

## 合成ガスをケミカルに

喜多 晃久

近年、化石資源に代わる再生可能資源として、バイオマスが世界中で注目されている。バイオマスは、サトウキビやトウモロコシなどの資源作物が原料である「資源バイオマス」や、廃木材や稲わらなどの「リグノセルロース系バイオマス」、家畜糞尿や下水汚泥などの「廃棄物系バイオマス」などさまざまな形態に分類することができる。資源バイオマスからは微生物発酵によってエタノールなどのバイオ燃料が増産されているが、食料供給との競合が問題となっている。リグノセルロース系バイオマスは、粉碎・糖化处理によりセルロースやヘミセルロースがグルコースやキシロースなどの糖に変換され、さらに微生物発酵によりエタノールなどの有用物質に変換される。しかし、木材などの細胞壁成分の15~30%を占めるリグニンを効率よく分解することが難しい。廃棄物系バイオマスには糖以外にタンパク質や脂質などが多く含まれており、エタノールや乳酸などの生産原料として適当とはいえない。

そのような中で、従来のバイオマス利用法と比較して、糖、セルロース、リグニン、タンパク質、脂質などすべてのバイオマスを利用することができるガス化技術が期待されている。バイオマスのガス化によって得られる合成ガスは主にCO、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>などを含む。合成ガスの利用法としては、そのまま燃料として利用するほか、フィッシャー・トロプシュ法（FT法）により液体燃料へ変換する方法が開発されている。しかし、FT法では生成物に応じてガス組成を厳密に制御する必要があり、炭素長の制御が難しい、化学合成原料への適用が難しいなどの課題が挙げられる。

Acetogenと呼ばれる嫌気性酢酸生産菌（以降、酢酸生産菌）の一群は、COまたはH<sub>2</sub>をエネルギー源としてCO<sub>2</sub>を固定化し、生育することができる。H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>の代謝経路はアセチル-CoA経路（またはWood-Ljungdahl経路）と呼ばれており、その特徴は2分子のCO<sub>2</sub>から1分子のアセチル-CoAを組み立てる点である（図1）。酢酸生産菌は、通常、H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>または合成ガスからの最終生産物として酢酸のみを生産するため、「ホモ酢酸菌」とも呼ばれる。しかし、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、合成ガスからエタノールを生産することが報告されている<sup>2)</sup>。また、好熱性酢酸生産菌としては60°C前後で生育する*Moorella*属細菌が知られているが、*Moorella* sp. HUC22-1株はH<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>を基質とした回分培養で酢酸と

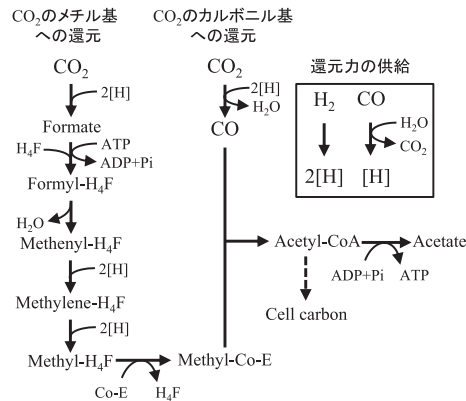


図1. アセチル-CoA経路

少量のエタノールを生産することが報告されている<sup>3)</sup>。

合成ガスの微生物変換は、高価な触媒や有毒な触媒を必要としない、ガス組成の厳密な制御が必要ないなどの利点を持つ。分子育種によって酢酸生産菌の代謝経路を改変することができれば、合成ガスからアセチル-CoAを経由して、酢酸やエタノールだけでなく、さまざまなバイオ燃料やバイオマテリアルを生産できるようになるであろう。中温菌では、分子育種技術が確立している*C. ljungdahlii*において、ブタノール合成遺伝子を導入することにより、合成ガスから微量ではあるがブタノールが生産された例が報告されている<sup>4)</sup>。好熱性酢酸生産菌における分子育種技術の整備は中温菌に比べて遅れているが、好熱性酢酸生産菌を合成ガスからのアルコール生産に利用できれば、培養と蒸留を同時に行うことが可能となり、エタノールなどの生産物の回収が容易となる。さらに、好熱菌の利用は培養時の冷却エネルギーを削減できる、夾雑菌汚染のリスクが少ない、中温菌と比較して増殖が早いなどの利点も挙げられる。したがって、今後、好熱性酢酸生産菌の分子育種技術が整備されていくことで、好熱性酢酸生産菌をプラットフォームとした、合成ガスからの「ものづくり」が注目されていくであろう。

- 1) Drake, H. L. *et al.*: *Acad. Sci.*, **1125**, 100 (2008).
- 2) Klasson, K. T. *et al.*: *Fuel*, **72**, 1673 (1993).
- 3) Sakai, S. *et al.*: *Biotechnol. Lett.*, **26**, 1607 (2004).
- 4) Köpke, M. *et al.*: *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **107**, 13087 (2010).