

一般車椅子利用者からのセンサ情報を活用した オンデマンド型バリアフリー情報提供システム

荒井研一¹ 園田稔² 立石拓也¹ 一貫坂駿介¹ 小林透¹

概要：近年、身体的障害を持つ高齢者が増加している。そのため、今後はそれらの人の移動をサポートする車椅子の利用増加が見込まれる。車椅子利用者にとっては、歩道上に段差が存在すると危険や不安を感じるため、車椅子利用者に対するバリアフリー化は急務である。しかし、バリアフリー化を実現するためには、段差がどこに存在するかを把握する必要があり、その把握には多大な時間や人件費が必要といった問題がある。さらに、段差の状態は次第に変化するため、定期的に情報を更新する必要がある。しかし、既存システムは情報の更新頻度が少ないといった問題がある。本研究では、一般的な車椅子に装着した各種センサからの情報をバリア情報として収集し、常に最新情報を車椅子利用者へフィードバックするシステム、すなわち、オンデマンド型バリアフリー情報提供システムを提案する。本論文では、本システムのプロトタイプを用いた評価実験の結果を示す。プロトタイプシステムを用いて評価実験を行うことにより、本システムの有用性を示す。

1. はじめに

近年、日本では65歳以上の高齢者人口が全人口の21%を超える超高齢化社会に突入している。総務省統計局によると、総人口に占める高齢者人口の割合は25.9%（平成26年9月15日現在推計）であり、この割合は今後も上昇すると見込まれている[1]。また、厚生労働省が実施した平成23年生活のしづらさなどに関する調査（全国在宅障害児・者等実態調査）結果によると、年齢階級別にみた身体障害者手帳所持者数の推移において65歳以上の増加が顕著であり、平成18年から平成23年の間で20.1%も増加している[2]。そのため、今後はそれらの人の移動をサポートする車椅子の利用増加が見込まれる。

しかし、車椅子利用者にとっての多くの不安要素が歩道上に存在している。代表的な不安要素は段差である。図1は車椅子で走行中に遭遇した段差を通過した際の写真である。車椅子利用者が体勢を崩していることが分かる。車椅子利用者にとっては、このような段差が存在すると危険や不安を感じるため、車椅子利用者に対するバリアフリー化は急務である。段差がなくなることにより、車椅子利用者が快適に生活できるバリアフリー社会が実現できる。しかし、バリアフリー化を実現するためには、段差がどこに存在するかを把握する必要があり、その把握には多大な時間や人件費が必要といった問題がある。さらに、段差の状態は市役所などの段差修繕や地震などの天災により、次第に変化するため、定期的に情報を更新する必要がある。しかし、既存システムは情報の更新頻度が少ないといった問題がある。



図1 段差通過時の衝撃の様子

本研究では、一般的な車椅子に装着した各種センサからの情報をバリア情報として収集し、常に最新情報を車椅子利用者へフィードバックするシステム、すなわち、オンデマンド型バリアフリー情報提供システムを提案する。本システムでは、複数の車椅子利用者が情報提供者となる。本システムは一般的な車椅子にシングルボードコンピュータであるRaspberry Pi 2を装着し、複数の車椅子利用者からバリア情報を収集することにより、既存システムと比較して短時間かつ低コストでの情報収集が可能となり、常に最新情報を車椅子利用者へフィードバックできるようになる。本システムは、車椅子利用者の段差箇所確認だけでなく市役所などの段差修繕業務にも活用することができる（図2）。本論文では、本システムのプロトタイプを用いた評価実験の結果を示す。プロトタイプシステムを用いて評価実験を行うことにより、本システムの有用性を示す。

¹ 長崎大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagasaki University

² 長崎大学工学部
School of Engineering, Nagasaki University

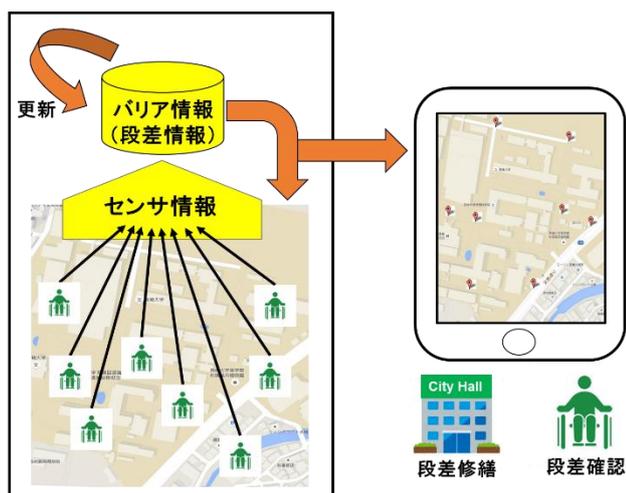


図 2 オンデマンド型バリアフリー情報提供システムの利用イメージ

本論文の残りの構成は以下の通りである。第 2 節では既存研究と本研究との違いを示す。第 3 節では本システムの詳細を示す。第 4 章では、本システムの運用するために必要となる 2 つのパラメータを決定するための予備実験の結果を示す。第 5 節では本システムのプロトタイプシステムを用いた評価実験の結果を示す。第 6 節ではまとめを述べる。

2. 既存研究

これまでに、各種センサ情報を利用して車椅子利用者のためのバリアフリーマップを作製する取り組みがあった。例えば、車椅子に加速度センサを装着して路面の凹凸を検知し、その情報を地図上に可視化する研究[3,4]、高解像度の衛星写真を用いてバリア情報を可視化する研究[5]などがある。これらの既存研究は、センシングしたバリア情報を地図上に表示して可視化することを目的としている。車椅子にセンサを装着してセンサ情報を取得する研究では、データ収集用の特定の車椅子を利用することを前提としており、センシング目的で車椅子を利用するため、情報の更新頻度は少ない。一方、本システムでは複数の一般的な車椅子に装着した各種センサからの情報をバリア情報として収集することにより、低コストで頻繁な情報更新が可能である。

また、その他の既存研究として、iPhone を利用したバリア情報記録・公開システムに関する研究がある[6]。この既存研究では、車椅子に iPhone を取り付け、HTML5 と JavaScript を用いて iPhone 内部にある GPS、加速度センサ、及びジャイロセンサなどを利用して、道路の傾斜角や段差、溝の衝撃を測定し、それらの情報を 3G 回線により WEB サーバへ送信し、蓄積した情報を WEB 上に公開するシステムを提案している。iPhone を使用しているため操作性のあ

るインターフェースを提供でき、情報収集の際には手動もしくは全自動での情報収集に切り替えることができる。この既存研究では、本システムで収集する段差の情報だけでなく道路の傾斜角情報の収集や情報収集方法の切り替えが可能であり、本システムと比べて情報量・正確さといった点で優れている。しかし、情報を収集するためには車椅子利用者が iPhone やスマートフォンを所持していなければならない、移動中に WEB アプリケーションを常時起動する必要がある。本システムでは、シングルポートコンピュータである Raspberry Pi 2 を一般的な車椅子に装着し、組み込みシステムとして機能させることにより前述の問題点を解決している。さらに、Raspberry Pi 2 には任意のセンサを自由に装着できる拡張性があるため、iPhone やスマートフォンでは扱えないセンサ情報も収集することができる。また、本システムとの相違として情報更新があげられる。蓄えられた情報は、時間の経過とともに陳腐化する可能性があるため、古い情報をどのように扱うかを考慮する必要がある。しかし、この既存研究においては、情報更新に関しては言及していない。本システムでは、頻繁な情報更新を考慮している。

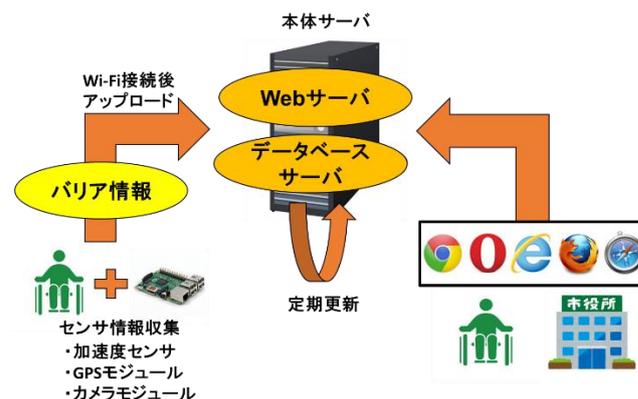


図 3 オンデマンド型バリアフリー情報提供システム概要

3. オンデマンド型バリアフリー情報提供システム

オンデマンド型バリアフリー情報提供システムの概要を図 3 に、そのシステム構成図を図 4 に示す。本システムでは、車椅子走行中に歩道上の段差に関する 3 つの情報、すなわち加速度情報、緯度経度情報、及び写真情報を Raspberry Pi 2 に接続した各種センサ (加速度センサ、GPS、カメラ) から取得し、バリア情報収集プログラムを用いて Raspberry Pi 2 上に保存する。Raspberry Pi 2 上に保存された各種センサ情報 (バリア情報) は、Wi-Fi 接続時にデータ転送プログラムによって本体サーバへアップロードされ、データ更新プログラムによって本体サーバのデータベース情報が更新される。本システムの利用者は、WEB アプリケーションを通じて常に新しい情報を確認することができる。

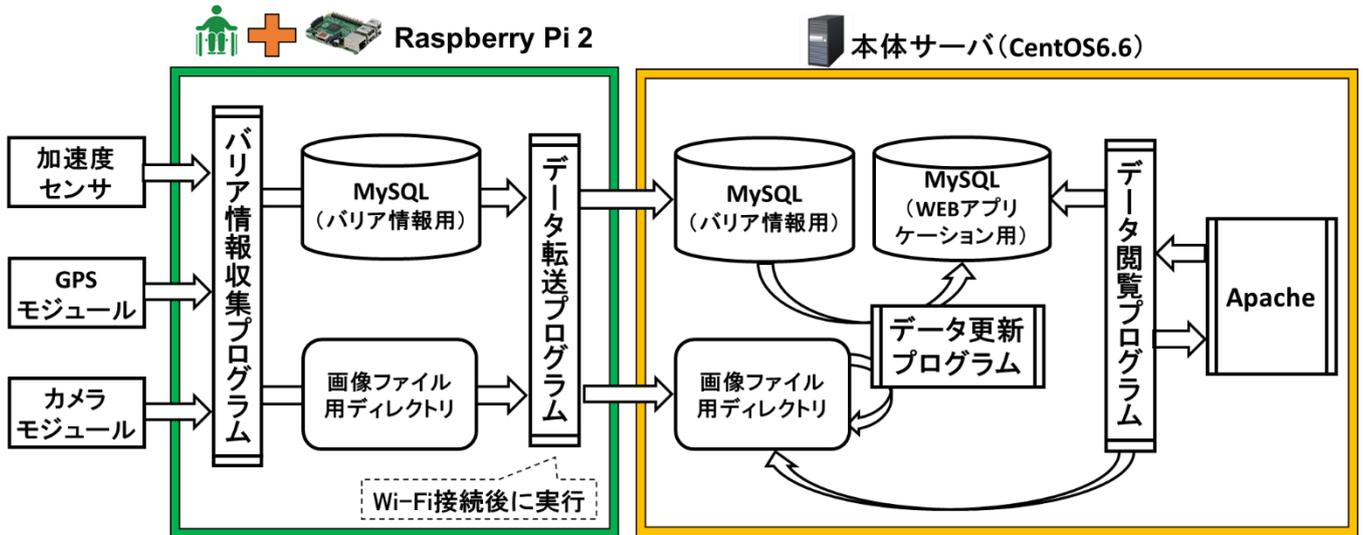


図 4 オンデマンド型バリアフリー情報提供システム構成図

なお、Raspberry Pi 2 と本体サーバとの通信においては、Wi-Fi 以外にも 3G 回線の利用が考えられる。3G 回線は導入及び維持コストがかかるため、本システムのプロトタイプでは Wi-Fi を採用した。図 5 が本システムのプロトタイプである。

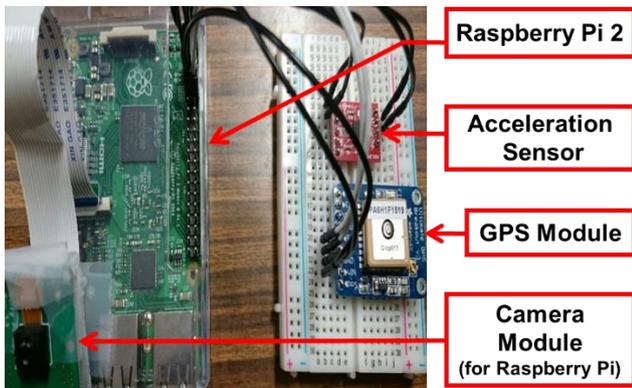


図 5 オンデマンド型バリアフリー情報提供システムのプロトタイプ

3.1 システム要件

本システムを実現するための要件を以下に示す。

要件 1: バリア情報の取得

各種センサを用いてバリア情報を取得でき、バリア情報を Raspberry Pi 2 上に保存できる。

要件 2: バリア情報の送受信

Wi-Fi 接続時に、Raspberry Pi 2 上のバリア情報を本体サーバへ転送できる。

要件 3: バリア情報の更新

本体サーバのバリア情報を常に新しい情報に更新できる。

要件 4: バリア情報の提供

WEB アプリケーションを通じてバリア情報を提供できる。

3.2 バリア情報の取得

本システムでは、加速度センサを用いることで段差通過時の衝撃を測定している。段差通過時の衝撃に対してある閾値を設定し、その閾値を超えた場合に“段差あり”と判定している。さらに、本システムでは GPS を利用することで位置情報である緯度経度値を取得し、その位置情報で加速度情報及び写真情報（写真ファイル名）を紐付けした上で、バリア情報として Raspberry Pi 2 上のバリア情報用データベースに保存している。なお、これらの処理はバリア情報収集プログラムを用いて行われる。

本システムでは、データ更新プログラムを用いて段差が修繕されたことを判定するため、段差の存在する箇所だけでなく段差の存在しない箇所のバリア情報も Raspberry Pi 2 上のバリア情報用データベースに保存している。なお、写真データについては、段差ありと判定された場合にのみ、写真を撮影し Raspberry Pi 2 上の画像ファイル用ディレクトリに保存している。

3.3 バリア情報の送受信

本システムでは、Raspberry Pi 2 上のバリア情報用データベースに蓄積されたバリア情報を本体サーバへ転送する必要がある。よって、本システムでは Raspberry Pi 2 が Wi-Fi 接続されたときに、データ転送プログラムを用いて本体サーバとの通信を開始し、バリア情報を本体サーバへ転送する仕組みを採用した。Raspberry Pi 2 上のバリア情報及び写真データは、本体サーバへ転送された後に削除される。

3.4 バリア情報の更新

本体サーバには、バリア情報用と WEB アプリケーション用の 2 つのデータベースがある。バリア情報用データベースは Raspberry Pi 2 から転送されたバリア情報を保存するデータベースである。一方、WEB アプリケーション用データベースは WEB アプリケーションでバリア情報（段差の情報）を表示する際に利用するデータベースである。本体サーバでは、1 分毎の定期更新を行っている。バリア情報用データベースのバリア情報及び画像ファイル用ディレクトリの写真データは、定期更新終了後に削除される。

また、WEB アプリケーション用データベースに登録されているバリア情報は、次第に変化するため、常に新しい情報に更新する必要がある。本システムでは、GPS によって得られた緯度経度値をキーとして、現在登録されているバリア情報と新しく得られたバリア情報とをデータ更新プログラムを用いて比較して、バリア情報を更新している。データベースにバリア情報が存在せず新しい段差と判断した場合は、バリア情報をデータベースに追加する。段差が修繕されたと判断した場合は、データベースのバリア情報を消去する。段差が修繕されていない場合であっても、データベースのバリア情報を新しく得られた情報に更新する。



図 6 データ更新場所判定方法

データ更新場所判定方法を図 6 に示す。新しく入力されたバリア情報が青ピンであり、データベースに登録されているバリア情報が赤ピンである。まず、新しく入力された位置情報を用いて矩形空間（緑色部分）を作成する。その後、矩形空間内を検索し、バリア情報が検索されない場合は新しいデータをバリア情報として登録する。バリア情報が検索された場合はデータを比較し、バリア情報を更新する。

3.5 バリア情報の提供

本システムでは、車椅子利用者によって収集されたバリア情報（段差の情報）はデータ閲覧プログラム（HTML5、

PHP, JavaScript, 及び Google Map API) を用いて WEB アプリケーションの形で提供される。そのため、WEB ブラウザさえあれば段差の情報を閲覧可能である。WEB ブラウザは、iPhone やスマートフォン、タブレット、PC などに標準搭載されており、新たにアプリケーションをインストールすることなく利用できるといった利点がある。また、WEB アプリケーションは端末ごとの違いを考慮せずに開発できるため、メンテナンスやアップデートも実施しやすい。本システムでは、WEB アプリケーション用データベースに保存されているバリア情報を用いて、段差箇所に対して Google Map 上にピンを動的に立てることができ、さらに段差写真も表示できる。そのため、段差の存在箇所及び状態を容易に確認することができる。

4. 予備実験

本システムを運用するためには以下の 2 つのパラメータ、

- ・段差判定に用いる加速度の閾値
- ・バリア情報の更新に用いる矩形空間

を決定する必要がある。よって、これら 2 つのパラメータを決定するための予備実験を行った。予備実験の結果を以下に示す。

4.1 段差判定に用いる加速度の閾値の決定

本システムでは Z 軸の加速度による段差判定を行っているため、車椅子で段差を通過する際に発生する Z 軸の加速度を実際に測定し、適切な閾値を決定する必要がある。Z 軸の加速度のみを測定する理由としては、人が感じる不快感の影響から振動規制法で規制の対象となっているのが、鉛直方向である Z 軸のみのためである[7]。

今回実験に使用した段差の高さは 3.5cm の段差である。3.5cm の段差を選択した理由としては、実際に電動車椅子で走行した際に、3.5cm の段差通過時に十分な衝撃を受けたためである。本実験では、著者らが所有する電動車椅子に本システムのプロトタイプを装着し、その電動車椅子を用いて 3.5 cm の段差を 3 回移動（上がり下り）した際の Z 軸の加速度を測定した。なお、車椅子の速度は人間の一般的な歩行速度に近い 4.5km/h である。

結果として、3.5cm の段差では Z 軸の加速度はプラス方向の最大値として 2G の値が測定され、平均的に約 1.5G の値が測定された。マイナス方向においては、最大値が一定になることはなく、約 0G または約 -0.2G の値が多く測定された。3 回の移動において約 1.5G の値が多く測定されたため、加速度の閾値としては 1.5G が妥当であると考えられる。よって、プロトタイプシステムでは加速度の閾値を 1.5G とした。

4.2 バリア情報の更新に用いる矩形空間の決定

本システムでは、矩形空間を用いてバリア情報を更新しているため、プロトタイプシステムで使用する GPS に対する適切な矩形空間を決定する必要がある。

本実験では、プロトタイプシステムを用いて 30 分間の定点観測を行い、観測される緯度経度値を 1 秒ごとに記録した。その後、得られた緯度経度値から誤差範囲を計算した。なお、GPS による測定実験は周囲に高い建物がない開けた場所で行う必要があるため、本実験でも周囲に高い建物がない開けた場所で実験している。

結果として、誤差範囲は 1 辺の長さが縦横それぞれ約 2.5m となった。そのため、データ更新に用いる矩形範囲として、縦横それぞれ誤差余裕を考慮し 3m とするのが妥当であると考えられる。よって、プロトタイプシステムでは矩形範囲を縦横それぞれ 3m とした。

5. 評価実験

本システムの有用性を示すために、本システムのプロトタイプを用いて 3.1 節の 4 つの要件を満たすかの評価実験を行った。評価実験の結果を以下に示す。

5.1 要件 1: バリア情報の取得

要件 1 については、著者らが所有する一般的な電動車椅子にプロトタイプシステムを装着し、その電動車椅子に乗って段差を通過した際に、プロトタイプシステムが段差を検知し、その段差箇所を撮影し、その段差写真を保存できるかの実験を行った (図 7)。結果として、段差を検知し、その段差箇所を撮影し、その段差写真が Raspberry Pi 2 上に保存されることを確認できた。

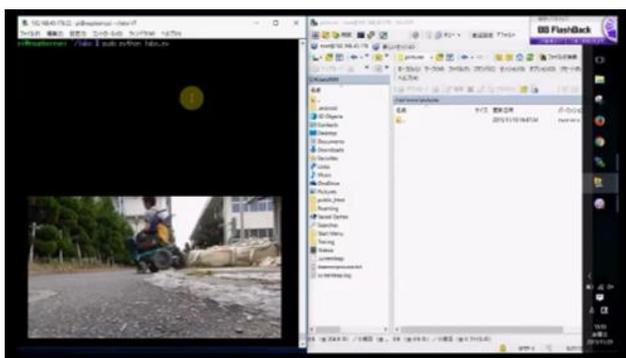


図 7 バリア情報取得実験

5.2 要件 2: バリア情報の送受信

要件 2 については、Raspberry Pi 2 上にバリア情報を蓄積し、Wi-Fi 接続時にデータ転送が行われるかの実験を行った。結果として、Wi-Fi 接続時に Raspberry Pi 2 上のバリア情報が本体サーバへ正しく転送されることを確認できた。

5.3 要件 3: バリア情報の更新

要件 3 については、本体サーバにおいて定期更新プログラムが正しく動作するかの実験を行った。結果として、1 分毎に定期更新プログラムが動作することを確認でき、新しいバリア情報が Raspberry Pi 2 より転送された際に、バリア情報の更新が正しく行われることを確認できた。

5.4 要件 4: バリア情報の提供

要件 4 については、本体サーバに保存されているバリア情報 (段差の情報) が Google Map 上に動的に表示され、段差写真も表示されるかの実験をおこなった。結果として、段差が存在する箇所のみが Google MAP 上に正しく表示されることを確認できた (図 8)。さらに、定期更新プログラムによってバリア情報が更新された場合も正しく表示されることを確認できた。

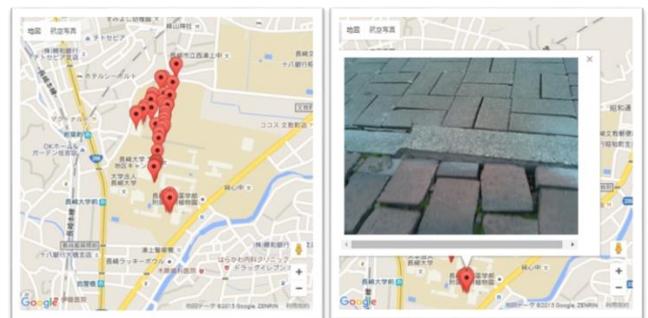


図 8 バリア情報提供実験

6. まとめ

本論文では、一般的な車椅子に装着した各種センサからの情報をバリア情報として収集し、常に最新情報を車椅子利用者 にフィードバックするシステム、すなわち、オンデマンド型バリアフリー情報提供システムを提案した。また、本システムを運用するために必要な 2 つのパラメータ、すなわち、段差判定に用いる加速度の閾値及びバリア情報の更新に用いる空間矩形を決定するための実験を本システムのプロトタイプを用いて行った。さらに、プロトタイプシステムを用いて評価実験を行うことで、本システムの有用性を示した。

今後の課題として、適切な空間矩形の設定があげられる。現状の矩形範囲では、情報更新に失敗する可能性があるため、適切な矩形範囲が設定できているとはいえない。よって、適切な矩形空間の設定が今後の課題である。また、本システムでは Z 軸の加速度を用いた閾値による段差判定を行っているが、加速度は車椅子の種類や乗車する人によって変化する可能性があるため、段差判定方法の妥当性を検証する必要がある。よって、この判定方法の妥当性の検証が今後の課題である。さらに、本システムでは複数の車椅子利

用者からバリア情報を収集することを想定しているが、評価実験においては1台の車椅子のみで実験を行っている。よって、今後は複数の車椅子からバリア情報を収集し、正しくデータ更新が行えるかの評価実験を行う予定である。

参考文献

- [1] 総務省統計局, “統計トピックス No.84 : 統計からみた我が国の高齢者 (65 歳以上) - 「敬老の日」にちなんで-”, 2014.
URL: <http://www.stat.go.jp/data/topics/topi840.htm>
- [2] 厚生労働省, “平成 23 年生活のしづらさなどに関する調査 (全国在宅障害児・者等実態調査)”, 2009.
URL: http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/seikatsu_chousa.html
- [3] 矢入郁子, “快適な車いす利用に向けた乗心地指標化のためのパーソナルセンシング・動的測量技術”, 公益財団法人立石科学技術振興財団 助成研究成果集(第 22 号) 2013, 2013.
URL: <http://www.tateisi-f.org/html/reports/h23reports/2011019.pdf>
- [4] 岡村拓哉, 伊與田光宏, “加速度センサによる路面状態の把握とバリアフリー検知への利用”, 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集 2014(1), pp.721-723, 2014.
- [5] M.Shikada, A.Okuno, M.Tokunaga, N.Matsuda, "The utility of renewal system for barrier-free map by using remote sensing and RTK-GPS", Proc. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'04), pp.4833-4835 vol.7, 2004.
- [6] 井上道哉, 古山宗亮, 金房雄一, 長澤可也, “iPhone を利用したバリア情報記録・公開システムの構築と運用”, 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集 2012(1), pp.93-95, 2012.
- [7] 環境省, “地方公共団体担当者のための建設作業振動対策の手引き - 第 2 章 振動の測定と評価”, 2012..
URL: http://www.env.go.jp/air/sindo/const_guide/lg.html