

## 第1章 はじめに

京都議定書が発効し、世界的にも地球温暖化効果ガス排出量の削減が求められ、また我が国においても、資源循環型社会の構築が重要との観点で施策や法律的な取り組みがなされつつある。カーボンニュートラルであるバイオマスとして、都市から発生する生ごみや食品廃棄物といった有機性廃棄物からのエネルギーの創出は、将来の化石燃料資源の枯渇への対応や地球温暖化の防止などにつながる。これらの処理・エネルギー創出技術として、より効率的な嫌気性消化技術を開発し、メタンガスを回収し電気や熱エネルギー源として活用することで、化石燃料の使用量削減を促し、二酸化炭素排出削減に寄与することが可能である（野池ら, 2009）。また嫌気性消化生成物である乳酸などは、生分解性プラスチックの原材料としての適用が注目されており、高効率な乳酸発酵技術により、有機性廃棄物の資源としての活用が可能となる（Akao ら, 2007a; 2007b）。現在主として焼却処理されている、水分含量の大きい生ごみや食品廃棄物を別途処理することで、焼却炉での発電効率向上やダイオキシン生成抑制、生ごみ回収の衛生化につながる。様々な有機性廃棄物を対象とした嫌気性消化技術の研究例は多くあり、実用化が進んでいるものの、これらの目的で研究されている嫌気性消化技術の反応機構については、未だに不明な点が多い。

有機性廃棄物を対象とした嫌気消化反応器では、古典的な微生物群集の定量方法である浮遊物質濃度や濁度などの指標が正確に微生物濃度を表しているとはいえず、また微生物群集由来ではない DNA が含まれているので DNA 濃度の測定でも不十分である。反応に関わる微生物群は、近年急速に発展した分子生物学的分析手法により解明が進められてきているものの、特に数理モデルによる研究において、状態変数である微生物濃度が分子生物学的手法での解析結果と十分に結びつけられているとはいえない。下水処理の分野では、アンモニア酸化細菌を分子生物学的手法で定量し、実際のアンモニア負荷率やアンモニア酸化速度を合わせた解析を試みている研究例が見られるものの（辻ら, 2008）、嫌気性消化の分野において、実際の反応器の運転状況との関連性は明確に示されていない。更に嫌気性消化における生成物質は、有機物負荷率、水理学的滞留時間、温度、pH、水素分圧など、様々な環境条件により異なることが知られているものの、反応に関わる熱力学的な考察は十分になされていない。国際水協会が発表している嫌気性消化モデル（ADM1）（Batstone, 2002）では、可溶化後の有機物から生成する各種有機酸の割合を一定値として与える構造になっており、その値が状況によって異なる反応機構は明確に示されていない。このような課題の検討は、ADM1 のような速度論的な解析のみで対応できず、熱力学的な平衡をふまえた議論を提案している研究があるものの（Rodríguez ら, 2008）、その適用にはまだ課題も多い。

このような点に着目し、本研究では、分子生物学的手法での微生物群集の定量技術を確認しながら、単純な有機性基質としてグルコースおよび複雑な有機性基質として人工生ごみを対象にした基礎実験により、また分子生物学的手法による微生物群集解析も行うことで、有機性廃棄物の嫌気性消化における反応機構を明らかにすることを目的とした。そのために、様々な条件下での回分式および半連続式で、乳酸生成や水素発酵を主なターゲットとした有機酸発酵実験を行った。また、それらの結果に基づき、基質や生成物の阻害影響や生成物の違いを再現しうる数理モデルを、分子生物学的手法による分析も組み込みながら構築した。今後の展開として、生ごみや食品廃棄物に限らず、浄化槽汚泥、工場廃棄物、下水汚泥、畜産廃棄物、農業廃棄物など他の有機性廃棄物の処理技術への適用も可能であると考えられ、得られた成果は、国内外の循環型社会形成の推進に寄与することが期待できる。

以下に本報告の構成を示す。第2章では、グルコースを基質とした乳酸発酵の実験を中心として、分子生物学的手法も活用して関与する微生物の定量を行いながら、その反応機構のモデル化を試みる。第3章では、人工生ごみを基質とした酸発酵の連続式実験を行い、分子生物学的手法も活用して関与する微生物の定量を行いながら、異なる微生物群集下での乳酸発酵および水素発酵に関する考察を試みる。第4章では、異なる種汚泥を用いながら水素や各種有機酸が生成する状況下での検討を行い、微生物群集が生成物の変化に及ぼす影響を把握する。第5章では、乳酸発酵および水素発酵の競合実験を行い、数理モデルを開発する。そして、第6章で得られた成果をまとめる。

#### 【第1章参考文献】

- Akao, S., Tsuno, H., Cheon, J. (2007a) Semi-continuous L-lactate fermentation of garbage without sterile condition and analysis of the microbial structure. *Water Res.* **41**(8), 1774-1780.
- Akao, S., Tsuno, H., Horie, T., Mori, S. (2007b) Effects of pH and temperature on products and bacterial community in L-lactate batch fermentation of garbage under unsterile condition. *Water Res.* **41**(12), 2636-2642.
- Batstone, D. J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S. V., Pavlostathis, S. G., Rozzi, A., Sanders, W. T. M., Siegrist, H., Vavilin, V. A. (2002) *Anaerobic Digestion Model No.1*. International Water Association (IWA), Publishing, London, UK.
- Rodríguez, J., Lema, J. M., Kleerebezem, R. (2008) Energy-based models for environmental biotechnology. *Trends in Biotechnology* **26**(7), 366-374.
- 辻幸志, 藤田昌史, 山下哲生 (2008) 亜硝酸酸化細菌群の窒素酸化履歴に対する最大亜硝酸

酸化速度の応答, 水環境学会誌, **31**(11), 693-699.

野池達也, 安井英斉, 松本明人, 李 玉友, 河野孝志, 落 修一, 佐藤和明, 渋谷勝利 (2009)  
メタン発酵, 技報堂出版, 東京.