



Title	汚泥焼却炉の排ガス臭気に関する調査
Author(s)	毛利, 吉邦; 藤田, 雅人
Description	第2回衛生工学シンポジウム (平成6年11月10日 (木) -11日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 7 測定・評価 . 7-2
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 2, 264-269
Issue Date	1994-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7625">https://hdl.handle.net/2115/7625</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	2-7-2_p264-269.pdf



## 7-2

### 汚泥焼却炉の排ガス臭気に関する調査

毛利吉邦（（ 奈良県下水道公社浄化センター ）），藤田雅人（株式会社タクマ）

#### 1. はじめに

臭気対策は古くて新しい問題といわれており、近年の居住環境に対する関心の高まりとも相まって、一層注目をあびている。

奈良県浄化センターは大和川上流流域下水道として供用を開始して以来、20年を経過した。臭気対策については、計画段階から現在に至るまで、事前予測や稼働後の調査結果に基づき適切な対策を施してきた。臭気の発生箇所は覆蓋や建屋を設け、汚泥やし渣などの臭気発生物質を取り扱う機器はすべて密閉化し、屋内の機器でも点検などで臭気が漏洩する場合は部屋全体を脱臭対象としている。低濃度臭気は三層添着活性炭で、中～高濃度臭気は汚泥焼却炉で処理をしている。定期的に臭気の実態調査を行い、必要に応じ設備の追加や改善を施してきた。その結果、処理場全体のOERは極めて低く抑制できている。

その一方で、完全燃焼型の汚泥焼却炉の排ガスが値は低いものの、全体のOERに占める割合が高くなってきた。周辺環境や作業環境の保全や下水処理場のイメージの向上などをより一層推進するために、その対策を確立すべく、焼却炉の排ガス臭気の原因物質を調査した。その結果を報告する。

#### 2. 施設の概要

表-1に汚泥焼却施設の概要を示す。

高分子系脱水ケーキを蒸気式間接加熱形乾燥機により水分を25%～40%に低下した後、階段式汚泥焼却炉に投入する。ケーキの燃焼熱を廃熱ボイラで回収し、前述の乾燥機などのプロセス用熱源として利用する。汚泥焼却炉は自動燃焼制御装置（A.C.C）により、最適な燃焼を省エネルギーで行える。燃焼排ガスは下水の二次処理水で冷却後、苛性ソーダでSO<sub>x</sub>やHClを除去し、湿式電気集塵機でばいじんを低レベルまで処理した後煙突を介し大気放出する。

表-1 汚泥焼却施設の概要

項目	内容
焼却対象	下水汚泥脱水ケーキ（高分子系）
容量	設計脱水ケーキ水分=78% 焼却量=90 ton/日（脱水ケーキ）
処理系統	蒸気式間接加熱形乾燥機 ↓ 汚泥焼却炉（階段式焼却炉） ↓ 廃熱ボイラ ↓ マルチサイクロン ↓ 空気-ガス熱交換器（白煙防止用） ↓ ガス冷却・脱硝塔（湿式） ↓ 湿式電気集塵機

#### 3. 調査内容

##### 3.1 焼却炉の運転条件

焼却炉はA.C.Cやその他の制御・調節項目の設定を変更することにより、低NO<sub>x</sub>運転や低CO運転もしくは両者の中間的な運転を選択できる。運転条件が変化すれば、排ガス臭気の質的变化をきたすことが懸念されたため、調査期間中は空気過剰率、各部の温度、火炎の存在位置、排ガスの酸素濃度などの設定条件を一定にした。周辺環境への影響を考慮し、未燃ガスの発生を防止するために、部分的に熱回収した後のボイラ本体水管入口ガス温度を700℃以上、排ガス酸素濃度を6%以上となるよう設定した。

##### 3.2 調査方法

臭気の原因物質を特定するために、以下の3系統に分類して調査を行った。

(1) 「悪臭防止法施行令指定物質」

調査当時（平成5年）はまだ12物質であったが、平成6年度から施行予定であった22物質について定量分析を行った。

(2) 「有機物質」

低沸点および高沸点有機化合物を、ガスクロマトグラフ質量分析法（GC-MS）により、定性分析を行うと同時に、トルエンを対照物質とし、ピークの面積から特定物質の半定量を行った。

(3) 「無機物質」

大気汚染防止法関連物質のうち、臭気を有するものの分析を行った。

4. 調査結果および考察

4.1 「悪臭防止法施行令指定物質」

表-2に排出口（煙突）出口で採取した試料の分析結果を示す。いずれも定量限界未満であったが、分析業者の報告では、燃焼排ガスはガス中のCO<sub>2</sub>などの妨害を受けるため、いわゆる雰囲気ガスと異なり、定量限界が高濃度側へシフトしている。定量限界が検知閾値を上回っているものもあり、明確には判断できないが、検知閾値との対比において特異的に高い物質はなく、実際の臭質が無機的な刺激臭であったことなどから、これらの成分が臭気の主たる原因物質である可能性は低いと判断した。

表-3に当日の焼却炉の運転状況を示す。COは16 ppmであり、完全燃焼形の燃焼が行われていた。なお、排出口における臭気濃度（三点比較式臭袋法）は417であった。

表-2 悪臭防止法施行令指定物質の測定結果

成分名称	分析結果 (ppm)	検知閾値 (ppm)	分析方法 G. C法	成分名称	分析結果 (ppm)	検知閾値 (ppm)	分析方法 G. C法
硫化水素	< 0.005	0.00041	FPD	ノルマル吉草酸	< 0.0005	0.000037	FID
メチルメルカプタン	< 0.005	0.00007	FPD	トルエン	< 10	0.31	FID
硫化メチル	< 0.005	0.003	FPD	キシレン	< 1	※ 0.1	FID
二硫化メチル	< 0.005	0.0022	FPD	酢酸エチル	< 3	※ 0.3	FID
スチレン	< 0.1	※ 0.03	FID	メチルイソブチルケトン	< 1	※ 0.2	FID
アセトアルデヒド	< 0.05	0.0015	—	イソブチノール	< 0.5	※ 0.01	FID
アンモニア	< 0.3	1.54	FID	プロピオンアルデヒド	< 0.05	0.00067	FTD
トリメチルアミン	< 0.002	0.000027	FID	ノルマルブチルアルデヒド	< 0.009	0.00029	FTD
プロピオン酸	< 0.0005	0.0057	FID	イソブチルアルデヒド	< 0.02	0.00055	FTD
ノルマル酪酸	< 0.0005	0.00019	FID	ノルマルパレルアルデヒド	< 0.009	0.00041	FTD
イソ吉草酸	< 0.0005	0.000078	FID	イソパレルアルデヒド	< 0.009	0.000069	FTD

注 記) 分析方法：アセトアルデヒドはJIS K 0099インドフェノール法。  
 その他はガスクロマトグラフ法。  
 検知閾値：※は臭気強度1.0相当濃度。その他は参考文献1)。

4.2 「有機物質」

GC-MSにより、排出口で採取した試料の分析を行った。前述の悪臭防止法施行令指定物質の分析結果ではいずれも定量限界以下であったため、試料を濃縮した後分析した。濃縮法としてドライアイスによる低温濃縮と、Tenax GCによる常温濃縮を行ったが、前者はマススペクトルをとるにいたるピークが得られなかった。図-1、図-2に低沸点、高沸点有機化合物のイオンクロマトグラフを、表-4、5に各々のピークの推定物質名を示す。

表-3 焼却炉の運転状況

排ガス性状	NO <sub>x</sub>	122 ppm (O <sub>2</sub> 12%換算)	温度その他	排ガス量(湿り)	15000 Nm <sup>3</sup> /Hr
	NO <sub>2</sub>	5.5 ppm		一次燃焼室温度	1020~1040℃
	ばいじん	6.0 mg/Nm <sup>3</sup> (O <sub>2</sub> 12%換算)		二次燃焼室温度	810~820℃
	CO	16 ppm (O <sub>2</sub> 12%換算)		ボイラ入口ガス温度	705~720℃
	SO <sub>x</sub>	1 ppm 未満		炉出口ガスO <sub>2</sub>	7.2~7.6%
	臭気濃度	417		全空気過剰率	1.5 ~ 1.6
分析方法	NO <sub>x</sub> : JIS K 0104	亜鉛還元NEDA法	NO <sub>2</sub> : JIS K 0104	ザルツマン吸光度法	
	ばいじん : JIS Z 8808	円筒ろ紙採取法		CO : ガスクロマトグラフ法(TCD)	
	SO <sub>x</sub> : JIS K 0103	比濁法	臭気濃度 : 三点比較式臭袋法(環告第92号)		
	排ガス量 : JIS Z 8808	ピトー管法	O <sub>2</sub> : JIS K 0301	オルザット法	

表-4 図-1のピークの推定物質名

Peak No.	予測される化合物
1	acetaldehyde
2	acetone
3	nitromethane
4	2-butanone
5	?
6	benzene
7	toluene

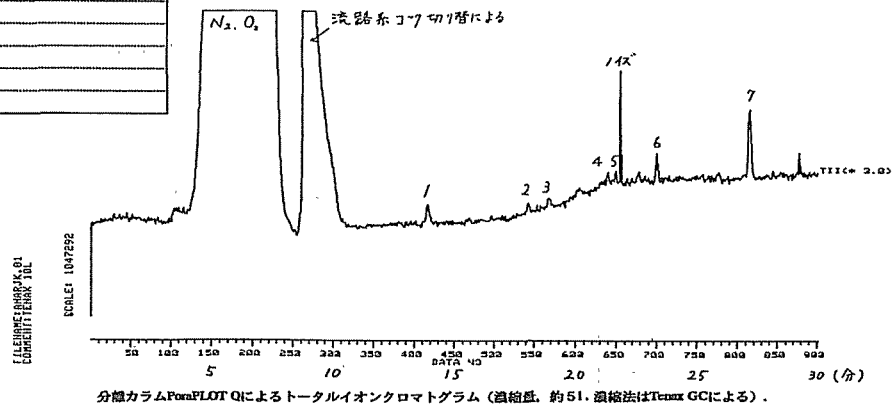


図-1 低沸点有機化合物のイオンクロマトグラム

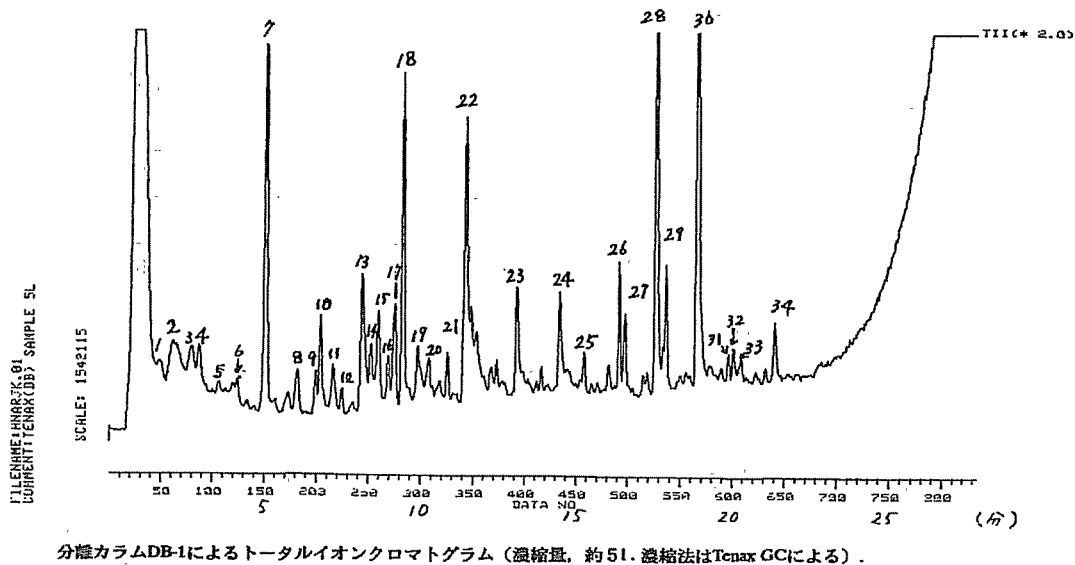


図-2 高沸点有機化合物のイオンクロマトグラム

表-5 図-2のピークの推定物質名

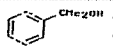
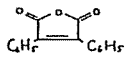
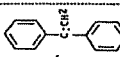

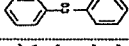
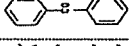
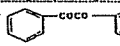
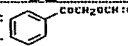
Peak No.	予測される化合物	可能性のある化合物もしくは参考になる化合物
1	acetaldehyde	
2		cyclobutanol
3		2-butanone
4	?	
5	benzene	
6	炭素数7のalkanもしくは炭素数6のketone	
7	toluene	
8	hexamethylcyclotrisiloxane	
9	ethylbenzene	
10	m-tp-xylene	
11	o-xylene	
12	alkan	
13	benzaldehyde	
14		methyl-ethylbenzeneもしくはtrimethylbenzene
15	?	
16	trimethylbenzene	
17	dichlorobenzene+octamethylcyclotetrasiloxane	
18	2-ethyl-1-hexanol	
19	acetophenone	
20	$\alpha, \alpha'$ -dimethylbenzennemethanol	
21	alkan	
22	benzoic acid	
23	中鎖長fatty acid	
24	中鎖長fatty acid	
25	alkan	
26	phenyl-maleic anhydride	
27	1,1'(1,2-dibromo-1,2-ethanedivyl)bis-benzeneもしくは1,1'-ethenyldienebis-benzeneなど	
28		2-phenyl-2,5-cyclohexadiene-1,4-dione
29	diphenylmethanone	
30		naphthalene核を持つ可能性がある
31	diphenyl-ethanedione, 2-(formylloxy)-1-phenyl-ethanedione など	左記のほかベンゾイル基を持った化合物
32	alkan	
33	?	
34	dialkyl phthalate	

図-1および図-2で高いピークをもつトルエンを対照物質とし、濃度が既知のトルエンのピーク面積と試料成分のピーク面積との比較によって各成分の濃度を推定した。表-6にその結果を示す。

図-1、2のすべての物質について濃度の推定はできておらず、推定できた成分でも閾値が不明なものもあるが、ピーク面積が最も大きいトルエンでも20ppbであり、他のほとんどの成分は1ケタ以下のppbオーダーと推測できる。そのトルエンは閾値を大幅に下回っており、かつ前述のように排ガスの臭質が無機的な刺激臭であったことから、有機化合物が臭気の主たる原因物質ではないと判断した。

表-6 推定濃度及び閾値

成分名	濃度	閾 値
トルエン	20 ppb	310 ppb ※1
ベンゼン	2 ppb	4680 ppb ※2
エチルベンゼン	1.5 ppb	不 明
メタ・パラキシレン	3 ppb	※1 メタキシレン= 30 ppb パラキシレン= 60 ppb

注 記) ※1 : 検知閾値, 参考文献(1)  
※2 : 認知閾値, 参考文献(2)

#### 4.3 「無機物質」

表-7に排出口において採取した排ガスについて、大気汚染防止法関連物質のうち、臭気を有するものの分析結果を示す。

NO<sub>2</sub>以外はいずれも検知閾値を下回っている。COは10ppm前後と低く、いわゆる完全燃焼型の焼却炉における排ガス臭気の主たる原因物質は、NO<sub>2</sub>であると判断した。

#### 4.4 NO<sub>2</sub>の経時変化

表-7において、2回目のNO<sub>2</sub>の現場固定後、臭気袋(フレックスサンプラ)にガスを採取し、1時間後と18時間後に各々NO<sub>2</sub>測定(1時間後は現場固定)した。その結果、一旦ピークになった後、漸減する傾向を示した。ピークを示す採取後1時間付近の挙動を再度二回にわたり調査した結果を表-8に示す。

一回目、二回目とも、一旦、臭気袋にガスを採取した後、所定の時間に再度取り出し、分析したものであり、いずれの時間帯のNO<sub>2</sub>も同一の試料である。採取後2時間までは現場にて吸収固定した。

表-8から、採取後30分～1時間でNO<sub>x</sub>の100%がNO<sub>2</sub>になり、絶対濃度は30分～2時間でピークに達した後減少することがわかる。この傾向は流動床式汚泥焼却炉に関する調査報告<sup>3)</sup>と時間の差はあるものの類似しているNO<sub>2</sub>が排ガス臭気の主たる原因物質であり、その濃度が経時変化をすることは、排ガスの臭気濃度は実際の排出口における状態を表すものではないことに注意する必要がある。

なお表-3ではNO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>は4.5%であり、過去の測定例でも2～5%であった。しかし表-8の採取直後の比率は70%と高い。その原因についてはNO<sub>x</sub>の絶対値がピークに達した後漸減する挙動とあわせ、臭気袋内の特異な現象であるか、今後の検討課題といえる。

#### 4.5 NO<sub>2</sub>と臭気濃度の関係

NO<sub>2</sub>が排ガス臭気の主たる原因物質であることから、そのさらなる確認と対策をかねて、選択的還元触媒脱硝装置(SCR)を用いたベンチスケールテストを実ガスを用いて行った。

SCRの入口ガス(=湿式電気集塵機出口ガス)のNO<sub>x</sub>を焼却炉の二次燃焼空気の量および吹き込み位置を変えることにより、低濃度～高濃度に変化させた。NO<sub>2</sub>と臭気濃度は同一の臭気袋に採取し、採取後約24時間目に測定した。

図-3に、SCRの入口および出口ガスの、図-4に、SCRの出口ガスのみのNO<sub>2</sub>と臭気濃度の関係を示す。

表-7 大気汚染防止法関連物質の分析結果

物質名	測定値		検知閾値	分析方法
NO <sub>2</sub> (ppm)	1回目	4.5	0.03	JIS K 0104 ザルツマン吸光光度法
	2回目	4.8		
	1時間後	68.4		
	18時間後	56.4		
HCℓ (ppm)	1回目	0.07	10	イオン クロマトグラフ法
	2回目	0.07		
SO <sub>2</sub> (ppm)	1回目	0.07	0.47	イオン クロマトグラフ法
	2回目	0.06		
Cl <sub>2</sub> (ppm)	1回目	0.14	0.314	JIS K 0104 オートリジッ 吸光光度法
	2回目	0.18		
CO (ppm)	1回目	11.3	無臭	JIS K 0098 ガスクロマトグラフ法
	2回目	9.3		
CO <sub>2</sub> (%)	1回目	4.11	無臭	ガスクロマトグラフ法
	2回目	4.12		
運転状況その他				
NO <sub>x</sub> (O <sub>2</sub> 12%換算値) 〔連続分析計〕			1回目: 111 ~ 132 ppm 2回目: 129 ~ 154 ppm	
一次燃焼室温度			1030 ~ 1100 °C	
二次燃焼室温度			820 ~ 890 °C	
総合空気過剰率			1.4 ~ 1.6	
臭気濃度			308 (採取後約18時間後に測定)	

注記) 採取後18時間後のNO<sub>2</sub>と臭気濃度は、同一の臭気袋に採取したものを測定した。

表-8 NO<sub>2</sub>の経時変化

回	経過時間	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> (%)
1 回 目	0 Hr	57	80	71.3
	0.5 Hr	110	110	100
	1.0 Hr	110	110	100
	2.0 Hr	92	92	100
	24 Hr	39	39	100
2 回 目	0 Hr	43	61	71.7
	0.5 Hr	64	80	80
	1.0 Hr	74	74	100
	2.0 Hr	81	81	100
	24 Hr	64	67	95.5

注記) 濃度はいずれもO<sub>2</sub>未換算。

図-3から、ばらつきはあるものの、両者に正の相関があるように見える。図-4ではその関係がより明確に表れており、燃焼排ガスの臭気の主たる原因物質は $\text{NO}_2$ として差し支えないものと考えられる。両者が高濃度側になればその関係にばらつきが多くなっている。これは、臭気濃度の測定法などに起因するものと思われる。

図-3において、SCRの入口が出口に対して上側へシフトしているようにもみられるが触媒により臭質が変化している可能性もあり、今後の検討課題としたい。なお還元剤として使用したアンモニアのリーク濃度による臭気濃度の上昇は、計算上（アンモニア濃度／アンモニアの検知閾値）は0.5～10程度であり、脱硝後の臭気濃度に占める割合は微々たるものであった。ただし、現行の悪臭防止法を遵守する濃度に抑制する必要があることはいうまでもない。

### 5. おわりに

完全燃焼型の下水汚泥焼却炉の排ガス臭気について調査した結果、臭気の主たる原因物質は、 $\text{NO}_2$ であることがわかった。

さらに、 $\text{NO}_2$ は排出後に $\text{NO}$ の酸化によって一旦増加し、その後減少する挙動を示した。したがって、臭気濃度の影響を検討する場合は、経時変化を考慮する必要がある。

なお、焼却炉の形式や燃焼形態の相違により、 $\text{NO}_2$ 以外の物質が主たる原因物質となることもあるので注意を要する。

$\text{NO}_2$ を含むガスを発生する機器や装置は今回調査した焼却炉以外にも数多く存在する。これらのすべてが臭気濃度上の問題となるかは、発生量や濃度、移動・固定などの発生源の種別などにより一概に判断できない。しかし、居住環境に対する関心が高まる中で、今後ともその影響や対策について検討する必要がある。

### 【参考文献】

- 1) 建設省土木研究所：臭気と脱臭方法に関する調査、第2次、第3次中間報告書 (1979, 1980)
- 2) G. Leonardos, J. : Air Poll., Cont., Assoc., 19, 94, (1969)
- 3) 西海 里, 奥 修兵, 山田昭捷：燃焼排ガスの臭気濃度について, P P M pp. 35-41 (11/1980)

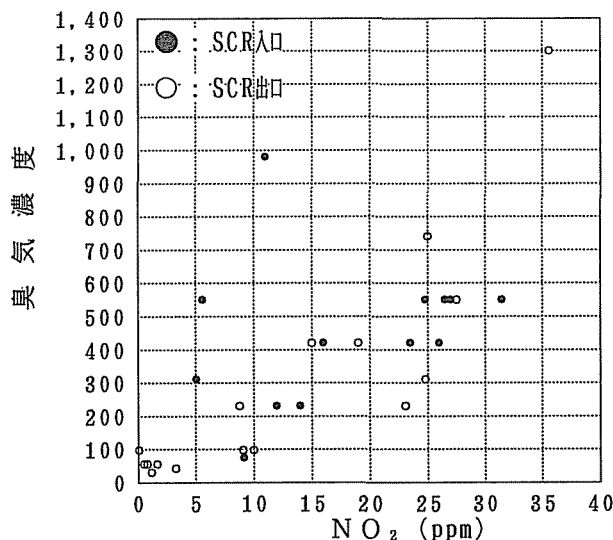


図-3  $\text{NO}_2$  と臭気濃度 (SCR入口+出口)

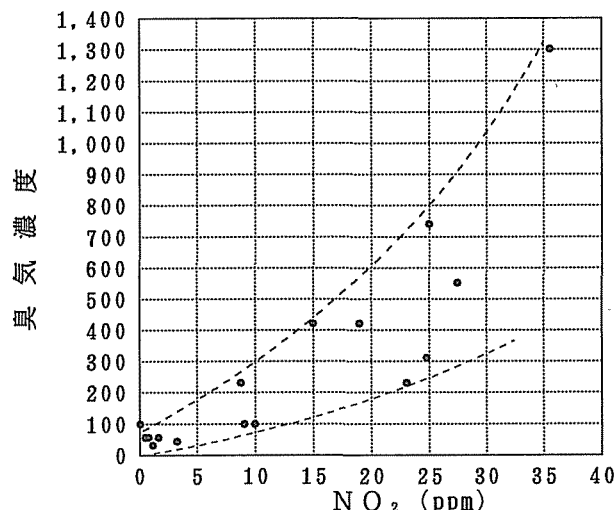


図-4  $\text{NO}_2$  と臭気濃度 (SCR出口)