

三点比較式臭袋法とオルファクトメーター法の比較

辰市 祐久 岩崎 好陽

要 旨

欧州や米国では悪臭の測定法として、オルファクトメーター法を用いた規格化が進められている。日本では平成7年の悪臭防止法の改正で臭気指数規制が導入され、測定法として三点比較式臭袋法が採用されている。

そのため、オルファクトメーター法と三点比較式臭袋法の測定手法や測定値の比較検討が必要と考えられる。今回は数種の試料を用いて三点比較式臭袋法と、オルファクトメーター法の比較を行った。同じ試料を用いて嗅覚測定したとき、欧州法のオルファクトメーターによる臭気指数値は、三点比較式臭袋法に比べ10程度高く示された。これは、オルファクトメーター法が認知閾値に近い値を、三点比較式臭袋法が検知閾値を測定しているためと考えられた。臭気指数値の個人間の変動係数は、m-キシレンや酢酸エチルでは三点比較式臭袋法よりオルファクトメーター法が低かった。しかし複合臭のオフセット印刷臭、下水臭では同じ程度か、オルファクトメーター法が高くなり、変動係数は試料の種類によって相違が見られた。

キーワード：三点比較式臭袋法、オルファクトメーター法、検知閾値、認知閾値

1 はじめに

東京都が昭和52年より三点比較式臭袋法を条例で取り入れて以来各地の自治体で採用され、環境庁（現環境省）でも平成7年の悪臭防止法の改正で臭気指数¹⁾による規制が実施されることになった。

一方海外の嗅覚測定法では、米国においてA&WMA EE-6 (1995)²⁾で動的オルファクトメーターを採用しており、ASTM (1997)³⁾でも閾値測定の方法が規定され、欧州では、臭気測定法としてオルファクトメーターを用いる方法の規格化⁴⁾⁵⁾が進められている。日本でも従来からオルファクトメーターを用いた測定法⁶⁾⁷⁾が研究されていたが、現在では嗅覚測定による悪臭の規制には、三点比較式臭袋法が主として用いられている。そこで本調査では標準ガスを用いて、オルファクトメーター法と三点比較式臭袋法とによる測定値の相違を比較した。なお、今回用いたオルファクトメーターは欧州規格のものでなく、東京都環境科学研究所で独自に製作したものである。

2 実験方法

(1) 実験機材

図1に今回使用したオルファクトメーター装置の概要を示すが、Pはポンプで、Bは電磁弁、MFはマスフローコントローラ、長方形はフローメータを表している。オルファクトメーターはフローメータの組み合わせによって、段階的に希釈した試料ガスを10ℓの無臭空気で希釈している。既存の装置では高希釈系列の流量制御を小型のロータリーポンプで行っていたが、今回は試料ガスをいったん100倍に希釈して、さらに10倍から300倍までに希釈する2段階希釈を行うように改良した。

欧州法の希釈ではおおむね2倍系列で行うが、今回の測定器では三点比較式臭袋法と同じ3倍系列で設定している。オペレーターが装置全面のスイッチにより電磁弁を選択することで、臭気は10倍から30000倍まで無臭空気によって希釈される。欧州法では判定はYes/Noモードあるいは強制選択モードで2点比較以上で行うが、本実験では最終的に3つの空気の吐出口のうち、

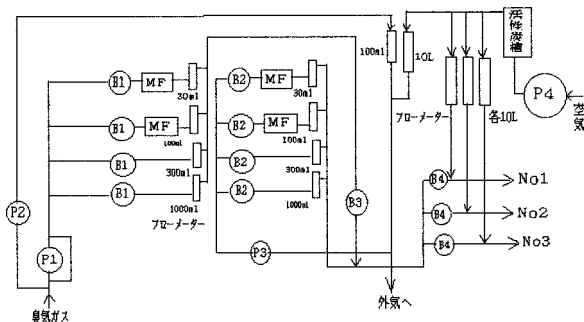


図1 オルファクトメーターの内部構造

2個の吐出口からは、10ℓ程度の無臭空気が出て、1個の吐出口から希釈された試料空気が出る。パネルはオペレーターがランダムに呈示した試料空気の出る吐出口番号を選択する。

(2) 測定器の希釈の正確さ及び精度測定

1) 標準ガスの希釈の正確さ測定

作成したオルファクトメーターの希釈の正確さを求めるため、配管への吸着が少ないと考えられるメタンガスを100%と1%のものを用い、希釈後のガスを広範囲の直線性を持つ全炭化水素計で測定した。全炭化水素計は島津製HCM-1Bを用いた。メタンガスの検量線を用いて、オルファクトメーターで希釈した試料を測定して、希釈値に対する測定値の比率を計算した。300倍と3000倍は各10回測定し、平均値と標準偏差、変動係数を求めた。他の倍率は2～5回測定を行った。

2) 試料ガスを用いた再現性と応答速度

オルファクトメーターで試料ガスの希釈の正確さ、希釈率の再現性、応答速度を求めるため試料ガスの測定は、全炭化水素計(島津製HCM-1B)を用いた。m-キシレン、酢酸エチルについては元の濃度が低いため希釈の正確さの測定を30倍の希釈倍率で10回行った。さらに再現性及び90%応答を示すまでの秒数を求めるため、1回ごとにスイッチを入れて、測定を各10回行った。

(3) 嗅覚測定を用いたオルファクトメーター法と三点比較式臭袋法の比較

オルファクトメーター法と三点比較式臭袋法の比較は、パネル試験に合格した6名のパネルで行った。試料として、m-キシレン、酢酸エチル、オフセット印刷臭、下水臭、アセトアルデヒドを使って臭気指数を求めた。欧州法のオルファクトメーター法では、上昇法によって着臭点を求め、三点比較式臭袋法では、下降法によ

って消臭点を求めた。

オルファクトメーター法で上昇法を用いた理由の一つとして、同じ配管で濃度が高いガスと低いガスを通すため、できるだけ濃度の低い試料を用いた方が配管の汚染が少なくすむ。

結果の算出において、三点比較式臭袋法では閾値を正解・不正解の希釈倍数の対数値を上下カットし、平均して10倍した値を取るが、オルファクトメーター法では正解・不正解の回答が正解になっても、同時に回答された臭気の程度の記述で「確かに感じられる」の答があるまで閾値として採用されない。

1) 使用したガス

次の5種類のガスで試験を行った。

- m-キシレン：105ppmのボンベガス
- 酢酸エチル：102ppmのボンベガス
- オフセット印刷臭：オフセットインキの適当量を150℃以上に加熱し、空気を送ってバッグに採取した。オファクトメーターでは10倍に希釈して用いた。
- 下水臭：汚泥濃縮層から採取したガスを100倍に希釈して用いた。
- アセトアルデヒド臭：99.5ppmのボンベガス、オファクトメーターでは10倍に希釈して用いた。

2) 嗅覚試験の方法

ア) オルファクトメーターの嗅覚試験方法

- ①オペレーターは8段階の希釈倍率の内、適当な高希釈倍率のスイッチを入れる。
- ②パネラーは各希釈段階ごとに順に吐出口の空気の臭いを嗅ぐ。嗅ぐ回数は3個の吐出口を各2回程度とする。
- ③パネラーは表1に示す回答表3個の吐出口の内臭気を感じられる番号を選択し、臭気の程度を選択する。
- ④閾値の求め方は、希釈倍率が小さくなって、各パネラーが臭気のある正解の番号を選択して、同時に臭気の程度2を2回選択したところで終了した。そのため、嗅覚閾値は臭気の程度が2と1又は0との境の倍率の指数値となる。
- ⑤臭気指数値は三点比較式臭袋法と比較するため、パ

表1 回答表

臭気がある番号	臭気の程度
①	0：感じられない。
②	1：かすかに感じられる
③	2：確かに感じられる。

ネラーの指数値の最大値と最小値を除いて4名を幾何平均し、平均の指数値を10倍して算出した。さらに、臭気の番号が正解と不正解の境の倍率の指数値についても、各バネラーの最大値と最小値を除いて4名を幾何平均し、指数値を10倍して算出した。さらに各データの標準偏差及び変動係数を求めた。

イ) 三点比較式臭袋法

平成7年度環境庁告示63号の方法によって臭気指数を測定した。

嗅覚試験はそれぞれ10回行い、臭気指数の計算は臭気の番号が正解と不正解の境の倍率の指数値について、各バネラーの最大値と最小値を除いて4名を平均し、平均の指数値を10倍して算出した。さらに各データの標準偏差及び変動係数を求めた。

3 結果及び考察

(1) オルファクトメーターの希釈の正確さ、希釈の再現性の結果

表2にメタンガスのオルファクトメーターによる希釈の正確さを希釈倍数と標準濃度に対する比率(比率=測定濃度/(元の濃度÷希釈倍数)×100)で示し、その時の変動係数を示した。メタンガスの比率は85~108%で比較的良い希釈値を示していた。これは市販されていた機器⁶⁾の誤差率より、希釈の正確さは高いと考えられた。メタンガスの300倍と3000倍の各10回の変動係数は、2.6~2.7%で、比較的バラツキも小さかったが、10000倍では多少大きくなった。

表3にm-キシレン、酢酸エチルの希釈の比率、希釈

表2 オルファクトメーターの希釈の正確さ(メタンガス)

設定希釈倍率	回数	平均の比率 %	標準偏差	変動係数 %
30	2	87.3		
100	2	92.7		
300	10	86.2	2.22	2.57
1000	2	103		
3000	10	108	2.93	2.71
10000	5	98.9	4.52	4.57
30000	4	85.2	1.81	2.12

の再現性、応答速度を示した。m-キシレン、酢酸エチルの30倍の標準濃度に対する比率はメタンガスと同様に比較的良い値を示し変動係数も小さい値を示した。酢酸エチルを用いた30倍の再現性の変動係数は、1.56%を示したが、100倍では変動係数が上昇しており、高希釈倍率では精度が低下する可能性が見られた。

(2) オルファクトメーターの応答速度

表3に示したように、m-キシレン、酢酸エチルの90%応答時間は、吐出口での比率30倍では5~30秒、100倍では40秒、300倍では53秒であった。これは、立ち上がりは早いと90%に達するまでに時間がかかっていたことを示す。試料の無臭空気に対する混合量が少ないほど応答性が悪く、変動も大きくなる傾向があった。しかし、実際の測定では、同一条件の希釈倍率で6名以上が続けて試験するため、連続して試料を流している限

表3 キシレンと酢酸エチルの正確さ、精度、再現性、応答時間

項目	回数	キシレン 105ppm			酢酸エチル 102ppm		
		平均値 (平均比率)	標準偏差	変動係数 %	平均値 (平均比率)	標準偏差	変動係数 %
正確さ	10	59.4	2.31	2.41	44.0	1.59	1.52
30倍		95.8%			105.0%		
再現性	10	—	—	—	48.3	0.75	1.56
30倍	10	—	—	—	26	1.41	5.44
100倍							
90%応答時間sec	10	29.5	0.85	2.88	4.5	0.71	15.71
30倍	10	—	—	—	39.7	3.06	7.70
100倍	10	—	—	—	—	—	—
300倍	10	53	37.7	71.2	—	—	—

り影響は小さいと考えられる。

(3) オルファクトメーター法と三点比較式臭袋法の臭気指数の濃度変動の結果

1) m-キシレン、酢酸エチル、アセトアルデヒド、オフセット印刷臭、下水臭の臭気指数値の測定結果

表4にm-キシレン、酢酸エチル、アセトアルデヒド、オフセット印刷臭、下水臭のオルファクトメーター法と三点比較式臭袋法による臭気指数測定の平均値を示した。m-キシレンの臭気指数値は、オルファクトメーター法で22、三点比較式臭袋法で31であり、三点比較式臭袋法が10程度高く検出されていた。また、オルファクトメーター法の正解と不正解の境の臭気指数値については、31であり、三点比較式臭袋法と同じ値となっていた。また、酢酸エチルの臭気指数値はオルファクトメーター法で16、三点比較式臭袋法で23であり、m-キシレンと同様な傾向を示した。

悪臭防止法の臭気規制は、表5の六段階臭気強度の臭気強度2.5~3.5の範囲で決められ、臭気強度1が検知閾値濃度、臭気強度2が認知閾値濃度と定義されている。欧州法では認知閾値の明確な定義はなされていない。

また、悪臭防止法³⁾の解説の中で、無臭室法によって求めたキシレンの臭気強度1は0.1ppm、臭気強度2は0.5ppmとされ、酢酸エチルの臭気強度1は0.3ppm、臭気強度2は1ppmとされている。

キシレンのオルファクトメーター法と三点比較式臭袋法による閾値濃度を求めると

$$\text{キシレンの濃度} \div \text{キシレンの希釈倍数値(オルファクトメーター法)} = 105(\text{ppm}) \div 10^{2.2} = 0.66(\text{ppm})$$

キシレンの濃度 \div キシレンの希釈倍数値(三点比較式臭袋法) = $105(\text{ppm}) \div 10^{3.1} = 0.083(\text{ppm})$ でありオルファクトメーター法では認知閾値濃度に近い値で、三点比較式臭袋法では検知閾値濃度に近い値を示した。同様に酢酸エチルの閾値濃度はオルファクトメーター法では2.5(ppm)、三点比較式臭袋法では0.51(ppm)で、

キシレンと似た傾向を示した。

従って、三点比較式臭袋法が検知閾値を測定しているのに対して、臭気強度2の確かに感じられるという回答で計算したオルファクトメーター法では認知閾値を測定することになると考えられる。

その他、アセトアルデヒドの臭気指数値は、オルファクトメーター法で25、三点比較式臭袋法で46であった。ここで三点比較式臭袋法が20程度高く検出されていたが、オルファクトメーター法用試料が10倍希釈して測定されたため、三点比較式臭袋法の臭気指数値は約10高く検出されていたことになる。また同様に、オフセット印刷臭をオルファクトメーター法で測定した時、約10高く検出されていた。従って、オルファクトメーター法の臭気指数値は認知閾値を測定していたため、三点比較式臭袋法に比べていずれも高い値となっ

表5 6段階臭気強度表示

臭気強度	内容
0	無臭
1	やっと感知できるにおい(検知閾値濃度)
2	何のにおいであるかわかる弱いにおい(認知閾値濃度)
3	らくに感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

ていた。

2) オルファクトメーター法と三点比較式臭袋法の変動係数

m-キシレンの臭気指数値の個人間の平均変動係数は、オルファクトメーター法で2.2%、三点比較式臭袋法では13%であった。従って、m-キシレンでは三点比較式臭袋法による方が個人間の変動係数値が大きかった。また、酢酸エチルでは各測定法ともm-キシレンより変動が大きかった。

一方、アセトアルデヒドや複合臭のオフセット印刷臭、下水臭の個人間の平均変動係数は、三点比較式臭袋法の値がオルファクトメーター法の値と同程度か、

表4 オルファクトメーター法と三店比較式臭袋法による各臭気の臭気指数測定

	オルファクトメーター法										三点比較式臭袋法													
	臭気強度2					正解・不正解					正解・不正解					正解・不正解								
	測定数	臭気指数値	平均指数値	標準偏差	変動係数	個人内	測定数	臭気指数値	平均指数値	標準偏差	変動係数	個人内	測定数	臭気指数値	平均指数値	標準偏差	変動係数	個人内	測定数	臭気指数値	平均指数値	標準偏差	変動係数	個人内
m-キシレン	10	22.4	2.24	0.05	2.24	7.01	10	31.4	3.14	0.53	16.4	15.79	10	30.9	3.09	0.4	12.85	16.68	10	30.9	3.09	0.4	12.85	16.68
酢酸エチル	10	15.9	1.59	0.19	12.29	15.01	10	22.3	2.23	0.3	13.53	27.33	10	22.3	2.23	0.49	21.1	23.05	10	22.3	2.23	0.49	21.1	23.05
アセトアルデヒド	10	24.7	2.47	0.17	7.09	14.06	10	33.2	3.32	0.26	8.03	18.28	5	45.9	4.59	0.37	8.21	9.7	5	45.9	4.59	0.37	8.21	9.7
オフセット印刷臭	10	14.2	1.42	0.25	17.75	10.82	10	22.2	2.22	0.28	12.08	31.18	5	33.7	3.37	0.25	7.31	10.36	5	33.7	3.37	0.25	7.31	10.36
下水臭	10	24.1	2.41	0.19	7.73	9.2	10	33.9	3.39	0.5	14.79	18.15	5	34.4	3.44	0.32	9.46	14.04	5	34.4	3.44	0.32	9.46	14.04

オフセット印刷臭では、オルファクトメーター法より小さく、7.3~9.5%であった。このため、環境試料の個人間の平均変動係数は三点比較式臭袋法の方がバラツキが少ないと考えられた。

また、m-キシレンの個人内の6名の平均変動係数はオルファクトメーター法で7.0%、正解と不正解の境で16%であった。三点比較式臭袋法の平均変動係数は17%と、個人間と同様に変動が大きくなった。個人内の平均変動係数は各試料とも個人間よりも大きくなる傾向にあり、この理由の一つとして個人間では上下カットしたデータであるためと考えられた。

3) 測定時間と必要な試料量

オルファクトメーター法の1回の測定時間は18~26分で、おおむね20分程度であった。三点比較式臭袋法は15~22分で、おおむね20分程度で測定であった。三点比較式臭袋法では回答を紙に筆記してから集計しているが、倍率を変える測定回数が比較的少なくて済むため同じくらいの時間になったと考えられる。

試料のガス量はオルファクトメーター法が常に測定器に供給しているため、三点比較式臭袋法の10倍の30~50ℓは必要と思われた。ただし、今回のオルファクトメーター法の吐出量が10ℓあるために、分岐し複数のパネルを同時に試験することも考えられる。

4 まとめ

数種の試料を用いて三点比較式臭袋法と、既存のオルファクトメーターを改良し、嗅覚測定法の比較を行った。その結果

- 1) ポンプによって供給した試料を2段希釈し、フローメーターで流量調整したオルファクトメーターでは、比較的良い希釈の正確さと精度が得られた。
- 2) オルファクトメーターによる臭気指数値は、三点比較式臭袋法に比べ10程度高く、オルファクトメーター法が認知閾値に近い値を、三点比較式臭袋法が検知閾値を測定しているためと考えられる。
- 3) 試料を測定した臭気指数値の変動係数はm-キシレンや酢酸エチルでは三点比較式臭袋法よりオルファクトメーター法が低かったが、複合臭のオフセット印刷臭、下水臭では同じ程度か、オルファクトメーター法が高くなり、試料の種類による相違が見られた。
- 4) 測定時間はオルファクトメーター法、三点比較式臭袋法とも20分程度であったが、試料ガス量はオルファクトメーター法が三点比較式臭袋法の10倍程度必要

と考えられた。

謝 辞

本研究を進めるにあたって、環境省環境管理局大気生活環境室の多大なる協力を得ましたことをここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 環境庁告示第63号：臭気指数及び臭気排出強度の算定方法
- 2) A & WMA EE-6 Subcommittee on the Standardization of Odor Measurement : Guidelines for odor sampling and measurement by dynamic dilution olfactometry - Second revision, Draft (1995)
- 3) ASTM E679-91, Standard practice for determination of odor and taste thresholds by a forced-choice ascending concentration series method of limits (1991)
- 4) CEN, Draft European Standard : Air Quality - Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry (1999)
CEN : prEN13725, Air quality Determination of odour concentration by dynamic olfactometry
- 5) Harrevel, A. P., A Review of 20 Years of Standardization of Odor Concentration Measurement by Dynamic Olfactometry in Europe, J. Air & Waste Manage. Assoc. 49, 705-715 (1999)
- 6) 松下数雄, 多田納力, 伊藤泰治 : 悪臭の官能試験法に関する研究(第2報)オルファクトメータ法, 三点比較式臭袋法, 無臭室法について, 広島県環境センタ-, 第1号72-78 (1980)
- 7) 岩崎好陽 : 臭気官能試験方法の確立とその応用に関する研究, 1990年12月
- 8) ハンドブック悪臭防止法 : 悪臭法令研究会, ぎょうせい