

## リハビリテーションのための自転車シミュレータ運転動作計測及び評価手法の開発 Development of the Measurement System for Driving Operation of the Bicycle Simulator

高橋良至\* 松元明弘\*\*

### 1. はじめに

近年の医療技術の進歩により、脳卒中などの脳血管障害による死亡者数は1970年台をピークに減少の傾向にある。引き換えに、発症後に運動機能などに障害を抱え、日常生活に支援が必要となる脳血管障害者数は増加しており、近年は発症後のリハビリテーション（以下、リハビリという）の重要性が高まっている。リハビリには機能の回復を目的とした理学療法的訓練と、残された機能で日常生活動作を再獲得するための作業療法的訓練があり、その中で再び自転車に乗るための訓練を受けたいという要望が患者から上がることがある。自転車を用いたリハビリを行うためには、走行可能な場所の確保、転倒や衝突による事故を防ぐために複数のセラピストが補助を行うなど、安全確保のために十分な設備と人員が必要であり、実施は容易ではない。しかしながら、再び自転車の運転を可能とすることは、単に障害された機能の回復を実現するだけでなく、移手段を確保することで日常生活の自立を促し、生活の質を向上させることにつながることを考える。そこでこれまで、脳血管障害者が安全に自転車の運転訓練を可能とするリハビリテーション用自転車シミュレータの開発を行ってきた。本研究では、開発したリハビリテーション用自転車シミュレータのための自転車運転動作の計測と、その評価手法を提案することを目的とする。

### 2. 自転車運転シミュレータ

#### 2.1 研究用シミュレータ

自転車のシミュレーションに関する先行研究の多くは、国内外ともに自転車のダイナミクスの定式化や効率的なペダリングのための生体力学的研究である。ダイナミクスの検証を中心としたシミュレータは、KAIST（韓国）、上海交通大学（中国）などにおいて開発されている。これらは、模擬動揺装置を使用して加速度の感覚を

ユーザに与え、臨場感のある走行の再現を試みる研究用シミュレータである1)2)。動揺装置を持たない定置型シミュレータとしては、アイオワ大学（アメリカ）において開発が行われた交通シミュレータなどがある3)。

#### 2.2 教育訓練用シミュレータ

研究用以外の用途としては教育訓練用シミュレータなどがあり、本田技研工業株式会社からは定置型安全運転教育用自転車シミュレータが市販されている（図1）。教育訓練用シミュレータは安全運転教育のシナリオに沿って模擬自転車を運転し模擬交通内を走行するものである。交通ルールや交通内における危険予測を体験的に学習するためのシナリオが用意されており、主として小学生児童への交通安全教育や高齢者への再教育に使用することを目的としている4)。



図1 交通安全講習用シミュレータ

Fig.1 Simulator for Safety Driving Education

(<http://www.honda.co.jp/simulator/bicycle/>)

#### 2.3 リハビリテーション用シミュレータなど

リハビリ用シミュレータに関する国内における報告はないが、全北大学のKimら（韓国）が、高齢者のバランス感覚訓練を行うためのシミュレータの開発を行ったとの報告がある。この研究では、視覚フィードバックの提示方法とトレーニング時間の違いによる重心動揺の比較等を行っている。使用されたシミュレータは、

\*ライフデザイン学部 人間環境デザイン学科

\*\*理工学部 機械工学科

ペダリング中の重心動揺を計測するもので、簡易的なエアロバイクの前方に小型ディスプレイを配置し、エアロバイクと床面の間に設置した力センサにより、重心位置検出を行うものである。実験では、周回コースを決められた時間走行した結果の解析を行っている5)。また、University of Medicine and Dentistry of New JerseyのJ E Deutschら（アメリカ）は、脳卒中後の筋力や循環器系の機能向上を目的としたフィットネストレーニングのための自転車シミュレータの開発を行っている。4人の脳卒中患者を対象とした約8週間の実験の結果、有意な酸素摂取量の増加が確認されたとしている。

この他の自転車運転シミュレータには、筋力トレーニングを中心としたリハビリ（パワー・リハビリテーション）のための、自転車型トレーニング機器（エアロバイク）がある。これはペダリング動作により継続的に下肢の筋肉を動かすことが目的であり、自転車の走行を模擬するものではない。また、実車両に取り付けて屋内でペダリングを行うためのスタンドや、ゲーム的要素が強い簡易的な装置があり、これらは自転車スポーツとして広く認知されている海外で数多く販売されている。

### 3. リハビリテーション用自転車運転シミュレータ

#### 3.1 自転車運転シミュレータ

本研究で使用する開発中の自転車シミュレータは、機能回復のための運動機能訓練（片麻痺等）、認知機能訓練（半側空間無視、課題遂行能力等）の実施を目的とした。そこで、（1）病院等の施設で使用可能な電圧、電力消費量及び寸法。（2）セラピストが容易に操作可能なインターフェース。（3）実車両の運転操作を模擬し、ハンドル操作、ペダリング、ブレーキ操作による走行が可能な模擬交通環境。（4）運転者への走行中の模擬視界、模擬音響の提示。を基本的な仕様として設計を行った。図2にシミュレータの構成を、図3に外観を示す。ハンドル及び後輪にポテンショメータを取り付け、その回転角度からハンドル操舵角、ペダル回転数、車速を求め、感圧導電型圧力センサを用いてブレーキレバー操作力からブレーキ操作量を検出している。

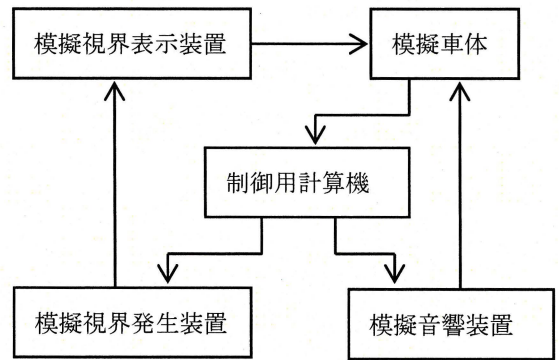


図2 リハビリテーション用自転車シミュレータシステム構成図

Fig.2 System Structure of the Bicycle Simulator for Rehabilitation

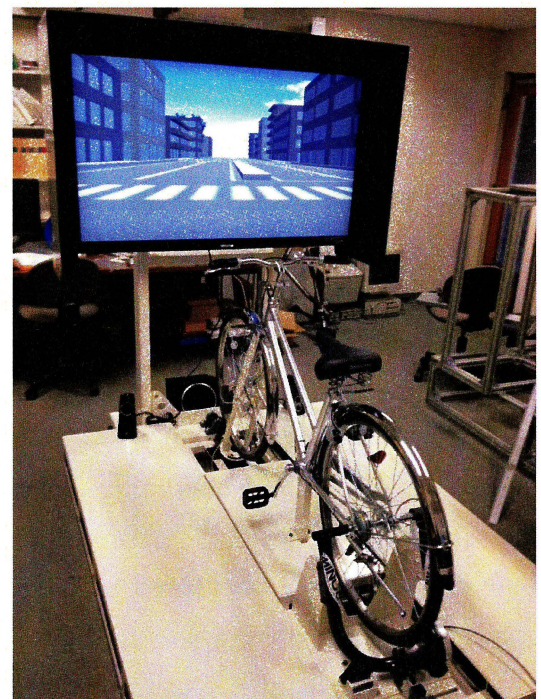


図3 リハビリテーション用自転車シミュレータ外観

Fig.3 Bicycle Simulator for Rehabilitation

#### 3.2 運転動作計測システム

自転車運転シミュレータは、ペダル回転数などを計測することで運転操作を推定することが可能であるが、運転者の姿勢を計測することはできなかった。そこで本研究では、ペダリングなどの運転動作を非接触で計測するシステムの開発を試みた。使用したセンサは、Microsoft社のKinect V2（以下、Kinectという）である。図4に外観を示す。これは、赤外線距離計による距離情報（深

度情報)とRGBカメラで撮影されたカラー画像情報をもとに、対象物の姿勢などをリアルタイムで検出することができるセンサシステムであり、家庭用ゲーム機のユーザーインターフェース装置として開発された。Kinectのソフトウェア開発環境には、撮影した人間の姿勢を取得することができる機能が備わっており、人体の25箇所の特徴点をリアルタイムに推定し取得することができる。そこで本研究では、運転者の姿勢検出にこの機能を利用することとした。

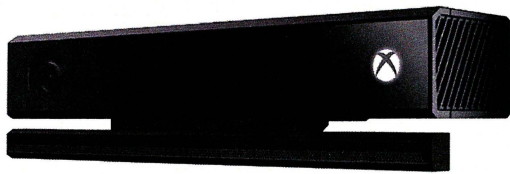


図4 Kinect V2  
 Fig.4 Kinect V2

## 4. 実験

### 4.1 実験方法

健康な20代男性4名を対象に走行実験を行った。走行速度は特に指示せず、急ぎ過ぎないようにゆっくり自分のペースで走行するよう指示した。走行パターンは2種類あり、はじめは慣熟走行として、直進走行を行い、次は路地で左折、道なりに右折、右折、左折を繰り返す走行を行った。走行時間は、それぞれ約30秒、約60秒であった。

被験者側方にKinectを配置して運転者の姿勢取得を試みたが、カメラ画像上で手足の重なりが多い場合は人体の識別が困難であったり、検出誤差が大きくなるという問題が確認された。そこで、運転者から見て左手斜め前方(自転車サドルから左45度方向、距離1,000mm)に運転者に向けてKinectを設置した。

### 4.2 走行実験結果

特徴点の検出が良好であった被験者の結果を図5、図6に示す。これは特徴点の高さを時系列で示したものである。高さの基準はKinectの中心であり、床面から約

1,000mmであった。運転者左側にKinectを設置したため、左脚の特徴点はおおむね検出可能であったが、右脚は左脚や自転車に遮られることが多く、安定して特徴点を検出することは困難であった。

図5からは、ペダリングに伴い左脚足関節や膝関節に相当する特徴点の位置が周期的に変化しており、臀部、肩部と上体に至るに従いその変化が少なくなっていることが確認できる。

図6からは、腕の動き、特に肩、肘についてはほとんど動きがないことが確認できる。上体の特徴点は遮られるものがないことから、左右とも比較的良好に検出することができた。

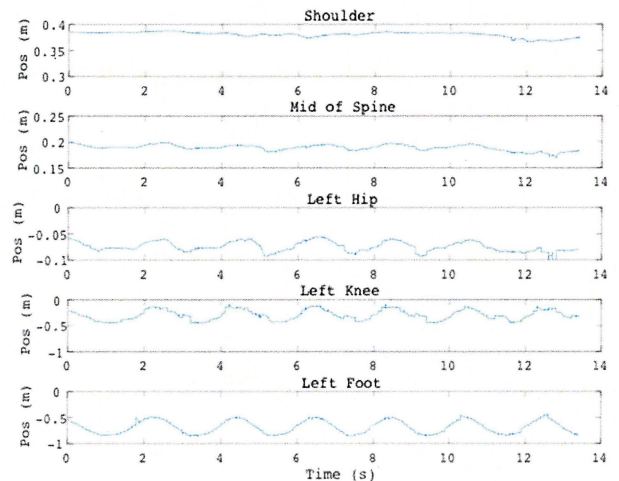


図5 走行時特徴点位置(高さ)(胴体,脚)  
 Fig.5 Height of the Feature Points of the Body and Leg

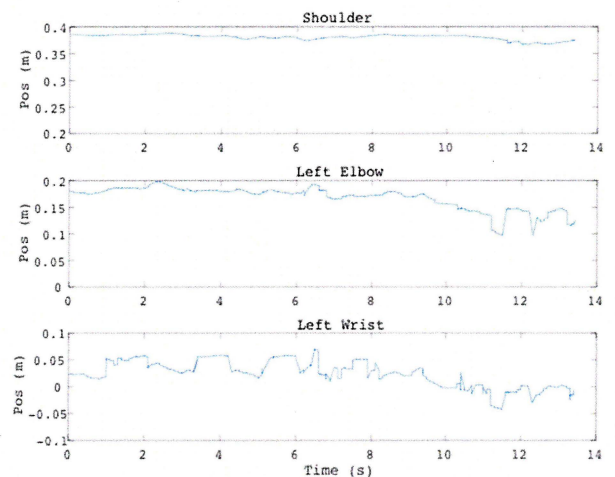


図6 走行時特徴点位置(高さ)(Arm)  
 Fig.6 Height of the Feature Points of the Arm

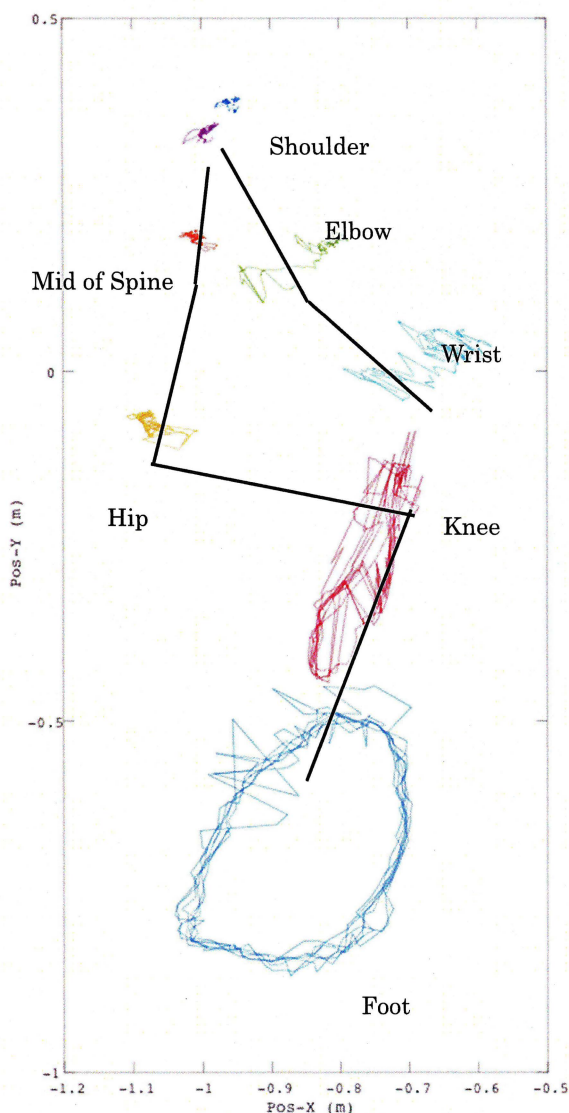


図7 矢状面から見た特徴点の軌跡

Fig.7 Motion Path of the Feature Points on Sagittal Plane

図7に矢状面から見た特徴点の軌跡を示す。直進時の結果であり、右側が進行方向となっている。足部の軌跡は円を描き、膝部の軌跡が弧を描いていることから、ペダリングによる動きを確認することができる。この結果から、これまでハンドル操舵角や车速のふらつきで運転の技量を評価していたが、上体の姿勢などをもとにした評価も行うことができると考える。しかしながら、一部で位置が正確に検出できていないことから、今後は実験環境や着衣による認識の違い、複数台のKinectの連接について実験と検討を行う必要があると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、Kinectを用いてリハビリテーション用自転車シミュレータの運転動作を計測するシステムの開発を行った。実験の結果、ペダリング動作の記録を行うことができることを確認した。今後は、より精度良く運転動作の計測を行うことができるようなハードウェア、ソフトウェアの改良を行う予定である。

## 参考文献

- 1) Qichang He, Xiumin Fan, Dengzhe Ma, Full Bicycle Dynamic Model for Interactive Bicycle Simulator, Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol.5 (2005), 373-380.
- 2) Ching-Kong Chen, Fong-Jie Chen, Jung-Tang Huang, Chi-Jung Huang, Study of Interactive Bike Simulator in Application of Virtual Reality, Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, Vol.28, No.6 (2007), 633-640.
- 3) <http://www.divms.uiowa.edu/~hank/research/page1.html>
- 4) K Suzuki, Y Miyamaru, Development of bicycle simulator for safety riding education, Honda R&D technical review 22(2) (2010), 85-90.
- 5) Sung Hwan Jeong, Yong Jun Piao, Woo Suk Chong, Yong Yook Kim, Sang Min Lee, Tac Kyu Kwon, Chul Un Hong, and Nam Gyun Kim, The Development of a New Training System for Improving Equilibrium Sense Using a Virtual Bicycle Simulator, Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference (2005), 2567-2570.