

# 鉄道車両の振動を記録、再現する触覚提示システム

山口大洋<sup>1,a)</sup> 馬場哲晃<sup>1,b)</sup>

鉄道趣味の世界で親しまれている車窓動画は、実際に乗車しているかのような臨場感が魅力の一つである。しかし一般的な車窓動画の視聴時は、実際の乗車中に発生するような車両の揺れや振動を体感しない。そこで触覚提示により、更なる臨場感の向上が可能になると考えた。本稿では実際に列車に乗りながら記録したデータから振動を再現し、視覚と聴覚に加え触覚を提示することでコンテンツ体験時の臨場感を向上させるシステムの提案を行う。

## Tactile presentation system that records and reproduces the vibration of a railway vehicle

TAIYO YAMAGUCHI<sup>1,a)</sup> TETSUAKI BABA<sup>1,b)</sup>

### 1. はじめに

列車に乗りながら窓の風景を撮影した動画は、車窓動画とも呼ばれ、鉄道趣味界隈で親しまれているコンテンツの一つである。1980年代頃には車窓動画を収めたビデオテープが販売されるようになり、今日では動画共有サイトに個人が撮影した動画が投稿され、鉄道会社が投稿する例もあるなど、その人気は高い。

車窓動画が人気である理由として、まるで列車に乗車しているかのような臨場感を楽しめるという点が挙げられる。窓の外を流れる風景や、レール上を進むことで発生するリズムカルな音等、視覚と聴覚から成るコンテンツを体験することが可能である。しかし実際の乗車時と異なり車体の揺れや足元を通じて感じる振動といった触覚は感じられない。コンテンツに振動を組み合わせることでより臨場感を向上させる取り組みは多数行われており[1][2][3]、車窓動画においても視聴時に振動提示を追加することで、臨場感を向上させることが可能だと考えた。

そこで本研究では、車窓動画の撮影と同時に振動を記録し、視聴時に振動を再現するシステムの提案を行う。

### 2. 関連研究

#### 2.1 振動触覚を用いた臨場感の向上

揺れのある映像にあわせて椅子を揺らすことによる臨場感への影響を調査した研究[1]があり、映像にあわせて振動を提示することが臨場感に一定の効果を与えることを、被験者への感性語対を用いたアンケート調査から確認している。映画館で使われる上映システムである4DX[2]は、映画のシーンに合わせて座席が上下左右に動き、揺れや振動を体感することができる。またMotion Platform V3[3]は、主に

レーシングゲームにおいてゲーム内の状況にあわせて座席を可動させるための装置で、揺れや振動を体感しながらプレイ体験を楽しめる。

しかしこれらのようなシステムや装置を利用するには大掛かりな準備や知識が必要であり、一般的な個人が動画の視聴に利用することの難易度は高い。

#### 2.2 360度動画を用いた車窓動画の高臨場感

近年、比較的安価な全天球カメラの登場で、360度動画の撮影や視聴が身近になった。またヘッドマウントディスプレイを利用することで、その場に居るかのような動画体験が可能である。低価格化や普及により、これらを用いたコンテンツの制作は容易になり、企業による活用も増加している。

360度動画として撮影された車窓動画を利用したもの一つとして、鉄道会社で用いられているVR(仮想現実)による災害対策訓練ソリューション[4]がある。これは運転士の視点で撮影された360度動画に災害時の様子を合成し、ヘッドマウントディスプレイで視聴することで、リアリティのある擬似的な災害を体験することができる。

以上の関連研究を踏まえ、臨場感の高い車窓動画を一般ユーザでも容易に製作でき、楽しめることを目的として、車窓動画の撮影時に動画と音声に加えて振動を記録し、再生時に再現するシステムを実装する。

### 3. 提案システム

#### 3.1 構成と使用の流れ

本システムは図1に示すように、全天球カメラ(RICOH THETA V)、コンクリートマイク(FS-WLD100)、PC、ヘッ

1 首都大学東京  
Tokyo Metropolitan University, Hino, Tokyo, 191-0065, Japan  
a) yamaguchi-taiyo@ed.tmu.ac.jp

b) baba@tmu.ac.jp

ドマウントディスプレイ (Samsung Gear VR), エキサイタを組み込んだ振動再現装置から構成される。

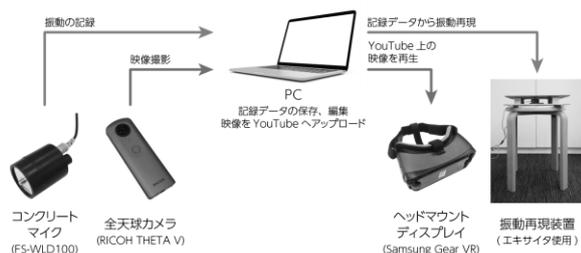


図 1 システムの構成

動画と音声は全天球カメラを、振動はコンクリートマイクを用いて記録する。記録したデータは PC に保存し、加工、編集を行う。再生時は振動再生装置に座り振動を体感しながら、ヘッドマウントディスプレイを装着し動画を視聴する。

### 3.2 振動の記録と再現

振動データを生み出す方法の一つとして、コンテンツの音情報から振動情報を生成する研究がなされている[5]。この研究では、振動が発生する際に同時に音も発生する点に着目し、録音した音声の低周波成分から振動データを生成している。これを参考に、本システムでは騒音の大きい鉄道車両の車内においてより体感に近い振動を記録する手法として、固体物の振動を読み取り電気信号に変換することが可能であるコンクリートマイクを用いることに着目した。PC と接続された状態で、明瞭な振動を読み取るために固い床にコンクリートマイクをあて、音声データとして記録する(図 2 参照)。記録した音声データは再現時の振動を明瞭にするために、ローパスフィルターで 200Hz 以上の高周波成分を逓減して低周波成分を残した状態とする。



図 2 振動記録中の様子

再現にはエキサイタを組み込んだ振動再現装置を使用する。エキサイタはスピーカと同様の原理で、音声信号の低周波数成分から振動を発生させる。アンプを介して接続された PC 上で音声データを再生することで、振動を提示する(図 3 参照)。



図 3 振動再現装置の外観とエキサイタ

### 3.3 動画の撮影と視聴

本研究では没入感を高めることで臨場感を向上させるために、360 度動画として車窓動画を撮影しヘッドマウントディスプレイを用いて視聴する。動画の撮影には全天球カメラを用いた。揺れる車内において安定した撮影を行うため、側面に吸盤が備わったカメラマウントを 3D プリンターで制作し使用した。吸盤を車両の窓ガラスに貼り付けることでカメラを安定させている。



図 4 撮影中の様子

視聴する様子を図 5 に示す。使用者はヘッドマウントディスプレイを装着した状態で振動再現装置に着席する。ディスプレイ内には 360 度動画の一部が再生され、装着者の頭の動きにあわせて動画内の視点が移動する。



図 5 視聴中の様子

## 4. 今後の課題と展望

システムを実装し、東海道線早川～根府川間でモータ搭載車(13号車)に乗車しデータの記録とシステムの検証を行った。一般的なモニターとスピーカを介して車窓動画を視聴する際と比較して、動画や音に合わせた振動が身体に伝わることで、臨場感の向上を感じる事が可能であった。また線路の継ぎ目を通過する際の振動や、床下機器から発生するような振動の違いを強く感じることが可能であった。

今後は座面だけでなく、足元や背中にも振動を提示する範囲を拡大し、臨場感の違いを調査することを検討している。また全身が揺れるような揺れについては再現できていないため、これを実現する手法を検討したい。

現段階では1区間のデータのみでシステムの検証を行っている。今後は他の路線や車両でもデータを収集し、その違いを体感可能か、または違いを生み出すような振動以外の提示やその手法についての調査を検討している。

今後の展望として、記録したデータをインターネット上に蓄積、共有する機能を実装したいと考えている。これによって、遠隔地で訪れることが困難であったり、時代の変化で廃止されたりした路線、車両の擬似的な乗車体験を楽しめるようになると考えている。

## 参考文献

- 1) 合志 和洋, 盛多 亮, 田崎 新二, 清田 公保, 古賀 広昭, 揺れ動画に同期した振動椅子による感性向上効果, 日本感性工学会論文誌, 8巻, 4号, pp.1121-1127 (2009).
- 2) 4DX | プレミアム No.1 シアター, <https://www.cj4dx.com/jp/>
- 3) Next Level Racing Motion Platform V3 | 株式会社マイルストーン, <http://www.milestone-net.co.jp/product/motion-platform-v3/>
- 4) JR 西日本における「VR(仮想現実)」による災害対策ツールの概要について | 2017年 | KDDI 株式会社, <https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2017/02/15/besshi2319.html>
- 5) 柳生 寛幸, 崔 正烈, 坂本 修一, 鈴木 陽一, 行場 次朗: 視聴覚コンテンツの音情報から生成した振動の高次感性促進効果, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, 2017, pp.11-16 (2017).