

### 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CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>Oの排出抑制中核技術の汎用化と普及に関する研究

国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部

下水処理研究室長

中島 英一郎

下水処理研究室

川嶋 幸徳・平出 亮輔

平成 12～14 年度合計予算額 16, 599 千円

(うち、平成 13 年度予算額 5, 533 千円)

## [要旨]

下水処理場の水処理プロセスと汚泥焼却プロセスから排出されるメタン(CH<sub>4</sub>)および亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)について、その排出制御技術の信頼性と安定性の評価に必要な実験を行った。

今年度は、主として下水汚泥焼却炉に関する N<sub>2</sub>O 排出量調査を行った。 昨年度に引き続き、4ヶ所の流動床式汚泥焼却炉の実機において N<sub>2</sub>O の連続測定を行った。 結果としては、4ヶ所の N<sub>2</sub>O 排出係数は昨年度の調査結果に比べ高い傾向にあり、測定期間中の変動幅も比較的大きかった。 これにより、各汚泥焼却炉の N<sub>2</sub>O 排出量を測定する場合、短期的な調査では代表値にならないことが判明した。 また、炉の設計条件、炉規模、汚泥性状の違いによる影響も推定されたことから、代表的な汚泥焼却炉の N<sub>2</sub>O 排出係数を決定する場合、一定数以上の炉を対象にした連続測定が必要であることを示している。 なお、今回の調査でもフリーボード部の温度の影響が最も大きく、フリーボード部の温度から N<sub>2</sub>O 排出係数の推定が可能であることも確認できた。 本調査における N<sub>2</sub>O 連続測定は、産業技術総合研究所つくば西事業所エネルギー利用部門クリーン燃料研究グループと共同で実施した。

[キーワード] 温室効果ガス、汚泥焼却、メタン、亜酸化窒素、下水処理

## 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(CO<sub>2</sub>)を除くと、汚泥焼却に伴う N<sub>2</sub>O、下水処理に伴う CH<sub>4</sub>、および電力や燃料、薬品等の使用に伴う CO<sub>2</sub>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 CO<sub>2</sub>と、下水処理に由来する CH<sub>4</sub>と N<sub>2</sub>O 及び汚泥焼却に由来する N<sub>2</sub>O である。本研究は、下水の処理過程で生成する CH<sub>4</sub>及び N<sub>2</sub>O 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 CH<sub>4</sub> 排出の制御効果の把握・評価と、処理方法別の N<sub>2</sub>O 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 N<sub>2</sub>O 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。

### 3. 研究方法

#### 3. 1 汚泥焼却炉からの N<sub>2</sub>O 排出に関して

下水汚泥焼却施設からの N<sub>2</sub>O 排出量の大半を占める高分子系脱水汚泥の流動焼却炉に関して、下水汚泥の燃焼にともなう N<sub>2</sub>O 排出係数の精度向上、および、N<sub>2</sub>O 生成の効果的な制御方法を見出すため、昨年度に引き続き、実機において N<sub>2</sub>O の測定を行った。

今年度は、高分子系脱水汚泥を流動床式汚泥焼却炉で焼却している 4 ヶ所の下水処理場において調査を行った。調査時期、調査対象の炉の規格、投入汚泥量および性状を表-1 に示す(参考のため、昨年度調査を行った炉に関する

表-1 対象炉の調査時期、調査対象の炉の規格、投入汚泥量および性状

炉	2001年度調査				2000年度調査	
	A	B	C	D	A	D
調査時期	2001.8	2001.9	2001.11	2001.12	2000.12	2000.9
炉の規模 (t/day)	250	100	200	50	250	50
補助燃料	天然ガス	重油	天然ガス	重油	天然ガス	重油
投入汚泥量 (t/h)	8.35	4.19	7.35	2.31	8.52	2.29
含水率 (%)	77.86	80.98	81.71	79.81	78.60	80.30
強熱残留物 (%)	17.70	26.88	19.42	20.21	14.89	26.40
汚泥組成 (%)						
C	33.41	40.93	46.43	43.16	46.60	37.90
H	3.94	6.00	6.86	6.22	5.50	4.51
N	3.88	5.51	6.22	5.48	5.48	5.17

データも記載する)。A,D 炉に関しては、昨年度にも調査を実施しており、今年度は季節変動を見るために対象施設に選んだ(厳密には、D 炉は昨年度と同型の焼却炉である)。投入汚泥は、基本的には消化を行っていない生の脱水汚泥であるが、昨年度測定した D 炉のみ、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)だけ焼却していた。

測定対象である焼却炉の略図を、図-1 に示す。汚泥焼却炉では、汚泥を焼却炉の上部にある投入口から投下し、焼却する。その後、汚泥焼却時に発生した排ガスは、サイクロンで粗粒灰を除去し、スクラバで洗浄後、バグフィルタまたは電気集塵機により灰を捕集し、白煙防止のため炉の余熱で加熱した空気を混合させ、煙突から排気するのが、一般的な汚泥焼却の排ガス処理の形式である。今回調査を行った炉では、基本的な構造はほぼ同じである。調査時には、サイクロン出口、もしくは、白煙防止空気混入後の煙突の排ガスを使用した。

サンプリングの方法としては、運転管理を目的に設置されている排ガス測定装置(O<sub>2</sub>,NO<sub>x</sub>-N などは運転管理時に濃度確認するため、機器が設置してある)から、ガス測定の前処理過程であるフィルターや水分除去器を通過した排ガスを分岐し、小型ガスクロマトグラフ(Agilent Technology M400)により測定を行った。測定は、約 10 分おきに 1 回の頻度で、7 日間連続で行った。白煙防止のため空気が混入され希釈されているサンプルについては、サイクロン後および煙突出口の O<sub>2</sub> 濃度を測定し、白煙防止空気による希釈率を用いて補正する形で焼却炉出口濃度を計算した。データの解析のためのプロセスデータは、各焼却炉の運転管理データをそのまま用いた。

#### 3. 2 水処理からの温室効果ガス排出に関して

水処理系に関しては、昨年度まで、容量 10m<sup>3</sup> のパイロットプラントにおいて、各処理形式の温室効果ガス排出に関する調査を行っていた。しかし、サンプリング時に反応槽の一部にのみガスサンプリング装置を設置しているため、反応槽全体のガス濃度を完全に把握していない可能性がある。そのため、反応槽からのガスをすべて捕集できる実験装置を使った実験により確認を行うことが必要であると考えられる。今

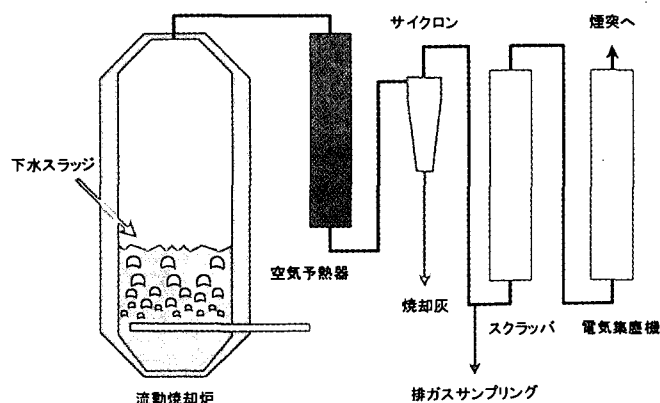


図-1 汚泥焼却炉の略図

年度は、室内に完全覆蓋型の実験装置を設置し、安定した運転が行えるように実験の準備を行った。

#### 4. 結果・考察

各焼却炉の N<sub>2</sub>O 排出量、N の転換率、排出係数、フリーボード温度を表-2

表-2 各焼却炉の N<sub>2</sub>O 排出量、N の転換率、排出係数、フリーボード温度

炉	2001年度調査				2000年度調査	
	A(夏)	B	C	D(冬)	A(冬)	D(夏)
N <sub>2</sub> O排出濃度(ppm O <sub>2</sub> =6%)	341	392	397	270	325	119
N 転換率(%)	8.02	7.36	7.31	4.55	5.42	2.25
排出係数 (g-N <sub>2</sub> O/t-dry)	Average	4892	6378	6682	4695	1831
	Maximum	9679	10281	8689	7718	2784
	Minimum	2130	3152	3225	1988	1036
フリーボード温度 (°C)	Average	832	832	820	841	838
	Maximum	849	853	849	855	872
	Minimum	798	808	800	816	824

に示す。N<sub>2</sub>O 排出量、排出係数共に、2000 年度に調査を行った測定値より、2001 年度行った調査の方が高い値を示した。ここで、フリーボードの平均温度を見ると、2001 年度調査については平均 830°C 程度であり、2000 年度調査時に比べて、若干低い値であった。焼却炉ごとに、汚泥の性状、含水率、施設の設計など、諸条件が異なるため、一概には言えないが、2001 年度調査炉に関しては維持管理上の設定温度を低く保つ運転を行っているため、N<sub>2</sub>O 排出量が高くなったことが考えられる。

図-2 に、今回調査を行った 4 ケ所の汚泥焼却炉の N<sub>2</sub>O 排出濃度の経時変化を示す。なお、明らかに異常運転（汚泥の供給停止、ガスサンプリング管の閉塞など）の影響であると思われるデータは除外した。N<sub>2</sub>O 排出濃度の経時変化を見ていくと、どの炉に関しても変動していることがわかる。D 炉に関しては、2 ケ所ほど N<sub>2</sub>O 排出濃度が高くなっている時期があるが、そこを除けば、今回調査を行った炉はすべて、同じような幅で変動していることがわかる。排出係数に関しては、平均値に比べ、50~200%の変動幅があった（表-2 参照）。このため、今回測定を行った 4 ケ所すべての汚泥焼却炉に言えることだが、各汚泥焼却炉からの N<sub>2</sub>O 排出量を特定する場合、短期的な調査では必ずしもその焼却炉の代表値にならないことが改めて確認された。

これまでの研究により、N<sub>2</sub>O 排出濃度に関する影響因子としてフリーボード温度と空気過剰率（空気比）があり、特に大きな影響を受けるものとしてフリーボード温度がある。図-3 に 4 汚泥焼却炉の N<sub>2</sub>O 排出濃度とフリーボード温度の関係を示す（プロットは 2 時間おきのデータである）。A,B,D 炉に関しては、分布している温度領域が違うものの、それぞれの傾向が似ていることがわかる。しかし、C 炉に関しては、他の炉に比べ、近似線の傾きが小さく、温度・N<sub>2</sub>O 排出濃度どちらも幅広く分布していることがわかる。この C 炉

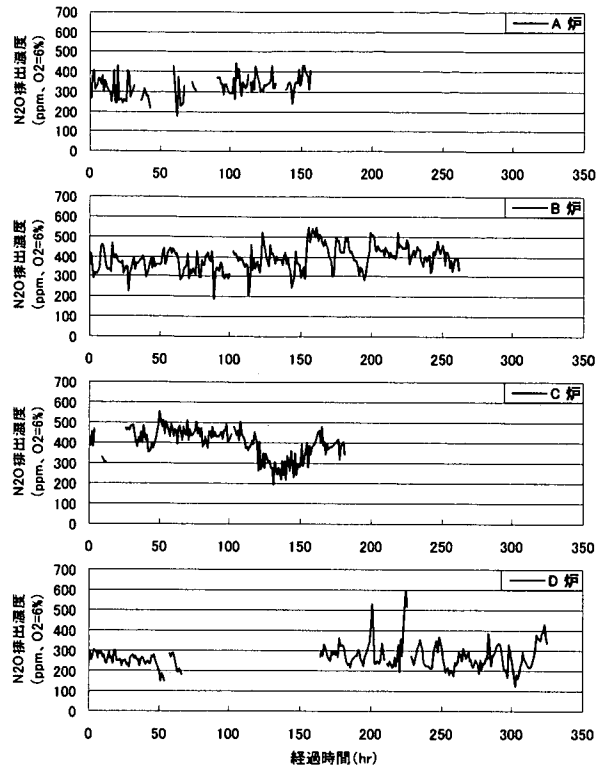


図-2 汚泥焼却炉の N<sub>2</sub>O 排出濃度の経時変化

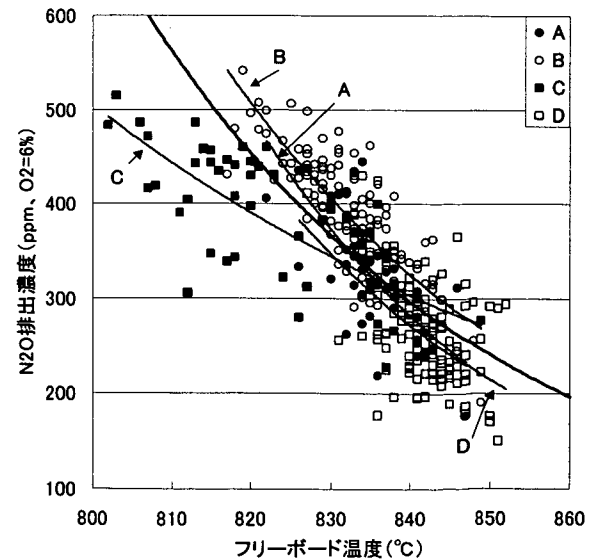


図-3 N<sub>2</sub>O 排出濃度とフリーボード温度の関係

のみの傾向の違いに関する原因が、炉の規格や投入汚泥の性状などの炉に関する特性であるか、または、サンプリングラインや測定機器の設置場所の問題により起こった誤測定なのか、現段階では不明である。しかし、今回の測定値は、フリーボード温度で 820℃～850℃の 30℃の区間での変動であり、これまでの調査に比べれば、かなり小さな区間であることが言える。これは、今回の調査が基本的に、処理場で通常行っている運転状態の N<sub>2</sub>O 排出濃度を測定することを目的とし、測定対象炉がすべて、フリーボード温度を 830℃に保つ運転が通常行っている運転状態であったためである。しかし、全体的に見れば、フリーボード温度と N<sub>2</sub>O 排出濃度は、ほぼ一定の曲線を中心に分布（図-3の太線）している。これは、フリーボードの温度を把握することで、N<sub>2</sub>O 排出量をほぼ推定できることを示している。今後、推定の精度を上げるため、さらに炉のデータを蓄積する必要があると考えられる。なお、あわせてC炉の場合ように異なる分布を示す原因について検討を行う必要がある。

図-4 に、A・D 炉それぞれの夏季・冬季のフリーボード温度と N<sub>2</sub>O 排出濃度の関係を示す（プロットは 2 時間おきのデータである）。A 炉に関しては、夏季・冬季ともに全体的に測定値が分布しており、ほとんど重なっている結果であった。D 炉は、図のほぼ中央から左に冬季・右に夏季の測定値が分布していた。A・D 炉はそれぞれ、炉の規模が 250t/day と 50t/day であり、小規模の D 炉が外気温の影響を受けたことが考えられる。しかも、それぞれの炉の汚泥性状、投入汚泥量などは夏季・冬季の差がほとんど無いため、外気温の影響である可能性は高い。今後、フリーボード部温度管理による N<sub>2</sub>O の抑制技術の普及にあたっては、小規模炉の温度管理の難しさ、効率等を考慮することが必要である。

#### 5. 本研究により得られた成果

汚泥焼却炉では、N<sub>2</sub>O 排出濃度が時間的に変動するため、これまでの短期的な調査では、炉の代表値にならない場合がある。そして、炉の設計、汚泥性状、空気過剰率、炉内の燃焼ガスの滞留時間など、それぞれの炉の特性における違いにより、N<sub>2</sub>O 排出濃度が異なる。しかし、全体的に見れば、フリーボード温度と N<sub>2</sub>O 排出濃度は、ある曲線上に集中しているため、フリーボードの運転状態を把握することで、N<sub>2</sub>O 排出量の推定が可能である。

小規模炉については、炉の容量が小さいため、外気温の影響を受け、夏季・冬季で N<sub>2</sub>O 排出濃度が変動する。大規模炉に関しては、その影響は小さい。

#### 6. 引用文献

- 1) 「温室効果ガス排出抑制のための下水処理システム対策技術」, 平成 11 年度下水道関係調査研究年次報告書集, pp125-138, 土木研究所資料第 3755 号, 平成 12 年 10 月

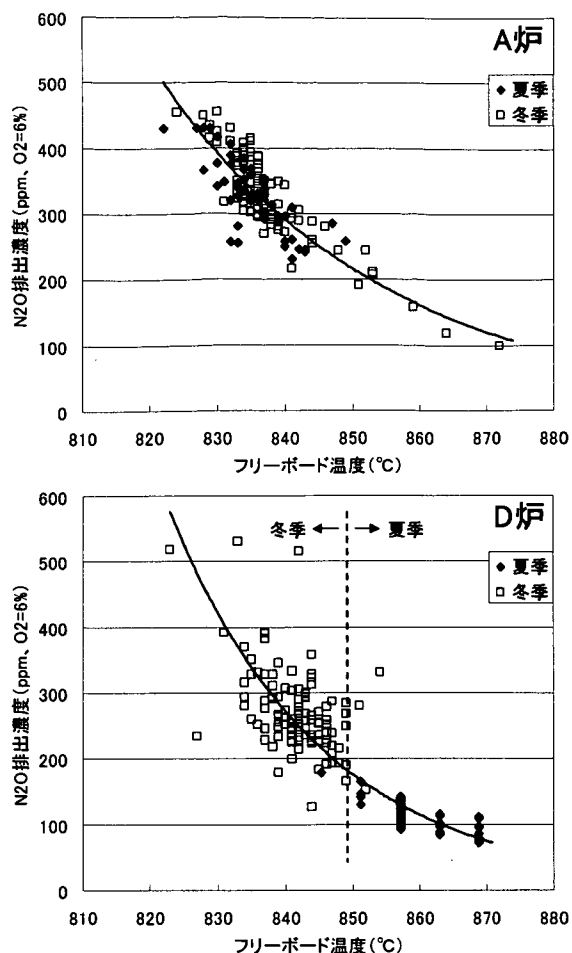


図-4 A,D 炉の夏季・冬季のフリーボード温度と N<sub>2</sub>O 排出濃度の関係