

メタン発酵処理により発生する消化液の有効利用方法の検討

EFFECTIVE UTILIZATION METHOD OF METHANE FERMENTATION DIGESTIVE JUICE

三浦玄太*¹, 中島広志*¹
Genta MIURA and Hiroshi NAKAJIMA

In this paper, we examined how to use digestive juice as a hurdle in methane fermentation power generation. First, composting tests were conducted using digested juice, rice hull and rice bran as a material, and it was confirmed whether fermentation advanced without problems and the materials became compost. After that, plant cultivation tests were carried out using the compost produced. It was confirmed that composting proceeds smoothly by combining appropriate materials. It was also confirmed that the compost produced can be used for plant cultivation although the nitrogen fertilizing effect is somewhat inferior. Although digestive juice is hard to use as it is, composting method will make it easy for farmers and neighboring residents to accept it.

Keywords : *Methane Fermentation, Digestive juice, Composting, Fertilizer test*
 メタン発酵, 消化液, 堆肥化, 肥効試験

1. はじめに

2011年に発生した福島第一原発事故以降、電力エネルギー源は、原子力や化石燃料から再生可能エネルギーへの転換が推し進められている。再生可能エネルギーの1つであるメタン発酵発電は、家畜糞尿や農業残渣などの未利用廃棄物（特に高含水有機廃棄物）を利用するバイオマス発電であり、地域の農業と環境を活用した循環システムを構築できることが特徴とされている。しかし現状では、メタン発酵発電施設は北海道の一部地域や既存下水処理施設近傍などに限られており、普及が進んでいない状況にある。普及を妨げている要因としては、①安定した原料調達が確保できない、②発酵処理後の消化液（残渣）処分方法が確保できない、といった点が指摘されている。

本稿では、前述した②の消化液の処分方法について検討をおこなった。メタン発酵発電では、消化液を処理するために水処理施設を新設すると、高額な整備費用が必要となり、経済性が劣ることが指摘されている。消化液には肥料成分が含まれるため、農地や牧草地へ散布することが推奨されているが、消化液の見た目や独特の匂い、多量の発生量などが原因で、農業者などから散布実施の理解を得ることが難しく、実施例は限られている。そこで筆者らは、農業者にとって利用しやすい物性にする方法として、液体状である消化液を堆肥として固定することを検討した。堆肥化には含水率調整のため、添加材料が必要となるが、調達コストを最小限にすることが重要である。対象地域では、もみ殻と米ぬかの調達が容易であったため、これらを添加することとした。



図-1 メタン発酵発電フロー（消化液の発生フロー）

*1 戸田建設株式会社技術開発センター 修士（農学）

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.

2. メタン発酵消化液の堆肥化試験

2.1 実験概要

メタンの取り出し工程から残渣として発生する消化液と、対象地域である常総市内から発生するもみ殻および米ぬかを添加材料として利用し、堆肥製造が可能か確認した。堆肥化試験に際して、消化液は小型メタン発酵装置より調達し、堆肥製造は神奈川県農業技術センターの80L試験堆肥化装置を利用した。



写真-1 小型メタン発酵装置と消化液



写真-2 80L試験堆肥化装置と堆肥切返し状況

2.2 実験条件・スケジュール

消化液堆肥化試験は下記条件で実施した。

- (1) 材料 原料 : メタン発酵消化液
副資材 : もみ殻, 米ぬか, 牛ふん堆肥
- (2) 試験条件 表-1 に各資材の混合割合を示す。すべての試験区に種菌(発酵微生物源)として、牛ふん堆肥を添加した。混合した材料に対して、消化液または水を添加し含水率50%に調整した後、80L試験堆肥化装置へ充填し、9週間の期間、1週間ごとに切返し(攪拌)を行い、消化液または水を添加した。

表-1 材料混合割合

| | 固形物 | 液体 | 種菌 |
|-----------------|--------------------------|-----|--------|
| No.1 消化液+米ぬか | もみ殻 9.7 kg 米ぬか 2.2 kg | 消化液 | 0.1 kg |
| No.2 消化液 | もみ殻 9.7 kg | 消化液 | 0.1 kg |
| No.3 米ぬか | もみ殻 9.7 kg | 水 | 0.1 kg |
| No.4 消化液残渣 | もみ殻 9.7 kg | 消化液 | 0.1 kg |

(4) 測定項目

試料温度, pH, 試料重量, 含水率

2.3 堆肥化試験 実験結果

図-2 に試験期間中の試料温度変化の様子を示す。製造期間の試料温度は、発酵の進行具合を示す簡易指標になることが知られている²⁾。良好な発酵が進んでいる場合、60~80℃まで温度上昇する。米ぬかを添加したNo.1およびNo.3は、60~70℃まで温度上昇し、良好な発酵であることを示した。一方、米ぬかを添加していないNo.2とNo.4については、試料温度上昇は見受けられなかった。堆肥の発酵に関わる微生物活性は、炭素(C)と窒素(N)の比率を示すC/N比が20~30程度になると最適であるといわれている²⁾。もみ殻単体のC/N比は74前後であり、適切なC/N比に近付けるためには、米ぬかなどで窒素源を補う必要があることが確認できた。また、No.1とNo.3では、消化液を加えたNo.1で速やかに試料温度の上昇を開始した。

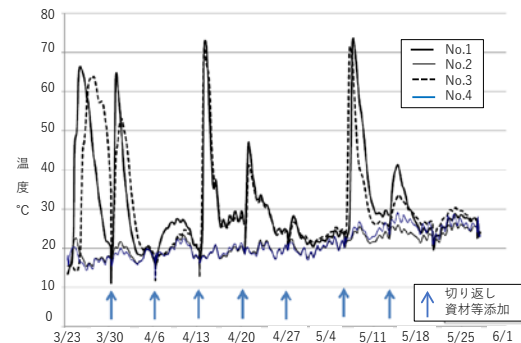


図-2 試験期間中の品温変化

図-3 に pH の変化を示す。消化液を添加したNo.1が速やかに温度上昇した要因は pH が影響したものと推定される。消化液を添加したNo.1の初期値はpH 8.0となり、米ぬかのみ添加したNo.3よりも高い値を示した。発酵初期段階において、好気性細菌が有機物を分解するが、活動に適したpHはpH8~9であることが知られている²⁾。消化液添加により、適正pHになったことで、温度上昇開始が速やかに開始したとみられる。なお、発酵後期については、有機物分解が進み、アンモニアが発生しpHが上昇したため、顕著な差異は生じなかった。

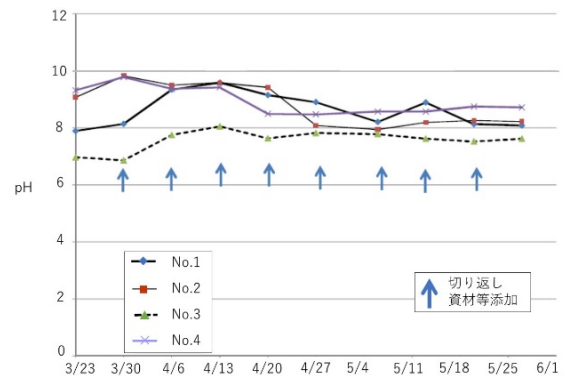


図-3 試験期間中のpH変化

図-4 に試験期間中の試料重量変化を示す。米ぬかを添加した No.1 と No.3 は温度上昇に伴って水分が蒸発し、試料重量の減少が確認できたことから良好な発酵が進行していると判断した。一方、米ぬかを添加していない No.2 と No.4 は、試料重量の減少が極めて少なかった。

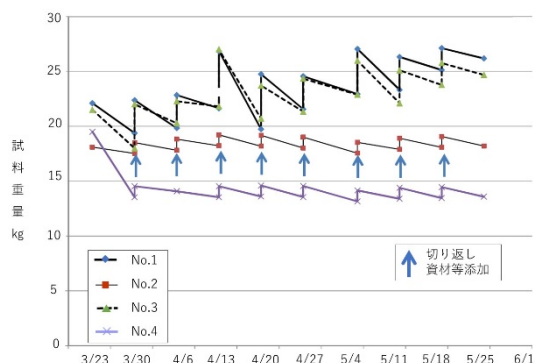


図-4 試験期間中の試料重量変化

3. 製造堆肥の栽培試験

3.1 実験概要

前章で製造した堆肥のうち、No.1 (消化液+米ぬか)、No.2 (消化液)、No.3 (米ぬか) の堆肥を用いて、植物の栽培試験を行い、生育影響確認を行った。なお、栽培試験は神奈川県農業技術センター内の栽培ハウス内にて実施した。

3.2 実験条件・スケジュール

植物生育上不可欠な窒素 (N) とリン酸 (P₂O₅) について肥効 (肥料効果) の確認を行うために下記条件にて試験を実施した。

(1) 材料

- ・堆肥 : No.1, No.2, No.3
- ・化学肥料 : 硫安, 重焼リン, 過リン酸石灰
- ・作物 : コマツナ, チンゲンサイ

なお、コマツナは窒素, チンゲンサイはリン酸の感受性が高いことが知られており、肥効試験の代表的な作物とされている。

表-2 に前章にて製造した堆肥の成分分析を実施した結果を示す。

表-2 製造堆肥の成分分析結果

| | 分析値 (乾物%) | | | | | | |
|------|-----------|------|-------|-------------------------------|------------------|------|------|
| | T-C | T-N | C/N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO |
| No.1 | 30.58 | 1.20 | 25.46 | 2.23 | 1.32 | 0.30 | 0.50 |
| No.2 | 30.24 | 0.50 | 60.78 | 0.21 | 0.59 | 0.21 | 0.13 |
| No.3 | 30.72 | 1.25 | 24.51 | 2.32 | 0.70 | 0.07 | 0.49 |

米ぬかを添加し製造した No.1 と No.3 は、No.2 よりもリン酸の含有率が高いことが分かった。この結果から、リン酸は米ぬか由来であると判断した。

(2) 試験期間

コマツナとチンゲンサイの栽培可能時期に合わせ、肥効試験を実施した。

- ・窒素肥効(コマツナ) : 1 作目 10/24~12/15, 2 作目 12/16~1/13

2 作目は 1 作目を収穫後、培地内に残存窒素が存在するか確認するために、培地の再調整などは行わずそのまま播種した。

- ・リン酸肥効(チンゲンサイ) : 12/9~1/10

(3) 栽培試験条件

表-3 に窒素肥効試験区の成分含量を示す。堆肥試験区は、窒素が 500 mg/pot 相当量となるようにそれぞれ調製し、対照として化学肥料試験区は窒素が 0, 250, 500mg/pot に調製した。写真-3 に示したように調製後の試料を 1/5,000a ワグネルポットに充填し、コマツナを播種し、生育状況を調査した。

表-3 窒素肥効試験区の成分含量

| (mg/pot) | 堆肥試験区 | | | 化学肥料試験区 | | |
|-------------------------------|-------|------|------|---------|-------|-------|
| | No.1 | No.2 | No.3 | N-0 | N-250 | N-500 |
| N | 500 | 500 | 500 | 0 | 250 | 500 |
| P ₂ O ₅ | 929 | 210 | 928 | 500 | 500 | 500 |
| K ₂ O | 550 | 590 | 280 | 500 | 500 | 500 |

表-4 にリン酸肥効試験区の成分含量を示す。堆肥試験区は、リン酸が 250 mg/pot となるように調製し、対照として化学肥料試験区はリン酸が 0, 125, 250mg/pot となるよう調製した。1/5,000a ワグネルポットに充填後、チンゲンサイを播種し、生育状況を調査した。

表-4 リン酸肥効試験区の成分含量

| (mg/pot) | 堆肥試験区 | | | 化学肥料試験区 | | |
|-------------------------------|-------|------|------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | No.1 | No.2 | No.3 | P ₂ O ₅ -0 | P ₂ O ₅ -125 | P ₂ O ₅ -250 |
| N | 136 | 595 | 135 | 500 | 500 | 500 |
| P ₂ O ₅ | 250 | 250 | 250 | 0 | 125 | 250 |
| K ₂ O | 148 | 702 | 75 | 500 | 500 | 500 |



写真-3 1/5,000a ワグネルポットでの栽培状況

(4) 測定項目

- ・窒素肥効 : コマツナ 重量, 窒素吸収量 (全自動窒素・炭素分析装置 VARIO-MAX-CN-D)
- ・リン酸肥効 : チンゲンサイ 重量, リン酸吸収量 (湿式分解後, バナドモリブデン酸法)

なお、分析は肥料等分析法³⁾に従った。

3.3 肥効確認試験結果

(1) 窒素肥効

図-5 に収穫後のコマツナの新鮮重量（収穫重量）を示す。No.1, No.2, No.3 堆肥試験区は、窒素量が同等である化学肥料試験区 N-500 のコマツナ生育量と比較し、ほぼ同水準の重量となった。ただし、堆肥試験区は、2作目以降の肥効が確認できなかったため、製造した堆肥の窒素残効性は低いことが確認できた。

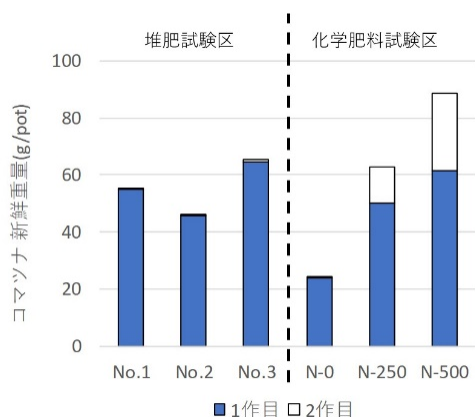


図-5 窒素肥効 コマツナ新鮮重量

図-6 に窒素肥効が確認できた 1 作目の植物を分析にかけ、窒素吸収量を算出した結果を示す。No.1, No.2, No.3 堆肥試験区の窒素吸収量は、化学肥料試験区 N-500 に対して 41%, 33%, 68%の吸収量となった。特に、消化液を添加した No.1 と No.3 では、窒素吸収が抑制される傾向が確認できた。

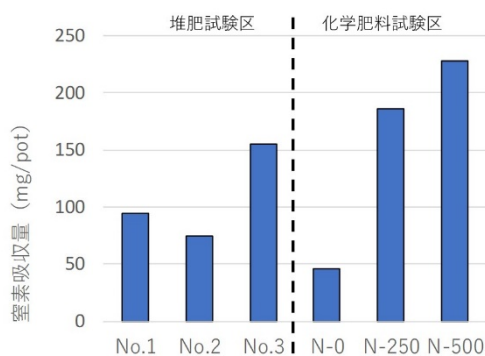


図-6 窒素肥効 コマツナ窒素吸収量

(2) リン酸肥効

図-7 に収穫後のチンゲンサイの新鮮重量を示す。No.1, No.2, No.3 堆肥試験区は、化学肥料試験区 P₂O₅-250 に対して 104%, 93%, 75%となり、化学肥料と同等程度の肥効が確認できた。なお、過リン酸石灰は水溶性のリン酸肥料であり、比較的肥効が早く、重焼リンは水溶性と、く溶性（クエン酸2%溶液に溶ける性質）のリン酸を含む肥料で、比較的長期間の肥効が期待できる肥料である。

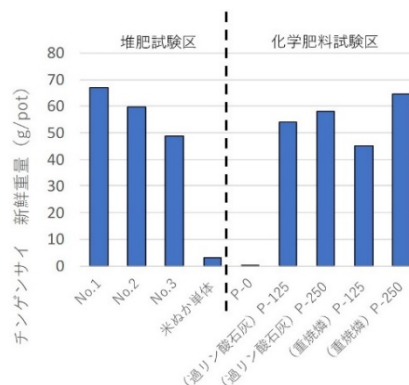


図-7 リン酸肥効 チンゲンサイ新鮮重量

米ぬか単体を混合した試験区では、堆肥化処理をした No.1 と No.3 の試験区と比較し、著しく肥効が低下していることから、堆肥化処理によってリン酸肥効が向上していることがわかる。

図-8 に植物のリン酸吸収量を示す。新鮮重量の測定結果と同様に、化学肥料試験区と同等の吸収量となることが分かった。

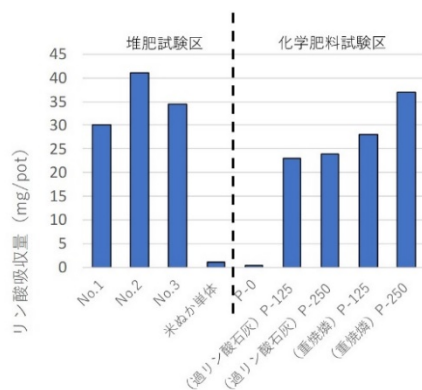


図-8 リン酸肥効 チンゲンサイ リン酸吸収量

4. まとめ

メタン発酵発電の課題となる消化液の処理方法として、米ぬかともみ殻を利用して堆肥製造が出来ることを確認した。また、製造した堆肥は、従来の堆肥と同様に植物生育に悪影響を及ぼすことなく、活用することが可能であることが確認できた。本稿では、もみ殻と米ぬかを利用した堆肥化を検証したが、落ち葉や稲わらなど分解しやすい他の材料を添加する方法も想定される。

参考文献

- 1) 岩下幸司, 岩田将秀 「メタン発酵消化液の液肥利用マニュアル」, (一社)地域環境資源センター p.10-23, p.181-189 2010.3
- 2) 竹本, 武田, 藤原 「生ごみ処理物混合堆肥製造における効率的堆肥化条件」, 平成 16 年度「関東東海北陸農業」研究成果情報, 2004
- 3) (独)農林水産消費安全技術センター：肥料等試験法 (2017), pp36-40, pp81-87, pp130-134, pp184-188, pp206-209, pp278-282, 2016