

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⁾。

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、その前段階としてロール運動と提示画像の關係に着目し車両運動を再現する。その再現方法によりドライバの感じる違和感を主観評価から検討し、どの再現方法がドライバに適合するか報告する。

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図 1 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。

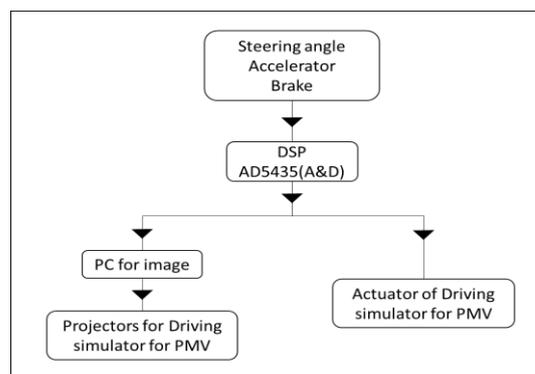


図 1 ドライビングシミュレータ構成図

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 $k_\phi(v)$ 、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。

$$[0 \quad 0 \quad c_{31}D + c_{30}][\phi] = [c_{40} \quad 0] \begin{bmatrix} \delta \\ M_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

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) $c_{31} = T_\phi$, $c_{30} = 1$, $c_{40} = k_\phi$
- (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。その制御モデルを図2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。また、ロール運動の再現方法として、映像のみを傾け再現する場合とシミュレータ装置のみを傾け再現する場合も可能とした。

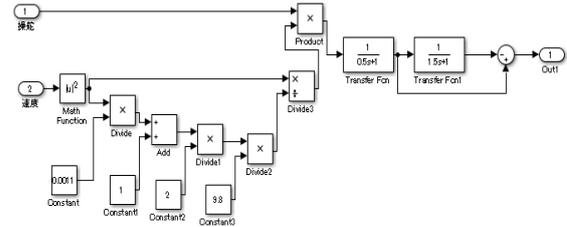


図2 ロール角制御モデル

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った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図3に示す。

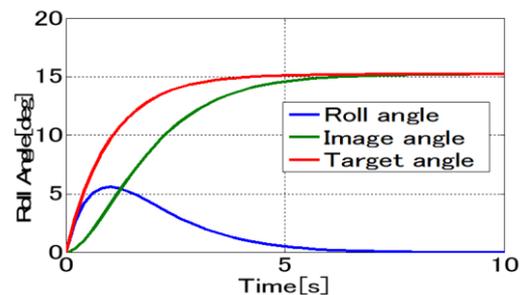


図3 シミュレーション結果

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 $20[km/h]$ 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図4に示す。

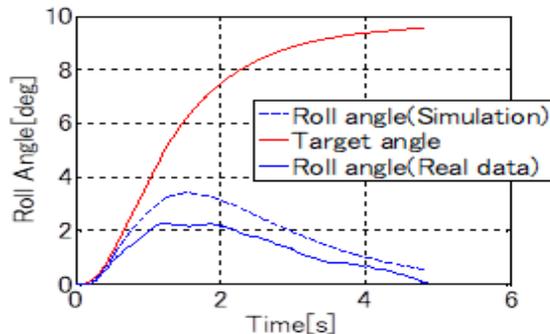


図4 シミュレーション結果と実験結果

図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. 予備実験

構築したモデルをシミュレータで、ドライバにどのロール運動の再現方法が適合確認実験を行い、その時の主観評価を評価した。計測項目としては、個人の特性による違いを見るため、DSQ (Driving Style Questionnaire 運転スタイルチェックシート) とWSQ (Workload Sensitivity Questionnaire 運転負担感受性チェックシート) を計測した。また各条件での違和感や酔いの影響を見るためSSQ

(Simulator Sickness Questionnaire 酔いの主観評価チェックシート) も計測した。それらの主観評価を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。

4.2 実験条件

実験条件は時速20[km/h]程度で旋回することを説明し、作成したコース内を一時停止を含む右折、左折を繰り返して、10分間程度の走行を行った。実験コースは全幅7[m]、旋回半径15[m]のコースで見晴らしの良い道を模擬したコースと壁があり先の見えにくい道を模擬したコースの2つで行った。

ロール運動の再現方法は、映像でのみでの再現と、装置のみでの再現の2条件前項した時定数 T_1 、 T_2 はどちらも1で行った。

4.3 実験結果

主観評価結果の中からSSQの得点に着目した。

SSQは16項目の質問から構成され、これらから気持ち悪さ(Nausea)、目の疲れ(Oculomotor)、ふらつき感(Disorientation)を示す評価値が求まる。さらにこれらを集計すると酔いの総合的な指標である総合得点(Total sickness score)が得られる。得点が高ければ高いほど酔いの程度が高いことを表す。

各実験参加者のSSQ気持ち悪さ得点を図5から7に示し、図8、9にSSQ総合得点を示す。青いグラフは見晴らしの良いコースで、ロールの再現方法が装置の条件、オレンジのグラフは見晴らしの良いコースで、ロールの再現方法が映像の条件、グレーのグラフは見通しの悪いコースでロールの再現方法が装置の条件、黄色のグラフは見通しの悪いコースでロールの再現方法が映像の条件である。グラフを見ると実験参加者ごとに得点の高さは異なるが、見晴らしの良いコースから見晴らしの悪いコースにかけて得点が減少傾向であることが見られる。気持ち悪さなどの得点で減少傾向が見られることから、総合得点においても減少傾向が見られた。

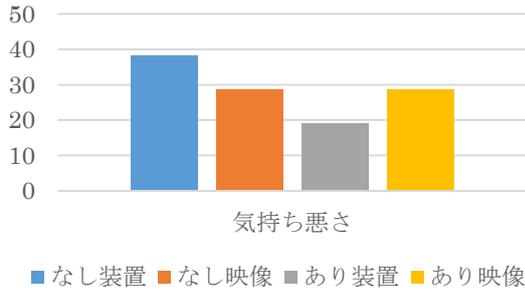


図 5 SSQ 気持ち悪さ得点(参加者 3)

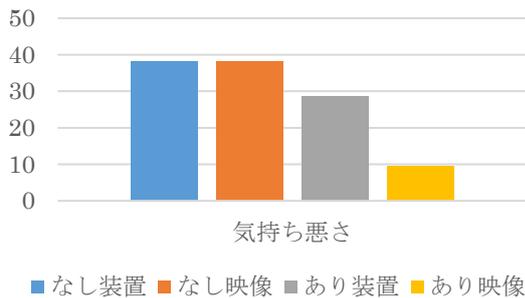


図 6 SSQ 気持ち悪さ得点 (参加者 5)

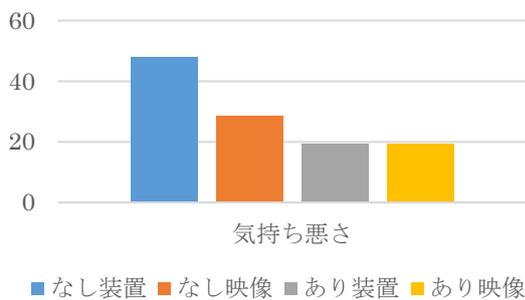


図 7 SSQ 気持ち悪さ得点 (参加者 6)

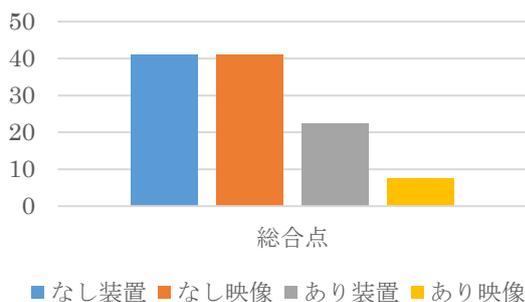


図 8 SSQ 総合得点(参加者 5)

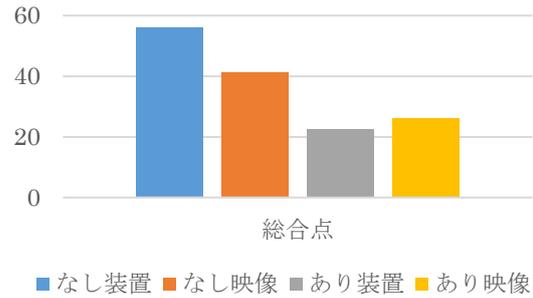


図 9 SSQ 総合得点(参加者 6)

4.4 考察

SSQの結果から、得点の減少傾向が見られた。しかし各実験条件は1回のみでの走行であり、見晴らしの良いコースの次に見晴らしの悪いコースを走行する条件であったため、この減少の要因はコースによるものか、慣れの影響によるものかは不明確であった。また、ロールの再現方法による得点の違いには明確な傾向などは表れなかった。このことからロール運動の再現方法には個人差があると考えられる。

5. 結言

本報告では旋回時のロール運動の再現方法によるドライバーへの影響を主観評価から検討した。

SSQの得点から減少傾向が見られたが、何による影響かは不明であった。どのロール運動の再現方法が適合するかに関しては、個人差があることが分かった。

上記のことから本実験へ向けて実験条件の追加等を行い、検討していく。

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：大キャンパ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)