

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：33919

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650060

研究課題名(和文) 風を用いた触覚提示における方向定位特性の解明

研究課題名(英文) Study on Human Property of Wind Direction Perception

研究代表者

柳田 康幸 (Yanagida, Yasuyuki)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：70230266

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：風を提示する風覚ディスプレイ設計のための基盤として、人間の風向知覚特性の解明を目指し、頭部前面における風向知覚の弁別閾を測定した。多くの風覚ディスプレイで利用されている小型ファンを単発で用いると、風の当たる場所を方向判別の手がかりにしている可能性があるため、新たに人間の頭部全体をカバーする均一な風を用いて方向弁別閾を測定し、比較を行った。その結果、均一な風を提示した時は、局所的な風を提示した場合と比べて方向弁別能力が低下することが示された。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated human property of wind direction perception at the frontal region of the head. We focused on the effect of the width of wind stream on the discrimination performance of wind direction, by comparing just noticeable difference (JND) obtained by localized wind using single compact fan and by uniform wind using fan array. The result showed that subjects could discriminate the wind direction more precisely when localized wind was presented. In addition, the discrimination performance was degraded when using independent fans to provide various wind directions, due to the variation of each fan and slight errors in mounting angle.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ 触覚 風覚 風向 弁別閾

## 1. 研究開始当初の背景

人間への感覚刺激を通して直感的に情報提示を行う研究はバーチャルリアリティなどの分野で続けられており、近年視聴覚以外の感覚への展開が著しい。中でも触覚提示は活発な研究が行われているが、多くは固体への接触によって生じる感覚の再現である。しかしながら、手指による固体への接触は、その物体が手の届く範囲に存在する状況でしか発生しないため、テレビなど従来型の視聴覚コンテンツ鑑賞スタイルとの親和性は高いとは言えない。その点、空気をメディアとする表現は、ただ座っているだけの受動的な体験も可能であり、視聴覚コンテンツと同期して環境を演出する効果が期待される。また、五感のうち嗅覚は空気を媒体とするため、空気流を自在に制御できるようになれば、香り提示技術との相乗効果により、メディア表現の可能性は大きく拡がることが期待される。

申請者はこれまで空気砲を使った香りの局所提示技術の研究を推進し、従来は連続的、拡散的な形態でしか行えなかった香り提示に関して、ユーザにデバイスを装着させることなく時間的・空間的な局所性を持たせることを可能にした。この過程で、香りだけでなく空気流による触覚提示も含めて統一的に扱うことが重要であり、空気を媒体とする情報提示、いわば「空気メディア」の可能性を認識するに至った。風が吹いてくるときに得られる感覚、いわゆる「風覚」は、環境の演出などに有効であると期待される。

風覚ディスプレイは、テーマパークにおけるアトラクション施設の他、これまでに金沢高専、東京農工大学、韓国 POSTECH、米国 Worcester Polytechnic University などにおいていくつかの実装例があるものの、構築されたシステムの性能評価にとどまっており、風覚提示の方法論については系統的な研究がほとんど見られない。そこで本研究では、風覚提示の基礎となる人間の風（空気流）に対する感覚知覚特性、特に空間演出に直結する風の方角知覚特性の系統的な解明に着手する。

## 2. 研究の目的

本研究では、着衣時でもほとんど常時露出している頭部を対象とし、頭部に当たる風の方角知覚特性について実験的に調査する。

本研究の特色は、空気を媒体とする触覚提示において、個別のシステムやインタラクティブ作品の制作という形ではなく、人間の感覚知覚特性の視点から掘り下げ、学術的な観点から系統的に取り組むことである。本研究で調査する人間の風の方角知覚特性自体が人間の感覚知覚特性における新たな知見になると同時に、得られた結果は風覚提示技術における基礎的な設計指針の一部となることが期待される。

研究代表者は、本研究に先立つ予備実験として単純な実験装置を構成し、風の方角知覚に関する基礎実験行って一定の知見を得た。

従来の実験装置は、コンピュータなどの機器の廃熱に利用される 12cm 角のファンを半径 80cm の円弧上に 10 度間隔で並べ、それぞれのファンのオン・オフを制御するものである。恒常法を用い人間の頭部における方向の弁別閾を測定したところ、顔の正面方向を中心とした場合は約 24 度、顔の正面から斜め 30 度を中心とした場合は約 54 度という結果を得た。

しかしながら、これらの実験を通して、実験環境の問題も示唆された。すなわち、予備実験では、1 つのファンが発生する細い風に対する方向弁別を行っており、自然環境で風の中に身を置いている状況を再現しているとは言いがたい。小型のファンが発生する風の幅が頭部サイズより小さい場合、特に斜めから来た風が鼻先に当てるようにすると、わずかなずれによって顔のどちらに風が流れていくかが変化し、主観的な感覚が大きく異なる可能性も考えられる。そこで本研究では、より均一な風の中に身を置いた状況を再現する実験装置を構成し、方向弁別に関するより精度の高い実験を試みる。

## 3. 研究の方法

人間の頭部に対して、任意の方向から均一な風を当てることが可能な実験装置の実現方法を検討し、設計・開発する。理想的には前後左右上下のあらゆる方向から風を提示可能であることが望ましいが、これを実現するためには非常に大がかりな装置と空間が必要になり、申請者の研究環境においては現実的でない。そこで、地表面上にいる人間にとって、水平方向の風が最も重要であることを考慮し、水平方向の風の方角を制御できる装置の構築を行う。提示角度は空間的に離散ではなく連続的に制御可能とし、方向制御が迅速に行えるよう考慮する。実験システムを構築した上で、人間の頭部における風の方角知覚に関する心理物理実験を行い、風の方角知覚に関する弁別閾を算出する。本研究では特に、従来の予備実験において示唆された、単発の小型ファンを用いることに起因する風の局所性による影響を調査する。

本研究ではまず、人間の頭部全体が均一な風の中に置かれるような風源ユニットの構成を検討する。風覚ディスプレイは、特殊性の強い構成要素よりも汎用的な要素を用いた方が設計の自由度が上がると考えられるため、極力市販のファンなど、容易に入手できる部品を組み合わせる構成とする。

次に、風源ユニットを円弧状のレールの上に配置し、円弧の中心に位置する被験者に対して任意の角度から風を送ることが可能なシステムを構築する。この機構に関しては提案者の研究環境で自作することが困難であるため、試作を外部業者に発注する。角度は可動範囲の中で連続的に電動制御可能になるものとし、なおかつ被験者を使った風向弁別実験の際に迅速に風向を設定できるような仕様を

実現する。

構築したシステムを用いて、被験者を用いた風の方角弁別実験を行う。実験を行う際、風による触覚以外の手がかりを遮断する手段を講じる。ただし、視覚を遮断するためアイマスクを用いると、風を感じる顔面の部位が限定されるため、被験者に閉眼での風向判定を依頼する。聴覚に関しては、イヤホンを利用してノイズを与え、風源ユニット移動およびファン駆動の音を検知できないよう配慮する。測定方法は、心理物理学的測定法に従うものとし、所定の処理を行って弁別閾を算出する。実験結果を解析し、実験装置や手続き上の問題がないかどうかをチェックするとともに、検証するパラメータに関する考察を行う。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 風源構成

単発の小型ファンによる風の局所性による影響を排除するため、最初に頭部全体に均一な風を送ることができる風源ユニットの構成について検討した。本研究では、風覚ディスプレイの構成しやすさを勘案し、市販のファンを用いることにした。従来の実験では単発のファンを円弧状のフレームに並べていたが、本研究では同様のファンを組み合わせることでファンアレイを構成した。単発、2×2、3×3のファンアレイによる風速分布を測定し、比較を行った。

単発ファン (Silver Stone 社製 120 mm PC ファン「SST-AP121」) を定格の 12V で駆動した際に生じた風速分布を表 1 に示す。ファンから 80 cm の距離におけるファンの軸と垂直な平面上で、20 cm 四方の範囲内を 5 cm 間隔で測定したものである。表の上下左右は風の進む方向に対応している。中心付近の風邪が強く、端に近づくにつれ弱くなっていることが確認できる。測定範囲の 20 cm 四方の中で、最大風速と最小風速の比は 4.97 であり、均一な風を提示できているとは言いがたい。

表1 単発ファン (SST-AP121)の風速分布(単位:m/s)

	左端	左	中心	右	右端
最上部	0.258	0.350	0.500	0.520	0.422
上部	0.576	0.862	1.102	1.062	0.692
中心	0.672	1.146	1.282	1.196	0.680
下部	0.416	1.176	1.282	1.066	0.582
最下部	0.326	0.540	0.656	0.546	0.346

2×2、3×3に構成したファンアレイを図1に、それぞれにより発生した風速分布を表2、3に示す。

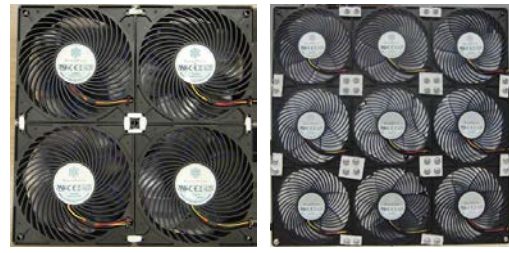


図1 風源構成(左:2×2, 右:3×3)

Table 1 2×2 ファンアレイの風速分布

	左端	左	中心	右	右端
最上部	0.914	1.358	1.116	0.954	0.920
上部	1.080	1.756	1.600	1.482	1.384
中心	1.364	1.862	1.798	1.752	1.452
下部	1.442	1.704	1.720	1.798	1.436
最下部	0.920	1.180	1.342	1.792	1.370

Table 2 3×3 ファンアレイの風速分布

	左端	左	中心	右	右端
最上部	1.658	1.796	1.650	1.662	1.598
上部	1.876	1.820	1.776	1.870	1.848
中心	1.754	1.834	1.930	1.868	1.788
下部	1.904	1.920	1.960	1.940	1.898
最下部	1.704	1.942	1.964	1.892	1.754

表から、最大風速と最小風速の比が 2×2 では 2.03、3×3 では 1.19 となっている。つまり、ファンの構成数が増えるにつれて、風は均一になっていくことがわかる。よって、本研究では、頭部がほぼ収まる 20cm 四方の範囲にほぼ均一な風を提示するために、ファンを図1右のように3×3に組み合わせた風源ユニットを用いる。ユニットのサイズは 360mm × 360mm となる。また、このユニットの中央のファンのみを駆動させれば、過去に行われた実験と同じ単発でのファンによる風提示となる。

##### 4.2 実験システムの構築

前述したファンアレイを搭載し、円弧状のレールを移動することによってさまざまな角度から風を提示できる実験システム (図 3) を構築した。本研究に先行して実施した予備実験では半径 80 cm の円弧状フレームの上に、10 度間隔でファンを 13 個設置した (提示範囲 120 度) が、ファンの個体差や取付角度のずれなどの誤差要因が含まれていた。本研究では、単一の風源ユニットを物理的に移動させることにより、これらの問題の解消を図つ

た. 円弧レールの半径は, 予備実験と同じく 80 cm とした.



図2 実験装置の全体図

移動部を駆動するためのモーターはオリエンタルモーター株式会社のステッピングモーターASC66AK-N5を用いた. 移動部の最大速度は1秒間で約7.6度である.

実験中に頭部位置がずれることを防ぐため, 顎台を用いる. 顎台を装置台に固定すると, モーターの振動が伝わってしまうため, 顎台を固定する台と装置台は別にしてある. また, モーター音で方向を特定できないよう, ソニー株式会社のポータブルオーディオプレイヤーウォークマン(NW-754)と付属のノイズキャンセリング機能付きイヤホン(MDR-NWNC33)を使用してホワイトノイズを流した. また, ファンの移動先を視覚的に判断できないようにする必要があるが, 目隠しなどを使用すると風を受ける面積が減ってしまうため, 使用しない. 被験者に対して, 実験中ずっと目を閉じているよう指示を行った.

### 4.3 風向弁別閾測定実験

#### 4.3.1 実験方法

風向知覚における丁度可知差異(JND)の測定は, 恒常法によって行う. 被験者の正面 0度を標準刺激とし, -30度から+30度まで10度間隔の7つの位置からの風を比較刺激とする. 被験者は風源の正面に座り, 顎台に顔を乗せ, 目を閉じた状態で実験を開始する.

初めに標準刺激を提示する. 次に風源が-30度から+30度のいずれかの位置に移動し, 比較刺激を提示する. 被験者は比較刺激が標準刺激と比べて右から来たか, 左から来たかを答える. 次に風源が最初の位置(0度)に戻り, 標準刺激を提示する. 次に, また風源が-30度から+30度のいずれかの位置に移動し, 比較刺激を提示する. これを7つの位置でそれぞれ10回ずつ比較刺激を提示するまで繰り返す. つまり, 標準刺激と合わせて計140回の刺激が与えられる.

実験を始める前に, モーター音などで方向を判断できないように, 実際に被験者に目を閉じさせてモーターを動かし, 確認する. もし, モーター音が聞こえるようなら, 聞こえ

なくなるまでホワイトノイズの音量を大きくする.

風が提示される時間は4.5秒であり, 次の刺激が提示されるまでの時間は, 風源の移動時間を含めると, 約8秒である. そのため, 1回の実験時間はおよそ30分となる.

20代男性10名に対して, 局所的な風と均一な風による2回の実験を行った. 2回の実験の間はモーターなどの熱を冷ますために, 約20分空けている. よって一人分の実験時間は約1時間20分となる.

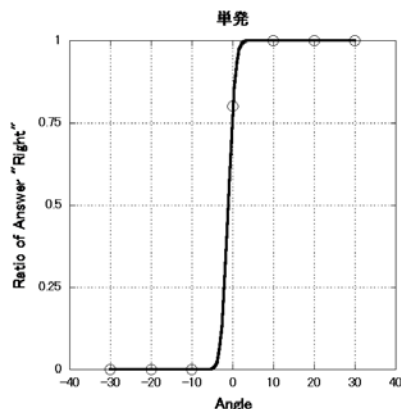


図3 被験者が右と答えた確率(単発ファン)

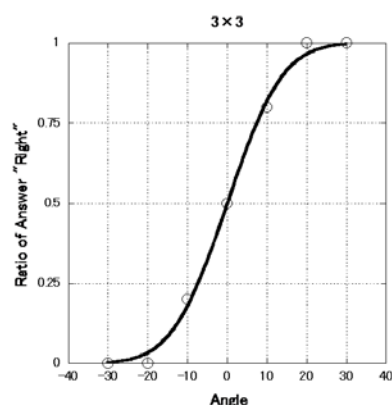


図4 被験者が右と答えた確率(ファンアレイ)

Table 3 被験者毎の JND(度)

被験者	予備実験 (単発)	単発ファン	ファンアレイ
1	7.44	4.75	9.17
2	7.44	0.97	5.47
3	3.37	0.94	7.38
4	6.37	1.00	6.12
5	4.97	1.02	1.01
6	6.56	1.00	3.18
7	5.28	4.19	5.28
8	3.37	1.02	5.16
9	8.21	0.87	5.71
10	7.44	1.02	7.04



#### 4.3.2 実験結果

被験者が「右」と答えた確率と実際の提示角度とのグラフを図3,4に示す. 正規分布の累積分布関数をフィッティングさせ JND を算出した. 図3は単発ファン, 図4はファンアレイに対する1名分の結果を表している. また, 10名の算出した JND と過去に行った実験(単発)での JND を表5に示す.

10名の JND を平均すると単発で 1.68 度, 3×3 で 5.55 度となる. 風を均一にすると JND が増加した. また, 単発では 0 度以外の正答率が 100%であった被験者は 8 名おり, 均一な風では 1 名であった.

この値に有意差があるか確認するために検定を行う. また, 配置誤差の影響を調べるため, 予備実験と本研究の結果も比較する. 予備実験での 10 名の JND の平均は 6.05 度である. 予備実験と本実験での単発, ファンアレイでの JND の平均は図5のようになる. 縦軸は JND(度)である.

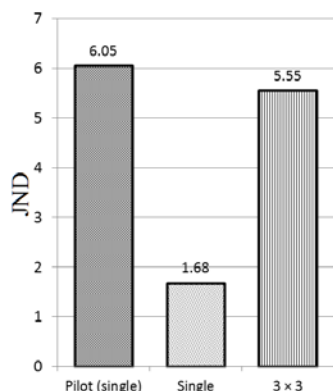


図5 それぞれの条件での JND

本研究と予備実験では被験者が違うため, 対応のない t 検定を用いて検定を行ったところ,  $P(T \leq t)$  の値は両側で 0.00107 となり, 5% 水準で有意差があるという結果になった. また, 単発とファンアレイでは, 被験者が同じなので対応のある t 検定を用いて検定を行ったところ,  $P(T \leq t)$  の値は両側で 0.00001 となり, 5% 水準で有意差があるという結果になった.

#### 4.3.3 考察

得られた JND は単発で 1.68 度, 3×3 で 5.55 度であり, どちらも刺激間隔である 10 度を下回っている. 特に単発の場合, 風源の移動量の最低値である ±10 度での正答率が約 98% であったため, JND がかなり小さくなった可能性がある. そこで, 刺激間隔をこれまでの半分である 5 度に狭めて同様の実験を行ったところ, JND は単発で 2.25 度, 3×3 で 5.17 度と単発では増加, 3×3 では減少した. それぞれ 10 度での結果と比較するために対応のある t 検定を用いて検定を行ったところ, 単発では  $P(T \leq t)$  の値は両側で 0.296 となり, 5% 水準で有意差はなく, 3×3 でも  $P(T \leq t)$  の

値は両側で 0.615 となり, 5% 水準で有意差がないという結果になった. そのため JND の値に問題はなく, これまでの実験の妥当性が示された.

予備実験と本研究で単発のファンにおける結果が異なるのは, 取付け角度の誤差やファンの個体差などがなくなったことによるものだと考えられる. 予備実験では一つ一つのファンを人の手によって設置していたため, どうしても多少の取付け誤差は存在した. また, 7 つのファンを用いていたため, ファンごとの個体差も存在し, それが結果に影響を与えていたと考えられる. 本研究では, 半円状のレールの上を一つの風源ユニットが移動して風を提示するため, 取付け誤差やファンの個体差が生じにくく, 安定した結果が得られたと考えられる.

また, 顔に均一な風を提示した場合, 局所的な風を提示するよりも風向判断がしにくくなることが示された. 被験者 5 は均一な風の方が JND が小さくなっているが, この被験者は単発でも均一な風でも 0 度以外の正答率が 100% であり, 0 度での右と答えた確率が違うためでしかない. 残りの 9 名は全て単発の方が JND は小さくなっている. これは, 局所的な風の場合, 顔のどの点に最初に風が当たったか(強く当たるか)で方向を判断できるが, 均一な風の場合, 顔全体に風が当たるため最初に風が当たった部位がわかりにくくなったためだと考えられる. そのため, 風がどちらに流れていくかなど, 方向判断の仕方を変える被験者も存在した.

被験者間での結果のばらつきを見るために, 標準偏差を求めたところ, 予備実験では 1.64, 本実験の単発では, 1.48, ファンアレイでは 2.25 という結果になった. これは, 局所的な風では風が当たった場所で方向を判断できるが, 均一な風では人によって風の判断の仕方が異なるからだと考えられる. 単発の場合, 全ての被験者が風が当たった場所で左右を判断していたが, ファンアレイでは風がどちらに流れるかで判断していた被験者が 3 名いた. また, 風の範囲が単発より広いので, 首や腕にまで風を感じ, 方向判断の参考にしたと答える被験者も存在した. このように風が均一になると, 個人差が生じやすくなると考えられる.

また, 単発, ファンアレイ共通の個人差として, 被験者の集中度の違いが存在した. 実験中は約 30 分間ずっと目を閉じているため, 10 名×2 種類の全 20 回の実験のうち, 被験者が途中で眠くなったと答えた実験が 15 回であった. また, 敏感な被験者はファンが動くことによって生じるわずかな照明の当たり方の違いからファンが動いたことまではわかると答える被験者が 1 名存在した. また, モーターの振動が伝わってくるものが稀にあると答えた被験者も 2 名存在した. しかし, それによって方向まではわからないと述べている.

#### 4.4 まとめと今後の課題

以上のように、本研究では、風の局所性に起因する風向知覚の問題点にスポットを当て、局所性（風源配置の精度および風速分布）が風向知覚特性に及ぼす影響を調査した。その結果、均一な風の方が局所的な風よりもJNDが大きくなり、風向を判断しにくいことが示された。また、予備実験との結果の比較により、ファンの取付誤差や個体差が風向知覚に大きな影響を与えることがわかった。本研究で行われた実験において、被験者が風向判別に意識を集中させている状態では風向弁別能力は局所的な風提示で2度以下、均一な風の場合でも5~6度と、かなり鋭敏である。しかし、日常生活において我々がそこまで鋭敏に風向を識別しているとは考えにくい。これは、本研究で測定した量が弁別閾であり、方向の絶対知覚ではないことが関係していると考えられる。

本研究では顔の正面を中心とした弁別閾を調査したが、今後さらに、側面や背面を中心とした弁別閾や、風速による影響などを系統的に調査し、人間の風向知覚に関する総合的な知見としてまとめることが課題である。また、本研究では上記のように被験者が風向判別に意識を集中させた状態で行っており、いわば最も鋭敏になる状況で得られた弁別閾の値であると考えられる。これに対し、映像や音を同時に提示するなど、注意が他の要因へ向けられた状況でどの程度弁別能力が保持されるか、あるいは低下するかについても探求していく必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. 中野拓哉, 佐治翔太, 吉岡有哉, 河地祐樹, 柳田康幸: 単発のファンを用いた人の頭部前面における風向知覚特性の測定, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18, No. 1, pp. 37-44, 2013.

[学会発表] (計 10 件)

1. T. Nakano, Y. Yoshioka, and Y. Yanagida: Effects of Wind Source Configuration of Wind Displays on Property of Wind Direction Perception—Width of Wind Velocity Distribution and Accuracy of Wind Source Alignment, Proceedings of The Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2014), pp. 365-370, 2014.
2. 中野拓哉, 吉岡有哉, 柳田康幸: 局所的及び均一な風提示による頭部風向知覚特性の測定 ~刺激間隔を考慮に入れた詳細な丁度可知差異の計測~, 電子情報通信学会技術研究報告, pp. 151-152 (MVE2013-93), 2014.

3. 中野拓哉, 吉岡有哉, 柳田康幸: 頭部に対する均一な風提示による風向知覚特性の測定, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム, 発表番号 A-3-3, pp. 129-133, 2013.
4. 柳田康幸: 空気メディア: 見えずとも感じられるメディア技術, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム, 発表番号 A-2-1, pp. 67-70, 2013.
5. Y. Yoshioka, T. Nakano, and Y. Yanagida: Wind Direction Perception Using a Fan-based Wind Display: Effect of Head Position and Wind Velocity on Discrimination Performance, Joint Virtual Reality Conference of ICAT, EGVE and EuroVR 2012, Industrial and Poster Track, pp. 25-26, 2012.
6. 中野拓哉, 吉岡有哉, 佐藤佑二, 柳田康幸: 頭部に対する均一な風提示を目的とした風源の構成と風速分布の測定, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 221, pp. 123-124 (MVE2012-48), 2012.
7. 中野拓哉, 吉岡有哉, 柳田康幸: 風速の違いが風向知覚に与える影響~頭部刺激を考慮に入れた, 恒常法による丁度可知差異の計測, 日本バーチャルリアリティ学会第17回大会論文集, pp. 115-118, 2012.
8. 中野拓哉, 河地祐樹, 柳田康幸: 風向知覚の角度分解能に対する風速の影響, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 112, pp. 23-28 (HIP2012-37), 2012.
9. T. Nakano, S. Saji, and Y. Yanagida: Indicating Wind Direction Using a Fan-Based Wind Display, Proceedings of EuroHaptics 2012, Vol. II (Pioka Isokoski & Jukka Springare Eds.: Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7283, Springer), pp. 97-102, 2012.
10. 吉岡有哉, 中野拓哉, 柳田康幸: ファンを用いた風覚提示における風向知覚特性に対する頭部刺激部位の影響, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 112, No. 25, pp. 41-42 (MVE2012-5), 2012.

[その他]

ホームページ等

<http://vrlab.meijo-u.ac.jp/>

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

柳田 康幸 (YANAGIDA YASUYUKI)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号: 70230266