

氏 名	つば 田 じゅん 潤
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3977 号
学位授与の日付	平 成 20 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	固形有機性廃棄物の生物学的超高温可溶化技術の開発および高温メタン発酵への導入効果

論文調査委員 (主 査) 教 授 津 野 洋 教 授 田 中 宏 明 教 授 酒 井 伸 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、厨芥、食品工場廃棄物および下水汚泥を対象としたメタン発酵効率を向上させる方法として、固形物を80℃の条件（以下、超高温という）下で生物学的に可溶化する技術を開発し、その特性ならびにメタン発酵への導入技術と効果について論じた結果をまとめたものであって、9章からなっている。

第1章は序論であり、研究の背景、目的および論文の構成について述べている。固形有機性廃棄物のメタン発酵では、その効率の向上と残渣量の削減、ならびにアンモニア阻害の回避の重要性から、本技術の開発研究の意義を明らかにしている。

第2章では、超高温微生物が存在すると考えられる高温の温泉汚泥を馴化し、固形有機物の80℃における可溶化活性およびメタン発酵活性を確認し、本汚泥を継続的にセルロース・でんぷん培地で、継代培養することに成功した。この汚泥はメタン発生には水素を必要とすることも明らかにした。

第3章では、この汚泥が有する超高温可溶化活性を高温（55℃）でのメタン発酵と組み合わせた、2槽式メタン発酵法を開発を行った。この技術と、高温メタン発酵のみ（以下、対照技術という）の連続比較試験を行った結果、メタン発生量が対照技術より4.9%増大するとともに残渣発生量が0.6%減少した。また温泉馴化菌は超高温嫌気性可溶化条件において、高温メタン発酵より高速かつ高効率で固形有機物の可溶化を進行させる能力を有することを酵素試験により明らかにした。PCR-DGGE法を用いて超高温可溶化槽で特徴的に見られる微生物を特定したところ、*Thermoanaerobacter* 属、*Anaerobaculum* 属等、従来のメタン発酵汚泥には含まれない微生物の存在を明らかにした。

第4章では、より容易で安定した技術を開発するため、超高温可溶化槽の汚泥として高温メタン発酵菌を可溶化槽に返送し活用する2槽式の技術開発を行った。厨芥類を対象として、連続評価試験を実施したところ、メタン発生量は425ml/投入VTS-gで、対照技術と比べて1.27倍メタン回収率が向上することを示し、VTS未分解率（有機性残渣発生率）は対照技術の21.1%に対し2槽式試験システムで9.9%と53%減少した。

第5章では、実際のプラントに投入されている食品工場廃棄物（主成分：コーヒー滓）を用いて連続評価試験を行った。本廃棄物を用いた場合、対照技術に比して高負荷まで安定したメタン発酵をしうることを明らかにし、これは可溶化手段がなければコーヒー滓の可溶化速度が追いつかないためと考えられた。対照技術では残渣発生率が21～25%程度であったのに対し2槽式技術での残渣発生率は10～11%程度となり、残渣発生量を51～56%削減することができると明らかにした。

第6章では、超高温可溶化技術を乾式高温メタン発酵プラントに適用した場合の効果を回分式試験で評価した。投入有機物を超高温可溶化したのちに高温メタン発酵を行う前段可溶化配置と、高温メタン発酵槽から排出された残渣に対して可溶化を行いメタン発酵槽に返送する後段可溶化配置の2方式を試験した。その結果、両方式の効果的な適用性を明らかにするとともに可溶化時間は48時間が最適であることを明らかにした。各回式試験最終日での菌相分析を行ったところ、前段可溶化配置については加水分解および酸生成微生物である *Desemzia incerta*, *Enterococcus avium*, *Vagococcus fluvialis* および *Clostridium* 属の増殖が明らかにされ、後段可溶化の場合にはゼラチンなどタンパク質系基質を分解する微生物として

知られている *Tissierella praeacuta*, *Alkaliphilus transvaalensis* 等が増殖したことが確認された。

第7章では、下水処理場での下水汚泥と厨芥の混合消化を想定し、混合バイオマスの前処理としての超高温可溶化技術の効果について、本開発技術と対照技術との連続比較試験を行った。対照技術では、下水汚泥のみを投入した場合に比べ下水汚泥に生ごみを加えた場合では、廃棄汚泥発生率は低下するが、廃棄汚泥発生量は増加した。一方、本開発技術の場合は、下水汚泥に生ごみを加えても、廃棄汚泥発生率が対照技術と比較してさらに低下するとともに、廃棄汚泥発生量は厨芥類を加えない場合と同等以下となった。また厨芥類を加えるとその分解分だけメタン発生量が増加した。

超高温可溶化は、80℃およびpH8程度という条件で行うため、アンモニアストリッピングによりアンモニアを回収することができる。生ごみおよび食品廃棄物を用いた場合のアンモニア回収に必要なストリッピングガス供給のための電力量を実験によりもとめたところ、発生バイオガスによる発電量の10%程度以下となり、経済的にもエネルギー的にも超高温可溶化槽でアンモニアストリッピングを行う意義は高いという結果が得られた。

第8章では、食品系廃棄物を投入する高温メタン発酵施設に超高温可溶化技術を採用した場合の経済性効果およびエネルギー生産性効果についての検討を行ったところ、残渣処理費および廃液処理費を半減でき、経済収支を黒字改善しうる可能性が示された。また超高温可溶化技術を導入することにより、エネルギー的に自立しないプラントをエネルギー生産プラントにできる可能性も示された。さらにバイオガスコージェネレーションシステムを導入することで、発電時の発生熱だけで残渣乾燥および発酵槽加温が可能となり、余剰電力をさらに増加させることができることを明らかにした。

第9章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、厨芥、食品工場廃棄物および下水汚泥を対象にメタン発酵処理するプロセスにおいて、固形物を80℃の条件（以下、「超高温」という）下で生物学的に可溶化し、メタン発生量を増大させ残渣発生量を削減させるとともに、アンモニアを揮発回収する技術を開発したもので、その主な成果は以下のとおりである。

1. 馴化した高温の温泉汚泥は、高温メタン発酵より高速かつ高効率で厨芥中固形有機物の可溶化を進行させる能力を有することを酵素試験により明らかにした。そして、この汚泥を用いた超高温可溶化槽と55℃高温メタン発酵槽とを組み合わせ、2槽式メタン発酵法を開発を行い、メタン発生量が4.9%増大するとともに残渣発生量が0.6%減少することを明らかにし、超高温可溶化槽で特徴的に見られる微生物は *Thermoanaerobacter* 属、*Anaerobaculum* 属等であり、従来のメタン発酵汚泥には含まれない微生物の存在を明らかにした。
2. この馴化汚泥を超高温可溶化槽に保持し機能を発揮させるためには、可溶化槽の滞留時間を10日程度としなければならないことを明らかとした。またこのことから、55℃の高温メタン発酵汚泥を超高温可溶化槽の可溶化酵素供給源とする汚泥返送法を開発を行い、超高温可溶化槽で滞留時間は2日で十分に効果があることを明らかにした。
3. 上記2.の技術を、厨芥類を対象として連続試験により評価したところ、メタン発生量は425ml/投入VTS-gで、超高温可溶化槽を有さないコントロール試験のメタン発生量に比べて1.27倍メタン回収率が向上することを明らかとした。またVTS未分解率（有機性残渣発生率）は53%減少した。
4. 実際にプラントに投入されている食品工場廃棄物（主成分：コーヒー滓）や下水汚泥・厨芥混合物を対象に、連続評価試験を行い、これらの有機性廃棄物でも、超高温可溶化－高温メタン発酵法を採用することにより、バイオガス発生量を増大するとともに残渣発生量を削減できることを実証した。
5. 超高温可溶化は、80℃およびpH8程度という条件で行うため、アンモニアストリッピングによりアンモニアを回収できることを明らかとし、またこのための送気必要電力量は、発生バイオガスによる発電量の10%程度以下であることを明らかにした。

以上、本論文は有機性廃棄物のメタン発酵効率を向上させるとともに残渣発生量の削減を図りアンモニアを回収する技術を開発し、有用性を検証したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年12月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。