

皮膚を局所的に刺激するウェアラブル風覚提示 デバイスの基礎的検討

Basic Study on Wearable Wind Display for Local Skin Stimulation

小島雄一郎¹⁾, 橋本悠希¹⁾, 梶本裕之¹⁾

Yuichiro KOJIMA, Yuki HASHIMOTO and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 電気通信大学研究科 人間コミュニケーション学専攻
(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {kajima, hashimoto, kajimoto}@kaji-lab.jp)

Abstract: We study a device to present wind sensation. Previous wind displays used array of fans that were fixed around the visual display. The distance between the fans and the user is relatively large, making it difficult to display “local” wind, such as someone’s breath on the neck. We propose a local wind display that is a new type of wearable device. Presentation area is a part of skin that is exposed daily, such as face, ear and hand. In this paper we evaluated the sensation threshold of the wind at the different part of our body, focusing on our head. We also measured two point discrimination threshold of the most sensitive area of the head.

Key Words: Wind Sensation, Head, Local Wind Display, Wearable Device

1. はじめに

風の感覚を提示する風覚ディスプレイは従来、没入感向上を目的として提案されており、その多くはユーザの周囲に固定されたファンを設置する事により、視覚ディスプレイと併用して臨場感を増強させる役割を担っていた[1][2]. 一方で澤田らは風の出力のみではなく、入力をも可能とする事で新たなコミュニケーション手法を提案している[3]. また Kulkarniらは二つの風源のみで多角的に風を提示する手法を提案しており、風覚提示に必要な風源の密度を下げる可能性を示唆している[4]. これら従来の風覚システムは風源が固定されているため、特定の場所で体験するように設計されており、ユーザは空間的制約を受けていた。また風源とユーザの距離が比較的離れており、局所的な風を提示する事は難しかった。つまり環境としての風の「方向」を提示する事は出来ても、風源との距離感を風感覚からつかむのは難しかったと言える。

本研究では風源をユーザに装着し、ウェアラブルとすることでユーザの位置に依存しない風を提示し、局所的な風をも提示する事を目的とする。

ウェアラブル感覚提示デバイスでは提示する部位と知覚特性、そして装着するデバイスが密接に関係する。風覚を提示する場合、衣服の上からでは効果が薄いため、皮膚が常に露出している部位である手や頭部が適していると考えられる。手に関して、橋本らは指先という狭い面積に

おける風覚閾値および方向弁別閾について研究している[5]. 一方頭部では広い面積において風覚の検証実験が行われている[6].

本研究では頭部の局所的な部位に着目した。頭部は首や鼻、耳など細かく分かれており、各部位がどのような風覚特性を持っているかは検証されてはいない。もし風覚を敏感に知覚する部位があるとするれば、その部位を中心に刺激する事で風覚を増強させることが可能になると考えられる。またその敏感な部分における風知覚の空間分解能を計測する事によってウェアラブルデバイスにおける適切な風源配置が明らかになるだろう。

本論文ではウェアラブル風覚提示デバイスへと応用するために、詳しく検証されていない頭部へ局所的な風を提示し、風知覚特性を検証する。また風が知覚されやすい部位に関する風覚二点弁別閾を計測する。

2. 第1実験：小型ファンを利用した風覚特性実験

2.1 システム構成

第1実験システム構成を図1に示す。図2に第1実験の回路図を示す。第1実験で用いた風源デバイスを図3示す。第1実験の風源は土台と風源の高さが自由に変更出来る機構となっている。DAボードはInterface社製PCI-3523Aを使用した。小型ファンは直径15mmのシコー社製マイクロジェットファンF1019AP-01YVを使用した。小型ファンへ

流す電流を増幅させるために東芝セミコンダクター社製トランジスタ 2SC1815 による簡単な増幅回路を作成した。DA ボードからの指令電圧によってファンに流れる電流値を変更することができる。

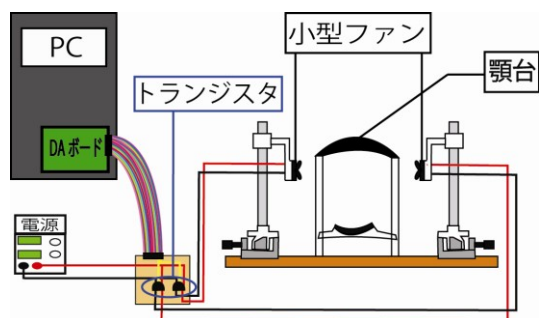


図 1 第 1 実験システム構成

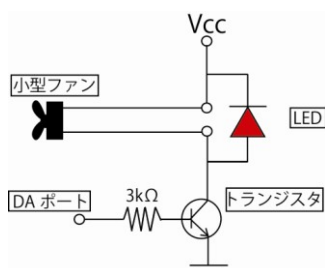


図 2 第 1 実験回路図

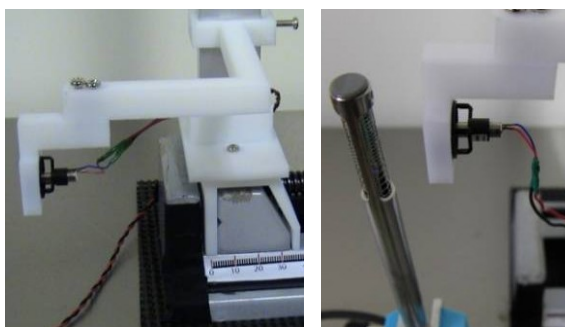


図 3 左図：第 1 実験デバイス
右図：小型ファンの風速計測風景

2.2 風速計測実験

実験に先立ち、基礎実験として小型ファンの風速を計測した。実験デバイスと計測風景を図 3 に示す。風速計測計は日本電計社の ANEMOMASTER6115 を使用した。DA ボードから 0.0~5.0V の電圧出力し、風速計から小型ファンまでの距離を 15mm として計測を行った。室温 27 度、湿度 38~46% の部屋で実験を行った。

図 4 に計測結果を示す。表 1 に測定した風速から得られた近似式を示す。図 4 は縦軸が風速を表し、横軸が電圧を表わしている。各プロットは計測した風速を表し、直線は電圧と風速の関係近似直線を表す。トランジスタのベース・エミッタ間のダイオード特性により、入力電圧に対する風速は非線形な変化を示した。ここでは以下の実験結果

を電圧ではなく風速の単位で行うために結果を 1.0V 未満と、1.0V 以上の二つに分け、それぞれ線形近似する事で風速に換算する簡易式を得た。

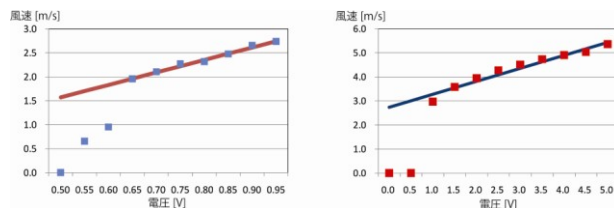


図 4 風速計測結果

表 1 電圧と風速の関係近似式 y:風速 x:電圧

電圧 0.65~0.95V	$y = 2.60x + 0.27$
電圧 1.0~5.0V	$y = 0.54x + 2.73$

2.3 頭部における風覚特性実験

次に、頭部の各部位における風覚特性を検証するために小型ファンを利用した実験を行った。

実験は調整法で行った。男性 3 名(22~23 歳)を被験者とし、被験者の頭部を顎台に固定し、ファンの音からの知覚を防ぐためホワイトノイズを聞かせた状態で実験を行った。予備実験として各部位に風を提示して比較した結果、基準は頬が良いと判断されたため、標準刺激を左頬に提示し、比較刺激を耳や鼻など各部位に提示し、比較刺激が標準刺激と同程度に知覚される風となるまで被験者に風の強さを調整させた。なお今回、耳に関しては 4 つの部位に分けて提示した(図 5)。

比較刺激の初期値として DA ボードから 4.0V の指令値を出力した刺激と 1.0V を出力した刺激を用意し、そこから被験者に調整させた。標準刺激は DA ボードから 2.0V、2.5V、3.0V の 3 つの電圧を出力したものを用意し、ランダムにして提示した。また比較刺激を提示する部位の順番もランダムとした。皮膚と風源との距離は風速計測実験と同じ 15mm とした。小型ファンは 1s 周期の正弦波信号で駆動させた。室温 26 度、湿度 38~40% の部屋で実験を行った。

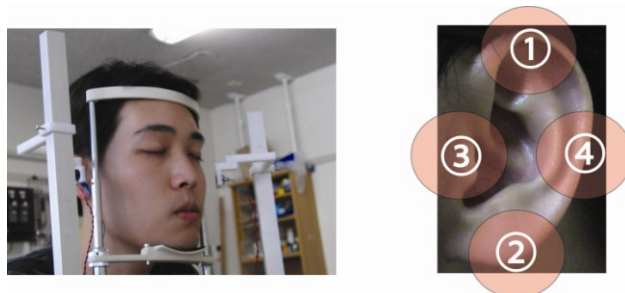


図 5 左図：第 1 実験風景

右図：風を当てた部位 ①耳上 ②耳下 ③耳前 ④耳後

第 1 実験の結果を図 6 に示す。横軸は各部位を表し、縦

軸は標準刺激と比較刺激との風覚比を表す。なお比の計算は、前節の近似式によって駆動電圧を風速に変換したうえでやっている。図 6 より、最も風を敏感に感じる部位は耳前であった。また、全被験者において耳周辺は風覚が敏感という傾向があった。この結果から耳への風覚提示が有用であると考えられる。他には眉毛が風を敏感に感じる傾向も見ることが出来た。掌や口については風を感じやすい、感じにくいという意見で分かれた。掌や口の上部は汗をかきやすい部位なので、水分が影響したのではないかと考えられる。

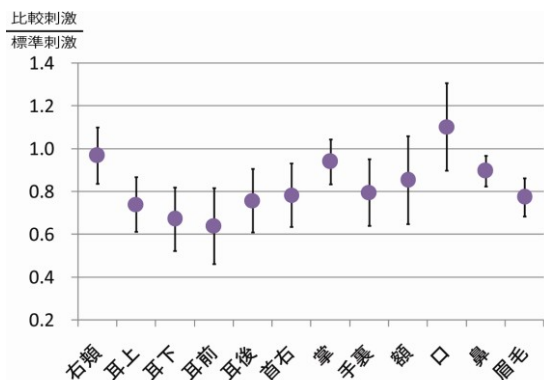


図 6 第 1 実験結果

3. 第 2 実験：スピーカを利用した風覚二点弁別実験

第 2 実験では、第 1 実験で風覚に敏感と判明した耳における風覚二点弁別閾を計測した。

二点弁別閾の計測では狭い断面積の提示装置が必要となる。また今後のウェアラブルデバイスへの応用を考慮すると、風源の音は小さいことが望ましい。この要求を満たすものとしてエアコンプレッサとチューブの組み合わせが考えられるが、コンプレッサは今後のウェアラブルデバイスとして応用する事を考えると大がかりである。また、小型ファンは回転音大きいという問題がある。大型ファンの中には軸を工夫することによって静音化を図ったものも存在するが、やはり大型化の問題が生じてしまう。

そこで本実験のために、直動アクチュエータであるスピーカを利用した風提示装置を新たに考案した。スピーカはファンと比べて小型化、軽量化、静音化が期待される。

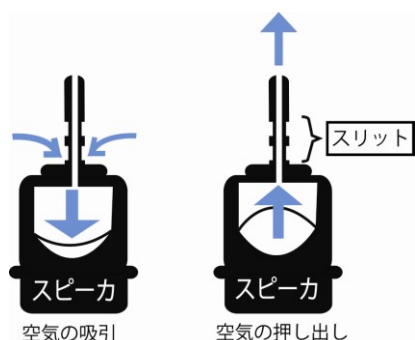


図 7 スピーカを利用した風提示の原理

本実験に用いたスピーカ駆動による風提示装置では、通風用チューブのスピーカにスリット機構を設けた。空気噴流の非線形性により、吸引時にはほとんどの空気がスリットから取り込まれ、射出時は大部分がチューブ先端から射出される(図 7)。この簡便な機構により、弁を用いることなく安定した風圧提示を可能とした。

3.1 予備実験：風速分布計測

図 8 に製作した風提示デバイスを示す。スピーカは Aura sound 社製の NSW2-326-8A を使用した。アンプには、ラステームシステムズ社製のデジタルアンプ RSDA202 を使用し、チューブはゴム製チューブを使用し、チューブの先に口径 5mm の金属製ホース口を取り付けた。

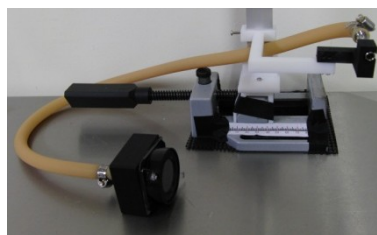


図 8 スピーカを利用した風提示デバイス

第 2 実験の予備実験として、距離に応じた風の広がりを見計測した。計測の様子を図 9 に示す。システム構成は第 1 実験におけるトランジスタと小型ファンを、オーディオ用アンプとスピーカに変えたものである。ハイトゲージに風速計を取り付け、風源の中心から高さを 2mm ずつ上げていった。密閉された部屋で実験を行い、第 1 実験と同様の風速計を利用した。室温は 28 度、湿度は 42~50%だった。送風の途切れをなくするためスピーカの周波数を 400Hz として実験を行った。

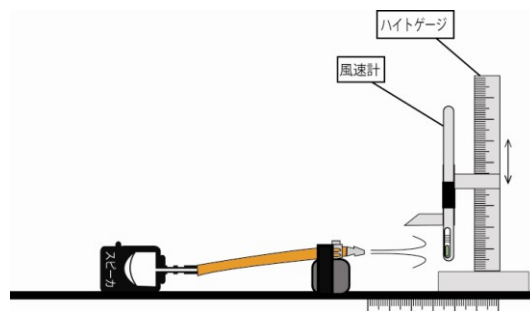


図 9 スピーカ駆動による風速計測図

計測結果を図 10 に示す。縦軸は風速を表わし、横軸は風源を中心として垂直方向に移動させた場合の距離を表している。橋本らの実験結果[5]では、指先において風覚を知覚する閾値が 0.51m/s となっていたため、風速が 0.51m/s 以上の場合を拡散閾値と考える。風源から 25mm 以内の距離において、8mm 移動させた場合に風速が 0.5m/s 以内となっていることから風が広がらず、局所的な風提示が可能となっていることが分かる。

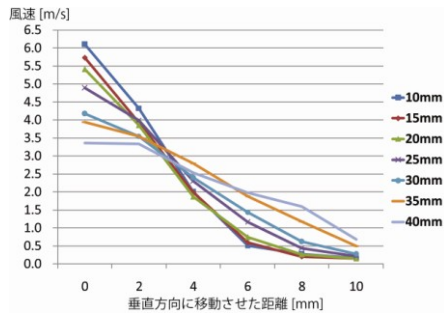


図 10 スピーカ駆動による基礎実験

3.2 風覚二点弁別閾検証実験

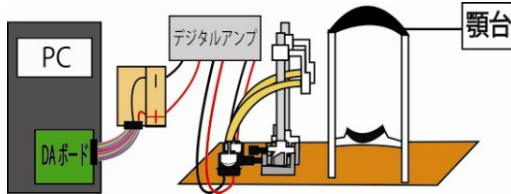


図 11 第2実験システム構成

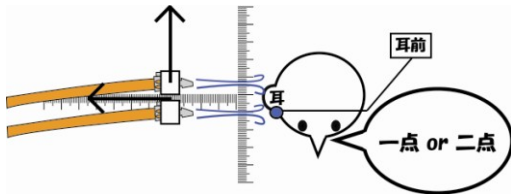


図 12 第2実験方法

第2実験のシステム構成を図11に示す。第2実験は男性4名(22~23歳)を被験者として実験を行った。顎台に顔面を固定させ、第1実験で最も敏感だった耳前を一つの風源の目的箇所とし、もう一つの風源を動かすことで風源二点間を広げていき計測を行った。初めに耳前へ1秒風を提示し、その後もう一つの風源から1秒風を提示した。被験者に2つの風源を比較させ、別の風源だと回答した距離を閾値とした(図12)。400Hzでスピーカを駆動させた。風源の初期二点間距離はホース口の形状上9mmとして実験を行った。耳と皮膚との距離は、風速を計測した基礎実験の距離では二点と容易に弁別されてしまったため、40mm~140mmとして実験を行った。部屋の温度は27度、湿度は30~32%だった。

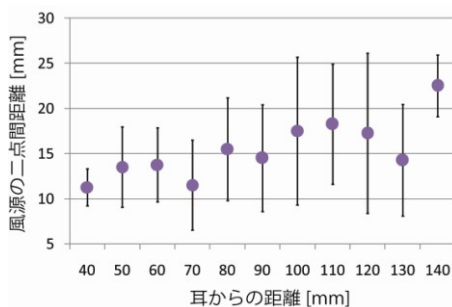


図 13 第2実験結果

図13に第2実験結果を示す。縦軸は風源の二点間距離

を表し、横軸は耳からの距離を表す。

全被験者の平均を見ると、全体的には耳と風源との距離に比例して二点弁別閾が上がっている傾向ではあるが、不規則な距離で二点弁別閾が下がった。これは耳の形状に依存した結果だと考えられる。実際内観報告では耳の上部に風が当たると弁別しやすいという意見や、風が耳の奥の部分にまで達した場合弁別しやすくなるとの意見があった。

耳は音の周波数知覚と音源知覚を目的として進化したため、複雑な形状となっている。風が耳に提示された場合、耳の形状の複雑さゆえに風が様々な方向に分断、発散され、通常の皮膚における二点弁別とは異なる結果になったと考えられる。

第2実験では風源の口径が5mmであり、風源二点間距離が最も狭くても9mmだったことが結果に強く結び付いていると考えられる。ウェアラブルデバイスへ応用する場合風源の配置密度が非常に重要となるため、風源の口径をさらに小さくした上で耳における風覚知覚特性、風覚二点弁別閾を検証する必要がある。

4. 終わりに

本研究ではウェアラブル風覚提示デバイスの基礎的検討として、常に露出している部位である手や顔における基礎的な風覚特性実験を行い、耳周辺が風を敏感に感じるという実験結果を得た。また、耳における二点弁別閾実験を行い、耳の風覚弁別能力をある程度把握することができた。今後は耳周辺に絞った風覚特性実験を行った上で実験的なウェアラブルデバイスを製作する。

参考文献

- [1] 小坂, 宮下, 服部: 没入型三次元風覚ディスプレイのためのコンテンツ開発. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.12, No.3, pp.315-321, 2007.
- [2] 水口: 周辺情報の風覚化によるコンテンツ閲覧支援, 日本データベース学会論文誌, Vol.6, No.1, pp.117-120, 2007
- [3] 澤田, 淡路, 森下, 古川, 有賀, 木村, 藤井, 武市, 清水, 井田, 新居, 常盤, 杉本, 稲見: ビュー・ビュー・View: 風を情報媒体とするインタフェース, WISS2007.
- [4] Kulkarni, Minor, Deaver, Pardyjak: Output Feedback Control of Wind Display in a Virtual Environment, 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation Roma, Italy, 10-14 April 2007
- [5] 橋本, 今枝: 人間の指先における微風の知覚特性に関する研究, 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, Vol. 106, No.91 pp. 35-40, 2006.
- [6] 嘉重, 橋本: 顔付近における風覚の特性と移動感覚に関する研究, 大阪工業大学 2007 年度卒業論文