

パルス射出を用いた測定法による嗅覚能力の数値化

深澤 彩^{1,a)} 鈴木 理沙^{1,b)} 岡田 謙一^{2,c)}

受付日 2012年12月29日, 採録日 2013年7月3日

概要: 映像などに香りを付加し, 臨場感を高める試みに注目が集まっている. しかしながら, 視聴者が十分香りを感じることができるよう必要以上に多くの香りが空気中に拡散され, 残り香となる問題が生じている. そこで, 残り香の影響を減らすためにも人間の嗅覚特性を調べる必要があると考えた. アルツハイマー型認知症などの病気の初期症状として嗅覚障害が生じるということも分かっているので, 医学的な観点からも嗅覚の状態を調べることはとても重要であるといえる. しかしながら, 従来の嗅覚検査では嗅覚能力を細かく数値化することは難しく, 残り香や測定に時間がかかるなどの問題も生じている. そこで本研究では, パルス射出を用いて嗅覚測定を行うことにより, 従来の嗅覚測定法とは異なり, 香料量を変動させることで嗅覚を細かく数値化することを目指した. 測定結果からも, 人はきわめて微量の香料で香りを感じることができると分かった. 測定では残り香の影響もなく, 5分程度で測定を終了することができた. 今後, この測定法を改良していくことで, 健康診断や一般の病院に嗅覚検査が導入されていくことを期待する.

キーワード: 嗅覚の数値化, 香り, 嗅覚ディスプレイ, 嗅覚測定

Digitalization of Ability to Smell by Measurement Method Using Pulse Ejection

AYA FUKASAWA^{1,a)} RISA SUZUKI^{1,b)} KENICHI OKADA^{2,c)}

Received: December 29, 2012, Accepted: July 3, 2013

Abstract: Trials on transmitting olfactory information together with audio/visual information and raising a sense of reality are currently being conducted in the field of multimedia. However, scents are emitted in the air more than necessary to make people feel the scents. So, extra emission of scents creates problems of scents lingering in the air. Then, examining human olfactory characteristics is needed in order to decrease influence of lingering scents. A decline in olfaction is reported to be an early symptom of diseases such as Alzheimer's disease. Thus, from a medical perspective, understanding the condition of the olfactory system is important. However, examining ability to smell is difficult for existing olfaction test. So there are problems of lingering scents and taking time. In this study, by using the pulse ejection of scents, we quantified ability to smell finely by changing amount of aroma chemical unlike existing olfaction test. From the result, it is found that human could feel the scents in extremely minute aroma chemical. There was little influence of lingering scents in the experiment, and the measurement was finished in 5 minutes. It is expected to make improvements and bring in olfaction test to medical checkup and hospital in the future.

Keywords: digitalization of olfaction, scent, olfactory display, olfactory measurement

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University,
Yokohama, Kanagawa 223–8522, Japan

² 慶應義塾大学理工学部
Faculty of Informatics, Keio University, Yokohama, Kanagawa
223–8522, Japan

a) fukasawa@mos.ics.keio.ac.jp

b) risa@mos.ics.keio.ac.jp

c) okada@mos.ics.keio.ac.jp

1. はじめに

嗅覚は他の五感と異なり情動などをつかさどる大脳辺縁系に直接情報が伝送されるため, 人間にストレートに影響を与えたり, 感性的な情報を与えやすいという特徴がある. この特徴を利用し, 広告や映画などに香りを付加して販売促進効果や臨場感を高めるなど, 嗅覚に関する研究に

注目が集まっている。しかしながら香りは制御することが難しく、このような目的に使用される際には、視聴者の誰もが容易に分かるような濃い濃度で十分に長い時間香りを提示しているため、必要以上に拡散された香料が室内に充満し、残り香の影響による問題が生じてしまう。人は一定の強さのにおい刺激を持続的に与えられると鼻が順応してしまい、においを感じなくなってしまう [1]。そのため、臨場感を高める目的で香りを映像に付加したとしても、残り香の影響により効果的に視聴者に影響を与えることはできなくなる。この残り香の影響を最小限に抑えるためにも人間の嗅覚特性を調べていき、視聴者が十分香りを感じることでできる最小限の強さを把握する必要があるといえる。

日常生活においても、嗅覚はガス漏れや腐った食べ物の判別などの危険察知をすることができる大切な感覚器官である。また、アルツハイマー型認知症などの病気の初期症状として嗅覚障害が生じるということも分かっているため、医学的な面からも嗅覚の状態を調べることはとても重要であるといえる [2]。現在主流となっている嗅覚測定法として、T&T オルファクトメーターや Open Essence などがあげられる。しかしながら、これらの測定は主に嗅覚障害であるか否かを判断することを目的としており、嗅覚能力を細かく数値化することは困難である。また、これらの測定法は残り香の影響や測定に時間がかかるなどの問題も残っているため、一般の病院や健康診断などではほとんど実施されていない。

そこで本研究では、パルス射出という香り提示手法を用いて嗅覚測定を行うことにより、香料量をもとに人間の嗅覚能力を細かく数値化することを目指す。それと同時に、我々が開発した精密な香り制御が可能な嗅覚ディスプレイにより、既存の嗅覚検査の問題点の解決にも取り組む。この嗅覚ディスプレイは微少時間の香り制御が可能となるため、この装置を用いることで人間の嗅覚を測定し、人はどの程度の香りの強さまで感じることができるのかを調べ、数値化を行っていく。

以降、2章では既存の嗅覚ディスプレイや嗅覚検査に関して述べる。3章では考案した嗅覚測定法について述べ、4章では提案した嗅覚測定法の実装に関して述べる。そして、実際に行った測定実験の内容について5章で述べ、6章ではその測定結果について述べる。最後に、実験結果の考察をふまえた本研究の結論について7章で述べる。

2. 関連研究

近年では嗅覚への注目が集まり、嗅覚ディスプレイも様々な用途のものが開発されてきた。柳田ら [3], [4] は、VR空間において香りを提示することを目的とし、非装着型の香り提示が可能な嗅覚ディスプレイを開発した。この装置は空気砲の原理を応用しており、局所的な香り提示を行うことができる。廣瀬ら [5] は数種類のおい源から電

磁弁によりにおい物質の濃度を制御した空気を提示可能な嗅覚ディスプレイを開発した。チューブを通して鼻先へ運ぶことにより、装着者の位置に応じて匂いの種類や強度を制御することができる。また、アロマジュール [6] を用いて、映像に合わせて客席の下から香りを放つという試みが映画館で実施されている [7]。6種類の香料をパソコンで自由にブレンドすることが可能であり、パソコン上で香りを制御することができる。これらの嗅覚ディスプレイは、VR空間や映像などに合わせて香りを付加することを目的としており、個人の嗅覚を細かく測定するという目的には適していない。そこで、嗅覚検査などの医療への応用を目的とした AromaJet.com 社の Digital Olfactometer なども開発されている [8]。この装置は香りを1滴あたり 94 pL という微量で制御することが可能である。しかし、1滴ずつ加熱器で蒸発させて香りを提示しているために、香りを強くするほど蒸発させるのに時間がかかってしまうという課題もある。このように、近年では嗅覚ディスプレイを嗅覚検査などに使用する研究も注目されている。

一方、日本で有名な嗅覚を測定するための方法としては T&T オルファクトメーター [9] を用いた嗅覚測定法があげられる。この測定法では検知閾値と認知閾値の測定が可能であり、嗅覚障害の判定に用いられている [10]。また、スティック型嗅覚検査 (OSIT-J) [11] も開発され、その臨床的有用性も数多くの施設で確認されている [12]。さらにこの OSIT-J の短所を補った Open Essence [13] なども開発されている。これは、OSIT-J よりも臨床的に有用で医療従事者にとっても便利な嗅覚検査であるといえる。海外で注目されている嗅覚検査として、CCCRC [14] や Sniffin' Sticks [15] もあげられる。これらの検査は上昇法を用いて行われ、正当性を高めるために連続複数回の正答が求められている。このように、嗅覚を測定する手法は様々なものがあるが、これらは主に嗅覚障害を判定するものであるため人間の嗅覚能力を細かく測定することは困難であり、また測定に時間がかかるという問題も抱えている。

3. パルス射出を用いた測定法による嗅覚能力の数値化

嗅覚障害の可能性を調べることで認知症などの病気を早期に発見することができるにもかかわらず、健康診断や多くの病院では現在嗅覚検査は行われていない。たとえば、T&T オルファクトメーターによる嗅覚検査を行わない理由としては、「悪臭が残る」、「時間がかかる」、「操作が煩雑」などがあげられる [16]。このことから、嗅覚検査においても残り香の影響は大きな問題となっていることが分かる。嗅覚は他の感覚に比べ比較的順応しやすいといわれており、測定の際に強い香りを必要以上に提示してしまったり、空気中の残り香の影響によって正確な測定が行えない可能性がある。順応の影響を抑えるために、嗅覚検査は十分な

換気が行える環境で実施されることが多い。しかし、健康診断などでは体育館などの十分な換気ができない場所で大人数を同時に検査することが多い。そのため、嗅覚検査をする場合は残り香の影響が強くなってしまおうという問題が生じる。また、従来の嗅覚検査では濃度を用いて香りの強さを変更していた。そのため、測定を行うためにはそれぞれの香りごとに測定に使用する濃度を用意しなければならなかった。香りを提示する際にも、測定するごとに濃度の違う香りをにおい紙などに付けて嗅がせているため、測定に手間や時間もかかっていた。また、におい紙などに香りを付ける際に、空気中に香りが充満することも問題となっている。嗅覚検査において多くの人を細かく測定する場合、これらの問題は最小限に抑えていかなければならない。

我々は、微少時間の香り提示手法であるパルス射出を用いることにより、既存の嗅覚検査の問題に取り組んだ。我々が開発した嗅覚ディスプレイはインクジェット方式を採用しており、パルス射出を行うことが可能である。パルス射出のイメージを図 1 に示す。既存の嗅覚検査では、あらかじめ用意した濃度の香りではしか嗅覚を測定することはできなかった。しかし、我々の装置では香りの強さは単位時間あたりの射出量と射出時間の 2 つのパラメータを用いて香り提示の際の香料量を変動させていくので、ダイナミックレンジも広くとることができ、1 種類の濃度を用意するだけで様々な強さの香りを提示することができる。そのため、香り提示にかかる手間や時間の問題が解消されると考える。一方、人が息を吸い込む時間は健常者で約 1 秒といわれている [17]。我々の嗅覚ディスプレイでは最短で 667 マイクロ秒単位の香り制御が可能のため、測定に際しても一呼吸中のみ香りを提示することも可能である。一呼吸中に微量の香りを提示することで、空気中への残り香を防ぐことができる。また、微少時間しか香りを提示しないため、順応の影響も生じにくい [18]。さらに我々の装置では香料量を細かく制御して香りを提示することが可能であるため、今までは濃度を用いて測定してきた人間の嗅覚能力を香料量により細かく数値化していけるのではないかと考える。そこで、この装置を用いて嗅覚を測定していくことにより、人はどのくらいの強さまで香りを感じることができるのかという人間の嗅覚特性を調べていく。今回

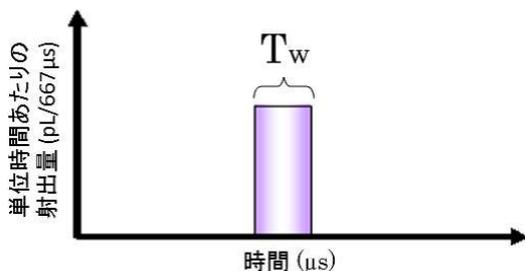


図 1 パルス射出と射出時間 Tw

Fig. 1 Pulse ejection and ejection time: Tw.

は検知閾値の測定を行い、香料量を変動させて嗅覚測定を行った際の人間の検知能力について数値化していく。

4. 嗅覚ディスプレイを用いた嗅覚測定法

4.1 嗅覚ディスプレイ

測定に使用した嗅覚ディスプレイ (図 2) はインクタンクに充填した香料をタンクの微小な穴から液体の状態で空気中に放出するインクジェット方式を用いる [19]。微少時間の香り提示手法であるパルス射出により、空気中へ香りが拡散するのを最小限に抑え、残り香の問題を軽減することができる。この装置には大タンクが 1 つ、小タンクが 3 つあり、それぞれに香りを格納することができる。今回の測定で使用するのは大タンクであり、大タンクには 255 個の微小な穴が開いている。これらの穴からはすべて同時に香りを射出することが可能である。微小な穴 1 個あたりの平均射出量を「単位平均射出量」、同時に射出する微小な穴の数のことを「同時射出数」と呼ぶ。この装置では、最小 667 マイクロ秒単位の香り制御が可能となる。これを、この装置における「単位時間」と定義する。大タンクでは、それぞれの穴からの単位平均射出量は 7.3 pL となる。複数の穴から同時に香料を射出することができるので、同時射出数は 0-255 の範囲で調整が可能である。これらの値により、単位時間あたりの射出量が決定する。これを、指定した射出時間だけ香りを提示することにより、香りの強さを制御することができる。

このように、香りの強さは単位時間あたりの射出量と射出時間で制御することができ、実際の射出量は以下のように計算できる。また、使用した香料量も射出量をもとに計算により求めることのできるため、数値化することができる。

$$\text{射出回数 (回)} = \text{射出時間 } (\mu\text{s}) \div 667 \mu\text{s} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{射出量 (pL)} &= \text{単位平均射出量 (pL/(\text{個} \cdot \text{回}))} \\ &\quad \times \text{同時射出数 (個)} \times \text{射出回数 (回)} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{香料量 (pL)} = \text{射出量 (pL)} \times \text{香料濃度 (\%)} \quad (3)$$

4.2 嗅覚測定方法

既存の嗅覚検査では、測定に時間がかかるという問題が



図 2 嗅覚ディスプレイ

Fig. 2 Olfactory display.

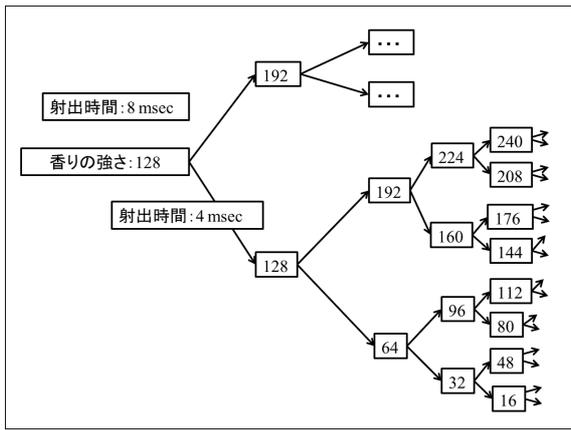


図 3 2分探索法を用いた測定値の変動の様子

Fig. 3 Change of measured value using binary search.

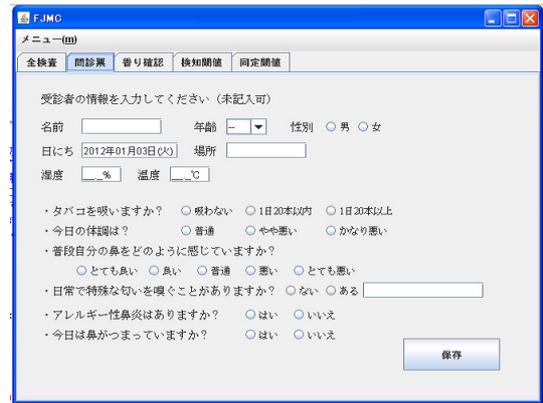


図 4 問診票

Fig. 4 Interview sheet.

生じている。本研究ではこの問題を解決するために、値の変動方法に2分探索法を用いる。嗅覚検査の多くは上昇法を用いて行われているが、上昇法では嗅覚障害を持つような人に対してもまったく感じない弱い香りから測定をする必要がある。さらに、嗅覚能力を細かく測定しようとするほど時間がかかってしまうという問題がある。そこで、2分探索法を用いることによって、より測定時間を短くすることを目的とする。

嗅覚健常者の中でも個人差によって嗅覚能力には差が出てくると考えられる。そこで、測定可能範囲を広げるために、同時射出数と射出時間を組み合わせた2分探索アルゴリズムを使用した。今回実験に使用した香りの強さの変動の様子を図3に示す。単位時間あたりの射出量は同時射出数で変動するため、以降、分かりやすいように「同時射出数」を「強さ」といい換えて説明する。測定に使用するのは強さが0-255、射出時間が8 msecと4 msecとなっている。予備実験において射出時間13.3 msecで測定した際、検知閾値の低い値に人数が集中してしまったため、射出量をより少なくすることにした[20]。そこで、今回は射出時間の1つを4 msecと設定した。一方で、13.3 msecで検知可能であった最大の強さは120であり、射出時間を4 msecにすると最大射出量はその値よりも少なくなってしまう。このことから、においを感じやすい人にも感じにくい人にも対応できるように射出時間8 msecも用意し、それぞれの射出時間を組み合わせることとした。

値の変動は上下法を用いており、正解した場合は値を上昇させ、失敗した場合は値を降下させる。測定は強さ128、射出時間8 msecから開始する。検知閾値の測定では0-255の範囲で強さを変動させるため、中央値である128から測定を開始している。1回目の測定において、受診者の答えが正解であれば射出時間を4 msecにし、2回目以降の測定からは射出時間を4 msecのまま2分探索法を用いて測定を行う。一方、1回目の測定において不正解であれば、射出時間8 msecのまま強さの値のみを変動させていく。測定

は強さの差が2になるまで行われるため、射出時間4 msecの段階数は256の半分である128段階となる。また、射出時間8 msecでは2分探索法における上半分の値のみを使用しているため、さらに半分の64段階となる。したがって、この手法により検知閾値の測定結果は192段階で細かく測定することができる。予備実験より、1回目の測定では健常者が十分に検知できる値を採用している。その後も始めのうちは香りの強さが大きく変動するので、その変化は十分検知可能なものとなっている。測定の目的に応じて測定結果の段階数を変えていくことは可能であるが、既存の嗅覚検査よりも細かく測定を行い、なおかつ短時間での測定を目的としているために分解能を192段階としている。

測定には、におい・かおり環境協会の三点比較法を用いた[21]。この測定法では、1試行の測定において被験者に3回香りを提示する。そのうちの1回が付臭、残りの2回が無臭となっており、それらがランダムに提示されるので、被験者は何回目が付臭の回であったかを回答するという測定法である。香りの提示は1呼吸につき1回の射出とする。このとき、それぞれの射出間隔は5秒以上あけているものとする。3回の射出が終わると、3回射出のうち何回目に香りがついていたかを被験者に回答してもらい、その回答に従って香りの強さが変動する。値が変動した後、再び3回の香り提示を行い、これを繰り返していく。3回の香り提示を1試行とし、最大8試行で測定は終了する。この手法により、測定の正当性を高める。

香りの値変動や付臭無臭の順番の制御などを自動で行うために、嗅覚測定用アプリケーションを構築した。今回、正確な測定を行うために、測定の前に被験者には問診票の内容に回答してもらった。図4の内容は耳鼻科の医師とのディスカッションにより、最低限把握する必要のある情報となっている。問診票の内容は測定結果に影響はないものとするが、体調などを考慮してより正確な測定を行うために役立てていく。図5は検知閾値の測定画面である。このアプリケーションは測定者が操作するものである。画面に



図 5 嗅覚測定用アプリケーション

Fig. 5 Application for olfactory measurement.



図 6 測定結果画面

Fig. 6 Measurement result.

氏名	山田 花子	年齢	21歳	性別	女
日時	2012年01月04日(水)	場所	慶應義塾大学		
湿度	38.2%	温度	18.2°C		

質問	回答
①タバコを吸いますか？	1日20本以内
②今日の体調は？	やや悪い
③普段自分の鼻をどのようにかんじますか？	普通
④日常で特殊な匂いを嗅ぐことがありますか？	ない
⑤アレルギー性鼻炎がありますか？	いいえ
⑥今日は鼻がつまっていますか？	いいえ

バナナ	強さ	128	128	192	160	144	136	132	130	検知閾値	
	パルス幅	8msec	4msec	強さ	130						
	結果	○	×	○	○	○	○	○	○	パルス幅	4msec

図 7 測定結果記録内容

Fig. 7 Record for measurement result.

は現在の香りの設定、付臭無臭の順番、射出回数などが表示されており、現在の状態が一目で分かるようになっている。 “射出” ボタンを押すと 3, 2, 1, Go というカウントダウンを示すシグナル音が鳴るようになっており、被験者はそのタイミングに合わせて香りを吸い込む。このとき、測定者にも分かりやすいように、画面にも音に合わせてカウントダウンの文字が表示される。香りを射出するタイミングは被験者の音への反応時間などを考慮し、先行研究をもとに音の合図から 500 msec 遅らせている [22]。被験者の回答は “受診者の答え” の選択肢から選んで入力する。ここで “決定” を押すと次の試行へと移り、香りの設定や付臭無臭の順番が変更される。これを繰り返していき、すべての試行が終了すると測定結果が表示される結果画面へと移動する (図 6)。この結果画面では、被験者の検知閾値が強さと射出時間を用いて表示される。この測定結果は Excel ファイ

ルに保存することができる。保存されるデータを図 7 に示す。図 7 に示すように、保存される内容は測定結果だけではなく、問診票の内容、測定の経過、受診者の回答なども自動で記録される。測定時、医師に負担をかけることのないよう、提示する香りの制御や測定結果の記録を自動化した。

5. 嗅覚測定実験

既存の嗅覚検査では濃度を変化させて嗅覚能力を測定していたが、我々の嗅覚ディスプレイではパルス射出を用いて香料量を変化させて測定を行っていく。そこで、実際に香料量を変化させるだけで検知閾値の測定ができるのかを検討するために、嗅覚測定実験を行った。

5.1 実験環境

被験者は椅子に座った状態で顎乗せ台に顎を置き、すべ

での測定において鼻元にファンの風が一定の条件で当たる姿勢を取った。嗅覚ディスプレイの香りの射出口から鼻元までは 225 mm に固定した。これは、装置に近づきすぎると圧迫感を感じてしまい、装置から離れすぎると風が拡散して香りを感じなくなってしまうため、条件を満たすように距離を調節した値である。測定中はファンをつねに稼働させることにより、香りが運ばれたときと通常の風による触感の差をなくすようにした。先行研究より、香りが残留しないように風速を装置の最大風速である 1.8 m/sec に設定した [23]。実際に実験した場所の様子を図 8 に示す。図 8 のように、実験者と被験者は向かい合って座り、両者の間は半透明の板によって区切った。そのため、実験者の射出操作内容などは被験者には伝わらない。より正確に測定を行うために、実験スペースには 2 台の空気清浄機を設け、測定中はつねに稼働させた。1 台は空間全体を、もう 1 台は特に嗅覚ディスプレイの射出口付近の空気を清浄させた。

5.2 測定内容

4 章で述べた嗅覚測定法を用いて実際に測定を行った。表 1 に被験者の内訳を示す。被験者は 20 代~40 代の男性 33 名、女性 11 名の計 44 名である。20 代が中心となっており、嗅覚健常者を対象に測定を行った。

今回の測定では、香料にイソアミルアセテートを用いた。この香料は単体化学物質であり、バナナの香りがするものである。単化学物質は天然香料などと違い、産地や保存機関による影響を受けず、再現に優れているという利点があ



図 8 実験環境の様子

Fig. 8 Condition of the experiment.

表 1 被験者の内訳 (人)

Table 1 Description of participant.

	男	女	合計
20 代	26	9	35
30 代	6	2	8
40 代	1	0	1
全体	33	11	44

る。本実験では、エタノールと水によって 5% に薄めた香料を使用した。

測定の前に、測定者は被験者に対して問診票の内容について質問した。その後、4.2 節で述べた嗅覚測定用アプリケーションを用いて検知閾値の測定を行った。既存の嗅覚検査では「時間がかかる」という問題も存在していた。そのため、測定はできるだけ短時間で行う必要があるといえる。そこで、検知閾値の値を求めると同時に、測定開始から測定終了となるまでの時間も計測した。

6. 検知閾値測定結果

被験者 44 名に対する検知閾値の測定結果を表 2 に示す。強さや射出時間から 4.1 節の計算式 (1), (2) を用いて射出量を計算し、平均値、最小値、最大値などを示してある。検知可能であった香りの最小射出量は 87.6 pL であり、香料量に換算すれば 5 pL にも満たない。このことから、人間は微量の香料でも香りを検知することができるといえる。一方、被験者の中で最も検知閾値の大きかった被験者の射出量は約 18 nL であり、最も検知閾値が低かった人の 200 倍近くあることが分かった。検知閾値が高かった被験者の問診票を見てみると、アレルギー性鼻炎であることが分かった。しかしながら、それでも実際に射出されている香料量はきわめて微量であるといえる。また、香料の種類によって香りの強さは変わるので、今回の結果はイソアミルアセテートを用いた場合の結果となる。他の香りについても同様に測定していけば、それぞれの香りの感じやすさを香料量を用いて数値化することができる。

測定結果の人数分布を表 3 に示す。射出量は 2 倍系列で表しており、それぞれの射出量に対する人数分布を示している。たとえば、射出量 100 pL が 1 人というのは、射出

表 2 検知閾値の測定結果

Table 2 Result for detection threshold.

	射出量 (pL)
平均	4,883.7
最小値	87.6
最大値	18,045.6

表 3 測定結果の人数分布

Table 3 Distribution of people for measurement result.

射出量 (pL)	人数 (人)
100	1
200	3
400	3
800	6
1,600	7
3,200	5
6,400	6
12,800	8

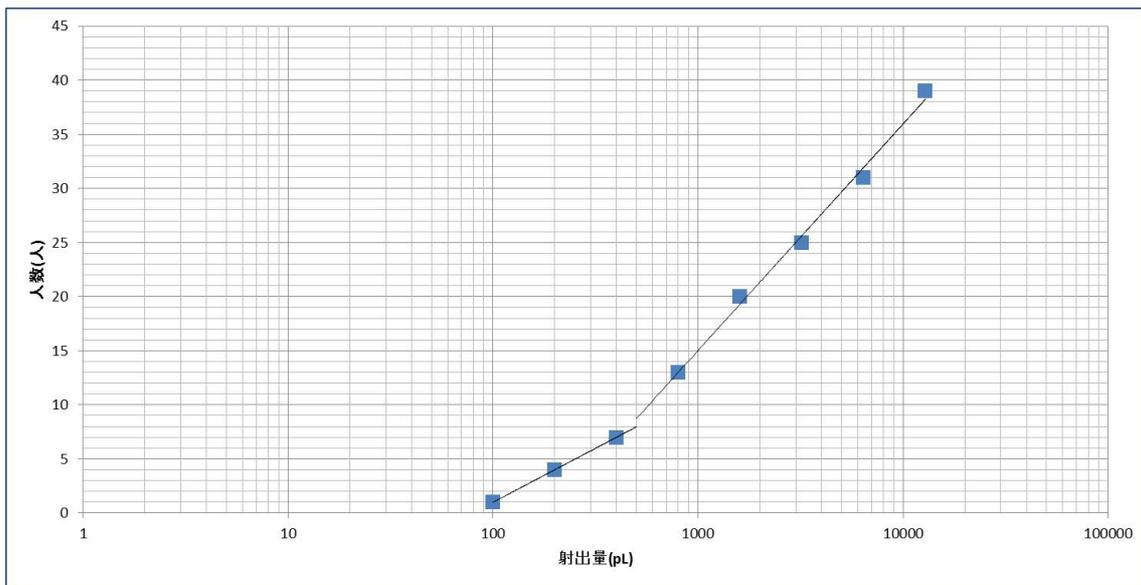


図 9 検知閾値の測定結果
Fig. 9 Result for measurement.

量 100 pL 以下で検知可能であった人数が 1 人であり，射出量 200 pL が 3 人というのは，射出量 101 pL～200 pL の間で検知可能であった人数が 3 人という意味である．測定の際，射出時間は 4 msec と 8 msec を用いているが，今回は検知閾値の数値化が目的のため，傾向が分かりやすいように射出時間 8 msec は 4 msec の香りの強さのほぼ 2 倍であると仮定し，香料の総射出量をもとに結果をまとめている．表 3 より，射出量が 400 pL までは 1 人～3 人と少ない人数となっているが，それ以降は 5 人～8 人と人数が少し増えていることが分かる．400 pL までは射出量がとても少なく，嗅覚健常者であっても鼻がいい人でなければ検知することができないため，人数が少なくなっているのではないかとはいえる．800 pL 以降はある程度一定人数ではあるが，さらに射出量を増やしていけばある射出量を基準に人数は急激に増大すると予測できる．それでも検知できない人たちは，嗅覚障害の可能性があるのでないかと考える．この表をもとに，図 9 ではそれぞれの射出量において検知可能であった人数をグラフで表している．人数分布を表していた表 3 とは異なり，射出量が増えるごとに人数を加算していき，その射出量で検知可能である人数の合計数をプロットしている．このグラフを見ても，400 pL までの傾きと，それ以降の傾きは多少違いがあることが分かる．分かりやすいように，グラフには 400 pL まで，800 pL 以上それぞれについて対数近似曲線を描いている．さらに測定人数を増やしていくことにより，嗅覚障害の可能性があると判定できる基準値を見つけることが期待される．この基準値が見つかることでスクリーニング値などを定めることができれば，健康診断などへの導入の可能性も高まるといえる．

検知閾値の測定にかかった時間は，平均 4 分 21 秒であっ

た．標準偏差は 37.1 秒であるため，測定は被験者によらず 5 分以内に終了することが可能であった．192 段階と細かい測定を行い，さらに測定結果も記録しているが，1 人当たり 5 分以内と短時間で測定が行えた．既存の嗅覚検査には時間がかかってしまうということも問題となっていたが，本測定手法によりその問題も解消できるといえる．この測定法を改良していくことで，一般の病院や健康診断などでも手軽に嗅覚ディスプレイを用いた嗅覚検査を行えるのではないかと考える．

7. おわりに

既存の嗅覚検査には残り香の問題や，手間や時間がかかるという問題があった．そこで本研究では，パルス射出を用いることで既存の嗅覚検査とは異なり，香料量を変動させることにより嗅覚測定を行った．既存の嗅覚検査の問題も改善しつつ，人間の嗅覚検知能力を測定し数値化した．その結果，人は微量の香料で香りを感じることができ，香料量が 400 pL～800 pL のあたりで検知可能な人数の割合が変わる傾向がみられた．さらに大人数を測定していけばより明確な違いが出てくることも考えられる．逆に，普段から鼻が悪いと感じる人や軽度の嗅覚障害の人を測定していくことにより，嗅覚障害の可能性を持つ人の基準値が見つかる可能性もあるといえる．この基準値を求めることで，健康診断などで使用するスクリーニング値の決定に役立つと考えられる．一方で，この測定法により 192 段階で細かく測定を行っても 5 分程度で測定を行うことができた．パルス射出を用いて測定を行うことで，従来の嗅覚検査の問題である残り香の問題や測定時間の問題は解消される．この測定法を健康診断や一般の病院などで測定できるように改良していくことで，定期的に嗅覚の状態を検査し，病

気の早期発見などに役立つことが期待される。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金 (B) 課題番号 23300049 (2013 年) の補助を受けた。また、高砂香料株式会社、慶應義塾大学医学部耳鼻咽喉科神崎医師の支援により行われた。

参考文献

[1] 川崎通昭, 堀内哲嗣郎: 嗅覚とにおい物質, 嗅覚の特徴, pp.68-80, におい・かおり環境協会 (2006).

[2] 浦上克哉: 内科領域の認知症とその診断の要点, 老年期認知症研究会誌, Vol.16, pp.61-62 (2010).

[3] 中本高道 (編者): 嗅覚ディスプレイーにおい・香りのマルチメディアツール, 柳田康幸, 坂内 明: 嗅覚ディスプレイとは, pp.34-59, フレグランスジャーナル社 (2008).

[4] 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, 電子情報通信学会技術研究報告, MVE2002-82, pp.87-92 (2002).

[5] 外池光雄 (編著): におい・香りの情報通信, 廣瀬通孝, 谷川智洋: ウェアラブル嗅覚ディスプレイ, pp.60-76, フレグランスジャーナル社 (2007).

[6] 外池光雄 (編著): におい・香りの情報通信, 濱田俊一: 「香り情報通信」の軌跡〜香りのネットワーク配信が切り開いた新しい世界, pp.240-253, フレグランスジャーナル社 (2007).

[7] 増田 覚: シーンに応じて香りが発生, NTT Com が映画「ニューワールド」を香りで演出 (オンライン), 入手先 <<http://internet.watch.impress.co.jp/cda/news/2006/04/11/11594.html>> (参照 2012-12-22).

[8] Wallace, B.D., Taylor, D., Antohe, V.B., et al.: Determination of the olfactory threshold using a piezoelectric microdispenser for neurodegenerative disease diagnostics, *Measurement Science and Technology*, Vol.17, No.11, pp.3102-3109 (2006).

[9] 川崎通昭, 堀内哲嗣郎: 嗅覚とにおい物質, 嗅覚能力の検査—パネル選定用基準臭 (嗅覚測定用基準臭), pp.15-24, におい・かおり環境協会 (2006).

[10] 第一薬品産業株式会社: 製品情報—T&T オルファクトメーター (オンライン), 入手先 <<http://www.j-ichiyaku.com/medical/tt.html>> (参照 2012-12-22).

[11] 志賀英明, 三輪高喜, 塚谷才明, 木下弥生, 斉藤幸子, 小早川達, 出口雄一, 古川 亙: 人間ドックにおけるスティック型嗅覚検査法 (OSIT) による嗅覚障害スクリーニングの検討, 日本耳鼻咽喉科学会会報, Vol.110, No.8, pp.586-591 (2007).

[12] 篠 美紀, 古田厚子, 内田 淳, 横森恵夏, 鈴木恵美子, 大氣誠道, 斉藤幸子, 出口雄一, 洲崎春海: スティック型嗅覚検査法による嗅覚障害評価の検討, 日本鼻科学会誌, Vol.45, No.2, pp.148-153 (2006).

[13] 西田幸平, 小林正佳, 荻原仁美, 竹尾 哲, 北野雅子, 竹内万彦: カード型嗅覚同定検査「Open Essence」の有用性, 日本耳鼻咽喉科学会会報, Vol.113, No.9, pp.751-757 (2010).

[14] Toledano, A., González, E., Rodríguez, G., Galindo, N.: The validity of CCCRC test in patients with nasal polyposis, *Rhinology*, Vol.45, No.1, pp.54-58 (2007).

[15] Hummel, T., Sekinger, B., Wolf, S.R., Pauli, E. and Kobal, G.: 'Sniffin' sticks': Olfactory performance assessed by the combined testing of odor identification, odor discrimination and olfactory threshold, *Chem. Senses*, Vol.22, No.1, pp.39-52 (1997).

[16] 三輪高喜, 志賀英明, 塚谷才明, 古川 亙: 嗅覚研究・臨床の進歩, 嗅覚検査の現状と展開, 日本耳鼻咽喉科学会

会報, Vol.111, No.5, pp.399-404 (2008).

[17] 本間 達, 若松秀俊: 新しい換気モデルを備えた小型補助呼吸装置による遠隔医療, 日本臨床生理学会雑誌, Vol.31, No.6, pp.297-304 (2001).

[18] 佐藤淳太, 門脇亜美, 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).

[19] 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 (2011).

[20] 杉本紗友美, 坂内祐一, 岡田謙一: 香りディスプレイを用いた嗅覚能力測定法, VR 学研報, Vol.16, No.CS-2, pp.31-36 (2011).

[21] 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).

[22] Noguchi, D., Sugimoto, S., Bannai, B. and Okada, K.: Time Characteristics of Olfaction in a Single Breath, *Proc. 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'11)*, pp.83-92 (2011).

[23] 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人間の嗅覚応答モデル, VR 学研報, Vol.12, No.2, pp.9-14 (2007).



深澤 彩 (学生会員)

2012 年慶應義塾大学理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。香り情報処理に関する研究に従事。IWIN2012 ベストプレゼンテーション賞を受賞。



鈴木 理沙

2013 年慶應義塾大学理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。香り情報処理に関する研究に従事。



岡田 謙一 (フェロー)

慶應義塾大学理工学部情報工学科主任教授, 工学博士。専門は, CSCW, グループウェア, HCI。情報処理学会理事, 情報処理学会誌編集主査, 論文誌編集主査, GN 研究会主査, 日本 VR 学会理事等を歴任。現在, 情報処理学会論文誌: デジタルコンテンツ編集長, 電子情報通信学会 HB/KB 幹事長。情報処理学会論文賞 (1996, 2001, 2008), 情報処理学会 40 周年記念論文賞等を受賞。日本 VR 学会フェロー, IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 人工知能学会会員。