

# 吸引圧触覚提示装置を内蔵した HMD の開発

亀岡嵩幸<sup>†1</sup> 今悠気<sup>†1</sup> 梶本裕之<sup>†1</sup>

**概要:** VR 空間内にある物体に対する触覚提示手法は指先への提示を中心として多数提案されている。しかし多くの手法では、着脱の手間や指の動きを妨げてしまうなどの問題点がある。そこで本研究では、空気吸引刺激装置を HMD に内蔵し、指先の感覚を目元周辺へ提示することでこれらの問題を解決する手法を提案する。本稿では目元周辺への吸引刺激を行うために有効な吸引径と吸引圧について予備的な調査を行った。

## Development of HMD with built-in suction pressure haptic presentation device

TAKAYUKI KAMEOKA<sup>†1</sup> YUKI KON<sup>†1</sup> HIROYUKI KAJIMOTO<sup>†1</sup>

**Abstract:** Many tactile presentation methods for VR have been proposed, especially for fingertips. However, they typically become cumbersome and free movement of fingers is hindered. In this study, we solve these problems by incorporating an air suction stimulator into the HMD and presenting the sensation of the fingertip to the periphery of the eyes. In this paper, a preliminary investigation was made on the effective suction diameter and suction pressure for stimulating suction around the eyes.

### 1. はじめに

近年、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の普及が著しく、低コスト化も相まって幅広い分野において使用されている。また、HMD の普及に伴いバーチャルリアリティ (VR) 環境をより没入感を伴って感じられるように視覚情報に触覚情報を付与する研究が数多く行われている。ウェアラブルな触覚提示に関しては Pacchierotti によるレビューがある [1]。

しかしながらこれまでに提案された装着型のデバイスは装着の煩雑さ、各指に装着した場合に装置同士が干渉し、自由な動きを妨げるという問題を持っている。

このような問題を解決するために VR 空間で指や手に生じる触覚を直接指や手に提示するのではなく、体の他の部位に提示する提案が行われている。こうした異部位への触覚提示は感覚義手の研究では一般的な方法であり、腕や肩に振動子を配置する試みは数多く存在する。VR 環境への適用としては例えば、空気圧によりピンを押し出し、触覚提示を行う装置を用いて手を受けた触覚を足裏へ提示する研究などが行われており、これにより手にデバイスを装着する事無く触覚が提示できる可能性が示唆されている [2]。

こうした手掌部以外への触覚提示として HMD への触覚提示装置の内蔵が有望である。HMD は現在のところ多くの VR アプリケーションが装着を前提としているため、そこに触覚提示装置を組み込めば追加の装着が不要となるためである。Gugenheimer らは HMD にジャイロスコープを

組み込むことでユーザーの頭に力覚を提示した [3]。Ranasinghe らは HMD に空冷ファンとペルチェ素子を取り付け、VR 空間での風と温感を提示した [4]。しかし、これらのデバイスは HMD が大型化し体験を阻害する可能性があり、重量も増すことから長時間の体験に適さない懸念がある。Peiris らによる ThermoVR は HMD の内側にペルチェ素子および振動子を組み込み、VR 空間内での触覚提示を行ったものである [5]。しかし以上の提案の多くは環境情報を提示するものであり、ユーザーの手掌部で受け取る触覚情報を HMD で提示するという観点では研究されていない。また提示される触覚は振動的あるいは瞬間的なものであり、圧覚のように定常的な触覚の提示は難しかった。

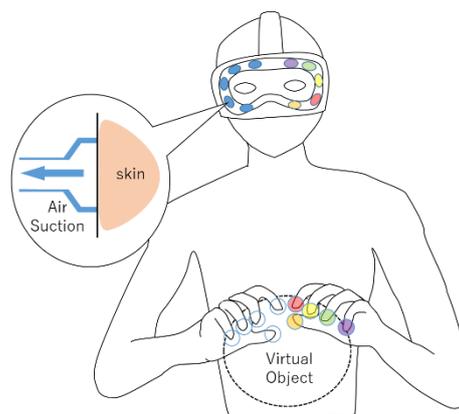


図 1 吸引刺激内蔵型 HMD イメージ

<sup>†1</sup> 電気通信大学  
The University of Electro-Communications

本研究では HMD に空気吸引刺激装置を組み込むことで軽量かつ定常的な触覚提示を行えるデバイスを提案する(図 1)。空気アクチュエータを用いて定常的な力の情報を提示する研究として HangerOVER [6]が存在する。HangerOVER が頭部全体に強い擬似力覚を提示することを主眼としているのに対し、本研究は複数指に対応するよう局所的な圧迫感の提示を行う。

空気圧による圧迫感の提示は皮膚付近に比較的小型の装置で強い力を提示できるという利点があるが、一方で HMD に使用する場合には HMD 自体が動いてしまうという欠点がある。これに対して牧野らによって提案された吸引圧を用いた提示手法を用いることで [7], HMD が動いてしまう問題を解決することができる。

本稿では HMD 装着時に接触する目元周辺部においてどのような吸引径と吸引圧が触覚提示に適しているかを予備的に調査した。

## 2. 実験

### 2.1 実験装置

吸引刺激を皮膚に提示するために図 2 のような装置を作成した。この装置はアクリルとゲルシートによって構成される吸引接触部と吸引を行う注射器、吸引中の気圧を計測する気圧センサ (MIS-2503-015G)、気圧センサの値を取得するマイコン (ESP-WROOM-32) により構成される。図 3 に装置の概略図を示す。



図 2 吸引刺激装置

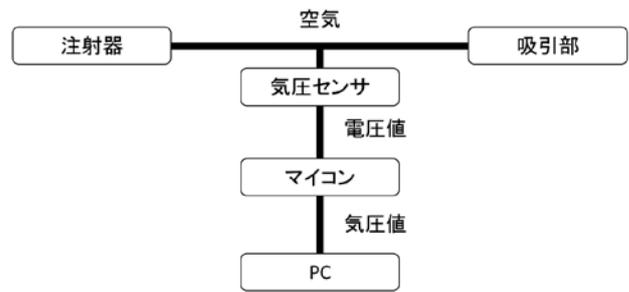


図 3 吸引刺激装置概略図

本装置は吸引部の吸引径を変更できるようになっている(図 4)。今回は吸引は実験者の手でを行い、気圧センサの値を見ながら目標吸引圧に達するように注射器をなるべく素早く引いた。今回の実験では引く速度は統制しなかった。



図 4 吸引径 (右から直径 4,8,12,16,20 mm)

### 2.2 実験方法と結果

吸引触覚の感度を調べる予備的な検討として次のような実験を行った。まず被験者に吸引刺激装置を目の下(眉の上)に押し付けてもらう(図 5)。次に吸引刺激を断続的に 5 回行う。吸引刺激を提示する際被験者には目を閉じてもらった。その後被験者に吸引刺激を感じたかどうかを質問し、感じた場合には刺激の心地よさを 5 段階リッカードスケールで解答させた (1 が心地よくない, 5 が心地よい)。吸引のパターンは吸引径が直径 4,8,12,16,20 mm の 5 種類、吸引圧が -200,-400,-600hPa の 3 種類を用意し、それぞれの組み合わせで計 15 パターンをランダムに提示した。その後、眉の上に対しても同様の実験を行った。



図 5 吸引部位 (左: 目の下, 右: 眉の上)

被験者は 3 名 (男性 2 名, 女性 1 名, 22 歳) であった。表 1 および表 2 に各条件における回答の中央値をのせるた

だし3名中2名以上が何も感じなかった場合は空欄としており、2名以上が感じた場合にその中央値を掲載している。

表 1 吸引刺激の心地よさ (目の下)

中央値	吸引径/mm					
	目の下	4	8	12	16	20
	-200	1	1	4	4	4
気圧/hPa	-400		4	4	3	2
	-600	2.5	3	3	2	1

表 2 吸引刺激の心地よさ (眉の上)

中央値	吸引径/mm					
	眉の上	4	8	12	16	20
	-200		1	2	3	3
気圧/hPa	-400		2	3	3	3
	-600		2	4	3	2

表 1 より目の下への吸引刺激の場合最も心地よい刺激パターンは吸引径 8 mm, 気圧-400hPa, 吸引径 12 mm, 気圧-400hPa, 吸引径 12 mm, 気圧-200hPa, 吸引径 16 mm, 気圧-200hPa, 吸引径 20 mm, 気圧-200hPa の 5 種類であった。表 2 より眉の上への吸引刺激提示の場合最も心地よい刺激パターンは吸引径 12 mm, 吸引圧-600hPa であった。

### 3. 考察

実験結果より吸引部位によって最適な吸引径と吸引圧が異なることがわかった。原因として目の下と眉の上では皮膚の柔らかさが異なるため吸引したときに変形する皮膚の量が異なることが考えられる。すなわち目の下のほうが眉の上と比較して柔らかいため皮膚の変形量が大きく、小さい吸引径および低い吸引圧でも触覚を感じられると考えられる。目の下は全体的に評価の高かった項目が多かった理由も同様であると考えられる。また眉の上で吸引径 4 mm では触覚を感じるのが難しかった。目の下でもわずかな触覚しか得られなかったと被験者からコメントを受けた。このことより吸引刺激に最低限必要な吸引径が存在することが推察される。

### 4. おわりに

本研究では HMD 内部に空気吸引刺激装置を内蔵することで HMD のみで視覚提示と触覚提示の両方を可能とするインタフェース開発を目指し、目元周辺への吸引刺激に必要な吸引径と吸引圧について予備的な検証を行った。その結果吸引部位によって適切な吸引径と吸引圧は異なり、皮膚の柔らかい目の下のほうが小さい吸引径と低い吸引圧で触覚提示が可能であることが分かった。

空気吸引刺激を行っている牧野らの先行研究では掌への吸引刺激を行っており、掌への吸引を小さな多点で行うことで圧迫感に似た触覚が得られると報告している。これは吸引時の皮膚の歪エネルギー分布と圧迫時の歪エネルギー分布が近いためにおこる錯覚と考察されているが、本稿における実験では現在のところそのような圧覚を感じる被験者はいなかった。今回の実験で用いた吸引径が大きかった

可能性があるため、今後の研究では多点での吸引と組み合わせることで吸引と圧覚の触覚提示を行うことでより多くの感覚を提示できないか検討する。また、吸引径の形状を円形以外のものにする事でより複雑な触覚を提示できないか検討する。

### 参考文献

- [1] C. Pacchierotti, S. Sinclair, M. Solazzi, A. Frisoli, V. Hayward and D. Prattichizzo, "Wearable Haptic Systems for the Fingertip and the Hand: Taxonomy, Review, and Perspectives," in *IEEE Trans. Haptics*, 2017.
- [2] 岡野, 日岐, 広田, 野嶋, 北崎, 池井, "空気圧駆動型デバイスを用いた足裏への触覚提示による物体の位置認識," 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2016.
- [3] J. Gugenheimer, D. Wolf, E. R. Eiriksson, P. Maes and E. Rukzio, "GyroVR: Simulating Inertia in Virtual Reality using Head Worn Flywheels," in *UIST*, 2016.
- [4] N. Ranasinghe, P. Jain, S. Karwita, D. Tolley and E. Yi-Luen Do, "Ambiotherm: Enhancing Sense of Presence in Virtual Reality by Simulating Real-World Environmental Conditions," in *CHI*, 2017.
- [5] R. L. Peiris, W. Peng, Z. Chen, L. Chan and K. Minamizawa, "ThermoVR: Exploring Integrated Thermal Haptic Feedback with Head Mounted Displays," in *CHI*, 2017.
- [6] Y. Kon, T. Nakamura and H. Kajimoto, "HangerOVER: HMD-Embedded Haptics Display With Hanger Reflex," in *ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies*, 2017.
- [7] Y. Makino, N. Asamura and H. Shinoda, "Multi primitive tactile display based on suction pressure control," in *Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 2004.