

移動型スロープによる HMD と電動車椅子で構成した VR ライドの上昇感覚の向上

伊藤駿汰¹ 斎藤文人¹ 中西泰人²

概要：我々は遊園地におけるアトラクション体験を提供することを目的に、HMD (Head Mounted Display) と電動車椅子で構成した VR (Virtual Reality) ライドを構築している。本研究ではこれに移動型スロープを組み合わせることで静止したスロープに比べ上昇感覚を向上させるシステムを提案する。移動型スロープは電動車椅子用のモータを用いており、HMD を装着したユーザを乗せた電動車椅子を乗せて移動でき、速度や加速度の制御もできる。本研究ではこれらを組み合わせることで、上昇する坂道の曲率が変化する感覚と、持続的に坂道を上昇する感覚を提示する。本稿ではこれら2つの感覚を提示できているか検証すべく2つの実験を行った。実験1では、上昇する坂道の曲率が変化する感覚を提示できるかを検証すべく、平地、静止したスロープ、移動するスロープの3つの条件で映像と動きの不一致度合いで比較し、実験2では、持続的な上昇感覚提示について調査することを目的に、静止したスロープの上で静止する、静止したスロープの上を走行する、移動するスロープの上で静止するの3つの条件で上昇感覚の強度を比較する実験を行った。2つの実験の結果、移動するスロープを用いた場合が最も効果的であることが分かった。

キーワード：VR、電動車椅子、モーションプラットフォーム、アトラクション体験

Improving the Sensation of Ascent in VR Ride Composed of HMD and Electric Wheelchair Using Mobile Slope

1. はじめに

遊園地に設置されているアトラクションは非日常的な体験を提供でき、多くの人々を魅了することができる。その一方で、大規模な専用施設が必要であるため、特定の場所ではしか体験できないという欠点がある。

その一方で、HMD や大型ディスプレイなどによる視覚コンテンツと、高自由度の姿勢変化を起こすモーションプラットフォーム (MP) を組み合わせることで、臨場感のある体験を提供できるようになりつつある[1][2]。これらの体験は視覚刺激によって静止している身体が移動するように知覚する自己誘導運動知覚[3]を応用したコンテンツが多い。MP による姿勢変化とベクションによる移動感覚が組み合わさった体験を提供できるが、MP は構造が複雑であるのに加え、設置に必要なスペースやコストが大きいため、応用範囲が限定されるという問題がある。

この問題を克服するシステムとして、自動車[4][5]や電動車椅子[6][7]など身の回りにある乗り物を MP として使用するシステムが提案されてきた。自動車や電動車椅子は世の中に広く普及している乗り物であり、速度や加速度を調整しながらユーザを移動させることができるため、様々な場所で MP として応用可能である。これらの MP は、単体では前後1軸、前後運動が合成されたヨー軸運動 (旋回) の2自由度の MP として利用できる。また、八木らの SmartSim[6]のように、スロープなどの障害物に乗り物が乗り上げることで、追加のパワーを必要とせずにピッチ軸回

転の自由度を増やすことができる。しかし、スロープの上を走行する場合、様々な曲率の坂での上昇体験を提供するためには異なる曲率のスロープをその都度変更する必要がある。また持続的な上昇感覚を提示するためには走行距離が伸びてスロープが大規模化してしまう。

そこで本稿では、HMD と電動車椅子で構成した VR ライドに移動型スロープを組み合わせることで、静止したスロープに比べ上昇感覚を向上させるシステムを提案する。電動車椅子が移動型スロープに乗り上げる際の加速度を変更することで、ピッチ軸運動の速度・加速度を調整でき、坂の曲率を疑似的に変化させる。さらに、移動型スロープに乗り上げることによるピッチ軸方向への姿勢変化を保った状態で並進運動させ、HMD に上昇体験の視覚刺激を加えることで、持続的に坂道を上昇している感覚を提示する。これらにより、小型のスロープを用いて、持続的に上昇する感覚を提示でき、様々な曲率の坂道を上昇することができれば、提供する体験の幅を広げることができる。と考える。

本稿では提案手法の有効性を検証すべく、2つの実験を行う。実験1では電動車椅子の加速度制御によって上昇する坂の曲率を疑似的に変化させることが可能かを調査するために、平地、静止したスロープ、移動するスロープの3つの条件で被験者に VR ライドを体験させる実験を行い、動きと HMD の映像との不一致度合いを比較する実験を行う。実験2では、持続的な上昇感覚提示が可能かを調査することを目的に、静止したスロープの上で静止する、静止したスロープの上を走行する、移動するスロープの上で静止する3つの条件で上昇感覚の強度を比較する実験を行う。

1 慶應義塾大学政策・メディア研究科

2 慶應義塾大学環境情報学部

2. 実験環境

2.1 電動車椅子と移動型スロープ

提案手法においては、ハードウェアとしてユーザが乗る電動車椅子 (YAMAHA 発動機 TOWNYJOY X PLUS+) と同じ電動ユニットを用いて作成した移動型スロープを使用する(図 1)。移動型スロープの幅, 奥行き, 最大高さ, 角度は, それぞれ 90cm, 182cm, 32cm, 10° である。

それぞれのモータの制御には YAMAHA 発動機が提供する研究開発用オプションであるアカデミックパックを使用し, シングルボードコンピュータ (Raspberry Pi 4 Model B) とシリアル通信を行う。また, 電動車椅子には位置・姿勢情報の取得を目的に Intel 社の Realsense Tracking Camera T265 を設置している。

2.2 VR システム

本研究では, 視覚的に上昇感覚を提示するために HMD を用いる。HMD は PC とリアルタイム無線通信 (Oculus Link Air) が可能な Oculus Quest2, 視覚コンテンツを作成するゲームエンジンとして Unity を使用する。

本稿では, ジェットコースターでの上昇体験を想定した視覚コンテンツを被験者に提示する(図 2)。ジェットコースターの最大傾斜角度は 20° であり, 移動型スロープの 2 倍の角度である。これは予備実験において 20° の場合でも違和感を提示しないことを確認したためである。また, 実空間のスロープが三角柱の形状をした曲率が 0 の坂であるのに対し, VR 空間のコースは最大曲率が 0.07rad/m の緩やかな坂となっている。また先行事例[8][9]を参考に, ジェットコースターのビークルの速度は電動車椅子の 4 倍にした。

2.3 速度・加速度制御

本提案システムの全体構成を図 3 に示す。VR 空間のジェットコースターと電動車椅子の動きを一致させるために, ジェットコースターのビークルと電動車椅子それぞれの位置・姿勢情報を取得し, その差異が小さくなるよう常に修正する。電動車椅子への速度・加速度情報の送信, その位置・姿勢情報の受信・送信には ROS2 (Robot Operating System 2) を用い, ROS2 と Unity の連携には Unity-Robotics-Hub を使用した。VR 空間のジェットコースターと実空間の車椅子の動きを Unity で比較し速度と加速度を修正している。

電動車椅子が移動型スロープに乗り上げる際に, ユーザの体重の違いにより, 指定した速度で走行しない可能性がある。そのため, 電動車椅子の位置情報から加速度を計算し, 常に指定した加速度で走行できるように加速度を計算して送信する。また, 電動車椅子の前輪がキャスターであるため, スロープに乗り上げる際に旋回運動が発生し, スロープを真っ直ぐ上昇できない可能性がある。そのため, Realsense Tracking Camera T265 からのヨー軸回転の姿勢



図 1 実験装置

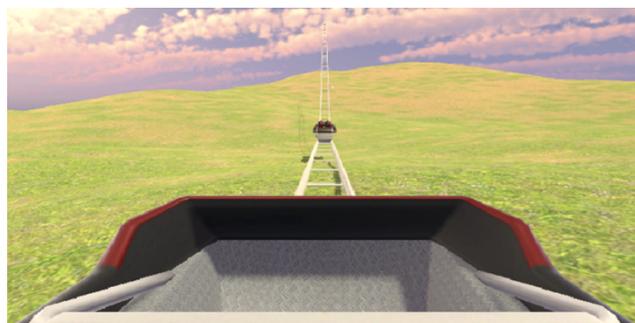


図 2 VR ライドの視覚コンテンツ

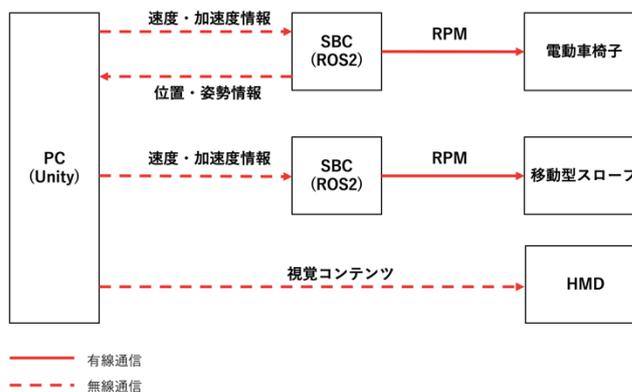


図 3 システム構成

情報を元に直進運動するよう角速度を計算して送信する。

本稿の実験で被験者に体験させる VR ライドの視覚コンテンツは 3 つのフェーズに分かれており, 電動車椅子と移動型スロープの速度・加速度制御も 3 つのフェーズに分けて制御している(図 4)。電動車椅子と移動型スロープは静止状態から加速した後, 速度 0.3m/s で等速度運動をする (フェーズ 1)。その後, 電動車椅子だけが等加速度運動をすることで移動型スロープに乗り上げ, 姿勢変化が発生する(フ

フェーズ 2)。本稿では、最大速度 0.5m/s、加速度 0.03m/s²で走行させる。電動車椅子が移動型スロープの上で停止し、姿勢変化を保持した状態で移動型スロープが並進運動を続ける（フェーズ 3）。また、フェーズ 1 において前庭感覚刺激による運動方向の知覚を目的として、先行研究[10][11]を参考に、スタートする際の加速度を、前後方向の持続的な直線加速度の知覚の閾値とされている 0.06m/s² を超える値である 0.2m/s² とした。図 6 に電動車椅子と移動型スロープを制御する加速度を示す。

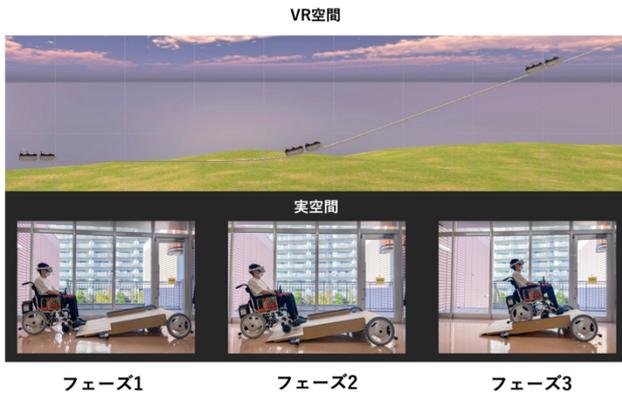


図 4 VR ライドの 3 つのフェーズ

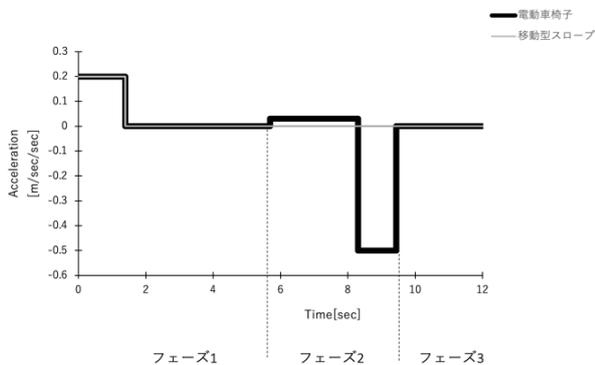


図 5 電動車椅子と移動型スロープの加速度

3. 実験

3.1 実験 1：上昇する坂の擬似的曲率変化

3.1.1 実験目的

本実験では、実験環境の速度・加速度制御（第 2.3 節）で述べたフェーズ 2 にあたる、電動車椅子だけが等加速度運動をすることで移動型スロープに乗り上げ、姿勢変化が発生する局面について調査する。仮説「電動車椅子が移動型スロープに乗り上げる加速度を変化させることで上昇する坂の曲率を擬似的に変化させることができる」を検証すべく、以下に述べる実験 1 を行う。

3.1.2 実験条件

実験 1 では、平地、静止したスロープ、移動型スロープを独立変数とし、映像と動きの不一致度合いを比較する。HMD には並進した後に最大曲率が 0.07rad/m の緩やかなジェットコースターのコースを登る映像を提示するのに対し、実空間では平地を並進した後に三角柱の形状をした曲率が 0 のスロープに乗り上げる。電動車椅子の移動する最大速度は 0.5m/s、加速度は図 6 に示したフェーズ 1 からフェーズ 2 の加速度制御を行う。

Mori ら[12]によって姿勢がベクシオンの強度に影響を与えることが示唆されているため、被験者には乗車中の姿勢を指定する。背中を背もたれにつけ、手は膝の上のせ、足はフットプレートの上に乗せ、頭部が固定されるよう体験中は視線を前方にあるジェットコースターのピークルに固定するよう指示した。なお、被験者は平均年齢 28.3±10.6 の男性 6 名、女性 1 名である（正常視力）。

3.1.3 実験手順

実験はサーストンの 1 対比較法を用いて実験手順を策定した。被験者には 2 つの条件で上昇体験を提示し、どちらがより映像と動きの不一致を感じたかを回答させる。これを 3 つの条件の総当たり回数分提示する。

試行の順序による結果の変化を考慮し、ランダムな順序で試行を提示した。被験者 1 人あたりの試行回数は、3 つの条件について 2 回ずつ評価するため 6 試行である。

以下に具体的な手順を述べる。

- (1) 被験者にタスクの内容を伝える。
- (2) 1 つ目の条件で上昇感覚を提示する。
- (3) 2 つ目の条件で上昇感覚を提示する。
- (4) どちらがより映像と動きの不一致を感じたかを回答させる。
- (5) 残りの組み合わせについて(2)~(4)を繰り返す。
- (6) その他意見をもらう。

3.1.4 実験結果と考察

実験結果を図 6 に示す。横軸は上昇体験における映像と動きの不一致度合いに対する心理尺度を表している。上昇体験において移動型スロープを用いる提案手法は、平地、静止したスロープの条件と比較し、映像と動きの不一致が少ないことを示した。したがって、移動型スロープを用いる提案手法は上昇する坂の曲率を擬似的に変化させるのに最も有効であることが確認された。

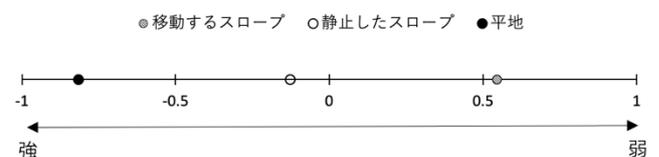


図 6 映像と動きの不一致度合いに対する心理尺度

静止したスロープを用いる場合、電動車椅子が乗り上げる際の衝撃によって映像と動きの不一致を提示した可能性がある。一方移動するスロープを用いる場合は、電動車椅子と同一方向に走行するため、乗り上げる際の衝撃を減らすことができ、違和感を軽減できたと考えられる。また、静止したスロープを用いて映像と同期したピッチ軸方向の回転運動を提示する場合、電動車椅子の速度と加速度を変更する必要があり、緩やかな坂を上昇する感覚を提示する場合、小さい速度で制御する必要がある。その一方、移動型スロープを用いる場合は、加速度だけを変更することで映像と動きを一致させることが可能であるため、走行速度を落とすことなく疾走感を維持したまま上昇する坂の曲率を疑似的に変化させることができ、臨場感の向上に影響を与えていると考えられる。

また被験者からのコメントとして、平地の条件においてもジェットコースターのコースを登る映像に合わせて電動車椅子が加速することで上昇感覚を得たという意見があった。これは加速することによって被験者の身体が後ろに傾き、傾斜状態と似た背もたれによる圧覚刺激が提示されることが要因と考えられる。さらに、VR空間のピークルは加速していないため、背中への圧覚刺激を加速している感覚ではなく傾いている感覚と錯覚した可能性がある。したがって、電動車椅子の加速度制御によって傾斜感覚を変化させることができると示唆される。

3.2 実験 2：持続的上昇感覚提示

3.2.1 実験目的

VR体験において、スペースが限られた実空間で広いVR空間を歩行することを可能にする *Redirected Walking* という手法が提案されている[13]。岡田らは、HMDに前進している映像を提示し、電動車椅子が持続的に角速度 $20[\text{deg/s}]$ 以下で旋回する場合、違和感なく前進している感覚を提示できることを示し、電動車椅子を用いる場合においても、限られた実空間で広いVR空間を移動できることを明らかにした[14]。そこで本実験では、将来的にこれらの技術を応用し、持続的な上昇感覚を提示するにあたり、ピッチ軸方向への姿勢変化を保った状態で並進運動させ、HMDに上昇体験の視覚刺激を加えることで、持続的に坂道を上昇する感覚を提示できるかを調査する。

実験 2 では、実験環境の速度・加速度制御（第 2.3 節）で述べたフェーズ 3 にあたる、電動車椅子が移動型スロープの上で停止し、姿勢変化を保持した状態で移動型スロープが並進運動をする局面について調査する。仮説「移動型スロープに乗り上げることによるピッチ軸方向への姿勢変化を保った状態で並進運動させ、HMDに上昇体験の視覚刺激を加えることで、実際にスロープを上昇する場合と変わらない強度で上昇する感覚を提示できる」を検証することを目的に、以下に述べる実験 2 を行う。

3.2.2 実験条件

実験 2 においては、静止したスロープの上で静止する、静止したスロープの上を走行する、移動するスロープの上で静止するの 3 つを独立変数とし、上昇感覚の強度を比較する。3 つの条件すべてにおいてスロープに乗り上げることによるピッチ軸方向への姿勢変化を保持した状態から上昇感覚提示をスタートし、HMDには曲率が 0 の直線のジェットコースターのコースを上昇する映像を提示する。静止したスロープの上を走行する、移動するスロープの上で静止する 2 つの条件においては、スタートする際の加速度は、前後方向の持続的な直線加速度の知覚の閾値とされている 0.06m/s^2 を超える値である 0.2m/s^2 、その後の並進運動の速度は 0.3m/s である。

また実験 1 と同じく、姿勢による体験の変化を防ぐため、被験者には乗車中の姿勢を指定する。背中を背もたれにつけ、手は膝の上のせ、足は足置きにのせるよう指示した。体験中は目線を前方にあるジェットコースターのピークルに固定するよう指示した。なお、被験者は実験 1 と同じ平均年齢 28.3 ± 10.6 の男性 6 名、女性 1 名である（正常視力）。

3.2.3 実験手順

本実験では、静止したスロープの上で静止する条件を基準条件として用いる。基準条件と比較する条件は、静止したスロープを走行する、移動するスロープの上で静止する、の 2 つであり、これらの比較条件と基準条件を 1 セットとして提示し、被験者には 2 セットを体験してもらう。比較条件の順序による影響を考慮するため、被験者ごとにセットの順序をランダムに切り替えた。

被験者には、基準条件と比べて比較条件はどの程度上昇感覚を得たかを 7 段階のリッカート尺度を用いて回答させる。「1」はとても弱い、「4」は同じ、「7」はとても強い、を示す。

以下に具体的な手順を述べる。

- (1) 被験者にタスクの内容を伝える。
- (2) 基準条件で上昇感覚を提示する。
- (3) 比較条件で上昇感覚を提示する。
- (4) 基準条件と比較条件でどの程度上昇感覚を強く感じたかを回答させる。
- (5) もう 1 つの条件のセットについて(2)~(4)を繰り返す。
- (6) その他意見をもらう。

3.2.4 実験結果と考察

基準条件である静止したスロープの上で静止する条件と上昇感覚の強度を比較した実験結果を図 7 に示す。縦軸はリッカート尺度の数値を示す。静止したスロープの上を走行する、移動型スロープの上で静止する 2 つの比較条件は、静止したスロープの上で静止する基準条件に比べて高い数値を示した。また、Steel-Dwass 検定より、2 つの比較条件

の上昇感覚の強度に有意差は確認されなかった ($p < 0.05$). これらの結果から、移動するスロープを用いる提案手法は実際にスロープを上昇する場合と変わらない強度で上昇する感覚を提示できることが明らかになった. また、移動するスロープの運動方向と視覚刺激の提示する運動方向が違っても関わらず上昇感覚を強く提示でき、方向の知覚において前庭感覚よりも視覚が優位に働くという先行研究[15]を裏付ける結果となった.

被験者からのコメントとして、移動型スロープの走行によって発生する振動が臨場感を向上させたという意見が複数あった. 人間は主に視覚的な手がかりを用いて動きの方向を知覚し、主に体性感覚的な手がかりを用いて強度を知覚することを示唆した研究[10]があり、振動刺激などの体性感覚を刺激する要素が上昇感覚を増幅させることが考えられる. 呉らは電動車椅子を左右小刻みに方向転換させることで揺れを感じさせることで線上ブロックの上を走行する感覚を提示している[16]. この手法を応用し、電動車椅子の速度制御によって振動刺激を提示することで、上昇感覚を向上させることができると考えられる.

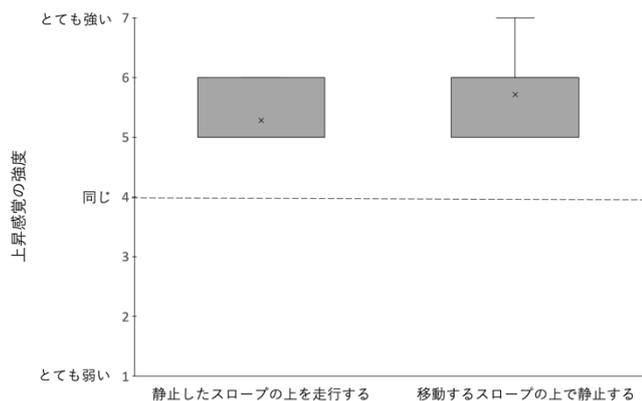


図 7 基準条件と比較した上昇感覚の強度

4. 考察および将来の展望

本稿では、HMD と電動車椅子で構成した VR ライドに移動型スロープを組み合わせることで、静止したスロープに比べ上昇感覚を向上させるシステムの検討を行った.

実験 1 では、電動車椅子が移動型スロープに乗り上げる加速度を変化させることで上昇する坂の曲率を疑似的に変化させることができるかを明らかにするために、平地、静止したスロープ、移動型スロープの 3 つを独立変数とし、映像と動きの不一致度を比較した. HMD には並進した後小さな曲率を持つジェットコースターのコースを登る映像を提示するのに対し、実空間では平地を並進した後三角柱の形状をした曲率が 0 のスロープに乗り上げる条件で実験を行い、移動型スロープを用いる提案手法が最も映像と動きの不一致が少ないことを示した. この結果から、

小型の移動型スロープを用いることで、様々な曲率の坂道を上昇する感覚を提示でき、提供する体験の幅を広げることが示唆された. 本稿では緩やかな坂を提示したが、移動型スロープを電動車椅子と反対方向に走行させることで、電動車椅子だけが走行してスロープに乗り上げる場合に比べて、より高速なピッチ軸方向の回転運動を発生させることができ、大きな曲率を持つ急な坂を上昇する感覚を提示できる可能性がある. さらに、本論文では電動車椅子の加速度制御に限って検討を行ったが、移動型スロープを加速度制御することによって複数回の上昇体験を提供できる可能性もある.

実験 2 では、電動車椅子が移動型スロープの上で停止し、姿勢変化を保持した状態で移動型スロープが並進運動を続けることで、実際にスロープを上昇する場合と変わらない強度で上昇している感覚を提示できるかを明らかにするために、静止したスロープの上で静止する、静止したスロープの上を走行する、移動するスロープの上で静止するの 3 つを独立変数とし、上昇感覚の強度を比較した. その結果、移動型スロープを用いた提案手法は、実際にスロープを上昇する場合と変わらない強度で上昇感覚を提示できることが示された. これらにより、大規模なスロープを必要とせず持続的な上昇感覚を提示できることが示唆された. さらに先行研究[14]を応用し、移動型スロープが角速度 20[deg/s]以下で旋回し続けることで、小さなスペースで無限に上昇している感覚を提示できる可能性がある. また、実際にスロープを上昇する場合、一般的な電動車椅子のタイヤのトルクではスロープの傾斜角度と走行速度がトレードオフ関係になる可能性があるのに対し、移動型スロープが並進運動する場合、スロープの傾斜角度に関係なく大きな速度で移動できるため、同じ MP を用いる場合により強い上昇感覚を提示できると考える.

本稿の提案システムでは 1 つの移動型スロープを使用した、複数台の移動型スロープを電動車椅子の走行に合わせて再配置を繰り返す手法も考えられる. Fukushima らの Circulafloor は、複数台の移動式タイルをユーザの足元に再配置することで、実空間では移動することなく VR 空間を全方向に移動する感覚を提示している[17]. この手法を応用し、複数台の移動型スロープを再配置することで、必要なスロープの数やスペースを削減して複雑なコースを走行する体験を提供できる可能性がある. また、本稿では上昇感覚に限って検討を行ったが、同じ移動型スロープを使用した降下感覚の提示についても今後検討する予定である.

謝辞 本研究の一部は JST CREST 人間と情報環境の共生インタラクション基盤技術の創出と展開における「限定合理性を超越する共生インタラクション基盤 (研究課題番号 JPMJCR19A4)」として行われた. ここに記して謝意を表す.

参考文献

- [1] S, Hindlekar., V, B. Zordan., E, E. Smith., J, C. Welter. and W, G. Mckay.: MechVR: Interactive VR Motion Simulation of “Mech” Biped Robot, Proceedings of the ACM SIGGRAPH 2016 VR Village Article No.14, pp.1-2 (2016).
- [2] H, Niniss. and T, Inoue.: Electric Wheelchair Simulator for Rehabilitation of Persons with Motor Disability, Symposium on Virtual Reality VIII (2006).
- [3] T, Brant., J, Dichgans. and E, Koenig.: Differential Effects of Central Versus Peripheral Vision on Egocentric and Exocentric Motion Perception,
- [4] R, Kodama., M, Koge., S, Taguchi. and H, Kajimoto.: COMS-VR: Mobile virtual reality entertainment system using electric car and head-mounted, IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI), pp. 130-133 (2017).
- [5] P, Hock., S, Benedikter., J, Gugenheimer. and E, Rukzio.: CarVR: Enabling In-Car Virtual Reality Entertainment, Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 4034-4044 (2017).
- [6] 八木龍之介, 海野みのり, ヤエム ヴィボル, 雨宮智浩, 北崎充晃, 池井寧: 前庭感覚ディスプレイによる身体運動感覚の合成に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 Vol. 25, pp. 3D2-3 (2020).
- [7] J, P. Hansen., A, K. Trudslev., S, A. Harild., A, Alapetite. and K, Minakata.: Providing Access to VR Through a Wheelchair, Extended Abstract of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1-8 (2019).
- [8] Y, Sakai., T, Watanabe., Y, Ishiguro., T, Nishino. and K, Takeda.: Effects on user perception of a ‘modified’ speed experience through in-vehicle virtual reality, Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, pp.166-170 (2019).
- [9] “スピード錯覚アトラクション PAC-MAN RACER” . <https://netanker.hatenablog.jp/entry/2020/08/01/224143> (参照 2021-11-28).
- [10] T, Hachisu., M, Koge. and H, Kajimoto.: VisuaLiftStudio: Using an Elevator as a Motion Platform by Modulating Perceived Direction with a Visual Illusion, TVRSJ Vol.23, No.3, pp.81-90 (2018).
- [11] J, Cheng., Y, Chen., T, Chang., H, Lin., P, C. Wang. and L, Cheng.: Impossible Staircase: Vertically Real Walking in an Infinite Virtual Tower, 2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces Vol.1, pp.50-56 (2021).
- [12] M, Mori. and T, Seno.: Effect of Body Posture on Vection, Sasa Vol.22 No.3, pp. 391 {394 (2017).
- [13] S, Razzaque., Z, Kohn. and M, C. Whitton.: Redirected Walking, Eurographics, pp.289-294 (2001).
- [14] 岡田純弥, 今井孝成, 畑中拓, 目黒淳一: 小型モーションプラットフォームの利用性向上に関する研究 一体感の錯覚を活用した動作範囲の限定一, 第39回日本ロボット学会学術講演会 (2021).
- [15] J, R. Lishman., D, N. Lee: The Autonomy of VisualKinaesthesia, Perception, No.2, pp.287-294 (1973).
- [16] 呉健朗, 宇野広伸, 本岡宏将, 樋口恭佑, 宮田章裕: Vection誘発映像による凹凸パリアシミュレータの基礎検討, 日本バーチャルリアリティ学会 VR 学研報 Vol.23, pp.3-6 (2018).
- [17] H, Fukushima., H, Yano., H, Noma. and H, Iwata.: Development of a Circulation-type Locomotion Interface: CirculaFloor, TVRSJ Vol.11, No.2, pp.237-244 (2006).