

農業集落排水処理施設における窒素除去特性と温室効果ガス発生との相関性

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○須崎誠也、 非会員 小川雄也

日本大学理工学部 正会員 吉田征史

埼玉県・環科国セ 正会員 見島伊織、柿本貴志、非会員 木持 謙、米倉哲志

1.研究背景および目的

世界的な地球温暖化の顕在化により、温室効果ガスの発生抑制・削減は多くの分野において現在注目を浴びる問題となっている。下水道分野においても同様であり、水処理プロセス・汚泥処理プロセスから排出される亜酸化窒素 (N_2O) やメタン (CH_4) およびこれら処理プロセスへの曝気を中心とした電力エネルギーの供給に由来する二酸化炭素 (CO_2) の排出が話題となっている。また、大規模施設と比較して小規模施設の方が温室効果ガス排出ポテンシャルが高いとの報告もある。そこで、本研究では、比較的小規模な処理施設として農業集落排水処理施設に着目し、現在の有機物・窒素・リン除去の状況および温室効果ガス発生状況について調査し、本報では水処理プロセスにおける温室効果ガス発生抑制の可能性について検討した。

2.調査・実験方法

調査対象施設は、表1のようなオキシデーションディッチ (OD) 法 (施設A) と間欠曝気法 (施設B) の2種類の農業集落排水処理施設である。いずれの施設も間欠曝気運転が行われている比較的小規模な施設を選定した。なお、施設Aに設置された送風攪拌装置は送風のON/OFFが可能で、攪拌のみの状態と曝気攪拌状態の運転を繰り返しており、無終端水路の1ヶ所に設置されている。水質データの採取は、各施設の流入水、OD槽もしくは曝気槽内の混合汚泥、処理水を採取し、BOD、窒素、リン、MLSS、アルカリ度などを測定した。また、OD槽および曝気槽の上部気相部から、真空瓶にてガスを採取し、ガス中の N_2O を測定した。また、両施設から採取した混合汚泥を用いて硝化回分試験および脱窒回分試験を行い、両施設の活性汚泥の硝化活性、脱窒活性を調べた。

3.結果および考察

両施設の流入水および処理水における BOD, T-N, T-P の平均値を表2に示す。BOD 除去率は、施設Aで99%、施設Bで97%、窒素除去率は施設Aで55%、施設Bで64%、リン除去率は施設Aで53%、施設Bで50%であり、有機物除去は良好であるが窒素、リン除去は不十分であることが確認された。このためリン除去活性については今後活性試験を実施予定であるがリン蓄積細菌によるリン除去は両施設とも機能していないことが予想された。なお、窒素成分の内訳 (平均値) は図1のようであり、いずれの施設も流入水は Org-N および $\text{NH}_4\text{-N}$ が大部分を占めており、処理水では $\text{NO}_3\text{-N}$ が大部分を占めていたが、一部 0.1~0.3mgN/L 程度の $\text{NO}_2\text{-N}$ が残存することもあった。また、回分試験より得られた混

表1 施設A、施設Bの概要

	施設A	施設B
処理方式	OD法	間欠曝気法
処理対象	1630人	660人
計画汚水量	440m ³ /d	179m ³ /d
実容積	378m ³	221m ³
平均流入BOD	210mg/L	170mg/L

表2 施設A、施設Bの BOD, T-N, T-P の処理状況

		BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
施設A	流入水	210	35	4.3
	処理水	2.4	15	2.0
施設B	流入水	170	39	4.6
	処理水	4.8	14	2.3

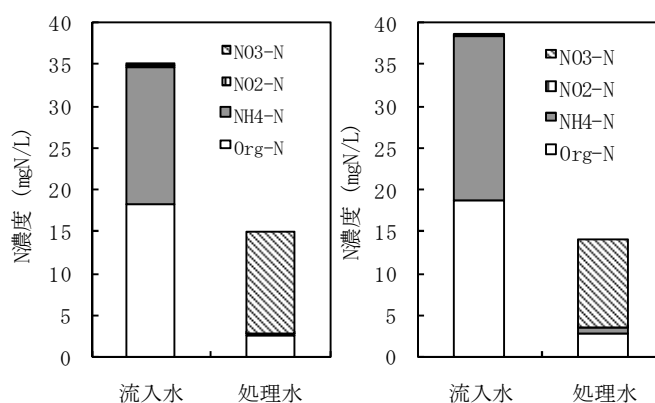


図1 施設A、施設BのN濃度 (左:施設A、右:施設B)

表3 回分試験による汚泥の硝化・脱窒活性

	施設A	施設B
硝化速度 (mgN/gSS.h)	0.46	1.03
脱窒速度 (mgN/gSS.h)	0.17	0.65

キーワード 温室効果ガス、亜酸化窒素、二酸化炭素、発生抑制、水処理、窒素リン除去、農業集落排水

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部 TEL 03-3259-0673

合汚泥の硝化・脱窒活性（表3）を見ると、両施設とも硝化活性と比べて脱窒活性が低く、硝化回分試験では 0.05mgN/L 程度と極微量ではあるが $\text{NO}_2\text{-N}$ の蓄積が観察され、脱窒回分試験においても $0.8\sim 1.2\text{mgN/L}$ 程度の $\text{NO}_2\text{-N}$ の蓄積が観察された（データ省略）。さらに、処理水における T-N および $\text{NO}_3\text{-N}$ とアルカリ度の関係を見ると図2のようになり、施設Aではアルカリ度が約 115mg/L 以下においてアルカリ度の増加に伴い T-N、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が減少しており、その傾向は $\Delta\text{T-N}/\Delta\text{アルカリ度}$ 、 $\Delta\text{NO}_3\text{-N}/\Delta\text{アルカリ度}$ ともにおよそ 0.28 であり、脱窒反応の理論値と同等であった。また施設Bについてはプロット数が少ないため詳細な傾向は確認できないが、施設Aのプロットと同程度の位置にプロットされた。以上のことから、施設A、施設Bともに窒素除去率が比較的低かった原因として、硝化は十分良好に進行していたものの脱窒が律速となっていたことが考えられ、長い滞留時間、高 BOD 除去率、低硝化・脱窒活性から考察すると、過剰曝気、有機物不足による脱窒律速であると考えられ、窒素除去の観点からは現状の運転よりも曝気エネルギー（電力エネルギー）の削減が可能であると推察される。

一方、両施設における反応槽上部気相部での N_2O 濃度の測定結果（平均値）は図3のとおりであった。施設Aにおいては、送風搅拌装置後の位置では送風 ON/OFF の際にそれぞれ 0.53ppm 、 0.34ppm であり、送風搅拌装置前の位置ではそれぞれ 0.35ppm 、 0.34ppm であった。施設Bでは曝気時に 0.73ppm 、攪拌時に 0.32ppm であった。このため、いずれの施設においても直接的にエアレーションの影響を受けない位置においては大気中 N_2O 濃度とほぼ同程度であることから、硝化過程、脱窒過程のどちらで生成されたのかは明らかではないが、生成された溶存 N_2O がエアレーションにともない気相部へ移行する様子が確認された。以上より、今回のサンプリングは局所的なものであったが、それであっても両施設ともに十分に N_2O 発生ポテンシャルを有することが分かった。なお、一般的に硝化・脱窒状態が不完全な場合に N_2O が発生することが知られており、本研究においては処理水および硝化・脱窒回分試験においても $\text{NO}_2\text{-N}$ の残存または蓄積が観察されるなど、不安定（不完全）な硝化・脱窒状態であったことが

読み取れる。そこで、処理水 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度と反応槽上部気相部 N_2O 濃度の関係を見ると図4のようになり、プロット数が少ないため明確ではないが、処理水中に $\text{NO}_2\text{-N}$ が高濃度に残存する場合に N_2O 濃度も高く検出されている傾向が確認された。

4.まとめ

比較的小規模な農業集落排水処理施設2施設について有機物、窒素、リンの処理状況および反応槽上部気相部の N_2O 濃度を調査した結果、いずれの施設においてもリン除去は不十分であり、有機物除去および $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去は良好であったが脱窒律速となっている傾向、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が残存するような不安定な窒素除去状況によるものと思われる N_2O 発生傾向が観察された。このため、窒素除去の観点のみに着目すれば、窒素除去率の向上および N_2O 、 CO_2 の発生抑制を同時に達成するために、現状よりも送風（曝気）エネルギーを削減した運転に移行できる可能性が示唆される。しかし、その際にリン除去に与える影響についても配慮し、総合的に環境負荷の低い運転を検討する必要がある。また、現在の N_2O 生成が硝化由来であるか脱窒由来であるかは不明なため、今後、両施設から採取した汚泥を用いた N_2O 生成に関する回分試験も含め、 N_2O 発生特性の調査および発生抑制の検討が必要である。

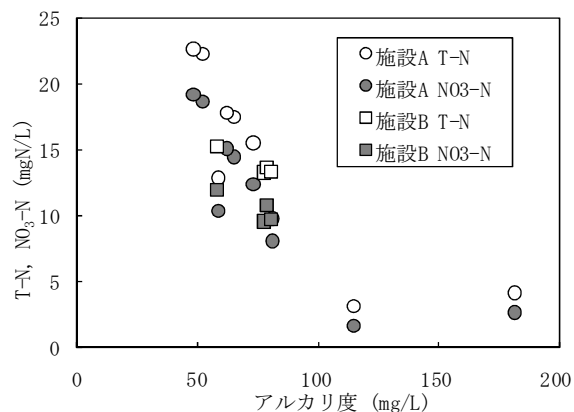


図2 アルカリ度と T-N、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の関係

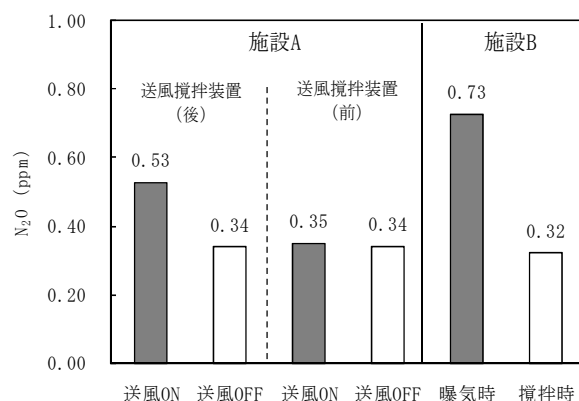


図3 施設A、施設Bの反応槽上部気相部での N_2O 濃度

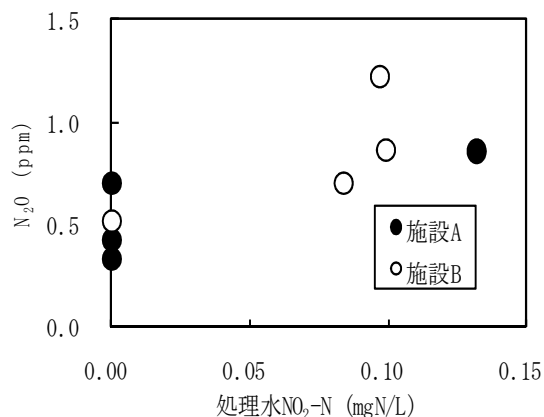


図4 処理水 $\text{NO}_2\text{-N}$ と N_2O の関係