

(論文内容の要旨)

本論文は、地球温暖化防止や資源循環の重要性から見直されている生ごみや下水汚泥からの資源回収に着目し、有機性廃棄物の適正な処理技術として、生ごみおよび余剰汚泥を対象として二相式超高温嫌気性消化の開発を試みた結果をまとめたものであり、8章からなっている。

第1章は序論であり、研究の背景および目的について言及し、本研究の社会的な重要性や意義について論議し、考察を行っている。また、論文の構成についても言及している。

第2章は文献考察であり、嫌気性処理の基礎、操作因子、微生物群集および混合消化について論じ、従来のプロセスと本研究で提示するプロセスとの比較を通じて、本研究の工学的な意義と位置付けに関する考察を行っている。

第3章では、生ごみのみを基質とした実験を行い、その基礎特性の把握を試みている。70℃～80℃で運転した超高温酸発酵槽の後段に、55℃もしくは65℃～80℃で運転したメタン発酵槽を組み合わせ、320日間連続運転を実施している。酸発酵槽の水理学的滞留時間(HRT)は4～8日、固形物滞留時間(SRT)は4.2～11.6日、メタン発酵槽のHRTは30日を基本としている。その結果、酸発酵槽でのCOD、炭水化物およびタンパク質可溶化率は、70℃の場合それぞれ43%、80%および30%程度であり、80℃での運転よりも70℃での運転が適切であることを示している。超高温酸発酵槽の後段に、メタン発酵の安定していた高温メタン発酵槽を組み合わせた場合のメタン転換率は、CODベースで平均85%以上であり、またメタン発酵槽では、設定温度により有機酸の異なることや、65℃以下ではメタンガスが生産されるのに対して、70℃ではメタン生成が著しく減少し、73℃以上の場合、メタンガスは生産されないことを明らかにしている。

第4章では、70℃で運転した超高温酸発酵槽、ならびに35℃、55℃および65℃で運転したメタン発酵槽を組み合わせ、生ごみおよび低濃度下水汚泥の超高温混合嫌気性消化実験を行っている。あわせて、55℃で運転した高温酸発酵槽および55℃で運転したメタン発酵槽を組み合わせた実験も比較のために行っている。下水汚泥としては、超高温処理の効果を検証するために、生汚泥ではなく、分解しにくい余剰汚泥を用いている。連続運転は133日間実施しており、酸発酵槽のHRTは6.4～2.4日、SRTは8～3日、メタン発酵槽のHRTは20～8.5日としている。その結果、酸発酵槽におけるタンパク質の可溶化率は、70℃で34～44%、55℃で17～21%であり、超高温酸発酵に高温メタン発酵を組み合わせた場合、および高温酸発酵に高温メタン発酵を組み合わせた場合いずれもメタン生成の観点からは優れており、超高温酸発酵に高温メタン発酵を組み合わせた場合、プロピオン酸蓄積や微生物活性の観点から、より安定した運転が期待できることを明らかにしている。

第5章では、70℃で運転した超高温酸発酵槽、ならびに35℃、55℃および65℃で運転したメタン発酵槽を組み合わせ、生ごみおよび高濃度下水汚泥の超高温混合嫌気性消化実験を行っている。あわせて、55℃で運転した高温酸発酵槽および55℃で運転したメタン発酵槽を組み合わせた実験も比較のために行っている。連続運転は172日間実施しており、酸発酵槽のHRTは3日、SRTは3日、メタン発酵槽のHRTは8.5日として、投入基質のTS濃度を2.6～6.3 g/Lの範囲で徐々に増加させることで、反応器への負荷率を増加させている。酸発酵槽におけるタンパク質の可溶化率は、70℃で54%、55℃で45%であり、特にタンパク質可溶化の観点から超高温酸発酵の優位性を示している。反応器全体としては、超高温酸発酵に高温メタン発酵を組み合わせた場合、最もメタン発酵効率がよく、有機物負荷率1.8～4.5 gVS/L/dで、0.22～0.29 L CH₄/gVSのメタンが得られることを明らかにしている。

第6章では、第3章～第5章で運転した反応器について、分子生物学的手法であるランダムクローニング法による微生物群集解析の結果を、系統樹によりまとめている。超高温混合嫌気性消化実験における酸発酵槽では、*Firmicutes* 門に属するクローンが多数検出されており、*Clostridium*、*Lactobacillus*、*Bacillus*などの近縁種が含まれていることを示している。特に余剰汚泥を投入した発酵槽では *Coprothermobacter* 近縁種が検出されることを報告している。またメタン発酵槽では *Methanothermobacter* 近縁種などが検出されることを示している。基質として生ごみおよび余剰汚泥の混合割合や、運転条件として温度条件により、異なる微生物群集が形成されていることを明らかにしている。

第7章では、熱による効果と微生物による効果の寄与を確認するために回分式実験を行っている。その結果、超高温条件下においても、微生物による反応が機能していることを明らかにしている。また、アンモニアに対する影響についても回分式実験により検討されており、超高温条件下の場合、高温条件下よりも影響が受けやすくなる可能性を示している。

第8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、都市生ごみや下水汚泥などの有機性廃棄物の適正な処理技術として、生ごみおよび余剰汚泥を対象として二相式超高温嫌気性消化の開発を試みた結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 生ごみのみを基質とした実験について、超高温酸発酵槽の後段に、メタン発酵の安定していた高温メタン発酵槽を組み合わせた場合のメタン転換率は、COD ベースで平均 85%以上であり、またメタン発酵槽の温度が 73℃以上の場合、メタンガスは生産されないことを明らかにした。

2. 生ごみおよび低濃度下水汚泥の超高温混合嫌気性消化実験での、酸発酵槽におけるタンパク質の可溶化率は、70℃で 34～44%、55℃で 17～21%であり、超高温酸発酵に高温メタン発酵を組み合わせた場合、および高温酸発酵に高温メタン発酵を組み合わせた場合いずれもメタン生成の観点からは優れており、前者の場合、より安定した運転が期待できることを明らかにした。

3. 生ごみおよび高濃度下水汚泥の超高温混合嫌気性消化実験で、酸発酵槽におけるタンパク質の可溶化率は、70℃で 54%、55℃で 45%であり、超高温酸発酵に高温メタン発酵を組み合わせた場合、最も効率がよく有機物負荷率 1.8～4.5 gVS/L/d で、0.22～0.29 L CH₄/gVS のメタンが得られることを明らかにした。

4. 微生物群集解析を行い、超高温混合嫌気性消化実験における酸発酵槽では *Coprothermobacter* 近縁種などが、メタン発酵槽では *Methanothermobacter* 近縁種などが検出された。これらの結果より基質や運転条件により異なる微生物群集が形成されていることを明らかにした。

5. 熱による効果と微生物による効果の寄与を確認するために回分式実験を行い、超高温条件下においても、微生物による反応が機能していることを明らかにした。

以上要するに、本論文は、生ごみおよび余剰汚泥を対象として二相式超高温嫌気性消化の開発したものであり、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 20 年 8 月 4 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。