

バイオテクノロジー・バイオシステムを利用した地球温暖化の緩和と適応対策

Utilizing biotechnology and bio-system as global warming mitigation and adaptation measures

We are engaged in Biotechnical Eco-management research for mitigation of Green House Gases (GHGs). The development of efficient microbial processes to produce useful products from waste biomass is a promising route that is expected to contribute to mitigation of GHGs. We applied the electrochemical cultivation system for a butanol-producing bacterium, *Clostridium acetobutylicum*, so as to develop a novel biorefining technology with electrolysis. A production of butanol by the resting cells of *C. acetobutylicum* increased approximately 2 times by the application of an electrochemical potential of +0.6 V. We proposed the novel electrochemical cultivation system for biorefinery processes, by which increase in the growth of *C. acetobutylicum* and butanol yield can be achieved. Furthermore, we observed a bacterium that can generate ethanol from glycerol, which is a byproduct of biodiesel production from oil plants, by means of the electrochemical cultivation technique. Ethanol production by bacterium from glycerol might be accelerated by the reducing conditions created during electrochemical cultivation.

社会を持続的発展が命題となり、キーワードとして、地球温暖化、エネルギーセキュリティ、低炭素社会等が認識されるようになってきた。また2011年の東日本大震災を経験し、我々は、エネルギー供給とエネルギー利用の光と影を強く認識することとなった。

バイオエコマネジメント学分野では、新エネルギー・省エネルギーや資源リサイクルについてバイオテクノロジーやバイオシステムの研究開発を行い、温室効果ガス(Green House Gases:GHGs)の地球上における循環制御や地球温暖化の緩和への貢献を目指している。新エネルギー・省エネルギーや資源リサイクルには、普及を妨げるもの「ギャップ」と「バリア」が存在する。新エネルギーのギャップやバリアを克服し、また資源リサイクルにも貢献するためには、戦略的なアプローチが必要となる。そこで、新エネルギーの一つバイオマスに関わり、2010年までに微生物と電気を利用した「電気培養法」を、廃棄物系バイオマスからの有用物質生産やエネルギー回収への適用することを最終目標として、その技術的可能性を示してきた。2011年では、電気を用いた革新的微生物変換技術の開発、さらに、電気を用いた未利用廃棄物系バイオマスからの物質生産の視点から、研究開発を進めた。

電気を用いた革新的微生物変換技術の開発 ～糖からのブタノール生産～

微生物を利用した廃棄物系バイオマスからの有用物質生産の中でも、次世代バイオ燃料であるブタノールの微生物による生産が注目されているが、生産性の低さが問題となっている。ブタノールの生産経路は多数の電子授受が関与する経路であるため、生産性の向上には電子の流れを考慮した生産制御法が必要と考えられている。一方、我々は電気を用いて微生物の生育を促進する電気培養法の開発を行っているが、この電気培養法をブタノール生産微生物に適用することにより、生産速度および量を含めた生産性を著しく向上できる可能性がある。そこで、ブタノールを生産する細菌である *Clostridium acetobutylicum* を対象に、廃棄物系バイオマスの分解中間体であるグルコースをモデル基質とした場合の電気によるブタノール生産の高効率化を図った。

(1) 電子媒体の添加によるブタノール生産および生育への影響

電気化学特性の異なる6種の電子媒体を各々培養液に添加し、未添加の培養液とブタノール生産を比べたところ、メチルピ

オロゲン(MV)を添加した場合のみブタノール生産が促進された。また、MVは細胞からの電子移行を受けて、生育に阻害を示す還元型となった。従って、通電により還元型MVを酸化型とし、細胞に供給することで、生育を阻害せず電子の移行を活性にし、ブタノール生産の促進を図れると予想された。

(2) 通電による生育およびブタノール生産の促進効果

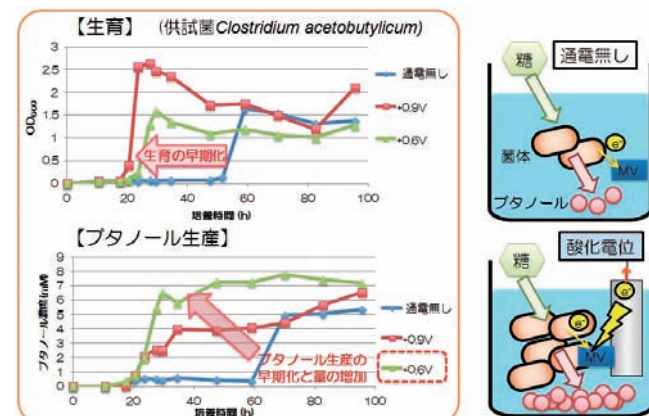
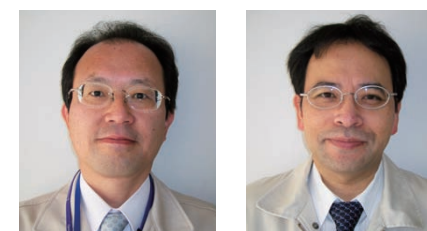


Fig.1 Growth promotion of *Clostridium acetobutylicum* and ethanol production by electrochemical cultivation method of microorganism.



客員教授
渡部 良朋
Visiting Professor
Yoshitomo Watanabe

客員准教授
松本 伯夫
Visiting Associate Professor
Norio Matsumoto

+1.2 V ~ +0.3V (vs Ag / AgCl) の範囲で設定した電位で通電を行い、細胞により還元された MV を電氣的に酸化しながら培養を行った。非通電時と比べ、通電時には生育およびブタノール生産が早期に開始され、特に +0.3 V, +0.6 V では細胞当たりのブタノール生産は約 1.5 倍に促進された (Fig.-1)。

電気を用いた未利用廃棄物系バイオマスからの物質生産 ~グリセロールからのエタノール生産~

油脂からバイオディーゼルを生産する際に副生成物として生じるグリセロールは、供給過多の状態にあり有効利用策が検討されているが、その一つとして有用物質への微生物変換が試みられている。電中研では、微生物の培養の際に通電を施すことで、培養困難な微生物の探索と代謝を制御可能な電気培養法を開発してきた。この方法をバイオマス変換に関わる微生物の探索に利用することで、新たな物質生産系の提案につながる可能性がある。そこで、グリセロールの微生物変換に着目し、電気培養による微生物の探索をおこなうとともに、新たな物質生産系を提案した。

(1) 電気培養によるグリセロール変換微生物の探索

湖沼底泥より取得した環境微生物群に対し、グリセロールを炭素源として含む培養液中で -0.6V (vs. Ag / AgCl) の電位を与えながら3週間培養した結果、顕著な微生物の増殖が生じ、グリセロールの減少に伴うエタノール生成が見られた。遺伝子解析の結果、増殖した微生物は、これまでグリセロール分解に関する報告例が極めて少ない *Paenibacillus* 属であることが分かった (Fig.-2)。

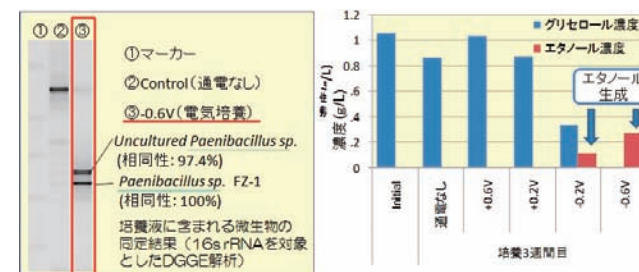


Fig.-2 DGGE analysis of microorganisms grown by electrochemical cultivation method(left) and ethanol producing abilities of glycerol converting bacterium(right).

(2) 電気培養によるエタノール生成促進効果の検証

取得した微生物を種々の酸化還元電位の下で3週間培養した結果、-0.2V (vs. Ag / AgCl) 以下の還元電位を与えた場合のみ、エタノール生成が起こることが明らかとなった (Fig.-2)。

これは、微生物のエタノール生成経路に含まれる還元反応に、電極で生じた電子が供給された結果、エタノール生成が促進されたことを示唆している。還元反応によるグリセロール変換促進の事例はこれまでに無く、電気培養を用いた新しい微生物変換系を提案することができた。今後は、条件の最適化と微生物の変換活性向上を図り、グリセロール実廃棄物を対象とした微生物変換の高効率化を目指す。

招待講演等での活動

- 1) 渡部良朋, “新・省エネルギーと資源リサイクルに貢献する生物工学”, 生物工学会東日本支部 生物工学フォーラム: 「環境」と生物工学 (2011年5月)