



# 匂いの時空間提示

柳田康幸

ATR



谷川智洋

情報通信研究機構



廣瀬通孝

東京大学



## 1. はじめに

バーチャルリアリティ (VR) 分野における感覚提示技術は、視聴覚から力・触覚提示へと発展してきた。初期のVRは視聴覚のみの提示を行っており、体験者はVR世界の中のものを見たり聴いたりすることはできるが、そこにあるものに触ることができない、いわば幽霊のような存在であった。力覚・触覚提示の研究が盛んになるにつれ、VR世界の物体に手を触れることが可能になってきたが、それでも目の前の世界にあるはずの匂いを感じることはできず、いわば宇宙服を身にまとったような体験であった。VRにおける嗅覚の提示は、さらなる臨場感へ向けて一石を投じる動きである。

VRで嗅覚の提示というと、多くの人が思い浮かべるのが、まず「任意の匂いを合成する」装置であろう。むしろこれは非常に重要であるが、現状では非常に大きな問題を抱えており、簡単には実現できそうにない。その問題とは、匂いをバーチャル化する方法、つまり異なる化学物質から同じ匂いの感覚を生じさせる明確な方法が見つかっていないことである。視覚の場合は、RGBの3原色だけで、色の連続スペクトルを感覚上で等価な表現が可能である。皮膚触覚に関しても、近年数種類の機械受容器を独立に刺激して任意の触覚を生起させる「触原色」の考え方[1][2]が広まりつつある。しかし嗅

覚の場合、任意の匂いはごく限られた数(当初7つ)のカテゴリに分類されるという原鼻仮説[3]が一度は提唱されたものの、結局そのような少数の要素臭の合成で任意の匂いを表現できるとは立証されなかった。このため、現在の段階では、ある匂いを提示するためには原則的に同一の化学物質を用意する必要があり、視覚提示のような効率的なコーディング手段は発見されていない。その一方で、異なる化学物質が、同様の匂いとして知覚される事例が存在することも知られており[4]、化学物質と知覚される匂いとの関係は一對一という訳でもない。つまり、化学物質から匂い知覚への多対一写像が存在しており、奈良らが皮膚触覚に関して行ったVRの定式化[5]の考え方に従えば、嗅覚のVRは原理的には成立可能ではなくである。人間が識別可能な数千以上の匂い物質の中

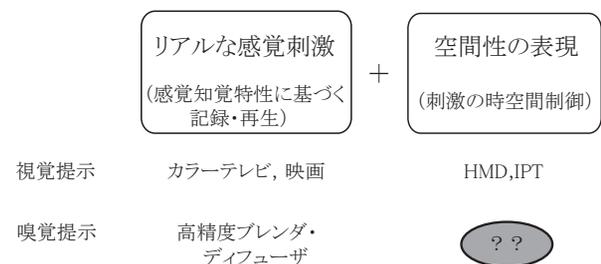


図1 VRにおける空間性の表現

から、何種類の物質を用意して組み合わせれば任意の匂いを実用的なクオリティで再現できるのか、さらなる研究の進展が期待されるところである。

このように、我々はまだ嗅覚の VR を実現する明確な道筋を見いだせた訳ではない。しかし、VR には、リアリスティックな感覚刺激を再現するという技術領域の他に、もう一つの重要な側面が存在する(図 1)。それは、空間を再現するという概念であり、各種感覚器官を通して、人間に対する感覚刺激を空間的・時間的に制御することが、VR の重要な特色の一つである。視覚提示で言えば、リアルな画像を提示するという機能はカラーテレビや映画で実現されていたが、HMD や IPT が出現し、運動計測技術と相まってユーザの動きに応じて提示画像をリアルタイム制御できるようになったことが VR の VR たるゆえんである。この観点を嗅覚提示に当てはめると、匂いの VR を実現するためには、匂いの記録・再生だけでなく、それをユーザの行動に合わせて実時間制御し、匂い空間を再現する技術も必要であることがわかる。

従来、匂い空間を再現するという観点での提示は、あまり行われて来なかった。すなわち、匂い物質を周囲の空間全体に拡散させるタイプがほとんどであり、バックグラウンドとしての香り提示が主流であった。この形態では一旦拡散した匂いを消すことが困難であるなど、匂いを時空間的に制御する VR の空間再現には適していない。しかし近年、匂いの時空間制御による空間再現の観点を持つ嗅覚インタフェースの研究が行われるようになった。以下本稿では、匂いの時空間制御にチャレンジしている研究事例について紹介する。

## 2. 装着型匂いディスプレイ

本章では、東京大学にて研究開発が行われている、装着型匂いディスプレイと匂いの時空間制御のための技術について紹介する。

前章で述べたように嗅覚を VR に応用するには、匂いの感覚刺激を時間的・空間的に制御することが重要である。現実環境において、人間は空間中の匂い分子の種類から匂い発生源が何かを特定し、動きながら匂いの強さ変化を知覚することで匂い発生源の大まかな位置が特定することができる。同様に VR 空間においても、ユーザの動きに応じて嗅覚刺激を実時間制御することで、匂いの空間を提示できる。

廣瀬らは、VR 空間においてこのような匂い空間的な情報を計算機内に表現するものとして匂い場を提案し

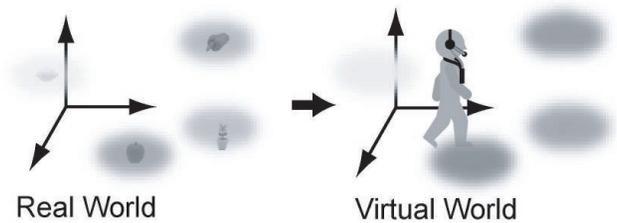


図 2 匂い場：匂い分子の濃度



図 3 装着型匂いディスプレイ提示部

ている。匂い場とは、匂いの種類・強さの空間的な広がりや時間的な変化を匂い分子の濃度として記述したものである [6]。このような匂い場の時空間的な変化は、匂い源から揮発した匂い分子が拡散することによって発生する。そのため、拡散方程式を元に匂い分子の濃度分布をシミュレーションすることで、匂いディスプレイにより提示可能な匂い場の生成を行うことが可能になる。

装着型匂いディスプレイは、このような匂い場を提示するため、鼻の位置を取得するための空間位置センサを持ち、提示部は匂いの濃度と種類を変化させたエアを人間の鼻先に直接エアを噴出させる構造をとる。この構造はユーザの鼻に近い位置で匂いを提示できるため、周辺環境の影響を受け難く、空間位置センサにより取得したユーザの状態に応じて意図した匂い刺激を提示する事が可能である(図 3)。

デスクトップ匂いディスプレイ [7] では、ユーザの鼻の位置取得に空間位置センサ (Polhemus 社製 FASTRAK) を使用している(図 4)。このシステムでは、空間位置センサにより取得したユーザの鼻の位置情報から提示したい匂いの強さを決定し、エアの流量を制御することで匂い分子を適切な濃度で含むエア生成し、提示部か



図4 デスクトップ匂いディスプレイ

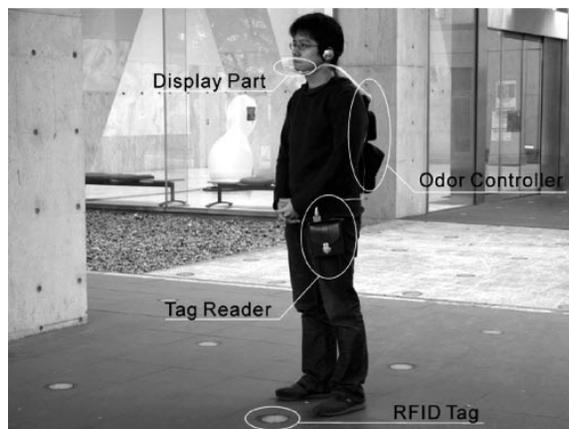


図5 ウェアラブル匂いディスプレイ



図6 匂いの空間情報取得システム

ら鼻に向けて吹きかけることで匂いの空間情報の提示を行っている。

また、匂いディスプレイ全体を小型・軽量化することでウェアラブル化し、屋外をも含めた広い空間内を自由に動きながら利用可能なウェアラブル嗅覚ディスプレイの開発を行っている[8](図5)。このシステムではRFIDタグを利用した屋外型広域空間用位置取得システム[9]を使用することで、屋外環境におけるユーザの位置を取得している。デスクトップ匂いディスプレイと同様に、ユーザの位置に応じて匂いの強さ・種類を制御することで、屋外の広い環境において匂い源の位置を特定可能な匂いの空間情報提示システムを構築している。

また、匂いの空間情報を計算によりシミュレートしたものだけではなく、現実環境から匂いの空間情報を取得する研究も行われている[10]。匂いの空間情報は匂いの種類・強さの空間的な広がりによって表現できるため、匂い情報と位置情報を同時に取得することで匂い場の記録が可能になる。そのため、特性の異なる匂いセンサを用い匂いの濃度とともに種類を特定を行う匂い記録システムと、位置情報を取得する空間センサを併用することで、匂いの空間情報取得システムが開発されている(図6)。

今後、これらの匂いの空間情報取得システムや匂いディスプレイを組み合わせることで、視覚・聴覚などと同様に、VR空間で扱うことが可能になると考えられる。また、様々な匂い源やユーザが動いている現実環境を長時間で伝送・再構築することで、遠隔地間の空間共有などへの応用も期待できる。

### 3. プロジェクション型匂いディスプレイ

本章では、(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)において研究開発が進められている、プロジェクション型香り提示について紹介する。前章の装着型インタフェースは、匂い空間を表現するために確実なアプローチであり、視覚提示で言えばHMDに相当する。VRにおける視覚提示インタフェースを見てみると、HMDの登場で完結した訳ではなく、むしろCAVE, CABINなどのIPTが後から普及するなど、様々な装置・システムがアプリケーションに応じて適材適所で使用されている。嗅覚提示においても、HMD型だけでなく、様々なバリエーションがあってよい。

ATRでは、香りの時空間的な制御が可能で、なおかつユーザに何も装着させずに済む香り提示方式の研究開発を行っている。鼻先へ匂いを運ぶチューブの機能を他

の手段で代替できれば、時空間的な匂い制御が非装着型で実現できるというのが基本的な発想である。自由空間を通して香料粒子を搬送する手段を検討し、「空気砲」の原理を応用して、鼻尖へピンポイントで香りを送る方式を考案した [11] (図 7)。

空気砲は円形開口を持つ容器であり、容器の一部を瞬発的に変形させて開口から空気塊が射出されると、射出された空気はドーナツ状の渦輪を形成して安定に飛行する (図 8)。このとき、渦輪は射出時に開口部付近に存在した粒子で構成され、渦輪内に閉じこめた状態で香料粒子を搬送することができる。

我々は、この原理に基づいて非装着でかつ局所的な香り提示機能を有するシステムを開発した。このシステムでは、カメラ画像でユーザの鼻位置を検出・追跡し (図 9) [12]、雲台上載せた空気砲が鼻を狙うように制御している [13]。匂いつきの空気を空気砲本体の中に導入するのではなく、空気砲開口前面に設置したシャッター付き小筒の中に充填し、空気砲の発射ごとに異なる匂いを届けられるようにした (図 10)。

本方式の長所としては、非装着であること、時間的・空間的にピンポイントな提示であるためメディアコンテンツに合わせて次々と異なる匂いを提示可能なこと、届けられる香料が少量のため特別な消臭設備を必要としないことなどである。反面、短所としては風などの空気の擾乱に弱いため屋外での使用には制約があること、連続的な匂いの提示には不向きであること、渦輪の到達により匂い以外に風を感じてしまうことなどが挙げられる。今後、装置の性能をさらに改善し、匂いつきテレビなどへの応用を検討する。

4. まとめ

匂いを時空間的に制御する研究は途についたばかりであり、技術的にも未熟な面が多い。しかしながら、アプリケーションを適切に設定すれば、原理的・性能的に完璧なシステムでなくても実現可能であると考えられる。今後、さらに様々な嗅覚提示インタフェースが開発され、適材適所で利用できるようになることが期待される。

参考文献

[1] N. Asamura, N. Yokoyama, and H. Shinoda, "A Method of Selective Stimulation to Epidermal Skin Receptors for Re-alistic Touch Feedback", Proceedings of IEEE Virtual Reality '99, pp. 274-281 (1999)  
 [2] 梶本裕之, 川上直樹, 前田太郎, 舘 暉: 皮膚感覚

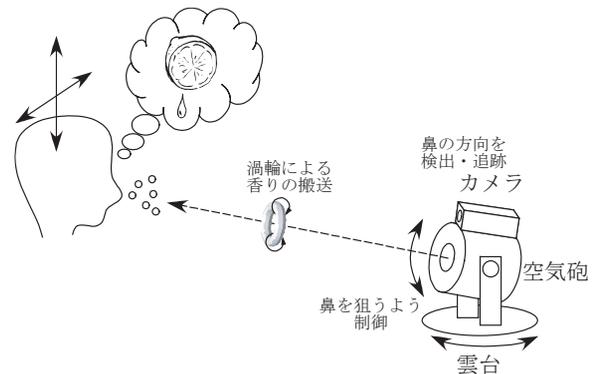


図 7 プロジェクション型匂いディスプレイのコンセプト



図 8 空気砲から発射された渦輪が飛行する様子

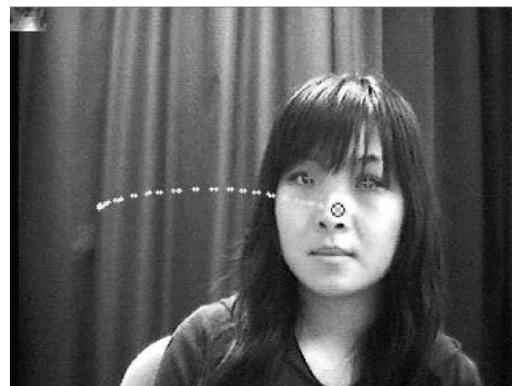


図 9 カメラ画像による鼻トラッキング [12]

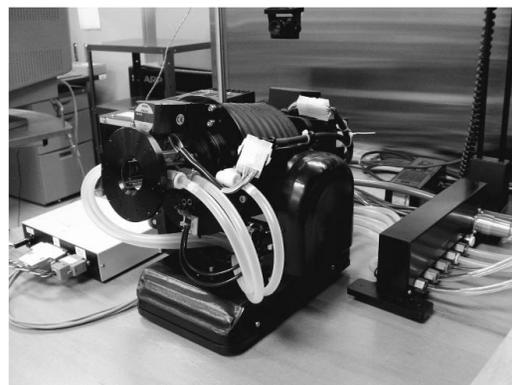


図 10 プロジェクション型匂いディスプレイシステム

- 神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D-II, No. 1, pp. 120-128 (2001)
- [3] J. E. Amoore: Molecular Basis of Odor, C. C. Thomas, 1970 (原俊昭訳: におい—その分子構造, 恒星社厚生閣, 1972).
- [4] 高木貞敬, 渋谷達明編: 匂いの科学, 朝倉書店 (1989)
- [5] 奈良高明, 柳田康幸, 前田太郎, 舘 暉: 弾性波動を用いた皮膚感覚ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 3, No. 3, pp. 89-97 (1998)
- [6] 廣瀬通孝, 谷川智洋, 石田健介: 嗅覚ディスプレイに関する研究, 日本 VR 学会大会論文集, Vol. 2, pp. 155-158 (1997)
- [7] 廣瀬通孝, 谷川智洋, 田中信吾, 崎川修一郎: 嗅覚ディスプレイに関する研究, 日本 VR 学会第 5 回大会論文集, pp. 193-196 (2000)
- [8] 廣瀬通孝, 広田光一, 谷川智洋, 横山智史: ウェアラブル嗅覚ディスプレイの開発, 日本 VR 学会第 8 回大会論文集, pp. 69-72 (2003)
- [9] 兩宮智浩, 檜山敦, 広田光一, 廣瀬通孝: バリアフリー実験のためのユビキタス空間の構築, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2002 論文集, pp. 749-752 (2002)
- [10] 廣瀬通孝, 広田光一, 谷川智洋, 坂本俊輔, 崎川修一郎: 嗅覚情報伝送に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会第 6 回大会論文集, pp. 217-220 (2001)
- [11] 柳田康幸, 野間春生, 伴野明, 鉄谷信二: 非装着かつ局所的な香り提示手法に関する検討, 信学技報, MVE2002-82, pp. 87-92 (2002)
- [12] 川戸慎二郎, 鉄谷信二: 鼻位置の検出とリアルタイム追跡, 信学技報, IE2002-263, pp. 25-29 (2003)
- [13] Y. Yanagida, S. Kawato, H. Noma, A. Tomono, and N. Tetsutani: Projection-Based Olfactory Display with Nose

Tracking, Proceedings of IEEE Virtual Reality 2004, pp. 43-50 (2004)

#### 【略歴】

柳田康幸 (YANAGIDA Yasuyuki)

(株) 国際電気通信基礎技術研究所 (ATR)  
 知能ロボティクス研究所 / メディア情報科学研究所  
 主任研究員

1988年東京大学工学部卒業, 1990年東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻修士課程終了. 同年東京大学先端科学技術研究センター助手, 1997年同大学大学院工学系研究科助手. 2001年(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)研究員, 2003年より現職. 博士(工学).

谷川智洋 (TANIKAWA Tomohiro)

独立行政法人情報通信研究機構  
 駒場 SVR リサーチセンター 研究員

1997年東京大学工学部産業機械工学科卒業. 1999年同大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻修士課程修了. 2002年同大学博士課程修了. 同年通信・放送機構 VR リサーチセンター研究員. 2004年より現職. 博士(工学).

廣瀬通孝 (HIROSE Michitaka)

東京大学 先端科学技術研究センター 教授

1977年東京大学工学部産業機械工学科卒業. 1997年同大学大学院修士課程修了. 1982年同大学大学院博士課程修了. 同年東京大学工学部産業機械工学科専任講師. 1983年同大学助教授. 1999年東京大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻教授. 同年より現職. 工学博士.