

Title	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
Sub Title	Study of presenting information on head-up display system using motorcycle simulator
Author	伊藤, 研一郎(Ito, Kenichiro) 小木, 哲朗(Ogi, Tetsuro)
Publisher	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
Publication year	2012
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2012年度システムエンジニアリング学 第96号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002012-0014

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2012 年度

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)

指導教員名：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 Using Motorcycle Simulator			
Abstract 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. 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. 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. 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.			
Key Word (5 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	4
1.1.2	運転ナビゲーション機能	6
1.1.3	ヘッドアップディスプレイ	8
1.2	研究目的	8
1.3	論文構成	8
1.4	関連研究	9
1.4.1	二輪シミュレータ関連	9
1.4.2	シミュレーション環境関連	10
1.4.3	ヘッドアップディスプレイ関連	10
1.4.4	標準規格	10
2	運転環境下におけるヘッドアップディスプレイ	11
2.1	ヘッドアップディスプレイの仕組み	12
2.1.1	構成要素	12
2.1.2	焦点距離	14
2.1.3	ヘッドアップディスプレイ構造	14
2.1.4	プロジェクタ	15
2.2	表示コンテンツ	16
2.2.1	形状及び色彩	17
2.3	焦点距離	17
2.3.1	運転時の焦点距離	17
2.3.2	表示物の焦点距離	17
2.4	自動二輪車における一般論	18
2.4.1	ヘッドアップディスプレイ	18

2.4.2	表示コンテンツ	18
3	シミュレーション環境	20
3.1	スクータ型シミュレータ運転筐体	21
3.1.1	構成要素	21
3.1.2	Matlab Simulink を用いた設定	22
3.2	ドライビングシミュレータ	26
3.2.1	3 画面ディスプレイ	27
3.2.1.1	PreScan によるシミュレーション	27
3.2.2	没入型ディスプレイ	31
3.2.2.1	K-Cave によるシミュレーション	31
3.3	運転情報計測	32
3.3.1	計測機器	32
3.3.2	シミュレーションシステム構成	35
4	実験	37
4.1	予備実験	38
4.1.1	実車環境下での予備実験	38
4.1.2	実験結果と考察	39
4.2	シミュレータ実験	48
4.2.1	表示コンテンツ	49
4.3	実験結果	50
4.3.1	分析結果	59
4.4	考察	62
5	結論	64
5.1	結論	65
5.2	今後の展望	65
	参考文献	67
	謝辞	71
A	Appendix	75

A.1	使用ソフトウェア	76
A.1.1	使用計算機詳細	76
A.1.2	画像関連ソフトウェア	76
A.1.3	動画関連ソフトウェア	76
A.1.4	実験データ整理ソフトウェア	76
A.1.5	実験データテキスト処理ソフトウェア	76
A.2	ヘッドアップディスプレイ構成要素	77
A.2.1	レンズ	77
A.2.2	レンズの技術的データ	78
A.2.3	ディフューザ	78
A.2.4	1次結像ユニット	79
A.3	分析補助スクリプト	79
A.3.1	EMR-9 エラー値排除スクリプト	79
A.3.2	停留点出力スクリプト	80

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)	6
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	7
2.1	ヘッドアップディスプレイ構成要素	12
2.2	投影装置の構成	15
2.3	ヘッドアップディスプレイ設計図	15
2.4	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の屋外使用 確認 (写真)	19
3.1	スクータ型シミュレータ (設計図)	21
3.2	スクータ型シミュレータ (写真)	22
3.3	スクータ型シミュレータとその構成図	23
3.4	自動二輪車用ブレーキ処理 Simulink ブロック	24
3.5	DSP データ送信完了 Matlab メッセージ	25
3.6	ControlDesk によるモニタリングの様子	25
3.7	ControlDesk からブレーキの原点調整	26
3.8	スクータ型シミュレータへ 3 画面取り付け設計図	27
3.9	PreScan によるシミュレーション映像例	28
3.10	シミュレーション地図	28
3.11	PreScan Ethernet 経由受信ブロック	29
3.12	PreScan 二輪モデルブロック	29
3.13	PreScan 内走行コース	30
3.14	K-Cave 構成図	31

3.15	日吉駅近辺路上再現図	32
3.16	視線計測装置 EMR-9	33
3.17	シミュレーションシステム構成図	36
3.18	シミュレーションシステム全体像	36
4.1	予備実験 走行コース	38
4.2	予備実験 実車走行写真	39
4.3	予備実験 視線計測装置による計測風景	39
4.4	停留点プロット図	47
4.5	没入型ディスプレイ中のスクータ型シミュレータ配置写真	48
4.6	提示する情報	49
4.7	情報提示箇所（9カ所）	50
4.8	運転行動を行う交差点	50
4.9	実験風景	51
4.10	分析対象時間	59
4.11	発見時間の平均値	61
4.12	視認時間の平均値	61
4.13	情報伝達時間の平均値	62
4.14	除外データ数	63

表目次

1.1	必要と考える情報提供項目の重み付け順位	4
2.1	焦点距離 90.9mm のレンズの虚像と実像の距離関係	14
2.2	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	16
3.1	Matlab/Simulink 計算機	24
3.2	PreScan 内二輪自動車モデルのパラメータ	28
3.3	EMR-9 データ出力例	34
3.4	EMR-9 CSV 出力 データの意味	35
4.1	停留点の座標と停留時間 (フレーム数)	40
4.2	実験結果データ	51
4.3	提示場所間の一元配置の分散分析	59
4.4	実験結果記述統計量	60

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

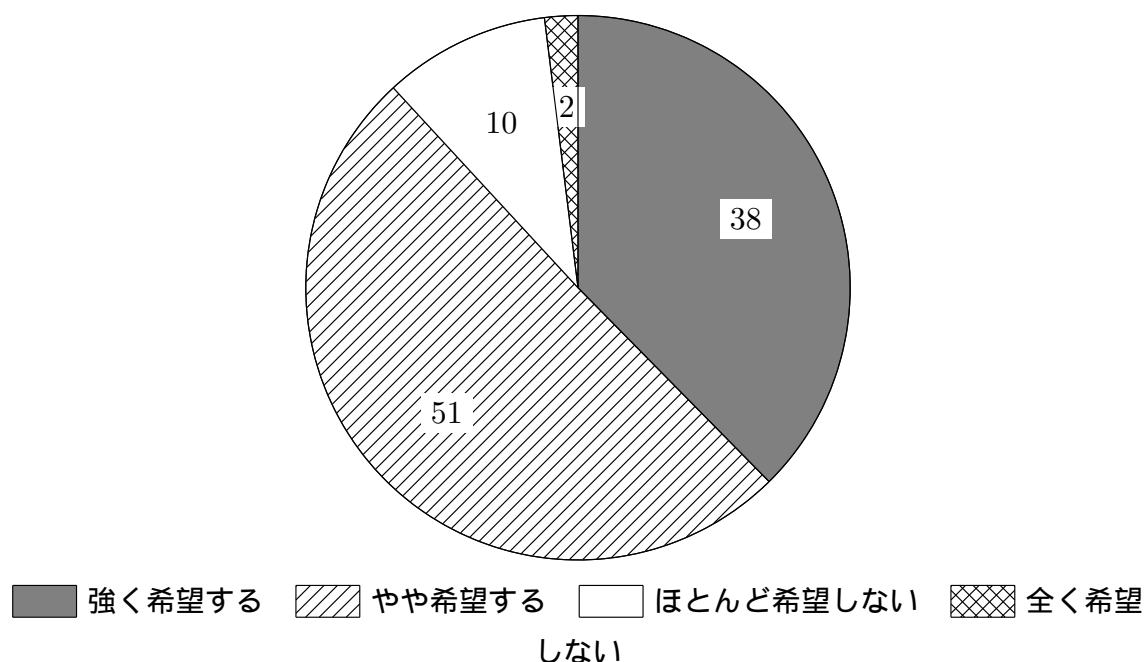


Fig. 1.1 大都市圏における情報提供に対する希望

出典：『自動二輪車などへの情報提供のあり方に関する調査研究』 [1]

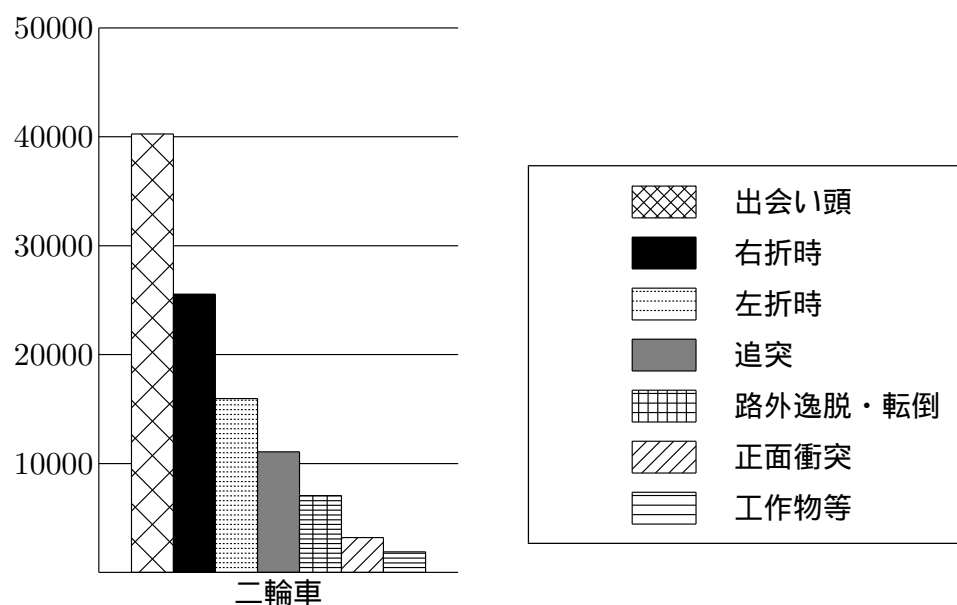


Fig. 1.2 事故分類別二輪車死傷事故件数 (平成 22 年)

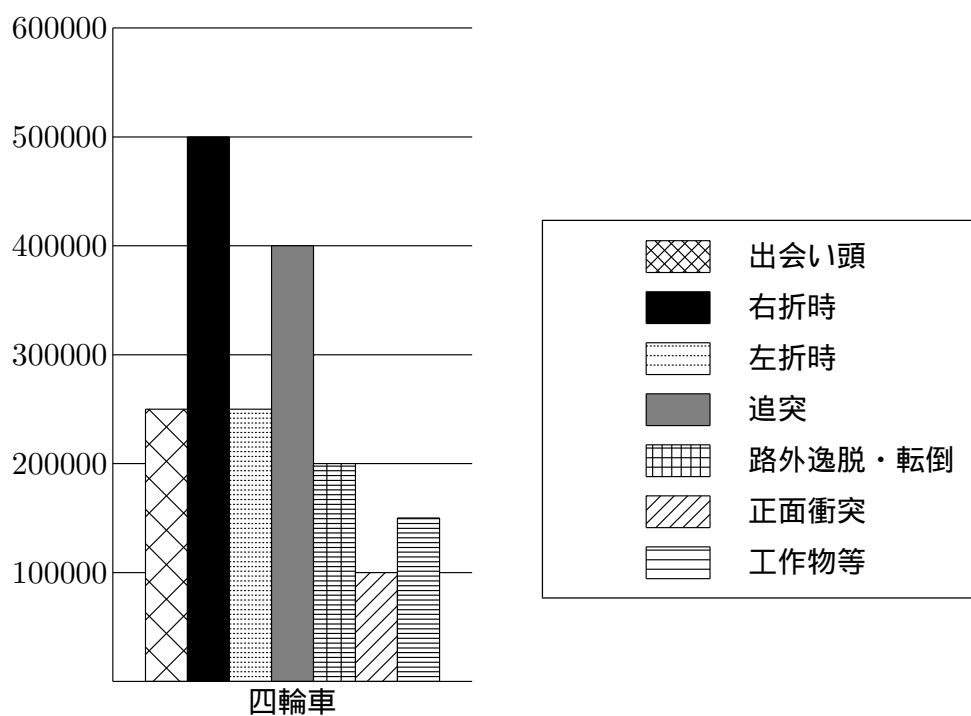


Fig. 1.3 事故分類別四輪車死傷事故件数 (平成 22 年)

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

Table 1.1 必要と考える情報提供項目の重み付け順位

項目分類	順位	種類	備考
交差点における項目	10	左折巻き込み警報 1	自動車に対して、二輪車（自車）を巻き込むおそれがあることを警告
	2	左折巻き込み警報 2	左折車両が存在し、その車両に巻き込まれるおそれがあることを警告
	5	右折衝突警報 1	右折時に対向直進車量が存在し、それに衝突するおそれがあることを警告
	4	右折衝突警報 2	交差点直進時に、右折しようとしている対向車量が存在することを警告
	1	出会い頭衝突警報	交差する道路に車両が存在し、飛び出す可能性があることを警告
カーブでの項目	3	歩行者横断情報	右左折する交差点において横断歩道を渡ろうとする歩行者の存在を警告
	6	対向車両の有無	カーブ区間において対向する車両が接近していることを警告
	9	追突防止警報	この先、重体して車両が停止していることを警告
合流部	11	本線合流支援情報	合流車線に合流車両が存在することを警告
直線路	16	後方車両接近警報	後方に追い上げ車両が存在することを警告
	13	側方車両存在警報	側方に、追い越ししようとする車両が存在することを警告
	12	駐停車車両存在警報	この先、路側に駐停車車両が存在することを警告
その他の場面	17	速度警報	制限速度を超えて走行していることを警告
	14	強風注意	トンネル出口や橋梁における強風を警告
	7	歩行者飛び出し警報	路側から歩行者等の飛び出しが発生するおそれがあることを警告
	15	二輪車通行禁止情報	この先、二輪車の通行ができないことを警告
	8	スリップ危険路面情報	スリップ危険路面情報
	18	その他の情報提供項目	

出典：『自動二輪車などへの情報提供のあり方に関する調査研究』^[1]

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、交差点における事故の危険性を促す情報提示を望んでいると考えられる。これは、『自動二輪車等への情報提供のあり方に関する調査研究』のプレアンケート (Table. 1.1) にも反映されており、運転者の必要と考える情報提供項目にも反映されている。

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、路面から注視点を増や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。

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に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

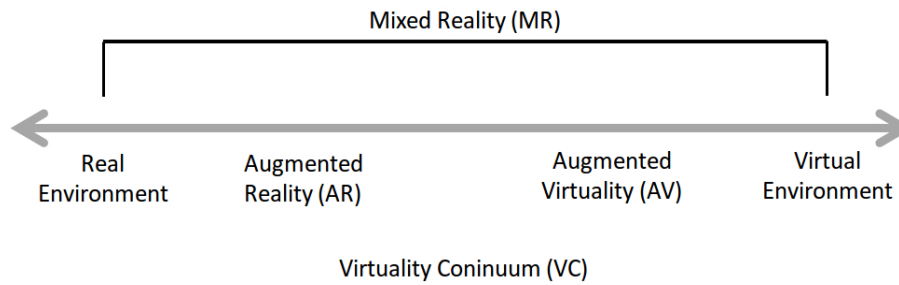


Fig. 1.4 複合現実感のスペクトル (virtuality continuum)

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（Augmented Reality），バーチャル環境に近い方を拡張仮想（Augmented Virtuality）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」用途が四割を占め，二輪自動車は「通勤・通学」が 57 % と過半数を占めている [6]．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」、「買い出し・用足し・他」の場合は，日頃通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有ると考えられる．ただし，「レジャー」においては，排気量の多い車種

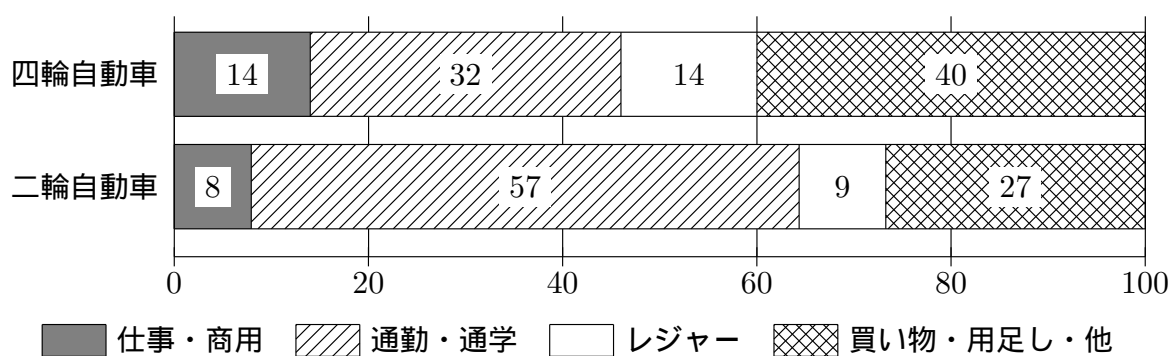


Fig. 1.5 二輪・四輪自動車の使用用途

出典：『2011 年度 二輪車市場動向調査』[6]

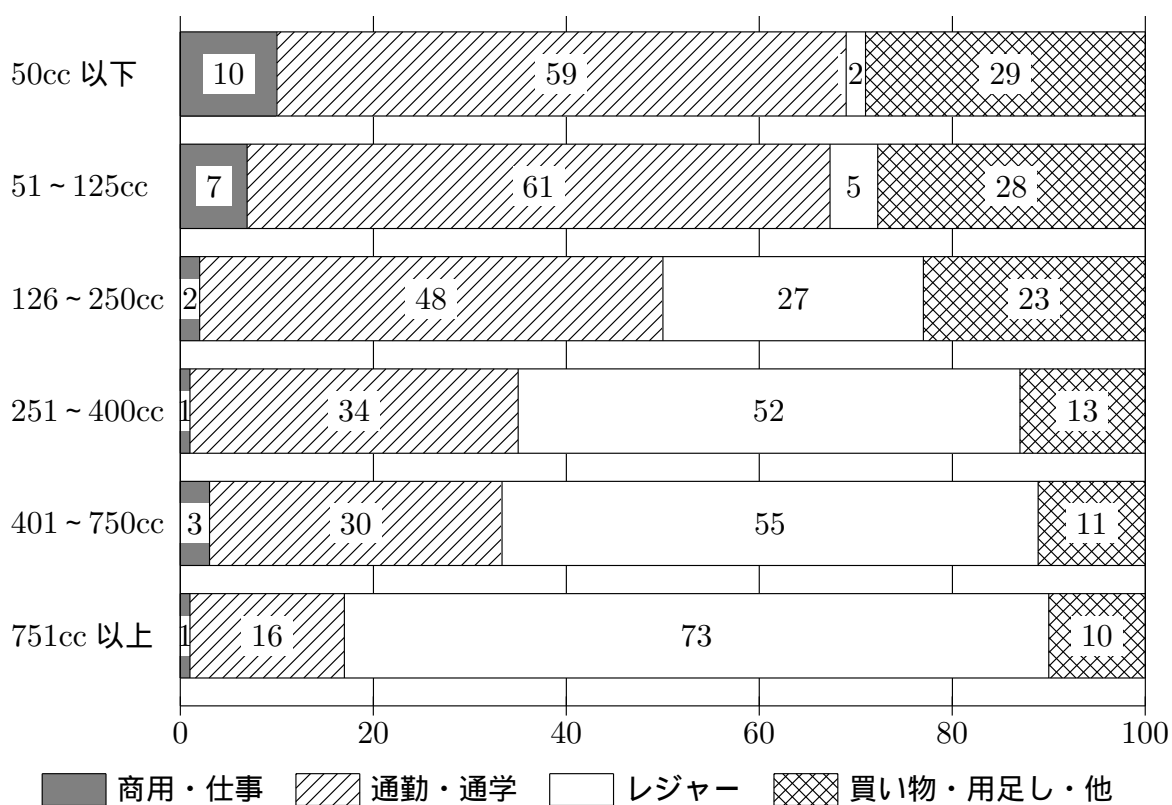


Fig. 1.6 排気量別二輪自動車の使用用途

出典：『2011 年度 二輪車市場動向調査』[6]

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 [7] 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は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 [8] ．

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、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なく行える可能性があり、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 つ目は二輪モデルを用いて二輪シミュレータを動かす分野、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を通じてシミュレーション環境下での評価を行う分野、3 つ目はヘッドアップディスプレイのインタフェースを用いるという分野である。

1.4.1 二輪シミュレータ関連

Modelica^{*1}等のモデリングソフトを用いて二輪モデルを作成は行われている [9] . これらのモデリングソフトを実行するにあたって、実際の走行状況も含めて全てモデリングソフト内で解決させている事が多い。そのため、一定実験条件で再試行を何度も繰り返す事ができ、かつ微妙な条件変化との比較を行いやすいメリットが有る反面、モデルと現実の差異や人間の実験条件に対する反応の入力を行うことができない欠点が存在した。そこで、実際の二輪シミュレータを用いる研究が行われるようになった [10] [11] . これらの研究では二輪シミュレータの筐体に着目し、ユーザに実際のバイクからエンジンなどの推進に使われるコンポーネントを外したものが使われている。ユーザインタフェースに着目し構築されたシミュレータだが、STISIM-Drive^{*2}を用いたドライビングシミュレータは、被験者の水平視野角が 60 度～180 度の範囲でしか実現できておらず、臨場感が足りない。二輪シミュレータを構築する際、視覚特性が非常に重要であり、水平方向の視野角だけでなく二輪の視覚特性を考慮した垂直視野角も重要となってくる。それに伴い路面の広角化や、立体視を行うことにより臨場感向上が期待できると言われるようになってきたが、被験者は前方にしか視覚情報の提示が行われていない [12] . 本研究では、二輪シミュレータはスクータ型を用い被験者が現実に比べ違和感なく使える筐体を利用し、さらに被験者の視野角が水平・垂直方向でより広域で確保できるシミュレーション環境を構築した。

1.4.2 シミュレーション環境関連

被験者の視野角が広角であるシミュレーション環境として、没入型ディスプレイがある。没入型ディスプレイ環境化でのドライビングシミュレータ環境は先行研究より、四輪自動車のシミュレータとしては有効なシミュレーション方法である事が判っている [13] [14] . 本研究では二輪自動車のシミュレータとしても利用できるのではないかと先行研究を参考とし、二輪自動車のシミュレーション環境を構築した。

*1 <https://www.modelica.org/>

*2 <http://www.stisimdrive.com/>

1.4.3 ヘッドアップディスプレイ関連

四輪自動車の運転時の視認距離の研究は古くから行われており，テストコースを用いた車線変更時では運転者の注視点は前方 15 m ~ 30 m の範囲に分布している事が判っている [15]．その背景のもの，ヘッドアップディスプレイのインタフェースを四輪自動車で利用する試みは近年研究が進んでいる [16]．しかし，二輪自動車にヘッドアップディスプレイを利用する試みはほとんど考えられてこなかった．理由としてはヘッドアップディスプレイの利用が直射日光かでない，屋内環境を想定していたからであった．本研究では屋外でも充分利用可能であるヘッドアップディスプレイの設計構築を行い，二輪自動車にヘッドアップディスプレイインタフェースの有効性を検証した．

1.4.4 標準規格

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，シミュレーション環境を構築するにあたり，自動二輪環境への反映は極力国際規格に沿う形で反映させた [17] [18] [19] [20] [21] [22]．実車環境で実験を行う事を想定し構築したシステムは，シミュレーション環境と実車環境での比較検討が容易に行えるようになると期待できる．

第2章

運転環境下におけるヘッドアップディスプレイ

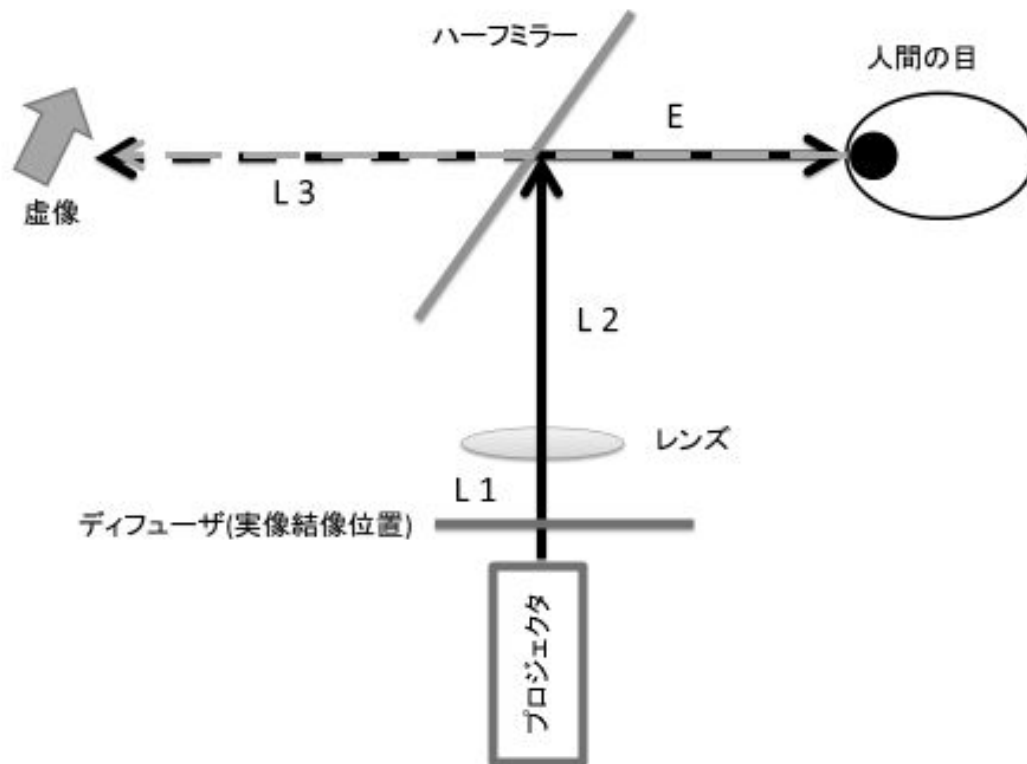


Fig. 2.1 ヘッドアップディスプレイ構成要素

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。

2.1.1 構成要素

ヘッドアップディスプレイの構成要素を Fig. 2.1 に示す。大きく分けて3つあげる事ができる。

1. ハーフミラー
2. ディフューザ(実像結像位置), 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。

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。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。レンズの公式とは、

- 1次結像点からレンズまでの距離を A
- レンズから虚像までの距離を B
- レンズの焦点距離を F

とした時に、下記の公式の通り表されるものである。

$$\frac{1}{A} + \frac{1}{B} = \frac{1}{F}$$

レンズの公式に必要な、ヘッドアップディスプレイ構成図 (Fig. 2.1) で示した各距離を、

- 1次結像点からレンズまでの距離を $L1$
- レンズからハーフミラーまでの距離を $L2$
- ハーフミラーから虚像までの距離を $L3$

とした時、下記の通り表すことができる。

$$\frac{1}{L1} + \frac{1}{L2 + L3} = \frac{1}{F}$$

Table 2.1 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)
9000.0	90.900	91.827
8000.0	90.900	91.944
7000.0	90.900	92.095
6000.0	90.900	92.298
5000.0	90.900	92.583
4000.0	90.900	93.013
3000.0	90.900	93.740
2000.0	90.900	95.228
1000.0	90.900	99.989

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，虚像の焦点距離を変える事が可能である事がわかる．

2.1.2 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．つまり，レンズの公式を用いて提示する虚像の距離は Table. 2.1 の対応表を用いて設計できる．例えば虚像距離 (B) を 5 メートルにすると，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 93.583mm となる．

2.1.3 ヘッドアップディスプレイ構造

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投影装置の詳細設計を行った．投影装置は，Table. 2.1 に基いて，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. 2.2．また，ハーフミラーは透過率 92.6% の厚さ 2mm のアクリル板を用いた．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．その結果，2.3 のような設計となった

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．

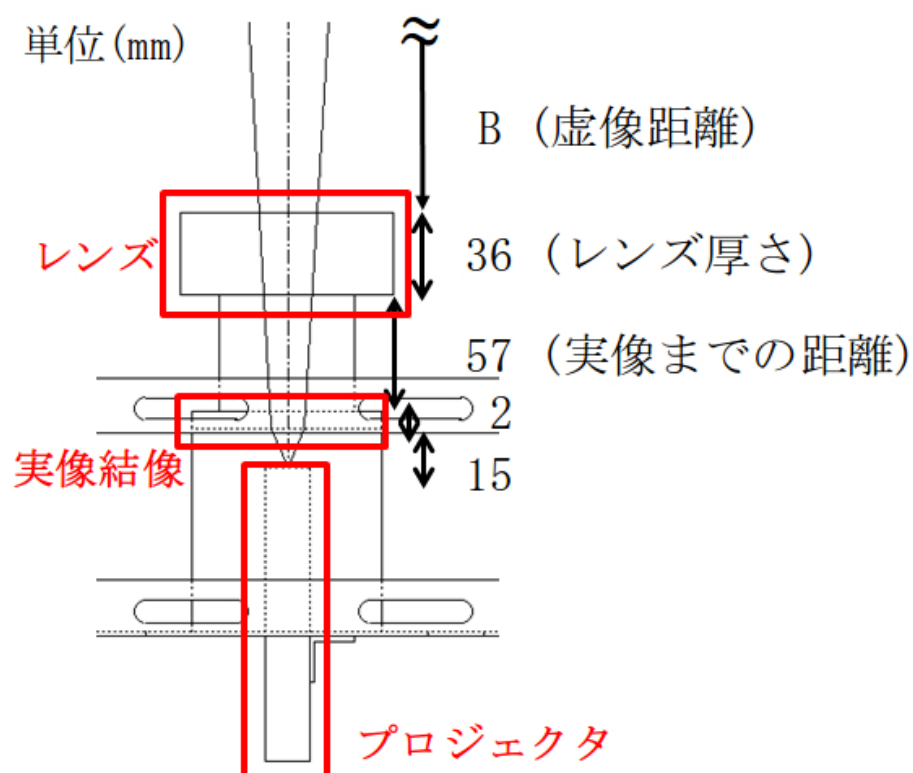


Fig. 2.2 投影装置の構成

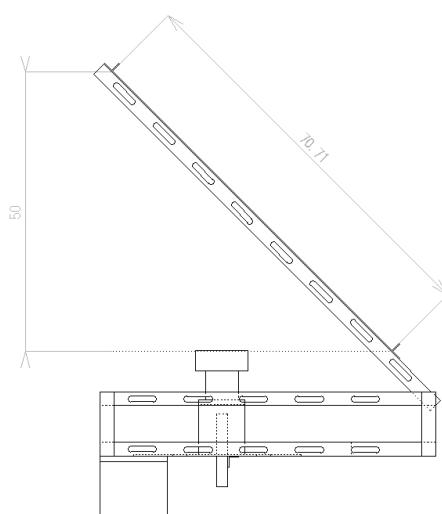


Fig. 2.3 ヘッドアップディスプレイ設計図

2.1.4 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. 2.2 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．先行研究では運転中に視認距離が 1 5 m ~ 3 0 m の範囲で大きく変動すると言われているが，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るため，運転時の視認距離に関わらず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 種類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いて欲しい

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. 情報を注視し，認識して欲しいに該当する．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は少ない．しかし体感スピードのみでは速度を見誤り重大事故

Table 2.2 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

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. 情報を注視してほしくないが、何かが出ていると認識していて欲しいに該当する。

2.2.1 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考えられる。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、無意識に焦点距離の調整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ボンネットの先まで3m程度となるが、水平線へ近い方は10m以上になることが四輪自動車における先行研究で判明している。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、交差点において赤信号で停止中の際、目の前にトラックが停止している場合と車両がない状態で、同じ前方角度で視ていたとしても、焦点距離は変わってしまう。前者はトラックの後部までの距離が焦点距離となり、後車では交差点の向こう側や交差点中央付近の視ている箇所に焦点距離が調整される。これは、走行中も同様であり、前方にある場合は前方車両との車間に影響し最大でも車間距離の焦点距離を取り、前方に走行中の車両がない場合は走行スピードに応じた相応の焦点距離を取る。つまり、停止中・走行中の状態に関わらず、車両前方の情強に柔軟に対応する事が重要であり、かつどのような状態においても、人間の目にとって焦点距離の調整に時間の掛からない距離に情報を配置しなければならない。なお、先行研究より、表示コンテンツの焦点距離を 3 m 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色の濃さの向上もあり、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。これは、実際の屋外環境に製作したレーザ光プロジェクタによるヘッドアップディスプレイで使用し、Fig.?? の通り、充分に目視可能である事を確認している。

2.4.2 表示コンテンツ

本研究では 1. 情報を注視し、認識して欲しいに着目し、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、利用する矢印は ISO6727:2012 の A.08 に従



Fig. 2.4 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の屋外使用確認 (写真)

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．

第3章

シミュレーション環境

3.1 スクータ型シミュレータ運転筐体

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ヘ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

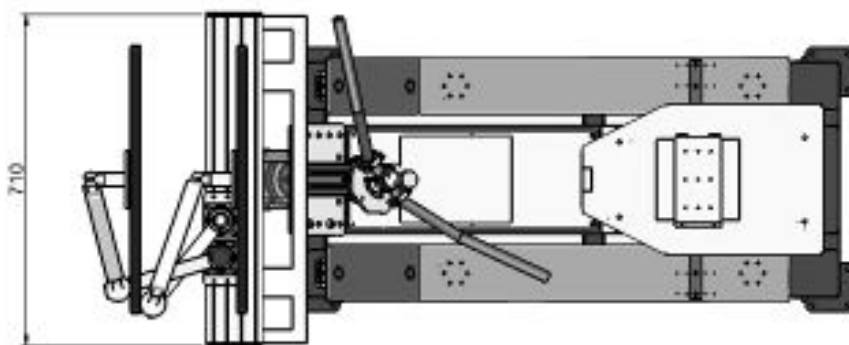


Fig. 3.1 スクータ型シミュレータ（設計図）



Fig. 3.2 スクータ型シミュレータ (写真)

ライダーのハンドル操作へ反力が反映される．シミュレータはアナログ信号をアナログ-デジタル変換回路 (ADC) を経由しデジタルシグナルプロセッサ (DSP) を通じて，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構成図を示す．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 内部の処理は，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ション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．

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

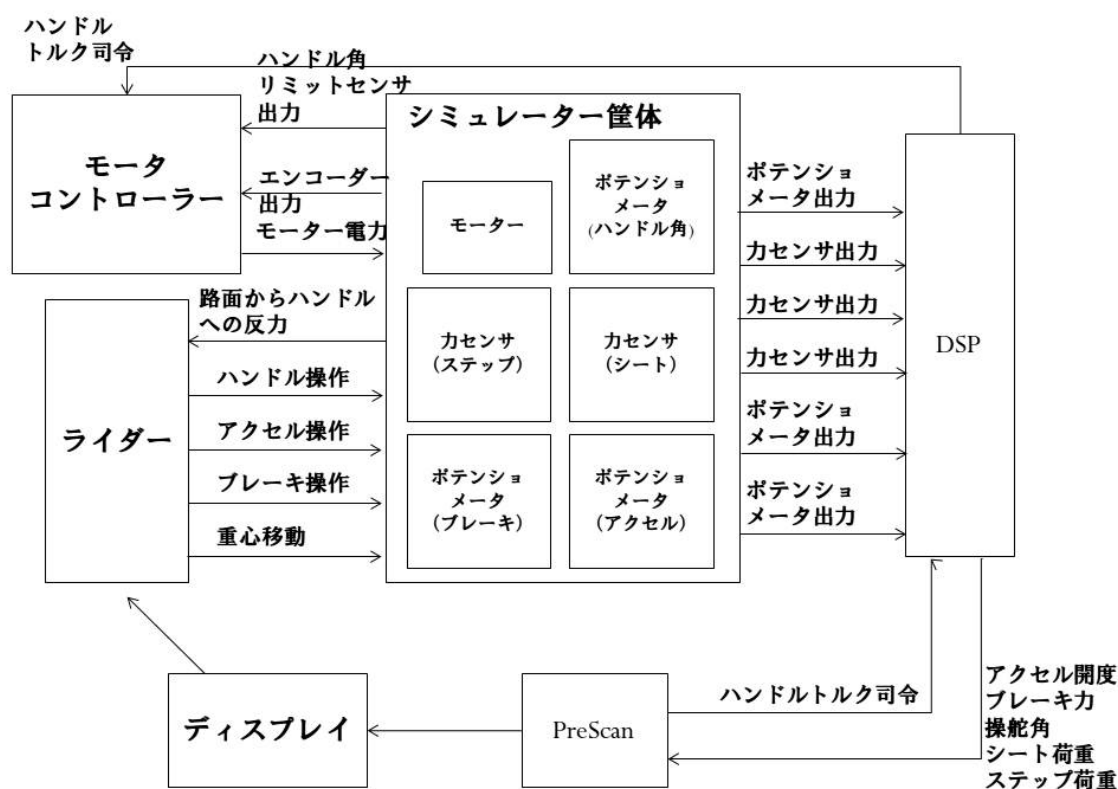


Fig. 3.3 スクータ型シミュレータとその構成図

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。使用される車両モデルは便宜上四輪車向け二輪モデルを採用し、ブレーキ等の自動二輪車特有の入出力に関しては、Table. 3.4 のように適宜調整を行った。これらの調整は Fig. 3.1 の計算機より行われている。DSP へのデータ送信が正常にすると Fig. 3.5 のようなメッセージが Matlab 上に表示される。なお、本システムの構築、設定、運用させるにあたり dSPACE Japan 株式会社の製品を利用している^{*2}。Matlab/Simulink の設定が正常に終了した後、二輪シミュレータより正しく信号を受信し処理を行なえているかどうかを、dSPACE Japan 株式会社の製品である、ControlDesk を利用することにより、モニタリングが可能となっている。モニタリングの様子は Fig. 3.6 に図示する。出力されてくる信号 16 個を全てチェックしつつ、信号の原点調整（ゼロ点調整）を行う。ポテンシオメータより出力されてくる信号は日により誤差があるため、実験時には毎回原点調整を行う必要がある。

^{*2} <http://www.dspace.com/ja/jpn/home.cfm>

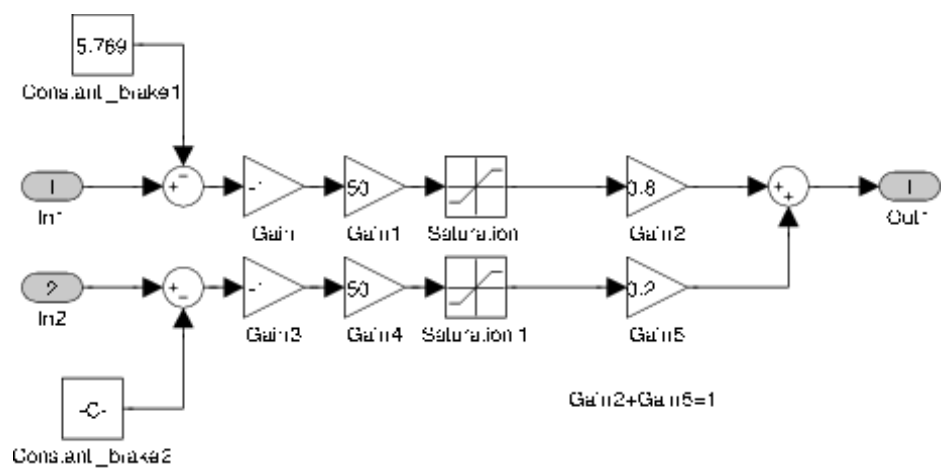


Fig. 3.4 自動二輪車用ブレーキ処理 Simulink ブロック

原点調整は，スクータ型シミュレータ筐体のハンドルを正面に向かせた状態で起動し，起動後操作を行わずに値を確認し，Fig. 3.6 の右側のアクセル・ブレーキ（左右）・ハンドルの各数値が 0 に出来る限り近づくよう調整を行う．なお，出力されてくる値は常に変動しており一定でないため，調整はおおよそ 0 で調整を行う．調整後，アクセル・ブレーキは値としてマイナスに振れてしまう事が半分発生してしまうが，受け付ける値の最低値を 0 として扱っている．例えば，Fig. 3.7 はブレーキの原点調整が行

Table 3.1 Matlab/Simulink 計算機

カーネル	windows32
カーネルリリース	2.6.0
カーネルバージョン	6001
ハードウェア	i686
プロセッサ	Intel Core i7 CPU 850@ 2.80GHz
オペレーティングシステム	Windows Vista 32bit
サービスパック	SP1
RAM	4.00GB
グラフィックカード	GTX680

```

LOADING APPLICATION "dspace_eth_solution_example1.sdf" ...
[#1] ds1006 - RTLIB: Application is located in RAM. (0)
[#2] ds1006 - RTLIB: DS1006 serial number: 219727 (0)
[#3] ds1006 - RTI: Initializing ... (720)
[#4] ds1006 - : ##-----## (0)
[#5] ds1006 - : ## DS4504 ETHERNET solution 1.2.0 startup code ## (0)
[#6] ds1006 - : ##-----## (0)
[#7] ds1006 - : File "C:/DSPACE/MATLAB/RTI1006/SFcn/ds4504_init.c" compiled at Mar 15 2010, 18:29:50 (0)
[#8] ds1006 - : DS1006 Processor Board 3.3-0 @ 2596620Hz (SN 219727) (0)
[#9] ds1006 - : RTLib1006 Version 1.7 (0)
[#10] ds1006 - : DS1006 Firmware Version 1.2.19 (0)
[#11] ds1006 - : ##-----## (0)
[#12] ds1006 - : (0)
[#13] ds1006 - : # Requesting a restart of the ETX ... (0)
LOADING FINISHED

MAKE PROCESS SUCCEEDED

### Successful completion of Real-Time Workshop build procedure for model: dspace_eth_solution_example1
*** Finished RTI build procedure for model dspace_eth_solution_example1
-----

>>

```

Fig. 3.5 DSP データ送信完了 Matlab メッセージ

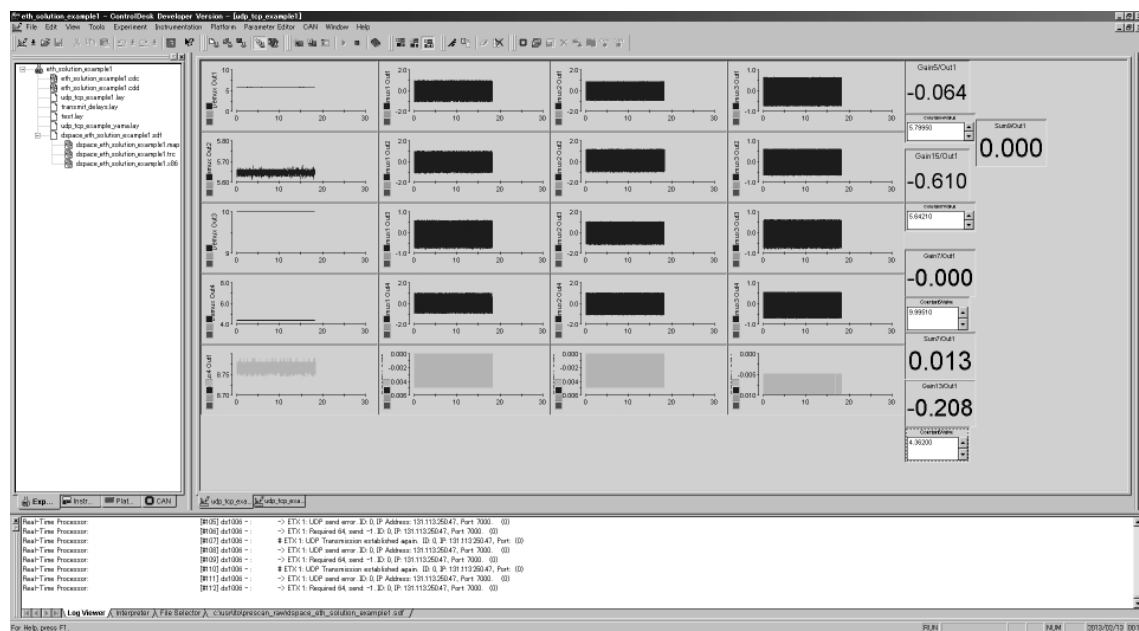


Fig. 3.6 ControlDesk によるモニタリングの様子

われている様子を図示している．左右のブレーキは別々に原点調整を行うための調整用ボックスを二つ用意し，手動での値入力及び微増減調整用のボタンを用意した．テキストボックスの上にある値が出来る限り 0 になるように微調整を行い，最後に右の数値ができるかぎり 0 で一定となるように調整を行う．上記で調整した結果は，Fig. 3.4 へ動的に反映され，DSP 内部での調整を視覚化している．アクセル・ハンドル

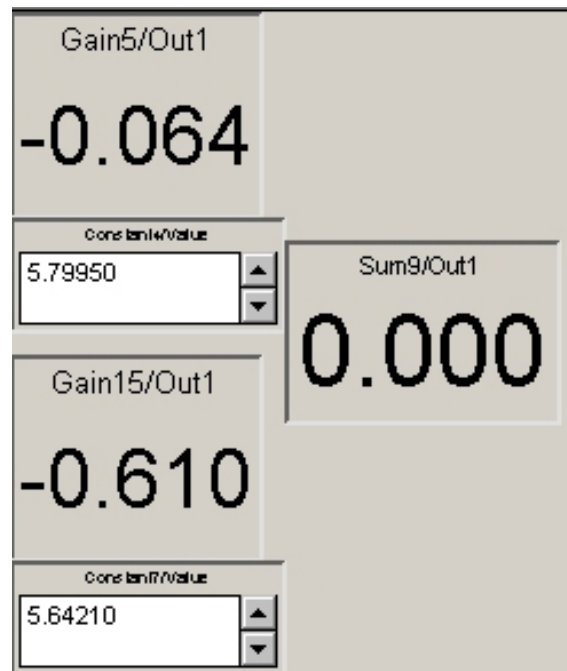


Fig. 3.7 ControlDesk からブレーキの原点調整

の原点調整も同様に行う事で、ドライビングシミュレータへのパケット転送の準備が整う。なお、Fig. 3.6 の下部には DSP 内部の情報が出力される。

```
# ETX 1: UDP Transmission established again. ID: 0, IP:131.113.***.***, Port: (0)
-> ETX 1: UDP send error ID: 0, IP Address 131.113.***.***, Port 7000. (0)
-> ETX: Required 64, send -1, ID:0, IP:131.113.***.***, Port:7000 (0)
```

上記に掲載しているログは通信エラーの一例であり、Matlab/Simulink 上では正しく動作しているものの、送信先の計算機へ UDP/IP を送ることに失敗している事を示唆している。本メッセージの失敗原因としては、ネットワークセパレータやファイアウォール等のネットワークセキュリティの問題である可能性が強く、ネットワーク設定の見直しやネットワーク管理者への連絡を通じて解決を行う。

3.2 ドライビングシミュレータ

運転者に対して描画した仮想世界を表示するために、DSP よりドライビングシミュレータへ情報の送信を行なっている。本研究では PreScan を用いた 3 画面ディスプレイ出力での動作確認を行い、没入型ディスプレイ出力での実験を行った。

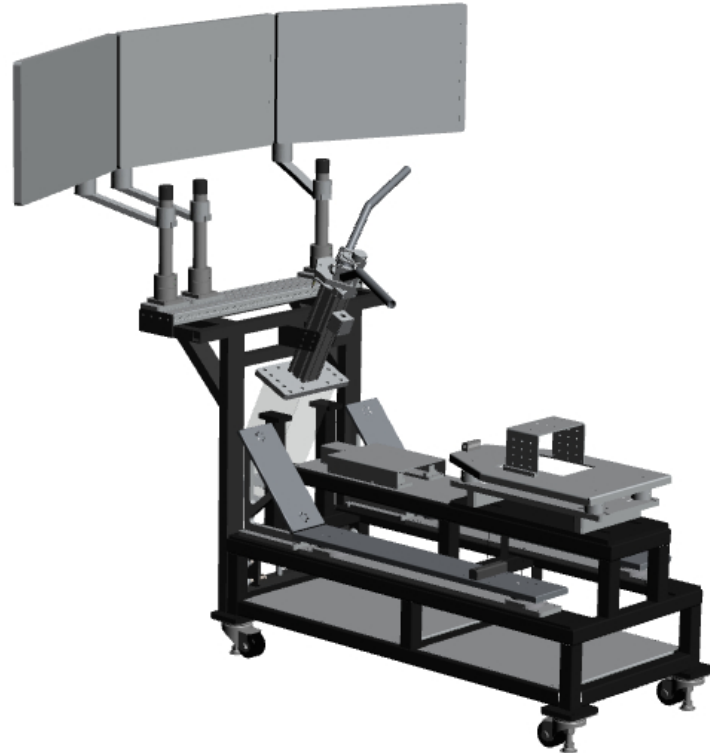


Fig. 3.8 スクータ型シミュレータへ3画面取り付け設計図

3.2.1 3画面ディスプレイ

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、Fig. 3.8 の通り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 Fig. 3.9。これらの世界は全て PreScan 上で町並みを自由に配置でき、信号や対向車、歩行者の設定も自由に行うことができ、現実に近い交通環境の再現が可能となっている。3画面ディスプレイでのシミュレーションの際に用いたシミュレーション環境の地図を Fig. 3.10 に示す。

3.2.1.1 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



Fig. 3.9 Prescan によるシミュレーション映像例



Fig. 3.10 シミュレーション地図

ラメータはフロントコーナリングパワー, 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. PreScan で用意されている二輪自動車モデルの各パラメータ及びその値は Table 3.2 にまとめる. また,

Table 3.2 PreScan 内二輪自動車モデルのパラメータ

パラメータ	値
車体質量	390 [kg]
車体のヨー慣性	43 [kgm ²]
フロントコーナリングパワー	24248 [N/rad]
リアコーナリングパワー	35389 [N/rad]
重心からフロントタイヤまでの長さ	0.82 [m]
重心からリアタイヤまでの長さ	0.68 [m]

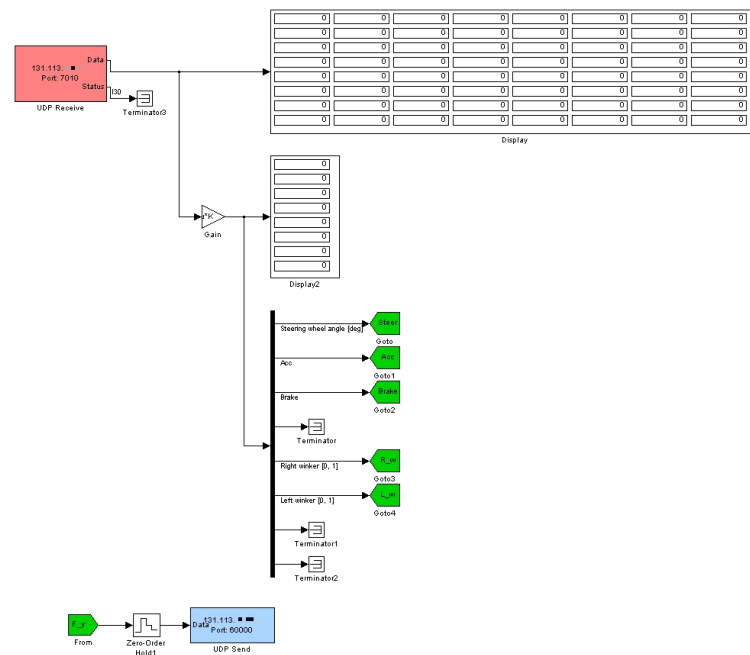


Fig. 3.11 PreScan Ethernet 経由受信ブロック

PreScan 内部の二輪自動車モデルや実行に関する制御は Matlab 2010a/Simulink で動作可能なモデルで作成されており，Matlab/Simulink のブロックを使用し，スクータ型シミュレータとの連携を実現できる 3.11。

スクータ型シミュレータより受信したデータは Goto を用いて PreScan 内の二輪モデルへ送られる．送られたデータは二輪モデル内でパラメータ情報を元に運転情報が計測された，アクセル・ブレーキ・ステアリング角度が計算され，映像に反映される．また，これらの情報をもとに車体の傾きも計算され，実際の映像も計算された傾きで映像が傾く．スクータ型シミュレータのシミュレータとしての妥当性は，Fig. 3.10 を元に，走行するコースを Fig. 3.13 のように設定した．本コースでは，既に設定済みの対向車や交差点における歩行者の設定が行われている．また，運転者の走行車線には

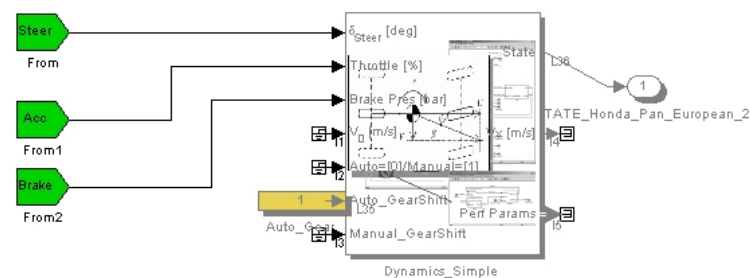


Fig. 3.12 PreScan 二輪モデルブロック

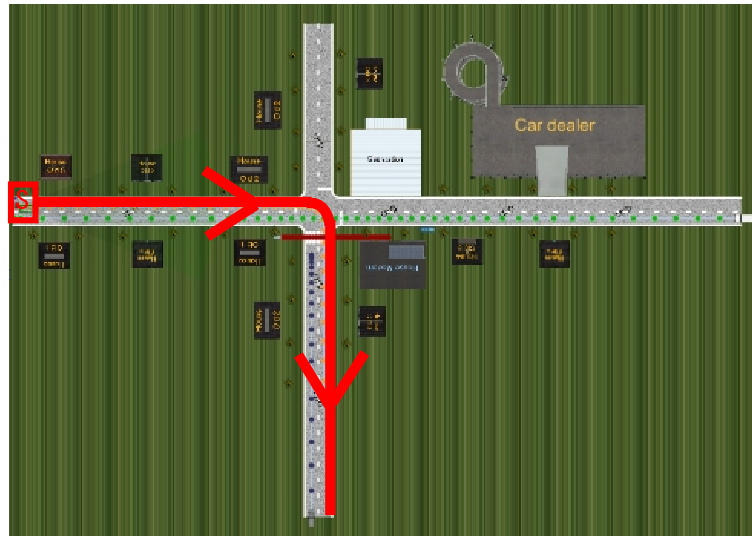


Fig. 3.13 PreScan 内走行コース

一定の低速度で移動している四輪車も存在しており、右折するに当たって、後方の確認等を促す事も可能となっている。

PreScan を用いた 3 画面ディスプレイによるシミュレーションは、天気・交通量等といった条件を細かく設定でき、PreScan 内部で管理されているモデルを利用・改良する事により様々な実験条件を繰り返し行う事が容易である。ただし、描画はグラフィック性能に大きく依存し描画物の充実を測ると処理落ちを起こしてしまい、シミュレーション時間を現実時間と同等に扱えずシミュレーション環境の妥当性を取ることが難しくなる。本研究においても、当初利用していたグラフィック性能では十分な描画速度を発揮することができず、計算機のグラフィックカードを新たに購入する必要があった。また、ドライバの設定・描画される建物や環境がどうしてもディスプレイの範囲内となってしまうため、運転者が本来見えるはずの現実寸法で描画物体を捉えることが難しく、本当に運転している気にさせる事が難しいと考えられる。この問題を解決するためには、ディスプレイとして大きいものを用意する事により可能ではあるが、現実での運転を比べた場合、運転者の見える範囲のほぼ全てをディスプレイで囲む必要があり、小型・大型ディスプレイを複数組み合わせ、計算機 1 台で全てを描画するのは、仕様上かなり厳しいとかがえられる。本研究では、ディスプレイ環境として没入型ディスプレイを利用することにより、本問題を解決する事とした。

3.2.2 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。

3.2.2.1 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利用者の頭部位置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生成を行っている。システムの構成を Fig.3.14 に示す。K-Cave システムの寸法は下記に記す。

- 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

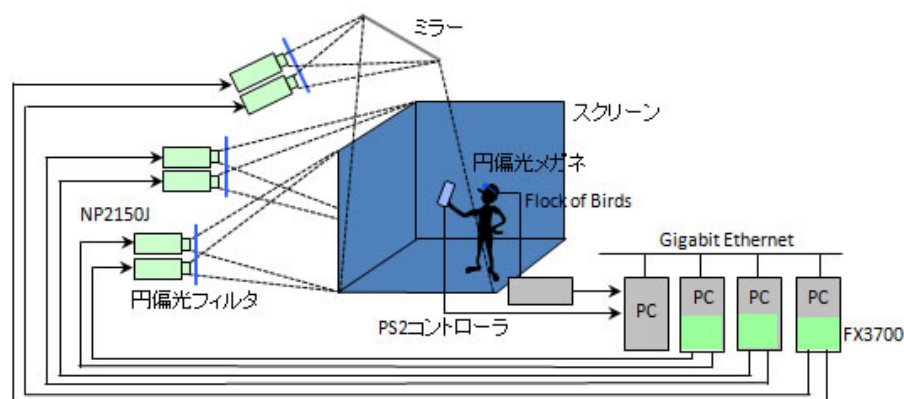


Fig. 3.14 K-Cave 構成図



Fig. 3.15 日吉駅近辺路上再現図

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タを使用する事ができるようになる. DSP より UDP/IP で送信されるデータを K-Cave 計算機へ送る. K-Cave でシミュレーション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再現した地図を用いている. 構築の様子は Fig. 3.15 のとおりである.

3.3 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. 視線を用いる事とした理由としては, 本研究としての情報提供は視覚への情報提示を考えているからである.

3.3.1 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. 3.16 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．出力されるデータは Table 3.3 のフォーマットに従う．それぞれのデータが何を示すか Table 3.4 に記す．本研究において視線を分析するにあたり，アイマーク座標データ (視差補正)X，アイマーク座標データ (視差補正)Y を用いた．これは，アイマークレコーダの視野カメラと被験者の眼球位置が異なるため，キャリブレーションをした距離と，異なる距離を被験者が見ると，アイマークが実際に視ているものからずれて表示されてしまうため，そのズレを視差補正したデータを使う事が好ましいとされている．また，DATA STATUS にはエラーを示すデータがそれぞれ格納されている．記録されるエラーは，右眼や左眼の未検出や視差補正計算の計算エラーといった情報が格納されている．その際，LX,LY,LP,RX,RY,RP,CX,CY のどれかにエラーを示す値 “999.0” が記録される．この仕組みを用いて，エラーを取り除いて分析を容易に行うことが可能となる．なお，エラーが出てしまう原因としては，被験者の瞬きや外部光源の影響，被験者の眼鏡やコンタクトレンズの有無，化粧等といった影響が多数考えられるため，エラーが出てしまうのを最小限に抑えつつも全て排除するのは困難である．データ分析の際には，エラーを最小限に抑えた実験を EMR-9 本体のキャリブレーションや各種設定を通じて行い，充分計測の行える事を確認した後実験を行なっている．分析の際は “999.0” の



Fig. 3.16 視線計測装置 EMR-9

Table 3.3 EMR-9 データ出力例

No.	Time	FrameCounter	LX	LY	LP	RX	RY	RP	CX	CY	D	D-Sts	M-Sts	E-Sts
0	0.000	00:00:05:058	999.000	999.000	999.000	999.000	999.000	999.000	999.000	999.000	999.000	0x02810200	0x00000000	0x00000000
1	0.017	00:00:05:059	408.400	158.400	1.730	414.000	164.800	1.830	410.200	161.300	20.470	0x00000000	0x00000000	0x00000000
2	0.033	00:00:06:000	405.200	159.800	1.720	413.500	166.500	1.790	409.400	163.200	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
3	0.050	00:00:06:001	404.100	163.700	1.670	413.800	169.000	1.760	408.900	166.300	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
4	0.067	00:00:06:002	401.900	166.200	1.670	413.300	169.900	1.800	407.600	168.100	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
5	0.083	00:00:06:003	401.100	166.400	1.690	412.800	169.700	1.760	407.000	168.000	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
6	0.100	00:00:06:004	401.900	167.600	1.680	412.100	171.900	1.780	407.000	169.700	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
7	0.117	00:00:06:005	399.500	168.400	1.700	411.400	173.500	1.790	405.400	170.900	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00004140
8	0.133	00:00:06:006	399.300	171.200	1.700	411.200	174.000	1.800	405.300	172.600	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00004140
9	0.150	00:00:06:007	398.500	173.100	1.670	410.900	177.000	1.800	404.700	175.000	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00004140
10	0.167	00:00:06:008	390.200	175.600	1.700	403.900	181.100	1.840	397.000	178.300	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00004000
11	0.184	00:00:06:009	366.300	171.700	1.730	379.700	178.100	1.850	373.000	174.900	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
12	0.200	00:00:06:010	362.600	174.900	1.700	377.500	178.500	1.840	370.100	176.700	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
13	0.217	00:00:06:011	361.500	174.800	1.740	376.500	180.100	1.840	369.000	177.500	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
14	0.234	00:00:06:012	362.500	175.600	1.710	375.600	180.000	1.840	369.000	177.800	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
15	0.250	00:00:06:013	363.100	176.600	1.720	376.500	180.600	1.850	369.800	178.600	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
16	0.267	00:00:06:014	362.700	175.600	1.730	377.300	181.500	1.860	370.000	178.600	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
17	0.284	00:00:06:015	363.200	178.300	1.720	377.000	182.900	1.850	370.100	180.600	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00004140
18	0.300	00:00:06:016	363.100	178.700	1.700	376.800	183.000	1.870	369.900	180.800	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00004140
19	0.317	00:00:06:017	363.200	178.500	1.710	378.000	184.800	1.860	370.600	181.600	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00004140
20	0.334	00:00:06:018	362.300	182.700	1.680	376.000	184.500	1.870	369.200	183.600	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00004140
21	0.350	00:00:06:019	315.300	177.300	1.740	340.800	180.100	1.920	328.000	178.700	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
22	0.367	00:00:06:020	290.900	178.600	1.710	306.900	176.700	1.850	298.900	177.600	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
23	0.384	00:00:06:021	293.000	177.200	1.710	307.800	175.300	1.860	300.400	176.200	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
24	0.400	00:00:06:022	294.400	177.300	1.680	308.600	174.100	1.840	301.500	175.700	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000
25	0.417	00:00:06:023	294.700	176.700	1.680	309.600	174.100	1.810	302.200	175.400	100.000	0x00000000	0x00000000	0x00000000

Table 3.4 EMR-9 CSV 出力 データの意味

略語	意味	単位
No.	シーケンス番号	なし
Time	時間	秒
FrameCounter	フレームカウンタ	[HH:MM:SS:FFF]
LX	アイマーク座標データ (左眼)X	ピクセル
LY	アイマーク座標データ (左眼)Y	ピクセル
LP	左瞳孔径	ミリメートル
RX	アイマーク座標データ (右眼)X	ピクセル
RY	アイマーク座標データ (右眼)Y	ピクセル
RP	右瞳孔径	ミリメートル
CX	アイマーク座標データ (視差補正)X	ピクセル
CY	アイマーク座標データ (視差補正)Y	ピクセル
D	視線距離	メートル
D-Sts	DATA STATUS	なし
M-Sts	MEASUREMENT STATUS	なし
E-Sts	EVENT STATUS	なし

記録されている行をスクリプト処理で排除を行なっている．使用したスクリプトは Appendix. [A.3.1](#) に示す．

また，停留点をプロットする機能を本計測器は備えている．しかし，最小停留点判定基準の時間が 0.1 秒と設定されており一般的な人間の反応時間よりかなり早い時間設定となっている．また，本機能を有効にすると，停留円を動画に書き出してしまうため映像による分析が困難となってしまう．そのため，本研究では停留点を出力される CSV ファイルより，約 0.2 秒の注視をプログラムを組んで抽出した．抽出するのに使用したプログラムは Appendix. [A.3.2](#) となっている．

3.3.2 シミュレーションシステム構成

本章では，シミュレーション環境について述べた．本研究の実験を行うにあたり，最終的なシミュレーションシステム構成図を Fig. [3.17](#) に示す．ライダーからは運転情報と頭部位置を取得し，運転情報は DSP を経由して CAVE 計算機で頭部位置と統合され，ライダーの動きに併せたシミュレーション映像が出力される．ヘッドアップ

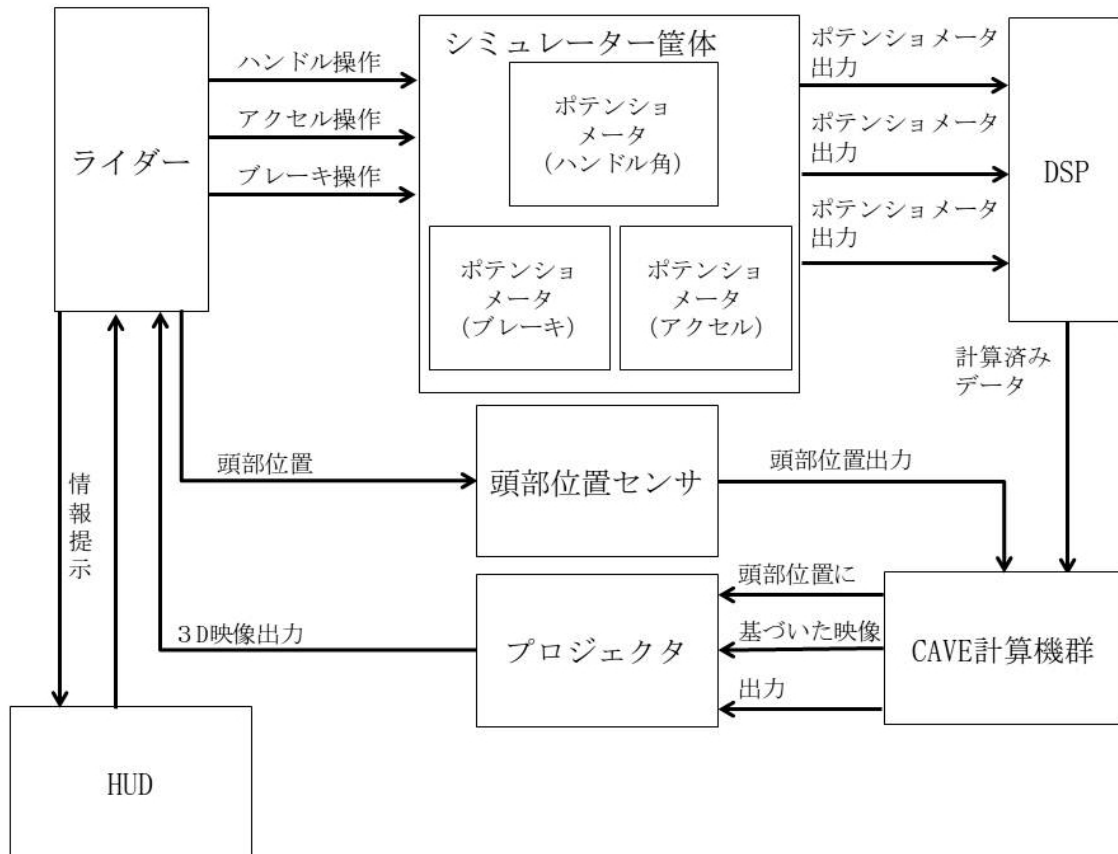


Fig. 3.17 シミュレーションシステム構成図

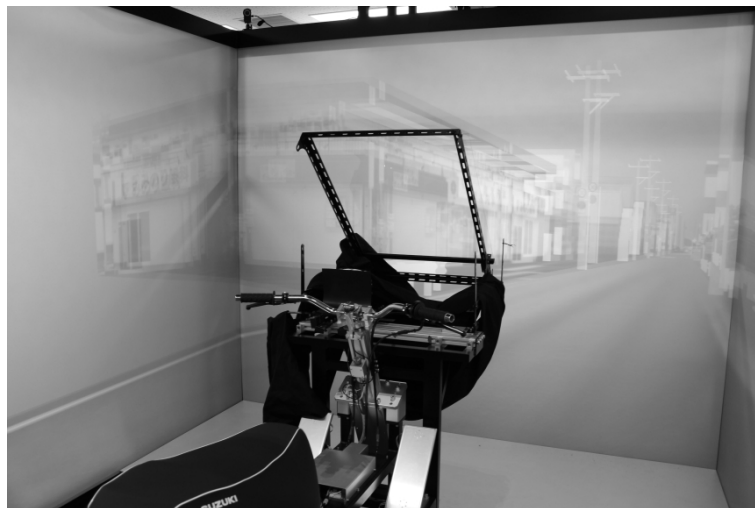


Fig. 3.18 シミュレーションシステム全体像

ディスプレイの出力，被験者による閲覧は独立したシステムとなっており，本シミュレーション環境の全体像を Fig. 3.18 に示す．

第4章

実験



Fig. 4.1 予備実験 走行コース

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1秒あたりの視線移動に関して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. 4.2 に示す。なお、視線特性の計測には EMR-9 を用いた。実験に利用した場所は、慶應義塾大学内の私道を用い、事前に大学より許可の降りた範囲で行った。本実験を行うにあたり、ドライバー及び他の歩行者への安全を最大限配慮した。まず実験を行う日として、歩行者の少ない曜日として日曜日を選んだ。そして、歩行者が横断可能な箇所に実験を補助してもらう人員を配置し、歩行者の横断の際にはドライバに停止を促した。他の車輛も通行を行うキャンパスとしては正面にあたる、主要通路だったので道路そのものは実験のために封鎖を行う事はできなかった。よって、他の車輛の通行の際は実験の補助を行う人より車輛の通行の可能性を被験者に促してもらい、走行するにあたって注意を払ってもらった。コースを 4.1 に示すように、完全な直線の道を往復する形で、一回の計測に二往復してもらい、2 回実施した。



Fig. 4.2 予備実験 実車走行写真



Fig. 4.3 予備実験 視線計測装置による計測風景

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．停留点とみなす条件は下記の通りである．

- 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ある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、Table. 4.1 にまとめた．また、視覚化するために Fig. 4.4 の通り、停留点をプロットした．

Table 4.1 停留点の座標と停留時間 (フレーム数)

x 軸	y 軸	停留時間 (フレーム数)
609	340	15
355	278	47
444	317	21
357	278	17
318	220	26
360	209	76
232	213	24
428	234	20
306	211	53
31	235	19
270	212	72
319	217	27
325	212	55
432	235	32
次のページに続く		

x 軸	y 軸	停留時間 (フレーム数)
339	328	21
154	236	26
408	263	113
331	216	25
172	233	16
360	215	215
329	218	65
309	311	15
260	224	428
239	265	30
306	347	23
343	232	122
368	247	19
326	245	17
330	216	62
180	297	24
467	262	54
215	292	35
334	217	48
328	228	54
306	223	76
208	216	24
474	261	36
326	254	118
315	213	92
320	220	21
448	258	93
305	211	53
189	247	39
319	335	28
315	213	77
333	239	61
次のページに続く		

x 軸	y 軸	停留時間 (フレーム数)
592	277	24
396	279	36
340	226	67
366	243	24
340	277	19
567	254	17
331	233	35
320	220	104
276	239	53
311	197	50
330	212	23
312	233	21
308	278	62
329	218	101
310	203	47
328	234	25
344	216	25
562	225	22
328	238	122
264	255	28
337	225	132
329	281	95
294	239	61
330	226	32
284	209	33
311	233	52
239	282	23
321	203	36
326	240	19
331	184	77
331	227	14
63	231	12
次のページに続く		

x 軸	y 軸	停留時間 (フレーム数)
318	217	95
218	223	23
326	274	226
373	270	45
531	250	35
373	209	49
346	233	82
339	245	22
553	194	19
324	206	23
372	214	39
316	212	93
335	210	41
318	226	55
428	209	23
203	214	22
372	294	16
617	259	37
220	219	13
308	202	29
325	260	35
331	223	334
344	264	364
532	290	28
342	215	81
519	294	19
404	206	20
199	211	13
218	217	15
351	323	12
308	240	20
249	242	41
次のページに続く		

x 軸	y 軸	停留時間 (フレーム数)
221	199	54
226	209	16
305	210	24
300	238	50
417	241	32
267	214	53
249	213	86
339	229	88
323	246	60
446	229	89
327	221	57
334	247	23
435	263	126
339	255	119
330	282	16
278	193	36
446	235	59
308	215	15
328	276	51
325	290	165
293	242	22
458	213	36
307	231	42
329	198	49
80	239	12
329	232	60
328	278	14
321	203	76
599	200	16
419	237	15
345	206	47
325	234	109
次のページに続く		

x 軸	y 軸	停留時間 (フレーム数)
303	217	14
240	317	51
324	212	101
324	244	13
329	223	211
337	209	37
289	248	114
315	207	66
353	400	12
317	232	68
428	227	25
305	211	47
346	250	19
419	238	32
322	231	176
630	264	32
295	217	45
449	236	20
311	226	67
339	203	51
288	283	32
309	228	129
205	221	55
410	277	17
330	224	51
320	218	28
313	223	42
509	166	23
291	214	111
221	210	31
325	197	124
341	252	16
次のページに続く		

x 軸	y 軸	停留時間 (フレーム数)
421	212	45
327	286	26
459	242	25
215	210	31
330	241	68
227	354	15
336	219	64
322	204	113
317	232	17
309	233	43
328	278	14
225	223	21
85	194	14
286	330	14
330	224	165
322	200	44
265	209	54
408	215	31
576	271	12
302	260	235
325	213	43
229	227	25
341	282	47
395	234	17
331	235	25
343	258	148
319	266	38
450	228	23
223	221	13
229	227	64
374	256	28
470	246	18
次のページに続く		

x 軸	y 軸	停留時間 (フレーム数)
325	291	23
339	253	53
331	230	136
337	295	41
275	232	39
309	232	41
296	217	70
322	218	14
462	212	38
323	324	58
331	226	33
334	199	175

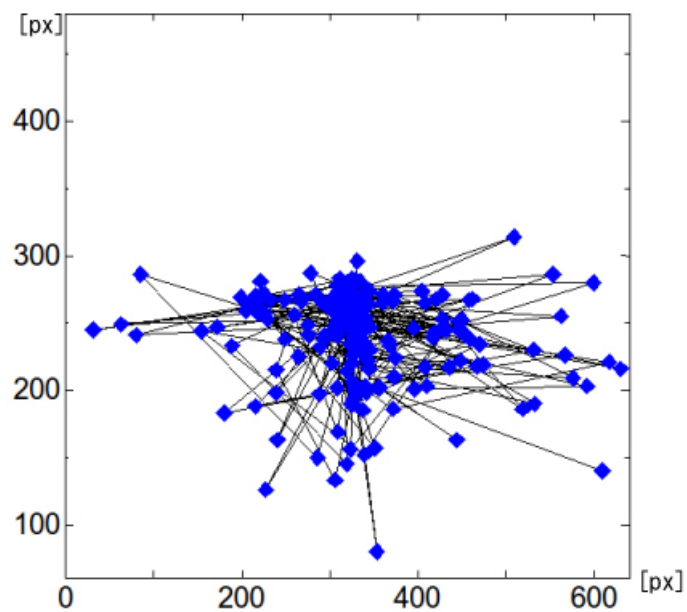


Fig. 4.4 停留点プロット図

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。また一般的に、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、上述のような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。

なお、今回は予備実験としてなので、サンプル数を優先し、データの分析を行った。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 秒以上としている。停留とみなす時間を長く設定を行う事や、停留とみなす範囲ピクセル単位で絞る事により、サンプル数を絞り、停留点の精度が向上する可能性が有る。

4.2 シミュレータ実験

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シミュレータを Fig. 4.5 のように配置をおこなった。被験者に搭乗してもらい、視線計測装置を用いて、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特定した。

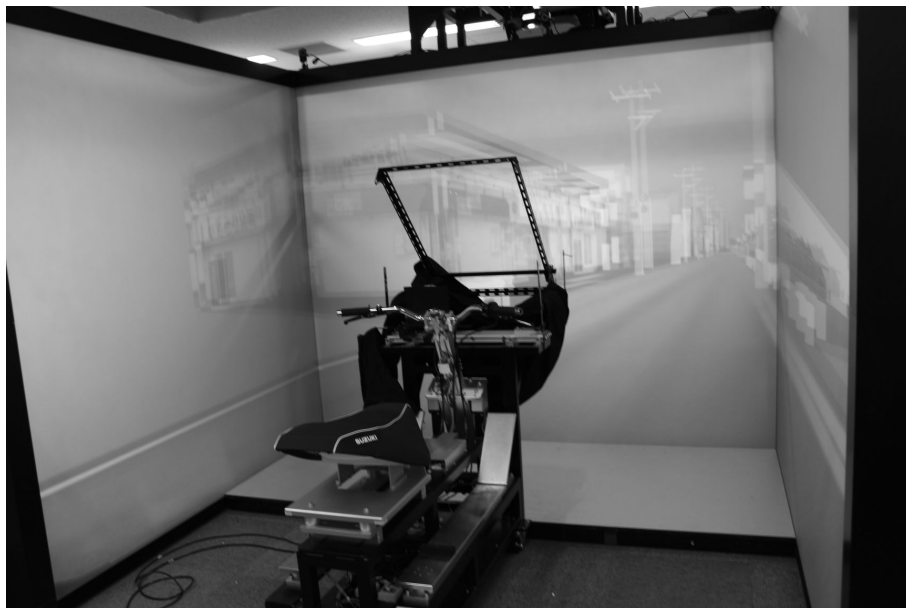


Fig. 4.5 没入型ディスプレイ中のスクータ型シミュレータ配置写真

4.2.1 表示コンテンツ

表示するコンテンツは交差点付近の運転操作を想定し、四種類用意した。それぞれ意図するサインは右折 (Fig. 4.6(a))・直進 (Fig. 4.6(b))・左折 (Fig. 4.6(c))・注意 (Fig. 4.6(d)) を示している。なお注意サインは、一時停止を促すもので、実験前に被験者へ認識した後直ぐに停止を行うようにと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. 4.7。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レータで運転操作を行なってもらった。情報提示を行った交差点を Fig. 4.8 に示す。

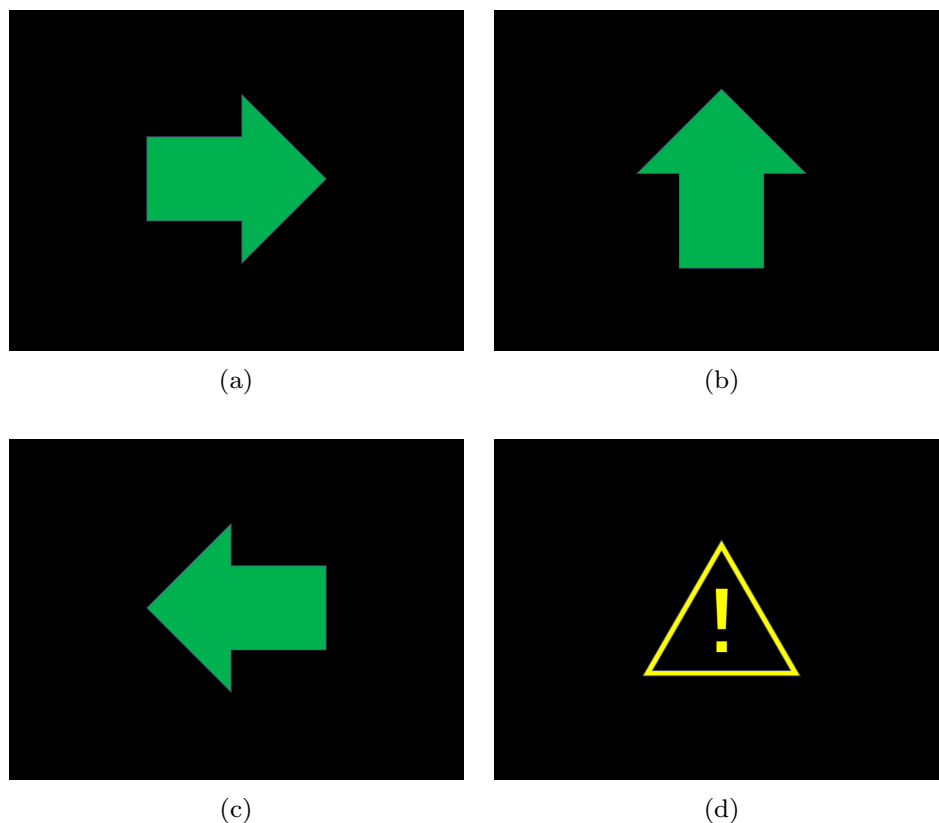


Fig. 4.6 表示情報：(a) 右折を促す表示 (b) 直進を促す表示 (c) 左折を促す表示 (d) 注意を促す表示

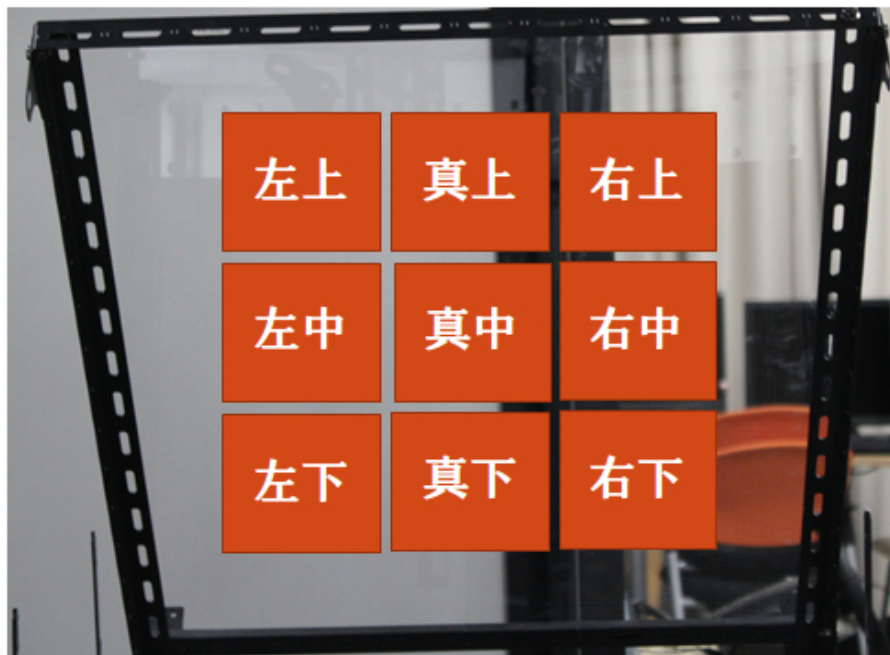


Fig. 4.7 情報提示箇所（9カ所）



Fig. 4.8 運転行動を行う交差点

4.3 実験結果

実験は自動二輪免許を所持している3名に被験者をお願いした。うち1名は著しい3D酔いを起こしたので実験を中止した。残りの2名についてはそれぞれの情報が1箇所ですべて2回でる事を確認しつつ、乱数を用いて4種類の情報を出現順序と出現

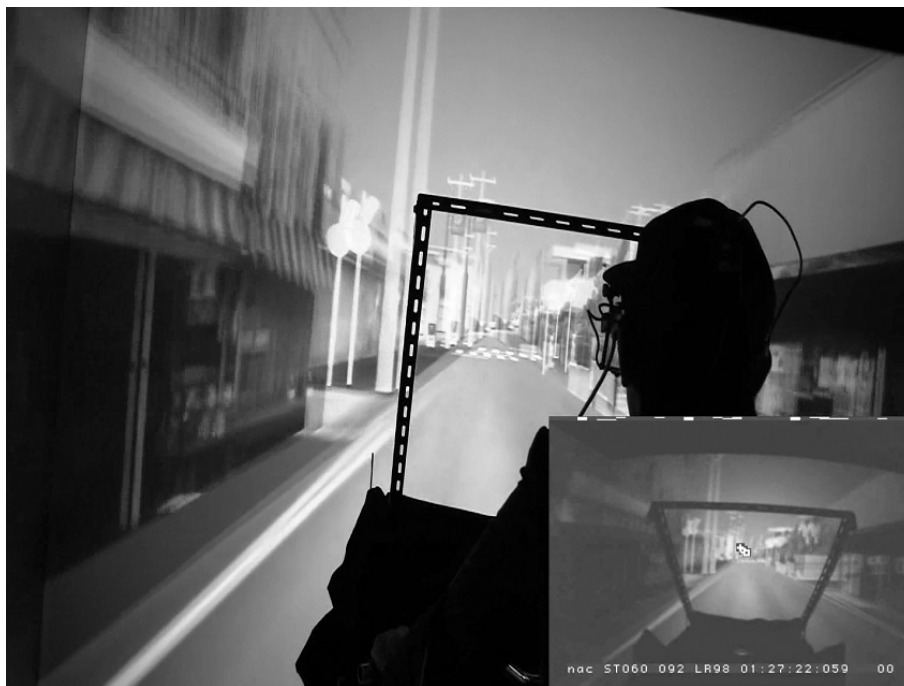


Fig. 4.9 実験風景

頻度をランダム化し合計 12 回表示した．情報提示に関しては，視線計測装置に出現する情報及び，同期をとった背面カメラから表示タイミングを Fig. 4.9 のようにまとめ，動画再生時間ベースで計算を行い手動で抽出した．なお，注視している箇所については提示を行うタイミングの最初から注視されている事も確認された．このようなデータについては，提示してから注視するまでの時間を正しく計測出来ないことから，データ化を行った後分析時には除外した．データは Table. 4.2 にまとめた．

Table 4.2 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
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	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
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
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	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
2	6	2	00:00:01.93	00:00:00.67
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	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
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	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
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
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	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
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
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	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
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
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	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
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

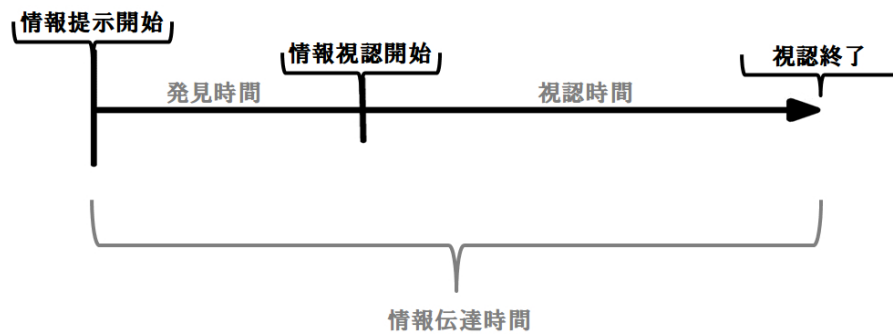


Fig. 4.10 分析対象時間

4.3.1 分析結果

得られたデータより，情報を提示した瞬間から見るまでの時間を「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．それぞれの関係性を Fig. 4.10 に示す．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た．目視を行う際は動画編集ツールを利用し，色調補正を行った上で情報の提示された瞬間を慎重に特定した．提示場所を因子とした分散分析を行ったところ，Table 4.3 を得ることができた．分析に使用した統計量の記述統計を Table 4.4 にまとめる．

Table 4.3 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
発見時間 (ms)	グループ間	1358991.152	8	169873.894	3.171	.00227
	グループ内	8892612.277	166	53569.953		
	合計	10251603.429	174			
視認時間 (ms)	グループ間	3487160.533	8	435895.067	4.290	.00010
	グループ内	16867790.324	166	101613.195		
	合計	20354950.857	174			
情報伝達時間 (ms)	グループ間	3732960.109	8	466620.014	3.454	.00104
	グループ内	22422733.605	166	135076.708		
	合計	26155693.714	174			

Table 4.4 実験結果記述統計量

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
						下限	上限		
認識まで (ms)	左上	20	460.00	233.69	52.25	350.63	569.37	230.00	930.00
	左中	19	354.21	169.39	38.86	272.57	435.85	260.00	1040.00
	左下	23	295.65	46.40	9.68	275.59	315.72	240.00	470.00
	中上	15	396.67	123.85	31.98	328.08	465.25	240.00	640.00
	中中	12	503.33	445.02	128.47	220.58	786.09	230.00	1900.00
	中下	16	565.63	470.62	117.65	314.85	816.40	230.00	1930.00
	右上	24	302.08	58.61	11.96	277.34	326.83	230.00	440.00
	右中	22	405.91	256.01	54.58	292.40	519.42	230.00	1160.00
	右下	24	298.75	72.37	14.77	268.19	329.31	230.00	490.00
視認時間 (ms)	合計	175	383.54	242.73	18.35	347.33	419.76	230.00	1930.00
	左上	20	535.00	228.99	51.20	427.83	642.17	270.00	1100.00
	左中	19	876.84	280.30	64.30	741.74	1011.94	300.00	1530.00
	左下	23	593.04	204.15	42.57	504.76	681.32	140.00	1040.00
	中上	15	578.00	337.30	87.09	391.21	764.79	230.00	1470.00
	中中	12	675.83	325.56	93.98	468.98	882.69	200.00	1330.00
	中下	16	654.38	305.29	76.32	491.70	817.05	100.00	1430.00
	右上	24	947.08	437.84	89.37	762.20	1131.96	370.00	1870.00
	右中	22	753.64	357.78	76.28	595.01	912.27	230.00	1870.00
合計時間 (ms)	右下	24	588.75	315.30	64.36	455.61	721.89	230.00	1470.00
	合計	175	695.37	342.03	25.85	644.34	746.40	100.00	1870.00
	左上	20	995.00	234.06	52.34	885.46	1104.54	700.00	1500.00
	左中	19	1231.05	242.81	55.70	1114.02	1348.08	900.00	1820.00
	左下	23	888.70	207.52	43.27	798.96	978.44	420.00	1340.00
	中上	15	974.67	305.26	78.82	805.62	1143.71	700.00	1800.00
	中中	12	1179.17	491.61	141.92	866.81	1491.52	600.00	2460.00
	中下	16	1220.00	583.59	145.90	909.03	1530.97	400.00	2600.00
	右上	24	1249.17	440.70	89.96	1063.08	1435.26	700.00	2140.00
	右中	22	1159.55	419.30	89.40	973.64	1345.45	600.00	2200.00
	右下	24	887.50	305.20	62.30	758.62	1016.38	500.00	1700.00
	合計	175	1078.91	387.71	29.31	1021.07	1136.76	400.00	2600.00

場所別でデータを比較した場合有意差が確認できることが分かったので、平均値の多重比較を行うことにより具体的にどの場所とどの場所有意差が発生しているのか詳しく分析した。具体的にどのような形となったかは、発見時間を Fig. 4.11、視認時間を Fig. 4.12、情報伝達時間を Fig. 4.13 の通りまとめた。

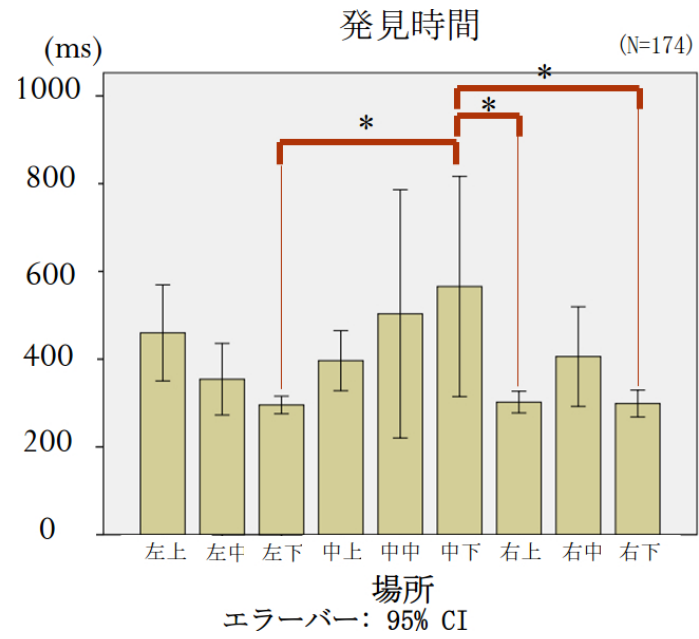


Fig. 4.11 発見時間の平均値

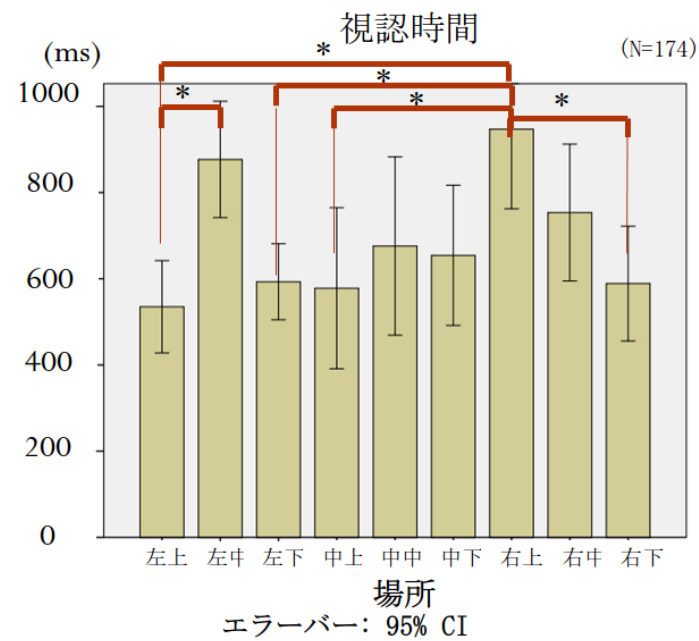


Fig. 4.12 視認時間の平均値

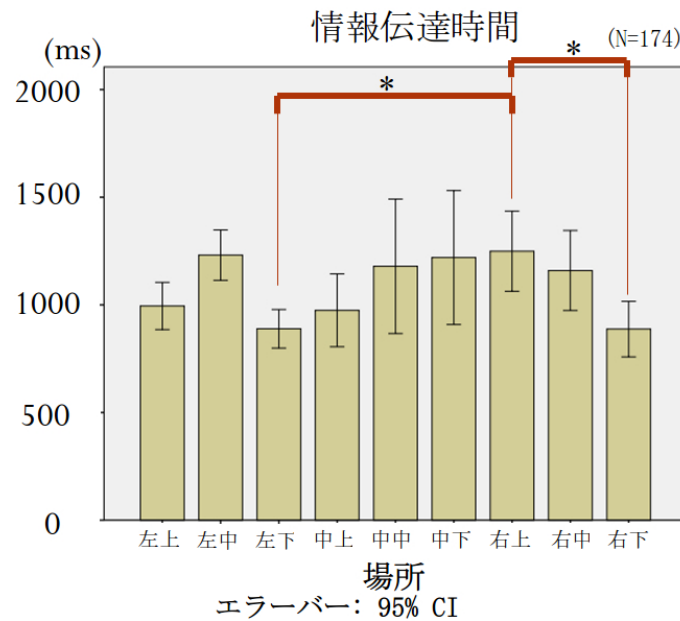


Fig. 4.13 情報伝達時間の平均値

4.4 考察

Fig. 4.11 や, Fig. 4.12 を見ると, 一番時間のかかった箇所と比べ, 左下・右下に有意差を確認できる。また, Fig. 4.13 より, 情報伝達時間において, 一番時間のかかった右上と有意水準 5 % の有意差を確認できた。注視位置として, 中中・中下の情報伝達時間が長かった事は非常に興味深いが, これは視ている場所に提示した際の, 一般的な人間の反応時間より著しく早い発見時間のデータを除外に影響している可能性もある。除外したデータ数の場所別の合計を Fig. 4.14 にまとめた。除外したデータの詳細として, 著しく早い発見時間のデータの他, 著しく長い時間注視しているデータも含まれている^{*1}。ただし, 除外したデータ数と各分析に関係性は特に無く, また除外した結果のデータ個数についても基本的に問題ないと考えている。

著しく早い発見時間を示しているデータは基本的に元々注視していた点に情報を出しているため起こる現象で, 運転者へ緊急性の高い情報提供を行う際に有効である可能性も否定できず, 実験方法や計測方法を変更する事により, 情報提供を行う際の場所として利用価値を見出だせるポテンシャルがあるだろう。ただし, 運転者の生死関

^{*1} データ化の前段階として, 一部注視していないのにも関わらず情報を読み取っている運転行動も視られた。周辺視を用いて被験者が意識的に閲覧した可能性が高いため, これらのデータも除外済みである。

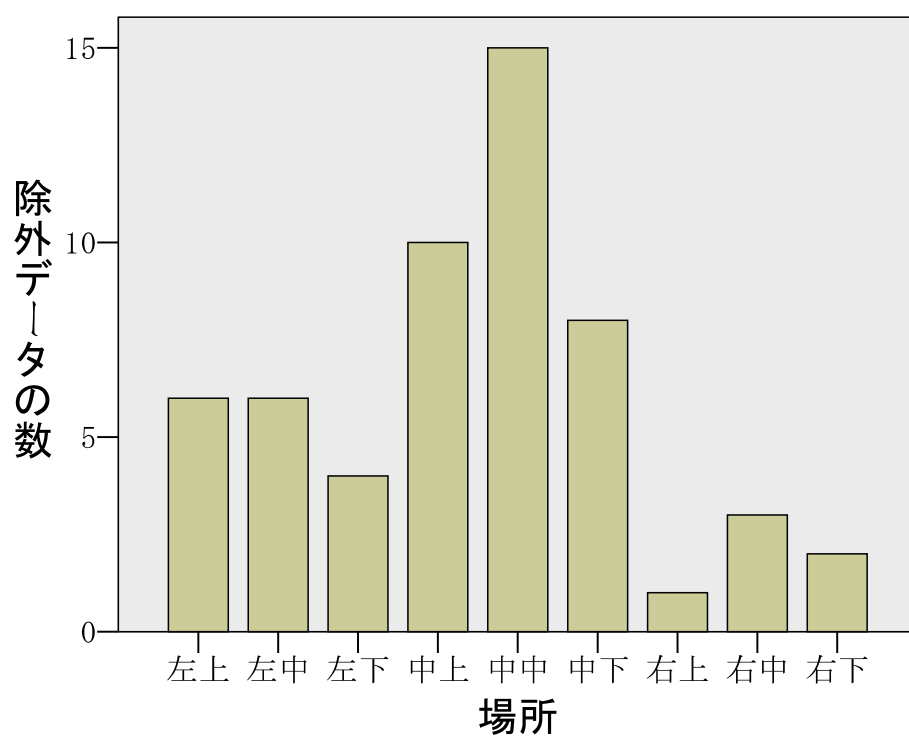


Fig. 4.14 除外データ数

わってくるほど影響の大きい路面情報より優先的に通知する必要がある，緊急性の高い情報提供コンテンツはそうそう無く，現状では考慮する必要がないと考える．

第 5 章

結論

5.1 結論

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った。本研究では、提案するヘッドアップディスプレイは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な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。

本研究は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システムをシミュレータ上で検証を行った。

本研究で提案するヘッドアップディスプレイを用いた情報提示システムを、実際にヘッドアップディスプレイを製作した。二輪型スクータシミュレータのシミュレーション環境、没入型ディスプレイ環境での実験環境を構築した。構築したシミュレーション環境下において、製作したヘッドアップディスプレイを用いて、情報の提示を行えることを示した。実験を通じて、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の視覚運動へ影響が出る事がわかった。特に、右下・左下は比較的要する時間が短く、一番時間を要した箇所との有意差が認められるため、情報提示を促すのに有効である。

5.2 今後の展望

研究目的にて述べた研究目標の最終ゴールへ向けての今後の研究展望として、本研究を継続するにあたる課題を述べる。まず、シミュレータとしての厳密な評価と精度向上を行う必要がある。本論でも述べた通り、現在二輪シミュレータのモデルとして二輪車モデルを用いているものの、四輪用のものの流用となっているため、二輪用のモデルを新たに導入する事の検討や、パラメータの調整をより厳密に行う必要がある。また、PreScan 上で用いる二輪モデルと似ているモデルを採用する事により、没入型

ディスプレイ環境下でのドライビングシミュレータの描画パラメータ（ステア角ギア比等）への参考とする事もでき、シミュレータとしてのリアリティを増すことが期待できる。今回は被験者の 1 名は 3D 酔いを起こし、その被験者の実験を中止する事になってしまったのは、ブレーキングの調整が許容範囲内でありながらも現実と乖離していた可能性が有る。実験後の被験者からは、ブレーキを掛けた時に気持ち悪さを感じるとの証言も受けているので、特に気をつけて調整を行なっていきたいと思う。

次に、二輪自動車を運転するのに必要な視覚運動以外の側面からの運転行動データを用いた情報提示システムの検証が必要と考える。特にアクセルやブレーキ、ハンドリングといった運転者が実際行う運転操作への反映時差等を指標と用いる事も重要であると考え。二輪自動車の特性より、運転者の体重移動や姿勢を考慮する事も必要である可能性もある。

また、情報提示の行われていない状況との比較が必要がある。現状視覚運動を評価指標として用いているため視覚以外からの情報提示との比較が行えず、ヘッドアップディスプレイシステムが情報提示システムとして、他の代替システムに比べてどれだけ有効であるかを示すべきである。代表的な代替システムとしては、音声による情報提示やヘッドマウントディスプレイをあげることができる。特に音声に関しては非常に多くの意見を頂く事から、同様の実験環境下での比較を明確に示す事が望ましい。

没入型ディスプレイ環境でのドライビングシミュレータでは、現実の交通状況の再現性がなどが問題点としてあげる事ができる。

また、提示するコンテンツに依存する可能性も否定できないため、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

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] 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.
- [8] Y. Inuzuka, Y. Osumi, and H. Shinkai. Visibility of Head up Display (HUD) for Automobiles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Vol. 35, No. 20, pp. 1574–1578, September 1991.
- [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] 淳士渡辺, 幸代栗谷川, 一郎景山. 二輪車用ライディングシミュレータの臨場感向上に関する研究. 自動車技術会学術講演会前刷集, 2012, pp. 13–16, May 2012.
- [13] 立山義祐, 山田純嗣, 野寄純平, 山本敬一, 桑田佳奈, 北村憲康, 西村秀和, 小木哲朗. 没入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.
- [14] 山田純嗣, 立山義祐, 小木哲朗, 桑田佳奈, 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.
- [15] 俊二土屋, 宏原田, 憲道加瀬川. ドライバーの操舵特性と事故回避性能について - レーンチェンジによる事故回避の場合 -. 自動車技術会論文集, Vol. 13, pp. 54–62, March 1977.
- [16] 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.
- [17] ISO. *ISO 3536:1999(E/F) Road vehicles — Safety glazing materials — Vocabulary*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1999.
- [18] ISO. *ISO 3538:1999(E) Road vehicles — Safety glazing materials — Test methods for optical properties*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1999.
- [19] ISO. *ISO 6725:1981(E) Road vehicles — Dimensions of two-wheeled mopeds and motorcycles — Terms and definitions*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1981.
- [20] ISO. *ISO 6727:2012(E) Road vehicles — Motorcycle — Symbols for con-*
-

trols, indicators and tell-tales. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012.

- [21] 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.
 - [22] 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.
-

謝辭

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る．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る．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る．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奨励助教に深い感謝の意を表する．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る．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る．ヘッドアップディスプレイ装置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る．論文執筆にあたって本研究科の \LaTeX 用スタイルファイルの提供及びクラスファイルの共同開発にご協力頂いた同研究科西村研究室所属の村田直也さんへ謝意を表する．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佐々木紀之さん，新屋貴文さん，鈴木重央さん，西尾藍さん，福智直美さん，へ特別謝意を表する．

おわりに

本節ではまず，本研究を進めるにあたり謝辞において感謝の意または謝意を表した方々の他にも，研究科生活を特別サポートして頂いた方々へ，下記のとおり謝意を表する．研究科内生活において様々な面でサポートを頂いた慶應義塾大学日吉学生部大学院担当濱岡寿久さんへ謝意を表する．留学のサポートと記して，慶應義塾大学日吉学生部大学院担当矢向明子さん，システムデザイン・マネジメント国際交流担当専門員職員富田順子さんへ謝意を表する．協生館防災センターへは研究棟の24時間管理頂いた事，2年生のお盆の時期において学生証のICが故障した際の特別な配慮へ深い感謝の意を表する．最後に， \LaTeX に関し高い向上心をもってスキルを高め合った東北大学大学院工学研究科修士課程学生の臼井岳文さんへ謝意を表する．

OS	Editor(Version)	Editor Extensions
Windows7	Vim(7.3)	VIM-LaTeX
MacOS 10.7	Emacs24	YaTeX

次に、本論文を \LaTeX で作成するのに構築した執筆環境を記す。Microsoft Word は決して悪いソフトウェアではないが、内容量が多くなってしまう場合誤作動および不具合、期待に反する出力がどうしても頻出してしまったため、論文執筆には適さないと考えている。今回の修論執筆の際にも、同期の多くが苦しめられた。頻発するフリーズ、画像の印刷時のレイアウトズレ、制御困難なスタイルと目次機能等取り上げ始めたらキリがない。これらの問題は \LaTeX を使うことによりほとんど解決が可能である。

\LaTeX を使いこなすのは難しくまた初期環境を整えるのは決して容易でない。導入の敷居は高いが、キーボードをブラインドタイプできるレベルの人であれば論文作成だけでなく日頃の文章作成へも大きなメリットを見いだせるだろう。一昔前であればかなり大変だったこのような環境も今ではだいぶ簡単になり、基本的なマウス操作とファイルのコピーアンドペーストで導入が可能となっている。ひとたび \LaTeX へ慣れてくるにしたがい、より多くの効率を追求で指数関数的に作業が捗ることも期待できる。Microsoft Windows の執筆環境は私自身の環境を、Apple MacOS の執筆環境は上記で謝意を述べた臼井岳文さんより提供頂いたものを下記に記す。 \LaTeX は OS や、テキストエディタの種類も選ばず、好きな環境で好きなように執筆できる。つまり、スマートフォンやタブレット PC でも執筆が可能である事を意味する。また、テキストエディタを用いることに大きな利点がある。それはバックアップや変更履歴の管理が比較的容易で、他のソフトウェア等との連携が非常に強い点である。元々プログラミング用のプロジェクト管理ツールにももちろん対応しており、必要であれば複数人での同時編集も容易に行える。しかし、いいことばかりでもなく \LaTeX にも欠点がある。Microsoft Word みたいに見たまんまのものを編集・出力 (WYSWYG 編集) 出来るわけではなく、基本的にテキストエディタを用いて、一度コンパイルしなければならない。この欠点を解決する方法もあるが、そのためには別途環境 (SyncTeX 環境) を整える必要があり、導入敷居が高くなる一方である。

\LaTeX を使ったこと無い人、今まで使っていたが一度離れてしまった人も、改めて導入を検討してはどうだろうか。詳しい導入方法は、インターネット上にたくさん情

報があるのでぜひ一度，時間のある時に息抜き気分で軽く調べてもらいたい．最後に，本論を作成するにあたって開発した L^AT_EX テンプレートの URL を下記に記す．

https://github.com/ikenichiro/KeioSDM_Mastertmp

本節の締めくくりとして，研究生活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る．

付録

Appendix

A.1 使用ソフトウェア

A.1.1 使用計算機詳細

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.1.5 実験データテキスト処理ソフトウェア

- Emeditor Professional (64-bit) Version 12.0.3
-

- GnuWin32 Version 0.6.3
- Perl v5.16.1
- Vi Improved version 7.3.772

A.2 ヘッドアップディスプレイ構成要素

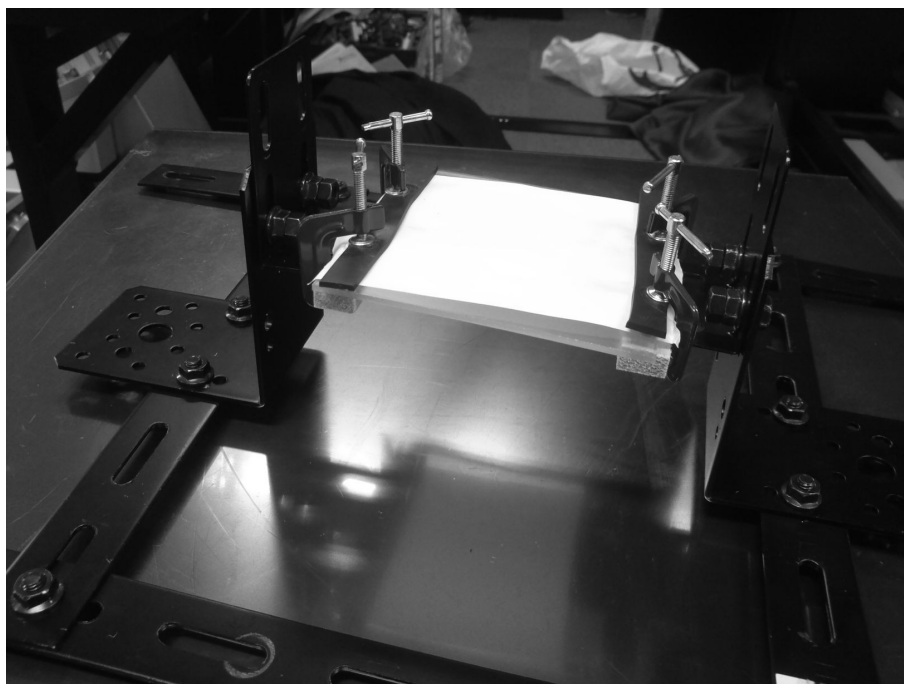
A.2.1 レンズ



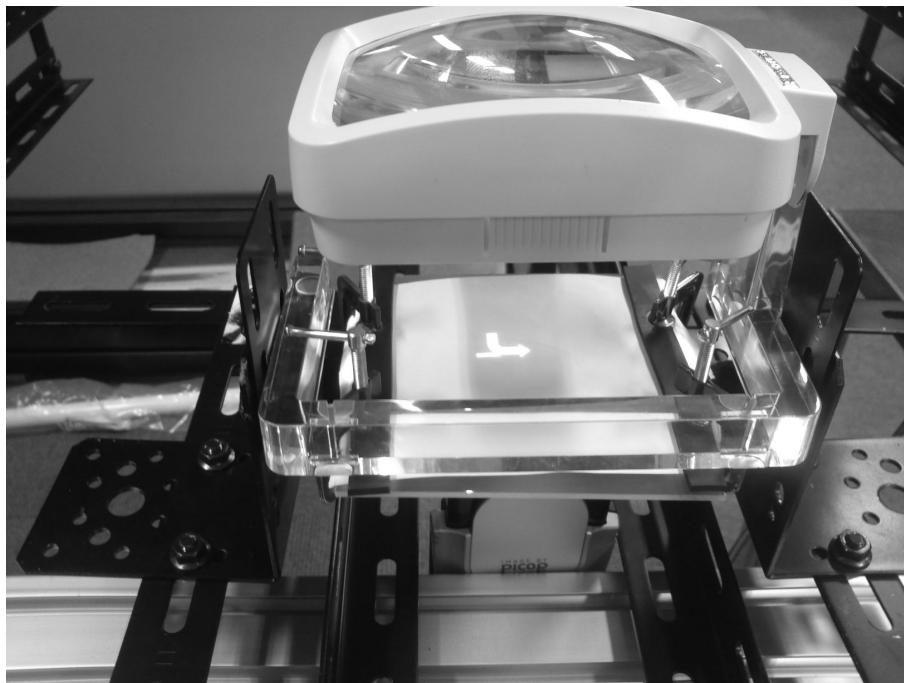
A.2.2 レンズの技術的データ

メーカー	ECHENBACH
型番	2636-11
拡大率	3.8 倍
ディオプタ	11
大きさ (mm)	100 × 75
レンズ種	非球面レンズ

A.2.3 ディフューザ



A.2.4 1次結像ユニット



A.3 分析補助スクリプト

A.3.1 EMR-9 エラー値排除スクリプト

```
1  #!/bin/bash
2  # start
3  VERSION="0.0.001"
4
5  if [ $# -lt 1 ]; then
6      echo "実行するには最低 1個の引数が必要です。($#)" 1>&2
7      exit 1
8  fi
9  if [ $1 = -h ]; then
10     echo "Version:${VERSION}"
11     echo "usage: _CSV_File_[Start_FrameCounter]_[End_FrameCounter]" 1>&2
12     echo "under_development..." 1>&2
13     exit 1
14 fi
15
16 echo "checking_if_$1_exists..."
17 if [ -f $1 ]; then
18     echo "[OK]" 1>&2
19     echo "copying_file_for_backup...$1.bak..." 1>&2
```

```
20 cp $1 $1.bak
21 echo "[OK]" 1>&2
22 else
23 echo "[NG]" 1>&2
24 echo "The_file_doesn't_exist!_plz_check_filename..." 1>&2
25 exit 1
26 fi
27
28 echo "Removing_error_row's_to_$1_rem.csv..." 1>&2
29 sed -n "/999.0/w_$1_new.csv
30 #####/999.0/!w_$1_rem.csv" $1
31 echo "[OK]" 1>&2
32
33 echo "Finished!" 1>&2
34 exit 0;
```

A.3.2 停留点出力スクリプト

実行には Math::Round モジュールを予めインストールしている必要がある。

```
1  #!/Perl/bin/perl
2  use strict;
3  use warnings;
4  use Math::Round;
5
6  my @getlines;
7  open(IN, "<" . 'CXY_filenameetocalculate.csv');
8  @getlines = <IN>;
9  close(IN);
10 print "Finished_reading_csv_file.\n";
11
12 my $obtainedlines;
13 my $scalx;
14 my $scalcy;
15 my %teiryulines;
16 my $j = 0;
17 my $h = 0;
18 my $count;
19 my ($addteiryux, $addteiryuy, $checkteiryuxm, $checkteiryuxp, $checkteiryuym,
    $checkteiryuyp);
20 foreach $obtainedlines (@getlines) {
21 ($scalx, $scalcy) = split(/./, $obtainedlines, 2);
22 $addteiryux=0; $addteiryuy=0; $checkteiryuxm=0; $checkteiryuxp=0;
    $checkteiryuym=0; $checkteiryuyp=0;
23 $j++;
24 if($j == 1) {
25     print "Initial_complete!\n";
26     $h++; $count=1;
27     $addteiryux = round($scalx);
```

```
28     $addteiryuy = round($calcy);
29     $teiryulines{$h} = "$addteiryux,$addteiryuy,$count";
30     print "$addteiryux,$addteiryuy,$count\n";
31     print "$teiryulines{$h}\n";
32 } else {
33     my ($addteiryux, $addteiryuy, $count) = split(/,/ , $teiryulines{$h}, 3);
34     $checkteiryuxm = $addteiryux-100;
35     $checkteiryuxp = $addteiryux+100;
36     $checkteiryuym = $addteiryuy-100;
37     $checkteiryuyp = $addteiryuy+100;
38     if($checkteiryuxm < round($scalx) && round($scalx) < $checkteiryuxp &&
        $checkteiryuym < round($calcy) && round($calcy) < $checkteiryuyp) {
39         $count++;
40         $teiryulines{$h} = "$addteiryux,$addteiryuy,$count";
41     } else {
42         $h++; $count=1;
43         $addteiryux = round($scalx);
44         $addteiryuy = round($calcy);
45         $teiryulines{$h} = "$addteiryux,$addteiryuy,$count";
46     }
47 }
48 }
49 print "Found_{$h}_TEIRYU!!_out_of_{$j}!!\n";
50 print "Now_writing_to_csv...\n";
51
52 my $outputlines;
53 open(OUT, '>CXY2-teiryu.csv');
54 foreach (values %teiryulines) {
55     my ($ax, $ay, $ac) = split(/,/ , $_, 3);
56     if(12 <= $ac) {
57         print OUT "$_\n";
58     }
59 }
60 close (OUT);
61 print "Everything_done!";
62 exit(0);
```