



# 触覚逆再生：時間的に逆転した振動提示による 逆再生映像の違和感低減

伊東健一<sup>1)</sup>, 伴祐樹<sup>1)</sup>, 武田輝<sup>2)</sup>, 高橋潤<sup>2)</sup>, 原田和亮<sup>2)</sup>, 割澤伸一<sup>1)</sup>

1) 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 (〒 277-0882 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, kenichiito@s.h.k.u-tokyo.ac.jp)

2) 東京大学 教養学部 柏キャンパスサイエンスキャンプ 2021 (〒 153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1)

**概要:** 逆再生は、非現実的な現象を表現可能な映像の時間操作手法である。我々は、視覚や聴覚だけでなく触覚によっても逆再生映像を体験する「触覚逆再生」を提案する。触覚逆再生は、落下等で生じる音を映像と同時に録音し、時間的に逆転させたうえでボイスコイル型振動子を用いて振動として提示することで実現できる。コップにビー玉が落下する単純な映像を用いた予備実験により、触覚逆再生によって逆再生映像体験時の違和感が減少することが示唆された。

**キーワード:** 触覚ディスプレイ, 逆再生, マルチモーダル

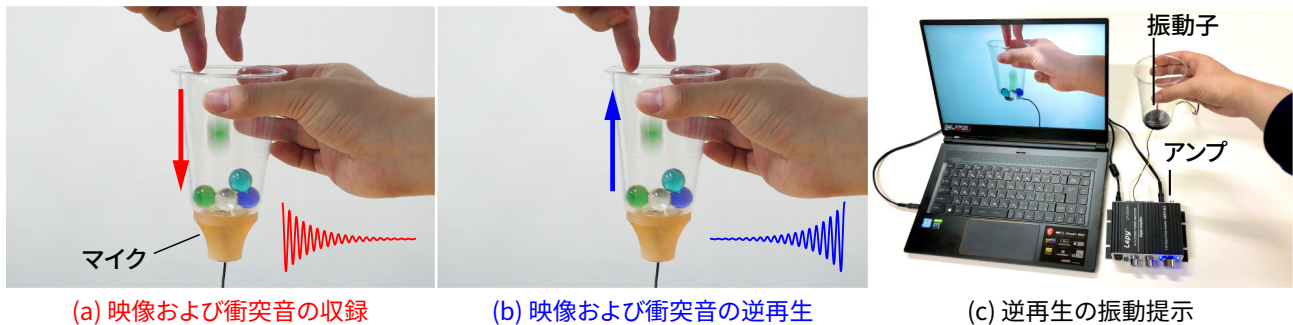


図 1: 触覚逆再生のプロトタイプシステム

## 1. 序論

逆再生は、スロー再生や早送り再生などと並び映像や音声の時間操作技法として用いられている。Tenet [1] のような映像作品では、超常的な現象を演出するために逆再生が活用されてきた。例を挙げれば、「落下した」物体がひとりでに飛び上がる、破壊された壁が瞬時に元に戻る、弾丸が銃口から飛び出す代わりに戻ってくるなどといった現象が逆再生により表現できる。

視聴覚以外の感覚モダリティによるメディア表現手法の 1 つとして、振動触覚が広く研究されている [2]。南澤らは、マイクにより集音した音信号をボイスコイル型振動子によって振動として再生することで、容易に様々な振動触覚コンテンツを制作できる TECHTILE Toolkit [3] を提案した。小西らは、全身にボイスコイル型振動子を配置しゲーム等への没入感を高める Synesthesia suit [4] を開発した。

振動触覚提示においても、時間操作の手法を取り入れることが提案されている。橋本らは、振動刺激の提示時間を引き伸ばした触覚スローモーションによって、臨場感や感動効果が得られる [5] ことや、異なる触覚刺激の判別能力が高まる [6] ことを示した。振動刺激を時間的に逆転させた「触覚逆再生」でも同様に情動や触知覚への効果が得られるこ

とが期待されるものの、実際に触覚逆再生による効果を検証した研究は行われてこなかった。

我々は、視聴覚に加えて触覚においても逆再生体験を実現するため、触覚逆再生のコンセプトを提案する。元の映像の音声信号を映像と同様に時間的に逆方向へ再生すると同時に、音声信号をボイスコイル型振動子によって振動として提示して触覚逆再生を実現した。逆再生によって表現される非現実的な現象を自分自身の皮膚で体感することで、逆再生映像体験の違和感が減少するという仮説のもとに実験を行った。

## 2. 触覚逆再生の実現

序論で述べたように、逆再生は様々な映像に対して適用できる。しかしながら、実験において触覚逆再生の効果を一定の指標で明らかにするためには、映像の種類を固定する必要がある。本稿では、TECHTILE Toolkit [3] のデモ映像を参考に、図 1 に示す「片手で保持したコップにビー玉が落下する」場面を用いることにした。選定の理由として、落下の映像では逆再生の効果が一目瞭然であること、音信号が単純な衝突音のみであり、触覚逆再生のための時間操作が容易であることが挙げられる。

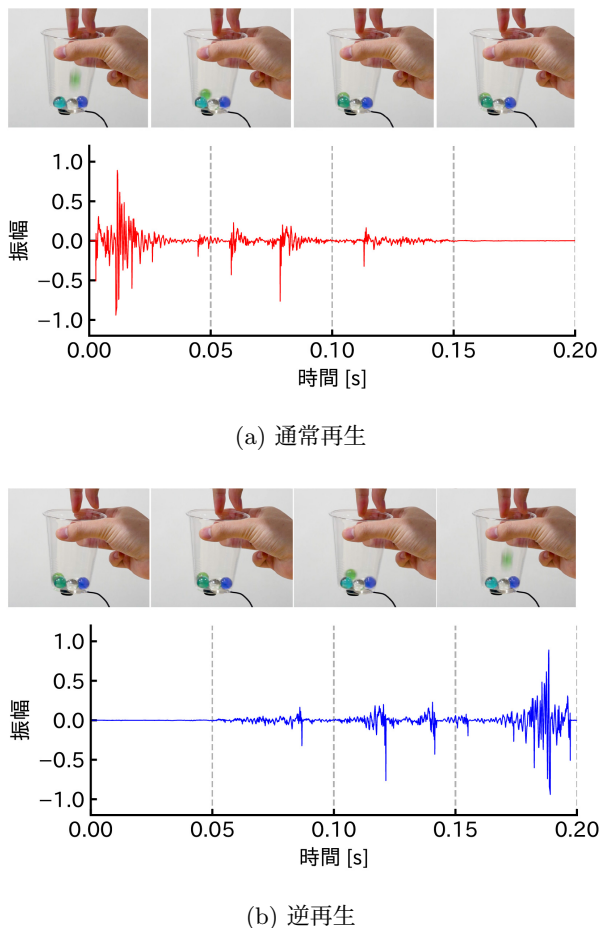


図 2: 触覚逆再生向けに加工した映像と音波形

振動の記録および提示のための装置として、TECHTILE Toolkit [3][7] に類似した手法によりプロトタイプを実装した。まず、ビデオカメラを用いて「プラスチック製のコップにビー玉が落下する」映像を撮影した。同時に、ビー玉とコップの衝突音を、コップの下部に貼り付けたマイク (Audio-Technica AT9904) により録音した (図 1 (a))。

記録した映像と音が逆再生されるよう動画編集ソフトウェア (Adobe Premiere Pro CC) により加工した (図 1 (b))。加工後の映像をモニタにて、振動をオーディオアンプ (LEPY LP-V3S) を介してボイスコイル型振動子 (アクーヴ・ラボ Vp210) にて再生した。振動子を記録時と同様のコップの底面に貼り付け、手で保持することで、映像内と似た状況下で触覚逆再生を体験できるようにした (図 1 (c))。

実際に記録された振動波形の例を図 2 に示す。通常再生の振動では、落としたビー玉の衝突直後に振幅が最大となりその後減衰する (図 2 (a))。他方、逆再生された振動では、時間が経過するほど振幅が大きくなり、最後に振幅が最大になると同時にビー玉がコップから離れる映像が提示される (図 2 (b))。

振動子からは高周波成分が可聴音としても再生された。衝突音が振動提示と同じ位置に音像定位されることで臨場感が高まると判断したため、聴覚提示にはヘッドホン等の器具を用いず、振動子から出力される音をそのまま用いた。

### 3. 映像と振動の違和感に関する予備実験

#### 3.1 実験設計

触覚逆再生が逆再生映像の体験に与える効果を検証するため予備実験を行った。コップにビー玉 1 個が 1 回落下する映像を 5 秒間となるよう加工したものを 3 種類用意し、それらを繋ぎ合わせた 15 秒間の映像を提示に用いた。振動触覚刺激の逆再生が映像と振動の違和感に影響するかどうかを調べるため、2 種類の視覚条件 (通常再生、逆再生) と 2 種類の触覚・聴覚条件 (通常再生、逆再生) を組み合わせた 4 条件の映像を提示した。条件ごとに 2 回ずつ、1 人の実験参加者に対して 8 回の映像提示を無作為な順序で行った。実験参加者は、1 回の映像提示ごとに映像と触覚刺激の違和感を 1 (違和感がない) から 10 (違和感がある) までの整数で回答した。

#### 3.2 実験に用いる映像と振動のタイミング調整

本稿の実験では、映像と振動 (および音) の再生方向が異なる条件が存在する。そこで、両者のタイミングのずれにより違和感を増大させないため、元の映像で衝突音が発生した期間と振動が再生される期間が合うようにした。4 条件の具体的なタイミングを図 3 に示す。例えば、図 3 右上の「映像は通常再生・振動は逆再生」の条件では、映像で衝突が発生してからビー玉が静止するまでの期間に振動が提示される。

タイミング調整に関する別の方針として、最初の衝突のタイミングを基準にする、すなわち映像でビー玉が衝突する時点と振動の振幅が最大である時点を合わせることも考えられる。ただしこの方法では、映像と振動の再生方向が異なる条件において、映像では音が出ていないはずの期間にも振動が再生されてしまう。実験前の予備テストにおいて「映像と振動の再生がずれて感じられる」との指摘があったため、最初の衝突基準ではなく、図のとおり衝突音が発生した期間を基準として実験用映像を制作した。

#### 3.3 実験結果および議論

8 名 (男性 7 名と女性 1 名、全員が 20 代、右利き) が予備実験に参加した。図 4 に示すように、逆再生映像が提示された条件で、振動が逆再生された条件の違和感のスコアは振動が通常再生された条件と比較して平均で 2.7 減少した。触覚逆再生により逆再生映像体験の違和感が抑制されたと言える。また、映像が通常再生の条件では、振動が逆再生である方が通常再生と比較して違和感スコアが高かった。これらの結果により、映像と振動の再生方向が時間的に一致しない場合、映像体験の違和感が大きくなることが示唆された。

実験参加者の一部は、実験後の自由回答アンケートに、逆再生の振動提示の間に何かが上方向に引き出されたように感じた」と回答した。このことから、逆再生映像における「コップからビー玉がひとりで飛び上がる」という本来ありえない現象のリアリティが、逆再生された振動によって増強できる可能性があると言える。

## 振動・音提示

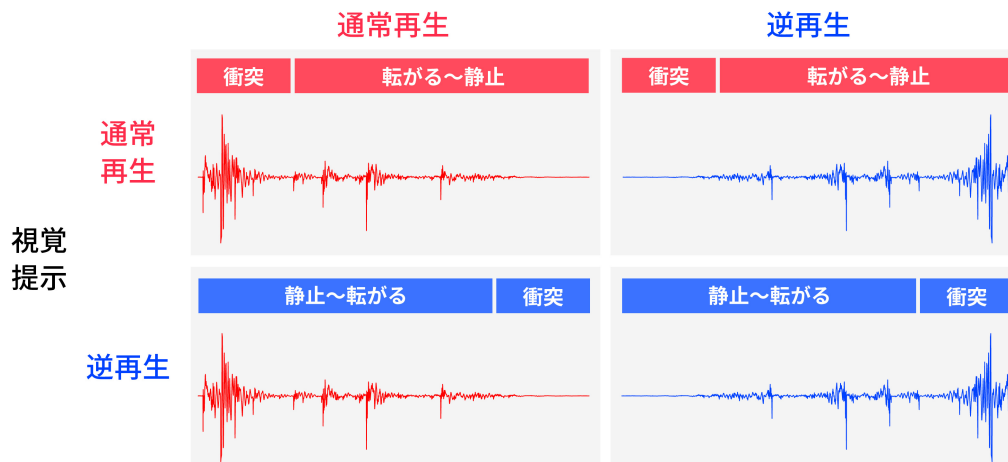


図 3: 実験条件に対する映像と振動・音のタイミング例。各条件で上が映像の場面、下が振動波形を示す。

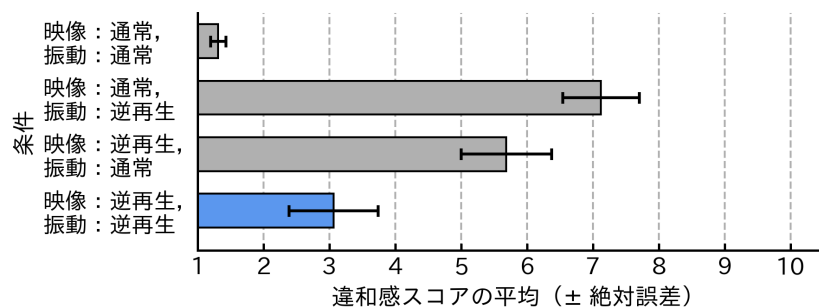


図 4: 映像と触覚刺激の間の違和感に関する回答

#### 4. 結論

本稿では、逆再生映像と同時に逆再生された振動刺激を提示する触覚逆再生を提案した。予備実験では、触覚逆再生によって逆再生映像の違和感が減少することが示された。今後の課題として、触覚逆再生体験時の衝撃感などの触知覚をより詳細に検証することや、逆再生感をさらに高める振動刺激の加工方法を明らかにすることが挙げられる。

#### 参考文献

- [1] Christopher Nolan. Tenet, 2020.
- [2] S. Choi and K. J. Kuchenbecker. Vibrotactile display: Perception, technology, and applications. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 101, No. 9, pp. 2093–2104, 2013.
- [3] Kouta Minamizawa, Yasuaki Kakehi, Masashi Nakatani, et al. TECHTILE toolkit: A prototyp-

ing tool for design and education of haptic media. In *Proceedings of VRIC '12*. ACM, 2012, Article 26.

- [4] Yukari Konishi, Nobuhisa Hanamitsu, Benjamin Outram, et al. Synesthesia suit: The full body immersive experience. In *ACM SIGGRAPH 2016 VR Village, SIGGRAPH '16*. ACM, 2016.
- [5] 橋本悠希, 梶本裕之. スローモーション触覚再生装置. 情報処理学会インタラクティブ 2009, 2009.
- [6] 橋本悠希, 梶本裕之. 触覚のスローモーション再生における知覚特性. 第 14 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2009.
- [7] 仲谷正史, 寛康明, 南澤孝太ほか. 触感表現の一般普及に向けた方法論とテクニカルワークショップを通じたその実践. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19, No. 4, pp. 593–603, 2014.