

下水処理施設における窒素除去特性と N₂O 発生特性の把握

Characteristics of nitrogen removal and N₂O emission in wastewater treatment plant

○小川雄也¹, 吉田征史², 見島伊織³, 柿本貴志³
Yuya Ogawa, Yukihito Yoshida, Iori Mishima, Takashi Kakimoto

Abstract: It is well known nitrous oxide (N₂O) is emitted from wastewater treatment process (WWTP). Hence, it is important to find operational condition that can suppress N₂O emission from WWTP. In this study, water and gas quality of three actual WWTP were investigated and relationship between nitrogen removal and green house gas (GHG) emission were discussed. NO₃-N of 50% - 80% was still remained in effluent T-N in these WWTP. This result suggested that the aeration energy could be reduced compared to a present condition which would contribute the reduction of GHG emission from WWTP. Moreover, it was suggested that dissolved N₂O generated during nitrogen removal discharged to an atmosphere as N₂O gas by the aeration.

1. はじめに

国内の下水処理の過程から排出される温室効果ガス (GHG) は, 日本全体のGHG排出量の約0.5%を占める. その内訳は, 処理場内の電力消費由来のCO₂排出が50%を占めるほか, 水処理および汚泥焼却からの排出に大きく分けることができるが, とりわけ水処理工程における曝気装置の電力消費と水処理工程からのN₂O排出のみで全体の約35%を占めている (CO₂換算量). N₂Oは窒素除去過程で発生し, その温室効果はCO₂の約310倍であることから, 少量の発生抑制でも地球温暖化防止効果は高いと考えられ, 近年注目を集めている. しかし, 実処理施設において水処理工程からのGHG排出量を特定した報告例は少ない. そこで, 本研究では異なる処理方式, 規模の違う処理場においてGHG排出量の調査を行い, これらの相違によるGHG排出特性と, 窒素除去特性の関連を調べた.

2. 調査・実験方法

調査は, オキシレーションディッチ (OD) 法 (施設 A), 間欠曝気法 (施設 B), 標準活性汚泥法 (施設 C) と処理方式の異なる 3 つの処理施設で行った. それぞれの施設概要を表 1 に示す. 各施設から流入水, 反応槽内混合汚泥, 処理水を採水し, BOD, COD, T-N, T-P, アルカリ度, SS, MLSS など进行分析した. また, N₂O の分析は, 反応槽上部の気相部から真空ビンを用いて採取したサンプルと, 処理水を用いてヘッドスペース法により気液平衡させたサンプルをガスクロマトグラフィーで測定し, 気相部N₂Oおよび溶存N₂O进行分析した. ただし施設 C は, 標準活性汚泥法ではあるが, 前段部の曝気抑制, 汚泥返送による NO₃-N 持込みの運転により窒素・リン除去を促進した運転となっていたが, 今回は後段の好気槽から気体サンプルを採取した. また, 反応槽から採取した混合汚泥を用いて硝化回分試験, 脱窒回分試験を行い, 硝化能力と脱窒能力を調べ, N₂O 発生との関連を考察した.

3. 結果および考察

3-1 処理能力の調査結果

分析結果を表 2 に示す. BOD と SS の除去率を見ると, 全ての施設において BOD は 97%以上, SS は 95%以上と良好な除去ができていた. しかし, 窒素・リンの除去率を見ると, 窒素, リンともに 60%程度と, 有機物の除去は良好だが, 窒素・リン除去は不十分であることが分かった. また, 処理水における窒素成分の内訳 (図 1) を見ると, NH₄-N は僅かしか残存していないのに対し, NO₃-N が 50%-80%と多く残存していることから, 硝化は十分であったが脱窒不足であったことが考えられ, これが窒素除去率 60%程度である原因と考えられた. なお, 僅かながら NO₂-N が残存することもあった.

Table1. Outline of investigative WWTPs

Index	plant A	plant B	plant C
Planned population(persons)	1630	660	122610
Planned influent flow(m ³ /d)	441	179	65808
Treatment system	OD system	IA system	CAS system
Reaction tank volume (m ³)	378	221	16656
Starting date of sampling	09/7/15~	09/11/13~	10/6/23~
Number of sampling	27	17	4
Aerobic/Anoxic ratio	18h/6h	13h/11h	24h/0h
Aeration flow (m ³ /d)	2185	1376	374400
Influent flow(m ³ /d)	270	96	55493

Table2. Process performance of each plant

Index		plant A	plant B	plant C
BOD(mg/L)	Influent	207	194	165
	Effluent	3.68	4.68	4.40
T-N (mgN/L)	Influent	37.5	39.2	23.9
	Effluent	16.2	15.4	9.56
T-P (mgP/L)	Influent	4.57	4.95	2.77
	Effluent	2.18	2.32	0.39
SS (mg/L)	Influent	289	254	12.2
	Effluent	9.10	6.54	2.83
MLSS (mg/L)	Reaction tank	3778	2213	1281
N ₂ O gas (mgN/L)		0.00016	0.00028	0.00417
Dissolved N ₂ O (mgN/L)		0.00075	0.00169	0.00801

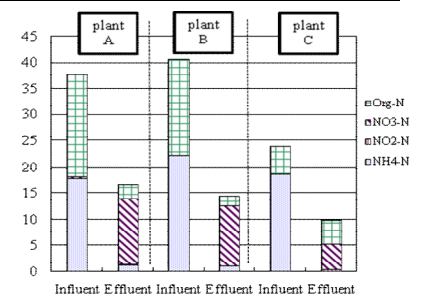


Fig.1. Composition of nitrogen component

3-2 回分試験による硝化・脱窒能力の結果

回分試験の結果を表 3 に示す。硝化・脱窒速度について、施設 A, B は低く、施設 C が高い値を示し、硝化・脱窒速度が窒素負荷量に依存していることが示唆された。施設 B では反応槽 DO が高濃度であったため脱窒が律速になったのではないかと考えられる。また、回分試験中に硝化・脱窒ともに微量の NO₂-N が検出された。これらの結果は表 2 の処理状況とも一致しており、不完全な窒素除去により N₂O が生成された可能性が示唆された。

Table3. Results of batch tests and operational conditions of DO and nitrogen loading rate

Index	plant A	plant B	plant C
Nitrification rate by batch test (mgN/g VSS.h)	0.84	1.20	3.85
Denitrification rate by batch test (mgN/g VSS.h)	0.71	0.73	3.51
DO at plant tank (mg/L)	1.33	5.85	4.00
T-N loading to plant tank (mgN/g VSS.d)	8.98	9.48	78.8

3-3 N₂O 発生量の調査結果

(1) 気相部から排出される N₂O ガス

図 2 に分析結果を示す。施設 A は無終端水路内の 1 ヶ所に送風攪拌装置が設置されているため、その前後においてサンプリングした。装置直前の無酸素部では送風が ON でも OFF でも N₂O 排出はほぼ変化無く、装置直後の好気部では送風 ON の場合、OFF 時よりも高濃度に検出された。施設 B も同様に曝気時の N₂O 濃度は攪拌時よりも高濃度であり、両施設とも攪拌時の検出濃度は大気中 N₂O (約 0.32ppm) と同程度であったことから、生成された溶存 N₂O が曝気に伴って気相部へ排出されていたと考えられる。施設 C は、他施設よりもかなり高濃度の N₂O が検出された。相対的に窒素負荷が高いこと、疑似嫌気部から好気部へ移行した位置でサンプリングしたため嫌気(または無酸素)部で生成された溶存 N₂O が一気に気相部へ排出されたと考えられる。

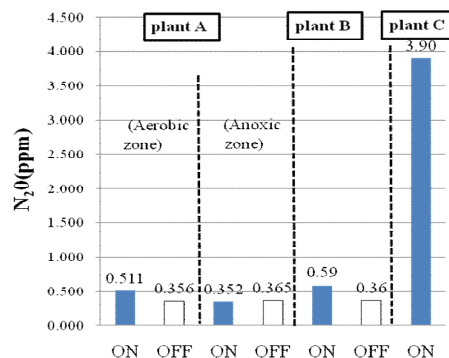


Fig.2. N₂O emission from plant tank

(2) 総 N₂O 排出量, 排出係数

総 N₂O 排出量を、測定された N₂O ガス・溶存 N₂O 濃度と各処理場の送気量・流入量から算出し、排出係数は総 N₂O 排出量、全窒素負荷量と各処理場の流入量を用いて算出した結果、排出係数について、参考文献値 0.0016 (t-N₂O/t-m³)¹⁾ と比較をしたところ、施設 C は参考文献値よりもやや低く、施設 A, B では極めて低くなるということがわかった。

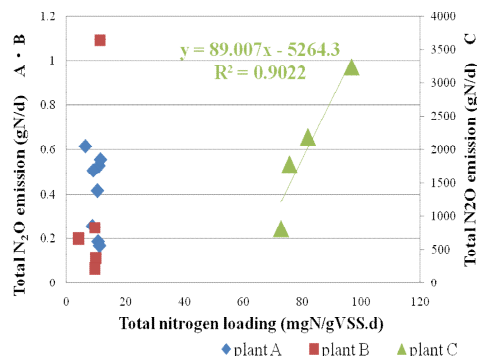


Fig.3. Relationship between T-N loading and Total N₂O emission

(3) 総 N₂O 排出量と窒素負荷量, N₂O ガスと溶存 N₂O の存在割合

図 3 に各施設における窒素負荷量と総 N₂O 排出量の関係を示す。相対的に排出量・窒素負荷ともに少ない施設 A・B については明らかとは言えないが、窒素負荷量が高い場合に総 N₂O 排出量が高くなる傾向が見られた。一方、N₂O ガスと溶存 N₂O の存在(排出)を見ると(図 4)、気相部へ排出されるガス態の割合が 66~78%であり、これは既存の報告で、下水処理において溶存 N₂O として放流される割合が総 N₂O 排出量の 20%以上という報告¹⁾と一致しており、処理水として放流される溶存 N₂O も無視できないと考えられる。

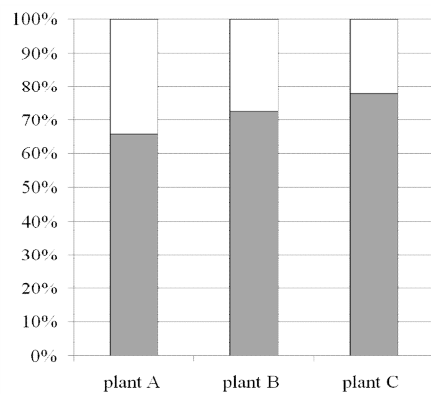


Fig4. Ratio of N₂O gas and dissolved N₂O

4. 総括

処理方式・規模の異なる 3 つの処理施設について窒素除去と GHG 排出について調査を行った結果、どの処理場においても不完全な窒素除去により N₂O が生成され、曝気に伴って気相部へ排出されていることが確認された。また、各処理施設ごとに窒素負荷量が高い場合に N₂O 排出量が高くなる傾向が観察された。しかし、3 つの処理施設で得られた結果を統一的に見た場合、窒素負荷量に係らず同程度の N₂O が排出されることもあるため、その他の影響因子も検討する必要があるため、今後、NO₂-N や DO、窒素除去量(硝化量・脱窒量)などと N₂O 排出量の関係についても多角的に、総合的に評価する必要がある。

5. 参考文献

[1]増田周平,西村修:「水処理工程における N₂O の発生特性」,用水と排水,Vol.52,No.3,PP. 213-226,2010