

「におい」に対する顔表情反応の分析 ～臭気官能試験への可能性検討～

知恵賢二郎^{*1} 島津賢三郎^{*2} 渡辺 達也^{*3} 駒井 章治^{*4}
Chie Kenjiro Shimazu Kenzaburo Watanabe Tatsuya Komai Shoji

「におい」は多種多様な揮発性の化学物質であり、それぞれ違った構造をもつ。地球上には約 40 万種類の「におい分子」があり、人間はそのうち数千種の「におい」を嗅ぎ分けることができると言われている⁽¹⁾。「におい」の嗅ぎ分け、例えば人間が「におい」を認識した時には、その「においの質」により快適や不快となり、時には環境問題ともなる。本稿では、「におい」による顔表情反応をセンサー等で捉え、「におい」の種類等を簡便に判別できる簡易で客観的な指標作りの可能性を探った結果を紹介する。

キーワード：におい、官能試験、臭気指数、臭気強度、快・不快度、臭気濃度、顔表情変化、眼輪筋電位、頭部加速度、頭部ジャイロ、k 平均法、状態抽出(クラスタリング)、サポートベクターマシン

1. はじめに

一昔前は「におい」は感性の領域に限定され「かわしい」「くさい」と表現されるのみがほとんどであった。しかし、近年は悪臭対策に代表されるように、規制基準や脱臭効率等に際して「数値化」しなければならない機会が多い。「数値化」には人間の嗅覚、すなわち鼻を用いて「におい」を数値化する嗅覚測定法(臭気官能試験)がある。臭気官能試験は「人間の感覚」を用いるためトレーサビリティの観点で不利になりがちであるが、日本も含め世界の国々において広く使われている。これは「におい」が感覚に依存する点が大きいためである。当社でも臭気調査の一手法として、臭気官能

試験を実施しているが、時間や人員を要する点が課題となっている。本稿では臭気官能試験の概要と、人間が「におい」を感じた時の表情反応から、臭気識別が可能か検討した結果を述べる。

2. 「におい」と官能試験

2.1 化学物質と「におい」

人間の嗅覚器が「におい」物質に反応するまでは、主に 1. 物質の気化、2. 鼻腔への到達、3. 鼻腔粘液への溶け込みと輸送、4. 「におい」受容体での識別、の 4 段階が必要である。その後、「におい」受容体での情報が脳に到達し、人間は「においの質」や強度を判断できる。「においの質」と化学物質の関係は完全には解明されていないが、経験的

*1：計測事業部 企画管理部 ソリューションエンジニアリンググループ
課長 博士(理学) 環境計量士 一般計量士

*2：計測事業部 化学・環境部 福浦グループ 課長 作業環境測定士

*3：計測事業部 化学・環境部 福浦グループ 環境計量士 一般計量士 臭気判定士

*4：東京国際工科専門職大学 工科学部 情報工学科 教授 (元奈良先端科学技術大学院大学)

に表1～表3が知られている⁽¹⁾。

「におい」物質は濃度によって「においの質」が変わるものがある、例えば糞便臭の代表例「スカトール」は濃度が濃いと多くの人が嫌う悪臭であるが、薄くなると必ずしも悪臭ではなく、香水の構成成分として用いられている成分である。また、大会で優勝した時に嗅いでいた「におい」など、良い記憶に紐づけられている「におい」は不快になりにくいという特徴もある。

2.2 臭気官能試験

「におい」の測定方法は図1に示すように、2つの方法に大別できる。1つはその「におい」を構成する化学物質に着目し、ガスクロマトグラフィーなどの分析機器で化学物質の濃度(ppm)を測定する成分濃度表示法である。もう1つは人間の嗅覚を用いて「におい」を数値化する嗅覚測定法である⁽²⁾。

嗅覚測定法は、臭気官能試験法とも呼ばれ、人間の鼻を用いて臭気を測定・数値化する方法であ

表1 官能基と「においの質」の関係

官能基	「においの質」
ヒドロキシ(ル)基【-OH】	みずみずしい甘さ、フローラル感
カルボニル基【-C(=O)-】	どくだみ感
アルデヒド基【-CHO】	とげとげしい感
カルボキシ(ル)基【-COOH】	汗臭、油の酸敗臭
エーテル基【-O-】	浸透感のある香り
エステル基【-COO-】	フルーティ感、フローラル感
ラクトン環【環-COO-】	ナッツ感、フルーティ感

表2 官能基以外の特徴と「においの質」の関係

項目	「においの質」
元素	硫黄やリンは悪臭性が多い
蒸気圧	蒸気圧が高い芳香物質は果実臭や溶剤臭
炭素数、分子サイズ	脂肪族の低分子化合物は刺激臭 脂肪族の炭素数15以上は脂肪臭、ワックス臭 ラクトン環は大きくなると芳香性が減少

表3 「においの質」と化学物質の関係

「においの質」	化学物質
アーモンド	ベンスアルデヒド、ニトロベンゼン など
アロマ	ベンスアルデヒド、ケイ皮酸シンナミル など
カラメル	メチルシクロペンテノン など
糞便	スカトール、吉草酸、アンモニア など
魚	トリメチルアミン、ヘキシルアミン など
果実	ウンデカラクトン、デカラクトン、酢酸アミル など
ガソリン	ベンゼン、シクロヘキサノール など
花	フェニルエチルアルコール など
汗	イソ吉草酸、サリチル酸イソアミル など

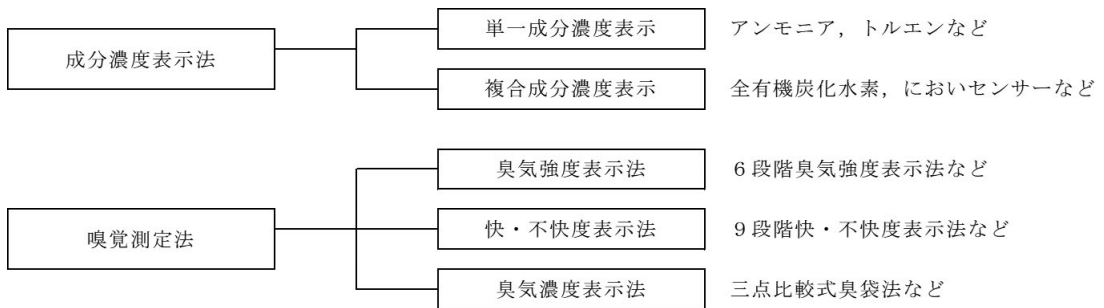


図1 「におい」の測定方法

る。悪臭防止法が制定された昭和46年(1971年)当時は、信頼できる嗅覚測定法が存在しなかったため、硫化水素など悪臭物質の濃度(ppm)を測定する「成分濃度表示法」が採用されたが、平成7年(1995年)に嗅覚測定法である三点比較式臭袋法が悪臭防止法に追加された。嗅覚測定法はいくつかの方法があるが、本稿では当社業務で使用する3種類の嗅覚測定法について説明する。3種類の測定法は「におい」の強度に着目した「臭気強度表示法」、「におい」の快・不快度に着目した「快・不快度表示法」、「におい」が無臭になるまでの希釈倍数を測定する「臭気濃度表示法」である⁽³⁾。

臭気強度表示法は「臭気の強さ」に着目して数値化する方法であり、6段階臭気強度表示法が広く使われている。においを嗅ぐ人(パネル)を数名ににおいを嗅いでもらい、その時に感じた強さの程度を表4に示されたカテゴリで答える。具体的には、強く感じたら、「4」と答え、弱く感じるようであれば、「2」と答える。

表4 6段階臭気強度表示法のカテゴリ

「におい」を嗅ぎ、下記に該当するものを選ぶ	
数値	カテゴリ
5	強烈な「におい」
4	強い「におい」
3	楽に感知できる「におい」
2	何のにおいであるかがわかる弱い「におい」
1	やっと感知できる「におい」
0	無臭

環境問題においては、「におい」の「強さ」より「不快性」が重要という意見がある。このような観点から使われているのが「快・不快度表示法」である。この方法は、「におい」の快・不快度に着目して表5のカテゴリにより数値化する方法である。日本では「9段階快・不快度表示法」が使われており、環境問題における「におい」の数値化方法として、被害の実態を表しやすいという観点で、重要な評価尺度である。

表5 9段階快・不快度表示法のカテゴリ

「におい」を嗅ぎ、下記に該当するものを選ぶ	
数値	カテゴリ
+4	極端に快
+3	非常に快
+2	快
+1	やや快
±0	快でも不快でもない
-1	やや不快
-2	不快
-3	非常に不快
-4	極端に不快

最後に、人間の鼻を用いる測定尺度として使われているのが「臭気濃度」である。臭気濃度とは、その臭気を無臭空気希釈する際、何倍に希釈するとにおわなくなるかを求めるものであり、無臭となった時の希釈倍数が臭気濃度で表される。例えば、臭気濃度5000の臭気とは、その臭気を無臭空気希釈で5000倍に希釈した時、人間が「におい」を

感じなくなることを意味する。また、この臭気濃度を「 Y (臭気指数) = $10 \times \log X$ (臭気濃度)」で対数変換したものが臭気指数であり、騒音におけるデシベル表示と同様に人間の感覚に近い尺度である。臭気強度および快・不快度表示法は「**においの程度**」を判断する指標であるのに対し、この臭気濃度尺度は「**においの有無**」を判断する指標である⁽⁴⁾。

3. 表情変化反応の取得

3.1 「におい」試薬の選定

表情変化反応を採取するにあたり、試験方法は嗅覚測定法(臭気官能試験法)をベースとした。選定理由として、目的が官能試験への適用検討であること、これまでの官能試験データベースと検証が容易であること、試験方法が公定法であることが挙げられる。「におい」試薬は嗅覚検査に用いられる「T&T オルファクトメーター基準臭」を選定し、具体的には表6に示すフェニルエチルアルコール、メチルシクロペンテノン、イソ吉草酸の官能情報を分析した。

3種類の「におい」試薬について、6段階臭気強度表示法、9段階快・不快度表示法、臭気濃度を分析した。分析結果を表7に示す。

パネル5人による官能試験から、表7に示す性状を把握できた。臭気強度は1.5～3.3、快・不快

度は予想どおり(フェニルエチルアルコール、メチルシクロペンテノンは快適、イソ吉草酸は不快)の結果、臭気濃度は130～160を示し、「**においの有無**」や、快適・不快を明確に判別可能であることがわかった。

3.2 眼鏡型計測デバイスによる表情変化反応の検討

まず、ジンズホールディングス社製の眼鏡型計測デバイス JINS MEME ES を用い、頭部加速度、頭部ジャイロ(傾き)、眼輪筋電位(EOG)について、「におい」に対する反応パターンを取得した。「におい」の呈示方法は官能試験方法に準拠し、「におい」を呈示するタイミング、長さはランダムとし、「におい」を3回呈示した。試験状況を図2、試



図2 試験状況
(黒い眼鏡が眼鏡型計測デバイス JINS MEME ES)

表6 試験に用いた「におい」試薬

試薬	「におい」の傾向	「におい」の種類
フェニルエチルアルコール	快適な香り	バラの花
メチルシクロペンテノン	快適な香り	カラメル
イソ吉草酸	不快な香り	汗

表7 「におい」試薬分析結果 (パネル5人による)

試薬	6段階 臭気強度	9段階 快・不快度	臭気濃度 (臭気指数)
フェニルエチルアルコール	1. 5	0. 8	160 (22)
メチルシクロペンテノン	2. 5	1. 8	140 (21)
イソ吉草酸	3. 3	-2. 0	130 (21)

験結果を図3～図8に示す。

眼鏡型計測デバイスを用いた計測(図3～図8)の評価方法は、「におい」呈示の有無、すなわち赤色の線(左側のオンセットと右側のオフセット)エリア内外でスペクトルに違いがあるかになる。図3、図4および図5では、被検者の頭部の運動にさほど違いが見られないことがわかる。これ

は、実験室で試験を行ったために刺激呈示や計測の一連作業が人為的となり、頭部固定的反応を誘導してしまったことが原因と考えられる。眼輪筋電位は、瞬目反応や眼球運動を観測するもので、「におい」呈示有無による違いをスペクトル波形から判断する。図7および図8から、計測スペクトルには若干の違いが見られたが、刺激との関連を

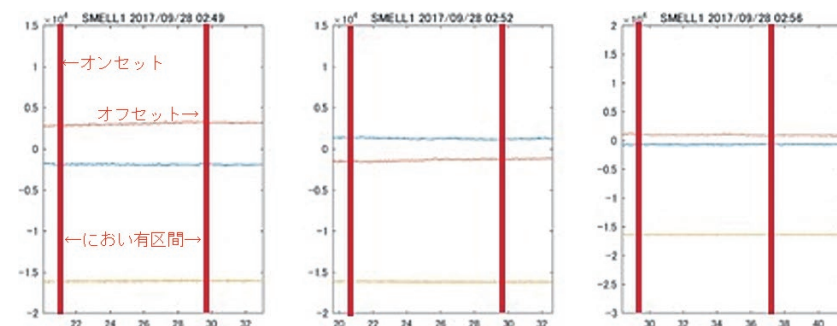


図3 メチルシクロペンテノンによる加速度センサー結果

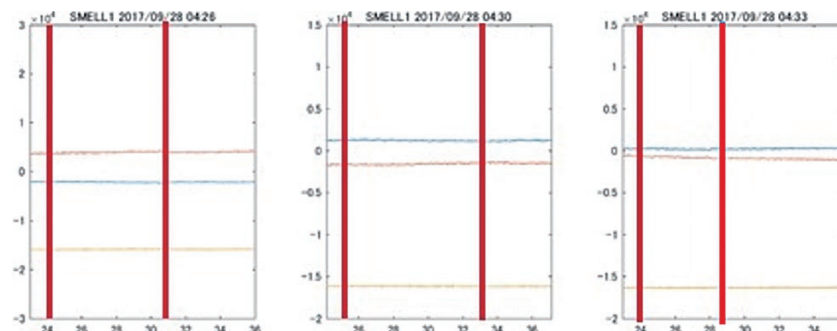


図4 イソ吉草酸による加速度センサー結果

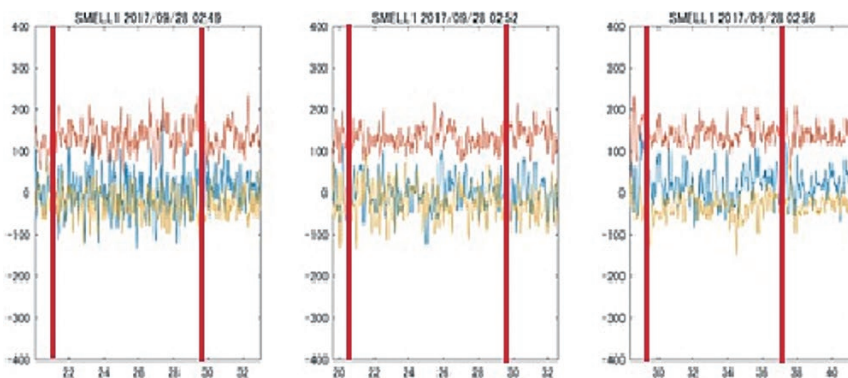


図5 メチルシクロペンテノンによる頭部傾き結果

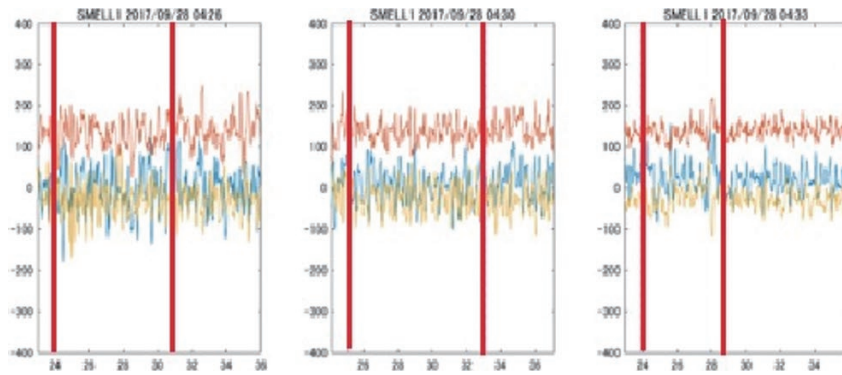


図6 イソ吉草酸による頭部傾き結果

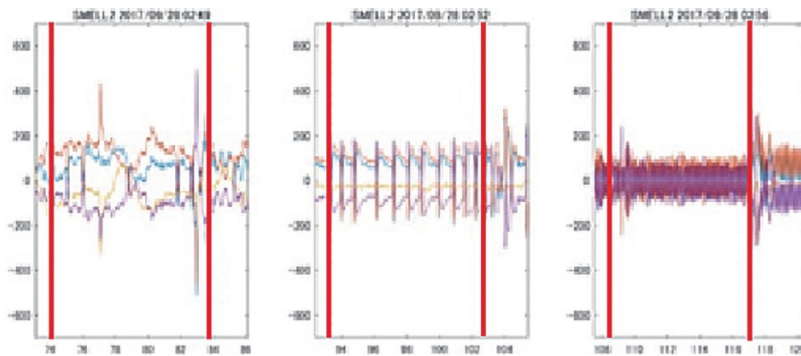


図7 メチルシクロペンテンンによる眼輪筋電位 (EOG) 結果

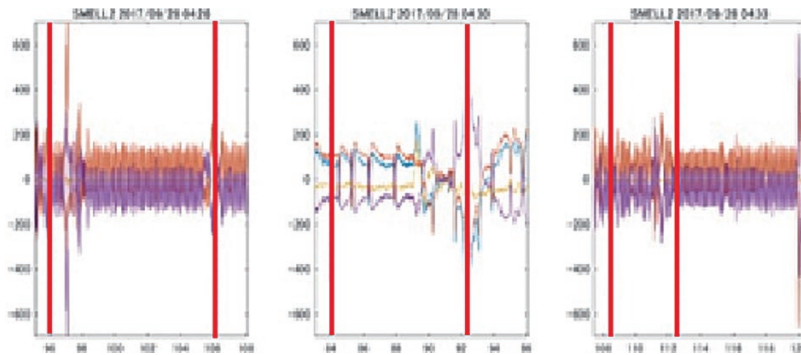


図8 イソ吉草酸による眼輪筋電位 (EOG) 結果

推定することは今回のデータからは困難であった。これらを防ぐために、頭部運動同様に被検者に対して自然に振る舞うよう指示することや、被検者に実験者の動作や刺激呈示のタイミング等が見えないセットアップを行い、自発行動が誘発される環境のセットアップが必要であると考えられる。

3.3 動画解析による表情変化反応の検討

眼鏡型計測デバイスによる計測では、「におい」による何らかの顔表情変化があることは確認されたが、明確な関連を推定することができなかった。そのため、動画撮影とパターン解析による手法を用いて、「におい」と顔表情変化の関係を検証した。

試験方法は眼鏡型計測デバイス時と同様に、椅子に着座した状態で嗅覚刺激を臭気官能試験に準拠し呈示した。試薬は3種類(フェニルエチルアルコール、メチルシクロペンテノン、イソ吉草酸)とし、被験者には「におい」のオンセット情報は与えず、「におい」を感じた場合にボタンを素早く押すよう指示した。「におい」によるパターン取得状況を図9に示す。

顔表情変化に関する情報を得るため、図10のように表情変化の特徴抽出を行った。まず撮影時間を通じて形状や映り変動しにくい目尻をト



図9 パターン取得状況

ラッキングし、左右の目尻の中心を中心として目尻が平行を保つように映像の傾きを補正した。映像の観察から特に目の周辺について変動が大きく見られたことから、目の近辺の映像を切り出した(横185ピクセル、縦90ピクセル)。続いて勾配方向ヒストグラム(HOG)特徴を計算し、表情をベクトル情報とした。

得られた特徴量をもとに、表情の状態を指定数(今回の場合は20個)のクラスタ情報で表す手法を試みた。具体的には、HOG特徴ベクトルを非負値行列因子分解で間接的に直行化したのち、各時刻における特徴ベクトルの得点をk平均法(非階層型クラスタリングのアルゴリズム。クラスタの平均を用い、与えられたクラスタ数に分類する手法)の1つであるk-means++を用いて図11のように20クラスタに分割した。

図11における黄色位置は各「におい」の種類に対応し、上から刺激A(フェニルエチルアルコール)、刺激B(メチルシクロペンテノン)、刺激C(イソ吉草酸)、刺激D(空気)であり、それぞれの呈示タイミングは黄色の幅エリアとなる。下部は20クラスタの情報である。

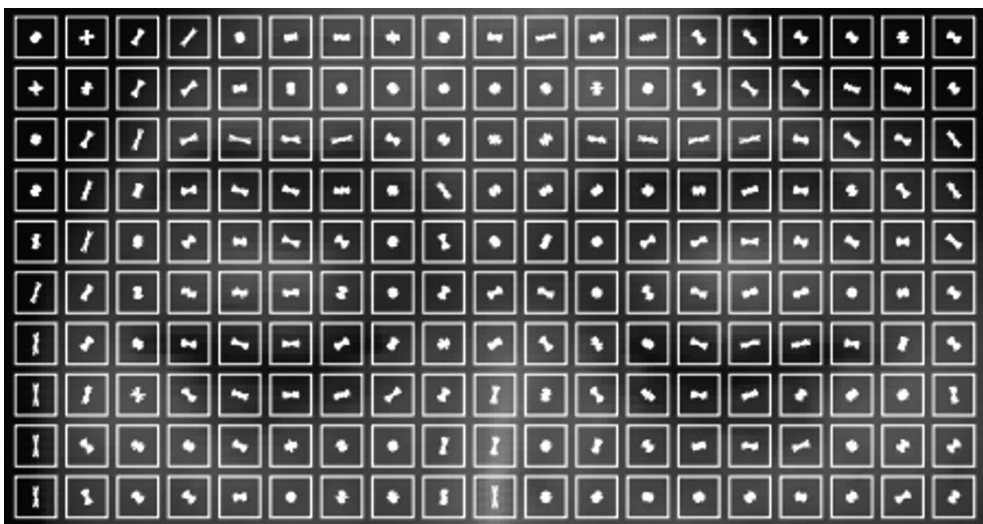


図10 勾配方向ヒストグラム(HOG)特徴の計算概要(※各セルにベクトル情報を割り当てる)

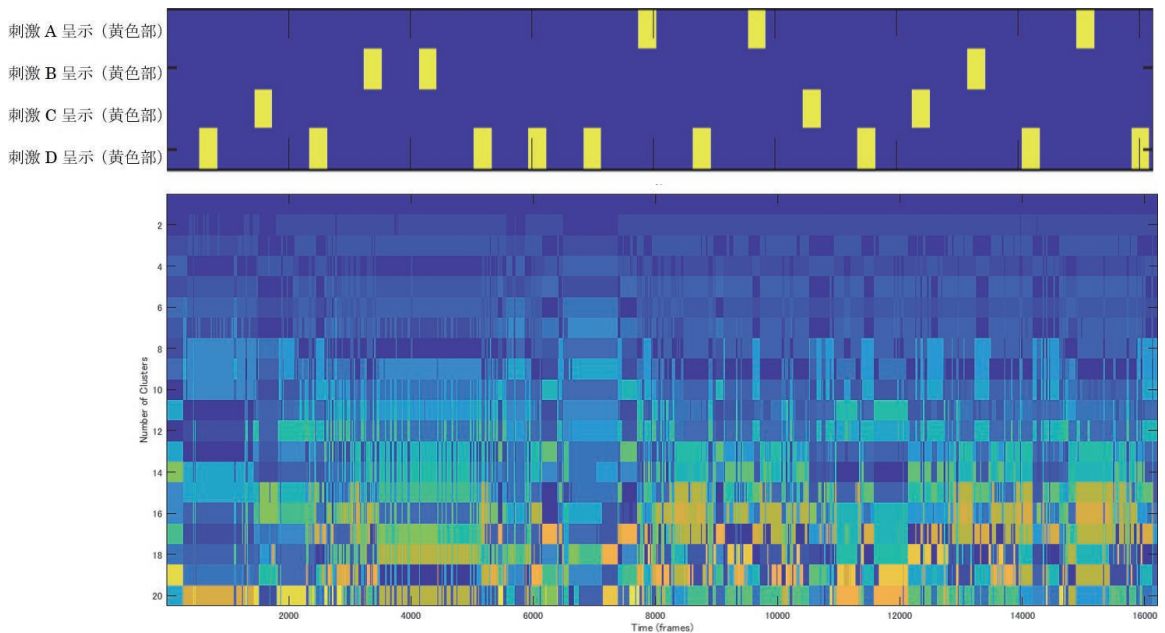


図 11 k-means++ を用いた 20 クラスタ分割結果

次に抽出した表情の状態に含まれるクラスタ情報について、サポートベクターマシン (SVM) を用いて評価した。SVM 概略は、教師あり学習 (正解がわかっている情報を用いて解析する) モデルの 1 つであり、分類や回帰に適用できる手法である。入力情報として刺激開始呈示直後 3 秒間におけるクラスタ情報を用い、3 項目 (「においの有無」の区別、「におい」種類の区別、不快な「におい」の区別)

を評価した。評価結果を表 8 に示す。

SVM による判別はいずれの評価項目もチャンスレベル (ランダムに回答して得られる正答率) を上回り、目の周囲の変化に、「におい」の判別に関係する情報が含まれていることが示唆された。「におい」種類区別は正答率 50% と高い成功率ではないが、一定の情報を含んでいると考えられる。

表 8 SVM による評価項目と正答率、チャンスレベル

評価項目	判断の要素 (嗅ぎ分ける要素)	SVM による 判別正答率	チャンスレベル (期待値)
「においの有無」 の区別	「空気」と「それ以外」かの判断	83%	2 択問題 50%
「におい」 の種類区別	どのにおい (フェニルエチルアルコール, メチルシクロペンテン, イ吉草酸, 空気) かの判断	50%	4 択問題 25%
不快な「におい」 の区別	「不快なおい (イ吉草酸)」, 「快適なおい (フェニルエチルアルコール, メチルシクロペンテン)」, 「何も嗅いでいない (空気)」かの判断	88%	3 択問題 33%

4. まとめ

本研究の結果から、表情変化反応には、「におい」の判別に関係する情報が含まれていることがわかった。眼鏡型計測デバイスによる座標情報だけでは、「におい」判別は難しいが、パターン解析手法を用いることで、「においの有無」や「におい」種類区別を高正答率で判断できた。なお、今回用いたk-means++は2007年に設計されたアルゴリズムであり、AI技術等は含んでいない。最新のAI技術を組み合わせることで、さらなる高精度・高機能化が期待される。また、濃度依存や複合臭の確認は行わなかったが、多くのデータを取得・検証することで官能試験に替わる、臭気判定の一手法となることが期待される。

参考文献

- (1) 齊藤、井濃、綾部：嗅覚概論 においの評価の基礎、公益社団法人におい・かおり環境協会、pp.26-31、pp.45-49
- (2) 公益社団法人におい・かおり環境協会：シリーズ「悪臭に関わる苦情への対応」、pp.13-20
- (3) 静岡県環境保全協会：環境保全ハンドブック 2011、pp.654-686
- (4) 公益社団法人におい・かおり環境協会：気体排出口における臭気指数規制マニュアル、pp.91-92



計測事業部 企画管理部
ソリューションエンジニアリング
グループ 課長
博士(理学) 環境計量士
一般計量士
知恵賢二郎
TEL. 045-791-3518
FAX. 045-791-3541



計測事業部 化学・環境部
福浦グループ 課長
作業環境測定士
島津賢三郎
TEL. 045-791-3516
FAX. 045-791-3541



計測事業部 化学・環境部
福浦グループ
環境計量士 一般計量士
臭気判定士
渡辺 達也
TEL. 045-791-3516
FAX. 045-791-3541



東京国際工科専門職大学
工科学部 情報工学科
教授
駒井 章治
TEL. 03-3344-5555