

バイオ技術による廃棄物の再資源化に関する調査研究

—水素・メタン2段発酵法による食品廃棄物処理の検討—

板谷 勉, 斎藤直己 (水質第一科)

【調査研究】

バイオ技術による廃棄物の再資源化に関する調査研究

—水素・メタン2段階発酵法による食品廃棄物処理の検討—

Cyclical Use of Solid Wastes Using Biotechnology

—H₂-methane Two-step Treatments of Solid Wastes—

板谷 勉, 斎藤直己 (水質第一科)

Tsutomu Itadani and Naomi Saitou

要 旨

廃棄物の減容化と再資源化をめざし、特に食品廃棄物からのクリーンエネルギーである水素生産とこれに伴う廃棄物の減容化について検討している。平成17年度は、岡山県内下水処理場の汚泥から水素生成菌の分離を行い、2種類の細菌を得た。芽胞を有するグラム陽性菌でその生化学性状から *Clostridium beijerinckii* と同定された水素生成菌はデンプンから直接水素ガスを生成した。また、この水素生成菌は実廃棄物である、家庭の台所から排出された生ゴミから約50%の水素ガス組成を有するガスを生産するとともに、固形物重量(乾重量)を約60%減少させることが確認された。平成18年度は、水素発酵後に残存する固形物のさらなる減容化とエネルギーガス生産について基礎実験を行った。

給食弁当販売会社から排出される食品廃棄物を用いた実験条件下では、メタン発酵は水素発酵と比較して反応が遅かったものの、水素・メタン2段階発酵により、廃棄物226g(乾燥重量)から水素を32L、メタンを76L生産でき、この間の水素発酵により固形物が約60%、メタン発酵により水素発酵残渣の約38%が減容化されることが確認された。このことから、メタン発酵処理期間を短縮するなどを改良すれば水素・メタン2段階発酵法は、食品廃棄物の減容化と再資源化を計るうえで有力な手段の一つになることが示された。

[キーワード：有機性廃棄物, 水素生産, *Clostridium*, 水素・メタン2段階発酵法, 再資源化]

[Key words : organic solid wastes, H₂ production, *Clostridium*, H₂-methane two-step fermentation, re-use]

1 はじめに

2002年12月27日に閣議決定された再生可能エネルギーの利用促進を図るための新エネルギー政策である「バイオマスニッポン総合戦略」も炭酸ガス排出削減を最初に掲げている。さらに、この「バイオマスニッポン総合戦略」は見直しが行われ、新たな「バイオマスニッポン総合戦略」が2006年3月31日閣議決定され¹⁾、2006年4月から適用された。この中で、各関係省庁の具体的行動計画が示された。食品廃棄物関連項目として、食品事業者の広域な食品廃棄物等のバイオマス利活用システムの構築への支援、地域で発生する食品残渣等の飼料化に係わる技術情報等の普及、拠点的な地域における飼料の生産システムの構築等の推進、生ゴミ等の堆肥化・飼料化に加え、メタン回収と焼却・熱回収を複合的に行う施設の整備や廃食用油等の有効利用のためのバイオディーゼ

ル化施設の指針を策定し、バイオマスの利活用等の促進を図る等が策定された。

我々は、これまで、光合成細菌を用いる廃棄物処理とそれに伴う水素ガス生産の検討²⁾、水素生成菌の分離とその生化学的特性及び廃棄物処理への応用の可否等³⁾について検討してきた。今年度は、水素発酵後に残存する固形物をメタン発酵処理し廃棄物のさらなる減容化とエネルギーガスであるメタンを回収する、いわゆる水素・メタン2段階発酵による処理の基礎実験を行ったので報告する。

2 材料および方法

実験には模擬廃棄物としてC社製ドッグフードを、実廃棄物として県内の給食弁当販売会社K社から排出された残飯(白米, 惣菜, および果物等)を用いた。表1に

ドッグフードの成分表を示した。実廃棄物の大まかな組成は湿重量換算で白米57%、惣菜29%および果物野菜類14%であった。ドッグフードを用いた実験では前報³⁾に準じて280gを蒸留水と混合し4.0Lにメスアップしたのち、pH7.0に調整後、120℃20分間高圧蒸気滅菌し、放冷後当センター分離YSS6菌株²⁾の培養液200mLを添加して37℃水浴中で反応を開始した。実験期間中、攪拌は行わず、発生ガスによる自然攪拌とした。水素発酵期間中のガス生成量、生成ガス組成を追跡するとともに、実験前後の固形物減少量を測定した。反応終了後、残渣混合液1.0Lを、あらかじめデンプン培養液で馴養していたメタン発酵汚泥混合物1.0L中に添加してメタン処理を開始した。メタン処理期間中は毎日一度手動による攪拌を行った。メタン処理期間中のガス生成量、ガス組成、および固形物減少量を追跡した。固形物量は120℃における乾燥後の恒量から求めた。また、模擬廃棄物を用いた実験では上記廃棄物3.5kgをワーリングブレンダーで30秒間破碎後蒸留水で7.0Lにメスアップし廃棄物スラッジを得た。当該廃棄物スラッジを2.0L用い、蒸留水で4.0Lにメスアップした後、ドッグフードの場合と同様にpH調整、加圧滅菌後YSS6菌培養液200mLを添加して実験を開始した。実験中の条件はドッグフードの場合と同様であった。実験期間中のガス生成量、ガス組成および固形物量を測定した。ガス組成測定はECDガスクロマトグラフィーによった。

表1 ドッグフードの成分

粗蛋白質	23.0%以上	NaCl	1.0%以上
粗脂肪	8.0%以上	リノール酸	1.0%以上
粗繊維	4.5%以下	Vitamin A	5,000IU/Kg以上
粗灰分	10.0%以下	Vitamin B1	1.0mg/Kg以上
水分	10.5%以下	Vitamin B2	2.0mg/Kg以上
Ca	1.0%以上	Biotin	0.1mg/Kg以上
P	0.8%以上	代謝エネルギー (100gあたり)	323Kcal

(C社による)

3 実験結果および考察

3.1 ドッグフードを用いた水素・メタン2段階発酵法による模擬廃棄物の処理

模擬廃棄物として、ドッグフードを用いたときのYSS6菌株による水素生産実験の結果が図1である。また、水

素生産実験168時間後の残渣をメタン生成菌を含む混合系でメタン発酵処理した結果が図2に示してある。水素生産反応は、実験開始3日から4日で反応が終了し、280gのドッグフードから72Lのガスを得た。このときのガス組成は水素52%、二酸化炭素48%であり、水素生産量は37.4Lと計算された。また、実験前後の固形物濃度はそれぞれ48.8g/Lおよび18.8g/Lであった。即ち、反応液4.0L中のドッグフードは乾燥重量195.2gから75.2gと120g、61.4%減少したと計算された。減少固形物120gをデンプンであると仮定するとこれは133.3gのブドウ糖に相当するため、0.74モルのブドウ糖が消費されたことになる。また、このときの生産水素量37.4Lは1.7モルに相当し、本実験条件下での1モル当たりの生産水素モル量である水素生産効率 η は2.25となり、我々が平成17年度に実施した実験結果1.5-2.4と殆ど同様の値であった³⁾。一

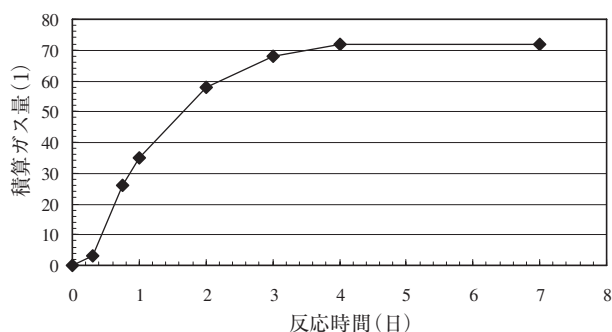


図1 YSS6菌株によるドッグフードからの水素生産

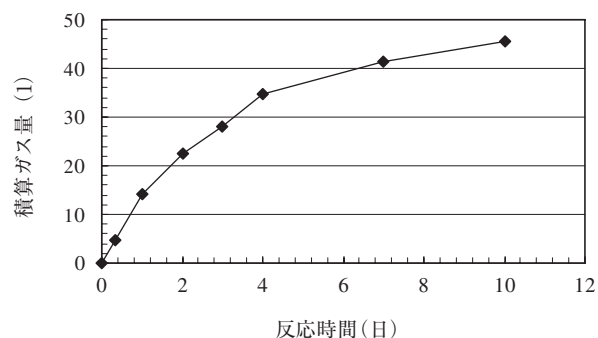


図2 水素生産後の残渣を用いたメタン発酵

方、メタン発酵処理は図2のように水素生産と比較すると反応の進行が遅く、反応開始10日後でも徐々に反応が進行していた。これは、攪拌不足による反応速度の減少に起因した結果と同時に、難分解性の有機物の存在に起因したものと推定された。メタン生産実験は実験開始10日後に終了した。このときの生産ガス量は42.5Lであった。このときのメタンガス濃度は61%であり、この数値

は我々が平成16年度実施した牛糞からの63%²⁾、片岡ら⁴⁾の生ゴミからの65%、江口ら⁵⁾の初沈汚泥からの60%及び余剰汚泥からの65%と殆ど同じ値であった。従って、42.5Lの生産ガスからは、25.9Lのメタンガスが生産された計算となる。メタン生産に用いた残渣は水素生産後の残渣の4分の1量(1L)である。従って、水素生産後の残渣4.0Lからは103.6Lのメタンを生産できることが判明した。また、メタン生産により固形物量は、34.5g/Lから実験終了後22.2g/Lと12.3g, 35.6%減少した。メタン生産実験は、すでにメタン生成菌馴養汚泥を含む固形物混合液中に水素生産後の残渣を添加して実施しているため、厳密には固形物減少率をそのまま水素生産後の残渣の減少率と見ることはできないが、概算として残渣の30%程度の減少は可能と判断される。水素生産後の残渣は用いた最初のドッグフードの約40%の固形物を有しているため、この30%、即ち12%程度がメタン処理によって除去されるものと推定された。

以上の結果から、模擬廃棄物としてのドッグフードを水素・メタン2段階発酵処理することにより、水素37.4L、メタン103Lを生産でき廃棄物量としての固形物を72%程度減少させることが可能であると判明した。

3.2 実廃棄物を用いた水素・メタン2段階発酵法による模擬廃棄物の処理

ドッグフードを用いた模擬廃棄物処理への水素・メタン2段階発酵処理実験結果をふまえ、実廃棄物として、給食弁当販売会社の廃棄物を用いた2段階発酵処理を実施した。水素生産実験の結果を図3に示した。また、水素生産後の残渣を用いたメタン生産実験の結果を図4に示した。これらの結果は、上記模擬廃棄物を実験材料としたときの結果と殆ど同様であった。即ち、水素生産は実験開始後3日間から4日間で終了し、実験開始前の乾燥重量226gから88.2gと61%減少した。減少した固形物がデンプンであると仮定したときの推定発生ガス量は68.8Lと計算されたが、実測値は63Lと推定値とほぼ同様の値であった。また、このときの発生ガス中の水素組成が52%であったことから水素ガスを32.7L生産できると計算された。一方、メタン発酵実験の結果である図4からは、実廃棄物においても模擬廃棄物の場合と同様、反応の進行は緩慢であり、14日後においても反応の進行が観察された。336時間後の発生ガス量は31Lであり、水素生産後の残渣からは124Lのガスが生産できるものと計

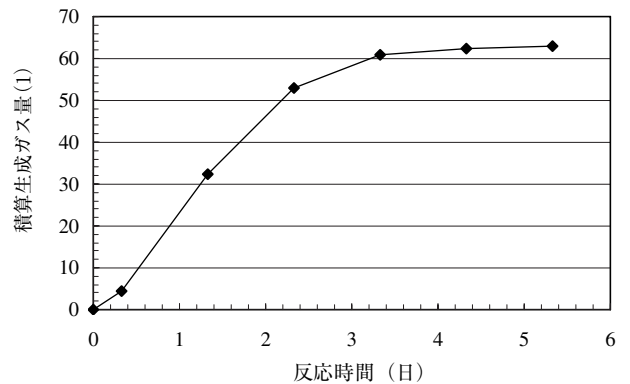


図3 模擬廃棄物を用いる水素生産実験

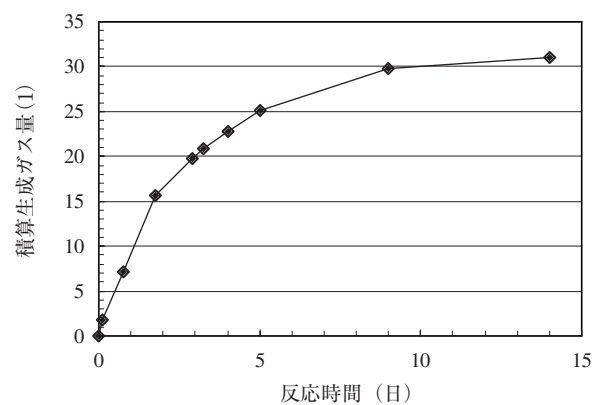


図4 水素発酵残渣のメタン処理

算された。また、このときの生成ガスのメタンガス組成が62%であったことから、実廃棄物の水素生産残渣のメタン発酵処理によって、76.8Lのメタンガスを生産できることが判明した。メタン発酵処理前後の乾燥固形物は87.0g/Lから53.6g/Lと、メタン発酵処理により廃棄物量が約38%減少することが確認された。

以上、メタン発酵処理期間を短縮するなど種々改良点はあるものの、水素・メタン2段階発酵処理は、食品廃棄物等を減容しつつ、クリーンエネルギーガスである水素ガス及びエネルギーガスであるメタンガスを回収でき、廃棄物の再資源化を図るうえで有力な手段の一つになりうることが示された。

参考文献

1. バイオマス・ニッポン総合戦略 HP : <http://www.maff.go.jp/biomass/index.htm>
2. 板谷 勉, 山本 淳, 小野 質, 北村雅美, 斎藤直己, 杉本盛正: バイオ技術による廃棄物の再資源化に関する研究—光合成細菌の応用—, 岡山県環境保健センター年報, 28, 17-21, 2004

3. 板谷 勉, 斎藤直己: バイオ技術による廃棄物の再資源化に関する研究—水素生産菌の分離とその性質及び廃棄物処理への応用—, 岡山県環境保健センター年報, 30, 31-37, 2006
4. 片岡直明, 菖蒲昌平, 宮晶子, 米山豊, 渡辺昭, 第17回廃棄物学会研究発表会論文集, 369-371, 2006
5. 江口芳夫, 梨田実, 下原悦子, 石川精一, 門上希和夫, 第17回廃棄物学会研究発表会論文集, 495-497, 2006