（別紙5）　　補助事業概要の広報資料

補助事業番号　2022M-287
補 助 事 業 名　2022年度メタン発酵法と新規な散水ろ床型脱窒法による
　　電子産業排水処理の省エネ・効率化補助事業
補助事業者名　岐阜工業高等専門学校　環境都市工学科　教授　角野晴彦

1　研究の概要

本研究で対象とする電子産業排水は、硫酸塩を含む2-プロパノール（IPA）排水と、硫酸塩を含む硝化後排水である。本研究は、メタン発酵による2-プロパノール排水の省エネ・創エネ・少廃棄物処理の実現に加えて、事業所内から廃棄される2-プロパノールの脱窒への有効利用の実現である。ここでの脱窒には、バルキングと呼ばれる微生物塊の浮上を回避し簡単に運転できる新規な散水ろ床型脱窒法（AnDHSリアクター）を提案し、維持管理の面でも飛躍的な効率化できる。

2　研究の目的と背景

2050年のカーボンニュートラルに向けた省エネ、効率化は、電子産業を成長させ、ここからの排水を増加させるだろう。酸素を利用する微生物による排水処理は、下水道で採用されており、日本では、その電力は0.7%に達し、増殖した微生物は産業廃棄物の約2割を占めている。メタン発酵処理による排水処理は、酸素不要、エネルギー回収、増殖微生物（廃棄物）を1/5程度までに削減できる。国内で電子産業排水の実機によるメタン発酵処理は存在しない。電子産業排水の脱窒は、煩雑で熟練の操作を要とする従来法（活性汚泥法）である。特にバルキングと呼ばれる微生物塊の浮上を回避できる脱窒方法は存在しない。

3　研究内容

（1）メタン発酵法による電子産業排水処理に関する研究

UASB（Up-flow Anaerobic Sludge Blanket）

リアクターの概要を図1に示す。リアクターは、直径8 cmの円柱状のカラム部とGSS（Gas Solid Separator）部により構成されており、全高150 cm、水容積8.0 Lである。リアクター温度は、35～37℃とした。排水は、リアクター下部から供給され、上昇流により汚泥床を通過し、GSSで処理水とバイオガスに分離される。排水のIPAは、Phase 1で2500 mg-COD/L、Phase 2で5000 mg-COD/Lとした。電子産業排水に特徴的な物

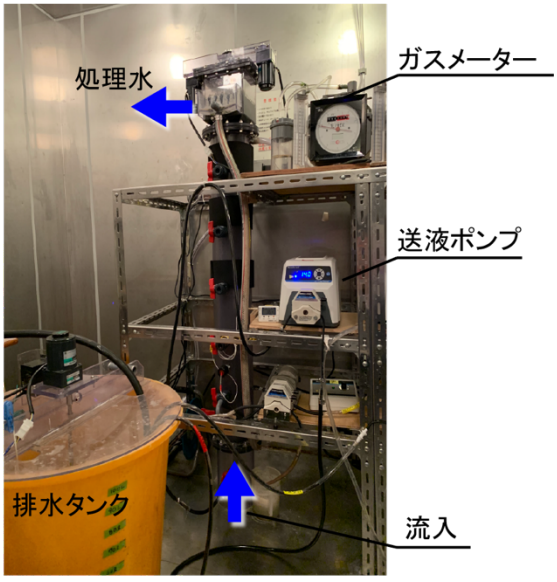

図 1　メタン発酵法（UASB リアクター）の概要

質である硫酸塩、カルシウムは、300 mg-S/L、150 mg-Ca/Lとした。

全COD容積負荷と全COD除去率の経日変化、硫酸塩の経日変化を図2に示す。本研究のUASBリアクターは、IPA 5000 mg-COD/Lの排水をCOD容積負荷10 kg/m^3/dayで処理し、全COD除去率約90%を達成できた。そのため、IPAと硫酸塩を含む排水の嫌気性処理の実現に見込みが立った。硫酸塩還元は、メタン発酵に適したpH、ORPを形成する一方で、硫化物による有機物除去への阻害も確認された。

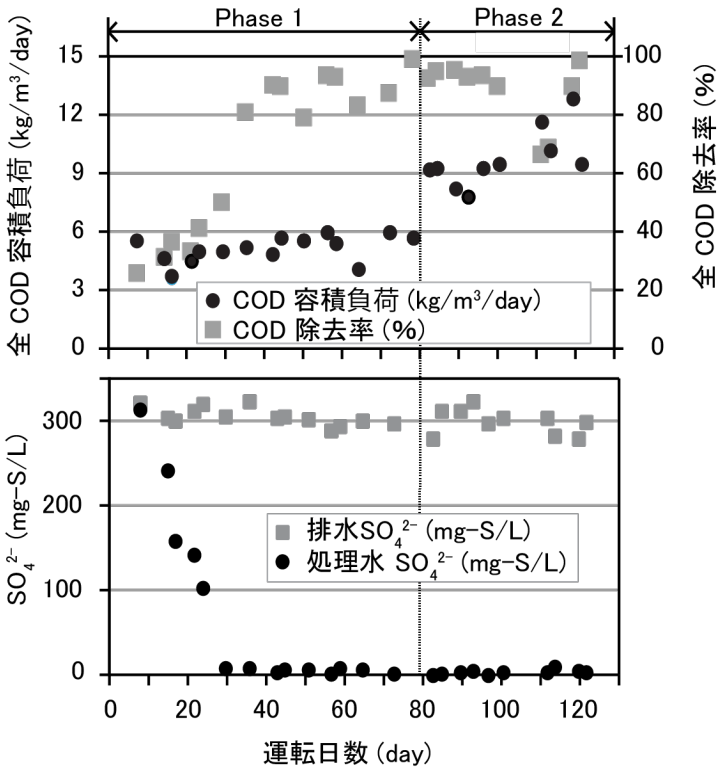

図 2　メタン発酵法（UASB リアクター）その 1 の連続処理

(2)新規な散水ろ床型脱窒法による電子産業排水処理に関する研究

新規な散水ろ床型脱窒法であるAnDHS(Anoxic Down-flow Hanging Sponge)リアクターを図3に示す。直径12 cm、全高180 cmの円筒型リアクターに、直径9 cm、高さ40 cmの籠を4つ直列に積み上げた。各籠にスポンジ担体を33～34個、合計135個詰めた。スポンジ担体は、円柱型樹脂製リングにスポンジ(直径3 cm、高さ3 cm)を詰め込んだものを用いた。スポンジ担体の間隙容積は2.3 Lである。スポンンジ担体の充填高さに占める容積率は30%である。排水は、リアクター上部から供給(滴下)され、スポンジ担体の表面や内部を通過して、下部で処理水となる。供給排水は、NO_3^-・SO_4^{2-}含有排水とIPA・SO_4^{2-}含有排水とした。2種類の排水が上部から流入した後の混合排水の組成は、

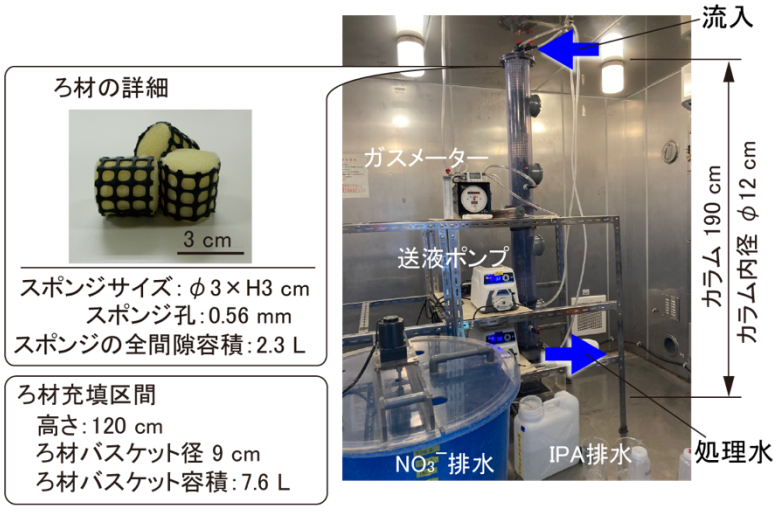

図 3　新規な散水ろ床型脱窒法（AnDHS リアクター）の概要

COD 238 mg/L、NO_3^- 48 mg-N/L、SO_4^{2-} 300 mg-S/L、Ca 150 mg/Lとした。室温は20℃に設定した。植種汚泥は、本校浄化槽から採取した活性汚泥とした。42日目に追加の植種を行った。

排水、処理水の各窒素態、全COD、SO_4^{2-}の経日変化を図4に示す。排水処理を担う微生物の植種がなくとも、自然に存在する程度の微生物濃度で立ち上げられた。運転125日間で、バルキングなし、維持管理なしの処理を実現できた。処理水のNO_3^-は一時的に0 mg-N/Lとなったが、処理水にNO_2^-が残り、完全な脱窒は達成できなかった。ただし、完全な脱窒は微生物の増殖を待つ、あるいはHRT（処理時間）の調整によって達成できる。

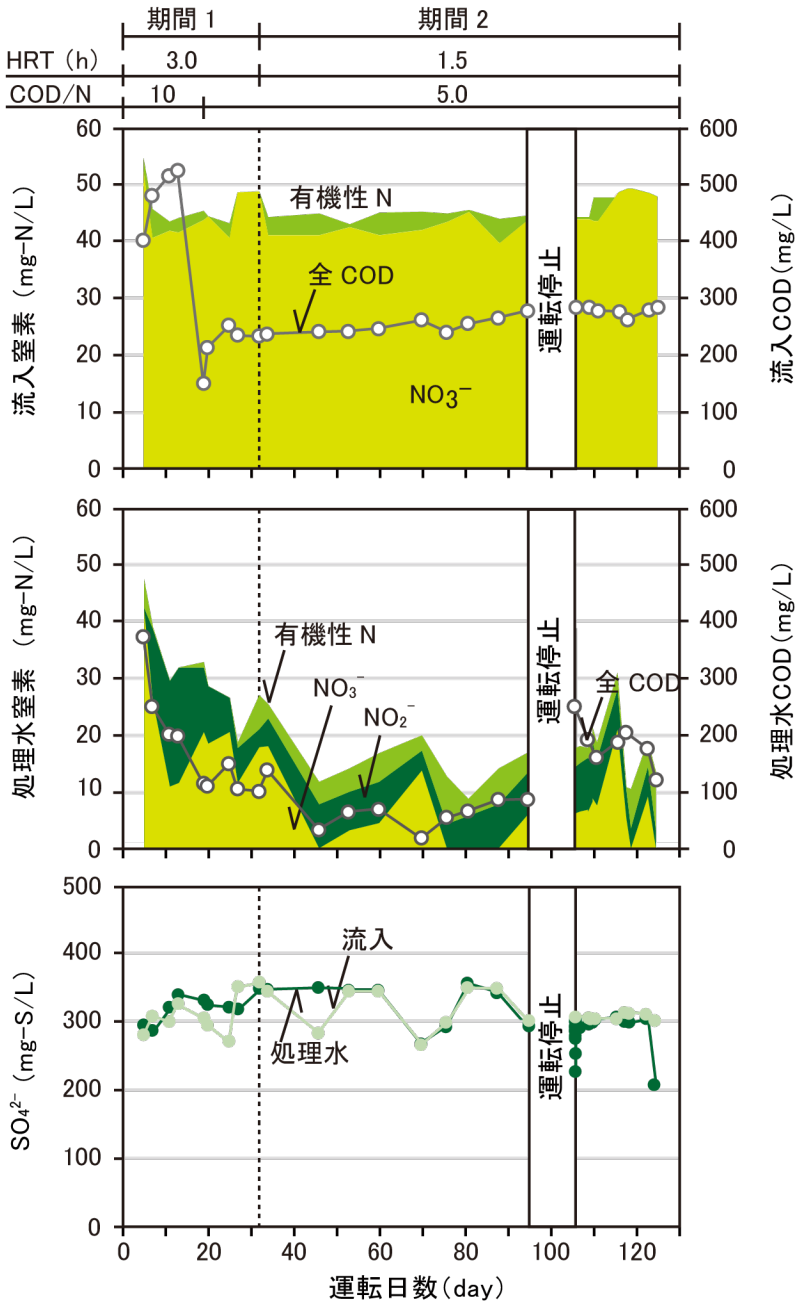

図4 新規な散水ろ床型脱窒法（AnDHSリアクター）その1の連続処理

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望—

2019年、電子産業市場は239兆円、世界GDPの2.5%に達している。これからも発展を疑う余地はなく、国内でも半導体工場の新設が予定されている。ここでは、提案処理システムがグリーンテクノロジーによる排水処理として発展できる。

電子産業の他に製紙産業や化学産業等の広い分野から、硫酸塩を含む排水は常に排出され、新たな有機性化学物質は次々と合成される。処理機構を解明し、工学的に微生物を制御しようとするアプローチは、本研究の対象排水に限らず普遍的であり、各種排水の生物処理の研究開発に波及し活気づける。

５ 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

IPAと硫酸塩を含む電子産業排水のメタン発酵処理に関する本研究の成果に、本研究室の既存の成果であるTMAH（水酸化テトラメチルアンモニウム）、MEA（モノエタノールアミン）および硫酸塩を含む電子産業排水のメタン発酵処理を加えて、有機化学物質と硫酸塩を含む電子産業排水を如何にメタン発酵処理に適用させていくかという開発過程のノウハウを蓄積できた。

硝酸塩と硫酸塩を含む電子産業排水のIPAを利用した脱窒に関する研究は、これまでIPA、窒素、硫黄を巡る各微生物の関係の多くは未知であった。この関係の解明が進み、リアクターの運転方法に対して有効な提案ができた。AnDHSリアクターによる脱窒処理の開発は、維持管理不要でバルキングを回避できるという実務面で圧倒的な効果を発揮し、様々な排水種への展開が示唆された。

６ 本研究にかかわる知財・発表論文等

1) 角野晴彦、大石裕翔、川上周司、竹村泰幸、珠坪一晃、2-プロパノール・硫酸塩含有排水を処理するUASBの運転方法、用水と廃水、64（9）、p655-665、2022
2) 加藤由都、創エネ・省エネ・簡単 三方よしの電子産業排水処理、KOSEN EXPO 2022、発表番号20、2022.10
3) Kato,Y., Yamada,A., Sumino,H., Kawakami,S., Syutsubo,K., Denitrification of sulfate and nitrate-containing wastewater in AnDHS (Anoxic Downflow Hanging Sponge) reactor, Abstract of The 7th International Conference on "Science of Technology Innovation"2022(7th STI-Gigaku 2022), p46, 2022.11
4) Kato,Y., Yamada,A., Sumino,H., Kawakami,S., Syutsubo,K., Treatment performance of the AnDHS reactor for denitrification of nitrate and sulfate-containing wastewater using 2-propanol, Abstract of The 1st KOSEN Research International Symposium(KRIS), 195, 2023.3
5) 角野晴彦、河村将和、川上周司、竹村泰幸、珠坪一晃、USB反応槽による電子産業排水を想定した脱窒処理、用水と廃水、65（6）、423-431、2023
6) Sumino,H., Kato,Y., Yamada,A., Kawakami,S., Syutsubo,K., AnDHS (Anoxic Downflow Hanging Sponge) reactor as a maintenance-free denitrification process, Abstract of The 8th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2023 (8th STI-Gigaku 2023), STI-2-2, 2023.11
7) 山田灯乃助、川上周司、渡利高大、松浦哲久、角野晴彦、シングルセルレベルでComammox細菌を同定する多重染色FISH法の開発、土木学会第79回年次学術講演会、2024.9発表予定

７ 補助事業に係る成果物

なし。

８ 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 岐阜工業高等専門学校 （ギフコウギョウコウトウセンモンガッコウ）
住　　所： 〒501-0495
岐阜県本巣市上真桑2236-2
担 当 者： 環境都市工学科 教授 角野晴彦（スミノハルヒコ）
担 当 部 署： 企画・研究協力係（キカク・ケンキュウキョウリョクカカリ）
Ｅ－ｍａｉｌ： kenkyu@gifu-nct.ac.jp
ＵＲＬ： https://www.gifu-nct.ac.jp