

【課題名】藻類バイオマスの効率生産と高機能性プラスチック化による協働低炭素化技術開発(委託)

【代表者】筑波大学 渡邊 信

【実施年度】2017～2019年度

(1)課題概要

①【課題の概要・目的】

セメント製造工程から発生する高濃度CO₂を利用して、2種類の藻類(モノラフィディウムとユーグレナ)を高効率に培養し、藻類から回収した有機有価物(長鎖成分(脂質)とパラミロン(β-1,3グルカン))を使って高機能なバイオプラスチック素材(BM)をエネルギー消費が少なく、かつ安定的に製造する技術を開発して社会実装に誘導することを目的とする。そのため本事業では、社会実装の1/10スケールでの生産性の実証を行う。また、製造に関わる全工程でのCO₂排出量を1.36kgCO₂/kgBM*に削減することを目指す(*代替対象の高機能な石油系プラスチック素材(PET)の約50%)。

②【技術開発の内容】

A1.【高濃度CO₂を利用した藻類の生産性向上技術の開発】

社会実装の1/10スケールとして、年間約2トンの藻類バイオマスの生産技術(2種の藻類に対して)の開発を目的とした。半閉鎖系の透明プラスチックタンクを使い、高濃度CO₂、太陽光、下水・汚泥を利用する藻類培養システムを検証した。これを基に、複数の2m³培養タンクを用い、セメント工場の実排ガス、実下水・汚泥等の利用に関する関連設備と統合した藻類バイオマス生産システムを構築し、藻類生産性の目標を達成した(生産性:0.15g/L/日、年間2トン)。

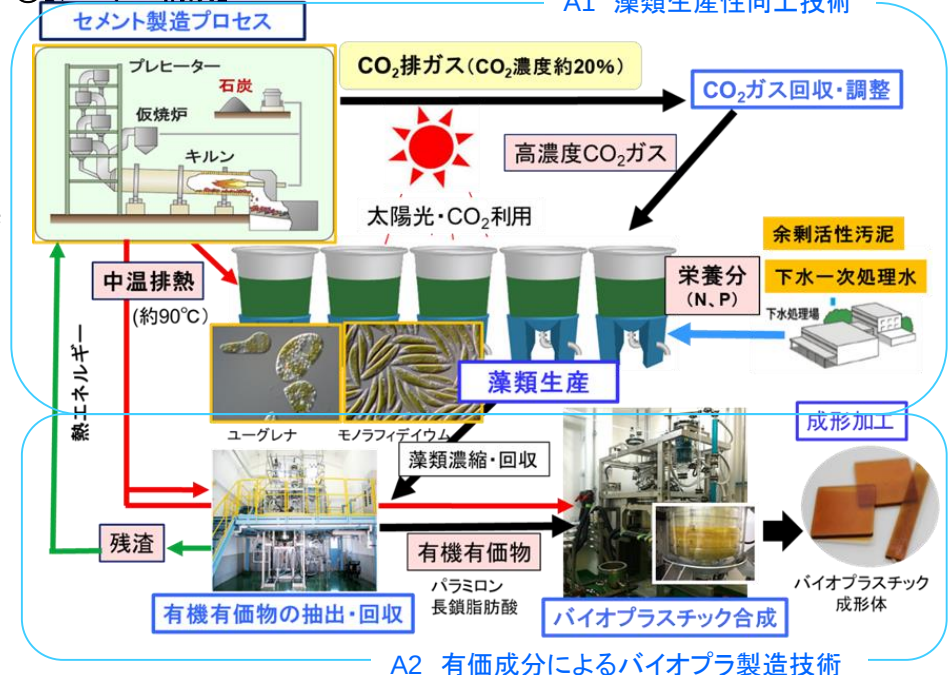
A2.【有機有価成分によるバイオプラスチック素材の製造技術の開発】

社会実装の1/10スケールとして、年間約1トンのバイオプラスチックの製造技術の開発と、耐久製品用に要求される樹脂物性の達成を目指した。実験室規模で、限定量の有機溶媒とセメント工場の中温排熱(90℃)を利用した有価物回収・バイオプラ合成方法と樹脂構造を検証した。これを基に、100L容量規模の装置で、有機有価物の回収とバイオプラスチックの製造を実施して、年間1トンの生産性を実証し、樹脂物性をほぼ達成した。

B.【開発要素のシステム統合】

社会実装1/10スケールで、藻類バイオマス生産システムと有価物回収・バイオプラスチック生産システムを統合化した全体システムを設計した。これを基に、商用化スケール(年間1000トン)での生産システムを設計し、全製造工程でのCO₂排出量を目標値の1.36kgCO₂/kgBM(代替対象の石油系PET樹脂の約50%)よりも大幅に削減し、世界最小レベルとなる-0.02 kgCO₂/kgBMを実現できることを検証した。

③【システム構成】



④【技術開発の目標・リスク】

○想定ユーザ・利用価値: 電子機器等の樹脂を使用する製品を製造・利用する企業に対し、製品の環境調和性の向上に寄与。

○目標となる仕様及び性能:

- ・仕様: 電子機器などの耐久製品向けプラスチックに利用可能な特性を実現。
- ・性能: 曲げ強度45MPa以上、耐熱性(Tg)100℃以上、加熱流動性(MFR)3g/min以上を達成。

〔性能の根拠: 薄型電子機器部材での実用物性値に準拠
耐熱性(Tg)の比較: PET 70℃、汎用セルロース樹脂 75℃〕

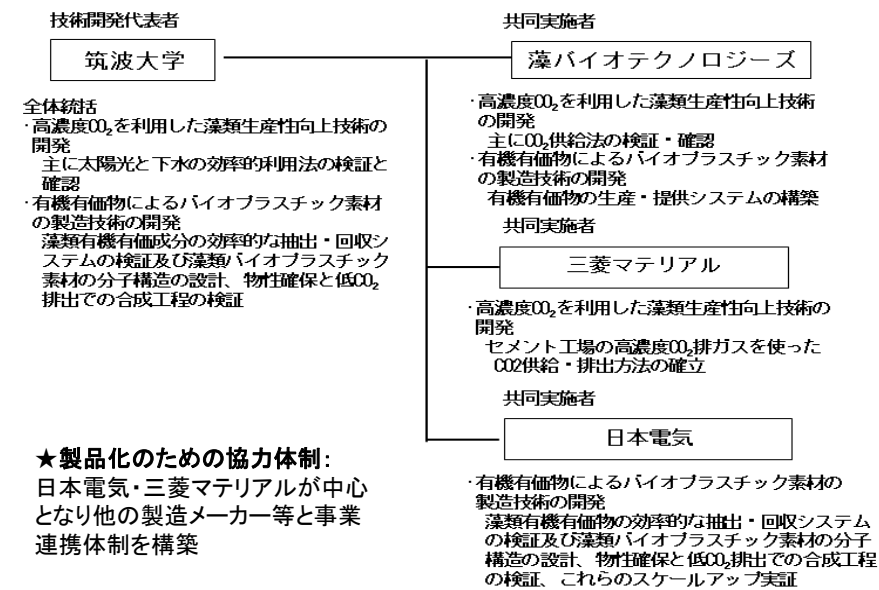
・省エネルギー率(CO₂削減率): 従来の高機能な石油系プラスチック素材のPET(ポリエチレンテレフタレート)と比較して50%以上を達成。

○開発工程のリスク・対応策:

- ・藻類培養量が不十分な場合、太陽光発電での夜間照明なども検討。
- ・藻類バイオプラスチックの実用特性が不足する場合、陸上植物由来や石油合成系のプラスチック、あるいは特定の添加剤の部分的な利用により対処。

②【実施計画等】

①【実施体制】



②【実施スケジュール】

	2017年度	2018年度	2019年度
高濃度CO ₂ を利用した藻類の生産性向上技術の開発 (筑波大+藻バイオ+三菱マテ)	モデル排ガスでの検証 下水・汚泥利用の検証 48,320千円	社会実装1/100スケールアップの生産検証 98,319千円	社会実装1/10スケールアップの生産実証 95,300千円
有機有価物によるバイオプラスチックの製造技術の開発 (NEC+筑波大+藻バイオ)	有価物回収の検証 モデル分子構造の検証 40,800千円	社会実装1/100スケールアップの製造検証 バイオプラ物性の達成 81,931千円	社会実装1/10スケールアップの製造実証 78,930千円
全体システムの統合化			7620千円
その他 (全体運営補助・予算まとめ)	2,500千円	5,000千円	5,000千円
小計	91,620千円	185,250千円	186,850千円
管理費	9,162千円	18,525千円	18,685千円
	100,782千円	203,775千円	205,535千円

③【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

事業化を担う主たる事業者	日本電気(株)、三菱マテリアル(株)、藻バイオテクノロジー(株)、他の製造メーカー等
--------------	--

- ・2024年度までに製造プラントを設置して、数100～1000トン/年規模のバイオプラスチックの生産を実現し、高付加価値なプラスチック製品向けに販売を開始。
- ・2028年度を目途に、製造設備の大型化・拡張によって本格的な生産(1～5万トン/年規模)を開始。スケールアップによる低コストを実現し、建材、自動車などの耐久性プラスチック製品に向けて幅広く展開。
- ・2050年までには、セメント生産工程以外の多くのCO₂固定発生源も利用して生産設備を増設することにより生産効率を向上させ、一層の低コスト化を達成して、利用用途を大幅に拡大し、100万トン/年の生産規模を実現。

○事業展開における普及の見込み

・実用化段階コスト目標:

- 1000トン程度の小規模生産:1200円/kg(従来の同機能なバイオプラスチックと同程度、同機能の石油系プラスチック(PET)の約2.5倍)
- 5万トン規模の本格生産:550円/kg(同機能の石油合成系プラスチックの1.2倍程度)
- ・実用化段階・単純回収年数:15年程度(従来の石油系プラとのコスト差額+20%)

○年度別販売見込み

年度	2021	2025	2030
目標単年度生産量(万t)	0.1	5.0	100
目標累積生産量(万t)	0.1	8.9	249
目標販売価格(円/kg)	1300	550	450

【現時点見込み】

年度	2020	2022	2030	2050
目標単年度生産量(万t)	0	0	5.0	100
目標累積生産量(万t)	0	0	15.4	485
目標販売価格(円/kg)			550	450

(2024年度:0.1万トン、1200円)

○普及におけるリスク(課題・障害)

- ・小規模生産時のコスト高への対策として、付加価値の高い高機能なプラスチック製品に展開(高級な家電・日用品・文具、インテリアなど)
- ・炭素税の導入やグリーン購入での指定は普及のバックアップとして有効

(3)技術開発成果

①【これまでの成果】

- ・社会実装1/10スケールとして、複数の2m³培養タンクで、セメント工場からの高濃度CO₂、太陽光、下水・汚泥を利用して藻類バイオマスの目標の生産性(0.15g/L/日)を実現し藻類バイオマス年間2トンの生産性を検証(目標値を達成)。
- ・社会実装1/10スケールとして、100Lの装置を使って、藻類からの有機価値物の回収とバイオプラスチックの製造を実施し、目標の年間1トンの生産性を実証。この物性として、電子機器等の耐久製品向けプラスチック用の目標値をほぼ達成(耐熱性(Tg):100℃に対して96℃となったが利用可能、他の物性は達成)
- ・商用化スケール(年間1000トン)の統合生産システムでは、CO₂排出量1.36kg CO₂/kgBMの目標に対してほぼゼロ(-0.02 kgCO₂/kgBM)を達成。従来のPETの代替えにより、目標値の2倍の2.80kgCO₂/kgBMの削減を実現。

②【エネルギー起源CO₂削減効果】

【提案時当初計画】

開発材1トン当たりの単年度CO ₂ 削減量(t-CO ₂ /t・年)	1.42
開発材の生産システム(装置/システム)の法定耐用年数	20

年度	2021	2025	2030
単年度CO ₂ 削減量(万t-CO ₂ /年)	0.14	7.0	140
累積CO ₂ 削減量(万t-CO ₂)	0.14	12.5	349
CO ₂ 削減コスト(円/t-CO ₂)	928571	392857	321429

【現時点見込み】

開発材1トン当たりの単年度CO ₂ 削減量(t-CO ₂ /t・年)	2.80
開発材の生産システム(装置/システム)の法定耐用年数	20

年度	2020	2022	2030	2050
単年度CO ₂ 削減量(万t-CO ₂ /年)	0	0	14.0	276
累積CO ₂ 削減量(万t-CO ₂)	0	0	43.1	1355
CO ₂ 削減コスト(円/t-CO ₂)	0	0	196429	163043

現時点見込みの年次は固定

③【成果発表状況】

- ・2018年10月16日三菱マテリアル、筑波大、藻バイオ、NECでプレスリリース「セメント製造工程で発生するCO₂の藻類への効率的な固定化技術および培養した藻類から高機能なバイオプラ素材を製造する実用化技術」の開発に着手」
- ・新聞掲載: 読売新聞(茨城版)(筑波大が取材対応)「小貝川東部浄化センターで下水を利用したバイオプラスチック用藻類の培養」2019年11月5日
- ・雑誌 ビジネスアイエネコ地球環境とエネルギー “第63回 未来の扉: 藻類を使い高機能バイオプラスチック生産、CO₂を吸収した藻でゼロエMISSIONのプラ製造実現へ”, 第52巻,第6号,P38-41(2019年)筑波大、三菱マテリアル、NEC.
- ・学会発表:藻類バイオマスの生産とバイオプラスチックの開発について発表
国際会議:7件、10th Carbon Dioxide Utilization Summit, (USA, 2018.3.1)(筑波大 位地など)、BioSD2018 (India,2018.10.22(筑波大 渡邊など)等。
国内学会:7件、化学工学会(筑波大 渡邊など)、日本化学会(筑波大 田中など)、高分子学会(NEC 山城など)、等。

④【技術開発終了後の事業展開】

○量産化・販売計画

- ・2022年度までに、製造メーカー、商社等との事業連携体制を構築。
- ・2024年度までに、製造プラントを建設し年間数百~1000トンの生産を実現し高級な家電・日用品・文具、インテリア等の高付加価値な製品用途で販売開始。
- ・2028年度を目処として 生産拡大による低コスト化を実現し、自動車内装、建材等に用途を拡大。プラントの規模拡大により年間1~5万トンの生産を実現。

○事業拡大シナリオ

年度	2020	2022年	2024年	2028年 (最終目標)
事業連携体制の構築	事業連携に向けた成果のアピール	製造メーカー商社等との連携体制構築	国・自治体との協力体制構築	
プラントの建設と生産規模		レンタル設備でのサンプル生産(数百kg)	プラント建設 生産規模 数100~1000トン	プラント建設 生産規模拡大 1~5万トン
低コスト化	低コスト化処方の検討	低コスト化処方の確立	1200円/kg	生産拡大による効率化 550円/kg
利用用途の開拓・展開		ユーザーへのサンプル提供と組成改良	高級家電・文具、インテリア、等への展開	家電、自動車内装、建材等への展開

○シナリオ実現上の課題

- ・利用用途拡大のため、各用途での特有な物性(難燃性、装飾性など)を実現
- ・低コスト化のため、配合の最適化とスケールアップによる生産効率を向上
- ・製造プラントの建設、生産・販売の実現のための製造メーカー等と連携構築
- ・セメント工場と下水処理設備をリンクするための国、自治体との協力体制を構築

○参考資料1 CO2削減効果について

○2020年、2022年時点の削減効果：生産開始前なので削減効果なし

○2030年時点の削減効果（試算方法パターン C、Ⅱ-i）

- ・国内潜在市場規模：37万トン/年（代替え可能な石油系PETの総生産量：日本プラスチック工業連盟の資料に基づき推計）
- ・2030年度までに期待される最大普及量：5万トン/年（生産能力増強計画に基づく最大生産量）
- ・開発材1トン当たりのCO2削減量：2.80トン（PETを本開発材で代替えした際の1トン当たりCO2削減量）
- ・削減原単位：従来のPETのCO2排出量：2.78kg/kgPET、本開発材のCO2排出量：-0.02kg/kgBMなので、
本開発材でPETを代替えすることでCO2排出量2.80kg/kgBMを削減
- ・累積CO2削減量：43.1万t-CO2
- ・CO2削減コスト：196429円／t-CO2

○2050年時点の削減効果（試算方法パターン C、Ⅱ-i）

- ・国内潜在市場規模：114万トン/年
（代替え可能なPET(51万トン)に加え、これに物性が近い石油系高機能プラスチックのPBT(15万トン)とABS(47万トン)の年間総生産量）：日本プラスチック工業連盟の資料とPwC調査レポート(2050年の経済予測)に基づき推計
- ・2050年度までに期待される最大普及量：100万トン/年（生産能力増強計画に基づく最大生産量）（上記の市場規模の88%）
- ・開発材1トン当たりのCO2削減量：2.76トン（3種のプラスチックの88%を本開発材で代替えした際の1トン当たりCO2削減量）
- ・削減原単位：代替えするプラスチックのCO2排出量：PET:2.78kg/kg、PBT:3.18kg/kg、ABS:2.54kg/kg、
これら3種のプラスチックの各生産量の88%を本開発材で代替した場合、CO2排出量2.76kg/kgBMを削減
- ・累積CO2削減量：1355万t-CO2
- ・CO2削減コスト：163043円／t-CO2

○参考資料2 事業化計画について

＜全体方針＞

本開発材料について、この優位性(以下)を訴求する広報活動によって、社会的な関心と認知度を獲得し、これを基に、事業化パートナーとの連携体制を構築して製品化し、付加価値の高い耐久製品に展開していく予定である。

本開発材料の優位性:

- ・新たな植物資源として藻類バイオマスを使った高機能なプラスチックを初めて実用開発。
- ・世界最小のゼロレベルのCO2排出量とともに強度・耐熱性などの良好な実用性を実現。
- ・常圧・中温での簡易なプロセスで製造が可能(遊休設備の利用も可能)。

＜具体的な計画、課題と対策＞

●成果のアピールによる関心・認知度の確保(2020—2021年度)

NEC、三菱マテリアルおよび筑波大学が、様々な媒体(展示会、学会、メディア)を通じて、本材料の優位性をアピールする広報活動を行って、社会、特に一般ユーザーや投資家、プラスチック製造メーカーから高い関心を得る。その際、当初は、NECが主体となつて、外注による小規模な製造(数100kg)を行って、サンプルを提供し、専門家からの材料としての実用的評価を得る。

●事業化パートナー確保・連携体制の構築(2022年度まで)

この広報活動に対する市場動向に応じて、NECと三菱マテリアルが協議の上、両社が中心となって、プラスチック製造メーカー(特に合成に強い化学系メーカー)や商社等との事業連携体制を構築する。

●第1次プラント建設・事業開始(2024年度まで)

年間、数100～1000トン規模の製造プラントを建設し、製品化を実現する。なお、この生産規模では、高機能なバイオプラスチックとしての価格競争力はあるものの、同機能の石油系プラスチックに比べるとまだコストが高いので(1200円/kg)、環境調和性を重視する高付加価値な製品(高級な家電・文具・日用品、インテリアなど)に展開する。

●第2次プラント建設・事業拡大(2028年度を目途)

年間、1万～5万トン規模の製造プラントを建設して、生産規模拡大による効率化によってコストダウンを実現し(550円/kg)、高機能な石油系プラスチック市場に参入する。ここでの適用製品は、自動車内装、建材、一般家電、食器などであり、それぞれの製品で使用規模が大きくなる。プラント設置に関し、藻類生産システムでは、セメント工場と下水処理場をリンクできる仕組みと用地の確保も課題となる。これに対しては国や自治体の支援・協力を獲得することが重要となるが、本システムには、CO2排出量の削減に加え、下水処理場の省エネルギー化によるコスト削減のメリットがあるので、このような支援を得られる可能性はある。

＜特許取得の方向性＞

藻類由来の有機有価物からのバイオプラスチックの製造や樹脂構造・組成についての出願は終えている。今後、事業化に際して、各利用製品での特有な物性(例えば、難燃性や装飾性など)を実現するための配合(添加成分の利用)に関する応用特許を出願していく。また、生産のスケールアップによる装置やシステムの改良に関する出願も行っていく予定である。

○参考資料3

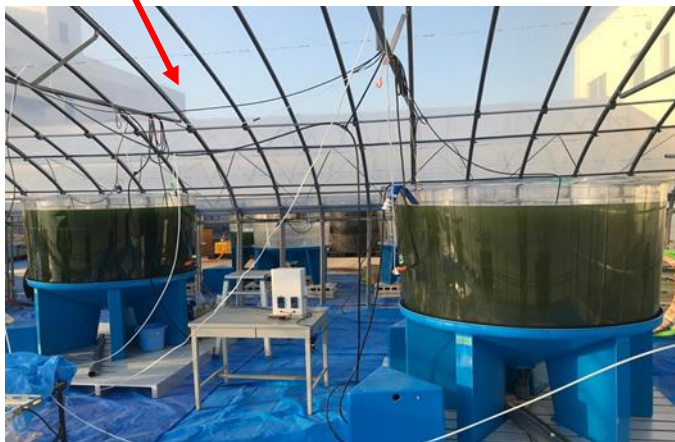
★社会実装1/10スケールでの藻類バイオマス生産、有価物回収-バイオプラスチック製造

藻類培養プロセス



小貝川東部浄化センター

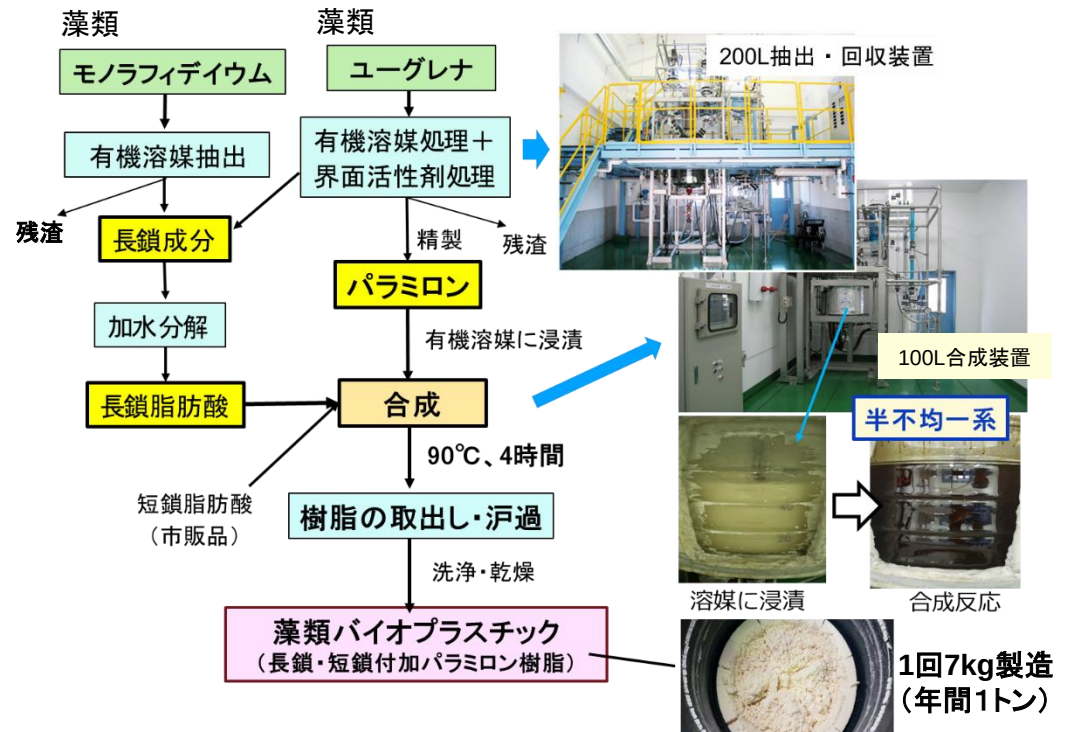
三菱マテリアル(株)九州工場



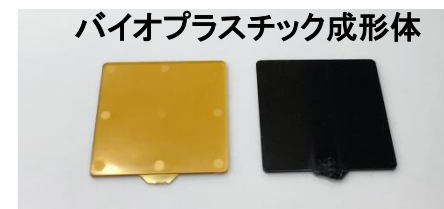
2m³培養タンクでの藻類の培養
(左モノラフィデイウム、右ユーグレナ)

- ・太陽光、セメント工場からの高濃度CO₂、下水・汚泥を利用し、2種の藻類を高効率で生産 (0.15g/L/日)
- ・下水利用による省エネ効果でCO₂排出量を大幅削減

有価物回収・バイオプラスチック製造プロセス



射出成形
(220℃)



1辺10cm、左：無着色、右：カーボン粉末含有

耐久製品用の
樹脂物性を達成

- ・常圧、中温排熱(90℃)、限定した有機溶媒量で、省エネ製造
- ・藻類の抽出残渣は、熱エネルギー回収が可能
- ・使用した有機溶媒は蒸留回収で再使用

CO₂排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

・ 評価点 5.9 点 (10点満点中)

・ 評価コメント

【評価される点】

- バイオプラスチック原料となる藻類バイオマスの生産性や物性、生産コストの低減について、社会実装規模の1/10スケールで目標の生産性(0.15g/L/日、年間2トン)を実現し、バイオプラスチックについては目標の年間1トンの生産性を実証した点は、実用化に向けた一歩として評価できる。
- 商用化スケール(年間1000トン)での統合生産システムでは、全製造工程でのCO₂排出量を目標とした石油系PET樹脂の約50%(1.36kgCO₂/kgBM)よりも大幅に削減し、CO₂排出量がほぼゼロになると推定できた点については評価できる。

【今後の課題】

- 100～1000t/年 程度の小規模生産時には、同機能の石油系プラスチックに比べると1200円/kgとコストが高く、普及促進にはさらなる低コスト化が必要である。また、低コスト化には大規模生産が必要であるが、製造プラントの用地確保、藻類培養を大規模に実施可能なCO₂、栄養、光の供給が効率的にできる環境の整備が課題である。
- 様々な関係者との連携・協力・調整を進めて、本技術の普及と、早期の事業化が望まれる。
- 社会実装して大幅なCO₂削減を実現するには、早期に数万トンレベルの生産規模に到達すべきである。藻類培養は、セメント工場(あるいは発電所等)と下水処理場のリンクを前提としているが、事業化を担う共同実施者の強い関与が望まれる。
- バイオプラスチック製造については、原材料の代替、高付加価値製品への展開等、生産から販売までの社会実装への見通しを早期に具体化し、量産化に向けた設計や製造・販売体制等を構築し、早期の事業展開の実現を期待する。

【その他特記事項】

- 藻類培養システム全体におけるCO₂削減効果として、下水処理場における省エネルギー効果を挙げているが、本システムで利用した培養水をそのまま排水として放流できるとは思えないため、その後の処理過程も考慮した上でCO₂削減効果の的確な評価が望まれる。