

(株)みすずコーポレーション殿向 汚泥減量型排水処理設備の納入事例

Wastewater Treatment Plant with Reduced Sludge
Production Installed for Misuzu Corporation



技術本部
水処理第三技術部
塩田 憲明
Noriaki Shiota
(農学博士)

当社は、(株)みすずコーポレーション本社工場殿向けに汚泥減量型排水処理設備を納入した。本設備は、流動床式生物膜リアクターと活性汚泥法、汚泥可溶化槽から構成される。納入後10カ月にわたる運転で、BOD除去率95%以上、処理水BODは20 mg/L以下に処理されている。余剰汚泥減量についても所定の減量効果がえられている。

This paper describes the operating results of a newly installed wastewater treatment plant (WWTP) with reduced sludge production for Misuzu Corporation at Nagano, Japan. The plant consists of an activated sludge bioreactor combined with moving bed biofilm reactor as well as thermophilic aerobic sludge digester. The operation of the WWTP was started in April 2006. Removal efficiency of influent BOD was more than 95%, resulting that the quality of effluent was less than 20 mg/L of BOD. It was observed that biological excess sludge was significantly reduced.

Key Words :

食品工場廃水
生物膜法
活性汚泥法
余剰汚泥
可溶化

Food industry wastewater
Biofilm process
Activated sludge process
Excess sludge
Solubilization

はじめに

(株)みすずコーポレーションは本社および工場を長野市中心部に位置し、凍り豆腐、および油揚げとその加工品を製造する食品メーカーである。全社あげて廃棄物のゼロエミッションに取組み、資源循環型工場を目指している。一方で、工場が市街地にあることから敷地の制約を受けるとともに、環境対策設備には近隣住民への配慮も求められている。

もともと同工場の排水処理は、表面式機械曝気機を備えたラグーン法を採用していた。広く浅い好気性酸化池が3池並んでおり、工場内でもかなりのスペースを取っていた。製造廃水には豆腐絞り汁など

の高濃度有機系廃水が含まれており、当社は、洗浄水などの低濃度廃水と分別して処理することを提案して1991年に固定床式嫌気処理装置(PANBIC-Fシステム)を納入した。廃水からのメタンガス回収とエネルギー再利用を実現する画期的な設備であった。その後、工場増設による廃水量の増加と2003年からの排水排出基準の見直しにともない、排水処理設備増強を検討した際に、高効率・省エネルギーを実現する流動床式高負荷嫌気処理装置(PANBIC-H)を納入した。これにより余剰汚泥発生量が導入前の約60%にまで減量され、ラグーン曝気動力に相当する電力費も40~50%削減された。

今回は、将来的な工場増設にともなう敷地有効利用とさらなる余剰汚泥削減を目的としてラグーンをより高効率・省スペースで環境に調和した設備に更新したいという要望にもとづき設備提案をおこなった。当社提案は客先ニーズを満足する以下の思想を基本とした。

- ① 廃水性状を考慮したプロセスの使い分け
- ② 従来より高効率なプロセス
- ③ 負荷変動時にプロセス切替え可能
- ④ 余剰汚泥の減量化

最終的に、これら思想に合致する製品として、加圧浮上装置、流動床式生物膜プロセス（パビオムバー）、高効率攪拌・曝気機（PABIO MIX, PABIO AERATOR）、汚泥減量化プロセス（エステプロセス[®]）を選定し、これらを組合わせた排水処理設備を納入するに至った。

1. 設備概要

1.1 プロセスの特長

図1に、既設設備を含む排水処理設備全体のフローシートを示す。大きく4つの処理工程に分けられる。

1) SS除去工程

SS除去設備は、既設のPANBIC-Fシステムの前処理を目的としており、加圧浮上装置と浮上スカム濃縮装置から成る。高濃度廃水のSSを浮上分離することにより固定床式リアクターの閉塞を防ぎ、リアクター逆洗の頻度を減らすことができる。分離した浮上スカム（SS）は豆腐くずやおからを主体とす

る有機物であり、これは別途設置されているメタン発酵設備で処理してメタンガスとしてエネルギー回収される。メタン発酵設備に投入するためには含水率90%程度まで濃縮する必要があったため、ポリマーで凝集させたスカムをドラムスクリーンで濃縮脱水する方式を採用している。

2) 嫌気性排水処理工程¹⁾

本工場では2種類の嫌気処理プロセスが採用されている。工場から排出される廃水のうち、高濃度廃水はPANBIC-Fシステム（設備名称；高濃度廃水処理設備）で、また同システムで処理した高濃度処理水と低濃度廃水とを合流させてPANBIC-Hシステム（設備名称；高効率廃水処理設備）で中間処理している（写真1a）。

PANBIC-Fシステムは、槽内に担体を充填した密閉型リアクターとサージタンク、脱硫塔、ガスホルダーで構成されている。リアクター底部から流入した原水は、充填材表面に付着した嫌気性微生物と接触し、有機物がメタンおよび炭酸ガスに分解される。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が除去され、ガスホルダーに一時貯留されたのち工場ボイラーの燃料として有効利用される。

一方、PANBIC-Hシステムは、高濃度微生物を自己造粒・懸濁させたグラニュールタイプの嫌気処理プロセスであり、リアクターと分離槽で構成されている。本システムは通常のUASB法とは異なりリアクター内の気固液分離スペースを極端に小さくし



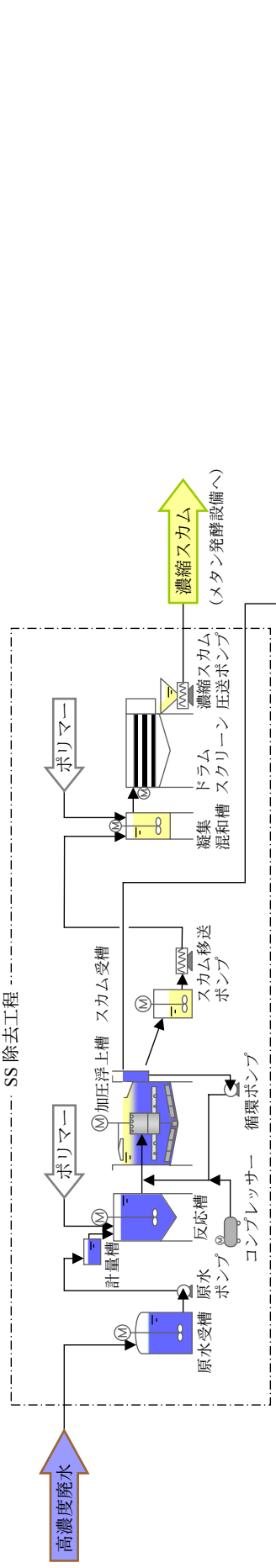
a) PANBIC-Fシステム（高濃度廃水処理設備）



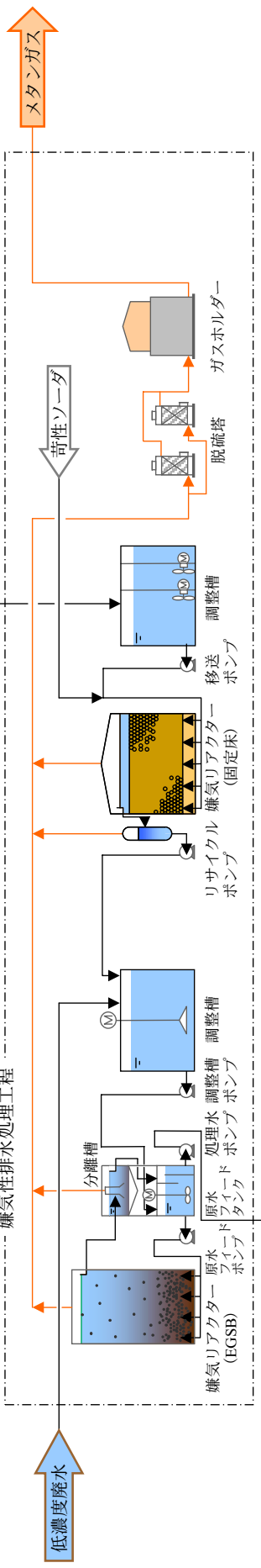
b) PANBIC-Hシステム（高効率廃水処理設備）

写真1 既設嫌気処理設備外観

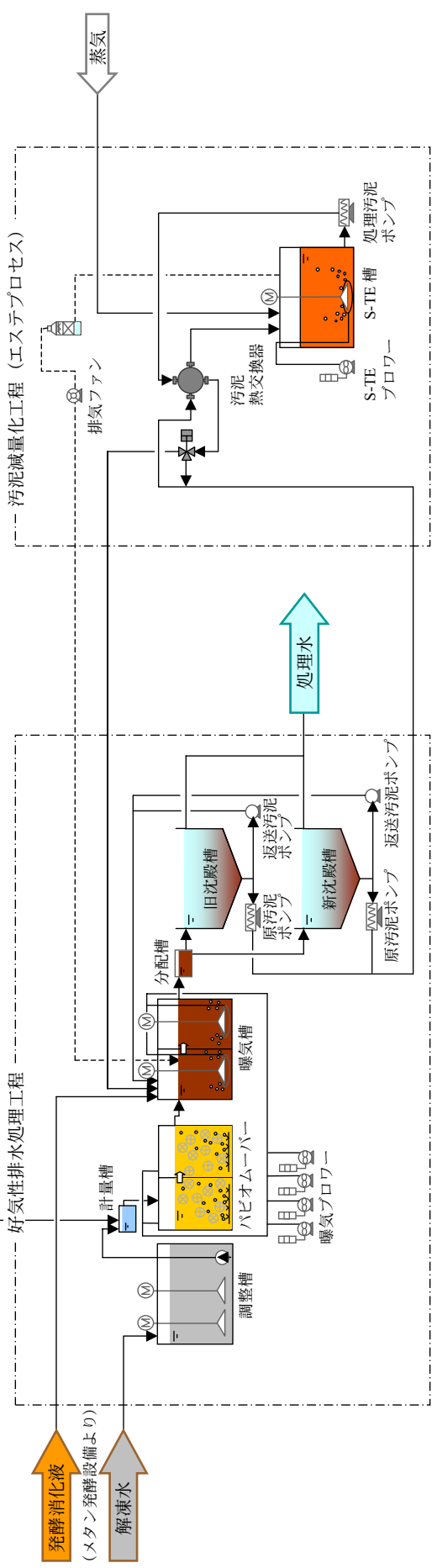
SS 除去工程



嫌気性排水処理工程



好気性排水処理工程



汚泥減量化工程 (エステプロセス)

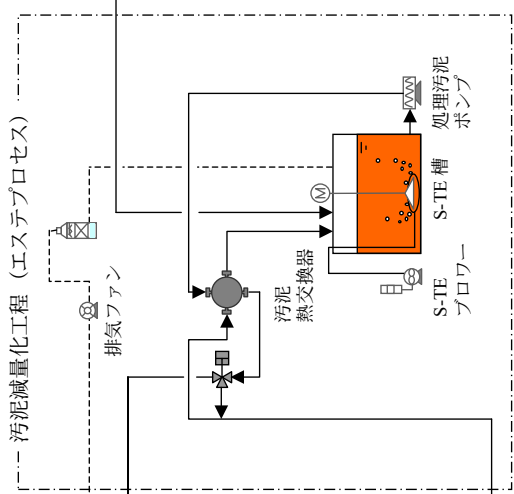
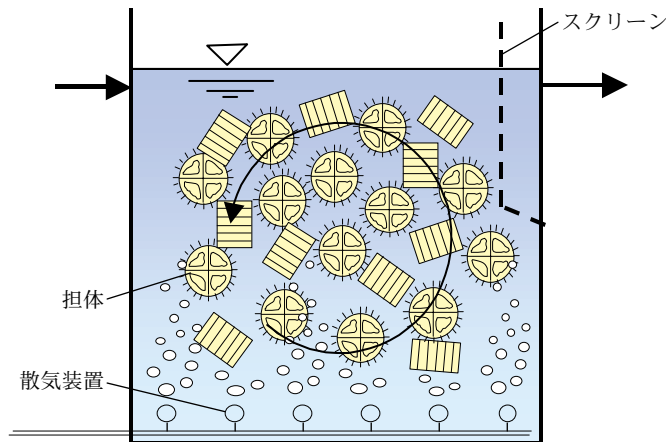


図1 排水処理設備フローシート (既設備を含む)



a) 好気リアクターの構造模式図
図2 流動床式生物膜プロセス



b) リアクター内部写真

て、リアクター全体を反応スペースとした、いわゆる膨張床 (EGSB) 式に分類される。リアクターがコンパクトになるため省スペースで、最大20 kg-BOD/m³・d という超高負荷運転も可能となる。リアクター底部から流入した原水が懸濁グラニュール層を通過する際に、有機物がメタンおよび炭酸ガスに分解される。グラニュールの一部は処理水とともにリアクター上部より流出するが、後段の分離槽で沈降分離させてリアクターに返送される。原水が比較的高濃度であり、発生メタンガス処理に既設設備が流用できることから、放流前の中間処理として本システムが採用されている。(写真1b)

3) 好気性排水処理工程

PANBIC-H システムからの処理水を放流可能なレベルまで仕上げ処理するために、パピオムーバーと曝気槽 (活性汚泥処理槽) を直列に配置する好気処理設備を設置した。

浮遊式の活性汚泥法と組み合わせることで、曝気槽の負荷変動調整能力が高まりパルキングの発生が抑制される。

パピオムーバーは以下のような特長を有している。²⁾

① 担体を用いた流動床式生物膜プロセス

特殊担体に有用微生物を大量に保持させており、担体の攪拌・流動により酸素溶解効率・反応効率を向上させる。担体に生物膜を固定化するため、汚泥管理 (返送汚泥の調整) や溶存酸素 (DO) の管理が不要である。

② 高効率処理が可能

担体に付着した生物が高密度に存在しており、また担体上の付着微生物は常に世代交代をしていることから、生物あたりの除去速度が高いことに

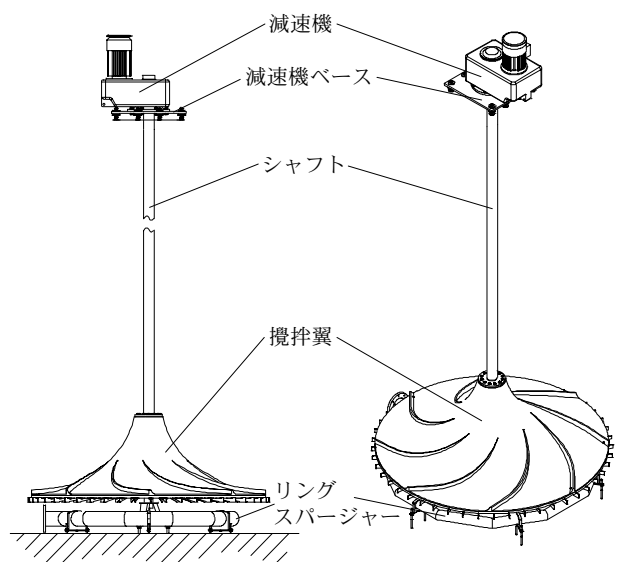


図3 PABIO AERATOR の構造図

より高負荷処理が可能である。

③ 逆洗操作が不要

担体が流動により常に洗浄状態にあるため、一定の厚みで生物膜相が維持され、付着過多による閉塞の心配がない。

また、図2にリアクター (以下、PABIO 槽とする) の構造模式図と内部写真を示す。

PABIO 槽では、比較的高い負荷で運転して浮遊性微生物を優占にして有機物のうちおもに溶解性有機物を荒取り・分解することを狙っている。一方、後段の曝気槽では残存する固形性有機物分解に寄与するフロック性微生物が優占となり、既設最終沈殿槽で容易に固液分離されたのち河川放流される。

曝気槽と後述する汚泥可溶化槽 (以下、S-TE 槽とする。) には、高効率型の PABIO AERATOR を採用している。図3に PABIO AERATOR の構造図

表1 設計条件
1-1) 排水処理設備

項目	単位	原 水			
		高効率 設備 処理水	冷凍ス クリー ン廃水	解凍水	メタン 発 酵 消化液
処理水量	m³/d (m³/h)	5 280 (230)	300 (12.5)	1 080 (45)	10 (0.4)
		混合原水として6 300			
水 温	℃	20—30			
pH	—	6.0—8.0			
BOD	mg/L	<330	<400	<600	<20 000
BOD 負荷量	kg/d	混合原水として<2 295			<200
T-N	mg/L	混合原水として <60			—
T-P	mg/L	混合原水として <8			—
SS	mg/L	<300	<20	<60	<15 000

を示す。特長は以下のとおり。

① 高い酸素移動効率

リングスパージャー（下部散気管）から供給される空気を攪拌翼下面の突起で微細化するため、少ない曝気動力で効率よく酸素を溶解できる。

② 高い攪拌能力

双曲面型の攪拌翼を槽底部付近で回転させるため十分な底部流速がえられ、沈降物の堆積が起こりにくい。

③ シンプルな構造でかつ軽量

駆動部、シャフト、攪拌翼のみで構成されており、構造が非常にシンプルである。攪拌翼はFRP製であり、総重量は最大翼径2 500 mm で200 kg程度と軽量である。

さらに、解凍水を貯留・調整するために調整槽を設けているが、この調整攪拌にはほぼ同じ構造でリングスパージャーがない攪拌機 PABIO MIX を採用して省動力化を図っている。

4) 汚泥減量化工程（エステプロセス[®]）^{3), 4)}

納入設備の特長の一つとして、余剰汚泥減量化プロセスとの組み合わせが挙げられる。本プロセスの原理は、S-TE 槽内で増殖する好熱性細菌（以下、好熱菌とする。）が分泌する酵素により余剰汚泥を溶解し、生物分解しやすい性状に変化させたのち、それを活性汚泥により分解・減量化するものである。S-TE 槽は60～65℃に加熱されており、槽内で好熱菌が増殖しやすいような運転条件を整えている。以下にその特長を示す。

① 維持管理が容易

ポンプ、プロワーなど汎用機器のみから構成さ

1-2) 汚泥可溶化装置

項目	単位	処 理 条 件	
		最 大	最 小
投入汚泥量	kg-DS/d	3 300	2 640
	m³/d	275	220
水 温	℃	20-30	
pH	—	6.0-8.0	
汚泥濃度	mg/L as SS	15 000	12 000
MLVSS/MLSS	—	1.0	0.8

1-3) SS 除去設備

項目	単位	原水（高濃度廃水）
受入水量	m³/d	675
処理水量	m³/h	最大30 最小10
水 温	℃	38-46
pH	—	4.5-5.0
BOD	mg/L	5 000-7 000
n-ヘキサン抽出物質	mg/L	10-20
SS	mg/L	最大1 200
		最小 700
		平均1 000

れている。温度と通気量は自動制御されるため、S-TE 槽への投入汚泥量の調整をおこなうのみで、運転管理が容易である。

② 運転経費が安価

必要なユーティリティは電気と蒸気のみであり、薬品類は使用しない環境に優しいプロセスである。最終沈殿槽から返送汚泥の一部として引き抜かれた生物余剰汚泥は、汚泥可溶化装置の S-TE 槽に投入・処理されたのち再び曝気槽に返送される。処理汚泥の熱は原汚泥との熱交換により回収され、加温エネルギーの節減をおこなう。

1.2 設計条件

表1に今回納入した汚泥減量型排水処理設備の設計条件を示す。

1.3 設備仕様

写真2に汚泥減量型排水処理設備の外観を、写真3にSS除去設備の外観を示す。

1.3.1 SS 除去設備

1) 加圧浮上装置

反 応 槽

基 数：1基

容 量：5 m³

材 質：SS400（内面 FRP ライニング）



a) 好気処理設備



b) 最終沈殿槽 (既設流用)

写真2 汚泥減量型排水処理設備外観



a) 加圧浮上装置



b) 浮上スカム濃縮装置

写真3 SS除去設備外観

加圧浮上槽

- 基 数：1基
- 浮上面積：6.2 m²
- 材 質：SS400 (内面 FRP ライニング)
- 付 属 機 器：原水ポンプ 2台
- 循環ポンプ 2台
- スカム移送ポンプ 1台
- 滞 留 槽 1基
- 原水受槽 1基
- スカム受槽 1基

2) 浮上スカム濃縮装置

- ドラムスクリーン
- 台 数：1
- 型 式：ウェッジワイヤスクリーン
- 処 理 量：最大 2 m³/h
- 材 質：SUS304

付 属 品：自動洗浄ユニット

- 付属機器：濃縮スカム圧送ポンプ 1台
- 凝集混和槽 1基

3) ポリマー注入装置

- ポリマー自動溶解機 1台
- ポリマーポンプ 4台

1. 3. 2 好気処理設備

1) 調 整 槽

- 基 数：2
- 容 量：705 m³ (1基あたり)
- 材 質：RC+防食ライニング

- 付属機器：調整槽ポンプ 2台
- 攪拌装置 (PABIO MIX[®]) 2台

2) PABIO 槽 (パビオムバー)

- 基 数：2
- 容 量：425 m³ (1基あたり)

材 質：RC+タールエポキシ塗装

設置機器：担 体 2式

曝気ブローワー 4台

計量槽 1基

3) 曝 気 槽

基 数：2

容 量：1 210 m³ (1基あたり)

材 質：RC

設置機器：散気装置 (PABIO AERATOR)

2台

分配槽 1基

4) 沈殿槽 (既設)

基 数：2

水 面 積：387 m² (1基あたり)

材 質：RC

設置機器：返送汚泥ポンプ 2台

1. 3. 3 汚泥可溶化装置

1) S-TE 槽

基 数：1

容 量：275 m³

材 質：RC

設置機器：原汚泥ポンプ 2台

処理汚泥ポンプ 2台

S-TE ブローワー 1台

排気ファン 2台

散気装置 (PABIO AERATOR)

1台

汚泥熱交換器 2台

消泡剤ユニット 1式

2. 運 転 状 況

今回納入した汚泥減量型排水処理設備は2006年2月より馴養運転を開始した。排水処理設備には段階的に負荷をかけたつ、3月からは汚泥可溶化装置の立ち上げもおこなって、最終的に4月中旬に性能確認をおこなったのち設備引渡しに至った。表2に試運転期間中の排水処理設備放流水質を示す。当初、工場休業日の低負荷運転による硝酸化進行とそれに引き続く沈殿槽での汚泥脱窒浮上の現象が見られたことで処理水SSの数値にばらつきがあったものの、期間を通じて放流基準は十分満足した。

的に負荷をかけたつ、3月からは汚泥可溶化装置の立ち上げもおこなって、最終的に4月中旬に性能確認をおこなったのち設備引渡しに至った。表2に試運転期間中の排水処理設備放流水質を示す。当初、工場休業日の低負荷運転による硝酸化進行とそれに引き続く沈殿槽での汚泥脱窒浮上の現象が見られたことで処理水SSの数値にばらつきがあったものの、期間を通じて放流基準は十分満足した。

図4に汚泥可溶化装置における汚泥可溶化率の推移を示す。汚泥可溶化率はS-TE槽の入口と出口での余剰汚泥MLVSSの除去率として表される。立ち上げから約1カ月経つと定常状態になり、汚泥可溶化率は計画値33%に対して40~50%で推移した。実際の余剰汚泥発生量も理論発生量にくらべて約70%減量されていることを確認している。

図5に納入設備のマテリアルバランスを示す。PABIO槽ではSSの除去がほとんどおこなわれないことから溶解性有機物(S-BOD)が優先的に分解されていると考える。残存する固形性有機物とS-TE処理汚泥は後段の曝気槽で分解され、原水BODに対する除去率は95%以上、処理水BODは20mg/L

表2 排水処理設備の処理水質

項 目	単 位	放 流 水	
		保証値	測定値(平均)
pH	—	—	7.3
BOD	mg/L	20	10.6
SS	mg/L	40	9
T-N	mg/L	—	9.5
T-P	mg/L	—	0.7
n-ヘキサン抽出物質	mg/L	—	4

対象期間：試運転期間中の2006/2/12から3/31まで

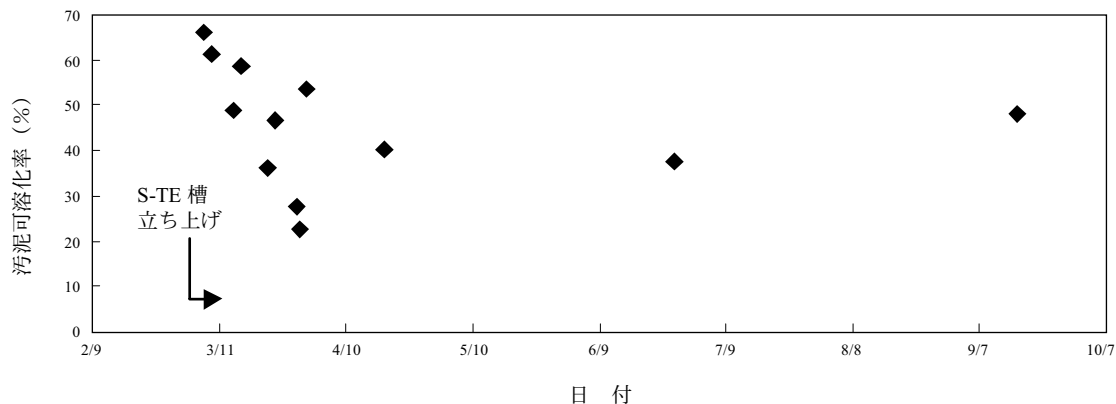


図4 汚泥可溶化率の推移

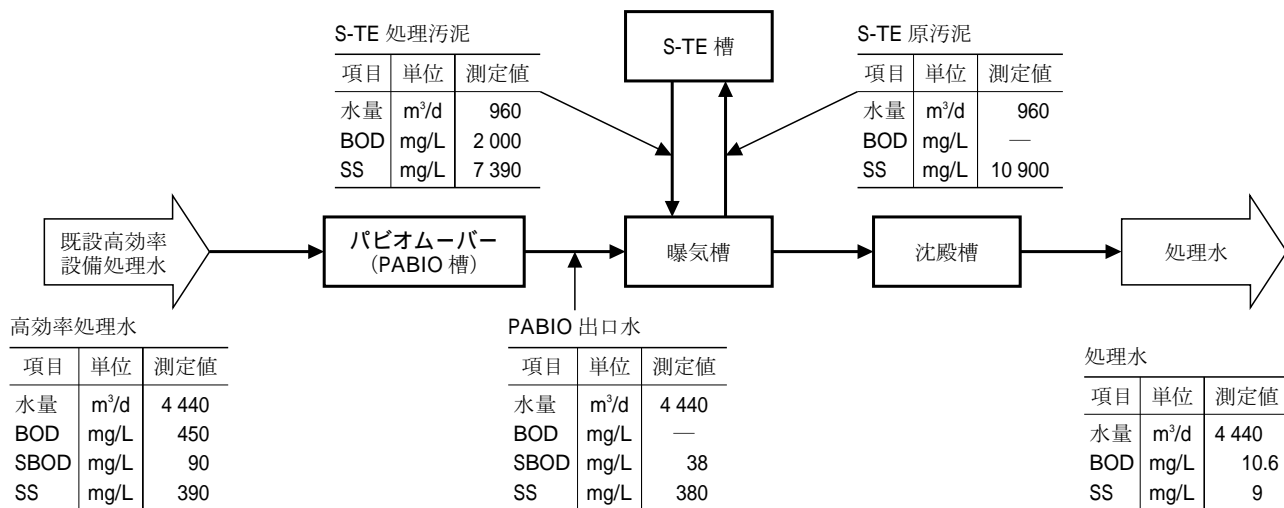


図5 納入設備のマテリアルバランス

以下に処理されている。原水 SS が設計条件を超えた場合に処理が不安定になることから、排出ポイントでの原水 SS 対策が今後の改善点と考える。

むすび

(株)みすずコーポレーション本社工場殿に納入した汚泥減量型排水処理設備について、その設備概要と運転状況を報告した。高負荷かつ短い反応時間で処理できるパピオムーバーと活性汚泥法を組み合わせることで既設ラグーン設備の半分の設置面積に収めることができ、空いた敷地を有効に活用していただけることとなった。また、エステプロセスの余剰汚泥減量化効果も現れており、顧客からも大いに評価いただいている。今後、既設設備を含めた工場廃水設備全体の運転最適化を図るべくさらなる改善提案をおこなっていききたい。

最後に、本設備を納入するにあたり、また本稿の執筆にあたりご協力をいただいた(株)みすずコーポレーションの関係各位に深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 稲森悠平, 宝月章彦, 田原邦彦: 食品工場排水の最適処理ハンドブック, (2002) pp.110-123, (株)サイエンスフォーラム
- 2) 川嶋淳: 微生物固定化法による水処理, (2000) 161-184, (株)エヌ・ティー・エス
- 3) N. Shiota, A. Akashi, and S. Hasegawa: A strategy in wastewater treatment process for significant reduction of excess sludge production. Wat. Sci. Tech., 45(12), (2002) 127-134
- 4) 塩田憲明: 産業機械, No.621 (2002) p.35-37