

合成ガス発酵法による燃料・化学品の生産

村上 克治

バイオマスは化石資源に代わり再生可能な資源として注目され、温室効果ガス排出削減の観点からエネルギー利用を中心にさまざまな研究開発が行われている。そのバイオマスの新しい変換方法として合成ガス発酵法が注目されている¹⁾。合成ガス発酵法は、 H_2 、 CO 、 CO_2 を主成分とする合成ガスを原料として嫌気性微生物により燃料や化学品を生産する方法である。

現在、バイオマス、特に非可食性バイオマスから燃料や化学品の生産を目的に、おもに酵素糖化・発酵法による生物化学的変換法による研究開発が行われている。リグノセルロース系のバイオマスに含まれるセルロースなどを単糖に糖化し、その後酵母により発酵させるバイオエタノールの生産研究が好例である。しかしバイオマスの前処理が必要なこと、酵素が高価であること、そしてリグニンなど難分解性の成分が利用できないことなど課題も多い。

一方、ガス化反応に代表される熱化学的変換法によるバイオマスからの有用物質生産方法も研究されている。ガス化反応は、バイオマスを高温場において、熱分解と化学反応によって、 H_2 、 CO 、 CO_2 を主成分とする合成ガスを生産する反応である。生成した合成ガスは、フィッシャー・トロプシュ反応（FT反応）により液体燃料などへと変換される。このFT反応では高価な触媒が必要なこと、反応の際生成物に応じて H_2 と CO の厳密な組成比を必要とするなどの問題点がある。

そこでバイオマスをガス化したのち嫌気性微生物により有用物質を生産する合成ガス発酵法が提案されている。この方法は、前段をガス化反応、後段を微生物発酵による2段階のプロセスからなる。前段にガス化反応を用いることで、組成に依存しないさまざまな原料を使用できるという特徴があり、特に都市ゴミなど廃棄物系のバイオマスからの物質生産に有用であると考えられる。また酵素糖化・発酵法では副産物となってしまうリグニンも利用することができ、原料からの収率が高いことも利点としてあげられる。後段では微生物反応を用いており、FT反応に比べ比較的温和な条件で物質生産が行えること、ガスに含まれる不純物に耐性があり合成ガスの精製が不要なこと、広いガス組成比での反応が可能なこと等の特徴を持っている。

このように合成ガス発酵法は新しいバイオマスの変換技術として期待されているものの、特に後段の微生物反応においていくつかの問題を抱えている。基質となる気

体と液体間の物質輸送が反応の律速となること、そのため反応時間が長く、また低い生産物濃度となること、用いる微生物の分子育種技術がそれほど確立されていないことなどである。

そのため近年合成ガス発酵法により燃料や化学品を生産するための微生物の育種研究が活発に進められている²⁾。合成ガス発酵に用いる微生物は、Acetogenとよばれる嫌気性酢酸生産菌であり、 H_2 または CO をエネルギー源として CO_2 を固定化し生育することができる³⁾。炭酸固定は2分子の CO_2 から1分子のアセチル-CoAを合成するアセチル-CoA経路（Wood-Ljungdahl経路）と呼ばれる代謝経路により行われ、アセチル-CoAは酢酸や種々の生体内物質の合成に使われる。

酢酸生産菌は、通常、最終生産物として酢酸のみを生産するが、ある種の中温性酢酸生産菌、たとえば*Clostridium ljungdahlii*などにおいては、エタノールを生産することが報告されており²⁾、合成ガスからの物質生産の宿主として研究が進められてきた。*C. ljungdahlii*では分子育種の手法が確立されており、ブタノール生合成遺伝子を導入することにより合成ガスからブタノールを生産させることに成功している⁴⁾。外来遺伝子の導入が可能となったことで、合成ガスを原料とする物質生産系としての酢酸生産菌の有用性が高まっている。一方中温性酢酸生産菌だけでなく、好熱性酢酸生産菌についても研究が進められている。60°C前後で生育する*Moorella*属細菌が知られており、 H_2 と CO_2 を基質として酢酸およびエタノールを生産する*Moorella* sp. HUC22-1株を用いた研究例が報告されている⁵⁾。好熱性酢酸生産菌を利用し、アルコールなどの揮発性物質を生産する場合、蒸留による生産物の回収が容易となると考えられる。また、培養時の冷却コストを削減できること、夾雑菌汚染の可能性が少ないこと、中温菌と比較して増殖が早いことなどの利点もあげられる。今後これら酢酸生産菌、特に好熱性酢酸生産菌の研究開発が進むことで、合成ガス発酵法による燃料や化学品の生産が期待される。

- 1) <http://advancedbiofuelsusa.info/wp-content/uploads/2011/06/3rd-Pathway-Revision-FINAL-6-17-11.pdf>
- 2) Henstra, A. M. et al.: *Curr. Opin. Biotechnol.*, **18**, 200 (2007).
- 3) Drake, H. L. et al.: *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **1125**, 100 (2008).
- 4) Köpke, M. et al.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **107**, 13087 (2010).
- 5) Sakai, S. et al.: *Biotechnol. Lett.*, **26**, 1607 (2004).