

# においの濃度変化と視覚情報が嗅覚の方向知覚に及ぼす影響

中村 駿也<sup>1,a)</sup> 鈴木 優<sup>1,b)</sup>

**概要：**嗅覚における方向知覚ができることは明らかになっているものの、方向知覚の角度精度と視覚情報の嗅覚への影響とは調査されていない。そこで、においの濃度変化を用いた嗅覚における方向知覚の精度の調査と、視覚情報が嗅覚における方向知覚に及ぼす影響についての調査とをした。その結果、においの濃度変化では、より細分化された角度の方向提示ができないことがわかった。また、視覚情報が嗅覚の方向知覚に及ぼす影響では、男女差があることが示唆された。そして、嗅覚での方向提示では、方向提示の方向に選択肢を持たせるときに有効であることが明らかになった。

## The Effects of Change in Odor Concentration and Visual Information on Directional Smelling

SHUNYA NAKAMURA<sup>1,a)</sup> YU SUZUKI<sup>1,b)</sup>

### 1. はじめに

バーチャルリアリティでのデバイスにおける現状として、五感を刺激するさまざまなデバイスが開発されている。中でも聴覚と視覚では、感覚器が身体の左右に分かれて存在しているため、それらの左右の感覚器へ異なる刺激を送ることで、立体的な情報提示を可能にしているコンテンツが開発されている。聴覚においては、ヘッドフォンやイヤフォンに対して左右の耳に異なる音を送ることで、立体的な情報提示ができる。また、視覚においては、ヘッドマウントディスプレイに対して左右の目に異なる映像を送ることで、立体的な情報提示ができる。しかしながら、嗅覚に関しては鼻腔が左と右に分かれているにも関わらず、左右の感覚器に別々の刺激を送ることで立体的な情報提示を行うデバイスは開発されていない。ユーザの左右の鼻腔同時に同じ濃度のにおいを噴出することで、臨場感を高めたり、においというチャンネルをユーザ間のコミュニケーションに加えるといった嗅覚デバイスの開発に留まっており、左右の鼻腔に異なる濃度のにおいを送ることで、嗅覚的に

立体感のある演出をするデバイスやコンテンツは、我々の知る限り開発されていない。

本研究の目的は、嗅覚による立体的情報提示を可能にするデバイスを開発することで、リアリティのある演出と表現の幅とを増やすことである。立体的情報提示を可能にする嗅覚デバイスを作成するにあたり、においにおける方向提示がどのくらいの角度精度で可能であるのかを実験し調査した。また、嗅覚デバイスを実際に扱った場合に、映像との組み合わせで使用することが考えられる。そこで、嗅覚のみでバーチャルリアリティを体感する場合と、映像と嗅覚の2つの感覚器を使ってバーチャルリアリティを体感する場合とを比較し、どれほど視覚情報が嗅覚の方向知覚に干渉するかを調査した。

### 2. においや嗅覚に関する既存の研究

本研究に関連する、においや嗅覚に関する既存の研究を調査した。ここでは、嗅覚分離能に関する研究、嗅覚における方向提示に関する研究、嗅覚における方向知覚に関する研究に分けて整理した。

#### 2.1 嗅覚分離能

元木澤によると、におい検知閾値の変動性に考慮しながら、におい検知能の左右差について検討した結果、におい

<sup>1</sup> 宮城大学  
Miyagi University  
a) p1422071@myu.ac.jp  
b) suzu@myu.ac.jp

検知能には左右差が無いことは明らかであると報告されている [1].

また、我々は、身近なおいを用いた嗅覚における方向知覚の実験で、森のにおい、レモンのにおい、オレンジのにおい、ミントのにおい、ピーチのにおい、アルコールのにおいの全てのにおいに関して、左右の鼻腔での正答率の差異がほとんどないことから、におい検知能には左右差が無いことを裏付けられた [2].

## 2.2 嗅覚における方向提示に関する研究

廣瀬らは、匂いのある空間を記録・再生することで嗅覚情報の伝送を行うシステムを検討し、開発した嗅覚ディスプレイによって匂い強度の伝送と空間情報の伝送とがなされていることを確認した。この研究により、におい取得システムとにおいの発生場所である匂い源との距離に応じて、両鼻腔に送るにおいの強度を変えることで、匂い源をユーザに特定させることが可能であることを明らかにした [3].

また、廣瀬らは、ウェアラブル嗅覚デバイスの開発し、そのデバイスの評価実験を行った。この研究では、出力される匂いの強さの変化のパターンを変えることで、匂い源の探索が可能であるかを実験した。その結果、匂い源の特定に成功した。また、匂い源が動く場合の匂い場の提示を行い、匂い源が動きユーザとすれ違う様子を表現することに成功した [4].

## 2.3 嗅覚における方向知覚に関する研究

Mori らは、においの方向を知る神経メカニズムの解明を行った。その結果、右鼻と左鼻とからのにおい入力を比較してにおい源の方向を感知する神経回路が、哺乳類の脳の嗅皮質のなかに備わっていることを明らかにした。この研究により、左右2つの感覚器に入るにおいの濃度の違いからのにおい情報を比較し、におい源の位置情報を得ることがわかった [5].

身近なおいを用いた嗅覚における方向知覚の実験では、においのする空気とおいのしない空気とを片方ずつ左右の鼻腔に送る実験をすることで、においにおける方向提示の可能性を実証した。実験では、実験用嗅覚デバイスを作成し、身近なおいとして、森のにおい、レモンのにおい、オレンジのにおい、ミントのにおい、ピーチのにおい、アルコールのにおい、の6種類のにおいを使用した。その結果、レモンのにおいにおいて、においの出ている方向を男性 80%、女性 78%で認識できることが確認できた [2].

## 3. 嗅覚における方向知覚の角度精度に関する実験

### 3.1 本実験の位置づけ

身近なおいを用いた嗅覚における方向知覚の実験で、左右の2択に対する嗅覚の方向知覚において、レモンのに

おいであれば、男女関係なく約 80%の確率でにおい出ている方向を認識できることがわかった。しかしながら、実際の嗅覚における方向知覚は、左右の鼻腔どちらかにおいを感じているというわけではなく、左右の鼻腔に入るにおいの時間の差であったり、左右の鼻腔で感じたにおいの強度の違いであったりから方向知覚を行っている。方向提示が可能である嗅覚デバイスを作成するにあたり、嗅覚デバイスによってどのくらいの角度まで表現できるかを実験する必要があると考えた。そこで、左右の鼻腔に送る、においの濃度を変えることで方向提示をする嗅覚デバイスを作成し実験を行った。

### 3.2 実験の種類

本実験では、においの強度を変化させるために、においの濃度を変える必要がある。実験を行うにあたり、においの濃度の変化の手段を2種類考えた。エア調節によるにおいの濃度変化を使った実験とにおい自体の濃度変化を使った実験とを行った。

また、どちらの実験についても、被験者ににおいの方向を指してもらった実験方法を行ったため、角度計測方法は変えなかった。実験に使用したにおいについても、どちらの実験も同じものを使用した。

### 3.3 角度計測方法

角度計測方法に関しては、被験者ににおいがしたと思われる方向を指してもらい、その方向の角度を計測する方法をとる。示した方向の先に点を取り、実験後に分度器でそれぞれの点を測ることで計測した。角度の表記方法に関しては、被験者の真左を0度とし、被験者の真右を180度とした(図1)。

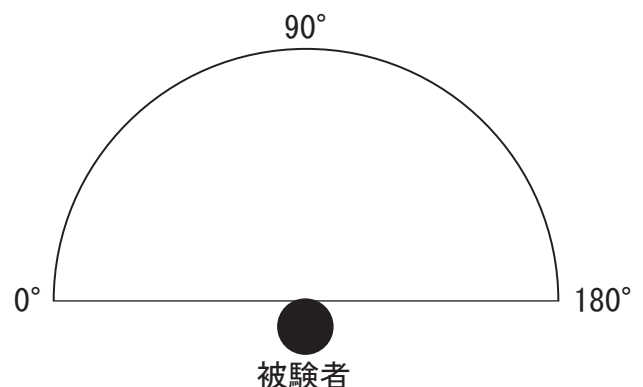


図1 角度の表記方法

Fig. 1 Nonotation of angle.

### 3.4 においの選定

本実験では、身近なにおいを用いた嗅覚における方向知覚の実験で、レモンのおいであれば男女関係なく方向知覚ができるとわかったので、レモンのおいを用いて実験を行った。

### 3.5 エア調節によるにおいの濃度変化を使った実験

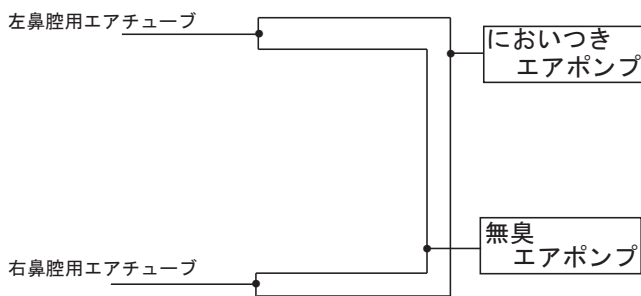
#### 3.5.1 実験用嗅覚デバイス

実験のための嗅覚デバイスを作成した(図2)。デバイスには、エアポンプ水心 SSPP-2S(水作株式会社)2台、二又コック4個、エアチューブ、におい発生装置(図3)を使用した。におい発生装置は、中においを染み込ませた脱脂綿を入れ、エアの吸気と排気が出来るよう2箇所穴を開けた。デバイスは、におい発生装置を装着したエアポンプと、無臭のエアを送り出すエアポンプからエアを出力する。それぞれのエアポンプから出たエアチューブは、途中で二又コックを使い、2本のエアチューブに分岐する。分岐させたそれぞれのエアチューブは2本の左鼻腔用エアチューブと2本の右鼻用エアチューブとにまとめられ、二又コックで合流する。合流地点の二又コックを調整することで、左鼻腔と右鼻腔とに送り出す、においつきエアと無臭エアとの混合の割合を調節する。エアの量は常に一定になるように、無臭エアとにおいつきエアとの量を調節する。

エアの調節は二又コックで調整する。あらかじめ各パターンに応じた二又コックを用意し、それを付け替えることで、どの被験者に対しても同じエアの量で実験できるようにした。

#### 3.5.2 エア出力パターン

エア出力は、次の7パターン(表1)を用いて実験を行った。表の100%はその方向に出力するにおいつきエアが100%で、混合する無臭エアが0%であることを示す。パターン2、パターン3、パターン4、パターン5、パターン6においては、16%ずつにおいの出力量を変えていった。パターン1とパターン7においては、エアポンプの出力の関係上4%のエアを出すことが不可能であるため、片方の



- 二又コック

図2 エア調節可能な嗅覚デバイス

Fig. 2 Odor device which able to adjust air volume.

出力量を0%とした。

表1 各エア出力パターンに対するにおいつきエアの割合

Table 1 Percentage of odor corresponding to each pattern.

	左鼻腔	右鼻腔
パターン1	100%	0%
パターン2	80%	16%
パターン3	64%	32%
パターン4	48%	48%
パターン5	32%	64%
パターン6	16%	80%
パターン7	0%	100%

#### 3.5.3 実験概要

実験は、4名の被験者に調査した。被験者には、2本のエアチューブを左右の鼻腔に同時に挿入してもらい、においの発生源と思われる方向を示してもらい、その角度を記録した。パターン1につき3回の実験を行った。カウンターバランスを考慮するため、各パターンの順番はランダムに設定した。

#### 3.5.4 実験結果

実験結果をまとめたものを表2に示す。各パターンに対して、被験者が指し示した方向の角度の平均を算出した。被験者の真左を0度、真正面を90度、真右を180度とした。

#### 3.5.5 実験考察

実験結果より、各パターンと角度に関しての関係性を見出すことはできなかった。

この実験により、考えられることとしては次の2点が挙げられた。1つ目は問題点として、無臭エアとにおいつきエアとの混合部分に、二又コックを使っているため、出力の多いほうのエアチューブから出力の少ないほうのエアチューブへ逆流した可能性があることである。2つ目は、選択肢のない嗅覚の方向知覚では、正確さがあいまいになると考えられることである。以上の考察を踏まえ、におい

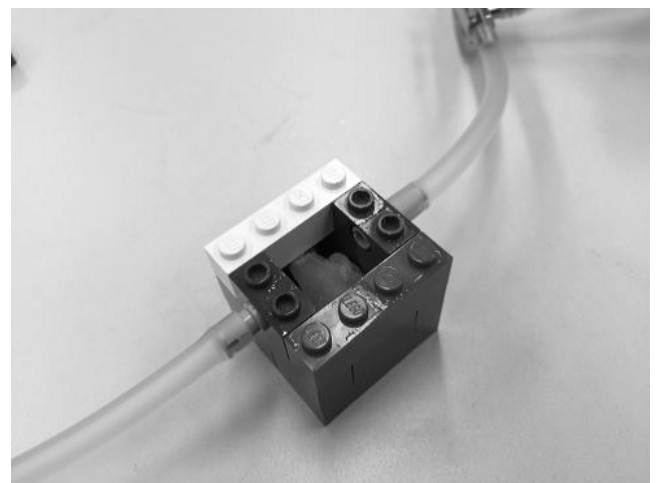


図3 おい発生装置

Fig. 3 Device to generate odor.

表 2 エア調節によるにおいの濃度変化を使った実験の結果

Table 2 Experimental result of directional smelling with changing air concentration.

各パターン	角度
パターン 1	82.50 度
パターン 2	87.67 度
パターン 3	84.25 度
パターン 4	102.42 度
パターン 5	89.17 度
パターン 6	89.25 度
パターン 7	100.00 度

自体の濃度変化を使った実験を行った。

### 3.6 におい自体の濃度変化を使った実験

#### 3.6.1 実験用嗅覚デバイス

実験のための嗅覚デバイスを作成した (図 4)。デバイスには、エアポンプ水心 SSPP-2S (水作株式会社) 2 台、エアチューブ、におい発生装置 (図 3) 2 つを使用した。

デバイスは、2 台のエアポンプを使い、それぞれ左鼻腔用のエアと右鼻腔用のエアとを送り出す。左鼻腔用と右鼻腔用とのそれぞれのエアチューブの途中ににおい発生装置を取り付ける。におい発生装置の中に入れたにおいの濃度を変えることで、におい自体ににおいの強度の変化をもたらす。

#### 3.6.2 においの濃度パターン

本実験では、エア調節によるにおいの濃度変化を使った実験にあわせて、7 パターンに分けて実験を行った。においは常に 2.5ml 使用し、においに水を加えることでその濃度を変化させた。各パターンに対する加えた水の量は表 3 のとおりである。

#### 3.6.3 実験概要

8 名の被験者に実験を行った。被験者には、2 本のエアチューブを左右の鼻腔に同時に挿入してもらい、においの発生源と思われる方向を示してもらい、その角度を記録した。パターン 1 つにつき 3 回の実験を行った。カウンターバランスを考慮して、各パターンの順番はランダムに設定した。

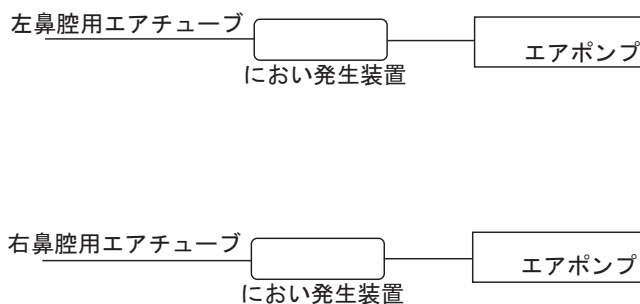


図 4 においの自体の濃度が変更可能な嗅覚デバイス

Fig. 4 Odor device which can be changed odors' concentration.

表 3 各パターンに対する加えた水の量

Table 3 Quantity of water corresponding to each pattern.

	左鼻腔	右鼻腔
パターン 1	0ml	960ml
パターン 2	160ml	800ml
パターン 3	320ml	640ml
パターン 4	480ml	480ml
パターン 5	640ml	320ml
パターン 6	800ml	160ml
パターン 7	960ml	0ml

#### 3.6.4 実験結果

実験結果をまとめたものを表 4 に示す。各パターンに対して、被験者が指し示した方向の角度の平均を算出した。被験者の真左を 0 度、真正面を 90 度、真右を 180 度とした。また、全体の平均値を計算し、体の向きがずれがないか確かめた。

表 4 におい自体の濃度変化を使った実験の結果

Table 4 Experimental result of directional smelling with changing odor concentration.

各パターン	角度
パターン 1	84.00 度
パターン 2	90.92 度
パターン 3	93.75 度
パターン 4	92.58 度
パターン 5	90.83 度
パターン 6	97.42 度
パターン 7	90.13 度
平均	91.38 度

#### 3.6.5 実験考察

実験結果より、においの濃度と方向との関係性は見られなかった。また、体の向きがずれを算出した結果、全体の平均値が 91.375 度のため、体の向きがずれは 1.375 度であった。体の向きがずれを考慮し実験の考察を行ったが、同様に関係性は見られなかった。

人間は、嗅覚における方向知覚において、におい源の位置を特定を、両鼻腔に入力されるにおいの濃度の違いで判断していないと示唆された。

### 3.7 実験のまとめ

両実験での実験考察より、選択肢のない嗅覚の方向知覚では、正確さがあいまいになることが考えられる。このことより、嗅覚における方向知覚において、ユーザににおいの濃度からにおいの発生源を特定させることは難しいことがわかった。

## 4. 映像が嗅覚の方向知覚に及ぼす影響に関する実験

### 4.1 本実験の位置づけ

嗅覚デバイスを使用し、リアリティのある演出と表現の幅を増やすことを考えた場合、映像と組み合わせることが多いと考えられる。しかしながら、映像が嗅覚の方向知覚に及ぼす影響は調査されていない。

そこで、我々が行った、身近なおいを用いた嗅覚における方向知覚の実験と、この実験に映像を加えた方向知覚の実験とを比較することで、映像が嗅覚の方向知覚に及ぼす影響を調査した。

### 4.2 実験用嗅覚デバイス

実験のための嗅覚デバイスを作成した(図5)。デバイスは、身近なおいを用いた嗅覚における方向知覚の実験で使用したものを参考にした。デバイスには、エアポンプ水心 SSPP-2S(水作株式会社)2台、二又コック1個、エアチューブ、におい発生装置(図3)2つを使用した。デバイスは、1台のエアポンプを使い、二又コックで左鼻腔用のエアと右鼻腔用のエアとに分岐させる。左鼻腔用と右鼻腔用とのそれぞれのエアチューブの途中ににおい発生装置を取り付ける。

### 4.3 においの選定

嗅覚のみの方向知覚の実験で高い正答率が出ていることと、男女差がないにおいであることを条件ににおいを選定した。そこで、男女ともに方向知覚が約80%で可能な、レモンのにおいを使用した。

### 4.4 においの出力パターン

本実験は、映像を見せながら、3パターンのにおいの出し方の組み合わせを嗅いでもらった。3つのパターンを表5に示す。

### 4.5 実験用映像

本実験で使用する映像を作成した(図6)。映像は、ヘッドマウントディスプレイで見ることのできる動画を作成し

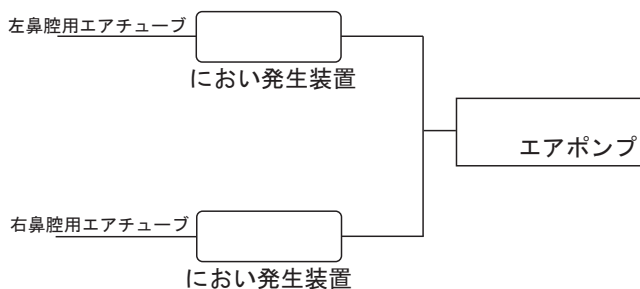


図5 実験用嗅覚デバイス  
 Fig. 5 Odor device.

表5 においの出力パターン

Table 5 Output pattern of odor and air.

	左鼻腔	右鼻腔
パターン1	においつきエア	無臭エア
パターン2	無臭エア	においつきエア
パターン3	においつきエア	においつきエア

た。作成した映像は、箱を開けるとにおい源であるレモンが見えるというものである。映像は、右側ににおい源が見える映像と、左側ににおい源が見える映像との2つを用意した。映像は、被験者がにおい源の位置を認識できるように、におい源のみ描画されるようにし、におい源以外の物体の色は単色にした。

### 4.6 実験概要

作成した実験用嗅覚デバイスと、実験用映像とを使って、嗅覚における方向知覚の実験を行った。実験は被験者18名(20代の男性8名、20代の女性10名)に行ってもらった。実験では、被験者にヘッドマウントディスプレイを装着してもらい、左鼻腔と右鼻腔とにそれぞれのエアチューブを入れてもらった。被験者には、3つのにおいの出力パターンでの方向知覚の実験を右側ににおい源が見える映像と、左側ににおい源が見える映像との2セットをしてもらった。映像の順番とにおいの出力の順番はカウンターバランスを考慮し、ランダムに設定した。被験者には、3つのそれぞれのにおい出力パターンについては説明をせずに、3パターンのにおいの出力方法があるということだけを伝えて実験をした。

被験者には、1セット終わるごとに、3つのにおいの出力パターンのうち、普段嗅いでいるにおいの感覚に近いパターンを、普段の感覚に近いものから順に回答してもらった。最も普段嗅いでいるにおいの感覚に近いものを1位の方向と呼ぶ。

また、脱脂綿に染み込ませたにおいは、0.05 mlにつき1,000秒はにおいの強度が落ちないことが報告されてい

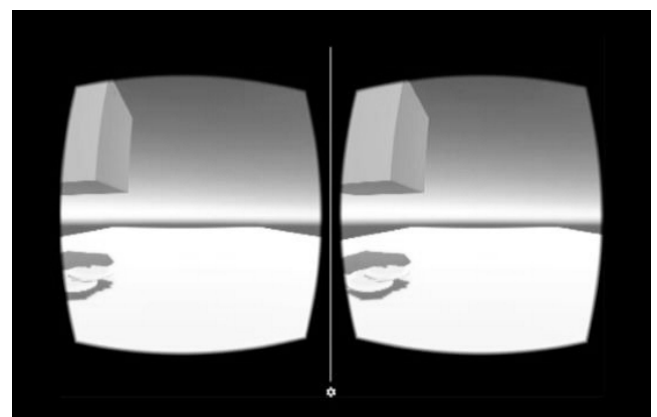


図6 実験用映像

Fig. 6 Video for the experiment.

る [4] ため、被験者が変わるまで交換しないものとし、被験者ごとに新しいものを用意する。

#### 4.7 実験結果

実験結果をまとめたものを表 6 と表 7 とに示す。実験結果では、映像と反対側からにおいが出ているパターンに対しては反、映像と同じ方からにおいが出ているパターンに対しては正、両方からにおいが出ているパターンに対しては両とした。

表 6 より、どのパターンにおいても回答者がいることがわかる。表 7 より、1 位の方向を正の方向に選んでいる人が、男性において 18.75%であるのに対し、女性では 50.00%であることが明らかになった。一方で、1 位の方向を反の方向に選んでいる人が、男性において 50.00%であるのに対し、女性では 25.00%であった。

表 6 左右別と左右合計の回答パターン (人)  
Table 6 Number of people in each case.

	左		右		合計	
	男	女	男	女	男	女
正両反	0	3	0	4	0	7
正反両	1	2	2	1	3	3
両正反	1	2	4	1	5	3
両反正	0	1	0	1	0	2
反正両	1	1	0	2	1	3
反両正	5	1	2	1	7	2

表 7 左右合計の 1 位の方向に対する人数 (人)  
Table 7 The sum of the left and right.

	男	女	合計
正	3	10	13
両	5	5	10
反	8	5	13

#### 4.8 実験考察

実験結果より、嗅覚における方向知覚は映像による影響を受けることが明らかになった。左右合計の 1 位の方向に対する人数について、男女の合計値でみていくと、正、両、反の 3 つの回答の人数にはばらつきが見られなかった。しかしながら、男性、女性別で見えていくと男性の方が、1 位の方向に反を答える人が多かった。この結果より、男性は嗅覚情報よりも視覚情報に頼っているのではないかと示唆される。また、女性は嗅覚情報を認識することに優れているのではないかと考えられる。このことより、男性のほうが映像を伴う嗅覚における方向知覚において、映像による影響を受けやすいと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、嗅覚デバイスを作成するにあたり、においにおける方向提示がどのくらいの角度精度で可能であるのかを調査した。また、嗅覚のみでバーチャルリアリティを体感する場合と、映像と嗅覚の 2 つの感覚器を使ってバーチャルリアリティを体感する場合とを比較し、どれほど視覚情報が嗅覚の方向知覚に干渉するかを調査した。

実験結果より、左右の鼻腔に入るにおいの濃度を変化させることで、におい源の方向を特定させることは難しいことが分かった。また、嗅覚における方向知覚において映像による影響は、男性が特に受けやすいことがわかった。

これらの結果より、嗅覚デバイスに応用する際には、あらかじめ嗅覚デバイスからどのようなパターンのにおいの出し方をするかをユーザに知らせておくことと、提示する方向に選択肢を設けることと、におい源の位置は見せないことが、条件として必要であるとわかった。

本研究では、においの濃度から方向知覚の角度を細分化させることができないことがわかった。しかしながら、左右の鼻腔でにおいを感じる時間の差異からも嗅覚における方向知覚をしていると考えられる。嗅覚による立体的情報提示を可能にするデバイスを開発するには、左右の鼻腔でにおいを感じる時間の差異からの方向知覚に関しても調べる必要がある。

## 参考文献

- [1] 元木澤文昭：においの科学，理工学社 (1998).
- [2] 中村駿也，鈴木優：身近なにおいを用いた嗅覚における方向知覚の実験，エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集. pp.188-191 (2017).
- [3] 谷川智洋，崎川修一朗，広田光一，廣瀬通孝：嗅覚における空間情報の伝送と提示を行うシステムの研究，TVRSJ, Vol.9, No.3. pp.289-298 (2004).
- [4] 横山智史，谷川智洋，広田光一，廣瀬通孝：ウェアラブル嗅覚ディスプレイによる匂い場の生成・提示，TVRSJ, Vol.9, No.3. pp.265-274 (2004).
- [5] Shu Kikuta, Kenichiro Sato, Hideki Kashiwadani, Koichi Tsunoda, Tatsuya Yamasoba and Kensaku Mori.: *Neurons in the Anterior Olfactory Nucleus Pars Externa Detect Right or Left Localization of odor Sources*, PNAS, Vol.107, No.27. pp.12363-12368 (2010).