

エステプロセス／農業集落排水への適用

Application of S-TE PROCESS® to Rural Sewerage Treatment Plant



(技)研究開発部第5研究室
山下 哲生
Tetsuo Yamashita

農業集落排水処理施設から排出される余剰汚泥は堆肥化などへの再利用が進められているが、処理施設が普及するにつれて、堆肥の過剰供給が予測される。このため余剰汚泥消滅型活性汚泥プロセスであるエステプロセスを農業集落排水処理施設へ適用することを目的として、2002年11月より実規模テスト機をもちいた汚泥減量化実証試験を約半年間おこなった。4カ月間の定格運転をおこない80%以上の余剰汚泥を減量できることを実証した。処理水質についてもBOD、COD、T-N、T-PおよびSSに関して、全て放流水の計画処理水質を十分に下回る排水処理が可能であった。処理コストの試算から、従来の処分方法と比較して本プロセスが優れていることが証明された。

The excess sludge generated from rural sewerage treatment plants has been recycled as fertilizer. But fertilizer will be over supply as such treatment plants increase. A full-scale demonstration test was conducted about six months in the actual treatment plant for application of S-TE PROCESS® (zero-discharge activated sludge process). Excess sludge was decomposed more than 80 % in four months, and effluent BOD, COD, T-N, T-P and SS were decreased below the quality standards of effluent. Estimation of sludge treatment cost proved this process is superior to the former system.

Key Words :

農 業 集 落 排 水
余 剰 汚 泥
可 溶 化
好 熱 性 細 菌

Rural sewerage
Excess sludge
Solubilization
Thermophilic bacteria

ま え が き

農村地域において発生する汚水は、集落ごとの農業集落排水処理施設において処理されている。これらの排水処理施設から発生する余剰汚泥は、「農地還元」の基本思想から堆肥などへの再利用化が進められている。しかしながら、堆肥の需要は農作期に

集中して偏りが生じるため、年間を通して、安定した需要を確保することは難しく、排水処理施設から発生する全ての余剰汚泥を堆肥として利用することは現状では困難である。また、農村地域における排水処理施設の普及率は25%程度であるが、今後、急速な上昇が予想されることから余剰汚泥の発生量

も大幅に増加すると考えられ、余剰汚泥の有効利用を堆肥化のみでまかなうことは困難と考えられる。さらには、農業集落排水処理は地域分散型の処理設備のため、余剰汚泥の回収には汚泥収集車による巡回作業が必要で、輸送コストも割高となる。これらの考えから、農業集落排水処理ではそれぞれの処理施設において汚泥の発生量そのものを削減した運転が今後一層必要となってくる。

当社が独自に開発した汚泥減量化プロセス S-TE PROCESSR[®] は、汚泥を高温好気条件において好熱性細菌が分泌する細胞外酵素により可溶化し、既設のばっ気槽で無機化し減量化するプロセスである。本プロセスはオキシデーションディッチ（OD）による公共下水処理¹⁾および民間化学工場廃水処理²⁾において実設備として稼働中である。

本稿では、エステプロセスの農業集落排水処理施設への適用を検討し、実供用中の処理設備にておこなった実規模スケールの汚泥減量化実証試験結果について報告する。

1. 実証試験の概要

汚泥減量化実証試験は関西地域 Y 地区の農業集落排水処理施設（以下、Y 処理場と称する）において2002年11月より2003年4月までの約6カ月間実施した。

1.1 開発目標

- ① 余剰汚泥発生量を80%削減するための、運転条件の把握、および長期安定運転データの収集
- ② 既設排水処理に及ぼす影響の調査
- ③ 維持管理の容易な汚泥減量化プロセスの開発

1.2 排水処理施設の概略

実証試験を実施した Y 処理場は周辺地区のし尿および生活雑排水の処理をおこなっている。処理施設の概略を以下に示す。

計画人口：470人（2002年度
供用人口：368人）

計画水量：126.9 m³/日

処理方式：長時間ばっ気方式
ばっ気槽容積：163 m³

当処理施設は長時間ばっ気方式を採用して間欠ばっ気運転をおこなうことにより、余剰汚泥の発生量を抑え、かつ窒素除去も可能な排水処理をおこなっている。また、ばっ気槽

と沈殿槽はそれぞれ2系列の構成となっており流入汚水は汚水計量槽にて各系に等分配されて処理がおこなわれる。

1.3 実証試験設備の概要

実証試験設備の全景を写真1に、フローシートを図1に示す。写真1の建家の内に既設の排水処理設備があり、屋外に設置したタンクなどの機器類が汚泥減量化設備である。本設備は試験機として設計したため、タンク類が必要容量よりも大きなものとなっているが、実用機としては容積的には1/2程度まで小型化が可能である。

汚泥減量化設備は余剰汚泥発生量を調整する目的として組込まれているため、既設の排水処理設備の返送汚泥ラインから汚泥を引抜き、可溶化処理をおこなって再び返送汚泥中に返流するフローとなつて



写真1 実証試験設備の全景
Photo 1 Test equipment

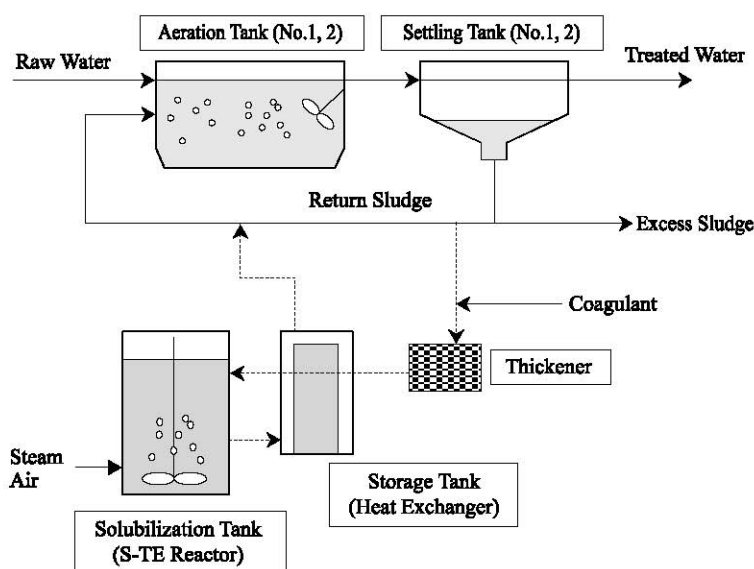


図1 実証試験設備のフロー
Fig.1 Flow diagram of test plant

いる。よって、返送汚泥ラインからの汚泥の引抜きおよび返流以外は、既設の排水処理設備に改造の必要はない。汚泥の処理フローは以下のとおりである。

- ① 返送汚泥の一部を1系および2系の沈殿槽上部の返送汚泥計量槽より引抜く。
- ② 引抜いた汚泥に高分子凝集剤を添加し、ドラムスクリーン式濃縮機で余分な水分を分離して濃縮する。
- ③ 濃縮した汚泥を汚泥熱交槽で可溶化汚泥の熱を利用して予熱する。
- ④ 予熱された濃縮汚泥は汚泥可溶化槽（S-TE槽）へ連続投入され、約1.5日の滞留時間で可溶化処理をおこなう。
- ⑤ 可溶化汚泥は汚泥熱交槽で投入汚泥に一部熱を回収された後に既設の返送汚泥ラインに戻される。
- ⑥ その後、可溶化汚泥を返送汚泥とともにばっ気槽に返流することによって、可溶化汚泥から

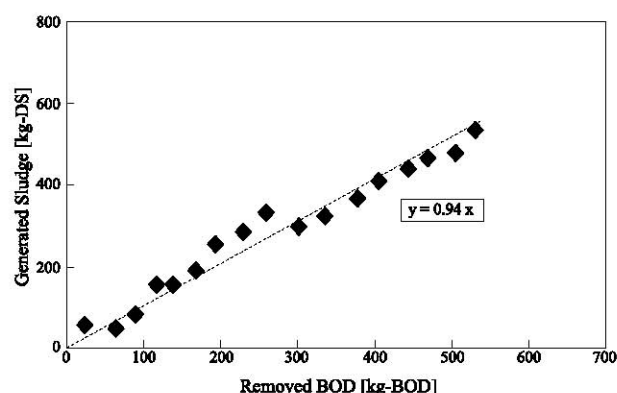


図 2 除去 BOD と汚泥発生量の関係
Fig.2 Relationship between amount of removed BOD and generated sludge

溶出した有機物はばっ気槽にて炭酸ガスなどに無機化される。

S-TE 槽の加温は熱源コストを抑えることと農村地区でのメンテナンス性を考慮して、灯油炊きボイラによる蒸気吹込方式とした。

1.4 事前調査

本実証試験においては、排水処理設備から発生する余剰汚泥全てを汚泥減量化処理の対象としているため、実証試験期間中の真の汚泥発生量（以下、推定汚泥発生量と称する）を正確に把握することができない。そこで、実証試験開始前の2カ月間（2002年8月末～2002年10月末）、当排水処理設備における水質と汚泥発生状況を調査して、実証試験との比較データを収集した。事前調査結果に基づき算出した、Y 処理場における積算除去 BOD と積算汚泥発生量の関係を図 2 に示す。なお、汚泥発生量は引抜いた余剰汚泥量、処理水として流出した SS 量およびばっ気槽内での MLSS 濃度の増減の和より算出した（実証試験も同様の方法で算出）。図 2 より Y 処理場においては除去 BOD [kg-BOD] あたりの汚泥発生量 [kg-DS]（以下、汚泥転換率と称する）は0.94であることを確認した。実証試験期間中もこの汚泥転換率に基づき除去 BOD から推定汚泥発生量を算出した。

2. 試験結果

2002年12月末より実施した、80 %の汚泥減量化を目的とした4カ月間の長期安定運転の試験結果を中心に報告する。

2.1 結 果

(1) 汚泥発生量

表 1 に汚泥減量化試験の運転結果の一覧をまとめる。また、図 3 に試験期間中の余剰汚泥発生量、および除去 BOD より算出した推定汚泥発生量の推移

表 1 汚泥減量化試験の結果
Table1 Result of sludge decomposition test

	Unit	Pre-Investigation	Demonstration Test
Date		8/27～10/25	12/25～4/30
Operating Period	[d]	60	126
Circulating Ratio	[Qs/Qw]	—	2.0
HRT at S-TE Reactor	[d]	—	1.5
Estimated Amount of Sludge Generated	[kg-DS/d]	—	10.9
Excess Sludge Generated	[kg-DS/d]	8.7	2.0
Amount of Removed BOD	[kg-BOD/d]	9.4	11.7
Ratio of Sludge Conversion	—	0.93	0.17
Sludge Decomposition	[%]	—	82
VSS Removal	[%]	—	39

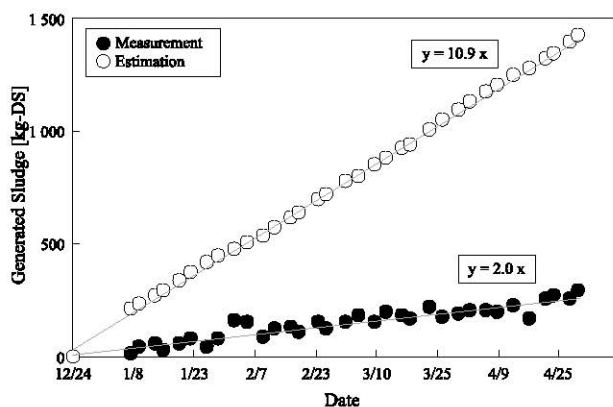


図 3 汚泥発生量の推移
Fig.3 Excess sludge generation

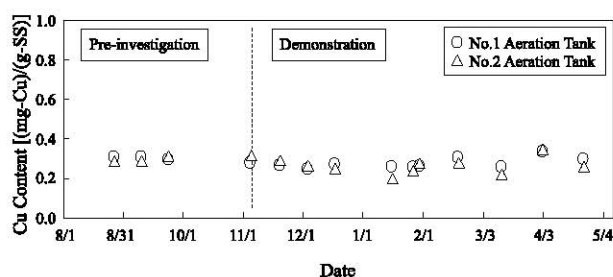


図 4 Cu 含有率の推移
Fig.4 Changes of Cu content

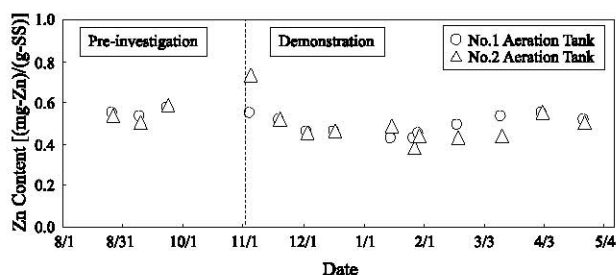


図 5 Zn 含有率の推移
Fig.5 Changes of Zn content

を示す。図 3 より汚泥減量化をおこなわない場合は 1 日当たり 10.9 kg-DS の余剰汚泥が発生しているのに対し、この約 2 倍量を本プロセスに循環した実証試験では 2.0 kg-DS まで減少しており、82 % の余剰汚泥減量化を達成した。また、表 1 に示すとおり、実証試験期間中の S-TE 槽内の汚泥可溶化率 (VSS 可溶化率) が 39 % と比較的高かったため、2 倍量程度の循環率で 80 % 以上の汚泥減量化を達成できたものと推察する。

(2) 活性汚泥に及ぼす影響

エステプロセスをはじめとする汚泥減量化プロセ

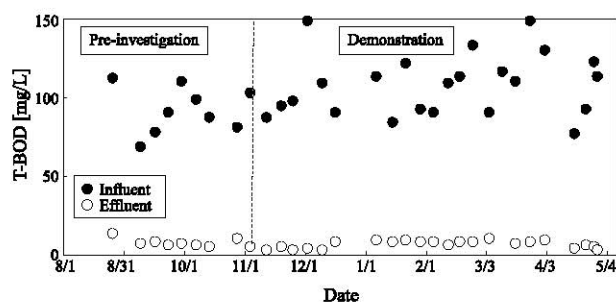


図 6 T-BOD の推移
Fig.6 Changes of T-BOD

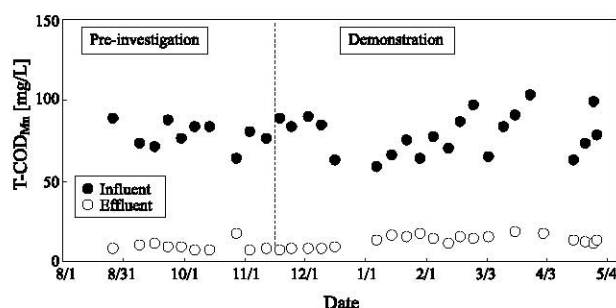


図 7 T-COD_{Mn} の推移
Fig.7 Changes of T-COD_{Mn}

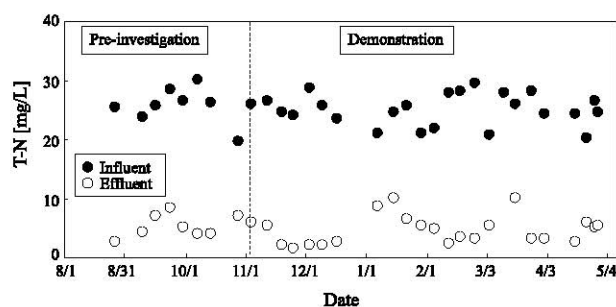


図 8 T-N の推移
Fig.8 Changes of T-N

スは余剰汚泥の系外への引抜き量が減少するため、汚泥中への無機物の蓄積が懸念される。図 4 および図 5 に事前調査から実証試験期間中にかけての、ばっ気槽活性汚泥中の Cu および Zn の含有率の推移を示す。試験期間を通して Cu および Zn の含有率はほぼ横ばいで推移しており、本プロセスにより汚泥の減量化をおこなった場合でも、ばっ気槽汚泥中に金属などの無機物が蓄積し続ける傾向は認められなかった。

(3) 処理水質に及ぼす影響

図 6, 7, 8 および 9 に事前調査から試験期間中にかけての原水および処理水の水質変化を示す。

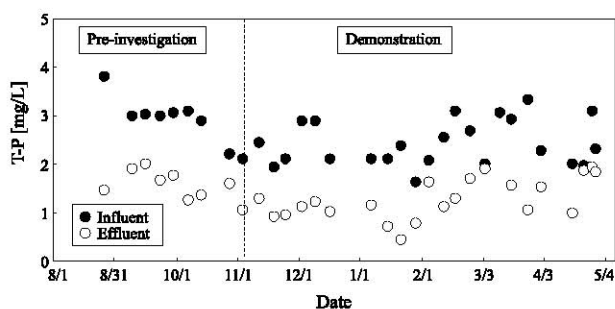


図 9 T-P の推移
Fig.9 Changes of T-P

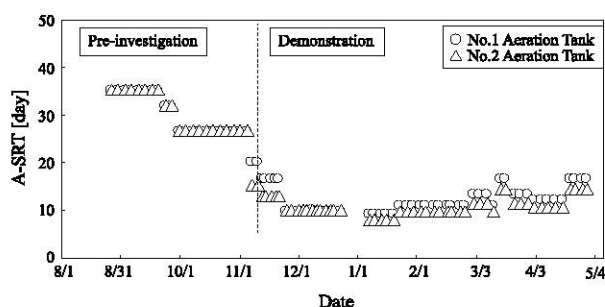


図 10 A-SRT の推移
Fig.10 Changes of A-SRT

① T-BOD (図 6)

T-BOD に関しては、実証試験開始後も 10 mg/L 以下の良好な水質を維持できており、汚泥減量化による T-BOD 処理に対する影響はほとんど認められなかった。

② T-COD_{Mn} (図 7)

従来余剰汚泥の一部として系外に排出していた難分解性の T-COD_{Mn} に関しては、汚泥減量化により余剰汚泥の引抜量が低下することから、その一部は処理水中に流出してくることが予測される。図 7 より、処理水中の T-COD_{Mn} は 1 月上旬より 15 mg/L 程度まで若干上昇する傾向にあったが計画値の 20 mg/L を越えることはなかった。また、ばっ気槽水温が上昇する 3 月中旬より処理水 T-COD_{Mn} は 10 mg/L 程度まで低下してきたため、冬期の T-COD_{Mn} 上昇については水温の影響が大きいものと考えられる。

③ 窒素 (図 8)

実証試験期間中においても、処理水中の T-N は 10 mg/L 以下で推移しており、良好な窒素除去をおこなうことができた。1 月上旬に水温低下による硝化不良のため処理水中の T-N が若干上昇する傾向にあった。このときのばっ気槽

表 2 エステプロセスのランニングコスト

Table2 Operating cost of S-TE PROCESS®

Item	Conventional	S-TE PROCESS®
Electricity	—	¥445/d
Fuel	—	¥775/d
Chemicals	—	¥340/d
Disposal expense	¥6 540/d	¥1 200/d
Total	¥6 540/d	¥2 760/d
Unit operating cost	¥600/kg-DS	¥253/kg-DS

の A-SRT は図 10 に示すとおり、約 9 日間で運転されていたが、ばっ気時間を約 10 % 程度延長して A-SRT を 10 日以上に保つことにより、処理水中の T-N は減少傾向に転じた。以上のことから水温低下時に硝化が進みにくくなった場合でも、従来の維持管理方法と同様に A-SRT に基づいてばっ気時間を延長するなどの軽微な運転調整により、処理水の水質を維持することが可能であった。

④ リン (図 9)

Y 処理には、リン除去を目的とした鉄鋼板がばっ気槽内に沈められている。通常、汚泥の減量化では余剰汚泥として系外に排出していたリンが処理水に流出する。本試験においては、汚泥減量化運転中も事前調査期間と同程度までリン除去をおこなうことができていた。これは、可溶化により溶出したリンが曝気槽内の鉄鋼板により吸着除去されたものと推察する。

その他、処理水の SS に関しては計画値である 50 mg/L を大きく下回り、水温が最も低くなる 2 月においても 10 mg/L 程度での運転が可能であった。また、透視度、pH に関しても、事前調査期間とほぼ同等で推移していた。

3. 経 済 性

実証試験結果に基づき、Y 処理場における汚泥処理コストの比較をおこなった。

3.1 算 出 基 準

- ・推定汚泥発生量：10.9 kg-DS/日
- ・余剰汚泥発生量：2.0 kg-DS/日
- ・汚泥処分費用：15 000 円/m³
(搬出汚泥濃度：2.5 wt%)

3.2 処理コストの比較

表 2 に Y 処理場にてエステプロセスを導入した場合の汚泥処理コストの比較を示す。推定汚泥発生量 10.9 kg-DS/日 を全てバキューム車により搬出し

た場合6 540円／日のコストが必要になるが、82 %の汚泥減量化をおこなった場合のコストは2 740円／日であり、約60 %の汚泥処理コストを削減できる。また、本プロセス導入時のコストの約半分は発生した18 %の汚泥処分費用であり、本プロセスが経済的に優れた減量化方法であることを表している。

む す び

エステプロセスの農業集落排水処理設備における汚泥減量化実証試験を、実規模スケールで実施した。

4 カ月間にわたる連続運転の結果82 %の余剰汚泥削減効果があることを実証した。金属類に代表される無機物の汚泥中への蓄積もほとんど認められなかつ

た。また、処理水質に及ぼす影響もほとんど認められず当処理場の計画処理水質を十分にクリアした。冬期に水温の影響を受けやすい硝化反応についても、ばつ気時間変更などの従来どおりの軽微な維持管理で対応することが可能であった。汚泥の処理コストに関しても、従来の半分以下に削減することができ、本プロセスが経済的にも優れた汚泥減量化方法であることを実証した。

【参考文献】

- 1) 塩田憲明ほか, 神鋼パンテック技報 Vol.43, No.1 (1999), p.10
- 2) 塩田憲明ほか, 神鋼パンテック技報 Vol.46, No.1 (2002), p.8

連 絡 先

山 下 哲 生 技術開発本部
 研究開発部
 第 5 研究室

T E L 078 - 992 - 6525
F A X 078 - 992 - 6504
E-mail t.yamashita@pantec.co.jp