

バチルス菌による新排水処理ソリューション

New Wastewater Treatment Solution Using Bacillus

田口 和之 TAGUCHI, Kazuyuki

佐藤 匡則 SATO, Masanori

花井 洋輔 HANAI, Yosuke

食品・飲料，化学工場などを対象に，バチルス菌による新排水処理ソリューションを開発した。自然界に数多くの種類があるバチルス菌の中から排水処理に適したものを発見し，使用したものである。これにより，既設の排水処理設備において大規模な改造や増設を行うことなく，曝気（ばっき）電力費や汚泥処分費の削減が可能である。また，汚泥レス排水処理システムは，磁力によって汚泥を分離する磁気分離装置を付加したものであり，大幅な省スペース化と処理性能の向上を実現する。工場の排水処理への適用例において，ランニングコストをそれぞれ 20%，25% 削減した。

Fuji Electric has developed a new wastewater treatment solution using Bacillus. This solution uses special Bacillus bacteria that we found suitable for wastewater treatment among a number of such species existing in nature. This allows existing wastewater treatment facilities to reduce the electric power cost for aeration and sludge disposal cost without the need for large-scale modification or extension of the facilities. The sludge-less wastewater treatment system has a magnetic separator that separates sludge by magnetic force, achieving significant space-saving and better treatment performance. In an application example for factory wastewater treatment, the new wastewater treatment solution reduced the running cost by 20%, and the sludge-less wastewater treatment, by 25%.

① まえがき

工場や事業所の排水は「水質汚濁防止法」および地方自治体の条例で定められた“上乗せ基準”により，排水基準が厳しく設けられ，適正に処理することが義務付けられている。排水処理には，標準活性汚泥法が広く用いられているが，電力費や汚泥処分費などのランニングコストが大きい。

富士電機は，食品・飲料，化学工場などを対象に，ランニングコストを低減するため，バチルス菌による新排水処理ソリューションを開発した。

② 排水処理とランニングコスト

各種工場の有機性排水の処理において，維持管理のしやすさから，生物処理，その中でも標準活性汚泥法が広く用いられている。図 1 に，排水処理の基本フローと施設の例を示す。標準活性汚泥法は，微生物を排水中に浮遊させ，排水中の汚濁成分を微生物に取り込ませて排水を浄化し，その後，微生物を沈殿させて除去する方法である。微生物は取り込んだ汚濁物質を分解するときに酸素を必要とするため，ブロワ（送風機）により排水中に空気を吹き込む曝気（ばっき）を行い，排水中の溶存酸素濃度を微生物の必要量まで高める必要がある。また，微生物は汚濁物質を分解して増殖し，成長するため，過剰に増殖した微生物の塊（余剰汚泥）を系外に排出する必要があるが，排出された余剰汚泥は産業廃棄物として処分される。

図 2 に，工場における排水処理のランニングコストの例を示す。ランニングコストのうち，曝気電力費と汚泥処分費（産業廃棄物処分費）は，排水処理ランニングコストの 40% 程度と大きな割合を占める。

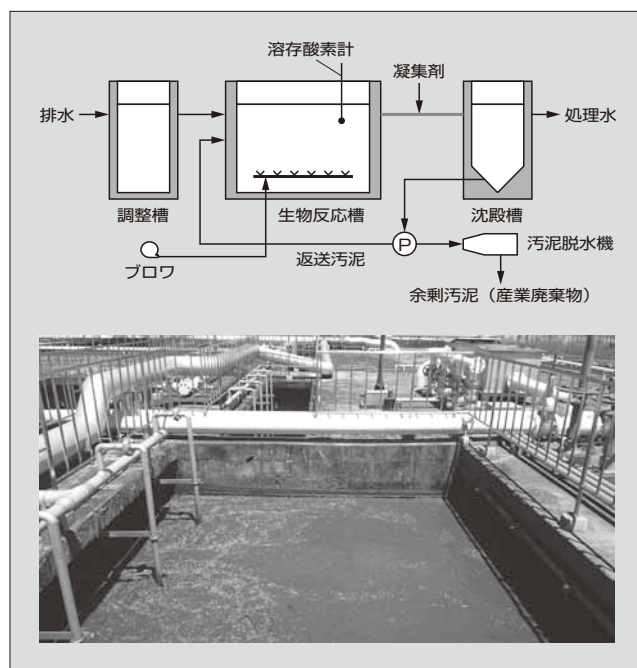


図 1 排水処理の基本フローと施設例

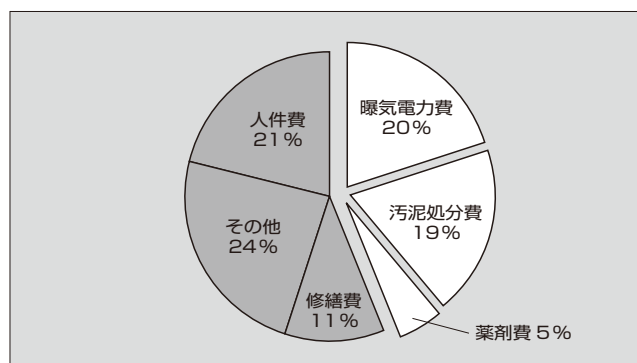


図 2 排水処理ランニングコストの例

③ バチルス菌による排水処理

自然界にある数多くの種類のバチルス菌^{〈注1〉}の中には、高濃度の有機物を短時間で分解できる排水処理の浄化能力が高く、かつ余剰汚泥を分解する酵素を大量に分泌するバチルス菌が存在する。富士電機はそれを発見し、排水処理用バチルス菌として使用することにより、排水処理のランニングコストの削減と処理性能の向上を実現した。

3.1 特徴

- (1) ランニングコスト削減効果
 - (a) 曝気電力費を従来比で 10～40% 削減できる。
 - (b) 汚泥処分費を従来比で 20～40% 削減できる。
 - (c) 薬剤費を従来比で 10～20% 削減できる。
- (2) 処理性能向上
 - (a) 流入する排水の水質変動に対応できる範囲を拡大できるため、従来よりも処理性能に優れ、水質を改善する。
 - (b) 悪臭を抑え、周辺環境や労働環境を改善する。
- (3) 容易な導入と維持管理
 - (a) バチルス菌による排水処理は、既設の排水処理施設や設備について改造や増設を行うことなく、汚泥発生量および曝気量を削減できるため、大規模な設備投資が不要である。
 - (b) 運用においては、バチルス菌を初回のみ既存の生物反応槽に投入する。バチルス菌の優占化および性能維持のために薬剤（活性剤）を毎日、少量添加するだけでよい。
 - (c) バチルス菌数が初期の約 100 倍を超える状態（バチルス菌優占化状態）を維持することで、水質を確保しつつ、余剰汚泥の削減と曝気量の削減の効果を保つことができる。
 - (d) 調整期間は 2～3 か月であり、曝気量と汚泥濃度の

調整を行うことでバチルス菌を優占化させる。

図 3 に、バチルス菌による排水処理の概略フローを示す。調整項目は主に曝気量と汚泥返送量である。

3.2 排水処理におけるバチルス菌の働き

(1) 排水処理用バチルス菌

バチルス菌は少ない溶存酸素^{〈注2〉}でも生育できる通性嫌気性菌^{〈注3〉}である。標準活性汚泥法においては、活性汚泥中に普遍的にバチルス菌が存在しているが、より少ない酸素量で汚濁成分を浄化できるのが排水処理用バチルス菌であり、ブローの運転風量を下げることができ、曝気電力費の削減が可能になる。

(2) 活性剤

排水処理用バチルス菌は、けい素、鉄、マグネシウムなどのミネラルを主成分とする活性剤を加えることにより、菌の増殖が促進されて優占化を維持でき、浄化性能が安定化する⁽¹⁾。排水処理用の活性剤は排水処理用バチルス菌に対し、汚泥成分であるタンパク質や炭水化物などを分解する酵素の分泌量を増やすことを促す。そのため、余剰汚泥の分解が促進され、汚泥発生量が減少する。

また、排水処理用バチルス菌は、活性剤を添加するとタンパク質分解酵素の活性（酵素の分泌量）が約 30 倍に増加する性質を持つ。他種のバチルス菌に比べても約 10 倍の活性を持つ（図 4）。同様に、排水処理用バチルス菌は、活性剤を添加すると炭水化物分解酵素の活性が約 25 倍に増加する性質を持つ。他種のバチルス菌に比べても約 3 倍の活性を持つ（図 5）。これらの性質により、排水中の汚濁成分を分解する能力や汚泥成分を浄化する能力が従来に比べて向上する。

(3) 汚泥の削減

排水処理用バチルス菌により余剰汚泥が削減されるのは、菌の分泌する酵素の働きによるものであることを解明した。

図 6 は、標準活性汚泥法を行っている排水処理施設の余

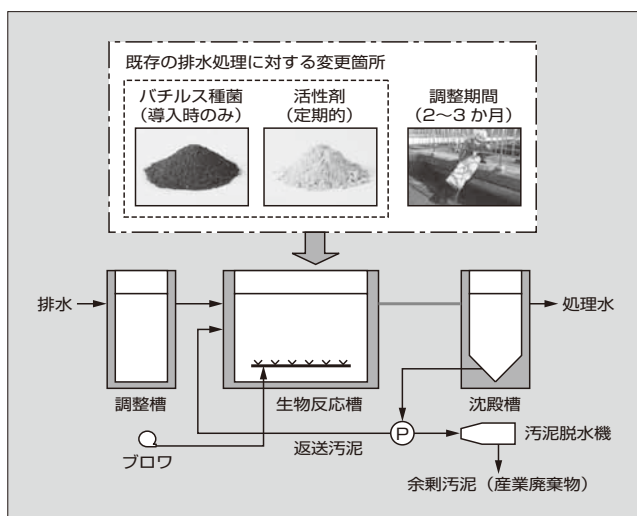


図 3 バチルス菌による排水処理の概略フロー

〈注 1〉 バチルス菌：52 ページ「解説 1」を参照のこと

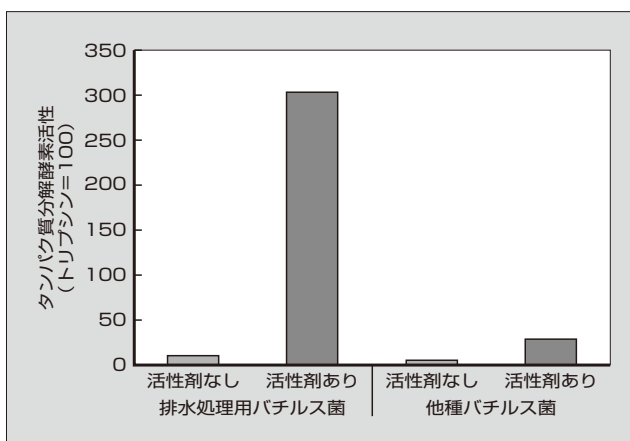


図 4 タンパク質分解酵素の活性

〈注 2〉 溶存酸素：水中に溶け込んでいる酸素

〈注 3〉 通性嫌気性菌：酸素があってもなくても生育できる、すなわち低い酸素濃度で生育できる菌の総称

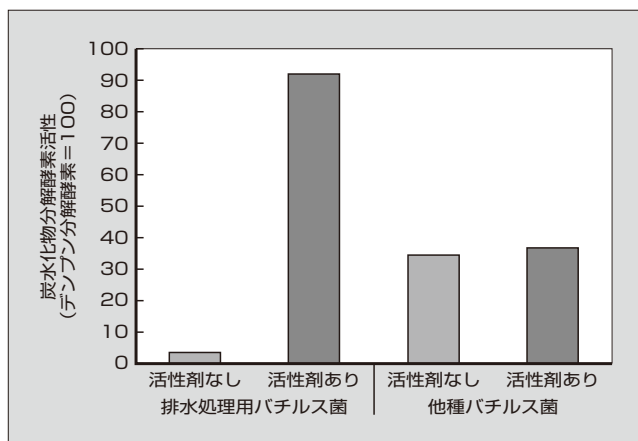


図5 炭水化物分解酵素の活性

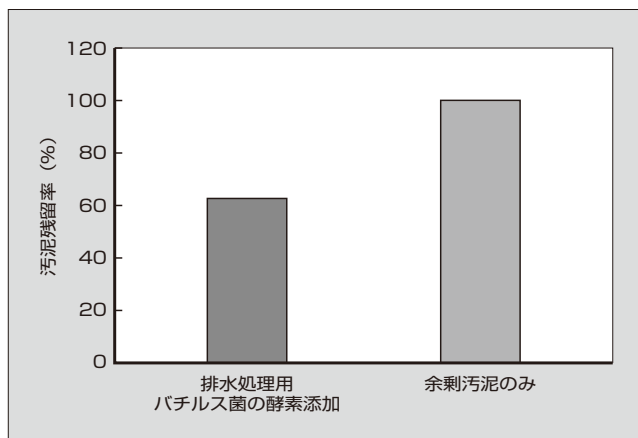


図6 排水処理用バチルス菌の酵素による汚泥の分解

剰汚泥に排水処理用バチルス菌の酵素（培養液を除菌した液）を添加し、汚泥の残留量を比較したグラフである。酵素を添加すると約40%の汚泥が分解除去された。このことから、汚泥削減の効果は酵素によるものであることが分かる。

(4) 汚泥の沈降性の改善と無臭化

排水処理用バチルス菌は、凝集性、粘着性が高く、汚泥の沈降性を改善できる。

図7は、排水処理用バチルス菌を用いた汚泥と標準活性汚泥法の汚泥について、30分間のSV（Sludge Volume：活性汚泥沈殿率）を比較したものである。排水処理用バチルス菌を用いた汚泥は、標準活性汚泥法の汚泥よりも短時間で沈降するため、固液分離しやすく汚泥の流出を低減できる。

また、排水処理用バチルス菌は、悪臭成分である硫化水素やアンモニアなどを分解し、無臭化できる。

3.3 適用例

標準活性汚泥法が導入されている、排水量1,500m³/日のA社工場に、排水処理用バチルス菌による排水処理を適用した。排水処理ランニングコストにおける汚泥処分費の削減が目的である。

(1) 導入形態

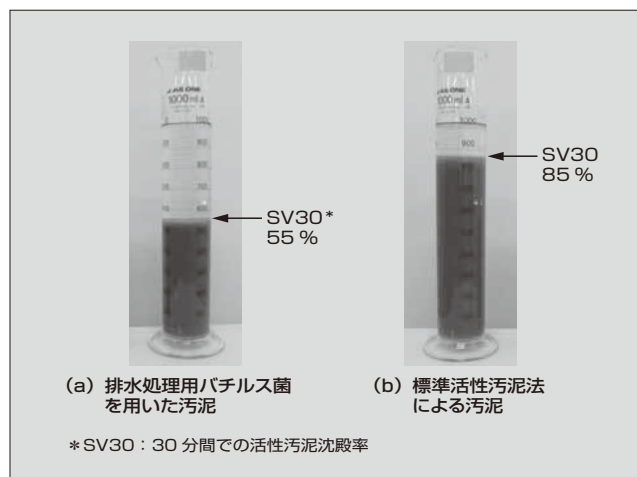


図7 排水処理用バチルス菌による汚泥沈降性の改善

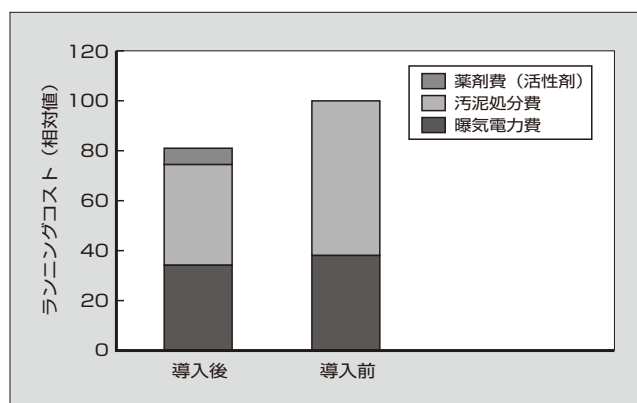


図8 排水処理用バチルス菌の導入例

導入に当たり、既存の排水設備には改造や増設は行わず、排水処理用バチルス菌の種菌の投入のみを行った。活性剤は、所定量を生物反応槽に毎日投入した。3か月間にわたる調整期間中は、曝気量の調整および返送汚泥量と引抜汚泥量の調整を行った。この調整期間で、排水処理用バチルス菌は初期の割合の約100倍になり、優占化したことを確認した。

(2) 導入効果

排水処理用バチルス菌を使用することにより、曝気電力費は導入前に比べて10%減少し、汚泥処分費は35%減少した。毎日投入する活性剤の増加分を差し引くと、排水処理全体のランニングコストは約20%削減できた（図8）。

4 汚泥レス排水処理システム

排水処理用バチルス菌を使用するとともに磁気分離装置を付加すると、余剰汚泥がほとんど発生しない汚泥レス排水処理システムを構築することができる。図9に、本システムのフローを示す。図3で示したバチルス菌による排水処理に対して磁気分離装置を付加することにより、沈殿槽と返送汚泥がなくなり、汚泥脱水機も不要になる。

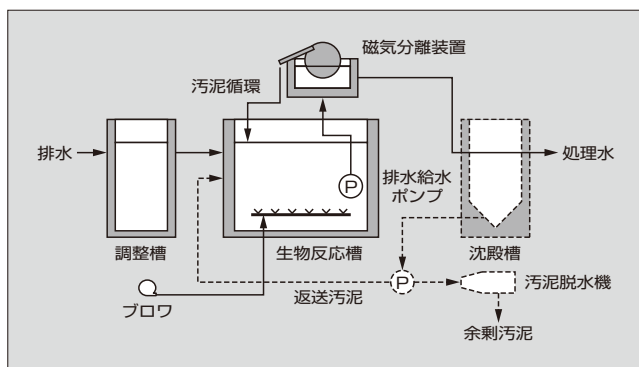


図9 汚泥レス排水処理システムのフロー

4.1 特徴

本システムは、工場の増産や統合によって排水量とともに汚濁物質が増加し、排水処理施設の更新、新設または増設をしなければならない事業場を主な対象としている。非常に狭いスペースに建設するニーズや、増加する排水処理のランニングコストを抑制するニーズに応えるシステムである。本システムは、標準活性汚泥法による従来システムに比べて次に示す特徴がある。

(1) ランニングコストの効果

- (a) 汚泥処分費を90%以上削減できる。有機性汚泥の発生はゼロであり、無機物の堆積物引抜きは年に数回程度である。
- (b) 汚泥処理に付帯する曝気電力費が不要となる。
- (c) 汚泥処理に付帯する薬剤費が不要となる。

(2) 汚濁成分浄化能力の向上

汚濁物質濃度は、従来システムの場合の3倍まで対応できる。

(3) 初期投資の低減

- (a) 沈殿槽が不要である。
- (b) 生物反応槽容積が1/2～1/3である。
- (c) 汚泥脱水機が不要である。

磁気分離装置により固液分離を行うため、従来の沈殿槽そのものが不要となる。また、有機性汚泥が発生しないため汚泥脱水機も不要になる。ただし、無機性汚泥については年に数回程度、除去する必要がある。

(4) 省スペース化

排水処理占有スペースは、従来システムの場合に比べて半減できる。

(5) 処理性能向上

- (a) 窒素除去率は、90%以上である。
- (b) 悪臭の抑制により、周辺環境や労働環境を改善する。

4.2 システム構築

(1) 汚泥発生量の算出

排水処理における汚泥発生量は、式(1)に示すようにBOD (Biochemical Oxygen Demand: 生物学的酸素要求量)とSS (Suspended Solid: 浮遊物質)のそれぞれに排水量と汚泥への転換率を掛けて算出される汚泥増加量(微生物の増殖分)から、汚泥の自己消化と酵素の汚泥分解作用により減少する汚泥量を引いたものである。

生物の増殖分)から、汚泥の自己消化と酵素の汚泥分解作用により減少する汚泥量を引いたものである。

本システムのバチルス菌は、前述のように汚泥を分解する酵素を大量に分泌する。その汚泥を分解する酵素の量は、バチルス菌の濃度に応じて増える。したがって、生物反応槽内の汚泥濃度(MLSS: Mixed Liquor Suspended Solids)を高め、本システムのバチルス菌の濃度を高くすれば、汚濁物質の生物処理によって増加する汚泥量に対して、本システムのバチルス菌の分泌する汚泥分解酵素の量が増える。これにより、汚泥の分解が促進され、汚泥発生量がゼロとなる運転が可能となる。

$$W=A \times BOD \times Q+B \times SS \times Q-C \times MLSS \times V \cdots \cdots (1)$$

W: 汚泥発生量 (kg/d)

BOD: 生物学的酸素要求量 (kg/m³)

SS: 浮遊物質 (kg/m³)

MLSS: 活性汚泥浮遊物濃度 (kg/m³)

Q: 排水量 (m³/d)

V: 生物反応槽容積 (m³)

A: BOD 汚泥転換率 (%)

B: SS 汚泥転換率 (%)

C: 自己消化率 (%)

(2) 汚泥の固液分離

活性汚泥中の菌体は表面にマイナスの電荷を持ち、磁性粉(マグネタイト, Fe₃O₄)はプラスの電荷を持つ。したがって、両者を混合するとお互いに吸着し、活性汚泥は磁性を持つようになる。

図10に示すように、活性汚泥に磁性粉を添加して攪拌(かくはん)すると速やかにお互いに吸着する。そのため、活性汚泥が磁化活性汚泥となり、磁力によって高速で高効率に固液分離ができる。

(3) 磁気分離装置

磁力によって磁化活性汚泥の連続的な固液分離を行う磁気分離装置を開発し、最終沈殿が不要な排水処理フローを構築した。従来の重力沈降による固液分離に比べて強制的に汚泥を濃縮できるため、生物反応槽内の汚泥を高濃度に

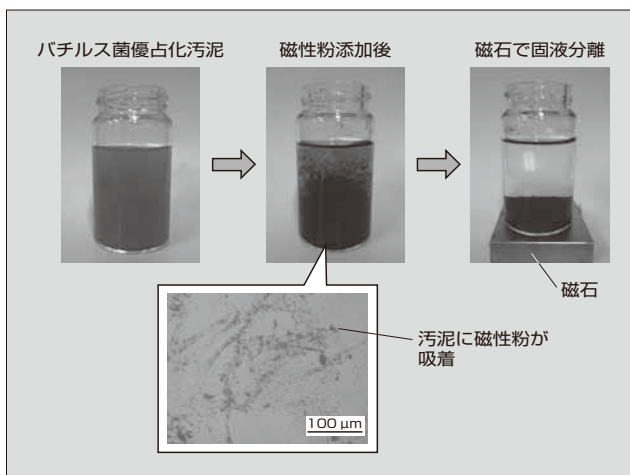


図10 磁化活性汚泥

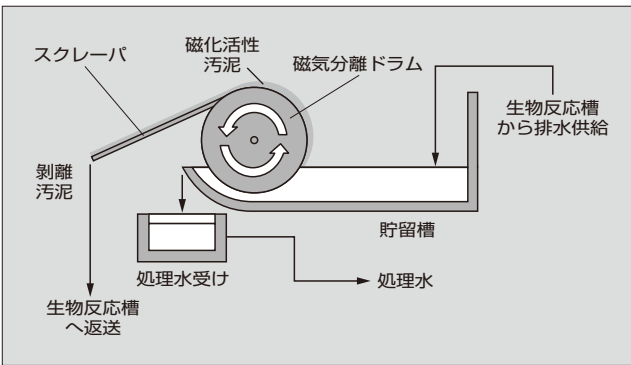


図 11 磁気分離装置模式図

維持できる。これにより、汚泥の増加と自己消化のバランスを取り、汚泥の発生がゼロとなる運転が実現できる。

図 11 に、本システムの磁気分離装置の模式図を示す。生物反応槽内の磁化活性汚泥についてポンプアップを行い、磁気分離装置の貯留槽に送る。貯留槽内では磁力を持つ磁気分離ドラムが回転しており、磁気分離ドラムを通過するときに磁化活性汚泥は磁気分離ドラムに吸着する。その後、スクレーパでかき落として生物反応槽に戻す。

(4) 浄化能力の向上

生物反応槽内の活性汚泥を高濃度で維持することにより、生物反応槽の単位容積当たりの汚濁物質の浄化能力が約 3 倍に向上する。

4.3 適用例⁽⁵⁾

標準活性汚泥法が導入されている排水量 2,000 m³/日の食品製造 B 社工場に、本システムを適用した。汚泥処分費の削減と増産による排水負荷の増加への対応が目的である。

(1) 導入形態

導入に当たり、磁気分離装置およびそれに磁化活性汚泥を供給するポンプを新設した。本システムの生物反応槽には、パチルス菌の種菌と磁性粉を投入した。活性剤は所定量を生物反応槽に毎日投入した。

(2) 導入効果

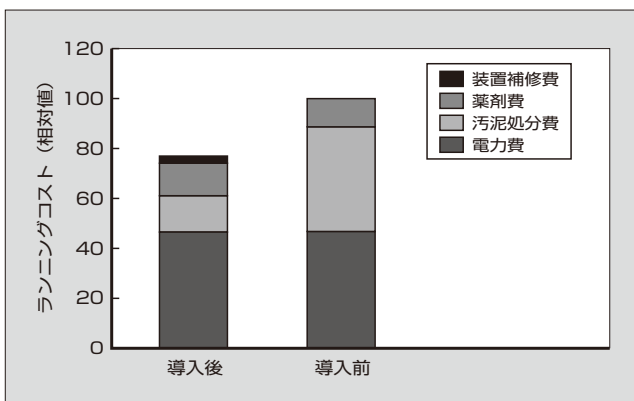


図 12 汚泥レス排水処理システムの導入効果

本システムにより、生物処理によって発生する汚泥は従来比で 90% 減少し、前処理による汚泥を含めた全体の汚泥発生量は約 66% 減少した。排水の汚濁物質は、従来の 3 倍の量を処理することが可能である。毎日投入する薬剤（活性剤）の増加分、磁性粉の補充および磁気分離装置の補修費を差し引くと、排水処理全体のランニングコストは約 25% 削減できた（図 12）。

⑤ あとがき

食品・飲料、化学工場などの排水処理設備を対象にした、パチルス菌による新排水処理ソリューションについて述べた。このソリューションの適用拡大により、排水処理における運営管理コストの削減と環境負荷の低減に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 田口和之ほか. パ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.
- (2) 日本下水道協会編. 下水道施設計画・設計指針と解説2009年版.
- (3) 花井洋輔ほか. 高濃度有機性排水処理に向けた磁化活性汚泥法の汚泥削減性能の向上. 第48回日本水環境学会講演集. 2014, p.391.
- (4) 花井洋輔ほか. 磁化活性汚泥法における汚泥削減性能の検討. 第49回日本水環境学会講演集. 2015, p.495.
- (5) 花井洋輔ほか. 余剰汚泥の大幅減量可能な磁化活性汚泥法による食品排水処理の実用化検討. 第50回日本水環境学会講演集. 2016, p.224.



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、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部社会システム事業部水環境プロジェクト部主任。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、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部社会システム事業部水環境プロジェクト部長。



花井 洋輔

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、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部社会システム事業部水環境プロジェクト部。



＊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。