

コンシューマ・システム論文

バリアフリーストリートビューシステムにおける 傾斜情報提供方式の提案

三浦 千里^{1,a)} 中島 良太¹ 荒井 研一¹ 小林 透¹

受付日 2018年6月30日, 採録日 2018年11月14日

概要: 近年, 高齢化にともない肢体不自由者が増加しており, それにともない車椅子利用者が増加している. 車椅子利用者にとって屋外における段差や坂道, 階段などはその行動範囲を狭めることにつながる. 近年, バリアフリー化が普及してきているが, そういった車椅子利用者にとっての障害を事前に把握することは困難である. そこで我々は, 一般的な車椅子に装着した各種センサからバリアフリー情報を収集し, バリアフリーストリートビューを構成して車椅子利用者にフィードバックするバリアフリーストリートビューシステムを開発している. 本システムによれば, 画像により, 外出前に外出先のバリアフリー状況を実際にその場に行ったかのように確認できる. 本論文では, 本システムにさらに, 車椅子に乗り, 走行するだけで自動的に傾斜情報を収集し, マップ上に傾斜の程度を認識しやすい形で表示させる機能を検討し, 実装を行った.

キーワード: 車椅子, バリアフリー, ストリートビュー, IoT

Proposal of Slope Information Provision Method for Barrier Free Street View System

CHISATO MIURA^{1,a)} RYOTA NAKASHIMA¹ KENICHI ARAI¹ TORU KOBAYASHI¹

Received: June 30, 2018, Accepted: November 14, 2018

Abstract: Along with the aging of the population in recent years, people with disabilities are increasing, and wheelchair users are also increasing. Steps, slopes, stairs narrow the activities of wheelchair users. In recent years barrier-free environments are expanding, but it is difficult to grasp obstacles in advance. Therefore, we developed a barrier free street view system that gathers barrier-free information from various sensors attached to common wheelchairs, constitutes a barrier-free street view, and feeds back to wheelchair users. According to this system, you can check the barrier free situation as if you went to the place before leaving the room. In this paper, we considered and implemented the function on this system to collect slope information automatically by merely running on a wheelchair and display it on the map in a form that it is easy to recognize the slope.

Keywords: wheelchair, barrier-free, street view, IoT

1. はじめに

近年高齢化により肢体不自由者が増加しており, 今後さらなる増加が見込まれる [1], [2].

それにともない車椅子利用者の増加も考えられる. 車椅子は肢体不自由者にとってはなくてはならないものだが,

屋外には車椅子で走行する際の障害も数多く存在する. 段差や坂道, 階段や自転車止めのポールなどの多くのものが車椅子の走行の障害となってしまっている. このような健常者にとっては問題のないものでも車椅子にとっては大きな障害となる. これらの存在によって車椅子利用者は慣れた道以外の走行を不安に思い, 外出時のルート選択の幅が狭まっていると考えられる.

この問題を解決するために, 我々はバリアフリースト

¹ 長崎大学大学院工学研究科
Nagasaki University, Nagasaki 852-8521, Japan

^{a)} bb52118318@ms.nagasaki-u.ac.jp

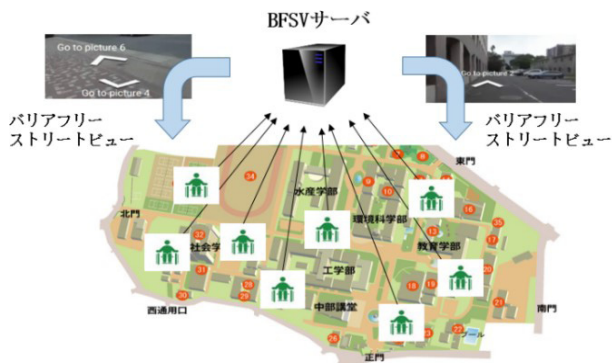


図 1 バリアフリーストリートビューシステム概要図

Fig. 1 Barrier free street view system outline drawing.

リートビューシステムを開発した（以降、プロトタイプシステムと呼ぶ）[3], [4]. このプロトタイプシステムは、車椅子利用者にとって障害となる段差情報や走行した歩道の位置情報などの情報（以降、バリアフリー情報）を収集することができるアプリケーションを搭載したスマートフォンとパノラマ写真が撮影できる全天球カメラを装着し、走行するだけでバリアフリー情報を様々な車椅子利用者によって自動で収集することができる。そして収集したバリアフリー情報をサーバに転送するだけで、サーバがマップとストリートビューに自動で変換し、車椅子利用者によってフィードバックするというシステムである（図 1）。このプロトタイプシステムによって、健常者に頼らずに車椅子利用者自身がバリアフリー情報を他の車椅子利用者に共有することが可能になる。また、共有されたバリアフリー情報を確認することで安全な道を見つけた車椅子利用者の行動範囲が広がることや、まだ共有されていない場所のバリアフリー情報を集めるためにモチベーションの高い車椅子利用者の外出の意欲を高めることができる。

このプロトタイプシステムは、段差のある位置をマップ上で確認でき、さらに、実際の周辺状況をストリートビューとして確認することを目的としていた。しかし、実際に車椅子利用者にヒアリングしたところ、傾斜情報も載せてほしいとの要望があり、段差情報取得システム上に傾斜情報取得システムを追加した。そのため、プロトタイプシステムでは、傾斜情報取得間隔が段差情報取得間隔と同じであることから、傾斜の取得データが不足していた。よって、どこからどこまでに傾斜が存在しているのか補足できていないといった問題が発生していた。

そこで本論文では、傾斜情報取得方法と表示方法の検討を行い、より信頼できる傾斜情報を車椅子利用者へ提供することで、車椅子利用者が外出時に不安をかかえることなく、笑顔で外出できるように手助けするシステムを目指す。

本論文の構成は以下のとおりである。2章では既存研究について述べ、提案手法と比較する。3章ではバリアフリーストリートビューシステムの概要とシステム要件について述べる。4章では傾斜角の算出方法について述べ、予備実

験を行い、結果から提案手法について述べる。5章では提案手法の有用性を検証する。6章ではまとめを述べる。

2. 既存研究

これまでに、センサを用いたバリアフリー情報取得に関する取り組みがあった [5], [6].

1つ目は市販の3輪自転車に様々なセンサを装着し、段差計測・幅員計測・勾配計測を行うことで、歩道や自転車歩行者道の調査を行う研究である [5]. この研究では、段差や傾斜などのバリアフリー情報を収集することができるが、調査ルート上の位置情報をメモリ媒体に記録し、その後にオフラインでの同期をとり、各センサの出力を長さ60秒、精度12ビット、周波数500Hzでサンプリングし、ノートブック型コンピュータに取り込むといった作業がある。これは複雑な作業が必要となり、バリアフリー情報収集者が限られてしまう。また、多数のセンサなどを装着しなければならないため、車椅子に装着することは困難であると考えられる。本システムでは、スマートフォンを装着し、スマートフォン内にデータを保存し、保存したデータをサーバに転送することでサーバが自動でストリートビューの形に変換する。車椅子利用者はスマートフォンアプリケーションでデータを収集し、転送するだけで視覚的にバリアフリー情報を確認することができる。

2つ目はiPhoneの加速度センサとジャイロセンサを用いて段差と傾斜角を取得し、Webブラウザに登録、公開するシステムに関する研究である [6]. このシステムでは不特定多数の車椅子利用者からバリアフリー情報を集めることが可能となり、車椅子利用者へのフィードバックもできている。しかしながら、マップ上に表示するだけでは視覚的に分かりにくく、車椅子利用者がこのシステムで入手したバリアフリー情報からの想像と実際の道路の状態との間にギャップが生まれてしまうことが考えられる。また、傾斜情報に関してはジャイロセンサのみの取得となっており、移動しながらの記録では車椅子の微振動や細かい凹凸を乗り越えたときの衝撃による車椅子の微振動などから実際の傾斜角とは大きく異なる値を記録したということが記述されている。そのため、車椅子利用者が信頼できる傾斜情報ではないと考えられる。本システムでは、ストリートビューで実際の状況を確認でき、また、実際の勾配に近い傾斜情報を取得し、フィードバックすることができる。

また、車椅子の移動を考慮した既存の経路検索サービスや支援システムを以下に述べる。

1つ目は、Googleが提供している経路検索サービスIntroducingである [7]. これは車椅子通行可能な経路をナビゲートするシステムである。また、Googleマップに従来あるストリートビューで実際の道路状況を確認することができる。しかし、最適な経路を案内するだけで、段差・傾斜の有無や程度が分からない。また、交通機関との協力によ

り、経路を追加することが述べられているため、その情報を追加することが容易ではないことが考えられる。本システムでは、地図上で段差・傾斜の有無や程度を一目で判断することができる。また、様々な車椅子利用者がバリアフリー情報を収集し、アップロードすることが可能である。

2つ目は、NTTグループが開発を行っている MaPiece である [8], [9]。このシステムはタブレット端末を使用した簡易計測ツールやクラウドセンシング技術などを活用して段差や階段などのない「通れる」を示すバリアフリー情報を専門知識がない人でも簡単に収集・更新できるシステムである。また、地上と地下、建物内などにおいて、上下階のつながりや階をまたいだ先の出入口や店舗、施設の場所など、目的地への案内を立体地図表現 (2.5D) として生成し、表現している。また、気になった場所などについては適宜手で写真を撮りアップロードしマップ上に反映させることも可能である。このシステムでは、不特定多数の歩行者から道路情報を集めることも可能で写真をアップロードすることで視覚的にも分かりやすくなっている。しかし、車椅子で通行可能な経路を提供する際に、5度以下の傾斜情報であった場合に通行可能であると判断しているだけであり、5度以下というのは、自走式・電動式の車椅子など、状況が異なれば通行可能であるか否かも変わってくると考えられる。さらに、写真を撮る際には1回1回写真を撮るといった操作が必要であり、道路情報収集者への負担となることが考えられる。本システムでは、可能な限り詳細な描画や様々な状況に応じた指標をもとに分かりやすく傾斜情報を表示することで、自走式・電動式といった異なる条件でも通行可能であるか否かを判断しやすくしている。また、車椅子利用者がふだん利用している車椅子に装置を装着し、走行するだけで自動で撮影を行うことが

可能である。

3つ目は、車椅子利用者の観光を支援することを目的とし、車椅子での観光に必要な施設以外の情報を明確にするために、車椅子利用者を対象に調査・検討を行っている研究である [10]。この研究は、日常的に自走式または電動式の車椅子に乗っている車椅子利用者を対象に、位置情報、凹凸、段差、傾斜などを収集できるスマートフォンアプリケーションを用いて決められた経路を走行してもらい、移動した経路の通りやすさに対する印象判定を3段階で行っている。この研究では、車椅子利用者による観光という視点で必要となる情報を明らかにするために、位置情報、凹凸、段差、傾斜などを判定するためのスマートフォンアプリケーションを開発しているが、このシステムは提供目的では作成されていない。また、位置情報、凹凸、段差、傾斜のみとなっており、実際の状況が分かりにくいと考えられる。本研究では、一般の車椅子利用者が装置を装着するだけで、バリアフリー情報を収集でき、インターネット環境があれば、様々な車椅子利用者が収集したバリアフリー情報を Web ブラウザ上で確認することが可能である。また、Web ブラウザ上でストリートビューとして実際の状況を確認することも可能である。

3. バリアフリーストリートビューシステム

3.1 概要

プロトタイプシステムは、「道路 (バリアフリー) 情報収集機能」と「バリアフリーストリートビュー表示機能」の2つの機能から構成される (図 2)。

道路 (バリアフリー) 情報収集機能は車椅子にスマートフォンとパノラマ画像の撮影ができる全天球カメラを装着し、日時、位置情報、段差情報や傾斜情報を取得する機能

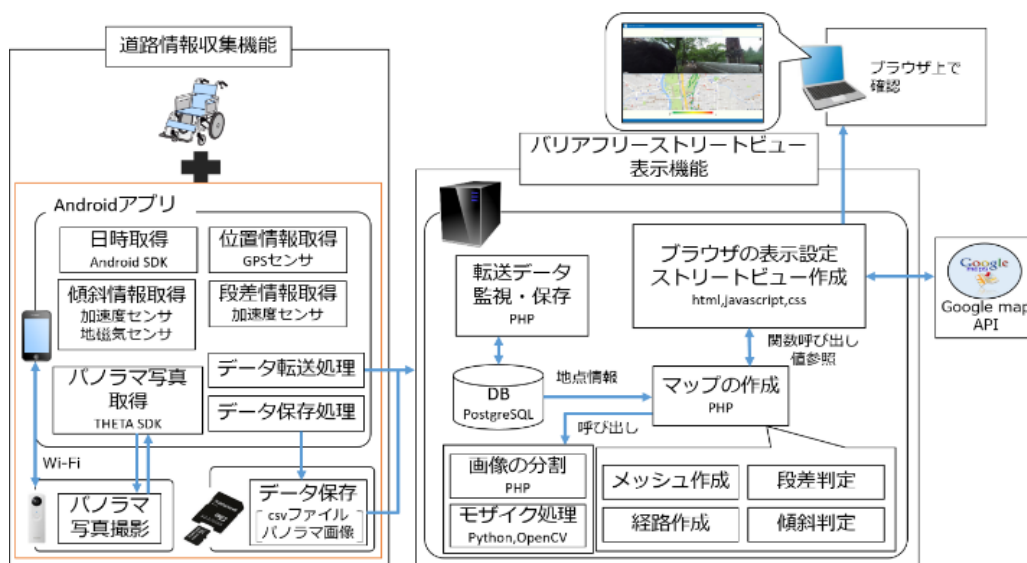


図 2 バリアフリーストリートビューシステムのシステム構成図

Fig. 2 System configuration diagram of barrier free street view system.

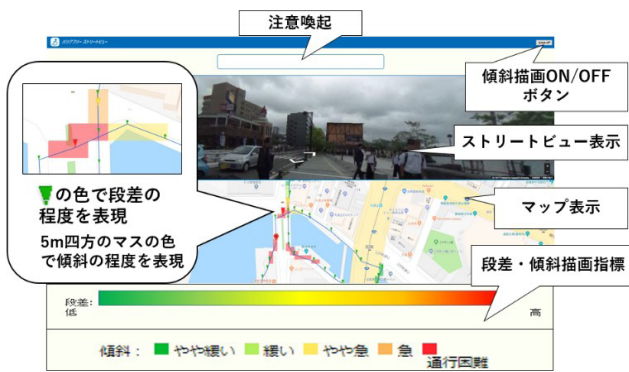


図 3 Web ブラウザでの表示
Fig. 3 Display in Web browser.

である。

バリフリーストリートビュー表示機能は、収集したデータがサーバに転送され、サーバに集められたデータをストリートビューに変換し、Web ブラウザで確認できるようにする機能である (図 3)。

このプロトタイプシステムは、事前に下調べ (行きたい目的地までの経路探索、状況確認) をすることで、安全安心な移動の手助けや、行ったことのない場所へ外出する楽しみを持つ手助けをすることを目的としている。そのため、パソコンやタブレットなどの大きく見やすい画面で確認することを推奨としている。また、画像データを扱うため、インターネット環境が整っている場所で行うことを推奨とする。しかしながら、移動中に確認することも可能であり、また、スマートフォンなどの小さい画面でも確認することは可能である。

また、収集したデータをアップロードする際は、パノラマ画像データを転送するため、たとえば、車椅子利用者が帰宅するなどして、ネットワーク環境の良い場所に移動した後にデータをアップロードするなど、ネットワーク環境の良い場所で行うことを推奨する。

なお、プロトタイプシステムでは、車椅子利用者は個人個人で状況 (自走式の電動車椅子、電動式の車椅子、車椅子利用者における障がいの程度など) は異なるため、車椅子利用者自身が移動先の道路状況をストリートビューを使って1つ1つ調べることで、車椅子利用者自身の状況に応じた経路を確認できるようにしている。本研究における最終的なバリフリーストリートビューシステムは、様々な状況に対応した経路案内を提供することを目標としている。

3.2 システム要件

本論文で達成すべき要件を以下に示す。

要件 1: 傾斜情報の取得

スマートフォンを用いて可能な限り誤差の少ない傾斜情報を取得する。

要件 2: 傾斜情報の表示

可能な限り詳細な描画や様々な状況に応じた指標とともに、分かりやすく傾斜情報を表示する。

3.3 傾斜情報の取得へのアプローチ

スマートフォンにはセンサが搭載されており、各種センサ値を用いて傾斜の算出を行う。標準型や簡易型の電動車椅子の走行速度は 4.5 km/h 仕様や最高速度 6.0 km/h であるため、毎秒 0.2~1.6 m 進むと推測できる。そこで、0.05 秒間隔でセンサ値を取得し、1.0 秒間隔で平均をとることで短距離間隔で傾斜値の取得を行う。

算出方法については、センサ値を利用した傾き算出では以下の 3 つの算出方法があげられる。3 つの方法を比較検討し、より誤差の少ないものを選ぶ。

- 加速度センサ・地磁気センサ値を用いた算出 (プロトタイプシステム)
- 重力センサを用いた算出
- ジャイロセンサ・加速度センサを用いた算出

3.4 傾斜情報の表示へのアプローチ

プロトタイプシステムでは収集した傾斜情報を Google Map API を用いて 5.0m 四方のマスを区切ったマップ上に反映し、設けた閾値によってマスを異なる色で描画することで傾斜情報を提供している。しかし、実際の傾斜には 5.0m よりも長いものもあれば、短いものもある。また、保存間隔が 5.0m であった場合、たとえ短い間隔で傾斜値を取得したとしても 5.0m という広い範囲の中の最後の値しか保存されない。そこで、0.5m 四方のマスを区切ったマップ上に反映し、設けた閾値によってマスを異なる色で描画することでより詳細な傾斜情報を提供する。閾値に関しては、4.3 節で既存研究を調査し、考案する。

4. 傾斜情報システムの検討

4.1 従来のシステムの問題点

プロトタイプシステムの算出方法は加速度センサを用いた算出方法と大差ない。加速度センサによる算出方法は、デバイスが受ける重力加速度の方向で傾斜角を推定する。つまり、静止状態における推定では重力加速度のみの値を取得できるため、正確なデバイスの姿勢を求められるが、デバイスが加速してしまうと重力加速度にデバイスの運動による加速度の影響がかかる。そのため、正確な姿勢推定が不可能となる。よって、実際は傾斜でない場所を傾斜と判断してしまっているという問題が発生していると考えられる。そこで、本論文では算出方法を比較し、可能な限り誤差の少ない算出方法を適用する。

4.2 傾斜算出方法の検討

算出方法については、以下のセンサ値を利用したそれぞれの算出方法の走行状態における傾き算出値の比較検討を

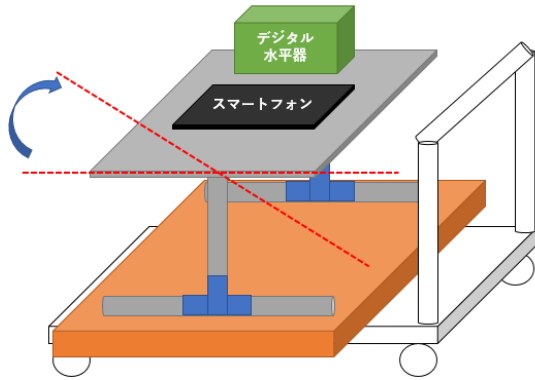


図 4 実験装置イメージ図
Fig. 4 Image of experiment machine.

行うことで検討する。

- 加速度・地磁気センサ値を用いた算出 (プロトタイプシステム)
- 重力センサを用いた算出
式 (1) より傾斜角を算出する。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{GravityY}{\sqrt{GravityX^2 + GravityZ^2}} * \frac{180}{3.14} \quad (1)$$

- ジャイロセンサ・加速度センサを用いた算出
式 (2) より傾斜角を算出する。
相補フィルタを用いて算出を行う。
係数 c に関しては予備実験を行った結果、係数 c は 0~5 の範囲が有効であると考え、走行状態の比較実験においては係数 $c = 0 \sim 5$ の範囲で実験を行う。予備実験についての詳細は付録 A.1 を参照されたい。

$$\begin{aligned} \theta(n+1) &= \left(1 - 0.1 * \frac{1}{1 + (c - c * a)^2} \right) * (\theta(n) + \Delta\theta_g) \\ &\quad + 0.1 * \frac{1}{1 + (c - c * a)^2} * \theta_a \end{aligned} \quad (2)$$

θ_g : ジャイロから求めた角度,

θ_a : 加速度から求めた角度

c : 係数, a : 各軸の加速度ベクトル和

実験方法として傾きを測定する装置を台車の上に設置 (図 4) し、長崎大学工学部 1 号館 4 階の廊下を、計測装置を端末設置角、0 度と 10 度に設置して、一直線に走行した場合と角を曲がった場合のデータを収集し、比較する。

0 度で一直線に加速した場合、曲がった場合、10 度で曲がった場合、一直線に加速した場合の順番に収集する。

傾きを測定する装置としては傾きを 0~30 度に自由に変わることができる Costway 社製の台を使用する。傾き調整においては、シンワ測定社製 BLUE LEVEL300mm のアナログ水平器と Bigman 社製 Level Box のデジタル水平器を用いて調整を行う。計測を行うスマートフォンは、プロトタイプシステムで使用したスマートフォンと同じ

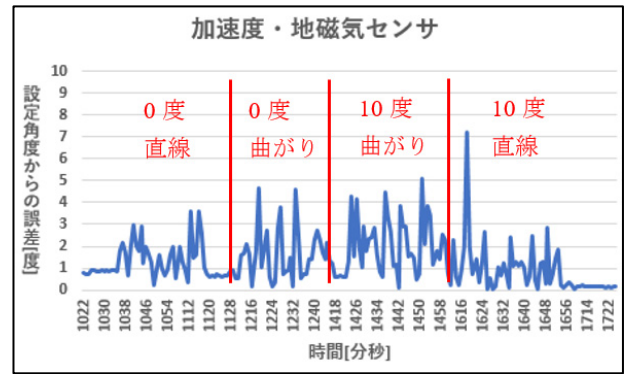


図 5 加速度・地磁気センサの実験結果
Fig. 5 Experimental results of acceleration and geomagnetic sensor.

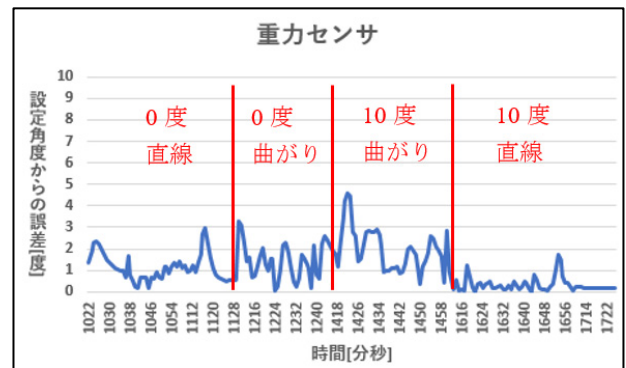


図 6 重力センサの実験結果
Fig. 6 Experimental results of gravity sensor.

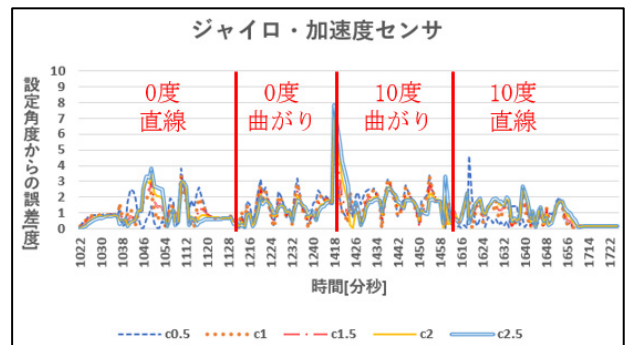


図 7 ジャイロ・加速度センサの実験結果 ($c = 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5$)
Fig. 7 Experimental results of gyro and acceleration sensor ($c = 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5$).

富士通 SIM フリースマートフォン arrowsM03 (Android ver6.0.1) を使用する。

実験結果を図 5, 図 6, 図 7, 図 8 に示す。横軸を取得時間 [分秒], 縦軸を設定角度から取得した傾斜値との誤差を絶対値で求めた値 [度] で示す。

図 5 は加速度センサと地磁気センサを用いて算出する方法で、長崎大学工学部 1 号館 4 階の廊下を、0 度で一直線に加速した場合、0 度で曲がった場合、10 度で曲がった場合、10 度で一直線に加速した場合の順番に収集し、それぞれの設定角度 (0 度, 10 度) との誤差を算出した実験結果



図 8 ジャイロ・加速度センサの実験結果 ($c = 3, 3.5, 4, 4.5, 5$)
 Fig. 8 Experimental results of gyro and acceleration sensor ($c = 3, 3.5, 4, 4.5, 5$).

である。

図 6 は重力センサを用いて算出する方法で、同様に、長崎大学工学部 1 号館 4 階の廊下を、0 度で一直線に加速した場合、0 度で曲がった場合、10 度で曲がった場合、10 度で一直線に加速した場合の順番に収集し、それぞれの設定角度 (0 度, 10 度) との誤差を算出した実験結果である。

図 7, 図 8 はジャイロセンサと加速度センサを用いて算出する方法で、同様に、長崎大学工学部 1 号館 4 階の廊下を、0 度で一直線に加速した場合、0 度で曲がった場合、10 度で曲がった場合、10 度で一直線に加速した場合の順番に収集し、それぞれの設定角度 (0 度, 10 度) との誤差を算出した実験結果である。図 7 は係数 c を 0.5 から 2.5 まで 0.5 刻みに設定した実験結果を、図 8 は係数 c を 3 から 5 まで 0.5 刻みに設定した実験結果を示す。

図 5 から、加速度・地磁気センサによる傾斜算出方法では、最大でおよそ 7 度の誤差が生じており、また、およそ 5 度の誤差が連続的に生じていることが分かる。図 6 から、重力センサによる算出方法では、最大でおよそ 5 度の誤差が生じていることが分かる。しかし、加速度・地磁気センサに比べ、連続的な誤差は小さくなっていることが分かる。図 7, 図 8 から、ジャイロ・加速度センサに相補フィルタを適用した算出方法では、最大でおよそ 8~9 度の誤差が生じていることが分かる。また、係数 c が大きくなるにつれ、連続的な誤差は小さくなっているが、突発的な誤差が大きくなっていることが分かる。

上述より、重力センサによる算出方法または、ジャイロ・加速度センサによる算出方法は、加速度・地磁気センサによる算出方法より、走行状態における傾斜算出値の連続的なばらつきが少ないと考えられる。また、設定角度からのずれの平均を横軸を各算出方法、縦軸を設定角度からのずれ [度] として図 9 に示す。図 9 の結果から重力センサによる算出方法が設定角度からのずれの平均値が小さく、有用だと考えられる。

以上から本論文では重力センサによる算出方法を適用する。

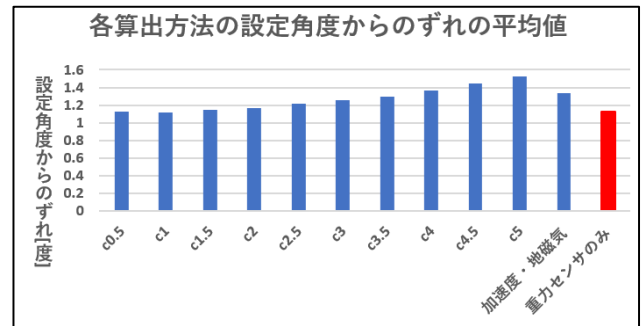


図 9 各算出方法の設定角度から求めたずれの平均値
 Fig. 9 The average value of the deviations calculated from the set angle of each calculation method.

4.3 傾斜の閾値・指標

登坂・降坂の基準については、車椅子の種類や介助する人の体力などによって走行可能な勾配の上限値が変わることが考えられる。たとえば、車椅子の種類だけでも自走式車椅子、介助式車椅子、軽量車椅子、モジュール型車椅子、リクライニング型・ティルト型車椅子、電動車椅子、電動アシスト車椅子などがあり、自走式は坂道での使用は推奨できないが、電動アシスト車椅子だとある程度の坂道でも通行可能である。このように、車椅子の種類で条件が変わる。そのほかにも、車椅子使用者の走行能力・身体能力の差による影響も考えられる。そこで、図 3 のように Web ブラウザにおける表示指標を緩い・急などの表記ではなく、何度の角度を測定できたのかを指標とし、既存研究や文献などから電動車椅子または手動車椅子 (自走式・介助式) においてそれぞれの困難だと思われる角度を検討することで、角度ごとの指標における補足を考案するといった手法を考える。

既存研究や文献などを調査した結果を表 1 にまとめる。

まず、前述したように法律によりスロープの勾配が屋内では 1/12、屋外では 1/15 と定められている。

既存研究としては 1 つ目に、村木らは両上肢の機能が良好な下肢対麻痺者によるトレッドミル装置での走行実験を行い、身体的負担の観点から 4% (1/25) 以下の勾配が推奨できると述べている [11]。

2 つ目に、吉原は健常女性に総重量 76.6 kg の車椅子を押して登坂するという実験を行い、大きな負担にならず登坂可能な最適勾配は 6~8 度、登坂可能な限界勾配は 16 度付近であると述べている [12]。

3 つ目に、能登らは若年者と高齢者に乗車者と介助者の体重差が ± 10 kg 以内で登坂・降坂の実験を行い、若年者群においてはすべての勾配 (4%~16.7%) における操作が可能であったが、高齢者群においては登坂・降坂ともに勾配 1/8 (12.5%), 1/6 (16.7%) での操作が容易でないと述べている [13]。

4 つ目に、竹澤らは、健常な大学生による 1~10 度の範囲で 1 度ずつ変更可能な実験室環境の床面上での登坂・降

表 1 既存研究や文献などの調査結果

Table 1 Survey results of existing research.

参考	登坂 降坂	被験者	対象	車椅子	勾配目安
[11]	不明	両上肢の機能が 良好な 下肢対麻痺者	車椅子 利用者	自走式	1/25以下
[12]	登坂	健康女性	介助者	自走式	最適：約1/10~1/7 限界：16度
[13]	登坂 降坂	若年者群 高齢者群	介助者	自走式	若年者群： 約16度 高齢者群： 1/8以下
[14]	登坂 降坂	健康大学生	車椅子 利用者	不明	4~5度で困難
[15]	登坂 降坂	健康者(高齢者含む) 自力走行車椅子利用者 介助付き車椅子利用者	車椅子 利用者	自走式	登坂：5.0%容易でない 7.9%で困難 降坂：7.9%で困難
[16]	不明	自走式：車椅子利用者 その他：不明	車椅子 利用者	自走式 電動 シニアカー	自走式：限界値8% (6~8%にかけて負担が大きくなる) 電動：10.5%~14.1% シニアカー：17.6%以下
[17]	登坂 降坂	健康男性	車椅子 利用者	自走式	容易に走行可能 5%(1/20)以下
[18]	降坂	健康男性・女性	車椅子 利用者	自走式	1/12 やや負担がかかる 1/9~1/7 厳しい
[19]	登坂	車椅子走行可能な 国立身体障害センター 入所者	車椅子 利用者	自走式	7%容易ではない(1/14) 限界10%(1/10)
[20]	登坂 降坂	女性・子供	車椅子 利用者	自走式	8.3%(1/12)以下
[21]	登坂 降坂	車椅子使用者 (手動・電動) 健康者	車椅子 利用者、 介助者	自走式 電動	手動：上半身健康：8.3%以下 上半身麻痺有：5%以下 電動：8.3%以下 介助者：問題なし(16.7%)

坂・方向転換の実験を行い、登坂においては4~5度付近が難易度中位で6~7度でかなり困難となり、降坂においては4度前後で難易度中位、5度でかなり困難と述べている [14].

5つ目に、新田らは健康者（高齢者含む）とふだん自力で外出している車椅子利用者、介助付きで外出している車椅子利用者を被験者とした2.2%, 5.0%, 5.5%, 7.9%の勾配の登坂・降坂の実験を行い、登坂において5.0%の勾配から距離とともに速度が低下し、途中で休憩をはさむ必要があったと述べている。7.9%の勾配になると初速度も大きく低下し、移動できる距離も短くなったと述べている。降坂においては5.0%よりも7.9%の勾配の方の平均速度が遅いことから7.9%の降坂は困難であることを述べている。また、被験者にヒアリングを行った結果、登坂においては5.0%から苦痛を感じ、7.9%では非常に困難だという結果が得られたと述べている。降坂においては、7.9%においてやや苦痛との結果が得られたと述べている [15].

6つ目に、国土技術政策総合研究所の付録の4.3節「歩行補助器具及び自転車等の登坂能力を考慮した勾配の限界」では車椅子使用者25名による縦断勾配2, 4, 5, 6, 8%の登坂実験を行い、自走式車椅子における限界勾配は8%だが、6%から8%にかけて身体的負担が大きく悪化していると述べている。電動車椅子においては電動車椅子安全普及協会の会員企業が販売している電動式車椅子の実用登坂角度についてまとめられており、その値は機種によって異なり、10.5%~14.1%が中心となっていると述べている。シニアカーにおいても電動車椅子安全普及協会の会員企業が販売しているいずれの製品も17.6%が限界であると述べている [16].

表 2 考案した傾斜の指標

Table 2 Indicator of slope.

描画基準	%~角度	色	補足
~4%	~2.29度	無	自走式でも通行容易
~6%	~3.43度		屋外でのスロープ基準値
~8%	~4.57度		自力での通行は困難となり、介助者の協力を推奨する
~10%	~5.71度		電動車椅子での走行可能 ※電動車椅子は種類により前後する
~12%	~6.84度		介助者の協力があっても通行は負担となってくると考えられる
~17%	~9.65度		シニアカーでの通行可能
~	~		通行困難

表 3 アンケート内容

Table 3 Questionnaire contents.

	内容
Q1	指標に対し、わかりやすいか、わかりにくいかを5段階評価で示せ。
Q2	Q1としたのはなぜか。

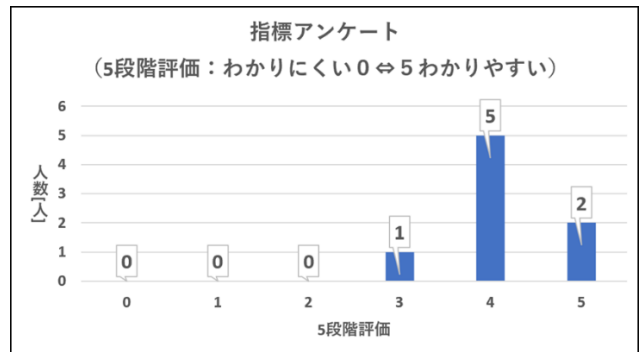


図 10 アンケート結果 (Q1)

Fig. 10 Questionnaire results (Q1).

そのほかにも横山哲ら [17], 徳田 [18], 佐渡山ら [19], 白石ら [20], 田平ら [21] の研究論文を参考にした。

以上から車椅子使用者と介助者観点における目安が異なることが分かる。また、車椅子使用者の筋力、走行方法、健康状態や車椅子が手動か電動かによっても多少異なることが分かる。そこで、Web ブラウザ上で表示することを考慮し、表 2 の描画基準とする。

表 2 から指標の角度ごとの差の最小値が 1.13 度、平均値が 1.47 度のため、およそ 1 度の精度が必要になると考える。

考案した指標に関して長崎大学の健康な学生 7 人と車椅子を利用している学生 1 人にアンケートを行った。アンケート内容を表 3 に、Q1 のアンケート結果を図 10、Q2 のアンケート結果を表 4 に示す。アンケートは、考案した指標に対し分かりにくい・分かりやすいを 5 段階で評価してもらい、なぜそう思ったのかを記入するものとした。その結果、図 10 のような評価となり、「イメージしやすい」「分かりやすい」といった意見が得られたことから有用で

表 4 アンケート結果 (Q2)
Table 4 Questionnaire results (Q2).

5段階評価	意見
3	<ul style="list-style-type: none"> 傾斜の有無や程度はわかりやすいが、傾斜の方向がよくわからないと思われる
4	<ul style="list-style-type: none"> 色無はその部分の情報がないのかと思われる (車椅子利用者) 勾配が高くなるほどより視覚に訴える色となりわかりやすい 自走式と電動式どちらも記載してあるのでわかりやすい イメージしやすい
5	<ul style="list-style-type: none"> 細かく分けられていてどの道が通行可能か判断しやすいと思った

あると考えられる。しかしながら、「傾斜の方向が分からない」といった意見もあがっており、対策が必要だと考えられる。

5. 実験と評価

本システムの有用性を評価するために、3.2 節で示した要件を満たしているかの評価実験を行った。

評価実験として、収集したデータのアップロード結果の比較実験と収集したデータの誤差の比較実験を行う。

5.1 収集したデータのアップロード結果の比較実験

実験方法としては、長崎大学文教キャンパス周辺の道路を車椅子にプロトタイプシステムの手法と提案手法を搭載したスマートフォンを装着し、走行することでバリアフリー情報を収集し、収集したデータをアップロードした結果を比較する。以下にそれぞれの手法についてまとめる。

■ プロトタイプシステム

- 加速度・地磁気センサを用いた 10.0m 進行または段差を検知した場合での傾斜取得システム
- 5.0m 四方のマスで区切ったメッシュ構造における描画方法

■ 提案手法

- 重力センサを用いた 0.05 秒間隔で算出した傾斜値を 1.0 秒間隔で平均値を取る傾斜取得方法
- 0.5m 間隔における描画方法

比較方法としては、図 11 に示すプロトタイプシステムの取得方法でアップロードを行った結果から得られたあるマーカーから別のマーカーへの傾斜描画範囲をもとに 3 カ所 (比較箇所 (a), (b), (c)) 選抜し、アップロードした結果を比較検証する。

図 11 のそれぞれの比較箇所において、プロトタイプシステムの手法、提案手法によるアップロード結果をそれぞれピックアップした結果、図 12、図 13、図 14 となった。プロトタイプシステムのアップロード結果を左図に、提案手法でのアップロード結果を右図に示す。なお、左図中の (ア) から (ク) はバリアフリー情報を取得できた地点を示している。

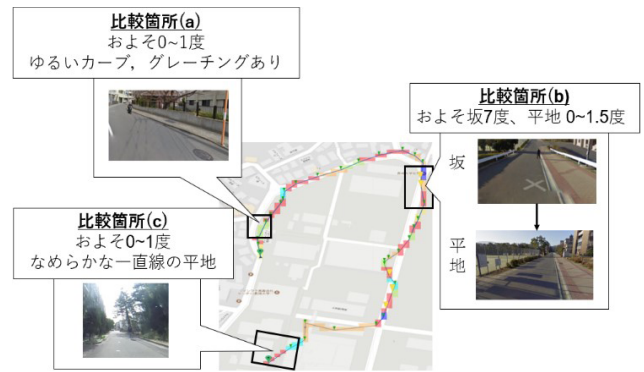


図 11 比較する 3 カ所

Fig. 11 3 places to compare.

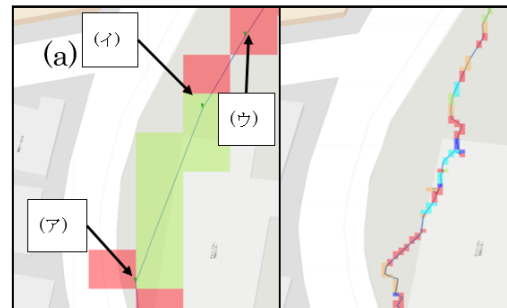


図 12 比較箇所 (a) におけるアップロード結果

Fig. 12 Upload result at comparison point (a).

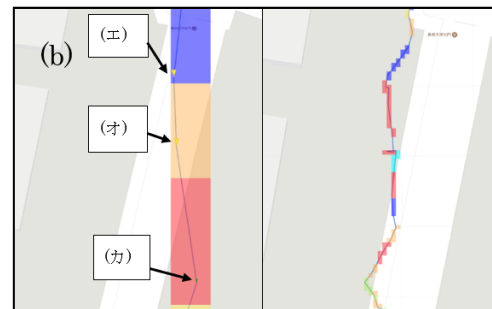


図 13 比較箇所 (b) におけるアップロード結果

Fig. 13 Upload result at comparison point (b).

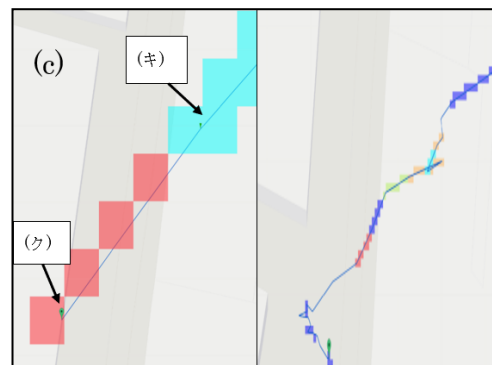


図 14 比較箇所 (c) におけるアップロード結果

Fig. 14 Upload result at comparison point (c).

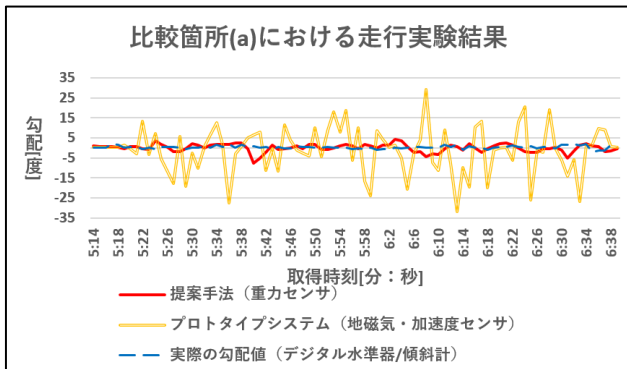


図 15 比較箇所 (a) における走行実験結果

Fig. 15 Running test results at comparison point (a).

図 12, 図 13, 図 14 から, 提案手法では短い間隔で傾斜値を取得することが可能になるとともに, プロトタイプより詳細に傾斜の値が取得できることが確認できた. また, 青線で示された経路付近での描画ができていことが分かる.

5.2 収集したデータの誤差の比較実験

実験方法としては, 提案手法の傾斜算出間隔と同じ間隔で取得するように改良したプロトタイプシステムの傾斜算出手法 (地磁気・加速度センサによる算出) と, 提案手法の傾斜算出手法 (重力センサによる算出) を搭載したスマートフォンを車椅子に装着し, 図 11 の比較箇所 (a), (b), (c) の 3 カ所を走行することで傾斜情報を収集する. さらに, Dig-Pas 社製の 2 軸高精度デジタル水準器/傾斜計モデル DWL-200XY を車椅子に装着し, 実際の勾配を収集することで, 収集したデータの誤差を比較する.

それぞれの比較箇所 で取得されたプロトタイプシステムの傾斜算出値と提案手法の傾斜算出値をそれぞれ比較すると 図 15, 図 16, 図 17 のようになった. ここで, 赤線が提案手法 (重力センサ) による算出値, 黄線がプロトタイプシステム (地磁気・加速度センサ) による算出値, 青線がデジタル水準器/傾斜計により収集した実際の勾配を示しており, 縦軸が勾配 [度], 横軸がデータ取得時刻 [分:秒] を示している.

図 15, 図 16, 図 17 より, 地磁気・加速度センサを用いた算出方法よりも重力センサを用いた算出方法が走行状態であっても, 実際の勾配に近い値を取得できることが確認できる. また, 実際の勾配と重力センサによる算出値との誤差, 実際の勾配と地磁気・加速度センサによる算出値との誤差をそれぞれ求めた. 比較箇所ごとの平均誤差を表 5 に示す. 表 5 から, 重力センサによる算出方法は走行状態であっても実際の勾配に近い値を取得できていることが確認できる.

以上より, 提案手法を適用したバリアフリーストリートビューシステムでは走行状態においてプロトタイプシステ

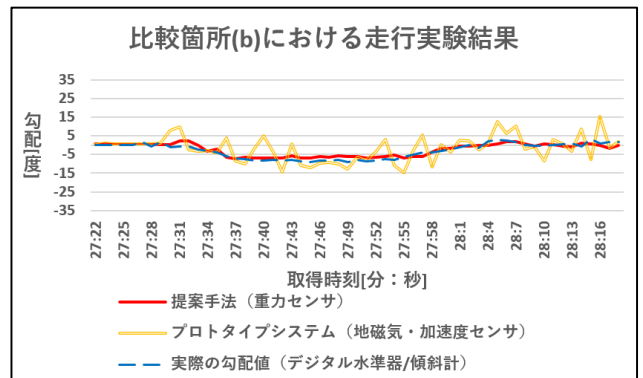


図 16 比較箇所 (b) における走行実験結果

Fig. 16 Running test results at comparison point (b).

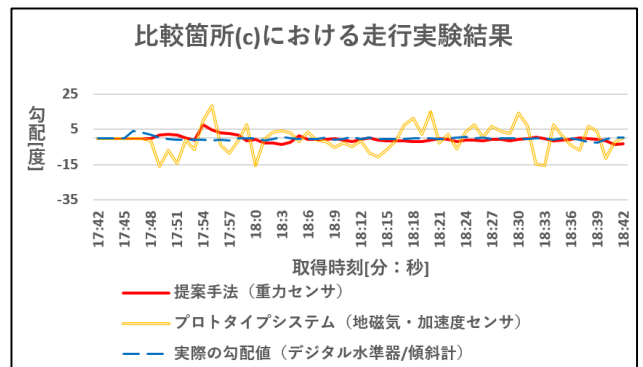


図 17 比較箇所 (c) における走行実験結果

Fig. 17 Running test results at comparison point (c).

表 5 比較箇所ごとの平均誤差

Table 5 Average error for each comparison part.

比較箇所	算出方法	平均誤差[度]
a	重力センサ	1.61
	地磁気・加速度センサ	8.70
b	重力センサ	1.40
	地磁気・加速度センサ	4.11
c	重力センサ	1.55
	地磁気・加速度センサ	5.74

ムよりも設定値からのずれが少なく, 短距離間隔での勾配の取得が可能であることが検証された.

6. おわりに

本論文では, プロトタイプシステムに, 車椅子に乗り, 走行するだけで自動的に傾斜情報を収集し, マップ上に分かりやすく表示させる機能を検討し, 実装を行った.

傾斜取得ではスマートフォンのセンサを用いて 0.05 秒間隔でセンサ値を取得し, 1.0 秒間隔で平均をとることにより, 短距離間隔で傾斜値の取得を行うことができるように

なった。傾斜表示に関しては、収集した傾斜情報を Google Map API を用いて 0.5 m 四方のマスで区切ったマップ上に反映させ、既存研究を調査し、新たに考案した閾値によって描画することでより詳細に傾斜情報を提供することが可能となった。考案した指標の角度ごとの差を見ると、最小値が 1.13 度、平均値が 1.47 度のため、1 度程度の精度が必要になると考えられる。しかしながら実験により傾斜算出方法のおよそ ± 5 度の誤差があることが明らかになった。さらに、Web ブラウザ上で傾斜を描画した際の反映の仕方、実際の歩道を走行する際のグレーチングや溝、段差や道路の状況などから車体が傾くことによる一時的な影響などの問題がある。そのため、これらを改善していく必要がある。また、連続的に傾斜値を取得することは可能となったが、車椅子利用者が Web ブラウザで閲覧する際に傾斜を判断する材料となるのは本論文で考案した指標の色分けだけであり、実際に傾斜がどうなっているのか視覚的に Web ブラウザ上で確認することはできないということがあげられる。今後はこれらの問題点の改善を行っていく。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP18K11267 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 内閣府：年齢階層別の障害者数 | 平成 27 年版障害者白書 (全体版), 内閣府, 入手先 (<http://www8.cao.go.jp/shougai/whitepaper/h27hakusho/zenbun/h1.03.03.02.html>) (参照 2018-07-09).
- [2] NICT 情報通信研究機構：身体障害者数, 入手先 (<http://barrierfree.nict.go.jp/relate/statistics/population1.html>) (参照 2018-07-09).
- [3] 荒井研一, 立石拓也, 小林 透, 曾根原登：一般車椅子利用者からのセンサ情報を活用したオンデマンド型リアプリーストリートビューシステム, 信学技報, Vol.116, No.488, pp.31-38 (2017).
- [4] Arai, K., Tateishi, T., Kobayashi, T. and Sonehara, N.: On-demand Barrier-free Street View System Using Sensor Information from General-Purpose Wheelchair Users, *Proc. 5th IEEE International COMPSAC Workshop on Consumer Devices and Systems (CDS2017)*, pp.348-353 (2017).
- [5] 斎藤健治, 清田 勝：プローブ自転車による自転車歩行者道のバリア調査法, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, No.1, pp.177-182 (2005).
- [6] 井上道哉, 橋 俊宏, 足立雅春, 長沢可也：スマートフォンを利用したバリア情報記録・公開システム「バリアマップ」の試作, 信学技報, Vol.22, No.1, pp.177-182 (2017).
- [7] Google, Introducing “wheelchair accessible” routes in transit navigation, 入手先 (<https://www.blog.google/products/maps/introducing-wheelchair-accessible-routes-transit-navigation/>) (参照 2018-09-18).
- [8] NTT：バリアフリーマップをソーシャルにつくる技術の開発, 入手先 (<http://www.ntt.co.jp/journal/1605/files/jn201605021.pdf>) (参照 2018-09-18).
- [9] NTT：車いす利用者への道案内に必要な、段差や階段などのないバリアフリー情報を専門知識がない人でも簡単に収集可能な技術 MaPiece (まっぴーす), および訪日外国人にも分かりやすい平易な立体地図表示を実現する 2.5D 地図表現技術を開発, 入手先 (<http://www.ntt.co.jp/journal/1703/files/jn20170380.pdf>) (参照 2018-09-18).
- [10] 水澤吉博, 大場みち子, 木塚あゆみ：車椅子走行ログを用いた車椅子利用者向けルート作成システムの構築, 情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集, 4ZD-01, pp.4-985-4-986 (2016).
- [11] 村木里志, 三星昭宏, 松井祐介, 野村貴史：車いすによるスロープ走行時の身体的負担の定量化とその応用, 土木学会論文集, Vol.62, No.3, pp.401-416 (2006).
- [12] 吉原裕美子：介助者が車いすを押して上る場合のスロープ勾配に関する検討, 茨城県立医療大学紀要, Vol.2, No.2, pp.53-59 (1997).
- [13] 能登裕子, 村木里志：乗車者および介助者を考慮したスロープ勾配と車いす昇降介助操作方法に関する検討—車いす走行動態と介助負担および主観的乗り心地について, 日本看護技術学会誌, Vol.9, No.2, pp.55-66 (2010).
- [14] 竹澤智美, 對梨成一, 土田宣明, 松田隆夫：直立及び車椅子使用による傾斜面角度の知覚と車椅子によるスロープ昇降の難易度評価, 立命館人間科学研究, Vol.3, pp.37-46 (2002).
- [15] 新田保次, 小山健一, 猪井博登, 中平明憲：坂道における高齢者・障害者の移動負担の計測, 土木計画学研究・講演集, Vol.29, p.VI (102) (2004).
- [16] 国土交通省国土技術政策総合研究所：4. 付録—国土交通省国土技術政策総合研究所, pp.64-69.
- [17] 横山 哲, 清水浩志郎, 木村一裕：縦断勾配が車いす走行に与える影響に関する研究, 土木学会論文集, Vol.1999, No.611, pp.21-32 (1999).
- [18] 徳田良英：車いすの下り勾配における身体負担に関する実験研究, 福祉のまちづくり研究, Vol.11, No.1, pp.40-47 (2009).
- [19] 佐渡山亜兵, 佐野吉雅, 谷井克則, 荒居 宏, 荒井徹夫, 斎藤一朗：車椅子登坂にたいする勾配の影響について, 人間工学, Vol.10, No.4, pp.131-137 (1974).
- [20] 白石光昭, 佐川明日香：車椅子用斜路勾配の再検討, 小山工業高等専門学校研究紀要, Vol.38, pp.147-151 (2006).
- [21] 田平博嗣, 上野義雪：歩道単路部の切り下げにおける車いす歩行の負担に関する実験的検討, 土木計画学研究・論文集, Vol.16, pp.609-616 (1999).

付 録

A.1 ジャイロ・加速度センサによる算出方法の係数 c

係数 c の範囲を絞るために静止状態における傾き算出において係数 c が 0, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100, 500, 1000, 1500 の場合の比較実験を行う。

傾きを測定する装置として、傾きを 0~30 度に自由に換えることができる Costway 社製の台を使用する。傾き調整においては、シンワ測定社製 BLUE LEVEL300 mm のアナログ水平器と Bigman 社製 \angle Level Box のデジタル水平器を用いて調整を行う。計測を行うスマートフォンは、富士通 SIM フリースマートフォン arrowsM03 (Android ver6.0.1) を使用する。

実験方法としては、平坦な場所に装置を設置し、台の傾きを 0 度, 5 度, 10 度へとおよそ 5 分ごとに手動で変更していき、それぞれの値を収集する。

静止状態におけるジャイロ・加速度センサによる算出方

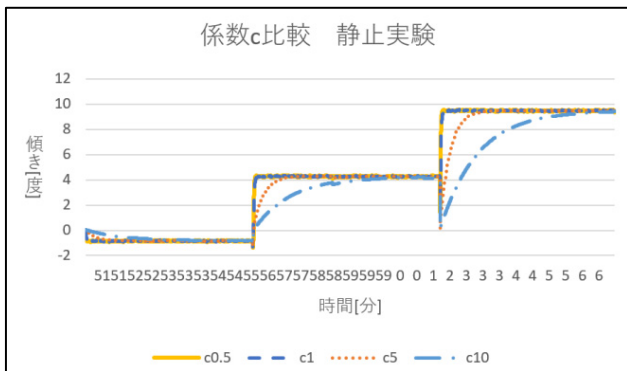


図 A.1 係数 c の比較 ($c = 0.5, 1, 5, 10$)

Fig. A.1 Compared the coefficient c ($c = 0.5, 1, 5, 10$).

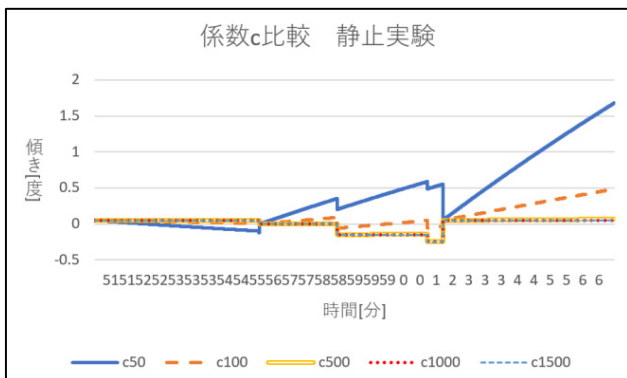


図 A.2 係数 c の比較 ($c = 50, 100, 500, 1000, 1500$)

Fig. A.2 Compared the coefficient c ($c = 50, 100, 500, 1000, 1500$).

法の係数 c が 0.5, 1, 5, 10, 50, 100, 500, 1000, 1500 の場合の比較検証を机の上に装置を設置し行った結果, 図 A.1 ($c = 0.5, 1, 5, 10$), 図 A.2 ($c = 50, 100, 500, 1000, 1500$ の実験結果) が得られた.

図 A.1 から分かるように, $c = 5$ から設定角度値をとるまでに時間がかかっている. $c = 5$ で約 1 分, $c = 6$ で約 3~4 分かかっていることが分かる. 電動車椅子は毎秒およそ 0.2m~1.6m 進むと考えられるため, 設定角度値になるまでに 1 分かかるとなると電動車椅子はおよそ 1.2m~96m 進むと考えられる.

以上より, 係数 c は 0~5 の範囲が有効であると考え, 走行状態の比較実験においては係数 $c = 0~5$ の範囲で実験を行う.



三浦 千里 (学生会員)

2018 年長崎大学工学部工学科情報工学コース卒業. 現在, 同大学大学院工学研究科博士前期課程総合工学専攻在学中.



中島 良太

2017 年長崎大学工学部工学科情報工学コース卒業. 現在, 同大学大学院工学研究科博士前期課程総合工学専攻在学中.



荒井 研一 (正会員)

2004 年信州大学工学部情報工学科卒業. 2006 年同大学大学院工学系研究科博士前期課程修了. 2010 年同大学院総合工学系研究科博士課程修了. 博士 (工学). 以来, 情報セキュリティに関する研究に従事. 2011 年より東京理科大学理工学部嘱託助教. 2015 年より長崎大学大学院工学研究科情報工学コース助教. 電子情報通信学会, 日本応用数理学会各会員.



小林 透 (正会員)

1985 年東北大学工学部精密機械工学科卒業. 1987 年同大学大学院工学研究科修士課程修了. 同年 NTT 入社. 以来, ソフトウェア生産技術, 情報セキュリティ, データマイニング, Web 技術等の研究開発に従事. 2013 年から長崎大学大学院工学研究科教授. IEEE, 電子情報通信学会各シニア会員, 博士 (工学). 本会シニア会員.