

足こぎ車いすの実走行追体験システムの開発

Development of a System for Vicarious Experience of Riding a Cycling Wheelchair

○菊池敏次*, 杉田典大**, 阿部誠**, 吉澤誠***

Toshitsugu Kikuchi*, Norihiro Sugita**, Makoto Abe**, Makoto Yoshizawa***

*東北大学大学院医工学研究科, **東北大学大学院工学研究科

***東北大学サイバーサイエンスセンター

*Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University

**Graduate School of Engineering, Tohoku University

***Cyberscience Center, Tohoku University

キーワード：追体験(Vicarious Experience), 足こぎ車いす(Cycling Wheelchair),
トルク(Torque), 段差検出(Step detection)

連絡先：〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3,

東北大学サイバーサイエンスセンター先端情報技術研究部 吉澤研究室 菊池敏次,

Tel: (022)795-7130, Fax: (022)795-7129,

E-mail: kikuchi@yoshizawa.ecei.tohoku.ac.jp

1. はじめに

日本の国民病のひとつである脳血管障害(脳卒中)の患者数は 2011 年現在で 124 万人となっており、毎年 25 万人以上が新たに発症していると推測されている^[1]。また寝たきりになる原因の約 3 割が脳血管障害となっており、後遺症を患う人の増加が問題となっている。主な後遺症として意識障害、感覚障害、運動麻痺があげられるが、特に脳出血や脳梗塞による後遺症としては身体の片側半身の麻痺をきたした片麻痺を患うことが多い。そのよ

うな片麻痺患者の有効な移動手段として足こぎ車いす(Fig. 1)がある。これは自転車のようにペダルを踏むことで駆動する車いすであり、歩行が困難な片麻痺患者でも健常側に僅かな力があれば走行可能である。その際、健常側、麻痺側両方の足を動かすことになるので下肢の血液循環が改善され、筋力の低下や関節の拘縮といった廃用症候群を防ぐことができる。さらに、右足が全く動かない片麻痺患者が足こぎ車いすを駆動させた際に、筋電図から麻痺側下肢の筋肉の活動が確かめられたという報告がなされている^[2]。よって足こぎ車いすは日々の生活を送りながらリハビリテーションも同時に行える有効なツールであると言える。

しかし実際に足こぎ車いすを用いて外出する際、坂道や段差といった車いす特有の障害に注意しなければならない。自分の体力や運動能力と、路面状況や段差、坂道との兼ね合いを考慮せずに無計画な外出をしてしまうと、体力の消耗によって立ち往生してしまう危険性がある。病院等の施設で



Fig. 1: 足こぎ車いす (Profhand, TESS 社)

坂道を上る訓練は行われているが、実際の外出では坂に至るまでに疲労が蓄積していたり、坂の長さや傾斜角度が訓練と異なっていることが多い。他にも、路面上には予期せぬ段差が存在することがあり、その段差による立ち往生を避けるためには段差の位置や段差を上るために必要な力を予め知っておく必要がある。

以上のことから、事前に実際の路上走行を模して走行訓練を行うことは非常に有効であり、これによって外出に不安を抱える足こぎ車いす利用患者の外出機会をより増やすことが期待できる。そこで本研究では、カメラや GPS、センサ等を用いて、走行に必要なトルクと位置情報、及び走行景色の収集を同時に行う「実走行のモデル化」を行い、そのデータを基に走行に必要な負荷を算出し、電磁ブレーキ等で適切な力学的負荷をかけて走行を再現する「追体験」を実現することを目的とする。

本報告では「実走行のモデル化」について、走行経路の坂などの形状推定、走行中の段差検出について報告を行う。

2. 道路形状推定に関する実験

2.1 実験方法

測定系の概要を Fig. 2 に示す。トルクセンサとして X-CELL RT (thun 社)を用いた。このトルクセンサはボトムブラケット型であり、足こぎ車いすのクランク軸に埋め込むことで使用する。センサから出力されたアナログ信号は NI USB-6008 (National Instruments 社)で収録し、A/D 変換の後に

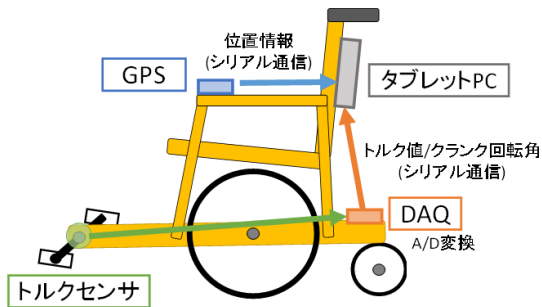


Fig. 2: 道路形状推定に関する実験系

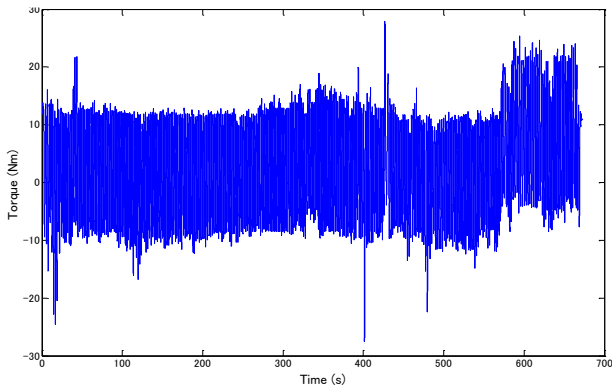


Fig. 3: 経路走行時のトルク波形

タブレット PC でデータを取得する。また、GPS チップセットとして u-blox6 (u-blox 社)を使用し、得られた位置情報はシリアル通信によりタブレット PC に送られる。

坂や段差が多くみられる経路として東北大学キャンパス内のサイバーサイエンスセンター前から青葉山体育館前までの区間を選択し、成人男性 1 名(24 歳、体重 66 kg)が路上測定を行った。走行時はメトロノームを用いてペダル回転速度を 3 rad/s に調整している。また、簡単のためブレーキは使用していない。

2.2 結果・考察

足こぎ車いすで実走行した結果、Fig. 3 に示すトルク波形を得た。トルクの波形は正弦波のようになっており、本実験では速度を一定としているので極大値は前進方向への踏ん張り、極小値は下り坂で速度を抑制するための後進方向への踏ん張りを表している。従ってこの極大値と極小値の変動から上り坂、下り坂の推定が可能であると考えられ、それらの平均値をとった平均トルク τ_{ave} を算出した(Fig. 4)。Fig. 4 中の赤色の線は平地を走行する際の平均トルク τ_{flat} を示している。 $\tau_{ave} > \tau_{flat}$ であれば上り坂、 $\tau_{ave} < \tau_{flat}$ であれば下り坂として推定を行った。なお推定の真値として国土地理院データベース^[3]の標高値(Fig. 5)を使用した。推定結果は Table 1 のようになった。表中の区間は Fig. 5 と対応させている。

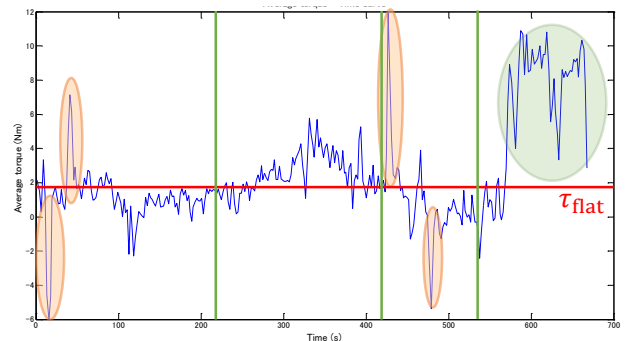


Fig. 4: 平均トルク τ_{ave}

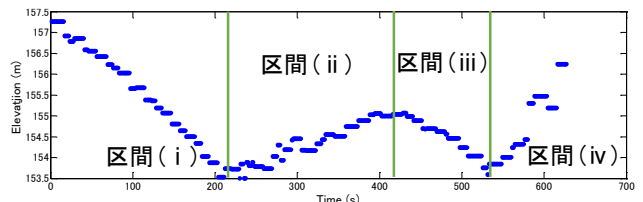


Fig. 5: 国土地理院標高データ

Table 1: 上り坂、下り坂判断の推定結果

	区間(i)	区間(ii)	区間(iii)	区間(iv)
検出率	86.11%	75.28%	80.36%	83.05%

Table 1 より全区間において 80% 程度の正確な道路形状推定を確認できた。それに加えて、国土地理院の標高データでは判別できないような、歩道と車道を接続する歩道特有の急な上り傾斜面や下り傾斜面(Fig. 4, 図中オレンジ色の囲み部分), また施設に入るためのスロープ(Fig. 4, 図中緑色の囲み部分)で必要となるトルク情報を取得できるという点で平均トルクを用いることは有効であると考えられる。しかし現状では傾斜面であるか否かの判別のみ留まっておき、今後加速度センサを搭載してトルクセンサとの結果と合わせて傾斜度の推定も実施する必要がある。

また経路走行時に段差の検出が困難であるという問題も生じた。これには 2 つの原因が考えられる。第一に段差突入時の速度によって、必要トルクが必ず増加するとは限らないことである。そして第二にトルクセンサの構造上の問題である。トルクセンサにおいてトルクを測定するためには、クランク軸に歪が生じなければならない。Fig. 6 に示す通り左クランク回転はチェーンホイールに力を伝達する際クランク軸に歪を生じるが、右クランク回転は直接チェーンホイールに力が伝達されるためクランク軸に歪を生じない。従って右足で段差乗り上げを行った場合に、瞬間的な段差乗り上げは計測できないと考えられる。そこで段差をより正確に検出するために、足こぎ車いすに加速度センサを新たに設置して段差検出実験を行った。

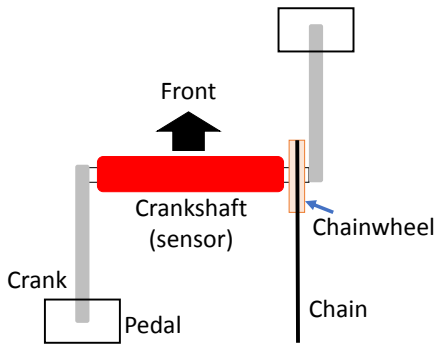


Fig. 6: トルクセンサ周りの機構

3. 段差検出に関する実験

3.1 実験方法

測定系の概要を Fig. 7 に示す。加速度センサとして TSND121 (ATR-Promotions 社) を前輪軸直上、後輪軸直上の 2 ヶ所に設置した。得られた加速度はシリアル通信によりタブレット PC に送られる。段差は厚さ 4 mm の板を組み合わせて作製し、16 mm, 20 mm, 24 mm の高さで測定を行った。これは道路の移動円滑化整備ガイドライン^[4]において歩車道境界の段差について 20 mm と規定されているためである。また、段差に突入する際の角速度は 2 rad/s, 3 rad/s, 4 rad/s, 5 rad/s の場合について測定を行った。

3.2 結果・考察

加速度センサで得られた信号のうち、地面に対して垂直方向成分の波形を Fig. 8 に示す。Fig. 8 より、16 mm の段差では波形に目立った変化は現れないが、20 mm, 24 mm の段差において段差を乗り越え得る際の衝突によるパルス状の波形を観測した。足こぎ車いすが平地を走行している際の加速度平均値を μ 、標準偏差を σ として以下の式により外れ値 a_{out} を算出した。

$$a_{out} = \mu \pm 3 \times \sigma$$

この外れ値を閾値として段差乗り上げを検出した。なお足こぎ車いすには前輪と後輪があるため、段差乗り上げの際にはまず前輪乗り上げによるパルス状波形が生じ(Fig. 8 中の赤四角), それからペダルを約 135° 回転させた後、最初のものより小さいパルス状波形が観測される(Fig. 8 中の赤丸)。

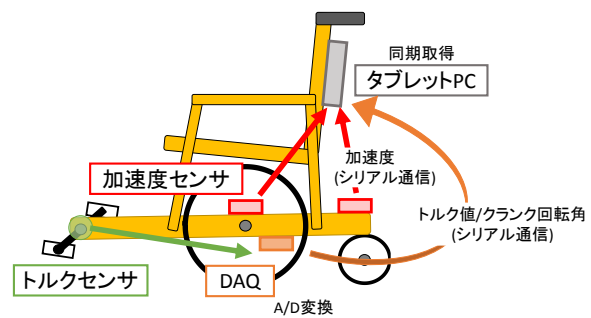


Fig. 7: 段差検出, 段差推定に関する実験系

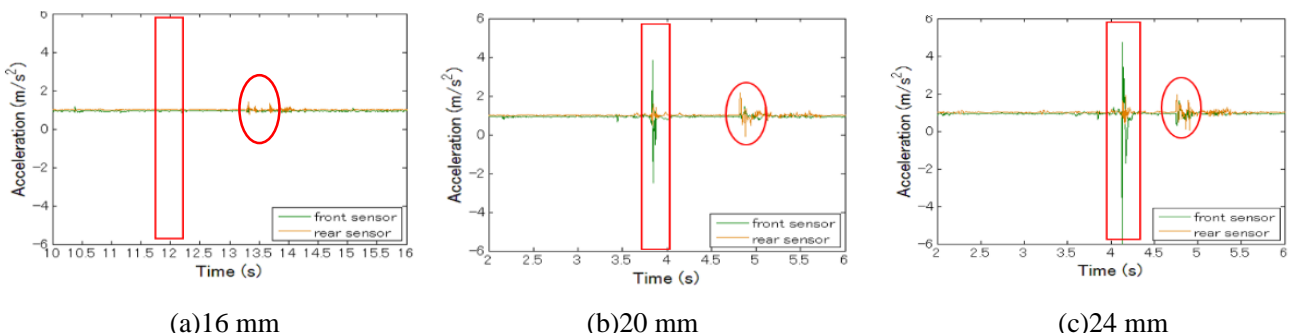


Fig. 8: 段差乗り上げの加速度センサ波形

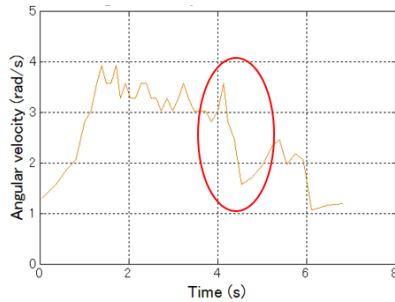


Fig. 9: 段差乗り上げの角速度波形

Table 2: 段差検出推定結果(16 mm 段差)

	2 rad/s	3 rad/s	4 rad/s	5 rad/s
閾値	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0
検出率	93.75%	81.25%	81.25%	75.00%
誤検出率	0.00%	6.25%	12.50%	6.25%

このとき 16 mm の段差で前輪乗り上げ検出が 4%、後輪乗り上げ検出が 76%、20 mm、24 mm での段差では前輪後輪共に 100%であった。今後加速度センサによる段差検出の判断材料として、前輪と後輪それぞれが乗り上げる際に生じる 2 つのパルス状波形を用いることができると考えられる。

加速度センサで検出が難しかった 16 mm の段差においては、加速度センサ以外のアプローチで段差検出を行う必要がある。そこで段差に衝突した際の車輪の角速度に着目し、解析を行った。段差乗り上げ時の角速度波形を Fig. 9 に示す。Fig. 9 赤丸部分にみられるように、段差に衝突した瞬間に角速度が急激に減少することがわかる。このとき角速度を微分した角加速度に注目し、それぞれ閾値を設定して検出を行った。各加速度が閾値を上回った際に”検出”とし、その中で段差乗り上げではないものを誤って検出してしまった場合を”誤検出”とした。閾値を誤検出率が 15%以下で最も検出率が高い値を選択するようにした際の結果を Table 2 に示す。Table 2 より一定の検出能力を確認することができたが、本実験は廊下と段差で構築した理想的な状況であるため、実際の歩道や車道といったコンクリート上で正しく推定できるか評価する必要がある。

4.おわりに

本研究では、トルクセンサを用いてトルクによる坂道推定を行い、全区間で 80%程度の精度を確認することができた。また段差の検出として加速度センサを利用し、20 mm 以上の段差について 100%の精度で判断することができた。今後 16 mm における段差検出の精度向上、そして段差の高さ推定を実現するため、トルクセンサ以外のセンサを用いてペダルに直接加わる力を求めたり、タイヤの凹みや摩擦力を考慮したモデルを考える必要があると考えられる。また、本研究の目標である

追体験システムを実現するため、今後カメラを用いて走行時の映像取得を行い、位置情報や力学的負荷の同期処理を行うシステムを作製することが課題である。

参考文献

- [1] 厚生労働省：人口動態統計
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/index.html>
- [2] 関和則,半田康延,藤居徹,「歩行不能な脳卒中片麻痺患者による足漕ぎ車椅子駆動と麻痺側下肢の筋電図変化」,日本リハビリテーション医学会誌,40(9),617-620,2003
- [3] 国土地理院：基盤地図情報の閲覧
<http://www.gsi.go.jp/kiban/etsuran.html>
- [4] 国土技術研究センター,「道路の移動等円滑化整備ガイドライン」,株式会社大成出版社,2011