

B-14 下水汚泥と稲わらの混合消化における 脱離液組成の変化

○沈斌¹・古婷婷¹・池本 良子²・本多 了³

¹金沢大学大学院自然科学研究科（〒920-1192 石川県金沢市角間町）

²金沢大学理工学域環境デザイン学系（〒920-1192 石川県金沢市角間町）

³金沢大学理工研究サステナブルエネルギー研究センター（〒920-1192 石川県金沢市角間町）

* E-mail: rikemoto@t.kanazawa-u.ac.jp

1. はじめに

下水処理場において、廃棄物系バイオマスを集約し、下水汚泥と混合メタン発酵する方法は、従来の単独メタン発酵に比べ、バイオガス発生量が増加することに加え、廃棄物処理が可能であることなどのメリットによって、注目されている¹⁾。特に、賦存量が多い稲わらや苧草などの草本バイオマスは、セルロースを多く含み窒素含有量が低いことからその添加効果が大いだけでなく、消化汚泥中の繊維質が増加することにより、脱水性が高まることからきわめて有効な方法であることが報告されている²⁾。一方で、このような廃棄物系バイオマスを下水処理場に集約することにより、脱水ろ液（脱離液）の性状が変化することが予想される。通常、脱離液は、水処理系に戻されて処理されるが、その濃度が高いと、水処理系に影響を及ぼしたり、処理水質悪化することが懸念される。

そこで本研究では、下水汚泥と稲わらの中温条件での連続混合消化実験を行い、その脱離液組成について、検討を行った。

2. 実験方法

実験装置は有効容積10Lの発酵槽を3台用いた。初めに、金沢市城北水質管理センターから採取した消化汚泥を種汚泥として投入し、35℃の恒温室内で連続消化実験を開始した。運転条件をTable 1に示す。Run 1では、城北水質管理センターから採取した生汚泥（初沈汚泥と余剰汚泥の混合汚泥）をTS 3%に調整して投入した。Run 2では、膨張軟化処理を行った稲わらを無機基質（NaHCO₃, KCl, CaCl₂, KH₂PO₄, MgCl₂・6H₂O, FeCl₃・6H₂O, NH₄Cl）で1.5%に

希釈して投入した。Run 3では、TS 3%の生汚泥にRun 2と同量の稲わらを混合して投入した。SRTを25日になるように、平日に1日1回の消化汚泥の引き抜きと基質の投入を行った。

生成ガスはガスパックに捕集し、湿式ガスメータにより発生ガス量を測定するとともに、ガスクロマトグラフにより、ガス組成を測定した。原則として週に1回引き抜いた消化汚泥のTS、VS濃度を測定するとともに、0.2μmろ液中のTOC、TN及びピオン、有機酸濃度を測定した。さらに、脱離液中の有機物組成の推定のために、ローリー法の変法を用いてタンパク質濃度を測定する³⁾とともに、EEMs（三次元励起蛍光スペクトル法）解析⁴⁾を実施した。

Table 1 実験条件

	投入基質	TS濃度(%)	VS濃度(%)
Run1	生汚泥	3.0	2.7
Run2	稲わら	1.5	1.3
Run3	生汚泥+稲わら	4.5	4.0
有効容積 10L	運転温度 35℃	滞留時間	25日

3. 実験結果と考察

(1) メタンガス収率

累積ガス発生量をFig. 1に示す。Run 1およびRun 2は運転開始当初から有機酸やアンモニアの蓄積は認められず安定したメタン発酵が進行したが、稲わらのみを添加したRun 2では、微生物の増殖が遅く、有機酸の蓄積が認められ、ガス発生量が少なかったため、208日に基質のアンモニアの添加を行った。その結果、微生物量も増加し、有機酸の蓄積も認められなくなったことから、運

転開始から284日以降で、各Runの評価を行うこととした。

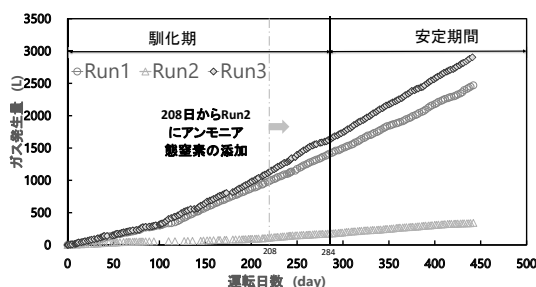


Fig. 1 累積ガス発生量

Table 2に、メタンガス収率と分解率をまとめて示す。汚泥と稲わらを混合したRun 3のガス発生量は、汚泥のみを用いたRun 1と稲わらのみを用いたRun 2を合わせたガス発生量よりもやや多いことがわかる。混合消化により分解が進んだ可能性が示唆される。

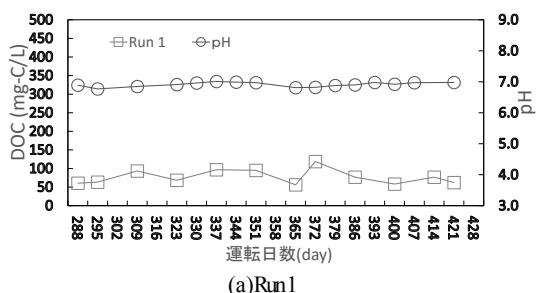
Table 2 ガス発生量および汚泥分解率

	Run1	Run2	Run3
一日当たりのメタンガス発生量(L/day)	4.02	0.61	5.01
1gTSあたりのメタン発生量(L/gTS)	0.33	0.05	0.42
1gVSあたりのメタン発生量(L/gVS)	0.37	0.06	0.31
平均メタン濃度(%)	56	54	55
平均TS除去率(%)	58	50	55
平均VS除去率(%)	65	61	62

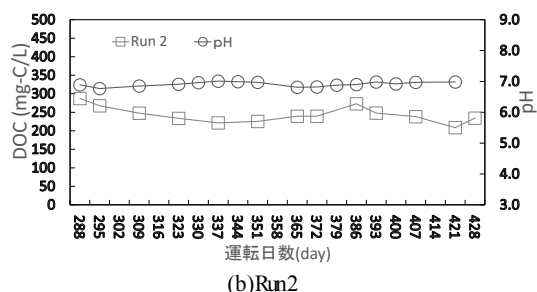
(2) 脱離液組成の変化

消化汚泥の遠心上澄み液を、0.7 μ mのガラス繊維ろ紙、0.45 μ mおよび0.2 μ mのメンブレンフィルターでろ過してTOCを測定したところ、どの試料も、ろ紙による差が認められないことから、脱離液中の有機物のほとんどが、0.2 μ m以下の有機物であることがわかった。そこで、本実験では、0.2 μ mろ液中の有機物を脱離液組成として用いた。

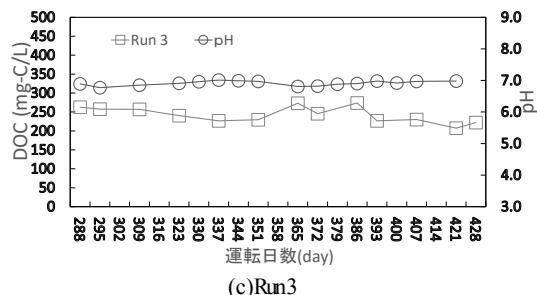
Fig. 2は、脱離液中のpH、DOCの変化を示したものである。いずれのRunでも、有機酸はほとんど検出されず、DOCは有機酸以外の有機物であった。Run 1では、DOC濃度は50-100 mg/L程度検出されたが、Run 2では200-290mg/L、Run 3では200-280mg/Lと高濃度で検出された。稲わらと汚泥の混合消化を行ったRun 3の脱離液濃度が、汚泥単独のRun 1と稲わら単独のRun 2を合わせた値よりも低く、さらに、Run 2と比較しても低い値を示したことから、汚泥と混合することにより、稲わらから溶出した有機物の分解が促進されたことが示唆される。



(a)Run 1



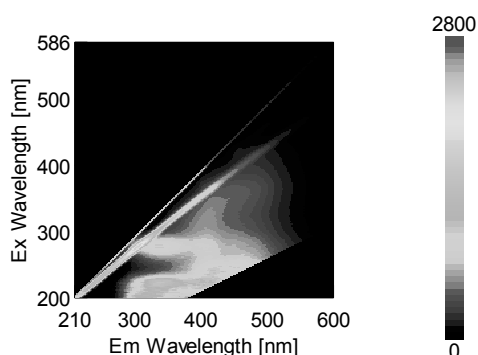
(b)Run 2



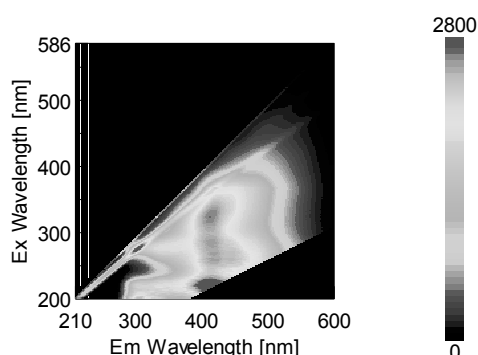
(c)Run 3

Fig. 2 脱離液中の溶存態炭素およびpHの経日変化

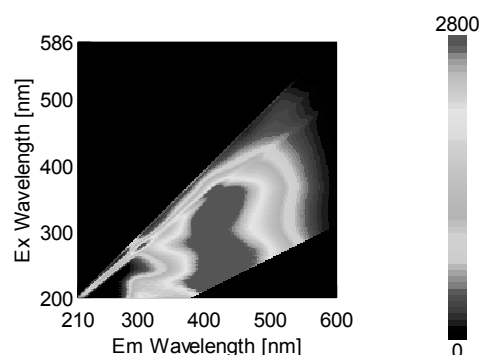
次に、EEMsを用いて、脱離液の成分の変化について検討した。Fig. 3にそれぞれの脱離液を100倍希釈し解析した結果を示す。Run 1の脱離液には、たんぱく質様物質のピークとフミン酸様成分とフルボ酸様成分の弱いピークが検出された。一方、Run 2では、フミン酸様物質とフルボ酸様物質の強い蛍光が認められた。Run 3では、Run 1とRun 2で認められた蛍光が合わさって検出されている。Run 2の成分の一部がRun 3で分解されたかどうかについて、今後詳細な解析が必要である。



(a)Run1



(b)Run2



(c)Run3

Fig 3 脱離液の三次元励起蛍光スペクトル

Table3は、脱離液中にLowry法を適用した結果を示している。Run1では、タンパク質濃度が比較的低いが、TOCの主成分であると推定された。一方、Run2、Run3では、非常に高いたんぱく質の値を示し、Run2の方がRun3よりも高い。Lowry法では、タンパク質に加えてフミン酸が同時に検出されるため、フミン酸の影響が大きいと推定される。そこで、FrolundB.の方法にしたがって、フミン酸と分離することを検討したが、フミン酸の影響を除くと、タンパク質濃度がマイナスになったことから、FrolundB.の方法では、分

離することができなかった。しかし、この結果は、Lowry法における発色の多くをフミン酸が占めており、タンパクが主成分ではないことを示すものと推定される。

Table 3 タンパク質濃度測定結果

	濃度(mg-BSA/L)	Run1	Run2	Run3
	たんぱく質	107.1	749.1	496.8
補正值	たんぱく質	35.4	-55.2	-51.1
	フミン酸様成分	71.7	804.3	547.9

4. 結言

下水汚泥と稲わらの連続混合消化における脱離液の組成について実験的検討を行った結果、以下のことが分かった。

- (1) 汚泥、稲わらを単独で消化するよりも両者を混合した方が、ガス発生量が増加する傾向が認められた。
- (2) 稲わらの消化を行うと溶存態有機物濃度が高濃度となるが、汚泥と混合することにより、その分解が促進された。
- (3) EEMs解析およびLowry法測定結果から、稲わらから溶出した物質の分解が汚泥の混合により促進された可能性が示された。

今後は、より詳細な分析を行うことにより、稲わらと生汚泥混合消化のメカニズムを調査する。

参考文献

- 1) 戸荻丈仁、池本良子、古婷婷、小野紘、日高平、津森ジュン、柳井敦、木野下裕茂、清水浩之、OD 汚泥と廃油揚げを主体とする 7 種の廃棄物系バイオマスの高濃度混合消化 土木学会論文集 G (環境), Vol. 70, 2013.12
- 2) Ryoko Yamamoto-Ikemoto, Eri Tsuchiya-Nakakihara, Ryo Honda, Yasutaka Suetsugu, Haruki Watanabe Improvement of dewatering characteristics and methane yield by the addition of rice straw in a sewage sludge digester, Online, (2014.9)
- 3) Frolund B., Griebel T. and Nielsen P. H. (1995) Enzymatic activity in the activated sludge floc matrix. Appl. Microbiol. Biotechnol. 43, 755-761.
- 4) 眞家永光、近年の腐植物質分析の展開 日本土壤肥科学雑誌, Vol. 80, 2009