



# VR 消防体験 -炎舞-

## Virtual Firefighting -ENBU-

伊藤弘一郎<sup>1)</sup>, 小嶋才蔵<sup>1)</sup>, 細谷佳生<sup>1)</sup>, 天野靖大<sup>1)</sup>, 内山敬太<sup>1)</sup>, 亀沢和史<sup>1)</sup>, 佐々木勇星<sup>1)</sup>,  
福田哲生<sup>1)</sup>, 松尾大地<sup>1)</sup>, 児玉拓郎<sup>1)</sup>,

Koichiro ITO, Saizoh KOJIMA, Yoshiki HOSOYA, Yasuhiro AMANO, Keita UCHIYAMA, Kazushi KAMEZAWA,  
Yusei SASAKI, Tetsuki FUKUDA, Daichi MATSUO, and Takuro KODAMA

1) 筑波大学 システム情報工学研究科 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台 1 丁目 1-1, k\_ito@vrlab.esys.tsukuba.ac.jp)

**概要:** 本企画では, 消防隊員の視点から消火活動の体験が可能であるインタラクティブな消火訓練システムを開発する。体験者は, HMD から火災現場を再現した映像を提示され, 消防用散水ホース型コントローラを操作することで消火活動を行う。システムは HMD を使用する映像提示装置と大型の送風機構を用いずに大風力を体験者に知覚させる装着型風覚提示装置, 水噴流反力を提示する道具媒介型力覚提示装置から構成される。風覚は温冷覚, 聴覚, 皮膚感覚, 深部感覚を刺激することで知覚させ, 水噴流反力は牽引力及びジャイロモーメントを用いた力覚提示により知覚させる。

**キーワード:** 消火活動シミュレーション, 大風力提示, 水噴流反力提示, ジャイロモーメント

## 1. はじめに

現在, HMD が急速に普及したことでバーチャル環境を用いたシミュレータが多く開発されている。特に, 地震災害や火災に着目したシミュレータは多く, 視覚のみではなく温冷覚や嗅覚を刺激することで, より実環境に近い環境を再現したサービスも存在する<sup>[1][2]</sup>。しかし, より実環境に近いバーチャル環境を構成するには, バーチャル環境が人間にとって自然な 3 次元空間で構成され, 自分の身体を思い通りに動かすことが可能であり, バーチャル環境とリアルタイムな触力覚インタラクションが可能であることなどが重要であり, これらの要素が十分に含まれたシミュレータの実現が望まれる。

現在まで, 実空間の中でバーチャル環境とのインタラクションを実現させるために, 省スペースで無限歩行移動が可能である歩行感覚提示装置やバーチャル環境との触力覚インタラクションを実現する触力覚提示装置の研究・開発が多く行われてきた。また, 人間にとってさらに自然な 3 次元空間を構成するために, 気温や香り, 風の変化などをインタラクティブに提示可能であるシステムも多く開発され, これらを目的に応じて複数使用することでより実環境に近いバーチャル環境を構成することが可能である。例えば, 火災シミュレータにおいてはバーチャルな火災現場の環境の視覚や温冷覚, 風覚, 力覚情報を知覚することが体験者にとって重要な学習項目であるために, これらを体験者に提示することが期待される。

そこで我々は, 災害現場環境を視聴覚に加えて温冷覚, 風覚, 力覚の提示を行うことで再現する訓練用災害シミュレータの提案・開発を行う。対象となる環境は火災時の消火活動であり, 体験者は消防隊員の視点から消火活動体験を行うことが可能である。特に, 我々は大きな風力と放水時にホースから伝わる水噴流反力を提示することに着目した。現在の風覚提示において大風力を人間に知覚させるためには, 大型の扇風機を用いて実際に風を人間に当てる手法が主流であるが, 省スペースでこれを実現することは難しい。人間は風を気温や音, 皮膚と服の擦れなどにより知覚する。すなわち, 風覚は温冷覚や聴覚, 皮膚感覚を同時に刺激されることにより生じるクロスモーダルな感覚であり, 我々はこれらを同時に体験者に提示することにより大風力を知覚させることが可能か検証する。また, ホースから伝わる水噴流反力提示はホースを支持する手が連続的にホースから大きな力を受けることと, それにより意図した方向にホースの向きを変えづらいことに着目し, 牽引力とジャイロモーメントを使用することでこれを体験者に提示する。

## 2. システム構成

本システムは, 大きく映像提示装置部と風覚提示装置部, 水噴流反力提示装置部に分類される(図 1)。映像提示装置部は HMD 及びトラッキングカメラにより構成され, 体験者の頭部位置及び姿勢をセンシングしながらそれに

合わせた映像提示を行う。描画用ソフトウェアには3次元空間の描画が可能であり、HMDとの連携が容易であるUnityを使用する。風覚提示装置部は消防服を模した装着型デバイスとこれに紐を介して接続されるアクチュエータ群、温風送風機構にて構成される。装着型デバイスは上半身に装着するものと頭部に装着するものがあり、図2のように風を受けた時に振動すると考えられる箇所紐が接続される。水噴流反力提示装置部は消防用散水ホースを模したコントローラとこれに紐を介して接続されるアクチュエータ及び錘により構成される。

## 2.1 風覚提示装置

本装置は、図2のように消防服を模した機構であり、体験者はこれを装着後、これに接続される複数のアクチュエータにより装着する防火服及び防火帽が激しく振動する様子と風により体が煽られる感覚を提示される。アクチュエータにはリニア振動機構を採用し消防服に不規則な振動を与える。また、アクチュエータと消防服の接続に使用する紐の材質により体験者が感じる牽引力の印象を変更可能であるために、紐の材質は複数の材質を実機にて動作させ、より風感覚に近いものを採用する。また、温風送風機構は体験者の頸部に温風が当たるよう体験者正面に配置し、火災による爆発の映像提示と同期して送風を行う。

## 2.2 水噴流反力提示装置

本装置は、図3のように消防用散水ホースを模したコントローラであり、体験者はこれを両手で把持し操作することで消火活動を行う。装置には姿勢を3自由度で推定可能であるIMUセンサを固定し、姿勢を取得する。ま

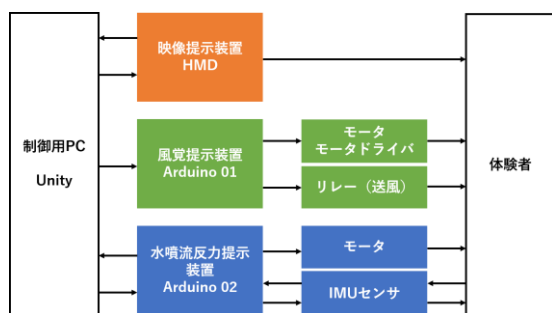


図1 システム構成

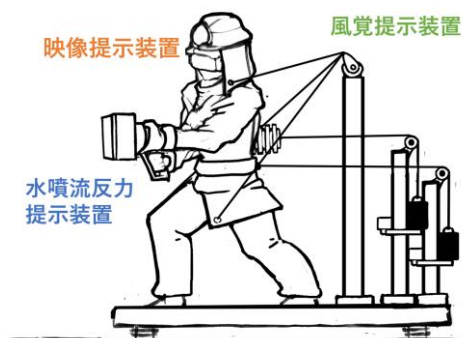


図2 装置概要

た、ホース型コントローラには紐を介して接続された錘をアクチュエータにより位置制御することで牽引力を提示する。これにより水噴流反力を連続的に体験者に与えることが可能であり、水力学における運動量の法則で決定される水噴流反力を提示することを検討している。さらに、消火活動時に消防用散水ホースから水の排出方向以外の力を受ける現象を再現するために、図3のようにコントローラ先端にモータを配置しジャイロモーメントによる力覚提示を行う。ジャイロモーメントは、一定の軸回りで回転する円盤に外部から異なる軸回りの角速度を与えると、その2軸と直交した方向にモーメントが発生する現象であり、吉江らにより非接地で任意の大きさ、方向の力覚提示が可能であることが報告されている<sup>[1]</sup>。これにより、体験者がコントローラを操作することにより生じるインタラクティブな力覚提示を行う。

## 3. 体験の概要

体験者は消防隊員の視点から消火活動体験を行う。体験者は消防服を模したデバイスを装着し、ホース型コントローラデバイスを把持する。体験者は図4のような火災現場を再現した映像を確認し、消火活動を行う。消火活動は屋外と屋内での体験が用意され、それぞれ全ての火を鎮火することが出来れば体験終了となる。体験後には体験に関するアンケート調査が行われる。

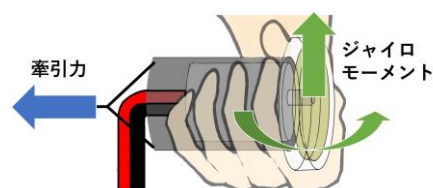


図3 水噴流反力提示装置の模式図



図4 体験時に提示する映像のイメージ

## 参考文献

- [1] 東京消防庁<組織・施設><VR 防災体験車の概要>  
[http://www.tfd.metro.tokyo.jp/ts/bousai\\_fukyu/](http://www.tfd.metro.tokyo.jp/ts/bousai_fukyu/)
- [2] VR消火訓練シミュレータ サービス | NEC ネットエスアイ  
[https://www.nesic.co.jp/solution/bosai/vr\\_shouka.html](https://www.nesic.co.jp/solution/bosai/vr_shouka.html)
- [3] 吉江将之, 矢野博明, 岩田洋夫: "ジャイロモーメントを用いた力覚提示装置"; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.3, pp.329-337