



むぎゅミレータ！

Mugyu Simulator !

土屋彩音¹⁾, 宮下友輝¹⁾, 寺下玲士¹⁾, 横井勇神¹⁾, 眞木緑¹⁾, 山岸美緒¹⁾

Ayane TSUCHIYA, Tomoki MIYASHITA, Reiji TERASHITA, Yushin YOKOI,
Midori MAKI and Mio YAMAGISHI

1) 青山学院大学 理工学部 情報テクノロジー学科 (〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1)

概要：本企画は、誰もが一度は経験したことのある「ものを握りつぶす」行為に着目し、仮想空間内で「握りつぶす」行為を再現できるシステムを提案する。弁で空気の流れを制御したバルーンとチューブ機構、ペルチェ素子を組み合わせ、手に物体が潰れる「圧壊感」と液体が指を伝って流れる「流動感」及びその時の温冷覚を提示する。本システムは、単に触れるだけではなく、「握りつぶす」という破壊的な操作を通じて、感覚を視覚・触覚・温度によって多層的に提示する触覚体験を提供する。本企画で提案する「握りつぶし」を再現するインタラクションは、教育やリハビリの支援手法として活用していくことが期待できる。

キーワード：握りつぶす, 空気圧, HMD, クロスモーダル

1. 企画目的

日常生活の中で、「握りつぶす」という行為はよく行われている動作であり、人間と密接な関係を持っている。みかんを握りつぶして果汁を絞り出したり、雪を握って雪玉を作る所作はその一例である。握りつぶすという行為自体が人間の心情に影響を与えることも示唆されており、Blanc らはストレスボールを握ることで不安や興奮が軽減されることを示している[1]。

VR にまつわる研究や作品の中では、生活の中で生じる様々な動作を対象とした触覚の再現手法が数多く検討されている。一方で、「握りつぶす」という触覚体験に着目した例は少なく、触覚体験の再現も不十分である。岡らは、既存の VR コントローラに装着するベルト型センサ“GRAB”を用いて、ユーザの握力をセンシングし、仮想オブジェクトの握りつぶし操作の適用を試みている[2]。しかし、この手法は視覚エフェクトや力の強弱のみを提示しており、実際の物体のように動的に変化する抵抗や、液体が手を伝う感覚、温度刺激の提示といった多様な触覚フィードバックを再現できていない。

本企画では、空気圧制御による変形と液体の流動を模した構造及び温度刺激を組み合わせることにより、「物体を手で握りつぶす感覚」を提示可能なデバイスを開発する。対象物の特性に応じて非線形な変形応答を設計し、急激な崩壊や段階的な沈み込みといった触覚特性の再現

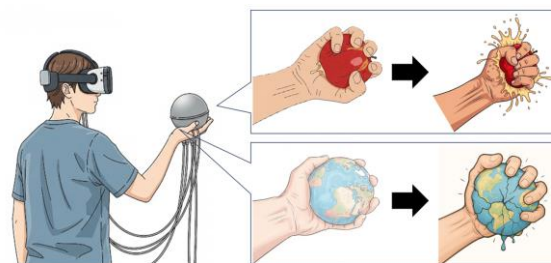


図 1：体験の様子

に加え、崩壊時に内容物が飛び出る際の液体が手を伝う感覚を液体の流動を模した構造で再現することで、リアルで多様性のある触覚体験を追求する。さらに、こうした触覚フィードバックを補完・強化するために、視覚とのクロスモーダル効果を活用する。岡嶋らは、視覚と触覚の時空間的整合性が、触覚・知覚の質に強く影響を与えることを示している [3]。本企画では、物体が潰れていく様子や液体が漏れる様子などの視覚的表現を、触覚の変化と同時に提示することで、触感のリアリティを増強する。

このような握りつぶす感覚の高精度な再現は、単なるエンターテインメントに留まらず、微細な握力制御が必要なリハビリ訓練への応用や、物理現象の理解を促す教材としての活用などが期待される。以上より、本企画は

「握りつぶす」という単純だが奥深い行為を再構成し、新たな触覚体験を与える VR コンテンツを実現する。

2. 企画概要

本企画では、ものを握りつぶす感覚を「圧壊感」、ものを握りつぶした後に内容物が飛び出る際の液体が指を伝って流れる感覚を「流動感」と定義し、これらの感覚及び温冷覚を体験できるシステムを提案する。本体験では誰もが一度は経験したことのある「ものを握りつぶす」行為に着目し、様々な物体の圧壊感の実現を目指す。

例えば、みかんを握りつぶす際に生じる、皮ごしに感じる弾力から果肉の崩壊や、果汁が指の隙間から滴るまでの一連の変化を、視覚・触覚・温冷感の統合的な提示によって体感できるようにする。また、本企画で提案する手法は仮想空間内でのものを握りつぶす体験を提供するものである。そのためみかん等の現実世界で握りつぶすことができるものに限らず、実際には握りつぶすことのできない地球のような物体を仮想的に握りつぶすといった、非日常的な体験も実現できる。図1に体験の様子を示す。このような仮想空間でもものを握りつぶす体験を実現するために、本企画では単なる柔らかさだけでなく、潰れる際の内部からの抵抗や破裂のタイミング、さらには果汁や内容物が指の間を伝って流れるような感覚まで含めて統合的に体験できる触覚提示デバイスを制作する。本稿ではこのデバイスを「握りつぶし体験デバイス」と定義する。

本システムは、バルーンからなる球状デバイスと、チューブ機構、ペルチェ素子によって構成されている。ユーザは、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）と流動感を与えるチューブ機構を装着し、球状デバイスを握る体験を行う（実装の詳細は3節で後述）。VR空間内に表示された対象物を握るユーザの動作に合わせて、手の中でリアルな把持物体の変形感覚と崩壊後の感覚変化を提示する。バルーンは空気量で制御し、潰れるまでの抵抗や破裂後の沈み込みなどを段階的に表現する。また、チューブは各指の側面に沿うように配置されており、握りつぶした際、チューブに水とジェルを流すことで流動感を再現する。チューブは壁厚が薄い素材を使用し、流水時にその様子が触覚として体感できるように設定する。温冷覚はペルチェ素子の制御により再現する。

3. システム構成

3.1 システム構成

図2に本システムの構成、図3に「握りつぶし体験デバイス」の概要図を示す。本システムではバルーンを手で握る動作と、その動作に連動した映像をHMDで見ることで、仮想物体を「握りつぶす」行為を体験できる。本システムは、制御基板、圧壊感を再現する空気圧バルーン、弁、圧

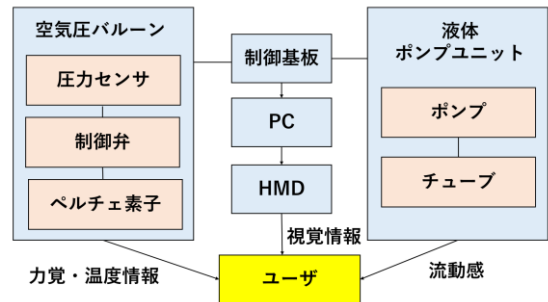


図2：システムの全体構成

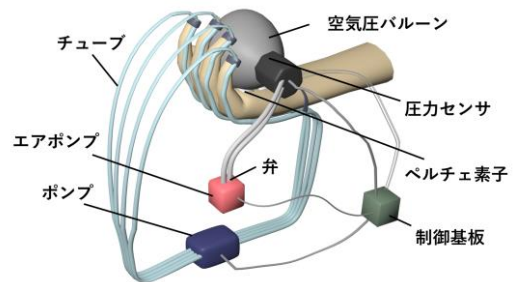


図3：握りつぶし体験デバイスの概要図

力センサ、流動感を再現するポンプとチューブ、温度を制御するペルチェ素子によって構成される。ユーザがバルーンを握りつぶすと、バルーン内部の空気は外に放出される。その際、空気流量を弁の開閉により電子的に調節することで、バルーンの内部圧力を制御する。握り動作の検出は、バルーン内に配置された圧力センサと、HMDに搭載されたモーショントラッキング機能を組み合わせることで実現する。また、流動感を、薄型チューブを通じて水とジェルを指の側面に流すことで再現する。この時、タンクとチューブは共に密閉されているため、指に水が直接触れることはなく、フロアに水が飛び散ることもない。温冷覚の提示には、ユーザの手のひらに加熱と冷却が可能なペルチェ素子を装着する。制御基板及びHMDをPCにより制御し、各装置で提供する視覚・触覚情報を同期させることで、「握りつぶす」という体験を多感覚で実現できる仕組みを実現する。

3.2 使用機材

- PC
- HMD (Meta Quest3)
- 握りつぶしデバイス
 - 制御基板

- チューブ¹
- ペルチェ素子
- 空気圧バルーン
- 水
- ジェル²
- ポンプ
- 圧力センサ
- タンク

参考文献

- [1] Blanc, C., Buisson, J.-C., Kruck, J. and Kostrubiec, V.: Haptic coordination: Squeezing a vibrating stress ball decreases anxiety and arousal, Human Movement Science, Vol.96, pp. 103-220, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.humov.2024.103220>, (2024) .
- [2] 岡秀哉, 湯村翼, 「GRAB: VR コントローラに握力感知機能を追加する拡張センサ」, 情報処理学会 interaction 2024 論文集, 1A-09, pp.216-220, (2024) .
- [3] 岡嶋克典, 「視覚情報によって誘発されるクロスモーダル効果」, 映像情報メディア学会誌, Vol.72, No.1, pp.8-13, (2018) .

¹ ポリチューブ (国産) 0.04x45x500m, Amazon.co.jp, ASIN B0BV5WBC52, : <https://www.amazon.co.jp/dp/B0BV5WBC52> (参照 2025-05-21)

² 花瓶用ウォータージェルビーズ, Amazon.co.jp, ASIN B0DFC1HYPK, <https://www.amazon.co.jp/dp/B0DFC1HYPK> (参照 2025-05-21)