パルプ蒸解工程排水を対象とした嫌気性処理システムの長期運転実績

The Long Experience of Anaerobic Wastewater Treatment System for Pulp Mill Wastewater

住友重機械エンバイロメント株式会社 環境技術センター^{*2}

○知久治之^{*3}, 竹繁隆徳, 島本敦史, 渡邊永子

同 環境システム統括部 事業企画部

中野 淳

Haruyuki Chiku^{*3}, Takanori Takeshige, Atsushi Shimamoto, Nagako Watanabe and Atsushi Nakano
Development and Analysis Center, Sumitomo Heavy Industries Environment Co., Ltd.^{*2}

知久治之

Abstract

The EGSB anaerobic wastewater treatment system is a very competitive method compared with aerobic treatment system because of space and energy saving system. We constructed the Biobed EGSB system in Pulp Mill for the treatment of drain wastewater from KP evaporator and operated over five years.

The performance of EGSB system is good as for the removal rate of COD_{Cr} is about 80%, then we achieved the aimed energy-saving effect.

分類: F₀ その他, X₄ 排水

1. はじめに

UASB/EGSB 嫌気性処理システムは好気性処理システムに比べ、超高負荷運転が可能のため著しく省スペースな装置となること、また必要動力が少なく、かつ発生するバイオガスからエネルギー回収が可能であるため、著しくエネルギー効率が良いこと、更には余剰汚泥発生量が極めて少ないという有利な特徴を持つため、1980年代後半から全世界で適用拡大されてきている。このシステムは2000年には国内でも180基以上が稼働していると言われている¹⁾。当社はUASB/EGSB嫌気性処理システムにおいて「ビール/飲料」、「食品」、「化学」、「製紙」他と多種多様な経験と計80基以上の納入実績を持ち、UASB/EGSBにお

いての国内主力メーカーとして位置づけている。

前回²⁾、王子製紙株式会社富岡工場納入実設備の試運転から1年間の運転実績の報告を行ったが、今回はその運転開始から5年以上に渡る長期実設備運転状況をグラニュー汚泥の群集解析結果を交えて報告する。

2. 対象排水について

処理対象排水は紙パルプ工場排水の中でも高濃度排水としてクラフトパルプ製造過程で発生する臭気排水とした。富岡工場では、従来臭気排水をスチームストリッピング後、活性汚泥法にて処理していた。この臭気排水を直接嫌気性処理することで、先に示した嫌気処理自体のメリットに加え、ストリッピングに要していた蒸気使用量が削減できるという大きなメリットが生じる²⁾。

この臭気排水の分析結果を表1に示す。COD_{Cr}、メタノール濃度が高く、有機物の主体はメタノールであった。臭気源である全還元性イオウ (TRS) や、樹脂酸やテルペンに起因するn-ヘキサン抽出物質 (油分) を含む排水である。また、濃度変動の大きい排水である。EGSB嫌気性処理シ

^{*1}平成24年度年次大会講演 (講演 No. C 02)

^{*2}〒237-8555 神奈川県横須賀市夏島町19番地/
19 Natsushima-cho, Yokosuka-shi, Kanagawa 237-8555, Japan

^{*3}E-mail: hry_chiku@shi.co.jp

表 1 臭気排水分析結果

項目	単位	分析値
pH	—	6～10
SS	mg/l	2～15
COD _{Cr}	mg/l	11,000～16,000
CODMn	mg/l	3,600～5,700
BOD	mg/l	2,600～6,000
メタノール	mg/l	5,700～7,000
n-ヘキサン抽出物	mg/l	170～540
T-N	mg/l	190～260
T-P	mg/l	<1
TRS ^{*)}	mg/l	200～470

^{*)}TRS：全還元性イオウ Total Reduced Sulfur

システムにはこの臭気排水の油分を粗取り後、2倍以上希釈して投入している。また、この排水は発酵学的に栄養が乏しいため、当社オリジナルの添加剤である MF-サブリ（有機栄養源）と MF-8+1（無機栄養源）および鉄と燐酸を添加している。

3. 実設備について

実設備納入前のラボテスト結果と設備計画の条件を表2に示す。テスト結果を基に、設備化検討を行った。ラボテストは、均一な原水を管理された状態で処理するのに対し、実設備では原水流量や濃度、組成が製造工程の状況に応じて常に変動する。従って、ラボテスト結果と比べて、若干余裕のある計画条件とした。

設備概要を表3に、概略フローを図1に、実設備写真を写真1に示す。

臭気排水の温度は高いため、38℃以下に温度調節後、設備に受け入れることとした。また、排水は油分を含むため、油分分離槽を設けて油分濃度の低減を図った。嫌気性処理システムとして、Bioimpact® EGSB システムを採用した。

表 2 ラボテスト結果および設備計画条件

項目	単位	テスト結果	計画条件
COD _{Cr} 容積負荷	kg/m ³ d	18	15
メタノール容積負荷	kg/m ³ d	9	7.5
希釈率	—	2	2
COD _{Cr} 除去率	%	90	80
メタノール除去率	%	95	95
ガス化率	Nm ³ /COD _{Cr}	0.2	0.2
メタン濃度	%	90	80

表 3 設備の概要

臭気排水処理能力	1,600 m ³ /d
バイオガス発生量	200 Nm ³ /h (80% CH ₄)
エネルギー回収量	137,000 MJ/d
主要機器概要	
油分分離槽	75 m ³
酸生成槽	160 m ³
EGSB 反応槽	1,300 m ³ (有効)
ガスホルダー	100 m ³

写真 1 実設備写真

システムは、図1、写真1に示すように酸生成槽とEGSB反応槽とシンプルに構成される。反応槽には、グラニュール汚泥が充填されており、排水中に含まれる有機物をメタンと炭酸ガスに分解する。Bioimpact®システムは、反応槽内でグラニュール汚泥の均一な流動状態を形成し、流入水と汚泥が良好に接触して嫌気性反応を進行できるように設計している。反応槽上部には高性能セトラーが設置され、処理水とバイオガス、グラニュール汚泥を効果的に分離する。セトラーの分離効率が高いため、グラニュール形成途上の小粒径の汚泥も反応槽内に保持することができ、セトラー下部に形成されるローリング流の効果で、グラニュールの成長を促進させている。

4. 運転状況と群集解析の結果

本設備は2007年に試運転（実負荷運転）を開始した。この試運転期間後の運転データを以下にまとめる。

定常時のCOD_{Cr}容積負荷とメタノール容積負荷並びにデータを図2に示す。図内の「SD+連番」の表記は定修等による嫌気性処理設備のシャットダウン期間を示しており、このシャットダウンおよびシャットダウンからの定常負荷までの立ち上げ期間のデータは省略している。定常時のCOD_{Cr}容積負荷は7～17 kg/m³・d（メタノール容積負

図 1 設備概略フロー

図 2 COD_{Cr} 容積負荷とメタノール負荷と COD_{Cr} 除去率 図 3 原水と処理水の COD_{Cr}

荷は $2 \sim 9 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ であった。なお、1,200 日目以降は工場のプロセス変更等により、臭気排水の負荷自体が減少した。運転開始から 5 年間、定常時の COD_{Cr} 処理は原水平均約 5,000 mg/L が処理水平均で約 1,000 mg/L と、除去率はほぼ 80%（期間によってはそれ以上）の処理性能を示した（図 2、図 3）。また定常時の処理水メタノールは 100 mg/L 以下を維持し、良好な処理を示した（図 4、図 5）。なお、試運転開始から全期間で EGSB 反応槽のグラニュールは維持されている（写真 2）。850 日目から 1,200 日目のほぼ 1 年の間に不特定の原因により一過性のグラニュールゾーン減少が確認され、1,245 日目に 1 度のみ試運転開始時投入汚泥量の 1/4 量と少量の種グラニュールを追加投入しているが、それ以外は汚泥の追加は行っていない。

写真 2 EGSB 反応槽のグラニュール (1,146 日目)

図 4 原水と処理水のメタノール濃度

図 5 ガス化率

い。このグラニүүлを構成する古細菌の菌叢を確認するため、EGSB 反応槽のフロック汚泥を除いたグラニүүлのみを篩い分けし、16 SrDNA 法と T-RFLP 法により群集解析を行った。このうち T-RFLP の結果を図 6 に示す。嫌気性処理設備のシャットダウンが少なく、比較的高い除去率で安定運転していた設備稼働当初は *Methanomethylovorans* spp. が増加する傾向であった。

その後、運転停止を繰り返す中で *Methanomethylovorans* spp. は減少し、*Methanobacterium* spp. が増加した。その後もグラニүүлを構成する古細菌の菌叢は大きく変化している。メタノールを直接資化できる *Methanomethylovorans* spp. はフロック性のためグラニүүлとして維持しづらいと考えられているが、条件によってはグラニүүлを構成する主たる菌になり得るという結果が示された。

5. ま と め

テスト/設備計画/実設備の性能の比較表を表 4 に示す。5 年以上に渡る長期実設備運転を行っているが、定常時の性能はラボテストで得られた性能とほぼ同等の性能を示していることが証明された。また、本設備では max. 133,000 MJ/d ものメタンガス由来のエネルギーが回収されており、単なる排水処理設備ではなく、エネルギー生産設備としても働いている。

なお、当初懸念されていた、汚泥の維持や、シャットダウン明けの処理の悪化の問題も、MF-サブリ（有機栄養源）と MF-8+1（無機栄養源）など有効な添加剤の適正添加と pH および温度管理の徹底により、安定運転が可能であることが実証できた。

図 6 グラニүүлを構成する古細菌比率

表 4 テスト/設備計画/実設備の性能の比較表

項目	単位	ラボテスト	設備計画	実設備
COD _{Cr} 容積負荷	kg/m ³ ・d	～18	～15	～17
メタノール容積負荷	kg/m ³ ・d	～9	～7.5	～9
希釈率	—	2	2	2
COD _{Cr} 除去率	%	90	80	80～93
メタノール除去率	%	95	95	80～100
ガス化率	Nm ³ -CH ₄ /kg-COD _{Cr}	0.2	0.2	0.18～0.35
メタン濃度	%	90	80	89～99
エネルギー回収量	MJ/d	—	～137,000	～133,000

6. おわりに

当社はこの5年以上に渡る実設備運転経験と安定運転の実績で、パルプ蒸解工程排水への嫌気性処理システムに関して大きなアドバンテージが得られたものと考えている。省エネ+創エネも可能であるこのBioimpact[®]システムの適用を広げ、当社が少しでも紙パルプ事業の効率化に役立てることを希望する。

Acknowledgement

最後に、実設備の運転管理およびデータ取得に惜しみな

いご協力をいただいた王子製紙株式会社/富岡工場様へ感謝の意を表します。

References

- 1) 原田秀樹ほか. 超高速メタン発酵バイオリアクターの開発と汚泥菌叢の分子微生物生態解析. 環境バイオテクノロジー学会誌, Vol. 4, No. 1, p. 19-27, 2004.
- 2) 中野淳ほか. パルプ蒸解工程排水への嫌気性処理システムの適用実績. 第51回2008年紙パルプ技術協会年次大会要旨集