

ウキクサと初沈汚泥の連続メタン発酵処理によるエネルギー資源化

- 東北大・工 学生会員 神 拓海
 東北大院・工 非会員 大谷 堯
 東北大院・工 非会員 岩野 寛
 東北大院・工 正会員 李 玉友
 東北大院・工 正会員 久保田 健吾

研究背景と目的 現在日本を含めた先進国で多く行われている活性汚泥法による下水処理では大量の電力を必要としている。しかしながら、慢性的なエネルギー不足により下水処理に十分な電力を供給できない途上国など多くの国では水質汚染やそれに伴う富栄養化が深刻な問題になっている。その対策として downflow hanging sponge (DHS) などの省エネルギー型の下水処理システムの開発は進んでいるものの、多くは富栄養化の原因である窒素、リンの除去に課題を残している。

近年、水生植物であり、成長の過程で水中の窒素やリンを含む栄養塩を除去し、バイオマス資源を生産するウキクサ亜科植物（以下ウキクサ）が着目されている。ウキクサとは水面に浮かぶ 1 mm から 1 cm ほどの水生植物である。ウキクサの特徴として、成長の過程で水中の栄養塩を吸収することや、倍加時間がわずか 2 日から 4 日という成長の早さ、生育可能範囲が 6°C から 33°C と非常に幅広いことが挙げられる。また、バイオマス資源としても、高タンパク、高炭水化物含有植物であり、生育環境の違いによりこれらの含有率が変るということも分かっている。また、ウキクサは木材などとは違い、セルロースやリグニンが少ないソフトバイオマスである事からバイオエタノールの生成などの際に薬物などによる前処理が少なく済む事からバイオマスとしても非常に扱いやすいことが知られている。

我々の研究グループでは、下水中の栄養塩を除去しつつ、バイオマス資源を生産できるウキクサの特徴を利用した、「最初沈殿池+ウキクサ+DHS+嫌気性消化」を組み合わせたエネルギー自立型下水処理システムを考案した。このシステムでは最初沈殿池とウキクサ、DHS で流入下水を処理する。また、最初沈殿池で回収した初沈汚泥と下水処理の過程で増殖したウキクサを混合させた基質で嫌気性消化を行い、発生したバイオガスによる発電によってシステム全体の電力を賄うことでエネルギー的に自立をする。我々はこれまでにシステムの実現可能性についての検討を行ってきた。そのうち、初沈汚泥とウキクサの混合基質による嫌気

性消化に関しては、その混合比や HRT は流入する下水から発生する初沈汚泥量やウキクサの収量により変化する。そこで本研究では、ウキクサと初沈汚泥の TS 比が 1:1、HRT20 日の場合について連続メタン発酵処理を行い、その特性を調べた。

実験方法 ウキクサと初沈汚泥を TS 比で 1:1 に混合させたものを基質とした。発酵槽内の液量 3 L で、37°C、HRT20 日の条件下で連続メタン発酵処理を行った(図 1)。ここでの連続メタン発酵処理とは、1 日あたり 150 ml (=3L÷20 日) 発酵槽に基質を投入すると同時に、同量の消化液を発酵槽から排出するように制御した。この連続運転でガス生成量やバイオガス組成、pH や各種値を測定した。



図 1. 実験装置

実験結果・考察

pH 今回の連続運転の期間中、発酵槽内の pH は 7.10 から 7.36 の間にあり、これはメタン発酵の最適 pH 範囲である pH6.6 から 7.6 の範囲内であることからウキクサと初沈汚泥の混合基質を用いた場合でも pH によるメタン発酵への影響は少ないと考えられる。

バイオガス生成量、メタン含有率 図 2 に経過日数ごとの発酵液 1 L あたりのガス生成量およびメタンの含有率を示す。ガスの生成量は 1 日あたり平均して 0.59 L/d/L であり、そのうちのメタンの割合は平均して 61%であった。この結果よりウキクサと初沈汚泥の混合基質を用いたメタン発酵処理においてもメタンガスの発生を確認することが

できた。ガス発生量とメタン含有率を日毎に比べた場合、発生バイオガス中におけるメタンの割合は安定していたのに対して、ガス生成量には大きなばらつきが見られた。

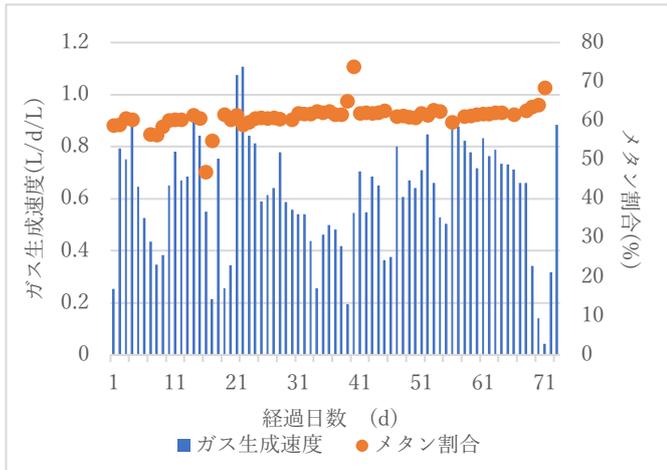


図 2. ガス生成量およびメタン含有率

COD 分解率 基質に用いた初沈汚泥と投入基質、反応槽それぞれについて全 COD、溶解性 COD を測定し、全 COD から溶解性 COD を引くことで固形性 COD を算出してそれぞれの性状を確認した。その結果を以下の表 1 に示す。初沈汚泥と投入基質を比べた場合、ウキクサと混合させた投入基質では全 COD が減り、そのうちの溶解性 COD の割合は増加した。続いて、投入基質各値を 100%として反応槽での分解率を求めた。COD 全体としてはメタン発酵によって約 6 割分解されたことが分かった。またその内訳としては、溶解性 COD の分解率は 73.2%であり、固形性 COD の分解率は 54.0%であった。

表 1. 初沈汚泥、投入基質、反応槽内汚泥の COD および分解率

項目	初沈汚泥 (g/L)	投入 (g/L)	反応槽 (g/L)	分解率 (%)
全 COD	56.8	32.8±6.6	13.0±1.4	60.5
溶解性 COD	14.2	11.1±1.5	3.0±0.6	73.2
固形性 COD	42.6	21.8±6.9	10.0±1.4	54.0

COD 物質収支 メタン発酵による物質分解を把握するために、COD 換算による物質収支を求めた。

投入基質中の全 COD を 100%として、反応槽から排出される全 COD (溶解性 COD と固形性 COD) と、COD に換算したメタンガスのそれぞれの割合を求めた (図 3)。その結果、メタン発酵後の COD の和は 102%と算出された。その内訳は、投入した COD に対して 63.1%がメタンに転換され、残りの 38.9%が固形性 COD (30.0%) と溶解性 COD (8.9%) である。

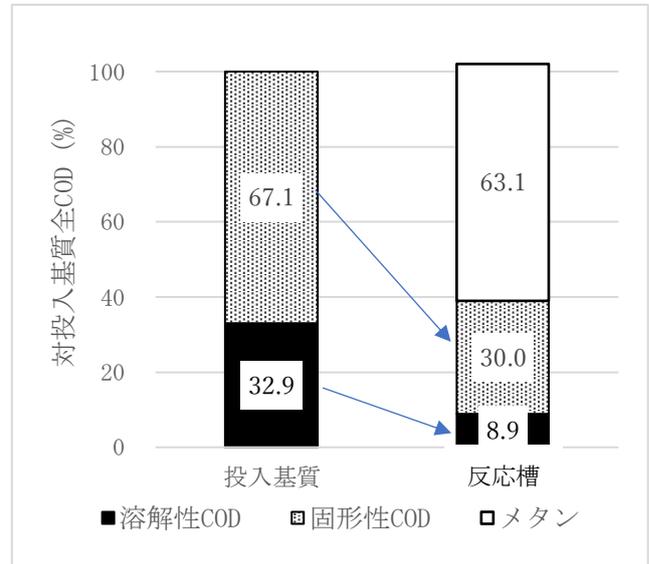


図 3. COD 物質収支

VS あたりのメタンガス発生量 投入基質の VS は 26.5g/L、反応槽内の VS は 10.4g/L であった。この結果からメタン発酵によって VS が約 60%除去されていることが分かった。投入した VS と除去した VS それぞれについて 1g あたりのメタンガス発生量を算出した。投入 VS 1g あたりのメタンガス発生量が 278 mL だった。除去 VS 1g あたりで算出すると 457 mL のメタンが発生していることが分かった。

結論 今回ウキクサと初沈汚泥による連続メタン発酵処理を行い、以下の知見を得た。

- 1) 期間中、pH やメタン含有率が安定していたことから、初沈汚泥とウキクサを TS 比 1:1 で混合した基質によるメタン発酵は長期的な運転が可能であることが示唆された。
- 2) 溶解性 COD と固形性 COD が分解されてメタンガスに転換されていることが確認できた。また、全 COD の約 6 割がメタンに転換されていることが分かった。
- 3) 投入 VS 1 g あたりのメタンガス発生量は 278 mL であり、除去 VS 1 g あたりのメタンガス発生量は 457 mL であることが分かった。