下水処理場における反応槽内の窒素成分の挙動と N_2O 発生

埼玉県・環科国セ　○正会員　見島伊織
日本大学理工学部　非会員　伊藤耕輔　正会員　吉田征史

1.研究背景および目的

現在、世界規模での地球温暖化の進行を抑えるために、温室効果ガスの発生抑制は急務の課題である。下水処理分野においては、処理工程中のエアレーション（曝気）による有機物の分解除去や窒素の酸化を行うために多くの電力を使用しており、電力由来の温室効果ガスの排出量が多い。また、窒素除去は、硝化、脱窒によって行われるが、この両過程で CO_2 の約 300 倍の温室効果ポテンシャルを有する亜酸化窒素（N_2O）の発生があることが知られている。この下水処理プロセスから発生する N_2O の生成から排出においての一連の機構に未解明な点があることから、必ずしも N_2O 発生量が正確に把握されているとはいえない。本研究では下水処理実施設において発生する N_2O が反応槽内のどの位置でどのように発生しているのかを検討することを目的として、反応槽内の流れ方向に対して数か所に分割して採水することにより反応槽内における窒素成分の形態変化の挙動と溶存 N_2O 発生の関連を調べた。

2.調査・実験方法

調査対象施設は表 1 に示す標準活性汚泥法の下水処理場である。本施設の最初沈殿池越流水（流入水）、最終沈殿池越流水（処理水）、反応槽内混合液（SP1～SP4 の 4 箇所）、返送汚泥を定期的に採取した。なお、反応槽は連続曝気が行われており、その前段部分（SP1）は若干曝気量を少なくした運転を行っている。反応槽気相部の N_2O を測定するため、すべてのガスが集約されて処理される前において真空瓶でガスを採取した。水試料について、水温、pH、DO、アルカリ度、有機物（BOD 等）、栄養塩（T-N、T-P、NH_4-N、NO_3-N、NO_2-N、PO_4-P）、浮遊物質（SS、VSS 等）、溶存 N_2O 等を測定し、ガス試料については、N_2O を測定した。溶存 N_2O の分析では、まず試料 50mL とグルコン酸クロルヘキシジン溶液 20% 1mL を 100mL のバイアルびんに入れ、気相部を窒素ガスで置換した。次いで、30 秒間激しく浸透させた後、5 分間 20℃で静置し気液平衡させたサンプルのガス中 N_2O を分析し、オストワルド溶解係数から溶存 N_2O 濃度を計算した。

3.結果および考察

施設の流入水および処理水の BOD、SS 、T-N、T-P の平均値および標準偏差（n=8）を表 2 に表す。処理水の BOD、SS は平均でそれぞれ、4.9mg/L、3.2mg/L であり、除去率はそれぞれで 97、95%以上が常時得られていた。また、本施設は窒素やリンの高度処理を目的とした施設ではないが、処理水 T-P の平均値は 0.30mg/L であり、高いリン除去率が得られていた。これは、汚泥中のリン含有率が 4.5mgP/VSSg と比較的高く、生物学的にリンが活性汚泥に摂取されたためであると考えられる。一方、処理水の T-N の平均値は 9.8mg/L であり、除去率の平均は 58%であった。流入水および処理水中の窒素成分は図 1 に示したとおりであり、流入水中には有機態窒素（Org.-N）および NH_4-N が多い。処理水においては、NH_4-N は減少し NO_3-N が増加していることから、硝化は進行しているが脱窒がやや律速となり NO_3-N が処理水に残存したことがわかる。

表 1　施設の概要

処理方式	標準活性汚泥法
実流入量（m^3/d）	51600
反応槽（m^3）	16700
送気量（m^3/d）	374000
調査実施期間	10/6/23～
調査回数	8
HRT（h）	7.8

表 2　処理の概要

BOD(mg/L)	流入水	130	± 37
	処理水	4.9	± 3.2
SS(mg/L)	流入水	68	± 16
	処理水	3.2	± 0.78
T-N(mgN/L)	流入水	24	± 2.8
	処理水	9.8	± 1.4
T-P(mgP/L)	流入水	3.3	± 0.48
	処理水	0.30	± 0.28

2010 年 12 月 15 日の流入水、反応槽（SP1～SP4）、処理水においての窒素成分などの挙動を図 2 に示す。処理水の NO_3-N は 4mg/L 程度であるが、SP1 の NO_3-N は 0.2mg/L であることから、最終沈殿池下部もしくは返送汚泥と流入水が混合された後に脱窒が進行し NO_3-N が減少したと考えられる。また、SP1 で流入水や処理水よりも PO_4-P が高いため、リンの吐き出しが起こっていることも示唆される。この間には DOC の

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、下水処理場
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　ＴＥＬ03-3259-0673

減少も起こっており、炭素源を利用する脱窒やリンの吐き出しを裏付けている。

SP1～SP4 においては、連続曝気による好気的な処理が行われており DO が増加していた（図 2）。しかしながら、その増加は流下方向に対して一定ではなく、SP2～SP3 にかけての増加が著しかった。NH_4-N および NO_3-N は SP1～SP2 では一定程度であるが、SP3 では NH_4-N は減少し、NO_3-N は増加していた。このことから、SP2 までは硝化の進行はほとんど無いが、SP2～SP3 において硝化が急激に進行したことが示唆される。また、PO_4-P は SP2 までは緩やかに SP2～SP3 にかけては急激に減少しており、好気的なリンの摂取が行われていた。

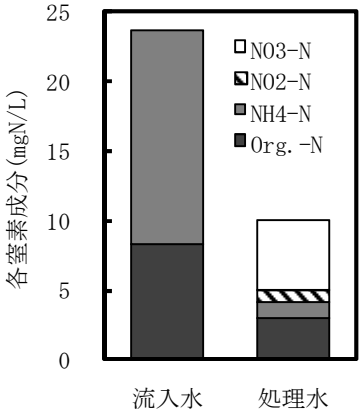

図 1　流入水、処理水の窒素成分

溶存 N_2O は流入水にはほとんど含まれておらず、SP1、SP2 においても低濃度であったが、SP3、SP4 では高濃度に検出された。これは、前述のとおり SP3 で硝化が起こっており、これに伴って溶存 N_2O が生成されたと考えられる。これらのことから、反応槽では易分解性有機物などの酸化などがはじめに起こり、その後、硝化が進行する際に溶存 N_2O が生成されていたと考えられる。また、SP4 よりも処理水の溶存 N_2O が低いため、反応槽でのストリッピングの他に最終沈殿池において、溶存 N_2O の還元が進行していることが示唆された。また気相部の N_2O は溶存 N_2O と正の相関性があり、溶存 N_2O の生成と反応槽から気相部へのストリッピングがリンクしていることがわかる。

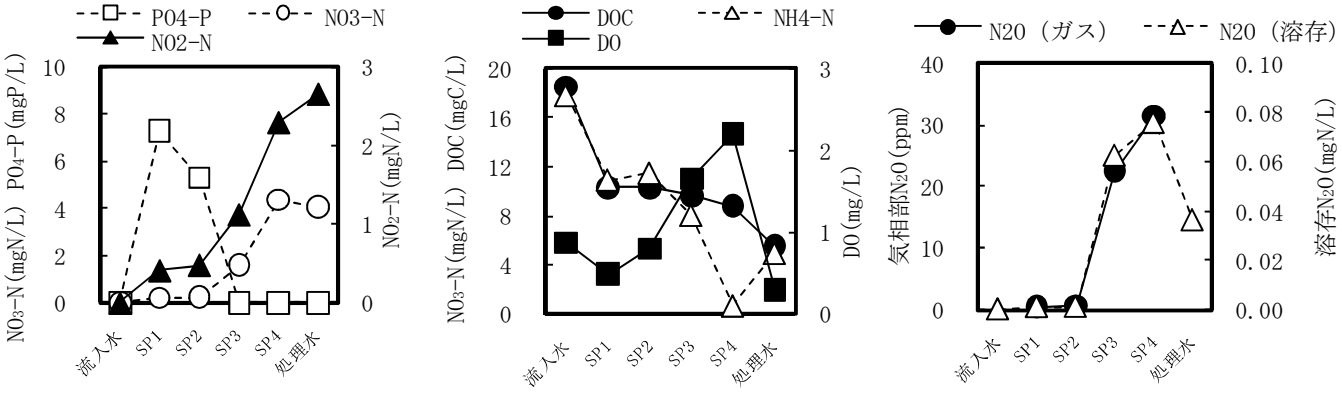

図 2　各ポイントの水質変化

ガス中の N_2O と曝気風量から下水 $1m^3$ あたりの N_2O の排出量を求めると平均（n=8）で $28.8mgN/m^3$ であった。これは、既存の N_2O 排出係数[1)] よりも低い。また、除去された窒素あたりの N_2O 転換率は 0.21%と低めであった。図 3 には、ガスとしての N_2O 排出、処理水中の溶存 N_2O 排出、処理水窒素の転換による N_2O 排出の平均値をまとめたものである。処理水窒素の転換には、処理水としての窒素排出量に 0.5%（IPCC のガイドライン[2)] を引用）を乗じて求めた。溶存 N_2O 排出、処理水窒素の転換は全 N_2O 排出の 21%、52%程度であり、大きい割合を占めた。とくに処理水窒素の転換は寄与が大きいため、N_2O の排出削減を行うには窒素の除去率を上げ、その際に N_2O の発生量を抑制する運転方法を確立する必要がある。

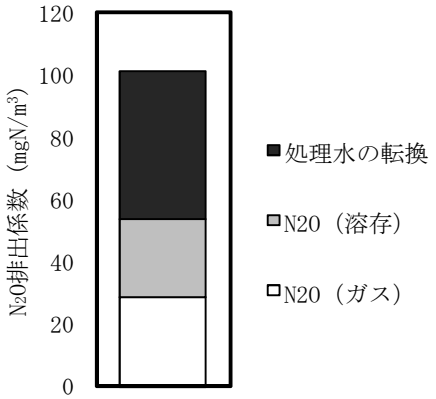

図 3　N_2O 排出量の内訳

4.まとめ

下水処理場を対象とした水質や N_2O 濃度の調査を行ったところ、硝化が進行する際に溶存 N_2O が生成され、気相部に排出される様子が明らかになった。N_2O の排出抑制を考える場合には、処理場内で窒素除去率の向上を図りながら、その際の N_2O 発生抑制を抑制する必要がある。

参考文献

1）国土交通省都市・地域整備局下水道部「下水道における地球温暖化防止対策検討委員会」，下水道における地球温暖化防止推進計画策定の手引き，2009. 2）IPCC，2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories，2006.