

# Mixed Reality 技術を利用した 空気砲の弾へのエフェクト付加手法

滝 拓真<sup>1,a)</sup> 井尻 敬<sup>1</sup>

**概要：**離れたユーザに安全に触覚フィードバックを与えられる空気砲は、ゲーム等のエンターテインメントコンテンツへの応用が期待できる。しかし、従来の空気砲の弾（渦気流）は目には見えないため、標的を正確に狙う・相手の弾を避けるといった利用は難しい。そこで本研究では、『目に見える空気砲』による新たなゲーム体験の実現を目的とし、Mixed Reality（MR）技術を用いて空気の弾にエフェクトを重ねる手法を提案する。提案手法は、スタンドアロン型のヘッドマウントディスプレイ（HMD）を利用して MR 空間を提示する。また、側面を叩くことで渦気流を発生できる空気砲を用意し、これに MR デバイスのコントローラを取り付ける。ユーザが空気砲を叩いて発射した際、コントローラの位置の急な変化を検知し、ユーザの視界上に空気の弾のエフェクトを提示する。本制作発表では、提案手法をシューティングゲームに応用した例を紹介する。

## 1. はじめに

映画やゲームなどのエンターテインメントコンテンツにおいて、映像や音声だけでなく、触覚フィードバックも提供することで高い没入感を与えようとする試みが多くなされている。例えば、4 次元映画や振動ゲームパッド、ハンドルコントローラなどが、触覚フィードバックを与えるコンテンツとして挙げられる。また、Virtual Reality（VR）環境において映像コンテンツに合わせた触覚フィードバックを提供する手法が研究されている [1], [2]。これらの製品や研究では、ユーザがコンテンツから知覚する情報量を増やすことで、コンテンツに対してより高い没入感を得ることが出来る。

触覚フィードバックを提供するため、空気を利用する手法が研究されている。比較的近距離の対象に触覚を与えるための圧縮空気を噴射する手法 [3], [4] や、遠くの対象に触覚を与えるため空気砲により渦気流を射出する手法が提案されている [5], [6]。特にこの空気砲による触覚フィードバックは、遠隔のユーザにも安全な触覚フィードバックを与えられることから、ゲーム等への応用が期待できる。しかし、空気砲より射出される渦気流は目には見えないため、標的を正確に狙うことや弾を避けることが難しいという課題がある。

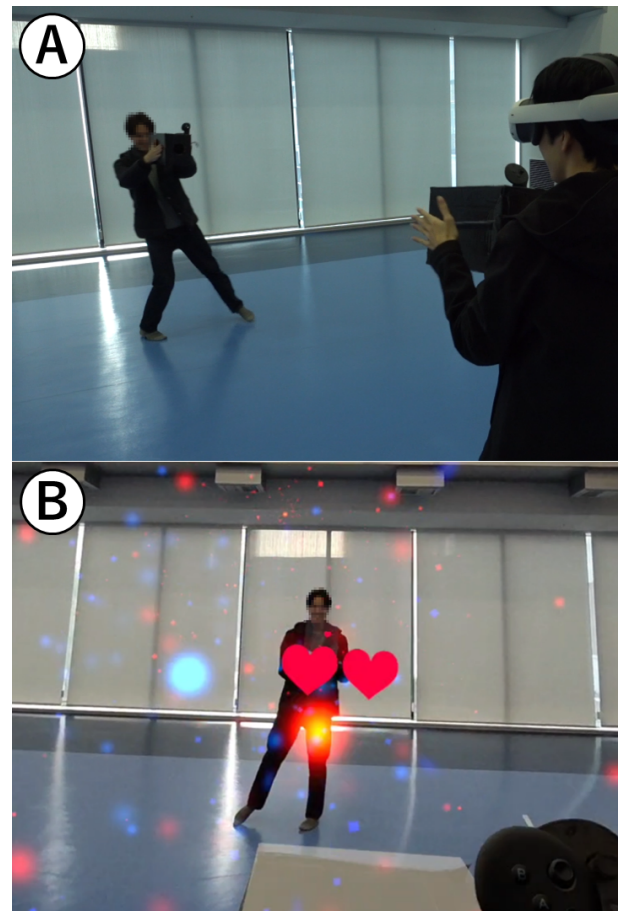


図 1 提案手法を利用したシューティングゲームのプロトタイプ。  
(a) 第三者視点と (b) HMD を装着したプレイヤー視点。

<sup>1</sup> 芝浦工業大学  
Shibaura Institute of Technology, Koto, Tokyo, 135-8548, Japan  
<sup>a)</sup> ma23109@shibaura-it.ac.jp

そこで本研究では『目に見える空気砲』による新たなゲーム体験の実現を目的とし、Mixed Reality (MR) 技術を用いて空気の弾にエフェクトを重ねる手法を提案する。提案手法を利用すれば、触覚を伴うエフェクトを射出できるため、シューティングゲーム、フィットネスゲーム、スポーツゲーム等の MR コンテンツへの応用が期待できる。例えば、シューティングゲームに応用すると、当たったら軽い衝撃のある弾を発射できる MR ゲームを実現できる。また、飛んでくるオブジェクトに連続して触るようなフィットネスゲームに応用すると、エフェクトに触った際に実際に触覚が得られるようなコンテンツを実現できる。

本稿では、提案手法をシューティングゲームに利用したプロトタイプシステムを紹介する(図 1)。このゲームは 2 人対戦形式で、片方のプレイヤーが MR デバイスを装着した状態でゲームを行う。プレイ時には 2 人のプレイヤーがそれぞれ空気砲を持ち、互いに空気の弾を打ち合うことで相手を倒すことを目指す。空気砲による触覚フィードバックと MR エフェクトを組み合わせることで、当たると実際に軽いフィードバックを受ける弾の発射が可能となる。

## 2. 関連研究

VR コンテンツに触覚フィードバックを付与する手法が研究されている。Suzuki らは、高さが伸縮可能な卓上ロボットを介してユーザの指先に物体の高低差を伝えるシステム、HapticBots を提案した [1]。また Kim らは、回転する円盤に触れることで仮想空間上の物体に触れた時の指の滑りを再現するシステム、SpinOcchio を提案した [2]。しかし、これらの手法ではユーザが実際にデバイスに触れる必要があり、デバイスと離れた対象に触覚フィードバックを与えることはできない。

空気を利用することで触覚フィードバックを与える手法が提案されている。Suzuki ら [3] や Tseng ら [4] は、複数のエアジェットノズルを用いて、圧縮空気による触覚フィードバックを実現した。また、より遠くまで安定した気流を届ける手法として、空気砲を用いて渦気流を発生させるものがある。Gupta らは、箱の中の空気を射出して渦気流を作ることによって遠隔のユーザに触覚フィードバックを与える AirWave を提案した [5]。また Sodhi らは、柔軟で変形可能なノズルを用いて任意の方向に渦気流を射出し触覚フィードバックを与える AIREAL を提案した [6]。しかし、空気砲より射出される渦気流は目には見えないため、標的を正確に狙ったり相手の弾を避けたりする行動が難しいという課題がある。

## 3. 提案手法

本研究では『目に見える空気砲』による新たなゲーム体験の実現を目的とし、MR 空間にて空気の弾にエフェクトを重ねる手法を提案する。我々は、カメラパススルー型

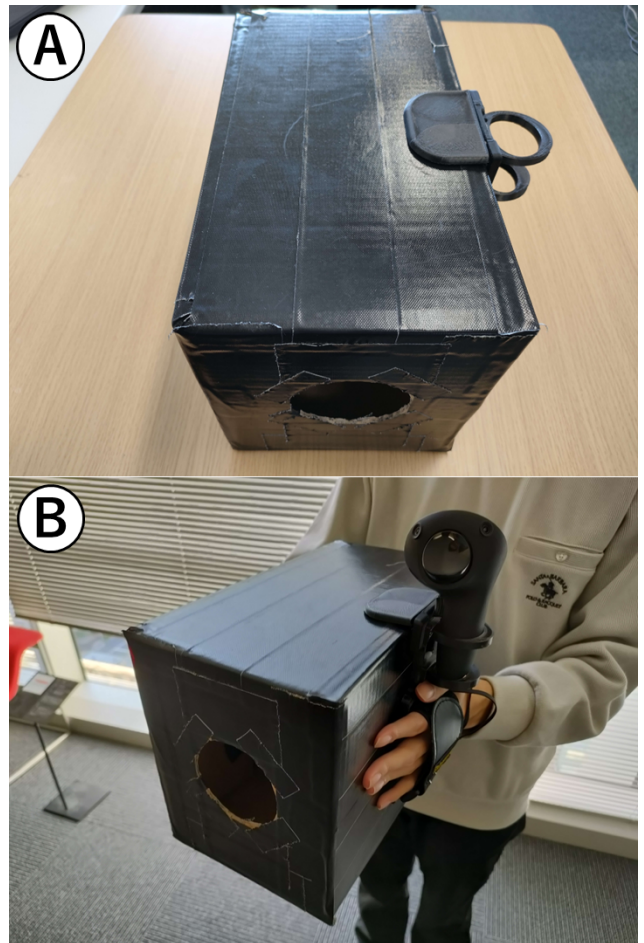


図 2 (a) 提案手法にて試作した空気砲。(b) 空気砲の側面を叩くことで渦気流を発射する。

の MR 表示機能を有するスタンドアロン型ヘッドマウントディスプレイ (HMD)、Meta Quest 3、を用いて MR 空間をユーザに提示する。また、図 2a に、我々が試作した空気砲を示す。空気砲の本体は段ボールで出来ており、側面に 3D プリンタで造形したアタッチメントが取り付けられている。このアタッチメントの上部に VR コントローラを設置し、下部にはマジックテープ式のコイルが取り付けられる。ユーザはこのコイルに片手を通して空気砲を把持し(図 2b)、もう一方の手で反対側の側面を叩くことで空気砲を発射する。なお、堅固な位置推定のため Quest Pro コントローラを利用する。

渦気流が発射されたタイミングは、コントローラの位置変化を利用して検知する。空気砲を叩くと衝撃でコントローラの位置が素早く変化することを利用し、コントローラが 1 フレーム (1/60 秒) の間に一定以上の距離 (現在の実装では 2cm) を移動した場合に弾が発射されたと判断する。また、実際に渦気流が発射されてから提案手法がこれを検知するまでの間に僅かな時間差が発生する。この差を解消するため、我々は、発射が検知されたタイミングより数フレーム前のコントローラの位置を発射位置として利用する。



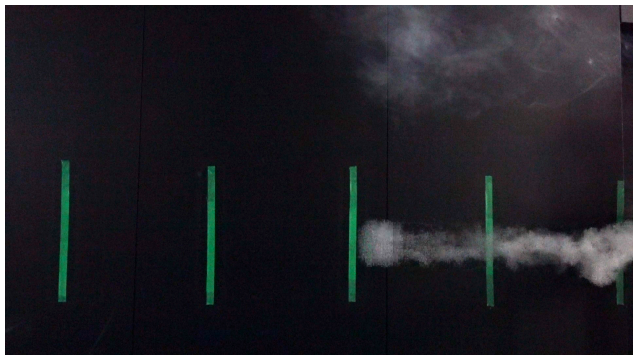


図 3 煙を入れた空気砲を発射した様子を撮影した動画。

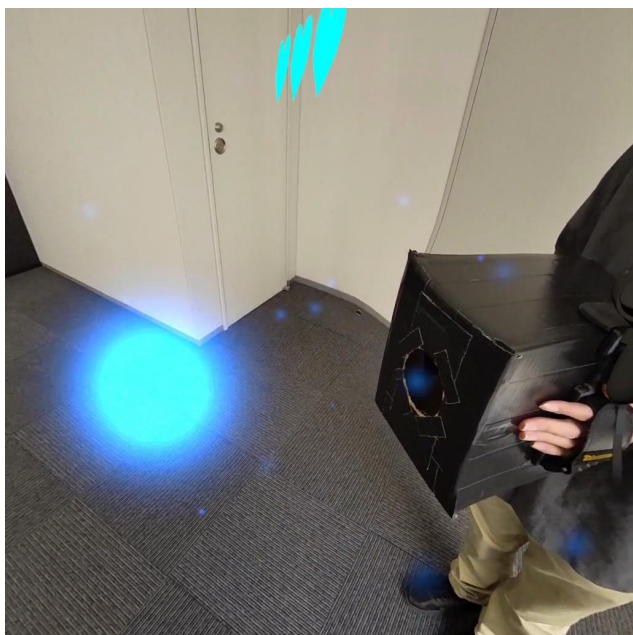


図 4 エフェクトを重ねた様子。

空気砲から発射された渦気流に対して MR 空間にてエフェクトを重ねて表示するには、発射された渦気流の初速と加速度が必要となる。渦気流の初速や加速度は、空気砲を叩く強さや周辺環境に依存すると考えられる。簡単のため、プロトタイプシステムでは、渦気流の初速と加速度は一定であると仮定し、簡易的な実験によりこれらの値を推定する。具体的には、煙を入れた空気砲を同じ実験者が同程度の力で叩くことで渦気流を複数回発射する。この様子を横から撮影した動画 (図 3) を解析することで、初速の平均値と加速度の平均値を算出し、これを利用してエフェクトを提示する (図 4)。

#### 4. プロトタイプシステム

提案手法の応用例として制作した 2 人対戦型のシューティングゲームのプロトタイプを紹介する。このゲームでは、2 人のプレイヤーが空気砲を持ち、一方のプレイヤーのみが HMD を装着する。この時の HMD の画面には、お互いの空気砲とその体力 (ライフ) が表示されている。空気砲から渦気流が発射されると、発射したプレイヤーごとに色の異

なる弾のエフェクトが HMD の画面に表示される。エフェクトが相手のプレイヤーの空気砲付近に設置された領域に接触すると、当てられた側のプレイヤーのコントローラが振動し、ライフが 1 つ減る。ライフが全て無くなったプレイヤーは弾の発射が出来なくなり、一定時間後にライフが全て回復した状態で復活する。

このプロトタイプシステムでは、HMD を装着したプレイヤーは、触覚のあるエフェクトを発射できる・相手の弾のエフェクトに当たると軽い触覚フィードバックを受けるという体験が可能となる。実際のテストプレイでは、「面白い」「エフェクトによって実際に戦っている感じがする」などの肯定的なコメントが得られた。

#### 5. まとめと展望

本研究では、『目に見える空気砲』による新たなゲーム体験の実現を目指して、MR 技術を用いて空気砲の弾のエフェクトを重ねる手法を提案した。提案手法では VR コントローラを空気砲に装着することで空気砲の 3D 位置情報を取得し、更に VR コントローラの動きを利用することで空気砲が発射されたタイミングを検出した。また、提案手法を 2 人対戦型のシューティングゲームに応用したプロトタイプシステムを紹介した。

現在のプロトタイプの課題として、一方のプレイヤーしか HMD を装着していない点が挙げられる。HMD を装着していないプレイヤーは、目に見えない渦気流を発射しているだけであり、体験してもらったユーザからは、「コントローラの振動以外のフィードバックが与えられず、現在の状況が全く掴めない」という指摘があった。今後、複数台の HMD を連携させることで、複数のプレイヤーが MR 空間で対戦できるようなアプリケーションを実現し、その評価を行いたい。また、フィットネスやスポーツゲームへ応用できるように提案手法を拡張することも重要な将来課題である。

#### 参考文献

- [1] Ryo, S., Eyal, O., Mike, S., Daniel, L. and Mar, G.-F.: HapticBots: Distributed Encountered-Type Haptics for VR with Multiple Shape-Changing Mobile Robots, *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '21, Association for Computing Machinery, p. 1269–1281 (2021).
- [2] Jin, K. M., Neung, R., Wooje, C., Michel, P., Mike, S. and Andrea, B.: SpinOcchio: Understanding Haptic-Visual Congruency of Skin-Slip in VR with a Dynamic Grip Controller, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, Association for Computing Machinery (2022).
- [3] Yuriko, S. and Minoru, K.: Air jet driven force feedback in virtual reality, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 25, No. 1, pp. 44–47 (2005).
- [4] Chun-Miao, T., Po-Yu, C., Chin, L. S., Yu-Wei, W., Yu-Hsin, L., Mu-An, K., Neng-Hao, Y. and Y., C. M.:

HeadWind: Enhancing Teleportation Experience in VR by Simulating Air Drag during Rapid Motion, *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22, Association for Computing Machinery (2022).

- [5] Sidhant, G., Dan, M., N., P. S. and Desney, T.: Air-Wave: Non-Contact Haptic Feedback Using Air Vortex Rings, *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, UbiComp '13, Association for Computing Machinery, p. 419–428 (2013).
- [6] Rajinder, S., Poupyrev, I., Matthew, G. and Ali, I.: AIREAL: Interactive Tactile Experiences in Free Air, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 32, No. 4 (2013).