

創エネルギーの実証：ABCシステム

ABC system has Demonstrated the Profit of Energy Production through Wastewater Treatment

環境装置事業部 製品開発室
東野 宏 昭
Hiroaki Higashino

Anaerobic biological treatment is a process in which organics of wastewater are converted to methane. Conversion of organic pollutants to methane offers more significant advantages than aerobic treatment:

- (1) No energy consumption for oxygen transfer,
- (2) Energy is produced in the form of methane,
- (3) Much less excess biological sludge is produced,
- (4) Nutrient requirements are substantially reduced,
- (5) A higher degree of stabilization in treatment is possible.

ABC system is an anaerobic wastewater treatment process which has been developed by Shinko Pfaudler Company Ltd.

ABC system proved these advantages by full-scale wastewater treatment unit which has been operating at Nagata Sangyo Co. since 1984.

This paper will discuss technical and economic considerations for anaerobic treatment and review briefly the operating data of full-scale ABC system.

まえがき

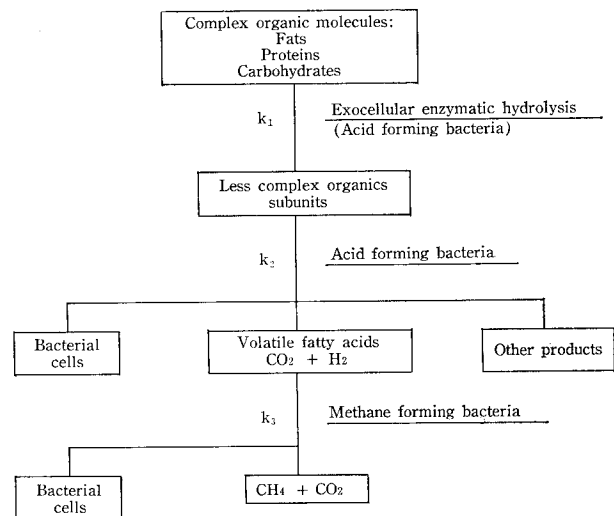
嫌気性処理技術は古くより、下水汚泥やし尿の処理，すなわち「嫌気性消化」として採用されてはいたが，有機性廃水（特に産業廃水）への適用は極めて少なく，生物処理といえば，活性汚泥法に代表される好気性処理のことをいうのが一般的であった。

しかし，嫌気性処理は好気性処理と比べて省エネルギー的であり，構成する微生物相も単純で維持管理の操作パラメーターもたてやすく，さらに発生するメタンガスが燃料として利用できることから，最近，内外で大きな注目をあびてきている。嫌気性処理技術をその中心技術とした「新しい夢の水総合再生利用システムを開発する」という国家的大型プロジェクトの構想も具体化しつつある。

当社は，この嫌気性処理に早くから着目し研究開発を進めるとともに，米国においてバイオニアとして多数の実績を有するセラニーズ社（Celanese Chemical Company Inc.）と技術提携を結び，固定床式嫌気性処理装置ABCシステム（Anaerobic Bio Contact System）を開発した。

本稿では

- 1) 嫌気性菌の増殖特性を示し，好気性菌と対比して，嫌気性処理が本質的にエネルギー節約型の方法であること。
- 2) 嫌気性菌の長所を最大限に生かして工夫された装置であるABCシステムは，メタンガスを有効に利用することにより，エネルギーを創造する設備であること。
- 3) ABCシステムの実装置（殿粉製造廃液）でのスタートアップから本運転までのデータを示し，馴養運転も非常にスムーズに進行し，維持管理も簡単で，安定した廃水処理とガス発生が実施されていること。



第1図 有機物の嫌気分解過程
Fig. 1 Sequential anaerobic biodegradation of a complex wastewater

などを中心にABCシステムの概要を述べることにする。

1. 有機物の嫌気分解過程

通常の好気性処理では酸素の存在下で，好気性微生物が有機物を，炭酸ガスと水までの無機物に分解するが，この過程で廃水中の有機物の40~60%は余剰の汚泥に転化する。また酸素供給（ばっ気）のため膨大な動力を必要とする。

これに対して，嫌気性処理は，酸素の無い環境で有機物を微生物が分解し，最終の生成物としてメタンガスと炭

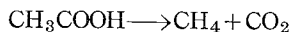
第1表 嫌気処理の可能な物質

Table 1 Compounds metabolized by acclimatized anaerobic cultures

Acetaldehyde	Ethanol	Oleic acid	Peat
Acrolein	Ethylene glycol	Pentaerythritol	Wood
Acetic anhydride	Ethyl acetate	Pentanol	Corn stover
Acetone	Ethyl acrylate	Phenol	Straw
Acrylic acid	Ferulic acid	Phthalic acid	Water hyacinths
Adipic acid	Formaldehyde	Propanal	Giant kelp
Aniline	Formic acid	Propanol	Animal wastes
1-amino-2-propanol	Furfural	Isopropyl alcohol	Cheese whey
4-amino butyric acid	Fumaric acid	Propionate	Pear wastes
2-Amino benzoic acid	Furan	Propylene glycol	Pectin wastes
Benzoic acid	Glucose	Protocatechuic acid	Meat packing
Benzyl alcohol	Glutamic acid	Resorcinol	Corn milling
Butanol	Glutaric acid	Sec-butanol	Dairy
Butyraldehyde	Glycerol	Sec-butylamine	Brewery
Butyl acetate	Hexanoic acid	Sorbic acid	Rum distillery wastes
Butyric acid	Hydroquinone	Syringaldehyde	Wine distillery wastes
Butylene glycerol	Isobutyric acid	Syringic acid	Guar gum wastes
Catechol	Isopropanol	Sucrose	Water-soluble polymers
Citric acid	Lactic acid	Succinic acid	Bean blanching
Cresol	Maleic acid	Tert-butanol	Pulp mill evaporate
Crotonaldehyde	Methanol	Vanillic acid	Coking mill
Crotonic acid	Methyl acetate	Vinyl acetate	H ₂ -CO pyrolysis
Diacetone gulusonic acid	Methyl acrylate	Corn	Wool scouring
Dimethoxy benzoic acid	Methyl ethyl ketone	Potato	Tannery wastes
Diethylene glycol	Methyl formate	Sugar cane	Yeast
Dimethylsulfoxide	Nitrobenzene	Bagasse	Heat-treated activated sludge

酸ガスに転化する方法である。嫌気分解の過程を第1図に示す。すなわち、酸生成過程において高分子有機物が加水分解を受けて低分子化され、低級脂肪酸などの中間体（メタンの前駆体）になる。メタン生成過程ではこれらの中間体は、メタン生成菌（以下メタン菌という）によって、メタンと炭酸ガスに分解される。酸生成とメタン生成過程は、個々の独立した過程ではなく（加水分解の反応が極めて遅い場合を除いて）同時的かつ連続的に進行する。

メタン生成の主たる反応経路は、酢酸からの転化、すなわち



であるが、炭酸ガスと水素の反応、あるいはアルコールのメタン転化などの経路も存在することが明らかにされている。

嫌気性処理技術の研究、開発が進む中で、個々の有機物の分解性が明確になって来ている。第1表に嫌気性処理可能な物質のリストを示す。

2. 嫌気性菌の増殖特性

嫌気性菌とくにメタン菌は増殖（生育）速度が遅いために嫌気性処理は、その処理に長時間（ときには数週間）を要するということが、従来は敬遠されていたが、嫌気性菌の増殖に関するパラメータが測定されるにつれ嫌気性菌は効率の高い増殖特性を有することが、あきらかになってきた。これらの知見は嫌気性処理を効果的にすすめるのに重要である。

基質（有機物）の分解および菌体の増殖は、一般にMonodの式で示される。

基質除去速度：

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{Y} \mu x = \frac{1}{Y} \cdot \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} \cdot x \quad (1)$$

菌体増減：

$$\frac{dx}{dt} = (\mu - b)x = Y \cdot \frac{ds}{dt} - bx \quad (2)$$

ここに

S：基質濃度 COD_{Cr} [mg/ℓ]

t：時間 [日]

Y：収率係数 [kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr}]

$$Y = \frac{dx}{ds}$$

μ：増殖速度定数 [1/日]

$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S}$$

μ_{max}：最大増殖速度定数 [1/日]

x：菌体濃度 [mg/ℓ]

K_s：飽和定数 [mg/ℓ]

b：菌体減衰速度定数 [1/日]

②式はまた

$$\Delta x = a \cdot S_r - b \cdot x \quad (3)$$

として示されることも多い。

Δx：余剰汚泥発生量 [kg/日]

S_r：除去 COD_{Cr} 量 [kg/日]

a：除去 COD_{Cr} の汚泥転換率

b：汚泥自己分解率 [1/日]

x：リアクター中の汚泥量 [kg]

Henze と Harremoës は多数の文献よりデータを整理・

総合して嫌気性菌の増殖定数を提案している。この結果を第2表に示す。

この表中の r_x は最大 COD_{Cr} 除去速度 (バイオマス当りの COD_{Cr} 除去速度) である。

$$r_x = \frac{\mu_{max}}{Y_{max}}$$

存在するバイオマス (汚泥) の100%が活性を有するとした場合の最大 COD_{Cr} 除去速度 r_x は酸生成, メタン生成のいずれにおいても10~15 kg-除去 $COD_{Cr}/kg-VSS \cdot d$ である。菌体当りてみた場合, メタン菌の酢酸分解速度は決して遅くはない。酸生成とメタン生成の混合系では, ①メタン生成が反応律速となること, ②かつ酸生成菌とメタン菌の収率は, 各々0.15, 0.03 kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr} であることより酸生成菌とメタン菌の菌体量の割合は0.15/0.03の比率となる。したがって全体 (overall) の最大 COD_{Cr} 除去速度は

$$13 \text{ kg-除去 } COD_{Cr}/\text{kg-VSS} \cdot d \times \frac{0.03}{0.15+0.03} \\ = 2.2 \text{ kg-除去 } COD_{Cr}/\text{kg-VSS} \cdot d$$

となるが, 実用的には, VSS 中の約50%が活性を有した菌体であると考えてよいので, 一般的には, 除去速度は1kg-除去 $COD_{Cr}/kg-VSS \cdot d$ 程度である。この速度は好気性菌と較べて低くはない。

また好気性の場合では高負荷条件では酸素供給が分解速度に追いつかず, 全体の反応が酸素供給速度で律速されてしまうことになる。嫌気性では酸素の供給の必要がないので, 高い有機物負荷をかけることができ, 実際的には COD_{Cr} 除去速度は嫌気処理の方が速い。

次に菌体収率であるが, 好気性処理では一般的に0.4~0.6kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr} であるのに対し, 嫌気性菌では, 特にメタン菌において最大値でも0.03 kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr} と低い収率である。酸生成メタン生成全体では第2図で示すように, 高負荷条件 (1~1.5 kg-COD_{Cr}/kg-VSS·d) では0.18 kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr} であるが, 低負荷では0.03~0.05kg-VSS/kg-除去 COD_{Cr} とより一層低くなる。

収率が低いということは, すなわち

- 1) バイオマス (余剰汚泥) の発生量が少なく汚泥処分費用が好気性処理より大幅に軽減できること。
 - 2) バイオマス生体のエネルギー運搬体であるアデノシン3 磷酸 (ATP) の生産が少なく, したがって栄養塩の窒素やリンの添加量 (必要量) が少なくてよい。
- ということを意味する。(しかし反面, スタートアップ (馴養) に長時間を要するという欠点にもなる。)

エネルギーの観点からみると, 菌体当りの COD_{Cr} 分解速度が速く, かつ菌体収率が低いということは, 基質 (有機成分) の有するエネルギーの大部分が, メタンという有機体に急速に転換され, ガスとして放出されることであり, この過程では, ばっ気動力も不要ということから非常に効率のよいエネルギー変換がおこなわれていることになる。

さらに菌体減衰速度は (表には示していないが)

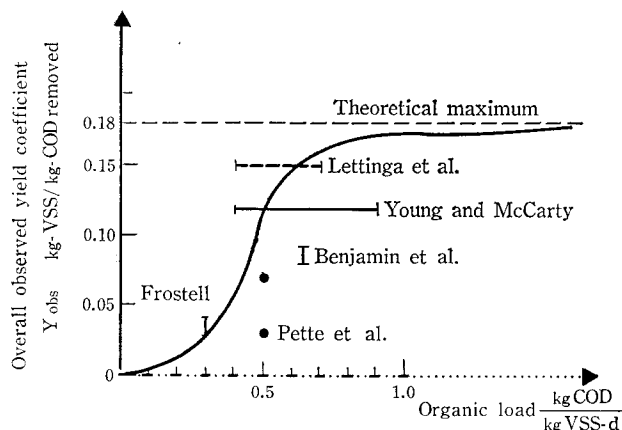
酸生成菌 : 0.1~0.9[1/d]
メタン菌 : 0.01~0.04[1/d]

第2表 嫌気性菌の増殖定数

Table 2 Growth constants, anaerobic cultures

Parameter	μ_{max} Maximum specific growth rate 35°C d ⁻¹	Y_{max} Maximum yield coeff. kg VSS/kg COD	$r_x = \frac{\mu_{max}}{Y_{max}}$ Maximum substrate removal rate, 35°C kg COD/(kg VSS·d)		K_s Half velocity constant kg COD/m ³
			100% active VSS	50% active VSS	
Acetic acid producing bacteria	2.0	0.15	13	7	0.2
Methane producing bacteria	0.4	0.03	13	7	0.05
Combined culture	0.4	0.18	2	1	—

Note) COD : Dichromate reflux method



第2図 菌体収率

Fig. 2 Observed yield coefficients in anaerobic processes

の範囲であり, 特にメタン菌の減衰速度は遅い。このことは嫌気性処理の利点の一つでもある。すなわち, 原水量が減少あるいは中断したときには, 好気性処理では菌体量 (MLSS) が急激に減少し, 通水再開時の負荷ショックなどのために MLSS の維持・管理が非常にむずかしい。これに対して, 嫌気性処理ではスタートアップが好気性よりも若干難しいかも知れないが, 一度立上がってしまえば, 負荷変動や中断などに強く, 保守・維持管理は容易となる。特に固定床で菌体量を多く保持している ABC システムでは安定した処理ができる。

以上の考察により嫌気性処理の長所を次のようにまとめることができる。

- 1) 嫌気性菌の菌体当りの COD_{Cr} 除去速度は好気性菌の除去速度と同等であり, 嫌気性では酸素供給の制限を受けないことにより, より高い有機物負荷をとることができる。
- 2) ばっ気の動力が不要である。
- 3) 燃料として利用価値の高いメタンガスを効率よく生産するため, 経済性にすぐれる。
- 4) 汚泥発生量が少なく, 汚泥処分費用がやすい。
- 5) 栄養塩 (窒素・リン) の添加量が少なくてすむ。

このように, 嫌気性処理は好気性処理よりも本質的 (かつ潜在的に) にエネルギー効率の良い, 経済性にすぐれた方法であるといえる。

3. ABCシステムの経済効果

以上のような長所を本質的に有する嫌気性処理法であるが、①メタン醗酵を進めるために35°C前後(中温処理)に廃水を加温しなければならない点②馴養期間が長くかかるという点③メタン菌に対する毒性物質が存在する点など、解決すべき課題が存在しているために実用化が遅れていた。

この嫌気性処理を好気性の活性汚泥法に対抗できるものとして、さらに創エネルギーの面で一層有利な方法に発展させる基礎を築いたのが、1960年代のMcCartyやYoungらの固定床法“Anaerobic filter”であった。このAnaerobic filterは第3図に示すように、バイオマスを充てん物に付着させ高濃度に保つことによって、菌体収率が低い嫌気性菌の欠点を取り除き、短時間で嫌気処理が可能であることを実証した。

しかし、このMcCartyらのAnaerobic filterは空げき率が45%の石英やざくろ石を使用し、かつ一過式通水であったため、過剰バイオマス(汚泥)による目づまりやチャネリングがおり、処理効率の低下をきたすという欠点を有していた。

ABCシステム(第4図)は、このAnaerobic filterの欠点を次のような方法でもって克服し、文字通り、嫌気性処理を創エネルギー設備として飛躍的に発展させたものであり、米国において、食品、化学工場など4施設、国内においても、殿粉工場、食肉センター、養豚し尿などの実績を有するに至っている。

ABCシステムの概要は別途資料にゆづるが、その特長は、

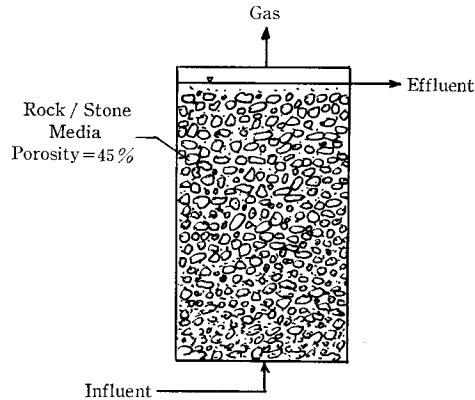
- 1) 空げき率95%の特殊プラスチックメディアの使用
- 2) 「逆混合効果」をはかるための処理水リサイクルの採用によって、目づまり防止、pH緩衝効果の増大、リアクター流入部での有機酸濃度の上昇抑制、毒性レベルの低下、接触かく拌効果の増大などをはかると同時に、
- 3) 加温エネルギー低減のため、処理水熱量の回収
- 4) リアクター内バイオマス濃度と空げき率を検知し、その適正量を維持する方法(バイオマス・コントロール)の確立

によって、処理費用を一層低廉化し、かつ安定した能力を発揮できるようにしたものである。

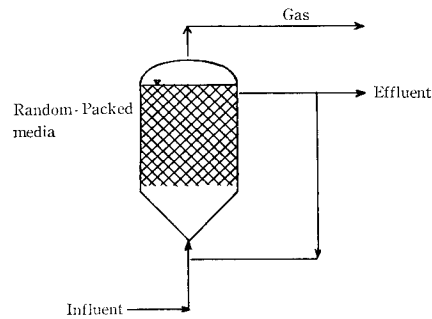
従来、廃水処理施設は廃水中の汚濁物質を分解・除去するのみであり、そのための動力・エネルギーを単に消費するだけであった。これは環境保全、浄化という点で大きな役割をはたしているものの、資源・エネルギーの面ではエネルギーの浪費となり不経済的といわざるを得ない。

ABCシステムは、廃水を単に処理することにとどまらず、廃水中の有機物をメタンガスに転化してエネルギーを回収し有効に利用するという意味において、創エネルギー施設といえることができる。

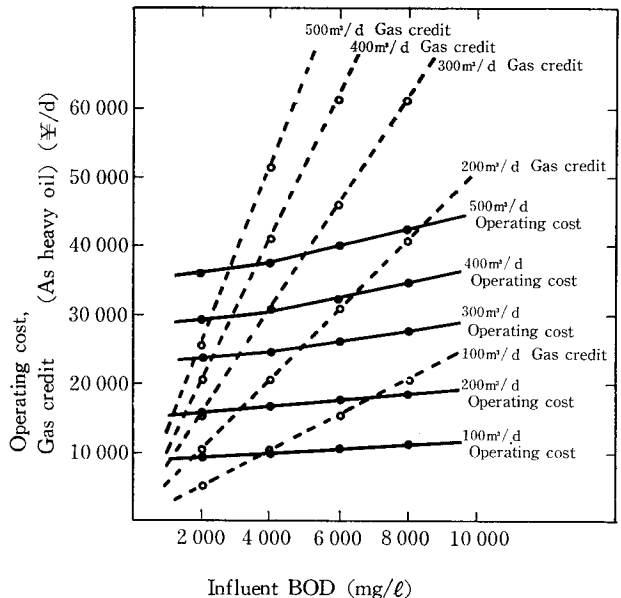
ここでは右のような条件での試算結果を示し、ABCシステムが、いかに効率的でありエネルギー生産設備であるかを説明する。原水濃度は活性汚泥法との比較のため、BODとした。なお、運転費としてポンプ等の動力費(電気)、蒸気費、脱硫剤、中和剤で計算し、人件費、汚泥処理・処分費、栄養塩費および償却費用は含んでいない。



第3図 嫌気フィルター
Fig. 3 Anaerobic filter



第4図 ABCシステムの基本フロー
Fig. 4 ABC system



第5図 ABCシステム運転費ケーススタディ
Fig. 5 A case study of operating cost

<試算条件>

廃水BOD濃度(mg/l)	BOD負荷(kg/m³·d)	平均滞留時間(h)	BOD除去率(%)	ガス発生量(CH₄=70%) Nm³/kg除去BOD
2 000	6	8	80	0.5
4 000	8	12	80	0.5
6 000	8	18	80	0.5
8 000	8	24	80	0.5

原水: COD_{Cr}=1.3×BOD

第5図に、廃水量と原水濃度別のABCシステム運転費および発生するメタンガスの燃料価値をA重油換算額（脱硫していることより）として図示する。運転費は、水量が同じ場合、BOD（有機物）濃度が高くなっても、それほど大きな増加はない。これは動力費・蒸気費などは水量によって主として決まってくるからであり、好気性の活性汚泥法のように、除去BOD量に比例してばっ気動力が増加することがないからである。一方、副産物としてのメタンガスの燃料価値（エネルギー生産額）は、BOD濃度（除去BOD量）に比例して増加し、原水BOD濃度が3000 mg/l以上では、運転費用を上まわる。つまり廃水より回収したメタン燃料額はそれを生産し、かつ廃水进行处理するに要する費用をおぎなうて余りあるということである。

次に、除去BOD当りの運転費を示す。第6図には、メタンガスによるエネルギー生産額を考慮しない場合の運転費（廃水処理のみの観点より）を示す。活性汚泥法では1 kgのBODを除去するのに要する費用は、汚泥処分費を含まない場合、30~50円（2次処理）であり、また廃水濃度が増加しても割安にならず、かつ4000 ppm以上になると希釈無しでは、事実上処理不可能である。嫌気性のABCシステムでは、廃水処理のみの観点からみても運転費は活性汚泥法の同等以下であり省エネタイプの装置であるといえる。

第7図では、運転費用から、メタンガスのエネルギー生産額を差し引いたものである。廃水BOD2000 ppm以上ではABCシステムは大幅な費用削減が期待でき、また3000 ppm以上では、前述したように燃料として価値を生み出すことになる。

このようにABCシステムでは廃水进行处理のみでなく、燃料（エネルギー）を創り出すという意味で創エネルギー設備といえることができる。

4. ABCシステムの産業廃水処理への適用 — 実施例

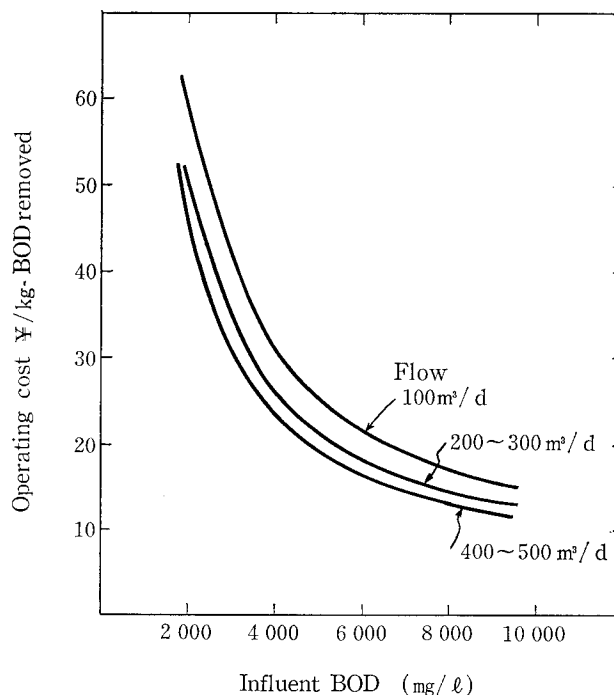
長田産業株式会社より受注した「ABCシステム」による工場廃水処理設備が完成した。現在、馴養運転を終了し本運転に入っており、本設備の目的であった廃水の安定処理と省エネ化およびメタンガスの有効利用が実現され、ユーザーにも大いに満足していただいている。

本設備は固定床式による廃水の嫌気処理装置としてはわが国で最大規模の実プラントである。

以下に馴養運転の立上がりから本運転までの運転データについて、その概要を述べる。

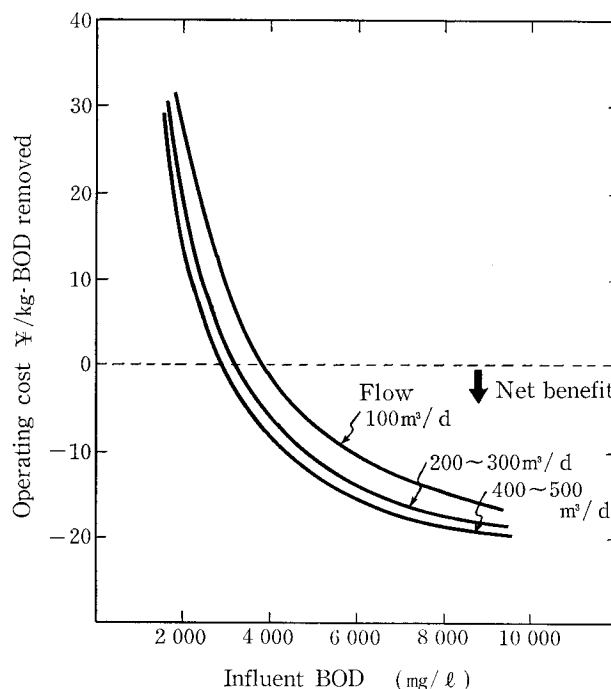
4.1 廃水の性状と既設処理施設

処理の対象となる廃水は、小麦粉から澱粉およびグルテンを製造する工程より排出し、有機物を多量に含有し、COD_{Cr}濃度で、15000~20000 mg/l、日量400~600m³である。ABCシステム導入以前には、まず沈殿槽で白粕（残留澱粉）をあら取りしたあと、酵母培養槽で好気的に有機物を低減し、さらに活性汚泥法により処理されていた。この方法によると、ばっ気動力が膨大で、かつ処理そのものも、澱粉廃水特有のパルキング等の問題もあり、廃水処理の安定化と省エネ・省コストは大きな課題になっていた。



Note : A revenue from methane gas is not taken into account

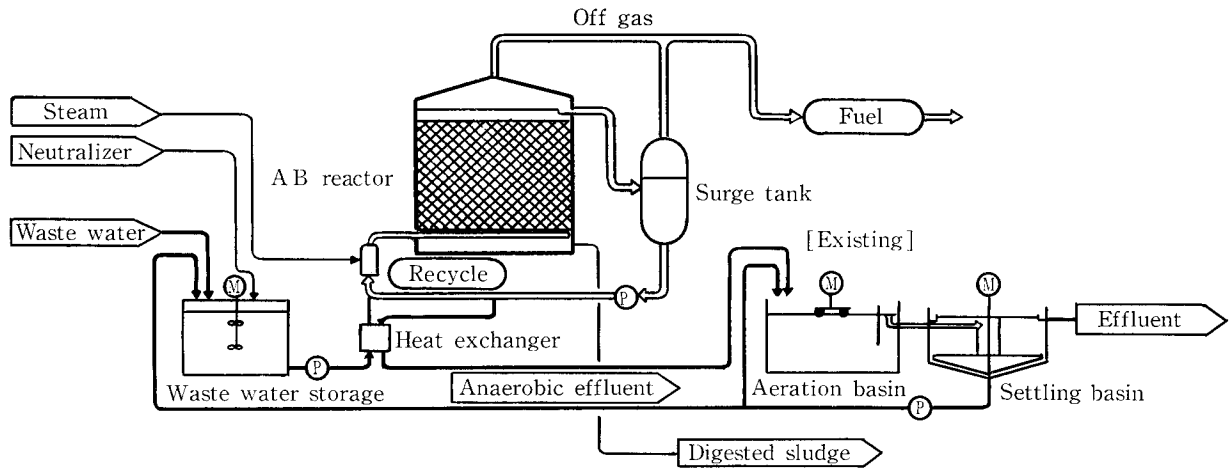
第6図 除去BOD当りの運転費
Fig. 6 Operating cost per BOD removed



Note : There is a benefit in the operating cost as a result of methane production

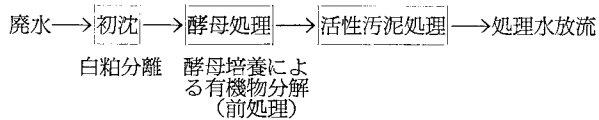
第7図 メタンガス価値を考慮した運転費
Fig. 7 Operating cost in consideration of a revenue from gas

酵母培養槽にかわって嫌気性処理のABCシステムを導入し、大幅な有機物の分解（80%除去）をはかってメタンガスを回収し、後処理の活性汚泥設備のばっ気量の低減、余剰汚泥量の減少をはかり、安定した処理を目的とした。

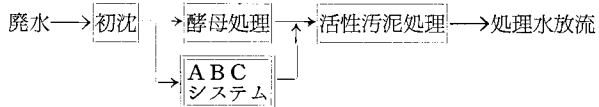


第8図 ABCシステムによる廃水処理フローダイアグラム
Fig. 8 Flow diagram of ABC system wastewater treatment

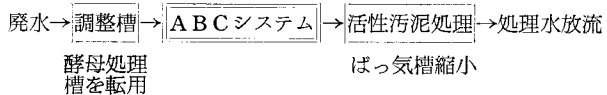
1) ABCシステム導入前



2) ABCシステム馴養運転時期



3) ABCシステム本運転



4.2 ABCシステム設備概要

廃水処理設備のフローシートを第8図に示す。

ABCシステムの中核となるABリアクター (Anaerobic Bio-Reactor) は、特殊プラスチックメディアを充填した密閉型構造でその機能は固定床型と一部スラッジブランケット型を結合した反応槽である。

廃水は循環処理水と混合され、必要に応じて中和剤を添加し、pH調整し、蒸気により加温された後、ディストリビュータからABリアクター底部に流入される。

ABリアクター内の運転水温は36°C、廃水水温10~20°Cであるが、特殊な熱交換器により、処理水の熱量を回収するため、蒸気による加温熱量はリアクターや配管での放散熱量程度となり非常に少なくてすむ。またこの殿粉廃水中には十分な窒素、リンが含まれており、特に栄養塩の添加は必要でなかった。

廃水中の有機物は、メディアに付着保持される嫌気性菌と接触することにより、80~90%が分解され、最終的にCH₄、CO₂ガスおよび増殖菌体に転換される。

発生ガスは硫化水素を0.2%含有するため脱硫されたあ

とガスホルダーに貯蔵され、工場の殿粉乾燥やボイラーの燃料として有効に利用される。

主要な設計諸元は次の通りである。

<処理水量>

最大	550m ³ /d
平均	500m ³ /d

<廃水有機物濃度>

COD _{Cr} 最大	20 000mg/l
COD _{Cr} 平均	16 000mg/l

<ABリアクター>

水温	37°C
負荷	10kg-COD _{Cr} /m ³ ・d
COD _{Cr} 除去率	80%
リアクター容量	1 000m ³

<発生ガス>

発生量	3 200Nm ³ /d
組成 CH ₄	70%
CO ₂	30%
ガスホルダー	1 500m ³

4.3 スタートアップおよび馴養運転

装置の工事完了後、水運転、窒素ガスによるバージ、蒸気注入による加温等を実施した。廃水の一定量を注入しつつ下水処理場嫌気消化汚泥を投入、処理水質、メタンガス量を注意深くモニターし、原水量を増大していった。本廃水の主要な成分は次に示すように

- 1) 殿粉、部分的に分解し、例えば乳酸等を含有
- 2) 小麦たんぱく、主としてグルテン
- 3) その他、糖などの炭水化物

であり、殿粉は2種類之多糖類 (アミロース及びアミロペクチン) を含む。このうちアミロペクチンの、酵素による加水分解はアミロペクチン粒子がゼラチン化されてはじめて進行する。そこで馴養期間中には、活性汚泥の余剰汚泥などをゼラチン化・加水分解を促進させるために適量投入した。

第9図にスタートアップ時よりの運転結果を週平均値のデータで示す。

通水開始の初期においては原水量の増加(負荷量の増大)に対してガス発生量の増加も極めてスムーズであったが、その後徐々にではあるが、COD_{Cr}除去率の低下、ガス発生量の停滞がみられるようになって来た。

この間、

- 1) リアクター内のバイオマス蓄積量の測定
- 2) バイオマスの活性度チェック
- 3) 阻害物質混入の有無
- 4) 必須微量元素類の適正化
- 5) 有機酸の分析

などの検討を通して、馴養運転のこの時期のメタン生成の停滞傾向の主原因が、有機酸の蓄積によるメタン菌への一時的な阻害であることが判明した。そこで廃水の排出が中断する土・日曜日に井戸水をリアクターに注入するなどして有機酸レベルを低下させ、“sick”な状態にあったメタン菌の活性を回復させた。有機酸のうち、特にメタン菌への阻害作用の大きいプロピオン酸とCOD_{Cr}の相関(処理水)を第10図に示す。

このような対策をとったあとは順調な立上りをしめし基本的に3カ月で馴養運転を完了した。

正月休みの10日間は、廃水の排出もなく、ボイラー運転中断のため蒸気加温もないまま運転を中止していたが、通水再開後は急速に性能を回復し、運転中止による悪影響はほとんど生じなかった。

また、前述したように馴養運転中は原水の調整槽が設置されていなかったため、一日のうちの原水濃度の変動も激しく、また土・日曜日には原水が中断するなど、生物処理には不利な条件におかれていたが、このように馴養がスムーズに進行したことは、固定床方式によるABCシステムの性能を実証するものであったと考えている。

また、廃水はABCシステムにより嫌気処理をされたあと、仕上げ処理として、既設の活性汚泥法により好気処理されて河川に放流されているが、バルキング等の問題も無くなり、かつ、ばっ気動力も大幅に減少し、安定した処理が実施されている。

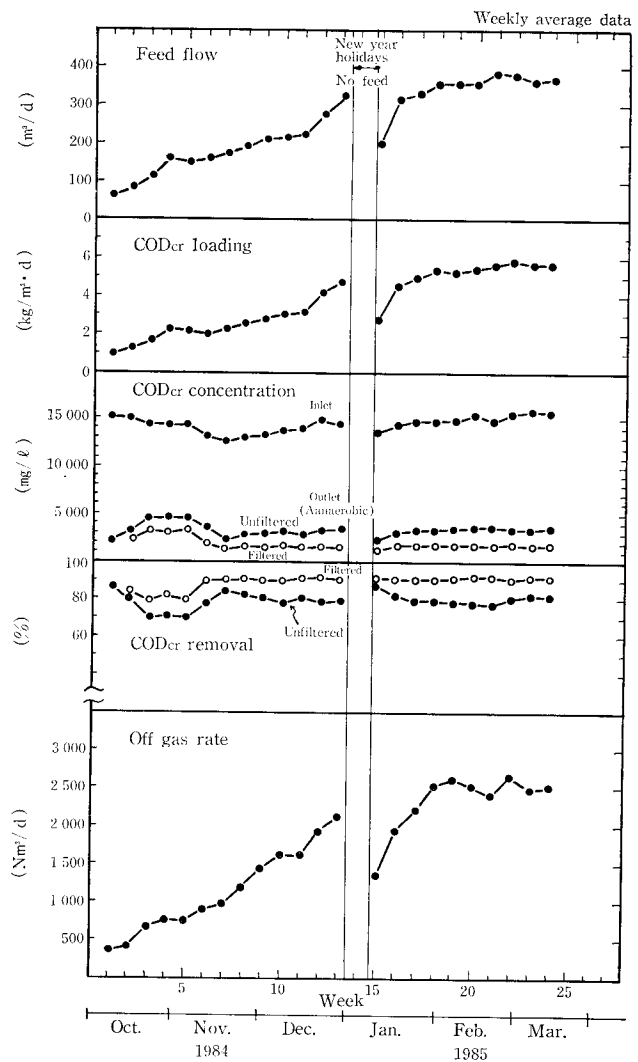
4.4 運転・維持管理のパラメーター

現在、安定した本運転にはいっているが、ABCシステムの運転・維持管理が極めて容易であることもまた大きな長所の一つである。

好気性の活性汚泥法の運転では、ばっ気槽のDO、MLSSの適正化のため、ばっ気量・返送汚泥量の調整、BOD分析など煩雑な操作と熟練を必要とする。これに対してABCシステムでは、嫌気性菌がメディアに付着保持されているためにバイオマス(汚泥)量の調整は不要であり、またメタン菌の活性度はガス発生量として流量計(積算計)により容易に読みとることができ、時々刻々その状態を把握することができる。

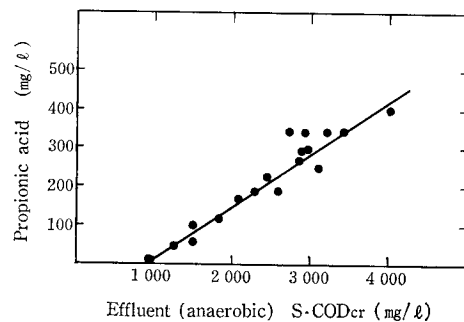
原水の有機物濃度が大きく変動しない場合においては、基本的に、原水、処理水の水质分析が不要で、原水量とガス発生量のみにより運転管理をすることが可能である。

馴養期間をできるだけ短縮化するため、スタートアップ時より、次の二つのパラメーターについては十分に留意した。



第9図 ABCシステム、実プラントにおける運転結果(殿粉廃水)

Fig. 9 ABC system operating data



第10図 処理水の溶解性COD_{Cr}とプロピオン酸
Fig. 10 Relationship between soluble COD_{Cr} and propionic acid concentration in effluent

1) 投入 COD_{Cr} 量当りのガス発生率

処理水量の増加を図ることを常に念頭におき、水量増加 (COD_{Cr} 負荷の増大) にみあったガスが発生しているかをチェックする。本廃水の場合、投入 COD_{Cr} 当りのガス発生率は、0.4 Nm³/kg-COD_{Cr} 程度であった。現時点では原水濃度の変動パターンが把握できているため、ガス発生量のみをモニターすることにより、リアクターの管理をおこなうことが可能となっている。

2) 処理水の有機酸分析

酸生成菌に比してメタン菌の量が少ない馴養期間中には負荷の増大に対して、酢酸、プロピオン酸などの有機酸が処理水に過剰に残留することが多い。有機酸が一定濃度以上になると、メタン菌の活性が急速に低下しついにメタンガスの発生が停止してしまうこともある。したがって有機酸をモニターし、一定濃度を越えたら、原水を水で希釈する、負荷の増大を一時的にみあわせるなどの対策をとることが必要である。

有機酸がメタン菌を阻害する濃度は、廃水の性状にもよるが、とりわけ生物膜の付着状態の影響を受ける。一般的に言えば、付着量が多くかつ大きなフロック状態で生物膜が形成されているところの許容濃度は高くなる。したがって菌体付着量が少ない馴養初期に十分なる注意を払う必要があるが、定常運転になれば、それほど気をつかうこともなくなるなどの知見も得られた。

以上のようにABCシステムでは運転状態の把握が容易であり、このことにより管理・対策が非常にたてやすいといえる。

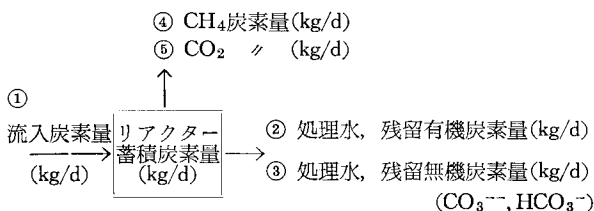
4.5 炭素収支よりみた嫌気分解過程・バイオマス増殖

バイオマスの増殖速度及びリアクター内におけるバイオマス量を求めておくことは、その装置の性能を決定するうえできわめて重要である。

ABCシステムではバイオマス量をトレーサー応答などの方法により簡便に測定し、有機物の除去率、ガス発生率との関連を調べ、余剰のバイオマスを排出させる「バイオマス・コントロール」方法を確立している。

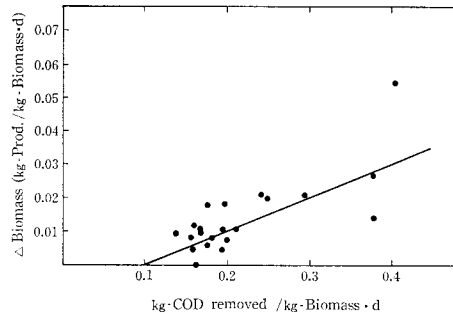
この設備の運転に際しては、スタートアップ時点より、バイオマスがどのように増加していったかを追跡し、微生物量と除去機能との関係を検討しているが、ここでは、炭素収支より算出したバイオマス増殖式を紹介する。

リアクターに流入する炭素は定常状態において、次に示すような収支となる。



原水・処理水の TOC (Total Organic Carbon), IC (Inorganic Carbon), 発生ガス量およびそのメタン・炭酸ガス濃度を測定し、リアクター内に蓄積する炭素量を算出した。バイオマスの組成は一般的に C₅H₇NO₂ と表わされるので、この炭素量の 1.88 倍 (C₅H₇NO₂/C₅) をバイオマス量として換算した。

このバイオマス量と COD_{Cr} 除去量との相関を求めた。第 11 図に示すプロットより、前述した③式のバイオマス増殖



第 11 図 バイオマス増殖式の算定
Fig. 11 Kinetic coefficients for substrate utilization and biomass growth

パラメーターとして、次の測定値が得られた。

バイオマス増殖量

$$\Delta x = 0.073 \cdot Sr - 0.0038x$$

すなわち、菌体の収率係数は 0.07 kg-VSS/kg 除去 COD_{Cr} であり、第 2 章で述べた一般的な嫌気性菌の増殖特性と同程度であった。

4.6 ま と め

この ABC システムによる工場廃水処理設備の完成と順調な運転により、次のようなメリットが実現された。

- 1) 廃棄物から生成したメタンガスを工場の乾燥機やボイラーの燃料として使用。燃料費の大幅削減。
- 2) 既設好気性処理装置での動力低減。
- 3) 余剰汚泥の減量化。
- 4) 安定した廃水処理と維持管理の省力化。

これらの経費節減は極めて多大なものであり、廃水処理設備というよりも、生産設備に近い投資効果が生じているとユーザーからも評価されている。

む す び

嫌気性処理の基本となる嫌気性菌の増殖特性を述べ、嫌気性処理が、エネルギー的にも、経済的にも極めて効率的な方法であることを強調した。この嫌気性処理の特長を最大限、生かした装置が ABC システムであり、その実プラントにおける安定した運転状況の一端を紹介した。

ABC システムの出現により、エネルギーを消費するのみであった廃水処理が、エネルギー創造設備へと大きく飛躍しようとしているが、産業廃水に嫌気性処理を適用しようとする場合に、重要なことは、廃水中の毒性物質がメタン菌にどのような影響を与えるかをチェックしておく必要があるということである。当社では、阻害・毒性物質の影響を調べる簡易なテスト法を確立し、多くの廃水について実験・調査を実施している。次回にはこれらの研究結果について報告したいと考えている。

嫌気性処理に対する関心および期待が強まっている中で創エネルギー、省エネルギー及び処理の高効率化をさらに追求し、ABC システムの適用分野の拡大に注力していきたい。

【参考文献】

- 1) M. Henze, P. Harremoës: "Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors—a literature review" Wat. Sci. Tech. Vol. 15, pp. 1-101 (1983)
- 2) R. E. Speece: "Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment" Environ. Sci. Technol., Vol. 17, No. 9, 416A (1983)