

# し尿処理場における悪臭排出実態と悪臭防止対策について

山口県環境保健研究センター

梅本 雅之・藤本 貴行\*・杉山 邦義

竹林 健二

## Characteristics of Odor Emission and Odor Control in a Night - Soil Treatment Plant

Masayuki UMEMOTO, Takayuki FUJIMOTO, Kuniyoshi SUGIYAMA

Kenji TAKEBAYASHI

Yamaguchi Prefectural Research Institute of Public Health

### はじめに

山口県では、悪臭発生源事業所の改善を図るため、1981年度から「悪臭防止対策状況調査」を実施し、悪臭防止対策を講じた事業所について実測調査を行い、事例に応じた有効な悪臭防止対策に関する知見を集積してきた。

前年度の下水道終末処理場での調査<sup>1)</sup>に引き続き、1999年度は高濃度臭気を汚泥焼却炉の燃焼用空気として焼却処理することによって脱臭を行う設備を導入した新設し尿処理場について、実測調査を行った。

### 調査方法

#### 1 調査日程

事前調査を1999年6月21日に、本調査を1999年7月13日に実施した。

#### 2 事業所の概要調査

事業所の概要、施設の運転状況、悪臭の発生状況、悪臭防止対策状況等について、聞き取り調査を実施した。

#### 3 実測調査

事業所配置及び試料採取箇所を図1に示す。

事業所内では、臭突、煙突及び臭気処理工程ダクト等の8箇所(A-1~A-8)で臭気試料を採取した。

また、事業所敷地境界線では、調査当日の風向等を考慮した2箇所(B-1, B-2)で臭気試料を採取した。

##### (1) 機器測定

悪臭防止法(以下「法」という)で規制されている22種類の特定悪臭物質のうち、し尿処理場から排出される主要な悪臭物質であるアンモニア、硫黄化合物4物質(硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチ

ル、二硫化メチル)及び低級脂肪酸4物質(プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸)の計9物質について、表1に示すように、環境庁告示の「特定悪臭物質の測定の方法」にしたがって分析した。

表1 測定項目及び測定方法

項目	試料採取方法	測定方法
アンモニア	0.5%ホウ酸溶液に吸収	インドフェノール吸光度法
硫黄化合物	10Lポリふっ化ビニルフィルム製バッグに採取	GC-FPD
低級脂肪酸	水酸化ストロンチウムを被覆したガラスビーズに捕集	GC-FID
臭気濃度	10Lポリふっ化ビニルフィルム製バッグに採取	三点比較式臭袋法
臭気強度	試料採取時に採取者により嗅覚試験	6段階臭気強度表示法

##### (2) 嗅覚測定

三点比較式臭袋法により臭気濃度を求め、次に示したように臭気濃度から臭気指数を算出した。

$$Y = 10 \cdot \log_{10} X \quad \dots (1)$$

X: 臭気濃度

Y: 臭気指数

なお、敷地境界線の試料採取時には、6段階臭気強度表示法による臭気強度も併せて求めた。

\*山口県健康福祉部薬務課: 山口市滝町1-1

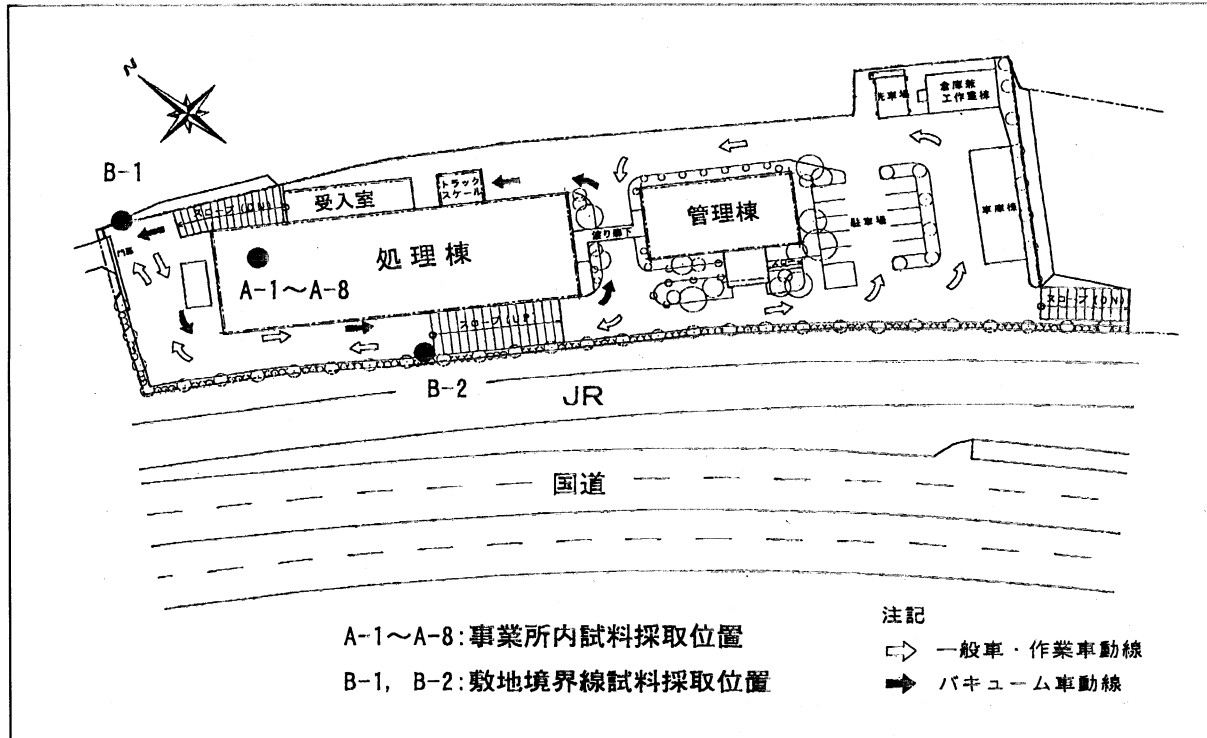


図1 事業所配置及び試料採取箇所

**結果**

1 事業所の概要及び調査当日の稼働状況

当事業所は、膜分離高負荷生物脱窒素法によるし尿処理場で、その概要は表2に示すとおりである。なお、調査当日は通常どおり運転を行っていた。

表2 事業所の概要

業種	し尿処理場
運転開始	1999年3月(施設全面更新)
敷地面積	8806 m <sup>2</sup> (処理棟: 1874 m <sup>2</sup> )
従業員数	5人
処理能力	38kL/日
処理方法	膜分離高負荷生物脱窒素法
運転状況	24時間連続
悪臭処理法	高濃度臭気: 焼却処理(昼間) "          : 酸・アルカリ洗浄+活性炭吸着(夜間) 中濃度臭気: 酸・アルカリ洗浄+活性炭吸着 低濃度臭気: 活性炭吸着

2 し尿の処理工程

し尿の処理工程は、図2に示すように、受入・貯留工程、主処理工程及び高度処理・消毒放流工程の3段階に分けられる。まず、受入貯留工程では、搬入したし尿等を受入槽(沈砂槽)に投入し、金属や砂類を除去した後、粗大な紙や布などを破碎処理する。破碎し尿は、微細目スクリーンを用いた夾雑物除去装置と、繊維除去装置の2段で処理し微細な砂類を除去する。

次に、主処理工程では、除砂後のし尿に含まれるBODや窒素を活性汚泥(硝化菌、脱窒菌等)の働きにより処理し、平膜式限外ろ過機を用いた硝化脱窒膜分離装置により処理水を分離する。ここでは、同時に大腸菌やその他の細菌が完全に発育阻止される。

BOD、窒素が除去された二次処理水は、高度処理・消毒放流工程において、凝集処理と凝集膜分離装置の組み合わせにより、リンの除去とCOD、色度の低減が行われる。さらに、活性炭吸着処理により残余の色度とCODを除去し、消毒後放流される。当事業所の放流水質は表3に示すとおりである。

なお、主処理工程及び高度処理工程からの余剰汚泥は、脱水助剤を添加して遠心脱水し、汚泥乾燥機(ロータリーキルン)で乾燥後、焼却炉で脱水し渣とともに混焼される。

表3 放流水質

流量	76 m <sup>3</sup> /日
pH	5~9
BOD	10mg/L 以下
COD	20mg/L 以下
SS	5mg/L 以下
全窒素	10mg/L 以下
全リン	1mg/L
色度	20度以下
大腸菌群数	1000個/mL 以下

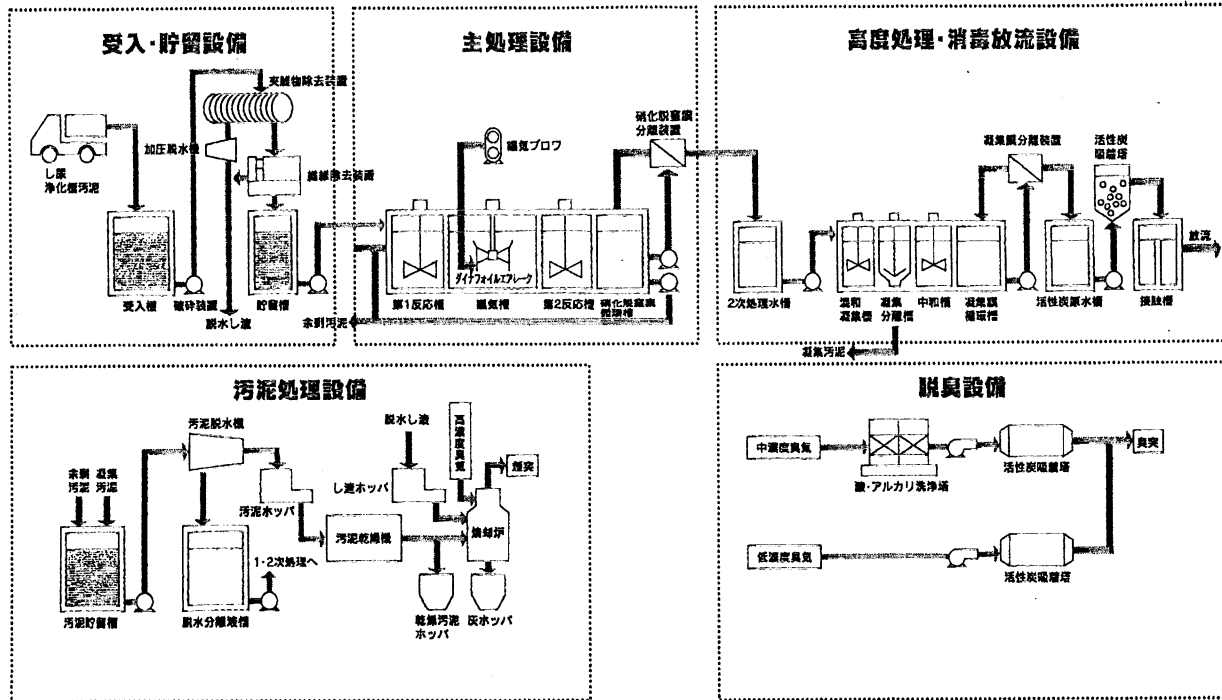


図2 施設のフローシート

3 悪臭防止対策

当事業所では、悪臭防止対策として事業所内の各工程で発生する臭気を高濃度臭気、中濃度臭気、低濃度臭気の3系統に分け効率的に処理している。これは、し尿処理施設から発生する臭気対策として現在一般的な方法とされている<sup>2)</sup>。

図3に示すように、し尿貯留槽等から発生する高濃度臭気は、汚泥焼却炉の燃焼用空気として供給され、高温下で燃焼分解することにより脱臭され、煙突から排出

される。反応槽等から発生する中濃度臭気は、酸・アルカリ・次亜塩素酸ナトリウムによる薬液洗浄後、活性炭により吸着処理される。また、受入室から発生する低濃度臭気は、活性炭吸着処理される。これら中濃度と低濃度の処理臭気は併せて臭突から排出される。

なお、焼却炉が稼働していない夜間等は、高濃度臭気は中濃度臭気と同様の工程で、薬液洗浄を通った後活性炭吸着処理される。

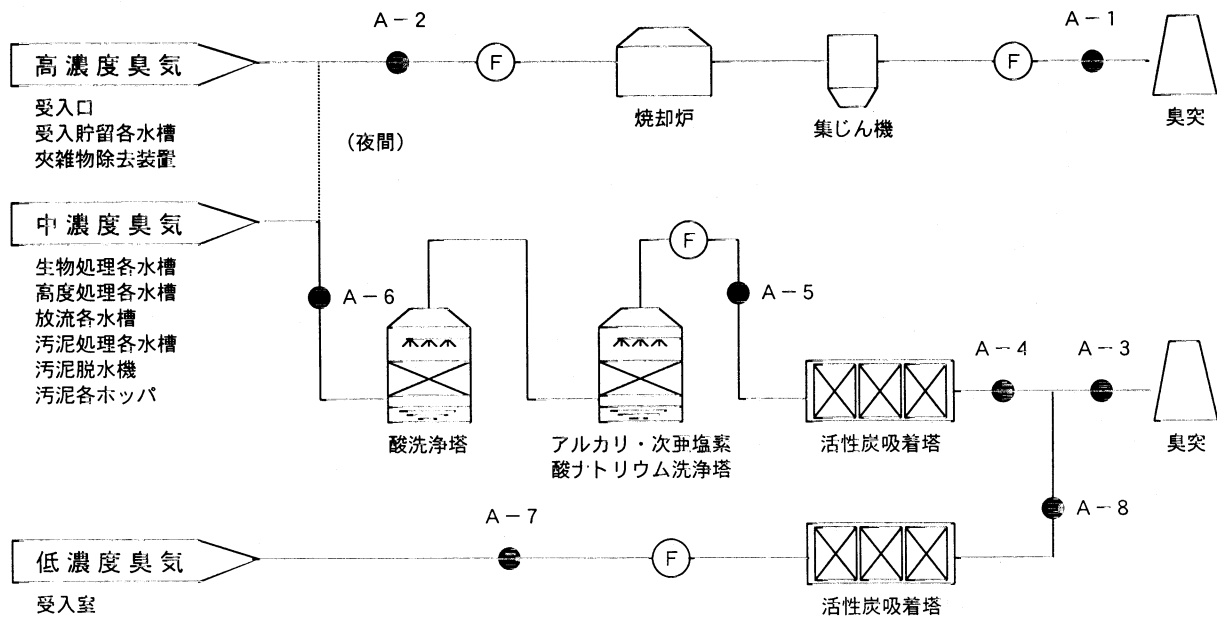


図3 脱臭処理工程及び試料採取位置

4 機器測定結果

(1) 事業所内

測定結果を表4-1及び表4-2に示した。事業所内8箇所のうち、受入口やし尿貯留槽等から発生する高濃度臭気の入口(A-2)では、今回測定対象とした9物質全てが検出された。特に、アンモニア及び硫化水素が、いずれも20ppmと高濃度であった。次いで、硫化メチル(160ppb)、メチルメルカプタン

(68ppb)等の硫黄系化合物が比較的高濃度で検出された。

各反応槽等から発生する中濃度臭気の入口(A-6)では、プロピオン酸とノルマル吉草酸を除く7物質が検出され、このうちアンモニアが1.5ppmで最も濃度が高かった。

受入室から発生する低濃度臭気の入口(A-7)では、9物質全てが検出下限値未満であった。

表4-1 機器分析結果(事業所内)

単位: ppb

試料採取箇所		記号	アンモニア	硫化水素	メチルメルカプタン	硫化メチル	二硫化メチル
高濃度臭気	焼却炉入口	A-2	20000	20000	68	160	22
	煙突入口	A-1	1800	<5	<20	<30	<2
中濃度臭気	酸洗浄塔入口	A-6	1500	5.5	8.8	14	1.5
	アルカリ洗浄塔出口	A-5	<50	0.40	<0.2	4.3	0.16
	活性炭吸着塔出口	A-4	<50	<0.06	<0.2	<0.3	3.7
低濃度臭気	活性炭吸着塔入口	A-7	<50	<0.06	<0.2	<0.3	<0.02
	活性炭吸着塔出口	A-8	<50	<0.06	<0.2	<0.3	<0.02
中濃度臭気+低濃度臭気	臭突入口	A-3	<50	<0.06	<0.2	<0.3	0.31

表4-2 機器分析結果(事業所内)

単位: ppb

試料採取箇所		記号	プロピオン酸	ノルマル酪酸	ノルマル吉草酸	イソ吉草酸
高濃度臭気	焼却炉入口	A-2	3.6	0.67	0.078	0.49
	煙突入口	A-1	<0.57	<0.094	<0.053	<0.053
中濃度臭気	酸洗浄塔入口	A-6	<0.57	0.21	<0.053	0.34
	アルカリ洗浄塔出口	A-5	<0.57	<0.094	<0.053	<0.053
	活性炭吸着塔出口	A-4	<0.57	<0.094	<0.053	<0.053
低濃度臭気	活性炭吸着塔入口	A-7	<0.57	<0.094	<0.053	<0.053
	活性炭吸着塔出口	A-8	<0.57	<0.094	<0.053	<0.053
中濃度臭気+低濃度臭気	臭突入口	A-3	<0.57	<0.094	<0.053	<0.053

一方、当事業所の気体排出口は、煙突(A-1)及び臭突(A-3)の2箇所であり、気体排出口については、法又は山口県公害防止条例(以下「条例」という)により特定悪臭物質の排出許容限度が定められている。当事業所は法の規制地域外に位置しており、法の基準は適用されない。さらに条例の規制も受けないが、参考のため、条例のし尿処理施設の基準(山口県における法のB地域の基準:臭気強度3に相当)と比較した。なお、今回測定対象とした9物質のうち、排出口の基準が設定されているのは、アンモニア及び硫化水素のみであり、他の物質については大気中の拡散過程において生じる化学変化についての知見が不足していること等の理由により、現在のところ基準は定められていない。

表5に気体排出口からの特定悪臭物質の排出量と、排出許容値(参考値)を示した。表中の排出許容値は、排出口の補正高さに応じて定められる数値で、次式によって算出した値である。

$$q = 0.108 \times He^2 \times Cm \quad \dots\dots (2)$$

q : 排出許容値 [m<sup>3</sup>/h]

He : 排出口の補正高さ [m]

Cm : 敷地境界線における基準値 [ppm]

なお、気体排出口の排ガス量及び補正高さは、表6に示した。

表5に示すとおり、特定悪臭物質の排出量は、いずれも排出許容値(参考値)を大きく下回っていた。

表5 排出口からの臭気物質排出量

排出箇所	アンモニア (m <sup>3</sup> /h)		硫化水素 (m <sup>3</sup> /h)	
	排出量	参考基準値*	排出量	参考基準値*
煙 突	1.8 × 10 <sup>-2</sup>	136	5.0 × 10 <sup>-5</sup>	4.1
臭 突	8.0 × 10 <sup>-4</sup>	95	9.5 × 10 <sup>-7</sup>	2.9

\* 注) 当事業所は、法及び条例の規制対象外であるが、参考のため条例(法のB地域に相当)の値を用いた。

表6 排ガス量及び排出口の補正高

排出箇所	排ガス量 (m <sup>3</sup> /h)	排ガス温度 (℃)	断面積 (m <sup>2</sup> )	実高さ (m)	補正高 (m)
煙 突	9995	250	0.38 (φ=0.7m)	18.3	25.1
臭 突	15900	30	0.64 (0.8m×0.8m)	18.3	21.0

## (2) 敷地境界線

事業所敷地境界線における調査対象9物質の濃度は、表7-1及び表7-2に示すように、いずれも定

量下限値未満であった。また、参考のため、条例の基準値(法のB地域に相当)と比較した結果、各物質の濃度は基準値(参考値)を大きく下回っていた。

表7-1 機器分析結果(事業所敷地境界線)

単位: ppb

試料採取箇所	記号	アンモニア	硫化水素	メチルメルカプタン	硫化メチル	二硫化メチル
敷地境界線No.1(入口側)	B-1	<50	<0.06	<0.2	<0.3	<0.02
敷地境界線No.2(線路側)	B-2	<50	<0.06	<0.2	<0.3	<0.02
参考基準値*	-	2000	60	4	50	30

表7-2 機器分析結果(事業所敷地境界線)

単位: ppb

試料採取箇所	記号	プロピオン酸	ノルマル酪酸	ノルマル吉草酸	イソ吉草酸
敷地境界線No.1(入口側)	B-1	<0.57	<0.094	<0.053	<0.053
敷地境界線No.2(線路側)	B-2	<0.57	<0.094	<0.053	<0.053
参考基準値*	-	70	2	2	4

\* 注) 当事業所は、法及び条例の規制対象外であるが、参考のため条例(法のB地域に相当)の値を用いた。

## 5 嗅覚測定結果

## (1) 事業所内

事業所内での嗅覚測定結果を表8に示した。

山口県悪臭防止対策指導要綱(以下「要綱」という)では、事業所の気体排出口における臭気指数の指導基準値を定めているが、当事業所の気体排出口のうち基準が適用される煙突及び臭突の臭気指数はそれぞれ29及び14で、指導基準値の32を下回っていた。特に、臭突の臭気指数は14まで低下しており、非常に良好な脱臭効果が認められた。

なお、環境庁が一般的なボイラー20施設を対象として実施した煙突での嗅覚試験<sup>3)</sup>によると、臭気濃度の平均値は780(臭気指数で28.9)である。この結果と比較すると、今回得られた煙突での臭気指数29という値はこれと同程度であり、高濃度臭気は焼却により十分脱臭され、通常のボイラー排ガスの臭気レベルまで低減されたといえる。

表8 嗅覚測定結果 (事業所内)

試料採取箇所	記号	臭気濃度	臭気指数	指導基準値 (臭気指数)	
高濃度臭気	焼却炉入口	A-2	230000	54	-
	煙突入口	A-1	730	29	32*
中濃度臭気	酸洗浄塔入口	A-6	1700	32	-
	アルカリ洗浄塔出口	A-5	170	22	-
	活性炭吸着塔出口	A-4	230	24	-
低濃度臭気	活性炭吸着塔入口	A-7	27	14	-
	活性炭吸着塔出口	A-8	27	14	-
中濃度臭気+低濃度臭気	臭突入口	A-3	28	14	32*

(2) 敷地境界線

敷地境界線での嗅覚測定結果を表9に示した。

試料を採取した2箇所のうち、入口側での測定結果が、要綱の指導基準値14を超えていた。これは、

受入室へ車両が出入りする際に臭気の採取を実施したため、車両または受入室臭気の影響を受けた可能性が考えられる。

表9 嗅覚測定結果 (事業所敷地境界)

試料採取箇所	記号	臭気濃度	臭気指数	臭気強度	気象状況 (天候、気温、風向、風速)
敷地境界線No.1 (入口側)	B-1	69	18	2	曇り, 32℃, Calm
敷地境界線No.2 (線路側)	B-2	23	14	2	曇り, 29℃, SE, 0.8m/s
県要綱に基づく指導基準値	-	-	14	-	-

考 察

1 臭気処理装置の脱臭効率

当事業所の臭気処理施設について、その前後の特定悪臭物質の濃度又は臭気濃度から脱臭効率を求めて表10に示した。

まず、高濃度臭気を処理している焼却炉では、臭気濃度で99.7%と極めて良好な脱臭効率を示した。煙突出口の臭気濃度は730まで減少しており、この値は前述したようにボイラーで通常観測されるレベルであり、焼却炉による脱臭が十分に機能していることを裏付けている。また、焼却炉入口で高濃度であったアンモニア及び硫化水素についても、それぞれ91%及び99%以上と良好な脱臭効果が認められた。

また、中濃度臭気では酸・アルカリ洗浄塔と活性炭吸着塔の組み合わせにより処理されているが、臭気濃度で脱臭効率をみると86.4%で良好であった。測定対象物質のうち、処理対象ガス中に比較的高濃度に存在していたアンモニアについても、脱臭効率が96%以上と良好であった。

なお、低濃度臭気については活性炭吸着塔による臭気処理がされているが、9種の特定悪臭物質については処理ガス中の物質濃度が非常に低く、いずれも検出下限値未満であったので、脱臭効率を算定できなかった。臭気濃度についても、入口側で臭気濃度27と、既に低い値であったため脱臭効果は確認できなかった。

表10-1 脱臭設備の脱臭効率(1)

単位：%

処理対象臭気	脱臭設備	アンモニア	硫化水素	メチルメルカプタン	硫化メチル	二硫化メチル
高濃度臭気	焼却炉	91	>99	>70	>81	>90
中濃度臭気	酸アルカリ洗浄塔	>96	93	>97	69	89
	活性炭吸着塔	>96	>98	>97	>97	(250)
低濃度臭気	活性炭吸着塔	-	-	-	-	-

表10-2 脱臭設備の脱臭効率(2)

単位：%

処理対象臭気	脱臭設備	プロピオン酸	ノルマル酪酸	ノルマル吉草酸	イソ吉草酸	臭気濃度
高濃度臭気	焼却炉	84	>85	>32	>89	99.7
中濃度臭気	酸アルカリ洗浄塔	-	55	-	84	90.0
	活性炭吸着塔	-	55	-	84	86.4
低濃度臭気	活性炭吸着塔	-	-	-	-	0.0

注1) 中濃度臭気の脱臭効率は、原ガスに対するそれぞれの脱臭設備出口の濃度比から算出した。

注2) 除去率のうち括弧書きの数値は、出口濃度が入口濃度を上回ったもので、入口濃度に対する出口濃度の比を表す。

注3) -は、入口及び出口の濃度がNDで、脱臭効率が算出できなかったことを示す。

## 2 臭気排出強度

当事業所から発生する臭気の規模を推定し、また、どの排出口からの寄与が大きいかを推定するため、排ガ

ス量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ ) と臭気濃度の積から臭気排出強度を求めて表11に示した。

表11 気体排出口からの臭気排出強度

気体排出口	排ガス量 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	臭気濃度	臭気排出強度 ( $\text{m}^3/\text{min}$ )	臭気排出強度の割合 (%)
煙 突	167	730	$1.2 \times 10^5$	94
臭 突	265	28	$7.4 \times 10^3$	6
合 計	-	-	$1.3 \times 10^5$	100

その結果、高濃度臭気処理している焼却炉煙突から全体の90%以上が排出されており、当事業所における臭気的主要な排出口となっていることが分かった。

また、中濃度及び低濃度臭気の処理排ガスを排出している臭突の寄与は10%以下であり、全体に占める割合は小さいことが分かった。

排出口からの総臭気排出強度は  $1.3 \times 10^5 \text{m}^3/\text{min}$  であり、重田が示した「臭気排出強度と悪臭苦情の起こり具合」<sup>4)</sup>によれば、「現在、小規模の公害が起こっているか、その可能性を内在している」に該当した。

今回調査を実施した事業所の場合、周辺に住居等はなく、立地条件から苦情が発生することはないと考えられるが、事業所の立地条件や風向などの気象条件によっては、同程度の総臭気排出強度の事業所では苦情を発生する可能性もある。

## 3 他施設との比較

高濃度臭気対策として焼却処理を行っていない他のし尿処理場との比較を行った。

1991年7月に当センターで調査を実施したAし尿処理場は、高濃度臭気ガスと低濃度臭気ガスを併せて水洗脱臭塔及びアルカリ脱臭塔で処理しているが、高濃度臭気対策として焼却処理は実施していない。

両施設について、総臭気排出強度を比較すると、Aし尿処理場が  $2.8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{min}$  であるのに対し、今回の対象事業所では  $1.3 \times 10^5 \text{m}^3/\text{min}$  であり、20分の1程度と小さかった。

これは、Aし尿処理場では高濃度臭気ガスと低濃度臭気ガスを併せて水洗脱臭塔及びアルカリ脱臭塔で処理しているものの、処理後においても臭気濃度で6500と十分に低減できていなかったのに比べ、今回の対象

事業所では高濃度臭気を焼却処理により臭気濃度730まで低減していることに起因している。

このことから、今回の対象事業所における高濃度臭気の焼却処理が非常に有効であることが認められた。

なお、Aし尿処理場の敷地境界線での臭気指数の結果では、搬入車計量施設付近で指導基準値を超えており、今回の調査と同様に搬入車受入時の影響がみられた。

#### まとめ

高濃度臭気の脱臭対策として、汚泥焼却炉による焼却処理方法を導入した新設し尿処理場について実測調査を実施し、次の結果を得た。

- 敷地境界線における特定悪臭物質9物質（アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル、プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸）は、いずれの地点からも検出されなかった。
- 敷地境界線における臭気指数は、2箇所のうち搬入車両の影響を受けたと考えられる1箇所で山口県悪臭防止対策指導要綱の指導基準値14を超える18を示した。
- 気体排出口（煙突、臭突）におけるアンモニア及び硫化水素の排出量は極めて小さく、山口県公害防止条例の基準値（参考値）未満であった。
- 気体排出口（煙突、臭突）における臭気指数は、それぞれ29及び14で、山口県悪臭防止対策指導要綱の指導基準値32を下回っていた。
- 焼却炉による高濃度臭気の処理は極めて良好で、臭気濃度で99.7%の脱臭効率が認められた。さらに、処理原ガス中にいずれも20ppmと高濃度に存在していたアンモニア及び硫化水素について、90%以上の脱臭効率が認められた。

6 薬液洗浄と活性炭吸着の組み合わせによる中濃度臭気の処理も比較的良好で、臭気濃度で86%の脱臭効率が認められた。また、処理原ガス中に1.5ppmと比較的高濃度に存在していたアンモニアについても96%以上の脱臭効率が認められた。

7 2箇所の気体排出口のうち、高濃度臭気を処理している焼却炉からの臭気が、総臭気排出強度の94%を占め、当事業所における臭気的主要な排出口であることが分かった。

8 気体排出口からの総臭気排出強度は $1.3 \times 10^6 \text{m}^3/\text{min}$ であり、高濃度臭気の焼却処理を用いていない他のし尿処理場の総排出強度が $2.8 \times 10^6 \text{m}^3/\text{min}$ であったのに比べ、20分の1程度と小さかった。これは、高濃度臭気の焼却処理により排出口での臭気濃度が730まで低減されていたことが大きく寄与していると考えられた。

本調査は、山口県が実施した「平成11年度悪臭防止対策状況調査」の一部として行った。

#### 文献

- 梅本雅之ほか：山口県環境保健研究センター業績報告，20，18～22（1999）
- 松村淳：臭気の研究．30（6），9～19（1999）
- 環境庁大気保全局特殊公害課編：昭和56年度官能試験報告書，（1981）
- 重田芳廣：悪臭の研究．4（21），7～11（1975）