

ライディングシミュレータの画像システム構築に関する研究

日大生産工(院) ○渡辺 淳士 日大生産工 栗谷川 幸代
日大生産工 景山 一郎

1. まえがき

オートバイは現代において、輸送手段や移動手段としてビジネスの場において、多く用いられ広く普及している。さらに、車両単体の価格が自動車に比べ比較的安いことから、近年、小・中排気量のオートバイを中心に新興国・途上国で生産量を飛躍的に伸ばしている。このようにオートバイは、広い分野・地域において、人気を集めている。しかし、自動車と比較して考慮すべき自由度が多く人間-機械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、開発における車両性能の評価は、テストライダによる実車実験を行うことにより主観評価をおこなっているが、これは、テストライダに大きな負担や危険を与えるために、新システム開発において、車両特性の大きな変更ができないのが現状である。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、定量的評価を行うことのできる「二輪車用ライディングシミュレータ(以下RS)の構築」が有効になってくる。

近年、二輪車用RSは、各国で構築されている^{(1)~(4)}。しかし、これらのRSは実際の環境を再現できるに至っていない。この改善策として、映像発生装置による臨場感の向上が一要素である。これは、過去、自動車を運転する時に必要な情報は、90%は視覚情報によるものであるという報告がされており⁽⁵⁾、臨場感向上の上で有効となってくる。映像による臨場感の向上には、主に1.高解像度化 2.立体視 3.高画角化とされており、特に立体視については、総務省より2025年に家庭向け立体視放送を目指すとの新聞報道があるなど近年、注目が集まっている。一方で、立体視による人体への悪影響も懸念されており、今後の課題とされている。

これらの課題としては、主に立体視の視差と画角の影響に着眼点を置き、これらの変更による臨場感及び生体への影響等を検討する必要がある。先行研究においては、長田らにより立体視における画角及び視距離によって生じる融合限界の検討が研究された⁽⁶⁾。これにより、融合限界は画角にほぼ比例すること、視距離に逆比例することなどを明らかにした。また、三柳らによってVirtual Reality(以下VR)環境下において立体視を行う際に生体に与える影響が検討している⁽⁷⁾。これにより、視差6.5cm(人間の瞳孔間距離)の所で最も高いストレスと共に眼精疲労を与えていること、また、視差19.5mmではストレスと眼球疲労を抑えつつ、高い立体感を得られることを

明らかにした。しかし、これらの研究を含め、画角の変化による定量的な検討は行われていない。そこで、本研究では第一報として、画角及び視差等を変更することによって生じる立体視の条件を変化させ、RS画像に最適な条件について検討を行った。

2. RS画像系システム

システムは、画像からの臨場感の評価を目的とするため、第一段階として定置型のシミュレータを採用した。また、立体視の方式としては、時間分割方式を用いた。この方式の特徴は、プロジェクタの持つ解像度及び色彩色を100%活用できることである。ビデオカードは、Nvidia製Quadro系グラフィックボードを使用し、OPEN GLクアド・バッファ・ステレオ方式の立体視描画方式を選定した。この方式では、従来の2バッファ(前面・背面)ではなく、4つのバッファ(前面左、前面右、背面左、背面右)を用いて、わずかに異なった個々の視点を作り出し、高い臨場感を演出することができる。また、過去の研究より、仮想景観の視野角は、スクリーン視野角よりも大きく設定することで高い速度感を表現できる⁽⁸⁾という知見から、表1に示すように、スクリーン画角と仮想景観作成の視野角を設定した。図1に、使用したプロジェクタでの投影面の一例を示す。

3. 評価手法

3.1 主観評価

3.1.1 ドライバ特性評価

立体視に対する臨場感向上や映像酔いに関する影響を主観評価を用い検討した。これらの影響は、ドライバの経験と共に、一般的に、性別、年齢、環境、熟練度、精神状態・体調、環境に対する認識の正確さ等により大幅に異なる。また、一般的に主観的評価に辿り、統計的な立場で考えると、抽出されたドライバは母集団から無作為に抽出されることが理想であるが、抽出方法が的確であるかはわからない。そこでこの解決策として、一般社団法人[人間生活工学研究センター](以下HQL)提唱の運転スタイルチェックシート(DSQ)、と運転負荷チェックシート(WSQ)が存在する⁽⁸⁾。DSQ・WSQを用いること関係を見極めるために基本属性とDSQ・WSQとの関係が検討されている⁽⁹⁾。この結果より、基本属性としての項目としては、性別、運転経験、運転頻度が運転態度・負担意識の両者に関係が深い属性と結論づけている。今回はドライバ特性グループ分けにあたり、オートバイ運転経験者を対象とした。一般的にオートバイの転経験者は男性に偏りがあるために、今回は男性に

Study on Construction of imaging systems for riding simulator

Atsushi Watanabe, Yukiyo KURIYAGAWA and Ichiro KAGEYAMA

ついて運転経験・運転頻度について分類した。被験者としては、オートバイに普段乗用する22~24歳の男子学生12名を用いた。

3.1.2. 視聴者特性評価

映像酔いや、眼精疲労などの視覚情報に対する関するアンケートとしてSimulator Sickness Questionnaire (以下SSQ)⁽¹⁰⁾にて評価を行い、立体視及び高画角の有効性を検討する。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 まあまあある: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。スコアの算出式は以下のようになる。

$$\begin{aligned} \text{気持ち悪さ } N &= (N\text{の合計} \times 9.54) \\ \text{目の疲れ } O &= (O\text{の合計} \times 7.58) \\ \text{ふらつき感 } D &= (D\text{の合計} \times 13.92) \\ \text{総合得点 } TS &= ((N\text{の合計} + O\text{の合計} + D\text{の合計}) \times 3.74) \end{aligned}$$

3.1.3. 心理要因に基づく立体感覚評価

立体感覚に関するアンケート調査としては、文献[7]を参考にし、奥行き感の心理要因とされる立体感、奥行き感、実在感、迫力感、一体感、自然らしさ、好ましき、厚み、大きさの計9項目に基づくものとした。

4. 実験

4.1. 実験環境

実験環境を、図2に示す。今回はプロジェクタ3台を利用し、3面の描画(2720mm[W]×1820mm[H]×3面)をスクリーンへ投影するものとした。実験の際は、被験者には、立体視用液晶シャッタカメラ及びアイマークレコーダを装着させた。また、投影する画像については、一般の走行状態における、ライダーの視野角を計測するために、市街地を模擬したVR空間をあらかじめソフト上で作成した。作成したマップを図3に示す。実験では、そのマップ上を走行するデモンストレーションを受動的に視聴させた。

4.2 実験フロー

実験の流れを以下に示す。

0. 被験者に対し、DSQ・WSQを実施し、統計的処理をした上で、ドライバーの分類分けを行うておく
1. 分類した被験者に対しインフォームドコンセントを行う。
2. 三分間の安静を与える。
3. SSQを実施
4. 計測器マウント
5. シミュレータ乗車
6. SSQ実施

SSQに関しては、実験前の安静な状態に一回、実験後の状態に一回、1つの計測につき計2回の計測を行った。これは、画像による人間への悪影響を定性的に見ていくためである。パラメータとしては、視差4条件、画角の変化2条件(小画角[水平画角67[deg]/垂直画角44.5[deg]], 大画角[水平画角206[deg]/垂直

Table1 Screen & VR View Angle

	Horizontal View Angle[deg]	Vertical View Angle[deg]
screen (small)	67	44.5
CG Virtual scenery(Small)	75	60
screen (Large)	206	44.5
CG Virtual scenery(Large)	225	60

Table2 SSQ Questionnaire (16 point)

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

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

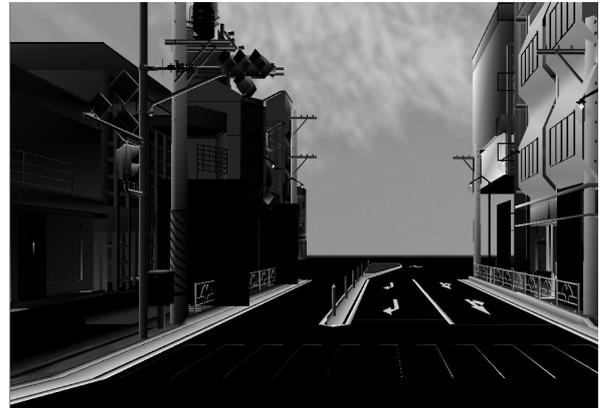


Fig.1 Experimental Environment

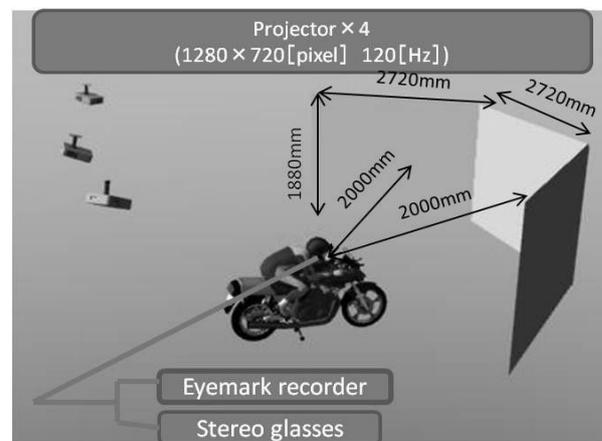


Fig.2 System Configuration

画角44.5[deg])とし、計4条件で行った。

4.3. 実験結果

4.3.1. 客観的評価手法

実験では、視覚刺激による視覚特性を把握するために[アイマークレコーダ(株式会社nac製 EMR-8)]を使用した。表3に実験で使用したEMR-8の主な仕様を示す。今回、本計測器を使用した目的は主に2つに分けられる。1つは、オートバイのシミュレータに必要な画角の選定である。そこで、本計測器にて、視野角、停留時間の計測を行った。図4に「画角小・視差13mm」の結果の一例を示す。視野角については、実験結果より、停留時間、ノイズ等の影響を考慮した結果、今回の実験条件におけるオートバイのシミュレータの最低必要な画角は、垂直画角 約22[deg]、水平画角 約61[deg]と推定される。表4・表5に、これら検討結果のまとめを示す。

4.3.2. 主観的評価結果(DSQ/WSQ)

図6・図7にDSQ/WSQの結果を示す。今回の属性分けでは、運転経験・運転頻度に着目した。今回、一例として、実験データとして載せた被験者の属性を示す。図8より、運転経験の少ない被験者(以下初心運転者)は、運転に対して苦手意識を持っており、多い被験者は、信号に対する事前準備など余裕を持った運転を行う事が考えられる。WSQについても、苦手意識が高い傾向を示したのは、初心運転者であり、特に苦手傾向が大きい項目は、(1)交通状況把握、(2)道路環境把握、(3)運転への集中阻害等である。これらの分類を基に、運転経験・運転頻度の高い層から被験者を1人ピックアップして実験を行った。

4.3.3. 主観的評価結果(SSQ)

表6に、SSQのアンケート結果の平均値を示す。これまでの結果より、臨場感の向上としては十分効果が期待される立体視であったが、全体としては、立体視の方が人間へ悪影響を与えているという結果になった。この原因として、適切な視差及び視距離の設定の他に、画像データのリフレッシュレート不足等が考えられ、今後改善の必要がある。

5. 結言

本研究では、RSに必要な画角の推定及び立体視が人間へ与える影響の検討を行った。実験の結果、必要な画角としては、垂直視野角22[deg]/水平視野角61[deg]が中心視として必要な事を明らかにした。これより、必要な画角は、これに加えて周辺視野である水平視野約80[deg]/垂直視野約70[deg]を足した値として垂直画角90[deg]、水平画角131[deg]が必要であると考えられる。これに辺り、今後垂直画角の増加が必要であることが明らかとなった。また、立体感覚に関するアンケートより、立体視による臨場感の向上の可能性を示した。しかし、映像酔いに関するアンケートより、立体視により人間への悪影響も明らかとなった。

今後の課題としては、酔いに関しては、定量的な評価をするべく、生体反応を用いた定量的な評価を行っていく。また、今回の実験では、垂直画角が不足していることを明らかにした。さらに、スクリーンの配置を図2のように配置を行ったが、それが適切なものであるかは検討していない。よって、垂直画角の増加を行うと共にスクリーン配置の実験的な検

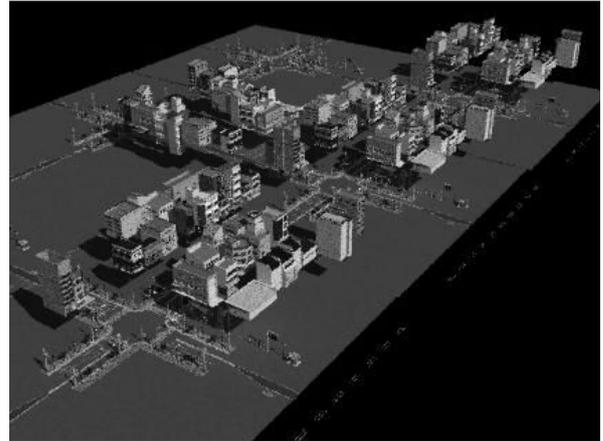


Fig.3 3Dmap

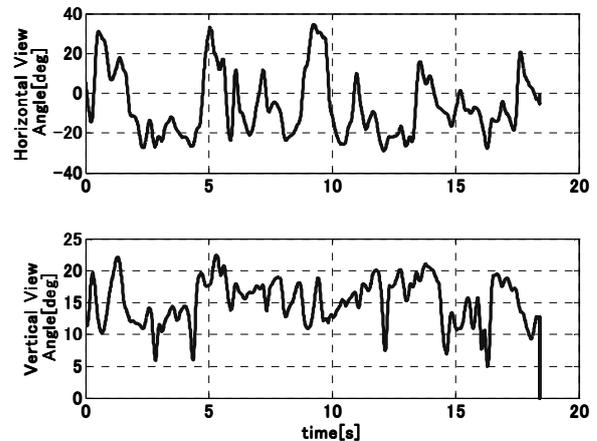


Fig.4 View Angle data (field Angle Small&Parallax 13mm)

Table3 sensor spec

nac製 EMR-8 	測定範囲	垂直10~92° 水平80~115°	有効画素	320(H) ×240(V)
	検出方式	瞳孔 /角膜反射方式	重量	2.7[kg]
	検出レート	60[Hz]	寸法	127(W)× 72(H)× 255(D)
	分解能	眼球運動 0.1° 瞳孔径 0.02mm		

Table4 MaXimum View Angle(Small field Angle)

parallex[mm]	Horizontal View Angle[deg]	Vertical View Angle[deg]
13	62	19
19.5	60	20

Table5 MaXimum View Angle (Large field Angle)

parallex[mm]	Horizontal View Angle[deg]	Vertical View Angle[deg]
0.0	58	22
6.5	61	20

討を行っていく。また、先行研究及び今回の実験において被験者数の数が少ないという問題がある。今後は被験者数を増やし、実験結果に対して、統計的な解析を行った上で、目的であるRSに必要な画像システムの構築を行っていく。

「参考文献」

- 1) D. Ferrazzin, F. Barbagli, C.A. Avizzano, D. Di Pietro and M. Bergamasco, "Designing new commercial motorcycles through a highly reconfigurable virtual reality-based simulator", *Advanced Robotics*, vol. 17(4), pp 293-318, 2003.
- 2) D.S. Kwon et al, "Kaist interactive bicycle simulator", *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA01)*, pp 2313-2318, Seoul, Korea, 2001.
- 3) V. Cossalter, R. Lot, M. Massaro and R. Sartori, "Development and Testing of Assistant Rider Systems with the UNIPD Motorcycle Riding Simulator", *XIX Congresso Aimet Associatione Italiana di Meccanica Teorica e Applicata*, Italy, 2009.
- 4) J.S. Freeman, G.W. Papelis, Y. Papelis, A. Tayyab, R.A. Romano and J.C. Kuhl, "The Iowa driving simulator : An implementation and application overview", *SAE Technical Paper Series*, n° (950174), 1995.
- 5) E.Haman. "Driver Vision Requirements", *Society of Automotive Engineers, Technical Paper Series*, Hillsdale, NJ: Erlbaum 700392, pp.629-630
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 平松 金雄, ' ' ドライビング・シミュレータと人の視覚特性' ', *テレビジョン学会技術報告*, Vol, 14, No. 14, No. 73, 1990
- 9) 畑田豊 : ' ' 人工現実感に要求される視空間知覚特性, *人間工学*, 第 29 卷, 3 号, pp. 129~134 (1993)
- 10) 一般社団法人 人間工学生活研究センター(HQL)公式ホームページ; <http://www.hql.jp>
- 11) 富田 幸佳ら, ' ' ドライバ属性が運転態度・負担意識に及ぼす影響に関する研究' ',
- 12) Kennedy, Lane, Berbaum, & Lilienthal, "Simulation Sickness Questionnaire", 1993.

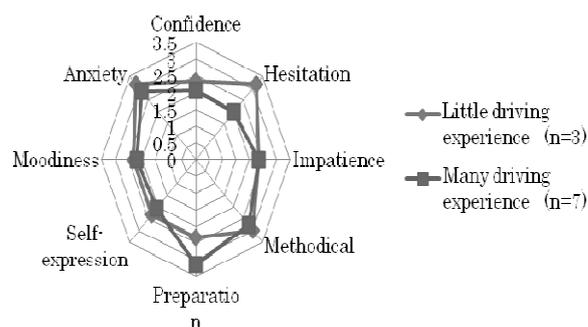


Fig.6 DSQ Questionnaire Result

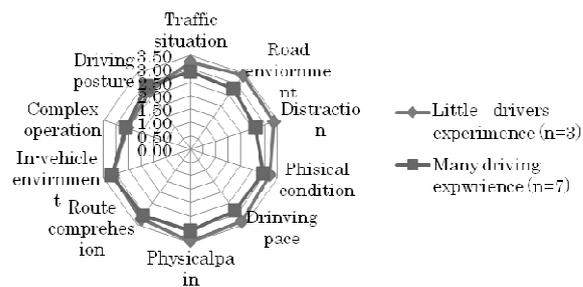


Fig.7 WSQ Questionnaire Result

Table9 SSQ Questionnaire Result(Small)

parallex[mm]	13	19.5
Feel Sickly	19.1	57.2
Eyestrain	83.4	98.5
Wobble Feeling	97.4	139
Total Score	14	22

Table10 SSQ Questionnaire Result(Large)

parallex[mm]	0	6.5
Feel Sickly	66.8	76.3
Eyestrain	106	121
Wobble Feeling	139	181
Total Score	23	27

Table11 stereognostic Questionnaire Result

	Small field angle Parallex 13[mm]	Small field angle Parallex 19.5[mm]	Large field angle Parallex 0.0[mm]	Large field angle Parallex 6.5[mm]
stereognostic sense	3	2	3	2
depth perception	3	2	3	3
presence	3	1	1	1
impressive	2	1	1	1
unity	3	0	0	1
nature	2	2	0	0
likability	3	0	1	1
thickness	1	2	0	2
Size	2	3	2	3