

# Mass of Roaches!

## — 振動と視覚的演出の同期による MR アトラクションの演出 —

### Mass of Roaches!

---Synchronizing Vibration and Visual Effects in MR Attraction---

森 尚平, 杉本 一平, 永仮 貴浩, 村田 龍吾, 山元 明彦, 田村 秀行  
Shohei Mori, Ippei Sugimoto, Takahiro Nagakari,  
Ryugo Murata, Akihiko Yamamoto, and Hideyuki Tamura

立命館大学 情報理工学部

**Abstract:** “Mass of Roaches!” is a Mixed Reality (MR) attraction featuring effects of synchronization of haptic impression and visual effects in MR. Comparing VR, in MR space, we can visually recognize our touch to virtual objects and their touch to our body, so that we can estimate the haptic impression of the touch to or from the virtual objects. We experimented and implemented this illusional effect for our attraction to improve the immersion in MR. In our attraction, mass of cockroaches breed from virtual holes and try to cover the MR space. They also try to crawl along player’s arms so that the player can actually see the invasion and feel the creepy touches. The player can smash them up and brush them away with his/her hands to defeat them.

**Key Words:** Mixed Reality, Augmented Reality, Haptic Device, Entertainment

### 1. はじめに

VR/AR/MR は、五感への感覚提示が有効に利用し得る魅力的な技術であり、アート&エンターテインメント分野にも新風を吹き込んでいる。視聴覚提示は古くから映像作品に備わっていたので、触力覚を効果的に用いることが VR 系のインタラクティブ・コンテンツの魅力を引き出すことにも繋がっていると言える。VR 分野では、様々な方式の触力覚提示デバイスが提案・開発されてきた。その一部は AR/MR にも応用され、先端技術展示や芸術展示を賑わしている[1]。ただし、その大半は、当該提示デバイスの個性を活かした作品であり、まだコンテンツ制作に広く活用できる一般性のある技術とは言い難い。

一方、博覧会やテーマパークの大型アトラクションでは、触力覚を活かしたギミック（圧縮空気を顔面や足元に送る、座席が急に落ちる等）が使われている。予測しなかった絶妙のタイミングで提示されることにより、演出上の効果が

倍増している。ただし、その使われ方は、脚本に応じた場当たり的に使われ方であり、こちらも一般性はない。

我々は、MR 空間の表現力向上を目指して、一般性のある触覚提示デバイスによる MR コンテンツの効果的演出を研究している。ここでは、MR アトラクションに比較的良好に用いられてきた振動デバイスを採用し[2]、視覚的演出と同期することの効果を検討する。ただし、手にした対話デバイスを振動させる程度でなく、全身で使うよう用途を拡げ、MR 空間コンテンツの表現力向上を図る。

触覚提示を視覚的演出と同期させるのは、MR 情報提示では、体験者が自らの身体と仮想物との視覚的重量を実時間で視認できるからであり、体験者のより効果的な反応を期待できると考えられるからである。

我々は、実際に MR アトラクション「Mass of Roaches!」を製作することにより、その有効性を検討した。また、身体への直接的な触覚提示を可能にする振動デバイスを製作し、そのデバイスと MR 型視覚刺激との同期を図り、技術的・演出的に様々な工夫を凝らした。以下、2 章では作品の概要、3 章では振動提示と視覚的演出との同期、4 章ではデバイス製作における実験について述べる。

### 2. Mass of Roaches!

#### 2.1 概要

本作品は、大量のゴキブリが発生するという危機的状況やゴキブリからのリアルな触覚提示を楽しむ MR アトラクションである。MR 空間中に設置された実物体の四角柱（以下、柱）に仮想の穴が開き、そこから大量のゴキブリ



図 1 体験のイメージ図

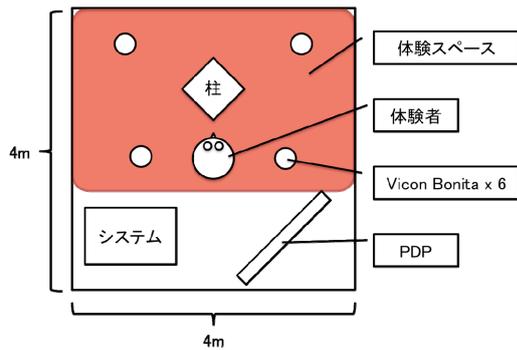


図2 体験スペースのレイアウト

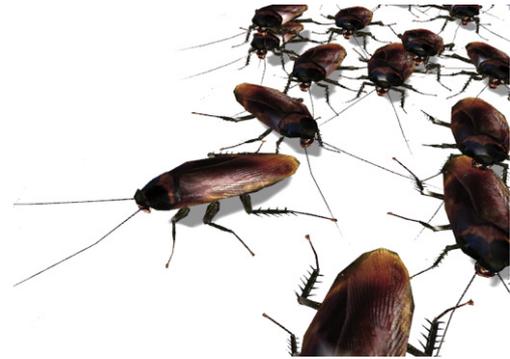
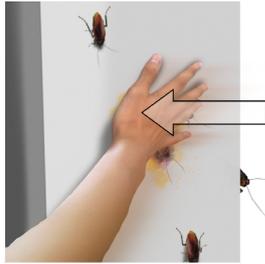
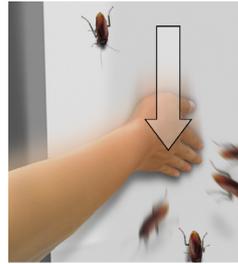


図3 仮想物体のゴキブリ



(a) 叩き潰す



(b) 払いのける



(a) 穴を塞ぐ

図4 3つのインタラクションのイメージ図

が発生する。体験者はその発生源を手で塞いだり、ゴキブリを直接叩き潰したりすることで拡散を防ぐ。叩き潰した感触が触覚フィードバックとして振動デバイスから提示され、穴を塞いだ手の隙間からは抜け出したゴキブリが体験者の身体上を這い回り(図1)、そのおぞましい光景(視覚的演出)と触覚提示が同期して提示される。

## 2.2 体験環境

体験スペースのレイアウトを図2に示す。体験者は体験スペースの中央に設置された柱の前に立って本作品を体験する。柱には仮想の穴が空き、そこから仮想物体のゴキブリ(図3)が大量に拡散する。

体験者の頭部や腕等の位置姿勢を取得するために光学式センサであるVicon社のVicon Bonitaを用いた。光学式センサを用いることで、広範囲かつ高精度な体験者のトラッキングが可能になり、柱の側面や地面を這うゴキブリに対しての活発なインタラクションや、身体上への正確なゴキブリの描画を可能にした。

## 2.3 インタラクションと触覚提示

体験者が仮想物体のゴキブリに対して行うことができるインタラクションは、「手で叩き潰す」、「手で払う」の2種類に加えて、「発生した穴を手で塞ぐ」の計3種類である(図4)。この際、ゴキブリを叩き潰した感触や、穴から出てこようとするゴキブリからの触覚を表現するために、振動デバイスによる掌への触覚提示を行う。また、ゴキブリが体験者の前腕部に這い回る様子をHMDを通して確認することができ、それに同期した触覚を体験可能である。このゴキブリの触覚的な定位感も振動デバイスによって前腕部に提示した。この振動デバイスの詳細については3章及び4章にて述べる。

## 2.4 音による演出

1章で述べた通り、MRアトラクションにおいて、視覚的の同期も非常に重要な要素である。しかしながら、本作品では聴覚刺激の提示には焦点を当てていないため簡易的な工夫を凝らすのみに留めた。具体的には、柱の中に上下に向けたステレオスピーカを設置することで、仮想物体のゴキブリが柱の下から出現する音や柱の一部が大きく崩壊する(2.5節参照)時の音を演出として加えた。

## 2.5 体験の流れ

本作品の体験の流れを以下に示す。尚、体験時間はデバイスの着脱を含めて3分程度である。

- (1) 体験者はデバイス各種を装着し、柱の前に立つ
- (2) 体験が開始すると、柱にいくつかの仮想の穴が発生
- (3) 穴から仮想物体のゴキブリが発生開始
- (4) 時間の経過とともに穴とゴキブリの量が増加
- (5) 柱の内側から低く響く音がドンドンと鳴る
- (6) 柱の一部が崩壊し、更に大量のゴキブリが発生
- (7) 目の前がゴキブリで埋め尽くされる
- (8) 体験終了

## 2.6 システム構成

システム構成を図5に、MR空間生成用PCの基本スペックを表1に示す。Arduino Duemilanove 328(以下、Arduino)は振動デバイスのアナログ制御を実現するものである。また、HMDにはCanon VH-2007を用いた。

## 3. 振動提示と視覚的演出との同期

本作品では、ゴキブリが体験者の身体上を這い回る感覚を提示するために、振動子による触覚提示とMR型視覚刺激とを同期させる演出手法を考案した。具体的には、2つの振動子間に生じるファントムセンセーション

(Phantom Sensation; PS) [3]という現象を利用し、ゴキブリが移動するという触覚的な定位感を表現する。これをMR型視覚刺激による視覚的演出と同期させることで、その効果の補完及び強調を図る。以下、その際に考慮すべき問題点とその解決策について述べる。

### 3.1 PS とその特徴

PSとは、皮膚上のある2点を同時に刺激することでその2点間の特定部位に単一の刺激(刺激像)が知覚される心理現象のことである。また、各刺激の強度を操作することで刺激像の定位位置を操作することが可能であり(図6)動的なものの方が静的なものよりも知覚されやすい[4]という特徴がある。そのため、ゴキブリが身体上を移動するという触覚的な提示に有効であると考えられる。しかし、欠点として、刺激像は実際の刺激よりも強度が弱い[5]といった点が挙げられる。よって、PSの効果を利用すること考慮した場合、この問題を解決する必要がある。

この解決策として我々は、振動子による振動提示部及びPSによる刺激像の定位場所に同期した仮想物体を重畳描画することで、刺激像の定位感の補完及び強調を図る。

### 3.2 MR型視覚刺激への工夫

より大きな視覚的效果を期待して、描画する仮想物体をもっともらしく見せる工夫を施した。まず、図3に示すような精巧なゴキブリのCGモデルを作成し、本物のゴキブリの動きを参考にしてアニメーションを付加した。更に、シャドウマップ技法による影付けを実装するとともにソフトシャドウを実装し、より写実性を高めることで体験者の身体への接触を認識しやすくした。

また、NVIDIA社のPhysXを利用することで、先の写実性に加え、ゴキブリへのインタラクションを行った際に現実世界に則した振る舞いを見せるようにし、大量のゴキブリが発生する場合に、お互いが衝突し合う様を表現した。

### 3.3 本手法における振動デバイス製作

MRアトラクションにおける視覚的演出と触覚提示の同期を利用した振動デバイスを製作する上で、1章で示したように、触覚提示部に仮想物体が重畳描画されていることを体験者が視認できる必要がある。一般に、HMD装着時は視野角が制限されるため、デバイスはHMD装着時においても視認できる部位への装着を前提とする必要がある。そこで、我々はまず、実際にHMDを装着した際に視認が容易であった前腕部への装着を対象とし、デバイスを製作した。前腕部全体への触覚提示を可能にするため、振動子をバンド上に連ねた上でアレイ状に並べ(図7)、視覚的演出との同期を考慮したインタラクションと演出を考案し実装した(2.3節及び2.5節参照)。

## 4. デバイス製作における実験

### 4.1 目的

PSの効果により身体上(前腕部)の2点の振動子間に発生する刺激像の定位感が、MR型視覚刺激の効果により補完及び強調されたと感じられるかどうかを検証し、そのMRアトラクションにおける有効性について考察する。

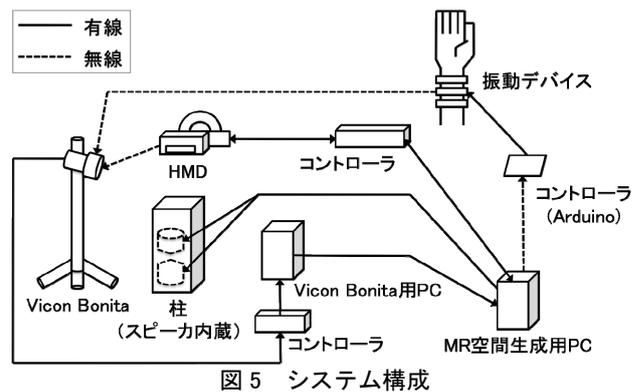


表1 MR空間生成用PCの基本スペック

OS	Windows XP Professional SP3
CPU	Intel Core i7 965 (3.20GHz)
Memory	3GB
GPU	GeForce GTX 295

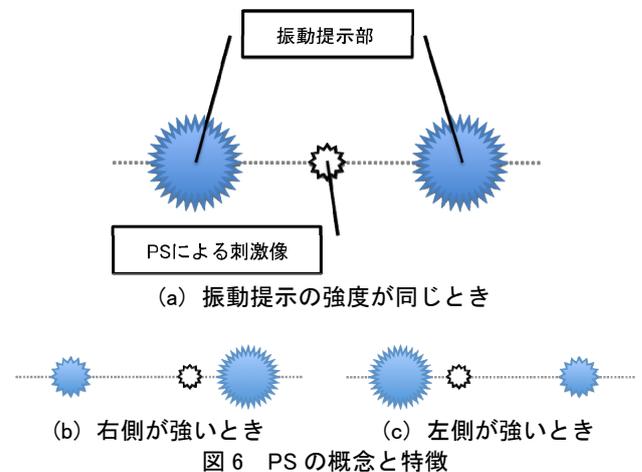


図6 PSの概念と特徴

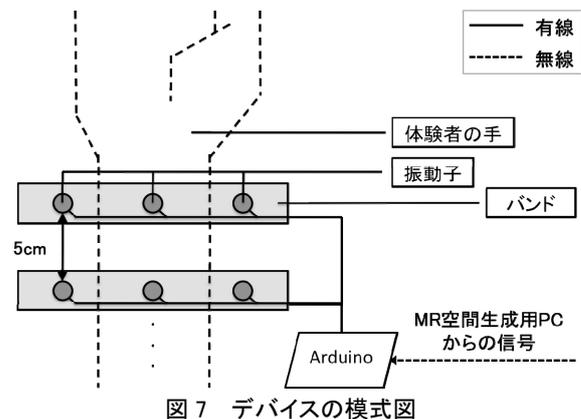


図7 デバイスの模式図

### 4.2 実験環境

実験の様子を図8に示す。被験者は標準的な触覚感を持った大学生4名である。被験者の利き腕前腕部の、腕の伸びた方向に2つの振動子を並べ、振動子が見えてしまうことによる視覚的な影響を防ぐため、その振動子が見えないように布で覆い、PSによる刺激像を提示する。ここで、予備実験として、本実験と同じ被験者と環境で、MR型視覚刺激を提示しない場合において、その全員がPSを知覚する最大距離を求めた。その結果は5cmであったため、本実験での振動子間の距離も5cmとする。

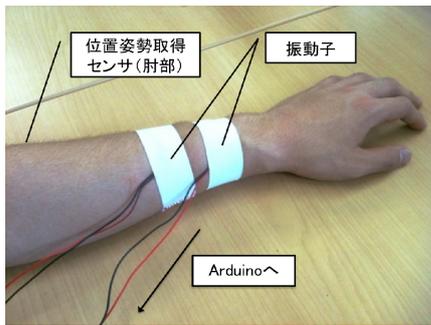


図 8 実験環境 (布を被せていない状態)

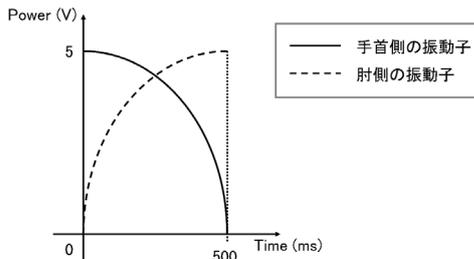


図 9 提示する振動パターン

表 2 実験の結果

被験者	実験の結果
A	増加した
B	増加した
C	変化なし
D	増加した

振動子はボタン型のものを用い、振動子間に強度差をもたせるため Arduino を用いてアナログ出力の制御を行った。提示する振動パターンを図 9 に示す。これは予備実験時に最も PS を知覚しやすかったパターンである。

MR 型視覚刺激を提示するために Canon VH-2007 を用いた。MR 型視覚刺激として提示する仮想物体は図 3 に示したものとする。また、頭部と前腕部の位置姿勢取得には Polhemus 社の Fastrak を用いた。

#### 4.3 実験内容

- (1) 被験者に前腕部に注目するように指示をする
- (2) MR 型視覚刺激のない状態で、図 9 に示した振動パターンを 5 回提示する
- (3) MR 型視覚刺激と(2)の PS による刺激像の定位方向とを同期させて 5 回提示する。
- (4) 被験者に「MR 型視覚刺激が加わったことで定位感が増加したか」と質問をする
- (5) 被験者は「増加した」、「変化なし」、「減少した」、「分からない」の内のいずれかを回答する

#### 4.4 結果と考察

実験の結果を表 2 に示す。この結果から、PS による刺激像の定位感に対する知覚が MR 型視覚刺激によって補完及び強調されたと言える。

実験に対する感想として、被験者から「ゴキブリに対して振動子による触覚提示が強すぎる」といった意見が得られた。また、本実験において、振動子のパターンは、理論上、MR 型視覚刺激と同期されているにも関わらず、「ゴ

キブリの移動速度と刺激像の移動速度が同期していない時は違和感を感じる」といった意見が得られた。

これら強度と速度の非同期の原因として、振動子へ電気信号を送ってから実際に振動し始めるまでの時間遅れが考えられる。よって、振動し始めるのに十分な、ある一定の電流を与えておく等の対策が必要であると考えられる。

以上から、振動と視覚的演出の同期には、当初予測していたよりも精度の高い整合性が要求され、その精度を保たなければ、効果を増幅させるよりも却って触感覚への違和感を与えてしまうことが分かった。

また、「ゴキブリが腕の上に重畳描画されただけで触覚提示が無くても気持ち悪く感じる」、「カサカサする感じがする」、「ムズムズする感じがする」等の意見も聞かれた。振動子による触覚提示では、カサカサ、ムズムズする触覚を提示することは不可能であるため、この感覚は視覚的演出によって被験者が錯覚的に感じたものと考えられる。

以上より、触覚提示と視覚的演出を同期させることによる効果は MR アトラクションにおいて有効であるが、非常に高い精度での同期が要求されると言える。また、振動子だけの触覚提示でも、MR 型視覚刺激を操作することで、より豊かな触覚の提示を表現可能であると言える。

## 5. むすび

我々は、ゴキブリの発生という危機的状況とゴキブリへのインタラクティブを楽しむ MR アトラクション「Mass of Roaches!」を製作した。また、その上で、振動と視覚的演出の同期により MR 空間における触覚提示の表現力を向上させる演出手法を考案、実験及び実証し、その際に発生した諸問題と解決策を示した。

将来の展望として、実験の感想に示されている通り、視覚的演出を工夫することによる、より表現力豊かな触覚提示の実現が考えられる。本手法では、物体の存在する一点からの触覚が直線にある程度の速度をもって移動するという感覚を表現できるため、例えば、仮想の汗が腕に滴る演出を加えて、体験者の緊張感をより一層高めるように操作する等、心理的な影響を与えるような演出を施すことも考えられる。

## 参考文献

- [1] 例えば、「デバイスアート」に関する展示会やシンポジウム。 <http://www.deviceart.org/>
- [2] 大島登志一他: “RV-Border Guards:複数人参加型複合現実感ゲーム”, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 4, No. 4, pp. 699 - 705, 1999
- [3] G. von Békésy: “Neural Funneling along the Skin and between the Inner and Outer Hair Cells of the Cochlea,” J. Acoust. Soc. Amer. Vol. 31, No. 9, pp. 1236 - 1249, 1959.
- [4] 白井暁彦他: “皮膚感覚のファントムセンセーションを用いた 3 次元画像との対話システム”, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 21, No. 6, pp. 77 - 84, 1997.
- [5] 水上陽介, 澤田秀之: “薄型触覚提示デバイスによる高次知覚を利用した触覚情報提示”, インタラクティブ 2007 論文集, pp. 121 - 128, 2007.