

二輪車向け車体運動センシングシステムの試作

宮澤 彰人¹ 木谷 友哉² 神村 吏³ 塩見 彰睦¹

概要: 二輪車向けの安全運転支援を行うためには、速度や傾きなど車体挙動を把握する必要がある。コストを掛けずに実現する方法として、スマートフォンの内蔵運動センサでセンシングし、挙動推定する方法がある。しかし、スマートフォンで取得したデータが、車体の挙動を推測するために必要な精度や量を満たしているか、また得られたデータから判断した車体挙動が正確かの検証が必要となる。本研究では、二輪車の車体運動をセンシングするための低価格な専用評価用システムを開発する。開発するセンシングデバイスでは、3軸加速度、3軸角速度、GPS測位情報などを取得する。取得したデータは、二輪車の車両運動を解析してリアルタイムで判断できる仕組みを構築するのに役立てられるようにする。実装の結果、単価を12,000円程度に抑え、8日間で開発することができた。開発したシステムで取得したデータを、スマートフォンで取得したデータと比較した結果、スマートフォンでのセンシングは車体の挙動の判断について、専用設計のセンサと同様の利用可能性が認められた。

A prototype of a motion sensing system for a motorcycle

AKIHITO MIYAZAWA¹ TOMOYA KITANI² TSUKASA KAMIMURA³ AKICHIKA SHIOMI¹

Abstract: In order to achieve safety driving support for motorcycles, it is necessary to grasp a motorcycle's body behaviors, such as its body motion and trajectory. To realize that inexpensively, it is reasonable to use the built-in motion sensors of a smartphone. However, it is not confirmed whether the accuracy and quality of such sensors of a smartphone is enough for safety driving support. In this paper, we develop a sensing system for a motorcycle's body motion with low cost. The proposed sensing system consists of three-axis acceleration sensor, three-axis gyro sensor, a GPS receiver, etc. The acquired data is analyzed and used for building the structure to comprehend the vehicle movement of a motorcycle. As a result of development, the price of the sensing unit is able to be cut down to about 12,000 yen, and is able to be developed within eight days. Through the comparison between the developed dedicated sensing system and a sensing application using the sensors on a smartphone, we have confirmed that the motion sensing for a motorcycle with a smartphone could have the same availability as that with dedicated sensors.

1. はじめに

四輪車では予防安全技術として、車体運動をセンシングして車両を制御するTCS(Traction Control System), ESC(Electronic Stability Control), ABS(Antilock Brake System)などが実用化されている。また、近年情報通信技術を利用した高度交通システム(ITS)が研究開発され、一

部では実用化も行われている。

しかし研究、実用化の対象は四輪車であることが多く、二輪車のことは考慮されていない。車体、操作、運動特性も違うため、四輪車向けの車体制御システムやITSサービスを二輪車ではそのままでは利用できないことがある。

さらに、二輪車は車載スペースやコストの制約から、高価な車載機や複雑なシステムは搭載が難しい。車体の特性から横滑りや転倒が起りやすいため、ESCのような車体運動制御は実用化例は少なく、車体にセンサが取り付けられている車体は少ない。

このような車体運動のセンシングとITSサービスの恩恵を享受するための車載機を、コストを掛けずに普及させる

¹ 静岡大学 情報学研究科
Graduate School of Informatics, Shizuoka University

² 静岡大学 若手グローバル研究リーダー育成拠点
Division of Global Research Leaders, Shizuoka University

³ 静岡大学 情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University

方法として、スマートフォンを使うことが考えられる。スマートフォンは、近年高く普及し始め、GPSや運動センサを搭載しているものが多い。携帯回線を使用した通信や、アプリケーションも提供できるため、車体にセンサを取り付けることなく車体運動のセンシングを行い、運転支援を提供することが可能である。

しかし、慎重な制御が必要な交通安全支援にスマートフォンを車載機として使う際に安全性、正確性などいくつかの観点で十分に信頼できるかの検証が必要となる。

本研究では、二輪車の車体運動をセンシングするための安価な専用評価用システムを開発する。開発するセンシングシステムでは、二輪車に取り付け、走行中の3軸加速度、3軸角速度、GPS測位情報などを取得する。取得した挙動データは、スマートフォンなどで二輪車の車両運動を解析してリアルタイムで運転支援を行える仕組みを構築するのに役立てられるようにする。

専用評価用システムをシステム要件から設計し、センサとプロセッサを選定し実装し、挙動の収集実験を行った。

2. システム要件

2.1 システムの要件

交通安全支援サービスを実現するために、二輪車の挙動の把握をしたい。二輪車の挙動とは、大まかに、姿勢や速度といった車体の運動と、車体の移動経路に分けて考えることができる。

車体の運動は、速度と姿勢を要素に分け、それらの組み合わせで単位車体運動を表現する。速度は、停止、加速、等速走行、減速の4つの要素に分け、姿勢は、正立、左傾、右傾の3要素に分ける。また、右左折やUターン、すり抜けなどは、単位車体運動の時系列の組み合わせで表現する。これらの車体運動をセンシングしたデータから区別して判断できるようなシステムを考案する。

速度判別に必要なデータは、距離と時間、速度もしくは加速度計が必要である。速度計は、二輪車に搭載されている速度メータから情報を抜き出すことも考えられるが、メーターに加工が必要なことと、車体メーカーや製造年代によって方式や内部信号のプロトコルが異なるため、実用的ではない。距離も同様である。GPSの航行情報から移動速度や距離を取得する方法もあるが、悪天候やトンネル内など衛星からの電波状況に依存するため単独での使用は難しい。そのため今回のシステムでは、加速度計によって加速度を取得する。

姿勢判別に必要なデータは、角速度である。一般に静止物体の傾きは、重力加速度を用い、複数軸の加速度で計算することができる。今回は、二輪車の走行中の傾きを取得する。走行中は重力加速度と加減速による加速度、さらに遠心力による加速度が発生するため、加速度単体では車体の傾きをみることができない。そのため、姿勢は主に角加

速度計によって角速度を取得する。速度の判別の為に加速度を取得しているため、併せて判別に利用する。

また、移動経路の把握には、GPSが必要である。ただし、交通安全支援サービスを実現するためには、一般にGPSの精度、応答速度では不十分であるから、加速度センサやジャイロセンサの値も利用する。GPSの航行情報には、速度や距離、進行方位の情報が含まれるので、速度判別に補助的にGPSの航行情報を利用することもできる。これらのセンサを用いて、先述した二輪車の挙動をセンシングする。

このセンシングシステムは、スマートフォンのセンサで判断できる車体運動の範囲がどの程度であるか検証することもできる。

2.2 試作システムの構成

センサの構成は上記要件で示された加速度、角速度、GPS、それに、多くのスマートフォンで内蔵されている地磁気センサも搭載する。地磁気センサはトンネル内などGPSが機能しない状態に、航行情報を取得するために補助的に使用できる。

さらに、気圧センサを搭載する。二輪車特有の車体運動としてすり抜けがある。車両の追い越しの際、特に高速度での移動中に大きなトラックなどを追い越す際には、ベルヌーイの法則により、一時的に側方の車両間の空気の流速が小さくなる。結果、動圧が減り気圧差が生まれ、その車両に吸い込まれるような現象が起きる。気圧データから走行中のすり抜けの検出ができると期待して、気圧センサを提案システムのセンサに導入する。

車体に複数のセンサを取り付け、挙動を把握するためのセンシングシステムの設計試作する。車体の可動部分を考えて、フレーム本体、前輪部、後輪部のそれぞれに1つ以上のセンサを設置する。

3. センサ及びプロセッサの選定

提案システムは、部品の入手が容易なこと、安価なこと、組み立てや変更が容易であることを目標にして作成した。これは、将来の拡張性や他研究への応用を考えてのことである。使用するセンサは、入手性及び実装性を良くするため、DIPモジュール化されたものを候補とし、さらに価格や解像度、測定レンジを考慮して選定した。プロセッサは、速度、性能はもちろん、入手性、価格、開発環境の整えやすさ等を考慮して選定した。

3.1 測定周期及び範囲

角速度の範囲と、各センシング値のサンプリングレートについては、次の予備実験を行って考察した。

なお、スマートフォンとしてiPhone4Sを用い、内蔵されているGPS、加速度、角速度、地磁気センサの値を取

得するシンプルなアプリを設計して動作させたところ、サンプリングレートは最大で 80Hz、バックグラウンドで別のアプリが動作しているときは 50Hz 程度になることが分かった。そこで、スマートフォンのセンサのサンプリングレートは最大 50Hz とする。

先述した挙動のプリミティブ以外にも、提案システムではエンジン回転数や路面状況をセンシングできる可能性がある。加速度センサによりエンジンの振動からエンジン回転数をセンシングすることを考えると、アイドリング回転数である 1200rpm でも 20Hz であり、40Hz 以上のサンプリングレートが必要である。加速中の 6000rpm は 100Hz となり 200Hz 以上のサンプリングレートがないとエンジン回転数を正確に把握できない。また、エンジン回転数は点火パルスの間隔を別系統で参照することにより得る方が用意で正確であるため、センシング対象を車体運動として、エンジン回転数は考慮しない。

路面の状態については、速度 v [m/s]、路面の凸凹の間隔 x [m] とすると、その振動は $f = v/x$ [Hz] で起こる。

サンプリングレートを s とすると、その凹凸をセンシングするためには $s_f = 2f$ を満たす必要がある。30m/s (108km/h) で走行中に 0.1m 間隔の凹凸をセンシングするためには 600Hz のサンプリングレートが必要となる。

なお、30m/s で 50Hz サンプリングの場合は 1.2m 以上、100Hz サンプリングの場合は 60cm 以上の凹凸がセンシング可能である。

自動二輪車の車幅は 60cm~1m 程度である。そのため、すり抜けなどを考慮して、車幅の半分を単位として、それを区別できる間隔でサンプリングを行う。30m/s (108km/h) で走行中の車両は 0.01 秒で 30cm 進むので、提案するセンサのサンプリングレートは 100Hz とした。

3.2 予備実験

二輪車の挙動の速さを調査するために予備実験を行った。二輪車の操作で最も機敏なもの 1 つは、スラロームである。そこで、10m 間隔で折り返すスラローム動作について、車両本体に設置された角速度センサの値を取得した。

二輪車は、スタンダードタイプの二輪車 (ヤマハ FZ6 600cc) を使い、センサのサンプリングレートは 50Hz とした。

図 1 にスラローム動作のときの角速度センサの取得値を示す。また図 2 に FIR フィルタ (標本数 4, カットオフ周波数 5Hz) によってノイズを除去した角速度センサの取得値を示す。図 2 より、車体を左右に倒すスラローム動作が 30 秒間に 8 回行われていることが読み取れる。図 1 より、角速度センサのセンシング範囲は $\pm 3\text{rad/s}$ あれば十分であると分かる。

図 3 に各角速度センサの取得値を周波数解析したものを示す。周波数が約 0.3Hz のところにピークがあることが分

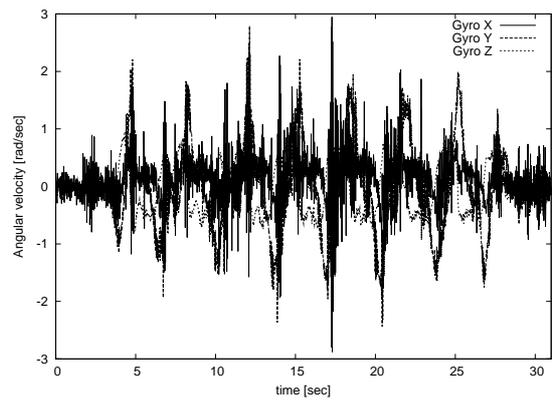


図 1 スラローム時センサ値

Fig. 1 Original sensed values of Slalom behavior

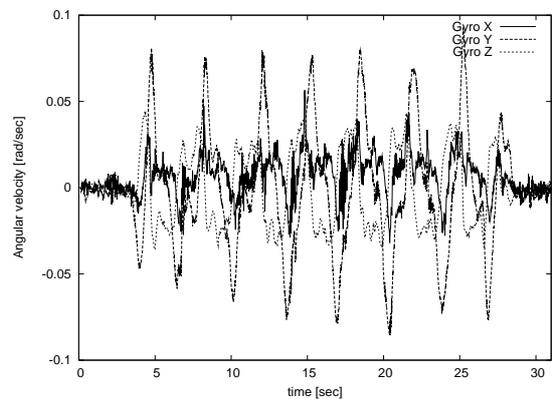


図 2 ノイズ除去したスラローム時センサ値 (LPF: FIR(N=4, CO=5Hz))

Fig. 2 Noise-reduced sensed values of Slalom behavior (LPF: FIR(N=4, CO=5Hz))

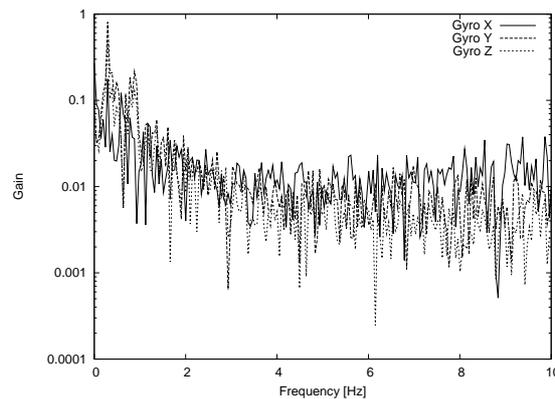


図 3 スラローム時センサ値の周波数解析 (0Hz~10Hz)

Fig. 3 Frequency Analysis of Sensed values of Slalom behavior (0 to 10 Hz)

かる。これは約 3 秒周期でスラローム動作をしているからである。また、X 軸では 0.6Hz 付近に、Y-Z 軸では 1Hz 付近に別のピークが見える。これにより、運転手が入力する車体運動の速さは最大で 1Hz であり、50Hz のサンプリングレートは十分である。

表 1 KXM52-1050 諸元
Table 1 KXM52-1050 factor

項目	値	単位
測定範囲	±2.0	G
感度	660	mV/G
応答性 (X,Y)	0~3,000	Hz
応答性 (Z)	0~1,500	Hz

表 2 ENC-03R 諸元
Table 2 ENC-03R factor

項目	値	単位
測定範囲	±300	deg/s
感度	0.67	mV/deg/s
応答性	50	Hz

3.3 加速度と角速度

加速度の測定には加速度センサを、角速度の測定にはジャイロセンサを使用する。

加速度センサは、在庫や入手性の観点から、Kionix 社の KXM52-1050 を DIP パッケージ化したモジュールを利用する。センサの諸元 [1] は表 1 の通りである。加速度について、測定レンジは ±2G である。1G は約 9.8m/s^2 であるので、 $\pm 2\text{G} = \pm 19.6\text{m/s}^2$ となる。これは 0~100km/h まで約 1.5 秒で加速できる加速度である。市販されている最も速い自動二輪車（1000cc のスポーツバイク）で、0~100km/h（約 30m/s）までの加速に約 2~3 秒かかる。そのため通常の走行において測定レンジは十分であると考えられる。

分解能については、センサの出力がアナログ値のため、使用する A/D コンバータの精度によって変化する。リファレンス電圧 3.3V、A/D コンバータ出力が 10bit の場合、分解能は、 0.00488G/Step となるため測定の精度を十分満たすと思われる。

ジャイロセンサは、ジャイロセンサは DIP パッケージで利用できる数種類の中から、一番安価な物を選んだ。傾き保証などの機能が搭載されているセンサもあるが、パッケージが表面実装品であったり、センサの価格が高いなどの問題がある。今回は、安価なセンサを利用し、データの評価を経て精度の評価を行う。今回は、村田製作所の ENC-03R を 2 つ実装したモジュールを使用する。このモジュールを 2 つ実装することで、3 軸に対応させる。センサの諸元 [2] は表 2 の通りである。測定レンジは $\pm 300\text{deg/s}$ である。これは、 $\pm 3\text{rad/s} (\approx \pm 172\text{deg/s})$ を満たす。

分解能については、センサの出力がアナログ値のため、加速度センサと同様に計算すると、分解能は、 4.78deg/s/Step となる。センサの感度よりも荒い解像度になっているため、精度の低下は心配される。

表 3 HMC5883L 諸元
Table 3 HMC5883L factor

項目	値	単位
測定範囲	±1~±8	Gauss
分解能	0.73~4.35	mGauss/Step
測定周期	0.75~75	Hz

表 4 SCP1000 (高速測定モード) 諸元
Table 4 SCP1000(High speed measurement mode) factor

項目	値	単位
測定範囲	30~120	kPa
分解能	最大 1.5	Pa
測定周期	9	Hz

3.4 地磁気と気圧

地磁気は、磁気センサを利用して取得する。GPS の補助 Honeywell 社の HMC5883L を利用する。このセンサのパッケージには、3 軸磁気センサと、専用プロセッサが内蔵されている。測定したデータはシリアル通信を用いて出力する。また、いくつかのパラメータや測定方法を設定可能であり、測定方法は、周期測定モードと、単発測定モードを持つ。測定周期やレンジも可変なので、分解能も変化する。地磁気センサの諸元 [4] は表 3 の通りである。

周期測定時の測定周期は最大で 75Hz である。分解能は、測定レンジにもよるが $0.73\sim 4.35\text{mGauss/Step}$ となる。今回は、測定レンジ $\pm 1.3\text{Gauss}$ 、分解能 0.92mGauss/Step の設定で使用する。地磁気は、場所によって異なるが、 $0.3\sim 0.5\text{Gauss}$ 程度であるため、二輪車の進行方位を特定する程度の精度は出るだろう。磁気センサなので、当然地磁気以外の磁気にも反応する。二輪車への取り付け位置によっては期待したデータが得られないことも考えられる。

気圧は、気圧センサを利用して取得する。いくつかの候補のなかから、一番分解能が高い VTI Technologies 社の SCP1000 を使用する。このセンサのパッケージには、気圧センサと、補償用の温度センサ、専用プロセッサが内蔵されている。測定したデータはシリアル通信を用いて出力する。このセンサは、高分解能測定モード、高速測定モード、低消費電力測定モード、超低消費電力測定モードの 4 種類の測定モードを設定できる。今回は、高速測定モードを利用する。高速測定モード時のセンサの諸元 [3] は表 4 の通りである。測定レンジは、大気圧が 101.325kPa なので、日常生活の範囲でレンジ内に十分収まる。分解能は、すり抜けが検出できる程度でよいが、実際に検出できるかは不明である。

各センサモジュールの入手先と価格を表 5 にまとめた。

3.5 GPS

6 軸のセンサに加えて、道路の形状を走行位置から取得するため、GPS によって走行位置・航行情報を取得する。

表 5 センサモジュール価格
Table 5 Sensor module price

センサ	入手先	単価
KXM52-1050 モジュール	秋月電子通商*1	1,000JPY
ENC-03R モジュール	秋月電子通商	400JPY
HMC5883L	SwitchScienceswitch*2	1,495JPY
SCP1000	秋月電子通商	1,800JPY

今回は、CANMORE ELECTRONICS 社の GT-723F を利用する。このモジュールは GPS の観測情報を、シリアル通信によって出力する。データ出力周波数は 1Hz である。出力データは、NMEA 0183 フォーマットに準拠している。NMEA 0183 は NMEA(National Marine Electronics Association) によって規定された海上電子装置のデータ仕様である。NMEA 0183 センテンスからは緯度経度、時間、速度、進行方位を取得することができる。

3.6 プロセッサの選定

選定したジャイロセンサの Pitch, Yaw, Roll 及び加速度センサの XYZ は、それぞれアナログ出力であるため、プロセッサ側には最低でも 6 つの A/D 変換入力が必要である。また、ログデータは AD 変換の分解能が 8Bit として、100Hz でサンプリングを行うと 1 時間に約 2KB 以上の記憶領域が必要である。内蔵のメモリは一般に容量が少ないため、FlashROM 等の不揮発性が使用できること。なおかつデータの取り出しを考えると、SD カードなどの取り外しできる記録メディアが使用できると望ましい。

以上の要件から、Mbed LPC1768 (以降 Mbed とする) を採用することにした。Mbed は NXP Semiconductors [5] のマイクロコントローラ LPC1768 を搭載した評価ボードである。Mbed は、高速プロトタイピングをコンセプトにしており、組込みやマイコンに不慣れでも比較的容易に組込みソフトウェアを開発できる。コンパイラ等の開発環境はウェブサーバー上に用意されており、ウェブブラウザでアクセスすることで開発が行える。ROM ライタなどの特別な装置を必要とせず、また、様々なライブラリがすでに用意されているため、ソフトウェアの開発期間も圧縮できる。また搭載されているプロセッサ LPC1768 は 12bit の A/D コンバータや Ethernet をはじめとした様々な IO を持つマイクロコントローラである。このプロセッサには SPI(Serial Peripheral Interface) が 2ch 搭載されている。記録メディアとして一般的な SD カードは、SPI の読み書きも可能である。また公開されているライブラリによってファイルシステムベースのファイルアクセスが実現されている。記録したデータの閲覧が容易になり、また記憶容量も十分である。ただしこのモジュールには、プロ

*1 <http://akizukidenshi.com/>

*2 <http://www.switch-science.com/> (日本での販売店。製造元は Sparkfun(<http://www.sparkfun.com>) で価格は 14.95USD.)

セッサが LPC1768 とは別にプラットフォーム用として実装されている。そのため、消費電力と価格が高くなっている。各種検証用には向くが、低消費電力を目的とする場合には向かない。

4. 構成

二輪車は灯火系・点火系等の配線が金属の外装で保護されていることは稀であり、樹脂製のカバーで覆われるか、むき出しであることが多い。よって四輪車よりもセンサやコントローラが影響を受ける電氣的ノイズが多いと予想される。そのため、センサとマイクロコントローラ間の信号線は極力短くしたり、シールド線を用いるなどのノイズ対策を行う必要がある。また、構想では二輪車の 4 か所にセンサを取りつける予定であるため、システムの構成を GPS の航行情報を記録する GPS ユニットと、6 軸のセンサデータを記録するセンサユニットの 2 種類を組み合わせる構成とした。

各ユニットは電源投入時からのハードウェアタイマによるタイマーカウントによって擬似的な同期を行う。センサユニットは、各軸のデータにタイマーカウントを付加して記録する。GPS ユニットは、GPS モジュールから取得できる航行情報と時間にタイマーカウントを付加して保存する。解析の際に、付加されたタイマーカウントをデータの同期に利用する。

タイマーカウントはハードウェアによるものなので、精度はクロック精度による。電源投入からの累積時間のため、データの評価時に同期の精度が不十分であるようならば、同期の仕組みを付加する。今回は、ユニット間の配線を少なくするため電源線のみを配線する。

5. 実装及びデータの取得

5.1 設計

選定したセンサ類を、センサユニットとして組み立てる。回路設計後試作を行い、さらに小型化や品質の均一化を目的とし、プリント基板を設計した。

プロトタイプは、ハードウェア、ファームウェアを含めて 5 日間で実装を完了した。量産版は、プリント基板の artwork 作成に 2 日、センサ類の実装及びファームウェアの改修を 1 日で終えた。ファームウェアの総行数はライブラリを除くと 550 行であり、センサの二輪車への取り付けを除くと作業日は合計 8 日と極短期間で開発が行えた。センサユニットの単価は、プリント基板の作成費を含めると、約 12,000 円であった。図 4 は作成したセンサユニットの写真である。

提案システムの評価のために、2 台の自動二輪車にシステムを組み付けた。GPS ユニットと電源はガソリンタンクの上に、センサユニットは図 5 のように、ハンドル上、前輪フェンダーの上、フレーム、スイングアーム上に計 4

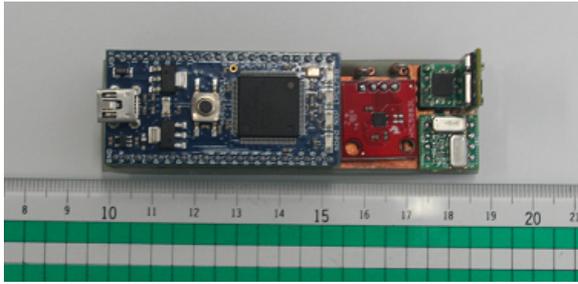


図 4 実装済センサユニット
Fig. 4 Developed Sensing Unit

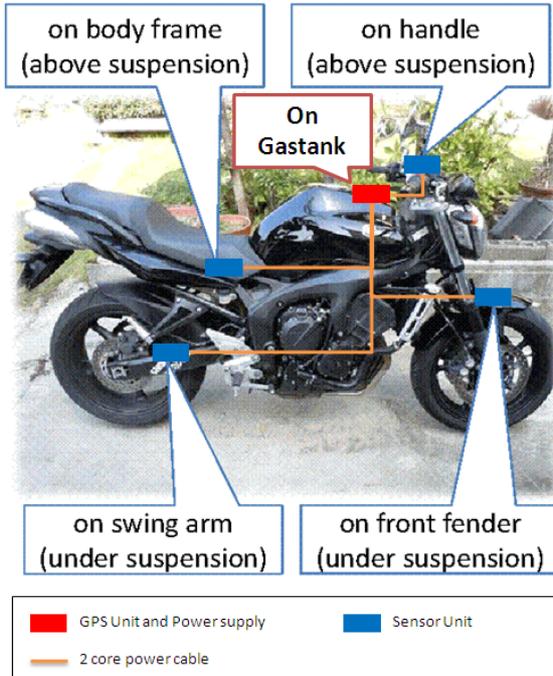


図 5 ユニット取り付け位置
Fig. 5 Sensing points on Motorcycle

つ取り付けした。スマートフォンは、iPhone4Sを使用した。

比較の為に、センシングアプリケーションが乗ったスマートフォンをハンドル上に固定し、実際に走行してデータの収集をした。データ収集は、高速道路を走行して行った。図 6 は、高速道路の左車線から、右車線へ車線変更しているときのセンサ値のグラフである。

実験結果から、次のことが得られた。

フレーム上のセンサ値の振れ幅 (図 6 中、“body”) は、前輪フェンダーの上センサの値の振れ幅 (図 6 中、“tire”) よりも小さい。これは、前輪、後輪のサスペンションが運動を減衰しているからと推測できる。また、二輪車では曲がるとき、車体を傾ける前にステアリングを切る。そのため、前輪フェンダーの上センサが、フレーム上のセンサより先に反応しているのが読み取れる。

フレーム上のセンサユニットで取得したデータ (図 6 中、“body”) と、iPhone4S で取得したデータ (図 6 中、“iPhone”) のプロット形状を比較すると、形状や振幅は異

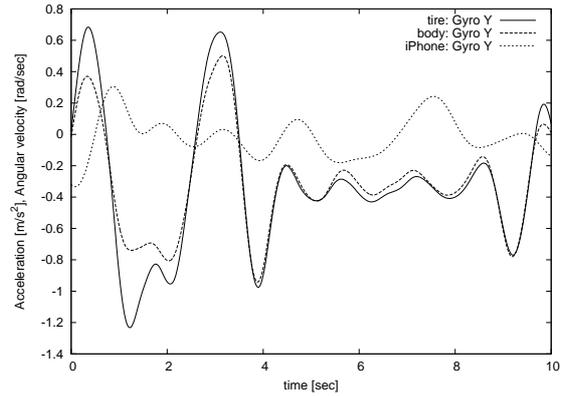


図 6 提案システム及びスマートフォンのセンサ値
Fig. 6 Sensed values of Developed Sensing unit and Smartphone

なるが山と谷の特徴点はほぼ一致している。

以上から、スマートフォン (iPhone4S) で取得したデータは車体の挙動の判断について、専用設計のセンサと同様の利用可能性があると言える。

6. おわりに

本研究では、二輪車用のセンシングシステムを作成し、挙動の収集実験を行った。提案システムで収集したデータと、スマートフォンで収集したデータを比較した結果、車体挙動の把握にスマートフォンが有用であることが分かった。

提案システムは、今後車体挙動のリファレンスデータの取得や、さらなる検証の為に活用するために活用する。また、センサ値から車体運動の要素について分類し、かつ二輪車の振る舞いを検知するアルゴリズムの開発を行う予定である。

参考文献

- [1] KXM52 Series Datasheet. Kionix(2005).
- [2] 角速度センサ (ENC シリーズ) 製品カタログ. <http://www.murata.co.jp/products/catalog/pdf/s42.pdf> (2012.08.27).
- [3] SCP1000 Series Datasheet. http://www.murata.com/sites/default/files/uploads/scp1000-d01-d11_pressure_sensor_datasheet_28-08-2007.pdf (2012.08.27).
- [4] Three-Axis Digital Compass IC HMC5883L Advanced Information. http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Defense_Brochures-documents/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf (2012.08.27)
- [5] NXP Semiconductors NV. mbed: Rapid Prototyping for Microcontrollers. <http://mbed.org/> (2012.08.27).