

# 嫌気性細菌による食品加工廃棄物からの水素生成

水野修<sup>1</sup>・大原健史<sup>2</sup>・野池達也<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東北大学助手 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻  
(〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉)

<sup>2</sup>東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

<sup>3</sup>フェロー 工博 東北大学教授 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

豆腐製造工程で排出される残渣「おから」を基質とし、嫌気性細菌によるおからの分解に伴う水素生成を、35℃における回分実験により研究した。固形物濃度を2.3-9.2%の範囲で変化させて、累積水素生成量および水素生成活性に及ぼす固形物濃度の影響およびおからの分解特性を検討した。

最大累積水素生成量は $0.020\text{m}^3 \cdot \text{kg VS}^{-1}$  (固形物濃度6.4%)、累積生成ガスの54-78%は水素であり、累積水素生成量は固形物濃度による大きな影響を受けなかった。水素生成は、おからより溶出した溶解性糖濃度の低下に伴って起こり、主な代謝産物は酢酸、プロピオン酸、*n*-酪酸およびエタノールであった。

**Key Words :** anaerobic bacteria, hydrogen production, food processing waste, metabolites, solid concentration, soluble sugars

## 1. 緒論

近年、化石燃料の枯渇や地球温暖化への対策として、新しいエネルギーの開発が必要とされているが、水素は燃焼に際して二酸化炭素を排出しないため、クリーンエネルギーとして注目されている<sup>1)</sup>。水素の貯蔵技術として、金属水素化合物および燃料電池の開発が進み、エネルギーとしての水素の利用が実現しつつある<sup>2)</sup>。このような水素利用技術の進歩に伴い、より経済的な水素供給システムを確立することが将来の課題になると考えられる。嫌気性消化プロセスの最終生産物であるメタンを燃料電池で利用するためには、改質器によりメタンを水素に変換する必要があるが、このときにエネルギー損失の起こる可能性が懸念される。このため、水素を直接生産することが高効率化を図る上で有利であると考えられる。

水素の主な生成方法としては、水の電気分解が知られているが、微生物の代謝過程から水素を回収することも可能である。代謝過程において水素を生成する微生物は、藻類、糸状菌、嫌気性光合成細菌<sup>3)</sup> および嫌気性非光合成細菌である。この中で、*Clostridium* sp. などの嫌気性非光合成細菌は増殖に光を必要としないため、水素の連続生産が行えるという利点を持っている。田口と長谷川<sup>4)</sup>は水素エネルギー回収型廃棄物処

理技術の中心的役割を担う水素生成細菌の探索を行い、シロアリの腸内から分離した *Clostridium beijerinckii* AM21B の水素生成能および基質利用特性を検討している。また、Yokoiら<sup>5)</sup>は、土壌から分離した通性嫌気性細菌である *Enterobacter aerogen* strain HO-39の水素生成特性を把握するために、回分および連続実験を行っている。

純粋培養細菌に関する研究が進む一方で、嫌気性処理プロセスからの水素の生成および回収に関する研究も進められている。松井ら<sup>6)</sup>は、テフロン膜を用いた装置による水素回収の可能性を検討している。神戸らは、グルコース分解からの水素生成に及ぼす汚泥滞留時間<sup>7)</sup> および温度<sup>8)</sup> の影響を報告している。小木曾らは、消化汚泥から分離した嫌気性細菌を用いてグルコース分解からの水素回収に及ぼすpH<sup>9)</sup> およびグルコース濃度<sup>10)</sup> の影響を検討している。また、沈ら<sup>11)</sup>は、スクロース分解からの水素生成を検討している。Uenoら<sup>12)</sup>は、嫌気性消化汚泥および汚泥コンポストから分離した嫌気性細菌群を用いてセルロースからの水素生成を検討した結果、汚泥コンポストから分離した微生物群では、生成ガス中の水素の割合が58%に達したがメタンは検出されなかったことを報告している。

最近では都市から排出される下水汚泥および有機性

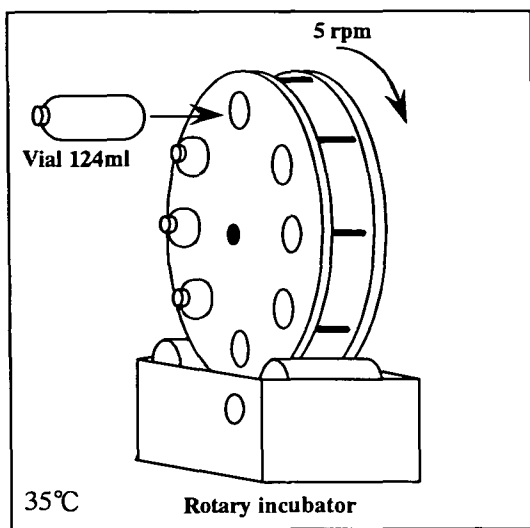


Fig. 1 Experimental apparatus.

固形産業廃棄物の処理が問題となっているが、有機性固形廃棄物からの水素回収に関する研究は未だ行われていない。大量に排出される有機性固形廃棄物から水素を回収することが可能になれば、エネルギー回収の面において有効であると考えられる。

豆腐製造工程から排出される「おから」は、有機性固形廃棄物のひとつである。大豆の摩砕物であるおからは、乾燥基準で炭水化物51.3%、蛋白質25.4%、脂質19.0%および灰分4.3%を含有しており、室山らはメタン発酵の可能性を検討している<sup>13)</sup>。おからは、従来からその一部が食用および家畜用飼料として利用されてきたが、水分を80%以上含むため、飼料用に乾燥させるには多大なエネルギーを必要とする。酵素処理によりその一部が食品材料として利用されたり、コンポスト化が試みられているが、資源としてのおからの利用は十分には行われていないのが現状である<sup>14)</sup>。

本研究では、おからを基質とし、水素爆発を起こした大豆サイロから採取した水素生成汚泥を用いて、水素生成活性および累積水素生成量に及ぼす固形物濃度の影響を明らかにし、水素を回収することを目的としている。さらに、おからが水素発酵によって分解される場合の分解特性に関して検討した。

## 2. 実験材料および実験方法

### (1) 接種汚泥の馴養

実験に用いた水素生成汚泥<sup>15)</sup>は、水素爆発を起こ

した大豆サイロから採取したものである。採取した水素生成汚泥はケモスタット型反応槽に接種し、スクロース(20000mgCOD・l<sup>-1</sup>)を炭素源とする人工基質を用いて35℃、HRT10時間の条件で約1年間連続培養した。生成ガス中の水素濃度は35-40%であり、残りは二酸化炭素であった。培養期間を通してメタンは検出されておらず、生成した水素はメタン生成細菌に消費されなかった。水素生成汚泥の微生物叢は、*Clostridium* sp.が優占種となっている。反応槽のpHは5.0±0.3、液相における主な代謝産物は、酢酸、プロピオン酸、 $\alpha$ -酪酸、エタノールおよび2-プロパノールである。MLVSS濃度は、1380mg・l<sup>-1</sup>であった。

### (2) おからの性状

実験に用いたおからの含水率は77%、全固形物23(wt%)、揮発性固形物(volatile solids: VS)21(wt%)、灰分2(wt%)であった。

### (3) 回分実験

実験装置の概略をFig. 1に示す。水素生成汚泥10ml、基質(おから湿重量)10g、培地5mlを容量約124mlバイアルに注入し、滅菌した蒸留水で固形物濃度(wt%)を調整した。固形物濃度は、2.3-9.2%の範囲で変化させた。培地は、Owenら<sup>16)</sup>の用いた培地のNa<sub>2</sub>S・9H<sub>2</sub>O濃度を250mg・l<sup>-1</sup>に変更して使用した。バイアルは、基質、培地、水素生成汚泥を嫌氣的に注入した後にプチルゴム栓およびアルミシールキャップで密栓した。バイアル気相部は、還元銅カラムを用いて酸素を除去した窒素ガスで置換した。バイアルは、恒温槽内に設置したロータリー型培養装置を用いて、35℃、5.0rpmの条件で培養し、全ガスおよび水素生成量を測定した。また、おからの分解特性を把握するために、固形物濃度6.1%の条件では別に実験を行い、液相の溶解性糖濃度、代謝産物濃度の変化を測定した。

### (4) 分析方法

おからの全固形物量および含水率は、105℃でおからを24時間乾燥させた前後の重量差から算出した。揮発性固形物量は、乾燥後のおからを600℃で1時間燃焼する前後の重量差から求めた。ガス生成量はガラスシリンジによるガス平衡により測定し、標準状態(0℃, 1atm)に換算した。生成ガス中の水素の割合はTCD-ガスクロマトグラフ(1.5mステンレスカラム、活性炭担体、試料導入部温度140℃、カラム温度120℃、窒素キャリアガス1.4kgf/cm<sup>2</sup>)で定量した。試料はプラスチックシリンジで引き抜いた。試料中の不溶性物質は遠心分離(3500rpm, 15min)により除去し、上澄を分析に用いた。揮発性脂肪酸(C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub>)濃度は

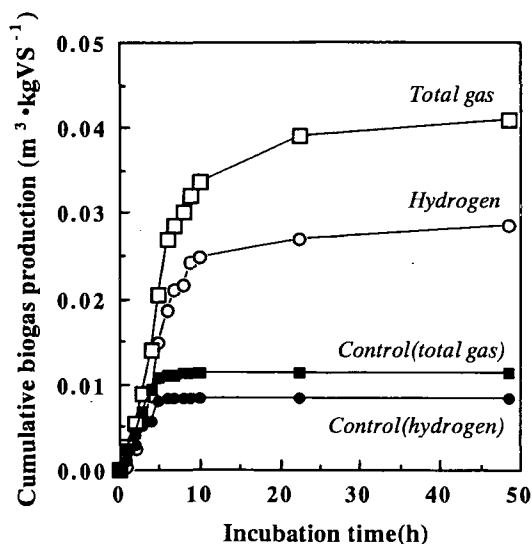


Fig. 2 Hydrogen production from food processing waste.

FID-ガスクロマトグラフ (Shimadzu GC-8A, 1.5m ガラスカラム, Greensorb 担体, 試料導入部温度190°C, カラム温度160°C, ヘリウムキャリアガス1.5kgf/cm<sup>2</sup>) により定量した. アルコール (C<sub>2</sub>-C<sub>5</sub>) 濃度はFID-ガスクロマトグラフ (Shimadzu GC-8A, 2.5m ガラスカラム, Gaskuropack 54 60/80担体, 試料導入部温度210°C, カラム温度180°C, ヘリウムキャリアガス 1.5kgf/cm<sup>2</sup>) により定量した. 溶解性糖の濃度は, グルコースを標準物質として, フェノール硫酸法<sup>17)</sup> で定量した.

### 3. 実験結果

#### (1) おからの分解からの水素生成特性

Fig. 2 に, おからの分解に伴う水素の生成特性(固形物濃度6.1%)を示す. 固形物濃度の変化に関わらず, 培養開始から約10時間で水素の生成は停止した. 遅滞期はほとんど見られず, 実験開始後2-4時間で水素の生成が始まった. 最終的に気相部の水素の割合は約40%まで上昇した. 生成ガスは水素と二酸化炭素から構成されており, メタンは検出されなかった. 全ガスの生成は培養後約24時間で停止した. このときに累積した全ガスおよび水素生成量をそれぞれ累積全ガス生成量 (cumulative total gas production), 累積水素生成量 (cumulative hydrogen production) とした. 別におからを除いた対照実験を行い, 水素生成汚泥その

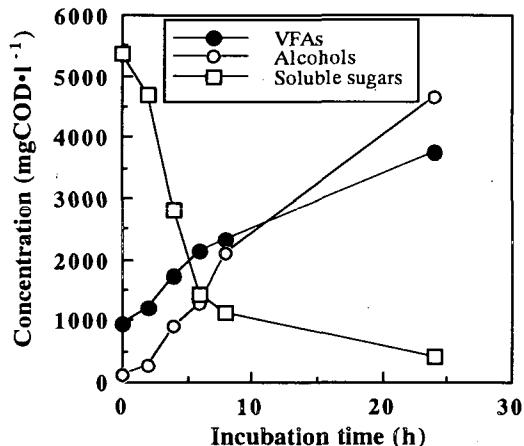
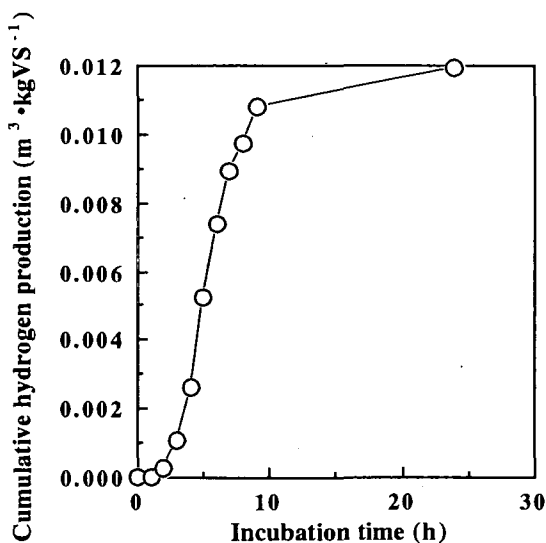


Fig. 3 Fermentation time course for food processing waste degradation.

ものから発生する全ガスおよび水素生成量を求めて補正を行った. また, 全ガスおよび水素生成活性は, 対数増殖期における累積全ガスおよび水素生成量の傾きから求めた.

#### (2) おからの分解特性

Fig. 3 に, 固形物濃度6.1%の条件におけるおからの分解特性を示す. 培養開始後, 2時間目以降に水素生成が始まった. 水素の生成に伴い, 液相部から代謝産物として揮発性脂肪酸およびアルコールが検出された. 実験開始直後の溶解性糖濃度は, グルコース換算で5360mgCOD·l<sup>-1</sup>であり, おからに含まれている溶解

**Table 1** Fermentation products produced from food processing waste at solid concentration of 6.1 %.

	Initial	Final
pH	6.3	4.9
Soluble sugars (mgCOD $\cdot$ l $^{-1}$ ) <sup>a</sup>	5360	405
VFA (mgCOD $\cdot$ l $^{-1}$ )		
acetate	326	1040
propionate	14.8	647
<i>i</i> -butyrate	247	181
<i>n</i> -butyrate	123	1470
<i>i</i> -valerate	105	173
<i>n</i> -valerate	107	230
total	922	3740
Alcohol (mgCOD $\cdot$ l $^{-1}$ )		
ethanol	ND <sup>b</sup>	4380
2-propanol	8.7	200
2-butanol	84.9	65.9
2,2-dimethyl-1-propanol	26.5	23.9
total	120	4670

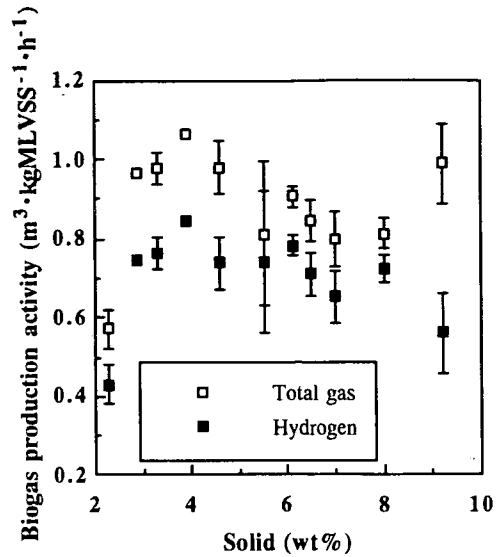
a: soluble sugars were calculated as glucose  
b: not detectable

性の糖が液相に溶出している。溶解性糖濃度は、実験開始直後から低下し、10時間で1100mgCOD $\cdot$ l $^{-1}$ 、24時間で405mgCOD $\cdot$ l $^{-1}$ まで低下した。溶解性糖の消費に伴って、水素、揮発性脂肪酸およびアルコールが生成した。液相を引き抜いて試料としているため、Fig. 2に比較すると累積水素生成量が低くなっている。

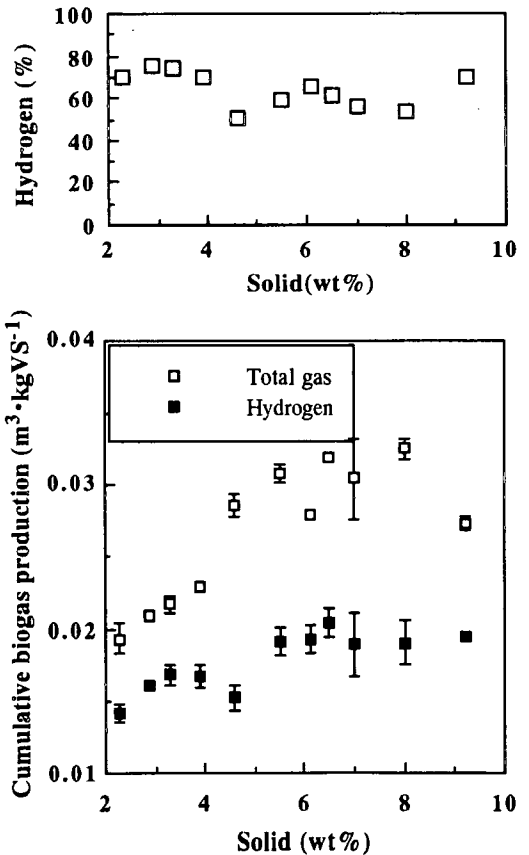
Table 1 に、培養前後の pH、糖、揮発性脂肪酸およびアルコール濃度を示す。実験開始直後の pH は 6.3 であるが、培養終了時点では 4.9 まで低下していた。揮発性脂肪酸では、酢酸、プロピオン酸、*i*-酪酸および *n*-酪酸が、アルコールでは、エタノール、2-プロパノール、2-ブタノールおよび 2,2-ジメチル-1-プロパノールが検出された。この中で、酢酸、プロピオン酸、*n*-酪酸およびエタノールが主な代謝産物であった。特にエタノールが大量に生成され、代謝産物の 52% (COD 換算) に達している。また、代謝産物の生成割合では、アルコールが揮発性脂肪酸を上回っている。

### (3) 水素および全ガス生成活性に及ぼす固形物濃度の影響

Fig. 4 に水素生成活性および全ガス生成活性に及ぼす固形物濃度の影響を示す。水素生成活性は、固形物濃度が 2.9-6.1% の範囲で高くなる傾向にあった。固形物濃度が 9.2% でも水素は生成するが、活性は低下した。また、2.3% の条件では活性が最も低くなった。全ガス生成活性でも同じような傾向が見られた。



**Fig. 4** Effect of solid concentration on biogas production activity.



**Fig. 5** Effect of solid concentration on cumulative biogas production.

Table 2 Hydrogen production by microorganism(s).

Substrate	Hydrogen production ( $m^3 \cdot kgCOD^{-1}$ )	Microorganism(s)	Reference
Cellulose <sup>a</sup>	0	<i>Enterobacter aerogens</i> strain HO-39	(5)
	0.11	Anaerobic microflora(anaerobic digestion sludge)	(9)
	0.28	Anaerobic microflora(sludge compost)	(9)
	0.02	<i>Neocallimastix frontalis</i> RE1 <sup>b</sup>	(18)
	0.04	<i>Neocallimastix patriciarum</i> CX <sup>b</sup>	(18)
	0.02	<i>Neocallimastix</i> sp. strain L2 <sup>b</sup>	(18)
	0.05	<i>Piromonas communis</i> P <sup>b</sup>	(18)
	0.05	<i>Sphaeromonas communis</i> FG10 <sup>b</sup>	(18)
	0.04	<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	(19)
	0.10	<i>Clostridium thermocellum</i>	(20)
	0.19	<i>Acetivibrio cellulolyticus</i>	(21)
Starch	0.34	<i>Clostridium beijerinckii</i> AM21B	(4)
	0	<i>Enterobacter aerogens</i> strain HO-39	(5)
Sucrose	0.38	<i>Clostridium beijerinckii</i> AM21B	(4)
	0.11	<i>Enterobacter aerogens</i> strain HO-39	(5)
	0.19	Anaerobic microflora	(7)
Maltose	0.14	<i>Enterobacter aerogens</i> strain HO-39	(5)
Lactose	0.36	<i>Clostridium beijerinckii</i> AM21B	(4)
	0.05	<i>Enterobacter aerogens</i> strain HO-39	(5)
Glucose	0.34	<i>Clostridium beijerinckii</i> AM21B	(4)
	0.12	<i>Enterobacter aerogens</i> strain HO-39	(5)
	0.002-0.03	Anaerobic microflora	(7)
Fructose	0.33	<i>Clostridium beijerinckii</i> AM21B	(4)
	0.10	<i>Enterobacter aerogens</i> strain HO-39	(5)
Food processing waste	0.014-0.020 <sup>c</sup>	Anaerobic microflora	This study

a: Cellulose was calculated as hexose [ $(C_6H_{10}O_5)_n$ ], b: Anaerobic fungi, c: ( $m^3 \cdot kgVS^{-1}$ )

#### (4) 累積水素および全ガス生成量に及ぼす固形物濃度の影響

Fig. 5 に累積水素および全ガス生成量に及ぼす固形物濃度の影響を示す。累積水素生成量は、0.014-0.020 $m^3 \cdot kgVS^{-1}$ の範囲であり、固形物濃度が6.4%の場合に最大になった。固形物濃度が増大すると累積水素生成量がわずかに増加する傾向が見られたが、固形物濃度が6.1-9.2%の範囲では、累積水素生成量はほとんど変化しなかった。累積全ガス生成量も、固形物濃度の増大に伴い増加した。累積全ガス生成量の54-78%は水素であり、固形物濃度が2.3-3.9%では、水素の割合が高くなった。

#### 4. 考察

本研究では、豆腐製造残渣であるおからを固形基質として、*Clostridium* sp. を優占種とする微生物群を培養した結果、累積生成ガスの水素割合が54-78%という高い値が得られたため、おからは水素回収の基質と

して利用可能であると考えられる。おからは水分を80%以上含むが、製造工程によって含水率は変動するため、水素生成が影響を受けることが予想される。しかし、本研究では、固形物濃度を9.2%まで増大させても、累積水素生成量に及ぼす固形物濃度の影響はほとんど見られなかった。

固形物濃度6.1%におけるおから分解の主な代謝産物は、酢酸、プロピオン酸、*n*-酪酸およびエタノールであり、エタノールの生成が顕著であった。この結果は、水素生成に伴いエタノール生成も進行していることを示している。また、実験開始直後から液相に糖が溶出しており、おからは溶解性の糖を含有していることがわかった。

Table 2 に、他の研究における水素生成量との比較を示す。難分解性物質であるセルロースの分解における水素生成量は、二糖や単糖分解における水素生成量よりも低くなっている。嫌気性のカビはセルロースを利用して水素を生成するが、嫌気性細菌と比較した場合、かなり低い値になっている。通性嫌気性細菌である *Enterobacter aerogen* strain HO-39<sup>2)</sup> は水素生成細菌

としての研究が進んでいるが、多糖類であるセルロースおよび澱粉から水素生成を行わないため、基質の選択を考慮する必要がある。一方、*Clostridium thermocellum*<sup>20)</sup> および *Acetivibrio cellulolyticus*<sup>21)</sup> は、セルロース分解から水素を生成する。また、*Clostridium beijerinckii* AM21B<sup>1)</sup> は、澱粉、二糖および単糖を利用し、他の微生物に比較して水素生成量も多い。*Clostridium* sp. は、菌体外に酵素群を分泌してセルロースなどの高分子を利用するため水素生成に適した細菌<sup>9)</sup> と言われるが、培養条件によって代謝経路を変化させることが知られている。Uekiら<sup>22)</sup> は、*Clostridium fallax* による水素生成はグルコース濃度により左右され、水素生成から乳酸生成に代謝変換が起こると述べている。Dabrockら<sup>23)</sup> は、*Clostridium pasteurianum* の代謝に及ぼす生育条件の影響を検討したところ、グルコースを基質とした場合、リン制限状態では酢酸および酪酸が生成し、鉄制限状態では乳酸が生成したと報告している。また、グリセロールを基質としてリンを制限すると溶媒(アルコール、アセトンなど)の生成が進行すると述べている。GrupeとGottschalk<sup>24)</sup> は、pHが低下すると*Clostridium acetobutylicum*の代謝経路が酸生成から溶媒生成に移行することを報告している。沈ら<sup>11)</sup> は、本研究と同じ水素生成污泥を用いてスクロース分解からの水素生成に関して検討しているが、本研究のようなエタノールの大量生成は報告していない。このことから、基質によって*Clostridium* sp.の代謝系に変化が起こっていると推察される。以上のように、*Clostridium* sp.は培養条件によって代謝系を変化させるため、水素の生成量も影響を受けると考えられる。殊におからのような炭水化物、蛋白質および脂質など複雑な有機物質を含有する廃棄物の場合、培養条件の差異により水素の回収量が変動することが予想される。しかし、Fig. 5によれば、固形物濃度は水素生成量に大きな影響を及ぼす要因ではないことがわかった。

本研究における累積水素生成量の結果は、有機性固形物当たりに換算すると $0.014\text{-}0.020\text{m}^3\cdot\text{kgVS}^{-1}$ であり、グルコースやスクロースを用いた場合に比較して低くなっている。本研究では、おからに前処理を施しておらず、未分解の固形有機物質が多く残っていることが推察される。水素生成量を増加させるためには、繊維質などの難分解性物質の加水分解を促進させる前処理を施すことが必要であると考えられる。

## 5. 結論

本研究から以下の結論が得られた。

- 1) 豆腐製造残渣である「おから」の分解に伴う累積全ガス生成量の54-78%は水素であり、おからは水素発酵の基質として利用可能であることが示された。
- 2) 累積水素生成量は $0.014\text{-}0.020\text{m}^3\cdot\text{kgVS}^{-1}$ であり、固形物濃度による大きな影響を受けなかった。また、固形物濃度が高い条件でも十分に水素を生成することが示された。
- 3) 水素生成活性には固形物濃度の影響が見られた。固形物濃度2.9-6.1%の範囲では活性が高いが、2.3%および9.2%では活性が低下した。
- 4) 水素生成過程において、液相部では溶解性糖濃度の低下に伴いアルコールおよび揮発性脂肪酸濃度が増大した。主な代謝産物は酢酸、プロピオン酸、*n*-酪酸およびエタノールであった。

## 参考文献

- 1) 三宅淳, 浅田泰男: 光合成細菌による環境調和型水素生産, 生物工学会誌, Vol. 71, pp.431-433, 1993.
- 2) Moore, J. W. and Moore, E. A. (岩本振武訳): Environmental chemistry (環境理解のための基礎化学), 東京化学同人, pp.149-156, 1980.
- 3) 北村博, 森田茂廣, 山下仁平編: 光合成細菌, 学会出版センター, 1984.
- 4) 田口文章, 長谷川勝重: シロアリから分離した水素生成菌による廃棄物処理と水素生産, 用水と廃水, Vol.36, pp.225-232, 1994.
- 5) Yokoi, H., Ohkawa, T., Hirose, J., Hayashi, S. and Takasaki, Y.: Characteristics of hydrogen production by aciduric *Enterobacter aerogenes* Strain HO-39, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, vol.80, pp.571-574, 1995.
- 6) 松井三郎, 石黒敬史, Inanc, B., 井出慎司: 嫌気性処理プロセスからの水素エネルギー回収を目的とした基礎的検討, 環境工学研究論文集, Vol. 29, pp.247-253, 1992.
- 7) 神戸宏, 中村玄正, 松本順一郎: 嫌気性処理におけるグルコースの酸生成分解過程と細菌群に関する基礎的研究-滞留時間の影響-, 下水道協会誌論文集, Vol.29, No.5, pp.12-21, 1992.
- 8) 神戸宏, 中村玄正, 松本順一郎: 嫌気性処理におけるグルコースの酸生成分解過程と細菌群に関する基礎的研究-温度の影響-, 下水道協会誌論文集, Vol.29, No.5, pp.22-30, 1992.
- 9) 小木曾直行, 中村玄正, 松本順一郎: グルコースの嫌気性酸分解過程と細菌群について-pHの影響-, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集, 第2部, pp.24-25, 1993.
- 10) 小木曾直行, 中村玄正, 松本順一郎: 嫌気性酸生成相における水素生成に及ぼす基質濃度の影響, 環境工学研究論文集, Vol.31, pp.47-55, 1994.

- 11) 沈建權, 李玉友, 野池達也: 嫌気性水素発酵法による有機排水の処理特性, 環境工学研究論文集, Vol. 32, pp.213-220, 1995.
- 12) Ueno, Y., Kawai, T., Sato, S., Otsuka, S. and Morimoto, M.: Biological production of hydrogen from cellulose by natural anaerobic microflora, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, Vol. 79, pp.395-397, 1995.
- 13) 室山勝彦, 太田智久, 山出和弘: おから懸濁液のメタン発酵に関する研究, 環境技術, Vol.23, pp.621-629, 1994.
- 14) 本多敦裕: 資源リサイクルシリーズ4 農林水産とリサイクル, 財団法人クリーン・ジャパン・センター 資源リサイクルシステムセンター, pp.120-121, 1996.
- 15) 小松敏広, 野池達也: 膜分離の酸生成相への影響及びその処理特性変化, 下水道協会誌論文集, Vol.29, pp.31-40, 1992.
- 16) Owen, W. F., Stuckey, D. C., Healy, Jr., J. B., Young, L. Y. and McCarty, P. L.: Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity, *Water Research*, Vol.13, pp.485-492, 1979.
- 17) Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F.: Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Analytical Chemistry*, Vol.28, pp.350-356, 1956.
- 18) Marvin-Sikkema, F. D., Richardson, A. J., Stewart, C. S., Gottschal, J. C. and Prins, R. A.: Influence of hydrogen-consuming bacterium on cellulose degrading by anaerobic fungi, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.56, pp.3793-3797, 1990.
- 19) Latham, M.J. and Wolin, M.J.: Fermentation of cellulose by *Ruminococcus flavefaciens* in the presence and absence of *Methanobacterium ruminantium*, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.34, pp.297-301, 1977.
- 20) Weimer, P.J. and Zeikus, J.G.: Fermentation of cellulose and cellobiose by *Clostridium thermocellum* in the absence and presence of *Methanobacterium thermoautotrophicum*, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.33, pp.289-298, 1977.
- 21) Laube, V.M. and Martin, S.M.: Conversion of cellulose to methane and carbon dioxide by triculture of *Acetivibrio cellulolyticus*, *Desulfovibrio* sp., and *Methanosarcina barkeri*, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.42, pp.413-420, 1981.
- 22) Ueki, A., Ueki, K., Tanaka, K., Takahashi, R. and Takano, T.: End products and molar growth yield of *Clostridium fallax* isolated from an anaerobic digester, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, Vol.72, pp.274-279, 1991.
- 23) Dabrock, B., Bahl, H. and Gottschalk, G.: Parameters affecting solvent production by *Clostridium pasteurianum*, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 58, pp.1233-1239, 1992.
- 24) Grupe, H. and Gottschalk, G.: Physiological events in *Clostridium acetobutylicum* during the shift from acidogenesis to solventogenesis in continuous culture and presentation of a model for shift induction, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 58, pp.3896-3902, 1992.

(1996.12.9 受付)

## HYDROGEN PRODUCTION FROM FOOD PROCESSING WASTE BY ANAEROBIC BACTERIA

Osamu MIZUNO, Takeshi OHARA and Tatsuya NOIKE

The hydrogen production from food processing waste by anaerobic microflora was investigated by using batch culture at 35°C. The change in solid concentration ranging from 2.3 to 9.2% had no significant effects on the final amount of hydrogen production from one unit weight of volatile solids. Maximum hydrogen yield was 0.020m<sup>3</sup>•kgVS<sup>-1</sup> at a solid concentration of 6.4%. The hydrogen contents of fermentation gas produced were 54 to 87%. Hydrogen was produced during the degradation of soluble sugars in the liquid phase. Acetate, propionate, *n*-butyrate and ethanol were the main products from fermentation of food processing waste.