

バイオガス発電排熱を活用した 下水汚泥の前処理および後処理による嫌気性消化の効率化

東北大学工学部 学生会員 ○竹中智紀

東北大学大学院工学研究科 学生会員 池田聡

東北大学大学院工学研究科 正会員 北條俊昌

東北大学大学院工学研究科 正会員 李玉友

1. はじめに

下水汚泥の発生量は年間約 215 万 t であり，その減量化と資源化ニーズが高まっている中，下水道法改正や FIT 法の策定によりバイオガス発電が注目されている．第 4 次社会資本整備重点計画においても，下水汚泥エネルギー化率を 15%(2013 年)から 30%(2020 年)まで向上させることが目標として設定された．しかし，嫌気性消化によるバイオガス発電は広く普及しておらず，原因として汚泥の分解率が低く有機分の半分程度しかガス化できないため大量の消化汚泥が残ることなどが挙げられる．著者らは，コージェネレーションによるバイオガス発電の余剰排熱を下水汚泥(初沈汚泥，余剰汚泥，混合汚泥)の前熱処理の熱源として有効活用した時の処理場の汚泥処理システムのエネルギー収支を評価した結果，余剰汚泥を 50℃，70℃で前熱処理することで汚泥処理システムの効率化が見られたが，それぞれ約 2,100 万 kJ/日，約 1,200 万 kJ/日の熱が更に有効利用可能であることをこれまでに明らかにした．

そこで本研究では，余剰の発電排熱を有効利用して消化汚泥へも熱処理を行うことで，更なる汚泥処理システムの効率化が可能であることに着目し，消化汚泥に異なる温度の熱処理を行ったケースにおける汚泥処理システム全体のエネルギー収支について検討した．また，異なる熱処理の条件が消化汚泥の性状やメタンガス生成ポテンシャルに及ぼす影響についても調査した．

2. 実験方法

S 浄化センターから採取した消化汚泥を 50℃，70℃，90℃で 60 分間熱処理を行った後，熱処理を行っていない消化汚泥と熱処理を行った各消化汚泥の回分実験と汚泥性状調査を行うことにより，熱処理が消化汚泥のガス生成ポテンシャルや可溶化に与える影響を調査した．また，発電排熱を用いて余剰汚泥だけでなく消化汚泥の熱処理を行うことで，更なる汚泥処理システムの効率化を目指したバイオガスコージェネレーションの導入について，下水汚泥の嫌気性消化処理を行っている S 浄化センターでのケーススタディを行った．図-1 に S 浄化センターの現状の汚泥処理システムを，図-2 に本研究で想定した汚泥処理システムを示す．余剰汚泥を 50℃，70℃で，消化汚泥を 50℃，70℃，90℃で熱処理する 6 パターンのケースを検討した．熱処理した消化汚泥のメタンガス生成ポテンシャルは回分実験の結果を用い，余剰汚泥については池田ら¹⁾の結果を用いてケーススタディを行った．

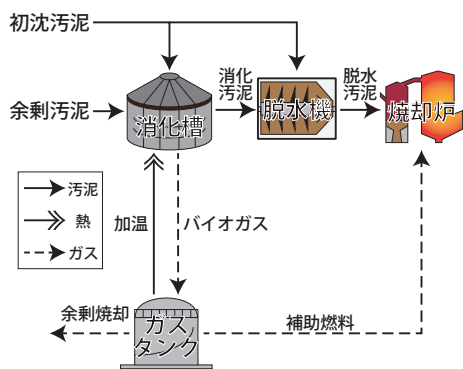


図-1 S 浄化センターの現状の汚泥処理システム

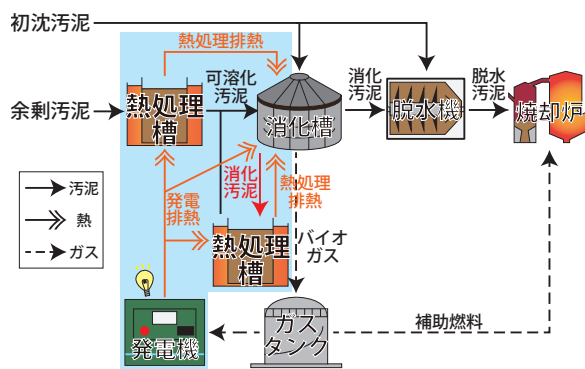


図-2 本研究で想定した汚泥処理システム

キーワード 嫌気性消化 下水汚泥 コージェネレーション 熱処理

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06

東北大学大学院工学部土木工学専攻環境保全工学研究室 TEL 022-795-7463

3. 実験結果および考察

3.1. 消化汚泥のガス生成ポテンシャルと汚泥性状に及ぼす熱処理の影響

消化汚泥の回分実験の結果を図-3 に示す。熱処理を行っていない消化汚泥のメタンガス生成ポテンシャルは 77mL/g-VS、90℃の熱処理を行った消化汚泥では 170 mL/g-VS となり約 2.2 倍増加した。熱処理の温度を高くするほどメタンガス生成ポテンシャルは増加することが分かった。汚泥性状調査の結果を図-4 に示す。炭水化物、たんぱく質、脂質それぞれの溶解性成分と固形性成分を、熱処理を行っていない消化汚泥と 50℃、70℃、90℃で熱処理を行った消化汚泥の4条件における COD 物質収支で示した。ほぼ全ての項目において熱処理の温度を高くするほど加水分解が進み、たんぱく質においては90℃の熱処理を行うことによって溶解性たんぱく質の濃度が約20倍になった。以上より、消化汚泥には消化段階において分解されなかった難分解性物質が含まれており、より高温の熱処理を行うことで難分解性物質の分解が促進され、ガス生成ポテンシャルが増加したと考えられる。

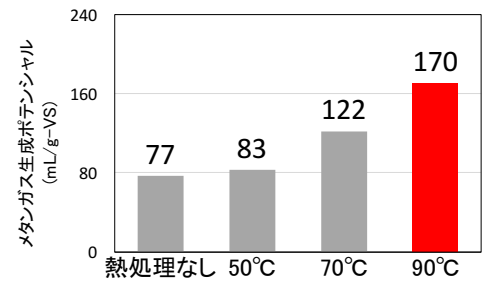


図-3 消化汚泥のメタンガス

生成ポテンシャルの比較

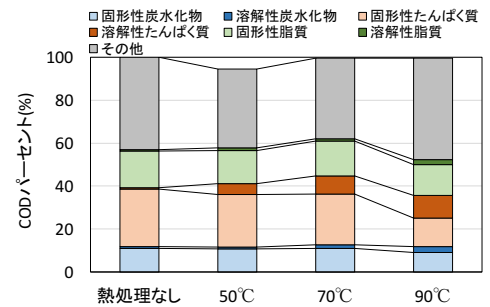


図-4 消化汚泥の COD 物質収支

3.2. ケーススタディによる汚泥処理システムの評価

バイオガス発電排熱を有効利用した汚泥処理システムのケーススタディの結果を表-1 に示す。電力自給率が高かったのは、余剰汚泥および消化汚泥をともに 50℃で熱処理したケースで、72.9%であり、余剰汚泥のみ 70℃で熱処理したケースより約 1 割電力自給率が向上し、メタンガス生成量も約 10%向上した。電力自給率が高くなった理由として、余剰汚泥を 50℃で熱処理しているため発電排熱が十分に残り熱処理可能な消化汚泥の量が増加したこと、余剰汚泥は 70℃で、消化汚泥は 90℃で熱処理することでガス生成ポテンシャルが最大となるが、これらは高温なため熱処理に多量の熱が必要となること、熱処理の温度条件による余剰汚泥のメタンガス生成ポテンシャルの差が小さいことが考えられる。なお、この時の余剰排熱は約 980 万 kJ/日であった。以上より、50℃で余剰汚泥と消化汚泥の熱処理を行い、熱処理する消化汚泥の量を増やすことで高い電力自給率が得られることが示唆された。また余剰汚泥と消化汚泥の熱処理の温度が同一の場合、熱処理槽を 1 つにすることで初期費用が抑えられると考えられる。

表-1 異なる熱処理条件下でのケーススタディ(1日あたり)の比較

発電	汚泥処理		メタンガス生成量 (千m³)	メタンガス生成量 (千kJ)	熱処理に要する熱量 (千kJ)	消化汚泥返送率 (%)	ガス利用内訳 (千kJ)				回収量 (百万kJ)	熱使用量 (百万kJ)		余剰量 (百万kJ)	発電量 (千kWh)	電力使用量 (千kWh)		電力自給率 (%)
	熱処理	熱処理					発電	焼却燃料	消化槽加温	熱処理	利用なし	発電排熱	熱処理排熱	熱処理	消化槽加温	汚泥処理	汚泥焼却	
なし	なし(現状)		5.5	20	-	-	-	5.8	3.8	-	10	-	-	-	-	-	-	-
	あり	余剰汚泥のみ	50℃	5.7	20	3.3	-	14	5.8	0	0	72	5.7	33	23	21	12	62.7
			70℃	5.8	21	5.3	-	15	5.8	0	0	74	13	53	23	12	9.1	64.5
			50℃	6.3	23	7.2	123	17	5.8	0	0	84	21	72	23	9.8	14	72.9
			70℃	6.1	22	7.2	53	16	5.8	0	0	80	21	72	23	5.3	13	69.1
	あり	余剰汚泥 50℃	90℃	6.0	22	7.2	34	16	5.8	0	0	79	21	72	23	4.7	13	68.5
			50℃	6.2	22	7.4	70	16	5.8	0	0	81	22	74	23	5.5	14	70.3
			70℃	6.0	22	7.4	30	16	5.8	0	0	79	22	74	23	3.0	13	68.2
			90℃	6.0	21	7.4	19	16	5.8	0	0	78	22	74	23	2.6	13	67.8
	あり	消化汚泥	50℃	6.2	22	7.4	70	16	5.8	0	0	81	22	74	23	5.5	14	70.3
			70℃	6.0	22	7.4	30	16	5.8	0	0	79	22	74	23	3.0	13	68.2
			90℃	6.0	21	7.4	19	16	5.8	0	0	78	22	74	23	2.6	13	67.8

4. 結論

- 消化汚泥への熱処理でメタンガス生成ポテンシャルは温度を高くするほど増加し、90℃の熱処理を行った消化汚泥では、170 mL/g-VS となり、熱処理を行っていない消化汚泥の約 2.2 倍高かった。
- 汚泥性状調査より熱処理の温度を高くするほど消化汚泥の加水分解が促進し、たんぱく質の分解効果が最も顕著であった。有機物の加水分解反応が促進し汚泥の分解率が向上したことで、ガス生成量が増加したと考えられる。
- ケーススタディにおいて余剰汚泥および消化汚泥を 50℃で熱処理したケースにおいて電力自給率が最も高くなり、72.9%であった。電力自給率の向上に寄与する大きな要因は、熱処理を行う消化汚泥の量であると考えられ、排熱を有効利用して、より多くの消化汚泥を熱処理することで汚泥処理システムの効率化が可能となる。

参考文献

- 池田ら，土木学会論文集 G(環境)，Vol.73，No.7，III_97-III_104，2017。