複数の種類の微生物が分離されている。それらのほとんどは放線菌であり、一部は細菌や真菌であった。

Williams(1981)は、*Tritirachium album* 由来のプロテイナーゼ K による PLA の酵素加水分解を初めて報告した。その後、市販のプロテアーゼ 56 種の PLA 分解活性を Oda ら (2000) がテストした。その結果、アルカリ性プロテアーゼの中には、PLA からかなりの数の乳酸を生成するものがあることがわかった。微生物由来の PLA 分解酵素は、主にプロテアーゼ (セリンプロテアーゼ) であり、少数ではあるがリパーゼ (エステラーゼ) やクチナーゼも存在する。PLA を分解する主要プロテアーゼは、セリンプロテアーゼ (プロテイナーゼ K など) である。微生物由来のセリンプロテアーゼの主要なファミリーは、細菌、古細菌、真菌に分布している。

表 2 PLA 製造企業と製品の特徴

企業名	生産国	ブランド名	生産能力/供給安定性	備考
Nature Works	アメリカ	Ingeo	生産能力 : 15.8 万トン/年 (2018 年時点) 供給安定性 : PLA の需要が高まり一時供給難になったが、もとに戻りつつある。	主にトウモロコシを原料としている。
Total Corbion PLA	オランダ	Luminy	生産能力 : 7.5 万トン/年 (2018 年時点) 供給安定性 : 調査中	主にサトウキビを原料としており、フランスに 10 万トン/年規模のプラントを新規に設計計画。2024 年に稼働見込み。
安徽豊原福泰来聚乳酸有限公司	中国		生産能力 : 5 万トン/年 (2020 年時点) 供給安定性 : 調査中	ハイケム株式会社が同社とパートナーシップ契約を結び、国内で同社 PLA の販売を開始。

2) PBS

ポリブチレンサクシネート (PBS) は、主な取り扱い企業では国内の三菱ケミカル株式会社 BioPBS があるが、特徴として農業用マルチフィルムなどの生分解性用途に加え、FDA が取得されている等、食品包装用途などでの展開も可能な樹脂。

表 3 P B S 製造企業と製品の特徴

企業名	生産国	ブランド名	生産能力 / 供給安定性	備考
PTT MCC Biochem (三菱ケミカル)	タイ	Bio-PBS	生産能力: 2 万トン/年 (2020 年時点) 供給安定性: 需要が高まりサンプル、製品共に供給難 (GSI クレオス調べ)	2017 年より植物由来のコハク酸と 1,4 ブタンジオールからなるバイオ PBS (商標: BioPBSTM) の商業生産を三菱ケミカル子会社である PTT MCC Biochem にて行っている。 (引用元: <a href="https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/sustainable/product/1200364_7166.html">https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/sustainable/product/1200364_7166.html</a> )
康輝石化	中国		生産能力: 3.3 万トン/年 (2020 年時点) 供給安定性: 調査中	2020 年 12 月 25 日、大手ポリエステルメーカー恒力石化の子会社である營口康輝石化有限公司 (康輝石化) は、年産 3.3 万トンのポリエステル系生分解樹脂であるポリブチレンサクシネート (PBS) 新材料プロジェクトについて、無事に生産を開始したことを明らかにした。 (引用元: <a href="https://www.jcfa.gr.jp/news_post/news/news-1882/">https://www.jcfa.gr.jp/news_post/news/news-1882/</a> )

### 3) PHA (PHBH)

植物油などのバイオマスを原料としており、ストロー、レジ袋、カトラリー、食品包装材などで使用が可能で生分解性を有している。(株)カネカの PHBH、CJ Bio 社の CJ PHA などは、本事業で必須である海洋での分解性が既に証明されており、代替素材候補として選定した。

表 4 PHA (PHBH) 製造企業と製品の特徴

企業名	生産国	ブランド名	生産能力/供給安定性	備考
カネカ	日本	PHBH	生産能力：5 千 ト ン / 年 (2020 年時点) 供給安定性：需 要が高まりサ ンプル、製品共 に供給難 (GSI クレオス調べ)	OK Marine TUV を取得しており、 一定条件下で海洋中でも分解する。
i- Compology	日本	Biofade	生産能力：調 査中 供給安定性： 調査中	サトウキビなどを由来としたバ イオマスポリマー(海洋生分解性ポ リマー)とバイオマス粉体(植物粉) を混練しペレット化することで、射 出成型が可能に。海洋生分解性も有 している。
CJ Bio	韓国	CJ PHA	生産能力： 2021 年中には 5 千トン/年を 予定している。 供給安定性： 調査中	100%植物由来で海洋生分解性を 有する PHA 系プラスチック。

#### 4) PBAT

PBAT (ポリブチルアジペートテレフタレート) は、引張強度や柔軟性を有している石油由来の生分解性樹脂。PBAT メーカーは BASF や後述のように Novamont 社が主な PBAT メーカーで、農業用マルチフィルム用途や製袋での実績が多数ある。

表 5 PBAT 製造企業と製品の特徴

企業名	生産国	ブランド名	生産能力/供給安定性	備考
BASF	ドイツ	エコフレックス	生産能力：8万トン/年 供給安定性：需要が高まり供給難 (GSI クレオス調べ)	BASF 社は ISO の企画作成に関与するなど、自社の PBAT にて海洋分解性の試験を実施している動きはつかめるが、具体的な認証取得に関する情報は現状掴めていないため、継続調査を実施する。
Blue Ridge Tunhe Polyester Company	中国	調査中	生産能力：7万トン/年 (PBS と PBAT の合計値) 供給安定性：調査中	調査中
Kingfa	中国	Ecopond	生産能力：6万トン/年 供給安定性：調査中	調査中

5) 澱粉ポリエステル樹脂

澱粉ポリエステル樹脂の主なメーカーとして Novamont 社（伊）Mater-Bi が挙げられる。Mater-Bi は PBAT と熱可塑性澱粉（とうもろこし由来）をコンパウンドした生分解性を有する樹脂。カルドン（キク科アザミ亜科）から抽出されるアゼライン酸、サトウキビより生成されるバイオブタンジオールをもとに自社で PBAT を製造している。物性的に柔らかく、フィルム成型に向いている樹脂。食品包装、レジ袋、カトラリー、農業用マルチフィルムなど様々な用途で実績がある。

製品グレードにより海洋生分解性も有しており、本事業における代替培地素材候補の 1 つとなる。

表 6 澱粉ポリエステル樹脂製造企業と製品の特徴

企業名	国	ブランド名	生産能力/供給安定性	特徴
Novamont	イタリア	Mater-Bi	生産能力: 16 万トン/年 供給安定性: 需要が高まってはおり、一部製品群の生産が増加しているが供給安定性には影響は少ない。(GSI クレオス調べ)	自社で植物由来の PBAT を一部製造しており、澱粉ポリエステル樹脂の供給だけでなく PBAT としての供給も行っている。PBAT 単体としての供給量は 10 万トン/年になる。

## 2.5 代替素材の生分解性

生分解性は、特定の環境条件下でのみ発生する認定された特性であるため、その答えはそれほど単純ではなく、体系的な研究が必要である。ポリ乳酸 (PLA)、ポリカプロラクトン (PCL)、ラクチド-グリコリド共重合体 (PLGA) などの従来の生分解性ポリマー (脂肪族および脂肪族-芳香族ポリエステル) は、マイクロプラスチックの発生源としてはあまり注目されていない。その理由としては、これらのポリマーの用途が限られていることや、どんな環境条件でも分解されるという一般的な誤解が考えられる。したがって、「生分解性ポリマー」と呼ばれているからといって、環境汚染への貢献の可能性を否定するものではない。しかしながら、水源における生分解性ポリマーの分解性に着目した研究は限られている。多くの研究では、サンプルを海水中の穴の開いたバスケットに入れ、残った材料の重量変化を記録しているが、生分解による重量減少なのか、単にサンプルが分解してマイクロプラスチックになり、二次的なマイクロプラスチックとして海に失われることによる重量減少なのかは区別されていない(Krasowska et al., 2016)。辻らは、PCL, PLA (非晶質および結晶)、ポリ(3-ヒドロキシブチレート) (PHB) を太平洋からの海水中で 25°C で所定の期間劣化させる比較実験を行った(Tsuji, H., & Nakahara, 2002)。その結果、PCL は 10 週間で 25% 分解されたのに対し、PHB は 9% しか分解されなかった。

Bagheri ら(2017)は、5 種類の生分解性ポリマー、ポリ乳酸-グリコール酸 (PLGA)、ポリカプロラクトン (PCL)、ポリ乳酸 (PLA)、ポリ 3-ヒドロキシ酪酸 (PHB)、Ecoflex (PBAT) と、非分解性ポリマーであるポリエチレンテレフタレート (PET) を、人工海水および淡水中で 1 年間にわたり制御された条件で比較分解試験を行った。その結果、非晶質 PLGA のみが 100% の分解を示し、次に PHB が数% の分解を示した。一方 PCL、PLA の分解はわずかであった。

このように生分解性速度は分析条件により変わり、さらに特定の条件では分解が早かったり遅かったりする。PLA は総じて分解の遅いグループに含まれた。

### <堆肥化による生分解>

生分解性プラスチックは、先述の通り分解速度、条件によって様々な認証がある。TUV オーストリア認証が例ではあるが、認証の中に INDUSTRIAL、HOME、SOIL、MARINE があり、堆肥化はそのうちの INDUSTRIAL にあたる。

表7 TUV INDUSTRIAL について

国	認証	備考
オーストラリア		<p>① <a href="#">Chemical Characteristics (化学特性)</a> 有害な重金属の含有量が規定値以下であること。 有機物が 50%以上であること。</p> <p>② <a href="#">Biodegradation (生分解性) ISO14855、JIS K6953</a> 58°Cの好氣的コンポスト環境下で、生分解度が6 ヶ月以内に 90%以上 (絶対的 or 相対的) になること。</p> <p>③ -1 <a href="#">Disintegration - Quantitative (崩壊性-量的) ISO16929、JIS K6952</a> 58°Cの好氣的コンポスト環境下、パイロットスケールで、12 週間以内で 100mm 角のフィルムが 2mm のフルイ残りが 10%以内になること。生成されたコンポスト材料は④の植害試験に使用する。</p> <p>③ -2 <a href="#">Disintegration - Qualitative (崩壊性-質的) ISO 20200、JIS K6954</a> ISO 20200 JIS K6954 実験室規模の好氣的模擬コンポスト条件下で 20mm 角程度のフィルムを生分解させ、2mm のフルイ残りが 10%以下であること。写真で記録する。 * 崩壊性試験は③-1 (ISO 16929) がメインであるが、試験材料、試験結果により実施する場合がある。</p> <p>④ <a href="#">Ecotoxicity (生態毒性) OECD208 (植害試験)</a> 試料をコンポスト化した培地を使用し、2 種類の植物(大麦、クレソン)の種を植え、発芽率と成長率を測定し、ブランクと比較し 90%以上であること。 * ABA (オーストラリア) の認証を取得する場合は、ミミズ生存試験(OECD 207)が追加が必要である。</p>

### <堆肥化とは>

堆肥化（コンポスト化）とは、主に動物の排泄物、生ごみ、汚泥を微生物により分解し堆肥をつくる工程のことを指し、海外、特に欧州ではこの堆肥化施設が豊富に存在している。欧州では、生分解性プラスチックで製袋されたレジ袋、ゴミ袋に生ごみを捨て収集されている。企業、家庭から排出される生ごみの重量のほとんどが水分な為、焼却処理をする場合一度水分を蒸発させる必要があり、その際に大量なエネルギーが浪費されてしまう。堆肥化はそのような問題が発生せずに堆肥を作ることで、土壌状態の改善ができる、生分解性プラスチックの分解促進などが利点として挙げられる。

**A-16 EU28か国の1人当たりの都市ごみの処理方法別処理量の推移**

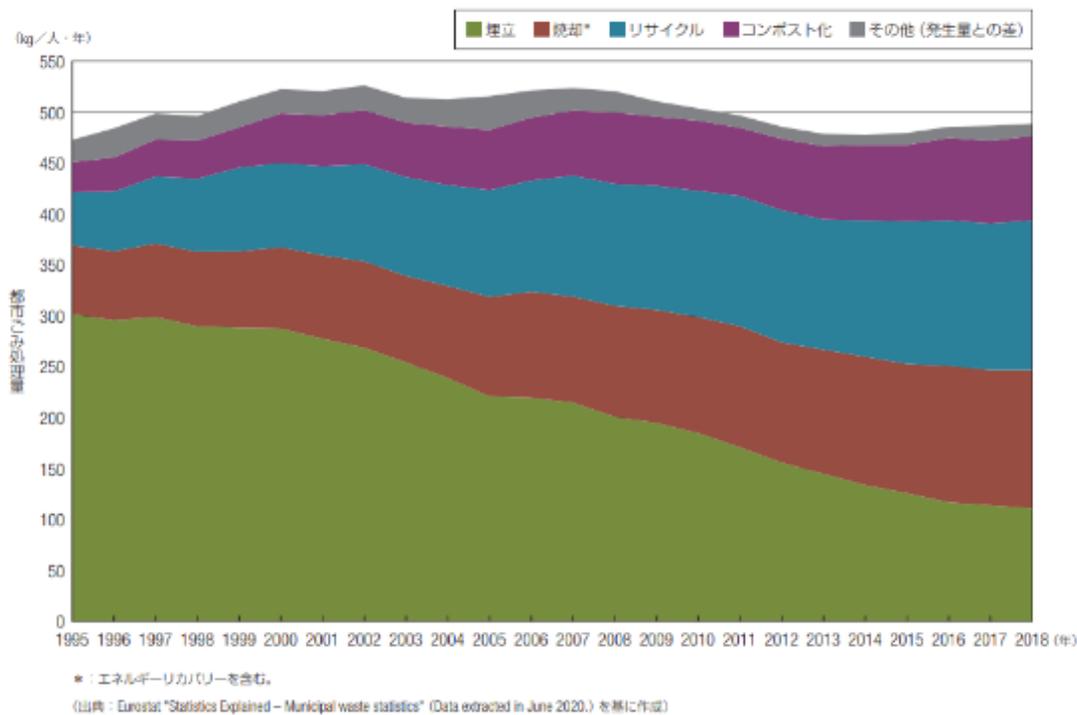


図7 EU28 各国の一人当たりの都市ごみの処理方法別処理量の推移

**A-17 EU各国の1人当たりの都市ごみの処理方法別処理量 (2018年)**

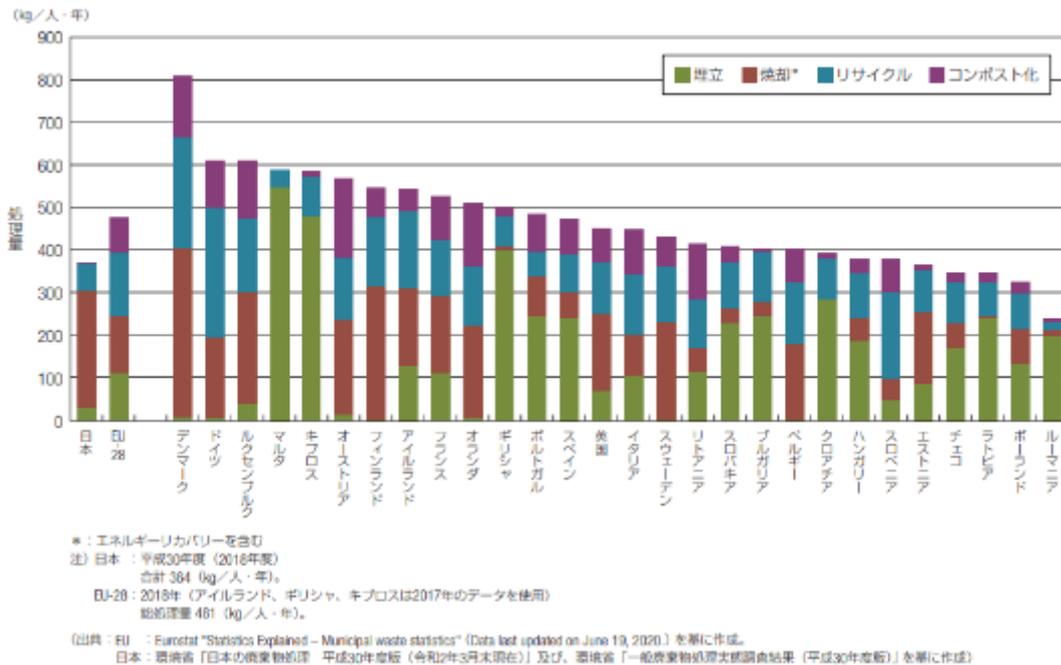


図8 EU28 各国の一人当たりの都市ごみの処理方法別処理量

**A-18 EU各国の都市ごみ処理の処理方法別比率 (2018年)**

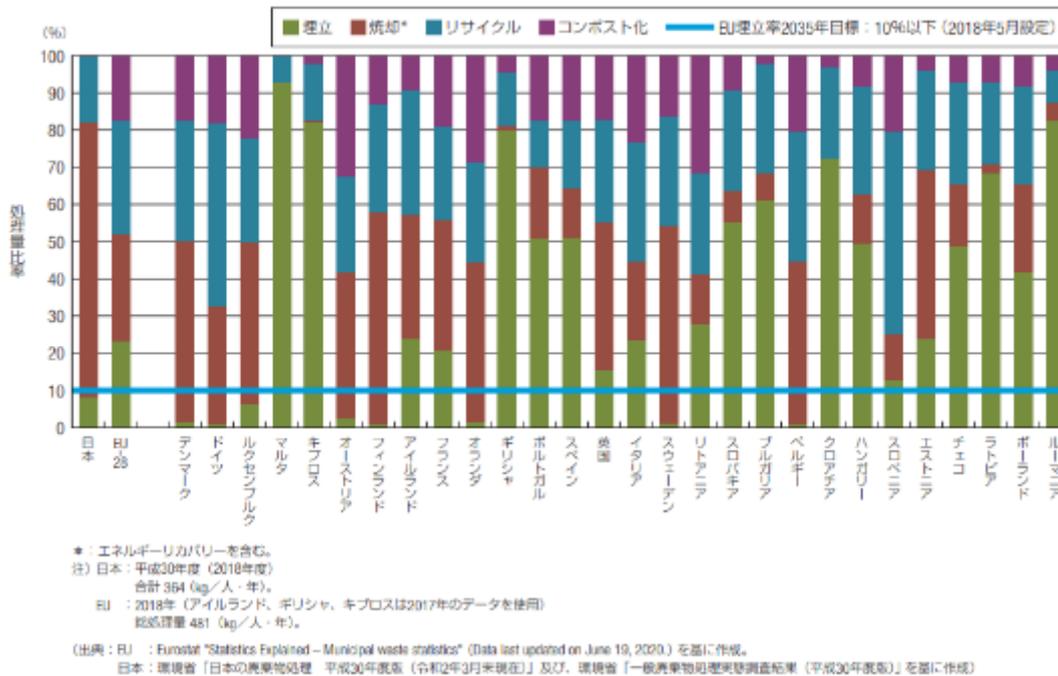


図9 EU 各国の都市ごみの処理の処理方法別比率<sup>vii</sup>

図7～9 EUの資源消費、資源効率、廃棄物、リサイクル、SDG 1 2 統計

[http://www.cjc.or.jp/data/pdf/book2020\\_appendix.pdf#a-13](http://www.cjc.or.jp/data/pdf/book2020_appendix.pdf#a-13) (2021年3月25日閲覧)

資源・リサイクル促進センター [http://www.cjc.or.jp/data/main\\_w.html](http://www.cjc.or.jp/data/main_w.html) (2021年3月25日閲覧)

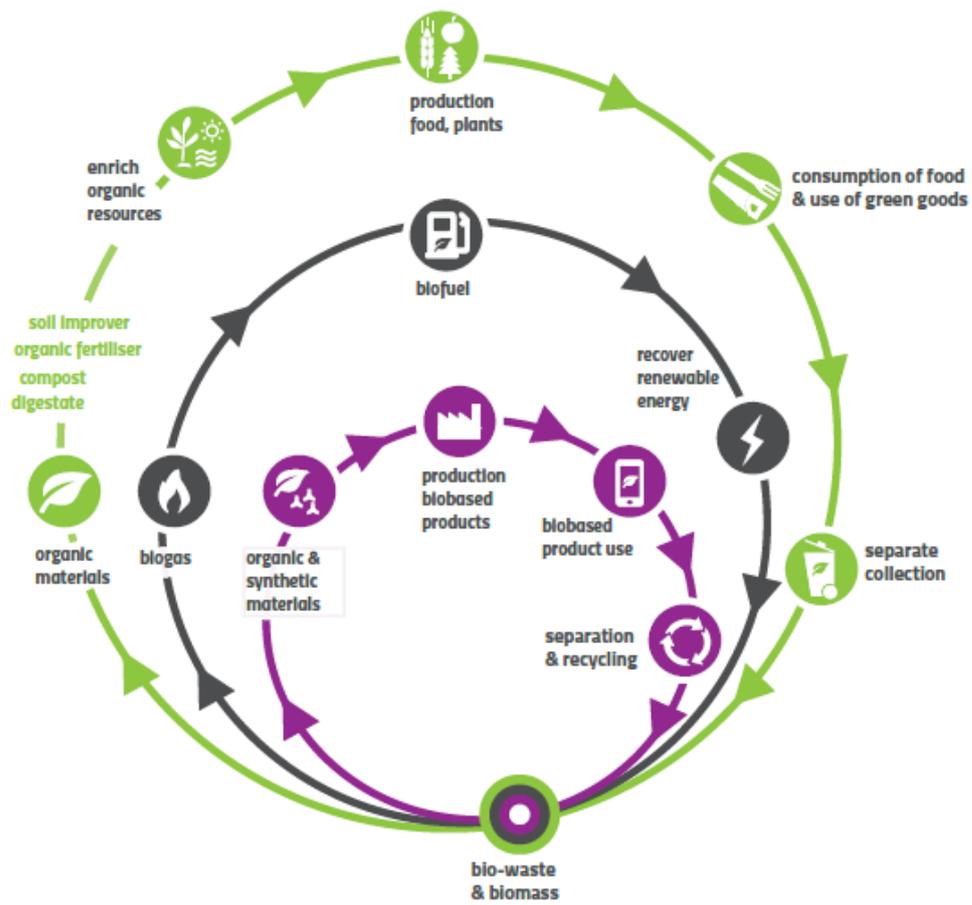


図 1 0 堆肥化（緑円）における循環方法

## WASTE MANAGEMENT

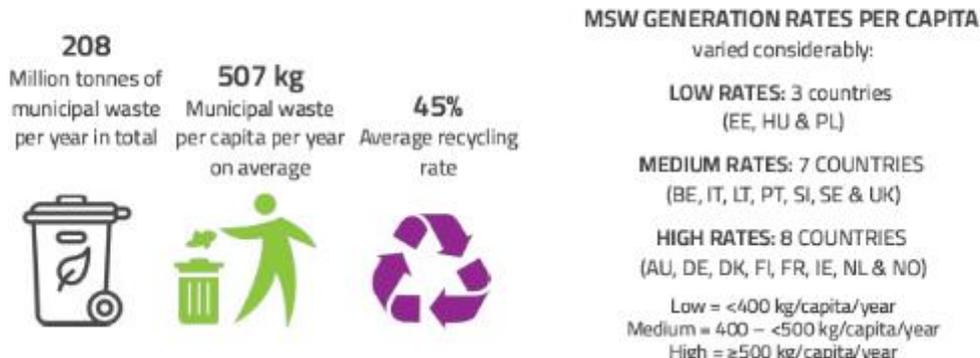


図 1 1 左から欧州内での、1 年間でのゴミの量、一人当たり 1 年での平均ゴミの排出量、リサイクル量

## COMPOST & DIGESTATE

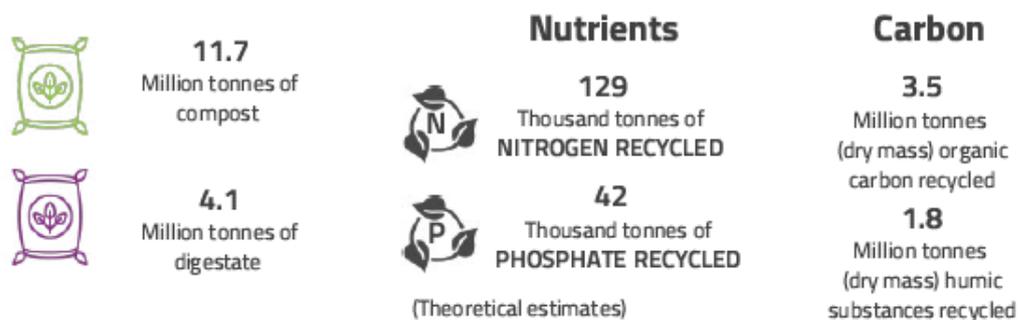


図 1 2 年間のコンポスト量、嫌気性分解量

図 1 0 ~ 1 2 ECN Status report 2019 - European Bio-waste Management

<https://www.compostnetwork.info/download/ecn-status-report-2019-european-bio-waste-management-overview-of-bio-waste-collection-treatment-markets-across-europe-2/>

日本国内で Mater-Bi のサンプルを堆肥化装置に入れ分解試験を行った。1, 2 週間程度で分解が進んでいると目視でき、3 週間～7 週間程度で袋、容器、カトラリーの分解が大きく進み目視できないくらいまで分解した。(株) GSI クレオス調べ)

	サンプル	試験開始1週間後	試験開始2週間後	試験開始3週間後	試験開始7週間後
人袋 Mater-Bi					
	袋外に植物が接触した状態で試験を行った。	袋壁は腐れている箇所が多く、簡単に破ることが可能。	ポリホロの粒粒	ポリホロの粒粒が崩れ落ちて残骸	完全に消失
3 容器(緑) Mater-Bi					
	容器内及び容器外に植物が接触した状態で試験を行った。	袋壁は腐れている箇所が多く、簡単に破ることが可能である。	ポリホロの粒粒及び層を腐らせている部分が確認された。いずれも真っ黒い。	緑色の粒(5mm以下)が確認された。	緑色の粒がいちがもが確認された。
3 カトラリー Mater-Bi					
	袋外に植物が接触した状態で試験を行った。	袋壁を腐らせており、強度も保たれていない。	ポリホロになっており、触ると簡単に壊れる状態。	次の写真の破片が確認された。	目視による確認は不可

図 1 3 分解試験結果

#### <Mater-Bi の海洋分解性について>

Novamont 社では Mater-Bi の海洋分解性に関して、固有の海洋生分解性（Novamont 研究所にて実施）、海洋環境での崩壊（Hydra 研究機関にて実施）、および Mater-Bi 製の果物/野菜袋が生分解した際に放出される堆積物の生態毒性（シエナ大学にて実施）の 3 つの領域にて研究を実施している。

海洋生分解性については Novamont 社の研究所にて、UNI EN ISO 19679 : 2018 の要件に従ってテストされ、(プラスチック材料-海水/砂質堆積物の界面における非変動プラスチック材料の好気性生分解の測定-二酸化炭素分析を使用する方法)、Mater-Bi が海洋微生物にさらされたとき、その分解の程度と速度に関しては他のセルロース系材料と同様の挙動を示すことが実証されている。Mater-Bi は、紙をコントロール材として実施した約一年間の比較試験において、紙と本質的に同レベルの劣化速度であり、粒子のサイズが小さくなると、生分解が起こる速度が速くなることも実証された。また微小化した粒子は、OECD ガイドラインで要求されているように、20~30 日以内に完全に分解されることも証明されており、これにより Novamont 社は Mater-Bi からは非生分解性のマイクロプラスチックが放出されないと結論づけた。

海洋環境での崩壊性については、エルバ島のドイツの海洋生物学研究および文書化機関である Hydra Marine Sciences GmbH にて実施された。

エルバ島のさまざまな沿岸地域から砂質堆積物を採取し、これらを海水のある水族館に導入して、廃棄物が自然に蓄積する傾向がある海底をシミュレートし、Mater-Bi 製の果物/野菜のバッグの崩壊性を確認した。海底の環境にもよるが、Mater-Bi の果物/野菜の袋が完全に崩壊するまでには 4 か月足らずから 1 年強かかることが実証された。なお、コントロールとして比較を行った PE 製の果物/野菜のバッグのサンプルには一切の崩壊は確認されなかった。

生態毒性についてはシエナ大学にて実施された。バイオテストは、Mater-Bi またはセルロースを接種した海底堆積物の抽出物に曝露された生物の 3 つのモデル種で実施された。堆積物を 28°C でインキュベートし、Mater-Bi の分解の明らかな兆候が見られた 6 か月後、および接種されたサンプルが完全に消失した 12 か月後にテストを実施した。研究のためのモデル生物には、単細胞藻類 (*Dunaliella tertiolecta*)、ウニ (*Paracentrotus lividus*)、およびシーバス (*Dicentrarchus labrax*) が選定された。単細胞藻類とウニを使用して、成長阻害と胚毒性の考えられる影響を調査し、幼若シーバス標本をテストして、想定致死量以下の影響を評価した結果、接種された堆積物は対象モデル生物に毒性作用を及ぼさないことが示された。これにより、単細胞藻類の成長、ウニの胚毒性、およびシーバスの酸化ストレスまたは遺伝毒性の変化を引き起こす可能性がある物質が Mater-Bi の分解

によって生成されることがないことが証明された。

 **Research coordinated by Francesco Degli Innocenti, Novamont**  
**Director of Ecology of Products and Environmental Communication**

 The studies on fruit and vegetable bags made of Mater-Bi were divided into 3 areas:

- **intrinsic marine biodegradability** (Novamont laboratories),
- **disintegration in the marine environment** (Hydra)
- **ecotoxicity released into sediment** as a result of biodegradation (University of Siena).

 Results were presented at the Press Conference Marine biodegradation of Mater-Bi.



For further information see:  
<https://view.genial.ly/5d1941f5cbeb880f61ef1c9c>

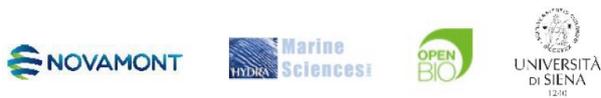
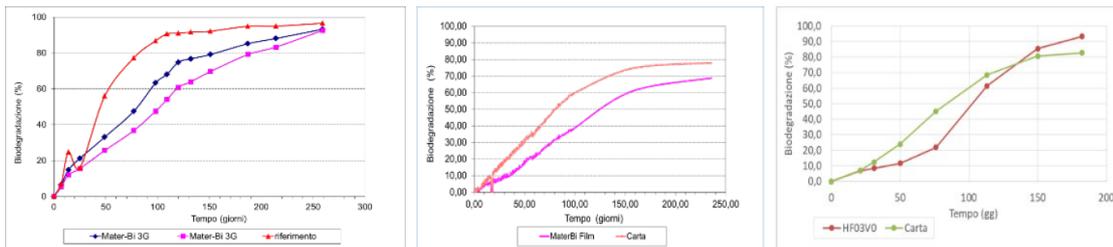


図 1 4 Mater-Bi の海洋分解性研究の概要

 **Mater-Bi** achieves high levels of biodegradation, essentially the same as those reached by the paper used as reference material, over a test period of under one year and that the speed of biodegradation increases the lower the dimensions of the item.

 **Mater-Bi** does not release persistent microplastics, as they completely biodegrade within 20-30 days, a timeframe compatible with the time required by OECD guidelines for "Readily biodegradable" chemicals.

 The biodegradation of **MATER-BI** in the marine environment has been verified through the "Environmental Technology Verification" (ETV).  



\*The materials were analyzed applying new biodegradation tests, internationally standardized, using the UNI EN ISO 19679: 2018 standard methodology  
<https://www.journals.elsevier.com/polymer-degradation-and-stability/>

図 1 5 ラボにおける Mater-Bi の生分解性に関する研究

 Sandy sediment taken from 4 different coastal areas around Elba was introduced into sea water aquariums in order to simulate the seabed

 The investigation showed that **Mater-Bi fruit and vegetable bags**:

- **disappeared completely in a period of time ranging from less than four months to just over a year**, depending on the nature of the seabed under consideration and its chemical/physical and biological characteristics
- samples of similar fruit and vegetable bags made of PE were found to remain fully intact.

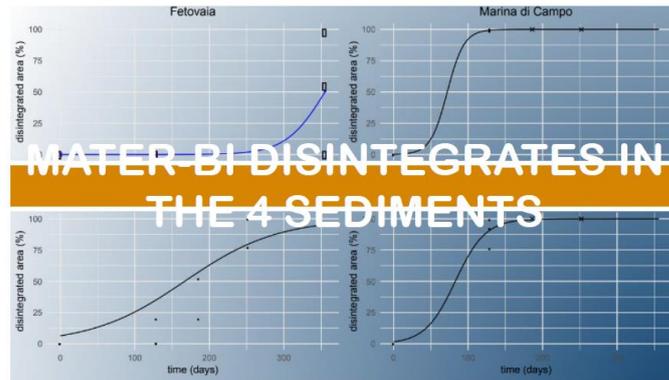


図 1 6 海洋環境における Mater-Bi の崩壊性に関する研究

 The purpose of the investigations was to evaluate a series of **ecotoxicity biotests** on three model species of organisms exposed to extracts ("elutriates") of marine sediment injected with Mater-Bi or with cellulose.

 The sediment samples were incubated at **28°C and tested after 6 months**, when there were clear signs of Mater-Bi's degradation, **and after 12 months**, when the injected samples had completely disappeared.

 Sediment elutriates injected with Mater-Bi for 6 and 12 months revealed that there were **no toxic effects in the model organisms exposed in this study**.



図 1 7 Mater-Bi の生体毒性の研究

図 1 4 ~ 1 7

Novamont, WHAT HAPPEN IF A BAG MADE OF MATER-BI IS NOT RECOVERED BUT IS DISCARDED INTO THE NATURAL ENVIRONMENT?, 2019 (P30-33)

参考文献

Novamont, SCIENTIFIC RESEARCH CONFIRMS THE MARINE BIODEGRADABILITY OF MATER-BI, 2019

[https://www.novamont.com/public/Comunicati/pr\\_NOVAMONT%20MATERBI%20-%20190702.pdf](https://www.novamont.com/public/Comunicati/pr_NOVAMONT%20MATERBI%20-%20190702.pdf)

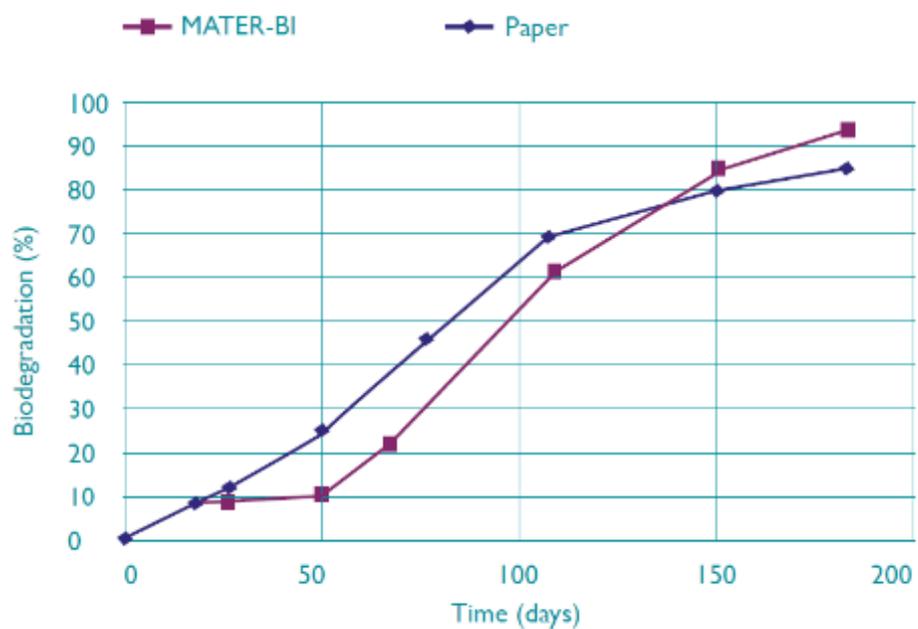


図 1 8 Novamont 社生分解性樹脂 Mater-Bi の海中での分解試験  
MARINE BIODEGRADATION OF MATER-BI

海洋での分解試験において重要な点として、海洋分解試験場所が1つ挙げられる。海上、海中、海底、地域により様々な条件が異なるため、どの条件下でも分解できるように各それぞれの条件で試験をする必要がある。

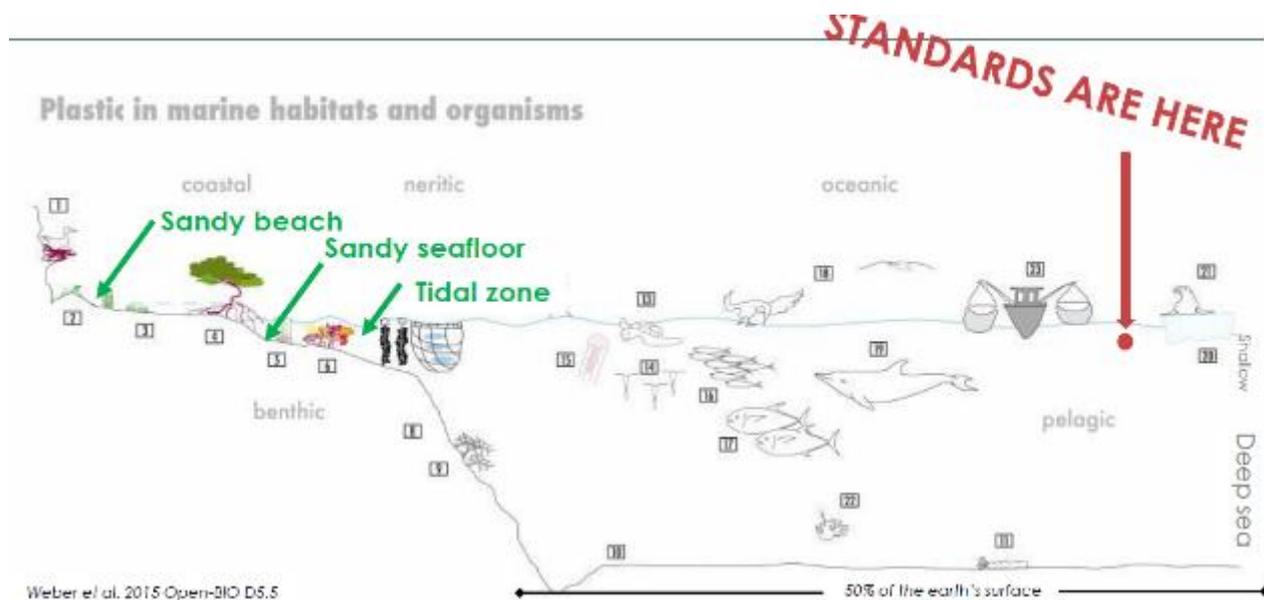
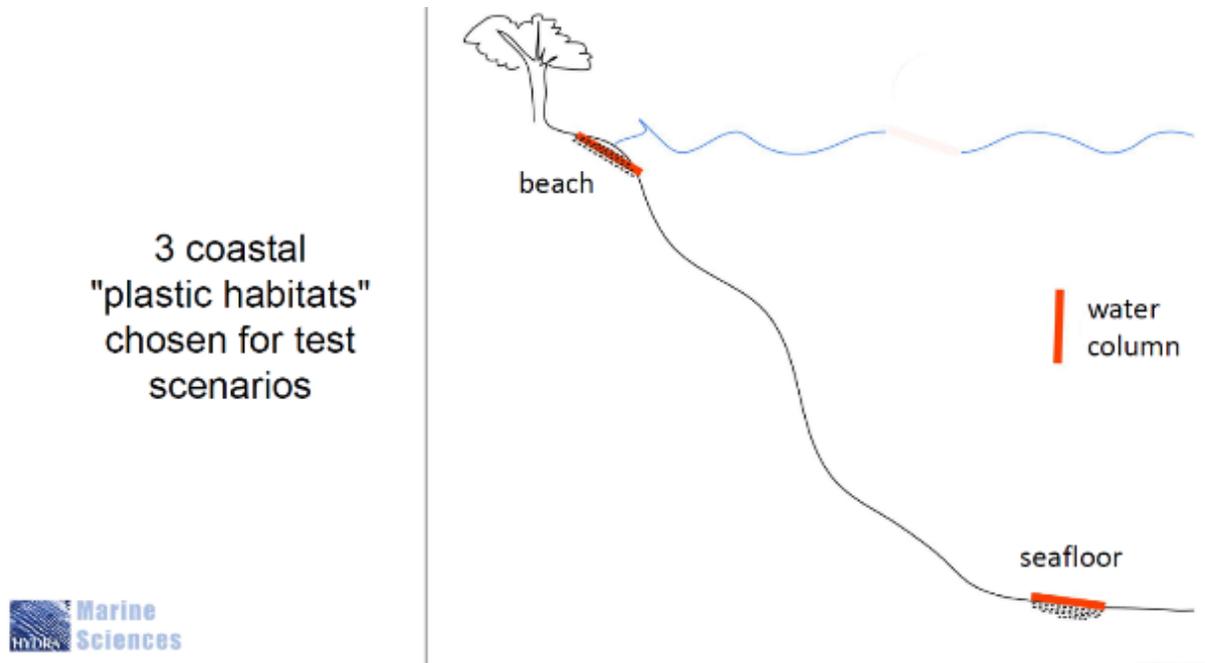


図 1 9 海洋分解試験場所



図 2 0 自然に海岸に流れ着いているプラスチック片

海岸の砂中にプラスチック片が埋まったことを想定した試験。同箇所の砂浜より砂を採取し、その採取した砂を箱に詰め、生分解性プラスチック片を埋め浮かばす。その際の経時劣化、分解速度、分解度合いを検証。



図 2 1 海岸で浮いているプラスチックを想定した際の生分解性試験



図 2 2 海岸で浮いているプラスチックを想定した際の生分解性試験

## 海中試験



図 2 3 海中に沈んでいるプラスチック片

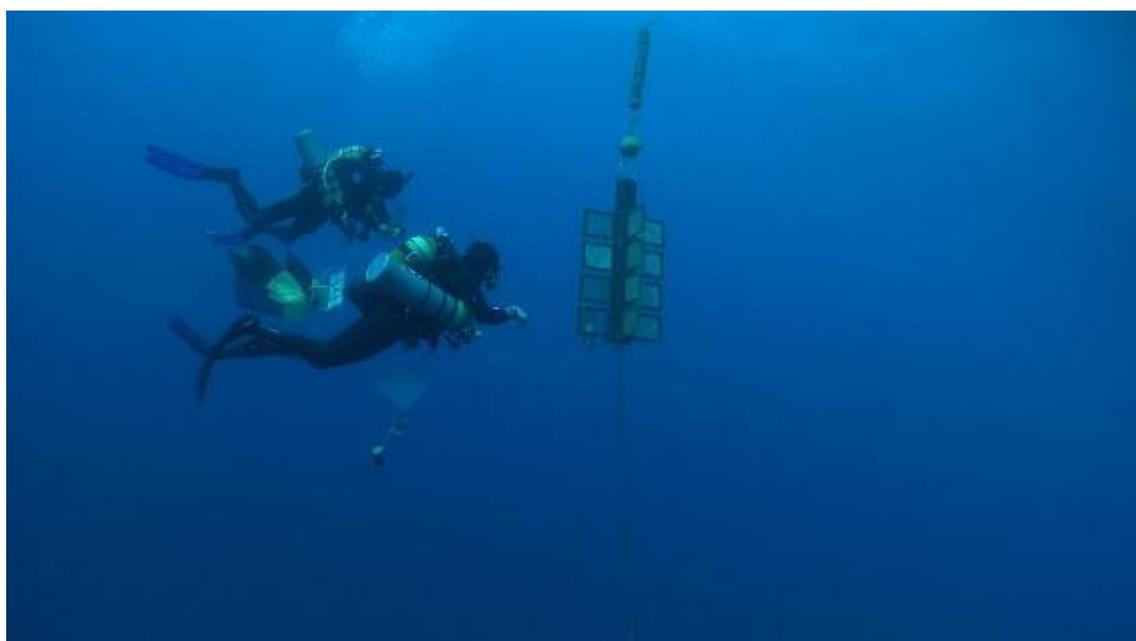


図 2 4 海中に試験サンプルを沈ませ経時劣化、分解速度、分解度合いを検証

## 海底試験



図 2 5 海底沈んでいるプラスチック片



図 2 6 海底に生分解性プラスチック片を沈め経時劣化、分解速度、分解度合いを検証

Mater-Bi 海洋分解試験

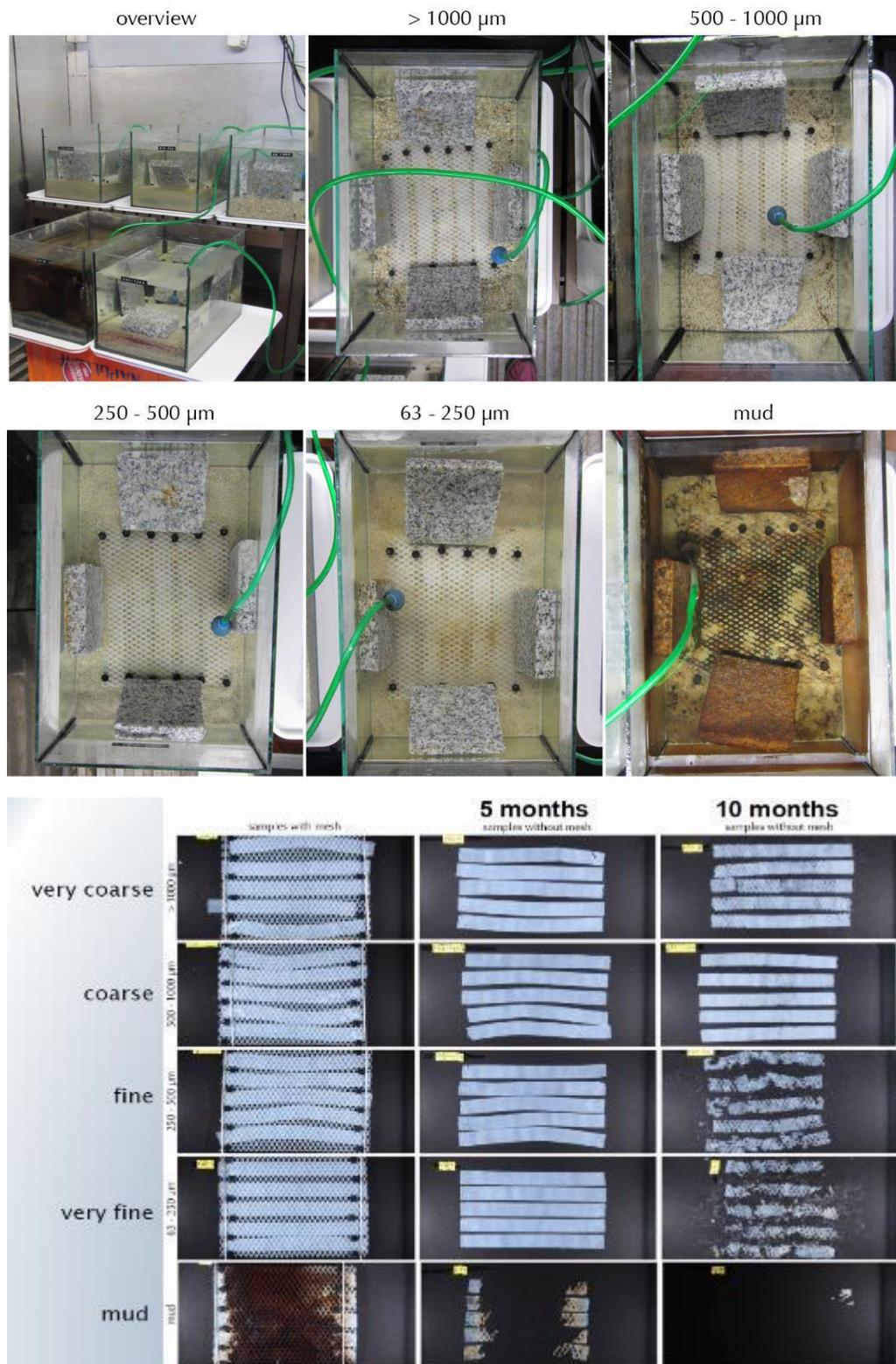


図 2.7 海岸、海中、海底など様々な条件をもとに Mater-Bi の海洋生分解性度合いを検証した際の研究結果



図 2 8 海洋に流出しているペットボトル、レジ袋

## 2.6 海洋分解性に係る国際認証

代替培地の国内での海洋分解性実証試験に向けて、Novamont 社へのヒアリングあるいは、海洋生分解性プラスチック・国際標準化検討ワーキンググループへの参加等により、海洋生分解性の試験方法や条件を示した規格についての情報収集を実施した。

海洋分解のメカニズムは基本的に通常の生分解と同様に、高分子のプラスチックが加水分解によって分子量低下を起こした後、バクテリアの働きにより最終的に水と二酸化炭素へと分解されると考えられているが、未だ解明されていない点が多く、海洋生分解性の基準や評価手法については世界標準が確立されていないのが現状である。



また、生分解・海洋生分解の培地自体が全く新しい技術開発となるため、当然ながらその生分解・海洋生分解性を確認するための試験基準も存在しない。このような状況の中、当事業においてはイタリアあるいはドイツの個別企業がこれまでに ISO に提案を行っているいくつかの有力な規格・試験方法を参考として培地の海洋分解性の実証を行うべく、各規格の評価条件について調査を実施したので以下にその概要をまとめる。

### 1) ISO22403

2020 年に発行された材料の海洋における生分解性の評価方法を規定した新規格。海洋中での海洋微生物の働きによる本質的生分解性の評価方法を規定しており、海水、および堆積物と共に粉末状サンプルを密封し、生分解によって生じる二酸化炭素発生量をラボにて測定する。海洋生分解性プラスチックへの要求性能としては、2 年以内にサンプルに含まれる炭素のうち 90%以上が二酸化炭素に分解されるか、植物繊維の主成分であるセルロースよりも良好な分解性を有することが規定されている。

### 2) ISO22766

領域真沿岸体（海岸線周辺）と亜潮間帯（海岸線から水深 200m まで）2 点を試験地に想定。生分解性ではなく“崩壊性”を評価する。260mm × 200 mm に切り取られた生分解性のフィルムを下記写真のようなプラスチックメッシュでカバーして残留物の面積から崩壊度を測定する。試験期

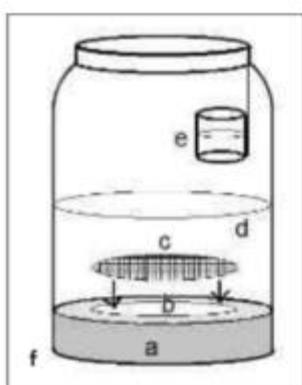
間は最長 3 年だが、崩壊率が 90%以上(残ったフィルムの面積が元のフィルムの 10%未満)になった場合には試験終了とする。

### 3) ISO19679

実験室内で浅海域の海底を想定した試験法で、採取した海水、堆積物およびシート状試験材料を培養瓶に入れ、シートを堆積物に静置し、そこから発生する CO<sub>2</sub> 量を測定して試験材料の生分解度を測定する。試験期間は最長で 2 年間だが、一定レベルの CO<sub>2</sub> 発生が達成され、それ以上の生分解が予想されない場合、テストは完了したとみなされる。

#### ISO/DIS 19679

##### 海水／砂堆積物界面 好氣的生分解 二酸化炭素発生



- a. 砂堆積物(砂浜)
- b. 試料
- c. 試料押さえ(プラスチック網)
- d. 人工海水
- e. 二酸化炭素吸収液
- f. 定温器 20-28 °C

生分解度(%)

$$= \frac{\text{発生した二酸化炭素量}}{\text{理論上の二酸化炭素総量}} \times 100$$

図 2 9 ISO/TC61 (プラスチック) 海水中における生分解度測定方法

1. (JBPA 発行資料 「生分解性プラスチックの現状と課題」 より)

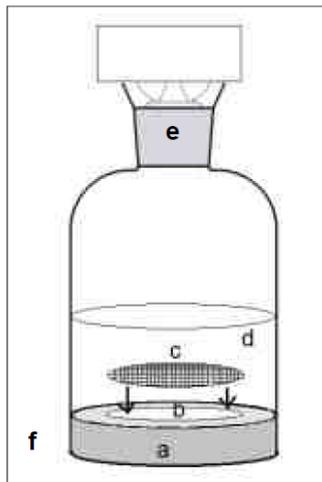
### 4) ISO18830

ISO19679 同様、実験室内で浅海域の海底を想定した試験法であるが、こちらは O<sub>2</sub> の量を測定することにより試験材料の生分解度を測定する。

試験期間は最長で 2 年間だが、一定レベルの O<sub>2</sub> 発生が達成され、それ以上の生分解が予想されない場合、テストは完了したとみなされる

ISO/DIS 18830

海水／砂堆積物界面 好氣的生分解 酸素消費



- a. 砂堆積物(砂浜)
- b. 試料
- c. 試料押さえ(プラスチック網)
- d. 人工海水
- e. BODセンサー
- f. 定温器 20-28 °C

$$\text{生分解度 (\%)} = \frac{\text{測定BOD値}}{\text{理論BOD値}} \times 100$$

BOD: 生物化学的酸素要求量

図 3 0 ISO/TC61 (プラスチック) 海水中における生分解度測定方法

(JBPA 発行資料「生分解性プラスチックの現状と課題」<sup>6)</sup> より)

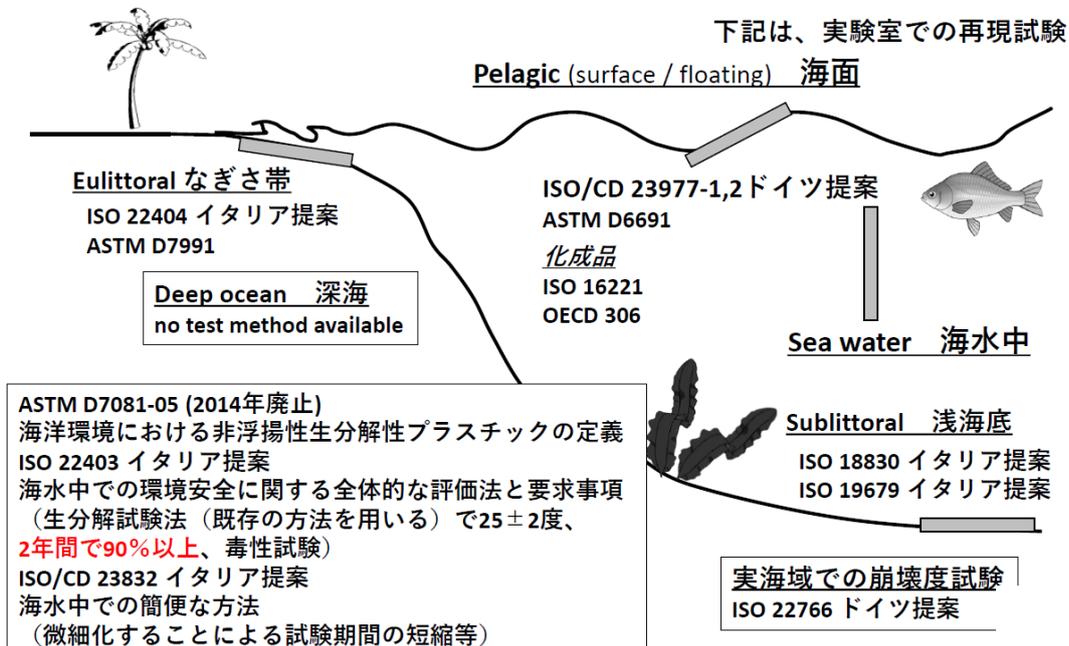


図 3 1 海水中での生分解評価方法

(国立研究開発法人 産業技術総合研究所「バイオプラスチックに係る I S O での議論の状況」

<sup>7)</sup> より)

No	ISO番号	概要	状況	対応JIS
14	ISO 18830	海底砂泥面における非浮揚性プラスチック材料の酸素要求量による好氣的生分解評価法	2016に発行 イタリア提案	
15	ISO 19679	海底砂泥面における非浮揚性プラスチック材料の発生二酸化炭素量による好氣的生分解評価法	2016に発行 イタリア提案	
16	ISO 22403	海の微生物による実験室中温条件下での本来の好氣的生分解度と環境安全の評価 - 試験方法と要求事項 -	2020に発行 イタリア提案	
17	ISO 22404	海底砂泥中の発生二酸化炭素量による好氣的生分解評価法	2019に発行 イタリア提案	
18	ISO 22766	実海域中での崩壊度測定	2020に発行 ドイツ提案	
19	ISO/CD 23517-1,2	生分解性マルチフィルムの定義	2018に提案・審議 中 ドイツ提案 メール審議後、CD 投票へ	
20	ISO/CD 23832	海洋条件下での生分解速度の求め方	2019に提案・審議 中 イタリア提案 CD投票へ	
21	ISO/CD 23977-1,2	海洋浮遊条件下での生分解度の求め方	2019に提案・審議 中 ドイツ提案 CD投票へ	

図 3 3 発行済み、審議中 ISO 規格一覧（主に海洋関連）, 2020

（国立研究開発法人 産業技術総合研究所「バイオプラスチックに係る ISOでの議論の状況」より）

## 引用文献

- Bagheri, A. R., Laforsch, C., Greiner, A., & Agarwal, S. (2017). Fate of so-called biodegradable polymers in seawater and freshwater. *Global Challenges*, 1(4), 1700048.
- De Jong, S. J., Arias, E. R., Rijkers, D. T. S., Van Nostrum, C. F., Kettenes-Van den Bosch, J. J., & Hennink, W. E. (2001). New insights into the hydrolytic degradation of poly (lactic acid): participation of the alcohol terminus. *Polymer*, 42(7), 2795-2802.
- Ikada, E. (1997). Photo-and bio-degradable polyesters. Photodegradation behaviors of aliphatic polyesters. *Journal of Photopolymer Science and Technology*, 10(2), 265-270.
- Kikkawa, Y., Fujita, M., Abe, H., & Doi, Y. (2004). Effect of water on the surface molecular mobility of poly (lactide) thin films: an atomic force microscopy study. *Biomacromolecules*, 5(4), 1187-1193.
- Kimura, T. (2000). High speed degradation of biodegradable plastics by composting of biological wastes: Animal, Agricultural and Food Processing Wastes. In *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Society of ASAE, Iowa, 2000* (pp. 209-213).
- Krasowska, K., Heimowska, A., & Morawska, M. (2016). Environmental degradability of polycaprolactone under natural conditions. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 10, p. 00048). EDP Sciences.
- Nampoothiri, K. M., Nair, N. R., & John, R. P. (2010). An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource technology*, 101(22), 8493-8501.
- Oda, Y., Yonetsu, A., Urakami, T., & Tonomura, K. (2000). Degradation of polylactide by commercial proteases. *Journal of Polymers and the Environment*, 8(1), 29-32.
- Ohkita, T., & Lee, S. H. (2006). Thermal degradation and biodegradability of poly (lactic acid)/corn starch biocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(4), 3009-3017.
- Pranamuda, H., & Tokiwa, Y. (1999). Degradation of poly (L-lactide) by strains belonging to genus *Amycolatopsis*. *Biotechnology Letters*, 21(10), 901-905.
- Qi, X., Ren, Y., & Wang, X. (2017). New advances in the biodegradation of Poly (lactic acid). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 117, 215-223.
- Tokiwa, Y., & Calabia, B. P. (2007). Biodegradability and biodegradation of polyesters. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(4), 259-267.
- Tsuji, H., & Nakahara, K. (2002). Poly (L-lactide). IX. Hydrolysis in acid media. *Journal of Applied Polymer Science*, 86(1), 186-194.
- Tsuji, H., & Suzuyoshi, K. (2002). Environmental degradation of biodegradable polyesters 1. Poly ( $\epsilon$ -caprolactone), poly [(R)-3-hydroxybutyrate], and poly (L-lactide) films in controlled static seawater. *Polymer Degradation and Stability*, 75(2), 347-355.
- Tsuji, H., Echizen, Y., & Nishimura, Y. (2006). Enzymatic degradation of poly (l-lactic acid): Effects of UV irradiation. *Journal of Polymers and the Environment*, 14(3), 239-248.
- Williams, D. F. (1981). Enzymic hydrolysis of polylactic acid. *Engineering in Medicine*, 10(1), 5-7.

### 3 熱可塑化デンブンをを用いたウレタン代替培地の開発

#### 3.1 緒言

本課題では海洋生分解性プラスチックを用いたウレタン代替培地の開発することを目的とする。

レタスなど葉菜類の養液栽培においては、直径1 cm高さ2 cm程度のウレタンあるいはロックウール培地に播種し、育苗ののちに本栽培へ定植する。ウレタン、ロックウールそれぞれにメリットデメリットがある。ロックウールは、1) 親水性があり、養液を吸収しやすい。2) 培地が固く、播種後根が培地の中へ貫入せず、芽生えが持ち上がることがある。3) 適切な深さの穴に播種する必要がある。4) 発がん性はないとされるが、取り扱い時にマスク手袋は必要製造時に接着剤(バインダー)として少量のフェノール樹脂類を使用する、5) リサイクルが可能ではあるが、処理が必要、処理費、運搬費がかかる、リサイクルを行っている企業が販売したロックウールに限るため手軽ではない、などの問題がある[9]、6) 最終的には使用できなくなるため処分の必要があり、多くの国で毎年大量のロックウールが埋め立てられている[10]。

一方ウレタン(軟質ポリウレタンフォーム)は、安価に入手することができるが、1) 親水性が小さく、養液を吸収しにくい。2) 十分に養液を吸わせた後に播種をしないと、発芽不良となる。3) 再利用はできず、産業廃棄物となる。4) 太陽光下(紫外線下)で分解が進む、5) 日本の養液栽培において大量に廃棄される、という問題がある。ネギの養液栽培により発生するウレタン培地廃棄物については、越智ら[11]の研究がある。

種子の発芽、植物の発達のためには、培地が適度の水分および空気を含むこと、また根が貫通して発達できる物理性を有することが求められる。培地全体を水没させることは酸素欠乏を引き起こすため、通常培地の底面側が部分的に培養液にしたされた状態におく。この状態で培養液が表面張力により培地内に保持されている必要がある。ウレタン代替培地は、これらの要件を満たす必要がある。

そのため求められる物性として素材に十分な親水性があり、適度なサイズ間隙をもって表面張力により水を吸い上げ、保持できる性質を持ち合わせたものを開発する。

発泡ウレタンには、硬質ウレタンフォームと軟質ウレタンフォームがあり、ポリウレタンは、液体原料であるポリイソシアネートとジオールを等モルで混合することにより重付加反応により合成される。この反応中に発泡剤を加えることにより気泡を発生させて樹脂を発泡させたものが発泡ポリウレタンである。こうしてできた硬質ポリウレタンフォームは気泡が独立した泡で気体が閉じ込められた構造をしており、断熱性が高い一方、気泡間に隔壁(セル膜)が存在するために通気性や透水性はない。さらに除膜処理により気泡膜を除いたポリウレタンフォームは、通気性、透水性に優れたスポンジなどに用いられる。養液栽培で用いられるポリウレタンフォームは除膜処理の施されたものである。

熱可塑性の生分解性プラスチックは、すでに常温で固化しており、加熱して液状にして高温で気化する発泡剤と混合することによって発泡させることは可能である。しかし、除膜処理は既知の方法では難しい。実際に、予備試験において熱可塑性生分解性プラスチックを加熱により融解し重炭酸ナトリウムを混合させることによって発泡させることはできた。しかし成形物は通気性、透水性は持たなかった。

そこで本課題では、熱可塑性生分解性プラスチックを用いて、ロックウールと同様の繊維状の培地を試作した。さらにこれらにレタスを播種し生育状況をポリウレタンフォーム、ロックウール培地と比較した。

なお、生分解性プラスチックとして、大量に作られており入手も容易であるポリ乳酸 (PLA) と、同様に入手可能であったポリエステル化デンブレンである MaterBi(Novamont)を用いた。PLA は海洋生分解性が比較的遅い種類であるが、生分解性だけでなく培地としての適性も含めて評価するため、PLA も試作素材に含めた。その他の種類の生分解性プラスチックについては入手でき次第、次年度で培地作製を行う予定である。

## 3.2 材料と方法

### 3.2.1 MaterBi のフォーム化に関する検討

ポリエステル化デンブレンである MaterBi(Novamont)を 200℃で熔融し、重炭酸ナトリウムを混合させることによって発泡化させた。これを直ちに冷却してフォーム状の素材とした。

### 3.2.2 PLA および MaterBi の 3 次元構造化（繊維化）による培地の試作

生分解性プラスチックとして、ポリ乳酸 (PLA) とポリエステル化デンブレンである MaterBi(Novamont)を用いた。これらをアルミカップにいれて、ホットプレート(ND-1A,アズワン)に置き、プレート温度ポリ乳酸は 220℃、MaterBi は 200℃で熔融した。熔融した素材表面から割り箸を使って糸状に材料をつり上げ、約 1m の高さでローテータ-を用いて巻き取った。糸の太さは 0.2-0.5mm 程度であった。巻き取ったのち、糸を長さ 20 c m程度に裁断し、ほぐして綿状とした。これを直径 2 c mのネットカップに積み、沸騰水に数秒入れ、直ちに冷水にいれた。この操作によって綿状の素材は円筒状に成形された。

こうしてできた培地およびウレタン、ロックウール培地に水を十分吸わせてレタス ‘グリーンリーフ’ を 1 粒ずつ播種した。その後、NFTプレートにおいてEC 2程度のエコゲリラA, B 等量混合液により養液栽培を行った。生育期間中各株の真上から写真をインターバル撮影して、各培地における生育を比較した。

### 3.3 結果

#### 3.3.1 MaterBi のフォーム化に関する検討

加熱して溶融した MaterBi に重炭酸ナトリウムを加えることにより発泡させた（溶融発泡成形法）。この方法では、MaterBi の粘性変化が温度に強く依存するため気泡壁が安定せず、均質フォームとはならなかった（図 34）。気泡を安定化させるためには、吸熱反応による発泡剤を使うなど低い温度で発泡させる方法もあるが、MaterBi で作製した発泡剤には隔壁が残り（図 34）、成形物は通気性、透水性を持たなかった。隔壁を除去する適当な方法がなく、この方法による培地作成は技術的に難しかった。そこで、次の実験では発泡によらない方法で培地を試作することとした。

#### 3.3.2 ポリ乳酸および MaterBi による繊維質培地の試作

ポリ乳酸および MaterBi を用い、繊維状の培地を試作した。ポリ乳酸は 220℃、MaterBi は 200℃で溶融した。溶けた樹脂は適度に粘性があり、引っ張ることにより糸状に伸ばすことができた。そこで、溶融した樹脂の一部をつまんで引き上げ、糸巻き取り機により巻き取らせることでポリ乳酸、MaterBi いずれも繊維状にすることができた。これらは、冷却後は粘着性を持たないが、100℃程度の温度でも部分的に溶融し、接着させると繊維どうしを溶着させることができた。そこで 0.2-0.5mm 程度の太さに引き伸ばした繊維を裁断しネットカップの型に押し込み、熱湯中に入れると繊維同士が接着するとともに全体に収縮してブロック状の成形体ができる（図 34）。この培地は繊維状であるため十分な空隙が存在し培地として利用可能と思われた。

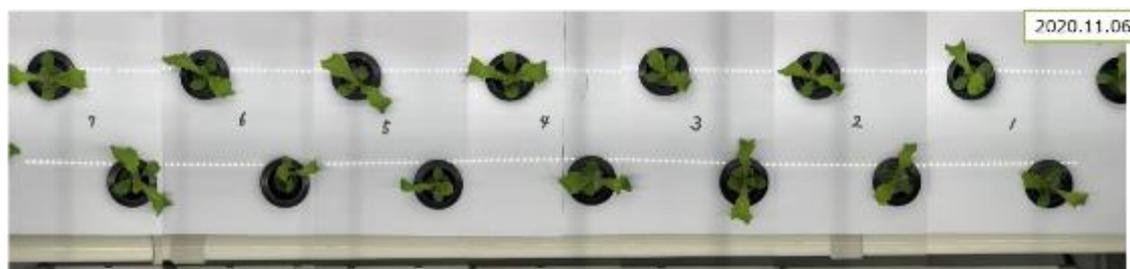
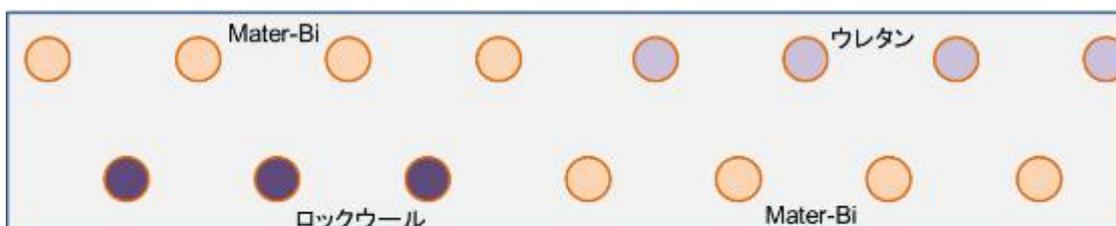
#### 3.3.3 ポリ乳酸培地と MaterBi 培地の比較

ポリ乳酸と MaterBi の繊維を作成したところ、MaterBi の方が、繊維が弾性をもって柔らかかった。一方、ポリ乳酸は弾性の小さい素材であったため、その繊維が太すぎると柔らかい素材とはならず堅く変形しにくい素材となった。そのためポリ乳酸の繊維をつくるために、溶融温度を高めてより細い繊維とした。これらを裁断後型に入れる際、ポリ乳酸の方が膨張しやすく繊維密度の低い培地となりやすかった。培地を型（ネットポット）に入れて熱水に数秒間浸漬すると、繊維が収縮するとともに繊維同士が融着して円筒状に成形することができた。

さらに MaterBi 培地が親水性をもち水分を保持しやすく、播種後の培地の下部のみを養液に浸漬すれば表面張力によりある程度養液を保持でき、また繊維間空間が十分であったため通気性にも優れていた。一方、ポリ乳酸繊維は親水性が低く、また膨張しやすく密度の十分高い培地をつくれなかったため、水を保持しにくい特性があった。そのためポリ乳酸培地は播種後根が伸びて萌芽するまでは、培地全体をほぼ水中に保持する必要があった。根が発達した後は MaterBi と同様に培地の下部のみを養液に浸漬した状態で栽培可能であった。芽生えの水管理は MaterBi 培地のほうが優れていたが、根が発達したあとは、いずれの培地でも生育は良好であった（図 35）。

### 3.3.4 MaterBi 培地によるレタスの栽培

MaterBi 培地を用いた養液栽培におけるレタス‘グリーンリーフ’の生育を、ウレタン培地およびロックウール培地と比較した。その結果、MaterBi 培地による栽培ではウレタン培地、ロックウール培地と比較して全く遜色はなかった。ウレタンでは、播種前の水による膨潤が不十分であると培地による吸水が行われず発芽が阻害されることがあり、一方ロックウールは吸水性にすぐれるが培地の隙間が狭くかたいため、発芽した根が培地中へ伸張できないことがある。MaterBi 培地は吸水性がよく間隙も十分大きかったため、これらの問題は発生しなかった。



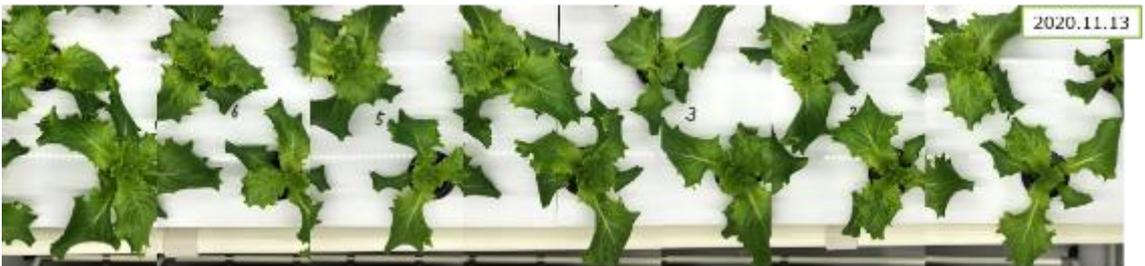
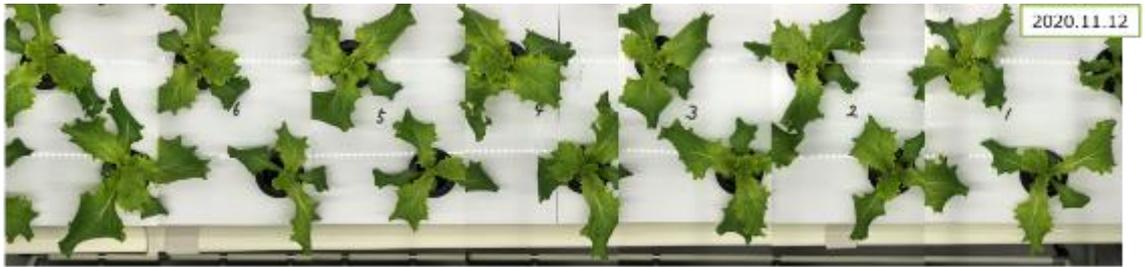
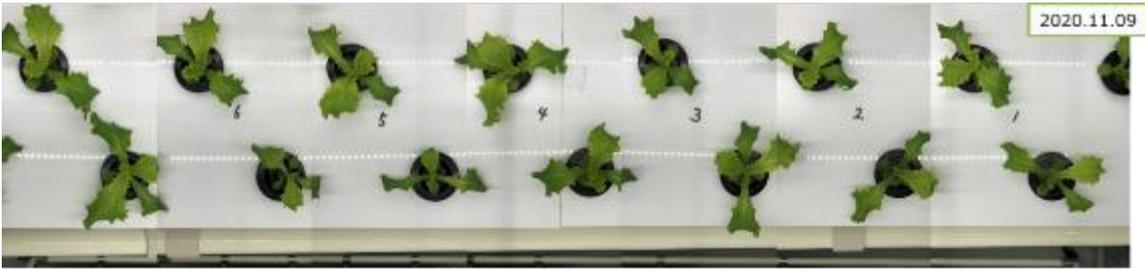




図 3 4 試作した培地(MaterBi)およびウレタン培地、ロックウール培地による養液栽培を行ったレタス‘グリーンリーフ’の生育

### 3.3.5 代替培地の機能性評価

代替培地の機能について、評価項目をリストアップし、以下の通り定めた。

表 8 代替培地の機能性評価項目

保水性	<ul style="list-style-type: none"><li>• 表面張力でどの程度吸い上げるか。→撥水性のある直径2-3cmの透明円筒に培地をつめ、底面から吸水させて何cmまで吸い上げるかを調査する。</li><li>• 膨潤された培地の水がどの程度保持されるか。→1と同じ円筒に培地を入れ培地上部まで膨潤させたのち、水位の低下を調査する。</li></ul>
通気性	<ul style="list-style-type: none"><li>• 培地に播種した種子が水没することなく、培地中に保持されるか。→播種後の根の発達を継続的に観察する。</li></ul>
芽生えの発達	<ul style="list-style-type: none"><li>• 培地の上においた種子から伸びる根が、芽生えを持ち上げることなく培地を貫入することができるか。→発芽の様子を自動撮影により連続的に観察する。自動撮影装置を開発済み。</li><li>• 発芽後、子葉が培地の上に障害なく展開することができるか。→同上</li></ul>
耐久性	<ul style="list-style-type: none"><li>• 保持容器（ネットカップ）がある場合とない場合で、水耕栽培トレーに培地を置き、一定時間水を循環させたのちに培地の乾燥重変化を計測する。</li><li>• 培地が流れないようにネット内に保持した培地を養液栽培中の養液循環トレーに置き、栽培期間中（2週間～5週間）の間に分解されないかを調査する。</li></ul>

## 3.4 考察と今後の課題

### 3.4.1 ウレタン代替培地の試作

本実験では、生分解性プラスチック素材であるポリ乳酸および MaterBi を用いてウレタン代替培地の試作を行った。予備実験により発泡させた生分解性プラスチックでは透水性・通気性に難があったため、ロックウールと類似の繊維を固めた形状の培地を試作した。

ポリ乳酸と MaterBi のいずれでも繊維状にしたのち熱水により成形して培地を作成することができた。特に MaterBi を用いて作成した培地は、吸水性、保水性、通気性、成形のしやすさのいずれもすぐれ、作物栽培培地として優れていた。こうしてできた培地を用いてレタスの養液栽培を行ったところ、ウレタン培地やロックウール培地と比較して同等以上の生育を示した。試作の段階ではあるが、ウレタン代替培地として有望な培地を作成することができた。ただし、今年度試作にもちいた培地はポリ乳酸と MaterBi だけであり、より広範な種類の生分解性プラスチックを用いて試験を行う。

また、現段階の製造方法はラボレベルであり、大量生産のためには製造方法の改良が必要である。本試作品では繊維をまず作り、それを成形して培地としているが、ロックウールのように遠心力を利用して効率的に繊維化する方法などが考えられる。

### 3.4.2 培地の性能評価

現段階では、繊維の太さを制御するまでには至っておらず、均一な品質の培地を作成することが次の課題である。吸水性、保水性・通気性は、繊維の太さ、密度に依存する。十分に均一の特性の培地をもちいて、次年度は培地による吸水性、保水性の定量的な評価(図3.7)を行う予定である。吸水性の評価としては、養液を入れた容器に試験培地を置いて水の吸い上げ高さをする。また保水性の評価として、養液で飽和させて培地をトレイにおいて培地中の養液がどのくらいの期間、液面からどの高さまで保持されるのかを今後測定する。

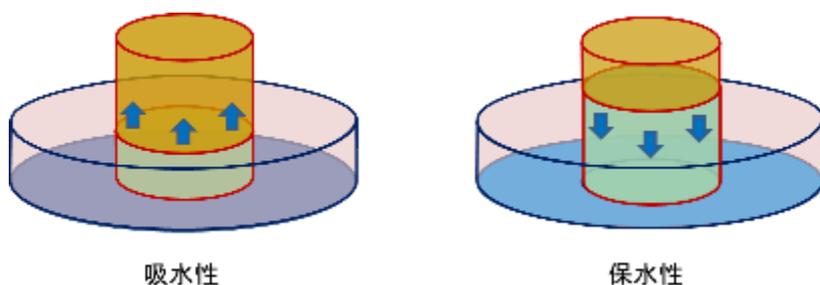


図3.5 吸水性および保水性評価。

### 3.4.3 培地微少片の定量

植物工場から排出される培地小片に関しては、図1に示す方法ではほとんど検出されなかった。次年度は、植物工場に限定せず、通常のハウスにおける養液栽培から排出されるウレタン量を見積もるため、太陽光下あるいはハウス内に一定時間おいたポリウレタンフォームを図1と同様な方法で分画し、ウレタン破片量を推定する計画である。

## 4 生分解性プラスチック候補素材の海洋生分解性ならびに機能性評価

### 4.1 実海洋での海洋崩壊性試験

#### 4.1.1 目的

養液栽培用の培地については、使用後に一体化している根などの植物残渣と手作業で分別し、脱水処理を行う工程が必要となることから、微細片の脱離を完全に防ぐことが不可能で、発生した微細片が海洋など環境中へ流出する可能性が高い。そのため海洋へ流出する前に土壌などの自然環境下や海洋流出後に生分解されるなど環境への負荷が小さい素材へ代替していくことが必要である。

本事業にて開発を行う際には、海洋生分解性を有する樹脂を候補原料としているが、社会実装後、国内に広く代替培地が普及した際に代替培地由来の微細片が実際に流出する可能性がある日本沿岸域における、樹脂原料ならびに代替培地として3次元構造化した際のそれぞれの挙動（分解性）について明らかにすることを目的とした。

このため、関東・沖縄の2か所の海水温域において、当該素材の海洋での分解性確認を試験的に実施すること、当該試験については海洋での挙動について正確な記録を残すため、定点撮影などにより可能な限り進捗状況を可視化する等の措置を講じることとし、以下のような取り組みを行った。

#### 4.1.2 海洋分解性試験の場所選定

海洋生分解性試験の場所選定にあたっては、島国であり、かつ地域ごとに様々な気候特色のある我が国の特性も鑑みて、異なる2条件での比較を検討した。

検討にあたっては、海水温の比較的高いことが想定される沖縄地区と、本州の標準的な地域として関東地区を選定した。

その中で、海洋試験の協力者を探し、協力を得られた地区（沖縄：名護、関東：三浦）をそれぞれ候補地として選定した。

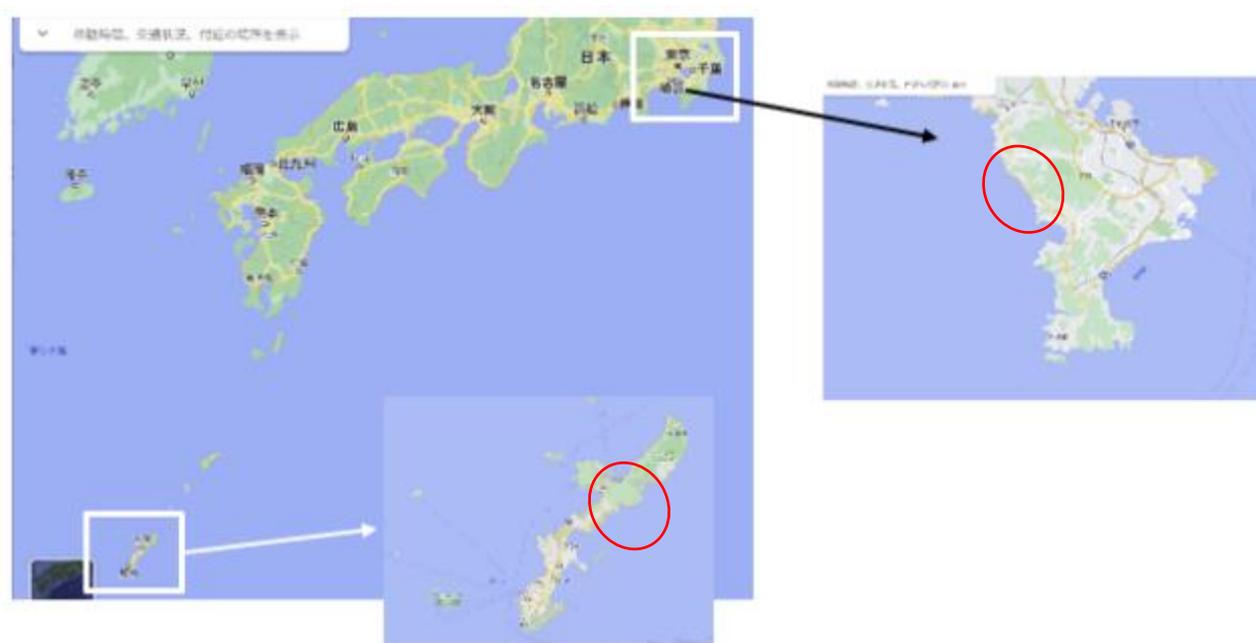


図36 試験場所を選定した関東（三浦地区）と沖縄（名護地区）  
(地図データ google 2021)

#### 4.1.3 試験機器設計

試験方法の検討にあたっては、実海洋での試験は微生物の働きによる生分解が行われたのかを正確に把握することができないため、崩壊性を確認する ISO22766 の試験方法を参考にした。

海洋生分解性素材の海中における崩壊過程をカメラで撮影することにより、実海洋における崩壊性を確認する試験を計画した。装置はメッシュカゴ内に固定したカメラとサンプルからなる(図 10)。この装置が満たすべき要件として、1) 長期間の海中撮影に耐えうる撮影機器、2) 夜間や荒天時の照度確保、3) 撮影記録を残すためのインターネット回線敷設、4) 電源の長期安定確保、5) レンズ部分の清掃など定期的な保守作業体制の構築、があり、現在これらの課題を検討中である。

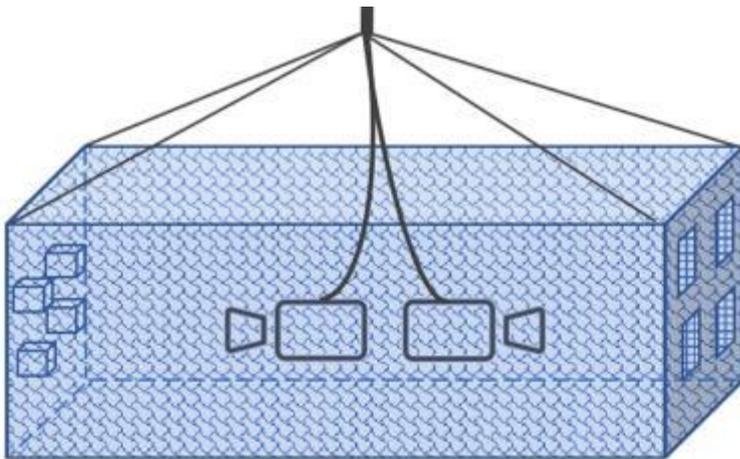


図 3 7 機器略図 メッシュかごの中に培地化した樹脂とフィルム化した樹脂を設置し定点撮影する

## 4.2 実験室における海洋生分解性試験

海洋における素材の崩壊観察においては、当該素材の崩壊性は評価できても、実際に生分解されているのか分からず、微細化した素材が完全に生分解されるのかも確認できない。そこで、実海洋生分解性試験に先立ち、実験室における海洋生分解性評価試験を計画している。試験方法はISO22404 に従って、渚帯の砂および海水を用い容器内での分解にともなう二酸化炭素発生量を定量する方法により行う予定である。

なお、2020年11月実施の当事業における中間報告会にて、審査委員より実験室試験を優先し、その試験結果を踏まえて実海洋での事件実施について場所の選定などの条件設定を再度検討するよう助言を受けたことをふまえ、実験室試験についての検討を行った結果、12月実施の現地報告会にて令和3年度の実験室試験に向けた試験条件の調査や試験場所の調整等を優先することならびに令和2年度には海洋分解性試験を行わないこと、海洋分解性試験は令和3年度実施予定の実験室試験の結果を踏まえて、令和3年度下期以降に実施の必要性及び実施する場合の諸条件の検討を行うことを提案し承認された。

### 4.2.1 今後の課題

実験室試験の検討にあたっては、外部委託した場合の費用や実施期間について情報収集したところ、費用が高額となり実施期間も180日などと長期にわたることから、慎重に候補素材の選定や試験条件の設定について検討する必要がある。令和2年度には候補素材選定・試験条件調査・試験場調査までを行い、実試験は令和3年度の実施を検討する必要がある。実海洋における分解性試験は、実験室試験結果をふまえ、実施場所や条件などの精査をしたうえで実施の必要性含め再検討することとした。

候補素材の選定にあたっては、代替培地の開発ならびに素材のコストや調達容易性の調査結果と連動し、代替培地の原料として選定する可能性の高い素材に絞り込む必要がある。

試験期間が前述の通り180日と長期にわたるため、令和3年度には早急に実験室試験を行う素材の決定をする必要がある。

なお、実海洋においては微生物の働きによる分解が行われたのか、潮汐の影響などによる崩壊・流失なのかが正確に区別できないことや、海水中での長期間にわたる撮影は専用の撮影機器の確保、ダイバーによるカメラの保守（レンズ交換）や、荒天時対応、電源やインターネット回線の設置など、多くの費用要因があることなどから、実施については慎重に検討する必要がある。

## 5 ウレタン代替培地を含む植物残渣の有効利用

### 5.1 背景

本事業の主目的である、海洋や環境中への培地由来ウレタン微細片の放出低減にあたっては、代替培地を社会に広く普及させることが重要である。そのためには、代替培地使用時におけるシステム全体でのコストダウンを図り、水耕栽培事業者・植物工場事業者に対しウレタン培地よりもコスト的なメリットを提示することで導入を促す必要がある。

現在広く流通しているウレタン培地と比べると、開発する代替培地は社会実装当初は生産量が少なく、大量生産によるコストメリットをウレタン培地ほど享受できない。また、原料について現時点では明確に定まっていないものの、海洋生分解性樹脂はウレタンと比べると原料価格が高価であると想定される。それらのデメリット以上のメリットが代替培地には求められる。

ウレタンは熱硬化性樹脂であり廃棄後のリサイクルは困難なため、現行のウレタン培地では、ウレタン培地を利用する溶液栽培事業者が培地とそれに絡み合う廃根を分別し、それぞれ産業廃棄物として廃棄業者に委託するなどして焼却処理されており、事業者の費用負担が発生することに加え処理時には温室効果ガスが排出されているという課題がある。これらの廃培地処理コストが代替培地導入により抑制されれば、そのメリットは大きい。

そこで本課題では、廃培地処理費用を抑制するだけでなく、廃培地販売益が発生する有効利用の仕組みを構築することを目指す。廃培地を焼却処理せずに有効利用できれば温室効果ガス削減にも寄与する。

現行ウレタン培地の流通イメージ

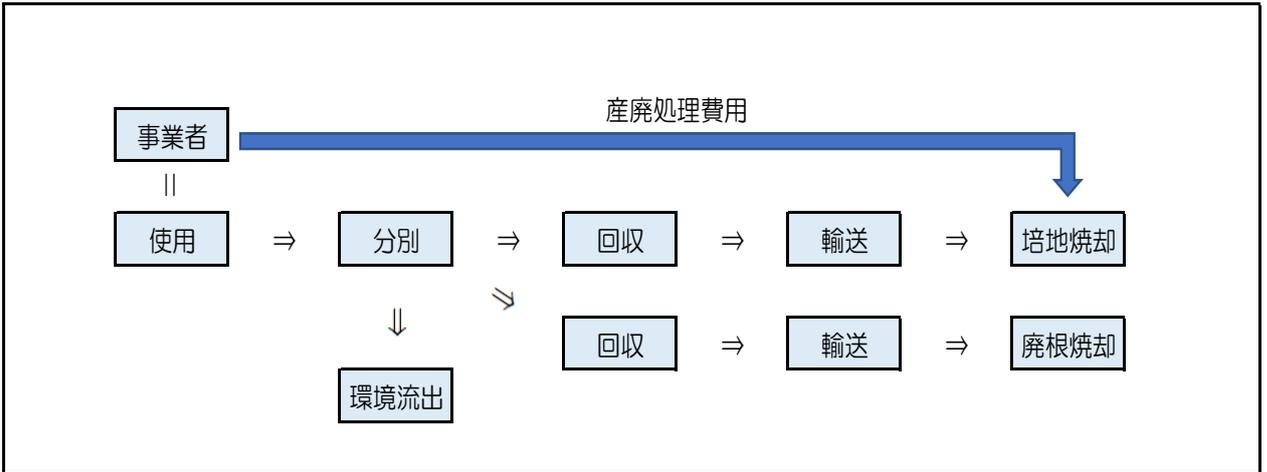


図 3 8 現行ウレタン培地では、処理費用をウレタン利用事業者が負担する

廃培地の有効利用時における流通イメージ

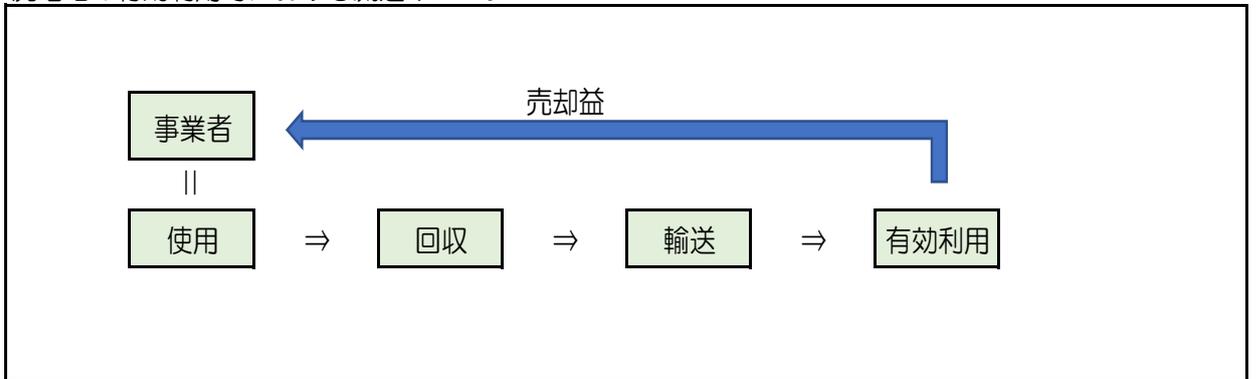


図 3 9 ウレタン代替培地の廃培地を有効利用することで代替培地利用事業者に収益が発生する

## 5.2 ウニの養殖用飼料としての活用

使用済みの代替培地は、コンポスト化もしくは農地還元により処理することを想定しているが、よりトータルパッケージでのコスト削減に寄与できる仕組みの検討として、水耕栽培野菜の根は飼料となり得ることから、廃培地ごと飼料として与えるような有効利用技術を開発し、その効果の実証をはかる。

植物残渣を食用とする生物に関する情報収集の結果、雑食で藻類などをよく食べるナマコとウニが対象となりうる可能性があると考え、養殖の実態について調査を行った。

ナマコは中国で多く消費されており養殖も実施されている実態がある[12]ものの、国内では漁獲が中心であり、養殖は盛んではない。また、中国におけるナマコの養殖については、稚ナマコを育苗し養殖池等に放流、放流後は給餌せずに2～3年程度経過後に漁獲回収しており[12]、飼料としての需要は小さいと判断した。

一方、神奈川県水産技術センターの調査によると、ウニは植物残渣を好物とする例があり[13]、ウニの養殖飼料として植物残渣を活用できる可能性がある。そこで、令和2年度においては国内で食用とされている3種類のウニ（ムラサキウニ・コシダカウニ・シラヒゲウニ）について給餌試験を行った。

### 5.2.1 方法

3種類のウニ（ムラサキウニ・コシダカウニ・シラヒゲウニ）を水槽内で養殖した。神奈川県水産技術センターの調査を参考に、短期間での急激な水温変化を起こさぬようにヒーターにて15~18℃に保ち、直射日光の当たらない室内に水槽を設置した。これらウニに、既存ウレタン培地を用いて栽培したリーフレタスの廃根ならびに出荷時にトリミングされた外葉等の残渣を給餌した。水槽底部に居るウニに効率的に給餌するため、釣り用の重りを各残渣に縛り付けて水槽内に投入した。



図40 ムラサキウニ・コシダカウニ・シラヒゲウニの養殖。水温をヒーターにて15~18℃に保ち、直射日光の当たらない室内に水槽を設置した。※2021年2月設置

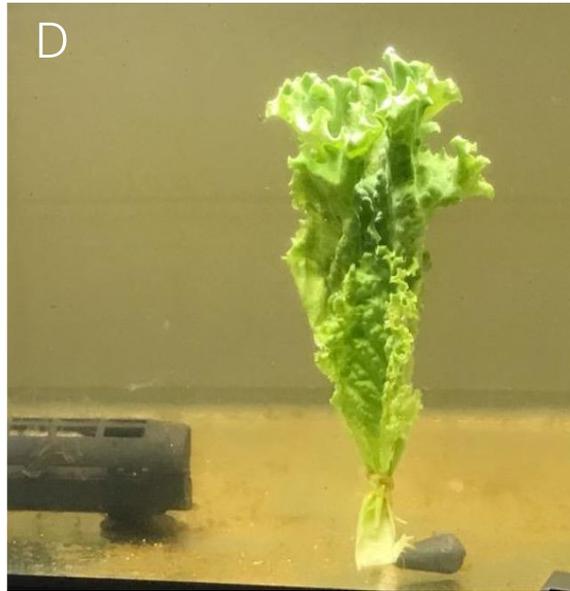
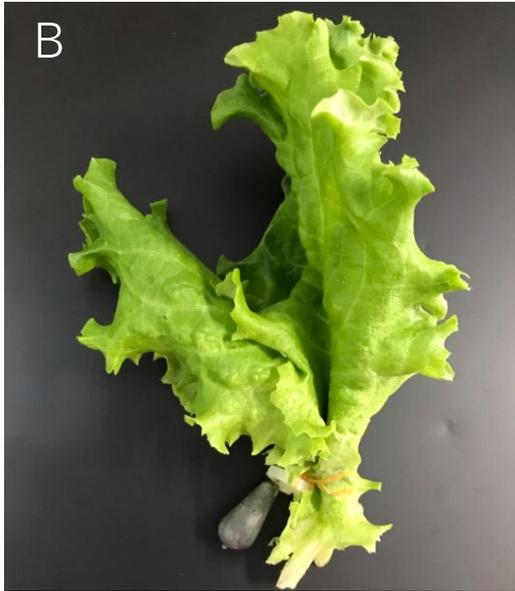
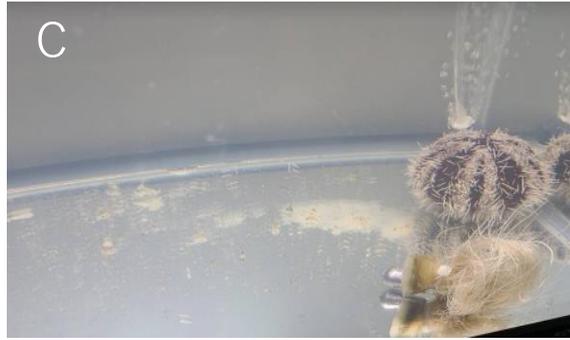


図4-1 培地と一体化した廃根（A，C）およびトリミングされた外葉（B，D）重りを付けて水槽に沈め、ウニへ給餌した。C，Dは水槽に投入した直後の様子。

### 5.3 結果

国内で広く食用されているムラサキウニを含む複数種類のウニにおいて、植物の廃根・外葉を食することを確認できた。このことから、飼料化に向けた前提条件であった、「ウニが餌として認識し食すること」が確認できたため、ウニ養殖用の飼料として活用できる可能性が示された。



図4 2 ムラサキウニの給餌の様子 (左：外葉；右：根)



図 4 3 コシダカウニの給餌の様子 (左 : 外葉 ; 右 : 廃根)

#### 5.4 課題と今後の対応

ウニが植物残渣を食することが確認できた成果をふまえ、来年度は、令和2年度に引き続きウニ等の海洋生物への給餌試験及び食味に関する試験を実施し、下記各課題への対応をふまえて、飼料化技術の事業化に向けた評価を行う。

また、並行して、飼料化以外の廃培地の有効利用技術（堆肥化等）の可能性についても、代替培地の社会実装時のコストメリット提示・ライフサイクル CO2 排出量削減に向けた最適な方法について、飼料化による再利用だけでなく幅広い活用方法の可能性について継続して検討する必要がある。

表9 令和3年度に検討すべき課題とその方向性

課 題	対 応 方 針
海水中で浮く植物残渣の効率的な給餌方法	代替培地開発と連動して試験を行う
飼料化した際の価格競争力の確認	養殖事業者等への聞き取りなどによる、既存飼料のコスト調査を行う
植物残渣を給餌時した際のウニの食味や身入りの確認	目視・試食による官能試験を行うとともに、成分検査等による定量化の方策を検討する
物流などを含めたトータルパッケージでのコスト・CO2 排出量の評価	既存飼料利用時の物流等の調査ならびに代替培地活用時のコスト・CO2 排出量について調査を行う
代替培地自体を食するかの確認	代替培地の開発と連動して給餌試験を行う
リーフレタス以外の品目での残渣の摂食確認	広く溶液栽培がおこなわれている品種を選定し、給餌試験を行う

## 6 ウレタン代替培地利用による生産コスト削減効果

### 6.1 目的

海洋生分解性樹脂は既存ウレタンよりも原料価格が高額になることが想定される。そのため、加工費用などの代替培地の製造コスト並びに代替培地の導入により削減されるコスト（手選別費用や産業廃棄物の収集運搬・処理費用等）や、再利用方法（飼料としての販売等）により見込まれる収益等をそれぞれ明らかにし、本事業全体でのコスト評価を行う。

最終的には、再利用等まで含めたトータルコストが、既存ウレタン培地よりも低減され、社会実装時に水耕栽培事業者・植物工場事業者に対してコストメリットを提供することで迅速な普及に寄与することを目標とする。

### 6.2 方法

#### 6.2.1 コスト評価

コスト評価については、現行のウレタン培地のコストについて、調達コスト・使用時の人件費コスト・収集運搬コスト・廃棄コストに分類してそれぞれ調査をおこなう。

その後、代替培地の開発の進捗と合わせ、候補原料の原料価格調査・候補原料の加工費用調査をおこない、廃培地の再利用などのシステムを含めた収集運搬コスト・再利用時のコストまでを考慮した代替培地のコスト評価をおこなう。

令和2年度には、上記に向けたスケジュール表を作成するとともに、既存ウレタン培地のコスト調査を実施した。令和3年度以降には、スケジュール表に基づき必要な項目についてそれぞれ調査・評価をおこない、ウレタン培地と比べた際の代替培地のコストについて評価をおこなう。

### 6.2.2 コスト削減策

コスト削減策については、コスト評価をふまえて、令和4年度以降にスケジュール作成含め具体的に実施する。

### 6.3 結果

代替培地のコスト評価に向けた基礎情報収集として令和2年度に実施したウレタン培地使用時の調達から廃棄処理までのトータルコストは、1個当たり約5.6円と試算された。

【現行ウレタン培地のコストについて（関連会社工場実績値から算出）】

- ・調達価格 約0.3円/個
- ・分別作業人件費 5.0円（収穫作業除く）
- ・収集運搬および廃棄コスト 約0.3円/個

（ウレタン培地約0.15円 + 廃根約0.15円/株） ※産廃業者委託キロ単価より

算出

- ・その他間接コスト（作業スペース確保、労働力確保、水光熱費、衛生品費）

計 5.6円/個（および間接コスト）

また、コスト評価スケジュールについて以下の通り作成した。

【コスト評価スケジュール】

	2020年度 第4四半期	2021年度 第1四半期	2021年度 第2四半期	2021年度 第3四半期	2021年度 第4四半期
ウレタン培地のコスト調査	➡				
候補原料の原料価格調査		➡			
候補原料の加工費用調査				➡	
代替培地のコスト評価					➡

図 4 4 検討項目ごとの予定スケジュール

## 6.4 考察

令和 2 年度はウレタン培地のコスト調査とコスト評価スケジュールの作成を行った。

最終的には、再利用等まで含めたトータルコストが、既存ウレタン培地よりも低減され、社会実装時に水耕栽培事業者・植物工場事業者に対してコストメリットを提供することで迅速な普及に寄与することを目標とし、令和 3 年度以降に代替培地に係るコスト評価を、令和 4 年度にコスト削減策を作成することとする。

社会実装時に向けたコスト削減の方策としては、分別作業や廃棄処理コストの削減に加え、コストを意識した素材選定ならびに加工方法の検討、培地 1 つ当たりに使用する素材量の調整などを行うこととする。

この際に、候補原料の原料価格調査・加工費用調査については、開発段階と大量生産時では数値が大きく変わる可能性があるため、留意して調査を行う。

また、代替培地の原料の選定に対し、原料価格調査結果をフィードバックする必要がある。

## 7 ウレタン代替培地利用による温室効果ガス削減効果

### 7.1 全体目標

本事業の最終年度（令和 4 年度）において、海洋生分解性を有する澱粉ポリエステル樹脂等の樹脂を用いて野菜等の水耕栽培用の培地を新たに開発し、現在、広く用いられているウレタン製の培地を代替することによるライフサイクル（原料調達・製造・使用・廃棄）での温室効果ガス削減効果を定量化し、その有効性を評価することを最終目標とする。

なお、CO<sub>2</sub>については、国内・海外にバウンダリを分け、また、エネルギー起源 CO<sub>2</sub> と非エネルギー起源 CO<sub>2</sub> に分けて評価が行えるように基礎データを整理することとする。

### 7.2 今年度の検討の内容の概要

令和 2 年度は、海洋生分解性を有する樹脂を用いた代替培地のシナリオ及びシステム境界を検討し、ライフサイクルフローを定めた。また、バックグラウンドデータの引用先並びにフォアグラウンドデータの収集方針を検討した。

## 7.3 検討結果

### 7.3.1 シナリオの検討結果

本事業は、これまで手作業で行っていた廃培地からの廃根の分離及び産業廃棄物としての廃根・廃スポンジの廃棄（焼却）を、廃培地のまま有効利用することで、処理の手間・処理費用・処理時間等を短縮し、事業の効率性・収益性を高めるとともに、CO<sub>2</sub>排出量を削減することを目標としている。また、あわせて、廃培地を起源として環境中に流出するプラスチック小片が海洋プラスチック問題の要因の一つになっている問題に対して、培地に海洋生分解性を有する樹脂を用いることで、海洋に流出した後に海中で生分解させ、その環境負荷を解消することを目的としている。

廃培地の有効利用シナリオについては、いくつかの方法が考えられるが、今年度は以下の2通りのシナリオを検討した。

- ・【廃培地有効利用シナリオ1】 廃培地ごと飼料としてウニ等の食用海生生物に与える。
- ・【廃培地有効利用シナリオ2】 廃培地ごとコンポスト化施設でコンポストの原料として利用する。

有効利用後の処理については、以下のとおり検討した。

表 10 廃培地の有効利用シナリオの検討結果

シナリオ	有効利用方法	その後の処理
ベースライン	有効利用なし	手作業で廃培地から廃根を分離し、産業廃棄物として処理する
シナリオ1	廃培地ごと飼料としてウニ・ナマコ等の食用海生生物に与える	給餌後に回収して隣接する畑地等で生分解させる
シナリオ2	廃培地ごとコンポスト化施設でコンポスト原料として利用する	なし

### 7.3.2 代替培地に使用する樹脂の想定（評価対象製品の想定）

評価対象製品として「海洋生分解性を有する樹脂」を想定し、3種類の樹脂（Mater-Bi、CJ-PHA、Biofade）をリストアップした。これらの樹脂を用いた代替培地の開発は来年度に本格的に実施するため、具体的なライフサイクルインベントリ（LCI）データの取得は来年に行うこととするが、CJ-PHA及びBiofadeについては、論文レビューの結果、LCIデータを確認することができなかったため、データを収集する際は、来年度、製造企業への情報提供依頼が必要となることが分かった。

表 11 樹脂別の LCI データ（バックグラウンドデータ）入手の見込み

樹脂	LCI データの入手方法
Mater-Bi	本事業の共同実施者である GSI クレオス（Matar-Bi 国内代理店）を経由して入手
CJ-PHA	既存の LCI データ無し
Biofade	既存の LCI データ無し

### 7.3.3 機能単位の想定

ライフサイクルでの温室効果ガス削減効果を算定する際の機能単位として、以下の3ケースを想定した。

- ・プランツラボラトリーが有する植物工場
- ・全国の国内完全人工光型植物工場
- ・日本全国のウレタンスポンジを使用する水耕栽培

表 1 2 機能単位の検討結果

ケース	機能単位	数量等
プランツラボラトリーのみ	プランツラボラトリーが各地に有する植物工場におけるスポンジ状水耕栽培用培地の年間使用量	(秘匿情報)
植物工場全体	全国の国内完全人工光型植物工場におけるスポンジ状水耕栽培用培地の年間使用量	年間約 50 トン程度
水耕栽培全体	全国の水耕栽培におけるスポンジ状水耕栽培用培地の年間使用量	来年度検討

### 7.3.4 システム境界の検討結果

以上の想定・検討結果に基づき検討したベースライン及び評価対象製品のシステム境界を以下に示す。

#### 7.3.4.1 ベースラインのシステム境界

使用済みのウレタン製水耕栽培培地は植物の根が複雑に絡み込んでおり、また、水分を含むため、マテリアル・ケミカルリサイクルを行うことは困難であり、廃棄のみを想定した。

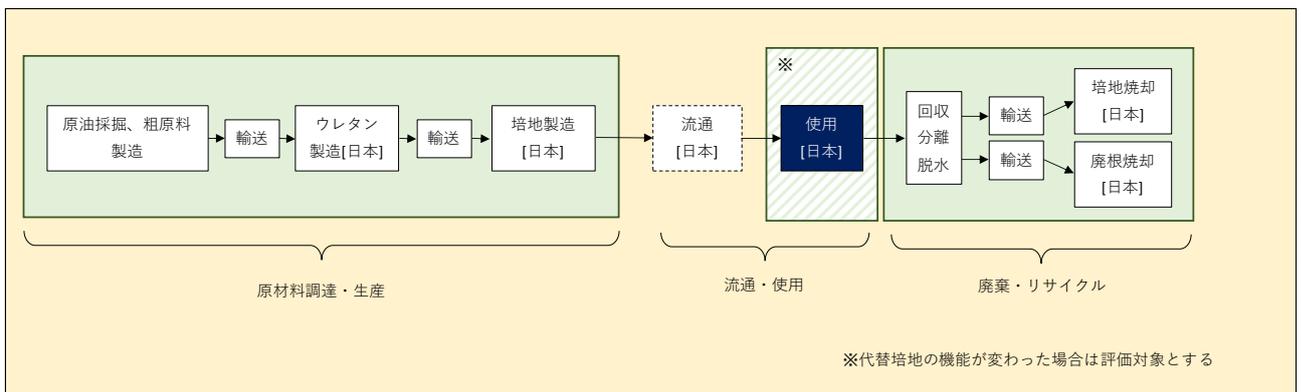


図 4 5 ベースラインのシステム境界の検討結果

### 7.3.4.2 評価対象製品のシステム境界

評価対象製品である海洋生分解性樹脂として **Mater-Bi** を選択し（イタリアで樹脂を製造して日本に輸入）、廃培地有効利用シナリオとしてシナリオ 1 を選択した場合のシステム境界を以下に示す。なお、流通・使用段階については、ベースラインと評価対象製品で同一のフローと見なしたが、来年度に行う代替培地の開発の結果、培地の機能に変化があった場合（例：代替培地の方がウレタン培地よりも植物生育性が高い等）は、培地の使用段階も評価対象範囲に含めることとする。

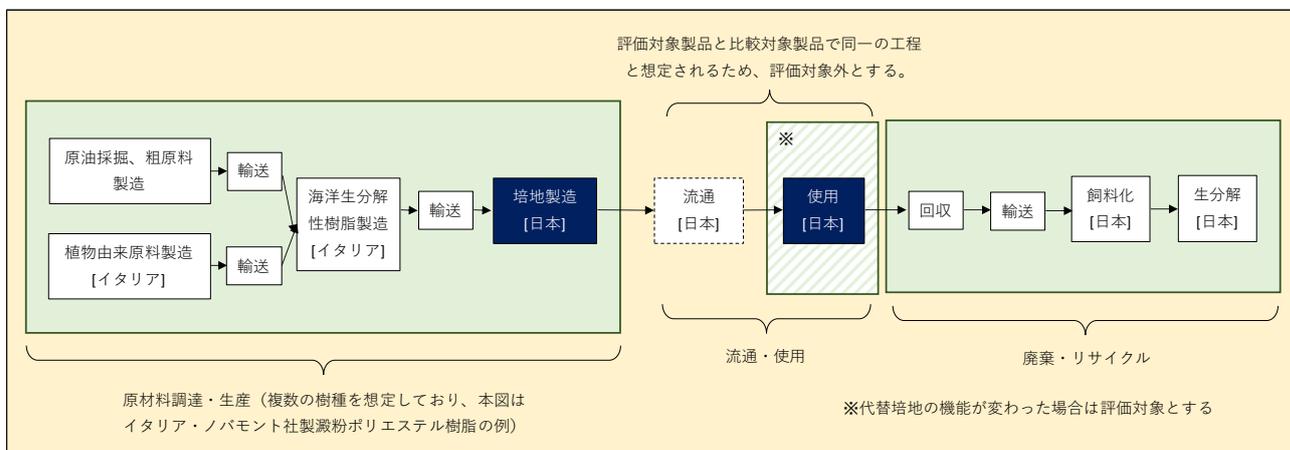


図 4 6 評価対象製品のシステム境界の検討結果（樹脂 A・シナリオ 1 の例）

フォアグラウンドデータ（代替培地製造過程での CO<sub>2</sub> 排出データ）については、来年度中に検討する代替培地の具体的な製造方法に係る検討結果を踏まえて検討する。

### 7.3.5 CO<sub>2</sub> 削減効果の試算結果

現時点では具体的なライフサイクルでの CO<sub>2</sub> 削減効果の検討は行えないため、データ・情報を入手可能な範囲で行った CO<sub>2</sub> 削減効果の試算結果を以下のとおり示す。

#### 7.3.5.1 エネルギー起源 CO<sub>2</sub> の見通し

ベースラインにおける産業廃棄物（廃根及び廃根分離後の廃ウレタン）の収集運搬が不要となることによる CO<sub>2</sub> 削減効果（全国の水耕栽培を対象）：約 4 トン CO<sub>2</sub>/年

<算定根拠>

全国の国内完全人工光型植物工場の市場規模：277 億円（2022 年予測値）

当該植物工場におけるウレタン使用量：約 50 トン/年（野菜を単価 150 円とし、株数の 1.5 倍のウレタン培地を使用、培地サイズを 24mm として試算）

当該植物工場からの産業廃棄物排出量：約 550 トン/年（廃根及び水分を加味した推計値）

改良トンキロ法により、積載量 1.5 トン車（中央値）で輸送距離を 20km として軽油削減効果を算定

### 7.3.5.2 非エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 削減の見通し

ベースラインにおける廃ウレタンの焼却を回避することによる CO<sub>2</sub> 削減効果（全国の水耕栽培を対象）：約 75 トン CO<sub>2</sub>/年

<算定根拠>

廃ウレタン培地（乾燥ベース）焼却量を 50 トン/と想定

ウレタン焼却に伴う CO<sub>2</sub> 排出係数を 1,500kgCO<sub>2</sub>/トンと設定し、焼却回避による CO<sub>2</sub> 削減効果を算定

### 7.3.5.3 CO<sub>2</sub> 削減効果（試算値）まとめ

表 1 3 CO<sub>2</sub> 削減効果の試算結果

削減対象 温室効果ガス	CO <sub>2</sub> 削減効果 (tCO <sub>2</sub> /年)
エネルギー起源 CO <sub>2</sub>	4
非エネルギー起源 CO <sub>2</sub>	75
合計	80

### 7.3.6 来年度の検討事項

今年度の検討を踏まえ、来年度は以下の検討を進める。

廃培地の有効シナリオの精査

代替培地の具体的な製造方法の検討結果を踏まえたフォアグラウンドデータ収集方法の検討

代替培地の樹種を踏まえたバックグラウンドデータ収集方法の検討

## 8 まとめと今後の課題

### 8.1 生分解性プラスチックを用いたウレタン代替培地の開発

海洋生分解性を有する素材を加工し、水耕栽培に適した物理的特性をもつ代替培地を開発し、開発した代替培地が水耕栽培により適した物性となるよう、素材やその加工方法を改良すること目的とした。

令和2年度は、海洋生分解性を有する素材に関する情報収集を行うとともに、代替培地開発の基礎技術として、当該素材を熱で融解させ糸状に引き伸ばし型に入れ3次元構造する方法を確立した。

令和3年度以降に向けては、候補材における糸の太さや密度を調節し、植物生育に最適な構造を開発することが課題となる。

### 8.2 生分解性プラスチック候補素材の海洋生分解性評価ならびに代替培地の機能性評価

海洋生分解性評価については、代替培地の海洋生分解性について証明することを目的とした。

令和2年度は、海洋生分解性を有する素材に関する情報収集を行うとともに、代替培地の海洋生分解性の確認試験について、関東・沖縄の2か所の海水温域において、海洋での生分解性試験を試験的に実施することを計画し現地調査などを実施したが、本事業の中間報告会等における評価委員の指摘・指導をふまえ実験室試験を優先することとしたため、試験実施を令和3年度以降に延期している。

令和3年度以降に向けては、実験室試験の実施並びにその結果を踏まえた実海洋試験の再検討が課題となる。

また代替培地の機能性については、代替培地の性能を評価するための項目をリストアップし、それらを用いた代替培地の性能評価方法を開発し、当該性能評価方法を用いて、自社の植物工場等において代替培地による植物生育を行い、開発状況の検討にフィードバックすることで効率的な事業の進捗に寄与することを目的とした。

令和2年度は、上記に示す代替培地の性能評価方法の確立に向けた検討を行い、性能評価に必要な要素案を選定するとともに、植物工場から排出される培地微小片の定量化方法に関する検討を実施した。

令和3年度以降に向けては、実際に植物工場からの培地微小片の定量化や評価項目をもちいて代替培地の開発状況に結果をフィードバックしていくことが課題となる。

### 8.3 ウレタン代替培地を含む植物残渣の有効利用

現行ウレタン培地では行われていない廃培地を含む植物残渣の有効利用方法を確立すること

で、代替培地導入時の溶液栽培事業者のトータルコスト削減ならびに循環型社会の構築への寄与を実現し、社会実装時の速やかな普及・代替を図ることを目的とした

令和2年度は、文献調査等により養殖における飼料利用を想定し、植物残渣を食用する生物に関する情報を収集した結果、植物残渣を好物とする例が報告されているウニ類が、養殖の規模や効果において最適であると推察し、数種類のウニを入手し試験的に植物残渣を与え、当該生物における廃培地の飼料利用に関する適性があることを確認した。

令和3年度以降に向けては、物流なども含めたトータルパッケージとして、飼料利用の実現性について評価するとともに、堆肥化など他の用途展開についても検討する必要がある。

#### 8.4 ウレタン代替培地利用による生産コスト削減

代替培地の製造コスト並びに代替培地の導入により削減されるコスト（手選別費用や産業廃棄物の収集運搬・処理費用等）や、飼料などの再利用用途としての販売により見込まれる収益等をそれぞれ明らかにし、本事業全体でのコスト評価を行うこと。また、本事業全体でのコストが削減されるような方策を検討することを目的とする。

令和2年度は、コスト評価を行うための基礎情報として、現行のウレタン培地の調達コストや使用時の人件費コストなどの情報を収集し、コスト削減に向けた方策として、人件費・収集運搬費・廃棄費の削減並びに再利用による販売益などを策定した。あわせて、今後のコスト評価・コスト削減に向けたスケジュールを制定した。

令和3年度以降に向けては、廃培地の有効利用技術の確立と連動して代替培地利用時の、調達以外も含めたトータルコストについて検証し、市場に対しウレタン培地よりも導入メリットのある提供方法を検討する必要がある。

#### 8.5 ウレタン代替培地利用による温室効果ガス削減効果

本事業の最終年度（令和4年度）において、海洋生分解性を有する澱粉ポリエステル樹脂等の樹脂を用いて野菜等の水耕栽培用の培地を新たに開発し、現在、広く用いられているウレタン製の培地を代替することによるライフサイクル（原料調達・製造・使用・廃棄）での温室効果ガス削減効果を定量化し、その有効性を評価することを最終目標とする。

令和2年度は、海洋生分解性を有する樹脂を用いた代替培地のシナリオ及びシステム境界を検討し、ライフサイクルフローを定めた。また、バックグラウンドデータの引用先並びにフォアグラウンドデータの収集方針を検討した。

今年度の検討を踏まえ、来年度は以下の検討を進める。

- ・廃培地の有効シナリオの精査

- ・代替培地の具体的な製造方法の検討結果を踏まえたフォアグラウンドデータ収集方法の検討
- ・代替培地の樹種を踏まえたバックグラウンドデータ収集方法の検討

以上

#### 引用文献

- 1)農林水産省,“農業分野から排出されるプラスチックをめぐる情勢,” 2019. [オンライン]. Available: [https://www.maff.go.jp/j/seisan/pura-jun/pdf/haipura\\_josei.pdf](https://www.maff.go.jp/j/seisan/pura-jun/pdf/haipura_josei.pdf).
- 2)農林水産省,“農林業センサス、2020年,” [オンライン].
- 3)農林水産省,“作物統計調査,” 2019. [オンライン].
- 4)矢野経済研究所,“養液栽培システム市場に関する調査,” 2020. [オンライン]. Available: [https://www.yano.co.jp/press-release/show/press\\_id/2552](https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/2552) .
- 5)N. Reddy , D. M. Croh, “Effect of Composted Greenwaste and Rockwool on Plant Growth of Okra, Tomato, and Chili Peppers.,” *Compost Science & Utilization*, 第 巻 26, 第 4, pp. 217-224., 2018.
- 6)日本貿易振興機構,“EU 理事会、使い捨てプラスチック製品禁止法案を採択,” 2019. [オンライン]. Available: <https://www.jetro.go.jp/biznews/2019/05/53834b4b467aaafb.html>.
- 7) プラスチックを取り巻く国内外の状況 , 2019. [ オンライン ]. Available:<http://www.env.go.jp/council/03recycle/y0312-05/s1.pdf>
- 8) 環境省,“海洋プラスチックごみに関する状況,” 2019. [オンライン]. Available: [https://www.env.go.jp/water/marine\\_litter/mp11-d2.pdf](https://www.env.go.jp/water/marine_litter/mp11-d2.pdf).
- 9) 安. 中野明正,“植物工場における残渣利用の展望,” *農業および園芸*, 第 巻 9110, pp. 997-1004, 2016.
- 10) N. Reddy , D. M. Croh, “Effect of Composted Greenwaste and Rockwool on Plant Growth of Okra, Tomato, and Chili Peppers.,” *Compost Science & Utilization*, 第 巻 26, 第 4, pp. 217-224., 2018.
- 11) 越智資泰, 岡野仁, 中村幸司 , ほか, “ネギの湛液型水耕栽培における再生利用可能な培地とその利用法の検討,” *広島総研技センター研報*, 第 巻 88, p. 15–20, 2012.
- 12)北海道水産試験場,“中国のナマコ養殖事情(報告),” 2007. [オンライン]. Available: <https://www.hro.or.jp/list/fisheries/marine/att/75-03.pdf>
- 13) 神奈川県水産技術センター,“キャベツウニについて,” [オンライン]. Available: 2020. <https://www.pref.kanagawa.jp/docs/mx7/kikaku/kyabetsuuni.html>