



# 全方位無限歩行システムにおけるアバター姿勢制御

山本智之<sup>1)</sup>, 齊藤充行<sup>1)</sup>, 小林康秀<sup>1)</sup>, 脇田航<sup>1)</sup>

1) 広島市立大学大学院 情報科学研究科 (〒731-3194 広島県広島市安佐南区大塚東 3-4-1, wakita@hiroshima-cu.ac.jp)

**概要:** 歩行による運動やリハビリのモチベーション向上のため, VR 技術の応用が期待されており, 歩行感覚の呈示が可能な無限歩行システムが必要である. 低コストで VR 環境内を歩行するため, 大腿部を支持する無限歩行システムが提案されている. しかし, 足の動きが制限され, VR 環境内の自身の分身となるアバターの足の動きも制限される. 運動やリハビリの効果は身体の姿勢を認識することで上がるため, アバターの姿勢の認識が必要であると考えられる. そこで, 本研究では足の動きに制限がないアバターの姿勢を呈示するためのアバター姿勢制御を行う.

**キーワード:** バーチャルリアリティ, 姿勢制御, モーションキャプチャ, 無限歩行

## 1. はじめに

近年, 歩行による運動やリハビリのモチベーション向上のため, VR 技術の応用が期待されている[1]. VR 環境内の歩行感覚を呈示するためには無限歩行システムが必要である[2]. 従来の無限歩行システムには, 低コストで VR 環境内を歩行するために, 大腿部を支持することで, 定位置で足を滑らせず, 踵からつま先への身体の重心変化を可能とする簡易没入型無限歩行システムが提案されている[3].

しかしながら, 大腿部を支持するため足の動きが制限されてしまい, VR 環境内の自身の身体の動きに連動して動くアバターの足の動きにも制限が生じてしまう. 運動やリハビリの効果向上のため, 自身の身体の姿勢を認識する必要があり[4], VR 環境内での運動やリハビリを行う場合でも, アバターの姿勢が自身の身体の姿勢であると認識する必要があると考えられる. VR 環境内の運動やリハビリの効果向上のため, 自身の身体が自分のものであると感じる身体所有感覚[5]を向上させることで, 足の動きが制限されていないアバターの姿勢を自身の姿勢であると認識させる必要がある. また, 身体所有感覚は, 自身の身体の動きとアバターの動きが同期することによって向上すると考えられる[6].

そこで, 本研究では実世界で足の動きが制限された状態でも VR 環境内の足の動きが制限されないアバターの姿勢が自身の身体の姿勢であると認識させるため, アバターの姿勢制御を行う. 具体的には, 使用する簡易没入型無限歩行システムの大腿部支持部に加わる力からアバターの遊

脚のつま先の位置を補正する. これにより, VR 環境内でアバターが自由に足を動かすことが可能になると考えられる. また, ユーザにアバターのサーフェイスを呈示することで, ユーザの身体所有感覚を向上させることが可能になると期待できる.

## 2. 従来研究

身体所有感覚に関する研究には, ラバーハンド錯覚[7]がある. ラバーハンド錯覚は, 実験参加者の自身の手を衝立によって隠し, ゴム製の参加者の偽物の手となるラバーハンドを見せる. このとき, ラバーハンドと本物の手を同時に筆でなで, なで終えた後に被験者にアンケートを取ったところ, 筆でなでられた感覚がラバーハンドから感じていることが知られている. これにより, 視覚情報と触覚情報から身体所有感覚を向上させることが考えられる. また, このラバーハンド錯覚は第三者による触覚刺激によって引き起こされているが, 参加者自身によって触覚刺激を与えた場合でも身体所有感覚が向上することが知られている[8]. また, HMD の低価格化に伴い, 現実では難しいとされた実験を行うことができるようになり, ラバーハンドの代わりに, 映像で自身の手となるバーチャルハンドを用いた身体所有感覚の研究がなされている.

自身の手が伸びたバーチャルハンドを呈示し, 実験参加者の手を引っ張ることで, 身体所有感覚が向上し, 自身の腕が伸びた感覚に錯覚させることが知られている[9]. これにより, 視覚情報と力覚情報から見た目によらず身体所有感覚を錯覚させることが可能であると考えられる.

バーチャルハンドの皮膚の色, 指の見た目, 動きの整合性を変えた場合より, 本物の手の動きとバーチャルハンド

Tomoyuki YAMAMOTO, Mitsuyuki SAITO,  
Yasuhide KOBAYASHI, and Wataru WAKITA

の動きに遅延が生じた方が、身体所有感覚が低下する[6]. これにより、見た目より本物の手とバーチャルハンドの動きの同期が身体所有感覚に影響を与えると考えられる.

アバターに対して身体所有感覚を感じるためには、アバター全身の映像の呈示は必要なく、手足のみの映像呈示で感じることができることが知られている[10].

これらより、本研究で使用する簡易没入型無限歩行システムの大腿部支持部に加わる力に応じて、アバターのつま先の姿勢を補正し、つま先のサーフェイスを映像呈示することで、VR環境内で足の動きに制限がないようにユーザの身体所有感覚を錯覚させることが期待できる.

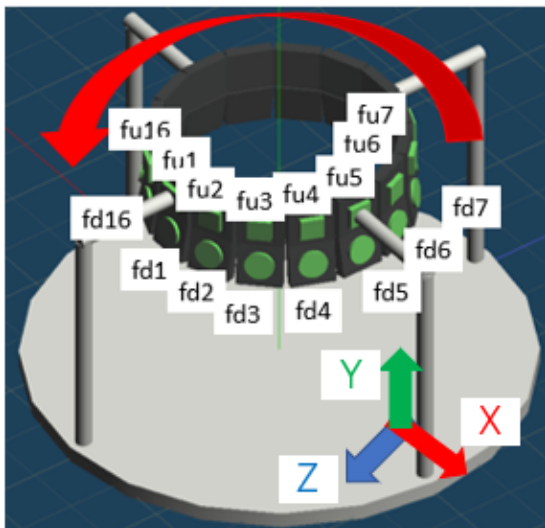
### 3. 提案システム

#### 3.1 簡易没入型無限歩行システム

使用する簡易没入型無限歩行システムの概要を図1に示す. 図1(a)の出力は、腰、両足のつま先、両手、頭部の姿勢情報から身体の姿勢推定を行う RunTime[11]を用いてアバターのサーフェイスを動作させる.



(a) システムの概要図



(b) 無限歩行装置の構造

図1: 無限歩行システム

図1(b)のように、大腿部の支持部にカセンサを32個配置した. これにより、大腿部から支持部に加わる力を取得することが可能であり、前進、後退、横歩きをする際

に、VR環境内で大腿部が上がる姿勢を推定する. 大腿部支持部上部のカセンサからユーザの進行方向 $wd$ および身体の傾きを以下の式で推定する. また、身体の傾き $\alpha_x$ ,  $\alpha_z$ はユーザに合わせるためのパラメータ $ParUX$ ,  $ParUZ$ を用いる.

$$pu_x = \sum_{i=0}^{15} fu_i \times \cos(i \times 22.5) \quad (1)$$

$$pu_z = \sum_{i=0}^{15} fu_i \times \sin(i \times 22.5) \quad (2)$$

$$wd = \tan^{-1}\left(\frac{pu_z}{pu_x}\right) \quad (3)$$

$$\alpha_x = ParUX \times pu_x \quad (4)$$

$$\alpha_z = ParUZ \times pu_z \quad (5)$$

大腿部支持部下部のカセンサからユーザの大腿部が上がる姿勢を推定する. そのため、大腿部支持部下部に加わる力の和をとり、ユーザに合わせるためのパラメータ $ParDX$ ,  $ParDZ$ を用いることで、大腿部が上がる角度を推定する.

$$p_x = ParDX \times \sum_{i=0}^{15} fd_i \times \cos(i \times 22.5) \quad (6)$$

$$p_z = ParDZ \times \sum_{i=0}^{15} fd_i \times \sin(i \times 22.5) \quad (7)$$

#### 3.2 つま先の補正

足の甲にトラッカーを取り付けることで、足の甲およびつま先の姿勢を推定し、大腿部支持部に加わる力に応じてつま先の姿勢を補正する. 足の甲の姿勢を $\mathbf{t}$ とすると、以下の式でアバターのつま先の姿勢 $\hat{\mathbf{t}}$ を補正する(図2).

$$\mathbf{ZXY}(\theta, \gamma, \phi) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \gamma & 0 & -\sin \gamma & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \gamma & 0 & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$\hat{\mathbf{t}} = \mathbf{t} \times \mathbf{ZXY}(p_x, 0, p_z) \quad (9)$$

$$\hat{\mathbf{t}} = \hat{\mathbf{t}} \times \mathbf{ZXY}(\alpha_x, 0, \alpha_z) \quad (10)$$

つま先の姿勢が補正されたアバターの全身の姿勢を $\mathbf{b}$ とすると、進行方向へアバターの身体の姿勢を回転する. 回転後のアバターの身体の姿勢を $\hat{\mathbf{b}}$ とする.

表 1: 体の姿勢シミュレーションの大腿部の角度, つま先の姿勢, 身体の傾きの設定表

図 3	左足の大腿部の推定角度[deg]			右足の大腿部の推定角度[deg]			左足のつま先の向き[deg]			右足のつま先の向き[deg]			左足のつま先の位置[m]			右足のつま先の位置[m]			身体の傾き[deg]		
	x軸	y軸	z軸	x軸	y軸	z軸	x軸	y軸	z軸	x軸	y軸	z軸	x軸	y軸	z軸	x軸	y軸	z軸	x軸	y軸	z軸
(a)	-20.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.12	0.92	0.15	-0.09	0.0	0.14	10.0	0.0	2.0
(b)	0.0	0.0	0.0	13.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	-	-	0.14	-0.1	0.0	-0.15	-8.0	0.0	-1.5
(c)	0.0	0.0	0.0	-6.0	0.0	-12.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.09	0.94	0.14	-0.3	0.0	0.14	0.0	0.0	6.0
(d)	-2.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.5	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.25	-0.9	0.15	-0.09	0.0	0.14	0.0	0.0	-5.0

$$\hat{\mathbf{b}} = \mathbf{b} \times \text{ZXY}((0, \text{wd}, 0)) \quad (11) \quad \text{待} \text{で} \text{可} \text{い} \text{る} \text{。}$$

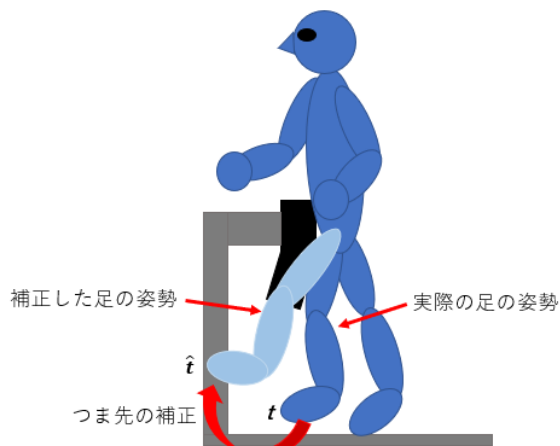


図 2: つま先の姿勢の補正

このように, アバターの姿勢制御を行う. また, 腰から足首まで, および上半身の姿勢は身体の姿勢推定を行う RunTime [11]を用いて推定する. これにより, 簡易没入型無限歩行システムを用いて, VR 環境内のアバターの姿勢を制御することが可能になると考えられる. また, つま先の姿勢を補正することにより, ユーザの身体所有感を向上させることが期待できる.

#### 4. アバターの姿勢制御のシミュレーション

大腿部の推定角度, 身体が傾く角度およびつま先の姿勢が得られた場合, つま先の姿勢を補正したシミュレーション結果を図 3 に示す. (a)は左足が遊脚で前進する場合, (b)は右足が遊脚で後退する場合, (c)は右横歩きをする場合, (d)は左横歩きをする場合である. また, 推定された角度, つま先の姿勢は表 1 に示す.

図 4 より, 大腿部の角度の推定, 身体が傾く角度およびつま先の姿勢がわかれば, つま先の姿勢の補正ができた. これにより, アバターのつま先の姿勢を制御することが期待できる.

#### 5. むすび

低コストで VR 環境内を歩行するための無限歩行装置を用いて, アバターの足の動きが制限されず, 自身の身体の動きであると認識させるためのアバターの姿勢制御を提案した. これにより, 身体所有感を向上させることが期

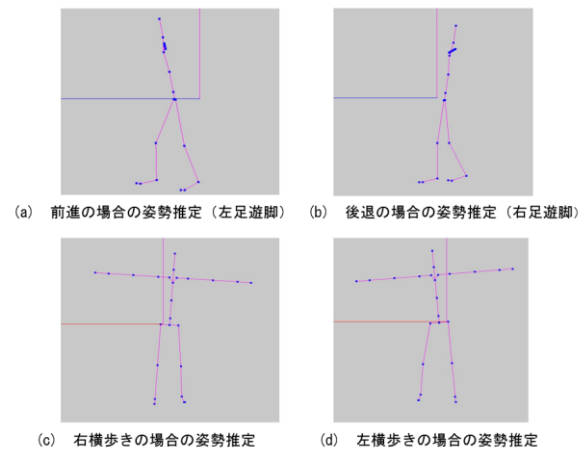


図 3: つま先の姿勢の補正のシミュレーション結果

現状, 大腿部の推定角度, 身体が傾く角度およびつま先の姿勢がわかれば, つま先の姿勢の補正ができた. 今後, 力センサから大腿部の角度を推定することで, つま先の姿勢を補正することが課題である. また, 頭部, 両手, 腰, 補正されたつま先の姿勢情報から身体全身の姿勢を, RunTime[11]を用いて推定し, つま先のサーフェイスを呈示することも課題である. さらに, 身体所有感覚について評価実験を行う必要がある.

#### 参考文献

- [1] 久保雄一郎, 山口泰雄: VR を用いたスポーツ・ヘルスケア市場の活性化-EMS との融合-, スポーツ産業学研究, Vol. 27, No. 4, pp. 351-354, 2017.
- [2] 野間春生: ロコモーションとバーチャルリアリティ, 計測と制御, Vol. 2, No. 43, pp. 133-138, 2004.
- [3] 脇田航: 簡易没入型 VR 歩行システム (知覚情報研究会・複合現実型実応用および一般), 電気学会研究会, Vol. 2017, No. 71, pp. 11-13, 2017.
- [4] 小島泰平, 檜山 敦, 小林 謙次郎, 神山 祥子, 石井直方, 廣瀬 通孝, 秋山 弘子: VR 姿勢教示システムを用いた中高年女性の虚弱予防エクササイズ, VRSJ, Vol. 21, No. 2, pp. 273-281, 2016.
- [5] Gallagher, S.: philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science, Trends in Cognitive Sciences, Vol.4(1), pp.14-21, 2000.

- [6] 小川奈美, 伴祐樹, 桜井翔, 鳴海拓志, 谷川智洋, 広瀬通孝: えくす手: 変調バーチャルハンドへの即応的な身体所有感覚の生起による身体拡張システム, 情報処理学会インタラクシオン 2016, pp.1022-1027, 2016.
- [7] Botvinick, M. and Cohen, J. : Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see, *Nature*, 391, 756, 1998.
- [8] 金本翔子, 横澤一彦: 手の身体所有感覚とラバーハンド錯覚, *バイオメカニズム学会誌*, Vol.39, No.2, 2015.
- [9] SUN HONG, 柴田忠久, 木村朝子: 仮想空間における  
上肢伸長感覚の誘発要因の分析, Vol.2018-HCI-176, No.22, pp.1-6, 2018.
- [10] Ryota K., Maki S., Kouta M, Takuya H., Masahiko I., and Michiteru K., : Illusory body ownership of an invisible body interpolated between virtual hands and feet via visual-motor synchronicity, SCUEBTUFUC REOIRTS, No. 7541, 2018.
- [11] IKINEMA|Motion Capture, VR, Games – Full body IK for VR, [www.ikinema.com](http://www.ikinema.com).