

# ビール工場廃水への PANBIC-H システムの適用

## Application of PANBIC-H System to Brewery Wastewater



(環)製品開発室 隅 晃彦  
Akihiko Sumi  
(環)水処理技術部水処理第1技術室 宮本 武  
Takeshi Miyamoto

当社は、UASB法の3倍のBOD負荷（当社比）に対応した、高負荷対応型嫌気性処理装置PANBIC-Hシステムを実用化した。同システムはこれまでに2つのビール工場に納入され、ビール総合廃水の処理に適用されている。良好な有機物除去能力を示しており、少なくともBOD容積負荷 $13 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ までの条件下でBOD除去率91%以上を達成できることを確認した。

SP has commercialized an anaerobic wastewater treatment system (PANBIC-H) that can cope with three-fold BOD load compared to our conventional UASB systems. The system was delivered to two breweries for treatment of general brewery wastewater. Their operating data up to date confirm high performance in removing organic matters, achieving BOD removal ratio of more than 91% with BOD volumetric load of  $13 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ .

### Key Words :

嫌気性処理	Anaerobic treatment
グラニュール	Granule
分離槽	Separation tank
高負荷	High rate
ビール廃水	Brewery wastewater

### まえがき

現代社会は地球温暖化、資源・エネルギー、廃棄物等様々な環境問題に直面しており、我が国においても、「循環型社会」の構築に向けて法規制や各種支援制度の充実が図られつつある。水処理の分野においても、省エネルギー、廃棄物の低減ないし再資源化等が重要課題となっている。

有機性廃水の処理では活性汚泥法を始めとする好気性処理が多く用いられて来たが、中～高濃度廃水の処理においては、現在嫌気性処理が主流となって

いる。これは、嫌気性処理が環境対策の面で数々の利点を持つため、我が国においては、食品工業を中心に100基以上の嫌気性処理設備が稼働している<sup>1)</sup>。いくつかの方式のうち、現在の主流は、UASB（上向流嫌気性スラッジブランケット）方式と呼ばれるものである。

嫌気性処理は、好気性処理と比べて次のような特長を持つ。

- ① 省廃棄物  
有機物は主にメタンガスと二酸化炭素に分解

され、菌体への転化が少なく余剰汚泥の発生量が小さい。

② 省エネルギー・創エネルギー

酸素を供給しないため曝気動力が不要である。また、発生したガスは燃料として利用できる。(CO<sub>2</sub>発生削減, 地球温暖化対策)

③ 省資源・省スペース

酸素移動の制約がないため高負荷処理が可能であり、装置がコンパクトになる。

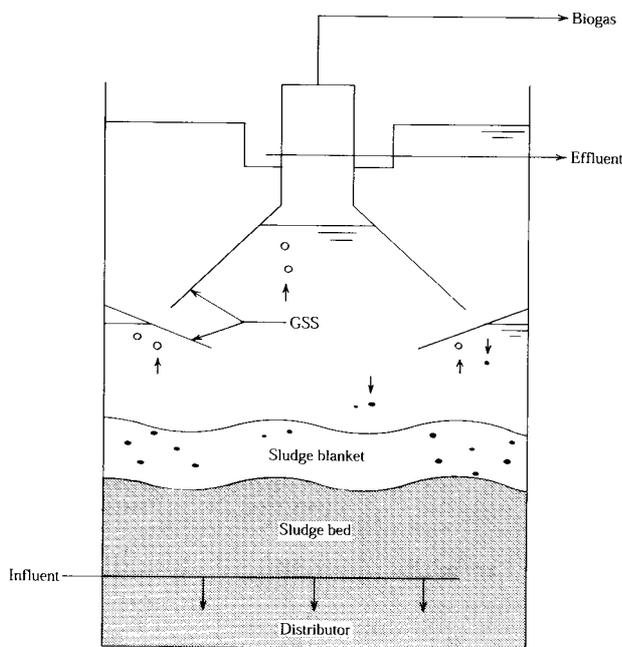
当社では嫌気性処理装置の更なる高性能化に取り組み、UASB方式の3倍(当社比)の有機物処理能力を持つ「PANBIC-H」システムの実用化に成功した。本報では、同システムの原理・特長について述べると共に、既に稼働中の2つの設備の事例を紹介する。

1. PANBIC-H システムの特長

1.1 従来方式(UASB法)の原理及び問題点

UASB法は嫌気性微生物を高濃度に保持できる優れた方式であるが、有機物除去反応の大部分は、全容積に対して1/3前後のスペースにて行われる。

UASB法の概念を第1図に示す。リアクターの下部には直径1~2mmの塊となった嫌気性微生物の粒子(以下グラニュールと呼ぶ)から成る層が



第1図 UASBリアクター概念図  
Fig. 1 Scheme of UASB reactor.

あり、原水中の有機物はここでメタンガスと二酸化炭素に分解される。

リアクターの上部には、発生ガスの捕集とグラニュールの流出防止の目的でGSS (Gas-Solid Separator)と呼ばれる気固分離装置が設置されている。GSS部分の占める容積はリアクター全体の40%前後にも達しており、グラニュールが高濃度に存在する部分の容積は1/3前後である。このことは、有機物除去反応の大部分がリアクターの1/3の容積で行われていることを意味している。従って、性能向上のためには残り2/3の容積を反応に有効活用することが重要となる。

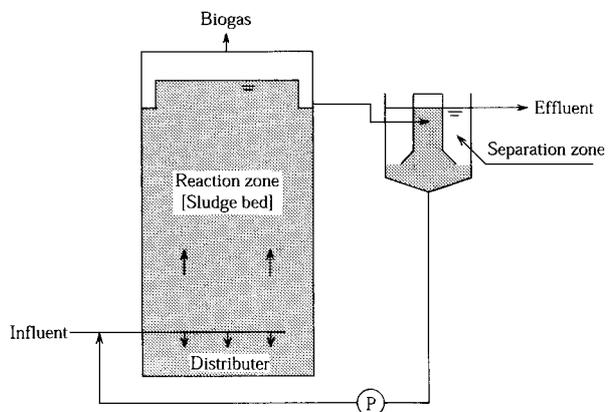
1.2 PANBIC-H システムの原理及び特長

ガスの付着していないグラニュールの沈降速度は、直径0.5~1mmのもので平均40m/hにも達する<sup>2)</sup>。一方、UASBリアクター内の水面積負荷は通常1~2m/h前後である。このことは、予め付着ガスを分離してやることにより、UASBリアクターよりはるかに小さい面積でグラニュールの沈降分離を行えることを示唆している。

PANBIC-Hシステム(以下Hシステム)の概念を第2図に示す。Hシステム主要部は嫌気リアクター、分離槽、汚泥返送手段の3者から構成されている。

HシステムはUASB方式と同様にグラニュールによりメタン発酵反応を行う装置であるが、リアクターにGSSは装備されておらず、次のようなプロセスで有機物の分解・ガスの捕集・グラニュールの流出防止を行っている。

- ① 廃水はリアクター下部より導入され、グラニュール層を上向流で通過する。ここで有機物はメタ



第2図 PANBIC-Hシステム概念図  
Fig. 2 Scheme of PANBIC-H system

ンガスと二酸化炭素に分解される。

- ② 発生したガスはリアクター内を上昇し、リアクター上部で捕集され、ガス利用設備へ導かれる。
- ③ 有機物を除去された液はリアクター上部より流出する。この時グラニューールの一部は処理水と共に流出する。
- ④ 流出液中のグラニューールは後段の分離槽で沈降分離され、ポンプにてリアクターに返送される。

このような構成を採用したことにより、UASBと比較してHシステムでは次の通り大幅な能力アップが実現した。

- ① 高負荷への対応と装置のコンパクト化  
(全容積はUASBの1/3)
  - ・グラニューールの流出が許容されるのでリアクター上部には清澄部が不要であり、全体にグラニューールを展開させることが可能である。
  - ・あらかじめガスと分離された状態でグラニューールを高速で沈降分離するため、水面積負荷を削減できる。
  - ・分離機構の大幅小型化が達成される結果、微生物反応部がシステム全体に占める比率は拡大す

る。よって、容積当りの処理能力(容積負荷)の飛躍的向上が可能となる。

(微生物が50 000 mg/L以上の高濃度で保持されている部分は、UASBでは全体の30~40%程度に過ぎないが、Hシステムでは90%に達する)

② 省スペース化

(UASBの1/2以下)

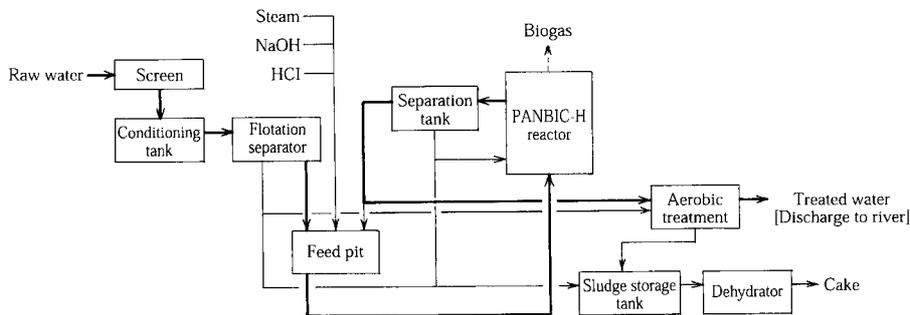
- ・装置そのものの小型化に加え、グラニューールの流出が許容されるためリアクターの水面積負荷を高く取れることから、槽を高くしてリアクターの設置面積を抑えることが可能である。
- ・分離槽も高い水面積負荷がとれるため省スペースとなる。

2. 適用例 1 銀河高原ビール(株) 殿納入設備

銀河高原ビール(株)那須ビール園殿(栃木県)へ納入したビール総合廃水処理設備について紹介する。

2.1 設備概要

写真1に設備の全景を示す。同工場は1999年度よ



第3図 設備フローシート(銀河高原ビール(株))  
Fig. 3 Schematic diagram of wastewater treatment (Ginga Kogen Beer)



写真1 PANBIC-Hシステム全景(銀河高原ビール(株))  
Photo.1 Outside view of PANBIC-H System (Ginga Kogen Beer)

第1表 設計条件及び運転結果(銀河高原ビール(株))  
Table 1 Design condition and operational results (Ginga Kogen Beer)

		Design condition	Operational results		
BOD volumetric loading rate	kg/m <sup>3</sup> ·d	13	7	10	13
BOD removal	%	85	96	96	96
Gas Production	Nm <sup>3</sup> /kg COD <sub>cr</sub>		0.35		

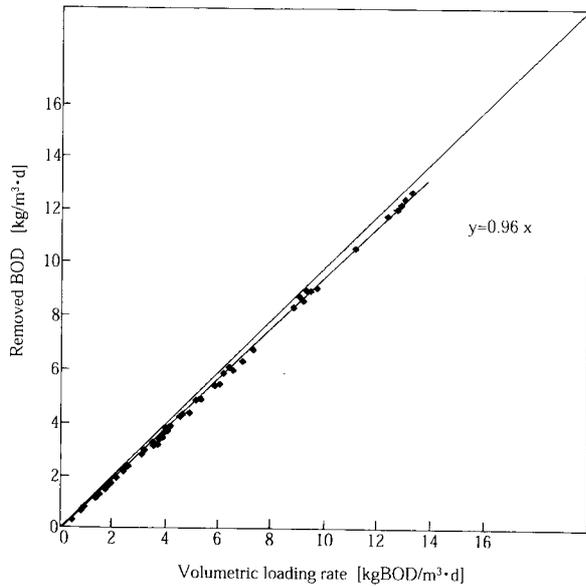
り本格稼働の始まった新工場であり、廃水処理設備の構成は

嫌気性処理+好気性処理→河川放流となっている。この内、当社は三機工業（株）殿を経由し、嫌気性処理の部分を受注した。

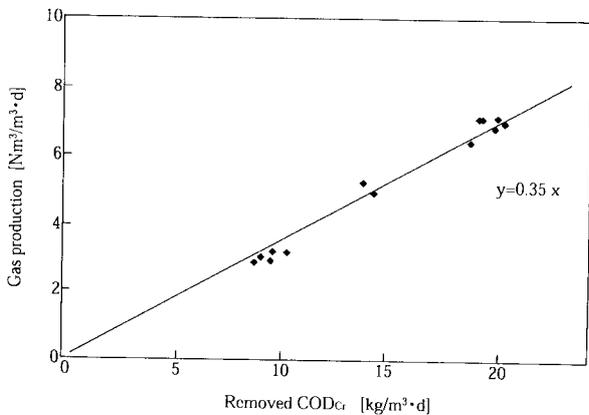
第3図に設備のフローシート、第1表に設計条件を示す。原水はスクリーン及び調整槽を経て処理プロセスへ送られる。各単位プロセスの機能は次のとおりである。

① 浮上分離装置

グラニュールを用いる廃水処理では流入SSに制限があるため、前処理としてSSを除去する。



第4図 BOD容積負荷と除去量の関係  
Fig. 4 Volumetric loading rate and removed BOD



第5図 COD<sub>cr</sub>除去量とガス発生量との関係  
Fig. 5 Removed COD<sub>cr</sub> and gas production

② 原水フィードピット

浮上処理水の加温、pH調整、嫌気処理水との混合を行う。

加温はスチームの注入にて行う。pH調整用として苛性ソーダ及び塩酸注入設備が設置されている。

③ 嫌気リアクター

原水中の有機物をメタンガスと二酸化炭素に分解する。鉄筋コンクリート製角型槽であり、設計処理能力（容積負荷）はリアクター容量に対して13 kg BOD/m<sup>3</sup>·dである。

④ 分離槽

リアクター流出液からグラニュールを分離する。容量はリアクターの1/10である。

⑤ 好気処理

嫌気処理水を好気処理し、河川放流可能レベルまでBODを除去する。

⑥ 脱水処理

余剰汚泥を脱水処理する。

2.2 運転結果

第1表及び第4、5図に嫌気性処理の運転結果を示す。

第4図はリアクター単位容積当りのBOD流入量（容積負荷）と除去量の関係を示したものである。設計値である13 kg BOD/m<sup>3</sup>·dまでの条件において、流入量と除去量はほぼ比例しており、



写真2 PANBIC-Hシステム全景（サッポロビール（株）新九州工場殿納入設備）  
Photo.2 Outside view of PANBIC-H System (SAPPORO BREWERIES)

$$\text{BOD 除去量 (kg)} = 0.96 \times \text{BOD 流入量 (kg)} \quad (1)$$

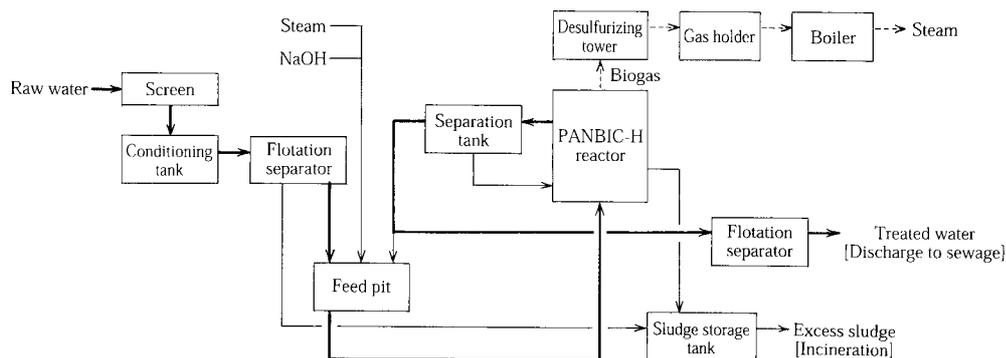
の関係がある。すなわち、この範囲において、BOD 除去率は96%であり、良好かつ安定した値を示している。COD<sub>cr</sub>についても、BODと同様95%以上の除去率が得られている。また、第4図において、BOD 負荷13 kg/m<sup>3</sup>・d 付近においても BOD 除去率の低下はなく、除去能力にはまだ余裕があると考え

られる。

第5図は COD<sub>cr</sub> 除去量とガス発生量の関係を示したものである。この図から、

$$\text{ガス発生量 (Nm}^3\text{)} = 0.35 \times \text{COD}_{\text{cr}} \text{ 除去量 (kg)} \quad (2)$$

の関係があることが判る。すなわち、除去 COD<sub>cr</sub> 量 1 kg 当り 0.35 Nm<sup>3</sup> のガスが発生している。



第6図 設備フローシート (サッポロビール(株)新九州工場)

Fig. 6 Schematic diagram of wastewater treatment (SAPPORO BREWERIES)

第2表 設計条件及び運転結果 (1) (サッポロビール(株)新九州工場)

Table 2 Design condition and operational results (1) (SAPPORO BREWERIES)

		Flow rate (m <sup>3</sup> /d)	BOD (mg/L)	SS (mg/L)
Design condition	Waste water	5 500	3 000	1 000
	Effluent to sewage		<300	<300
Operational Results	Waste water	2 100~3 000	1 520~2 500	382~1 600
	Influent to feed pit		1 050~1 670	151~394
	Effluent from separation tank		41~94	66~424
	Effluent to sewage		17~55	7

第3表 設計条件及び運転結果 (2) (サッポロビール(株)新九州工場)

Table 3 Design condition and operational results (2) (SAPPORO BREWERIES)

		BOD removal (%)	BOD volumetric loading rate (kg/m <sup>3</sup> ・d)
Design condition	Total (Wastewater-Effluent to sewage)	90	14.7
	Anaerobic process (Feed pit influent-Separation tank effluent)	90	
Operational Results	Total (Wastewater-Effluent to sewage)	96~99	2.3~4.8
	Anaerobic process (Feed pit influent-Separation tank effluent)	91~97	

この他、メタン発酵の指標となる残存 VFA（揮発性脂肪酸）濃度も常時30 mg/L 未満となっており、設計負荷においてもメタン発酵が良好に進行していると判断できる。

前述のとおり、少なくとも BOD 負荷13 kg/m<sup>3</sup>・d までの条件で H システムは良好な性能を発揮しており、また低負荷時と高負荷時で能力に差が見られないことから、処理能力にはまだ余裕があると考えられる。

なお嫌気処理水は後段で好気処理されており、放流水質は良好である。

### 3. 適用例 2 サッポロビール(株)新九州工場殿納入設備

続いて、サッポロビール(株)新九州工場殿へ納入した設備について紹介する。

#### 3.1 設備概要

設備の全景を写真 2 に示す。この工場も1999年度に稼動を開始した新工場である。処理対象は前記の例と同じくビール総合廃水で、設計処理水量は5500 m<sup>3</sup>/d となっている。

設備は嫌気性処理のみであり、H システムの処理水は直接下水道へ放流される。第 6 図に設備のフローシート、第 2、3 表に設計条件を示す。放流水質は、下水道の受入れ基準を満たす。

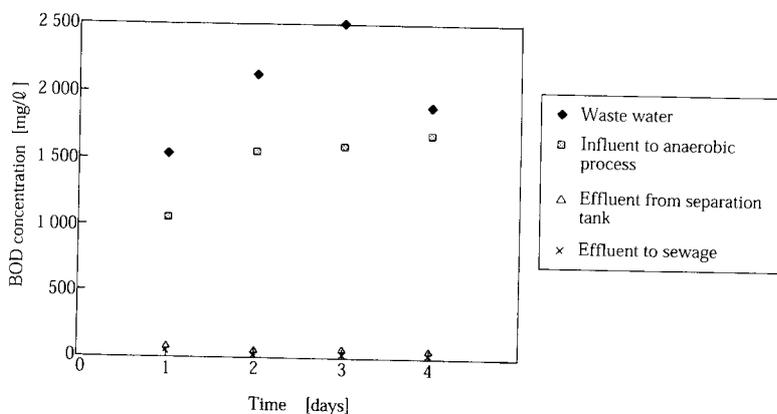
設備は次の単位プロセスから成り、①～④については前項と同様の機能を持つ。原水はスクリーンを経て調整槽に入り、均一化されて浮上分離装置へ送られる。

- ① 前処理浮上分離装置
- ② 原水フィードピット
- ③ 嫌気リアクター

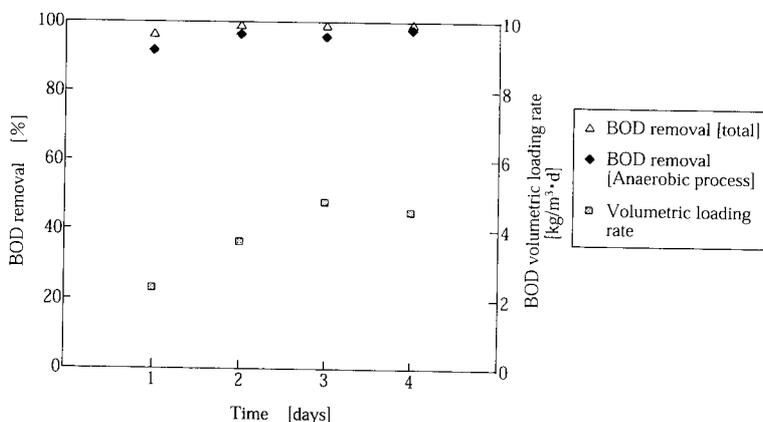
鋼板製円筒型で、設計処理能力は14445 kg BOD/d である。容積負荷はリアクター容量に対して14.7 kg/m<sup>3</sup>・d である。

- ④ 分離槽
- ⑤ 後処理浮上分離装置

嫌気処理水は直接下水道放流されており、常時 SS 放流基準を満足することが必須である。設計 SS 濃度を超える原水の流入、汚泥投入直後等の高 SS 時対策のため、仕上げ処理用とし



第 7 図 BOD 濃度の経時変化  
Fig. 7 BOD concentration



第 8 図 BOD 負荷及び除去率の経時変化  
Fig. 8 BOD loading rate and BOD removal

て設置した。

#### ⑥ ガス利用設備

発生ガスは脱硫塔にて硫化水素を除かれた後、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。

#### ⑦ 脱臭設備

### 3.2 運転結果

本工場は操業開始後間がないため、立上げ初期段階における性能確認データについて示す。

第2、3表に、運転条件及び結果を示す。また、第7図にBOD濃度、第8図にBOD容積負荷と除去率の経時変化を示す。

容積負荷 $4.8 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{d}$ までの条件において、嫌気プロセス入口・出口間（原水フィードピット入口と分離槽出口間）でのBOD除去率は91%以上と良好であった。処理水BOD濃度は $41 \sim 94 \text{ mg/L}$ であった。下水道放流基準は $<300 \text{ mg/L}$ であり、BODについては嫌気処理単独で十分に基準を満足するレベルの処理水が得られることが確認された。なお、調整槽入口と放流水（嫌気処理水を加圧浮上処理したもの）の間では、BOD除去率 $96 \sim 99\%$ 、放流水BOD濃度 $17 \sim 55 \text{ mg/L}$ と更に良好であった。またVFA（揮発性脂肪酸）についても常時不検出であった。

SSについては、同じ条件において放流水濃度は $7 \text{ mg/L}$ となっており、放流基準（ $<300 \text{ mg/L}$ ）を大きくクリアしていた。

また、ガス発生量は流入 $\text{COD}_{\text{Cr}}$   $1 \text{ kg}$  当り $0.33 \sim 0.39 \text{ Nm}^3$ 、発生ガス中のメタン濃度は80%であり、燃料として有効に活用される。

### むすび

高負荷対応型の嫌気性廃水処理装置PANBIC-Hシステムを2件のビール工場廃水に適用し、BOD容積負荷 $13 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ までの条件下で良好な有機物の除去とメタンガスへの転換を確認した。BOD除

去率は91%以上であった。

PANBIC-Hシステムは、所要動力が少ない、エネルギーが回収できる、余剰汚泥が少ないといった嫌気性処理の一般的な特長に加えて、次の利点を持つ。

① UASB法に比べ小型かつ構造がシンプルであり、イニシャルコスト及び製作時の資源消費量の面で有利となる。

② 装置の小型化に加えリアクター高さを大きくとれることにより、UASB法に比べ大幅に設置面積を削減できる。

今回実装置で良好な運転結果が得られたことで、Hシステムの有効性が確認された。

なお本システムについては、 $100 \text{ m}^3/\text{d}$ 規模のパイロット試験により、 $20 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{d}$ の負荷にも十分に対応可能なことが実証されている<sup>2)</sup>。紹介した設備はHシステムの納入1・2号機であるため余裕を大きく取った設計としているが、今回良好な処理能力を確認し、設計負荷においても能力に余裕が見られることから、今後は更に高負荷での適用を図って行く。

以上のように、PANBIC-Hシステムは、運転・製作の両側面において環境負荷を大幅に削減した、時代の要請に合致した優れた廃水処理装置であると自負する。今後とも同システムの普及拡大を図り、ユーザー各位にご満足いただける製品を提供し、かつ地球環境問題解決の一助となれるよう努める所存である。

最後に、PANBIC-Hシステムを導入いただきデータの採取にも多大なご協力を賜った銀河高原ビール(株)、三機工業(株)、そしてサッポロビール(株)の関係各位に、心よりお礼申し上げます。

#### [参考文献]

- 1) 造水技術, Vol.23, No.1 (1997), p.66
- 2) 加治正廣, 隅晃彦: 神鋼パンテック技報, Vol.41, No.1 (1997), p.9

#### 連絡先

隅	晃彦	環境装置事業部 製品開発室	宮本	武	環境装置事業部 水処理技術部 水処理第1技術室
		TEL 078-992-6532			TEL 078-232-8104
		FAX 078-992-6503			FAX 078-232-8056
		E-mail a.sumi@pantec.co.jp			E-mail t.miyamoto@pantec.co.jp