

乾式メタン発酵による循環型豚ふん尿処理に関する研究 Sustainable swine manure management using solid-state anaerobic digestion

○利谷翔平* 孟令宇* 豊田剛己** 寺田昭彦* 細見正明*
RIYA Shohei* MENG Lingyu* TOYODA Koki** TERADA Akihiko* and
HOSOMI Masaaki*

1. 背景

畜産農業は、我国において重要な窒素汚染源の一つといわれている。水質汚濁防止法が定める産業排水の硝酸性窒素等（アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物および硝酸化合物）の一律排水基準は平成13年7月に100 mg-N/Lと定められたが、直ちに達成できない業種については3年を期限で暫定排水基準を設定し、見直しされることになっている¹⁾。畜産農業に関しては、暫定排水基準が900 mg-N/Lから700 mg-N/Lに引き下げられ²⁾、さらに平成28年7月から600 mg-N/Lに引き下げられた¹⁾。このように一律排水基準に向けて、特に豚尿に由来する排水の多い養豚業における排水処理は厳しいものとなる。また、養豚経営は輸入飼料に依存していることから、豚ふん尿の発生は海外から飼料の形で輸入された窒素による汚染問題ととらえることもできる。

2. 提案システム

我々は、乾式メタン発酵と飼料イネを利用した循環型豚ふん尿処理システムを提案している（図1）。休耕田及び転作水田で、多収米を栽培し、モミを豚の飼料とし、未利用バイオマスである稲ワラ・モミ殻を炭素源かつ希釈材として、豚ふん尿と混合し、高温乾式メタン発酵を行い、豚ふん尿の処理を図る。乾式メタン発酵とは、固形分濃度15%以上で実施されるメタン発酵であり³⁾、一般的なメタン発酵（湿式メタン発酵、固形分濃度数%）にくらべ排水の発生が少ない。従って、豚ふん尿を排水の発生なく処理できる可能性がある。高温乾式メタン発酵プロセスからはメタンを回収し、エネルギー利用を行う。さらに、発酵残渣は多収米の肥料として用いる。以上により、豚ふん尿と稲ワラ・モミ殻の有効利用、飼料自給率の向上、エネルギー回収を同時に満たす環境低負荷型コベネフィットシステムを構築する。

本研究では、以上のようなシステムの実現可能性を検討するために、（1）豚ふん尿と稲わらの乾式メタン発酵、（2）発酵残渣の肥料利用とその環境負荷の削減、（3）システムの経済性・環境負荷を評価した。

3. 豚ふん尿の乾式メタン発酵、発酵残渣の利用およびシステム評価

メタン発酵に関与する微生物群は、高アンモニア濃度や有機物の過負荷により活性が低下してしまう。そのため、最適な基質のアンモニア濃度や負荷量を明らかにする必要がある。そこで、豚ふん尿と稲わらを基質としたとき、豚ふん尿と稲わらの混合比率を

*東京農工大学工学府, Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), **東京農工大学生物システム応用科学府, Graduate School of Bio-Applications and Systems Engineering, TUAT

豚ふん尿, 乾式メタン発酵,
飼料イネ

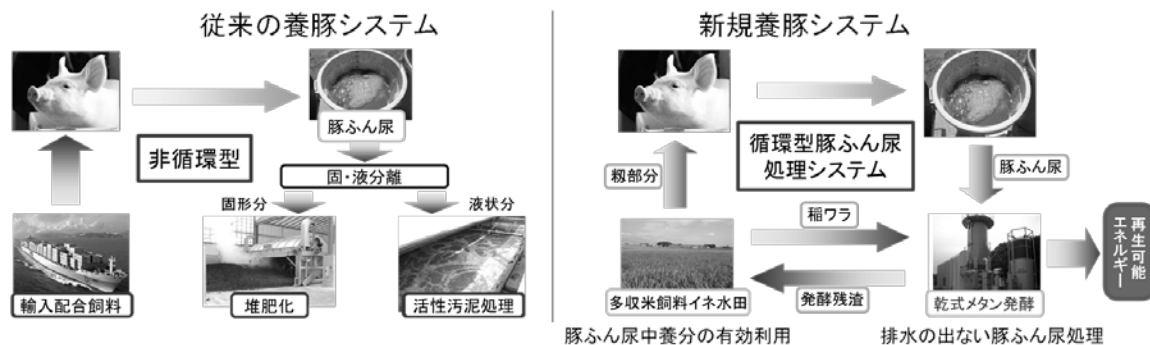


図1 提案する乾式メタン発酵と飼料イネ栽培を組み込んだ新規養豚システム調整してC/N比を変化させた場合、および汚泥滞留時間（SRT）を調整して汚泥投入量を変化させた場合のバイオガス生成量を評価した。基質として豚ふん尿のみ（C/N比8）を乾式メタン発酵した場合、発酵開始後バイオガス生成が上昇したが、すぐ低下した。基質として豚ふん尿と稲わらの混合し、基質のC/N比を20にした場合、SRT30日までは安定的なバイオガス生成を示したが、SRTを25日まで短縮し、汚泥投入負荷を上昇させると、バイオガス生成は低下した。稲わらをより多く混合したC/N比30はSRT20日までは安定的なバイオガス生成を示したが、SRTを15日に短縮したところバイオガス生成が低下した。以上より、豚ふん尿と稲ワラの混合により高温乾式メタン発酵が安定的に進むこと、および各混合比における最適SRT（C/N比20および30でそれぞれ30および20日）が明らかとなった。以上のパラメータは、稲わらと豚ふん尿の乾式メタン発酵リアクターを設計するうえでの重要である。

乾式メタン発酵では、有機物は分解されるがアンモニアは残存しているため、発酵残渣は肥料としての利用が期待できる。水田の肥料として利用した場合、残存する有機物が土壌中において嫌氣的に分解され、温室効果ガスのメタンとして大気へと放出される可能性がある。飼料イネ栽培に発酵残渣を利用した場合、水田からのメタン放出量は化学肥料を施用した場合の数倍となった。そのため、発酵残渣を肥料として利用する場合、メタン放出を削減する必要がある。水田からのメタン放出を削減するため、間断灌漑により定期的に土壌を大気に暴露させた結果、メタン放出は削減された。しかし、それでも化学肥料系よりも高いメタン放出を示した。メタン放出をより抑制するためには、発酵残渣自体の改質なども必要になってくると考えられる。

システムの経済性を評価した結果、1000頭規模では養豚農家および水田農家の両業者が最低限必要な所得を確保できないことがわかった。しかし、規模を7000頭に拡大し、水田への補助金を活用することで経済的に成り立つことがわかった。

参考文献

- 1) 環境省：排水基準を定める省令の一部を改正する省令の一部を改正する省令，2016，<http://www.env.go.jp/press/102649.html>，
- 2) 環境省：排水基準を定める省令の一部を改正する省令の一部を改正する省令，2013，<https://www.env.go.jp/press/16752.html>，
- 3) André *et al.*: Solid anaerobic digestion: State-of-art, scientific and technological hurdles, *Bioresour Technol.*, 2018, 247, 1027-1037.