

立体視を用いた二輪車用ライディングシミュレータ構築に関する研究

日大生産工(院) ○吉田明展 日大生産工 景山一郎

1. 緒言

二輪車は現代において、輸送手段や移動手段として、多く用いられ広く普及している。さらに、車両単体の価格、運用コストが四輪自動車に比べ比較的安いことから、近年、小・中排気量の二輪車を中心に新興国・途上国で生産量を飛躍的に伸ばしている。従って、二輪車の取り扱いに関する研究は、安全性と使いやすさの面から行う必要がある。しかし、二輪車は四輪車と比較して考慮すべき自由度が多く、ライダーの動きによる影響が大きい。また、人間-二輪車系として捉えた場合、人間が重要な要素となるため評価手法を確立することが極めて困難であるという問題がある。特に、車両性能の評価は、テストライダーによる主観評価が中心であるが、これは、テストライダーに大きな負担や危険を与える可能性があり、また、実車実験では繰り返し同一条件での実験が困難である。そこで、この問題を解決するべく、安全性を確保した上で再現性の高い、定量的評価を行う可能性のある「二輪車用ライディングシミュレータ(以下RS)の構築」が有用であると考えられている。RSを構築する上で、走行感覚の向上は大変重要な課題となる。シミュレータにおける走行感覚向上を考えた場合、視覚情報、聴覚情報、体感情報等によるアプローチがあるが、過去、自動車を運転する時に必要な情報の、90%は視覚情報によるものであるとされている¹⁾。そこで、本研究ではRSを構築する上で非常に重要となる視覚情報に着目し、シミュレータで仮想現実感を与える上で最適な映像の提示方法を導き、RSの設計段階に還元することを目的とする。我々は、過去平面型のスクリーンを用いたRSを構築したが、より高い仮想現実感の再現を目的として、小規模プラネタリウム用球面型スクリーンに変更を行い、比較検討を行った²⁾。本研究では、球面スクリーンにおける映像をライダーの頭部可動域をカバーするように広画角化し、画角等の映像提示の条件を変化させ、それぞれの速度感、臨場感、映像酔いの評価を行い最適な映像の提示方法を導いた。

2. 立体視を具現化する球面型スクリーンシステム

ここでは、システム構成について述べる。画角拡大球面型スクリーンシステムでは、スクリーン内に、金属製の角材を用いて骨組みを組み、そこに画角に対応させたプロジェクタを配置した。プロジェクタには、短い投影距離で大きな画角を得ることができる短焦点 TAXAN 社製 KG-PS303WX(解像度1280×800pixel)を4台使用した。プロジェクタの配置方法は、スクリーンの正面、右側、左側、下側に設定した。設置後、プロジェクタを画像が少しだけ重なるように配置し、映像が一つに見えるようにメッシュツールを使用して映像を構築した。尚、下側のプロジェクタはスクリーンを用いず直接地面に投影する形をとる。初期の球面スクリーンシステムは、水平方向に約90[deg]、垂直方向に52[deg]であったが、画角拡大球面型スクリーンシステム水平方向に約270[deg]、垂直方向に90[deg]となり画角の拡大を達成した。水平方向の画角は、正面を向いた際の人間の周辺視野角である180[deg]から210[deg]を満たしている³⁾。垂直方向の画角に関しては、二輪車を操縦するライダーの得る視覚情報の中において非常に重要な路面方向の画角を大きくとることを可能としている⁴⁾。図1に画角拡大球面型スクリーンシステムの垂直方向の画角を示す俯瞰図を示す。図2に平面図を示す。

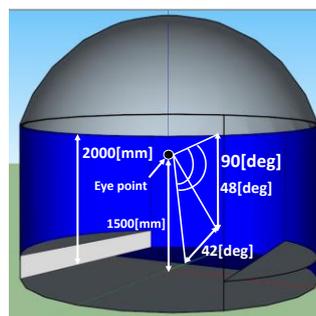


Fig1. General view

Construction of motorcycle riding simulator with stereoscopic vision

Akinobu YOSHIDA, Ichiro Kageyama

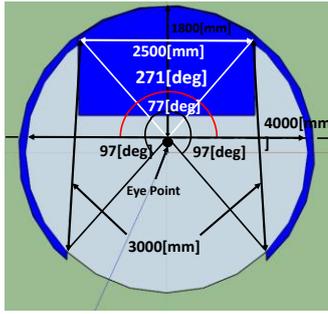


Fig2. Plan view

3. 評価実験

3.1 実験のデザイン

新球面型スクリーンシステムを用いて、3種類の実験を行った。これらの実験は、すべて京葉道路の幕張IC～幕張PAの上下区間約1.4kmの部分で3DCG上でモデリングしたものを使用して行った。実験参加者は、インフォームド Consent をとった20代の男子大学院生3名で、全員が大型二輪免許と普通自動車免許を所持しており、運転歴3年程度～5年、運転頻度ほぼ毎日二輪車を運転する男性3名にて行った。

3.2 実験条件

：投影方式と画角の違いによる比較実験

この実験は、画角条件と投影方式(2D,3D)を複数用意することで、画角条件と投影方式(2D,3D)の違いによる速度感、臨場感、映像酔いの変化を見る目的で実施した。この検討では、シミュレータ上で画角条件を7条件設け、実験参加者にランダムで提示しその時に感じた速度を自由に回答してもらった。尚、映像は幕張IC～幕張PAの上り区間の映像で、速度条件は40km/h、60km/h、80km/h、100km/h、120km/hの計5条件である。また、画角条件の違いによる臨場感と映像酔いの変化を見る為に、120kmの実験時に3.3.2節で述べるアンケートを実施した。実験を行った画角条件を、以下の表1に示す。

Table1. Angle of view

Angle of view conditions	Angle of view	
	Horizontal direction [deg]	Vertical direction [deg]
Front(3D)	77	48
Front(3D)+Side(2D)	271	48
Front(3D)+Side(3D)	271	48
Front(3D)+Bottom(2D)	77	90
Front(3D)+Bottom(3D)	77	90
Front(3D)+Side(2D)+Bottom(2D)	271	90
Front(3D)+Side(2D)+Bottom(3D)	271	90

3.3 主観評価方法

3.3.1 速度感評価

(a) 誤差率

各速度条件(40km/h、60km/h、80km/h、100km/h、120km/h)での実験時に実験参加者に申告して頂いた速度を用いて最小二乗法にて5点から近似線を求め、その近似線から申告速度までの絶対値をとり、その絶対値を、0から近似線までの値で割る。これが誤差率となり、各速度条件で求め、その5点の誤差率の合計値を比較する事で評価を行った。この誤差率合計値が、小さいほどシミュレータ映像上の設定速度を正確に感じ取れていると言える。

(b) 近似線の傾き

前述(a)の誤差率を求める際に使用した近似線の傾きを使用して速度感の評価を行う。この近似線の傾きが1に近ければ、仮に設定速度と申告速度に差があり(a)求めた誤差率の合計値が大きいたとしても、実験参加者はシミュレータ映像上の速度の増減を認識していると言える。

3.3.2 臨場感評価

臨場感評価は、文献[5]を参考にし、奥行き感の心理要因とされる①立体感(画像に奥行きがついて感じるか)、②奥行き感(画像に奥が感じられるか)、③実在感(物体が実際に存在しているように感じるか)、④迫力感(画像に迫力を感じるか)、⑤一体感(画像と自分が空間的につながって感じるか)、⑥自然らしさ(画像を自然に感じるか)、⑦好ましさ(映像自体が好きか嫌いか)、⑧厚み(立体感が乏しく、板のように感じるか)、⑨大きさ(画像が実物より小さく感じるか)の計9項目を7点評価で回答してもらったこのアンケートの結果を用いて、スコア間の有意差を見る為にt検定を実施した。

3.3.3.映像酔い評価

映像酔いや、眼精疲労などの視覚情報に対する関して Simulator Sickness Questionnaire(以下SSQ)⁶にて評価を行った。これにより平面視と立体視による視覚情報の比較を行った。表2にSSQのアンケート項目を示す。SSQは、心理的計測として「気持ち悪さ」「目の疲れ」「ふらつき感」に分類された16の主観評価項目を4段階(「全く無い:0 あまり無い:1 少しある:2 かなりある:3」)の選択肢で回答するもので、この評価値に重み付け加算した総合評価値としてスコアを出すものである。スコアの算出式の各値はSSQ法により定められており、式は以下のようになる。

$$\text{気持ち悪さ } N = (N \text{ の合計} \times 9.54)$$

$$\text{目の疲れ } O = (O \text{ の合計} \times 7.58)$$

$$\text{ふらつき感 } D = (D \text{ の合計} \times 13.92)$$

総合得点 TS=(N の合計+O の合計+D の合計)
×3.74)

このアンケートの結果を用いて、スコア間の有意差を見る為に t 検定を実施した。

Table2. SSQ Questionnaire (16 point)

1	General discomfort(N,O)	9	Difficulty concentrating(N,O)
2	Fatigue(O)	10	Fullness of head(D)
3	Headache(O)	11	Blurred vision(O,D)
4	Eyestrain(O)	12	Dizzy (eyes open)(D)
5	Difficulty focusing(O,D)	13	Dizzy (eyes closed)(D)
6	Increased salivation(N)	14	Vertigo(D)
7	Sweating(N)	15	Stomach awareness(N)
8	Nausea(N,D)	16	Burping(N)

※N:Nausea, O:Oculomotor, D:Disorientation

4 実験結果

投影方式と画角を変化させた全 7 条件で実験を行った。シミュレータ上での設定速度と申告速度の関係を実験参加者 B のグラフを例として図 3 に示す。実線で示されているのは、最小二乗法で算出した各々の条件での申告速度の近似線である。また、例として実験参加者 B の臨場感アンケートの結果を図 4 に、映像酔いアンケートの結果を図 5 に示す。

(a)速度感

実験参加者 A は、すべての速度域の各条件で比較的良く設定速度と同じ速度を感じていることが認められた。実験参加者 B は、全体的に設定速度より申告速度が大きくなる傾向が見られた。一方実験参加者 C は、全体的に設定速度より申告速度が小さくなる傾向が見られた。次章で誤差率と近似線の傾きから評価を行う。

(b)臨場感

実験参加者 A は、立体感と奥行感をすべての条件で高く感じていた。また、実在感と迫力感を側面方向に画角がある条件で感じていた。その他の項目に関しては、差が見られなかった。実験参加者 B は、A 同様立体感と奥行感、厚みを多くの条件で高く感じていた。その他の項目に関しては、差が見られなかった。実験参加者 C は、立体感を下側の画角がある条件で、厚みと大きさをすべての条件で強く感じていた。その他の項目に関しては、差はなかった。

(c)映像酔い

実験参加者 A,C は、条件の違いによる各項目の大きな違いは見られなかった。実験参加者 B は、正面(3D)+下面(2D)と正面(3D)+側面(3D)+下面(3D)で映像酔いの傾向があった。

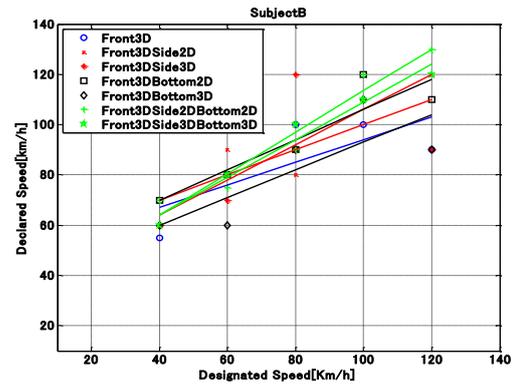


Fig.3 Relationship between designated speed and declared speed (Subject B)

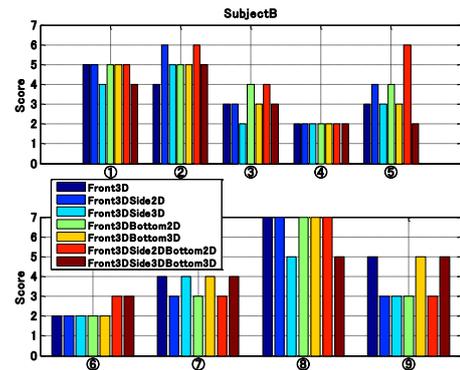


Fig.4 Realistic Sensation Score (Subject B)

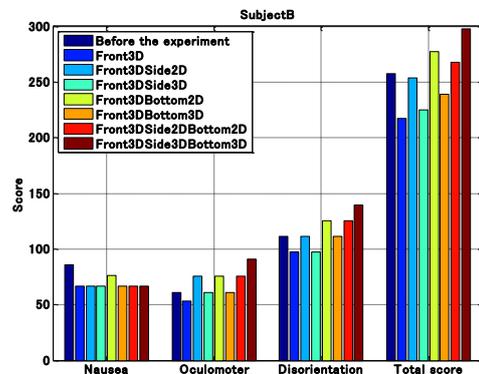


Fig.5 SSQ Scores (Subject B)

5. 主観評価方法についての考察

5.1. 速度感評価

5.1.1 誤差率

3.3.1(a)に示した方法で算出した誤差率を図 6 に示す。図 8 からわかるように実験参加者 A,B に関しては、正面(3D)と下面(2D)、正面(3D)+側面(2D)+下面(2D)の誤差率が低いことが認められた。このことより、路面方向を表現する下側の画角の有効性が確認できた。しかし、全体的に見ると 3D を正面以外の部分に使用すると誤差率が増加する傾向にあることが認められた。実験参加者 C に関しては、すべての投影方式と画角条件で低い速度を回答していた為誤差率が大きくなった。

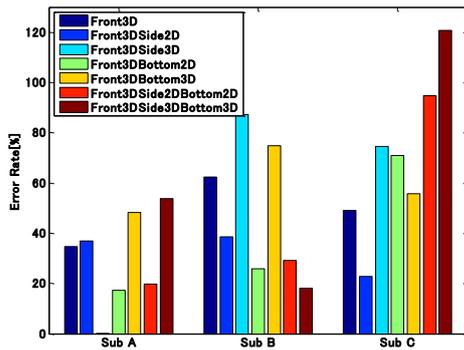
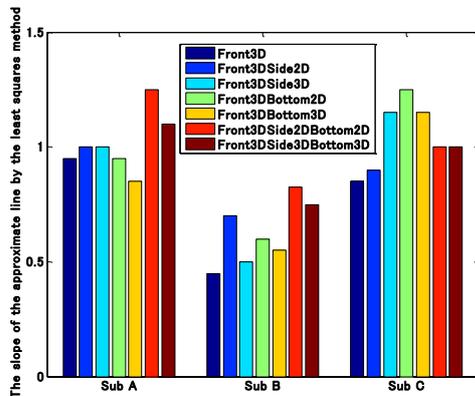


Fig.6 Error rate of sense the speed (All Subjects)

5.1.2 近似線の傾き

3.3.1(b)に示した方法で算出した近似線の傾きを図7に示す。図7からわかるように実験参加者 A,C に関しては、多くの投影方式と画角条件で傾きが1に近くシミュレータ映像の速度の増減を正確に把握することができていたと考えられる。特に側面方向の画角が含まれる条件で良い結果が得られた。一方で、実験参加者 B に関しては、傾きが1から大きく外れている為、速度の増減を把握することができなかつたと考えられる。設定速度と申告速度の関係も合わせてみると、特に高い速度域での速度の変化の把握にずれという問題があった。

Fig.7 The slope of the approximate line



by the least squares method (All Subjects)

5.2 臨場感評価

臨場感評価は、臨場感アンケートの結果から t 検定による有意差検定($\alpha=0.05$)を行うことで評価した。その結果、各実験条件間に有意差は見られなかった。よって、投影方式(2D もしくは 3D)と画角を変化させることで臨場感に差は見られなかった。しかし、前章で述べた様にすべて実験参加者において、立体感と奥行感は大きく感じていると考えられる。

5.3 映像酔い評価

映像酔い評価は、映像酔いアンケートの結果から t 検定による有意差検定($\alpha=0.05$)を行うことで評価し

た。その結果、実験開始前の状態と比較して、下面の画角を含む条件(正面(3D)と下面(2D)、正面(3D)+側面(2D)+下面(2D)、正面(3D)+側面(3D)+下面(3D))で目の疲れがあると有意差が見られた。これは、下面への映像を傾斜のついた板等を用いず直接投影していたことで生じる違和感の影響が考えられる。

6. 結言

本研究では、視覚情報に着目し、シミュレータ上で仮想現実感を与える上で最適な映像の提示方法を導き、RS の設計段階に還元することを目的とし広画角化を主とした新たな球面型スクリーンシステムを構築すると共にそれらを用いて評価実験を行った。

結果、映像表示範囲をライダーの頭部旋回可動範囲を考慮した広角にすることで、主観評価が向上した。また、正面に 3D 映像を投影することで立体感と奥行感を大きく与えられることを確認した。正面以外の投影要素に 2D, 3D の違いによる違和感の差が少なかったことから周辺映像は 2D 映像で問題ないという設計指標が得られた。路面方向の映像を再現することで速度感を大きく得られることが認められたが、目の疲れを誘発する可能性も認められた。よって、路面部分の映像をライダー視点から見て正確に投影させる為の投影面傾斜を考慮し、より違和感のない形で映像を提示する必要がある。また、実験後の主観アンケートから路面方向と有効視野外の映像を提示する事は有効であると考えられる。

：参考文献

- 1) 長田昌次朗”両眼式立体画像観視における両眼融合限界の画角及び視距離依存特性”,テレビジョン学会誌, Vol.43, No.3,1989.
- 2) 吉田ら：立体視を用いた二輪車用ライディングシミュレータ構築に関する研究-球面スクリーンによる速度感、臨場感への効果-, 日本機械学会第 22 回交通・物流部門大会講演論文集, pp.271-274,No.13-63,2013
- 3) 三浦利章：視覚的注意と安全性-有効視野を中心として-, 照明学会誌, pp.180-pp.184, Vol.82, No.3, 1998
- 4) 森田ら：運転行動における視覚情報摂取過程-二輪自動車運転を中心として-, 大阪大学人間科学部紀要 4, pp.239-pp265, 1978
- 5) 三柳徹ら,”景観ウォークスルー型 VR における立体視の生体に与える影響に関する一考察”,社団法人映像メディア学会技術報告,ITE Technical Report Vol.34 No.5 PP.21-24,2010.
- 6) Kennedy,Lane, Berbaum,&Lilienthal,”Simulation Sickness Questionnaire”, International Journal of Aviation Psychology,3(3),PP.203-220,1993.