

Ⅲ. 環境研究総合推進費による研究

1. 下水道施設を活用したCH₄、N₂Oの 排出抑制中核技術の汎用化と普及に関する研究 に関する研究

新下水処理研究官	高橋 正宏
三次処理研究室 室長	鈴木 穰
	平出 亮輔
汚泥研究室 室長	森田 弘昭
主任研究員	落 修一

1. はじめに

下水道は生活環境の向上と公共用水域の水質保全のための重要な社会資本であり、その普及拡充に向けて積極的な取り組みがなされている。下水の処理により水域への汚濁物の排出量は削減されているが、処理にともない温室効果ガスが排出されていることも事実である。下水道から排出される温室効果ガスとしては、バイオマス由来の二酸化炭素(CO₂)を除くと、汚泥焼却に伴う N₂O、下水処理に伴う CH₄、および電力や燃料、薬品等の使用に伴う CO₂ が主なものである。今後予想される下水道の普及拡充や下水汚泥焼却の増加は、下水道からの温室効果ガスの排出増加をもたらす可能性が高い。このため、下水処理場における温室効果ガスの排出を制御する技術の確立と普及が急がれる。

2. 研究目的

下水処理場における温室効果ガスの主な排出源は、電力や燃料に由来する CO₂ と、下水処理に由来する CH₄ と N₂O 及び汚泥焼却に由来する N₂O である。本研究は、下水の処理過程で生成する CH₄ 及び N₂O の排出を抑制する対策技術の確立・普及とその評価を目的としている。

研究は、水処理プロセスと汚泥処理プロセスに分けて行い、水処理プロセスでは、嫌気性槽の導入による CH₄ 排出の制御効果の把握・評価と、処理方法別の N₂O 排出量原単位の精緻化を目的とし、汚泥処理プロセスでは、汚泥焼却炉からの N₂O 排出抑制のための燃焼温度制御の安定化手法を確立するとともに制御効果を評価することを目的とする。また、得られた成果は「下水道における地球温暖化対策マニュアル」に反映させ、普及拡充に資するものである。

3. 研究方法

下水処理場における CH₄ および N₂O の排出制御技術の確度性と安定性の評価に必要な実験、調査を水処理プロセスと汚泥焼却プロセスについて行った。

3.1 水処理プロセスにおける温室効果ガス排出制御

CH₄ に関しては、無酸素槽設置における CH₄ 排出抑制効果の検討のため、第1槽が無酸素槽である循環式硝化脱窒法(以下、循環法)と、標準活性汚泥法(以下、標準法)および嫌気-好気法(以下、AO法)との対照実験を行った。N₂O に関しては、冬季における低 SRT 条件下の標準法からの N₂O 排出特性を調べる実験を行った。

図-1に実験で使用したパイロットプラントを示す。全反応槽の容量は10m³であり、槽内が2m³ごとに5槽に分割されている。この図は、標準法の運転条件となっているが、この他に、第1反応槽を嫌気槽にする事でAO法、無酸素槽にする事で循環法の運転に変更することができる。それぞれの実験条件は、表-1の通りである。サンプルは、流入水・返送汚泥・循環液・各5反応槽から採取し、ガス濃度測定には、CH₄の測定にGC/FID、N₂Oの測定にGC/ECDを用いた。

3.2 汚泥焼却プロセスにおける

温室効果ガス排出制御

下水汚泥焼却施設からのN₂O排出量の大半を占める高分子系脱水汚泥の流動床式焼却炉に関して、下水汚泥の燃焼にともなうN₂O生成の効果的な制御方法を見出すための現地調査を、経済産業省工業技術院資源環境技術総合研究所熱エネルギー利用技術部燃焼システム研究室と共同で行った。

調査は、高分子系脱水汚泥を流動床式炉で焼却している3ヶ所の下水処理場において、炉に付帯している

灰回収サイクロン以降の排ガスラインの1地点にN₂Oモニタを設置して約7日間連続測定した。調査した焼却炉は、A、Bの流域下水道の炉とCの公共下水道の炉である。これらの内、A炉が嫌気性消化した汚泥の脱水汚泥を1週間の内1日(調査開始後5日目)だけ焼却している他は、全て消化をしていない生の脱水汚泥を焼却している。C炉では調査開始26hr経過後から約20hrの点検停止操作が入り、また、約100hr経過後からは炉内温度を故意に変える運転法が取られた。表-2に、調査した炉の規模と調査期間中の投入汚泥組成の平均値を示した。

4. 研究結果

4.1 水処理プロセスにおける温室効果ガス排出制御

4.1.1 CH₄ 排出削減効果

表-3に実験結果を示す。CH₄の排出/流入の流入比を見ると、標準法に比べAO法・循環法でCH₄抑制効果があり、特に循環法においては標準法の1/2ほどに排出量を抑制する効果があることがわかった。総生成量(槽ごとの排出CH₄量から流入CH₄量を差し引いた値の総和)から見ても、標準法・AO法で生成しているのに対し、循環法では減少している結果となった。

各処理プロセスごとのCH₄収支を図-2, 3, 4に示した。標準法においては、流入水中の溶存CH₄より第1槽目での排出CH₄の方が多いため、第1槽目でのCH₄生成量が高い傾向にあった。AO法においては、第1槽目で標準法のようなCH₄生成が見られるものの、

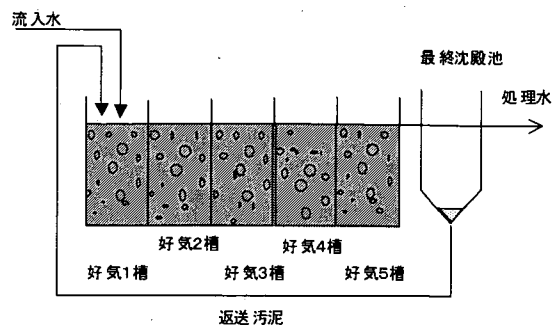


図-1 パイロットプラント概要

表-1 パイロットプラント実験の条件

対象ガス	流入水量 m ³ /h	返送汚泥量 m ³ /h	HRT h	SRT d	曝気風量 m ³ /h
CH ₄	1.8	1.4	56	7.0	20
N ₂ O	20	1.0	50	7.5	18

表-2 調査炉の規模と投入汚泥組成の平均値

炉	A	B	C	
設計能力 (t/day)	50	250	200	
補助燃料	重油(A)	天然ガス	重油(A)	
投入汚泥組成 (wt%-dry)	C	37.9	46.6	51.4
	H	4.51	5.5	6.51
	N	5.17	5.48	5.14
	Ash	26.4	14.89	13.36

表-3 各処理プロセスの実験結果

	標準法	AO法	循環法
流入比(排出/流入CH ₄ 比)	1.35	1.16	0.7
総生成量(mg/m ³ -in)	162.59	64.67	-153.9

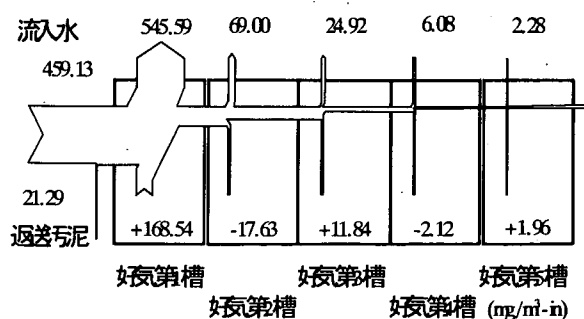


図-2 標準法のCH₄収支

流入水が最初に曝気を受ける第2槽において、標準法の第1槽目のような多量のCH₄排出はなかった。この傾向は循環法にも見られ、その排出量はAO法よりも少ないものであった。しかも循環法では、第1槽目のCH₄生成が標準法・AO法に比べ少ないため、全体的にCH₄排出が少なく抑えられていた。この結果から、CH₄を含んだ流入水は、曝気前に嫌気・無酸素槽を通過することで、第1槽目のCH₄生成量が減少し、曝気によるCH₄排出量も減少することがわかった。特に循環法においてその効果が大きいことから、無酸素槽における脱窒が何らかの作用を与えている可能性があるが、その原因については不明である。

4.1.2 N₂Oの排出特性

図-5に標準法における冬季のN₂O収支図を示す。各槽からのN₂O排出量が小さく、それぞれの生成量も低い値であった。これは、冬季で硝化菌の活性が落ち、さらにSRTを低く設定しているため、反応槽内で硝化反応がほとんど起こっていないため、硝化の中間生成物であるN₂Oの生成が非常に少なかったことによると考えられる。実際NH₄-N濃度は、第1槽で16.15 mg/l、第5槽で15.80 mg/lであり、ほとんど硝化していない状態であった。

4.2 汚泥焼却プロセスにおける温室効果ガス排出制御

各焼却炉のN₂O排出濃度と炉内温度の変化を図-6, 7, 8に示した。また、焼却炉の運転・N₂O排出状況を表-4にまとめた。なお、表中のC炉は通常運転が取られていた期間のデータである。各炉ともフリーボードの温度を一定以上に維持するような運転法が取られており、A炉

では850℃近傍で良好に制御され、N₂Oの排出濃度も低く安定したものとなっている。B炉やC炉においても830～840℃の間で制御されているが、砂層温度の変化と合わせ見るとA炉の場合よりも制御が困難となっている状況が読取れる。これには、B,C炉における投入汚泥の含水率の変動量はA炉の場合よりも小さかったにも拘わらず砂層温度の変化量が大きくなっていることから汚泥の投入量の変動が関係している

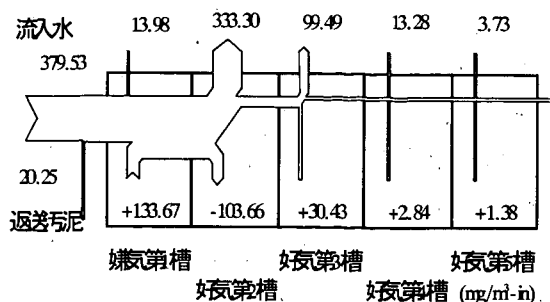


図-3 AO法のCH₄収支

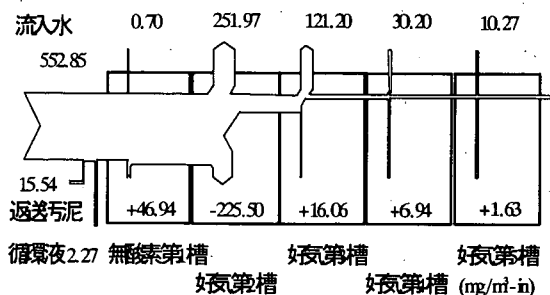


図-4 循環法のCH₄収支

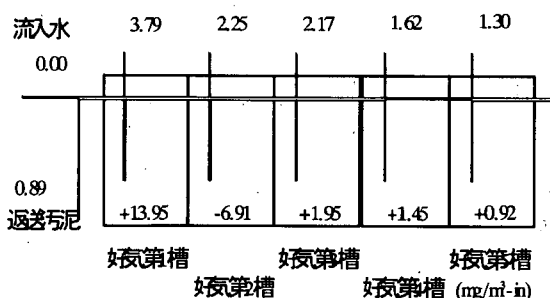


図-5 標準法のN₂O収支

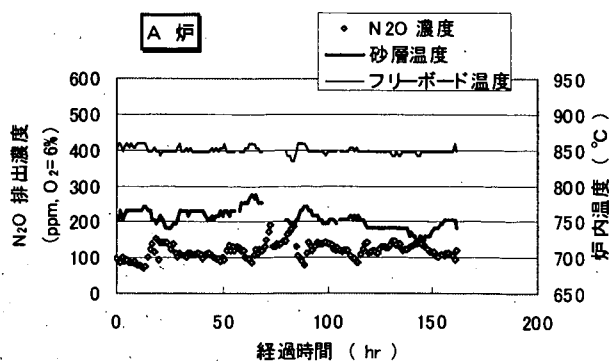


図-6 A炉の炉内温度とN₂O排出濃度の変化

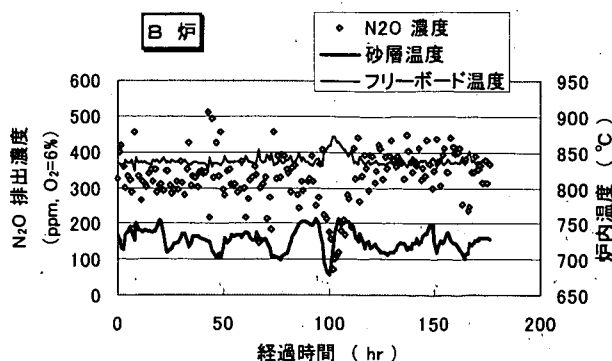


図-7 B炉の炉内温度とN₂O排出濃度の変化

と思われる。また、これに影響されて B, C 炉の N₂O の排出濃度も大きく変動したと思われる。

過去の調査により、N₂O の排出量はフリーボードの温度に大きく支配され、その温度が高いほど明瞭な低減効果が現れることが分かっている。しかし、B 炉の N₂O の排出濃度は C 炉よりもフリーボード温度が高いにも拘わらず C 炉よりも高い排出濃度となっている。図-9 は、A, B, C の各炉におけるフリーボードの温度と N₂O の排出濃度及び投入汚泥中窒素の N₂O への N/N 転換率の関係を示したものである。A 炉と C

炉は同一の現象上にあるのに対して B 炉は独立した現象を示している。炉内における N₂O の生成には直接燃焼に拘わる事項の他に、投入汚泥中の N 含有率や炉の構造、炉内での燃焼ガスの滞留時間、燃焼制御機構等が影響しているものと考えられる。

ここでは、投入汚

泥中の N 含有率には表-2 に示したとおり各炉間で大きな差異は認められないことから、炉固有の設備的な特徴が反映されていた可能性が大きい。一方、A 炉では調査開始後 5 日目に嫌気性消化した脱水汚泥が供給されたが、それによる明瞭な影響発現は見られなかった。このときの消化脱水汚泥の含水率は生脱水汚泥よりも約 2 ポイント高く、C/N は消化脱水汚泥：6.6，生脱水汚泥：7.3 であった。

5. まとめ

水処理プロセスについては、CH₄ に関しては標準法に比べて循環法では約 2 倍の抑制効果があり、N₂O は冬季の低 SRT 状態の運転時には反応槽内において硝化が進まないため、ほとんど生成されないことが確認できた。汚泥プロセスに関しては、調査した各炉の排ガス中の N₂O 濃度はフリーボードの温度に追従して変化し、その変化の傾向は炉固有のものである可能性が示された。また、フリーボード温度の一定制御を困難としていた要因は投入汚泥量の変化にあると思われる。

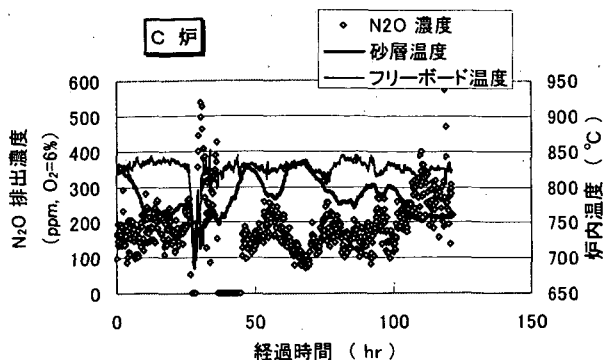


図-8 C炉の炉内温度とN₂O排出濃度の変化

表-4 調査期間中の各炉の運転状況及びN₂Oの排出状況

		投入汚泥		炉内温度		排出濃度 (ppm, O ₂ =6%)	N ₂ O 排出状況		
		投入量 (t/h)	含水率 (%)	砂層 (°C)	フリーボード (°C)		N 転換率 (%, N ₂ O-N/ sludge-N)	排出係数 (g-N ₂ O/t-wet sludge)	排出係数 (g-N ₂ O/t-dry sludge)
A 炉 (162hr 運転値)	最小値	2.24	78.7	718	835	72.4	1.28	207	1.036
	最大値	2.35	82.1	788	859	189.4	3.43	554	2.784
	平均値	2.29	80.3	754	849	118.5	2.25	359	1.831
	標準偏差	0.03	1.18	13.2	4.8	21.5	0.45	65	363
B 炉 (176hr 運転値)	最小値	7.32	77.3	678	824	71.9	1.38	239	1.190
	最大値	9.88	80.7	757	872	512	8.73	1,592	7,519
	平均値	8.52	78.6	726	838	327	5.45	1,007	4,695
	標準偏差	0.49	0.81	14.9	7.4	27.3	1.24	243	1,066
C 炉 (83hr 運転値)	最小値	5.75	74.9	759	803	70.4	1.29	259	1.044
	最大値	9.05	76.0	836	843	292	5.37	1,079	4,332
	平均値	7.61	75.3	795	829	164.3	3.03	603	2,443
	標準偏差	0.61	0.34	21.6	7.0	40.9	0.76	152	611

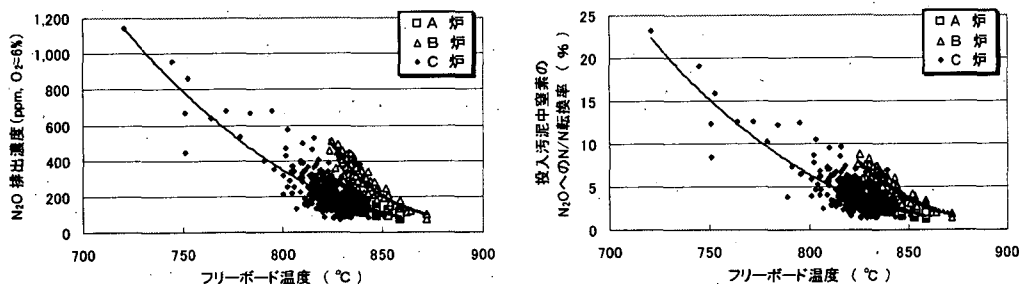


図-9 フリーボードの温度とN₂O濃度及び変換率の関係