



影契-影とつながり，影術師になろう

ShadowSync: Connect with Your Shadow, Feel the Pact

宣辰¹⁾，余曉沁¹⁾，中村玲香¹⁾，小泉恵未¹⁾，鈴木蓮¹⁾，井上慧汰朗¹⁾，生出ひより¹⁾
Chen XUAN, Hsiao-Chin YU, Emi KOIZUMI, Ren SUZUKI, Keitaro INOUE and Hiyori OIDE

1) 慶應義塾大学 メディアデザイン研究科 (〒223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, hiyoshi@info.keio.ac.jp)

概要：幼い頃，私たちはよく「手影遊び」をした。しかし，既存の VR コンテンツにおいて，手影は視覚的な演出にとどまり，操作者がその状態を身体的に感じることはできず，影との身体的なつながりも構築されていない。本企画では，ジェスチャー認識と牽引・温感・振動といった複数の体感フィードバック手段を組み合わせることで，体験者が影を操作しながら，その動きや反作用力を直接感じ取れるようにし，「影との共感」を中核とした新たな体験を構築する。従来の手影 VR における一方向的な操作モデルを打破し，影を「身体の延長」として再定義することである。

キーワード：身体拡張インタラクション，共感，マルチモーダル触覚フィードバック，手影遊び

1. はじめに

1.1 背景

幼私たちは子どもの頃，誰もが「手影遊び」をしたことがある。光に照らされた手の形を使って，キツネや鳥，ドラゴンなどの形を壁に映し出し，即興の劇を演じていた。しかしその影は，私たちの動きに追従するだけで，抵抗も反応も示さず，ただ壁に軽やかに貼りついているだけの，重さも温度もない存在だった。

VR 技術によって，仮想空間の中で映像を再び「操作」する力を手に入れた。しかし，現在の手影 VR や影絵芝居を題材とした VR コンテンツの多くは，依然として「見えるが触れられない」段階にとどまっている。現在，「手影」という概念と VR インタラクションを融合した研究はすでに進められており，代表的な作品には《Silhouette》や，中国の伝統的な影絵芝居を原型とした一部の VR 展示プロジェクトがある。

前者では，手のジェスチャー認識を用いて，手影をインタラクティブなキャラクターに変換し，「手影」で壁を作ったり，高さを出したり，橋を架けたりして，キャラクターのジャンプや移動を補助するプレイが可能となっている。一方，後者は主に展示や文化継承を目的としており，VR 空間内で伝統的な演劇演出を再現しつつ，両手のコントローラーでキャラクターの左右の手を操作するという形式を採用している。しかし，影絵芝居特有の複雑な操作を再現するには至っておらず，直感的な操作も難しい。

どちらの形式も「手の動きによるキャラクター制御」というインタラクションロジックを採用しているが，体験構造は依然として視覚的フィードバックという単一チャンネルに限定されている。体験者はキャラクターの動きを目で

追うことはできても，キャラクターが受けている衝撃や抵抗，感情の変化までは感じ取れない。手を振れば前進し，傾けば応えるが，それはあくまで視覚上の「影」であり，体験者の身体とは結びついていない。

また近年，ハンドトラッキング技術が進歩し，カメラや深度センサーなどのデバイスによって，物理的なコントローラーを使用せずとも自然なジェスチャーで仮想環境とインタラクトできるようになった。しかし，現在のジェスチャー認識システムは，主に手の動きや姿勢の検出に特化しており，ユーザーと仮想オブジェクトとの間に生じる物理的な相互作用のフィードバック機構はほとんど存在しない。

言い換えれば，手の動きによる操作や「手影」のコントロール体験は，依然として「遠隔操作による物体制御」というレベルに留まっており，操作者と仮想キャラクターとの間に身体的な連動感は築かれていない。

本企画は，こうした一方向的な制御構造を打破し，「影契」という VR 世界を構築した。体験者は影を操作する「影術師」となり，影をただ「動かす」存在ではなく，自身の身体の延長として「つながる」存在へと変えることを目指す。

1.2 目的と手段

影を単なる演出用の付属映像ではなく，体験者の身体の延長として機能させるために，本企画では「影との共感」を中核とする没入型インタラクションのフローを構築し，影と身体とのフィードバック的なつながりを強化することを目指す。

重要なのは，影の状態が体験者に反作用として伝わり，その動き・感情・受けている力を身体を通じて直接感じ取

ることで、「影が身体の延長となる」感覚を実現する点である。

本企画では、以下の4つの体感経路を組み合わせることで、従来の「手影」を単なる視覚・聴覚のインタラクションから、可感知・可フィードバックな身体拡張構造へと転換する。

・牽引感

影が野生の影獣に引っ張られる場面や、契約時に抵抗を受ける場面において、手首に装着されたデバイスが方向性のある引っ張り感（牽引力）を提供する。この牽引力は一方的に強くなるのではなく、状況に応じてリアルタイムで張力を調整し、「影が体験者を引っ張っている」または「影に捕まっている」という物理的な錯覚を生み出す[1]。それにより、影が“重さ”や“意思”を持つ存在としてリアルに感じられるようになる。

・温感フィードバック

運命の影獣に近づき共鳴を開始する際、掌に貼り付けられた温感モジュールがゆっくりと加温され、心拍の共鳴リズムを模倣する。また、火属性の攻撃を受けた場合には短時間の高温（安全範囲内）と風力装置からの温風が同時に発生し、「熱が掌に突き抜ける」ような錯覚を強化する。これらの温度変化は、手の動きやシナリオのテンポと連動し、影との共感体験をより信憑性のあるものにする。

・振動フィードバック

銃撃・被弾・契約などの各シーンでは、それぞれの身体動作に対して異なる振動が手元に返される。たとえば、攻撃時には反動を模した短周期の線形振動、被弾時には掌背や手首に方向性を持った連続振動、契約時には弱→強→緩和というリズムの振動で「抵抗→征服」のプロセスを身体的に体験できる。これにより、動作の実在感が高まり、同時に継続的な身体リズムのガイドとしても機能する。

・風感フィードバック

より広域で間接的な環境効果を再現するため、非接触型の外部送風装置を触覚システムに組み込んだ。体験者が手影を用いて影狐に変化し、影の世界へ突入する瞬間、正面の風口から強風が吹き付け、「空間を突き抜けるような空気抵抗感」を演出する。また、戦闘での被弾直前には側面からの短風と振動を同期させ、圧迫感を創出。契約成立時には、掌に浮かぶ影獣の虚像とともに下から上へ吹き上がる微風と温感が「点灯の瞬間」を構成する。こうした風感は身体に触れずとも没入空間のスケールを拡張し、シーン遷移や感情表現にリアリティを与える。

2. 体験流れ

本体験では、体験者は「影術師」の末裔として設定されている。影術の伝統によれば、影獣との契約は年に一度の「投影祭」の日に行えない。この日に限って、体験者の手影は影界への通路を得て、狐の姿となり、「影の世界」（図1）へと入ることができる。



図 1: VR 画面効果図

体験者は影界を探索し、自身と共鳴する影獣を探す。移動操作は手のジェスチャーによって行われ、「手影化狐」の姿勢を維持することで環境をナビゲートする。契約されていない野生の影獣の襲撃に対しては、ジェスチャーを変化させて手影を「影法銃」の形態に変換し、敵を撃退する。

しかし、この設定には重要なメカニズムがある。体験者は自身の影獣を正確に識別しなければならない。誤って撃退してしまった場合、契約は失敗とみなされ、該当する影獣は永遠に影界から消滅し、再び召喚することはできなくなる。

体験の流れは、「影界への突入 → 探索 → 遭遇 → 共鳴 → 契約」（図2）という5つの主要なフェーズで構成されている。

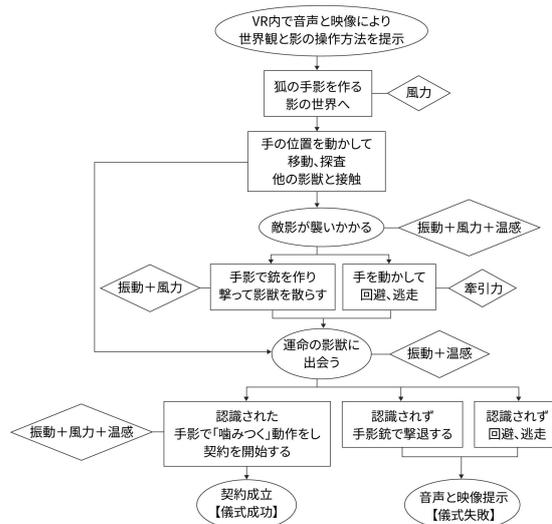


図 2: 体験流れイメージ

2.1 入場と影界への突入

スタッフの補助のもと機材を装着し、体験が開始される。VR内の音響と映像の演出に従って、体験者は右手を挙げてキツネの形を模したハンドサインをとる。プロジェクションライトが手に当たると、手影がキツネ型の「影狐」に変化し、手の動きに追従する。これと同時に、掌に軽い振動が発生し、手首には牽引感が伝わる。正面からの送風装置による風圧も加わり、体験者に「影の世界」への突入が始まったことを示す。

2.2 探索と影狐の操作

影界では、体験者は「キツネの手」のポーズ（図3）を維持し続けることで影狐の進行方向をコントロールす

る。影狐は暗い影の道を縫うように移動し、途中で様々な影獣と遭遇する。運命の影獣に近づくと、掌に振動と温感が生じる。一方、敵意を持つ影獣と遭遇した場合は、戦うか逃げるかの選択が求められる。

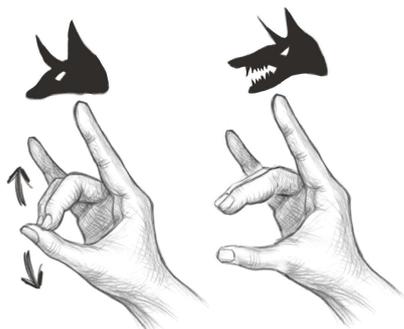


図 3: ジェスチャー操作イメージ①

2.3 影法銃への切替えと儀式失敗

敵影が接近してきた際、体験者は手の形を変え、「影狐」を「影法銃」モードに切り替えることができる。このとき、影狐は銃の形状に変化し、弾を発射して敵を攻撃する(図4)。発砲の動作に連動して掌に強い振動が発生し、手首へと伝達されることで、銃撃時の反動感を再現する。もし体験者が運命の影獣を見誤って攻撃してしまった場合、または逃走した場合には、契約儀式の失敗として体験が終了する。

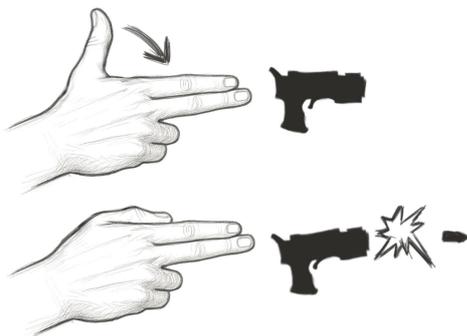


図 4: ジェスチャー操作イメージ②

2.4 咬合契約と儀式成功

運命の影獣を見極めた後、体験者は「影狐」の状態で手指を広げ、「噛みつく」動作を模倣し(図3)、影獣を挟み込み、契約を開始する。牽引装置が強い引力を加え、影獣の抵抗を振動とともに体感できるようにする。最終的に、VR内の音と映像に加えて風覚装置が連動し、契約完了を演出する。掌を開くと、温感と振動が生じ、「儀式成功」が提示され、体験は終了する。

3. システム構成・原理

本システムは、「ジェスチャー認識と動作追跡」「温感フィードバック」「牽引および振動フィードバック」「風覚と視覚の連動」の4つの主要モジュールから構成されており、それぞれが「影を身体の延長として感じる」ための没入型体感ループを構築している(図5)。

各モジュールはUnityによって統合的に管理され、PCま

たは一体型VRデバイス(Meta Questシリーズ)上でシステムロジックを実行し、フィードバック信号の制御・分配を行う。

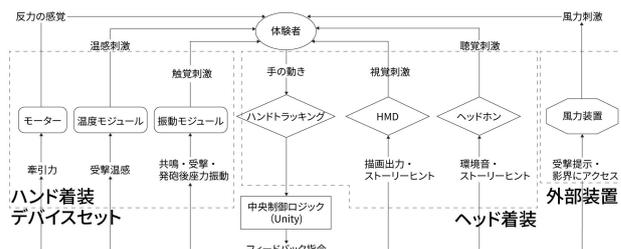


図 5: 全体システム構成図

3.1 ジェスチャー認識

本システムでは、赤外線深度カメラを用いたジェスチャー認識モジュール(Questネイティブのハンドトラッキング機能)を採用し、ユーザーの手の骨格と動作軌跡をリアルタイムに取得する。認識の中心は、手のひらの姿勢、指先の角度、開閉状態などにあり、これらの変化によって、移動、銃形態での攻撃、契約などのアクションを入力する。

3.2 温感フィードバック

温感フィードバックモジュールには、電動制御の薄膜型医療用加熱パッチ[2]を用い、PWM(パルス幅変調)による温度制御を実現している。加熱ユニットには、手のひらに装着可能な柔軟な発熱フィルム(グラフェン素材)[3]を使用し、屈曲性、低電圧駆動、急速加熱、安全な温度管理といった特性を備えている[4]。これらは医療リハビリや物理療法などで広く使用されており、近赤外線を遮らないため、光学式ハンドトラッキングへの干渉も最小限に抑えられる。

制御モジュールはArduinoマイコンとMOSFET電源スイッチで構成され、Unityからの制御信号に応じてPWMデューティ比を調整し[5]、加熱レベル、温度上昇カーブ、持続時間のきめ細やかな設定が可能である(図6)。また、外部の温風ファンと組み合わせて熱風による体感効果を強化している。

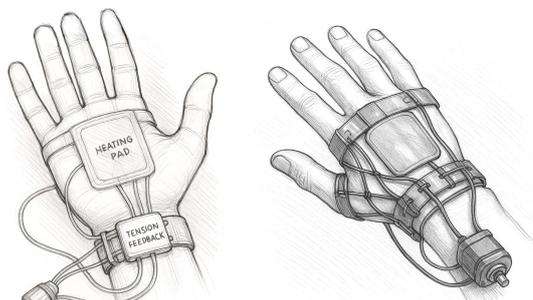


図 6: 手部装着デバイス構想

3.3 牽引・振動装置

牽引感の再現のために、手首部には3点以上の固定ポイントを持つ多点環状の牽引構造と、巻き取り式の多方向ケーブルシステムを配置している(図6)。小型ステッピングモーターにより各ケーブルの張力と方向を動的に調整し、上方、斜め、横方向など、様々な方向からの牽引感を再現し、影狐の抵抗と引きずられるといった場面を体感で

きる。

手の甲には LRA（リニア・レゾナント・アクチュエーター）または ERM（偏心回転質量モーター）によるマイクロ振動モーターを組み込み[6]、発力時の衝撃感、被弾時の圧力感を再現する。これらの振動デバイスは、赤外線カメラの主視野を避けた手の甲側面に配置され、マットブラックのシリコンまたは赤外線透過素材によってカバーされることで、トラッキングへの影響を抑える設計となっている。

3.4 風力装置（エアブロー）

風覚モジュールは、低電圧 DC ファンと Arduino による PWM 制御回路から構成され、体験者の前方および側方に配置されたダクトから送風される[7]。これにより、シーンの状況と風向・風量が同期し、例えば影界突入時には前方からの強風で「時空を切り裂くような感覚」を演出する。

また、火属性攻撃を受けた際の熱風体感を実現するために、PTC（正温度係数）加熱素子を搭載したセラミックファンを用い、安全な電圧と表面温度管理のもと、短時間で掌に熱を伝える「灼熱の突風」を生成する。風覚は、視覚・振動・温感の各モジュールと組み合わせた複合的な感覚提示を構成し、非接触型の体感フィードバックとして没入感の拡張に寄与している。

設置位置(図 7) : 体験者前方/側面に 30~60cm, 角度調整可能。

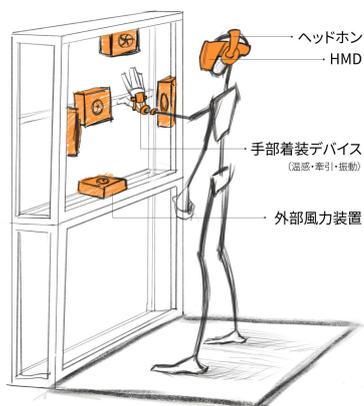


図 7: 体験全体イメージ

参考文献

- [1] Cathy Fang, Yang Zhang, Matthew Dworman, Chris Harrison: Wireality: Enabling Complex Tangible Geometries in Virtual Reality with Worn Multi-String Haptics.
<https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.1145/3313831.3376470> (参照 2025-05-22)
- [2] JST/産総研 AIST: 「リアルな触覚再現技術」で触覚を「共有」へ。
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20240308/pr20240308.html(参照 2025-05-22).
- [3] Hundessa Daba Nemomssa, Frederick Bossuyt, Bjorn Vandecasteele, Herbert De Pauw, Netsanet Workneh Gidi, Pieter Bauwens: Revolutionizing Patient Care: A Comprehensive Review of Recent Advances in Flexible Printed Heaters for Wearable Medical Applications,2024.
https://www.researchgate.net/publication/383416727_Revolutionizing_Patient_Care_A_Comprehensive_Review_of_Recent_Advances_in_Flexible_Printed_Heaters_for_Wearable_Medical_Applications (参照 2025-05-22)
- [4] Jian-Min Hao, Yin-Fa Yang, Yi-Tao Shen, Rui Zhou, Wei Zhang, Hua Chen, Wen-Long Cheng: Positive temperature coefficient material based on silicone rubber/paraffin/graphite/carbon nanotubes for wearable thermal management devices, Chemical Engineering Journal, Vol. 493, 2024.
- [5] PW Consulting Chemical & Energy Research Center: What are the primary end-use industries driving demand for PTC heating films?
<https://pmarketresearch.com/chemi/ptc-heating-film-market/> (参照 2025-05-22)
- [6] Hsin-Ruey Tsai, Yuan-Chia Chang, Tzu-Yun Wei, Chih-An Tsao, Xander Chin-yuan Koo, Hao-Chuan Wang, Bing-Yu Chen: GuideBand: Intuitive 3D Multilevel Force Guidance on a Wristband in Virtual Reality, CHI '21: Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Article No.134, p1 - 13, 2021.
- [7] Tatiana Simões: A Personal Haptics/Wind Device for VR Environments.
<https://estudogeral.uc.pt/retrieve/275207/thesisTatianaSimoesFinal.pdf> (参照 2025-05-22)