



トレイグジスタンスの研究 (第 9 2 報)

—力／振動／温度を触原色とする 触感の提示手法と提示装置の提案—

田島優輝¹⁾²⁾, 加藤史洋²⁾, 井上康之²⁾, 館暁²⁾

- 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, tajima@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, {tajima, fumihiko.kato, y-inoue, tachi}@tachilab.org)

概要: 触覚受容器を選択的に活動させる触原色を多元的に出力することで, 触覚受容器の活動をより高い自由度で制御できる. そのような触覚提示システムにおいては, 提示触感のリアリティの向上, 表現の幅の増大などが期待できる. これまで別々に提案されていた力覚提示システムと, 振動覚・温覚提示システムを統合し, 力・振動・温度を触原色とした触覚提示デバイスを開発した. また, デバイスの評価を目的として VR 環境を用いた実験システムを考案した. 本稿では開発したデバイスの提案と今後予定しているデバイス評価の手法について述べる.

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

実空間の触感をよく再現するリアルな触覚提示システムを実現することで, VR 体験時における没入感や自己投射性の向上が期待できる. 触覚提示システムのリアリティの向上を図るには, 接触に伴う物理現象を忠実に再現すればよい. しかし, そのようなシステムを構成するには, 任意の物質特性に瞬時に変質, 及び変形可能な素材の開発が不可欠であり, 実現は困難である. これに対して当研究室では触原色原理に基づき, 触感を幾つかの触原色の合成により提示することを検討している.

触原色[1]とは触覚受容器を選択的に活動させる刺激のことを指し, 皮膚表層を変形させてメルケル細胞を活動させる力刺激がこれに当たる. 触原色を適切に出力することで, 実際の触感に対応する触覚受容器の活動を再現できる. また, 触原色を多元化して出力することで, 触覚受容器の活動をより多元的に表現できることが予想できる. これはすなわち, 触感を再現するためのパラメータが多元化するとも言え, よりリアルな触覚提示の実現や, 提示触感のバリエーションの増大が期待できる. 触原色を多元的に出力する触覚提示システムとしては, 例えば, 村上らが力と温度の 2 つの触原色を出力するデバイスとして Altered Touch[2]を提案している.

我々は, 触原色の多元的な出力によるリアルな触覚提示を目的として, 3 つの触原色を出力するデバイスを開発した. 本稿ではその触覚提示デバイス, および, デバイスの評価手法について述べる.

2. 提案デバイス

2.1 触原色の選定

触感とは触原色から成る多次元空間において表現することが可能である. 館らは力・振動・温度を触原色とし, 持続時間, 中心周波数, 低下速度をパラメータとすることで, 定性的な触感を物理空間の中で表現することを提案した[3] (図 1). 我々は館らの提案をもとに, 力・振動・温度を触原色とし, 力成分(垂直力・水平力)については負荷力を, 振動については振動子に入力する振動波形を, 温度については加熱速度, 及び冷却速度を時変に制御できる触覚提示デバイスを提案する (図 2). 本研究では本デバイスの応用により, 上述の 3 つの触原色を独立に組み合わせて合成し, 触感を選択的に提示できるシステムを目指す.

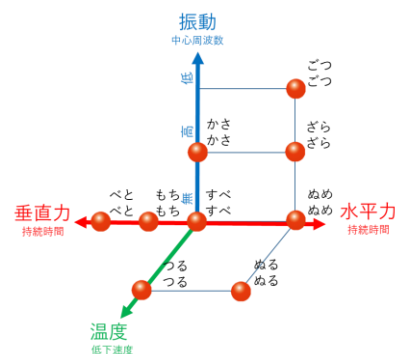


図 1: 力・振動・温度を基底とした空間で表現された触感の例

2.2 デバイス構成要素

提案するデバイスは Gravity Grabber と振動・温度提示モジュールとからなり、それぞれの詳細を 2.2.1, 2.2.2 で述べる。

2.2.1 Gravity Grabber

指腹部における力成分を提示する機構として、南澤らが考案した Gravity Grabber[4]の機構を用いた。図 2 (a) 中の赤枠点線部に相当する部分である。

Gravity Grabber の基本構成要素は 2つのモータと、モータにより巻き上げられるベルト、及び、モータを保持しつつ指への装着を可能にする保持具である。指にデバイスを装着し、モータの回転トルクや回転方向を制御することでベルトを指腹部に押し付けて垂直力を提示したり、提示したりすることが可能になる。我々は Gravity Grabber の機構を提案デバイスにおいて再現・実装し、力成分の提示を実現した。

モータは Maxon motor 社の提供する DC モータ(333358)、ベルトは 12×70×0.058mm のアセテートフィルムを 2枚重ねたもの、ベルトの取り付け用のプーリーとして φ8×20mm のアクリル円柱を用い、保持具はエポキシ系紫外線硬化樹脂を用いて造形した。

2.2.2 振動・温度提示モジュール

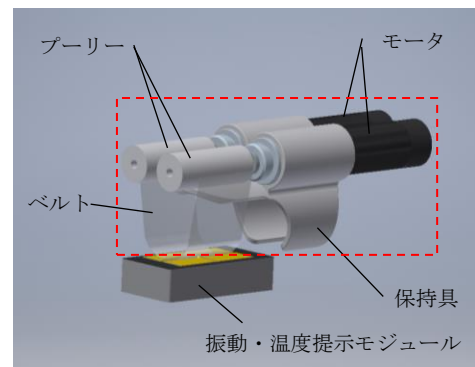
中谷らによって提案された振動と温度を提示するモジュール[5]を使用する。モジュールの模式図を図 3 に示す。モジュールは振動提示部と温度提示部とで構成される。

振動提示部にはアルプス電気株式会社の提供するフォースリアクタ™ AF シリーズを小型化したもの[6]が実装されている。制御用マイコンを介してアナログ波形を出力し、振動させることが可能である。

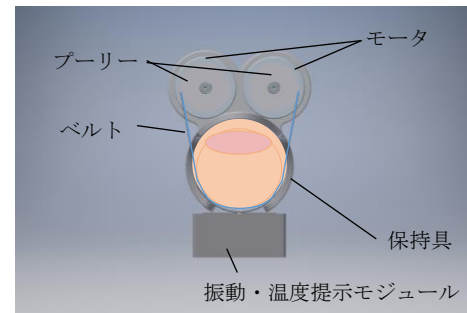
温度提示部には株式会社 KELK が提供するペルチェ素子(KSMH029F)が、図 3 赤枠点線部に示すように 4つ実装されている。ペルチェ素子はペルチェ効果により加熱と冷却の両方が可能だが、素子を冷却直後に加熱する場合、また、その逆の場合において温度提示の応答速度が悪化する問題がある。この解決を目的として、図 3 に示すように 4つの素子のうち 2つは冷却用、残りの 2つは加熱用として運用する。この機構を温度提示デバイスに用いることで、温度提示による温度変化を知覚するまでの時間を平均 36%改善できることが佐藤らによって報告[7]されている。素子の加熱速度や冷却速度は電流のデューティ比の設定により制御が可能である。

2.3 デバイス仕様

我々は Gravity Grabber の基本機構を踏襲した上で、ベルト部分に振動・温度提示モジュールを接着し、指腹部における力・振動・温度の提示を実現した(図 2)。村上らが提案した Altered Touch[2] では温度提示を指の背面(爪側)において行っていた。一方、提案デバイスは温度及び振動の提示箇所が力提示の媒体であるベルトに位置しており、加えて、ベルトの厚さが薄い。したがって温度・振動の伝達を妨げず、より応答性の高い触感の提示



(a)



(b)

図 2: 提案デバイス 3D モデル

(a) 斜視図 (b) 指に装着した場合の正面図

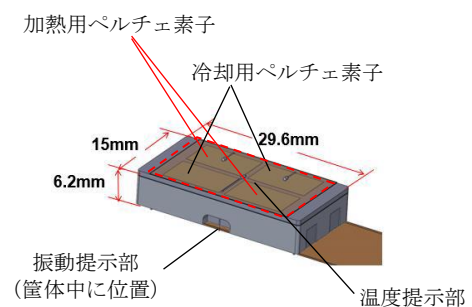


図 3: 振動・温度提示モジュールの模式図

が可能になると考えられる。

3. 提案実験

提案デバイスが提示する触感の評価を目的として、被験者実験を予定している。本章では実験の概要について述べる。

3.1 実験方針

本実験では実際の物体に触れることで得られる触感(以下、R 触感と呼ぶ)と、提案デバイスがもたらす触感(以下、V 触感と呼ぶ)を被験者に提示し、R 触感に最も類似していると感じた V 触感を回答してもらう。

R 触感とは素材片の試料を実際に触れることで知覚される触感である。本実験では「つつるつつ」「ざらざら」といった特定の触感的特徴を 5つ設定し、1つの触感的特徴につき 3種類の試料を用意する。したがって 15種類の試料を R 触感として提示に用いることになる。

V 触感は提案デバイスを駆動することで提示される触感である。V 触感については R 触感で設定した触感的特徴の数、すなわち 5 種類の触感生成パターンを用意する。それぞれのパターンは、館らが提案した触覚変換装置[3]を参考にして、R 触感で設定した触感的特徴を再現するようにセッティングを行う。

実験では被験者の右手に R 触感、左手に V 触感というように左右の手に異なる触感を提示する。1つの R 触感に対して 5 種類全ての V 触感を提示し、R 触感に最も類似していると感じた V 触感を被験者に回答してもらう。もし提案デバイスが所望の特徴を再現できていれば、R 触感の特徴に対応する V 触感において、有意な結果が得られることが予想される。上記の回答結果の分析から提案デバイスが再現可能な触感的特徴の種類、また、その再現度について考察が可能になる。

3.2 実験システム

R 触感・V 触感を被験者の左右の手に提示するシステムについて述べる。システムの模式図を図 4 に示す。

3.2.1 R 触感

図 4 の赤枠点線部の構成で触感を提示する。R 触感を提示する右手には提案デバイスと手の位置・姿勢を取得するためのマーカーを装着し、試料を被験者の右前方に配置する。このとき、提案デバイスは人差し指に装着する。提案デバイスを装着するのは V 触感との対照実験のためであり、試料に触れるときに干渉するベルト、プーリー、振動・温度提示モジュールは取り外した状態で実験を行う。

3.2.2 V 触感

図 4 の青枠点線部の構成で触感を提示する。R 触感と同様に提案デバイスとマーカーを左手に装着するが、試料は配置しない。提案デバイスについてもパーツの取り外しは行わずに使用する。

3.2.3 HMD

前述のほか、被験者には HMD を装着してもらう。HMD では図 5 のように、試料と被験者の両手を模した CG モデルが表示されている。このとき、光学式モーショントラックシステムである OptiTrack[8]と両手の甲に装着したマーカーを用いて、被験者の手の位置や姿勢を手の CG モデルに反映させており、実際の手のように CG モデルの操作が可能である。また、映像において R 触感を提示する領域(右側)に表示されている試料と実空間における試料は、位置と形状が対応している。一方、V 触感を提示する領域(左側)に表示されている試料は実空間では試料は存在していないが、手の CG モデルを操作して触れることによって提案デバイスが駆動し、触感を提示する。したがって、被験者は HMD 内の映像により、実空間で試料に触れるのと同様な光景を見ながら試料に触れることになる。

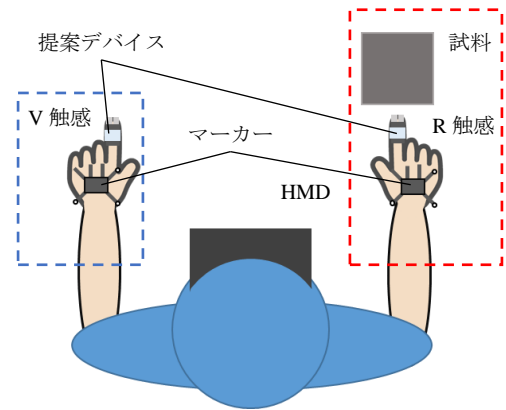


図 4: 実験環境の模式図 (俯瞰図)

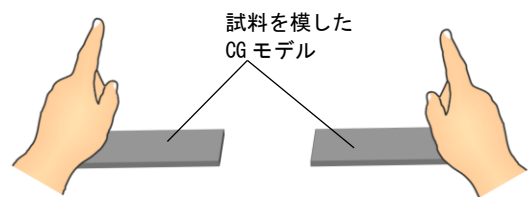


図 5: HMD 内で表示する映像のイメージ図

3.3 実験手順

実験は以下の 2 段階で行う。

① R 触感と V 触感の提示

被験者に HMD で表示される試料に触れてもらい、R 触感と V 触感を提示する。このとき R 触感の生成に使用する試料を 1 種類に固定するが、V 触感については用意した触感生成パターン 5 種類全てについて提示を行う。

② 類似した触感の回答

被験者に、現在提示されている R 触感に最も類似していると感じた V 触感を回答してもらう。

以上の 2 つの行程を、用意する 15 の試料全てにおいて実施する。その後、左右の手における知覚感度の差を考慮し、左右のシステムを入れ替えて同様の実験を行う。したがって、被験者一人あたりから 15 種類の試料に対し、30 の回答結果が得られることになる。

4. まとめ

本稿ではリアルな触感を提示するシステムの実現を目的として、力・振動・温度の 3 つの触原色を出力するデバイスを提案した。また、デバイスがもたらす触感の評価手法として、片方の手には実際の試料に触れることでもたらされる触感、もう一方の手にはデバイスからもたらされる触感を提示し、左右の手で知覚される触感を比較する手法を提案した。デバイスは用意された試料の触感特徴を再現するように制御されており、被験者は実際の試料に最も類似する触感を 5 種類の触感生成パターンから回答する。

5. 展望

提案した実験を実施し、提案デバイスがも提示する触感のリアリティを評価する。また、3つの触原色を出力する場合だけでなく、1つや2つの触原色を出力した場合についても同様の評価を行い、触原色の多元出力による触感の再現度への影響について検討していく。

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。

参考文献

- [1] Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, Taro Maeda, Susumu Tachi : Electrocutaneous display with receptor selective stimulations, *Electron. Commun. Japan, Part II Electron.* (English Transl. *Denshi Tsushin Gakkai Ronbunshi*), vol. 85, no. 6, pp. 40–49, 2002.
- [2] Takaki Murakami, Tanner Person, Charith Lasantha Fernando, Kouta Minamizawa : Altered Touch: Miniature Haptic Display with Force, Thermal and Tactile Feedback for Augmented Haptics, *SIGGRAPH*, 2017.
- [3] 舘 暲, 南澤孝太, 梶本裕之, 佐藤克成, 仲谷正史 : 触覚情報変換装置, 触覚情報変換方法, および触覚情報変換プログラム, 特願 2016-077692 (2016-04-07), 国際出願番号 PCT/JP2017/014570 (2017-04-07)
- [4] Kouta Minamizawa, Souichiro Fukamachi, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami and Susumu Tachi : Wearable Haptic Display to Present Mass and Internal Dynamics of Virtual Objects, *Virtual Real. Soc. Japan*, vol. 13, no.1, pp. 15–23, 2008.
- [5] 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, *AsiaHaptics*, 2016.
- [6] Hiroshi Wakuda, Takahiro Kawauchi : Bodily sensed vibration generator system, Pub No. (JP) 2002-348993, Pub. No. US 2004/0104625 A1
- [7] Katsunari Sato, Takashi Maeno : Presentation of rapid temperature change using spatially divided hot and cold stimuli, *Robot. Mechatronics*, vol. 25, pp. 497–505, 2013.
- [8] OptiTrack Japan, Ltd. : Optitrack : <http://optitrack.com/>