

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18349

研究課題名（和文）農村地域に適した小規模メタン発酵システム実現のための刈草利用技術の開発

研究課題名（英文）Development of grass utilization technology as a feedstock for small-scale methane fermentation system suitable for rural area

研究代表者

中村 真人（Nakamura, Masato）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・上級研究員

研究者番号：60414463

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：刈草と農業集落排水汚泥を原料とする小規模メタン発酵システムの開発を目的とし、メタン発酵試験、微量元素添加試験を行った。その結果、刈草からのバイオガス発生量は種類により大きく異なり、全体として、秋に採取した草に比べて春夏の草からの発生量が多かった。また、刈草のADFやC/N比が小さいほどガス発生量が多い傾向がみられた。さらに、集排水泥からのCo供給量は少なく、発酵安定のためには、Coの添加が必要であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

農業集落排水施設では維持管理費の削減が課題であるが、その大部分を汚泥処理費（63%）、電気料（18%）が占めることから、汚泥の利活用とエネルギー生産を同時に実現できるメタン発酵システムの導入は有望な解決策である。本研究で開発を行った、農村地域で発生する刈草と農業集落排水汚泥を原料とする小規模メタン発酵システムをさらに発展させ、現地に適用することにより、農業集落排水施設の維持管理費削減とともに、農村地域の低投入でコンパクトな資源循環システムが実現できる。

研究成果の概要（英文）：Methane fermentation experiments were conducted to develop co-digestion system of sludge from small-scale wastewater treatment plants in rural areas (WWTPRs) and grass. The results indicated that gas production rates were different among variety of grasses and generally large in grasses harvested in spring and summer compared with that in fall. Moreover, there was a tendency for the gas production rate to be large when C/N ratio and ADF of grasses is low. In addition, the results also revealed that the addition of Co is required for stable digestion of sludge from WWTPRs because the Co concentration of sludge from WWTPRs in Japan is generally low.

研究分野：地域環境工学

キーワード：メタン発酵 消化液 コバルト 資源循環 C/N比 ADF

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

農業集落排水施設(以下、「集排施設」)では維持管理費の削減が課題であるが、その大部分を汚泥処理費(63%)、電気料(18%)が占めることから、汚泥の利活用とエネルギー生産を同時に実現できるメタン発酵システムの導入は有望な解決策である。メタン発酵の導入はこれまで規模の観点から難しかったが、固定価格買取制度の導入や農林水産省による集排施設の集約の方針により、集排施設を中核とした小規模メタン発酵の導入が現実的になりつつある。

しかしながら、集排施設を中核とした小規模メタン発酵システムを考えた場合には、これまでの成果をそのまま適用することが難しい。農業集落排水汚泥(以下、「集排汚泥」)は自己分解が進んでいることから、集排汚泥からのメタン発生量は下水汚泥等に比べて少なく、集排汚泥単独では発酵槽の加温や消化液の殺菌のための十分な熱量が確保できないことが懸念される。小規模であることのメリットを活かしつつ、エネルギー収支を改善することが課題となっている。

本研究では、上記の課題を解決するための対策として、農村地域で必ず発生する刈草に着目する。刈草は農村地域で水路・畦畔・道路の管理作業で発生する廃棄物で、費用をかけて収集・処理するシステムができあがっている。このため、収集システムの構築が容易な上、メタン発酵原料として受け入れることで、メタン発酵施設側と刈草排出側の双方にメリットがある。

しかし、下水汚泥と刈草の混合メタン発酵について報告例があるものの、集排汚泥と刈草の混合メタン発酵に取り組んでいる研究はほとんどない。下水汚泥では、刈草の混合によりガス発生量が顕著に増加したとする報告と効果が見られないとする報告がある。著者が2種類の刈草を原料としてメタン発生量を測定したところ、両者からのメタン発生量は集排汚泥より多く、メタン発酵原料として有望であると考えられるものの、刈草の種類によってガス発生量が異なること示されている。

刈草のメタン発生ポテンシャルを最大限発揮し、年間を通じて安定したエネルギーを取り出すためには、ガス発生量に差が生じる要因を解明し、多種多様な刈草のガス発生量を予測できる手法を開発する必要がある。また、集排施設は農村地域に位置するため、工業排水の流入がなく、脱水機がない施設が多いことから汚泥の含水率も一般的に高い。そのため、メタン発酵に必要な微量元素(例えば、Co、Ni)が不足する可能性がある。

### 2. 研究の目的

農村地域で発生する刈草と農業集落排水汚泥を原料とする小規模メタン発酵システムを開発することを目的とする。刈草からのメタン発生量は多く、メタン発酵原料として有望であるが、刈草の種類によってガス発生量が異なる。そこで、ガス発生量に差が生じる要因を解明し、多種多様な刈草のガス発生量を予測できる手法を開発するとともに、集排汚泥や生ごみとの混合により安定的に処理が可能なシステムの構築を目指す。本システムを適用することにより、集排施設の維持管理費で主要な部分を占める、汚泥処理費と電気料が削減されるとともに、農村地域の低投入でコンパクトな資源循環システムが実現できる。

### 3. 研究の方法

回分式(バッチ式)メタン発酵試験、連続メタン発酵試験、微量元素添加試験を行った。

#### 回分メタン発酵試験

季節や生育ステージの異なる20種類の刈草等(表1)を原料として、容積50mLのプラスチック製シリンジを発酵槽として用いる簡易な回分式メタン発酵実験を行った。種汚泥20mLに対して、各刈草等を種汚泥のVS量の約1/3量添加し、シリンジ内の空気を押し出した後、35°C(中温条件)の恒温庫に保管した。実験中は、1日1回シリンジを振とうし、ガス発生量をシリンジの目盛を読むことにより測定した。一方、刈草等については、酸性デタージェント繊維(ADF)およびC/N比を測定した。

#### 連続メタン発酵試験

連続試験では、集排汚泥、生ごみ(表2)、刈草(チモシー、表1)の混合条件(実際の運転方法に近い条件)で、連続メタン発酵試験を行った。刈草(チモシー)の混合割合を6段階に変え(VS負荷はどの試験区も同じ)、刈草の混合がメタン発酵の安定性に及ぼす影響を調査した。発酵槽として容積0.3L(有効容量0.2L)の三角フラスコを用いた。発生するバイオガスは、フラスコに接続したガスバッグに捕集し、ガス量はガラス製シリンジで測定した。発酵温度は37°C、滞留時間(HRT)は30日とし、実験期間中、発酵槽は100rpmで振とうした。なお、メタン発酵の必須元素であるCo、Niは必要量を添加して実験を行った。

#### 微量元素添加試験

集排汚泥からの供給が十分でない可能性があるCoまたはNiの添加試験を行い、集排汚泥のメタン発酵における微量元素の添加の必要性を検討した。試験区として、「Co+Ni+(Co、Ni両方添加)」、「Co+Ni-(Coのみ添加)」、「Co-Ni+(Niのみ添加)」、「Co-Ni-(Co、Niとも添加せず)」を設定した。実験に用いた原料(集排汚泥、模擬生ごみ)の成分、実験条件の詳細は表3、表4の通りである。

表 1 刈草の成分（回分試験）

種類 (採取時期)		TN (%)	TC (%)	C/N	ADF (%)
刈草(春)	ナギナタガヤ	1.0	41.3	40.2	37.8
刈草(春)	メマツヨイグサ	1.2	40.3	34.1	36.5
刈草(夏)	芝生	2.4	43.5	18.1	27.6
刈草(夏)	ヒメジョオン	0.9	42.5	45.8	39.6
刈草(夏)	チモシー	1.1	41.7	37.6	36.7
刈草(春)	セイダカアワダチソウ(5月採取)	1.3	42.7	34.0	42.0
刈草(夏)	セイダカアワダチソウ(7月採取)	1.0	43.8	42.1	43.9
刈草(夏)	エリアンサス全体	1.2	42.5	36.0	44.5
刈草(夏)	エリアンサス葉	1.4	42.9	29.7	41.3
刈草(夏)	エリアンサス茎	0.7	40.9	56.9	48.6
刈草(夏)	ソルガム(草丈 30cm)	2.8	40.2	14.2	25.9
刈草(夏)	ソルガム(草丈 50cm)	2.3	39.6	17.5	26.0
刈草(夏)	ソルガム(草丈 80cm)	1.8	40.7	22.5	32.8
刈草(夏)	ソルガム(草丈 110cm)	1.9	39.3	20.7	28.1
刈草(秋)	稲わら	0.6	34.2	58.6	39.0
刈草(秋)	メルケンカルカヤ	0.5	43.7	81.4	44.7
刈草(秋)	ススキ	0.5	41.6	80.8	42.9
刈草(秋)	コセンダングサ	1.0	43.1	42.1	46.7
水生植物	ガボンバ	3.0	37.4	12.4	21.3
水生植物	マツモ	3.8	36.3	9.5	23.4
水生植物	ホテイアオイ	1.5	34.6	23.7	31.0

表 3 原料の成分（微量元素試験）

	集排 汚泥	模擬 生ごみ
TS (mg/L)	16200	118000
VS (mg/L)	13100	113000
COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	17400	123000
T-N (mg/L)	1180	3130
S (mg/L)	300	200
Fe (mg/L)	139	4.14
Co (mg/L)	0.02	<0.01
Ni (mg/L)	0.21	0.02

表 2 原料の成分（連続試験）

	集排 汚泥	模擬 生ごみ
TS (mg/L)	20000	131000
VS (mg/L)	15200	125000
COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	19200	160000
T-N (mg/L)	1380	4270

表 4 実験条件（微量元素試験）

期間(日)	0-7	8-42	43-56	57-70
HRT(日)	60	30	20	15
VS 負荷 (g/L/d)	汚泥 0.11 生ゴミ 0.89	汚泥 0.22 生ゴミ 1.79	汚泥 0.33 生ゴミ 2.69	汚泥 0.44 生ゴミ 3.58

#### 4. 研究成果

##### 回分式メタン発酵試験

図 1 に刈草等のバイオガス発生量の推移、図 2 に最終的なガス発生量を示す。すべての試験区で試験開始直後からガスの発生が始まり、10 日程度でガス発生は落ち着いた。刈草、水生植物からのバイオガス発生量は種類により大きく異なり、春夏に採取した草や水生植物の多くは試験開始後速やかにガス発生のパークを迎え、ガス発生量が多い傾向があった。一方、秋に収穫した草の場合、ガス発生の上立ちが遅めで、ガス発生量も少ない傾向が見られた。刈草の分解性の指標である ADF や C/N 比とガス発生量との関係を見ると、ADF や C/N 比が小さいほどバイオガス発生量が多い傾向があることが示された(図 3)。ADF や C/N 比を用いて、ガス発生量を予測できることが示唆された。

##### 連続メタン発酵試験

連続メタン発酵試験における pH の推移を図 4 に示す。連続メタン発酵試験においても回分試験で確認されたのと同様に順調にバイオガスが発生することが確認された一方、生ごみに対する刈草の混合割合を高めると pH が低下した。刈草の混合割合を高めると、発酵がより不安定化することが示唆された。

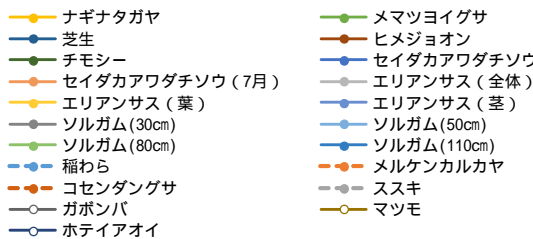
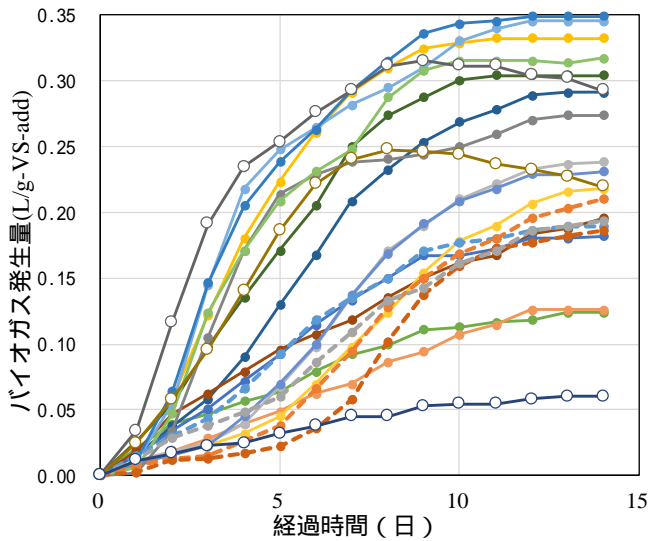


図1 刈草等のバイオガス発生量

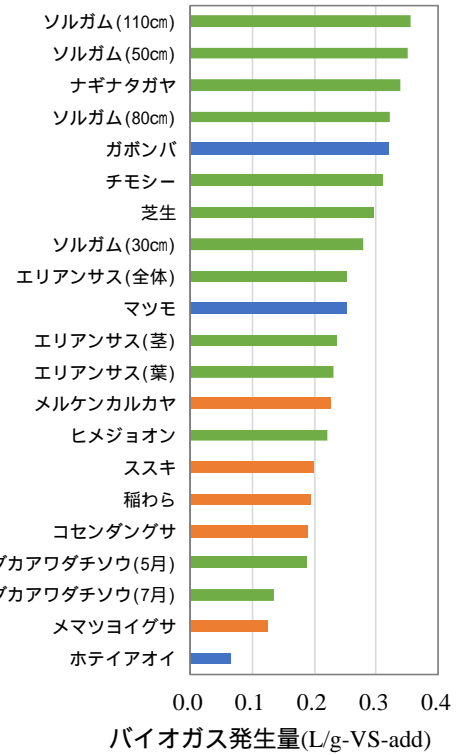


図2 各刈草由来のバイオガス発生量

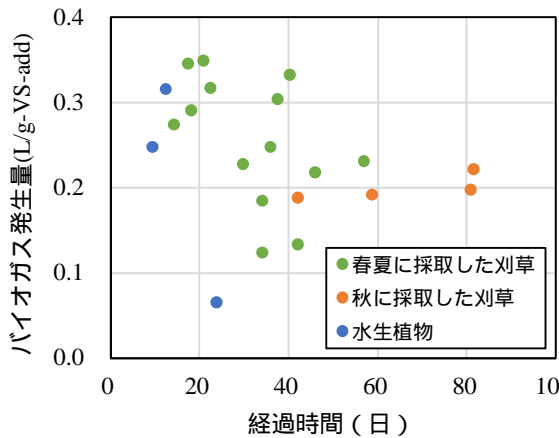


図3 刈草等の C/N 比、ADF とバイオガス発生量の関係

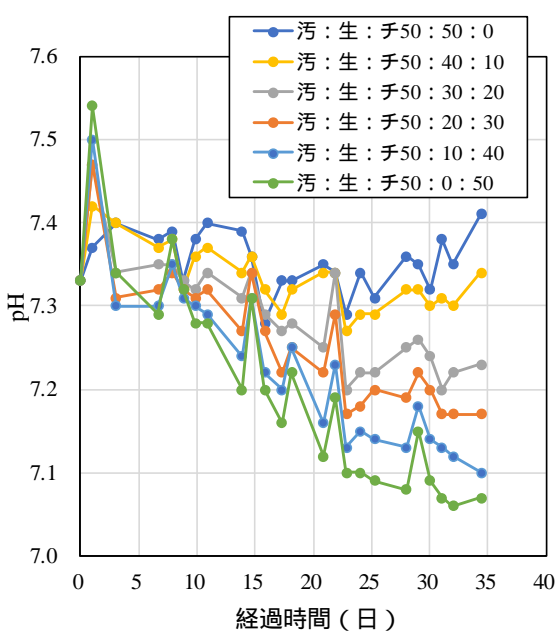
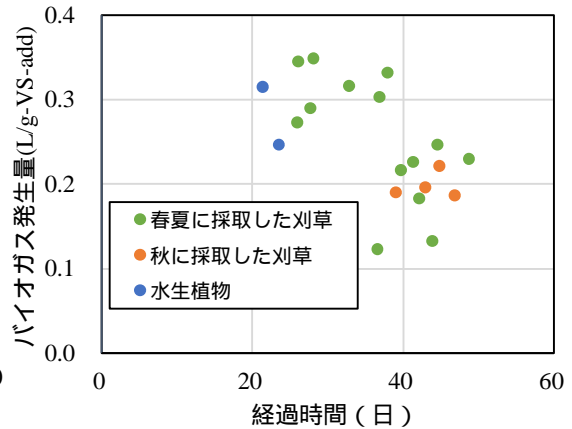


図4 連続試験における pH の推移

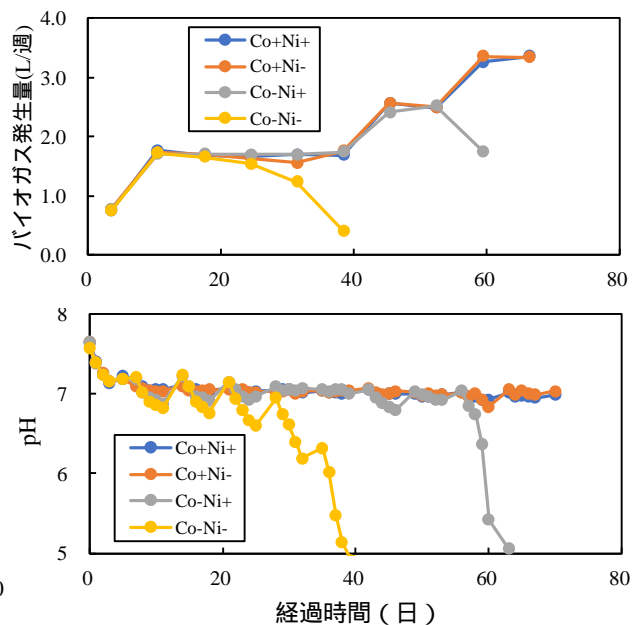


図5 実験期間中のバイオガス発生量，発酵液の pH の推移（微量要素試験）

表5 種汚泥と実験期間終了後の発酵液の成分（微量要素試験）

	種汚泥	Co+Ni+	Co+Ni-	Co-Ni+	Co-Ni-
採取日		Day 70	Day 70	Day 63	Day 42
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	1100	740	790	660	770
COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	21200	21400	23200	42400	40000
COD 回収率 (%)	-	70	67	40	43
アルカリ度 (mg/L)	5010	3510	3510	1100	1100
Fe (mg/L)	66.7	46.2	45.6	46.8	49.1
Co (mg/L)	0.02	0.24	0.26	0.008	0.02
Ni (mg/L)	0.22	0.35	0.09	0.25	0.12

#### 微量要素添加試験

実験期間中のバイオガス発生量、発酵液の pH の推移を図 5 に、実験期間終了後の COD 回収率、アルカリ度及びアンモニア態窒素、COD<sub>Cr</sub>、Fe、Co、Ni 濃度を表 5 に示す。Co 及び Ni を添加しない条件（Co-Ni-区）では、HRT を 30 日に設定した後から pH が下がり始め、40 日後には 5 まで低下した。Co 及び Ni を添加しない場合には発酵不良が生じることが示された。一方、Co+Ni+（Co、Ni 両方添加）区、Co+Ni-（Co のみ添加）区では、高負荷条件においても pH、ガス発生量、アルカリ度、COD 回収率が安定していた。つまり、集排汚泥からの Co の供給量は十分ではなく、添加する必要がある一方、Ni は汚泥から十分な量が供給されていることが明らかとなった。また、集排汚泥の Co 濃度は他の地区の汚泥においても、本研究で使用した汚泥と同程度であり、Co の添加は集排汚泥を原料とする場合に共通して実施することが必要な対策であることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 中村 真人、山岡 賢、折立 文子、柴田 浩彦	4. 巻 86
2. 論文標題 メタン発酵システム構築によるSDGs達成への貢献	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業農村工学会誌	6. 最初と最後の頁 25-28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masato Nakamura, Taira Hidaka, Masaru Yamaoka, Fumiko Oritate	4. 巻 17
2. 論文標題 Methane production and nitrogen mineralization in paddy soil treated with sludge from anaerobic digestion enhanced by hyperthermophilic pretreatment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Paddy and Water Environment	6. 最初と最後の頁 447-454
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10333-019-00740-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura Masato, Shibata Hirohiko, Yamaoka Masaru, Oritate Fumiko	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Trace metal requirements for anaerobic co-digestion of sewage sludge from rural areas and food waste in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Water Practice and Technology	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2166/wpt.2020.034	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 中村 真人、山岡 賢、折立 文子
2. 発表標題 刈草のメタン発酵原料としての利用が消化液の肥料成分に及ぼす影響
3. 学会等名 日本土壌肥料学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村真人, 柴田浩彦, 山岡 賢, 折立文子
2. 発表標題 農業集落排水汚泥のメタン発酵における微量元素の必要性
3. 学会等名 農業農村工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Nakamura, Hirohiko Shibata, Masaru Yamaoka, Fumiko Oritate
2. 発表標題 Anaerobic digestion of sewage sludge in rural areas in Japan
3. 学会等名 10th Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	嶺田 拓也  (Mineta Takuya)		