

流動炉における排ガス成分の挙動解明 及び削減に関する共同研究報告書

平成6年12月

建設省土木研究所
下水道部汚泥研究室
名古屋市下水道局

Copyright © (1994) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

流動炉における排ガス成分の挙動解明 及び削減に関する共同研究報告書

新下水処理研究官		竹石 和夫
汚泥研究室	室 長	渡部 春樹
	研 究 員	松原 誠
新下水処理研究官		佐藤 和明*

名古屋市下水道局建設部

部 長	前橋 隆介
主 幹	田中 忠美**
計画課係長	三羽 宏明
計画課主査	若杉 泰宏
計 画 課	山下 研二***

- * 現, 財下水道新技術推進機構 研究第一部長
** 現, 技術管理課長
*** 現, 日本下水道事業団 広域処理管理課

要 旨

CO₂の増加による地球温暖化の可能性が検討されて久しいが, 最近では亜酸化窒素(N₂O)やメタン, フロンといった微量成分の温室効果への寄与の増大が指摘されている。下水処理場におけるおもなN₂Oの放出源は汚泥焼却炉であり, 特に窒素酸化物(NO_x)の放出抑制に効果の大きい流動焼却炉の場合にN₂O放出量が大きいといわれている。

本報告書は, 実稼働の下水汚泥流動焼却炉を用いて, 焼却炉運転条件の変動に伴うN₂O, NO_xの放出挙動について調査するとともに, その削減を目標とした運転条件について検討を行った結果についてとりまとめたものである。

キーワード: 下水汚泥, 流動焼却炉, 亜酸化窒素, 窒素酸化物, 地球温暖化

ま え が き

燃焼に伴い発生する窒素酸化物のうち、これまでは NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) のみが大気汚染物質として研究対象とされてきたが、最近では温室効果気体、また成層圏オゾン破壊の原因物質として亜酸化窒素 (N_2O) が重要視されてきている。

これまで産業用ボイラ、自動車、廃棄物焼却炉等については多くの調査・研究がなされ、 N_2O の測定・分析法や生成・消滅の機構等についても解明されつつある。また、その放出総量を全球レベルで見積もることも可能な域に達している。しかし下水汚泥焼却炉については、化石燃料や都市ゴミ等比べて焼却物中の窒素含有率が大きく、高濃度の N_2O の放出が予想されるにも関わらず、調査例がほとんどないのが現状である。

本報告書は、このような背景から、実稼働の下水汚泥流動焼却炉からの N_2O ならびに NO_x の放出量を調査するために、建設省土木研究所と名古屋市下水道局が平成5年度に行った共同研究の成果をとりまとめたものである。

目 次

1. 研究の概要	1
2. 対象施設の概要	3
2. 1 汚泥処理場	3
2. 2 流動焼却炉	3
2. 3 窒素酸化物に関する規制	3
3. 研究方法	9
3. 1 実験条件	9
3. 2 N_2O の測定方法の決定	9
3. 3 排ガス成分調査項目とサンプリング位置	10
3. 4 その他の調査項目	10
4. 研究結果と考察	15
4. 1 焼却炉運転結果とその特徴	15
4. 2 投入汚泥の性状	20
4. 3 排ガス流量の測定結果	20
4. 4 排ガス成分の測定結果	23
4. 5 排ガス処理の効果	25
4. 6 N_2O の放出挙動	27
4. 7 NO_x の放出挙動	29
4. 8 N_2O と NO_x の関係	31
4. 9 他成分ガスの放出挙動と N_2O との関係	33
4. 10 最適運転条件の検討	33
5. まとめ	36
6. 謝 辞	38
7. 参考文献	39

1. 研究の概要

地球表面の気温は太陽からの日射エネルギーと地表面から赤外線として宇宙へと放出されるエネルギーのバランスから決定されており、大気中に赤外線を吸収する成分（温室効果気体）が増加すると地球が温暖化する。これまでおもに CO_2 の増加による地球温暖化の可能性が検討されてきたが、最近では亜酸化窒素 (N_2O) やメタン、フロンといった微量成分の温室効果への寄与の増大が指摘されている。これらの気体は1分子あたりの赤外線吸収能が大きく、また大気中濃度が低い分だけ濃度増加による地上気温上昇への感度が高いのが特徴である。

現時点での N_2O 大気中濃度は約 310 ppbv で、年間の増加率は 0.2~0.3 % である。その放出源は自然起源（微生物の活動）がかなりの割合を占めるが、増加分の多くは人為起源の N_2O であると考えられている。そこで、放出源の特定とその放出量の正確な把握をめざして現在各分野で調査が進められている。

下水処理場においては、エアレーションタンクと污泥焼却炉の2つが N_2O の主要な放出源と考えられる。しかし、污泥焼却炉からの放出総量はエアレーションタンクからのものに比べ大きく¹⁾、また下水污泥は窒素含有率が高いため、他の廃棄物焼却炉や産業用燃焼装置と比べても N_2O 放出濃度が高いと報告されている²⁾。特に、窒素酸化物 (NO_x) の除去に効果の大きい流動焼却炉の場合に N_2O 放出量が大きいと指摘されている³⁾。

また、燃焼にともなう N_2O と NO_x の放出量の関係は負の相関となることが多くの研究者により報告されている^{1)・4)・5)}。つまり、温室効果気体である N_2O の削減を考えた場合、大気汚染物質である NO_x の放出量が増加することが懸念される。従って N_2O は NO_x とともに評価する必要がある。

以上のような背景より、下水污泥流動焼却炉からの N_2O 放出量を NO_x 放出量とともに詳細に調査し、焼却炉の適切な運転条件について検討することは、地球環境時代の下水道にとって是非とも必要であると考えられる。

そこで建設省土木研究所と名古屋市下水道局では、焼却炉運転条件の変動に伴う N_2O 、 NO_x 放出の挙動を実稼働の流動焼却炉を用いて解明するとともに、その削減を行うための運転条件について検討することを目的として平成5年度に共同研究を実施した。調査対象は名古屋市Y污泥処理場の流動焼却炉1号炉とした（写真1、2）。



写真1 調査対象流動焼却炉（汚泥投入側より）

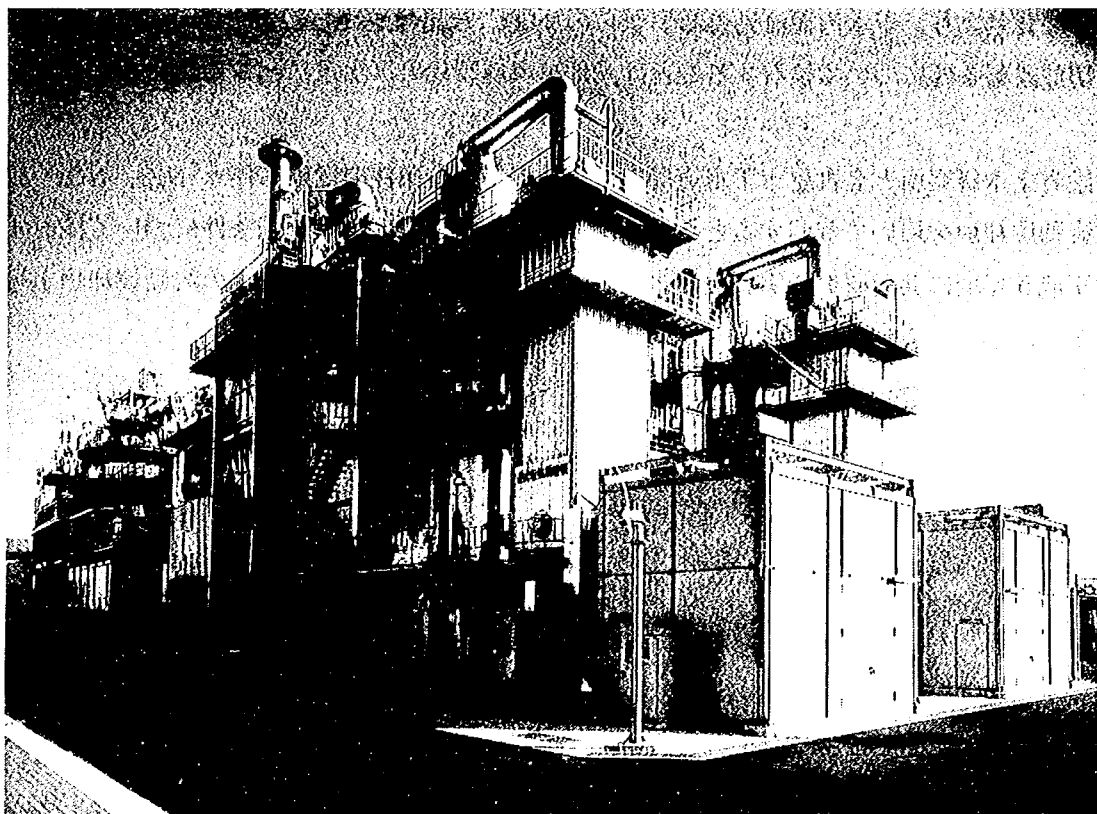


写真2 調査対象流動焼却炉（排ガス処理側より）

2. 対象施設の概要

2. 1 汚泥処理場

Y汚泥処理場では市内6下水処理場の発生汚泥を管路により圧送・集約し処理している。処理工程は濃縮→脱水→焼却であり、消化は行っていない。また脱水工程では高分子凝集剤を使用している。表1に汚泥処理施設の概要と処理実績（平成4年度）を示す。

2. 2 流動焼却炉

Y汚泥処理場は公称処理能力 160 t/d の流動焼却炉を2基有する。これらは平成2年度に多段炉から更新されたものである。

図1、2に焼却施設の処理フローを示す。本施設の特徴は臭気および粉塵対策の重視にある。臭気対策としては、脱水施設からのケーキ移送に円筒型ベルトコンベアを、焼却炉へのケーキ投入にはポンプ圧送方式を採用することにより、ケーキ移送中の臭気発散を防止している（写真3、4）。また臭気の発生源となる乾燥工程は組み込まれていない。粉塵対策としては乾式・湿式電気集塵機（EP）による2段除去を図っている。流動空気以外に処理フローの途中から流入するものとして、白煙防止用空気と、EPの碍子保護用の空気（乾式 480 Nm³/h、湿式 240 Nm³/h）がある。図3に流動焼却炉の諸元、図4にフリーボード部（FB）および砂層部（SB）の温度センサーの位置を示す。

通常時の焼却炉運転データ（平均値）を表2に示す。運転管理の指標は砂層温度を 680 °Cに保つことである。ケーキ投入量は、発生ケーキ量が計画値に達していないため定格より少なく、このためフリーボード温度は 800 °Cに達していない。

2. 3 窒素酸化物に関する規制

大気汚染防止法による汚泥焼却炉の NO_x 排出基準は 250 ppm（O₂ 12 % 換算）であるが、本焼却炉の場合、愛知県の実綱で 200 ppm の排出基準があり、さらに名古屋市の条例により2基で 4697 gNO_x/h の総量規制がかかっている。これを通常運転時の濃度（O₂ 12 %）に換算するとおよそ 120 ppm となる。

本焼却炉は通常運転時には NO_x がほとんど放出されず、きわめて良好な NO_x 除去効果を持っている。しかし、炉の立ち上げ時や低負荷運転時には NO_x が十分に除去されずに放出される場合がある。焼却炉の適正な運転管理のために、NO_x の放出される運転条件の明確な把握が求められている。

表1 Y汚泥処理場の施設の概要と処理実績

工 程	濃 縮	脱 水	焼 却
施設概要	重力濃縮槽 容積 800m ³ 直径 17m 4槽	ベルトプレス ろ布巾 3m 薬注率 0.6% 8台	流動焼却炉 能力 160 t/d 2基
処理実績	濃縮汚泥 総量 1,002,578 m ³ /y 平均含水率 98.1% 平均有機分 78.0%	脱水汚泥 総量 76,592 t/y 平均含水率 79.4% 平均有機分 79.8%	焼却灰 総量 4,799 t/y

表2 焼却炉の平均的運転データ

ケーキ投入量	4.6 t/h
重油使用量	160 L/h
流動空気量	9600 Nm ³ /h
砂層温度(SB-1)	680 °C
フリーボード温度(FB-1)	780 °C
炉内 O ₂ 濃度	9 %
排出 NOx 濃度	≒ 0 ppm

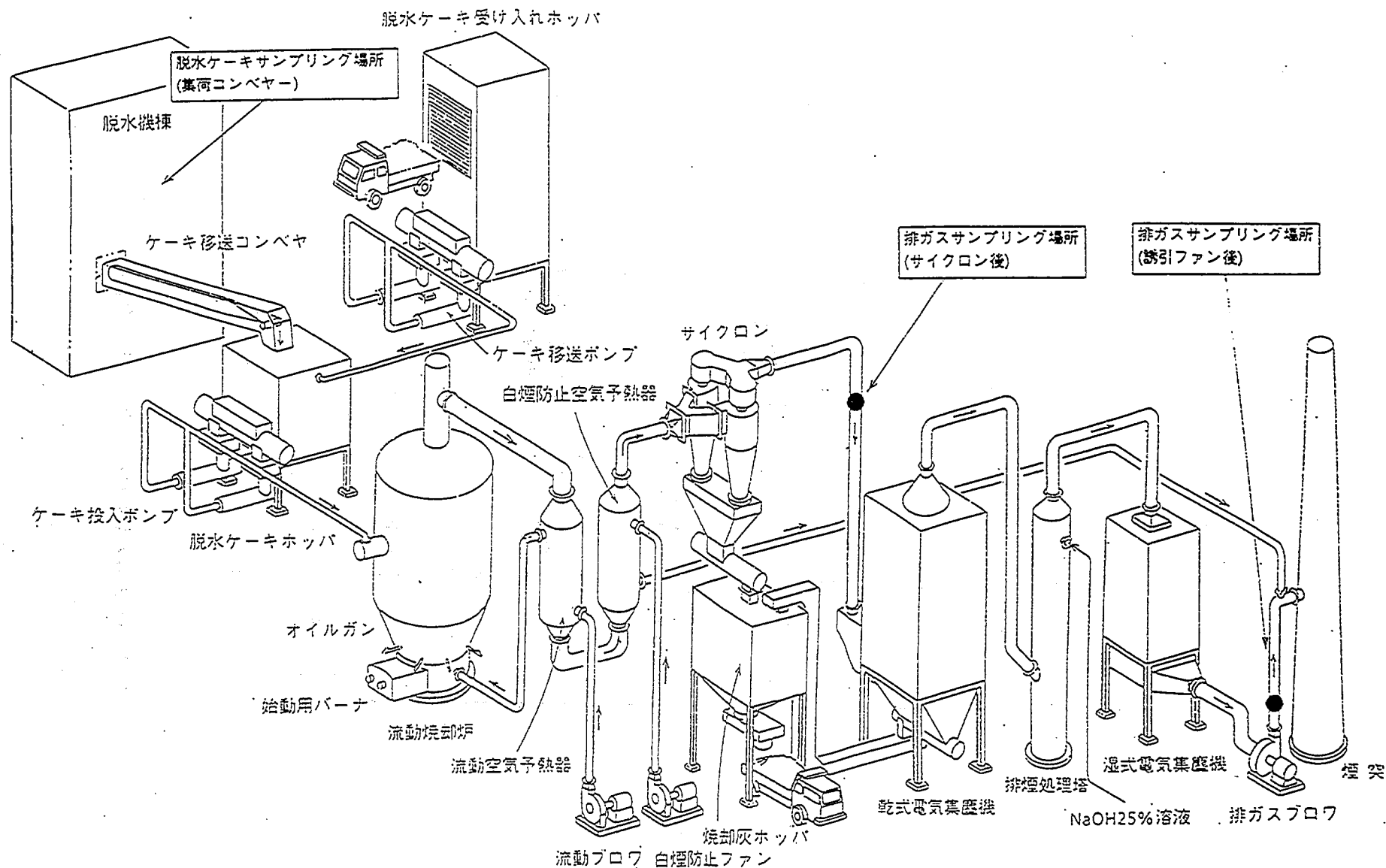


図1 焼却施設処理フローとサンプリング位置

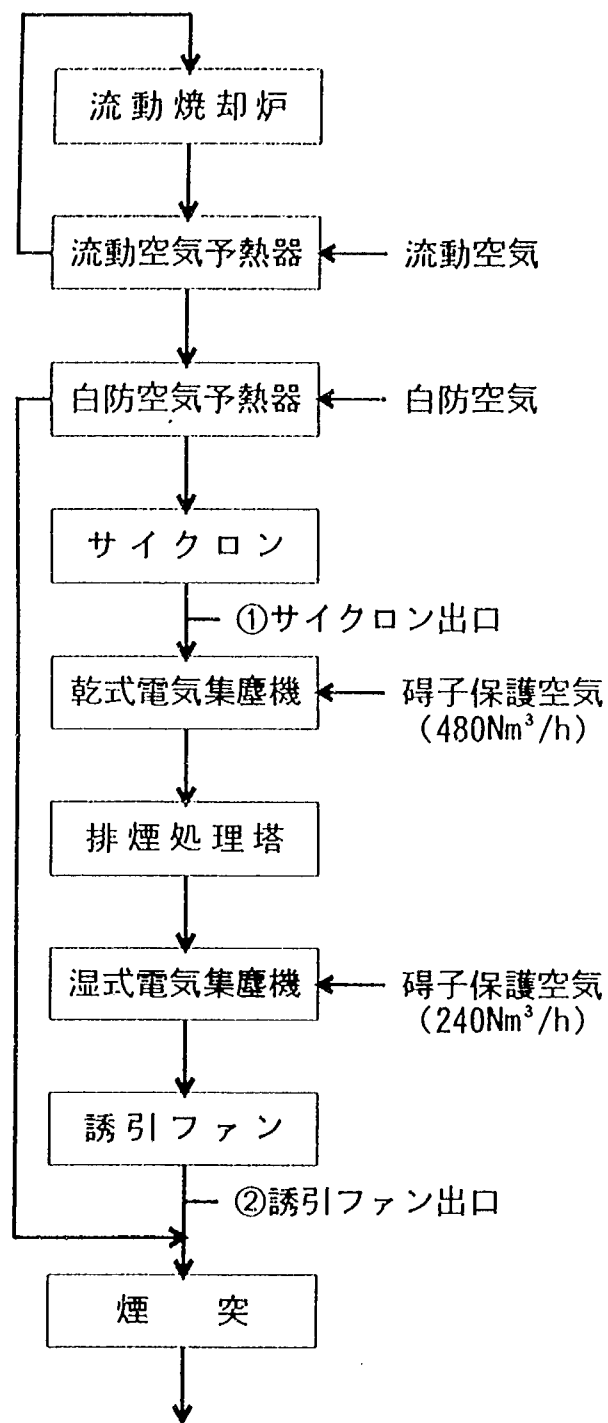


図2 焼却施設処理フローとサンプリング位置



写真3 焼却炉本体とケーキ圧送配管

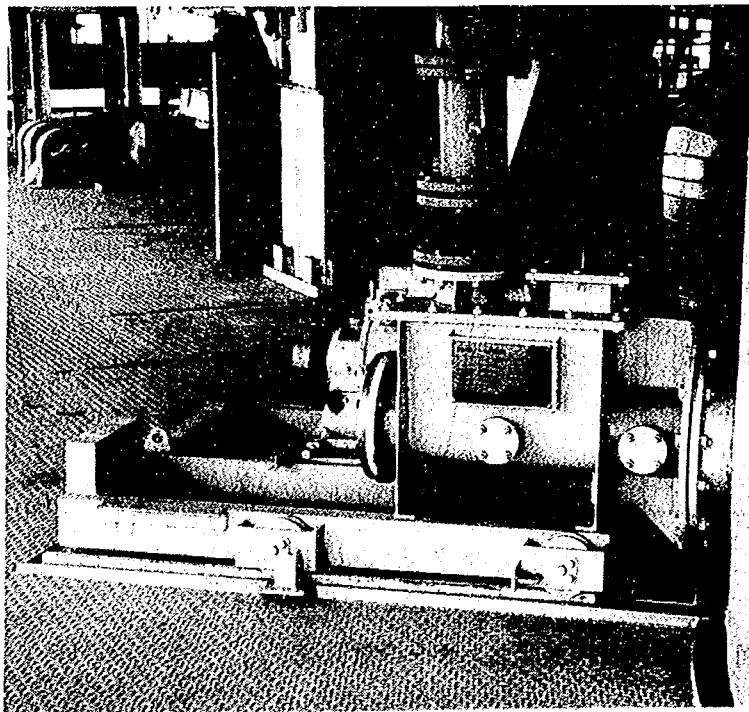


写真4 焼却炉へのケーキの投入（ケーキ押込機）

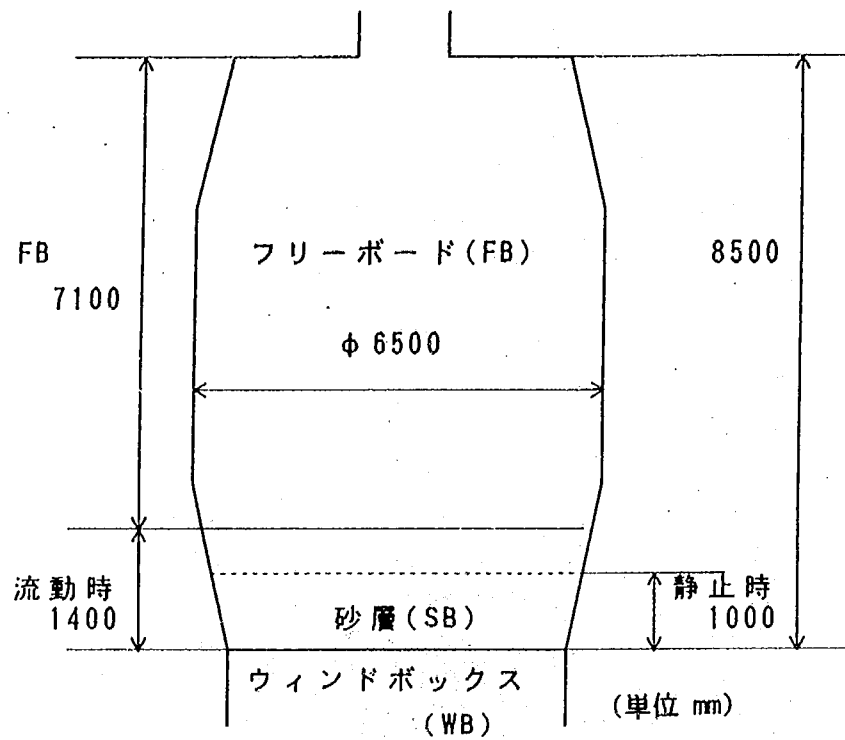


図3 調査対象流動焼却炉の諸元

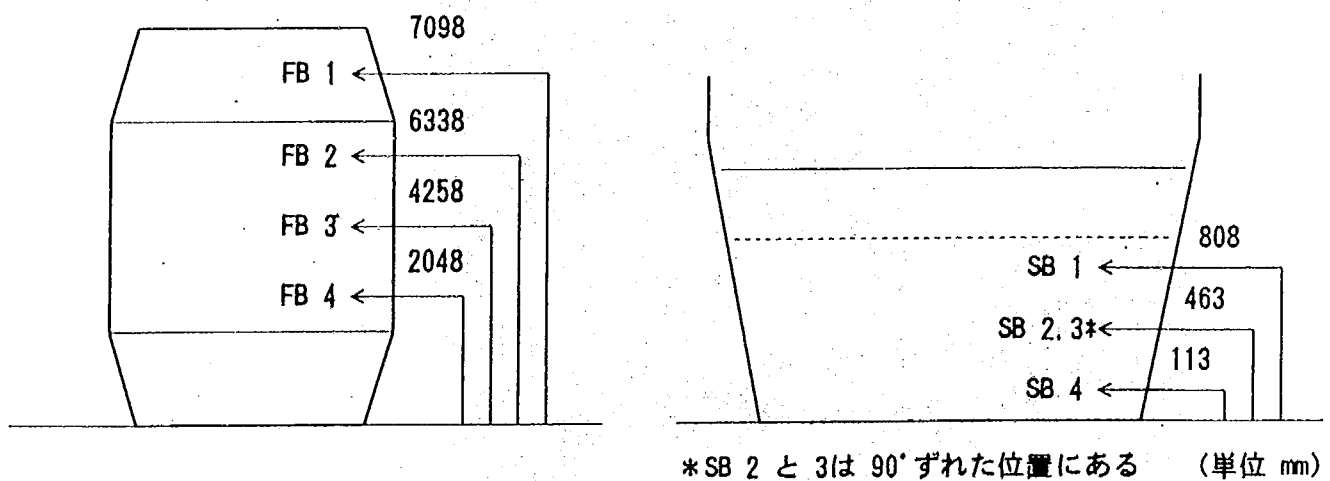


図4 焼却炉内温度センサーの設置高さ

3. 研究方法

3. 1 実験条件

焼却炉運転条件として炉内酸素濃度と炉内温度（フリーボード内の最高温度：FBmax）の2つに着目し、これらを変化させた場合の N_2O と NO_x の放出の挙動について調査した。

焼却炉運転条件の目標値を表3に示す。実験条件は12通りであるが、機器の制約から高負荷・低温と低負荷・高温の2つの領域は実験条件に組み入れられていない。実験中は投入汚泥量を固定し、酸素濃度と炉内温度をモニターしながら流動空気量と重油量をマニュアルで調整することにより目標運転条件を達成した。排ガス試料の採取は炉内各部の温度が安定してから実施することとした。

実験は1日1条件もしくは2条件とし、平成6年2月14日～24日に実施した。

3. 2 N_2O の測定方法の決定

N_2O については、試料の採取・保存・分析についての確立された規格がないため、文献調査等によりその測定方法を決定した。

まず、煙道からの試料採取は1回に1試料ずつしかできないため、試料採取時刻のずれによる誤差をなくし N_2O と NO_x を同一の試料から分析するために、捕集バッグに一度捕集したものを N_2O と NO_x の分析用の元試料とした。元試料の採取方法は、JIS K 0095(1988) 排ガス試料採取方法のうち捕集バッグ法（間接法）に準じた。

次に元試料からの N_2O 用の試料の採取方法は、排ガス中の水分と SO_2 を除去する目的で図5に示す方法で行った。このような前処理を行う理由は Muzio ら⁶⁾ が指摘しているように、保存容器中に NO_x , SO_2 , 水分が共存した場合には容器内の化学反応により N_2O が生成するためである。

N_2O の分析は ECD 付きガスクロマトグラフにより行った。この方法は感度の点で GC/TCD や NDIR を用いる方法より優れており、多くの研究者が用いている⁷⁾。ガスクロマトグラフの分析条件は表4に示すとおりである。また濃度約 10% の CO_2 が試料採取時にアルカリ剤で除去されるため、 N_2O の分析値を CO_2 濃度に応じて補正する必要がある。

試料の保存にはテドラーバッグを用いた。捕集バッグ類は 4, 5 日程度の保存期間であれば N_2O 採取保存容器として妥当であると報告されており⁸⁾、採取試料の分析はできる限り速やかに行った。

3. 3 排ガス成分調査項目とサンプリング位置

調査項目は N_2O , NO_x の他に、焼却炉から放出される主要な窒素化合物である HCN , NH_3 も対象とした。さらに放出総量を求めるため排ガス流量と排ガス組成分析を、また運転条件をモニターするために連続分析装置により O_2 , CO を測定した。サンプリング位置は、排ガスの温度、圧力、粉塵量を考慮し、試料採取が簡便にかつ正確に行える場所として、①サイクロン出口、②誘引ファン出口の2カ所を選定した（写真5、6、および図1、2参照）。前者は焼却炉における放出実態を、後者は排ガス処理後の大気放出の実態をそれぞれ表すと考えられる。また、サイクロン出口における煙道の内径は 950 mm, 誘引ファン出口の内径は 550 mm であった。排ガス成分調査項目の一覧を表5に示す。

各排ガス成分の試料採取方法および分析方法について表6にまとめた。 N_2O も含めて、試料は各3回採取・分析し、これらの平均値を測定値とした。また、現場における試料採取・測定の作業には約 90 分を要した。

3. 4 その他の調査項目

投入汚泥の性状として、含水率、強熱減量、有機物元素組成を測定した。強熱減量の灰化温度については下水試験方法で 600 °Cとしているが、焼却炉内では 750~850 °Cの高温となることを考慮し、800 °Cでも測定した。元素組成については、乾燥後微粉碎した試料を用いて自動分析装置（CARLO ERBA, 自動元素分析装置 EA-1108）により測定した。

投入汚泥のサンプリングは、脱水機棟内のコンベアから行った（写真7、8）。投入汚泥量、重油量、および炉内各部の温度については、システムに既設の計測機器のデータを用いた。

表3 目標焼却炉運転条件

ケーキ投入量	酸素濃度	フリーボード温度 (FBmax)		
		750 °C	800 °C	850 °C
高負荷 (定格) 6.7 t/h	5 %	* 1	RUN 4	RUN 7
通常負荷 5.4 t/h	7 %	RUN 10	RUN 12	RUN 2
	9 %	RUN 11	RUN 1	RUN 3
低負荷 3.0 t/h	11 %	RUN 5	RUN 8	* 2
	13 %	RUN 6	RUN 9	* 2

* 1 砂層温度が 600 °C 以下となる場合は運転不可

* 2 流動ブロウ・誘引ファンの機器能力の限界

表4 ガスクロマトグラフによる N_2O の分析条件

ガスクロ	島津 GC9A
検出器	ECD, ^{63}Ni 370MBq
充てん剤	Molecular Sieve 5A, 30~60mesh
カラム	ガラス, 3mmφ × 2.1m
温度	カラム : 280°C, 検出器 : 300°C
キャリアー	5% CH_4 - 95% Ar, 30mL/min
定量限界	200ppb

表5 排ガス成分調査項目

調査項目 \ サンプル位置		①サイクロン 出口	②誘引ファン 出口
窒素化合物	N_2O	○	○
	NO_x	○	○
	HCN	○	
	NH_3	○	
モニター用 連続分析	O_2	○	
	CO	○	
排ガス流量 (乾き)		○	○
排ガス流量 (湿り)		○	
排ガス組成分析 (N_2, O_2, CO_2)		○	○

表6 試料採取方法と分析方法

調査項目	試料採取方法	分析方法
NO _x	JIS K 0095(1988)の真空フラスコ法により元試料捕集バッグから採取する.	JIS K 0104(1984)のフェノールジスホン酸吸光光度法(PDS)による.
HCN	JIS K 0095(1988)の吸収瓶法による.	JIS K 0109(1982)の4-ピリジンカルボン酸-ピラソロン吸光光度法に準ずる.
NH ₃		JIS K 0099(1983)のインドフェノール吸光光度法による.
O ₂	JIS K 0095(1988)の連続分析による.	JIS B 7983(1979)の磁気風方式に用いる分析計(磁気風分析計)による.
CO		JIS K 0098(1988)の赤外線吸収法連続分析による.
排ガス流量	JIS Z 8808(1986)に準じ、排ガス量及び水分量を測定する.	
排ガス組成	元試料捕集バッグから採取する.	JIS K 0301(1989)のオルザット式分析方法に準ずる.

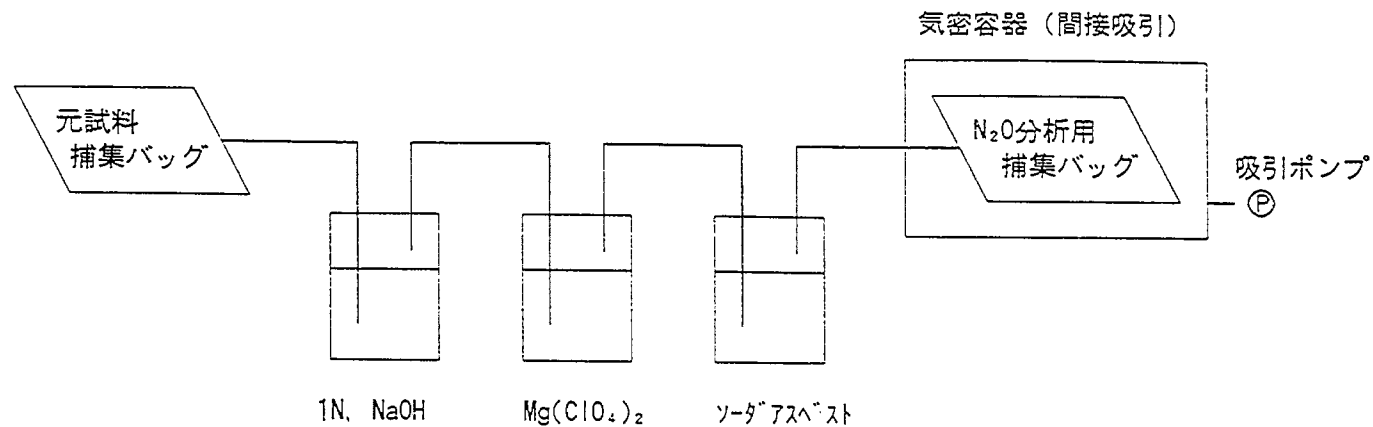


図5 N₂O 分析用試料の採取方法



写真5 サンプルング位置①（サイクロン出口）



写真6 サンプルング位置②（誘引ファン出口）



写真7 脱水機棟内コンベア

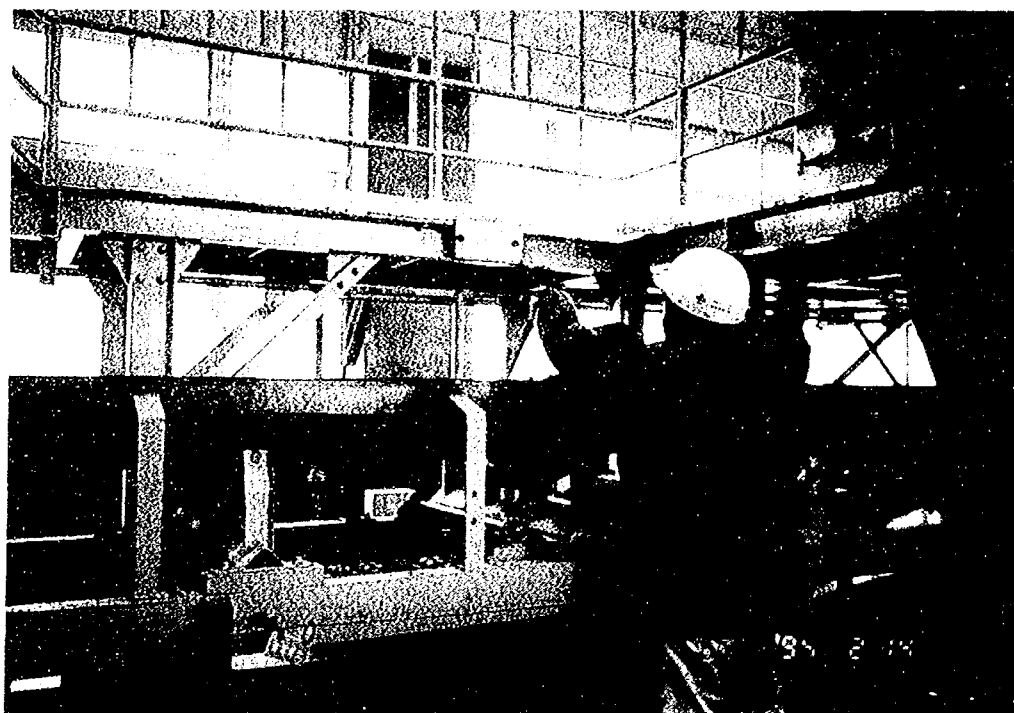


写真8 投入汚泥のサンプリング

4. 研究結果と考察

4. 1 焼却炉運転結果とその特徴

表7に実験時の焼却炉運転結果を、図6に各 RUN における炉内温度 (FBmax) と炉内酸素濃度との関係を示した。表3の目標値どおりに実験条件を設定できない場合があり、特に低酸素濃度での制約が大きかった。これは砂層の流動を維持するために流動空気量をあまり下げられないのが原因で、750℃-7% や 800℃-5% といった条件で実験を行うことができなかった。また、限られた時間のなかで実験を終了させるために、やむを得ず炉内温度等が十分に安定していないまま測定を行った場合もあった（例えば RUN 8）。このような場合は測定中の時間平均値を用いることとした。

表7 焼却炉運転結果

RUN	実験日	投入 汚泥量 [t/h]	流動 空気量 [Nm ³ /h]	重油量 [L/h]	フリーボード温度			砂層温度		炉内温度差 FBmax - SB1 [℃]	炉内酸素濃度	
					FBmax [℃]	位置*	変動** [℃]	SB 1 [℃]	変動** [℃]		自動計 [%]	手計 [%]
1	2/14	5.4	11800	200	798	1	0	682	5	116	9.8	10.0
2	2/15 (1)	5.4	10300	275	850	1	10	740	25	110	7.8	7.5
3	2/15 (2)	5.4	11800	275	853	1	0	772	15	81	9.5	9.4
4	2/23	4.8	8600	220	803	1	0	660	0	143	8.8	8.8
5	2/17 (1)	3.0	7600	135	750	1	0	681	5	69	11.4	11.3
6	2/17 (2)	3.0	11000	175	731	3	0	693	0	38	13.3	13.3
7	2/16	6.7	10500	230	846	1	0	665	0	181	5.4	5.5
8	2/21 (1)	3.0	8900	200	810	4	20	759	30	51	11.1	11.0
9	2/21 (2)	3.0	11800	220	807	4	0	776	0	31	13.0	13.0
10	2/24	3.0	12000	210	725	3	0	674	0	51	13.7	13.6
11	2/22	4.9	9600	135	776	1	0	622	-5	154	10.1	9.9
12	2/18	5.4	9600	210	802	1	0	652	0	150	8.0	7.5

* FBmaxを示したセンサー位置（図4参照）

** 測定中の対象センサーの温度変化

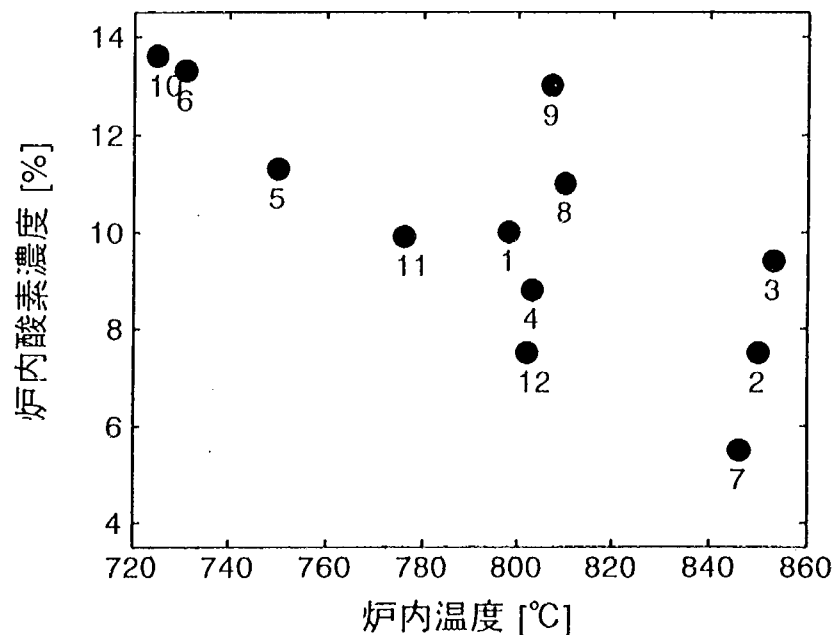


図6 各 RUN における炉内温度と酸素濃度
(図中の数値は RUN No.を示す)

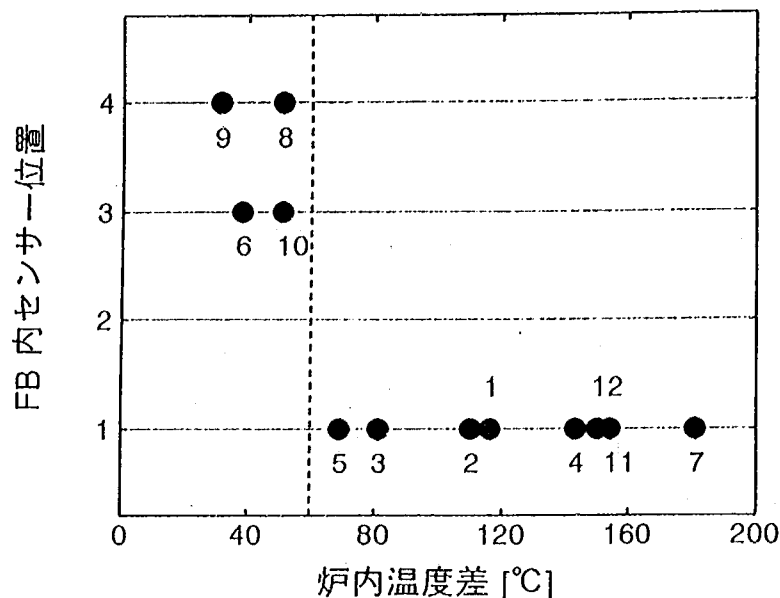


図7 炉内温度差とFB内最高温度センサー位置（図中の数値はRUN No.を示す）

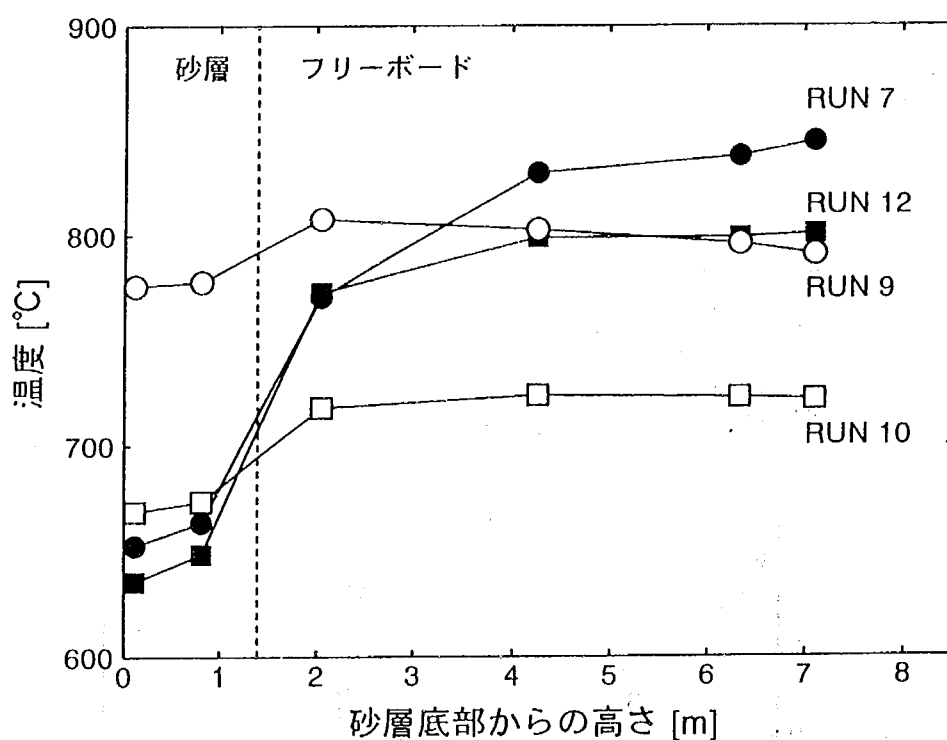


図8 焼却炉内温度プロファイルの例

炉内酸素濃度はモニター用自動計（連続分析）とオルザット法（スポット）の2通りで測定したが、両者はよく一致していた。オルザット法の元試料は N_2O 、 NO_x 分析用と共通であることから、以後オルザット法による測定値を炉内酸素濃度として用いることとする。

通常運転時にはフリーボード最上部のセンサー FB 1 において最も温度が高いが、実験条件によっては砂層直上部の FB 4 や FB 3 が最高温度を示す場合があった。このような場合にはフリーボードと砂層の温度差が小さいという特徴が見受けられた（図7、8）。炉内温度差の低下は砂層での燃焼割合の増大を意味すると考えられるため、これらのファクターを砂層燃焼率の指標として用いることができる。砂層燃焼率が大きい場合は反応が速やかに完結し、フリーボード上部は熱放散により冷却されるものと考えられる。

これらの砂層燃焼率を表す指標は、炉内酸素濃度や投入汚泥量当たりの重油量との間により相関があった（図9～12）。炉内酸素濃度が大きい場合は、酸素が十分各部に行きわたるため反応が短時間で完結してしまうものと考えられる。また重油の砂層燃焼率は水分を多く含んでいる汚泥に比べて大きいので⁹⁾、投入汚泥量当たりの重油量が多い場合は全体としての砂層燃焼率が增大するものと考えられる。

図13に投入汚泥量当たり重油量と酸素濃度の関係を示した。これは実験条件の設定そのものであるが、焼却炉の運転上の制約からこれを逸脱した運転ができないことを考えれば、汚泥当たりの重油量が多くなれば酸素濃度も高くなると考えてさしつかえない。以上の内容をまとめると図14のようになる。

炉内温度差とフリーボード温度、砂層温度との関係を図15、16に示す。どちらも全体としての相関は大きくなく、砂層燃焼率との明確な関係は見いだせなかった。ただし、フリーボード温度が低いときには炉内温度差が小さくなり、逆に砂層温度が低いときには炉内温度差が大きくなる傾向があった。

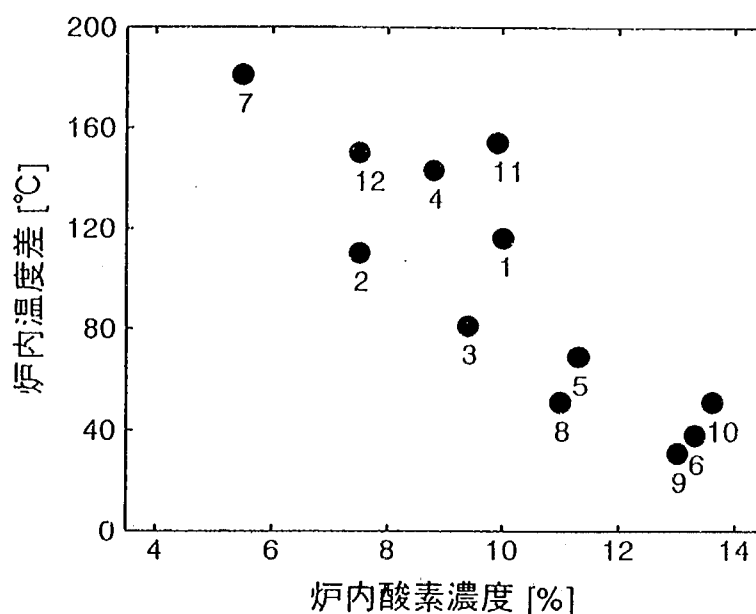


図9 炉内温度差と酸素濃度（図中の数値は RUN No.を示す）

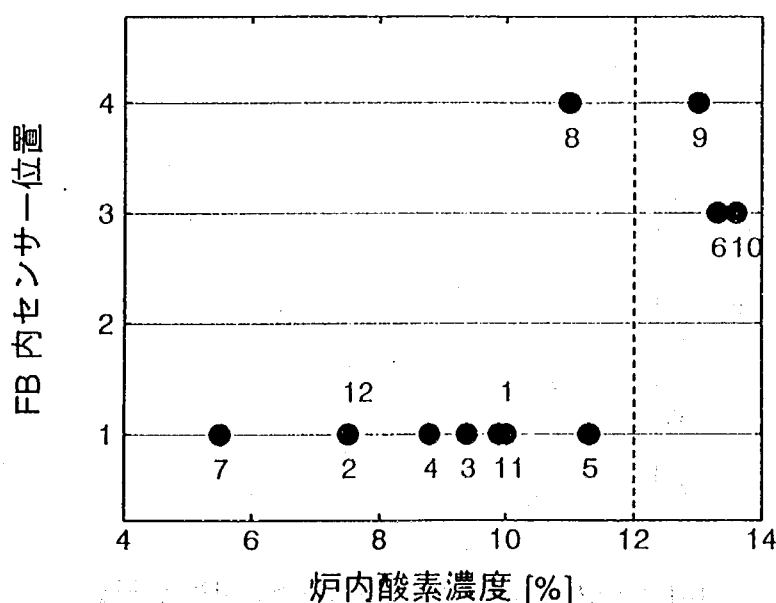


図10 FB内最高温度センサー位置と酸素濃度（図中の数値は RUN No.を示す）

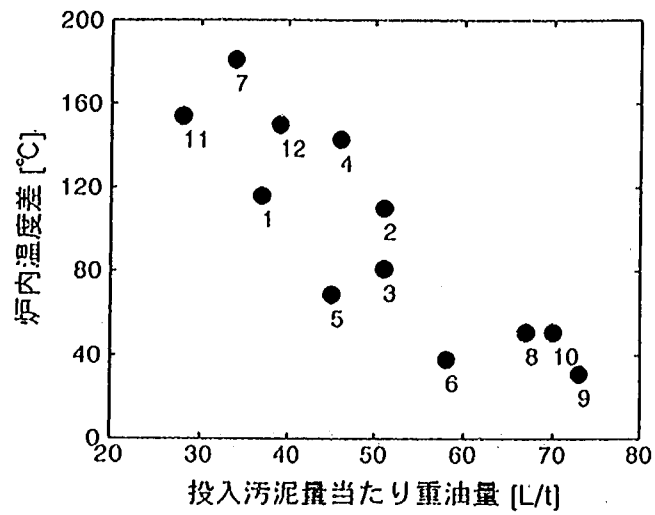


図11 炉内温度差と投入汚泥量当たりの重油量
(図中の数値は RUN No.を示す)

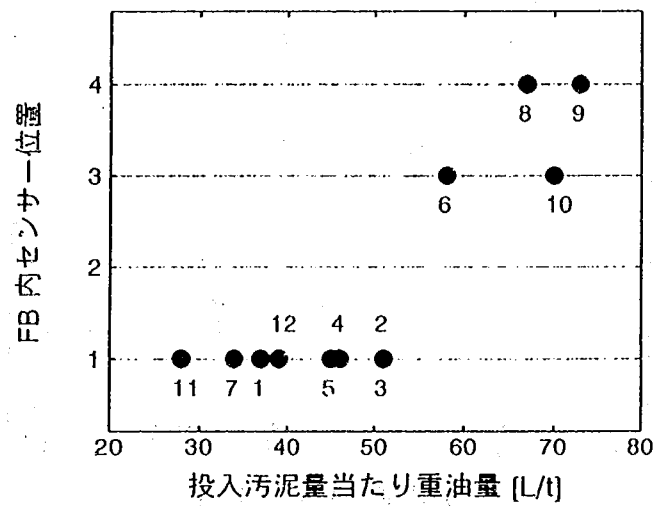


図12 FB 内最高温度センサー位置と重油量
(図中の数値は RUN No.を示す)

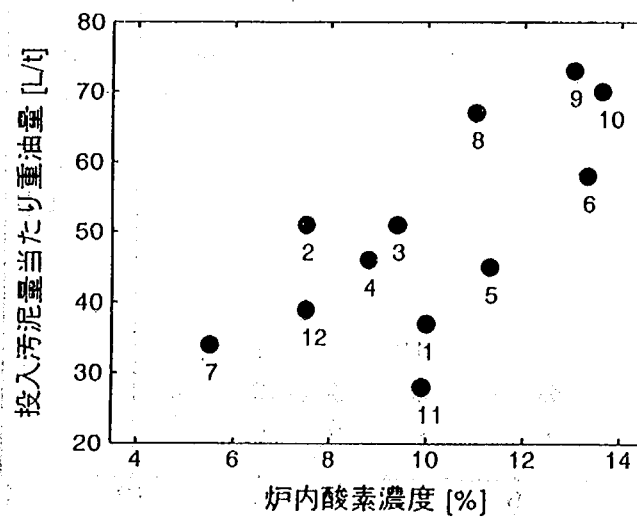


図13 炉内酸素濃度と投入汚泥量当たりの重油量
(図中の数値は RUN No.を示す)

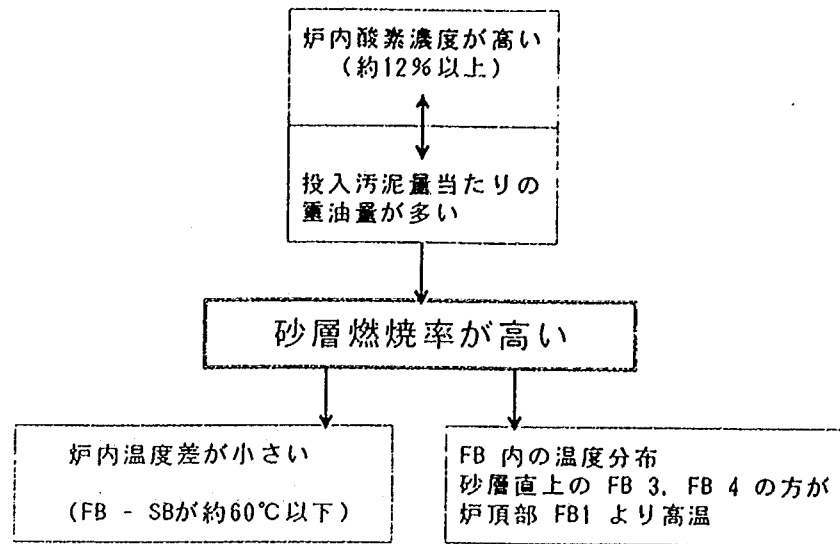


図14 砂層燃焼率と関連するファクター

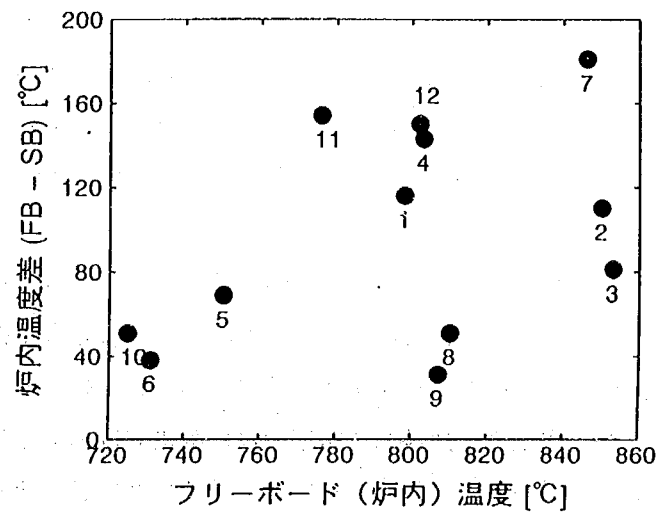


図15 フリーボード温度と炉内温度差
(図中の数値は RUN No.を示す)

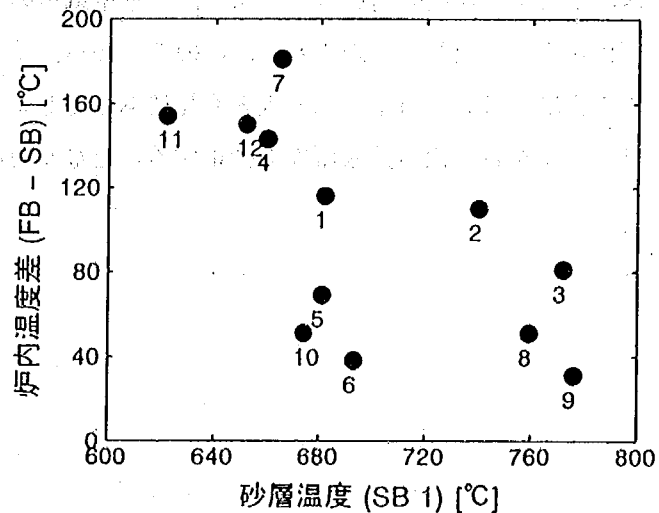


図16 砂層温度と炉内温度差
(図中の数値は RUN No.を示す)

4. 2 投入汚泥の性状

投入汚泥性状の分析結果を表 8 に示す。実験期間中の汚泥性状の変化はごくわずかであり、これらの平均値を供試汚泥の代表値として以下の解析に用いた。また強熱減量の測定値に及ぼす灰化温度の影響はほとんどなかった。ここでは 800℃における測定結果を用いることとした。

4. 3 排ガス流量の測定結果

表 9 に排ガス流量等の測定結果を示す。サイクロン出口における排ガス温度は 300～400℃で排ガス中に多くの水蒸気を含んでいるが、これはスクラバーにより冷却され除去される。誘引ファン出口における排ガス温度は約 25℃である。

サイクロン出口と誘引ファン出口の乾き排ガス量の差 ($G_2' - G_1'$) は、2 つある EP への流入空気によるものと考えられるが、これらは設定値 720 Nm³/h と比較して大きかった。試みに、サイクロン出口の乾き排ガスが $G_2' - G_1'$ に相当する量の空気 ($O_2 = 21\%$) により希釈されたとした場合の酸素濃度を計算してみると、誘引ファン出口の実測値より大きくなる。これに対し、同じ乾き排ガスが EP 空気量 720 Nm³/h で希釈された場合の酸素濃度の計算値は実測値により近い結果となった (図 17)。一般に、大量の空気流量の計測には大きな誤差を含むことが多いといわれているが¹⁰⁾、今回の測定結果も、流量の測定値は酸素濃度等の排ガス成分の測定値に比べて大きな誤差を含んでいるものと考えられる。

また、流動空気量とサイクロン出口乾き排ガス量を比較すると、ほとんどの場合後者の方が大きかった。しかし理論的には、流動空気中の O_2 の一部は H_2O となるため、乾き排ガス量は流動空気量より小さくなるはずである。表 10 は燃焼計算により排ガス量を求めた結果であるが、乾き排ガス量、酸素濃度の計算値はともに測定値より小さくなった。空気量と比較して精度の高い酸素濃度の測定値も計算値より大きかったことから、空気の漏れ込みのあることが考えられた。特にサンプリング位置がサイクロン出口であったため、サイクロン下部 (焼却灰取り出し口) からの流入が考えられる。なお燃焼計算において、重油の元素組成ならびに密度は文献値^{10), 11)}を用いている。

サイクロン出口における酸素濃度により比較検討を行った結果、流動空気量の 7% の空気の漏れ込みがあるとした場合に計算値と実測値がよく一致した (図 18)。このことから、サイクロン出口における酸素濃度を炉内酸素濃度として扱う場合は、最大で 1% ほど大きく見積もってしまう可能性があることがわかった。しかし本研究においては、サイクロン出口酸素濃度を補正することなくそのまま炉内酸素濃度として用いている。

表8 投入汚泥性状の分析結果

RUN	含水率 [%]	強熱減量 [% of DS]		有機物元素組成 [% of DS]			
		800℃	600℃	C	H	N	O
1	81.6	83.2	83.5	45.7	6.3	5.2	26.0
2	81.6	83.6	84.3	49.2	6.5	5.8	22.1
3	81.9	82.7	83.1	45.5	6.6	5.4	25.2
4	83.7	81.6	81.3	43.1	6.2	5.7	26.6
5	82.3	84.7	85.2	47.0	6.5	5.6	25.6
6	83.2	82.9	83.7	46.5	6.9	5.9	23.6
7	83.2	82.2	82.5	48.9	6.4	6.4	20.5
8	79.7	82.4	82.0	43.5	5.9	5.0	28.0
9	80.4	82.2	81.7	44.2	6.2	5.3	26.5
10	81.8	83.0	81.0	42.6	6.0	5.2	29.2
11	80.1	82.0	81.3	42.4	5.7	4.9	29.0
12	82.9	82.5	81.8	43.6	6.9	5.6	26.4
平均	81.9	82.8	82.6	45.2	6.3	5.5	25.7

表9 排ガス流量等測定結果

RUN	流動 空気量 [Nm ³ /h]	サイクロン出口				誘引ファン出口			乾き排ガス の増加量 G ₂ ' - G ₁ ' [Nm ³ /h]	予想される O ₂ 濃度* [%]	予想される O ₂ 濃度** [%]
		湿り排ガス 量 G ₁ [Nm ³ /h]	乾き排ガス 量 G ₁ ' [Nm ³ /h]	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	乾き排ガス 量 G ₂ ' [Nm ³ /h]	O ₂ [%]	CO ₂ [%]			
1	11800	20700	12300	10.0	10.9	13400	10.8	10.3	1100	10.9	10.6
2	10300	19300	10700	7.5	13.4	12200	8.1	12.7	1500	9.2	8.4
3	11800	18400	12200	9.4	11.3	14200	10.0	10.8	2000	11.0	10.0
4	8600	14600	9100	8.8	9.8	10500	9.1	10.5	1400	10.4	9.7
5	7600	11900	8200	11.3	8.5	9400	11.4	7.6	1200	12.5	12.1
6	11000	16500	11500	13.3	6.7	13100	13.4	6.2	1600	14.2	13.8
7	10500	19100	10400	5.5	14.4	11900	6.1	13.6	1500	7.5	6.5
8	8900	12500	8700	11.0	8.0	9800	11.4	7.9	1100	12.1	11.8
9	11800	16000	12200	13.0	6.9	13500	13.2	7.3	1300	13.8	13.4
10	12000	17400	12700	13.6	5.5	14000	13.8	5.3	1300	14.3	14.0
11	9600	15600	9900	9.9	9.7	10900	10.1	9.0	1000	10.9	10.7
12	9600	16500	10000	7.5	10.8	11600	7.7	10.5	1600	9.4	8.4

* G₂' - G₁' に相当する空気により希釈された場合の誘引ファン出口におけるO₂濃度の計算値** EP流入空気 (720 Nm³/h)により希釈された場合の誘引ファン出口におけるO₂濃度の計算値

表10 燃焼計算から求まる排ガス流量

RUN	流動 空気量 [Nm ³ /h]	汚泥由来 理論空気量 As [Nm ³ /h]	重油由来 理論空気量 Ao [Nm ³ /h]	理論空気量 A = As + Ao [Nm ³ /h]	乾き排ガス 量 計算値 [Nm ³ /h]	排ガス中O ₂ 量 計算値 [Nm ³ /h]	炉内酸素濃度 [%]		
							計算値*	計算値**	サイクロン出口 実測値
1	11800	4736	1934	6670	11535	1077	9.3	10.1	10.0
2	10300	4736	2659	7395	9985	610	6.1	7.1	7.5
3	11800	4736	2659	7395	11485	925	8.1	8.9	9.4
4	8600	4210	2127	6337	8336	475	5.7	6.7	8.8
5	7600	2631	1305	3936	7437	769	10.3	11.1	11.3
6	11000	2631	1692	4323	10810	1402	13.0	13.5	13.3
7	10500	5876	2224	8100	10184	504	4.9	6.0	5.5
8	8900	2631	1934	4565	8693	910	10.5	11.2	11.0
9	11800	2631	2127	4758	11580	1479	12.8	13.3	13.0
10	12000	2631	2031	4662	11787	1541	13.1	13.6	13.6
11	9600	4297	1305	5603	9391	839	8.9	9.7	9.9
12	9600	4736	2031	6767	9329	595	6.4	7.4	7.5

* 漏れ込みがないと考えた場合

** 流動空気量の7%の漏れ込みを仮定した場合

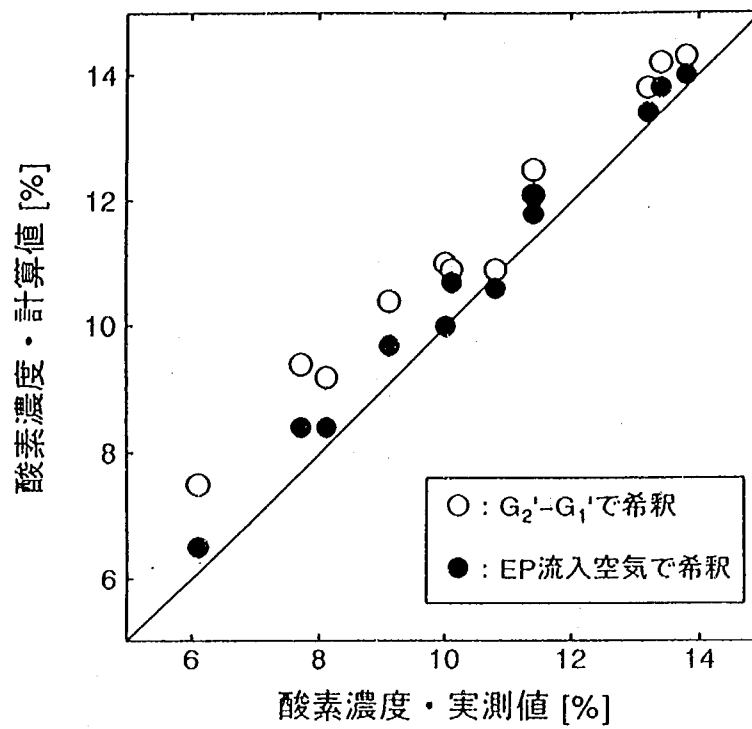


図17 誘引ファン出口酸素濃度についての検討

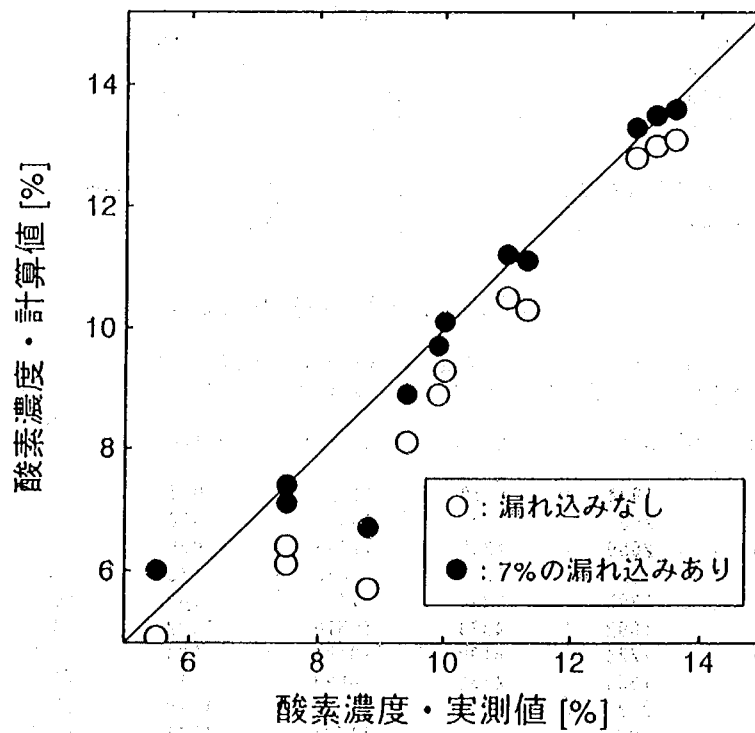


図18 サイクロン出口酸素濃度についての検討

4. 4 排ガス成分の測定結果

表11は N_2O 、 NO_x の測定結果を示している。 N_2O については排ガス中の濃度 (CO_2 補正後) の他、 O_2 12% 換算濃度 (ppm)、排出係数 ($\text{gN}_2\text{O}/\text{ton}$ 汚泥 wet base)、窒素分排出係数 ($\text{gN}-\text{N}_2\text{O}/\text{ton}$ 汚泥 wet base)、窒素変換率 ($\text{gN}-\text{N}_2\text{O}/\text{gN}$ -汚泥) の各単位で表現した。 NO_x についても同様である。変換率についてはその全量が汚泥中の窒素より生成したと仮定して計算している。また、 NO_x は定量下限 (10 ppm) 以下である場合が多く、本焼却炉が運転条件によらず優れた NO_x 除去能力を有していることが再確認された。

表12に HCN 、 NH_3 、 CO の測定結果を示す。

表13に各排ガス成分の測定誤差を示す。ここで測定誤差は、3回のスポットサンプリングによる測定値の平均値に対する偏差の絶対値の最大値の割合 (%) を表している。これによれば、酸素濃度についての測定誤差に対して各窒素化合物の誤差が大きいことがわかる。焼却システムに既設の NO_x 計のトレンドデータも変動が大きかったことから、これらはサンプリングや分析時の誤差ではなく、各窒素化合物の焼却炉からの放出変動そのものが大きいことを表していると考えられる。

表11 排ガス成分の測定結果 (N_2O 、 NO_x)

	RUN	N_2O					NO_x				
		排ガス中 濃度 [ppm]	O_2 12% 換算濃度 [ppm]	排出係数 [g/t]	窒素分 排出係数 [gN/t]	窒素 変換率 [%]	排ガス中 濃度 [ppm]	O_2 12% 換算濃度 [ppm]	排出係数 [g/t]	窒素分 排出係数 [gN/t]	窒素 変換率 [%]
サイクロン出口	1	379	310	1696	1079	10.84	< 10	—	—	—	—
	2	168	112	654	416	4.18	< 10	—	—	—	—
	3	62	48	275	175	1.76	< 10	—	—	—	—
	4	416	307	1549	986	9.90	< 10	—	—	—	—
	5	382	354	2051	1305	13.11	< 10	—	—	—	—
	6	466	545	3509	2233	22.43	21.1	24.7	108	51	0.51
	7	190	110	579	369	3.70	< 10	—	—	—	—
	8	174	157	991	631	6.34	10.0	9.0	39	18	0.18
	9	191	215	1526	971	9.75	15.8	17.8	86	40	0.40
	10	452	550	3759	2392	24.03	54.7	66.5	310	145	1.45
	11	504	409	2000	1273	12.79	< 10	—	—	—	—
	12	406	271	1477	940	9.44	< 10	—	—	—	—
誘引ファン出口	1	426	376	2076	1321	12.27	< 10	—	—	—	—
	2	147	103	652	415	4.17	< 10	—	—	—	—
	3	112	92	579	368	3.70	< 10	—	—	—	—
	4	393	297	1689	1075	10.79	< 10	—	—	—	—
	5	471	442	2899	1845	18.53	< 10	—	—	—	—
	6	455	539	3903	2484	24.95	< 10	—	—	—	—
	7	197	119	687	437	4.39	< 10	—	—	—	—
	8	141	132	905	576	5.78	11.0	10.3	48	22	0.23
	9	179	207	1582	1007	10.11	16.5	19.0	99	46	0.47
	10	318	398	2915	1855	18.63	31.1	38.9	194	194	0.91
	11	470	388	2054	1307	13.13	< 10	—	—	—	—
	12	380	257	1603	1020	10.25	< 10	—	—	—	—

表12 排ガス成分の測定結果 (HCN, NH₃, CO)

	RUN	HCN				NH ₃				CO	
		排ガス中 濃度 [ppm]	O ₂ 12% 換算濃度 [ppm]	窒素分 排出係数 [gN/t]	窒素 変換率 [%]	排ガス中 濃度 [ppm]	O ₂ 12% 換算濃度 [ppm]	窒素分 排出係数 [gN/t]	窒素 変換率 [%]	排ガス中 濃度 [ppm]	O ₂ 12% 換算濃度 [ppm]
サイクロン出口	1	43.1	35.3	61.4	0.62	34.6	28.3	49.3	0.49	260	213
	2	3.0	2.0	3.7	0.04	18.8	12.5	23.3	0.23	100	67
	3	< 0.2	—	—	—	7.0	5.4	9.9	0.10	90	70
	4	11.0	8.1	13.0	0.13	12.1	8.9	14.3	0.14	140	103
	5	88.9	82.5	151.9	1.53	5.9	5.5	10.1	0.10	110	102
	6	148.0	173.0	354.6	3.56	8.3	9.7	19.9	0.20	60	70
	7	77.8	45.2	75.5	0.76	7.5	4.4	7.3	0.07	60	35
	8	3.6	3.2	6.5	0.07	1.6	1.4	2.9	0.03	< 10	—
	9	10.5	11.8	26.7	0.27	2.3	2.6	5.8	0.06	50	56
	10	31.3	38.1	82.8	0.83	2.0	2.4	5.3	0.05	170	207
	11	12.9	10.5	16.3	0.16	10.3	8.4	13.0	0.13	70	57
	12	56.6	37.7	65.5	0.66	13.6	9.1	15.7	0.16	360	240

表13 排ガス成分の測定誤差

RUN	サイクロン出口測定誤差(%)					誘引ファン出口測定誤差(%)		
	N ₂ O	NO _x	HCN	NH ₃	O ₂	N ₂ O	NO _x	O ₂
1	37	—	37	21	3	18	—	1
2	20	—	50	27	3	4	—	1
3	23	—	—	20	1	13	—	2
4	10	—	25	14	4	7	—	1
5	24	—	1	42	1	3	—	1
6	0	27	17	48	1	4	—	1
7	10	—	16	15	5	24	—	3
8	5	30	50	25	4	34	40	2
9	5	35	18	43	1	19	12	3
10	18	36	5	10	1	47	22	1
11	10	—	28	28	2	27	—	2
12	9	—	2	46	3	18	—	5

4. 5 排ガス処理の効果

表14に N_2O 、 NO_x の排ガス処理による除去率について示す。除去率は放出総量からも計算することができるが、前述の通り排ガス流量よりも酸素濃度の方が測定精度が高いので、ここでは O_2 12% 換算濃度を用いて除去率を計算した。除去率は各 RUN においてばらつきがあるものの、全体としては排ガス処理による N_2O 、 NO_x の除去効果はほとんど期待できないものと考えられる。よって、これらの物質の放出量を低減するためには、焼却炉内での生成を抑制するか、もしくは触媒等を利用した新たな除去プロセスを設ける必要がある。

除去率がばらつく原因は、除去率の値が前述の測定誤差の範囲内にあるためと考えられる。除去率についてより正確な値を得るためには、スポットサンプリングとともに連続分析計を設置し、その放出変動の幅について確認する必要がある。また、 N_2O はサンプリングの前処理の段階でアルカリ溶液によって吸収される可能性もあるため、この点についても今後検証を行う必要がある。排ガス処理前後の N_2O の換算濃度を比較すると図19のようになる。

なお、汚泥焼却炉に付置されたスクラバーでは N_2O は全く除去されず、逆に N_2O の生成源となっている（除去率 -100%）という報告^{1,2)}がある。しかし今回の測定結果でも除去率の最小値は -90% であったことから、この報告の例も放出変動等が原因と推察される。既存の排ガス処理施設は N_2O を除去することはできないが、その生成源として扱う必要はないと考えられる。

表14 排ガス処理の効果

RUN	N_2O			NO_x		
	サイクロン 出口濃度 (O_2 12%)	誘引ファン 出口濃度 (O_2 12%)	除去率	サイクロン 出口濃度 (O_2 12%)	誘引ファン 出口濃度 (O_2 12%)	除去率
	C_1 [ppm]	C_2 [ppm]	$\frac{C_1 - C_2}{C_1}$ [%]	C_1 [ppm]	C_2 [ppm]	$\frac{C_1 - C_2}{C_1}$ [%]
1	310	376	-21.2	—	—	—
2	112	103	8.4	—	—	—
3	48	92	-90.5	—	—	—
4	307	297	3.1	—	—	—
5	354	442	-24.6	—	—	—
6	545	539	1.1	24.7	—	—
7	110	119	-7.9	—	—	—
8	157	132	15.6	9.0	10.3	-23.9
9	215	207	3.9	17.8	19.0	-15.6
10	550	398	27.7	66.5	38.9	37.3
11	409	388	5.0	—	—	—
12	271	257	5.0	—	—	—

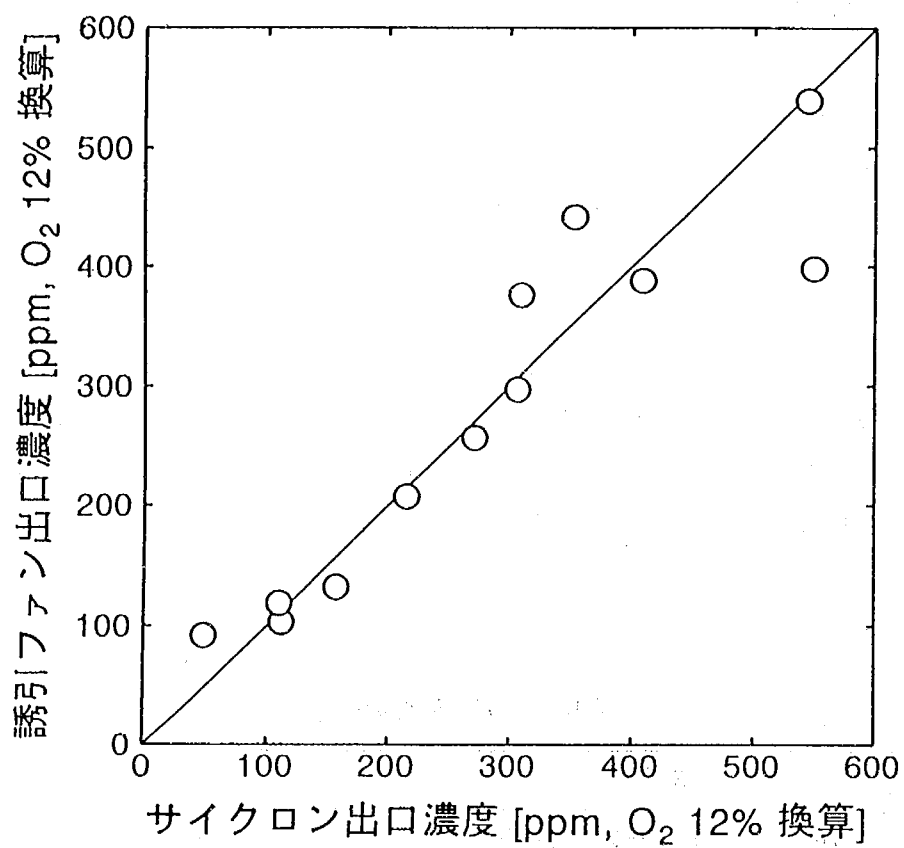


図19 排ガス処理前後の N_2O 濃度の比較

4. 6 N_2O の放出挙動

炉内酸素濃度、フリーボード温度、砂層温度、および炉内温度差の各ファクターと N_2O 放出量との関係を図20～23に示した。ここで N_2O 放出量の単位としては、投入汚泥量の影響を受けない窒素変換率を用いた。また N_2O のデータはサイクロン出口のものを用いた。

これらのうちフリーボード温度の影響が特に顕著であり、フリーボード温度の増加にともない N_2O 放出量は減少している。これは高温の場合ほど N_2O の分解反応が進行するためと考えられ、他の下水汚泥流動焼却炉における研究結果^{13)・14)}や、都市ごみ焼却炉における調査結果¹⁵⁾、石炭流動層燃焼における実験結果¹⁶⁾とも結論を同じくするものである。砂層温度や炉内温度差との相関が低いことから、本焼却炉においては砂層部分での燃焼状況もしくは N_2O の炉内生成量によらず、もっぱらフリーボードでの分解反応の進行程度がその放出量を決定づけているものと考えられる。

また炉内酸素濃度と N_2O 放出量の間にも相関が見られたが、これはフリーボード温度が低いときには炉内酸素濃度が高いためと考えられる。しかし図24から読みとれるように、フリーボード温度の影響の方が大きいものと考えられる。

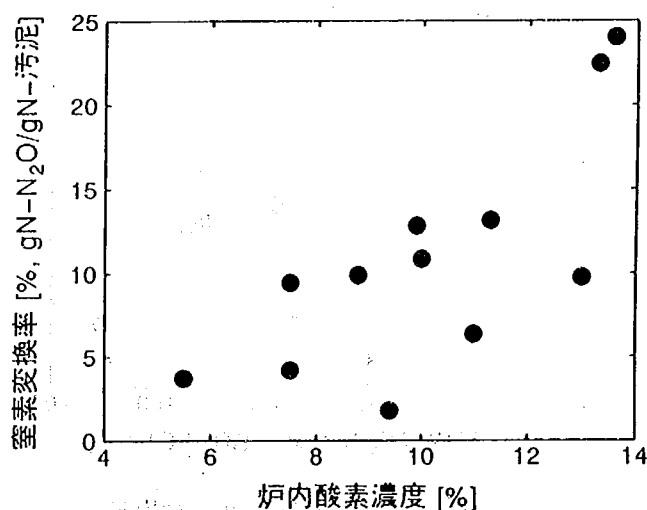


図20 炉内酸素濃度と N_2O 放出量

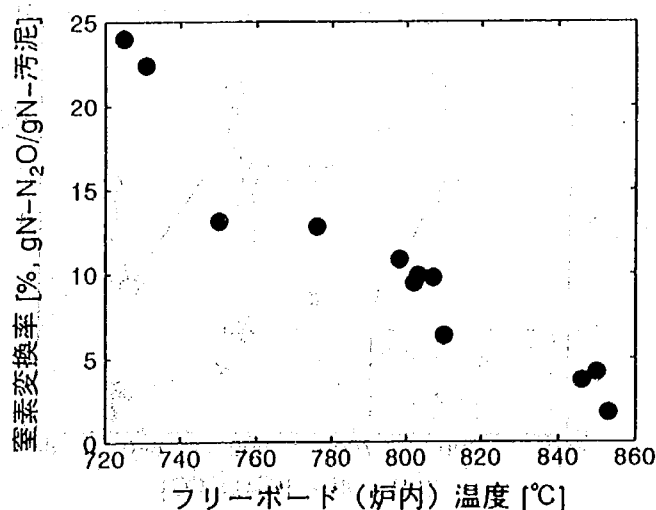


図21 フリーボード温度と N_2O 放出量

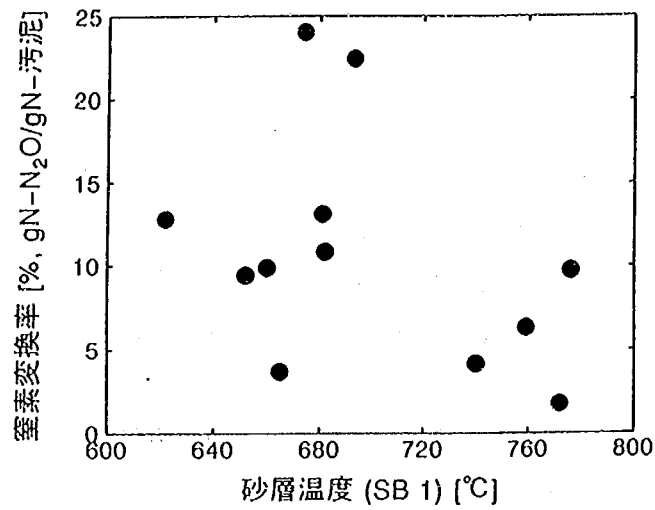


図22 砂層温度と N₂O 放出量

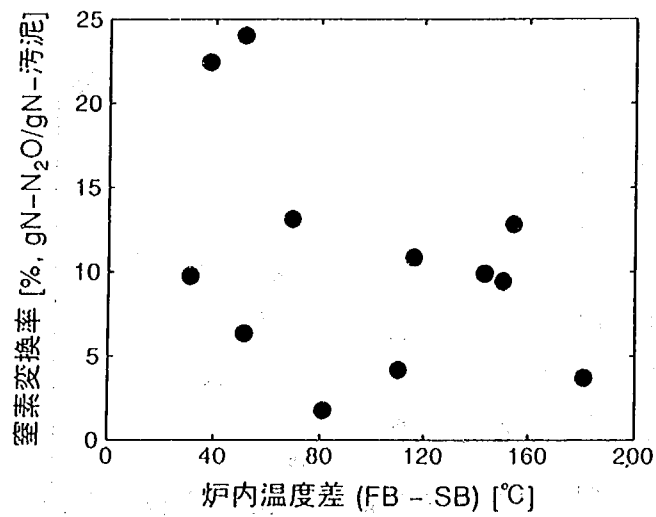


図23 炉内温度差と N₂O 放出量

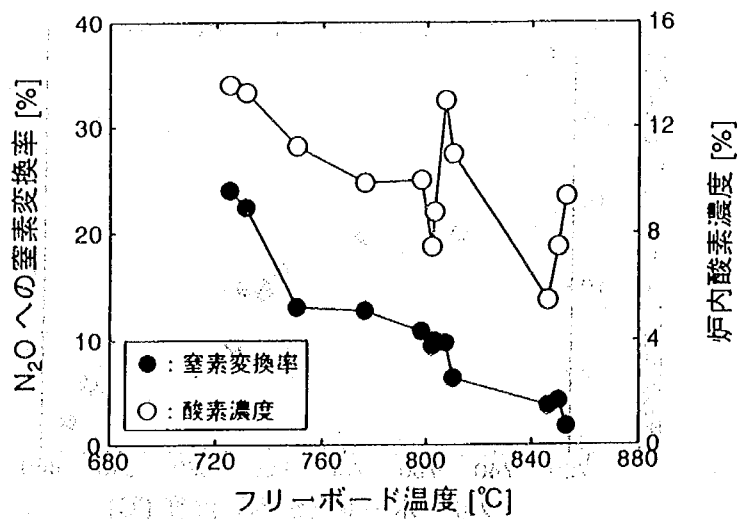


図24 酸素濃度と FB 温度の影響の比較

4. 7 NO_x の放出挙動

炉内酸素濃度、フリーボード温度、砂層温度、および炉内温度差の各ファクターと NO_x 放出量との関係を図 25～28 に示した。ここで NO_x 放出量の単位は N₂O と同様に窒素変換率を用いた。また、定量下限以下のデータについては、変換率を一律に 0.1% として図中にプロットした。

多くの実験条件において NO_x は十分に除去されていたが、酸素濃度が約 12% 以上、炉内温度差が約 60℃ 以下の場合には NO_x が放出されていた。これらの条件は図 14 における砂層燃焼率の高い場合と一致していた。よって、炉内における NO_x の生成を抑制するためには砂層での燃焼率をあるレベル以下に保つ必要があるといえる。

ここで、低負荷時および立ち上げ時の NO_x の放出挙動について考察すると次のようになる。低負荷時（トラブル等で汚泥の投入が一時停止したような場合を含む）には、投入汚泥量に対して流動空気量が多すぎるために砂層燃焼率が高くなり、NO_x 放出量が増加する。炉の立ち上げ時には、順次投入汚泥量を増加させていく段階でやはり空気量が過多となることが考えられる。このような条件においても NO_x の放出を抑制するためには、実炉の場合制御可能な空気量の範囲は限られてはいるが、投入汚泥量に合わせた適切な流動空気量を選定することが重要であると考えられる。そのためには O₂ 計により炉内の酸素濃度を常に正しくモニターし、これをフィードバックすることが必要となる。

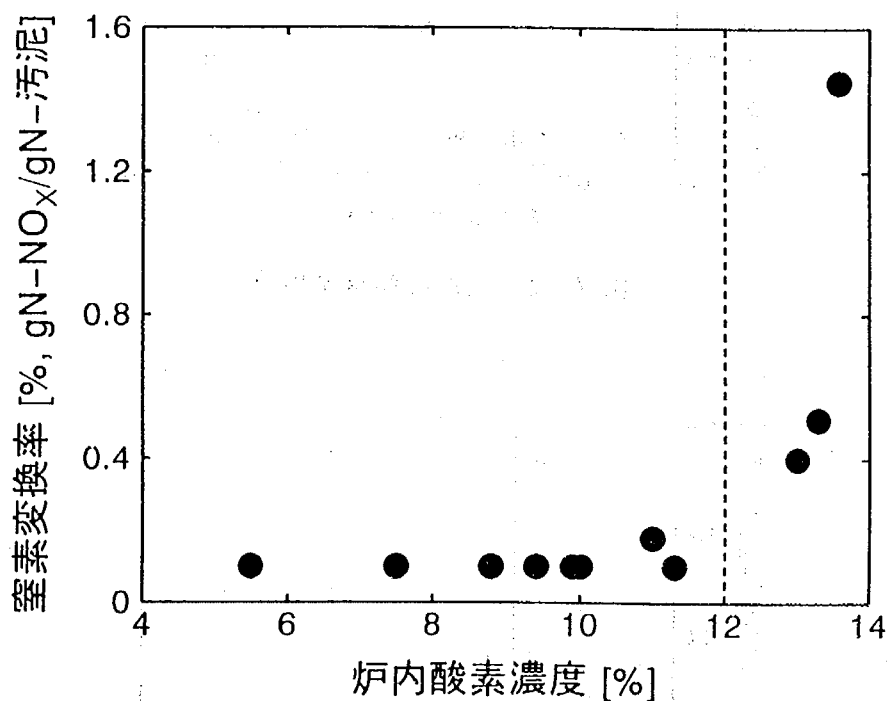


図25 炉内酸素濃度と NO_x 放出量

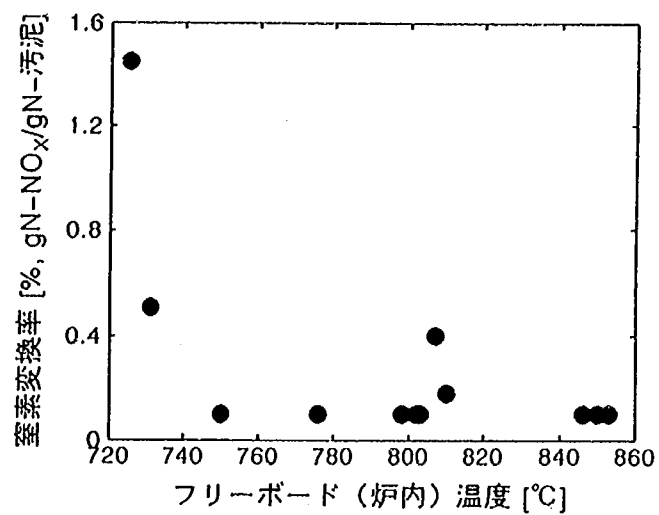


図26 フリーボード温度と NOx 放出量

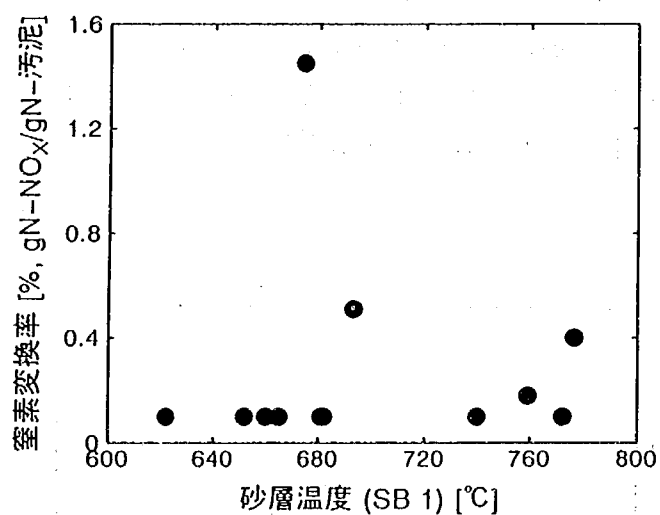


図27 砂層温度と NOx 放出量

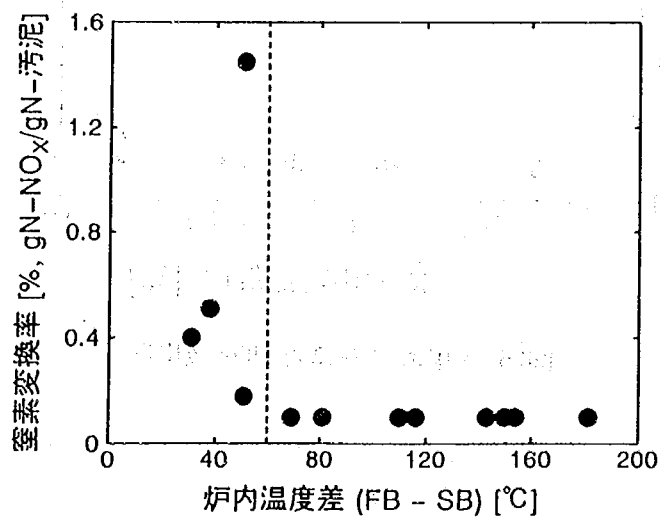


図28 炉内温度差と NOx 放出量

4. 8 N_2O と NO_x の関係

N_2O と NO_x の放出量の関係を図 29 に示す。放出量の単位には窒素変換率を用いた。本焼却炉では砂層燃焼率が低いため、 N_2O の放出量が減少しても NO_x の放出量は増加せず、実験条件の範囲内では、一般にいわれているような N_2O と NO_x の負の相関は見受けられなかった。逆に、フリーボード温度が低くかつ炉内温度差も小さい場合には N_2O 、 NO_x とも多く放出されていた。このような結果から、砂層燃焼率の低い流動焼却炉の場合には、 N_2O と NO_x のトレードオフ関係は成り立たないものと考えられる。

今回の結果を、建設省土木研究所が行った F 市における同様な実験の結果¹³⁾と比較したものが図 30 である。F 市における実験では、処理能力 50 t/d の実稼働下水汚泥流動焼却炉を用いて、炉内温度 750~850 °C、炉内酸素濃度 5.5~9.0 % の範囲で 8 条件のデータがとられた。供試汚泥には石灰系、高分子系の両者が用いられた。図が示すように、名古屋市での結果と F 市での結果とは大きく異なり、極端に言えば、前者は N_2O 放出タイプ、後者は NO_x 放出タイプと位置づけることができる。このような差が生じたのは、名古屋市の焼却炉では砂層燃焼率が低いのに対し、F 市の焼却炉は砂層温度の方がフリーボード温度より高い、砂層燃焼率の非常に高いタイプであったことが原因と考えられる。また F 市の場合、石灰系汚泥を焼却していることも影響しているものと考えられる。

以上のように、同じ流動焼却炉といっても、燃焼条件によらずほとんど N_2O だけが放出されるタイプと逆に NO_x だけが放出されるタイプがあり、この意味においては各焼却炉間には N_2O 、 NO_x のトレードオフ関係が成り立つといえる。またこれら焼却炉のタイプを決定する要因としては、砂層燃焼率と凝集剤（石灰の有無）が考えられる。

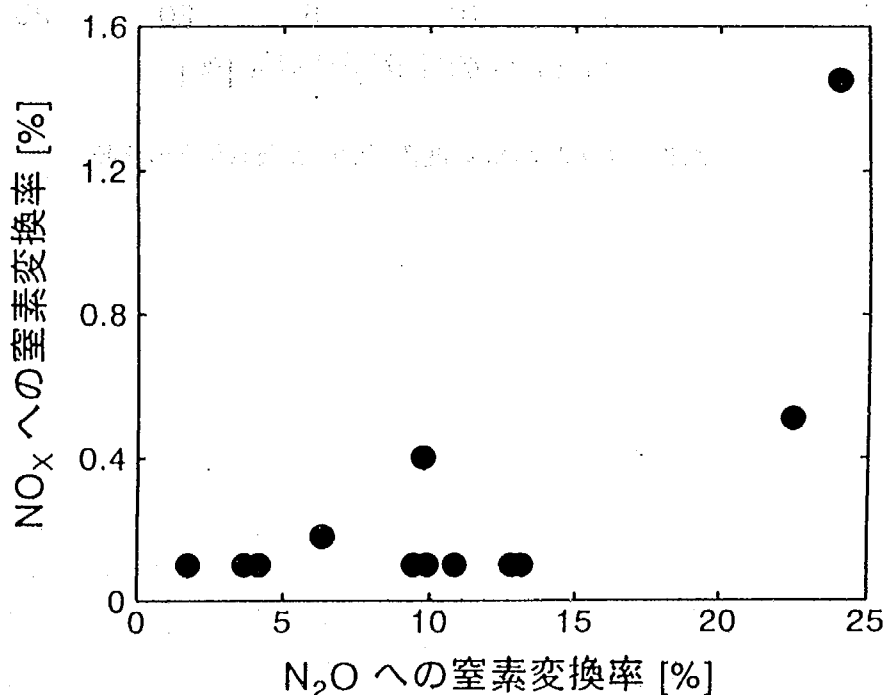


図29 N_2O 放出量と NO_x 放出量の関係

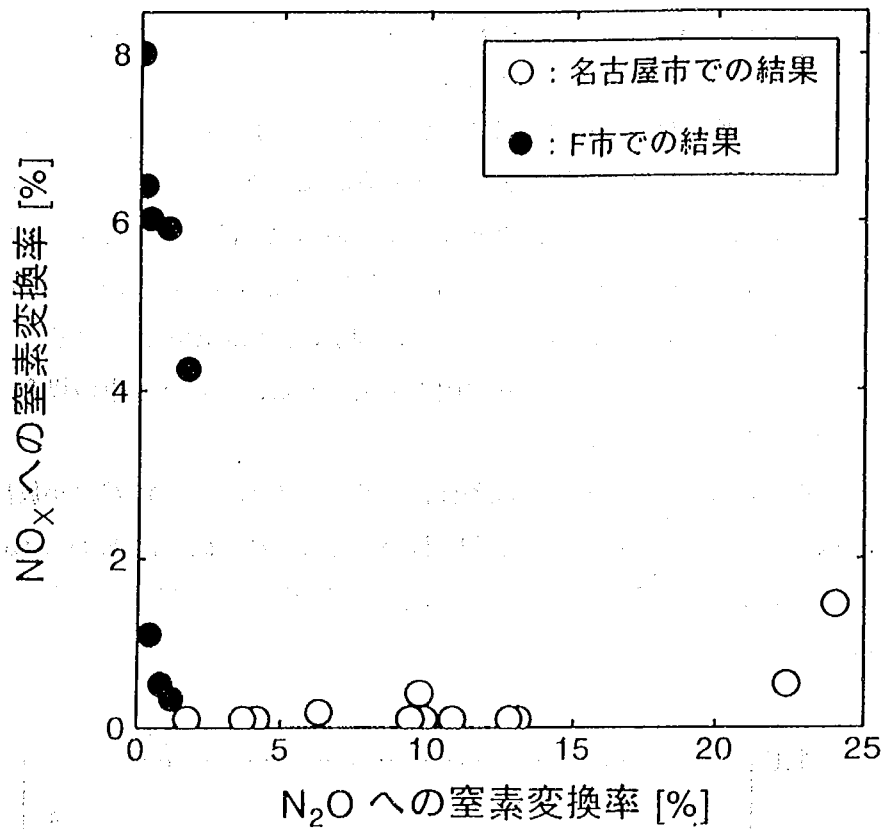


図30 N₂O と NO_x の関係 (他の実験結果との比較)

4. 9 他成分ガスの放出挙動と N_2O との関係

HCN , NH_3 , CO と N_2O の放出量の関係を図 3 1 ~ 3 3 に示す。 HCN , NH_3 については放出量の単位に窒素変換率を用い、 CO については O_2 12% 換算濃度を用いて比較した。

HCN や NH_3 は汚泥の熱分解によって生ずる初期生成物であり、 N_2O はこれらを経由して生成すると考えられている。 これらのうち HCN については N_2O と正の相関が見受けられたが、全体としては明確な関係は見いだせなかった。 今後、焼却炉内での反応経路にまで言及する場合には、これらの物質の挙動が重要になると考えられ、さらに詳細な測定が必要である。 また CO と N_2O には正の相関があると報告されている¹⁾が、今回の調査からは明確でなかった。

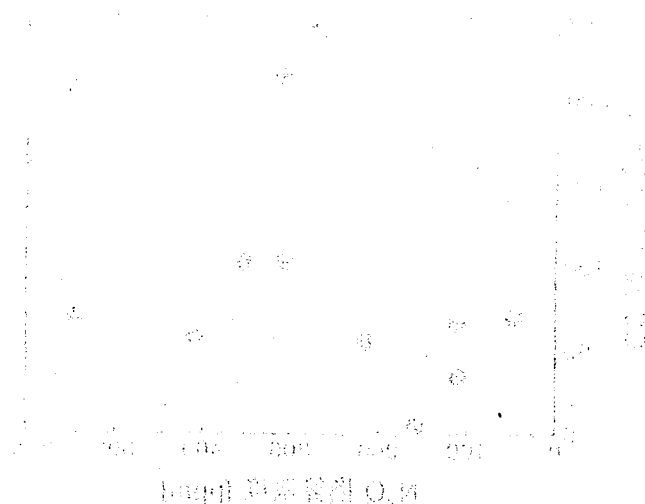
図 3 4 は、今回の実験で測定対象とした 4 つの窒素化合物への窒素変換率を各 RUN ごとに比較したものである。 実験条件によらず窒素変換率の総和の約 9 割を N_2O が占めているため、 N_2O への変換率を減らすことがそのまま窒素化合物の総放出量の低減につながる。

4. 10 最適運転条件の検討

今回の実験により、 N_2O 放出量はフリーボード温度の、 NO_x 放出量は砂層燃焼率の影響を受けることがわかった。 砂層燃焼率の指標としてフリーボードと砂層の温度差を用いるものとすれば、 N_2O と NO_x の放出挙動を図 3 5 のようにまとめることができる。

NO_x は温度差がおよそ 60°C 以上の場合にはほとんど放出されないから、この温度差を維持したままフリーボード温度をより高温とすることにより、低 NO_x 、低 N_2O 運転が可能となる。 具体的にはフリーボード温度を 820°C とすることにより N_2O をおよそ 200 ppm 以下（通常運転時の約 $1/2 \sim 1/3$ の濃度）とすることができる。 これは高分子系多段炉からの放出濃度にほぼ等しい¹⁾。

フリーボード温度を高温とするためには十分な発熱量が必要であり、投入汚泥量や重油量を増加させる必要がある。 その最適な運転条件については、焼却システムの運転管理面、温室効果への影響面、コスト等の各観点から決定する必要がある。 詳細な検討については、 N_2O 放出量の定量的把握を含めて今後の課題である。



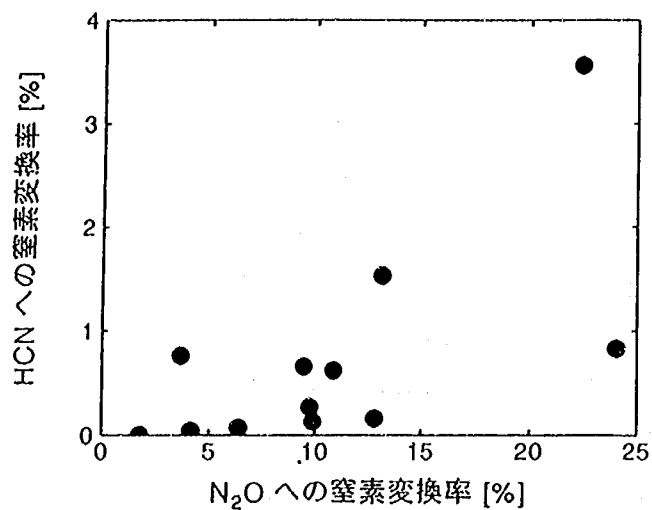


図31 N₂O 放出量と HCN 放出量の関係

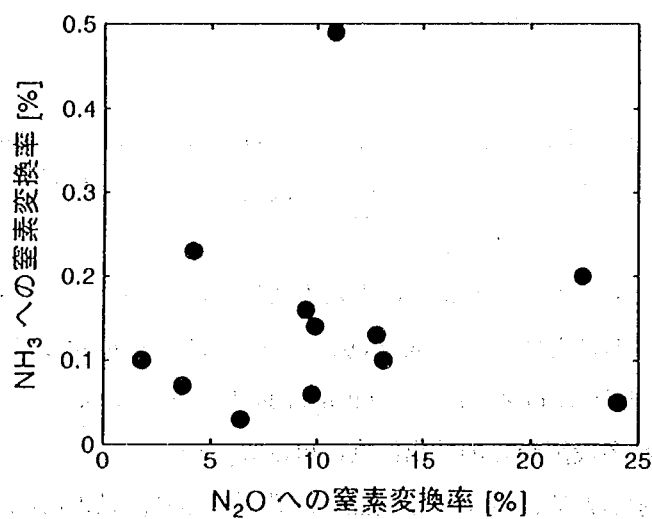


図32 N₂O 放出量と NH₃ 放出量の関係

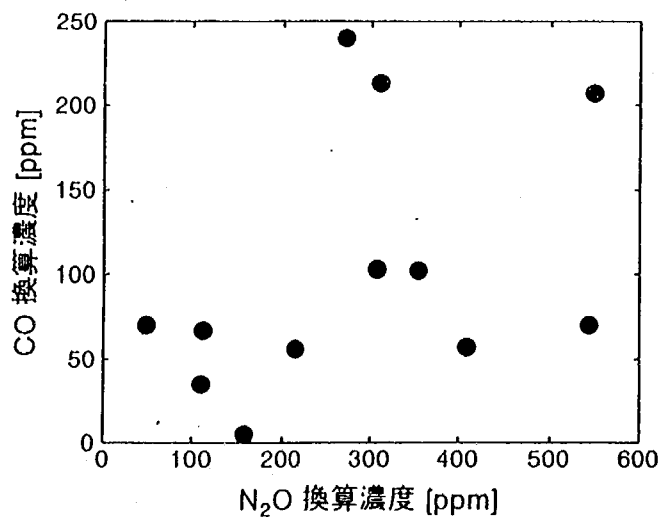


図33 N₂O 放出量と CO 放出量の関係

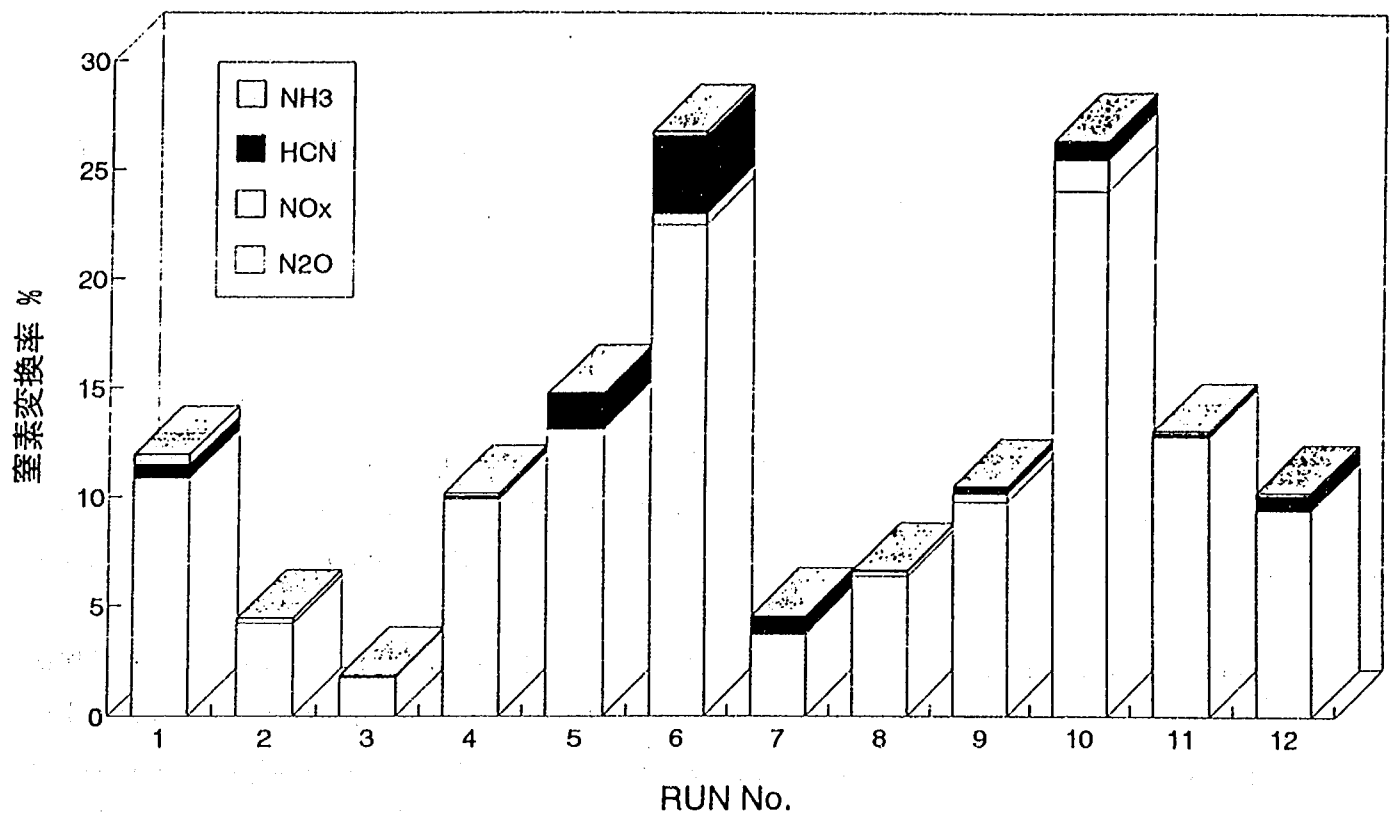


図34 各窒素化合物への変換率の比較

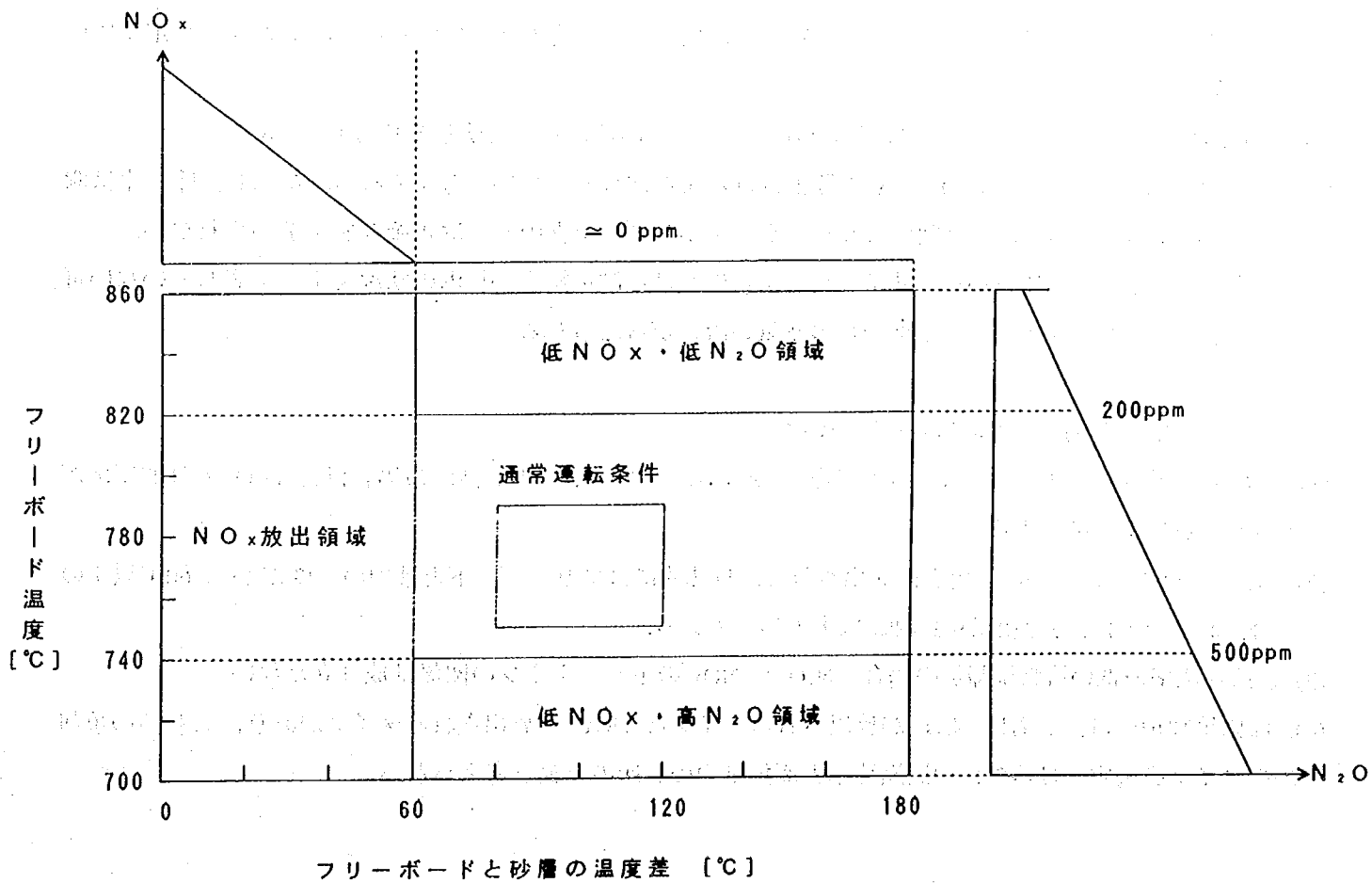


図35 N₂O と NO_x の放出挙動

5. ま と め

本研究では、地球温暖化問題への取り組みの活発化を背景とし、実稼働の流動焼却炉を用いてその運転条件の変動に伴う N_2O 、 NO_x の放出挙動を調査し、その削減を行うための運転条件について検討を行った。

以下に本研究で得られた知見をまとめる。

実験条件について

- (1). 実稼働の流動焼却炉では、流動空気量維持の必要性、ブロウ・ファン能力等からその運転条件に制約が生じる。低温・低酸素濃度（高負荷）、高温・高酸素濃度（低負荷）での実験は難しい。
- (2). 実験期間中の汚泥性状の変化は無視できる程度であった。強熱減量の測定値は 600°C と 800°C でほぼ同じであった。
- (3). 砂層燃焼率は、フリーボードと砂層の温度差およびフリーボード内の温度分布により表される。砂層燃焼率が高い場合にはフリーボード内の温度は下部ほど高温となり、フリーボードと砂層の温度差はおよそ 60°C 以下となる。このような状況は、炉内酸素濃度が高く（約 12% 以上）、投入汚泥量に対し補助燃料の量が多い（低負荷）運転条件のときに生じる。

排ガス量等の測定結果について

- (1). サイクロン出口と誘引ファン出口での測定結果の比較から、排ガス量の測定値は酸素濃度の測定値に比べ誤差が大きいと考えられた。
- (2). N_2O 、 NO_x 等の測定誤差は、その放出の状況が不安定であることを反映して数 10% と大きかった。
- (3). 通常の排ガス処理による N_2O 、 NO_x の除去はほとんど期待できないと考えられる。ただし、除去率は測定誤差の範囲内にあるため、今回のようなスポットサンプリングのみでは正確な値を求められない。
- (4). 燃焼計算の結果との比較から、サイクロン出口における測定結果が炉内の状況を正しく表していない可能性が示唆された。サイクロン下部からの空気の流入が考えられる。

N_2O 、 NO_x の放出挙動とその抑制方法について

- (1). N_2O の放出量はフリーボード温度の影響を受ける。フリーボードが高温の場合ほど N_2O の分解反応が進行し、放出量が減少する。
- (2). NO_x は砂層燃焼率が高い場合に放出される。具体的にはフリーボードと砂層の温度差が約 60°C 以下の場合、および炉内酸素濃度が約 12% 以上の場合である。
- (3). 砂層燃焼率の低い流動焼却炉の場合、 N_2O と NO_x のトレードオフの関係は成り立たない。
- (4). 流動焼却炉には、おもに N_2O が放出されるタイプと NO_x が放出されるタイプがあり、これらの焼却炉のタイプを決定づけるのは砂層燃焼率と凝集剤中の石灰の有無と考えられる。

- (5). HCN や NH_3 の放出量と N_2O の放出量との間には明確な関係が得られなかった。焼却炉から放出される窒素化合物の約 9 割は N_2O であった。
- (6). 低 N_2O , 低 NO_x で焼却炉を運転するためには、フリーボードと砂層の温度差を 60°C 以上に保ったままフリーボード温度を高温 (820°C 以上) とすればよい。この場合の N_2O 放出濃度は、高分子系多段炉からのものと同程度となる (通常運転時の約 $1/2 \sim 1/3$)。

本研究で得られた成果をより確実なものとするためには、以下の内容についてさらに調査を進める必要がある。

- (1). 炉内の状況を正確に把握するためのサイクロン前での流量等の測定。(しかし、この場合排ガス中の粉塵により測定はかなり困難)
- (2). スポットサンプリングによる測定誤差を補うため、 N_2O , NO_x に対しても連続測定を行いその変動のトレンドを確認する。
- (3). 温室効果、焼却コスト、運転管理等の観点からみた最適運転条件についての詳細な考察。
- (4). N_2O 放出量の定量的把握と他の焼却炉での同様な検討。

6. 謝 辞

本共同研究の実施に当たり、多大なご協力をいただいた名古屋市下水道局Y汚泥処理場の関係各位に謹んで謝意を表します。

7. 参考文献

- 1). 松原, 水落 (1994), 下水処理場からの亜酸化窒素放出量調査, 京都大学環境衛生工学研究会第16回シンポジウム.
- 2). 岩崎, 辰市, 上野 (1992), 固定発生源からの N_2O 排出状況とその生成に関する考察, 大気汚染学会誌 27 (2).
- 3). 安田, 高橋 (1992), 汚泥焼却にともなう N_2O の排出挙動, 第3回廃棄物学会.
- 4). 辰市, 岩崎, 上野 (1992), 廃棄物焼却施設からの N_2O の排出について, 第3回廃棄物学会.
- 5). 守富, 鈴木 (1991), 燃焼条件における N_2O 生成機構, 化学工学会関東支部特別講演会.
- 6). Muzio, *et al.* (1989), Errors in Grab Sample Measurement of N_2O from Combustion Sources, JAPCA, 39 (3).
- 7). Ryan, *et al.* (1992), On-Line Measurement of Nitrous Oxide from Combustion Sources by Automated Gas Chromatography, Proc. 5th Intl. Workshop on Nitrous Oxide Emissions, Tsukuba.
- 8). 秋山, 岩崎, 辰市 (1991), 排ガス中の N_2O の採取方法と保存中における N_2O の生成について, 東京都環境科学研究所年報.
- 9). 大井, 竹林 (1979), 下水汚泥の流動焼却に関する一考察, 燃料及燃焼 46 (3).
- 10). 山崎, 新版熱計算入門Ⅲ (燃焼計算), (財)省エネルギーセンター (1989).
- 11). 国立天文台編, 理科年表 平成5年 (1992).
- 12). Hiraki, *et al.* (1992), N_2O Emission Factor of Stationary Combustion Source and N_2O Removal Effect by Ordinary Flue Gas Treatment, Proc. 5th Intl. Workshop on Nitrous Oxide Emissions, Tsukuba.
- 13). 水落, 松原, 竹石, 佐藤 (1994), 下水汚泥流動焼却炉からの N_2O 放出量 —凝集剤と炉内温度の影響について—, 第31回下水道研究発表会.
- 14). 森, 小泉, 永田 (1994), 流動焼却炉における下水汚泥の燃焼特性, 第31回下水道研究発表会.
- 15). 上野, 辰市, 岩崎 (1992), ごみ焼却炉からの亜酸化窒素及びメタンの排出要因の検討, 東京都環境科学研究所年報.
- 16). Lu, *et al.* (1992), A Comparison of Different Parameters in Reducing of N_2O Emissions in Pressurized Fluidized Bed Combustion, Proc. 5th Intl. Workshop on Nitrous Oxide Emissions, Tsukuba.
- 17). Yasuda, *et al.* (1992), Emission of Nitrous Oxide from Waste Management System, Proc. 5th Intl. Workshop on Nitrous Oxide Emissions, Tsukuba.

流動炉における排ガス成分の
挙動解明及び削減に関する
共同研究報告書

共同研究報告書第109号
平成6年12月(1994)

建設省土木研究所
竹石 和夫, 他3名
名古屋市下水道局
前橋 隆介, 他4名

要旨

CO₂の増加による地球温暖化の可能性が検討されて久しいが、最近では亜酸化窒素(N₂O)やメタン、フロンといった微量成分の温室効果への寄与の増大が指摘されている。
本報告書は、実稼働の下水汚泥流動焼却炉を用いて、焼却炉運転条件の変動に伴うN₂O、NO_xの放出挙動について調査するとともに、その削減を目標とした運転条件について検討を行った結果についてとりまとめたものである。

キーワード：下水汚泥、流動焼却炉、亜酸化窒素、窒素酸化物、地球温暖化

郵便はがき

3 0 5 - □ □

50円切手
をはって
下さい。

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所

下水道部汚泥研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



共同研究報告書第 109 号

部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

印