

二輪車用ライディングシミュレータ構築とその応用に関する研究

日大生産工（院）○杉山 紘史 日大生産工 景山 一郎

1. まえがき

二輪車は車両単体ではある速度域で不安定な特性を有するが、人間の制御により安定した走行をすることができる。このように他の車両と比べて操縦する人間の影響が大きいことから、二輪車の運動特性解析を行う場合、人間・二輪車系としての運動解析が必要になる。しかし実車実験では、同一条件の繰り返し実験が困難であり、計測機器等の積載スペースが少ないなどの問題がある。また、限界特性、疲労等の影響、飲酒等の影響度解析においては操縦者に危険が伴うことから、このような解析を困難なものとしている。そこで、これらの問題を解決するために、実車の走行状態を模擬したシミュレータの使用が有効であると考えられる。

しかし四輪車とは異なり、二輪車では操縦する人間の体の動きがその運動に大きく影響することから、どのような動作が実際の操縦入力になっているかを規定するのが難しく、その構築を拒んできた。近年いくつかの二輪車用のライディングシミュレータが作られているが、そのほとんどが運転訓練や危険な環境を体験させることを目的としており、その運転感覚は実際の車両と大きく異なっている。そこで本ライディングシミュレータ（以下RS）設計にあたり、まず人間の制御動作を実車実験から計測し、どのような入力が制御に大きく反映しているかについて検討を行なった。

この解析結果を基に、シミュレータの入力の選定、自由度の決定、操縦者への情報提供方法等の検討を行い、実際の二輪車に近い操縦感覚を与えるシミュレータを構築した。



Fig.1 Riding Simulator

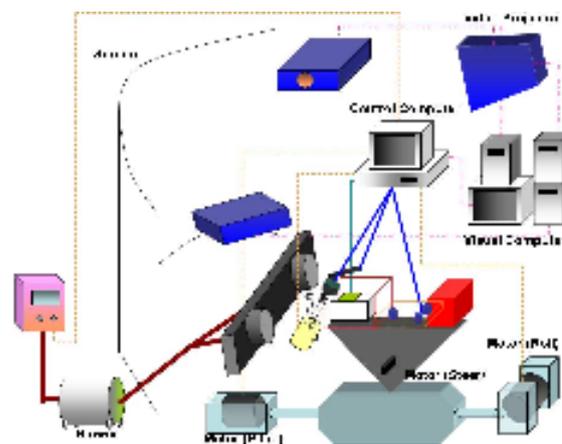


Fig.2 Riding Simulator System

2.ライディングシミュレータ概要

ライディングシミュレータの基本構成を図2に示す。ライダーが視覚、聴覚や車両の運動状態からライダーの意図する運動を行なうように、アクセル操作、ブレーキ操作、ハンドル操作および体重移動の操作を行なう。ライダーの行なった操作からアクセル開度、ブレーキ力、ハンドルトルク、シートトルクを各センサより検出し、メインコンピュータ内の車両モデルで計算する。車両モデルとして、エンジンモデル、縦方向3自由度モデル、横方向4自由度モデルを構築しており、それぞれを達成し、車両状態を出力する。本RSでは、DSP(Digital Signal Processor)を使用し、モデルを作成した。DSPでモデルを作成することにより、モデル内のパラメータをモニタリングおよびチューニング(オフラインシミュレーション)を行うことができる。さらにコントローラボードと制御対象の実機を接続することで、実機を稼働させながらリアルタイムでのパラメータチューニング(オンラインシミュレーション)をすることが可能になる。これらの計算結果をもとに運動感覚模擬装置、視野感覚模擬装置、音響感覚模擬装置、皮膚感覚模擬装置によって車両運動を模擬する。本ライディングシミュレータの運動模擬装置は、ロール、ピッチ、ハンドルの3自由度となっており、各軸にACサーボモータを設置して車体運動を模擬している。ACサーボモータは、計算・制御コンピュータからの電圧をサーボコントローラに送ることで制御している。各軸の可動範囲は、ピッチ角 $\pm 15\text{deg}$ 、ロール角 $\pm 20\text{deg}$ 、ステア角 $\pm 10\text{deg}$ としている。画像情報模擬装置は、描画用コンピュータにより前方視野画像を作成し、3組のビデオプロジェクタによってスクリーンに投影する。音響装置では、エンジン音のみを再現している。計算・制御用コンピュータで基準となるエンジンサンプリング音を再生し、その周波数をエンジン回転数に合わせて変化させている。また、前方に設置したブ

ロアにより噴出される走行風により皮膚感覚を模擬している。この送風機は、ライダーが操縦動作を行なうことによって算出された車速に応じて送風機の回転数を制御している。

3.前後方向運動モデル

前後方向のモデルは、ピッチング、上下方向と前後速度の3自由度とした。入力はアクセル開度および前後ブレーキトルクとし、エンジン特性モデルから駆動力を算出する。その結果から加速度および加減速時のピッチ角変化を算出する。モデルの簡略化を図るため、スリップ率およびタイヤの前後方向に関する特性の影響は無視するものとした。

4. 横方向運動モデル

現在、二輪車の運動方程式はSharpの4自由度モデルが基礎となって研究が進められている。Sharpの解析によりキャプサイズ(Capsize)、ウィーブ(Weave)、およびウォッブル(Wobble)の3つが二輪車の車両運動を支配する振動モードであることが明らかになっている。ウィーブは固有振動数1~4Hz、ウォッブルは固有振動数6~10Hzの高周波振動であり、実車において発生した場合、人間が制御することは不可能である。現在までに発表されている運動方程式には、このような高周波振動がある速度域において発生している。したがって、これらの方程式は比較的実車の特性を表現しているが、完全に一致しているとはいえない。本研究では運動方程式の固有値を修正することで、二輪車の特性を表現しつつすべての速度域において安定なモデルを構築し、シミュレータの横方向モデルとして用いる。そこで、考慮する力としては二輪車の運動を考える時に最低限必要であると考えられる、コーナリングフォース、キャンバラスト、セルフアライニングトルク、ジャイロモーメントとした。また自由度としてはシミュレータの模擬に必要な運動のみを考え、ハンドル角、

ロール角ヨーレイト，横方向速度の4自由度とした．この運動方程式の固有値より，無減衰固有振動数(ω_n)，減衰比(ζ)，時定数(T)およびゲイン(K)を求める．次にそれぞれの応答を主に表現する固有値を用い近似する．その際，不安定なく，Tについては安定値として使用した．

決定した係数を用いて，シミュレータの模擬に必要な出力つまりハンドル角，ヨーレイト，横方向速度について人間の入力であるハンドルトルクに対する伝達関数をそれぞれ決定した．その際，各出力に影響が大きいと考えられる振動モードのみを考慮した．決定した伝達関数とゲインを次に示す．

$$\frac{\delta}{T_h} = \frac{K_\delta}{s^2 + 2\zeta_1\omega_{n1}s + \omega_{n1}^2}$$

$$\frac{\phi_w}{T_h} = \frac{K_{\phi_w}}{s^2 + 2\zeta_2\omega_{n2}s + \omega_{n2}^2}$$

$$\frac{\phi_c}{T_h} = \frac{k_{\phi_c}}{T_1s + 1}$$

$$\frac{\omega}{T_h} = \frac{K_\omega}{s^2 + 2\zeta_2\omega_{n2}s + \omega_{n2}^2}$$

$$\frac{V_y}{T_h} = \frac{K_{vy}}{T_1s + 1}$$

$$K_\delta = \{-0.3 + 5.2 \times 10^{-2} \times \log(V + 1)\}^3 \times 1.82 + \{2.3 \times 10^{-2} - 3.9 \times 10^{-3} \times \log(V + 1)\}$$

$$K_{\phi_w} = -7.5 \times 10^{-4}$$

$$K_{\phi_c} = -1.2 \times 10^{-2}$$

$$K_\omega = -3.0 \times 10^{-2} + 3.2 \times 10^{-3} \times \log(V + 0.1)$$

$$K_{vy} = -2.25 \times 10^{-3} \times V - 4.0 \times 10^{-2}$$

V: 車速

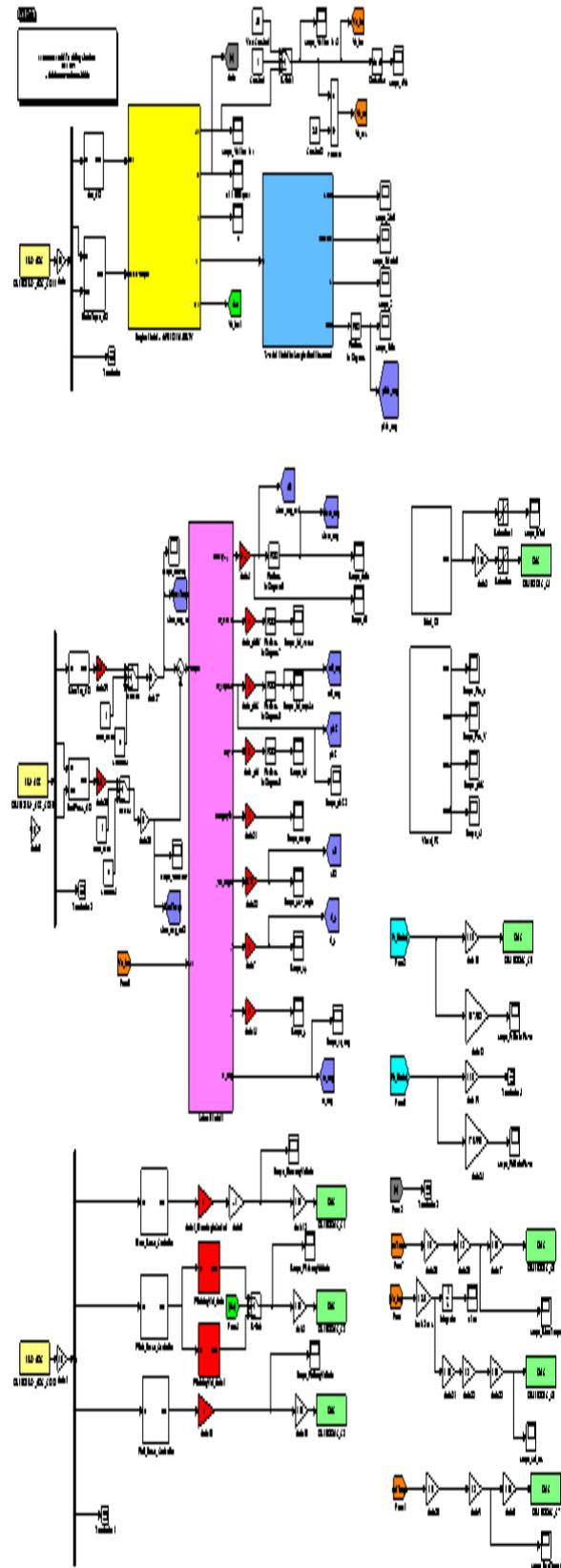


Fig.3 Simulink Model

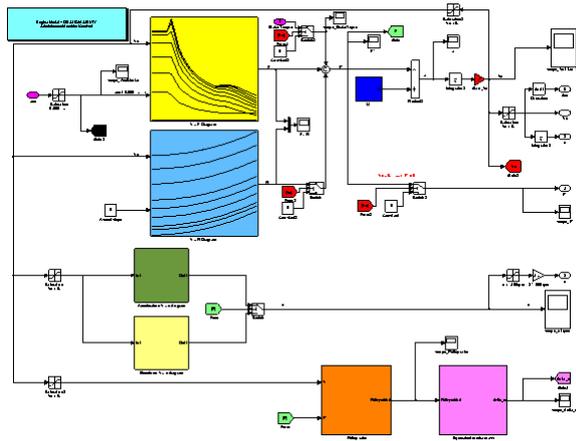


Fig.4 Engine Mode

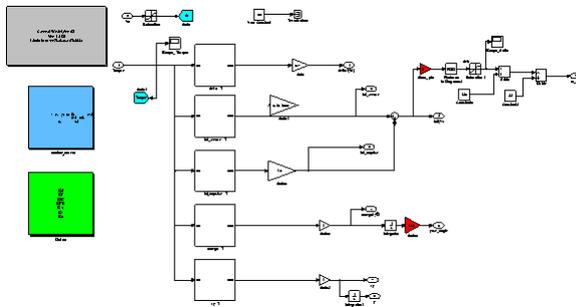


Fig.5 Lateral Model

5. スケールファクタ検討

シミュレータで実車の運動を模擬する場合、実際の値を用いて模擬をしても必ずしも良好な操縦感覚を表現できるわけではない。そこで、コントロールシステム内のスケールファクタを変更することで、シミュレータの乗車感覚を実車の感覚に近づける必要があると考えられる。

ライダの主観評価を用いて各出力に対するスケールファクタを決定した。決定したパラメータの中で主要なものは、ピッチ角速度を0.8(ただしブレーキ力が83.5N以下の場合0.2)、速度1.7、フロントブレーキ力0.6、リアブレーキ力0.5、ヨー角1.2、車体ロール角0.33となった。

ライダの横方向の入力に関するパラメータ

は個人差があったため、各実験者によって変化させる必要があることがわかった。

6. まとめ

本研究では、二輪車の運動方程式の固有値を修正したモデルを構築することによって、二輪車特性を表現し、かつすべての速度域において人間が制御可能なライディングシミュレータを構築した。また、スケールファクタを変更することによって実車に近い操縦感覚を再現することができた。

7. 参考文献

- 1) 景山他：二輪車用ライディングシミュレータの開発および評価について、日本機械学会第7回交通・物流部門大会講演論文集，Vol.37,No98,P.247-250,1998
- 2) 景山他：二輪車用ライディングシミュレータの構築，日本機械学会第9回交通・物流部門大会講演論文集，Vol.37,No00,P.169-176,2000
- 3) 草刈他：二輪車用ライディングシミュレータの制御系設計に関する研究，日本機械学会第14回交通・物流部門大会講演論文集，P.125-128, 2005
- 4) T.KISHIDA: A Study on Riding Simulator for Two-wheeled Vehicle, DSC 2007 North America – Iowa City – September 2007