

自動二輪車における実走行時のライディング運動計測技術の開発

Development of Technology to Measure Motorcycle Rider Movement during Actual Riding

石井航 椎典子 原田佳典 多田充徳 宮田なつき 村井昭彦

要旨

二輪車は四輪車など他のモビリティに比べて、乗員（ライダー）が車両の運動特性に与える影響が大きいため、運転・操作技術の向上には、実走行中のライダーの身体姿勢や車両に与える荷重といった運動を計測し、定量的に技量を把握することが効果的である。しかし、車両挙動に影響がない小型・軽量で、かつライダーの運動比較ができるレベルの精度を備えた計測システムは確立されていない。そこで本研究では、二輪車に乗車中のライダーが取りうる姿勢の自由度が少なくなる点に着目し、デジタルヒューマンモデルとモーションキャプチャによる少數の身体座標計測により、ライディング運動の計測技術を構築した。開発した計測システムにより実走行時のライディング運動を計測し、運転技量の異なる2名のライディング運動の差異を定量的に示した。

Abstract

Compared to other forms of mobility such as automobiles, the movements of a motorcycle rider have a high impact on the motion characteristics of the vehicle. Quantitatively ascertaining rider skill level by measuring movements such as rider posture and the load placed on the motorcycle during motion is therefore an effective path towards improve riding and operation technology. However, a measurement system had not yet been developed which was lightweight and compact (and therefore did not itself affect the motion of the motorcycle), but also with a sufficient level of accuracy to enable comparison of rider techniques. In this research, we developed technology to measure rider movement using digital human model and motion capture methods to measure a small number of body coordinates, focusing on aspects where there is less freedom in the posture available to a rider while the motorcycle is in motion. By measuring actual rider movements with the system we developed, we were able to show in quantitative form the difference between the movements of two riders of differing skill levels.

1

はじめに

近年、国内の二輪車ユーザーの平均年齢は上昇傾向にあり、二輪車市場活性化のためには、特に若年層の新規ユーザーの獲得が必要である。2015年に実施された日本自動車工業会の調査^[1]では、新規ユーザーが期待以上の満足度を得られた項目として、「乗っていて爽快感を感じられる」「開放感を味わえる」「二輪車を操る楽しさを感じられる」などが挙げられた。一方、特に二輪車非保有の女性を中心に「運転に自信がない」ことが、二輪車の購入を躊躇する要因となっている。課題の解決策として、「運転・操作を練習する場所の提供」や「運転・操作技術向上の講座開催」などの要望が高く、二輪市場の裾野拡大のポイントと考えられている。しかし、現状では、「運転・操作技術向上の講座」は、熟練したインストラクターによる直接的な指導が中心であり^[2]、実施場所や参加人数の制約から、サービス提供の拡大には

限界がある。

一方、二輪車ライダーに対する定量的な操縦技量評価技術も提案されており^[3]、スマートフォンを利用して車体挙動を計測し、走行状態を得点化するアプリケーションも展開されている^[4]。こういった技術により、インストラクターの指導によらず、ユーザー自身が自己的「運転・操作技術」を定量的に把握し、技術向上に活用できる可能性がある。しかし、二輪車は四輪車などに比べて、車両全体の運動特性に与えるライダーの影響が大きいことが知られており^{[5][6][7]}、運転・操作技術の向上には、走行時のライダーの運転操作に加え、身体の動きや力のかけ方といった「ライディング運動」を把握し、的確にライダーにフィードバックする必要がある。

以上の観点から、本研究では自動二輪車における屋外走行中のライダーの身体姿勢と、ライダーが車両に与える荷重（以降、両者を総称して「ライディング運動」と呼ぶ）を計測する技術を開発した。

本稿では、ライディング運動の計測・推定手法について説明し、研究室内での精密な計測と比較することで計測方法の定量的な検証結果を示す。また、運転技量の異なるライダーの走行時の定量的な比較結果を事例とともに報告する。

2 ライディング運動の計測・推定方法

開発した姿勢計測システムの概要を図1に示す。計測システムは、国立研究開発法人 産業技術総合研究所が開発した、デジタルヒューマンソフトウェア「DhaibaWorks」^{[8][9]}を中心に構成される。システムは、ライダーの身体姿勢・車両状態の計測と、ライダーが車両に与える荷重の計測で構成される。以下にその詳細を述べる。

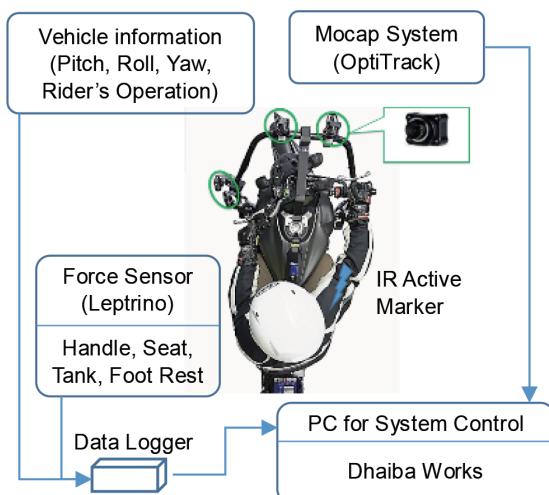


図1 ライディング運動計測システムの概要

2-1. ライダーの身体姿勢の計測

実走行時の自動二輪車ライダーの身体姿勢計測技術の開発において、以下の開発目標を設定した。

- ・自動二輪車に搭載するため、車両挙動に影響がないように小型軽量であること
- ・ライダーの操縦操作の自由度を妨げず、ライダーへの身体的負担が少ないとこと
- ・屋外での計測に対応可能とこと
- ・身長や体格の異なるライダーの計測が可能とこと
- ・ライダー間の運動比較ができるレベルの計測精度をもつこと

上記の条件を鑑みて検討した結果、本研究では、自動二輪車に乗車中のライダーが、乗車姿勢を取ることで、ライダーが取りうる姿勢の自由度が少なくなる点に着目した。そこ

で、今までライダーの身体姿勢を精緻に再現するために多数の点を計測していたところ、今回は身体の計測点を減らし、一部分のみを光学式モーションキャプチャ（Mocap）装置で計測し、三次元座標位置を求め、デジタルヒューマンモデルと前記拘束条件を組み合わせることで、全身姿勢を推定する手法を採用した。

身体姿勢を計測する機能の構成は、ライダーに取り付けた9ヶ所の赤外線自発光マーカー（自社開発品）を撮影するため、6台のモーションキャプチャカメラ（OptiTrack社製 Slim3U：解像度 640 × 480pixel、フレームレート 120fps）を、車体上のライダーを正面から撮影できる位置に設置した。撮影されたデータは、車載パソコン（PC）に送られ、PC内にて計測したマーカーの座標情報がDhaibaWorksに受け渡される。

2-2. ライダーの身体姿勢の推定

計測した身体の9点の座標情報から全身の姿勢を推定するための計算の流れを図2に示す。



図2 ライダー姿勢推定の流れ

①デジタルヒューマンモデルの作成

DhaibaWorks にて、ライダーと同等の身体寸法のデジタルヒューマンモデルを生成する。DhaibaWorks の体形モデル機能により、身長・体重等の身体の一部寸法を与えることで、詳細な形状特徴を表現するデジタルヒューマンモデルの生成が可能である。

デジタルヒューマンモデルの体表に 9箇所の特徴点を設定する。特徴点は、ライダーに設置した自発光マーカーと同様の位置とする。

②車両モデルの準備

走行する自動二輪車の 3次元データを DhaibaWorks に取り込み、デジタルヒューマンモデルを車両に乗車させる。

③実測したマーカー位置情報による姿勢の修正

車載のモーションキャプチャカメラで計測した自発光マーカーの座標情報と、デジタルヒューマンモデルの特徴点が一致するように、デジタルヒューマンモデルの姿勢を調節させる。デジタルヒューマンモデルの拘束条件として、両手は左右それぞれのハンドルグリップに接触させ、両足裏は左右それぞれのフットレストに接触するという条件を同時に使用することで、ライダーが取りうる身体姿勢の自由度は制限があり、最小限のマーカー情報で、身体姿勢の推定が可能となる。

2-3. ライダーが車両に与える荷重の計測

屋外走行時の自動二輪車のライダーが車両に与える荷重の計測においては、姿勢計測の要求に加えて以下のような開発目標を設定した。

- ・自動二輪車に搭載するため、車両挙動に影響がないように小型軽量であること。また、操縦性の変化を最小とするため、ベース車両からの外観寸法などの形状変化が少ないこと。
- ・ライダーが車両に与える荷重を、全て計測できる。

上記の条件を鑑みて、調査・検討した結果、本研究では、6軸力覚センサ（レプトリノ社製）を中心に、車両に内装する手法を選択した。この力覚センサは、並進力（ $F_x \cdot F_y \cdot F_z$ ）と偶力（ $M_x \cdot M_y \cdot M_z$ ）の 6 分力を歪ゲージで検出する。

ライダーが車両に与える荷重を漏れなく計測するため、ライダーと車両が接触する部位に荷重センサを設置した。荷重センサの設置箇所と計測項目を表 1 に示す。ハンドル・シートについては、並進力 3 軸と偶力 3 軸の 6 軸力覚センサを使用し、いわゆるニーグリップを計測するタンクとフットレストに設置したセンサについては、設置空間の制約から、並

進力 F_z と偶力 $M_x \cdot M_y$ の 3 軸での計測とした。

表1 荷重計設置箇所と計測項目

設置箇所	計測項目
ハンドル	$F_x \cdot F_y \cdot F_z, M_x \cdot M_y \cdot M_z$
シート	$F_x \cdot F_y \cdot F_z, M_x \cdot M_y \cdot M_z$
タンク	左、右 $F_z, M_x \cdot M_y$
フットレスト	左、右 $F_z, M_x \cdot M_y$

荷重センサは試験車両の操縦性の変化を少なくするため、可能な限り元形状を維持した外観とした。センサ設置例として、図 3 にフットレストへの荷重センサの設置状況を示す。図のように、厚さ 11.5mm の薄型の荷重センサを製作し、取り付け基部の一部を切削除去し、足裏の接触面の形状が、元の形状と同等となるように荷重センサを設置した。

フットレスト元形状



荷重センサ設置後形状

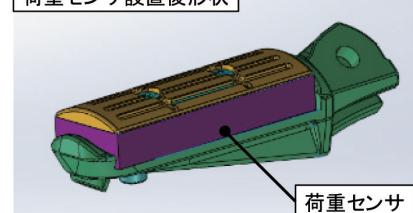


図3 フットレストへの荷重センサの設置状況

2-4. 車両状態の計測

本研究では、車両にモーションキャプチャカメラを設置し、身体姿勢の計測を行っているため、計測した身体姿勢は車両座標系上での計測値となる。

自動二輪車は、運転状態により車体姿勢が変化するため、身体姿勢を全体座標系に変換する際に、車体姿勢を把握する必要があり、車体にモーションセンサ（東京航空計器社製 CSM-MG100）を設置し、車体姿勢の計測を実施した。

また、アクセル操作量、ハンドル操作角度、ブレーキ操作などのライダーが自動二輪車の操縦のために行った操作についても、同時に計測を実施した。

これらのセンサ値と、荷重センサの計測をデータロガーで収集し、車載した PC の DhaibaWorks で集約して計測した。

2-5. 計測値からの演算項目

ライダー・車両の計測値から、身体質量中心位置の演算を実施した。

身体質量中心位置は、デジタルヒューマンモデルをリンク情報に基づき分割し、分割した各部位ごとに質量・重心位置を計算し、全体を推算した。

3 計測方法の定量的検証(屋内での静的検証)

屋外における走行中の動的状態での計測に先立ち、2章で示した6台の車載カメラを利用した身体姿勢の計測方法の精度について、屋内の静的状態での検証を実施した。

検証方法は、研究室内にて据置型モーションキャプチャを使用した計測(計測方法A)を目標値として、同時に計測した本研究の計測手法(計測方法B)とを比較した。計測方法Aは、15台の据置カメラから構成されるモーションキャプチャシステム(VICON社製 VICON MX-13〈130万画素〉×10台、VICON T160〈1600万画素〉×5台)を用いて、被験者の体表に添付した反射マーカーから身体座標位置を計測し、ヒューマンモデルにフィッティングさせた。反射マーカーは、Visual 3D(C-Motion社製)のガイドラインに基づく全身57箇所に貼付した。

また、本研究の計測手法となる計測方法Bは、6台のモーションキャプチャカメラ(OptiTrack社製 Slim3U)を車両に設置し、同様に被験者の体表に添付した9箇所の赤外線自発光マーカーから身体座標位置を計測した。

被験者は、車両と同形状の擬似車両に乗車し、ライダーが取りうる様々な姿勢(基本乗車姿勢→前傾→後傾→上体を左寄り→上体を右寄り→ハンドルを左に操作→ハンドルを右に操作→左側にハングオン→右側にハングオン)を再現し計測した。なお、一連の動きは連続して計測した。

本検証計測での被験者へのマーカー貼付は、以下の2通りの方法にて実施した。

- ・被験者の体表に直接、マーカーを貼付
- ・被験者がライダースーツ・手袋・ライダーブーツ(革製)、ヘルメットを装着し、装具上に貼付

本項では、社内テストライダー1名(男性・身長165cm・体重60kg)に対する計測結果を示す。

3-1. 分析手順

被験者の体表へ、反射マーカー(計測方法Aで使用)および自発光マーカー(同Bで使用)を貼付した状況を図4に示す。計測データの分析は、以下の手順で行った。

- ① 被験者にマーカーを貼付した位置に対応するデジタルヒューマンモデル上の位置に、マーカー点(特徴点)を設定する(図5参照:反射マーカー〈計測方法A〉57点、自発光マーカー〈計測方法B〉9点)。
 - ② 計測方法A・Bそれぞれにて計測したマーカー座標位置と、デジタルヒューマンモデル上の特徴点を一致させるようにヒューマンモデルの姿勢を調節する(計測方法Bは、2章で示した手足の拘束条件も利用する)。
 - ③ それぞれの方法で調節後のデジタルヒューマンモデルを比較し、差異を確認する。
- なお、本研究では図6に示す二輪車の座標系を使用し、本報ではライダーの運動もこの二輪車の座標系上で表している。



図4 マーカー貼付状況(体表上)

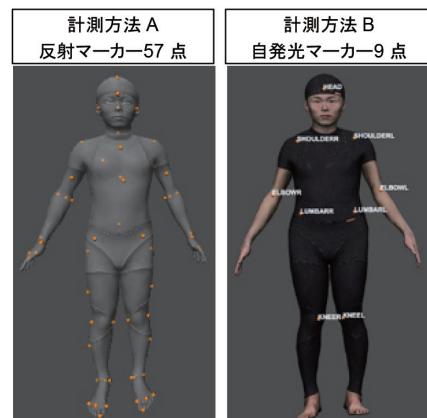


図5 ヒューマンモデル上のマーカー位置



図6 二輪車座標系

3-2. 検証結果

図7に、計測方法によるモデル全体の姿勢の差異の一例を示す。この姿勢は上肢を右に傾けている状態にて比較しており、計測方法A・Bどちらも概ね同様の姿勢を再現できている。

ライダーが擬似車両上で様々な姿勢を取った際の全身の身体質量中心位置を図8に示す。図は、計測方法Aと計測方法Bの差を各軸で表している。Z(上下)・Y(左右)方向では計測範囲において、概ね±10mm以下の範囲となっている。身体位置が左右に偏ったときのYの差は小さい。一方、X方向(前後)では誤差が大きくなり、特に上体を左に傾けたときと、右に旋回したときに大きい。計測範囲全体での全方向の平均誤差は12.9mmとなった。

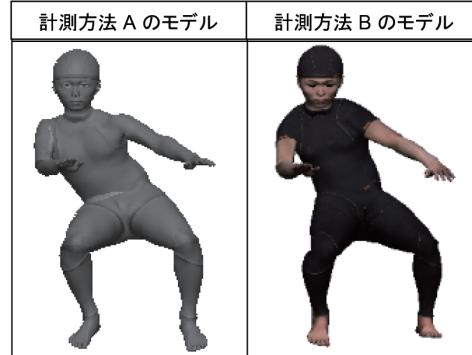


図7 計測結果例(計測方法A・Bによる差異)

4

屋外での動的計測

開発したライディング運動計測システムを搭載した車両を用いて、社内テストライダー2名(男性・身長165cm・体重60kg、男性・身長167cm・体重54kg)の走行を計測した。

4-1. 試験車両

試験車両は、排気量688cm³、計測車両重量208.0kg(計測器を含む)、ホイールベース805mm、全幅745mmである。計測機器は、パソコン・データロガーをタンデムシート上に、モーションセンサをフューエルタンク上にそれぞれ配置した。車両状態として、前後・横方向加速度、ピッチ・ロール・ヨー角度、操舵角度、スロットル開度、前後ブレーキ操作等を計測した。

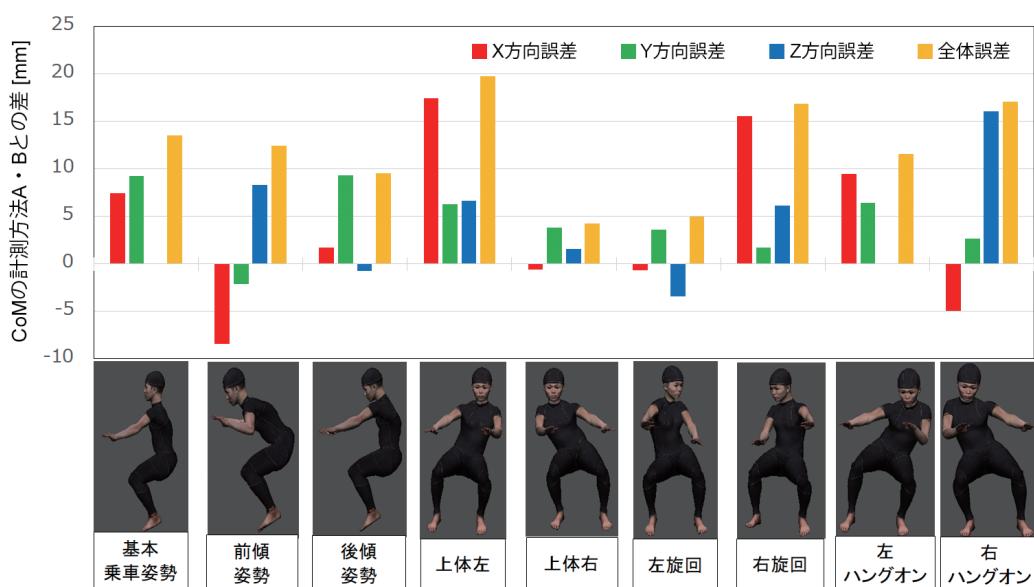


図8 身体質量中心位置(CoM)の計測方法A・Bの差

4-2. 走行課題

計測時の走行コースは「千鳥走行」にて実施した。千鳥走行は、左右交互に設置されたパイロンに接触しないように走行する課題で、低速走行のため車体バランスを崩しやすい。そのため、身体位置や荷重操作が重要となり、ライディング技量の差異の計測に適した課題である。

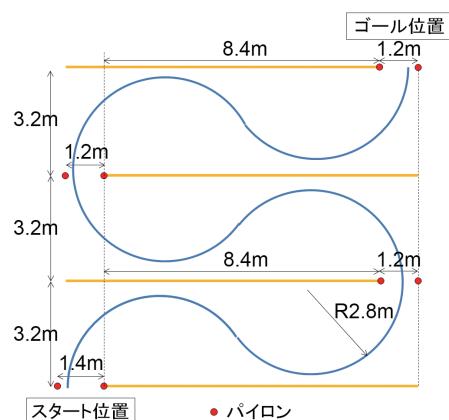


図9 千鳥走行コース

図9に、本試験で走行した千鳥走行コースを示す。赤丸はパイロンに相当し、パイロン・黄色線に接触しないようにパイロン間を通過した。スタート位置ではパイロン通過前、ゴール位置ではパイロン通過後に一旦停止を行った。走行路が狭いため、車速は10km/h以下の低速走行となり、走行中は車体をほぼ直立させた状態で走行する。本試験では、ライダー間の比較のため、コース上に半径2.8mの円弧をつないだ走行路を設定し、車両の前輪が走行路を通るように走行した。

4-3. ライディング運動の計測結果

前項の走行課題を社内テストライダー2名が走行し、各ライダーの計測を行った。ライダーAは、社内テストライダー一資格の上級資格保持者で、ライダーBに比べて走行技量が高い。

計測の結果、ライダーごとの身体姿勢・車両に与える荷重の差異などが分かった。代表的な差異を図10に示す。

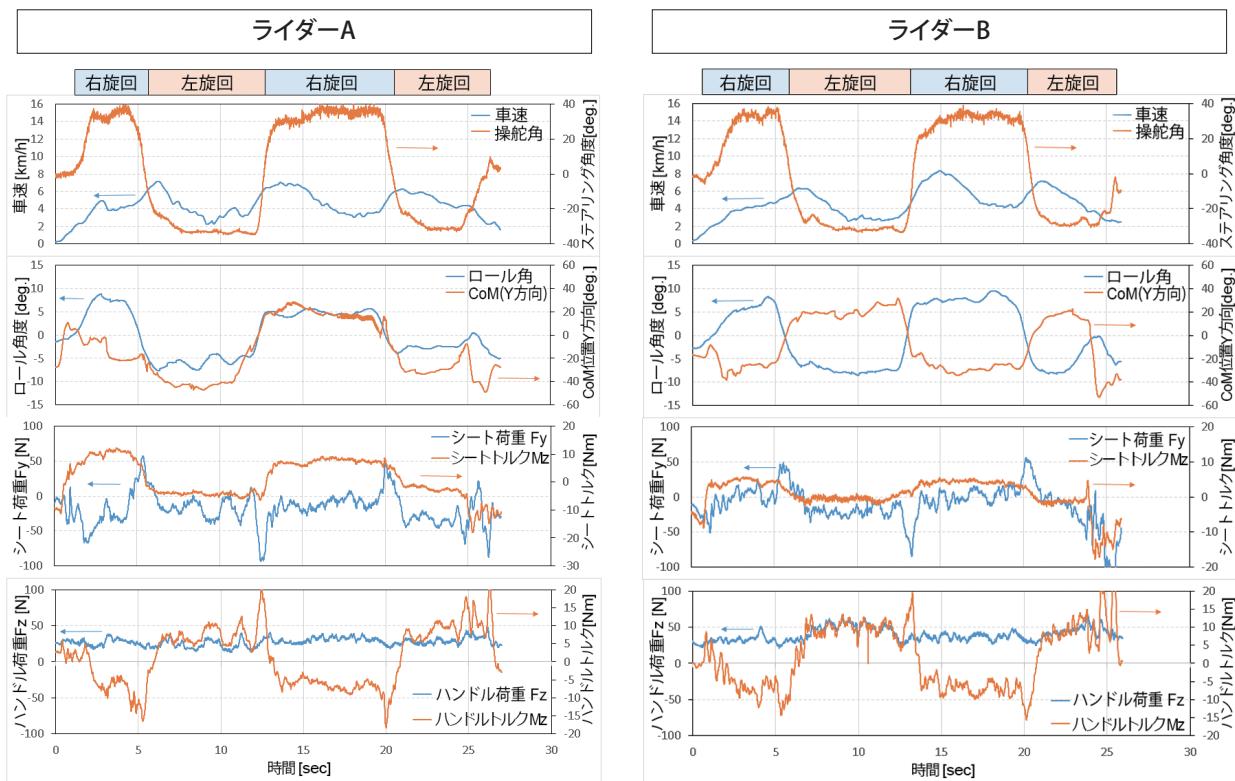


図10 千鳥走行でのライディング運動の違い

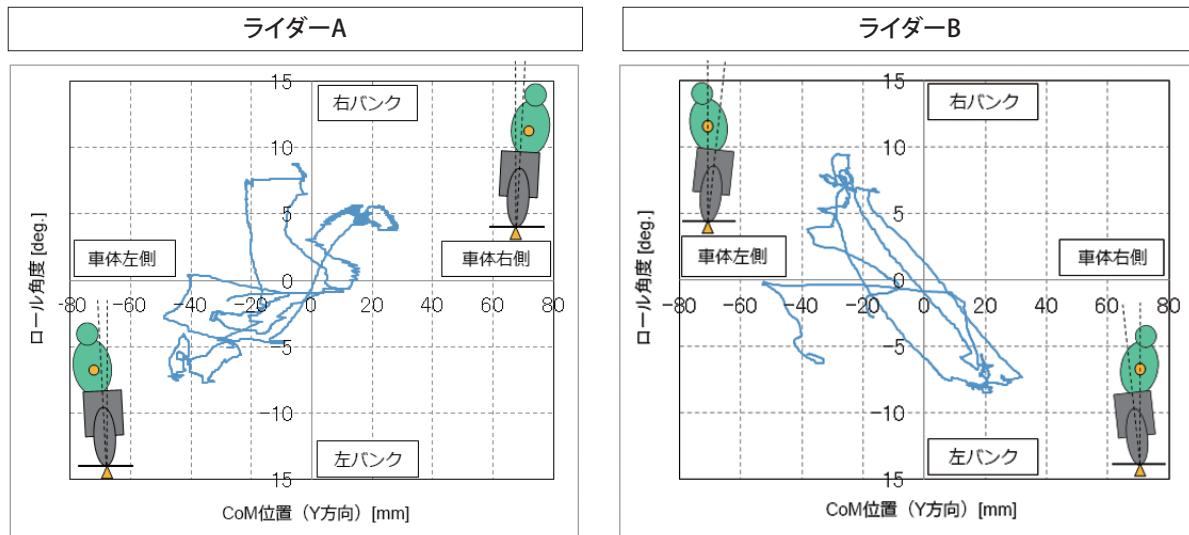


図11 千鳥走行でのライディング運動の違い(車体傾斜と左右CoM位置)

図10の最上段のグラフより、走行時の車速は両ライダーとも同等であり、停止状態から発進し、旋回時は5km/h程度で走行している。本試験では、円弧状の走行路を走行したため、常にどちらかに旋回している状態となっているが、旋回後半の直線走行に近い走行時に、6～8km/h程度まで加速し車体の安定性を確保している。

図10の2段目のグラフは、走行中のロール角度（左右方向の車体傾き:0度が直立状態・右への変位が正方向）と、車体位置に対する全身のCoM位置（Center of Mass: 質量中心、車体中央が0mm・右への変位が正方向）の変化を示したものである。旋回中のロール角度は、ライダーAは約5°、ライダーBは約8°で、その時のCoM位置に差異がみられた。ライダーBは、旋回中に車体を傾けた方向と反対側にCoMが変化しているが、ライダーAは、車体の傾き方向と同じ側にCoM位置が変化している。図11は、横軸に左右CoM位置、縦軸に車体ロール角度をまとめたもので、図中の模式図を表すように、ライダー間で車体傾斜と身体質量中心位置に明確な差異が見られる。

ライダーが車両に与える荷重は、図10の3段目に示すとおり、シート部では両ライダーとも旋回方向を切り替える際に、傾斜する車体を起こすように、車体外側方向に向けて瞬間に荷重をかけている。ライダーAは旋回中に車体が右に傾いているときは左回り、左に傾いているときは逆方向のトルクを明確にかけており、旋回中の荷重のかけ方に差異がみられる。

図10の4段目に示すハンドルについてのグラフでは、ライダーAはZ方向荷重が全域で30N程度だが、ライダーBは概ねその1.5倍程度の荷重をハンドルにかけており、上

級者はハンドルに力をかけないとの通説を裏付ける結果を得た。ハンドル回転軸周りのトルクは、両者同等となっている。

このように、ライダーの運動を計測することにより、従来は困難であった運転技量の異なるライダーの比較を定量的に行なうことが可能となった。一方、技量の差が最終的な車両挙動に与える影響を明らかにするためには、マンマシン系全体の力学系を考慮し解析する必要がある。

5

まとめと課題

本稿では、ライダーの運動が二輪車の車両全体の運動特性に与える影響を把握するため、屋外走行時のライディング運動を定量的に計測する技術を開発し、以下の結果を得た。

- (1) デジタルヒューマンモデルと新規開発の荷重計測装置を利用することで、少數の計測点で、走行中のライダーの身体姿勢を計測する技術を確立した。
- (2) 開発した計測技術では、ライダーの身体質量中心位置を計測した動作の範囲内において12.9mmの誤差で推定できた。
- (3) 身体姿勢に加えて、ライダーが車両に与える荷重を計測することで、ライダーの運動を把握し、運転技量の異なるライダーの違いを定量的に示すことができた。

今後は、デジタルヒューマンモデルのフィッティングアルゴリズムの改良により、システム全体の計測精度を向上させ、さらに詳細な運動比較を行っていく。また、抽出した差異をライダーにフィードバックすることで、運動を的確に誘導する技術開発についても検討していく。

■参考文献

- [1] “2015年度二輪車市場動向調査”, 日本自動車工業会, 2016
- [2] “ライディングスクールYRA(ヤマハライディングアカデミー)”, <https://www.yamaha-motor.co.jp/mc/yraindex.html>
- [3] 森島圭祐, 大本浩司, “自動二輪車ライダーの操縦技量定量化に関する基礎検討”, Yamaha Motor Technical Review, 2012-12, No.48, p.71-80
- [4] “スマートライディングアプリ”, <https://www.yamaha-motor.co.jp/mc/life/apps/smartrid ing/>
- [5] 景山一郎, “二輪車の運動解析における人間の取り扱いについて”, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.961, p.255-258, 1996
- [6] 横井元治, 青木和夫, ”大型自動二輪車の低速走行における人体の挙動に関する研究～熟練度による上体挙動の違いについて～”, 平成25年度日本大学理工学部学術講演会論文集, p.285-286, 2014
- [7] 手塚良孝, 玉島勉ほか, “ライダー挙動を含む二輪車の走行シミュレーション技術の構築”, Honda R&D Technical Review, Vol.19, No1, p.142-148, 2007
- [8] 遠藤維, 多田充徳, 持丸正明, “DhaibaWorks:デジタルヒューマンモデルを利用した人間中心設計支援ソフトウェアシステム(第1報)：機能概要およびシステムデザイン(デジタルヒューマン)”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集2013, 1A2-L03(1)"-1A2-L03(3)", 日本機械学会
- [9] 持丸正明, “人間中心設計を支援するデジタルヒューマン「Dhaiba」の開発”, 人間生活工学, Vol.11, No.1, p43-46, 2010

■著者



石井 航(左端)

Wataru Ishii

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部

椎 典子(左から2番目)

Noriko Shii

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部

原田 佳典(左から3番目)

Yoshinori Harada

技術本部
研究開発統括部
先進技術研究部



多田 充徳

Mitsunori Tada

国立研究開発法人
産業技術総合研究所

宮田 なつき

Natsuki Miyata

国立研究開発法人
産業技術総合研究所

村井 昭彦

Akihiko Murai

国立研究開発法人
産業技術総合研究所