

特集 カーエアコンの付着臭解析*

多変量解析を用いたニオイの官能評価と機器分析データの解析 - Analysis for adsorbed Odor from Car Air Conditioners

- Multivariate Analysis between Odor Sensory Test and Chemical Analysis -

内山一寿 Kazuhisa UCHIYAMA 加瀬部修 Osamu KASEBE 木下真希 Maki KINOSHITA
佐藤重幸 Shigeyuki SATO 伊藤宏 Hiroshi ITO 榊原清美 Kiyomi SAKAKIBARA

An evaporator of car air conditioner is an aluminum heat exchanger which cools air. There has been greater demand for more comfortable air with little odor. The cause of an adsorbed odor emanated from car air conditioner was studied. We proved that the odor is caused by adsorption and desorption of odor substances from exhaust gas, tobacco smoke and others. We found a close correlation between sensory test data and chemical analysis data of the odor and specified main odor substances with multivariate analysis.

Key Words : Human Engineering, Odor, Air Conditioning, Comfort, Evaporator, Multivariate Analysis, Principal Component Analysis, Multiple Regression Analysis

1.はじめに：カーエアコンのニオイの現状

過去、我々は、カーエアコンのエバポレータ(Fig.1)から発生するニオイについて、その低減を図ってきた。しかし、ユーザの許容レベルも厳しくなっており、微生物による「不快臭」とエバポレータ腐食生成物による「ほこり臭」とを抑制した現行表面処理においても、付着した成分が発生源とみられるニオイの低減という課題が残されている(Fig.2)。この、エバポレー

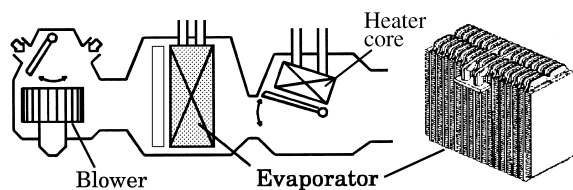


Fig.1 Air conditioner system and evaporator

Odor Type	Rotten	Dusty	Sweat, Tobacco
Cause	Growth of Bacteria	Al(OH) ₃	Adsorption and Desorption of Odor
Mechanism	Bacteria Evaporator	Resin Reacted Layer Chromate Layer Evaporator	Odor Evaporator
Counter-measure	Biocide	New Coating	Filter

Fig.2 Odor of car air conditioner

タ表面への付着成分に起因すると思われる「ニオイ」の原因物質を解明し、その低減の指針を得ることが本研究の目的である。

2.ニオイの原因調査と研究の考え方

2.1 問題となるニオイ：モニタ品調査

この現行表面処理エバポレータの「ニオイ」について、モニタ車を用いて経時的に追ってみた。モニタ開始後5ヶ月経過時に「ニオイ」が気になると訴えたモニタが1人/23人であったのに対し、10ヶ月経過時には4人/23人と増加してきた。

この内の2台について臭気評価を行なうと、微生物による不快臭、ほこり臭などはニオイの種類が違うことが分かった。また、この2台を含む6台について表面上の微生物をカウントしてみると、ニオイの原因となる数よりも少なく問題とならないレベルであった。

そこで、この2台のエバポレータを洗浄し、付着物を洗い落としたところ、「ニオイ」は全く問題ないレベルとなり、これらのニオイが付着した成分に起因する「付着臭」であることが確認された。

2.2 付着臭に対する研究の考え方

発生源においては、発生源となりうる成分の特定が課題であり、これは、機器を用いた発生源ごとのニオイ分析と回収品に付着している「ニオイ」の分析で把

(社)自動車技術会の了解を得て1998年春季大会講演
No.99より加筆転載

握できると考えられる。

付着臭をフィルタで除去するなどの低減策を講ずる場合、どの成分を優先的に除去していったらよいかを明確化することが重要であるが、今回は、この点に関する解析方法と結果を報告する。

3. 機器分析による解析

3.1 機器分析方法

機器分析の方法であるが、各種の発生源や実車に対し、空气中に存在すると推定される各種の「ニオイ」成分に対し、各々に最適と思われる方法を用いて、分析を実施することとした。この方法で得られた分析結果の成分濃度を集計後、各種成分の閾値濃度と比較し、ニオイの主原因を確かめることとした。

3.2 分析値の解析

分析の結果得られたデータを、従来からニオイの判定に使用されてきた「閾値倍数」という考え方で整理してみた。閾値倍数とは、成分濃度/閾値濃度で表される。また、「閾値濃度」とは、「ヒトがニオイを感じる最小濃度」である。

閾値倍数の考え方は次のようなものである。ここで、2つの成分 α と β があるとして、成分 α の閾値濃度の方が低い場合(ということは、より低濃度でにおう)、 α と β の成分濃度が同じなら、 α の閾値倍数の方が大きくなり、より強くにおうことになる。また、 α と β が同一閾値濃度である場合には、 β の方が成分濃度が高いとすると、 β の閾値倍数の方が大きくなり、より強くにおうことになる。3成分以上の混合系の場合にも、最も閾値倍数の大きい成分がニオイの原因として特定されるという考え方であり、悪臭問題などの解析に一般的に用いられている。

このように閾値倍数という考え方は簡単ではあるが、付着臭に当てはめると、実際のニオイの不快感では、閾値倍数が低い車両が高い車両を上回るという反対の結果が得られた例が見られた。つまり、従来の閾値倍数法では、さまざまな成分が混合したニオイの評価はできないということがわかった。

また、実際に閾値倍数の考え方を厳密に適用しようとした場合、全成分の定性定量と閾値が必要であり、実際には困難である。そこで、別の方法で、臭気強度や不快感などの官能値と分析結果から得られた定量値との相関を求める評価法開発が必要となった。

4. 評価法開発の考え方

ニオイの評価方法を開発するに際し、ニオイ刺激の伝わりかたを検討した。

まず、ニオイ刺激が鼻腔内の嗅覚受容器である「嗅上皮」の嗅細胞を刺激し、その刺激が嗅神経を通じ、脳へと伝達される。この際、ニオイ成分濃度が十分に高く、嗅覚細胞からの刺激パルスがあるレベルを超えたときに、(この時のニオイ成分濃度を閾値濃度と呼ぶ)と、ニオイとして感じられ、また、どんなニオイかが判定される (Fig.3)

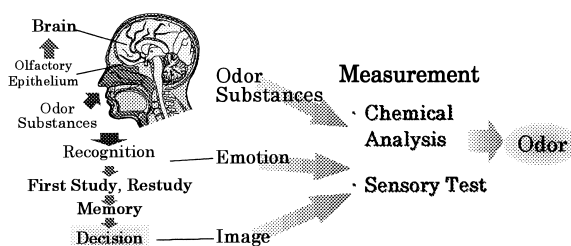


Fig.3 Flow of stimulus and measurement

このニオイ刺激の発生から、ニオイの認識という流れの中で、客観的にとらえられるパラメータを見てみると、「臭気成分」は機器分析で、「感情あるいはイメージ」は官能評価アンケートでデータ採取が可能である。

同一ニオイ試料の、これら機器分析による成分分析値と官能評価アンケートによる官能評価値とを、何らかの手段で関連づける新評価法の開発を試みた。

5. 発生源臭気の機器分析

付着臭成分を帰属するため、まず、各種発生源の臭気を分析してバックデータとし、それを踏まえ実車の臭気を分析する。

5.1 人体&タバコ

人体からの代表的な臭気成分として、汗と呼吸を分析した。汗はイオンクロマトで分析し、乳酸、辛酸、酢酸、アンモニウムイオンなどが検出された。呼吸は、一度ニオイ袋に採取したものをGC-MSで分析し、1-メチルチオ-1-ペンテンという硫黄化合物、その他を検出した。これらはいずれも有臭物質であり、ニオイの原因となる可能性がある。

タバコに関しては、1979年の日本専売公社中央研究所のタバコ1本あたりの機器分析データを示す。アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒドなどのアルデ

ヒド類、リモネンなどの香気成分、酢酸、アンモニアなどがmg ~ μg という高濃度で検出されている。タバコ煙には、ニオイの原因になり得る両性の有臭化合物が多量に存在することがわかった (Fig.4)

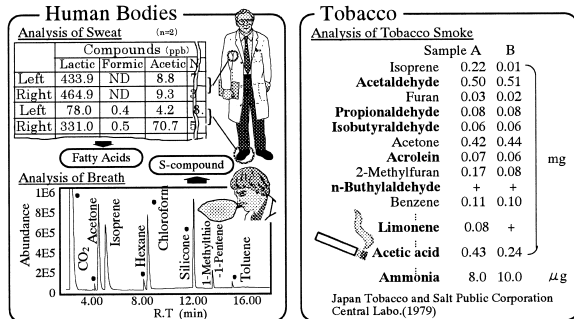


Fig.4 Odor from human bodies and tobacco

5.2 排気ガス&内装材 (新車)

続いて排気ガスは、直噴ディーゼル車の排気管から試料を採取し分析したところ、炭化水素と含酸素HCを中心とした成分がppm オーダで検出された。

また、内装材 (新車)からも車両によって差はあるものの、HC類、含酸素HC類、硫黄化合物が数10 ~ 数100ppb オーダで検出された (Fig.5)

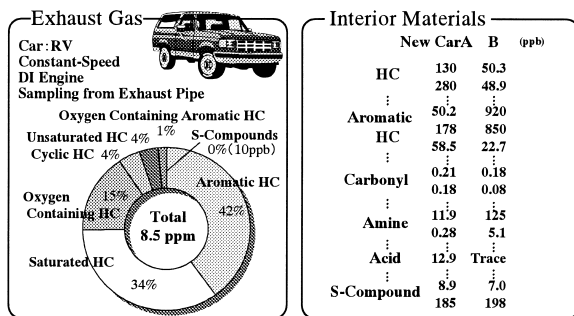


Fig.5 Odor from exhaust gas and interior

6. 実車分析結果

以上をバックデータにして、実車のニオイを分析した。その結果、各種発生源の分析結果と対応づけられる、100種類以上の成分を検出することができた。

この分析結果をニオイの官能評価値と相関付けることによって、官能値に影響を与える原因物質を特定することが可能と考え、相関付けのできる解析手法を検討した。

7. 解析方法

7.1 解析の考え方

分析結果をニオイの官能評価値と相関付けるため、ニオイの種類と原因物質の関連に着目した。各車両のニオイ官能評価結果の主成分分析により、評価軸が抽出され、その軸によってグループ分けができる (Fig.6)。個々のグループは、ヒトの評価空間に基づいて、似たもの同士によって構成されている。

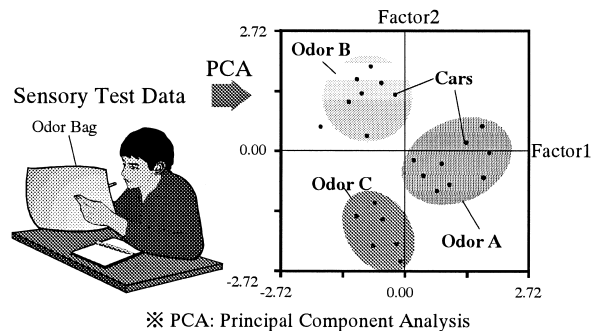


Fig.6 Sensory test and PCA

例えば、人が付着臭をタバコのニオイかそうでないかで評価しているとする、喫煙の度合いを示す軸に対し、「喫煙車両のニオイ」と「非喫煙車両のニオイ」のグループに2分されることになる。

これらの車両のニオイの官能評価値(例えばタバコ臭の強さ)を目的変数にして、ニオイの成分分析値を説明変数に設定する。車両のニオイの強弱は、タバコのニオイを特徴づける成分量との相関が高いと考えられるため、重回帰分析にかけ変数選択をすると、官能評価値と相関の高いそれらの成分が説明変数に取り込まれることになる考えた。(Fig.7)

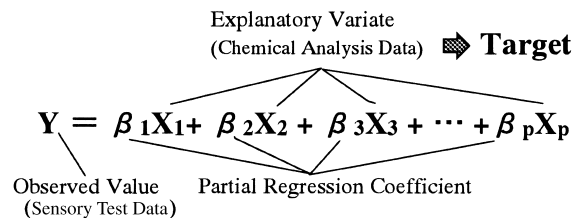


Fig.7 Multiple regression analysis

7.2 官能評価方法

官能評価試料は、実車より採取したニオイを機器分析とで二分して用いる。試料をニオイ袋でパネル(被験者)に提示し、感じたニオイについて、SD法アンケート(Fig.8)を用いて回答を得た。

- (1) パネル ニオイに関する予備知識が無く、今回の評価による利害に無関係な、一般技術者と事務員に依頼した。
- (2) 評価試料 ブランクとして、無臭試料を加え、すべての試料は中身がわからぬよう、車両からの採取順とは無関係にランダムに並び替えて名前をアルファベットで明示し、ブラインド試験とした。
- (3) 評価環境 南向きで、喫煙がされていない静かな部屋を選び、直射日光はカーテンなどで遮って、パネルが不快と感じない温湿度条件下で行なった。
- (4) アンケート ニオイの種類を示す用語はあらかじめ数回の予備試験により選定した。臭気強度、快・不快度、ニオイの種類について設問を設け、その他として、自由回答でコメントをとった。ニオイの種類に関しては、アンケートに用いたニオイの表現語への当てはまり度を、で回答させ、集計の際に、 : 3点, : 2点, : 1点, なし : 0点で換算した。

Sample No.	Date	Name
1. においの強さと快・不快度		
【臭気強度】		【快・不快度】
5 強烈なにおい	2 快	
4 強いにおい	1 やや快	
3 察に感知できるにおい	0 快でも不快でもない	
2 何の臭いかわかる弱いにおい	-1 やや不快	
1 やっと感知できるにおい	-2 不快	
0 無臭	-3 非常に不快	
2. においの種類についてあてはまる言葉があれば、記号で答えてください。		
◎ : まさにそのものである ○ : かなりあてはまる △ : 少しあてはまる		
<input type="checkbox"/> 酸っぱい	<input type="checkbox"/> あまい	<input type="checkbox"/> こげた
<input type="checkbox"/> 生ぐさい	<input type="checkbox"/> 腐敗したような	<input type="checkbox"/> ほこりっぽい
<input type="checkbox"/> 自動車排気	<input type="checkbox"/> 汗	<input type="checkbox"/> 化粧品
<input type="checkbox"/> かび	<input type="checkbox"/> ぞうきん	<input type="checkbox"/> 靴下
<input type="checkbox"/> 新車臭、内装材		<input type="checkbox"/> 魚
その他()		

Fig.8 A questionnaire

8. 主成分分析による解析結果

8.1 主成分の抽出と意味付け

前記のアンケートを集計し、主成分分析を実施した。主成分分析の結果、一般的な目安である固有値が1以上の、3つの主成分が抽出された。また、寄与率も第3主成分までで通常必要とされる80%を超えて約

90%と十分な値を示したので、第3主成分までで十分付着臭の評価空間を再現できるといえる (Table 1)

次に、評価軸たる主成分の意味付けを行った。(Table 2)

Table 1 Eigenvalue and contribution

Factor	Eigenvalue	Contribution	Accumulated Contribution
1	5.309	0.531	0.531
2	2.549	0.255	0.786
3	1.059	0.106	0.892
4	0.482	0.048	0.940
		⋮	

Table 2 Principal component

Variate	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
Intensity	-0.163	0.979	-0.014	-0.076
Discomfort	0.831	0.372	0.216	-0.174
Acid	-0.803	0.511	-0.170	0.161
Sweet	-0.868	0.450	-0.079	0.062
Burned	0.815	0.448	-0.219	-0.017
Dusty	0.871	0.066	-0.267	0.104
Tobacco	0.721	0.529	-0.242	-0.276
Exhaust Gas	0.753	0.274	-0.024	-0.024
Cosmetics	-0.827	0.454	-0.222	-0.007
Interior Materials	0.038	0.471	0.866	0.045
	Discomfort	Intensity	Interior Odor	-

第1主成分では「快・不快度」と、不快なニオイ表現を示すニオイの用語「焦げた、埃っぽい、タバコ、排ガス」と、「酸っぱい、甘い、化粧品」が因子負荷量が高く、この主成分を「不快度」と名付けた(変数変換をしたため、不快側が+になっている。)因子負荷量が正の値となった不快側の用語については問題無いが、快側の用語については、通常不快なニオイ表現である「酸っぱい」が選ばれ疑問がある。そこでパネルにインタビュー調査を行なったところ、今回「酸っぱい」という反応があった試料は「芳香剤」のニオイで、自由解答欄にも「芳香剤」という記述と共に好ましいニオイであるとして判定されており、結果と矛盾しないということがわかった。

続いて第2主成分であるが、これは「強度」の因子負荷量が高かったため、「強度」と名付けた。残る第3主成分であるが、「内装臭」が単独で因子負荷量が高かった。内装臭が軸として表れてきたのは、乗員として車に慣れ親しんでいるパネルにとって、内装のニオイは車と同様なじみ深いものであるため、排気ガスなどの通常の不快なニオイと異なり、独立して認知、評価されているからではないかと考えられる。

8.2 因子負荷量

主成分の軸に対して、各用語の因子負荷量を で付置したのがFig.9である。今回の試料では、どの用語と不快度との関連が深いかなど、3本の評価軸による評価空間が明確になっていることがわかる。

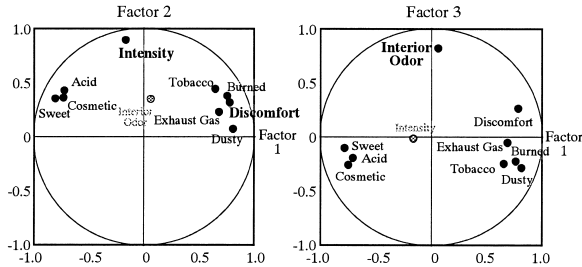


Fig.9 Factor loading

8.3 主成分得点

各試料の「ニオイ」評価結果の主成分得点を第1～第3主成分の軸に、と でプロットした。は喫煙車両、は香料(芳香剤)使用車両を示している。(Fig.10)その他の車両は でプロットした。

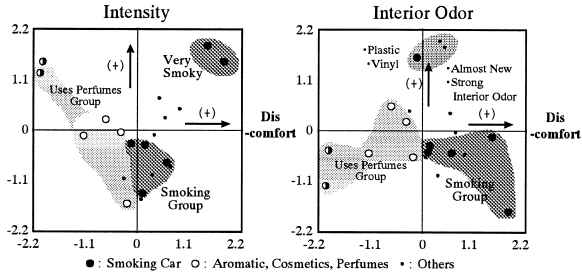


Fig.10 Principal component score

さらに、喫煙車両と非喫煙車両、走行期間が短い(新車に近い)車両、樹脂&ビニール臭がするとコメントされた車両をグループとして囲んでみた (Fig.10)

- ・第1主成分：喫煙車両は不快(+)側、芳香剤使用車両は快(-)側。
- ・第2主成分：タバコ臭の強い車両は強度の高い(+)側。
- ・第3主成分：内装臭やビニール臭の強い車両は内装臭の強い(+)側。

という結果が得られ、各主成分と車両とが明確に対応し、これらの評価軸によって、ニオイを明確に層別できるとわかった。

9. 重回帰分析による脱臭ターゲットの特定

官能評価の主成分分析により、付着臭の評価軸が明確になったので、この官能評価結果と分析結果の相関を求めた。

各評価軸の代表要素を目的変数に、成分分析値を説明変数として、重回帰分析を実施した。なお、臭気強度などの感覚値と、ニオイ成分濃度などの物理量の対数値が比例関係にあることがWeber-Fechner則 (Fig.11)として広く知られており、成分分析値は、対数をとって変数変換して解析した。

$$\text{Odor Intensity} = k \log (\text{Odor Substance Concentration}) + a$$

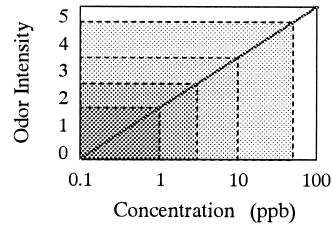


Fig.11 Weber-Fechner's law

目的変数とした第1主成分要素の「不快度」は、アンケート項目の「快・不快度」、第2主成分の「強度」は「臭気強度」、第3主成分の「内装臭」は「新車臭、内装材」の各々を使用した。重回帰分析の結果、「不快度」、「強度」、「内装臭」の各々について、精度良い回帰式が得られ、脱臭すべきターゲットを明確にすることができた。

さらに、回帰式に取り込まれた成分と取り込まれなかった成分を用いて、エバポレータの付着臭を確認した。その結果、回帰式に取り込まれた成分は取り込まれなかった成分よりも高い臭気強度を示し、解析結果を裏付けることができた。

10. むすび

「ニオイ」の実態の明確化と原因究明のために発生源調査を実施し、この原因がエバポレータに付着した臭気成分による「付着臭」であることを確認した。

精密機器分析と官能評価を実施し、初めて、付着臭の成分分析値と官能評価値との間で高い相関があることを見出し、原因系成分を明確化し、付着臭低減の指針を得ることができた。

<参考文献>

- 1) 田中敏之：“ 常温吸着捕集法による大気中のガス状有機化学物質のサンプリングについてその1. 基礎原理 ”,環境と測定技術,Vol.16,No.1(1989)
- 2) 田中敏之：“ 常温吸着捕集法による大気中のガス状有機化学物質のサンプリングについてその2. 大気測定の実際と測定例 ”,環境と測定技術,Vol.16,No.2(1989)
- 3) 田中敏之：“ 大気中ppbレベルの揮発性有機化合物分析のためのTenax-GC捕集管の性能について ”,大気汚染学会誌,第19巻,第6号(1984)
- 4) 柏平伸幸：“ ガスクロマトグラフィーによる試料注入の影響 - GC-FPDによる硫黄化合物の測定 - ”,環境と測定技Vol.16,No.2(1989)
- 5) 須藤恵美子：“ 環境分析における検量法,環境と測定技術 ”,Vol.12,No.9(1985)
- 6) 石黒智彦：“ 公定悪臭物質の測定方法の実際と留意事項,環境と測定技術,Vol.14,No.1(1987)
- 7) 斉藤幸子：“ 悪臭の不快感について ”,環境と測定技術,Vol.15,No.3(1988)
- 8) 環境庁大気保全局特殊公害課：“ 三点比較式臭袋法の技術指針 - 環境庁・官能試験法調査報告による - ”,環境と測定技術,Vol.9,No.9(1982)
- 9) 環境庁大気保全局特殊公害課：“ 悪臭官能試験法指導策定のための基礎資料 ”,環境と測定技術,Vol.9,No.10,(1982)

<著 者>



内山 一寿
(うちやま かずひさ)

材料技術部
ニオイ,意匠等,感性関連の要素技術(微量分析,官能評価,防菌評価等)の開発,機能材料の開発に従事.



佐藤 重幸
(さとう しげゆき)

(株)豊田中央研究所 感性・人間行動部
ニオイ,空気質に関する研究に従事.



加瀬部 修
(かせべ おさむ)

冷暖房開発2部
カーエアコン用エバポレータの開発に従事.



伊藤 宏
(いとう ひろし)

(株)豊田中央研究所 感性・人間行動部
ニオイ,空気質,自動車排気ガスに関する研究,イオンクロマト分析法の研究に従事.



木下 真希
(きのした まき)

材料技術部
意匠,ニオイ等の感性関連の要素技術(多変量解析を用いた官能評価法等)の開発,機能材料の開発に従事.



榊原 清美
(さかきばら きよみ)

(株)豊田中央研究所 感性・人間行動部
ニオイ,空気質に関する研究に従事.