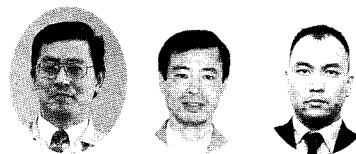


# S-TE PROCESS/返流水負荷低減の検討

## Study on improvement of effluent TOC from S-TE PROCESS



(技)研究開発部  
長 谷川 進  
Susumu Hasegawa  
赤 司 昭  
Akira Akashi  
塩 田 憲 明  
Noriaki Shiota

エステプロセスは既存の活性汚泥設備に好熱性細菌培養槽を付加するだけで余剰汚泥の発生をゼロにできる簡便なプロセスであるが、処理水質の値が上昇する傾向にある。

本稿では処理水質の上昇が好熱性細菌により可溶化された汚泥を既存の曝気槽に返流すること起因する曝気槽汚泥負荷の上昇に相関があることを明らかにし、その結果を基に処理水質向上策を提案し、室内実験によりその効果を確認した。

S-TE PROCESS decomposes the excess activated sludge generated from municipal and industrial wastewater treatment. The process is very simple, maintained easily and consume low operating cost. However the effluent TOC becomes higher (1.1~1.4 times) compared with that of a conventional activated sludge process. It is caused by increasing of TOC loading to the aeration tank due to the circulation TOC of solubilized sludge from S-TE reactor.

In this study we propose some methods to improve the effluent TOC from S-TE PROCESS. The remarkable improvement was obtained by increasing MLSS in the aeration tank and installing another aeration tank behind the S-TE reactor.

### Key Words :

好熱性細菌  
余剰汚泥  
可溶化  
活性汚泥法

Thermophilic bacteria  
Excess sludge  
Solubilization  
Activated sludge system

### まえがき

わが国における産業廃棄物排出量は、平成2年度までは年々増加の傾向にあったが、バブル崩壊に伴う経済活動の鈍化を背景に、ここ数年は約4億トンとほぼ横這いの傾向にある。減量化、リサイクル等により廃棄物の最終処分量の削減努力がなされているが、それでも20%に相当する約8千万トンが最

終処分として埋め立て処理されている。しかし、近年、最終処分場等の廃棄物処理施設の建設は、地域住民の反対などにより困難となってきており、施設の設置をめぐる地域紛争も、ここ10年間で200件を超える現状にある。<sup>1)</sup>

このような背景のもと、廃棄物減容の基本は廃棄物を出さないことであるとの観点から、近年、多く

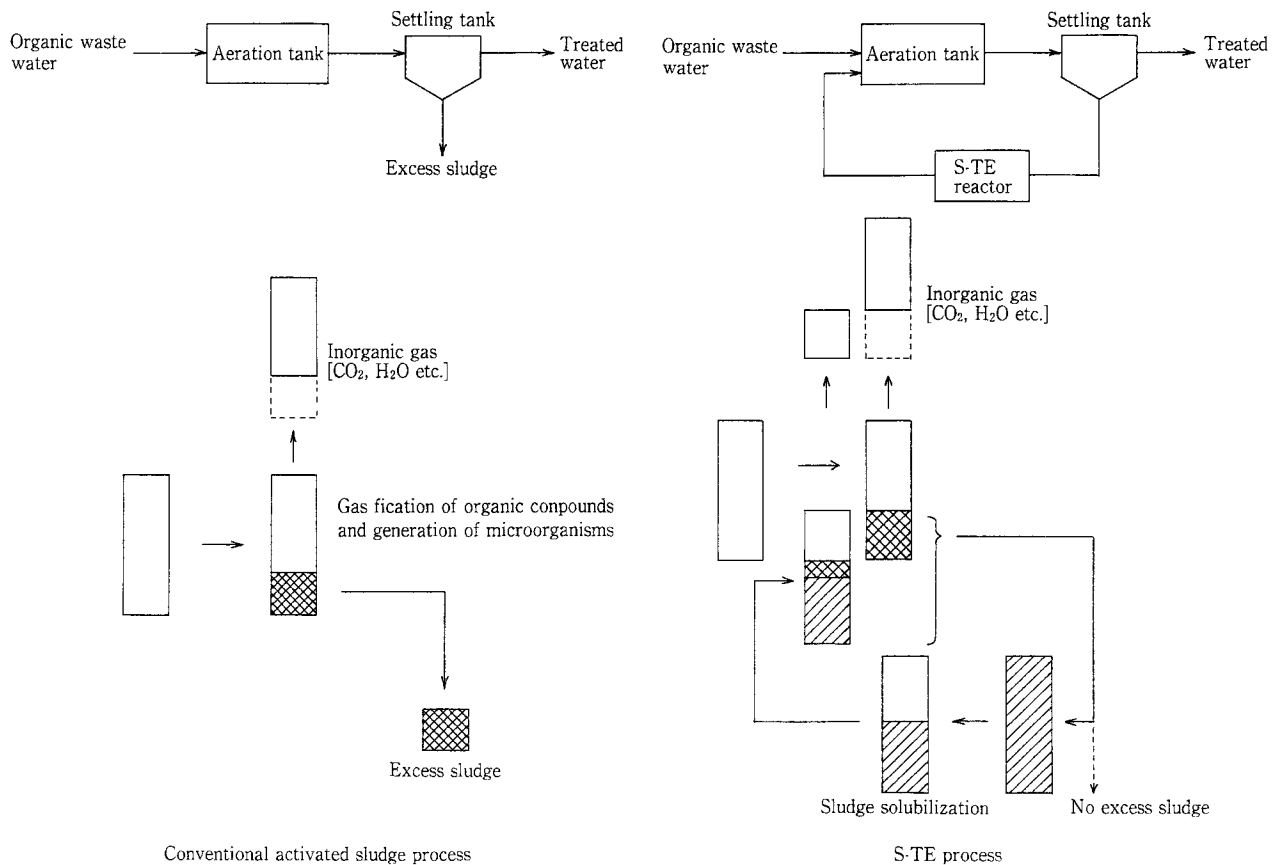
の企業が「ゴミゼロ工場」「ゼロエミッション」などを目標に掲げ、工場、事業所からの廃棄物の削減に取り組んでいる。<sup>2)</sup>

著者らは、これまで、経済性に優れた微生物による汚泥減容化処理を検討し、ある種の好熱性細菌を用いて汚泥を可溶化することが可能であること<sup>3)</sup> また、その可溶化液を従来の活性汚泥処理槽に返送してガス化することにより、余剰汚泥の発生をゼロにすることが可能であることをフィールドテストにより実証した<sup>4)</sup>。

本プロセスは、好熱性 (Thermophilic) 細菌の分泌する汚泥可溶化酵素 (Enzyme) により汚泥を可溶化 (Solubilization) することを基本としていることから「エステプロセス」(S-TE PROCESS: Solubilization by Thermophilic Enzyme) と呼ぶ。

### 1. エステプロセスの原理と処理特性

標準活性汚泥法とエステプロセスの概略フロー及び汚泥収支の概念図を第1図に示す。従来の標準活性汚泥法では、流入した有機物の一部 (通常2~4割程度) が生物に菌体合成にされ、余剰汚泥として



第1図 エステプロセスの概略フローと汚泥収支概念図  
Fig. 1 Schematic flow and sludge material balance of S-TE PROCESS

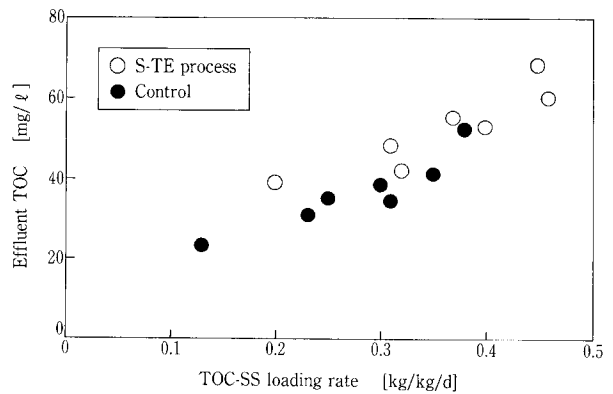
第1表 エステプロセス フィールドテスト データ  
Table 1 Performance of field test with S-TE PROCESS

	Cnventional activated sludge process	S-TE PROCESS
Operating condition		
BOD loading rate (kg/m <sup>3</sup> /d)	0.8	0.8
MLSS concentration (mg/L)	3 000	3 000
HRT (d)	2	2
Temperature of S-TE reactor (°C)	-	65
HRT of S-TE reactor (d)	-	1
Treated water qualities		
S-BOD (mg/L)	<5	<5
S-TOC (mg/L)	38.4	52.9
SS (mg/L)	21.9	29.2

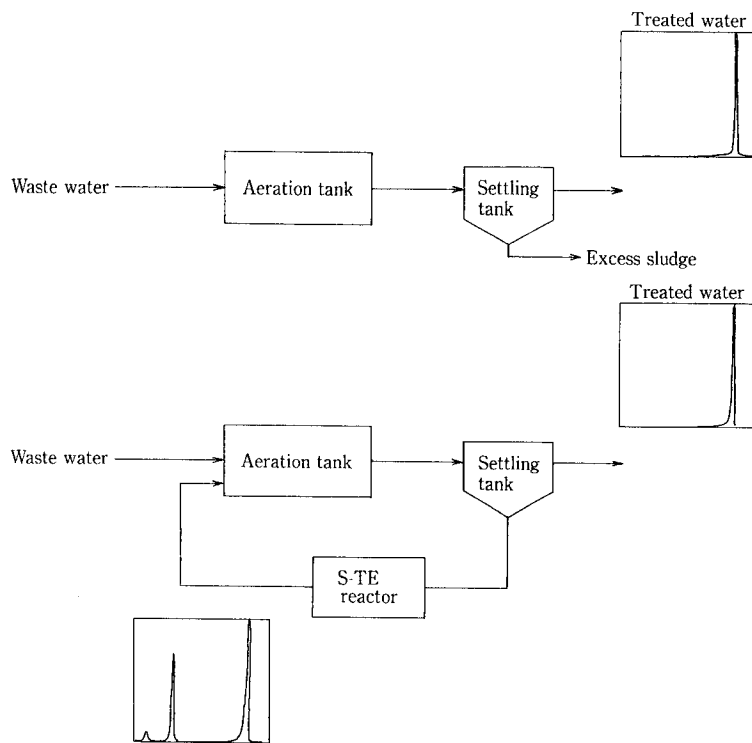
系外に排出されるため、実際に曝気槽内微生物でガス化した有機物は6～8割ということになる。一方、エステプロセスでは、余剰に引き抜いていた汚泥を好熱性細菌で可溶化し、それを曝気槽でガス化することにより余剰汚泥の系外排出をゼロにするため、流入有機物を全てガス化することになる。即ち、曝気槽内微生物がガス化すべき有機物の量が可溶化した分だけ多くなることになる。第1表にフィールドテストデータの一例を示す。同じ原水を同じ曝気槽MLSS濃度で同じ量だけ処理した場合、処理水TOCが3～4割程度増加した。しかし、エステプロセスにおける可溶化汚泥由来の返流有機物を考慮して、TOC汚泥負荷（(原水由来のTOC + 返流由来のTOC) / 曝気槽MLSS）と処理水TOCの相関をとると第2図に示すごとく高い相関が得られた。このことから、エステプロセスの処理水質TOCの上昇は、可溶化液の返流負荷に起因するところが大きいと推察される。各処理液のHPLC分析結果を第3図に示す。第1のピークは移動相（無吸着成分）のピークである。好熱性細菌による可溶化処理後の液中には原水中に認められないピークが存在するが、

最終的な処理水中には認められなくなっている。即ち、可溶化処理によって生成された物質も曝気槽の活性汚泥微生物群により分解されていることが示唆された。

エステプロセスを新規に計画する場合は、可溶化液の返流も考慮して、プロセスを最適に計画できるが、既存の設備に可溶化処理工程を付加して汚泥を



第2図 TOC汚泥負荷と処理水TOCの関係  
Fig. 2 Relationship between TOC loading and effluent TOC



Conditions of HPLC

Column	ODS*
Temperature (°C)	25°C
Injection rate (ml/min)	1 ml/min

\*Octadecyl silicagel

第3図 高速液クロマトグラフ分析結果  
Fig. 3 Chromatograph of treated water

消滅させる場合、可溶化液の返流の影響で処理水質が若干上昇することが予測される。

処理水 TOC 上昇が、返流水負荷に起因する曝気槽汚泥負荷の上昇によると考えられることから、既設の活性汚泥処理設備に可溶化処理工程を付加する場合の処理水質向上策としては、次の対策が考えられる。

①曝気槽 MLSS 濃度を上昇する。

②可溶化処理液を中温で曝気処理する。

本稿では、エステプロセス処理水質向上策として前述の2方式について検討を加えた。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験装置

実験に用いた機器仕様を第2表にまとめる。

第2表 実験装置機器仕様

Table 2 Specification of lab-scale test equipment of S-TE PROCESS

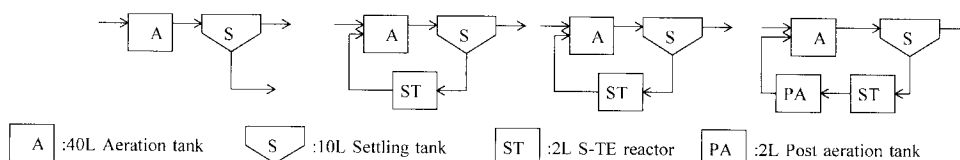
Feed pump	20 L/d	Diaphragm pump
Aeration tank	40 L	Polyvinylchlorode
Settling tank	10 L	Polyvinylchlorode
Excess sludge drawing pump	1 L/d	Diaphragm pump
Circulation pump	3 L/d	Diaphragm pump
S-TE reactor	3 L	5 L Jar-fermentor
Post aeration tank	3 L	Polyvinylchlorode
Air supply		Air compressor

第3表 エステプロセス処理水質向上策

Table 3 Method for improvement on treated water quality from S-TE PROCESS

	Run. 1 Conventional activated sludge process	Run. 2 Conventional S-TE PROCESS	Run. 3 High MLSS S-TE PROCESS	Run. 4 Post aeration S-TE PROCESS
--	--	--	-------------------------------------	---

Schematic process flow



Operating conditions	Run. 1	Run. 2	Run. 3	Run. 4
BOD loading rate (kg/m <sup>3</sup> /d)	0.8	0.8	0.8	0.8
MLSS concentration (mg/L)	3 000	3 000	4 500	3 000
HRT (d)	2	2	2	2
Temperature of S-TE reactor (°C)	-	65	65	65
HRT of S-TE reactor (d)	-	1	1	1
HRT of post aeration tank (d)	-	-	-	1
Treated water qualities				
S-BOD (mg/L)	< 5	< 5	< 5	< 5
S-TOC (mg/L)	41.2	55.8	42.2	46.1
SS (mg/L)	30.1	39.8	41.3	35.2

第4表 エステプロセス処理水質に及ぼす原水組成の影響

Table 4 Effect of wastewater components on treated water qualities from S-TE PROCESS

	TOC of treated water (mg/L)		(B)/(A)
	Conventional activated sludge process (A)	S-TE PROCESS (B)	
Artificial	18	22	1.2
Chemical	35	47	1.3
Petrochemical	40	55	1.4
Pharmacy	40	52	1.3

## 2.2 テストフロー

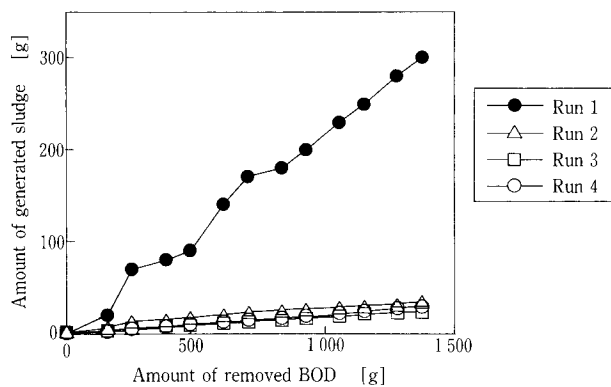
テストフローおよび操作条件を第3表に示す。

### ①Run. 1: 標準活性汚泥法 (対照系)

対照として運転した。曝気槽内 MLSS 濃度を約 3 000 mg/L に維持するため、沈殿槽より定期的に汚泥を系外に引き抜いた。

### ②Run. 2: 従来型エステプロセス

標準活性汚泥法にエステ槽を付加し、汚泥を引き抜かない運転をした。曝気槽内 MLSS 濃度を約 3 000 mg/L となるよう、エステ槽で処理する汚泥量を調



第4図 汚泥発生量  
Fig. 4 Amount of generated sludge

第5表 TOC バランス  
Table 5 TOC material balance

	Run. 1 Conventional activated sludge process	Run. 2 Conventional S-TE PROCESS	Run. 3 High MLSS S-TE PROCESS	Run. 4 Post aeration S-TE PROCESS
Schematic process flow				
①Influent S-TOC (mg/L)	899	899	899	899
Feeding rate (L/d)	20	20	20	20
②Effluent S-TOC (mg/L)	41.2	55.8	42.2	47.4
③Excess sludge S-TOC (mg/L)	38.0	56.2	41.3	45.5
④S-TE reactor S-TOC (mg/L)	-	1 806	2 541	1 796
Feeding rate (L/d)	-	3	2.1	3
⑤Post aeration tank S-TOC (mg/L)	-	-	-	952
MLSS of aeration tank (mg/L)	3 120	3 050	4 560	3 100
TOC loading rate with ① (kg/kg/L)	0.144	0.147	0.099	0.145
TOC loading rate with ①+④ or ⑤ (kg/kg/L)	0.144	0.192	0.128	0.168

整した。それ以外の操作条件は対照と同じである。

### ③Run. 3: 高 MLSS 曝気槽型エステプロセス

Run. 2 において、曝気槽の MLSS を約 4 500 mg/L に維持し、可溶化液の返流負荷に対する汚泥負荷低減策とした。

### ④Run. 4: 後曝気付加型エステプロセス

Run. 2 において、エステ槽の後に曝気槽を付加し、返流水中の有機物濃度の低減を図った。

## 2.3 原廃水

エステ槽付加による活性汚泥処理水 TOC の上昇は処理する廃水の組成によっても影響される。(第4表)ここでは、処理水 TOC 上昇が最も大きかった石油化学工場廃液を原水として用いた。廃水は実廃液を 1 m<sup>3</sup> ローリータンクに採取し、冷却機により 10 °C 以下に保冷して供給した。

## 2.4 好熱性細菌の添加

運転立ち上げ時、エステ槽には種汚泥として当研究室で分離した汚泥可溶化好熱性細菌 SPT 2-1 株 (通商産業省工業技術院生命工学工業技術研究所受託番号 FERM P-15395) の凍結乾燥粉末約 1 cc を添加した。

## 2.5 分析方法

処理水質の分析は、下水試験方法<sup>5)</sup>に準じた。なお、全有機態炭素 (TOC) は、島津製作所製 TOC-500 により測定した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 余剰汚泥の発生量

実験期間中の余剰汚泥の発生量を第4図に示す。発生汚泥量には、サンプリングのため持ち出した汚泥量および処理水SSとして系外に流出した汚泥量も含めたため、Run. 2~4も幾分汚泥が発生したような結果となっているが、エステ槽を付加したRun. 2~4は実際には汚泥の引き抜きは行っていない。エステ槽を付加しない対照系では1日当たり約7gの汚泥が発生した。第4図より標準活性汚泥法における本廃水BODの汚泥転換率は0.22であった。

#### 3.2 処理水質

第3表に処理水質の平均値を示す。BOD除去はいずれの系でも良好で実験期間を通じ処理水BODは常に5mg/L以下であった。

一方、処理水溶解性TOCの値は、運転方法により大きく変化した。標準活性汚泥法のTOCが41.2mg/Lであるのに対し、従来のエステ槽を付加したのみのRun. 2では55.8mg/Lと35%程度の上昇が認められた。Run. 3ではエステ槽可溶化返流水に起因する負荷上昇に対応するため、曝気槽の微生物濃度を高くして運転したが、汚泥負荷を低減することにより、処理水質の向上が認められている。また、エステ槽からの返流水負荷を後曝気により軽減したRun. 4においても同様の処理水質向上効果があった。

第5表に各測定点に於ける溶解性TOCの値をまとめる。Run. 2のエステ槽返流水のTOCに起因する負荷(1806mg/L×3L/d=5418mg/d)は流入TOCに起因する負荷(899mg/L×20L/d=17980mg/d)の3割にも達した。しかし、後曝気処理したRun. 4では逆流負荷は15%程度と半減しており、その結果、処理水質が向上したものとする。

第5図は、エステ槽返流水負荷を考慮した真のTOC汚泥負荷と処理水TOCの相関を示す。両者の間には高い相関関係が認められ、処理水TOCがエステ槽返流水負荷に大きく影響されることが確認された。尚、Run. 2処理水TOCが相関から外れているが、これは、本廃水の生物学的処理の限界と考えられ、残存TOCは生物難分解の物質と推察される。

ここで、汚泥負荷は、曝気槽内MLSSを基準に算出したが、エステ槽返流水中のMLSS中には死滅菌体も多く存在することが予想されることから、エステ槽を付加した系の曝気槽内MLSS中の活性

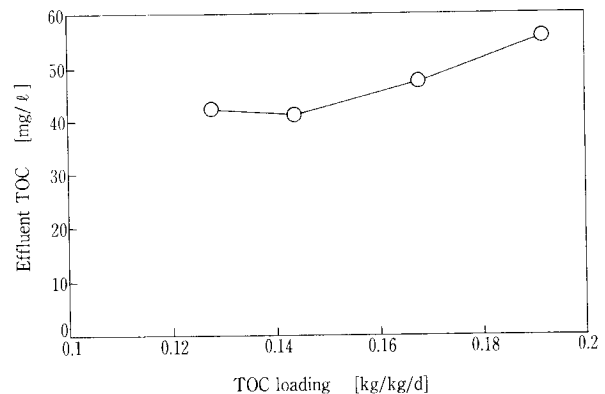
微生物量は対照系より少ないと推察され、その結果として活性微生物に対する負荷が高くなっていると考えられる。従って、より厳密に汚泥負荷の検討をするためには、曝気槽内活性微生物量を基準にすべきであるが、現在、活性微生物濃度を簡易に測定する有効な方法はない。

前述の結果より、既設の活性汚泥処理設備にエステ槽を付加する場合、処理水TOCの上昇は原理的に避けられないが、沈殿槽に十分な余裕があり、エステ槽返流水負荷に見合うだけの曝気槽内汚泥濃度を維持できるのであれば、曝気槽汚泥濃度を高め、生物酸化に必要な十分な酸素を供給することで処理水質を大きく改善できる。

既存の沈殿池に十分な余裕が無い場合は、後曝気処理が有効である。但し、後曝気槽の設置は建設費の増加につながるため経済的な大きさを検討する必要がある。通常、1日の後曝気でエステ槽返流水負荷を半減できる。

#### 3.3 微生物の挙動

エステ槽は高温であるため通常の活性汚泥微生物は死滅すると推察され、後曝気には種汚泥の添加が必要と考えられるが、エステ槽を付加した「エステプロセス」では、高温、中温の両環境に耐性をもつ種が優占するようになる。第6表にエステプロセス構成微生物の挙動を示す。中温の曝気槽では中温菌が活発に活動し、活性のある好熱性細菌はゼロに等しいが胞子の形で存在している。これがエステ槽で高温に曝された時、発芽し、汚泥可溶化好熱性細菌として活動する。高温状態では、活性のある中温菌は皆無に等しいが、胞子の形で存在するものがあり、これらが後曝気槽で中温状態になった時、



第5図 TOC汚泥負荷と処理水TOC  
Fig. 5 Effect of TOC loading on effluent TOC

第 6 表 エステプロセス構成微生物の挙動

Table 6 Activity of thermophilic and mesophilic bacteria in S-TE PROCESS

	Thermophilic bacteria		Mesophilic bacteria	
	Active	Spore	Active	Spore
Aeration tank	ND	10 <sup>2</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>4</sup>
S-TE reactor	10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup>	ND	10 <sup>4</sup>

発芽し TOC 除去に貢献するようになる。このように、エステプロセスでは、高温菌と中温菌が共存し、かつ、それぞれの菌が適材適所に活動するシンプルではあるが大変効率的なプロセスになっている。

**む す び**

既存の活性汚泥処理設備にエステ槽を付加した時生じる処理水質の上昇の対応策を検討し以下の結果を得た。

(1) 沈殿池に十分な余裕があり、曝気槽 MLSS 濃度を高く維持できる場合は、エステ槽返流水負荷を考慮して、曝気槽汚泥濃度を適切に維持することにより、処理水質を大きく改善できる。

(2) エステ槽返流水を後曝気することにより返流水 TOC を容易に半減することができ、それに応じた処理水質の改善が期待できる。

(3) エステプロセスでは胞子を形成する高温菌と中温菌が共存しており、それぞれが適材適所で活動し、汚泥の可溶化、ガス化を効率よく行っている。

**【参考文献】**

- 1) 仁井正夫：環境技術，Vol. 26, No. 1 (1997), P. 61.
- 2) 例えば；PPM, Vol. 27, No. 9 (1996), P. 17.
- 3) 長谷川進ほか；下水道協会誌，Vol.34, No.408 (1997) P. 76.
- 4) 桂健治ほか；水環境学会誌，Vol.21, No.6 (1998), p.360
- 5) (社) 日本下水道協会；下水試験方法 (1984)

**連 絡 先**

長谷川 進 (工学博士,技術士・水道部門)	技術開発本部 研究開発部 主任研究員	TEL 078 - 992 - 6525 FAX 078 - 992 - 6504 E-mail s.hasegawa@pantec. co.jp	赤 司 昭 (医学博士)	技術開発本部 研究開発部	TEL 078 - 992 - 6525 FAX 078 - 992 - 6504 E-mail a.akashi@pantec. co.jp	塩 田 憲 明 (農学博士)	技術開発本部 研究開発部	TEL 078 - 992 - 6525 FAX 078 - 992 - 6504 E-mail n.shiota@pantec. co.jp
--------------------------	--------------------------	---	-----------------	-----------------	---	-------------------	-----------------	---