



Production of fuel ethanol and methane from garbage by high-efficiency two-stage fermentation process

高効率エタノール・メタン二段発酵による生ごみからの燃料用エタノールの生産

(JBB, Vol.108, No.6, 508-512, 2009)

小池 洋潤¹・安 明哲²・湯 岳琴³・庄 智裕²・大坂 典子¹・森村 茂²・木田 建次^{2*}

技術立国として高度成長したわが国は、大量生産、大量消費により生活の豊かさを得た反面、大量廃棄による廃棄物の処理問題が顕在化している。具体的には年間2億8千万tもの廃棄物系バイオマスが排出されており、そのうち食品系廃棄物量は約2200万tで、肥飼料としての利活用率は約20%に過ぎず、残り1760万tは未利用のままであり10年経ってもほとんど変わっていない(バイオマス・ニッポン総合戦略(2006年3月))。一方で、経済産業省がまとめた2030年の人口予測では、50万人以上の都市が38にも上り、しかも収集・運搬システムもでき上がっていることから、これらの都市圏では生ごみは安定したバイオマス資源になる。

そこで、生ごみを都市型バイオマス資源としてとらえ、(1)生ごみの鮮度保持法の検討と糖回収率に及ぼす影響、(2)希釈生ごみによるエタノール・メタン二段発酵によるエタノール生産(第一世代)、(3)無希釈生ごみによるエタノール・メタン二段発酵によるエタノール生産(第二世代)の手順で、燃料用エタノール生産の研究開発を行った。また(3)の結果に基づき、(4)わが国における生ごみからのエタノール製造量と二酸化炭素の削減量を試算した。

(1) **鮮度保持¹⁾** 生協残飯の表面に乳酸菌を散布し、水を入れたビニール袋を重石としてのせ、この操作を毎日一度繰り返すことにより、少なくとも10日間は鮮度保持が達成でき、しかもグルコース回収率も85%に向上した。この結果に基づき、2006年は新町地区の25軒で鮮度保持試験を実施し、2007年は新町および尾上地区350軒の協力を得て熊本市が鮮度保持試験を行った。住民の方からは腐敗しない、異臭がしない、素晴らしい資源循環といった高い評価を得た。

(2) **第一世代¹⁾** 鮮度保持した生協残飯を粗粉碎し、水で1.5倍に希釈して酵素糖化後、フィルタープレスで固液分離した。この糖液と凝集性酵母 *Saccharomyces cerevisiae* KF7を用いて連続発酵(D=0.8 h⁻¹, 30°C)試験を行い、生成エタノール濃度≒30 g/l、生産性≒24 g/l/hを達成したが、固液分離によりグルコース回収率は57%に低下した。一方、固液分離残渣と蒸留廃液の湿式高温メタン発

酵では、最大有機物(VTS)負荷6 g/l/dを達成し、この時のVTS消化率72%、ガス発生量790 ml/g-VTSであった。

(3) **第二世代²⁾** 第一世代技術の問題点を改善するため、鮮度保持生ごみを希釈することなく酵素糖化後、固液分離せずに同時糖化発酵し、蒸留残渣を乾式メタン発酵した。その結果、鮮度保持した生協残飯を用いて5回だけの繰り返し同時糖化・発酵であったが、生成エタノール濃度44-46 g/l、この時の生産性は18 g/l/hであった。また、長期間の連続発酵試験(35°C, D=0.3 h⁻¹)を行った結果、エタノール濃度41 g/l、発酵収率80%、生産性12 g/l/hを達成した。さらに、廃紙でC/N比を20に調整した蒸留残渣の乾式メタン発酵により、有機物負荷4 g/kg/d、バイオガス発生量800 ml/g-VTSを達成した。本結果に基づきエネルギー収支をとったところ、生ごみのエネルギーの84%がエタノールとメタンに変換され、元素分析値に基づく熱量計算からのエネルギー回収率は90%であった。本結果に基づき、湿潤混合生ごみ(事業系生ごみ:家庭系生ごみ=100:75)1tからのエタノール製造プラントのエネルギー収支計算を行ったところ、第二世代技術はエネルギー完結型プロセスであることが分かった。

(4) **経済性・二酸化炭素削減量³⁾** 湿潤混合生ごみ350 t/d(家庭系生ごみ200 t/d,事業系生ごみ100 t/d)から燃料用エタノールは5150 kl/y生産され、製造コストは140円/lエタノールであったが、生ごみ処理費を5000円/tとすると製造コストは16円となった。また、全国の生ごみからの燃料用エタノール製造量は年間約70万klと推定され、500万t強のCO₂が削減できることが分かった。

可燃ゴミから分別した生ごみを活用することにより、本技術は環境保全だけでなく地球温暖化対策、延いては低炭素社会の構築に貢献していくものと期待している。

- 1) Tang, Y. Q. et al.: *Biomass Bioenergy*, **32**, 1037 (2008).
- 2) Koike, Y. et al.: *J. Biosci. Bioeng.*, **108**, 508 (2009).
- 3) 木田建次ら:セルロース系バイオエタノール製造技術, p.57, エヌ・ティー・エス(2010).

*著者紹介 熊本大学大学院自然科学研究科(教授) E-mail: kida@gpo.kumamoto-u.ac.jp

¹東京ガス株式会社, ²熊本大学大学院自然科学研究科, ³北京理工大学