



# トレイグジスタンスの研究 (第 9 4 報) -VR 空間内で物体固有の触感を提示可能な 触覚提示システムの提案-

中郁己<sup>1)2)</sup>, 加藤史洋<sup>2)</sup>, 井上康之<sup>2)</sup>, 舘暲<sup>2)</sup>

- 1) 東京大学 新領域創成科学研究科 (〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5 丁目 1-5, naka@hapis.k.u-tokyo.ac.jp)  
2) 東京大学 高齢社会総合研究機構 (〒113-8654 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1, {naka, fumihito.kato, y-inoue, tachi}@tachilab.org)

**概要:** VR 空間内の物体の触感を指腹に提示可能なグローブ装着型の触覚提示システムを提案する。9 軸慣性センサを用いて手指の位置と姿勢を計測し, VR 空間内のアバターハンドに反映させる。アバターハンドと VR 空間に置かれたバーチャル物体との接触状態を推定する。接触状態に基づいて, 触覚提示モジュールを用いて触覚刺激を指腹に提示するシステムである。予め物体の表面に設定する触覚情報に基づいて, 振動と温度とをユーザの指腹に提示する。

**キーワード:** 触覚ディスプレイ, 触原色, テレイグジスタンス

## 1. はじめに

触感を再現するデバイスは VR において没入感を高める。今日では, Nintendo Switch 等をはじめとする多くの触覚を提示するデバイスが実用化されている。しかし, 提示デバイスの多くが振動の提示しかできず, 現実で接する多様な触覚の再現はできていない。近年では, 多様な触覚の再現をするため, 力などの触覚刺激や温度を振動刺激に組み合わせた複合型触覚提示が提案されている。複合型触覚提示において, 触原色理論に基づいた多様な触覚を再現する方法を田島ら[1]は考案した。実際の物体に触れた時の触覚と, 複合型触覚提示デバイスで提示した人工の触覚とを比較することで, 触原色理論に基づいた方法による触覚の再現度を評価した。

本報告では, 触原色理論に基づいた複合型触覚提示手法を用いて, VR シミュレータ内の物体固有の触感を提示可能な触覚提示システムを提案する。

## 2. 触原色理論

触原色理論とは, 力・振動・温度の三原触に分解し組み合わせ提示することで, 触覚の再現が可能になるという概念である。触覚受容器では, 圧力をメルケル細胞が, せん断力をルフィニ終末が, 低周波振動をマイスナー小体が, 高周波振動をパチニ小体が, 温度を自由神経終末が知覚する。したがって三原触を組み合わせ提示することで, 現実で接する多様な触覚の再現が期待できる。

## 3. 要求仕様

ユーザの手と同じ動きを VR 空間内のアバターハンドに反映させるため, ユーザの手指の位置と姿勢のデータを計測する必要がある。実際の手の動きに対するアバターハンドの遅れは没入感の妨げとなるため, リアルタイムに計測し, アバターハンドに反映させる必要がある。

バーチャル物体の材質に応じた振動と温度を提示するため, 触覚提示モジュールを指先に装着する必要がある。触覚提示モジュールは, 感覚受容器が知覚できる範囲の振動と温度の提示ができる必要がある。振動受容器において, マイスナー小体は振動変位 40Hz 付近で約  $10 \mu\text{m}$ , パチニ小体は振動変位 200Hz 付近で約  $0.1 \mu\text{m}$  の範囲で振動を知覚する。また, 温度受容器において, 自由神経終末は約  $15 \sim 45^\circ\text{C}$  の範囲で温度を知覚する。したがって, 上記を満たす範囲での振動と温度の提示をモジュールができる必要がある。

## 4. 提案システム

ユーザの手指の動きを計測するセンサグローブの指先に触覚を提示する触覚提示モジュールを組み込み, VR シミュレータ内に配した試料をユーザが触れることで触覚を感じるシステムを構築する。図 1 はセンサグローブを装着し, VR シミュレータ内の試料へ手を動かす様子である。

次節では, センサグローブ, 触覚提示モジュール, VR シミュレータについて説明する。



図 1 : VR シミュレータ使用時の様子

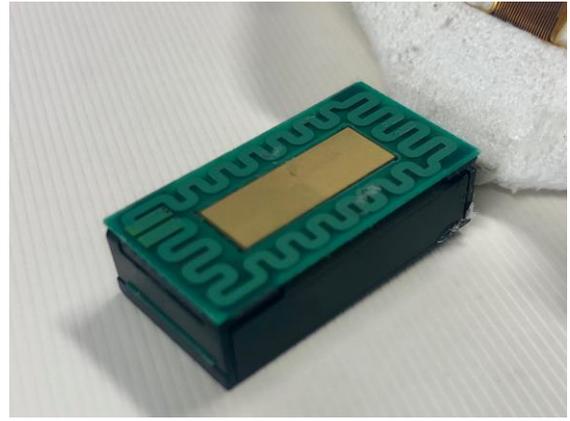


図 3 : 2 触覚モジュール[3]

#### 4.1 センサグローブ

センサグローブは、図 2 に示すスパイス社の IGS Cobra Glove を使用する。手甲部に 1 個、末節骨に 4 個、中節骨に 4 個、基節骨に 5 個、中手骨に 2 個の計 16 個の 9 軸慣性センサがグローブを構成する。

手甲部と各指節に取り付けた 16 個のセンサ群によって手指の姿勢をサンプリング周波数 60Hz で計測する。センサグローブで取得した手指の情報から逆運動学に基づく姿勢推定手法[2]を用いてユーザの指先位置を正確に再現するアバターハンド各指の関節角度を計算し、VR シミュレータ内のアバターハンドに反映させる。



図 2 : センサグローブ

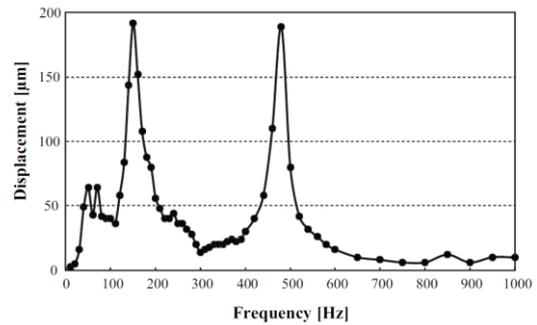


図 4 : 振動素子の周波数特性[4]

#### 4.3 VR シミュレータ

VR シミュレータ内でアバターハンドが試料に触れるときに、振動と温度を指腹に提示する。実際に動作している VR シミュレータの様子を図 5 に示す。3D 空間内を動くアバターハンドと、板に置かれた複数の試料が VR シミュレータを構成する。

アバターハンドはユーザの手指の動きに合わせて自在に動く。アバターとユーザの動きが一致するシステムは先行研究[2][5]を用いる。シミュレータ内には複数の試料を再現し、触感を提示する振動強度と温度を各試料に設定する。アバターの指先が試料に触れるときに、バーチャル物体の材質を示す触感を 2 触覚モジュールを通してユーザの指腹に提示する。

#### 4.2 触覚提示モジュール

グローブの親指・人差し指・中指の指先に触覚提示モジュールを装着する。触覚提示モジュールは、JST ACCEL プロジェクト[3]で研究開発した図 3 に示す 2 触覚モジュールを使用する。2 触覚モジュールは、内部の振動素子と上部の電熱線とペルチェ素子から構成される。振動素子の周波数特性[4]を図 4 に示す。40Hz 付近で約  $60 \mu\text{m}$ 、200Hz 付近で約  $40 \mu\text{m}$  の提示ができることがわかる。電熱線は  $50^\circ\text{C}$  までの加熱が、ペルチェ素子は  $10^\circ\text{C}$  までの冷却ができる。したがって、2 触覚モジュールを用いることで、感覚受容器の知覚範囲を満たす振動と温度の提示が可能となる。



図 5 : VR シミュレータ

## 5. まとめ

本報告では、VR 空間内の物体の触感を提示できる触覚提示システムを提案した。9 軸慣性センサが構成するセンサグループで計測した手指の位置と姿勢の情報を VR シミュレータ内のアバターハンドに反映させる。VR シミュレータ内の試料にアバターハンドが触れる際に、試料ごとに設定した触感をユーザが知覚する。振動素子と電熱線とペルチェ素子を組み込んだ触覚提示モジュールを用いて、振動刺激と温度刺激を指腹に提示することで触感を再現する。

## 6. 今後の課題

被検者への触覚提示実験を行い、触覚の再現性を調べる。振動の強度や温度を変えて提示し、再現に必要な条件を見つける。また、実環境を再現する VR シミュレータを構築し、テレグジスタンス環境での触覚提示につなげたい。

## 7. 謝辞

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（ACCEL）「触原色に立脚した身体性メディア技術の基盤構築と応用展開」の支援によって行われた。ご支援いただいた篠田裕之東京大学大学院新領域創成科学研究科教授に感謝の意を表す。

## 参考文献

- [1] 田島優輝, 加藤史洋, 井上康之, 舘暲: テレグジスタンスの研究 (第 92 報) —力/振動/温度を触原色とする触覚の提示手法と提示装置の提案—, 日本バーチャルリアリティ学会第 22 回大会論文集, 2017.
- [2] 井上康之, 加藤史洋, 舘暲: テレグジスタンスの研究 (第 93 報) —精緻な手指作業を実現するマスタースレーブ計算手法—, 日本バーチャルリアリティ学会第 23 回大会論文集, 2018.
- [3] [https://tachilab.org/jp/accel\\_project.html](https://tachilab.org/jp/accel_project.html)
- [4] Masashi Nakatani, Katsunari Sato, Kunio Sato, Yuzuru Kawana, Daisuke Takai, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi: A novel multimodal tactile module that can provide vibro-thermal feedback, AsiaHaptics2016, 82F-1, Kashiwa, Japan, 2016.11.
- [5] 井上康之, M. Y. Saraiji, C. L. Fernando, 加藤史洋, 山崎喬輔, 田島優輝, 舘暲: テレグジスタンスの研究 (第 89 報) —テレグジスタンスのためのロボットシミュレーションシステム—, 日本バーチャルリアリティ学会第 22 回大会論文集, 2017