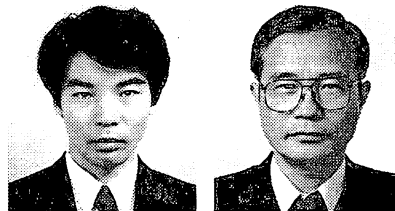


匂い情報の記録・再生及び通信システム への展望

中本高道、森泉豊栄

東京工業大学



1. はじめに

匂いを電子的に記録し、その匂いを再現したり遠隔地に送るのにはどうしたらよいのであろうか。匂いを記録する際、人は通常言語表現を用いる[1]。匂いを作る調香師の間では言語表現だけでも匂いを思い浮かべてその匂いを調合して作ることが可能であるが、一般の人にとってそれは至難のことである。一般の人が匂いを嗅いで、その印象をなんらかの方法で記述しても、その印象表現に再現性が乏しいことも問題である。なじみの薄い匂いになると再現性はさらに低くなる。

匂いを記録するには客観的な手法が必要であり、その有望な方法として近年匂いセンサが登場してきた[2-3]。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。生体は複数の嗅覚細胞の応答をパターン認識し匂いを認識すると考えられており [4]、匂いセンサはその原理にもとづいている。

匂いセンサにより微妙な洋酒やフレーバの匂いの違いを識別できることがわかっており、他にも多くの研究が行われている[5]。また、筆者のグループは混合臭の成分濃度を定量する能動センシング法を提案し[6-8]、この手法を発展させて匂いを計るだけでなく匂いをつくりだす応用を考えた。ビデオテープで画像や音声を記録し再生することができるように、匂いの記録再生システムの研究をスタートさせた[9-10]。

匂いの記録・再生をすべての匂いを対象に行う場合に

は、色の三原色のように原臭が必要となる。原臭説は Amoore によって提唱されたが [11]、十分に確立されていない。そこで、匂いの範囲を限定し、その範囲内の匂いの記録・再生を行うのを当初の目的におき、次第に対象範囲を広げていくことにした。人の官能検査に頼った原臭探索は多大な労力を必要とするが、匂いセンサを用いれば膨大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・再生技術の現状と通信を含めた今後の展望について述べることにする。

2. 嗅覚ディスプレイ

匂いを発生させて人に嗅覚刺激を提示する装置を嗅覚ディスプレイと言う。この装置は従来から、流量、濃度、刺激の持続時間等をコントロールして人に匂いを与え、脳波、脳磁波を計測したり、官能検査を行うのに用いられてきた [12]。また、人工現実感への応用も検討されている [13]。

これを小型化しコンピュータ制御で匂い刺激を提示する装置が、いくつかの会社で開発された[14-15]。コンピュータ上でマウスをクリックすると遠隔地で対応する匂いを発生させることが可能になる。そこで、インターネットを介して匂い情報を嗅覚ディスプレイに送り、香りを配信する可能性が議論されている [16]。

複数の要素を任意の比率で混ぜ合わせて匂いを作るためには、図1の方法が考えられる。同図(a)は、各要素臭

をマスフローコントローラ (MFC) の流量比で制御された比率で混ぜ合わせる方法である。これは従来から行われてきたオーソドックスな方法であるが、MFC 自体が高価であり、多くのMFCを用いるときには装置も大型となるという欠点がある。

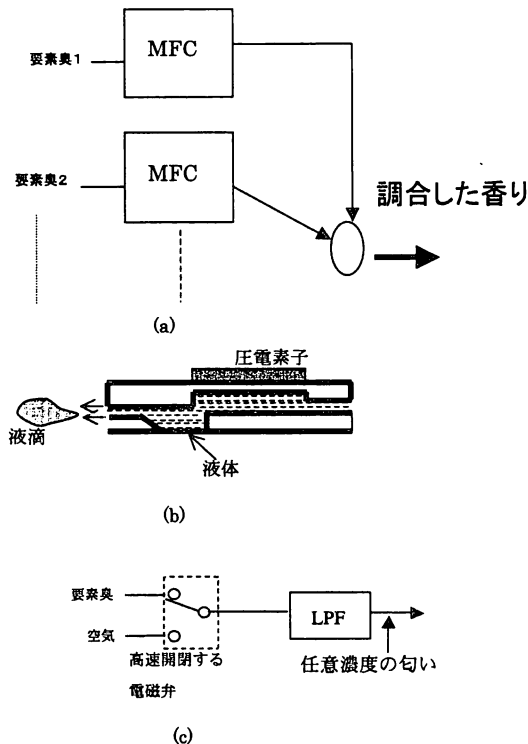


図1. 匂いブレンドの種類、(a) マスフローコントローラ、(b) インクジェットポンプ、(c)電磁弁開閉制御を用いた方法

同図(b)はインクジェット素子によりpLからnLオーダの液体を噴射させ気化させる方法で、要素臭ごとに素子を用意し、噴射する液滴の単位時間当たりの個数比をレシピに比例して与える。インクジェット素子を用いる方法は、上述のコンピュータ制御された匂い発生装置に多く使われており、小型な装置を作るのによい方法である。

同図(c)は電磁弁の高速開閉による方法で開閉頻度により各要素の濃度が決まる。電磁弁制御による方法も安価で多くの要素を扱うのに適している。筆者のグループは電磁弁制御に2次の $\Delta\Sigma$ 変調をかける方式により、匂い調合装置を実現している [17]。

3. 匂いの記録再生システムの原理

上記のインターネット接続可能な匂い発生装置は、匂いを発生させるのみで匂いを検出して識別することはできない。しかし、匂いを記録するためには何らかの検出手段が必要である。著者等が研究しているセンサを用いた

匂いの記録・再生システムの原理図を図2に示す。

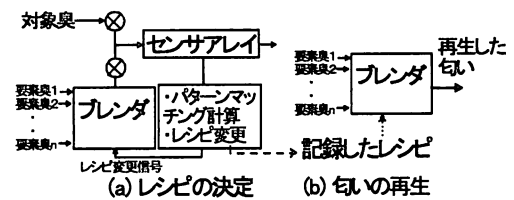


図2. 匂いの記録・再生システムの原理

同図(a)内のセンサアレイは特性の異なる複数センサを並べたもので、匂いセンサ単体で用いる時にはこの出力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。本システムでは、この出力パターンにより匂いブレンドのレシピを制御する。

まず、対象となる匂いを電磁弁を介してセンサアレイに導入し、その出力パターンを記録する。次に装置内にあるブレンドによりレシピに従い複数の要素臭を混ぜ合わせ、別の電磁弁を介してセンサアレイに導入する。そして、対象臭と調合臭に対するセンサアレイ出力パターンの一一致度合い (パターンマッチング) を計算し、両者が一致すれば調合したレシピが対象臭のレシピとなる。一致しなければパターンマッチングが良くなる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、レシピ変更後のセンサアレイ出力パターンを測定する。レシピ変更を繰り返すと十分なパターンマッチングが得られ、得られたレシピを電子的に記憶する。パターンマッチング指標としては、センサ出力空間上で対象臭と調合臭応答パターンベクトル間のユークリッド距離、ベクトル要素間の重み付けを行った距離、ベクトル間の角度等が用いられる。

一方、図2(b)に示すように再生側ではブレンドのみあればよい。決定したレシピをもとに再生側のブレンドで要素臭を調合し、対象臭と同じ匂いを再現することができる。

図2(a)の装置内のブレンドのみを動作させても匂いの再生は可能である。

筆者らは、図2(a)のレシピ決定方法を能動センシングと呼んでいる。これは、各要素臭とパターンマッチング指標からなる空間内を、パターンマッチングが良くなるように繰り返し探索的動作を行うことに由来している [6]。

一つのセンサに関して各要素臭の濃度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、PLS (Partial Least Squares)等

の方法で各要素臭を決定できる [18]。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も多く、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特長がある。

また、対象臭を実際に構成している要素臭の数と調合臭の数は必ずしも一致している必要はない。対象臭の成分以下に調合臭の要素数を減らすことにより、より少ない数の要素で匂いを近似することができる。匂い近似の問題も重要な研究テーマである。

レシピ変更を行う適応制御の概略は以下のものである。入力を各要素臭の濃度（正確には1時刻前からの濃度変更幅）、出力をセンサアレイ出力パターンとしたMIMO(Multiple-input Multiple-output)システムを考える。そして、システムの大まかな動作を観測データと最小二乗法により状態方程式で表す。最適制御入力法[19]により (1) 式のJを最小にするように各要素臭濃度を変更する[8]。

$$J = \sum_{j=p-k}^{p-1} (x_{j+1} - S_j)^T [Q] (x_{j+1} - S_j) + u_j^T [R] u_j \quad (1)$$

ここで、 S_j は対象臭に対するセンサアレイ出力パターン、 x_{j+1} は時刻j+1における調合臭に対するセンサアレイ出力パターン、 u_j は濃度変更幅ベクトル、 $[Q]$ 、 $[R]$ は各ベクトル要素間の重み付けを行う対角行列である。また、 k は最適制御入力の段数である。(1)式の第1項は対象臭と調合臭に対するセンサアレイ出力パターンのマッチングを表し、第2項が濃度変更量を抑制しオーバーシュートの発生を防ぐ役割を持つ。

4. 匂いの記録再生実験

図3(a)は実際の実験に用いたセンサセルの写真である。センサセルはセンサアレイを収納する箇所、異なる感応膜を塗布した8個の水晶振動子 (20MHz、AT-CUT) をセンサアレイとして用いた。ここではApiezon-L、Silicone OV-17、cerebrosides、dinolenoyl phosphatidylcholine、diethyleneglycol succinate、R-(+)-BINAP、polyphenyl ether、tricresyl phosphateを感応膜として用いた。これらの水晶振動子は発振回路に接続され、それらの出力はマルチチャンネル周波数カウンタ (FPGAチップ) により計測される。その後、RS232Cインタフェースを介してコンピュータにデータが取り込まれる。

匂いブレンドは同図 (b) のように複数のMFCにより実現した。各要素臭はサンプリングバッグ内に用意され、

それをMFCを介してポンプで吸引してセンサセルに導入する。センサセルを流れる流量は常に200ml/min一定とした。各MFCの流量はマルチチャンネルD/Aコンバータを通してコンピュータから設定される。

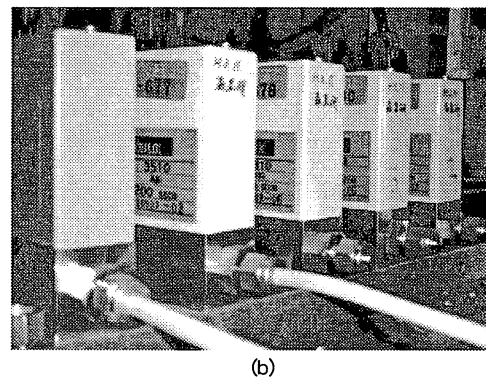
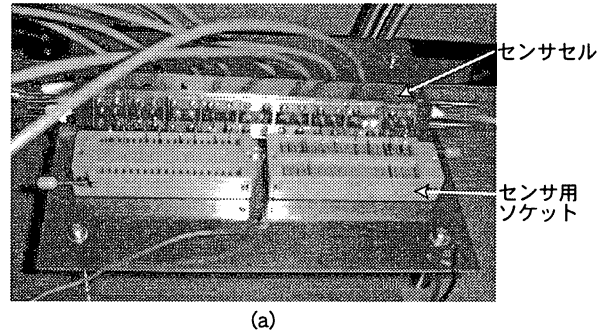


図3. 実験系の写真 (a)センサセル、(b)MFC

対象臭として、比較的少ない成分数で匂いを作ることができるりんご臭を用いた例を述べる。モデル実験として4つの要素臭を用意し、それらを調合してりんご臭を作って対象臭とした。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。

上述の適応制御理論によりレシピ決定を行った過程を図4に示す。同図縦軸は各要素臭の相対濃度であり、典型的なりんごの匂いレシピの一つ (要素臭1 : 18.8 ppm、要素臭2 : 3.4 ppm、要素臭3:22.7ppm、要素臭4: 12.8 ppm) の各要素臭濃度を100として表示した。ただし、グリーンノートの匂い濃度は倍にした。濃度変更は3秒毎に行っている。同図からわかるように40秒程度で収束し、対象臭と一致したレシピを得ることができた。この匂いを再生させて、実際に12人の人に匂いを嗅いでもらったところ、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。

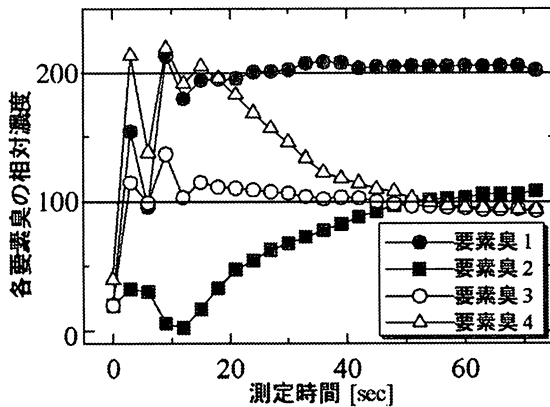


図4. りんご臭のレシピ決定を行う様子 (典型的なレシピの場合)

5. 匂い通信の実現方法

この匂いの記録・再生システムを用いた匂い通信システムの応用概念図を図5(a)に示す。匂いの記録・再生が可能になれば電子的手段により情報を遠隔地に伝送して、匂いを再生することができる。匂い再生専用の場合はブレンドのみを用いる。このブレンドはインターネット接続され、遠隔地からの情報を元に匂いの再生を行う。匂いの送り側には図2(a)の匂い記録システムが必要となる。これは言わば、匂いの配信システムとなる。

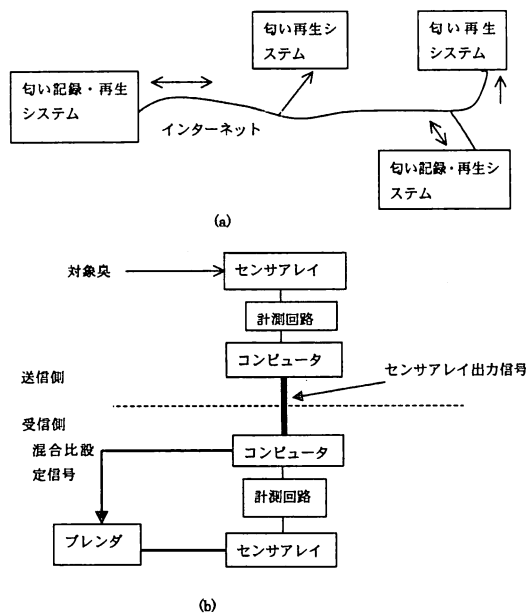


図5. 匂い通信、(a)概念図、(b)伝送の形態の一つ

また、図2の場合はレシピ情報を伝送するが、図5(b)のようにセンサアレイ出力パターンをそのまま伝送して、相手側でレシピ決定を行う方法も考えられる。この場合は送信側と受信側両方にセンサアレイが必要になるかわりに、送信側ではブレンドを要しない。この方法は筆者ら

も少し試みたが、送信側と受信側双方のセンサ特性がそろっている必要があり、その時点では十分な結果が得られなかった。しかし、センサ製作の再現性が向上すれば、応答パターンの伝送も可能かもしれない。

6. まとめ

匂いの記録・再生システムを中心に述べた。原理的には記録・再生が十分にできれば通信もできると思われるが、その点に関しては研究がまだ始まったばかりの段階である。また、本稿で紹介したのは、対象臭レシピが一定の場合であるが、実際の匂いではこれが動的に変化しており、その記録・再生を行う研究も始まっている[20]。人工現実感においても、リアリティのある嗅覚刺激を与えるためには動的変化を伴った匂いの記録・再生も重要な課題である。この分野はまだ歴史が浅く今後大きな発展が期待できるので、多くの研究者が参入して分野全体の研究が進展することを願う。

参考文献

[1] 斎藤、匂いと言語、香料の辞典、荒井、小林、矢島、川崎編、朝倉書店、2000、p.35
 [2] 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
 [3] 森泉、中本、センサ工学、昭晃堂、1997
 [4] G.M.Shepherd, Neurobiology, Oxford Press, 1988, p.238
 [5] 電気学会ケモメトリクス調査専門委員会、化学センサ情報処理、電気学会技術報告第693号、1998、電気学会
 [6] 中本、能動型においセンシングシステム、化学センサ、1996、vol.12、No.1、p.2
 [7] T.Nakamoto, S.Utsumi, N.Yamashita, T.Moriizumi, Y.Sonoda, Active Gas Sensing System Using Automatically Controlled Gas Blender and Numerical Optimization Technique, Sensors and Actuators B, 41 (1994) 131.
 [8] 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.
 [9] T.Nakamoto, Y.Nakahira H.Hiramatsu and T.Moriizumi, Odor recorder using active odor sensing system, Sensors and Actuators B, 76 (2001) 465.
 [10] 中本、森泉、匂いセンサを利用した匂いの記録・

- 再生システム、ブレインテクノニュース、85 (2001) 15
- [11] E.アムーア、原訳、匂いーその分子構造、恒星社厚生閣、1972、p.29
- [12] 外池、誘発脳波・無侵襲計測、匂いの応用工学、栗岡、外池編、朝倉書店、1994、p.87
- [13] 広瀬、谷川、田中、崎川、嗅覚ディスプレイに関する研究、日本バーチャルリアリティ学会大会論文集、2000、p.193-196
- [14] <http://www.aromajet.com>
- [15] <http://www.sniffman.de>
- [16] F.Davide, M.Holmberg, I.Lundstrom, Virtual olfactory interfaces: electronic noses and olfactory displays, Communications through virtual technologies, Eds., G.Riva and F.Davide, IOS Press, 2001, 193.
- [17] T.Nakamoto, T.Yamanaka and R.Matsumoto, Olfactory display using solenoid valves controlled by delta-sigma modulator, Conference documentation MFI2001, 2001, p.13.
- [18] W.P.Carey, K.R.Beebe, B.R.Kowalski, Multicomponent analysis using an array of piezoelectric

crystal sensors, Anal. Chem., 59 (1987) 1529.

- [19] 田中、計測システム工学、朝倉書店、1994、p.61
- [20] 平松、中本、能動型匂いセンシングシステムを用いた動的な匂いの記録・再生に関する基礎的研究、電気学会全国大会、2001、3-146

【略歴】

中本高道 (NAKAMOTO Takamichi)

昭59年東工大修士課程了。日立製作所武蔵工場を経て、昭62年東工大・工・助手、平5年東工大・工・助教授となり現在に至る。工博。平8～9年米国パシフィックノースウエスト研究所客員研究員。化学センシングシステム、匂いの記録・再生、LSI設計に興味を持つ。

森泉豊栄 (MORIIZUMI Toyosaka)

昭39年東工大・理工・電子卒。昭44年同大学院博士課程修了。工博。同年助手。昭和48年助教授、昭53～54カーネギーメロン大客員助教授、昭60年東工大理工学国際交流センター教授、昭63年同大電気電子工学科教授となり現在に至る。平12～13年東工大副学長。匂いセンサ、能動化学センシングに興味を持つ。