

ヒューマン嗅覚インタフェース

Human Olfactory Interface

中本 高道

Takamichi Nakamoto

東京工業大学 科学技術創成研究院

〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259

TEL: 045-924-5017

Email: nakamoto@nt.pi.titech.ac.jp

1. はじめに

視覚や聴覚の情報はセンシング、記録し、再生することが容易にできる。そして、視聴覚に関するヒューマンインタフェースは高度に発達して既に成熟している。それに対して、嗅覚情報はいまだ発展途上にあり、そのヒューマンインタフェースもまだ一般的には利用できない。しかし、我々の日常生活において、様々な香りを体験する。嗅覚におけるヒューマンインタフェースを実現できれば、コンピュータを通して我々が体験できる内容が質・量ともに向上する。そこで、本講演ではヒューマン嗅覚インタフェースを紹介し、その最近の研究の動向を紹介することにする。

ヒューマン嗅覚インタフェースは、コンピュータへの嗅覚情報の入力及び出力となる[1]。それらは図1に示すように香りをセンシングして定量する嗅覚センサと香りを利用者に対して提示する嗅覚ディスプレイからなる[2,3]。また、香りをセンシングして記録し再生する装置を匂い記録再生システム (Odor recorder) [4], 香りをセンシングして遠隔地に伝送して再生する装置を遠隔匂い再現システム (Teleolfaction system) と呼ぶ [5]。2節では嗅覚センサ、3節では嗅覚ディスプレイを説明し、最後に本稿をまとめる。

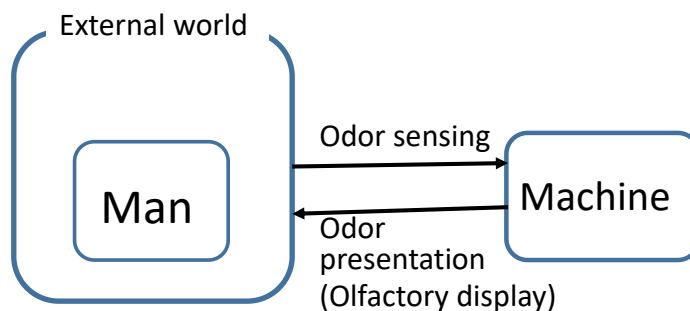


図1. ヒューマン嗅覚インタフェースの構成

2. 嗅覚センサ

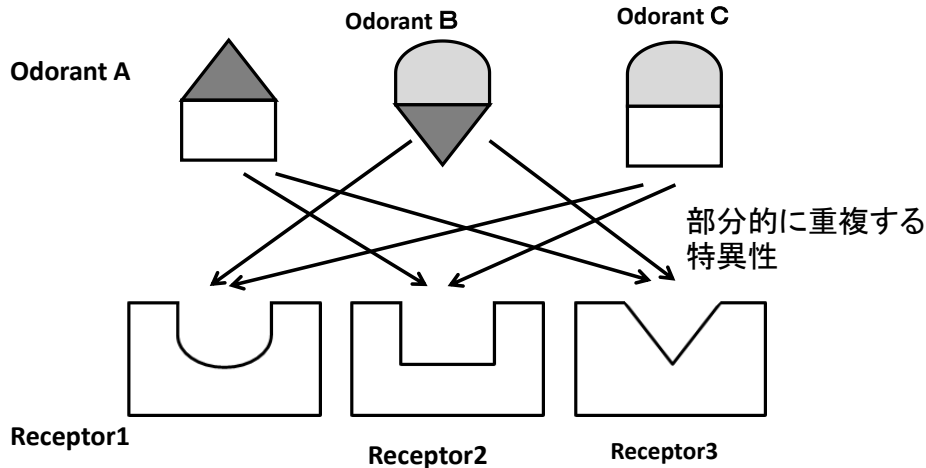


図2. 嗅覚センサの原理

嗅覚センサにおいては、特定の化学物質のみを検出するようなセンサは通常は存在しない。嗅覚センサにおいては、特性の異なる複数センサの出力パターンをパターン認識することにより匂いの識別を行う。実際の嗅覚受容体においても同様であり、その様子を図2に示す。嗅覚受容体では、匂い物質の立体化学構造を主に識別していると考えられる。図2において四角や円形、三角形を識別する受容体があるとする。各匂い物質には複数の立体化学構造が含まれているために、嗅覚受容体は複数の匂い物質に応答する。そのために、一つの嗅覚受容体では匂いの識別はできないが、複数の嗅覚受容体の応答パターンをパターン認識することにより、互いに区別することが可能になる。

センサ素子としては、表 1 に示すように数多くのセンサ素子を匂いの識別に利用することができる。弾性表面波センサ、水晶振動子センサ、カンチレバーセンサなどの音響

表 1. 嗅覚センサ用センサ素子の種類

Sensor type	Output
Quartz Crystal Microbalance	Frequency shift
SAW gas sensor	Frequency shift
Cantilever gas sensor	Frequency shift
Metal oxide gas sensor	Resistance change
Conducting polymer	Resistance change
MOS FET gas sensor	Threshold voltage
Optical gas sensor	Fluorescence, Absorption, SPR
Electrochemical gas sensor	Current change
Gas chromatograph	Retention time
Mass spectrometry	Mass to charge ratio
Olfactory-receptor based sensor	Fluorescence, Mass change, voltage change

素子を利用したセンサ、金属酸化物半導体、導電性ポリマセンサ、カーボンブラックコンポジットセンサのような抵抗変化を検出するセンサ、蛍光、吸光、化学発光、表面プラズモンを用いた光学式センサ等が存在する[6, 7]。本講演では、実際の嗅覚受容体を用いたセンサについて紹介する。このセンサは、昆虫の嗅覚受容体を細胞に発現させたものである[8]。昆虫の場合は嗅覚受容体はイオンチャネルも兼ねており、匂い物質を受容するとイオンチャネルが開いて細胞内にカルシウムイオンが流入して細胞内のカルシウムイオン濃度が増大する。細胞内にはカルシウム感受性蛍光たんぱく質が存在し、一定の励起光を照射しても蛍光強度が増大する。そこで、蛍光強度変化を検出することにより、匂いの検出が可能になる。ここでは、嗅覚受容体はショウジョウバエの受容体を用い、細胞は Sf21 を用いた。励起光は青色であるのに OR56a を用い、geosmin(代表的なカビ臭)を与えたときの蛍光強度変化を図 3 に示す。細胞の外形は $20\ \mu\text{m}$ 程度であり、一つ一つの円が 1 個の細胞である。同図のように geosmin を与えることにより、蛍光強度が増加することがわかる。

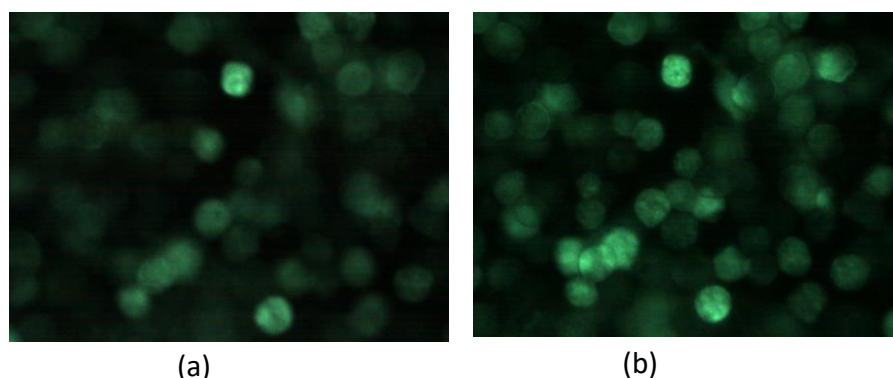


図3. 嗅覚受容体発現細胞の蛍光応答. (a)geosmin を与える前の蛍光画像、(b) geosmin を与えた後の蛍光画像. 1 個の円が1 個の細胞である。細胞は東京大学神崎亮平教授により提供された。

蛍光計測の場合、励起光に比べて蛍光強度はかなり低く外乱光の影響を受けやすい。そこで、レーザ光で励起光を照射するが、そのレーザ光を点滅させて、その点滅に同期した光成分だけを検出するロックイン検出法を用いた[9, 10]。外乱光はレーザ光の点滅に同期してないので、レーザ光の励起に由来した光成分のみを検出することが可能である。

さらにロックイン計測で励起光の変調に同期した画像成分を検出し、円形ハフ変換で細胞位置を検出して、各細胞を一つの要素とするセンサアレイを校正した。そして、異なる受容体を発現した細胞をランダムに配置した画像から、画像認識の手法により匂い識別を行うことができることがわかった[11]。

3. 嗅覚ディスプレイ

1 節で述べたが、ユーザに対して香りを提示するデバイスを嗅覚ディスプレイという。嗅覚ディスプレイには、様々なタイプのものがあり、空気砲により特定の人にのみ香りを届けるデバイス、マトリクス状に香りの入った素子を配置して特定の素子の香りのみを加熱により発生させるデバイス、画面上の特定の場所から香りが来るように感じるデバイス等が提案されている[12]。筆者は多成分の香りを指定した比率で調合して香りを発生させる多成分調合嗅覚ディスプレイを研究している。

当初研究したのは、電磁弁高速開閉方式嗅覚ディスプレイである[13]。ON/OFF の2 値の状態しかない電磁弁を高速に開閉し、開閉頻度により香りの強弱をアナログ的に表した。この嗅覚ディスプレイは取り扱いが容易で成分数の拡張も可能であった。この嗅覚ディスプレイを用いて、香る料理ゲーム等のコンテンツを作成し、多くの人に体験してもらっている [14, 15]。しかし、低揮発性香気成分に関してチューブや電磁弁において、残香が発生する問題があった。

そこで、マイクロポンプと弾性表面波霧化器を用いた嗅覚ディスプレイを提案した[16]。前述の嗅覚ディスプレイでは、配管に残香が発生しやすいので、香り発生後は配管を用いずに弾性表面波デバイスから液滴を霧状にしてユーザに供給する方法である。この方法で残香の問題は改善したが、滴下する液滴の容量のバラツキが大きかったり気泡によりマイクロポンプが止まってしまったりする問題があり、安定性の向上が課題であった。そこで、図4 に示すように、液滴射出電磁弁（マイクロディスペンサ）を用いて液滴を弾性表面波デバイスに射出し、そこで霧化を行う方式に変更した。直接チューブがデバイス表面に接することがないので、チューブとデバイス表面のギャップを制御する必要がなく、液滴供給の再現性が著しく向上した。この方式により8 成分調合嗅覚ディスプレイを開発して、その動作を確認した[17]。また、弾性表面波デバイス表面に

非晶質テフロンをコーティングして、霧化効率の改善を図った [18]。さらに同方式を拡張してヘッドマウントディスプレイの下実装するウェアブル嗅覚ディスプレイも開発した[19]。

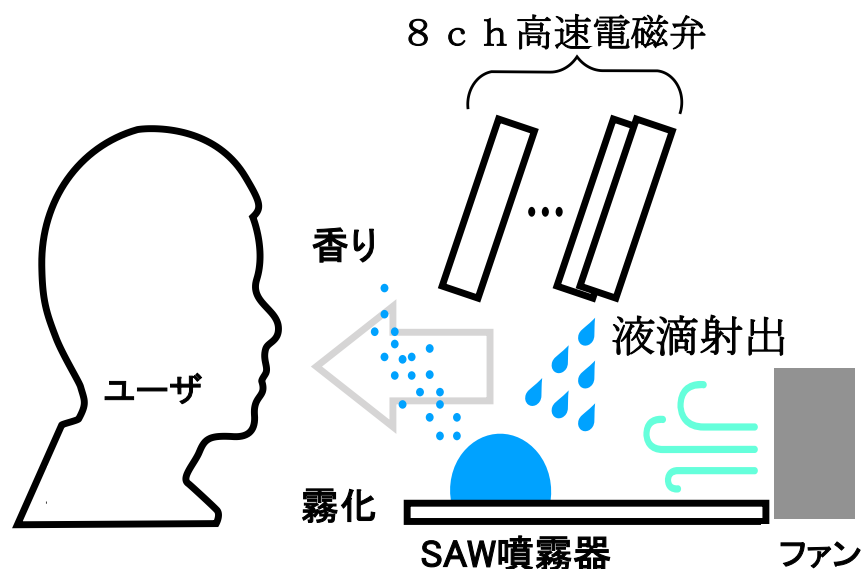


図 4. 液滴射出電磁弁を用いた 8 成分調合嗅覚ディスプレイ

4. まとめ

嗅覚受容体を用いた嗅覚センサを開発し、その原理検証を行った。現状では、まだ、基礎的な段階であるが、手法を洗練させて、画像認識で多くの匂い物質の識別を行いたい。

また、残香の少ない嗅覚ディスプレイを開発した。上記のデスクトップ型では各成分を要素臭[20、21、22]に対応させた香りの提示を行いたい。ウェアブル嗅覚ディスプレイに関しては、直感的な試験だけでなく、定量的に残香を評価したいと思っている。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 18H03773 の助成を受けた。また、嗅覚受容体発現細胞を提供していただいた東大先端科学技術研究センター神崎亮平教授に感謝する。

参考文献

- [1] T.Nakamoto Ed., Human olfactory displays and interfaces, IGI=Global, 2013.
- [2] T. Nakamoto, Ed., Essentials of machine olfaction and taste, Wiley, 2016.
- [3] 中本編著、嗅覚ディスプレイ、2008、フレグランスジャーナル、2008.
- [4] T.Nakamoto, Y.Nakahira, H.Hiramatsu and T.Moriizumi, Odor recorder using active odor sensing system, Sensors and Actuators B, 76 (2001) 465-469
- [5] T.Nakamoto, N.Nimsuk, B.Wyszynski, H.Takushima, M.Kinoshita, N.Cho, Experiment on Teleolfaction Using Odor Sensing System and Olfactory Display Synchronous with Visual Information, ICAT (International Conference on Artificial Reality and Telexistence) 2008, Proc. ICAT, 2008, 85-92.
- [6] T.Nakamoto and H.Ishida, Chemical sensing in spatial/temporal domains, Chemical review, 108 (2008) 680-704.
- [7] 中本、嗅覚センサシステムの研究、応用物理、83(2013) 12-17.
- [8] H.Mitsuno, T.Sakurai, S.Namiki, H.Mitsubishi, R.Kanzaki, Novel cell-based odorant sensor elements based on insect odorant receptors, Biosensors and Bioelectronics, 65 (2015) 287-294.
- [9] 祐川、Mujiono, 中本、光野、中島、神崎、三澤、嗅覚受容体発現細胞を利用した匂いセンサ用自動フロー測定系の開発、電気学会論文誌、136-E (2016) 289-295.
- [10] T.Mujiono, Y.Sukekawa, T.Nakamoto, H.Mitsuno, R.Kanaki, Sensitivity Improvement by Applying Lock-In Technique to Fluorescent Instrumentation for Cell-Based Odor Sensor, Sensors and Materials, 29 (2017) 65-76.
- [11] 祐川、中本、匂いバイオセンサ応答画像のロックイン計測を用いた匂い識別、電気学会論文誌、138-E (2018) 477-484.
- [12] 中本、嗅覚ディスプレイの最新動向、133 (2013) 178-183.
- [13] T.Nakamoto, H.P.D. Minh, Improvement of olfactory display using solenoid valves, IEEE Virtual Reality, 2007, DOI: 10.1109/VR.2007.352479.
- [14] T.Nakamoto, S.Otaguro, M.Kinoshita, M. Nagahama, K.Ohinishi, T.Ishida, Cooking Up an Interactive Olfactory Game Display, IEEE Computer Graphics and Applications, 28 (2008) 75-78.
- [15] T.Nakamoto, Olfactory Interfaces, Eds., James L. Szalma, Mark Scerbo, Raja Parasuraman, Peter A. Hancock, and Robert R. Hoffman, The Handbook of applied perception research, Cambridge University Press, 2015 408-423.
- [16] K.Hashimoto and T.Nakamoto, Tiny Olfactory Display Using Surface Acoustic Wave Device and Micropumps for Wearable Applications, IEEE Sensors Journal, 16 (2016) 4974-4980.

- [17] T.Nakamoto, S.Ito, S.Kato, G.Qi, Multicomponent Olfactory Display Using Solenoid valves and SAW Atomizer and its Blending-capability Evaluation, IEEE Sensors Journal, Volume: 18, Issue: 13 (2018) 5213 - 5218.
- [18] Haining Li; Guiping Qi; Shingo Kato; Takamichi Nakamoto, Investigation and Improvement of Atomization Efficiency based on SAW Device Coated with Amorphous Fluoropolymer Film for Olfactory Display, Sensors and Actuators B, 263 (2018) 266-273.
- [19] S.Kato and T.Nakamoto, Olfactory Display Based on Sniffing Action, IEEE Virtual Reality 2018
- [20] T.Nakamoto, M.Ohno, Y.Nihei, Study of odor approximation by using mass spectrometer, IEEE Sensors Journal, 12 (2012) 3225 - 3231.
- [21] T.Nakamoto and Y.Nihei, Improvement method of odor approximation using mass spectrometry, IEEE Sensors Journal, 13 (2013) 4305-4311.
- [22] 都甲、中本著、においと味を可視化する、フレグランスジャーナル社、2017.