

高負荷担体式嫌気処理技術の開発

Development of High-Load Carrier Anaerobic Treatment System

●長 田 啓 司*
Keiji NAGATA

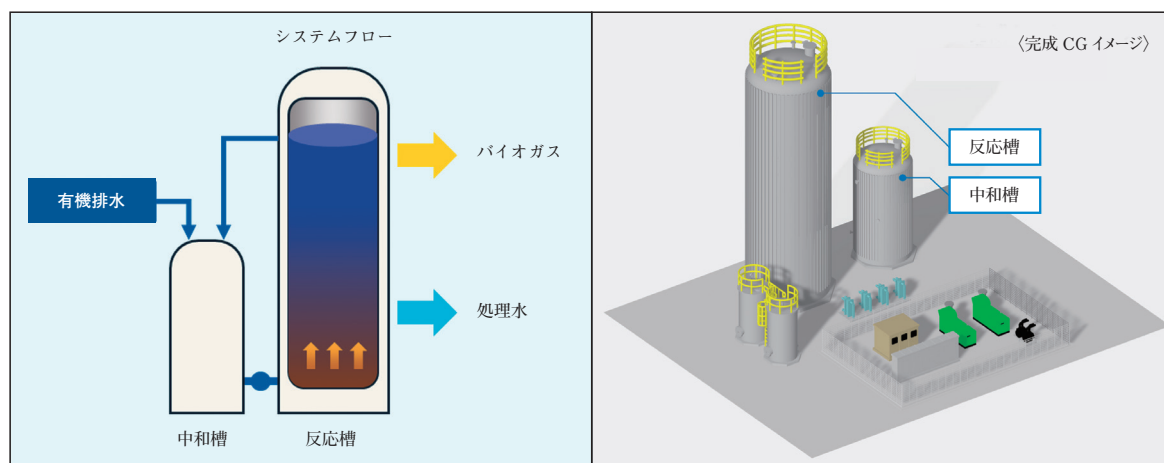


図 1 高負荷担体式嫌気処理装置 (BIOIMPACT-AC) の概念図
Conceptual illustration of high-load carrier anaerobic treatment system (BIOIMPACT-AC)

当社の技術研究所で開発を進めた高負荷担体式嫌気処理技術が、2025年8月に当社グループの住友重機械エンバロメント株式会社より嫌気性処理システム「BIOIMPACT-AC」として上市された(図1)。

従来の嫌気性排水処理は、微生物の自己凝集および造粒によって形成される「グラニュール」を中核として有機物除去機能を発現させる方式が主流であった。本システムも「嫌気性処理」という原理自体は従来技術と共通するが、微生物の保持・高密度化の核として高負荷担体を用いる点に本質的な特徴を有する。

本報では、高負荷担体を用いた嫌気処理技術の反応器コンセプト、装置構成およびラボ試験・パイロット試験による裏付け結果について報告する。

A high-load carrier anaerobic treatment system is an anaerobic wastewater treatment technology commercialized by Sumitomo Heavy Industries Environment Co., Ltd. in August 2025 under the product name BIOIMPACT-AC. Conventional anaerobic wastewater treatment systems predominantly rely on microbial self-aggregation and granulation ("granules") as the core mechanism for organic matter removal. While the fundamental anaerobic treatment principle of the present system is common to conventional technologies, its essential and distinguishing feature lies in the use of a proprietary carrier material as the core medium for microbial retention and high-density biomass formation. This paper reports the reactor concept, system configuration, and technical validity of the high-load carrier anaerobic treatment system, as demonstrated through laboratory-scale investigations and pilot-scale verification tests.

1 はじめに

嫌気性排水処理技術は、酸素のない環境で生存する嫌気性微生物の代謝により排水中の汚れ成分を分解する。液中に空気を吹き込む曝気が必要としない省エネルギー型のプロセスであるとともに余剰汚泥の発生量が少なく、代謝生成物であるメタンガスの回収が可能な処理技術として、産業排水分野において広く導入されてきた。特に、排水の水質および流量が比較的安定している食品産業、とりわけビール生産工場などを中心に国内で急速に普及し、成熟した処理技術として確固たる地位を築いてきた。

こうした市場が成熟する一方で、水量・水質変動が大きい

排水、処理性の低い難分解性排水、汚泥分散により汚泥が流出しやすく微生物保持が困難な排水など、従来型の嫌気性排水処理技術では対応が難しい分野が依然として残されている。これらの排水に対しては、エネルギー投入型の好気処理や、薬品消費量および廃棄物発生量の多い物理化学処理、あるいはそれらを組み合わせた統合プロセスが選択されるケースも多く、排水処理の省エネルギー化・高度化の観点から新たな技術的ブレイクスルーが求められている。

これらの背景のもと、高ロバストかつ高性能な省エネルギー技術として嫌気性排水処理を再定義し、従来技術では適用が困難であった排水分野へ展開することができれば排水処理事業における大きな転換点となり、その社会的意義も極めて

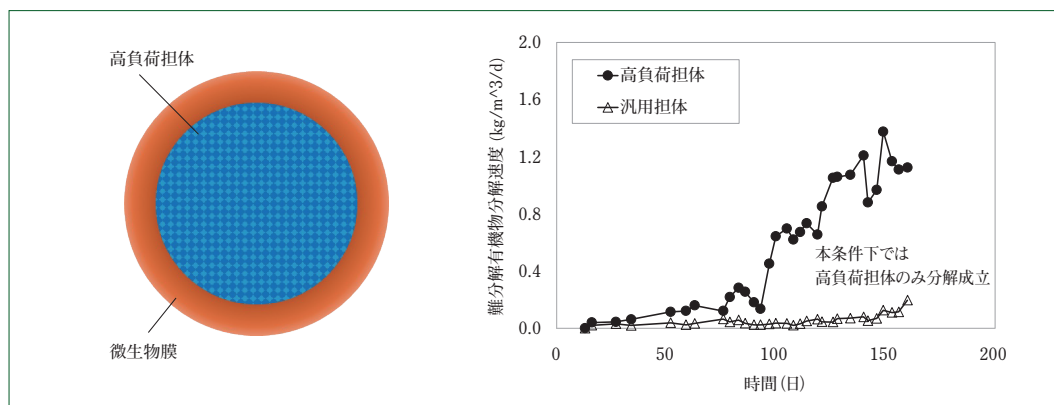


図2 高負荷担体を核としたバイオフィーム形成と技術的特徴の概念図
Conceptual illustration of biofilm formation on high-load carriers and associated technical features

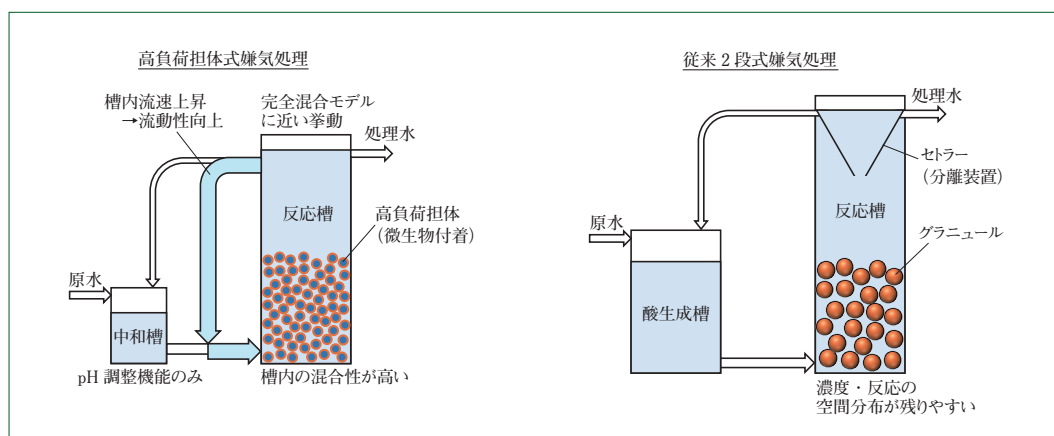


図3 高負荷担体システム(左)と従来2段式嫌気処理(右)の反応器構成比較
Comparison of reactor configurations between high-load carrier system (left) and conventional two-stage anaerobic treatment (right)

大きいと考えられる。加えて、高効率な有機物分解に基づくメタンガス生成により排水からエネルギーを回収・有効利用できることは、排水処理プロセスに資源・エネルギー創出という価値を付加するものであり、エネルギー調達コストの低減の観点からも重要な価値を有する。

本報で紹介する高負荷担体式嫌気処理技術は、嫌気性処理という基本原理を踏襲しつつ、微生物保持の核として生物親和性の高い特殊担体(高負荷担体)を用いる点(図2左)に本質的な特徴を有する。高負荷担体は単なる支持体ではなく、微生物保持の核として反応場そのものを規定する役割を担う。難分解有機物を対象とした評価において、高負荷担体においてのみ実用に耐える分解挙動が確認されたことは(図2右)、担体としての適用範囲そのものを拡張し得ることを示している。従来の嫌気性排水処理が抱えていた適用範囲および運転安定性の制約を克服し得る、次世代型嫌気性排水処理技術として位置付けられる。

2 高負荷担体の流動条件がもたらした反応器コンセプトの転換

微生物を表面に保持した高負荷担体を安定的に機能させるには、担体を適切に流動化させる液流速の確保が不可欠である。本システムでは、高負荷担体の流動条件を満足させるべく槽内循環率を高く維持する設計を採用した(図3左)。

この高い循環率は、単に担体の流動安定性を確保するだけ

でなく、結果として反応器内部の混合性を大きく向上させた。すなわち、従来2段式嫌気処理(図3右)において問題となっていた酸生成反応に起因する局所的なpH低下が槽内で顕在化しにくい反応環境を形成できる。

従来法ではこうした局所的pH低下に対処するため、酸生成槽と反応槽を反応段として物理的に分離し、さらにアルカリ薬品を投入することでpHを調整する必要があった。しかし、本システムでは高循環率による均一な反応環境の形成により反応段としての分離を必須とせず、単一反応器内で安定したメタン生成を実現している(図3左)。

これは高負荷担体の採用とそれを成立させる流動条件の設計が、反応器コンセプトの転換および装置構成の合理化に寄与した好例である。

3 高負荷担体特性を前提とした装置構成コンセプト

3.1 高負荷担体流動を前提とした装置構成

本システムでは、高負荷担体を微生物担体として用いることで、槽底部からの液供給によって担体を安定的に流動化させる構成を採用し、槽底部には高負荷担体の均一な流動を促す独自の液分散機構(ディストリビュータ)を配置している。

3.2 高負荷担体保持性能に基づくセトラ非搭載設計

従来の嫌気性流動床反応器では、微生物や担体の流出を防止する分離装置にセトラが重要な構成要素として用いられ

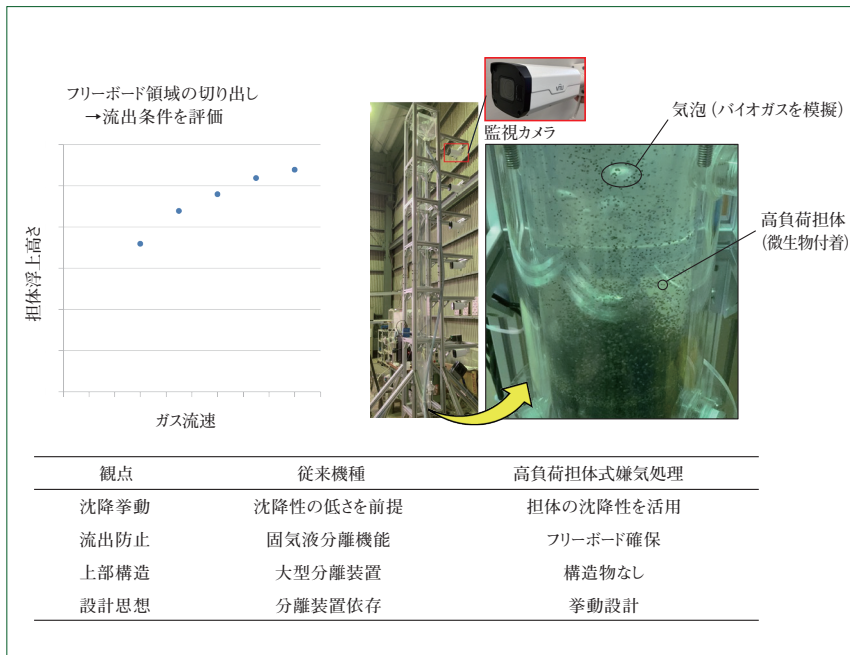


図4 セトラー非搭載を可能とする高負荷担体システムの構造的ロジック
Structural rationale enabling settler-free operation in high-load carrier systems



図5 高負荷担体式嫌気処理のパイロット試験装置外観
Pilot-scale experimental setup for high-load carrier anaerobic treatment

てきた。一方、本システムでは、比重が大きく沈降性に優れた高負荷担体を用いることで、担体流出リスクが本質的に低減される。この特性から、本システムではセトラーを搭載しない反応器構成を採用している。

3.3 高循環がもたらす薬品使用量低減効果

前述のとおり、高負荷担体を高い液循環率で流動化させることで反応器内部の混合性を大きく向上させ、酸生成反応に起因する局所的なpH低下が槽内で顕在化しにくい反応環境を形成する。

この反応環境の形成により、従来2段式嫌気処理において酸生成槽で必要とされていたアルカリ薬品によるpH調整が恒常的な運転操作としては不要、もしくは最小限に抑えることが可能となった。その結果、薬品使用量の削減に加えて薬品供給設備や運転管理が簡素化され、運用コスト低減および運転負荷の軽減に寄与している。

このように、高負荷担体の採用とそれを成立させる高循環型の装置構成は、反応成立性の向上に加え、運転管理性および経済性の面においても明確な副次的メリットをもたらしている。

4 ラボ検証およびパイロット検証による設計妥当性の確認

4.1 高負荷担体保持性に基づくセトラー非搭載設計の検証

3章で述べた高負荷担体の保持性能に基づくセトラー非搭載設計について、その妥当性を検証するため試験を実施した(図4)。

具体的には、実機反応器における「担体層上部に形成され、担体の流出防止を担う液相領域(フリーボード)」を切り出したベンチスケール検証を実施し、バイオガスの発生および液流速による上昇効果で高負荷担体が浮上する際の到達距離を評価した。この検証により、想定される最も厳しい運転条件下で担体が到達し得る高さを把握し、これに安全率を加味す

ることで担体流出防止に必要なフリーボード高さを設計要件として設定した。

これらの担体挙動を定量的に把握したうえで設計要件を定義することにより、従来不可欠とされてきたセトラーを非搭載とし、フリーボードによって従来と同等の担体流出防止機能を有する反応器が成立した。その結果、セトラーに起因する機構コストの削減だけでなく、上部構造の合理化を通じて反応器全体のコンパクト化を実現している。

4.2 ラボ試験による基礎検証

4.1節では、高負荷担体保持性に基づくセトラー非搭載設計について、実機条件を想定したベンチスケール検証の一例を示した。本研究では、このような実機適用時に懸念され得る要素を事前に洗い出し、段階的なラボ試験および実機模擬試験(ベンチ試験)によって潰し込んだうえで、パイロット試験による性能確認へと接続するという検証方針を採用している。

ここでは、その検証方針に基づいて実施した担体技術に関する基礎的なラボ試験について述べる。

具体的には、高負荷担体の流動挙動、微生物付着後の物性変化ならびに高液循環条件下における摩耗や流出の有無について評価を行い、担体技術としての適用可能性を確認した。これらの検証により、高負荷担体は嫌気性微生物の保持に適した担体であり、適切な流動条件を与えることで安定した運転が可能であると示された。

4.3 パイロット試験による実証

基礎検証で得られた知見をもとに、実排水条件を想定したパイロットスケールでの試験を実施した(図5)。本試験はアサヒビール株式会社茨城工場の場内排水処理区画において、住友重機械エンバイロメント株式会社の主導のもと実施し、高負荷担体の長期保持性、負荷変動に対する応答性(ロバスト性)、連続運転下での処理性能および運転安定性を重点的に評価した。

表1 パイロット試験に基づく高負荷担体式嫌気処理の成立性評価マトリクス
Feasibility evaluation matrix of high-load carrier anaerobic treatment based on pilot-scale tests

項目	結果
担体流動性	良好
長期保持性	良好
摩耗・流出	問題なし
負荷変動応答	安定
セトラー非搭載	成立

その結果、高液循環率を維持した運転条件下においても高負荷担体の著しい摩耗や流出は確認されず、安定した処理性能を継続的に得ることができた。また、セトラーを搭載しない構成においても担体保持および運転安定性の確保が実証され、本システムの装置構成の妥当性が裏付けられた(表1)。

4.4 商品設計への反映と判断

前述のラボ試験、ベンチ試験およびパイロット試験の結果を踏まえ、本システムでは高負荷担体の保持性能を前提としたセトラー非搭載の反応器構成を採用するとともに、高液循環率による混合性の向上を積極的に活用した設計とした。

この設計により、従来2段式嫌気処理で独立した反応プロセスとして位置付けられていた酸生成槽については、酸生成反応を主目的とする構成からシステム全体のpH調整機能を担う位置づけへと再定義された。これにより、酸生成槽の機能をpH調整に限定し、滞留時間を最小限とした運用が可能となった。これに伴い、pH調整を目的としたアルカリ薬品の恒常的な投入を最小限に抑えることができ、装置構成の簡素化および運用コスト低減を同時に実現している。

4.5 実機適用における運転再現性と長期信頼性の考え方

本技術を実機に適用するに当たっては、設計段階で想定した反応器性能が運転条件のばらつきや排水性状の長期的な変動下においても再現できることを技術成立の前提条件として位置づけている。そのため、単位容積当たりの有機物負荷やガス発生速度といった定量的な処理性能指標に加え、運転状態そのものを表す指標も併せて管理・評価するという考え方を設計思想に組み込んだ。

高負荷担体を用いた嫌気処理では、運転の進行に伴って微生物付着やバイオフィルムの増殖が進み、担体の見かけ密度や粒径分布が変化していく。これらの変化は、担体の流動挙動や槽内混合状態に影響を与え、初期設計時とは異なる反応環境を形成する要因になり得る。

そこで本技術では、処理水質やガス発生量といったアウトプット指標に加え、担体ゾーンの膨張状態や流動の均一性といった運転状態を直接反映する項目も継続的に把握・評価すべき管理指標としている。これらの運転指標を相互に関連づけて評価することで、処理性能の低下が顕在化する前段階において、流動状態の悪化や担体状態の劣化といった兆候を把握可能な設計とした。

このように、本技術では、反応器構成や処理性能の達成にとどまらず、運転再現性と長期信頼性を含めた実機実装性を重視し、実機運用を見据えた運転管理思想を設計段階から織



図6 実機実装を見据えた高負荷担体式嫌気処理の研究開発アプローチ
Research and development approach for establishing the practical implementability of high-load carrier anaerobic treatment system

り込んでいる点に大きな特徴がある(図6)。

5 むすび

- (1) BIOIMPACT-ACは、嫌気性処理という従来原理を踏襲しつつ微生物保持の核として高負荷担体を用いることで、反応器性能と運転安定性を質的に向上させた商品である。
- (2) 高負荷担体を安定的に機能させる担体流動条件は、高い槽内循環率を必然的に導き、結果として排水中の有機物と微生物との接触効率を飛躍的に高め、反応性を向上させる。
この反応条件により、従来2段式嫌気処理で課題となっていた酸生成反応に起因する局所的なpH低下が槽内で顕在化しにくくなり、単一反応器による安定運転が可能となった。
- (3) 高負荷担体の高い保持性能を前提とすることで、担体流出防止機能をセトラーに依存しない反応器構成が成立し、装置構成の簡素化と運用上の信頼性向上を両立している。さらに、槽内混合性の向上による反応環境の均一化は、酸生成槽を酸生成反応の場としてではなく、システム全体のpH調整機能を担う位置づけへと再定義し、pH調整を目的とした薬品使用量の低減および運用コスト低減という副次的メリットをもたらした。
- (4) 本システムの妥当性は、技術研究所における基礎検証および実排水を用いたパイロット試験によって段階的に確認された。一連の検証結果は本システムの商品化に大きく貢献した。実機適用においては、処理性能指標に加え担体状態や流動状態といった運転管理指標を併せて評価・管理する考え方を設計段階から想定して織り込んでおり、その性能を長期にわたって再現可能な実用技術として成立させている。

※「BIOIMPACT」は、住友重機械エンパイロメント株式会社の登録商標です。