

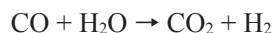
ガス化バイオリファイナリー

折田 和泉

バイオリファイナリーとは、バイオマス原料を個々の成分に分離し、それらの成分をバイオ燃料やバイオ製品に変換するためのプロセスやプラントのことである。「個々の成分」とは、バイオマスの物理的・化学的前処理と酵素的加水分解で得られた単糖やリグニンのことを指し、単糖はバイオプロセスによりエタノールなどのバイオ燃料や有用なバイオ素材に変換される。

単糖から発酵生産されている素材のひとつに、ポリヒドロキシアルカン酸 (PHA) がある。PHAは、さまざまな微生物がエネルギー源として菌体内に合成・蓄積するポリエステルであり、熱可塑性および生分解性を有することから、石油由来プラスチックの代替となる環境低負荷型プラスチックとしてその普及が期待されている。

一方、このような単糖を中心とした従来型のバイオリファイナリーに代わる革新的なアプローチとして、ガス化バイオリファイナリーが注目されている。これは、バイオマスを900°C以上で部分酸化してガス化することにより得られる合成ガス（主として水素、一酸化炭素、および二酸化炭素を含む）を発酵の原料として利用する方法であり、酸やセルラーゼなどによる加水分解が不要である点や、バイオマスの分子構造に関わらず利用可能であるといった点が従来型のバイオリファイナリーよりも優れている。合成ガスを基質とする発酵生産の例として紅色光合成細菌 *Rhodospirillum rubrum* を用いたPHAの生産がある。*R. rubrum*は光照射・非照射下で嫌気および好気両条件においてさまざまな基質を用いて培養することができる。嫌気条件下では光照射の有無に拘らず、合成ガス中の一酸化炭素を単一炭素源・エネルギー源として利用し、プロトンを経済電子受容体とすることで、水素を発生しながら増殖する。*R. rubrum*を一酸化炭素に曝露すると、一酸化炭素デヒドロゲナーゼと一酸化炭素非感受性のヒドロゲナーゼの発現が誘導される。これらの酵素の複合反応による水素生成は、生物学的水性ガスシフト反応ともよばれ、以下のように進行する。



水素は発熱量が大きく、燃焼しても二酸化炭素を排出しないクリーンな燃料であることから、産業的価値が高い。また、本菌は、PHA合成に必要なPHA重合酵素などの酵素遺伝子群を有しており、合成ガスを用いた発酵プロセスでもPHAを生産する。アイオワ州立大学のグループは実際に合成ガスを用いて *R. rubrum* を暗所嫌気

培養し、生育速度やPHA蓄積量、また一酸化炭素酸化と水素生産の比を調べたり、その結果、回分培養において1日当たり1gの細胞タンパク質中1.4 molの一酸化炭素を酸化し、0.75 molの水素と340 mgのPHAを生産した。また、得られたPHAは炭素数4と炭素数5のモノマーからなる共重合体を形成していた。もっとも一般的なPHAであるポリヒドロキシ酪酸 (PHB) は、炭素数4のモノマーのみからなる高結晶性の固くて脆いホモポリマーであるが、このように異なる炭素鎖数のモノマーと共重合化することで物性が改善することが知られている。さらに同グループは、*R. rubrum*を用いて合成ガスからPHAを生産するバイオリファイナリープロセスについて、シミュレーションソフトウェアを用いて技術-経済性評価を行った²⁾。その結果、合成ガスを原料としたPHA生産にかかるコストは、増殖に伴う水素生産とその販売による運営費の削減によって、単糖を原料とする生産コストと比べてPHA 1 kg当たり2~4ドル安価になる試算となり、合成ガスをPHA生産に利用することの有用性が示された。

2012年には超好熱アーキア *Thermococcus onnurineus* が一酸化炭素から水素を生産できることが報告された³⁾。本菌はギ酸を基質とする培養とそれに伴う水素生産が可能な菌としても知られている⁴⁾。*Thermococcus*などの超好熱菌を発酵生産に利用することは、除熱に必要なコストを抑えられることや、雑菌のコンタミネーションが少ないといった利点がある。*T. onnurineus*のような微生物を合成ガスを原料として培養することで、持続可能な水素生産の実現に一歩近づくかもしれない。現在のところ、超好熱性のPHA生産菌は見つかっていないが、今後、高温で一酸化炭素を有用物質に変換する微生物が多数発見されることを期待したい。

グルコースなどの単糖を原料にした発酵生産は重要である。一方で、石油リファイナリーに代わるバイオリファイナリーのひとつのかたちとして、ガス化バイオリファイナリーもまた大きな可能性を秘めている。

- 1) Do, Y. S. *et al.*: *Biotechnol. Bioeng.*, **97**, 279 (2007).
- 2) Choi, D. *et al.*: *Appl. Biochem. Biotechnol.*, **160**, 1032 (2010).
- 3) Bae, S. S. *et al.*: *Biotechnol. Lett.*, **34**, 75 (2012).
- 4) Kim, Y. J. *et al.*: *Nature*, **467**, 352 (2010).