



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

# 真空ブレーキの動的制御における制御周波数の違いによる知覚変化の検証

Instructions for Preparation of Camera-ready Manuscripts  
for Proceedings of the Virtual Reality Society of Japan

際田直樹<sup>1)</sup>, 嵯峨智<sup>2)</sup>

Naoki Kiwada, and Satoshi Saga

- 1) 熊本大学大学院 自然科学教育部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39-1 号, kiwada@saga-lab.org)  
2) 熊本大学大学院 先端科学研究部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39-1 号, saga@saga-lab.org)

**概要:** 我々はこれまで全方向移動車と真空を利用したブレーキを組み合わせたデバイスによる力覚提示手法を提案してきた。以前の実験により電磁弁を PWM 制御することで力覚表現の多様化が可能であることが示唆される一方で、周波数によっては提示される力覚が振動のように感じてしまうという課題が判明した。今回は PWM 制御周波数を変化させ、ユーザが振動を感じにくくなる周波数を同定することを目的とし、制御周波数の変化に伴うユーザの知覚変化を評価した実験について報告する。

**キーワード:** 真空ブレーキ, 全方向移動車, PWM 制御

## 1. はじめに

近年の Head Mounted Display (HMD) などの技術の発展に伴いより臨場感のある Virtual Reality (VR) 体験が可能となりつつある。一方で、現在コンシューマ向けに普及している VR デバイスは HMD による映像及び音声による視聴覚への提示及び振動子を搭載したコントローラによる振動による触覚提示が主流であり、より臨場感のある体験に必要不可欠である力覚のフィードバックに乏しいという課題がある。このような課題に対して現在までに様々な力覚提示デバイスが提案されてきた。これまで提案されてきた力覚提示デバイスとして Gravity [1] のようなブレーキ機構を用いて力覚を提示するデバイスや、SPIDAR[2] のように糸とモータを用いて力覚提示を行うようなデバイスがある。このようなデバイスでは力覚提示が可能な一方で、それぞれ手に装置を装着するためユーザに負担がかかってしまったり、卓上において使用するためユーザが VR 空間で自由に動き回れないなどの課題も存在する。また、近年ではドローンを用いた触覚提示手法も提案されている。Haptic Drone [3] はシステム本体がユーザと独立しているためユーザに負担をかけることなく広い範囲で力覚の提示が可能となっている。一方で、提示される力覚の大きさは数 N 程と小さな力覚のみしか提示できない。そこで我々は、全方向移動車に真空ブレーキを搭載したデバイスの提案を行ってきた。これまでの研究で提案デバイスにおいて、PWM 制御を行うことにより、提示できる力覚表現の多様化が示唆されてきた。一方で制御周波数や Duty 比によっては提示される力覚が振動のように感じてしまうという課題があっ

た。本稿では PWM 制御に適した周波数の調査を行なった結果について述べる。

## 2. 提案手法

本節では提案手法について述べる。提案手法では、全方向移動車に真空を利用したブレーキ機構を搭載し、糸を介してユーザと繋ぐことで反力を提示する。全方向移動車を用いることで反力を提示するための支点が移動可能となっており、真空を利用したブレーキにより発生する負圧により移動車が地面と固定され強い反力の提示が可能となる。また、真空は外部に設置したエアコンプレッサより供給される空気を真空エジェクタにより負圧に変換することで生成する。ブレーキの ON / OFF は移動車に搭載したソレノイドバルブの開閉をマイコンを用いて操作することにより行う。また、ソレノイドバルブの開閉を PWM 制御することにより提示する力覚を調整することも可能となっている。図 1 にシステムの概略図を示す。

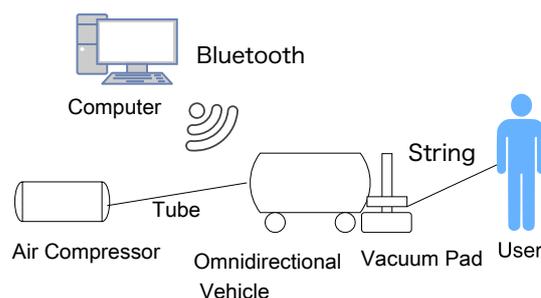


図 1: 提案システム

### 3. 実験

本節では、PWM 制御に適した周波数の同定を目的として行ったユーザ実験について述べる。本実験では異なる Duty 比、周波数を用いて実験協力者に対して力覚提示を行いその際に感じた力に関して振動のように感じたかどうかを 5 段階のリッカート尺度を用いて評価してもらう。また、同時に卓上に固定したフォースゲージをデバイスを介して感じた力と同程度の力で牽引してもらうことによりユーザが感じた力の測定を行う。この試行をそれぞれ 3 回ずつ行い一人の協力者につき合計 60 回の試行を行なった。実験の際は実験協力者にアイマスクとノイズキャンセリングヘッドホン装着させ、ヘッドホンからはピンクノイズを流す。実験後には協力者から自由にコメントを得た、なお、本実験では 10 Hz から 50 Hz までの周波数を 10 Hz 刻みで 5 種類用い、Duty 比を 20% から 100% まで 20% 刻みで変動させた。実験協力者は 22 歳から 24 歳までの男性 4 名で全員右利きであった。図 2 に実験の風景を示す。

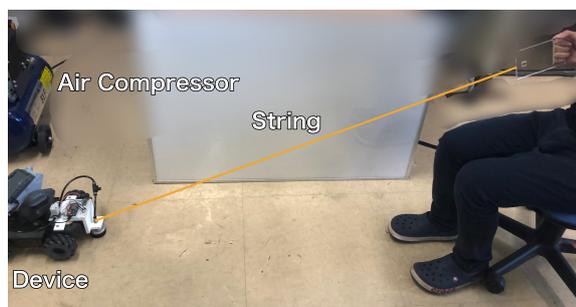


図 2: 実験風景

### 4. 実験結果

初めに図 3 に振動感の評価結果を示す。One - way repeated - measures ANOVA での有意差確認ののち、多重比較検定として Tukey の検定を実施した。図中の\*は有意水準 5% で有意差があることを示す。

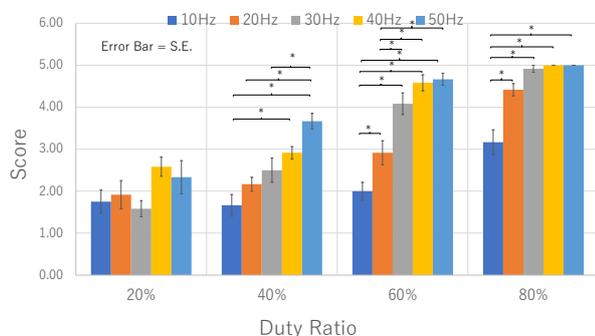


図 3: 各周波数における振動感

次に実験協力者が感じた力の大きさの結果について図 4 に示す。

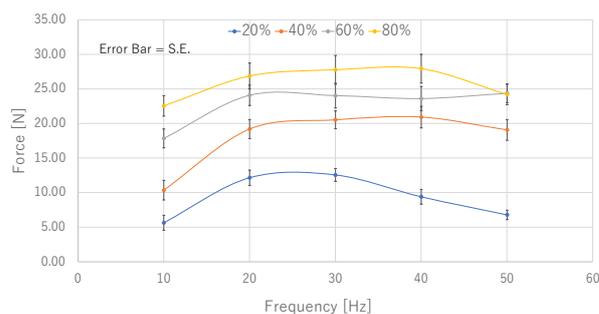


図 4: 各周波数における協力者が感じた力の大きさ

実験結果より、振動感に関して、Duty 比 40% 以上においては 10 Hz を用いた力覚提示に対して周波数を高く設定した場合有意に振動感が軽減されているということが判明した。一方で、20 Hz 以上の周波数において Duty 比 40% と低い値に設定した際も 10 Hz において協力者が感じた力のおよそ倍の力を協力者が感じ取ったことがわかった。Duty 比を 100% に設定した際に提示される反力がおよそ 30 N 程度であるため、周波数を 50 Hz に設定することで振動感を抑えつつ Duty 比 100% の際よりも低い力の提示ができる可能性が示唆された。また、有意差は出なかったが、Duty 比 20% においても周波数が高いほど振動感が抑えられている傾向が見られるため、本実験で用いた 50 Hz の周波数において Duty 比を 20% から 40% の間で調整することで、振動感を抑えつつ 10 N から 20 N 程度の力の提示ができると考えられる。

これらを踏まえると、PWM 制御において 50 Hz 以上の周波数が提示に適していると考えられる。

### 5. まとめと今後の予定

本研究では、提案デバイスにおいて PWM 制御を用いた際に提示される力の大きさの調査及びブレーキの ON / OFF の切り替えによって生じる振動感の抑制を目指して、PWM 制御に適した周波数の調査を実施した。その結果、周波数を 20 Hz 以上に設定することで振動感の軽減が確認された。一方で、周波数を高く設定した場合、Duty 比を 40% 程度と低くした場合であっても 10 Hz の時と比較して高い力が提示されることがわかった。また、50 Hz の周波数を Duty 比 40% で制御した場合、ユーザに対してあまり振動感を与えることなく 20 N 程度の力を提示できたため、周波数 50 Hz において Duty 比を 20% から 40% の間で調整することで振動感を抑えつつより小さい力の表現ができる可能性が考えられる。今後は、50 Hz における Duty 比 20% から 40% 間の提示される力の調査及び、周波数をより高くした際における Duty 比と提示される力の関係の調査を実施する予定である。

#### 参考文献

- [1] Inrak Choi, Heather Culbertson, Mark R Miller, Alex Olwal, and Sean Follmer. Gravity: A wearable haptic

interface for simulating weight and grasping in virtual reality. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 119–130, 2017.

- [2] 佐藤誠, 平田幸広, 河原田弘. 空間インタフェース装置 spidar の提案. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 74, No. 7, pp. 887–894, 1991.
- [3] Muhammad Abdullah, Minji Kim, Waseem Hassan, Yoshihiro Kuroda, and Seokhee Jeon. Hapticdrone: an encountered-type kinesthetic haptic interface with controllable force feedback: initial example for 1d haptic feedback. In *Adjunct Publication of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 115–117, 2017.