

# 悪臭について

## 第3回 悪臭防止法における臭気の測定方法

公益社団法人におい・かおり環境協会

### ■はじめに

本セミナーでは、苦情件数が多い悪臭について、公益社団法人におい・かおり環境協会から実務を通じて得られた知見や、悪臭に関連した規制、測定方法、対策技術等について、地方公共団体の公害関連部局担当職員の方に向けて分かりやすく解説しています。

第3回目は、悪臭防止法における臭気の測定について解説します。

### 1. 悪臭防止法における臭気の測定について

悪臭防止法では、工場その他の事業場における事業活動に伴って発生する悪臭について必要な規制を行うために、規制地域を指定し規制基準値を設定しています。規制基準には、特定悪臭物質濃度によるものと臭気指数によるものがあり、規制地域では2種類の方法のうちどちらかを選択して規制基準を設定しています。今回は特定悪臭物質濃度及び臭気指数の測定方法について解説します。

### 2. 特定悪臭物質の測定の方法

特定悪臭物質の測定は、においを構成している化学物質に着目し、化学物質の濃度を分析機器を使って測定する方法です。一般的に成分濃度表示法や機器測定法などと呼ばれています。

(昭和47年5月30日 環境庁告示第9号

<https://www.env.go.jp/hourei/10/000022.html>)



### 2-1. 特定悪臭物質の試料採取方法

特定悪臭物質の場合、適切な方法で試料を採取しなければ、目的の物質を捕集することができません。悪臭防止法に定められている特定悪臭物質における試料採取方法として以下の方法があります。更に排出口における試料採取の場合には、採取時の水分やダスト、排ガス温度にも注意が必要です。

#### 1) 試料採取袋による採取

敷地境界線における臭気の試料は6～30秒という非常に短い時間で採取することになっています。臭気は絶えず同じ濃度でにおい続けることはなく、間欠性が激しく、1時間のうちに数秒～数十秒しかにおわなくても問題が生じるため、そのピークを捉えるために設定されています。

アンモニアやトリメチルアミン、低級脂肪酸類については、におい物質の袋への吸着や検出感度等の問題により試料を濃縮しなければならないため、次の吸収瓶採取や試料捕集管採取の方法が決められています。

### 2) 吸収瓶採取

敷地境界における物質濃度が非常に薄いため、吸収液を用いた濃縮技術が用いられます。アンモニア及びトリメチルアミンについては、気液比との関係で毎分10Lの吸引量で5分間試料採取を行います。

### 3) 試料捕集管採取

低級脂肪酸類については、検出感度との関係で試料捕集管に5分間試料を採取します。

## 2-2. 特定悪臭物質の測定方法

特定悪臭物質の測定方法は大きく分けて以下の5種類の測定方法にて測定を行います。

### 1) ガスクロマトグラフ

#### (Gas Chromatograph) 法

ガスクロマトグラフ (GC) 法は、カラムで試料に含まれる物質を分離し、その物質に応じた検出器で同定、定量する方法です。装置に注入されたおの混合試料はキャリアガス（ヘリウムや窒素など）の移動相に乗って、カラムと呼ばれる固定相に運ばれます。成分によって、固定相の保持時間が異なるため、混合臭気を単一成分に分離することができます。GC で用いられるカラムは大きく2種類に分けられます。粒子状の固定相をガラス管またはステンレス管に詰めたパッキドカラムと、内径が1mm以下の細い石英管などの内壁に固定相をコーティングしたキャピラリーカラムです。固定相は極性の違いによって多くの種類があるため、分析対象物質の特性に応じて選択する必要があります。GCのデータは、カラム出口に設置されている検出器によって電気信号に変換されて、クロマトグラムとして得ることができます。悪臭防止法では次の3種類の検出器を用いてい

ます。

#### \* 水素炎イオン化検出器

(Flame Ionization Detector)・・・FID

検出器の中の酸化炎によって有機化合物を熱分解させ、生成したイオン性の燃焼生成物を電極で検出します。

#### \* 炎光光度検出器

(Flame Photometric Detector)・・・FPD

リンやイオウを含む試料を検出器の還元炎で燃焼させて、放射される特有の炎光を光学フィルターで分光して検出します。

#### \* アルカリ熱イオン化検出器

(Flame Thermionic Detector)・・・FTD

アルカリ金属による熱イオンの増加を測り、窒素やリンを含む有機化合物を選択的に検出します。

### 2) ガスクロマトグラフ質量分析計 (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer) 法

質量分析計を検出器としてガスクロマトグラフと組み合わせたものをガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS) と呼びます。質量分析計は、化合物をイオン化し、質量スペクトルから化合物を分析する方法です。ガスクロマトグラフと質量分析計をつなげることにより、成分の同定と定量を行うことができます。

### 3) 吸光光度法

発色試薬により発色させた試料溶液に光をあてると、その光が試料を通過する際に、対象となる物質の濃度によって光の吸収の程度が変わります。光の吸収の程度によって、その物質の濃度を定量的に分析する方法です。

4) イオンクロマトグラフ

(Ion Chromatograph) 法

イオンクロマトグラフは液体クロマトグラフの一種で、主に溶液中のイオン成分の定性・定量を行う分析手法です。主に無機の陽イオンと陰イオンの測定を行うことができます。また、一部の有機酸やアミンの測定も可能です。

液体の移動相をポンプなどによって加圧してカラムを通過させ、分析種を固定相及び移動相との相互作用（吸着、分配、イオン交換、サイズ排除など）の差を利用して高性能に分離して検出します。略称として、「HPLC 法」と呼ばれています。

5) 高速液体クロマトグラフ

(High Performance Liquid Chromatograph)

法

2-3. 特定悪臭物質の測定方法のまとめ

特定悪臭物質の測定方法、試料採取方法については以下のとおりとなっています。

	特定悪臭物質	試料採取方法	採取時間	濃縮・前処理方法+分析方法	環境庁告示9号
1	アンモニア	吸収瓶による捕集	5分間	吸光光度法 イオンクロマトグラフ法	別表第1
2	メチルメルカプタン	試料採取袋による採取	6~30秒	低温濃縮+GC-FPD法	別表第2
3	硫化水素				
4	硫化メチル				
5	二硫化メチル				
6	トリメチルアミン	吸収瓶による捕集	5分間	低温濃縮+GC-FID法	別表第3
7	アセトアルデヒド	試料採取袋による採取	6~30秒	常温吸着(誘導体化)+GC-FTD法 常温吸着+GC-MS法 常温吸着(誘導体化)+HPLC法	別表第4
8	プロピオンアルデヒド				
9	n-ブチルアルデヒド				
10	イソブチルアルデヒド				
11	n-バレルアルデヒド				
12	イソバレルアルデヒド				
13	イソブタノール	試料採取袋による採取	6~30秒	低温濃縮+GC-FID法 固体捕集溶媒抽出+GC-FID法 固体捕集溶媒抽出+GC-MS法	別表第5、9、10
14	酢酸エチル				
15	メチルイソブチルケトン				
16	トルエン				
17	キシレン				
18	スチレン	試料捕集管	5分間	GC-FID法	別表第8
19	プロピオン酸				
20	ノルマル酪酸				
21	ノルマル吉草酸				
22	イソ吉草酸				

表1 敷地境界線における特定悪臭物質濃度の測定方法

	特定悪臭物質	試料採取方法	採取時間	濃縮・前処理方法+分析方法	環境庁告示9号
1	アンモニア	吸収瓶による捕集	5分間	吸光光度法 イオンクロマトグラフ法	別表第1
3	硫化水素	試料採取袋による採取*	6~30秒	低温濃縮+GC-FPD法	別表第2
6	トリメチルアミン	吸収瓶による捕集	5分間	低温濃縮+GC-FID法	別表第3
8	プロピオンアルデヒド	試料採取袋による採取*	6~30秒	誘導体化+GC-FTD法 低温濃縮+GC-MS法 誘導体化+HPLC法	別表第4
9	n-ブチルアルデヒド				
10	イソブチルアルデヒド				
11	n-バレルアルデヒド				
12	イソバレルアルデヒド			低温濃縮+GC-FID法 固体捕集溶媒抽出+GC-FID法 固体捕集溶媒抽出+GC-MS法	別表第5、9、10
13	イソブタノール				
14	酢酸エチル			低温濃縮+GC-FID法 常温吸着+GC-FID法 固体捕集溶媒抽出+GC-FID法 固体捕集溶媒抽出+GC-MS法	別表第6、9、10
15	メチルイソブチルケトン				
16	トルエン				
17	キシレン				

規制対象外：②メチルメルカプタン、④硫化メチル、⑤二硫化メチル、⑦アセトアルデヒド、⑧スチレン、⑨プロピオン酸、⑩ノルマル酪酸、⑪ノルマル吉草酸、⑫イソ吉草酸

\* 排出口における試料採取袋による採取の場合、濃度が高い時には、袋からGCに直接注入します。

表2 排出口における特定悪臭物質濃度の測定方法

	特定悪臭物質	試料採取方法	濃縮・前処理方法+分析方法	環境庁告示9号
2	メチルメルカプタン	試料採取瓶に気泡が残らないように満水にして採取する	気相(ヘッドスペースガス) +GC-FPD法	別表第2
3	硫化水素			
4	硫化メチル			
5	二硫化メチル			

規制対象外：①アンモニア、⑥トリメチルアミン、⑦アセトアルデヒド、⑧プロピオンアルデヒド、⑨n-ブチルアルデヒド、⑩イソブチルアルデヒド、⑪n-バレルアルデヒド、⑫イソバレルアルデヒド、⑬イソブタノール、⑭酢酸エチル、⑮メチルイソブチルケトン、⑯トルエン、⑰キシレン、⑱スチレン、⑲プロピオン酸、⑳ノルマル酪酸、㉑ノルマル吉草酸、㉒イソ吉草酸

表3 排水における特定悪臭物質濃度の測定方法

### 3. 臭気指数及び臭気排出強度算定の方法

臭気指数の測定は、人間の鼻(嗅覚)を用いて臭気を測定する方法です。悪臭防止法では、平成7年に三点比較式臭袋法が定められています。この方法では、採取した臭気(原臭)を無臭の清浄な空気は何倍に希釈したら、におわなくなるかを求めるものであり、ちょうど無臭になった時までに要した希釈の倍数の数値を臭

気濃度と言います。この臭気濃度を人間の感覚に近い尺度にするために臭気指数として表しています。

$$Y(\text{臭気指数}) = 10 \times \log C(\text{臭気濃度})$$

(平成7年9月13日 環境庁告示第63号

<https://www.env.go.jp/hourei/10/000019.html>)



### 3-1. 嗅覚測定用の試料採取方法

嗅覚測定用の試料採取では、真空瓶や試料採取袋に直接現場の臭気を採取します。環境試料と排出口試料で採取の考え方が異なりますので注意が必要です。

#### 1) 環境試料採取の考え方

敷地の境界線から概ね10m以内の地点の地上2m以内で、最もにおいが強い時に6～30秒以内で10Lを採取します。環境試料はにおいの間欠性が著しく、出来るだけ短い時間で適切に採取することが望めます。

##### ①真空瓶法



##### ②吸引瓶法



写真1 試料採取の様子

試料採取は、以下のいずれかの方法を用います。

##### ③直接採取法



##### ④間接採取法



(近江オドエアサービス(株)HPより)

写真2 環境法試料採取

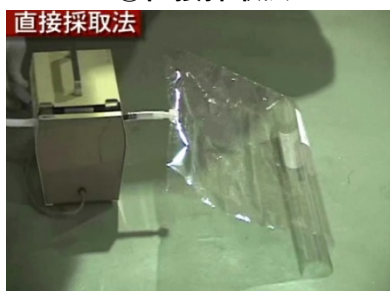
環境試料の試料採取では、短い時間で適切に試料採取をするため瞬時に採取できる①真空瓶法や②吸引瓶法が適していますが、器材の取り扱いが難しいため一般的に③直接採取法のハンディポンプを使い試料採取袋に採取することが多くあります。しかし、採取時間が30秒ぎりぎりとなってしまうため、最近では取り扱いが容易な塩ビ製の吸引瓶を使用して吸引瓶法と同様の方法で試料採取する方法もよく使

われています。

#### 2) 排出口試料採取の考え方

試料は排気筒から直接採取し、排気筒内の平均的な値を測るため、1～3分程度で3～20Lを採取します。また、採取時に水分やダストが入らないようしなければなりません。採取方法は以下のいずれかの方法で採取します。

##### ①直接採取法



##### ②間接採取法



写真3 排出口法試料採取

排出口法の測定では、排出口の実高さが15m未満の場合は臭気指数の測定だけでよいですが、実高さが15m以上の場合には排出ガス流量の測定が必要となります。排出ガスの流量測定は、日本産業規格 JIS Z8808 排ガス中のダスト

濃度の測定方法に定める方法により行います。また、気体排出口における臭気指数規制基準の算定のための調査項目として以下の情報が必要です。

調査項目	排出口高さ 15m未満	15m以上		留意点
		かつ Hb の 1.5 倍以上	かつ Hb の 1.5 倍未満	
敷地境界線の規制基準(1号基準)	●	●	●	当該地域における規制基準
排出口高さ(m)	●	●	●	横向きの際は排出口下側から地表面
排出口口径(m)	●	●	●	角型のときは円型に換算
臭気指数	●	●	●	排出口でのサンプル採取も可能
周辺最大建物高さ(m)	○注	●	●	図面等で周辺最大建物を設定
吐出速度(排出速度)(m/s)		●	●	最終排出口又は採取口で測定
排出ガス温度(°C)		●	●	最終排出口又は採取口で測定
排出ガス水分量(%)		●	●	最終排出口又は採取口で測定
排出口向き			●	上向きかそれ以外か向きを調べる
排出口と敷地境界の最短距離(m)			●	実測又は設計図面から設定
周辺最大建物と敷地境界の最短距離(m)			●	実測又は設計図面より設定

注：排出口高さが6.7m未満の場合は、周辺最大建物高さは不要。  
Hb：事業場敷地内にある周辺最大建物高さ

表4 調査項目<sup>1)</sup>

### 3) 排出水試料採取の考え方

排出水は、原則公共用水域との接点である排水口で採取します。試料採取容器はふっ素樹脂性パッキン付の密栓できるガラス瓶で、遮光性を有しているものを使用します。泡立てないように静かに採取し、気泡が残らないように満水にします。持ち運びは直射日光を避け、氷を入れたクーラーボックスに入れて保管します。公共用水域との接点での試料採取が困難な場合には、事業場のみからの排水であることの確認ができれば排水ピットなどから試料を採取します。採取量は通常500mL～1,000mL程度とし、判定試験を実施するまで0～5°Cの暗所にて保管します。

### 3-2. 判定試験

環境試料と排出口試料とでは、希釈濃度の設定や計算方法の考え方は異なりますが、基本は同じ「三点比較式臭袋法」であり、オペレーターが行う希釈操作やパネルが行うにおいの選定操作は、ほぼ同じ器材や手順で実施されます。排出水試料については、臭気の対象が水になるので、気化したガスを嗅いで測定をするため、試料水をフラスコに入れて三点比較式臭袋法の要領と同様に測定を行います(三点比較式フラスコ法という)。

#### 1) パネル選定

判定試験を実施するには、6名以上のパネル(試料を嗅いで判定をする者)が必要です。パ

## 誌上セミナー「悪臭について」

ネルとして必要な条件としては、18歳以上の者であり、判定試験に適した嗅力を有する者であること。一般的な嗅力の確認としては以下のパ

ネル選定用基準臭を用いて試験を行い確認します。

	物質名	におい質
A	$\beta$ -フェニルエチルアルコール	花のにおい
B	メチルシクロペンテノロン	甘いこげ臭
C	イソ吉草酸	むれた靴下のにおい
D	$\gamma$ -ウンデカラクトン	桃の缶詰のようなにおい
E	スカトール	かび臭いにおい

表5 パネル選定用基準臭



写真4 嗅覚検査の様子

パネル選定試験は、5本のにおい紙のうち3本に無臭液を付け、残りの2本に基準臭液を付けます。被験者は渡された5本のにおい紙のうち、基準臭の付いた2本を選びます。パネル選定試験は5基準臭全てに正解できれば判定に適した嗅力があると認められパネルとして採用されます。

### 2) 判定試験の共通事項

判定試験は、試料採取の当日又は翌日のできる限り早い時期（採取した翌日の午前中等）に測定を行います。判定試験には、3Lのにおい袋を使い、3袋のにおい袋のうち1袋に採取してきたにおいを入れ、残りの2袋は無臭のにおい袋を作成します。3袋1組にして6名以上のパネルに渡しにおいのあるものを選びさせます。排水水の場合は、袋の代わりに中身が見えない様に褐色フラスコを使用します。

#### \* 試験手順

- ①試料調製者が、試験開始希釈倍数（当初希釈倍数）を判断し、決定する。
- ②無臭空気をにおい袋に入れる。（排水水の場合は、無臭水をフラスコに入れる）
- ③測定試料を注入するにおい袋の番号（付

臭番号)を集計用紙に記入し、注射筒を用いて、所定の希釈操作を行う。

- ④各パネルに調整したにおい袋と無臭空気の2袋を、3袋1セットにして配る。
- ⑤パネルに判定させ、回答用紙に判定結果を記入させる。
- ⑥回答用紙を回収し、集計用紙に回答を記入する。

以下、②から⑥の操作を繰り返す。

### 3) 環境試料における判定試験

付臭におい袋は、原則10倍希釈から始めます。パネルは10倍希釈の試料の判定を3回行い、6名で判定を行った場合は、6名×3回の18回の判定結果で平均正解率を求めます。平均正解率が0.58以上の場合には、判定した希釈倍数から10倍希釈して更に3回判定試験を行います。平均正解率が0.58未満になるまで判定試験を続けます。

判定試験が終了したら以下の式で臭気指数の算出を行います。

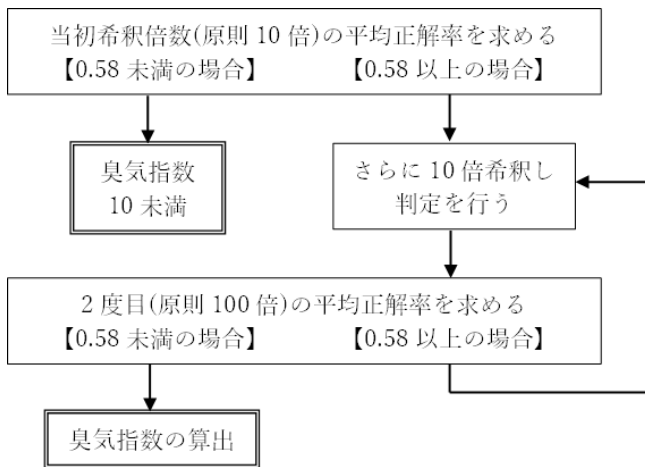
- ア)当初希釈倍数の平均正解率が0.58以上であった場合  
当初希釈倍数の平均正解率（0.58以上）

と2度目に行った判定試験の平均正解率(0.58未満)を用いて、以下の式により臭気指数を計算します。

$$Y = 10 \log M + 10 \left( \frac{r_1 - 0.58}{r_1 - r_0} \right)$$

M:最初に判定試験を行った希釈倍数  
 r1:最初の判定試験での平均正解率  
 r0:2度目に行った判定試験での平均正解率

イ)当初希釈倍数の平均正解率が0.58未満の場合  
 臭気指数は10未満とする。



希釈倍数	10倍			100倍		
試料ガス注入量	300mL			30mL		
パネル A	○	○	×	×	○	×
パネル B	×	○	○	×	×	×
パネル C	○	○	×	○	×	○
パネル D	○	×	×	×	×	×
パネル E	○	○	○	×	○	×
パネル F	○	○	○	×	×	×
○数(正解数)	13			4		
×数(不正解数)	5			14		
平均正解率	$r_1 = \frac{13}{18} = 0.72$			$r_0 = \frac{4}{18} = 0.22$		
臭気指数	$= 10 \log M + 10 \left( \frac{r_1 - 0.58}{r_1 - r_0} \right)$ $= 10 \log 10 + 10 \left( \frac{0.72 - 0.58}{0.72 - 0.22} \right)$ $= 10 + 10 \times 0.28$ $= 10 + 2.8$ $= 12.8$ $\approx 13$					

図1 環境試料における判定試験の流れと計算例

4) 排出口における判定試験

排出口試料の当初希釈倍数は、パネルによる臭気の有無の判定が十分に可能な程度に濃く(1回目の選定操作でパネルの5名以上が正解となること)、かつパネルに嗅覚疲労等の影響が生じないような濃度に調整します。判定試験は各濃度段階で1回ずつ判定試験を行い各パネルが不正解になるまで判定試験を行います。

判定試験が終了したら以下の式で臭気指数の算出を行います。

ア)各パネルについて、個人閾値を計算します。

パネルの個人閾値は、回答が正解である最大の希釈倍数の対数値と回答が不正解

又は不明である最小の希釈倍数の対数値の中間を計算します。

$$X_i = \frac{(\log M_{1i} + \log M_{0i})}{2}$$

$X_i$ :パネルiの個人閾値(常用対数表示)  
 $M_{1i}$ :パネルiの回答が正解である最大の希釈倍数  
 $M_{0i}$ :パネルiの回答が不正解である最小の希釈倍数

- イ)パネルの個人閾値の最大値と最小値をそれぞれ1つずつ除き、パネル全体の閾値(上下カットした平均個人閾値)を算出します。(6名の場合は4名の平均値)
- ウ)パネル全体の閾値を10倍したものが臭気指数(臭気指数は小数点以下第一位を四捨五入し、整数で表示する)

$$Y = 10 \times X(\text{平均個人閾値})$$



エ) 当初希釈倍数 10 倍で 2 名以上が不正解となった場合

臭気指数は 12 未満とします。

オ) 臭気排出強度を算出する場合

排出口高さ 15m 以上の場合は、排出ガスの流量を使い臭気排出強度を求めます。

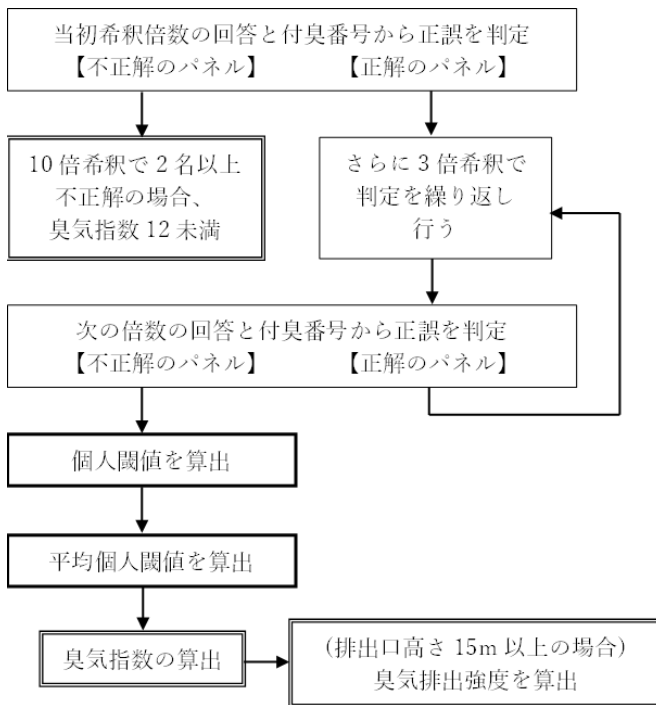
①臭気濃度を算出する。

$$C = 10^{\frac{Y}{10}}$$

②臭気濃度に排出ガス流量を乗じて臭気排出強度を算出する。

$$q_d(\text{臭気排出強度}(\text{m}^3/\text{分}))$$

$$= C \times Q_0(\text{排出ガスの流量})$$



希釈倍数	10倍	30倍	100倍	300倍	個人閾値	上下 カット
試料ガス注入量	300mL	100mL	30mL	10mL		
対数值(希釈倍数)	1	1.48	2	2.48		
パネル A	○	○	×		(1.48+2.00)/2=1.74	
パネル B	○	○	○	×	(2.00+2.48)/2=2.24	
パネル C	○	○	×		(1.48+2.00)/2=1.74	
パネル D	○	×	—		(1.00+1.48)/2=1.24	最小値
パネル E	○	○	○	○	2.74以上	最大値
パネル F	○	○	○	×	(2.00+2.48)/2=2.24	
臭気指数	$= 10 \times (1.74+2.24+1.74+2.24)/4$ $= 10 \times 1.99$ $= 19.9 \div 20$					
臭気濃度	$= 10^{20/10}$ $= 10^2 = 100$					
臭気排出強度	(標準状態におけるガス流量：30m <sup>3</sup> /秒の場合) $= 60 \times 100 \times 30$ $= 180000 \text{ m}^3/\text{分}$					

図2 排出口試料における判定試験の流れと計算例

### 5) 排水における判定試験

排水の判定試験方法は、排出口の判定試験と同じ手順で行います。排水の判定には 300mL の褐色フラスコを使用します。フラスコ内の水の容積は 100mL として試験を行うため、希釈倍数がにおい袋と異なります。排出口の希釈倍数は、10 倍、30 倍、100 倍、300 倍となっていますが、フラスコの希釈倍数は、10 倍、33 倍、100 倍、330 倍となるため、排出口の試験とは個人閾値が異なるので注意が必要です。

また、排水は原水から測定ができるため定

量下限値は臭気指数 3 になります。

### 第3回 悪臭防止法における臭気の測定方法

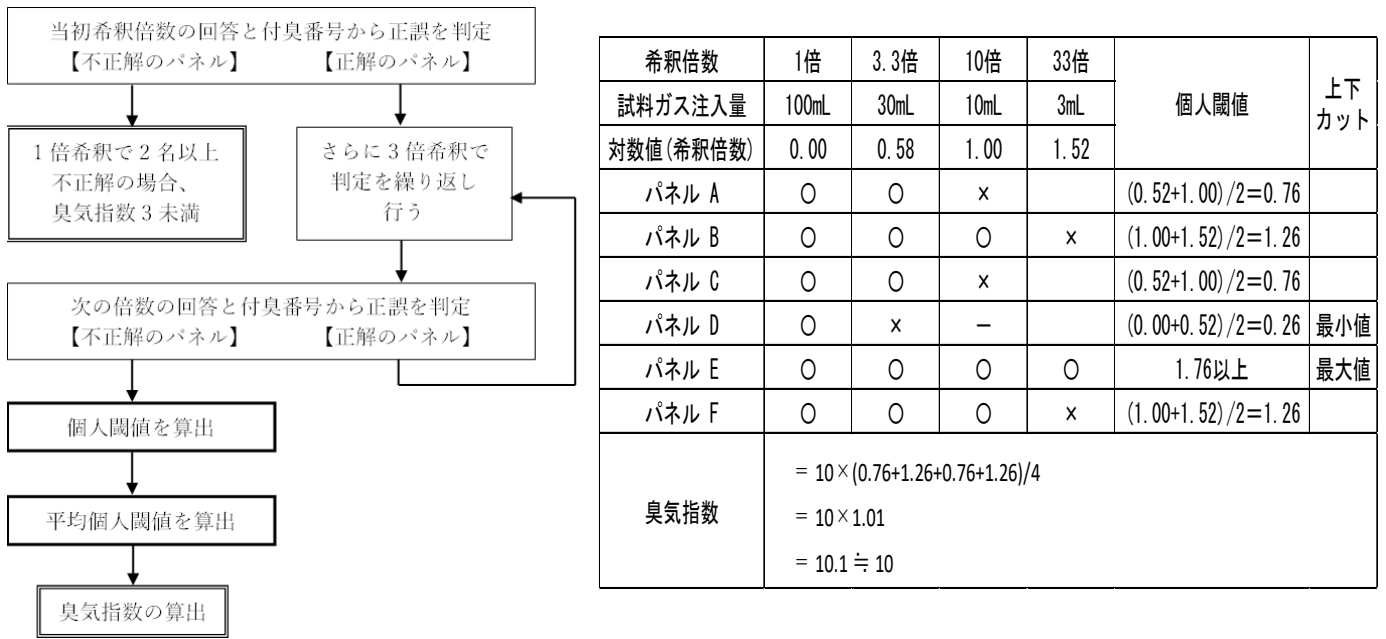


図3 排水試料における判定試験の流れと計算例

#### 4. 臭気測定のまとめ

悪臭防止法における臭気の測定については、測定方法を習得するだけでなく、現場にて多種多様な特徴を有する臭気を適切に採取する

ことも重要です。測定に関してなにかありましたら、特定悪臭物質であれば環境計量士に、臭気指数であれば臭気判定士にご相談ください。

#### 解説

- 敷地境界臭気の採取の根拠：6～30秒で採取する根拠として、6秒というのは、人間の呼吸回数から二呼吸した時間であり、30秒というのは、実際に現場調査に行ったところ、被害感との相関が最も高い評価時間が30秒以内であったことから設定されています。また、地上2m以内としているのは人間の鼻の位置を考慮しています。
- パネル選定用基準臭の選定の根拠：嗅覚障害を示した人の障害の程度や治療効果を知るために嗅覚検査診断薬としてT&Tオルファクトメーターが作成され、それを基に以下の選定条件のもと、パネル選定基準臭が作られました。①それぞれのにおいはお互いに明確に区別できること②において単純で、多くの人に分かりやすこと③においの質や強度が安定していて、時間と共に変化しないこと④天然物は多くの場合不安定であるため、合成化合物であること。

#### 参考文献

- 1) 公益社団法人におい・かおり環境協会：嗅覚測定法マニュアル、第7版
- 2) 岩崎好陽：臭気の嗅覚測定法、第6版
- 3) 公益社団法人におい・かおり環境協会：嗅覚概論、第2版
- 4) 公益社団法人におい・かおり環境協会：ハンドブック悪臭防止法、六訂版

#### 次回予定

次回の誌上セミナー「悪臭について」(第4回)では、臭気対策についての解説を予定しています。引き続き御活用ください。