

5. 下水道における一酸化二窒素発生抑制型処理方法 に関する検討

下水処理研究室 室長 山下 洋正
主任研究官 重村 浩之
研究官 道中 敦子

1. はじめに

下水道事業から発生する温室効果ガスのうち、約半分は電力消費に起因する二酸化炭素（以下、CO₂）である。その他、処理工程からメタン（CH₄）や一酸化二窒素（N₂O）が発生することが知られている。この中でも N₂O は、CO₂ の約 300 倍の温室効果を有しており、下水道事業全体の地球温暖化ガス排出量においては無視できないことから、地球温暖化防止対策の一環として排出量の削減に取り組むことが求められている¹⁾。汚泥焼却から発生する N₂O については、燃焼温度を通常の焼却（800℃）から高温焼却（850℃）にすることにより約 6 割減少できる²⁾ことから、対策が講じられている。一方、水処理工程から発生する N₂O は、生活排水に含まれる窒素成分が生物処理を受ける際に、その副産物や中間物質として生成する。その過程には、関与する微生物と環境因子が複数存在することから、メカニズムや排出実態については依然として不明な点が多く、未だ明確な対応策が講じられていない。そこで、本研究では下水処理プロセスにおける N₂O 排出量の実態把握と発生抑制手法の検討を目的としている。

これまでに、異なる下水処理方式における N₂O 排出量について実下水処理場を対象に実態調査を実施してきた。その結果、実下水処理場から発生する N₂O 排出量は処理方式により異なっていることが明らかとなり、さらに高度処理を行っている処理場に比べて標準活性汚泥法（以下、標準法）を採用している処理場から排出される N₂O 排出量が高かった³⁾。これら過年度の調査結果を踏まえ、平成 26～28 年度では、排出量が高いと想定される条件における N₂O 排出量について調べることを目的として調査を実施した。排出量が高いと想定される条件として、①標準法による下水処理、②汚泥処理から発生する窒素濃度が高い返流水処理の 2 つに着目した。①については、標準法にて異なる運転方法の違いによる N₂O 排出量を把握するため、平成 26～28 年度を通じて、条件を変えて運転したベンチスケールリアクターを用いた調査を実施するとともに、平成 26 年度には段階的の高度処理実証実験運転を実施している処理場を対象に、平成 28 年度には既設標準法施設を用いて運転工夫を行っている下水処理場を対象に現地調査を実施した。②については、汚泥処理から発生する高濃度の窒素を含む返流水が、水処理プロセスにおける N₂O 排出量に与える影響を調べるため実態調査を平成 27 年度に実施した。

2. 研究内容

2.1 標準活性汚泥法における運転方法の違いによる N₂O 排出量の把握

これまでに実施された現地調査の結果より、標準法に比べて窒素除去を目的とした高度

処理では排出量が低いことが示された³⁾。一方で、高度処理への更新は多額の設備投資が必要であることから容易にできない現状もある。このことから、標準法における N₂O 排出抑制運転について検討することを目的に、ベンチスケールリアクターを用いた実験と、既設標準法の躯体を利用した運転工夫を行っている処理場を対象に現地調査を実施した。

2.1.1 ベンチスケールリアクターを用いた N₂O 排出量抑制運転の検討

標準法における N₂O 発生抑制運転手法の検討をするために、ベンチスケールリアクターを用いて、異なる曝気運転による排出量の違いを調べた。

(1) 方法

実下水処理場内に設置した国総研実験施設にてベンチスケールリアクターを運転しており、当該下水処理場の流入下水を沈殿処理したものをリアクターに連続的に流入した。本実験装置は6槽の反応槽（6.6L×6槽、計39.6L）と最終沈殿池（13.2L）から構成された連続式リアクターであり、各反応槽の曝気風量を制御できる。これまでの調査³⁾より、窒素除去率が高い処理方式では N₂O 転換率が低い傾向が示されたことから、これを踏まえ、脱窒工程を取り入れた運転として、前段曝気制限運転、AOAO 運転について検討した。Run A と Run B では標準法（標準曝気）で運転後、前段曝気制限運転に変更した。Run C と Run D では標準法で運転後、AOAO 運転に変更した。Run E および Run F では運転条件は変更せず、標準法で運転した。運転条件および流入水質について各運転期間の期間平均値を表 1 にまとめる。

表 1 リアクター運転条件

		Run A		Run B		Run C		Run D		Run E	Run F	
		変更前	変更後	変更前	変更後	変更前	変更後	変更前	変更後	変更せず	変更せず	
運転方法		標準曝気	前段曝気制限	標準曝気	前段曝気制限	標準曝気	AOAO	標準曝気	AOAO	標準曝気	標準曝気	
流入水質	水温 (°C)	18.6	16.6	18.6	16.6	20.6	18.7	20.6	18.7	15.0	15.0	
	SS濃度 (mg/L)	369.0	410.0	387.5	411.5	325.0	412.0	365.3	420.4	387.4	402.6	
	溶存有機物 (mg/L)	30.7	32.7	32.0	33.0	25.0	27.7	24.8	28.3	31.2	39.6	
	無機態窒素 (mg/L)	18.8	18.7	18.8	18.8	21.4	23.9	21.4	24.1	26.2	26.2	
運転条件	曝気風量 (L/min)	反応槽1	1.0	0.1(攪拌有)	1.0	0(攪拌有)	1.0	0(攪拌有)	1.0	0(攪拌有)	1.2	1.2
		反応槽2	1.0	0.1(攪拌有)	1.0	0(攪拌有)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2
		反応槽3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0(攪拌有)	1.0	0(攪拌有)	1.2	1.2
		反応槽4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2
		反応槽5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2
		反応槽6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2
HRT (hr)		7.1		6.5		6.0		6.0		5.5	5.4	
SRT (日)		12		12		9		9		8	7	
汚泥返送率 (%)		50	50	50	50	55	66	60	60	50	50	
流入水量 (mL/min)		130	130	140	140	145	160	145	160	160	160	
MLSS濃度 (mg/L)		2575	2846	2828	2652	1300	2250	2648	1955	2400	2243	

各反応槽には覆蓋が着いており水面から発生するガスを採取できるようになっている。採取したガス試料はガス態 N₂O 濃度の測定に用いた。反応阻害剤としてグルコン酸クロロヘキシジン溶液を添加した（最終濃度：0.26%）ヘッドスペース用のバイアル瓶に、各反応槽内の液体試料を採取し密閉したものを、溶存態 N₂O 濃度測定に用いた。水質およびガス分析は以下のとおり実施した。試料は採水後速やかにガラス繊維ろ紙にてろ過し、溶存態有機物、溶存無機態窒素、MLSS 濃度を測定した。溶存態有機物については、TOC-5000（SHIMADZU 社）にて測定した。溶存無機態窒素（NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N）は、自動比色分析装置 QuAAtro2-HR（BL-TEC 社）を用いて測定した。N₂O ガス分析は、電子捕獲検

出器(ECD) 付ガスクロマトグラフ (ガスクロマトグラフ GC-8A、SHIMADZU 社) を用いて N_2O 濃度の測定を行った。ECD では導入部および検出部温度を $250^{\circ}C$ 、カラム温度を $80^{\circ}C$ に設定した。カラムは PORAPAK-Q (1m、80/100 メッシュ、Waters 社) を用い、キャリアガスに $Ar+CH_4(5\%)$ を使用した。溶存態 N_2O 濃度は、ヘッドスペース法 (温度 $40^{\circ}C$ 、恒温時間 150 分、HEADSPACE Autosampler tekmar 7000 (Tekmar-DOHRMANN 社)) により分析を行った。

(2) 結果

Run A~D について、各運転期間の N_2O 排出量および処理性能について期間平均を図 1 に示す。また、それぞれの期間ごとにおける各反応槽の無機態窒素濃度 (期間平均) を図 2 に示す。有機物除去については、曝気風量を制限した運転では、標準運転に比べて若干下がる傾向がみられたが、いずれも除去率 70%以上 (処理水 DOC 濃度: $10mg/L$ 以下) を維持しておりほぼ同等の処理能力だった。

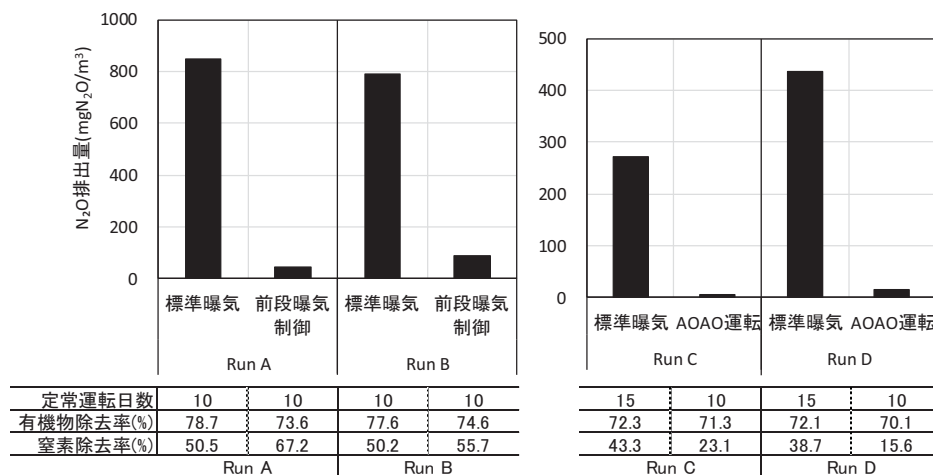


図 1 各運転期間の N_2O 排出量および処理性能 (Run A~D)

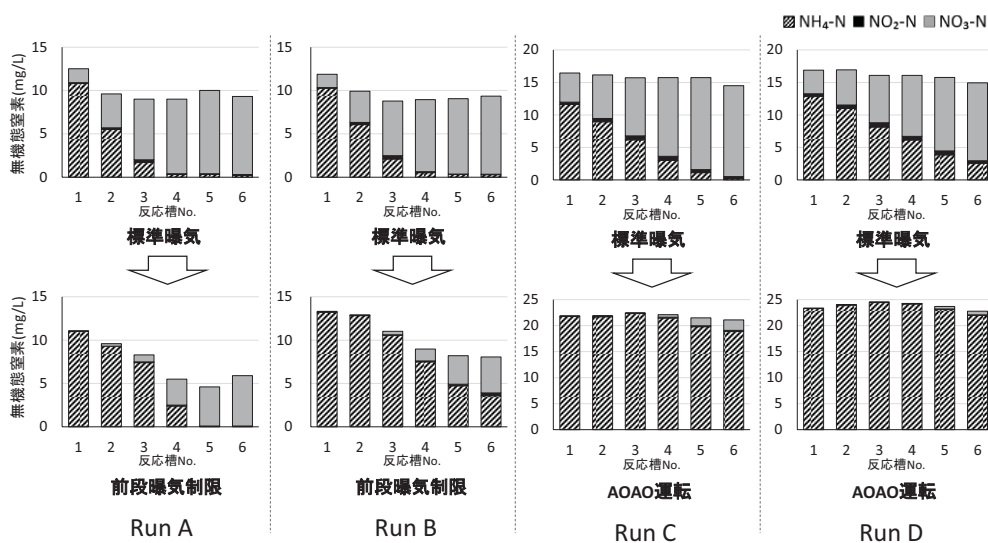


図 2 各反応槽における無機態窒素濃度 (Run A~D)

図 2 に示すとおり、標準曝気運転では硝化が促進していた。このとき、いずれの Run も、無機態窒素総量にほとんど変化がなく、主に硝化反応が起こっていると考えられた。Run A および Run B は、前段曝気制限に運転を変更した後も硝化が促進しており、さらに窒素除去率が向上した。前段曝気制限運転では無機態窒素総量の減少が確認されたことから、脱窒反応が同時に起こっていると考えられ、脱窒工程を組み込むことにより窒素除去が促進されたと考えられた。Run C および Run D では AOA 運転に変更後、窒素処理能力に低下が見られ硝化抑制運転となりアンモニア態窒素がほとんど処理されず残存した。窒素除去を向上させることを目的とした AOA 運転だったが、今回の実験では、曝気風量不足となり硝化抑制となっていた。硝化抑制となった原因として、水温低下や活性汚泥の状態に加え、送風コントローラーの不具合による風量不足が一時的に生じたことが影響したと考えられた。そのため、AOA 運転の評価としてではなく、硝化抑制運転として扱うこととした。いずれの Run も運転条件変更後、N₂O 排出量が大幅に減少することが確認された。このことから、前段曝気制限運転、硝化抑制運転では、N₂O 排出量が低いことが確認された。

次に、硝化不安定となりやすい低水温期(流入水温 15℃)において標準法を模倣し運転した Run E および Run F について運転結果を図 3 に示す。

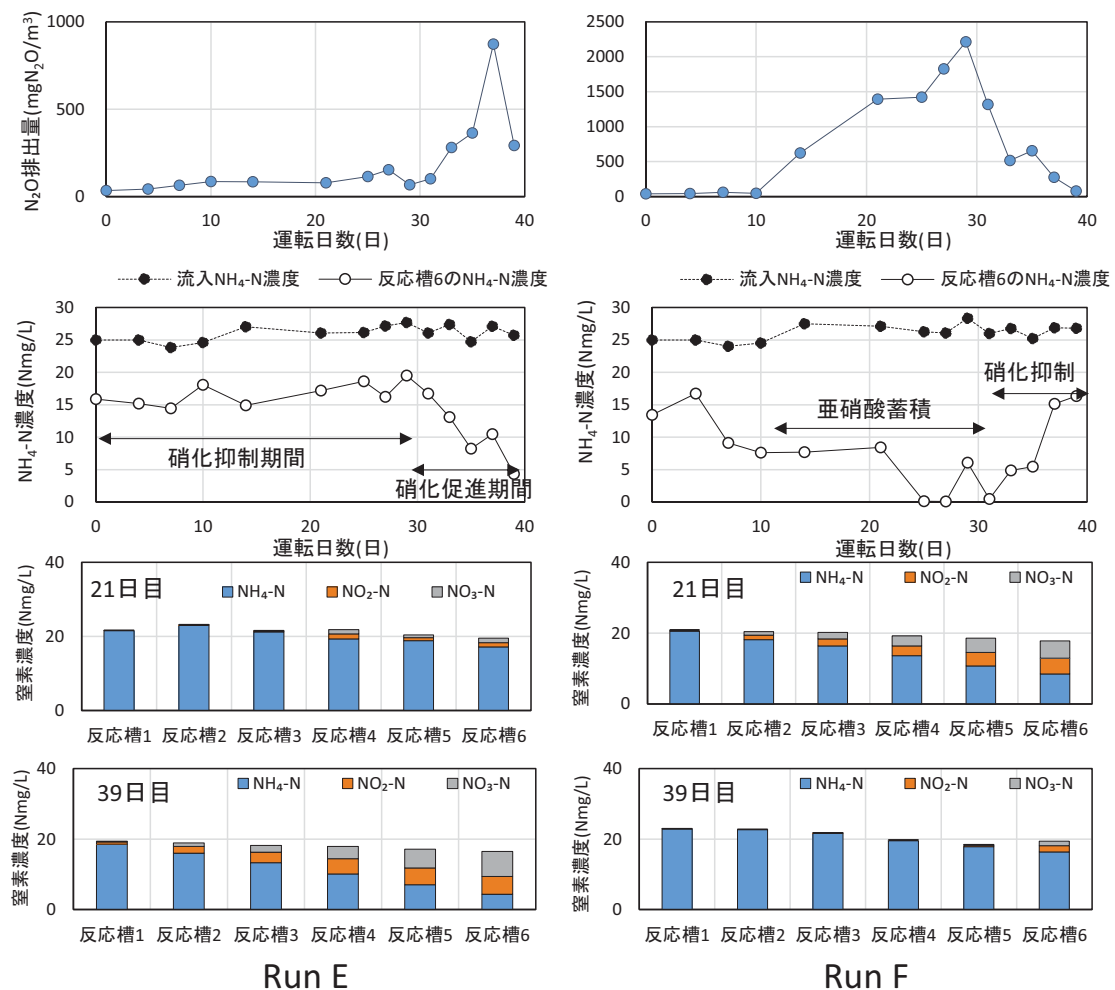


図 3 Run E および Run F のリアクター運転結果

流入水温は 15℃程度を保持していたが、末端反応槽水温が Run E では 10.4～14.8℃（平均 12.7℃）、Run F では 10.8～15.2℃（平均 13.0℃）だった。Run E では運転開始から 30 日目まで硝化は進まず、N₂O 排出量は低く平均 80.7mgN₂O/m³（硝化抑制期間）だった。30 日目以降から徐々に硝化が進み、それに伴い N₂O 排出量が増加し、最も高い値は 872.4 mgN₂O/m³ だった。このとき、反応槽内に NO₂-N の蓄積が確認された。Run F では運転開始 10 日目から不完全な硝化が確認され、NO₂-N が反応槽に蓄積していた。それとともに N₂O 排出量は急激に増加し 48.2 mgN₂O/m³ から最も高い値で 2,214 mgN₂O/m³ まで増加した。30 日を越えたところで急に硝化が抑制される傾向が見られ、それに伴い N₂O 排出量が低下していった。Run F は、Run E とほぼ同様の条件で運転を行ったが挙動が異なっていた。原因として、種汚泥の採取時期が違うことから性状が異なっていた可能性は考えられるが、明確な理由はわからなかった。Run E、Run F の窒素除去率はどちらも低く、26%、36%（運転期間平均）だった。いずれの運転においても、硝化が抑制されている時期においては N₂O 排出量が低いこと、また、系内に NO₂-N の蓄積が確認される不完全な硝化運転となっている時期は N₂O 排出量が高いことが示された。

脱窒が同時に起こっていたと想定された前段曝気制限運転（Run A）について詳細に整理した。各反応槽における無機態窒素の挙動を図 4 に示す。ΔNH₄-N、ΔNO₂-N、ΔNO₃-N はそれぞれ、各槽における増減量（変化量）を示す。N₂O-N は N₂O ガス放出量を、D-N₂O-N は反応槽内における溶存態 N₂O としての存在量を示している。また、各反応槽の NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、ガス態 N₂O-N、溶存態 N₂O-N の総和における減少分を窒素ガス（N₂-N）放出量とした。標準曝気運転時に最も N₂O 排出量が高かったのは第 1 反応槽から第 3 反応槽にかけてであり、同時に NO₂-N 濃度の増加が観察された。前段曝気制限運転において、曝気を制限した第 1 および第 2 反応槽では、NO₂-N、NO₃-N どちらも減少しており脱窒反応により消費されていることがわかる。一方、曝気を制

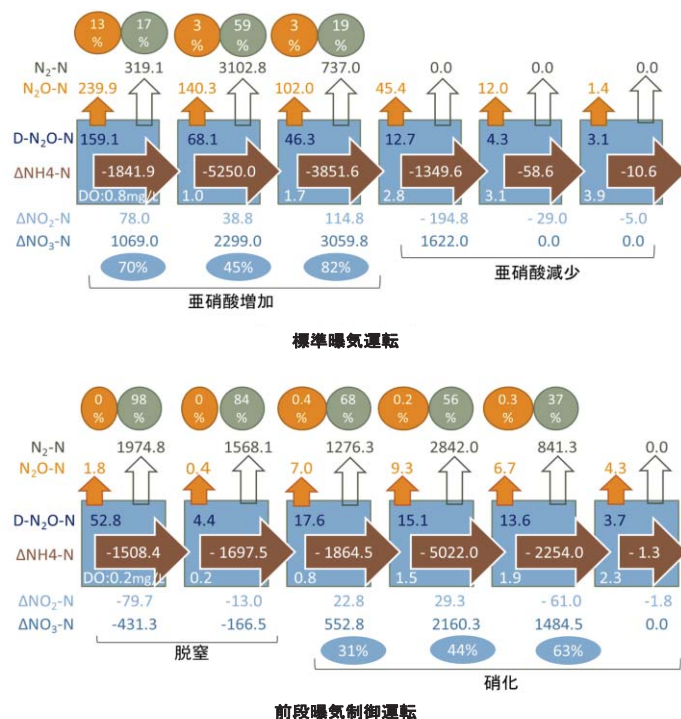


図 4 標準曝気運転および前段曝気制限運転における無機態窒素の挙動 (Run A)

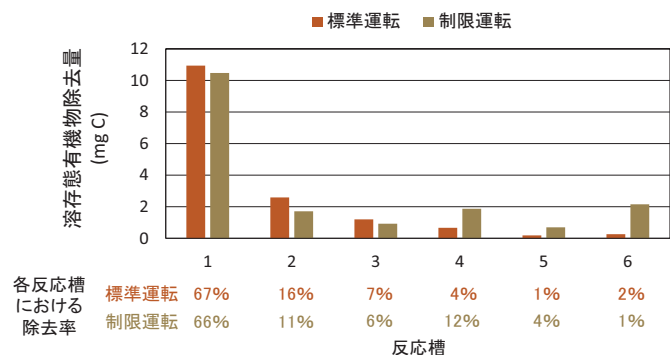


図 5 各反応槽における溶存態有機物除去の比較

限していない第3反応槽から第5反応槽については、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の増加が確認されたことから硝化反応が主に起こっていた。同じように硝化反応が主に起こっていた標準曝気運転時の第1反応槽から第3反応槽と比較すると、同等の $\text{NH}_4\text{-N}$ 量が消費されていたが $\text{NO}_2\text{-N}$ 増加分は比較的lowく第5反応槽では減少していた。図5に各反応槽における溶存態有機物除去量及び除去率（各槽有機物除去量/系全体で処理された有機物量）を示す。標準曝気運転、前段曝気制限運転、いずれも除去された有機物の6～7割が第1反応槽にて処理されている。それぞれの好気第1槽（標準曝気運転時における第1反応槽、前段曝気制限運転時における第3反応槽）を比較すると、送風量は同じであり、DO値は 0.8mg/L と同等であることから消費酸素量はほぼ同等と仮定する。一方、好気第1槽において処理された有機物量と酸化アンモニア量の比（ $\Delta\text{DOC}/\Delta\text{NH}_4\text{-N}$ ）は、標準曝気運転、前段曝気制限運転それぞれ15.7、0.7だった。このことから、標準曝気運転では有機物酸化に使われたと推測される酸素量が大きい。つまり標準曝気運転時では、好気槽第1槽にて有機物酸化と硝化が同時に起ったため、硝化に必要な酸素量不足による不完全硝化が起り、その結果、亜硝酸生成が進行し、高い N_2O 発生が観察されたのではないかと考えられた。一方、前段曝気制限運転の好気槽第1槽では硝化に使われたと推測される酸素量が大きいことから、速やかに完全硝化にいたることで系内の亜硝酸蓄積が抑えられ、 N_2O 発生が全体的に抑制されたのではないかと考えられた。

以上の結果より、標準法において、硝化抑制運転や前段曝気制限運転で N_2O 排出量が抑制することが確認された。また、硝化促進時において、特に、硝化反応が不安定となりやすい条件においては亜硝酸が系内に蓄積するため N_2O 排出量が高くなることが明確に示された。前段曝気制限運転では、硝化反応で生成される亜硝酸が、前段では脱窒反応によって、後段では酸化により速やかに消費されたことが N_2O 排出量を抑えられた一因として考えられた。このように、標準法で N_2O 排出量を抑制するためには、いかに亜硝酸を蓄積させない運転を行うかが重要であると思われ、亜硝酸酸化細菌（NOB）による硝酸化（完全硝化）、もしくは脱窒細菌による亜硝酸消費を速やかに進めるための運転制御因子の整理が今後必要である。

2.1.2 段階的高度処理における N_2O 排出量現地調査

特に閉鎖性水域では、富栄養化対策として下水処理場における高度処理の導入が推進されているが、既設設備の改築更新時に高度処理を導入することが多い。そのため、処理場によっては、改築更新を待たずに、既設の標準活性汚泥法施設を活用し運転管理工夫等により、環境基準の早期達成や安定化を図る取り組みがなされている。これまでの現地調査より、標準活性汚泥法より高度処理のほうが N_2O 排出量は低いことが示されたこと、また、ベンチスケール実験より、前段曝気制限運転で N_2O の排出量が低いことが示され、運転工夫を行うことで発生量を抑制できる可能性が考えられた。そこで、標準法施設を利用した段階的高度処理運転を実施している処理場を対象に、 N_2O 排出量を把握するため現地調査を実施した。

(1) 方法

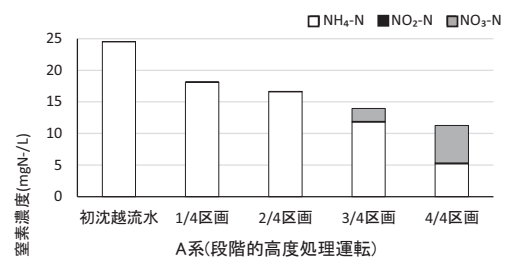
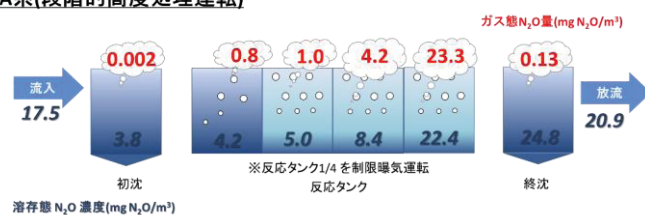
対象処理場において、処理過程における N_2O 排出量の実態を把握するため、24時間調査（4時間に1回サンプリング）を実施した。好気槽および嫌気槽の水面から発生するガス

を、ガス捕集器を用いて採取した。水質分析およびガス分析は上述 2.1.1(1)と同じ方法にて実施した。

(2) 結果

段階的高度処理運転の実証実験を実施している A 処理場において現地調査を行った結果を示す。まったく同じ躯体の既存標準法施設を用いて、通常運転を行っている系 (C 系) と段階的高度処理運転を行っている系 (A 系) の比較を同時期に行った。通常運転 (C 系) は、反応槽前段 1/8 部分の曝気を制限した擬似嫌気好気運転を行い、段階的高度処理運転 (A 系) では、反応槽前段 1/4 部分の曝気を制限することにより長い嫌気状態を確保し、汚泥返送率を上げることで反応槽前段での脱窒を促進する運転を実施している。SRT は A 系が約 12 日、C 系が約 5 日で運転していた。A 系、C 系における各反応槽における N_2O 排出量の推移を図 6 に示す。通常運転を行っている C 系では N_2O の排出量が非常に少なく好気槽末端 (4/4 区画) から排出が確認された。一方、A 系ではいずれの槽からも N_2O の排出は確認されたが、制限曝気運転をしている槽 (1/4 区画) から排出した N_2O は全体の約 3% であり、大半は通常の曝気運転をしている好気槽から排出していた。無機態窒素濃度を測定した結果を図 7 に示す。C 系では流入した NH_4-N は反応槽 3/4 区間までほとんど変化していない。硝化が進んでいないことからこの区間では N_2O がほとんど発生しなかったと考えられる。一方、A 系では反応槽 1/4 区画で無機態窒素総量が減少しており脱窒による窒素除去が確認された。この区間で NO_3-N は検出されなかったのは、速やかに脱窒反応で消費されたと考えられる。反応槽 3/4~4/4 区間に NO_3-N が生成しており、この区間では硝化反応が優先して起こっていると思われた。脱窒が起こっていたと考えられる 1/4 区画では、ガスとして放出される量だけでなく、溶存態 N_2O 濃度が低いことから、発生する N_2O 量が低いと考えられた。このことから、 N_2O は主に硝化反応が優先される条件下で発生しやすいことが言え、曝気を制限することで脱窒反応を組み込んだとしても、 N_2O の生成が促進されることはないと考えられる。

A系(段階的高度処理運転)



C系(通常運転:硝化抑制運転)

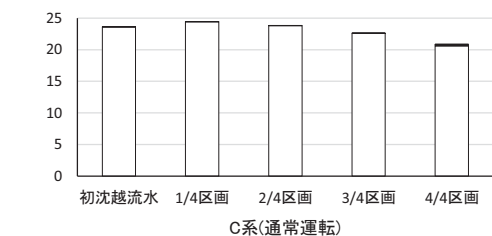
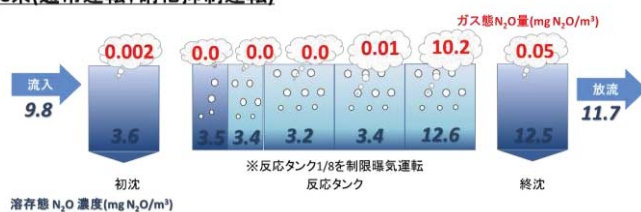


図 6 N_2O 排出量の推移

図 7 各反応タンクにおける無機態窒素濃度の推移

A 処理場を含め、段階的・高度処理運転を行っている処理場を対象に実施した現地調査より、各調査時における N₂O 排出係数および転換率、および新しく設定された温室効果ガスインベントリにおける「生活・商業排水の処理に伴う N₂O 排出（終末処理場）」の N₂O 排出係数⁴⁾を表 2 に示す。N₂O 排出係数は下水処理場から系外へ排出される N₂O 量（大気放出量）を処理水量で除することで算出した。

表 2 各調査時の N₂O 排出係数および転換率

処理場	運転方式	N ₂ O 排出係数 mg-N ₂ O/m ³	窒素損失あたり N ₂ O 転換率	処理水NH ₄ -N濃度 mg/L	窒素 除去率
A処理場 (実証)	標準法 標準運転 硝化抑制	10.3	0.51%	19.7	12%
	段階的・高度処理 擬似AO 硝化促進	29.4	0.37%	4.1	33%
B処理場	高度処理 循環A2O 硝化促進	2.1	0.02%	0.02	77%
	段階的・高度処理 擬似AO 硝化促進	24.6	0.19%	0.13	49%
C処理場	段階的・高度処理 擬似AO 硝化促進	2.6	0.07%	5.8	48%
	段階的・高度処理 擬似AO 硝化促進	4.3	0.07%	0.3	50%
インベントリ	標準法	142			
	リン除去高度処理 (AO法)	29.2			
	窒素除去高度処理	11.7			

B 処理場の高度処理を除いて、いずれも標準法施設にて運転を行っている。今回調査した施設では、擬似 AO 法を採用し運転している。擬似 AO 法は、標準法の反応槽前段の曝気風量を制限する運転であり、糸状菌対策や省エネ効果を期待して導入する処理場が多い。A 処理場の標準運転では硝化が抑制されていたが、その他の処理場では硝化が進んでいた。標準法における N₂O 排出係数⁴⁾は 142 mg-N₂O/m³と設定されているが、いずれの調査結果もそれより低い値となった。今回調査を行った段階的・高度処理運転（擬似 AO 法）における N₂O 排出係数の平均値は 15.2 mg-N₂O/m³だった。このように段階的・高度処理運転方法や硝化抑制運転方法では N₂O 排出量が低い可能性が示された。ただし、調査数が限られた中での結果ではあることに留意する必要がある。

2.2 汚泥処理から発生する窒素濃度が高い返流水処理における実態調査

下水汚泥には有機物が多く含まれていることから、有効活用が推進されている⁵⁾。汚泥処理の 1 つである嫌気性消化は、余剰汚泥中の有機物 40～60%をエネルギーとして回収することが可能であることから、地球温暖化防止へ貢献できる反面、消化槽で汚泥の可溶化が進むことにより、高い窒素濃度の脱水分離液が発生する。このような脱水分離液を含む返流水は、直接放流できないため、個別返流水処理もしくは水処理プロセスに戻すなどにより生物学的に処理されている。そのため、返流水に含まれる高濃度の窒素が N₂O 排出量に影響を与える可能性が考えられる。しかしながら、その実態は把握されていない。そこで、水処理プロセスで排出される N₂O 量に返流水の窒素負荷が与える影響を評価することを目的に調査を行った。

(1) 方法

嫌気性消化を導入している下水処理場を対象に、返流水処理の状況等を把握することを目的としてアンケート調査を実施し、その結果および下水道統計よりモデルケースを設定した。設定したモデルケースにて物質収支に基づき算出された窒素収支及び汚泥発生量を用いて、排出される N₂O 量を試算し比較を行った。また、水処理および汚泥処理における消費エネルギー、N₂O 排出量を試算し、処理場全体における温室効果ガス排出量について

評価した。試算時の設定条件は既存資料に基づき設定した⁶⁾。

(2) 結果

アンケート調査の結果より、発生した返流水は個別に処理せず水処理系に返流していることと大半の処理施設（95%）から回答が得られた。そのため、物質収支を計算するモデルケースは、総合返流水を最初沈殿池の前段に送水し水処理系で処理しているフロー（図 8）を採用した。また、水処理系の処理方式を調べた結果、標準法が約 8 割を占めていたことから標準法をケース 1 に採用した。

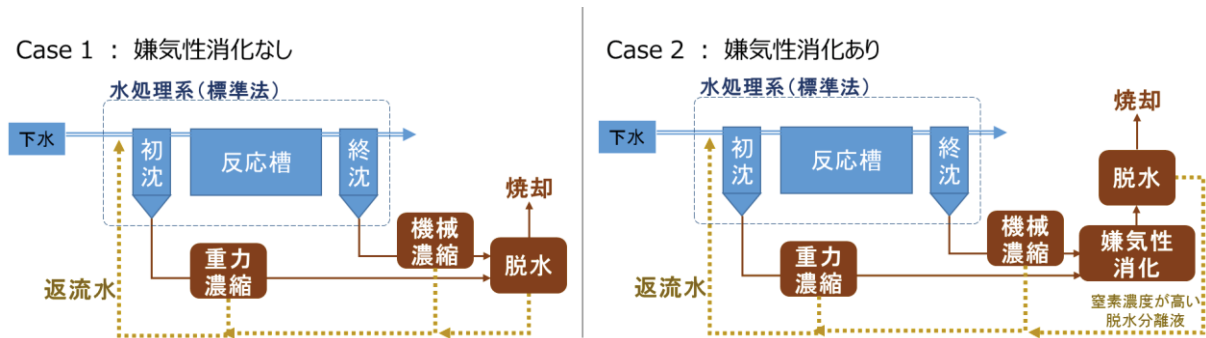


図 8 モデルケースフロー図

同じ標準法を水処理系に持つモデルケースについて嫌気性消化導入の有無による N_2O 排出量を比較した。試算結果を図 9 に示す。嫌気性消化を導入することにより、水処理から排出されるガス態 N_2O 由来の排出量が $19.2 \text{ KgN}_2\text{O/日}$ から $21.1 \text{ KgN}_2\text{O/日}$ に増加した。発生した返流水が水処理系へ返流される際に窒素が持ち込まれ、反応槽へ流入する窒素量が約 10% 増加しており、負荷量の増加に比例したものであると考えられた。一方、発生する汚泥量が嫌気性消化導入により約半分に削減されたことから、汚泥焼却排ガス由来の N_2O 排出量は大幅に減少した。全体として嫌気性消化がないケース 1 ($40.3 \text{ KgN}_2\text{O/日}$) に比べて、導入したケース 2 ($31.8 \text{ KgN}_2\text{O/日}$) の方が低い結果となった。

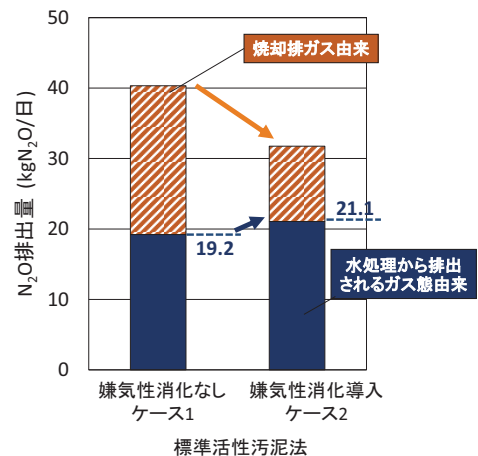


図 9 N_2O 排出量試算結果

図 10 に水処理、汚泥処理に係る消費エネルギーも含めた温室効果ガス排出量 (CO_2 換算) の試算結果を示す。標準法による水処理を行っている処理場(嫌気性消化の導入無し)をケース 1 とし、ケース 1 に嫌気性消化を導入したケース (ケース 2)、加えてケース 2 の水処理系を標準法から窒素除去法に変更したケース (ケース 3) について試算した。窒素除去法の消費電力量は循環法、A2O 法、多段法 (2 段ステップ) の平均値を用いた⁶⁾。同じ標準法を水処理系にもつケース 1 とケース 2 で比較すると、ケース 1 ($7,428.5 \text{ t-CO}_2/\text{年}$) に比べて、ケース 2 ($4,780.2 \text{ t-CO}_2/\text{年}$) の方が排出量は減少し、嫌気性消化を導入することで約 35% 削減されることが示された。さらに、嫌気性消化を導入したケースのうち、水処理系を標準法 (ケース 2) から窒素除去法 (ケース 3) に変更した場合を比較すると、

ケース3では高度処理のため水処理にかかる消費電力が増加し、それに伴う消費エネルギー由来のCO₂は増加する。しかしながら、排出されるガス態N₂O由来の排出量が大幅に少なくなることから、結果的に、排出される温室効果ガスの総和は、4,780 t-CO₂/年、4,298 t-CO₂/年となり、窒素除去法の方が低い結果となった。このことから、嫌気性消化および高度処理（窒素除去法）の導入により、温室効果ガスが削減される試算結果となった。このことから、返流水の窒素負荷の影響による水処理施設から排出されるN₂O量の増加を加味しても、嫌気性消化や窒素除去法の導入により温室効果ガスが削減されることが示された。

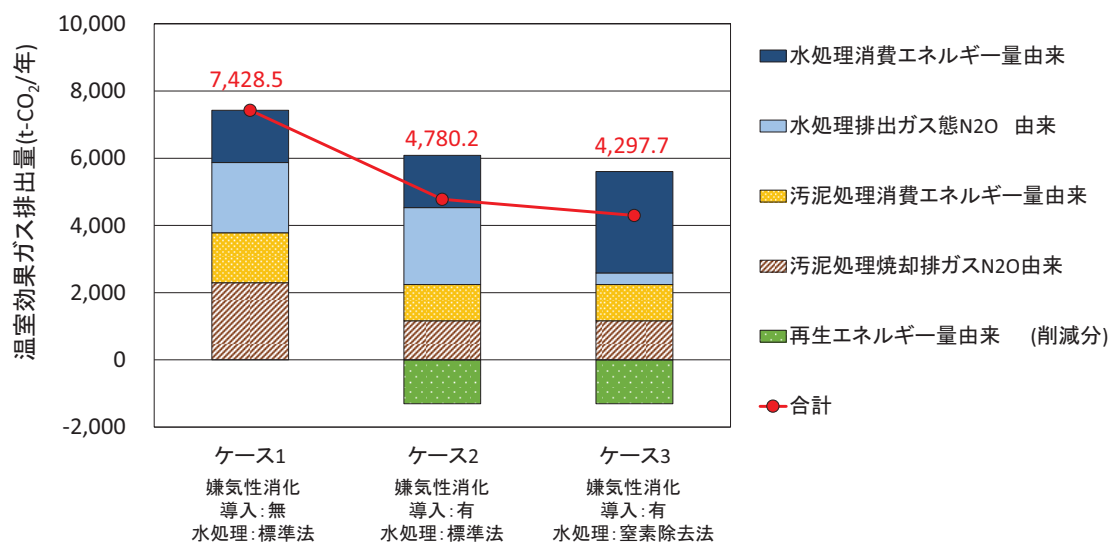


図 10 温室効果ガス排出量試算結果

3. まとめ

高度処理よりもN₂O排出量が高い標準法についてN₂O排出抑制運転に関する検討を行った。その結果、前段曝気制限運転や硝化抑制運転においてN₂O排出量が低く抑えられる可能性が示された。また、水処理プロセスにおけるN₂O排出量に、汚泥処理から発生する窒素濃度が高い返流水がどのくらい影響をするか把握するため実態調査を行った。その結果、返流水の影響により水処理におけるN₂O排出量が約1割増加するが、発生汚泥量の減少および汚泥バイオガスエネルギー利用により、全体として温室効果ガス排出量が低くなることが示された。

【参考文献】

- 1) 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，平成21年3月
- 2) 国土交通省：下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン—改訂版—，2015年3月
- 3) 平成25年度下水道関係調査研究年次報告書集 国総研資料 第823号，pp.39-44
- 4) 道中敦子（2014）終末処理場水処理プロセスにおけるN₂O排出係数の見直し，下水道協会誌，51(622)，pp.35-37
- 5) 国土交通省：資源のみちの実現に向けて報告書（平成19年3月）
- 6) 平成27年度下水道関係調査研究年次報告書集 国総研資料 第950号，pp.23-28