

二酸化炭素還元型メタン発酵機構の
解明に関する共同研究報告書
(二酸化炭素還元型リアクターの開発)

平成 3 年 9 月

建設省土木研究所
下水道部汚泥研究室
株式会社 タクマ

Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

二酸化炭素還元型メタン発酵機構の 解明に関する共同研究報告書 (二酸化炭素還元型リアクターの開発)

下水道部	部長	安中 徳二
汚泥研究室	室長	佐藤 和明
	研究員	落 修一
	部長	松井 大悟*
	室長	大嶋 吉雄**
	主任研究員	村上 孝雄***
株式会社タクマ	水処理技術部	
	部長	三輪 勉
	課長	奥藤 武
	課長	坂上 正美
	課長代理	春木 裕人

* 現，建設省都市局下水道部公共下水道課長

** 現，日本下水道事業団業務部援助課長

*** 現，日本下水道事業団計画部広域処理計画課課長代理

要 旨

下水道が整備・拡充されて行く中で，下水処理場におけるエネルギー収支の改善が強く望まれてきている。下水汚泥の嫌気性消化法は，これに寄与するエネルギーの生産手段として重要視される。

本報告書は，下水汚泥の嫌気性消化法においてメタンガスの生産量を増加させる二酸化炭素還元型リアクターの開発を行ったものである。

キーワード：下水汚泥，嫌気性消化，メタン発酵，膜，二酸化炭素

ま え が き

下水処理場における省エネルギー化や創エネルギー化を推進して行く方策として、下水汚泥からメタンガスの生産を図る嫌気性消化法が重要視されてきている。

下水汚泥の嫌気性消化法においてメタンガスの発生量を増加させるには、従来、固形有機物の低分子・溶解化を促進してメタン発酵微生物の基質量を増加させることに有ると考えられてきた。

しかし、メタン発酵には二酸化炭素と水素からメタンを産する経路もあることから、下水汚泥の嫌気性消化過程において、この二酸化炭素還元型のメタン発酵を高めることができるならば、今まで排ガスとして放出されてきた二酸化炭素の再資源化が図れるとともに、下水処理場におけるエネルギー収支の改善にも大きく寄与して行くものと考えられる。

本報告書は、このような観点に基づき、下水汚泥の嫌気性消化法としての「二酸化炭素還元型リアクター」を開発するために建設省土木研究所と株式会社タクマが昭和63年度から約3ヶ年をもって共同研究してきた成果をとりまとめたものである。

目 次

まえがき

1. 概要	1
1.1 研究の目的	1
1.2 研究成果の概要	2
2. 基礎的実験	3
2.1 二酸化炭素の供給効果に関する実験	3
2.1.1 実験の目的	3
2.1.2 実験方法	3
2.1.3 実験結果	4
2.2 水素と二酸化炭素からのメタン発酵に関する実験	9
2.2.1 実験の目的	9
2.2.2 実験方法	9
2.2.3 実験結果	9
2.3 気体分離膜に関する実験	11
2.3.1 実験の目的	11
2.3.2 実験方法	11
2.3.3 実験結果	12
2.4 まとめ	14
3. パイロットプラントによる実証実験	15
3.1 実験の目的	15
3.2 リアクターシステムの構築	15
3.3 実験方法	16
3.4 実験結果	17
3.4.1 消化成績	18
3.4.2 物質収支	23
3.4.3 二酸化炭素還元型メタン発酵機構の推察	24
3.5 まとめ	26
4. 実用性の検討	27
4.1 実用二酸化炭素分圧の検討	27
4.2 発電システムの構成プロセスとしての検討	29
4.2.1 経済比較条件	29
4.2.2 システムフローシート	30

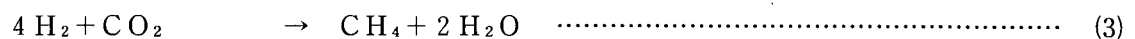
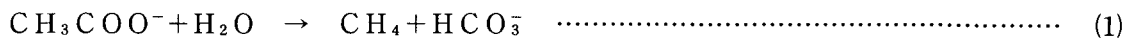
4.2.3 熱収支	30
4.3 まとめ	38
5. 今後の課題	39
資料 : パイロットプラント実験運転データ	43

1. 概 要

1.1 研究の目的

本研究は、下水処理場におけるエネルギー収支の改善に寄与するために、メタンガス発生量の増加を図る下水汚泥の嫌気性消化法を開発するものである。

下水汚泥の嫌気性消化法におけるメタン発酵経路では次の3つが重要視されている。



下水汚泥からのメタンガスの増収を図る従来の試みは、下水汚泥が固形有機物であることから、その低分子・溶解化のための酸発酵を促進させ、酢酸の供給量を増大して(1)式によるメタン発酵を高めることに主眼が置かれ、種々の成果が報告されてきた。

その反面、下水汚泥の嫌気性消化法において(2)式や(3)式によるメタン発酵経路を高める試みはほとんどなく、(3)式の経路を高めることに関連した報告として、市川、金井¹⁾による二酸化炭素分圧を高めた粉碎キャベツ（厨芥モデル）嫌気性消化実験があり、嫌気性消化槽内の二酸化炭素分圧を高めることによる効果が報告されている。

本研究では、下水汚泥の嫌気性消化法において、(3)式によるメタン発酵経路を高めてメタンガス発生量を増加させる二酸化炭素還元型リアクターを開発することとし、次の事項を明らかにするものである。

- i 下水汚泥の嫌気性消化における二酸化炭素分圧の影響
- ii 消化ガス中のメタンガスと二酸化炭素の分離方法
- iii システムの構築と実用性

1.2 研究成果の概要

本研究では、二酸化炭素還元型リアクターを開発するために、種々の基礎的な実験を行い、そこから得られた成果をもとにリアクターシステムを構築して、その性能をパイロットプラント実験により評価した。また、パイロットプラント実験の成果をもとに、実用性の検討も行った。

なお、開発したリアクターシステムは、従来の嫌気性消化プロセスの消化ガスのラインに、消化ガス中の二酸化炭素を分離して消化槽へ循環させる気体分離膜ユニットを組み込むものである。

以下は、本研究で得られた成果の概要である。

- ① 基礎的な実験により、従来の消化槽に単に二酸化炭素を供給するだけで、メタンガスの発生量が増加することが確かめられ、その増加には、水素と二酸化炭素からのメタン発酵の高揚が大きく関係していると思われた。また、二酸化炭素を供給することにより、水素を生産する何らかの微生物作用を刺激している可能性も示された。
- ② 酸素富化用が開発された酢酸セルロース系の気体分離膜は、分離係数は低いものの消化ガス中のメタンガスと二酸化炭素を分離することは可能であった。
- ③ 混合汚泥を用いたパイロットプラント実験において、消化槽内の二酸化炭素分圧を45v/v%に制御した結果は、従来法に比べて27%のメタンガスの増収があった。
- ④ また、本開発システムにおけるメタンガス増収の最適二酸化炭素分圧は50～60v/v%にあると思われ、そこでは従来法よりも約3割のメタンガスの増収が期待できるものと思われた。
- ⑤ パイロットプラント実験では、消化槽内に二酸化炭素を供給したことによりV Sの分解率が2～5%向上した。これには、汚泥中の二酸化炭素濃度が上昇したことによる何らかの微生物の活性の促進があったと推察された。
- ⑥ 実用性の検討の結果、汚泥処理量200m³/日（8 t - D S /日）規模の場合、消化槽内二酸化炭素分圧45v/v%のケースが経済的であると推察された。
- ⑦ パイロットプラント実験の結果をもとに、本開発システムの実用性を1日平均流入汚水量が約18,000～100,000m³/日の範囲の下水処理場規模で検討した結果、投入汚泥濃度3%でも下水量約18,000m³/日規模以上でガスエンジン導入検討範囲にあると思われた。さらに、下水量約56,000m³/日規模以上で消化ガス発電が経済的に有効になると予想された。
- ⑧ 投入汚泥濃度4%では25,000m³/日規模でも1年中ガスエンジンの負荷率を50%以上に保つことができるため、経済的に有効となると予想され、ガスエンジン導入可能な処理場が多くなると思われる。

2. 基礎的実験

二酸化炭素還元型メタン発酵を高めた下水汚泥の嫌気性消化法を開発するに際して、嫌気性消化槽内に二酸化炭素を供給する効果や消化ガス中からの二酸化炭素の分離方法等を検討、把握するために基礎的な実験を行った。

2.1 二酸化炭素の供給効果に関する実験

2.1.1 実験の目的

本実験は、消化槽内に供給する二酸化炭素量を制御することによるメタンガス発生量増加の効果を実際の下水汚泥を用いて調べ、その効果の再現性や供試汚泥性状の違いによる影響を把握するために行ったものである。

2.1.2 実験方法

実験は、図-1及び表-1に示した反応槽容量が5ℓの実験装置を用いて、表-2の実験条件により消化温度35℃で、汚泥の引抜きと投入を1日1回行う Fill and Draw 方式による半連続処理実験を行った。

実験に用いた植種用の消化汚泥と供試用汚泥は、合流式の下水を標準活性汚泥法で処理しているK市T下水処理場からのものであり、供試用の汚泥は2mmのふるいで夾雑物を除去して用いた。

実験では、供試汚泥を用いて Fill and Draw 方式で十分な馴養を図った後、二酸化炭素を供給する所定の実験に入った。二酸化炭素の供給方法は、1日1回の割合でガス捕集袋中の消化ガスを引き抜いた後、所定量の二酸化炭素純ガスをガス捕集袋に供給する方法を取った。また、実験の解析は、消化成績に係る各項目の日常的な分析結果から、定常状態に入っていると思われた期間のデータにより行った。なお、本実験で調査した項目の分析方法は、炭水化物、脂質、蛋白質の分析は文献2)の方法、消化ガス成分分析はガスクロマトグラフ法により行い、その他の項目は下水試験方法(1984)によった。

表-1 実験装置仕様

	名 称	仕 様
1	反 応 槽	容量 5 ℓ 広口びん
2	ドレントラップ	容量 500cc 広口びん
3	恒 温 槽	ポリエチレン製 (610W×440L×380H)
4	ヒ ー タ ー	シーズヒーター, 100V×200W
5	攪 拌 ポ ン プ	マイクロチューブポンプ, 10cc/min×0.1kg/cm ²
6	引 抜 ポ ン プ	チューブポンプ, ~100cc/min
7	オールディタイマー	100V×15A
8	ガ ス 捕 集 袋	テドラーバッグ, 5 ℓ
9	ガ ス メ ー タ	湿式ガスメーター, 5~300 ℓ/H
10	イ オ ン メ ー タ	イオンアナライザー Model 407 A
11	C O ₂ 電 極	CE-235

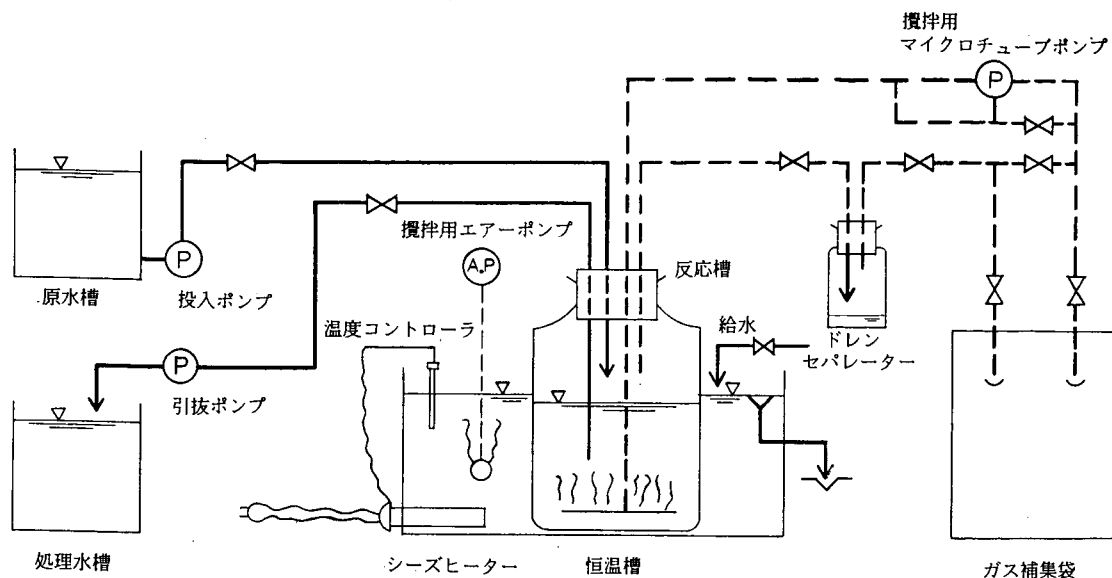


図-1 フローシート

表-2 実験条件

	RUN-1			RUN-2			RUN-3		
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
投入汚泥種類	混合	"	"	混合	"	"	余剰	"	"
投入汚泥量 (ml / 日)	300	"	"	200	"	"	200	"	"
消化日数 (日)	16.7	"	"	25	"	"	25	"	"
有機物負荷 (Kg-VS/m ³ 日)	1.0	"	"	1.0	"	"	1.0	"	"
CO ₂ ガス供給量 (ml / 日)	0	500	1000	0	500	1000	0	500	1000

2.1.3 実験結果

① 消化汚泥の性状

表-3 に定常状態下における投入汚泥と消化汚泥の平均的な性状を示した。

本実験では、消化汚泥のPHと残存有機酸濃度から察するに、比較的安定したメタン発酵が起こっていたと考えられる。

消化汚泥では、RUN-1 及び RUN-3 のVS除去率がRUN-2 に比べて低かった。また、VSの除去率は、RUN-1 及び RUN-3 では二酸化炭素を供給した系の方が供給しない系よりもいくぶん向上する傾向が認められたが、逆に、RUN-2 ではわずかに減少していた。

表-3 汚泥の平均性状

		RUN-1				RUN-2				RUN-3			
		投入汚泥 (混合)	消 化 汚 泥			投入汚泥 (混合)	消 化 汚 泥			投入汚泥 (余剰)	消 化 汚 泥		
			1-1	1-2	1-3		2-1	2-2	2-3		3-1	3-2	3-3
PH	(-)	6.1	7.7	7.8	7.7	5.5	7.7	7.6	7.6	6.4	7.7	7.6	7.7
TS	(%)	2.7	2.2	2.2	2.0	4.2	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5
VS/TS	(%)	66.5	56.9	56.0	56.3	58.2	45.6	46.1	45.9	75.6	61.0	59.0	61.0
炭水化物	(%)	7.2	10.3	10.7	10.4	11.1	8.6	8.7	8.7	7.5	-	-	-
脂 肪	(%)	10.7	7.8	6.9	7.7	7.3	4.8	5.2	5.7	4.9	-	-	-
蛋白質	(%)	45.4	40.3	45.7	41.7	43.8	43.8	43.2	44.0	60.3	-	-	-
M-アルカリ	(mg/ℓ)	580	2590	2580	2600	260	2860	2840	2880	690	3250	3220	3240
有機酸	(%)	1010	70	70	70	1250	150	130	130	900	420	410	410
COD _{Mn}	(%)	-	-	-	-	9990	6680	6780	7060	10100	6290	6180	6270
COD _{Cr}	(%)	22900	18100	18200	17400	-	-	-	-	-	-	-	-
BOD ₅	(%)	-	-	-	-	7540	650	870	830	14800	2290	2540	2550
SS	(%)	-	-	-	-	4.0	2.8	2.8	2.8	2.8	-	-	-
VS除去率	(%)	-	30.1	31.2	35.3	-	44.0	43.4	43.7	-	32.8	35.0	32.8

② 消化ガスの発生状況

図-2 に発生ガス量の経日変化を示した。発生ガス量は、経日的に変動していたが、各RUNにおけるガス発生のパターンは安定したものであった。

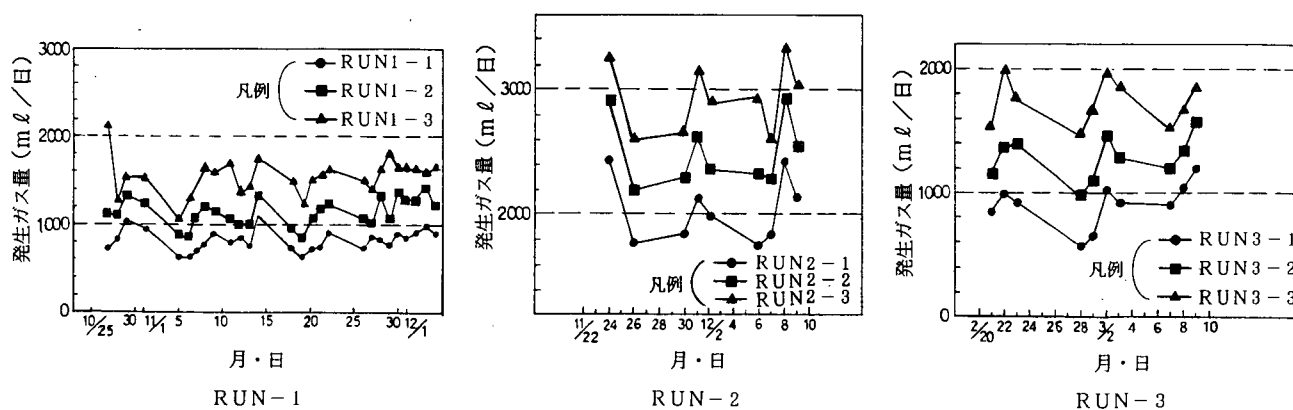


図-2 発生ガス量の経日変化

表-4 は、各RUNにおけるガス発生状況から平均値としてまとめたものである。表には、二酸化炭素を供給したことによるメタンガス発生量の増加が顕著に現われ、二酸化炭素の供給量を増した系ほど増加が著しいものとなっている。また、対照系との比較によるメタンガスの増加率には、各RUN間で大きな差異が認められる。

表-4 ガス発生状況

	RUN-1			RUN-2			RUN-3		
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
ガス発生量 (mℓ/日)	780	1162	1543	2026	2493	2940	870	1297	1745
CH ₄ 含有率 (%)	72.1	64.7	52.9	65.4	56.0	49.6	73.0	58.0	44.0
" 発生量 (mℓ/日)	562	751	817	1325	1396	1458	635	752	768
CO ₂ 含有率 (%)	22.9	30.3	42.1	29.6	39.0	45.4	22.0	37.0	51.0
" 発生量 (mℓ/日)	179	353	649	600	972	1335	191	480	890
注1) CH ₄ 増加率 (%)	—	34.0	45.4	—	5.4	10.0	—	18.4	20.9

注1) CO₂を供給しない系との比較

表-5 は、表-4 の結果をもとに、各RUNの対照系における二酸化炭素とメタンガスの発生量を基準として、各RUNの二酸化炭素供給系における二酸化炭素の消費やメタンガスの増加に関してまとめたものである。CO₂利用率は各RUN間で相当の違いがみられるのに対して、CH₄の収率は大差がないものとなっている。

表-5 二酸化炭素の消費とメタンガス発生量の増加に関する消化成績

実 験 ケ ー ス		RUN-1		RUN-2		RUN-3	
		1-2	1-3	2-2	2-3	3-2	3-3
条 件	消化温度 (°C)	35	左 同	35	左 同	35	左 同
	消化日数 (日)	16.7	"	25	"	25	"
	投入汚泥の種類	混合汚泥	"	混合汚泥	"	余剰汚泥	"
	投入汚泥TS濃度 (%)	2.7	"	4.2	"	3.0	"
	" VS/TS 比 (%)	66.5	"	58.2	"	75.6	"
	投入汚泥量 (mℓ/日)	300	"	200	"	200	"
	CO ₂ 供給量 (mℓ/日)	500	1000	500	1000	500	1000
結 果	CO ₂ 消費量 (mℓ/日)	326	530	128	265	211	301
	CH ₄ 増加量 (mℓ/日)	189	255	71	133	117	133
	投入汚泥量当りの CO ₂ 消費量 (mℓ - CO ₂ /mℓ汚泥/日)	1.087	1.767	0.640	1.325	1.055	1.505
	投入VS量当りの CH ₄ 増加量 (mℓ - CH ₄ /g-vs/日)	35.1	47.3	14.5	27.2	25.8	29.3
	CO ₂ 利用率 (%)	65.2	53.0	25.6	26.5	42.2	30.1
	CH ₄ 収率 (%)	58.0	48.1	55.5	50.2	55.5	44.2

表-5 の算出方法

CO₂消費量 = (CO₂供給量 + 対照系のCO₂発生量) - CO₂供給系のCO₂発生量

CH₄増加量 = CO₂供給系のCH₄発生量 - 対照系のCH₄発生量

投入汚泥量当りのCO₂消費量 = CO₂消費量 / 投入汚泥量

投入VS量当りのCH₄増加量 = CH₄増加量 / 投入VS量

CO₂利用率 = CO₂消費量 / CO₂供給量

CH₄収率 = CH₄増加量 / CO₂消費量

表-5におけるCO₂消費量は、供給したCO₂が消化過程にある汚泥中に移行した量として表してある。一般的に、連続実験系の反応槽におけるガス成分の気相から液相への移行量は、気相中ガス成分の分圧と、液相の容量、流量及び性状に左右される。

図-3は、CO₂供給量に対する投入汚泥量当りのCO₂消費量の関係を表したものである。投入汚泥量当りのCO₂消費量は、CO₂供給量の増加にともない増大し、それは或る飽和値に近づくような傾向を示している。また、この傾向において、RUN-2は、他のRUNよりもCO₂を消費しなかったことを示しており、他のRUNと同等レベルの消費量に達するにはもっと多くのCO₂供給量が必要とすることを表している。

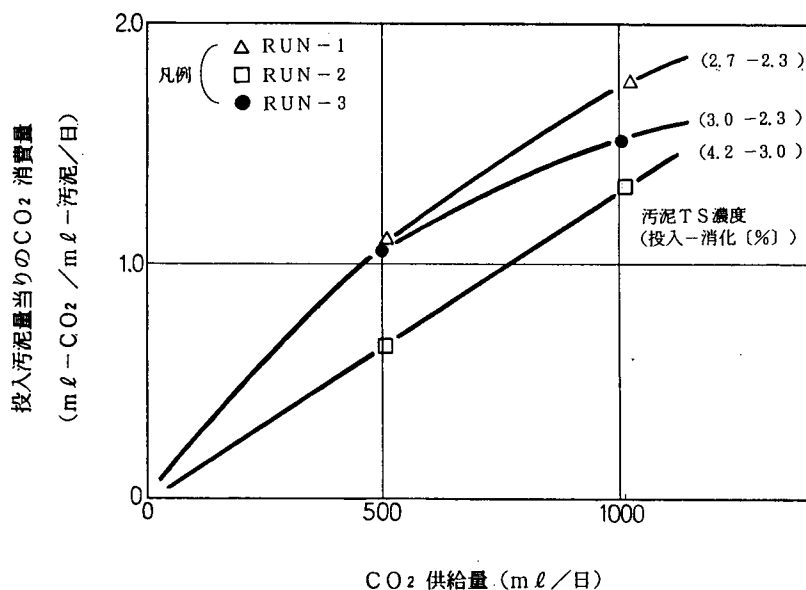


図-3 CO₂供給量と投入汚泥量当りのCO₂消費量の関係

これらの各RUNにおける傾向には、図中に示した反応槽内における消化汚泥の濃度が大きく影響しているものと思われ、それが希薄であればあるほど気相から液相に移行しやすく、逆に濃厚であればそれが抑制されることにありと推察される。

また、この結果が表-5でみられた各RUN間でのCO₂利用率の差異に現われているものと思われる。

図-4は、CO₂供給量に対する投入VS量当りのCH₄増加量の関係を表したものである。メタンガス発生量の増加量は、CO₂供給量の増加にともない増大しており、その傾向は図-3でみられたCO₂消費量の傾向と類似したものである。また、各RUNの増加量には明確な差異が認められ、RUN-3

における増加量は飽和値に近い状態まで達しているのに対して、RUN-2 はさらに増大する傾向を示し、RUN-1 はこれらの中間の状態になっていると位置付けられる。

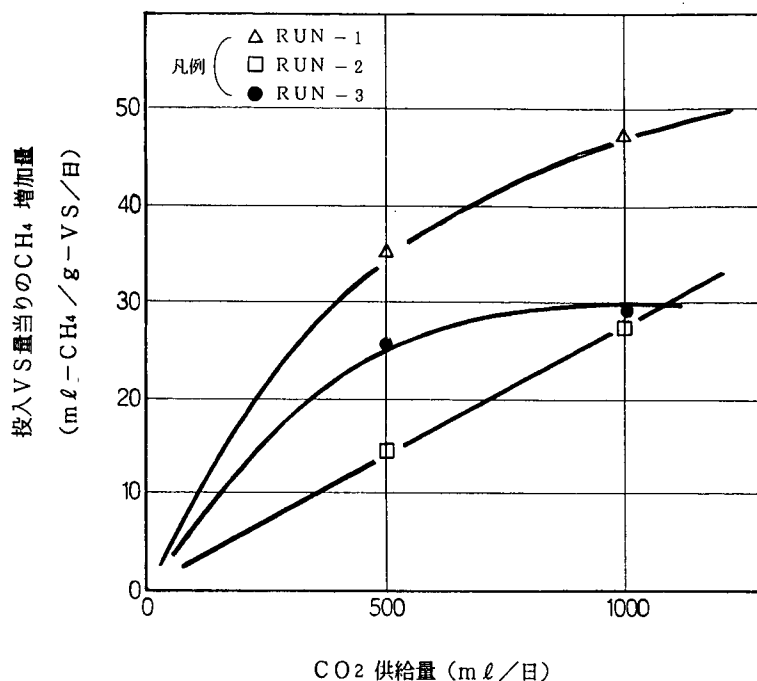


図-4 CO₂供給量と投入VS量当りのCH₄増加量の関係

これらの傾向には投入汚泥の性状が影響しているものと思われる。投入汚泥の種類はRUN-3が余剰汚泥であり、RUN-1と2は混合汚泥である。また、RUN-1と2では投入汚泥のTS濃度が異なり、RUN-2はRUN-1よりも1.4倍濃くなっている。このことから、二酸化炭素を供給することによるメタンガス発生量の増加としての効果は、余剰汚泥よりも混合汚泥、中でも最初沈澱池汚泥に対して大きいものと推察される。

また、同じ混合汚泥（RUN-1と2）であっても、メタンガス発生量の増加傾向には顕著な差異が認められ、この傾向の差異は図-3でみられたCO₂消費量の増加傾向における差異と非常に類似したものであることから、メタンガスの増収量には、二酸化炭素の消費量が大きく関与しているものと思われる。

図-5は、CO₂消費量とCH₄増加量の関係を示したものである。双

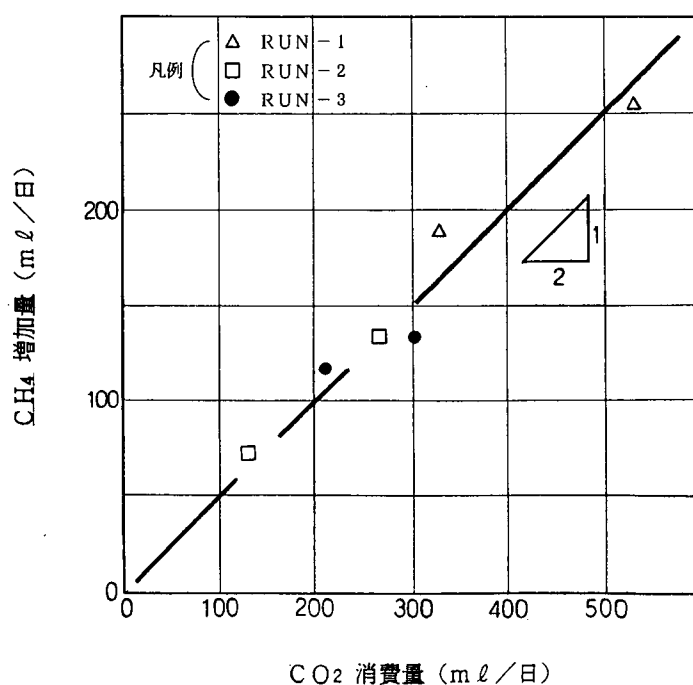


図-5 CH₂消費量とCH₄増加量の関係

方には、正の良好な相関関係がみられ、これは、 CO_2 の消費量、すなわち二酸化炭素の気相から液相への移行量を増大させることが、メタンガス発生量の増収につながることを示している。

また、投入汚泥の種類や濃度に関係なく、消費された CO_2 量の約5割がメタンガスに転化しているであろうと推測され、この結果が表-5でみられた各RUN間の CH_4 収率に大きな差異がみられないことに反映されているものである。

2.2 水素と二酸化炭素からのメタン発酵に関する実験

2.2.1 実験の目的

嫌気性消化槽への二酸化炭素の供給によるメタンガスの増収は、一般的には水素と二酸化炭素からのメタン発酵によるものであると考えられる。

本実験は、実際の消化汚泥における水素と二酸化炭素からのメタン発酵を確認するために、消化が完了した実際の消化汚泥によるメタン発酵実験を行ったものである。

2.2.2 実験方法

実験は、表-6に示した実験条件により、100ml用のバイアルビンを用いて、 35°C で行った。バイアルビンには、ガスの発生が停止した嫌気性消化汚泥を種汚泥として50ml注入し、空間を所定のガスで密封した。培養中のバイアルビンは、1日1回手動で攪拌し、定期的にガス組成の変化を調べた。なお、本実験における分析方法は、前項2.1の実験と同様である。

表-6 実験条件

	A	B	C	D
種汚泥量 (ml)	50	50	50	50
充填ガス量 (ml)	70	70	70	70
充填ガス組成	He	CO_2	$\text{CO}_2/\text{H}_2 = 1/2$	$\text{CO}_2/\text{H}_2 = 1/4$

2.2.3 実験結果

実験開始後15日目の消化汚泥の性状を表-7に示した。また、封入ガスの中のメタンガス濃度の分析結果を表-8に示した。図-6は、表-8の結果をもとに、初期の充填ガス組成とメタンガスの生成の推移を表したものである。

メタンガスの生成量は、 CO_2 ガスが存在したいずれのケースにおいてもHeガス封入のケースよりかなり増加しており、この差は、 CO_2 ガスがメタン化反応に大きく関与していることを示している。

一般的に、メタン生成細菌類が直接基質として利用できるものは、水素+二酸化炭素、ギ酸、酢酸、メタノール、メチルアミンとされている³⁾。

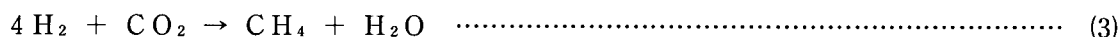
表-7 汚泥性状

	種汚泥	混 合 汚 泥			
		A	B	C	D
PH (-)	8.2	8.6	8.0	8.3	8.5
TS (%)	3.4	3.3	3.3	3.2	3.3
VS/TS(%)	70.3	69.7	69.5	69.1	69.6
M-7法(mg/ℓ)	5810	5150	5430	5110	5210
有機酸 (")	280	270	230	250	240
酢酸 (")	4.0	19.0	11.0	9.7	12.0

表-8 メタン濃度の推移

	(%)			
	A	B	C	D
経過 1 日目	0.5	0.4	1.1	1.5
5 日目	3.3	3.1	14.6	19.2
15 日目	7.0	13.4	22.4	24.4

本実験では、H_eガス充填のケースに比べてCO₂ガスが存在していたケースでのメタンガス生成量はるかに大きく、中でも充填ガスの組成がCO₂/H₂ = 1/4 のケースでの生成量が顕著であったことから、充填ガス中にH₂とCO₂が存在していたケースのメタン発酵においては、水素と二酸化炭素を直接の基質とした(3)式によるメタン発酵が卓越していたものと思われる。



一方、CO₂ガスのみを充填したケースにおけるメタンガス生成量の増加作用について考察すると、当ケースとH_eガス充填のケースとにおける消化汚泥中のVS減少量、或いは有機酸の減少量の差に相当するメタンガス生成量は、図-6におけるCH₄ガス濃度として約1%と見積もられ、これによる当ケースでのメタンガス増加量への寄与は小さいことから、当ケースにおいても封入したCO₂ガスを基質として(3)式によるメタン発酵が卓越していたものと推察される。

しかし、この場合、当ケースでは当初からH₂ガスは封入しておらず、(3)式によ

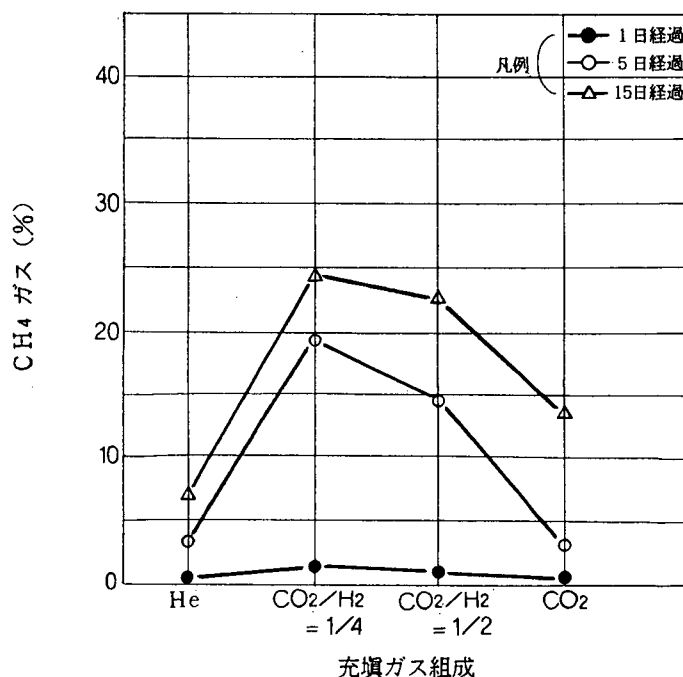


図-6 充填ガス組成とメタンガス生成

るメタン発酵が卓越するのは不可能に近い。しかし、(3)式によるメタン発酵の前に、 H_2 を供給する別の反応があったとすれば説明が付く。

この H_2 を供給する別の反応の介在の可能性は、図-6にも現われている。 CO_2 ガスのみを充填したケースでのメタンガス生成の傾向は、培養初期においては He ガス充填のケースとほとんど変わらず少ないものであったのに対して、培養後期には著しい増加を示しており、当ケースの培養後期においては、 H_2 を供給する別の反応が介在していた可能性が非常に高かったと思われる。

従って、本実験結果から推察するに、嫌気性消化槽へ二酸化炭素を供給することによるメタンガス発生量の増加作用は、消化汚泥中の二酸化炭素濃度が高まることにより、 H_2 を生成する何らかの反応を刺激し、そこから得られる水素と過剰に存在する二酸化炭素とを基質とした(3)式によるメタン発酵が高まることにあると思われる。

2.3 気体分離膜に関する実験

2.3.1 実験の目的

嫌気性消化槽内の二酸化炭素量を増加させる場合、その二酸化炭素は、別途に求めるよりも消化槽から発生する消化ガス中に含まれる二酸化炭素を活用した方が得策と言える。

気体中のガス成分を工業的に分離する手段として、気体分離膜を使用する方法がある。本法は、深冷法や吸着法等に比べて分離操作が容易で、且つ省エネルギー性に優れていると言われている。

本実験は、消化ガス中のメタンガスと二酸化炭素の分離に対する気体分離膜の特性を調査するために行ったものである。

2.3.2 実験方法

実験は、 CH_4-CO_2 混合ガスを用い、気体分離膜ユニットへのガス供給量や透過側圧力、透過ガス流出量等を変化させ、膜の分離性能を調査した。

図-7に実験装置のフローを示した。また、実験に用いた気体分離膜は、酸素富化用に開発されたものであり、その仕様は次の通りである。

気体分離膜ユニットの仕様

材 質	: 三酢酸セルロース
モジュール型式	: 中空子タイプ
膜 面 積	: 約 $8.0m^2$
寸 法	: $\phi 82 \times L 355mm$

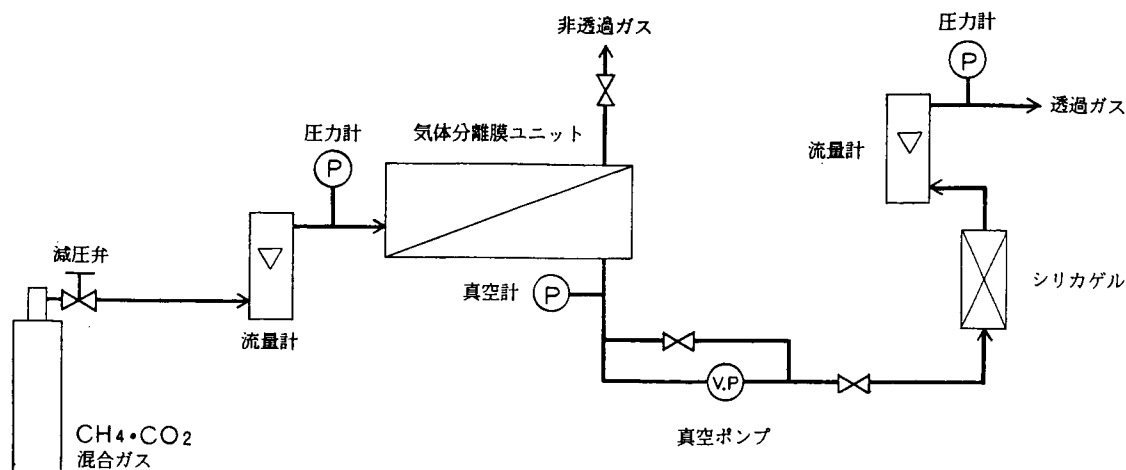


図-7 実験装置フローシート

2.3.3 実験結果

表-9 に実験結果の一例を示した。また、図-8 はこの結果をもとに透過側圧力と透過ガス及び非透過ガス濃度との関係を表したものである。

表-9 実験条件及び結果

Run	供給ガス				透過ガス				非透過ガス				透過ガス 供給ガス ×100 (%)	非透過ガス 供給ガス ×100 (%)
	圧力 (mmHg)	流量 (ℓ/min)	組成		圧力 (mmHg)	流量 (ℓ/min)	組成		圧力 (mmHg)	流量 (ℓ/min)	組成			
			CH ₄ (%)	CO ₂ (%)			CH ₄ (%)	CO ₂ (%)			CH ₄ (%)	CO ₂ (%)		
C-1	60	10	50	50	-300	4.9	35.6	64.5	60	5.1	63.8	36.2	49	51
C-2	60	10	50	50	-400	5.6	26.6	73.4	60	4.4	79.8	20.2	56	44
C-3	60	10	50	50	-500	5.9	25.0	75.0	60	4.1	86.0	14.0	59	41

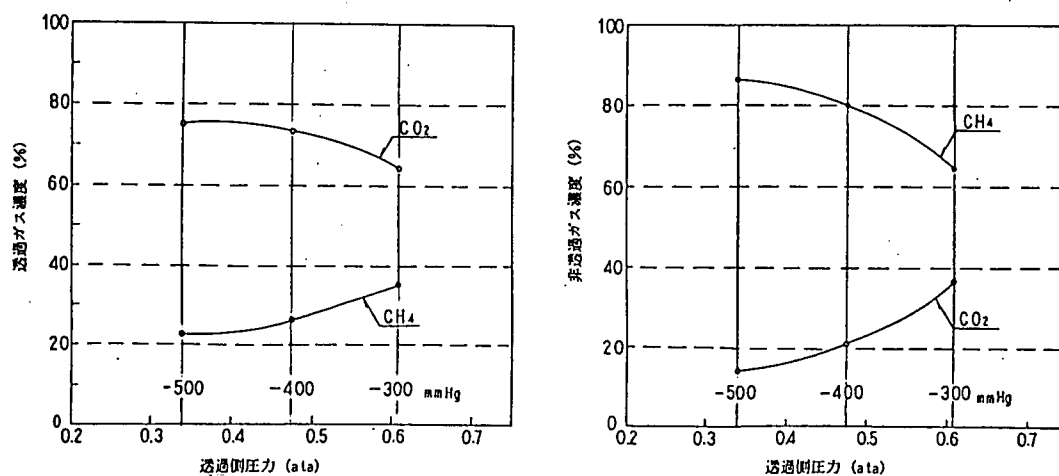


図-8 透過側圧力とガス濃度との関係

本実験に使用した気体分離膜は主に酸素富化用として開発されたものであったが、消化ガスの主成分である CH_4 と CO_2 の分離にも十分使用することができるものと思われる。また、膜の性質としては透過側の真空度を高める程に透過側の CO_2 ガス濃度が上昇する傾向を持つものである。膜の特性を表す指標としてガスの透過速度と分離係数がある。

ガス透過速度は一般的に(4)式で求められる。

$$Q = \frac{q_i (P_1 P_{1i} - P_2 P_{2i}) A}{P_{2i}} \dots\dots\dots (4)$$

- 但し、 Q : 透過混合ガス流量 (Nm^3/Hr)
 A : 膜面積 (m^2)
 P_1 : 供給ガス圧力 (atm)
 P_2 : 透過ガス圧力 (atm)
 q_i : i 成分ガスの透過速度 ($\text{Nm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{Hr} \cdot \text{atm}$)
 P_{1i} : 供給ガス中の i 成分比 (—)
 P_{2i} : 透過ガス中の i 成分比 (—)

表-9 で得られたデータを(4)式に代入して、 CH_4 及び CO_2 の透過速度を計算した結果、次の値が得られた。

$$q_{\text{CH}_4} = 0.027 \sim 0.046 \text{ Nm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{Hr} \cdot \text{atm}$$

$$q_{\text{CO}_2} = 0.135 \sim 0.222 \text{ Nm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{Hr} \cdot \text{atm}$$

透過速度は供給ガスの流量・組成・温度等により変動するものであると思われることから、本実験で得られた値が使用した気体分離膜の限界性能を表しているとは断定できない。

ガスの分離係数は気体分離膜の分離性能を表す指標であり、本実験においては(5)式で求められる。

$$\text{分離係数} = \frac{\text{二酸化炭素の透過速度} (q_{\text{CO}_2})}{\text{メタンガスの透過速度} (q_{\text{CH}_4})} \dots\dots\dots (5)$$

本実験で用いた膜の分離係数を求めた結果4.8～6.6であった。一般に酢酸セルロース系の膜の分離係数は25以上と言われている⁴⁾ことから、本研究の目的に合った膜の検索を更に進める必要があると思われる。

2.4 まとめ

基礎的な実験から得られた結果を以下にまとめた。

- ① 下水汚泥をガス攪拌しながら、嫌気性消化している反応槽内に二酸化炭素を供給するだけで、メタンガスの発生量が増加することが確認された。このときのV S減少率には大きな変化は認められなかった。
- ② 二酸化炭素を供給したことによるメタンガスの増加量は、投入汚泥の種類や濃度に関係なく、供給した二酸化炭素が消費された量の約5割に相当するものであり、二酸化炭素の消費量を増すことがメタンガスの増収につながるものと思われた。
- ③ 供給した二酸化炭素の消費の効率は、反応槽内の消化汚泥濃度に左右され、同一供給量においては汚泥濃度が薄いほどスムーズに消費されることが示された。
- ④ 二酸化炭素を供給することによるメタンガス増収の効果は、余剰汚泥よりも混合汚泥に対して大きいことが示された。
- ⑤ 増加するメタンガスは、水素と二酸化炭素からのメタン発酵経路によるものが主体であると推測され、また、二酸化炭素を供給することにより、水素を生成する何らかの反応を刺激している可能性が高いことも示された。
- ⑥ 酸素富化用に開発された酢酸セルロース系の気体分離膜は、分離係数は小さいものの、消化ガス中のメタンガスと二酸化炭素の分離は可能であると思われた。

3. パイロットプラントによる実証実験

3.1 実験の目的

基礎的な実験から、消化槽へ二酸化炭素を供給することによりメタンガスの発生量が増加することや消化ガス中から CO_2 ガスが分離できること等が確かめられ、リアクターとして構築できる可能性が示された。本実験は、実際に二酸化炭素還元型メタン発酵リアクターを構築し、その性能をパイロットプラント実験により確かめるために実施したものである。

3.2 リアクターシステムの構築

基礎的な実験から得られた成果をもとに、二酸化炭素還元型リアクターのシステムを構築した。その基本的なシステムを図-9に示した。

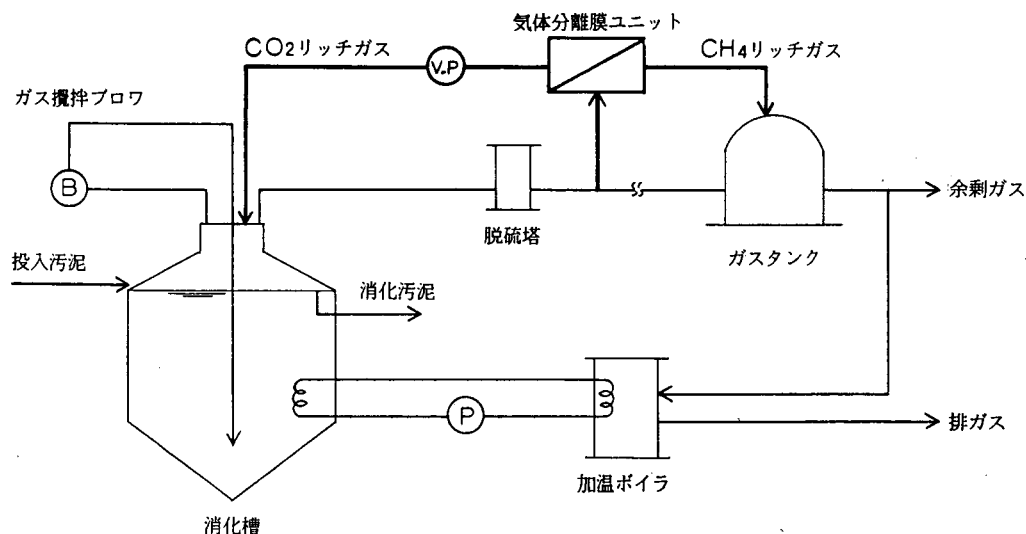


図-9 二酸化炭素還元型リアクターシステムの基本フロー

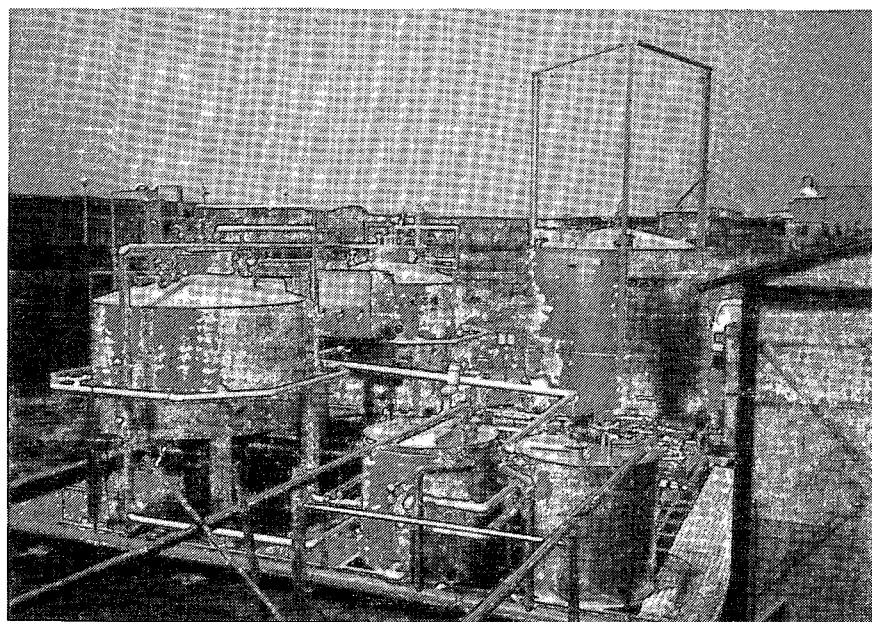
構築したシステムは、図-9に太線で示したように、従来の一般的な嫌気性消化フローの消化ガスのラインに気体分離膜ユニットを組み込むだけの単純なものであり、消化槽への二酸化炭素の供給量はバキュームポンプ（図中の(V.P.)）の運転操作により制御するものである。

なお、本システムの構築に際しては、期待される効果として、以下を想定している。

- ① 従来排ガスとなっていた CO_2 ガスを消化槽内に循環利用し、二酸化炭素還元型メタン発酵を高めることによるメタンガスの増収。
- ② 消化ガスから CO_2 ガスを除去することによる消化ガスの高カロリー化とガスタンク使用の効率化。

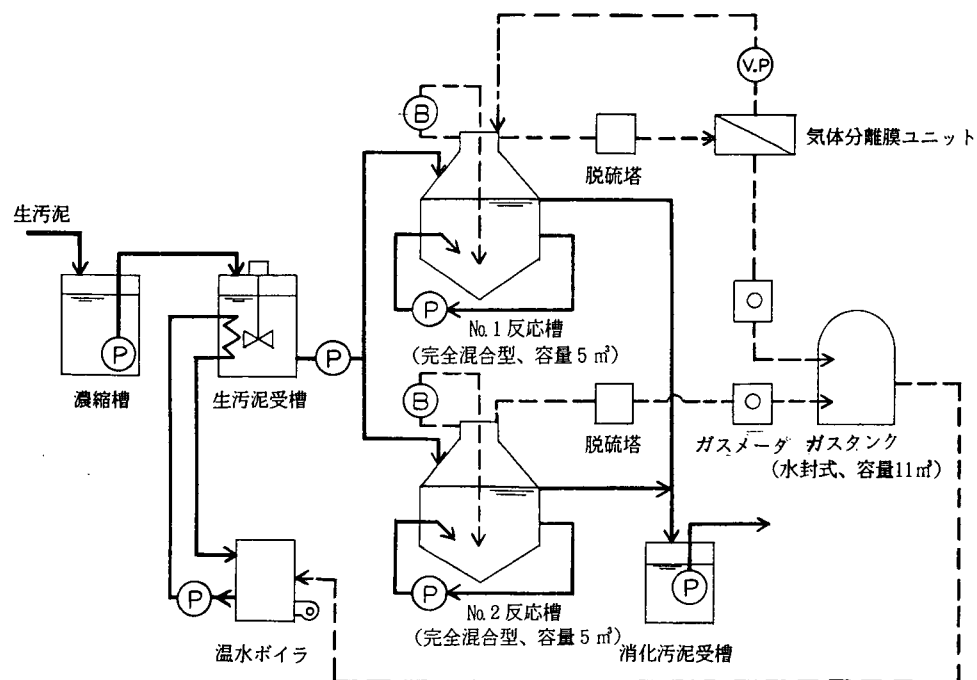
3.3 実験方法

実験は、分流式下水を標準活性汚泥法で処理している取手地方広域下水道組合の県南クリーンセンター内にパイロットプラントを建設し（写真－１），そこから得られる混合汚泥の嫌気性消化実験を約２年間実施した。



写真－１ プラント全景

パイロットプラントのフローシート及び機器の仕様を図－１０と表－１０に示した。



図－１０ パイロットプラントのフローシート

表-10 パイロットプラント機器の仕様

No.	機 器 名 称	機 器 仕 様	数 量
1	生汚泥移送ポンプ	一軸ネジポンプ 50A × 2 m ³ /H × 10m × 200V × 0.75KW	1
2	汚泥投入ポンプ	〃 50A × 1 ~ 2 m ³ /H × 10m × 200V × 0.75KW	1
3	汚泥循環ポンプ	〃 50A × 0.5~1.5 m ³ /H × 10m × 200V × 0.75KW	2
4	消化汚泥移送ポンプ	水中汚水汚物ポンプ 50A × 0.14m ³ /min × 5.3m × 200V × 0.4KW	1
5	温水循環ポンプ	渦巻ポンプ 25A × 0.14m ³ /min × 5m × 200V × 0.4KW	1
6	攪拌用ブロウ	エアーポンプ 85ℓ/min × 4.0 kg/cm ² × 100V × 370KW	1
7	真空ポンプ	ダイヤフラム式真空ポンプ (30 × 2) ℓ/min × -600mmHg × 200V × 150W	1
8	生汚泥受槽攪拌機	可搬型攪拌機 350rpm × 200V × 0.4kW	1
9	温水ボイラ	バコティンヒータ 40,000 kcal/H	1
10	反応槽用ヒータ	シーズヒータ 200V × 2KW	2
11	排水ポンプ	水中汚水ポンプ 40A × 0.1m ³ /min × 6.5m × 100V × 0.25KW	1
12	気体分離膜ユニット	中空子タイプ 82φ × 355L, 約 8.0m ³ , 酢酸セルロース系	1

パイロットプラントは、実験系としてNo.1反応槽と対照系としてのNo.2反応槽を有し、それぞれの有効容積は5m³である。

既設処理場で発生した濃縮生汚泥は生汚泥移送ポンプにより、生汚泥受槽に送られ、温水ボイラからの温水により所定温度まで昇温される。

その後、No.1, No.2反応槽へ一定量ずつ投入され、オーバーフローした消化汚泥は処理場へ返送される。

反応槽内は表-10に示す循環ポンプ及び攪拌ブロウにて、適切な攪拌を行う。No.1反応槽から発生した消化ガスは、脱硫後気体分離膜ユニットへ流入し、真空ポンプにて減圧透過することにより、高濃度の二酸化炭素とメタンに分離され、高濃度の二酸化炭素は再度反応槽へ循環される。又、高濃度のメタンは計量後、容量11m³のガスタンクへ送られ、温水ボイラの燃料となる。

No.2反応槽は比較対照運転を行う。

実験は、約6ヶ月間の馴養運転を行い、その間に二酸化炭素供給量の制御方法の確立や、実験系と対照系の反応槽における消化成績の同一化を図った後、実証実験に入った。

なお、本実験で調査した項目の分析方法は、炭水化物、脂質、蛋白質の分析は文献2)の方法、消化ガス成分分析はガスクロマトグラフ法により行い、その他の項目は下水試験方法(1984)によった。

3.4 実験結果

実証実験期間中のパイロットプラントの運転条件を表-11に示した。

RUN-1と3が気体分離膜ユニットを稼働させた定格実験であり、RUN-2は、RUN-3に入る前のNo.1系とNo.2系の同一処理成績の確認実験である。

表-11 運転条件

	RUN-1	RUN-2	RUN-3
運 転 期 間	1990年4月～7月	1990年7月～8月	1990年9月～1991年3月
投 入 汚 泥 量 (m ³ /日)	0.25	0.25	0.25
消 化 日 数 (日)	20	20	20
有機物負荷 (kg-VS/m ³ ・日)	1.0	1.0	1.0
消 化 温 度 (℃)	35	35	35
攪 拌 方 式	ポンプ循環+ガス攪拌	ポンプ循環+ガス攪拌	ポンプ循環+ガス攪拌
気体分離膜ユニット	運 転	停 止	運 転
設定槽内CO ₂ 分圧 (V/V%)	30	—	45

3.4.1 消化成績

① 消化汚泥の性状

集中サンプリング期間中の各種汚泥の平均的性状と処理成績を表-12に示す。

表-12 汚泥性状と処理成績

	RUN-1			RUN-2			RUN-3		
	生汚泥	No.1 消化汚泥	No.2 消化汚泥	生汚泥	No.1 消化汚泥	No.2 消化汚泥	生汚泥	No.1 消化汚泥	No.2 消化汚泥
P H (—)	6.6	7.6	7.6	6.2	7.5	7.5	5.9	7.5	7.8
T S (%)	2.22	1.39	1.45	2.22	1.52	1.53	2.29	1.38	1.53
V S / T S (%)	78.7	73.2	72.9	75.7	71.3	71.0	70.8	64.2	63.9
炭水化物 (%VS)	6.7	8.6	8.5	6.2	7.9	7.9	9.5	7.5	6.7
脂 質 (%VS)	15.1	6.8	6.9	18.2	8.0	8.2	18.5	10.7	10.2
蛋白質 (%VS)	43.6	45.2	44.7	39.9	44.8	44.4	42.9	46.4	43.8
M アルカリ (mg/ℓ)	733	2,025	2,068	563	1,836	1,973	570	1,880	1,783
有機酸 (mg/ℓ)	455	230	217	423	136	134	880	135	266
COD _{cr} (mg/ℓ)	21,600	14,350	14,150	—	—	—	27,600	13,500	16,400
T-N (mg/ℓ)	1,485	1,322	1,347	—	—	—	1,386	1,216	1,111
T-P (mg/ℓ)	425	412	388	—	—	—	253	238	218
T-C (mg/ℓ)	1,022	943	1,162	—	—	—	925	597	593
I-C (mg/ℓ)	170	470	492	—	—	—	230	363	375
T-C (%)	41.1	35.5	35.6	—	—	—	39.8	34.8	34.3
V S 除去率 (%)	—	41.8	39.5	—	35.5	35.4	—	45.4	39.7
COD _{cr} 除去率 (%)	—	33.6	34.5	—	—	—	—	51.1	40.6

*No.2 は対照系

RUN-1～3ともに消化汚泥のPH値は7.5～7.8, 有機酸/Mアルカリ比が0.07～0.15と良好なメタン発酵が進行していたといえる。

生汚泥中の三成分を見ると、特に蛋白成分のウェイトが大きく、余剰汚泥を多く含む難分解性の汚泥といえる。

有機物分解率はRUN-1～3の対照系が35.4～39.7%であったのに対して、二酸化炭素循環系列では、41.8～45.4%となっており、実験系では従来法よりも2～5%の分解率の向上が認められた。

図-11は、RUN-1における汚泥ろ液のゲルクロマトグラフである。このときの測定条件は次の通りとした。

ゲルクロマトグラフィーの条件

充 填 材 : セファデックスゲル G-15

カラムサイズ : $\phi 26 \times H 1000 \text{ mm}$

展 開 液 : 蒸留水

試 料 : No. 5 B ろ紙によるろ液

No. 1 と No. 2 の消化汚泥の間には明確な差異が認められ、二酸化炭素を供給したNo. 1 の系では対照系のNo. 2 に比べ、フラクションNo. 20~30の有機物分画TC濃度、吸光度が大幅に減少している。

これは、消化槽内に二酸化炭素を供給したことによる有機物分解の促進効果とみることができ、ここでは、汚泥中二酸化炭素濃度の上昇による環境の変化が、何らかの微生物の活性を促進させていたものと推察される。

② 消化ガスの発生状況

発生ガス量及びメタンガス量の経日変化を図-12に、集中サンプリング期間の平均値を表-13に示す。

図中若干のばらつきはあるが、RUN-2ではNo. 1, 2 系列ともほぼ同一のガス発生量が得られ、比較対照実験として信頼のできるデータであることが確認できた。

又、RUN-1, 3 ではガス発生パターンは安定しており、対照系 (No. 2 系列) に対する実験系 (No. 1 系列) のメタン発生量の優位性は顕著であり、平均値では各々17%, 27%のメタン増加率が得られ、二酸化炭素の循環によりメタンガス収量の増加が可能であることが確認できた。又、ガスタンクに送られる消化ガス中のメタン濃度も80%以上であり、従来法よりも高カロリーのものとなっている。

表-13 発生ガス量及び性状

		RUN - 1			RUN - 2			RUN - 3		
		No. 1	No. 2	No. 1/No. 2	No. 1	No. 2	No. 1/No. 2	No. 1	No. 2	No. 1/No. 2
ガ ス 量 (m ³ /日)		1.503	1.425	(1.05)	1.906	1.900	(1.00)	1.371	1.228	(1.11)
ガ ス 成 分	CH ₄ (%)	84.7	76.3	—	72.3	72.6	—	82.2	72.0	—
	CO ₂ (%)	15.3	23.7	—	27.7	27.4	—	17.8	28.0	—
メ タ ン 量 (m ³ /日)		1.273	1.087	(1.17)	1.378	1.379	(1.00)	1.127	0.884	(1.27)

*No. 2 は対照系

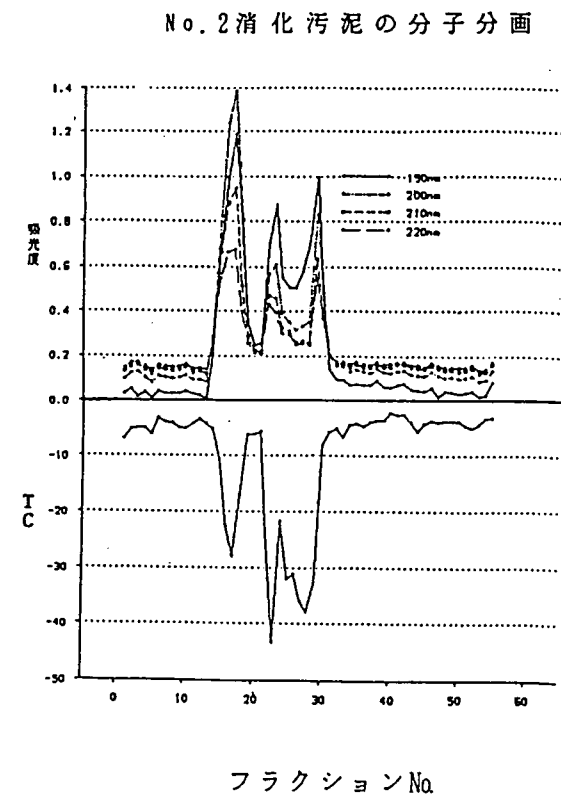
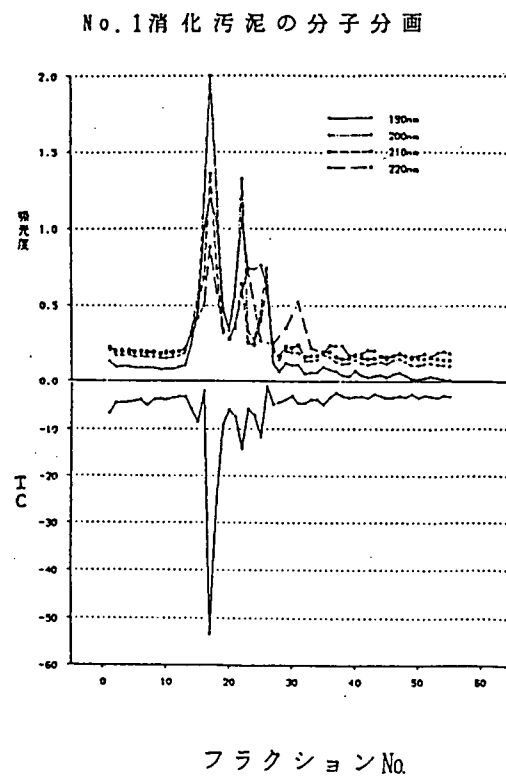
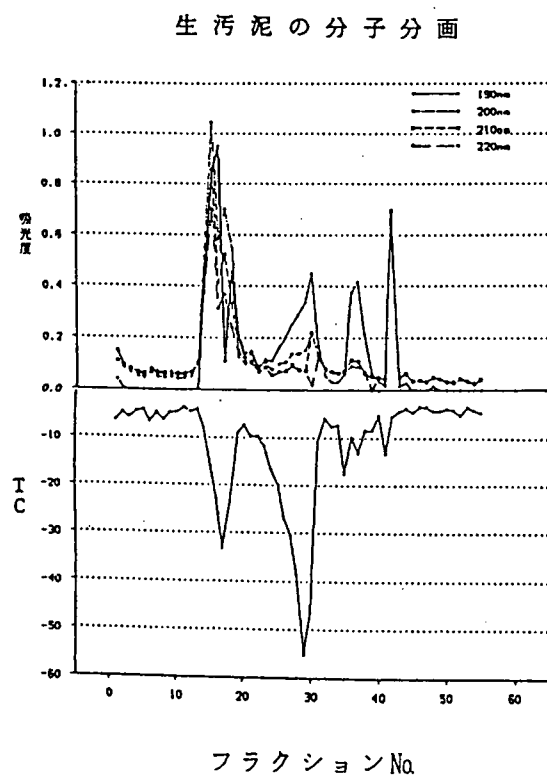


図-11 汚泥のゲルクロマトグラフ (RUN-1)

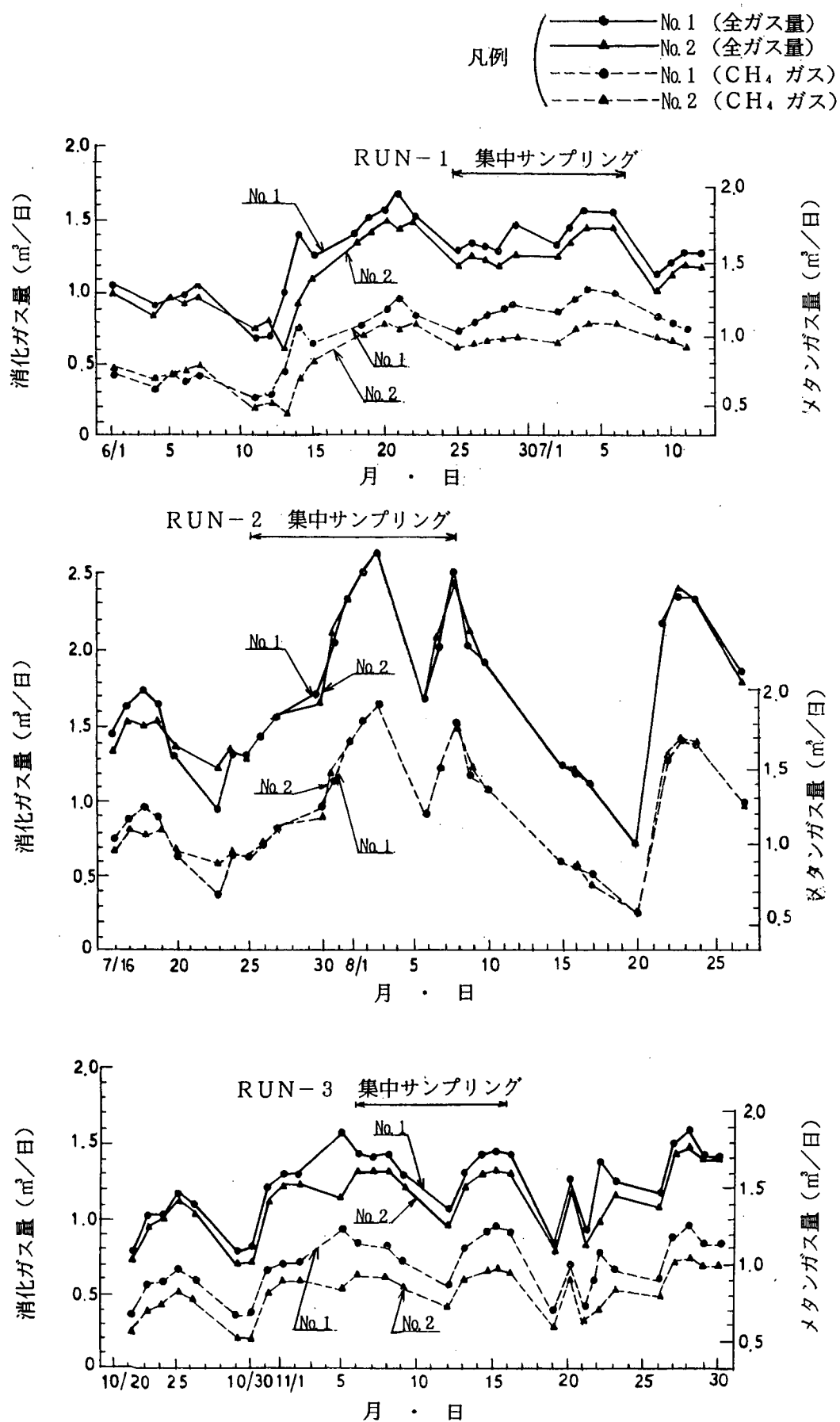


図-12 ガス発生量経日変化

槽内二酸化炭素分圧とメタンガス増加率の関係を図-13に示す。

図中、RUN-1、3とも二酸化炭素分圧を増加させるに従い、メタンガスの収率が向上することが顕著に現れている。

このように、二酸化炭素分圧を高めることで、消化槽内混合液中への二酸化炭素の溶解を促進し、二酸化炭素還元型のメタン発酵が旺盛になったと思われる。

しかしながら、消化槽内の二酸化炭素分圧を高めることによるメタンガスの増収にも限界があるという傾向が現れており、むやみに二酸化炭素を供給すれば良いというものではなさそうである。

この傾向は、文献5)にも報告されており(表-14)、そこでは、二酸化炭素分圧56v/v%にピーク値を持ち、それよりも分圧が高くなるとメタンガスの増加率が減少している。

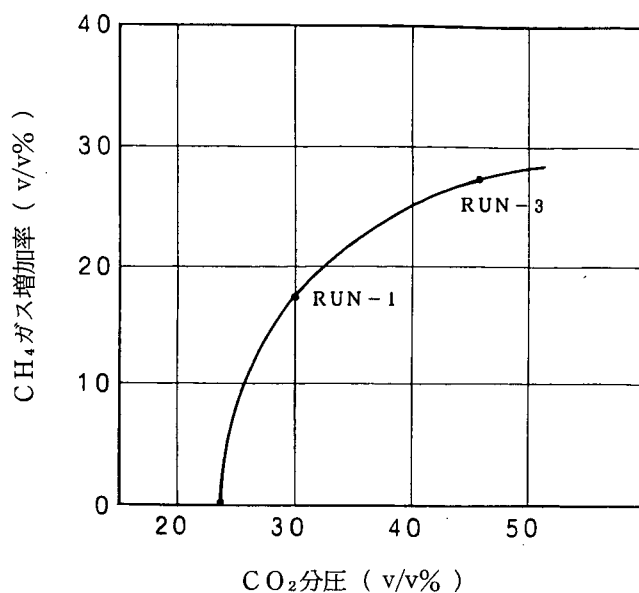


図-13 二酸化炭素分圧とメタンガス増加率

表-14 文献5)によるラボテスト結果

ケース	消化槽内 CO ₂ ガス分圧 (%)	消化槽内 P H (-)	投入V S当り メタン発生量 (mg/g)	メタン 増加率
A	27.7	7.1 - 7.2	112	-
B	29.8	7.1 - 7.2	123	1.10
C	38.4	7.0 - 7.1	130	1.16
D	47.7	6.9 - 7.0	134	1.20
E	55.8	6.8 - 7.0	143	1.28
F	64.3	6.7 - 6.9	139	1.24

但し、メタン増加率はケースAを規準(1.00)とした。

このようなことから、本プロセスにおいてメタンガスの増収を図るための最適二酸化炭素分圧は50～60v/v%にあると思われる。

また、それ以上の二酸化炭素分圧下にて増収率が低下するのは、二酸化炭素の過剰溶解によるP Hの低下に起因しているものと思われる。

3.4.2 物質収支

① COD_{cr}の収支

RUN-3の定格運転時の平均的なCOD_{cr}の収支を図-14に示す。

流出物質の流れは大きく分けて、メタンガス、固形物及び溶解性物質の三つに分類でき、流入COD_{cr}に占める流出メタンの割合は、No.1, No.2で各々48%, 38%と二酸化炭素を供給した系でのメタンガスの回収率が高いことが分かる。

COD_{cr}分解率もそれぞれ51.1%:40.6%となっており、二酸化炭素を供給した系の方が高い。

COD_{cr}物質の全収率として96%が得られ、収支評価では精度の高い結果であると思われる。

② 炭素の収支

メタン発酵プロセスの物質収支のもう一つの指標として、炭素に注目し、流入及び流出する炭素の挙動を調査し、その物質収支を求めた。

収支計算では、固相側のSS成分中に含まれるC量と、液相側のTC量(TOC+IC)の和を汚泥中のC量とし、気相側はCH₄、CO₂中のC量とした。

RUN-3の定格運転時の平均的な炭素収支を図-15に示す。

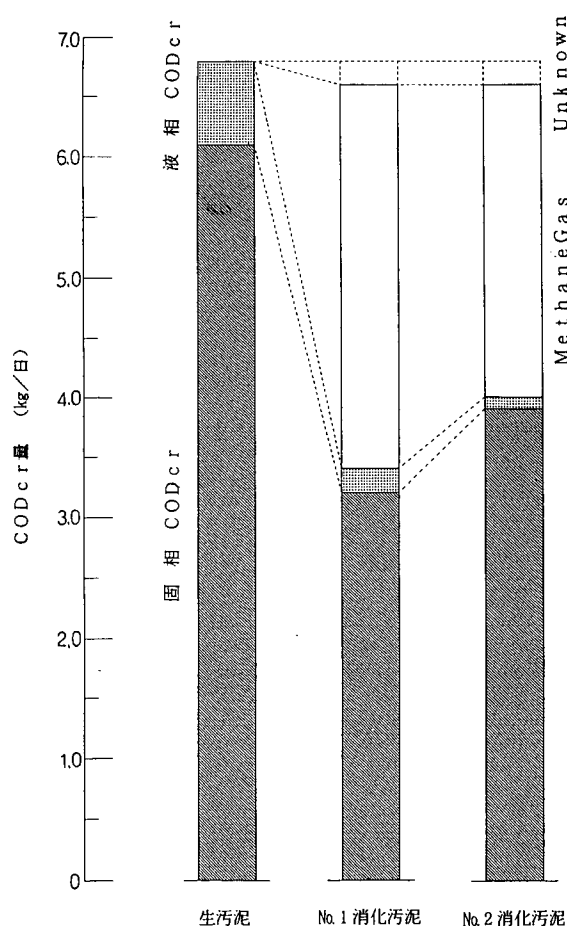


図-14 COD収支図

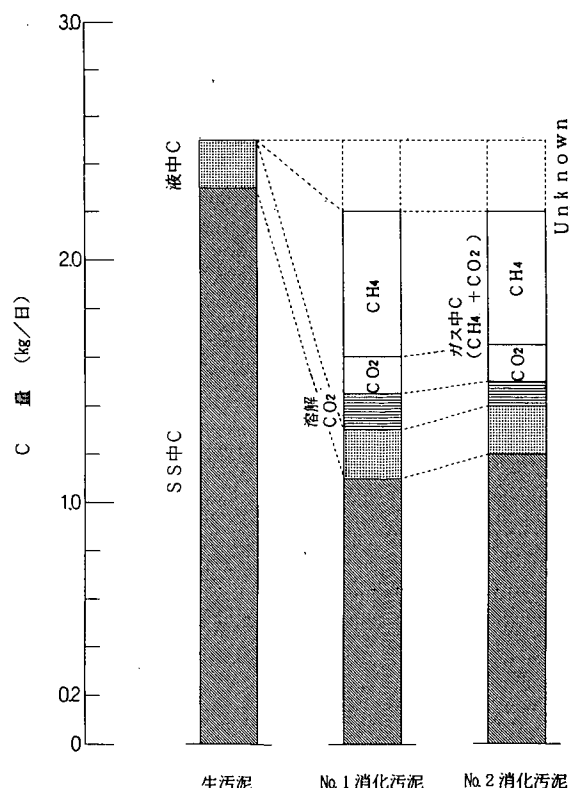


図-15 炭素収支図

入口炭素量が2.51kg/日に対し、出口炭素量がNo.1, 2で各々2.18kg/日, 2.20kg/日であり、全炭素の収率は87~88%とかなり高い精度で求めることができた。

炭素収支においても、 COD_{cr} の収支と同様の傾向がうかがわれ、消化槽に二酸化炭素を供給したことによる、 CH_4-C の増加やSS中C量の減少等の効果がみられる。

3.4.3 二酸化炭素還元型メタン発酵機構の推察

これまでに得られた実験結果により、槽内の二酸化炭素分圧を高くすることで、メタンガスの収量が約30%上昇することが明確になった。

一方、メタンガス収量の増加の理論は明確なものとはなっていないが、基礎実験、パイロットプラント実験の2~3の実験結果及びメタン発酵メカニズムに関する文献調査により、以下の機構が関与するのではないかと考える。

- ① メタン菌は二酸化炭素を分解し、遊離した酸素は有機質から分離した炭素と結合し、細胞内でエネルギーを発生しながら二酸化炭素となる⁶⁾と記述されている。

この理論から、二酸化炭素の分圧を上げると、メタン菌の細胞内二酸化炭素分圧も上がり、基質の制限がなければ、細胞維持のための代謝活動が高められ、細胞の活性化が促進されるため、水素・ギ酸・メタノール・酢酸等のメタン化反応が進むと思われる。

また、メタン菌の活性が高まるとアミノ酸・有機酸・ヌクレオシド・ヌクレオチド・糖類等の細胞構成素材をもとに細胞合成が活発になるとと思われる。(図-16) このことは図-11に示した汚泥ろ液のゲルクロマトグラフにおいて実験系のフラクションNo.20~30の有機物濃度が大幅に減少している理由ではないかと考える。

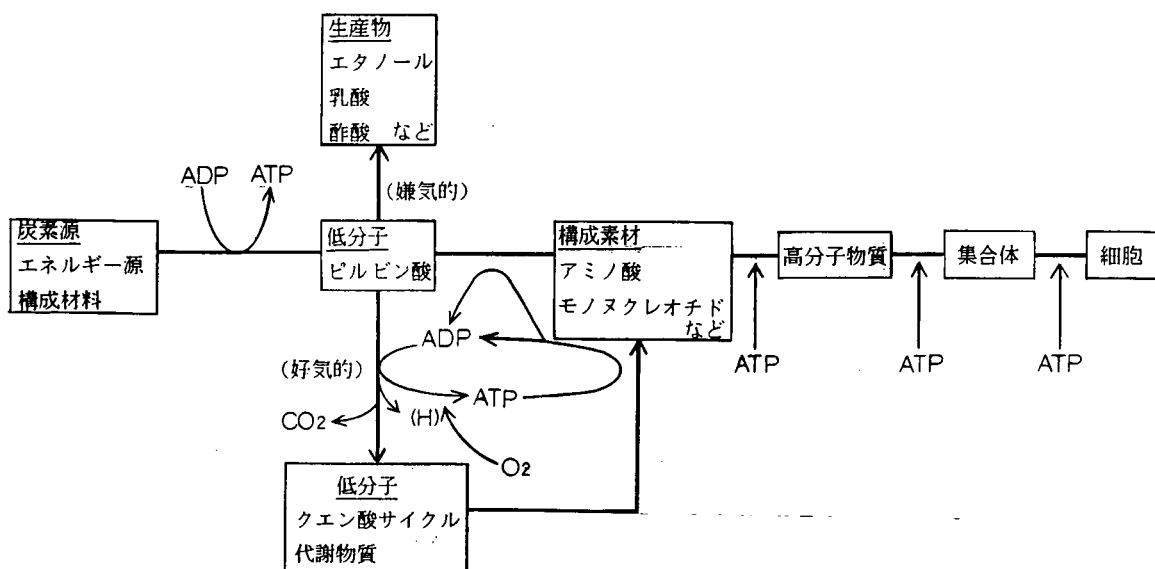


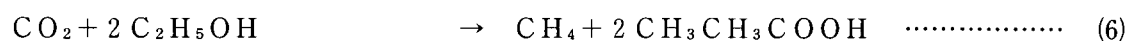
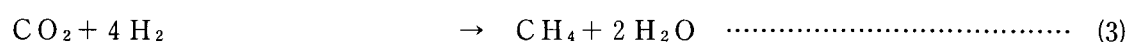
図-16 最小培地（単一炭素源）における細胞の生合成の段階とA T Pの生成・利用⁷⁾

- ② 二酸化炭素分圧増加の効果がメタン発酵過程の後半で顕著である実験結果があったが、この理由として以下のように考える。

有機酸の脱水素過程のうち、プロピオン酸分解菌及び酪酸分解菌の菌体数比率は酢酸利用メタン菌数の2～10%と少なく、また基質分解活性もメタン菌に比べてきわめて低く酢酸からのメタン生成反応よりもプロピオン酸や酪酸の分解反応がメタン発酵の律速となっていると推定している⁸⁾ 報告がある。

一方、メタン菌はガス状の水素、ある種のアルコール及び脂肪酸の存在下で、二酸化炭素をメタンに還元する働きをし、脂肪酸は水を還元剤または水素供与体として利用することもある⁹⁾ との記述がある。

この反応式の1例を以下に示す。



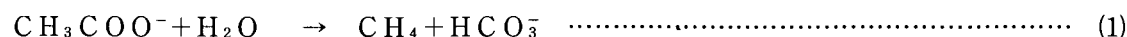
この2つの理論から酪酸やエチルアルコール等の低分子量領域の低分子化速度が向上するのではないかとと思われる。

- ③ プロピオン酸から酢酸を生成する細菌は、メタン菌及び硫酸塩還元菌と共生状態にある⁸⁾ との報告があり、消化槽内ではメタン菌及び硫酸塩還元菌は共存していると思われる。

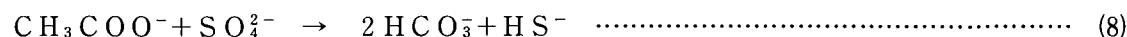
ここで、メタン菌を活性化することにより、硫酸塩還元細菌による酢酸等の資化量を抑制することができ、メタンガスの回収量が増加することも考えられる。

メタン菌と硫酸塩還元細菌の酢酸資化反応を以下に示す。

- (1) 酢酸資化性メタン生成反応



- (2) 酢酸資化性硫酸塩還元反応



以上のようにメタンガス回収量増大の原因を、3つの仮説としてまとめたが、現在実証はできていないため、今後の検討課題としたい。

3.5 まとめ

パイロットプラント実験により、構築した二酸化炭素還元型リアクターシステムは、メタンガスの増収を図るのに効果があることが示された。以下に、本実験から得られた結果をまとめた。

- ① 消化槽内の二酸化炭素分圧を45v/v%に制御した結果、従来法に比べて27%のメタンガスの増収があった。
- ② 本システムによるメタンガス増収の最適二酸化炭素分圧は50～60v/v%にあると思われ、そこでは従来法よりも約3割のメタンガスの増収が期待できるものと思われた。
- ③ 本システムにおいてガスタンクに供給される消化ガス中のメタンガス濃度は80v/v%以上が確保でき、従来法よりも高カロリーの消化ガスが得られる。
- ④ 消化槽内に二酸化炭素を供給したことにより、VSの分解率が2～5%向上し、それには、汚泥中の二酸化炭素濃度が上昇したことによる何らかの微生物の活性促進があったと推測された。
- ⑤ パイロットプラント実験における物質収支をCOD_{cr}と炭素で調べた結果、それぞれ96%、87%の投入汚泥に対する収支が得られ、本実験は、かなり高い精度で行われていたものと思われた。

4. 実用性の検討

4.1 実用二酸化炭素分圧の検討

基礎実験及びパイロットプラント実験結果では、二酸化炭素分圧が50～60v/v%の領域に最適値があったが、開発プロセスの実用面からの適性二酸化炭素分圧を検討するため、実用規模レベルの設計を行い、そこでの運転成績を試算することによりエネルギー比較及び経済性の比較を行った。

検討に際しては、施設の設計処理能力に係わる数値を表-15のように定めた。

表-15 開発プロセスの実用性に際しての設計条件

1. 検討施設の設定条件

(1) 処理汚泥量 : 200 m³/日 (8 t/日)

(2) 汚泥性状 : TS = 4 %, VS/TS = 70%

(3) 消化槽 : 3,000 m³ × 2 槽

(4) 投入VS当りガス発生量 : 0.4 m³/kg

(5) ガス組成 : CH₄ = 74% , CO₂ = 26%

2. 運転成績に係わる設定条件

	ケース 1	ケース 2	ケース 3
(1) 槽内CO ₂ 分圧 :	30 %	45 %	60 %
(2) 濃縮CH ₄ 濃度 :	82 %	82 %	82 %
(3) メタン収率増加率 :	17 %	27 %	30 %

(4) エネルギーの生産及び消費

① CH₄ガスの熱エネルギー : 8,550 kcal/Nm³CH₄

② 熱エネルギーの発電量 換算 : 2,860 kcal/KWh (860kcal/KWh × 1/0.3)

③ 電動機負荷率 : 70%

(5) 電力単価 : 20円/KWh

(6) A重油単価 : 40円/ℓ

設計条件に基づいて試算した結果を表-16, 図-17に示す。

ただし、設備は年間365日稼動として計算を行った。

表-16 試算結果

	ケース 1	ケース 2	ケース 3
必要膜面積 (㎡)	330	570	850
真空ポンプ仕様	8.0 ㎡/分×-600 mmHg×15KW	8.7 ㎡/分×-600 mmHg×15KW	8.9 ㎡/分×-600 mmHg×15KW
エネルギー増加分 (kcal/年)	0.88×10^9	1.40×10^9	1.55×10^9
同上重油換算 (ℓ/年)	98,450	154,970	173,050
注1) 同上電力換算 (KWH/年)	3.07×10^5	4.89×10^5	5.43×10^5
注2) 電力収支 (KWH/年)	$+2.24 \times 10^5$	$+3.99 \times 10^5$	$+4.51 \times 10^5$
電力削減費 (万円/年)	+450	+800	+900

注1) 消化ガス発電システムを有する場合

注2) (発電量増加分) - (真空ポンプ消費電力量)

本プロセスを設置し、槽内二酸化炭素分圧を30～60v/v%に上昇させることにより、 $0.88 \sim 1.55 \times 10^9$ kcal/年のエネルギーの生産増加があり、真空ポンプの消費動力を考慮しても、発電量に換算すると $2.24 \sim 4.51 \times 10^5$ KWH/年の電力の節約が可能ということになる。この結果から本プロセスはエネルギー生産型のプロセスであると思われる。

次に付加的投資額と維持管理費削減額とのバランスの点からシステム評価を行う。

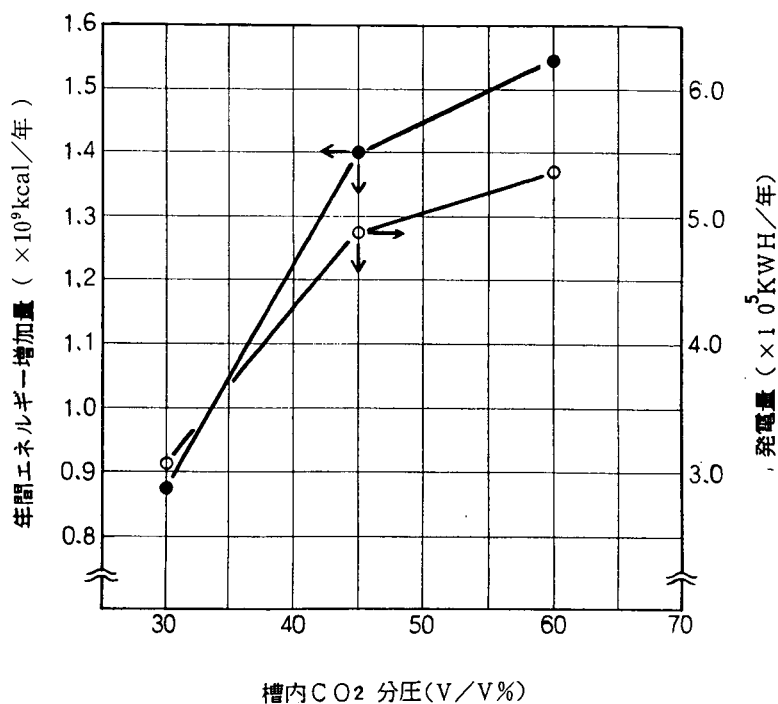


図-17 年間エネルギー増加量及び発電量換算値

各ケースの電力削減額等をもとに、付加的設備投資額の回収年数を計算した結果を図-18に示す。ここの投資回収年数は以下のように求めた。

$$\text{回収年数} = \frac{\text{開発システム建設費 (円)}}{\text{回収重油費又は電力削減費 (円/年)}}$$

図から、消化ガスを付加価値の高い電力に換算した場合は、単なる補助燃料とした重油(A)換算した場合に比べ、回収年数は早く、各ケースとも付加的投資額を4～5年で回収できることがわかる。

ケース別に見てみると、ケース2、つまり槽内二酸化炭素分圧を45v/v%程度にコントロールした場合が、最も経済性が高いといえる。

4.2 発電システムの構成プロセスとしての検討

前頁の実用二酸化炭素分圧の検討から、消化槽内二酸化炭素分圧45v/v%の条件が経済的であることが確かめられた。

開発システムを導入して、加温エネルギーが自給できるようになると、昭和57～59年頃盛んに研究された下水汚泥消化ガス発電が検討対象となってくると考え、ガスエンジンを採用した場合について検討した。ただし、消化ガス発電についての経済性については、有効であるとする種々の報告^{9), 10)}があるが、比較条件が異なっており、その経済性についての明確な基準がない。従って、本経済性の検討においては、次のような観点でまとめた。

すなわち、消化ガス発電の経済効果については、その稼働率によるところが大きいと考え、ガスエンジンが四季を通して50%以上の負荷率で稼働できる熱収支の場合を適(○)、3シーズン稼働できる場合を導入検討範囲(△)、2シーズン以下の稼働率の場合は現在の電力単価レベルでの経済性については若干疑問(×)とした。

4.2.1 経済比較条件

1) 比較ケース

① 汚泥量

100m³/日、200m³/日、300m³/日、400m³/日の4ケース

② 汚泥濃度

3%、4%の2ケース

③ 二酸化炭素還元型メタン発酵システムの有・無の2ケース

2) 汚泥消化槽設計条件

① 消化日数 : 30日

② 消化方式 : 2段消化

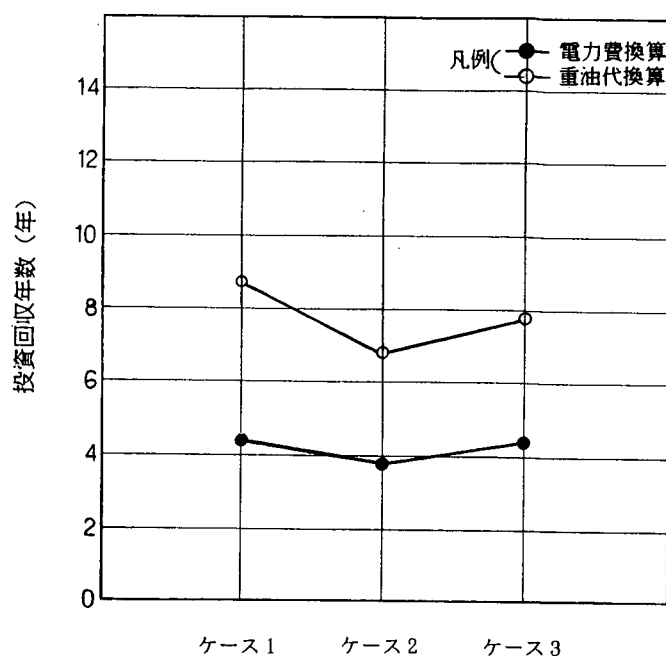


図-18 各ケースの投資回収年数

③ 槽形状 : 上下円錐式

4.2.2 システムフローシート

1) 標準システム

一般的な汚泥消化方式とし、同容量（上下円錐式）の中温2段消化とする。また、投入汚泥濃度を3%及び4%の2ケースを比較検討する。ここでは、基本的にはガスエンジンを導入するものとしているため、加温方式は熱効率の良い間接加温方式とした。

2) 開発システム

標準システムに気体分離膜ユニット及び真空ポンプを加えた方式とする。汚泥濃度は標準方式と同じ3%及び4%とした。（図-19）

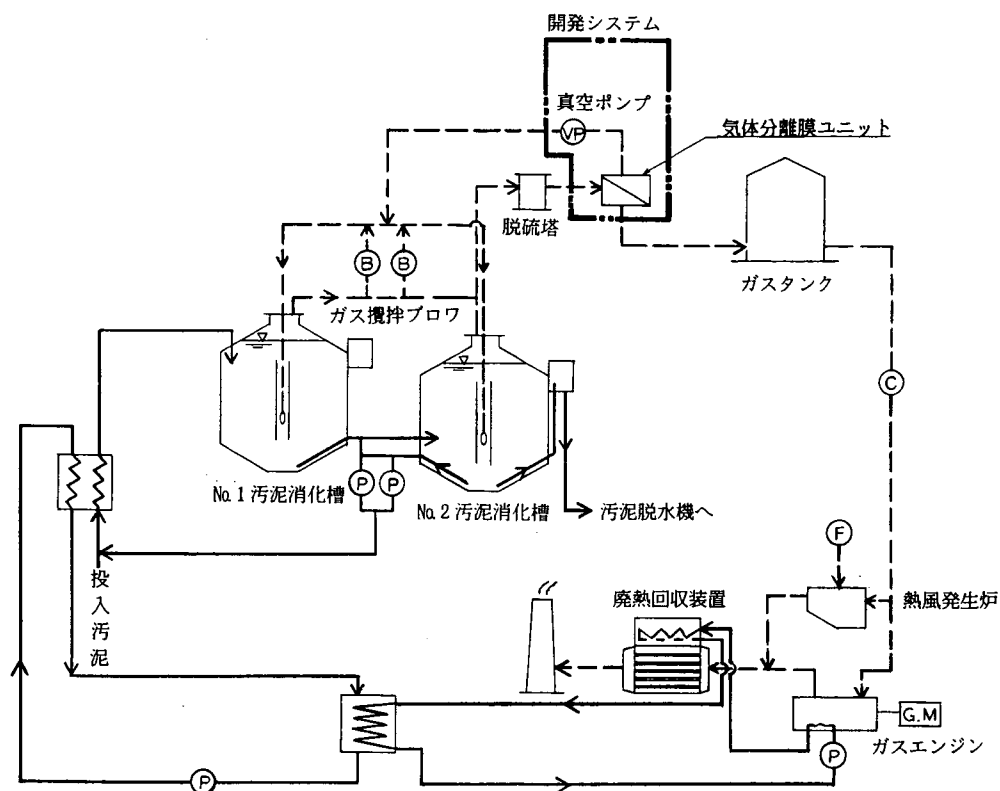


図-19 汚泥消化槽設備フローシート

4.2.3 熱収支

1) 汚泥消化槽加温必要熱量

① 汚泥消化槽容量

1,500m³×2槽, 3,000m³×2槽, 4,500m³×2槽, 6,000m³×2槽

② 温度条件 (平均) ¹¹⁾

	春(4, 5, 6月)	夏(7, 8, 9月)	秋(10, 11, 12月)	冬(1, 2, 3月)
大気温度 (°C)	14.2	22.1	8.8	2.1
汚泥温度 (°C)	17.1	23.2	17.6	12.5
地中温度 (°C)	12.6	19.6	15.4	8.3

注) 地下水温度は13.8°Cとして、一定値とする。

③ 各部表面の熱伝達率

壁 - 空 気 : 20kcal/m²・Hr°C

壁 - 地下水 : 500kcal/m²・Hr°C

壁 - 汚 泥 : 300kcal/m²・Hr°C

壁 - 土 : 5kcal/m²・Hr°C

④ 地下水位 -3.0m

⑤ 四季の加温必要熱量

(×10³kcal/日)

槽 容 量	冬	春	夏	秋
1500m ³ ×2槽	992	566	228	689
3000m ³ ×2槽	1672	1076	636	1283
4500m ³ ×2槽	2169	1425	884	1696
6000m ³ ×2槽	2477	1634	1034	1953

2) 汚泥加温必要熱量

① 汚 泥 量 100m³/日, 200m³/日, 300m³/日, 400m³/日

② 比 重 1.02kg/kg

③ 消化温度 35°C

④ 四季の汚泥加温必要熱量

(×10³kcal/日)

槽 容 量	冬	春	夏	秋
1500m ³ ×2槽	2295	1826	1204	1775
3000m ³ ×2槽	4590	3652	2407	3550
4500m ³ ×2槽	6885	5477	3611	5324
6000m ³ ×2槽	9180	7303	4814	7099

3) 全加温必要熱量

$$\{ (\text{汚泥消化槽加温必要熱量}) + (\text{汚泥加温必要熱量}) \} \times 1.2$$

($\times 10^3 \text{kcal}/\text{日}$)

槽 容 量	冬	春	夏	秋
1500 $\text{m}^3 \times 2$ 槽	3944	2870	1718	2957
3000 $\text{m}^3 \times 2$ 槽	7514	5674	3652	5800
4500 $\text{m}^3 \times 2$ 槽	10,865	8282	5394	8424
6000 $\text{m}^3 \times 2$ 槽	13,988	10,724	7018	10,862

注) 熱交換器及び温水・加温汚泥配管等の放熱を考慮して20%を加算した。

4) 発生熱量

① 固形物中の有機物比率 70%

② 消化ガス発生率 0.4 $\text{Nm}^3/\text{投入kg-VS}$

③ 消化ガス組成

i) 標準システム CH_4 : 65%, CO_2 : 35%

ii) 開発システム CH_4 : 82%, CO_2 : 18%

④ 消化ガス低位発熱量

i) 標準システム $H\ell = 5557 \text{kcal}/\text{Nm}^3$

ii) 開発システム $H\ell = 7011 \text{kcal}/\text{Nm}^3$

(消化ガス熱量アップ率 約27%)

⑤ 消化ガス発生量 ($\text{Nm}^3/\text{日}$)

汚泥濃度 (%)	汚 泥 量 ($\text{m}^3/\text{日}$)			
	100	200	300	400
3	840	1680	2520	3360
4	1120	2240	3360	4480

⑥ 消化ガス保有熱量 ($\times 10^3 \text{kcal}/\text{日}$)

システム	汚泥濃度 (%)	汚 泥 量 ($\text{m}^3/\text{日}$)			
		100	200	300	400
標 準 システム	3	4468	9337	14,005	18,673
	4	6624	12,449	18,673	24,898
開 発 システム	3	5889	11,778	17,668	23,557
	4	7852	15,705	23,557	31,409

注) 開発システムのメタン回収量増加率を約27%とした。
すなわち、消化ガス中のメタンガス濃度を約27%上昇させ、消化ガス量を一定とした。

⑦ ガスエンジン・廃熱回収装置

汚泥消化槽設備廻りの熱収支を計算する前提として、汚泥消化槽の全加温必要熱量をまず確保し、余剰熱量を発電に利用するものとする。

したがって、加温熱量の多い冬季は、主として熱風発生炉に消化ガスを送る。

この場合には、消化ガス保有熱量の80%以上を加温熱量として利用できる。(通常の温水ボイラーと同じ。)

一方、消化ガスの熱量が増加した場合は、ガスエンジンに消化ガスを送り、電力として約30%の熱量を回収し、ガスエンジンの冷却水及び排ガスから温水として約40%の熱量を回収するものとして熱収支を計算した。(図-20)

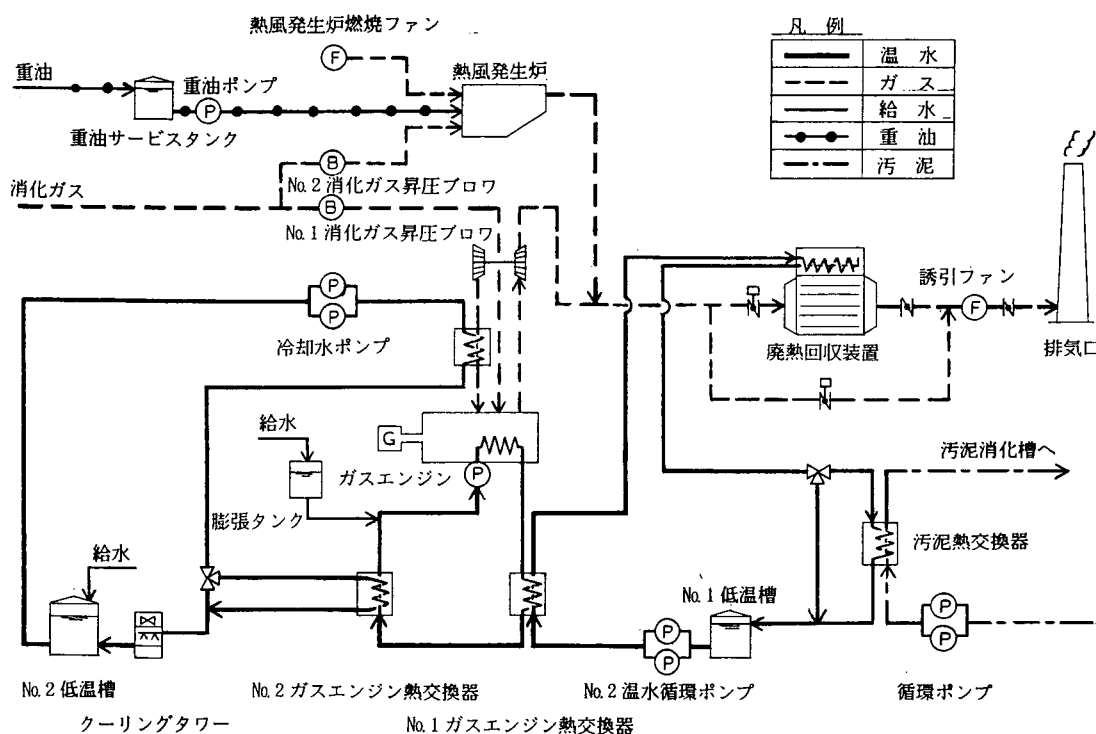


図-20 消化ガス発電設備フローシート

また消化ガスエンジン廻りの熱収支は以下の条件で行った。

- ・ガスエンジン熱効率(軸トルク) : 32.6%
- ・ガスエンジン排気ガス持出し熱量率 : 29%
- ・ガスエンジン冷却水持出し熱量率 : 19%
- ・廃熱回収装置入口ガス温度 : 550℃
- ・廃熱回収装置出口ガス温度 : 170℃

⑧ 四季の発電量及びガスエンジン・熱風発生炉供給消化ガス量

各規模、比較システム及び各汚泥濃度における四季の発電量及びガスエンジン・熱風発生炉への供給消化ガス量を表-17に、四季別ガスエンジン供給消化ガス量を図-21に示す。

表-17 四季の発電量及びガスエンジン・熱風発生炉供給消化ガス量

槽容量	システム	汚泥濃度 (%)	冬			春			夏			秋		
			発電量 (KW)	ガスエンジン 供給量 (Nm ³ /日)	熱風発生炉 供給量 (Nm ³ /日)	発電量 (KW)	ガスエンジン 供給量 (Nm ³ /日)	熱風発生炉 供給量 (Nm ³ /日)	発電量 (KW)	ガスエンジン 供給量 (Nm ³ /日)	熱風発生炉 供給量 (Nm ³ /日)	発電量 (KW)	ガスエンジン 供給量 (Nm ³ /日)	熱風発生炉 供給量 (Nm ³ /日)
1500m ³ ×2槽	標準	3	0	0	840	35.4	440	400	67.8	840	0	0	0	840
	システム	4	0	0	1120	77.9	965	155	90.4	1120	0	75.1	930	190
	開発	3	0	0	840	69.1	679	161	85.5	840	0	66.4	652	188
	システム	4	88.5	869	251	114.0	1120	0	114.0	1120	0	114.0	1120	0
3000m ³ ×2槽	標準	3	0	0	1680	73.1	906	774	135.6	1680	0	0	0	1680
	システム	4	99.1	1228	1012	157.9	1956	284	180.8	2240	0	153.8	1906	334
	開発	3	0	0	1680	140.0	1379	301	171.1	1680	0	136.4	1339	341
	システム	4	188.8	1855	385	228.0	1240	0	228.0	2240	0	228.0	2240	0
4500m ³ ×2槽	標準	1	0	0	2520	117.0	1449	1071	203.4	2520	0	112.4	1393	1127
	システム	4	161.6	2002	1358	244.1	3024	336	271.2	3360	0	239.6	2968	392
	開発	3	135.4	1330	1190	217.9	2140	380	256.6	2520	0	213.4	2096	424
	システム	4	296.2	2909	451	342.1	3360	0	342.1	3360	0	342.1	3360	0
6000m ³ ×2槽	標準	3	0	0	3360	166.1	2058	1302	271.2	3360	0	161.7	2003	1357
	システム	4	231.4	2867	1613	335.7	4159	321	361.6	4480	0	331.3	4104	376
	開発	3	196.5	1930	1430	300.7	2953	407	342.1	3360	0	296.3	2910	450
	システム	4	410.9	4035	445	456.2	4480	0	456.2	4480	0	456.2	4480	0

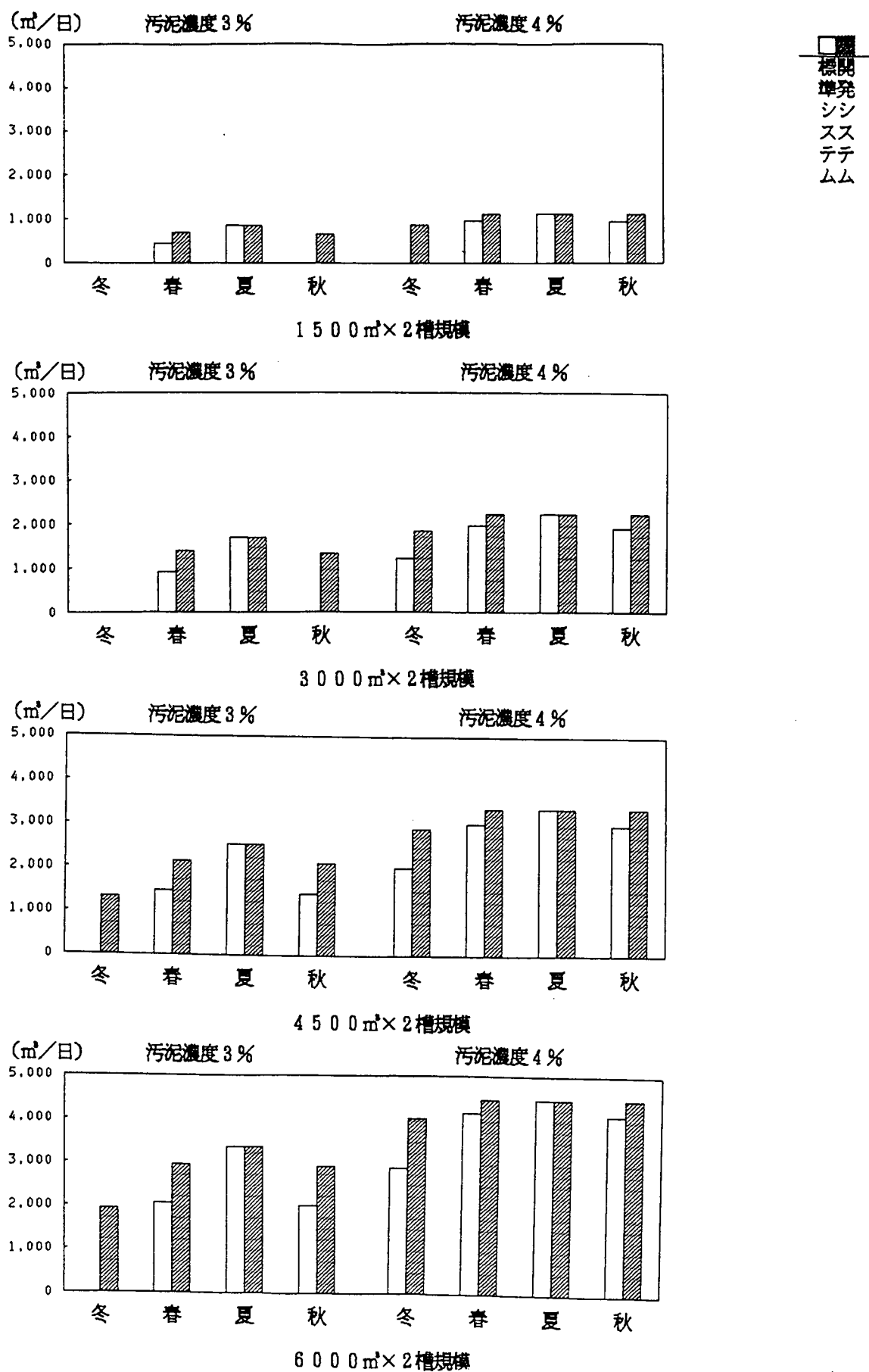


図-21 四季別ガスエンジン供給消化ガス量

図-21は四季におけるガスエンジンへの供給ガス量の変化から規模、汚泥濃度、システムがどの程度熱収支に影響するかみるために作成したものである。また図-21は消化ガス量で示したが、消化ガスの保有熱量は、メタン濃度に左右されることから、開発システムでは標準システムよりメタン含有量が約27%高いため、消化ガス量が同じでも、開発システムの方が発電量は27%多くなることに注意する必要がある。

従来わが国の大半の処理場では、ガス発生倍数は10倍以下の処理場が多く¹²⁾ 冬季は加温熱量が不足するため消化ガスの大部分を加温用に使い、夏季以外は消化ガス保有熱量だけでは足りないため、重油等の燃料で追焚きする必要のある所も多々ある。しかし、開発システムにより、約30%程度のガス量が増加できれば、ガス発生倍数が10~13倍以上になるケースも多くなるため、冬季でも加温熱量を賄い、余剰熱量が発生する処理場が多くなると思われる。このような場合、場内に直接有効な利用方法がなければ、ガスエンジンの導入を検討することもできると思われる。

年間平均発電量及び電力自給率を表-18に示す。

表から汚泥濃度3%の場合、標準システムでは $3000\text{m}^3 \times 2$ 槽規模(6 t-D S/日)以下では、3シーズンガスエンジンを50%ロード以上で稼働できず、 $4500\text{m}^3 \times 2$ 槽(下水量約 $56000\text{m}^3/\text{日}$)規模以上でないと、ガスエンジンが導入の対象になりにくいように思われる。

一方、同じ汚泥濃度(3%)でも、開発システムの場合は、 $3000\text{m}^3 \times 2$ 槽(下水量約 $18800\text{m}^3/\text{日}$)規模でも、3シーズン運転でき、電力単価が少々上昇すれば、ガスエンジンの導入を検討できる範囲に入ってくるのではないかと考える。

この時の発電機能力は90KW規模のものを導入でき、処理場全体の電力自給率は15%程度になると考えられる。

他方、汚泥濃度4%の場合、標準システムでは $1500\text{m}^3 \times 2$ 槽(下水量 $25000\text{m}^3/\text{日}$ 規模)でもガスエンジン導入の可能性が期待できると思われる。

すなわち、汚泥濃度が3%から4%に上昇すれば、熱収支が大巾に改善されることが明らかである。

また、開発システムの場合、 $1500\text{m}^3 \times 2$ 槽(下水量 $25000\text{m}^3/\text{日}$)規模のケースでも、投入汚泥濃度が4%の場合四季を通して運転可能となり、春・夏・秋ともほぼ100%ロードで連続運転できると思われ、ガスエンジンから回収した熱量で、汚泥消化槽設備全必要熱量を賄うことが可能になると推定できる。

この時の全処理場の電力自給率は約22%に達する。

わが国の汚泥消化槽の多くが $1000 \sim 4500\text{m}^3$ の範囲にある¹²⁾ことを考えると、従来の消化システムでは、汚泥濃度が3%以下と低いため、ガスエンジンの導入で、場内電力の一部を賄える処理場は少ないと思われる。

しかし、投入汚泥濃度を上げ、開発システムを採用することで、ガスエンジンの導入が可能となる処理場がかなり多くなるのではないかと思われる。

表-18 経済性比較表

汚泥濃度	シ ス テ ム		汚泥消化タンク容量×槽数(汚泥量)			
			1500m³×2 (100 m³/日)	3000m³×2 (200 m³/日)	4500m³×2 (300 m³/日)	6000m³×2 (400 m³/日)
4%	固定物量 (D.S)		4t/日	8t/日	12t/日	16t/日
	標準システム	適 性	△	○	○	○
		発電量(年間平均)	60.9KW	147.9KW	229.1KW	315KW
		ガスエンジン出力	95KW	185KW	275KW	365KW
		電力自給率	12.4%	15.1%	15.6%	16.1%
	開発システム	適 性	○	○	○	○
		発電量(年間平均)	107.6KW	218.2KW	330.6KW	444.9KW
		ガスエンジン出力	115KW	230KW	345KW	460KW
		電力自給率	22.0%	22.3%	22.5%	22.7%
3%	固定物量 (D.S)		3t/日	6t/日	9t/日	12t/日
	標準システム	適 性	×	×	△	△
		発電量(年間平均)	25.8KW	52.2KW	108.2KW	150.0KW
		ガスエンジン出力	70KW	140KW	205KW	275KW
		電力自給率	7.0%	7.1%	9.8%	10.2%
	開発システム	適 性	△	△	○	○
		発電量(年間平均)	55.3KW	111.9KW	205.8KW	283.9KW
		ガスエンジン出力	90KW	175KW	260KW	345KW
		電力自給率	15.1%	15.2%	18.7%	19.3%

(注1) 適性欄×は所定エンジン出力の50%以上の負荷率シーズンが2シーズン以下のケース

〃 △ 〃 3 〃

〃 ○ 〃 4シーズンのケース

(注2) 電力自給率は下水処理場電力消費率を0.47KWI/下水¹³⁾m³として求めた値。

4.3 まとめ

以上述べてきたように、本システムは経済性が高く、特に消化ガス発電システムを有する下水処理場においてその効果が顕著に表われる。

同時に、小規模処理場においても消化ガス発電システムの導入を可能にし、本システムはエネルギー生産を兼ね備えた省エネルギーシステムとして十分実用に資せるものと思われる。

実用性の検討から得られた結果を以下にまとめる。

- ① 実用二酸化炭素分圧の検討の結果、汚泥量 $200\text{m}^3/\text{日}$ ($8\text{ t-D S}/\text{日}$) 規模の場合、消化槽内二酸化炭素分圧 $45\text{v}/\text{v}\%$ のケースが経済的であると推察された。
- ② 発電システムの構成プロセスとしての検討の結果、開発システムにおいては、投入汚泥濃度 3% では汚泥量 $100\text{m}^3/\text{日}$ (下水量約 $18,000\text{m}^3/\text{日}$) 規模でもガスエンジン導入の検討範囲に入ると思われる。また汚泥量 $300\text{m}^3/\text{日}$ (下水量約 $56,000\text{m}^3/\text{日}$) 規模以上では四季を通してガスエンジンを稼働でき、経済的に有効になると予想された。
- ③ 開発システムの場合において、投入汚泥濃度 4% では汚泥量 $100\text{m}^3/\text{日}$ (下水量約 $25,000\text{m}^3/\text{日}$) 規模でも、経済的に有効となると思われた。

またこの時の電力自給率は 20% 以上となると推定される。

5. 今後の課題

本研究において開発した二酸化炭素還元型リアクターシステムは、従来の嫌気性消化プロセスの消化ガスラインに気体分離膜ユニットを付加して、消化槽内の二酸化炭素分圧を高めるだけで、メタンガスの増収が図れ、構造や操作が容易であることから、実用性も高いものと思われた。

本開発システムは下水処理場の省エネルギー化に寄与するものであり、さらに本研究で得られた知見はエネルギー自給型下水処理場実現へ向けた新たな下水処理プロセスの開発へつながるものと思われる。

今後は、さらに本システムの性能の高揚を図るために、以下の課題に取り組んで行く必要があるものと思われる。

- ① 消化ガス中のメタンガスと二酸化炭素を効率よく分離するための気体分離膜の検索及び開発。
- ② 投入汚泥の種類や濃度、消化温度等の違いによるメタンガス増収のための最適二酸化炭素分圧の把握。
- ③ 嫌気性消化過程にある汚泥中の二酸化炭素濃度を高めることによる汚泥からの新たな水素供給の可能性の検証及びV S減少率の増加作用の解明。
- ④ 高圧条件下における二酸化炭素分圧とメタンガス増加率の把握。

参考文献

- 1) 「炭酸の利用によるメタン発酵に関する研究」市川茂樹・金井昌邦 下水道協会誌 19, 216, 1982
- 2) 「汚泥有機物の3大要素(全炭水化物, 全脂質, 全蛋白質)の分析」佐藤和明 汚泥研究年報 1983
- 3) 「メタン生成細菌の分類と生化学」古賀洋介・森井宏幸 発酵工学 64, 2, 1986
- 4) 「膜のはたらき(気体透過膜を中心に)」仲川 勤 共立出版 1985
- 5) 「土木研究所資料第2906号 平成元年度 下水道関係調査研究年次報告書集」建設省土木研究所 1990
- 6) 「下・廃水汚泥の処理」岩井重久・申丘 徹・名取 真 コロナ社 1981
- 7) 「生物科学工学(反応速度論)」合葉修一・永井史郎 科学技術社 1978
- 8) 「バイオマスエネルギー変換」鈴木周一 講談社サイエンティフィック社 1983
- 9) 「横浜市の消化ガス発電実験」大内 他 下水道協会誌 19, 219, 1982
- 10) 「那覇下水処理場における消化ガス発電」照屋林三 下水道協会誌 20, 234, 1983
- 11) 「土木研究所資料第1934号 ガスエンジンシステムのシミュレーションモデルに関する報告書」建設省土木研究所 1983
- 12) 「下水汚泥の嫌気性消化処理技術」佐藤和明 下水道協会誌 21, 243, 1984
- 13) 「バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発報告書(下水道編)」建設省土木研究所 1991

謝 辞

本研究の実施に当たり、御協力をいただいた取手地方広域下水道組合県南クリーンセンターの関係各位に謹んで謝意を表します。

また、基礎実験で使用了汚泥を提供して戴いた下水処理場の関係各位に感謝致します。



資 料

パイロットプラント実験運転データ

(1990年4月～11月)



取手パイロットプラント 運転日報 (4月)

No 1 / 8

測定項目 測定日	投入汚泥						No 1 反応槽							No 2 反応槽						
	PH(－)	TS(%)	VS(%)	投入量 (㎡/日)	VS量 (kg/日)	温度 (℃)	PH(－)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (㎡/日)	メタン量 (㎡/日)	PH(－)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (㎡/日)	メタン量 (㎡/日)
4.①																				
2	6.8	2.1		0.25		60	7.1	0.8		32	330	1.063		7.2	1.3		35	220	1.206	
3	6.7	2.3		0.25		60	7.1	0.9		33	400	0.914		7.2	1.3		35	220	1.648	
4	6.7	2.2		0.25		60	7.1	1.0		33	440	1.222		7.2	1.1		35	220	1.549	
5	6.7	2.2		0.25		60	7.2	1.3		33	410	1.233		7.3	1.2		34	220	1.463	
6	6.7	2.3		0.25		60	7.3	1.5		31	400	1.361		7.4	1.3		34	220	1.613	
7	6.8	2.3		0.25		60	7.4	2.1		35	320	1.900		7.5	1.4		36	220	2.902	
⑧																				
9	7.1	2.4		0.25		60	7.6	2.0		32	390	1.057		7.7	1.3		34	220	1.221	
10	6.7	2.3		0.25		60	7.4	2.0		35	350	1.262		7.5	1.3		34	220	1.642	
11	6.8	2.2		0.25		60	7.4	1.9		35	440	1.234		7.5	1.1		36	220	1.667	
12	6.5	2.2		0.25		60	7.5	1.9		36	270	1.429		7.5	1.2		35	220	1.617	
13	6.3	2.0		0.25		60	7.2	2.0		36	330	0.855		7.3	1.1		35	220	1.633	
14	6.2	1.9		0.25		60	7.2	1.9		36	410	1.677		7.2	1.2		36	220	3.000	
⑮																				
16	6.2	2.1		0.25		60	7.1	1.8		36	380	0.837		7.2	1.4		33	220	1.086	
17	6.1	2.1		0.25		60	7.1	1.7		33	400	0.982		7.2	1.4		32	220	1.489	
18	6.0	1.9		0.25		60	7.1	1.6		35	420	1.119		7.4	1.4		32	220	1.408	
19	6.0	1.8		0.25		60	7.1	1.4		35	460	1.091		7.2	1.3		31	220	1.412	
20	6.0	2.0		0.25		60	6.9	1.5		36	330	0.928		7.0	1.4		32	220	1.355	
21	6.0	2.0		0.25		60	7.0	1.4		36	420	1.470		7.0	1.3		32	220	2.238	
⑳																				
23	6.4	2.0		0.25		60	7.2	1.1		34	420	1.394		7.2	1.3		34	220	1.119	
24	6.4	2.0		0.25		60	7.3	1.2		36	210	1.659		7.3	1.3		34	210	1.476	
25	6.5	2.0		0.25		60	7.2	1.0		36	200	1.566		7.2	1.3		34	220	1.348	
26	6.2	2.0		0.25		60	7.1	0.8		36	200	1.608		7.1	1.2		34	210	1.291	
27	6.3	2.1		0.25		60	7.1	1.0		36	200	1.520		7.4	1.4		34	210	1.378	
28	6.3	1.9		0.25		60	7.1	0.7		36	200	2.166		7.4	1.1		34	220	2.277	
㉑																				
㉓	6.5	2.1		0.25		60	6.7	0.4		36	200	1.051		6.8	1.0		34	220	0.959	

取手パイロットプラント 運転日報 (5月)

No.2 / 8

測定項目 測定日	投 入 汚 泥						No.1 反 応 槽							No.2 反 応 槽						
	PH(-)	TS(%)	VS(%)	投入量 (㎡/日)	VS量 (kg/日)	温度 (℃)	PH(-)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (㎡/日)	メタン量 (㎡/日)	PH(-)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (㎡/日)	メタン量 (㎡/日)
5.1	6.1	2.1		0.25		60	6.9	0.6		36	200	1.349		6.8	1.1		34	220	1.399	
2	6.2	2.0		0.25		60	7.9	0.7		37	200	1.333		7.8	1.5		35	220	1.443	
③	6.0	2.1		0.25		60	7.5	0.7		37	210	1.271		7.4	1.5		34	210	1.394	
④	6.1	2.2		0.25		60	7.5	0.7		38	210	2.787		7.4	1.6		34	210	2.458	
⑤																				
⑥																				
7	6.4	1.9		0.25		60	7.7	0.3		36	200	0.901		7.6	1.3		33	230	1.038	
8	6.3	1.9		0.25		60	7.4	0.4		36	200	1.153		7.3	1.3		33	220	1.359	
9	6.4	1.9		0.25		60	7.1	0.3		37	200	1.194		7.1	1.3		34	220	1.353	
10	6.4	2.0		0.25		60	7.0	2.0		38	200	1.177		7.0	1.3		34	210	1.324	
11	6.3	2.1		0.25		60	7.0	0.6		38	200	1.127		7.0	1.4		34	220	1.300	
12	6.4	2.2		0.25		60	7.3	0.4		38	200	2.252		7.3	1.1		35	220	2.231	
⑬																				
14	6.5	2.1		0.25		60	7.3	0.3		38	200	1.151		7.3	1.1		35	220	1.257	
15	6.3	2.0		0.25		60	7.2	1.9		41	200	1.922		7.2	1.7		37	220	1.398	
16	6.3	1.9		0.25		60	7.2	1.9		40	300	1.566		7.2	1.7		37	220	1.252	
17	6.3	1.9		0.25		60	7.0	1.8		40	300	1.366		7.0	1.7		37	220	1.263	
18	6.3	2.0		0.25		60	7.1	1.8		39	300	1.340		7.1	1.7		37	220	1.265	
19	6.5	1.9		0.25		60	7.0	1.6		38	300	1.917		7.0	1.6		37	220	1.779	
⑳																				
21	6.5	1.9		0.25		60	7.0	1.5		36	300	1.113		7.0	1.9		36	220	1.084	
22	6.4	1.8		0.25		60	7.0	1.5		36	300	1.243		7.0	1.5		36	220	1.189	
23	6.4	1.8	78.1	0.25	3.51	60	7.1	1.4	71.2	37	300	1.199		7.1	1.5	71.0	37	220	1.100	
24	6.5	1.8		0.25		60	7.1	1.3		37	300	1.172		7.1	1.4		37	220	1.099	
25	6.3	1.8		0.25		60	7.0	1.3		37	300	1.161		7.0	1.4		37	220	1.114	
26	6.5	1.7		0.25		60	7.0	1.3		37	300	1.719		7.0	1.4		37	220	1.672	
㉑																				
28	6.8	1.8	75.5	0.25	3.40	60	7.1	1.2	70.6	37	300	1.084		7.1	1.4	70.6	38	220	1.060	
29	6.8	1.6		0.25		60	7.2	1.3		38	300	1.135		7.2	1.4		38	220	1.101	
30	6.7	1.6		0.25		60	7.2	1.2		39	300	1.146		7.2	1.3		39	220	1.049	
31	6.8	1.8		0.25		60	7.2	1.2		39	300	1.115		7.2	1.3		39	220	1.027	

取手パイロットプラント 運転日報 (6月)

No.3 / 8

測定項目 測定日	投入汚泥						No 1 反 応 槽							No 2 反 応 槽						
	PH(－)	TS(%)	VS(%)	投入量 (㎡/日)	VS量 (kg/日)	温度 (℃)	PH(－)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (㎡/日)	メタン量 (㎡/日)	PH(－)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (㎡/日)	メタン量 (㎡/日)
6. 1	6.8	1.6		0.25		60	7.2	1.4		38	300	1.047		7.2	1.4		39	220	1.008	
2	6.8	1.6		0.25		60	7.3	1.3		38	300	1.670		7.3	1.3		38	220	1.569	
③																				
4	6.9	1.4		0.25		60	7.2	1.2		38	300	0.908		7.1	1.3		38	220	0.845	
5	6.8	1.6		0.25		60	7.0	1.2		38	300	0.959		7.0	1.3		38	220	0.972	
6	6.6	1.4	75.4	0.25	2.64	60	7.2	1.2	71.5	38	300	0.981		7.2	1.3	71.7	38	220	0.922	
7	6.7	1.6		0.25		60	7.2	1.2		39	300	1.042		7.2	1.3		39	220	0.972	
8	7.0	1.6		0.25		60	7.2	1.3		39	300	0.571		7.3	1.4		39	220	0.895	
9	6.8	1.3		0.25		60	7.3	1.1		39	300	0.994		7.3	1.1		39	220	1.394	
⑩																				
11	6.9	1.4		0.25		60	7.1	1.1		38	300	0.667		7.1	1.2		38	220	0.753	
12	6.8	1.3		0.25		60	7.1	1.1		39	300	0.683		7.2	1.2		38	220	0.821	
13	6.8	0.6	72.4	0.25	2.90	60	7.2	1.1	71.5	39	300	0.988		7.3	1.2	71.4	38	220	0.611	
14	6.9	1.8		0.25		60	7.2	1.1		40	300	1.409		7.2	1.1		39	220	0.936	
15	6.9	2.2		0.25		60	7.2	1.1		40	300	1.261		7.2	1.2		39	220	1.116	
16	6.7	2.3		0.25		60	7.4	1.1		40	300	1.673		7.4	1.2		39	220	2.817	
⑰																				
18	7.2	2.1		0.25		60	7.6	1.1		40	300	1.400		7.6	1.3		40	220	1.346	
19	7.1	2.4		0.25		60	7.7	1.1		40	300	1.496		7.7	1.3		40	220	1.414	
20	7.3	2.7	78.3	0.25	5.29	50	7.7	1.1	72.1	40	300	1.557		7.7	1.3	72.0	40	220	1.499	
21	7.4	3.3		0.25		*25	7.1	1.3		41	300	1.677		7.1	1.4		40	220	1.426	
22	6.3	2.3		0.25		*25	7.3	1.3		40	300	1.546		7.3	1.5		40	220	1.478	
23	6.5	2.3		0.25		*27	7.2	1.5		40	300	2.275		7.2	1.5		40	220	2.171	
⑳																				
25	6.5	2.6	78.5	0.25	5.10	*27	7.3	1.4	73.0	40	300	1.275	1.02	7.3	1.4	73.0	40	220	1.192	0.91
26	6.5	2.9		0.25		*27	7.3	1.4		40	300	1.331		7.3	1.4		40	220	1.244	
27	6.5	3.0	79.0	0.25	5.92	*25	7.3	1.4	73.1	38	300	1.310	1.14	7.3	1.5	73.1	39	220	1.225	0.96
28	6.4	2.7		0.25		*24	7.5	1.4		37	300	1.285		7.4	1.5		38	220	1.192	
29	6.5	2.9	79.0	0.25	5.72	40	7.3	1.4	73.8	36	300	1.454	1.20	7.3	1.5	73.3	37	220	1.249	0.98
30	6.5	2.8		0.25		45	7.2	1.5		37	300	2.046		7.2	1.5		37	220	1.960	

取手パイロットプラント 運転日報 (7月)

No.4 / 8

測定項目 測定日	投入汚泥						No.1 反応槽							No.2 反応槽						
	PH(-)	TS(%)	VS(%)	投入量 (㎡/日)	VS量 (kg/日)	温度 (℃)	PH(-)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (㎡/日)	メタン量 (㎡/日)	PH(-)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (㎡/日)	メタン量 (㎡/日)
7.①																				
2	6.5	2.7	78.1	0.25	5.27	50	7.3	1.3	73.2	37	300	1.313	1.16	7.3	1.4	72.7	37	220	1.244	0.94
3	6.5	2.9		0.25		50	7.3	1.4		38	300	1.419		7.3	1.5		38	220	1.344	
4	6.5	2.7	78.6	0.25	5.30	50	7.3	1.6	73.1	38	300	1.548	1.32	7.2	1.6	72.7	38	220	1.436	1.07
5	6.5	2.6		0.25		48	7.3	1.6		38	300	1.639		7.3	1.6		38	220	1.699	
6	6.5	2.6	78.8	0.25	5.12	30	7.3	1.6	73.2	38	300	1.537	1.30	7.3	1.6	72.7	39	220	1.440	1.07
7	6.5	2.6		0.25		24	7.5	1.4		35	300	1.880		7.5	1.4		36	220	1.881	
⑧																				
9	6.5	2.2		0.25		46	7.3	1.4		36	300	1.100		7.3	1.3		38	220	1.009	
10	6.4	2.6		0.25		43	7.3	1.4		36	300	1.198		7.3	1.4		37	220	1.112	
11	6.5	2.5	78.9	0.25	4.93	46	7.3	1.4	73.9	36	300	1.273	1.06	7.3	1.4	73.1	37	220	1.197	0.92
12	6.4	2.3		0.25		42	7.3	1.6		36	300	1.273		7.3	1.6		37	220	1.181	
13	6.5	2.2		0.25		46	7.2	1.5		35	300	1.245		7.2	1.5		36	220	1.217	
14	6.5	2.2		0.25		50	7.2	1.4		35	300	2.107		7.2	1.4		36	220	2.141	
⑮																				
16	6.6	2.2		0.25		40	7.2	1.4		36	200	1.452		7.2	1.4		37	220	1.337	
17	6.6	2.3		0.25		40	7.4	1.5		37	200	1.620		7.4	1.6		38	220	1.532	
18	6.6	2.2	77.3	0.25	4.3	31	7.4	1.5	73.0	37	200	1.731		7.4	1.5	73.0	38	220	1.505	
19	6.6	2.1		0.25		31	7.4	1.4		37	200	1.628		7.4	1.4		38	220	1.530	
20	6.6	2.1		0.25		33	7.4	1.4		37	200	1.298		7.4	1.4		38	220	1.364	
21	6.6	2.0		0.25		31	7.4	1.4		37	200	—		7.4	1.4		38	220	—	
②②												、								
23	6.7	2.0		0.25		31	7.4	1.4		37	200	0.930		7.4	1.4		38	220	1.217	
24	6.7	2.0		0.25		31	7.3	1.4		37	200	1.310		7.3	1.4		38	220	1.352	
25	6.7	2.0	77.2	0.25	3.9	30	7.3	1.4	73.3	37	200	1.295		7.3	1.4	72.7	38	220	1.267	
26	6.7	2.1		0.25		30	7.3	1.4		37	200	1.423		7.3	1.4		38	220	1.422	
27	6.7	2.4		0.25		30	7.3	1.4		37	200	1.531		7.3	1.4		38	220	1.551	
28	6.7	2.7		0.25		31	7.4	1.4		37	200	—		7.4	1.4		38	220	—	
②⑨																				
30	6.8	2.8		0.25		30	7.3	1.5		37	200	1.709		7.3	1.5		38	220	1.639	
31	6.8	3.3		0.25		27	7.3	1.5		37	200	2.045		7.3	1.5		38	220	2.108	

取手パイロットプラント 運転日報 (8月)

№ 5 / 8

測定項目 測定日	投入汚泥						No.1 反応槽							No.2 反応槽						
	PH(－)	TS(%)	VS(%)	投入量 (㎡/日)	VS量 (kg/日)	温度 (℃)	PH(－)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (㎡/日)	メタン量 (㎡/日)	PH(－)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (㎡/日)	メタン量 (㎡/日)
8. 1	6.8	3.3		0.25		27	7.3	1.6		36	200	2.311		7.3	1.6		37	220	2.312	
2	6.6			0.25		27	7.4			36	200	2.504		7.4			37	220	2.503	
3	6.7	3.6		0.25		27	7.4	1.8		37	200	2.639		7.4	1.8		38	220	2.651	
4	6.7	3.4		0.25		27	7.4	1.8		37	200	－		7.4	1.8		38	220	－	
⑤																				
6	6.6	3.0		0.25		27	7.3	1.9		37	200	1.645		7.3	2.0		38	220	1.665	
7	6.7	3.6		0.25		27	7.3	1.8		38	200	2.069		7.3	1.8		38	220	2.095	
8	6.9	4.2		0.25		28	7.4	2.0		39	200	2.490		7.4	2.0		39	220	2.432	
9	6.7	3.4		0.25		27	7.4	2.0		37	200	2.010		7.4	2.0		37	220	2.091	
10	6.9	3.0		0.25		26	7.4	1.9		36	200	1.886		7.4	1.9		37	220	1.869	
11	6.7	2.7		0.25		27	7.2	1.8		36	200	－		7.2	1.8		36	220	－	
⑫																				
13				－																
14				－																
15	6.7	2.7		0.25		27	7.2	1.8		34	200	1.225		7.2	1.8		35	220	1.227	
16	7.0	2.6		0.25		27	7.3	1.9		35	200	1.175		7.3	1.8		35	220	1.202	
17	7.0	2.5		0.25		27	7.3	1.8		36	200	1.102		7.3	1.8		36	220	1.009	
18	6.7	2.5		0.25		28	7.3	1.8		36	200	－		7.3	1.8		36	220	－	
⑰																				
20	7.0	2.3		0.25		29	7.3	1.7		36	200	0.741		7.3	1.7		37	220	0.737	
21	6.6	2.3		0.25		29	7.4	1.9		38	200	1.457		7.4	1.9		38	220	1.514	
22	6.7	3.4		0.25		30	7.5	1.8		38	200	2.154		7.5	1.8		38	220	2.162	
23	6.5	3.0		0.25		29	7.5	1.8		38	200	2.338		7.5	1.8		38	220	2.360	
24	6.5	2.5		0.25		29	7.5	1.9		38	200	2.293		7.5	1.9		38	220	2.293	
25	6.4	2.2		0.25		27	7.3	1.7			200	－		7.3	1.7			220	－	
⑳																				
27	6.8	2.6		0.25		27	7.4	2.0		37	200	1.748		7.4	2.0		38	220	1.733	
28	6.3	3.0		0.25		26	7.2	1.9		37	200	2.115		7.2	1.8		38	220	1.952	
29	6.4	3.0	72.5	0.25	5.4	26	7.3	1.7	67.5	37	200	2.216	1.53	7.3	1.7	67.3	37	220	2.216	1.54
30	6.5	4.3		0.25		27	7.4	1.8		37	200	2.266		7.4	1.8		37	220	2.264	
31	6.0	3.0		0.25		27	7.1	1.8		37	200	1.636		7.1	1.9		37	220	1.610	

取手パイロットプラント 運転日報 (9月)

No.6 / 8

測定項目 測定日	投入汚泥						No.1 反応槽								No.2 反応槽							
	PH(－)	TS(%)	VS(%)	投入量 (m ³ /日)	VS量 (kg/日)	温度 (℃)	PH(－)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (m ³ /日)	メタン量 (m ³ /日)	PH(－)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (m ³ /日)	メタン量 (m ³ /日)		
9.1	6.0	2.9		0.25		27	7.1	2.0		37	420	2.701		7.1	2.0		38	220	3.927			
②																						
3	6.3	2.9		0.25		27	7.2	1.8		36	460	1.141		7.2	1.8		37	220	1.711			
4	6.2	2.9		0.25		27	7.1	2.0		36	500	0.867		7.1	2.1		37	220	2.051			
5	6.2	2.7	70.2	0.25	4.7	26	7.0	1.7	64.7	36	470	1.233	1.04	7.0	1.8	65.1	37	220	2.099	1.45		
6	6.5	2.4		0.25		26	7.0	2.0		37	470	1.375		7.1	2.0		38	220	1.985			
7	6.4	2.4		0.25		24	7.0	1.8		36	480	1.410		7.1	1.8		36	220	1.744			
8	6.4	2.1		0.25		24	7.0	1.7		36	480	－		7.0	1.7		36	220	－			
⑨																						
10	6.6	2.2		0.25		26	7.1	1.8		36	400	1.385		7.3	2.0		36	210	1.523			
11	6.1	2.1		0.25		26	7.1	1.8		36	420	1.636		7.2	2.0		36	220	1.591			
12	6.3	2.0	62.0	0.25	3.1	26	7.1	1.6	57.1	37	420	1.687	1.29	7.2	1.9	56.9	37	220	1.570	1.10		
13	6.5	2.1		0.25		26	7.2	1.7		37	420	1.587		7.3	1.9		37	220	1.433			
14	6.4	2.0		0.25		25	7.1	1.5		36	420	1.594		7.1	1.7		37	220	1.415			
15	6.4	1.9		0.25		25	7.2	1.5		36	420	－		7.2	1.7		36	220	－			
⑮																						
17	6.7	1.8		0.25		24	7.3	1.3		36	420	1.066		7.3	1.6		36	220	1.012			
18	6.5	1.9		0.25		25	7.3	1.5		36	420	1.224		7.3	1.8		36	220	1.201			
19	6.5	1.9	85.8	0.25	4.1	25	7.2	1.5	83.0	36	420	1.289	1.09	7.2	1.7	83.0	36	220	1.286	0.92		
20	6.5	1.8		0.25		25	7.2	1.4		36	410	1.242		7.2	1.5		36	220	1.173			
21	6.5	1.9		0.25		24	7.2	1.6		36	420	1.182		7.2	1.7		36	220	1.162			
22	6.5	1.8		0.25		24	7.2	1.5		35	420	－		7.2	1.5		35	220	－			
②③																						
②④																						
25	6.9	1.4		0.25		24	7.3	1.3		36	420	0.466		7.3	1.4		37	220	0.422			
26	6.7	1.5	69.0	0.25	2.6	24	7.1	1.2	64.5	35	420	0.589	0.50	7.1	1.3	64.2	36	220	0.621	0.45		
27	6.7	1.5		0.25		23	7.2	1.3		34	420	0.700		7.2	1.5		35	220	0.684			
28	6.7	1.4		0.25		35	7.2	1.2		35	420	0.780		7.2	1.3		35	220	0.790			
29	6.6	1.3		0.25		40	7.2	1.1		36	420	－		7.2	1.2		35	220	－			
③⑩																						

取手パイロットプラント 運転日報 (10月)

No.7 / 8

測定項目 測定日	投入汚泥						No.1 反応槽							No.2 反応槽						
	PH(-)	TS(%)	VS(%)	投入量 (m³/日)	VS量 (kg/日)	温度 (°C)	PH(-)	TS(%)	VS(%)	温度 (°C)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (m³/日)	メタン量 (m³/日)	PH(-)	TS(%)	VS(%)	温度 (°C)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (m³/日)	メタン量 (m³/日)
10. 1	6.7	1.3		0.25		40	7.2	1.1		35	420	0.843		7.2	1.3		35	220	0.777	
2	6.6	1.4		0.25		40	7.2	1.1		35	430	0.837		7.2	1.2		35	220	0.868	
3	6.5	1.5	45.6	0.25	1.7	22	7.0	1.2	49.4	35	430	0.941	0.79	7.0	1.5	47.8	35	230	0.934	0.67
4	6.5	1.6		0.25		40	7.1	1.2		36	430	0.890		7.1	1.4		36	230	0.940	
5	6.5	1.6		0.25		40	7.0	1.1		36	430	0.912		7.0	1.3		36	230	0.945	
6	6.5	1.4		0.25		40	7.0	1.0		36	430	—		7.0	1.2		36	230	—	
⑦																				
8	6.7	1.5		0.25		40	7.1	1.0		34	430	0.711		7.1	1.2		34	230	0.658	
9	6.6	1.4		0.25		42	7.1	1.0		35	430	0.724		7.1	1.2		35	230	0.690	
10	6.5	1.7	55.6	0.25	2.4	45	7.1	1.0	53.7	35	430	0.224	0.19	7.1	1.2	51.0	35	230	0.164	0.12
11	6.4	1.7		0.25		46	7.1	1.3		34	490	1.044		7.1	0.9		34	350	0.967	
12	6.8	1.5		0.25		49	7.1	1.2		36	490	0.925		7.1	0.9		35	350	0.828	
13	6.6	1.5		0.25		50	7.1	1.2		35	460	—		7.1	0.6		35	330	—	
⑭																				
15	6.9	1.5		0.25		50	7.3	1.2		36	460	0.648		7.3	1.1		35	330	0.627	
16	6.7	1.3		0.25		50	7.3	1.1		36	450	0.781		7.3	1.0		36	330	0.735	
17	6.8	1.4	67.6	0.25	2.4	52	7.1	1.1	61.7	36	450	0.863	0.73	7.1	1.2	62.4	36	330	0.807	0.58
18	6.8	1.5		0.25		50	7.2	1.1		36	450	0.807		7.2	1.4		36	320	0.749	
19	6.6	1.4		0.25		51	7.1	1.1		36	460	0.802		7.1	1.2		36	330	0.793	
20	6.6	1.2		0.25		50	7.2	0.9		36	460	—		7.2	1.1		36	330	—	
⑳																				
22	6.8	1.4		0.25		50	7.3	1.0		36	460	0.788		7.3	1.1		36	320	0.737	
23	6.7	1.4		0.25		52	7.1	1.0		36	460	1.004		7.1	1.1		36	320	0.941	
24	6.8	1.4	70.7	0.25	2.5	50	7.2	1.3	63.4	36	460	1.059	0.88	7.2	1.1	62.6	36	320	1.019	0.72
25	6.5	1.6		0.25		50	7.4	0.9		36	460	1.160		7.4	1.2		36	320	1.124	
26	6.6	1.5		0.25		50	7.1	1.0		36	460	1.093		7.1	1.1		36	320	1.072	
27	6.6	1.4		0.25		51	7.1	0.9		37	460	—		7.1	1.1		36	320	—	
㉑																				
29	6.5	1.5		0.25		50	7.0	1.0		36	460	0.772		7.0	1.0		36	320	0.704	
30	6.8	1.6		0.25		30	7.1	1.1		35	460	0.788		7.1	1.1		35	320	0.712	
31	6.4	1.9	74.6	0.25	3.5	20	7.0	1.2	64.9	35	460	1.200	0.95	7.0	1.2	64.8	36	320	1.122	0.80

取手パイロットプラント 運転日報 (11月)

No.8 / 8

測定項目 測定日	投入汚泥						No.1 反応槽							No.2 反応槽						
	PH(-)	TS(%)	VS(%)	投入量 (m³/日)	VS量 (kg/日)	温度 (℃)	PH(-)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (m³/日)	メタン量 (m³/日)	PH(-)	TS(%)	VS(%)	温度 (℃)	内圧 (mmAq)	ガス発生量 (m³/日)	メタン量 (m³/日)
11. 1	6.6	1.8		0.25		50	6.8	1.2		37	480	1.277		6.9	1.1		36	320	1.210	
2	6.7	2.2		0.25		50	7.2	1.4		35	480	1.289		7.2	1.4		35	320	1.221	
3	6.7	1.7		0.25		50	7.1	1.2		35	420	—		7.1	1.2		35	320	—	
④																				
5	6.6	1.9		0.25		51	7.1	1.5		34	420	1.566		7.1	1.2		35	320	1.137	
6	6.7	2.6	71.9	0.25	4.7	50	7.0	1.5	65.4	35	420	1.438	1.14	7.0	1.3	63.4	35	320	1.299	0.92
7	6.7	2.7		0.25		50	7.1	1.9		36	420	1.409		7.1	1.6		36	320	1.305	
8	6.7	2.9	71.7	0.25	5.2	50	7.0	1.6	64.9	37	420	1.419	1.11	7.0	1.3	63.3	36	320	1.309	0.90
9	7.0	2.2		0.25		50	7.2	1.7		37	420	1.281		7.2	1.4		36	320	1.205	
10	6.8	2.7	72.9	0.25	4.9	50	7.2	1.4	65.0	35	420	—		7.2	1.2	65.1	36	320	—	
⑪																				
12	6.7	2.6		0.25		50	7.2	1.7		35	420	1.049		7.2	1.4		35	320	0.948	
13	6.6	3.1	71.1	0.25	5.5	50	7.0	1.9	62.9	36	420	1.287	1.09	7.0	1.7	64.0	35	320	1.196	0.88
14	6.4	2.1		0.25		50	6.9	1.5		36	420	1.407		6.9	1.5		35	320	1.274	
15	6.7	2.7	65.7	0.25	4.4	50	6.9	1.8	63.0	36	420	1.433	1.23	6.9	1.7	64.3	35	320	1.309	0.95
16	6.5	2.9		0.25		50	7.1	1.8		36	420	1.418		7.2	1.7		35	320	1.300	
17	6.6	2.7	71.6	0.25	4.8	50	7.1	1.9	64.1	35	420	—		7.2	1.8	63.1	35	320	—	
⑱																				
19	—	—		—		—	—	—		—	420	0.800		—	—		—	320	0.778	
20	6.5	2.1		0.25		50	7.3	1.5		34	420	1.250	1.00	7.4	1.5		34	320	1.202	0.91
21	—	—		—		—	—	—		—	420	0.860		—	—		—	320	0.806	
22	6.4	2.4	74.3	0.25	4.5	56	7.3	1.5	64.7	36	420	1.380	1.07	7.3	1.5	66.6	35	320	0.976	0.71
23	6.1	3.3		0.25		50	7.3	1.6		35	420	1.240		7.3	1.6		35	320	1.154	
24	5.9	3.6		0.25		50	7.3	1.8		36	420	—		7.3	2.0		36	320	—	
②⑤																				
26	6.1	3.1		0.25		52	7.1	1.8		35	420	1.153		7.1	1.6		35	320	1.076	
27	6.2	3.1	74.2	0.25	5.8	57	7.2	1.7	67.0	35	420	1.500	1.18	7.2	1.7	64.9	35	320	1.433	1.01
28	6.3	3.2		0.25		57	7.3	1.8		36	420	1.584		7.3	1.8		35	320	1.468	
29	6.3	3.3		0.25		52	7.3	1.8		36	420	1.401	1.13	7.3	1.7		35	320	1.397	0.99
30	6.4	3.0		0.25		52	7.3	1.7		35	420	1.411		7.3	1.7		35	320	1.401	

各種汚泥分析結果 (1 / 7)

	5/23			5/28			6/6			6/13			6/20			6/25		
	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2
PH (—)	6.2	7.2	7.1	6.3	7.2	7.3	6.4	7.5	7.8	6.7	7.4	7.6	6.4	7.4	7.4	6.6	7.5	7.5
TS (%)	1.6	1.4	1.5	1.36	1.18	1.34	1.34	1.19	1.28	0.6	1.02	1.15	2.32	1.15	1.28	2.26	1.35	1.41
VS/TS (%)	78.1	71.2	71.0	75.5	70.6	70.6	75.4	71.5	71.7	72.4	71.5	71.4	78.3	72.1	72.0	78.5	73.0	73.0
COD _{cr} (mg/ℓ)	14,200	12,900	13,400	17,000	12,100	13,500	16,400	10,900	12,100	14,000	9,840	9,580	39,000	13,440	15,000	22,400	18,500	17,100
NH ₄ -N (〃)	—	—	—	—	—	—	200	620	630	140	540	560	270	560	570	270	580	600
T-N (〃)	1,170	1,490	1,530	1,030	1,390	1,380	950	1,240	1,260	410	1,310	1,150	1,700	1,170	1,260	1,500	1,240	1,290
T-P (〃)	460	530	540	360	430	500	290	410	460	180	340	380	150	140	140	420	290	420
炭水化物 (%dry)	6.3	6.0	6.1	5.5	6.1	6.1	5.6	6.3	6.3	6.1	6.7	7.7	5.2	5.7	5.1	5.2	6.1	6.4
脂 質 (〃)	5.4	3.0	3.4	9.5	4.0	3.7	11.0	4.8	4.8	11.9	4.4	3.5	5.2	4.3	4.5	9.7	4.5	4.7
蛋白質 (〃)	40.5	35.1	33.7	33.7	38.0	21.4	35.0	32.9	30.9	28.2	46.9	32.1	38.6	33.4	33.7	34.0	30.5	30.6
M-アルカリ (mg/ℓ)	470	2,300	2,270	880	2,250	2,280	540	2,130	2,380	500	2,000	2,100	770	2,060	2,120	800	2,100	2,110
有機酸 (〃)	620	190	210	430	280	270	510	260	280	370	230	250	220	220	240	460	250	250
酢 酸 (〃)	32	5.3	3.5	7.4	1.3	1.0	4.0	1.4	1.1	4.1	1.6	1.2	6.0	1.5	1.4	4.4	2.4	1.6
プロピオン酸 (〃)	19	0.9	0.4	11	<0.1	<0.1	4.2	<0.1	<0.1	6.6	<0.1	<0.1	43	1.2	<0.3	1.5	0.2	<0.1
i-酪酸 (〃)	4.2	<0.1	<0.1	3.3	<0.1	<0.1	2.3	<0.1	<0.1	1.5	<0.1	<0.1	7.1	<0.1	<0.1	0.9	<0.1	<0.1
n-酪酸 (〃)	5.3	<0.1	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	1.0	<0.1	<0.1	0.5	<0.1	<0.1	14	<0.1	<0.1	0.9	<0.1	<0.1
i-吉草酸 (〃)	7.8	<0.1	<0.1	6.7	<0.1	<0.1	5.3	<0.1	<0.1	3.0	<0.1	<0.1	4.2	<0.1	<0.1	1.6	<0.1	<0.1
n-吉草酸 (〃)	3.6	<0.1	<0.1	1.4	<0.1	<0.1	1.1	<0.1	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	0.4	<0.1	<0.1	0.8	<0.1	<0.1
TC (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	720	910	1,010	770	910
IC (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	15	140	440	530
T-C (%dry)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.6	0.7	41.4	35.3	35.3

各種汚泥分析結果 (2 / 7)

	6/27			6/29			7/2			7/4			7/6			7/11		
	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2
PH (-)	6.7	7.6	7.6	6.8	7.7	7.7	6.5	7.5	7.5	6.4	7.5	7.6	6.4	7.5	7.5	6.3	7.4	7.6
TS (%)	2.70	1.38	1.45	2.77	1.49	1.49	1.84	1.37	1.46	1.84	1.37	1.46	1.91	1.40	1.43	1.93	1.40	1.43
VS/TS (%)	79.0	73.1	73.1	79.0	73.8	73.3	78.1	73.2	72.7	78.6	73.1	72.7	78.8	73.2	72.7	78.9	73.9	73.1
COD _{cr} (mg/ℓ)	27,900	16,900	18,100	30,600	13,000	12,600	15,900	13,700	13,100	15,500	12,100	11,800	17,300	11,900	12,200	—	—	—
NH ₄ -N (ℓ)	340	570	580	320	560	580	180	560	610	210	600	600	230	570	580	—	—	—
T-N (ℓ)	2,010	1,320	1,340	1,820	1,340	1,340	1,090	1,370	1,390	1,230	1,340	1,380	1,260	1,320	1,340	—	—	—
T-P (ℓ)	560	450	400	530	590	320	320	370	400	340	370	380	380	400	410	—	—	—
炭水化物 (%dry)	6.6	7.7	6.1	5.2	6.2	6.4	5.2	5.3	5.5	4.6	6.4	6.4	5.1	6.1	6.5	4.8	5.2	6.3
脂 質 (ℓ)	11.2	5.2	4.8	12.7	5.3	5.0	12.0	4.5	5.1	13.3	4.7	4.9	12.2	5.5	5.7	12.8	5.1	4.7
蛋白質 (ℓ)	38.8	340	32.7	33.8	32.6	31.6	30.7	35.2	33.6	34.8	32.5	33.9	33.7	33.5	33.0	32.3	35.8	33.9
M-アルカリ (mg/ℓ)	910	2,090	2,100	870	2,010	2,080	560	1,980	2,090	600	1,980	2,040	660	1,990	1,990	600	1,950	2,100
有機酸 (ℓ)	410	240	190	480	220	230	410	220	210	410	240	210	560	210	210	480	220	220
酢 酸 (ℓ)	3.4	1.8	1.8	5.3	1.8	1.5	6.7	1.6	1.4	8.3	1.6	1.8	9.7	1.8	1.5	—	—	—
プロピオン酸 (ℓ)	5.2	0.2	<0.1	16.9	0.3	<0.1	12.5	0.2	<0.1	15.2	<0.1	<0.1	14.3	0.3	<0.1	—	—	—
i-酪酸 (ℓ)	<0.1	<0.1	<0.1	4.8	<0.1	<0.1	3.3	<0.1	<0.1	4.0	<0.1	<0.1	5.0	<0.1	<0.1	—	—	—
n-酪酸 (ℓ)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.7	<0.1	<0.1	1.2	<0.1	<0.1	1.4	<0.1	<0.1	—	—	—
i-吉草酸 (ℓ)	<0.1	<0.1	<0.1	10.3	<0.1	<0.1	5.4	<0.1	<0.1	6.6	<0.1	<0.1	8.0	<0.1	<0.1	—	—	—
n-吉草酸 (ℓ)	<0.1	<0.1	<0.1	2.0	<0.1	<0.1	1.0	<0.1	<0.1	1.4	<0.1	<0.1	1.6	<0.1	<0.1	—	—	—
TC (ℓ)	1,220	860	1,200	1,260	840	1,030	810	1,010	1,280	800	1,100	1,320	1,030	1,080	1,230	—	—	—
IC (ℓ)	210	540	510	200	440	410	150	480	520	170	460	480	150	460	500	—	—	—
T-C (%dry)	41.8	35.6	36.0	40.8	35.8	35.7	40.4	35.4	35.3	41.4	35.5	36.0	41.0	35.4	35.0	—	—	—

各 種 汚 泥 分 析 結 果 (3 / 7)

	7 / 18			7 / 25			8 / 29			/			/			/		
	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2
PH (—)	6.5	7.6	7.7	6.6	7.5	7.4	5.4	7.3	7.3									
TS (%)	1.91	1.41	1.45	1.83	1.42	1.43	2.91	1.73	1.70									
VS / TS (%)	77.3	73.0	73.0	77.2	73.3	72.7	72.5	67.5	67.3									
COD _{cr} (mg / ℓ)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
NH ₄ -N (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
T-N (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
T-P (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
炭水化物 (%dry)	4.7	5.8	6.2	5.2	6.2	6.2	4.3	5.2	4.5									
脂 質 (〃)	15.0	5.5	6.2	12.3	4.6	4.8	14.1	7.5	6.3									
蛋白質 (〃)	31.0	34.2	32.5	31.3	33.4	32.4	28.4	30.5	29.7									
M-アルカリ (mg / ℓ)	540	1,940	2,100	860	1,900	2,030	290	1,670	1,790									
有機酸 (〃)	290	160	170	140	200	160	840	48	72									
酢 酸 (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
プロピオン酸 (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
i-酪酸 (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
n-酪酸 (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
i-吉草酸 (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
n-吉草酸 (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
TC (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
IC (〃)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
T-C (%dry)	—	—	—	—	—	—	—	—	—									

各種汚泥分析結果 (4 / 7)

	9 / 5			9 / 12			9 / 19			9 / 26			10 / 3			10 / 10		
	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2
PH (-)	7.6	8.3	8.3	7.7	8.2	8.1	6.2	7.1	7.1	6.2	7.1	7.1	6.1	7.3	7.3	6.1	7.3	7.3
TS (%)	2.31	1.68	1.83	1.34	1.12	1.32	3.13	2.62	2.65	1.23	1.22	1.31	0.73	0.72	0.74	1.12	0.82	0.94
VS / TS (%)	70.2	64.7	65.1	62.0	57.1	56.9	85.8	83.0	83.0	69.0	64.5	64.2	45.6	49.4	47.8	55.6	53.7	51.0
COD _{cr} (mg / ℓ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH ₄ -N (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-N (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-P (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
炭水化物 (%dry)	5.7	5.4	5.0	1.9	1.4	2.2	2.5	1.7	2.9	3.5	2.9	3.2	0.37	0.59	0.42	3.9	3.7	3.6
脂 質 (〃)	20.5	8.0	6.8	0.77	0.81	0.57	0.40	0.51	0.52	6.4	4.4	5.0	0.37	0.74	0.38	1.3	1.4	1.2
蛋白質 (〃)	26.1	27.6	30.0	45.4	39.7	40.1	18.7	17.8	12.6	36.2	31.2	30.4	44.3	46.9	45.6	42.3	38.3	35.8
M-アルカリ (mg / ℓ)	490	1,880	2,050	450	1,780	1,980	510	1,770	2,080	330	1,830	1,930	380	1,580	1,790	310	1,400	1,700
有機酸 (〃)	620	48	60	540	48	89	244	85	80	420	98	120	430	100	110	400	180	110
酢 酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	2	2
プロピオン酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	1	<1
i-酪酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	<1	<1
n-酪酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	<1	<1
i-吉草酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	<1	<1
n-吉草酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	<1	<1
TC (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IC (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-C (%dry)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

各種汚泥分析結果 (5 / 7)

	10/17			10/24			10/31			11/ 6			11/ 8			11/10		
	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2
PH (-)	6.1	7.0	7.0	5.9	7.1	7.1	5.7	7.1	7.3	6.0	7.5	7.6	6.1	7.4	7.9	6.0	8.1	7.9
TS (%)	1.28	0.99	1.16	1.42	1.09	1.13	1.44	1.21	1.22	2.51	1.24	1.52	2.19	1.41	1.66	2.04	1.19	1.43
VS/TS (%)	67.6	61.7	64.2	70.7	63.4	62.6	74.6	64.9	64.8	71.9	65.4	63.4	71.7	64.9	63.3	72.9	65.0	65.1
COD _{cr} (mg/ℓ)	—	—	—	18,700	12,200	11,200	19,100	10,900	13,900	27,700	11,900	18,000	22,000	13,700	18,100	26,200	11,000	14,200
NH ₄ -N (//)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
T-N (//)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,390	1,080	980	1,260	1,200	1,080	1,350	1,270	1,090
T-P (//)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	180	140	130	180	190	140	170	130	140
炭水化物 (%dry)	3.5	2.9	3.5	2.9	1.1	1.5	6.9	5.3	5.2	7.1	5.3	4.8	7.6	5.4	4.6	8.1	4.5	4.7
脂 質 (//)	8.5	4.6	3.1	9.0	7.2	3.2	12.8	8.2	4.9	13.5	7.9	5.7	10.1	7.4	6.2	10.7	6.6	6.0
蛋白質 (//)	32.9	28.6	29.2	31.7	28.8	28.2	30.6	28.2	25.5	28.2	27.6	28.8	29.2	29.0	27.5	32.8	32.4	27.2
M-アルカリ (mg/ℓ)	390	1,340	1,620	300	1,210	1,520	270	1,020	1,470	660	1,530	1,640	640	1,680	1,710	670	1,820	1,720
有機酸 (//)	540	260	110	480	380	99	520	430	160	850	170	110	640	100	120	910	160	120
酢 酸 (//)	39	12	2	—	—	—	—	—	—	43	8	9	44	8	18	52	11	23
プロピオン酸 (//)	23	9	2	—	—	—	—	—	—	39	15	8	36	11	11	39	10	15
i-酪酸 (//)	5	2	<1	—	—	—	—	—	—	7	3	1	7	2	2	7	2	3
n-酪酸 (//)	6	<1	<1	—	—	—	—	—	—	13	1	<1	12	<1	<1	15	<1	1
i-吉草酸 (//)	9	3	<1	—	—	—	—	—	—	13	2	3	12	<1	5	14	1	7
n-吉草酸 (//)	4	<1	<1	—	—	—	—	—	—	8	<1	<1	7	<1	<1	8	<1	<1
TC (//)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	740	500	560	760	560	580	950	640	630
IC (//)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	330	350	360	220	340	380	260	330	400
T-C (%dry)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	35	34	37	36	34	39	35	35

各種汚泥分析結果 (6 / 7)

	11/13			11/15			11/17			11/20			11/22			11/27		
	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2
PH (-)	5.8	7.2	7.7	5.8	7.4	7.8	5.5	7.2	7.8	6.4	8.1	8.2	6.7	8.0	8.2	5.8	7.4	7.5
TS (%)	2.11	1.40	1.54	2.65	1.43	1.60	2.26	1.59	1.47	1.97	1.48	1.49	2.78	1.37	1.55	2.60	1.67	1.70
VS/TS (%)	71.1	62.9	64.0	65.7	63.0	64.3	71.6	64.1	63.1	73.6	66.1	65.7	74.3	64.7	66.6	74.2	67.0	64.9
COD _{cr} (mg/ℓ)	27,100	14,300	16,400	31,700	14,300	16,300	31,100	15,900	15,300	25,100	12,900	13,400	42,800	16,600	19,000	41,700	18,500	20,100
NH ₄ -N (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-N (〃)	1,400	1,270	1,130	1,600	1,200	1,200	1,320	1,280	1,190	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-P (〃)	330	320	290	350	330	300	310	320	310	-	-	-	-	-	-	-	-	-
炭水化物 (%dry)	5.5	4.8	3.8	6.3	4.4	3.3	5.8	4.2	4.5	6.5	5.5	5.4	6.4	5.5	5.0	7.6	5.9	5.5
脂 質 (〃)	14.7	6.7	6.9	13.7	6.3	7.3	16.0	6.3	7.1	14.6	6.1	6.6	14.1	6.1	6.1	15.4	5.0	7.1
蛋白質 (〃)	31.5	30.8	28.3	29.6	26.8	28.3	31.0	31.9	28.1	28.9	30.5	28.3	29.0	27.1	27.0	33.3	29.3	27.4
M-アルカリ (mg/ℓ)	600	2,050	1,830	520	2,100	1,900	330	2,100	1,900	690	2,220	2,170	620	2,140	2,160	720	2,050	2,300
有機酸 (〃)	1,060	170	380	990	100	400	830	110	470	1,190	120	250	1,150	130	140	2,390	120	140
酢 酸 (〃)	54	5	9	44	1	7	52	1	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
プロピオン酸 (〃)	47	2	7	48	<1	5	45	<1	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
i-酪酸 (〃)	8	1	1	7	<1	1	5	<1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n-酪酸 (〃)	18	1	<1	17	<1	<1	14	<1	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
i-吉草酸 (〃)	15	<1	2	14	<1	1	9	<1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n-吉草酸 (〃)	10	<1	<1	10	<1	<1	7	<1	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TC (〃)	1,010	610	560	1,100	650	620	980	620	610	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IC (〃)	220	410	330	220	370	400	130	380	380	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-C (%dry)	40.2	33.9	34.0	41.8	34.8	34.2	41.0	34.3	34.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-

各種汚泥分析結果 (7 / 7)

	11/29			12/5			12/12			12/19			/			/		
	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2	投入汚泥	消化-1	消化-2
PH (-)	5.5	7.3	7.2	6.2	7.6	7.5	6.2	7.3	7.2	5.8	7.1	7.1						
TS (%)	3.11	1.56	1.72	2.70	1.95	2.10	2.61	1.87	1.92	2.92	1.92	1.93						
VS/TS (%)	75.0	64.5	65.7	75.4	65.3	66.3	75.0	65.5	66.2	75.7	65.9	67.0						
$T-15-$ COD _{cr} (mg/ℓ)	52,300	17,600	19,200	39,900 3,400	20,800 670	24,500 400	40,600 4,660	18,800 710	20,200 410	43,100 5,930	26,800 530	29,000 420						
NH ₄ -N (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
T-N (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
T-P (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
炭水化物 (%dry)	6.5	5.8	5.7	5.7	5.1	4.9	5.9	5.7	5.9	4.5	3.4	4.1						
脂 質 (〃)	12.6	4.5	5.4	3.5	6.3	6.5	11.1	5.5	5.7	5.8	3.3	3.6						
蛋白質 (〃)	35.3	30.1	27.8	31.9	30.2	28.5	33.7	30.3	28.1	37.5	32.4	30.5						
M-アルカリ (mg/ℓ)	420	2,400	2,410	750	2,780	2,680	640	3,120	3,100	870	3,270	3,110						
有機酸 (〃)	1,720	160	170	1,560	140	290	1,760	210	350	2,020	300	460						
酢 酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
プロピオン酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
i-酪酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
n-酪酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
i-吉草酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
n-吉草酸 (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
TC (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
IC (〃)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
T-C (%dry)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						

二酸化炭素還元型メタン発酵機構の
解明に関する共同研究報告書
(二酸化炭素還元型リアクターの開発)

共同研究報告書64号
平成3年9月(1991)

建設省土木研究所 安中 徳二, 他 5名
株式会社タクマ 三輪 勉, 他 3名

要 旨 下水道が整備・拡充されて行く中で, 下水処理場におけるエ
ネルギー収支の改善が強く望まれてきている。下水汚泥の嫌気
性消化法は, これに寄与するエネルギーの生産手段として重要視される。
本報告書は, 下水汚泥の嫌気性消化法においてメタンガスの生産量を増
加させる二酸化炭素還元型リアクターの開発を行ったものである。

キーワード: 下水汚泥, 嫌気性消化, メタン発酵, 膜, 二酸化炭素

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十一円切
手をはって
下さい。

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所

下水道部汚泥研究室 行

No. _____

No. _____

配布先住所

配布先氏名

土木研究所共同研究 第64号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印