

パーソナルモビリティ用ドライビングシミュレータの構築に関する研究

日大生産工(院) ○ 南條 元貴

日大生産工 景山一郎

1. 緒言

近年地球温暖化などの環境問題から自動車の低炭素排出量の検討が行われており、自動車の平均乗車人数の減少や一回の使用での平均走行距離が 30km 以内であることなどから、一人から二人乗りのパーソナルモビリティ(以下 PMV)が注目されている。日本でも高速道路の走行不可などの制限があるが、規格が作成された⁽¹⁾。その規格を Fig.1 に示す。

また、渋滞の解決策や都市部での駐車スペースの有効活用案として、現在市場に出ている車両よりさらに前面投影面積の小さい車両が有効と考えられるが、車体全長に比べ車幅の小さい車両は、旋回時に横転の危険性がある。その防止策として二輪車のように、旋回時に旋回内側方向にロールさせる機構が有効と報告されている⁽²⁾。しかし旋回時に旋回内側にロールする車両運動をドライバが受け入れられるかは検討が十分に行われていない。

そこで本研究では、新たに上記の機構を模擬した PMV 用ドライビングシミュレータを構築し、ドライバとの適合性について検討を行う。本報告では、この第一段階としてこの機構を模擬した制御モデル構築と、これを実装したシミュレータの評価について報告する。

施設・歩道走行		車道走行		
定格出力 (電動自動車)		0.6kW以下	0.6kW超	
エンジン排気量 (内燃機関自動車)		50cc以下	660cc以下	660cc超
歩行補助用具 (免許不要)	・時速 6 km以下 ・車速なし ・全長: 1,200mm ・全幅: 700mm ・全高: 1,090mm	第一種原動機付自転車 超小型モビリティ ・乗車定員 1 人のみ ・最大積載量 30kg まで ・全長: 2,500mm ・全幅: 1,300mm ・全高: 2,000mm ・衝突基準なし ・車速なし ・高速道路走行不可	軽自動車 ・乗車定員 2 人以下 ・定格出力 8kW 以下 (又は 125cc 以下) ・高速道路走行不可 ※基準値を超えた場合により 公道走行可能	小型自動車・普通自動車 ・乗車定員 4 人以下 ・最大積載量 350kg まで ・全長: 3,400mm ・全幅: 1,480mm ・全高: 2,000mm ・衝突基準あり ・車速あり ・高速道路走行可
	歩行補助・支援 のため利用	日常生活や小回りの足として あくまでも近場の移動にジャストフィット		高速道路を含め あらゆる道路環境、場面で活躍

図 1 日本の自動車規格

2. ドライビングシミュレータ概要

2.1 シミュレータ構築

本研究では、ロールする車両運動を模擬するために、アクチュエータを用いた動揺装置と投影映像の傾きを合わせたドライビングシミュレータを構築する。システム構成として入力を舵角、アクセル・ブレーキ開度とし、出力をロール角として、DSP を実装した PC でこれらを制御する。

入力センサから得られた値を DSP に送り、計算した値を出力値としてアクチュエータである AC サーボモータと映像投影機に送り、ロール角制御を行う。このシステム構成図を Fig.2 に示す。

このシミュレータでは、動揺装置のロール軸が土台に固定されているため旋回時の遠心力が再現できず、旋回中にシミュレータを傾けることにより、ドライバが落下する危険性がある。そこで、シミュレータの傾きは旋回運動が開始した際に与え、その後は徐々に水平状態に戻し、これとは逆に投影映像を旋回内側に傾けることで、旋回運動の模擬を行う。

運転席は前面投影面積の小さい車両を模擬した。概略寸法が 1300×800×1450[mm]であるものを使用した。またシミュレータの投影装置として、先行研究にて使用された映像水平方向画角が最大 270° である球面スクリーンを使用した。

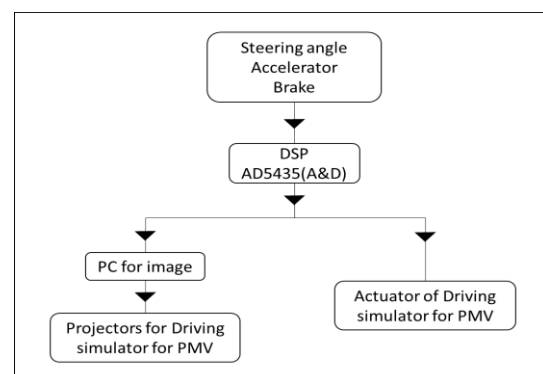


図 2 ドライビングシミュレータ構成図

2.2 運動方程式

運動方程式は景山らの先行研究によって求められた運動方程式を使用する⁽²⁾。本研究で検討する車両は、二輪車のように旋回内側に大ロール角を有する車両であり、キャンバスラストを主求心力とすることから、運動の表現は SAE 座標系を用いる。また、四輪車両の運動を簡素化するために二輪モデルで置き換え、動座標原点を後輪接地点とする。また運動方程式構築に関しての仮定を以下に示す。

- (1) タイヤは変形しないものとし、その幅は無視し、中心点で支えているものとする。
- (2) サスペンションの変形等はないものとし、ピッチング運動は無視する。

ここでは低速走行での線形領域における検討を行い、前後方向速度は一定、角速度は微小、線形化した形を用いる。

y_A 方向のつり合い式と, z_A 軸回りのつり合い式, 操舵比 $k_\theta(v)$, 整理し, 運動方程式を得る. 今回使用したロール角に関する簡易運動方程式は以下の通りになる.

$$[0 \quad 0 \quad c_{31}D + c_{30}][\emptyset] = [c_{40} \quad 0] \begin{bmatrix} \delta \\ M_z \end{bmatrix}$$

ϕ をロール角, δ を舵角, M_z をヨーモーメントとする。

係数, 基準車両諸元は以下の通りである.

- (1) $c_{31} = T_\emptyset$, $c_{30} = 1$, $c_{40} = k_\emptyset$
- (2) $m = 200[kg]$, $l = 2[m]$, $g = 9.8[m/s^2]$

3. 制御モデル

2.1 項で述べた通り、このようなロールする車両の旋回時に発生する遠心力の再現は不可能である。そこでドライバに違和感のない程度に傾け、徐々に垂直状態に戻し映像を傾けることで旋回運動を模擬するモデルを構築した。その制御モデルを Fig.3 に示す。このモデルのパラメータを変えることで自由にロール角を制御することが可能であり、算出したロール角と現在のドライビングシミュレータのロール角の差を埋めるようにロール運動を開始し、その後徐々に垂直状態に戻るよう構築した。

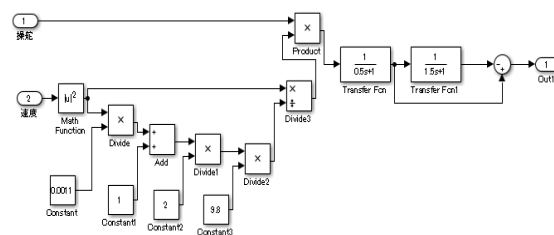


図 3 ロール角制御モデル

3.1 シミュレーション結果

シミュレータのロール角と映像ロール角を合わせたものを目標ロール角とする。目標ロール角は入力値から算出して得られるものに時定数 T_1 の一次遅れを伴ったもので、シミュレータのロール角は、目標ロール角にさらに時定数 T_2 でゼロに収束させたものである。これにより、前述したロール運動開始後に垂直状態に徐々に戻るというドライビングシミュレータの動作を制御した。

今回の条件は以下の通りである.

- (1) 実舵角 $10[deg]$, 速度 $20[km/h]$ 一定
- (2) $T_1 = 1, T_2 = 1$

上記の条件のシミュレーション結果を Fig.4 に示す.

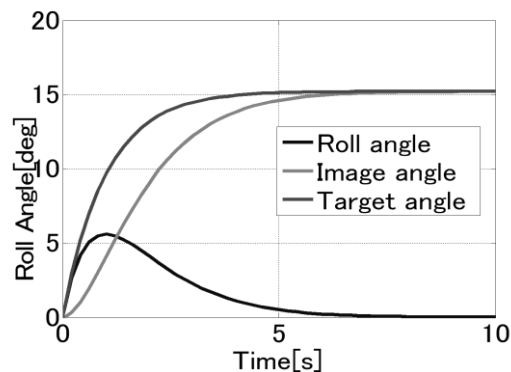


図 4 シミュレーション結果

3.2 シミュレーション値と実験値

上記で述べたシミュレーション値とドライビングシミュレータの出力ロール角の再現度を確認するために確認実験を行った。実験条件は以下のとおりである。

- (1) 速度は $20[\text{km/h}]$ 一定
- (2) 時定数はそれぞれ $T_1 = 1, T_2 = 1$

また，操舵系のオーバーオールギアレシオ k_δ とし，本実験では $k_\delta = 8$ とする．これは検討する車両が

四輪車のように操舵角に対しロール角が幾何学的に与えられる機構を持ちながら、二輪車のように旋回内側にロール角を有する車両と考えるため、一般的な四輪車と二輪車の、 k_{δ} の平均値とした。確認実験の結果を以下 Fig.5 に示す。

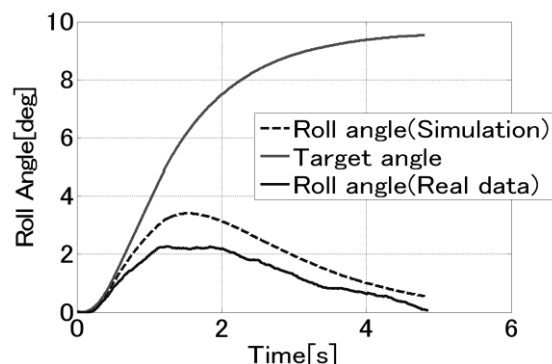


図 4 シミュレーション結果と実験結果

Fig.4 より計測した操舵角と速度から求めた目標ロール角より求めたシミュレーション結果のロール角に対し、実験値が小さいことが分かるが、シミュレーション結果に近い形でロール角変化を再現することができた。なおこの減少した原因として考えられることは、シミュレータに使用している角度センサの誤差と考えられる。

4. 適合実験

構築したモデルをシミュレータに導入し、ドライバを乗せた状態で、旋回中のロール運動に適合できるのか、適合確認実験を行い、その時の主観評価を評価した。計測項目は快適度、映像の違和感、装置動作の違和感、映像酔い、操作の難しさの五つの主観評価を Visual Analog Scale で評価し、実験参加者ごとに比較した。

4.1 実験参加者

実験参加者には 20 代男性、普通自動車免許所持者 6 名を選んだ。この 6 名のうち 4 名は普通自動二輪免許も所持している。これはロールする車両運動に二輪車に乗る人と乗らない人で違いが出るかを見るためである。

4.2 実験条件

実験は時速 20[km/h]一定、右旋回のみで行った。実験コースは全幅 7[m]、旋回半径 5[m]のコースで行った。

実験条件は映像の傾きの大小と、時定数の値を変えた 8 条件設けた。映像の傾きを実験条件に入れた理由は、二輪ライダーは旋回中に視覚による外乱を減らすため、視覚をなるべく水平に保つが、今回構築した制御モデルの車両運動は二輪車のようにロールするため、視覚の外乱に当たる映像の傾きの大小でドライバにどのような影響があるかを確認するためである。また前項でも述べたが、時定数 T_1 、 T_2 を変更することで、シミュレータロール角の角速度を変えることができる。

4.3 実験結果

主観評価結果の中から特に傾向が見られた二点に注目した。一つ目は快適度、二つ目は映像の違和感と装置動作の違和感である。

快適度についての主観評価結果を実験者ごとにグラフにまとめた。その一部を Fig.5, 6 に示す。薄い灰色グラフが映像の傾きが小さい条件、濃い灰色グラフは映像の傾きが大きい条件であり、各実験参加者の最高得点を 100 点として整理したものである。隣り合う二つの条件は映像の傾きだけが異なっており、他の条件は同じである。得点は高ければ高いほど快適であることを表す。快適度に関して主観評価結果を見てみると、それほど大きな差は見られなかったが、映像の傾きが小さい方が、快適度が高い傾向が見られた。

次に映像の違和感と装置動作の違和感についての主観評価結果を実験者ごとにグラフにまとめた。その一部を Fig.7, 8 に示す。薄い灰色グラフが映像の違和感を表し、濃い灰色グラフが装置動作の違和感を表す。得点が高いほど違和感を感じていることを表す。グラフを見てみると映像の違和感よりも装置の違和感を大きく感じている傾向が見られた。

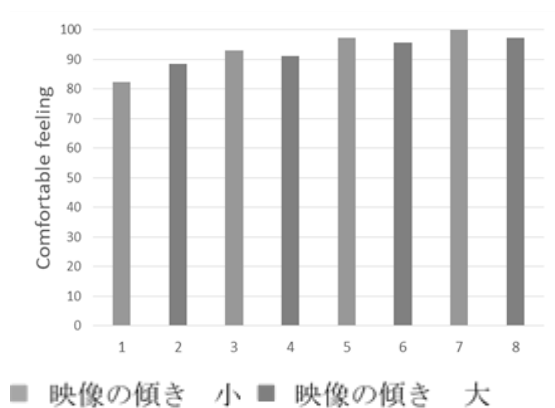


図 5 快適度の主観評価結果(参加者 B)

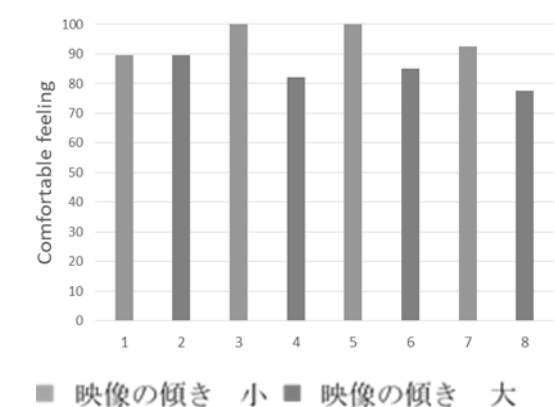


図 6 快適度の主観評価結果(参加者 C)

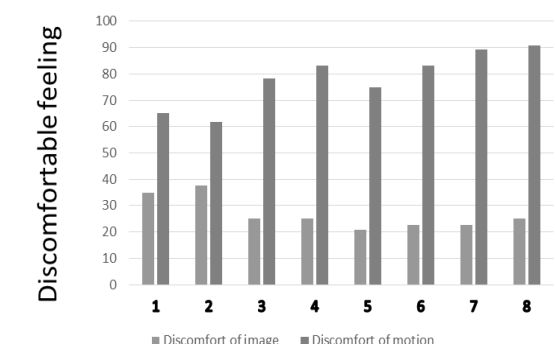


図 7 映像と動作違和感の主観評価結果(参加者 C)

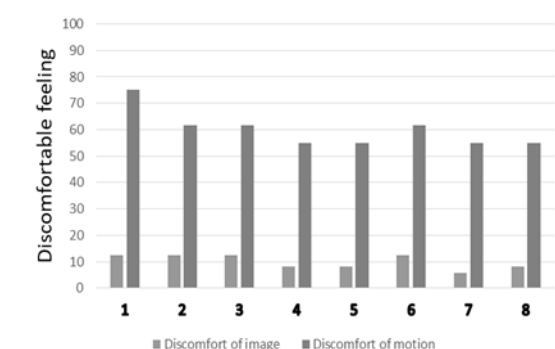


図 8 映像と動作主観評価結果(参加者 E)

4.4 考察

主観評価の結果から、映像の傾きは小さい方が快適である傾向が見られた。理由としては、二輪ライダーと同じように視界の外乱が少ない方が快適と感じる傾向があると考えられる。しかし車体運動から、視界が傾いてしまうことは避けられないが、ドライバは快適であると感じている傾向が見られた。また主観評価の結果から、映像の違和感より装置の違和感を大きく感じていることが分かった。その理由としてはハンドル中立付近での細かなハンドル操作による装置動作の再現性の低さが挙げられる。具体的な数値などで評価したわけではないが、直進走行時の微妙な操作で装置が傾いてしまい、直進しているが装置は少し傾いている状態などが見られた。このことから、ドライバは装置の違和感を大きく感じていると考えられる。これを改善するため、制御モデルの中立付近を改善する必要がある。ハンドル遊びなどを追加し、一定のハンドル操作までは装置が動作しないように設定することなどが考えられる。

5. 結言

本報告では旋回時に、旋回方向内側にロールする機構を模擬した制御モデルと、これを実装したシミュレータの再現度について検討を行った。

確認実験の結果から実験値のロール角は、シミュレーション結果のロール角に比べ、小さい値となったが、シミュレーション結果に近い形状でロール角変化を再現できていることを示した。

適合性実験の結果からドライバがロールする車両運動を受け入れられる可能性を示した。しかし今後実験参加者を増やし、走行回数を増やす等し、多くのデータから傾向や個人差を検討する必要がある。

参考文献

- (1) 国土交通省・自動車局環境政策課：超小型モビリティの成果と今後(2016)
- (2) 景山一郎，栗谷川幸代，牧田光弘：大キャンバ角を有するパーソナルモビリティの方向制御に関する基礎的研究(2014)