

嗅覚を含む多感覚通信に関する研究とその未来 Study on Multisensory Communications with Olfactory Sense and Its Future

黄 平国

Pingguo HUANG

【概要】本論文では、嗅覚を用いた多感覚通信に関する研究を紹介する。具体的には、嗅覚の特徴と嗅覚ディスプレイの分類を説明し、筆者が扱っている嗅覚を含む多感覚通信システム（嗅覚・力覚・視覚を用いた遠隔生け花）を例としてあげ、多感覚通信に嗅覚を加えた効果を調べた。さらに、嗅覚を用いた多感覚通信に関する研究の未来についても議論する。

はじめに

近年、嗅覚を含む多感覚通信に関する研究が行われている^{1)~3)}。従来の視覚・聴覚の他に、嗅覚のような新しい感覚を加えると、利用者が遠隔の環境や物体などの香りを嗅げるため、あたかもその場所にいるような感覚を与える高臨場感通信が実現可能となると期待されている⁴⁾。そのため、医療、遠隔教育、ネットワーク型ゲーム、仮想展示など様々な分野に嗅覚の応用が検討されている^{5)~10)}。

嗅覚情報の入出力は、それぞれ匂いセンサと嗅覚ディスプレイで行われる³⁾。匂いセンサは嗅覚情報を客観的に計測するための装置であり、嗅覚ディスプレイは匂いを利用者に出力する装置である¹¹⁾。一方で、現段階の嗅覚ディスプレイは、予め用意した匂いしか再現できないのが現状である。本論文は嗅覚ディスプレイを用いて、嗅覚を最終利用者への再現（提示）に着目し、嗅覚を含む多感覚通信に関する研究を対象とする。

嗅覚情報を利用者に提示するときに、提示する方法（例えば、嗅覚を出力するタイミングや出力の強度など）が重要となっている。嗅覚の提示方法として、文献12)では、仮想空間内の物体の嗅覚情報を利用者に提示するために、「アロマ」という概念を導入し、このアロマを表現される領域が「アロマオーラ」という定義を導入している。さらに、物体の香りが感じられる領域を表す物体アロマオーラと環境の匂いを表すための環境アロマオーラを導入している。文献13)では、オブジェクトの香り空間（その物体の香りを感じる球状の領域のことであり、物体アロマオーラに相当）を定義し、利用者の視点がこの物体の香り空間に入ると、物体の香りが出力され、視点がその空間から出ると、香りの出力が停止される。しかし、上記の香り空間は固定されているので、香りの出力タイミングも固定されている。利用者が作業するときに、香りが発生する物体の移動速度が異なり、固定されている香り空間によって、利用者への提示のタイミング（即ち、香りの出力タイミング）も大きく違い、利用者のユーザ体感品質(QoE: Quality of Experience)¹⁴⁾が大きく劣化する問題がある¹³⁾。

そして、嗅覚を用いた効果に関する研究は、利用者に高品質な香り出力を提供するための、香り出力タイミング（香り空間の設定）の効果に関する研究^{8), 12), 13), 15)}や、他の感覚

と一緒に扱うときの嗅覚の効果に関する研究^{8), 9), 16)}が挙げられる。

香り出力タイミングの効果に関する研究の例について、前述のように、香り空間が固定されると、QoEが大きく劣化する問題が生じ、この劣化問題を解決するために、筆者は、文献¹³⁾の結果に基づいて、QoEを高く維持するために、香りの動的出力タイミング制御を提案している。この制御では、利用者の視点に対する香り発生源の物体の移動速度や方向に応じて香りの出力タイミングを動的に変更する⁷⁾。そして、提案した制御を遠隔生け花システム⁷⁾に実装し、効果を検証した。また、嗅覚の効果に関する研究として、例えば、文献¹⁶⁾では、遠隔生け花と果物狩り競争ゲームに対して、嗅覚以外に視覚、聴覚、触力覚の各感覚を用いる場合、各感覚が臨場感に及ぼす効果をQoE評価により調査している。また、文献^{8), 9)}では、嗅覚を用いたネットワーク型ゲーム（風船割りゲームと仮想オブジェクト識別ゲーム）に対して、嗅覚がゲームの公平性に及ぼす効果をQoE評価によって調べている。

本論文では、嗅覚の特徴と嗅覚ディスプレイの分類などを紹介し、筆者がこれまで取り組んでいる嗅覚を用いる効果に関する研究の例を挙げながら、嗅覚の効果を説明する。以下では、まず、1. 嗅覚メディアの特徴と嗅覚ディスプレイの分類を説明する。次に、2. で筆者が扱っている嗅覚を含む多感覚通信システムを紹介し、3. 多感覚通信に嗅覚を加えた効果を述べる。最後に、4. において、嗅覚を用いた多感覚通信に関する研究の未来を議論する。

1. 嗅覚メディアの特徴と嗅覚ディスプレイの分類

1.1 嗅覚メディアの特徴

嗅覚メディアは、匂いを伝えるための情報である。嗅覚メディアの入出力はそれぞれ匂いセンサと嗅覚ディスプレイを介して行われる。匂いセンサは、香りを客観的に計測するための機器である。匂いの構成要素は明らかになっていないため、匂いセンサを用いて香りを客観的に分析し、その情報を基にいくつかの香りを組み合わせて香りを再現することを目的とした研究が行われており、今後の発展が期待されている^{2), 11)}。嗅覚ディスプレイは、匂いを出力し、利用者に提示するための機器である。本論文では、嗅覚ディスプレイのみを扱っているため、これは次の節で詳しく説明する。

嗅覚メディアの特徴として、嗅覚ディスプレイによっては、利用者の鼻と嗅覚ディスプレイの間の距離によって、香りが利用者に届くまでの時間が変わることが挙げられる。そのため、香りが利用者に届くまでの時間が端末間で異なる。また、香りを出力する際、人が一時的に香りを感じなくなってしまう順応や、香りがその場に残留してしまう残り香が起こることがある¹⁵⁾。

1.2 嗅覚ディスプレイの分類

嗅覚ディスプレイは、香りを出力し、利用者に提示するための機器である。利用者に香りを提示する方式としては、チューブを用いた方式¹⁷⁾、渦輪を用いた方式¹⁸⁾、及び送風を用いた方式¹⁹⁾などがある。また、これらの装置の多くは、事前に用意した香料（香りの原液または固体香料）を気化させ、利用者の鼻まで出力する²⁰⁾。装置によって、出力し始めてから利用者の鼻先まで届く時間も異なる。以下では、本論文で扱っている送風を用いた

方式の装置を説明する。

送風を用いた方式は、香りを風に乗せて利用者の鼻先に届ける方式である。この方式は、チューブを用いた方式と渦輪を用いた方式と比べ、香りの届く範囲が広い利点と、香料の使用量が多く、香りがその場に残留しやすいという欠点がある。本論文で扱う SyP@D2¹⁹⁾ は、この方式に属するものである。図1に示すように、SyP@D2 は、あらかじめ本体に装着した香料カートリッジへ風を送り込むことで、香りを利用者に提示する。カートリッジは最大六つまで装着可能で、それぞれの香りを任意のタイミングで提示することができる。



図 1. 嗅覚ディスプレイ SyP@D2

2. 嗅覚を含む多感覚通信システムの例

前述のように、様々な嗅覚を含む多感覚通信システムが開発されている。本章では、筆者が扱っている遠隔生け花システム⁷⁾を例として紹介する。

遠隔生け花システムでは、図 2 に示すように、一台の先生の端末と一台の生徒の端末から構成される。先生と生徒が一つの三次元仮想空間内で、触覚インタフェース装置 (Geomagic Touch²¹⁾) を用いてカーソル (装置の空間での位置を表し、この点を介して利用者はオブジェクトなどを触れることができる)⁴⁾を操作し、反力を感じながら、花の茎を触り、花を持って、茎の長さをハサミで調整することができる (図 2 は生徒がバラの茎を切ろうとしている様子を示している)。また、机の上に置いてある剣山に花を挿すこともできる。

花の香りは、花冠を中心として、一定の距離まで届くとする。すなわち、香り届く範囲は、図 2 に示すような球となる。この球を香り空間と呼ぶ。先生または生徒の視点が香り空間に入ると、その花の香りが嗅覚ディスプレイ SyP@D2 により出力される。また、視点が香り空間の外に出ると、その花の香りの出力が停止される。なお、このシステムにおける視点は、図 2 の三次元仮想空間中央側の手前側にある⁷⁾。

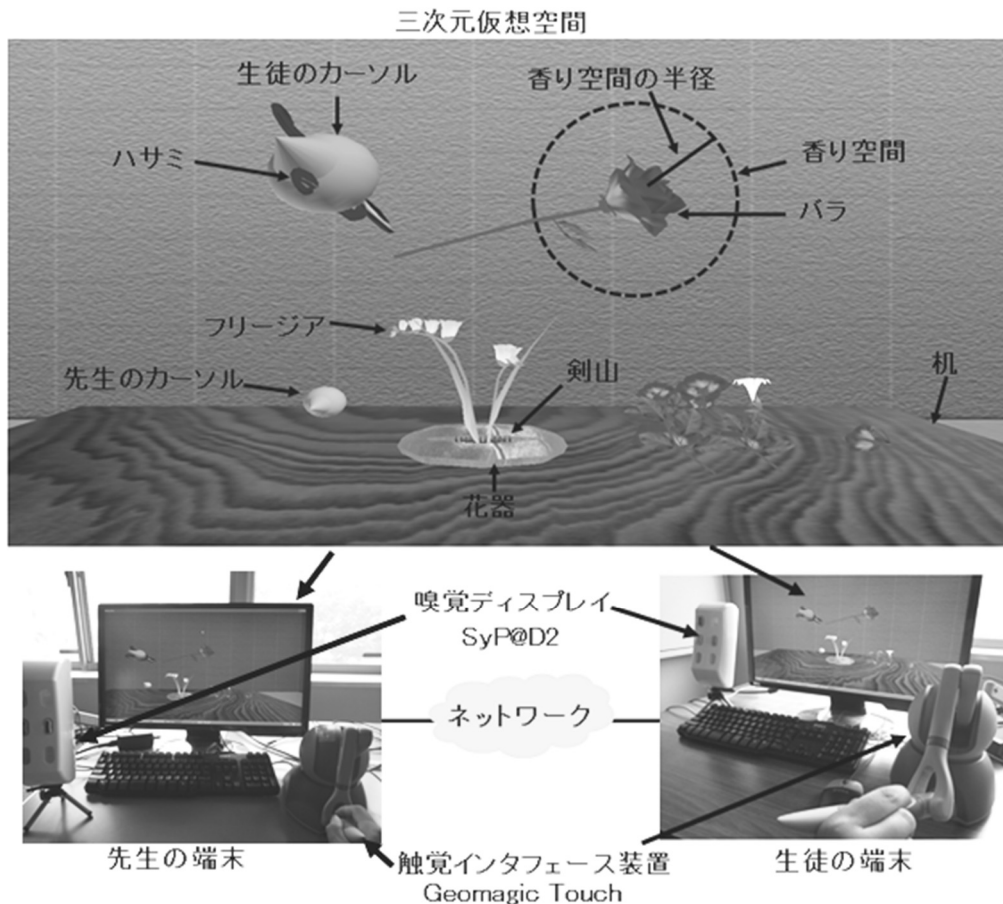


図 2. 遠隔生け花システムの構成

3. 多感覚通信における嗅覚の効果

筆者は、上記の遠隔生け花システムを扱い、利用者にこのシステムを実際に体験してもらい、嗅覚の効果をアンケート調査によって調べた。また、香りの提示によって、どの程度臨場感が向上するかも実験によって調べた。

3.1 システムを体験した後の香りの効果調査

この調査は、生け花経験のない（またはほぼない）の被験者 35 名（男性：17 名、女性：18 名）、及び生け花を教えている専門家 11 名（全て女性）に、上記の遠隔生け花システムを扱い、仮想空間内の生け花を体験した後¹、システムの全体特徴、香りの有り無しの影響、香りの提示タイミングなどについてアンケート調査を行った^{13), 22)}。

アンケート調査の結果、このシステムを利用したいと回答した割合は、生け花経験のない被験者や専門家とも約80%となっていた。このシステムの特徴として、経験のない被験者の約90%、専門家の約50%が、「仮想空間内の花の香りを感じることができる」と挙げられている。また、「花の香りを提示することは重要と思いますか」の質問に対して、経験のない被験者は約92%、専門家の約63%が「とても重要」または「重要」と回答した。

¹ 生け花の体験として、未経験者の場合は、筆者（生け花を学ぶ経験がある）が先生の端末を扱い、被験者が生徒端末を扱い、生け花の生け方などを学ぶ体験をした。専門家の場合は、それぞれ先生と生徒端末の操作も体験した。

以上のことから、香りを提示することによって、利用者に新しい体験を提供し、利用者にとっても重要な存在であることを示している。しかし、一般の利用者（生け花経験のないもの）と生け花の専門家の結果を見ると、香りに対する考えが多少異なっている。これは、先生にとって、花の香りを感じるのが重要であるが、生け花を教えるのに香りは一番重要ではなく、やり直せることが一番重要であることがわかった²²⁾。

3.2 香りが臨場感に及ぼす影響

文献 16)では、遠隔生け花システムに対して嗅覚などの感覚が臨場感に及ぼす効果を QoE 評価によって調べている。

評価では、評定尺度法²³⁾を用い、遠隔生け花の作業として、被験者に二本の花（バラとユリ）に対して、花の茎の長さを調整して、剣山に挿してもらう。作業を行うときに、各被験者に対して、「力覚あり・嗅覚あり」、「力覚あり・嗅覚なし」、「力覚なし・嗅覚あり」、「力覚なし・嗅覚なし」の四つの条件をランダムで提示する。そして、被験者は臨場感に対して 5 段階品質尺度（5：非常に臨場感がある，4：臨場感がある，3：どちらともいえない，2：臨場感がない，1：非常に臨場感がない）を用いて評価してもらい、全被験者の評価を平均して MOS(Mean Opinion Score)²⁴⁾を求めている。臨場感は、その場にいるような雰囲気と、没入感（のめりこむような感覚）があり、実際に花を生けているような感覚がある、と定義されている¹⁶⁾。評価は男女 36 名に対して行われている。

評価結果を図 3 に示す。この図から、「力覚なし・嗅覚なし」の MOS と「力覚なし・嗅覚あり」のそれを比べると、後者の方が高くなっていることが分かる。これは、嗅覚により臨場感が向上していることを示している。これは嗅覚の効果である。また、図 2 において、触覚が臨場感に与える効果も嗅覚のそれとほぼ同程度である。さらに、提示する感覚の数の増加に伴い臨場感も向上していることが確認できる。

4. 嗅覚を用いた多感覚通信に関する研究の未来

以上のように、嗅覚を用いた多感覚の通信に関する研究では、嗅覚・触覚・視覚・聴覚を扱っており、この他に、味覚や触覚の温熱感などの人間の五感を再現できるシステムを作り、利用者により高い臨場感のサービスを提供することが今後の重要な課題である。また、複数の感覚を扱うときに、嗅覚と他の感覚間の関連性を調べ、多感覚を統合的に考えることも重要である。具体的には、多感覚間の相互作用や相互補完などの関係を明らかにし、これらの関係を利用した高品質な分散マルチメディア環境を構築することができる。

また、これらの多感覚を用いた通信を行うときに、通信のサービス制御を検討することもある。例えば、各感覚メディア間の同期性問題、協調作業における利用者の端末間の同期性問題、競合ゲーム間の公平性問題などが挙げられる。これらの問題は既に一部

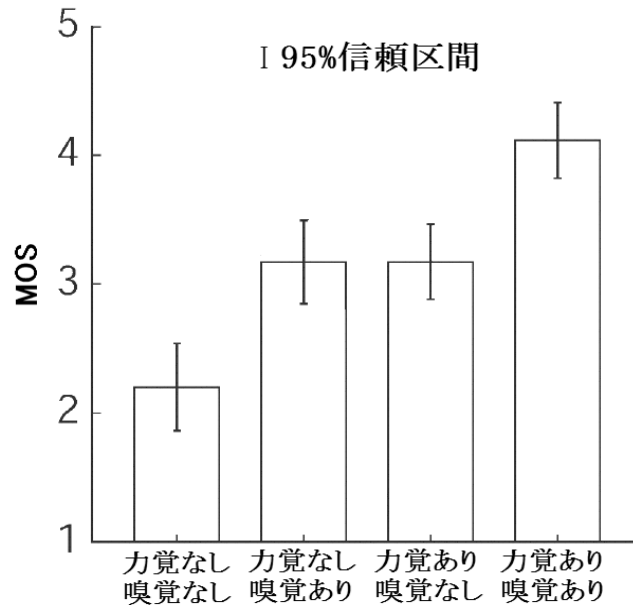


図 3. 臨場感の MOS

が検討されているが、今後、利用者の知覚特性（すなわち、利用者が同期誤差または公平性などに対して、知覚できるか否かの範囲や許容できるか否かの範囲）を利用した QoS 制御を検討することも重要となっている。

この他に、嗅覚を用いた多感覚通信の応用に関しても、今まで、嗅覚を用いて、医療分野やリハビリテーション分野への応用に関する研究²⁵⁾が既に展開されているが、その効果の量化評価などに関する研究は少ない。また、香りによるリラックスや疲れ解消などに効果があると言われている²⁶⁾が、実際の効果を調べるのがそれほど進んでいない。さらに、これらの香りの応用するとき、香りの出力方法などが実際の効果にも大きな影響が出てくると想定できるので、香りの出力する方法をさらに検討することが必要となっている。例えば、人工知能を扱い、利用者の年齢、その時の気分、体の状態などに最適な香りの種類と出力方法を提供し、最大の効果を果たすことによって、人々の生活の品質(QoL: Quality of Life)を向上させることが重要である。

5. 結び

本論文は、嗅覚を用いた多感覚通信に関する研究を紹介するため、嗅覚の特徴と嗅覚ディスプレイの分類を説明し、筆者が扱っている嗅覚を含む多感覚通信システム（嗅覚・力覚・視覚を用いた遠隔生け花）をあげ、多感覚通信に嗅覚を加えた効果を実験によって調べた。さらに、嗅覚を用いた多感覚通信に関する研究の未来についても議論した。

謝辞

本研究の一部は、星城大学経営学部研究費によって行われた。

参考文献

- 1) 廣瀬通孝, “五感情報通信技術,” バイオメカニズム学会誌, vol. 31, no. 2, pp. 71-74,

- May 2007.
- 2) 外池光雄, “におい・香りの情報通信,” フレグランスジャーナル社, Feb. 2007.
 - 3) 中本高道, “ヒューマン嗅覚インタフェースの動向,” 精密工学会誌, vol. 82, no. 1, pp. 15-19, Jan. 2016.
 - 4) P. Huang and Y. Ishibashi, “QoS control and QoE assessment in multi-sensory communications with haptics,” IEICE Trans. Commun., Special Section on Quality of Communication Services Improving Quality of Life, vol. E96-B, no. 2, pp. 392-403, Feb. 2013.
 - 5) 塩田清二, “匂いによるアルツハイマー型認知症の治療研究とその展開,” アロマリサーチ, vol. 15, no. 2, pp. 103-107, 2014.
 - 6) Y. Ishibashi, S. Hoshino, Q. Zeng, N. Fukushima, and S. Sugawara, “QoE assessment of fairness in networked game with olfaction: Influence of time it takes for smell to reach player,” Springer's Multimedia Systems Journal (MMSJ), Special Issue on Network and Systems Support for Games, vol. 20, issue 5, pp. 621-631. May 2014.
 - 7) 黄平国, 石橋豊, 福嶋慶繁, 菅原真司, “分散仮想環境における香りの動的出力タイミング制御のユーザ体感品質評価,” 映像情報メディア学会誌「ヒューマンインフォメーション」特集号, vol. 66, no. 12, pp. J495-499, Dec. 2012.
 - 8) S. Nakano, Y. Zheng, Y. Ishibashi, N. Fukushima, P. Huang, and K. Psannis, “QoE assessment of fairness between players in networked balloon bursting game with olfactory and haptic senses,” in Record of 2015 Tokai-Section Joint Conference on Electrical, Electronics, Information, and Related Engineering, K4-4, Sep. 2015.
 - 9) R. Arima, M. Sithu, and Y. Ishibashi, “Influence of olfactory and auditory senses on fairness between players in networked virtual 3D object identification game with haptics,” Proc. GCCE, pp. 148-152, Oct. 2016.
 - 10) 日下部真世, 林田和人, 渡辺仁史, 生原悟, “香りによる展示空間での誘引効果に関する研究,” 日本建築学会研究報告集 II, no. 77, pp. 25-28, Feb. 2007.
 - 11) 中本高道, “嗅覚ディスプレイ：におい・香りのマルチメディアツール,” フレグランスジャーナル社, Oct. 2008.
 - 12) 重野寛, 本田新九郎, 大澤隆治, 永野豊, 岡田謙一, 松下温, “仮想空間における風と香りの表現手法：仮想空間システム Friend Park,” 情報処理学会論文誌, vol. 42, no. 7, pp. 1922-1932, July 2001.
 - 13) 黄平国, 石橋豊, 福嶋慶繁, 菅原真司, “嗅覚・力覚を利用した遠隔生け花システムにおける生徒に対するアンケート調査と香り空間の大きさの影響,” 信学技報, CQ2011-21, July 2011.
 - 14) ITU-T Rec. P. 10/G. 100 Amendment 1: “New appendix I - Definition of quality of experience (QoE)”, International Telecommunication Union (Jan. 2007)
 - 15) 杉本紗友美, 野口大介, 坂内祐一, 岡田謙一, “呼吸に同期させた香りの切り替え手法,” 情報処理学会論文誌, vol. 52, no. 3, pp. 1204-1212, Mar. 2011.
 - 16) 前田慶博, 石橋豊, 福嶋慶繁, “仮想環境における嗅覚・力覚・聴覚が臨場感に与える効果,” 信学技報, MVE2012-63, Jan. 2013.
 - 17) T. Nakamoto, M. Nimsuk, B. Wyszynski, H. Takushima, M. Kinoshita, and N. Cho, “Experiment on teleolfaction using odor sensing system and olfactory display synchronous with visual information,” Proc. the 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT), pp. 85-92, Dec. 2008.
 - 18) Y. Yanagida, S. Kawato, H. Noma, A. Tomono, and N. Tetsutani, “Projection based olfactory display with nose tracking,” Proc. IEEE Virtual Reality (VR), pp. 43-50, July 2004.
 - 19) S. Hoshino, Y. Ishibashi, N. Fukushima, and S. Sugawara, “QoE assessment in olfactory and haptic media transmission: Influence of inter-stream synchronization error,” Proc. IEEE CQR, May 2011.
 - 20) 中本高道, “嗅覚ディスプレイとその応用,” 映像情報メディア学会誌, vol. 66, no. 6, pp. 478-483, June 2014.

- 21) 3D Systems, “OpenHaptics toolkit programmer’s guide,” version 3.2.
- 22) 黄平国, 仙名大樹, 石橋豊, 福嶋慶繁, 菅原真司, “嗅覚・触覚を利用した遠隔生け花システムにおけるアンケート調査,” 情報処理学会全国大会, 2E-7, Mar. 2012.
- 23) ITU-T Rec. P. 911, “Subjective audiovisual quality assessment methods for multimedia applications,” Dec. 1998.
- 24) ITU-R BT. 500-12, “Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures,” International Telecommunication Union, Geneva, 2009.
- 25) 五百川和明, “作業療法におけるアロマセラピーの活用,” リハビリテーション医学, vol. 55, no. 12, pp. 984-988, 2018.
- 26) 伊藤あづさ, “心の疲れを香りでケアする,” Aromatopia, vol. 21, no. 1, pp. 38-40, 2012.