



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	廃水処理法としての2相嫌気性消化法の研究
Author(s)	井上, 雄三; Inoue, Yuzo; 神山, 桂一 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 113, 97-106
Issue Date	1983-02-28
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41776
Type	departmental bulletin paper
File Information	113_97-106.pdf



廃水処理法としての 2 相嫌気性消化法の研究

井上雄三 神山桂一 松尾孝之

(昭和 57 年 9 月 30 日受理)

A Study of the Two Phase Anaerobic Digestion Process as a Sewage and Wastewater Treatment Method

Yuzo INOUE, Keiichi KOYAMA and Takayuki MATSUO

(Received September 30, 1982)

Abstract

To clarify the possibilities of treating actual sewage and wastewater with a two phase anaerobic digestion (TPAD) process, a series of laboratory scale experiments were carried out with synthetic wastewater using starch and skim milk.

The TPAD process consists of an acid fermentation reactor (AFR) with sludge recirculation, first sedimentation tank, a methane fermentation reactor (MFR) which is a fixed bed biofilm reactor packed with honey comb type packed material, and second sedimentation tank lined in a series.

The process was operated at loading rate of 0.15 to 0.4 kg-Carbon/m³/d (0.5 to 1.4 in AFR, 0.2 to 0.6 in MFR) and at 38° C. The production ratio of the total volatile fatty acids (TVFA) was nearly constant, independent of the loading rates and was achieved at 54% to 57% in AFR. But the proportion of each VFA was dependent upon them. 30% of the organic matter fed in AFR was removed, while 95 to 97% in MFR was removed. Most of these were decomposed to CH₄ and CO₂. Consequently 90% of the fed organic matter was exchanged into gaseous matters. It was found that the performance of the TPAD process is more attractive for dissolved organic matter than that of the aerobic treatment process such as an activated sludge process. The TPAD process could remove over 99.0% dissolved organic carbon (DOC) and could remove over 99.9% dissolved BOD. Effluent quality showed DOC less than 10mg/l as well as BOD. It was also shown that the TPAD process could be operated without any excess sludge production over the entire experiment periods.

1. はじめに

都市下水や各種の有機廃水を無機化および安定化している浄化方法は、いわゆる好気性微生物を利用したもので、微生物は水中の汚物（有機物）を酸化・分解することによって増殖していく。このような処理法では、微生物の増殖や生命維持のために酸素が必要となる。その酸素を供給するために大量のエネルギーが消費される。また有機物の酸化・分解と同時に大量の汚泥を発生する。

この汚泥は、脱水処理することが大変困難で薬注量も大きく、脱水装置運転のためのエネルギー

ギー消費量も酸素供給のつぎに大きい。田井ら¹⁾によれば、下水処理において投入される全エネルギー量の約58%は酸素供給(エアレーション)用ブローヤーによるもので、38%は汚泥処理のために用いられている。また1975年に下・廃水処理で消費されたエネルギーは 267×10^9 MJ / (石油換算 6.8×10^6 kl)となっており、これは日本の全消費エネルギーの約1.5%に相当する大きな値になっている。最近のエネルギー資源輸入事情による電力料金等の値上りは、処理施設の維持管理費用を増嵩させ、地方自治体の財政を少なからず圧迫している。

これらの理由から、従来の下・廃水処理法の代替プロセスの研究開発が急がれている。こうした事情を背景とし、代替プロセスの一つとして、都市下水あるいは有機廃水の嫌気性微生物を用いた直接処理法—すなわち嫌気性消化処理法が考えられるようになった²⁻³⁾。この方法は好気性微生物と異なり、分子状酸素を全く利用せずに有機物を分解し、浄化できる微生物を用いた処理法で、好気性微生物による処理のように汚泥をほとんど発生しないという利点があり、しかも有機物からメタンガスとしてエネルギー源を回収することが可能なプロセスである。しかしながら、微生物学的にも工学的にも基礎的研究や技術開発が好気性処理法と比べて極めて遅れていたために、高濃度廃水や固形物含量2~7%の有機性汚泥のようなものの処理にしか応用されてこなかったし、しかも前処理法としての位置づけしかなされなかった。従って、安定かつ良好な処理水質を保証できる好気性処理法のような廃水処理法としての設計・運転条件などは最近になるまで全く研究されなかった。

2相消化法は、従来の単相消化に対して炭水化物、タンパク質、あるいは脂質などの有機物を加水分解し、主として有機酸を生成する酸発酵細菌群と、炭素数がプロピオン酸以上の有機酸を酢酸まで、あるいはCO₂およびH₂に分解するDehydrogenation Acetogenic Bacteria群とMethanogenic Bacteria群との共生細菌群(Syntrophic Bacteria)の2グループの細菌群が別々に活動するように反応槽を分離することによって、それぞれの細菌群にとって最適な環境条件で運転を行ない、反応速度を可能な限り高めようとするシステムである⁵⁻⁷⁾。このシステムの優位性は、特に溶解性の有機下・廃水を処理対象としたときに発揮される⁷⁾。その理由は、メタン生成菌群の菌体収率が極めて小さいこと(0.04 g/gr 基質)⁹⁾および増殖速度が小さいこと(3.0/d)⁹⁾によって明確になる。すなわち、メタン生成菌は収率から推定して酸発酵菌群の1/4の量になり、増殖速度では1/10~1/20程度になるから、単相消化ではメタン生成菌群の割合が少なくなり、ある平均菌令以下ではwash out⁹⁾が生じるようになり、そのプロセスは成立しなくなる。また、不測の事態で毒物が混入した場合に、比較的耐性の大きい酸発酵槽で毒物を吸着除去し、毒物に対して極めて敏感なメタン生成菌のダメージを最小に抑える可能性がある。従ってメタン生成菌群と酸発酵菌群とに分離した2相システムは、極めて合理的な嫌気性処理方式であると考えられる。

本報告は、廃水処理法としての2相嫌気性消化法の可能性を明らかにするために、人工廃水を用いて処理実験を行ない処理水の水質レベル、処理機能の安定性および汚泥発生特生などについて検討を加えたものである。

2. 処理システムの概要

本研究で用いた実験用の装置は、返送を伴う完全混合型酸発酵槽(Acids fermentation reactor; 以下A F Rと記す)と完全混合型固定生物膜メタン生成槽¹⁰⁾(Methane fermentation reactor; 以下M F Rと記す)を直列につないだシステムである。それぞれのプロセスに異なった型の反応槽を用いた理由は以下のようなになる。

酸発酵槽; 菌体収率が0.12~0.17¹¹⁻¹³⁾ gr/gr 基質程度であるから、高濃度廃水を処理する

場合には、微生物濃度を一定に保ち、メタン生成槽への微生物の流出を防ぐため、また逆に、低濃度の廃水の場合には、槽内の微生物の不活性化および無機物質の蓄積を防ぐために、酸発酵槽内の菌体の引抜きを行なって菌令 (Sludge Age) をコントロールできることが望ましい。

メタン生成槽；前にも述べたようにメタン生成菌の菌体収率は 0.04 gr/gr 基質程度⁹⁾ と極めて小さいので、菌体の流出を可能な限り防ぐことが重要となる。嫌気性消化槽に活性炭を投入することによって消化効率を増加できることが報告¹⁴⁾ されていることから予想できるように、メタン生成菌は、不活性な担体に付着し生物膜を形成する能力があると考えられている。そこで、ろ材に生物膜をつくりろ過を行なう嫌気性ろ床法¹⁵⁾¹⁶⁾ や、嫌気性流動床法²⁾、あるいは嫌気性回転円板法⁴⁾ などが提案されてきた。生物膜法を用いることによって、菌令を非常に大きくとることができ、メタン生成菌の能力を最大限に発揮できるようなプロセスが可能となるであろう。

筆者らは、メタン生成槽に充填材として、PVC製 Honey Comb を用いた。これを用いた理由は第1にプロセスの操作が簡単なこと、第2に流動床ほど大きくできないが、比較的付着表面積を大きくできること、第3に故障等で充填材の閉塞が起らないことなどが考えられるからである。

Fig-1に実験装置の概略を示す。槽容量は、酸発酵槽：5.5 l (RUN Iのみ 5.0 l)、メタン生成槽：12.8 l、第1 (S₁) および第2 (S₂) 沈殿槽：2.6 l である。それぞれの槽容量は、最適配分比から得られたものではなく、筆者らの経験より推定したものである。MFRの循環流量は 10 l/min. (空筒速度 0.7 m/min.)、充填材 (Honey Comb) は、セル径；13 mm、容積； 0.57×10^{-2} m³、表面積；1.76 m² である。

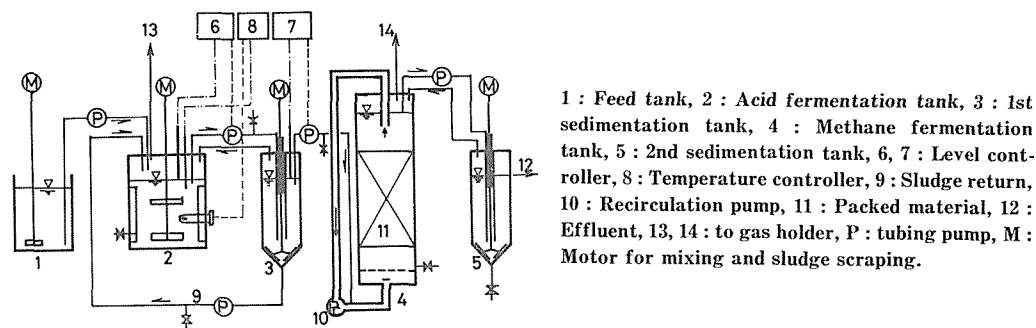


Fig. 1 Schematic diagram of the two phase anaerobic digestion process.

3. 実験条件および方法

実験開始に先立ち Table-1 に示す人工廃水を用い、江別市下水処理場の消化汚泥を種汚泥として 1 ヶ月以上連続流による馴養運転を行ない、本実験を開始した。槽内温度は、AFR, MFRともに $38 \pm 1^\circ\text{C}$ とし、中温消化処理を行なった。フィードタンク内の人工廃水は、 $2 \sim 3^\circ\text{C}$ に保って腐敗を防いだ。Table-2 に実験条件を示す。一連の処理実験は、有機酸濃度や組成などによってモニターし、定常状態と判断されるまで続け、その時点で代表サンプリングを行なった。その後、次の負荷条件に設定しなおし、処理実験を続けた。なお、AFRにおける各有機酸の生成比に及ぼす pH の影響については既に報告されている¹⁷⁾ が、今回の実験では pH のコントロールは行なわなかった。

Table 1. Composition of synthetic waste water

Constituent	mg/ℓ	RUN I-III	RUNVI
Starch		2,500	1,250
Skim milk		2,500	1,250
FeCl ₃ ·6H ₂ O		25	25
K H ₂ PO ₄		200	200
Na ₂ HPO ₄		600	600
NH ₄ Cl		10*	10
TOC		1,770	950
BOD		5,120	—
Kjeldahl-N		110**	62
Organic-N(sol.)		35	20
NH ₄ ⁺ -N		11	12

*RUN I: no addition

**RUN I: 95 mg/ℓ

Table 2. Loading rate conditions used in the two phase anaerobic digestion process

RUN No.	Flow rate ml/d	Volumetric loading rate(Kg Carbon/m ³ /d)			Surface area
		AFR	MFR	Total	loading rate MFR(Kg Carbon/m ² /d)
I	1,500	0.54	0.20	0.15	0.95
II	2,990	1.09	0.44	0.31	2.09
III	4,150	1.36	0.55	0.39	2.62
IV	3,920	0.68	0.28	0.20	1.36

4. 結果と考察

Fig-2にRUN I, II, IIIおよびIVの結果を示す。ただしRUN IVについては、定常状態が得られる前に測定を行なったため、結果の解析は行なわず、参考として示した。

酸発酵段階では、予想に反してpHが4.3~4.5の範囲にあってもかなりメタンが生成され、発生ガス中の含有率は45~50%にも達した(Table-3)。ガスの発生量は、AFR, MFRともにほぼフィードされた有機物量(負荷量)に比例して増加するが、CH₄含有率は僅かながら減少する。RUN I~III程度の負荷では、AFRにおいて全有機酸(Total Volatile Fatty Acids: TVFA)生成量が減少することもなく、全有機炭素(Total Organic Carbon: TOC)もほぼ一定の値になった。AFRで生成された揮発性脂肪酸(Volatile Fatty Acid: VFA, 有機酸と同義)は、ほとんど全量がガス化されるので、pH 4.3~4.5で流入した廃水は、MFRでは6.8~7.0まで上昇する。総じて負荷が大きくなるほどAFRおよびMFRのNH₄⁺-N濃度は減少する(Kjeldahl-Nも同一傾向を示す)。放流水中のVFA濃度は、ほとんど10 mg/ℓ以下で、数例を除いてプロピオン酸以上のVFAは1 mg/ℓ以下であった。溶存性有機炭素(Dissolved Organic Carbon: DOC)は10 mg/ℓとなり、極めて良好な水質を示したが、TOCは10~100 mg/ℓとなり、懸濁性有機物(Suspended Solids: SS)の除去に問題があることが示された。

4-1 AFRにおける有機酸の生成特性とガス組成

筆者らが用いた2相嫌気性消化システムは、酸発酵相とメタン生成相を完全に分離するシステムではなく、酸発酵槽において汚泥を返送させる方法によって平均汚泥令を長くし、メタン生成菌が槽内に残存できるようなシステムである。そうすることによって酸発酵槽内で生成される水素が消費されてメタン生成率が増加し、混合液中の水素分圧が減少し、より酸化レベルの高いV

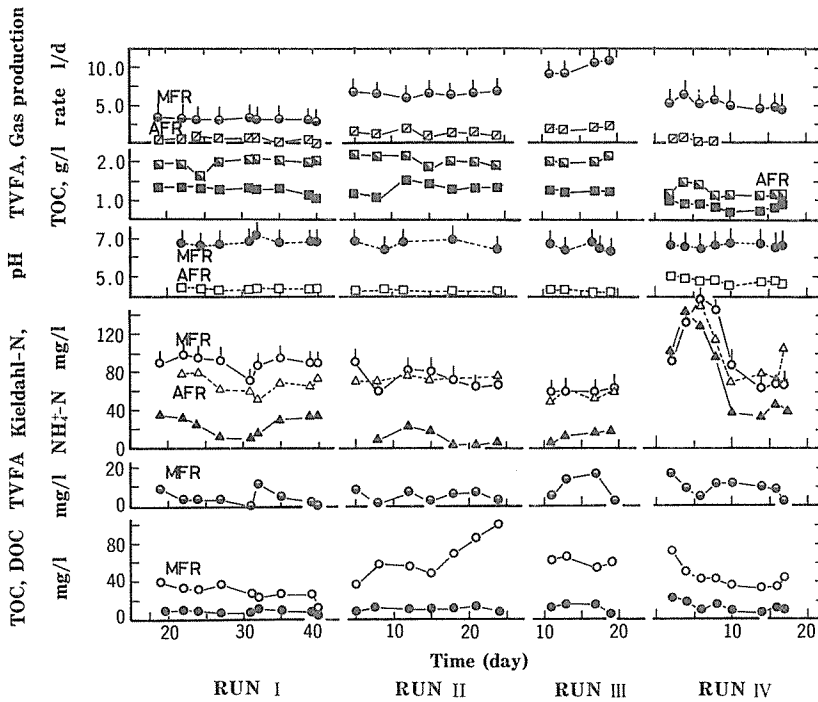


Fig. 2 Performance of the two phase anaerobic digestion process.

Kies ; Triangle and Square : acid fermentation reactor, Circle : methane fermentation reactor

■○ : TOC, ● : DOC, □● : Total volatile acid,

▲○ : $\text{NH}_4^+\text{-N}$, △ : Kjeldahl-N, □● : pH,

□○ : Gas producaitn rate.

Table 3. Gas component ratio produced in the acid fermentation reactor and the methane fermentation reactor (%)

RUN No.	AFR				MFR			
	CO_2	CH_4	O_2	N_2	CO_2	CH_4	O_2	N_2
I	43.5	50.3	1.0	5.2	33.4	64.9	0.5	1.2
II	46.3	46.9	0.5	8.3	34.9	63.9	0.2	1.0
III	50.9	44.5	0.5	4.0	35.9	62.7	0.4	1.0

F Aの生成が増加する。

pHが6.0以下ではメタン生成は著しく低下し、5.0以下になると全く生成されないことが報告¹⁸⁻²⁰⁾されているが、どの負荷条件においてもフィードされた有機炭素の約7% (総メタン生成量の約14%) のメタン (Table-7) が発生した。有機物からのメタン生成は、約30%が水素による二酸化炭素の還元、残りの70%が酢酸のメチル基を経由していることが知られている²¹⁾。AFRにおけるメタン生成は、発生した水素経路によるものと思われ、酢酸経路と異なり、pHが5以下であってもメタン生成菌が増殖できる (あるいはそのような条件で増殖できるメタン生成菌が存在する) ことを示している。McInerney等^{22),23)} とCohen⁷⁾ が指摘しているように、メタン生成菌による水素消費は、嫌気性消化反応においては極めて重要であり、系の水素分圧によって炭水化物などの有機物の有機酸発酵経路が変化したり、あるいはプロピオン酸以上の炭素数のVFAが H_2 -producing acetogenic bacteriaによって水素、酢酸および/あるいは二酸化炭素に分解さ

れる反応に影響を与え、生成される各々のVFAの割合が変化するものと考えられる。

AFRにおける生成VFAの組成および生成率は、MFRを設計する際に極めて重要なファクターとなる。Table-4に生成されたVFAの割合を示す。表から明らかのように、全有機酸(TVFA)の55~62%を酢酸が占めており、次にn-酪酸(16~20%)、n-カプロン酸(10~17%)が続く。TVFAの86~92%をこれらのVFAが占める。また、n-酪酸とn-カプロン酸は、負荷が増加するにつれて、その割合が増加しているが、逆にプロピオン酸は減少している(7~2%)。一方、RUN IVではプロピオン酸の割合が増加した(28%)。負荷によって、系内の水素分圧が異なることが予想され、従って生成されるVFAの割合に変化が生じることが考えられるが、返送を伴うAFRにおいてもそのことが明らかになった。しかしながら、TOAの生成率はRUN I; 53.9%, RUN II; 53.7%, RUN III; 59.8%とほぼ一定の値を示した。またRUN IVでも57.4%の生成率が得られた。この値は、Glucoseを単一基質としたChemostat(汚泥返送のないプロセス)による酸発酵槽から得られた値53%²⁴⁾と同程度になっている。しかしながら、これはAFRにおいて、酢酸からのメタン生成が全く起っていないという仮定に基づいたものであって、そうでない場合には、VFA生成率は更に増加するであろう。

Table 4. Proportion of each fermented product and yield coefficient in the acid fermentation reactor*(%)

RUN No.	I	II	III
Ethanol	0.2	0.2	0.3
HAc	58.5	62.1	54.9
HPr	7.1	4.9	2.3
iso-HBu	3.9	3.1	2.3
n-HBu	16.0	15.9	20.6
iso-HVa	1.6	1.6	2.1
n-HVa	1.5	1.8	0.9
n-HCa	11.2	10.4	16.6
TFP-C**/Feed-TOC	53.9	53.8	57.4
TFP-C/DOC	81.9	83.9	85.8

* All values were calculated based on organic carbon

** TFP-C: Total fermented products expressed as organic carbon

HAc: acetic acid, HPr: propionic acid, HBu: Butyric acid, HVa: valeric acid, HCa: capronic acid

4-2 有機炭素・有機窒素の処理プロセスにおける分解特性

それぞれの負荷条件における定常状態での物質収支をとり、AFRでの運転特性について考察する。Table-5, 6にそれぞれ炭素および窒素収支を示す。Table-5からAFRにおいては、炭素の回収率が93%程度に達していることから、炭素バランスからは一応定常とみなすことが可能と思われるが、Table-6に示した窒素バランスでは、明らかに槽内への窒素の蓄積が認められる。窒素回収率から考えて、未回収窒素の大部分が槽内に蓄積するものと考えられ、窒素を中心としてみると定常状態とみなすには無理と思われる。これはAFRのpHが4.3~4.5と低いので、スキムミルク中の蛋白質の等電点に達し、蛋白質の凝固・集塊が起り、従って沈殿池から流出できなくなり、蓄積するものと思われる。以上のことから、AFRにおいて蛋白質の分解が困難になることが推測される。表に示したように、RUN Iで38%しかNH₄⁺-Nへの分解が進行しておらず、RUN II, IIIにあってはほとんど分解がされていない。しかし、MFRでは蛋白質は完全に分解され、結局トータルでは、AFRからのMFRへの流出量だけ蛋白質が分解されたことになると思われる。従って、蛋白質を効率よく分解するには、凝集を起さないようなpHでAFRを運転する必要があると思われる。

MFRにおいては、炭素および窒素について物質収支がとれており、ほぼ定常状態としてとり扱えることがわかる。

次に流入したTOCの質変換プロセスを物質収支から考察する。AFRに流入した有機物は、TOAと同様、負荷にほとんど関係なくTOCで約24~30%除去される。MFRについても同様

Table 5. Carbon mass balance of the acid fermentation reactor and the methane fermentation reactor

Reactor	RUN No.	Input C mg/ℓ	Output C mg/ℓ				Recovery %	TOC removal %	
			CO ₂	CH ₄	IC	TOC			
AFR	I		105	122	95	1,322	1,645	93.0	25.3
	II	1,770	119	114	81	1,342	1,656	93.7	24.1
	III		136	119	107	1,298	1,659	93.9	30.5
MFR	I	1,417	397	772	178	30	1,377	97.2	97.7
	II	1,423	398	728	212	66	1,404	98.7	95.1
	III	1,405	397	691	215	61	1,362	96.9	95.3

The results are expressed as mgC/ℓ influent. Total yield is a total amount of carbon in gas and effluent in each reactor. The recovery is a ratio of the total yield to the amount of carbon in the influent of each reactor.

Table 6. Nitrogen mass balance of the acid fermentation reactor and the methane fermentation reactor

Reactor	RUN No.	Input N mg/ℓ		Output N mg/ℓ		Recovery %	Organic-N decomposition ratio %
		NH ₄ ⁺ -N	T-N*	NH ₄ ⁺ -N	T-N		
AFR	I	0	99	36	75	71.9	38.1
	II	12	109	9	72	66.0	0
	III	11	107	9	62	54.1	8.3
MFR	I			91	91	133	100
	II			68	74	106	66.0
	III			64	67	105	59.9

* T-N: Analysis by Kjeldahl method, NH₄⁺-N and Organic N.

Table 7. Gasification rates of the two phase anaerobic digestion process*

RUN No	I			II			III		
	CO ₂	CH ₄	Total	CO ₂	CH ₄	Total	CO ₂	CH ₄	Total
AFR	11.4	6.9	18.3	11.3	6.5	17.8	13.7	6.7	20.4
MFR	36.3	58.4	94.7	39.4	54.3	93.7	38.8	53.2	92.0
Total	38.4	50.5	89.0	41.2	47.6	88.8	42.2	45.8	88.0

* All values are calculated based on carbon
CO₂ values are gaseous carbon and inorganic carbon in effluent

で、95~98%除去される。それぞれの槽で除去される有機物は、Table-7に示すように、AFRで70%以上、MFRで97%以上がCO₂とCH₄に変換される。最終的には、流入したTOCの88%がガス化する。ガス化率は、負荷に関係なく一定の値をとるが、CH₄含有率は負荷が高くなるにつれて低下する(RUN I:50.5%, RUN II:47.6%, RUN III:45.8%)。当然ながらCO₂含有率はCH₄とは逆に増加する。

4-3 デンプン・スキムミルク人工廃水の処理特性

好気性微生物による易分解性基質の処理においては、丹保・亀井ら²⁵⁾は必ず炭素量にして基質量の3~4%程度の安定な廃成分を液系に放出するので生物処理は最大DOC除去率を97%以上にはとり得ないと報告している。しかしながら嫌気性消化処理法においては、Table-8に示すように、DOC除去率99.0~99.7%を得ることができ、しかもDOC濃度は10mg/ℓ以下の値が得られた。また、代謝廃物の指標となるE₂₆₀(紫外部吸光度)も好気性処理水²⁵⁾に比べて低くなっている。BOD濃度でも溶解性のもは5mg/ℓ以下になっており、溶解性有機物の濃度について

Table 8. Effluent quality and removal efficiency

RUN No.		I	II	III	IV
BOD-T	mg/ℓ	42	170	160	—
Removal	%	99.2	96.7	96.9	—
BOD-S	mg/ℓ	5	4	3	—
Removal	%	99.9	99.9	99.9	—
TOC	mg/ℓ	18	102	60	39
Removal	%	99.0	94.2	96.6	95.9
DOC	mg/ℓ	6	9	6	10
Removal	%	99.7	99.5	99.7	99.0
E ₂₂₀	abs/cm	0.292	0.408	0.320	0.272
E ₂₆₀		0.090	0.170	0.126	0.084

All effluent quality value were obtained from a representative sample in each experiment

は、好気性処理法と同程度の負荷条件で好気性を上回る水質を得ることが明らかになった。しかしながら、懸濁性成分 (SS) については、TOC で約 100 mg/ℓ 程度にまで増加する場合 (RUN II) もあり、残された大きな課題ではあるが、プロセスによっては SS がほとんど流出しないものもある²⁾。この成分はコロイド性で処理水を白濁させているが、大部分微生物であることが DNA の測定結果からわかった。

4-4 酸発酵槽における汚泥生成

本実験では、消化処理実験の第 1 段階として汚泥を全く引抜かずに運転を行ない、定常状態を得る (見かけ上汚泥生成量が全くない) 方法である。はじめにも述べたように、廃水処理プロセスで余剰汚泥を全く出さないことを前提にして設計してはならないと筆者らは考えているが、嫌気性消化処理プロセスの余剰汚泥発生量が極めて少ないことを強調するために、敢えてこのような条件を選んだ。AFR (沈殿池を含め) における微生物の収支式

$$V \frac{dx}{dt} = Q(S_0 - S)a + Va \frac{ds}{dt} X - VbX \quad (1)$$

において、定常状態、および AFR にはほとんど基質が残存していないとして、 $dx/dt = 0$ 、 $ds/dt = 0$ 、とすると次式が成立する。

$$X = \frac{a}{b} L_0 \quad (2)$$

ここで、X；菌体濃度，S₀；流入基質濃度，S；残存基質濃度，a；菌体収率，b；自己分解速度係数，Q；流量，V；槽容量，L₀ (= Q · S₀)；負荷である。

Fig-3 は定常状態の仮定のもとに結果をプロットしたものである。図から明らかなように、余剰汚泥を全く出さずに運転できる汚泥濃度が容易に決まる。図より直線の傾きは $a/b = 3.3$ となる。酸発酵菌の菌体収率を 0.1~0.2¹¹⁻¹³⁾ とすると

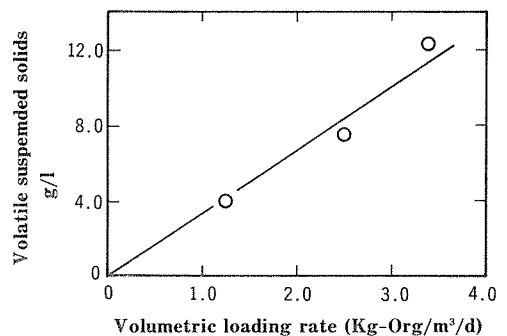


Fig. 3 Relation between volumetric loading rate and volatile suspended solids (VSS) in the acid fermentation reactor in steady state.

VSS was obtained in steady state when the two phase anaerobic digestion process was operated without any sludge withdrawal in the acid fermentation reactor.

自己分解速度係数は、 $b = 0.03 \sim 0.06 \text{ day}^{-1}$ となり、ほぼ妥当な値が得られる¹³⁾。それぞれの条件における実験期間としては少し短かなものもあるが、以上の結果から嫌気性消化処理プロセスは、好気性処理法²⁶⁾に比べて余剰汚泥量を極めて少ない条件で運転できる可能性が示された。

5. 結 論

現在用いられている好気性微生物を用いた下・廃水処理法の代替プロセスとして、嫌気性消化法が考えられるようになったが、廃水処理法としての2相嫌気性消化法の可能性を明らかにするために人工廃水(スキムミルク・テンブ)を用いて処理実験を行ない、以下の結果が得られた。

酸発酵槽(AFR)における全有機酸への転換率は有機炭素負荷 $0.5 \sim 1.4 \text{ KgC/m}^3 \cdot \text{d}$ ではほとんど変化せず一定値(54~57%)になるが、負荷がこの範囲内でも大きくなるほど、酸化レベルの低い有機酸の割合が多くなる。しかし、蛋白質の分解はAFRのpHが低いと期待できず、メタン生成槽(MFR)に移ってから完全に分解された。

処理システムに流入した有機炭素(TOC)は、AFRで約30%が、MERで95~98%が分解されるが、大部分は CO_2 と CH_4 に変換される。最終的には流入TOCの88%がガス化されている。ガス化率は、本実験条件では一定であるが、メタン含有率は負荷の増加に伴って減少した。

処理水質レベルは、好気性処理プロセスを凌ぐものがあり、特に溶存性成分ではTOC(=DOC)99%以上、BOD99.9%以上の除去率が得られ、その濃度は 10 mg/l 以下になった。

嫌気性処理法は余剰汚泥発生量を極めて小さくすることができる。特に、返送を伴った酸発酵槽を用いると槽内汚泥濃度を高く保つことが可能となり、その特性を最大限に利用できるようになる。

以上のように(返送を伴った酸発酵)+(固定生物膜メタン生成システム)の2相消化処理法は、下・廃水処理法として利用するのに十分可能性を持ったシステムであることが明らかになった。

しかしながら、いくつかの重要な問題点・課題も明らかになった。加えて、速度論的考察が必要となる。現在、それらの課題について、研究を進めているので、次の機会に報告するつもりである。

謝 辞

本研究は、当講座昭和56年度卒業生、前田英幸氏(現 三機工業KK)、松井卓也氏(現 前沢工業KK)の協力をいただいた。記して感謝の意を表します。また研究の一部は文部省科学研究費(一般C)の援助を受けたことを付記し、謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 田井, 辻: 水の供給と処理におけるエネルギー需要, 第18回衛生工学研究討論会講演論文集 p. 199 (1982)
- 2) Jewell, W. J., Switzenbaum, M. S. and Morris, J. W. : Municipal Wastewater Treatment with the anaerobic attached microbial film expanded bed process, JWCF, 53, No. 4, p. 482 (1981)
- 3) Lettinga, G. et al : Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Especially for Anaerobic Treatment, Biotech. Bioeng., XX II, p. 699 (1980)
- 4) Tait, S. J. and Friedman, A. A. : Anaerobic rotating biological contactor for carbonaceous wastewater, JWPCF, 52, No. 8, p. 2257 (1980)

- 5) Ghosh, S., Conrad, J. R. and Klass, D. L. : Anaerobic acidogenesis of wastewater sludge, JWPCF, **47**, No. 1, p. 30 (1975)
- 6) Cohen, A. et al : Anaerobic digestion of glucose with separated acid production and methane formation, Water Research, **13**, No. 3, p. 571 (1979)
- 7) Cohen, A. et al : Influence of phase separation on the anaerobic digestion of glucose- I . Maximum COD-turnover rate during continuous operation, Water Research, **14**, No. 10, p. 1439 (1980)
- 8) Cohen, A. et al : Influence of phase separation on the anaerobic digestion of glucose-II. Stability and kinetic responses to shock loadings, Water Research, **16**, No. 4, p. 449 (1982)
- 9) Lawrence, A. W. and McCarty, P. L. : Kinetics of Methane Fermentation in Anaerobic Treatment, JWPCF, **41**, No. 2, p. R1 part 2
- 10) 井上, 神山, 大西 : 嫌気性固定床を用いたメタン発酵槽の基礎的研究, 第 16 回衛生工学研究討論会講演論文集, p. 102 (1980)
- 11) Ghosh, S. : Kinetics of Acid-phase Fermentation in Anaerobic Digestion, Biotech. Bioeng. Sympo. No. 11, p. 301 (1981)
- 12) Ghosh, S. et al : Kinetics of Substrate Assimilation and Production in Anaerobic Digestion, JWPCF, **46**, p. 718 (1974)
- 13) 松本, 野池, 遠藤 : 2 相嫌気性消化法における酸生成過程の最適滞留時間に関する研究, 第 14 回衛生工学研究討論会講演論文集, p. 30 (1978)
- 14) Adams, A. D. : Activated Carbon : Old Solution to Old Problem part II, Water & Sewage Works, **122**, No. 9, p. 78 (1975)
- 15) Young, J. C. and McCarty, P. L. : Anaerobic filter for waste treatment, JWPCF, **41**, No. 5, part 2, R 151 (1969)
- 16) Jennett, J. C. and Donnis, Jr. N. D. : Anaerobic filter treatment of pharmaceutical waste, JWPCF, **47**, No. 1, p. 104 (1975)
- 17) Zoetemeyer, R. J., Van Den Heuvel, J. C. and Cohen, A. : pH Influence on Acidogenic Dissimilation of Glucose in an Anaerobic Digester, Water Research, **16**, No. 3, p. 303 (1982)
- 18) 大西, 神山, 井上 : 嫌気性消化過程におけるメタン発酵過程の基礎的研究, 第 33 回土木学会年次講演会概要集 2, p. 237 (1978)
- 19) 井上, 神山, 高橋, 山田 : 固定生物膜メタン発酵槽の酢酸分解速度に関する基礎的研究, 第 36 回土木学会年次講演会概要集 2 p. 195 (1981)
- 20) Clark, R. H. and Speece, R. E. : The pH Tolerance of Anaerobic Digestion. Proceeding of the 5th Intern. Conf. in "Adv. Water Poll. Research" Edited by Jenkins, S. H., p. II 27 (1970) Pergamon
- 21) Smith, P. H. and Mah, R. A. : Kinetics of Acetate Metabolism during Sludge Digestion, App. Microbiol., **14**, No. 3, p. 368 (1966)
- 22) McInerney, M. J., et al : *Syntrophomonas wolfei* gen. nov. sp. nov., an Anaerobic, Syntrophic, Fatty Acid-Oxidizing Bacterium, Appl. Env. Microbiol., **41**, No. 4, p. 1029 (1981)
- 23) McInerney, M. J. and Bryant, M. P. and Stafford, D. A. : Metabolic Stages and Energetics of Microbial Anaerobic Digestion. In "Anaerobic Digestion", Edited by Stafford, D. A., App. Science p. 91 (1980)
- 24) 財津 : 嫌気性消化に関する基礎的研究, 北大工 修士論文 (1978)
- 25) 丹保, 亀井, 高橋 : 好気性生物化学プロセスからの代謝産物の挙動と性質 (I) - ゲルクロマトグラフィーによるプロセス収支の評価 -, 下水道協会誌, **18**, No. 210, p. 48 (1981)
- 26) Servizi, J. A. and Bogan, R. H. : Free Energy as a Parameter in Biological Treatment, ASCE, **SA 3**, p. 17 (1963)