

## 高温固定床式メタン発酵リアクタの担体素材の違いによる処理性能の比較

## Comparison of Packed Media Materials on the Performance of Thermophilic Anaerobic Reactor

多田羅 昌 浩 坂 口 義 一<sup>1)</sup>

## 要 約

メタン発酵技術は、地球温暖化抑制、エネルギーセキュリティなどの観点から、再生可能エネルギーの一つとして注目されている。本報告では、炭素繊維製不織布とポリエステル製不織布をそれぞれ担体として使用した高温固定床式リアクタの、リアクタパフォーマンスについて検討を行った結果を報告する。立ち上げ期間中、両者には顕著な差は認められず、いずれの素材とも、許容 COD<sub>cr</sub> 容積負荷は 17kg/m<sup>3</sup>/day (HRT : 4 日) であった。また、高負荷時の低級脂肪酸濃度の上昇、有機物分解率の低下傾向も同様であった。これらのことから、両素材とも、高温固定床式メタン発酵リアクタの担体として有効に機能することが示された。

## 目 次

- I. はじめに
- II. 実験方法
- III. 実験結果および考察
- IV. おわりに

## I. はじめに

有機性廃水や廃棄物を少ないエネルギーで処理可能であり、燃料となるバイオガスを回収できるメタン発酵技術は、低炭素型社会の形成、地球温暖化ガス活性量の抑制などの観点から注目されており、食品工場廃水処理、下水汚泥や生ごみなどの有機性廃棄物の処理技術として利用されている。さらに近年では、エネルギー供給高度化法の成立、震災復興を受けたエネルギー政策の見直し、電力の固定価格買い取り制度 (Feed-in Tariff : FIT) の施行などから、有機性廃棄物を含むバイオマスから生成したエネルギーの利用推進の加速が想定され、ますます注目されている。

当初のメタン発酵技術は、タンク (バイオリアクタ) の中に有機性廃棄物を投入し、成り行きで分解を行っていたが、分解速度が遅く、バイオリアクタ容量が大きくなる欠点があった。そのため、様々な改良が試みられ、現在は様々な形態の高効率バイオリアクタが稼働している<sup>1)</sup>。

高効率化の一つの手法として、有機物を分解する触媒となる微生物を高濃度にバイオリアクタ内にとどまるよう、微生物の住処となる固定床担体をバイオリアクタ内に充填する手法がある。固定床担体の有無によるバイオリアクタの許容有機物負荷を比較すると、充填したリアクタは、充填していないリアクタの 60 倍であるとの報

告がある<sup>2)</sup>。

メタン発酵には様々な微生物が関与しているが、メタン発酵の最終段階であるメタン生成に寄与する微生物は増殖速度が遅いため、処理時間 (HRT : 水理的滞留時間) を短くすると、バイオリアクタからウォッシュアウトし、全体の反応進行に支障をきたす。固定床を充填することで、これらの増殖速度の遅い微生物が担体に付着することでバイオフィームを形成し、短い HRT でも効率的な有機物の分解が可能となる<sup>3)</sup>。固定床担体は、様々な素材のものが開発されているが、素材により、微生物の付着特性が異なるとの報告がある<sup>4)</sup>。本報告では、これまで高温固定床式リアクタで使用してきた実績のある炭素繊維製不織布と、高強度で経年劣化の少ないポリエステル製不織布を担体として使用し、有機物分解などのリアクタパフォーマンスの比較検討を行った結果を報告する。

## II. 実験方法

## 1. 実験装置

実験に使用した装置の概略フローを Fig.1 に示す。リアクタの有効容積は 10L であり、固定床が充填できる構造とした。リアクタ内は循環ポンプ (日機装エイコー社製 FG10) により、攪拌を行っており、循環ラインに設置した熱交換器で、55℃になるように制御した。原料は設定量をポンプ (Watson 社製 505S) で供給し、処理水はオーバーフローにより排出した。バイオガスはリアクタ上部から抜き出し、ガスメーター (しながわ社製 WS-0.5A) で発生量を計測した。

固定床には、炭素繊維製 (厚さ 1mm, 目付量 110g/m<sup>2</sup>)、およびポリエステル製 (厚さ 2.5mm, 目付量 120g/m<sup>2</sup>) の不織布を選定した

1) 九州支店 Kyushu Branch

**キーワード:** メタン発酵, 嫌気性消化, バイオガス, 焼酎粕, 固定床

**Keywords:** methane fermentation, anaerobic digestion, biogas, shochu waste, packed bed medium

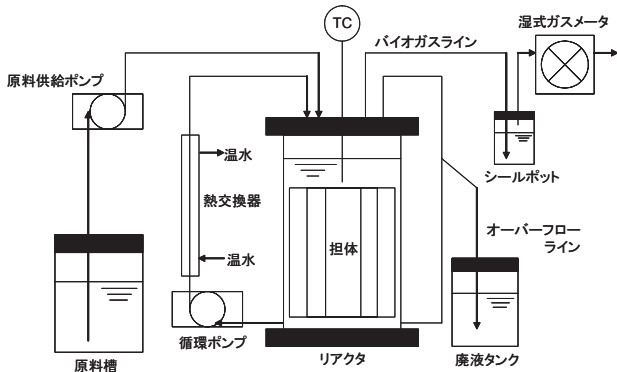


Fig. 1 実験装置の概略フロー  
(System Flow Diagram)

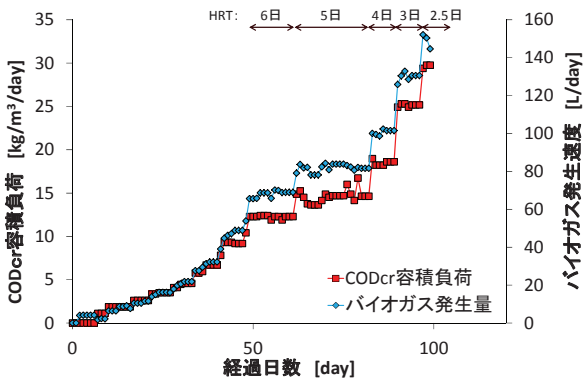
Table 1 原料組成  
(Composition of the Raw Material)

T-COD <sub>Cr</sub>	74,400
S-COD <sub>Cr</sub>	40,100
T-BOD	45,750
S-BOD	25,650
SS	35,950
VSS	35,000
K-N	1,780
NH <sub>4</sub> -N	74
T-P	308
PO <sub>4</sub> -P	147

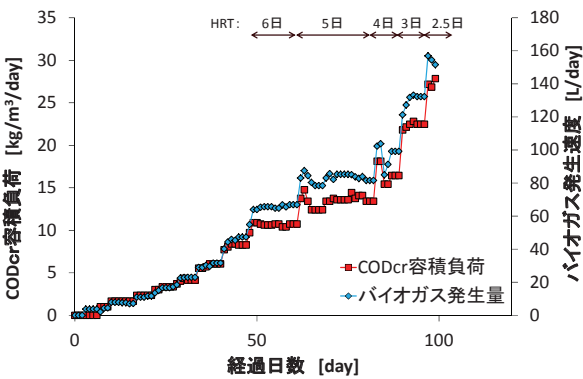


Photo 1 不織布担体 (黒：炭素繊維製,  
グレー：ポリエステル製)

(Unwoven Textile Media)



(a) 炭素繊維製不織布



(b) ポリエステル製不織布

Fig. 2 CODcr 容積負荷とバイオガス発生量の経日変化  
(Time Course of T-CODcr Loading Rate and Biogas Production)

(Photo 1)。これら不織布は、60mm の円筒形に成形されたポリエチレン製の枠体に巻きつけ、単位容積あたりの充填量をそろえて (0.028m<sup>3</sup>/L) リアクタに充填した。

## 2. 原料及び種汚泥

原料には、芋焼酎製造過程で排出される粕 (芋焼酎粕) を使用した。原料組成を Table 1 に示す。芋焼酎粕は、高濃度の有機物、固形物、および窒素を含んでいた。

種汚泥は、同様の芋焼酎粕を処理している高温メタン発酵リアクタより採取したものを使用した。種汚泥は、リアクタ容積全量を満たすように投入した (シーディング率：100%)。

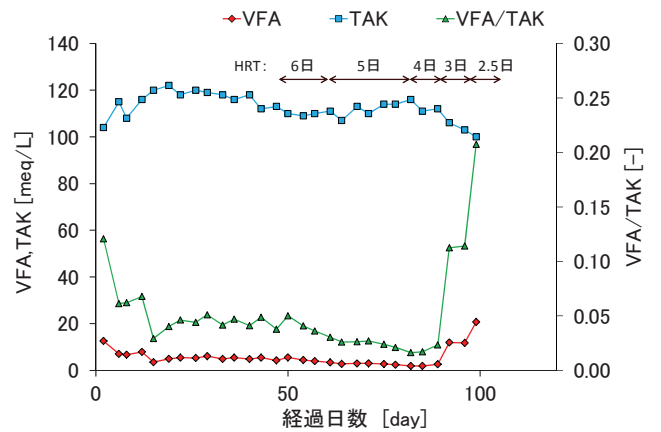
## 3. 分析方法

水質の分析方法は、JISK-1012 に従った。バイオガス中の CO<sub>2</sub> 濃度、硫化水素濃度は検知管で測定した。

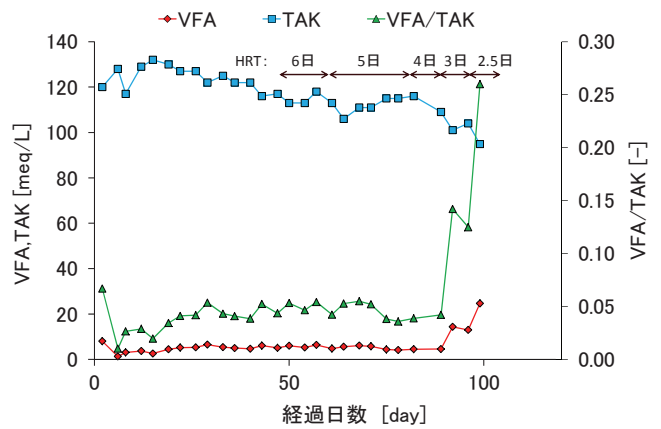
## III. 実験結果および考察

### 1. スタートアップ

実験開始から 50 日目まで、いずれの担体も、原料の投入量を徐々に増加させることで立ち上げを行った。この間、両担体とも CODcr 容積負荷の上昇に伴い、バイオガス発生速度も上昇した (Fig. 2)。立ち上げ期間中の有機酸濃度 (VFA) は、いずれの担体も立ち上げ初期に一時的に高くなったが、その後速やかに低下しており、アルカリ度



(a) 炭素繊維製不織布



(b) ポリエステル製不織布

Fig. 3 VFA, TAK と VFA/TAK の経日変化  
(Time Course of VFA, TAK, and VFA/TAK)

(TAK)も安定していることから、順調に立ち上げが行えたことが確認でき、担体素材の違いによる顕著な差は認められなかった (Fig. 3)。

2. 定常運転

立ち上げが終了後、HRT を6日から2.5日まで短縮し、それぞれのHRTにおけるT-COD<sub>Cr</sub>、T-BOD、VSS除去率、バイオガス発生量、VFA濃度、TAKについて検討を行った (Fig. 4~Fig. 7)。

T-COD<sub>Cr</sub>除去率、T-BOD除去率は、HRTが短くなるに従い、両リアクタとも緩やかに低下する傾向を示した (Fig. 4)。T-COD<sub>Cr</sub>除去率は、HRTが3日より短くなった場合、比較的大きく低下していることから、分解に3日以上必要な有機物がある程度含まれていると考えられる。

SS、VSS除去率も、HRTが短くなるに従い、両担体とも緩やかに低下する傾向を示した (Fig. 5)。上述のT-COD<sub>Cr</sub>除去率と比べ、HRTを3日から2.5日に短縮した場合の低下傾向が緩やかであることから、芋焼酎粕に含まれる固形分は、比較的可溶化しやすいものであると想定される。

芋焼酎粕1トン当たりのバイオガス発生量は、両リアクタとも、HRTが短くなるに従い、徐々に低下する傾向を示した (Fig. 6)。HRT6日から4日までは、低下傾向が緩やかであり、HRT5日、4日で有意な差はないことから、HRT4日までは投入有機物量がリアクタの処理

能力以内であることが確認できた。HRTが4日以下では、芋焼酎粕1トン当たりのバイオガス発生量は低下する傾向を示しており、処理水中にメタン発酵で分解可能な有機物が含まれることが示唆された。

VFA濃度は、両リアクタとも、HRT4日までは低値で安定していたが、それよりも短くなった場合、急激に上昇した (Fig. 7)。HRT3日、2.5日でのVFA濃度は、両リアクタとも、それぞれ12~13meq/L、20~25meq/L程度となった。VFA/TAKの値は、メタン発酵リアクタが正常であるとされる0.35よりも低い0.2~0.26であったため、メタン発酵リアクタの運転としては、まだ許容範囲であった<sup>5)</sup>。VFAは、メタン発酵で容易にメタンに変換される基質である。前記のHRT4日以下のバイオガス発生量の低下は、VFAがメタンに変換されずにリアクタから排出されたためと考える。

3. バイオフィーム付着状況

実験終了後、リアクタを開放し、担体への微生物付着状況の調査を行った。解放時の両リアクタ内の担体の状況をPhoto 2に示す。

担体へのバイオフィームの付着状況は、担体間で差はなく、約3mmのバイオフィームを形成していた。このことから、両担体とも、微生物の付着性についても同等であるものと考えられた。ただし、付着した微生物の種類については不明であり、今後検討する必要があると考える。

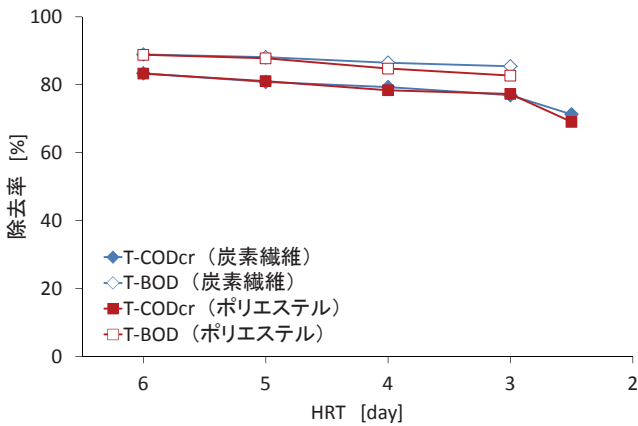


Fig.4 HRT と T-COD<sub>Cr</sub>、T-BOD 除去率の関係

(Correlation Between HRT and T-COD<sub>Cr</sub>, T-BOD Removal)

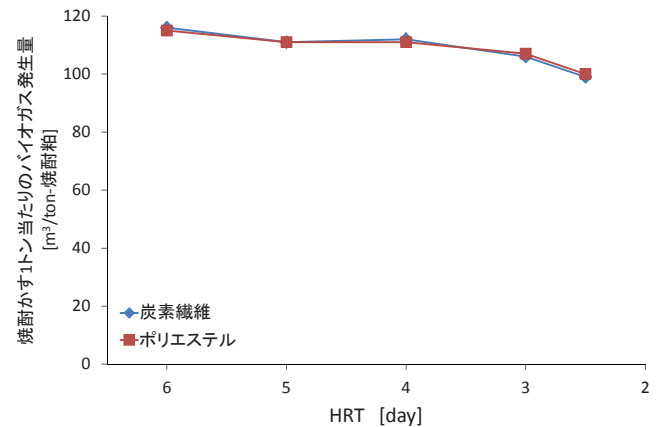


Fig.6 HRT と バイオガス発生量の関係

(Correlation Between HRT and Biogas Production)

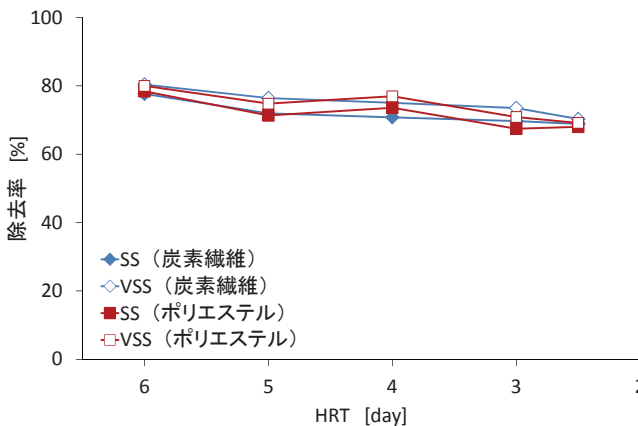


Fig.5 HRT と SS、VSS 除去率の関係

(Correlation Between HRT and SS, VSS Removal)

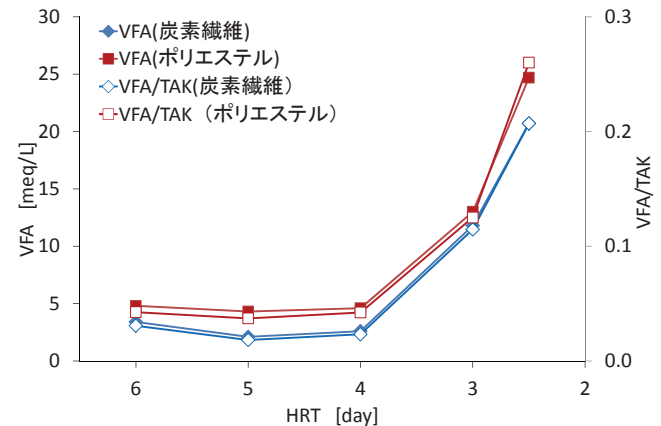


Fig.7 HRT と VFA、VFA/TAK の関係

(Correlation Between HRT and VFA, VFA/TAK)



(a)炭素繊維製不織布



(b)ポリエステル製不織布

Photo 2 それぞれの担体へのバイオフィルムの付着状況

## (Adhesion of Biofilm on Each Supporting Media)

## IV. おわりに

本研究では、高温固定床式メタン発酵リアクタに充填する担体の素材として、炭素繊維製不織布、およびポリエステル製不織布の、リアクタパフォーマンスに及ぼす影響を比較検討した。その結果、同等の処理特性を示すことが明らかとなった。いずれの担体を充填した高温固定床式メタン発酵リアクタも、スタートアップで顕著な違いは認められず、また、許容 COD<sub>Cr</sub> 容積負荷は 17kg/m<sup>3</sup>/day (HRT : 4 日) であり、既報の担体を充填していない中温メタン発酵リアクタの許容 COD<sub>Cr</sub> 容積負荷 3.6kg/m<sup>3</sup>/day に比べ、4.5 倍以上の高負荷での処理が可能であった<sup>6)</sup>。以上のことから、炭素繊維製担体、ポリエステル製担体は、高温固定床式メタン発酵リアクタの担体として、ともに有効に使用できることが明らかとなった。

ただし、担体に付着した菌叢や、長期運転時におけるバイオフィルムの剥離などについては未検討であり、今後明らかにしていく必要がある。

## 謝 辞

本実験に当たり、原料である焼酎粕、種汚泥を提供いただいた霧島酒造株式会社様に深く感謝をいたします。

## 参考文献

- 1) M. Gavrilescu ; Engineering concerns and new developments in anaerobic waste-water treatment, Clean Techn. Environ. Policy, Vol. 3, 2002, pp.346-362.
- 2) M. Tatara et al ; High-rate thermophilic methane fermentation on short-chain fatty acids in a down-flow anaerobic packed-bed reactor, Bioprocess Biosyst. Eng., Vol.27, 2005, pp.105-113.
- 3) M. Tatara et al ; Methanogenesis from acetate and propionate by thermophilic down-flow anaerobic packed-bed reactor, Bioresource Technology, Vol.99, 2008, pp.4786-4795.
- 4) S. Matsumoto et al ; Carbon Fiber as an Excellent Support Material for Wastewater Treatment Biofilms, Environ. Sci. Technol., Vol.46, 2012, pp.10175-10181.
- 5) 益田信雄ら, メタン発酵の基礎と応用(5), 燃料及燃焼, 第 51 巻, 1984, pp.431-441.
- 6) 河野孝志, 水素メタン発酵による焼酎粕処理・エネルギー回収システムの開発, EICA, 第 15 巻, 2010, pp.153-156.

### Comparison of Packed Media Materials on the Performance of Thermophilic Anaerobic Reactor

Masahiro Tatara and Yoshikazu Sakaguchi<sup>1)</sup>

Anaerobic digestion has been attracting attention as one of the technology for renewable energy production. This study aims to compare two different packed media materials on performance of thermophilic anaerobic reactors. Unwoven carbon fiber textile and unwoven polyester fiber textile were used as media materials, and reactor performance was compared using shochu waste. Significant difference of the performance was not found including the start up period. The maximum allowable COD<sub>Cr</sub> loading rate was 17 kg/m<sup>3</sup>/day (HRT : 4days) in each material. VFA formation and removal efficiency of organic compounds were same level at high organic loading rate. These experimental results concluded that either material can be used as packed media for the thermophilic anaerobic reactor.