This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

第 30 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集（2025 年 9 月）

幻氣放～Phantom Force～
その手に、幻氣が宿る

GenKiho~Phantom Force~you gain the phantom force in your hand

田中克尚 [1)]，長谷柾彦 [1)]，松本大杜 [1)]，長尾祐斗 [1)]，
森本旭陽 [1)]，小田裕介 [1)]，河盛真大 [1)]
Katsuhisa TANAKA, Masahiko HASE, Taito MATSUMOTO, Yuto NAGAO,
Asahi MORIMOTO, Yusuke ODA, and Masahiro KAWAMORI

1) 関西学院大学大学院 理工学研究科 （〒669-1330 兵庫県三田市学園上ケ原 1,ibe07033@kwansei.ac.jp）

概要：本企画の目的は触錯覚実験中に見出した新たなファントムセンセーションの性質である形状幻影感覚をコンテンツ化し体験者に伝えることである．形状幻影感覚が体験者に与える感覚はアニメや漫画の世界の「気」に近い．形状幻影感覚が体験者に与える知覚強度を増加させる条件を調べるために，予備実験を実施したところ，振幅を増加することで体験者に与える「気」の大きさを大きく知覚させることが可能であることがわかった．形状幻影感覚の性質を利用して，「気」を蓄積し，放出するコンテンツを作成する．

キーワード：触錯覚　ファントムセンセーション　気

1. 企画概要

1.1 目的

本企画は触錯覚の一種である「ファントムセンセーション」には未発見の性質が存在するのではないかという考えから発足した．触錯覚実験を繰り返す中で，新たなファントムセンセーションの性質を見出した．この性質を体験者に伝えることを目的として，アニメや漫画世界の「気」を操るヒーローになり敵を倒す体験を提供する．

1.2 ファントムセンセーション

ファントムセンセーションとは，皮膚上の 2 点に振動刺激を提示した際に 2 点間の 1 点に振動（刺激像）を感じる触錯覚現象である[1]．ファントムセンセーションの性質として，刺激像の移動，2 者間での刺激像の生成，3 点以上の振動刺激位置の内包する 2 次元空間内の刺激像の生成などが報告されている[2][3][4]．

1.3 新たなファントムセンセーションの性質の発見

ファントムセンセーションには未発見の性質が存在するのではないかという考えから触錯覚実験を実施した．ファントムセンセーションの刺激像の移動，2 者間での刺激像の生成，両手の平に振動子を配置し両手が接触しない条件でファントムセンセーションを生成する性質[5]を振動子（Vibro-Transducer:Vp408，アークヴ・ラボ）を用いて確認した．振動子の配置および両手の形状を多様に変化させることでファントムセンセーションにおける未発見の性質の探索を試みた．図 1 左に示すような手形状を手同士が接触しないように形成し，振動子を振動させると手の内側に刺激像が発生し，手の表面にまとわりつくような感覚を与えることを確認した．振動子は両腕の前腕にリストバンドを用いて設置した．振動周波数は 80 Hz である．手形状が 2 点間の間に発生するファントムセンセーションに影響を与えると分かった．本稿では，手の形状の変化によって取得される刺激像を「形状幻影感覚」と呼称する．

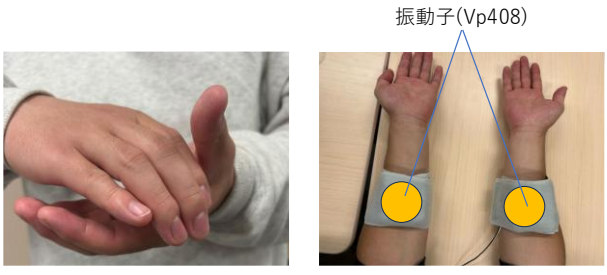

図 1 触錯覚実験

1.4 コンテンツ

アニメや漫画の影響を受けて，登場キャラクターのように自分も「気」を操ることができるのではないかと考えたことはないだろうか．もし「気」を操ることができるなら

© 2025 日本バーチャルリアリティ学会

このような感覚だろうと想像できてしまうほど，「気」は多くのコンテンツで利用されている．しかし，想像上の「気」を実世界で感じることは難しい．1.3 節で述べた形状幻影感覚は私たちがアニメや漫画世界の影響から想起する「気」に近い．私たちはアニメや漫画世界の「気」を操るヒーローになり敵を倒す体験を提供する．

1.5 予備実験

本企画では「気」が蓄積され徐々に大きくなる感覚を体験者に提示するために，形状幻影感覚を大きく知覚させる必要がある．よって形状幻影感覚が消失する前に，どの程度まで両手の間隔を広げることが可能か把握する必要がある．振動周波数および振幅を変更することで条件の異なる振動を生成し，それぞれの条件下において実験協力者が形状幻影感覚を失うまでの両手の間隔を測定する実験を行った．実験内容は 4 節に記載する．実験結果から振動の振幅を増加させることで，生成した形状幻影感覚を体験者に大きく知覚させることが可能であること，振動は低周波での実装が望ましいとわかった．

2. システム構成・原理

2.1 システム構成

本企画はアニメや漫画世界の「気」を操るヒーローになり敵を倒すコンテンツである．本企画のシステム構成を図 2 に示す．「気」の生成感を提示するために視覚提示装置および「気」生成感提示装置を，「気」の放出感を提示するために「気」発射余波提示装置を用いる．

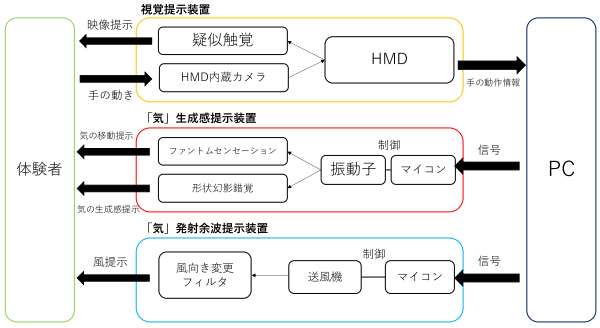

図 2 システム構成

2.2 視覚提示装置

「気」を生成する際の「気」による両手の広げにくさは疑似触覚（Pseudo-haptics）を用いて提示する．疑似触覚はユーザの入力と視覚的な表示のずれによって生起する触錯覚であり[6]，Web 上に複数のデモンストレーションが公開されている[7]．疑似触覚の一種として PC の使用中にマウスポインターの速度を遅くすると，抵抗力が大きくなったように感じる現象があげられる．本システムでは図 3 のように体験者の実空間における手の広がりを VR 空間では縮小して表示することで疑似触覚を提示する．ユーザの実空間における手の位置座標は Meta が提供する Hand Tracking 機能を用いることで取得する．位置座標に対して手の広がりが縮小されるように変換を行い，変換座標を VR 空間の手の位置座標として VR 空間に反映する．

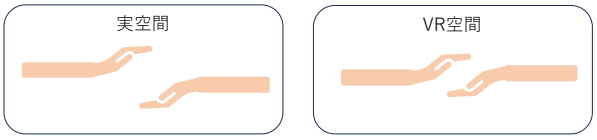

図 3 視覚提示システム

2.3 「気」生成感提示装置

ファントムセンセーションは 1.2 節で示したように，刺激像を移動させることができる特徴がある．刺激像の移動は振動子の振動強度を変更することで可能になる．この特徴を用いてコンテンツ内の「気」を手の中に集約する過程を表現する．図 4 に示すように徐々に肘側の振動強度を小さく，手首側の振動強度を大きくすることで刺激（図 4 赤丸部分）を肘側から手首側へ移動させることができる．

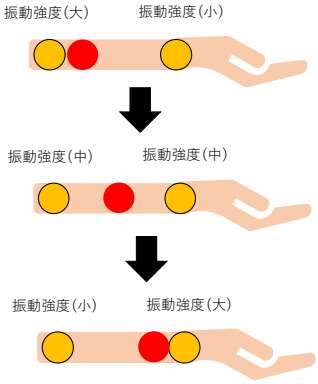

図 4 刺激像の移動

形状幻影感覚は 1.3 節の触錯覚実験で新たに発見した手の形状の変化によって取得される刺激像である．図 5 のように 2 点の振動刺激によって発生する刺激像を手で感じることで，球形の刺激像を体験者に提示することができる．また 1.5 節の結果を用い振動の振幅を増加させることで，生成した形状幻影感覚を体験者に大きく知覚させ，体から流れてくる「気」が蓄積されることで大きくなっていく感覚を提示する．

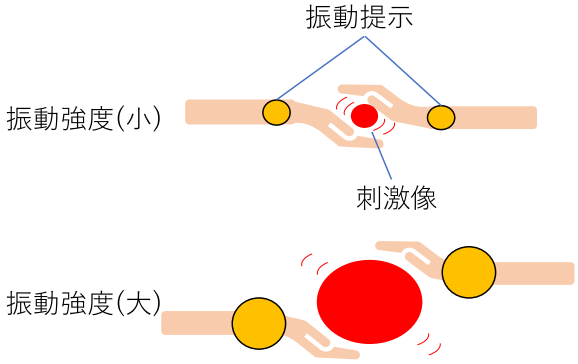

図 5 「気」の蓄積

© 2025 日本バーチャルリアリティ学会

2.4 「気」発射余波提示装置

「気」生成感提示装置によって，生成した「気」を放出する際の放出余波を提示する．体験者の手の動作に合わせて，放出するタイミングを取得し，PC からマイクロコントローラに信号が送られる．マイクロコントローラによって送風機の風量を変化させる．図 6 のようにコンテンツに応じた風量と風向きを調整する風向き変更フィルタを介して体験者に発射余波として提示する．

図 6「気」発射余波提示

3. コンテンツ概要

3.1 体験準備

体験者は「気」生成感提示装置と HMD を装着し「気」発射余波提示装置の前に立つ．装着した HMD には宇宙空間の映像が投影され敵キャラクターが出現する．ユーザの手の動きは Meta が提供する Hand Tracking 機能を用いることで VR 空間上に提示される．

3.2 「気」の生成

「気」が腕の肘から手首に向けて流れる感覚を提示する．一定時間経過後に体験者は図 1 左の手の形状を形成し「気」を生成する．手形状を保ったまま両手の間隔をゆっくり広げることでより大きな「気」の生成を可能とする．

3.3 「気」の放出

体験者は図 7 に示すような手の形状を形成することで「気」を放出する．「気」を放出したことを体験者が知覚するために腕に装着した振動子で振動を，「気」発射余波提示装置で風を提示する．VR 空間上では「気」がビーム状に変化し体験者の手から放出される．体験者はビームを敵キャラクターに当てることで倒していく．コンテンツ終了後に放出された「気」の強さを表すスコア，倒した敵の人数が体験者に提示される．

図 7 手形状（放出）

4. 予備実験

4.1 実験方法

振動周波数および振幅を変更することで条件の異なる振動を生成し，それぞれの条件下において実験協力者が「気」の生成感を失うまでの両手の間隔を測定する実験を行った．実験協力者は 20 代の学生 7 人である．

実験順序は以下のとおりである．

1. 実験協力者に図 1 左に示すような手の形状を形成させ，図 1 右のように両腕の前腕にリストバンドを用いて 1 つずつ振動子(Vibro-Transducer:Vp408，アークヴ・ラボ)を取り付ける．
2. 振幅を 0.5 に固定した上で振動周波数を 80, 100, 120, 140，160，200，300 Hz の 7 条件に設定し，各条件下における「気」の感覚が消失するまで広げた両手の間隔を測定した（実験 1）．また，振動周波数を 100 Hz に固定し振幅を 0.5，0.7，0.9 の 3 条件に設定し同様の測定を行った（実験 2）．

4.2 実験結果

実験 1 の結果を図 8，実験 2 の結果を図 9 に示す．

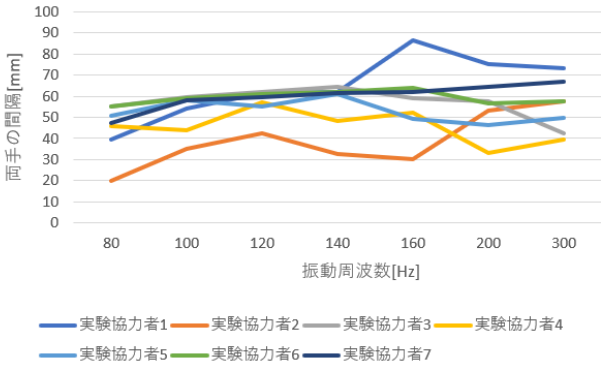

図 8 振幅固定条件

© 2025 日本バーチャルリアリティ学会

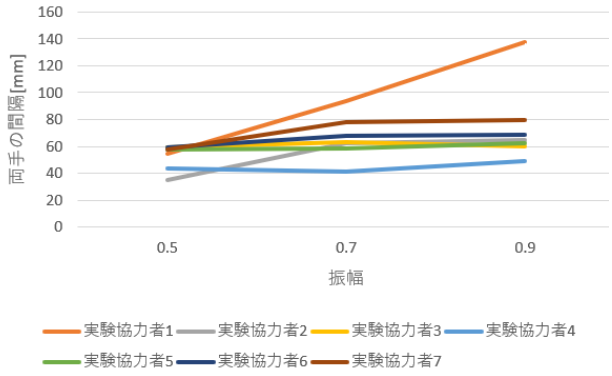

図 9 振動周波数固定条件

4.3 考察

図 8 から高周波になるにつれ実験協力者が知覚する感覚尺度の開きが大きくなることが分かる．図 9 から振幅を増加させると両手の間隔が拡大していることが分かる． よって振動の振幅を増加させることで，生成した形状幻影感覚を体験者に大きく知覚させることが可能である．また振動は低周波での実装が望ましい．ファントムセンセーションの大きさが位置によって変化するのを防ぐために，2 つの刺激の振幅は対数的に変化させる必要がある[2]．触錯覚刺激が与える知覚量（知覚インテンシティ）$I(f)$は Intensity Segment Modulation(ISM)を考慮し，式(1)のように定義する[8]．

$$I(f) = \left[\left(\frac{A}{A_t(f)}\right)^2\right]^{a(f)} \quad (1)$$

Aは信号の振幅，fは信号の周波数，$A_t(f)$は周波数に依存する振動弁別閾である．$a(f)$は周波数に依存する知覚インテンシティの大きさを示すパラメータである．振幅を実験条件よりも増加させることで体験者に与える知覚量を増加させることが可能であると考えられる．

5. むすび

本企画は形状幻影感覚による「気」が増加する感覚の提示を用いて，アニメや漫画世界の「気」生成から「気」放出までの過程を再現するコンテンツを提案した．現在，インタフェースに振動子を利用し，力触覚提示を行うことでユーザエクスペリエンスを向上させるコンテンツが増加している．形状幻影感覚をコンテンツに利用できることを示すことで，インタフェースが提示可能な感覚が増加する．本企画が触錯覚に関する研究に興味をもつきっかけになることを願っている．

参考文献

[1] 上田 真太郎, 内田 雅文, 野澤 昭雄, 井出 英人, Phantom sensation と仮現運動を併用した触覚ディスプレイ, 電気学会論文誌A, Vol. 127, No. 6, pp. 277-284 (2007)

[2] D. S. Alles. Information transmission by phantom sensations. IEEE transactions on man-machine systems, vol. 11, no. 1, pp. 85–91, 1970.

[3] S. Tachi, K. Tanie, K. Komoriya, K. Asaba, Y. Tomita, and M. Abe. Information transmission by two-dimensional electrocutaneous phantom sensation. in Bioengineering. Elsevier, 1980, pp. 254–258.

[4] 海老名 健太, 蜂須 拓, ファントムセンセーションを用いた二者間における任意位置振動提示手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 28, No. 4, pp. 303-310 (2023)

[5] 田和 隼輔, 永野 光, 田崎 勇一, 横小路 泰義, 広範囲での物体移動感を提示するためのファントムセンセーションの拡張, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2020, p. 2A1-P10.

[6] Yusuke Ujitoko and Yuki Ban. Survey of pseudo-haptics: Haptic feedback design and application proposals. IEEE Transactions on Haptics, 2021.

[7] 伊東 健一, WebXR Pseudo-haptics: Web 上のバーチャル空間における疑似触覚体験, バーチャル学会発表概要集, 2021, バーチャル学会 2021, pp. 18.

[8] 菊池 大輝, 昆陽 雅司, 田所 諭, 振動インテンシティを用いた任意波形のファントムセンセーションの生成, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol. 2021, pp. 1P1-M08 (2021)

© 2025 日本バーチャルリアリティ学会