

牽引力錯覚を用いたマルチモーダル映像体験の検討

近藤圭^{†1} 望月茂徳^{†2} 大島登志一^{†2}

概要: 映像と音響に加えて触覚情報を取り入れたエンターテインメント作品には、触覚提示技術の検討が不可欠である。そこで本研究では、牽引力錯覚のエンターテインメント分野への活用を検討するため、映像の中のオブジェクトを特定するための牽引力錯覚としてデバイスと映像の開発、検証を行った。その結果、牽引力錯覚を用いた画面上のオブジェクトの特定率はオブジェクト数の増加に連れて下がり、オブジェクトの数が同じでも動きによって特定率に差が生じた。また、牽引力錯覚の活用という点において、オブジェクトへの帰属感の消失を含めたコンテンツ開発の可能性が検討された。

1. はじめに

近年、映像、音響から構成されるアート作品に加えて、触覚を取り入れる試みがなされてきている。

「Fur-Fly」[1]は毛状の触覚インターフェースを用いた視触覚ディスプレイであり、CG 画像に対して生物感のある触覚インタラクションを加えることで、年齢の違いや障害の有無を問わず楽しむことができる視触覚コンテンツの提案を行っている。Entouchable Museum[2]は、絵画に触れると埋め込まれたデバイスにより、絵画に直接手を触れると風の振動を触覚的に感じられるもの、画面内の人物の手に触れる感覚を提供することで、視覚が不自由な人も対象に含めた絵画体験の拡張を試みている。また中島[3]は、「生成される音響はもちろん、作品に触れることによって生じる聴覚／触覚／視覚の相互作用や、素材の持つ象徴性」を魅力にもつハプソニックアートの概念を提起している。

このような取り組みにおいては、触覚情報の重畳表現を可能とする、触覚を発生させるデバイスの活用が不可欠である。触覚を発生させるデバイスとしては、外骨格によって手指の動きを計測し、同時に触覚フィードバックを発生させるデバイス[4]、超音波アレイによって空中に触覚を発生させるディスプレイ[5]などが挙げられる。また、触覚提示技術には人間の錯覚を利用したものもある。例として、「VisualHaptics」[6]では、システムに入力する身体と出力される映像の予想差をデザインし、外力を加えることなく擬似的な触覚を生み出している。牽引力錯覚[7]は、速い触覚刺激には強く感知するが遅い触覚刺激には感知しづらいという人間の知覚特性を活かして、特定の振動パターンから一方向から引っ張る力を感じられる錯覚である。特に牽引力錯覚は、触覚提示装置の機構の複雑度が比較的安く、力量と方向の2つの要素を持っており、インターフェイスの形状からは予測しにくい感覚を生起する特徴がある。しかしながら、牽引力錯覚についての関連研究においては、触覚の再現提示が主眼となっており、牽引力錯覚の特性を

活かしたコンテンツ開発の事例が待たれている。

そこで本研究では、触覚提示技術を用いたアート体験において、とりわけ牽引力錯覚を活用することによるコンテンツ体験の開発の可能性を検討することを主な目的とする。具体的には、画面内の複数のオブジェクトから一つを特定する点においてダミーカーソル実験[8]を参考に、牽引力錯覚と映像上のオブジェクトの動きの同期から、映像の中の複数のオブジェクトのうち一つに注目できるかを検証する。これにより、例えば大型のスクリーンを多数で鑑賞している場合に体験者の触覚デバイスに個人ごとの牽引力を提示することで、それぞれが別々の画面内のオブジェクトに帰属感を持って鑑賞できるような、各々独自の視聴体験を提供するなどの展開を想定できる。

2. 実験について

2.1 体験概要

体験者は、図1に示されるようにPCの画面を見ながら、牽引力錯覚発生デバイスを持って体験する。体験では、映像の変化と連動する触覚コンテンツについて3通りの映像と振動の組み合わせを体験することができる。

2.2 構成

図2のように設営し、デバイス部分と画面部分で構成されている。デバイス部分では株式会社アクーブ・ラボ製のパイプロトランスデューサ Vp210 を用い、先行研究[7]を参考に、オーディオ信号を図3のような形で生成し、事前のテストから牽引力を感知しやすかった 60Hz 付近の周波数で振動させた。また、Vp210 を2つ、互いに垂直に交差するように収納できるデバイスを3Dプリンターで作成した(図4, 5)。さらにデバイスの自重が牽引力錯覚に影響を与える可能性を考慮して、おもりを用いて吊り下げて重力の影響を軽減した。そして、デバイスと画面との対応関係を明確にするため、両方にX軸、Y軸の図を記入した。

†1 立命館大学大学院映像研究科

†2 立命館大学映像学部

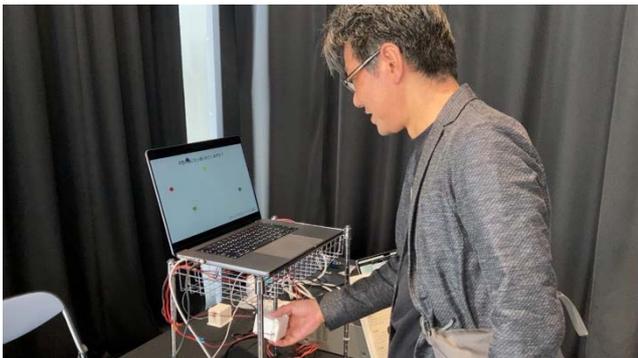


図 1：体験の様子



図 2：構成を設営した様子

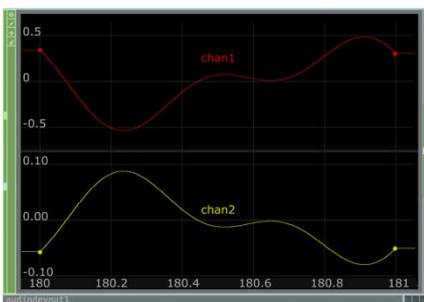


図 3：デバイスで再生した波形の例

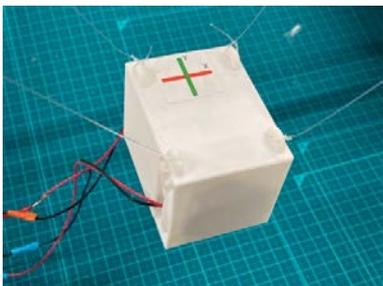


図 4：デバイス部分

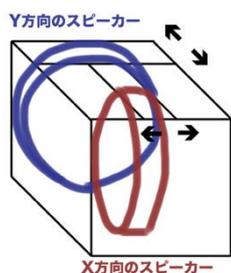


図 5：デバイスの内部構造

2.3 体験内容

体験 1 では、画面内において同じ大きさの正方形が 2 つ、赤は左右に、青は前後に同じ位相で反復運動を行う(図 6). 振動デバイスは、そのうちの一つの視覚的動きに対応した牽引力発生振動を提示する。

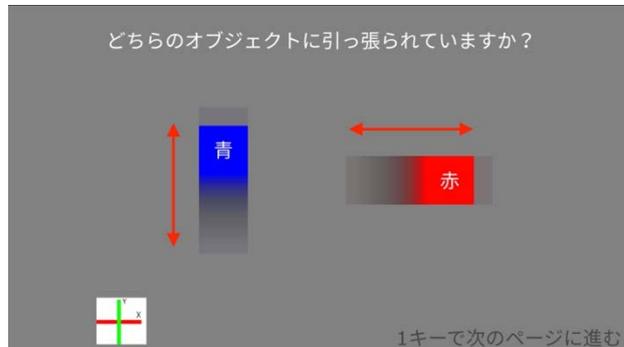


図 6：体験 1 の画面

体験 2 では、同じ大きさの正方形が 2 つ、赤は反時計回りに、青は時計回りに菱形を描く軌道で運動する(図 7). 振動デバイスは、そのうちの一つの視覚的動きに対応した牽引力発生振動を提示する。

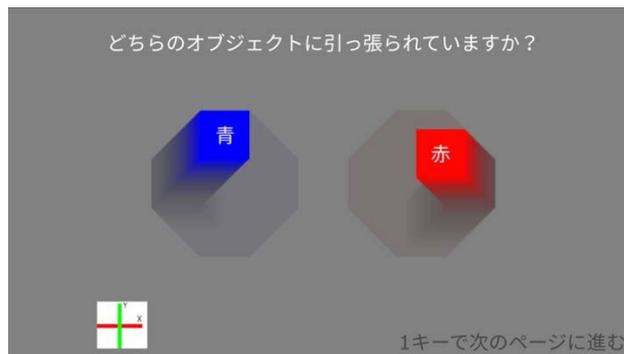


図 7：体験 2 の画面

体験 3 では、同じ大きさの魚が 5 つ、それぞれが同時にランダムな方向と速度で移動をする(図 8). そのうちの一つがランダムに選ばれ、振動デバイスはその視覚的動きに対応した牽引力発生振動を提示する。



図 8：体験 3 の画面

プログラムではそれぞれの体験についてオブジェクトを1つ選び、その移動方向、大きさに比例した振幅のオーディオ信号をデバイスに格納したVp210で再生する。このことで、体験者に画面内の1つのオブジェクトに対応する牽引力発生振動を提示する。プログラムはTouchDesignerで作成した。

2.4 検証結果

体験者アンケートでは、デバイスから発生する牽引力錯覚から、画面の中のどのオブジェクトがどの方向に引っ張られているように感じるかを回答してもらった。学内の展示での来場者に体験してもらい、取得した31件の体験者アンケートの結果を図9にまとめた。

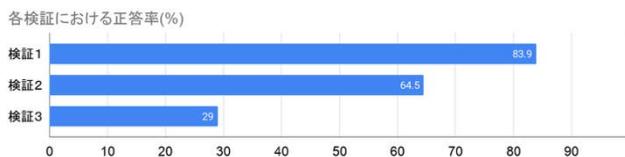


図9：アンケートにおける正答率

体験1の検証において正解率は約83.9%、体験2の検証において正解率は約64.5%、体験3での検証において正解率は約29%であった。体験1と体験2は二択の回答であり体験1は特に高い正答率となった。体験3では五択の回答であり、体験1、2と比べて正答率が大きく下がった。ダミーカーソル実験[8]で見られた体験の非対称性について、体験者の様子から、デバイスに触れている体験者と画面を見ているだけの非体験者の間で、前者はどのオブジェクトに引っ張られているか特定できるが、後者には分からないという状況がしばしば見られた。

3. 考察

体験1から3までで徐々に正答率が下がっていく結果となった。体験1と2では選択肢の数は同じであるものの、体験2の方で正答率が20%程度下がった。このことから、斜め方向の牽引力について、現在の機構では正確に発生できていない可能性や、運動周期の違いが影響していることが考えられる。また、体験3では正答率が大きく下がった。このことから、オブジェクトの個数の増加、牽引方向の予測できなさ、似た方向に牽引された時の区別のつかなさ正答率の低下に関係していると考えられる。オブジェクトの特定について、ダミーカーソル実験では画面内のオブジェクト（カーソル）の動きと自らの入力操作の連動がカーソル特定の大きな要因であることが示唆されているが、今回の触覚デバイスは出力システムとして牽引力錯覚を発生させており、体験者による主体的な動きの予測が困難であったことも正答率の低下の原因にあると推測される。さらに、モニターの座標と手元の空間の座標についても、座標

を画面に表示するだけでなく手元に重ねて表示することで、実空間と映像空間の連動性が高められると考えられる。牽引力錯覚の知覚には個人差があり、デバイスの持ち方によっても差が生じる。オブジェクトの検知率を上げる検討のみならず、オブジェクトの帰属感が消失する体験も含めたコンテンツ制作も検討される。

4. まとめ

映像と音響に加えて触覚を含めたアート体験に、触覚提示技術として牽引力錯覚が取り入れられる可能性を、ダミーカーソル実験を参考にデバイスを構成することで検討した。その結果、映像の中のオブジェクトが2つで単純な動きの場合、体験者は注目すべきオブジェクトを8割以上の確率で判別することができた。しかし、オブジェクトの数が同じでも動きが違う場合には正答率が下がり、オブジェクトの数が5個になると半分以下の正答率に下がった。これにはオブジェクトの動き、デバイスの設計、配置など複数の要因が関係していると考えられ、大人数で鑑賞する映像インスタレーションを前提にすると、効果的な実装には多くの検討事項が残されている。牽引力錯覚の活用という点において、オブジェクトへの帰属感の消失を前提にした体験も今後の検討課題としたい。

参考文献

- [1] 串山久美子, 笹田晋司. "生物感覚を提示する毛状視触覚ディスプレイ「Fur-Fly」(<特集>アート&エンタテインメント2)." 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 15. 3 (2010): 459-462.
- [2] 未来が見える絵画鑑賞体験- Entouchable Museum (<https://www.entouchablemuseum.info/jp/>) (2025-12-21 閲覧)
- [3] 中島武三志. "ハプソニック・アート: 触感を伝えるサウンド・アート." 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 28. 2 (2023): 71-79.
- [4] 「Dexta Robotics」(<https://www.dextarobotics.com/>) (2025-12-21 閲覧)
- [5] Takayuki Iwamoto, Mari Tatezono, Hiroyuki Shinoda "Non-contact method for producing tactile sensation using airborne ultrasound." International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [6] Keita Watanabe, Michiaki Yasumura. VisualHaptics: Generating Haptic Sensation Using Only Visual Cues, ACE2008, Proceedings of the International Conference on ACE2008, pp405, December 2008
- [7] 田辺健, 雨宮智浩, 遠藤博史, 井野秀一. (2020). 非対称振動刺激による牽引力錯覚の研究動向. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 25(4), 291-301.
- [8] 渡邊恵太, 樋口文人, 稲見昌彦, 五十嵐健夫. (2013). 複数ダミーカーソル中における自分自身のカーソル特定. 情報処理学会インタラクティブ.