



Novel high butanol production from lactic acid and pentose by *Clostridium saccharoperbutylacetonicum*

*Clostridium saccharoperbutylacetonicum*による乳酸とペントースからの新奇高ブタノール生産

(JBB, Vol. 114, No. 5, 526–530, 2012)

吉田 剛士¹・田代 幸寛¹・園元 謙二^{1,2*}

アセトン-ブタノール (ABE) 生産 *Clostridium* 属細菌によって発酵生産されるバイオブタノールは、バイオエタノールと比較して、高いエネルギー密度だけでなく、疎水性を示し、ガソリンに近い特性を有するバイオ燃料として近年注目を集めている¹⁾。

ABE生産 *Clostridium* 属細菌の代謝は酸生成期とソルベント生成期の異なるフェーズに分かれている。酸生成期では、乳酸、酢酸、酪酸などの有機酸が主に形成される。有機酸が蓄積すると、ソルベント生成期に移行し、有機酸を再同化してソルベント生産が開始されることから、有機酸はブタノール生産の基質として利用可能である。その際、このような代謝転換の引き金となる pH の制御が基質のブタノール変換効率を高め、高ブタノール生産を志向する重要な因子となる²⁾。しかし、pH の制御は発酵槽の付帯設備を増やし、発酵プロセスの煩雑さも増す欠点もある。

これまでに、ABE生産 *Clostridium* 属細菌のサルベージ合成能を活用したブタノール生産を報告した^{2,3)}。その中で、さまざまなバイオマスから発酵生産されるが、ポリ乳酸の原料とならない DL-乳酸に着目し、サルベージ合成の共役基質としてグルコースを用いたブタノール生産に成功するとともに、乳酸からブタノールへの変換を、安定同位体を用いて証明した³⁾。しかし、これまでにペントースを用いた ABE 生産例はヘキソースに比べ

て非常に少ない。

そこで本論文では、DL-乳酸およびペントースを用いて、完全非食料資源からのブタノール生産の実現および高ブタノール生産システムの構築を目指した。

研究開始当初、グルコースを共役基質として用いた既報研究³⁾と同様に pH 制御による乳酸消費とブタノール生産の促進効果を予想していた。ところが、特に、アラビノースを共役基質とした場合、pH 非制御の回分培養でも糖の消費と同時に乳酸の消費が始まり、糖消費と同等の速度で、乳酸は完全に消費され、グルコース利用時よりも高いブタノール生産濃度を得た。乳酸からピルビン酸への反応には、NAD⁺ 依存的乳酸脱水素酵素 (nLDH) に加えて NAD⁺ 非依存的乳酸脱水素酵素 (iLDH) の関与が考えられる (図 1)。グルコースによる iLDH 活性の低下が明らかとなっているが⁴⁾、アラビノース利用時における iLDH による乳酸消費の促進が示唆された。また、乳酸阻害を回避するために流加培養を検討した結果、pH を制御しなくても、2 回の逐次添加による流加培養でブタノール生産濃度が 15.6 g/L に向上した。その際の乳酸からのブタノール変換効率は 51.9% と高い値を示した。

本論文では、メタボローム・酵素工学技術を駆使した発酵工学研究を展開した結果、DL-乳酸とアラビノースの完全非食料資源を ABE 発酵基質として単純な発酵槽を用いて高ブタノール生産システムの構築に成功した。今後、著者らが提唱する“デザインドバイオマス (発酵微生物の機能を最大限に発揮できる適合基質)”⁵⁾からの“スマート発酵工学”による有用物質生産体系の実現を目指す。

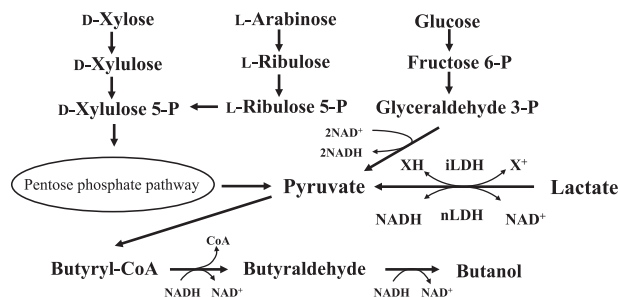


図 1. サルベージ合成能を利用した乳酸からのブタノール変換経路

- 1) Nielsen, D. R. *et al.*: *Metab. Eng.*, **11**, 262 (2009).
- 2) Tashiro, Y. *et al.*: *J. Biosci. Bioeng.*, **98**, 263 (2004).
- 3) Oshiro, M. *et al.*: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **87**, 1177 (2011).
- 4) Diez-Gonzalez, F. *et al.*: *Arch. Microbiol.*, **164**, 36 (1995).
- 5) Abdel-Rahman, M. A. *et al.*: *J. Biotechnol.*, **156**, 286 (2011).

* 著者紹介 ¹九州大学大学院農学研究院生命機能科学部門 (教授) E-mail: sonomoto@agr.kyushu-u.ac.jp
²九州大学バイオアーキテクチャーセンター