

低炭素社会の実現には、再生可能エネルギーを利用したカーボンリサイクルの技術が必要である。広島大学大学院統合生命科学研究科の中島田豊教授は、二酸化炭素(CO₂)と再生可能エネルギーから生産できる水素(H₂)や一酸化炭素(CO)の混合ガスである合成ガスから、好熱性微生物の発酵を利用してアセトンなどの有用な化学物質を作る合成ガス発酵技術を開発している。将来的には、化石燃料を使わずに、液体燃料や化成品原料などを製造し、使用後に再び合成ガスに戻す循環型生産プロセスの確立を目指す。



好熱性微生物の発酵を利用してアセトン合成

中島田 豊 Nakashimada Yutaka

広島大学 大学院統合生命科学研究科 教授
2018年度より未来社会創造事業研究開発代表者

遺伝子改変で菌株を作成 培養と同時に生成物回収

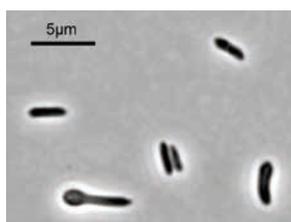
私たちが日常的に使用する製品の多くは、エチレンやプロピレンなどの化石資源から作られる。プラスチック原料や有機溶媒に広く使われるアセトンもその1つだ。従来は化学触媒を使って化石燃料から作られる。製造過程やリサイクルせずに焼却した場合、温室効果ガスのCO₂を排出する。また、原料となる化石資源は近い将来枯渇するといわれており、資源の面からも、温暖化対策の面からも化石資源を使わないものづくりは重要な課題だ。

「もしCO₂を原料にアセトンを作ることができれば、有用物質の生産においても脱炭素化につながります」と語るのは、未来社会創造事業「再生可能エネルギーを活用した有用物質高生産微生物デザイン」の研究開発代表を務める広島大学大学院統合生命

科学研究科の中島田豊教授だ。

中島田さんは大学院時代に化学工学を専攻した後、1995年に広島大学の発酵工学の研究室に入り、微生物を使ってバイオマスからエネルギーへ変換するバイオプロセスの技術開発研究に従事するようになった。以来、発酵工学を専門に研究を進めてきた。今回、中島田さんが着目したのは、好熱性ホモ酢酸菌という微生物だ(図1)。

図1 好熱性ホモ酢酸菌



この菌類は高温環境下での増殖性能を持ち、合成ガスから有用物質を生産・回収するのに適している。研究では、この菌の主要生産物である酢酸を、遺伝子組み換え技術によってアセトンに変える試みがなされた。

この好熱性ホモ酢酸菌の全ゲノム配列はわかっていたものの、遺伝子組み換え技術の開発などは全く行われていなかった。本来、同菌は嫌気性で空気に触れると死滅してしまうが、H₂、CO₂、COから酢酸を作ること

図2 好熱性アセトン生産菌の育種

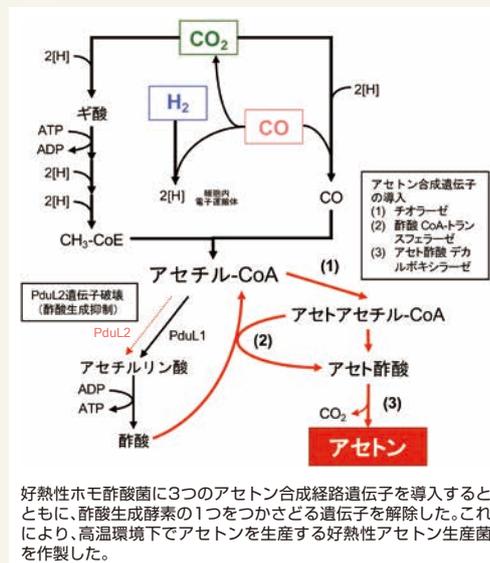
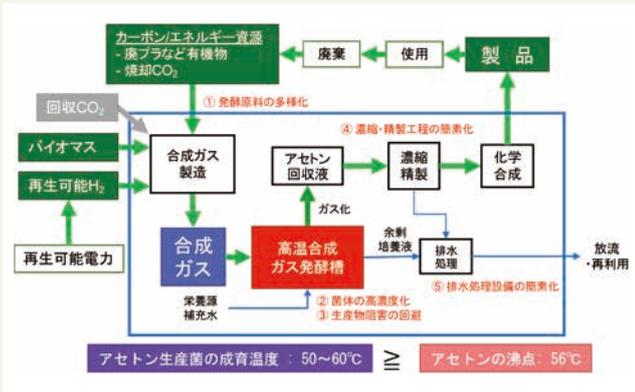


図3 発酵/分離を統合した合成ガス高温発酵プロセス



ができる。そこで、中島田さんは09年にA-STEPの支援で開発した遺伝子導入技術を駆使し、アセトン生成酵素の導入、さらに2つある酢酸生成酵素の1つを取り除くことで、酢酸の生成を抑えてアセトンを合成する菌株を作成した(図2)。

バイオマスや廃棄プラスチックなどを水と一緒にいぶす水蒸気改質を行うと、H₂とCOの混合物である合成ガスができる。H₂とCO₂から合成ガスを作る技術もすでに開発されている。好熱性ホモ酢酸菌を使ったバイオプロセスは、この合成ガスを使ってアセトンを作るので、カーボンリサイクル技術といえる。

また、同菌は50~60度で増殖する性質を持つ。アセトンの沸点は56度なので、56度以上にすることでガス培養しながら、アセトンができると同時に気体として簡単に回収することもできる(図3)。一般にアセトンやエタノールなどの低沸点化合物は、蒸留により発酵液から分離・回収される。このとき、発酵液は生産物の沸点以上に加熱される。中温微生物はこの高温で死滅するため、分離・精製時に大量の死菌体と廃棄培地が出てくるが、沸点以上の高温発酵によるバイオプロセスであれば、菌体が生きのまま生産物を回収できるのでコスト削減につながる。

「私たちの扱っている微生物は、大腸菌や酵母などのように簡単には遺伝子操作できません。また、遺伝子操作したとしても、得られた微生物が望みの特性を持っているとは限りませ

ん。しかし、これからも根気強く遺伝子改良を行い、アセトンの生産効率を上げるとともに、量産工場でも扱いやすい微生物を作り出したいと考えています」と中島田さんは意気込む。

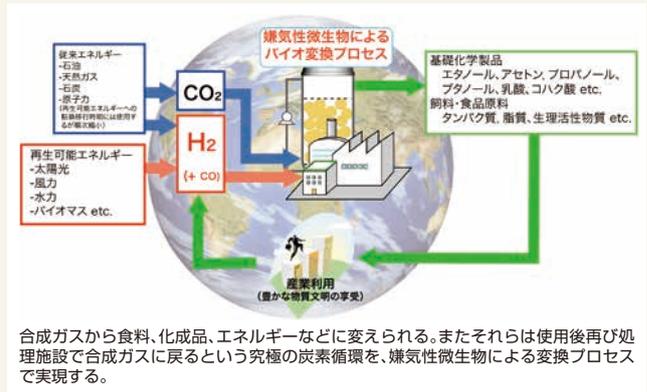
若手研究者とともに目指す究極の炭素循環社会の実現

ゲノム情報に基づき、好熱性ホモ酢酸菌の効率的な遺伝子導入技術を開発することで、アセトンだけでなく、さまざまな有用化合物が生成できるようになる。原料となるH₂は再生可能エネルギーから得るため、現状ではコストが懸念材料とされている。しかし、水素社会の実現に向け、近い将来、今よりも安価にH₂を得られるようになるだろう。また微生物の特徴を生かして、従来の石油などを使った化学的なプロセスでは難しかった複雑で付加価値の高い化合物も、CO₂から微生物に作らせる時代が来ることも夢ではないという。

「来たるべき未来の社会をイメージしながら、そのときに本当に必要となる技術を考えることが大切です。合成ガス発酵はそのような技術であると信じています」と中島田さん。現在は、より優れた微生物の開発に加えて、優れた微生物をより早く作り出す基盤技術も並行して開発しているという。例えば、もっと効率の良いゲノム編集技術の開発も現在の目標の1つだ。

また、合成ガスを原料として当

図4 嫌気性微生物によるものづくりの将来像



合成ガスから食料、化成品、エネルギーなどに変えられる。またそれらは使用後再び処理施設で合成ガスに戻るといった究極の炭素循環を、嫌気性微生物による変換プロセスで実現する。

り前に使う化学合成プロセスとは違うアプローチとして、バイオテクノロジーをどう生かせるのかも、この研究の面白みだという。「生物を利用することならではの利点もあります。微生物はたんぱく質でできているので、物質生産に使った後の菌体を家畜の飼料にしたり、直接食べたりできるかもしれません。もちろん、現在は抵抗がありますが、もしかするとこれが宇宙船地球号の未来の食料なのかもしれません」(図4)。

こうした究極の炭素循環を実現する研究をともに担うことになる若手研究者や、これから研究者の道に進もうと考えている人たちへの期待も大きい。「研究は本当に楽しいものです。特に自分のやりたい研究を誰にも邪魔されずに追求できる大学は、天国のような所です。自分のやりたいことを見つけ、成功までの道筋をしっかりと描きながら取り組み、おのずと道は開けます」とエールを送る。

とはいえ、常に自分の興味ややりたいことだけを追求できるわけではない。社会課題の解決に貢献することを求められたり、時には自分自身のスキル不足から思うように進まなかったりすることもあるだろう。「やりたいこと、できること、やるべきことの3つを切り分けて考えなければいけません。この3つが合致する道を目指して欲しいですね」。こうした考えが、中島田さんの着実な研究の歩みにつながっている。

(TEXT:伊藤左知子, PHOTO:伊藤彰浩)