OE4-3　匂いセンサを用いた匂い情報の記録・再生技術

Odor-recorder technology using odor sensing system

中本　高道　　　森泉　豊栄
Takamichi Nakamoto　Toyosaka Moriizumi

1．まえがき

匂いを記録する際、人は通常言語表現を用いる。調香師間の会話では言語のみでも実際の匂いを思い浮かべることが可能なようであるが、それ以外の人間にとっては言葉だけで対応する匂いを相手に伝えることは至難のことである。まして、その匂いを嗅いだときと同じように再現するにはどうしたらよいであろうか。

匂いを記録するには客観的な手法が必要であり、本稿では匂いセンサによる方法を述べる。匂いセンサは、特性の異なる複数センサの応答パターンをパターン認識することにより匂いの種類を識別するセンサである[1]。この原理は生体内で多くの嗅細胞の応答を脳の嗅覚神経系でパターン認識しているのを真似たものである[2]。筆者のグループは１０年来匂いセンサの研究を行ない、微妙な洋酒やフレーバの匂いの違いを識別できることを示した[3-5]。また、識別だけでなく複数の匂いが混ざった混合臭の成分濃度を定量するのに、能動型匂いセンシングシステムという新しい方法を提案した [6-8]。

そこで、匂いセンサの次の段階として、匂いをはかるだけでなく作り出すのに応用することを考え、ビデオテープで画像を記録し再生するように匂いを再生するシステムの研究に着手し、"匂いの記録・再生システム"（英語名：Odor recorder）という名前をつけた [9]。匂いの記録・再生が可能になると、人工現実感、映画、テレビの料理番組やCM、ゲーム等多くの分野で新しい領域が開けてくるであろう。

一方、一昨年あたりからインターネットにおける香りの配信技術の可能性が議論され、商業ベースの実現を目指す企業も登場した 。コンピュータ上でマウスをクリックするとインターネットを介して遠隔地で匂いを再生させる装置であり、多数の匂い要素（液体）の入ったカートリッジを用意する。対応する匂いの液体を加熱して気化させて、外に噴射するものである。しかし、これらの装置ではあらかじめ決められた種類の中で匂いを発生させることはできても匂いを検出する手段は持たないので、匂いの記録・再生・通信などは現状ではできない。

匂いの記録・再生をすべての匂いを対象に行なう場合には、色の３原色のように匂いの原臭が必要になる。原臭に関しては Amoore の説があるが、まだ十分に確立されていない[10]。そこで、現状では匂いの範囲を限定して、範囲内の匂いを実現することを目指し、今後データを蓄積しながら次第にその範囲を広げていくことにする。この場合、人の官能検査に頼って原臭を探していくのは気が遠くなるような労力を要する。匂いセンサを用いれば、膨大な客観的な情報を自動化された測定により蓄積していくことが可能になる。

本稿では、匂いの記録・再生システムの原理と実験例を紹介することにする。

2．原理

匂いの記録・再生システムの原理を図１に示す。同図内のセンサアレイは特性の異なる複数のセンサである。まず、対象となる匂いをセンサアレイに電磁弁を介して導入し、その応答パターンを記録する。次に装置内にあるブレンダにより、複数の要素臭を混ぜる比率（レシピ）を決めて調合し、センサアレイに導入する。両者のセンサアレイ出力パターンがマッチングするかを計算し、出力パターンが一致すればブレンダで調合したレシピが対象臭のレシピとなる。一致しなければ両者の出力パターンが近づくように非線形最適化アルゴリズムや適応制御理論により変更すべきレシピを計算し、レシピを変更して再びセンサアレイの応答パターンを測定する。レシピ変更を繰り返すとパターンマッチングが得られて、得られたレシピを電子的に保存する。

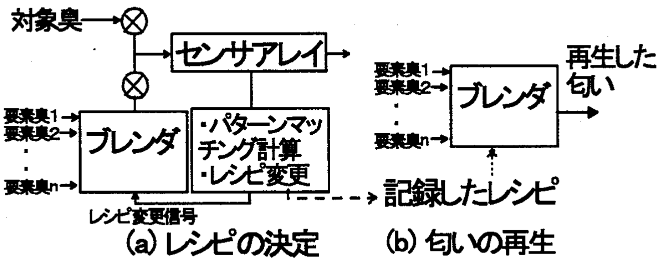

図１．匂いの記録・再生システムの原理図、(a) レシピ決定、(b) 匂いの再生

一方、再生側ではブレンダのみあればよい。決定したレシピをもとに再生側のブレンダで要素臭を調合し、対象臭と同じ匂いを再び発生させる。

筆者らはこのレシピ決定の方法を能動センシングと呼んでいる。それは複数の要素臭からなる空間上で対象臭に相当するレシピを能動的に探索することを行なっているからである。

ひとつのセンサに関して各要素臭に対する応答が正確に線形重ね合わせで表せるのであれば、上記のような繰り返し処理は不要であり回帰分析法等の多変量解析を用いれば容易に各要素臭の濃度を決定できる。しかし、線形重ね合わせですべての応答を説明できないことが多く、温度や湿度の影響を受けたりセンサ応答がドリフトすることもある。本手法は、相対測定法のためにこれらの影響を受けにくいという長所がある。

レシピ決定には適応制御理論を用いている。まず、対象臭に対するセンサアレイ応答パターンをあらかじめ取得する。制御対象のシステムの入力（フィードバックコントローラの出力）は各要素臭の濃度変化、システムの出力は各センサの出力である。フィードバックコントローラの入力は対象臭と調合臭のセンサアレイ応答パターンの差であ

る。制御対象が多入力―多出力の系であるのでフィードバックゲイン行列が必要となる。そこで、フィードバック制御の前に所定の各要素臭濃度変更パターンをシステムに入力して、出力であるセンサアレイ応答パターンを測定し、そのデータに最小二乗法を適用してシステムの状態方程式を抽出する。その後最適制御入力の手法により行列決定を行なった。

3. 匂いレシピの記録実験

比較的少ない数で匂いをつくることができるものとしてリンゴ臭がある。ここでは、りんご臭の匂いの記録・再生実験を紹介する[9]。ここでは4つの要素臭を用意し、それを調合してりんご臭をつくり、そのレシピを決定する実験を行なった。用いた要素臭は、要素臭1（Trans-2-hexenyl acetate, 柔らかいグリーンノート）、要素臭2（Trans-2-hexenal, 青臭い匂い）、要素臭3（Isobutylic acid, 甘酸っぱい匂い）、要素臭4（Ethyl valerate, フルーティな果肉感を与える匂い）である。

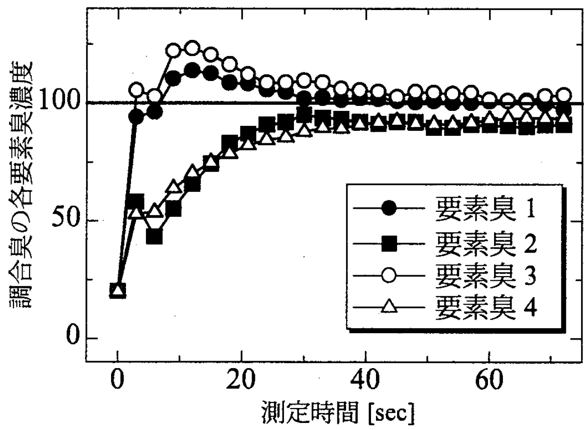

図2. りんご臭の典型的なレシピが決定される様子

センサとしては8個の水晶振動子に GC(Gas Chromatograph)固定相材料や脂質膜を塗布して用いた。各要素臭に対するセンサアレイ応答パターンは異なっており応答パターンで各要素臭を区別することができる。

レシピ決定の様子を図2に示す。図2の縦軸は相対濃度であり、典型的なりんごの匂いレシピの一つ（要素臭1：18.8ppm, 要素臭2：3.4ppm, 要素臭3、22.7ppm, 要素臭4：12.8ppm）の各要素臭濃度を 100 として表示した。また、相対濃度 100 の線は対象臭の各要素臭濃度がすべて相対濃度 100 であることを示している。横軸はブレンダで調合したレシピの時間的推移を表す。同図によりほぼ40秒程度でブレンダで調合した匂いのレシピは対象臭のそれにほぼ等しくなって収束した。

また、対象臭内のグリーンノートの要素臭を典型的なレシピの倍にして実験を行なった結果、同様に対象臭のレシピに調合臭のレシピが収束した。さらに、レシピを変え対象臭を用意して同様の実験を行なったところ、同じように良い収束が得られた。再生した匂いを12人のパネル（研究室の学生）が嗅いだところ、再生した匂いは対象臭の匂いと同じであるという回答が得られた。

4. まとめ

匂いの記録・再生システムの原理、りんご臭を対象とした実験例を紹介した。現状ではまだ、すべての匂いを対象にするには至っていないが、今後対象を広げていく。それらはそのその際、対象に合わせた要素臭の決定方法が重要になるであろう。

要素臭の数を多くした時は、レシピ探索の空間が広がりすぎるので、それを抑えるには探索範囲を限定する手法が有効である[11-12]。

また、電磁弁のみを用いた匂いブレンダの開発[13]やそれを用いた匂いレシピに記録、さらに多くの要素臭を用いた時のレシピ決定、実験環境の変動に対するシステムの安定性[14]の話題もあるが、それは別の機会に紹介したい。

実際にインターネットを介した遠隔地における匂い再生についても、ぜひ実験を行ないたい。匂いセンサを利用した匂いの記録・再生技術はまだ始まったばかりであるが、今後の発展が期待できる。

文献

[1] 森泉、中本、センサ工学、昭晃堂、1997.
[2] G.M.Sherpherd, Neurobiology, Oxford Press, p.238, 1988.
[3] 中本、森泉、ニューラルネットワークを用いたにおいセンサー, 応用物理、58 (1989) 1045.
[4] T.Nakamoto, A.Fukuda and T.Moriizumi, Perfume and Flavor Identification by Odor Sensing System Using Quartz-resonator Sensor Array and Neural-Network Pattern Recognition, Sensors and Actuators B, 10 (1993) 85.
[5] 中本、森泉、匂いセンシングシステム, 電子情報通信学会論文誌、82-C-I (1999) 156.
[6] T.Nakamoto, S.Utsumi, N.Yamasita T.Moriizumi and Y.Sonoda, Active Gas Sensing System Using Automatically Controlled Gas Blender and Numerical Optimization Technique, Sensors and Actuators B, 20 (1994) 131.
[7] T.Nakamoto, N.Okazaki and T.Moriizumi, High speed active gas/odor sensing system using adaptive control theory, Sensors and Actuators B, 41 (1997) 183.
[8] 中本、匂いセンサ、フレーグランスジャーナル、6 (1997) 49.
[9] T.Nakamoto, Y.Nakahira, H.Hiramatsu, T.Moriizumi, Odor recorder using active odor sensing system, Sensors and Actuators B, 76(2001)465.
[10] E.アムーア、原訳、匂い―その分子構造、恒星社厚生閣、1972, p.29.
[11] T.Yamanka. R.Matsumoto, T.Nakamoto, Odor recorder for multi-component odor using two-level quantization method, Tech. Digest Sensor Symp., IEEJ, 2002, p.238.
[12] 山中、松本、中本、特異値分解を利用したレシピ探索法による多成分臭の匂い記録法、電気学会ケミカルセンサ研究会、CHS-02-10.
[13] T.Nakamoto, T.Yamanaka, R.Matsumoto, Olfactory display using solenoid valves controlled by delta-sigma modulator, Proc. MFI2001, 2001, 1-a-3.
[14] 山中、中本、実時間参照方式による匂い記録・再生システムの環境変化に関するロバスト性の向上、電気学会論文誌、122-E (2002) 312.