

改修工事中における塗料から発生する臭気の評価に関する検討

Study on Evaluation of Odor Emitted from Paint during Renovation Work

藤井大輔 百瀬晴基 中村隆寛 平田真佑子

要 約

居ながら改修工事において、工事中に発生する臭気が建物の利用者を不快にさせるという問題がある。本報では、塗料から発生する工事中の臭気の人への感じ方と放散特性を評価することを目的に、三点比較式臭袋法による官能評価とガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)による成分分析を行った。官能評価の結果、溶剤系はにおいが強く、水系はにおいが弱いという定性的な認知や水系塗料の種類によるにおいの違いを定量的に評価することができた。また、成分分析の結果、揮発成分とその放散特性を把握することができ、放散特性と官能評価の傾向が類似していることを確認できた。そして、官能評価値と揮発成分濃度の関係から、臭気の原因物質を推定できることが示唆された。これらの結果から、官能評価とGC-MSにより、塗料から発生する臭気の人への感じ方と放散特性を定量評価できる見通しを得た。

目 次

- I. はじめに
- II. 実験概要
- III. 塗料臭気の官能評価
- IV. 塗料中の揮発成分の放散特性
- V. まとめ

やすいことから、工事で使用する塗料から発生する臭気の人への感じ方や揮発成分の放散特性を把握することは工事を計画する上で重要といえる。本報では、官能評価とGC-MSにより、塗料から発生する臭気を人による定量評価と放散特性で評価し、検討した結果を報告する。

I. はじめに

建築市場において、建築ストックの増加を背景に改修工事は増加傾向にある¹⁾。本報では改修工事の中でも居ながら改修工事に着目した。居ながら改修工事とは、商業施設やホテルにおいては営業しながら、住宅においては居住者が生活しながら行う改修工事のことを指し、生産性や売上、居住空間を確保しながら行う工事である。しかし、居ながら改修工事では、工事で発生する臭気や騒音、粉塵が工事区域周辺の人々に影響するため、売り止め範囲・期間を設定する必要がある。これらの売り止め範囲・期間は居ながら改修工事のデメリットであり、生産性や売上の確保に大きな影響を与える。このデメリットを最小化するためには、工事中に発生する臭気や騒音、粉塵を事前に把握し、建物の利用者に配慮した工事を計画する必要がある。中でも臭気は塗料中に含まれる揮発成分のにおいが強い製品があるため、工事中の問題となり

II. 実験概要

1. 塗装試験体

実験で使用した塗料を Table 1 に示す。鉄部に使用する通常品の溶剤系塗料(以下、塗料 A)、低臭気品の水系塗料(以下、塗料 B)、ボード部に使用する通常品の水系塗料(以下、塗料 C)および低臭気品の水系塗料(以下、塗料 D)の4種を対象とした。実験は上塗りだけの塗装仕様とし、アルミ平板(68mm×150mm×2mm)の表面に標準塗布量を塗布したものを試験体とし、塗料ごとに4枚作製した。

Table 1 実験で使用した塗料
(Coating Materials Used in Experiment)

塗料	主適用 下地	通常品 低臭気品	溶媒	種別	標準塗布量 (kg/m ²)
A	鉄部	通常品	溶剤系	長油性アクリル樹脂系上塗料	0.12
B		低臭気品	水系	アクリル樹脂エマルジョン塗料(5分艶)	0.12
C	ボード部	通常品	水系	アクリル樹脂エマルジョン塗料(艶消)	0.12
D		低臭気品	水系	アクリル樹脂エマルジョン塗料(艶消)	0.12

キーワード : 塗料, 臭気, 官能評価, 放散特性, 臭気強度, ガスクロマトグラフ質量分析計

Keywords : paint, odor, sensory test, emission characteristics, odor intensity, gas chromatograph-mass spectrometer

2. 実験概要

実験概要を Fig.1 に、実験条件を Table 2 に示す。実験は 28℃, 50%RH の恒温恒湿室内にポンプ、活性炭槽および 20L 容器を配置し、負荷率 2.04m²/m³ となるように容器に塗装直後の試験体 4 枚を設置した。容器内の換気回数が 0.5 回/h となるように、活性炭槽を通して無臭化した空気を、ポンプを用いて容器に送り込み、「JIS A 1901 建築材料の揮発性有機化合物(VOC)、ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法-小型チャンバー法-」を参考にして、試験体を養生した。0 日(2 時間), 1 日, 3 日, 7 日後に空気を捕集し、その空気を 1 倍, 10 倍, 100 倍, 1000 倍の 4 段階に希釈し、官能評価と成分分析に供した。

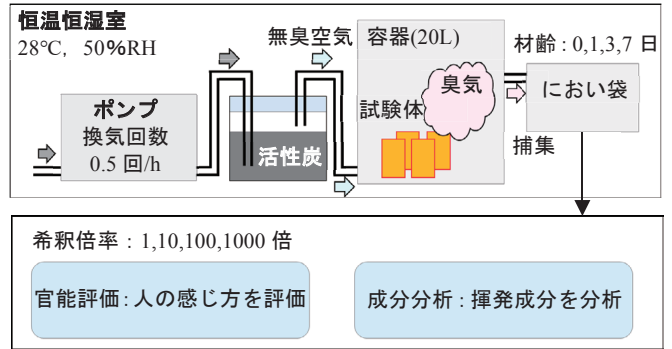


Fig.1 実験概要
(Experimental Summary)

Table 2 実験条件
(Experimental Conditions)

圧子 項目	内容	
容器容量	20L(0.02 m ³)	
試験体	Table 1 の塗料を塗布したアルミ平板	
捕集条件	温湿度	28±1℃, 50±5%RH
	換気流量	167mL/min(0.5 回/h)
	負荷率*	(0.068m×0.15m×4 枚)/0.02m ³ =2.04 m ² /m ³
	捕集方法	167mL/min でにおい袋に捕集
	捕集時期	試験体設置から 0(2h), 1, 3, 7 日後

※負荷率：施工面積(m²)/容積(m³)で表される。

Table 3 容認性の尺度
(Acceptability Scale)

評価値	においの程度
0	無臭
1	やっと感知できるにおい

Table 4 6 段階臭気強度表示法

(Six Grades Odor Intensity Measurement Method)

臭気強度	においの程度
0	無臭
1	やっと感知できるにおい(感覚閾値)
2	何のにおいであるかわかる弱いにおい
3	楽に感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

Ⅲ. 塗料臭気の官能評価

1. 官能評価の概要

官能評価とは人の五感により物の特性や人の感覚そのものを測定する方法を指す²⁾。日本建築学会では、「室内の臭気に関する対策・維持管理規準・同解説 (AIJES-A003-2005)」³⁾において、供用期間中の室内臭気に関する指標として、官能評価で用いられる非容認率(容認性), 臭気強度, 臭気濃度などが挙げられている。この規準では非容認率によりグレードを定め、代表的な臭気に対し、非容認率に相当する臭気強度と臭気濃度を示している。これらを参考にして、本報の官能評価では、「非容認率」, 「臭気強度」, 「臭気濃度」に注目し検討を行った。「非容認率」は、においを受け入れることができるかの容認性を示し、Table 3 に示す容認性の尺度により評価した。文献 3) に、非容認率は 60 人の被験者による入室法を用いた官能評価が必要であるが、膨大な労力が必要であると記されているため、本報告では簡易的に 6 人の被験者を対象に行った。「臭気強度」は、においの強さを表し、Table 4 の 6 段階臭気強度表示法により評価した。「臭気濃度」は、臭気は無臭空気で希釈し、無臭となるときの希釈倍率を示しており、三点比較式臭袋法より評価した。

2. 三点比較式臭袋法による官能評価

三点比較式臭袋法を Fig.2 に、官能評価で使用したアンケートを Fig.3 に示す。におい・かおり環境協会から出版されている「臭気の嗅覚測定法 三点比較式臭袋法測定マニュアル」⁴⁾を参考にして、三点比較式臭袋法により塗料から発生した臭気の官能評価を行った。具体的には 3 つのにおい袋を用意し、そのうち 2 個には活性炭を通して無臭化した空気を、残りの 1 個には捕集した空気もしくはそれを希釈した空気を入れ、被験者は 3 つのにおい袋のにおいをそれぞれ嗅ぎ、アンケートに回答した。これを Fig.2 のように嗅覚が正常な男女 6 人を対象に、捕集した空気を段階的に希釈して 1000 倍希釈まで行った。アンケートは Fig.3 のように①二者択一法による容認性, ②6 段階臭気強度表示法によるにおいの強さ,

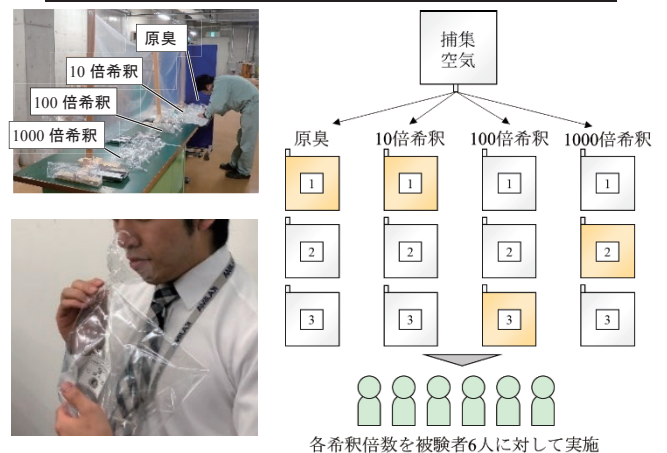


Fig.2 三点比較式臭袋法
(Triangle Odor Bag Method)

③においがするにおい袋の番号, に関する3つの設問から構成されており, アンケートの集計結果を統計的に解析し, 非容認率, 臭気強度および臭気濃度を求めた。

3. 官能評価の結果

官能評価の結果を Fig.4 に示す。Fig.4(a)より, 非容認率において, 溶剤系の塗料 A はほかの塗料と比較し, 値が高く経時的に減少しにくい傾向が見られた。水系の塗料 B の値は 0 日で塗料 A と同程度であるが, 1 日後以降減少し, 7 日後には塗料 C および塗料 D と同じ 0% となった。塗料 C および塗料 D はほかの塗料より値は低く 1 日後以降 0% となった。

Fig.4(b)より, 臭気強度は非容認率と同様の傾向であるが, 低臭気品の塗料 D は, 通常品の塗料 C と比較して値が低く, 0 日後から臭気強度 1(感覚閾値)以下とほぼ無臭であった。

Fig.4(c)より, 臭気濃度において, 溶剤系の塗料 A は 0~7 日でほかの塗料と比べ高い値を示した。水系の塗料 B は 0 日で塗料 A と塗料 C の中間程度の値を示しているが, 1 日後以降急激に減少し, 塗料 C と塗料 D と同程度の値となった。塗料 C と塗料 D は 0~7 日後において常に低い値を示した。

以上の官能評価の結果から, 各塗料から発生する臭気の人への感じ方の経時変化を数値化して示すことができ, においの経時変化が塗料ごとに異なることが示された。また, においの強さに関して, 溶剤系は水系よりも強く, 低臭気品は通常品よりも弱いという定性的な認知を非容認率, 臭気強度, 臭気濃度により比較できることが示唆された。

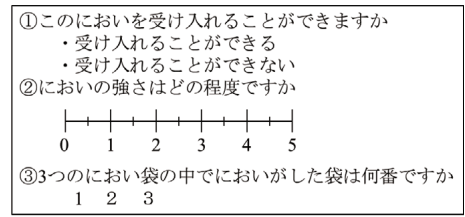


Fig.3 官能評価のアンケート
(Sensory Evaluation Questionnaire)

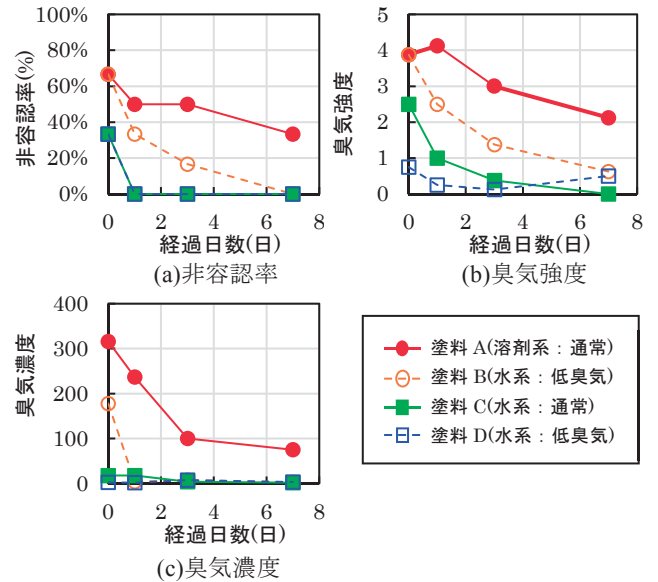


Fig.4 官能評価の結果
(Sensory Evaluation Results)

IV. 塗料中の揮発成分の放散特性

1. ガスクロマトグラフ質量分析計による揮発成分分析

官能評価の結果から, 塗料の種類により, においの強さやその経時変化が異なることが明らかとなった。これは各塗料の揮発成分やその放散特性に起因すると考えられるため, 各経過日数の官能評価で使用した空気を対象として, ガスクロマトグラフ質量分析計(以下, GC-MS)を用いて以下の手順で塗料の揮発成分を分析し, 放散特性の検討を行った。塗料中の揮発成分のサンプリングは固相マイクロ抽出(以下, SPME)法を用いた。SPME 法はほかのサンプリング手法と比較して簡便かつ高感度であることが特徴である。Fig.5 に SPME 法による揮発成分のサンプリングを, Fig.6 に揮発成分の GC-MS への注入を示す。サンプリングは官能試験で使用した空気を 2L のサンプルバッグに移し, Fig.5(a)のようにサンプルバッグに SPME ファイバーを挿入した。そして, 5 分間静置し, 空気中の揮発成分を SPME ファイバー先端のコーティング相に吸着させて揮発成分を濃縮した。その後, 揮発成分が吸着した SPME ファイバーを Fig.6 のように GC-MS の注入口に挿入した。注入口は 230℃の高温になっており, 高温に晒された SPME ファイバーが放出する揮発成分を GC-MS で分析を行った。

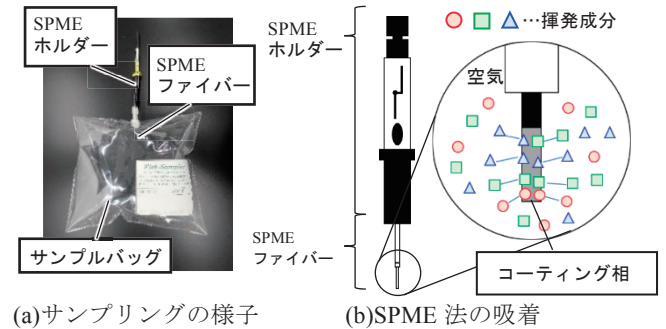


Fig.5 SPME 法による揮発成分のサンプリング
(Sampling of Volatile Components by SPME Method)

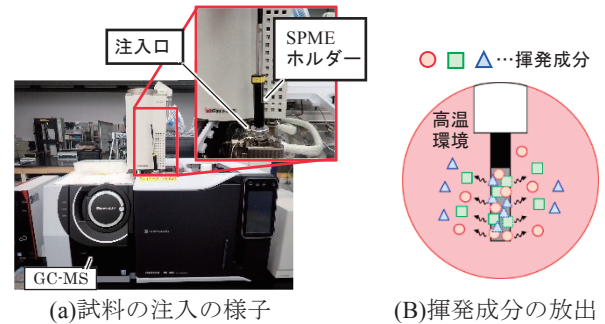


Fig.6 揮発成分の GC-MS への注入
(Injection of Volatile Components into GC-MS)

2. GC-MS の分析条件

分析装置には GC-MS (島津製作所製, GC-MS-QP2020NX) を用いた。キャピラリカラムは SH-Rtx-1 (島津製作所製, 長さ 60m 内径 0.32mm 膜厚 5.0um) を使用し, カラムオープンの温度条件は, 40°C(1 分)~230°C(5 分, 10°C/分), スプリット比はスプリットレス, キャリアガスは He, 線速度 60cm/sec 一定とした⁹⁾。また, 得られた分析結果から, 各揮発成分の濃度をトルエン換算で定量した。そして, 揮発成分のトルエン換算濃度の総和を総揮発性有機化合物(TVOC)濃度とした。

3. 成分分析の結果

(1) 揮発成分の組成

塗料 A~D の 0 日の成分分析の結果の一部を Table 5 に示す。嗅覚閾値は人がにおいを感じる最小濃度であり, 文献(6), 7)の値を示し, 沸点も併せて示した。Table 5 より, 塗料 A は検出された成分が多く, 各成分濃度も高い傾向であった。濃度が高い成分は, メシチレン, ノナン, ウンデカンなどの炭化水素化合物であり, 塗料に使用されている石油系溶剤に由来する成分と考えられる。塗料 B は 1-ブタノールや酢酸ブチルなど溶剤成分や塗料の結合材の原料であるメタクリル酸メチルモノマーなどの成分が検出された。塗料 C は溶剤成分の 1-ブタノールや添加剤の 2-ブトキシエタノール, トリエチルアミンなどが検出された。塗料 D は溶剤成分としてアセトン, イソプロパノール, 1-ブタノールが検出された。

以上の結果から, 各塗料の揮発成分や成分濃度が異なることが示された。

Table 5 揮発成分の沸点, 嗅覚閾値および濃度(一部)
(Boiling Point, Olfactory Threshold and Concentration of Volatile Components)

	沸 点	嗅覚 閾値	塗料 A	塗料 B	塗料 C	塗料 D
酢酸ブチル	166	0.0048	-	0.10	-	-
トリエチルアミン	89	0.0054	-	-	0.07	-
酢酸	118	0.006	-	-	0.01	-
酢酸ブチル	126	0.016	4.44	1.36	-	-
スチレン	145	0.035	-	0.06	-	-
プロピオン酸ブチル	145	0.036	-	0.97	0.04	-
1-ブタノール	118	0.038	-	4.91	0.79	0.05
2-ブトキシエタノール	171	0.043	1.23	0.72	0.26	-
エチルベンゼン	136	0.17	9.64	-	-	-
メシチレン	165	0.17	52.94	0.07	-	-
メタクリル酸メチル	101	0.21	-	0.57	-	-
トルエン	111	0.33	1.57	0.12	-	-
メチルエチルケトン	80	0.44	0.44	-	-	-
n-ウンデカン	196	0.62	11.33	-	-	-
酢酸エチル	77	0.87	0.01	-	-	-
3-メチルヘプタン	119	1.5	5.70	-	-	-
n-オクタン	126	1.7	0.16	-	-	-
ノナン	151	2.2	40.80	0.23	-	-
イソプロパノール	83	26	-	0.17	-	0.08
アセトン	56	42	-	0.03	0.07	0.07
エチレングリコール	197	65	-	-	0.03	-
検出された総成分数			274	110	74	89

(2) 揮発成分濃度の経時変化

次に揮発成分濃度の経時変化について検討を行った。Fig.7 に各塗料の TVOC 濃度の経時変化を示す。鉄部では, 塗料 A に対して低臭気の塗料 B は TVOC 濃度が低かった。これは塗料 B が水系であり, 塗料 A と比較して溶剤成分が少ないためであると考えられる。ボード部では, 鉄部よりも TVOC 濃度が低く, 塗料 C よりも低臭気の塗料 D はさらに低かつ

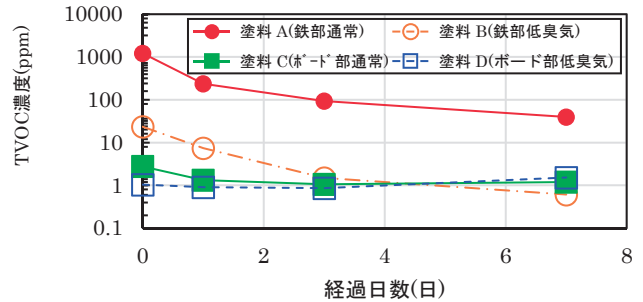
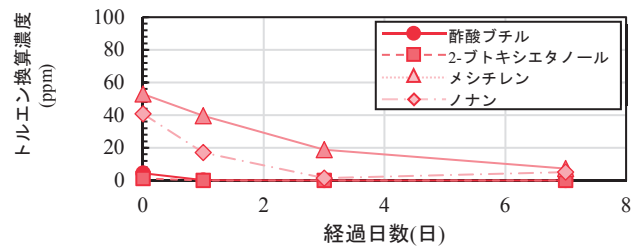
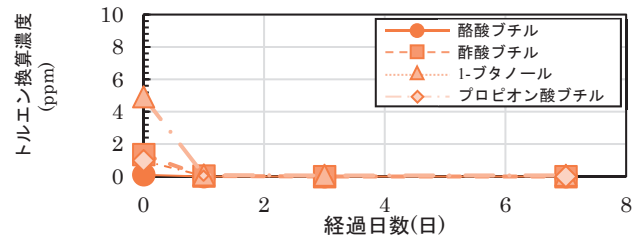


Fig.7 成分濃度の経時変化

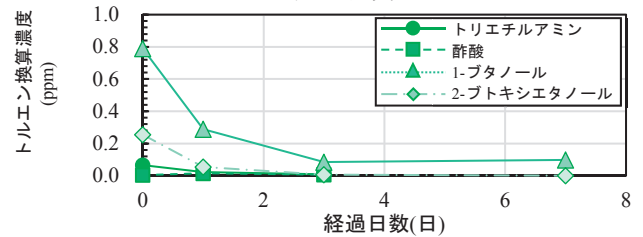
(Change Over Time in Components Concentration)



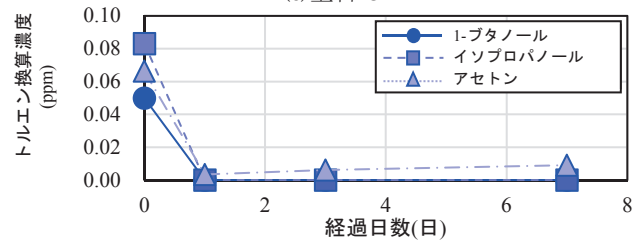
(a) 塗料 A



(b) 塗料 B (低臭気)



(c) 塗料 C



(d) 塗料 D (低臭気)

Fig.8 成分濃度の経時変化

(Change Over Time in Components Concentration)

た。これは塗料 C および塗料 D は艶消の仕様であるため、結合材や溶剤の成分が少ないことが原因であると考えられる。

Fig.8 に各塗料の揮発成分の経時変化を示す。ここでは各塗料の揮発成分の中で、濃度が高い成分や嗅覚閾値が小さい成分など官能評価に与える影響が大きいと考えられる成分に限定して検討した。Fig.8(a)の塗料 A は嗅覚閾値の低い酢酸ブチル、2-ブトキシエタノールは濃度が低く、1 日後以降検出されなかった。一方、濃度の高いメシチレンとノナンは 1 日後以降もトルエン換算濃度で 40~1ppm 程度残存しており、ほかの塗料と比較すると時間が経過した後も成分濃度が高かった。Fig.8(b)の塗料 B は、1-ブタノールの濃度が 1 日後以降急激に減少した。これは 0 日の 1-ブタノールの濃度は高くても沸点が低いいため短時間で揮発したためであると考えられる。Fig.8(c)の塗料 C は各成分が経時的に減少していた。Fig.8(d)の塗料 D は嗅覚閾値の低い 1-ブタノールが検出されたが全体を通してほかの塗料と比較して濃度が低かった。

以上の GC-MS による成分分析の結果から、結合材、溶剤や添加剤に由来する塗料の揮発成分とその放散特性を把握することができた。

(3) 官能評価と揮発成分の関係

次に官能評価値と揮発成分との関連性を検討した。ウェーバー・フェヒナーの法則より、人間の感覚の大きさは受ける刺激量の対数に比例すると一般にいられていることから、揮発成分のトルエン換算濃度は対数値として扱って検討した。塗料 A の臭気強度と成分濃度の関係を Fig.9 に、塗料 A の臭気濃度と成分濃度の関係を Fig.10 に示す。ほかの塗料でも同様の検討を行い、塗料の揮発成分濃度と官能評価値の決定係数 R^2 と嗅覚閾値を Table 6 に示す。Table 6 より塗料 A ではメシチレンが、塗料 B では 1-ブタノール、酢酸ブチル、プロピオン酸、ノナンが、塗料 C ではトリエチルアミン、1-ブタ

ノール、2-ブトキシエタノールが臭気強度、臭気濃度と相関が高い結果となった。これらの成分は各塗料の揮発成分の中で、嗅覚閾値が低い成分もしくは濃度が高い成分であった。一方、塗料 D は、ほかの塗料ほど高い決定係数は得られなかった。これは Table 5 および Fig.8(d)より、塗料 D の揮発成分はほかの塗料と比べて濃度が非常に小さいことや嗅覚閾値が高い成分が含まれていることが原因であると考えられる。これらの結果から、決定係数 R^2 が大きい成分はその成分濃度と官能評価値の経時変化の傾向が近く、その成分が官能評価に与える影響が大きく、臭気の原因物質であると考えられる。

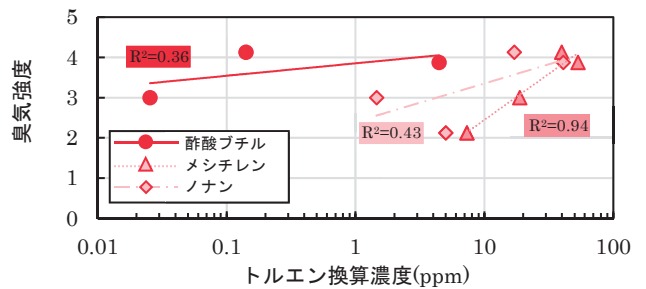


Fig.9 塗料 A の臭気強度と成分濃度の関係 (Odor Intensity and Component Concentrations of A)

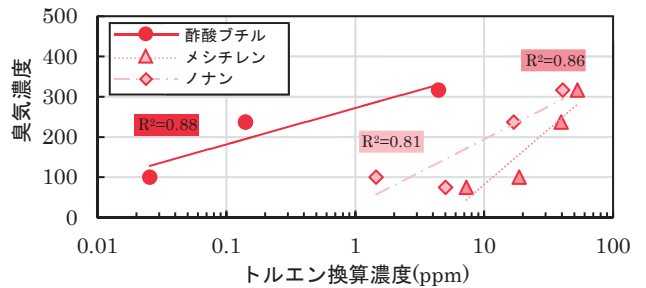


Fig.10 塗料 A の臭気濃度と成分濃度の関係 (Odor and Component Concentrations of A)

Table 6 揮発成分濃度と官能評価値の決定係数と嗅覚閾値

(Coefficient of Determination of Volatile Component Concentration and Sensory Evaluation Value and Olfactory Threshold)

成分名	嗅覚閾値 (ppm)	臭気強度とトルエン換算濃度の決定係数 R^2				臭気濃度とトルエン換算濃度の決定係数 R^2			
		鉄部		内装ボード部		鉄部		内装ボード部	
		溶剤系	水系	水系	水系	溶剤系	水系	水系	水系
		A	B	C	D	A	B	C	D
酢酸ブチル	0.0048								
トリエチルアミン	0.0054			0.96				0.73	
酢酸	0.006			0.40				0.01	
酢酸ブチル	0.016	0.36	0.95			0.88	0.75		
プロピオン酸ブチル	0.036		0.91				0.50		
1-ブタノール	0.038		0.77	0.93			0.99	0.82	
2-ブトキシエタノール	0.043		0.25	0.76			0.00	0.81	
メシチレン	0.17	0.94	0.25			0.86	0.00		
ノナン	26	0.44	0.70			0.81	0.99		
イソプロパノール	42				0.33				0.20
アセトン	65		0.02		0.78		0.00		0.05

以上の官能評価の評価指標と GC-MS 分析のトルエン換算濃度から臭気の原因物質を推定できることが示唆された。官能評価と成分分析の両方を行うことで塗料から発生する臭気の人への感じ方と揮発成分の放散特性を評価可能であることが示唆された。

V. まとめ

三点比較式臭袋法による人の感じ方を用いた官能評価と GC-MS による成分分析を行い、塗料から発生する臭気を評価して検討を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- ①人の感じ方による官能評価から、塗料から発生する臭気に関して、溶剤系は水系よりもにおいが強く、低臭気品は通常品よりもにおいが弱いという定性的な認知を臭気濃度、臭気強度、非容認率で定量的に評価できることが示めされた。
- ②GC-MS を用いた成分分析から、塗料の揮発成分とその放散特性を把握できた。
- ③成分分析より得られたトルエン換算濃度と臭気強度や臭気濃度の官能評価値の関係から臭気の原因物質を推定できることが示された。

以上から、官能評価と成分分析を用いることで、工事中に発生する塗料の臭気を、人の感じ方と臭気の放散特性から評価することの見通しを得ることができた。今後、本手法を用いて塗料のみならず、改修工事で使用されるあと施工アンカーや化粧フィルム用のプライマーなど、工事中に臭気が発生する内装建材に関しても臭気の官能評価データおよび成分

分析のデータを蓄積していく予定である。

これらの蓄積したデータを用いて、居ながら改修工事における、低臭気材料選定や換気回数など建物の利用者に配慮した工事計画に活用することで、工事区域の売り止め範囲・期間について施主や設計者との合意形成に貢献できると考えられる。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本建設業連合会；建設業ハンドブック 2021, 2021, pp.6-11.
- 2) 山口静子；官能評価とは何か、そのあるべき姿, 化学と生物, vol.50, No.7, 2012, pp.518-524.
- 3) 日本建築学会；日本建築学会環境基準 AIJES-A0003-2019 室内の臭気に関する対策・維持管理基準・同解説, 2019.
- 4) 岩崎好陽；臭気の嗅覚測定, 公益社団法人におい・かおり環境協会, 2004.
- 5) 株式会社島津製作所；ガスクロマトグラフ質量分析計 GCMS-QP2020NX 取扱説明書, 2019, pp.333-345.
- 6) 永田好男；三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果, 日本環境センター所報, Vol.17, 1990, pp.77-89.
- 7) Andrea M. Dietrich et al. ; A review: The challenge, consensus, and confusion of describing odors and tastes in drinking water, Science of The Total Environment, vol.713, 2020, pp.1-11.

Study on Evaluation of Odor Emitted from Paint during Renovation Work

Daisuke Fujii, Haruki Momose, Takahiro Nakamura and Mayuko Hirata

In renovation work, odors generated during construction can be offensive to users of the building. In this report, a sensory evaluation using the triangle odor bag method (TOMB) was conducted, and odorous gases used in TOMB were analyzed by a gas chromatograph-mass spectrometer (GC-MS) in order to understand how people perceive the odors emitted from paints and the emission characteristics. As a result of the sensory evaluation, it was possible to quantitatively evaluate qualitative perceptions, such as solvent-based paints having strong odors and water-based paints having weak odors, as well as the differences in odors depending on the type of water-based paint. Component analyses of the odorous gases revealed the emission characteristics, and the trend of the characteristics was consistent with the results of the sensory evaluation. It was also suggested that the relationship between the sensory evaluation index and odor component concentrations could be used to estimate odor-causing substances. On the basis of these results, it seems to be possible to evaluate the odors emitted from paints by sensory evaluation and GC-MS and to understand the quantitative evaluation and emission characteristics on the basis of human perception.