

JIER-084

ヘッドアップディスプレイの技術評価に関する

研究調査委員会

報告書

2005年3月

社団法人 照明学会

## 目次

1. はじめに	.....1
2. 委員会報告	.....3
3. ヘッドアップディスプレイの構造の概説	.....7
4. 自動車への適用	
4. 1 必要とする要件	.....12
4. 2 表示器	.....18
4. 3 人間工学的要因(1)－輻輳応答特性－	.....23
4. 4 人間工学手要因(2)－アコモデーション応答特性－	.....36
4. 5 HUDの煩わしさ感	.....45
5. ナイトビジョンシステムへの応用	
5. 1 ナイトビジョンシステムの概要	.....53
5. 2 ナイトビジョンシステムの評価	.....57
5. 3 関連基準	.....66
6. 鉄道への適用例	
6. 1 都営地下鉄への適用	.....69
6. 2 予備評価試験	.....69
6. 3 都営地下鉄大江戸線(地下鉄12号線)への適用	.....73
6. 4 結論	.....77
7. 航空機用HUDの概要	
7. 1 概要	.....78
7. 2 航空機用HUDの注意事項	.....78
8. おわりに	.....81
関連文献の一覧	.....82



## 1. はじめに

最近、道路交通において ITS(Intelligent Transport System)技術の導入が進み、あわせてエレクトロニクス技術の発展に伴い自動車の走る、曲がる、止まるという機能が著しく向上している。また、それだけではなくドライバに対する情報提供の機会もカーナビゲーション装置（カーナビ）の普及に伴い急速に拡大している。カーナビについては、ただ単に経路誘導を行うだけではなく、その表示画面を利用してさまざまな情報を呈示しようとする情報端末としての機能が期待されている。しかし、このような情報提供の機会増大はドライバのディストラクションを必然的に引き起こすこととなる。特に、表示画面の方に視線を向けるというわき見運転を誘発するおそれが高い。従って、わき見運転とならないように、ドライバが前方を視認しているときでも情報を獲得できるように、視野内に情報を呈示するヘッドアップディスプレイ（HUD）の技術が有効ではないかと期待できる。

しかし、HUDの技術について興味のある人が、そもそも HUD とはどのような技術であるのかについて調べようとしても、散発的に報告される論文を別にすれば、残念ながら、まとまった成書というものが日本では見あたらないというのが現状である。また、諸学会等においても HUD のまとまった検討会が開催されたという話を寡聞にして聞いたことがない。

このため、HUDについて興味をもち、あるいは、製作現場で開発に携わっている人達が集まり、さまざまな観点から HUD の技術について論議し、その結果を報告書の形にして知見を普及することが、この分野に興味をもつ若者、技術者にとって極めて有益ではないかと考えた。

そこで、(社)照明学会の活動の一環として、視覚研究専門部会の中に「ヘッドアップディスプレイの技術評価に関する研究調査委員会」を立ち上げ、平成15年度～16年度にかけて2年間の活動を行い、各委員の知見、技術を報告しあい、関連する専門家を招待して講演をしてもらい、また、施設見学を通してこの分野の最新レベルの調査を行ってきたものである。本報告書はこの2年間の活動を基にして、HUDの技術についての解説から最新製作技術、応用技術、人間工学的立場からの研究内容をまとめたものである。

ここで、現在の日本において HUD を活用している交通分野としては、自動車がまず挙げられ、そのため、研究会に参画した委員も自動車に関連した人たちが多くなった。従って、本報告書の内容についても、どうしても自動車に関連

する内容が基底となっていることは否めない。

鉄道分野に関しては、都営地下鉄に導入しようとした経緯があることがわかり、幸運にもその間の事情に詳しい村井幸夫氏に詳細を講演して頂くことができた。第6章の「鉄道への適用例」はそのときの講演内容を基にしている。技術的な理由ではなく実用面からの理由により、最終的な地下鉄への HUD の普及が断念されたようであるが、本報告書にその技術的検討内容がまとまった形で記述されるのは、極めて意義のあることと考えられる。

航空機の分野については、現在、日本では民間航空機での HUD の使用が行われていないこともあって、研究会では十分な検討を行うことができなかった。第7章での記述は文献調査によるものが主体となっている。

本委員会の活動については、次章に詳しいが、その活動の成果として、HUD の技術に関する知見を集成し、ここに報告書としてまとめることができたものである。HUD について興味はあるがその内容を知らないという読者が、本報告書を読むことにより、現在の HUD の技術レベルについて容易に理解把握できることを期待したい。

## 2. 委員会報告

### 2. 1 委員会の構成

本委員会の活動期間は平成15年4月より平成17年3月までの期間であり、委員会の委員構成は以下の通りで、委員長1，幹事2，委員11の計14名である。

[委員会構成] (順不同、敬称略)

委員長	森田 和元	((独) 交通安全環境研究所)
幹事	石川 和夫	(東京工芸大学)
同	塚田 由紀	((独) 交通安全環境研究所)
委員	青木 邦光	(矢崎総業 (株))
同	青木 直之	((株) デンソー)
同	阿山 みよし	(宇都宮大学)
同	氏家 弘裕	((独) 産業技術総合研究所)
同	岡林 繁	(名城大学)
同	小島 真一	((株) 豊田中央研究所)
同	佐藤 孝	[代理 川口嘉史] (スタンレー電気 (株))
同	永野 恵一	(日本精機 (株))
同	畑田 豊彦	(東京工芸大学)
同	福田 忠彦	(慶應義塾大学)
同	和氣 典二	(中京大学)

また、本委員会において話題提供としてご講演いただいた講師は次の通りである。

[講師リスト] (順不同、敬称略)

村井 幸夫	(東京都交通局)
深井 克明	((株) 島津製作所)
船引 浩平	(宇宙航空研究開発機構総合技術研究本部)
美記 陽之介	(日産自動車 (株))

### 2. 2 委員会の活動状況

平成15年4月より平成17年3月までの活動期間中に、9回の委員会開催と2カ所の施設見学会を開催した。委員会の内容と見学会は次の通りである。

第1回委員会（平成15年7月29日）

- ・委員会設置趣旨説明及び委員会の運営方針の審議
- ・話題提供：「ヘッドアップディスプレイに関する研究動向」講師：森田委員長

第2回委員会（平成15年9月22日）

- ・話題提供：「HUDの表示像距離と表示位置について」講師：岡林委員
- ・話題提供：「最新の視線測定装置について」講師：森田委員長

第3回委員会（平成15年12月16日）

- ・話題提供：「都営地下鉄大江戸線車両におけるヘッドアップディスプレイ装置の導入について」講師：村井幸夫氏（東京都交通局）
- ・話題提供：「HUDの製作技術」講師：青木（直）委員
- ・今後の委員会運営について検討

第4回委員会（平成16年3月15日）

- ・話題提供：「航空機用ヘッドアップディスプレイとその応用」  
講師：深井克明氏（株）島津製作所
- ・話題提供：「HUD Display Devices」講師：永野委員
- ・今後の委員会運営について検討

第5回委員会（平成16年5月14日）

- ・話題提供：「航空機の飛行計器について」講師：舩引浩平氏  
（宇宙航空研究開発機構総合技術研究本部）
- ・話題提供：「ナイトビジョンシステムの視認性」講師：阿山委員
- ・施設見学：宇宙航空研究開発機構飛行試験技術開発センターのヘリコプターとジャンボ機のシミュレーション施設、並びに、実験用飛行機の見学。

第6回委員会（平成16年8月10日）

- ・話題提供：「自動車におけるHUDの話題」  
講師：美記陽之介氏（日産自動車（株））
- ・話題提供：「背景存在下の視認性についての研究動向」講師：氏家委員
- ・今後の委員会運営と報告書について検討

第7回委員会（平成16年9月24日）

- ・今後の委員会運営と報告書の内容について検討
- ・施設見学：ナックイメージテクノロジー技術センターを見学し、視線計測、高速度カメラ、高感度カメラ等の特注品や開発中の視線計測装置の製品紹介と開発技術者とのフリーディスカッション。

## 第8回委員会（平成16年12月13日）

- ・話題提供：「HUDシステムの視認性評価」講師：永野委員
- ・報告書案の項目内容について検討

## 第9回委員会（平成17年3月18日）

- ・公開研究会「ヘッドアップディスプレイ(HUD)の現状と課題」開催について検討
- ・報告書案の項目内容について検討

### 2. 3 報告書の構成

各章の主な内容は以下の通りである。

第1章は、まえがきであり、本委員会の設立の背景、研究調査の目的等についてまとめた。第2章では、委員会の委員構成、活動状況と施設見学の報告、報告書の構成について示した。第3章では、ヘッドアップディスプレイの構造の概説について述べた。第4章では、ヘッドアップディスプレイを自動車に適用したときの必用要件、使用される表示器、人間工学的要因、並びに、煩わしさ感についてまとめ、さらに、第5章において、その応用例としてナイトビジョンシステムについての概説、ナイトビジョンシステムの評価実験結果、並びに、関連基準についてまとめて示した。第6章では、ヘッドアップディスプレイを鉄道に適用した例として都営地下鉄での評価試験について、システム構成、表示内容の優先度、表示情報の視認性、使用に伴う評価結果について示した。第7章では、航空機用 HUD について文献調査結果を基にして示した。第8章は、本委員会報告書のまとめである。なお、最後にヘッドアップディスプレイに関する参考文献を示した。

### 2. 4 担当執筆者

各章の執筆担当は以下の通りである。

- |                         |       |
|-------------------------|-------|
| 1. はじめに                 | 森田 和元 |
| 2. 委員会報告                | 石川 和夫 |
| 3. ヘッドアップディスプレイの構造の概説   | 森田 和元 |
| 4. 自動車への適用              |       |
| 4. 1 必要とする要件            | 青木 邦光 |
| 4. 2 表示器                | 永野 恵一 |
| 4. 3 人間工学的要因（1）－輻輳応答特性－ | 岡林 繁  |

4. 4	人間工学手要因 (2) -アコモデーション応答特性-	岡林 繁
4. 5	HUD の煩わしさ感	森田 和元
5.	ナイトビジョンシステムへの応用	
5. 1	ナイトビジョンシステムの概要	青木 直之
5. 2	ナイトビジョンシステムの評価	阿山 みよし
5. 3	関連基準	森田 和元
6.	鉄道への適用例	森田 和元
		(村井氏の講演に基づく)
7.	航空機用 HUD の概要	森田 和元
8.	おわりに	森田 和元

### 3. ヘッドアップディスプレイの構造の概説

ヘッドアップディスプレイ (HUD) は自動車、航空機等の交通分野において、ドライバあるいはパイロットに対して、必要な情報を表示する目的で用いられている。航空機については、第二次大戦中に戦闘機用の照準装置として開発され、現在、軍用機の照準、方位、姿勢、高度、速度等の表示に用いられている。また、民間航空機に関してもいくつかの航空会社で使用されている。自動車への応用に関しては、1988年に米国 GM 社のオールズモービル カトラス スープリームに先駆的に採用され<sup>(1)</sup> (Oldsmobile Cutlass Supreme Indianapolis 500 Pace Car Parade Convertibles)、また、日本においても同じ 1988年に日産のシルビアに世界初の商用化技術として搭載されるようになった<sup>(2)</sup>。車速を HUD により表示するほか、現在では、ドライバに対して夜間暗視技術による前方赤外画像をウィンドシールドに表示すること等が行われるようになっている。

HUD は、前方視野内に表示を呈示することにより、視線移動を低減できるところに特徴がある。また、表示までの距離を遠方にすることにより焦点調節時間の短縮に効果があるとも言われている。HUD の一般的な構造例は図 3-1 に示すようであり、表示器により作成された投影図形像を凹面鏡または凸レンズを利用した光学系を通してコンバイナとよばれるハーフミラーの反射板に像を反射させて虚像を作成している。ドライバは前方視野内に表示されるその虚像を見ることとなる。

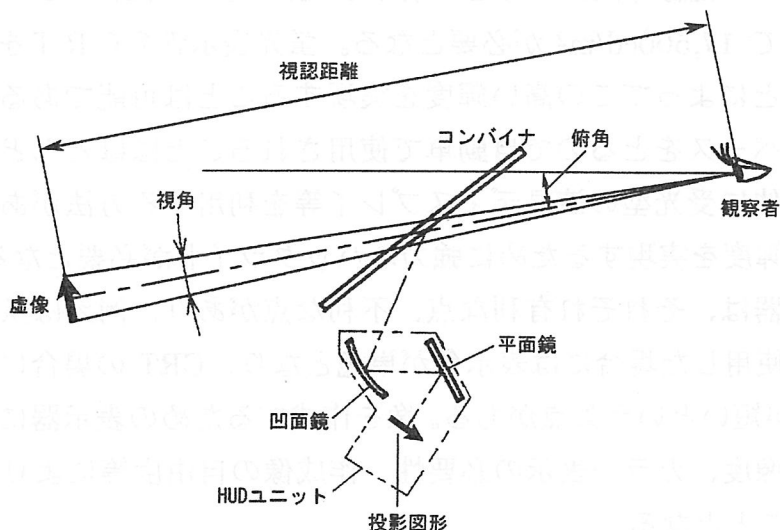


図3-1 HUDの基本的構成

ここで、コンバイナは像を反射させると同時に前方視界も確保するための透過率も保持しなければならないので、通常であれば反射率を大きくとることはできない。

コントラスト比  $r$  は

$$r = \frac{(\text{背景輝度} + \text{表示輝度})}{\text{背景輝度}}$$

(ここで、背景輝度はコンバイナを通した値である)

で定義されるが、その値は明るい背景であっても 1.2、できれば 1.3 以上が望ましいとされる。しかし、明るい陽光の下での雪道が背景となる場合、あるいは、航空機において明るい雲を背景とする場合には、十分なコントラスト比がとれないことが予想される。

自動車のウィンドシールドの場合には、可視光線透過率が 70%以上でなければならないので(道路運送車両の保安基準第 29 号)、コンバイナによる反射率は 20~30%程度に抑えて透過率を確保する必要がある。このような場合、必要な表示輝度の上限については実現が厳しい条件となる。たとえば、晴天時の新雪路面については路面輝度が 25,000cd/m<sup>2</sup> に達することがあり、その場合、視線方向の透過率 70%のウィンドシールド、コンバイナを通して見た場合、コントラスト比 1.2 以上を確保するためには、3,500cd/m<sup>2</sup> の表示輝度が必要となる。コンバイナの視線方向における反射率を 20%とすれば、コンバイナに入る前の輝度として 17,500cd/m<sup>2</sup> が必要となる。蛍光表示管や CRT を表示器として使用することによってこの高い輝度を実現することは可能であるが、CRT に関してはスペースをとるので自動車で使用されることはほとんどない。表示器については他に受光型の液晶ディスプレイ等を利用する方法があるが、その場合には高い輝度を実現するために強力なバックライトが必要となる。

各種の表示器は、それぞれ有利な点、不利な点があり、例えば蛍光表示管を表示器として使用した場合には表示色が単色となり、CRT の場合にはスペースをとり、寿命が短いという欠点がある。像を作成するための表示器については、スペース、解像度、カラー表示の必要性、作成像の自由度等により最適なものが選択されることとなる。

一方、表示輝度を高くした場合には、薄暮、夜間時においては、前方視野の認識を妨害するおそれがあり、また、ドライバ、パイロット等にとってまぶし

く感じられるため、輝度を抑えるための調整機能を持つ必要がある。

コンバイナに反射させる像としては、表示像を平面鏡によりコンバイナに直接反射させることもあり得るが、実際には、凸レンズあるいは凹面鏡（必要に応じて非球面のものを使用）を用いて、見かけ上の虚像までの距離を遠くにしていくことが多い。虚像までの距離を長くすることにより、前方風景から HUD 像までの視線移動に伴う目の調節が少なくて済むという特徴が生まれると同時に像を拡大することも可能となる。なお、凸レンズでも凹面鏡でも機能面では同じであるが、ゴースト像対策の点、熱対策の点から凹面鏡を使用していることが多い。

ここで、航空機の場合には、HUD の虚像までの距離は無限遠であることが多く、自動車の場合にはドライバーに対して違和感を持たせないためにアイポイントから 1.5～3 m 位の距離に設定することが多い。

HUD の虚像までの距離とアイポイントからの俯角については、HUD の視認性に大きく関係する 2 つの要因である。

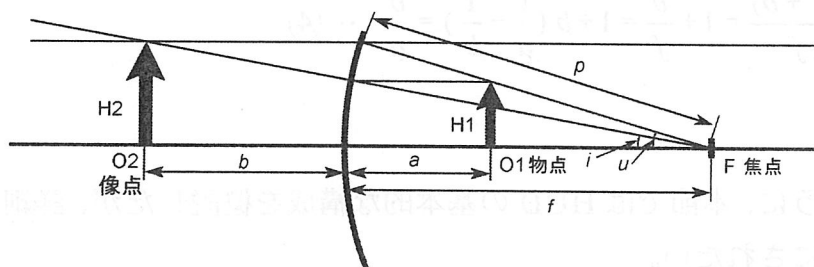


図3-2 凹面鏡における虚像表示に関する光学的関係

HUD の光学設計の基本については、光学に関する文献<sup>③</sup>に詳しいが、虚像までの距離、拡大率の簡単な説明をここで行うと、図 3-2 のように説明される。ここで、光線が光軸となす入射角等々ははなはだ小さく、 $\sin i = i$  として差し支えないものという前提をおく。この前提が成り立つ光学を近軸光学またはガウス光学とよぶ。

図 3-2 において、O1 点に置かれた像は凹面鏡によって反射されることにより、O2 点に像が拡大表示される。これらの幾何学的関係により以下の式が求められる。

$$(f - a) \sin u = f \sin i \quad \dots(1)$$

$$p \sin u = (f + b) \sin i \quad \dots(2)$$

ここで近軸光学の前提より  $p \cong f$  となるので (2) 式は

$$f \sin u = (f + b) \sin i \quad \dots(2')$$

となり (1) 式より

$$\frac{\sin u}{\sin i} = \frac{f}{(f - a)}$$

同様に式 (2') より

$$\frac{\sin u}{\sin i} = \frac{(f + b)}{f}$$

となるので両者から

$$\frac{f}{(f - a)} = \frac{(f + b)}{f}$$

の関係が成り立ち、この式を変形することにより

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad \dots(3)$$

が成り立つ

また拡大率については

$$\frac{H2}{H1} = \frac{(f + b)}{f} = 1 + \frac{b}{f} = 1 + b \left( \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) = \frac{b}{a} \quad \dots(4)$$

となる

以上のように、本節では HUD の基本的な構成を概説したが、詳細については各章を参考にされたい。

HUD を実用に供する場合には使用環境等から要求される性能が高くなり、それに従いコストも上昇する。今後 HUD が広く普及するかどうかは、コストに見合うだけのメリットが得られるかどうかに関係しており、どのような情報を提供するかにかかっていると考えられる。

なお、HUD を利用することにより焦点調節時間が少なくて済むというメリットがあり、特に高齢者には有益であるという意見もあるが、高齢者も含めて実際にどの程度焦点調節時間が減少するのかについて十分な検討が行われてきているわけではない。HUD を導入することが、たとえば自動車の交通安全にどの程度寄与するのかが具体的に検証されるのならば、HUD はさらに普及していくことが予想される。

## 参考文献

- (1) M. Weihrauch et al., "The First Head Up Display Introduced by General Motors", SAE Technical Paper Series No.890288 (1989)
- (2) Shigeru Okabayashi et al., "Development of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application", SAE Technical Paper Series No.890559 (1989)
- (3) 久保田広、浮田祐吉、會田軍太夫編「光学技術ハンドブック 増補版」pp.35-46, 朝倉書店, 東京 (1968)

## 4. 自動車への適用

### 4. 1 必要とする要件

実際の車両に搭載する場合には、以下の点に留意して設計を行う必要がある。

#### 4. 1. 1 表示歪み

HUD 表示をドライバーへ提供するために、ウインドシールドを利用し、かつ、表示を遠方に／見やすい大きさに提供するための虚像光学系を用いる場合、ウインドシールドによる表示歪み、光学系による表示歪みが発生する。

従って、ドライバーへ違和感無い表示を提供するための表示歪み対策が必要となる。

##### (1) ウインドシールドによる表示歪み

HUD は、表示デバイスからの表示光を、光学系を介してウインドシールドへ拡大投射し、ウインドシールドで反射した虚像をドライバーに表示像として視認させるのが一般的である。

しかし、ウインドシールドは、本来、HUD の為の表示反射体として設けられたものではないので、HUD システムの部品の一部として利用するには、数々の問題が発生する。最も重大な特徴として、ウインドシールドの形状が対称性を有しない自由曲面であることがあげられる。

このような、形状面に表示光を投射して表示を視認しようとする、表示歪みが発生する。

##### (2) 拡大系による表示歪み

拡大光学系を用いることは大きく分けて二つのメリットがある。一つは、HUD ユニットの小型化できること、もう一つは光学系の焦点距離やデバイス配置を変化させることにより、ドライバーから任意の距離に虚像を生成できることである。

しかし、しばしば拡大に用いられる球面レンズ（ミラー）には、収差があり、表示ボケや表示歪みが発生してしまう。

一般に知られる拡大系の光学部品のひとつはレンズであるが、車両用 HUD の光学部品としては問題がある。外光（太陽光）がレンズ表面などで反射して、その反射光がさらにウインドシールドで反射し、ドライバーのアイポイントへ向かい、ドライバーを眩惑させることになる。

そこで、拡大系に凹面ミラーを用いるのが一般的である。表示デバイス光を

拡大し、ウインドシールド方向へ反射させるミラー系ならば、外光がミラー面に反射してもウインドシールドに直接戻ることにはない。しかし、ミラー面での、入射／反射角が存在し、それに起因する表示歪みも発生する。

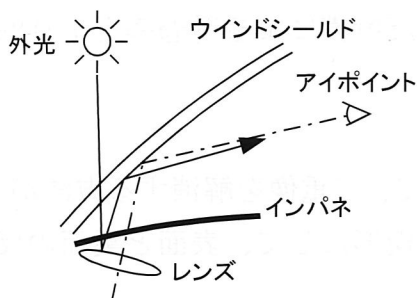


Fig.4-1 拡大系：レンズ

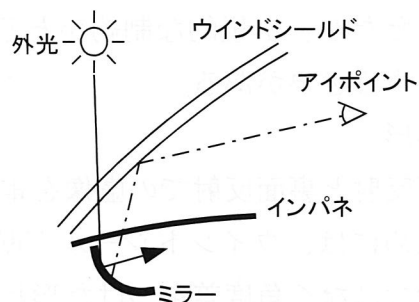


Fig.4-2 拡大系：凹面ミラー

### (3) 表示歪み補正

表示歪みが発生していても、表示像（虚像）の表示距離／表示像の大きさ／アイポイントが移動しても視認できるアイポイントの移動許容範囲（アイボックス）の大きさなどにより、表示歪みを気にせずに視認できる場合もある。

しかし、拡大率が大きいと、表示歪みがひどくなり、歪み補正が必要となる。現在の車両用 HUD の拡大系は、ミラー系を用いるのが一般的で、歪み補正対応としては、ミラー面を非球面化して、補正するのが一般的である。

## 4. 1. 2 二重像

二重像は、HUD 表示像（正規の像）の背後に輝度は低い、ほぼ正規の像と同等の大きさの虚像ができてしまい、表示が二重に見え、視認性を低下させるゴースト像の一種である。

### (1) 二重像発生原因

二重像の発生は、ウインドシールドに起因するものである。正規の像は、HUD ユニットから投射された表示光がウインドシールドの表面(室内側)で反射してドライバーの目点に向かい虚像として視認される。その際に、表示光の一部は透過光となり、ウインドシールドで屈折した後、ウインドシールドの裏面で反射し、再び車室側で屈折してドライバー側に向かってしまう。これにより、ドライバーから表示を見ると表示が二重に見えてしまう。

## (2) 現在行われている対応策

- ・増反射膜（処理）を反射面へ

ウインドシールドの表面での反射率を上げれば、裏面への透過光の輝度を低くすることができ、裏面反射のゴースト像を目立たなくすることができる。表面の反射率を上げるためには反射面に増反射膜を蒸着や印刷で形成する方法がある。ただし、法規的な制約があるので、増反射膜による透過率を70%以上に確保する必要がある。

- ・楔形

表面反射と裏面反射での虚像を重ねることで、二重像を解消する方法がある。そのためには、ウインドシールド断面形状を楔形にして、表面と裏面の反射面を平行ではなく角度差をつけた形状とする。

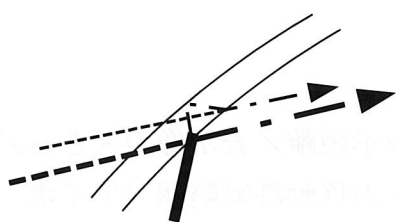


Fig.4-3 二重像：表面/裏面反射

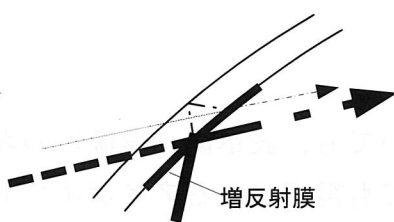


Fig.4-4 増反射膜処理

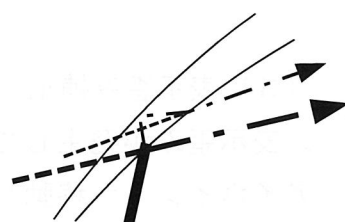


Fig.4-5 楔形ウインドシールド

### 4. 1. 3 外光入射

外光(太陽光)が、ウインドシールドを透過し、HUD ユニットに入射してしまう場合が考えられる。その場合、下記の不具合を生じる懸念がある。

#### (1) 拡大系による集光熱

HUD ユニットに拡大系が用いられている場合、外光（太陽光）が HUD 表示光路を逆行して、拡大系に入射してしまうと、外光（太陽光）は集光され、集光部分（表示デバイス部分）で発熱し、表示デバイス/ HUD ユニットケースを破壊する恐れがある。

#### (2) 現在行われている対応策

HUD ユニット内の拡大系が凹面ミラーなどの反射系の場合、外光（太陽光）が入射して集光したとしても、特定の波長のみ反射する光学部品を用いれば、発熱を低くすることができる。よって、反射系の光学部品の表面に施す反射コ

ートに波長選択性をもたせ、可視光域は反射させて、それ以外の光（特に赤外光）を透過させてしまう方法がある。

（3）表示デバイス表面で反射する外光（ゴースト原因）

光路を逆行した外光が、表示デバイス面まで到達して、表示デバイス面で反射する場合がある。その反射光が光路を再び通ってドライバーのアイポイントまで到達すると表示が見えにくくなるばかりか、最悪時は、眩惑をもたらす懸念がある。

（4）現在行われている対応策

表示デバイスの設置角を光軸と垂直に設定しないことで、外光の表示デバイス面上での反射光をドライバーのアイポイントに向かわせないようにする。

#### 4. 1. 4 インストルメントパネル（インパネ）面上の開口部

インパネ内に設置される HUD ユニットからの表示光をウインドシールドに向かわせるためには、インパネ表面に光路のための穴（開口部）が必要となる。

（1）開口部の大きさ

インパネ表面の開口部は、できるだけ小さくすることが望ましい。これは、インパネにおさまる他の機能部品との干渉を避ける（たとえば、エアコン用ダクト（吹き出し）との干渉）／インパネの強度が弱くなる／開口部位置は、ウインドシールドとアイポイント位置で決定されるため、インパネはもとより、コックピットデザインに影響し、デザインの自由度を低化させること／などが懸念されるためである。

（2）開口部を小さくする対応策

最小の開口は、アイポイント一点からのみ表示像を視認できる光路を確保したときとなる。しかし、ドライバーの体格差、ドライビング中のアイポイントの移動など、アイポイントを移動させても、ある範囲内では、表示が視認できるように、光路にマージンをもたせる必要がある。

一般に車両のヒューマンインターフェース機器（たとえばメータ）は、アイレンジから視認できるように機器を設計する。

HUD もアイレンジ全域を確保できるように設計するのがよいが、表示画角を大きくすると開口部が大型化してしまう問題が発生する。そこで、アイレンジの一部範囲限定（アイボックス）で表示を視認できる光路を確保し、そのアイボックスを HUD ユニット内の反射系（ミラー）を回動させることで、アイレンジ内で上下に移動させる方法が採用されている。

### (3) 開口部カバーとゴースト

インパネ表面に光路のための開口部は必要であるが、HUD ユニット内への埃／ゴミ／異物などが入るのを防ぐために透明材のカバーが必要になる。問題となるのは、カバーの表面／裏面で外光（太陽光など）が反射して、ウインドシールドで反射、ドライバーのアイポイントに向かってしまう場合があり、視認性を低下させ、最悪の場合には、ドライバーに眩惑をあたえてしまう。

### (4) 現在行われている開口部ゴースト対策

アイレンジからカバーまで光線を追ってみると、アイレンジ→ウインドシールド→カバーとなり、カバーで反射した光線が、外光方向に向かわないようにカバーの設置角を設定すれば、アイレンジからは外光が見えないことになる。また、カバーを平板とするとカバーでのゴースト対策のためだけにカバー部分が大型化してしまうので、カバーを湾曲させ、高さ方向を短くするのが一般的である。

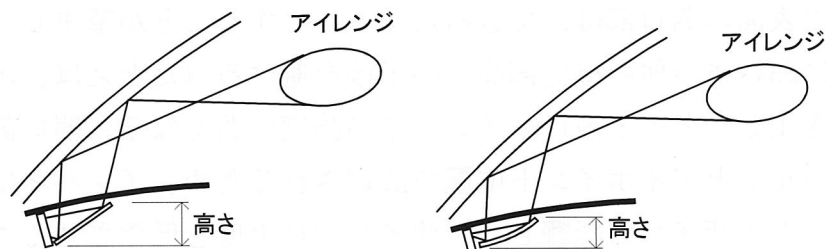


Fig.4-6 カバー形状と高さの違い

## 4. 1. 5 調光

車両用電子メータ、あるいは、昼間も透過照明しているメータは、ドライバーが表示輝度を調光できるようになっている。これは車外の環境が明るい／暗い時に、表示輝度が低すぎて見にくい／表示輝度が高すぎて目が疲れる、まぶしいなどの不具合を解消する目的がある。

HUD の表示についても同様であるが、HUD の表示は車両前方の景色を背景として、表示を視認できるのが特徴のひとつであり、車外環境の明るさで、視認性は変化する。また、車外が暗く、HUD 表示が明るすぎると、前方景色が、表示で完全に隠れてしまい安全上の問題が懸念される。

### (1) 輝度調光制御とユーザが手動調光できる設定

ドライバーによる手動調光も必要であるが、HUD 表示の背景輝度（車外環境の明るさ）が、太陽光／建物・樹木による影／トンネルなどで変化する車両の場合、自動調光制御も必要となる。インパネ上部に設置される照度センサーからの信号により、輝度制御している事例がある。

## （2）昼・夜での最高輝度設定

一般に車両用メータは、ドライバーがスモールランプを点灯させるとメータ輝度が夜モードに減光される。HUD も同様に、夜モードに輝度を下げ、輝度調光範囲を設定する事例がある。

## 4. 2 表示器

### 4. 2. 1 HUDに必要な表示器の要件

#### (1) 必要な機能

自動車に用いられるヘッドアップディスプレイ (HUD) は、表示する内容により、求められるサイズ、カラー、解像度等が異なる。また、車載環境に関しては一般家電製品に比べ環境要求が厳しく、幅広い温度要件が求められる。その上に、HUD としての、高い表示輝度を達成することが重要であるために、HUD 用の表示デバイスは限られてしまう。またインストゥルメントパネル (インパネ) 内に用いられるディスプレイに比べ、HUD の表示は、直接外界の景色と重畳させて見るため、ダイナミックレンジの広い外界の明るさに応じて表示の明るさを調節できる機能を有することが必要である。また、HUD の表示原理として、ウインドシールドに反射させて表示させるため、偏光の影響を受ける。従って、液晶などの偏光表示素子は、HUD の表示デバイスとして用いる場合には、液晶からの出射光の偏光軸の向きに注意する必要がある。

また、表示画像の自由度をどのように確保するかという問題もある。現在、車載用の HUD 表示デバイスとしては、最初から定まった部分のみを点灯させるセグメント表示のものと、必要な箇所のドットを点灯させることにより自由な画像を表示するドット表示のものがある。セグメント表示では、高輝度の蛍光表示管 (VFD) が主流であり、ドット表示では、高輝度の LED バックライト光源を伴った DSTN-LCD や TFT などの液晶デバイスが主流である。

ただし、優れた光源を用いても、HUD 上の表示としてドライバーが認知するまでに、幾重の光学部材 (表示デバイス、ミラー類、ウインドシールド、etc) を経ることによって大きく減衰してしまう。光の利用効率としては非常に低い表示システムといえる。従って、HUD を構築する上では、表示デバイスの進化だけでなく、周辺の光学部材の最適な光学設計が必要であり、光利用効率の高い、DMD や、LCOS などの反射型表示デバイスが次世代の HUD の表示デバイスとして期待される。

#### (2) HUD 表示コンテンツ

自動車用の HUD については、スピード表示をはじめとする車両情報から実用化が進められたが、同様の情報はインパネ内のメータ類にもあり、HUD に特化した情報というわけではなかった。近年、ナイトビジョンシステムやアダプティブクルーズコントロールシステムのように、新しいドライバーの運転支援シ

システムが数多く搭載されるようになってきた。そのようなシステム情報はドライバーの早期認知を必要とするため、瞬間判読に優れている HUD に特化した情報と考えられる。

ここで、HUD のハード要件（表示文字数、サイズ、色、etc）は、表示コンテンツに大きく左右される。今後の HUD の進化の鍵を握るのも表示コンテンツを含めた新システム次第といえる。表 4-1 に現在 HUD の表示コンテンツとして使われているものを示す。

表 4-1 HUD 表示コンテンツ

項目	HUD 表示コンテンツ
車両情報	スピード エンジン回転数 ターンシグナル ハイビーム表示 ウォーニングメッセージ
運転支援情報	ナビゲーション（簡易経路誘導表示） ナイトビジョン アダプティブクルーズコントロール（ACC） 外気温度
その他	オーディオ エアコン TEL

### （3）HUD 用途としての表示デバイスの比較

HUD の表示デバイスは、上述のように、表示する内容によって求められる要求が異なる。スピード表示だけであれば、無理にドット表示は要らず、セグメント表示だけでも機能を満足することができる。しかしながら、HUD に要求される機能は益々進化し、ナイトビジョンシステムであれば、大型ワイド、高精細、動画表示等が要求されることとなる。しかし、夜間時のみの使用となると高輝度は不要となり、デバイスに要求される性能は全く違ったものとなる。従って、システムの用途に応じて表示デバイスを選定する必要がある。

なお、HUD としての表示デバイスは、自発光型と受光型に大別される。受光型であれば、別光源の特性が表示デバイスとしての性能に大きく影響するため、

その特性を加味した設計が必要である。

表 4-2 に現在 HUD として主として使われている表示デバイスと、その候補になりうる次世代の HUD 表示デバイスについての比較を示す。

表 4-2 HUD 用途としてのディスプレイ比較

項目	自発光型		受光型			
	VFD	有機 EL*	DSTN	TFT	DMD*	LCOS*
コントラスト	◎	◎	△	○	◎	◎
視野角	○	◎	△	○	○	○
応答性	○	◎	△	○	○	○
薄さ	△	◎	○	○	○	○
色	△	○	光源色、カラーフィルター等による			
高輝度	◎	×	光源による			
動作温度	◎	○	○	◎	○	○
寿命	◎	△	◎	◎	◎	◎
解像度	×	○	○	◎	◎	◎
コスト	◎	○	◎	△	×	×

※有機 EL、DMD、LCOS は未だ、HUD 用の表示素子として実用化されていない。HUD 用の次世代表示デバイスとして挙げている。

#### 4. 2. 2 各表示デバイスの特長

##### (1) 蛍光表示管 (VFD)

蛍光表示管は、一般的に VFD (Vacuum Fluorescent Display) と呼ばれ、真空管技術を応用した表示デバイスである。発光の原理は、カソード電極から飛び出した電子が、グリッド電極により制御され、アノード電極にある蛍光体に衝突することによって発光する。

一般家電製品として、オーディオ機器やビデオ機器などの表示部に多く使われているが、自動車用途としても、時計をはじめとするインパネ、メータ、カーオーディオの表示デバイスとして数多くの実績がある。HUD の高輝度要件に対しても比較的早い時期から達成していたため、長い間 HUD 用の表示デバイスとして使われてきた。現在は、文字も表示可能なドット・マトリックス表示への移行もあり、高輝度ドット表示の蛍光表示管の開発も行なわれている。

##### (2) 有機 EL

有機 EL ディスプレイの用途は急速に広がっている。表示デバイスとしては、自発光タイプであるため、高コントラスト、広視野角を有し、応答速度も優れている。

有機 EL は、発光層が二つの電極の間に挟まれたサンドイッチ構造で、発光層の光を外に取り出せるようにするために、片側の電極は ITO と呼ばれる透明電極が使われている。

発光層は、多層の有機層から成り、有機層全体としても数百 nm 以下と非常に薄いのが特長である。表示デバイスとしても薄型、軽量であることから、当初は民生分野から展開は進んで行ったが、現在では自動車用のメータや、カーオーディオの表示デバイスとしても使われ始めている。しかしながら、未だ HUD の表示デバイスとして必要な高輝度要件を満たしていないため、より高輝度化、フルカラー化の更なる開発が必要である。

### (3) DSTN-LCD

Dual Super Twisted Nematic · Liquid Crystal Display の略称。STN(Super Twisted Nematic)で不可能だった白黒表示を可能にしたもの。STN 液晶のセルに別の液晶セル(補償セル)を追加した構造であるため、一般的なものではないが、他のディスプレイに対して、形状、サイズ、画素数と仕様に応じた設計の自由度が高いことから HUD の表示デバイスとして使われている。単純マトリックス駆動方式であるため、車載要件で求められる低温での動作は弱い。従って低温時はヒーターを付加して LCD の応答性を安定させるなどの配慮が必要である。また、TFT と同様に、自発光素子ではないため、高輝度のバックライトが必要になってくる。近年は高輝度 LED の技術開発が進み、HUD の要求に見合った表示輝度が達成できている。モノクロの LCD であれば、LED の発光色が HUD の表示色となり、LED の発光色を変えることによって、容易に表示色のバリエーション展開も可能になる。

### (4) TFT

Thin Film Transistor の略称であるが、駆動方式が一般名称となっている。液晶のタイプとしては、ネマティック液晶を 90 度ツイストした TN(Twisted Nematic)モードである。駆動方式は、各画素に形成されたトランジスタによって、個別の電圧の制御を行うアクティブ・マトリックス方式である。従って画素毎に高い駆動力が得られるため、サイズ、線数に関係なく、高コントラストで高画質の中間階調表示も可能になる。単純マトリックス方式に対して高い特性を得ることができるが、反面その製造工程は、単純マトリックス駆動方式と

比べて格段に複雑になり、高い製造コストがネックとなっている。

HUD は、セグメント表示からモノカラーのドット表示と進化してきていて、最近ではフルカラー表示が望まれる。より高解像度、高コントラストという高い画質要求を合わせて考えれば、HUD の表示デバイスとして TFT は期待される。フルカラー化に対しては、TFT の液晶セル内に形成されたカラーフィルターによって実現しているが、そのカラーフィルターによって大幅に透過率が減少することから、更なる高輝度で、白色のバックライトが必要になる。また高い演色性も考えると、透過した後も色バランスが崩れないように、三原色を伴った強力な白色光源が望まれる。

#### (5) DMD

DMD (Digital Micro mirror Device) の略称。TI(Texas Instruments)社によって開発されたもので、CMOS の半導体上に独立して動くマイクロミラーが数十万～数百万個敷き詰められている。外部光源からの光をマイクロミラーで反射制御し、表示の ON/OFF を行うという反射型表示デバイスである。偏光フィルターなどによる光のロスがないため、光の利用効率が非常に高い。更に、表示の OFF の完全黒化が可能であることから、高コントラスト表示を達成できる。1チップ方式のプロジェクターから、3チップ方式のデジタルシネマ用のプロジェクターと幅広い。現在はほとんどプロジェクター用途に限られるが、表示デバイスとしての性能は高いため、次世代の HUD の表示デバイスとして期待できる。

#### (6) LCOS

Liquid Crystal On Silicon の略称。単結晶シリコン基板を用いた反射型液晶表示素子である。反射電極の下に、シリコン基板上に設けられたトランジスタで液晶を駆動するために高い駆動能力を持つ。従って、高開口率で小型、高解像度という特長を有する。しかしながら、液晶と同様に、表示の ON/OFF に、光の偏光を利用しているため、光源からの光と、表示素子からの反射（表示）光を分離する PBS（偏光ビームスピリッタ）等の光学素子も合わせて必要になる。現在は、DMD と同様に高価なプロジェクター用の表示デバイスとして使われているが、更なる開発が進めば、HUD の表示デバイスとしても可能性を秘めている。

## 4. 3 人間工学的要因 (1) - 輻輳応答特性 -

### 4. 3. 1 まえがき

自動車用 HUD の基本設計においては、ドライバの目から表示像までの距離 (表示像距離) と、表示像位置の水平面からの見下ろし角度 (俯角) が最も重要な変数である<sup>1),2)</sup> (図 4-7)。

航空機用 HUD の研究での知見<sup>3)</sup>から単純に類推すると、表示像距離を無限遠方 (できるだけ遠くに) にとり、また、表示像はパイロットの顔面直前方 (微小俯角領域) に設定するのが自動車用途でも望ましいことになる。

しかしながら、航空機と自動車とは表示装置に求められる諸特性が異なる。最も大きな相違点は、Heintz や Haller が指摘しているように<sup>4)</sup>、ドライバにとっては (車外) 前景情報受容がプライマリタスクで、表示情報受容はセカンダリタスクであるのに対して、パイロットにとってはその逆である場合が多いことである。即ち、自動車用表示システムでは、表示情報受容が良好に行われるだけでは不十分で、前景情報受容により表示情報受容が影響をうけないと共に、表示情報受容により前景情報受容が影響をうけないことがシステムの重要な基本的特性となる。これら条件が自動車用 HUD 設計の最適化に少なからぬ影響を与える可能性がある。

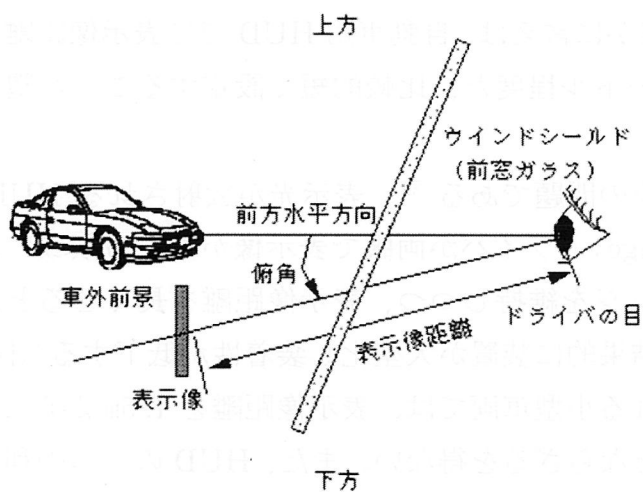


図4-7 自動車用HUDの設計変数  
- 表示像距離と俯角 -

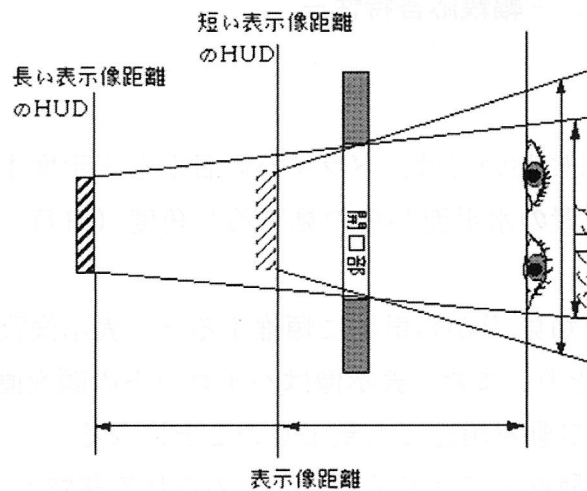


図4-8 表示像距離とアイレンジの関係

自動車用 HUD における表示像距離に関する研究を総括<sup>5), 6), 7)</sup>すると、表示像距離をむしろ比較的短く設定すべきであるという知見がいくつかある。

代表的な知見の一つの例は、「表示像と前景の見易さ」と表示像距離の関係を官能評価した結果<sup>6), 7)</sup>である。実験では、表示像距離が異なる HUD を車載し、「表示像と前景の見易さ」を実車走行により官能評価した。結果、抽出された第二の主成分（前景と表示像の整合・不整合による不快感の因子）は、表示像距離が長くなるほど高くなり、表示装置としての特性が劣化する。自動車が走行し、表示像に対して前景が相対的に移動し始めると、ドライバの違和感や不快感はより強くなる。大まかに言えば、自動車用 HUD では表示像距離を車体の前端位置程度である 2メートル程度と、比較的短く設定することが望ましいという結果になる。

二つ目の例は車両装着上の問題である<sup>5)</sup>。表示光が放射される HUD の開口部とアイレンジ (eye range; ドライバが両眼で表示像が見える領域) について考えるとき、広いアイレンジを維持しつつ、表示像距離を長く取ると、必然的に開口部が大きくなり、結果的に装置が大型化し装着性が低下する (図 4-8)。日本や欧州で主流といわれる小型車両では、表示像距離を 1.5m から 2.5m 程度に設定するのが現実的解とならざるを得ない。また、HUD の一つの利点と言われる目の調節量低減の観点から見ても、表示像距離が 2メートル程度で現実には十分な効果が期待できると思われる<sup>8)</sup>。以上のような諸点から、実用化されている自動車用 HUD では、表示像距離が 1.5m から 2.5m 程度がほぼ定着してきている<sup>9)</sup>。

表示像の俯角設定については、航空機用 HUD から推測すると、できるだけ小さい俯角が望ましいことになるが、自動車では明確な基準は見あらず、現在実用化されている自動車用 HUD ではドライバのほぼ正面の 0 度近傍から 10 度弱下方領域までと製造メーカーや車種によって異なっている。

岡林らは、実験室に HUD を設置し、ランダムに視標を前景スクリーンに呈示させ、HUD 表示像と前景の視標の両方をどの程度良好に受容できるか被験者を用いて評価した<sup>1), 2), 10)</sup>。実験では、表示像距離と共に、俯角をも変化させ、短時間視標呈示法により前景視標と表示像の認知特性を評価した。結果は、俯角が小さくなると表示像の認知特性が向上していくが、俯角が 0 度に近くなると認知特性が飽和の傾向を示す。表示像距離が 1-2m 程度の比較的短い領域では微少俯角領域で僅かながら認知特性が劣化する場合<sup>10)</sup>も見られることがわかった。この事実は、微少俯角領域で何らかの認知特性を阻害する要因が働いている可能性を示唆している。

HUD 搭載車を用いて走行評価を行った岡林らの実験結果によると、表示像距離約 1.5m で俯角がほぼ 0 度の HUD に対して、数名のドライバが「二 (一) 桁の数字が一瞬、三 (二) 桁に見えることがある」と報告する場面があった。実験室実験でも表示像距離が比較的短い条件で、「表示像“11”が一瞬“111”に見えることがある」などの報告があった。これらの数字の見えを、ここでは「二重像的知覚」と仮に呼ぶことにすると、前述した微少俯角領域での表示像の認知特性の飽和や低下の問題と併せて、現実の自動車用 HUD では問題となる可能性がある。

本節では、微少俯角領域で発生する表示像認知特性劣化に着目して、情報受容過程に如何なる現象が発生しているのかを明らかにし、現実的対策解を探ると共に、対策解が如何なるメカニズムで解となり得るのかを輻輳応答特性と視覚情報の抑制の観点から実験評価した。最後に、これらの現象が日常の人間の視覚情報受容機能と如何に関わっているかについて論議した。

#### 4. 3. 2 実験 I

実験 I では、微少俯角領域で発生する表示像認知特性の劣化が主として「二重像的知覚」によると考え、「二重像的知覚が、前景から表示像に視点を移動するとき発生するドライバの目の輻輳応答遅れに起因する」<sup>10)</sup>という仮説を設けて実験した。

##### (1) 実験系

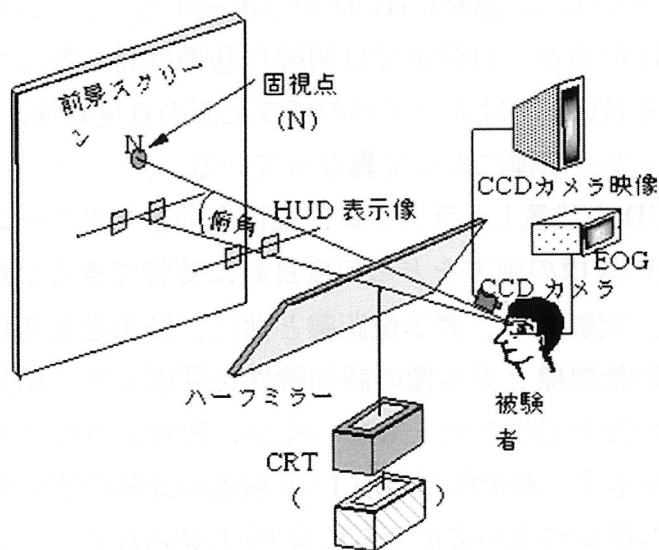


図4-9 (a)実験系

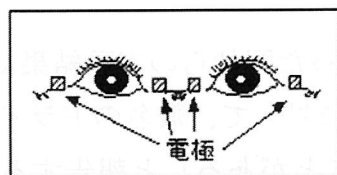


図4-9 (b) EOG電極の貼付状況

実験系を図4-9に示す。実験系は固視点を表示する前景用白色スクリーンと、光学虚像である HUD 表示像を形成するハーフミラーと CRT ディスプレイからなる。前景用白色スクリーンの位置は被験者の目から 8m に設定し、HUD の表示像距離を変化させる場合には、図4-9(a)の CRT の位置を移動させた。輻輳応答計測実験では、HUD 表示像距離を 1.5m に設定し、被験者の視点が、前景固視点から HUD 表示像に移動する時、輻輳角差が約 2 度になるようにした。HUD 表示像としては、単純な矩形像（被験者から見た視角が一辺 6 mrad. の 1 個または 2 個の緑色正方形）を用いた。矩形像を 2 個表示する場合は、被験者が固視点を見ているときそれぞれの矩形像の中心が左右の眼の視軸上に位置するよう、二つの矩形像を水平方向に離して表示させた。この条件は被験者が前景スクリーン上の固視点を注視している場合に二つの矩形像がほぼ一つの像に知覚される位置に相当する。表示像の俯角は 0 度から 5 度の範囲で変化させた。

被験者は軽く顔面を固定し、前方の白色スクリーンの固視点を見る。ブザー

音の後、約1秒間の注意の統制後0.5秒間 HUD の表示像を呈示する。この一回の試行ごとに被験者は呈示された矩形の数をキーボード入力する。呈示個数とキーボード入力が等しいとき正答とする。知覚正答率は100 試行中の正答数から算出した。

被験者には、図 4-9 (b) に示すように、それぞれの目の左右両端に測定電極を装着させ、左右水平方向に移動する眼球の輻輳応答特性を眼電位記録法 (EOG: electro-oculography) により測定した。図 4-9 の CCD カメラからの拡大映像により、実験中の被験者の協見や瞬目などをモニターするとともに、眼球が共同運動して上下垂直方向に移動したか否かを観測した。被験者は運転免許を有する20代の男子5名(内2名眼鏡矯正)。

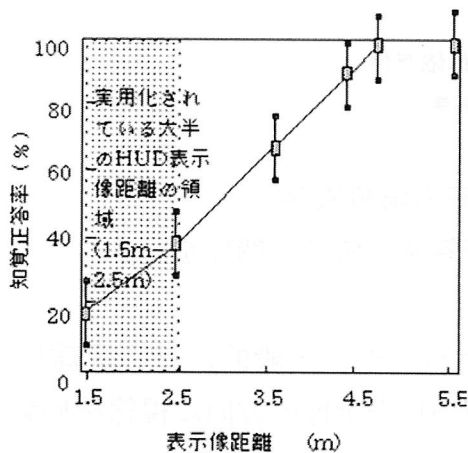


図4-10 表示像距離と知覚正答率

## (2) 実験結果

### (i) 知覚正答率と表示像距離

俯角が0度の条件で、表示像距離を1.5mから増加させ、知覚正答率と表示像距離の関係を測定した。全被験者平均の知覚正答率を図4-10に示す。表示像距離が短くなると、知覚正答率が低下し表示情報の誤認識・誤知覚が発生することが分かる。HUD表示像のサイズが十分に大きく(目の調節遅れが存在しても)正しい応答が可能であることを考慮すると、表示像距離が長くなる(即ち前景視対象に視距離が近づく)に従い、表示情報の誤認識・誤知覚が改善することは、前景視対象から表示像に視点が移動する時に発生する輻輳応答が知覚正答率に関わっていることを示唆していると考えられる。

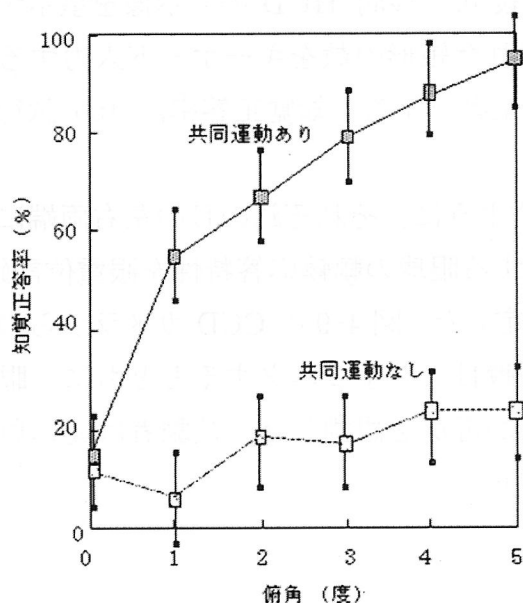


図4-11 知覚正答率の俯角依存性

■ 共同運動有 □ 共同運動無

(ii) 共同運動の有無による知覚正答率の俯角依存

表示像距離が 1.5m の条件で、知覚正答率と俯角の関係を測定した。全被験者平均の知覚正答率を図 4-11 に示す。

HUD 表示像の情報受容過程を考えると、一般的には両眼球は共同運動 (version) をして (見ようとする対象の) 表示像の方向に視線を移動するのが自然である<sup>11), 12)</sup>。図 4-11 の実線データは被験者の両眼球が共同運動する自然な条件の評価結果で、破線データは両眼球の共同運動を意識的に抑制する条件の評価結果である。共同運動の抑制はきわめて不自然なケースで、この場合、被験者は周辺視野でのみ表示情報を受容すると考えられる。(このケースでは予め目を動かさないよう被験者に指示すると共に CCD カメラによる眼球の拡大像 (片眼) を観察し抑制の程度を判別した。)

共同運動を抑制した場合は知覚正答率に改善は見られないが、共同運動が存在する自然な条件では知覚正答率は大きく改善する。これは有限な俯角設定により生じた共同運動が輻輳の応答に何らかの良好な影響を与えていることを示唆していると考えられる。

(iii) 輻輳応答計測

輻輳応答計測の例として、図 4-12 に M. I (眼鏡矯正) と T. A (裸眼正常眼) の 2 名の被験者について、俯角 5 度で共同運動がある場合 (HUD 表示像の個数

に正答した場合)と俯角2度で共同運動がある場合(HUD表示像の個数に正答した場合)、俯角0度で共同運動がない場合(HUD表示像の個数を誤った場合)の三条件での利き目側片眼の EOG 観測データを示す。各データは他の被験者についても同様の特性を示した。

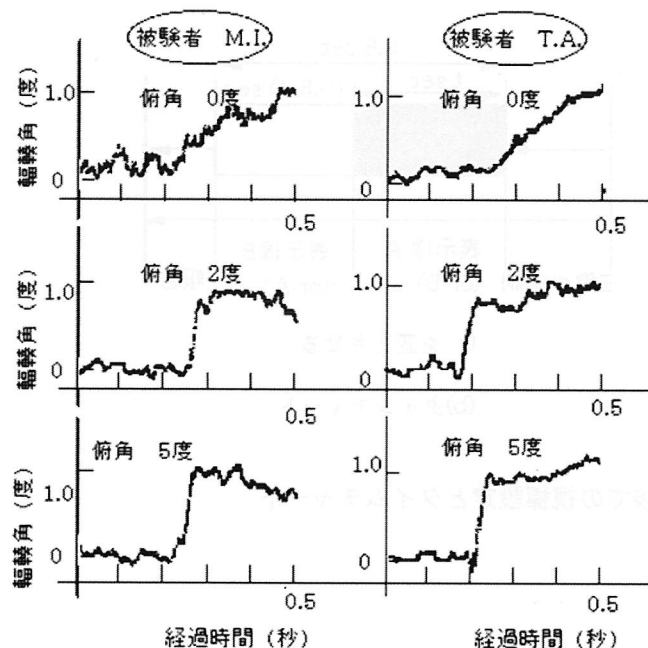


図4-12 輻轉応答  
俯角条件 0度, 2度, 5度の場合

EOG 観測データの特徴を要約すると以下のように表現できよう。

- (a) 共同運動の有無に拘わらず輻轉応答の潜時には殆ど差はない。
- (b) 俯角5度と2度の共同運動がある場合の方が、俯角0度の共同運動がない場合に比較して輻轉応答は1度近傍に素早く到達する。
- (c) 輻轉運動の立ち上がり速度は、俯角5度と2度の共同運動がある場合の方が俯角0度の共同運動がない場合に比べて数倍以上速い。

俯角2度の条件でも、正答しなかった場合には共同運動が殆ど観測されず、俯角0度で共同運動がない場合とほぼ同様の立ち上がりの緩やかな EOG データが観測された。また、(c)項は、Zee らの眼球運動計測結果<sup>13)</sup>と似た傾向を示している。

以上の結果は、眼球の共同運動が輻轉の立ち上がり応答速度の加速に密接に関係し、この応答速度の加速により短時間で目標の輻轉角に到達するため、結

果的に知覚正答率が改善すると解釈される。

これは表示像距離が 1.5m から 2.5m 程度と比較的短い現実の自動車用 HUD を考える時、航空機用 HUD とは異なり「俯角をむしろ意図的にごく僅か設けることが表示情報受容特性を改善する」ことを示している。

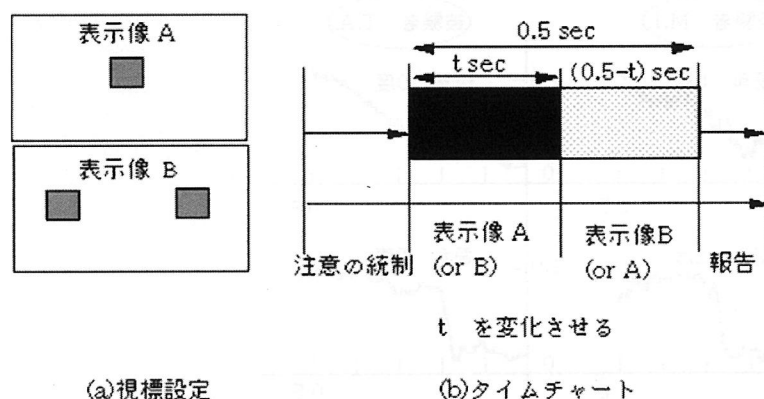


図4-13 予備実験での視標設定とタイムチャート

### 4. 3. 3 実験 II

#### (1) 予備的実験

(i) 予備的実験として、図 4-13 に示すように、視距離 1.5m の位置に二種類の視標 (表示像 A、B) を継時的に呈示した。呈示時間は、視標の総呈示時間 (0.5 秒) を一定にしながら一方の時間 ( $t$ ) を変化させた。変化幅は視標呈示用 CRT の特性を考慮して 約 60msec から約 440msec に設定した。視標の大きさは、実験 I と同様、被験者から見た視角が一辺 6 mrad. の 1 個または 2 個の緑色正方形を用いた。被験者は呈示された視標の個数をキーボード入力で答える。呈示回数は 60 試行。被験者は実験 I と同じ 5 名。結果は、一方視標の呈示時間、 $t$  を変化させても、被験者は両方の視標を十分認識しており、「一個と二個」とか「二個と一個」などと各試行で正確に答えることがわかった。

#### (ii) 知覚モデル

HUD 表示像の一連の知覚過程は、主として輻輳応答潜時時間、即ち、視点が前景視標にある場合 (一部過渡的状況をも含めて) に表示像を知覚するケース (A) と、輻輳運動が開始され視点が表示像に移動してのち、表示像を知覚するケース (B) の二つが連続して発生する過程とみなせる。予備的実験で、一方の視標

の呈示時間  $t$  を 60msec から 440msec 程度変化させてもそれぞれの場合の個数を被験者は正確に認知できた。このことから、実験 I で正しい表示像の個数が知覚できる場合は、ケース(B)での受容情報だけが結果報告に影響し、ケース(A)で受容した情報が何らかの理由で抑制されるメカニズムが働くことが示唆される。

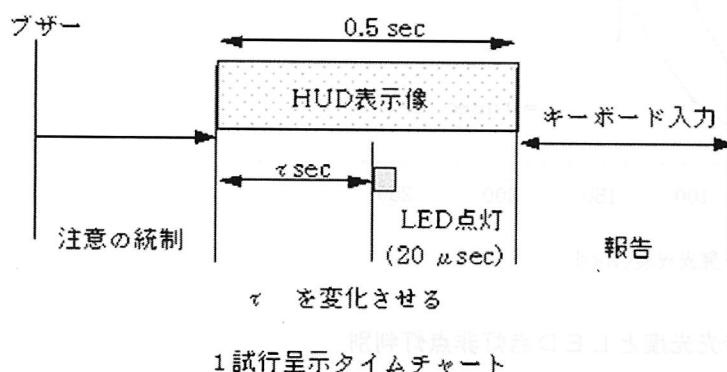


図4-14 実験IIのタイムチャート

## (2) 視覚情報の抑制

### (i) 実験系

実験系は、実験 I と同じ設定であるが、新たに発光ダイオード(LED)による第3の視標を追加した。前景固視点から視角 2.5 度下方の位置に、表示像と色相が異なる赤色 LED (発光部の径は約 5mm φ) を装着し、HUD 表示像呈示時点を基準に  $\tau$  msec だけ遅延して点灯した。 $\tau$  は、-100msec (先行して起こる抑制分) から 400msec まで変化させた (図 4-14)。LED の発光光度(mcd)は 0 から 200mcd に変化させた。

実験 I と同様、被験者は試行の最初、前景スクリーン上の固視点を注視する。ブザー音 (注意の統制) から約 1 秒後に 0.5 秒間 HUD 表示像が呈示される。本実験では、被験者には、HUD 表示像の個数と、点灯する LED が見えたか否か (点灯或いは非点灯か) をキーボード入力させる。LED 点灯時間は、Volkman や Riggs らの実験<sup>14), 15)</sup>を参考にして 約 20  $\mu$  sec とした。被験者の輻輳応答については、実験 I と同様に EOG を用いて計測し、HUD 表示像の知覚正答率と LED 点灯非点灯の判別正答率を同一条件 100 試行の結果から算出した。

実験 I の結果に基づき、表示像の俯角は 0 度の条件 (眼球の共同運動なし) と、安定して輻輳応答が加速される 5 度の条件 (眼球の共同運動あり) の二つ

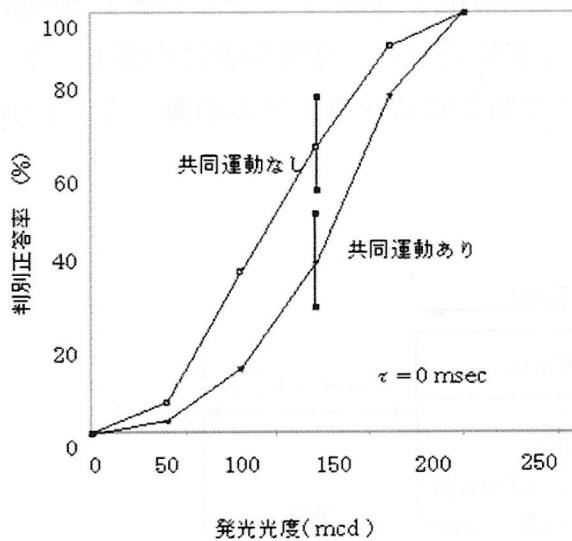


図4-15 発光光度とLED点灯非点灯判別

について評価した。

(ii) 実験結果

例として、 $\tau = 0$  msec の場合について、共同運動がある条件とない条件をパラメータにして、LED の発光光度と判別正答率の関係を図 4-15 に示す。他の  $\tau$  の場合も、眼球の共同運動がある条件の判別正答率の値が、ない条件より下方にあり、発光光度が増加すると判別正答率が高くなる傾向は同じであった。しかも、眼球の共同運動がある条件とない条件での判別正答率には、有意な差が存在した ( $\tau = 200$  msec では発光光度が 80 mcd-200 mcd で、それ以外の  $\tau$  では、80 mcd-160 mcd で有意  $p < 0.01$ )。この差 (眼球の共同運動がない場合の判別正答率から眼球の共同運動がある場合の判別正答率を引いた値) と、HUD 表示像呈示時点からの遅延時間  $\tau$  との関係を図 4-16 に示す。差は、 $\tau$  が -100 msec 程度から発生し、200 msec 周辺で最も大きくなり、400 msec 程度でほぼ消滅傾向を示す。

判別正答率は、注視している視野領域の近傍が正しく知覚されているか否かを表わす指標と考えられる。従って、両者の差が常に正数であることは、(1) でのケース (A) の時間帯で視覚情報の抑制が現実に行われていることを示している。

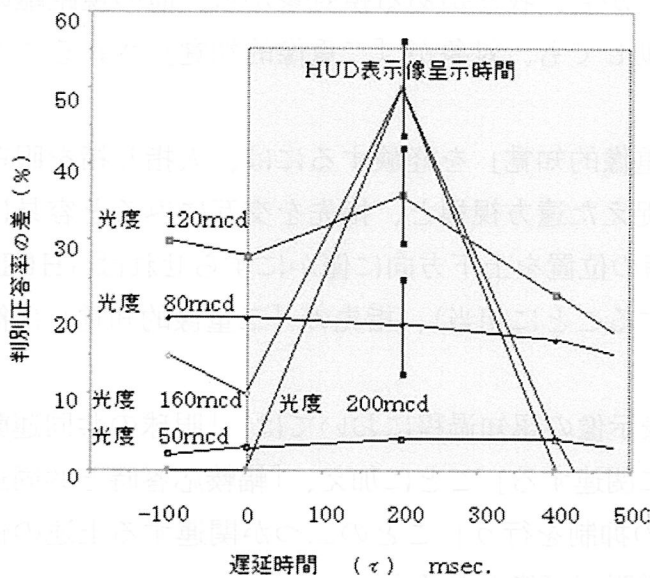


図4-16 共同運動の有無による判別正答率差の時間依存性

#### 4. 3. 4 考察

視覚情報抑制の程度がLEDの光度に依存するため、実験IのHUD表示像と実験IIのLEDについて、単位立体角あたり瞳孔に入射する光束数 ( $\times 10^7$ ) として定義される網膜照度<sup>16)</sup>をそれぞれ算出した。実験Iで用いた高々 $10\text{cd/m}^2$ のHUD表示像は、およそ輝度 $1000\text{cd/m}^2$ 、光度 $200\text{mcd}$ 弱のLEDに相当することから、実験IのHUD表示像の輝度領域でも、実験IIのLEDと同程度の視覚情報抑制が注視点付近で起こりうるということがわかる。このことから、HUD表示像の情報受容過程で、つぎのような認知のモデルが考えられる。

(1) 俯角が0度近傍で、眼球に共同運動がない場合、ドライバ(被験者)は最初知覚される(誤った)表示像の情報(個数)が認知される。その後は、緩慢な視点移動で正確な表示情報が知覚される前に視標が消滅してしまうか、あるいは、極めて短い時間だけ(正確な)表示像情報が知覚される。1個か2個と教示されている被験者は、はじめの誤った情報を答えることが多い。

(2) 有限の俯角が存在して、眼球が共同運動すると、ドライバ(被験者)が前景固視点から表示像に視点を移動させる前後で、視覚情報の抑制が起こり、最初知覚された(誤った)表示像の情報(個数)が抑制され、その後、迅速な視点の移動ののち知覚された(正確な)表示像情報だけが認知され、正しい答えをすることができる。

我々の生活では、空間のすべての物体は視距離が異なるように三次元的に配

置されている場合が多い。しかも、我々がある視対象から、他の視距離の異なる近接する対象に視点を移動しても、対象が「二重像的知覚」されることは通常ない。

日常生活での視標の「二重像的知覚」を経験するには、人指し指を眼前に置き、指の直ぐ近くの視野に捉えた遠方視標と、指先を交互にみると容易に実現できる。この場合に人指し指の位置を上下方向に僅かにずらせば（HUD 表示像で有限の微小俯角を設定することに相当）、指先の「二重像的知覚」は簡単に消滅することも経験できる。

これらの事実は、HUD 表示像の認知過程においては、「眼球の共同運動の存在が輻輳応答の加速と密接に関連する」ことに加え、「輻輳応答時と共同運動の二つが協調的に、視覚情報の抑制を行う」ことの二つが関連する上述の情報受容過程のモデルによって、説明が可能となろう。

#### 4. 3. 5 むすび

(1) 自動車用 HUD 表示像位置の設定では、僅かの俯角を意図的に設けた方が表示情報受容特性は改善する。これは、有限の俯角が設定され眼球に共同運動が存在すると、輻輳応答の加速する傾向が出現することによると考えられる。

(2) 輻輳運動の立ち上がり速度は、俯角 5 度や 2 度の共同運動がある場合には、共同運動がない場合に比べて数倍以上速くなる。

(3) 「眼球の共同運動の存在が輻輳応答の加速と密接に関連する」ことと、「輻輳応答と共同運動の二つにより誘導される視覚情報の抑制」の二つを関連づける認知のモデルにより、自動車用 HUD のような「視距離の異なる視標の認知」における「二重像的知覚」軽減のメカニズムが説明可能となろう。

実験で見られた輻輳応答の加速がなぜ発生するのか、また、視覚情報の抑制が、眼球の共同運動によるサッカード抑制だけに拠るものだけなのか、輻輳運動にも依存するのか等の定量的解析についても今後取り組んでいきたい。

#### 参考文献

- (1) 岡林,古川,坂田,畑田:"自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景情報と表示情報の認識について", 照学誌論文, **75** 6, pp3-10 (June 1991)
- (2) 岡林,坂田,畑田:"自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景情報と表示情報の認識について II", 照学誌論文, **76** 2, pp24-35 (Feb.1992)
- (3) D.Cohn:"Introduction to Head-Up Displays", The 33rd Annual

International Technical Symposium on Optical & Optoelectronic Applied Science & Engineering, SPIE Short Course Notes, pp. 28-40, (Aug.1989).

(4) F.Heintz, R.Haller and D.Bouis:" Safer Trip Computer by Human Factor Designs", SAE International Congress and Exposition, Detroit USA, 820105 (Feb/March 1982)

(5) S.Okabayashi, M.Sakata, T.Daidoji, J.Fukano, T.Hashimoto, and T.Ishikawa: "Development of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application", SAE TRANSACTIONS, 98, pp638-647 (1989)

(6) 岡林,坂田,古川,畑田:"自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景情報と表示情報の認識について III", 照学誌論文, 77 6, pp285-295 (Jun. 1993)

(7) S.Okabayashi: "Visual Optics of Head-Up Displays (HUDs) in Automotive Applications", Gordon & Breach Science Publishers, UK, Chapter 5, pp77-96 (1996)

(8) 長田昌次郎:"視角の奥行き距離情報とその奥行き感度", テレビ誌, 31 8, pp649-655 (Aug.1977)

(9) 例えば 2001 トヨタクラウン販売カタログ等

(10) 岡林,杉江,今泉,古川,畑田:"微小俯角における自動車用ヘッドアップディスプレイ表示情報受容特性",信学論, 81-A 4 pp554-561 (1998)

(11) (編) 苧阪,中溝,古賀:"眼球運動の実験心理学", 名古屋大学出版会, 第3章, pp59-73 (1996) .

(12) 福田:"生体情報システム論",産業図書, 第3章 3.2 節,pp32-34 (1995)

(13) D.Zee,E.Fitzgibbon and L.Optician: "Saccadic-Vergence Interactions in Humans", J. of Neurophysiology, 68 5, pp1624-1641 (1992)

(14) F.Volkmann:" Vision during voluntary saccadic eye movements", JOSA 52, pp571-578 (1962)

(15) F.Volkmann C., M.Schick Amy and L.Riggs : "Time Course of Visual Inhibition during Voluntary Saccades", JOSA 58, pp562-569 (1968)

(16) 田崎,大山,樋渡 : "視覚情報処理",朝倉書店,pp115-116 (1984)

(17) 岡林, 山崎, 杉江, 畑田 : "自動車用ヘッドアップディスプレイに見られる三次元的に空間に位置する視距離が異なる視対象の認識", 映像情報メディア学会 論文誌, Vol.57, No.12, pp.1677-1683 (2003)

## 4. 4 人間工学的要因 (2) - アコモデーション応答特性 -

### 4. 4. 1 はじめに

自動車の運転視環境においては、前景と車載表示情報とを、ドライバは視線をすばやく移動し受容する必要がある。しかしながら、前景と車載表示装置の表示像位置は異なる位置に存在するため、ドライバは視線の移動とともに、眼球の焦点調節をも行う必要がある。即ち、自動車走行では、ドライバの視点は、遠方(前景)と近方(車載表示装置)とを頻繁に移動し、視覚情報は、視線移動を制御する外眼筋とアコモデーションを制御する毛様体筋の双方が連動して受容される。

視線の移動とアコモデーションを考慮した自動車用表示装置として、**Head-Up Display (HUD)** (図 4-17)がある。最近の自動車用 HUD 表示装置では、ナビゲーション情報や先行車との車間距離、赤外線カメラによる温体物標など、自動車の周辺情報をも表示し(図 4-18)、新規性に富み瞬読性が優れていることから、今後とも広く応用されよう<sup>1)</sup>。

現在実用化されている自動車用 HUD の表示像距離は、種々の制約からおおよそ 1.5m から 2.5m 程度に設定され、俯角は数度程度に設定されている<sup>2)</sup>。現実の自動車走行では、前景視対象の位置は数メートルから数十メートルであることを考えると、HUD でもドライバが前景から HUD 表示像を視認する(近見)場合と、HUD 表示像から前景を視認する(遠見)場合に、アコモデーション変化が必要となることが予測され、アコモデーション応答と、視線移動との連動がどのように関連するのか不明な点も多い。

一般的に、目の調節 (**accommodation**) は、近見応答の方が、遠見応答より僅かに速いことは古くから知られている<sup>3)</sup>。三浦ら<sup>4)</sup>は自動車走行環境を想定した実験で、視距離の異なる視対象を知覚する場合、視点が遠方から近方方向と、近方から遠方方向に移動するときとでは、二者間で視標の発見正答率が異なることを報告している。この結果は、遠見応答よりも近見応答の方が視標を正しく認識できることを示しており、三浦らはこの差異をラバーバンド効果と呼んでいる。この報告では二つの視標が被験者の目とほぼ共軸位置に存在した場合(即ち俯角 0 度の条件)の、視標発見応答特性については論じられており、俯角が有限の値で存在する場合については、詳細には言及されていない。従って、視線移動による影響やアコモデーションの応答特性についてはあまり明確に論じられていない。

本節では、遠方視標（前景）と、近方視標（HUD）表示像との間で視点が移動する場合に、視線移動とアコモデーションとが同時に変化する点に着目して、二つの視標との間を視点が移動する場合のアコモデーション応答を計測評価し、視線移動の有無がアコモデーション応答特性にどのように影響を与えるかを実験評価した。

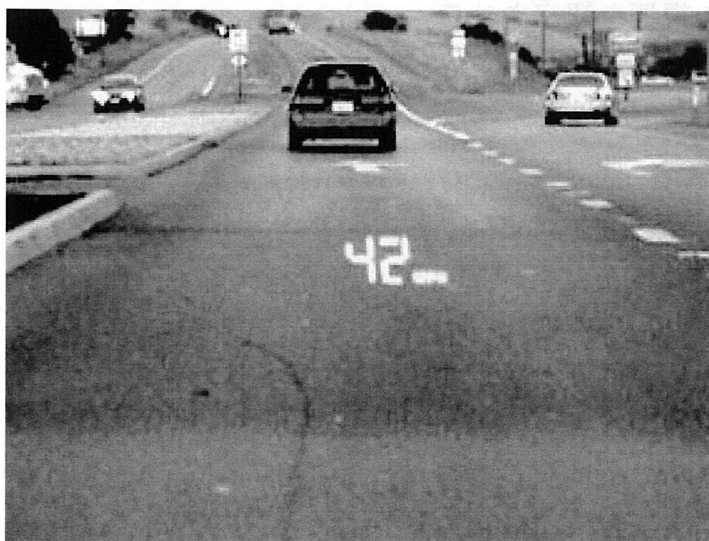


図 4-17 自動車用 HUD のデジタル速度表示像の例(ポンティアック社 Grand Prix 搭載の HUD, カタログより, 1998)



図 4-18 自動車用 HUD turn by turn 表示や先行車車間表示像が見える (BMW 社の次世代 HUD, カタログより, 2004)

## 4. 4. 2 実験

### (1) 実験系

実験系を図 4-19 に示す。遠方、近方の両視標には図 4-20 に示すスネレン視標をそれぞれ用いた。被験者から各視標までの視距離は、遠方視標は約 8m、近方視標は自動車内の各表示装置までの距離を想定して約 0.8m に設定した。あご台に被験者の顔面を軽く固定し、アコモドメーター(AA-2000、ニデック)に外付けされた二枚の鏡により前方の視標を観察させる。

遠方視標は CRT で呈示し、被験者は直接表示面を観察する。近方視標については、遠方視標と重畳表示する必要があるためハーフミラーを用いて近方視標用 CRT 表示像を反射させ、被験者から見て二つの視標がほぼ重畳表示されるように配置した。両視標の表示像輝度は約  $15\text{cd}/\text{m}^2$ 、各視標のコントラスト比は 1 : 30、視標サイズは視角約 1 度で、それぞれが同じ大きさに見えるように調節した。近方視標の俯角は、0 度から、10 度に変化した。また、すべての実験は光学暗室で行った。被験者は、自動車運転免許を有する 20 代の男女 4 名。

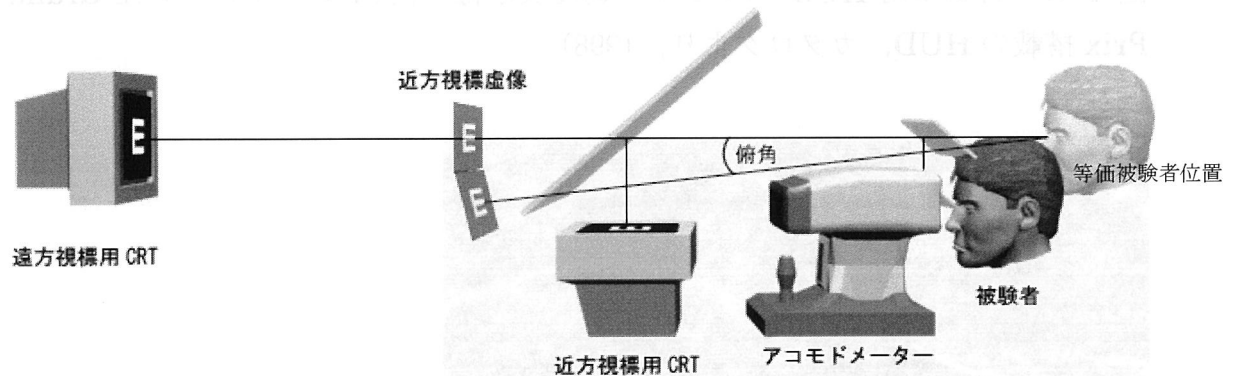


図 4-19 実験系

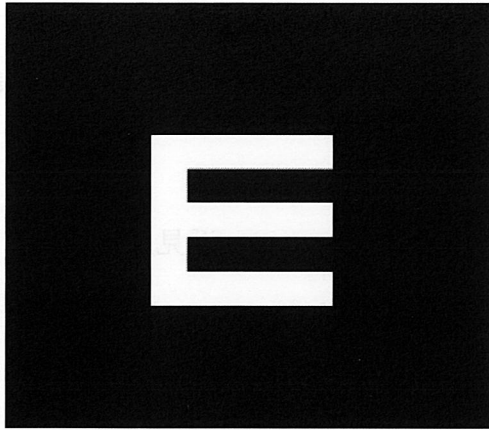


図 4-20 遠方あるいは近方視標 スネレン視標

(2) 実験手順

実験手順は次のとおりである。

- (i) 被験者の暗順応 (15 分)
- (ii) 実験に関するインストラクション
- (iii) 遠方指標を呈示した状態でアコモドメーターによる測定を開始
- (iv) アコモドメーターによる測定練習
- (v) 5 秒間遠方視標を呈示したのち、近方指標に表示を切り替える
- (vi) 近方視標を 5 秒間呈示したのち、遠方指標に切り替える
- (vii) 1 分間程度の休憩
- (viii) 遠方指標を呈示した状態でアコモドメーターによる測定を開始
- (ix) 5 秒間遠方視標を呈示したのち、近方指標に表示を切り替える
- (x) 近方指標を 5 秒間呈示したのち、遠方指標に切り替える
- (x i) (viii)に戻り、(x)までを繰り返す
- (x ii) 一巡後休憩 (15 分)

予備実験

本実験

上記手順にて俯角 0 度、5 度、10 度の 3 条件について実験を行う。上記の本実験の手順を 1 サイクルとし(図 4-21)、3 サイクル 1 試行として実験を行った。実験においては被験者の疲労の影響を考慮して、毎試行ごとに休憩時間を設けた。

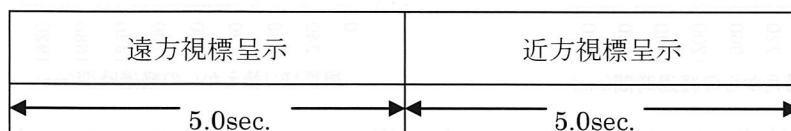


図 4-21 実験 1 サイクルにおけるタイムチャート

#### 4. 4. 3 実験結果

経過時間と屈折力の変化（単位 D:ディオプタ）の関係について、代表的な応答特性を図 4-22 に示す。（被験者 M. K）

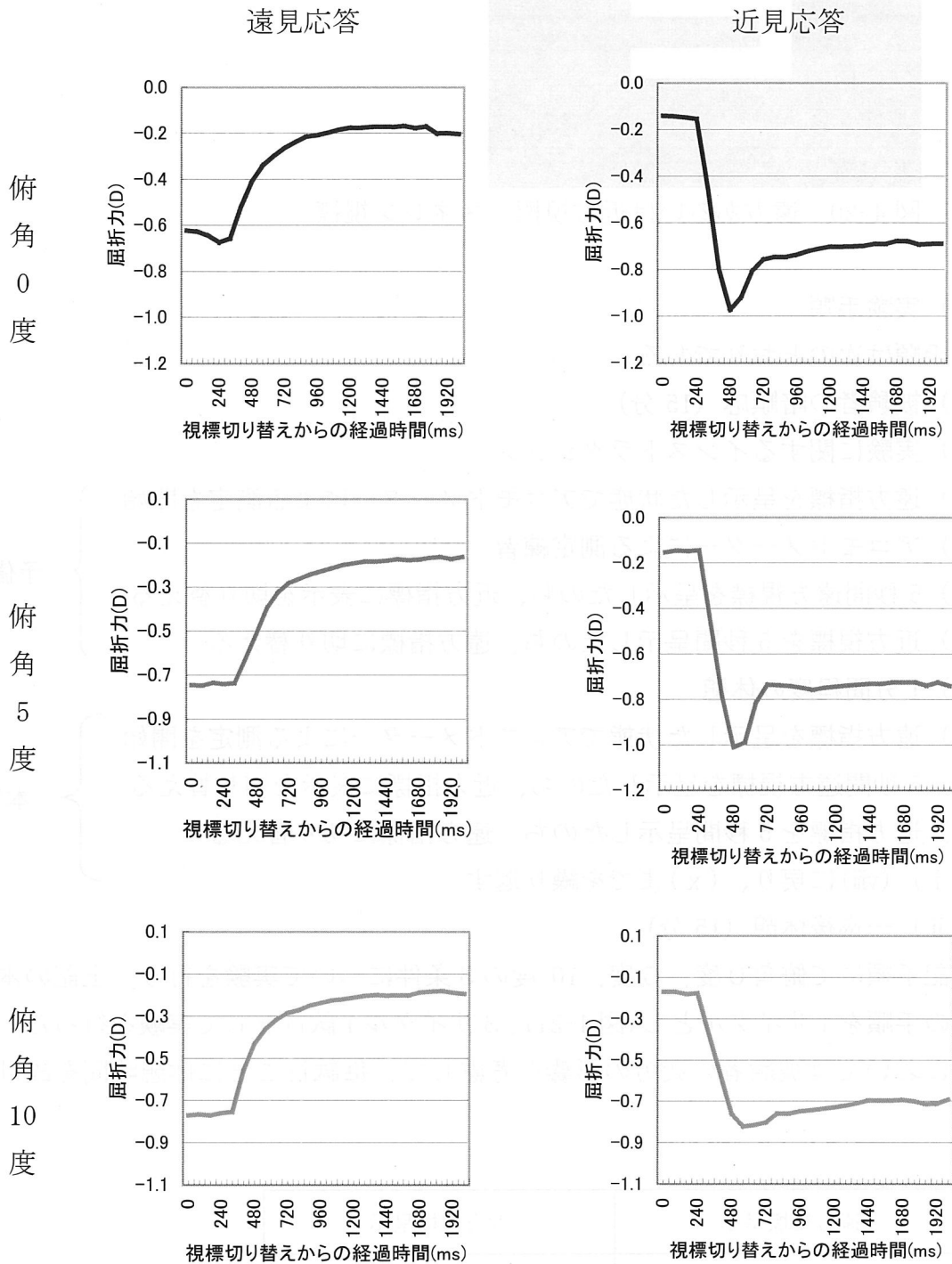


図 4-22 近方視標の俯角が0度、5度、10度の場合における遠見応答と近見応答のそれぞれのアコモデーション応答特性(被験者 M. K)

遠見応答においては、俯角 0 度、5 度、10 度のいずれの場合についても大きな差は見られなかった。

近見応答における実験結果を比較しやすいように重ねて図 4-23 に示す。俯角 0 度および 5 度では、遠方視標から近方視標に注視点が移動したときに大きくオーバーシュートし、その後アコモデーションが安定する。俯角 10 度の場合では、オーバーシュートがみられず、短い時間でアコモデーションが安定領域に達する。(図 4-23 中の安定位とは近方視標を注視し続けアコモデーションが安定しているときの屈折力の平均値)。

パルス応答の立ち上がり立ち下がり時間計測に似せて、応答時間は安定位の前後 10%とした。

近見応答および遠見応答の各俯角における応答時間を表 4-3 に、近見応答におけるアコモデーション応答速度を表 4-4 に示す。

応答時間は、遠見応答についてはいずれの俯角においても大きな差は見られなかった。近見応答については、俯角が 0 度と 5 度の場合についてはほぼ同程度となったが、俯角 10 度については俯角 0 度、5 度と比較しておよそ 160ms 程度早くなっている。

近見応答におけるアコモデーション応答速度は、俯角 0 度と 5 度の場合ではおよそ-10D/s あったが、俯角 10 度の場合はおおよそ-8D/s となり、やや遅い結果を得た。

表 4-3 遠見応答の各俯角における応答時間 (ms)	表 4-4 近見応答の各俯角におけるアコモデーション応答速度 (D/s)
0 度	0.0
5 度	0.0
10 度	0.0

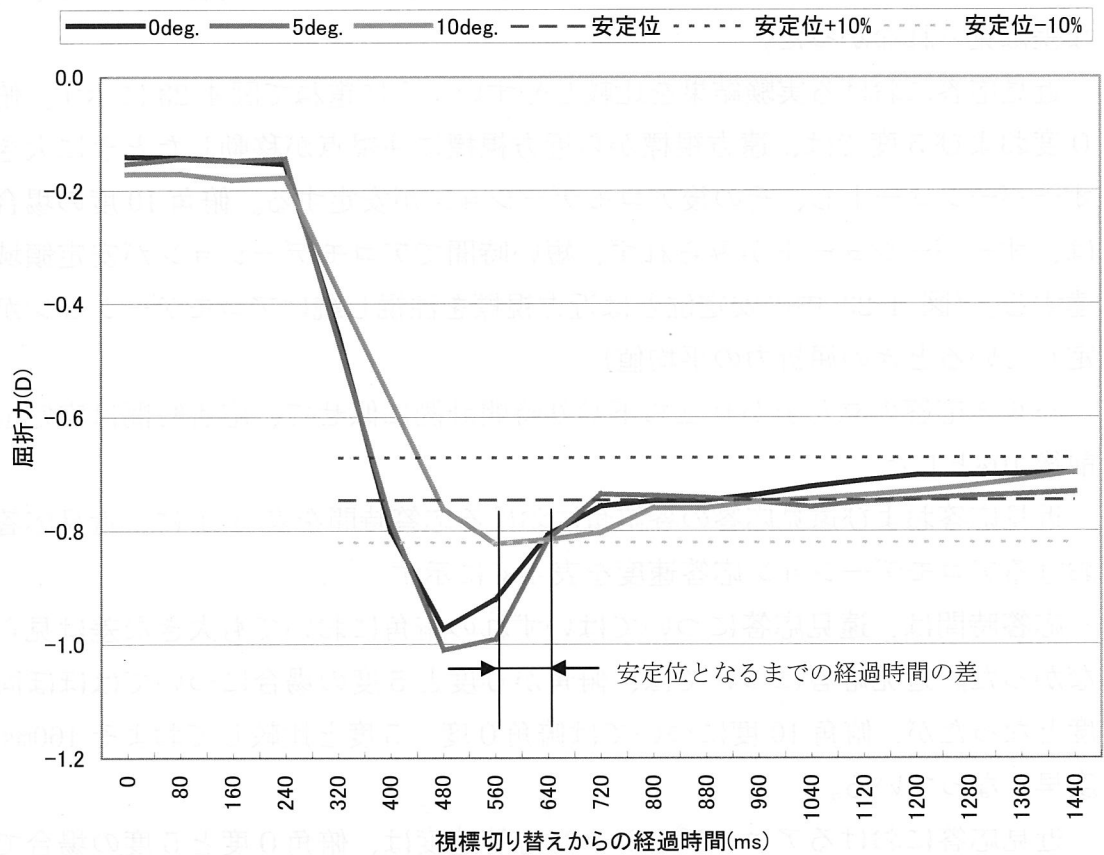


図 4-23 近見応答特性(被験者 M. K)

表 4-3 近見および遠見応答時間(被験者 M. K)

	近見応答時間 (ms)	遠見応答時間 (ms)
俯角 0 度	640-880	720-880
俯角 5 度	640-720	720-880
俯角 10 度	480-640	800-880

表 4-4 近見応答速度の比較(被験者 M. K)

	アコモデーション応答速度 (D/s)
俯角 0 度	-9.9
俯角 5 度	-10.0
俯角 10 度	-7.9

#### 4. 4. 4 考察

本研究では、ドライバの俯角が0度から10度の場合について近見および遠見応答特性を計測した。

岡林ら<sup>5)</sup>は、自動車用 HUD を用いて、俯角が存在する場合の表示像と前景との視認で、視線移動と輻輳応答の関連を実験評価し、俯角方向の視線移動と輻輳応答は深く連動していることを報告している。

縦方向と横方向の外眼筋は、物理的には独立した制御系を有すると考えられるが、岡林らの報告は俯角運動を制御する上下の直筋が輻輳を制御する内外の直筋に大きな影響を与えていることを示している。

本節では、これらの知見をさらに展開して、外眼筋が毛様体筋の制御にも深く関わっている可能性を示した。

上下の外眼筋の制御系が、どのように毛様体筋の制御系に関わるのかは、現段階においては明確に指摘することはできないが、一つの仮説として、人間が生まれてから成長の中で起こるさまざまな視覚情報獲得のプロセスが、外眼筋と毛様体筋の統合的な制御を学習し、ひとつのモジュール的制御単位として形成されていくのではないと思われる。

生後間もない乳幼児の視線の動きや、アイコンタクト、母親を目で追うなどの諸行動によって、これらの外眼筋をつかさどる制御系と毛様体筋をつかさどる制御系が統合的に連動するようになるという考え方である。

鳥居ら<sup>6),7)</sup>の先天盲患者の開眼手術後の視覚情報受容の挙動を観察した報告によれば、開眼により患者は三次元空間の情報を的確に認知できない。乳幼児時から後天的に学習していく過程で獲得する視覚情報処理過程が重要であることを指摘している。

今回の実験にみられるようなアコモデーションと視線移動の統合的な挙動は、鳥居らが指摘する学習的の獲得された神経システムモジュールの一つの機能によることが推測される。今後、先天盲患者で開眼手術を受けた直後の被験者でも、本実験に見られた同様の効果があるのか、あるいは何らかの訓練によってアコモデーションと視線移動の二つの機能を分離することができるのかについて検証していく必要がある。

#### 4. 4. 5 まとめ

(1) 現実的な自動車用 HUD を想定し、前景と表示像とを視認する場合の、視線移動とアコモデーションの応答特性について計測した。

(2) 表示像俯角が0度や5度の場合の近見応答と遠見応答には前者の方がやや短いものの大きな差は見られない。

(3) 表示像俯角が10度の場合では、表示像俯角が0度や5度の場合に比較して近見応答は、遠見応答より有意に速くなり、ラバーバンド効果は顕著となる。

(4) ラバーバンド効果の大小は、視線移動と深く関わっていると考えられる。従って、自動車用 HUD の場合、俯角をある程度設けることはむしろ走行時の表示情報受容特性から考えると望ましいと考えられる。

### 参考文献

- (1) 岡林, 畑田: “自動車用ヘッドアップディスプレイの前景視認特性”, 自技会論誌, 24, 1, pp.148-153, 1993
- (2) 岡林, 杉江, 今泉, 古川, 坂田, 畑田: “微少俯角における自動車用ヘッドアップディスプレイ表示情報受容特性”, 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J81-A No.4 pp.554-561, 1998
- (3) 田崎, 大山, 樋渡 (編): 視覚情報処理 3章視覚の生体工学, 朝倉書店 1984
- (4) 三浦利章: “行動と視覚的注意”, 風間書房, 1994
- (5) 岡林, 山崎, 杉江, 畑田: “自動車用ヘッドアップディスプレイ(HUD)にみられる「三次元的に空間に位置する視距離が異なる視対象」の認識”, 映像情報メディア学会誌 Vol.57 No.12, 2003
- (6) 大山, 秋田(編): “応用心理学講座 7 知覚工学”, 福村出版, 1989
- (7) 相場, 鳥居: 知覚心理学 第6章, 放送大学教育振興会出版 1997
- (8) 岸田, 岡林, 伊藤: “視距離の異なる視対象の認識における視線移動が伴う場合のアコモデーション応答特性”, 都市情報学研究, No.10, pp.109-114, 2005

## 4. 5 HUD の煩わしさ感

### 4. 5. 1 まえがき

自動車のドライバに対する表示方法の一つとして、前面窓ガラスを利用して虚像を表示するヘッドアップディスプレイ（HUD）があり、1988年頃から自動車に搭載されるようになった<sup>1,2)</sup>。

ここで、HUD の性能評価に関しては、ドライバの視線移動量低減や焦点調節の時間短縮などの利点が考えられ、短時間の表示情報の正確な読み取りに有効であることが実験的に確認されている<sup>3-5)</sup>。しかし、HUD は前方視野内に表示されるために前方風景と重畳されることとなり、ドライバにとって煩わしく感じられるものと考えられる。したがって、情報の読み取りを考えると正面前方の近くに HUD を表示することが望ましいものの、ドライバに対する煩わしさを考えて正面前方から離れた位置に表示した方がよいといえる。

この煩わしさ感に影響を与える要因（表示位置、ドライバのアイポイント位置、表示輝度、被験者の年齢、静止時と運転時との差異、両眼視の影響）について、これまでに各種の実験を実施して、どのように煩わしさ感が影響を受けるのかについて検討を行ってきた<sup>6-9)</sup>。本節では、これらのうち、主に両眼視の影響<sup>9)</sup>について報告する。

### 4. 5. 2 表示位置による煩わしさ感の一般的特徴

最初に基礎的なデータをとる目的で、屋外昼間時において静止した状態での評価実験を行い、被験者に対して表 4-5 による 5 段階の評価基準で HUD の主観的な煩わしさ感を評価させた。評価の基準は被験者の判断に任せた。

表 4-5 煩わしさ感の評価基準

評価値	評価基準
0	煩わしくない
-1	やや煩わしい
-2	かなり煩わしい
-3	非常に煩わしい
-4	極めて煩わしい

表示位置は、垂直方向 4 種類、水平方向 5 種類の 20 点（図 4-24）であり、正面前方に乗用車を静置して被験者にその方向を見るように指示をした。また、被験者から HUD の表示像（蛍光表示管による緑色の「88」の形状）までの距離は 1.2m、表示像の垂直方向の視角は 0.7 度、水平方向の視角は 1.2 度であった。図 4-25 に表示例を示す。被験者は 15 名（平均年齢 34.1 歳）であり、同一表示位置における評価を 2 回行ったことから、一つの表示位置に対して 30 件の評価データが得られた。

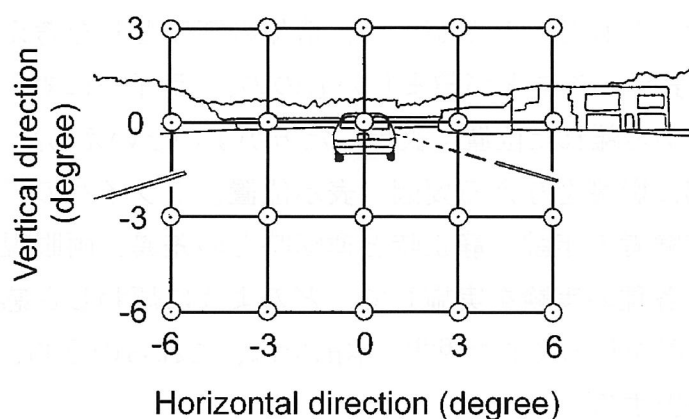


図 4-24 屋外実験における HUD の表示位置

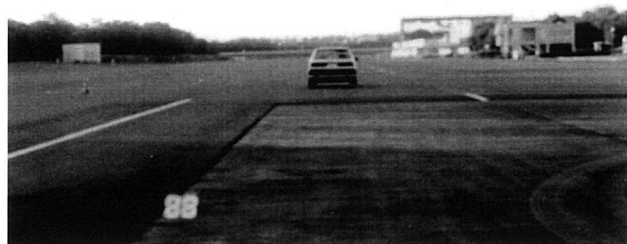


図 4-25 HUD の表示例

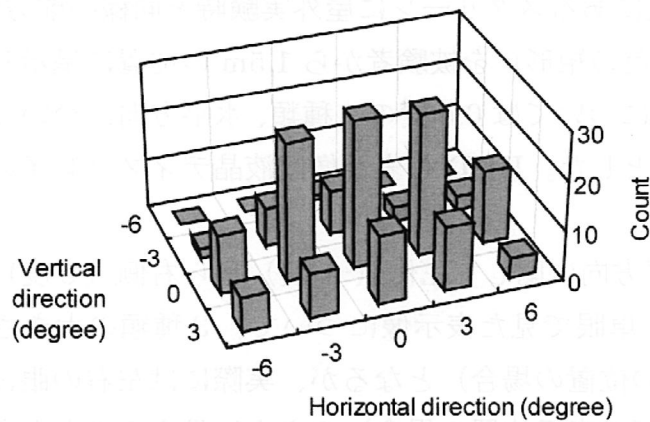


図 4-26 煩わしさ感の基本的な分布

(「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の回答数の計)

図 4-26 はその評価結果であり、5 段階評価のうち「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の 3 基準の回答数の合計で結果を整理している。縦軸で表される回答数の最大値については、評価データ数の 30 件となる。なお、評価結果に関しては、各評価基準の尺度の間隔が等しいという前提のもとに、各評価基準の回答数に評価値を乗じて重み付けを行い、それらの値の合計をとる方法も考えられるが、定性的にみて、上記 3 基準の回答数を合計した結果とほぼ同じであった。

この実験の結果、煩わしさ感の分布は、正面前方の表示位置において最も高く、上下または左右に表示位置が離れるに従い低減することがわかった。原点においては 30 件の回答数となり、最大の煩わしさ感を示した。また、原点から同じ 3 度ずれている位置についてみると、垂直方向に 3 度ずれた位置では煩わしさ感が大きく低減するものの、水平方向に 3 度ずれた位置では原点とあまり変わらない結果となった。なお、この分布は水平方向に広がりをもつ 2 次元正規分布で近似することが可能であることを明らかにした (6,8)。

#### 4. 5. 3 両眼視の影響

HUD は一般的に、運転者から見てボンネット先端あたりに見えるように設計されていることが多い。このように HUD の表示位置までの距離が無制限ではないことから、前方風景を見ている運転者にとっては、両眼視による HUD の 2 重像が見えることとなる (図 4-27)。

この 2 重像と煩わしさ感との関係について室内評価実験を行った。被験者か

ら前方 5.6m の位置にあるスクリーンに屋外実験時と同様の前方風景を投影し、HUD の表示像（緑色の矩形）を被験者から 1.5m の位置に呈示した。表示像の大きさは、垂直方向については 0.5 度の 1 種類、水平方向については 0.5 度、1.0 度、1.5 度の 3 種類とした。HUD の表示像は液晶ディスプレイの透過光により実現している。

表示位置は、水平方向に関して左側（-6 度）から右側（6 度）までの 2 度間隔で 7 種類である。単眼で見た表示像について、3 種類の大きさごとに示すと図 4-28（正面前方の位置の場合）となるが、実際には左右の眼により、たとえば図 4-29（左側 2 度の表示位置の場合）のように見えることとなる。なお、被験者に対しては正面前方の乗用車を見るように指示をしている。ここで、両図に示す表示像（白抜き矩形）については、説明のためにパソコンにより作成して前方風景画像に挿入したものであり、実際の見え方とは色度、輝度の点で異なる。実験にあたっては、両眼、右眼および左眼による観測の 3 種類を行った。被験者は 21 名（平均年齢 24.7 歳）であり、各実験条件を 2 回ずつ繰り返した。

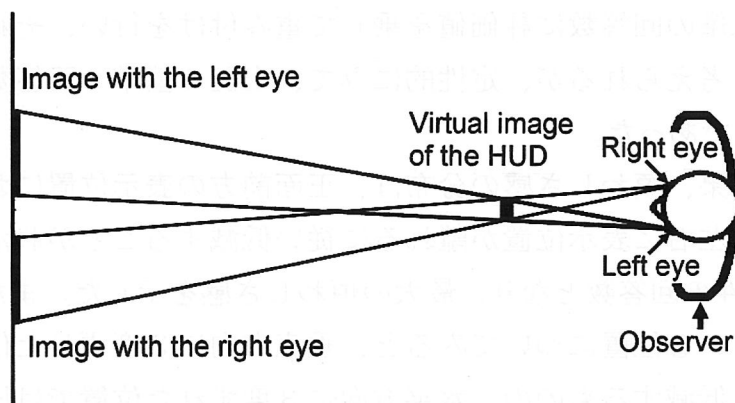


図 4-27 前方遠方を見ているときの HUD の 2 重像

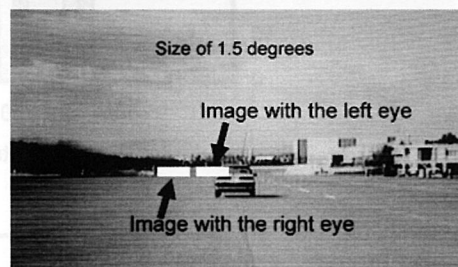
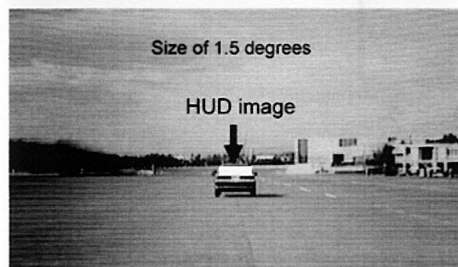
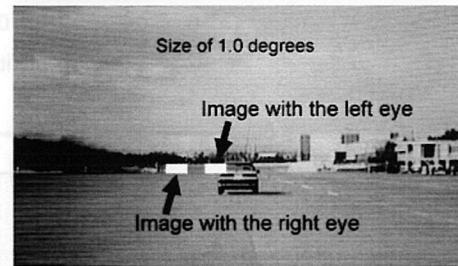
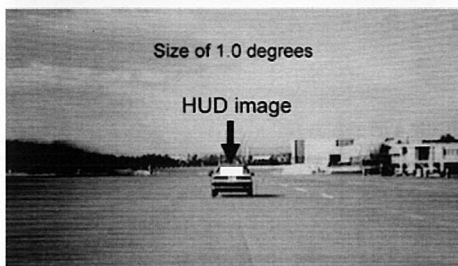
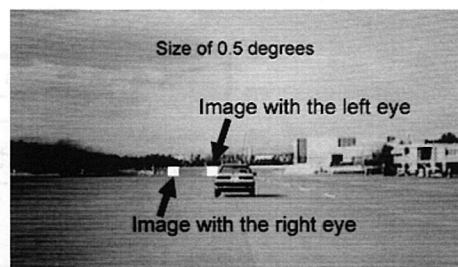
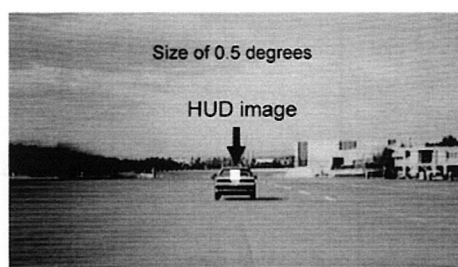


図 4-28 単眼によって見える HUD の表示像  
(正面前方の表示位置の場合)

図 4-29 両眼による HUD の 2 重像  
(左側 2 度の表示位置の場合)

前述のように「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の 3 基準の回答数の合計で結果を整理すると図 4-30 となる。ここで、横軸は HUD の表示位置、縦軸は回答数の合計（最大値は 21 名の被験者が 2 回繰り返したことから 42 件）を示す。

たとえば、表示像が 1.0 度の大きさの場合の正面前方（原点）から右側表示領域の 2 度の結果をみると、両眼視で見たときの回答数と右眼で見たときの回答数とが一致している。右眼で見える像は正面前方の位置に近い方の像であり、両眼視の結果と右眼で見た結果とが一致しているということは、両眼視の場合に右眼の像（すなわち左側に見える像）によって煩わしさ感を感じているということになる。逆に、左側表示領域の 2 度の結果をみると、両眼視で見たときの回答数と左眼で見たときの回答数とが一致している。左側に表示した場合には、両眼視で見たときは左眼による像（すなわち右側に見える像）によって煩わしさ感を評価していることがわかる。

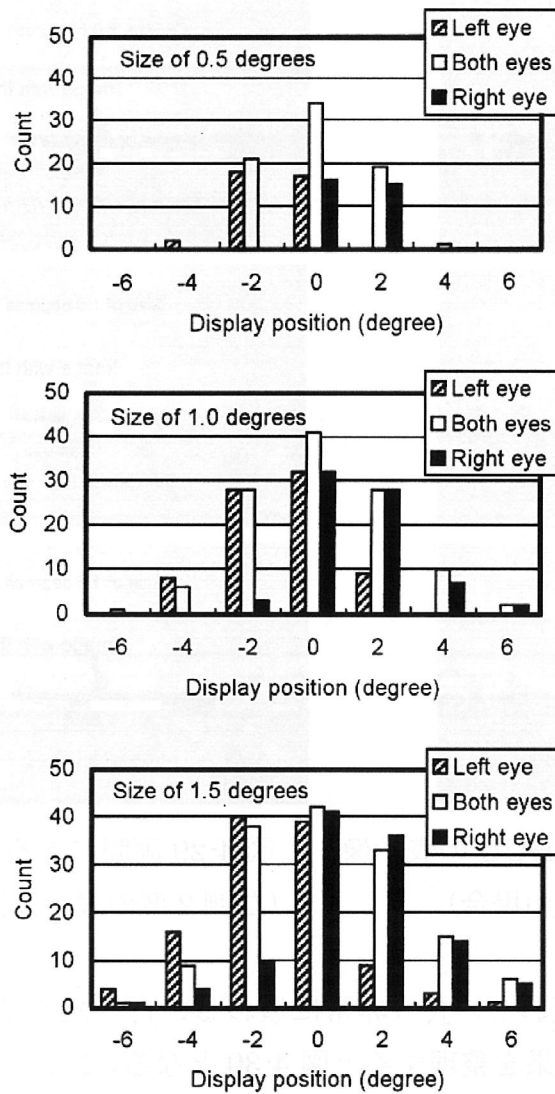


図 4-30 煩わしさ感の評価結果（両眼，右眼，左眼による観測）

つまり、両眼視により 2 重像を見る場合には、正面前方に近い像によって煩わしさ感进行评估しているといえる。

なお、2 重像の見える位置は、ドライバーのアイポイント位置から HUD の表示像までの距離にも関係する。距離が短ければ、ドライバーが遠方を見ているときに左右の像が大きく離れて見えることとなる。したがって、HUD の表示像を正面前方から離して煩わしさを低減するように設計したとしても、表示像までの距離が短い場合には、実際には両眼視により片方の像が正面前方に近づいて見えることとなり、煩わしさが増大することとなる。

#### 4. 5. 4 おわりに

観測者の感じる HUD 表示の煩わしさ感は、正面前方の位置において最も大きいものの、HUD の表示位置を垂直方向にずらすことにより大きく低減させることが可能である。また、両眼視により 2 重像を見る場合には、正面前方に近い像によって煩わしさ感を評価していることがわかった。

ここで、煩わしさ感とは別に、HUD について十分な検討が行われていない点をあげると以下ようになる。

HUD に関しては、自動車のインストルメントパネル内の表示装置よりも遠方に表示できるため、焦点調節の時間が低減できるといわれている。しかし、インパネ内の表示装置を見ようとする場合、あらかじめその表示位置が明らかであるため、それにあわせて迅速に調節を行っている可能性がある。いっぽう、HUD の場合には空中に虚像として表示されるために虚像までの距離が把握しにくくなり、調節の定位がかえって遅れるおそれも考えられる。

また、HUD については、明るい条件下では背景との輝度対比が十分にとれないことから精密な表示よりもシンボルのような単純な表示に適している。この場合、実際に HUD の表示像を見る場合に、眼の調節・輻輳が十分に行われているのかという点も明らかではない。要するに、両眼で鮮明な像をとらえるのではなく、2 重像のまま片方の眼による不鮮明な像によって必要な情報を獲得している可能性がある。

HUD の性能評価については、室内実験により実験条件を統制して行うことが多く、実際の運転時にどのように HUD を見ているのかについて十分な検討が行われているわけではない。ドライバの眼の調節・輻輳などの視認状況を運転時に把握できる精密な計測装置が今後開発されていくことが望まれる。

#### 参考文献

- (1) S. Okabayashi, M. Sakata, J. Fukano, S. Daidoji, C. Hashimoto, T. Ishikawa: Development of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application. SAE Technical Paper Series, No. 890559, 1989.
- (2) M. Weihrauch, T. C. Goesch, G. G. Meloeny: The First Head Up Display Introduced by General Motors. SAE Technical Paper Series, No. 890288, 1989.
- (3) 岡林繁, 古川政光, 坂田雅男, 畑田豊彦: 自動車ヘッドアップディスプレイにおける前景情報と表示情報の認識について. 照明学会誌, 75, 267-274,

1991.

(4) 岡林繁, 坂田雅男, 畑田豊彦: 自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景情報と表示情報の認識についてⅡ—表示像位置の高さの影響—. 照明学会誌, 76, 81-90, 1992.

(5) 岡林繁, 坂田雅男, 古川政光, 畑田豊彦: 自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景表示と表示情報の認識についてⅢ—実車走行実験評価—. 照明学会誌, 77, 285-295, 1993.

(6) 森田和元, 益子仁一, 岡田竹雄: 自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしさ感に関する考察(第1報)—表示位置と運転者の目の位置による影響—. 照明学会誌, 81, 89-95, 1997.

(7) 森田和元, 益子仁一, 岡田竹雄: 自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしさ感に関する考察(第2報)—表示輝度, 観測者の年齢及び運転時の影響—. 照明学会誌, 81, 638-647, 1997.

(8) K. Morita, J. Mashiko, and T. Okada: Considerations on a Feeling of Troublesomeness Regarding Automotive Head-Up Displays During Driving. SAE Technical Paper Series, No. 970229, 1997.

(9) K. Morita, J. Mashiko, T. Okada and H. Suzuki: Influence of Double Image on the Troublesomeness of a Head-Up Display for Use in Motor Vehicles. SAE Technical Paper Series, No. 1999-01-0254, 1999.

## 5. ナイトビジョンシステムへの応用

### 5. 1 ナイトビジョンシステムの概要

#### 5. 1. 1 ナイトビジョンとは

日本において死亡交通事故の3割程度が歩行者の事故であり、その6割程度が夜間に発生している。実際、夜間の運転はヘッドライト等による限られた視界範囲となるため、細心の注意が要求される。

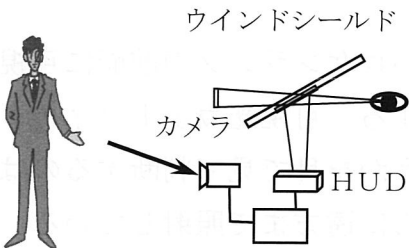
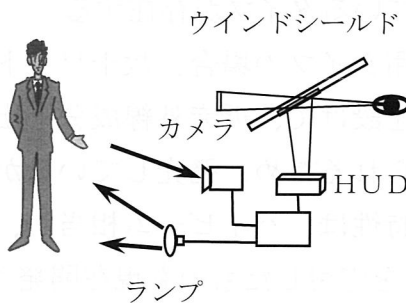
近年、このような夜間運転時における運転者の前方視界補助を行う装置として、赤外線を用いて人の目には見えない暗闇の前方を映像化してHUDに表示するいわゆるナイトビジョンが商品化されている。運転者はヘッドライト照射範囲より先の情報を、HUDにより少ない視線移動で得ることができる。

このような赤外線を用いた夜間暗視システムは軍事分野で開発されてきたが、現在ではナイトビジョンの他に災害救助にも使われている。

#### 5. 1. 2 ナイトビジョンの方式

ナイトビジョンシステムの方式としては、「遠赤外線方式」と、「近赤外線方式」がある。両方式の比較を、表5-1に示す。

表5-1 遠赤外線方式と近赤外線方式の比較

	遠赤外線方式	近赤外線方式
原理	物体の発する熱を感知し その温度差を映像化	近赤外線を照射し 物体が反射した近赤外線を映像化
使用波長	6,000nm 以上	800~1,200nm
特徴	熱源を強調表示、 人・動物の映像化に適してい る	目視と似た自然な映像、 人・動物だけでなく道路形状も映像化 可能
構成		

遠赤外線方式は物体の発する熱を検知し、その温度差を映像化する受動的なシステムである。この方式では、体温のある動物については周辺よりコントラストが高く強調されたような映像を得ることができる。反面、温度差を映像化するため周囲温度変化に影響されやすく、周囲との温度差が少ない物体の映像化には適さない。

一方、近赤外線方式は可視光領域に近い近赤外線を前方に投射し、その反射の強さを映像化する能動的なシステムである。この方式では、動物だけでなく道路、建物などを普段と同じような自然な映像として得ることができる。しかし、街灯や対向車のヘッドランプをカメラが捉えると、それらが発する近赤外線により映像が劣化する場合がある。

今後は、それぞれの方式の特徴を活かし、欠点を補うシステムの開発が活発化すると考えられる。

### 5. 1. 3 ナイトビジョン表示仕様

ナイトビジョン表示に関しては、国土交通省の「夜間前方情報提供装置の技術指針」にて、運転を阻害しない用件が規定されている。以下に、主な内容を記載する。

- (1) 運転者の意思により作動又は停止させるためのスイッチが必要
- (2) 表示位置（V 2点より1度下）
- (3) 表示画像の輝度は100cd/m<sup>2</sup>以下で、30cd/m<sup>2</sup>以下に調整できること
- (4) 表示画像は赤色を用いたものでないこと

### 5. 1. 4 ナイトビジョンの構成品

ナイトビジョンの構成品と、その主な特徴を記載する。

- (1) ランプ（近赤外線方式で使用：遠赤外線方式の場合には必要無し）

二個配置され、バンパー部に設けられている専用タイプと、ハイビームと共用しているタイプが存在する。

専用タイプの場合、数十ワットのハロゲンランプの前面に可視光カットフィルタを設けて、近赤外線成分を出射する。可視光カットフィルタにより可視光が遮られるため、発光しているかどうかを目で見て判断するのは困難である。配光特性は、ハイビーム相当か、さらに遠方まで照射している。また、赤外線LEDを応用したのもも現在開発されている。

ハイビームと共用しているタイプの場合は、可視光カットフィルタを着脱す

ることによりハイビームとの切り替えを行う。ナイトビジョン時には、可視光カットフィルタにより、発光しているかを判断するのは困難である。

#### (2) カメラ

車室内のルームミラー裏側や、バンパー部に設けられる。遠赤外線方式の場合には、ウインドシールドによって遠赤外線が透過しないため、バンパー部に設けられる。近赤外線用のカメラは、ルームミラーの裏側で、雨滴がカメラ画像に影響を与えないようにワイパーの払拭範囲にあることが多い。また、受光素子（CCD）の前面に可視光カットフィルタが設けられている。撮影画角は水平方向で 15° 程度である。対象物までの距離を判断するために、2 個設けられている場合もある。

#### (3) HUD 用表示器

カメラ画像を表示するため、TFT のような高解像度の表示器が必要となる。可視領域を表示するのではなく、温度差（遠赤外線方式）、又は、反射の強さ（近赤外線方式）の表示を行うため一般的なカラーでの表示はできない。また、車速表示、ナビゲーション表示といった夜間だけでなく昼間も利用できる表示を兼用している製品もある。

#### (4) ON/OFF スイッチ

表示の ON/OFF を運転者が選択できるようにスイッチが設けられている。また、昼間の表示を兼用するタイプには、ナイトビジョンの ON/OFF スイッチと、HUD の ON/OFF スイッチが設けられている。

#### (5) 調光スイッチ

調光スイッチにより、表示輝度を運転者が調整できるようになっている。

#### (6) 作動インジケータ

ナイトビジョンが作動している事を運転者に知らせるインジケータが設けられている。

#### (7) 異常インジケータ

ナイトビジョンの異常（例：断線、ランプ切れ）を運転者に知らせるインジケータが設けられている。

#### (8) その他の入力信号

- ・車速信号：停車時にはナイトビジョンの表示を消す場合あり。
- ・照度センサ信号、テール信号：昼夜の判断を行う。

### 5. 1. 5 ナイトビジョンの今後の展望

運転者は実視界の補助としてナイトビジョンの画像を使用する。ナイトビジョンの画像だけを見ての運転は危険である。一部のナイトビジョンには、カメラで捕らえた前方の人物の警告を行うシステムも製品化されている。このような運転者に対して判りやすい情報提供方法の研究開発が進展すると考えられる。

現ナイトビジョンの場合、カメラで捉えた視界情報により運転者が車両を制御することを前提としている。一方でプリクラッシュセーフティシステムのように前方の障害物をレーダー等で捉えて、ブレーキ等の車両制御を行うシステムも製品化されている。今後はこれらのシステムとの融合とすみ分けも重要になると考えられる。

#### 参考文献

- (1) 財団法人交通事故総合分析センター「交通統計 平成15年版」
- (2) 田野倉保雄「日経エレクトロニクス」2002年9月23日号 P30-31
- (3) Kunihiro Toyofuku, Yoichi Iwata, Yasuo Hagiwara, Tsuyoshi Kumasaka:  
The “Night View Systems” Using Near-Infrared Light.  
SAE Paper 2003-01-0018
- (4) Naoyuki Aoki: Perspectives for Head-Up Display  
11<sup>th</sup> World Congress On ITS NAGOYA AICHI 2004, JAPAN  
Technical Sessions TP85, Occupant Detection: Head-up Display

## 5. 2 ナイトビジョンシステムの評価

交通事故による死亡者数は減少しているが、夜間の死亡事故件数の比率は全体の55.3%を占めており、昼間の約1.2倍となっている<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。夜間自動車走行の安全性向上の方策は緊急課題といえよう。それに答える代表的なものが、近赤外線ランプとカメラを用いて撮影した映像をドライバーに提示するナイトビジョンシステムである<sup>5), 6)</sup>。

本節では、ナイトビジョンシステムの評価として2つの実験を紹介する。第1の実験では、夜間の一般道路走行時に運転者の視界に近くなるような映像を、通常のビデオカメラと近赤外線カメラで撮影し、道端に立っている人の視認性を評価したものである。第2の実験は、夜間ほとんど前照灯以外の光がない状況で、近赤外線カメラと通常のビデオカメラで運転者の視界に近くなるような映像を撮影し、通常のビデオカメラの映像はプロジェクターで、近赤外線カメラ映像をHUDで被験者に提示し、HUD映像の提示位置と提示サイズについて検討した実験である。

### 5. 2. 1 近赤外線カメラ映像の視認性評価

夜間走行映像撮影用コースとして、栃木県芳賀郡芳賀町～塩谷郡高根沢町を通る県道156号線の約8km区間を使用した。このコース内の3カ所をターゲット検出用のテスト地点とし、芳賀町側から順にA、B、Cとした。

実験用のターゲットとして、3人のウォーキングターゲットを用いた。3人にはそれぞれ白(N9.5)、灰色(N7)、黒(N3)の反射率の違う上着を着用してもらい、車道の左側に立ってもらった。1回の走行でウォーキングターゲットに1人ずつ立ってもらい、実験車両を運転して、通り過ぎるまでの映像を撮影した。

撮影に用いた車両のヘッドライト(スタンレー電気株式会社製)は、ハイビーム部に赤外線ランプを取り付けたものである。通常のビデオカメラと近赤外線カメラによる映像はPCで制御したビデオレコーダにより、同期して撮影した。A、B、C地点の各々について3種のウォーキングターゲットの映像を撮影した。なお、ヘッドライトはすれ違いビームを点灯していた。

撮影によって得られた映像を計算機に取り込み、実験用の刺激視野映像を作成した。実際の自動車運転を想定した約8分間の通常のビデオカメラ、近赤外線カメラの両方の刺激視野映像を作成した。

実験装置の概略を図5-1に示す。通常のビデオカメラおよび近赤外線カメラにより撮影した映像は、被験者の後部上方のプロジェクターから被験者前面の

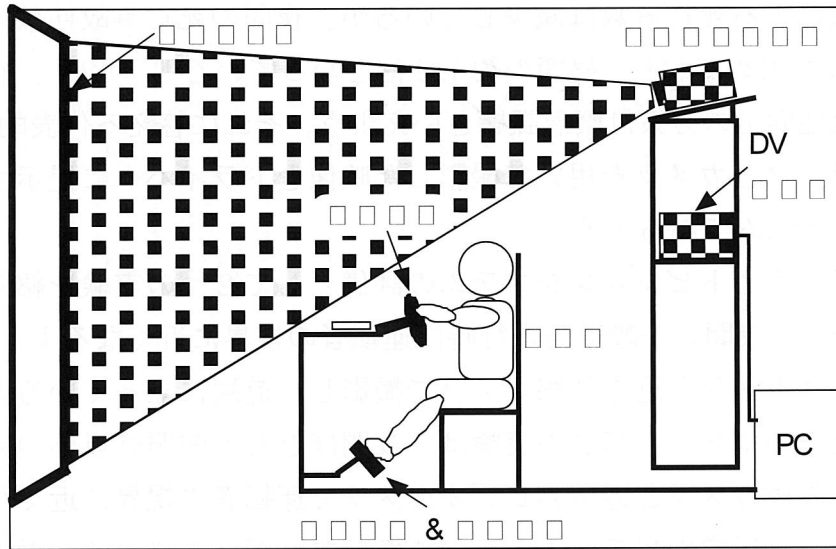


図 5-1 実験装置

スクリーンに投影された。実際の運転状況に近い臨場感を出すために、被験者にはハンドル操作を行ってもらった。これは映像と同期している訳ではない。

実験手順は以下のようなものである。まず、刺激視野映像を被験者に提示する。練習用、通常のビデオカメラ、近赤外線カメラの順に映像を各々別の試行で提示した。被験者には映像に合わせてハンドル操作を行ってもらい、ターゲットを発見したらアクセルペダルを一回踏み、ターゲットを通り過ぎる時にブレーキペダルを一回踏んでもらった。すなわちアクセルペダルとブレーキペダルは、映像に合わせて操作をするのではなく、ターゲット検出の応答用スイッチとして用い、そのタイミングを計算機に記録した。

実験条件は、通常のビデオカメラと近赤外線カメラ映像の2条件、ターゲット反射率の違いが3条件、ターゲット位置が3条件で、これらの全ての組み合わせの18条件を設定した。被験者は、視力正常な運転免許保持の20代の男性8名である。

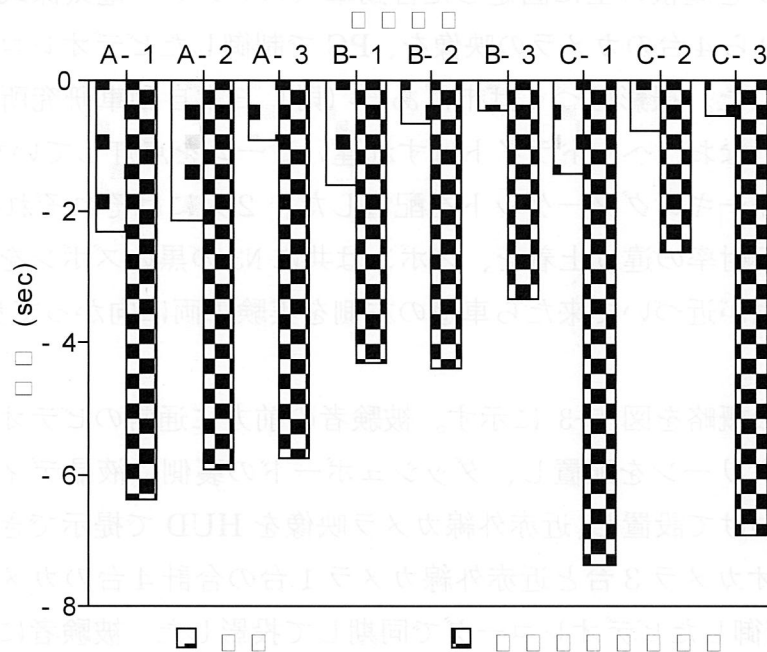


図 5-2 ターゲット発見から通過するまでの応答時間

全ての条件における運転者のターゲット発見から通過するまでの応答結果を図 5-2 に示す。被験者 8 人の平均の結果で、縦軸は発見してから通過するまでの時間、横軸の A、B、C は実験コース内の測定場所、1、2、3 は白、灰色、黒の上着条件を示している。なお縦軸は、事前に発見するという観点からマイナス方向に応答時間をとった。すべての条件において、近赤外線カメラ映像の方がより早く発見できる結果となった。また、通常のビデオカメラ映像条件では、ターゲット反射率の違いについて、3カ所とも白が一番早く発見でき、次に灰色、そして黒が一番遅く発見される結果となった。近赤外線カメラ映像については、ターゲット反射率に関して一定の傾向は見られなかった。

### 5. 2. 2 HUDによる近赤外線映像の提示位置と提示サイズ

ナイトビジョンシステムの映像をドライバーに提示する手段としては、フロントガラスを利用したヘッドアップディスプレイ (HUD) が一般的で、従来までもその視認性や煩わしさについていくつかの研究が報告されている (7), (8), (9), (10)。

本節で紹介する実験における刺激視野映像の撮影には、フロントグリル部に赤外線ランプを取り付けてあり、通常のビデオカメラ 3 台をボンネットに、近

赤外線カメラを屋根の上に固定した自動車（スタンレー電気株式会社所有）を用いた。これら4台のカメラの映像を、PCで制御したビデオレコーダにより同期して撮影した。撮影はつくば市にある（財）日本自動車研究所の実験コースで行なった。なお、ヘッドライトはすれ違いビームを点灯していた。

2人のウォーキングターゲットを配置した。2人にはそれぞれ灰色（N7.5）、黒（N3）の反射率の違う上着を、ズボンは共にN3の黒いズボンを着用してもらい、実験車両が近づいて来たら車道の左側を実験車両に向かって歩いてもらった。

実験装置の概略を図5-3に示す。被験者の前方に通常のビデオカメラ映像を映す3面スクリーンを配置し、ダッシュボードの裏側に液晶ディスプレイを適当な角度をつけて設置し、近赤外線カメラ映像をHUDで提示できるようにした。通常のビデオカメラ3台と近赤外線カメラ1台の合計4台のカメラによる映像を、PCで制御したビデオレコーダで同期して投影した。被験者には椅子に座ってハンドルを握ってもらい通常の運転姿勢をとってもらった。被験者の目の位置からスクリーンまでの水平距離は2.6mとした。

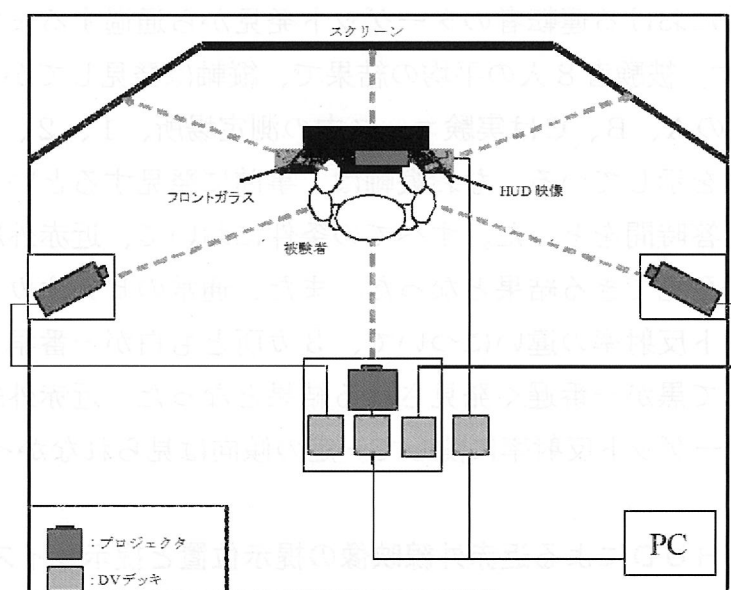


図5-3 実験装置図

実験条件としては、HUD映像の提示位置2種、提示サイズ5種を設定した。実験手順は以下である。まず、暗室に慣れてもらうために5分間暗順応しても

らった。次に、通常のビデオカメラ3台による夜間走行の視野映像をスクリーンに、近赤外線カメラによる映像を HUD でフロントガラス上に提示した。被験者には、視野映像に合わせてハンドル操作を行なってもらった。各実験条件において、HUD 映像の見え方に関して、以下の図 5-4 に示す5つの項目について5段階評価の主観評価をしてもらった。

本実験で用いた主観評価シートを図 5-4 に示す。サイズの検討、垂直方向の提示位置、水平方向の提示位置については評価値3が、歩行者の見え方、煩わしさについては評価値5が理想値となる。

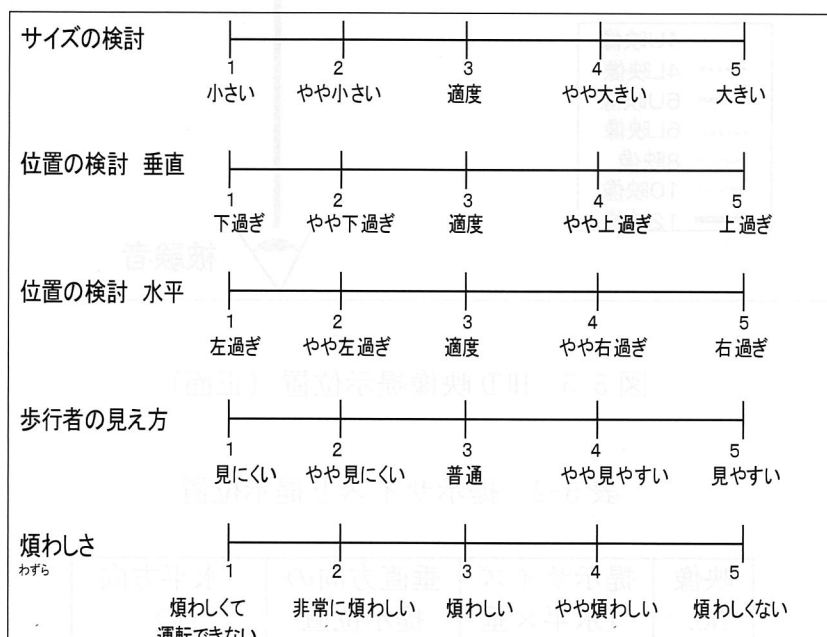


図 5-4 主観評価シート

実験で用いた HUD 映像提示位置（正面）を図 5-5 に示す。左 8 度も同様である。表 5-2 に提示サイズと提示位置を示す。図の度数表記は正面を向いた被験者の注視点からの視角を表している。提示位置（正面（表 5-2 で 0 と表記）、左 8 度）の 2 条件、提示サイズと垂直方向位置（4U, 4L, 6U, 6L, 8, 10, 12）の 7 条件の計 14 条件を用いた。表 5-2 の ↓ は、注視点より下方向に提示したことを表す。サイズ 4 度と 6 度映像については垂直方向の位置も 2 種設定したので、上側提示を U、下側提示を L とした。

視力正常な運転免許保持の男性 8 名、女性 2 名の計 10 名に被験者として実験に協力してもらった。

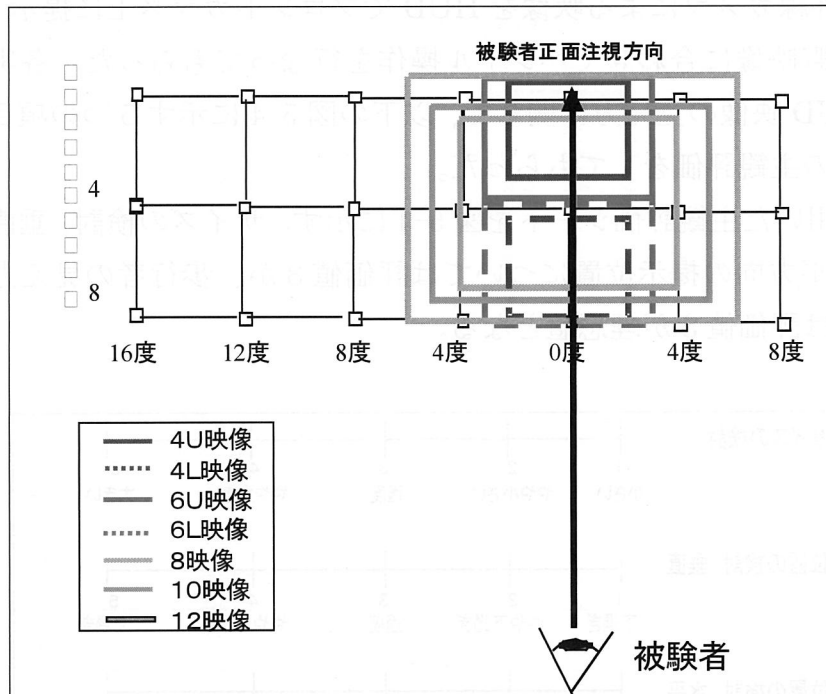


図 5-5 HUD 映像提示位置 (正面)

表 5-2 提示サイズと提示位置

映像 No.	提示サイズ (水平×垂直) (度)	垂直方向の提示位置 (度)	水平方向の提示位置 (度)
4U	4×3.3	1.0 ↓	0、左8
4L	4×3.3	6.0 ↓	0、左8
6U	6×4.7	1.5 ↓	0、左8
6L	6×4.7	5.5 ↓	0、左8
8	8×6.1	3.5 ↓	0、左8
10	10×7.4	3.5 ↓	0、左8
12	12×8.8	3.5 ↓	0、左8

実験結果の概要は以下である。

(1) サイズの検討

4 Uと4 L映像の主観評価は両映像共「やや小さい」、6 U映像と6 L映像

の主観評価は「やや小さい～適度」、8度映像の主観評価は「適度～やや大きい」、10度映像の主観評価は「やや大きい」、12度映像の主観評価は「大きい」という評価となった。主観評価平均値から見ると、6(U,L)映像の評価が最も理想値に近い結果になった。

#### (2) 位置の検討：垂直方向

垂直方向の位置の検討は、4度と6度映像の(U,L)を比較した。両方のサイズで共にL方向の評価が良い結果となった。U方向では、被験者の注視点により近づくため、「やや上過ぎる」という評価が目立った。

#### (3) 位置の検討：水平方向

水平方向の位置の検討は、各映像の提示位置（正面、左8度）を比較した。全てのサイズで共通して、正面映像の評価が良かった。

#### (4) 歩行者の見え方

映像サイズが大きくなるにつれ、歩行者の見え方が良くなっていることがわかった。4度映像では「やや見にくい」、12度映像では「やや見やすい」という評価になった。

#### (5) 煩わしさ

歩行者の見え方とほぼ逆相関するように、映像サイズが大きくなるにつれ「煩わしい」という評価になった。4度映像では「やや煩わしい」、12度映像では「非常に煩わしい」という評価となった。

図5-6に6L条件の結果を示す。被験者全員の主観評価の平均値で、青ダイヤモンドは正面の、緑三角は左8度の条件の結果で、赤四角は理想値を示す。6L条件の結果は、今回採用した提示サイズと提示位置条件中で最も理想値に近い結果となった。正面と左8度を比較すると正面の方が理想値に近い。

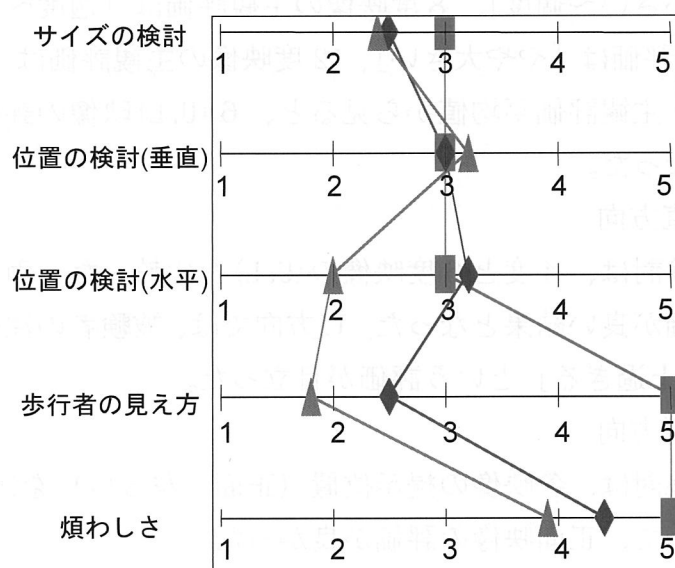


図 5-6 6L の結果。青ダイヤモンドは正面の、緑三角は左 8 度の条件で、赤四角は理想値を示す。

以上の結果から、提示位置に関しては、水平方向は正面映像、垂直方向は L (下) 方向、提示サイズに関しては、6 (U, L) 映像の評価が高いことが検証された。総合的には、正面方向 6 L 映像の提示が良いと考えられる。

### 5. 2. 3 まとめ

本節では、ナイトビジョンシステムの視認性の評価と HUD により提示する際の適正な条件の実験的検討について述べた。

夜間走行時の映像を用いた実験から、近赤外線映像は、通常のヘッドライトより早く（つまり、より遠方から）歩行者などを発見することが可能で、夜間の安全運転向上に役立つシステムと考えられる。また HUD による提示に関しては、映像の内容が見やすく且つ煩わしくないという相反する条件を満たすためには、適正なサイズと位置が限定されることが明らかとなった。本節での実験では、提示サイズは水平 6 度×垂直 4.7 度、提示位置はドライバーの正面で画面中心が注視点よりも下方 5.5 度が最も好成績となったが、これについてはさらに詳細な検討が必要であり、今後の研究成果が期待される。

### 参考文献

- (1) 交通安全白書

[http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h16kou\\_haku/index.html#14](http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h16kou_haku/index.html#14)

- (2) 森田和元：“薄暮における交通事故発生状況の統計的解析”, 照明学会誌, vol.84, No.8A, pp.507-513 (2000).
- (3) Michael G. Lenn Thomas J. Triggs and Jennifer R. Redman：“Time of Day Variations in Driving Performance”, *Accid. Anal. and Prev.*, Vol. 29, No. 4, pp. 431-437 (1997).
- (4) M. Thyge Corfitsen：“Enhanced Tiredness Among Young Impaired Male Nighttime Drivers”, *Accid. anal. and Prev.*, Vol. 28, No. 2, pp. 155-162 (1996).
- (5) M. Burg, B. Abel, K. Eichhorn, Hella KG Hueck & Co, Germany：“Infrared Headlamps for Active Night-Vision System”, *Proceeding of PAL 2001 Symposium*, pp.90-98 (2001).
- (6) 原隆広, 阿山みよし, 佐藤孝：“ナイトヴィジョンの視認性に関する基礎的検討”, *Optics Japan 2002 講演予稿集*, pp. 354- 355 (2002).
- (7) 岡林繁：“車の情報化におけるヘッドアップディスプレイの役割”, *ディスプレイ*, Vol. 5, No. 8, pp. 20-28 (1999).
- (8) 岡林繁, 杉江昇, 今泉雅善, 古川政光, 坂田雅男, 畑田豊彦：“微小俯角における自動車ヘッドアップディスプレイ表示情報受容特性”, *電子情報通信学会論文誌 A*, Vol. 81-A, No. 4, pp. 554-561 (1998).
- (9) 森田和元, 益子仁一, 岡田竹雄：“自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしさ感に関する考察(第1報)-表示位置と運転者の目の位置による影響-”, *照明学会誌*, Vol. 81, No. 2, pp. 19-25 (1997).
- (10) 森田和元：“自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしさ感”, *VISION*, Vol. 15, No. 1, pp. 7-10 (2003).

### 5. 3 関連規準

自動車用 HUD についての直接的な法規は、世界的にみても現在定められていない。しかし、いわゆるナイトビジョンに関し、国土交通省自動車交通局の技術指針において「夜間前方情報提供装置の技術指針」が定められており、その表示が HUD である場合に適用されるように以下の要件が定められている。その技術指針の内容（抜粋）は以下のとおりである。

#### 1. 目的

本技術指針は、自動車製作者により乗用自動車に備えられた夜間前方情報提供装置について、運転を阻害しない要件を規定する。

#### 2. 用語

(1) 「夜間前方情報提供装置」とは、車両前方に照射した赤外線の反射光を赤外線カメラで検知するなど、夜間及び霧の発生時に車両前方を赤外線カメラで検知し、その画像を前面ガラスの視界内に表示する装置をいう。

(2) 「表示画像」とは、前面ガラスの視界内に表示された画像をいう。

(3) 「表示位置」とは、アイポイントから表示画像を視認した際の位置をいう。

(4) 「アイポイント」及び「V<sub>2</sub>点」とは、それぞれ「道路運送車両の保安基準に係る技術基準について」（昭和 58 年 10 月 1 日付け自車第 899 号）別添 68 「乗用車等の窓拭器及び洗浄液噴射装置の技術基準」及び同付録に規定する「アイポイント」及び「V<sub>2</sub>点」をいう。

#### 3. 作動条件 (略)

#### 4. 操作装置 (略)

#### 5. 画像表示

夜間前方情報提供装置の前面ガラスへの画像表示は、次に掲げる条件を満足していなければならない。

##### (1) 表示位置

表示位置は、可能な限り運転の妨げにならない位置にあり、かつ、次の条件を満足しなければならない。

(ア) V<sub>2</sub> 点を通り水平面と下方向になす角度が 1 度である平面より下方にあること

(イ) アイポイントと後車鏡の鏡面とを結ぶ範囲に表示しないこと

(2) 表示画像

表示画像は運転者に眩惑を与えないものであり、かつ、運転視界を妨げないものでなければならない。このため、次に掲げる条件を満足していなければならない。

(ア) 表示画像の輝度を調整できる機構を有すること

(イ) 運転者に眩惑を与えないため、表示画像の輝度を  $30\text{cd/m}^2$  以下に調整できること

(ウ) 運転視界を妨げないため、表示画像の輝度は  $100\text{cd/m}^2$  以下であること

(エ) 表示画像は赤色を用いたものでないこと

6. 使用者への周知 (略)

以上の技術指針に出てくる  $V_2$  点というのは、バックアングルが 25 度である運転席のシーティングリファレンスポイント (R 点) を基準として、表 5-3 に定められる点をいう。ただし、運転席のバックアングルが 25 度と異なる場合には、必要な補正を行う。表には  $V_2$  点の他、参考に  $V_1$  点も示す。

表 5-3 基準点の位置 (単位: mm)

	R 点の後方	R 点の車両外側	R 点の上方
$V_1$ 点	68	5	665
$V_2$ 点	68	5	589

ここで、 $V_2$  点を通り水平面と下方向になす角度が 1 度である平面より下方にあることのイメージを図 5-7 に示す。

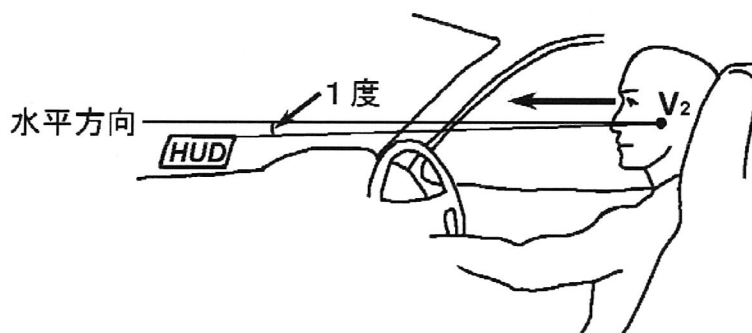


図5-7  $V_2$ 点の水平方向からみて下方向1度よりも下の表示位置

この表示領域の考え方は、自動車用ガラスの安全性に関する試験方法でのA領域の下限設定の考え方に準じている。A領域については、例えば JIS R3212「自動車用安全ガラス試験方法」の付属書を参考にされたい。

このA領域の下限とドライバーのアイポイントとの位置関係は窓ガラスの設置状況に依存するので一意に定まらないものの、通常の乗用車であればアイポイントからみて約5～6度下方向になる。この俯角より上方には HUD を表示しないというのが一つの考え方となっている。



図10 運転者のアイポイントとヘッドアップディスプレイの表示領域の関係

## 6. 鉄道への適用例

鉄道において HUD を応用した例については、本委員会で 1 件のみ把握することができた。以下はその詳細である。

### 6. 1 都営地下鉄への適用

鉄道における HUD の応用に関しては、都営地下鉄大江戸線（地下鉄 12 号線）に採用されたのが最初である。都営地下鉄大江戸線は、平成 3 年 12 月に都営地下鉄 12 号線として練馬－光が丘間で開業が始まり、東京都における最初のワンマン運転方式の地下鉄となった。乗務員（運転士）の負担軽減と安全性向上を図る目的から、乗務員の前方監視と各種情報の把握とを同時に行うものとして、HUD の採用を図ることとされた。

ここで、実際の運行に使用される前に 3 回の評価試験が行われ、

- (1) 表示の明示性
  - (2) 表示内容
  - (3) 表示の大きさ、表示位置
  - (4) ハードとして搭載可能性等
- が検討された。

### 6. 2 予備評価試験

#### 6. 2. 1 第 1 回評価試験

表示背景視野の輝度分布測定するための評価試験が平成 1 年 6 月に実施された。

HUD の表示の明るさを決定するために、最初に前方視界となる地下鉄線内の輝度データの測定が行われた。先頭車両運転台の中央に輝度計を設置し、地下線及び地上線の輝度を測定した。測定目標の方向は、視野中央、視野上方、視野下方、視野右方及び視野左方の 5 方向（図 6-1）とし、都営三田線の高島平－御成門間で実施した。

輝度の測定結果については、前方レール中央で比較すると、駅構内では約  $0.9\text{Ft} \cdot \text{L}$ 、地下鉄線内（隧道内）では約  $0.2 \sim 0.3\text{Ft} \cdot \text{L}$  であり、低い値となった。

（注 1  $\text{Ft} \cdot \text{L} = 3.43\text{cd}/\text{m}^2$ ）

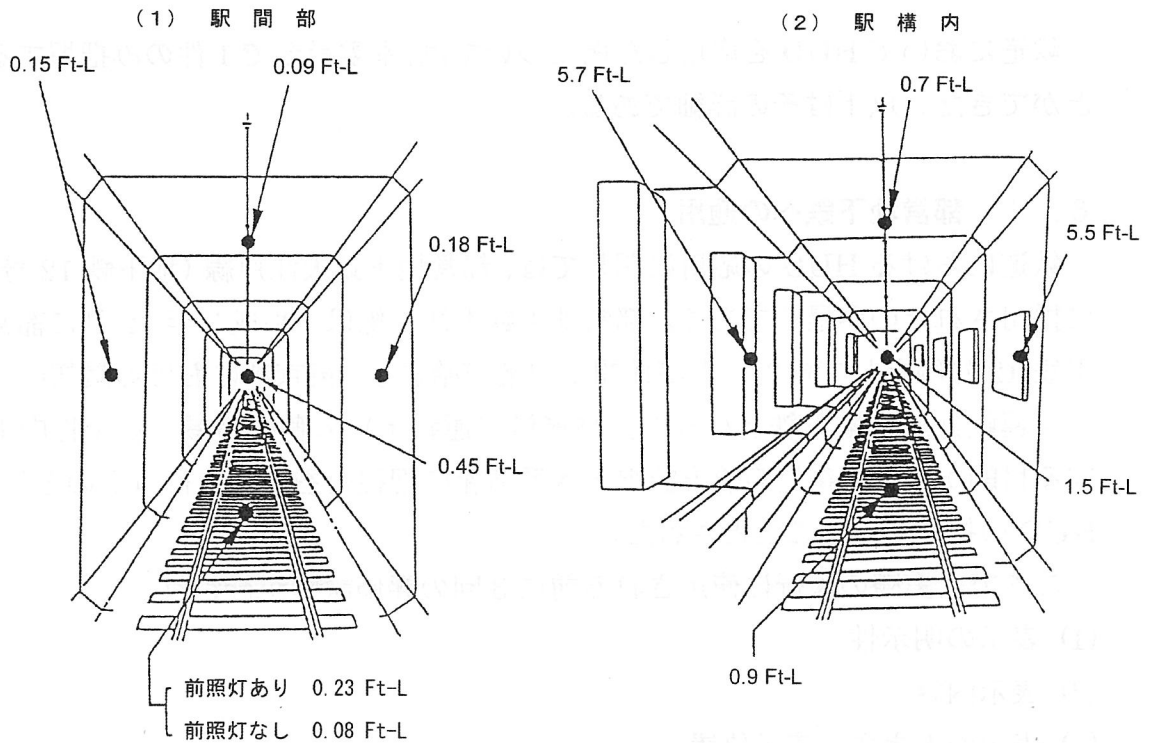


図6-1 地下鉄における輝度測定結果

### 6. 2. 2 第2回評価試験

表示位置及び表示輝度の視認性評価試験が平成11年7月に実施された。

実際に地下鉄車両内に HUD（航空機用）を搭載して、その視認性を 27 名の観測者により評価した。先頭車両運転台の車掌台に HUD を搭載し、車両速度及びモータ電流の情報を表示させ、表示位置、表示輝度を変更して、視認性の変化を調査した。表示位置に関するアンケート結果では、図 6-2 における B の位置が最も評価が高かった。表示輝度に関しては、表 6-1 に示すような結果となり、一般的に適切とされるコントラスト比（背景輝度+表示輝度）/（背景輝度）1.5~2.0 の値を大きく上回った。これは、背景が暗いために高いコントラスト比を示したものである。

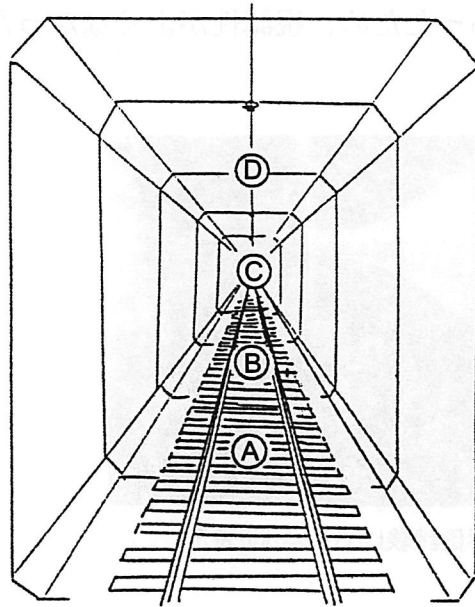


図6-2 評価試験のための表示位置

表 6-1 表示輝度評価結果

	表示輝度(Ft・L)	背景輝度(Ft・L)
隧道内	4.13	0.3
駅構内	11.68	0.9

### 6. 2. 3 第3回評価試験

地下鉄車両用試作品の現車搭載試験が平成1年12月に実施された。地下鉄用試作品を三田線車両に搭載し、実機における視認性の評価試験を行った。

表示内容は以下の通りである。速度、速度制限値、ブレーキシリンダ圧力、主回路（モータ）電流、絵表示（ステータス表示）等

また、HUDの設置位置は、先頭車両運転台の貫通路部とした。走行時の表示例を図6-3に示す。

評価結果は以下の通りであった。

#### (1) 視認性について

シンボルマーク表示色の視認性について（表6-2）

- ・赤は目につきやすく、通常表示する色としては適さない。異常表示等に使用するのがよい。

- ・黄、橙は視認性がよかった。
- ・青は、今回の濃い色であったため、視認性がよくなかった。

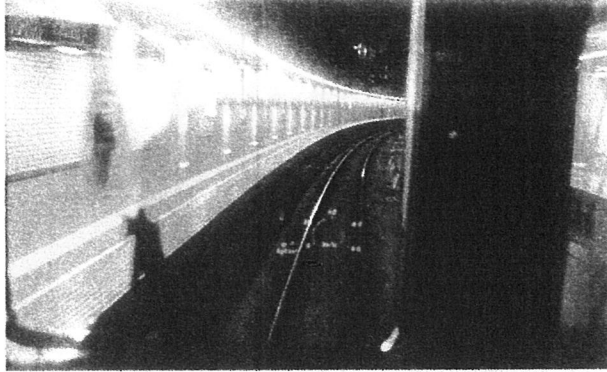


図6-3 評価試験におけるHUD表示

表 6-2 色の視認性

表示色	赤	黄	オレンジ	緑	青
視認性 (5段階評価 値の平均)	○ 3.85	◎ 4.54	◎ 4.54	○ 3.39	△ 2.69

(2) 表示内容の優先度について

実際に搭載する場合の HUD 表示の必要性について、各情報に関してランク付けを行った。その結果は表 6-3 のようであり、速度、ATC 速度、異常表示、戸閉表示の優先度が高いことがわかった。

表 6-3 情報内容のランク評価結果

A ランク (最重要)	①速度 ②ATC 速度 ③異常表示 ④戸閉表示
B ランク	①ATO 運転成立 (「出発OK」) ②駅間走行位置 (地下鉄では駅間のどこを走行しているのかわかりにくいため)

	③次駅名
Cランク	①ブレーキシリンダ圧力 ②主回路電流（モータ電流） ③時刻 ④運行番号

### (3) その他の意見

- ・速度計については、誤判読のおそれを避けるために通常の数値表示と同じデザインにする必要がある。
- ・ブレーキ圧力については、今回、圧力のないときは目盛りを表示しない方法を採用したが、常時表示する方がよい。
- ・モータ電流のデジタル表示については、表示の動きが速いため読み取りにくい。
- ・表示位置に関しては、今回の前方約7mの軌道上でよい。

## 6. 3 都営地下鉄大江戸線（地下鉄12号線）への適用

3回の予備実験の結果から、地下鉄車両へのHUD搭載が有効と考えられたので、実際にHUD装置の製作が行われて搭載された。

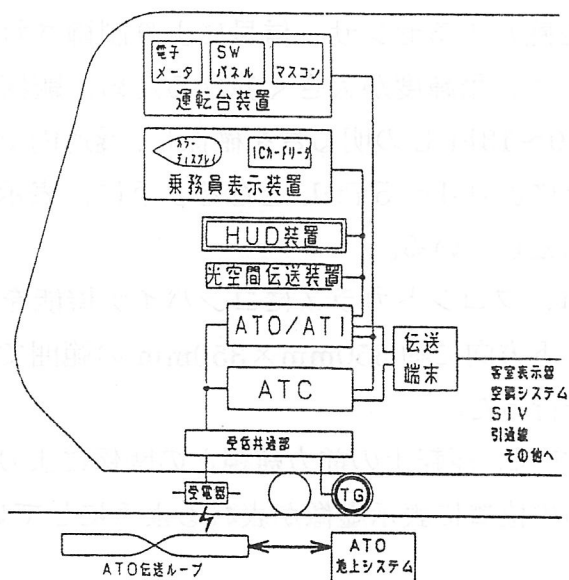


図6-4 システム構成

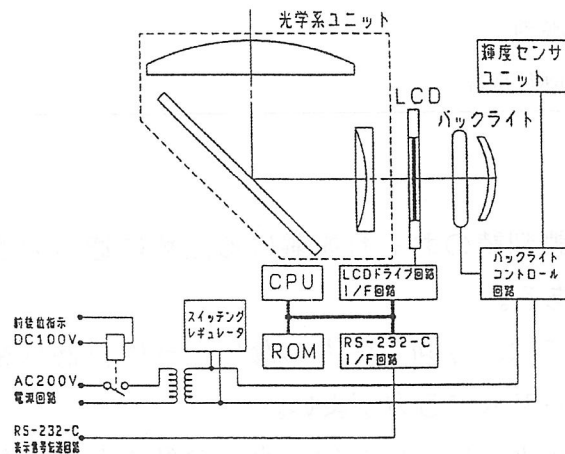


図6-5 HUDの構成

(1) システム構成

図 6-4 にシステム構成を示し、図 6-5 に HUD 装置の構造を示す。ATI (車両情報制御装置) から伝送された表示情報が、HUD の液晶表示部に呈示される。表示部は液晶パネル部に色フィルムを貼り付けてカラー化してあり、背後からバックライト (平形蛍光灯 27w×2 本) にて照射している。バックライトの明るさは、車外の明るさを感知するセンサー信号により制御されている。すなわち、隧道内と駅構内とでは背景輝度が大きく異なるため、駅構内ではバックライト 2 灯を点灯して約 10~13Ft-L の明るさを確保し、隧道内ではバックライト 1 灯として減光することにより 4~5 Ft-L となるように、表示輝度を自動的に制御するようなシステムとしている。

コンバイナについては、フロントガラスにコンバイナ機能を持たせることとした。運転席の前方やや下方向に約 350mm×350mm の範囲でチタン系塗料の焼き付けコーティングを行った。

HUD 表示位置については、運転士の前方監視との関係により、運転士の目の位置から車両前方約 7 m の位置に表示虚像が表れるようにしている (図 6-6)。

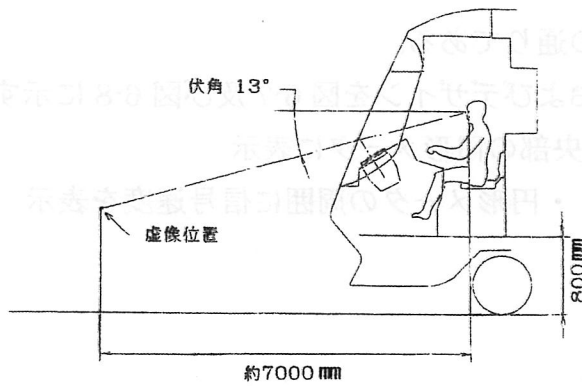


図6-6 HUDの虚像位置

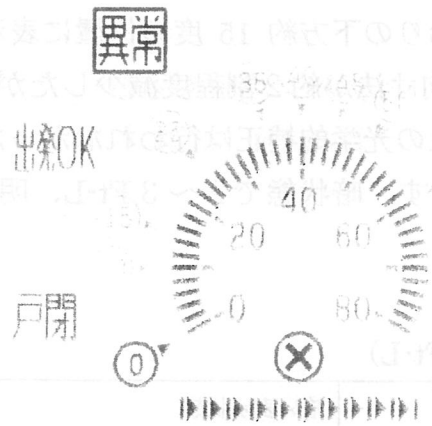


図6-7 最終的な表示デザイン

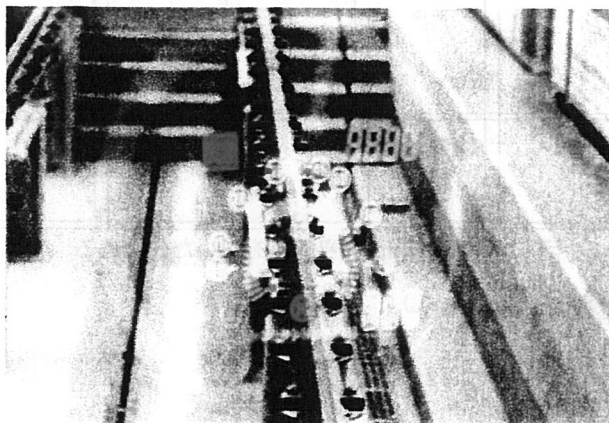


図6-8 最終的な表示デザインの実現結果

## (2) 表示構成

表示構成については以下の通りである。

最終的に採用した表示色およびデザインを図 6-7 及び図 6-8 に示す。

- ・車両速度（緑色）・・・中央部の円形メータに表示
- ・ATC 信号速度（橙色）・・・円形メータの周囲に信号速度を表示
- ・「戸閉」表示（青色）
- ・「出発 OK」表示（青色）
- ・「異常」表示（赤色）
- ・走行位置表示（緑色）・・・円形メータの下側に現走行中の駅間位置を表示
- ・その他の表示（橙色）・・・エラー表示（伝送エラー等発生時）、次駅略名

## (3) 確認試験結果

表示位置については、ほぼ設計どおりの下方約 15 度の位置に表示がされた。フロントガラスの曲率のために横方向寸法が約 2 割程度減少したが、表示確認には支障がないと判断されてそれ以上の光学的補正は行われなかった。

表示輝度の測定結果を表 6-4 に示す。暗状態で 2～3 Ft-L、明状態で 8～15Ft-L となった。

表 6-4 HUD の表示輝度測定結果 (Ft-L)

表示状態	明るい表示状態 (隧道入口)				暗い表示状態 (隧道内)			
	赤色	橙色	緑色	青色	赤色	橙色	緑色	青色
表示部位								
輝度計の 読み値 (平均 値)	11.94	18.38	19.33	11.94	2.91	4.21	4.04	3.02
*表示輝 度値	8.47	14.90	15.86	8.47	2.02	3.33	3.15	2.14

\*表示輝度値は、輝度計の読み値から、下に示す背景輝度の平均値を引いた値である

(背景輝度：隧道入口：3.47Ft-L、隧道内：0.89Ft-L)

## (4) 使用に伴う評価結果

HUD について、搭載当時は物珍しさがあったものの、運転士は通常同一路線を繰り返し運行するために、その特徴である表示に対する視認の素早さ、前方

風景との2重像の獲得について次第にメリットを感じなくなってしまい、HUDの必要性が薄れる結果となった。このため、初期車両に導入されたものの、その後はHUDが搭載されることはなかった。

#### 6. 4 結論

地下鉄にHUDを導入しようとしたものの、運転士は都区内のような短区間で同一路線を毎日走行する場合には走行条件に慣れてしまい、車両速度、ATC信号速度等の各種情報について、常時、HUDを介して確認する必要がないというのが実情であった。従って、情報確認のし易さについて有利であるHUDに関しては、その特長を十分に生かすことができなかった。地下鉄車両にHUDを導入するためには、表示視認のし易さという以上の何らかの利点がないと今後の発展は考えにくい。

#### 参考文献

- (1) 麻生，松本，斎藤「鉄道車両用HUD装置の開発」，鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集，Vol.28, pp.281-285 (1991)
- (2) 片岡，村上，佐藤，松本，斎藤「鉄道用ヘッドアップディスプレイの開発」，日本機械学会第1回交通・物流部門大会講演論文集，pp.377-382 (1992)

## 7. 航空機用 HUD の概要

### 7. 1 概説

航空機用 HUD の開発の歴史<sup>(1)</sup>については、第 2 次世界大戦中に戦闘機の銃撃照準用に開発されたものを基にしており、1950 年代に英国(United Kingdom's Royal Aircraft Establishment)において表示内容と外界との一致をめざして開発が進んだ。表示内容も方位、速度、高度等の情報が含まれるようになった。

軍用のみならず、民間航空機用にも 1970 年代から開発が進み、80 年代にはホログラム光学系を利用して着陸時の誘導システムに使用されるようになってきた。最初にアラスカ航空がこの種の HUD を B-727 の CAT IIIa 低視程時の運行に使用し始めた。現在では、デルタ航空が B-737-800 で使用しているほか、ノースウェスト航空等の他の航空会社においても HUD を採用している。

当初、屈折レンズを使用した HUD 光学系が実現されてきたが、現在、広視野、高表示輝度化の観点からホログラムを利用した光学系が使用されるようになってきている。

ここで、基本的に HUD の構造は自動車用と同一ではあるが、航空機用 HUD に関して以下の点で自動車用と異なるという特徴がある。

- (1) 虚像までの表示距離・・・航空機においては無限遠に設定するが、自動車用では 1.5~3m 程度にしてドライバの違和感を生じないようにしている。
- (2) 背景視野・・・航空機では空、雲等の均一背景の場合が多いが、自動車の場合には道路、対向車、歩行者等のさまざまな視対象が表れる。
- (3) 表示輝度・・・航空機の場合には太陽光に照らされた雲 10,000 ft-L(foot-Lamberts) (34,000cd/m<sup>2</sup>)となるような極度に明るいところで使用されることがあり、一般に自動車用よりも表示輝度を高くすることが可能でなければならない。ただし、夜間時においても適用できるように輝度調整が必要である。
- (4) サイズ・・・自動車用の方が搭載スペースの制約が厳しい。
- (5) 使用者・・・航空機パイロットは訓練されているが、自動車のドライバは高齢者も含んで広範囲にわたる。

### 7. 2 航空機用 HUD の注意事項

#### (1) 構造的要因

航空機用の HUD の表示輝度に関しては、太陽光に照らされた雲 10,000

ft-L(foot-Lamberts)(34,000cd/m<sup>2</sup>)となるような明るいところを背景とする場合から、夜間の着陸時のようにわずかな照明光のある滑走路を背景とする場合まで広範囲にわたる。特に、明るい背景の場合に HUD 表示輝度を高くとらなければならない。たとえば、80%の透過率のコンバイナを通して 10,000 ft-L の明るい雲を背景とする場合には、コントラスト比を 1.3 にするためには、パイロットの眼に入る表示輝度は 2400 ft-L である必要がある。しかし、これは非常に高い値であり、高輝度 CRT を用いて実現することが多い。また、表示の視認性を高めるために、ホログラムを利用して、ある波長域（通常は緑色）を選択的にコンバイナで反射させるという方式も採られている。

表示の描画方法に関しては、通常のテレビで使用されるような画面の上端から下端に順に操作するラスタスキャン方式よりも、一筆書きのように必要な部分のみを走査するストロークスキャン方式の方が高輝度を実現することが可能であり、描画速度も早くなるので、この走査方式をとることが多い。なお、アナログ走査信号としては水平方向を x 信号、垂直方向を y 信号として、輝度に関するビデオ信号を z 信号として制御している。また、デジタル信号として表示リストを HUD に送ることも考えられる。

さらに、パイロットから HUD を見る場合にどの範囲まで認識できるのかという問題がある。広い範囲までの視野 FOV(Fields-of-view)が確保できるのであれば好都合である。この点に関して、表示視野を広くとるために一枚のコンバイナを使用するだけでなく、2枚のコンバイナを上下に設置して FOV を広くとっていることがある。

パイロットに必要な情報を与えることを考えると、今後は、HUD だけではなく、頭部に被る HMD (Helmet-Mounted Display) も併用していくことが想定される。戦闘機や軍用ヘリコプターについては HMD が広く実用化されているものの、民間航空機ではまだ現実的な課題とはなっていない。

## (2) 生理心理的要因

HUD の表示にパイロットが気をとられていると、外界の異常に気がつかなくなるおそれがある。Cognitive Capture といわれる現象である。E. Fischer 等<sup>(2)</sup>によれば、ボーイング 727 型航空機シミュレータを用いて 8 名のパイロットにより模擬着陸飛行を行わせたときに、滑走路に予期せぬ障害物を発生させたところ、8 名中 2 名のパイロットが障害物に気がつかなかった、他のパイロットも HUD を使用しない場合よりも障害物に気がつく時間が長くなったと報告されている。このため、HUD 表示が外界の情報入手を妨げるおそれが指摘され

た。外界と HUD 情報とを同時に見た場合に、どちらの情報をより優先的に認識するかについては、安全上重要な問題であり今後も検討が行われなければならない。

また、一般に航空機用 HUD の表示距離は無限遠とされるが、HUD をコンバイナ上に見ると、パイロットの目の焦点が無限遠ではなく、より近い方の距離に合うという現象が報告されている (J. H. Iavecchia<sup>(3)</sup>)。機器近視 (instrument myopia) といわれる現象である (機器近視とは、望遠鏡や顕微鏡などの光学系機器をのぞいたとき水晶体の屈折力が増加する現象をいう<sup>(4)</sup>)。このため、外界の対象を実際よりも小さく遠くに見せるおそれがあるという指摘がある。しかし、実際の運行上の安全にどの程度関係するかは十分な議論が行われているわけではない。

#### 参考文献

- (1) Cary R. Spitzer: The Avionics Handbook, AvioniCon, Inc., Williamsburg, Virginia (2000)
- (2) E. Fischer, R. F. Haines, and T. A. Price: Cognitive Issues in Head-Up Displays, NASA Technical Paper 1711 (1980)
- (3) J. H. Iavecchia: Response Biases with Virtual Imaging Displays, Report No. NADC-85165-60 (1985)
- (4) 大山正、今井省吾、和氣典二: 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック, p.893, 誠信書房 (1994)

## 8. おわりに

平成 15 年度～16 年度にかけて HUD に関する 2 年間の調査を行い、製作メーカーの技術者や大学で視覚研究を行っている研究者等の議論を通してさまざまな観点から HUD の現状を明らかにすることができ、ここに、このような報告書としてまとめることができた。この報告書の狙いは 2 つある。一つは、HUD について全く事前の知識のない人が読んでもその概要を十分に理解することができるような内容にすること、もう一つは、人間工学的観点からの問題意識をもっている研究者にとって十分読み応えのある内容にすることであった。実際に製作に携わっている技術者の人にも意義のある内容になっていると考えるが、最先端の技術内容については企業秘密の壁があり、必ずしも明らかに記載されていないおそれがある。しかし、いままで HUD に関するまとまった成書が我が国ではなかったことを考えれば、この報告書は不十分ではあるにせよその意義を持つものと考えられる。

また、HUD に関連する文献も巻末につけ、そのうちのいくつかの英論文については要約（試訳）を掲載して読者の参考となるようにした。

本委員会では、各委員の知見、技術、研究内容を披露して議論する形式をとったほか、外部の専門家を招いて講演をしていただく形をとった。ご協力をいただいた方々にあらためて感謝の意を表したい。

関連の文献一覧

自動車関係 (34 件)

番号	論文タイトル	著者	出典	発行年	要約の有無
1	Development of Heads-Up Display for a Motor Vehicle	T. Iino, T. Otsuka, Y. Suzuki	SAE Technical Paper Series No.880217	1988	
2	The First Head Up Display Introduced by General Motors	M. Weihrach, G. G. Meloeny	SAE Technical Paper Series No.890288	1998	
3	Development of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application	S. Okabayashi, M. Sakata, J. Fukano, S. Daidoji	SAE Technical Paper Series No.890559	1989	
4	The Effects of a Simulated Head-Up Display Speedometer on Perceptual Task Performance	R. J. Sojourner, J. F. Antin	Human Factors, Vol.32, No.3, pp.329-339	1990	有
5	Effect of a Head-Up Versus Head Down Digital Speedometer on Visual Sampling Behavior and Speed Control Performance During Daytime Automobile Driving	R. J. Kiefer	SAE Technical Paper Series No.910111	1991	有
6	自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景情報と表示情報の認識について	岡林, 古川, 坂田, 畑田	照明学会誌, Vol.75, No.6, pp.267-274	1991	
7	Development of Hologram Head-Up Display	H. Kato, H. Ito, J. Shima, M. Imaizumi	SAE Technical Paper Series No.920600	1992	
8	Head-Up Display in Automotive/Aircraft Application	C. M. Enderby, S. T. Wood	SAE Technical Paper Series No.920740	1992	
9	Head-Up Display Using a Hologram as an Optical Element	M. Sugita, M. Suzuki	SAE Technical Paper Series No.920741	1992	
10	1992SAE 国際会議報告 (ヘッドアップディスプレイ)	杉田	テレビジョン学会技術報告, Vol.16, No.25, pp.13-20	1992	
11	自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景情報と表示情報の認識についてII -表示像位置の高さの認識-	岡林, 坂田, 畑田	照明学会誌, Vol.76, No.2, pp.81-90	1992	
12	自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景情報と表示情報の認識についてIII -実車走行実験評価-	岡林, 坂田, 古川, 畑田	照明学会誌, Vol.77, No.6, pp.285-295	1993	
13	自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景情報と表示情報の認識についてIV -視覚光学モデルによる検討-	岡林, 畑田	照明学会誌, Vol.77, No.10, pp.593-602	1993	
14	自動車用ヘッドアップディスプレイにおける視覚情報受容の優位性	岡林, 古川, 畑田	テレビジョン学会誌, Vol.47, No.5, pp.714-721	1993	

15	The Effect of Background Scene Complexity on the Legibility of Head-Up Displays for Automotive Applications	N. J. Ward, A. M. Parkes, P. R. Crone	Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings, pp.457-462	1994	
16	Head-Up Displays and Their Automotive Application: An Overview of Human Factors Issues Affecting Safety	N. J. Ward, A. Parkes	Accid. Anal. And Prev. Vol.26, No.6, pp.703-717	1994	有
17	Quantifying the Consequences of the "Eyes-on-Road" Benefit Attributed to Head-Up Displays	R. J. Kiefer, A. W. Gellatly	SAE Technical Paper Series No.960946	1996	有
18	自動車用ヘッドアップディスプレイ (HUD) 表示像情報の周辺視による受容	岡林	都市情報学研究, 名城大学都市情報学部, No.1, pp.187-199	1996	
19	Visual Optics of Head-Up Displays (HUDs) in Automotive Applications	S. Okabayashi	Japanese Technology Reviews, Section D, Vol. 27	1996	
20	Automotive HUDs: The Overlooked Safety Issues	D. R. Tufano	Human Factors, Vol.39, No.2. pp.303-311	1997	有
21	The Time Cost of Head-Up Displays for Older Drivers: Critical Event Onset, Task Location, and Display Type	J. K. Caird, J. Chugh	Proceedings of the Human and Ergonomics Society 41st Annual Meeting, pp.8-12	1997	有
22	自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしさ感に関する考察 (第1報) - 表示位置と運転者の目の位置による影響 -	森田, 益子, 岡田	照明学会誌, Vol.81, No.2, pp.89-95	1997	
23	自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしさ感に関する考察 (第2報) - 表示輝度, 観測者の年齢及び運転時の影響 -	森田, 益子, 岡田	照明学会誌, Vol.81, No.8A, pp.638-647	1997	
24	Driver Responses to Navigation Information on Full-Windshield, Head-Up Displays	A. Steinfeld, P. Green	Int. J. of Vehicle Design, Vol.19, No.2, pp.135-149	1998	有
25	Considerations on a Feeling of Troublesomeness Regarding Automotive Head-Up Displays During Driving	K. Morita, J. Mashiko, T. Okada	SAE1997 Transactions Vol. 106, Journal of Passenger Cars, Section6-Part1, pp.360-368 No.970229	1998	
26	Display of Short Text Messages on Automotive HUDs: Effects of Driving Workload and Message Location	O. Tsimhoni, H. Watanabe, P. Green, D. Friedman	Technical Report UMTRI-2000-13	2000	

27	Influence of Double Image on the Troublesomeness of a Head-Up Display for Use in Motor Vehicles	K. Morita, J. Mashiko, T. Okada, H. Suzuki	SAE1999 Transactions Vol. 108, Journal of Passenger Cars, Section6, pp.548-557 No.1999-01-0254	2000	
28	Cadillac Deville Thermal Imaging Night Vision System	N. S. Martinelli, S. A. Boulanger	SAE Technical paper series, No. 2000-01-0323	2000	
29	Eyetracker analysis of fixation points using an IR HUD in an automobile	T. Meitzler, K. Lane, D. Bryk, E. J. Sohn, D.Jusela, S. Ebensteint, G. Smith, Y. Rodin	Int. J. Vehicle Design (Special Issue), Vol.26, No. 4, pp.374-384	2001	
30	自動車用 HUD にみる「三次元的に空間に位置する視距離が異なる視対象の認識」－眼球の共同運動と輻輳運動による協調的視覚情報受容－	岡林, 山崎, 杉江, 畑田	都市情報学研究, 名城大学都市情報学部, No.6, pp.53-59	2001	
31	EL ディスプレイの自動車分野への応用	片山	デンソーテクニカルレビュー, Vol.6, No.1, pp.90-95	2001	
32	ナイトビジョンシステムの開発	辻, 服部, 渡辺, 長岡	自動車技術会論文集, Vol.33, No.3, pp.173-178	2002	
33	Windshield Display for Intelligent Transport System	K. Nakamura, J. Inada, M. Kakizaki, T. Fujikawa, S. Kasiwada, H. Ando, N. Kawahara	11th World Congress on ITS, No. 3058	2004	
34	Perspectives for Head-Up Display	N. Aoki	11th World Congress on ITS, No. 3149	2004	

航空機関係 (15 件)

番号	論文タイトル	著者	出典	発行年	要約の有無
51	ヘッド・アップ・ディスプレイの実機飛行評価試験	百名, 川原, 田中	航空宇宙技術研究所資料 TM-352	1978	
52	Cognitive Issues in Head-Up Displays	E. Fischer, R.F. Hines, T. A. Price	NASA Technical Paper 1711	1980	有
53	Head-Up Displays for General Aviation	W. D. Kyle	SAE Technical Paper Series No.850902	1985	有
54	Response Biases with Virtual Imaging Displays	J. H. Iavecchia	Report No. NADC-85165-60	1985	有
55	航空機のマン・マシン・インターフェースとしての光学表示装置	岩崎	テレビジョン学会技術報告, Vol.12, No.29, pp.7-12	1988	
56	Effect of Head-Up Display Dynamics on Fighter Flying Qualities	R. E. Bailey	J. Guidance, Vol.12, No.4, pp.514-520	1989	有
57	The HUD as Primary Flight Instrument	C. N. Taylor	SAE Technical Paper Series No.901833	1990	有
58	表示方式と読み取りワークロードに関する考察	大橋, 日根野谷, 深井, 天藤	第 32 回飛行機シンポジウム講演概要集, pp.285-290	1994	
59	HUD Times Four	F. George	Business & Commercial Aviation February, pp.66-70	1996	
60	表示方式とパイロット・ワークロードに与える影響について	日根野谷	第 37 回飛行機シンポジウム講演概要集, pp.385-388	1999	
61	21 世紀の航空機用表示デバイス	幸坂, 雲英	第 38 回飛行機シンポジウム講演概要集, pp.453-456	2000	
62	A Head-Up Display for General Aviation	R. J. Schwartz, K. W. Greeley, R. L. Newman, D. R. Ellis	SAE Technical Paper Series No.2000-01-1697	2000	有
63	Costs and Benefits of Head up Displays: An Attention Perspective and a Meta Analysis	S. Fadden, C. D. Wickens, P. Ververs	SAE Technical Paper Series No.2000-01-5542	2000	
64	Head-Up and Head-Down Display Test and Evaluation	R. L. Newman, K. W. Greeley, R. J. Schwartz	SAE Technical Paper Series No.2000-01-1696	2000	有
65	The Avionics Handbook	Cary R. Spitzer	CRC Press	2000	

鉄道関係（2件）

番号	論文タイトル	著者	出典	発行年	要約の有無
81	鉄道車両用 HUD 装置の開発	麻生, 松本, 斎藤	鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム 論文集, Vol.28, pp.281-285	1991	
82	鉄道用ヘッドアップディスプレイの開発	片岡, 村上, 佐藤, 松本, 斎藤	日本機会学会第1回交通・物流部門大会講演論文集, pp.377-382	1992	

関連する論文のいくつかの要約

整理番号	4
Title	The Effects of a Simulated Head-Up Display Speedometer on Perceptual Task Performance
和訳論文名	知覚課題におけるヘッドアップディスプレイ式模擬速度計の有効性
Author(s)	Russell J. Sojourner, Jonathan F. Antin
Journal, Vol., page, year	HUMAN FACTORS, 1990, 32(3), 329~339
<p>目的：本研究では、室内実験により、HUD を自動車において使用した場合の HUD と従来のデジタル速度計の有効性について比較検討する。</p>	
<p>実験内容または解析内容：対象：20名の男女志願被験者（19～51歳、ノースカロライナ州の運転免許取得者、矯正後の視力（20/40）を男女5名ずつ計10名からなる2グループにわける。手順：課題習熟（Task familiarization）及び経路記憶(Route memorization)のセッションの後、各被験者に知覚試験（試験経路を見ながら次の3課題試行）を約24分間実施。</p> <p>1. 速度モニタリング課題：被験者は、速度計が制限速度より最低5マイル/時以上速く表示すると（速度違反）、口頭で報告する（ランダムに9通りの速度違反が発生して、各3秒間表示）。</p> <p>2. ナビゲーション課題：どの被験者も運転したことのないノースカロライナ州 Durham の外界をビデオで見せ、手書きで地図を書いて記憶する。実験時に経路が3回間違っ表示され、被験者は記憶した経路と異なる経路が示されると、口頭でその内容を答え、車両は即座に正しい経路をとる。</p> <p>3. 突発キュー検出課題（Salient cue detection task）：被験者が外界の突発的障害状況を即座に検出し反応する能力を検査する。緑のボールのようなキューを障害とし、車両の数フィート先（左、中央、右）に（約50arcmin 視角度）キューが表れる度にボタンを押す（計9回）。</p> <p>表示構成：デジタル速度計が HUD（80arcmin 視角度、濃青）あるいはダッシュボード（被験者から50～70cmの位置、73arcmin 視角度、青）に表示される。</p> <p>試験デザイン：2種類の表示方法（HUD とダッシュボード表示）、3種類の道路種類、3種類のキュー出現位置を独立変数とする。従属変数は、反応時間、ナビゲーションエラー、速度違反検出。</p> <p>結果：突発キュー検出課題では、90回のうち HUD では検出ミスは3回、ダッシュボード表示では9回で有意差なし（<math>\alpha=0.01</math>）。検出反応時間では、表示方法とキューの位置が有意に関係した。HUDでの反応時間は440ms短い。速度違反検出率は HUD では100%、ダッシュボード表示では90回のうち7回のエラー。ナビゲーション課題では HUD で1エラー、ダッシュボード表示で2エラーであった。</p>	
<p>結論：運転者は日頃から速度計と外界の両シーンをモニターしていることが示唆された。突発キュー検出課題における反応時間の短さと検出ミスの少なさは、HUDの有意な利点を示す。本試験から、車両環境における HUD の有効性が支持された。今後、HUDを用いて実際の視覚的イメージ装置を用いた実験の実施や、HUDのサイズ、色、フォント、焦点距離、表示位置等、また HUD に盛り込む情報の内容等について、さらなる検討が望まれる。</p>	
備考	

整理番号	5
Title	Effect of a Head-Up Versus Head-Down Digital Speedometer on Visual Sampling Behavior and Speed Control Performance During Daytime Automobile Driving
和訳論文名	日中の自動車走行における視覚サンプル行動及び速度コントロール性能に及ぼす HUD 対 HD デジタル速度計の効果
Author(s)	Raymond J. Kiefer
Journal, Vol., page, year	SAE Technical paper series 910111, 1991
<p>目的：最近の自動車は、情報をヘッドアップディスプレイにより表示するようになってきている。ヘッドアップ (HUD) とヘッドダウン (HD) の表示方法に関する運転者の行動の研究がなされているが、どの速度表示がより適切かについては議論があり、継続的な研究が必要である。本研究では、日中の運転における HUD と HD デジタル速度計が及ぼす運転者の行動 (視覚サンプリング及び速度コントロールの効果) を比較検討した。</p>	
<p>実験内容または解析内容：対象：米国ミシガン州の運転免許証取得者の志願者 8 名 (男女各 4 名)、うち若年集団 (19~22 歳、平均 20.8 歳) と高齢集団 (64~69 歳、平均 67.0 歳) に半数ずつ。各運転者は約 90 分のセッションを 4 回別々の日に実施した。各セッションでは試験ルートを 6 周運転。</p> <p>方法：HD デジタル速度計と HUD を装備した計器盤を備えた自動車を使用し、ミシガン州 Stony Creek Metro 公園で 6 マイル (直線と曲線コースあり) の道を時速約 30~35 マイルで走行実施。6 週のうち、1 周目と 3 周目の走行では速度計を見る度に「speed (速度)」と口頭表現し、2 周目の走行では速度計を見ても何も言わないようにした。25 分休憩後、同試験を再度実施。最初の 3 走行と後の 3 走行とで HD 速度計と HUD の使用を変更した。ビデオカメラで走行中の運転者の顔を撮影し、表示を視認するための時間 SSC(Speedometer scanning cycle)を計った。</p> <p>結果：混合要因多変量 ANOVA(MANOVA)解析による。従属変数は、速度超過時間の比率、速度のばらつき、SSC 平均時間、速度計視認頻度、SSC 時間の比率、SSC 時間のばらつきの 6 種類。被験者内要因は、速度計位置、走行回数、口頭回答の有無であり、被験者間要因は年齢。速度計の位置と走行回数について主効果有り、位置と走行回数の交互作用有り、位置と被験者年齢の交互作用有り。</p> <p>速度計の位置が SSC 時間に及ぼす効果は <math>p&lt;0.005</math> で有意差あり。全 SSC 時間の平均は HU781ms、HD925ms (144ms 短い)。</p> <p>練習効果：速度計確認頻度 (glance frequency) で有意差あり (<math>p&lt;0.5</math>)、1、2、3、4 回目の各頻度は 6.6 回、4.3 回、3.9 回、3.9 回であった。</p>	
<p>結論：本結果から、HUD と HD 速度計では、速度維持に関して差がなかったものの、速度サンプリング行動に差が見られた (HUD で平均 SSC 時間が 144ms 短い)。運転者は HUD を好んだが、実験結果から速度表示という観点から見ると、HUD と HD とでどちらがよいか決められなかった。</p>	
備考	

整理番号	16
Title	Head-Up Displays and Their Automotive Application: An Overview of Human Factors Issues Affecting Safety
和訳論文名	ヘッドアップディスプレイと自動車への応用：安全性に影響を及ぼす人的要因の概要
Author(s)	Nicholas J. Ward and Andrew Parkes
Journal, Vol., page, year	Accident Analysis And Prevention, Vol. 26, No. 6, pp.703-717, 1994
<p>目的：本研究では HUD の表示形式及び潜在的な安全性に対する人的要因について検討する。主に航空学分野の HUD 関連文献から考察する。自動車用 HUD に関する主な課題は、システム性能と運転時の安全性に関するものであり、それらは背景の複合性による干渉、システムの新しさ、使用者の知覚方法、認識力の混乱、<b>perceptual tunnelling</b>、さらに HUD のデザイン仕様が含まれる。</p> <p>考察：</p> <p><u>人的要因</u>：HUD 技術：</p> <p>明るさと反射：VES(Vision Enhancement System)で HUD を表示すると暗い物体が見えにくくなるかもしれない。</p> <p>HUD のサイズと位置：HUD の最も調整可能な位置は座席の目の高さであるが、HUD 像の表示位置は限られている。</p> <p>両眼視差と二重像：HUD 像が正確に外界面に照準があっていない場合、両眼視差や二重像の問題が生じることがある。VES と HUD との誤整合がある場合、心理的負荷と行動に影響を与えることになる。</p> <p>情報クラッター：HUD の記号表示により情報クラッターが生じ、外界の重大情報を隠す危険がある(Newman、1987b)。</p> <p>背景の複雑性：背景が複雑な場合に HUD 表示が判読しにくいことがある。</p> <p>HUD 使用集団の特性：HUD 使用集団の特性は若年で教育水準が高く、医学的適応有り、訓練等があるが、一般の運転者集団は年齢や教育水準、医学的適応等の範囲が幅広く、HUD 技術に皆が適応できるとは限らない。</p> <p>システムの正確さと強固さ：車両用システムは商業的に安価である必要があることやメンテナンスが航空機ほどレベルが高くないこと等から、技術システム仕様の保証レベルが低くなり、信頼性と実用性が損なわれる可能性がある。</p> <p><u>人的要因の問題</u>：運転者への影響；</p> <p>誤調節：HUD 視準が目的の視覚的無限遠ではなく休止点や暗黒視野調整位である場合は誤調節が生じる可能性がある。実際の像が遠くに小さく見えるようになる。</p> <p>知覚方法の個人差：知覚方法に個人差があり、全ての人に同じ HUD 効果が期待できるとは限らない。</p> <p>注意散漫と <b>cognitive capture</b>：自動車運転中は航空機と異なり、常に外界に眼と注意を向ける必要があるが、HUD 表示により注意散漫と <b>cognitive capture</b> が生じる可能性がある。また、注意を集中すると視野が狭くなる <b>tunnel vision</b>, <b>cognitive tunnelling</b>, <b>perceptual narrowing</b> が起きる可能性がある。</p> <p>結論：HUD 研究の多くは航空機用の調査についてであり、HUD の利点が証明されてきた。少数の自動車関連 HUD 文献により、情報が同時に確認可能なことから眼の再調節が不要なため道路から眼を離す時間が少なくすむという車両用 HUD の利点があげられた。ただし、1. 背景の複雑性が対象を見えにくくする欠点があること、2. HUD eye box と視野の最適設置位置は未解決の問題であること、3. 人によっては対象を見るために、重畳する HUD 表示が見えないことがあること、4. HUD に対する誤調整により速度と距離判断の誤りが生じるおそれがあること、5. 自動車操縦者にとって、認識（知覚）と行動の上で HUD の効果が明確でないこと、例えば、VES による密着アナログ像は <b>cognitive tunnelling</b> を促進する可能性があり、注意深い行動や情報処理におけるそのような変化の安全性について現段階ではまだ明らかではない。</p>	
備考	

整理番号	17
Title	Quantifying the Consequences of the "Eyes-on-Road" Benefit Attributed to Head-Up Displays
和訳論文名	ヘッドアップディスプレイ (HUD) による「路上注視 (Eyes-on-Road)」の有用性の定量的影響
Author(s)	Raymond J. Kiefer and Andrew W. Gellatly
Journal, Vol., page, year	SAE Technical Paper Series No. 960946 1996 Reprinted from: Automotive Design Advancements in Human Factors: Improving Driver's Comfort and Performance (SP-1155)
<p>目的：近年、交通安全上開発が進む自動車用ヘッドアップディスプレイ (HUD) は、運転者の表示モニタリング改善及び前方視野向上の両面からその有用性が注目されている。本研究では、HUD による「路上注視 (Eyes-on-Road)」効果を検討するために、前方視野改善及び焦点時間低減の 2 点から HD との比較による HUD の実際的な有用性を調査する。</p>	
<p>実験内容または解析内容：          被験者：36 名の免許取得運転者で最低標準視力テスト (20/40) 実施者。若年群 (16～24 歳、平均 22 歳)、中年群 (35～53 歳、平均 44 歳)、高齢群 (59～71 歳、平均 67 歳)。          条件：GM Tech センター (直線コース、森林に囲まれた黒アスファルト) で停車状態にて試験。日中曇時。HD (俯角 19.5 度) 及び HU デジタル速度計 (俯角 5.5 度) (612cd/m<sup>2</sup>)、PLATO (Portable Liquid-crystal Apparatus for Tachistoscropy via visual Occlusion) スペクタクルの開閉シャッタを使用。混合因子 ANOVA 解析。          手順：次の 5 課題を全被験者に試行。          課題 1 (スピード ID)：速度計の数字 (50～59) を口頭回答。段階閾値法で 50% 閾値が得られるまで 20～40 回試行。シャッタが閉じた状態から予告音によりシャッタが開く。段階的に開き時間変更。50% 閾値を評価項目とする。半分の被験者には、最初に HUD 次に HD を行い、他の半分に対しては最初に HD 次に HUD を行う。          課題 2 (標識+スピード ID)：遠方の速度制限標識 (55～65mph) を認識し口頭回答後、スピード ID 試行 (10 回試行、5 段階持続時間変更)。標識と速度表示の両方を正答した割合を評価項目とする。          課題 3 (スピード ID+突発)：スピード ID 試行後、前方の潜在的障害 (突発対象) を口頭で回答 (250ms 持続時間、10 種の突発対象)。10 回は対象物有り、5 回は対象物なしで試験を行う。HUD で試行後、HD で試行。          課題 4 (スピード ID+歩行者)：スピード ID 試行後、歩行者の状況を口頭で回答 (250ms 持続時間、両表示 (HUD, HD) とも各 40 回試行)。          課題 5：課題 1 (スピード ID) を繰り返す。この課題 5 のデータは課題 1 のデータと合わせて解析する。</p>	
<p>結論：課題 1：HD と HUD 間の表示による有意差なし。課題 2：正答率に関し、HUD に有意差が見られた (<math>p &lt; .10</math>)。課題 3：HUD は標的発見基準 (target detection criterion: 速度計の正しい認識と標的 (対象) の単に正しい発見) では 4 対象で <math>p &lt; .01</math>、1 対象で <math>p &lt; .05</math> で有利、標的認識基準 (target identification criterion: 速度計の正しい認識かつ突発対象を正しく報告する) では 2 対象で <math>p &lt; .01</math>、3 対象で <math>p &lt; .05</math> で有利であった。課題 4：HUD は有意に誤報率が低く (<math>p &lt; .10</math>)、標的発見基準でも有意な効果を示した (<math>p &lt; .0001</math>)。標的 (対象) (全) 正解基準 (target (all) correct criterion: 速度計の正しい認識かつ歩行者の距離、側面方向の位置、動きの正しい報告) では、近距離の右側に立つ歩行者認識で HUD は HD の 2.1 倍、遠方歩行者の認識で 5.4 倍の高い認識度を示した。本試験により、課題 3 と 4 は運転者の HUD による歩行者と自転車の認識を含む前方視野改善を強く支持し、課題 2 の結果は外界からの再焦点化時間の減少をいくらか支持することが示された。</p>	
備考	

整理番号	20
Title	Automotive HUDs: The Overlooked Safety Issues
和訳論文名	自動車の HUD : 見過ごされた安全性の問題
Author(s)	Daniel R. Tufano
Journal, Vol., page, year	HUMAN FACTORS, 1997,39(2), 303-311
<p>目的：航空関連研究における HUD の有用性は自動車にも適応可能かもしれないが、その安全性については見過ごされることが多かった。本レビューでは、a) 外界を認識することと HUD 焦点距離との関係、b) HUD 像に視覚的注意がとられることについて検討する。焦点距離と <b>cognitive capture</b> 及びその二つの関連は、航空よりも自動車の安全性に大きな意味を持つと考えられる。</p>	
<p>レビュー内容：</p> <p><b>HUD 焦点距離</b>：合理的な HUD 焦点距離は 2.0～2.5m (0.5～0.4 ジオプター) といわれる (Harrison, 1994)。高齢者では 2 m (あるいは 2.5m) までの HUD 距離においては判読時間が短縮されるが、それ以上の距離では短縮されなくなる。HUD 像までの距離と外界の現実の認識との関係も考慮する必要がある。また、目のレンズ調節は HUD 使用時は無限遠でなく近くなるので、誤調節による知覚的小視が問題となる。Sojourner と Antin(1990)は、自動車の HUD を知覚するときは、外界物のサイズが小さく、遠くに見える可能性があり、研究の必要性を指摘している。</p> <p><b>視覚的注意</b>: HUD のパラドックスの一つは HUD が良すぎるという点にある。そのため、<b>cognitive capture</b> という現象が生じ(Weintraub, 1987)、HUD を見るために外界物を認識できないことがある。たとえば、外界の認識時間は HUD が 440ms 早かった(Sojourner&amp;Antin, 1990)。しかし、航空機の実験で、HUD を見ているときには、予期せぬ外界物や自然などを見逃したりするという報告がある (Fischer ら、1980、Weintraub ら、1985、Wickens&amp;Long, 1994)。</p> <p><b>相互の関連</b>：HUD の焦点距離と視覚的注意は別々に独立したものと考えられてきたが、Weintraub ら(1984、1985)の実験で、認識の切り替え時間(<b>cognitive switching time</b>)は、表示の位置ではなく焦点距離に関係していることを明らかにした。</p> <p><b>イメージの一致(conformal imagery)</b>：HUD は車速等だけではなく、外界のイメージと同じものを表示することができる。これは特に、自動車 HUD を <b>Vision Enhancement System</b> として使用する場合に当てはまるが、外部の物体を検知するのを妨げたり距離を間違えたりすることについては検討されていない。</p>	
<p>結論:本文献研究では特に安全性に関するレビューを進めてきたが、HUDの焦点距離と <b>cognitive capture</b> 及びこの2つの関連性についてまだ議論の余地がある。</p>	
備考	

整理番号	21
Title	The Time Cost of Head-Up Displays for Older Drivers: Critical Event Onset, Task Location, and Display Type
和訳論文名	高齢者におけるヘッドアップディスプレイの時間の損失：危険イベント呈示、課題位置、表示タイプ
Author(s)	J. K. Caird & J. Chugh
Journal, Vol., page, year	Proceedings of the HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 41 <sup>st</sup> ANNUAL MEETING, 1997
<p>目的：HUD の原理的な利点は運転者が眼を道路から離す必要がないことであるが、その HUD の利点は交通環境上で予期せぬイベントが起こったときに、cognitive capture 等として失われることがある。本試験では、歩行者への認識反応に対する HUD を使用した高齢運転者の時間の損失について検討した。</p>	
<p>実験内容または解析内容：  対象：65～81 歳（平均値 73 歳）の高齢者 16 名の運転免許保持者（男女各 8 名、平均週 200 キロ走行歴）。  方法：90 分セッションを 2 回実施、各セッション内で HUD（俯角 4 度）と HDD（俯角 15 度）を交互に使用（表示位置）。ドライビングシミュレータのレーンを走行維持し、表示課題開始後路上に歩行者を知覚したらブレーキを踏む。歩行者が表れるタイミング（オンセット時間）は表示課題提示後 100ms、250ms、1000ms の 3 種類。表示課題については、視覚探索課題（8 本の青線のうち短い線があるかどうかの判定）あるいは言語記憶課題（4 文字の子音文字を記憶して（5 秒間表示）、3 文字のプロープ文字（4 秒間表示）が含まれるかどうかの判定）。1 次補償系のトラッキング課題が右側路上に現れ、被験者は標的ボックスから外れないように自動車を運転する（トラッキングの難易度 2 種類）。  結果：ベースライン PRT（歩行者知覚反応時間）は 1 回目（平均 1494ms、SD534）と最後（平均 911ms、SD226）で有意差あり(p&lt;0.001)。HUD では PRT はベースラインより 831ms 長く、HDD では 803ms 長かった。視覚探索課題では、表示位置とオンセット時間の交互作用有り。言語記憶課題では、表示位置、トラッキングの難易度、オンセット時間の交互作用あり。歩行者知覚反応が 10 秒を越えた場合をミスイベントとすると、総 384 イベント中 40 ミスイベントが記録され(10.4%)、HUD と HDD に差は見られなかった。言語記憶課題では 27 の反応ミスがあり、視覚探索課題では 13 のミスを記録した。</p>	
<p>結論：焦点注意課題を行いつつ危険イベントに再注意を払うのに要する時間は HUD と HDD で異なっている。危険イベントの 10.4%のミス（見過ごし）は、歩行者や車の認識ミスを生じ悲劇的な結果が生じる可能性がある。本実験の内容が実際の交通環境であれば、さらに各課題への反応に時間を取られるであろう。注意を集中しないでいい HUD、あるいは高齢運転者にあった HUD デザインがあれば、より高齢者に利点となると思われる。</p>	
備考	

整理番号	24
Title	Driver Responses to Navigation Information on Full-Windshield, Head-Up Displays
和訳論文名	ウインドシールド上のヘッドアップディスプレイのナビゲーション情報に対する運転者の反応
Author(s)	A. Steinfeld and P. Green
Journal, Vol., page, year	Int. J of Vehicle Design, Vol. 19, No. 2, 1998
<p>目的：本研究では、ナビゲーションに利用されるウインドシールド上のヘッドアップディスプレイに対する運転者の反応について調べる。実験の目的は、1. 従来の計器盤(IP)表示との比較で HUD により運転者はナビゲーション判断をうまくできるか、2. HUD のグラフの色(赤・白・青)や現実界との画像の整合性(ズレ)は運転者に影響を及ぼすか、3. Green と Williams 文献(1992、以下 GW 文献)の結果は被験者が異なっても同じ結果となるか(前報の GW 文献では、反応時間は HUD の方が計器盤の時より少し短い;1524 対 1630ms、斜め上から見た <b>aerial view</b> の方(1501ms)が平面の <b>plan view</b>(1523ms)より短く、<b>perspective view</b>(1706ms)よりかなり短い。道路表示は立体表示の方が輪郭表示より短い; 1557 対 1597ms、また、高齢運転者に利益有り)である。</p>	
<p>実験内容または解析内容：基本プロトコルは GW 文献(1992)と同様である。  対象：若者 6 名(18~30 歳)と高齢者 6 名(65 歳以上)、各女性 3 名、男性 3 名の運転免許所持者。  手順：3 台のスライドプロジェクタを使用し、被験者の 7.3m 前の反射壁に道路のスライドを映し、同時に計器盤上あるいは壁の上に重ねて(HUD ナビゲーション表示として)像を映し出す。計器盤上の像は、3 種類の方向から見た図で、立体表示か輪郭表示である。HUD ナビゲーション情報の色は白、赤、青のいずれかで、また、道路と整合性があるかずれているかである。各運転者はその 2 つの像が同じかどうかをボタンで知らせる試験を行った。  結果：エラー率は全体平均 11.9%で、計器上では <b>perspective view</b> で、また「非整合性の赤」で多く、「<b>plan view</b> 及び輪郭表示」で少なかった。平均反応時間は、男女とも若者約 970ms、高齢者の男性 1825ms、高齢者の女性 1597ms。計器盤表示と HUD の平均反応時間は 1511 対 1170ms で、HUD が有意に速く(<math>p&lt;0.0001</math>)、男性高齢者で改善率が高かった。全ウインドシールド HUD 像と道路上の像における若干の非整合性が反応時間の増大をもたらした(1152 対 1187ms(35ms 差)で統計学的有意差あり)。plan 対 perspective 対 aerial view : 1432 対 1644 対 1457ms で有意差あり (<math>p&lt;0.0001</math>)。立体表示対輪郭表示は 1491 対 1531ms で <math>p=0.06</math>。HUD の整合性も <math>p=0.06</math>(整合対非整合 : 1153 対 1187ms)。色による差なし(<math>p=0.38</math>、青=1155ms、白=1170ms、赤=1186ms)。</p>	
<p>結論：全体として GW 文献(1992)と同様の結果が得られたが、今回の実験における HUD の場合には 1170ms、GW 文献では 1525ms であり、計器盤での反応時間は GW の 1629ms 対今回 1511ms であった(118ms 差)。両実験とも、HUD 表示は計器盤表示に比べ有意に反応時間が短く、HUD に有利な結果であった。HUD の色による差は見られなかったが、雪や畑における白や緑等については考慮が必要と思われる。今後、コスト等から、より効率的で性能の良い HUD 装備の開発が望まれる。</p>	
備考	

整理番号	52
Title	Cognitive Issues in Head-Up Displays
和訳論文名	ヘッドアップディスプレイ (HUD) における認識課題
Author(s)	Edith Fischer, Richard F. Haines, and Toni A. Price
Journal, Vol., page, year	NASA Technical Paper 1711, 1980
<p>目的：航空機の前方ガラスに計器情報を表示し、パイロットが外界と計器情報を同時に見ることができる HUD の有用性に関するこれまでの研究で、両情報を迅速に効率的に認識し評価できることが確認されているが、「着陸時のフライトコントロールに使用される情報源は何か」「HUD 表示情報が主であるとき、外界から得られる重大情報の伝達をどの程度妨げるのか」の疑問が残る。本研究では、パイロットにシミュレータを使用して着陸飛行を行わせ、HUD 表示と外界との食い違い、滑走路上の予期しない障害物に対する行為を評価する。</p>	
<p>実験内容：</p> <p>対象；8 名のパイロット（機長 5 名、ファーストオフィサー 3 名でボーイング 727 型航空機搭乗者）、全員視力テストで 20/20 視力（distance acuity）、1 名眼鏡付。飛行航路型 HUD を装備した 727 型航空機の固定型シミュレータ使用。本シミュレータは霧を模擬的に再現可能。</p> <p>方法；練習後、2 日続けて各 4 時間（約 8～10 時間）の進入着陸飛行シミュレーションを実施。飛行航路型 HUD（水平方向 24 度及び垂直方向 21 度で外界に一致する表示）による 18 着陸進入飛行及び従来計器による 13 着陸進入飛行の比較。想定高度 1500 フィートで滑走路から 8 マイル地点から約 4 分飛行し CAT2 進入着陸飛行。低視野、乱気流、風のシアの気象条件下で飛行を実施する。</p> <p>認知課題の変数は 5 種類（照準の垂直方向オフセット、照準の水平方向オフセット、ILS の水平方向オフセット、滑走路上の予期しない障害物、オフセットなし）。</p> <p>結果；</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 垂直方向オフセットについてはオフセットがあることに、全パイロットとも気がつかなかった。</li> <li>2. 全パイロットが水平方向オフセットに気がついたが、的確に反応したので問題なし。</li> <li>3. HUD 使用時に 2 名のパイロットが滑走路上の障害物に気がつかなかった。他のパイロットも HUD のない場合よりもある場合の方が障害物反応時間は長くなった（4.13 秒対 1.75 秒）。</li> <li>4. HUD 使用時の方が飛行成績は向上するとパイロットは評価した。</li> </ol> <p>一般的に、オフセットは気象条件の影響を拡大し、水平方向、垂直方向トラッキングは従来型機器よりも HUD の方が良好であった。</p>	
<p>結論：パイロットは頭の中に飛行作業についての認知モデルを構築していると考えられ、それに従って行動している。滑走路上の障害物の発見ができなかった例があったのは、そのモデルにあわせてみると、発生確率が低いためであったと考えられる。垂直方向オフセットに気がつかなかったのは、そのモデルの範囲内であったからであると考えられる。ILS オフセットの場合には、モデルの範囲を超えていたが、修正可能であった。水平方向オフセットの場合にもモデル外として認識された。</p> <p>本実験結果がどの程度現実世界に成り立つかは不明であり、商用の航空機に関し HUD のネガティブな面を克服する方法を検討することが必要である。</p>	
備考	

整理番号	53
Title	Head-Up Displays for General Aviation
和訳論文名	一般航空機のヘッドアップディスプレイ
Author(s)	William D. Kyle
Journal, Vol., page, year	SAE Technical Paper Series 850902, 1985
<p>目的：現代のヘッドアップディスプレイ（HUD）は、飛行情報やガイダンスを表示するために電子記号やセンサーイメージの形で開発されており、実世界と視覚的に一致している。HUD の利点は、パイロットがコックピットから外界に視覚的精神的注意を集中したまま同時に基本情報を視覚的に得られる点である。HUD 記号は実世界と一致しており、無限遠に焦点化されて光学的移行が少なくすむため、安全性やパイロットの自信、作業量の削減及びよりの確で正確な飛行が可能になる。本研究では、このような HUD ガイダンスシステムや HUD デザインへの様々な実現法の HUD システムアーキテクチャ及び航空センサーの要件について検討する。</p>	
<p>解析内容：現在の HUD では、記号照準はパイロットのコンバイナに CRT イメージとして外界距離と同じ距離で光学的無限遠に映し出される。この HUD による飛行情報の表示の利点は、HUD 記号と実世界両方に同時に焦点を当てることができること、眼や頭の動きによって実世界に対する記号の位置が変化しないこと、眼が再順応する必要がないことである。HUD は光学ユニット、コンバイナ、HUD コンピュータ、HUD コントロールパネル等で構成される。 以下、HUD の構成について記載有り（略）。</p>	
<p>結論：HUD による視覚的信号の適切な使用は明らかに飛行作業の安全性に貢献している。現代の HUD によって、基本的な装備、視覚、心理的注意とともに最高の視覚的直感的な操縦が可能となる。HUD を使うことにより、パイロットは飛行機とより一体化する。計器飛行から視界飛行に移ろうとするとき、あるいは、視覚目標を見失い易いときに HUD は有用である。 飛行機の航路を見ながら、そして、外の世界の視界目標とあわせながら、パイロットはより正確に効率的に飛行機を操縦できる。</p>	

整理番号	54
Title	RESPONSE BIASES WITH VIRTUAL IMAGING DISPLAYS
和訳論文名	虚像表示の反応バイアス
Author(s)	Joice H. Iavecchia
Journal, Vol., page, year	Report No.NADC-85165-60, June 1985
<p>目的： HUD は、1950 年代に英国でパイロットが外界と表示内容を同時に見ることができるよう開発された表示方法で、眼は照準像を見るとき無限視覚に焦点を当てるとい推測から計器パネルの上のガラスに虚像を写す技術を採用している。しかし、約30%のパイロットから HUD 表示のときの空間定位問題(spatial disorientation)が報告されている。また、機器近視 (instrument myopia) として知られる HUD 近視 (HUD のコンバインガラスの方に焦点が合うこと) があり、2 対象への焦点の合わせにくさ、低空飛行時の表示の見にくさ等の報告がある。本研究では、「HUD は視覚の焦点に影響を及ぼすか」「外界と表示内容の両方に反応しなければならぬ再焦点化の範囲」「人により異なる暗黒視野調整位(dark focus)は異なる影響を与えるか」という点から再焦点化問題の性質と範囲を検討する。</p>	
<p>実験内容：空海軍開発センター (NADC) で日中野外にて実施。偏光 Vernier オプトメータ (PVC) 使用を使用して焦点調節を測定する。対象は NADC から無作為に抽出された 20/20 無修正両眼視力の 10 名で両実験に参加。使用したスコアボードは 182m 離れた距離。HUD の前に模擬的な雲を呈示可能。</p> <p>実験 1 (単一要因の反復測定デザイン)： HUD の背景としての模擬的な雲及び外の地形の 2 種類が独立変数であり、焦点調節が従属変数である。HUD 数字読取及びオプトメータによる焦点調節測定の 2 課題が行われた。3 桁数字をランダムに HUD の中心に 1 つずつ 300ms 間隔で 800ms 表示して実験が行われた。コントロール条件は、HUD シンボル表示なしで雲を見る条件、暗闇で HUD を見る条件そして暗黒視野調整位。</p> <p>実験 2 (対象位置 (2 段階)・対象サイズ (5 段階) の 2 要因の反復測定デザイン)：外界のスコアボードのみ又は HUD とスコアボードの両方の読みとり課題。スコアボード上の 5 種類の大きさ表示。コントロール条件は、HUD 表示なしで地形を見る条件、HUD 表示ありで地形を見る条件、暗闇で HUD を見る条件そして暗黒視野調整位。</p> <p>結果：模擬的な雲のときに HUD が使用されるとき、雲で HUD シンボル表示がないとき、暗闇での HUD 使用時の調節は、暗黒視野調整位とほぼ同じ。遠くの地形を見ているとき HUD 表示を行うと調節が近くなる。スコアボードを見るとき HUD 表示を行うと調節が近くなる。暗黒視野調整位、暗闇の HUD 表示、雲を見る、雲を見ているときの HUD 表示の各条件については、平均 1.5m~2.0m の焦点調節であった。地形を見るときには 33m の調節であったが、HUD を表示すると 6 m の焦点調節に変化した。スコアボードを見るときには無限遠であるが、HUD を表示すると 4 m の焦点調節となった。</p>	
<p>結論：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>HUD 表示によって暗黒視野調整位の近くに焦点調節が変化する。ただし、個人差がある。</li> <li>遠くの外界と HUD を同時に見るときは、外界だけを見る場合の焦点と異なる。</li> <li>無限遠の距離を見る場合よりも、HUD 虚像を見る場合の方が暗黒視野調整位に近い方に焦点を調節する。</li> <li>雲の中で HUD に焦点を合わせることは、遠くの対象を見ながら HUD に焦点を合わせる場合よりも暗黒視野調整位に近いほうとなる。雲の中での HUD を見るとき焦点調節は、暗黒視野調整位とあまり変わらない。</li> </ol> <p>HUD 表示により焦点調節が近くなることは、外界の対象を実際よりも小さく遠くに見せることとなる。また、暗黒視野調整位は人によって異なるので、最適な焦点調節位置は不明である。</p>	
備考	

整理番号	56
Title	Effect of Head-Up Display Dynamics on Fighter Flying Qualities
和訳論文名	戦闘機の飛行性能に及ぼすヘッドアップディスプレイの動的性能の影響
Author(s)	Randall E. Bailey
Journal, Vol., page, year	J. GUIDANCE, Vol. 12, No.4, p514~520
目的：本実験では、航空機の飛行性能に及ぼす HUD 表示遅延時間の影響を調べた。	
<p>実験内容または解析内容：5名のパイロットにより、ニューヨーク Calspan 航空研究施設にて、NT-33 戦闘機の3自由度フライトシミュレータを使用して、36 飛行及び 96 評価のプログラムを表示評価飛行テスト (DEFT) を用いて飛行実験を行った。</p> <p>理想的なディスプレイに対しても計算遅れによる 65ms の表示遅れがある。操舵入力に対して機器の反応が 80ms 遅れる。従って、入力に対して 145ms 遅れて表示が出ることになる。飛行形態は up and away と power approach の2種類である。「up-and-away」飛行評価は4課題 (標的トラッキング (IMC)、「Air-to - Ground (VMC)」、修正クローバーリーフ (IMC)、ポップアップ武器デリバリー (IMC)) により行い、パワー着陸は「強制着陸 must land」(ILS) である。</p> <p>結果：パイロットは Cooper-Harper 評価値(PR)を報告した。</p> <p>up-and-away 飛行における表示遅延時間の影響；HUD によるコンピュータ表示の遅延が約 250ms 以下では、飛行の質が境界レベル 1 (PR&lt;3.5) から 2 (3.5&lt;PR&lt;6.5) であり、ほとんど変化しない。320ms 遅延ではレベル 3 (PR&gt;6.5) へ低下する。なお、表示遅延は 80ms に対して追加された。</p> <p>パワー着陸における遅延の影響；300ms までの表示遅延では飛行の質は悪化しない。遅延による飛行の質の低下への影響は up-and-away 飛行ほど重大なものではなかった。</p>	
<p>結論：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 視覚信号と機体の動きの時間的ずれに関して、飛行性能評価に影響を与えない実質的な許容範囲が存在する。</li> <li>2) 定常のレベル 1 飛行動作では、up-and-away における HUD 表示の 250ms までの遅延は飛行の質にほとんど影響を与えない。</li> <li>3) この 250ms の閾値を越えると、100ms 表示が遅延されると飛行の質はレベル 1 から 3 に低下する。</li> <li>4) パワー着陸レベル 1 動作では、HUD での 300ms までの遅延は飛行の質に影響を及ぼさない。</li> <li>5) 表示時間の遅延による飛行の質の低下は、評価課題の内容に影響される。</li> </ol>	

整理番号	57
Title	The HUD as Primary Flight Instrument
和訳論文名	主要な(primary)飛行計器としての HUD
Author(s)	Chris N. Taylor
Journal, Vol., page, year	SAE Technical Paper Series 901833, 1990
<p>目的：本論文の目的は、現在及び今後の輸送機への HUD の主要な計器としての利用を検討することである。HUD は、戦闘機では現代のエビオニクスにおけるユビキタスアイテムとなっているが、輸送機用としての歴史はまだ浅い。近年、HUD は安全性と経済性での意義の可能性が考えられている。本考察では HUD に関し、軍事及び民間用の主要な飛行計器としての歴史的な位置付けをレビューすると共に、航空機の着陸目的における HUD の役割について検討し、CAT IIIB 及び CAT IIIC 着陸方式に適した HUD のアーキテクチャを示す。</p>	
<p>戦闘機用 HUD は 1940 年代の gyro-stabilised 銃撃照準にその起源があり、照準の他、高度、方位、速度を表示する飛行計器としての役割を担ってきた。軍用 HUD の経緯は、1960 年代後半に「conformal symbolic HUD」、70 年代前半に「day/night HUD」、1990 年に「PFI HUD」となり、将来的に「"big picture"/super cockpit」が予想される。一方、民間機の HUD は、1980 年代半ばに「VMC 進入モニター」「CAT IIIA HUD」、後半に「CAT IIIB HUD」となり、今後「強調 vision システム」が予想される。主要な計器としての HUD の使用上の問題は、1. パイロットの失方向(disorientation)(特に異常時)、2. HUD に関する情報不足、3. HUD に対する不十分な手順や標準的計器方法、適当でない HUD システム等である。</p> <p>ハイブリッド着陸システム(Hybrid landing system)：民間レベルでは安全性、特に進入着陸時と rollout phases に焦点を当てた開発が進んでいる。主要な計器としての HUD のアーキテクチャには、CAT IIIA 手動着陸システム及び CAT IIIB ハイブリッド着陸システムがある。ハイブリッドシステムは、fail-passive 自動着陸システムに fail-passive HUD を装備した、主要なシステムが作動しないときに始動する主要な計器とは独立した第 2 のガイダンスシステムである。そこでは自動着陸システムやロールアウトがうまく作動しないときにそれらがスムーズに作動するように HUD で誘導する役割や、PNF によるモニター等を装備する。将来の主要な計器としての HUD には、「強調 vision システム」等から最終的に CAT IIIC 「ゼロ-ゼロ」ターミナルオペレーションを達成するシステムや、MLS(MicroWave 着陸システム)、TCAS(Traffic Collision Avoidance システム) 等がある。</p>	
<p>結論：現時点では、輸送機用に広く HUD を装備するのはコスト面が明確でないために難しい。エンジンアウトガイダンスと共に離陸リスクを最小限に抑え、CAT IIIB 又は CAT IIIC 進入を確実にするために HUD を開発することは、fail-passive 自動着陸システムを伴うナローボディの航空機のための HUD を再評価することにつながる。現代の複合的なエビオニクスに適合する Stroke-on-raster HUD は HUD を主要な飛行計器として受け入れ可能なものにするであろう。輸送機用の主要な計器としての HUD は、最終段階あるいは悪天候時に最小限使用するだけでなく、エンジン管理や全飛行を通じての安全確保にフルタイムに利用されるならば、最大の効果がある。HUD はその軍事利用では 30 年が経過し、今後、広範な新技術の開発と共に輸送機の適応においても似たような意味で大きな可能性がある。</p>	
備考	

整理番号	62
Title	A Head-Up Display for General Aviation
和訳論文名	一般飛行用のヘッドアップディスプレイ (HUD)
Author(s)	R.J.Schwartz, K.W.Greeley, R.L.Newman, D.R.Ellis
Journal, Vol., page, year	SAE Technical Paper Series No. 2000-01-1697, 2000
<p>序論：ヘッドアップディスプレイ (HUD) は第二次世界大戦における射撃照準技術から発展した。安価な HUD が NASA 技術契約の下に開発されている。HUD の主な利点はパイロットの作業量軽減、正確な飛行、航路を直接に見ることが可能、飛行の安全性の増大、訓練容易さであり、その安全面の利点は明らかだが、現在 HUD 装備の航空機は、高コストと HUD サイズの2つの点から多くない。輝度と光学的性能を見直し、低コスト (US5000 ドル) で小サイズの通常飛行用軽飛行機 (GA, General Aviation) HUD を設計する。</p>	
<p>内容：<u>ハードウェア設計</u>：対象機体；可倒式 4 シート、単一エンジン (Beech Bonanza クラス) 設計上の制約；HUD 搭載のための限られたパネルスペース、HUD 視認可能な眼の範囲 (DEP, design eye position)</p> <p>光学的設計；従来は屈折光学的設計だが、GA では単一曲率のコリメータによる反射 HUD を設計。平面のコリメータよりも2倍の光学的倍率を有する。</p> <p>像作成：価格の高い CRT ではなく、LCD (液晶) を使用。</p> <p>HUD 配置：着陸時のみではなく常時使用可能。</p> <p>装着用トレイ：脱着可能なように専用トレイ使用。</p> <p><u>アーキテクチャ</u>：FAR の Part23 に適合するように設計。</p> <p><u>オペレーション</u>：使用するモードは4種類 (視覚モード、計器モード、着陸モード、異常体勢 (UA) 回復モード)、</p> <p><u>認証</u>：認証ベースは FAR 23、改定 23.51 及び DO-178B による。飛行速度の色コード、進行方向位置について字義通りには従わない。</p> <p><u>問題に関する書類</u>：明るさ基準、自動明るさコントロール、限定された使用範囲、データの信頼性、データを利用できることについて、考慮される必要がある。</p>	
<p>結論：小型飛行機に搭載可能な安価な HUD が設計された。液晶を用いて、単一曲面のコンバイナを利用することにより光学的倍率を高めることができた。小型で安価な HUD は魅力的なものとなるだろう。</p>	
備考	

整理番号	64
Title	Head-Up and Head-Down Display Test and Evaluation
和訳論文名	ヘッドアップ及びヘッドダウン表示テスト及び評価
Author(s)	R.L. Newman, K. W. Greeley and R. J. Schwartz
Journal, Vol., page, year	SAE Technical Paper Series 2000-01-1696, 2000
<p>目的：近年、航空飛行技術及びナビゲーションシステムは、従来の計器パネルからさらに多くの情報を表示できる電子表示へと変貌している。その新しい電子表示技術を検証する試験デザインは数少ない。電子表示は多くの情報表示を可能にすると同時に、クラッターや状況認識のロス等も生じる可能性がある。ここでは、新しい情報表示のテスト及び評価プログラム（T&amp;E:Test and evaluation）について検討する。</p>	
<p>内容：T&amp;E（テストと評価）の目的は、検査(verification：システムがデザイン仕様通りに機能するか)と有効性確認(validation：使用者の要件に合い実際の世界でうまく作動するか)があり、有効性確認がテストと評価の第一目的と考える。飛行表示テストにおける表示システムのテストには、媒体（表示そのもの）、記号、ソフトウェア、ハードウェア、センサーがある。表示開発プロセスには要件の定義、デザインとフィードバック、テストと評価及び認証の4フェーズがある。要件は目的的分析に見合ったものとし、コックピット表示作製の早い段階でテスト及びフィードバックが望まれる。認証は最終段階で行われる。</p> <p>表示の質：分析方法にはFMEA(Failure Mode and Effects Analysis)などの工学的分析（故障や信頼性、事故系統図など）が行われる。地上テストソフト及び飛行テストソフトのうち1つのソフトウェアテストが実施され、エラーや故障は最終リリースまでに取り除かれねばならない。実験室テストを含む地上テスト（環境条件、性能、磁気干渉等）が実施され、装備テスト（機能、ビュー等）もあわせて実施される。実際の飛行テストの前にシミュレータ評価を行い、飛行条件等を見極める。そして最終認証に近い前飛行リリース（表示やソフト等の分析報告の確認）が行われた後に、実際の飛行テスト（MTE：mission task elements）が行われる。</p> <p>飛行表示のテスト技術：表示の質を評価するには、HQR（Cooper-Harper Handling Qualities Rating）スケールが標準として使用されている。表示レートとして、表示読みやすさレート(DRR)及び表示飛行しやすさレート(DFR)の二点が評価される。</p> <p>テストプラン：評価タスクと視覚的条件を基に従来計器、記号ベース HUD 及びイメージベース HUD の各テストプランを作成する。評価タスクには、視覚条件の選択、ミッションタスクシナリオ、プラクティスタスク、状況認識、故障の検出、地理的認識、性能評価等がある。</p>	
<p>結論：表示テストには、要件と使用目的に合った表示デザインを開発し、T&amp;E によるフィードバックが必要である。テストに使用する航空機と類似の航空機による飛行経験を現在行っているパイロットによるテスト飛行が必要であるが、テスト飛行には、テストパイロットではなく、一般パイロットを使用すべきである。実際の外界シーンへの対処等を考慮すると、イメージベースの HUD を使用する方が視覚条件のシミュレーションに適合している。テスト基準は主観評価ではなく客観的な性能データに基づくべきである。最初の要件から最終テスト結果までの内容を文書化する必要がある。</p>	
備考	

## 研究調査委員会報告書の著作権について

本報告書の著作権は(社)照明学会に帰属します。

### 複写をされる方に

本誌に掲載された著作物は、政令が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。

