

呼吸に同期させた香りの切替え手法

杉本 紗友美^{†1} 野 口 大 介^{†1}
坂 内 祐 一^{†2} 岡 田 謙 一^{†1}

映像メディアでは、シーンの切替えが多くみられ、それに合わせて香りを切り替えることによりさらなる臨場感が得られると考えられる。しかし、これまでの香りディスプレイでは微少な制御ができず、残り香や順応といった嗅覚特有の問題点を克服できなかったため、高速な香りの切替え提示手法は研究されてこなかった。そこで我々は、微少時間の香り提示であるパルス射出を用いて、映像に同期して香りの切替えを行える提示手法の構築を目指した。様々な香り提示パターンに対する嗅覚特性を測定した結果、高速切替えに適した手法の構築に成功した。今後、映像や音声に香りを付加する際にこの手法を用いることで、今まで以上に臨場感を高めることが可能であると期待される。

Scents Switching Synchronized with Breathing

SAYUMI SUGIMOTO,^{†1} DAISUKE NOGUCHI,^{†1}
YUICHI BANNAI^{†2} and KENICHI OKADA^{†1}

The switches of scenes can be seen often in the video media, and it is thought that presenting the scents in accordance with changing scenes would give more sense of reality to the audiences. However, prior olfactory displays could not be controlled precisely and there were problems such as adaptations and scents lingering in the air, therefore a technique to present the instant switches of scents has never been studied. Thus, we aimed at the construction of presentation technique by using the pulse ejection, a method of emitting scents for a very short period of time, to feel the immediate shift of scents according with change in movie scenes. As a result of measuring the olfactory characteristics of various patterns, we succeeded to construct the technique to give quick switch of scents. It is expected that using this developed technique with movies would raise the realistic sensations.

1. はじめに

情報通信は従来、映像の視覚情報や音声の聴覚情報に限られてきた。しかし、そこに触覚や嗅覚・味覚を統合的に加えた五感情報通信が近年注目を集めている¹⁾。なかでも、嗅覚は他の感覚と異なり、嗅覚器官によって認識される情報は脳辺縁系という脳の情動や記憶を支配する部分に直接伝送される。そのため、人間にストレートに影響を与えることが可能であり、また、三次元音響や立体映像など同様に、嗅覚情報の提示はさらなる臨場感を与える手段として有効であると考えられている²⁾。このことから、嗅覚情報は高い重要性を持ち、また様々なメディアの一環として香りを用いる試みが行われてきた。

映像や音声といった他のメディアとともに香りを用いる場合、時間にもなって変化する視聴覚情報の動きに合わせて香りの提示を制御する必要がある。たとえば映画では、あるシーンで香りを持つ物体が写し出され、次のシーンにはまた別の香りを持つ物体が映し出されるといったことがよくみられる。そのため、シーンの移り変わりに合わせて香りの切替えを行うことが可能ならば、より臨場感を高めることが可能となる。

しかし、これまでの香り提示は、誰もが容易に香りを感じられることを目的として行われてきたため、必要以上の濃度や射出時間で香りを提示してきた。このような香り提示を行うと、使用した香料が空間に残る残り香の影響により、新しく提示された香りと前の香りが混合してしまう。また、受容器に香り刺激が与え続けられることにより感覚神経の活動が減少することで香りを感じなくなるという順応が生じていた。また、嗅覚情報は視聴覚情報の影響を大きく受けるという知見が得られている。このような問題から、香りの切替えを行ってもその変化を感じさせることが困難であった。

この問題に対し、我々は微少時間の香り提示であるパルス射出を用いてアプローチする。人間は吸気中のみ香りを感じる、つまり息を吐いている間は香りを感じない。そのため、香り提示は吸気に同期させる必要がある。そこで、微少時間の射出制御が可能な嗅覚ディスプレイを用いて吸気に同期させた香りのパルス提示を行い、香りのみで呼吸に合わせた高速切替えを感知させることを可能とする香りの提示手法を構築した。また、構築した提示手法により香り提示を実際に行い、その有用性を測定した。

^{†1} 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University

^{†2} キヤノン株式会社
Canon Inc.

2. 香りの特性と関連研究

2.1 嗅覚特性

閾値 閾値とは、香りの強度を表す尺度として最も多用されている値である。一般的には元の刺激量の変化(%)で示される。しかし、閾値は香りを感じることができる強さの尺度であり、この値から香りの感じ方の強弱を知ることはできない。

順応 順応とは、香り刺激を持続的に与え続けると感覚神経の活動が減少していく現象である。順応するまでの時間や、順応から回復する速度は香り物質によって異なる。順応は時間経過とともに徐々に強まり、順応を起こした原因の香りを取り除くと比較的短時間(3-5分程度)で回復する。また、順応には様々なパターンがあり、それを決定する要因としては、香りの種類や認知的要因などがあるとされている。

分離 2点閾値 痛覚において、たとえば5mm間隔程の皮膚上の近い2点を先端の鋭いもので触れてみると、2点と感じる間隔と1点と感じる間隔がある。この、2点と感じる間隔の最小距離が痛覚の分離2点閾値である。この分離2点閾値を、「感覚において2つの刺激対象を分離できる閾値」と広く定義すると、痛覚(触角)以外の五感覚情報についての分離2点閾値を定義することが可能である。また、分離2点閾値には痛覚で用いられているような空間的な分離と、時間的な分離があると考えられる。本研究では嗅覚情報に着目し、嗅覚における時間的な分離2点閾値を“2回の香り射出を2回と感ずる時間間隔”と定義する。

2.2 関連研究

近年、香りをメディアとして用いる試みが多数行われている。香りディスプレイ開発の一例として、柳田³⁾は空気砲の原理を用いて、少し離れた場所からユーザの鼻先めがけて香りを搬送する香り提示を行う装置を開発し、香りの覚醒効果を調査している。また、柳田が開発した空気砲装置を用いて伴野⁴⁾は映像に香りを付加した場合の誘目性を調査している。中本ら⁵⁾は、32成分の要素臭を任意の比率で調合することを可能とする電磁弁高速開閉方式を用いた嗅覚ディスプレイを開発した。そして、この装置を用いて、あらかじめ測定した仮想空間における空気の流れとアバタの動きに合わせ、香りを切り替えながら提示する香り付き動画の研究を行っている。また、Pornpanomchaiら⁶⁾による映画に香り情報を組み込むシステムや、Ademoyeら⁷⁾による映像に香りを付加した際の臨場感に対する影響の調査などが行われている。

しかし、これらの研究で用いられた嗅覚ディスプレイは細かな制御が難しく、残り香や順

応といった嗅覚情報特有の問題が生じ、提示した側の意図に沿った香りを視聴者に感じさせることが困難であった。

3. 香りの高速切替えを可能とする提示手法

マルチメディアの分野において、香りを付加する試みが行われており、なかでも映像に合った香りを映像と同期させて提示する試みが多い。映像では、あるシーンで香りを持つ物体が映し出され、次のシーンでは別の香りを持つ物体が映し出される。ここで、映像に合わせた香りを提示することができれば、香りの持つ特徴から、臨場感を高めることが可能である。たとえば、レモンの映像からラベンダの映像へと切り替わる際に香りを付加する場合を想定してみる。このとき、映像の切替えはレモンの映像とラベンダの映像をつないで提示することで、容易に認識させることが可能である。しかし、香りを切り替える場合、図1のように、レモンの香りやラベンダの香りを連続して提示してしまうと、後から提示したラベンダの香りは先に提示されていたレモンの香りの残り香と混合してしまう。すると受信側には混合臭が届くことになり、送信側の意図した香りを提示することはできない。また、香りの認知は視覚情報に大きく影響を受けるため、香りの切替えが行われていなくても、香りが

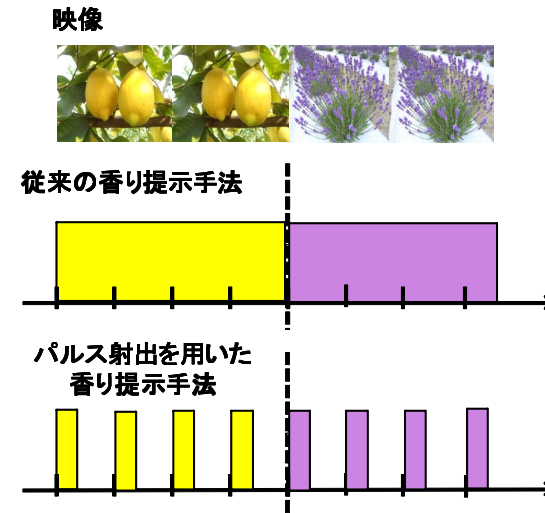


図1 映像と香りの同期

Fig. 1 Synchronization of movie and scents.

切り替わったと錯覚することが予想される。このことから、香りの切替わりを認識させることは困難であった。さらに、人間は吸気中にのみ香りを感じるが、従来の香り提示手法は、必要以上の濃度の香りを必要以上の時間提示してきたため、順応が引き起こされやすく、同じ香りを長時間感じることはできなかった。

そこで我々は、空間に香料が残留しにくく順応を起こしにくい、微少時間で離散的な香りの射出提示（以下、パルス射出と呼ぶ）を用いて、個人の呼吸の吸い始めに香り提示を同期させた^{9),10)}、図1のような香りの高速切替えを可能とする手法を構築する。我々は先行研究で、パルス射出を用いることによって1呼吸中に2種類の香りを感じさせることが可能であるという知見¹²⁾や、同一射出量の香りのパルス射出を提示した場合には単位時間射出量が強く影響するという知見^{13),14)}などを得ている。そこで、本研究では、これらの知見をふまえて、香りを切り替える手法として図2に示すような香りの射出提示を行い、香りの高速切替えを可能とする射出方法の構築を目指す。図中の点線は香りが切り替わるタイミングを表す。

まず、図2に示す基準パターンという射出方法は、従来の香り提示で香りの切替えを行った場合をパルス射出に置き換えたものである。この射出方法では、切り替わる際のパルス射出における射出量に変化はなく、一定の強さの香りが毎回提示される。

また、図2に示す①から③の射出方法は、提案手法である。これらの提案手法では、香りを切り替える際に香料の射出量を2倍とした。まず、①のパルスの単位時間射出量を2

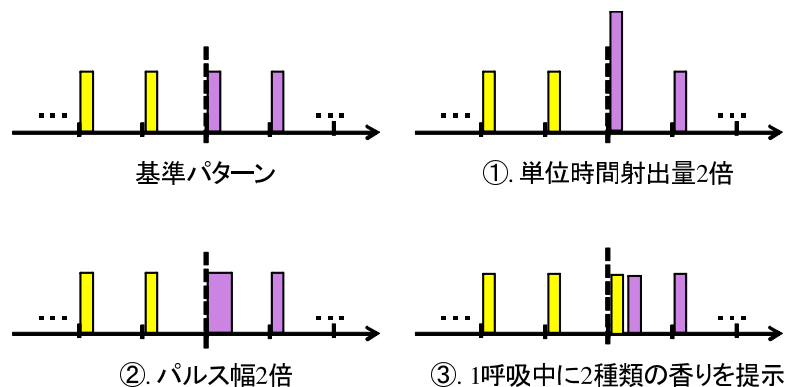


図2 射出パターンイメージ
Fig. 2 Image of pulse ejection.

倍にする手法では、香りを切り替える際に、幅は等しいまま高さを2倍にする。ここで、同一射出量の香りパルスを射出する場合、単位時間射出量が多いほうが香りを強く感じることが分かっている。つまり、①の手法は単位時間射出量を2倍にすることによって、強い香りが香りが切り替わる際に提示される。そして、香りが強く提示されることにより、香りの切替わりを容易に感知させることが可能であると考えられる。次に、②のパルスの幅を2倍にする手法は、香りを切り替える際に、高さは等しいまま幅を2倍にする。香りが切り替わる瞬間にパルスの提示時間を長くすることで、香りの切替わりを感知させることが可能であると考えられる。さらに、3つ目の提案手法である③の1呼吸中に2種類の香りを提示する手法では、2つの香りのパルスを1呼吸中に提示する。1呼吸中に2種類の香りパルスを、短時間間隔で提示することによって、香りの比較を行いやすくし、切替わりを容易に感知させることを目指した手法である。

香りの切替えを可能とする提示手法の構築には、パルス射出における人の感じ方、すなわち嗅覚特性を考慮に入れ、香りの切替えに適切な射出を行う必要がある。そこで、本研究ではまず上にあげた4つの手法で提示した香りの切替えに対する人間の反応時間を測定し、香りの切替えに最も有効な手法を決定する。そして、その結果を用いて香り切替えが可能な最小周期および香り切替えの限界を測定していく。

4. 香りディスプレイ

使用した嗅覚ディスプレイ（図3）は、インクタンクに充填した香料を微小な穴から液滴の状態状態で空気中に放出するインクジェット方式を用いたものである。この嗅覚ディスプレイ



図3 嗅覚ディスプレイ
Fig. 3 Olfactory display.

は、最短で 667 マイクロ秒の香り射出を可能とする。それとともに、吹き出し口から放出される香り分子が拡散された状態でユーザに届くよう、図 4 に示すように、液滴の状態では射出された香料がファンからの送風に直接乗るよう設計した。このことより詳細な嗅覚特性の測定が可能となることが期待できる。このディスプレイでは、装置にセットできる香料は最大 4 種類である。

この嗅覚ディスプレイは 100 ミリ秒間に香料ヘッドの 1 個の穴から射出する回数を 1-150 回まで設定でき、これを「ボリューム」と呼ぶ。このボリュームを変化させることによって、667 マイクロ秒単位で射出時間を変更することが可能である。香料は 1 つの大タンクと 3 つの小タンクに格納されている。つまり、最大 4 種類の香料を準備でき、100 ミリ秒単位で香りの射出量や種類を変えることが可能である。大タンクは 255 個、小タンクには 127 個の微細な穴が開いており、複数の穴から同時に香料を射出できるので、射出量は 0-255 (大タンク)、0-127 (小タンク) の調節が可能である。大タンクの単位射出量は 7.3 pl、小タンクの単位射出量は 4.7 pl である。以後、微細な穴 1 個あたりの射出量を「単位射出量」、同時に射出する微細な穴の個数のことを「同時射出数」と呼ぶ。また、同時射出数の設定によって決まった、100 ミリ秒中に提示される香りの強さ (単位射出量 × 同時射出数 × ボリューム) を「単位時間射出量」と呼ぶ。

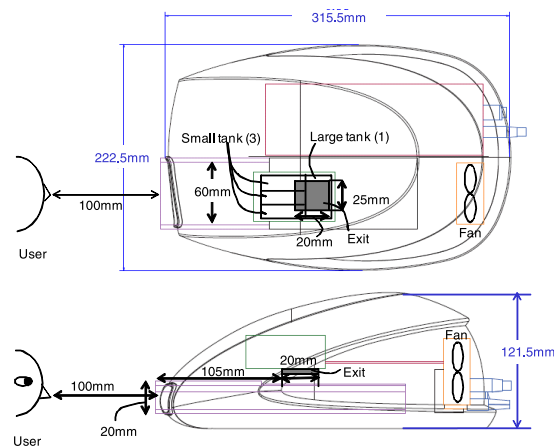


図 4 嗅覚ディスプレイの平面図
Fig. 4 Plain view of olfactory display.

装置にはファンがついており、タンクから出た香料をユーザの鼻もとに送り届ける。風速の制御は、0.8 m/sec から 1.8 m/sec の間で 10 段階の設定が可能である。

5. 測定実験

本研究で用いた嗅覚ディスプレイは、先行研究より、風速を 1.2 m/sec 以上に設定すれば空間に香りが残留しないことが分かっている⁹⁾。今回の測定では、提示した香りの残り香を極力減らすため、風速はディスプレイの最大風速である 1.8 m/sec に設定した。また、確実に香りをユーザに感知させるため、パルスの射出時間は 100 ミリ秒とした。

今回使用する香料は香りの種類が異なるレモン・ラベンダ・シナモンの 3 種類とした。これらの香料は、単位射出量を等しくするため、すべて小タンクに格納した。

さらに、実験中被験者には嗅覚ディスプレイの前に置かれた椅子に座ってもらった。そしてテーブルに設置されたあご寄せ台に顔を寄せ、ディスプレイから出る風が鼻元に当たるよう、顔の位置を調節してもらった。その様子を図 5 に示す。

5.1 予備実験 1: 認知閾値の測定

本実験で用いる 3 つの香りレモン・ラベンダ・シナモンにおけるパルス射出の認知閾値の測定を実験は情報工学を専攻する 20 代の学生 6 名 (男性 4 名、女性 2 名) に対して行った。認知閾値とは、香りの種類を認知できる最小濃度を示す閾値で、においの質や特徴を表現できる値である。そして、本実験では、香料はすべて小タンクに格納されていることから単位射出量が等しいため、認知閾値を同時射出数で示すこととする。

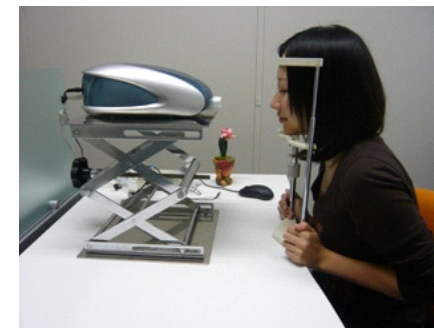


図 5 実験の様子
Fig. 5 Experimental environment.

表 1 レモン・ラベンダ・シナモンの認知閾値 (127 段階中)
Table 1 Recognition threshold of lemon, lavender and cinnamon.

	レモン	ラベンダ	シナモン
平均値	15.3	10.5	4
標準偏差	5.9	8.6	2.1
最大値	24	22	8
最小値	10	2	2

被験者には香りの射出 3 秒前からカウントダウンする音の合図に合わせて息を吸ってもらい、音に同期して提示した香りの種類を認知できるかを答えさせた。具体的には、ある濃度の香りに対する認知が可能かどうかを測定する際、付臭と無臭の 2 回の射出を行い、どちらに香りが付いていたか、また提示された香りは何の香りであるかを被験者に答えさせた。このとき、付臭と無臭の順番はランダムに行い、また香りの種類もレモン・ラベンダ・シナモンの 3 種類をランダムに行った。そして、被験者が付臭の射出はどちらであったか、また香りの種類は何であったかを正答した場合のみ、香りの射出量を減らし、再び同じ手順で、被験者が正答できなくなるまで測定を行った。射出量は楽に感知できる値から開始し、香りを認知できれば射出量を徐々に下げていくという下降法によって行った。この測定方法は臭気簡易評価技術標準化研究会において提案された 2 点比較法を参考にしたものである¹⁵⁾。

認知閾値測定結果は表 1 に示すようになった。

本実験では被験者全員に香りの種類を認識してもらわなければならない。そのため、今回はそれぞれの香りの最大認知閾値、つまり 127 段階中でそれぞれレモンは 24、ラベンダは 22、シナモンは 8 を用いることとした。

5.2 予備実験 2：分離 2 点閾値の測定

5.1 節で測定した認知閾値を用いて、分離 2 点閾値の測定を行った。分離 2 点閾値は先行研究より、0.9 秒～1.1 秒程度であることが分かっている。そこで、まずレモン・ラベンダ・シナモンの 3 種類の香料を前後を考慮して組み合わせ、6 つの組合せを作った。また、射出感覚は 0.9 秒・1.0 秒・1.1 秒の 3 パターンとした。これらを合わせて、計 18 パターンを用いて、測定を行った。測定は、同じパターンは用いず、18 パターンをランダムな順番に提示し、被験者には 2 種類の香りを答えもらった。そして、被験者には 6 パターンの測定を終えたら、5 分ほどの休憩をとってもらい、また測定を行うといった手順をとった。実験は情報工学を専攻する 20 代の学生 6 名 (男性 4 名、女性 2 名) に対し行った。

被験者 6 名に対し実験を行った結果、6 名全員がすべての香料の組合せを 1.0 秒間隔で出

した場合のみ、1 呼吸中に 2 種類の香りを認知することが可能だった。0.9 秒間隔で出した場合には 2 種類の香りを認知することが困難である、また、1.1 秒間隔で提示した場合には後の香りを感じられないといった結果が出たことから、本実験では提案手法③ (図 2) において、1 呼吸中に 2 種類の香りを提示する際、2 つの香りは 1.0 秒間隔で出すこととした。

5.3 実験 1：高速切替えに有効な射出方法の決定

まず初めに、香りの切替わりに適した手法を検討した。実験は情報工学を専攻する 20 代の学生 20 名 (男性 16 名、女性 4 名) に対して行った。

5.3.1 実験方法

実験前に以下の確認を行い、香りの切替えに有効な手法の決定を行った。

- (1) 年齢・氏名・性別・体調・食欲・鼻の状態の記入。
- (2) 被験者に、顔をあご乗せ台に乗せて鼻の位置を固定し、リラックスした状態でゆっくりと香りを嗅ぐことを説明。
- (3) 香り射出のタイミングを決めるため、被験者の呼吸時間を測定。
- (4) 使用する香りと言葉の名称の対応付けをするため、十分に感じられる濃度でそれぞれの香りを提示し、その香りの名称を教示。そして、被験者が香りと言葉の対応付けをできたかどうかを、香りを提示してその香りが何の香りであったかを答えてもらうという簡単なテストを行うことで、確認。

実験は 3 種類の香料の中から 2 種類を組み合わせで行った。このとき、香料の組合せには射出する順番も考慮した。そして、香りの射出方法 4 パターン (基準パターンおよび 3 つの提案手法、図 2) と、香料の組合せ 6 パターンより、全 24 パターンを用いて、香りの切替えに最適な手法を求めた。このとき、被験者には 1 呼吸の中で香りが切り替わる可能性があることを示唆した。

香りは 24 パターンをランダムな順番で、音の合図に合わせて、図 6 に示すように、6 呼吸の中で香りを 3 呼吸目～5 呼吸目のいずれかのタイミングで切り替えて提示した。

被験者にはまず、実験前にあらかじめ測定した個人ごとの呼吸間隔で音の合図を提示し、それに合わせて呼吸をした場合苦しくないか、また香りを吸えるかの確認を行った。そして、測定では被験者には音の合図に合わせて息を吸ってもらい、また香りの切替わりを感じたら手元にあるマウスをクリックしてもらった。測定は 6 回行うたびに 5 分ほどの休憩をはさんで行った。このとき、被験者が音の合図に集中するあまりマウスをクリックする手順を忘れた場合、別のパターンをいくつか測定したのち、再度測定を行った。

そして、それぞれの射出パターンにおいて、実際に香りが切り替わってから被験者が香り

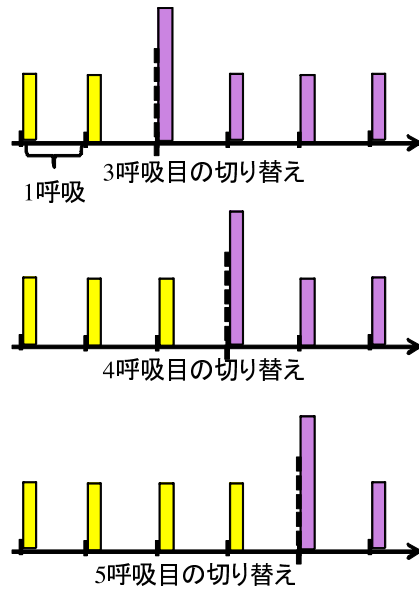


図6 香りの切り替わるタイミング
Fig. 6 Timing of scent switch.

の切替えを感知するまでにかかる時間を求めた。切替えを感知するまでにかかる時間は、香りが切り替わって提示された時間と被験者が実際に香りの切替わりを感知するまでの時間の差とした。

5.3.2 実験結果と考察

20名の被験者による平均時間とその標準偏差を表2に示す。

まず、香り要因と射出手法要因について、二元配置分散分析を行った。その結果、香り要因による差は見られず ($F(5,19)=2.49, P>0.05$)、射出手法要因による差は見られた ($F(5,19)=40.16, P<0.01$)。また、個人のデータ間では、各手法に対する反応時間において、切替えのタイミングによる差は見られなかった。このことから、香りの切替えを感知するまでにかかる時間は、射出方法に依存していると考えられる。

そこでさらに、基準パターンと3つの提案手法の間で、Steel法を用いた多重検定による分析を行った。Steel法は、コントロール群(基準パターン)と処理群(提案手法)の比較を行った。

表2 切替わり感知にかかる平均時間(秒)と標準偏差

Table 2 Average response time and standard deviation according with pulse ejection patterns and scent combinations (sec).

射出方法 香料組合せ	基準パターン	① 単位時間射出量 2倍	② パルス幅 2倍	③ 1呼吸中に2種類
レモン：ラベンダ	2.23 (1.42)	1.46 (0.57)	1.68 (0.50)	3.51 (2.81)
レモン：シナモン	2.41 (1.70)	1.75 (0.65)	1.79 (0.61)	3.81 (2.88)
ラベンダ：レモン	1.87 (0.78)	1.52 (0.44)	1.73 (0.63)	3.74 (2.95)
ラベンダ：シナモン	2.10 (1.01)	1.54 (0.69)	2.11 (1.35)	5.20 (4.1)
シナモン：レモン	2.12 (1.56)	1.50 (0.59)	1.81 (1.86)	3.03 (2.10)
シナモン：ラベンダ	1.73 (1.25)	1.38 (0.54)	1.35 (0.56)	3.05 (2.23)
全体	2.08 (0.86)	1.52 (0.49)	1.76 (0.74)	3.70 (1.78)

まず、① 単位時間射出量を2倍にする手法と基準パターンの比較では、コントロール群の平均が処理群の平均より大きいという有意差が見られた ($P<0.05$)。つまり、① 単位時間射出量を2倍にした手法は、基準パターンを用いて香りの切替えを行った場合より、香りの切替えを感知するのにかかる時間が短いということである。これは、香りが切り替わる際に単位時間射出量が大きくなることで香りを強く感じ、結果香りの切替えを早く感知できると考えられる。このことから、この手法は基準パターンよりも香りの高速切替えに適しているということが分かる。

次に、② パルス幅を2倍にする手法と基準パターンの比較では、有意差が見られなかった ($P>0.05$)。よって、弱い香りを長く提示した際の効果の有無は確認できなかった。

また、③ 1呼吸中に2種類の香りを射出する手法と基準パターンの比較では、コントロール群の平均が処理群の平均より小さいという有意差が見られた ($P<0.05$)。つまり、③の手法は、基準パターンを用いた場合より香りの切替えを感知するのに時間がかかるということである。これは、1呼吸中の場合と異なり、連続呼吸中のうちの1呼吸に香りを2種類提示した場合には2つ目の香りを感じることができず、もう1呼吸後に提示された香りによって香りの切替わりを感じたためだと考えられる。このことから、この手法は香りの高速切替えに適していないということが分かる。

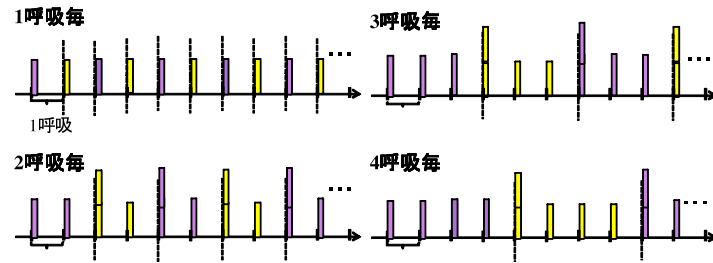


図 7 使用した射出パターン

Fig. 7 Images of scent switching with changing periods.

以上のことより、香りの切替えには香りが切り替わる瞬間に単位時間射出量を 2 倍にして提示する手法が有効であるといえる。

5.4 実験 2：香り切替え可能な最短周期の計測

5.4.1 実験方法

有効な射出方法を決定するために行った実験 1 で、最も結果が良かった単位時間射出量を 2 倍にする手法を用いて、連続呼吸の中で何呼吸ごとに香りの切替えが可能かを測定した。実験は実験 1 の被験者と同じ 20 名に対して行った。香り切替えの周期は 1 呼吸ごと、2 呼吸ごと、3 呼吸ごと、4 呼吸ごととし、呼吸数は 12 呼吸とした。つまり、1 度の測定の中に香りの切替えを複数回行うものとした。図 7 に使用したパターンを示す。

ここで、実験 1 で香料の組合せにおける有意差は見られなかったため、使用する香料は表 1 より認知閾値の近いラベンダとレモンの 2 種類を用いることとした。実験手法は実験 1 と同様、被験者に香りの切替わりを周期をランダムに変えて提示し、香りの切替わりを感じたらマウスをクリックしてもらった。そして、香りの切替わりを感知するまでにかかる時間を測定した。

5.4.2 実験結果と考察

各香りの切替え周期に対する 20 名の被験者が香り切替わりを感知するまでの平均時間と標準偏差を表 3 に示す。

実験の結果、実験の結果、1 呼吸ごとの香りの切替えをすべて感じられる被験者はいなかった。このことから、1 呼吸ごとに香りを切り替えることは困難であるということがいえる。これは、香りの切替わりを行う際に、提示される香りには感覚強度差が存在せず、同じ強さの香りを交互に提示されることから、匂いが混乱してくるためだと考えられる。

表 3 切替わり感知にかかる平均時間と標準偏差

Table 3 Average response time (sec) and standard deviation according with scent switching period.

	切替え周期			
	1 呼吸ごと	2 呼吸ごと	3 呼吸ごと	4 呼吸ごと
平均 (秒)	-	1.49	1.40	1.42
標準偏差	-	0.33	0.30	0.35

そこで、2 呼吸ごと、3 呼吸ごと、4 呼吸ごとの測定結果を Steel-Dwass 法による多重検定で分析した。その結果、3 つの群すべての間に有意差は見られなかった ($P>0.05$)。このことから、2 呼吸ごとの切替え、3 呼吸ごとの切替え、および 4 呼吸ごとの切替えを行っても香りの切替わりに対する感知時間に差がないということが分かる。つまり、香りが切り替わる際に単位時間射出量を 2 倍にする手法を用いれば、最短 2 呼吸ごとの切替えが可能であるということである。さらに、より順応や残り香の問題が起きやすいと考えられる 4 呼吸ごとの香りの切替えと、順応や残り香の問題が起きにくいと考えられる 2 呼吸ごとの香りの切替えの間に差がないことから、パルス射出を用いることで順応や残り香の問題を克服できたといえる。

5.5 実験 3：2 種類の香り切替えの限界測定

5.5.1 実験方法

実験 1 および実験 2 から得た結果を基に、同じ被験者に対して香りの切替えを感知可能な限界を測定した。具体的には、切替わりの瞬間に単位時間射出量を 2 倍にして出す手法を用いて、最短周期である 2 呼吸ごとの香りの切替えを行った際に、高速な香りの切替えがどれだけ続けられるのか、その限界をレモンとラベンダの 2 種類の香料を用いて測定した。被験者には音と同時に息を吸ってもらい、香りの切替わりを感じた際にマウスをクリックしてもらった。そして、被験者が香りの切替わりを感じられなくなるまで測定を行った。

5.5.2 実験結果と考察

被験者 20 名に対して行った香りの切替わりの限界測定の結果を表 4 に示す。

この実験の結果、被験者 20 名全員が香りの切替わりを平均 27 回感じられることが分かった。しかし、この実験では 2 呼吸ごとの香りの切替えを行っていたため、被験者に提示手法の教示は行っていないが、測定を行っていく途中で切替えの周期に気づいた被験者もいないとは断言できない。

そこで、実験で得た結果を基に考察を行うと、香りの切替えは 2 呼吸ごとに行ったことから、被験者は平均 54 呼吸分香りを嗅いでいたといえる。これは、健常者の自然呼吸の平

表 4 香り切替えの限界
Table 4 Limit of Scent Switching.

	回数(回)
平均	27
最大	40
最小	16

均はだいたい5秒であることから、約4.5分間、香りの切替えを感知していたこととなる。つまり、2呼吸ごとという高速な香りの切替えを行った場合、提案手法を用いれば順応や残り香の問題を起こさず、健常者に約4.5分間香りの切替えを感知させることが可能であることが分かった。

6. おわりに

他メディアに香りを付加し、臨場感を高める試みに注目が集まっているなか、従来の香り提示手法では順応や残り香、視聴覚による大きな影響など嗅覚特有の問題から、高速に香りを切り替えることは不可能であった。

これらの問題を解決するために、人は吸気の間であれば少量の香料による提示で十分に香りを感じることができることから、微小時間の香り提示を行うことで残り香の問題を解決することを考えた。具体的には、微小時間の香り提示であるパルス射出を用いることで空間に拡散する香料を少量化し、残り香の影響を最小化することで、連続呼吸中に香りの高速切替えを感知させる提示手法の実現を目指し、2種類の香りを様々なパターンで提示した際の嗅覚特性を測定した。

まず、香りを切り替えるのに有効な香り提示手法を見つけるため、香りが切り替わる瞬間の香り射出方法を変化させ、切替えに対する反応時間を測定することで香りの切替えに有効な手法を検討した。そして、求めた提示手法を用いた場合の香り切替え可能な最短周期、また連続的に香りを切り替えた場合に、感知可能な切替えの限界回数を測定した。

その結果、香りの高速切替えを実現するのに有効な射出方法は、切り替える瞬間に香りの単位時間射出量を2倍にする射出方法であり、この手法を用いると2呼吸ごとの香りの切替えが可能であることが分かった。また、この手法を用いて、2呼吸ごとの香り切替えを行うと、人間は平均27回の香り切替えを感知できるという知見が得られた。

呼吸に同期させた香り切替えを可能にする提示手法が確立することで、高速に切り替わる映像など他メディアとの同期がとれるようになると期待される。

参 考 文 献

- 1) 郵政省：五感情報通信技術に関する調査研究会(2007).
- 2) 廣瀬通孝, 谷川智洋：ウェアラブル嗅覚ディスプレイ, におい・香りの情報通信, pp.60-76, フレグランスジャーナル社(2007).
- 3) 柳田康幸：空気砲の原理を利用した香りプロジェクター—最近の研究開発動向, *AROMA RESEARCH*, Vol.11, No.1, pp.18-22 (2010).
- 4) 伴野 明：映像への香り付加による誘目性向上とその応用, におい・香り環境学会, Vol.22, No.1, pp.24-29 (2009).
- 5) Matsukura, H., Saitoh, A., Nakamoto, T., et al.: Odor Presentation with a Vivid Sense of Reality: Incorporating Fluid Dynamics Simulation into Olfactory Display, *IEEE Virtual Reality 2009*, Vol.2, No.2, pp.295-296 (2009).
- 6) Pornpanomchai, C., Threekhunprapa, A., Pongrasamiroj, K. and Sukklay, P.: SUBSMELL: Multimedia with a Simple Olfactory Display, *PSIVT 2009*, LNCS 5414, pp.462-472 (2009).
- 7) Ademoye, O.A. and Ghinea, G.: Synchronization of Olfaction-Enhanced Multimedia, *IEEE Trans. Multimedia*, Vol.11, No.3, pp.561-565 (2009).
- 8) 川崎通昭, 堀内哲嗣郎：嗅覚とにおい物質, 臭気対策研究協会(2000).
- 9) 門脇亜美, 佐藤淳太, 坂内祐一, 岡田謙一：香りのパルス刺激に対する嗅覚の時間特性の測定とモデル化, におい・香り環境学会誌, Vol.39, No.1, pp.36-43 (2008).
- 10) 佐藤淳太, 門脇亜美, 大津香織, 坂内祐一, 岡田謙一：順応効果を軽減できるパルス射出による香り提示手法, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.8, pp.2922-2929 (2008).
- 11) Ohtsu, K., Sato, J., Bannnai, Y. and Okada, K.: Pulse Ejection Presentation System of Odor Synchronized with the User's Breathing, *Proc. International Workshop on Informatics 2008*, pp.138-143 (2008).
- 12) Ohtsu, K., Sato, J., Bannnai, Y. and Okada, K.: Measurement of Olfactory Characteristics for Two Kinds of Scent in a Single Breath, *IFIP INTERACT 2009*, pp.306-318 (2009).
- 13) 大津香織, 野口大介, 坂内祐一, 岡田謙一：同一射出量の芳香パルス提示における感覚強度差の測定, におい・かおり環境学会講演要旨集, Vol.22, pp.56-59 (2009).
- 14) 野口大介, 大津香織, 杉本紗友美, 坂内祐一, 岡田謙一：同一射出量の芳香提示における感覚強度差の測定, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J93-A, No.11, pp.773-781 (2010).
- 15) 社団法人におい・かおり環境協会：ためして簡単, 現場で使える「臭気簡易測定ガイドブック」2005 (2005).

(平成 22 年 5 月 18 日受付)

(平成 22 年 12 月 1 日採録)



杉本紗友美

2009年慶應義塾大学工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科修士課程在学中。DICOMO2008 最優秀プレゼンテーション賞、優秀論文賞を受賞。香り情報処理に関する研究に従事。



野口 大介

2009年慶應義塾大学工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科修士課程在学中。DICOMO2009 優秀プレゼンテーション賞、優秀論文賞を受賞。香り情報処理に関する研究に従事。



坂内 祐一（正会員）

1980年早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。1988年ミシガン州立大学コンピュータサイエンス学科修士課程修了。2007年慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程修了。博士（工学）。1980年キヤノン（株）入社。ヒューマンインタフェース、グループウェア、複合現実感等の研究開発に従事。当学会論文誌編集委員、GN研究会幹事等を歴任。日本VR学会サイバースペース研究賞、ICAT2007 Best Paper、平成19年度情報処理学会論文賞を受賞。現在日本VR学会香りと生体情報研究委員会委員長、日本VR学会、ACM、IEEE-CS 各会員。



岡田 謙一（フェロー）

慶應義塾大学工学部情報工学科教授、工学博士。専門は、CSCW、グループウェア、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション。情報処理学会誌編集主査、論文誌編集主査、GW研究会主査等を歴任。現在、情報処理学会IE領域委員長、日本VR学会理事。情報処理学会論文賞（1996、2001、2008年）、情報処理学会40周年記念論文賞、日本VR学会サイバースペース研究賞、IEEE SAINT'04、ICAT'07 最優秀論文賞を受賞。情報処理学会フェロー、IEEE、ACM、電子情報通信学会、人工知能学会各会員。