

## 振動と揺動と効果音のクロスモーダル刺激による 衝突感と材質感の提示

塩野入央空<sup>†1</sup> 櫻木怜<sup>†1</sup> 小玉亮<sup>†1</sup> 梶本裕之<sup>†1</sup>

我々は自動車をモーションプラットフォームとして用いる VR システムの開発を行ってきた。また、本システムを用いた VR 体験向上のため、振動と揺動を組み合わせる衝突感や材質感の提示ができるかどうかを検証してきた。これらの検証には自動車 VR システムと同様の前後揺動が生起できる実験装置を用いた。本展示では、この実験装置を用いて、振動と揺動に新たに効果音を追加したクロスモーダル刺激を行い、VR 体験の変化の様子を展示する。

### Presentation of collision feeling and material feeling by crossmodal stimulation of vibration, swing and sound effect

HIROTAKA SHIONOIRI<sup>†1</sup> REI SAKURAGI<sup>†1</sup> RYO KODAMA<sup>†1</sup>  
HIROYUKI KAJIMOTO<sup>†1</sup>

We have developed a virtual reality (VR) system that uses an automobile as its motion platform. To improve this system, we have studied about the way to present colliding feeling and material feeling by presenting vibration in accordance with the swing of motion platform. In these studies, we used an experimental device that can generate the same front-back swings as the VR system using an automobile. In this exhibition, using this experimental equipment, we exhibit cross modal stimulation with sound effect added to vibration and swing. In addition, participants will be able to compare the change of VR experiences.

#### 1. はじめに

我々は自動車をモーションプラットフォーム (MP) として用いる VR システムの開発を行ってきた[1]。本システムでは、アクセルとブレーキの切り替えにより前後揺動を生起し、MP としての加速度の提示を行う。本システムではアクセルとブレーキの高速な切り替えが難しいことから、低周波な揺動しか提示できないという問題が存在する。この問題により、衝突などの幅広い周波数成分の提示が行われるべき映像に対して高品質なフィードバックができなかった。

この課題を解決するため、我々は前後揺動の提示と同時に振動子による振動提示を行うことを提案した[2]。この提案の中で、被験者実験によって振動提示を前後揺動に重畳することで衝突の衝撃感が増加することが分かった。また、衝突物体の材質感を提示できるような振動パラメータも提案した[3]。

一方で、これまでの検討において、我々は効果音による聴覚的なフィードバックを行なってこなかった。しかし、実際のアミューズメント施設などで展示されている VR コンテンツを考えると、ほぼ全てのコンテンツで効果音など聴覚フィードバックが用いられている。また聴覚刺激は触覚知覚に影響を与えることが知られている (例えば Parchment-skin illusion[4])。このことから、効果音のある VR コンテンツにおいては我々が提案してきた振動と揺動

の組み合わせに関する効果は変化することが予測された。これについて検証するため、我々はこれまで使用してきた実験装置に効果音提示機能を追加し、効果音の有無による体験の違いを比較できるセットアップを製作した。

本展示では、上述の効果音提示可能なセットアップで揺動装置を展示する。本装置では、振動と揺動と効果音のクロスモーダル刺激が可能であり、体験者は各刺激の有無による VR 体験の変化を比較することができる。なお、詳細な実験結果については、[5]を参照頂きたい。

#### 2. 実験装置

展示する装置について説明する。本装置は、自動車 VR システムのための検証を行うために製作されたため、自動車を模した形状をしている (図 1)。

前後の揺動が行えるように台車 (DSK-101, ナンシン) をベースに用いた。台車の上に木板 (ランバーコア, W155 × D46 × H2[cm]) を取り付けた。また、プレイシート (playseats Blue/Black, playseat company) とハンドルコントローラー (GT Force RX LPRC-12000, Logicool) を木板の上に取り付け、運転席周辺を再現した。前後揺動を行うため、直動アクチュエータ (F1420-200, Yamaha) を木板に取り付けた。

振動提示を行うための振動子は、座席と搭乗者の接触部周辺に取り付けた。設置箇所はハンドル、アクセルペダル、

<sup>†1</sup> 電気通信大学  
University of Electro-Communications

シート座面, シート背面である. ハンドルは振動子 (Vp408, Acouve Laboratory Inc) を上部一ヶ所に固定した (図 2-A). シート背面にはクッションと表面のカバーの間に振動子 (Vt708, Acouve Laboratory Inc.) を設置した (図 2-B). アクセルペダルはペダル前面に振動子 (Vp604, Acouve Laboratory Inc.) を固定した (図 2-C). シート座面は座面に用いられているウレタンクッションを切り抜いて振動子 (Vt708, Acouve Laboratory Inc.) を埋め込んだ (図 2-D). 振動子への信号入力はマイクロコントローラ (mbed NXP LPC 1768, ARM) から行なう.

聴覚刺激として提示する音声は PC に接続されたイヤホンから出力する.

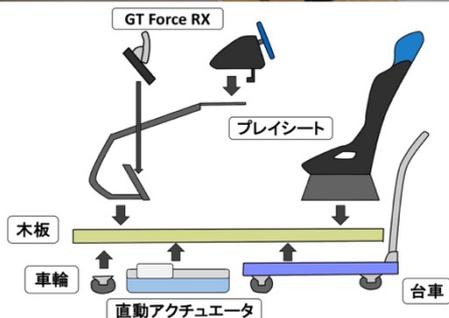


図 1 展示装置全体の構成図



図 2 振動子の取り付け位置詳細

### 3. 動作セットアップ

実験装置の他に, ヘッドマウントディスプレイ (HMD; Oculus Rift, Oculus) と制御用のノート PC を用いる. HMD へ出力する VR 映像は Unity を用いて製作した. 製作した映像は, 車に搭乗したプレイヤーが衝突対象に向かって直

進し衝突するという内容である. 衝突対象は大きなタイヤ, 木製のキューブ, アルミニウム製のキューブの 3 種類である. 制御用の PC には HMD 以外に直動アクチュエータ操作のコントローラ, 振動出力用のマイコン, 効果音提示用のイヤホンが接続される.



図 3 製作した VR コンテンツのスクリーンショット

効果音は商用データベースにて購入したものを使用した (www.soundsnap.com). 選定した効果音たちは, 音信号の最大振幅が等しくなるように編集を施し, 衝突対象との衝突時に発生する効果音として Unity に組み込まれている.

振動提示用の信号は以下の式(1)で表される減衰正弦波を用いた.

$$V(t) = Ae^{-Bt} \sin(2\pi ft) \quad (1)$$

ここで,  $V$  はマイコンから出力される電圧の指令値である.  $V$  の最大値は 0.5, 最小値は -0.5 とした.  $A$  は初期振幅を表す.  $B$  は減衰正弦波の減衰率を表す.  $f$  は減衰正弦波の周波数を表す.  $t$  は時刻を表す. 各パラメータの値は, 先行研究で我々が報告したパラメータ[3]を用いた (表 1). 表 1 のパラメータは, 振動と揺動の重畳提示において, 各素材の材質感の提示に有効であることが分かっている.

表 1 振動提示に用いるパラメータ[3]

Material	$A$	$B$ ( $s^{-1}$ )	$f$ (Hz)
Rubber	0.325	6.5	30
Wood	0.021	6.0	100
Aluminum	0.295	4.0	300

### 4. おわりに

本研究では, 自動車 VR システムのフィードバック性能を向上するために, 揺動に振動提示を重畳し, VR 体験への影響を検証してきた. 本稿では, 聴覚刺激の重畳を行なえるセットアップに変更した実験装置について報告した. 本展示では, 本実験装置を用いて, 振動と揺動と効果音のクロスモーダル刺激による VR 体験の変化を比較できる展示を行なう.

**謝辞** 本研究は JSPS 科研費 JP15H05923 の助成を受けたものです.

## 参考文献

- 1) R. Kodama, M. Koge, S. Taguchi, H. Kajimoto: COMS-VR: mobile virtual reality entertainment system using electric car and head-mounted display, in *IEEE Symposium on 3D User Interfaces*, pp. 130-133, 2017.
- 2) 塩野入央空, 櫻木怜, 小玉亮, 岡崎龍太, 梶本裕之: 自動車をモーションプラットフォームとした VR システムにおける振動提示 (第 2 報): 直動アクチュエータと振動子の組み合わせによる検証, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2017.
- 3) H. Shionoiri, R. Sakuragi, R. Kodama, H. Kajimoto: Vibrotactile feedback to combine with swing presentation for virtual reality applications, in *Eurohaptics*, pp.114-124, 2018.
- 4) V. Jousmaki, R. Hari: Parchment-skin illusion: sound-biased touch, in *Curr. Biol.*, vol. 8, no. 6, pp. R190-191, Mar. 1998.
- 5) 塩野入央空, 櫻木怜, 小玉亮, 梶本裕之: 自動車をモーションプラットフォームとした VR システムにおける振動提示 (第 3 報): 振動と揺動と効果音のクロスモーダル刺激による VR 体験の変化, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2018.