

水環境保護に貢献するバチルス菌排水処理システム 「FBS-Premium システム」

“FBS-Premium System” *Bacillus* Wastewater Treatment System Contributing to Water Environmental Protection

田口 和之 TAGUCHI, Kazuyuki

佐藤 匡則 SATO, Masanori

井上 公平 INOUE, Kohei

バイオガスを生成して利用するバイオガス発電において、メタン発酵処理後に残った消化液は肥料として活用してきた。一方、未活用の消化液は排水処理設備を設置し、排水基準に適合した処理を講じる必要があり、処理設備の増設で初期投資がかさみ、FIT による売電収益を圧迫していた。富士電機は、これらの課題を解決するため、バチルス菌を用いた排水処理システムに回転円板装置を組み合わせた排水処理システム「FBS-Premium システム」を開発した。これにより、処理設備の増設が不要で、ランニングコストを約 30% 削減することができた。

In biogas power generation, generating and using biogas as fuel, the digestive fluid that is a residue product of the methane fermentation process has been utilized as fertilizer. Unused digestive fluid, however, has to be treated by the wastewater processing facility to meet with the wastewater standards. The addition of the processing facility increases initial investment, and this, in turn, suppresses the profitability of power selling through the Feed-in Tariff Scheme. To help mitigate these problems, Fuji Electric has developed the “FBS-Premium System” as a wastewater treatment system that incorporates a rotary disk device into wastewater treatment systems that use *bacillus*. This system makes it unnecessary to add additional treatment facilities, thus reducing running costs by about 30%.

① まえがき

2012 年、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」に基づき、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(FIT) が開始された。これを背景に、畜産系廃棄物をメタン発酵させてバイオガスを生成・利用するバイオガス発電が拡大基調となっている。

このバイオガス発電において、メタン発酵処理時に発生する残渣（ざんさ）である消化液は、従来は堆肥や液肥として活用されてきた。一方、未活用の消化液については、排水処理設備を設置し、排水基準に適合した処理を講じる必要がある。ただし、従来の排水処理技術である活性汚泥法などで消化液を処理する場合、排水処理設備の設置のためのインシタルコストおよびランニングコストがかさみ、FIT による売電収益を圧迫することが課題となっている

(図 1)。

富士電機は、バイオガス発電の消化液排水処理設備におけるこれらの課題を解決するため、バチルス菌^(注)を用いた排水処理システムに回転円板装置⁽¹⁾を組み合わせた排水処理システム「FBS-Premium システム」を開発した。

② メタン発酵消化液の排水処理

メタン発酵の残渣である消化液は従来、前述のとおり農地還元利用されてきた。しかし、受入農地の不足やバイオガス発電設備の増加に伴うさらなる消化液の発生により、消化液を環境中に放出できる基準にまで浄化する排水処理の必要性が高まっている。

消化液を含め、排水処理の手法としては生物学的、物理的および化学的な方法がある。これらの中でも、生物学的

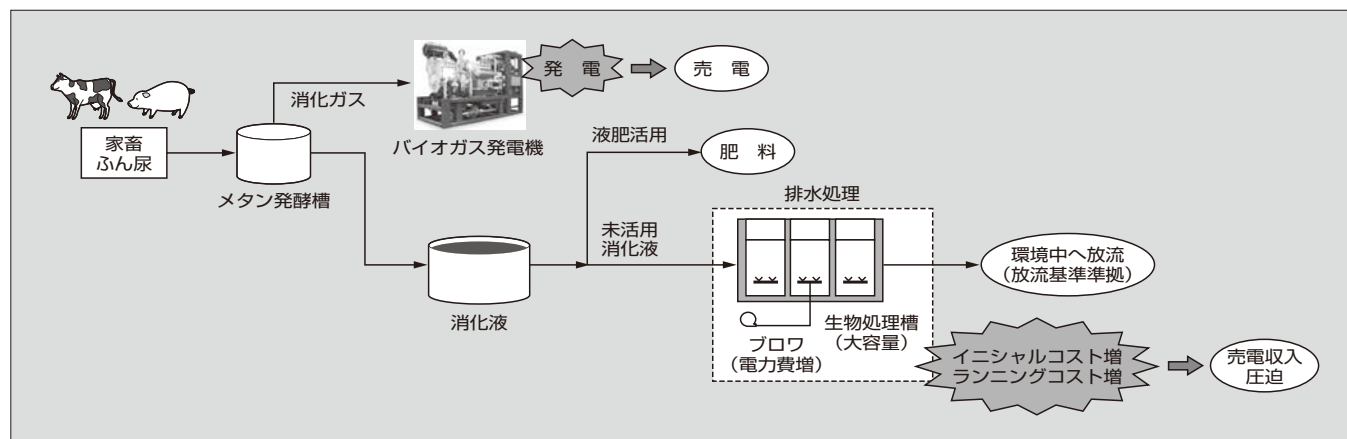


図1 メタン発酵フロー図と課題

〈注〉バチルス菌：60 ページ「解説 1」を参照のこと

処理が最も安価で、オペレーションが容易なことから標準活性汚泥処理が一般的に普及している。しかし、この処理方式には次の課題がある。

(1) 多額のイニシャルコスト

消化液は、メタン発酵処理で一度生物処理された残渣であるため、生物で分解しにくい有機物成分が多い。以前からある標準活性汚泥処理では、一般的な有機系排水処理と比べて長時間の処理が必要となり、排水を貯留して処理するための大容量の水槽が必要となる。そのため、排水処理設備の躯体（くたい）工事や土木工事によって多額のイニシャルコストがかかる。さらに、生物処理において必要な空気を送り込む大容量の送風機（ブロウ）が必要であり、これもイニシャルコストがかさむ一因となっている。

(2) 多額のランニングコスト

排水処理設備で水槽が大容量化されると、ブロウも大容量化されることは前述のとおりである。また、ブロウは排水処理設備において電力費の大半を占めるため、ランニングコストが増加する。

③ 排水処理システム「FBS-Premium システム」

富士電機は、バチルス菌を用いた排水処理システムに回転円板装置を組み合わせることで排水基準に適合しつつ、前述のコストに関する課題を解決する排水処理システム「FBS-Premium システム」を開発した。

3.1 概要

(1) 「FBS-Premium システム」

FBS-Premium システムの概略フローを図2に示す。本システムは、回転円板装置において1次処理を行い、生物処理槽である曝気（ばっき）設備において2次処理を行う。その後、処理水と汚泥を分離するため沈殿槽において固液分離を行うものである。

(2) バチルス菌による排水処理

本システムの運用においては、図2に示したとおり、バチルス菌を初回のみ投入する。また、バチルス菌を優占化させるための活性剤を毎日、少量を添加する。FBS-

Premium システムで用いられるバチルス菌は自然界にある数多くのバチルス菌の中でも、高濃度の有機物を短時間で分解し、かつ処理に伴い発生する余剰汚泥（産業廃棄物、系外に需要家が有償で処理委託）を分解する酵素を大量に分泌するという特徴を持っている^{(1),(2)}。

富士電機では、このバチルス菌と活性剤を用いた排水処理システムを開発し、食品、飲料工場などの排水処理に採用されている。

また、活性剤は、けい素、鉄、マグネシウムなどのミネラルを主成分としており、バチルス菌の増殖を促進するとともに、バチルス菌の優占化や菌濃度・処理性能の維持がなされ、処理水質が安定化する。

(3) 回転円板装置

回転円板装置（図3）は、バチルス菌と汚泥を付着させる立体網状構造の接触体（図4）に、排水を通水し接触させることにより浄化する装置である。本装置は、多量のバチルス菌や汚泥を円板体に付着（図5）させるので、従来技術に比べて、曝気容積がより小容量となり、多量の有機物などの汚濁成分の分解除去が可能である。さらに、大容量の水槽を用いていた従来技術に比べて約20～40%安価である。

回転円板装置の模式図を図6に示す。円形の接触体は複数枚並列に配置し、回転する。接触体の下側半分が水槽内



図3 回転円板装置の外観

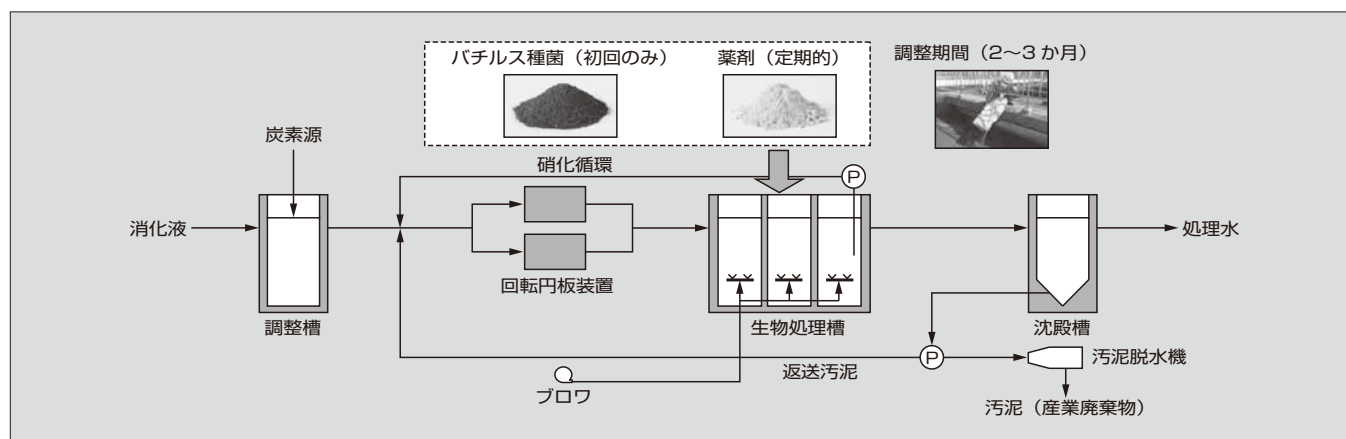


図2 「FBS-Premium システム」の概略フロー

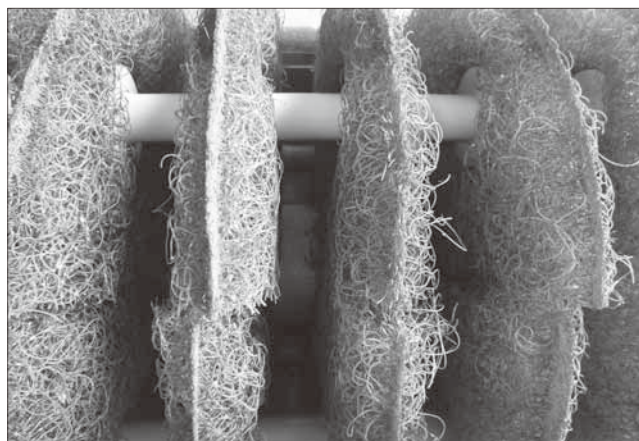


図4 回転円板装置の接触体（汚泥付着前）



図5 回転円板装置の接触体（汚泥付着状態）

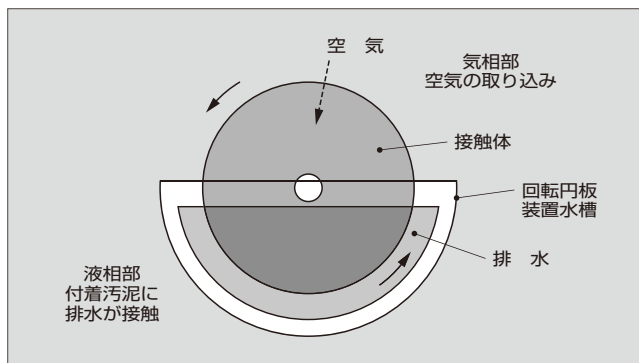


図6 回転円板装置の模式図

の排水に浸かり、接触体に付着した汚泥に排水が接触する。また、上側半分は水槽の外にあり、空気に接触するため接触体に付着した汚泥に空気が取り込まれる。

接触体は立体網目構造であるため、内部にまで活性汚泥を付着保持できる。これにより、接触体の内部および付着した活性汚泥の内部は空気の供給が制限されることになり、嫌気状態となる。したがって、回転円板装置は接触体の回転によって、嫌気領域と好気領域の両方を形成するため、微生物の脱窒反応を高効率で進行させ、窒素の除去能力を高く保持することができる。

(4) 曝気設備

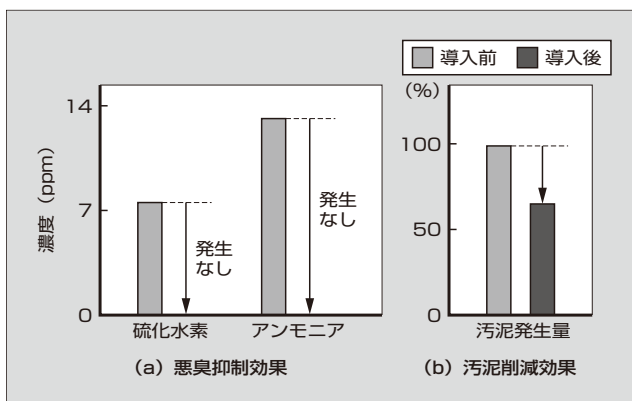


図7 パチルス菌による悪臭抑制および汚泥削減効果の例

回転円板装置では、円板の回転運動が微生物に空気を送り込むので、微生物は酸素を自給することができる。これに加えて、パチルス菌は、少ない酸素量で汚濁成分を浄化できるため、空気を送る量を大幅に削減することができ、図2に示した生物処理槽へ空気を送るためのブロウなどの曝気設備のダウンサイジングが可能となる。

3.2 特徴

(1) イニシャルコスト削減効果

排水処理設備の設備面積の低減およびブロウなどの曝気設備のダウンサイジングにより、従来と比較してイニシャルコストを約20～40%削減できる。

(2) ランニングコスト削減効果

前述のとおりパチルス菌と回転円板装置の組合せにより、空気を送り込む量が削減できるため、曝気電力費を従来と比較して約20～50%削減できる。

(3) 悪臭の抑制効果

パチルス菌は、悪臭成分である硫化水素やアンモニアなどを無臭の成分に変換し、悪臭の発生を抑制する⁽¹⁾。図7(a)の悪臭抑制効果から分かるように、排水処理設備の周辺環境や労働環境の改善を図ることができる。

(4) 汚泥の削減効果

パチルス菌は、汚泥の主成分であるたんぱく質や炭水化物を分解する酵素を大量に分泌する。汚泥が削減されるのは、この酵素の働きによるものであり、図7(b)に示したように、発生する汚泥を約20～40%程度削減することが可能である⁽¹⁾。産業廃棄物である汚泥の発生を抑制することによって産廃処分費が削減できる。

④ 畜産（乳牛）メタン発酵プラント排水処理パイロット試験例

4.1 背景、目的

本事例では、標準活性汚泥法が導入されている畜産業を営むA社におけるメタン発酵プラントの排水処理設備の処理能力増強について述べる。

A社では、飼育する家畜数の増加に伴い、発生する消化液排水量が半年後に1.5倍（40m³/日→60m³/日）に

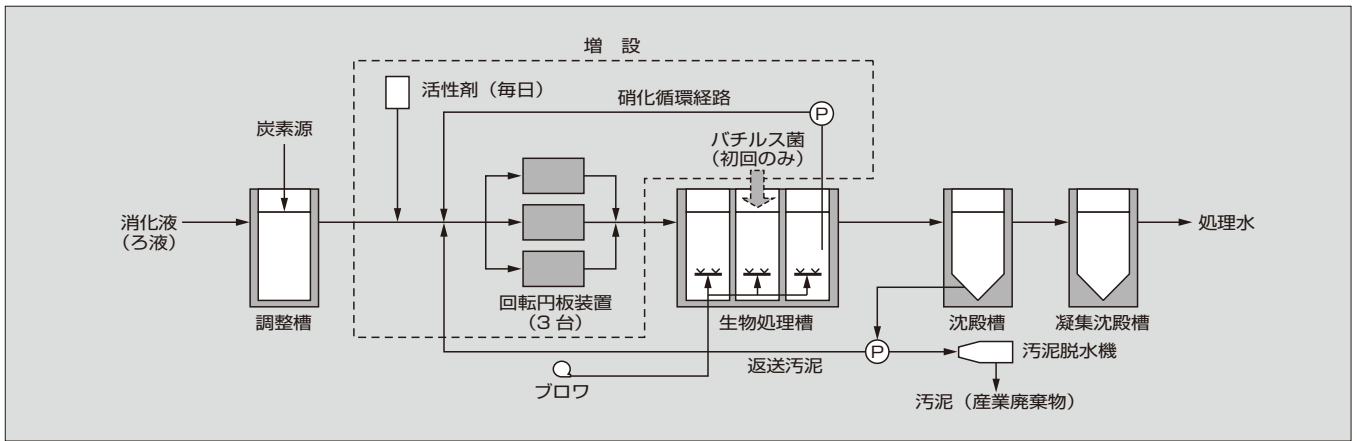


図8 「FBS-Premium システム」のフロー

増加することが見込まれていた。既存の排水処理設備の規模のままでは排水処理能力が不足し、規制値を順守した処理が不可能であった。そのため、今回開発したFBS-Premium システムによる処理能力増強を計画した。

また、既設の排水処理設備において土木構造物を増設することなく、回転円板装置の追加と標準活性汚泥法からバチルス菌を用いた排水処理法への変更により、イニシャルコストおよびランニングコストを抑制できる構成とした。目標値は次に示すとおりである。

- (a) 回転円板装置の追加により現状の消化液量を1.5倍とした条件でも処理水質が放流基準値を達成すること
- (b) 標準活性汚泥法で増設した場合に比べて、イニシャルコストを大幅に削減すること
- (c) 標準活性汚泥法で増設した場合に比べて、ランニングコストを約30%削減すること

4.2 「FBS-Premium システム」の構成

図8に本事例でのFBS-Premium システムのフローを示す。既存の排水処理設備では、調整槽、生物処理槽、沈殿槽、凝集沈殿槽がある。開発したFBS-Premium システムでは、生物処理槽の前段に3台の回転円板装置を追加し、生物処理槽および回転円板装置にバチルス菌を導入し、汚泥返送を回転円板装置に返す構成である。さらに、窒素除去をより進めるため生物処理槽から回転円板装置に曝気液を循環させる硝化循環経路を設ける。

バチルス菌の優占化、菌濃度維持、処理性能維持のために必要な活性剤の添加設備も設置する。

FBS-Premium システムの処理性能を評価するため、実規模の約1/100スケールのパイロット試験を行った。

既存のメタン発酵消化液の原液の浮遊物質(SS:Suspended Solid)は30,000mg/Lであり、生物処理で分解できない成分を大量に含む。そのため、この固形物を取り除く凝集固液分離処理を行い、その処理した排水を処理対象として浄化する。表1に固液分離後の消化液の水質を示す。

パイロット試験の結果、放流基準項目である生物学的酸素要求量(BOD:Biochemical Oxygen Demand)、化学

表1 水質データ

項目		値
固液分離後消化液水質	pH	中性
	BOD	500mg/L
	COD	950mg/L
	SS	180mg/L
	T-N	900mg/L

表2 「FBS-Premium システム」の運転条件

項目	運転条件
排水量	60m ³ /日
回転円板装置	3台(新設)
生物処理槽容積	530m ³ (既設水槽のみで増設なし)
硝化循環率	300~600%
汚泥返送率	50~100%
炭素源	添加
後処理	凝集沈殿処理

表3 「FBS-Premium システム」の処理後の水質と放流基準値

項目	処理水質	放流基準
pH	8	5.8~8.6
BOD	69mg/L	120mg/L以下
COD	45mg/L	120mg/L以下
T-N	46mg/L	60mg/L以下

的酸素要求量(COD:Chemical Oxygen Demand)、全窒素濃度(T-N:Total Nitrogen)の全てにおいて放流基準値を満たすことができた。

FBS-Premium システムの運転条件を表2に、処理後の水質および放流基準値を表3に示す。

4.3 導入効果

(1) イニシャルコスト

FBS-Premium システムを導入することで、生物処理槽の増設が不要となり、表4に示すようにイニシャルコストは大幅に削減できる。

表 4 コストの相対比較

項 目	標準活性汚泥法	FBS-Premiumシステム
イニシャルコスト	100	60
ランニングコスト	100	70

(2) ランニングコスト

ランニングコストは、曝気にかかる電気代の削減と毎日投入する活性剤によるコスト増加分を差し引いても、FBS-Premium システム全体のランニングコストは、約30% 削減できる。

5 あとがき

水環境保護に貢献するバチルス菌排水処理システム「FBS-Premium システム」について述べた。

本システムの適用拡大により、拡大基調であるバイオガス発電プラントの運営コスト削減ならびに水環境の保護に貢献していく所存である。

参考文献

(1) 田口和之ほか. バチルス菌による新排水処理ソリューション. 富士電機技報. 2017, vol.90, no.1, p.47-51.

(2) 田口和之ほか. バチルス属細菌を優占種とする活性汚泥法の処理性能と汚泥削減の検討. 第49回日本水環境学会講演集. 2015, p.213.



田口 和之

排水処理システムの開発，エンジニアリング業務に従事。現在，富士電機株式会社パワエレシステム事業本部環境ソリューション事業部水環境プロジェクト部主査。日本生物工学会会員。



佐藤 匡則

排水処理システムの電気，計装の設計，開発に従事。現在，富士電機株式会社パワエレシステム事業本部環境ソリューション事業部水環境プロジェクト部部長。



井上 公平

排水処理システムの開発，エンジニアリング業務に従事。現在，富士電機株式会社パワエレシステム事業本部環境ソリューション事業部水環境プロジェクト部主任。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。