

# ビール工場廃水へのPANBIC-Gの適用

## Application of PANBIC-G System to Brewery Wastewater



(環)技術部 計画第3課  
池 本 春 樹  
Haruki Ikemoto

The PANBIC-G, widely known as the UASB system, has been delivered to a brewery. The commissioning proved its advantages. The regulated values by raw were completely cleared, with the BOD removal rate as high as 93%. The running cost dropped by 47% through its introduction.; heat recovery from the generated gas, and also a reduction in landfill cost of dehydrated cake and in power consumption contributed to the saving.

### ま え が き

近年、産業界においては省資源、省エネルギー、廃棄物の低減等環境を重視した企業活動の社会的要請が高まってきており、排水処理分野においても同様な観点から環境を重視した処理システムへの転換が望まれている。

有機系排水処理システムには、生物学的処理法として活性汚泥法に代表される好気性処理法と嫌気性処理法があり、好気性処理法は従来より都市下水から多種の産業排水にわたり幅広く適用されてきている。しかし基本的に多大な曝気動力、多量な余剰汚泥の発生を生じ、省エネ、廃棄物の低減という点で課題があった。

そういう中で嫌気性処理法は、好気性処理法に比べ高負荷処理（容積当たり5～10倍の処理能力）が可能であり、また曝気動力が不要な上メタンの有用物質が回収でき、余剰汚泥が少ないという利点から食品業界を中心に実用化されてきている。弊社の嫌気性処理装置においても、固定床設備（弊社商標：PANBIC-Fシステム）は食品工場に17件、化学工場に9件の計26件の納入実績があり、またUASB設備（弊社商標：PANBIC-Gシステム）についても食品工場に2件の納入実績がある。

そこで本稿では、このPANBIC-Gシステム（以下Gシステムと称す）の2号機となるビール工場排水への適用において、処理性能及び省エネ、廃棄物の低減によるランニングコストの削減を確認した実証例を紹介する。

### 1. PANBIC-G システムの特長

嫌気性処理とは排水中の有機成分を嫌気性汚泥（微生物）により無酸素下で消化ガス（メタン、二酸化炭素）に転換し有機物を除去する排水処理法である。またGシステムは、PANBIC-Fシステムとリアクター内の汚泥保持方法が異なり、Fシステムは充填材に付着させ汚泥を保持するのに対してGシステムは充填材を使用せず嫌気性汚泥自体の凝集・集塊作用によって形成された粒径1～2mm程度のグラニュー汚泥を保持することが大きな特長である。その他Gシステムの構造等の詳細については前報<sup>1)</sup>で報告したのでここでは説明を省略する。

### 2. 設備導入の背景

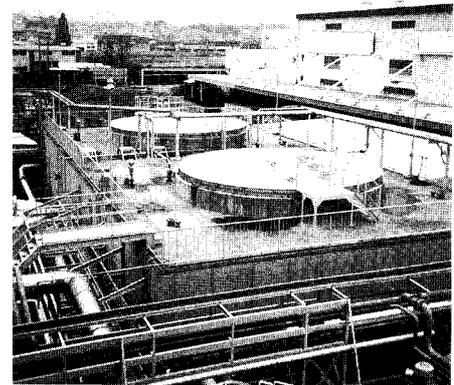
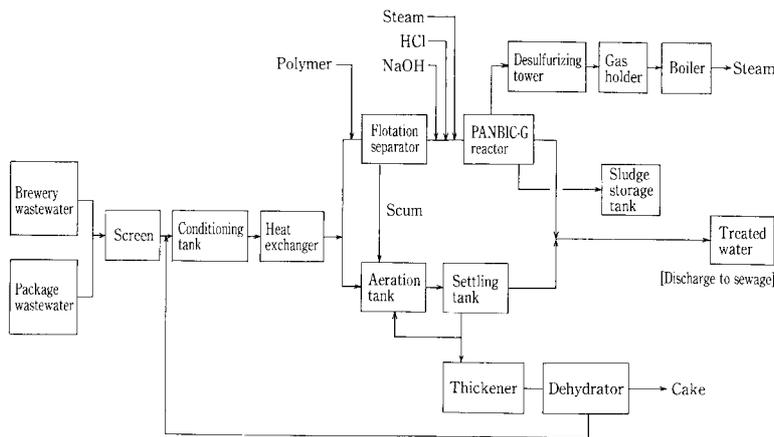
このビール工場の排水処理は、嫌気性処理設備導入前は活性汚泥処理を行っていた。しかし生産量増加に伴う有機物負荷量の増大に対応すること、またランニングコストの削減を図ることを目的として既存活性汚泥曝気槽の一部を改造し嫌気性処理設備を導入した。

本ビール工場への嫌気性処理設備の導入は、既設設備を改造して行うため早期に処理能力を発揮させる必要があった。そこで弊社の嫌気性処理設備は前述の通り2種類あるが、Gシステムはリアクターにグラニュー汚泥を投入することで汚泥の馴養が速く、Fシステムより短期間で立ち上げが可能であることからGシステムを採用した。

### 3. 設備概要

写真1にGシステムの全景、第1図にGシステム導入後の設備フローシート、第1表に設計条件を示す。本ビール工場の排水処理への流入原水は、ビール製造（仕込）より発生する醸造排水と、瓶及び缶詰より発生するパッケージ排水の2種類の混合液である。原水量の計画値は醸造排水5400 m<sup>3</sup>/d、パッケージ排水1600 m<sup>3</sup>/dの計7000 m<sup>3</sup>/dであり、有機物濃度はBOD 1500 mg/l、SS 650 mg/lである。原水はまずスクリーンで麦カス等の夾雑物を取り除かれた後、調整槽に入りGシステム及び活性汚泥処理設備に分配される。

Gシステムには、前段に前処理設備として浮上分離装置を設けている。これは試運転当初、Gリアクターは原水SS濃度が高いとグラニュー汚泥のリアクター内保持能力が低下することが判明したため、この原水SS濃度を減少させるために設置している。またGリアクターはSS除去性能が低いため下水放流可能なSS濃度まで下げる目的もある。浮上分離装置で分離されたスカム（原水SS成分）は、そのまま脱水処理するとケーキ処分量が多くなるため、曝気槽に投入し好気分解させ減量化を行っている。浮上分離された処理水は苛性ソーダあるいは塩酸を注入してpH調整され、また冬期には原水温度が下がるためスチームを注入して温度調整しGリアクターに流入される。



第1図 設備フローシート  
Fig. 1 Schematic diagram of wastewater treatment

写真1 PANBIC-Gシステムの全景  
Photo. 1 Outside view of PANBIC-G system

第1表 設計条件  
Table 1 Design conditions

		Flow rate (m <sup>3</sup> /d)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)			Flow rate (m <sup>3</sup> /d)	BOD (mg/l)	SS (mg/l)
waste water		7 000	1 500	650	Treated water		7 000	<200	<200
Influent	Brewery waste water	5 400	1 700	800	Effluent	PANBIC-G	6 400	200	200
	Package waste water	1 600	300	150~300		Activated sludge	600	20	20

Gリアクターは鉄筋コンクリート製で、設計処理能力9600 kgBOD/d (12800 kgCODcr/d)を有している。流入される有機成分はリアクター内のグラニュール汚泥で分解除去され、嫌気処理水は好気処理水と合流し下水道放流される。下水道放流規制値はBOD及びSSともに300 mg/lであるが、放流水設計値としてはBOD 200 mg/l以下、SS 200 mg/l以下としている。

嫌気分解で発生した消化ガスは、有害な硫化水素は脱硫塔で吸着除去され、またメタンガスは一端ガスホルダーに貯留されボイラーの燃料として使用される。ボイラーで発生したスチームは工場の熱源として有効利用される。

活性汚泥処理設備には、原水に加えて浮上分離装置で分解されたスカムが流入し、原水及び浮上スカムの有機成分は好気汚泥により分解除去される。発生汚泥は濃縮槽を経由し脱水機に入り脱水ケーキとして処分される。

#### 4. 運転結果

##### 4.1 処理性能

第2表にGリアクターの処理性能、第2図に運転データを示す。なおこのデータは1995年6月～8月のもので、この3カ月間は原水温度が高くリアクター温度は35.5℃であった。汚泥負荷は0.31 kgBOD/kgVSS・d (最大0.47 kg

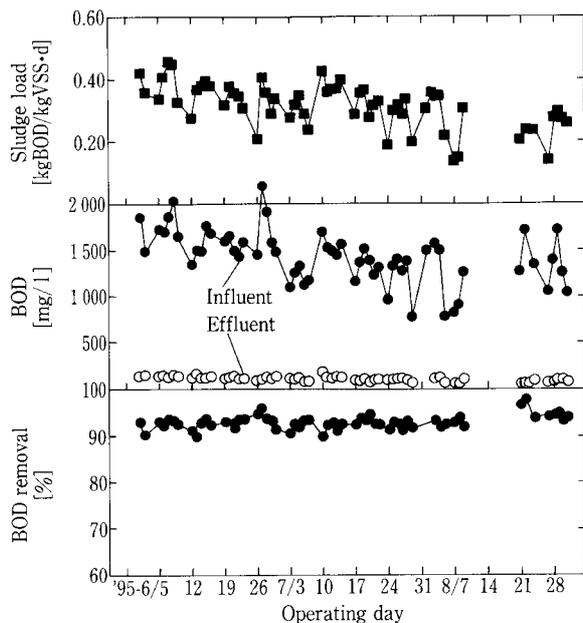
BOD/kgVSS・d)程度で運転され、リアクター流入原水BODは、1420 mg/l程度、SSは117 mg/l程度であった。なおリアクター流入原水は加圧浮上分離処理水のことである。これに対してリアクター処理水BODは104 mg/l、SSは135 mg/l程度で安定しており、ともに目標値200 mg/l以下の良好な水質が確認された。またBOD除去率も93%と極めて高い値が確認された。

リアクター内におけるグラニュール汚泥の増殖について、(1)式より除去BOD量当たりのグラニュール汚泥増殖量は0.032 kgSS/kg除去BODの値が確認された。除去CODcr量当たりに換算すると0.028 kgSS/kg除去CODcrであった。これは文献<sup>3)</sup>等で報告されている0.005～0.03 kgSS/kg除去CODcrと一致する値であり、分解された有機物は良好にグラニュール汚泥に転換されていると判断される。

除去BOD量当たりのグラニュール汚泥増殖量  
(kgSS/kg除去BOD)

$$= \frac{\text{リアクター内増殖グラニュール汚泥量} + \text{流出グラニュール汚泥量}(\text{kg})}{\text{BOD除去量}(\text{kg})}$$

……(1)



第2図 運転データ ('95年6月~8月)  
Fig. 2 Operation data for PANBIC-G reactor

第2表 PANBIC-G リアクター処理性能  
( '95年6月~8月の平均値)  
Table 2 Operating performance of PANBIC-G reactor

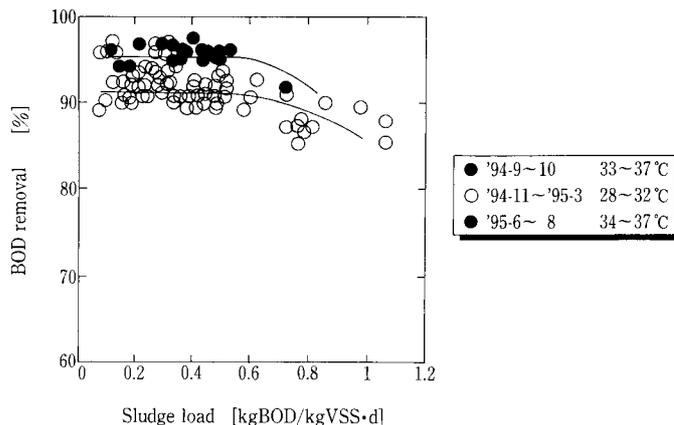
Item		
Reactor temperature.		35.5°C
Reactor pH		7.2
Sludge load (BOD/VSS)		0.31kg/kg·d
BOD	Influent	1420mg/l
	Effluent	104mg/l
SS	Influent	117mg/l
	Effluent	135mg/l
BOD	removal	93%

また活性汚泥処理設備については、原水及び浮上分離スカムが流入しBOD容積負荷1.0~1.5 kg/m<sup>3</sup>·d程度で運転されており、処理水はBOD, SSともに20 mg/l程度の良好な水質を維持している。よって放流水としては下水道放流基準値を十分に満足しているといえる。

#### 4.2 最適運転条件

汚泥負荷とはリアクター内汚泥量当たりの流入有機物量のことであり、リアクターの負荷設定において重要な管理指標である。通常汚泥負荷は水質悪化を生じさせないように低く設定されるが、その許容値は廃水の種類及びリアクター内温度によって異なるため実際に実運転で確認していく必要がある。

第3図に本ビール工場廃水における汚泥負荷とBOD除



第3図 汚泥負荷とBOD除去率の関係  
Fig. 3 Relationship between Sludge load and BOD removal

去率の関係を示す。なおこの関係は、運転期間によってリアクター温度が異なるために1994年9月~10月, 1994年11月~1995年3月及び1995年6月~8月の3期間で評価した。汚泥負荷0.6 kgBOD/kgVSS·d以下ではBOD除去率90~97%の高い値を維持しているが、0.7 kgBOD/kgVSS·d以上になると次第に低下することが確認された。

またBOD除去率はリアクター温度にも影響を受け、原水温度が高い6月~10月はリアクター温度が28~32°Cとなり、11月~3月の28~32°Cに比べてBOD除去率は高くなるということが判明した。これは文献<sup>4)</sup>等で報告されているように菌体の最適温度(35~37°C)に近づくことで分解活性が高まったためと考えられる。

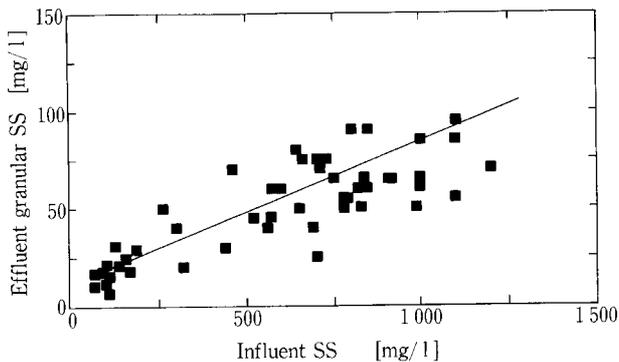
従って本ビール工場排水の場合は汚泥負荷を0.6 kgBOD/kgVSS·d以下、リアクター温度28°C以上で運転管理すれば安定した処理性能が得られることが確認された。

#### 4.3 原水SSがリアクター汚泥保持に与える影響

一般にUASBリアクターは、原水中のSS濃度が高いとリアクター内汚泥の安定保持が困難といわれており<sup>3)</sup>、そのSS濃度も原水条件、リアクター条件等によって異なっている。本工場のGリアクターにおいても運転当初、原水SSが高いとグラニューール汚泥の流出量が多くなりリアクター内保持能力が低下することが確認された。これは原水SSが多いとグラニューール汚泥表面にSSが付着し、その結果汚泥と発生ガスの脱離不良を起こすためと考えられた。そこで次に本ビール工場排水における許容流入原水SS濃度を評価した。

第4図にリアクター流入原水SSと流出グラニューールSSの関係を示す。流入原水SSと流出グラニューールSSには(2)式の関係が得られた。

$$\text{流出グラニューールSS (mg/l)} = 0.07 \times \text{流入原水SS (mg/l)} + 13 \dots\dots(2)$$



第4図 リアクター流入原水SSと流出グラニュールSSの関係  
Fig. 4 Relationship between influent SS and effluent granular SS

ここで流出グラニュールSSがリアクター内増殖SSを越えない条件であればリアクター内汚泥量は減少しないと考えると、許容流出グラニュールSSは(3)式より42 mg/lとなる。よって(2)式より許容流入原水SSは414 mg/lであることが確認された。なお本工場の場合、リアクター処理水を直接下水道放流することを考慮して流入原水SS 100~150 mg/lで運転されている。

$$\begin{aligned} \text{増殖グラニュール SS (mg/l)} \\ = \text{流入原水BOD } 1420\text{mg/l} \times \text{BOD除去率 } 0.93 \\ \times 0.032 \text{ kgSS/kg除去BOD} = 42 \text{ mg/l} \dots\dots(3) \end{aligned}$$

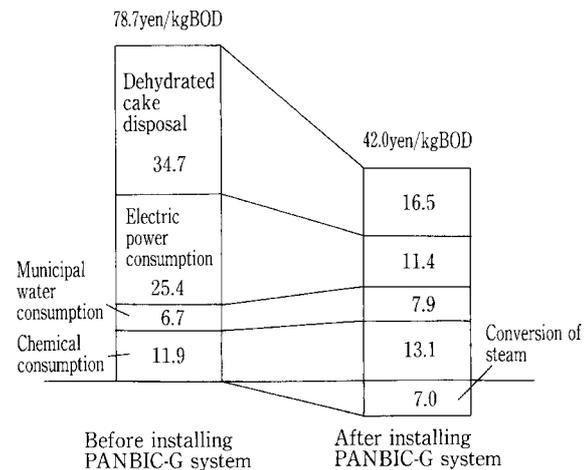
## 5. ランニングコスト

第5図にシステム導入前と導入後の流入BOD量当たりのランニングコスト(円/kg-BOD)の比較を示す。

Gシステムの導入でランニングコストの減少が確認されたのはケーキ処分費及び電力費である。特にケーキ処分費は嫌気導入による汚泥発生率の低下及び浮上分離スカムの好気処理による減量化により34.7円/kg-BODから16.5円/kg-BODとなり53%の減少が確認された。電力費も主に好気曝気電力の減少により25.4円/kg-BODから11.4円/kg-BODとなり55%の減少が確認された。また燃料費についてはメタンガスのスチーム燃料の発生により回収され7.0円/kg-BODがランニングコストの削減に寄与している。

しかし逆に薬品費は11.9円/kg-BODから13.1円/kg-BODに若干の増加がみられる。これはGリアクター流入水の中和用苛性ソーダの使用が原因である。

結果として設備ランニングコストは導入前78.7円/kg-BODに対し、導入後は42.0円/kg-BODとなり47%の減少を確認した。このように嫌気性処理設備の導入は、電力費及びケーキ処分費の減少、発生ガスによる熱源の回収によってランニングコストの削減が可能となり、よって極めて省エネ、省資源、廃棄物の低減に有効な処理設備であることが証明された。



第5図 ランニングコストの比較  
Fig. 5 Comparison of operating cost

## むすび

ビール工場排水へPANBIC-Gシステムを適用することにより次の成果が得られた。

1) PANBIC-Gリアクターは、汚泥負荷を0.31 kgBOD/kgVSS・dで運転した結果、処理水BOD 104 mg/l, SS 135 mg/lの安定した処理水質が得られ、下水道放流に対して問題ないことが確認された。またBOD除去率も93%の極めて高い値が得られ、除去BOD量当たりのグラニュール汚泥増殖量は0.032 kgSS/kg除去BODの値を得た。

2) 本ビール工場廃水においてBOD除去率90%以上の処理性能を得る条件は、汚泥負荷0.6 kgBOD/kgVSS・d以下、リアクター温度28℃以上であることが確認された。またリアクターの汚泥保持に影響を与える流水原水SSは414 mg/l以上であることも判明した。

3) ランニングコストはGシステム導入前78.7円/kg-BODに対し、導入後は電力費及びケーキ処分費の減少、発生ガスによる熱源の回収によって42.0円/kg-BODとなり、47%の減少が確認された。

前述よりPANBIC-Gシステムは処理性能に優れ、省エネルギーな処理設備であるといえ、今後も食品産業を中心にさらに普及していくことが予想される。今後の課題として、適用分野の拡大に伴ない、流入原水中の高いSSが汚泥保持に与える影響の解明、リアクターの高効率化等の検討が必要と考えられる。

## 【参考文献】

- 1) 吉川信, 山崎慎一: 神鋼パンテック技報, Vol. 37 No. 2 (1993) p. 36-41
- 2) 山崎慎一: 省エネルギー, Vol. 47 No. 9 (1995), p. 39-41
- 3) Grontmij Product Manual (1994)
- 4) Zehnderら: Arch Microbiol (1982) 132 p. 1~9