

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03773

研究課題名（和文）匂いバイオセンサを用いた香りの再現

研究課題名（英文）Odor reproduction using odor biosensor

研究代表者

中本 高道（Nakamoto, Takamichi）

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号：20198261

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、センシング技術を中心に香り再現の基礎技術の開発を行った。まず、長期間にわたって嗅覚受容体の匂い選択性に従って高い蛍光応答を示す複数種類の新規嗅覚受容体発現細胞の作出した。匂いバイオセンサでは蛍光イメージングを行うがロックイン計測による外乱の低減、細胞位置認識とセンサアレイ応答パターンの自動取得を行う測定系を開発し、カビ臭の代表的な2成分の識別実験に成功した。その後、能動センシングの手法による混合臭の濃度定量を行い、2成分の濃度定量が行えることを示し、香り再現の基礎技術を確立した。最後に香り再現デバイスとなるデスクトップ型とウェアラブル型の嗅覚ディスプレイを試作しその動作を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

嗅覚には、色の3原色に相当するものが明らかになっていないが、要素臭を用いて多様な香りを表現できれば、香り再現技術は大きく進展する。本研究では、生物の嗅覚受容体応答をベースに香り再現の基礎技術を確立するもので、その学術的意義は大きい。

従来の情報技術でカバーできていない産業分野はまだ多数あるが、香り再現が確立されれば情報技術で扱える情報の範囲が大きく広がる。アロマ市場は現在まだ小さいが、本課題の目的とする香りの再現ができるようになるとITや情報産業との関連が出てくる。香りとIT関連企業はこれまでほとんど接点がなかったため、新しい産業が次々と勃興する可能性があるため社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：We have studied fundamental technologies and mainly focused on sensing. We have developed cells expressing different olfactory receptors, which shows excellent characteristics for long time. Then, we have developed measurement system of fluorescent imaging including lock-in measurement to reduce the influence of disturbance, cell location recognition followed by automatic acquisition of sensor-array response pattern. We have succeeded in classification of typical moldy smells using this system. Thereafter, we showed the successful result of mixture quantification method, which is fundamental for odor reproduction. Finally, we have developed desktop and wearable olfactory displays, i.e., odor reproduction devices and confirmed their behaviors.

研究分野：計測工学

キーワード：要素臭 嗅覚受容体 蛍光イメージング ロックイン計測 パターン認識 能動センシング 匂いバイオセンサ 嗅覚ディスプレイ

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、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

社会において情報技術が浸透し、視聴覚情報の再現は今や当たり前の技術となっている。それらの技術と比較して、香りの再現技術はまだ確立されていない。しかし、世の中には香りが主体となる対象も多く存在する。たとえば、香水の商品がどのようなものを他の人に伝えるためには言葉や視聴覚情報だけでは不十分である。言葉や視聴覚情報だけでは伝えられない内容を共有するには嗅覚は重要な役割を果たすが、現状ではその基盤技術がまだ確立されていない。

従来の情報技術でカバーできていない分野はまだ多数あるが、香り再現が確立されれば情報技術で扱える情報の範囲が大きく広がる。アロマ市場は現在まだ小さいが、本課題の目的とする香りの再現ができるようになると IT や情報産業との関連が出てくる。香りと IT 関連企業はこれまでほとんど接点がなかったため、新しい産業が次々と勃興する可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、嗅覚受容体発現細胞からの応答を元に香りの再現を行うための基盤技術の確立を目的とする。香りを再現する研究はまだどこでも実現されておらず、その学術的独自性は極めて高い。また、香りの要素臭が確立できると様々な香りを作り出すことができるので、その波及効果は極めて大きい。ここでは基盤技術として嗅覚受容体発現細胞の作出、匂いバイオセンサの計測方法の確立、香り再現の基礎技術である能動センシングによる混合臭の濃度定量法について研究した。

3. 研究の方法

【嗅覚受容体発現細胞の作出と応答評価】

まず、キイロショウジョウバエ匂い応答データベース (Database of Odorant Responses; DoOR) の応答特性データにもとづいて、異なる匂い物質に反応する嗅覚受容体を選択した。ここでは、DoOR で各嗅覚受容体の Response Profile を指標にして、異なる化学構造の匂い物質に反応を示す嗅覚受容体を選択した。キイロショウジョウバエの触角の total RNA から cDNA を合成し、RT-PCR 法により、対象の嗅覚受容体遺伝子を単離した。単離した遺伝子は、Sf21 細胞の発現ベクター (pIB/V5-His Vector; Invitrogen) に挿入し、Sf21 細胞へトランスフェクション法により、遺伝子導入した。次に、遺伝子導入した Sf21 細胞群から単一細胞を抽出し、細胞培養のスケールアップを繰り返すことで、各単一細胞に由来する細胞系統を得た。また、検出素子としての利用のために、得られた細胞系統から単一細胞の単離と系統化の工程を繰り返すことで、より応答性に優れた細胞系統を得た。

各工程で得られた細胞系統の匂い物質 (刺激液) への応答 (選択性、濃度応答性) は、カルシウムイメージング法により計測した。刺激液は、試験対象の匂い物質をジメチルスルホキシド (DMSO) に溶解し、そこから目的の濃度になるように灌流液で希釈して調製した。なお、各刺激液での DMSO 濃度は 0.1% (終濃度) で一定となるよう調製した。細胞は、φ12mm のスライドガラスに播種し固着させた後、クイックチェンジチャンバ (RC-48LP; Warner Instruments) へ設置した。チャンバへの灌流は、ペリスタルティックチューブポンプで流入と排出を制御した。各種刺激は、流入用チューブを灌流液ボトルから刺激液ボトルへと入れ替えることで、チャンバ内へ導入した。なお、刺激時間は 15 秒間行い、刺激と刺激の間は 6 分以上灌流液を流入することで、匂い物質を十分に除去している。細胞の蛍光画像は、蛍光顕微鏡 (BX51WI; OLYMPUS)、EM-CCD カメラ (DU-897E; Andor Technology) で取得し、MATLAB (Mathworks) で解析した。

【匂い識別実験】

図 1 に匂いバイオセンサを用いた匂い識別の原理を示す。チャンバ内にランダムに異なる種類の嗅覚受容体発現細胞を配置して匂い溶液を導入する。そうすると匂いの種類に応じて異なる蛍光画像が得られるために、蛍光画像のパターン認識で匂い種類を判別できる。

次に能動センシング法で混合臭の濃度定量を行う方法を示す。能動センシングとは、対象とする空間 (ここでは混合臭各成分から成る濃度空間) において、探索的動作を繰り返すことにより目的とする解を求める手法である。

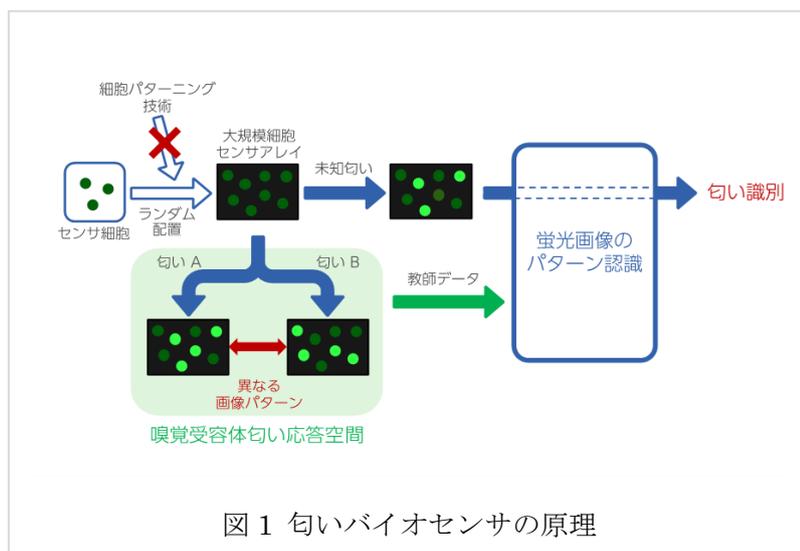


図 1 匂いバイオセンサの原理

図2に示すように、対象臭を計測して蛍光画像を得る。次にシステムが調合して作成した調整臭を計測して蛍光画像を得る。そして、両者の画像が近づくように最適化計算により調合比を変えて計測する過程を繰り返す。最終的に対象臭と調整臭の蛍光画像が一致したならば、調整臭の混合比は既知のために、調合臭の調合比より対象臭の濃度定量を行うことができる。

この方法は相対測定法であり、あらかじめ混合臭の応答モデルを知らなくても濃度定量が可能であり、センサ応答に非線形性があつたり経時変化があつても問題なく計測することができる利点がある。

4. 研究成果

【嗅覚受容体発現細胞の作出】

まず、DoORの応答特性にもとづいて、Or49bとOr82aを選定した。DoORで検索したところ、Or49bは2-メチルフェノールに最も強く、ベンズアルデヒドなどに弱く応答すること、またOr82aは酢酸ゲラニルに最も強く応答することが示されている。次に、これらの嗅覚受容体を、共受容体(Orco)およびカルシウム感受性蛍光タンパク質(GCaMP6s)とともに共発現させたSf21細胞群を作出した。Sf21細胞群から系統化の工程を繰り返した結果、最終的に9系統のOr49b細胞系統、5系統のOr82a細胞系統を樹立した。樹立した細胞系統のうち、対象の匂い物質(対象臭)に最も強く蛍光強度変化を示した細胞系統について、約1ヶ月間にわたって各培養期間における対象臭への蛍光強度変化値を取得した。その結果、Or49b細胞系統とOr82a細胞系統のいずれにおいても、系統化前(未選別のSf21細胞群)と比較して、系統化直後から対象臭に対する蛍光強度変化値が高い値(Or49b細胞系統; 44.2~61.8%、Or82a細胞系統; 28.8~37.3%)を示した(図3)。系統化直後からおおよそ1ヶ月程度は高い蛍光強度変化値を継続して取得できることを明らかにし、長期間にわたって高い変化値で対象臭を検出できる細胞系統の作出を達成した。

【嗅覚受容体発現細胞の応答評価】

作出した細胞系統について、匂い物質への応答性を評価した。異なる匂い物質への蛍光強度変化を取得した結果、Or82a細胞系統は酢酸ゲラニルに強く、ベンズアルデヒドに微弱に蛍光応答を示す一方、試験したその他の匂い物質には蛍光応答を示さなかった(図4)。また、Or49b細胞系統は2-メチルフェノールに最も強く、ベンズアルデヒドに中程度に蛍光応答を示す一方、その他の匂い物質には蛍光応答を示さなかった。さらに、Or49b細胞系統では2-メチルフェノールの位置異性体に対する蛍光応答を取得した結果、3-メチルフェノール、4-メチルフェノールにも中程度で蛍光応答を示すことが分かり、化学構造の類似した匂い物質に広く応答することが分かった。これらの細胞系統が示す匂い選択性は、DoOR上での匂い選択性と一致する。このことから、作出した細胞系統が、昆虫生体が備える嗅覚受容体の匂い選択性に従って蛍光強度変化を示す匂い検出素子として利用できることを示した。

次に、各濃度に対する蛍光強度変化を取得した結果、作出した細胞系統は対象臭の濃度依存的に蛍光強度上昇を示した(図5)。同様にして、系統化前と系統化後で濃度応答性を取得し比較した結果、未選別の系統化前と比較して、系統化後、特に2回の系統化を行った細胞系統では、顕著に感度(各濃度での蛍光強度変化値)が改善していることが分かった。以上を通して、長期間にわたって嗅覚受容体の匂い選択性に従って高い蛍光応答を示す複数種類の新規嗅覚受容体発現細胞の作出を達成した。

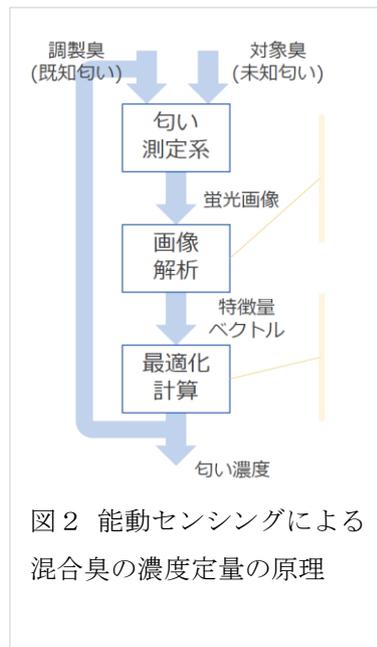


図2 能動センシングによる混合臭の濃度定量の原理

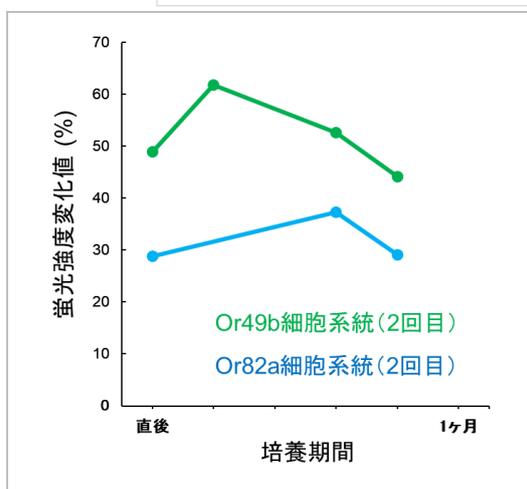


図3 培養期間に対する蛍光強度変化値

Or82a細胞系統(青色)とOr49b細胞系統(緑色)の系統化直後から各培養期間における蛍光強度変化値を表す。対象臭はそれぞれ300 μMの濃度で刺激した。系統化前の細胞群の蛍光強度変化値は、Or82aが16.3%、Or49bが24.7%であった。

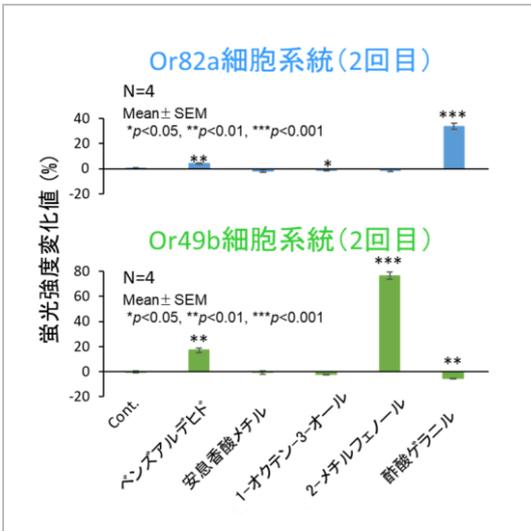


図4 系統化した細胞系統の匂い選択性
Or82a細胞系統(上図)とOr49b細胞系統(下図)について、各匂い物質(300 μM)に対する蛍光強度変化値を表す。エラーバーは平均値±標準誤差(N=4)を示す。(Welch's t-test, コントロール(Cont.)との比較)

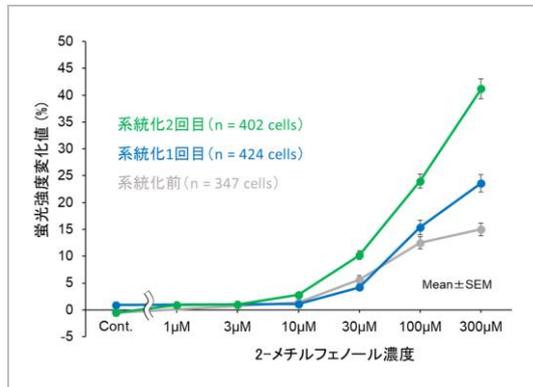


図5 Or49b細胞群の濃度応答性

Or49bについて、遺伝子導入後の系統化前(灰色)、系統化1回目(青色)、系統化2回目(緑色)の細胞群における各濃度の2-メチルフェノールに対する蛍光強度変化値を表す。エラーバーは平均値±標準誤差(n数は図中記載)を示す。

【匂い識別実験】

図6にデータ処理の詳細を示す。まず、雑音を取り除くために励起光を点滅して点滅に同期する成分のみを抽出するロックイン計測を行う。次に細胞の位置を円形 hough 変換により抽出する。そして、細胞が匂い溶液を流す際に生じる圧力によりその位置が少し動くことがあるので、細胞位置をトラッキングする機能も実装した。そして各細胞内部の輝度を積分することでセンサ素子の応答を得る。各細胞がセンサ素子に相当し、1画像に数百の細胞があるために数百次元の応答パターンが得られる。表1に匂い識別実験の結果を示す。サンプルは geosmin と 1-octen-3-ol を用い、嗅覚受容体としては OR13a, OR56a を用いた。geosmin の応答パターンと 1-octen-3-ol の応答パターンを最初にキャリブレーションとして測定し、次に新たに測定した geosmin と 1-octen-3-ol の応答パターンとのマハラノビス汎距離を計算した。測定サンプルとあらかじめ測定した各サンプルのマハラノビス距離の近い方のサンプルに判別される。表1の#4, #6, #8, #10は geosimin, #3, #5, #7, #9は 1-octen-3-ol であり同表より正しく geosmin と 1-octen-3-ol が判別できることがわかった。この結果より、匂いバイオセンサの有効性を確認することができた。

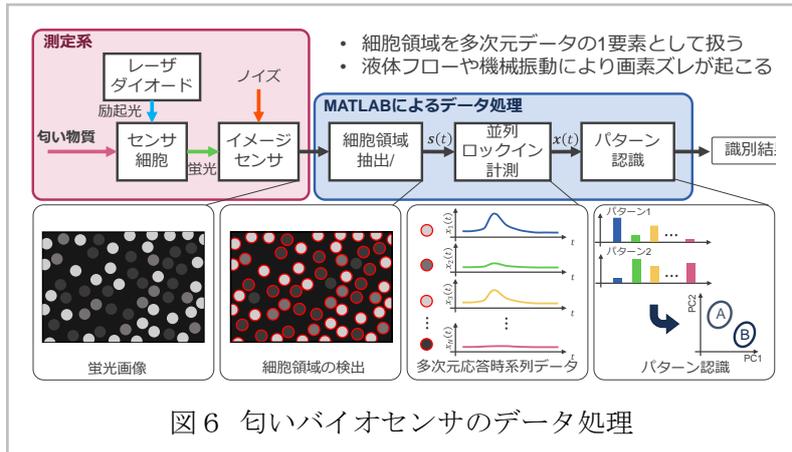


図6 匂いバイオセンサのデータ処理

表1 匂いバイオセンサによる識別結果

キャリブレーション

	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
OCT	-	1	0.23	0.82	0.01	1.82	0.08	1.22	0.07	1.82
GEO	1	-	0.73	0.01	0.98	0.15	0.97	0.03	1.10	0.14
匂い識別:			OCT	GEO	OCT	GEO	OCT	GEO	OCT	GEO

【連続測定の回数増加】

蛍光の応答を繰り返し測定すると徐々に応答が減少してくる問題があった。能動センシングでは繰り返し応答測定を行うために少ない測定回数で応答が測定できなくなると濃度定量の目的を達することはできない。これは蛍光測定でしばしば問題となる退色のためである。そこで、蛍光退色を低減するために、励起光の強度を弱くして測定を繰り返した。その結果、連続測定が

増加して、20回以上連続測定が可能になった。

【能動センシング法による混合臭の濃度定量】

連続測定の回数を増加させることができたので、能動センシング法を用いて、1-octen-3-ol, geosmin 混合臭の濃度定量を行った。その結果を図7に示す。ここでは対象臭と調合臭を交互に測定する実時間参照方式を採用した。各点の数値はマイクロディスペンスの駆動周波数であり匂い溶液の2成分の濃度に相当する。濃度探索のための最適化手法は Downhill simplex 法を用いた。嗅覚受容体とサンプルは匂い識別の時と同じである。3通りの異なる初期値から出発していずれもターゲットである(100, 100)で誤差が最小となったために、濃度センシング法で正しく濃度定量ができることがわかった。嗅覚受容体応答は非線形性が強く線形重ね合わせが成り立たないが、そのような環境でも混合臭濃度定量に成功した。

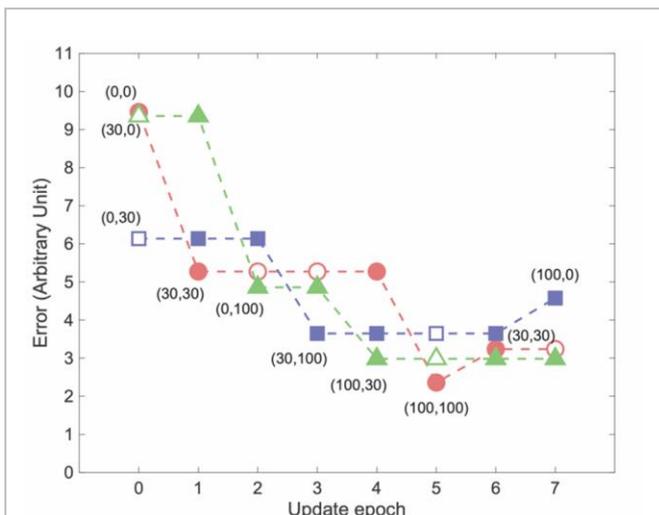


図7 能動センシングによる混合臭濃度定量結果

【気相実験】

上記実験は液相内の蛍光測定実験であるが、気相実験も行った。リンガー液の厚さをできる限り薄くして蛍光測定を行う簡便な方法を開発し優れた感度が得られた。1-octen-3-ol について OR13a を用いた場合、人間嗅覚と同等以上の感度が得られたことを官能検査と比較して確認した。(現在、論文投稿中) 薄い液膜をどのように維持するかは現在も改善中である。

それから水晶振動子を使用した匂いバイオセンサの気相測定では応答測定は可能であるが、高湿度下ではセンサ応答がなかなか安定させることができなかつたため、マイクロディスペンスで液滴を供給し薄い液膜を水晶振動子上に保持する等の手法を検討した。マイクロディスペンスではまだ液滴が大きすぎて十分に薄い膜厚形成が困難であったのでインクジェット素子等を検討する必要がある。

【嗅覚ディスプレイ】

嗅覚ディスプレイに関しては、デスクトップ型とウェアラブル型の両方を開発して、使用できるようになった。いずれも原理としては複数のマイクロディスペンスから香料の液滴を射出調合し弾性表面波デバイスで霧化してユーザに香りを提示するものである。

デスクトップ型嗅覚ディスプレイとして、20成分調合可能な嗅覚ディスプレイを製作した。その外観を図8に示す。精油を用いた実験により調合が正しく行われることを確認した。

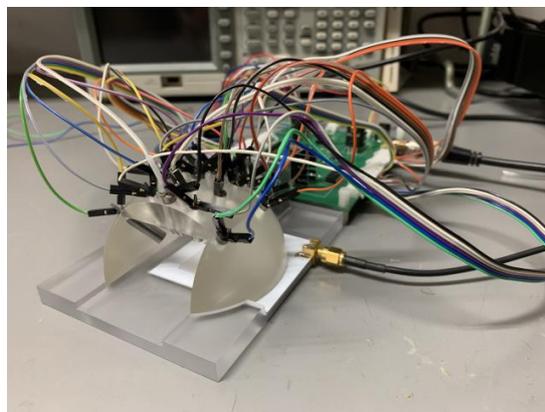


図8 20成分調合嗅覚ディスプレイ

また、図9にウェアラブル型嗅覚ディスプレイの外観を示す。この嗅覚ディスプレイでは香りをユーザに直接送るのではなくユーザの鼻元を横切るように通過させて、ユーザに吸い込まれなかった香りは自己回収して活性炭フィルタで香りを除去後に空気を放出する仕組みを備えており、ユーザの周りに香りが充満していくのを防ぐ。この嗅覚ディスプレイを用いて VR空間上でボヤが出た場所を煙の臭いを頼りに探し出す災害シミュレータを制作し、実演も行った。

最後に、電磁弁高速開閉方式、マイクロディスペンスから吐出した液滴を SAW デバイスで霧化する方式、同じ原理のウェアラブル方式を官能検査で比較評価し、ウェアラブル方式が提示速度と残臭の観点から優れていることがわかった。



ウェアラブル嗅覚ディスプレイ

図9 ウェアラブル嗅覚ディスプレイの外観

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Yuji Sukekawa, Hidefumi Mitsuno, Ryohei Kanzaki, Takamichi Nakamoto	4. 巻 179
2. 論文標題 Binary mixture quantification using cell-based odor biosensor system with active sensing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biosensors and bioelectronics	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bios.2021.113053	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Masaaki Iseki, Takamichi Nakamoto	4. 巻 E104-A
2. 論文標題 Evaluation of temporal characteristics of olfactory displays with different structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transaction on Fundamentals	6. 最初と最後の頁 744-750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transfun.2020EAP1028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中本高道	4. 巻 10466
2. 論文標題 においセンシングシステムの研究動向	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 センサイト	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuji Sukekawa, Hidefumi Mitsuno, Ryohei Kanzaki, and Takamichi Nakamoto	4. 巻 19
2. 論文標題 Odor Discrimination Using Cell-based Odor Biosensor System with Fluorescent Image Processing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 7192-7200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2019.2916377	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 赤羽克仁、高橋実里、佐藤誠、中本高道	4. 巻 24
2. 論文標題 嗅覚及び力覚インタフェースを用いたマッチモーダルVR環境の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本VR学会論文誌	6. 最初と最後の頁 69-76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/tvrsj.24.1_69	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Manuel Aleixandre, Kaoru Nakazawa, Takamichi Nakamoto	4. 巻 19
2. 論文標題 Optimization of Modulation Methods for Solenoid Valves to Realize an Odor Generation System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s19184009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中本高道	4. 巻 20
2. 論文標題 ヒューマン嗅覚インタフェース	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 アロマリサーチ	6. 最初と最後の頁 356-361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 祐川侑司、光野秀文、神崎亮平、中本高道	4. 巻 50
2. 論文標題 嗅覚受容体発現細胞の蛍光画像を利用したにおいの識別手法の検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 においかおり環境学会誌	6. 最初と最後の頁 407-415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中本高道、赤羽克仁	4. 巻 51
2. 論文標題 嗅覚ディスプレイのハードウェア及び応用コンテンツの研究動向	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 においかおり環境学会誌	6. 最初と最後の頁 19-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 祐川侑司、中本高道	4. 巻 4
2. 論文標題 細胞画像処理を用いた匂い識別手法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 49-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中本高道	4. 巻 -
2. 論文標題 においセンシングシステムの研究動向	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 センサイト	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 祐川侑司、中本高道	4. 巻 138-E
2. 論文標題 匂いバイオセンサ応答画像のロックイン計測を用いた識別	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電気学会論文誌	6. 最初と最後の頁 477-484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.138.477	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takamichi Nakamoto	4. 巻 58,SB0804
2. 論文標題 Odor Sensing System with Multi-dimensional Data Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Jpn.J.Appl.Phys	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab0740/ab0740	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計46件 (うち招待講演 16件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 ヒューマン嗅覚インタフェース
3. 学会等名 TMS研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiki Hashimoto, Shingo Kato, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Research Demo of Virtual Olfactory Environment Based on Computational Fluid Dynamics Simulation
3. 学会等名 IEEE Virtual Reality (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kaoru Nakazawa, Aleixandre Manuel, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 ROOM TEMPERATURE IONIC LIQUIDS AS SENSING COATINGS OF QCM GAS SENSORS TO DETECT DIFFERENT ORGANIC GASES
3. 学会等名 ISOEN2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tanoy Debnath, Dani Prasetyawan, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Prediction of Odor Descriptor Group of Essential Oils from Mass Spectra using Machine Learning
3. 学会等名 ISOEN2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shingo Kato, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Wearable Olfactory Display with Less Residual Odor
3. 学会等名 ISOEN2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dani Prasetyawan, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 COMPARISON OF NMF WITH KULLBACK-LEIBLER DIVERGENCE AND ITAKURA-SAITO DIVERGENCE FOR ODOR APPROXIMATION
3. 学会等名 ISOEN2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Parthojit Chakraborty, Yu-An Chien, Tso-Fu Mark Chang, Masato Sone, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Discrimination of alcohols based on cyclic voltammogram patterns of PANI/Pt electrode gas sensor
3. 学会等名 SICE 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 ヘルスケアに向けた嗅覚センサ
3. 学会等名 日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 ヒューマン嗅覚インタフェースの研究
3. 学会等名 日本電気計測器工業会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lin Deng, Yuji Sukekawa, Hidefumi Mitsuno, Ryohei Kanzaki and Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Cell-based QCM Biosensor for Detecting Odorant in Gas Phase
3. 学会等名 令和元年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hongchao Deng, Yuji Sukekawa, Hidefumi Mitsuno, Ryohei Kanzaki, Krishina Perdsud, Khasim Cali and Takamichi Nakamoto .Nakamoto
2. 発表標題 Odor Biosensor Using Odorant Binding Protein and Olfactory Receptor
3. 学会等名 令和元年度電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 機械学習を用いた匂いの印象予測
3. 学会等名 技術情報協会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Human olfactory interface
3. 学会等名 Asia Pacific Healthcare Sensing workshop 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Olfactory display and its application
3. 学会等名 IDW'19（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 におい研究の最前線～ヒューマン嗅覚インタフェースとその応用
3. 学会等名 情報通信機構（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤慶祐, 中本高道
2. 発表標題 大規模マスペクトルデータと機械学習を用いた匂い印象予測
3. 学会等名 センサマイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安田雄大, 中本高道
2. 発表標題 液滴霧化装置を用いた20成分調合型嗅覚ディスプレイの開発
3. 学会等名 日本VR学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 呂翹楚, 赤羽克仁, 中本高道
2. 発表標題 嗅覚及び力覚インタフェースを用いた卓球リフティングゲームの開発と評価
3. 学会等名 日本VR学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平澤達也, 羽生雪子, 赤羽克仁, 中本高道
2. 発表標題 ウェアラブル嗅覚ディスプレイを用いた災害シミュレータの実演
3. 学会等名 日本VR学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sawit Na songkha, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Study of Quartz Crystal Microbalance behavior with viscous sensing film
3. 学会等名 Sensor Symp
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 ヒューマン嗅覚インタフェースと食品への応用
3. 学会等名 食品開発展2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 ヒューマン嗅覚インタフェースの現状
3. 学会等名 大阪電気通信大学情報学研究所 視覚情報学講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takamichi Nakamoto, Tatsuya Hirasawa, Yukiko Hanyu
2. 発表標題 Virtual environment with smell using wearable olfactory display and computational fluid dynamics simulation
3. 学会等名 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sawit Na songkhla, and Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Characterization of Quartz Crystal Microbalance with Viscous Sensing Film for Odor Sensing Application
3. 学会等名 IEEJ annual meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安田雄大 , 中本高道
2. 発表標題 液滴霧化装置を用いた20成分調合型嗅覚ディスプレイの開発
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 首藤悠汰、中本高道
2. 発表標題 熱源障害物が匂い濃度分布に与える影響の数値流体シミュレーション
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aleixandre Manuel, 中本高道
2. 発表標題 Optimization of the measurement time of a Room Temperature Ionic Liquids based electronic nose
3. 学会等名 電気学会ケミカルセンサ研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 祐川侑司, 永吉慶人, 中本高道
2. 発表標題 嗅覚受容体センサアレイを利用した能動センシング匂い濃度定量に向けた基礎的検討
3. 学会等名 電気学会ケミカルセンサ研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤慶祐, 中本高道
2. 発表標題 板倉・斎藤擬距離を用いた深層学習による 匂い印象予測モデルの研究
3. 学会等名 電気学会ケミカルセンサ研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 光野秀文、照月大悟、櫻井健志、神崎亮平
2. 発表標題 昆虫の嗅覚に学ぶセンシング技術
3. 学会等名 科学技術者フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 光野秀文、照月大悟、櫻井健志、神崎亮平
2. 発表標題 昆虫の嗅覚機能を活用したセンシング技術の実用化への取組み
3. 学会等名 センサ&IoTコンソーシアム公開シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 光野秀文、照月大悟、櫻井健志、神崎亮平
2. 発表標題 昆虫の嗅覚のしくみとバイオセンシング技術への応用
3. 学会等名 第95回化学センサ研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuji Sukekawa, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Odor discrimination using fluorescent image of randomly placed cells expressing different olfactory receptors
3. 学会等名 Biosensors 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Presetyawan Dani, Nakamoto Takamichi
2. 発表標題 Comparison of Autoencoder with NMF for Odor Component Exploration Using Mass Spectrometry
3. 学会等名 電気学会E部門総合研究会 CHS-18-002
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Odor Sensing System with Multi-dimensional Data Analysis
3. 学会等名 International Conference on Solid State Devices and Materials（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本佳樹、中本高道
2. 発表標題 数値流体シミュレーションを用いた嗅覚人工現実感
3. 学会等名 日本VR学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 ヒューマン嗅覚インターフェース
3. 学会等名 アロマサイエンスフォーラム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中本高道
2. 発表標題 嗅覚センサの研究動向
3. 学会等名 神奈川R&D推進協議会 イノベーション部会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 祐川侑司、光野秀文、神崎亮平、中本高道
2. 発表標題 匂いバイオセンサ応用画像を用いた匂いの種類及び濃度の識別の基礎的検討
3. 学会等名 センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中澤薫、Lin Deng, Sawit Na Songkhla, 中本高道
2. 発表標題 イオン液体を用いた水晶振動子ガスセンサの応答
3. 学会等名 センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 祐川侑司、K.Cali, K.Persaud, 中本高道
2. 発表標題 タンパク質リガンドドッキング計算による匂い結合タンパク質の特性の予測
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中澤薫、Aleixande Manuel, 中本高道
2. 発表標題 イオン液体膜の安定性向上と匂いセンサへの応用
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伏凡、祐川侑司、中本高道、光野秀文、神崎亮平
2. 発表標題 嗅覚受容体発現細胞を用いた匂いバイオセンサの応答安定性の向上
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sawit Na Songkhla, Takamichi Nakamoto
2. 発表標題 Optimization of Vector Network Analyzer parameters for Quarts Crystal Microbalance with viscous damping
3. 学会等名 電気学会ケミカルセンサ研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 光野秀文、照月大悟、櫻井健志、神崎亮平
2. 発表標題 昆虫の嗅覚受容体の匂いセンシング技術への活用
3. 学会等名 第50回若手ペプチド夏の勉強会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 光野秀文、照月大悟、櫻井健志、神崎亮平
2. 発表標題 昆虫の嗅覚機能を活用した匂いセンシング技術の開発と実用化への取り組み
3. 学会等名 NPO法人サーキットネットワーク(C-NET)定期公演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Nozaki Yuji., Nakamoto Takamichi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Humana, New York, NY	5. 総ページ数 19
3. 書名 Biomimetic Sensing	

1. 著者名 中本高道	4. 発行年 2018年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 10(全体550)
3. 書名 嗅覚ディスプレイにおける香りの提示技術と応用可能性、VR/A R技術の開発動向と最新応用事例	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	神崎 亮平 (Kanzaki Ryohei) (40221907)	東京大学・先端科学技術研究センター・教授 (12601)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協 力 者	中村 明朗 (Nakamura Akio)		
研究 協 力 者	ベルソード クリシュナ (Persaud Krishna)		
研究 協 力 者	赤羽 克人 (Akahane Katsuhito) (70500007)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------