

研究成果報告書

研 究 題 目		地域の未利用資源を活用したバイオマス発電システムの構築およびその効果の検証	実 施 年 度
			2024 年度
代 表 研 究 者	所 属	宇部工業高等専門学校	
	氏 名	野本 直樹	印
1. 研究の目的・背景 わが国は 2050 年までにカーボンニュートラルを達成すると公言しており、再生可能エネルギーの普及が急務となっている。再生可能エネルギー源の一つとして、バイオマス発電が挙げられるが、十分にその資源を活用できていない。バイオマス発電の普及を妨げている要因として、収集運搬コストおよび発電効率が挙げられる。申請者は、清掃工場および下水処理場が連携してこれらの課題を解決するバイオマス発電システムを考案した。 本研究では、生ゴミ、下水汚泥、木材などの、これまで焼却処分されてきた廃棄物を発電に活用し、清掃工場や発電所で未利用となっている排熱を汚泥や木材の乾燥および消化槽の加温に用いた際のエネルギー回収および二酸化炭素排出量削減効果を、実験および計算により明らかにすることを目的として、下記 2 点を検討した。			
1) <u>生ゴミおよび下水汚泥の高効率メタン発酵システムの構築</u> メタン発酵において、酸生成相とメタン生成相を分ける複槽式を採用することで、各槽における至適条件を整えられるため、高効率のメタン転換率が得られる。また、酸生成槽およびメタン生成槽を 70℃、55℃といった高温で運転することで、85%以上のメタン転換率が得られると報告されている。一方、ゴミをまとめる袋に生分解性プラスチックを利用すれば、分別の必要がなくなるが、このゴミ袋がメタン生成能に与える影響も評価する必要がある。また、生分解性プラスチックは、一般的なメタン発酵の反応時間では分解しきれないため、前処理を行う必要がある。そこで、アルカリ性廃液であるボイラーブロー水で前処理することを考案した。本研究では、ボイラーブロー水での生分解性プラスチックの前処理条件の検討およびメタン発酵への影響を評価した。			
2) <u>清掃工場と下水処理場が連携してバイオマス発電を行う際の電力・二酸化炭素収支計算システムの構築</u> 生ゴミや下水汚泥、間伐材や剪定枝などのバイオマス資源を発電に供した場合の電力創出量と、火力発電時と比較した二酸化炭素排出量および燃料の削減効果を計算する。同時に、下水汚泥を下水処理場で単独で処理した場合や、清掃工場でこれらのゴミを焼却した場合に要する熱エネルギーや二酸化炭素排出量を、清掃工場と下水処理場が連携した場合とで比較評価する。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

実験開始前に、他の専門家に相談し、助成金額が申請金額の半額に減額となったことも踏まえて、当初の計画を見直した。生分解性プラスチックの分解が鍵になると考え、まずはその分解特性を明らかにすることを目的として、バッチ試験を行うこととした。申請時にはなかった新たなアイデアとして、生分解性プラスチックのメタン発酵の前処理にボイラーブロー排水の活用を提案した。前処理せずにメタン発酵に供した場合、分解に 12 週間を要するが、高温かつアルカリ条件下で数日間前処理をすれば、通常のメタン発酵の滞留時間程度に抑制できることが期待できる。高温は廃熱を利用し、アルカリ条件を作るためには、従来排水となり中和処理が必要となっているボイラーブロー水を活用することとした。

生分解性プラスチックとしてポリ乳酸 (PLA) を用い、高温、アルカリ条件下での可溶化を試みた。前年度の試験では、物理的な衝撃によって可溶化が早まっていたことが明らかとなったため、再度試験を実施した。ボイラーブロー水および水酸化ナトリウムで pH12 とし、90℃に加熱すると、それぞれ 7、8 日でほぼ可溶化した。同 pH で 80℃の場合、それぞれ 8、9 日、70℃の場合は両方とも可溶化するために 15 日間必要であった。pH を 11 に下げた場合、ボイラーブロー水系および水酸化ナトリウム系それぞれ、90℃では 16、17 日、80℃では 17、20 日、70℃では 18、19 日以上、可溶化するために必要であった。いずれも、水酸化ナトリウム水溶液よりも、ボイラーブロー水の方がやや可溶化が早かった。以上より、pH については、12 から 11 に下げただけで倍程度の反応時間が必要であった。温度については、90℃と 80℃の間では大差がないものの、70℃に下げると倍程度の反応時間が必要であった。故に、PLA の前処理は、ボイラーブロー水を用いて pH12、90℃の条件で行うことが効果的であることが示唆された。

以上の結果より、90℃、pH12 の条件で PLA の前処理を行ったのち、メタン発酵試験を実施した。ボイラーブロー水のメタン発酵への影響を確認するため、前処理をボイラーブロー水で行ったものと、水酸化ナトリウムで行ったものの両方の系を用意した。また、生分解性プラスチックの分別が必要かどうかを検証するため、基質（模擬ゴミ）を先に PLA と共に前処理した系と、前処理後にメタン発酵時に基質を投入した系の比較も行った。基質（模擬ゴミ）を先に PLA と共に前処理した条件では、基質を後から投入した条件と比較してガス発生量が少なく、発酵が少し抑制された。前処理時に易分解性有機物が分解されてしまったために、メタン発酵試験時にメタン発生量が少なくなってしまう可能性がある。故に、防府市で行われているように、ある程度選別をした後、生ゴミ中心のものは直接メタン発酵に供し、プラスチックを含む軽量のごみは前処理をするという運用を検討する必要があることが示された。ボイラーブロー水のメタン発酵への影響について、ボイラーブロー水で前処理した方が、水酸化ナトリウムで前処理した場合よりもメタン発生量が抑制された。再度検証する必要があるものの、ボイラーブロー水がメタン発酵の効率に何らかの悪影響を及ぼすことが示唆された。

清掃工場と下水処理場が連携し、厨芥や下水汚泥を処理した場合についてのエネルギーお

よび二酸化炭素の収支について計算した。対象は、山陽小野田市(59,125人)と宇部市(157,508人)とした。清掃工場のごみの焼却方式は、宇部市は実際は流動床ガス化熔融方式であるが、計算のためのモデル式を得られなかったため、ストーカ炉で試算を行った。脱水汚泥の焼却処理について、温室効果が高い亜酸化窒素の排出量を抑制するため、通常焼却炉から高温焼却炉へ更新した場合のエネルギー試算も行った。また、下水処理方式について、現行の活性汚泥法と、汚泥発生量が少ない Down-flow hanging sponge (DHS) 法の比較も行った。ただし、今回は DHS 法のもう一つのメリットである無曝気によるエネルギー削減分は考慮せず、汚泥によるエネルギー削減のみ試算した。

現状下水汚泥の消化を行っておらず、脱水後に清掃工場で焼却処分している山陽小野田市では、ゴミ焼却と汚泥処理にかかるエネルギーが年間 29 TJ かかるのに対し、下水汚泥を消化処理すると -10 TJ と、39 TJ のエネルギーを生産できることが示された。一方、厨芥を下水処理場で消化した場合は、生産量は 32 TJ にとどまり、山陽小野田市の規模では厨芥を消化することにメリットはないことが示唆された。他方、下水処理方法を活性汚泥法から DHS 法に変更した場合、年間のエネルギー消費量が 29 TJ から 25 TJ に減少し、余剰汚泥発生量削減によりエネルギー消費量が削減されることが示された。さらに、二酸化炭素排出量については、活性汚泥法の場合年間 1,302 トンであるのに対し、DHS は 116 トンと、1/10 に減少した。

同様の計算を、宇部市を対象として行った。現行方式(ただし、焼却はストーカ炉)の場合、下水処理法について活性汚泥法と DHS 法を比較すると、いずれも年間 -86 TJ と同様の値であった。汚泥発生量が DHS の方が少ないものの、逆に汚泥が少なくなったことで各工程のエネルギー効率が下がったためである。脱水汚泥の処理を高温焼却炉に更新した場合、年間 -77 TJ と、通常焼却炉と比較して炉が高温になるため 9 TJ エネルギー消費量が上昇した。しかし、厨芥を消化槽で処理することで、88 TJ と、通常焼却炉でのエネルギー消費と同程度にできることが示唆された。下水処理法を DHS 法に変更した場合のエネルギー収支については、山陽小野田市と同様の傾向であった。一方、二酸化炭素排出量については、現行方式で 3,066 トン排出するのに対し、DHS 法の場合は 166 トンと約 1/20 に低減できることが示唆された。

消化槽の加温について、消化ガスを他のエネルギー源に使用することを想定して、清掃工場の排熱を利用した場合のエネルギー収支を試算した。山陽小野田市も宇部市も年間 16 TJ 程度のエネルギー削減が可能であることが示唆された。

以上の結果より、厨芥の消化処理については、規模によってはエネルギーメリットがあるものの、規模が小さい場合はかえってエネルギー消費が大きくなると考えられる。下水処理方法を DHS 法に変更することで、二酸化炭素排出量が大幅に削減されることが示唆された。施設更新時には、価格はもちろん重要ではあるが、エネルギー消費量や二酸化炭素排出量を抑制可能な手法を選定することが望まれる。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

メタン発酵のための装置は、消耗品の組み合わせになったため設備備品ではなくなったものの、当初の予算 30 万円に対して、458,658 円の支出であった。

振とう器は予定通りの物を購入し、予算 30 万円に対して 299,530 円の支出であった。

ヘリウムガスの購入を予定していたが、質量分析計での測定がなくなったことと、メタン発酵試験に予定より費用がかさんだため、そちらに支出することとなった。

分析試薬などの消耗品については、18 万円の計画に対して、155,526 円の支出であった。

資料については、14 万円の支出を予定していたが、必要な文献を改めて精査し、メタン発酵試験への支出も考慮して、86,286 円の支出であった。

以上のように、予算合計 100 万円に対して、研究開始時に提出した修正予算と比較して多少の変更はあるものの、おおよそ予定通りの経費使用となった。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

生分解性プラスチックをメタン発酵に供するための前処理の材料として、廃液であるボイラーブロー水が有用であることが示された。ブロー水を中和するための設備も不要となり一石二鳥であるこの仕組みについて、実用化するためにはメタン発酵への影響を改めて検証する必要がある。メタン発酵への影響が許容範囲であれば、生分解性プラスチックの前処理のみでなく、二槽式メタン発酵の pH 調整にもボイラーブロー水が利用できる可能性がある。

エネルギー計算の結果、清掃工場と下水処理場が連携して汚泥や厨芥を処理した場合、山陽小野田市の規模の自治体ではメリットがないものの、宇部市の規模であればエネルギーメリットがあることが示された。現行の山陽小野田市では汚泥を清掃工場で焼却処理しているが、これを下水処理場で消化するだけで、年間 39 TJ 削減可能であることから、更新時に消化槽の導入も検討する必要があることが示された。下水処理方法を DHS 法に変更した場合、汚泥処理についてはエネルギーが削減されることが示された。二酸化炭素排出量については、1/10 に削減されることが示され、カーボンニュートラルに貢献する一つのツールであることが示された。曝気や他の動力機器も含めた総合的なエネルギーおよび二酸化炭素排出量計算システムを構築すれば、設備更新時に有効な検討ツールとなると考えられる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

環境技術学会年次大会で発表予定