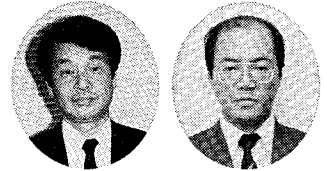


# ビール製造工場廃水における ABCシステムの適用

## Application of ABC System for Brewery wastewater Treatment



(環)水処理部 計画第3課  
山根 晋 吾  
Shingo Yamane  
榎本 啓 介  
Keisuke Enomoto

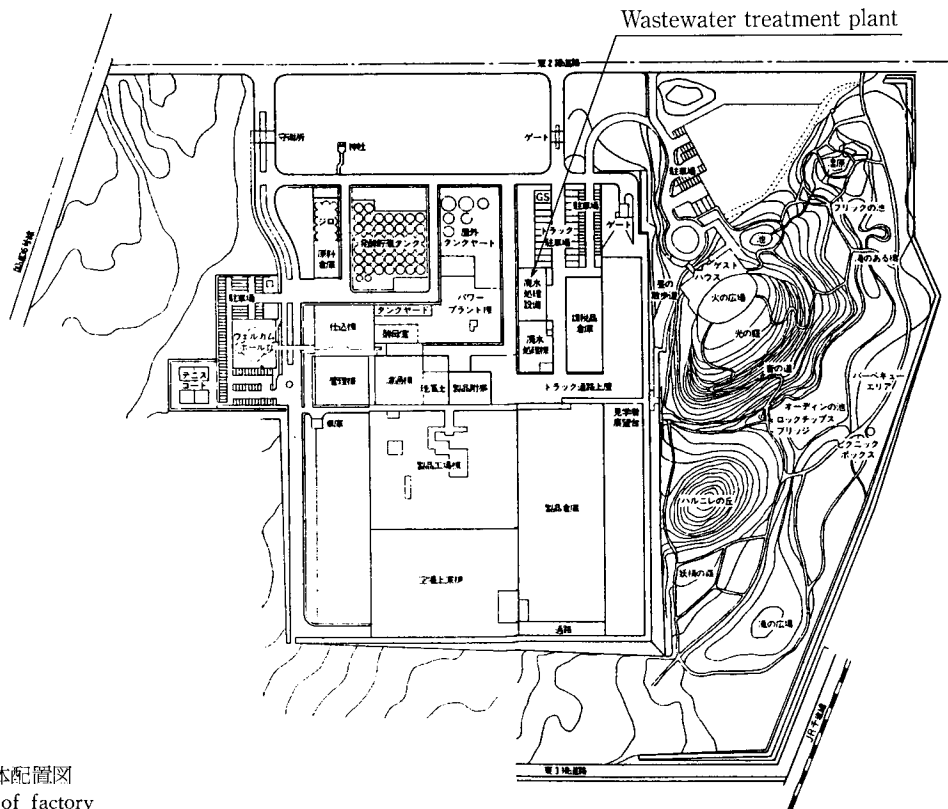
The Wastewater from a beer brewery contains a great amount of organic materials, which is usually treated aerobically mainly using the activated sludge process. Conversely, the anaerobic treatment process has been less popular due to its low efficiency and reliability, despite the advantages of generating methane fuel gas and producing less excess sludge. But in the past ten years, improvement in anaerobic process has been remarkably achieved by means of increasing the biomass volume in the reactors. Accordingly fixed bed anaerobic reactor, ABC System, is built in Hokkaido Brewery of Sapporo Breweries after the careful study of its reliability and economics. The treatment plant discharges the effluent directly to the sewerage.

### まえがき

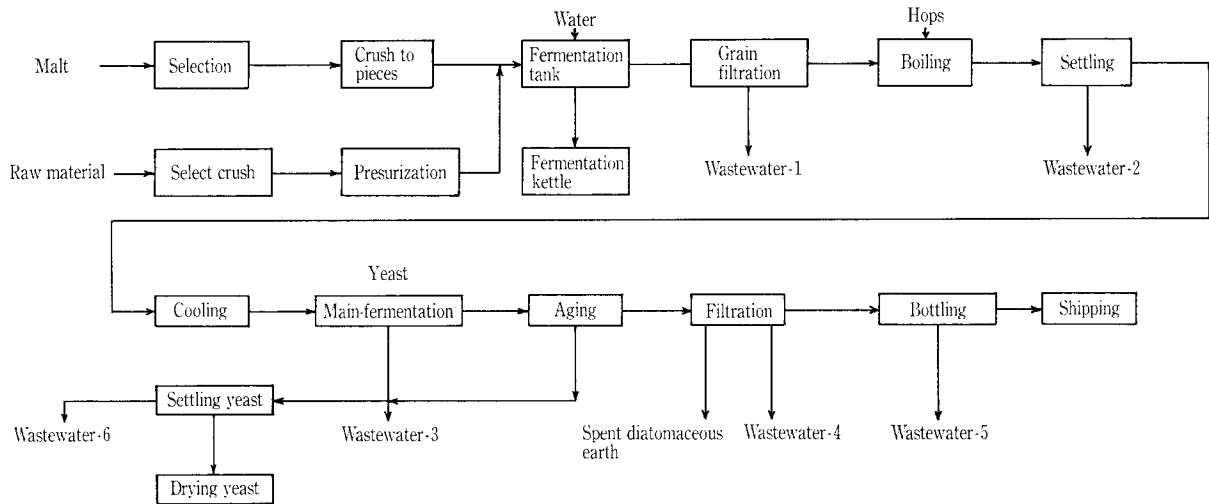
従来よりビール工場から排出される廃水は、主に活性汚泥法を中心とした好気性微生物を利用する方法で処理が行われている。しかし、1989年6月、最新鋭の技術を結集して誕生した、サッポロビール㈱北海道工場では、運転操作が容易で、省エネルギー、省コストが大幅に図れる固定床式嫌気処理装置（ABCシステム）が廃水処理に採用され、操業開始より順調に運転を継続している。本報告は、ABCシステムによるビール工場総合廃水の処理結果について紹介するものである。

### 1. 新工場の紹介

北の新天地北海道に官営、開拓使麦酒醸造所として明治9年に設立された、サッポロビール㈱札幌工場第一製造所は、「恵みの庭」の恵庭市に1989年6月に北海道工場として生まれかわった。新工場は、北の玄関口である千歳空港より車で15分のところに位置し、敷地面積 318 000 m<sup>2</sup>、年間ビール製造能力最終 151 000 kl（大瓶換算約 2.4 億本）の最新鋭工場である。企業庭園として、新工場の敷地内には約3万坪の「恵みの庭」が併設されており工場の機能だけでなく、地元市民、見学者とのコミュニケーションの場としての役割も備えている。第1図に工場全体図を示す。



第1図 工場全体配置図  
Fig. 1 Layout of factory



- ① Wastewater-1 spent grain wastewater      ③ Wastewater-3 tank wash wastewater      ⑤ Wastewater-5 hot, alkali, acid wash water, drain  
 ② Wastewater-2 hitztrub, kühltrub waste-water      ④ Wastewater-4 tank wash wastewater

第2図 ビール製造工程別排水系統図

Fig. 2 Wastewater discharge in brewing process.

## 2. ビール製造工程と廃水の種類

北海道工場の製造工程は、製麦工程を除く4工程からなり、各工程より廃水が排出される。第2図にビール製造工程と排水系統の関係を示す。

### 2.1 仕込工程(麦汁沝過, 熱麦汁沈静)

#### 1) 麦汁沝過(排水1)

大麦を発芽させてつくった麦芽を粉砕したものと、副原料(米, コーン・スターチなど)を温水と混合して仕込釜(80°C)でデンプン質を糖化(麦芽中の $\alpha$ -アミラーゼが糖化を促進させる。)する。これを仕込槽(50~60°C)で混合し、タンパク質はペプチドやアミノ酸に、デンプン質はデキストリンを経て麦芽糖に分解し、最適な麦汁をつくる。麦汁中の粕は沝過槽で分離する。沝液は一番麦汁といい、沝過槽内に残った麦粕中のエキス分を湯で洗いだしたものを二番麦汁という。この工程から排出される排水は、回収された麦粕の水分を下げるため、スクリュープレスで脱水することにより排出されるもので、これをモルトフィード廃液という。

#### 2) 熱麦汁沈静(排水2)

一番麦汁と二番麦汁とを煮沸釜に集め、ホップを加えて煮沸する。煮沸の目的は二番麦汁で薄められた麦汁を所定の濃度まで煮詰め、ホップの苦味成分や芳香を抽出し、酵素の破壊と殺菌することである。煮沸過程で生成した熱凝固物(ハイストループ)と麦汁を冷却したときに生成する冷凝固物(キュールトロープ)とがあり、これらは主として蛋白質でその他にタンニン、ホップ樹脂なども含んでいる。これらの凝固物、特に冷凝固物は、ビールの熟成を速め味を良くするためには完全に除去する必要がある。この工程の排水はそのために沈静分離されたものである。

### 2.2 発酵, 貯酒工程(排水3)

#### 1) 主発酵

7~9°Cに冷却した麦汁にビール酵母を加えて発酵タンクに移す、酵母の作用で麦芽中の糖分をアルコールと炭酸ガスに分解させ6~12日間の発酵で若ビールを生み出す。酵母は発酵の末期に発酵タンク底部に沈殿する。

#### 2) 後発酵

若ビールを0°C位の貯蔵タンクの中で約2ヶ月間熟成して、発酵性のエキス分を完全に発酵させ、発生した炭酸ガスを必要量溶け込ませて洗練された香味のビールとするとともに、残存酵母や析出物を洗降分離してビールの沝過を容易にする。この工程からの排水は、発酵タンクをアルカリおよび酸で洗浄する際に排出される。

### 2.3 沝過工程(排出4)

ビール中に懸濁している酵母やビール混濁の原因となるタンパク質などの不安定コロイドを除去、透きとおった琥珀色のビールを作る。本工程からの廃水は一次および二次沝過タンク洗浄水、アルカリ・酸排水が主体で、他に沝過機洗浄排水からのケイソウ土などの沝材と酵母のような固形物を含有する。

### 2.4 酵母処理工程(排水5)

発酵過程で沈降分離された酵母のうち余剰となったものは乾燥し、家畜飼料などに有効利用される。この工程から排出される廃水は、酵母洗浄廃水や雑廃水で一般に固形物は少ない。

## 3. ABCシステムの導入

### 3.1 処理方式の決定

新工場の廃水処理方法を検討する中で、下水道放流規準に適合させるという見地より、かねて現地で行った嫌気性処理テストの結果が良好であったことと、次頁に示す比較検討表に基づき従来法の活性汚泥法に比べメリットが高く評価されたので、ABCシステムの導入となった。(写真1)

項目	処理方式	
	(1) ABC処理	(2) 活性汚泥処理
計画条件	廃水量 : 4 300 m <sup>3</sup> /d BOD : 1 500 mg/ℓ	
建築面積比率	1	1.7
設備費比率	1	1.3
BOD除去率	80 %	96 %
ランニングコスト		
1) 電力費	79 000 月/日	129 000 月/日
2) 薬品費	67 000 〃	20 000 〃
3) 蒸気費	34 000 〃	0 〃
4) 汚泥処分費	14 000 〃	70 000 〃
5) メタン発生額	△65 000 (重油換算)	0
合計	129 000円/日	219 000円/日
臭 気	嫌気部分は密閉構造で臭気の問題はない。	やや不快臭を伴うことがあるが、全体的には臭気が問題となることはない。
騒 音	騒音発生が少なく対策が容易	ブロワーなどが多く防音対策が必要
運転の容易性		
1) 負荷変動	負荷変動と定期修理時のシャットダウンに対し処理が安定	負荷変動には比較的敏感
2) バルキング	全く発生しない。	避け難い。
3) 運転のパラメータ	ガス発生量, pH, 温度など管理要素が少ない。	DO, pH, MLSS, SVIなど管理要素が多岐にわたる。
4) 立上げ(馴養)	1~2カ月必要	比較的短期間で立上げ可能
維持管理	回転機器類が少なく、また汚泥発生量も少ないため、メンテナンス費、運転管理費が安い。	回転機器類が多く、メンテナンス費や運転管理費が高くなる。

### 3.2 処理設備の計画基準

工場から排出される廃水は3系統に分かれて処理設備に流入する。すなわち第3図に示すように①廃棄ケイソウ土の沈殿濃縮上澄水、②モルトフィード廃水の脱水脱離液と、③その他の総合廃水を合流させて処理原水とする。計

画処理量は4 300 m<sup>3</sup>/d で第1表に 廃水および処理水の性状を示す。

### 3.3 設備概要

廃水処理設備は第3図に示すように、最初沈殿槽、スクリーンで廃水中の夾雑物、SSを除去し、調整槽で水質の均一化を行う。しかし、モルトフィード廃液、廃棄ケイソウ土は別途にSS分を分離除去後に最初沈殿槽へ流入する。次に廃水は中和槽、熱交換器でpH調整と熱交換をした後、ABリアクターへ送水される。

ABCシステムの中核となるABリアクターは密閉構造で槽内にメディアが充填されており、底部から流入した廃水は充填材表面に形成された微生物と接触し、槽内を上昇し、有機物がメタンおよび炭酸ガスに分解される。処理水はABリアクター内の上部のトラフを越流し、サージタンクでガスを分離した後、循環ポンプによりその一部をリアクターへ返送し、リアクター内の上向流速を確保する。ABリアクターの流出水中のSSは、加圧浮上装置で浮上分離し、放流される。

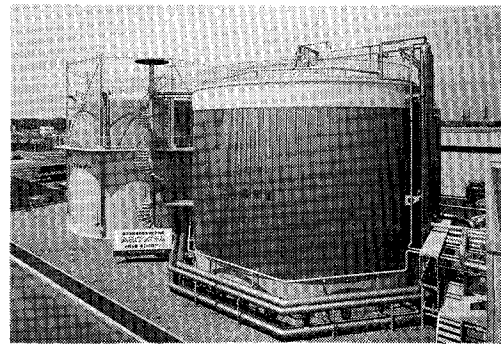
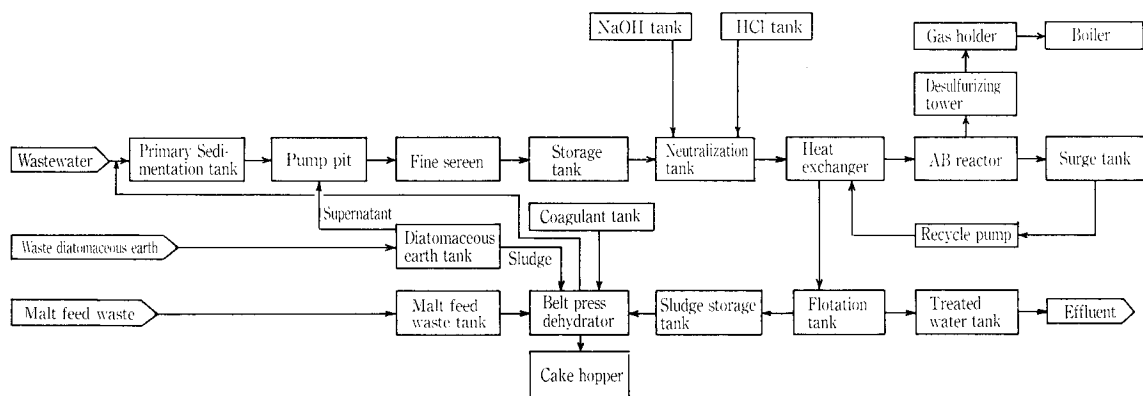


写真1 ABCシステム全景  
Photo.1 ABC System

第1表 原水および処理水の水质 (設計値)

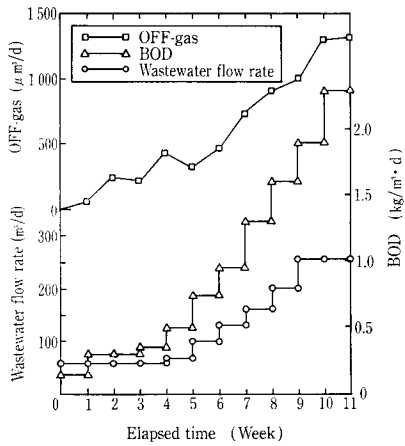
Table 1 Quality of wastewater and treated water (Design bases)

Quality	Wastewater	Treated water
pH	—	6 ~ 8
SS	mg/ℓ 500	<300
BOD	mg/ℓ 1 500	<300
TOD	mg/ℓ 2 200	



第3図 廃水処理フローシート

Fig. 3 Schematic diagram of wastewater treatment



第4図 馴養運転期間中のガス発生量  
Fig. 4 Gas generation in acclimating operation.

ABリアクターで発生したガスは脱硫塔でガス中の硫化水素を除去しガスホルダーに貯留され、工場ボイラの燃料として有効利用される。尚、余剰ガスは自動的に余剰ガス燃焼装置で焼却される。

一方、固形物の処理は、廃棄ケイソウ土分離槽、モルトフィード廃液槽、脱水機で行われる。すなわちケイソウ土スラリーと加圧浮上装置で回収されたフロスおよびモルトフィード廃液はベルトプレス脱水機で脱水し、ケーキホッパに貯留する。

廃水処理設備の原水槽、汚泥貯槽や脱水機から発生する臭気はダクトで集め、次亜塩素酸ソーダとカ性ソーダによる薬品洗浄と活性炭吸着で脱臭される。

### 3.4 馴養運転

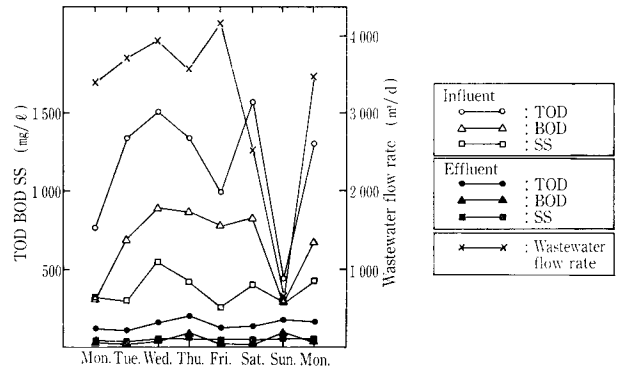
新工場は操業開始時からABリアクターには設計負荷量の廃水が流入し、それを所定の水質にまで処理をして放流する必要があった。嫌気性処理は好気性処理に比べて菌体の増殖速度が遅く、馴養に要する期間が好気性処理の2~3倍必要であるため廃水流入開始前から外部よりBOD源を添加し馴養を完了させた。汚泥の馴養はABリアクター内を窒素ガスでパージすることから始まり、加温、種汚泥の投入の後、外部BOD源として廃糖蜜を投入した。約10週間後に、当初の目標処理能力に達し、その後工場の廃水を受け入れた。第4図に馴養運転中の負荷量の増加とガス発生量の状態を示す。この間発生ガス中のメタンガス濃度は約70%であった。馴養運転の管理は、主に、ガス発生量とABリアクター内pH値により行った。

### 3.5 負荷運転

馴養運転終了後、製造廃水を全量受け入れて負荷運転に切り換えた。第5図に安定状態における8日間の処理結果を示す。廃水量および原水の濃度は、土、日曜日には大幅に低下するが、週日はほぼ一定であった。このために処理設備の負荷は、月曜日から金曜日にかけて増加し、土、日曜日に負荷が減少する傾向を繰返した。その間の最大負荷は日曜日の16倍にもなったが、処理水質は安定しており、BOD、SS共に100 mg/l以下であった。このことから嫌気性処理が好気性処理に比較して負荷変動に対しては非常に安定しているといえる。

## 4. 日常運転管理

日常の運転は管理指針に基づき、工場全体を管理してい



第5図 負荷運転水質分析結果  
Fig. 5 Performance at normal operation

る中央管理室において行われる。流入水量、pH、調整槽水位中和槽 pH、ABリアクター入口温度および pH、放流水CODおよびSSの自動測定結果、リアクターフィード量、ガス発生量、ガスホルダーレベルなどの管理上の重点項目は、管理室内ブラウン管にディスプレイ表示され、各設備の運転状態が把握できるようになっている。又、管理項目は全てコンピュータシステムにより自動記録され、一時間毎のデータは廃水処理運転管理日報としてプリントアウトされる。ABリアクター内のバイオマスコントロールは、発生ガスによる逆洗を定期的の実施し、適正汚泥量を保持している。

## 5. まとめ

ビール工場の新設に伴い、ABCシステムの導入から負荷運転までを紹介してきた。テストから4年余り、多くの人の手により建設され完成した本設備は、性能および運転管理の容易性についても目的を達したといえる。その結果、次の点が明らかになった。

- (1) 新工場に嫌気処理を導入し、操業開始より安定した処理機能を発揮するには、あらかじめ適切な外部BOD源を添加し馴養することが有効である。
- (2) 滞留時間が10時間程度でも、嫌気性処理は負荷変動に対して安定していることが確認された。
- (3) 負荷変動に対しては、週間変動において、16倍の差が生じても処理水質は定期的に安定していた。
- (4) ビール製造廃水処理を嫌気性処理する場合、廃棄ケイソウ土などの無機質や可溶化困難な麦粕、麦皮などは前処理において除去することが運転管理を容易にし、処理機能を安定させることになる。
- (5) 汚泥処理は廃棄ケイソウ土やモルトフィード廃液からの懸濁物が主で、嫌気性処理より発生する余剰汚泥は、処理BODの約3%であった。

## むすび

下水道放流規準に適合する廃水処理設備としての機能を十分に発揮しながら運転を継続しているが、今後とも運転を通して得られる技術を蓄積し、様々な応用および最適運転の確立を図っていきたい。

最後に、本稿の作成にあたり多大なご協力、ご支援を賜った、サッポロビール株式会社北海道工場エンジニアリングスタッフ大平靖之技師、宮田靖志技師ほか関係各位に深謝致します。