

2022年3月24日

国立大学法人京都大学  
国立研究開発法人理化学研究所  
京都府商工労働観光部ものづくり振興課  
株式会社島津製作所  
Symbiobe株式会社  
三井住友建設株式会社

## ゼロカーボンバイオ産業創出の基盤となるデモプラントの完成

### ○概要

京都大学大学院工学研究科の沼田圭司教授（理化学研究所環境資源科学研究センターバイオ高分子研究チーム・チームリーダー）は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）「共創の場形成支援プログラム(CO I-NEXT)」、環境省「イノベーション創出のための環境スタートアップ研究開発支援事業」、京都産業21「産学公の森推進事業 II 事業化促進コース」、並びに京都大学大学院工学研究科「桂キャンパス実証研究促進ファンド」の支援のもと、株式会社島津製作所、Symbiobe 株式会社、三井住友建設株式会社、並びに京都府、舞鶴市と協同で、京大桂キャンパス内に海洋性光合成細菌培養デモンストラーションプラント（デモプラント）を完成させ稼働を開始しました（**図1**）。

本デモプラントでは、二酸化炭素と窒素の固定を行う海洋性光合成細菌の大量培養が可能となります。光合成細菌を用いたバイオプラスチック、タンパク質等のバイオ高分子の生産や、その過程で生じる光合成代謝産物を利用した農業用窒素肥料、水産養殖用飼料の開発も進めてきましたが、本デモプラントを有効活用し、光合成細菌による二酸化炭素・窒素固定技術をスケールアップしていくことで、ゼロカーボン製品の開発を加速する狙いです。また、これらの研究開発を通じ、地球規模での環境問題解決への取り組みを進めると同時に、地域の産業活動に根ざしたゼロカーボンバイオ産業創出の基盤形成となることが期待されます。



図1 | デモプラント（京都大学桂キャンパス内）

## 1. 背景

二酸化炭素等の温室効果ガスによる環境や世界経済への影響は甚大であり、世界各国で早急な対応を迫られています。海洋性光合成細菌は、光合成により二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を固定し、同時にニトロゲナーゼにより大気中から固定した窒素 (N<sub>2</sub>) と海水中のミネラル成分を利用しながら増殖します (図2)。沼田圭司教授の研究室では、海洋性光合成細菌を用いて様々なバイオ高分子を生産する研究を進めてきており、これまでに、海洋分解性バイオプラスチック (ポリヒドロシキアルカン酸) の合成 (Higuchi-Takeuchi et al, 2016, 2017) やタンパク質繊維 (人工クモ糸) 合成 (Foong et al, 2020) に成功しています。

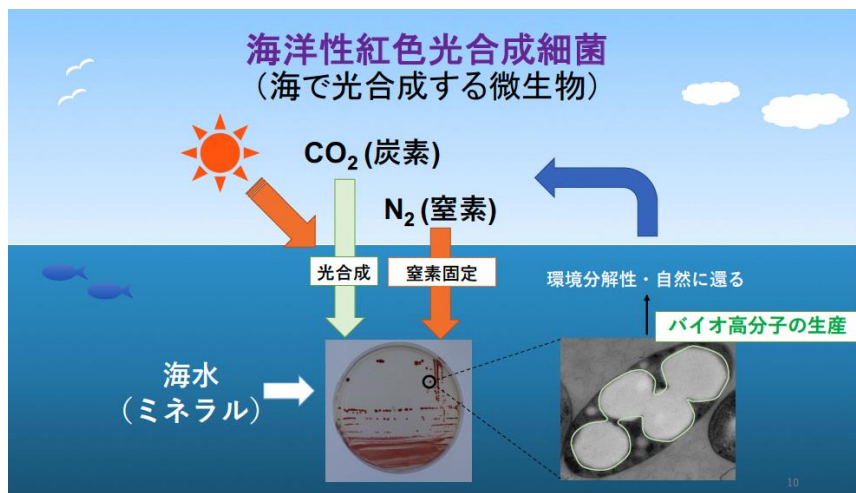


図2 | 海洋性光合成細菌の特徴

この海洋性光合成細菌の特性を生かして、大気中の CO<sub>2</sub> (炭素源) や N<sub>2</sub> (窒素源) を資源とすることで、バイオプラスチックや人工シルク等を生産させるだけでなく、その生産過程で生じる光合成代謝産物等を農業肥料や水産飼料等に活用することも可能であり、また次世代の燃料として期待されるバイオ水素の生成に利用することも可能です (図3)。

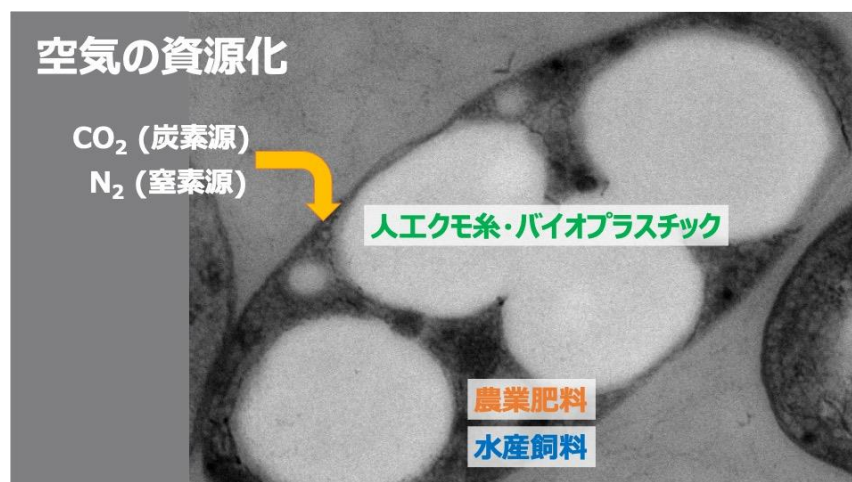


図3 | 海洋性光合成細菌の産業への応用

この海洋性光合成細菌を用いたバイオテクノロジーにより、地球規模の気候変動、地域の

産業や食糧生産等に貢献していくためには、大規模な海洋性光合成細菌の培養が必要になります。現在まで実験室内では、数 mL から 10L 規模での培養実験を進めながら、直近では 500-1000L までの培養容量の拡大を進めてきましたが、今回のデモプラントではさらに大容量（4000L）の培養を進めていきます。（図4）。

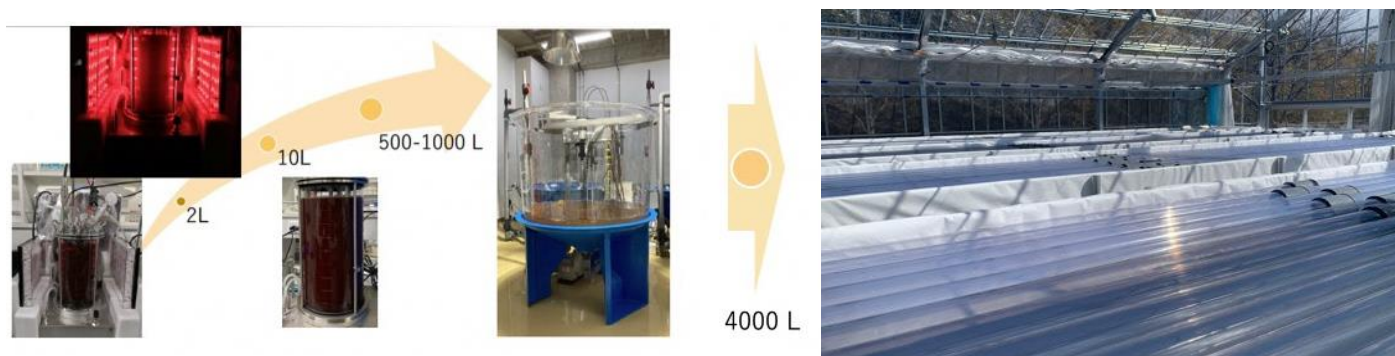


図4 | 培養槽のスケールアップ

京都議定書では、温室効果ガスの排出削減に関する具体的な数値目標が定められました。また、京都大学では、2050年のカーボン・ニュートラル達成に向けて、2021年5月にカーボン・ニュートラル推進フォーラムを設立し、ゼロカーボン社会への貢献活動が推進されています。さらに京都府では、漁業養殖業、京野菜やお茶等の農業が盛んに行われています。このような環境の中、地域の産業に根ざしたゼロカーボンバイオ産業創出による資源循環共創拠点の形成が期待されています。

2021年11月より、沼田圭司教授をプロジェクトリーダーとして、JST・共創の場形成支援プログラム・地域共創分野において取組みを進めている「ゼロカーボンバイオ産業創出による資源循環共創拠点」（代表機関：京都大学、幹事自治体：京都府、幹事企業：（株）島津製作所）では、天然資源である大気中の二酸化炭素や窒素を固定する海洋性光合成細菌を有効利用する技術を基盤に、温室効果ガスの削減を進めながら同時に様々な製品や有用物質を生産する資源循環型物質生産プラットフォームの構築を進めることで、地球環境の保全また持続的開発（SDGs）に貢献することを目標にしています。未来を見据え、革新的な研究開発と自立的・持続的な拠点形成を産官学連携のもと強力に押し進めています。同時に、地元の自治体、企業等の連携のもと地域共創の場の形成を進めていきたいと考えています。

## 2. 研究手法・成果

海洋性紅色光合成細菌を利用して、効率的な二酸化炭素や窒素固定、また、必要な生産物の原料をより多く合成するためには、大規模培養を必要とします。現在までに、JST戦略的創造研究推進事業ERATO（京都大学大学院工学研究科沼田研究室および理化学研究所環境資源科学研究センターバイオ高分子研究チームが参画）で培った技術をもとに、海洋性紅色光合成細菌の大規模培養が可能になりました。その成果を実証するために京都大学は、（1）JST共創の場形成支援プログラム（COI-NEXT）地域共創分野・育成型「ゼロカーボンバイオ産業創出による資源循環共創拠点」、（2）環境省イノベーション創出のための環境スタートアップ研究開発支援事業、（3）京都産業21「産学公の森」推進事業、並びに（4）京都大学大学院工学研究科「桂キャンパス実証研究促進ファンド」による支援を得ながら、（株）島津製作所、Symbiobe（株）、三井住友建設（株）、並

びに京都府、舞鶴市と協同で、京大桂キャンパス内に大型光合成細菌培養デモンストラーションプラント（設置面積：約 120m<sup>2</sup>）を完成させ、2022 年 3 月より稼働させました（図 1）。

今回のデモプラントにおける機器・設備及びシステムに関する仕様検討は、京都大学の技術指導の下、Symbiobe（株）と三井住友建設（株）により進められ、デモプラントにおける CO<sub>2</sub> 固定化定量データの計測並びに収集プロセス構築は島津製作所と協力し進めました。さらに、デモプラントにおける光合成細菌の培養条件最適化と、プラント稼働後の運転・モニタリングについては、京都大学による技術指導のもと Symbiobe（株）が進めます。また、天然海水の供給については、舞鶴市の協力のもと進めています。

本デモプラントは、光源として自然光と海洋性紅色光合成細菌の光合成に適した LED ランプを併用することにより、24 時間運転を可能としました。また、京都府舞鶴湾で採取した天然海水を用いて、そこへ二酸化炭素を細かい気泡状として可溶化しながら、培養槽内を循環させることで、総量 4000L の大規模培養を可能としました。現在、本デモプラントを利用し、海洋性紅色光合成細菌の二酸化炭素固定能を更に向上させるための実証実験を進めています。

### **3. 波及効果、今後の予定**

今回運用を開始したデモプラントにて、海洋性光合成細菌を利用した大規模培養の実証実験を進めることで、海洋性光合成細菌の培養プラントの更なる高効率化やスケールアップに向けた技術や知見の蓄積が進むことが期待されます。また、海洋性光合成細菌を利用したゼロカーボンベースでのバイオ高分子や農業肥料、水産養殖飼料等の生産を拡大していくことで、産学官連携のもと一体となり地域に根ざしたゼロカーボンバイオ産業創出による資源循環共創拠点の形成が進展していくことが期待されます。

### **4. 研究開発プロジェクトについて**

本プロジェクトは、主として以下の事業の支援のもと進められました。

(1) 国立研究開発法人科学技術振興機構

共創の場形成支援プログラム(CO I - N E X T) 地域共創分野・育成型  
「ゼロカーボンバイオ産業創出による資源循環共創拠点」

- ・代表機関 京都大学
- ・幹事自治体 京都府
- ・幹事企業 株式会社島津製作所

(2) 環境省

イノベーション創出のための環境スタートアップ研究開発支援事業（令和 3 年度環境保全研究費補助金）「光合成細菌を用いた二酸化炭素固定屋外デモプラント実証事業」

(3) 京都産業 21 「産学公の森」推進事業 II 事業化促進コース

「二酸化炭素資源化による水産物養殖用飼料生産加工技術及び試作品開発」

(4) 京都大学大学院工学研究科「桂キャンパス実証研究促進ファンド」

「海洋性紅色光合成細菌の屋外培養スケールの実証実験」



## <用語解説>

- 海洋性紅色光合成細菌

約 1-2 $\mu\text{m}$  ほどの大きさで、赤紫色の楕円形を示す非硫黄型紅色光合成細菌。近赤外光のもと二酸化炭素を利用して非酸素発生型の光合成を行う。また、大気中の窒素をニトロゲナーゼで固定して生育する。

- ポリヒドロキシアルカン酸(PHA)

PHA は、海洋環境も含め優れた生分解性を示すバイオマスプラスチックの一種。自然環境に存在する多くの微生物が、体内に蓄積する微生物産性ポリエステル。熱可塑性・生体適合性等を示す。植物や微生物の代謝、発酵を利用して生合成が可能である。

- 人工クモ糸

クモ糸の主成分であるシルクタンパク質 MaSp を生合成および精製し、紡糸することで得られたタンパク質繊維。