

【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

- 光合成細菌の応用 -

板谷 勉, 山本 淳, 小野 質, 北村雅美, 斎藤直己, 杉本盛正* (水質第一科)

*岡山県生活環境部廃棄物対策課

要 旨

岡山県内で排出される有機性廃棄物である, 一般家庭厨房食品残渣, スーパーマーケット食品残渣, 畜産廃棄物である牛糞および豚糞, それに下水処理施設からの脱水ケーキを材料として, 光合成細菌を用いて水素生産実験を実施した。その結果, 本実験条件下では, 厨房食品残渣, スーパーマーケット食品残渣からは比較的多量の水素ガスの生成が確認されたが, 畜産廃棄物, 下水処理施設脱水ケーキからは十分な水素ガス生成は認められなかった。また, 光合成細菌適用実験中, 光照射なしでの水素生成が確認された。このことから, 本実験系に光合成細菌以外の水素ガス生成菌の存在が示唆された。

[キーワード : 水素生産, 有機性廃棄物, 再資源化]

1 はじめに

わが国では, 1年間に一般廃棄物が5千万トン, 産業廃棄物が4億トン排出される。このうちバイオマス系廃棄物は畜産廃棄物が1億トン, 污泥が1億トン, 生ごみを含む食品関連廃棄物が2,000万トン, 古紙や廃木材を含めた木質系廃棄物4,000万トン, 農業残渣2500万トン, 合計約2億8000万トン排出され, 全廃棄物の63%を占めている¹⁾。岡山県では食品関連(ホテル, レストラン, デパート, スーパー等を含む。)の事業系有機性廃棄物が, 年間約73,000トン排出され, 内リサイクルされている量は約2,000トン(発生量の2.6%)である。また, 厨芥ゴミの年間排出量は約14万トンと推定され, そのほとんどは焼却・埋立処分されているのが現状である²⁾。一方, わが国は, 京都議定書の締結により, 2008年から2012年までに温室効果ガスを1990年比6%削減が義務づけられている。しかし, 温室効果ガスの2000年時点での排出量は1990年比8%の増加となっており, 14%以上を削減しなければならず, 着手可能な温暖化対策から早急に取り組んでいかなければならない状況にある。

平成13年以来, わが国は持続的に発展可能な社会形成のための法的整備や政策を進めて来ており, 特に, 平成14年12月に閣議決定された「バイオマス・ニッポ

ン総合戦略」は, 二酸化炭素の排出源である化石資源由来のエネルギーや製品を, カーボンニュートラルという特性を持つバイオマスで代替することにより, 二酸化炭素の発生を抑制し, 地球温暖化の防止に貢献しようとするものである。具体的には, バイオマスを原料とするメタン発酵, ガス化, エタノール生産, 生分解性プラスチックの生産等工業原料の生産等であるが, ここで重要なことはバイオマスエネルギーが新エネルギーとして初めて法的に位置づけられたことにある。当該課題は国の施策として重要であると同時に, 地域として取り組むべき重要な課題でもあるといえる。

そこで, われわれは地球温暖化防止という視点に立ち有機性廃棄物からのバイオマスエネルギーの一つである水素ガス生産の検討に平成15年度から着手した。初年度は, 各種有機性廃棄物を用いて水素発生実験を行い, 適用可能な廃棄物の大まかな選定を行うとともに, 水素ガス生産への光合成細菌の利用について検討した。

2 材料および方法

2.1 材料

岡山県内で排出される廃棄物のうち次の4種を材料とした。一般家庭厨房食品残渣, スーパーマー

ケット食品残渣、畜産廃棄物である牛糞および豚糞、下水処理施設から排出される脱水ケーキである。厨房食品残渣およびスーパーマーケット食品残渣は蒸留水を加えて水分調整し、ワーリングブレンダー（日本精機製）で3分間破碎処理したのち実験に供した。実験時の固形物量が湿重量約260gとなるよう調整した。その際の固形物組成は湿重量換算で、厨房食品残渣の場合、残飯約85%、その他野菜屑等約15%、スーパーマーケット食品残渣の場合、残飯・麺類等約33.3%、果物屑約44.4%、野菜屑約22.2%であった。牛糞（尿、洗液を含む）および豚糞（尿、洗液を含む）はいずれも採取試料をそのまま使用した。使用量はいずれも湿重量400gであった。下水汚泥脱水ケーキは湿重量300gを使用した。各材料に炭水化物糖化のために別にデンプンで馴養した活性汚泥混合液200ml、光合成細菌培養液（ブランク実験では蒸留水）400mlを加え最終液量1000mlとしガス生成実験に供した。

2.2 供試菌株と培養条件

光合成細菌添加実験では当センター分離株を、 NH_4Cl 1.0g, NaHCO_3 1.0g, K_2HPO_4 0.2g, CH_3COONa

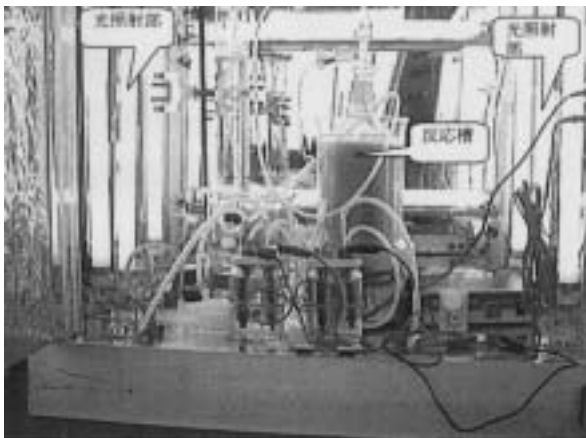


図1 ガス発生装置

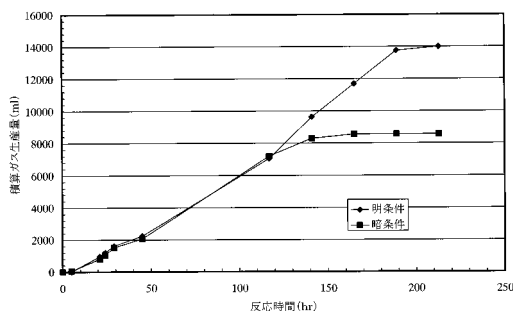


図2 厨房廃棄物を用いたバイオガス生産

5.0g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2g, ペプトン 0.1g, 酵母エキス 0.1g, NaCl 1.0g, $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 5.0mg, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.05mg, H_3BO_3 1.0mg, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.05mg, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.0mg, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 蒸留水1000ml, pH 7.0の培養液中で30-3日間、嫌気明条件下で培養し、その培養液を用いた。

2.3 ガス発生装置

ガス生成実験は図-1に示す装置を用い、発生したガスの組成をガスクロマトグラフィーにより分析した。

3 結果および考察

3.1 厨房食品残渣からの水素生産

一般家庭の厨房食品残渣を材料とした場合の本実験条件下でのバイオガス発生状況を図2に、生成ガスの組成分析結果を表1に示した。光照射（以後明条件という。）条件下でのバイオガス生成量は14,000mlであった。一方、光照射を行わない暗条件下でも8,500mlのバイオガス発生が認められた。また、暗条件実験開始170時間（約7日）後に明条件にしてもガス生

表1 厨房残渣から生成する主なバイオガスの組成

成分名	濃度 (%)	
	明条件	暗条件
H_2	45.6	25.8
O_2	0	0
N_2	0	0
CH_4	0	0
CO	0	0
CO_2	49.9	69.3
C_2H_4	0	0
C_2H_6	0	0
C_3H_8	0	0
C_3H_6	0	0
i-C ₄ H ₁₀	0	0
n-C ₄ H ₁₀	0	0
1-C ₄ H ₈	0	0
i-C ₄ H ₈	0	0
t-2-C ₄ H ₈	0	0
i-C ₅ H ₁₂	0	0
C-2-C ₄ H ₈	0	0
N-C ₅ H ₁₂	0	0
C_6+	0	0
H_2S^*	(23ppm)	(25ppm)
NH_3	0	0
その他	4.42	4.15
合計	100	100

* : ガス検知管での簡易測定値

成量はかわらなかった。この時の主たる生成ガスは、明条件の場合、水素と二酸化炭素であり、両者で全ガスの95%以上を占めた。また、水素と二酸化炭素の割合は約1：1の関係であった。一方、暗条件の場合には、主たる生成ガスは水素と二酸化炭素で明条件の場合と同様であるものの、その割合は1：2.7と二酸化炭素の割合が高く、水素生産という目的からすると不利な結果となった。

暗条件下でのバイオガス発生の結果は、デンプン馴養活性汚泥無添加の実験条件下では厨房食品残渣からのバイオガス発生がほとんど認められなかった予備実験結果と合わせ、デンプン馴養汚泥中にガス生成菌が存在し、作用していることを推定させた。本実験条件下では、暗条件下でのガス生成量が明条件下でのガス生成量より少なかったものの、光の照射なしに8,500mlものガス生成が認められたことから、実際の現場では暗条件下での水素ガス生産も考えられる。光合成細菌を現場で使用すると、反応槽を光透過性のものにしないといけないとか、光を照射するためには反応槽を地中に埋設することができない等々多くの制約を克服しなければならない。また、暗条件下での光合成細菌の水素吸収反応が報告されている³⁾ため、曇天時や夜間の照明施設が必要となってくる。有機性廃棄物から水素ガス生産を行う場合には、光合成細菌を用いて光照射条件下で水素ガス生産を行うのか、光合成細菌を使用せず、暗条件下で水素ガス生産を行うのかについてはあらゆることを総合的に判断して決定する必要があると考えられた。

3.2 スーパーマーケット食品残渣からの水素生産

スーパーマーケットの食品残渣を材料とした場合のバイオガス生成実験の結果と生成ガスの組成分析を図

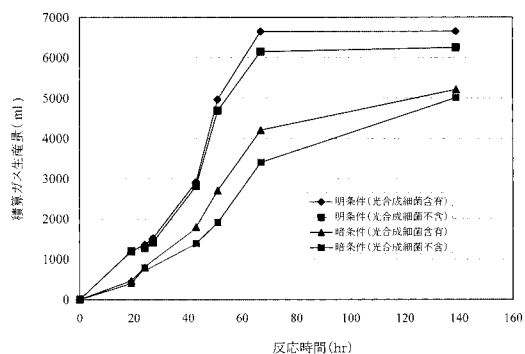


図3 スーパー食品廃棄物を用いたバイオガス生産

3および表2に示した。

実験開始67時間まではバイオガス生成量に差が認められたものの、139時間(約6日)後のガス生成量は、光合成細菌の有無、光照射の有無に関係なく、5,010mlから6,650mlと比較的類似した値を示した。

しかし、生成ガス量は厨房食品残渣の場合の14,000mlと比べて少なかった。そこで、炭水化物が主成分の対残飯当たりの生成ガス量の比較を行ったところ、対100g当たりの生成ガス量は、厨房およびスーパーマーケットでそれぞれ630mlおよび620mlと差は認められなかった。したがって、本実験条件下では廃棄物中の炭水化物量が生成ガス量を規定している大きな要因であると推定された。炭水化物糖化のためにデンプン馴養活性汚泥を添加した本実験条件下では馴養活性汚泥中に存在するガス生成菌が優先し、光合成細菌は水素ガス生産において大きな役割を果たしていないものと推定された。

スーパーマーケット食品残渣から生成するバイオガスの組成は、厨房食品残渣の場合と同様主たるガスは

表2 スーパーマーケット食品残渣から生成する主なバイオガスの組成

成分名	濃度 (%)		
	明条件*	暗条件*	暗条件**
H ₂	36.3	32.08	25.65
O ₂	0	0	0
N ₂	6.52	14.02	6.19
CH ₄	0	0	0
CO	0	0	0
CO ₂	55.56	51.04	67.3
C ₂ H ₄	0	0	0
C ₂ H ₆	0	0	0
C ₃ H ₈	0	0	0
C ₃ H ₆	0	0	0
i-C ₄ H ₁₀	0	0	0
n-C ₄ H ₁₀	0	0	0
1-C ₄ H ₈	0	0	0
i-C ₄ H ₈	0	0	0
t-2-C ₄ H ₈	0	0	0
i-C ₅ H ₁₂	0	0	0
C-2-C ₄ H ₈	0	0	0
N-C ₅ H ₁₂	0	0	0
C ₆ +	0	0	0
NH ₃	0	0	0
その他	1.62	2.84	0.85
合計	100	100	100

* : 光合成細菌を含有したときに生成したバイオガス

** : 光合成細菌含まないときに生成したバイオガス

水素と二酸化炭素であった。また、水素と二酸化炭素の割合は明条件、暗条件の区別なくそれぞれ1 : 1.53および1 : 1.59とほぼ同様の値であった。光合成細菌を使用しないでかつ明条件下で生成してくるガスにおいてもその主たるガスは水素と二酸化炭素で光合成細菌を使用した場合と同様であった。その割合は1 : 2.62と二酸化炭素の割合が多く水素生産の目的からすると不利な結果であった。しかしながら、厨房食品残渣からの水素生産の項で述べたように、明条件でガス生産を実際の現場で行うためには反応槽を光透過性のものにしないか、光を照射するためには反応槽を地中に埋設することができない等々多くの制約を克服しなければならない。これらのことを考えれば、暗条件で効率の良い水素生産が可能であれば検討の価値は高いと考えられた。

3.3 畜産廃棄物からの水素生産

畜産廃棄物として牛糞および豚糞を材料としてバイオガス生産実験を行った結果を図-4に示し、生成ガスの組成分析結果を表3に示した。両者のガス生成量は厨房食品残渣やスーパーマーケット食品残渣の場合と比べて顕著に低い値であった。ガス生成反応は実験

表3 畜産廃棄物から生成する主なバイオガス*の組成

成分名	濃度 (%)	
	牛糞	豚糞
H ₂	0	0.21
O ₂	0	0
N ₂	20.61	11.46
CH ₄	63.84	1.79
CO	0	0
CO ₂	11.19	86.00
C ₂ H ₄	0	0
C ₂ H ₆	0	0
C ₃ H ₈	0	0
C ₃ H ₆	0	0
i-C ₄ H ₁₀	0	0
n-C ₄ H ₁₀	0	0
1-C ₄ H ₈	0	0
i-C ₄ H ₈	0	0
t-2-C ₄ H ₈	0	0
i-C ₅ H ₁₂	0	0
C-2-C ₄ H ₈	0	0
N-C ₅ H ₁₂	0	0
C ₆ +	0	0
NH ₄	0	0
その他	4.36	0.54
合計	100	100

* : いずれも明条件下で生成したガスの組成

開始80時間(約3日)後には終了した。

したがって、本実験条件は牛糞および豚糞からのバイオガス生産には適していないことが明らかとなった。さらに、このときの生成ガスの組成分析結果を示した表-3から、牛糞から生成したガスの約64%がメタンガスであった。このことは、牛糞の場合実験開始時にすでにメタン生成菌が優先しており、光合成細菌および馴養活性汚泥の系は作用していないと考えられた。一方、豚糞の場合には生成ガスのほとんどはCO₂であった。これらのことから畜産廃棄物の場合は厨房食品残渣およびスーパーマーケット食品残渣の場合と異なり本実験条件の適用は好ましくなく、むしろメタン発酵等別の方法を考える必要があると思われる。

3.4 下水処理施設余剰汚泥(脱水ケーキ)からの水素生産

既設下水処理施設の脱水ケーキからのバイオガス生成の状況を図5に示した。本条件下では脱水ケーキからのガス生成はほとんど認められなかった。

4 まとめ

今年度は有機性廃棄物からデンブン馴養活性汚泥と光合成細菌混合系での水素生産を試みた。その結果、厨房食品残渣およびスーパーマーケット食品残渣については水素ガス生産が可能であることが明らかとなった。有機物からのバイオガス生成は用いる混合微生物系によってその生成ガスが左右されるが今回用いた混合微生物系は、主として炭水化物の糖化と、それに続くガス化微生物から構成されていると考えられ、炭水化物含有量の多い厨房食品残渣およびスーパーマーケット食品残渣からは比較的良好なガス生成が認められたと考えられる。

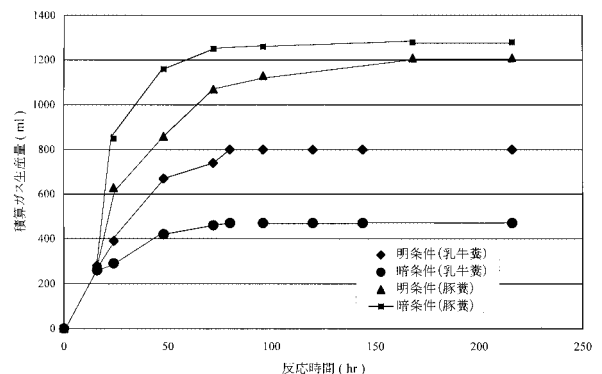


図4 畜産廃棄物を用いたバイオガス生産

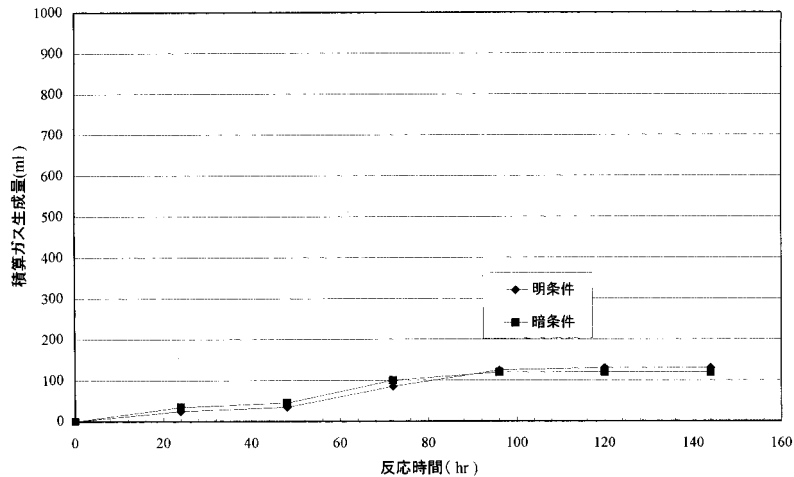


図5 下水処理施設余剰汚泥（脱水ケーキ）からのバイオガス生産

実際に光合成細菌を水素ガス生産に応用するには、施設の構造、曇天時の対策、夜間の照明対策が適切である等多くの課題をクリアしなければならぬが、今回の実験では明条件下での水素ガス生成と共に暗条件下での水素生成が認められた。これは、炭水化物の糖化のために添加した活性汚泥中に水素生産菌が存在することを強く示唆している。

活性汚泥は他種類の細菌が高濃度に混在した状態であるが、本来廃棄物中には活性汚泥中のように高濃度の微生物は存在しない。活性汚泥中には有用な細菌、ここでは水素生産に対して有用な細菌と共に水素生産にとって好ましくない細菌も多数存在すると考えられる。したがって今回用いた馴養汚泥中から水素生成に関与する細菌としてデンプン糖化能の高い細菌や水素ガス生成菌等が分離できれば厨房食品残渣やスーパーマーケット食品残渣等炭水化物含有有機性廃棄物からの水素ガス生成は更に効率を上げることが可能と考えられる。

畜産廃棄物および下水処理施設余剰汚泥からは顕著な水素ガス生産は起こらなかったが、畜産廃棄物である牛糞からは発生ガス量は少ないものの高濃度にメタンガスが回収された。したがって、メタン発酵処理の

適用が有効であると考えられた。

謝 辞

実験実施に際し生成ガスの組成分析において岡山ガス株式会社築港工場にご協力いただきました。記して謝意を表します。

文 献

- 1) 廃棄物学会バイオマス系廃棄物研究部会編，藤本 潔，バイオマス・ニッポン総合戦略の推進について：バイオマス・ニッポンを廃棄物学で切る，3 - 18，廃棄物学会，東京，2003年10月
- 2) 岡山県廃棄物新処理技術検討委員会編：「生ごみ等バイオマスの発酵等に係る新処理技術調査報告書」，3，平成14年3月
- 3) 北島洋二，後藤雅史，上野嘉之，大塚誠治：環境調和型水素製造技術（その2） 光合成水素生産におけるバイオエンジニアリング手法を用いた新理論解析，鹿島技術研究所年報，46号，195 - 202，(1998)