

シミュレータを用いた自動二輪車用 ヘッドアップディスプレイによる情 報提示に関する研究

伊藤 研一郎

(学籍番号：81133094)

指導教員 教授 小木 哲朗

2013年3月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

論文要旨

学籍番号	81133094	氏名	伊藤 研一郎
(論文題目)			
シミュレータを用いた自動二輪車用 ヘッドアップディスプレイによる情報提示に関する研究			
(内容の要旨)			
<p>近年，自動四輪乗用車向けのナビゲーション機能等の，運転者へ情報提示を行う運転支援システムが社会に広く普及するようになった．しかし，自動二輪乗用車向けのナビゲーション機能等の運転支援システムは，普及する以前のはなしで製品として存在していない等しい現状である．そのため，携帯電話アプリやゲーム機などの，本来別の用途で使用されるはずの小型端末を自動二輪車の車体へ後付が行われている．これらの後付は，運転中の視線移動の観点から危険を伴う行為であり，自動二輪乗用車の運転者からは確かな要求があるのであれば，自動二輪車用の運転支援システムを提供する必要がある．</p> <p>本研究では，レーザ光プロジェクタを用いたヘッドアップディスプレイ (HUD) の技術を用いて，自動二輪乗用車向けの新たなナビゲーションシステムをシミュレータ上で検証する．本ナビゲーションシステムはレーザ光プロジェクタの高色彩，高コントラスト，高輝度という特性を HUD へ統合する事により，運転ナビゲーションシステムとして新たなパッケージの提案を行う．本技術を用いることにより，自動二輪乗用車に用いられるウインドシールドを HUD として利用することにより，実用的なナビゲーションシステムを構築できると考察する．本研究の目的として，自動二輪乗用車の運転者に対し，昼夜問わず必要な情報を運転中に提示する事のできるシステムを構築し，シミュレータ上で検証を行う事を目的とする．本研究で構築されるシステムの有用性を検証するために，CAVE 環境のもとで 3D ドライビングシミュレータを利用したシミュレーション実験を行った．運転情報およびスクータ型二輪ドライビングシミュレータ運転者の視線を計測する事により，レーザ光プロジェクタを利用した HUD によるナビゲーションシステムが既成の運転ナビゲーションシステムに比べ，情報を得る事が容易である可能であることをシミュレータ上で確認した．実験を行った結果，レーザ光プロジェクタを用いたヘッドアップディスプレイによるナビゲーションシステムは，運転者の運転中の視線を妨げる事なく提示できる箇所が有り，情報を提示できる事がわかった．</p>			
(キーワード (5 語))			
自動二輪乗用車, ナビゲーション情報提供システム, ヘッドアップ・ディスプレイ, 拡張現実, シミュレーション			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81133094	Name	Kenichiro Ito
(Title) Study of Presenting Information on Head-Up Display System for Motorcycle Simulator			
(Abstract) <p>In this paper, it proposes a new type of navigation system using laser head-up display technology. The navigation system uses laser technology as a subsystem integrated into the head-up display system making the whole package sustainable to provide navigation information with high quality image, contrast and brightness. With this technology, we assume it makes the navigation system suitable to motorcycles with head-up display compatible windshield.</p> <p>The purpose of this study is to build up a navigation system for motorcycles so that the driver can obtain information even while driving on public road during day or night.</p> <p>To confirm the usage of the system, we conducted a simulation experiments on a 3D driving simulator in a CAVE environment. By tracking driving information and the rider's eye focus using a motor scooter driving cockpit, it is concluded that the laser head-up display navigation system can provide navigation information without exposing the driver to focus on the navigation information compared to any other kind of navigation system in the motorcycle field.</p> <p>From the results of the experiment, we found out that there were differences between the place showing the information on the head-up display. By looking through the results, we can assume to where and which to present the information for the driver, not distracting their driving activity.</p>			
(Key Words) Automotive Navigation System, Motorcycle, Navigation, Head-Up Display, Simulation			

目次

1	序論	1
1.1	研究背景	2
1.1.1	自動二輪運転者に対する情報提示	3
1.1.2	運転ナビゲーション機能	5
1.1.3	ヘッドアップディスプレイ	7
1.2	研究目的	8
1.3	論文構成	8
1.4	関連研究	9
2	運転環境下におけるヘッドアップディスプレイ	10
2.1	ヘッドアップディスプレイの仕組み	11
2.1.1	構成要素	11
2.1.2	プロジェクタ	13
2.2	表示コンテンツ	13
2.2.1	運転者の視野	14
2.2.2	形状及び色彩	14
2.3	焦点距離	14
2.3.1	運転時の焦点距離	15
2.3.2	表示物の焦点距離	15
2.4	自動二輪車における一般論	15
2.4.1	ヘッドアップディスプレイ	15
2.4.2	表示コンテンツ	15
2.4.3	焦点距離	16
3	スクータ型シミュレータ	17

3.1	運転筐体	18
3.1.1	構成要素	18
3.1.2	Matlab Simulink を用いた設定	19
3.2	3画面ディスプレイ	20
3.2.1	PreScan によるシミュレーション	20
3.3	没入型ディスプレイ	21
3.3.1	K-Cave によるシミュレーション	21
3.4	運転情報計測	22
3.4.1	計測機器	22
4	実験	24
4.1	予備実験	25
4.1.1	実車環境下での予備実験	25
4.1.2	実験結果と考察	25
4.2	実験	27
4.2.1	ヘッドアップディスプレイ	27
4.2.2	表示コンテンツ	28
4.2.3	表示タイミング	30
4.2.4	実験結果と考察	30
5	結論	33
5.1	結論	34
5.2	今後の展望	34
	参考文献	34
	謝辞	36
A	Appendix	38
A.1	使用ソフトウェア	39
A.1.1	使用計算機詳細	39

A.1.2	画像関連ソフトウェア	39
A.1.3	動画関連ソフトウェア	39
A.1.4	実験データ整理ソフトウェア	39
A.2	実験結果	40
A.2.1	視線計測実験結果データ	40
A.2.2	記述統計	48
A.2.3	等分散性の検定結果	49
A.2.4	単因子変異数分析	49

図目次

1.1	大都市圏における情報提供に対する希望	2
1.2	事故分類別二輪車死傷事故件数（平成 22 年）	3
1.3	事故分類別四輪車死傷事故件数（平成 22 年）	3
1.4	複合現実感のスペクトル (virtuality continuum)	5
1.5	二輪・四輪自動車の使用用途	6
1.6	排気量別二輪自動車の使用用途	6
2.1	ヘッドアップディスプレイ構成要素	11
2.2	ヘッドアップディスプレイ構成要素	12
3.1	スクータ型シミュレータ（設計図）	18
3.2	スクータ型シミュレータ（写真）	19
3.3	スクータ型シミュレータとその構成図	20
3.4	K-Cave 構成図	21
3.5	視線計測装置 EMR-9	22
4.1	実車走行写真	25
4.2	停留点プロット図	26
4.3	投影機の構成	27
4.4	右折を促す表示	29
4.5	直進を促す表示	29
4.6	右折を促す表示	29
4.7	注意を促す表示	29
4.8	情報提示箇所（9カ所）	30
4.9	分析対象時間	30

4.10	発見時間の平均値	31
4.11	視認時間の平均値	32
4.12	情報伝達時間の平均値	32

表目次

2.1	レーザ光プロジェクタと従来プロジェクタ (LCD プロジェクタ) の比較	13
2.2	焦点距離 90.9mm のレンズの虚像と実像の距離関係	16
4.1	提示場所間の一元配置の分散分析	31
A.1	ソフトウェア実行計算機	39

第1章

序論

1.1 研究背景

これまで運転支援装置としてナビゲーション情報を提供するシステムは四輪自動車に向けて数多く開発され商品として提供されてきているが、これまで二輪自動車向けのナビゲーション情報提供システムはほとんど提供されてきていない。特に、他の用途向けの現在製品提供されている、後付の情報提供システムは安全に対する配慮が充分とは言えず、その現状を反映するかのように他製品の後付もほとんど普及していない。しかしながら、安全運転を支援する情報提供に対する期待は確かに存在し、自動車安全運転センターによる平成17年度調査研究報告書の『自動二輪車等への情報提供のあり方に関する調査研究』によると、情報提供を希望する二輪自動車運転者は非常に多く、Fig. 1.1 に示すように、大都市圏においては9割近くもいることがわかっている [1]。また、『自動二輪車等への情報提供のあり方に関する調査研究』の中で、特に交差点における注意喚起の情報提供に対する要求が高いことも判っている。交差点における注意喚起の要求が高い背景として、二輪車事故の特徴が色濃く反映されていると考えられる。

財団法人交通事故総合分析センターによると、二輪車死傷事故件数は四輪車死傷事故件数に比べ、Fig. 1.2 と Fig. 1.3 に示すように、出会い頭事故、右折時事故が顕著に多い事が報告されている [2]。四輪車は追突が圧倒的に多いのに比べ、二輪車は出会い頭、右折時、左折時の3つの事故分類が多く、これらは全て交差点における事故に分類されている。事故が多いという事は、死傷事故に満たない危険を感じる瞬間も多く感じている事もあらわしており、二輪運転者は交差点において身の危険を感じているからこそ、交差点における情報提示を望んでいる

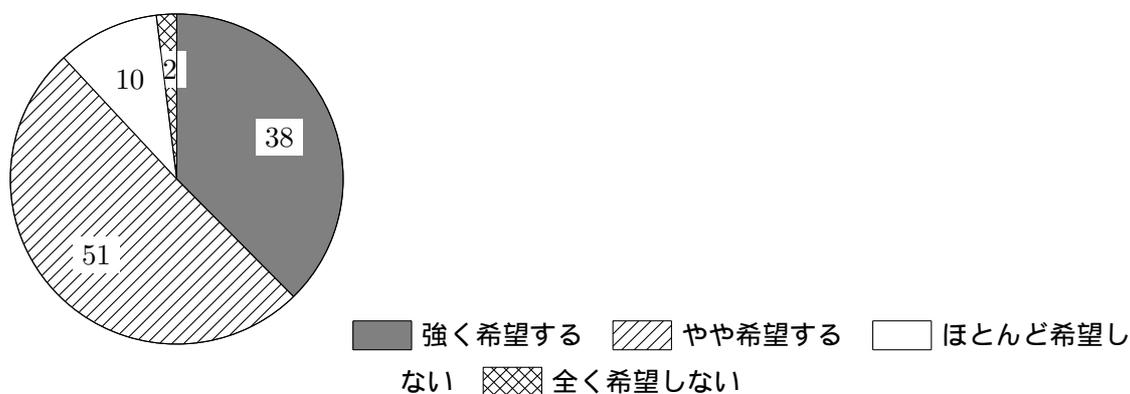


Fig. 1.1 大都市圏における情報提供に対する希望

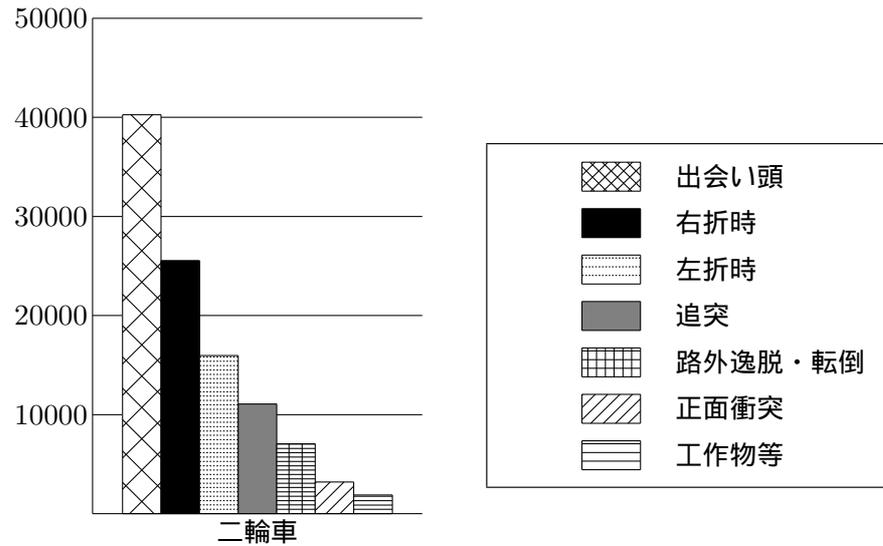


Fig. 1.2 事故分類別二輪車死傷事故件数 (平成 22 年)

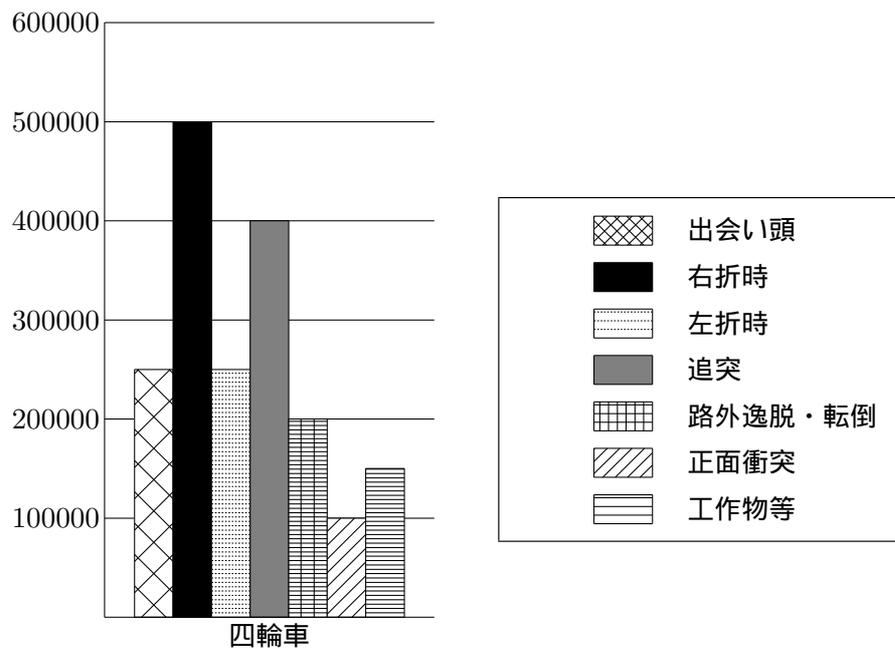


Fig. 1.3 事故分類別四輪車死傷事故件数 (平成 22 年)

と考えられる。

1.1.1 自動二輪運転者に対する情報提示

『自動二輪車等への情報提供のあり方に関する調査研究』では、交差点における情報提供方法に関しても報告がされている。運転者のヘルメットへスピーカ内蔵した音声提供装置，路上へ

据え置きする情報掲示板，メータ上部へモニタを設置する画像提供装置の三種類の提示方法を実験した．情報掲示板は一部有用でありかつ被験者より概ね同意が得られたものの路上据え置きである事，天候等の外的影響や走行速度に左右されやすい事から実現するにあたりコントロールできない要因が多いとされた．音声に寄る情報提供では「情報量が多い」といった意見も多く，また最後まで聞かなければならない事から提供タイミングが非常にシビアであり，最後まで聞こうとするがために運転行動に影響が出ている可能性が多分にあり，安全に配慮するシステムとして音声のみによる提供は難しい．画像提供装置の搭載モニタが2.5インチ画面のものであった影響もあり，画像提供装置による情報提供には見ることができないといった否定的な意見が集中したが，調査研究内では，今後の製品開発，提供画像，使用方法を含めたハードウェアおよびソフトウェアの両面からの各課題に取り組む必要性が述べられている．同時に，自動四輪車に比べ路面を注視する二輪特有の運転行動に関しても言及されており，この運転行動に配慮した設計にしなければ，情報掲示板や音声と一概に比較できないとされている．

古くから研究されている二輪乗用車運転者の注視点の研究 [3] では，路面から注視点をずらすことは安全性を損なうと言われている [4]．このため，運転者に対して情報提示を検討する際に，視覚情報を用いて情報提供を検討する場合は，路面からの注視点から視覚運動の少ない位置に表示するのが望ましい．このことは先述の調査研究の考察に一致し，画像提供装置を見ることができなかった理由及び情報掲示板が有用であった事の裏付けにもなっており，モニタサイズの問題よりも，表示位置に問題があったのではないかと推察できる．この問題を解決するためには，大きく2つの解決方法がある．一つは視覚を用いた情報提供を諦め，音声や触覚等による情報提示という方法であり，もう一つは視ている先に情報を提示する方法である．

一つ目の視覚以外の情報伝達に関しては，任意のタイミングで任意の情報を手に入れる難しさが存在している．『自動二輪車等への情報提供のあり方に関する調査研究』での調査においても，情報提供のタイミングがシビアであったり，運転者が音声を最後まで注意して聞かなければ情報を得られないという不便性がアンケート調査より報告されている．また運転中においては音声再生の自動化はほぼ必須となっており，運転者が得たいタイミングで得たい情報を任意で参照する事ができず，利便性が高いとはとても言い難い．触覚に関しては，運転中の振動等触覚を伝わってくる，運転する上で重要な他の情報が存在することから，運転者への混乱を避けるために，情報提示として使用するに適さない．

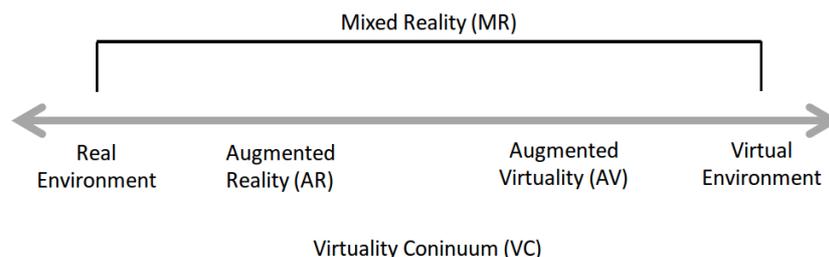


Fig. 1.4 複合現実感のスペクトル (virtuality continuum)

二つ目は二輪運転者の視覚特性に配慮した、視ている先に情報を提示するというものである。これに関していえば、先述の『自動二輪車等への情報提供のあり方に関する調査研究』で述べられているように、提供画像及び使用方法を含めたハードウェアとソフトウェアの問題が存在する。これらの問題は、一般的に視る対象として小型液晶ディスプレイを想定しているためであり、近年開発の進んでいるヘッドアップディスプレイやヘッドマウントディスプレイを用いて、情報提示を行うことにより解決の道筋が見えてくる。これらの技術を利用する際に、提示するデジタル情報を違和感を最小限にして現実と融合させて提示しなければならず、これはバーチャルリアリティの概念を取り入れる事により、情報の融合方法を検討する事が可能となる。デジタル情報環境（バーチャル環境）と現実環境を融合させる時に考える概念の一つとして、複合現実感（mixed reality）という概念がある。複合現実感とは広い概念として位置付けられ [5]，Fig.1.4 に示すように現実環境に近い方を拡張現実，バーチャル環境に近い方を拡張と定義している。今回の場合は運転環境を想定しているのもので現実環境に近い複合現実感，拡張現実の概念を取り入れるのが適切である。つまり、ヘッドアップディスプレイやヘッドマウントディスプレイを用いて、拡張現実の概念を利用する事により、情報提示ができそうであることがわかる。

1.1.2 運転ナビゲーション機能

二輪自動車向けの製品が無い現状、導入するナビゲーションシステムの参考として、まず四輪自動車向けのものを参考とし、ナビゲーション機能として何が必要なのかを考えていく必要がある。ただし、二輪自動車と四輪自動車は公道を運転するなどの類似点は数多くあるものの、二輪自動車は四輪自動車と運転目的が異なる事がわかっている。日本自動車工業会の市場動向調査によると、Fig. 1.5 に示すように、四輪自動車は「買い物・用足し」用途が四割を占

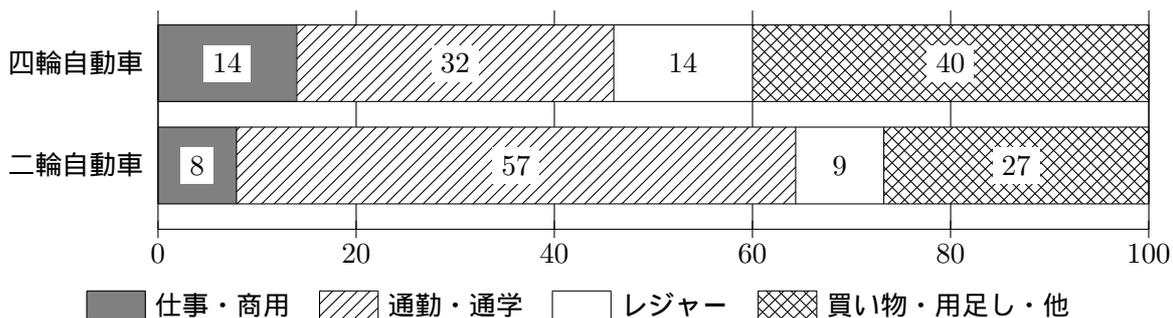


Fig. 1.5 二輪・四輪自動車の使用用途

め、二輪自動車は「通勤・通学」が57%と過半数を占めている [6] [7]。ただし、二輪自動車は排気量別に見た場合、使用用途が大幅に異なる事に注意しなければならない。Fig. 1.6 からわかるように、傾向として少ない排気量は「通勤・通学」用途が多い反面、251cc以上の排気量では「レジャー」(ツーリング)目的が過半数を占めるようになっており、特に751cc以上では「レジャー」目的が73%も占めるまでに至る。自動車の使用用途として「通勤・通学」の場合は定期的に同じ道順を通るため、運転ナビゲーション機能に対する要求は少ないと考えられる。他の用途である「商用・仕事」、「レジャー」、「買い物・用足し・他」の場合は、日頃通

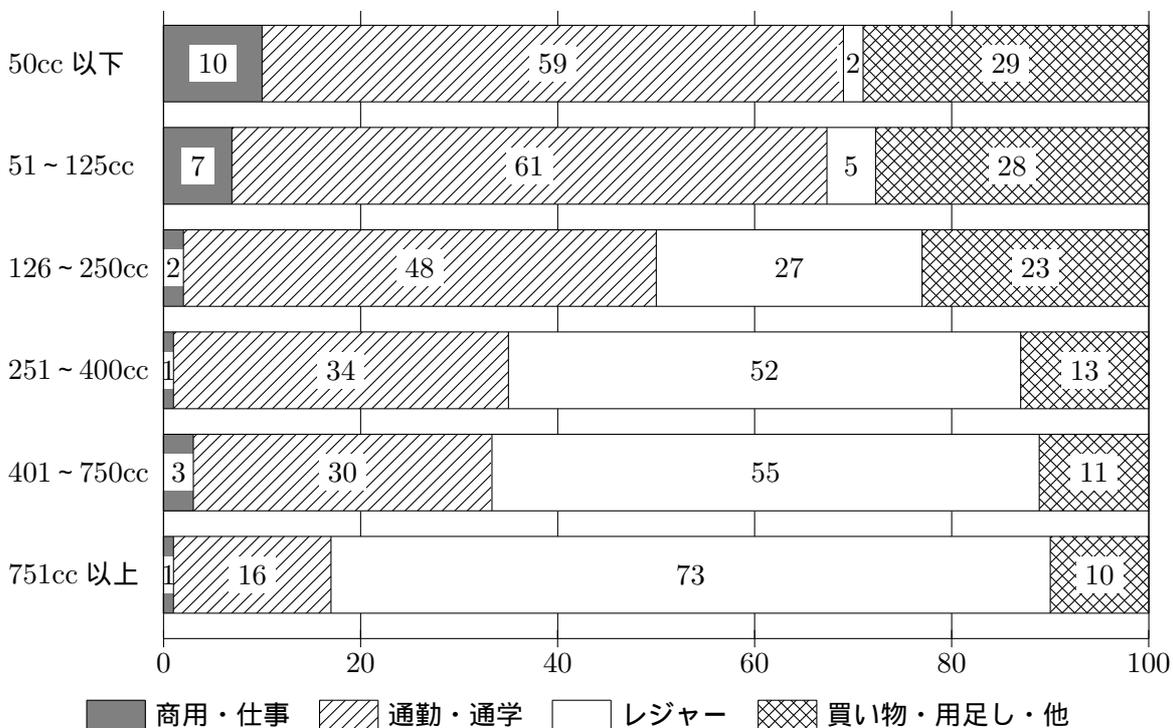


Fig. 1.6 排気量別二輪自動車の使用用途

らない場所への運転を必要とする場面が多いので、運転ナビゲーション機能に対する要求があると考えられる。ただし、「レジャー」においては、排気量の多い車種の使用用途として割合が多い事からも、二輪自動車はツーリング目的で遠出する事が多いと考えられる。遠出する際には高速道路等の有料道路を利用する事も多く、ジャンクションを除いて基本的に一本道を走行する有料道路のナビゲーション機能の必要性はほとんどないだろう。つまり、「商用・仕事」と「買い出し・用足し」といった用途での利用を想定したナビゲーション機能を提供する事に重きを置くことが、二輪自動車運転者からの要求に合致すると考えられる。

上述の要求を踏まえた上で、四輪自動車向けカーナビゲーションの開発実績のあるパイオニア(株)の講演 [8] を参考として、ナビゲーション機能を提供するシステムとして、パイオニア(株)の発売するカーナビゲーションシリーズ『カロツェリア』は下記の3点が重要だと考えている。

1. 情報を把握する
2. 場所を特定する
3. 現実と合わせ込む

提示方法を問わず、提示する情報を運転者が把握すること、車の現在位置を運転者が把握できること旧来のカーナビゲーションから搭載されている機能である。現実と合わせ込むというのは最近発売されたARナビゲーションに伴うコンセプトで、『「現実の風景と地図を見比べる道案内」から、「見たままでわかる誘導」に』のキャッチフレーズの元より直感的なルート案内と運転支援機能の提供を実現するためのコンセプトである。具体的には車載カメラで撮影した映像に情報やルート案内情報を重ねて、カーナビゲーションのディスプレイに表示するものである。この方法を取ることで、より正確に情報の把握及び場所の特定を運転者が行える仕組みとなっている。

1.1.3 ヘッドアップディスプレイ

ヘッドアップディスプレイとは、ハーフミラーを用いて、ミラーの向こう側とミラーに投影されるデジタル情報を融合させる装置のことである。1970年代から存在している技術であり、当初は主に航空機での利用が検討され、導入されてきた。1980年代後半から自動車への導入

可能性が言及されており，運転情報やナビゲーション情報の提示方法として，その利用方法が検討されてきていた．

1.2 研究目的

本研究の目的として，シミュレータ環境下での被験者実験を積み重ねにより，自動二輪乗用車の運転者に対し，情報を運転中に提示する事のできるシステムをシミュレータ上で検証を行う事である．本研究では，自動二輪乗用車運転者の視覚特性を特に重要視し，シミュレータ環境下におけるヘッドアップディスプレイによる情報提示の評価を行う．本研究で提案するヘッドアップディスプレイは最新の既製品を組み合わせる事により，容易に構築可能である事を示すとともに，拡張現実の概念上で意図した情報提示を安全性を損なうこと無く行える可能性を探り，実車環境下での実験および提供を将来像と捉えた上で，自動二輪乗用車運転者の利便性向上を期待している．

なお，研究目標の最終ゴールとしては，路面を注視しつつ提示された情報を，運転者が得る事のできるシステムの構築であり，その過程の1つの目的として，本研究はヘッドアップディスプレイによる情報提示システムの提案という形を取っている．

1.3 論文構成

本論文は五章で構成されている．第一章で研究背景と目的を説明した．続いて二章ではヘッドアップディスプレイの一般論を中心に，特に運転環境下における効果と懸念事項を述べる．三章ではシミュレーションを行うにあたり，使用するスクータ型二輪シミュレータの概要を説明する．また，スクータ型二輪シミュレータを用いた各シミュレーション環境についての説明を述べる．またシミュレーションの評価方法としての材料となる運転情報の計測をシミュレータ上でどのようなパラメータを用いて何を計測したかを説明する．四章で本研究の目的のための実験内容を説明する．実験を構成する要素として各実験装置について紹介したのち，実際の実験および計測されたデータより検証結果を説明する．五章では本研究の結論を述べ，今後の展望を述べる．

1.4 関連研究

本研究において、関連する研究領域を 3 つに分けることができる。1 つ目は、二輪モデル [9] を用いて二輪シミュレータ [10] [11] を動かす分野、2 つ目は没入型ドライビングシミュレータ環境での視線計測 [12] [13] を通じてシミュレーション環境下での評価を行う分野、最後に 3 つ目はヘッドアップディスプレイのインタフェース [14] を用いるという分野である。また本研究、本実験を遂行するにあたり将来的に現実での利用を想定し、自動二輪環境への反映はきょくりよく国際規格に沿う形で反映させた [15] [16] [17] [18] [19] [20]。

第2章

運転環境下におけるヘッドアップディスプレイ

2.1 ヘッドアップディスプレイの仕組み

ヘッドアップディスプレイは、ハーフミラーへ虚像を映す事により、現実世界と映している虚像を融合させ、拡張現実を表現する装置である。

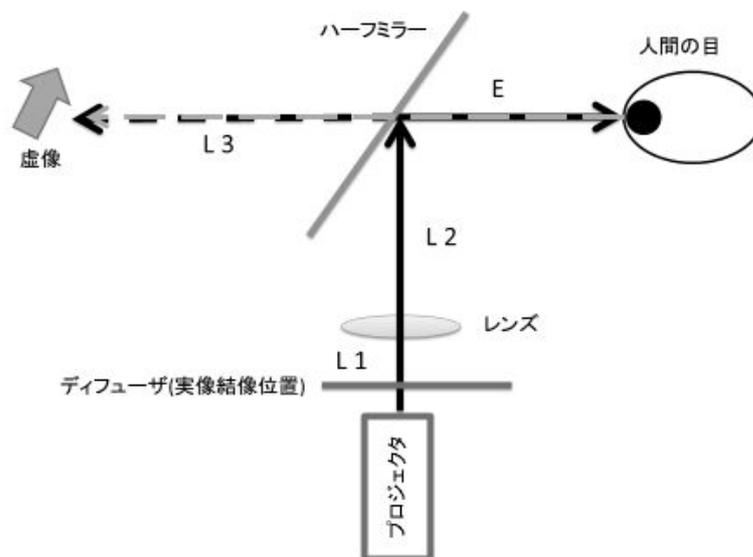


Fig. 2.1 ヘッドアップディスプレイ構成要素

2.1.1 構成要素

ヘッドアップディスプレイの構成要素として、大きく分けて3つあげることができる Fig. 2.1 .

1. ハーフミラー
2. 1次結像ユニット(ディフューザ, レンズ)
3. プロジェクタ

ハーフミラーとは、人間の視ている現実へ、デジタル情報を融合させるための、ディスプレイの役割となるものである。ハーフミラーの名称から推察できるように、映るものをすべて反射する鏡ではなく、一部を反射する鏡、いわば鏡としての機能を半分持ち合わせたものである。ハーフミラーを用いる事により、人間の目からハーフミラーを通して見える領域上へ、虚像を自由に表示する事が可能となる。

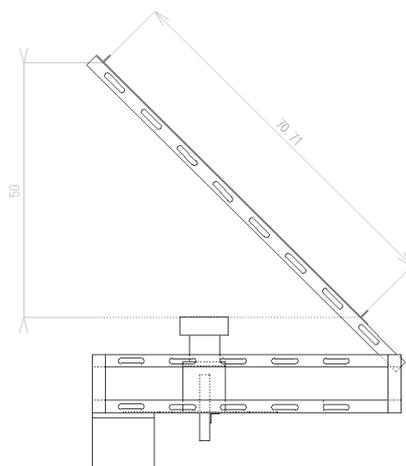


Fig. 2.2 ヘッドアップディスプレイ構成要素

1次結像点ユニットは、プロジェクタより照射された光源を結像させることにより、1次結像点以上に光源を拡散させない事により表示する大きさを決定させるユニットである。一般的には1次結像点とハーフミラーの距離が、虚像の結像距離となる。ハーフミラーにレンズの特性を持たせた特殊なハーフミラーを用いる事により、虚像の結像点を遠方に表示させる事も可能である。ハーフミラーと1次結像点の間にレンズを挟む事により、ディフューザに結像した1次結像の焦点を飛ばす事も可能である。なお、レンズは本来の役割の効果がハーフミラー越しでも働くため、像の拡大する事もでき、この原理を用いて虚像の焦点距離を飛ばす事ができる。飛ばす焦点距離はレンズの公式を用いて簡単に計算する事ができる。

$$1/A + 1/B = 1/F \quad \dots\dots\dots ①$$

Fig. 2.1 を当てはめると下記の通りとなる。

$$1/L1 + 1/\{L2 + L3\} = 1/F \quad \dots\dots\dots ②$$

つまり、レンズとディフューザ間の距離を調整する事により、虚像の焦点距離を飛ばす事が可能である事がわかる。

ハーフミラーを用いた虚像の結像は、バーチャルリアリティの拡張現実の概念の中ではもはや常識となっているが、本研究においてはプロジェクタとして用いているレーザ光プロジェクタには、既存のプロジェクタに比べていくつか特徴的な特性を有している。

2.1.2 プロジェクタ

本研究では、レーザ光プロジェクタを投影機として用いた。既成品として流通し始めたのは比較的最近であり、現在流通しているプロジェクタの中では、最新の技術を利用したプロジェクタとなっている。これらの技術の結晶の結果既存のプロジェクタには無い特徴がいくつかあり、これらの特徴を Table. 2.1 にまとめる。また、レーザ光を直接照射しているため、焦点距離は無限遠を取っているプロジェクタとなっているので、既存のプロジェクタには必ずといっていいほど存在するフォーカス調整用レンズというものが存在しない。これにより、レーザを光源とするプロジェクタは柔軟に焦点距離を調整する事ができ、常に焦点距離の変動している運転環境において、最適な焦点距離へ虚像を調整した情報提示を行う事ができる。

2.2 表示コンテンツ

情報を提示する際に、期待する運転者の反応は下記の2パターンに大きく別けることができる。

1. 情報を注視し、認識して欲しい
2. 情報を注視して欲しくないが、何かが出ていると認識して欲しい

これは提示する情報コンテンツにどういう意味を持たせて出すかによる。例えば、交差点におけるナビゲーション機能は運転者に視て欲しい情報であり、1. に該当する。運転スピードの表示は、提示されている事を認識してさえいれば、運転者の必要なタイミングに軽く視る事が可

Table 2.1 レーザ光プロジェクタと従来プロジェクタ (LCD プロジェクタ) の比較

	レーザ光プロジェクタ	LCD プロジェクタ
コントラスト	高	低
明るさ	高	低
日中・夜間の可読性	高	低
色の濃さ	高	低
画質	高	低
導入費用	低	高
運用発熱性	低	高

能である。一般的に、運転に慣れたものであればだいたいの速度は体感でわかるため、提示されているからと言って注視する運転者少ない。しかし体感スピードのみでは速度を見誤り重大事故にもつながるため、常時スピードを表示する必要がある。このスピードのような情報を2.とする。

2.2.1 運転者の視野

人間が二輪自動車を運転している時は、車を運転している時に比べ、横方向に視野が狭い傾向にある。これは運転時に装着するヘルメットや、路面を注視する二輪特有の視線特性が影響している。また、運転中の姿勢は車体とともに傾く事が少なくなく、前方の視ている範囲の定義付けが難しい。本研究においては、縦方向 (y 軸) への視野角、横方向 (x 軸) への視野角を考え左右へはあまり広く取らず、比較的真ん中よりに提示する事にした。また、大幅に傾ける事無く走行する事を前提し、まずはカーブの無いまっすぐな道路における評価から始める事とした。

2.2.2 形状及び色彩

人間の視覚度は明るいところでは 555nm、暗いところでは 507nm がピークとなっている事は広く知られ、一般的に緑色 (532nm) を情報提示に用いるのが妥当とかがえられる。緑が波長としては一番見やすいとされている。赤黄色等は緑色に比べ、視認が難しいものの注意や警告の意味合いがある。本研究では、方向指示は視認性を優先し、緑色の矢印を用いる事にした。一時停止を促す指示は注意の意味合いも兼ね、黄色の三角形の内部にビックリマークを表示する事とした。

2.3 焦点距離

人間は左右に目がついており、焦点距離を調整する事による物の立体感を感じる事ができるようになっている。人間は日常生活において、無意識に焦点距離を常に行なっている。焦点距離を調整する事により、人間の目からピントの合っている距離を調整しており、それによって人間は随時物体までの距離を推定し、距離感を掴んでいる。これは運転中においても例外では無く、運転中の視線だけでなく焦点距離も考慮する必要がある。

2.3.1 運転時の焦点距離

運転中は路面を注視するものの、水平線に近づけば焦点距離は長くなる。手前を見ると焦点距離は眼球から2m程度となるが、水平線へ近い方は10m以上になることも少なくない。一般的に注視している路面が車体に反映されるまでの時間がある程度確保し一定に保つために、速度が遅い時は手前側の路面、速度が早い時は水平線方向への路面を視る傾向にある。

2.3.2 表示物の焦点距離

表示物の焦点距離は、現実では現実の距離を取る。拡張現実の概念を用いて提示する情報は、現実融合させる上で、現実の対象にめり込んだり極端に手前に表示すると認識にかかる時間が掛かってしまうため、表示する背景に併せて調整するのが理想である。例として目の前にトラックが停止している場合、と前方を走行中の車輦がない状態とでは、同じ角度で視ていたとしても、焦点距離だけ見れば10m以上変わってしまう。柔軟に対応する事は車載カメラ等を用いて現実の情報のインプットが必要であるが、表示コンテンツの焦点距離を3m前後に配置する事により、焦点調整時間を最小に抑える事ができる事が判っている。

2.4 自動二輪車における一般論

本研究を構成する要素の一般論を紹介した。ここで、自動二輪車における一般論や既知の知見より、運転環境下におけるヘッドアップディスプレイについて述べる。

2.4.1 ヘッドアップディスプレイ

一般的な自動二輪車の風防は太陽光に直接さらされる環境にあるため、まず提示する情報の光量の確保が最も重要である。既存のプロジェクタでは光量が10ルーメン程しか確保できていなかったが、本研究で使用するプロジェクタは出力が15ルーメンである上にコントラストや明るさの向上もあり、太陽光環境下においても充分視認できる光量を確保できた。

2.4.2 表示コンテンツ

本研究では特に1.に着目し、二輪自動車の運転者が情報を注視するという事がどういう事なのか、情報を提示し認識してもらうにはどのように提示するのが良いかを考える。なお、利

Table 2.2 焦点距離 90.9mm のレンズの虚像と実像の距離関係

B(mm)	F(mm)	A(mm)
9000	90.9	91.82746
8000	90.9	91.94472
7000	90.9	92.09593
6000	90.9	92.29832
5000	90.9	92.58316
4000	90.9	93.01374
3000	90.9	93.74033
2000	90.9	95.22812
1000	90.9	99.989

用する矢印は ISO6727:2012 の A.08 に従う。注意をうながす情報は同 ISO6727:2012 の A.09 を参考に、2.7 に従う形で、一時停止を促す記号を決定した。

2.4.3 焦点距離

本研究では、90.9mm の焦点距離を取るレンズを用いている。よって、レンズの公式に当てはめ、必要な焦点距離を稼ぐためには、Table. 2.2 を用いて設計できる。想定している虚像距離 (B) は4メートルとなっているので、焦点距離 (F) のレンズの場合取るべき実像までの距離は約 93.0mm となる。

第3章

スクータ型シミュレータ

3.1 運転筐体

本研究では、自動二輪シミュレータとしてスクータ型のシミュレータを用いた。自動二輪シミュレータは運転者（以下、ライダー）がスクータ型シミュレータを操作する事により、アナログデータをデジタルデータへ変換し、計算機を介してライダーの視覚へディスプレイを通じて提供するシミュレータである。

3.1.1 構成要素

用いたスクータ型シミュレータの設計図を Fig. 3.1, 写真を Fig. 3.2 に示す。シミュレータはライダーより以下の四つの情報を得ている。

- ハンドル操作
- アクセル操作
- ブレーキ操作
- 重心移動

なお、ブレーキ操作は左右独立しており、重心移動は合計12個の力センサを用いて12箇所計測している。ライダーの座席に4箇所、足元8箇所を計測している。ハンドル操作、アクセル操作、ブレーキ操作はそれぞれ独立したポテンショメータにより、計測を行う。また、二輪シミュレータには路面反力を反映させるモータコントローラを搭載しており、シミュレータ筐体内で独自に計算された出力から、モータが作動しライダーのハンドル操作へ反力が反映さ

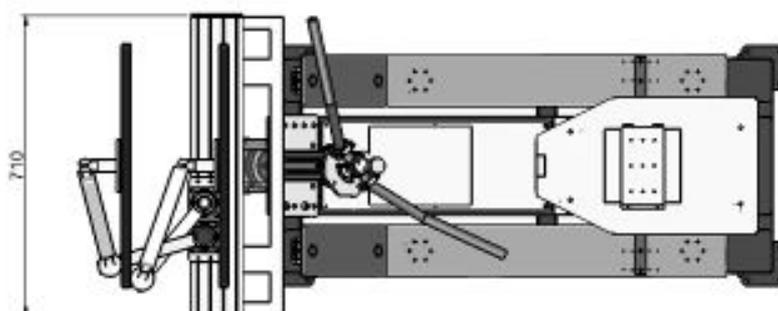


Fig. 3.1 スクータ型シミュレータ (設計図)



Fig. 3.2 スクータ型シミュレータ (写真)

れる．シミュレータはこれらの信号をデジタルシグナルプロセッサ (DSP) を通じて，アナログ信号をアナログ-デジタル変換回路 (ADC) を経由し計算が行われる．計算結果は，イーサネット経由で UDP/IP 通信を用いてデジタルデータとして，パーソナルコンピュータ (パソコン) 等の計算機へ送信され，描画処理等が行われる．Fig. 3.3 では，スクータ型シミュレータの構成図を示すとともに，パソコン上で動く PreScan^{*1} というソフトウェアを用いて描画されたドライビング・シミュレータをライダーが閲覧している様子を図示する．なお，PreScan はディスプレイ出力は1画面だけでなく複数画面出力に対応しており，2画面・3画面出力も可能である．

3.1.2 Matlab Simulink を用いた設定

DSP 内部の処理は，Matlab 2007b/Simulink を用いて行われている．ADC 処理の際に，Simulink で作成したモデルベースを C コード化したものを処理している．C コード化するコードは，計算機でシミュレートを行うドライビングシミュレータに併せて調整できるように設計を行なわれている．共通する項目としては ADC の処理及びハンドル角・アクセル・左右のブレーキにゲイン処理を適度に行ったものである．また，ゲイン処理の行われた信号に対して，原点調整が行えるよう，パラメータ設定などを含んだものとなっている．

^{*1} <http://www.tass-safe.jp/prescan/>

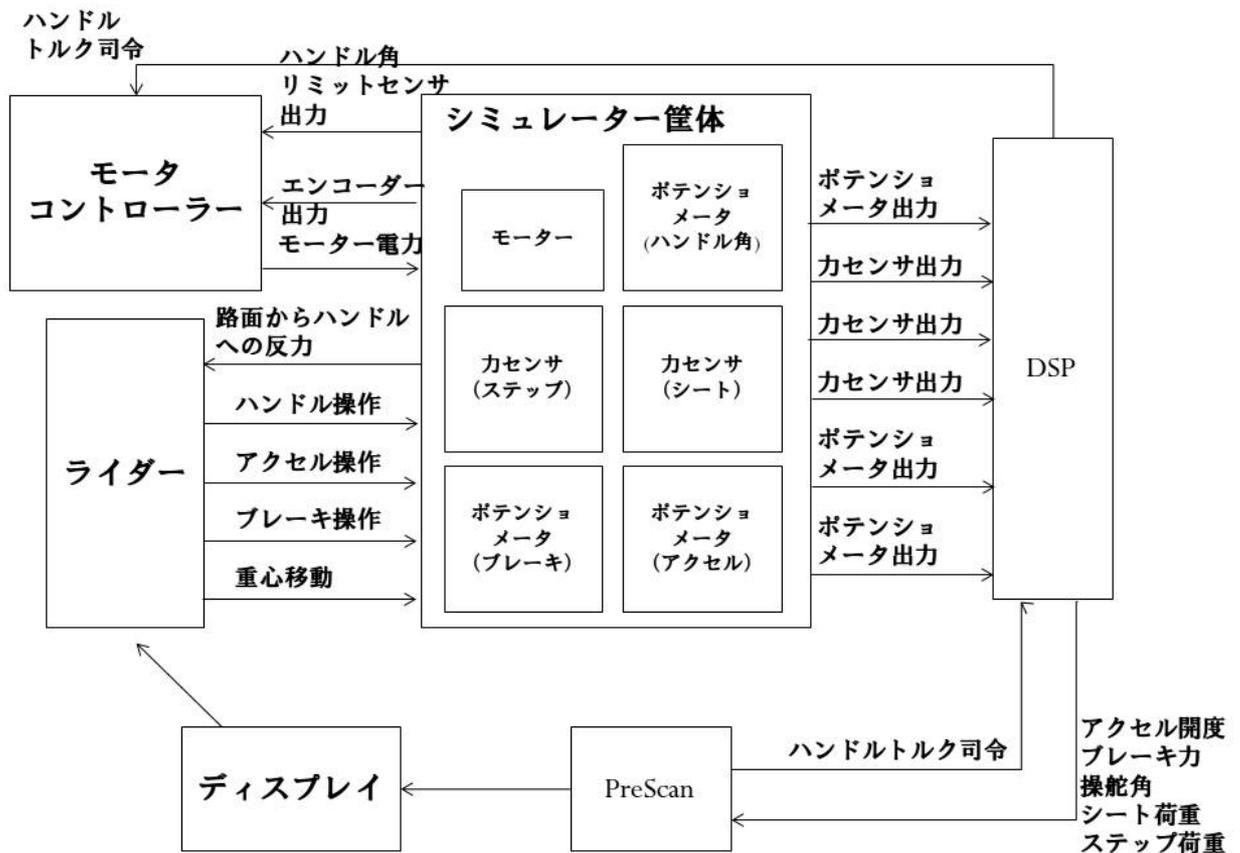


Fig. 3.3 スクータ型シミュレータとその構成図

3.2 3画面ディスプレイ

シミュレータ型二輪シミュレータのハードウェアとしても動作確認は1画面で行われた。より、現実に近い視覚情報を提供するにあたり PreScan でシミュレーションを行う際は、3つのディスプレイへの出力を行った。映し出される情報は、風防を始めとした、バーチャルな世界全体の描画となっている。

3.2.1 PreScan によるシミュレーション

PreScan のソフトの中には二輪自動車モデルが用意されており、ADC でゲイン調整された信号のみ入力からドライビングシミュレータを動かすことができるようになっている。ソフトウェアの中で使用されている二輪自動車モデルは車体重量をはじめとして、車体のヨー慣性等のパラメータ調整が可能となっている。その他設定可能なパラメータはフロントコーナリング

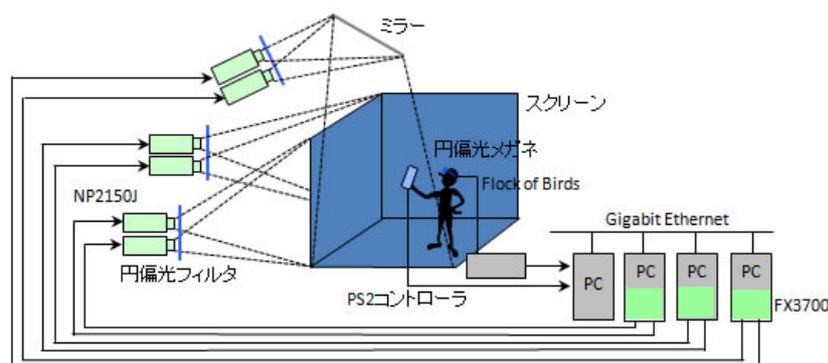


Fig. 3.4 K-Cave 構成図

パワー，リアコーナリングパワー，重心からフロントタイヤまでの長さ，重心からリアタイヤまでの長さとなっている．また，PreScan 内部の二輪自動車モデルは Matlab 2010a/Simulink で動作可能なモデルで作成されており，モデルベースで変更を任意で行いデータのログの記述等を行える形となった．

3.3 没入型ディスプレイ

没入型ディスプレイとは，複数の大型平面スクリーンを用いて，内部を囲うようにスクリーンを配置し，スクリーンに囲まれた中に人が入れるディスプレイシステムである．本研究では，没入型ディスプレイの中でも CAVE 型のディスプレイ環境である，研究科内に設置されている K-Cave を利用し，シミュレーションを行う環境を構築した．

3.3.1 K-Cave によるシミュレーション

Keio Cave display system(K-Cave) とは，正面・右面・左面・床面の四面に大型平面スクリーンを設置している CAVE 型の没入型ディスプレイである．各スクリーンには2台のプロジェクタを用いて立体視可能な映像を円偏光フィルタを通して投影している．ディスプレイ内にはディスプレイ閲覧者の頭部を測定可能な磁気センサ (Flock of Birds) を用いて算出した視点位置から，CG 映像をリアルタイムで調整を行なっている．システムの構成を Fig.3.4 に示す．寸法は下記に記す．

- スクリーン: 正面 リア投影 2.10m × 2.63m、左右面 リア投影 2.10m × 2.10m、床面
フロント投影 2.10m × 2.63m

- プロジェクタ： NEC NP2150J (4200 ルーメン、XGA) × 8 台
- 立体視方法: 円偏光立体視
- 計算機: Dell Precision T7400 (CPU: Dual Core Xeon 3.33GHz, グラフィックスカード: NVIDIA Quadro FX3700 × 2) 4 台
- 3次元位置センサ： 磁気センサ Ascension Flock of Birds (広域型)
- 入力デバイス： PS2 コントローラ

入力デバイスが現在 PS2 コントローラデバイスとなっているところをスクータ型二輪シミュレータへ置き換えることにより，K-Cave 環境下でシミュレーションを実行する事ができるようになる．DSP より送信される UDP/IP を K-Cave 計算機へ送る．K-Cave でシミュレートされるドライビング・シミュレータは，東急東横線日吉駅近辺の実際の路上を参考として構築された地図を用いている．

3.4 運転情報計測

本研究を遂行するにあたり，ライダーの運転情報として，視線を用いる事とした．

3.4.1 計測機器

運転情報を計測するに当たり，本研究では株式会社ナックイメージテクノロジー社製の EMR-9 を用いた．実際に用いた視線計測装置を Fig. 3.5 に図示する．本計測装置より，計測されるデータは右目・左目の注視先及び計算された両眼に注視先の情報である．これらのデー



Fig. 3.5 視線計測装置 EMR-9

タは 60Hz で記録されており，データは CSV フォーマットで SD カードへ出力する事が可能となっている．

第4章

実験



Fig. 4.1 実車走行写真

4.1 予備実験

シミュレーション環境下での実験を開始する前に、二輪自動車運転者の視線運動の計測を実車環境で行った。予備実験を通じて、提示する情報の表示位置の参考にした。また、先行研究で言及されている二輪自動車運転者の視線特性を、先行研究に比べ高い精度で確認した。

4.1.1 実車環境下での予備実験

実車による予備実験を行い、実車環境において二輪自動車を運転する際、視線特性の確認を行った。実験風景を Fig. 4.1 に示す。視線特性の計測は EMR-9 を用いた。実験に利用した場所は、本大学内の私道を用い、事前に守衛より許可を頂いた範囲で行った。

4.1.2 実験結果と考察

計測された視線データは 60Hz の点データとなっている。既知のとおり、人間の視線は常に移動していると同時に注視を行いつつ視線を動かしているため、分析するにあたって、視線の停留点を導出した。導出するにあたっては下記の条件に合致するデータを出力した CSV ファイルより用いた。

- 両目のデータが正常に検出されている
- 両目のデータを x 軸・y 軸にプロットした際、路面より著しく離れたデータを除外

- 両目のデータが 0.200 秒以上，x 軸・y 軸がともに ± 100 ピクセル以内に停留している場合停留点とする
- 停留時間に関しては含めず，停留を行ったか否かのみを判断する

なお，本実験を遂行するにあたり，制限速度を厳守する制約条件が発生していたため二輪自動車運転者が頻繁にスピードメータを注視する視線運動を行っていた．スピードメータの注視は本来あまり行わない視線運動ではないと運転者より伺ったため，今回の分析対象からは外す事とした．分析の結果，218 箇所の停留点を求めることができた Fig. 4.2 . x 軸上の 300 から 400 の中間あたりにおいて，縦方向での注視が非常に多いことが伺える．右側への注視が左側に比べて多く見えるが，走行コースを往復する際の時計回りの回転運動の際に寄るものがほとんどであり，直進の運転行動によるものではなく，左側と右側の注視に大きな差は無かった．本結果より，注視点の非常に多かった中心領域を，中心として，情報提示位置の設定の参考とする事ができた．なお，今回は予備実験としてなので，精度よりもサンプル数を優先した．二輪運転者の注視点導出の精度として，現在 ± 100 ピクセルにおける停留時間 0.200 秒以上とし

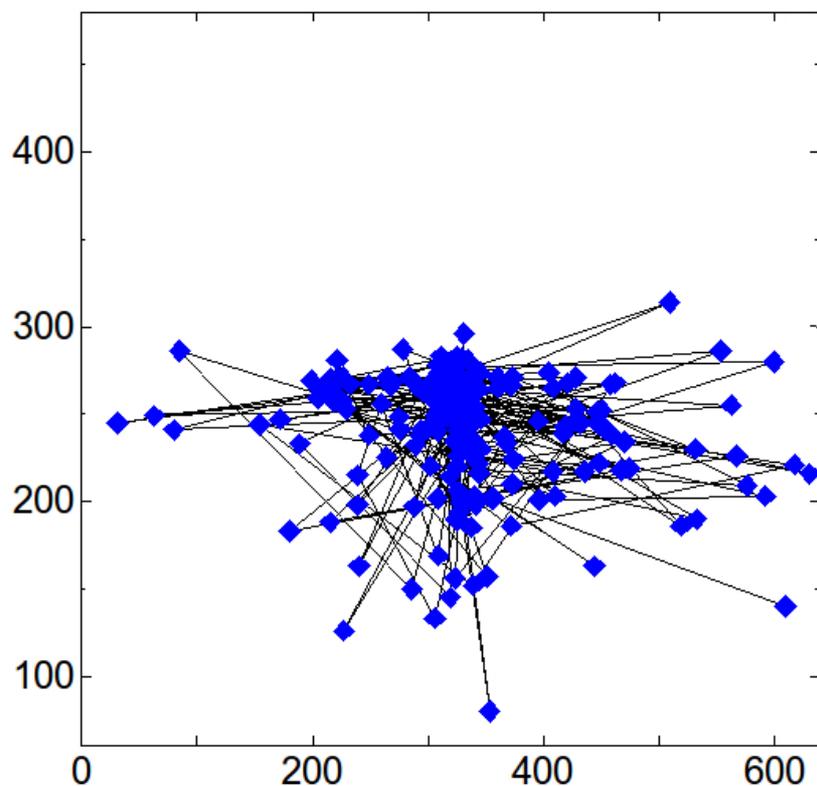


Fig. 4.2 停留点プロット図

ているため、精度としては高くはない。停留とみなす時間を長く設定を行う事や、停留とみなす範囲を絞る事により、より精度の高い停留点を導出する事が可能と考えられる。

4.2 実験

ヘッドアップディスプレイを二輪シミュレータへ取り付け、没入型ディスプレイ環境下でドライビングシミュレータを運転してもらい、視線を計測する事により、ヘッドアップディスプレイによる情報提示をどこに示せば良いかを探る事が実験の目的である。

4.2.1 ヘッドアップディスプレイ

まず、ヘッドアップディスプレイを作成するに当たり、ヘッドアップディスプレイの詳細設計を行った。まずは投影ユニットは、虚像の焦点距離がレンズから4000mmになるよう、配置を行った Fig. 4.3。ハーフミラーは透過率92.6%の亚克力板を用いた。実車における透過率の法的制限などに適合する透過率の選定を行った。

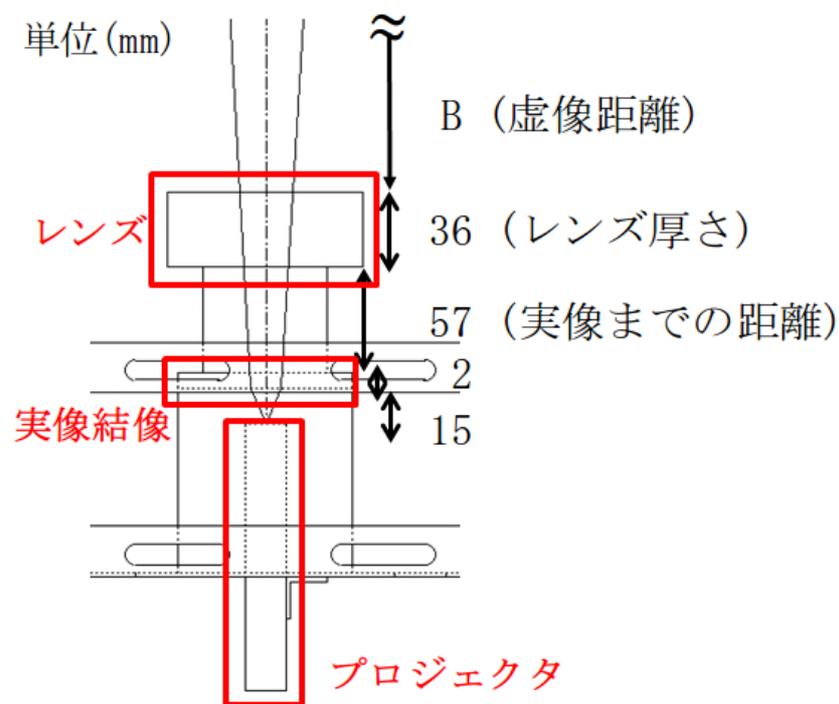


Fig. 4.3 投影機の構成

4.2.2 表示コンテンツ

表示するコンテンツは四種類用意した。それぞれ意図するサインは右折 Fig. 4.4・直進 Fig. 4.5・左折 Fig. 4.6・注意 Fig. 4.7 を示している。なお、注意を一時停止を促すもので、実験前に被験者へ事前に通知を行なっている。これらのコンテンツを表示する場所として、予備実験より算出した中心を基準に9カ所設定した Fig. ??。

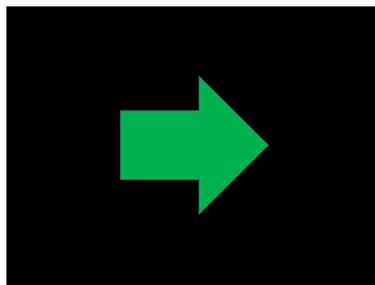


Fig. 4.4 右折を促す表示

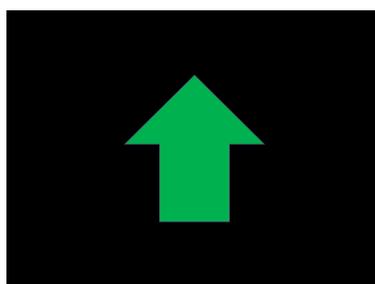


Fig. 4.5 直進を促す表示

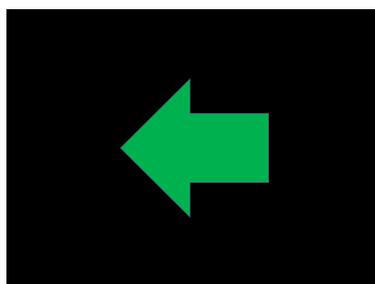


Fig. 4.6 右折を促す表示



Fig. 4.7 注意を促す表示

それぞれの箇所へ，4種類の情報をランダムに12回以上表示を行った．基本を12回とし，失敗とおもわれるデータの欠損を補充する形として，13回行った箇所も存在する．被験者一人あたり，12回を9カ所の合計108回を同一交差点において，スクータ型二輪シミュ

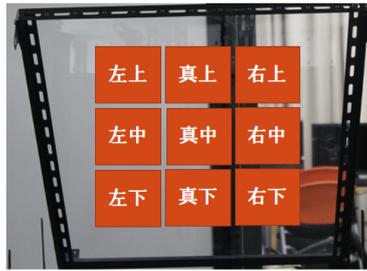


Fig. 4.8 情報提示箇所 (9カ所)

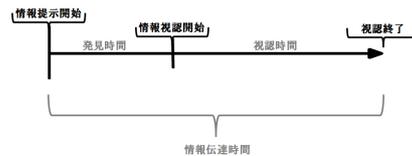


Fig. 4.9 分析対象時間

レータで運転操作を行なってもらった。

4.2.3 表示タイミング

ドライビングシミュレータ内の特定交差点の手前で充分視認時間の確保できるタイミングで提示を行った。なお、提示が行われるタイミングを運転者が察する事とないように、提示したタイミングには多少のばらつきを発生させている。

4.2.4 実験結果と考察

得られたデータより、情報を提示した瞬間から視るまでの時間を「発見時間」とし、提示した情報を視認している時間を「視認時間」とした。また、その合計時間を「情報伝達時間」とした Fig. ??。これらのデータを機械的に抽出した結果は付録の Table. A.2.1 となっている。ここから、一般的な人間の反応速度に当てはまらないデータの一部を除外し、元動画とデータの正当性を目視から検証した上で不自然なデータを排除し、提示場所別で一元配置の分散分析を行ったところ、Fig. 4.1 を得ることができた。この結果より、認識までの時間で 5 % 有意、視認時間は 1 % 有意という結果になった。具体的にどのような形となったかは、認識までを Fig. 4.10、視認時間を Fig. 4.12 のとおりである。Fig. 4.10 や、Fig. ??を見ると、左下・右下に有意差が一番時間のかかったところと確認できる。個別に見た場合はその他にも有意差の傾向が発生しているが、情報伝達事件を見た場合は左下・右下のみとなり、この 2 箇所への提

Table 4.1 提示場所間の一元配置の分散分析

		単因子変異数分析				
		平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
認識まで ms	グループ間	22627.265	8	2828.408	2.436	.015 *
	グループ内	253146.259	218	1161.221		
	合計	275773.524	226			
視認時間 ms	グループ間	51710.797	8	6463.850	2.682	.008 **
	グループ内	525344.446	218	2409.837		
	合計	577055.242	226			

* 5%の有意水準 ** 1%の有意水準

発見時間

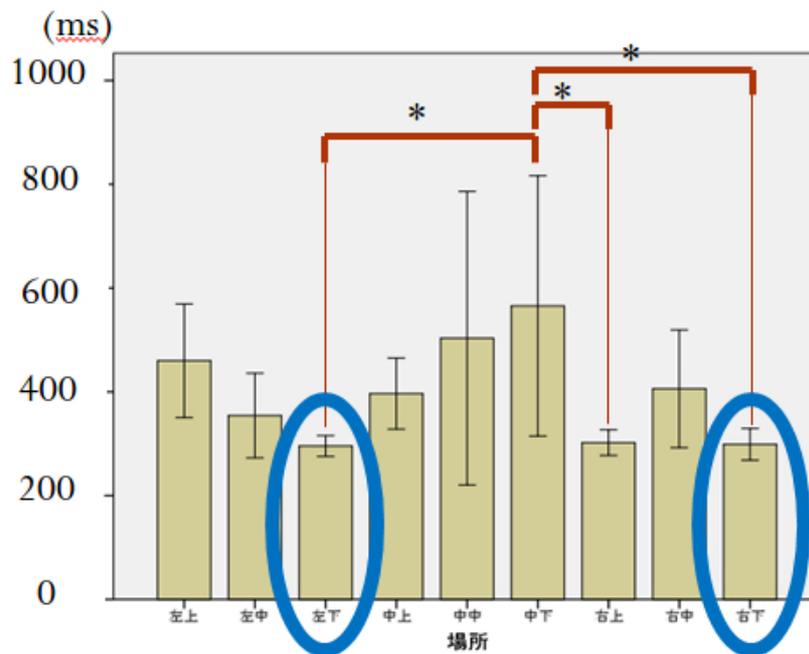


Fig. 4.10 発見時間の平均値

示が有効であると考える。

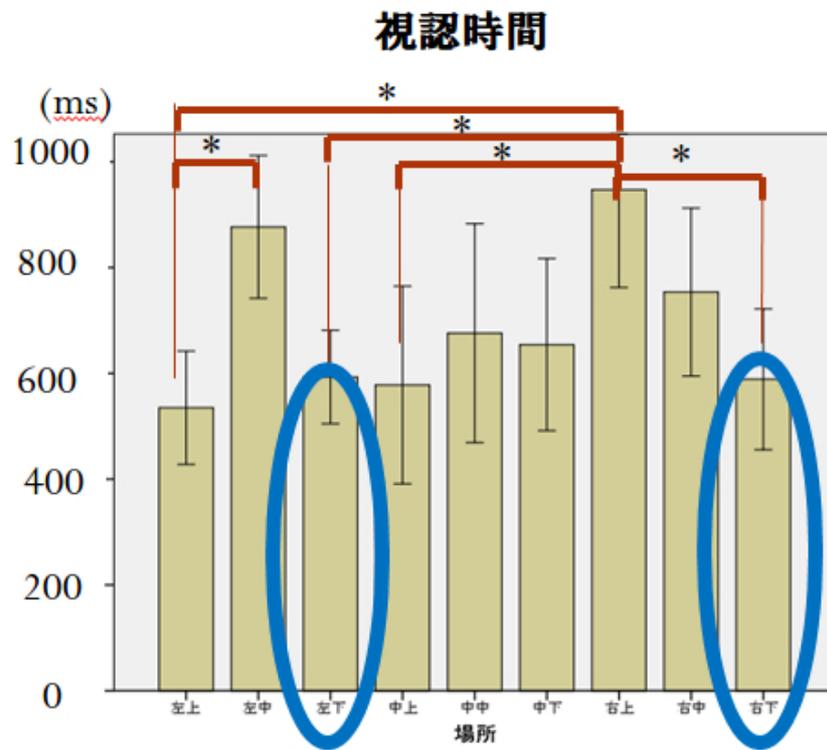


Fig. 4.11 視認時間の平均値

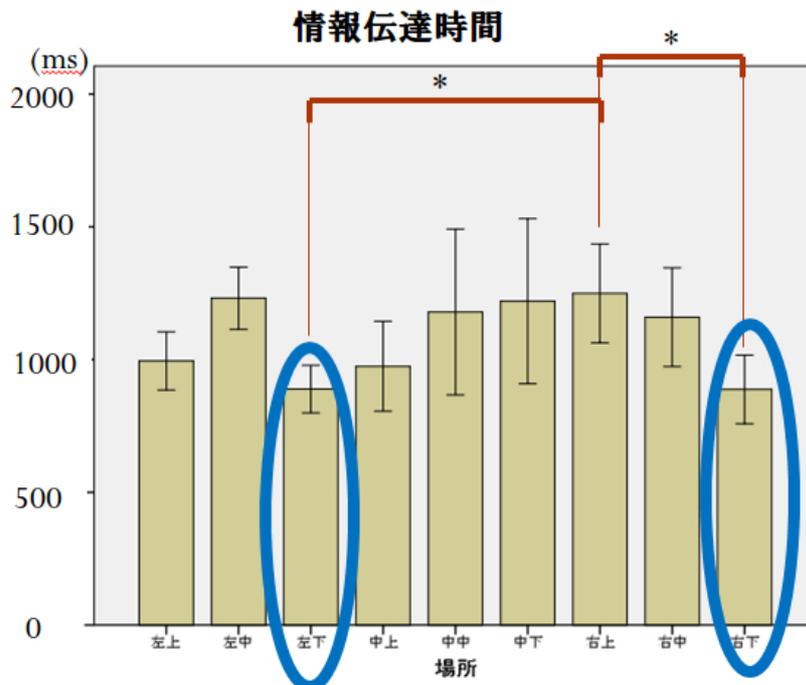


Fig. 4.12 情報伝達時間の平均値

第5章

結論

5.1 結論

ヘッドアップディスプレイによる情報提示では，表示箇所によって運転者へ影響が出る事がわかった．また表示する内容に関しても一時停止を促す場合は，他のナビゲーション情報とは別途表示箇所を検討しなければいけない事がわかった．特に，右下・左下は比較的要する時間が短く，有意差があるため，情報提示を促すのに有効な箇所の候補として考えられる．

5.2 今後の展望

ヘッドアップディスプレイを用いない，音声による情報提示との比較が必要である．その際，情報は視線計測装置上に提示されないため，被験者が情報を得るのに要した時間を比較するのに，別の指標が必要となる．被験者の発声及び没入型ディスプレイシステムに内蔵されている運転データなどより，比較検討を行うことが望ましい．また，提示するコンテンツに依存する可能性もあるため，様々なコンテンツを様々なタイミングで検証を進める必要があると考える．

参考文献

- [1] 自動車安全運転センター. 自動二輪車等への情報提供のあり方に関する調査研究. Technical report, 自動車安全運転センター, March 2006.
- [2] (財) 交通事故総合分析センター. 特集 二輪車事故の特徴: 「見落とし」に注意! *ITARDA information*, No. 91, pp. 2–12, November 2011.
- [3] 敬信森田. 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, Vol. 4, pp. 239–265, 1978.
- [4] 利章三浦. 運転場面における視覚的行動: 眼球運動の測定による接近. 大阪大学人間科学部紀要, Vol. 5, pp. 253–289, 1979.
- [5] Paul Milgram and Fumio Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol. E77-D, No. 12, pp. 1–15, 1994.
- [6] 日本自動車工業会. 2011 年度 二輪車市場動向調査. Technical report, 日本自動車工業会, March 2012.
- [7] 日本自動車工業会. 2011 年度 乗用車市場動向調査. Technical report, 日本自動車工業会, March 2012.
- [8] パイオニア株式会社, 山下 元之. 「ar(拡張現実)」が実現するカーナビの未来, June 2012.
- [9] Filippo Donida, Gianni Ferretti, Sergio M Savaresi, Francesco Schiavo, Mara Tanelli, and Politecnico Milano. Motorcycle Dynamics Library in Modelica. In *Fifth International Modelica Conference*, pp. 157–166. The Modelica Association, 2006.
- [10] AlexW. Stedmon, David Crundall, Elizabeth Crundall, Rose Saikayasit, Editha Loon, Alex Irune, Patrick Ward, and Neil Greig. 'stisim-drive' meets 'motorcyclesim': Using driving simulation software to develop a unique motorcycle simulator for rider behavior research. In Constantine Stephanidis, editor, *HCI International 2011 - Posters' Extended Abstracts*, Vol. 174 of *Communications in Computer and Information Science*, pp. 76–80. Springer Berlin Heidelberg, 2011.

-
- [11] A W Stedmon, B Hasseldine, D Rice, M Young, S Markham, M Hancox, E Brickell, and J Noble. 'MotorcycleSim': An Evaluation of Rider Interaction with an Innovative Motorcycle Simulator. *The Computer Journal*, Vol. 54, No. 7, pp. 1010–1025, 2009.
- [12] 立山義祐, 山田純嗣, 野寄純平, 山本敬一, 糸田佳奈, 北村憲康, 西村秀和, 小木哲朗. 没入型ドライビングシミュレータでの狭路運転行動観察. 設計工学・システム部門講演会 USB 論文集, Vol. 11, No. 23, pp. 529–532, October 2011.
- [13] 山田純嗣, 立山義祐, 小木哲朗, 糸田佳奈, 北村憲康, 山本敬一, 野寄純平, 西村秀和. 没入型ドライビングシミュレータを用いたドライバの運転行動分析. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011, pp. 229–234, September 2011.
- [14] V Charissis and M Naef. Evaluation of Prototype Automotive Head-Up Display Interface: Testing Driver's Focusing Ability through a VR Simulation. *2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 560–565, 2007.
- [15] ISO. *ISO 3536:1999(E/F) Road vehicles — Safety glazing materials — Vocabulary*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1999.
- [16] ISO. *ISO 3538:1999(E) Road vehicles — Safety glazing materials — Test methods for optical properties*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1999.
- [17] ISO. *ISO 6725:1981(E) Road vehicles — Dimensions of two-wheeled mopeds and motorcycles — Terms and definitions*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1981.
- [18] ISO. *ISO 6727:2012(E) Road vehicles — Motorcycle — Symbols for controls, indicators and tell-tales*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012.
- [19] JASO. JASO 規格 (日本語版) B005-89 ウインドシールドガラスの取付強度. 社団法人自動車技術会, 東京都千代田区五番町 10 番 2 号, 1989.
- [20] JASO. JASO 規格 (英語版) T005-09 Motorcycle - Rider's eye range. 社団法人自動車技術会, 東京都千代田区五番町 10 番 2 号, 2009.
-

謝辞

本研究を進めるにあたり、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科の小木哲朗教授に指導教員として多くのご指導に深い感謝の意を表す。副査として、少ない時間ながらも非常に多くの助言を、同研究科における西村秀和教授、手嶋龍一教授、中野冠教授に記して謝意を表す。特に西村教授は入学当初よご指導を頂き、二輪シミュレータ実験機の使用をはじめとして本研究に支援を頂き、改めて感謝の意を表す。没入ディスプレイをはじめ、幅広く深いところまで常にご指導頂いた、同研究科同研究室所属の立山義祐特別招聘助教に深い感謝の意を表す。同研究室所属の李 河燮特任講師、同研究科研究員、博士課程学生、修士課程学生のみなさまは、毎週研究に関するご指導またはアドバイスを適宜ご教示頂いた事に記して謝意を表す。二輪シミュレータの動作に関するご指導及び助力に記して、同研究科西村研究室所属の山本敬一研究員、村上晋太郎さん、森崇さん、尹善吉さんへ謝意を表す。ヘッドアップディスプレイ装置の調整に関して助言を頂いた同研究科前野研所属の秋山史門さん、原田貴史さんへ謝意を表す。入手困難となっている本研究科の \LaTeX 用スタイルファイルの提供に同研究科西村研究室所属の村田直也さんへ謝意を表す。実験を行うにあたり実験監視協力及び被験者としての協力として、同研究科所属の修士課程学生の各位に謝意を表す。

本節の締めくくりとして、研究に対して多大な理解を示してくれ、サポートしてくれた両親に深く謝意を表す。

付録

Appendix

A.1 使用ソフトウェア

A.1.1 使用計算機詳細

Table A.1 ソフトウェア実行計算機

カーネル	windows32
カーネルリリース	2.6.1
カーネルバージョン	7601
ハードウェア	i686
プロセッサ	Intel Core i5-2520M CPU @ 2.50GHz
オペレーティングシステム	Windows 7 Professional 64bit
サービスパック	SP1
RAM	8.00GB

A.1.2 画像関連ソフトウェア

- Ngraph for Windows version 6.03.53
- Jw_cad Version 7.11
- IrfanView Version 4.35
- Illustrator CS2 Tryout version.

A.1.3 動画関連ソフトウェア

- AvitUtl version 0.99m
- AVInaptic (16-12-2011)
- Media Player Classic 1.5.3.3996 MSVC 2010 SP1 (SSE)

A.1.4 実験データ整理ソフトウェア

- IBM SPSS Statistics Version 20.0.0
 - Microsoft Excel Version 14.0.6129.5000
-

A.2 実験結果

A.2.1 視線計測実験結果データ

被験者	表示場所	表示種別	発見時間	視認時間
2	1	2	00:00:00.40	00:00:00.73
2	1	2	00:00:00.23	00:00:00.80
2	1	2	00:00:00.24	00:00:00.86
2	1	4	00:00:00.26	00:00:00.77
2	1	2	00:00:00.27	00:00:01.10
2	1	3	00:00:00.23	00:00:00.77
2	1	4	00:00:00.20	00:00:00.70
2	1	1	00:00:00.30	00:00:00.53
2	1	4	00:00:00.27	00:00:00.47
2	1	2	00:00:00.20	00:00:00.46
2	1	3	00:00:00.60	00:00:00.36
2	1	1	00:00:00.30	00:00:00.43
2	2	4	00:00:00.33	00:00:00.80
2	2	2	00:00:00.30	00:00:01.30
2	2	3	00:00:00.26	00:00:00.87
2	2	4	00:00:00.30	00:00:00.80
2	2	3	00:00:00.27	00:00:00.77
2	2	3	00:00:00.33	00:00:00.77
2	2	1	00:00:00.30	00:00:00.87
2	2	1	00:00:00.07	00:00:01.10
2	2	2	00:00:00.34	00:00:00.73
2	2	2	00:00:00.33	00:00:00.67
2	2	1	00:00:00.34	00:00:00.93
2	2	3	00:00:00.30	00:00:00.60
2	2	1	00:00:00.04	00:00:00.93
2	3	1	00:00:00.30	00:00:01.04
2	3	2	00:00:00.34	00:00:00.60
2	3	3	00:00:00.27	00:00:00.76
2	3	2	00:00:00.27	00:00:00.67
2	3	1	00:00:00.33	00:00:00.94
2	3	4	00:00:00.26	00:00:00.70
2	3	1	00:00:00.26	00:00:00.84
2	3	4	00:00:00.26	00:00:00.57
2	3	4	00:00:00.33	00:00:00.54
2	3	4	00:00:00.30	00:00:00.50

次のページに続く

被験者	表示場所	表示種別	発見時間	視認時間
2	3	4	00:00:00.30	00:00:00.54
2	3	3	00:00:00.27	00:00:00.60
2	3	1	00:00:00.04	00:00:00.50
2	4	2	00:00:00.00	00:00:01.00
2	4	3	00:00:00.30	00:00:00.76
2	4	1	00:00:00.34	00:00:00.60
2	4	1	00:00:00.00	00:00:00.56
2	4	2	00:00:00.00	00:00:00.50
2	4	4	00:00:00.00	00:00:00.44
2	4	1	00:00:00.37	00:00:00.96
2	4	4	00:00:00.00	00:00:00.57
2	4	2	00:00:00.43	00:00:00.37
2	4	4	00:00:00.33	00:00:01.00
2	4	3	00:00:00.57	00:00:00.36
2	4	1	00:00:00.06	00:00:00.37
2	5	2	00:00:00.30	00:00:01.33
2	5	3	00:00:00.43	00:00:00.54
2	5	4	00:00:00.40	00:00:00.63
2	5	1	00:00:00.37	00:00:00.93
2	5	1	00:00:01.90	00:00:00.56
2	5	3	00:00:00.34	00:00:00.46
2	5	2	00:00:00.00	00:00:00.70
2	5	4	00:00:00.43	00:00:00.47
2	5	4	00:00:00.47	00:00:00.30
2	5	3	00:00:00.40	00:00:00.20
2	5	1	00:00:00.44	00:00:00.76
2	5	3	00:00:00.00	00:00:00.76
2	5	1	00:00:00.33	00:00:00.90
2	6	3	00:00:00.30	00:00:00.60
2	6	4	00:00:00.33	00:00:00.77
2	6	1	00:00:00.30	00:00:00.80
2	6	2	00:00:00.40	00:00:00.60
2	6	4	00:00:00.33	00:00:00.47
2	6	1	00:00:01.04	00:00:00.66
2	6	2	00:00:00.93	00:00:00.83
2	6	2	00:00:01.20	00:00:00.63

次のページに続く

被験者	表示場所	表示種別	発見時間	視認時間
2	6	2	00:00:01.93	00:00:00.67
2	6	3	00:00:00.30	00:00:00.50
2	6	2	00:00:00.36	00:00:00.64
2	6	1	00:00:00.33	00:00:01.43
2	7	4	00:00:00.57	00:00:03.43
2	7	2	00:00:00.27	00:00:01.20
2	7	3	00:00:00.27	00:00:01.87
2	7	2	00:00:00.27	00:00:01.47
2	7	2	00:00:00.26	00:00:01.57
2	7	3	00:00:00.37	00:00:00.80
2	7	2	00:00:00.30	00:00:00.90
2	7	3	00:00:00.27	00:00:01.26
2	7	4	00:00:00.30	00:00:00.90
2	7	1	00:00:00.33	00:00:00.57
2	7	2	00:00:00.30	00:00:00.97
2	7	1	00:00:00.30	00:00:01.27
2	8	2	00:00:00.33	00:00:01.87
2	8	3	00:00:00.23	00:00:00.80
2	8	1	00:00:00.37	00:00:00.87
2	8	4	00:00:00.36	00:00:01.10
2	8	3	00:00:00.27	00:00:00.70
2	8	2	00:00:00.26	00:00:00.74
2	8	3	00:00:00.27	00:00:00.60
2	8	3	00:00:00.27	00:00:00.60
2	8	2	00:00:00.26	00:00:00.64
2	8	4	00:00:00.26	00:00:00.80
2	8	1	00:00:00.27	00:00:00.80
2	8	1	00:00:00.30	00:00:01.07
2	9	2	00:00:00.23	00:00:00.64
2	9	4	00:00:00.33	00:00:00.67
2	9	4	00:00:00.27	00:00:00.46
2	9	4	00:00:00.30	00:00:00.40
2	9	1	00:00:00.27	00:00:00.90
2	9	3	00:00:00.26	00:00:00.43
2	9	3	00:00:00.27	00:00:00.23
2	9	2	00:00:00.24	00:00:00.26

次のページに続く

被験者	表示場所	表示種別	発見時間	視認時間
2	9	4	00:00:00.30	00:00:00.30
2	9	4	00:00:00.23	00:00:00.44
2	9	2	00:00:00.26	00:00:00.60
2	9	1	00:00:00.27	00:00:00.57
1	1	1	00:00:00.40	00:00:00.44
1	1	4	00:00:00.60	00:00:03.14
1	1	2	00:00:00.47	00:00:00.30
1	1	1	00:00:00.93	00:00:00.44
1	1	2	00:00:00.80	00:00:00.33
1	1	2	00:00:00.27	00:00:00.46
1	1	3	00:00:00.40	00:00:00.30
1	1	2	00:00:00.66	00:00:00.34
1	1	2	00:00:00.00	00:00:00.74
1	1	2	00:00:00.74	00:00:00.40
1	1	2	00:00:00.53	00:00:00.27
1	1	3	00:00:00.90	00:00:00.60
1	1	4	00:00:02.00	00:00:02.40
1	1	4	00:00:00.50	00:00:05.57
1	2	1	00:00:00.18	00:00:01.77
1	2	2	00:00:00.00	00:00:01.62
1	2	2	00:00:01.04	00:00:00.30
1	2	3	00:00:00.30	00:00:01.07
1	2	4	00:00:00.20	00:00:00.33
1	2	4	00:00:00.36	00:00:01.27
1	2	1	00:00:00.29	00:00:00.77
1	2	2	00:00:00.29	00:00:01.53
1	2	3	00:00:00.35	00:00:01.07
1	2	2	00:00:00.40	00:00:00.64
1	2	3	00:00:00.30	00:00:00.90
1	2	1	00:00:00.20	00:00:01.16
1	3	1	00:00:00.30	00:00:00.50
1	3	2	00:00:00.47	00:00:00.60
1	3	2	00:00:00.28	00:00:00.57
1	3	1	00:00:00.30	00:00:00.50
1	3	1	00:00:00.24	00:00:00.50
1	3	4	00:00:00.13	00:00:02.10

次のページに続く

被験者	表示場所	表示種別	発見時間	視認時間
1	3	2	00:00:00.33	00:00:00.34
1	3	3	00:00:00.17	00:00:00.43
1	3	1	00:00:00.27	00:00:00.70
1	3	3	00:00:00.00	00:00:00.53
1	3	1	00:00:00.27	00:00:00.50
1	3	3	00:00:00.28	00:00:00.14
1	3	1	00:00:00.27	00:00:00.76
1	3	4	00:00:00.30	00:00:00.23
1	4	4	00:00:00.33	00:00:01.47
1	4	1	00:00:00.00	00:00:00.63
1	4	2	00:00:00.64	00:00:00.43
1	4	2	00:00:00.37	00:00:00.40
1	4	1	00:00:00.33	00:00:00.50
1	4	2	00:00:00.00	00:00:00.50
1	4	2	00:00:00.00	00:00:00.50
1	4	1	00:00:00.50	00:00:00.23
1	4	3	00:00:00.33	00:00:00.44
1	4	3	00:00:00.24	00:00:00.46
1	4	2	00:00:00.27	00:00:00.46
1	4	1	00:00:00.60	00:00:00.23
1	4	4	00:00:00.76	00:00:03.80
1	5	2	00:00:00.00	00:00:01.37
1	5	4	00:00:00.00	00:00:03.03
1	5	2	00:00:00.20	00:00:01.23
1	5	3	00:00:00.23	00:00:01.03
1	5	1	00:00:00.00	00:00:01.00
1	5	3	00:00:00.00	00:00:00.97
1	5	2	00:00:00.00	00:00:00.86
1	5	1	00:00:00.00	00:00:00.74
1	5	1	00:00:00.00	00:00:00.73
1	5	4	00:00:00.00	00:00:00.66
1	5	3	00:00:00.00	00:00:01.33
1	5	2	00:00:00.00	00:00:00.67
1	5	3	00:00:00.00	00:00:00.67
1	5	1	00:00:00.00	00:00:00.70
1	6	3	00:00:00.00	00:00:01.03

次のページに続く

被験者	表示場所	表示種別	発見時間	視認時間
1	6	4	00:00:00.34	00:00:00.33
1	6	2	00:00:00.00	00:00:00.70
1	6	1	00:00:00.43	00:00:01.07
1	6	2	00:00:00.07	00:00:00.43
1	6	3	00:00:00.00	00:00:00.54
1	6	1	00:00:00.00	00:00:00.40
1	6	4	00:00:00.23	00:00:00.37
1	6	2	00:00:00.00	00:00:00.77
1	6	3	00:00:00.00	00:00:00.40
1	6	1	00:00:00.30	00:00:00.10
1	6	4	00:00:00.00	00:00:00.86
1	7	3	00:00:00.27	00:00:00.70
1	7	3	00:00:00.44	00:00:00.73
1	7	1	00:00:00.24	00:00:00.66
1	7	4	00:00:00.23	00:00:00.93
1	7	3	00:00:00.26	00:00:00.57
1	7	1	00:00:00.26	00:00:00.50
1	7	2	00:00:00.44	00:00:01.43
1	7	4	00:00:00.27	00:00:00.46
1	7	4	00:00:00.36	00:00:00.37
1	7	2	00:00:00.30	00:00:01.77
1	7	3	00:00:00.27	00:00:00.53
1	7	2	00:00:00.40	00:00:00.87
1	7	1	00:00:00.27	00:00:00.43
1	8	4	00:00:00.37	00:00:00.23
1	8	2	00:00:03.47	00:00:00.66
1	8	1	00:00:00.80	00:00:00.43
1	8	1	00:00:00.27	00:00:00.40
1	8	3	00:00:00.24	00:00:00.60
1	8	1	00:00:01.16	00:00:00.34
1	8	2	00:00:07.10	00:00:00.34
1	8	3	00:00:00.30	00:00:00.46
1	8	4	00:00:00.97	00:00:00.90
1	8	4	00:00:00.40	00:00:03.20
1	8	3	00:00:00.63	00:00:00.97
1	8	3	00:00:00.24	00:00:00.46

次のページに続く

被験者	表示場所	表示種別	発見時間	視認時間
1	8	1	00:00:00.50	00:00:01.20
1	9	4	00:00:00.30	00:00:00.50
1	9	3	00:00:00.33	00:00:00.83
1	9	3	00:00:00.49	00:00:00.47
1	9	1	00:00:00.27	00:00:00.67
1	9	3	00:00:00.24	00:00:00.56
1	9	1	00:00:00.24	00:00:01.46
1	9	3	00:00:00.20	00:00:00.60
1	9	2	00:00:00.40	00:00:00.60
1	9	2	00:00:00.33	00:00:02.63
1	9	3	00:00:00.37	00:00:00.33
1	9	4	00:00:00.44	00:00:00.50
1	9	3	00:00:00.23	00:00:00.47
1	9	4	00:00:00.40	00:00:00.37
1	9	1	00:00:00.23	00:00:01.47

A.2.2 記述統計

記述統計

	度数	平均値	標準偏差	標準誤差	平均値の 95 % 信頼区間		最小値	最大値	グループ間変動
					下限	上限			
認識まで 単位 (ms)	左上	48.85	38.762	7.602	33.19	64.50	0	200	191.044
	左中	29.68	18.450	3.690	22.06	37.30	0	104	
	左下	26.44	9.137	1.758	22.83	30.06	0	47	
	中上	27.08	23.477	4.695	17.39	36.77	0	76	
	中中	23.11	38.313	7.373	7.96	38.27	0	190	
	中下	38.00	46.534	9.499	18.35	57.65	0	193	
	右上	31.28	7.850	1.570	28.04	34.52	23	57	
	右中	79.60	146.872	29.374	18.97	140.23	23	710	
	右下	29.62	7.239	1.420	26.69	32.54	20	49	
	合計	230	36.87	56.572	3.730	29.52	44.22	0	
モデル			55.044	3.630	29.72	44.03			
視認時間 単位 (ms)	左上	91.19	114.879	22.530	44.79	137.59	27	557	
	左中	94.28	35.866	7.173	79.48	109.08	30	177	
	左下	63.70	34.944	6.725	49.88	77.53	14	210	
	中上	70.16	70.279	14.056	41.15	99.17	23	380	
	中中	87.15	52.376	10.080	66.43	107.87	20	303	
	中下	65.00	27.891	5.693	53.22	76.78	10	143	
	右上	104.64	65.598	13.120	77.56	131.72	37	343	
	右中	83.12	60.216	12.043	58.26	107.98	23	320	
	右下	66.77	50.165	9.838	46.51	87.03	23	263	
	合計	230	80.63	62.625	4.129	72.49	88.77	10	557
モデル			62.145	4.098	72.55	88.71			
				4.925	69.27	91.99			67.075

A.2.3 等分散性の検定結果

等分散性の検定

	Levene 統計量	自由度 1	自由度 2	有意確率
認識まで (ms)	6.105	8	221	.000
視認時間 (ms)	2.189	8	221	.029

A.2.4 単因子変異数分析

単因子変異数分析

		平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
認識まで ms	グループ間	63290.152	8	7911.269	2.611	.010
	グループ内	669603.192	221	3029.879		
	合計	732893.343	229			
視認時間 ms	グループ間	44607.096	8	5575.887	1.444	.180
	グループ内	853514.491	221	3862.057		
	合計	898121.587	229			

* 5 %の有意水準