

令和 6 年 9 月 13 日現在

機関番号：51201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02290

研究課題名(和文)好気性脱窒反応を促進した下水処理場エアレーションタンク単槽での窒素除去技術の開発

研究課題名(英文)Development of nitrogen removal technology in a single sewage treatment plant aeration tank with accelerated aerobic denitrification reaction

研究代表者

荒木 信夫 (Araki, Nobuo)

一関工業高等専門学校・その他部局等・校長

研究者番号：30193072

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではDO濃度が好気性脱窒細菌に与える影響について調査した。既報の振盪培養法ではDO濃度を制御できないことから、本研究で溶存酸素濃度を一定に保持する装置を構築し、異なるDO濃度条件下で好気性脱窒試験を行った。いずれの好気条件下でも硝化反応と同時に好気性脱窒反応が進行した。また、rRNA遺伝子に基づく細菌叢解析の結果から、DO濃度の上昇に伴いParacoccus属、Pseudomonas属細菌の優占が確認され、複合微生物系における競合関係を明らかにした。また、この汚泥に対し安定同位体¹⁵N標識の硝酸を用いたトレーサー試験を行ったところ、N₂の生成を確認でき好気性脱窒反応を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで報告されていた好気性脱窒反応の多くは振盪培養法によってDOを制御しており、細菌群が対数増殖期に入ると十分なDOを確保できず、嫌気的な脱窒反応も混在していたことが予想され、多くの研究者の疑念を払拭できずにいた。本研究では、DOを維持する装置を作成し、5mg/Lといった高いDO条件下でも好気性脱窒反応を確認した。またDO濃度の違いにより優占する細菌群が異なることも示した。このことは実現場で起きている好気性脱窒のメカニズム解明を後押しする重要な知見であり、今後好気性脱窒反応を卓越させた脱窒処理技術の開発に大きく寄与するものと思われる。

研究成果の概要(英文)：In this study, the effect of DO concentration on aerobic denitrification bacteria was investigated. Since the DO concentration cannot be controlled by the shaking culture method reported previously, an apparatus to maintain a constant dissolved oxygen concentration was constructed in this study and aerobic denitrification tests were conducted under different DO concentration conditions. Aerobic denitrification proceeded simultaneously with nitrification under all aerobic conditions. The results of the bacterial flora analysis based on rRNA genes showed that bacteria of the genera Paracoccus and Pseudomonas predominated as the DO concentration increased, revealing a competitive relationship in a complex microbial system. A tracer test using stable isotope ¹⁵N-labelled nitric acid on the sludge confirmed the formation of N₂, confirming an aerobic denitrification reaction.

研究分野：排水処理工学

キーワード：好気性脱窒細菌 従属栄養硝化脱窒反応 都市下水処理

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

従来、富栄養化や地下水硝酸性窒素汚染などの窒素化合物の蓄積に伴う環境汚染が問題視されている。これらを背景に、都市下水処理施設では、好気タンクにおけるアンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌による硝化反応 ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$)、および嫌気タンク内における脱窒素細菌による脱窒反応 ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$) の経路により窒素除去が行われていると考えられてきた。一方で、好気条件下で脱窒反応が進行する「好気性脱窒反応」と呼ばれる現象が1980年代¹⁻³⁾より相次いで報告されており、特に2010年代より、好気条件下において硝化と脱窒反応の双方を担う好気性脱窒細菌の新たな分離株が相次いで発見され⁴⁾、それらの窒素除去能力を活用した単一好気タンク内での窒素除去技術の開発が検討されている。

好気性脱窒反応の進行に重要な因子は C/N 比、温度、炭素源等が挙げられるが、特に溶存酸素 (Dissolved Oxygen : DO) の影響を理解することは極めて重要である⁵⁾。これまでに純菌株を対象とした好気性脱窒細菌の最適 DO 濃度を調査する研究が報告されているが、フラスコの回転数によって DO 濃度を制御する振盪培養法を用いた実験が採用されているものがほとんどである。しかし、これら実験方法では細菌群が対数増殖期にはいると DO 供給が不十分になること指摘されていた⁶⁾。後述するが、我々の研究でも振盪培養により DO 供給を行ったが、OD の上昇とともに DO の減少が見られ、十分な好気条件を維持できなかった。

2. 研究の目的

本研究では、既存の振盪培養による実験系における DO 供給の不安定さを排除する為に曝気装置にて DO 濃度を制御する実験系を構築し、従属栄養的硝化反応及び好気性脱窒反応の進行を水質分析より調査した。また、この曝気制御に関する実験では開放系である為、 N_2 の生成の確認が困難であったことから、密閉環境下にて安定同位体 ^{15}N 標識の硝酸を用いたトレーサー試験を行い、曝気制御で用いた汚泥が好気性脱窒能を有しているかを生成された窒素化合物を調査することで明らかにした。

3. 研究の方法

(1) 曝気制御装置を用いた好気性脱窒試験

培養に用いた汚泥は、都市下水を処理する農業集落排水施設から採取した。採取した活性汚泥 100 mL は遠心分離 (5 min, 10,000 x g) 後にその上澄み液を除去し、約 10 mL の濃縮汚泥として回収した。この濃縮汚泥をリン酸緩衝バッファー (PBS: 137 mmol/L NaCl, 8.1 mmol/L Na_2HPO_4 , 2.68 mmol/L, KCl, 1.47 mmol/L, KH_2PO_4 , pH 7.4) で2回洗浄し、再度遠心分離 (5 min, 10,000 x g) を行った。最終的に上澄み液を除去した後に汚泥重量を計測し、汚泥の Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

が約 4,000 mg/L になるように、濃縮汚泥 4 g を DM 培地 1 L に混合させた。DO は低 DO (1-3 mg/L)、中 DO (3-5 mg/L)、高 DO (5-7 mg/L) の3条件となるように設定し、それぞれの DO 条件で 24 時間の予備培養を行った。全ての実験系において、培養温度は 30 °C に設定した。DO は 3 秒毎に DO 計 (TOA DKK, MM-42DP, Japan) から送信された情報を元に、マイコン (Arduino) によって曝気量を調整することで制御し、これらの情報を PC に保存するシステムを構築した (以下、この方法で DO を制御した条件を曝気制御と呼ぶ)。予備培養終了後、5 分間静置させ、上澄み液 800 mL を除去し、DM 培地を 800 mL 混合させ、12 時間の好気性脱窒試験を開始した。また、バイオフィルムの付着を防止する為、実験中は壁面、曝気チューブ、DO センサーを適宜洗浄した。また、実験中に汚泥が沈降・凝集せず、かつ嫌気・無酸素領域が形成されないようにする為、160 rpm の速さでマグネティックスターラーにて攪拌した (図 1)。

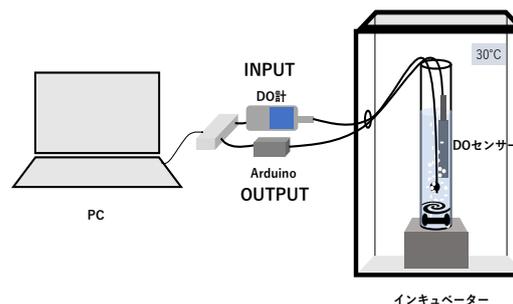


図 1 曝気制御による DO 制御装置と培養実験の概要

(2) 振盪培養による好気性脱窒試験

(1) と同様の手順で基質洗浄を行った汚泥を培地 250 mL に混合させた。高さ 18 cm、最大半径 10 cm の 500 mL コニカルフラスコを用意して、回転数 160 rpm にて、24 時間の予備培養を行った。培養後、上澄み液 200 mL を除去し、DM 培地を 200 mL 混合させ、回転数 160 rpm、30 °C にて、12 時間の好気性脱窒試験を行った。

(3) 水質分析

好気性脱窒試験で経時的に 2 mL の採水を行い、0.45 μm シリンジフィルターにより濾過をして、冷凍保存をした後、 COD_{Cr} 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^- 濃度を測定した。 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^- 測定は、いずれも下水試験法⁸⁾に準拠し、それぞれインドフェノール法、ブルシン法、ナフチルエチレンジアミ

ン法による吸光光度法で定量した。各測定における吸光度の測定は、SunriseTMRainbow (和光純薬工業, Japan) を用いた。COD_{Cr} は多項目迅速水質分析計 (HACH DR3900, Hach Company, USA) を用いて二クロム酸カリウム法により測定した。また COD_{Cr}, NH₄⁺, NO₃⁻の除去率は、培養開始時の測定値と十分に硝化・脱窒反応を終えた 8-10 時間後の測定値から算出した。

(4) 細菌相解析

種汚泥と好気性脱窒試験後に得られた培養物に対し、既報¹¹⁾に準拠して細菌相解析を行った。DNA 抽出には Power Soil Pro Kit (QIAGEN, Germany) を用い、その後、プライマーペア UNIV515f-UNIV806r を用いて細菌と古細菌の 16S rRNA 遺伝子 V4 領域 を標的とした PCR 増幅を行った。得られた PCR 産物については、電気泳動により目的のバンド長を確認した後、MinElute PCR Purification Kit (QIAGEN, Germany) を用いて精製し、iSeq 100 システムおよび iSeq 100 il Reagent v2 Kit (Illumina, Inc., USA) を用いて 16S rRNA 遺伝子産物の配列を決定した。取得した配列データからの 97%配列相同性で定義した operational taxonomic unit (OTU) の構築、菌種の帰属決定など一連の解析は、QIIME 2 (version 2022.2) 解析パイプラインを用い、16S rRNA 遺伝子の データベースには SILVA 138 (silva-138-99-515-806-nb-classifier.qza, version:2022.8) を用いた。

(5) 安定同位体を用いた脱窒試験

汚泥を ¹⁵N 標識の DM 培地⁸⁾ 20 mL を、120mL の密閉バイアルに加え、Ar ガスページ及び He ガス置換を行い、バイアル内の酸素濃度が 20%になるように 100% O₂ ガスを 20 mL 添加した。DO 制御は回転数 110 rpm にて行い、液相部、気相部からの 500 mL のサンプル採取、及び DO 濃度測定はいずれも数時間毎に (0,1,2,3,4,5,6,9 時間時点)行った。DO 濃度は Oxygen Systems(Ocean Insight, NeoFox, USA), コハク酸濃度, NO₃⁻濃度はイオンクロマトグラフィー (Shimadzu, CDD-6A, Japan) にて計測した。

4. 研究成果

(1) 各培養条件における DO 濃度の挙動

各培養条件における DO 濃度の経時変化を図 2 に示す。振盪培養では培養期間中に DO 濃度が大きく変動 (3~8 mg/L) しており、好気性脱窒反応におよぼす DO 濃度の影響を評価することが困難であった。一方、本研究で構築した曝気制御により DO 濃度を制御した系では、実験開始直後から DO 濃度を目的の範囲で制御することができた。以上の結果から DO 濃度の違いによる好気性脱窒反応への影響を見るには、本研究で実施した曝気制御による DO 制御方法の方法が適していると考えられた。

表 1 各培養条件における NH₄⁺-N, NO₃⁻-N および COD_{Cr} の除去率。

測定項目	培養条件	培養前 (mg/L)	培養後 (mg/L)	除去率 (%)
NH ₄ ⁺ -N	低DO条件	61	4	93.4
	中DO条件	42	2	95.2
	高DO条件	87	5	94.3
	振盪培養	145	5	96.6
NO ₃ ⁻ -N	低DO条件	31	5	83.9
	中DO条件	22	7	68.2
	高DO条件	45	15	66.7
	振盪培養	40	38	5.0
COD _{Cr}	低DO条件	1644	126	92.3
	中DO条件	1342	110	91.8
	高DO条件	1810	110	93.9
	振盪培養	1440	182	87.4

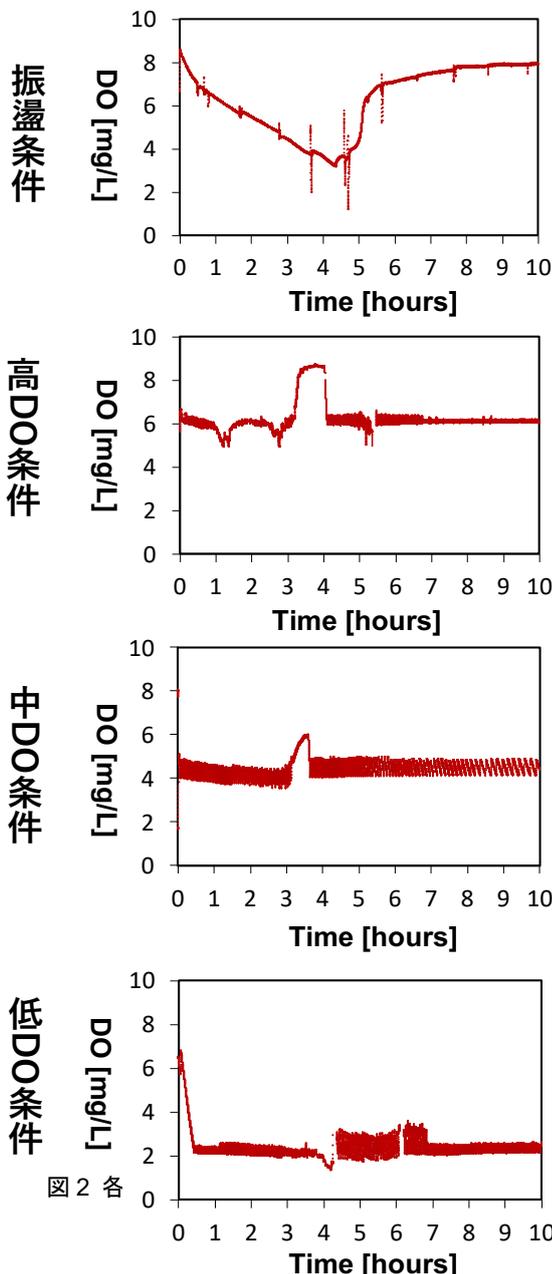


図 2 各

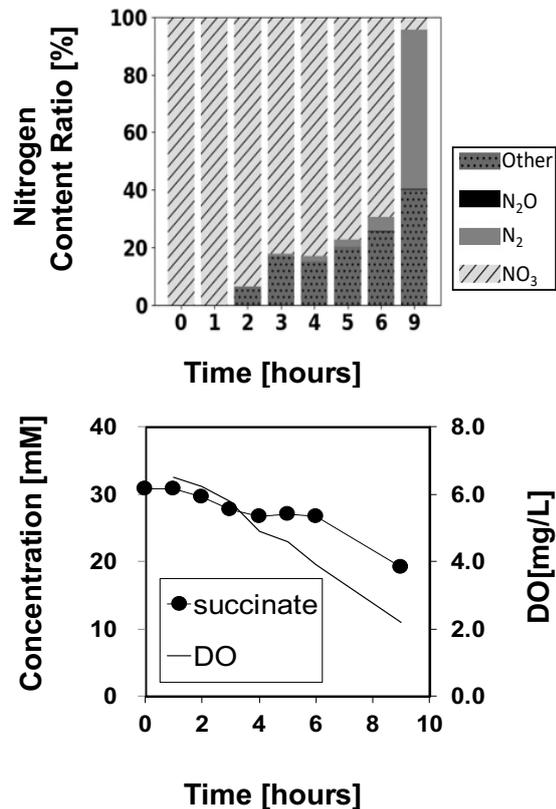
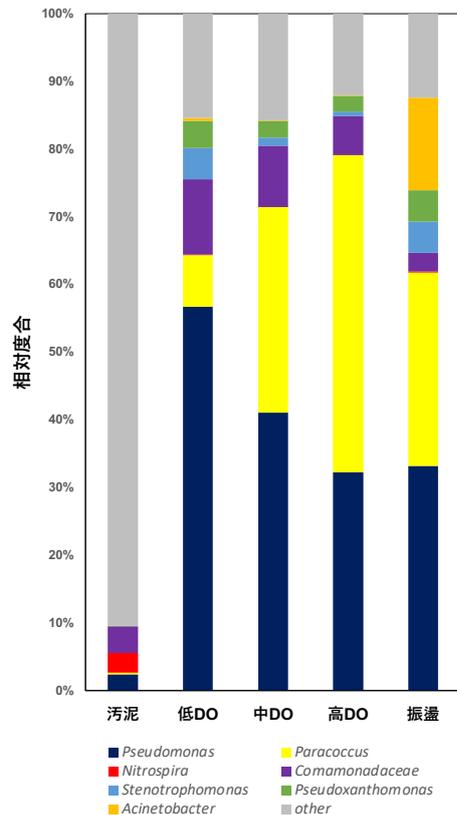


図3 16S rRNA 遺伝子に基づく異なる DO 条件における細菌属の変化。 図4 ¹⁵NO₃⁻の窒素態への転換率の経時変化(上図) DO 濃度及び有機物濃度の経時変化(下図)

(2) COD_{Cr} 濃度及び窒素化合物濃度の経時変化

各実験における COD_{Cr}, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N の除去率を表 1 に示す. NH₄⁺-N, COD_{Cr} は全ての系で良好な硝化が確認されたが, NO₃⁻-N に関しては低 DO 条件で除去率 83.9%と良好であったのに対し, 中 DO 条件と高 DO 条件ではそれぞれ 68.2%と 66.7%であり, DO が高くなる程 NO₃⁻除去率の低下が見られた. 既報の単離菌の多くがフラスコ振盪時の回転数が 160 rpm (DO=5.2mg/L) 程度で最も高い NO₃⁻除去率を示すが¹²⁾, 振盪培養系では DO 制御が困難であること, 更には複合微生物系においては微生物間の共生関係により純菌培養系とは異なる条件下にあること¹¹⁾も最適 DO 濃度条件に考慮する必要がある. これらの点から, 好気性脱窒細菌の最適 DO 濃度は, 複合微生物系において, 既報の純粋菌株を用いた好気性脱窒細菌の最適 DO 条件とは異なる可能性がある事が示唆された.

(3) 細菌相解析

種汚泥と各培養実験後の汚泥を用いて 16S rRNA 遺伝子に基づく細菌解析を行なった. 細菌の属レベルで示した解析結果を図 3 に示す. 曝気制御による培養系および振盪培養系では, *Pseudomonas* 属, *Paracoccus* 属の優占が見られ, これらの細菌属は共に好気性脱窒細菌としての報告があり, 単一菌株においてアンモニアから窒素ガスまでの硝化・脱窒反応を担う事例が数多く報告されている¹³⁻¹⁴⁾. その他には *Comamonadaceae* 科¹⁵⁾属など, 好気性脱窒細菌として幾つかの分離株が報告されている細菌系統も高頻度で検出された事から, 複数種の好気性脱窒細菌の協働により, 脱窒反応が進行していた可能性が示唆された. DO 制御系においては, DO 濃度を高めることで *Pseudomonas* 属の割合が減少し *Paracoccus* 属の割合が増加した (図 3). 既報から両属で単離された代表的な好気性脱窒細菌における振盪培養条件下での最適な DO 条件を調べたところ, それぞれ *Pseudomonas* 属で 3-6 mg/L 程度^{16, 17)}, *Paracoccus* 属で 4-6 mg/L 程度^{18, 19)}であり, 株レベルでも最適 DO は異なることが知られている. 対照的に, 複合微生物環境下である本実験においては, *Paracoccus* 属の方が *Pseudomonas* 属よりも高 DO 条件下でも好気性脱窒を担える可能性が示された.

(4) 窒素ガスの生成について

¹⁵NO₃⁻を用いたトレーサー試験から, 本研究で用いた活性汚泥から好気性脱窒反応のポテンシャルの有無を確認した. DO 濃度, 有機物 (Succinate) 濃度の経時変化及び ¹⁵NO₃⁻の窒素態への転換率の経時変化を図 4 に示す. 好気条件下において, DO 濃度, 有機物濃度の減少に伴い, 窒素ガスが生成されていることから, 好気性脱窒反応が進行したと考えられる. しかしながら, 消費された ¹⁵NO₃⁻の約 42%が菌体を含むいずれの窒素化合物として回収されず, 反応生成物の正

体は不明であった。この点については、今後の検討によりこれらの窒素生成物の行方を探索していくことを予定している。

(5) まとめ

本研究では回分式活性汚泥法の活性汚泥を用いて DO 濃度を制御する培養系を構築し、好気性脱窒反応に関わる以下の結果を得た。

- 1) 振盪培養法では培地中の DO 濃度を一定に保つことはできず、好気性脱窒細菌への DO 濃度の影響を確認するには本研究で構築した曝気制御で DO 濃度を制御する方法が適していた。
- 2) DO 濃度を一定値に制御することで従属栄養性化および好気性脱窒反応が進行する好気的な環境を構築し、アンモニア、硝酸、有機物の除去を確認した。
- 3) DO 濃度の上昇に伴い、好気性脱窒細菌の優占種では *Pseudomonas* 属の割合が減少し *Paracoccus* 属の割合が増加した。
- 4) 回分式活性汚泥法を採用している処理場の活性汚泥は、好気性脱窒能を有している事が安定同位体 ^{15}N 標識の硝酸を用いたトレーサー試験の結果より明らかになった。

参考文献

- 1) Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., Martinelli, L. A., Seitzinger, S. P. and Sutton, M. A.: Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions, *Science*, Vol. 320, No. 5878, pp. 889-892. 2008.
- 2) Oh, J. and Silverstein, J.: Oxygen inhibition of activated sludge denitrification, *Water Res.*, Vol. 33, No. 8, pp. 1925-1937, 1999.
- 3) Jansen, J. L. C. and Behrens J. C.: Periodic parameter variation in a full-scale treatment plant with alternating operation, *Water Sci. Technol.*, Vol. 12, No. 5, 0018661261, 1979.
- 4) James, S. N., & Vijayanandan, A. Recent advances in simultaneous nitrification and denitrification for nitrogen and micropollutant removal: a review. In *Biodegradation. Springer Science and Business Media B.V.*, 2023.
- 5) Song, T., Zhang, X., Li, J., Wu, X., Feng, H., & Dong, W. A review of research progress of heterotrophic nitrification and aerobic denitrification microorganisms (HNADMs), *In Science of the Total Environ.*, Vol. 801, 2021.
- 6) Qiao, Z, Sun, R., Wu, Y., Hu, S., Liu, X, Chan J. and Mi, X.: Characteristics and metabolic pathway of the bacteria for heterotrophic nitrification and aerobic denitrification in aquatic ecosystems. *Environ. Res.*, Vol. 191. 110069. 2020.
- 7) 樋口ら, 第 52 回日本水環境学会年会講, S0264B, 2018.
- 8) 日本下水道学会: 下水試験方法・上巻, pp. 295-315, 2012.
- 9) Bin, J., Yang, K., Zhu, L., Jiang, Y., Wang, H., Zhou, J. and Zhang, H.: Aerobic denitrification: A review of important advances of the last 30 years, *Biotechnol. Biopro. Engineer.*, Vol. 20, pp. 643-651, 2015.
- 10) Yang, J., Feng, L., Pi, S., Cui, D., Ma, F., Zhao, H. and Li, A.: A critical review of aerobic denitrification: Insights into the intracellular electron transfer, *Sci. Total Environ.*, Vol. 731, 139080, 2020.
- 11) Kotcharoen, W., Watari, T., Adlin, N., Thao, T. P., Satanwat, P., Pungrasmi, W., Powtongsook, S., Takeuchi, Y., Hatamoto, M., Yamazaki, Y. and Yamaguchi, T.: Evaluation of an anaerobic baffled reactor (ABR) – downflow hanging sponge (DHS) system in treatment of black wastewater from a closed recirculating aquaculture system, *Aquacult. Engineer.*, Vol. 100, 102303. 2023.
- 12) Bin, J., Yang, K., Zhu, L., Jiang, Y., Wang, H., Zhou, J. and Zhang, H.: Aerobic denitrification: A review of important advances of the last 30 years, *Biotechnol. Biopro. Engineer.*, Vol. 20, pp. 643-651, 2015.
- 13) Zhang, J., Wu, P., Hao, B., and Yu, Z.: Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by the bacterium *Pseudomonas stutzeri* YZN-001. *Bioresour. Technol.*, Vol. 102, No. 21, pp. 9866–9869, 2011.
- 14) Medhi, K., Singhal, A., Chauhan, D. K. and Thakur, I. S.: Investigating the nitrification and denitrification kinetics under aerobic and anaerobic conditions by *Paracoccus denitrificans* ISTOD1. *Bioresour. Technol.*, Vol. 242, pp. 334–343, 2017.
- 15) Chen, Q., and Ni, J.: Heterotrophic nitrification-aerobic denitrification by novel isolated bacteria. *Ind. Microbiol. Biotechnol.*, Vol. 38, No. 9, pp. 1305–1310, 2011.
- 16) Jin, R., Liu, T., Liu, G., Zhou, J., Huang, J. and Wang, A.: Simultaneous Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification by the Marine Origin Bacterium *Pseudomonas* sp. ADN-42. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, Vol. 175, No. 4, pp. 2000–2011, 2015.
- 17) Ma, F., Sun, Y., Li, A., Zhang, X., and Yang, J.: Activation of accumulated nitrite reduction by immobilized *Pseudomonas stutzeri* T13 during aerobic denitrification. *Bioresour. Technol.*, Vol. 187, pp. 30–36. 2015.
- 18) Zhang, H., Li, S., Ma, B., Huang, T., Qiu, H., Zhao, Z., Huang, X., and Liu, K.: Nitrate removal characteristics and ^{13}C metabolic pathways of aerobic denitrifying bacterium *Paracoccus denitrificans* Z195., *Bioresour. Technol.*, Vol. 307, 123230. 2020.
- 19) Chen, S., Li, S., Huang, T., Yang, S., Liu, K., Ma, B., Shi, Y., and Miao, Y.: Nitrate reduction by *Paracoccus thiophilus* strain LSL 251 under aerobic condition: Performance and intracellular central carbon flux pathways, *Bioresour. Technol.*, Vol. 308, 123301. 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Mamoru Oshiki, Hirotohi Netsu, Kyohei Kuroda, Takashi Narihiro, Naoki Fujii, Tomonori Kindaichi, Yoshiyuki Suzuki, Takahiro Watari, Masashi Hatamoto, Takashi Yamaguchi, Nobuo Araki, Satoshi Okabe	4. 巻 24(8)
2. 論文標題 Growth of nitrite-oxidizing Nitrospira and ammonia-oxidizing Nitrosomonas in marine recirculating trickling biofilter reactors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental microbiology	6. 最初と最後の頁 3735-3750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1462-2920.16085	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Mamoru Oshiki, Lin Gao, Lei Zhang, Satoshi Okabe	4. 巻 37(2)
2. 論文標題 NH ₂ OH disproportionation mediated by anaerobic ammonium-oxidizing (anammox) bacteria	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 ME21092
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME21092	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Mamoru Oshiki, Yuka Toyama, Toshikazu Suenaga, Akihiko Terada, Yasuhiro Kasahara, Takashi Yamaguchi, Nobuo Araki	4. 巻 37(2)
2. 論文標題 N ₂ O reduction by Gemmatimonas aurantiaca and potential involvement of Gemmatimonadetes bacteria in N ₂ O reduction in agricultural soils	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 ME21090
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME21090	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Takahiro Watari, Kenya Asano, Takanori Omine, Masashi Hatamoto, Nobuo Araki, Kazuhisa Mimura, Akihiro Nagano & Takashi Yamaguchi	4. 巻 57(9)
2. 論文標題 Effects of denitrifying granular sludge addition on activated sludge and anaerobic-aerobic systems for municipal sewage treatment	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Science and Health, Part A	6. 最初と最後の頁 830-839
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10934529.2022.2118485	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takahiro Watari, Carlos Lopez Vazquez, Masashi Hatamoto, Takashi Yamaguchi, Jules B van Lier	4. 巻 42
2. 論文標題 Development of a single-stage mainstream anammox process using a sponge-bed trickling filter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Technology	6. 最初と最後の頁 3036-3047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wilasinee Kotcharoen, Takahiro Watari, Nur Adlin, Yoshinobu Nakamura, Penpicha Satanwat, Wiboonluk Pungrasmi, Sorawit Powtongsook, Yutaka Takeuchi, Masashi Hatamoto, Shinichi Yamazaki, Takashi Yamaguchi	4. 巻 164
2. 論文標題 Effect of salinities on nitrogen removal performance of DHS-USB system and growth of <i>Epinephelus bruneus</i> in closed recirculating aquaculture system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Biodeterioration and Biodegradation	6. 最初と最後の頁 105299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shunji Fuchigami, Masashi Hatamoto, Ryota Takagi, Takumi Akashi, Takahiro Watari, Takashi Yamaguchi	4. 巻 24
2. 論文標題 Long-term treatment of municipal wastewater using a mesh rotating biological reactor and changes in the biofilm community	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Environmental Technology and Innovation	6. 最初と最後の頁 102074
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shehani Sharadha Maheepala, Shunji Fuchigami, Masashi Hatamoto, Takumi Akashi, Takahiro Watari, Takashi Yamaguchi	4. 巻 25
2. 論文標題 Stable denitrification performance of a mesh rotating biological reactor treating municipal wastewater	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Technology and Innovation	6. 最初と最後の頁 102543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Thao Tran P, Masashi Hatamoto, Masataka Aoki, Takahiro Watari, Kazuaki Syutsubo, Takashi Yamaguchi	4. 巻 25
2. 論文標題 Effect of inoculum sources on autotrophic nitrogen removal in anaerobic hollow fiber membrane reactors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Technology and Innovation	6. 最初と最後の頁 102375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M.Oshiki, K.Nagai, S.Ishii,Y.Suzuki, T.Yamaguchi, N.Araki, S.Okabe	4. 巻 88
2. 論文標題 Determination of 15N-14N of Ammonium, Nitrite, Nitrate, Hydroxylamine, and Hydrazine Using Colorimetric Reagents and Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization-Time-of-Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF MS)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied and Environmental Microbiology	6. 最初と最後の頁 e0241621
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Oshiki Mamoru, Morimoto Emi, Kobayashi Kanae, Satoh Hisashi, Okabe Satoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Collaborative metabolisms of urea and cyanate degradation in marine anammox bacterial culture	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ISME Communications	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ismeco/ycad007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Kohei, Oshiki Mamoru, Ruan Chujin, Morinaga Kana, Toyofuku Masanori, Nomura Nobuhiko, Johnson David R.	4. 巻 16
2. 論文標題 Denitrification in low oxidic environments increases the accumulation of nitrogen oxide intermediates and modulates the evolutionary potential of microbial populations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Environmental Microbiology Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1758-2229.13221	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 上村 光輝 , 川上 周司 , 押木 守 , 青木 仁孝 , 土田 勝範 , 渡利 高大 , 荒木 信夫	4. 巻 79
2. 論文標題 異なる溶存酸素条件が複合微生物系における好気性脱窒細菌群に与える影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集	6. 最初と最後の頁 23-25034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koike Kazuyoshi, Honda Ryo, Aoki Masataka, Yamamoto Ikemoto Ryoko, Syutsubo Kazuaki, Matsuura Norihisa	4. 巻 15
2. 論文標題 A quantitative sequencing method using synthetic internal standards including functional and phylogenetic marker genes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Environmental Microbiology Reports	6. 最初と最後の頁 497 ~ 511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1758-2229.13189	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Aoki Masataka, Takemura Yasuyuki, Kawakami Shuji, Yoochatchaval Wilasinee, Tran P. Thao, Tomioka Noriko, Ebie Yoshitaka, Syutsubo Kazuaki	4. 巻 18
2. 論文標題 Quantitative detection and reduction of potentially pathogenic bacterial groups of Aeromonas, Arcobacter, Klebsiella pneumoniae species complex, and Mycobacterium in wastewater treatment facilities	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0291742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0291742	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirakata Yuga, Mei Ran, Morinaga Kana, Katayama Taiki, Tamaki Hideyuki, Meng Xian-ying, Watari Takahiro, Yamaguchi Takashi, Hatamoto Masashi, Nobu Masaru K	4. 巻 17
2. 論文標題 Identification and cultivation of anaerobic bacterial scavengers of dead cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The ISME Journal	6. 最初と最後の頁 2279 ~ 2289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41396-023-01538-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miwa Toru, Takimoto Yuya, Tokuda Yujiro, Watari Takahiro, Yamaguchi Takashi, Hatamoto Masashi	4. 巻 472
2. 論文標題 Sewage-derived substances and dead microbial cells cause gel biofilm formation in membrane bioreactors treating real sewage	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 144882 ~ 144882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2023.144882	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計7件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 上村光輝, 川上周司, 渡利高大, 青木仁孝, 押木守, 荒木信夫
2. 発表標題 都市下水処理を対象とした活性汚泥に生息する好気性脱窒細菌の特定
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林勇貴, 関口未来莉, 川上周司, 渡利高大, 山口隆司, 幡本将史
2. 発表標題 DNA aptamer を用いた DNA 抽出不要の微生物定量技術の開発
3. 学会等名 第57回日本水環境学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤友紀, 渡利高大, 幡本将史, 山口隆司
2. 発表標題 DHSリアクターによるComammox細菌の集積培養の試み
3. 学会等名 第58回日本水環境学会年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 根津拓福 , 幅本将史 , 渡利高大 , 山口隆司
2. 発表標題 嫌気共生細菌を優占的に保持可能な微生物担体における含有導電性材料が微生物群集に与える影響
3. 学会等名 第58回日本水環境学会年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 河崎 聖也 , 押木 守 , 岡部 聡
2. 発表標題 Anammox細菌による亜硝酸酸化反応の窒素バックフラックス
3. 学会等名 第58回日本水環境学会年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 上村 光輝 , 川上 周司 , 押木 守 , 荒木 信夫
2. 発表標題 活性汚泥に生息する従属栄養硝化・好気性脱窒細菌の特定
3. 学会等名 第58回日本水環境学会年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 押木守 , 根津拓福 , 黒田恭平 , 荒木信夫
2. 発表標題 生物膜硝化リアクターにおける亜硝酸酸化細菌 <i>Nitrospira</i> の増殖:硝化反応のエネルギー代謝論とバイオフィルムの挙動
3. 学会等名 日本水環境学会シンポジウム
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川上 周司 (Kawakami Shuji) (00610461)	長岡工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授 (53101)	
研究分担者	青木 仁孝 (Aoki Masataka) (80775809)	国立研究開発法人国立環境研究所・地域環境保全領域・研究員 (82101)	
研究分担者	押木 守 (OSHIKI Mamoru) (90540865)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	渡利 高大 (WATARI Takahiro) (90800540)	長岡技術科学大学・工学研究科・助教 (13102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------