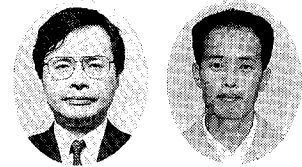


PANBIC-G システムの食品廃水への適用紹介

Application of PANBIC-G System to Food Processing Wastewater



(環)技術部 計画第3課 吉川 信
Makoto Yoshikawa
(環)技術部 製品開発課 山崎 慎一
Shinichi Yamazaki

PANBIC-G, widely known as UASB system, has been delivered to a food processing company producing boiled beans, and its pre-commissioning was completed satisfactorily. The introduction of PANBIC-G as pretreatment to the activated sludge treatment system allowed reduction of organic load to one third, allowing the system's stable operation. It also contributed to the reduction of running cost including sludge disposal.

まえがき

嫌気性処理システムには、'82年当社がヘキスト・セラニーズ社 (Hoechst Celanese Corporation) から技術導入し30件近くの実績を有する PANBIC-F システム (固定床方式) と、グラニュール汚泥を利用した PANBIC-G システム (一般的な名称は UASB 方式) がある。PANBIC-G システムは幅広い顧客のニーズに応えるために当社が独自に開発した嫌気性処理システムである。

嫌気性処理システムは食品工業を中心とした高濃度有機物廃水を対象にしていたが、近年比較的の低濃度有機物廃水に対しても高効率で処理可能な UASB 方式がクローズアップされ、一部の食品業界においては主流になりつつある。

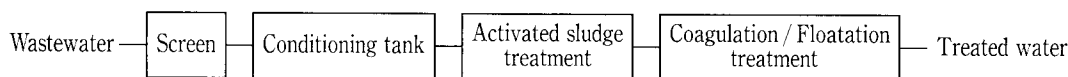
当社は PANBIC-G システムの実績第1号をゆで小豆廃水に適用し、その処理性能の優秀さを確認したのでここに紹介する。

1. 嫌気性処理設備導入の背景

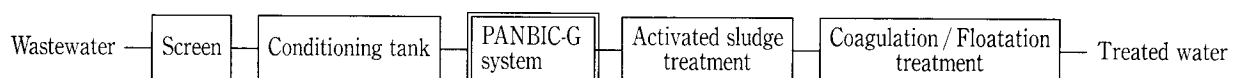
今回、PANBIC-G システムを納入したT社は、主にゆで小豆の缶詰を製造し、他にレトルト食品等を製造している。製造品目は季節により変動し、また製造品目の種類により排水量、廃水性状が異なる。T社は廃水処理設備として活性汚泥処理設備、凝集加圧浮上処理設備及び脱水処理設備を保有しているが、製造量の増加等で現状の処理設備では、上記廃水流入条件を含めて対応しきれなくなっていた。特に、ゆで小豆廃水は高濃度の有機物を含むため活性汚泥処理設備を増設しないで既設の活性汚泥処理設備で安定した運転を行なうためには、嫌気性処理設備を導入して前処理する必要があった。

PANBIC-G システム導入前及び導入後の処理フローのブロックダイアグラムを第1図に示す。導入前の活性汚泥処理では前述の濃度変動や高濃度廃水のため、安定した

1) Before installing PANBIC-G system.



2) After installing PANBIC-G system.

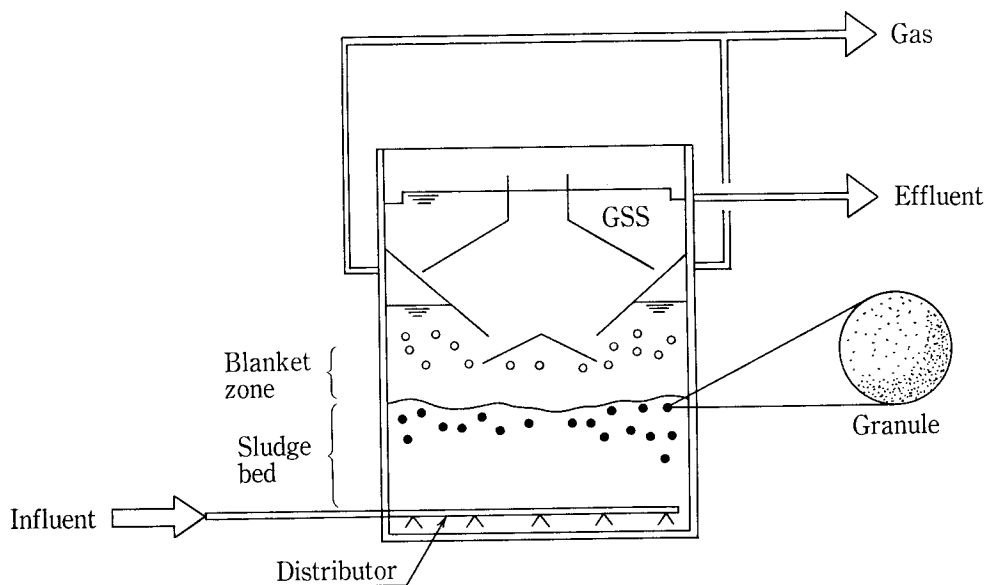


第1図 処理フローのブロックダイアグラム
Fig. 1 Diagram of wastewater treatment process

第 1 表 設計条件

Table 1 Design conditions Flow rate 200 m³/d

Item	Wastewater	Treated water	
		AB Reactor	Coagulation/Floatation
Temp. (°C)	30~35	35	—
pH (-)	4	6.5~7.5	5.8~8.6
SS (mg/ℓ)	300	600	25
BOD (mg/ℓ)	2 500	750	10



第 2 図 UASBリアクター概念図
Fig. 2 Scheme of UASB Reactor

処理運転が困難で、発生する汚泥の処分にも高い経費を要し、処理の安定化と運転費の低減等が大きな課題であった。

第 1 表に廃水の設計条件を示す。当廃水は BOD 濃度に比較して SS 濃度が比較的低いため、処理方式として UASB 方式が最適と判断し納入した。(UASB 方式においては、SS 濃度が一定以上となるとグラニューロ造粒化に阻害を起こすと言われている。)

2. 設備概要

2.1 UASB 法の原理及び特長¹⁾

UASB 法(当社商品名は PANBIC-G システム)は、正式名を Upflow Anaerobic Sludge Blanket Process(上昇流嫌気性汚泥床法)と一般に称されている。嫌気性処理方法には他に固定床法、流動床法等があるが、本法は他方式と違ってリアクター内に微生物を付着させる充填材、担体を使用せず嫌気性汚泥自体の凝集・集塊化作用によって形成されたグラニューロ汚泥を保持していることが大きな特長である。また UASB 法は産業廃水、特に食品工場からの有機性廃水を、高濃度に保持された嫌気性微生物によって分解除去させる高効率なシステムとして知られている。

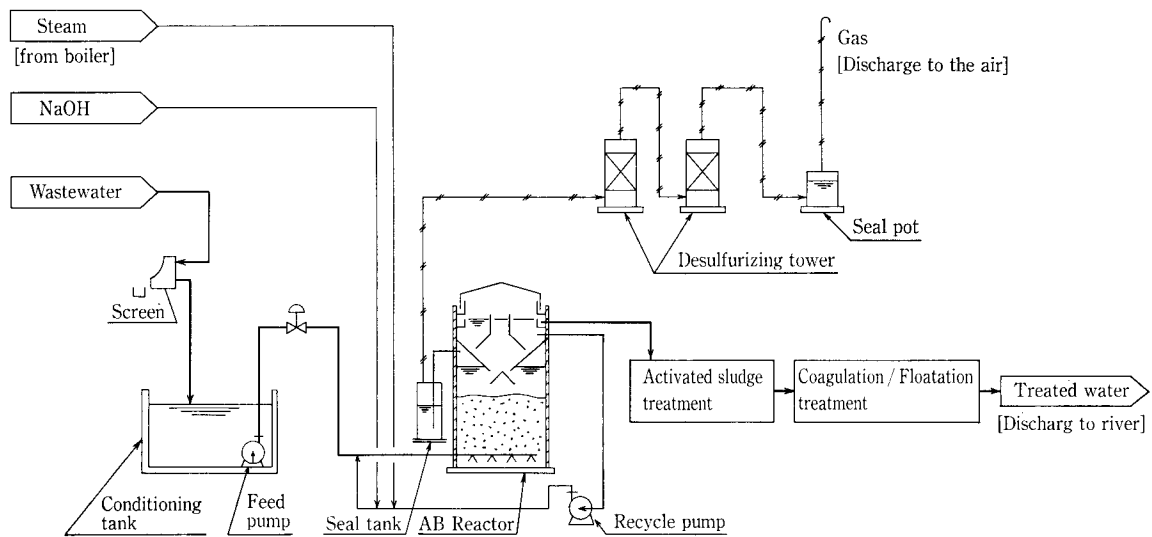
UASB リアクター(以後 AB リアクターと称する)の概念図は第 2 図に示すが、ディストリビューター部(廃水流入部)、グラニューロ汚泥が保持されているスラッジベッ

ド部、汚泥膨張部としてのブランケット部及び気固液分離を行う GSS 部(Gas Solid Separator)の 3 つの部分から構成されている。

ディストリビューター部は流入水をリアクター底部で均等に分散させる構造になっており、流入する廃水をスラッジベッド層に均一に行き渡らせ、汚泥の分解能力を十分発揮させるための重要な部分である。リアクターは主にリアクター内で発生するガスで攪拌されるが、流入水がリアクター底面で均等に分散されていないと短絡流が生じ易くなるため、流入水が均等分散出来るよう、設計に注意が必要である。

スラッジベッド部において保持されるグラニューロ汚泥は、一般に食品系廃水ではおよそ粒径 1~2 mm 程度、MLSS 濃度 5~10%と言われている。しかし、グラニューロ汚泥の性状は運転条件(負荷、ガス上昇流速、液上昇流速等)や環境条件(廃水の性状、グラニューロを構成している微生物の種類、形態等)によって異なる。

GSS 部はリアクター内で発生したガス及びブランケット部上方へ浮上したグラニューロ汚泥を効率的に分離できる構造になっており、清澄な処理水を得、かつ汚泥の流出を最小限に抑える役目をもち、リアクター内の高濃度汚泥の保持に役立つ。したがって、この GSS 部の構造はリアクター全体としての性能を大きく左右し、リアクターの装置上最も重要な部分である。



第3図 処理フローシート
Fig. 3 Schematic diagram of the wastewater treatment

第2表 設備仕様
Table 2 Specification for the plant

Item	Specification	Unit
AB reactor	3 500 φmm × 6 700mm ^{WD} × 7 200mm ^H	1
Desulfurizing tower	600 φmm × 2 600 ^H	2
Boiler	200 kg steam/h	1
Feed pump	9.6 m ³ /h × 18 mAq × 3.7 kW	1
Recycle pump	9.6 m ³ /h × 6 mAq × 1.5 kW	1
NaOH pump	18 ℓ/h × 10 ^K × 0.2 kW	1

2.2 設備仕様

処理フローシートを第3図に、設備の仕様を第2表に示す。またABリアクターの外観を写真1に示す。

主要な設計諸元は次の通りである。

- (1) 廃水量 200 m³/d
- (2) 廃水水質
SS 300 mg/ℓ
BOD 2 500 mg/ℓ
- (3) ABリアクター
水温 37 °C
処理能力 BOD 500 kg/d
BOD除去率 70 %
(2 500 mg/ℓ → 750 mg/ℓ)

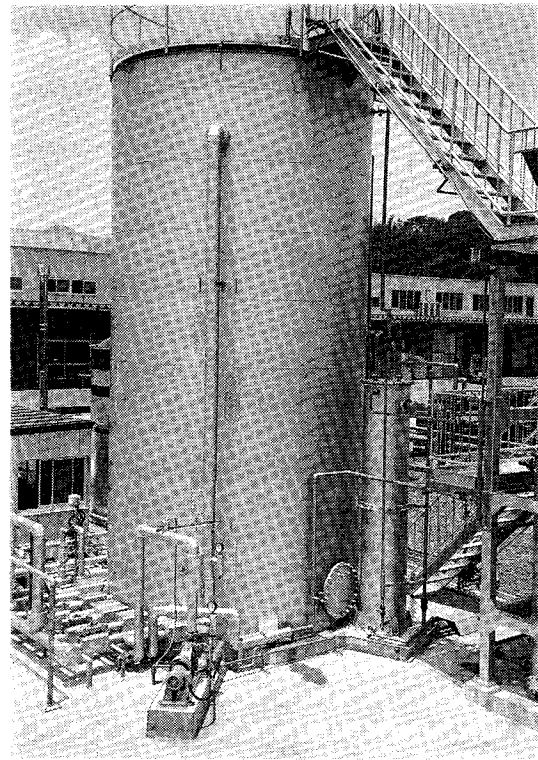


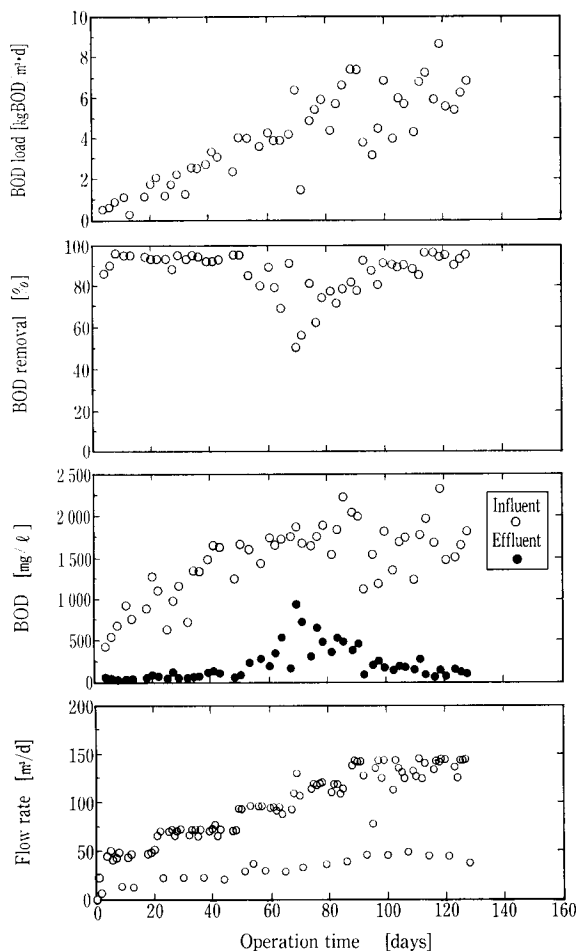
写真1 ABリアクターの外観
Photo. 1 Outside view of AB reactor

- (4) 発生ガス量 331 Nm³/d (CH₄ 55 % (v/v)において) (脱硫後, 大気放散)

3. 運転結果

3.1 廃水の性状

PANBIC-G システムの対象廃水は、ゆで小豆製造工程からの排水であり、高い有機物濃度の蒸煮廃水と比較的低濃度の晒廃水（蒸煮した小豆を水道水で冷却、晒した廃水）が含まれている。第1表に廃水の性状を示している



第4図 初期運転結果
Fig. 4 Start-up operation data

が、当廃水は非常に腐敗しやすく（換言すれば生物分解性が良い）、調整槽で酸敗が起こり、pH 4~5 となるためカ性ソーダを注入して pH を中性にしABリアクターに投入される。

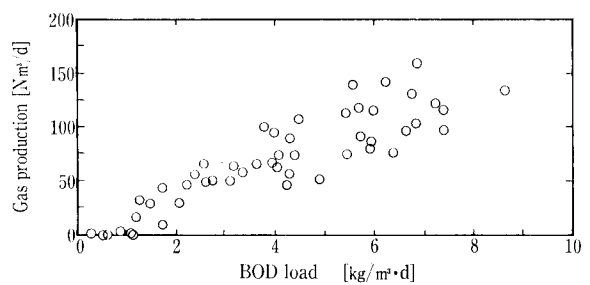
嫌気処理水は既設の活性汚泥処理設備と凝集加圧浮上処理設備で後処理され、SS 25 mg/ℓ 以下、BOD 10 mg/ℓ 以下で河川に放流される。

3.2 運転方法

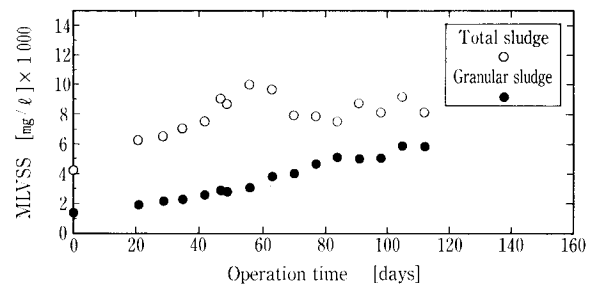
設備の工事完了ならびに水運転終了後、リアクターに種汚泥としてグラニュール汚泥を投入した。種汚泥投入後、リサイクルラインに蒸気を注入しリアクター内水温を 37 °C まで昇温した後、廃水量を一定量ずつ増加させて実運転を開始した。通常の UASB 方式の運転立ち上げは、大量のグラニュール汚泥を投入し立ち上げ期間の短縮を図るが、今回の運転は基礎データ（グラニュール汚泥の増殖収率など）の採取を主目的としたため、あえて低い濃度（リアクター平均汚泥濃度 4 200 mgVSS/ℓ）から開始した。運転開始時の BOD 容積負荷は 0.5 kgBOD/m³·d とし BOD 除去率 80% 以上を目安に段階的に負荷を増加させた。

3.3 処理性能

第4図に試運転当初からの運転結果を示す。原水量、BOD 濃度、BOD 除去率及び BOD 容積負荷の経時変化を



第5図 BOD容積負荷とガス発生量の関係
Fig. 5 Relationship between BOD load and gas production



第6図 リアクター汚泥濃度の経時変化
Fig. 6 Operation date of MLVSS in AB reactor

示している。

原水 BOD 濃度は運転開始時 500 mg/ℓ 程度と低かったが、運転 2 カ月目で約 1 700 mg/ℓ と増加し、BOD 容積負荷は運転開始の約 8 倍にまで増加した。BOD-VSS 負荷はグラニュールの馴化を図るために比較的低く 0.4 kg BOD/kg VSS·d 程度に維持させた。この期間の処理水は BOD 濃度 100 mg/ℓ 以下（BOD 除去率 90% 以上）、VFA（揮発性脂肪酸）濃度 30 mg/ℓ 以下の極めて良好な水質であった。

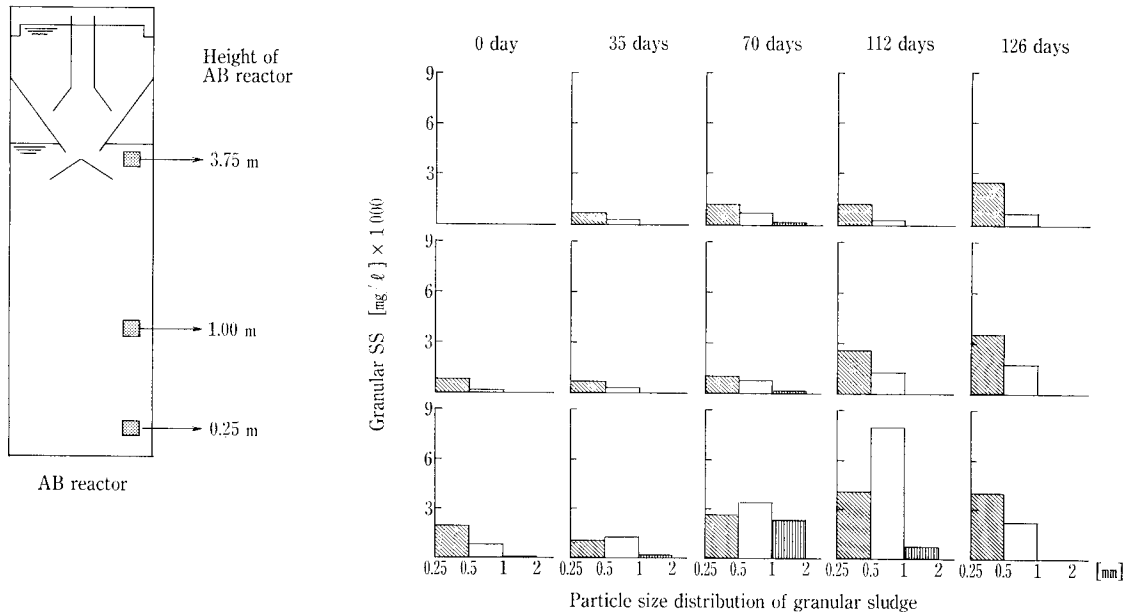
運転 60~80 日目において BOD 除去率が 70% 以下に低下している。これはリアクター流入部における pH 調整（原水 pH が 5.2 と低い）のカ性ソーダ注入量が流入 BOD 量に対して不足していたことによるものと判明し、その後注入量を増加させると処理水質が向上した。

運転 3 カ月目以降、原水 BOD 濃度は 1 200~2 400 mg/ℓ と大きく変動したにも関わらず、処理水の BOD は 300 mg/ℓ 以下（BOD 除去率 80% 以上）、VFA は 100 mg/ℓ 以下の良好な処理性能を安定して維持することができた。

第5図に BOD 容積負荷とガス発生量の関係を示す。ガス発生量は BOD 容積負荷と良く相関しており、ガス化率は 60~80% であった。ガス化率とは流入水中の有機性炭素（TOC として測定される）がガス中の炭素に変換された割合である。ガス組成は検知管により測定し、CO₂ 約 10%、H₂S 約 1 000 ppm(v/v) であり、発生ガス中の CH₄ の含有率は約 90% と推定された。

3.4 グラニュール汚泥の造粒化

第6図にリアクター内汚泥濃度の経時変化を示す。グラニュール汚泥は運転開始時 1 316 mgVSS/ℓ（グラニュール化率 30%）であったのに対し、試運転完了時には約 6 000 mgVSS/ℓ（グラニュール化率 70%）にまで順調に増加し



第7図 リアクター内グラニュールの粒径分布
 Fig. 7 Particle size distribution of granular sludge in AB reactor

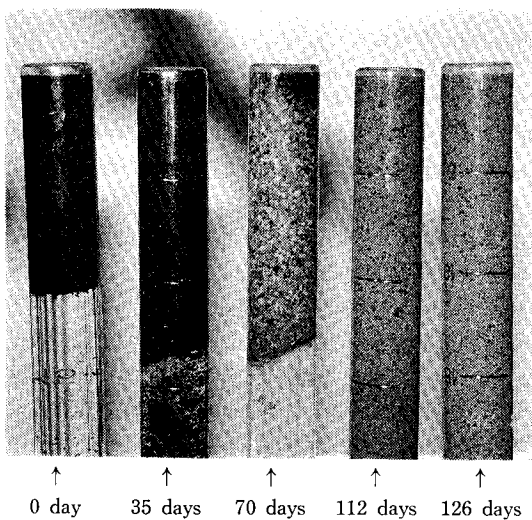


写真2 リアクター底部25 cmのグラニュールの経時変化
 Photo. 2 Transformation of granular sludge in the bottom of AB reactor

た。グラニュール化率とは全汚泥 MLVSS 濃度当りのグラニュール汚泥 MLVSS 濃度の割合である。グラニュール汚泥の増殖収率(除去 BOD 量 [kg BOD] 当りのグラニュール汚泥増加量 [kg VSS])は 3.9~4.6%であった。(BOD の負荷条件により変動)

第7図にリアクター高さ方向におけるグラニュール汚泥の粒径分布の経時変化を示す。また写真2にリアクター底部より採取したグラニュールの経時変化の写真、写真3に試運転完了時のグラニュール菌体の写真を示す。

次に得られた結果からグラニュール汚泥の造粒過程を推

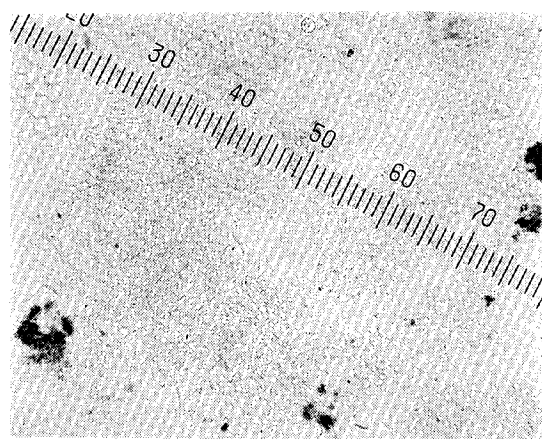


写真3 グラニュール菌体(倍率×100、1目盛10 μm)
 Photo. 3 Microphotograph of granular sludge (magnification: ×100, graduated in 10 μm)

察する。

- ① 運転開始から次第に増殖菌が種グラニュールを核としてグラニュール表面に繁殖し、その結果リアクター底部でグラニュールが肥大化し1~2 mm^φ 粒径のグラニュールが増加した。
- ② 試運転期間の中期、発生ガス上昇流速によるせん断力の増大あるいはグラニュールを形成する菌相の遷移等が原因となり、次第にグラニュールは細分化されリアクター高さ方向で粒径が均一化し、次第にグラニュールは安定状態となった。
- ③ 試運転期間の後期のグラニュール菌体は鞘が長く絡み合った methanotrix 属と思われる菌が優先種となっていた。

4. PANBIC-G システム導入によるメリット

当ゆで小豆廃水に PANBIC-G システムを適用した場合のメリットを次に検証する。

メリットを項目別に列挙すると次の通りとなる。

- (1) 活性汚泥処理の安定化
- (2) 余剰汚泥の減量化
- (3) ランニングコストの低減

4.1 活性汚泥処理の安定化

活性汚泥処理に関して導入前後の曝気槽への BOD 負荷量, BOD 容積負荷を次に示す。

- (1) 導入前
 - ・ BOD 負荷量 500 kg BOD/d
 - ・ BOD 容積負荷 2.56 kg BOD/m³·d
(曝気槽容量 194 m³)

- (2) 導入後
 - ・ BOD 負荷量 150 kg BOD/d
 - ・ BOD 容積負荷 0.77 kg BOD/m³·d

となる。曝気槽への負荷量が $\frac{1}{3}$ となり既設曝気槽の増強なしに安定処理運転が可能となる。

4.2 余剰汚泥量の減量化

従来の活性汚泥処理での余剰汚泥発生率は除去 BOD 量あたり約 40% である。また嫌気方式での余剰汚泥発生率を除去 BOD 量あたり 5%, 嫌気処理後の活性汚泥処理 (前述の負荷) での発生率を 30% (除去 BOD 量あたり) とすると余剰汚泥量は,

- (1) 導入前

$$200 \text{ m}^3/\text{d} \times (2500 - 20) \text{ mg}/\ell \times 0.4 \times 10^{-3} = 198.4 \text{ kg SS}/\text{d} (1.00)$$

- (2) 導入後

$$200 \text{ m}^3/\text{d} \times \{(2500 - 750) \text{ mg}/\ell \times 0.05 + (750 - 20) \text{ mg}/\ell \times 0.3\} \times 10^{-3} = 61.3 \text{ kg SS}/\text{d} (0.31)$$

となり, 約 30% に減少する。

4.3 ランニングコストの低減

従来の活性汚泥処理設備を増強して好気性処理する場合のランニングコストと今回の (嫌気+好気) 方式のランニングコストを比較したのが第 3 表 ランニングコストの比較である。

第 3 表 ランニングコストの比較

Table 3 Comparison of operating cost between activated sludge process and PANBIC-G, activated sludge combined process

Item	Activated sludge process		PANBIC-G, activated sludge combined process		
	Unit	Value	Unit	Value	
Electric power consumption	¥18/kWh	1 280 kWh/d	¥23 040/d	670 kWh/d	¥12 060/d
NaOH	¥ 100/kg	—	—	40 kg/d	¥4 000/d
Coagulant aid	¥1 500/kg	0.2 kg/d	¥ 300/d	0.2 kg/d	¥ 300/d
38 % FeCl ₃	¥ 26/kg	26 kg/d	¥ 676/d	8 kg/d	¥ 208/d
Steam	¥ 3/kg	—	—	2 360 kg/d	¥7 080/d
Desulfurizing agent	¥ 130/kg	—	—	4 kg/d	¥ 520/d
Dewatered cake disposal	¥10 000/ton	1.32 ton/d	¥13 200/d	0.409 ton/d	¥4 090/d
Total			¥37 216/d		¥28 258/d

これから PANBIC-G システムによりランニングコストが低減できることが判る。現在発生ガスは大気放散しているが, これを有効利用するとさらにランニングコストは低減できる。(A 重油換算で 5 400 円/d のメリットがある)

む す び

当社における UASB 法の運転実績の一例を紹介した。当社は嫌気性処理設備に関し, 固定床方式と UASB 方式の技術をもちあわせている数少ないメーカーである。固定床方式には食品業界を中心に化学や石油化学の分野にも数多くの実績をもっている。UASB 方式については食品業界を中心にその適用分野を広げるとともに, UASB 方式の課題といわれている SS のグラニューール化への阻害等についても鋭意研究を進めている。今後は固定床方式と UASB 方式のそれぞれの長所, 特質を明確にして, 顧客のニーズに最適な嫌気性処理システムを提供する所存である。

【参考文献】

- 1) 原田秀樹: “嫌気性汚泥床法”, 造水技術, vol. 18, No. 2, (1992)