

二輪車を操縦するロボットの制御系設計に関する研究

日大生産工(院) ○鈴木亮雅 日大生産工 景山一郎

1 緒言

二輪車という乗り物は操る楽しさを持つ。これはライダーとの質量比が近く、ライダーの身体特性や操縦動作によって運動特性が大きく変化することが影響している。現在の研究開発において運動特性はテストライダーによって評価されている。しかしながら、熟練度の高いライダーによる評価でも各個人でばらつきがあることが報告されている⁽¹⁾。この要因として身体特性や運転趣向などの個人差が含まれること、無意識に車両へ多入力を与えていることが考えられる。以上のことから二輪車の運動特性を定量的に評価する手法が求められている。

そこで提案するのがロボットを用いた評価手法である。ロボットを用いることで個人差を排除し、車両への入力を明確に制御できる。よって、再現性の高い実験結果を取得し、制御入力と車両運動の関係を明確化することで運動特性を定量的に特定する可能性をもつ。以上より、人間の運転行動を表現したライダーロボットの構築を目的とし、その第一ステップとして、ライダーの身体特性及び運転行動を模擬したロボットの構造化を行う。本稿では、三次元人体計測装置及び加振装置を用いてライダーの身体動作を計測し、各部位の変位について周波数解析からライダー身体の構造化を行った。そして、ロボットを構築する身体モデルの検討結果について報告する。

2 実験装置

2.1 二輪車走行時の振動状態

直線走行時の振動状態として、非振動系のキャブサイズモードと振動系のウィーブモードとウォッブルモードが存在する⁽²⁾。走行時に発生する振動に関して、ウィーブモードは車体の横、ロール、ヨー運動が連成した1~4Hz程度の振動であり、車速に依存して固有振動数が増加する振動モードである。ウォッブルモードは

操舵系における振動であり、車速の増加と共に不安定となる、6~10Hz程度の振動モードである。これらは車体のロール運動、ヨー運動と操舵系に影響を及ぼす振動であるが、本研究ではライダーを模擬したロボットの基礎的な構造を検討するため、上記の振動を再現できる加振装置を用いた。

2.2 三次元人体動作解析システム

ライダーを模擬したロボットの構造化にはライディングを行うライダーの動作を計測し、連結した部位ごとのばねやダンパなどを等価的にパラメータ化する必要がある。全ての部位に車体と連結したセンサを取り付けることはライダーの負担になり、本来の走行が出来ない可能性をもつ。そのため、三次元人体動作解析システム(以下モーキャプとする)を用いて部位ごとの位置情報を計測した。計測にはVICON社の光学反射式モーションキャプチャカメラを導入した。使用するソフトウェアはVICON NEXUS2である。赤外線カメラによる反射によりマーカの位置情報を算出し、マーカは小さく、ライダーの動作を阻害する要素は少ない。モーキャップソフト内の図をFig.1に示す。

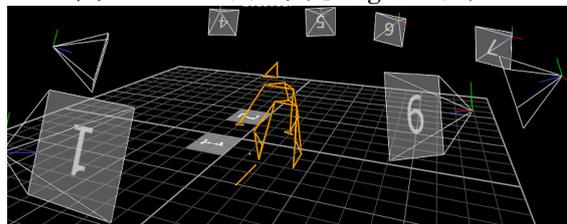


Fig.1 Motion capture

2.3 6軸ムービングベース

加振装置は Servos&Simulation, Inc 社の6軸ムービングベース(以下MB)、Generic Six Axis Motion System Model 710-6-2000-220を使用した。本装置は6つのモータを搭載し、モータとトッププレートは6つのロッドとピローボールにより支えられ、コンピュータ制御より二輪車のロール、ヨー、ピッチ運動

Study on control system design of robot to control the motorcycle
Ryoga SUZUKI and Ichiro KAGEYAMA

及びそれらを連成した運動の再現を可能としている。使用した装置をFig.2に示す。

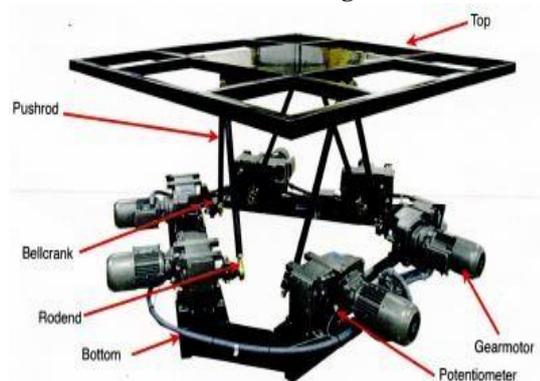


Fig.2 6 axis motion base

2.4 車体モックアップ

MBのトッププレートに二輪車を模擬したモックアップを構築した。外枠をアルミフレームにより組み立て、モックアップ内にねじりなどが極力発生しないようにした。二輪車を模擬する要素として、ステアリング部、シート部、ステップ部、タンク部を実車に忠実に再現している。Fig.3に実験で用いたスポーツ車両のモックアップを示す。

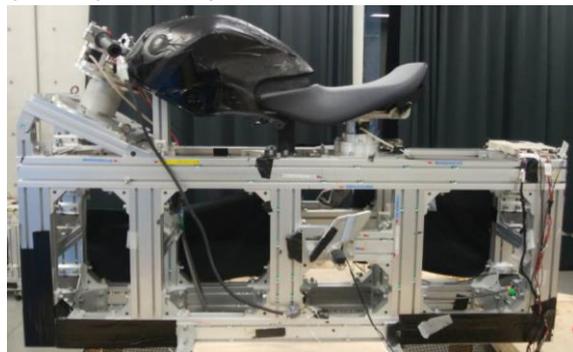


Fig.3 mockup of Motorcycle

2.5 計測装置

ライダーは走行中にステアリング操作や身体動作により車体へ力、及びモーメントを入力し車両運動を制御していると考えられる。そこで、左右のステップ六分力、左右の操舵六分力、シート六分力、車体 3 軸加速度、角速度、ライダー 3 軸加速度、角速度、これらを各種計測器により計測した。

3 実験概要

実験はインフォームドコンセントを得た実験参加者1名に対して、MBを用い、二輪車を模擬したモックアップに乗車し、振動を与え、ライダー身体各部位の変位をモーキャップを用いて計測した。マーカを付けた実験参加者をFig.4に示す。赤丸がマーカの位置を示している。

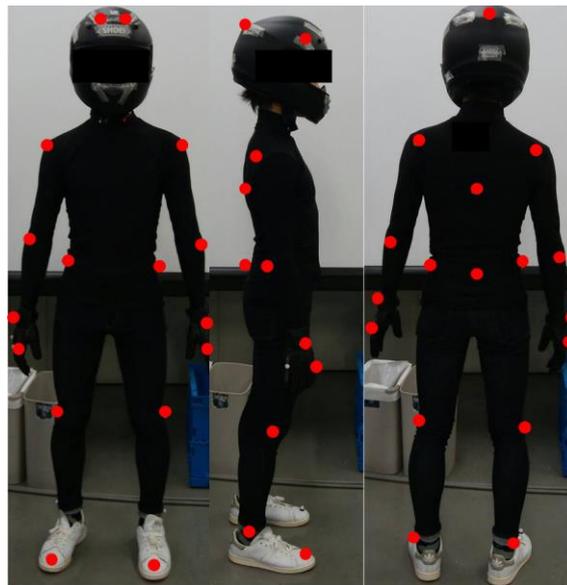


Fig.4 Experimental rider and marker position

3.1 計測項目

ライダーを模擬したロボットン構造化を行うため、前述のとおり、モーキャップにてライダー各部位の変位、左右ステップの六分力、左右操舵の六分力、シートの六分力、車体とライダーの3軸加速度、角速度を計測した。

3.2 加振条件

前述のとおり、二輪車のウィーブモードはロール、ヨー運動の連成振動である。そこで、錬成された振動を分解し一軸回りにおける振動をライダーに対して与えることで、ライダーの各部位のマーカの変位を計測する。そこで、振動条件をロール加振1,2,3Hzと決定した。このとき加振の加速度は0.05G一定とし、実験参加者には通常時の運転姿勢と適度な補舵とニーグリップを教示した。

4 実験結果

計測データの処理として、加振周波数が3Hzまでであり、出力変位の周波数がこれを大きく超えることはないと考えられるため、20Hzのローパスフィルタを施した。また、人間の呼吸系周波数の影響を除くため0.4Hzでハイパスフィルタを施した。モーキャップにより検知したライダー各部位のY軸方向変位の波形に関してフーリエ変換を行い、周波数解析を行った。ロール加振周波数1.0HzのときのY軸方向車体変位、y軸方向ライダー胸部変位に関する周波数-スペクトル図をFig.5に示す。

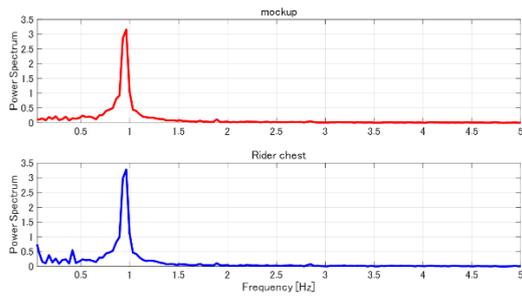


Fig. 5 Frequency-spectrum diagram

4.1 ライダ身体の簡易モデル

マーカーをつけた各部位の名称と解析で用いる簡易的な身体モデルの正面図をFig.6に示す.

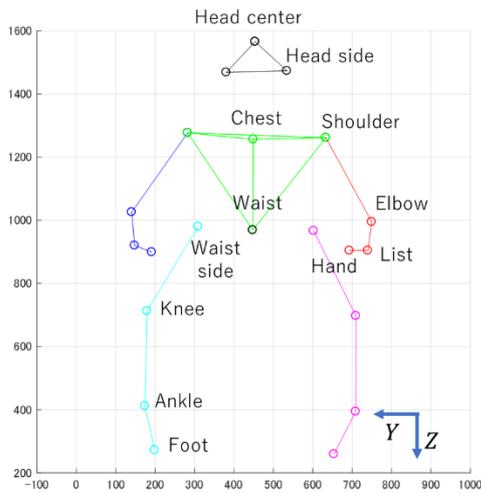


Fig. 6 Plane model and marker position

4.2 周波数解析及びライダ身体の構造化

加振に対するライダ身体各部位の動きを確認するため、モーキャップで検知したマーカーのY軸方向変位をについて周波数解析を行った. 各部位とY軸方向変位周波数をFig.7に示す.

Fig.7より、頭部(head center, head side)は全加振条件でほぼ同一の値を示した. ライダと車体との結合されている. そのことから、頭部の三点は同質量系として扱えると考えられる. また、足部(ankle, foot)そして手部(list, hand)は全条件で車体加振周波数と最も近い値を示しており、車体との結合点として扱えると考えられる. ライダ腰部三点(waist, waist side)は同傾向を示し、また上半身の肩部と胸部である(chest, shoulder)も同傾向を示している.

そのことから、腰部三点及び肩部、胸部を繋ぐ胴体部には身体的ばねダンパが存在し、結合されていると考えられる. 次に、胴体部とハンドルを繋ぐ肘部(elbow)は1,2Hz時には肩部と手部と同傾向を示すも3Hzでは周波数が減少する傾向が見られた. 同様にステップとタンク

を繋ぐ膝部にも3Hzで周波数が減少する傾向が見られた. これは車体を保持するためのハンドル保持力とニーグリップ力が周波数域で変化することを示し、肘と膝は身体的なばねダンパの役割をしていると考えられる. そのことから、ライダの身体を構造化するには頭部、上部、腕部、下部に自由度が必要だと考えられる. 以上より、ライダ身体をブロックに分けるとFig.8に示すような構造が示唆される.

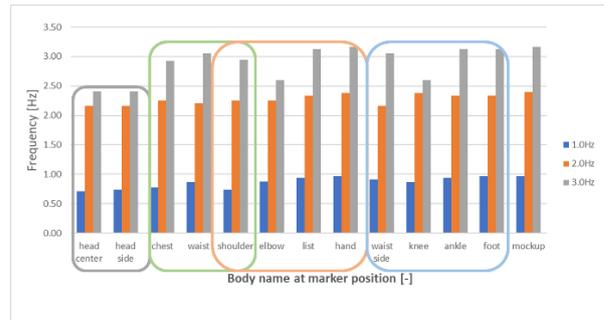


Fig. 7 Frequency for each body parts

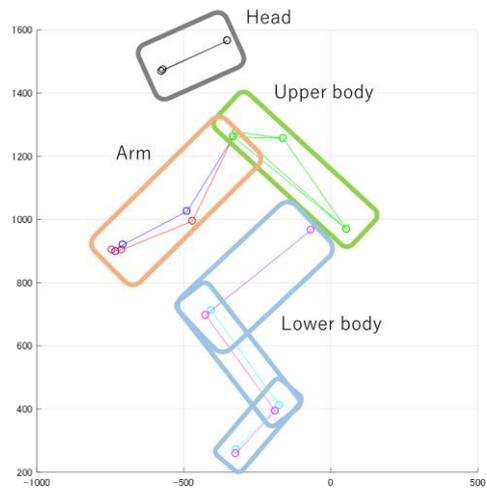


Fig. 8 Structure of rider's body

5 ライダロボットの構造化

ライダを模擬したロボットの構造化について検討した. 実験結果より、ライダの構造は手部(list, hand)がハンドルと固定、足部(ankle, foot)がステップと固定される. 頭部、上部、腕部、下部に自由度をもち、腕、肩、胸から構成される上部は身体的なばねダンパで腰、下部と結合される. そして、ハンドルを保持する腕部は肘から先に身体的なばねダンパをもつ. また、車体フレーム及びタンクと接地しニーグリップを表現するため下部と車体はばねダンパで結合される. 以上を考慮したロボットの構造モデルをFig.9に示す.

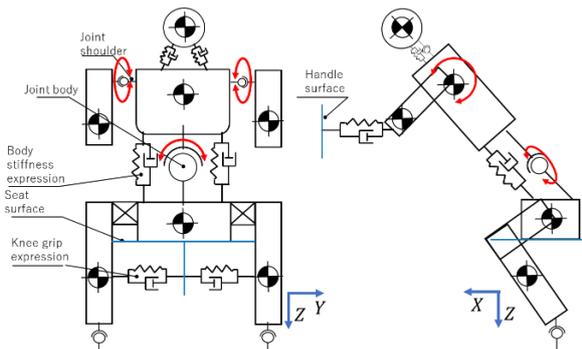


Fig.9 Plan of rider robot body structure

6. 結論

本報告では加振装置及び三次元人体計測システムを用いることで、加振に対する二輪車を操縦するライダー各部位の変位及び周波数を計測した。そこから得た結論を以下に示す。

- ・三次元人体計測システムを用いることで実車実験では計測が困難なライダーの身体動作データを取得した。
- ・加振に対するライダー身体の各部位におけるY軸方向変位の周波数を解析することで、ライダー身体を構造化する基礎データを得た。
- ・ライダーを模擬したロボットを構築するための身体構造モデルを作成した。
- ・今後は実験参加者を増すことと、加振装置の自由度を活かし、ライダーが能動的に身体動作を入力した際を考え、ライダーと車体の入出力関係について検討していく。

「参考文献」

- 1) 景山一郎：二輪車の運動特性とその評価手法に関する研究-第一報 定常円旋回の基礎特性について,自動車技術会前刷集 No.150-07, p13-18 (2007)
- 2) R.S.Sharp, The Stability and Control of Motorcycles,Journal of Mechanical Engineering Science,13-5(1971),316-329
- 3) 公益社団法人 自動車技術会, 自動車技術ハンドブック 人間工学編 P. 391