



「髪よ！あれを砕けっ！」

“Hair! Smash it!”

田遠景躍¹⁾, 熱田悠馬¹⁾, 黒巢花梨¹⁾,
中村美咲¹⁾, 山形麻菜¹⁾, 北尾美結¹⁾,

Keiya DENDO, Yuuma ATSUTA, Karin KUROSU
Misaki NAKAMURA, Mana YAMAGATA, and Miyu KITAO

1) 青山学院大学 理工学部 情報テクノロジー学科 (〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1)

概要：本企画は、VR 技術を活用して「髪の毛を自在に操作する感覚」を再現し、提供するものである。HMD によって視覚的に髪の毛の動きを体感しながら、髪の毛を動かすことによって生じる頭皮への刺激を頭皮の錯覚を利用したヘルメット型デバイスで再現することで、現実には不可能な髪の毛を自在に操作する感覚を仮想空間で体験できる。髪の毛を自由に操作する感覚を通じて、ユーザに身体的・心理的な変化を促し、没入感の高い新たな身体体験を実現することを目指す。

キーワード：頭皮の錯覚, 触手感, 仮想空間, 身体体験

1. 企画概要

日常生活において、人はさまざまな動作を「身体の一部を動かす」ことで行っている。しかし、自身の髪の毛を自在に動かすことはできない。一例としてアニメーション作品である「葬送のフリーレン」では、魔法の髪の毛を持ったゼンゼというキャラクターが自身の長い髪の毛を触手のように操り他キャラクターと戦闘するシーンが見られる。仮に、アニメーションの世界のように、髪の毛を手のように扱うことができたとしたら、どのような感覚になるのだろうか。このような非現実的な行為への関心から、我々は髪の毛を触手のように自在に操る感覚を仮想空間上で実現することを目的とする。

髪の毛を自在に操る感覚を提供する上で、自身が長い髪の毛を有している感覚と、長い髪の毛を操作した際に生じる重さや動作感覚を実感できることが重要であると考えられる。そこで本企画では、HMD による髪の毛の動きの視覚提示と、頭皮への力覚フィードバックを同期させることで、髪の毛を操作する感覚のリアリティを高めることを目指す。また、髪の毛を伸ばした経験のない人に対しても、頭皮への刺激によって長い髪の毛を持つ感覚を再現し、髪の毛の重さや動かす感覚を仮想空間内で体験できるようにする。

髪の毛に対して変化を与える研究は複数存在する。Muehlhaus らや Direk らは髪の毛をタッチインタフェースおよび出力媒体として利用することを提案している[1, 2]。Ziyan Wang らは 3D による髪の毛の複雑な形状や動きを高

精度に再現する手法を提案している[3]。また、Shao-Yu らは頭部に装着する 360 度の振動モーター配列を用いた振動ヘッドバンドを提案し、頭の周囲に錯覚的な触覚運動を生み出す技術を提案している[4]。しかし、髪の毛の形状を変化させることや、髪の毛を操作する体験を提供する方法、頭皮への力覚フィードバックによって髪の毛の感覚を再現することについては、これまでの VR 体験の中では議論されていない。

この体験では、現実では不可能である「髪の毛を自在に操る感覚」を実現する。また、ヘルメット型デバイスによる頭皮への圧力刺激の力覚フィードバックを用いることで、ユーザの髪型に左右されずに、髪の毛を自在に操る感覚の体験を可能とする。ゆえに、本体験で提案するアイデアは、仮想空間における没入感を高める手段となるだけでなく、髪の毛を使ったインタフェースの実現に向けて寄与するものである。

2. 企画目的

髪の毛を操作した際に感じる重さや動作感覚は、髪の毛を通じて頭皮に対してかかる力として実感できると考えられる。しかし、体験中は仮想空間内で髪の毛の長さや重さが増えること、体験者によってヘアスタイルは異なることから、これらの制約を考慮しながら、頭皮に対してかかる力を擬似的に表現できる仕組みが必要となる。そこで本企画では、髪の毛を操作した際に頭皮にかかる力を、ヘルメット型デバイスを介した触覚刺激によって擬似的に表現することを考える。視覚的に髪の毛を操作

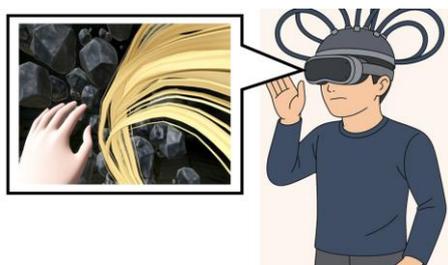


図 1: 体験イメージ

する感覚に加えて、頭部への触覚的フィードバックがあることによって、髪に対して動作が発生している感覚を実感しやすく、自ら髪を操作している感覚が高まることで期待できる。体験イメージを図 1 に示す。

提案システムでは、ユーザは VR 空間内で手の動きによって指示を出すことで髪の毛を自在に操作し、岩を砕くという状況設定で、髪の毛の動きとそれに伴う頭皮への刺激、衝撃を視覚と触覚を用いて再現する。その際、髪の毛が浮かぶ、髪の毛がある方向に引かれる。操作した髪の毛が物体（岩石）と衝突するという 3 つのシチュエーションにおいて、映像と同期した頭皮へ局所的な圧力刺激をヘルメット型デバイスで与えることで、髪の毛を操作する感覚を提示する。

本体験では、視覚的な情報と頭皮に与える刺激が同期して提供される。そのため、ユーザは普段は味わえない髪の毛を浮かび上がらせて操作する感覚を体験できる。

3. システム構成・使用機材

3.1 システム構成

本企画では髪の毛を自在に操る感覚を再現するため、映像や音を提供するソフトウェアとそれに連動して頭皮に触覚刺激を提供するヘルメット型のデバイスを作成する。図 2 にシステム構成を示す。体験時にユーザは HMD とイヤホン、ヘルメット型デバイスを装着し、HMD からは洞窟の奥から飛んでくる岩を自身の髪の毛で砕くアプリケーションの映像、イヤホンからはその音声、ヘルメット型デバイスは髪が動く映像に同期した圧力フィードバックを提供するために可動式の棒状の突起が備わっているほか、岩を砕いた時の衝撃を表現するために振動子が搭載されている。

3.1.1 ヘルメット型デバイス

図 3 にヘルメット型デバイスの全体像、図 4 に作成するデバイスを内側から見た際の想定イメージと断面図を示す。デバイスは 3 層構造であり、第 1 層と第 3 層は固定されており、第 2 層は可動式となっている。頭皮に最も近い第 1 層は薄いゴム被膜でできており、振動子を配置している。第 2 層は柔らかいゴム被膜で構成される層であり、第 1 層に向かって頭皮に対して垂直になるよう接触面積 9.8mm^2 の木の棒を等間隔で複数配置されている。第 3 層はヘルメットの外側の部分にあたり、固いプラスチックの材質で構成されている。本デバイスでは、空気圧を利用して第 2 層を第 1 層側（頭皮の方向）へ押し出すことによって、頭皮に対するフィードバックを実現する。第 2 層と

第 3 層の間には空気袋があり、ヘルメット型デバイスの外部にある精密バルーンポンプからパイプを通じて空気量を制御することで伸縮を制御できる。映像に併せてバルーンポンプで空気をいれると空気袋が膨らみ、第 2 層が部分的に 1~5 ミリ程度押し出され、第 1 層を挟んで押し出されたブロックの木の棒によって頭皮が刺激される。この仕組みによって第 2 層と第 3 層の間の幅を動的に変えることで頭皮へのフィードバックを実現する。本デバイスではこのフィードバックを頭部の部位ごとにできるようにするために、第 2 層と第 3 層の間に仕切りを設けている。図 5 の仕切り①に示すように

頭皮を前頭部、頭頂部、左側頭部、右側頭部、後頭部の 5 ブロックに分け、さらに図 5 中の仕切り②で示すように 4 分割している。その仕切りの間を埋めるように空気袋を配置することで、部位ごとの伸縮制御を実現できるようにしている。規定量の空気が入らないようにメーター付きの精密バルーンポンプを使用し、最大量を超えないように手動で制御することで安全を確保する。

本体験では、突起物を利用して頭部に対する押し刺激を提供することから安全性を担保することが重要である。安全性を担保するために、ヘルメットの内側のサイズは余裕を持って設計しており、体験時に棒が頭皮に触れる程度のフィードバックとする。また規定量の空気が入らないようにメーター付きの精密バルーンポンプを使用し、最大量を超えないように手動で制御することで安全を確保する。体験時は頭皮部に触覚フィードバックを提供するものであることを事前に説明して了解いただいたうえでご参加頂く。

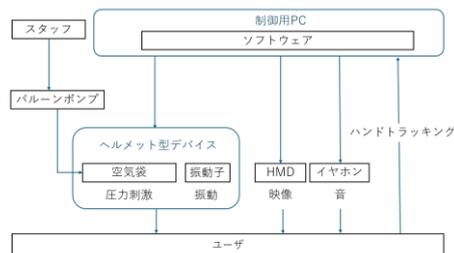


図 2: システム構成

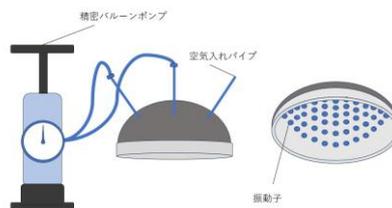


図 3: ヘルメット型デバイス全体像

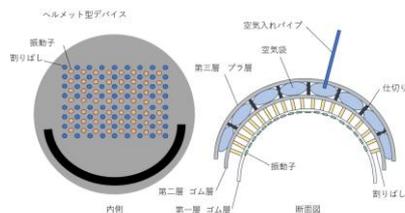


図 4: ヘルメット型デバイス内面, 断面図

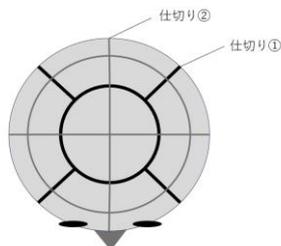


図 5: 仕切りイメージ

3.1.2 ソフトウェア

自身の髪の毛で岩を砕く HMD アプリケーションを、Unity を用いて作成する。HMD は MetaQuest3 を用いる。ユーザーによる髪の毛の操作は Meta 社より提携されているハンドトラッキングのライブラリを用いて実装し、手を払ったことを感知した際に髪の毛が動き出すように設定する。また、髪の毛が浮かぶ際は垂れていた髪の毛が浮かび上がるエフェクト、髪の毛が引かれる際は特定のブロックの髪の毛が動くエフェクト、操作した髪の毛が岩石と衝突する際には、岩石が砕かれるエフェクトを VR 空間内で実装し、ユーザーの手を払う動きに対応して実行する。また、没入感を高めるためユーザーには体験中 HMD、ヘルメットに加えてイヤホンを装着してもらうように依頼し、BGM はイヤホンから再生する。

3.1.3 使用機材

<ソフトウェア>

- ・ PC
- ・ HMD
- ・ イヤホン

<ヘルメット型デバイス>

- ・ ヘルメット型デバイス本体
- ・ 精密バルーンポンプ

参考文献

- [1] Muehlhaus, M., Steimle, J., and Koelle, M.: FeatherHair: Interacting with Sensorized Hair in Public Settings, Proceedings of the ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS '22), pp.1228–1243 (2022).
- [2] Dierk, C., Sterman, S., Nicholas, M. J. P., and Paulos, E.: HäirIÖ: Human Hair as Interactive Material, Proceedings of the 12th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction (TEI '18), pp.148–157 (2018).
- [3] Wang, Z., Nam, G., Stuyck, T., Lombardi, S., Cao, C., Saragih, J., Zollhöfer, M., Hodgins, J., and Lassner, C.: NeuWigs: A Neural Dynamic Model for Volumetric Hair Capture and Animation, arXiv:2212.00613v3 (2023).
- [4] Chu, S.-Y., Cheng, Y.-T., Lin, S.-C., Huang, Y.-W., Chen, Y., and Chen, M. Y.: MotionRing: Creating Illusory Tactile Motion around the Head using 360° Vibrotactile Headbands, Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '21), pp.724–731 (2021).