

バイオエコノミー社会実現に向けた  
CO<sub>2</sub>固定微生物についての活用調査  
調査報告書

2023年3月

独立行政法人製品評価技術基盤機構 (NITE)

# 調査概要

## 1. 調査の目的

(独)製品評価技術基盤機構バイオテクノロジーセンターでは、バイオエコノミー社会の実現に向けて事業戦略を検討している。具体的には、CO<sub>2</sub>リサイクルや新たな機能を有するCO<sub>2</sub>固定微生物について、海外及び国内における政策、技術開発、産業界の動向や社会実装等の状況を調査して、それらのプレイヤーを把握するとともに、その技術力の将来的な強み・弱みの分析を行うこととした。

## 2. 調査の内容

- (1) バイオ戦略ロードマップに係る技術俯瞰図における国内外の技術調査
- (2) 大学等での新技術開発動向の把握
- (3) ベンチャー・スタートアップ企業の把握
- (4) 既存の国内外企業における開発動向・計画の把握

## 3. 調査方法

インターネットをはじめとする文献調査に加え、ヒアリング調査を行う。なおヒアリング調査については、NITEバイオセンターの職員も同席。

## 4. 調査期間

2022年11月～2023年3月

## 5. 調査実施機関

三菱UFJリサーチ & コンサルティング株式会社

バイオエコノミー社会実現に向けた  
CO2固定微生物についての活用調査  
調査報告書

# 目次

(1) バイオ戦略ロードマップに係る技術俯瞰図における各技術調査	05
① CO2固定微生物に関する技術の整理	05
② 各国・地域のCO2資源化に関する政策	07
(2) 大学等での技術開発動向の把握	20
(3) ベンチャー・スタートアップ企業の把握	44
(4) 既存の国内外企業における開発動向・計画の把握	76

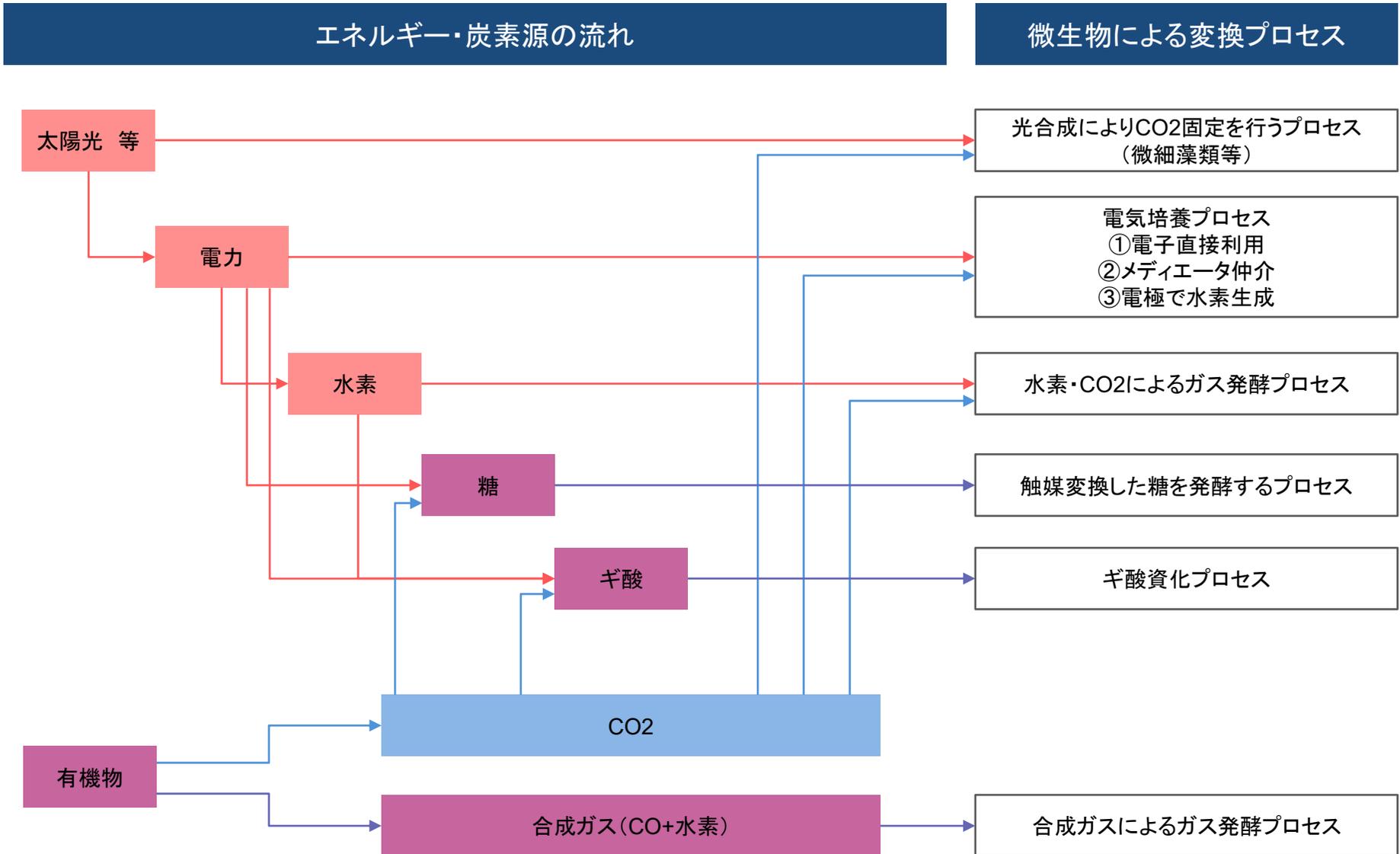
# (1) バイオ戦略ロードマップに係る技術俯瞰図における各技術調査

---

## ① CO<sub>2</sub>固定微生物に関する技術の整理

# 微生物によるCO2利用経路

凡例: エネルギー源 (赤) 炭素源 (青) エネルギー源・炭素源 (紫)



## (1) バイオ戦略ロードマップに係る技術俯瞰図における各技術調査

---

### ② 各国・地域のCO2資源化に関する政策

- EUでは、二酸化炭素回収・有効利用・貯留(CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)に関する各種指令やコミュニケーション文書が策定・発表されており、CO2から製造される燃料はバイオ燃料と同じく再生可能エネルギー指令(RED)で規定されている。ただし、これらの中で微生物を用いたCO2資源化技術に関する具体的な言及はない。
- EUがファンディングを行っている研究開発プロジェクトでは、微生物を用いたCO2資源化の取組がいくつかみられる。

## EUにおける二酸化炭素の回収、貯留、利用に関する指令・コミュニケーション

<p>二酸化炭素の地中貯留に関する指令 (2009/31/EC) (2009年) [1]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ CO2の安全な輸送と貯留のための規制の枠組みを提供</li> </ul>
<p>再生可能資源からのエネルギーの使用の促進に関する指令((EU) 2018/2001) (2018年) [2]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 非生物学的起源の再生可能燃料、回収されたCO2から生成される燃料を促進</li> </ul>
<p>持続可能な炭素循環に関するコミュニケーション (EC) (2021年) [3]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ CCUSの主要な行動をリスト化し、認証制度の方法を提案             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 炭素循環</li> <li>2. カーボンファーミング</li> <li>3. 炭素の工業的回収、使用、および貯蔵</li> <li>4. 炭素除去認証の規制枠組み</li> </ol> </li> </ul>
<p>炭素除去を認証するための EU 全体の自主的枠組みの提案(EC) (2022年) [4]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 炭素回収・貯留を伴うバイオエネルギー(BECCS)や直接大気炭素回収・貯留(DACCS)といった、革新的な産業用炭素除去技術を後押しするために、自主的な認証枠組みを提案             <ul style="list-style-type: none"> <li>● EUで行われる炭素除去活動の品質基準</li> <li>● 炭素除去の検証と認証に関する規則</li> <li>● 認証制度の機能及び委員会による承認に関する規則</li> </ul> </li> </ul>

[1] 2009/31/EC <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/31/oj>

[2] (EU) 2018/2001 <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>

[3] COM(2021)800 [https://ec.europa.eu/clima/system/files/2021-12/com\\_2021\\_800\\_en\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/clima/system/files/2021-12/com_2021_800_en_0.pdf)

[4] COM(2022) 672 [https://eur-lex.europa.eu/eli/reg\\_impl/2022/672/oj](https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2022/672/oj)

# EU(続き)

## EIC パスファインダー チャレンジ: 二酸化炭素と窒素の管理とバロライゼーション [1]

「Horizon Europe」の中で実施される技術開発へのファンディングプログラムであり、二酸化炭素と窒素の管理・有効利用を可能にし、温室効果ガス排出量、窒素損失による土壌と水への影響、エネルギー・産業・農業・畜産部門からの炭素損失を削減するための新しいプロセスと技術を開発することを目的としている。

二酸化炭素と窒素の捕捉、回収、貯蔵、およびそれらの付加価値製品への変換、ネットゼロの商品、化学物質、燃料、エネルギーを一体的に扱う新しい生物・化学・物理経路に焦点を当てている。

募集期間: 2022年6月16日～2022年10月19日

※ 応募結果は公募締め切りの5か月後を目安に通知される。

[1] European Innovation Council, “EIC Pathfinder Challenge: Carbon dioxide and nitrogen management and valorisation” [https://eic.ec.europa.eu/eic-funding-opportunities/calls-proposals/eic-pathfinder-challenge-carbon-dioxide-and-nitrogen-management-and-valorisation\\_en](https://eic.ec.europa.eu/eic-funding-opportunities/calls-proposals/eic-pathfinder-challenge-carbon-dioxide-and-nitrogen-management-and-valorisation_en)

# EU(続き)

## EUから資金提供を受けた研究開発事業

プロジェクト名	期間	予算 [ユーロ]	コーディネーター	内容	出典
CO2SOLSTOCK	2009年4月～ 2012年3月	2,963,463	エディンバラ大学 (英国)	CO <sub>2</sub> を土壌中の炭酸カルシウム (CaCO <sub>3</sub> ) として封じ込めるためにバクテリアを使用する方法を検討。	[1]
MicrobioElectrosyn	2013年5月 ～2015年4月	177,000	ゲント大学 (ベルギー)	微生物電極によるCO <sub>2</sub> 電解還元プロセスを用いた、水素・酢酸エステル等の合成プロセスの開発。	[2]
BIOCONCO <sub>2</sub>	2018年1月～ 2022年6月	6,999,886	ACONDICIONAMI ENTO TARRASENSE ASSOCIACION (スペイン)	鉄鋼業から排出されるCO <sub>2</sub> を高付加価値物質やプラスチックに生物学的に変換するプラットフォームの開発。 嫌気性微生物(クロストリジウム菌によるC <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> アルコール)、好気性微生物( <i>Cupriavidus necator</i> による3-ヒドロキシプロピオン酸)、酵素(組換え休眠大腸菌によるギ酸、マルチ酵素システムによる乳酸)の3種類の生物系を用いて化学・プラスチック分野に応用できる4製品を生産する。	[3] [4]
PYROCO <sub>2</sub>	2021年10月～ 2026年9月	43,887,817	SINTEF AS (ノルウェー)	好熱性微生物バイオプロセスを使用したアセトン製造。実証プラントは、9,100トンの工業用CO <sub>2</sub> とグリーン水素から、少なくとも4,000トン/年のアセトンを生産可能。	[5]

[1] European Commission, "Biobased geological CO<sub>2</sub> storage" <https://cordis.europa.eu/project/id/226306>

[2] European Commission, "Microbially catalyzed electricity driven bioproduction from CO<sub>2</sub> at the cathode in bioelectrochemical systems" <https://cordis.europa.eu/project/id/326869>

[3] European Commission, "BIOtechnological processes based on microbial platforms for the CONversion of CO<sub>2</sub> from ironsteel industry into commodities for chemicals and plastics" <https://cordis.europa.eu/project/id/761042>

[4] BIOCON-CO<sub>2</sub>, <https://biocon-co2.eu/>

[5] European Commission, "Demonstrating sustainable value creation from industrial CO<sub>2</sub> by its thermophilic microbial conversion into acetone"

<https://cordis.europa.eu/project/id/101037009>

# 欧州（民間の取組）

- CO2の資源化に係る民間コンソーシアムとして、欧州企業が中心となっているRenewable Carbon Initiative が挙げられる。

## Renewable Carbon Initiative [1]

- バイオマス由来、CO2由来、リサイクル由来の炭素をRenewable carbon(再生可能炭素)と定義し、すべての有機化学物質および有機材料について、化石炭素からRenewable carbonへの移行をサポートし、促進することを目的にしている。
- Nova Institute(ドイツ)が事務局を務め、役員はBASF、Cosun Beet Company、Covestro、Givaudan、Henkel、IFF、LanzaTech、Lenzing、Neste、Nova Institute、SHV Energy、Stahl、UPMで構成されている。

# 英国

- クリーン成長戦略(2017年)の中でCCUSの展開に言及しているほか、CCUSに関するタスクフォースも設立されている。2022年にはCCUSに関する投資家向けロードマップが公表された。ただし、微生物を用いたCO2資源化技術に関する具体的な記述はみられない。

## 英国の二酸化炭素の回収、使用および貯蔵(CCUS)に関する支援\*

クリーン成長戦略(2017年10月) [1]	<ul style="list-style-type: none"><li>■ CCUSに対する新たなアプローチを発表<ul style="list-style-type: none"><li>● 世界のパートナーと協力し、最先端のCCUSとコスト削減のための産業革新に最大1億ポンドを投じ、CCUSにおいて国際的なリーダーシップを発揮する</li><li>● 新たなCCUS評議会を通じて産業界と協力し、英国でCCUSを大規模に展開するという野心を達成し、その産業機会を最大化するための道筋をつける</li></ul></li></ul>
CCUS コスト チャレンジ タスクフォース [2]、 CCUS Deployment Pathway(英国の炭素回収、利用、 貯留 (CCUS) 展開経路)(2018年) [3]	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 英国政府は、英国でCCUSを展開するコストを削減するために必要な手順についてアドバイスを提供するために、CCUSコスト チャレンジタスクフォースを設立した</li><li>■ タスクフォースの作業結果は、2018年11月に公開されたCCUS Deployment Pathwayに情報提供された</li><li>■ CCUS Deployment Pathwayでは、コストが十分に低下することを条件として、2030年代にCCUSを大規模に展開するオプションを持つという政府の目標を達成するために、政府と産業界が協力して取るべき次のステップを示している</li></ul>
二酸化炭素の回収、利用、貯留(CCUS): 投資家向け ロードマップ(2022年4月) [4]	<ul style="list-style-type: none"><li>■ 2030年までに経済全体で年間 20~30 MtCO<sub>2</sub> を回収し、4つのCCUS産業クラスターを実現し、英国の2050年ネットゼロを達成するのに役立つアプローチを示している</li></ul>

\* Department for Business, Energy & Industrial Strategy, "UK carbon capture, usage and storage" <https://www.gov.uk/guidance/uk-carbon-capture-and-storage-government-funding-and-support>

[1] Department for Business, Energy & Industrial Strategy, "Clean Growth Strategy" <https://www.gov.uk/government/publications/clean-growth-strategy>

[2] CCUS Cost Challenge Taskforce (closed), <https://www.gov.uk/government/groups/ccus-cost-challenge-taskforce>

[3] Department for Business, Energy & Industrial Strategy, "The UK carbon capture, usage and storage (CCUS) deployment pathway: an action plan" <https://www.gov.uk/government/publications/the-uk-carbon-capture-usage-and-storage-ccus-deployment-pathway-an-action-plan>

[4] Department for Business, Energy & Industrial Strategy, "Carbon capture, usage and storage (CCUS): investor roadmap" <https://www.gov.uk/government/publications/carbon-capture-usage-and-storage-ccus-investor-roadmap>

# 英国(続き)

ビジネス・エネルギー・産業戦略省「二酸化炭素の回収、利用、貯留(CCUS): 投資家向けロードマップ」(2022年4月) [1]

本ロードマップでは、2030年までに国内経済全体で年間 20~30 MtCO<sub>2</sub> を回収し、4つのCCUS産業クラスターを実現し、英国の2050年ネットゼロを達成するのに役立つアプローチを示している

- North Sea Transition Deal は、2030年までに新エネルギー技術に最大140~160億ポンドの投資を行うことを約束し、そのうち20~30億ポンドをCCUSに、20~30億ポンドを電力に、最大100億ポンドを水素に割り当てる
- 2030年までに CCUS施設を4つ作るという10億ポンドの公約を実現し、HyNetとEast Coast Clusterの2地点を選定し、Track-1\*を進行中。なお、Acorn を予備クラスターとして確認した

	行ったこと	行っていること	公約
CCUS Infrastructure Fund (CIF)	戦略的CCUSインフラの資本コストを支援する10億ポンドのCIFを発表	CIFの最終設計は、CCUS施設決定プロセス、ビジネスモデルの設計、関連する資金と並行して進める	10億ポンドのCIFは、戦略的なCCUSインフラの資本コストを支援する
Industrial Decarbonisation and Hydrogen Revenue Support (IDHRS)	水素と産業用炭素回収の新しいビジネスモデルに資金を提供するため、1億4,000万ポンドのIDHRSを立ち上げた	2023年からCCUS対応の水素および産業用炭素回収施設に最初の契約を締結予定	水素と炭素回収・貯留の業界導入を加速するため、1億4,000万ポンドを提供
Net Zero Hydrogen Fund (NZHF)	NZHFの設計を協議し、資金を4つに分割した	2022年春に第一、第二資金調達窓口の開設を目指し、2023/24年にさらなる資金調達窓口の可能性を検討(第三弾は2022年夏に開始する予定)	2022年から2025年にかけて、英国での新たな水素燃料生産を支援するため、最大2億4,000万ポンドを提供

\* Track-1: 「政府は、英国におけるCCUSプロジェクトの論理的な展開順序を特定し支援する取り組みの一環として、2020年代半ばの展開に最も自然に適していると思われる少なくとも2つのCCUSクラスターを特定することを検討している。このような最初のクラスターを「Track-1」と呼んでいる。」

Department for Business, Energy & Industrial Strategy, "Cluster Sequencing for Carbon Capture Usage and Storage Deployment: Phase-1"

[https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/986007/ccus-cluster-sequencing-phase-1-guidance-for-submissions.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/986007/ccus-cluster-sequencing-phase-1-guidance-for-submissions.pdf)

[1] Department for Business, Energy & Industrial Strategy, "Carbon capture, usage and storage (CCUS): investor roadmap" <https://www.gov.uk/government/publications/carbon-capture-usage-and-storage-ccus-investor-roadmap>

- 2020年、ドイツ連邦教育・研究省から、CCSに関する資金調達ガイドラインが公表されている。2021年、ドイツ環境庁からCCUの必要性が言及されている。

## 連邦教育・研究省「大気中の二酸化炭素を除去する方法 (Carbon Dioxide Removal)」に関する資金調達 (2020年)

- 2020年、ドイツ連邦教育・研究省 (BMBF) は、炭素回収・貯留を伴うバイオエネルギー (BECCS) や大気中からのCO<sub>2</sub>の直接回収・貯留 (DACCS) などのCO<sub>2</sub>を除去するための研究開発に対する資金提供のためのガイドラインを公表した。
- 対象となる研究開発は、ライフサイクル全体で地球の大気に対する長期的なCO<sub>2</sub> 除去の効果を達成できるもの。  
(「長期」とは、通常、少なくとも 100 年間と見なされる)

## 環境庁「炭素回収・利用の評価に関する議論への貢献」(2021年)

コアメッセージとして、以下の6つが挙げられており[2]、二酸化炭素回収・有効利用 (CCU) のための技術の開発と普及の必要性が強調されている[3]。

1. 気候変動対策には化石資源由来温室効果ガスの排出を削減することが重要である
2. 化石資源由来炭素のCCUは温室効果ガス排出の緩和にはならない
3. カーボンニュートラル達成のためには、CCU以外の手法で、排出が避けられない温室効果ガスを相殺しなければならない
4. 大気中の炭素を含むCCUは人為起源の温室効果ガスを恒久的に削減することができる可能性がある
5. 大気中の炭素を含むCCUは将来の経済活動に不可欠になる可能性がある
6. 化石資源の発電所がある限り、CCUは追加の温室効果ガス排出源になるが、将来のための技術の利用可能性は保護されるべきである

[1] BMBF, “Bekanntmachung Richtlinie zur Förderung von Projekten zum Thema „Methoden zur Entnahme von atmosphärischem Kohlendioxid (Carbon Dioxide Removal)“, Bundesanzeiger vom 19.06.2020” [https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2020/06/3047\\_bekanntmachung](https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2020/06/3047_bekanntmachung)

[2] German Environment Agency, “Contribution to the discussion on the evaluation of Carbon Capture and Utilisation” <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/contribution-to-the-discussion-on-the-evaluation-of>

[3] Umweltbundesamt, “Carbon capture and utilization necessary for raw material supply” <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/carbon-capture-utilization-necessary-for-raw>

# 米国

- 2021年11月、米国で総額1兆ドルを超える規模のインフラ投資・雇用法案（Infrastructure Investment and Jobs Act (H.R.3648)）が成立した。[1]
- 2022年9月、バイオテクノロジーとバイオ製造のイノベーションの促進に関する大統領令が発出された。[2]
- ただし、CO2固定利用微生物についての具体的な言及はない。

## Infrastructure Investment and Jobs Act (2021) [1]

	2022	2023	2024	2025	2026
CO2利用	41,000,000	65,250,000	66,562,500	67,940,625	69,387,656
CO2回収技術	100,000,000				
CO2輸送インフラの予算・革新	600,000,000	600,000,000	300,000,000	300,000,000	300,000,000
CO2貯留の実証試験	2,500,000,000				
地域のDACハブ	3,500,000,000				
CO2回収大規模パイロットプロジェクト	387,000,000	200,000,000	200,000,000	150,000,000	—
CO2回収実証プロジェクト	937,000,000	500,000,000	500,000,000	600,000,000	—
DAC技術コンペティション	商用前: 15,000,000 商用: 100,000,000	—	—	—	—

単位:ドル

[1] Congress.gov | Library of Congress, “H.R.3684 - Infrastructure Investment and Jobs Act” (2021) <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684/text>

[2] Whitehouse, “Executive Order on Advancing Biotechnology and Biomanufacturing Innovation for a Sustainable, Safe, and Secure American Bioeconomy”

<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2022/09/12/executive-order-on-advancing-biotechnology-and-biomanufacturing-innovation-for-a-sustainable-safe-and-secure-american-bioeconomy/>

## バイオ経済のためのバイオテクノロジーとバイオ製造のイノベーションの促進に関する大統領令 [1]

- 持続可能で、安全で、安全なバイオ経済実現のための方針が示された。
  - バイオテクノロジーおよびバイオ製造の主要な研究開発分野への連邦政府の投資を強化及び調整する
  - バイオテクノロジーおよびバイオ製造の革新を促進する生物学的データのエコシステムを育成する
  - バイオ製造の生産能力向上とプロセス改善を行うと同時に、パイロット及びプロトタイプでの取り組みを強化する
  - 続可能なバイオマス生産を促進し、農業生産者と森林地主に向けて気候に配慮したインセンティブを生み出す
  - バイオエネルギーおよびバイオベースの製品・サービスの市場機会を拡大する
  - バイオテクノロジーとバイオ製造の促進のために、労働力と次世代のリーダーを訓練し、支援する
  - バイオテクノロジー製品の安全な使用をサポートするために、科学とリスクに基づき規制を合理化する
  - バイオテクノロジーとバイオ製造の研究開発のライフサイクルの基礎としての生物学的リスク管理を向上させる
  - バイオエコノミーの発展・評価、バイオエコノミーに関する政策・意思決定・投資への情報提供、バイオエコノミーの公平で倫理的な発展のために、基準の策定、指標の設定、システムの開発を推進する
  - 脅威、リスク、潜在的な脆弱性の評価と予測に前向きで積極的なアプローチを採用し、民間企業やその他の関係者と連携してリスクを共同で軽減し、技術のリーダーシップと経済競争力を守ることで、米国のバイオエコノミーを保護する
  - 安全で確実なバイオテクノロジー及びバイオ製造の研究、革新、製品開発・使用のためのベストプラクティスを促進することで、バイオテクノロジー研究開発協力を強化するために国際社会に関与する

[1] Whitehouse, "Executive Order on Advancing Biotechnology and Biomanufacturing Innovation for a Sustainable, Safe, and Secure American Bioeconomy"

# 米国(民間の取組)

## Carbon to Value Initiative (C2V Initiative)[1]

- ニューヨーク州エネルギー研究開発局(NYSERDA)および在ニューヨークカナダ総領事館の支援を受け、NYU Tandon School of EngineeringのThe Urban Future Lab、Greentown Labs、Fraunhofer USAが運営しているスタートアップアクセラレータプログラム。
- 二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を回収、変換、貯蔵して価値ある最終製品やサービスに変えるカーボンテック技術の商業化のための活発なイノベーション・エコシステムを構築することを目的としている。
- 2021年4月に、10社のスタートアップ企業が第1期生として選定された。そのうち、微生物を活用している企業としてはCemvita Factoryが選出されている。

[1], The Carbon to Value Initiativeプレスリリース(2021年4月28日) “The Carbon to Value Initiative Announces First Cohort of Carbontech Startup Participants”  
<https://www.prnewswire.com/news-releases/the-carbon-to-value-initiative-announces-first-cohort-of-carbontech-startup-participants-301278767.html>

- 中国では、2007年に策定・発表された "China's National Climate Change Programme" において、二酸化炭素の回収・利用・貯蔵技術などを強力に展開するとしている。[1]
- 2011年には、アジア開発銀行と協議の上、CCS技術に関する技術ロードマップが策定された。[2]  
また、2022年には、2015年以降の中国のCCUS及び低炭素開発目標の変更を反映した更新版が公表された。[3]

## Road Map Update for Carbon Capture, Utilization, and Storage Demonstration and Deployment in the People's Republic of China (2022) [3]

- 2022年に更新されたCCUSに関するロードマップでは、二酸化炭素の利用・開発に影響を及ぼす技術として微細藻類が挙げられており、以下の技術開発が予測されている

### 二酸化炭素利用開発の予測: 微細藻類 [3]

	2025	2030	2035
段階	技術的な実現可能性評価	パイロット・デモプラント	商用利用可能
目標	パイロットプラント(～キロトン)	10,000トン規模での実証	商用化

[1] National Development and Reform Commission, People's Republic of China, "China's National Climate Change Programme" (2007)  
<http://english.mee.gov.cn/Resources/Plans/Plans/200710/P020071016292571780686.pdf>

[2] ADB, "Roadmap for the Demonstration of Carbon Capture and Storage (CCS) in China" (2011) <https://www.globalccsinstitute.com/archive/hub/publications/190173/roadmap-demonstration-carbon-capture-storage-ccs-china.pdf>

[3] ADB, "Road Map Update for Carbon Capture, Utilization, and Storage Demonstration and Deployment in the People's Republic of China" (2022)  
<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/814386/road-map-update-carbon-capture-utilization-storage-prc.pdf>

# 中国(続き)

- 2021年に発表された第14次五カ年計画バイオエコノミー発展計画では、中高温嫌気性発酵菌株の改良、嫌気性バイオマス処理プロセスや嫌気性発酵設備の開発、バイオガス・セルロース系エタノール・藻類バイオ燃料の重要技術と設備製造の研究開発を加速することが示されている。[1]
- 2022年に中国科学技術省が「グリーンバイオ製造」重要特別プロジェクトに対する意見を募集した際の資料によると、「新産業用バイオ炭素固定技術および化学合成に基づくプロセス改良」の項目において、CO2固定微生物に関わる研究として、以下の研究開発内容が示されている。[2]
  - 触媒科学、合成生物学、人工知能、ナノマテリアルの統合により、CO2を原料として重要化学物質を生産する新しい産業用生体触媒経路を創出し、産業用バイオ炭素固定を実現する。
  - CO2回収・反応のための高活性・安定な工業用酵素触媒を開発する。
  - 産業用バイオ炭素固定プロセスと電極触媒や酵素触媒を組み合わせた化学品合成の新技术を研究する。
  - CO2や廃棄物系バイオマス由来の炭素を固定する新規経路を探索する。
  - CO2からエチレングリコール、L-乳酸、ジヒドロキシアセトン、アクリル酸などの重要化学品を製造するための新しい工業的バイオ炭素固定プロセスを確立し、炭素固定の効果を評価する。

注) 翻訳ソフトを用いた仮訳

[1]中国・国家発展改革委員会「第14次五カ年計画バイオエコノミー発展計画(“十四五”生物经济发展规划)」

[https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202205/t20220510\\_1324436.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202205/t20220510_1324436.html?code=&state=123)

[2]「グリーンバイオ製造」重点特別プロジェクト “绿色生物制造”重点专项 2022 年度项目申报指南

## (2) 大学等での技術開発動向の把握

---

# 調査対象の選定

CO2固定微生物を用いた研究開発を行っている大学・研究機関の研究者をリストアップし、詳細調査の対象を選定した。

No.	国	機関・研究者	連携機関	微生物種	原料等	プロダクト	取組内容等
1	日本	東京大学 大学院 農学生命科学研究科 応用生命工学 専攻 石井正治教授	(株)CO2資源 化研究所	水素細菌 ( <i>Hydrogenobacter thermophilus</i> 、 <i>Hydrogenophilus thermoluteolus</i> 、 <i>Hydrogenovibrio marinus</i> )	CO2+水 素	—	研究室にて単離された水素細菌を用いて、炭素代謝及びエネルギー代謝の生理生化学的な研究が行われてきた。また、2012-2013年のプロジェクトでは、大腸菌にCO2固定経路及びヒドロゲナーゼを導入し、独立栄養生物に変換するという取組もなされた。
2	日本	京都大学大学院 農学研究科 応用 生命科学専攻 阪井 康能教授		メタン・メタノールを 利用するC1微生物	メタン	メタノール	メタン、メタノールを利用するC1微生物の代謝について、重要な役割を果たす酵素・タンパク質やその遺伝子の生理機能解析を、ゲノム解析、メタボローム解析と併せて行い、資源・環境問題解決につながる新しい機能の探索と技術開発を行っている。
3	日本	広島大学大学院統 合生命科学研究所 中島田 豊 教授	中国電力、大 崎クールジェ ン	ホモ酢酸菌 ( <i>Moorella thermoacetica</i> 、 <i>Acetobacterium</i> )	合成ガス、 CO2+水 素	酢酸、エタ ノール、アセ トン等	2000年代初めから、民間企業との共同研究によりH2-CO2を基質とする好熱性アルコール生産菌を発見(HUC22-1株) 好熱性のホモ酢酸菌について、遺伝子導入系を開発するとともに、合成ガスからの物質生産プラットフォームとして、様々な液体燃料や有用化学原料生産菌を開発している。
4	日本	広島大学 大学院 先端物質科学研究科 分子生命機能 科学専攻 秋庸裕 教授	中国電力、大 崎クールジェ ン	<i>Aurantiochytrium</i>	マンニトール、酢酸	DHA、EPA、 アスタキサン チン、βカロテ ン	広島大学中島田教授と共同で、二段階発酵のバイオプロセスを開発。1段階目はホモ酢酸菌でCO2・水素から酢酸を合成、2段階目はオーランチオキトリウムで酢酸から高付加価値物質を生産。
5	日本	信州大学 農学部 伊原 正喜 准教授		水素細菌、 ギ酸資化菌、 微細藻類	CO2+水 素、ギ酸	—	水素細菌の探索やその低コスト培養法や、CO2の還元型であるギ酸の資化菌の探索及びギ酸資化経路改変を行っている。また、窒素固定シアノバクテリアを用いて、野外培養可能な菌株の育種にも取り組んでいる。 <b>赤枠内が詳細調査の対象</b>

# 調査対象の選定(続き)

(続き)

No.	国	機関・研究者	連携機関	微生物種	原料等	プロダクト	取組内容等
6	日本	近畿大学 産業理工学研究科 田中賢二 教授	東京工業大学 福居俊昭 教授	水素細菌	CO <sub>2</sub> +水素	PHA(生分解性プラスチック)	CO <sub>2</sub> を原料とした生分解性プラスチック生産プロセスの開発に取り組んでいる。
7	日本	(国研)産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門 加藤創一郎 主任研究員	東京工業大学 福井教授、名古屋大学 堀克敏教授、大阪大学 中西周治教授	<i>Ralstonia eutoropha</i> 等	CO <sub>2</sub> +電気	ポリマー原料・燃料	NEDOムーンショットプロジェクトに採択。電気エネルギーを利用し大気中 CO <sub>2</sub> を植物の 50 倍以上の効率で有用有機物に変換可能な微生物を用いた革新的なネガティブエミッション技術を開発を目指している。
8	日本	(一財)電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部 平野伸一 上席研究員	熊谷組、茨城大学	メタン菌、鉄酸化細菌	CO <sub>2</sub> +電気	エチレン	電気を還元力としてCO <sub>2</sub> を有価物へ変換する新しいプロセスの基盤技術開発を実施。
9	オーストラリア	The Univ. of Queensland、Esteban Marcellin 准教授	LanzaTech	ホモ酢酸菌 ( <i>Clostridium autoethanogenum</i> )	CO <sub>2</sub> +水素、CO	エタノール、ブタンジオール、ファルネセン等	システム生物学及び合成生物学的アプローチにより、物質生産に向けてより効率的な菌株を作り出すことに取り組んでいる。特に、ガス発酵を利用して、CO <sub>2</sub> やCO <sub>2</sub> を原料として化学物質や燃料に変換するプロセスに注力している。
10	カナダ	Univ. of Tronto、Dr. David Sinton	-	-	CO <sub>2</sub>	CO、C <sub>2</sub> +化合物	高活性CO <sub>2</sub> 電気分解システム

赤枠内が詳細調査の対象

# 調査対象の選定(続き)

(続き)

No.	国	機関・研究者	連携機関	微生物種	原料等	プロダクト	取組内容等
11	日本	東京工業大学 物質理工学院 材料系 ライフエンジニアリングコース 柘植 丈治 准教授			CO2	PHA	再生可能な炭素資源や二酸化炭素からバイオポリエステルPHAを製造するプロセスを開発中 <a href="http://www.tsuge.iem.titech.ac.jp/">http://www.tsuge.iem.titech.ac.jp/</a>
12	日本	熊本県立大学 環境共生学部 松崎 弘美 教授	近畿大学 産業理工学研究科 田中 賢二 教授	水素細菌	CO2+水素	PHA	実用性に優れた高性能バイオプラスチックを合成する水素細菌の分子育種 <a href="https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-22K12449/">https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-22K12449/</a>
13	日本	(国研)産業技術総合研究所 機能化学研究部門 バイオ変換グループ(研究グループ長:森田 友岳先生)	広島大学 中島田 豊 教授	好熱性嫌気性細菌( <i>Moorella</i> 属 細菌)	CO2+水素	(不明)	好熱性嫌気性細菌を用いてCO2を原料とした化学品生産技術開発に取り組んでいる。広島大学中島田教授との共同研究も実施。
14	日本	(国研)海洋研究開発機構, 超先鋭研究開発部門(超先鋭研究開発プログラム) 石井 俊一 副主任研究員	産業技術総合研究所 加藤 創一郎 主任研究員	電気微生物	CO2+電気	(不明)	微生物電解セルにおけるCO2からの有用物質生産メカニズムの解明等

# ① 東京大学 石井 正治 教授

## 概要

### 東京大学 石井 正治 教授

機関の名称、所在、沿革	<p>&lt;名称&gt; 東京大学大学院農学生命科学研究科 応用生命工学専攻 応用微生物学研究室</p> <p>&lt;所在&gt; 東京都文京区弥生1-1-1</p> <p>&lt;経歴[1]&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 1987 東京大学 助手</li><li>• 1997 東京大学大学院農学生命科学研究科 助教授(2007年、同准教授)</li><li>• 2013 東京大学 教授</li></ul>
研究内容、規模、成果	<ul style="list-style-type: none"><li>• 原核微生物の炭素代謝、エネルギー代謝に関する研究をテーマとしており[2]、石井教授が参画する以前より研究室では水素細菌の研究が行われている。</li><li>• 具体的には、研究室にて単離された水素細菌(下記)を用いて、炭素代謝及びエネルギー代謝の生理生化学的な研究が行われてきた。また、2012-2013年のプロジェクトでは、大腸菌にCO<sub>2</sub>固定経路及びヒドロゲナーゼを導入し、独立栄養生物に変換するという取組もなされた(次ページ参照)。</li></ul>
実用化で想定されるビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>• 研究室にて単離された水素細菌(またはCO<sub>2</sub>資化能を導入した大腸菌)を用いた、CO<sub>2</sub>と水素からの物質生産。</li></ul>
使用菌株	<p>応用微生物学研究室では、水素を唯一のエネルギー源、二酸化炭素を唯一の炭素源とした条件で水素細菌のスクリーニングが行われ、以下の株が単離されている。[3]</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Hydrogenobacter thermophilus</i>(温泉土壌由来、好熱性(至適温度70°C))</li><li>• <i>Hydrogenophilus thermoluteolus</i>(温泉土壌由来、好熱性(至適温度50°C))</li><li>• <i>Hydrogenovibrio marinus</i>(海洋由来、中温性)</li></ul>
連携先	<ul style="list-style-type: none"><li>• (株)CO<sub>2</sub>資源化研究所では、応用微生物学研究室(兒玉教授当時)が1970年代後半に単離した<i>Hydrogenophilus thermoluteolus</i>を使用している。[4] また、2016年には水素微生物の基礎解析及び応用に関する共同研究契約締結し、研究室内に同社の研究機能を設置(現在は移転)。[5]</li></ul>

(出典)

[1] 東京大学大学院農学生命科学研究科 研究者紹介データベース [https://libcds1.lib.a.u-tokyo.ac.jp/infolib/meta\\_pub/G0000002cross](https://libcds1.lib.a.u-tokyo.ac.jp/infolib/meta_pub/G0000002cross)

[2] 東京大学HP「石井正治」 <https://www.u-tokyo.ac.jp/focus/ja/people/people001119.html>

[3] 亀谷将史ら「水素細菌の代謝特性と低炭素社会実現に向けての展開」 [http://amb.bt.a.u-tokyo.ac.jp/paperpdf/Kameya2020\\_JJpnSocExtremophiles.pdf](http://amb.bt.a.u-tokyo.ac.jp/paperpdf/Kameya2020_JJpnSocExtremophiles.pdf)

[4] 化学工業日報「水素とCO<sub>2</sub>で菌体培養」(2016年5月31日)

[https://static1.squarespace.com/static/5f03cca39538b147e0e06520/t/5f3f71d4d954912ad6a91543/1597993430158/16\\_0531.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5f03cca39538b147e0e06520/t/5f3f71d4d954912ad6a91543/1597993430158/16_0531.pdf)

[5] CO<sub>2</sub>資源化研究所HP「About us」 <https://www.co2.co.jp/jp/about-us>

# ① 東京大学 石井 正治 教授(続き)

## CO2固定微生物に関する研究プロジェクト

年度	研究課題名	代表者	プログラム	概要	出典
2020-2022	TCA回路で形成される代謝酵素複合体の進化起源の解明	亀谷 将史	科研費:基盤研究C	TCA回路を逆回転させCO2を固定するreductive TCA (rTCA)回路でも複合体は形成されるか、またその機能を明らかにするもの。これにより、炭酸固定を効率的に進めるための機構を明らかにし、さらに、rTCA回路がTCA回路の祖先型であるという進化関係に着目し、TCA回路の代謝酵素複合体の起源やその進化過程の理解を目指すもの。	[1]
2012-2013	大腸菌への独立栄養的生育能付与	石井 正治	科研費:挑戦的萌芽研究	従属栄養細菌である大腸菌を独立栄養生物に変換しようという考えのもと、大腸菌にリブローズ1,5-ニリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ、ホスホリブロキナーゼ、さらには <i>Cupriavidus necator</i> 由来のNAD還元型ヒドロゲナーゼを発現させることを試みた研究。	[2]
2010-2011	独立栄養微生物の代謝高性能化	石井 正治	ALCA	50℃と70℃に生育至適温度を有する2種類の水素細菌を使用して、CO2ガス固定系やエネルギー獲得系の高効率化、また新規手法の適用によるバイオマスや有用物質の高生産性化を目指したもの。目的達成のために、(1)CO2ガス固定酵素の高効率化、(2)エネルギー獲得系の高効率化、(3)CO2ガスからのもの作りシステムの開発、(4)新規培養手法の開発が行われた。	[3]
2009-2013	絶対独立栄養性・好熱性水素細菌のゲノム情報を基盤とした生理生化学的研究	石井 正治	科研費:基盤研究A	<i>Hydrogenobacter thermophilus</i> TK-6株の生理生化学的特質をゲノム情報をもとに多面的に解析し明らかにすることを目的として、進化系統的な位置づけの明確化、絶対独立栄養性の分子基盤、高度好熱性の分子基盤、新規窒素代謝経路の分子基盤、呼吸代謝能多様性の分子基盤、新たな代謝系の探索とその分子基盤について成果を得た。	[4]

[1] <https://kaken.nii.ac.jp/grant/KAKENHI-PROJECT-20K06608/>

[2] <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-24658071/>

[3] <https://projectdb.jst.go.jp/grant/JST-PROJECT-10104112/>

[4] <https://kaken.nii.ac.jp/ja/report/KAKENHI-PROJECT-21248010/21248010seika/>

# ① 東京大学 石井 正治 教授(続き)

(株)CO2資源化研究所による以下の特許において、石井教授も発明者となっている。

特許番号	発明の名称	特許権者	概要
特許6450912	ヒドロゲノフィラス属細菌形質転換体	(株)CO2資源化研究所	ヒドロゲノフィラス属細菌によりCO <sub>2</sub> からイソブタノールを生成
特許6485828	ヒドロゲノフィラス属細菌形質転換体	(株)CO2資源化研究所	ヒドロゲノフィラス属細菌によりCO <sub>2</sub> からエタノールを生成
特許6528295	ヒドロゲノフィラス属細菌形質転換体	(株)CO2資源化研究所	ヒドロゲノフィラス属細菌によりCO <sub>2</sub> からアラニンを生成

# ② 京都大学 阪井 康能 教授

## 概要

京都大学 阪井 康能 教授	
機関の名称、所在、沿革	<p>&lt;名称&gt; 京都大学農学研究科 応用生命科学専攻応用微生物学講座</p> <p>&lt;所在&gt; 京都市左京区北白川追分町</p> <p>&lt;経歴[1]&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 1988年、京都大学助手(農学部)</li><li>• 1994年、京都大学助教授(農学部農芸化学科、1997年より農学研究科応用生命科学専攻)</li><li>• 2005年、京都大学教授(農学研究科応用生命科学専攻)</li></ul>
研究内容、規模、成果	<p>研究室の大きな研究テーマとして「タンパク質代謝・オルガネラの分子細胞生物学と異種遺伝子発現」「資源・環境問題解決に向けた応用微生物学研究」が設定されている。[2] そのなかで、C1微生物に関する研究としては、以下のプロジェクトが実施されている。[3]</p> <p>1) C1代謝研究</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• メタン、メタノールを利用するC1微生物の代謝について、重要な役割を果たす酵素・タンパク質やその遺伝子の生理機能解析を、ゲノム解析、メタボローム解析と併せて行い、資源・環境問題解決につながる新しい機能の探索と技術開発を行っている。</li></ul> <p>2) 自然界における微生物の生存戦略</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 植物からはメタンやメタノールなどのC1化合物が大量に放出されており、植物とC1微生物の関係が注目されている。植物圏に生息するC1微生物の分布や、C1微生物が植物圏で生存するために必要な生理機能を解明し、温室効果ガス削減やバイオマス増産につながる技術開発を行っている。</li></ul>
実用化で想定されるビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>• 天然ガス等に含まれるメタンを微生物を用いてメタノール等に変換する。</li></ul>
使用菌株	<p>特許出願されている特開2023-8939「メタンからの化学品の製造方法」[4]では、以下の微生物種が挙げられている。<i>Gordonia</i>属、<i>Mycolicibacterium</i>属、<i>Mycobacterium</i>属、<i>Nocardioides</i>属、<i>Pseudonocardia</i>属、<i>Rhodococcus</i>属、<i>Beijerinckia</i>属、<i>Methylibium</i>属、<i>Bradyrhizobium</i>属、<i>Rhodobacter</i>属、<i>Burkholderia</i>属、<i>Pseudomonas</i>属</p>
連携先	<ul style="list-style-type: none"><li>• 三菱ケミカル株式会社[4]</li></ul>

(出典)

[1] 農芸化学会「第7回 農芸化学会 サイエンスカフェ」[https://www.jsbba.or.jp/event/event\\_sci\\_cafe\\_07.html](https://www.jsbba.or.jp/event/event_sci_cafe_07.html)

[2] 研究室ホームページ「HOME」<http://www.seigyokais.kyoto-u.ac.jp/>

[3] 研究室ホームページ「資源・環境問題解決に向けた微生物研究」<http://www.seigyokais.kyoto-u.ac.jp/projects/project04/>

[4]特開2023-008939

## ② 京都大学 阪井 康能 教授(続き)

### C1微生物に関する近年の主な研究プロジェクト

年度	研究課題名	代表者	プログラム	概要	出典
2019-2021	in vitroとin naturaから理解するC1微生物葉上環境の生存戦略機構	阪井 康能	科研費: 基盤研究B	メタノールを単一の炭素・エネルギー源として生育するメタノール資化性微生物(C1酵母・C1細菌)の葉上環境における生存戦略機構を明らかにすることを目的とした研究。従来のin vitro実験のみならず、自然環境(in natura)もしくはin naturaを模した環境適応実験を行い、C1酵母ではメタノールにより調節される細胞内制御機構を、C1細菌では宿主植物への種特異的優占化機構と変動する環境要因への応答機構を解析した。	[1]
2016-2017	過酷な環境変動とストレスに曝される葉面C1酵母:生存戦略の分子機構	阪井 康能	科研費: 挑戦的萌芽研究	植物から放出されるメタノールを利用して葉上で増殖・生存できるメタノール資化性酵母(C1酵母)を対象とし、C1酵母が環境変動・ストレス変化に適応するための生存戦略の分子機構解明を目的とした研究。	[2]
2016-2017	メタノール酵母の高レベル転写能を利用するメタノールからの機能性RNA生産	由里本博也	科研費: 挑戦的萌芽研究	メタノール酵母における機能性RNAの微生物生産手法の開発を最終目的とし、mRNAの貯蔵・分解に関わるRNA顆粒(P-body, SG)の形成と細胞内動態解析、メタノール酵母で高度に転写されるmRNAの細胞内動態解析を行った研究。	[3]
2015-2020	合成生物学によるメタン酸化触媒の創製	阪井 康能	CREST	シェールガスの台頭により未来型資源として注目されるメタンを有効利用するため、微生物が持つ“メタノールへのメタン酸化反応”について、分子機構と原理を解明し、工業生産展開可能な全く新しいメタン酸化触媒を合成生物学により創製、開発することを目的とした研究。	[4]
2013-2015	メタノールエコノミーでの活用を目指すC1微生物代謝生理の分子基盤解明と新技術開発	由里本博也	科研費: 基盤研究B	メタンやメタノールなどのC1化合物やこれを利用するC1微生物を「メタノールエコノミー」で最大限活用するために、C1微生物代謝生理機能の分子基盤解明とメタノールエコノミーにおけるバイオプロセス新技術の開発を行った研究。特に、メタノール資化性酵母がもつ「強力なメタノール誘導性遺伝子発現」と「植物表層での生育能」という「二大有用形質」に関して、メタノール誘導性転写因子複合体の機能を解明するとともに、植物表層における窒素源利用とその代謝制御機構を明らかにした。	[5]

(出典)

[1] <https://kaken.nii.ac.jp/grant/KAKENHI-PROJECT-19H02870/>

[2] <https://kaken.nii.ac.jp/grant/KAKENHI-PROJECT-16K14883/>

[3] <https://kaken.nii.ac.jp/grant/KAKENHI-PROJECT-16K15089/>

[4] <https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/project/1111089/15665172.html>

[5] <https://kaken.nii.ac.jp/grant/KAKENHI-PROJECT-25281063/>

## ② 京都大学 阪井 康能 教授(続き)

C1微生物によるC1資化に関連して、以下の特許出願がなされている。

公開番号	発明の名称	出願人	概要
特開2023-8939	メタンからの化学品の製造方法	国立大学法人京都大学 三菱ケミカル株式会社	微生物を利用してメタンからメタノールを生成する新規方法

# ③ 広島大学 中島田 豊 教授

## 概要

広島大学 中島田 豊 教授	
機関の名称、所在、沿革	<p>&lt;名称&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>広島大学 大学院統合生命科学研究科 生物工学プログラム 代謝変換制御学研究室</li></ul> <p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>広島県東広島市鏡山一丁目3番2号</li></ul> <p>&lt;経歴[1]&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1995～2006年: 広島大学(助手)</li><li>2006～2014年: 広島大学(助教授、准教授)</li><li>2014年～: 広島大学(教授)</li></ul>
研究内容、規模、成果	<ul style="list-style-type: none"><li>2000年代初めから、民間企業との共同研究により、H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>を基質とする好熱性アルコール生産菌 <i>Moorella</i> sp. HUC22-1株を発見。また、ゲノムが解読されていた好熱性ホモ酢酸菌 <i>Moorella thermoacetica</i> ATCC39073の効率的な遺伝子導入系の開発するとともに、合成ガスからの物質生産プラットフォームとして、様々な液体燃料や有用化学原料生産菌を開発している。[2]</li></ul>
実用化で想定されるビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>炭素源としてCO<sub>2</sub>、還元力・エネルギー源として水素を用いて、遺伝子組換えを行ったホモ酢酸菌を用いて物質生産を行う。</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>ホモ酢酸菌: <i>Moorella</i> sp. HUC22-1(当研究室により発見)、<i>Moorella thermoacetica</i> ATCC39073</li></ul>
連携先	<ul style="list-style-type: none"><li>(国研)産業技術総合研究所 機能化学研究部門 バイオ変換グループ(研究グループ長: 森田 友岳先生)</li><li>出光興産、中国電力: NEDOによる、広島県の大崎上島を研究拠点とするカーボンリサイクル技術の技術開発事業「CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発」に「ガス・ツー・リピッツバイオプロセスの開発」が採択され、ホモ酢酸菌と微細藻類であるオーランチオキトリウムによる2段階のバイオプロセスの開発に取り組んでいる。</li></ul>

(出典)

[1] 広島大学 研究者総覧, [https://seeds.office.hiroshima-u.ac.jp/profile/ja\\_e00664aee9a2db67520e17560c007669.html](https://seeds.office.hiroshima-u.ac.jp/profile/ja_e00664aee9a2db67520e17560c007669.html)

[2] 代謝変換制御学研究室ホームページ「カーボンリサイクルガス発酵技術」, <https://metab.hiroshima-u.ac.jp/ja/edu-tech/gas-fermentation/>

# ④ 広島大学 秋 庸裕 教授

## 概要

広島大学 秋 庸裕 教授	
機関の名称、所在、沿革	<p>&lt;名称&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>広島大学 大学院統合生命科学研究科 生物工学プログラム 代謝機能化学研究室</li></ul> <p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>広島県東広島市鏡山一丁目3番2号</li></ul> <p>&lt;経歴[1]&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1996～2001年: 広島大学(助手)</li><li>2001～2014年: 広島大学(助教授、准教授)</li><li>2014年～: 広島大学(教授)</li></ul>
研究内容、規模、成果	<ul style="list-style-type: none"><li>ホモ酢酸菌とオーランチオキトリウム属を用いた二段階発酵による油脂生産技術を確立。[2]</li><li>オーランチオキトリウム属において初めてCRISPR-Cas9 システムを導入。脂質生産性が向上したオーランチオキトリウム属のゲノム編集株を作出した。[4]</li><li>他にも、コンブ抽出物等の褐藻類のマンニトールをグルコノバクター属細菌でフルクトースに変換して、オーランチオキトリウム属により高付加価値脂質(ドコサヘキサエン酸、アスタキサンチン、スクアレン等)を生産した。[3]</li></ul>
実用化で想定されるビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>発電所等由来のCO<sub>2</sub>をホモ酢酸菌に固定させて酢酸を生産。その酢酸から、ドコサヘキサエン酸やアスタキサンチンなどの高付加価値脂質、あるいは長鎖飽和脂肪酸や炭化水素などの汎用化学品素材物質を生産する。[2] [4]</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>ホモ酢酸菌アセトバクテリウム属 <i>Acetobacterium woodii</i> [4]</li><li>ラビリンチュラ類オーランチオキトリウム属 <i>Aurantiochytrium</i> (KH105、受領番号: FERM AP-22267) [3]</li></ul>
連携先	<ul style="list-style-type: none"><li>長瀬産業、出光興産、中国電力: NEDOによる、広島県の大崎上島を研究拠点とするカーボンリサイクル技術の技術開発事業「CO<sub>2</sub>有効利用拠点における技術開発」に「Ga-to-Lipids バイオプロセスの開発」が採択され、ホモ酢酸菌と微細藻類であるオーランチオキトリウムによる2段階のバイオプロセスの開発に取り組んでいる[2]。JST産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム(OPERA)でも共同研究を実施。[4]</li></ul>

(出典)

[1] 広島大学 研究者総覧, <https://seeds.office.hiroshima-u.ac.jp/profile/ja.c0567b23c221729c520e17560c007669.html>

[2] 広島大学 代謝機能化学研究室ホームページ <https://home.hiroshima-u.ac.jp/aki/member.html>

[3] 特許第6351328号 発明の名称: 高付加価値脂質の生産方法

[4] JST産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム(OPERA) 終了報告書 研究開発課題 1-2「油脂素材化合物の発酵プロセス開発に向けた微細藻類のゲノム育種」

# ⑤ 信州大学 伊原 正喜 准教授

## 概要

### 信州大学 伊原 正喜 准教授

機関の名称、所在、沿革	<p>&lt;名称&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>信州大学 農学部 生命機能科学コース 生物有機化学研究室</li></ul> <p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>長野県上伊那郡南箕輪村8304</li></ul> <p>&lt;経歴[1]&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>2007～2013年度: 東京大学(寄付講座教員、特任助教)</li><li>2013～2017年度: 信州大学(助教)</li><li>2018年度～: 信州大学(准教授)</li></ul>
研究内容、規模、成果	<ul style="list-style-type: none"><li>水素細菌の探索やその低コスト培養法や、CO<sub>2</sub>の還元型であるギ酸の資化菌の探索及びギ酸資化経路改変を行っている[2]。また、窒素固定シアノバクテリア(イシクラゲ、<i>Nostoc commune</i>)を用いて、野外培養可能な菌株の育種にも取り組んでいる[3]。</li><li>当初はシトクロムやヒドロゲナーゼ、ギ酸デヒドロゲナーゼの研究により、微細藻類からの水素生産・ギ酸生産に取り組んでいた。その後、逆にCO<sub>2</sub>からつくることができるギ酸を炭素源として活用するため、ギ酸資化関連酵素の改良やギ酸資化菌の探索を行っている。また、ギ酸資化経路を水素細菌に導入し、高効率でギ酸を資化できる菌株の創出に取り組んでいる。(次ページ参照)</li></ul>
実用化で想定されるビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>炭素源として水素とCO<sub>2</sub>から生産されるギ酸を用い、還元力として水素を用いて、ギ酸資化菌(ギ酸資化経路を導入した水素細菌も想定)を用いて物質生産を行う。</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>ギ酸資化菌: <i>Methylobacterium extorquens</i>(最もよく研究されているギ酸資化菌)、その他自然界から単離したギ酸資化菌を使用</li><li>微細藻類: <i>Nostoc commune</i></li></ul>

(出典)

[1] 科学研究費助成事業データベースKAKEN, <https://nrid.nii.ac.jp/ja/nrid/1000050391868/>

[2] 信州大学農学部生物有機化学研究室HP, 「再エネ水素と微生物を利用した二酸化炭素固定」, <https://www.masakiihara.info/carbonfixationbacteria>

[3] 信州大学農学部生物有機化学研究室HP, 「窒素固定シアノバクテリアの野外培養」, <https://www.masakiihara.info/algae>

## ⑤ 信州大学 伊原 正喜 准教授(続き)

### CO2固定微生物に関連するプロジェクト

年度	研究課題名	プログラム	概要	出典
2009-2013	蛋白質工学的アプローチによる高効率ギ酸生産藻類の設計	さきがけ	藻類が太陽エネルギーを吸収して、さまざまなバイオエネルギーへと変換することを利用し、藻類の光合成機構を分子レベルで改変して、高効率で安価にギ酸を生産できるシステムの構築を目指した。	[1]
2013-2016	ヒドロゲナーゼの改良を目指した分子進化工学的手法の開発	科研費:若手研究(B)	主な成果は、[NiFe]-ヒドロゲナーゼの宿主ベクター系による発現系構築に成功した事である。[NiFe]-ヒドロゲナーゼは複雑な翻訳後修飾によって活性型と成熟するため、大腸菌などを宿主とした発現系による組換えヒドロゲナーゼ蛋白質の作製が困難であった。しかし、[NiFe]-ヒドロゲナーゼ構造遺伝子をベクターに挿入し、翻訳後修飾関連遺伝子を宿主ゲノムに組み込み、両者の発現量を調節することで、ヒドロゲナーゼを活性型として発現させる事が可能であることを実証できた。また、この発現系では、簡便にヒドロゲナーゼへの変異導入ができるため、蛋白質工学に欠かせない変異ライブラリーの作製を可能となった。	[2]
2017-2019	ギ酸デヒドロゲナーゼを用いた新規人工炭酸固定系	科研費:基盤研究(C)	ギ酸から有用な物質を合成する方法として、ギ酸資化菌を利用した発酵工学が有望であるが、現在知られているギ酸資化菌のギ酸取り込み速度は1リットルあたり1日数ミリグラムとかなり遅い。そこで、それらの既存のギ酸資化菌酵素を用いる限り、大幅な改善は期待できない。本研究では、ギ酸資化関連酵素の改良および探索を目指した。ギ酸資化にはギ酸からの還元力供給が律速となっているため、ギ酸デヒドロゲナーゼの改良を行い、安定化に成功した。また、自然界から、これまでで最もギ酸資化能の高い新規ギ酸資化菌を単離した。	[3]
2020-2022	ギ酸代謝関連遺伝子の探索とそれらを利用した高速ギ酸資化菌の創出	科研費:基盤研究(C)	近年、自然エネルギー発電の低コスト化が進んでいることから、電気分解で生成した水素分子と二酸化炭素とからギ酸を生産し、ギ酸資化菌を利用して、ギ酸さらに様々な化成品へと変換する“カーボンリサイクル”に期待が高まっている。しかし、ギ酸資化菌に関する報告例は非常に少なく、実用に適した株も単離されていない。本研究では、炭素の乏しい水系環境のサンプルを、ギ酸(炭素源)と水素分子(還元力)の存在下で培養することで、多数のギ酸資化菌の単離を目指す。さらに、単離株から資化関連酵素群を同定・評価し、産業利用されている水素細菌に導入することで、高効率ギ酸資化菌の創出を目指す。	[4]

[1] <https://projectdb.jst.go.jp/grant/JST-PROJECT-09152921/>

[2] <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-25810095/>

[3] <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-17K07717/>

[4] <https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-20K05784/>

# ⑥ 近畿大学 田中 賢二 教授

## 概要

近畿大学 田中 賢二 教授	
機関の名称、所在、沿革	<p>&lt;名称&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>近畿大学 産業理工学部 生物環境化学科 応用生物工学研究室</li></ul> <p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>近畿大学 福岡キャンパス(福岡県飯塚市柏の森11-6)</li></ul> <p>&lt;経歴[1]&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1992～1998年度:九州大学(助手)</li><li>1999～2001年度:近畿大学(講師)</li><li>2004～2007年度:近畿大学(助教授、准教授)</li><li>2008年度～:近畿大学(教授)</li></ul>
研究内容、規模、成果	<ul style="list-style-type: none"><li>新たな微生物を発見してその能力を解き明かし、CO2削減やグリーンプラスチック、プロバイオティクス乳酸菌、資源管理型漁業など産業や医薬、環境保全に利用する方法を研究している。[2]</li><li>遺伝子組換え水素細菌を用いて柔軟性と加工性に優れた海洋分解性プラスチックPHBHを独立栄養条件下でCO2から生合成することに成功。現在、実用化を目指して量産化技術の研究開発を行っている。[3]</li></ul>
実用化で想定されるビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>炭素源としてCO2、還元力・エネルギー源として水素(・酸素)を用いて、遺伝子組換えを行った水素細菌を用いて、生分解性プラスチックPHA(PHB、PHBH等)の生産を行う。</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li><i>Cupriavidus necator</i> [1]</li><li><i>Paracoccus denitrificans</i> NBRC13301, <i>Paracoccus pantotrophus</i> NBRC102493 [4]</li></ul>

## 関連特許

- 特開平06-165686、二酸化炭素から生分解性プラスチック製造用バイオポリマーを発酵生造する方法(1992年出願、出願人:西部瓦斯株式会社)
- 特開2004-51920、生分解性プラスチックとその製造方法およびその製造装置(2002年出願、出願人:JFEスチール株式会社)

(出典)

[1] 科学研究費助成事業データベースKAKEN, <https://nrid.nii.ac.jp/ja/nrid/1000020236582/>

[2] 近畿大学 教員紹介, <https://www.kindai.ac.jp/hose/research-and-education/teachers/introduce/tanaka-kenji-64a.html>

[3] 近畿大学 応用生物工学研究室, <https://www.kindai.ac.jp/hose/files/research-and-education/teachers/pdf/biochemistry/tanaka.pdf>

[4] Tanaka, Kenji, et al. "Autotrophic growth of *Paracoccus denitrificans* in aerobic condition and the accumulation of biodegradable plastics from CO2." *Environ. Ecol. Res* 4 (2016): 231-236. [https://www.hrpub.org/journals/article\\_info.php?aid=3980](https://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=3980)

# ⑦ 産業技術総合研究所 加藤 創一郎 主任研究員

## 概要

産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門 加藤創一郎 主任研究員

機関の名称、所在、沿革	<p>&lt;名称&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>国立研究開発法人 産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門 環境生物機能開発研究グループ</li></ul> <p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>産総研北海道センター 札幌市豊平区月寒東2条17-2-1 (札幌市豊平区月寒東2条17-2-1)</li></ul> <p>&lt;経歴[1]&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>2006～2008年度: 海洋バイオテクノロジー研究所 (博士研究員)</li><li>2008～2011年度: 科学技術振興機構 ERATO橋本プロジェクト (研究員)</li><li>2011～2017年度: 産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門 (研究員)</li><li>2017年度～ : 産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門 (主任研究員)</li></ul>
研究内容、規模、成果	<ul style="list-style-type: none"><li>「微生物のメタン代謝」、「微生物・固体間電子移動」、「微生物による希少金属の利用」、「新規微生物単離手法の開発」を主要な研究対象としている。[2]</li><li>2020年度～2022年度にかけてNEDOムーンショット型プログラムのプロジェクトマネージャーを務めており、電気エネルギーを利用し大気中 CO<sub>2</sub> を植物の 50 倍以上の効率で有用有機物に変換可能な微生物を用いたネガティブエミッション技術を開発している。[3]</li></ul>
実用化で想定されるビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>再生可能エネルギー由来の電気エネルギーを利用して、ゲノム編集したPHA生成菌<i>Ralstonia eutoropha</i>を用いて、開発した気相反応バイオリクターを用いて大気中のCO<sub>2</sub>を取り込み、PHAや燃料の生産を行う。[3]</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li><i>Cupriavidus necator</i> [3]</li></ul>

(出典)

[1]産業技術総合研究所 プロフィール <https://staff.aist.go.jp/s.katou/profile/index.html>

[2]産業技術総合研究所 加藤創一郎 研究紹介 <https://staff.aist.go.jp/s.katou/research/index.html>

[3] NEDOムーンショット型研究開発事業 プロジェクト紹介 [https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/gaiyo/ms4\\_kato.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/gaiyo/ms4_kato.pdf)

# ⑦ 産業技術総合研究所 加藤 創一郎 主任研究員(続き)

## NEDOムーンショットプロジェクトの研究開発の概要

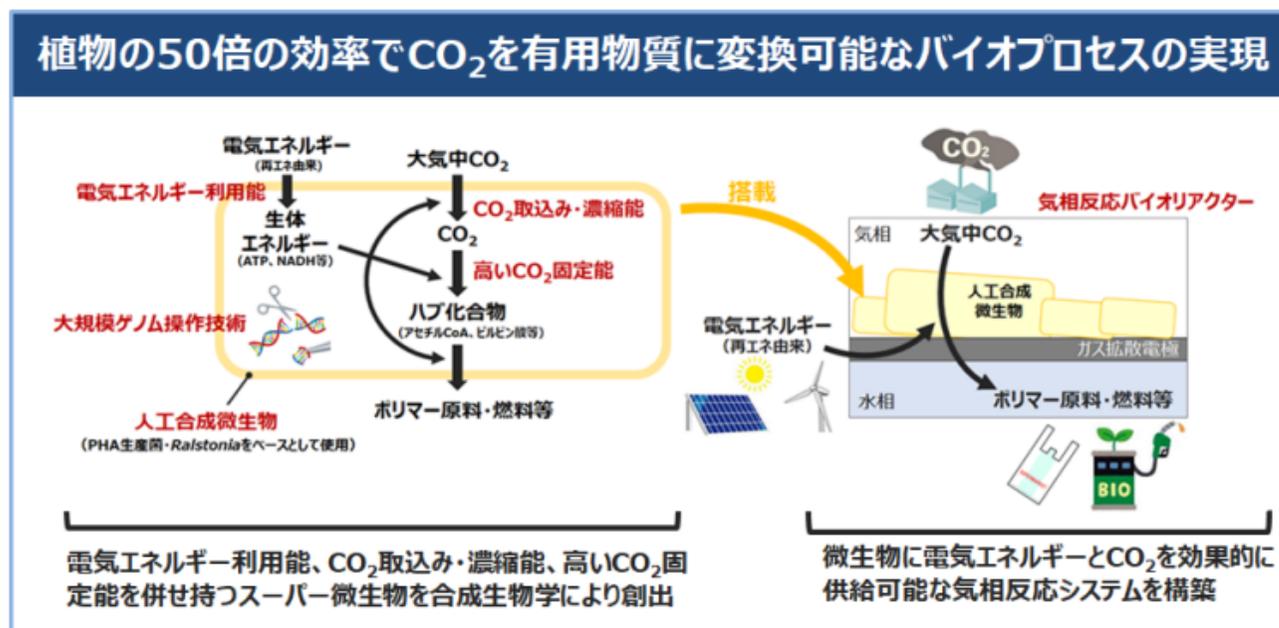
### 【合成生物学的手法による*Ralstonia*遺伝子改変】

*Ralstonia* の大規模ゲノム操作の基盤技術を開発する。その技術を活用して、電気エネルギー利用能、大気 CO<sub>2</sub>の取込み・濃縮能、高いCO<sub>2</sub>固定能を *Ralstonia* に付与することで、電気エネルギーと CO<sub>2</sub>から有用有機物を生産可能なスーパー微生物を創出する。

### 【バイオリアクターの開発】

スーパー微生物の能力を最大限発揮するために、以下の3要素を満たす気相反応リアクターを設計・構築する。

- ①微生物が電気エネルギー供給源となる電極と直接接触している
- ②微生物が基質となるCO<sub>2</sub>を含む気相と直接接触している
- ③微生物が栄養供給や生産物の回収に必要な水相と直接接触している



(出典)

[5] NEDOムーンショット型研究開発事業 プロジェクト紹介 [https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/gaiyo/ms4\\_kato.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/gaiyo/ms4_kato.pdf)

# ⑦ 産業技術総合研究所 加藤 創一郎 主任研究員(続き)

## NEDOムーンショットプロジェクトの研究開発の実施体制

- 加藤氏が開発した*C. necator*への遺伝子導入技術を利用して、東工大・神戸大の分担者が*C. necator*の遺伝子を改変
- 名古屋大と大阪大の研究分担者が*C. necator*を培養するバイオリクターを開発

研究開発項目	研究分担者	研究開発の内容
プロジェクト統括 ・ 合成微生物創出	産業技術総合研究所 加藤創一郎 主任研究員	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>C. necator</i>に長鎖DNAを導入する技術の開発</li></ul>
ゲノム操作の 要素技術開発	東京工業大学 生命理工学院 福居俊昭 教授	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>C. necator</i>に<i>Acidithiobacillus</i>(硫黄酸化細菌)由来の電子伝達経路の遺伝子を導入して電力消費活性を付与</li></ul>
	神戸大学 国際人間科学部 蘆田弘樹 准教授	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>C. necator</i> にシアノバクテリア由来のHCO<sub>3</sub>-トランスポーター発現系を導入</li><li>• <i>C. necator</i>の内在性RuBisCOを高発現させてCO<sub>2</sub>の固定活性を向上</li></ul>
気相リアクター開発	東京工業大学 地球生命研究所 藤島皓介 准教授	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>C. necator</i>に外来性のCo<sub>2</sub>固定酵素を導入してCO<sub>2</sub>固定能力を強化</li></ul>
	名古屋大学大学院 工学研究科 堀克敏 教授 大阪大学 太陽エネルギー化学研究センター 中西周治 教授	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>C. necator</i>のCO<sub>2</sub>固定速度を向上させる気相反応リアクターを構築</li><li>• <i>C. necator</i>の多孔質層への付着性を向上するため、<i>Athinetobacter</i>由来の接着性繊維蛋白質を導入</li></ul>

# ⑧ 電力中央研究所 平野 伸一 上席研究員

## 概要

電力中央研究所 平野 伸一 上席研究員	
機関の名称、所在、沿革	<p>&lt;名称&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>一般財団法人電力中央研究所 環境科学研究所 環境科学領域</li></ul> <p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>千葉県我孫子市我孫子1646</li></ul> <p>&lt;経歴[1]&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>2004年 電力中央研究所 入所</li></ul>
研究内容、規模、成果	<ul style="list-style-type: none"><li>独立栄養生物である鉄酸化細菌に電気培養法を適用することにより、増殖をサポートし、通常の培養法に比べ最終菌体密度を 10-100 倍程度向上可能であることを明らかにしている。</li><li>2015年度～2016年度の科研費挑戦的萌芽研究「電気駆動型新規二酸化炭素変換プロセスの構築」において、乳酸菌の乳酸脱水素酵素を導入した遺伝子組換え鉄酸化細菌を電気培養することで、野性株では見られない乳酸とその他数種の代謝産物の蓄積を検出した。[2]</li><li>2021年度～2022年度にかけて、JST A-STEPトライアウト「再エネ由来電力を用いたCO<sub>2</sub>からのタンパク質生産技術の開発」において、再生エネルギー由来の電気とCO<sub>2</sub>を原料として鉄酸化細菌の大量生産を可能とすることで持続可能なタンパク質供給システムを確立することを目指した。高い増殖速度を持つ鉄酸化細菌の選定及びスケールアップ可能な電気培養システムの構築を行い、高い生産性(10 L規模で<math>2.3 \times 10^{12}</math> cells/L/day)を達成を目指した。[3]</li><li>熊谷組技術研究所、茨城大学分子微生物学研究室、芝浦工業大学環境科学研究室との共同研究を行い、遺伝子組換えによりエチレン生成酵素(EFE)を合成する能力を鉄酸化細菌に付与。CO<sub>2</sub>からエチレンを効率的に作る手法を確立した。[4]</li><li>「微生物を利用したブタノール生産方法」「微生物を利用したアルコール生産方法及び装置」など、62件の特許を取得。</li></ul>
実用化で想定されるビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>電気を微生物に供給することで二酸化炭素を原料として、燃料、アルコール、乳酸、タンパク質等を生産する。</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>鉄酸化細菌 <i>Acdithiobacillus ferroxidans</i> (ATCC19859)(JCM3863) [2][6]</li></ul>

(出典)

[1] 電力中央研究所 環境科学研究所 個人プロフィール <https://criepi.denken.or.jp/jp/env/profile/s-hirano.html>

[2] 日本農芸化学会 2017年3月19日 講演 [https://jsbba2.bioweb.ne.jp/jsbba\\_db/index.php?aid=52556&place\\_num=1](https://jsbba2.bioweb.ne.jp/jsbba_db/index.php?aid=52556&place_num=1)

[3] JSTプロジェクトデータベース <https://projectdb.jst.go.jp/grant/JST-PROJECT-20339084/>

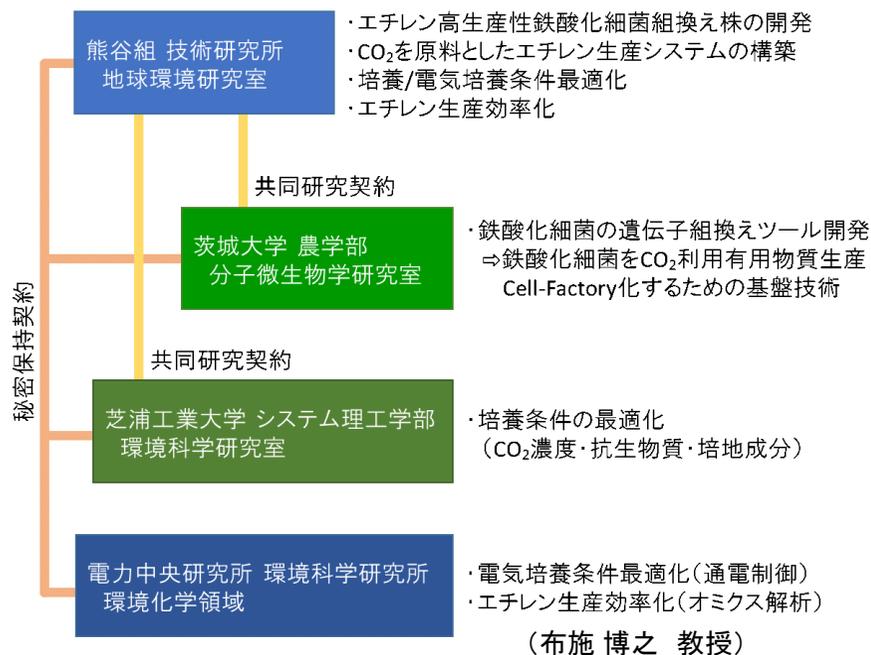
[4] 熊谷組プレスリリース 2019年12月02日 [https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2019/pr\\_20191202\\_1.html](https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2019/pr_20191202_1.html)

[5] J-GLOBAL [https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL\\_ID=201801019913195370&e=publication/patent](https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201801019913195370&e=publication/patent)

[6] 特開2019-154435

## 熊谷組との研究開発の概要

### 研究開発の実施体制[1]



### 研究開発成果の特許出願状況[2]

- ・ 開発した技術を「エチレン生産方法およびエチレン製造装置」(特開2019-154435)として出願した。
- ・ 鉄酸化細菌として*Acidithiobacillus ferrooxidans* ATCC19859 (JCM3863) 株を使用した。
- ・ *Pseudomonas savastanoi* pv. *Phaseolicola* 由来のエチレン生成酵素(EFE)遺伝子を導入した。

(出典)

[1] 熊谷組プレスリリース 2019年12月02日 [https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2019/pr\\_20191202\\_1.html](https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2019/pr_20191202_1.html)

[2] 特開2019-154435

# ⑨ クイーンズランド大学 Esteban Marcellin准教授

## 概要

The University of Queensland、Esteban Marcellin准教授	
機関の名称、所在、沿革	<p>&lt;名称&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Australian Institute for Bioengineering and Nanotechnology, The University of Queensland</li></ul> <p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• オーストラリア クイーンズランド州 ブリスベン</li></ul> <p>&lt;経歴[1]&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bachelor of Science, Instituto Quimico de Sarria</li><li>• Doctor of Philosophy, The University of Queensland</li></ul>
研究内容、規模、成果	<ul style="list-style-type: none"><li>• システム生物学及び合成生物学的アプローチにより、物質生産に向けてより効率的な菌株を作り出すことに取り組んでいる。特に、ガス発酵を利用して、COやCO<sub>2</sub>を原料として化学物質や燃料に変換するプロセスに注力している。[1]</li><li>• LanzaTechとは2012年頃から連携しており、酢酸菌の代謝モデルによるガス発酵時の代謝解析などを行っている。[1]</li><li>• 研究所には産業界以外では珍しいガス発酵設備を有しており、ガス発酵のデータ取得が可能となっている。[2]</li></ul>
実用化で想定されるビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>• 排ガス由来のCO<sub>2</sub>や、合成ガスを原料としてガス発酵によりエタノール他の有用化合物を生産させる。</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Clostridium autoethanogenum</i> (<i>Clostridium autoethanogenum</i> DSM 10061株から派生したDSM 19630(DSMZIに寄託されたもの)を使用[3])</li></ul>
連携先	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lanzatech、Amyris、Zoetis、Dow、CSL、Thermo-Fisher[1]</li></ul>

(出典)

[1] The University of Queensland "UQ Researchers" <https://researchers.uq.edu.au/researcher/1719>

[2] The University of Queensland "Ancient biology meets cutting-edge technology at AIBN" <https://aibn.uq.edu.au/article/2017/08/ancient-biology-meets-cutting-edge-technology-aibn>

[3] Heffernan, James K et al. "Enhancing CO<sub>2</sub>-Valorization Using *Clostridium autoethanogenum* for Sustainable Fuel and Chemicals Production." *Frontiers in bioengineering and biotechnology* vol. 8 204. 27 Mar. 2020, doi:10.3389/fbioe.2020.00204

# ⑨ クイーンズランド大学 Esteban Marcellin准教授(続き)

## カーボンリサイクルに関連するプロジェクト(研究助成)[1]

No.	タイトル	期間	助成機関
1	Towards decarbonized aerobic fermentation: metabolic understanding of hydrogenase activity and its utilization for bioproduction	2023-2024	Universities Australia
2	Production of valuable chemicals from gaseous waste	2022-2024	Australian Research Council
3	Microbial conversion of greenhouse gases into high-value animal feeds (Monash University led Woodside Energy Technologies grant)	2022-2023	Monash University
4	BiG Chem: Biological Gas-to-Chemicals	2017-2020	The University of Queensland
5	Developing an integrated systems and synthetic biology platform to expand the product spectrum of acetogens	2015-2018	Australian Research Council
6	Building a Gas Fermentation Facility for the Production of Fuels and Chemicals	2015	The University of Queensland
7	Transforming greenhouse gases into fuels and chemicals: A systems approach	2012-2014	The University of Queensland
8	Transforming industrial greenhouse gas emissions into useful chemicals: a systems biology approach	2012-2014	The University of Queensland
9	Reconstruction of a Genome Scale Model	2012	LanzaTech New Zealand Limited

[No.2] CO2を液体化合物に変換できる革新的なバイオ技術を開発することを目的としたプロジェクト。

[No. 5] LanzaTechとともに、排ガス発酵プロセスを進化させ、バイオジェット燃料生産を初めて可能にするを旨としたプロジェクト。また、エタノールに加え、ブタンジオールやファルネセン等の生産に取り組んだもの。

[No. 9] LanzaTechとの共同研究で、ガス発酵微生物のゲノムスケール代謝モデルの構築を行ったものと思われる。

(出典)

[1] The University of Queensland "UQ Researchers" <https://researchers.uq.edu.au/researcher/1719>

# ⑨ クイーンズランド大学 Esteban Marcellin准教授(続き)

## Esteban Marcellin准教授の主要論文

No.	発表論文	概要
1	Valgepea K, Talbo G, Takemori N, Takemori A, Ludwig C, Mahamkali V, Mueller A, Tappel R, Köpke M, Simpson DS, Nielsen LK, Marcellin E (2022). Absolute Proteome Quantification in the Gas-Fermenting Acetogen <i>Clostridium autoethanogenum</i> . <i>Msystems</i> 7 (2), e00026-22	acetogenで初めて信頼性の高いプロテオーム絶対定量を行った研究。3種類の混合ガス(CO、CO+H <sub>2</sub> 、CO+CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> )で独立栄養的に増殖したモデル酢酸菌 <i>Clostridium autoethanogenum</i> の細胞内濃度を、絶対プロテオミクスで定量した。
2	Mahamkali V, Valgepea K, de Souza Pinto Lemgruber R, Plan M, Tappel R, Köpke M, Simpson SD, Nielsen LK, Marcellin E (2020) Redox controls metabolic robustness in the gas-fermenting acetogen <i>Clostridium autoethanogenum</i> . <i>Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)</i> 117 (23) 13168-13175	ガス発酵酢酸菌 <i>Clostridium autoethanogenum</i> の自己発振型独立栄養連続培養における代謝の頑健性の限界を定量化した研究。
3	Heffernan, J. K., Valgepea, K., Souza, R. De, Lemgruber, P., Casini, I., Plan, M., et al. (2020). Enhancing CO <sub>2</sub> -valorization using <i>Clostridium autoethanogenum</i> for sustainable fuel and chemicals production. <i>Front. Bioeng. Biotechnol.</i> 8, 1–10. doi:10.3389/fbioe.2020.00204.	<i>Clostridium autoethanogenum</i> のCO <sub>2</sub> とH <sub>2</sub> による独立栄養型連続培養の定常状態を定量化した研究。また、モデリングによる解析で、CO <sub>2</sub> ・H <sub>2</sub> による培養時に少量COを添加することでCO <sub>2</sub> の利用性が向上することを示した。
4	Marcellin E, Behrendorff JB, Nagaraju S, DeTissera S, Segovia S, Palfreyman R, Daniell J, Licon-Cassani C, Quek L, Speight R, Hodson M, Simpson S, Mitchell W, Köpke M, Nielsen LK. (2016). Low carbon fuels and commodity chemicals from waste gases—Systematic approach to understand energy metabolism in a model acetogen. <i>Green Chemistry</i> 18 (10), 3020-3028	AcetogenはC1ガスで成長する際の潜在的なエネルギー制約が、物質生産の課題になるため、エネルギー効率の高い経路や菌株を設計・開発するための系統的なプラットフォームの開発を行ったもの(オミクス技術をベースとし、遺伝子ツール、ゲノムスケール代謝モデルにより補完したもの)

(出典)  
[1] The University of Queensland “Dr Esteban Marcellin Saldana” <https://aibn.uq.edu.au/profile/4565/esteban-marcellin>  
各文献の概要は、要旨を基にMURC作成

## 概要

### Univ. of Toronto、David Sinton教授

#### 所属・役職、 所在、経歴

##### <所属・役職>

- Professor, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto  
(トロント大学 機械産業工学科 教授)

<所在> 5 King's College Rd., Toronto, Ontario M5S 3G8, Canada.

##### <経歴>

- トロント大学で学士号、マギル大学で修士号、トロント大学で博士号を取得
- ビクトリア大学の准教授、コーネル大学の客員准教授を経て現職[1]

#### 研究内容

- 再エネ由来の電気を利用してCO<sub>2</sub>を有用物質や燃料へ高効率に変換する電極触媒変換システムを開発している。[2]

#### 主な 研究成果[3]

##### (背景)

- 電気分解によってCO<sub>2</sub>をCOに還元することで、CO<sub>2</sub>を燃料や原料へ資源化することが可能である。
  - 電極や電気化学セルのサイズ低減に直結するCO<sub>2</sub>変換の高速化(電流密度化)が、社会実装に向けた重要課題である。[4]
- (CO<sub>2</sub>の電気分解の課題)
- CO<sub>2</sub>の電気化学反応は、気体・固体・液体が同時に関与する気液固三相反応界面内で起こる。そのため、電気分解の生産性は、電解質液中から触媒表面へのCO<sub>2</sub>ガスの拡散によって制限される。
  - CO<sub>2</sub>の電気分解において、触媒の大部分は電解液と接触しており、CO<sub>2</sub>の利用可能性はCO<sub>2</sub>自身の溶解度(pH15で2 mM未満)によって制限される。また、水素発生がCO<sub>2</sub>還元と競合する反応であるため、CO<sub>2</sub>が少ない電解液に接する触媒表面積が大きくなると、水素の発生が促進されてしまう。
  - CO<sub>2</sub>還元速度は温度上昇に伴い向上するが、アルカリ性電解槽では温度上昇に伴い、反応生産性が低下する。

##### (David Sintonらの発明)

- 疎水性と親水性の機能性を併せ持ち、かつイオン輸送性を有する合成樹脂層(金属と疎水性・親水性の機能性を持つ超微粒子アイオノマー層)を利用することで、触媒活性部位に存在する反応界面(ガス状反応体、イオン、電子の3つが集まる領域)を、サブマイクロメートル領域から数マイクロメートルに拡大した。

##### (成果)

- 開発した触媒を用いて、工業用電解槽の関連温度である60°Cで電気分解した場合、室温運転した場合と比較して、C<sub>2</sub>+化合物の生産性が50%以上向上することを確認した。
- 1.3 A/cm<sup>2</sup> の電流密度を達成し、カソードエネルギー効率45%のCO<sub>2</sub>電解を実現した。

(出典) [1] トロント大学ウェブサイト [https://www.mie.utoronto.ca/faculty\\_staff/sinton/](https://www.mie.utoronto.ca/faculty_staff/sinton/) [2] David Sinton 研究室ホームページ <http://www.sintonlab.com/renewablefuels>

[3] "CO<sub>2</sub> electrolysis to multicarbon products at activities greater than 1 A cm<sup>-2</sup>." Science (New York, N.Y.) vol. 367,6478 (2020): 661-666.

[4] [https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2022/20221216\\_2](https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2022/20221216_2)

### (3)ベンチャー・スタートアップ企業の把握

---

# 調査対象の選定

CO2固定微生物を用いた事業に取り組んでいるベンチャー・スタートアップ企業をリストアップし、詳細調査の対象を選定した。

No.	国	企業	連携機関	創業	微生物種	原料等	遺伝子組換え	プロダクト	取組内容等
1	日本	CO2資源化研究所	東京大学 石井 正治教授、大林組、太陽石油、丸紅、富士フイルム等	2015	<i>Hydrogenophilus thermoluteolus</i>	CO2+水素	Y(物質生産) N(菌体利用)	エタノール、イソブタノール、アラニン、バリン等	UCDI®Technologyを核として、CO2と水素からヒト用プロテイン、Biofeeds(飼料用動物性タンパク素材)、プラスチック、バイオ燃料の製造に向け川下企業と連携して取り組んでいる。
2	米国	LanzaTech	積水化学工業、ブリヂストン、住友理工、三井物産(出資)等	2005	<i>Clostridium autoethanogenum</i>	CO, CO2+水素	Y	エタノール、エチレン、イソプロパノール、アセトン、モノエチレングリコール等	COやCO2を含むガスを基質としてガス発酵技術によりエタノール等を製造するプロセスを開発し、当該技術のライセンス供与を行っている。
3	米国	Cemvita Factory	Oxy Low Carbon Ventures、三菱重工(出資)	2017	バナナの遺伝子導入した微生物	CO2	Y	エチレン等	Cemvita Factoryが構築した株を用いてCO2からバイオエチレンの製造プロセスの開発を進めている。2021年4月、1トン/月のパイロットプラントを建設することを発表(2022年稼働予定)。商業化に向けて、年170万トンのCO2を使い約45万トンのエチレンを生産することを目指す。
4	米国	Kiverdi	Archer Daniels Midland	2002	水素細菌	CO2	N	食用タンパク質、水産飼料用タンパク質、生分解性プラスチック	大気中のCO2を使って水素細菌を培養し、タンパク質粉末「Air Protein」を製造
5	米国	Superbrewed Food	Cargill、Bel Group	2012	<i>Clostridium</i> 属細菌等	糖+CO, CO2	N	タンパク質、バイオケミカル、バイオ燃料	植物を原料として細菌を嫌気発酵し、タンパク質粉末を製造

赤枠内が詳細調査の対象

# 調査対象の選定(続き)

(続き)

No.	国	企業	連携機関	創業	微生物種	原料等	遺伝子組換え	プロダクト	取組内容等
6	米国	Oakbio (NovoNutrients)	-	2009	水素細菌	CO2	不明	水産飼料用タンパク質、生分解性プラスチック	CO2、水素、および酸素を基に微生物を培養し、タンパク質を豊富に含む粉末(飼料用もしくは食用)として販売
7	英国	DeepBranch	Drax、 Landsvirkjun	2018	水素細菌	CO2	N	飼料用タンパク質	動物飼料業界向けのGMフリー単細胞タンパク質飼料を開発
8	フランス	EnobraQ		2015	遺伝子組換え酵母 ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	CO2	Y	乳酸等	酵母にCO2固定機能(RuBisCOと思われる)を導入し、CO2からの物質生産プロセスの開発を進めている。ターゲットは栄養分野、バイオプラスチック、農産物市場。EUのBioRECO2VERプロジェクトに参画。
9	フィンランド	SOLAR FOODS	-	2017	水素細菌	CO2	N	食用タンパク質	水素、酸素、CO2を原料として、水素細菌を培養。乾燥粉末として販売。
10	ノルウェー	SINTEFF	-	-	-	-	-	-	大規模研究機関。化学・微生物的手法でCO2固定。アセトン生産のプロジェクト採択。
11	米国	Newlight Technologies		2003		CH4, CO2		PHA(生分解性プラスチック)	CH4及びCO2から生分解性プラスチックであるPHAを製造中(事業化フェーズ)。
12	オランダ	Power-to-Protein		2015		CO2		飼料用タンパク質、食用タンパク質	
13	オーストリア	KRAJETE		2007	古細菌	CO2		メタン	

赤枠内が詳細調査の対象

# ① CO2資源化研究所

## 概要

### 株式会社CO2資源化研究所

所在、沿革、代表者[1]	<p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>東京都江東区青海2-4-32 タイム24ビル15階</li></ul> <p>&lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>2015年8月、設立</li><li>2016年、東京大学大学院農学生命科学研究科応用微生物学研究室(石井正治教授)と、水素微生物の基礎解析及び応用に関する共同研究契約締結。同研究室に研究機能を設置し、研究活動を開始。</li><li>2021年6月、本社及び研究所を江東区青海に移転</li><li>2024年、第2研究所開設予定</li></ul> <p>&lt;代表者&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>CEO/CSO湯川 英明氏</li></ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>独自の水素細菌を用いたUCDI®Technologyを核として、CO2と水素からヒト用プロテイン、Biofeeds(飼料用動物性タンパク素材)、プラスチック、バイオ燃料の製造に向け取り組んでいる。各分野のプロダクトの製造技術に関わる特許を取得しており、それぞれ川下企業と連携して事業開発を進めている。</li><li>報道によれば、2024年に自己資金で第2研究所を開設し、数十リットルのベンチ設備や1,000 L程度のパイロット設備を導入し、スケールアップ拠点と位置付ける予定。2030年までに大手化学企業との連携を視野に、ポリ乳酸、ポリエチレンを各10万トン規模の生産を目指すとしている。[2]</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li><i>Hydrogenophilus thermoluteolus</i>[3](UCDI®水素菌)</li><li>東京大学兒玉徹名誉教授が1970年代後半に伊豆半島の温泉で発見[4]</li><li>飼料・タンパク質向けには天然株を、バイオ燃料・化学品向けには組換え株を使用している[5]</li></ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"><li>大林組(ポリ乳酸)[6]、太陽石油(イソブタノール)[7]、丸紅(飼料添加剤等)[8]、富士フィルム(アラニン)[9]</li><li>その他の協力企業・連携機関として、クリーク・アンド・リバー、大陽日酸、パナソニック、森永乳業、近畿大水産研究所大島実験場、東大大学院農学生命科学研究科応用生命工学専攻応用微生物学研究室が公表されている。[10]</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>設立時の自己資金は2,850万円(2015年)。その後、2018年に2回の第三者割当増資により、資本金・資本準備金は1億6,290万円となっている。[1] (株)クリーク・アンド・リバーが出資者として公表されている[11]が、その他は不明。</li></ul>

# ① CO2資源化研究所(続き)

(出典)

- [1] CO2資源化研究所HP「About us」 <https://www.co2.co.jp/jp/about-us>
- [2] 化学工業日報「CO2資源化研究所、水素菌事業化へ新研究所 東京に24年開設」(2023年2月28日) <https://www.chemicaldaily.co.jp/%EF%BD%83%EF%BD%8F%EF%BC%92%E8%B3%87%E6%BA%90%E5%8C%96%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%89%80%E3%80%81%E6%B0%B4%E7%B4%A0%E8%8F%8C%E4%BA%8B%E6%A5%AD%E5%8C%96%E3%81%B8%E6%96%B0%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%89%80%E3%80%80/>
- [3] 湯川英明監修「脱石油に向けたCO2資源化技術 —化学・生物プロセスを中心に—」(シーエムシー出版)
- [4] 化学工業日報「水素とCO2で菌体培養」(2016年5月31日) [https://static1.squarespace.com/static/5f03cca39538b147e0e06520/t/5f3f71d4d954912ad6a91543/1597993430158/16\\_0531.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5f03cca39538b147e0e06520/t/5f3f71d4d954912ad6a91543/1597993430158/16_0531.pdf)
- [5] CO2資源化研究所HP「UCDI®Technology」 <https://www.co2.co.jp/jp/technology>
- [6] 大林組 プレスリリース「CO2から生産する生分解性プラスチックの実用化検討を開始」(2019年6月17日) [https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20190617\\_1.html](https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20190617_1.html)
- [7] 太陽石油プレスリリース「水素菌を用いたバイオジェット燃料製造に関する共同研究契約の締結について」(2021年11月17日) <https://www.taiyooil.net/news/2021/21-057.html>
- [8] 富士フィルム プレスリリース「二酸化炭素を主原料に有機物を産生する水素酸化細菌の量産化技術開発に関する共同研究契約を締結」(2022年12月26日) <https://www.fujifilm.com/jp/ja/news/list/8976>
- [9] 丸紅 プレスリリース「CO<sub>2</sub>を活用した畜産向け飼料添加剤等に関する協業について」(2022年12月23日) <https://www.marubeni.com/jp/news/2022/release/00097.html>
- [10] CO2資源化研究所 プレスリリース「世界初、CO<sub>2</sub>を食べて育つ水素細菌『UCDI 菌』による バイオジェット燃料生産の特許を取得」 [https://static1.squarespace.com/static/5f03cca39538b147e0e06520/t/5f3f71ab0381b33b7098e575/1597993391413/19\\_0227.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5f03cca39538b147e0e06520/t/5f3f71ab0381b33b7098e575/1597993391413/19_0227.pdf)
- [11] クリーク・アンド・リバー プレスリリース「エネルギーと食糧問題を解決する成長事業に出資 ～東大発ベンチャー企業『CO2資源化研究所』に～ 水素と二酸化炭素から、バイオジェット燃料や飼料を生成」(2018年3月5日) <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000001122.000003670.html>

# ① CO2資源化研究所(続き)

## UCDI®Technologyの特徴

### 高いタンパク質含有量

UCDI®水素菌の粗タンパク質含有率は83.8%と、魚粉や一般的な微生物が50-60%であるのに対して、高い含有率となっている。

### 高い増殖速度

UCDI®水素菌の分裂倍加時間は約1時間であり、これは現在工業的生産規模のバイオプロセスに用いられている微生物の倍加時間とほぼ同等のスピードである。

### 高温プロセスによる 雑菌汚染リスク・環境負荷の低減

既存の発酵工業で用いられている微生物の生育至適温度が30℃前後であるのに対して、UCDI®水素菌の生育の至適温度は52℃と高温であり、雑菌汚染リスク、環境負荷を最小限に抑えることができる。

### 増殖非依存型バイオプロセスの技術

CEOの湯川英明博士が開発した増殖非依存型バイオプロセスにより、遺伝子組換えしたUCDI®水素菌に、副生物生成を抑制すると同時に化学品生成能を与えることができ、UCDI®の技術的基盤のひとつとなっている。

# ① CO2資源化研究所(続き)

## 技術開発及び事業化に向けた取組状況

製品分野	プロダクト	関連特許[1]	事業化に向けた取組状況・計画
ヒト用プロテイン	菌体	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>2024年度中にもFDA認証を取得する計画[2]</li> </ul>
Biofeeds(飼料用動物性タンパク素材)	菌体	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>2019年より3ヶ年の「水素菌を用いた国産魚粉代替品開発事業」に参画</li> </ul>
	バリン	特許6604584	<ul style="list-style-type: none"> <li>丸紅と連携中と思われる(プレスリリースでは「飼料添加剤」とされている)</li> </ul>
プラスチック	乳酸 (→ポリ乳酸)	特許6562374 特許6675574	<ul style="list-style-type: none"> <li>大林組と連携</li> <li>2025年をめどに大手コンビニで食品包装容器の試験提供を開始する計画[2]</li> <li>2030年までに10万トン規模の生産を目指す[2]</li> </ul>
	エタノール (→ポリエチレン)	特許6485828	<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年までに10万トン規模の生産を目指す[2]</li> </ul>
バイオ燃料	イソブタノール (→バイオジェット燃料)	特許6450912	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽石油と連携</li> </ul>
その他	アラニン	特許6528295	<ul style="list-style-type: none"> <li>富士フイルムと連携</li> </ul>

(出典)

[1] CO2資源化研究所HP「About us」 <https://www.co2.co.jp/about-us>

[2] 化学工業日報「CO2資源化研究所、水素菌事業化へ新研究所 東京に24年開設」(2023年2月28日)

<https://www.chemicaldaily.co.jp/%EF%BD%83%EF%BD%8F%EF%BC%92%E8%B3%87%E6%BA%90%E5%8C%96%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%89%80%E3%80%81%E6%B0%B4%E7%B4%A0%E8%8F%8C%E4%BA%8B%E6%A5%AD%E5%8C%96%E3%81%B8%E6%96%B0%E7%A0%94%E7%A9%B6%E6%89%80%E3%80%80/>

## 概要

### LanzaTech Global, Inc. (米国)

所在、沿革	<p>&lt;所在&gt; 米国イリノイ州スコークー</p> <p>&lt;沿革[1]&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2005年、ニュージーランドにて設立</li> <li>2014年、ニュージーランドから米国に本社及び研究施設を移転</li> <li>2018年、初の商業プラントが中国で操業開始(製鉄所の排ガス→エタノール)</li> <li>2020年、バイオジェット燃料の製造を行うLanzaJetをスピンアウト設立</li> <li>2023年2月、LanzaTech Globalに社名変更するとともにNasdaqに上場[2]</li> </ul> <p>&lt;代表者&gt; CEO Dr. Jenifer Holmgren</p>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>COやCO<sub>2</sub>を含むガスを基質としてガス発酵技術によりエタノール等を製造するプロセスを開発し、当該技術のライセンス供与を行っている。</li> <li>製造したエタノールをプラスチックやバイオジェット燃料に変換する技術の開発も行っているほか、近年はエタノール以外の化合物をガス発酵により直接製造するプロセスの開発を進めている(イソプロパノール、アセトン、エチレン等)(次ページ参照)。また、発酵後の菌体は飼料・肥料として販売している[3]。</li> </ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>Clostridium autoethanogenum</i> [4]</li> <li>2015年にはLanzaTechの協力のもと、University of Nottinghamのチームによりゲノム解読がなされた。[5]</li> </ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"> <li>BASF(ドイツ)、DANONE(フランス)、Givaudan(スイス)、ArcelorMittal(ルクセンブルク)、SUNCOR ENERGY(カナダ)、IndianOil(インド)、Shougang LanzaTech(中国)、SINOPEC(中国)、三井物産(日本)、積水化学工業(日本)、住友理工(日本)、ブリヂストン(日本)等</li> </ul>
資金提供元[1]	<ul style="list-style-type: none"> <li>2014年、三井物産が60MドルのシリーズDラウンドの資金調達をリード</li> <li>その他、米国エネルギー省のグラントや、パートナー企業からの出資等を受けている</li> <li>2023年2月にはNasdaqに上場[2]</li> </ul>

(出典)

[1] LanzaTech HP "About" <https://lanzatech.com/about/>

[2] LanzaTechプレスリリース "LanzaTech Global, Inc. Begins Trading on Nasdaq Stock Exchange" (2023年2月10日) <https://ir.lanzatech.com/news-releases/news-release-details/lanzatech-global-inc-begins-trading-nasdaq-stock-exchange>

[3] TECHBLITZ「微生物による発酵で排気ガスからエタノールを生成するLanzaTech」(2019年9月30日) <https://techblitz.com/lanzatech/>

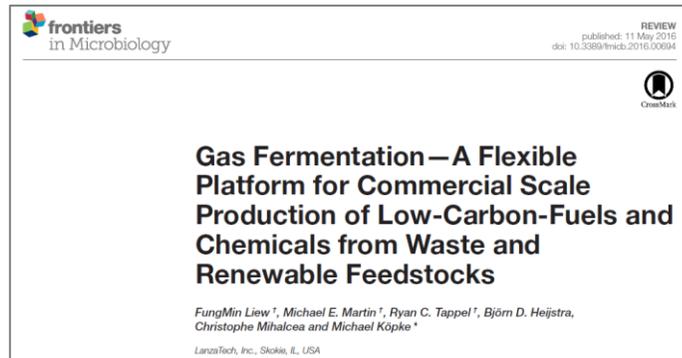
[4] 論文情報より判断

[5] Humphreys, Christopher M et al. "Whole genome sequence and manual annotation of *Clostridium autoethanogenum*, an industrially relevant bacterium." BMC genomics vol. 16 1085. 21 Dec. 2015, doi:10.1186/s12864-015-2287-5

## ② LanzaTech (続き)

### ガス発酵技術

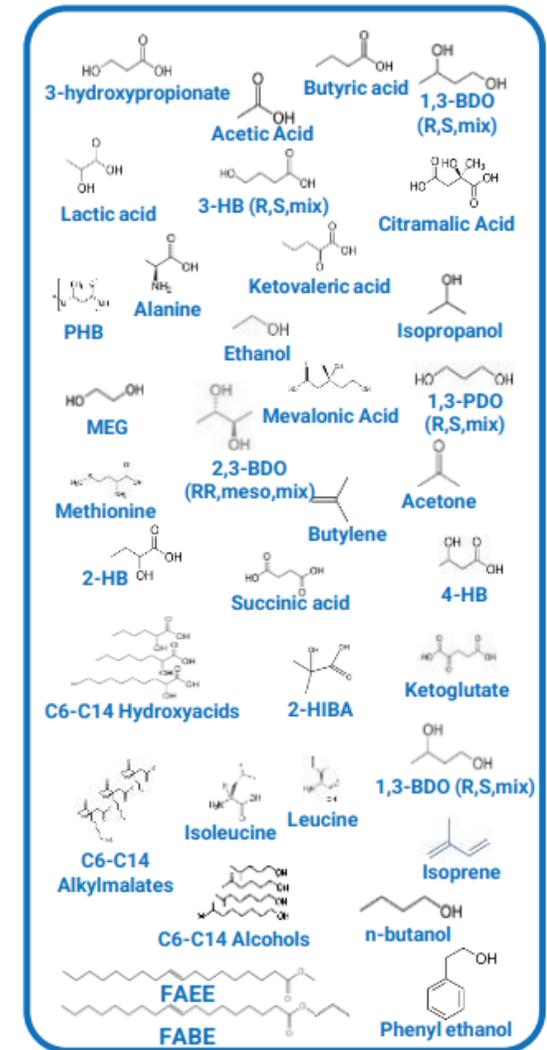
- COやCO<sub>2</sub>を含むガスを基質としてガス発酵技術によりエタノール等を製造する。原料としては、製鉄所の排ガス、固体廃棄物の合成ガス化、バイオガスなどが利用可能となっている。
- ガス発酵技術の詳細は、LanzaTech社による以下のレビュー論文(2016年)にてよくまとめられている。



Liew, FungMin et al. "Gas Fermentation-A Flexible Platform for Commercial Scale Production of Low-Carbon-Fuels and Chemicals from Waste and Renewable Feedstocks." Frontiers in microbiology vol. 7 694. 11 May. 2016, doi:10.3389/fmicb.2016.00694  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2016.00694/full>

- 100以上のポテンシャル化学品を特定している(右図)。[1] 近年、CO<sub>2</sub>/COから直接エチレン、モノエチレングリコール、イソプロパノール、アセトンに変換する技術開発に成功している[後述]。
- 世界で1,250件以上の特許を取得し、575件以上の特許を出願中[1]。

### ポテンシャル化学品



(出典)

[1] LanzaTech corporate presentation (2023年1月), <https://ir.lanzatech.com/static-files/12226c62-40af-4c2c-8dec-715c136b2a25>

## ② LanzaTech (続き)

### ガス発酵技術 (続き)

- LanzaTechは菌株の改良に向けた研究開発を進めており、嫌気性菌向けのバイオフィャンドリやAI・モデリングプラットフォーム等を有している。また、世界の研究機関と連携して研究開発を進めている。

#### World's First Anaerobic Biofoundry

Fully Automated Engineering & Screening of Thousands of Anaerobic Gas Fermentation Strains



#### Advanced AI & Modeling

Fully-Integrated Predictive Metabolic & Process Models



#### Rapid In Vitro Prototyping Platform

Predictive & Low-Cost, Cell-Free Prototyping of Enzymes & Pathway Designs



#### World-Class Partnerships

Partnerships with Leading Synthetic Biology Institutions Across Globe



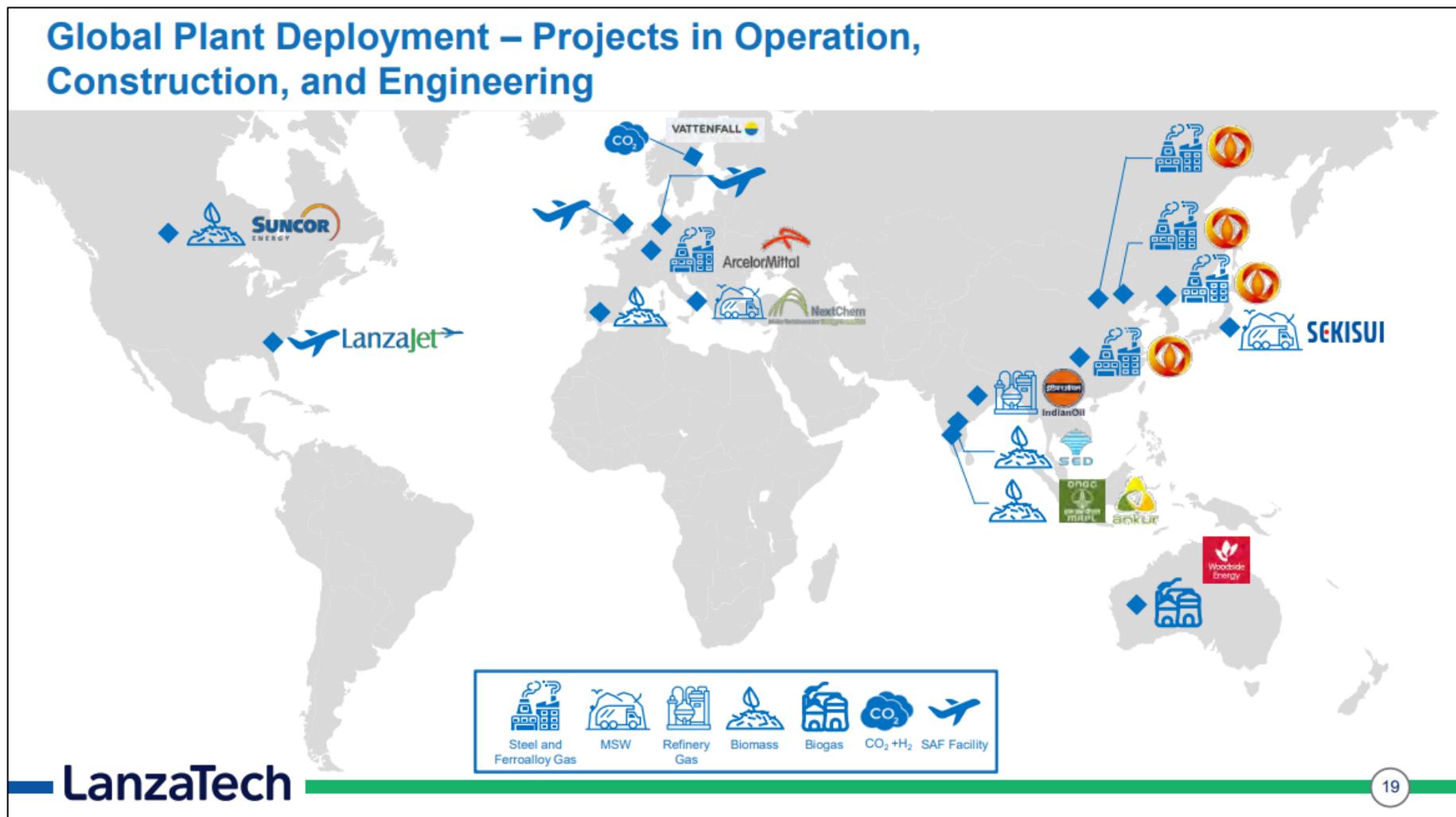
(出典)

[1] LanzaTech corporate presentation (2023年1月), <https://ir.lanzatech.com/static-files/12226c62-40af-4c2c-8dec-715c136b2a25>

## ② LanzaTech (続き)

稼働中・建設中・計画中のプラント

- ガス発酵技術をライセンスすることで、世界中でLanzaTechの技術を用いたプラントの計画・建設・稼働が進んでいる。



(出典)

[1] LanzaTech “ANALYST DAY PRESENTATION” (2023年1月), <https://ir.lanzatech.com/static-files/21eb4d1f-3e47-4224-9957-03bfb658aeab>

## ② LanzaTech(続き)

### プロダクト拡大に向けた取組状況

ターゲット	連携先	取組状況・計画	出典
エチレン	—	エタノールを介さず、直接エチレンを製造するプロセスを開発。	[1]
n-オクタノール	BASF(ドイツ)	鉄鋼業などの排出ガスの主成分であるCOとH <sub>2</sub> から、化粧品用途などに用いられるn-オクタノールを生産することに実験室規模で成功。	[2]
モノエチレングリコール	DANONE(フランス)	エタノールを介さず、PETの原料となるモノエチレングリコールを直接製造するプロセスを実験室規模で実証。	[3]
プロパン	SHV Energy(オランダ)	既存および新規経路を通じて再生可能プロパンおよびその他の持続可能燃料を市場に提供する戦略パートナーシップを発表。	[4]
エタノール、香料原料	Givaudan(スイス)	持続可能な香料成分を開発する共同開発を発表。エタノールの生産にとどまらず、Givaudanのポートフォリオで使用される主要な香料原料の新規経路を確立することを期待。	[5]
アセトン、イソプロパノール	Northwestern大学(米国)	Northwestern大学との共同研究で、アセトン・イソプロパノール生産が2022年に論文化された(nature biotechnology)	[6]
エタノール、イソプロパノール(→ポリプロピレン)	Twelve(米国)	Twelve社の炭素変換技術によってCO <sub>2</sub> をCOに変換し、LanzaTechの技術でエタノールを製造。また、イソプロパノール(その後プロピレン・ポリプロピレンを製造)も対象とする計画を発表。	[7]
エタノール、イソプレン	住友理工(日本)	ゴム・樹脂・ウレタン廃棄物をガス化・ガス精製した後、微生物による培養を経て、新たに化学物質のイソプレンを生産することを目指す(エタノールも同時に生産)。	[8]
エタノール、ブタジエン	ブリヂストン(日本)	使用済タイヤからエタノール等の化学品を製造し、包装用の樹脂(PET)やポリエステル糸、洗濯洗剤など日用品に使用される界面活性剤などの原材料として再利用することに取り組む。さらに、使用済タイヤから、タイヤの材料の一つである合成ゴムの素原料となるブタジエンを製造するため、独自の微生物を用いた発酵技術の開発に向けて共同で探索を進めている。	[9]

## ② LanzaTech (続き)

(出典)

- [1] LanzaTech プレスリリース “LanzaTech Produces Ethylene from CO2, Changing the Way We Make Products Today” (2022年10月11日) <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/10/11/2531739/0/en/LanzaTech-Produces-Ethylene-from-CO2-Changing-the-Way-We-Make-Products-Today.html>
- [2] BASF プレスリリース “LanzaTech and BASF achieve first milestone in utilizing industrial off-gases for chemical production” (2021年5月11日) <https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2021/05/p-21-206.html>
- [3] Lanzatech プレスリリース “LanzaTech, with the support of Danone, Discovers Method to Produce Sustainable PET Bottles from Captured Carbon” (2022年5月26日) <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/05/26/2451180/0/en/LanzaTech-with-the-support-of-Danone-Discovers-Method-to-Produce-Sustainable-PET-Bottles-from-Captured-Carbon.html>
- [4] SHV ENERGY プレスリリース “SHV Energy and LanzaTech announce partnership to pioneer renewable propane” (2022年3月23日) <https://www.shvenergy.com/news-stories/20220323-lanzatech-partnership>
- [5] LanzaTech プレスリリース “Givaudan and LanzaTech announce their collaboration on developing sustainable fragrance ingredients from renewable carbon” (2022年9月23日) <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/09/23/2521697/0/en/Givaudan-and-LanzaTech-announce-their-collaboration-on-developing-sustainable-fragrance-ingredients-from-renewable-carbon.html>
- [6] Liew, Fungmin Eric et al. “Carbon-negative production of acetone and isopropanol by gas fermentation at industrial pilot scale.” Nature biotechnology vol. 40,3 (2022): 335-344. doi:10.1038/s41587-021-01195-w
- [7] LanzaTech, Twelve プレスリリース “Twelve and LanzaTech Partner to Create Ethanol From CO2” (2022年3月3日) <https://www.businesswire.com/news/home/20220303005328/en/Twelve-and-LanzaTech-Partner-to-Create-Ethanol-From-CO2V>
- [8] 住友理工 プレスリリース「住友理工と LanzaTech、ゴム・樹脂・ウレタン廃棄物の再利用に関する共同開発契約を締結」(2022年11月22日) <https://www.sumitomoriko.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2022/11/n51910660.pdf>
- [9] ブリヂストン プレスリリース「ブリヂストンとLanzaTech 使用済タイヤのリサイクル技術開発へ向けたパートナーシップを締結」(2022年4月14日) <https://www.bridgestone.co.jp/corporate/news/2022041401.html>

# ③ Cemvita Factory

## 概要

Cemvita Factory(米国)	
所在、沿革、代表者	<p>&lt;所在&gt; 米国テキサス州 &lt;沿革&gt; 2017年設立 &lt;代表者&gt; Cofounder &amp; CEO Moji Karimi</p>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>合成生物学を活用して化学、鉱山、石油&amp;ガスなどの重工業分野での脱炭素ソリューションを開発・提供しており、CO2を原料として利用し常温・常圧下でさまざまな化学品を生成することを特徴とする。[1] MICROBES-AS-A-SERVICE™(MAAS)という商標で、微生物のライセンス供与からバイオ製造プロセスのフルサポートまで様々なレベルのサービスを提供する。[2]</li><li>CO2から製造可能な30以上の重要化合物を特定している。一例として、米石油大手Occidental Petroleum Corporation(Oxy)の子会社Oxy Low Carbon Venturesとのプロジェクトではエチレン生産に取り組んでいる。[3] また、United Airlines、Oxy Low Carbon Venturesとともに、CO2を炭化水素に変換し持続可能な航空燃料(SAF)を製造する取組も進めている。[4]</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>エチレン生産に関連する特許[5]では、以下の生物種が列挙されている。 Cyanobacteria, a <i>Synechococcus</i>, <i>Synechococcus elongatus</i>, <i>Synechococcus leopoliensis</i>, <i>Synechocystis</i>, <i>Anabaena</i>, a <i>Pseudomonas</i>, <i>Pseudomonas syringae</i>, <i>Pseudomonas savastanoi</i>, <i>Chlamydomonas</i>, <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>, <i>Escherichia</i>, <i>Escherichia coli</i>, <i>Geobacteria</i>, algae, microalgae, electrosynthesis bacteria, a photosynthetic microorganism, yeast, filamentous fungi, and a plant cell.</li></ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"><li>三菱重工業、United Airlines、Occidental Petroleum Corporation等(いずれも出資を受け、研究開発を行っている段階)</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>三菱重工業(米国統括拠点である米国三菱重工業を通じて出資)[1, 6]</li><li>米州住友商事(Sumitomo Corporation of Americas) [6, 7]</li><li>United Airlinesの子会社United Airlines Ventures(UAV)</li><li>米石油大手Occidental Petroleum Corporationの子会社Oxy Low Carbon Ventures [6]</li><li>その他出資企業: 8090 Partners、Seldor Capital、Climate Capital、Energy Capital Ventures [6, 8]</li></ul>

### ③ Cemvita Factory (続き)

(出典)

[1] 三菱重工業プレスリリース(2021年10月28日)「バイオ技術で脱炭素ソリューションを提供する米国センビタファクトリー社に出資 重工業分野のCCUSバリューチェーン構築を加速」

<https://www.mhi.com/jp/news/21102802.html>

[2] Cemvita Factory HP “Our Platform” <https://www.cemvitafactory.com/our-platform#cards-section>

[3] Cemvita Factory HP “Carbon-Negative Biomanufacturing” <https://www.cemvitafactory.com/applications/carbon-negative-biomanufacturing>

[4] Cemvita Factory HP “Sustainable Aviation Fuel” <https://www.cemvitafactory.com/sustainable-aviation-fuel>

[5] WO2021113396 <https://patentscope.wipo.int/search/ja/detail.jsf?docId=WO2021113396>

[6] Cemvita Factory プレスリリース(2021年10月27日) “Cemvita Factory Raises Additional Venture Capital For Industrial Decarbonization” <https://www.cemvitafactory.com/post/cemvita-factory-raises-additional-venture-capital-for-industrial-decarbonization>

[7] 住友商事プレスリリース(2021年11月25日)「環境対応ビジネス専任組織「グリーンケミカル開発室」の設立と、カーボンリサイクルを目指したセンビタへの出資」

<https://www.sumitomocorp.com/ja/jp/news/topics/2021/group/20211125>

[8] Cemvita Factory プレスリリース(2021年8月11日) “Houston – Based Cemvita Factory Announces Its Initial Closing Of Series A, Led By 8090 Partners, To Accelerate Industrial

Decarbonization” <https://www.cemvitafactory.com/post/houston-based-cemvita-factory-announces-its-initial-closing-of-series-a-led-by-8090-partners-to-accelerate-industrial-decarbonization>

# ③ Cemvita Factory (続き)

## Oxy社とのエチレン生産プロジェクト

### 概要[1, 2]

- Cemvita Factoryは米国の石油・ガス会社であるOccidental Petroleum Corporation(Oxy)と連携して、CO2からエチレンを製造するプロセスの開発に取り組んでいる。
- Cemvita Factoryは、バナナ由来のエチレン生産酵素遺伝子を宿主微生物に導入することで、CO2をエチレンに変換することができる菌株を構築した。
- 現在、本プロジェクトは探索段階を終え、次のステップとして、Oxy社のCO2排出源の隣に1トン/月の実証用パイロットプラントを建設し、スケールアップを行っている。
- 予備的な技術経済性評価では、現在のエチレン生産に用いられるクラッキングプロセスと比較して、コストが同等となる。
- また、ライフサイクルアセスメントでは、170万トンのCO2を利用して、年間10億ポンド(約45万トン)のエチレンを製造できることが分かっている。

### 関連特許

- WO2021113396 - Methods And Compositions For Producing Ethylene From Recombinant Microorganisms [3]



(出典)

[1] Cemvita Factory HP “Carbon-Negative Biomanufacturing” <https://www.cemvitafactory.com/applications/carbon-negative-biomanufacturing>

[2] Cemvita Factory プレスリリース(2021年4月6日)“Oxy Low Carbon Ventures, Cemvita Factory Announce Plan To Develop Pilot Plant For Innovative CO2-To-Bio-Ethylene Technology” <https://www.cemvitafactory.com/post/oxy-low-carbon-ventures-cemvita-factory>

[3] WO2021113396 <https://patentscope.wipo.int/search/ja/detail.jsf?docid=WO2021113396>

## ④ Kiverdi

### 概要

Kiverdi	
所在、沿革、代表者	<p>&lt;所在&gt; 米国カリフォルニア州</p> <p>&lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 2008年に創業</li><li>• 2019年に「AirProtein」を製品化。[1]</li></ul> <p>&lt;代表者&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Lisa Dyson博士及びJohn Reed博士(共同創業)</li></ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>• 1970年代にNASAが目指していた、宇宙船内の空気中のCO2を回収して食料にする技術の実現を目指して設立。</li><li>• ローレンスバークレー国立研究所とSRIインターナショナルの共同研究により開発された技術を利用。</li><li>• 以下の5つの事業を展開している [2]。5つの事業のうち、Air Protein 事業が最も詳細な情報が公開されている。<ul style="list-style-type: none"><li>• Air Protein: 大気中のCO2を使って水素細菌を培養し、タンパク質粉末「Air Protein」を製造。Air Proteinには遺伝子組換え技術を利用していない[1]。Air Proteinを材料として、肉や魚に類似した代替肉「Air Meat」を開発。シェフとの共同開発によりステーキ、鶏肉、ホタテの味に近づけた。[3]。タンパク質の製造は自社で行い、パートナー企業において最終商品を製造することも視野に入れている。[4]。</li><li>• REVIVE SOIL: CO2から土壌肥料を製造</li><li>• Reverse Plastics: CO2から生分解性プラスチックを製造</li><li>• CO2 Aquafeed : CO2から水産飼料を製造</li><li>• Custom Cycle: CO2由来製品を再利用する循環型プロセス</li></ul></li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hydrogenotrophs [4]</li></ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"><li>• Archer Daniels Midland (米国の穀物メジャー)[5]</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>• ADM VentureをリードインベスターとしてBarclaysとGoogle VenturesからシリーズAで3,210万ドルを調達[5]</li></ul>

(出典)

[1] Air Protein社ホームページ <https://www.airprotein.com/our-story>

[2] Kiverdi社ホームページ <https://www.kiverdi.com/>

[3] Chief Executive <https://chiefexecutive.net/alt-meat-pioneer-spins-promising-products-out-of-thin-air/>

[4] Food Navigator-USA 02-Oct-2019 <https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2019/10/02/Air-Protein-The-most-sustainable-meat-analogs-are-made-from-microbes-and-thin-air>

[5] World-Grain.com 01.08.2021 <https://www.world-grain.com/articles/14708-adm-investing-in-alternative-protein-company>

## ④ Kiverdi (続き)

### Air Meat



Air Meat (フィッシュ)



Air Meat (チキン)



Air Meat (ホタテ)

(出典)

Air protein ホームページ <https://airprotein.com/press-and-media>

# ⑤ Superbrewed Food

## 概要

### Superbrewed Food, Inc. (米国)

#### 所在、沿革、代表者

<所在> 米国デラウェア州にデモスケールの設備を設置、米国ミネソタ州に大規模プラントを設置[1]

<沿革>

- 2012年 White Dog Labs, Inc が設立。[1]
- 2020年 White Dog Labsがミネソタ州のトウモロコシ由来エタノール工場を購入してタンパク質生産施設に転換。[2]
- 2021年 White Dog LabsからSuperbrewed Foodに社名変更。

<代表者> CEO: Bryan Tracy

#### 事業内容、規模、ビジネスモデル

• 植物※を原料として細菌を嫌気発酵した後、洗浄・分離・乾燥の工程を経て、タンパク質粉末(ブランド名TBD)を製造する。[3]

※湯川英明監修「脱石油に向けたCO2資源化技術 —化学・生物プロセスを中心に—」(シーエムシー出版)には、炭素源として「糖+CO<sub>2</sub>」と紹介されているが、2023年3月現在、CO及びCO<sub>2</sub>の利用は同社ウェブサイトでは確認できていない

- タンパク質はヒトのマイクロバイーム固有の微生物叢から作られており、遺伝子組換えはされていない。[4]
- 用途は、チーズ、ミルク、ヨーグルト、ハンバーガーパティ、焼き菓子など多様。[3][5]
- 4,000万ガロンのミルクを生産できる規模のプラントをミネソタ州に設置。[4]
- 2022年にマイクロバイームタンパク質としては初めてFDAからGRAS認証を取得。[6]
- 欧州食品安全機関(EFSA)の承認取得も進めている。[7]
- 2023年前半にデラウェア州で製造した製品を発売する予定(Bel Groupがチーズに使用)。[4]

#### 使用菌株

• Superbrewed Foodが出願した特許においては、*Clostridium ljungdahlii* (DSM 13528) や *Clostridium. autoethanogenum* (DSM 10061) 等の複数種のクロストリジウム属について記載されている。[8]

• 安全性評価のためにラットへの摂食試験を実施した論文では、野生株から分離した *Clostridium tyrobutyricum* の乾燥粉末(トウモロコシ由来の糖質を原料として発酵)が用いられている。[9]

#### 取引先

<川上>

• 2019年時点の情報として、前身のWhite Dog Labsが穀物メジャーのカーギルとの提携を発表。トウモロコシを原料として発酵した水産養殖用のタンパク質ProTyton™や家畜飼料用のMiruTyton™の提供を目指すとしている。[10]

<川下>

• 2022年に、フランスの大手グローバルチーズメーカーである「Bel Group」と提携。BelグループはSuperbrewed Foodが製造する培養タンパク質をレシピに組み込んだチーズ製品の製造ラインを開発する。[4]

#### 資金提供元

• 助成金、出資、および融資を合わせて総額4,500万ドルを調達。[1]

# ⑤ Superbrewed Food

(出典)

- [1] <https://www.foodnavigator-usa.com/Article/2021/03/17/Dairy-free-cheeses-featuring-novel-fermented-microbial-protein-to-launch-by-year-end-says-Superbrewed-Food>
- [2] <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2020/05/03/from-food-to-fuel-white-dog-labs-converts-ethanol-plant-to-alternative-protein-production/>
- [3] <https://thespoon.tech/superbrewed-foods-uses-fermented-microbes-to-create-high-protein-plant-based-alternatives/>
- [4] Superbrewed Food社ホームページ <https://www.superbrewedfood.com/> [5] <https://delawarebusinesstimes.com/news/white-dog-labs-investment/>
- [6] <https://www.greenqueen.com.hk/superbrewed-secures-gras-certification/> [7] <https://insights.figlobal.com/startups/introducing-superbrewed-foods-postbiotic-cultured-protein>
- [8] Patent number:US-11466294-B2, Title: "Supplemented mixotrophic fermentation method", Applicant: Superbrewed Food Inc.
- [9] Bryan Tracy, Food and Chemical Toxicology, Volume 162, April 2022, 112878 [10] <https://www.cargill.com/2019/cargill-white-dog-labs-agreement-to-deliver-scalable-sustainable>

## ⑤ Superbrewed Food(続き)

代替ミルクの商品イメージ



タンパク質粉末



ミネソタ州の大規模プラント



(出典)

Superbrewed Food社ホームページ <https://www.superbrewedfood.com/>

## ⑥ Oakbio (NovoNutrients)

Oakbio.inc (NovoNutrients)	
所在、沿革、代表者	<p>&lt;所在&gt; 米国カリフォルニア州[1] &lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2008年、n-ブタノールとPHAのバイオ製造を目指すOakbio.incが設立される。</li> <li>2017年、Oakbio.incの創業者であるシリアルアントレプレナーBrian SeftonがNovoNutrientsを立ち上げ、水産養殖の投資家だったDavid Tzeがフルタイムで参画。事業領域は水産養殖用飼料から始まり、食品事業へと展開する。[2] (NovoNutrientsはOakbio社の栄養食事業のブランドである)[3]</li> </ul> <p>&lt;代表者&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>CEO: David Tze (前職は水産養殖のVC「Aquacopia Ventures」。Oakbio社のCEOも務める。)[3] (Brian SeftonはNovoNutrientsのCTO兼Presidentを退職し、真菌の機能性食品ベンチャー企業「Sincarne」を創設)[4]</li> </ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>、水素、および酸素を基に微生物を培養し、タンパク質を豊富に含む粉末(飼料用もしくは食用)として販売。[1]</li> <li>2021年に1,000Lのバイオリアクターでパイロット生産。近い将来に20,000Lの商業生産のデモを立ち上げる予定。[7]</li> <li>2023年に天然食品成分の商業実証生産、2025年にタンパク質およびカロテノイド飼料成分の商業生産、2027年にタンパク質飼料成分の商業生産を予定している。[8]</li> <li>製造技術を1社にライセンス済みで、今後も複数のジョイントベンチャーへのライセンスを計画している。[2]</li> <li>日本国内の出願情報は次のとおり。(発明の名称): 「微生物バイオマスに基づく飼料製品」[5]、新規微生物バイオマスに基づく飼料製品[6]、出願人はいずれもOakbio.inc。</li> </ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"> <li>特許出願の請求項では、主として水素細菌 (<i>Cupriavidus necator</i>) が記載されている。</li> <li>その他にも、光合成細菌 (<i>Rhodobacter sphaeroides</i>)、(<i>Rhodobacter capsulatus</i>)、(<i>Rhodopsuedamonas palustris</i>)、枯草菌 (<i>Bacillus subtilis</i>)、(<i>Bacillus magaterium</i>) など、複数の微生物種が記載あり[6]</li> </ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"> <li>栄養食品の企業と提携しているほか、大手商社とも覚書を交わしている。ただし企業名は公開されていない。[2]</li> </ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stanford Graduate School of Business Impact Fund、Purple Orange Ventures、およびJoyance Partners.[7]</li> <li>2021年、Happiness Capital (香港拠点のVC)、E2JDJ、Marinya Capitalから470万ドルの資金を調達[7]</li> </ul>

(出典) [1] NovoNutrients社ホームページ <https://www.novonutrients.com>

[2] Food Engineering Magazine (March 4, 2022) <https://www.foodengineeringmag.com/articles/100096-how-novonutrients-upcycles-co2-into-alternative-proteins-for-human-and-animal-food>

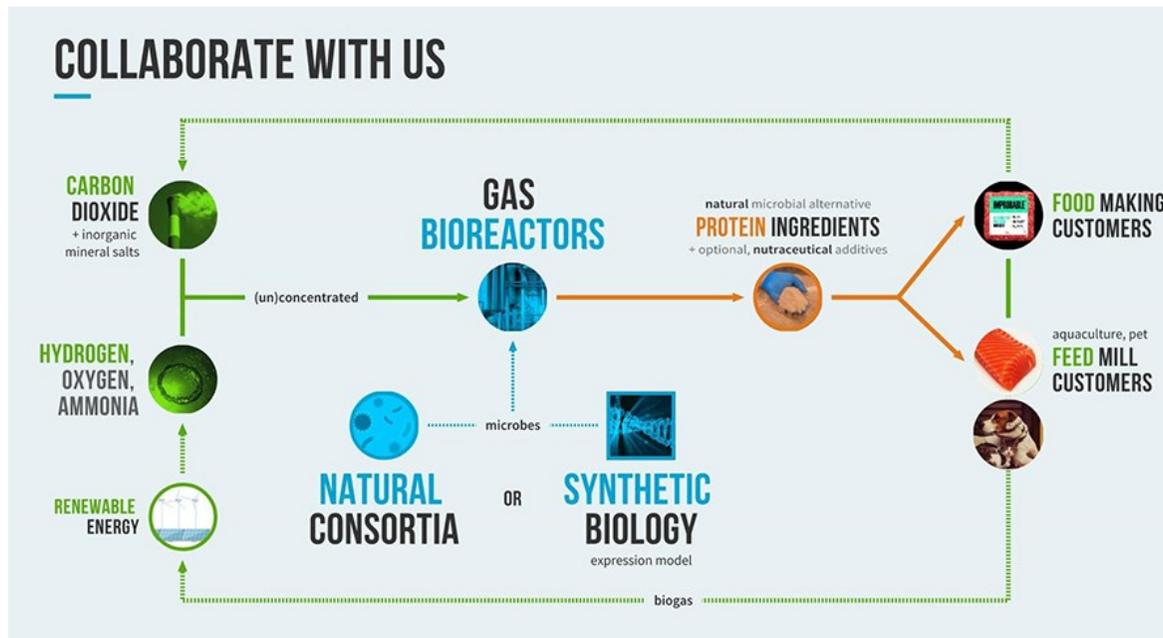
[3] Oakbio社ホームページ <https://www.oakbio.com/team/>、 [4] LinkedIn <https://www.linkedin.com/in/briansefton/> [5] 特願2021-119834、 [6]特願2020-521490

[7] NovoNutrients社プレスリリース (Jul 29, 2021) <https://www.prnewswire.com/news-releases/novonutrients-scaling-up-with-project-funding-plus-9m-in-equity-301344278.html>

[8] SeefoodSouce (July 25, 2022) <https://www.seafoodsource.com/news/business-finance/inflationary-global-economy-presents-an-opening-for-alternative-aquafeeds>

## ⑥ Oakbio.inc(NovoNutrients) (続き)

- 高濃度の二酸化炭素を排出する工業用地にバイオリクターシステムを配置することを計画。[1]
- 主要な微生物種に加えて、複数の微生物種を合わせて培養することで、単独種の培養よりも最適化している。[2]
- 最大で8種類の微生物種を培養する。[2]
- 煙道ガス由来のCO<sub>2</sub>に、再生可能エネルギーで生成した水素と酸素を混合し、バイオリクターに投入。[1]
- 収穫物を脱水、遠心分離または濾過、乾燥、滅菌することで、タンパク質粉末を得る。



(煙道ガスや工業排水の利用について)

化学独立栄養種の独自株のいくつかは、煙道ガスに適合しているため、いくつかの複雑な工業用煙道ガスに含まれる様々な有毒ガス成分に耐性がある。また、H<sub>2</sub>SまたはSO<sub>2</sub>のような工業排水中に存在する可能性がある微量ガスは、独立栄養一次生産菌に追加の栄養を供給することができ、このようなガスの排除は、ガス流からこれらの温室効果ガスを改善するという追加の利点を提供する。[3]

(出典)

[1] Food Engineering Magazine (March 4, 2022) <https://www.foodengineeringmag.com/articles/100096-how-novonutrients-upcycles-co2-into-alternative-proteins-for-human-and-animal-food>

[2] The Wall Street Journal (MARCH 3, 2022) <https://www.wsj.com/articles/enjoy-a-carbon-and-ionic-the-new-and-unusual-ways-to-use-captured-co2-11646315724>

[3] 特願2021-119834

# ⑦ DeepBranch

## 概要

Deep Branch	
所在、沿革、代表者	<p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>英国拠点:英国ノッティンガム</li><li>オランダ拠点:オランダ デルフト</li></ul> <p>&lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>2018年、Pete Rowe、Robert Mansfield、およびBart Panderにより創設。[1]</li></ul> <p>&lt;代表者&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>CEO・共同創業者: Pete Rowe (ノッティンガム大学で分子生物学の博士号を取得)</li><li>CTO・共同創業者: Robert Mansfield (ノッティンガム大学で分子生物学の博士号を取得)</li></ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>英国拠点とオランダ拠点に約30名のスタッフが勤務[1]</li><li>動物飼料業界向けのGMフリー単細胞タンパク質飼料「Proton」を開発。[1]</li><li>2027年に「Proton」の商業生産を開始予定。2030年までにグローバルで年間60万トンの製造拠点を建設予定。[2]</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>水素細菌(<i>Cupriavidus necator</i>) [6]</li></ul>
取引先	<p>&lt;川上&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>2019年、英国で木質バイオマスの供給・発電を行う企業である「Drax」とパートナーシップを締結[1]。バイオマス発電所由来の二酸化炭素を利用する技術の開発に着手。[3]</li><li>2022年、アイスランドの国営電力会社「Landsvirkjun」と提携。Landsvirkjunは水素の利用事業者との提携を目指しており、DeepBranchにとっては、水素の調達源が商業生産施設の建設場所を検討する上で重要な要素となる。[4]</li></ul> <p>&lt;川下&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>デンマークの大手水産飼料メーカー「BioMar」と提携。サケに主要なタンパク源として「Proton」を与えて、消化性、成長性、健康への影響を評価している。[4]</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>英国政府の研究資金助成期間「Innovete UK」から、2019年に20万ポンド、2020年に300万ポンドの助成を受ける。</li><li>2020年、欧州イノベーション評議会から250万ユーロを調達しオランダに試作拠点を建設。2021年に稼働予定。[5]</li><li>2021年、シリーズAで800万ユーロの資金を調達。Novo HoldingsとDSM Venturingがリードインベスターとなり、Total Carbon Neutrality VenturesとBarclays Sustainable Impact Capitalも出資に参加。</li><li>2022年、英国のビジネス・エネルギー・産業戦略省から480万ポンドの資金を調達。[2]</li></ul>

## ⑦ DeepBranch (続き)

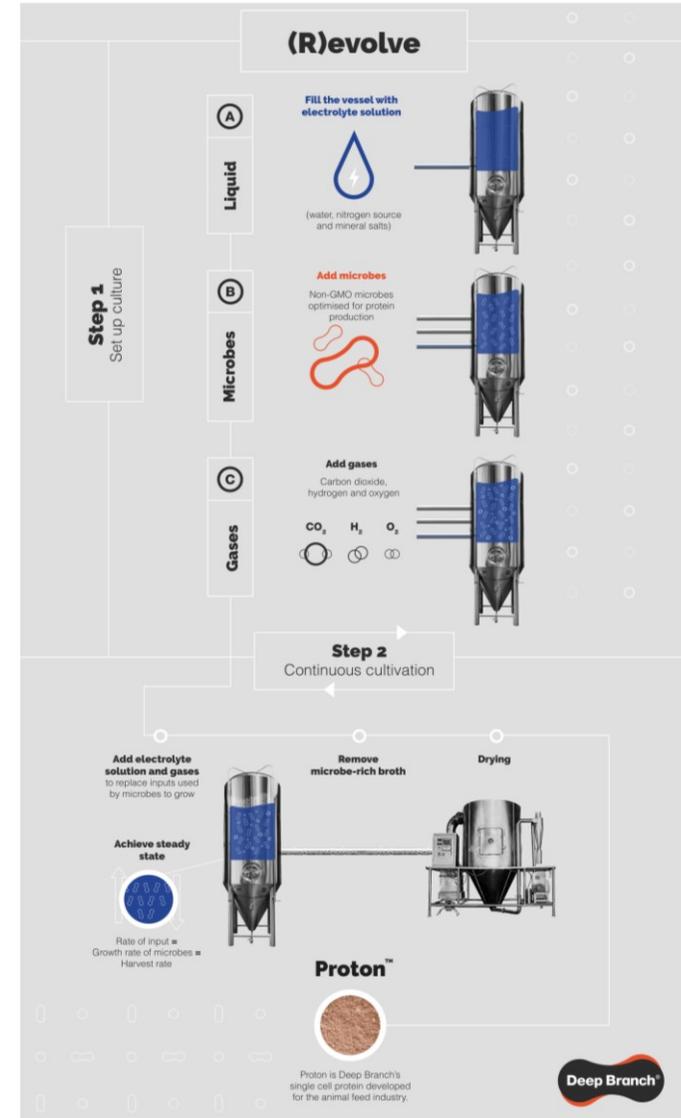
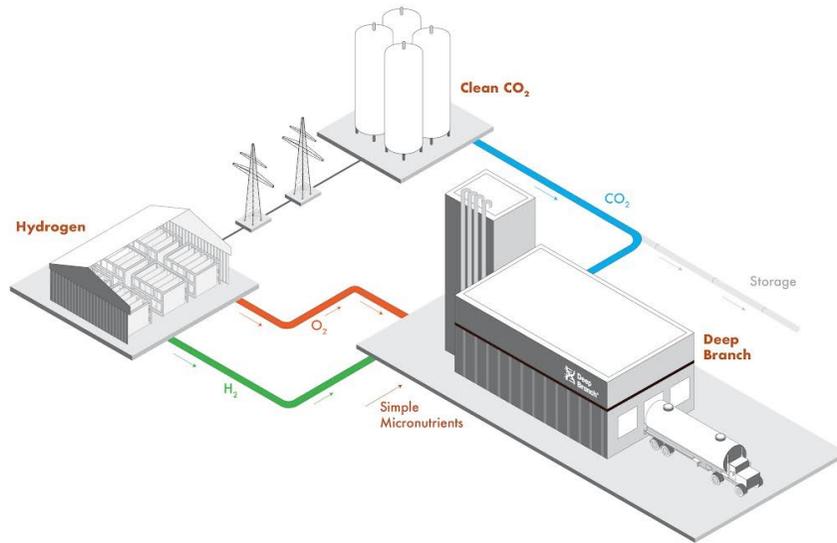
(出典)

- [1] DeepBranch社ホームページ
- [2] DeepBranch社 2022年7月プレスリリース <https://deepbranch.com/2022/06/07/deep-branch-secures-4-8-million-in-beis-funding-to-scale-proprietary-fermentation-platform/>
- [3] <https://www.innogen.ac.uk/project/react-first-reduced-emission-aquaculture-chicken-trial-integrated-responsible-and>
- [4] DeepBranch社 2022年3月プレスリリース <https://deepbranch.com/2022/05/03/deep-branch-and-biomar-agree-strategic-partnership-to-enhance-the-aquaculture-industry/>
- [5] <https://thespoon.tech/deep-branch-secures-e2-5m-to-scale-up-production-of-novel-protein-using-co2-inputs/>
- [6] A genome-scale metabolic model of *Cupriavidus necator* H16 integrated with TraDIS and transcriptomic data reveals metabolic insights for biotechnological applications. PLOS COMPUTATIONAL BIOLOGY May 23, 2022

# ⑦DeepBranch (続き)

## 製造工程

- 二酸化炭素、水素、および酸素を供給して培養。
- 培養液を除去して、乾燥させて微生物由来タンパク質「Proton」を生成。



## ⑧ EnobraQ

### 概要

EnobraQ	
所在、沿革、代表者	<p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ フランス、ラモンビル＝サン＝タニユ</li></ul> <p>&lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ 2015年：3ヶ年のToulouse White Biotechnology (TWB) projectのスピンアウトベンチャーとして設立</li></ul> <p>&lt;代表者&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・ Leopold Demiddeleer</li></ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>・ CO2固定能を導入した酵母を用いて、CO2と水素からの物質生産プロセスの開発を進めている。ターゲットは栄養分野、バイオプラスチック、農産物市場。[1]</li><li>・ EUのHorizon 2020のなかで実施されているBioRECO2VERプロジェクトに参画。BioRECO2VERプロジェクトは2018年に開始し、4か年の事業期間で、工業用の排出源からのCO2を乳酸やイソブテンに変換する事業開発を目指している。[2]</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>・ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (遺伝子組換え)</li></ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"><li>・ (不明)</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>・ Toulouse White Biotechnologyは公的研究と産業界の交流を促進するための機関であり、主催するpre-competitiveと呼ばれる研究プロジェクトでは、アカデミック研究者よりテーマを公募し、TWBのパートナー企業にて選考されたテーマが実施される。プロジェクトが成熟すると、コンソーシアムのパートナー企業が投資し、事業化フェーズに至るまで支援を行うことができる。[3]</li><li>・ リードインベスター：Sofinnova Partners (ベンチャーキャピタル)[3]</li><li>・ その他出資者：フランス国立農学研究所(INRA)、フランス国立応用科学院(INSA)、フランス国立科学研究センター(CNRS)[1]</li></ul>

(出典)

[1] <https://renewable-carbon.eu/news/biotechnologies-enobraq-is-gaining-momentum/>

[2] <https://renewable-carbon.eu/news/bioreco2ver-turning-co2-into-chemicals-using-bioconversion/>

[3] <https://renewable-carbon.eu/news/a-solution-for-reducing-greenhouse-gases-tw-b-announces-the-creation-of-enobraq-specialist-in-co2-capture-and-exploitation-using-yeast/>

# ⑨ SOLAR FOODS

## 概要

SOLAR FOODS	
所在、沿革、代表者	<p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>フィンランド ヘルシンキ</li></ul> <p>&lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>2017年:フィンランドのVTT技術研究センターとラッペーンランタ工科大学の科学研究プログラムを基に設立。[1]</li></ul> <p>&lt;代表者&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Pasi Vainikka</li></ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>再生可能エネルギーによる水の電気分解から得られた水素と酸素、および大気中からのDirect Air Captureもしくは排気ガスからの回収によってCO2により、水素細菌を培養。</li><li>電気とCO2をもとに、65~70%のタンパク質、5~8%の脂質、10~15%の食物繊維、3~5%のミネラル栄養素を含む乾燥粉末「Solein(ソレイン)」を販売。牛肉と比較して、必要な土地は0.1%、必要な水は1%。[1]</li><li>2022年9月にシンガポール食品庁(SFA)からソレインの新規食品規制当局の承認を受けた。[1]</li><li>2024年に本格的な生産と海外展開を開始する予定。</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li><i>Knallgas bacteria</i>(水素細菌)[2]</li><li>欧州をはじめとする規制をクリアするため、水素細菌の遺伝子組換えは行わず、その代わりに数百種のサンプルからの選別を行っている。[3]</li></ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"><li>(不明)</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>累計30億円以上を調達[1]</li><li>シード(2018年):ビジネスフィンランド(フィンランド雇用経済省傘下の公社)、グリーンキャンパスイノベーション</li><li>プレA(2019年):Holdix(フィンランドの投資会社)など</li><li>シリーズA(2020年)Bridford(欧州系の投資会社)など</li><li>ポストA(2021年)</li></ul>

(出典)

[1] SOLAR FOODS ホームページ <https://solarfoods.com>

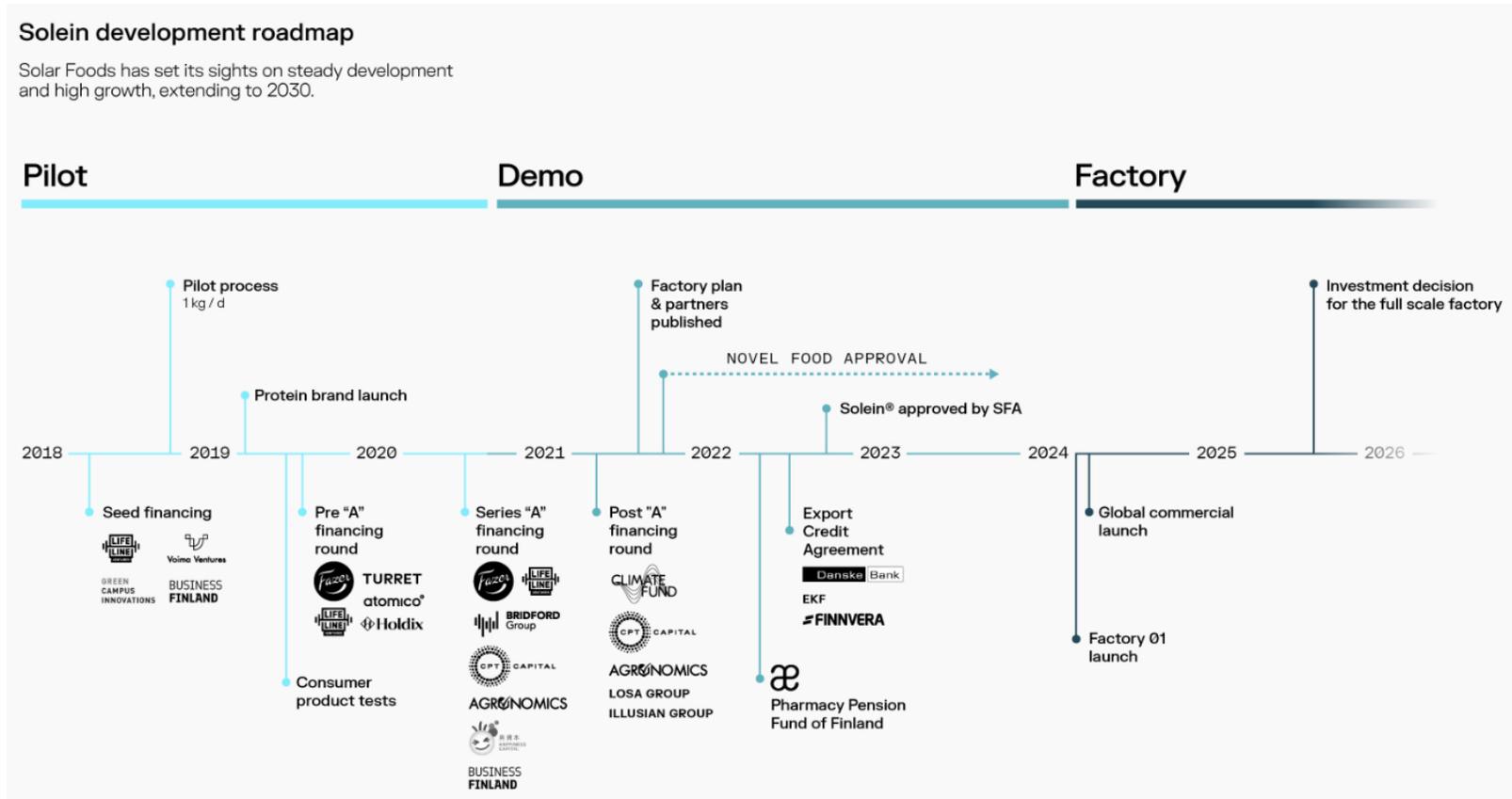
[2] Pasi Vainikka ほか(Solar Foodsの研究チーム) Food Science and Technology. 28 May 2020 [https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsat.3402\\_12.x](https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fsat.3402_12.x)

[3] Chemical & Engineering News. September 20, 2020 <https://cen.acs.org/food/food-ingredients/start-ups-succeed-making-food/98/i36>

# ⑨ SOLAR FOODS (続き)

## 事業計画

- ビジネスフィンランドから3,400万ユーロ(1ユーロ=140円換算で47億6千万円)の助成金を獲得。
- 2022年9月には欧州委員会の戦略的水素経済コアの一員に選定され、最大1億1000万ユーロの助成を伴う水素IPCEIプロジェクトに採択。
- 2024年第1四半期に最初の商業生産施設であるファクトリー01の稼働を予定しており、将来的にはファクトリー02の稼働も予定。[1]
- シンガポールの食品庁からSoleinを含有する食品の販売承認を取得済。米国や英国や欧州での承認取得も進行中。[2]



(出典)

[1] SOLAR FOODS ホームページ <https://solarfoods.com/solar-foods-receives-a-34-million-grant-to-ramp-up-factory-01-and-start-preparations-for-factory-02/>

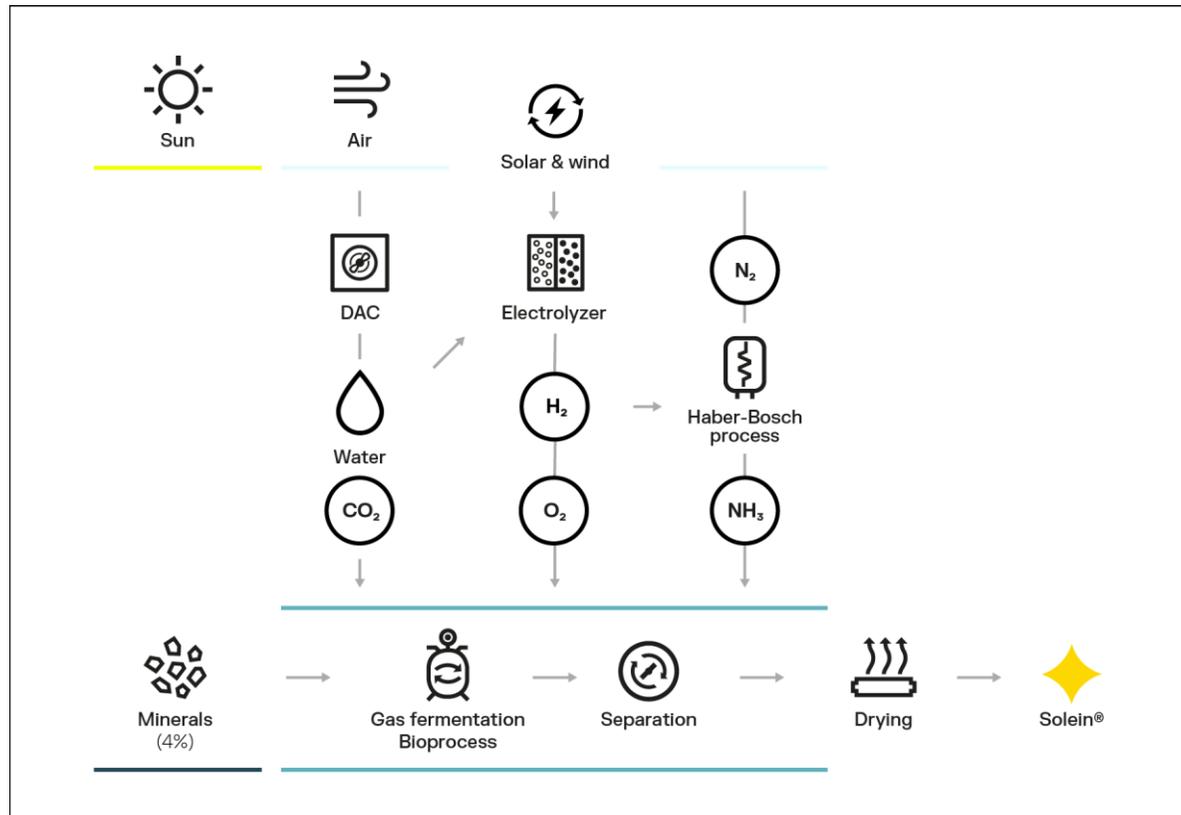
[2] SOLAR FOODS ホームページ <https://solarfoods.com/an-elemental-perspective-to-food-production/>

(画像) SOLAR FOODS ホームページ <https://solarfoods.com/investors-and-partners/>

# ⑨ SOLAR FOODS (続き)

## 製造工程

- 太陽光や風力等の再生可能エネルギーを利用して水を電気分解し、水素と酸素を生成。
- 大気中のCO<sub>2</sub>をDAC(Direct Air Capture)装置で回収。
- ハーバーボッシュ法でアンモニアを生成。
- バイオリクターで増殖させた水素細菌を低温殺菌して粉末状に乾燥させる。[1]



(出典)

[1] SOLAR FOODS ホームページ <https://solarfoods.com/an-elemental-perspective-to-food-production/>

## 概要

### SINTEFF

#### 所在、沿革

##### <所在>

- ノルウェー国内: 主な拠点はトロンハイム。その他、オスロ、ベルゲン、トロンソ、オーレスン、ラウフォス、モイラナにも設置 [1]
- ベルギー: ブリュッセル [1]

##### <沿革>

- 1950年に旧ノルウェー工科大学によって設立された後、他の研究機関との合併を経て、欧州最大級の独立研究機関へと発展

#### 事業内容、規模

- 官民から研究開発を受託しており、3,000以上の官民のクライアントと、年間7,000件近いプロジェクトを実施している。[2] [3]
- 2021年の収入は約37億ノルウェークローネ(約450億円)、そのうち35%がノルウェーの民間資金、30%がノルウェー研究評議会からのプロジェクト助成金からの収入。[3]
- 独立した非営利団体であり、余剰金は施設や設備や研究機器に投資されている。
- 従業員は約2,000名、そのうち75%が研究者。トロンハイムに従業員1400人、オスロに従業員400人。[2]
- ノルウェー科学技術大学とパートナーシップを締結し、実験室や実験機器を共有している。その他、オスロ大学等のノルウェー国内大学や、海外大学とも協力関係にある。
- 6つの研究機関で構成されている。研究機関ごとの主な研究領域は以下のとおり。[4]

SINTEF Community	地域開発、建築材料、建築構造、施設、インフラ、モビリティ
SINTEF Digital	デジタル技術、センサー、人工知能、サイバーセキュリティ、健康
SINTEF Energy Research	洋上風力、太陽光、バイオエネルギー、電池、スマートグリッド、電力部品、エネルギー効率、エミッションフリー輸送、水素、CCS、石油・ガスの低エミッション化
SINTEF Industry	サーキュラエコノミー、電池、水素、CCS、材料技術、ナノテクノロジー、ナノ医療、太陽光、風力、バイオテクノロジー、金属生産、プロセス技術
SINTEF Manufacturing AS	生産の自動化、製品・生産開発、バリューチェーン・マネジメント、材料技術
SINTEF Ocean AS	水産養殖、漁業・海産物、洋上風力、沿岸インフラ、海運、循環型バイオエコノミー

- EUの PYROCO<sub>2</sub>プロジェクトの中で、好熱性微生物バイオプロセスを使用したアセトン製造プラントを設置。実証プラントは、9,100トンの工業用 CO<sub>2</sub> とグリーン水素から、少なくとも 4,000トン/年のアセトンを生産可能。[5]

(出典) [1] <https://www.sintef.no/en/sintef-group/contact-and-invoice-information/> [2] <https://www.sintef.no/en/sintef-group/this-is-sintef/>

[3] [https://www.sintef.no/globalassets/sintef-konsernstab/arsrapport-2021/annual-report/sintef\\_annual-report\\_2021\\_en.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/sintef-konsernstab/arsrapport-2021/annual-report/sintef_annual-report_2021_en.pdf)

[4] <https://www.sintef.no/en/sintef-research-institutes/> [5] <https://www.sintef.no/en/projects/2023/pyroco2/>

## ⑩ SINTEF (続き)

SINTEFの支援領域のうち、微生物の研究開発に関わる領域とその支援内容は以下のとおり

専門領域	支援内容
High throughput screening [1]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 微生物株ライブラリのハイスループットスクリーニングと培養条件の最適化に向けた小型培養プロトコルの開発経験を有する。</li> <li>➢ ロボットの利用とマイクロウェルプレートでの培養により、数万の培養物の効率的な処理と評価が可能。</li> </ul>
Systems and synthetic biology [2]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 主に扱うモデル生物は以下のとおり           <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Bacillus methanolicus</i></li> <li>• <i>Streptomyces coelicolor</i>(抗生物質を生産)</li> <li>• <i>Pseudomonas fluorescense</i>(アルギン酸を生産)</li> </ul> </li> </ul>
Industrial Biotechnology - Efficient strains and processes [3]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 酵素や微生物を使用して、化学、医薬品、食品、飼料、洗剤、紙、繊維およびバイオエネルギーなどの分野でバイオ由来製品を製造する。</li> <li>➢ 以下の中核的実験施設を保有する。           <ul style="list-style-type: none"> <li>• ハイスループット・スクリーニング(バイオプロセス開発用にカスタマイズされたロボットシステム)</li> <li>• 発酵・下流工程(ラボ用発酵槽(1~3L)32基、パイロット用発酵槽(50L、300L)2基)</li> </ul> </li> </ul>
Environmental Biotechnology and Microbiology [4]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ さまざまな種類の原料をバイオ燃料やプラットフォーム化学物質への変換に関する専門知識を有する。</li> <li>➢ 以下の中核的実験施設を保有する。           <ul style="list-style-type: none"> <li>• 好気性微生物、嫌気性微生物、極限環境微生物に対応した、微生物研究用の設備</li> <li>• 発酵・下流工程(ラボ用発酵槽(1~3L)32基、パイロット用発酵槽(50L、300L)2基)</li> <li>• ハイスループット・スクリーニング(バイオプロセス開発用にカスタマイズされたロボットシステム)</li> </ul> </li> </ul>
Biorefinery [5]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 再生可能な原材料(木材、農業廃棄物、産業廃棄物、海洋バイオマス)を利用するバイオリファイナリー製品を持続的に生産するための技術開発に携わる。</li> <li>➢ バイオリファイナリー製品の具体例は以下のとおり           <ul style="list-style-type: none"> <li>• エネルギー、第二世代バイオ燃料、材料、コモディティ・ファインケミカル、飼料・食品</li> </ul> </li> <li>➢ 研究領域は以下のとおり           <ul style="list-style-type: none"> <li>• バイオマスの特性評価、バイオケミカル変換、熱化学変換や触媒変換のプロセス、マテリアルとエネルギーフローの統合と最適化、技術的・経済的評価</li> </ul> </li> </ul>

(出典)[1] <https://www.sintef.no/en/expertise/sintef-industry/biotechnology-and-nanomedicine/high-throughput-screening/>

[2] <https://www.sintef.no/en/expertise/sintef-industry/biotechnology-and-nanomedicine/systems-and-synthetic-biology/>

[3] <https://www.sintef.no/en/expertise/sintef-industry/biotechnology-and-nanomedicine/industrial-biotechnology-efficient-strains-and-pro/>

[4] <https://www.sintef.no/en/expertise/sintef-industry/biotechnology-and-nanomedicine/environmental-biotechnology-and-microbiology/>

[5] <https://www.sintef.no/en/expertise/sintef-industry/sustainable-energy/biorefinery/>

## (4) 既存の国内外企業における開発動向・計画の把握

---

# 調査対象の選定

CO2固定微生物を用いた事業に取り組んでいる既存企業をリストアップし、詳細調査の対象を選定した。

No.	国	企業	連携機関	微生物種	原料等	遺伝子組換え	プロダクト	取組内容等
1	日本	積水化学工業	LanzaTech、住友化学	<i>Clostridium</i> 属細菌と思われる	CO+水素	(不明)	エタノール、ポリエチレン	廃棄物をガス化し、ガス発酵によりエタノールを製造。岩手県久慈市のパイロットプラント(20トン/日)にて実証中。住友化学と連携し、生産したエタノールからポリエチレンを製造する取組も進めている。
2	日本	中国電力	広島大学	ホモ酢酸菌+オーランチオキトリウム	CO2	Y(オーランチオキトリウム)	長鎖脂肪酸炭化水素	NEDOによる、広島県の大崎上島を研究拠点とするカーボンリサイクル技術の技術開発事業「CO2有効利用拠点における技術開発」に「ガス・ツー・リピッツバイオプロセスの開発」が採択。2段階のバイオプロセス。
3	日本	日本製鉄	クイーンズランド大学 (Bernardino Viridis博士)、アーバンユーティリティ社(豪)		CO2	(不明)	中鎖脂肪酸(炭素数6~8)	オーストラリア研究会議が公募する連携プロジェクトに採択され(研究代表:クイーンズランド大学)、CO2からの中鎖脂肪酸生産のパイロット実証を実施中(2022年~)。将来は日本での実証も目指すとしている。日本製鉄は、排水の浄化処理を対象に微生物を利用した技術の研究を20年以上前から進めて知見を深めており、ここで得た微生物評価技術や知見を活用する。
4	日本	カネカ		水素細菌	CO2+水素	Y	PHA (PHBH)	水素細菌を用いてCO2と水素を原料とする生産技術の開発にも取り組み、2030年頃の実用化を目指す(製造能力1~2万トン)。

赤枠内が詳細調査の対象

# 調査対象の選定(続き)

(続き)

No.	国	企業	連携機関	微生物種	原料等	遺伝子組換え	プロダクト	取組内容等
5	日本	太陽石油	CO2資源化研究所	水素細菌	CO2+水素	Y	イソブチルアルコール(SAF原料)	CO2資源化研究所との共同研究を2021年11月に開始。
6	日本	熊谷組	茨城大学、 茨城大学、 芝浦工業大学、 (一財)電力中央研究所	鉄酸化細菌 ( <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> )	CO2+電気		エチレン	2019年、鉄酸化細菌にエチレン合成酵素遺伝子を導入し、エチレン生産能を確認したことをプレス発表。
7	日本	大林組	CO2資源化研究所	水素細菌	CO2+水素		乳酸、ポリ乳酸(PLA)	2019年6月に、(株)CO2資源化研究所と連携した水素細菌による乳酸生産プロセスの開発についてプレス発表。
8	日本	富士フイルム	CO2資源化研究所	水素細菌	CO2+水素		アラニン	CO2資源化研究所と、アラニンを効率的に産生する量産化技術の開発について、共同研究契約を締結。(2022/12/26) <a href="https://www.fujifilm.com/jp/ja/news/list/8976">https://www.fujifilm.com/jp/ja/news/list/8976</a>
9	日本	丸紅	CO2資源化研究所	水素細菌	CO2+水素		飼料添加剤及びその原料	CO2資源化研究所と、飼料添加剤及びその原料の開発、製造委託、販売、及び畜産業に係る新技術に関し検討を進めていくことについて覚書を締結(2022/12/23) <a href="https://www.marubeni.com/jp/news/2022/release/00097.html">https://www.marubeni.com/jp/news/2022/release/00097.html</a>

赤枠内が詳細調査の対象

# ① 積水化学工業

## 概要

### 積水化学工業株式会社

所在、沿革	<p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>大阪本社: 大阪市帰宅西天満2丁目4番4号</li><li>東京本社: 東京都港区虎ノ門2丁目10番4号</li><li>実証拠点: 岩手県久慈市待浜町本町第9地割54番1</li></ul> <p>&lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1947年、積水産業株式会社設立</li><li>1948年、積水化学工業株式会社に社名変更</li></ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>生ごみや廃プラスチックなどの一般廃棄物(可燃性ごみ)を分別することなくガス化し、一酸化炭素と水素に精製したうえで、積水化学工業がLanzaTech社(米国)と共同開発した微生物により、化学触媒や熱・圧力を用いることなくエタノールに変換する。[1]</li><li>実証事業の実施および事業展開を行うことを目的として、2020年に経済産業省が所管する官民ファンドであるINCJと合弁会社「積水バイオリファイナリー株式会社」を設立し[2]、2022年、岩手県久慈市に実証プラントが竣工した。[1]</li><li>廃棄物1 tから4,240MJ程度(200L程度)のエタノールを合成出来ることが見込まれる。また、廃棄物からのエネルギー回収率は50%弱程度と見込まれる。[3]</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>LanzaTech社が開発した微生物 [1]</li><li>特許には、<i>Clostridium autoethanogenum</i>、<i>Clostridium ljungdahlii</i>、<i>Clostridium aceticum</i>、<i>Clostridium carboxidivorans</i>、<i>Moorella thermoacetica</i>、<i>Acetobacterium woodii</i>が挙げられている。[4]</li></ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"><li>住友化学(株): エタノールをエチレンに、さらにはプラスチック(ポリオレフィン)に変換するループの構築。[1]</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>環境省(地球温暖化対策技術開発・実証研究事業)(2012~2014年度)[5]</li><li>環境省(二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業)(2019~2022年度)[6]</li><li>株式会社INCJ: 2020年に合弁会社「積水バイオリファイナリー株式会社」を設立[2]</li></ul>

(出典)

[1] 積水化学工業、INCJ、積水バイオリファイナリー「“ごみ”を“エタノール”に変換する1/10スケールの実証プラントが岩手県久慈市に完成」

[https://www.sekisui.co.jp/news/2022/1373478\\_39136.html](https://www.sekisui.co.jp/news/2022/1373478_39136.html)

[2] 積水化学工業、INCJ「“ごみ”を“エタノール”に変換する技術の事業化を目的に合弁会社を設立」 [https://www.sekisui.co.jp/news/2020/1348992\\_36493.html](https://www.sekisui.co.jp/news/2020/1348992_36493.html)

[3] 資源エネルギー庁「カーボンリサイクル技術事例集」 [https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/carbon\\_recycling/pdf/tech\\_casebook.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/carbon_recycling/pdf/tech_casebook.pdf)

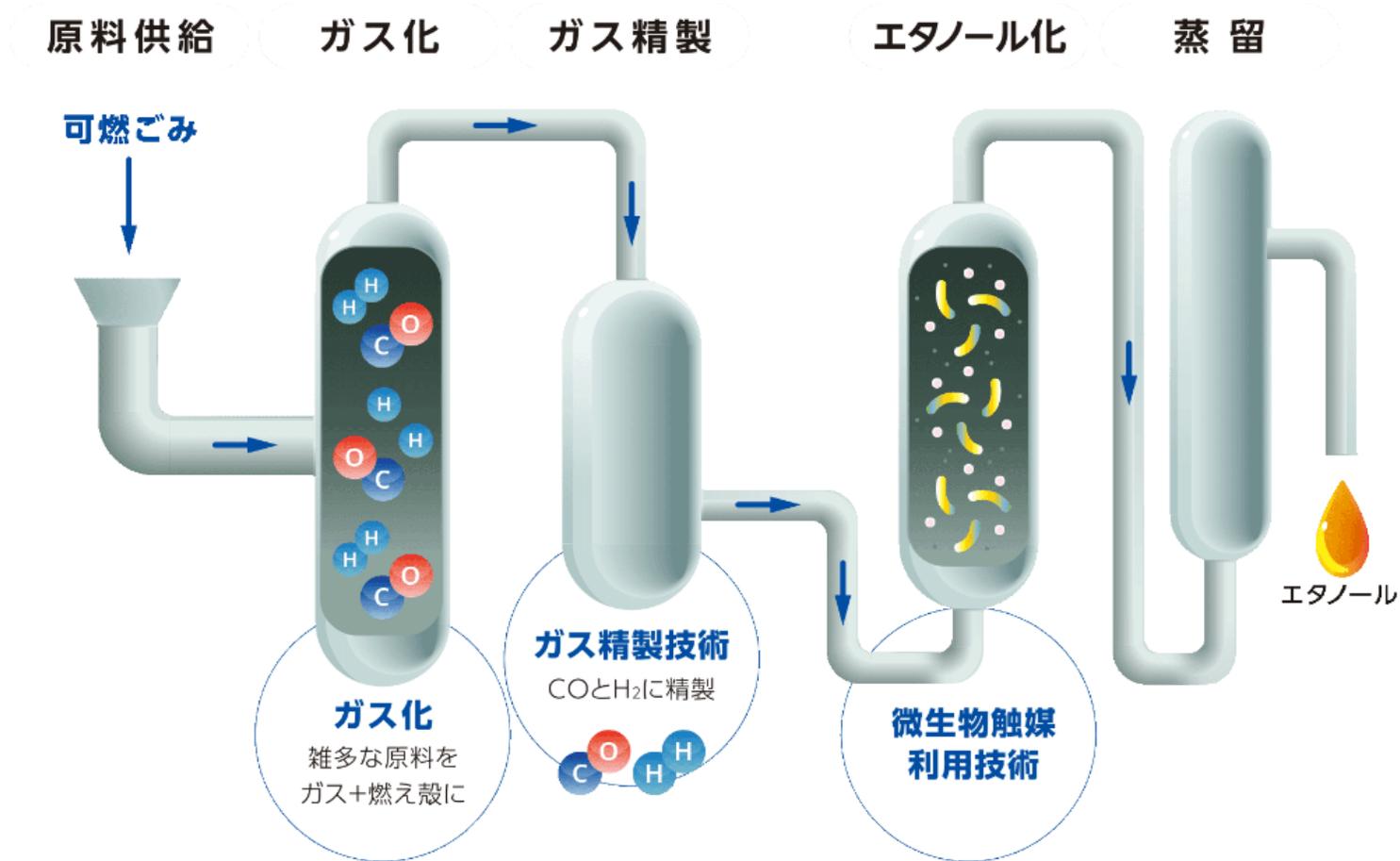
[4] 特許6689729 <https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1800/PU/JP-6689729/2DFF7F53F5FC70CD8BBF0A08DC893A9CE792373D9E2F8069F5EF7CB4ACD23990/15/ja>

[5] 環境省 地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業(CO2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業)「廃棄物系バイオマス熱分解ガスからのエタノール製造に関する技術開発」 [https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv\\_funds/pdf/db/130.pdf](https://www.env.go.jp/earth/ondanka/cpttv_funds/pdf/db/130.pdf)

[6] 環境省「令和元年度二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業2次公募の採択結果について」 <https://www.env.go.jp/press/107319.html>

# ① 積水化学工業(続き)

プロセス概要 [1]



## BRエタノール製造プロセスの概要

※ 生産されるエタノールは、合成アルコール(JAAS規格, 社団法人アルコール協会)であり、飲用や食用に用いることはできないが、プラスチックだけでなく、エタノールからエチレンへ、さらにケロシンに転換することで持続可能な航空燃料(SAF: Sustainable aviation fuel)への活用も期待できる。[2]

(出典) [1] 積水バイオリファインリー、「技術紹介」<https://www.sekisui.co.jp/bio-refinery/>

[2] 積水化学工業、INCJ、「“ごみ”を“エタノール”に変換する技術の事業化を目的に合弁会社を設立」[https://www.sekisui.co.jp/news/2020/1348992\\_36493.html](https://www.sekisui.co.jp/news/2020/1348992_36493.html)

## ② 中国電力

### 概要

中国電力株式会社(日本)	
所在、沿革	<p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>本社: 広島県広島市中区小町4-33</li><li>実証拠点: 広島県大崎上島</li></ul> <p>&lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1951年、中国電力設立</li></ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>NEDOの「CO2有効利用拠点における技術開発」に広島大学と提案した「Gas-to-Lipidsバイオプロセスの開発」が採択され、2020～2023年度の研究開発を行っている。[1]</li><li>Gas-to-Lipidsバイオプロセス[2]は2段階の発酵工程からなり、第一段発酵では、ホモ酢酸菌アセトバクテリウムにより、CO2と水素から酢酸を生成する。第二段発酵では、第一段発酵で得られた酢酸を、油糧微生物オーランチオキトリウム培養槽に投入し、高度不飽和脂肪酸やカロテノイドなどの高付加価値脂質生産を目指す。[1]</li><li>研究開発にあたっては、広島大学 大学院先端物質科学研究科 秋 庸裕教授、広島大学 大学院統合生命科学研究科 中島田 豊教授のチームと連携している。なお、上記NEDOプロジェクトの採択前から本テーマでの研究開発を進めており、技術開発には出光興産、長瀬産業も関わっている。</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>ホモ酢酸菌アセトバクテリウム (<i>Acetobacterium woodii</i>) [1]</li><li>油糧微生物オーランチオキトリウム (<i>Aurantiochytrium</i> sp.) [1]</li></ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"><li>不明(研究開発段階)</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>NEDOの「CO2有効利用拠点における技術開発」に採択 [1]</li></ul>

(出典)

[1] 中国電力プレスリリース「大崎上島(広島県)カーボンリサイクル研究拠点における「Gas-to-Lipidsバイオプロセスの開発」がNEDO公募事業に採択されました」(2020年8月25日)

<https://www.energia.co.jp/press/2020/12632.html>

[2] 特願2019-561642 <https://www.j-platpat.inpit.go.jp/c1800/PU/JP-2019-131502/962D6434FB8DEBBA5CBEF0610F36E17F356E815E5A5B9BFB3ABCA344F35706CA/19/ja>

## ② 中国電力(続き)

### 実証プロジェクトの概要



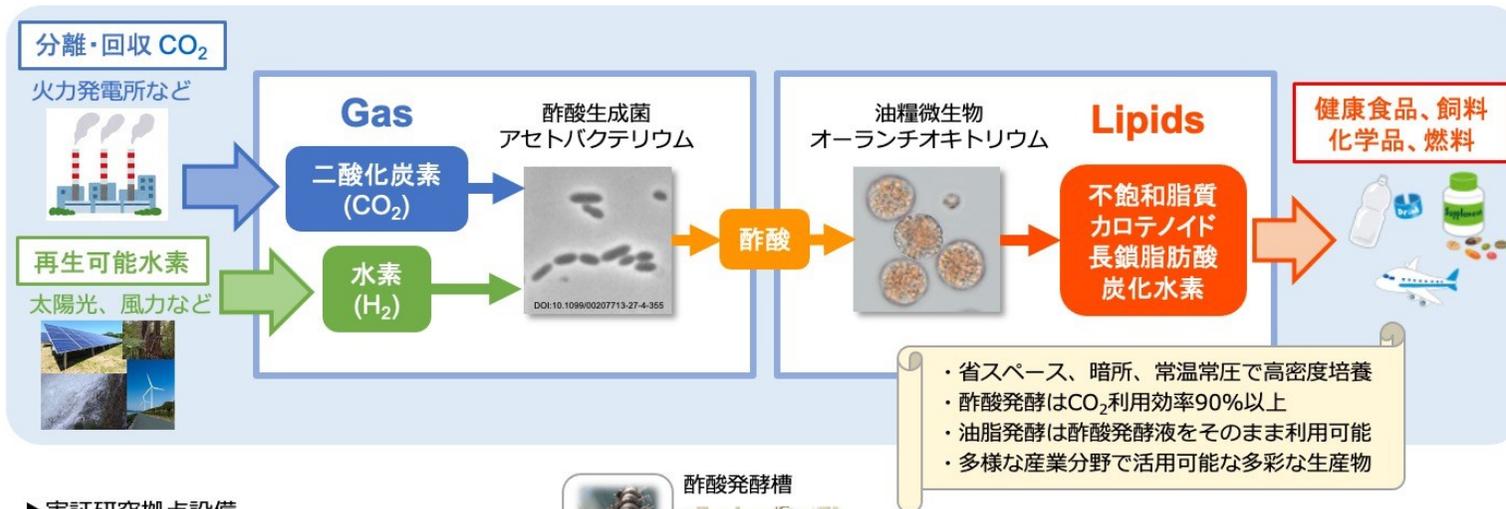
カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発/CO2有効利用拠点における技術開発/研究拠点におけるCO2有効利用技術開発・実証事業

## Gas-to-Lipidsバイオプロセスの開発

New Energy and Industrial Technology Development Organization



▶火力発電所などから分離・回収されるCO<sub>2</sub>の有効利用技術を確認するため、CO<sub>2</sub>を固定化して酢酸を生成するプロセスと、その酢酸から高付加価値脂質や化学品原料などを合成するプロセスからなる二段階発酵によるバイオリファイナリー技術『Gas-to-Lipidsバイオプロセス』を開発します。そのため、個別および一貫製造プロセスのベンチスケール試験を行うとともに、環境負荷、技術競争力および実現可能性について評価し、早期の事業化に資する知見を得ることを目的としています。(実施期間：2020～2023年度)



▶実証研究拠点設備  
(広島県大崎上島)



この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務の結果得られたものです。



# ③ 日本製鉄

## 概要

日本製鉄株式会社(日本)	
所在、沿革	<p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>本社:東京都千代田区丸の内2-6-1</li></ul> <p>&lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>2012年、新日本製鉄と住友金属が合併して新日鐵住金株式会社が発足</li><li>2019年、日本製鉄に商号変更</li></ul> <p>&lt;担当者&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>担当研究者: 主幹研究員 福島寿和[1]</li></ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>オーストラリア研究会議が公募する連携プロジェクト(ARC Linkage Project)に、クイーンズランド大学(Bernardino Viridis博士の研究チーム)、アーバンユーティリティ社(オーストラリア)と共同で採択され、2022~2024年の3ヶ年の研究開発に取り組んでいる</li><li>本研究開発では、排ガス中のCO2から炭素数6~8の中鎖脂肪酸を生産することを目指している。クイーンズランド大学の研究チームは、すでに実験室で微生物によるCO2を原料とした中鎖脂肪酸の合成に成功した実績があり、採択案件では、プロセスの最適化およびパイロットプラントでの検証を行い、実証段階への道筋を作ることを目指す。日本製鉄は、微生物評価技術や知見を活用することで本プロジェクトに貢献することとなっている。[1, 2]</li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>Acetogen(酢酸菌)[1]</li></ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"><li>不明(研究開発段階)</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>オーストラリア研究会議が公募する連携プロジェクト(ARC Linkage Project)より資金提供を受けている。[1,2]</li></ul>

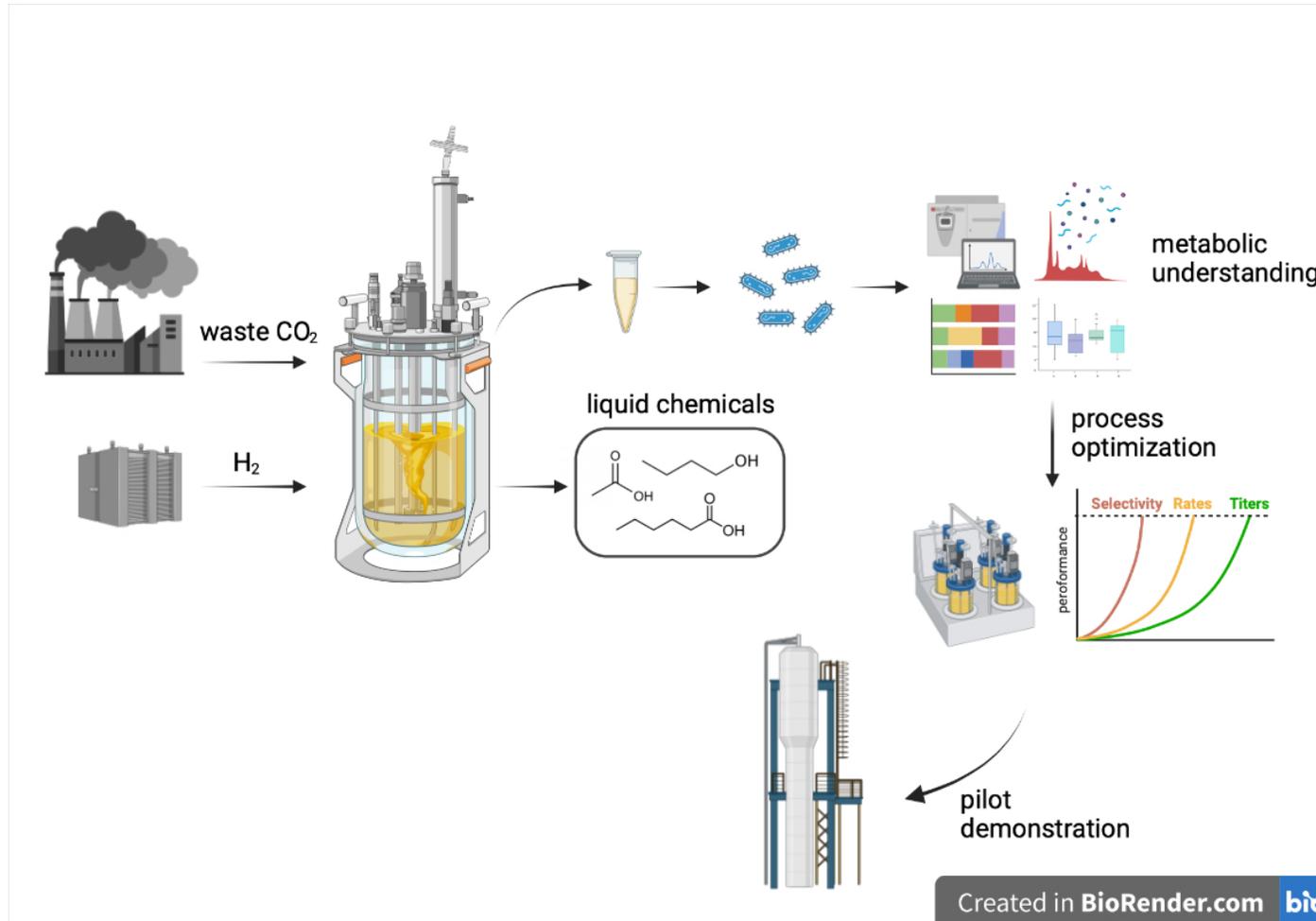
(出典)

[1] The University of Queensland "Production of valuable chemicals from gaseous waste" <https://acweb.uq.edu.au/project/production-valuable-chemicals-gaseous-waste>

[2] 日本製鉄プレスリリース「微生物を利用してCO2から基礎化学品を製造する研究開発に着手」(2022年7月22日) [https://www.nipponsteel.com/news/20220722\\_100.html](https://www.nipponsteel.com/news/20220722_100.html)

### ③ 日本製鉄(続き)

#### 実証プロジェクトの概要



(出典)

[1] The University of Queensland "Production of valuable chemicals from gaseous waste" <https://acweb.uq.edu.au/project/production-valuable-chemicals-gaseous-waste>

# ④ カネカ

## 概要

株式会社カネカ(日本)	
所在、沿革	<p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>東京本社:東京都港区赤坂1-12-32(アーク森ビル)</li><li>大阪本社:大阪市北区中之島2-3-18(中之島フェスティバルタワー)</li><li>高砂工業所:兵庫県高砂市高砂町宮前町1-8</li></ul> <p>&lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1949年、鐘淵化学工業株式会社創立</li><li>2004年、カネカに商号変更</li><li>2009年、PHBHの本格展開開始</li></ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>植物油を原料として生分解性バイオマスプラスチックPHBH(製品名:Green Planet®)を生産している。生産は高砂工業所にて行っており、現在5,000トン/年の生産能力を有し、2024年1月には20,000トン/年に拡大予定である[1]。</li><li>将来的にCO2を原料としてPHBHを生産するための研究開発を行っている。[2] 報道によれば、水素細菌を用いてCO2と水素を原料とする生産技術の開発に取り組み、2030年頃の実用化を目指している(生産能力1~2万トン/年)。<sup>[3, 4]</sup></li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li><i>Cupriavidus necator</i>(旧名:<i>Ralstonia eutropha</i>) H16株[5]</li></ul> ※植物油からの生産で用いられている菌株であり、CO2を原料化する場合でもこの株が使われているかは不明
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"><li>ストロー、レジ袋、カトラリー、食品容器包装材などの幅広い用途に利用されている。</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>不明</li></ul>

(出典)

[1] カネカプレスリリース「カネカ生分解性ポリマーGreen Planet®の大型能力増強を決定」(2022年2月7日) <https://www.kaneka.co.jp/topics/news/2022/nr2202071.html>

[2] カネカプレスリリース「経済産業大臣 カネカ 高砂工業所を訪問」(2022年4月7日) <https://www.kaneka.co.jp/topics/news/2022/nr2204071.html>

[3] 化学工業日報「カネカ、生分解プラの原料多様化、廃食油利用で実証」(2022年12月1日)

<https://www.chemicaldaily.co.jp/%E3%82%AB%E3%83%8D%E3%82%AB%E3%80%81%E7%94%9F%E5%88%86%E8%A7%A3%E3%83%97%E3%83%A9%E3%81%AE%E5%8E%9F%E6%96%99%E5%A4%9A%E6%A7%98%E5%8C%96%E3%80%81%E5%BB%83%E9%A3%9F%E6%B2%B9%E5%88%A9%E7%94%A8%E3%81%A7/>

[4] 日刊工業新聞「カネカ、CO2と水素で生分解性ポリマー 兵庫・高砂に量産設備」(2022年11月30日) <https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00655887>

[5] 佐藤俊輔ら、「微生物による生分解性ポリマーPHBH製造法の開発」 生物工学会誌 第97巻 第2号 66-74. 2019 [https://www.sbj.or.jp/wp-content/uploads/file/sbj/9702/9702\\_gijutsu.pdf](https://www.sbj.or.jp/wp-content/uploads/file/sbj/9702/9702_gijutsu.pdf)

## ⑤ 太陽石油

### 概要

太陽石油株式会社(日本)	
所在、沿革	<p>&lt;所在&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>本社:東京都千代田区内幸町2-2-3 日比谷国際ビル15F</li></ul> <p>&lt;沿革&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>1908年、前身の青木石油店が創業</li><li>1941年、太陽石油発足</li><li>2021年11月、(株)CO2資源化研究所と水素細菌によるバイオジェット燃料製造に関する共同研究契約を締結[1]</li></ul>
事業内容、規模、ビジネスモデル	<ul style="list-style-type: none"><li>(株)CO2資源化研究所が保有する、UCDI水素菌を用いて水素と二酸化炭素を原料としたイソブタノール生成に関する基盤技術と、太陽石油(株)の石油精製に関する知見を融合し、水素と二酸化炭素を原料としたSAF(持続可能な航空燃料)製造の実証化に向けた技術開発を実施している。[1]</li><li>同社は、2050年のカーボンニュートラル社会の実現に貢献すべく、バイオ原料の利用や生物機能を活用したサステナブルな燃料・化学品原料の供給に向けた検討を推進しており[1]、その他に以下のような取組も進めている。<ul style="list-style-type: none"><li>統合型バイオファウンドリーを目指す(株)バッカス・バイオイノベーションへの出資[2]</li><li>日揮ホールディングスとともに、国内(四国)の未利用森林資源の収集から、木質バイオマスの分解油化によるバイオ原油の製造、バイオ原油を原料としたバイオマスプラスチック原料やバイオ燃料などバイオ製品の製造に至るまでの一連のサプライチェーンの構築に向けた検討を開始。[3] 2022年12月の報道では、2030年までに年間約5万トン生産する目標を掲げている。</li></ul></li></ul>
使用菌株	<ul style="list-style-type: none"><li>UCDI水素菌 (<i>Hydrogenophilus thermoluteolus</i>)</li></ul>
川下の取引先	<ul style="list-style-type: none"><li>(共同研究)(株)CO2資源化研究所</li></ul>
資金提供元	<ul style="list-style-type: none"><li>—</li></ul>

(出典)

[1] 太陽石油プレスリリース「水素菌を用いたバイオジェット燃料製造に関する共同研究契約の締結について」(2021年11月17日) <https://www.taiyooil.net/news/2021/21-057.html>

[2] 太陽石油プレスリリース「株式会社バッカス・バイオイノベーション」への出資について」(2021年3月31日) [https://www.taiyooil.net/news/2021/post\\_27.html](https://www.taiyooil.net/news/2021/post_27.html)

[3] 太陽石油プレスリリース「国内初の森林資源を活用したグリーンリファイナリー事業の共同検討を開始」(2021年12月1日) [https://www.taiyooil.net/news/2021/post\\_59.html](https://www.taiyooil.net/news/2021/post_59.html)

[4] 化学工業日報「太陽石油、バイオ原油を30年に年産5万トンへ」(2023年12月2日)

<https://www.chemicaldaily.co.jp/%E5%A4%AA%E9%99%BD%E7%9F%B3%E6%B2%B9%E3%80%81%E3%83%90%E3%82%A4%E3%82%AA%E5%8E%9F%E6%B2%B9%E3%80%80%EF%BC%93%EF%BC%90%E5%B9%B4%E3%81%AB%E5%B9%B4%E7%94%A3%EF%BC%95%E4%B8%87%E3%83%88%E3%83%B3%E3%81%B8/>