

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330102

研究課題名(和文)二輪車車体運動センシングシステムの研究

研究課題名(英文)A study of a sensing system for motorcycle dynamics

研究代表者

木谷 友哉 (KITANI, TOMOYA)

静岡大学・情報学部・准教授

研究者番号：40418786

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：研究期間で開発した自動二輪車のセンシングシステムは、スマートフォンの普及によって安価で小型になった慣性計測装置と衛星測位受信器を用いて構成することで軽量で安価なシステムとなり、従来の大型で高価な計測装置に比べて、より簡便に多数の車両から車体運動のデータを取得できるようになった。また精度についても車体運動解析に用いることができる程度に高いものが昨今市販している安価なセンサを用いても達成できることを示した。特に従来のセンシング装置では重量が大きく、計測対象の車両本来の運動を阻害してしまうという問題があったが提案するシステムは影響を与えない程度に軽量にすることができた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a motion sensing system for motorcycle dynamics with inexpensive IMUs (inertial measurement units) and a GNSS (global navigation satellite systems) receiver. We have also developed an integrated navigation system to derive the attitude angles of a motorcycle with the sensing system. To compare with conventional systems, our system is better not only in cost but also in weight. The accuracy of the system is not good as the conventional system, but it is reasonable to be used to analyze the motorcycle dynamics partly.

研究分野：高度交通システム

キーワード：高度交通システム 車体計測システム 組込みシステム 自動二輪車

## 1. 研究開始当初の背景

現在の交通社会において、交通渋滞による経済的損失や地球環境に対する負荷は莫大なものである。交通に使われる四輪車の多くを、軽量で道路占有面積の小さい二輪車に置き換えることができると、交通渋滞の緩和、道路の維持費の低減、低燃費で低環境負荷にできると考えられる。しかしながら、二輪車は車体の構造上、安全性、および、耐天候性や積載性などの快適性において四輪車に比べて大きく劣っており、置き換えることは容易ではない。

また、四輪車では、近年、自動運転などの情報通信技術を利用した研究が盛んになってきているが、二輪車は構造が不安定で車体運動が複雑であることから四輪車向けの技術はそのまま利用できない。二輪車は販売台数(世界5千万台/年)であり四輪車(同6千万台/年)と遜色はないものの、中心市場となる東南アジアなどの新興国では安価な二輪車の販売が中心であり単価が低いことや、先進国では実用性より嗜好性が強い製品であるため安全性に対する社会的要求が四輪車ほど高くないことから、メーカーも十分な開発費をかける余力がない。そのため、利益に直結しない情報通信技術を用いた間接的な交通安全支援などの研究はまだ十分行われていない。

応募者はこれまでに、高度交通システム(ITS)の研究として車車間通信を利用した効率的な情報伝達プロトコルの提案や、センサネットワークを対象とした効率的なデータ収集や解析の研究、位置情報の高精度化やそれを利用したアプリケーションの研究などを行ってきた。また、本研究課題の準備として、運動センサの設計や複数のセンサの協調や取得データの解析・可視化についての研究も始め、二輪車によるセンシング基盤の全体構想を構築してきている。

機械工学技術による二輪車の車体運動の解析では、「精密に」計測できる装置を用意してテストライダーの運転挙動を計測したデータを元に解析を行う。これらの装置は高価であるため、テストできる機会も限られる。また、運転者が着座してほぼ動かない四輪車と比較して、二輪車では運転者が身体全体でバランスを取り操作を行うため、テストライダーの影響が色濃くでるデータとなり、限られた人数のテストライダーで行う実験では十分なデータを集めることは費用や時間的なことから難しく、個々の二輪車の運動特性などの解析は困難となっている。

一方、情報通信技術では、精度の低いセンサから得られるデータでも「数の力」を使って、より有益な知見を得られる場合がある。そこで、テストライダーではなく、一般ユーザが一般道で得られたセンシングデータから、個々の二輪車製品の車体運動特性のみならず、個々の運転者の運転技能や、走行している道路環境の状況まで解析できる仕組みを構築す

る着想を得た。

## 2. 研究の目的

本研究では、二輪車を対象にして車体運動、運転者の身体運動、周囲の道路環境、それぞれを車載センサによって収集し、それらのデータを解析することでより安全な二輪車社会を築く、センシング基盤の構築についての基礎研究を行う。本研究期間では、二輪車の車載センシングシステムの設計とそれから得られるデータからの利活用可能なビッグデータ生成についての研究を行う。前者では、専用の車載センシングシステムの設計する。後者では、後の高度交通サービスやアプリケーション創出のために、収集した膨大な量のデータに対して位置情報などを用いて自動でラベル付けして構造化する手法を考案する。

## 3. 研究の方法

本申請期間では、次の3つの項目についての研究開発を行った。

(1) 二輪車による車体運動および周辺環境のセンシングを行う廉価な車載向け専用センシングシステムパッケージの設計開発

(2) (1)のシステムを用いてセンシングするときの、センサやスマートフォンの機種や個体に寄らないセンシングデータのキャリブレーションと正規化を行う手法の設計開発

(3) 取得したセンシングデータについて、自動的に取得した状況などの正解ラベルを付加するためのアルゴリズム、および、そのためのシステムの設計開発

上記の研究開発に必要な二輪車センシングの初期データについては、本研究に関わる研究者によって申請期間中に実地実験を繰り返し取得する。

## 4. 研究成果

3. (1)の二輪車による車体運動および周辺環境のセンシングを行う廉価な車載向け専用センシングシステムパッケージの設計開発については、市販品で容易に手に入るIMUモジュールとGPS受信機を用いて安価なセンシングユニットを開発し、その計測データから二輪車の車体運動特性を解析するためのデータがどの程度得られるかの基礎検証を行った。

IMUからは3次元方向の加速度と角速度の時系列情報が得られ、GNSSからは位置の時系列情報が得られる。二輪車の車体運動特性の解析に必要な計測項目に対して、提案するセンシングシステムはロールレート、ヨーレート、速度について直接計測できる。そこでそれらについては計測精度を検証する。次に、提案するセンシングシステムが直接計測できないロール角、ヨー角については、どの程度の精度で推定が可能であるかを検証する。

二輪車の運動特性を解析するために必要な計測項目を表1に示す。自動車技術会の二輪車運動特性部門委員会のワーキンググループ(以下、二輪車WG)では毎年、RTK-GPS受信

機、光学式車速計、操舵トルクを測るステア6分力系、操舵角を測るポテンショメータ、角速度及び姿勢角を測る高精度ジャイロセンサなどの計測装置を大型バイクに装着し、精密な車体運動の計測を行っている。ここでは、車体の運動を高精度に計測できるが、以下のような理由で十分な量のデータを取ることが難しい。まず、計測機器の値段が高価であり、その総額は車体価格を大きく上回る。次に、計測機器自体の重量が約 25kg と大きく簡単には車載できないこと、車載した場合に元の車体の重心位置が大きく変わってしまい対象車両の特性を正しく測定できるとは言いがたいことが挙げられる。

表 1 では、提案するセンシングシステムが直接計測できる項目に○を記入してある。安価に手に入る IMU では、高価な計測装置と比較して誤差が大きかったり、精度が保証されていないことがある。そこで本研究では、提案する簡易センシングシステムの実機を実際に開発し、その計測値の精度の検証と、簡易キャリブレーション手法の考案を行った。

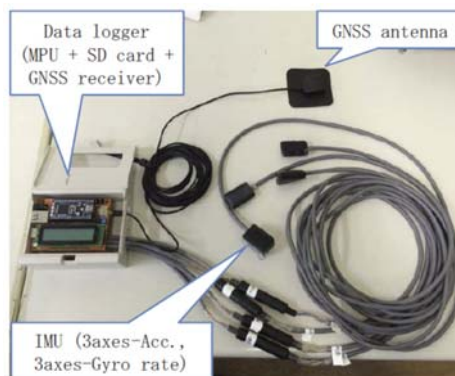
【表 1】二輪車の車体運動の解析のために必要な計測項目

	運動解析に必要	JSAE WG	提案手法
速度	○	○	○ (GPS)
ヨー角速度	○	○	○ (IMU)
ヨー角	○	○	○ (GPS)
ロール角速度		○	○ (IMU)
ロール角	○	○	要推定
加速度		○	○ (IMU)
操舵角	○	○	要推定
操舵力	○	○	要推定
横すべり角	○	○	要推定
位置		○	○ (GPS)

提案するセンシングシステムでは、安価に手に入る IMU を中心としたセンシングを考えており、操舵角を計測するようなポテンショメータや、操舵トルクを計測するような歪みゲージなどの特殊センサの利用は想定していない。そのため提案システムでは、車体運動の応答のみを計測しているのみであり、運転操作入力については直接計測できていないと言える。ただし、将来的には複数のセンサ間や時系列のデータの関連から、入力に相当する計測項目の推定モデルを構築し、推定した入力と計測した応答を対にして取り扱えるようにすることを考えている。

開発したセンシングユニットの外観を図 1 に示す。提案するセンシングユニットは、データロガーとなる親機とそれにつながった 1 つ以上の IMU から構成される。親機には、GNSS 受信機と SD カードが含まれ、マイコンにより IMU からの運動センシングデータと GNSS による位置情報が SD カードに逐次保存される。IMU での、加速度角速度のサンプリングは、二輪車 WG のシステムに倣い 100Hz としている。GNSS 受信からの位置情報は、20Hz でサンプリ

ングされる。部品代は、親機が 2 万円以内、IMU が 1ch あたり 3000 円程度に抑えられている。また重量は、親機と 4 つの IMU 分のケーブルを合わせた場合でも約 900 グラムである。なお、IMU はデジタル通信方式で親機と接続され、ケーブルはシールド付きのより対線を利用するなどノイズ対策を施してあり、エンジン起動中のスパークプラグ付近を通った場合においてもエラーが起きないことを確認している。



【図 1】開発した二輪車車体運動センシングユニット

3. (2)については、(1)において直接計測できない姿勢角を推定する方法、および、そのために各計測値に含まれる初期誤差をキャリブレーションする手法を開発した。

予備実験として、二輪車 WG での高精度計測装置と本研究で開発したセンシングシステムを両方搭載して同時にデータ取得を行った。2014 年 11 月 1 日 2 日に富士スピードウェイの第 7 駐車場において、また、2017 年 1 月 24 日には日本大学船橋キャンパスの交通試験路にて走行実験を行った。運動センサの設置位置は、それぞれ車体中央部のタンクの上である。以降では、二輪車 WG の計測装置によって計測した値を真値とし、提案するセンシングシステムで取得したデータの精度、および、その補正方針について述べる。走行実験では、1000cc の大型バイクを利用して、4 名のテストライダーによる半径 30m の定常円旋回試験を行った。走行車速は、20 から 40km/h である。提案システムの有用性を評価するために、定常円に向かう時や慣熟走行時の車体運動の計測データも使用した。

計測データの比較に際して、二輪車 WG の計測システムも我々の計測システムも GNSS 受信機を持っているために、GNSS から得られる時刻を基準として同期を取っている。それでも計測値に時間的なずれが生じる場合については、手作業での補正を行った。以降の議論にて取り上げるデータは、時刻補正については施したあとのものである。

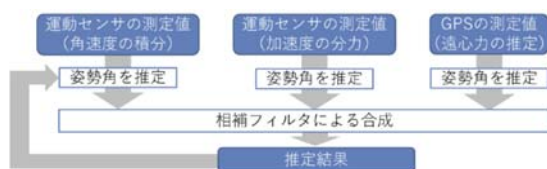
自動二輪車の運動解析に必要なデータ項目は速度、ロール角、ヨー角、ステアリング角、ステアリングトルク、横滑り角である。データ収集用センサではこれらの値を直接的もしくは間接的に得る必要がある。我々の開発し

たセンシングユニットはIMU(慣性観測装置)とGPS(衛星測位システム)からなる。ここでは、ロール角についての推定と精度向上について述べる。

提案手法では異なる特徴を持つ推定値を互いに補わせることでより高精度な姿勢角推定を行う。用いる推定値は角速度の積算値、静止時の加速度の分力の値、走行時の衛星測位情報による遠心力の推定値である。各推定値は表2にある特徴を持つ。高精度である角速度の推定値に特に重きを置く。角速度の推定値は変化量が高精度であるが、積算によって姿勢角の推定を行うため、誤差が積算され大きな誤差が生まれる。この誤差の増加を瞬時値である加速度による推定値、衛星測位情報による推定値で補う。これを図2に表す。

【表 2】複数の姿勢角推定手法の特徴

計測項目	精度	誤差の蓄積	備考
角速度	高精度	あり	
加速度	低精度	なし	静止時のみ
衛星測位情報	低精度	なし	走行時のみ



【図 2】複数の手法の合成プロセス

本研究では自動二輪車が停止している状態における平均値を測定値から引くことでオフセット誤差を軽減する。GPSの速度が0を記録している状態を停止状態と定めた。

IMUの測定した値にはホワイトノイズというランダムな誤差が存在する。これをローパスフィルタで軽減する。ローパスフィルタのカットオフ周波数はx軸6Hz, y軸7Hz, z軸7Hzである。この値はオフセット誤差とホワイトノイズを軽減した値が真値に最も近い値を取るよう最適化することによって決定した。

今回用いたローパスフィルタは測定値全体を周波数領域に変換しカットオフ周波数を越えた周波数成分をカットするローパスフィルタである。

姿勢角は角速度の時間積分である。オフセット誤差が除去された角速度を積算することで姿勢角を推定する。

IMUは自動二輪車の運動の加速度と重力加速度の合計を加速度として出力する。自動二輪車が静止している場合、出力される値は重力加速度のみである。重力の傾きから姿勢角を推定することができる。

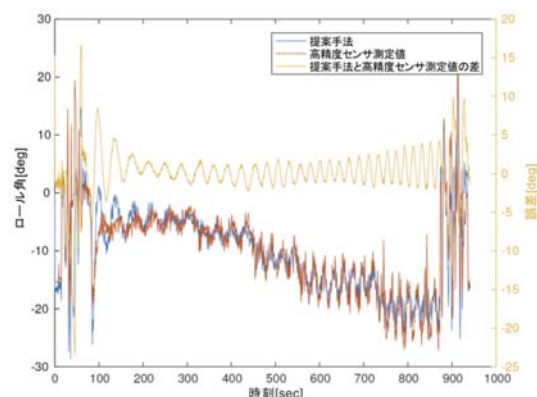
衛星測位情報からは、自動二輪車の速度と方位角を得ることができる。この方位角を微分した値をヨー角速度として扱い、遠心力の式からロール角を推定することができる。

角速度、加速度、衛星測位情報のそれぞれによって姿勢角が推定される。推定された

各姿勢角を合成することによってより高精度な姿勢角推定結果を得る。相補フィルタの考えによって次の式による合成を行った。

衛星測位情報によるロール角の推定は遠心力による推定であり停止時は用いることができない。そのため停止時は衛星測位情報によるロール角推定値を扱わない。加速度による姿勢角の推定は運動による加速度が存在する場合、不正確なものとなるため停止時のみ用いる。安価な衛星測位受信機からはピッチ角を得ることができないため、加速度による推定ピッチ角を衛星測位情報による推定ピッチ角の代替として常時用いた。

提案手法によって推定された姿勢角について評価する。図3は提案手法によって推定されたロール角、高精度センサの測定値、推定されたロール角と高精度センサの測定値の差の全体を描画した図である。定常円旋回試験においてロール角は誤差0.7[deg]に抑える事が推奨されている。同図での誤差平均の値は1.62[deg]であり改善の必要がある。同図から大きく速度が変化する際に誤差が大きくなる事がわかる。また周期的な誤差が表れており、ランダムな誤差でないため何らかの明確な原因が存在する。この原因を発見、取り除くことで精度の向上が望める。



【図 3】実走行データでの推定ロール角

3. (3)について、提案したセンシングユニットを使って取得したセンシングデータについて、走行路面性状の把握ができるかどうかの実地実験を行い、路面損傷箇所を検出するアルゴリズムを考案した。

二輪車の場合では通常、穴の上を走行せずに避ける動作を行うが、運動センサから得られる左右方向の加速度等から回避動作を検出することで、路面の損傷箇所を推定できると考えられる。

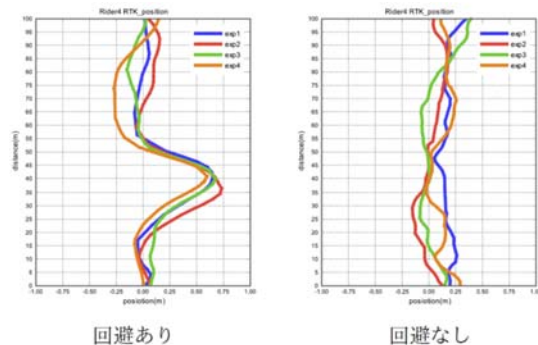
本研究では、予備実験で得られた運動センサの値から2つの二輪車の回避動作検出手法を提案し、実際の公道での走行のデータによって評価を行った。

二輪車の路面損傷位置などを回避する動作をより詳細に調査するために、二輪車が穴を回避する動作の車体運動センシングデータを収集する実験を行った。走行中の二輪車が穴などの路面損傷位置を回避する場合、一度穴の手前で進路を変更して穴の横を通過し、再

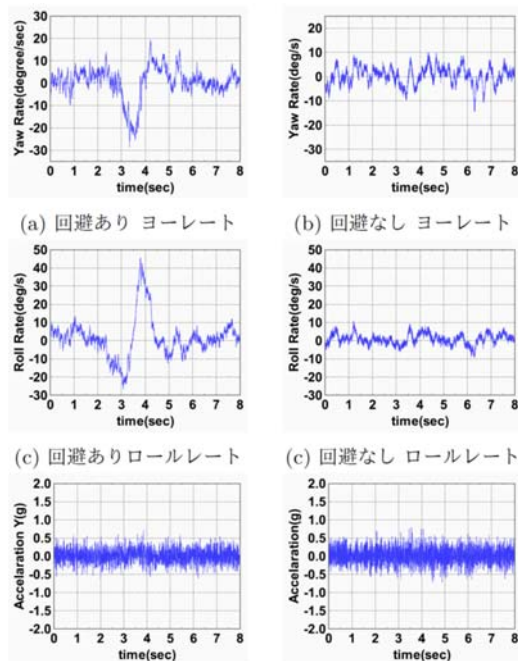
度もとの走行位置に進路変更を行うといった動作を行うことが想定される。

被験者はパイロンを路面損傷位置に見立てて回避し、回避動作の運動データを収集した。また、回避時の走行軌跡を調べるため、RTK-GNSS ロガーを搭載して通常の GPS による位置情報に加えて高精度な位置情報も同時に取得した。

図 4 に路上障害物の回避動作の計測結果を示す。また図 5 にその時の運動センサのヨーレート、ロールレート、横方向の加速度を示す。



【図 4】回避動作の有無による走行軌跡



【図 5】回避動作の有無によるヨーレート、ロールレート、横方向加速度の計測値の違い

回避動作は横方向の運動であるので、特にロールレートとヨーレートに特徴的な波形を観測できた。横方向の加速度からも回避動作を観測できると予想していたが、ジャイロセンサに比べてノイズが大きく、回避動作を顕著に表すような特徴的な波形は得られなかった。また、ロールレートは回避動作時に大きく反応していたが、旋回やふらつきなどの他の動作でも大きく反応する上に、ヨーレートに比べてそれらの動作との切り分けが困難であるため回避動作検出に適していない。

図 6 に示すような路面に路面損傷箇所を含む見通しの良い約 250m の直線の片道 1 車線道路を図の左から右の方向へ損傷箇所を回避して走行した際の走行データを収集した。

取得されたデータに対して、予備実験で得られた回避動作の波形とのパターンマッチングを行うことにより、約 250m の公道での試行回数 60 回のデータについて検出精度 70.3%、再現率 86.7%という結果が得られた。



【図 6】実験対象区間

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件) (全て査読あり)

[1] T. Kitani, “Bikeinformatics: a Sensing Infrastructure with Two-Wheel Vehicles and Its Application for Intelligent Transportation System with Information Science and Technologies,” In Proceedings of the 2016 Bicycle and Motorcycle Dynamics Conference (BMD2016 MKE), figshare, no. 3976569, pp. 1-12, September 2016. <https://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.3976569.v2>

[2] Y. Ikeda, H. Hatano, M. Fujii, A. Ito, Y. Watanabe, T. Kitani, T. Aoki, H. Onishi, “Distance Sensor Assistance to GPS Positioning,” IARIA International Journal on Advances in Networks and Services, vol. 8, no. 3 & 4, pp. 215-225, December 2015. [http://www.iariajournals.org/networks\\_and\\_services/tocv8n34.html](http://www.iariajournals.org/networks_and_services/tocv8n34.html)

[3] H. Hatano, T. Kitani, M. Fujii, A. Ito, Y. Watanabe, H. Onishi, T. Aoki, “Positioning Method by Two GNSS Satellites and Distance Sensor in Urban Area,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol. E98-A, no. 1, pp. 275-283, January 2015. <http://doi.org/10.1587/transfun.E98.A.275>

[4] 木谷友哉, 澤 悠太, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤 実, “運転者に対する交通安全支援のための指向性アンテナおよび車車間通信を用いた歩行者の位置推定手法,” 情報処理学会論文誌数理モデル化と応用 (TOM), vol. 7, no. 2, pp. 74-85, November 2014. <http://id.nii.ac.jp/1001/00107179/>

〔学会発表〕(計 30 件)

- [1] 杉浦健介, 木谷友哉, “衛星測位情報と自動二輪車の車体運動センシングデータによる姿勢角推定手法,” 自動車技術会 2017 年春季大会 学術講演会 講演予稿集, pp. 472-476, 2017 年 5 月 24 日. (パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市)
- [2] 景山一郎, 栗谷川幸代, 渡邊博信, 原口哲之理, 小林ゆき, 宇田 真, 平澤順治, 木谷友哉, 宮岸俊一, 木村哲也, “タイヤ特性が二輪車の運動に与える影響に関する研究,” 自動車技術会 2017 年春季大会 学術講演会 講演予稿集, pp. 488-493, 2017 年 5 月 24 日. (パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市)
- [3] 宮崎雄也, 菱本圭亮, 木谷友哉, “二輪車の障害物回避動作検出による路面損傷位置推定手法,” 情報処理学会研究報告, vol. 2017-ITS-68, no. 6, pp. 1-9, 2017 年 2 月 28 日. (公立はこだて未来大学, 北海道函館市)
- [4] 菱本圭亮, 宮崎雄也, 木谷友哉, “二輪車車体運動センシングデータを用いた路面段差の検出と評価方法,” 情報処理学会研究報告, vol. 2017-ITS-68, no. 7, pp. 1-8, 2017 年 2 月 28 日. (公立はこだて未来大学, 北海道函館市)
- [5] 木村 駿, 羽多野裕之, 藤井雅弘, 伊藤篤, 渡辺 裕, 木谷友哉, “二輪車の移動軌跡補正のための走行データによる挙動分類手法の一検討,” 電子情報通信学会信学技報, vol. 116, no. 463, ITS2016-74, pp. 405-410, 2017 年 2 月 21 日. (北海道大学, 北海道札幌市)
- [6] 木谷友哉, “二輪車情報学 Bikeinformatics~自動二輪車によるセンシングデータの収集基盤の構築と課題~, ” SWEST 組込みシステム技術に関するサマワークショップ予稿集, 基調講演, pp. 1-67, 2016 年 8 月 25 日. (水明館, 岐阜県下呂市)
- [7] 木谷友哉, “自動二輪車を用いたセンシング環境と高精度測位都市・浜松の実現に向けた取り組み,” 産学連携学会 第 14 回大会 講演論文, no. 0617C1445-6, pp. 1-2, 2016 年 6 月 14 日. (アクトシティ浜松, 静岡県浜松市)
- [8] 木谷友哉, 杉浦健介, “一般フィールドにおける二輪車の車体運動と移動経路の計測システムの開発,” 自動車技術会 2016 年春季大会 学術講演会 講演予稿集, pp. 1345-1349, 2016 年 5 月 23 日. (パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市)
- [9] 木谷友哉, “二輪車研究への情報科学の応用: Bikeinformatics 二輪車情報学,” 第 60 回システム制御情報学会研究発表講演会 講演論文集, no. 151-1, pp. 1-6, 2016 年 5 月 22 日. (京都テルサ, 京都府京都市)
- [10] 杉浦健介, 木谷友哉, “衛星測位情報を用いた自動二輪車の運動センシングデータの補正手法の一検討,” 情報処理学会全国大会

講演論文集, vol. 78, no. 1U-08, pp. 1-2, 2016 年 3 月 10 日. (慶應義塾大学矢上キャンパス, 神奈川県横浜市)

- [11] 宮崎雄也, 神村 吏, 菱本圭亮, 木谷友哉, “二輪車車体運動センシングデータを用いた路面損傷箇所の検出手法の提案,” 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02015) シンポジウム論文集, pp. 1350-1358, 2015 年 7 月 10 日. (ホテル安比グラウンド, 岩手県八幡平市)
- [12] 久保田恭輔, 木谷友哉, “安価な運動センサを用いた二輪車車体姿勢角推定手法の提案,” 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02015) シンポジウム論文集, pp. 272-278, 2015 年 7 月 8 日. (ホテル安比グラウンド, 岩手県八幡平市)
- [13] 木谷友哉, “複数の運動センサと測位装置のみを用いた二輪車の車体運動計測手法の基礎検討,” 自動車技術会 2015 年春季大会 学術講演会 講演予稿集, pp. 1995-2000, 2015 年 5 月 24 日. (パシフィコ横浜, 神奈川県横浜市)
- [14] 木谷友哉, 久保田恭輔, 高田宏輝, 神村 吏, “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,” 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02014) シンポジウム論文集, pp. 36-43, 2014 年 7 月 9 日. (ホテル泉慶, 新潟県新発田市)
- [15] 神村 吏, 木谷友哉, “SVMを用いた二輪車の運転挙動分類の基礎検討,” 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02014) シンポジウム論文集, pp. 44-52, 2014 年 7 月 9 日. (ホテル泉慶, 新潟県新発田市)
- [16] T. Kamimura, T. Kitani, D.L. Kovacs, “Automatic Classification of Motorcycle Motion Sensing Data,” In Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (2014 IEEE ICCE-TW), pp. 145-146, 2014 年 5 月 24 日. (Taipei, Taiwan)
- 他 14 件

〔図書〕(計 0 件)

なし  
〔産業財産権〕  
なし

6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
木谷 友哉 (KITANI, TOMOYA)  
静岡大学・情報学部・准教授  
研究者番号: 40418786
- (2) 研究分担者  
なし
- (3) 連携研究者  
なし
- (4) 研究協力者  
なし