

京都大学	博士（工学）	氏名	王 峰
論文題目	Co-digestion of polylactide and kitchen garbage in hyperthermophilic and thermophilic anaerobic methane fermentation system (超高温可溶化槽を組み込んだ高温嫌気性メタン発酵システムにおけるポリ乳酸および生ごみの混合消化)		
(論文内容の要旨)			
生ごみ等の有機性固形物からのメタン発酵によるエネルギー回収においては、生ごみ回収用のポリ袋や混入するプラスチック容器が問題となる。これらを生分解性のポリ乳酸(PLA)に代替し、メタンまで変換する技術は重要となる。本論文はこのための効率的なメタン発酵技術開発を目指したものである。高温処理(55℃)よりも高い温度での超高温処理(80℃)による有機性廃棄物の可溶化技術を活用することに着目し、PLA混入人工生ごみを基質とした、超高温可溶化槽を組み込んだメタン発酵反応システムによる連続実験を行い、添加 PLA の可溶化特性や、PLA の超高温可溶化によるメタン発酵汚泥の沈降性改善効果について検討するとともに、より詳細な検討事項については回分実験を合わせて行い検討した研究であり、5つの章から構成されている。 第1章は序論であり、研究の位置づけ、背景および目的について説明するとともに、本論文の構成を示している。 第2章においては、嫌気性消化プロセスにおける超高温可溶化槽についての知見を整理し、またポリ乳酸の生物化学分解特性に関連する知見についての文献考察を行い、本研究の意義を明らかにしている。 第3章においては、まず、PLA の可溶化槽での可溶化率およびメタン発酵槽でのメタン転換率がより向上する条件などを把握することを目的とする回分実験を実施している。超高温可溶化槽と高温メタン発酵槽を組み合わせた二段式嫌気性消化プロセスを想定し、PLA を基質として、各槽での処理機能の特性を調査している。その結果、PLA を可溶化するには 55℃ の高温処理のみでは困難で、80℃ の超高温可溶化槽が不可欠であることを示している。80℃ の超高温可溶化槽を用いても汚泥やその上澄み液を用いなければ可溶化効果は小さく、汚泥を用いた場合の可溶化効果は汚泥やその上澄み液を用いなかった場合と比べ約 3 倍であることを示している。超高温可溶化槽にアンモニアを添加することによって PLA 可溶化率が大きく向上し、アンモニア添加量が 4gN/L の範囲まででは、添加量が多いほどその効果も大きく、アンモニアを 4gN/L 添加した場合、添加しなかった場合と比べ約 3 倍の可溶化効果が得られることを明らかにしている。PLA のみを基質として嫌気性消化を行った場合、消化日数 60 日におけるメタン転換率はわずか 11.7%であることも示している。混合消化によるメタン発酵促進効果を検証することを目的として、PLA および生ごみを混合し、メタン発酵の基質として用いた実験を行い、混合消化を行うことにより PLA の生分解性の向上が見られ、消化日数 60 日においては、投入 PLA の約半分がメタンに転換されることを示している。			

超高温処理を行うことにより、PLA の生分解性は混合消化を行った場合と比較してさらに向上し、PLA の大部分は超高温処理により乳酸に分解され、後段の高温消化においてメタン生成菌群により消費されている。本研究で用いた 2 種類の PLA の最終的なメタン転換率は消化日数 22 日においてそれぞれ 81.8%および 77.0%であることを示している。

第 4 章では、連続処理の基礎的な知見を得るために、組成がほぼ一定している人工生ごみと PLA を基質として、80℃で運転した超高温可溶化槽と 55℃で運転したメタン発酵槽とを組み合わせた連続運転を実施している。また対照系として 55℃のメタン発酵槽のみの運転も行っている。その結果、80℃の超高温可溶化処理を導入した場合、PLA 可溶化率を促進できることが示されている。超高温可溶化槽にアンモニアを添加することによって PLA 可溶化率とメタン転換率の向上が見られること、PLA と生ごみの混合消化を行うことで、PLA のみをメタン発酵した場合と比較して、メタン転換率の向上が見られることも示されている。処理の安定性においては高温可溶化槽を組み込んだ M1+S1 および M2+S2 系が優れており、COD 基準のメタン転換率は 70～80%程度であり、コントロール系と比較して処理効率の優位性が見られることを明らかにしている。さらに Capillary Suction Time 測定により、PLA 可溶化を組み込んだ場合、汚泥の脱水性も向上することを示している。

第 5 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の研究課題を提示している。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、ポリ乳酸（PLA）混入人工生ごみを基質として、超高温可溶化槽を組み込んだメタン発酵反応システムによる連続実験を行い、PLA 可溶化特性や、PLA の超高温可溶化によるメタン発酵汚泥の沈降性改善効果について検討するとともに、より詳細な検討事項については回分実験を合わせて行い検討した研究である。本研究で得られた主な成果は以下のとおりである。

1) PLA の可溶化槽での可溶化率およびメタン発酵槽でのメタン転換率がより向上する条件などを把握することを目的とする回分実験を実施しており、その結果、PLA を可溶化するには 55℃の高温処理のみでは困難で、80℃の超高温可溶化槽が不可欠であり、80℃の超高温可溶化槽を用いても汚泥やその上澄み液を用いなければ可溶化効果は小さく、汚泥を用いた場合の可溶化効果は汚泥やその上澄み液を用いなかった場合と比べ約 3 倍であることを示している。

2) 超高温可溶化槽にアンモニアを添加することによって PLA 可溶化率が大きく向上し、アンモニア添加量が 4gN/L の範囲まででは、添加量が多いほどその効果も大きく、アンモニアを 4gN/L 添加した場合、添加しなかった場合と比べ約 3 倍の可溶化効果が得られることを明らかにしている。

3) 混合消化によるメタン発酵促進効果を検証することを目的として、PLA および生ごみを混合し、メタン発酵の基質として用いて回分実験を行い、混合消化を行うことにより PLA の生分解性の向上が見られ、消化日数 60 日においては、投入 PLA の約半分がメタンに転換されることを示している。

4) 連続処理の基礎的な知見を得るために、組成がほぼ一定している人工生ごみを基質として、80℃で運転した超高温可溶化槽と 55℃で運転したメタン発酵槽とを組み合わせた連続運転、また対照系として 55℃のメタン発酵槽のみの運転も行い、80℃の超高温可溶化処理を導入した場合、PLA 可溶化率を促進できることを示している。

5) 連続実験でも、超高温可溶化槽にアンモニアを添加することによって PLA 可溶化率と PLA のメタン転換率の向上が見られること、PLA と生ごみの混合消化を行うことで、PLA のみをメタン発酵した場合と比較して、PLA のメタン転換率の向上が見られることを明らかにしている。

6) 連続運転処理の安定性においては超高温可溶化槽を組み込んだ運転が優れており、COD 基準のメタン転換率は 70～80%程度であり、コントロール系と比較して処理効率の優位性が見られることを明らかにしている。さらに Capillary Suction Time 測定により、汚泥の脱水性も向上することを示している。

以上、要するに本論文は、超高温可溶化槽を組み込んだ高温嫌気性消化における PLA の生物化学分解特性について着目し、回分式実験および連続運転により研究したものであり、超高温可溶化処理やアンモニア添加の効果を明らかにしたものである。本論文で得られた成果は、有機性廃棄物処理およびエネルギー回収の実用化に貢献しうるものであり、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 22 年 12 月 17 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。