

# FreelForce: 任意のタイミングで使用可能な 非接地型力覚提示デバイス

下田 玲央<sup>1,a)</sup> 真鍋 宏幸<sup>1,b)</sup>

**概要:** 仮想空間における力覚提示手法として、糸を用いた非接触型力覚提示デバイスがある。移動しながら使える力覚デバイスとして使用することができるが、手の自由度が制限されてしまうというデメリットが存在する。そこで本研究では、ユーザーが必要としている場面では力覚を体験でき、不要な場面では手が自由になるウェアラブル型の力覚提示デバイス“FreelForce”を提案する。ワイヤの長さが制御可能であるリールストラップをHMD上部に設置しており、ユーザーがワイヤ先端の把持部をつかむことで力覚提示を行う。デバイスの実装と2つのアプリケーションの作成を行い、提案手法の有効性を確認した。

## 1. はじめに

仮想空間に対するインタラクション手法は多数提案されており、その中には人間の手の力覚に対するインタラクションも存在する。人間の手の力覚に対するインタラクションは指が物に触れたときに生じる反力を再現する技術を利用したインタラクションであり、VRへの没入感を強める効果が期待されている。これまで提案されてきた手に対する力覚提示デバイスには主に接地型と非接地型の2種類存在しているが、接地型ではユーザーの行動範囲が狭くなってしまふ。非設置型はユーザーに装着するかユーザーが把持するデバイスであり、ユーザーが移動しながら使えるデバイスであるが、提示できる力やデバイスの大きさに制限があること、不使用時にデバイスが邪魔になることがある。提示できる力やデバイスの大きさを緩和する手法の一つとして、糸の張力を用いる非接地型力覚提示装置が提案されているが、これらの装置はユーザーの手に装置を装着し続けなければならないため、手の自由度が制限されてしまふ。そこで本研究ではユーザーが力覚提示を必要としている場面においてデバイスを使用し、必要としない場面では手が自由になるようなウェアラブル型の力覚提示デバイス“FreelForce”を提案する。

## 2. 関連研究

接地型の力覚提示装置では、据え置きされたデバイスの把持部をユーザーが接触することによって力覚を提示す

る。その例として、3D systems社のTouch<sup>\*1</sup>や、MPB社のFreedom6s[1]がある。接地型は据え置きされたデバイスのため、ユーザーに対して強い力を提示することや装置の大きさに制限はないが、装置自体が大きくなり易く、ユーザーの行動範囲が限られてしまふデメリットが存在する。

非接地型には、ユーザーが力覚提示デバイスを身体に装着し、力覚提示部が常に体の一部に触れていることで力覚を提示している装着法と、力覚提示が可能なコントローラを把持することで力覚を体験する把持法に分けられる。非接地型装着法の例としてCyberGlove Systems社製のCyberGrasp<sup>\*2</sup>や、田中らが開発したFluid Power Glove[2]などがあげられる。非接地型装着法はウェアラブルデバイスとして使用することができるが、提示できる力の大きさの制限やデバイスの大きさの制限があることと、常にデバイスが身体に装着されているため、力覚を体験する状態と体験しない状態の切り替えがスムーズに行えないデメリットがある。非接地型把持法の例として、Colinらが開発したTorqueBAR[3]や、Andréらが開発したDrag:on[4]などがあげられる。非接地型把持法は装着法と同じく移動したまま使えるウェアラブルデバイスとして使用することができる利点があるが、装着法に比べ提示できる力が小さい。

以上のように接地型と非接地型にはそれぞれ短所が存在しているが、非接地型装着法の短所である、提示できる力の大きさの制限やデバイスの大きさの制限を緩和する手法の一つとして、糸の張力を用いる非接地型装着法力覚提示装置が提案されている。糸の張力を用いる力覚提示装置の長所は装置の構造が簡単かつ安全であり、容易に作業領域

<sup>1</sup> 芝浦工業大学

<sup>a)</sup> ma23090@shibaura-it.ac.jp

<sup>b)</sup> manabehiroyuki@acm.org

<sup>\*1</sup> <https://ja.3dsystems.com/haptics-devices/touch>

<sup>\*2</sup> <http://www.cyberglovesystems.com/cybergasp>

を拡大できることが挙げられる。例えば、澤田らが開発した“SPIDAR-HMD”[5]は、HMD上にSPIDARシステムを用いた力覚提示装置を設置することで移動中での力覚提示を実現している。SPIDARシステムとは、佐藤らが開発した糸とDCモータを用いて力覚の提示を行う接地型力覚提示装置“SPIDAR”[6][7][8]に用いられたシステムのことである。他にも、Cathyらは長さを制御可能な引き込み式のワイヤーを肩に装着し、手の個々の関節を現実空間で正確に固定できる非接地型力覚提示デバイス“Wireality”[9]を開発した。しかし、これらのデバイスはユーザーの手に装置を装着し続けなければならないため、ユーザーの手の自由度が制限されてしまう。一方、提案手法では、ユーザーが力覚提示を必要としている場面においてデバイスを使用し、必要としない場面では手は自由になる。

### 3. FreelForce

リールストラップを用いた力覚提示装置デバイス“FreelForce”を提案する。HMD上部にワイヤーの長さが制御可能であるリールストラップが設置されており、ユーザーはワイヤー先端の把持部をつかみワイヤーを引くことで、ワイヤーを引く方向に対する力覚を体験することができる。力覚提示を行うために必要となる手の姿勢位置は、HMDのハンドトラッキング機能を利用して取得すればよい。ハンズフリーの状態から力覚を素早く体験できる状態まで(あるいはその逆)をスムーズに移行できることができ、かつウェアラブルデバイスであることが特徴である。

提案手法は力覚提示を行うことができるが、必ずしもその必要はなく、入力モードを素早く切り替えることができることのみを活用することも可能である。

#### 3.1 実装

実装したデバイスの概観を図1に示す。デバイスは、HMD (Oculus Quest2)、先端に把持部が付いたリールストラップ、リールの回転を止めるストッパー機構で構成されている。リールストラップはワイヤーを引っ張り手を放すと自動で巻き取られる機能(ワイヤー巻き取り機能)が搭載されており、ワイヤーが完全に巻き取られたかどうかを検出するセンサを設置してある。ストッパー機構は、リールストラップの外側にある、ワイヤー収納口付近に設置されており、ステッピングモータ\*3と3Dプリンタで作成した負荷軸用パーツとフレームで構成されている。リールストラップのワイヤーは図2(左)のように負荷軸用パーツとフレームを通し、ワイヤー収納口から先端まで一直線になるように設計されているため、ワイヤーに干渉することはない。力覚提示を行う際は、図2(右)のようにモータの軸と負荷軸用パーツが回転し、ワイヤーの自動巻き取りあるいは手によるワイヤー



図1 FreelForceの概観。

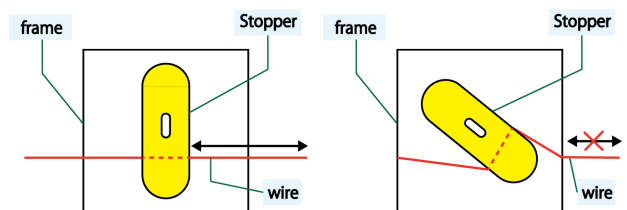


図2 通常時(左)とワイヤー制御時(右)のストッパー機構。

の引き延ばしを阻害する仕組みになっている。

ストッパー機構の制御は、カメラで取得した手の姿勢位置情報を基に行われる。例えば、手がHMDからある一定距離以上離れたときにストッパー機構を動作させれば、ユーザーはそれ以上手を移動させることができず、力覚を知覚する。

### 4. アプリケーション

提案手法は、ユーザーがハンズフリーの状態から力覚を素早く体験できる状態までスムーズに移行できることが特徴である。そこで、ユーザーがハンズフリーの状態とデバイスを用いて力覚を体験している状態の両方をスムーズに体験できる“キーボード入力アプリケーション”そして、ハンズフリーの状態とデバイスを用いて入力している状態の2種類をスムーズに切り替えできる“ユーザー視点移動アプリケーション”の2つを実装した。

#### 4.1 キーボード入力アプリケーション

このアプリケーションでは仮想空間上において、空中にQWERTY配列のキーボードを表示し、それを用いて文字入力を行う(図3左)。キーボード入力自体は本デバイスを使用しなくても行えるが、ユーザーが本デバイスを使用しながらキーボード入力をするボタン部分の接触時における力覚を体験することができる。このアプリケーションによってユーザーがハンズフリーの状態とデバイスを用いて力覚を体験している状態両方において文字入力が行えることを確認した。

\*3 NMB Technologies Corporation PG25L-D24-HHC1

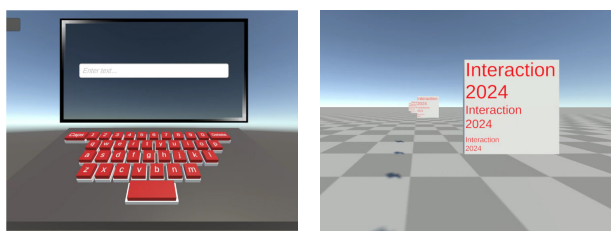


図 3 キーボード入力アプリ (左) とユーザー視点移動アプリ (右)

#### 4.2 ユーザー視点移動アプリケーション

提案手法を、VR 空間での移動や視点移動に応用することもできる。作成したアプリケーションでは、VR 空間上に複数のオブジェクトが異なる奥行きに配置されている (図 3 右)。ユーザはデバイスの把持部をつかみワイヤを伸ばすと移動することができ、奥に配置されているオブジェクトに近づく。ワイヤを元に戻すとユーザの位置も初期位置に戻る。提案手法を用いれば、現実世界で移動したり、コントローラでワープ場所を指示することなく、遠くのオブジェクトを確認することができる。このアプリケーションは、素早く入力モードを切り替えることができる提案手法の特徴を活用しており、さらにワイヤの長さを用いた二次元の入力を行っている。

### 5. 議論

本提案手法の利点は本デバイスが設置されている HMD を装着していれば、場所を問わずユーザが必要としているタイミングで本デバイスを力覚提示デバイス、または入力デバイスとしても使用できる点である。今回のアプリケーションをもとに例を挙げると、キーボード入力においては、ユーザがワイヤを引き延ばすとキーボードを表示し、力覚提示込みの文字入力が完了したらユーザはワイヤから手を離し、キーボードの表示を停止するようにできるというようなインタラクションが行える。

本提案手法は 1 本のワイヤを使っているため、ユーザーに提示できる力覚方向はユーザーがワイヤを引いた 1 方向のみであり、かつ HMD に向かう向きの力しか提示することはできない。また、今回のアプリケーションにおけるストッパー機構の動作は、リールの回転を止めるか止めないかの 2 値制御しかしておらず、力覚提示が連続的でないため、弾性物体の再現や 2 方向の力覚提示など、複雑な力覚提示は行うことができていない。しかし、ストッパー機構の構造上、ストッパーの角度を連続的に制御することでリールの回転速度を調節できると考えられるため、弾性物体の再現を行える。他にもデバイスの改善案として、デバイスのワイヤレス化やストッパー機構の設計の見直しなどが考えられる。

本デバイスの拡張機能として、ワイヤ本数の追加やデバイスの取り付け位置の再選定、デバイス把持部に対する入力機能の追加があげられる。現在本デバイスの力覚提示ま

たは入力方向が 1 方向であるが、ワイヤ本数の追加を行うことで、力覚提示または入力方向が複数になるため力覚提示方向や入力数が増えると考えられる。また、現在のデバイスの取り付け位置は HMD 上であるが、取付位置を身体の一部や、日常で使用している道具に取り付けることで力覚提示箇所を変化させることができると考えられる。さらに、現在本デバイスの把持部には入力機能が存在せず、ただ金具が取り付けられているだけである。そこで、デバイスの把持部に入力機能を追加することで、ユーザーがワイヤを引くことによる入力とデバイスの把持部による入力を組み合わせることができると考えられる。

### 6. おわりに

本研究ではユーザーが力覚提示を必要としている場面においてデバイスを使用し、力覚を体験できるウェアラブル型の力覚提示デバイス“FreeForce”を提案した。本提案手法の特徴や実装方法を示し、アプリケーションではユーザーがハンズフリーの状態、デバイスを用いて力覚を体験している状態、そしてデバイスを用いて入力している状態それぞれをスムーズに切り替え可能であることを明らかにした。

#### 参考文献

- [1] Demers, J.-G., Boelen, J. and Sinclair, I.: Freedom 6S Force Feedback Hand Controller, *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 31, No. 33, pp. 115–120 (online), DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)38396-9](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)38396-9) (1998). IFAC Workshop on Space Robotics (SPRO'98), St-Hubert, Canada, 19-22 October.
- [2] TANAKA, Y.: Dynamic Force Display in Virtual World by Fluid Power Glove, *Proc. of the Fourth JHPS Int. Symp. on Fluid Power*, pp. 187–192 (online), available from (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1571135649232202368>) (1999).
- [3] Swindells, C., Uden, A. and Sang, T.: TorqueBAR: An Ungrounded Haptic Feedback Device, *Proceedings of the 5th International Conference on Multimodal Interfaces*, ICMI '03, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 52–59 (online), DOI: 10.1145/958432.958445 (2003).
- [4] Zenner, A. and Krüger, A.: Drag:On: A Virtual Reality Controller Providing Haptic Feedback Based on Drag and Weight Shift, *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '19, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1–12 (online), DOI: 10.1145/3290605.3300441 (2019).
- [5] 佐藤 誠: HMD 一体型力覚提示装置“SPIDAR-HMD”の開発, 平成 30 年電気学会知覚情報研究会, Vol. -, pp. 41–46 (オンライン), 入手先 (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1010848250834892808>) (2018).
- [6] BOUZIT, M.: The LRP Dextrous Hand Master, *Proceedings of VR System'93 Conference, Newyork City, October*, (online), available from (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1570009749979628544>) (1993).
- [7] BEN-UR, E.: Development of a Force-Feedback Laparoscopic Surgery Simulator, *Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, MIT*, (online), available from

- (<https://cir.nii.ac.jp/crid/1572261549793311872>) (1998).
- [8] 佐藤誠. 他: 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-2 情報・システム, 電子情報通信学会情報・システムソサイエティ, Vol. 74, pp. 887–894 (1991).
- [9] Cathy Fang, Yang Zhang, M. D. C. H.: Wireality: Enabling Complex Tangible Geometries in Virtual Reality with Worn Multi-String Haptics, pp. 1–10 (online), DOI: <https://doi.org/10.1145/3313831.3376470> (2020).