

令和元年6月5日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2018

課題番号：17K19964

研究課題名（和文）任意の香りの調合を可能にする「原臭」の探索

研究課題名（英文）An Exploration of Primary Odors That Enables Reproduction of Arbitrary Odors

研究代表者

石田 寛（ISHIDA, Hiroshi）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：80293041

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、任意の匂いを自在に再現してユーザに提示できる装置の実現を目指し、基礎的な検討を行った。様々な化学物質を揮発させた蒸気を調合し、その匂いを電子嗅覚センサで確認する。調合した匂いを所望の匂いと比較し、匂いの再現度の高い調合比を自動探索することが可能なシステムを提案した。揮発性の低い化学物質を用いた場合には、十分な強さの匂いを被験者に提示できないことがある。そこで、匂いを濃縮して被験者に提示する装置の開発も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

映画やテレビの臨場感や没入感を高めるため、立体映像やサラウンドサウンドに加え、匂いや香りを提示する装置の開発が求められている。本研究では、十数種類の香料蒸気を調合し、所望の匂いに近い匂いを自動的に生成することが可能な装置を提案した。光の三原色に対応する「原臭」を探し出すことができれば、映画やテレビのシーンに合わせ、任意の匂いを作り出すことが可能になる。この原臭の探索を促進するシステムを開発した。

研究成果の概要（英文）：In this research project, fundamental investigations have been conducted toward the development of devices that can reproduce arbitrarily specified smells and present them to the user. In the proposed system, a mixture of various odorant vapors is generated, and its smell is examined by using an electronic nose system. Thus, the process of exploring the appropriate vapor mixing ratios to reproduce the desired smell is automated. When odorants with low volatility are used, sufficiently strong smell cannot always be generated. Therefore, an odor concentrator device has also been developed.

研究分野：ロボット工学，計測工学，センサ工学

キーワード：バーチャルリアリティ 感性情報学 嗅覚 匂いセンサ ガスセンサ 嗅覚ディスプレイ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

3D テレビやサラウンドサウンドシステムにより、臨場感のある映像や音声を楽しむことが可能になった。しかし、映像や音声と共に匂いを提示できるテレビは、未だ実現されていない。数種類の香料を予めセットしておき、場面に合わせて匂いを切り替えて提示する装置は開発されている。しかし、例えばテレビの料理番組において、映し出された料理の匂いをその場で合成して提示するといったことは、現状では不可能である。

これは、光には三原色があるのに対し、嗅覚の場合には「原臭」に相当する匂いが見つからないためである。色を感じる視細胞が3種類しかないのに対し、人間の嗅細胞は約400種類もある。光の三原色を混合すればどのような色も作り出すことができるが、任意の匂いの調合を可能にする原臭は存在しないと考えられてきた。現状では、バラの匂いを提示したい場合にはバラの匂いの香料を、カレーライスの匂いを提示したければその匂いの香料を予め用意しておく必要がある。この問題が、匂い提示装置の発展や普及を妨げている大きな要因となっている。

しかし近年、30種類程度の多様な化学物質を混ぜると、どの物質を混ぜても似た匂いになることが発見された（引用文献①）。400種類という嗅細胞の数から予想されるよりも、実際の匂いの多様性は低い可能性がある。映像や音声と共に嗅覚情報を提示する装置を、バーチャルリアリティの分野では嗅覚ディスプレイと呼ぶ。数十種類の匂いを調合するだけで多様な匂いを作り出すことができれば、嗅覚ディスプレイの研究開発に革新的な進歩をもたらすことができる。

2. 研究の目的

人間の眼には色を感じる視細胞が3種類あり、それぞれの細胞が赤、緑、青の波長の光に反応する。したがって、この3色が原色となり、三つの色の混合比を変えれば、任意の色を作り出して人間の眼に見せることができる。一方、人間の鼻には400種類もの嗅細胞がある。しかも、一つの嗅細胞が様々な物質に反応し、逆に一つの物質が多数の嗅細胞の反応を引き起こす。どの嗅覚受容体を持つ嗅細胞がどの化学物質に対して反応を示すか、対応を調べる実験が精力的に行われているが、対応を完全に明らかにするには今後も膨大な実験が必要となる。

これに対し本研究では、映画やテレビで必要とされるような、日常生活でよく遭遇する代表的な匂いの再現に焦点を置く。化学的性質が互いに異なる匂い物質を10種類から30種類程度用意し、映画やテレビのシーンの再現に必要な様々な匂いの合成を試みる。細かな匂いの違いは再現できない可能性もあるが、大まかな匂いの合成が可能な匂い物質の組み合わせを探索し、その過程を通じて原臭の発見に近づくことを目指す。

しかし、所望の匂いを作り出すために、用意した匂い物質を手作業で調合し、調合比を変えた数百通りの匂いを人間が全て嗅いで確認するのは困難である。そこで、匂いの再現度の高い調合比を電子嗅覚システム（electronics nose, 以下ではE-noseと略す）を用いて自動探索し、最終的な候補を人間が嗅いで確認する方法を採用する。その実現に向けて必要となる装置の開発を本研究の目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、様々な化学物質を揮発させた蒸気を調合し、その匂いをE-noseで確認するシステムを開発した。その概要を図1に示す。人間が持つ約400種類の嗅細胞は、少しずつ反応特性が異なり、匂いを嗅ぐとその匂いに特有の反応パターンを呈する。人間は、この嗅細胞の反応パターンを識別して、匂いを嗅ぎ分けている。E-noseは生物嗅覚の仕組みを模倣し、少しずつ反応特性の異なるガスセンサの反応パターンを識別して、匂いを判別する。

映画やテレビのシーンに合わせて提示したい匂いを「ターゲット臭」とし、この匂いに近い匂いが得られるように、香り成分1からNまでの匂い物質の蒸気を混合する。10種類程度の匂い物質を用いた場合でも、その蒸気の混合比を少しずつ変えてできる匂いの種類は膨大な数となる。そこで、匂い調合装置によって得られた匂いとターゲット臭を、図1に示す電磁弁を切り替えて順にE-noseに与え、反応を比較する。ターゲット臭に対するE-noseの反応に近づくように香り成分の混合比を調節すれば、ターゲット臭に近い匂いを作り出すことができる。揮発性の低い匂い物質を用いた場合には、十分な濃さの匂い蒸気が得られない場合もある。そこで、香り成分を吸着剤にトラップし、濃縮してユーザに提示する装置の開発も行なった。

ただし、E-noseが持つセンサと人間の嗅細胞は、反応特性が異なる点に注意を要する。調合した匂いとターゲット臭に対するE-noseの反応パターンが等しくなったとしても、人間が嗅い

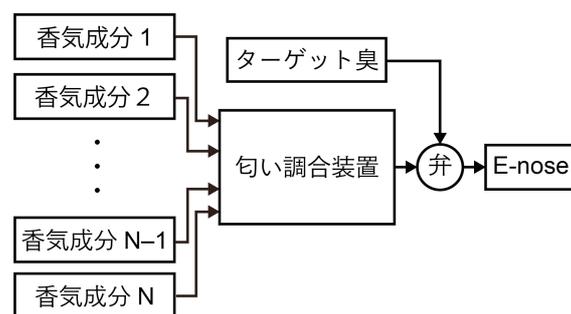


図1 提案するシステムの概要

だ時に全く同じ匂いを感じるという保証はない。所望の匂いが再現できたかどうか、最終的には人間が確認する必要がある。それでも、一から人間が調合する場合に比べ、E-noseを用いた方が最適な調合比を効率よく決定できるものと期待される。

4. 研究成果

(1) 匂い調合装置の開発

本研究では、32個のガスセンサを持つ市販のE-nose (Cyrano 320, Sensigent) を用い、13成分匂い調合装置 (オーキシン NT2008-1, ニワテック) と組み合わせてシステムを構築した。使用したE-noseのガスセンサは、カーボン粉末を混ぜて導電性を持たせたポリマー膜を持つ。ガスが吸着するとポリマー膜が膨潤または収縮し、電気抵抗が変化する。ポリマーの種類が異なる32個のセンサを持つが、測定に先立ち、清浄空気における各センサの抵抗値を記録した。以下に示すセンサ応答値は、この値からの抵抗の変化率を表す。

構築したシステムを用い、香氣成分の構成比を変えたリンゴ様の匂いに対するE-noseの応答を測定した。プロピオン酸と酢酸 trans-2-ヘキセニルの混合物に対する応答を図2に示す。両物質の蒸気を50:50の割合で混ぜ合わせた匂いをターゲット臭とし、2成分の混合比を100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, 0:100と変えてCyrano 320の応答値を測定した。図2の縦軸は、これらの混合蒸気に対する応答パターンと、ターゲット臭に対する応答パターンとのユークリッド距離を表す。二つの物質の混合比を変えるとE-noseの応答パターンが変化し、ターゲット臭の混合比の周囲でユークリッド距離がゼロに近づいている。

図3は、プロピオン酸、酢酸 trans-2-ヘキセニルに加え、プロピオン酸 n ブチルを混合した匂いに対するE-noseの応答を表す。3物質の匂い蒸気を40:40:20の割合で混合した匂いをターゲット臭とし、その応答パターンに対するユークリッド距離を様々な混合比の匂いに対して求めた。2成分の混合臭の場合と同様に、混合比に応じてユークリッド距離が変化している。ユークリッド距離がゼロに近づくように混合比を調節すれば、ターゲット臭の混合比を求めることができる。

構築したシステムを用いれば、用意した匂い物質の蒸気を混合して、ターゲット臭に近い匂いを作り出すことができる。同様のシステムは過去に提案されているが (引用文献②)、E-noseが持つセンサ数が増えたことにより、多様な匂いの合成に対応できるようになると期待される。今後は、様々な匂いの合成を実際に試み、その再現度確かめる実験を行なう。

(2) 匂い濃縮装置の開発

匂い調合装置で生成した匂い蒸気の濃度が不足する場合に、匂いを濃縮してユーザに提示する装置を開発した。その構成を図4に示す。直径10mm、厚さ1mmのディスク型吸着剤 (MonoTrap DSC18, ジーエルサイエンス) をヒータ基板に接着し、濃縮器に収めた。匂いを吸着する際には、図4(a)に示すように図の右側のポンプを使い、匂い蒸気を濃縮器内に大きな流量で吸引する。すると、吸引した匂い蒸気に含まれる匂い物質が吸着剤に吸着し、蓄えられる。十分な量の匂い物質が捕集できたら、吸着剤をヒータで加熱し、匂い物質を脱着させる。図4(b)に示すように図の左側のポンプを使い、脱着した匂い物質を小さな流量で押し流すと、濃縮さ

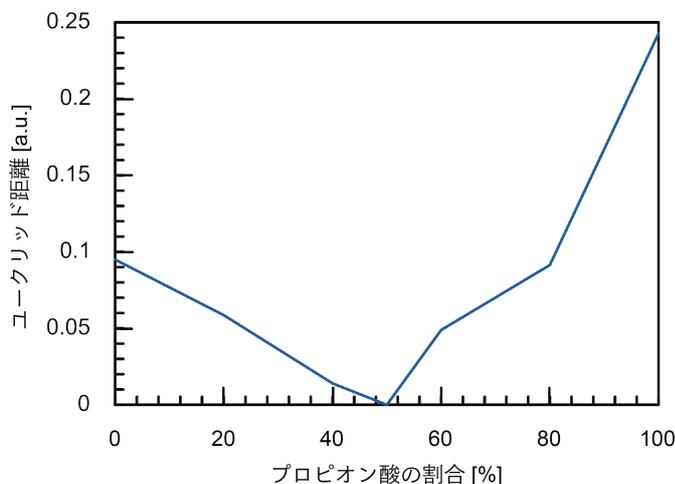


図2 2成分の混合臭に対するE-noseの応答

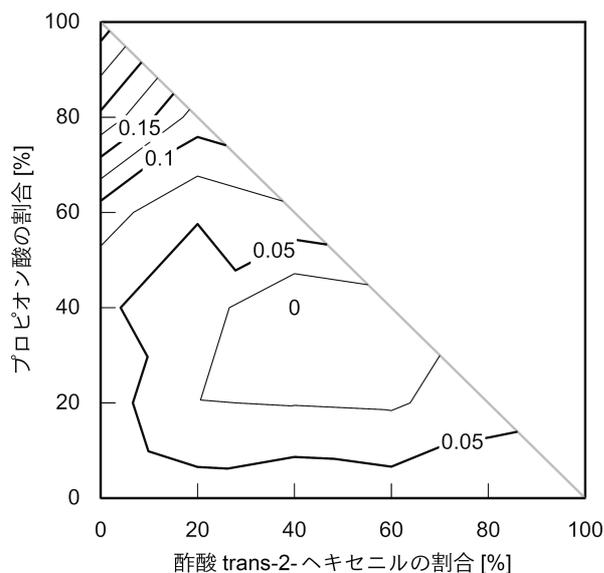


図3 3成分の混合臭に対するE-noseの応答

れた匂い蒸気をユーザに提示することができる。図4に示すセンサセルには半導体ガスセンサ（TGS2620、フィガロ技研）が収められており、濃縮された匂いの濃度を確認できるシステム構成となっている。

この装置の効果を示すため、匂い濃縮率の測定を行なった。実験では、濃度1 ppmの1-ブタノール蒸気を用意し、これを0.8 L/minの流量で濃縮器に10分間吸引して、匂い物質を捕集した。加熱脱着したブタノールを20 mL/minの流量で押し流したところ、9倍に濃縮されたブタノール蒸気が加熱開始から30秒程度の時間で得られた。

また、希釈したリンゴ香料を用意し、そこから揮発した蒸気を濃縮して、匂いを実際に嗅いでみる実験も行なった。濃縮前は、匂いを嗅いでも何の匂いか識別できないくらい、匂いが希薄であった。これに対し、濃縮後の匂いを嗅ぐと、リンゴの匂いであることが明確に感じられた。

ガス分析の分野では、分析機器の検出下限を下回る濃度のガスを検出するために、濃縮装置を広く用いられている。しかし、濃縮した匂いを人間に嗅がせる目的で開発された装置は他にない。開発した匂い濃縮装置を用いると、現状では匂い物質の捕集に10分程度を要するが、10倍に濃縮した匂いを30秒程度で提示することが可能である。加齢により衰えた嗅覚を補助する装置として活用するなど、様々な応用が期待される。また、映像に合わせて匂いを提示する装置の開発も行い、提示する匂い蒸気の温度によって匂いの知覚が変化するなど、様々な知見が得られた。

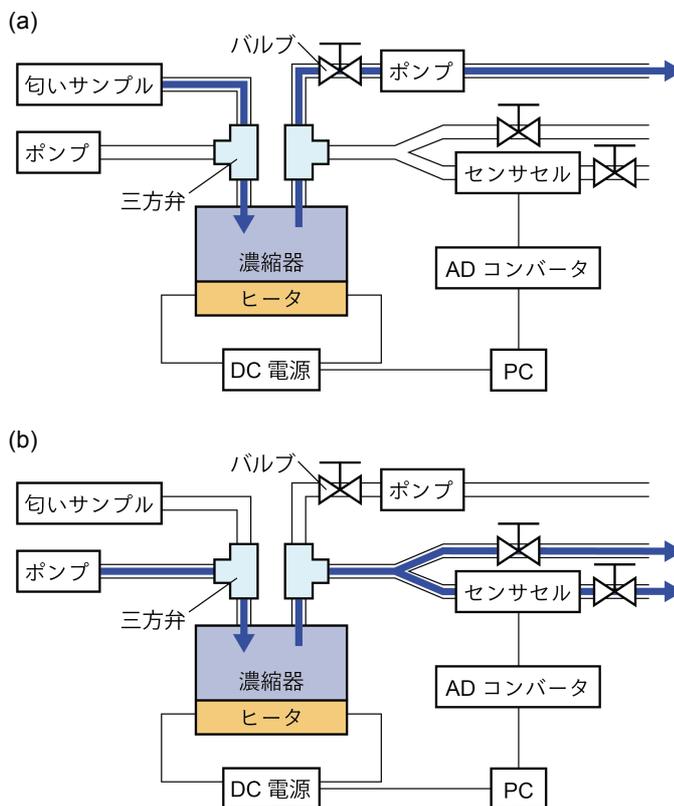


図4 匂い濃縮装置の構成
(a) 匂い濃縮時の流れ
(b) 匂い脱着時の流れ

<引用文献>

- ① T. Weiss, K. Snitz, A. Yablonka, R. M. Khan, D. Gafsou, E. Schneidman, and N. Sobel, “Perceptual convergence of multi-component mixtures in olfaction implies an olfactory white,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 109, no. 49, 2012, pp. 19959–19964.
- ② 中本 高道, “匂いの記録再生システムの開発”, 検査技術, vol. 12, no. 10, 2007, pp. 6–11.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Haruka Matsukura and Hiroshi Ishida, “Review on development of devices for amplifying human olfaction: Approaches using real and virtual concentration method,” *Electronics and Communications in Japan*, vol. 102, no. 2, 2019, pp. 55–60, 査読有.
DOI: 10.1002/ecj.12143
- ② 松倉 悠, 石田 寛, “匂い強度増幅装置の開発に関するレビュー:実濃縮と虚濃縮によるアプローチ”, 電気学会論文誌 E, vol. 138, no. 8, 2018, pp. 337–342, 査読有.
DOI: 10.1541/ieejsmas.138.337
- ③ 石田 寛, 松倉 悠, 石田 華子, 村井 彩乃, “陸上や水中で化学物質の発生源を探索するロボット”, *AROMA RESEARCH*, vol. 18, no. 2, 2017, pp. 133–140, 査読無.
<http://www.fragrance-j.co.jp/book/b287822.html>

[学会発表] (計 16 件)

- ① Ryoji Shinogi, Haruka Matsukura, and Hiroshi Ishida, “Smelling screen: Application to a museum exhibition and a challenge for scaling up,” *18th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose*, 2019年5月26日～5月29日, アクロス福岡 (福岡県福岡市).
- ② Yuichi Fujino, Haruka Matsukura, Daisuke Iwai, and Kosuke Sato, “Odor modulation by warming/cooling nose based on cross-modal effect,” *IEEE Virtual Reality Conference*, 2019年3月

- 23日～3月27日、大阪府立国際会議場（大阪府大阪市）。
- ③ 塚田 鷹介, 河合 拓実, 松倉 悠, 石田 寛, “匂い強度を短時間で増幅する装置の基礎的研究—濃縮効果の官能検査による調査—”, 平成31年電気学会全国大会, 2019年3月12日～3月14日, 北海道科学大学（北海道札幌市）。
 - ④ 藤野 佑一, 松倉 悠, 岩井 大輔, 佐藤 宏介, “温冷風を利用した匂いの変調”, 平成31年電気学会全国大会, 2019年3月12日～3月14日, 北海道科学大学（北海道札幌市）。
 - ⑤ 篠木 峻司, 松倉 悠, 石田 寛, “匂いと気流の空間分布提示装置—大型電子広告対応に向けた初期検討”, 第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 2018年10月30日～11月1日, 札幌市民交流プラザ（北海道札幌市）。
 - ⑥ 篠木 峻司, 松倉 悠, 石田 寛, “匂いと気流の空間分布提示装置（大型スクリーンへの対応）”, 日本機械学会2018年度年次大会, 2018年9月9日～9月12日, 関西大学・千里山キャンパス（大阪府吹田市）。
 - ⑦ Haruka Matsukura, Shougo Okuda, and Hiroshi Ishida, “Effects of gas sensor location in olfactory assist mask,” *17th International Meeting on Chemical Sensors*, 2018年7月15日～7月19日, ウィーン（オーストリア）。
 - ⑧ 藤野 佑一, 松倉 悠, 岩井 大輔, 佐藤 宏介, “匂い源に関する視覚情報を隠蔽した場合における人間の匂い源探索行動の調査”, 第62回システム制御情報学会研究発表講演会, 2018年5月16日～5月18日, 京都テルサ（京都府京都市）。
 - ⑨ 松倉 悠, 安部 直喜, 岩井 大輔, 佐藤 宏介, “顔の向きや位置に応じて匂いの種類や提示位置を変更可能な嗅覚ディスプレイの開発”, 日本機械学会第18回機素潤滑設計部門講演会, 2018年4月23日～4月24日, 月岡ホテル（山形県上山市）。
 - ⑩ 塚田 鷹介, 河合 拓実, 松倉 悠, 石田 寛, “匂い強度を短時間で増幅する装置の基礎的研究—流量調整による匂い濃縮倍率の向上—”, 平成30年電気学会全国大会, 2018年3月14日～3月16日, 九州大学・伊都キャンパス（福岡県福岡市）。
 - ⑪ 安部 直喜, 松倉 悠, 岩井 大輔, 佐藤 宏介, “顔の位置や顔の角度によって匂いの放出位置や匂いの種類を切り替え可能な Smelling Screen の開発”, 第63回日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会, 2018年2月28日, 法政大学・小金井キャンパス（東京都小金井市）。
 - ⑫ 松倉 悠, 篠木 峻司, 石田 寛, “Smelling Screen: 現状と課題”, 電気学会ケミカルセンサ、バイオ・マイクロシステム合同研究会, 2017年11月28日, 北九州市立大学・小倉サテライトキャンパス（福岡県北九州市）。
 - ⑬ Hiroshi Ishida, “Mobile robot olfaction: Using actively generated airflow to enhance chemical reception,” *The 12th Asian Conference on Chemical Sensors*, 2017年11月12日～11月15日, ハノイ（ベトナム）, 招待講演。
 - ⑭ 河合 拓実, 松倉 悠, 石田 寛, “短時間で匂い成分を脱着可能な匂い濃縮装置の試作”, *The 14th IEEE Transdisciplinary-Oriented Workshop for Emerging Researchers*, 2017年11月4日, 東京理科大学・葛飾キャンパス（東京都葛飾区）。
 - ⑮ 奥田 翔吾, 松倉 悠, 石田 寛, “嗅覚アシストマスクにおけるガスセンサの取付け位置の検討”, 第34回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 2017年10月31日～11月2日, 広島国際会議場（広島県広島市）。
 - ⑯ 河合 拓実, 松倉 悠, 石田 寛, “匂い強度を増幅する装置の基礎的研究—短時間で匂いを脱着する装置の試作—”, 日本機械学会2017年度年次大会, 2017年9月3日～9月6日, 埼玉大学（埼玉県さいたま市）。

[図書] (計 3 件)

- ① 石田 寛, 松倉 悠, “第5章 匂い・香りの活用の歴史と応用”, 北九州市産業技術史調査研究: 嗅覚センサーと匂い応用研究の歴史と発展, 林 健司 監修, 北九州産業技術保存継承センター, 2018年, pp. 72–90.
- ② 松倉 悠, 石田 寛, “第5章 第4節 映像と連動する嗅覚ディスプレイ”, ロ・鼻・耳の感覚メカニズムと応用技術, S&T 出版, 2018年, pp. 255–267.
- ③ 松倉 悠, 石田 寛, “第4章 第3節 香り付きテレビゲーム, 電子書籍を実現する香り提示技術”, VR/AR 技術の開発動向と最新応用事例, 技術情報協会, 2018年, pp. 187–196.

[その他]

ホームページ等

- ① 東京農工大学生物システム応用科学府石田研究室ホームページ
<https://web.tuat.ac.jp/~h-ishida/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：松倉 悠

ローマ字氏名：(MATSUKURA, Haruka)

所属研究機関名：大阪大学

部局名：基礎工学研究科

職名：助教

研究者番号（8桁）：60808757

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。