

スマートフォンと組み込みデバイスを用いた スポーツ自転車向けセンシングシステムの試作

篠田 篤¹ 田島 孝治²

概要: 近年, クロスバイクやロードバイクなどの整地走行に適した自転車を, 日常の運動不足解消のためのスポーツや, 通勤や通学の交通手段として利用する人々が増加している. 本研究では, スポーツ自転車を行う人々にとって有用性の高い情報を記録・共有するシステムの提案と開発を行う. 提案するシステムは, GPS 機能を搭載したスマートフォンと, スマートフォンに接続可能な組み込みデバイスと各種のセンサを利用して, 従来のサイクルコンピューターで記録することが困難であった自転車走行の状態を記録し, 分析・共有を行う. 本稿ではシステムの実現に向けて, ヒルクライムや山林でのサイクリング時の記録に役立つ勾配情報と, 安定走行可能かの指標となりうる路面の凹凸やブレーキの利用量などの収集を行ないスマートフォンに転送, 確認できるデバイスを実装, 評価したのでこれを報告する.

Advanced Sensing System for Bicycle with Smartphone and Embedded Devices

SHINODA ATSUSHI¹ TAJIMA KOJI²

1. はじめに

近年, クロスバイクやロードバイクなどの整地走行に適した自転車を, 日常の運動不足解消のためのスポーツや, 通勤や通学の交通手段として利用する人々が増加している [1]. 自転車による移動は, 自動車などの内燃機関を利用した移動に比べ環境負荷が低く, 効率が良い. そして自転車によって移動することにより, 健康の維持にもつながるため注目を集めている. また, 電車を利用した旅行に自転車を分解して現地に持って行き旅行先で自転車を利用する輪行や, 移動先の街で借りることができる貸し自転車を観光などの移動手段に利用してもらうという動きも盛んである.

この中で, 自転車の楽しみ方の一つとして, 走行の速度やクランクの回転数, 位置情報を記録し, 自分の走行を分析して, 同じ趣味を持つ仲間と共有して楽しむというものがある. このような楽しみ方は, スポーツとして自転車を

利用している人に多く見られ, その広がりとともに注目が集まっている分野である.

現在は, 走行を記録するための手段として, 速度やクランクの回転数, 総走行距離などを記録するサイクルコンピューターや, サイクルコンピューターに GPS を搭載して走行した経路を記録する機能をもたせたもの, スマートフォン上で動作するアプリケーションなどがある. しかしこれらは記録出来る情報が, 位置情報や速度, クランクの回転数のみなどに限定されており, 路面の状態や勾配, ブレーキや変速機の操作を記録して, 共有する手段は無い.

2. 研究目的

本研究では, 従来のサイクルコンピューターで記録することができないが, スポーツ自転車を利用する人々にとって有用性の高い情報を記録・共有するシステムの提案と開発を目的とする. 具体的には, ヒルクライムや山林でのサイクリング時の記録に役立つ勾配情報と, 安定に走行できるかの判断指標となりうる路面の凹凸やブレーキの利用量などの収集を行えるようなシステムの開発を目指し, 方式検討を行う.

¹ 情報科学芸術大学院大学 メディア表現研究科
The Institute of Advanced Media arts and Sciences

² 岐阜工業高等専門学校 電気情報工学科
Gifu National College of Technology

表 1 測定対象とする自転車の状態とセンサの種類

Table 1 The purpose of measurement and the sensor devices for the tracking

項目	利用センサ	目的
勾配情報	高度センサ	ヒルクライムや山林でのサイクリング時の記録
路面の凹凸状況	距離センサ	安定走行可能かの指標
ブレーキの利用量	変位センサ	

3. 提案システムの概要

本研究で提案するシステムの概要を図 1 に示す。システムは自転車に装着されたセンサとセンサコントローラ、利用者の持つスマートフォン、インターネット上のワークアウト共有型 SNS から構成する。走行中の自転車の状態は、センサで計測し、センサコントローラに集約する。センサコントローラはこの情報を定期的にスマートフォンに転送する。そして、スマートフォンがセンシング情報の解析と、スマートフォン自体に搭載された GPS 等の情報との重ね合わせを行い、地図やグラフによりセンシング結果を利用者へ提示する。さらに、利用者が結果を他人と共有したい場合には、この情報をワークアウト共有 SNS へ投稿できるようになっている。これにより、システムを利用するユーザは、ワークアウト共有 SNS を通じて複数人のセンシング結果を集め、自分のためのサイクリングマップを作るといった活用が期待できる。

センサからの情報をセンサコントローラを経由してスマートフォンへと送る構成にした理由は、センシング頻度の統一化と、無線通信による利便性向上のためである。通常、センサはその種類によってセンシング頻度が異なっている。頻度はセンサによって異なり、1 秒間に 100 回以上のセンシングを行うものもあれば、1 秒間に 1 回で十分なものもある。また、スマートフォンが行うセンシング結果の分析は、1 回だけの計測結果ではなく、連続的に計測した結果をまとめて扱う方が良いため、センサの頻度に合わ

表 2 プロトタイプの実装機材

Table 2 Execution environment

項目	利用機材
気圧高度センサ	MS5607
距離センサ	GP2Y0A21YK
センサコントローラ	Arduino UNO
Bluetooth4.0 に対応した無線通信モジュール	konashi
スマートフォン充電用バッテリー	Power-Pond
スマートフォン	iPhone 5

せて通信を行う必要はない。そこで、センサコントローラが各センサからの情報を一度とりまとめ、スマートフォンへの転送をまとめて行うことにより、センサによって異なるセンシング頻度を統一し、転送されてきたタイミングでまとめて処理できるようにする。これとは別に、スマートフォンはセンサに比べて高価な機材であり、鞆の中など安定した格納位置に保管して利用したい。これには有線接続は適していないため、センサとの接続は無線が望ましい。しかし、センサごとに無線通信を行わせると、それぞれにバッテリーを搭載しなければならず、結果としてセンサの重量が大きくなってしまふ。また、混線により正しく情報を伝達できない可能性もある。そこで、各センサはセンサコントローラと有線で接続し、センサコントローラが代表となってスマートフォンと無線で接続することにより、これらの問題を解決を目指す。

提案したシステムを実現するには、(1) 自転車の状態の記録と記録内容の解析、(2) 解析結果の共有が必要である。全体を一度に作ることは困難であったため、本稿では (1) の中で従来測定する手段のなかった自転車の状態の測定を目的として実施した。具体的には表 1 に示す状況を取得するためのセンシングデバイスの測定と、それを集約するアプリケーションの開発を行うことにした。

4. 実装

提案システムを、表 2 に示す機材を用いて実装した。それぞれの装置は図 2 に示す位置に取り付けた。このセンサの選定とセンサコントローラの実装については次節で詳しく述べる。

無線通信モジュールに Bluetooth4.0 を利用した理由は、省電力性能に注目したからである。Bluetooth4.0 の中でも特に、Bluetooth4.0LE は省電力性能に特化しており、既存の自転車用センサデバイスにはボタン電池 1 個で約 2 年間の動作が可能なものもある [2]。また、省電力であることを利用して自転車の電灯用の電源や、ハブダイナモ等の搭載電源を利用して駆動することもできる。本実装ではバッテリーを搭載してセンサを稼働させたが、Bluetooth4.0LE を使うことで、将来的には専用の電源を搭載することなくセンサーシステムを駆動できると考えている。

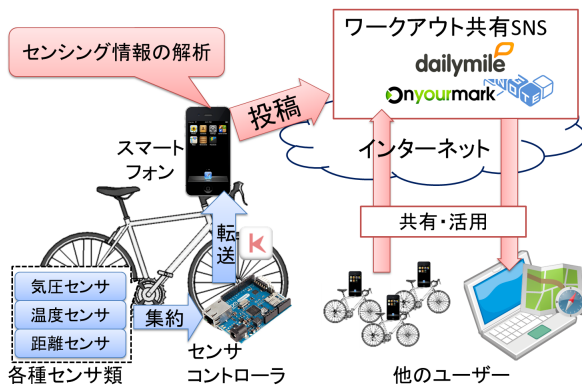


図 1 提案システムの概要

Fig. 1 Overview of the Proposed System

一方で、スマートフォンとして iPhone を選んだ理由は、Bluetooth4.0LE に標準で対応しており、機器ごとに性能が統一されているためである。また、製作したアプリを配信するためのプラットフォームが整備されており、多人数での利用が容易に行えると考えたことも理由の一つである。

4.1 センサコントローラ

本システムのセンサコントローラに必要な条件は、(1)PC 等の計算機を用いず独立して動作すること、(2)スマートフォンと無線通信で接続できること、(3)センサデバイスと通信できること、(4)プログラミング可能でセンシングデータのノイズ除去などの初期処理が行えること、である。

この条件を満たすデバイスとして、今回は AVR マイコンベースの Arduino を利用した。Arduino は様々なセンサや通信モジュールのサンプルコードが充実しており、新しいセンサデバイスを容易に利用することが可能である。しかし、Arduino だけではスマートフォンとの無線通信を行うことはできない。そこで、Bluetooth4.0 に対応した無線通信モジュール konashi を利用することにした。複数のデバイスを用いることによる煩雑さを防ぐために、Arduino と konashi はレベルコンバーターを経由したシリアル通信で接続し、iPhone へはテキスト形式でのみデータを送るようにした。

この構成にすることで、Arduino で動作可能なセンサであれば、どんなものでも Arduino のライブラリ等を用いてセンサの値の読み取りや処理を可能にした。また、iOS デバイスに接続して正規の状態で作動するハードウェアを作成するための MFI 認証なども不要にできた。

4.2 勾配の測定方法

本システムでは、道の勾配を高精度に測定するために、気圧と温度を小型の気圧高度計によって計測し、そこから高度の変化を検出することにした。高度は GPS による測定でも経度と緯度の情報に合わせて測定できる。しかし、スマートフォンの GPS 受信機を用いて自転車のように高速で移動している物体の安定した計測を行うことは難し

い。そこで、気圧の変化を測定すれば GPS による測定に比べ、より正確に高度の変化を推定できると考え、気圧高度計を用いることにした [3]。この測定によって従来は感覚的に評価していた坂道の傾きを、定量的に正確に比較することが可能となる。

気圧計によって絶対的な高度の推定をする場合は、高度が判明している基準点において、気象台が提供している気圧の情報が必要である。この気圧を基準にしなければ、現在値の絶対的な高度は計算できない。しかし、今回は高度の変化を推定するのみであるため、小型の気圧計と温度計から得られるデータの変化を記録するだけの実装とした。これによって通信に必要な時間やバッテリー消費の軽減ができると考えている。

今回の実装では、気圧高度計に MS5607 を搭載した Parallax 製の気圧高度測定モジュールを利用した。気圧センサを搭載しているスマートフォンも存在するが、より高分解能の気圧センサを外付けで取り付けることで、詳細な高度の変化を検出できるようにした。また、MS5607 の制御のためのプログラムには、内部仕様が近い後継機の MS5611 のためのプログラムの補正係数を改良して使用した。しかし、温度係数の補正が適切にできなかったため、温度の変化によって測定データが瞬間的に大きく変動することがあった。具体的には、センサの温度が特定の温度を超えると高度の推定値が 40~300m 急激に変化する問題が起きた。そこで、勾配の検出では相対高度のみが重要であることを利用して、連続する 2 つのサンプルで、10m 以上の急な変化があった場合、その差を誤差として打ち消す補正を行うことにした。作成したプログラムのサンプリング間隔は 0.4s であり、この間に高度が 10m 以上変化することは、公道を通常の方法で走行している自転車ではありえないと考え、この値を採用した。

センサを自転車に装着するためのエンクロージャも作成した。このセンサでは、一定量以上の外光が空気取り込み穴に照射されると圧力の計測値が大きく下がる問題があったため、センサとセンサコントローラは通気穴の開いた小型のダンボール内に固定して、それを自転車に装着することで外光を遮光している。

4.3 路面状況 (凹凸) の推定方法

路面の平坦度 (凹凸状況) の推定は、路面との距離を測定することで行う。図 2 に示したフロントフォーク最下部に距離センサを取り付け、路面との間の距離の変化を測定する。

今回は、SHARP 製の光学式測距モジュール GP2Y0A21YK を利用した。このセンサは赤外線を投射し、反射光の入射角を測定し、三角測量を行って距離を推定するセンサである。センサの特性として、外乱光が受光部に入る場合には正確な測距ができなくなるという特性が

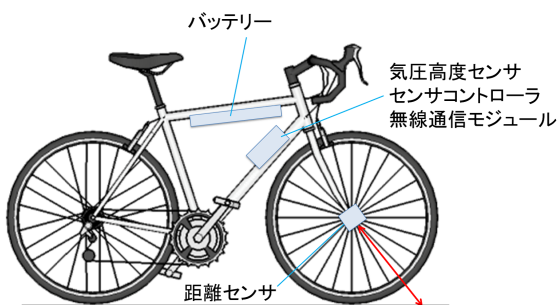


図 2 実装した装置の取り付け位置

Fig. 2 The mounting location of the sensor devices and the sensor-controller

あるが、今回のように光源が反射した光源が少ない地面に向けて測距を行う場合は問題ないと考えた。この他にも光源にレーザー光を利用したレーザーレンジファインダー、超音波の反射を利用したものなどが距離センサとして市販されているが、今回は振動の多い環境の測定のため、振動に強い一体型かつ小型であるこのセンサを選択した。

図 3 にマウンタの CAD データと実際の写真を示す。センサをフレーム（今回はフォーク）に固定するために、3D プリンターを利用して、センサのためのマウンタを作成した。これはフレームは曲面で構成されるため、専用の機材で取り付けないと振動によりセンサの位置が不安定になってしまい、正確な距離の判定ができないと考えたためである。

4.4 コースの安全度の推定方法

コースの安全度の推定のために、ブレーキや変速機のワイヤーの引き込み量を計測する。これによりブレーキの強度と頻度を測定することが可能となる。このセンシングは、ブレーキの使用度を自転車のスピードメーターから得られた情報と組み合わせることで、急ブレーキやスリップなどの危険な動作を多くしている地点を判定することを目的としている。

自転車での運転に危険な道の推定は、安全にサイクリングを楽しみたいという利用者の目的を実現するだけでなく、高速に走ることを目的とするレース用途において、下り坂やコーナーなどでのブレーキの配分とタイムを測定し、分析するということにも利用できると考えている。

このセンサに関しては、センサの選定と、取り付け方法の検討、マウンタの CAD データ作成までの実施とした。具体的には変位センサとしてスライドボリュームをトップチューブのブレーキワイヤーに添わせて配置し、その引き込み量を検出するようなデバイスを見当している。しかし、危険な道の推測のためには、複数の人間がある程度の期間に走った記録を集積する必要があるため、今後、iPhone アプリとサーバシステムと共に実装を検討していく必要がある。

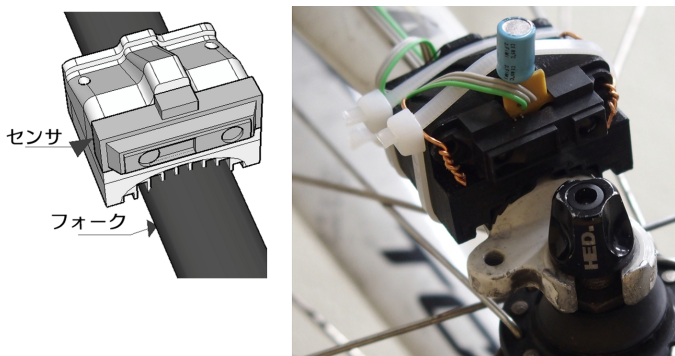


図 3 距離センサの CAD データと実装機器

Fig. 3 3D CAD Model and A production of the distance sensor device

ると考えている。

4.5 iPhone アプリ

センサで収集したデータを iPhone で収集するためのアプリケーションを konashi のライブラリを使用して作成した。iPhone アプリの実行画面を図 4 に示す。アプリケーションを起動し、センサーコントローラと Bluetooth により接続した後の画面が、図 4(A) である。接続に成功すると、konashi の電波強度とバッテリー残量（電圧）が表示される。下部のボタンを押すことで、シリアル通信の制御画面に遷移でき、図 4(B) のような表示に切り替わる。ここで通信レートの設定や、シリアル通信の ON, OFF を制御でき、センサコントローラが送信したデータも表示できる。

5. 評価実験

5.1 評価の概要

試作したシステムを評価するため次の 3 種類の実験を行った。

- (1) 平坦な経路における高度情報の精度比較
- (2) 高度に変化のある経路における高度情報の取得
- (3) 凹凸の激しさの異なる路面での距離情報の比較

(1), (2) は平坦な経路と高度に変化がある経路において、iPhone 内蔵の GPS による高度の計測結果と試作した気圧高度計による計測結果を比較し、高精度の測定ができるかを検証するために行った。(3) は距離センサによって凹凸の有無やその量を評価することができたかを検証するために行った。なお、比較実験において iPhone の内蔵 GPS を利用して高度を記録する自転車向けアプリケーションが必要だったため、今回は株式会社ソネルが公開している

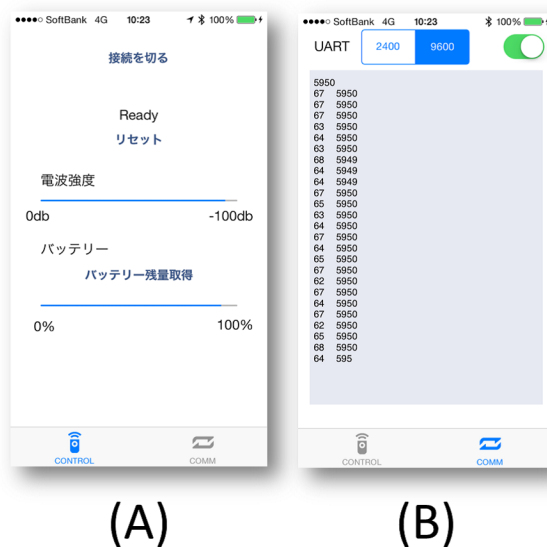


図 4 iPhone アプリのユーザインタフェース

Fig. 4 Smartphone Application of Proposed System

LiveCycling を利用した。

5.2 平坦な経路における高度情報の精度比較

この実験は、試作したシステムが移動経路を平坦であると正しく認識できるかの確認のために行った。この実験の経路を図 5 に示す。実験経路は、著者の所属する岐阜高専付近で比較的直線の多い道路(約 4.5km)を選んだ。まず、実験経路の正確な高度情報を得るため、国土地理院が公開している高度データから、経路の交差点を中心にほぼ等間隔になるよう 34 点分取得した。

国土地理院が公開している高度情報、本システムより得られた結果、比較対象の iPhone アプリにより得られた結果を、図 6 にまとめる。

この経路は平坦であるものの、始点から終点にかけて約 10 メートルほど降下している。本システムで記録したデータは、これと同様にゆるやかに降下している結果となっているが、iPhone の内蔵 GPS を利用して計測した高度は、実際の平坦な地形に比べて激しく変化している。この結果より、本システムを使えば高度の変化が GPS に比べ精度よく検出できることが明らかとなった。

一方で、本システムは実際の高度より 80m 程高い値が記録されてしまっている。これは、気圧高度計の気圧から高度への変換において、天候等による変化を考慮していないことと、温度に対する測定結果の補正係数が不適切であることが原因と考えられる。

5.3 高度に変化のある経路における高度情報の取得

この実験は、システムが急速な高度の変化をとらえることができるかを試すために行うものである。ヒルクライム競技等の参加者は、急斜面の上り下りを行うため、これに対応する必要がある。そこで、今回は高度に変化のある経路として、岐阜県岐阜市島大橋の高度情報の変化を測定



図 5 実験経路と標高データの取得点(国土地理院地図を利用)
Fig. 5 The altitude of the experimental route

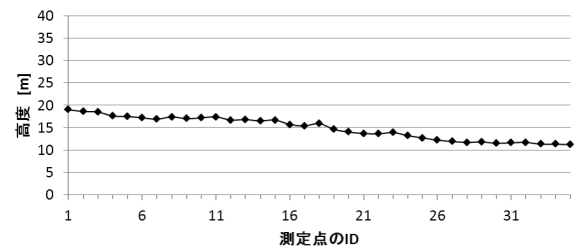
した。

平坦な経路での実験と同様に、本システムと iPhone の内蔵 GPS を利用して高度を記録する自転車向けアプリケーションを利用した。なお、橋の様の一部だけが周囲の地形より盛り上がっている場合、前項で比較対象とした国土地理院の公開している高度情報は高度データのメッシュ間隔が橋より大きく、正確に橋の高度情報が得られなかった。

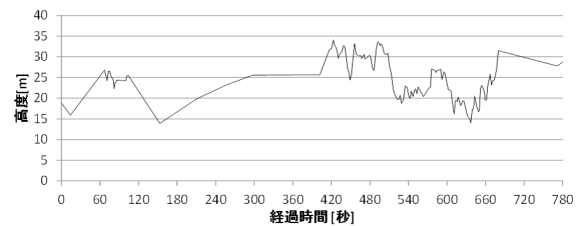
本実験の結果を、図 7 に示す。iPhone の内蔵 GPS を利用して計測した高度は、高度の変化の有無にかかわらず激しく上下している。また、気圧高度計を利用した場合は平坦な区間と橋によって高度が変化する区間で顕著な変化が確認できた。これより、気圧高度計による高度の測定では、高度に変化が急激な地形であっても、正しく認識できることが分かった。

5.4 凹凸の激しさの異なる路面での距離情報の比較

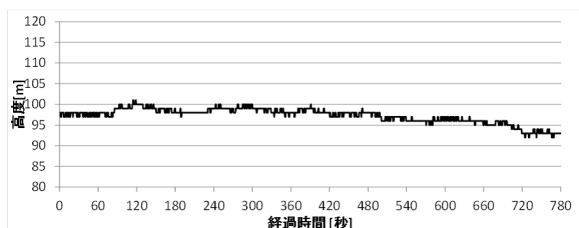
この実験は、試作したシステムが路面の凹凸状況を定量的に判断できるかを確認するために行う。比較のための道路の様子を図 8 に示す。凹凸のある路面として、岐阜高専図書館北側の路肩に等間隔で設置されている道路鋸の設置されている区間を利用した。凹凸の少ない路面には、岐阜高専正面玄関前のマンホールの敷設工事跡から正面玄関の張出し屋根までの経路を利用した。また、凹凸の無い路面



(A)国土地理院地図より取得した高度情報



(B)GPSにより得られた高度情報



(C)提案システムにより得られた高度情報

図 6 平坦な経路での比較実験の結果

Fig. 6 The experimental result on the flat road

として岐阜第一高等学校の東側の道路を利用した。

本実験の結果を図 9 に示す。凹凸が激しい経路で走行した場合のデータに比べて、凹凸が少ない経路で走行した場

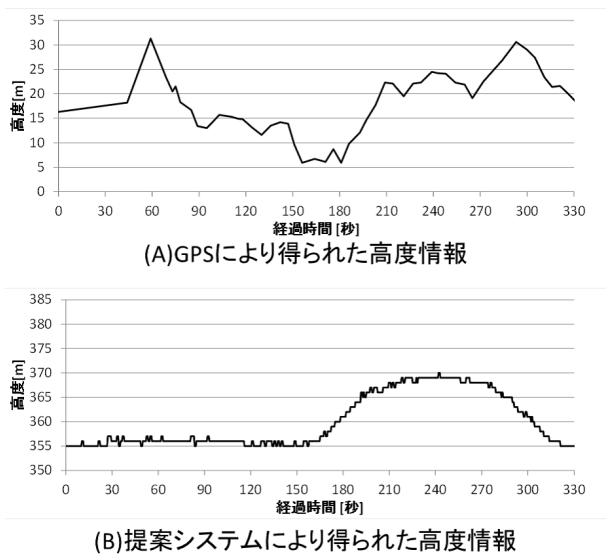


図 7 高度に変化のある経路での比較実験の結果

Fig. 7 The experimental result on the undulating road



(A)激しい凹凸のある道



(B)数か所の凹凸のある道



(C)凹凸のない道

図 8 凹凸の激しさを異なる路面

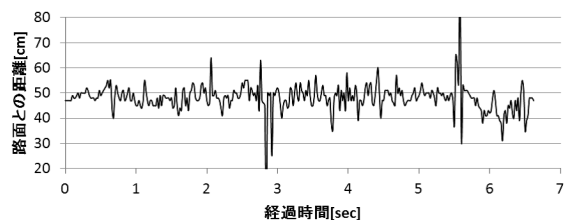
Fig. 8 The surface of the corrugated road

合のデータは変化が少なくなっている。また、凹凸の少ない路面での測定結果は、盛り上がっているコンクリートの部分の段差の検出ができています。なお、この実験は同じ経路を 5 回同方向に移動して計測し、それぞれ同じ傾向を持つ独立した結果が得られたが、この結果はその中の 1 つを抜き出したものである。

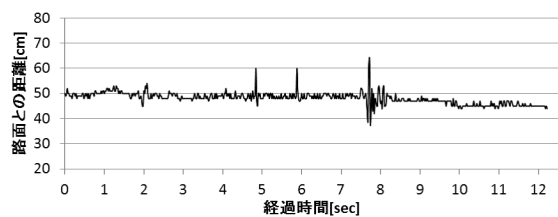
一方で、凹凸のない路面の測定結果のはじめの部分において変化している部分が見られる。これは凹凸を検知したわけではなく、走り始めに速度が不十分で操舵して車体を安定させた際に、車体が左右に傾いた事によって路面との距離が変化したものと考えられる。

以上の結果より、本システムは経路の凹凸を計測できていることがわかる。しかし、今回の結果は路面との距離を取得しただけであり、ある特定の数値で路面の凹凸を表すためには、一定時間ごとの分散や、特定の閾値とのクロス回数などに基づく凹凸の指標が必要になってくると考えられる。

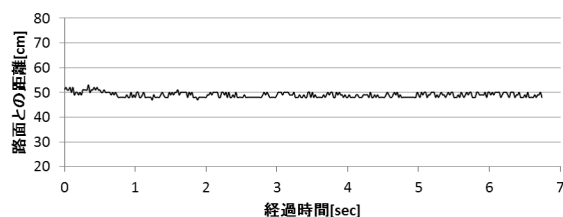
また、今回は計測の間隔を一定時間としたため、走行時の速度によって一定距離の路面に対するデータの密度が異なってしまう。一定の距離における高度の変化が路面の凹凸であるため、厳密にはデータの密度を距離に対して一定にしなければならない。このため、測定のタイミングを自転車のタイヤの回転量に合わせて測定したり、GPS の測位



(A)激しい凹凸のある道



(B)数か所の凹凸のある道



(C)凹凸のない道

図 9 凹凸の激しさを異なる路面での実験結果

Fig. 9 The experimental result on the corrugated road

結果と組み合わせたりする必要があると考えられる。

6. まとめ

本研究では、GPS 機能を搭載したスマートフォンと、スマートフォンに接続可能な組み込みデバイスと各種のセンサを利用して、今までは収集できなかった自転車走行の状態を記録し、分析・共有するシステムを提案した。具体的には、走行コースの勾配の変化、路面の凹凸などの路面状態、ブレーキや変速の動作の3種類を対象とし、収集可能なシステムを検討した。また、走行コースの勾配の変化と路面の状態の測定方式については、気圧センサと距離センサによる測定デバイスを作成し、評価を行った。

提案したシステムは、自転車に装着されたセンサとセンサコントローラ、iPhone とワークアウト共有型 SNS から構成する。今回は、この中でもセンサ及びセンサコントローラを試作した。センサコントローラには AVR マイコンベースの Arduino を利用し、Bluetooth 接続の通信モジュール konashi を経由することで、自転車に取り付けられたセンサと無線通信可能な方式とした。

勾配を測定するためのセンサは、小型の気圧高度計を使い、平坦な経路だけでなく、高度の急激な変化がある路面であっても、iPhone の内蔵 GPS を利用した測定と比較して、ノイズ等による高度の急激やバラツキを抑え、平坦さや勾配を記録出来る事が明らかとなった。

また、路面の凹凸状態を測定するために自転車のフォークに距離センサを地面に向けて装着したものを試作した。さらに、この距離センサを自転車に固定するために、3D プリンターを用いて車体の形状に適合するマウンタを作成し、路面の凹凸の度合いが異なる経路で実験を行った。この結果、路面の凹凸の有無、凹凸の量を測定することが可能であることがわかった。

今後の課題としては、各センサの測定誤差をより厳密に測定し評価すること、ブレーキの引き込み量等、他のセンサの測定方法を実装すること、測定したデータをワークアウト共有 SNS へ投稿できるように自動整形する機能の実装が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は『越山科学技術振興財団の助成（平成 24 年度）』を受けて行われたものである。

参考文献

- [1] 国土交通省：みんなにやさしい自転車環境－安全で快適な自転車利用環境の創出に向けた提言，入手先 (<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/cyclists/>) (2014.05.15)
- [2] Bluetooth SIG, Inc. : Bluetooth4.0, 入手先 (<http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Home.aspx>) (2014.05.15)
- [3] 鈴木孝幸, 白井宏幸, 森 雅崇, 田中博, 山本富士男 : Android 端末内蔵気圧センサを用いた在階推定方法の基礎検討, 電子情報通信学会 2013 年総合大会 論文集, Vol.2, pp.578 (2013).