

二輪車の車体運動解析および二輪車による道路路面調査のためのセンシング機器の設計と試作

木谷 友哉¹ 久保田 恭輔² 高田 宏輝² 神村 吏¹

概要：本稿では、二輪車に搭載するセンシングデバイスを設計し、試作を行った結果を報告する。このセンシングデバイスは、二輪車の車体運動のダイナミクスモデルを解析・検証すること、および、二輪車を用いて道路路面調査をするために使用される。そこで、それぞれの目的に対して取得が必要なセンシングデータの項目について考察し、それらを取得するための構成要素の設計を行った。設計するセンシングデバイスは、市販の機器を用いて構成できることを目標とする。またユーザ参加型センシング向けのデバイスとして手軽に利用できるようにユーザビリティも考慮する。最後に実際にセンシングデバイスを試作した結果を示す。

A design of a sensing device for the vehicle dynamics of and road maintenance with motorcycles

TOMOYA KITANI¹ KYOSUKE KUBOTA² HIROKI TAKADA² TSUKASA KAMIMURA¹

1. はじめに

情報通信機器の発展により高度交通システム (ITS) が盛んに研究、実用化されてきている。既に実用化されたり現在開発されている ITS サービスやアプリケーションは、そのほとんどが四輪車を想定としており、二輪車の特性を考慮していない [1], [2]。特に自動ブレーキのような交通安全支援システムは、運転操作に介入する [3]。二輪車の車体の運動は、四輪車の車体の運動と比較して不安定であり、運転者の意図しない操作への介入は、逆にバランスを崩して事故を誘発する。搭乗者がキャビンの中にいる四輪車と異なり、二輪車は搭乗者が外界に対してむき出しであるため、二輪車の交通事故では、四輪車のそれと比較して、搭乗者の重傷率は約 5 倍、致死率は約 3 倍であり [4]、二輪車向けの交通安全支援システムの開発も重要な課題である。

二輪車向けの交通安全支援に関する ITS の開発が遅れている理由の一つに、運転者を含めた二輪車の車体運動のダ

イナミクスモデルが完全に解明されていないという現状がある。二輪車の車両の運動が四輪車に比べて複雑であり、検証に大量のデータを必要とするにも関わらず、十分取得されていない [5], [6]。このようなデータを取るためには、多くのユーザに参加してもらってセンシングし、データを集めることが一つの解決法となる。しかし、ユーザ参加型センシングを実現するためには十分なインセンティブを与えるか、行政等からの強制力がなければ、現実には難しい。

また、現在、道路インフラの維持管理にかかる費用が全国の自治体で大きな問題になってきている [7]。道路インフラを低コストで維持するためには、道路が劣化する前に補修して長寿命化を図ることが肝要であるが、そのための道路路面調査にかかる費用が大きく、これが問題となっている。上記の二輪車の車体運動のダイナミクスモデルの解明のためのセンシングによって取得されたデータが、道路の路面調査に利活用可能であれば、二輪車の運動センシングは、二輪車ユーザや二輪車産業会のためのみならず、公共のためのセンシングとなる。そこで、道路の路面調査が二輪車を用いたセンシングで安価に可能であることについて、本稿で説明する。

本稿では、二輪車の車体運動のダイナミクスモデルの解

¹ 静岡大学 大学院情報学研究所
Graduate School of Informatics, Shizuoka University,
3-5-1 Johoku, Hamamatsu 432-8011, Japan
mailto: t-kitani@kitanilab.org

² 静岡大学 情報学部
Faculty of Informatics, Shizuoka University, Japan

明のために取得すべきデータの要件，そして，道路路面調査するために取得すべきデータの要件について論じ，そのセンシングを行うためのセンシングデバイスの構成について考察する．最後に，実際にセンシングデバイスを試作した結果を示す．

2. Bikeinformatics[8] とその社会性

我々は，二輪車に搭載する運動センサや測位装置から得られるデータを世界中から収集し，多用途に利活用可能な二輪車の車体運動ビッグデータの創出を行うための研究プロジェクト Bikeinformatics を推進している [8]．二輪車から取得された運動データに対して，地図データや気象データなどのオープンデータを統合して統計解析処理を施し，二輪車運動データベース（コーパス）を生成することで，二輪車交通を効率化・快適化するための ITS（高度交通システム）サービスに利活用可能と考えられる．

図 1 に Bikeinformatics の情報の流れを図示する．この研究では，以下の 3 つを基盤技術として捉えている．

- (1) 二輪車に搭載されたセンサから信頼できるセンシングデータを取り出す技術
 - (2) そのデータから車両が置かれている状況や運転者の意図などの意味情報を抽出する技術
 - (3) 誰もがそのセンシングデータまたは抽出された意味情報を利用して新しい ITS サービスを創出できるようにするための，サービス開発用ライブラリや API の提供
- 本稿では，上記 (1) において，二輪車でセンシングするデータの種類の考察，および，それらのデータを取得するためのセンシングデバイスの設計について述べる．Bikeinformatics においての二輪車運動センシングコーパスの創出においては，闇雲にデータを取るのではなく，ニーズと実現可能性を考慮して取得するデータの種類の選定やセンシングデバイスの設計することが重要である．以下で Bikeinformatics で取り扱う 2 つの大きなニーズについて紹介し，次節においてそれらのデータを取得するためのセンシングシステムの設計について述べる．

2.1 二輪車の車体運動のダイナミクスの解析

二輪車は，車体構造上静止時に自立不可能な不安定な構造をしている．また，低速時に特に不安定になりやすい構造であり，前輪が横滑りすると転倒しやすい特性を持つ．そのため，四輪車では起こらない単独の転倒事故もよく起こる．さらに，旋回動作では車体を傾斜させることにより旋回力を発生させるため，旋回中のブレーキ操作はジャイロ効果により車体を起こすことにつながり，旋回力を低下させることになる．上記のような特性から，Eyesight[3] のように四輪車で実用化が進んでいる自動ブレーキを使った交通安全支援は，二輪車の運動性能を阻害するため，そのまま二輪車へ応用することが難しい．

二輪車の交通安全支援として車両運動制御を行うためには，二輪車の車体運動を考慮して行う必要がある．しかしながら，二輪車の車両運動は次のような理由から複雑であり，詳細に解析されているわけではない．二輪車は，車体を傾けて旋回するローリング動作や，加減速時に車体が前後に動くピッチング動作が大きく起こり，3 次元的な車体の動作が起きる．また，二輪車の車重に対して運転者の体重の占める割合が大きいこと，運転者の重心位置が高いこと，運転者はシート上で大きく動いて二輪車を操作することなどから，運転者の運転動作が車両全体の動きに大きく影響する．運転者の動作は個人差が大きく，定量化が難しい．

二輪車メーカーや，それらが参加する自動車技術会の二輪車の運動特性部門委員会では，二輪車の車体運動を解明するために，二輪車に運動センサ等を搭載してデータを収集する実験を行っている [6]．そこでは，車両運動，人間による制御入力，位置情報の詳細な取得に高価な計測機材を車載した車両を使用している．これらの装置は，例えばジャイロセンサは 200 万円以上と，非常に高価であり，多数の車両を用意することは困難である．また先述したように運転者の運転個性によって，測定結果が大きくばらつく．そのため，限られた車両とテストライダーから得られたデータでは，運動のダイナミクスを解析するには十分ではない．

このように運動モデルの解析に必要なデータを高精度で必要量取得することは現状では困難である．しかし，精度の低いセンサでも大量のデータを得ることができれば，この運動モデルの解析に寄与できると考えられる．

二輪車の正確な車体運動モデルが利用可能になると，より高い安全性が担保された車体設計や，自動制御が可能となり，二輪車の安全性・快適性が大きく向上することになる．

2.2 道路路面調査

道路設備の維持管理にかかる費用が全国の自治体で大きな問題になってきている．静岡県が管理する道路総延長は 2,661km であり，今の道路環境を維持するためには今後 50 年間において年平均 68 億円の補修費用が必要になる [7]．また，浜松市が管理する道路総延長は，全国の基礎自治体 1 位（都道府県を含めても 2 位）の 8,359km であり，将来的には道路補修費を含めて年間 260 億円の公共施設の維持管理費が必要になると言われている．財政健全化のためにはこれを 80 から 90 億円に抑える必要がある．

道路維持管理費を削減するためには，道路の長寿命化を図ることが重要である．道路の傷みが小さいうちに修繕することで，トータルの補修費を小さく抑えることができる．傷みの小さいうちに修繕必要箇所を見つけるためには，短い間隔で定期的に管理道路を点検調査する必要がある．しかし，道路路面調査費用が必要になる．

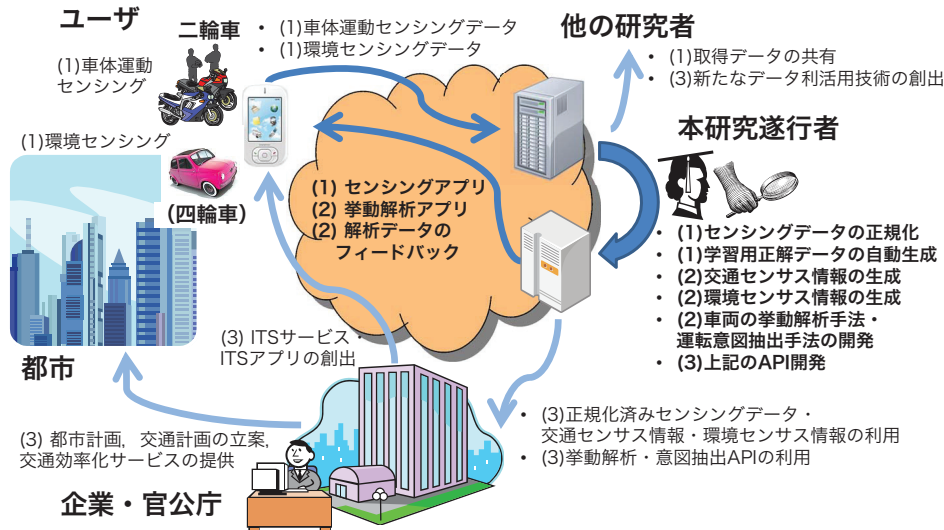


図 1 Bikeinformatics : 二輪車によるセンシング基盤での情報の流れ

今年 3 月に浜松市道路課，道路総務課において聞き取り調査を行った．それによると，道路路面調査は民間の道路コンサルタント会社によって行われ，その結果を元に市は補修場所を決定する．なお，道路路面調査費用は，補修費と比較しても無視できない額であり，費用対効果から浜松市では管理道路総延長 8,359km のうち，主要道の 1,100km のみを道路コンサルタントによって定期的に調査し，残りの 7,000km 以上は主に市民による通報を元にして調査をし，補修計画を立てている．市民からの通報による補修依頼は，そのほとんどが道路の傷みが大きく進行してからの通報であり，道路の長寿命化は困難である．

一般の車両に搭載された何らかのセンサによって得られた情報から道路の凹凸などの状況が抽出できれば，この問題を解決する可能性を秘めている．Bikeinformatics では，普段から道路を走行する二輪車に運動センサを搭載し，日常的に車体の動きをセンシングする．この二輪車に搭載した運動センサを活用して，道路路面の凹凸を位置情報とともにセンシングしてデータベース化し，道路の維持管理，道路の長寿命化に役立てる．これにより，Bikeinformatics は二輪車ユーザーや二輪車関連産業だけではなく，公共的な役割を果たすことができる．

二輪車を路面調査のセンサとして利用する特長としては，四輪車に比較して車載センサが路面の凹凸により敏感に反応することが挙げられる．センサの設置位置を考えると，二輪車ではサスペンションの上下，例えばハンドル部とフロントタイヤフェンダー部にそれぞれ容易にセンサが設置できる．対して四輪車では，車内にセンサを設置することは容易でも，バネ下にセンサを設置することは構造上簡単ではない．特に高級車のような乗り心地を重視した車両では，路面の凹凸を車内に伝えないように設計されており，大きな段差はセンシングできても，道路の劣化初期の小さな凹凸などのセンシングは難しい．さらに，二輪車はその車

体の細さから車線内を広く使って走行することが多い．こうすることで轍のような道路を横断する凹凸もセンシング可能である．

我が国においては二輪車の交通量は四輪車に比べて少ないが，道路路面調査用のセンシングデータは必要量以上収集できればそれ以上は不要であるため，一定の交通量があれば十分である．特に定期的にしかも網羅的な走行が起こる郵便配達，新聞配達，金融機関の訪問においては，二輪車がよく用いられている．さらに，二輪車の主要市場は東南アジアの新興国であり，世界の販売シェアの 80% を占める [9]．ASEAN 諸国では今後大規模な道路インフラの整備，維持が必要であり，二輪車車載センサを用いた道路路面調査による低コストでの道路維持の活用が期待される．

最後に，道路環境を良い状況に保つことは特に二輪車の事故防止にもなる．

3. 二輪車センシングデバイスの要件

ここでは，前節で述べた 2 つのニーズについて，それを満たすために必要なセンシング項目を考察する．実現可能性を考慮して，手に入りやすいセンサや，二輪車の主要市場でもある東南アジアの新興国でも普及の兆しを見せているスマートフォンに内蔵されたセンサを，センシングデバイスとして利用することができるかを議論し，Bikeinformatics で想定するセンシングデバイスの要件について論じる．

3.1 二輪車の車体運動のセンシング

二輪車の車体運動に関する研究は，まず Sharp によって直進安定性の解析が行われている [10], [11]．そこでは，運転者の重心移動を無視し，二輪車と運転者を 1 つの剛体として捉え，(横方向速度，ヨー角，ロール角，操舵角) の 4 自由度の力学的モデルを用いて，二輪車の車体運動をモデル化している．これ以降の二輪車の運動解析に関する研究

については、村上の博士論文 [12] に詳しい。

Kubota らは、二輪車の直進安定性の解析では、車体の運動状態は主に次の3つのモードに分類されることを明らかにした [13]。キャブサイズ (capsize) モードでは車体は非振動であり、低速域では安定、高速域ではやや不安定である。ウィーブ (weave) モードでは横すべり、ヨー運動、ロール運動が合わさった1~4Hzの振動モードで、低速域と高速域で不安定となる。ウォブル (wobble) モードでは操舵系に発生する6~10Hzの振動モードで、高速域で不安定になる。

ここから、このモデルの検証のためには、車体の横方向速度、ヨー角、ロール角、操舵角のセンシングが必要であり、また10Hzの振動を感知できるセンシング速度が求められる。

次に、現在において、二輪車メーカーが参加する自動車技術会のワーキンググループによる二輪車の車体運動の定量的評価に関する実験 [6] で用いられているセンシングについてまとめる。この活動の目的は、現在までの二輪車の車両運動における評価が熟練したテストライダーによる主観評価が中心となっていることから、客観的な評価手法を構築することである。

この自動車技術会のワーキンググループにおける走行実験で使用される計測機器は以下のものである。第1に、車両の運動を計測するため、ステアリングにポテンショメータ、車速計、タンク上にジャイロセンサ等を設置し、操舵角、前後方向速度、横方向速度、3軸方向加速度、3軸方向角度および角速度を取得している。第2に、人間による制御入力を計測するため、ステア6分力計、シート6分力計を用いて、ステアリングおよびシートそれぞれの3軸方向の力とモーメントを取得している。第3に、車両の軌跡を計測するために、測量用のRTK-GPSを利用して、各時刻の3次元位置を取得している。

ここからも、操舵角、横方向速度や、ヨー、ロールなどのジャイロセンサの値の取得が必要であることが分かる。そして、直進以外の動作では、位置情報の軌跡が必要とされる。

このワーキンググループによる二輪車の運動解析や、メーカーによる二輪車の操縦特性の解析 [5] から、二輪車の車両の運動特性は、ステア特性と横すべり特性によって車両を等価的にモデル化できると述べている。ステア特性は、操舵角の変化の度合いをパラメータにしたものである。同様に、横すべり特性は、横すべり角の変化の割合をパラメータとしたものである。横すべり角については、図2に表す。藤井らの計測 [5] では、車体に装着されたGPSと慣性センサ(9軸運動センサ)の1組で、横すべり角が計算でき、低速時以外は良好にデータが取得できたことが示されている。

これらの議論から、操舵角、前後左右方向の速度、ヨー、

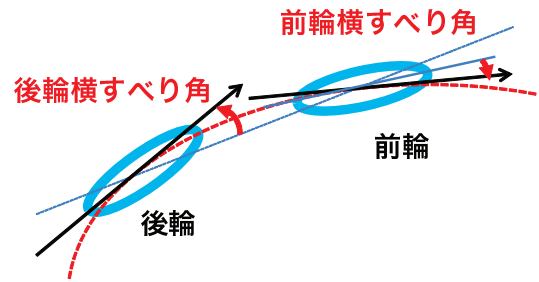


図2 横すべり角

ロールそれぞれの角度と角速度、前後輪の横すべり角を求められると、二輪車の運動解析について十分であると言える。また10Hzの振動を検知するために、標本化定理より20Hz以上のサンプリングで時系列情報を取得できることが望ましい。

3.2 二輪車による道路路面状況のセンシング

3.2.1 MCI (Maintenance Control Index: 維持管理指数) [14]

国土交通省では、道路路面の状況をMCIと呼ばれる指標によって表している。MCIは、路面のひび割れ率 C (%), わだち掘れ量 D (mm), 平坦性 σ (mm) の3つのパラメータを持って表され、通常は20m毎に道路区間を区切り、以下の4つの式のうち最小のものをその道路区間のMCIとする。

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2} \quad (1)$$

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7} \quad (2)$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3} \quad (3)$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54D^{0.7} \quad (4)$$

なお、ひび割れ率はひび割れが起こっている道路面積の割合、わだち掘れ量は道路を横断する方向の轍の深さ、平坦性は道路幅員内で外側の部分の縦断方向の凹凸の標準偏差の大きさである。

MCIは0から10までで表され、国土交通省によると、 $MCI \geq 5$ が望ましい管理水準、 $MCI < 5$ では修繕が必要、 $MCI < 3$ で早急な修繕が必要なレベルとされている。なお、静岡県ではMCIは7前後をキープすることを目指している [7]。式(1)を元に、ひび割れ率 C 、わだち掘れ量 D 、平坦性 σ を変化させて与えると表1のようになり、 $C > D \gg \sigma$ の順でMCIに与える影響が大きい。ここで、 D 、 σ の値の最大値は、仮に50mmとした。

表1 各パラメータがMCIに与える影響

項	パラメータ変化量	MCI 変化量
$1.48C^{0.3}$	10-30-100%	2.95-4.15-5.89
$0.29D^{0.7}$	10-30-50mm	1.45-3.13-4.48
$0.47\sigma^{0.2}$	10-30-50mm	0.74-0.93-1.02

わだち掘れ量 D と平坦性 σ については、GPS による位置の変化と車載センサの上下方向の位置変動によりセンシング可能であると考えられる。また、ひび割れ率 C の算出は、カメラなどが必要になると考えられる。

3.2.2 国際ラフネス指数 (International Roughness Index)

IRI は、道路路面の平坦性を評価するための世界共通指標として、世界銀行より提案されている [15]。走行車両内の運転者や乗客の乗り心地を考慮して設計された指標であり、MCI における平坦性 σ にあたる。MCI では先述したように平坦性の指標への寄与度は小さいが、IRI では測定容易さ、道路ユーザにとって直感的であることから、平坦性を指標に用いている。

IRI の算出法には、運転者の体感による主観的なものから、水準測量をする客観的な測定法がある。このうち最も実用的とされるものは、任意の測定装置で路面の縦断プロファイルを測定し、その凹凸の変化を元に以下の式を用いてシミュレーションするものである。定速度 V (m/s) で距離 L (m) 走行したときのは、縦揺れ量 IRI (mm/m) は、

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/V} |\dot{z}_s - \dot{z}_u| dt \quad (5)$$

で表される。ここで、 z_u は、バネ上質量の高さ位置 (mm)、 z_s はバネ下質量の高さ位置 (mm)、 \dot{z}_s 、 \dot{z}_u はそれぞれ z_u 、 z_s の時間 t (s) の導関数 (m/s) である。

このシミュレーションモデルから言えることは、バネ (サスペンション) の上下で測った実際の運動センサの変化量から、IRI の値が求められるということである。しかしながら、このモデルでは最もサスペンションが優秀でバネ上の位置変化がないときに IRI は比較的大きくなり、サスペンションがリジッド ($\dot{z}_s = \dot{z}_u$) で乗り心地がゴツゴツする場合に $IRI = 0$ となる欠点がある。それ故、実際にこのモデルを利用して平坦性を求めるときは、バネ下の位置変化量を単独で用いることが望ましいと考えられる。

既に、2013 年に JIP テクノサイエンスは、スマートフォン内蔵のカメラ、GPS、運動センサを用いて IRI を算出し、道路舗装の状態を調査する技術を開発している [16]。カメラを用いているために、MCI におけるひび割れ状態の目視での把握には有用であるが、実際に使うためには、先述したように高級車のような乗り心地のよい車両の車内に設置された場合など、各車両のサスペンションの状態を補正する必要があると考えられる。

3.3 二輪車センシングデバイスの構成

上記において、二輪車に搭載するデバイスで取得が望まれるセンシング項目について述べた。以下では、デバイスの普及可能性なども考慮したセンシングデバイスの構成について議論する。

自動車技術会のワーキンググループで用いられている

車両に搭載された計測装置は 1 車両当たり 1000 万円程度のコストがかかっている。Bikeinformatics において、一般ユーザに搭載してもらった計測装置は車両価格の数%以内に抑えないと普及が難しい。また、この程度の価格であれば、先述した二輪車メーカーや行政などのニーズを満たすことで、標準装備や補助金が得られることが期待できる。東南アジアの一般的な自動二輪車の販売額が 10 万円前後であることを考えると、将来的には 1 万円以内でデバイスが構成できることが望ましい。また、そのような新興国においても普及の兆しを見せるスマートフォンを簡易的なセンシングデバイスとして代替利用できるのであれば、我々が用意する専用アプリをダウンロードすることでセンシングに参加することができるようになり、参加のハードルを低くすることができる。

一般的にスマートフォンには 9 軸運動センサ (加速度、ジャイロ、地磁気の各 3 軸センサ) の他に、位置情報を取得する GPS 受信機が内蔵されている。GPS と 9 軸運動センサで、先述した二輪車の車体運動と路面調査のそれぞれ一部のセンシング項目は取得することができる。そのため、Bikeinformatics で用いる専用のセンサの構成は、このスマートフォンのセンサ構成をサブセットとして持つように拡張したものとする。

さて、近年のスマートフォンの普及により、スマートフォンに内蔵されるセンサチップの出荷数が増え、市販品としても安価に手に入るようになってきた。現在、9 軸運動センサがワンチップ化されたものが、数千円程度で購入可能である。我々の先行研究においては、9 軸運動センサを 3 軸の各種運動センサの組み合わせで設計し試作した [17], [18]。今回は、それに代わり、ワンチップ化された 9 軸運動センサを利用する。

センシングシステムのセンサの設置場所は、先行研究と同様、図 3 に示すように、二輪車の車体を接合部毎にわけ、フロントサスペンションの上下、リアサスペンションの上下の 4 カ所とし、それぞれに 9 軸センサを配置する。複数の 9 軸センサを用いることによるノイズの軽減や、現在の構成では計測できない操舵角の推定などを行う。

以上の構成において計測できない項目は、ステア 6 分力計がないための運転者の操作入力大きさ、シート 6 分力計がないための運転者の重心移動、路面のひび割れなどが挙げられる。運転者の入力については、多数の運転者の平均によって相殺することで運転者の影響を小さくすることで解決する。路面のひび割れについては、MCI においてもその他の項目である程度路面の状況が推定できることから、IRI ではひび割れについて考慮が不要であることから計測から除外する。

4. 二輪車センシングデバイスの試作

本節では、まず、我々の先行研究 [17], [18] で試作したセ

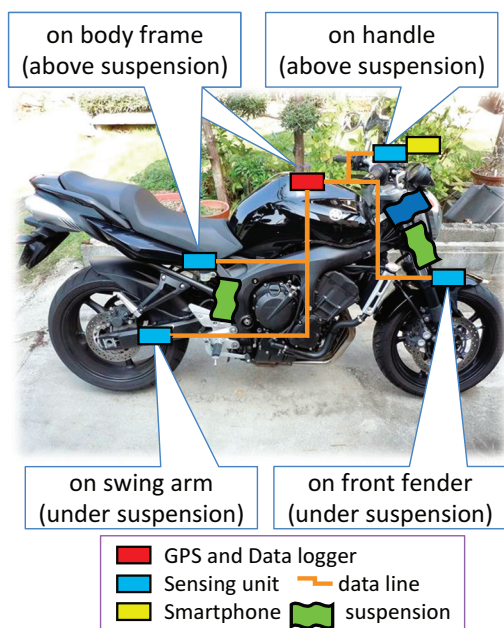


図 3 センシングユニット取り付け位置

ンサについての概要を簡単に説明し、その際に問題になった点を洗い出す。次に、前節で述べた要件を満たし、また先行研究での反省点を考慮したセンシングデバイスの試作について報告する。

4.1 先行研究でのセンシングデバイス

まず、我々の研究グループでは、2012年に市販の加速度センサ、ジャイロセンサ、地磁気センサを組み合わせ、図4に示す専用のセンシングユニットを作成した。ここで、ユニットとは車体4カ所のうち1カ所に設置されるセンサ群を意味する。ここで用いたリーズナブルな価格の運動センサは、出力がアナログ電力であり、各ユニット毎に1つつつアナログ入力のあるマイコン（NXP社 mbed LPC1768）が必要であった。ユニットそれぞれにSDカードスロットを用意して、各ユニットが別々にデータログを行う構成であった。

ここでの問題点は、4つのセンシングユニットがそれぞれデータをロギングするため内部時計の同期が取れないと、そのためにデータの照合が難しいことが挙げられた。これは電源投入時刻を同期させることで解決した。また、位置情報を取得していないために、あらかじめ決めた動作の評価には利用できるが、公道を走行して様々な道路状態についてのデータ取得を行うためには手間が大きくなり、実験の負荷が大きかった。

続いて、先行研究では、4つのセンサのデータ同期と電源供給を容易にするため、以下の改造を行った。まず、データログ用にノートPCを用意し、それぞれのセンシングユニットをUSBケーブルで全てノートPCに接続した。データはUSBでのシリアル通信で収集され、ユニットからSDカードスロットは排除された。また、GPS受信機をノート

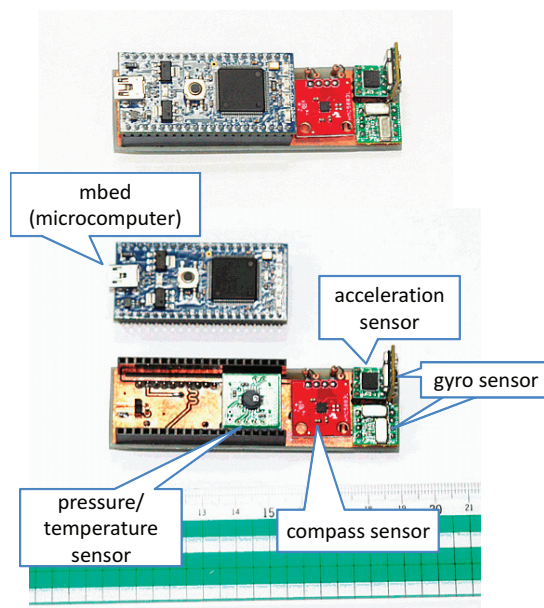


図 4 先行研究で試作したデバイスの外観

PCに付加して同時にデータを取ることで、位置情報をセンシングデータに付加できるようにした。これにより各ユニットからのセンシングデータを（ほぼ）同期して取得できるようになった。

ここでの問題点は、USBでの同期とデータ収集では遅延が大きく、やはりユニット間で正確なセンシング時間の同期ができなかったことが挙げられる。また、ノートPCをデータロガーとするためセンシングシステム全体が高価になること、雨天時の防水に問題があること、公道での実験時に盗難の危険があることといった物理的な問題も発生した。さらに、汎用のノートPC上でUSB経由でデータを集めるため、起動の度にロギングのための初期設定が必要であり、実験用と言えどユーザビリティが悪かった。

そこで、今回開発したセンシングデバイスでは、組込みシステムとしてデータロガーも設計し、手間を掛けずに簡単な操作でより正確にデータが取得できるよう、主にユーザビリティの観点から工夫を行った。

4.2 今回製作したセンシングデバイス

4.2.1 ハードウェア構成

いままでの議論を考慮して設計した今回のセンシングデバイスの諸元を表2に示す。

マイコンとしては、32bitのARM Cortex M3プロセッサを搭載し、プロトタイピング用の開発環境も整っているNXP社のmbed LPC1768とその評価ボードを前回から引き続き使用した。GPSはリーズナブルに手に入る市販品のうちで最も測位間隔が短い20Hzで測位できるものを選定した。

運動センサは、最も安価に手に入る9軸センサを利用した。このセンサはI2C規格のシリアル通信によってデータ

表 2 今回製作したセンシングデバイスの諸元

要素	品名	販売元	値段	備考
マイコン	mbed LPC1768	NXP Semiconductors	5,400 円	32bit 96MHz CPU
mbed 評価ボード	☆ board Orange	きばん本舗	4,000 円	SD カードスロット, LCD
GPS 受信機	Venus638FLPx 搭載受信機	Sparkfun	49.95\$	20Hz, NMEA 出力
セレクタ	TC74HC4066A	東芝	52 円	CMOS アナログスイッチ
その他	プラスチックケース, ユニバーサル基板, GPS アンテナ等		約 3,000 円	
運動センサ	MPU-9150 9 軸センサモジュール	Strawberry Linux	2,160 円 × 4	I2C 駆動, 4 個利用
その他	コネクタ, 6 軸ケーブル等		約 1,000 円 × 4	
SD カード	8GB+WiFi	Eyefi ジャパン	4,980 円	WiFi 経由でデータ送受信可能

を通信する。今回も車両の 4 カ所にセンサを設置するが、mbed LPC1768 では I2C のポートを 2 つしか用意されていない。そこでアナログセレクタ 74HC4066 を用いて 4 つのセンサをスイッチングし、逐次的に情報を収集するようにした。そのために厳密には 4 つのセンサの値を同時にセンシングはできないが、4 つの I2C ポートがあったとしても、どちらにせよマイコンの CPU は 1 つであるために逐次的なセンシングになるため、今回の方法を採用した。

運動センサは、電源の 2 線とシリアル通信の 2 線の 4 軸のケーブルで接続される。シールドケーブルを使用し、シリアル通信の信号線はそれぞれ電源とツイストさせることでノイズの低減を行っている。予備実験として、エンジンを掛けた自動二輪車のエンジン周辺部、スパークプラグ周辺部にセンサのケーブルを巻き付けて、通信エラーの評価を行ったが、エラーは起こらなかった。

各運動センサはコネクタで接続し、データロガーと分離できようになっている。これにより、利便性を向上した。また、センサに必要な信号線は 4 本であるが、コネクタは 6 芯とし、センサ側のコネクタで電源をデータロガー側の別の信号線に戻すようにしている。これにより、データロガー側ではセンサの断線を検知できるようにしている。

最後に、SD カードはそれ自身が WiFi 通信可能で、近隣の WiFi に接続された PC とのデータ交換ができるもの (Eyefi) を利用している。これにより、センシングデバイスのケースを開けずにログデータが取得できる。また、センシングの動作中でもデータを PC に移すことが可能となる。

試作したデバイスの外観を図 5 に示す。

4.2.2 組込みプログラム

本デバイスを用いてセンシングするための組込みプログラムの概略フローチャートを図 6 に示す。メインルーチンでは、GPS と運動センサが取得したデータを用意したデータバッファを介して SD カード内にファイルとして保存する。

GPS 受信機からのデータは、一度 GPS 受信機への初期設定が終わると、定期的に GPS 受信機から mbed のシリアルポートへ届けられる。データが届くタイミングが GPS 受信機に依る。このデータは、シリアルポートに到着する度に割り込みを発生させ、用意したデータバッファに保存

していく。

対して、運動センサは決まったタイミングで mbed 側から読み込む必要がある。そこでタイマ割り込みを用いて、運動センサの値を読み出しに行くようにした。100Hz でのサンプリングを実現するため、タイマ割り込みは 10ms 毎に起こるようにした。

ここで、割り込みの優先度は、能動的なセンシングが必要な運動センサのタイマ割り込みの方に高い優先度を与えるようにした。

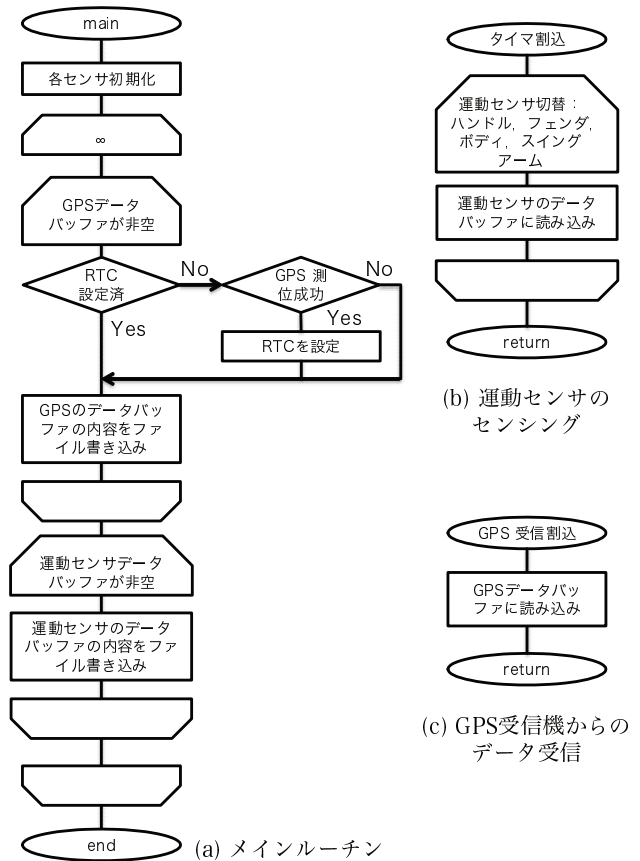
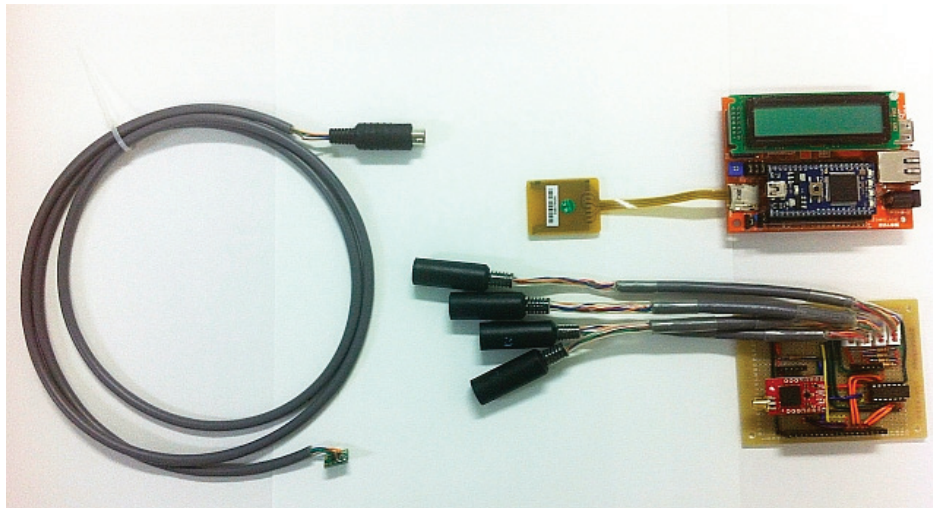


図 6 センシングプログラムのフローチャート

5. まとめ

本稿では、我々が取り組む Bikeinformatics プロジェクトにおいて、ニーズとなる二輪車の車体運動解析および二輪



(a) 運動センサ

(b) GPS 受信機およびデータロガー

図 5 試作した専用センサの構成

車による道路路面調査について説明し、そのためのセンシング機器の設計と試作を行った結果を報告した。先行研究で製作したデバイスと比較して、センシングに対するユーザビリティの大きな向上が達成できたと考えられる。

今後は、提案センシングデバイスとスマートフォンによるセンシング結果の比較、自動車技術会のワーキンググループによるセンシング結果との比較を行い、各センシングデバイスのセンシング能力の考察を行う。

また、取得したデータを解析するためのソフトウェアの考案などを行う。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 26330102（基盤研究 (C)「二輪車の車体運動センシングシステムの研究」）の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] トヨタ自動車株式会社, “トヨタ企業サイト — 事故を未然に防ぐ「予防安全」,” 入手先 (<http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/safety/technology/active/>) (2013/05/17).
- [2] 一般社団法人 UTMS 協会, “安全運転支援システム (DSSS),” 入手先 (<http://www.utms.or.jp/japanese/system/dsss.html>) (2013/05/17).
- [3] 富士重工業株式会社, “SUBARU : スバル アイサイト総合サイト,” 入手先 (<http://www.subaru.jp/eyesight/>) (2013/05/17).
- [4] 総務省 統計局, “平成 24 年中の交通事故の発生状況,” 入手先 (<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Pdfdl.do?sinfid=000019681521>) (2013/05/17).
- [5] 藤井 茂, 塩澤 総一, 品川 晃徳, 岸 知昭, “二輪車の操縦特性調査,” YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW, 2009-12 No.45, 入手先 (<http://global.yamahamotor.com/jp/profile/craftsmanship/technical/publish/no45/pdf/gr03.pdf>) (2014.05.16).
- [6] 渡辺 淳士, “2012 年 二輪車の運動特性部門委員会 WG 二輪車の定量的評価手法構築 ~ 走行実験より学んだ

- 事~,” Motor Ring, No. 34, 自動車技術会, 2012, 入手先 (<http://www.jsae.or.jp/datl/mr/motor34/mr3409.pdf>) (2014.05.16).
- [7] 静岡県 交通基盤部 道路保全課 舗装班, “舗装の長寿命化に必要なもの,” 入手先 (<http://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-230/ijikanri/hosou.html>) (2014.05.16).
- [8] 木谷 友哉, “Bikeinformatics : 情報科学的二輪車 ITS の基盤研究,” 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム論文集, pp.1517-1524, July 2013.
- [9] 一般社団法人 日本自動車工業界, “JAMA - 世界生産・販売・保有,” 入手先 (<http://www.jama.or.jp/world/world/>) (2013/05/17).
- [10] R.S. Sharp, “The stability and control of motorcycle,” Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 13, No. 5, 1971.
- [11] D.J.N. Limebeer and R.S. Sharp, “Bicycles, motorcycles, and models,” IEEE Control Systems Magazine, Vol. 26, Issue 5, pp. 34-61, 2006
- [12] 村上 晋太郎, “二輪自動車の制御時におけるライダーアシスト制御システム設計,” 慶應義塾大学 大学院システムマジメント研究科 博士学位論文, 2013.
- [13] T. Kubota and E. Yagi, “Modeling and Stabilization of Motorcycle Shimmy,” Proc. of ICCAS-CICE 2009, pp. 4069-4072, Aug. 2009.
- [14] 飯島 尚, 今井 博, 猪股 和義, “MCI による舗装の供用性能の評価,” 土木技術資料, Vol. 23, No. 11, pp. 15-20, 1981.
- [15] 池田 拓哉, 東嶋 奈緒子, “国際ラフネス指数の計測方法に関する研究,” 土木学会舗装 工学論文集 第 3 巻, pp.9-14, 1998.
- [16] “iPhone を用いた日本初の舗装路面性状簡易評価システム販売開始,” JIP テクノサイエンス, 入手先 (<http://www.jip-ts.co.jp/news/2013/10/30-1.html>) (2014.05.16).
- [17] T. Kitani, A. Miyazawa, T. Kamimura, A. Shiomi and T. Watanabe, “A Motion Sensing System to Grasp a Motorcycle’s Behavior with Sensors as Mounted on a Smartphone,” Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN2012), pp. 115-120, September 2012. (Chamonix-Mont Blanc, France)
- [18] 宮澤 彰人, 木谷 友哉, 神村 吏, 塩見 彰睦, “二輪車向け車体運動センシングシステムの試作,” 第 20 回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2012) 講演論文集, pp. 102-107, October 2012. (愛媛県松山市)