

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

バイオマス廃棄物のメタン発酵 (Vol.4) — 発酵槽の2段階化などの合理化と水素発酵の検討 —

令和2年3月

**Methane Production from Biomass Wastes by Anaerobic
Fermentation (vol.4):**

**Rationalization of Multi-Stage Fermentation and High Temperature Fermentation &
Examination of Hydrogen Fermentation**

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2019-PP-10

概要

下水汚泥や生ごみなどのバイオマス廃棄物からメタンを生成するメタン発酵技術については、長年多くの国で実際に利用されている。また条件により水素も生成するが、メタン発酵法の合理化や水素発酵の機構について定量的検討は十分でない。そのためここでは国際水協会 (International Water Association) の ADM1 (Anaerobic Digestion Model No.1) を用いて、①メタン発酵を2段連続槽で行う、②55°Cの高温で行う、2つのケースについて合理化の効果を検討した。下水汚泥の場合、発酵温度を55°Cの高温で発酵すると、35°Cの中温発酵に対して、COD分解率は33%上昇する。発酵槽を2段の連続発酵槽で行うと、COD分解率は35°Cの場合6~8%増加する。またメタン発酵を酸性域で実施すると水素が生成する。メタン発酵との組み合わせにおいて、発酵温度、pH、滞留時間などエネルギー収率を高める効果について検討した。pH酸性域での水素発酵を滞留時間1日程度で行い、その後通常条件でメタン発酵を行うと、COD分解率は8%程度、水素とメタンのエネルギー生成量は11%程度増加する可能性がある。

Summary

Methane fermentation that produces methane from biomass waste such as sewage sludge and garbage has been put to practical use. Hydrogen is also produced depending on the conditions, but there are insufficient quantitative studies on the rationalization of methane fermentation and the mechanism of hydrogen fermentation. The ADM1 (Anaerobic Digestion Model No.1) was used for a quantitative study of methane fermentation to examine the effect of rationalization in the two cases of methane fermentation being performed in (case 1) a two-stage continuous tank and (case 2) a high temperature of 55°C. In the case of sewage sludge, when fermentation is performed at a high temperature of 55°C, the COD decomposition rate increases by 33% compared to the medium temperature fermentation at 35°C. When the two-stage continuous fermentation is used, the COD decomposition rate increases by 6~8% at 35°C. Hydrogen is generated when methane fermentation is carried out in the acidic pH range. The increase in energy yield achievable by combining hydrogen fermentation with methane fermentation is examined based on factors such as fermentation temperature, pH, and residence time. When hydrogen fermentation in the acidic pH range is performed with a residence time of one day and then methane fermentation is performed under conventional conditions, it is possible to increase the COD decomposition rate by 8% and the amount of energy (H_2+CH_4) generated by 11%.

目次

概要

1. はじめに.....	1
2. メタン発酵：高温発酵と2段発酵の効果.....	1
2.1 発酵温度の効果.....	3
2.2 多段化の効果.....	4
3. 水素発酵.....	5
4. まとめ.....	10
5. 今後の課題.....	10
参考文献.....	10

1. はじめに

下水汚泥や生ごみなどのバイオマス廃棄物からエネルギーを取り出すメタン発酵技術については、長年多くの国で実際に利用されている。また条件により水素なども生成するが、メタン発酵法の合理化や水素発酵の機構についてプロセスの定量的検討は十分でない。

そのためここでは、ADM1 (Anaerobic Digestion Model No.1) [1]を用いて、メタン発酵法の合理化とエネルギー生成量を大きくする可能性ある水素発酵の機構を検討した。

前者については、pH=7~8 の中性近傍で処理されるメタン発酵の効率を大きくするため、発酵を2段の連続槽で行うケースと55°Cの高温で行う2つのケースについて効果を検討した。

後者については、メタン発酵を酸性域で実施すると水素が生成する。メタン発酵との組み合わせにおいて、発酵温度、pH、滞留時間などエネルギー収率を高める効果について検討した。

また図1にメタン発酵・水素発酵の共通の素反応を示す。水素発酵のとき、酸生成過程でのエタノールの生成ルートなども影響を与える。

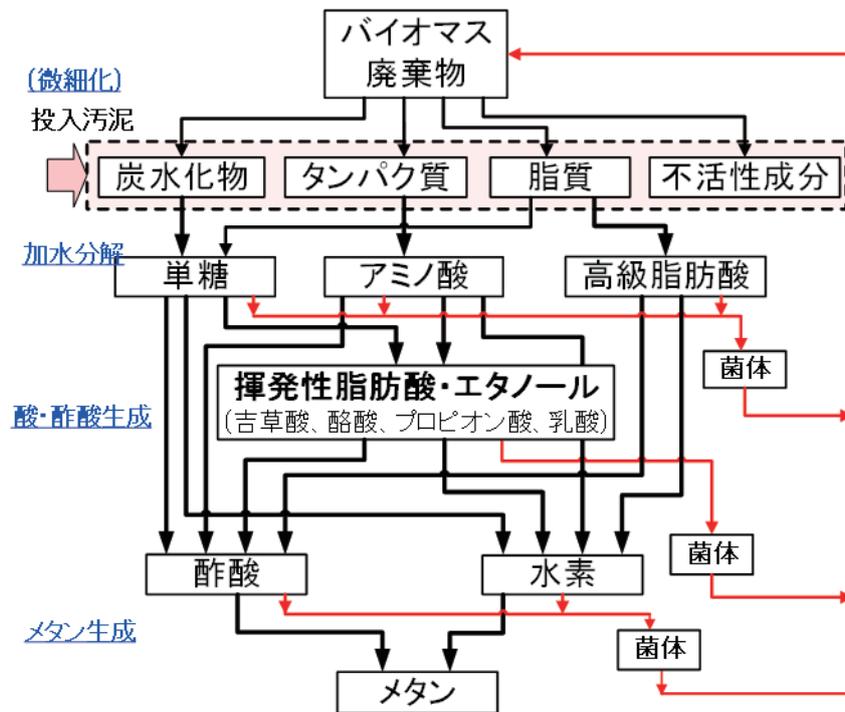


図1 メタン発酵・水素発酵 素反応

2. メタン発酵：高温発酵と2段発酵の効果

LCS 提案書 (Vol.3) [2]で、バイオガス製造コストを低減する手法と効果について報告した。同提案書では、従来の1段連続槽型反応器を2段直列連続槽型反応器にした時の効果および、従来の発酵温度35°Cの中温発酵を55°Cの高温発酵にした時の効果について検討した。反応システムモデルは、ADM1モデルである。しかし種の分解菌のCarbon balanceとNitrogen balanceについて不一致があり、本提案書では修正したADM1モデルを用いた[3]。

酸生成過程、水素・メタン生成過程の各成分の分配率および反応速度定数は、発酵温度35°Cのときは、LCS 提案書 (Vol.3) [2]のとおりであり、発酵温度55°Cのときは、ADM1モデルのデフ

オルト値[1,4]を採用した。表1に用いた反応速度係数を示す。

表1 反応速度係数など

	$k_{m,process}$		$K_{s,process}$	
	Monod最大比反応速度係数 (1/day)		50%飽和定数 (kgCOD/m ³)	
	35°C	55°C	35°C	55°C
微細化・加水分解工程				
有機物	0.25	0.4		
炭水化物	1.08	1		
蛋白質	0.295	1		
脂質	0.09	1		
酸・酢酸生成工程				
単糖	27	107	0.05	0.2
アミノ酸	27	107	0.05	0.2
高級脂肪酸	12	37	1	2
酪酸	20	89	0.2	0.45
吉草酸	20	89	0.2	0.45
プロピオン酸	13	30	0.1	0.15
酢酸	8	52	0.15	0.3
水素	35	178	7×10^{-6}	5×10^{-6}

反応速度 r は、以下の Monod の式で近似される。

$$r = k_{m,process} \cdot \frac{S}{K_{s,process} + S} \cdot X_s \cdot I$$

S : 基質濃度、 X_s : 菌濃度、 I : 阻害関数、
 $k_{m,process}$: Monod 最大比反応速度係数、 $K_{s,process}$: 50%飽和定数

下水汚泥と生ごみを原料とし、原料の COD 濃度は、58.6 kg-COD/m³ とし、組成濃度は表2のとおりである。また原料中の菌体濃度は、LCS 提案書 (Vol.3) [2]と同じく Razaviarani 他の文献 [4]に準じた。各菌成分濃度を表3に示す。

表2 下水/生ごみの有機成分 (V5S) 組成 (kg-COD/m³) (菌体濃度は含まない)

	下水汚泥	生ごみ
炭化水素	16.7	34
タンパク質	15.3	11.7
脂質	13.1	12.9
不活性物質	13.5	0
計	58.6	58.6

表3 減量中の分解菌体濃度 (kg-COD/m³)

菌成分	X_{su}	X_{aa}	X_{fa}	X_{c4}	X_{pro}	X_{ac}	X_{h2}	計
濃度	0.675	0.345	0.42	0.171	0.1	0.594	0.294	2.6

検討したシステムを図2に示す。バイオマス廃棄物の供給流量は5m³/dである。

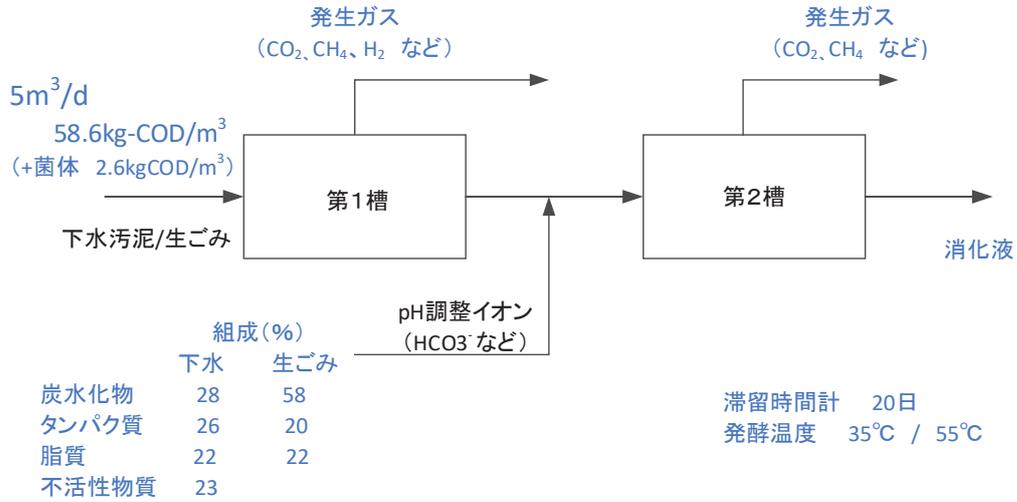


図2 メタン発酵 検討システム

1段の単槽処理のときは、滞留時間20日とし、2段階発酵の時は各槽の滞留時間を各10日、計20日とし、多段化の効果を検討した。また発酵温度については35°Cと55°Cの場合につき検討した。結果を表4に示す。

表4 発酵温度、多段化 の効果
 (原料：供給量 5 m³/d、濃度 58.6 kg-COD/m³)

原料	下水汚泥	下水汚泥	下水汚泥	下水汚泥	生ごみ	生ごみ	生ごみ	生ごみ
発酵温度 (°C)	35	35	55	55	35	35	55	55
槽数	1	2	1	2	1	2	1	2
滞留時間 (d)	20	10+10	20	10+10	20	10+10	20	10+10
pH	7.87	7.83; 7.98	8.06	8.03; 8.30	7.81	7.78; 7.96	8.04	8.01; 8.3
CH ₄ 生成量(m ³ /d)	65	70.2	103	106	87.5	93.1	105	109
エネルギー生成量(MJ/d)	2,327	2,513	3,688	3,795	3,133	3,333	3,741	3,897
COD分解率 (消化率) (%)	47.9	51.8	63.7	65.6	65.7	69.8	64.8	67.7
COD分解率比 (35°C/55°C)	1		1.33		1		0.99	
COD分解率比 (1段/2段、35°C)	1	1.08			1	1.06		
COD分解率比 (1段/2段、55°C)			1	1.03			1	1.04

2.1 発酵温度の効果

発酵温度の効果を図3に示す。発酵温度を55°Cにすることにより、下水汚泥の場合、COD分解率は増加するが、生ごみの場合ほとんど変化しない。

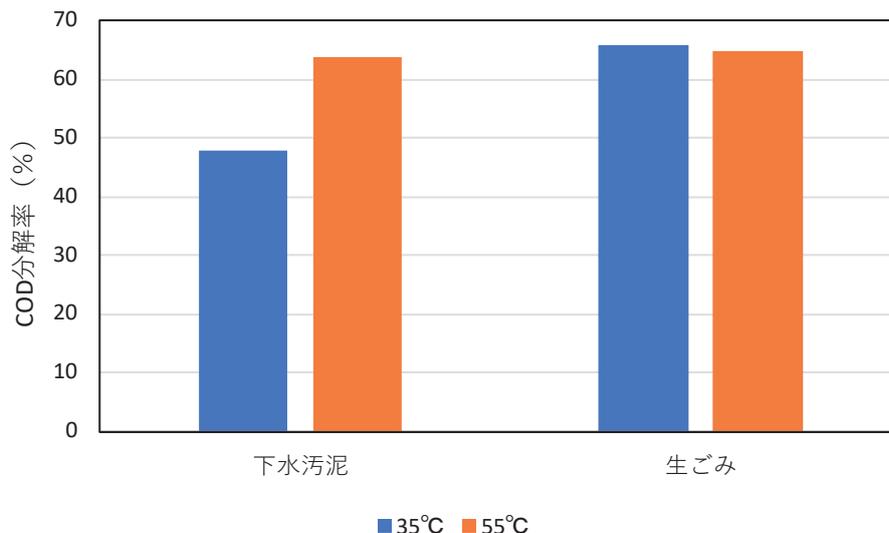


図3 発酵温度の効果 (滞留時間 20 日)

下水汚泥の場合、発酵温度を 35°C から 55°C に高温とすると、COD 分解率は 33% 上昇する。この場合、発酵槽を 35°C から 55°C に加温するために熱エネルギーが必要であるが、バイオマスの発酵熱 (-36kJ/mol-biomass) と発酵槽出口液からの熱回収で加温に必要なエネルギーをほぼ供給することができる。また生ごみの場合高温発酵の効果は出ない。

下水汚泥の場合、生成エネルギーコストは 30% 程度安くなる。LCS 提案書 (着手段階) [5] では、バイオガス製造コストは 3.3 円/MJ であったが、55°C の高温発酵では約 2.3 円/MJ となる。

発酵温度を高温にする効果は大きい。ただ ADM1 モデルで 55°C の場合の速度定数などの実例が少なく、検証する必要がある。

2.2 多段化の効果

全滞留時間を 20 日とし、1 段で発酵する場合と滞留時間 10 日の発酵槽を 2 段階連続槽として発酵する場合につき、発酵温度 35°C と 55°C の場合につき検討した。図 4 に結果を示す。

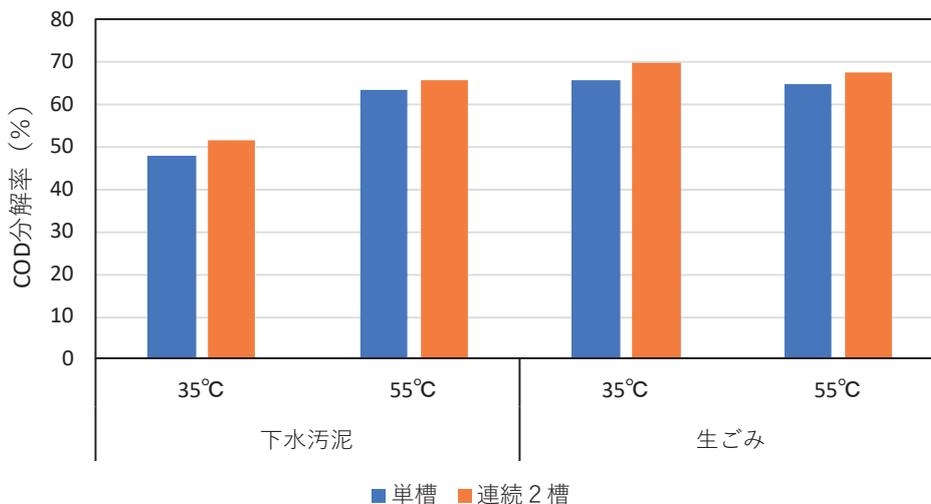


図4 多段化の効果 (2 段) (全滞留時間 20 日)

連続攪拌槽を2段にすることにより、発酵温度 35°C のときは、COD 分解率は 6~8%、発酵温度 55°C の場合 3~4% 増加する。

一般に一次反応の場合、2 段直列連続槽型反応器では 2 槽目出口での反応率 X_A は

$$1 - X_A = \frac{1}{(1 + k\tau)^2}$$

で計算できる。k は反応速度係数、 τ は各槽の滞留時間である。

1 段のときの出口濃度を C_{A1} 、滞留時間を τ とし、2 段のときの出口濃度を C_{A2} 、滞留時間を $\tau/2$ とすると、出口濃度比は

$$\frac{C_{A2}}{C_{A1}} = \frac{1 + k\tau}{(1 + k\tau/2)^2}$$

となる。出口濃度比と $k\tau$ ($=x$) の関係は図 5 となる。 τ が一定の時、反応速度係数が大きいほど多段化の効果は大きい。ゼロ次反応のときは C_{A2}/C_{A1} は 1 で出口濃度は同一で 2 段化の効果はない。

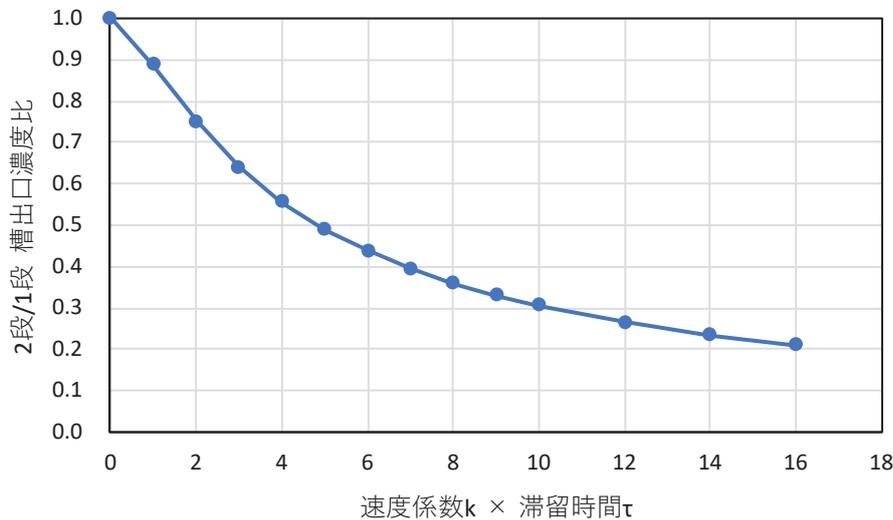
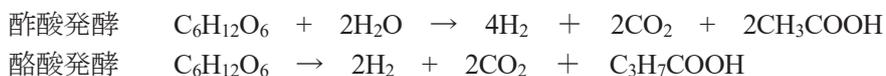


図 5 2 段/1 段のときの槽出口濃度比

また Monod の式では基質濃度が高い場合反応は 0 次で進み、基質濃度が低いと 1 次で進む。ADM1 モデルでは 2 段と 1 段の濃度比は 0.92~0.97 であり、1 次反応とみなすとき反応速度係数は小さい。しかし 2 段化の効果は小さいが、下水汚泥で発酵温度 35°C の場合 8% COD 分解率が增加する。連続発酵槽の 2 段化のためには、原則的には配管工事のみで対応可能である。LCS 提案書 (着手段階) [5] ベースでは、バイオガス製造コストは 3.0 円/MJ となる。

3. 水素発酵

嫌気性細菌による水素発酵では、基質としては主に炭水化物が利用される。加水分解菌により単糖に加水分解され、その後ギ酸、酢酸、乳酸、プロピオン酸、酪酸、エタノールなどの発酵代謝物を経て、水素を生成する。例えば単糖がグルコース ($C_6H_{12}O_6$) の場合、グルコース 1 mol から、酢酸発酵では最大 4 mol、酪酸発酵では最大 2 mol の水素が発生する。



嫌気性水素生成細菌の代表として、*Clostridium* 属、*Enterobacter* 属の微生物があるが、これらは環境中の様々な所に生息し、メタン発酵汚泥、下水汚泥、コンポストなどの混合系のシステムでも水素発酵は可能である。メタン発酵と競合するとき、メタン発酵細菌群の活性を抑制し、水素発酵細菌群を優占化すればよい。*Clostridium* 属などの孢子形成細菌の孢子は 100℃でも 1 時間程度の加熱に耐えるが、メタン発酵に有効な腐敗細菌など孢子を形成しない細菌は 60℃、30 分程度の条件でほぼ完全に死滅する。また水素生成細菌は増殖速度が速く、数時間の滞留時間で水素発酵が可能である。水素生成細菌群を優占化するために、pH を酸性、高温、滞留時間を小さくすればよい[6]。

本提案書では、pH を 4~8、発酵温度を 35℃と 55℃、滞留時間を 0.4 日 (24 分) ~10 日に変化させて、下水汚泥・生ごみのケースで水素・メタンなどのバイオガス生成量の変化を求めた。検討結果を表 5 に示す。

水素は発酵槽の pH が 4~5 の酸性のとき生成し、通常のメタン発酵時の pH=7~8 ではほとんど生成しない。また発酵温度が高温 (55℃) 時のほうが生成量が多い。

発酵を前段 (水素発酵) 55℃、pH=4~5、後段 (メタン発酵) 35℃、pH=7~8 の 2 段で行い、水素の生成量、消化率を検討した。下水汚泥、生ごみの場合、バイオガス中の水素の比率は 2~4%程度であり大きくなかった。また滞留時間 0.4 日の場合でも水素は比較的早く発生する。

全滞留時間を 20 日とし、前段と後段の滞留時間を変化させて検討した。水素発酵の滞留時間 1 日+メタン発酵の滞留時間 19 日の複合処理の場合と、メタン発酵のみ滞留時間 20 日の単一処理の場合を比較すると、COD 分解率は、原料が下水汚泥の場合、前者 52%、後者 48%、生ごみの場合、前者 72%、後者 66%であり、前者の複合処理の方が約 8%分解率は大きくなる。また生ごみの場合、前段で滞留時間 1 日程度の処理を行えば、全段の消化率は 72%まで向上した。メタン発酵の場合でも前段処理の効果の可能性もある。

図 1 にメタン発酵・水素発酵の素反応を示した。水素発酵のときはエタノールルートも影響を与えが、システム検討に用いた ADM1 モデルに組み込まれていない。今後最適モデルを検討する。

既往の研究では、下水汚泥やメタン発酵槽汚泥など複合微生物系を用い、食品廃棄物を基質とし、温度 30~50℃、pH=4~7 の条件で、最大水素生成量は 1~2 mol/mol-monosaccharides (0.117 ~0.234 Nm³-H₂/kg-COD) が得られている[7,8]。

表5 水素発酵 検討結果
 (原料：供給量 5 m³/d、濃度 58.6 kg-COD/m³)

原料	下水汚泥	下水汚泥	下水汚泥	下水汚泥	生ごみ	生ごみ
第1槽						
温度 (°C)	55	55	55	35	55	55
pH	4.82	4.83	4.86	4.37	4.79	4.83
滞留時間 (d)	0.4	1	10	10	1	10
CO ₂ 生成量 (m ³ /d)	5.92	11.9	22.4	25.4	9.13	18.1
H ₂ 生成量 (m ³ /d)	3.06	4.31	5.13	2.56	4.21	5.47
	(30.8 vol.%)	(23.9 vol.%)	(16.0 vol.%)	(9.14 vol.%)	(29.6 vol.%)	(20.2 vol.%)
CH ₄ 生成量 (m ³ /d)	0.968	1.85	4.53	0.056	1.36	3.49
	(9.7 vol.%)	(10.2 vol.%)	(14.1 vol.%)	(0.2 vol.%)	(9.3 vol.%)	(12.9 vol.%)
小計 (m ³ /d)	9.9	18.1	32.1	28.0	14.7	27.1
エネルギー生成量 (MJ/d)	68	113	218	30	94	184
第2槽						
温度 (°C)	35	35	35	35	35	35
pH	8.19	8.19	7.8	7.97	8.14	8.06
滞留時間 (d)	19.6	19	10	10	19	10
CO ₂ 生成量 (m ³ /d)	57	55.3	50.9	43.2	82.8	80.7
H ₂ 生成量 (m ³ /d)	0.0023	0.0251	0.0039	0.0024	0.004	0.0065
CH ₄ 生成量 (m ³ /d)	67.9	69.1	44.7	60.2	94.5	72.9
	(54.4 vol.%)	(55.5 vol.%)	(46.8 vol.%)	(58.2 vol.%)	(53.3 vol.%)	(47.5 vol.%)
小計 (m ³ /d)	124.9	124.4	95.6	103.4	177.3	153.6
エネルギー生成量(MJ/d)	2,431	2,474	1,600	2,155	3,383	2,610
全槽生成ガス量合計(m³/d)						
CO ₂	62.9	67.2	73.3	68.6	91.9	98.8
	(46.7 vol.%)	(47.2 vol.%)	(57.4 vol.%)	(52.2 vol.%)	(47.9 vol.%)	(54.7 vol.%)
H ₂	3.1	4.3	5.1	2.6	4.2	5.5
	(2.3 vol.%)	(3.0 vol.%)	(4.0 vol.%)	(1.9 vol.%)	(2.2 vol.%)	(3.0 vol.%)
CH ₄	68.9	71.0	49.2	60.3	95.9	76.4
	(51.1 vol.%)	(49.8 vol.%)	(38.6 vol.%)	(45.9 vol.%)	(49.9 vol.%)	(42.3 vol.%)
総計	134.8	142.5	127.7	131.5	192.0	180.7
エネルギー生成量計 (MJ/d)	2,499	2,587	1,818	2,185	3,477	2,794
(内H ₂ エネルギー量)	33.1	46.8	55.4	27.7	45.5	59.1
入口COD濃度 (kg-COD/m ³)	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2	61.2
第1槽出口COD濃度	60.9	60.5	60.1	58.6	60.7	60.4
第2槽出口COD濃度	30.3	29.4	40	31.6	17.2	27
第1槽COD分解率	0.005	0.011	0.018	0.042	0.008	0.013
全COD 分解率 (消化率)	0.505	0.520	0.346	0.491	0.719	0.559

供給汚泥等の炭化水素成分を単糖 (monosaccharide) とみなし、第1槽からの水素生成量を評価すると表6となる。

表6 炭水化物供給量あたりの水素発生量 (汚泥等供給量：5m³/d)

原料	下水汚泥	下水汚泥	下水汚泥	下水汚泥	生ごみ	生ごみ
炭水化物 (as monosaccharide)	0.435 kmol/d				0.885 kmol/d	
水素発生量 (kmol/d)	0.137	0.192	0.229	0.114	0.188	0.244
水素発生量/炭水化物供給量(mol/mol)	0.31	0.44	0.53	0.26	0.21	0.28

供給炭化水素あたりの最大水素生成比率は、下水汚泥では $0.53 \text{ mol-H}_2/\text{mol-炭水化物}$ 、生ごみで $0.28 \text{ mol-H}_2/\text{mol-炭水化物}$ となる。

既往の実験結果と比較すると、生成比率は小さいが大きく外れていない。嫌気性メタン発酵に対して開発された ADM1 モデルは 嫌気性水素発酵にも応用できそうである。ただ最適化のため、補正など必要である。

水素発酵の意義は、1) 水素生成菌による COD 分解率の上乗せによる、エネルギー生成量の増加、2) 汚泥の酸性処理による、加水分解率向上によるメタン発酵量 (COD 分解率) の増大、3) 燃料電池の原料として H_2 源の利用、などがある。

表7に、下水汚泥、生ごみを原料とし 水素発酵 (55°C 、 $\text{pH}=4\sim 5$ 、滞留時間1日) 後メタン発酵 (35°C 、 $\text{pH}=7\sim 8$ 、滞留時間19日) のケースと、メタン発酵 (35°C 、 $\text{pH}=7\sim 8$ 、滞留時間20日) のケースで生成エネルギー量を比較した。前処理として水素発酵を組み入れると、エネルギー生成量は11%程度増加する。

表7 水素発酵とエネルギー生成量
 (原料：供給量 5 m³/d、濃度 58.6 kg-COD/m³)

原料	下水汚泥	下水汚泥	生ごみ	生ごみ
水素発酵槽	あり	なし	あり	なし
温度 (°C)	55		55	
pH	4.83		4.79	
滞留時間 (d)	1	—	1	—
CO ₂ 生成量 (m ³ /d)	11.9		9.13	
H ₂ 生成量 (m ³ /d)	4.31		4.21	
CH ₄ 生成量 (m ³ /d)	1.85		1.36	
小計 (m ³ /d)	18.1		14.7	
エネルギー生成量 (MJ/d)	113		94	
メタン発酵槽	あり	あり	あり	あり
温度 (°C)	35	35	35	35
pH	8.19	7.87	8.14	7.81
滞留時間 (d)	19	20	19	20
CO ₂ 生成量 (m ³ /d)	55.3	55.5	82.8	81
H ₂ 生成量 (m ³ /d)	0.0251	0.0016	0.004	0.0026
CH ₄ 生成量 (m ³ /d)	69.1	65	94.5	87.5
小計 (m ³ /d)	124.4	120.5	177.3	168.5
エネルギー生成量(MJ/d)	2,474	2,327	3,383	3,133
エネルギー生成量計 (MJ/d)	2,587	2,327	3,477	3,133
(内H ₂ エネルギー量)	46.8	0.0	45.5	0.0
メタン発酵onlyとの比較	1.11	1	1.11	1
入口COD濃度 (kg-COD/m ³)	61.2	62	61.2	62
水素発酵槽出口COD濃度	60.5	—	60.7	—
メタン発酵槽出口COD濃度	29.4	32.3	17.2	21.3
第1槽COD分解率	0.011		0.008	
全COD 分解率 (消化率)	0.520	0.479	0.719	0.657

4. まとめ

嫌気性メタン発酵、水素発酵の検討を ADM1 のモデルで行った結果、メタン発酵の推移の予測や水素発酵の検討に ADM1 モデルは現状でも利用できる。しかし実験データ間との確認、校正とモデルの最適化など今後の課題である。

メタン発酵でも、発酵槽の多段化の効果はあり、下水汚泥の場合 3~8%、生ごみの場合 5~6% の COD 分解率 (メタン生成量) の向上がみられた。

pH 酸性域での水素発酵を滞留時間 1 日程度で行い、通常の条件でメタン発酵を行うと、COD 分解率は 8% 程度、エネルギー生成量は 11% 程度増加する可能性がある。

下水汚泥からメタン発酵による発電ポテンシャルは、2.6TWh/年程度あり、食品残渣や家畜排泄物などのバイオマス廃棄物からの発電ポテンシャルは 20TWh/年程度の可能性がある。しかしメタン発酵・水素発酵の機構については、更なる定量的なシステム検討が必要である。

5. 今後の課題

- 1) 発酵機構・システムの定量的解析・最適化を進め、下水汚泥についても COD 分解率を 80% 以上に高める検討が必要である。
- 2) 水素生成発酵菌とメタン生成発酵菌は異なる。メタン生成発酵菌を抑制し、水素生成発酵菌を活性化する最適条件の検討が必要である。

参考文献

- [1] D.J. Batstone et al., “Anaerobic Digestion Model No.1”, Scientific and Technical Report No.13, International Water Association, 2002.
- [2] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, “バイオマス廃棄物のメタン発酵 (Vol.3) —反応解析によるプロセス合理化の検討—”, 平成 28 年 3 月, LCS-FY2015-PP-07.
- [3] F. Blumensaat et al., “Modelling of two-stage anaerobic digestion using the IWA Anaerobic Digestion Model No.1”, Water Research 39, 171-182, 2005.
- [4] V. Razaviarani et al., “Calibration of the Anaerobic Digestion Model No.1(ADM1) for steady-state anaerobic co-digestion of municipal wastewater sludge with restaurant grease trap waste”, Chemical Engineering Journal 266, 91-99, 2015.
- [5] 低炭素社会の実現に向けた政策立案のための提案書, “バイオマス廃棄物のメタン発酵 (着手段階) ”, 平成 26 年 3 月, LCS-FY2013-PP-05.
- [6] 野池編, “メタン発酵”, 技報堂, 2009/5.
- [7] 草野他, “食品廃棄物を用いた水素発酵条件の最適化”, 第 41 回日本水環境学会講演要旨集, 45, 2006.
- [8] 渡邊他, “炭水化物を基質とする連続水素発酵における発酵条件の検討”, 第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 467, 2006.

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

バイオマス廃棄物のメタン発酵 (Vol.4)
－発酵槽の2段化などの合理化と水素発酵の検討－

令和2年3月

Methane Production from Biomass Wastes by Anaerobic Fermentation (vol.4):
Rationalization of Multi-Stage Fermentation and High Temperature Fermentation &
Examination of Hydrogen Fermentation

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2020.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 上席研究員 岩崎 博 (IWASAKI Hiroshi)
上席研究員 三森 輝夫 (MITSUMORI Teruo)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2020 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。
