



全力疾走可能なサドル型走行インタフェースの提案

高瀬仁翔, 坂口正道

名古屋工業大学 大学院工学研究科 電気・機械工学専攻

(〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, 30413035@stn.nitech.ac.jp, saka@nitech.jp)

概要: 近年, 足を動かすことで仮想空間を移動するロコモーションインタフェースの開発が盛んに行われている. ハーネスで体を支えて立位で滑面床を歩いたり, 座位で足を動かしたりするなど, 様々なものが開発されている. これに対し, 我々はサドルに跨り上体を支えることで体重を免荷し, 両手両足を自由に動かして全力疾走可能な走行インタフェースを提案する. また, 両足とも着地していない浮遊期を考慮した走行モデルと組み合わせ, 実際の走行に近い移動の実現を目指す.

キーワード: ロコモーションインタフェース 走行 サドル

1. はじめに

現在, 仮想空間を移動するためのインターフェースには, 従来のゲームと同様にコントローラで指令を入力するものが多用されている. 一方, 没入感や臨場感を高めるために, 身体動作による入力で仮想空間の移動をよりリアルに体験させることを試みる研究が多く行われてきた.

その中でも, 特に人の歩行, 走行を再現するものが多く注目され, 実際に歩行動作や, 歩行に近い下肢動作を行う手法が多く生まれた. 実際に歩行動作を行う手法として, 回転ベルト機構により任意方向へ移動できる Omni Directional Treadmill[1]や, 視覚誘導を用いた Redirected Walking[2]などの手法があるが, 前者は装置が複雑で大掛かりであり, 後者は広いスペースが必要である. そのため, 歩行動作で自由に VR 空間の移動を行う場合には, 歩行型デバイスと呼ばれる KAT WALK mini[3]や, Virtuix Omni[4]などが主流になりつつある. 歩行型デバイスはユーザの体をハーネスなどで固定し, 足裏を床面に対して滑らせることで, その場での歩行を可能にした. また, 近年は座位状態での下肢の動作を用いるものも生まれており, 靴に取り付けたローラーが回転することで移動を検知する Cybershoes[5]は, 回転椅子に座って歩くように足を前後に動かすことで, 手軽に任意の方向に移動することができる.

本研究では, これらの手法のように体を支持し, その場での身体動作をすることによって VR 空間を移動するデバイスを開発するが, 全力疾走での移動に注目した. 全力疾走をする場合には, 両足が地面から完全に離れる浮遊期が長く, 両足を大きく動かす. よって, 従来法のように滑面床上で立って行うことや, 椅子に座って行うことは難しい. そこで, サドルを用いて上体を支えることで, 体重の大部分を預けたまま自由に両足を動かすことができれば, 全力

疾走が可能になると考え, サドル型ロコモーションインタフェースを提案する. そして, サドルに座った状態で走った時の両足の浮遊期を考慮することで, 実際の走行に近い移動の実現を目指す. 本論文では, 足の前後移動量を用いた歩行モデルから走行アルゴリズムを作成し, それを用いて, サドル上で VR 空間内を全力疾走した場合と, 地上で実際に同じ距離を全力疾走した場合のタイムにどれほどの差がでるのか比較を行った.

2. サドル型走行インタフェース

2.1 概要

本研究で提案するサドル型走行インタフェースでは, サドルに跨り上体を支えることで体重を免荷し, 両手両足を自由に動かして全力疾走を行う. 図 1 に, サドル型走行インタフェースを用いて全力疾走している様子を示す. デバイス上で激しく動いても倒れたりせず, かつ両手両足の運動を妨げないように設計した. また, 特殊なセンサは用いず, HTC VIVE と VIVE トラッカーのみを用いて実装した.

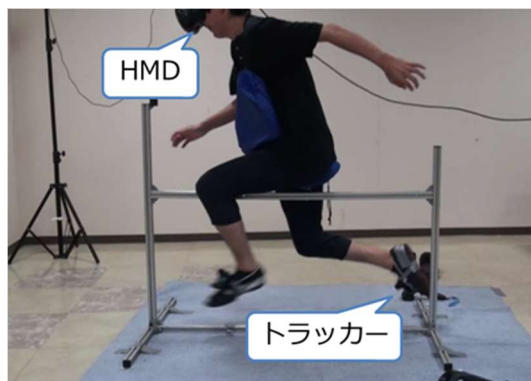


図 1: 実験の様子

2.2 構成

表 1 にサドル型走行インタフェースのデバイス構成を示す。

表 1: デバイス構成

構成	内容
サドル装置部	全体フレーム部, サドル部, 背もたれ部, 滑り靴
映像提示部	HTC VIVE
計測部	HTC VIVE トラッカー
ソフトウェア	Unity

図 2 に, サドル装置部の全体像を示す。サドルはロードバイク用の幅の狭いサドルを用いてアルミフレームに固定し, サドル高さは 850mm まで調節可能とした。サドルの前方に背もたれを取り付け, 前傾して背もたれに体を預けることで, 両手を前後に振っても安定した走行動作を可能とした。また, 本デバイスの特性上, 足を床面に対して滑りやすくする必要があるので, 図 3 に示すように, 靴底に家具移動用の低摩擦シートを装着した低摩擦スリッパを製作した。VR 映像を提示する出力デバイスとして HTC Vive, 計測装置として Vive トラッカーを靴に装着し, Vive トラッキングシステムである Lighthouse システムを用いた。また, Vive トラッカーは身体動作の入力デバイスとしても用いており, VR 環境を構築するソフトウェアには物理エンジン Unity を用いた。

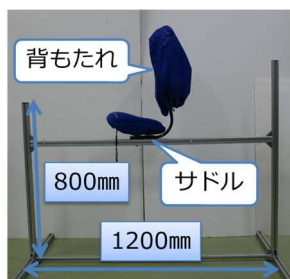


図 2: サドル装置



図 3: 低摩擦スリッパ

3. 実装

走行アルゴリズムの実装に向けて, まず, サドル上と現実で同様に歩行したときの一步ごとに進む距離(歩幅)を合わせ, 歩行アルゴリズムを作成した。その後, 両足浮遊期を考慮した計算を加えることで走行アルゴリズムを実装した。

3.1 歩行アルゴリズム

図 4 に設定した座標系を示す。歩行アルゴリズムとして, 一步で進む VR 上の距離が現実のサドル上での歩幅に等しくなるように, トラッカーの z 軸負の方向の移動距離を前進移動量とした。一連の運動は yz 平面上で行われるものとし, 図 5 に示すように, ある時刻 t_n における右足のトラッカーの座標を (z_{nR}, y_{nR}) , 左足のトラッカーの座標を (z_{nL}, y_{nL}) , とした。

(z_{nL}, y_{nL}) , とした。

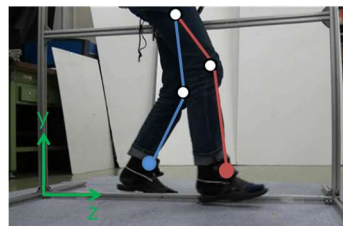


図 4: 座標系の設定

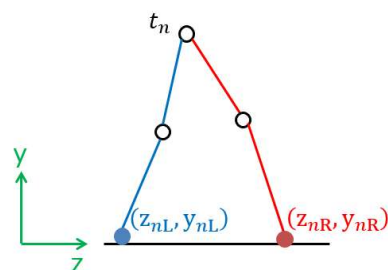


図 5: 両足の座標の設定

まず, 図 6 のように片足のみを考え, 1 フレーム前の時刻 t_{n-1} におけるトラッカーの座標を (z_{n-1}, y_{n-1}) , 時刻 t_n におけるトラッカーの座標を (z_n, y_n) と置く。VR 内の 1 フレーム間における前進量 Z は, トラッカーの z 座標の変化量 $\Delta z = z_n - z_{n-1}$ と補正係数 a を用いて次のように定義される。

(i) $\Delta z < 0$ の時

$$Z = -\Delta z \times a \quad (1)$$

(ii) $\Delta z \geq 0$ の時

$$Z = 0 \quad (2)$$

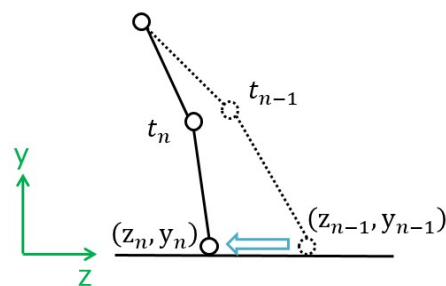


図 6: 片足の座標の設定

ただし 1 フレーム間隔は常に一定とする。これを両足に適用し, $Z_R + Z_L$ を前進移動量とした。まずは, 補正係数 $a = 1$ として, サドル上での仮想的な歩幅と地上で歩行したときの現実の歩幅の差を調べた。

3.1.1 歩幅測定実験

実験では 120bpm のリズムを提示し, それに合わせてサドル上では VR 空間内で 20m を, 地上では実際に 20m を被験者に歩行させ, 歩数を計測した。サドル上では, 地上と同様に歩行するように指示し, まず, 3 回地上で歩行し

た後に、サドル上で3回歩行させた。また、サドル上でVR歩行を行う際には、図7のような、道路上を進む映像をHMDで提示した。サドルの高さは750mmとし、被験者は股下約800mmである、20代前半の健常男性3人で行った。表2に、距離と歩数から算出した歩幅の平均値を示す。ただし、差[%]は現実の歩幅を基準とする。



図7：HMDで提示した映像

表2：歩幅測定実験結果

被験者	現実歩行[m]	VR歩行[m]	差 [%]
A	0.83	0.63	-25
B	0.70	0.56	-20
C	0.83	0.54	-35

表2より、サドル上での歩幅は現実の歩幅より平均して約27%減少していた。これは、現実の歩行では一歩踏み出す際に足の開きと重心の移動によって前進するが、サドル上では足を開いた量でのみしか前進できなかったことが原因である。この結果から補正係数 $a = \frac{1}{1-0.27} \cong 1.37$ とし、も

う一度同様の条件で実験を行った。表3に、VRと現実で20mを歩くまでに要した時間の平均値を被験者ごとに示す。ただし差[%]は現実の所要時間を基準とする。

表3：歩幅補正後実験結果

被験者	現実歩行[m]	VR歩行[m]	差 [%]
A	12.47	13.75	10
B	14.38	12.63	-12
C	11.87	13.38	13

表3より、現実歩行とVR歩行において、所要時間の差は平均約4%となった。よってVR歩行でも現実と同等の速さで歩けていることが確認できた。

3.2 走行アルゴリズム

3.2.1 歩行アルゴリズムを使った全力疾走比較実験

走行アルゴリズムを作成するにあたって、まず、前節で作成した歩行アルゴリズムを用いて全力疾走を行い、現実で同じ距離を全力疾走した場合のタイムと比較した。走行距離は50mとし、2回ずつタイムを計測し成績の良いほうを採用した。サドルの高さは700mmに設定し、被験者は股下約800mmである、20代前半の健常男性4人で行った。

図8に実験結果を示す。ただし横軸は現実の50m走のタイムであり、縦軸はサドル上で測定したVR走行のタイムである。

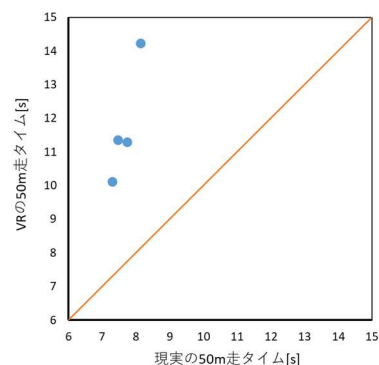


図8：歩行アルゴリズムを用いた50m走比較

図8より、サドル上での50m走は、現実より平均して約53%も遅くなってしまった。そこで、図9にVR走行時の移動速度変化を、図10に両足のトラッカー間隔変化を示す。

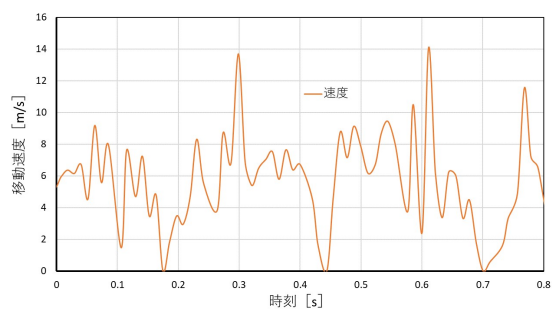


図9：VR走行時の移動速度変化

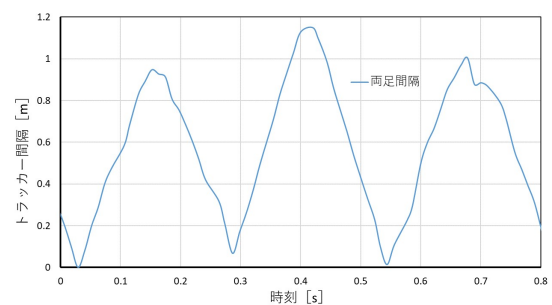


図10：トラッカー間隔変化

図9、図10よりトラッカーの間隔が最大となった瞬間、つまり両足が最大まで開いた瞬間に、速度が0付近まで落ちていることが確認できた。原因としてこの歩行アルゴリズムはトラッカーの前後移動量で移動するため、両足が最大まで開ききる前後の瞬間は速度が落ちてしまうためである。両足が最大まで開いている期間付近は、サドル上においても現実においても両足が浮いている空中浮遊期であるが、この浮遊期にアルゴリズム上では速度が落ちる一方、現実では浮遊期も前進し続けるので、VRと現実でタイムに大きく差が出てしまった。

3.2.2 アルゴリズム改善

浮遊期は足が地面から離れた瞬間の水平方向の速さで等速運動するとして、歩行アルゴリズムを改善した。足の地面への接地判定はトラッカーのy座標によって判定し、トラッカーが閾値より低い場合は接地していると判断する。閾値設定は、図 11 のように走行前につま先を軽く浮かせ、その時のy座標を用いた。

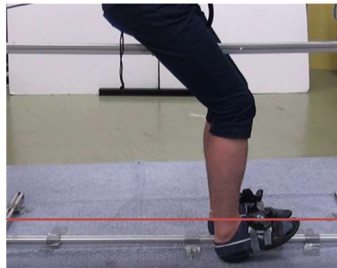


図 11：閾値設定の様子

座標系は歩行アルゴリズムと同様にした。まず、図 12 に示すように、閾値のy座標を y_s とし、ある時刻 t_n に片足のトラッカーのy座標 y_n が y_s を越えた瞬間を考える。

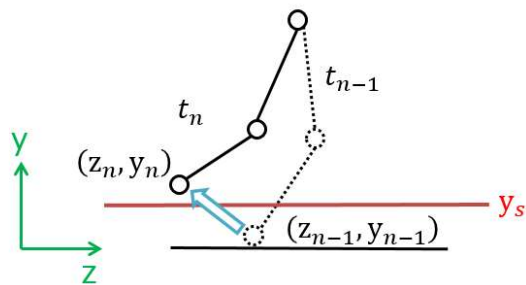


図 12：閾値を超えた瞬間

この時のトラッカーのz座標の変化量を $\Delta z_s = z_n - z_{n-1}$ とする。両足のトラッカーのy座標が y_s を越えている期間を浮遊期とし、これによる1フレーム間の前進量を $Z_s = |\Delta z_s|$ として、浮遊期終了まではこの量を保存する。歩行アルゴリズムによる1フレーム間の前進量を Z_w とおき、これによる浮遊期の前進量は小さいとしてまとめると、前進量 Z は次のようになる。

$$(i) \quad y_{nR} > y_s \text{ かつ } y_{nL} > y_s \text{ の時} \\ Z = Z_w + Z_s \quad (3)$$

$$(ii) \quad y_{nR} \leq y_s \text{ または } y_{nL} \leq y_s \text{ の時} \\ Z = Z_w \quad (4)$$

これを両足に適応し $Z_R + Z_L$ を前進移動量とした。改善したアルゴリズムを用いて、同じ条件で50mを測定した。図13に改善前と改善後の50m走のタイムの結果を示す。ただし図8と同様に、横軸は現実の50m走のタイムであり、縦軸はサドル上で測定したVR走行でのタイムである。

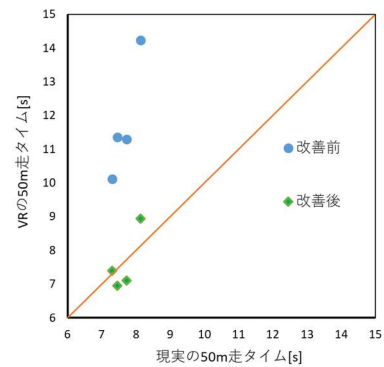


図 13：アルゴリズムの改善前と改善後の比較

図 13 より、浮遊期を考慮した結果、改善前より大幅に現実のタイムに近づき、差は現実を基準として平均約 - 1% となった。さらに、歩行実験と同様に歩数から歩幅を算出した結果を表 4 に示す。ただし差[%]は現実の歩幅を基準とする。

表 4：全力疾走時の歩幅結果

被験者	現実歩行[m]	VR歩行[m]	差 [%]
A	1.43	1.35	-5
B	1.64	1.85	13
C	1.67	1.79	7
D	1.56	1.72	10

表 4 より、現実走行と VR 走行における全力疾走時の歩幅の差は平均約 6% となった。よって改善した歩行アルゴリズムでも十分タイムや歩幅を再現できていることが確認できた。

4. まとめ

本稿では、サドルを用いた新しい歩行型デバイスの手法を提案した。また、歩行アルゴリズムを用いて全力疾走を行い現実と比較した。その結果、タイムや歩幅において現実と同等の走行ができていたことが分かった。しかし、現段階では走行モデルを非常に簡略化しており、足をただ上げているだけで進み続けるなど様々な問題点があるので、今後は実際の走行に近い移動の実現を目指し、アルゴリズムや装置の改良を続けていく。

参考文献

- [1] Rudolph P. Darken, William R. Cockayne, David Carmein, The Omni-Directional Treadmill: A Locomotion Device for Virtual Worlds, Proc. UIST, pp. 213-221, 1997
- [2] Sharif Razzaque, Zachariah Kohn, Mary C. Whitton, Redirected Walking, EUROGRAPHICS, 2001
- [3] Virtuix Omni : <http://www.virtuix.com/>
- [4] KAT WALK mini : <http://katvr.com/product/kat-walk-mini/>
- [5] Cybershoes : <https://www.cybershoes.io/>