



無限人間塔

Infinite Human Tower

安達紀考, 大塚敦子, 奥田 和歌, 杉本隆平, 高橋うるる, 譚雨祺, 兵頭伸

Noritaka ADACHI, Atsuko OTSUKA, Waka OKUDA, Ryuhei SUGIMOTO, Ururu TAKAHASHI, Amaki TAN, Shin HYODO

1) 電気通信大学 情報理工学域 (〒182-8585 東京都調布市調布ケ丘 1 丁目 5-1, adachi@kaji-lab.jp, otsuka@media.lab.uec.ac.jp, okuda@media.lab.uec.ac.jp, s2210337@gl.cc.uec.ac.jp, takahashi@media.lab.uec.ac.jp, tan@kaji-lab.jp, hyodo@kaji-lab.jp)

概要: 本企画は, 近年実施されることのなくなった組体操を VR 空間でリアルに体験でき, 時間を越えた身体的なコミュニケーションの体験を提示することに主眼を置いている. 過去の自分と協力し, 塔を完成させる. 普段は時間の経過とともに今の自分の一部になってしまうが, 過去の自分の動きを感じることができる. 本企画では, 人肌感触の提示や振動と傾斜による人の上に乗ったときの感触や不安定感の提示により, 現実のような組体操を 過去の自分と協力しながら体験することを可能にすることを目的とする.

キーワード: 組体操, 時間, バーチャルリアリティ

1. はじめに

かつて多くの小中学生が経験した運動会は, 時代の変化に伴い見直されつつある. 新型コロナウイルスの影響や熱中症対策により, 時間短縮や競技内容の変更が行われている学校も多い[1]. 半日開催にすることで, 児童や生徒の身体的な負荷を減らすことができ, 児童や生徒の安全につながる. また, 近年外国語学習や ICT 教育などによって子どもたちの学ぶべきことも多くなってきており, 運動会の練習に十分な時間を割くことが難しくなっているのも要因の 1 つである.

組体操もこれらの変化の影響を受け, 実施しなくなった学校も少なくない. 組体操は身体接触を伴う競技であり, その危険性は指摘され続けている. 平成 27 年度の日本全国での学校管理下での組体操の事故は 8000 件に上り[2], 平成 28 年にはスポーツ庁は「組体操等による事故の防止について」の事務連絡を各都道府県教育委員会に通知した. 組体操は学習指導要領に記載がなく, 必ずしも行う必要がないため[3], 組体操の代わりに集団行動やダンスを行っている学校もあるという[4].

組体操は, 他人と身体を通じて協力することが事故を生む. 技を構成するたった 1 人の意図しない行動によって全体に影響が出てしまうため, 危険性を予測することが難しく, 結果として事故につながってしまう.

一方でこの危険性を乗り越えることにより達成感を得ることもある[5]. 競技として体操をしている人でなければ,

誰かの上に乗ることや一定の緊張感の上で体を使った活動をするとはほとんどないといえる. 危険ではあるが, 行為そのものは新鮮であると考えられる.

我々は組体操という非日常の行為を安全に, かつ楽しみながら体験したいと考えた. その手法として VR 技術に注目した. 近年その技術の進歩は目覚ましく, HMD や VR グラスによる視覚提示, 振動や温度提示による触覚提示, 視覚や機械刺激を用いた前庭感覚提示などの研究が盛んにおこなわれている. 人の上ののってバランスを取りながらの行動はこれらの技術を用いることで再現が可能になると考える.

本企画では上記の VR 技術を利用し, 組体操を安全に体験することができる VR エンターテインメントを作成する. HMD を用いた塔が積み重なっていく視覚情報と, ヘッドフォンを用いた運動会の雰囲気や聴覚提示により, 没入感の高い体験を生み出す. また足元に振動と傾斜を加えることで人の上に乗ったときの不安定な感覚を提示する. 接触部分は人肌のような感触にすることで, 体験の質を向上させる.

加えて本企画の組体操は「過去の自分」と協力して行う. これは組体操の事故が生じる原因である危険性の予測が難しいことを解消できる. 自分が行動する内容が未来の自分に直接影響するため, そのときの行動は未来の自分に向けたメッセージになりうる. 加えて自分の行動は過去の自分のメッセージを受け取った上での行動になる.

組体操においてはこれらのメッセージは自分の身体を用いたコミュニケーションであり、これは本企画の特徴でもある。

本企画は「過去の自分」との身体のコミュニケーションを通じて組体操を行う VR エンターテインメントを体験してもらうことを目的とする。安全に配慮し、没入感の高いエンターテインメントを目指す。

2. 関連研究・作品

本企画は装置に乗って体験するエンターテインメントである。VR 空間での体験の質を向上させるために、地面に対して感覚提示をする装置は多く存在する。SKIRODEO[6]では足元に専用の体感マシンを設置し、スキークの挙動と振動を体感することによって体験者に高い没入感を与えている。KATWALKC2 CORE[7]はコンパクトなトレッドミルにより、設置場所を選ばずに本格的な VR 体験を可能にした。過去の IVRC 作品でも地面を利用した感覚提示は行われている。2023 年度の「めい迷路」[8]では映像と一致した地面の傾斜提示により、高い没入感の VR 体験が可能になっている。これらの地面への感覚提示は、それぞれの体験において高い没入感を提示するのに大きな役割を果たしている。

また本企画のテーマである「過去の自分とのコミュニケーション」に関する作品も存在する。Casual Loop[9]は過去の自分と協力しながらパズルゲームを行う。Quantum League[10]は過去の自分を映したクローンとチームを組んで敵と戦う一人称のシューティングゲームである。過去の自分との協力をモチーフにしたゲームでは現在のことに加え、未来の自分のことも考える必要があり、ゲームの展開が多岐にわたり、常に予想できないゲーム展開を楽しむことができる。「過去の自分」に関する作品では、2024 年度の IVRC で発表された「I vs. Me」[11]があげられる。

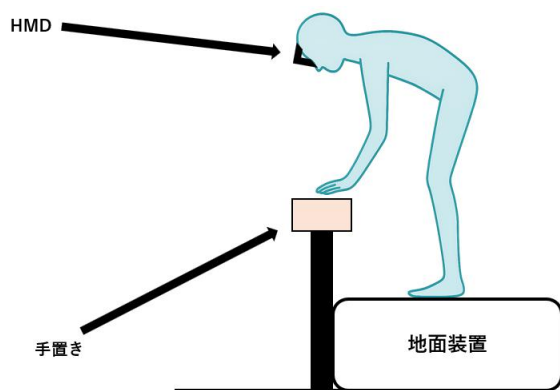


図 1 体験の全体図

3. 企画概要

3.1 目的

本企画は、近年実施されることのなくなった組体操を VR 空間でリアルに体験し、時間を越えた身体的なコミュ

ニケーションの体験を提示することに主眼を置いている。「過去の自分」と協力することで自分自身の行為や、自分の身体について改めて認識する機会でもある。



図 2 人間塔イメージ

(本来足は土台となる人の背中につく)

3.2 手法

HMD とヘッドフォンを使用した視聴覚提示、手と足の接触部分に対して地面の傾斜と振動による背中の不安定な感覚を提示することで、リアルな組体操を実現する。接触部分にはシリコンによる人肌触覚を配置し、人の上に乘っているときの感触を再現する。

4. 体験

体験の全体像は図 1 に示す。本企画では体験者に組体操の技の 1 つである、「九十九折」を模した人間塔(図 2)をできるだけ高くすることを目標に制限時間内に塔を積み上げてもらう。体験者には HMD を装着してもらい、地面装置(5.4 節)の上に乗ってもらう。はじめにゲームの概要の説明を行う。次に安全対策のために事前に地面に対して傾斜と振動が提示されることを体験者に伝え、実際に提示される一部を体験してもらう。これによりゲーム中の地面制御装置の感覚提示に慣れてもらい、ゲームの概要を伝えることができる。

体験では各セクションの制限時間内に 1 段ずつ塔を積み上げる。本作品のセクションは 8 秒とする。はじめのセクションでは一番下の土台を作る。次のセクションでは、自分が作った土台と同等の傾斜が地面に提示され、その中で安定した土台を形成する。以降も同様に、自らが作った土台をもとに過去の自分と協力しながら塔を積み重ねていく。塔の高さが増すにつれ、些細なゆれが全体に影響するようになり、より正確な姿勢が求められるようになる。

体験者には塔全体がどれだけ安定しているのかを表す「安定指数」が常に表示されている。安定指数はカメラからの映像によって推定された背中の傾斜角度、左右方向の傾きの 2 つの変数をもとに計算される。安定指数の値が高いほど安定していて、低い場合は塔全体のバランスが取れていないことを意味する。セクション内で安定指

数が基準の値に満たなかった場合、次の段に進めず、再度同じ段をやり直してもらう。これは安全対策の役割もあるが、次の段に進めない基準を設けることで段を積み重ねることの難易度をあげ、体験者間に結果に差を生み出すことにつながる。

体験時間が終了後、HMD を取り外し、装置から降りてもらいすべての体験が終了する。

5. システム構成

システム構成の構成は図 3 に示す。

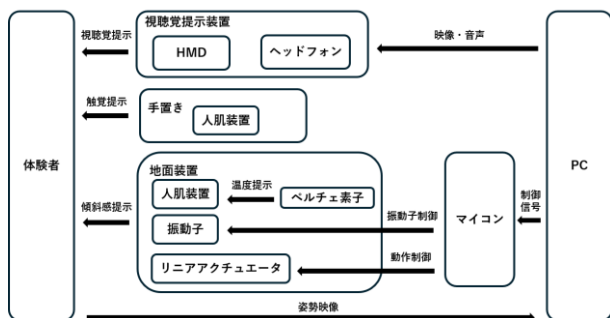


図 3 システム図

5.1 視聴覚提示

HMD による映像およびヘッドフォンからの音声により、人間塔の高さが高くなるにつれて地面からの距離が遠くなる映像を提示する。また組体操の緊張感を表現するために、鼓動の音と呼吸の乱れを聞かせ、緊張感を提示する。これらの情報は Unity によって作成する。

5.2 手置き

組体操で欠かせない人の背中の上に手をのせる行為を VR 空間でも可能にするために設置する。手との接触部分にはシリコンや人肌ゲルなどの実際に人の背中のような触覚と、ペルチェ素子による温度感提示を行う。

5.3 姿勢推定

体験者の背中中の角度、左右の肩の傾きの数値を得るためにウェブカメラからの映像をもとに、機械学習を用いた姿勢推定を行う。姿勢推定には Google の Mediapipe を用いる。姿勢推定により得られた情報を Unity、マイクロコントローラに送信する。得られた姿勢推定のデータをもとに Unity 上では地面の傾きの視覚情報を提示し、マイクロコントローラでは提示する傾きを計算し、地面装置（5.4 節）を動かす。

5.4 地面装置

地面の傾斜・振動提示を行う装置である（図 4、図 5）。三点のリニアアクチュエータで傾斜を提示し、振動子で振動を与える。リニアアクチュエータの三点は人の両肩と腰の部分を想定して設置した。傾斜角度は安全のため

に、最大 7 度程度とした。振動子は 3 点設置し、足裏に対して振動が伝わるように設置した。両者はマイクロコントローラによって制御し、場所ごとに異なる振動を出力する。先行研究では足裏への振動提示により、平衡感覚に錯覚を与えることが報告されており[12]、振動により不安定な感覚を増強できるのではないかと考えている。

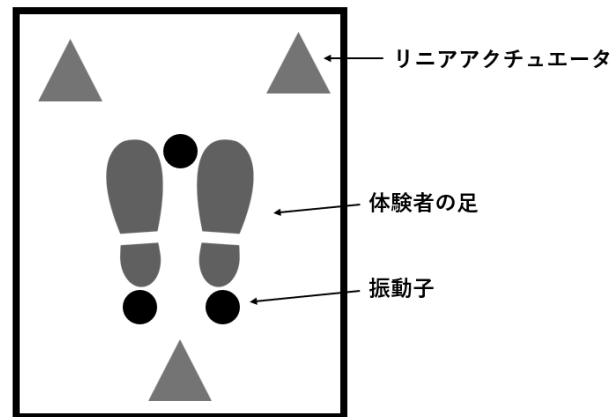


図 4 地面装置（上から見た図）

6. 安全性に関して

本作品では実際に傾斜を提示するため、体験者の安全を確保するために 3 つの工夫がされている。ゲーム内での制御、傾斜角度を抑えること、手の置き場をつくることである。

ゲーム内での制御とは、4 章で述べた安定指数のことである。段を積み重ねていくことに難易度を設けることは各段を慎重に姿勢を維持することにつながり、不注意な行為を減らすことができる。

地面装置の傾斜角度は 7 度以下とする。傾斜角度 7 度は建築基準法で定められているスロープの角度の基準であり[13]、生活の中で経験したことのある傾斜角度であるため、違和感の生じにくい傾斜角度であると考えた。

手置きは体験者がバランスを取りやすくするために設置した。体験を始める前に危険を感じたら体重を乗せることを伝えることで、後方への転倒を防ぐ。

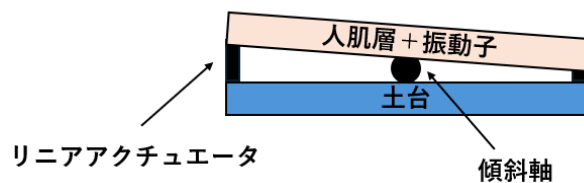


図 5 地面装置（横から見た図）

7. まとめ

本作品は近年行われることが少なくなった組体操を過去の自分と行う体験を提示する。VR 技術を用いて、没入感の高い組体操を安全に体験してもらう。加えて、「過去の自分」と協力する。過去の自分と身体を通じて関わると

いう体験は、単なる懐古的な再現にとどまらず、自分の行為や身体性を再認識する機会を提供する。これはエンターテインメントとしての新たな魅力になりうる。

参考文献

- [1] 朝日新聞出版, 運動会で順位をつけるのは良くないこと? 文化人類学者が考える、優劣をつけることより大切なこととは, Aera with Kids +, 2025-5-6, <https://dot.asahi.com/aerakids/articles/-/251965>, (参照 2025-7-16)
- [2] 日本スポーツ復興センター, 体育的行事における事故防止事例集, 日本スポーツ復興センター, https://www.jpnsport.go.jp/anzen/Portals/0/anzen/anzen_school/28jireisyu.pdf, (参照 2025-7-16)
- [3] 檜皮貴子 et al.: 子どもの実態に応じた組体操・組立体操指導に関する研究-児童の授業評価ときつさに着目して-, 体操研究 15 Page 36-49, March 2021
- [4] 小学館, 組体操に代わる「集団行動」の特徴と練習法, みんなの教育技術, 2021-4-27, <https://kyoiku.sho.jp/86718/>, (参照 2025-7-14)
- [5] 向山, 行雄. コロナ禍後の運動会の態様についての一考察: 変化する社会と教職の専門性 その 14. 敬愛大学教育学会紀要. 4,p.39-53, 敬愛大学教育学会.
- [6] BANDAI NAMCO, 急滑降体感機スキーロデオ, BANDAI NAMCO, <https://bandainamco-am.co.jp/others/vrzone-portal/activity/skirodeo.html>, (参照 2025-7-16)
- [7] KATVRJAPAN, KATWALKC2 CORE, KATWALKC2 CORE, <https://2785fbca58cd30af.main.jp/wp-c28h9ivr/kat-walk-c2-core.php>, (参照 2025-7-14)
- [8] 森田尚樹, 船引應佑, 竹内大弥, 坂野将大, 佐々木翔哉, 森寄隼一郎: めい迷路, 2023 日本バーチャルリアリティ学会 -IVRC-06-
- [9] AUTOMATON, “過去の自分”と協力するパズルFPS『Causal Loop』発表。自分を最大3体まで呼び出し、連携謎解き, AUTOMATON, 2025-4-15, <https://automaton-media.com/articles/newsjp/sf-puzzle-causal-loop-20250415-335249/>, (参照 2025-7-16)
- [10] Game*Spark, タイムパラドックス対戦FPS『Quantum League』が正式リリース—過去の自分と協力する戦術シューター, Game*Spark, <https://www.gamespark.jp/>, (参照 2025-7-16)
- [11] 有住拓社, 山下純平, 秋元源希望, 何紀婷: I vs. Me, 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (2024 年 9 月)
- [12] Bertrand-Charette, Michaël, et al.: Vibration-induced postural reactions: A scoping review on parameters and populations studied. Frontiers in Human Neuroscience 17 (2024): 1307639.
- [13] Wat Consulting, スロープの勾配の計算方法を解説【1/8・1/12・1/15の早見表あり】, 建築設備ビズ, <https://kenchiku-setsubi.biz/slope-kobai/>, (参照 2025/7/16)