

# ウェアラブルな手首力覚提示デバイスの提案

田上想馬<sup>†1</sup> 馬姝涵<sup>†1</sup> 赤羽克仁<sup>†1</sup> 佐藤誠<sup>†1</sup>

近年、HMDの発達により、VR世界の映像を目の前に映し出すことであたかも自分がVR世界の中にいるかのような感覚をもたらすことが可能になった。そのため、HMDを利用してジェットコースターを体験したり、仮想の家の中を自由に探索するといった仮想体験をリアルに再現することができる。HMDの映像に加え、力覚提示装置を併用することで、視覚と力覚の二つの感覚を利用してより高度にVR世界に没入することができる。ユーザが自然にVR世界の物体に干渉するためには、力覚提示装置がユーザの動作を制限しないウェアラブルな装置であることが望ましい。本研究では、HMDの併用を前提とした、ユーザの両手に力覚を与えることで「仮想物体を両手で掴む動作」を実現するウェアラブル手首力覚提示装置“SPIDAR-W”の開発を行う。

## A Proposal of Wearable Wrist Haptic Device

Soma TANOUE<sup>†1</sup> Ma SHUHANN<sup>†1</sup>  
Katsuhito AKAHANE<sup>†1</sup> Makoto SATO<sup>†1</sup>

In recent years, we can get a sense as if there is oneself in the VR world by projecting a picture of the VR world in front. Therefore, we can reproduce a virtual experience such as riding a roller coaster and searching in a virtual house realistically. In addition to a picture of HMD, we can be absorbed in the VR world more highly using sense of vision and force by using haptic device. So that a user interacts an object of the VR world naturally, it is desirable that haptic device is wearable device which does not limit the movement of the user. In this paper, we develop wearable wrist haptic device “SPIDAR-W” which realize movement to catch a virtual object with both hands by giving both hands force of the user.

### 1. はじめに

#### 1.1 研究背景

近年、HMDの発達により、VR世界の映像を目の前に映し出すことであたかも自分自身がVR世界の中にいるかのような感覚をもたらすことが可能になるほどのHMDが登場した。HMDは人間の頭に装着して使用するウェアラブルな視覚機器であり、外界の情報を遮断してVR世界の映像のみを映し出すため、外の情報を見ることなくVR世界に没入することができる。そのため、HMDを利用してジェットコースターを体験したり、仮想の家の中を自由に探索するといった仮想体験をリアルに再現することができる。



図1 HMD(Oculus rift)によるVR世界への没入

Figure1 Devotion to the VR world by HMD

VR世界をもう一つの実世界のように感じるような体験を実現するために必要な要素の一つとして、VRの物体に触

る・重さを感じるといった力覚が挙げられる。HMDと力覚提示装置を併用することで、視覚と力覚の二つの感覚を利用してVR世界に入り込み、VR世界に存在する物体を直感的に操作・感じ取ることが可能になる。ユーザがより自然な形でVR世界の物体に干渉するためには、力覚提示装置がユーザの操作を制限しないようなポータブルな装置であることが望ましい。ポータブル力覚提示装置の先行研究ではユーザの腕に付けるジョイスティックタイプの装置[1]や、歯付きベルトを利用した携帯型の力覚提示装置[2]が開発されたが、それらの装置では仮想壁に指先で触れることや、VR物体を指先でつまむといった指先による動作のみを実現している。本研究では、VR物体に干渉することができる範囲を広げるため、ユーザの両手に力覚を与えることで「VR物体を両手で掴む動作」を実現することができるウェアラブルな力覚提示装置“SPIDAR-W”の開発を行う。

#### 1.2 ワイヤ駆動型力覚提示システム“SPIDAR”

SPIDAR[3]は位置、姿勢計測機能と力覚提示機能を持つデバイスである。モータとエンドエフェクタをワイヤで接続したデバイス構造をしている。ワイヤの本数や配置によって様々な構造を構成することができるため、ワークスペースを任意に変化させ、幅広い用途への対応が可能となっている。本研究では、SPIDARを利用して両手首に力覚を提示するシステムを構築する。以降、本研究での開発デバイスの名称を“SPIDAR-W”とする。

<sup>†1</sup> 東京工業大学 精密工学研究所  
Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

## 2. ウェアラブル手首力覚提示デバイス”SPIDAR-W”の開発

### 2.1 システム構成

提案システムの概略を図2に示す。ユーザがデバイスを装着可能にするため、デバイス全体をユーザの背中に背負って操作する形の力覚提示デバイスを提案する。背中に背負ったデバイスの両肩と腰の位置からフレームを伸ばし、そのフレームを土台としてモータを手首を囲むように設置する。モータからワイヤを伸ばして手首に装着した力覚提示用エンドエフェクタに取り付ける。取り付けた両手それぞれ8本のワイヤの張力を制御することで両手にVR物体の力覚を提示し、VR物体を両手を使って持ち上げる・回転させるといった動作を実現する。VR世界の計算を行うPCやモータ制御用のコントローラ等は、背面に収納スペースを設けることで持ち運びを可能にする。

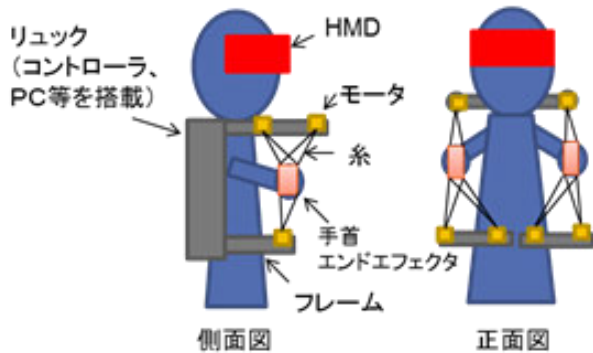


図2 ウェアラブル手首力覚提示デバイス概要図  
Figure2 Overview of wearable wrist haptic device

### 2.2 手首力覚提示用エンドエフェクタの設計

手首に力覚を提示するためのエンドエフェクタについて説明する。設計した手首力覚提示エンドエフェクタを図3に示す。

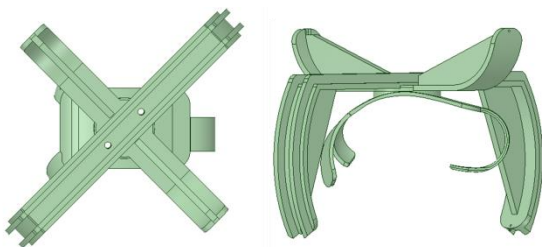


図3 手首力覚提示エンドエフェクタ  
Figure3 End effector for wrist haptic display

エンドエフェクタの大きさについては、指や手首など、手の可動部に被さらず、手の甲に十分なトルクを与えることのできる最低限のサイズとなっている。エンドエフェクタの固定方法は、手首にトルクを出すためにエンドエフェク

タに爪をつけ、手のひらに掛けることのできる形になっており、爪の反対側からベルトを回り込ませて固定することで拘束感を出している。ワイヤを取り付ける先端部分を上下に伸ばした形状になっており、フレームからエンドエフェクタに伸ばした複数のワイヤ同士がデバイス操作時に互いに干渉しないような構造になっている。

### 2.3 フレームの設計

デバイス全体を背中に背負うため、ユーザに負担がかからないような重量のデバイスであることが望ましい。そのため、本研究においてフレーム材料には比較的軽量のアルミパイプを選択した。また、フレームと糸が操作時に邪魔にならないようにモータやフレームの配置を決める必要がある。さらに、仮想物体の操作をする際に十分な力覚提示領域を確保することも重要である。以上の事を踏まえて設計したSPIDAR-Wのフレームを図4、図5に示す。

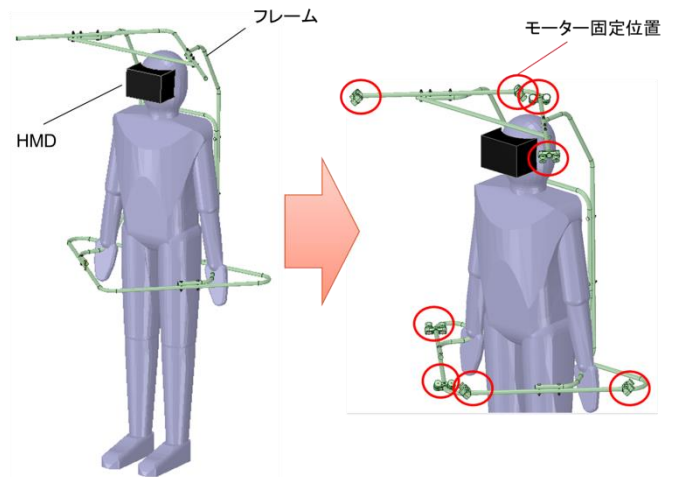


図4 SPIDAR-W フレーム全体図  
Figure4 SPIDAR-W frame general view

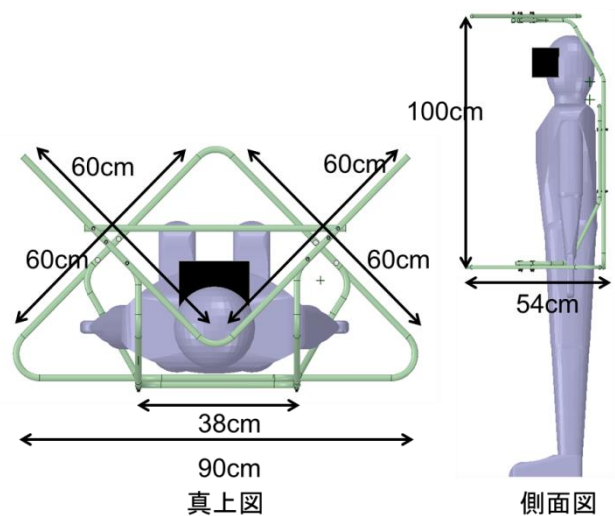


図5 フレーム寸法  
Figure5 Frame dimensions

## 2.4 モータの配置

SPIDAR システムでは糸の張力を用いて力覚を提示するため、力覚を与えたい範囲がモータに囲まれていなければならない。今回力覚を与える部位は手の甲であり、手の甲の可動範囲を囲み、糸ができるだけ干渉せず、かつフレーム形状を冗長にしないようなモータ配置を考える必要がある。モータの具体的な配置を表 1,2 に示す。

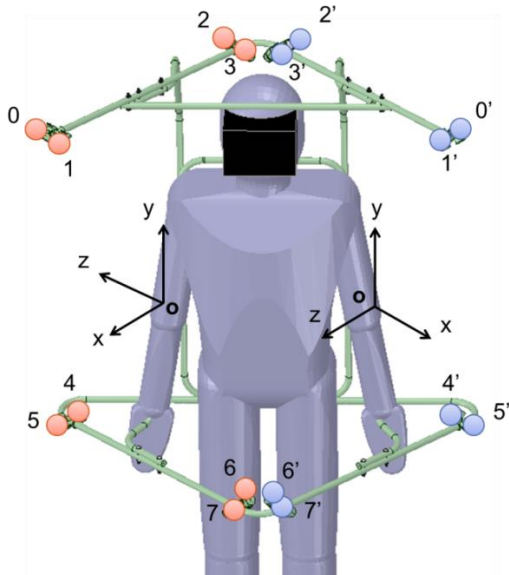


図 6 モータ配置

Figure6 Motor placement

表 1 右手モータの位置

Table1 Position of the motor of the right hand

モータ番号	x [cm]	y [cm]	z [cm]
0	28.75	40.25	1.9
1	28.75	40.25	-1.9
2	-28.75	40.25	1.9
3	-28.75	40.25	-1.9
4	-1.9	-40.25	28.75
5	1.9	-40.25	28.75
6	-1.9	-40.25	-28.75
7	1.9	-40.25	-28.75

表 2 左手モータの位置

Table2 Position of the motor of the left hand

モータ番号	x [cm]	y [cm]	z [cm]
0'	28.75	40.25	-1.9
1'	28.75	40.25	1.9
2'	-28.75	40.25	-1.9
3'	-28.75	40.25	1.9
4'	-1.9	-40.25	-28.75
5'	1.9	-40.25	-28.75
6'	-1.9	-40.25	28.75
7'	1.9	-40.25	28.75

## 2.5 糸の取り付け

エンドエフェクタに並進 3 自由度、回転 3 自由度の力覚を与えられるように、フレームに配置されたモータから糸を張る。エンドエフェクタの糸の取り付け口は 4 点存在する。モータとエンドエフェクタの糸のつながり方は図 7 のようになる。それぞれのモータとエンドエフェクタの糸の出口の組み合わせを表 3 に示す。

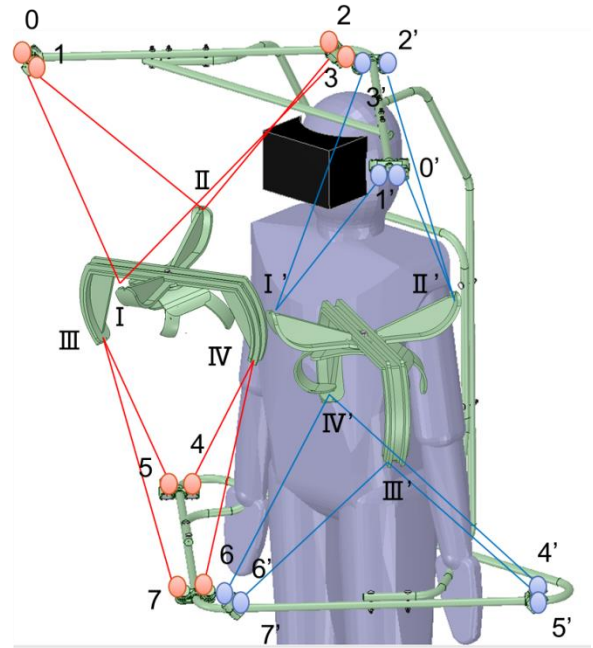


図 7 糸の出口と糸の取り付けの関係

Figure7 Exit of the thread and relations of the installation of the thread

表 3 モータとエンドエフェクタの組み合わせ

Table3 Combination of motor and end effector

エンドエフェクタ		モータ番号	
右手	I	1	3
	II	0	2
	III	5	7
	IV	4	6
左手	I'	1'	3'
	II'	0'	2'
	III'	5'	7'
	IV'	4'	6'

## 2.6 デバイス全体図

ユーザが SPIDAR-W 全体を装着したときの全体図を図 8、図 9 に示す。ユーザは SPIDAR-W をリュックのように背負い、両手に手首力覚提示用エンドエフェクタを装着する。ユーザの頭部に HMD (Oculus Rift) を装着することで仮想

世界に没入し、仮想物体を両手を使って操作する。仮想物体を操作したときの力覚が手首エンドエフェクタを通してユーザに返され、ユーザが仮想物体に触った・動かした感覚を得ることができる。

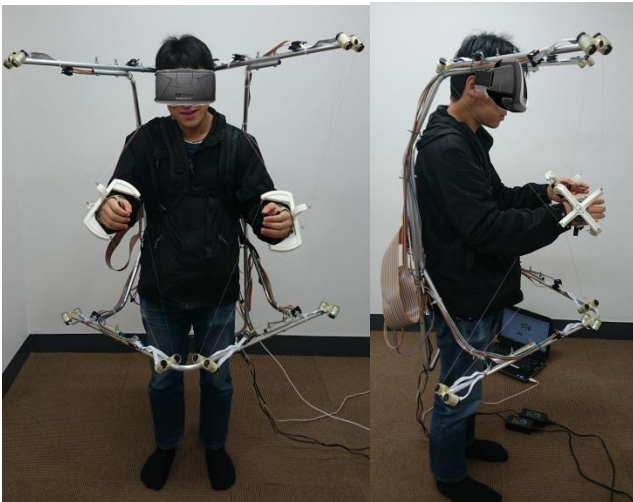


図 8 SPIDAR-W 全景

Figure8 A full view of SPIDAR-W

### 3. おわりに

#### 3.1 まとめ

本研究では仮想世界に高度に没入するために、HMD の併用を前提としたユーザー装着型の手首力覚提示デバイスを開発した。力覚提示デバイスの土台であるフレームを装着したままユーザの両手を自由に操作して手首に物体の力覚を与えるということを十分に実現するための効率的なモータ配置・フレーム形状を検討し、フレーム全体の設計を行ってきた。昨今の目覚ましい HMD の発展により、仮想現実の世界を体験するという技術に注目が集まっているため、HMD と力覚提示デバイスを同時に使用して、視覚・力覚的に仮想世界に没入することができるデバイスを開発する意義は十分にあると考えている。

#### 3.2 今後の課題

本研究で設計した SPIDAR-W のフレームは上下方向の剛性が弱い設計になったため、力覚提示の際にフレームのたわみが生じ、モータ位置の誤差により提示力が正しく与えられない恐れがある。そのため、上下方向の剛性を高めることができるフレームの設計をすることや、アルミ以上に剛性が高く、かつ軽量の素材のフレームを使用するといったアプローチが必要であると考えられる。また、SPIDAR-W を装着する際、デバイスの下から潜り込んで装着する必要があるため、デバイス装着に手間がかかるという問題があることから、デバイスの脱着のしやすさを向上させるような設計に作り直すことも重要であると考えている。

### 参考文献

- 1) 岩田 洋夫, 中川 博憲: 着用型力覚帰還ジョイスティック, 映像情報メディア学会技術報告 22(28), 15-18, 1998-06-01
- 2) 中山 功一, LIU Juan, 安藤 広志: 歯付ベルトにより小型軽量化

した携帯型力覚デバイス, 情報処理学会シンポジウム論文集 2011 pp.645-646

3) 佐藤 誠, 平田 幸弘, 河原 由弘: 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 Vol.J74-D-2, No.7, pp.887-894, 1991

4) M. Hirose, K. Hirota, T. Ogi, H. Yano, N. Kakei, M. Saito, and M. Nakashige, "HapticGEAR: the Development of a Wearable Force Display System for Immersive Projection Displays. Proc. IEEE VR, 2001.