

# VR空間内での自由度と没入感が被験者の運動量に及ぼす影響について

齋藤 亮太<sup>1</sup> 大西 克彦<sup>1</sup> 登尾 啓史<sup>1</sup>

大阪電気通信大学大学院 総合情報学研究科<sup>1</sup>

## 1 はじめに

近年, VRを含めた3D技術は著しい発展を遂げている. エンターテインメント性の高いコンテンツであるゲームや SNS に留まらず, 医療福祉やスポーツなどにも取り入れられているケースは少なくない. そこで本研究では, VR が与える没入感と自由度が運動にどう影響するのかを検証した.

## 2 VRを用いた室内サイクリング

サイクリングは自転車に乗ることさえできれば手軽に始めることができるスポーツとして人気を集めている. しかし天候に左右されやすいという欠点もある. そこで室内でもサイクリングが楽しめるよう開発されたものがサイクルローラーである. これは, ローラー部分に自転車の後輪を固定し, ローラーから得られたケイデンス(タイヤの回転数)を基に速度をグラフに起こしたりゲームとしてサイクリングを楽しんだりできるようになる装置である. 今回は国土交通省が提供している3D都市モデルを用いて再現したVR空間を自転車で走行してもらう方式で実験を行った.

## 3 関連研究

サイクリングとVRはその親和性の高さから先行研究はいくつか存在する. VR空間での運動パフォーマンスについての研究[山中, 香月, 河村, 和氣, 2023]では, 直線の空間を一定の速度で自転車を漕ぐよう指定し, 競争他者の有無で条件の変化を調べた. また, サイクルローラーの欠点でもあるハンドリングについての研究[渡邊, 兼松, 三上, 2021]では, 車体の傾きを用いて, より自然な旋回を実現した.

## 4 実験

本研究では, ELITE社のRAMPAというサイクルローラーを使用して実験を行う. VR装置はHTC VIVE ProおよびVIVE Tracker 3.0を用いた. VR空間はUnityで作成し, 3DモデルはG空間情報センターで配布されている都市データの内, 静岡県沼津市沼津駅から同市の水門展望台「びゅうお」

までのおよそ3kmのモデルを使用した.

実験ではHMDの有無とハンドルの有無の組み合わせからHMDなしハンドル操作なしを除いた3種類のシーンを用意している. ハンドル操作を行うシーンでは実験時間を最大20分に設定し, 被験者にはいつでもやめることが出来ると伝えた. 本研究では19歳から23歳までの男女11名の協力の下に実験を行い, 実験の前後ではアンケートを実施して, 実験について評価する.

### 4.1 移動速度

自転車の走行速度 $v$ の決定にはサイクルローラーから得られたケイデンス $a$ (rpm)とタイヤの周長 $l$ (m)とギヤ比 $k$ を用いる. これを式に起こすと式(1)となる. この実験で使用する自転車はタイヤ周長が $2.07$ (m), ギヤ比が $2.57$ となっている.

$$v = lka \text{ (m/s)} \quad (1)$$

### 4.2 ハンドル操作あり

ハンドル操作は, ハンドルに水平方向に取り付けた2つのトラッカーで傾きを計算して行う. まずシーンの再生が始まった後に被験者にはハンドルを直進する向きで保持させる. この時トラッカーを結ぶ直線の法線ベクトルの内, 地面と水平かつ進行方向と同じベクトルの値を保存しておく. この値を基準として $10^\circ$ 以上ハンドルが傾いた時に自転車の旋回を始めるようにした.

### 4.3 ハンドル操作なし

ハンドル操作を行わない実験では, 沼津駅前からさんさん通りを通り「びゅうお」へ向かう一本道をルートとして設定した. ルートの設定にはUnityのアセットであるCinemachineを使用している. これは予め設定したルールを設定した速度で走行するものとなっている. 今回は自転車の速度を渡すスクリプトから速度を代入して移動を行っている.



図1 ハンドルに取り付けたトラッカー

Effects of the degree of freedom and immersion of the VR space on subject's locomotion

<sup>1</sup> Saito Ryota <sup>1</sup> Onishi Katsuhiko <sup>1</sup> Noborio Hiroshi

<sup>1</sup> Osaka Electro-Communication University

## 5 結果

### 5.1 アンケート結果

アンケートを実施して得られた解答の内、特に有意差が目立ったものを表 1 に示す。ここで 1.00, 2.00, 3.00 の数字はそれぞれ実験の種別を表しており、1.00 はHMD なしでハンドル操作ができるもの、2.00 はHMD ありでハンドル操作ができないもの、3.00 はHMD ありでハンドル操作もできるものに対応する。今回の結果では Tukey 法を用いて多重比較したところ、1.00-2.00, 2.00-3.00 の組み合わせにおいて両側で有意確率  $p < 0.05$  の水準で有意差が見られ、3.00 の実験が最も没入感が得られやすく、2.00 の実験が最も没入感が得られにくいという結果となった。

表 1 シーン別没入感の高さの分析結果

Tukey HSD	(I) 没入感	(J) 没入感	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
						下限	上限
1.00	2.00		1.417*	.332	<.001	.60	2.23
	3.00		-.917*	.332	.024	-1.73	-.10
2.00	1.00		-1.417*	.332	<.001	-2.23	-.60
	3.00		-2.333*	.350	<.001	-3.19	-1.48
3.00	1.00		.917*	.332	.024	.10	1.73
	2.00		2.333*	.350	<.001	1.48	3.19

### 5.2 移動量

HMD の有無による移動量の変化を図 2 に示す。HMD の有無による差の平均値は730.82(m)でHMD を用いた場合のほうが移動量が増加した。

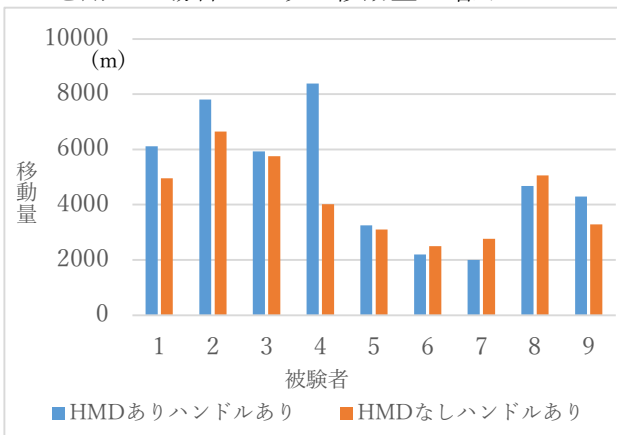


図 2 HMD の有無による移動量の変化

### 5.3 移動速度

ハンドル操作を伴わない実験では、被験者は操作しないので距離の違いがでないため、平均速度での比較を行った。ハンドル操作の有無による平均速度の差の平均は1.11(m/s)でハンドル操作を行わない場合が速くなった。

## 6 考察

本研究では三種類の実験を行い、アンケートを実施した。アンケートの結果から没入感の度合いにおいて有意差が認められた。つまり、HMD の有無やハンドル操作の可否で違いがあるといえる。ここで表 1 の 2.00 の項目の内、平均値の差に注目すると他の二つと比べて没入感の度合いが低い

ことが分かる。一方で 1.00-3.00 では有意差があるとは言えない結果となった。また、同様の条件で楽しい体験だったか問う設問では 1.00-2.00, 3.00-1.00 の間に有意な差はなく、2.00-3.00 間では有意確率  $p < 0.05$  と有意差を示した。これらの結果から、HMD の有無よりもハンドル操作が可能であるのかといった点が没入感により強い影響を与えているといえる。これはハンドル操作を行う方が見ることが可能な範囲が増加し、より新鮮な体験ができるためと考えられる。その一方で、より楽しいと思わせるためには両者どちらかだけではなくどちらも合わせて使うことが適しているといえる。

また、運動量として移動量と平均速度を比較した結果から、HMD を装着する場合はそうでない場合と比べ移動量は増加した一方でハンドル操作可能な場合では平均速度が低下した。移動量については HMD を用いることで視界が広がり、行こうとする場所が増えるからではないかと推測できる。同様に見る場所が増えるということは処理する情報も増えることから平均速度が低下するものと考えられる。

## 7 まとめ

本研究では 3D 空間に街の様子を再現し、HMD の有無や移動の自由度を変えることで没入感と自由度が与える影響について調べた。そしてアンケートの結果と移動情報を用いて評価を行った。評価からは HMD の有無よりも自身で操作可能であることの方が没入感を得られ、両者を合わせることで最も効果があると分かった。そして没入感と運動量の関係として、より没入感が高い体験ほど移動量は増加し、平均速度が低下するという結果になった。今後の課題としては、実験時間の長さが挙げられる。より実験を精査して高速な環境が用意できれば、実験時間の短縮につながると考えられる。

## 参考文献

- [1] 山中 航, 香月 翔太, 河村 剛光, 和氣 秀文, “仮想現実サイクリング運動時の競争他者が心血管応答および運動パフォーマンスに及ぼす影響～自律神経生理尺度を活用したメンタルバイオマーカーの開発,” デザントスポーツ科学第 44 巻 PP. 76-84, 2023.
- [2] 渡邊 拓人, 兼松 祥央, 三上 浩司, “競技自転車ゲームにおける体重移動を考慮したインタラクションの提案,” エンタテインメントコンピューティングシンポジウム PP. 358-363, 2021.