

エアロバイク型仮想空間移動シミュレータの 作製とその操作性の評価

上北一博*

橋本好幸**

A Study on Operation Performance of Aero-Bike Simulator in a Virtual Space

Kazuhiro UEKITA*

Yoshiyuki HASHIMOTO**

ABSTRACT

Recently, the virtual reality (VR) technology which can produce a real feeling artificially has been paid to attention in the application for aging society. The senior citizen can undergo rehabilitation in the house happily and safely by using the VR technology. We developed an bicycle simulator which is using the VR technology in three dimensional spaces. The bicycle simulator was made of an aero-bike with simple structure. The advancement and rotation operating tests of the bicycle simulator was done. From these results, the movement error increases at the curve as well as an actual bicycle when speed becomes faster.

Keywords : virtual reality technology, bicycle simulator, rehabilitation

1. はじめに

現在の日本において、平成20年の日本の65歳以上の高齢者数は2792万7千人となっており、総人口に占める割合は21.9%である。今後、高齢者の割合はより高くなり、今後5年間で25%を超え、新たな社会問題である高齢者問題が発生するといわれている。高齢者問題の解決方法の一つとして、高齢者の健康維持が考えられる。そこで、我々は高齢者の健康維持に、仮想空間技術が応用できないかと考えた。

ここで、仮想空間技術とは、コンピュータグラフィックスを駆使して、コンピュータ内に人工的な空間を作る技術である^{(1),(2)}。現在、仮想空間技術は、テーマパークでの立体映像を使ったアトラクションなどのエンターテインメント分野、手術のシミュレーションなどの医療分野、飛行機や工事車両などの操縦訓練に利用されている⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。しかし、これらの装置は、専門性が高く、その操作性や装置価格から、高齢者が使用するような応用には、すぐに適用することができない。高齢者の使用を考えた場合、簡単にかつ安全に使用できることが必要であり、仮想空間を移動する入力インターフェースの開発が必要である⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾。また、一般的な普及を考えると、装置価格が安価であることも重要である。

そこで、本研究では、高齢者が楽しく運動できる装置として、エアロバイクで仮想空間内を自由に移動することのできるシミュレータを開発することにした。本

シミュレータは、仮想空間を立体表示させるディスプレイモニターと液晶シャッター眼鏡、仮想空間を作りだすパーソナルコンピュータおよび仮想空間内の操作を行うエアロバイクから構成される。これらの部品は、すべて一般的に市販されているものであり、シミュレータを安価に構成することが可能である。

本論文では、作製したエアロバイク型移動シミュレータの概要とその操作性について検討したので、それらの結果について報告する。

2. エアロバイク型移動シミュレータの概要

図1にエアロバイク型移動シミュレータの概略図を示す。仮想空間はMicrosoft Visual C++とSence8社の仮想空間構築用ライブラリであるWorldToolKitを用いて、パーソナルコンピュータ(PC)で構築する。構築した仮想空間は、赤外線エミッタ(StereoGraphics社製IE1226)を介して三次元ディスプレイ(Electro Home社製Marquee8110Plus)に表示する。被験者は、このディスプレイを液晶シャッター眼鏡(StereoGraphics社製CrystalEYE3)を通して見ることで、立体映像として見ることができる⁽⁹⁾。

仮想空間内の移動速度および移動方向の決定は、エアロバイク型の入力デバイスで行う。使用したエアロバイクは市販のもので、これに自作した回転検出回路と移動方向検出回路を取り付けた。まず、エアロバイクに取り付けられた磁気スイッチと回転検出回路で、ペダルの回転を読み取る。その値を、USB通信を用いてPCに送信し、回転数に応じて、仮想空間内の視点位置

*専攻科 電気電子工学専攻

**電子工学科 教授

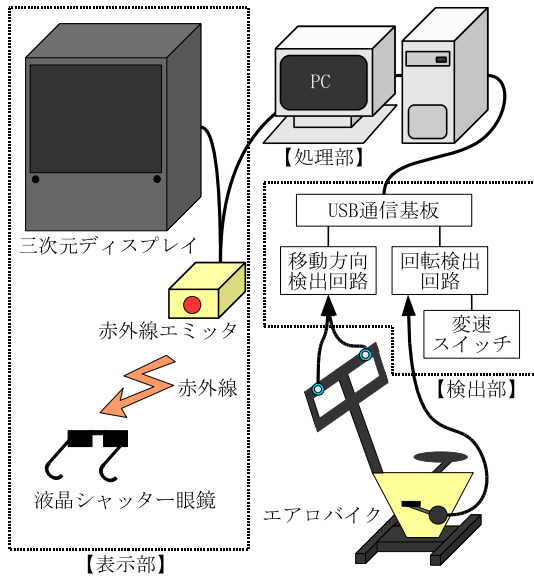


図1 エアロバイクシミュレータの概略図

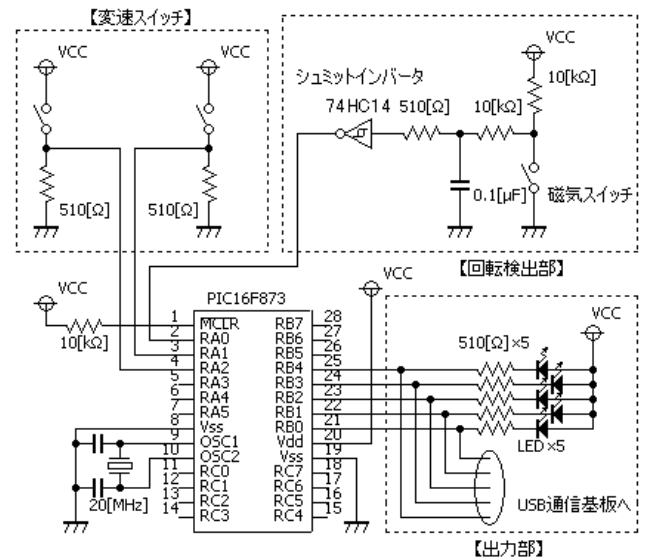


図2 回転検出回路の概略図

を前へと移動させることで、前進動作を実現している。また、回転検出回路において、実回転速度に倍率をかけてPCに送信することで、変速機能も実現している。

次に、仮想空間内の移動方向は、ハンドルの左右に取りつけた押しボタンスイッチで決定する。移動方向検出回路でボタンの状態を把握し、USB通信でPCに送信する。右ボタンが押された場合は、押された時間だけ、仮想空間内の視点を右方向に一定速度で回転させる。また、左ボタンが押された場合は、これと逆の動作を行うことで、転回動作を可能にしている。

3. エアロバイク型入力デバイスの作製と動作試験

3.1 回転検出回路の作製 仮想空間の視点の移動速度を検出するための、回転検出回路の回路図を図2に示す。まず、ペダルの回転を検出するために、エアロバイクのペダルの回転部分に内蔵されている磁気スイッチを使用した。この磁気スイッチは、ペダルが1回転する毎に1回導通する仕様となっている。また、PICマイコンにはピン数の豊富さなどの拡張性の高さからPIC16F873を使用した⁽¹⁰⁾。

磁気スイッチの状態を図2の回転検出部に示すように、コンデンサによる平滑化回路とシュミットインバータ74HC14を用いてチャタリングを除去し、PICマイコンに入力する。入力された信号は、PICマイコンで処理され、2進数5ビットの信号に変換されて出力部からUSB通信基板へ送信される。以上より、磁気スイッチの導通回数をPICマイコンでカウントし、ペダルの回転数を計測することで、前進動作を実現している。

次に、エアロバイクは自転車のような変速器を持たないので、ペダル速度を変えることができない。そこで、同じ回転数でも、仮想空間内での移動速度が変わる

ように、仮想的な変速機能を持たせることにした。図2の変速スイッチには、2個のトグルスイッチを用い、速度設定値を2進数2ビット信号としてPICマイコンで検出し、4段階の速度変化を可能とした。まず、速度設定値1は、ペダルの回転速度(元回転数)を、そのまま出力する。設定値2は、元回転数の2倍を回転数として出力する。以後、同様に、設定値3および設定値4は、それぞれ元回転数の3倍および4倍がそれぞれ回転数として出力される。

これらの動作をPICマイコンで行わせるために、C言語を用いてプログラムを作成した。PICプログラムでは入力パルスを1秒間カウントし、カウントした結果をUSB通信基板に出力する。これを1秒ごとに繰り返すため、タイマ割り込み処理を使用した。

PICプログラムの動作について説明する。まず、クロック、入出力ポート、変数、タイマ割り込みを設定し、メインプログラムに移る。メインプログラムでは、磁気スイッチの導通回数をカウントするため、無限ループを使用する。無限ループでは、スイッチの状態を読み取り、現在の状態がONならば前回の状態を確認し、前回の値がOFFならば立ち上がりエッジを表しているので、導通回数としてカウントする。逆に、前回の状態もONならば、スイッチの状態が変化していないため、カウントしない。

1秒間ごとに呼び出されるタイマ割り込みでは、メインプログラムでカウントした値に、変速スイッチによる重みづけをしたあとに、USB通信基板とカウント結果表示用LEDに5ビットで出力する。このように、1秒間ごとのペダルの回転数をカウントしLEDに表示す

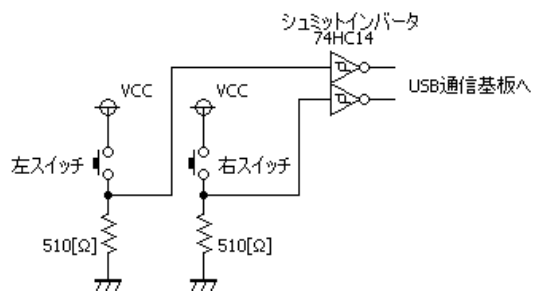


図3 移動方向検出回路の回路図

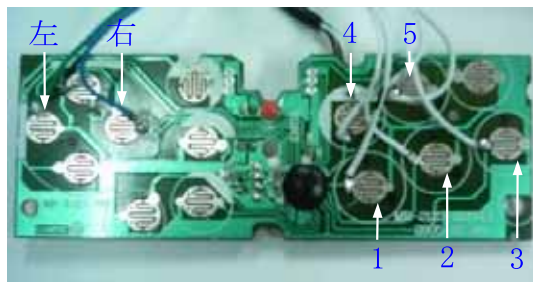


図4 USB 通信基板



図5 神戸高専をモデルとした仮想空間



図6 エアロバイクシュミレータ動作時の様子

るとともに、USB 通信基板へカウント結果を出力するプログラムを作成した。

3.2 移動方向検出部の作製 仮想空間の視点の移動方向を検出するための、移動方向検出回路の回路図を図3に示す。視点の移動方向は、エアロバイクのハンドルの左右に取り付けられた押しスイッチにより行う。押しスイッチのON/OFF 信号は、シュミットインバータ 74HC14 を通して、チャタリングを除去した後、USB 通信基板へ接続した。

3.3 USB 通信基板 USB 通信基板には、市販のゲームパッドである ELECOM 社製 JC-U2510TSV を用いた。図4にゲームパッド内の回路基板を示す。回転検出回路、移動方向検出回路の状態を出力することができるボタンは、連射機能を切り替えるための2つのボタンを除いた、12個の操作ボタンと十字ボタンである。そこで、回転検出回路からの出力に操作ボタンの1番～5番の5つを使用し、移動方向検出回路からの出力に十字ボタンの左右のボタンを使用した。PCでは、操作ボタンの値を2進数5ビットで受け取り、10進数に変換して仮想空間内の視点の移動速度を決定し、左右のボタンの状態から仮想空間の視点の移動方向を決定する。

3.4 エアロバイク型入力デバイスの動作試験 作製したエアロバイク型入力デバイスの動作確認を行った。動作の確認では、図5に示す神戸高専をモデルとした仮想空間を使用した。図6は、実際の動作確認時の写真である。被験者には、液晶シャッター眼鏡をかけて、前面のディスプレイを見ながら、エアロバイクのペダルを漕いでもらう。

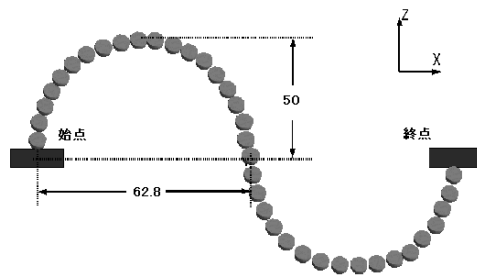
まず、前進動作について動作確認を行った。ペダルを漕ぐと、回転検出回路のカウント結果表示用LEDが点灯し、仮想空間内で前進移動ができた。これらのLEDはペダルの回転速度に比例して変化する仕様なので、ペダルを漕ぐ速度を変化させるとLEDの値(2進数5桁表示)が変化し、仮想空間内での移動速度が変化した。また、変速スイッチで速度設定値を大きくすると、LEDの値が大きくなるのと同時に、仮想空間内での移動速度が速くなった。逆に、速度設定値を小さくすると、LEDの値が小さくなり、仮想空間内での移動速度も遅くなった。

次に、移動方向検出回路の動作確認を行った。ペダルを漕ぎ、前進移動をしながら左右に取り付けられた押しボタンスイッチを押すと、仮想空間内の移動方向が変化した。

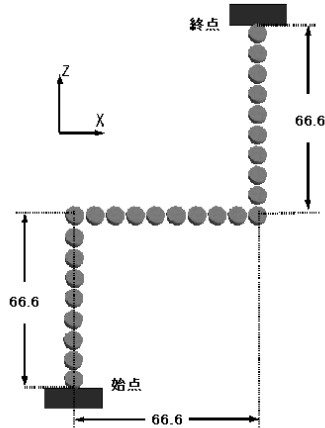
以上の結果より、作製したエアロバイク型入力デバイスによって、仮想空間内の視点の移動速度、および移動方向を変更することができ、設計通りに動作することが確認された。

4. エアロバイク型シュミレータの操作性の評価

4.1 評価方法 エアロバイク型仮想空間移動シュミレータの移動の正確さ、操作性の評価を行った。評価では、図7(a)に示す曲線評価空間(sinカーブ型の曲線通路)と、図7(b)に示す直線評価空間(直線クランク型の通路)を使用した。まず、被験者に液晶シャッター眼鏡をかけてもらい、両評価空間でのエアロバイク型シュミレータの操作の練習を行う。操作に慣れたところ



(a) 曲線評価空間



(b) 直線評価空間

図7 評価空間の概要

で、曲線評価空間の始点から終点まで、できる限り円盤状のプレートによって描かれたラインに沿うように移動してもらう。その際、始点から終点に到達するまでにかかった時間、一定時間ごとの仮想空間内の視点の座標値とラインからのずれを、コンピュータで記録した。次に、回転検出回路の変速スイッチの速度設定値を1から4まで変化させ、移動速度を変更した上で、繰り返し測定した。同様の実験を、直線評価空間においても行った。評価実験後に、被験者にどの段階が一番操作しやすかったか、逆にどの段階が操作しにくかったか、どの段階が現実の自転車の動作に一番近いのか、改善すべき点はあるか、などのアンケート調査を行った。

4.2 評価結果とその考察 表1は、変速スイッチで速度設定値を1から4まで変化させ、仮想空間内の視点の移動速度を1~4倍まで変化させた際に測定した、始点から終点に到達するまでにかかった時間、円形プレートとの誤差の平均、誤差の最大値を人数で平均した結果を示す。また、表2は表1における各測定値の分散を表している。表1、表2共に、(a)は曲線評価空間、(b)は直線評価空間の結果を示している。

表1の結果より、視点の移動速度を大きくすると、曲線評価空間と直線評価空間の到達時間は共に小さくなった。しかし、両評価空間における平均誤差は、移動速度を上げるにつれて大きくなった。また、両評価空間

表1 評価空間における移動誤差と移動時間

| (a) 曲線評価空間の場合 | | | |
|---------------|----------|------|------|
| 移動速度 [倍] | 到達時間 [s] | 平均誤差 | 最大誤差 |
| 1 | 29.2 | 1.32 | 4.48 |
| 2 | 20.6 | 2.11 | 6.21 |
| 3 | 17.6 | 2.44 | 7.29 |
| 4 | 14.2 | 4.63 | 12.1 |
| 平均 | 20.4 | 2.63 | 7.52 |

| (b) 直線評価空間の場合 | | | |
|---------------|----------|------|------|
| 移動速度 [倍] | 到達時間 [s] | 平均誤差 | 最大誤差 |
| 1 | 23.8 | 1.10 | 4.91 |
| 2 | 16.8 | 2.10 | 6.60 |
| 3 | 13.5 | 2.39 | 8.07 |
| 4 | 11.3 | 4.14 | 9.56 |
| 平均 | 16.4 | 2.43 | 7.23 |

表2 評価空間における各測定値の分散

| (a) 曲線評価空間の場合 | | | |
|---------------|----------|-------|------|
| 移動速度 [倍] | 到達時間 [s] | 平均誤差 | 最大誤差 |
| 1 | 4.96 | 0.263 | 3.18 |
| 2 | 7.44 | 0.471 | 5.57 |
| 3 | 8.24 | 1.04 | 10.0 |
| 4 | 4.56 | 4.68 | 31.5 |
| 平均 | 6.30 | 1.61 | 12.6 |

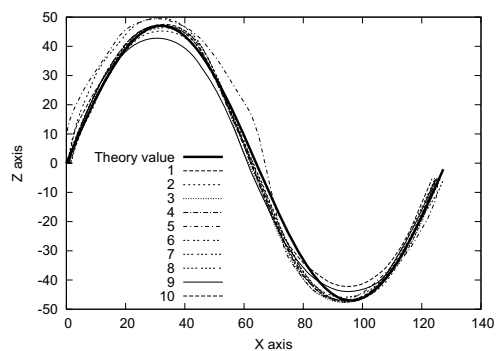
| (b) 直線評価空間の場合 | | | |
|---------------|----------|--------|-------|
| 移動速度 [倍] | 到達時間 [s] | 平均誤差 | 最大誤差 |
| 1 | 1.36 | 0.0956 | 0.669 |
| 2 | 11.2 | 0.304 | 2.59 |
| 3 | 8.45 | 0.558 | 4.87 |
| 4 | 4.61 | 2.64 | 11.0 |
| 平均 | 6.41 | 0.899 | 4.78 |

における最大誤差も、移動速度を上げていくと大きくなった。以上の結果から、エアロバイク型シミュレータの操作性は、移動速度の上昇とともに、小回りがきかず、操作性が悪くなることから、実際の自転車の動作と同じであることがわかる。

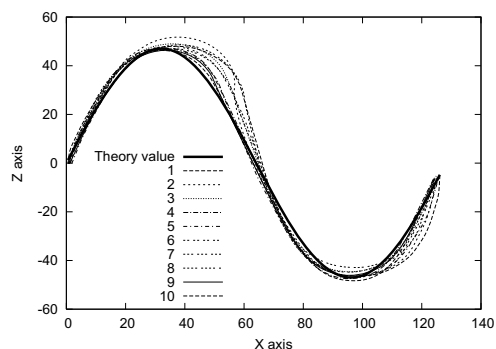
次に、表1(a)と(b)の結果を比較すると、移動速度が4倍の時を除いた最大誤差は、直線評価空間のほうが曲線評価空間より大きい値であった。自転車の動作では急に曲がれないため、小さく曲がる曲線評価空間のほうが誤差が小さく曲がれ、大きく曲がる必要のある直線評価空間では、最大誤差が大きくなったのだと考えられる。

また、すべての速度設定値で、曲線評価空間のほうが直線評価空間以上に平均誤差が大きくなった。自転車の動作では、曲線を移動する場合のほうが誤差が大きかった。

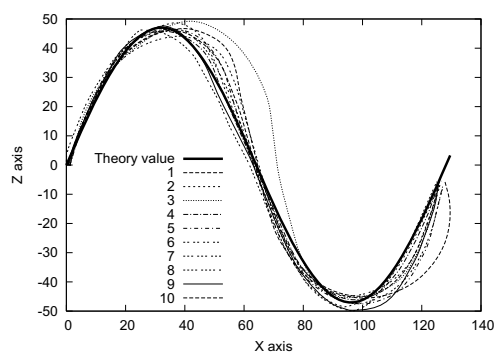
次に、表2より、視点の移動速度を大きくすると、両評価空間の平均誤差、最大誤差の分散が大きくなった。また、両評価空間における到達時間の分散は、移動速



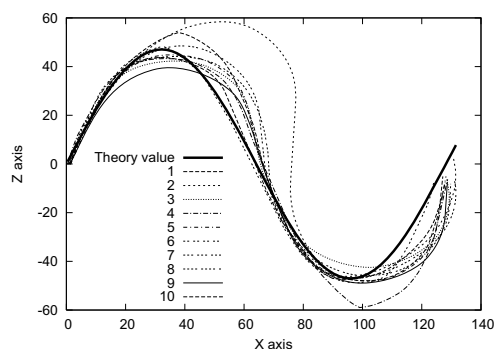
(a) 速度設定値 1 (移動速度 1 倍)



(b) 速度設定値 2 (移動速度 2 倍)

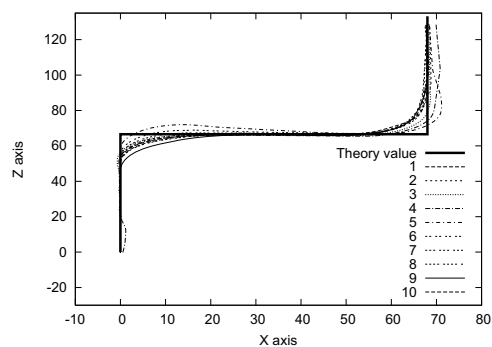


(c) 速度設定値 3 (移動速度 3 倍)

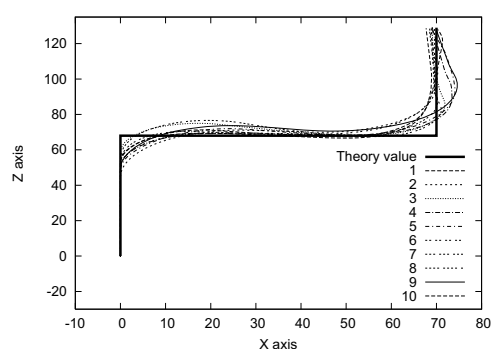


(d) 速度設定値 4 (移動速度 4 倍)

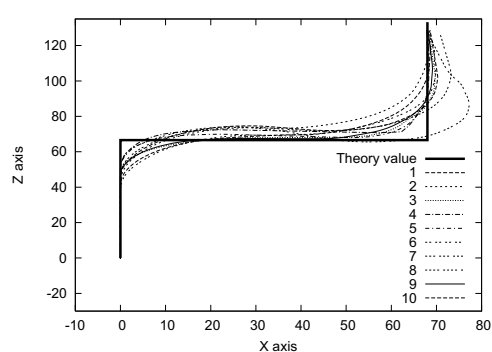
図 8 曲線評価空間における移動軌跡



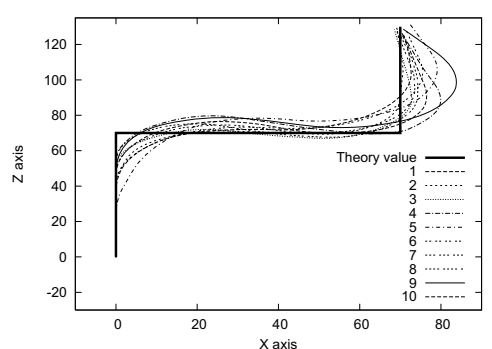
(a) 速度設定値 1 (移動速度 1 倍)



(b) 速度設定値 2 (移動速度 2 倍)



(c) 速度設定値 3 (移動速度 3 倍)



(d) 速度設定値 4 (移動速度 4 倍)

図 9 直線評価空間における移動軌跡

度を大きくすることは無関係であることがわかった。

図 8 および図 9 は、実際にエアロバイク型シュミレータで、それぞれ曲線評価空間および直線評価空間を移動した場合の評価ラインと被験者 10 人分の軌跡を示す。ここで、(a) は速度設定値 1 で移動速度が 1 倍、(b) は速

度設定値 2 で移動速度が 2 倍、(c) は速度設定値が 3 で移動速度が 3 倍、(d) は速度設定値 4 で移動速度が 4 倍の場合の測定結果である。図中の太線は Theory value(評価ライン)、data1 から data10 は、それぞれ各被験者の軌跡を示している。

図8の曲線評価空間での結果を見ると、(a)の速度設定値1では、各被験者の軌跡はほぼ同じで差は少ない。しかし、(b),(c),(d)と速度設定値が大きくなる(移動速度が大きくなる)につれて、各被験者の軌跡の差が大きくなるのがわかる。ただし、誤差が大きくなるのは、急なカーブの後で、その傾向は全被験者に同様である。

図9の直線評価空間での結果も、曲線仮想空間と同様の傾向であることが確認できる。各被験者は、直線部分では、ほぼ評価ラインに沿って移動しているが、クランク部分で大きく曲がった後に、移動誤差が大きくなるのがわかる。

次に、被験者のアンケート結果より、以下の結果を得た。まず、エアロバイク型シミュレータで、一番操作しやすいのは、速度設定値2(移動速度2倍)であると答えた人が多かった。速度設定値2は、移動誤差がある程度小さく、自転車らしい速度感があることから、一番操作しやすい段階に選ばれたのだと考えられる。逆に一番操作しにくいのは、速度設定値4(移動速度4倍)であると答えた人が多かった。速度設定値4では、到達時間は両評価空間で最も短かったが、平均誤差、最大誤差も最大であったことから、速度が上がりすぎても操作性はよくなるということが分かる。

両評価空間では、曲線評価空間のほうが直線評価空間より操作がしやすかったというアンケート結果がでた。これは、直線評価空間のほうが平均誤差、最大誤差が小さかったにもかかわらず、平均誤差、最大誤差が大きい曲線評価空間のほうが操作がしやすかったということである。よって被験者の多くに、「自転車の動作の場合、曲線のほうが直線以上に操作がしやすい」という感覚があることが伺える。

実際の自転車の動作の感覚にもっとも近いと答えた人は速度設定値3(移動速度3倍)が最も多かった。表1の結果より、到達時間は2番目に短い、平均誤差、最大誤差も2番目に大きいことから、現実の自転車を漕ぐ動作の感覚としては操作のしやすさ、移動誤差以上に移動速度が重要な要素であると考えられる。

他の感想として「ブレーキ動作が必要である」と答えた人が存在した。さらに、動作をよりリアルにするために、前進動作における速度変化を滑らかにし、ハンドルを操作する形式で転回動作を実現する必要があると思われる。

5. まとめ

エアロバイク型仮想空間移動シミュレータの作製とその操作性の評価を行った結果、以下の結論を得た。

1. ペダルを漕ぐことで前進、ハンドルの押しボタンスイッチを押すことで転回を行える、エアロバイクを用いた仮想空間移動シミュレータを作製し、設計通りに動作することを確認した。
2. 速度スイッチの設定値を大きくすると、実際の自転

車と同様に、移動速度は上がるが、小回りがきかず、操作性が悪くなる。

3. 評価空間において、大きく曲がる必要のある直線評価空間のほうが、曲線評価空間以上に最大誤差が大きくなる。また、平均誤差は、曲線評価空間のほうが直線評価空間以上に大きくなることから、自転車を漕ぐ動作では曲線を移動するほうが誤差が大きくなる。
4. 曲線評価空間のほうが直線評価空間以上に平均誤差、最大誤差が大きかったにもかかわらず、操作しやすいというアンケート結果がでた。被験者には曲線のほうが直線より操作しやすいといった感覚があることが考えられる。
5. エアロバイク型移動シミュレータで、現実の自転車を漕ぐ動作と似た感覚を得るためには、多少の誤差が存在しようとも、それ以上に速度感を満たすことが重要であることがわかった。

参考文献

- (1) 野村 淳二, 澤田 一哉: “バーチャルリアリティ”, 朝倉書店, pp.112-125, 1997.
- (2) 廣瀬 通孝: “バーチャル・リアリティ”, 産業図書, pp.31-33, 1997.
- (3) 佐藤 嘉伸: “外科手術支援システム研究の現状と将来展望”, 電子情報通信学会誌, Vol.89, No.2, pp.144-150, 2006.
- (4) 北川 英志, 安田 孝美, 横井 茂樹, 鳥脇 純一郎: “仮想空間操作を利用した対話型手術シミュレーションシステムの基本機能の実現” 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.6, pp.1088-1098, 1996.
- (5) 服部 桂: “人工現実感の世界”, 工業調査会, pp.15-30, 1991.
- (6) 西尾 崇, 井谷 彰太, 上北 一博, 橋本 好幸: “仮想空間での歩行動作のための方位検出法の考察”, 平成19年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G341, 2007.
- (7) 折田 真一, 橋本 好幸, 林 昭博: “仮想空間内の視点の高さによる操作感”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-A, No.1, pp.134-136, 2002.
- (8) 高嶋 和毅, 橋本 好幸: “仮想空間内の奥行き感の評価”, 神戸高専研究紀要, No.42, pp.53-58, 2004.
- (9) 木本 恭平, 橋本 好幸: “歩行動作による仮想空間操作デバイスの開発”, 平成17年電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, G329, 2005.
- (10) 後閑 哲也: “誰でも手軽にできる電子工作入門”, 技術評論社, pp.35-42, 2001.