

## 水素細菌でCO<sub>2</sub>削減と食料問題の解決ができるか

### ◆水素細菌（水素酸化細菌）によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果と有用物の生産

水素細菌（Hydrogen-oxidizing bacteria）は、植物や藻類とは異なり光エネルギーに依存せず、H<sub>2</sub>をエネルギー源として大気中のCO<sub>2</sub>を原料として有機物を生産する細菌である。化石資源由来の物質生産と比べて、生産過程におけるCO<sub>2</sub>排出を削減するだけでなく、CO<sub>2</sub>を吸収する2つの効果により、排出量が大幅に削減される可能性がある。水素細菌の生産プロセスが実現することでカーボンニュートラル（以下、CN）の実現に向けた利用が期待される。

水素細菌とCO<sub>2</sub>から生産する有用物として一番注目されているのは、飼料や食品成分であるタンパク質である。欧米を中心に多くのベンチャー企業が資金を集めて実用化が進められている。タンパク質以外では、化学品原料（海洋生分解性ポリマー、エタノールなど）、バイオジェット燃料（イソブタノール）、薬品向け成分（アミノ酸の一種アラニン）などがある。

### ◆NASAの水素細菌研究に着眼したKiverdiのタンパク質

NASA（アメリカ航空宇宙局）は、1960年代に宇宙船の中にある資源で食料を生産する研究を行い、CO<sub>2</sub>を食料に変える水素細菌を発見した。

2008年に設立されたKiverdiは、このNASAの研究成果から着想を得て、CO<sub>2</sub>をはじめとする大気中の成分からタンパク質に転換させる手法を開発した。水素細菌とCO<sub>2</sub>や酸素、窒素と再生可能エネルギーによって、動物性タンパク質と同一のアミノ酸組成を持つ「Air Protein」を生産するプロセスを開発した。「Air Protein」は、ビタミンやミネラルを豊富に含むタンパク質である。ハンバーガー用パテとなる代替肉の原料や、パスタやシリアルなど、様々な加工食品に幅広く活用できる可能性がある。

### ◆味の素が提携するSolar Foodsの食用タンパク質

17年に設立されたフィンランドのSolar Foodsは、醸造業界で使われる発酵槽に似た無菌のバイオリクターの中で、CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>、そして窒素、カルシウム、リ

ン、カリウムなどの追加栄養素を水素細菌が摂取し、水中で増殖する技術を開発した。水素細菌は増殖するにつれて、水をスラリー状に濃縮する。スラリーは継続的に吸い上げられて乾燥され、肉や乳製品、菓子を代替する食品の原料として使用できるタンパク質豊富な粉末「Solein」が生産される。

23年5月30日、味の素とSolar Foodsは戦略的提携で合意したことを発表した。Solar Foodsはシンガポールで「Solein」の販売許可を得ており、両社が協業して、「Solein」を使用した商品開発およびシンガポールでの市場性検証を行う。

24年8月9日、味の素は「新しい食のライフスタイル」を提案する新ブランド「Atlr.72」を発表した。地球環境に配慮した食材(プラント・細胞・微生物ベースなど)を積極的に採用し、自然の恵みや美しさを日常の食シーンに取り入れるものだ。ブランド第一弾として、24年8月より「Solein」を使用したスイーツをシンガポール高島屋などで販売した。

### ◆グリーンイノベーション基金（GI基金）で進む水素細菌の開発

GI基金の採択事業では、化学品原料（海洋生分解性ポリマー、エタノールなど）、バイオジェット燃料（イソブタノール）、薬品向け成分（アミノ酸の一種アラニン）などを目的生産物とする研究開発が進められている。

採択事業の1例として双日が幹事を務める水素細菌の研究がある。24年8月4日、双日、電力中央研究所、Green Earth Institute (GEI)、DIC、東レ、ダイセルの6社は共同で「水素細菌によるCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を原料とする革新的なものづくり技術の開発」を開始したと発表した。生産される化成品は、プラスチック、インクや塗料、繊維、化粧品などの原料となる。さらに、化成品の生産プロセスにより副生される菌体の残渣は、飼料の代替タンパク源などへ利用する予定である。

### ◆日本のバイオ戦略と政府支援の水素細菌開発動向

24年11月18日、産業構造審議会 商務流通情報分科会 バイオ小委員会 バイオものづくり革命推進ワーキンググループ（経産省）で、バイオエコノミー市場を30年に国内外で100兆円規模の産業に育成する計画が公表された。技術開発の方針は、バイオテクノロジーとAI等デジタルの融合により、微生物・細菌設計プラットフォームの育成とバイオフアウンダリー基盤の整備となっている。技術の

## ハイライト

強みとなる水素細菌、培養・発酵プロセスなどに注力する。24年7月、グリーンイノベーションプロジェクト部会 産業構造転換分野ワーキンググループの審議会で、水素細菌の開発に関しては下表の報告が行われている。

● テーマ名 * 幹事事業者名	実施目的と研究開発項目
● CO <sub>2</sub> からの微生物による直接ポリマー合成技術開発 * カネカ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ CO<sub>2</sub>を原料とした水素細菌によるPHBHの生産プロセスを確立し、低コストのバイオポリマーを社会実装すること。</li> <li>・ CO<sub>2</sub>バイオフィアウンドリを確立することによって「CO<sub>2</sub>を原料としたバイオものづくり」の裾野を拡げることを目指す。</li> </ul> <p>◆ 研究開発項目：CO<sub>2</sub>バイオフィアウンドリの確立、バイオポリマー生産微生物育種、生産実証</p>
● 水素細菌によるCO <sub>2</sub> とH <sub>2</sub> を原料とする革新的なものづくり技術の開発 * 双日	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水素細菌によるCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>を原料とした化成品、菌体の高効率生産技術の確立。</li> </ul> <p>◆ 研究開発項目：化成品を生産する組換え水素細菌の開発、水素細菌の培養技術の開発と実証</p>
● CO <sub>2</sub> を原料に物質生産できる微生物等による製造技術等の開発・実証 * 富士フイルム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 富士フイルムが有するファインケミカルからバイオまでの多様なものづくりの実績や、バイオサイエンスとエンジニアリングの幅広い技術といった強みを活かし、CO<sub>2</sub>から直接、物質生産ができる水素酸化細菌によるバイオ生産プラットフォームを構築、自社製品の製造のみならず、開発受託（CDMO）ビジネスの展開や、将来、製造受託（CMO）機能を果たすことで、CO<sub>2</sub>を直接原料としたバイオものづくりビジネスの裾野を拡げ、CN化の実現に寄与すること。</li> </ul> <p>◆ 研究開発項目：CO<sub>2</sub>を原料に物質生産できる微生物による製造技術等の開発・実証。</p>

### ◆ 水素細菌実用化の課題

NASAの研究が実用化しなかったのは、水素細菌を含んだ食品を食べることを宇宙飛行士が拒否したからである。消費者にとっても細菌といえば、大腸菌、ブドウ球菌、マイコプラズマなど負のイメージを持つ人が多い。食用のタンパク質を開発しているメーカーは、消費者が水素細菌を含んだタンパク質を食用品として受け入れるかが大きな課題となる。

上記以外の水素細菌の実用化への課題は、原料となる大量のCO<sub>2</sub>やH<sub>2</sub>の確保とコストダウン、効率的な吸収能力や物質生産能力を持った菌株の開発などがある。経産省では、商用化に向けて30年までに有用微生物の開発期間を現在の10分の1に、製造コストを代替製品の1.2倍以下に抑える目標を立てている。

水素細菌は温泉や土壌に存在することが多い。日本は温泉地が多く、まだ発見されていない有望な水素細菌が存在する可能性がある。国内で有望な水素細菌が発見され商業化されるような可能性にも期待したい。

【渡部徹】