

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 都市型バイオマス資源である生ゴミからのエタノール・メタン二段発酵による  
高効率エネルギー回収システムの開発

( Development of the high efficiency energy production system from  
urban biomass waste by two-stage of ethanol- and  
methane-fermentation )

熊本大学大学院自然科学研究科 産業創造工学専攻 物質生命化学講座  
( 主任指導 木田建次 教授 )

論文提出者 小池 洋潤  
(by Yoji Koike)

主論文要旨

中国やインド等アジア地域における経済活動の急速な発展により、国際社会におけるエネルギー需要の急増と資源権益確保をめぐる各国間の競争が激化する一方、日本では 2010 年に「エネルギー基本計画」の第二次改正が行われ、非化石燃料における再生可能エネルギー普及への期待が高まっている。中でも直接的なガソリン代替燃料としてバイオエタノールが注目を集めているが、世界的に見ても現在バイオエタノールはトウモロコシやサトウキビを原料として生産されており、食糧との競争について批判がある。

本研究では食糧と競争しないバイオマス原料からのエタノール製造を模索する中で、特に都市部で大量に発生し、ほとんどが焼却処分されている食品廃棄物（生ゴミ）に着目し、これを都市型バイオマス資源と位置づけ、エタノールとバイオガス（メタン）の二段発酵により、高効率のエネルギー回収システムを構築することを目的とした。

本論文は 6 章で構成され第 1 章の緒論では本研究の背景と目的について述べた。

第 2 章では、第一世代プロセスとして凝集性酵母 KF-7 による食堂生ゴミ糖化液からの連続エタノール生産を中心に検討を行った。生ゴミはデンプンやセルロース等を多く含むため、エタノール生産に適した原料である一方、非常に腐敗しやすく鮮度を保持する必要がある。そこで生ゴミ表面への乳酸菌培養液の散布により乳酸発酵を促進させ、pH を 4.0 程度まで下げることでカビ等の腐敗菌の増殖を抑える鮮度保持を検討した。鮮度保持を行った生ゴミで酵素糖化を行った場合、鮮度保持していない場合と比較しグルコース回収率が向上し、最終的にグルコアミラーゼ：ナガセ N-40 を用いて 60°C で 6 時間糖化反応を行った場合では 85.5% と高いグルコース回収率を得ることが可能となった。続いて糖化处理した生ゴミを固液分離して得られる糖化液を用いて連続エタノール発酵を検討した。耐酸性凝集性酵母 KF-7 を用いることで、pH が低下した糖化液を無殺菌処理のまま利用し、希

積率  $0.8\text{h}^{-1}$  の連続発酵により  $24.0\text{g/l/h}$  のエタノール生産が可能であった。また固液分離後の固形分とエタノール発酵液の蒸留残渣を混合してメタン発酵を行うことで、 $1\text{kg}$  の生ゴミから約  $30\text{g}$  のエタノールと  $65\text{L}$  のバイオガス（メタン  $50\%$ ）を回収するプロセスを構築した。しかし当該プロセスでは糖化処理後の固液分離の際に、糖液の約  $30\%$  が糖化残渣側に残存してしまうためエタノール発酵に利用できず、エタノール生産性を低下させてしまうことが明らかとなった。

第 3 章では、これを改善し効率を向上させることを目的として、糖化とエタノール発酵を同時に行う「同時糖化・発酵 (SSF)」の検討を行った。原料生ゴミにセルラーゼとグルコアミラーゼを添加し処理した後、酵母培養液を加えエタノール発酵を開始、2 時間ごとに醗の  $80\%$  の引き抜きと新たな原料の添加を行う繰り返し SSF では、エタノール濃度と発酵収率はそれぞれ、 $44\text{g/l}$  と  $81.3\%$  であり、その際のエタノール生産性は  $17.7\text{g/l/h}$  と高い値を示した。更に希釈水の添加による効率低下を回避するためメタン発酵を湿式から乾式に変更したプロセスの検討も行い、SSF と乾式メタン発酵の組み合わせにより最終的に生ゴミのエネルギーの約  $85\%$  を燃料用エタノールおよびバイオガス（メタン）として回収することが可能となった。

第 4 章では、乾式メタン発酵の持続的な安定性を検証するため、紙ゴミをベースとした原料と生ゴミをベースとした原料をそれぞれ長期間フィードした場合の高温乾式メタン発酵槽内における微生物菌叢の変化を 16SrRNA クローンライブラリ解析手法により比較解析した。生ゴミ原料をフィードし続けた場合、21 週以降からガス発生量が低下すると共に、アンモニア性窒素や酢酸、乳酸、プロピオン酸等の蓄積が見られたが、クローンライブラリの解析でも同じタイミングでメタン生成古細菌およびバクテリアの構成が著しく変化しており、アンモニアおよび有機酸の蓄積が微生物活性を阻害し、最終的にメタン生成の性能低下を引き起こした可能性が菌叢変化の面からも示唆された。一方で紙ゴミをベースとした原料をフィードし続けた場合には有機酸の蓄積もなくガス発生および菌叢も安定していたことから、生ゴミ原料を利用する場合にはメタン発酵時に窒素濃度の低い原料混合による C/N 比の調整等が有効であると考えられた。

第 5 章では東京都で行った実証試験結果も交えて経済性評価を行い、本研究で開発したプロセスが経済的にも成立することを検証し、都市型バイオマス資源である生ゴミからのエタノール・メタン二段発酵による高効率エネルギー回収システムが実用的に有効なプロセスであることを確認し、第 6 章では以上の結果を総括した。