

有機性廃棄物の水素発酵技術

○渡邊久典、福井博（神奈川県環境科学センター）
吉野秀吉（前神奈川県県央地域県政総合センター）

1 はじめに

循環型社会形成推進基本法が成立して以来、食品残さなどの有機性廃棄物の資源化が試みられており、堆肥化や飼料化が主として行われている。しかし、堆肥や飼料の需要が限られていることなどから、有機性廃棄物全てをこれらの手法でリサイクルすることは出来ず、新たなリサイクル用途が求められている。とくに神奈川県内では、小麦製粉事業で発生する小麦フスマや外食産業から排出される食品残さのリサイクルが発生量の大きさを考えると切実な問題となっている。

一方、近年、地球温暖化の進行が顕著になり、異常気象など私たちの生活への影響が懸念されている。この地球温暖化は、化石燃料の消費が主な原因と言われており、化石燃料の代替エネルギーとして、水素が燃料電池との関連から有望視されている。水素の生産手法としては、水の電気分解やメタンガスの改質などもあるが、有機性廃棄物等のバイオマスから直接水素を生産する水素発酵技術が環境に優しい手法として近年注目を集めている。

この水素発酵は、植種源、基質の種類、pH 及び発酵温度に大きく左右される。よって本研究では、水素発酵に適した植種源及びその植種源中の水素生成菌を調査し、この菌を用いて神奈川で多く排出される小麦フスマや米飯、紙ごみを想定したセルロースを用いて水素発酵した場合の最適条件となる初期 pH 及び発酵温度について知見を得ることを目的とした。

2 実験方法

2.1 植種源ごとの水素ガス量の比較及び水素生成菌の単離・観察

水素生成菌は嫌気的環境で生息するものが多いため、そのような菌が生息していると思われる下水汚泥や県内の産業廃棄物最終処分場浸出水（以下「浸出水」という。）、小麦フスマの洗液などを植種源として回分発酵し、水素生成の有無及び水素ガス量を確認した。また、水素生成が確認されている（独）国立環境研究所から入手した種汚泥（以下「国環研種汚泥」という。）を使用して同様の試験を行った。

実験装置を図 1 に示す。実験装置は、発酵槽（硬質ガラス製、内容積 1.25L）、恒温水槽、ガス捕集装置及び攪拌装置で構成されている。こ

の発酵槽に表 1 で示された組成の培地 1L と植種源 10ml を入れて 35℃ で一週間発酵させ、発生ガス組成及び発生ガス量を分析・測定した。発生ガス組成についてはガス採取口からマイクロシリンジで引き抜いて TCD 検出器付きガスクロマトグラフで分析し、発生ガス量はガス捕集装置を用いて水上置換法により測定し、標準状態に換算した。また水素生成が確認された植種源のうち、浸出水から単離した水素生成菌と国環研種汚泥から単離した水素生成菌については顕微鏡観察を行い、後者については 16S rDNA 遺伝子解析による微生物の同定を行った。

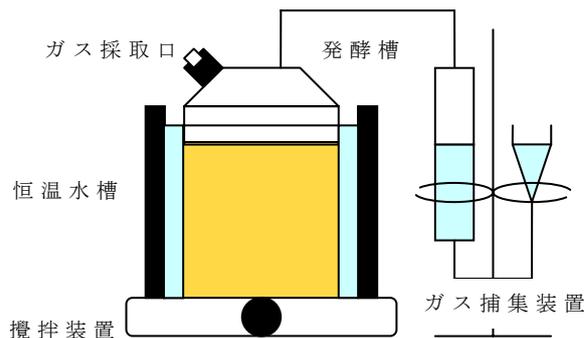


図 1 発酵装置及びガス捕集装置

表 1 培地組成及び濃度

培地組成	濃度
グルコース	1.8g/L
ペプトン	2g/L
酵母抽出物	1g/L
NaHPO ₄	0.2g/L
NaCl	1g/L
イオン交換水	1 L

2.2 バイオマスを基質とする回分発酵試験(初期 pH 及び発酵温度の影響)

実験は、基質として小麦フスマ、米飯及びセルロースを用いた回分発酵試験とした。また実験装置は 2.1 と同じく図 1 に示すものを用いた。実験方法としては、基質を 5g、種汚泥として国環研種汚泥を 10g (小麦フスマの場合は入れない) 及びイオン交換水 1 L を発酵槽に入れ、初期 pH を 4, 5, 6, 7、発酵温度を 25℃, 35℃, 45℃ と段階的に設定して恒温水槽内で一定温度に維持しながら一週間発酵を行った。発酵期間中の発生ガス分析及び発生ガス量測定は 2.1 と同様に行った。なお、小麦フスマについては 2.1 の試験結果から水素生成菌が自生していることが明らかとなったため、植菌せずに回分発酵した。

3 実験結果及び考察

3.1 植種源ごとの水素ガス量の比較及び水素生成菌の単離・観察

下水汚泥、浸出水、小麦フスマの洗液すべてから水素生成可能な菌叢が見いだされた。見いだされた菌叢のうち、浸出水から単離した水素生成菌の走査型電子顕微鏡写真を写真 1 に示す。また、水素生成可能な植種源をそれぞれ用いて回分発酵し

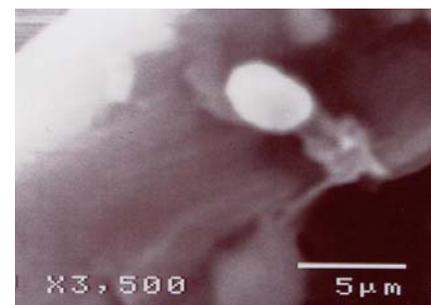


写真 1 浸出水から単離した水素生成菌の電子顕微鏡写真

水素ガス量を比較したところ、国環研種汚泥を植種源としたときに水素ガス量が最大(182ml)となり、また、見いだされた菌叢の中では小麦フスマの洗液を植種源としたときに水素ガス量が最大(64ml)となることが分かった(図2)。国環研種汚泥中の水素生成菌を単離し、顕微鏡観察及び16S rDNA遺伝子解析による微生物の同定を行ったところ、写真2に示すように、耐熱性の芽胞を形成することや *Bacillus* 属(納豆菌と同属)であることが分かった。

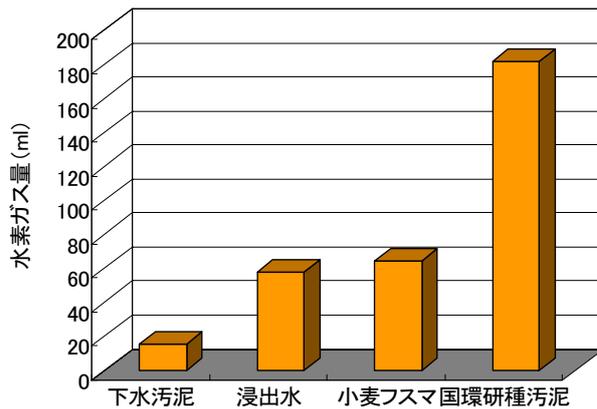


図2 植種源毎の水素ガス量

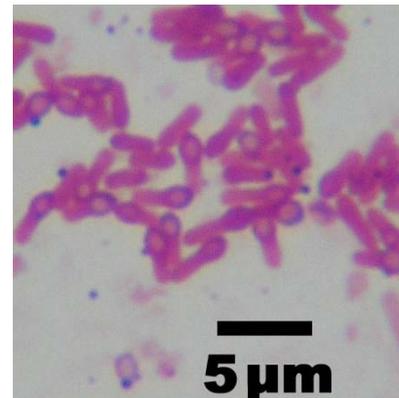


写真2 国環研種汚泥から単離した水素生成菌の顕微鏡写真

3.2 バイオマスを基質とする回分発酵試験(初期 pH 及び発酵温度の影響)

3.2.1 小麦フスマを基質とした場合

小麦フスマを基質とした場合、初期 pH6 及び 25°C の時に最大の水素ガス量(76ml/g-dry)を発生することが明らかとなった(図3)。すでにフスマには水

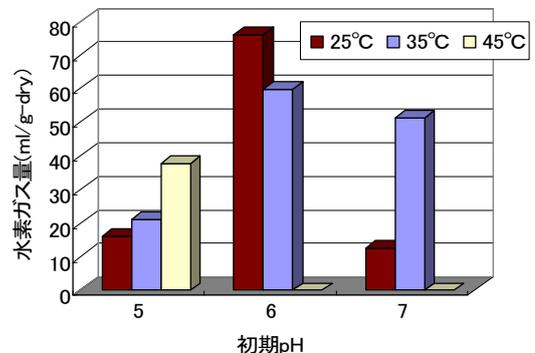


図3 小麦フスマを基質としたときの水素ガス量

素生成菌が自生していることが分かっているため、新たに植菌する必要が無く、また発酵温度及び pH の調整のみで相当量の水素ガスを生産できる可能性があると考えられた。

3.2.2 米飯を基質とした場合

米飯を基質とした場合、初期 pH5 及び 45°C の時に最大の水素ガス量(645ml/g-dry)を発生することが明らかとなった(図4)。また全体的な傾向として、発酵温度の上昇とともに水素ガス量の増加が確認された。

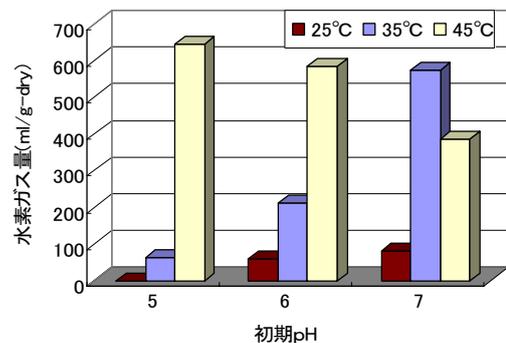


図4 米飯を基質としたときの水素ガス量

3.2.3 セルロースを基質とした場合

セルロースを基質とした場合、初期 pH6 及び 25℃ の時に最大の水素ガス量 (17ml/g-dry) を発生することが明らかとなった (図 5)。しかし小麦フスマや米飯と比較して水素ガス量は少なかった。よってセルロースで構成される紙ごみは水素発酵にはあまり適さないことが分かった。

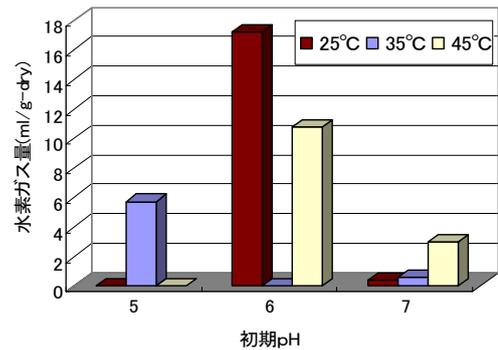


図 5 セルロースを基質としたときの水素ガス量

3.2.4 バイオマス種類ごとの有機物含有量当たりの水素ガス量の比較

水素生成菌は有機物を分解して水素を発生させることから、有機物含有量 (VS) 当たりの水素ガス量の最大値をバイオマスの種類別に比較した。これより、小麦フスマを基質とした場合の水素ガス量は 87.6ml/g-VS となることが明らかとなった (図 6)。この値は米飯の場合と比較して約 1/7 であった。

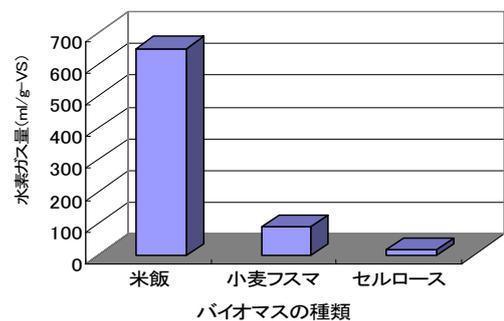


図 6 種々のバイオマスを基質としたときの水素ガス量 (最大値)

4 まとめ

水素発酵に適した植種源、基質種類、初期 pH 及び発酵温度を調べた結果、以下の (1)～(3) の知見を得た。

- (1) 下水汚泥等を植種源として水素生成可能な菌叢を 3 種見だし、この中では小麦フスマの洗液を植種源としたときに最も水素ガス量が多かった。
- (2) 今回の実験では、多量に排出されている廃棄物の米飯、小麦フスマ、セルロースを基質として水素発酵を行ったが、米飯を基質としたときに水素生成量が最も多く、また、小麦フスマも米飯の 1/7 程度ではあるが水素生産の基質となる可能性が認められた。特に小麦フスマは、自生菌を利用して水素を発生させることができることが分かり、水素発酵の基質としての有利性が確認された。セルロースについては、水素生産が低く、基質には適さないことが分かった。
- (3) 温度、pH については、基質により差は見られるが、比較的調整が容易な範囲で水素発酵が可能であることが分かった。

今後、小麦フスマを基質とした水素発酵での水素生成量を増大させるための条件等について検討を行うとともに、エネルギー回収量を増大させるため、水素発酵後の発酵残渣を用いたメタン発酵を含めた水素・メタン二段発酵プロセスを構築して、発酵条件等を検討する予定である。