

三菱化学(株)黒崎事業所殿向 エステプロセス®の運転状況

Operating Report on S-TE Process®
delivered to Mitsubishi Chemical Corporation



(環)水処理本部技術部
塩田 憲 明
Noriaki Shiota
宮本 武
Takeshi Miyamoto

当社は、三菱化学(株)黒崎事業所殿向けに汚泥減量化設備(エステプロセス®)を納入した。本稿では、設備概要を紹介するとともに、2002年3月よりおこなっている実運転の状況を報告する。現状2槽あるリアクターのうち1槽のみの運転であるが、良好な処理能力を示しており、汚泥可溶化率は50%以上であることを確認している。また、システム全体での汚泥収支を取ったところ、汚泥減量化率は59%であった。

The S-TE PROCESS® is a novel wastewater treatment process with significantly reduced production of excess sludge. In March 2002, the first full-scale plant was started in Kurosaki plant of Mitsubishi Chemical Corporation, Japan. Although only one of the two reactors has been operated tentatively, more than 50% of the organic sludge has been solubilized by enzyme in a thermophilic sludge digester, S-TE reactor. At the 50% loading rate, the entire system has reduced the production of excess sludge by 59%.

Key Words :

好熱性細菌
余剰汚泥
可溶化
高温汚泥消化槽

Thermophilic Bacteria
Excess Sludge
Solubilization
Thermophilic Sludge Digester

まえがき

わが国における産業廃棄物の排出量は、ここ数年では約4億トンと横這い傾向にあるものの、その量は一向に減少する気配はない。産業廃棄物の排出量は家庭から排出される一般廃棄物の排出量の約8倍に達し、そのうちの約20%が最終処分として埋め立て処理されている。このままでは10年後には最終処分場の残余容量がゼロになるとの推算もあり、産業廃棄物の再利用、減量化が緊急の課題となっている。近年、多くの企業が「ゴミゼロ工場」「ゼロエ

ミッション」などを目標に掲げ、工場、事業所からの廃棄物の削減に取り組んでいる。

有機性排水の処理方法としては、効率面、経済性、環境的面から生物学的処理法が最良の方法と考えられている。その処理過程で余剰汚泥が必然的に発生し、これらは脱水後そのまま、あるいは焼却・減容したうえで陸地に埋め立てることで処理されてきた。しかし、近年、焼却に伴い発生する有害物質、埋め立て地確保の問題などにより、汚泥処理の問題がクローズアップされてきている。現状、余剰汚泥の農

地還元や建設資材化などのリサイクルに回る分は30%程度にとどまっている。嫌気消化によるエネルギー回収などの有効利用も検討されているものの、設備が大きくなるうえ、利用先や安定供給の問題などが残されている。このような問題を解決するために当社では、好熱性細菌（以下、好熱菌とする）をもちいた汚泥可溶化装置と活性汚泥法を組み合わせたまったく新しい余剰汚泥減量化プロセスを開発し、販売するに至っている¹⁾。

これまでに、石油化学工場など複数の民間工場排水を対象にパイロットスケール実証試験をおこない、余剰汚泥の完全減量化を達成している²⁾。このたび当社は、国内有数の化学メーカーである三菱化学(株)黒崎事業所殿より、当該排水処理設備から発生する余剰汚泥処理を目的とした汚泥減量化設備を民間向け第1号機として受注した。ここでは、その設備概要と運転状況を報告する。

1. エステプロセス®の原理

当社が開発した余剰汚泥減量化プロセスは従来の処理方法とは概念がまったく異なるものである。すなわち、排水処理設備から生じる余剰汚泥を汚泥可溶化槽（以下、S-TE槽とする）で処理したのち、曝気槽に返送して汚泥を分解・無機化するという水

処理・汚泥処理一体型の余剰汚泥減量型活性汚泥プロセスである。つまり、既存の活性汚泥処理設備に汚泥可溶化装置を付加するだけで余剰汚泥の減量化が達成できる。図1に本プロセスの基本フローを示す。

S-TE槽は高温好気条件に保たれ、そこで増殖する好熱菌の酵素の作用により余剰汚泥がBOD化され、生物分解性が高められる。つまり、可溶化処理によって余剰汚泥のフロックが解体されるとともに、汚泥が酵素によって溶解されて細胞内成分を溶出することが判明している³⁾。可溶化処理された余剰汚泥は曝気槽に返送され、そこで活性汚泥生物により分解・無機化される。余剰汚泥の発生がゼロになる最大の鍵は、可溶化された汚泥の曝気槽における無機化量と発生する余剰汚泥量とが等しくなるようにS-TE槽で処理する汚泥量を調整することである。通常、S-TE槽に投入した汚泥量の約3分の1が可溶化されたのちに曝気槽内で無機化されるため、減量すべき汚泥量の約3倍量をS-TE槽に投入すれば余剰汚泥をほぼ全量減量できることになる。S-TE槽は沈殿槽を持たないワン・スルー方式のため、活性汚泥法のような汚泥管理を必要とせず運転管理は極めて容易である。

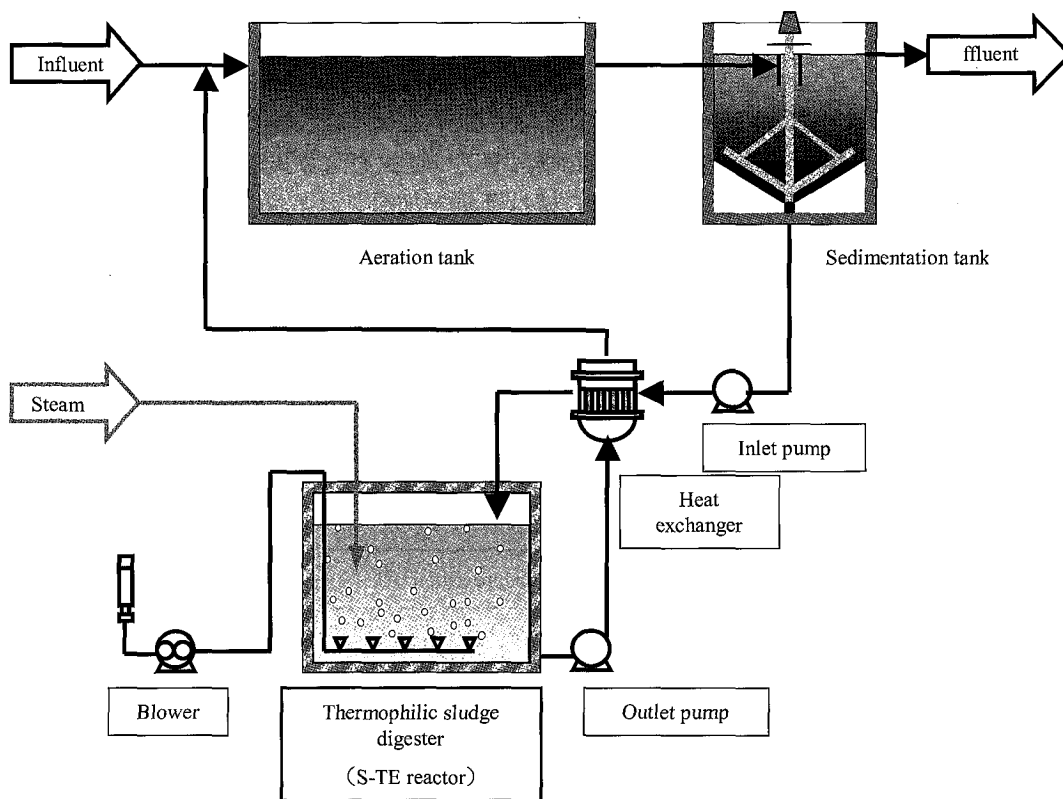


図 1 エステプロセス®の基本フロー

Fig.1 System flow of the simultaneous treatment of wastewater and excess sludge

本プロセスで使用する好熱菌は *Bacillus* 属に分類される病原性のない安全な細菌であり、当社が独自に汚泥コンポスト中から分離したものである。この細菌は微好気条件のもと60~70℃で活発に増殖し、強力な汚泥可溶化酵素を分泌して汚泥を溶解する。また、本菌は50℃以下では増殖せず、かつ、酵素も50℃以下では不活性であるため、曝気槽の活性汚泥に悪影響を及ぼすことはない。また、曝気槽内では一部胞子の状態で休眠するため死滅することなく、循環してS-TE槽に戻ってきた際に再度活性化されて汚泥の可溶化に寄与する。そのため、種菌の追加接種は原則的に不要である。以下に本プロセスの特長をまとめる。

①余剰汚泥の減量化

余剰汚泥の発生が大幅に減量化され、余剰汚泥の発生ゼロも可能である。

②汚泥処分費の削減

運転費が非常に安価であり、従来の脱水・搬出する処理方法にくらべて処分費が1/2~1/3になる。

③短期間の立上げ

好熱菌の増殖と汚泥可溶化酵素の生産に最適な装置設計をおこなうことにより、わずか1日で所定性能までの立ち上げが可能である。

④容易な維持管理

S-TE槽を60~70℃、微好気条件に保つ以外に面倒な維持・管理は一切不要である。

⑤環境調和型プロセス

薬品は一切使用せず、自然界に生存する安全な微生物を使用するため、環境に優しいプロセスである。

なお、本プロセスでは、S-TE槽からの可溶化液の返流により、曝気槽では20%程度の負荷(BOD, 窒素など)の上昇を考慮する必要がある。また、無機物を多く含む余剰汚泥は完全減量化を達成できない場合がある。上記の点に留意した上で活性汚泥法と組み合わせたトータルエンジニアリングをおこな

う必要がある。

2. 設備概要

本設備は、余剰汚泥の減量効果、経済的な運転、維持管理のしやすさなどが客先要求を満足し、汚泥処分費の低減を図れることから採用された。本設備を設計するに当たり、パイロットテスト機によるテストを1997年2月から6月にかけて実施し、テストデータをもとに最適設計をおこなった。

2.1 設計条件

処理対象：活性余剰汚泥

汚泥量：最大1500 m³/d, 最小1000 m³/d

汚泥濃度：最大15000 mg/L, 最小10000 mg/L

汚泥温度：最高37℃, 最低18℃

処理時間：24時間/d

2.2 処理能力

可溶化汚泥量：5000 kg-DS/d

(2500 kg-DS/槽/d)

2.3 フローシート

当該設備のブロックフローを図2に示す。

既設排水処理設備は標準活性汚泥法を採用しており、これに新たにS-TE槽を付加することにより汚泥減量化プロセスを構築している。まず原水は原水槽に入り、pH調整されたのち曝気槽に入り生物処理される。沈殿槽で固液分離されたのち処理水は海洋放流される。従来、排水処理で生じた余剰汚泥は沈殿槽から引き抜かれ、遠心脱水機によって脱水されたのち焼却処分されていた。

新しいフローでは、沈殿槽からの引抜汚泥がS-TE槽にポンプ圧送されて可溶化処理に供される。S-TE槽は蒸気で加温され、さらに適度の散気をおこなうことにより、高温・微好気条件下で運転される。可溶化処理液はポンプで既設曝気槽に返送されるが、その際S-TE槽に受け入れる低温汚泥と高温の処理液を熱交換することにより、エネルギー回収をおこなっている。汚泥減量化設備は、1槽あたりの処理能力2500 kg-DS/dを有する、完全に独立し

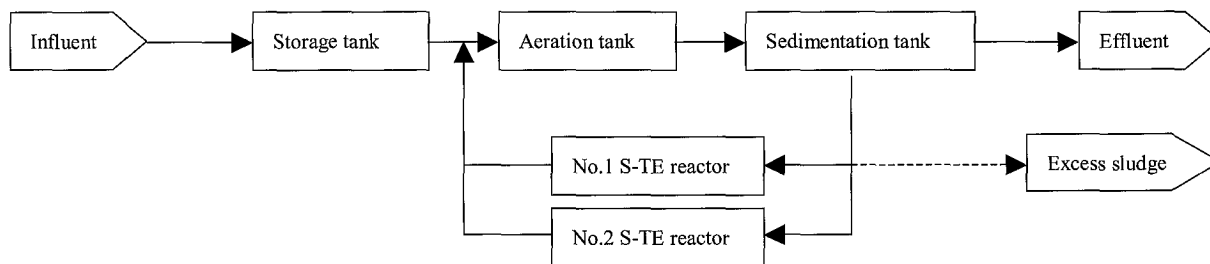


図 2 排水処理設備・汚泥減量化設備ブロックフロー
Fig.2 Block flow of the wastewater and the sludge treatment plant

た2系列のS-TE槽からなる。写真1に汚泥減量化設備の外観を示す。

2.4 設備仕様

2.4.1 排水処理設備（既設）

1) 原水槽

容量：1300 m³

2) 曝気槽

容量：12500 m³

散気方式：機械式表面曝気

3) 沈殿槽

容量：2500 m³

2.4.2 汚泥減量化設備（S-TE槽）

容量：1500 m³（750 m³×2槽）

材質：RC製

主要機器仕様

溶解処理液移送ポンプ	2台
汚泥循環ポンプ	2台
散気ブロワ	2台
排気ブロワ	2台
散気装置（微細気泡型）	2式
汚泥熱交換器（写真2）	2台
排ガス熱交換器	1台

3. 運転状況

3.1 運転計画

表1に計画した運転条件を示す。基本設定は既報のとおり、まず汚泥循環率を設定し、それに見合った汚泥量をS-TE槽に投入した。ここで汚泥循環率は、減量化設備導入前の余剰汚泥発生量に対するS-TE槽投入汚泥量（乾燥重量基準）の倍率と定義し、次式で示される。

$$\text{汚泥循環率} = Q_{S-TE} / Q_W$$

ここで、

Q_{S-TE} ：S-TE槽投入汚泥量（kg-DS/d）

Q_W ：導入前の余剰汚泥発生量（kg-DS/d）

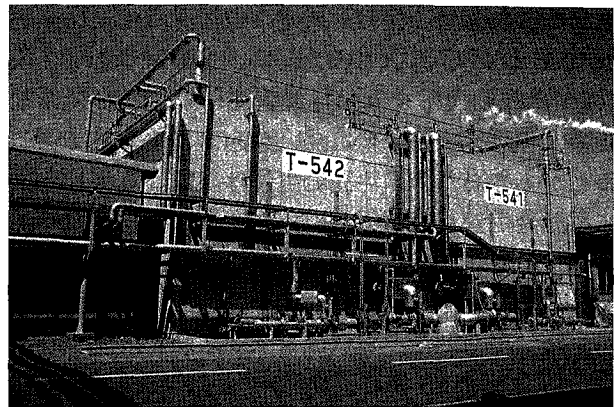


写真1 汚泥減量化設備の外観

Photo 1 Outside view of the S-TE reactor

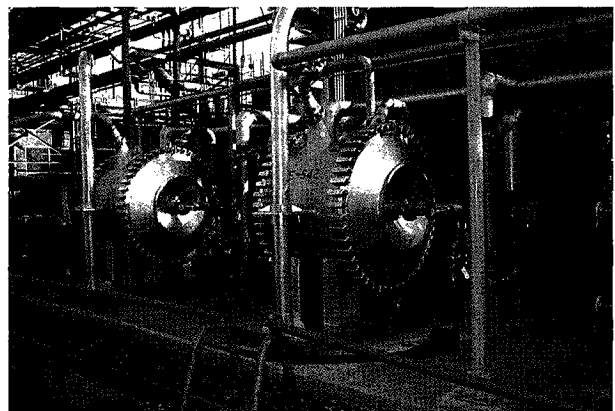


写真2 汚泥熱交換器の外観

Photo 2 Outside view of the heat exchanger

処理水質への影響を鑑み、投入汚泥量を段階的に増加させて汚泥循環率上昇させることとした。各RUNにおいて、所定の汚泥減量化をおこないつつ余剰汚泥を一部引き抜いて既設曝気槽MLSS濃度を6000 mg/L前後に保つ運転をおこなった。

各RUNにおける余剰汚泥の減量効果を確認するために、推定余剰汚泥発生量から汚泥減量化率を算

表1 運転条件

Table1 Scheduled operating conditions of S-TE reactor

RUN	Tank No. operated	Q_{S-TE} * (kg-DS/d)	Circulating ratio (-)	HRT (d)	% decomposition expected** (%)
1	No.1	4500	0.9	1.7	30
2	No.1	6000	1.2	1.25	40
3	No.1	7500	1.5	1.0	50
4	No.1+No.2	9000	0.9	1.7	60
5	No.1+No.2	12000	2.4	1.25	80
6	No.1+No.2	15000	3.0	1.0	100

* Q of the sludge injected to S-TE reactor.

**% of the excess sludge decomposed in the overall wastewater treatment plant.

出して評価した。なお、推定余剰汚泥発生量は、各 RUN における流入 TOC 量に、2001年度の流入 TOC-汚泥転換率を乗じた数値を採用した。運転期間中、既設曝気槽内 MLSS 濃度はほぼ一定に保つことができたため、汚泥発生量は次式で算出した。

$$\begin{aligned} \text{汚泥発生量} &= \text{余剰汚泥引抜量} + \text{放流 SS 量} \\ &= Q_{\text{ex}} \cdot X + Q_{\text{eff}} \cdot C_{\text{eff}} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、

- Q_{ex} : 余剰汚泥引抜流量 (m³/d)
- X : MLSS 濃度 (mg/L)
- Q_{eff} : 放流量 (m³/d)
- C_{eff} : 処理水 SS 濃度 (mg/L)

一般的な水質項目の分析は JIS K0102 に準じておこなった。

3.2 装置制御

投入汚泥は、既設沈殿槽から余剰汚泥受入ポンプを使って S-TE 槽に投入される。処理汚泥は、一定の槽内液位でオーバーフローしたものが全量曝気槽に返送される。また、投入汚泥は蒸気加温され、S-TE 槽内が 60~66℃ になるように自動調整されている。さらに、S-TE 槽上部には酸化還元電位計 (ORP 計) が設置されており、これを指標に通気量を調整して好気条件が保たれる。

3.3 運転状況

まず、運転開始当初には当社が分離・培養した好熱菌 (SPT2-1株) を種菌として投入する。これにより常在の好熱菌が少ない汚泥であっても、急速に装置を立ち上げることが可能となる。S-TE 槽への投入汚泥量、汚泥濃度についてはほぼ運転計画とおりとなった。

汚泥可溶化の指標として、可溶化処理前後の SS 除去率 (以下、汚泥可溶化率と称す) を算出した。図 3 に汚泥可溶化率の推移を示す。汚泥可溶化率は

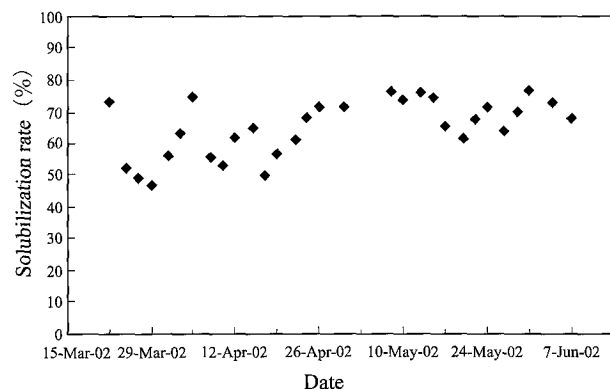


図 3 汚泥可溶化率の推移
Fig.3 Change of solubilization rate in the S-TE reactor

おおむね 50% 以上と高い数値を示し、所定の性能が発揮されていることがわかる。写真 3 に S-TE 槽での可溶化処理前後の汚泥の写真を示す。S-TE 槽内で投入汚泥のフロックが破壊され、可溶化にともない細胞内成分が漏出している様子が見られる。

試運転期間中において、余剰汚泥全量減量化の運転をおこなっていない期間は、所定の汚泥減量化運転をおこないつつ MLSS 濃度を 6000 mg/L 前後に保つように余剰汚泥の系外引き抜きも実施した。その期間の一例として RUN3 における汚泥収支を取ると以下ようになる。

- ①推定余剰汚泥発生量: 4170 kg-DS/d
(流入 TOC 量より算出した)
- ②余剰汚泥引抜量: 1520 kg-DS/d
- ③RUN3 の放流 SS 量: 180 kg-DS/d
- ④余剰汚泥発生量 = ② + ③ = 1700 kg-DS/d

曝気槽、沈殿槽を含めた排水処理設備系内に余剰汚泥の蓄積がないと仮定すると、汚泥減量化率は以下の計算でえられる。

$$\text{汚泥減量化率} = (\text{①} - \text{④}) / \text{①} = 59\%$$

現在、2 系列ある S-TE 槽のうち片側 (No.1 槽) のみの運転結果であるが、十分に減量化の効果が発揮されている。今後は余剰汚泥引抜量を段階的に減らすとともに、S-TE 槽投入汚泥量を増やした条件で運転を実施する計画である。

活性汚泥処理水の水質については、当初の想定どおり CODMn がやや高くなった。全 CODMn に占める溶解性 CODMn の割合が高く、通常は引抜汚泥とともに除去されていた難分解性物質が流出していることが考えられる。汚泥循環率を上昇させるにつれて SS 濃度も上昇した。いずれも処理数値にばらつきはあるものの、放流基準を越えることはなかつ

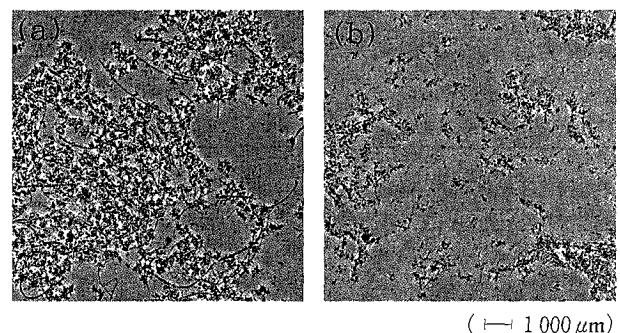


写真 3 可溶化処理前後の汚泥
(a) 可溶化処理前の汚泥
(b) 可溶化処理後の汚泥
Photo 3 Micrographs of sludge of:
(a) the undigested; and
(b) the digested

た。

む す び

三菱化学(株)黒崎事業所殿に納入したエステプロセス®の民間向け第1号機について、その設備概要と運転状況を報告した。これまでのところ高い汚泥可溶化率と余剰汚泥減量化効果が現れており順調に稼働している。今後、余剰汚泥の完全減量化運転を実施するとともに、既設排水処理設備を含めた設備全体の運転最適化を図っていく。

エステプロセス®は、すでに大手電気メーカーからも第2号機(日最大処理能力100 kg-DS)を受注し、試運転の段階に入っている。また、小規模下水処理場での実用運転を開始して1年以上になる⁴⁾。一方、当社から世界有数の水処理メーカーであるオンデオ・デグレモン社と、国内では日立金属(株)にライセンス技術供与している。このように、本プロセスは国内外を問わず高い評価を得た画期的な技術

である。本製品に対する顧客の関心は非常に高く、第1号機の成功をもとに今後の受注に結びつけたい。また、当社の食品廃棄物資源化システム PAMEDIS との組み合わせにより、新たな分野への技術展開を図る所存である。

最後に、エステプロセス®を導入いただき、また本稿執筆に当たりご協力を頂きました三菱化学(株)黒崎事業所、ならびに三菱化学エンジニアリング(株)の関係各位に深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 塩田憲明：産業機械，No.621 (2002) p.35-37
- 2) 塩田憲明ほか：環境技術，Vol.28, No.8 (1999) p.10-12
- 3) 長谷川進ほか：下水道協会誌 Vol.34, No.408 (1997) p.76-82
- 4) 日本下水道事業団，神鋼パンテック(株)：好気性好熱細菌による下水汚泥の減量化に関する共同研究報告書 Vol.44-001 (2000)

連絡先

塩田 憲明 環境装置事業部
(農学博士) 水処理本部
技術部

TEL 078 - 232 - 8104
FAX 078 - 232 - 8056
E-mail n.shiota@pantec.co.jp