

ブレインツリー: 頭部での植物の成長を表現する触覚インタフェース

平野祐也^{†1} 竹永正輝^{†1} 西川尚志^{†1} 丸山寛人^{†1} 浅野日登美^{†1}
椎名星歩^{†1} 千葉麻由^{†1} 武田雄太^{†1} 渡邊真輝^{†1} 橋本直^{†1}

落語や漫画などに登場する表現の一つとして、人間の体内に植物が寄生するというものがある。しかしそれらは、経験したことのない我々にとって理解しがたい描写となっている。そこで我々は頭に植物が生えた感覚を体験可能なコンテンツとして、ブレインツリーを制作した。本システムでは、ヘッドマッサージャによる触覚提示と頭部に根が侵食している映像の提示によって植物の侵食を表現する。また、振動と重心移動による植物の動きの表現や、冷温感提示による液体の流動の表現も行う。

1. はじめに

落語や漫画などに登場する表現の一つとして、人間の体内に植物が寄生するというものがある。例えば落語の「頭山」[1]では、気短な男がサクラノボを種ごと食べてしまったせいで、男の頭から桜の木が芽を出し、やがて大きな木へと成長するという描写がある。またドイツにもこれとよく似た話としてビュルガーが18世紀に編纂した「ほらふき男爵の冒険」[2]があり、こちらはサクラノボの種を撃ち込まれた鹿の頭に桜の木が生えるという描写が登場する。このような現実には起こり得ない奇妙な現象がフィクション作品ではしばしば描かれることから、植物に侵食されるという表現には人を惹きつける魅力が存在するのではないかと考えた。

そこで我々は、頭に植物が生えた感覚を体験可能なコンテンツとして「ブレインツリー」を制作した(図1)。本作品では、ヘッドマッサージャによる触覚提示と頭部に根が侵食している映像の提示によって植物の侵食を表現する。また、振動と重心移動による植物の動きの表現や、冷温感提示による液体の流動の表現も行う。本稿ではブレインツリーのシステム設計と実装方法について説明し、作品展示を通して得た知見について述べる。



図1 ブレインツリー

2. 関連研究

2.1 頭部への触覚提示

頭部への触覚提示を行う研究は数多く報告されており、それぞれ刺激の種類や提示部位が異なる。Ranasingheらが開発したAmbiotherm[3]では、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)に搭載されたファンとペルチェ素子によって顔面への風の提示と首への温感提示を行っている。このデバイスは、周囲の温度や風の状態などの現実の環境条件をシミュレートすることでバーチャルリアリティ(VR)における臨場感を高めることを目的としている。Changらの開発したFacePush[4]では、モータを用いてHMDのベルトを引っ張ることにより、顔面に対して圧力を提示している。Konらの開発したHangerOVER[5]は小型かつ軽量の空気圧アクチュエータを用いてハンガー反射を再現するデバイスである。この研究では空気圧によって頭部への圧迫量を調整することでハンガー反射による頭部回旋角度を制御可能であることが示された。兼古らが開発したPerMan[6]では、18個の振動子を同心円状に配置し、ユーザの頭髪を媒体として振動による情報提示を行っている。また、梶本らの開発した電気触覚ディスプレイ[7]では、額に装着した電極から電流を流すことによって触覚提示を行っている。

本研究では、頭部への植物の侵食感を提示するために、ヘッドマッサージャを用いて頭皮に対して多点同時に移動する圧迫刺激を与える。また、頭内での液体の移動を表現するために、首・頬・耳に対して冷温感提示も行う。

2.2 貫通感提示

侵食に近い表現の一つとして貫通感が挙げられる。貫通感の提示には、仮現運動やファントムセンセーション(Phs)を利用した手法がある。大島らは腹と背に装着した振動スピーカを時間差を設けて駆動させることで、腹部を通過する仮現運動を生起させる手法を提案している[8][9]。また、石井らは手の平と甲に装着した振動子の振動周波数を90Hz以下にすることで手部内にPhsを生起できることを示した[10]。この他にも、イヤホンから流す音声の左右の

^{†1} 明治大学

音量バランスの調整と振動により両耳が貫通した感覚を提示する手法がある[11]。これらの貫通感提示手法はいずれも体外からの刺激により体内の一部に疑似的な触覚像を作り出すものである。我々は侵食感についても同様のアプローチで実現可能であると考えた。また今回の提案では、植物の侵食感を提示するにあたり、根が頭を徐々に覆っていく感覚を提示したいと考え、提示装置として、頭皮に対して多点同時に触覚刺激を与えることのできるヘッドマッサージャを採用した。

3. ブレインツリー

3.1 システム構成

システムの構成を図2に示す。体験者が頭に装着するデバイスは、植木鉢型デバイス、根型デバイス、植物型デバイスの3つから構成される。体験者の正面に置かれたディスプレイには、体験者が頭部に装着したデバイスの動作と連動した映像が表示される。コップは体験中に水を飲むためのもので、水の有無をセンサで検知できるようになっている。また、水槽には冷温感提示のための冷水と温水が貯められている。各デバイスはPCから制御される。

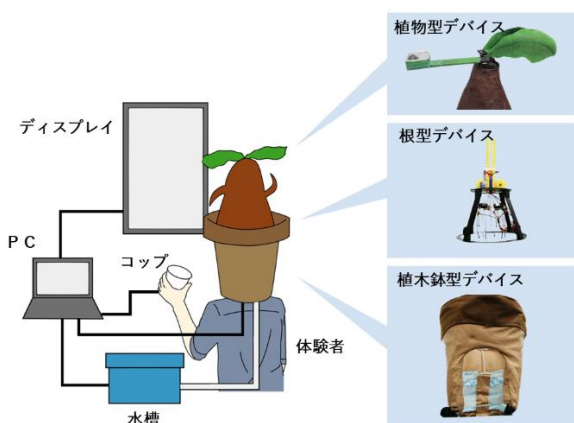


図2 システム構成

3.2 根型デバイス

根型デバイスは、本コンテンツの要である頭部に植物の根が侵食する感覚を提示する。デバイスの外観を図3に示す。デバイスの上部にはモータとギアによる直動機構があり、これによりヘッドマッサージャが上下方向に移動する仕組みとなっている。モータの駆動回路にはモータドライバとArduino UNOを用いた。ヘッドマッサージャは初期状態では頭部に接触しない位置に待機しており、体験の進行に合わせて下方向に最大10cmの距離を移動する。実際の体験では、2回に分けて5cmずつ降下させた。ヘッドマッサージャの降下によって根の侵食感を提示し、体験終了時の取り外しの際には、植物が引き抜かれる感覚を提示する。

今回使用したヘッドマッサージャには長い脚(17cm)と短い脚(13cm)がそれぞれ6本ずつある。隣り合う長い脚

と短い脚のペアに対して、それぞれ1個の振動子(アルプスアルパイン社、ハプティックリアクタ Hybrid Tough Type)を根元から8cmの位置に固定した(図4)。振動子はオーディオアンプで増幅された音響信号によって駆動される。音響信号には強風の音を使用した。この機構によって、頭部に植えられた植物が風にあおられている時の動きと効果音の提示を行う。映像中の風の向きに合わせて振動子を順に振動させることで、仮現運動を利用して頭内の根が動いている様子を表現した。

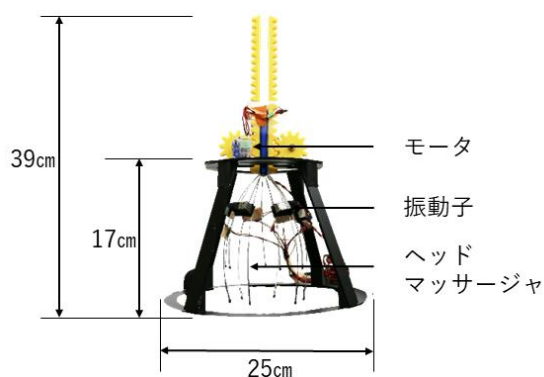


図3 根型デバイスの外観

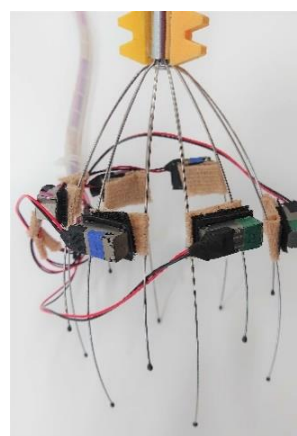


図4 振動子とヘッドマッサージャ

3.3 植木鉢型デバイス

植木鉢型デバイスは、頭部への水の浸透感と植物の体液が流動している感覚を提示する。デバイスの外観と内部構造を図5に示す。外観は植物を頭に植えるというコンセプトに基づいて植木鉢を模したデザインとした。デバイスの内側にはチューブが蛇腹状に配置されており、ここに冷水または温水を流すことにより、首・頬・耳に対して冷温感を提示する。上からの冷感提示によりじょうろで水をあげたときの水の浸透を表現し、下からの温感提示により体内から栄養を吸収されているときの体液の流動を表現する。水槽内の冷水・温水をポンプで送る際、電磁弁を使用することで送る向きを切り替えを行った。水の流れを図6に示す。水色の矢印が冷水の流れを、赤色の矢印が温水の流れを表している。冷水を流す際は電磁弁Aを開き、電磁弁Bを閉

じる。温水の際は電磁弁の開閉を逆にする。植木鉢型デバイス内でチューブが左右に分岐しているのは、顔の左右に同じタイミングで冷温感を提示するためである。チューブの背面には図5のように振動子（アルプスアルパイン社、ハプティックリアクタ Hybrid Tough Type）を耳から首にかけて縦に、4cmおきに左右計6個配置した。これらの振動子を水の流す方向から順に振動させることで、効果音の提示と同時に冷温感提示の向きを強調する。この振動子もオーディオアンプで増幅された音響信号によって駆動される。音響信号には脈動の音を使用した。吸水シートは万が一チューブの接続部分から水が漏れた時の対策として使用した。スポンジについてはチューブを顔に密着させて触覚刺激を効果的に行うための詰め物として使用した。植木鉢型デバイスと根型デバイスの接触面には銅箔テープによる接触検知機構があり、植物を植えたことを検知できるようになっている。

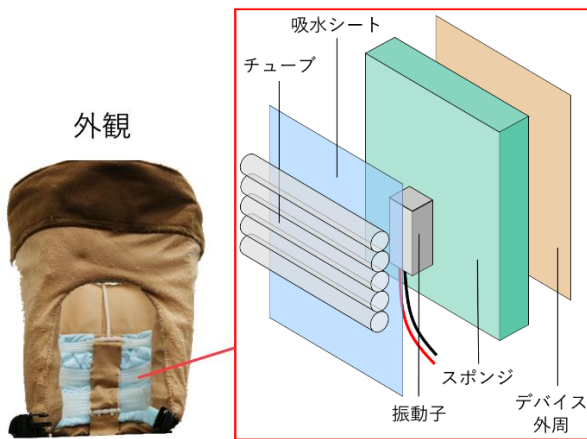


図5 植木鉢型デバイス

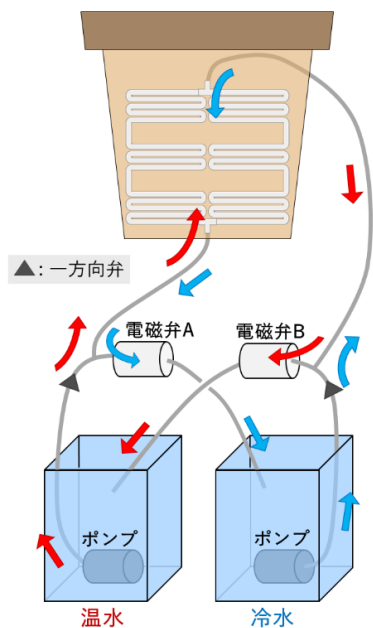


図6 水の流れ

3.4 植物型デバイス

植物型デバイスは、頭部に植えられている植物が風にあおられて動く感覚を提示する。デバイスの外観と内部構造を図7に示す。このデバイスの外観は、内部にある根型デバイスの機構を隠しつつ、植物を頭に植えられるという奇妙な体験を特徴づけることを意図してデザインされた。上部に設置された2個のサーボモータにはそれぞれ20cmの板が取り付けられており、その先端には約50gの重りが取り付けられている。サーボモータを回転させ、これらの重りを左右どちらか一方へ寄せることで、植物が風にあおられて動く際の重心の変化を提示する。上部は重りや板を隠すために葉を模したデザインとした。これにより、体験者以外の人も植物の葉が動いている様子を見て楽しめるようになっている。



図7 植物型デバイス

3.5 コップ

体験中、頭部に植えられた植物を育てるという名目で、体験者にコップで水を飲ませる。水を飲んだことを検出するために、透明なコップの側面にフォトリフレクタを取り付けた(図8)。コップ内の水の有無によって赤外線反射量が変化し、それに伴いフォトリフレクタの出力値も変化する。閾値の設定にはコップ内部が水で満たされている場合と空の場合でのフォトリフレクタの出力値の差を利用した。



図8 コップ

3.6 体験内容

本作品では、体験者の頭部に植物を植え付け、それが成長していく過程を体験させる。体験者の前方に配置されたディスプレイには体験者の頭部を表現した映像が表示される。体験の流れを以下に示す。また図9に体験中のデバイスの動作と映像を示す。

①植物の植え付け

体験者に椅子に座ってもらった後、スタッフが「植物の苗を頭に植えるため、植木鉢を被っていただきます」と説明を行い、体験者の頭部に植木鉢型デバイスを装着する。この時点でディスプレイには植木鉢を被った頭部の映像が表示されている。スタッフの手により植物型デバイスが植え付けられることでディスプレイに表示される映像は植物が植えられたものへと変化する。

②じょうろによる水やりと植物の成長

スタッフが「植物をさらに成長させるため、このじょうろで水をあげます」と説明を行い、じょうろで植物に水をかけるしぐさをすると、植木鉢上部から頭部へ水が浸透する映像が提示される。この際、植木鉢デバイス内のチューブには上から下へ冷水が流れている。その後、根型デバイスにより1回目のヘッドマッサージャ降下が行われ、この間、映像上では徐々に根が生え広がる様子が提示される。じょうろで水をかける動作はセンサを利用して検出することは可能であるが、体験に影響しない箇所であるため、本作品ではこの部分の映像切り替えのみ手動で行っている。

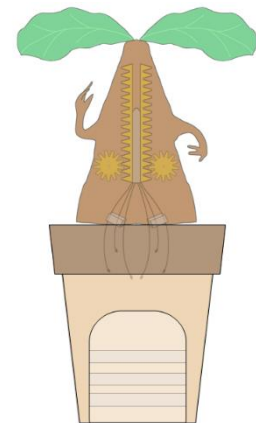
③植物による栄養吸収と成長

スタッフの「さらに栄養を与えるためこの水を飲んでください」という説明の後、体験者がコップを利用して水を飲むと、植物が体験者の体内の養分を吸収する映像が提示される。この際、植木鉢デバイス内のチューブには下から上へ温水が流れており、振動子も合わせて下から順に振動する。その後、根型デバイスの2回目のヘッドマッサージャ降下とともに、映像では徐々に根が生え広がる様子が提示される。

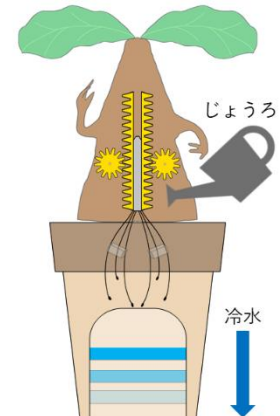
④植物が風にあおられる

スタッフが「しっかりと成長しているか、風を当てて確かめます」と説明を行うと、植物が風に当たって左右に傾く映像が提示される。この際、植物型デバイスの上部の葉が動き、根型デバイスの振動子が風の向きに合わせて順に振動する。最後に、スタッフが「十分に成長したようなので収穫しましょう」と説明し、植物型デバイスを体験者の頭部から抜き去り、体験終了となる。

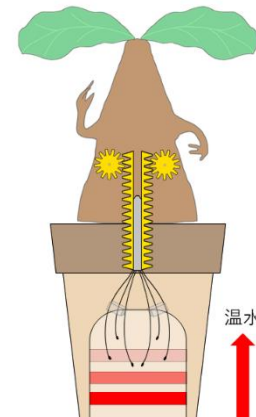
① 植え付け



② 水やり・成長



③ 栄養吸収・成長



④ 風にあおられる

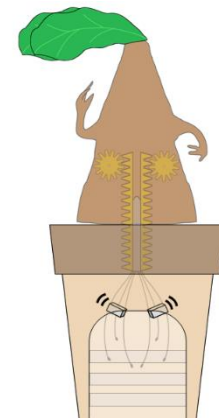


図9 体験の流れ

4. 作品展示とユーザ評価

2018年11月14～16日に幕張メッセで開催された第26回国際学生対抗バーチャルリアリティコンテスト (IVRC2018) においてブレインツリーの体験展示を行った。

4.1 展示方法

展示の様子を図10に示す。1.8m四方のブース内に体験者が座るための椅子と映像提示用のディスプレイを設置した。体験者とディスプレイの距離は約1mとした。髪を結んでいる体験者に対しては、根型デバイスに使用しているヘッドマッサージャがうまく頭部を刺激できなくなる可能性を考慮し、髪を下すように指示をした。また体験者が事前にヘッドマッサージャを認識し、刺激を予測してしまうことを防ぐために植物型デバイスで根型デバイスを隠した状態を維持した。



図10 展示の様子

4.2 予選大会からのアップデート

本作品は、9月に行われたIVRC2018予選大会からいくつかのアップデートを行った。主な変更点を以下に示す。

(1) 温感提示の追加

予選大会時は冷感提示のみだったため、体験後に冷えてしまったデバイスをカイロで温める時間が必要であった。そのため体験希望者を待たせてしまう場面が頻発した。この問題を解決するため、植物が体験者の体液を吸収する表現として温感提示を体験内容に加えることにした。

(2) 振動子の追加

予選大会時は効果音の提示はなく、触覚刺激もヘッドマッサージャの降下のみであった。そのため体験者から物足りなさを訴えられたり、体験者にこちらの意図した表現が伝わらなかったりという場面があった。そこで我々は振動子を追加し、触覚の仮現運動による植物の動きの表現と効果音を付与することで、これらの問題を同時に解決した。

4.3 アンケート調査

体験者の感想を収集するために、展示の際にアンケート調査を行った。アンケートの質問項目を表1に示す。Q1～Q4については5段階のリッカートスケールで回答させた。

表1 アンケートの質問項目

Q1	頭に植物が生えたような感覚があった。 (1: そう思わない～5: そう思う)
Q2	植物が頭の中に根付いていくような感覚があった。 (1: そう思わない～5: そう思う)
Q3	植物が成長していくような感覚があった。 (1: そう思わない～5: そう思う)
Q4	植物が風に吹かれている感覚があった。 (1: そう思わない～5: そう思う)
Q5	体験の感想に当てはまるものはどれですか。 (気持ち良い・気持ち悪い・楽しい・怖い・退屈の中から選択。複数回答可)

4.4 アンケートの結果

作品を体験した10代～60代の男女213名にアンケートを行った。触覚提示に関する質問(Q1～Q4)の回答結果を図11、体験の感想(Q5)の回答結果を図12に示す。

頭部に植えられた植物の侵食感を問う質問(Q1, Q2)では、いずれも約8割の体験者が4以上のスコアを付けている。これらの結果から、提案手法によって頭部への植物の侵食感の提示が可能であることが示唆された。一方で、「ヘッドマッサージャを普段から使用しているため刺激をあまり感じない」という意見や「痛かった」という意見も見られた。植物が成長する感覚を問う質問(Q3)では、スコア3以下をつけた体験者が約3割で、中には最低スコアの1をつけた体験者もいた。これは植物の成長の表現が根の侵食のみであり、成長した結果大きく重くなるというような別の変化がなかったためだと考えられる。植物が風にあおられる表現に関する質問(Q4)についても、スコア3以下をつけた体験者が約3割という結果になった。これはデバイスの総重量約1450gに対してサーボモータで回転させた重りが約50gと軽く、変化がわかりにくかったことや、ヘッドマッサージャが振動することでくすぐったいという印象が強くなり、風にあおられる表現と受け取ってもらえなかったことが原因であると考えられる。

体験の感想では「楽しい」と「気持ち良い」という感想が上位を占めている。「気持ち悪い」と「怖い」という感想に関してアンケート後に理由を尋ねたところ、笑顔で「ゾワゾワして気持ちが悪かったが、体験は面白かった」と回答した体験者がいた。また「気持ち悪い」または「怖い」と回答した40名のうち、22名が「楽しい」や「気持ち良い」と合わせて回答している。これらの結果から、多くの体験者が本作品に対して好印象を抱いたことが示唆された。

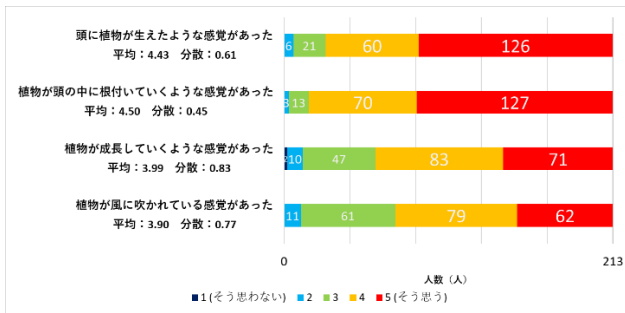


図 11 触覚提示に関する質問 (Q1~Q4) の回答結果

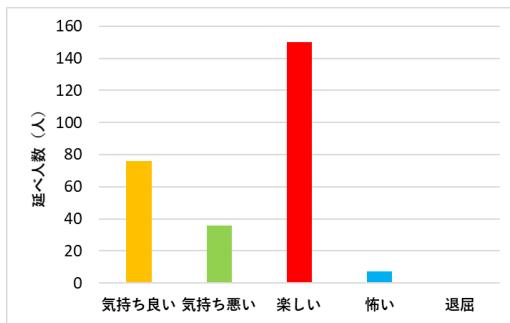


図 12 体験の感想 (Q5) の回答結果
(回答者数: 213 名, 複数回答可)

5. 議論

5.1 侵食感が生起する要因

本作品において頭部への侵食感が得られたことについて、ヘッドマッサージの脚の先端が髪をかき分けて直接頭皮を刺激していたことと、振動子の振動が頭皮に伝達されていたことが主な要因であると考えている。頭部に根が張る映像の提示は、視覚による触覚のクロスモーダル効果を狙ったものだが、効果の程度についてはさらなる検証が必要である。また、4.4 で述べた通り、ヘッドマッサージを普段使用している数名の体験者から「あまり侵食感を感じなかった」という感想を得ている。我々は、ヘッドマッサージによる頭部への刺激が多くの体験者にとって馴染みのない未知の刺激であったことが、植物が頭に侵食していると錯覚したことに寄与した可能性があると推測している。

5.2 ヘッドマッサージの選定

本作品を制作するにあたり、ヘッドマッサージの形状に関する事前調査を行った。市販されているヘッドマッサージには幾つかの種類があるが、本研究では金属製の細い脚が 12 本、ゴム直径が 2mm のものをベースに調査を行った。まず先端のゴムの直径については、5mm 程度の場合には頭の内側ではなく頭皮への刺激という印象が強くなり、1mm 以下の場合には頭皮に刺さって痛いと感じる傾向が見られた。次に脚の本数については、6 本に減らしたものと、通常時の 12 本と、2 つ重ね合わせて 24 本としたもの

の計 3 条件で比較したところ、侵食感に大きな違いはみられなかった。そのため本研究では、市販されているままの状態のヘッドマッサージを使用した。

6. おわりに

本研究では頭に植物が生えた感覚を体験可能なコンテンツ「ブレインツリー」を制作した。本作品では、ヘッドマッサージによる頭部触覚提示に加え、頭部に根が侵食している映像の提示、振動と重心移動による植物の動きの表現、冷温感提示による液体の流動の表現などを複合して行った。体験展示におけるアンケート調査の結果、提案手法によって頭部への植物の侵食感の提示が可能であることが示唆された。また、多くの体験者から「楽しい」や「気持ち良い」といった好意的な反応を得ることができた。今後は侵食感提示のメカニズムの解明を進めるとともに、頭部以外への応用を目指す。

参考文献

- 1) 舟崎克彦 (2008) 『あたま山』 そうえん社。
- 2) ビュルガー編 (1983) 『ほらふき男爵の冒険』 新井皓士訳, 岩波文庫
- 3) Nimesha Ranasinghe, Pravar Jain, Shienny Karwita, David Tolley, and Ellen Yi-Luen Do: Ambiotherm: Enhancing Sense of Presence in Virtual Reality by Simulating Real-World Environmental Conditions, In Proc. of CHI '17, pp.1731-1742 (2017).
- 4) Hong-Yu Chang, Wen-Jie Tseng, Chia-En Tsai, Hsin-Yu Chen, Roshan Lalintia Peiris, and Liwei Chan: FacePush: Introducing Normal Force on Face with Head-Mounted Displays, In Proc. of UIST '18, pp.927-935 (2018).
- 5) Yuki Kon, Takuto Nakamura, and Hiroyuki Kajimoto: HangerOVER: HMD-embedded haptics display with hanger reflex, In ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies (2017).
- 6) 兼古哲也, 棟方渚, 小野哲雄: PerMan: 頭部への刺激を用いた情報提示デバイスのエンタテインメントへの利用, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集, pp.173-178 (2015).
- 7) 梶本裕之, 菅野米藏, 舘暉: 額に装着する電気触覚ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会第 11 回大会論文集, pp.185-188 (2006).
- 8) Sayaka Ooshima, Yasushi Fukuzawa, Yuki Hashimoto, Hideyuki Ando, Junji Watanabe, and Hiroyuki Kajimoto: /ed (slashed): gut feelings when being cut and pierced. In ACM SIGGRAPH 2008 new tech demos (2008).
- 9) 渡邊淳司, 福沢恭, 梶本裕之, 安藤英由樹: 腹部を通過する仮現運動を利用した貫通感覚提示, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.10, pp.3542-3545 (2008).
- 10) 石井明日香, 佐藤未知, 福嶋政期, 古川正紘, 梶本裕之: 手部触覚による奥行き情報の提示, 第 16 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.310-313 (2011).
- 11) 猪塚美帆, 佐竹滯, 三輪聡哉, 池田夏子, 大場洋哉, 田澤美智子: ミミトシネル ～あなたの耳, 貫通させます～, 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2016)