

ABCシステムによる食品工業廃水の連続処理試験結果

Continuous Test Results of Food Processing Waste Water Using Anaerobic Bio-Contact System

環境装置事業部 製品開発室

府 高 貢

Mitsugu Futaka

Food processing waste waters are easy to treat and treatment costs can be reduced by the use of an anaerobic fixed bed reactor.

Our continuous test results at 37°C, COD(cr) loading rate 8-10kg/Void M³/day showed that the COD(cr) reduction rate was 84-88%, the off gas production rate was 0.47-0.54 Nm³/kg red. COD(cr), and the CH₄ gas content was 74-77%.

Our test results showed that this type waste treatment process results in a significant reduction in operating cost.

嫌気性固定床方式による食品加工廃水処理は容易であり、処理コストの節減効果が大い。

当社で実施した37°Cにおける澱粉工場廃水の連続処理試験では、COD_(cr)負荷 8~10 kg/void m³/day の範囲で、除去率84~88%、ガス発生率0.47~0.54Nm³/kg除去COD_(cr)が得られ、発生ガスのメタン含有率は74~77%の高熱量のものであった。

当社の試験結果、この種の廃水を嫌気性固定床法の設備で処理する場合、運転コストを大きく低減できることが期待される。

1. ま え が き

オイルショックを契機として、世界各国では、代替、あるいは、ローカルエネルギー利用に関する技術開発が加速された。そして、これと平行して、資源の有効利用や、省エネルギー、省コストを目的とした諸技術の研究、開発も盛んに行われている。

廃水処理の分野においては、特に注目を集めているものに有機廃水の嫌気性処理法がある。嫌気性処理は、好気性処理に比べて、含まれる有機物の有効利用を図ることができる。その主な理由はつぎの通りである。

① 発生する可燃ガス(メタン)を燃料として有効利用できる。

② 酸素(または、空気)を供給する動力を必要としない。

③ 最終的に処分を必要とする余剰汚泥の発生量が少ない。

しかしながら、従来、廃水処理設備として、嫌気性処理法(メタン醗酵法)が採用された例は少かった。これは、嫌気性処理法の研究、技術開発が不十分であったことにもよるが

① 処理に長時間を要するため、大容量の醗酵槽(消化槽)が必要であり、建設費がかさむこと。

② 発生するガスだけでは、年間を通じて、醗酵槽を加温するに十分な熱エネルギーが得られにくかったこと。

③ 運転管理技術が確立されていないために、所期の処理効果が得られにくかったこと。

などに、原因していたと考えられる。

1970年代の後半から、新しいバイオテクノロジーの技術が導入され、嫌気性処理法は飛躍的な進展をみせ始めた。そのうちの一つに、固定化微生物法の技術を応用した固定床法、または、流動床法による方式がある。

嫌気処理法による処理効果の向上、並びに、安定した処理結果を得るに必要な要因は、いかにして反応槽のなかに嫌気処理に関与する微生物を多量に、しかも、健全なフローラの状態に保持し、効果的に働かせるように維持管理することである。しかし、従来のような、懸濁微生物方式では、諸般の状況から判断して、醗酵槽内に多量(少なくとも 25,000 mg/l 以上)の微生物を保持することは困難であり、また、流動床法では、大容量の反応槽(バイオリクター)の内部液に懸濁した充填粒子(砂など)を均一な状態に攪拌混合するには、かなりの流動化エネルギーを必要とし、本来の省エネルギーの目的から逸脱することにもなり、必ずしも、所期の効果を得られなくなる恐れがある。これが、室内

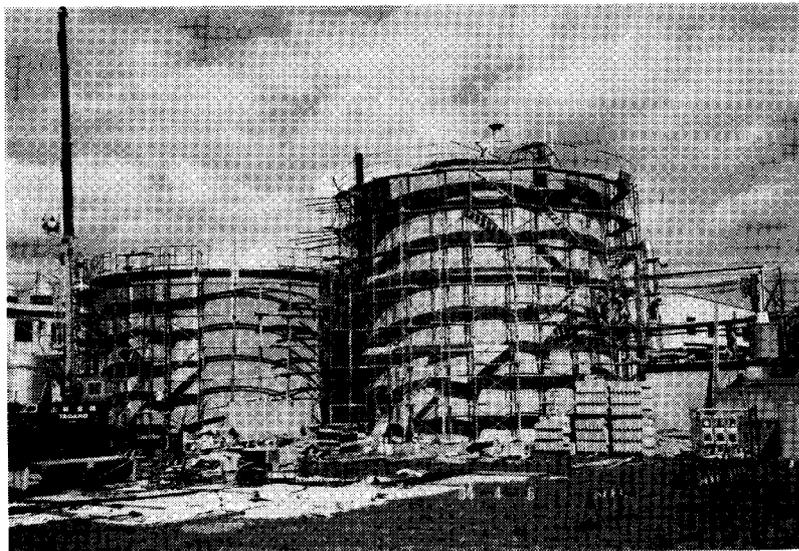


写真 1 建設中のABリアクター(向って右側)

Photo 1 AB Reactor under construction(the right side)

試験においてかなり優秀な処理結果が得られているにもかかわらず、実用化がはかばかしている最大の理由であると考えられる。一方、嫌気性固定床方式の設備は、当社と技術提携しているセラニーズ社の三工場で、反応槽の容積が5000 m³程度の大規模のものが稼動しており、中温醗酵の運転水温を採用しながら、8~16 kg COD_(Cr)/void m³/dayの高負荷の運転において、80~90%の高い除去率を得ており、しかも安定した処理結果が得られている。この優秀な方式はABCシステムと呼ばれ、当社は現在本方式による廃水処理設備の建設を進めており、9月には本格的な運転に入る予定である。

本稿では、この機会に、設備計画のために実施した連続処理試験の結果を中心として、ABCシステムの処理効果に就て報告し、参考に供したいと考える。

2. 試験装置並びに試験方法の概要

第1図は、ABCシステムのフローダイヤグラムであり、第2図は、それを模して作成した連続試験装置のフローシートで、第1表は、試験装置の中核であるABリアクターの仕様概要である。

ABリアクターは、透明塩化ビニールで作成した円筒であり、内部構造は、特殊加工したポリプロピレン樹脂製の充填材(media)を槽内液に浮遊・懸垂した密閉型の上向流式固液分離槽である。充填したメディアの表面に嫌気性処理に参与する微生物を附着させることによって、ABリアクターの内部に、メディアを格子核とした嫌気性微生物のスラリー層を形成させる。供試廃水は、電気式パルス駆動のダイヤフラムポンプによって、ミキサー(混合槽)に送り込まれるが、送液量は、手動セットによるパルス数の調整、およびタイマーによる自動ON~OFF制御によって加減でき、ABリアクターに対する有機物負荷量を調整する。

ミキサーに送られた供試液は、返送処理水と混合され、pH計に連動したポンプによって20%のNaOH液を注入して、pH調整を行った後、水位差によってABリアクターの下部から流入させ、上向きに流してリアクター内部に保持された微生物に接触させて処理を行う。処理水は、リアクター上部のVノッチ型溢流堰から流出して、サージタンク、シールポットを経て、装置外に流出する。

サージタンクは、固液分離槽の機能を持つのではなく、処理水循環ポンプのサクシジョンピットおよび系内の水流、発生ガス圧の緩衝機能を持たせたものである。

発生ガスは、シールポットをへて、湿式ガス積算流量計で計量した後、系外に放出する。ABリアクターは、槽底部に挿入したシーズヒーターによって、運転水温に加熱するが、加熱は温度センサーによる自動調節によって行われる。ABCシステムでは、原則として、運転水温は中温醗酵域(30~40°C)で行っている。それは、当社が、ABCシステムを徹底した省エネルギー指向の廃水処理設備を目指して工夫していることにもよるが、本稿で示されるように、中温処理(mesophilic treatment)でも、現在までに報告されているような高温処理(thermophilic treatment)と同程度、または、それ以上の処理効果が期待出来るためであり、中温処理における水温変動が、高温処理の場合のように、処理結果に与える影響が重大でないと思われるためでもある。

第1表 試験装置のABリアクター仕様

Table 1 Specification of testing AB Reactor

column size	165 mm(φ)×1,350 mm (T.H)
column volume	21.9 ℓ
plastic media size	58 mm(φ)×20 mm (H)
total media volume (number of media)	19.7 ℓ (345)
void volume of media	18.1 ℓ
surface area of media	2,960 cm ²

なお、汚泥馴致を開始して以来、11か月経過した後、ABリアクター内部に保持されたSS量を測定した結果、その濃度は約80,000mg/ℓであった。この数値から推定すると、本報告の試験期間中におけるSS保持濃度は40,000mg/ℓ程度であったと推定された。

3. 処理試験の結果

第2表は、連続処理試験に用いた廃水の水質およびその変動幅を示したものである。供試廃水は、小麦粉から澱粉および蛋白質(gluten)を製造する工程から排出されるもので、含有される有機物は澱粉を主とした炭水化物であり、わずかに、小麦に含まれる水溶性蛋白質を含む。第2表の数値は、工場から排出される廃水を毎日採取して供試した廃水の水質分析値を統計的にまとめて示したものである。

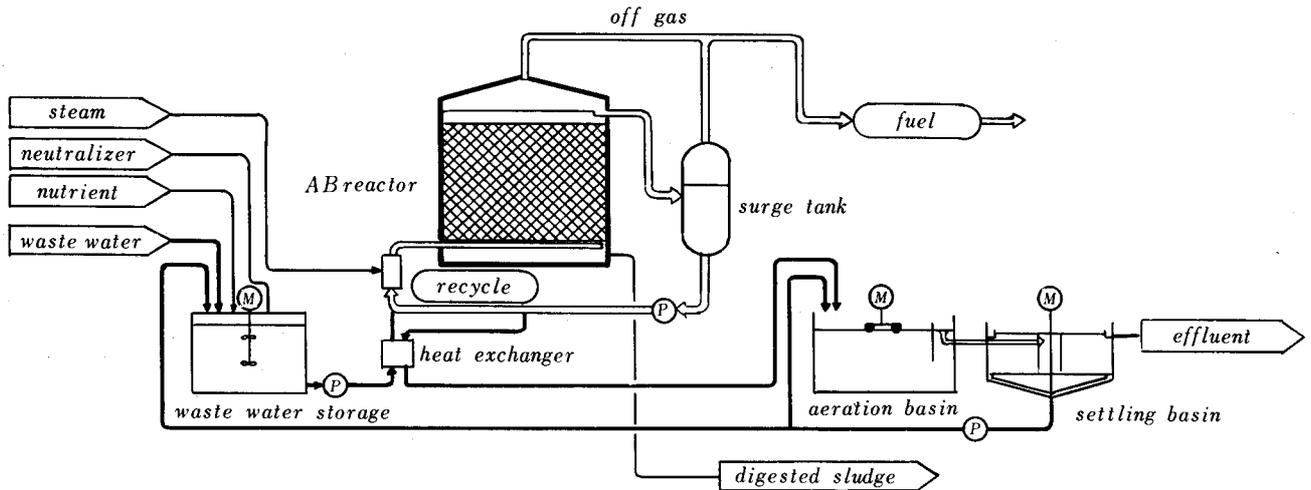
第2表 供試小麦澱粉および小麦グルテン製造工程廃水の水質
Table 2 Character of waste water from wheat starch and gluten preparation process.

	average	variation (±)	remark
pH	4.6~5.4	—	very variable
T S (mg/ℓ)	14,600	1,800	
D S (%)	11,100	960	
S S (%)	3,580	1,800	
COD _(Mn) (%)	9,810	1,900	
COD _(Cr) (%)	18,740	1,840	
B O D (%)	11,300	1,900	
T-KN (%)	500~610	—	as protein (average 3500 mg/ℓ)
T-P (%)	170~190	—	

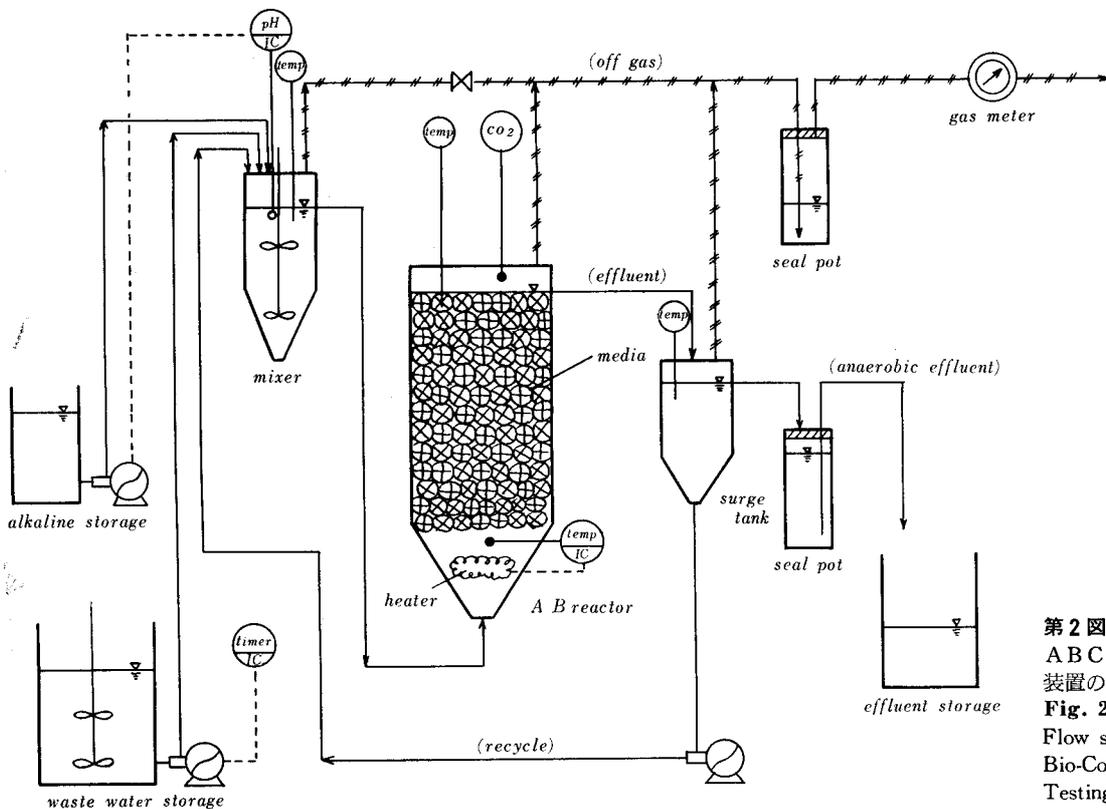
試験は、ABリアクターに、都市下水汚泥消化槽の消化汚泥を40メッシュのスクリーンを用いて、繊維、毛髪、その他の固形物粒子を除いたものを種汚泥として、ABリアクターに満たし、約2週間の周期で供試廃水のチャージ量を増加させて、馴致・集積培養を行った。廃水のチャージを開始してから、約24時間後には、ガスの発生が認められた。所期の除去率が得られるようになった後COD_(Cr)負荷量を8 kg, 12 kg, 最後に10 kg/void m³/Dの3シリーズの負荷試験を実施した。なお、運転水温の設定値は、37(±2)°Cであり、ミキサーにおける設定pHの値は6.7、処理水の返送は、試験期間を通じて、ABリアクターにおける平均上昇流速が約0.2 m/hr程度になるように設定した。

第3図(A)および第3図(B)は、各試験シリーズ(約1か月間)の日々の主要データを折線グラフにまとめたものであり、第3表は、処理状況が安定したと考えられる期間のデータを統計処理して示したものである。

第3表に示したように、各シリーズ(8.12.10 kg/m³・Dの順)におけるチャージ水量の変動幅は平均値に対して、15.5, 5.3, 7.9%であり、COD_(Cr)負荷量の変動幅は22.9,



第1図 ABCシステムによる廃水処理フローダイアグラム
 Fig. 1 Flow diagram of ABC System Waste Water treatment



第2図
 ABCシステムによる試験装置のフローシート
 Fig. 2
 Flow sheet of Anaerobic Bio-Contact System Testing Equipment

6.3, 15.5%であった。これに対して $COD_{(Cr)}$ 除去率は、それぞれ84, 73, 88%が得られ、その変動幅は4.1, 3.4, 2.0%の範囲に止まっており、非常に安定した処理結果が得られた。

また、各シリーズにおいて、BODの測定は毎日実施しなかったが、期間中、適宜に実施した測定データから得られた相関式

$$BOD(mg/\ell) = (-475) + (0.519 \cdot COD_{(Cr)})(mg/\ell)$$

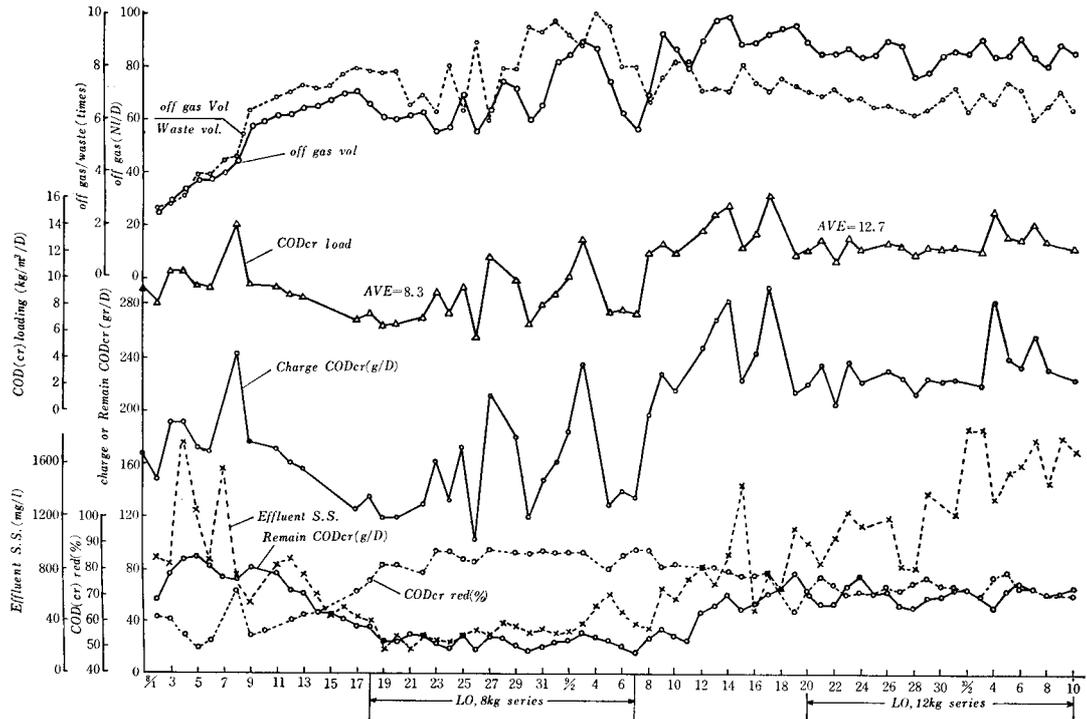
(相関係数0.859)

から算定すると、各シリーズにおける処理水の平均BOD

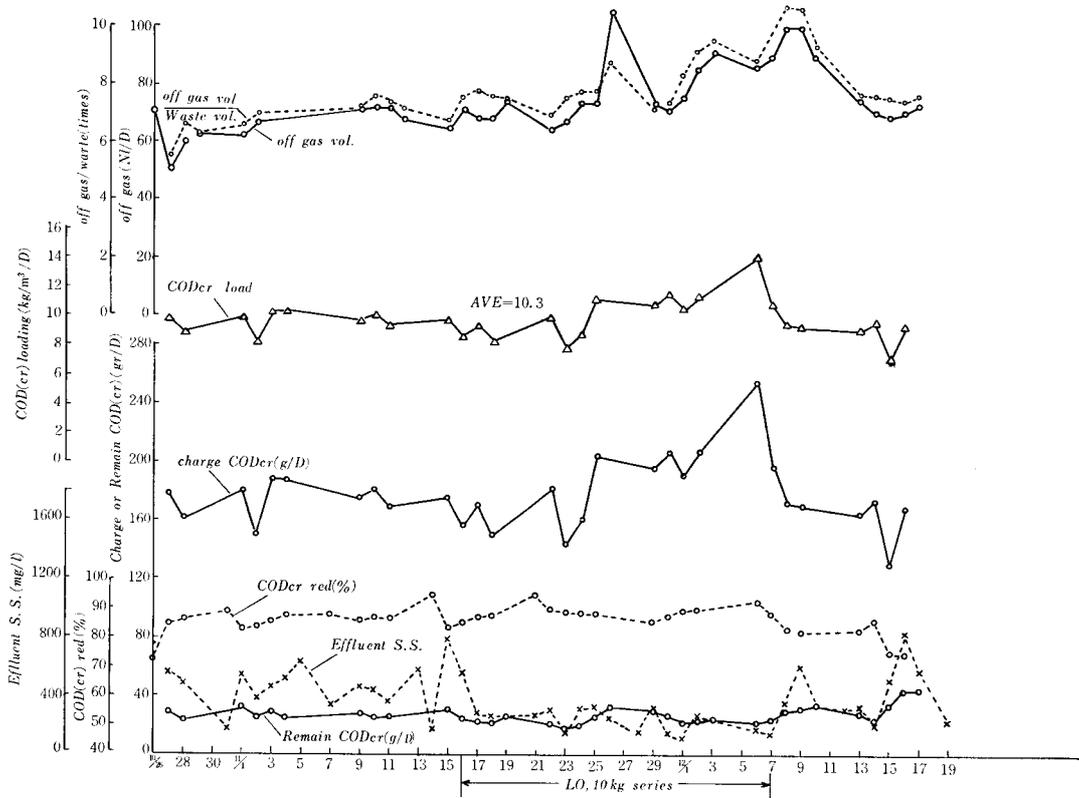
値は、1020, 2040, 760 mg/ℓ であり、BOD除去率は、90, 77, 93%程度が得られたと推定される。

第3表に示された処理水の $COD_{(Cr)}$ 濃度、および除去率の数値において3シリーズの場合が、1シリーズの負荷量より高い値になっているにもかかわらず、処理効果が高くなっているが、それは、試験期間中にABリアクターの汚泥引抜を行わなかったため、この間に汚泥の集積量が増加し、単位汚泥当りの負荷量が低下したことに起因すると考えられる。

発生ガスのメタン含有率は、74~77%であり、従来の消



第3図(A) 連続処理テストの状況(1)
 Fig. 3(A) Daily data of Continuous test(1)



第3図(B) 連続処理テストの状況(2)
 Fig. 3(B) Daily data of Continuous test(2)

化槽方式のものに比べて、高い値であり、高熱量のガスが得られることもこの方式の長所として挙げられるものと考えられる。

除去COD_{Cr}当りのガス発生率は、それぞれ0.54, 0.51, 0.47 Nm³/kg 除去COD_{Cr}であり、チャージした廃水量の6.7~8.1倍量のガスが得られたことになる。発生ガスに含

第3表 ABCシステムによる連続処理試験結果
Table 3 Continuous waste water treatment test results using Anaerobic Bio-Contact system

Test series (date)	1 (8/18~9/7)		2 (9/20~10/10)		3 (11/16~12/7)		unit
	ave- rage	vari- ation (±)	ave- rage	vari- ation (±)	ave- rage	vari- ation (±)	
Charged waste volume	8.40	1.30	12.72	0.68	9.63	0.76	ℓ/day
COD _(Cr)	18,076	2,245	18,209	4,846	19,317	2,729	mg/ℓ
SS	2,254	808	2,620	989	3,347	1,548	〃
Reactor water temp set	37	—	37	—	37	—	°C
Retention time	53.0	8.3	34.3	1.8	45.3	3.2	hrs
COD _(Cr) loading	8.3	1.9	12.7	0.8	10.3	1.6	kg/void m ³ /day
Effluent COD _(Cr)	2,887	371	4,846	379	2,376	251	mg/ℓ
〃	2,374	274	2,963	180	2,140	254	〃 (centrifuged)
〃 SS	325	113	1,420	448	234	111	〃
Reduction rate							
COD _(Cr)	83.7	3.4	73.6	2.5	87.9	1.8	%
〃	86.8	2.7	83.7	1.7	89.1	1.5	〃 (centrifuged)
SS	83.6	6.8	43.9	25.3	91.9	6.4	〃
Produced gas							
Gas volume	67.2	10.4	85.4	3.7	77.0	10.7	Nℓ/day
Gas Production rate	0.542	—	0.508	—	0.472	—	Nm ³ /kg red. COD _(Cr)
〃	8.1	1.2	6.7	0.4	8.0	0.9	Nm ³ /waste m ³
Gas CH ₄ %	76.9	1.5	73.8	1.6	—	—	%
CH ₄ Production rate	0.417	—	0.375	—	—	—	CH ₄ Nm ³ /kg red COD _(Cr)

まれる H₂S は 0.07~0.15% (容積割合) であり, 燃料ガスとして使用する場合には, 脱硫処理を行う必要があると判断された。水溶性の有機炭素収支によって, 微生物転化率を推定計算すると, その割合は約4%弱であった。

第4表 運転費の試算比較
Table 4 A comparative case study of operating cost ABC system and activated sludge process

	ABC system & Activated sludge process		Activated sludge process	
	ℓ/D	¥/D	ℓ/D	¥/D
Gas credit (as heavy oil)	3,240	△210,600	0	0
Electricity	1,100 kWh/D	22,000	4,700 kWh/D	94,000
Heating steam	3,260 kg/D	13,040	0 kg/D	0
Chemicals (for neutralizer, sludge dewatering...)	—	60,295	—	45,530
Sludge land fill	3.5 m ³ /D	42,000	13.2 m ³ /D	158,400
Labour cost	1.5 person/D	15,000	1.5 person/D	15,000
Sum	—	△58,265	—	312,930

4. むすび

以上, 食品製造廃水のABCシステムによる嫌気処理試験の結果について記述した。

このような結果に基づいて, 第2表に示した廃水を処理する場合の省エネルギー, 省コスト効果について評価してみると, つぎのようになる。

検討の条件

処理対象廃水量	500 m ³ /D
〃 〃 COD _(Cr)	9370 kg/D (18740 mg/ℓ)
〃 〃 BOD	5650 kg/D (11300 mg/ℓ)
放流処理水 BOD	20 mg/ℓ
〃 〃 SS	30 〃
廃水の年平均水温	20°C

年平均気温 15 〃
A Bリアクター運転水温 37 〃

ABCシステムによって, 嫌気処理したのち, 活性汚泥法で仕上げ処理を行って放流し, 発生する消化汚泥は脱水処理後, 埋立て処分するとして廃水処理設備全体の運転費を試算すると, 第4表左欄に示す結果が得られる。(処理工程は, 第1図を参照)

この試算結果によれば, 廃水処理の結果, 運転費を償なって更に, 利益を生むことになり, その発生利益は, それぞれ116.53円/m³ 廃水, 6.22円/kg COD_(Cr), 10.31円/kg BOD と計算される。

それに対して, 第4表の右欄に示したように, 活性汚泥法だけの処理設備においては

- (1) 燃料ガスの回収はもちろ期待できず
- (2) 消費電力は, 4700 kWh/Dが見込まれ, ABCシステムの4.3倍も大きくなり
- (3) さらに, 処分を必要とする余剰汚泥量は, 13.2 m³/Dとなり, 3.8倍の処分費を必要とすることになる。

これらの諸費用を集計すると, ABCシステムでは活性汚泥法だけの処理設備よりも, 1日当り370千円以上, 年間では, 操業日数300日として, 111百万円以上, コストダウンできると試算される。

従来, この種の廃水処理法として採用されてきた好気性廃水処理方式においては, このように廃水を処理することによって, 企業経営の収益を増大させるものは皆無であり, 廃水処理の経済的負担はかなり高額に達するとされてきた。本稿に示されたABCシステムの処理効果は, 本処理法を導入することによって, 廃水処理においても利益を得る可能性が示されたものと考えられる。

(註記)

本稿において記述した結果の一部については, 1984年度の下水道研究発表会(4月18日~20日, 於東京都)において報告した。