

## 触覚イライラ棒—複数の触覚刺激を導入した複合現実感アトラクション—

小川 修平<sup>\*1</sup> 樋口 健太<sup>\*1</sup> 平野 愛子<sup>\*1</sup> 畑 裕育<sup>\*1</sup>  
橋口 哲志<sup>\*1</sup> 柴田 史久<sup>\*1</sup> 木村 朝子<sup>\*1</sup>

**Tangibly Enhanced MR Iraitra Bo: Mixed Reality Attraction  
Utilizing Multiple Tactile Feedback**

Shuhei Ogawa<sup>\*1</sup>, Kenta Higuchi<sup>\*1</sup>, Aiko Hirano<sup>\*1</sup>, Yusuke Hata<sup>\*1</sup>,  
Satoshi Hashiguchi<sup>\*1</sup>, Fumihisa Shibata<sup>\*1</sup>, and Asako Kimura<sup>\*1</sup>

**Abstract** - In recent years, sense of touch came to be utilized by attractions using mixed reality technology positively and contributes to improvement of a sense of reality. We paid attention to warm and cold sense, vibration perception, and sense of pain as the senses of touch that have little influence on the body and can be affected by small devices. Through the experiment, we confirmed what kinds of expressions are possible by inflicting these senses independently or in combinations. In addition, we will display the MR attraction “Tangibly Enhanced MR Iraitra Bo” which we produced as an experiment to experience the sense of touch. Corresponding senses are inflicted to the participant when he or she passes the stick type device through the course and hits the wall or the virtual obstacles superimposed onto the course.

**Keywords:** Mixed reality, attraction, tactile feedback, vibration, warm and cold, pain

## 1. はじめに

近年、複合現実感 (MR) 技術を活用した応用システムや作品では、視聴覚だけでなく、触覚刺激を利用することが活発化している [1-3]。Toda ら [4] は、MR 空間において、仮想物体をナイフで切断する際の感覚を、振動刺激を用いて表現しようとした。また、Akiyama ら [5] は、温冷覚が人の心情や快感に影響を与えることを示した。他の研究開発事例でも、触覚の利用は、振動覚や温冷覚によるものが大半であるが、今回は、その 2 つの触覚に痛覚を加えた 3 種類の触覚刺激と視覚刺激や聴覚刺激を効果的に組み合わせた MR アトラクション“触覚イライラ棒”を試作し、その表現能力や効果を確認することを目的とした。

「イライラ棒」は、金属製コースフレームに電極棒を挿入し、その電極棒をコースフレームや障害物に接触しないようゴール地点まで持ち運ぶゲームアトラクションである。触覚イライラ棒は、通常のイライラ棒に MR 要素と触覚要素を取り入れ、MR 技術により提示されたコースやギミックに合わせて様々な触覚を提示するものである (図 1)。

## 2. 設計方針

本アトラクションは、視覚刺激、聴覚刺激および複数の触覚刺激を組み合わせることで、アトラクションにどのような効果を生むのかを確認するためのテストベッドとして制作する。本稿で利用する 3 種の触覚刺激は、簡

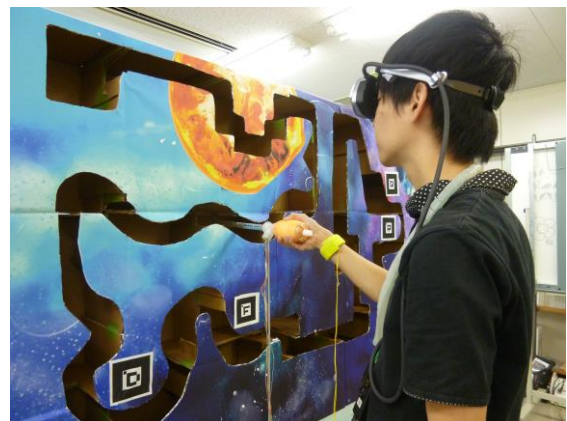


図 1 触覚イライラ棒の体験風景

Fig.1 Experience of “Tangibly Enhanced MR Iraitra Bo”

易的な装置で提示可能で触覚研究の中でも多く取り扱われている振動、温度刺激と痛覚刺激である。この 3 種の触覚刺激をイライラ棒のような緊張感のあるコンテンツに応用することで、以下のような効果が期待できる。

### 【振動刺激】

振動刺激は、様々なコンテンツに多く応用されている触覚刺激である。3 種類の中で最も安定した提示が可能で、振動強度も容易に制御できる。障害物やフレームに接触したときなど、警告として活用したり、残り時間などに応じて振動強度を変更するなど利用可能である。

### 【痛覚刺激】

痛覚刺激は、個人差はあるものの最も印象に残る刺激である。人は、嫌な経験をするとそれを避けようとする傾向がある。障害物やフレームに衝突したときなど、失敗したときに痛覚刺激を提示すると、体験者は、次は失

\*1: 立命館大学 情報理工学部

\*1: College of Information Science and Engineering,  
Ritsumeikan University

敗しないように慎重に行動するようになる。痛覚刺激を提示することで、通常よりも慎重になり、ゴール到達までの時間が遅くなるため、提示されない場合よりも難易度が高くなる可能性がある。

### 【温度刺激】

3種類の感覚の中で、最も情動的な感覚と言われている。人は焦ると体温が上昇し、汗で冷却しようとする。逆に、温・冷覚提示自体が緊張感や焦燥感に影響を与える可能性もある。また、爆発、炎、氷などのコンテンツのギミックとしても活用ことができ、ギミックに臨場感を付与することが期待できる。

また、アトラクションにおいて音は重要な要素である。内藤 [6] は、音楽が人の感情に大きく影響を及ぼすことを示しており、BGMを変更するだけでアトラクションの雰囲気制御可能と推測される。

複数の感覚器を通して刺激を与えることで、より人の感情に影響を及ぼす可能性があると考え、開発の基本方針として以下の3つを採用した。

- (1) 振動刺激・痛覚刺激は、体験者が失敗したときに提示することによって、失敗してはいけないという緊張感を抱かせる
- (2) 経過時間にあわせて BGM のテンポを速くしたり、振動の提示間隔を短くすることで焦燥感を抱かせる
- (3) 一定回数以上失敗した場合に、冷刺激を提示することでこれ以上失敗するとゴールできないという焦燥感を抱かせる。逆に、無事ゴールしたときには温刺激を与えることで、(1)、(2) で与えた緊張感、焦燥感から解放されたという安心感を抱かせる

## 3. 触覚イライラ棒

前述の設計方針に従い、触覚イライラ棒を構築した。体験者は棒状のデバイスを手に持ち、アトラクションを体験する。以下に触覚イライラ棒のシステム構成および各種デバイスについて説明する。

### 3.1 システム構成

図2に触覚イライラ棒のシステム構成、表1に機器構成を示す。体験者は頭部にビデオスルー型の HMD を装着する。HMD に搭載されたカメラからの映像は、ビデオキャプチャカードである ViewCast 社製 Osprey-440 を用いて PC へ取り込む。また、ビデオカードからの2出力を HMD の右目、左目ディスプレイの入力に用いる。本システムにおける MR 空間の提示には両眼立体視可能な HMD を用いるため、左右の視差を考慮した2つの視点からのレンダリング画像をそれぞれ生成する。また、体験者の正面には後述するアトラクションコース（実物）があり、そこから体験者の邪魔をする仮想物体の障害物（ギミック）が出現する。体験者は棒状デバイスを手に持ちコースを進む、手首には痛覚提示デバイスを装着する。

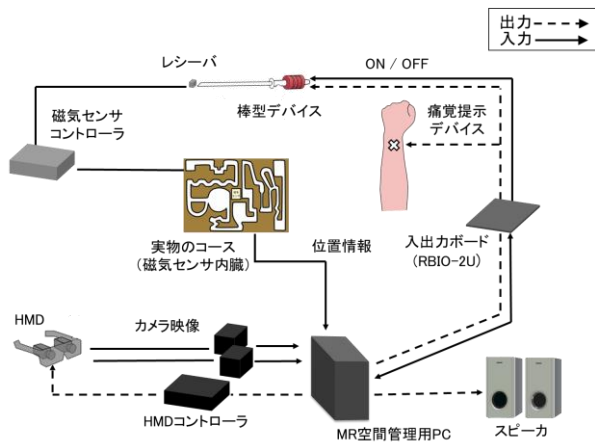


図2 システム構成  
Fig.2 System configuration

表1 機器構成  
Table1 Equipment configuration

機器名	モデル名
MR 空間用 PC	OS: Windows XP Professional SP3 CPU: Intel Core i7 2600 (3.40GHz) GPU: GeForce GTX 560
HMD	Canon VH-2002
磁気センサ	Polhemus 3SPACE FASTRAK
スピーカ	株式会社アズマ 2.0ch MULTIMEDIA SPEAKER
入出力ボード	共立電子産業 RBIO-2U

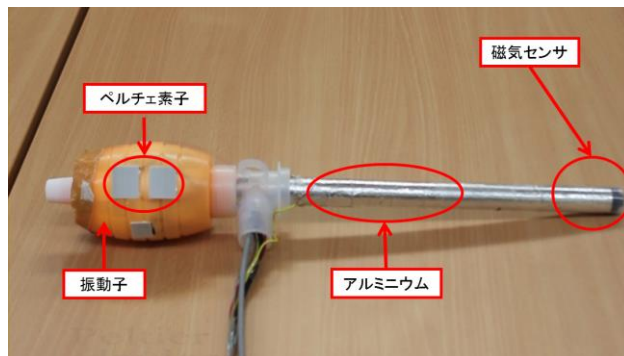


図3 棒状デバイス  
Fig.3 Stick device

### 3.2 棒状デバイス

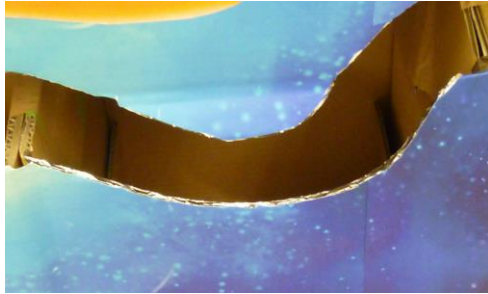
棒状デバイスの設計では、以下の3つの要素を考慮した。

- ・制御が容易である
- ・素早く着脱可能である
- ・体験者の動きを阻害しない

これらを考慮して実装した棒状デバイスの外観を図3に示す。デバイスの位置を取得するために、棒の先端に磁気センサを取り付けている。また、棒表面にはデバイスがコースに衝突したことを検知するためにアルミ箔を



(a) コースの外観



(b) コース一部の拡大 (コースの縁はアルミテープで被われており、棒状デバイスが接触すると、回路が構成され、接触を物理的に検知することができる)

図 4 触覚イライラ棒のコース

Fig.4 Course of “Tangibly Enhanced MR Iraitra Bo”

巻きつけている。持ち手の部分には、振動モータとペルチェ素子を取り付けてあり、コースに接触したときやギミックに衝突したときに振動刺激や温冷刺激を提示する。

### 3.3 実物体のコース

実物体のアトラクションのコースは段ボールで制作した (図 4(a))。段ボールの表面を切り抜き、その淵にアルミ箔を張り付けた (図 4(b))。これにより、棒状デバイスのアルミ箔で巻きつけられた部分とコースが接触した際、回路が構成され、電流が流れる。回路に流れた電流が入出力ボードに伝わった際、入出力ボードから痛覚提示デバイスに制御信号が送られる。また、棒状デバイスに搭載された磁気センサのレーザーバから位置情報を取得するために、ステージ裏中央部に磁気センサのトランスミッタを設置している。

### 3.4 痛覚提示デバイス

手に持った棒状デバイスがコースフレームに触れないようにゴールを目指す途中で、障害物に接触したときに、ペナルティとして“痛覚”を提示する。痛覚の提示方法としては、温度刺激や機械刺激、電気刺激などが考えられる。しかし、ペルチェ素子を用いた温度刺激では、急激な温度変化の提示が不可能であり、瞬時に体験者に痛みを与えることが難しい。また、機械刺激として針を用いて痛覚を表現する方法では、体験中に腕を動かすため、針が皮膚に過剰に刺さる可能性があり好ましくない。そこで、安全性と簡便性の点に優れた電気刺激を用いて痛覚を提示した[7]。装置に使用した概要と部品は図 5、表 2

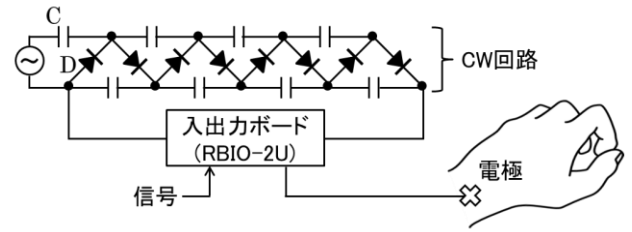


図 5 痛覚提示機構

Fig.5 Sense of presentation device mechanism

表 2 回路に用いた部品

Table2 Components used in the circuit

部品名	詳細
コンデンサ(C)	耐圧: AC250V 容量: 1500pF
ダイオード(D)	順電圧: 1.1V 順電流: 1A 逆電圧: 1000V

に示す。コッククロフト・ウォルトン回路 (CW 回路) で、交流電源を電圧の高い直流電源に変換し、この回路から流れる電流を入出力ボードで制御した。そして、長さ 10mm の電極を通して皮膚に電流を流すことで痛覚提示を行った。尚、本作品では人体に影響を及ぼさない程度の強さの電流圧として約 100V, 1mA を提示した [8]。また、痛覚提示デバイスの装着位置に関する検討を行った結果、手のひらに装着した場合、手のひらの湿気に個人差があるため電流圧を安定して提示することが不可能であった。そのため、安定して提示することができた手首に痛覚提示デバイスを装着した。

## 4. 体験の流れと運用

### 4.1 体験の流れ

体験者がスイッチを押すことでアトラクションの説明が始まる。説明終了後、アトラクションが開始する。コース中には様々な仮想物体のギミックが用意されており、体験者は棒状デバイスがギミックに接触しないよう注意しながらコースを進まなければならない (図 6)。仮想物体のギミックと衝突したとき、そしてコース中の特定のギミック (炎, 氷, など) を通過するとき等に、各々に適した触覚刺激を提示する。

このアトラクションの終了条件は以下の通りで、終了時の状態によって、終了時に異なる温度刺激が提示され、安堵感や悲壮感を表現する。

- ・一定時間経過したとき
- ・一定回数以上仮想物体やコースに衝突したとき
- ・ゴール地点にたどり着いたとき

### 4.2 運用

実際に本アトラクションを 20 代の学生 30 名に体験させた。体験者からは、「実物のコースまたは障害物に接触すると痛覚刺激が提示されるためアトラクション体験中は緊張感を持って体験することができた」「MR 型視覚





図6 体験者の視点（左上はタイマー，右上に歯車型の仮想物体が回っており，体験者はこの歯車に触れないようにタイミングを計って通過する必要がある）

Fig6 The point of view of participant

刺激に合わせた温度刺激が提示され，臨場感のあるアトラクションだった」「アトラクション終盤は時間と音楽による影響で焦ってしまった」「アトラクションを終えた後，達成感と安心感があった」などのコメントがあった。

#### 4.3 考察

体験を通して得られたコメントから，触覚刺激や視覚刺激，聴覚刺激が体験者に与えた効果として以下が挙げられる。

(i) 緊張感の増加

(ii) 感情の変化

緊張感の増加について，体験者はアトラクション中，一度痛覚を体験した後，明らかに慎重な操作を行うようになったことが観測された。この結果から，常に痛覚が提示される可能性があるという状況は，恐怖感を高め，緊張感の増加に繋がると考えられる。また，MR型視覚刺激に合わせた温度刺激の提示による臨場感の向上，“イライラ棒”というアトラクション自体が持つ特性が没入感を高めたことも，緊張感を高める要因の一つと考えられる。

感情の変化について，アトラクションの経過時間によりBGMのテンポや振動の提示間隔を変化させると体験者の表情に焦りが見え始めた。それとともに操作が速くなり，コースに接触した回数が増加傾向にあることが確認できた。また，アトラクション終了時に体験者に温度刺激を提示した際，安堵の声を漏らしている様子が観測された。このことから，個人差はあるものの，触覚刺激による安心感などの感情の生起の可能性を示唆することができた。

これらの体験者の様子から得られた心情の変化は，アトラクション設計時に意図した通りの反応であった。

#### 5. むすび

我々は，複数の触覚刺激を利用したMRアトラクション“触覚イライラ棒”を試作した。複数の触覚刺激と視

聴覚刺激を効果的に組み合わせることで，MRの新しい表現方法を試みた。これまでのMRアトラクションにおける触覚の利用は，振動覚を利用するものが大半であるが，本システムでは，これに温冷覚，痛覚を加えた3種類の触覚刺激を利用することで，アトラクション体験中の緊張感を増幅することができたのではと考える。運用の結果，「痛覚提示があることで最後まで緊張感を持ってアトラクションを体験することができた」「ギミックに応じた触覚刺激が提示されることで，仮想物体の存在感が増した」といったコメントが得られた。

今後は，視覚刺激や聴覚刺激が痛覚に及ぼす影響など，本システムから得られた知見をさらに分析し，より没入感のあるアトラクションを開発するための，各種触覚の活用方法の提案を目指す。

#### 謝辞

本システムの原形となった“Better Bitter Bar”の開発に協力された古澤達，中島大貴，李金霞の諸君らに感謝します。

#### 参考文献

- [1] 鈴木遼人，鈴木奏太，佐藤美恵：高い現実感で仮想物体を掴むことに着目したAR装置の開発，映像情報メディア学会技術報告，Vol. 37, No. 45, pp. 9 - 12 (2013).
- [2] 新島有信，小川剛史：拡張現実感における視覚刺激を利用した上肢への触覚提示手法に関する一考察，信学技報，Vol. 111, No. 478, pp. 127 - 132 (2012).
- [3] 中原守男，北原格，亀田能成，大田友一：複合現実感における視触覚融合による素材感呈示，電子情報通信学会総合大会論文集，D-12-25, p. 157 (2006).
- [4] A. Toda, K. Tanaka, A. Kimura, F. Shibata, and H. Tamura: Development of Knife-Shaped Interaction Device Providing Virtual Tactile Sensation, Proc. HCII 2013, pp. 221 - 230 (2013).
- [5] S. Akiyama, K. Sato, Y. Makino, and T. Maeno: ThermOn - Thermo-musical Interface for an Enhanced Emotional Experience, Proc. 2013 International Symp. on Wearable Computers, pp. 45 - 52 (2013).
- [6] 内藤正智：音楽聴取後の感情変化についての研究－テンポとメロディと曲に対する好みと感情尺度と癒し感情に与える影響－，日本大学大学院総合社会情報研究科紀要，No.7, pp. 441 - 450 (2006).
- [7] 片岡佑太，橋口哲志，柴田史久，木村朝子：複合現実型視覚提示が痛覚刺激の知覚に及ぼす影響，日本バーチャリアリティ学会論文誌，Vol. 19, No. 2, pp. 275 - 283 (2014).
- [8] IEC/TS 60479-1 Ed. 4.0, Effects of current on human beings and livestock -Part 1: General aspects (2005).