“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—

正会員 岡 林 繁* 正会員 坂 田 雅 男* 正会員 古 川 政 光*
正会員 畑 田 豊 彦**

Driver's Ability to Recognize Forward View and Head-Up Display Images in Automotive Application III

—Experimental Study using Actual Vehicle Equipped
with Head-Up Displays (HUDs) —

Shigeru Okabayashi* (Member), Masao Sakata* (Member)

Masamitsu Furukawa* (Member)

(*Electronics Research Laboratory, Research Center, Nissan Motor Co., Ltd.)

Toyohiko Hatada** (Member)

(**School of Engineering, Tokyo Institute of Polytechnics)

ABSTRACT

In the preceding paper, we investigated driver's ability to recognize Head-up Display (HUD) images and the forward view comparing to Head-Down Displays (HDDs) by in-laboratory experiments. Recognizability of HUD images can be enhanced by setting the distance between driver's eyes and displayed images long, though the recognizability of the forward view does not depend upon the distance.

In this paper to verify the results, we have carried out two kinds of experiments using HUDs and a HDD installed in an experimental vehicle under actual running conditions. One is sensory evaluations of HUDs, and the other is measurement of eye fixation time for recognizing displayed images.

In recognizing displayed images and the forward view, the results of both the in-laboratory experiments and the actual vehicle experiments well match with each other.

HUDs can shorten the fixation time under all running conditions. For the recognizability of the HUD images, the increase in distance to the images improves the driver's recognizability. This is also true under actual running conditions, however, when the vehicle runs in city roads at low speed, the effect of moving vehicle brings in new factor that should be taken into account for optimizing the distance. The performance of HUDs that is related to this factor deteriorates when the distance increases.

It is concluded that the new factor should be traded off with the recognizability of HUD images to optimize the distance.

1. はじめに

航空機用表示装置として開発された¹⁾²⁾ヘッドアップディスプレイは近年自動車にも応用され始め、新しい自動車用マンマシンインターフェイスとして将来が期待されている³⁾⁴⁾。

筆者らはドライバの視覚情報受容プロセスを、前景情報と表示

像情報の認識とからなるダブルタスクプロセスと見做し、それぞれのタスク達成度をヘッドアップディスプレイと従来型メータであるヘッドダウンディスプレイについて比較評価してきた。

第1報と第2報では実験室実験の結論として、つぎの結果を報告した⁵⁾⁶⁾。

(1) ヘッドアップディスプレイは、ヘッドダウンディスプレイに比較して前景情報認識のタスク達成度は変わらないが表示像情報認識のタスク達成度は優れている。

(2) ヘッドアップディスプレイでは表示像距離（ドライバの目と表示像までの距離）が最も重要な設計変数であり、表示像距離

* 日産自動車株式会社総合研究所

* 東京工芸大学工学部

は長いほど高いタスク達成度が得られる。

実際の自動車走行環境では、実験室実験よりはるかに多くの要因が複雑に入り込んでこよう。実験室実験では考慮されていなかった走行による前景移動の効果等が結論に影響を与える可能性もある。

実験室実験での結論は実際の走行環境でどの程度妥当性があるか、またヘッドアップディスプレイが走行中ドライバにどのように感じ取られているか等を実車走行実験で確認・検討する必要がある。

本論文ではヘッドアップディスプレイを搭載した実験車を用いて二種類の実験（実験1、実験2）を行ない、筆者らが既に報告してきた実験室実験結果を確認・検討した。

実験1では表示像距離の長短がドライバにどう感覚的に受け取られているかを官能評価した。結果を主成分分析し、表示像距離最適設計には実験室実験で考慮した前景と表示像との認識に関わる成分に加え、実際の自動車走行環境では第三の成分をも考慮すべきであることを示した。実験2ではヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイの表示像情報認識時間を計測し定量的にヘッドアップディスプレイの優位性を明かにし、追突事故低減と言う観点からヘッドアップディスプレイの効果について若干の考察を行なった。

2. 実験 1

2.1 実験車両

図1にヘッドアップディスプレイを搭載した実験車両（'89年型日産ブルーバード）インストルメントパネルの主要構造部を示す。

図1 実験車両インストルメント部光学系

ヘッドアップディスプレイの光学系は、表示光を放射するプロジェクタとコンバイナ（表示光の反射と前景の透過視認を行なうハーフミラー）から構成される。

コンバイナに用いたウインドシールドは、二重反射像を防ぐため反射率が緑色光のみ高くなるように増反射膜を裏面全面にコートした（裏面反射像輝度対表面反射像輝度比1/10以下、'88年型日産シルビア用ヘッドアップディスプレイ同等特性）。

プロジェクタは表示体（高輝度蛍光表示管）と凸レンズ（焦点距離800mm、口径120mm）、平面表面鏡からなり、表示体と凸レンズとの間隔を変化させることにより表示像距離を調節した。ドライバの目の位置にレンズの焦点位置を一致させ、表示像距離を変化させても表示像のサイズ（視角で表したセグメント線幅）が変わらないようにした。

実験走行中の前景路面に対する表示像の輝度対比*を1.13~1.75の範囲に入るよう実験毎に表示像の輝度を調節した。

2.2 実験条件

道路走行条件は、表1に示すケース1（低・中混雑低速走行）とケース2（低混雑高速走行）の二条件を選んだ。道路はすべてアスファルト路面。各条件での一回の走行時間は約5分。

環境条件は、周囲の明るさによる影響を考慮して昼間と夜間（日没後、前照灯点灯走行）の二条件とした。天候は曇りからうす晴れ。路面輝度は、昼間はおおよそ1,000から3,000cd/m²、夜間は（ヘッドアップディスプレイ表示像近傍の前景路面で）1から2 cd/m²であった。

表示装置の条件は、表2に示す4種類のヘッドアップディスプレイと比較評価の基準となるヘッドダウンディスプレイの5種類。

全実験条件は、道路と環境、表示装置の三種類の条件の組み合わせからなる計20種類である。一つの実験条件で二度（被験者の要求があるときのみ三度）走行した。

2.3 被験者

被験者は累積走行距離50,000km以上の経験を有する若年齢者層（20~32歳の男子）10名と、高年齢者層（37~52歳の男子）11名。

表1 走行道路の条件

ケースNo.	走行道路条件			車速 (km/h)
1 市街地走行相当	低・中混雑低速走行	片側一車線・歩行者・対向車あり		10~40
2 高速道路走行相当	低混雑高速走行	片側二車線以上、対向車あり、歩行者なし		80~100
3 市街地走行相当	低・中混雑中速走行	片側一車線・歩行者・対向車あり		60~70
4 市街地走行相当 (曲線路のみ)	低・中混雑低速走行	片側一車線・歩行者・対向車なし (60~80R)		30~40
5 市街地走行相当 (曲線路のみ)	低・中混雑中速走行	片側一車線・歩行者・対向車なし (60~150R)		60~70

*ヘッドアップディスプレイ表示像の輝度対比=表示像のみかけの輝度/前景輝度
= (表示像輝度+前景輝度)/前景輝度

2.4 予備実験

予備実験では若年齢者層 5 名が全実験条件を走行し評価語を定めた⁸⁾⁹⁾。表示状態や前景に関する評価語を抽出し、互いに反対の意味を表現する28の評価対語（従って56の評価語）を選定した。つぎに評価語にそれぞれ五段階の単極尺度を取り、実際に評点を付けた。評点がつかない項目や抽象度の高い語等は整理し、さらに評点間の相関が強い語をまとめ最終的に10個の評価語を選定した。各評価語と評価尺度)を表3に示す。

2.3 実験の手順

被験者は運転席に座り後席には走行状態のチェックや突発的な事象の有無を確認するため、オペレータが同乗した。実験の手順を図2のフローチャートに示す。

表2 表示装置の条件

タイプ	表示像距離(L)	俯角(θ)	種類
A	1.5m	5度	ヘッドアップディスプレイ
B	2.5m	5度	↑
C	4.0m	5度	
D	5.0m	5度	
E	0.7m	20度	ヘッドダウンディスプレイ

7セグメント数字表示 表示色;緑色
セグメントの線幅 視角;3.5 mrad

図2 実験手順(実験1)

表3 評価語と評点

変数	評価語(対)	備考
X 1	表示像を	素早く読める (読むのに時間がかかる)*
X 2	表示像の存在に	違和感がある (違和感がない)
X 3	表示像を見た直後	前景の変化に気づきやすい (前景の変化に気づきにくい)
X 4	表示像の近傍で	(前景が見やすい) 前景が見にくい
X 5	表示像を	読むのに楽である (読むのに苦労する)
X 6	表示像の存在に	疲労感がある (疲労感がない)
X 7	表示像の存在に	(圧迫感がない) 圧迫感がある
X 8	表示装置は	好ましい (嫌いである)
X 9	表示像の存在に	抵抗感がある (抵抗感がない)
X 1 0	表示像と前景の	(区別がつきやすい) 区別がつきにくい

* () の評価語は予備実験で"2"以上に該当するの
評点がなかったので実験Iでは省略している。

3. 実験結果

3.1 結果の表記

実験結果は各条件について、表示像距離Lを横軸に、各評価語の評点を縦軸にとり表記した。データの散らばりの程度を示すために、全被験者の評点データをドット類で示し、年齢層別平均と全平均を求め、それぞれ回帰直線を付記した**。

3.2 昼間・夜間の差

一般的に昼間・夜間の差がほとんど見られなかったので、以下特に断らない限り昼間のみの結果を示す。

3.3 結果

(1) X 1 “表示が素早く読める”(図3) 若年齢者層も高年齢者層とも、二つのケースでヘッドダウンディスプレイ(評点1)に比較してヘッドアップディスプレイが高い評点を得ており、実験室実験の結果(ヘッドアップディスプレイの優位性)と一致する。

表示像距離Lが長くなると評点は高くなる傾向がある。これも実験室実験の結果と一致している5)。

(2) X 2 “違和感がある”(図4) ケース1では高年齢者層も若年齢者層とも、表示像距離Lが長くなると評点は高くなり違和感が増す。

ケース2では高年齢者層も若年齢者層とも、表示像距離を長くしても評点は殆ど影響を受けず、やや低下の傾向さえ見られる。このことはヘッドアップディスプレイが高速走行に適していることを示唆している。

(3) X 3 “前景の変化に気づきやすい”(図5)

全体的にヘッドダウンディスプレイより高い評点を得ており、ヘッドアップディスプレイが、突発的に変化する前景に良好に対応できることを示唆している。

ケース1、ケース2とも若年齢者層の評点平均の方が高年齢者層より高い傾向を示す。

ケース2では高年齢者層、若年齢者層とも表示像距離が長くなると評点は高くなる傾向を示す。両者の回帰直線の勾配を見ると、若年齢者層では大きいが高年齢者層では小さい。前節のX 1(後述のX 5も)の場合には、高年齢者層と若年齢者層の回帰直線の勾配は余り変わらなかった。表示像と前景間の距離差短縮だけを考えれば、X 1の傾向とX 3の傾向とは一見矛盾するように見える。

これは、X 1では表示像の位置が予め特定できるが、X 3では前景変化の位置がどこか特定できないので、ドライバには前景内で変化する目標ターゲットを検索・発見することが必要となり、高年齢者層では探索・発見に時間がかかる¹⁰⁾ためと説明できよう。即ち、X 3の場合には高年齢者層での探索・発見応答遅れが、X 1で見られた表示像と前景の間距離差短縮の効果を結果的にマスクすると考えられる。

ケース1の若年齢者層では平均値の直線勾配が緩やかになるものの、ケース2と同様の傾向を示す。しかし高年齢者層では表示像距離が長くなると評点が低下する。これは次のように解釈できよう。ケース1(低・中混雑低速走行)ではドライバの前景内視対象はより近くなる頻度が高くなる⁷⁾¹²⁾。後述する被験者の内

観報告の一つである“表示像が前景に埋まって見える”に代表されるように、一般的に前景が表示像の近くに有り、視覚要件が増加すると前景内の視対象の認識がしにくくなる傾向がある⁷⁾¹¹⁾。これに加え、高年齢者層では前述した前景内の目標ターゲットの探索・発見が遅れるため、全体としての評点が低下するという解釈である。

(4) X 4 “前景が見にくい”(図6) 総じて評点は低く、ヘッドアップディスプレイによる前景認識への妨害は少ないことを示している。

評点の表示像距離への依存性は、ケース1で表示像距離が長くなると評点が高くなるが、ケース2では殆ど変化はしない。

実験室実験で表示像と前景視標を重畳させ前景の認識度合いを評価すると、表示像が前景視標に近接すると前景が認識しにくくなる¹¹⁾。ケース1では比較的前景の視対象が表示像の近くに存在することを考え合わせると、図6の傾向はこの重畳の効果が評点に現われている可能性がある。

高年齢者層と若年齢者層の差はケース1、ケース2ともほとんど見られない。これは、X 3で考慮しなければならなかった前景内の目標ターゲットの探索・発見のプロセスがなく、高年齢者層での応答遅れをX 4では考慮する必要がないためと解釈できる。

(5) X 5 “表示を読むのが楽である” X 1と同様の傾向なので省略する。

(6) X 6 “疲労感がある”とX 7 “圧迫感がある”。

両者ともほぼ同じ特性を示す。夜間での評点が昼間より若干上昇する。昼夜の差が比較的大きいX 7で結果を代表させた(図7, 図8)。

昼夜の比較をすると、後者ではやや評点のバラツキが大きくなり(標準偏差の最大値が約0.6から約1.7になる)、平均値も若干高く(約0.5高)なる。

評点が全体に低いことはヘッドアップディスプレイが疲労感や圧迫感(後述するX 9(抵抗感)も)の点で、ヘッドダウンディスプレイと余り差がないことを示している。

昼夜に関係なくケース1、ケース2とも、表示像距離が長くなると評点は低下する傾向を示す。圧迫感の低下等は、前景より手前に存在する表示像が遠方に移動することを考えれば直感的にも理解できる。

(7) X 8 “好ましい”(図9) ケース2では表示像距離Lが長くなると高年齢者層も若年齢者層とも評点が高くなる。ケース1では表示像距離が長くなると高年齢者層での評点は低くなるが、若年齢者層では逆に高くなる。これはケース2では表示像距離を長くすると、どの評価語の評点も望ましい方向にシフトするのに比べて、ケース1では高年齢者層で表示距離を長くすると、前景視標の検索・発見が困難になったり(X 3の効果)、表示像と前景の区別がしにくくなる(後述のX 10の効果)等の影響がで始めるためと考えられる。

(8) X 9 “抵抗感がある” X 6やX 7とほぼ同じであるので省略。

(9) X 10 “表示像と前景が区別しにくい”(図10)。ケース1では高年齢者層も若年齢者層も表示像距離Lが遠くになると表示像と前景が区別しにくくなる。ケース2では表示像距離を長くしても評点は殆ど影響を受けず低下の傾向さえある。

3.4 結果のまとめ

(1) ヘッドアップディスプレイはヘッドダウンディスプレイよ

**8章で論じる系列間隔法を用いて心理尺度に変換しても、全体の傾向は殆ど変わらないので、結論に大きな影響を与えないと考え、ここではそのまま平均処理をした。

(a) ケース1 道路走行条件

(b) ケース2 道路走行条件

図3 “素早く読める” (X1) の評価

(a) ケース1 道路走行条件

(b) ケース2 道路走行条件

図4 “違和感がある” (X2) の評価

(a) ケース1 道路走行条件

(b) ケース2 道路走行条件

図5 “前景変化に気づきやすい” (X3) の評価

(a) ケース1 道路走行条件

(b) ケース2 道路走行条件

図6 “前景が見えにくい”(X4)の評価

(a) ケース1 道路走行条件

(b) ケース2 道路走行条件

図7 “圧迫感がある”(X7)の評価(昼間)

(a) ケース1 道路走行条件

(b) ケース2 道路走行条件

図8 “圧迫感がある”(X7)の評価(夜間)

(a) ケース1 道路走行条件

(b) ケース2 道路走行条件

図9 “好ましい”(X8)の評価

(a) ケース1 道路走行条件

(b) ケース2 道路走行条件

図10 “表示像と前景が区別しにくい”(X10)の評価

り概ね好感が持たれており、高速走行でより評価が高い。

(2) 表示像距離を長くすると、ヘッドアップディスプレイの“良さ”に関わる評点は全般的に高くなるが、低速市街地道路の一部で“わるさ”に関わる評点が高くなる（即ち悪化する）。

(3) (2)項の特性は、最適化設計する上で、ヘッドアップディスプレイの“良さ”を実現するためには長く採る必要がある表示像距離に制約ファクタが存在することを示唆している。

4. 被験者の内観報告

主な内観報告を表4にまとめた。表示像の認識に関連する報告にかぎりヘッドアップディスプレイの遠方結像については総じて良好で実験室実験の結果を裏付けている。

違和感（X2）や区別のしにくさ（X10）等の表示像と前景とのインタラクションに関連しそうな項目では、自動車が曲線路を旋回する時や、視対象となる前景が比較的近い距離）になっている

る時、前景に視点があって周辺視野内に表示像がある時等に起こりやすい。

5. 主成分分析

SAS Institute 社の主成分分析プログラム（SAS）を用い、評価データの主成分分析を行い、固有値が1以上になる3つの成分を抽出した⁸⁾¹³⁾（表5）。

各評価語因子の因子負荷の大きさから、表5のI, II, IIIの成分をそれぞれ仮に legibility, uncomfortability, visibility と呼ぶことにする。

表示像距離Lと各主成分得点との関係をそれぞれ図11, 12, 13に示す。

5.1 legibility

ヘッドアップディスプレイ表示情報の認識・判読がヘッドダウ

表4 被験者の内観報告

報 告 内 容	関連する評価語
・前景が比較的近い旋回すると表示像と前景が周辺視野でうまくマッチングしない。(車体から出た透明な長い棒の先に表示像がついている感じ)	X2, X8
・自動車フード近辺が違和感少ない。	X2
・遠方結像の場合前景と表示像の区別が尽きにくい(背景に表示像が埋まった感じ)。	X10, X4, X5
・遠方結像時表示像の俯角が大きくなった気がして気になる。	X2
・曲線路では視点は曲がる先方向を見るので表示像は周辺視野に入る。	X1
・高速時の遠方結像は予想以上に読みやすい	X1, X5, X8
・路上の白線と表示像が重なった時見にくい。	X1
・前景認識には(表示像の存在が)余り気にならない。	X4, X6, X7, X9

表5 主成分と因子負荷

(3 因子でバリマックス回転後の因子負荷量)

変数	factor			変数の意味
	I	II	III	
X 1	0.98	0.85	0.05	素早く読める
X 2	0.31	0.96	0.20	違和感がある
X 3	0.58	- 0.49	- 0.80	前景変化に気づく
X 4	- 0.05	0.94	0.34	前景見にくい
X 5	0.86	- 0.68	0.31	読むのに楽
X 6	- 0.86	0.81	0.45	疲労感
X 7	- 0.95	- 0.17	0.05	圧迫感
X 8	0.82	- 0.52	- 0.13	好ましい
X 9	- 0.05	0.95	0.15	抵抗感
X10	0.38	0.98	0.31	区別つきにくい
固有値	4.82	3.21	1.00	
寄与率	0.48	0.32	0.08	(累積寄与率89%)

ンディスプレイに比較して優れているか劣っているかを示す成分と考えられる。表示像距離 L を長くすると改善される。この傾向は実験室実験で表示情報の認識度合いを示す尺度であった正答率*** η_{HS} の表示像距離依存性の傾向と一致している。

表示像距離が長い領域ではケース2の方がケース1より優れており、遠方結像型ヘッドアップディスプレイが高速走行でよりlegibility 評価が高いことを示している。

5.2 uncomfrotability

表示像の存在と周囲の視環境との整合性や干渉性、表示装置を全体的に捉えた時の受容性等を表す成分と考えられる。表示像距離 L が長くなると、ケース1では評点上昇が大きいが、ケース2では余り変わらない。

内観報告でも見られるように uncomfrotability は自動車の移動、運転に伴い発生する項目と考えられ、移動する前景と表示像との整合性の良否を示していると考えられる。実験室実験データ

図11 第一主成分得点 (legibility)

図12 第二主成分得点 (uncomfrotability)

図13 第三主成分得点 (visiblity)

*** 前景と表示像視標の認識の正答率。 η_{HS} は表示像と前景の両方の視標が呈示されたときの前景視標が正答した内で表示像視標が正答した比率。後述する η_L は表示像と前景の両方の視標が呈示されたときの前景視標のみの正答率。

には、この成分は明確には現われてはいなかった。

5.3 visibility

前景の捉えやすさ、前景の見やすさ等、前景情報の認識のしやすさを表す成分と考えられる。成分得点は殆ど表示像距離に依存しない。実験室実験での正答率 η_s の値に相当している成分と考えられ、実験室データと良い一致を示している。

6. 実験 2

表示像情報認識時間をヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイで計測比較した。表示像情報認識時間は表示像上にドライバの視点が停留する時間として求めた。

通常の自動車走行では一般路走行が高速走行に比較して多いと考えられるので、実験2での車載ヘッドアップディスプレイは、ケース1での結果をより重視し uncomfartability を低く抑えつつ legibility を高くと言う考え方で表示像距離を2.5m（タイプB）に定めた。

6.1 実験条件

走行道路は実験1での2条件に、表2に示すケース3、4、5の三つのケースを新たに加えた。天候は曇りからうす晴れの昼間で、道路はアスファルト路面、路面輝度はおよそ1,000から3,000 cd/m²。被験者は20代と30代の4名の男子ベテランドライバ。

6.2 実験手順

図14 実験手順（実験2）

表6 表示像情報認識時間（秒）

種類	道路走行条件 ケース No.				
	1	2	3	4	5
ヘッドダウンディスプレイ	0.47 ±0.08	0.48 ±0.07	0.45 ±0.02	0.48 ±0.08	0.44 ±0.02
ヘッドアップディスプレイ	0.34 ±0.08	0.30 ±0.07	0.31 ±0.02	0.37 ±0.08	0.35 ±0.02
差	0.13	0.18	0.14	0.11	0.08

実験の手順を図14のフローチャートに示す。実験では各被験者にアイマークカメラを装着させ、ブザー音を合図に表示像情報を認識させ数字を口頭報告させた。

表示像情報認識時間はアイマークカメラの VRT 再生画像を33 msec 毎のコマ送りにより、表示像の数字を正答した時のみ求めた。

6.3 実験結果

結果を表6に示す。全ての道路走行条件で、ヘッドアップディスプレイの方がヘッドダウンディスプレイより表示像情報認識時間は短縮されており、ヘッドアップディスプレイが表示像情報受容特性において優れていることを定量的に示している。

両者の差は、ケース2（低混雑高速走行）では約0.2秒、ケース5（曲率が大きい曲線路）ではわずかに0.08秒であった。即ち、曲線路でのヘッドアップディスプレイの優位性は余り認められないが、直線路でかつ車速が速くなると優位性が顕著になることを示している。

7. 考察

7.1 表示像距離と正答率 η_{ms}, η_s

実験室実験では、表示像距離Lを長くすると表示情報の認識度合いを示す正答率 η_{ms} は高くなるが、前景情報の認識度合いを示す正答率 η_s (5.1節脚注参照) は殆ど変化しなかった。実車走行実験による官能評価の結果も表示像距離Lを長くすると、表示情報の認識度合いに関連するX1（表示が素早く読める）やX5（読むのに楽である）等の評点平均値は高くなる。一方、前景情報の認識度合いに関連するX3（前景の変化に気づきやすい）やX4（前景が見にくい）の評点平均値は表示像距離Lに大きく依存しなかった。

この傾向は、主成分分析の結果である第一主成分（legibility）と第三主成分（visibility）の表示像距離の依存性を見てもっと明らかである。

これらの事実、自動車走行での視覚情報受容のプロセスをダブルタスクと見做し、短時間視標提示の手法で表示像距離について評価した実験室実験の結果が、実際の走行条件でのドライバの感覚的な評価に極めて良く一致していることを示しており、実験室実験の評価系が実車走行環境を良くシミュレートしていることを示唆している。

7.2 第二主成分（uncomfartability）

違和感や前景と表示像の区別につきにくさ等 uncomfartability に関連する内観報告がなされたのは次のような場合に多かった。

- (1) 自動車が移動する場合。
- (2) 前景視対象がドライバの目から比較的近い低速混雑道路走行の場合。
- (3) 曲線路を旋回する場合。
- (4) 表示像が中心視野に近い周辺視野に存在する場合。
- (5) 前景視対象を注視し表示像は漠然と見る場合。

表示像距離Lが約2.5mで uncomfartability の平均得点が最小値を示すことや、フード上端で違和感が少ないという内観報告等から、uncomfartability 発生の大きな要因として、車体が存在しない前景（とドライバが思っている）空間を表示像が車両と一体となって移動するように見えることが一つの要因として考えられる。

自動車の運転では、実際には見えない車体の端がどの辺りにあるかと言う空間位置を予測しなければならないことがある。この予測能力は理論的と言うより寧ろ感覚的であり、安全運転には必要な感覚¹⁴⁾の一つと言われる。この感覚は自分(車両)の領域か自分以外の領域(外部)かの空間認知の感覚の一種とも考えられ、車両が存在する(と思う)領域の中に存在する物体は自己の座標の領域に存在すると感じ、その領域の外にある物体は外部座標の領域に存在すると認識する感覚とも解釈できる。

uncomfortability について、次のような仮説を立てれば違和感や抵抗感等の説明が可能である。遠方に結像した表示像はドライバにとっては、本来外部の座標領域に存在すると感じている。しかしながら、実際は自己の座標領域に存在する(車体と一体で移動する)ため、認識に一種の不整合が発生する。車両前端のフード近傍に表示像を設けるとこの不整合は少なくなり、表示像距離を長くするとこの不整合は大きくなると思われる。

勿論、これらの仮説の根拠を明確にするためには、更に詳細な確認実験が必要とされる。また、極めて遠方に結像したヘッドアップディスプレイ搭載車を運転するドライバにとって、この感覚が一種の学習効果で徐々に変化し環境順応する可能性もなくはない。

しかしながら、全ての自動車にヘッドアップディスプレイが装着されるとは限らないので、車両を乗り換えたり、他人の車を運転することを考えると、依然としてuncomfortability が考慮すべき重要な一つの設計変数になることには変わりはないであろう。

表示情報認識(legibility)と言う観点からは遠方結像が望ましい。自動車用ヘッドアップディスプレイの表示像距離を最適設計する場合、考慮されなければならない視覚パラメータuncomfortabilityの成分が表示像距離を有限にする制約を与えると考えられる。

7.3 評点と正答率の意味

系列間隔法⁹⁾¹⁵⁾を用い実験1での評点間の心理尺度を求めた。表示像情報認識の速さを意味すると考えられるX1(表示が素早く読める)について、心理尺度を用いて表示像距離と評点の関係を書き直すと、ヘッドアップディスプレイ(タイプB)とヘッドダウンディスプレイ(タイプE)での差は、心理尺度上で4.2~4.6の間隔で表せる(図15)。

実験2の表示情報認識時間計測の結果を用いると、ヘッドアップディスプレイ(タイプB)とヘッドダウンディスプレイ(タイプE)での表示像情報認識の速さの差は凡そ0.1秒~0.2秒となる。

第1報で報告した実験室実験の結果を用いると、ヘッドアップディスプレイ(タイプB)とヘッドダウンディスプレイ(タイプE)の正答率 η_{HS} の差は約17%になる。

従って、タイプBとEのヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイの例では、心理尺度間隔4.2~4.6や、正答率 η_{HS} の差17%が実際の自動車走行で0.1秒(曲線路)~0.2秒(高速直線路)の認識時間差に相当すると考えられる。

H.Metzler や K.Enke らは種々の自動車衝突事故を分析し、ドライバがどのくらい早めに応答すれば事故がどの程度低減できるかを報告している¹⁶⁾¹⁷⁾。

被害の大きい高速道路での追突事故を考えると、約0.2秒早く応答すれば事故の約30%、0.5秒で60%が低減できることを報告している。

タイプBのヘッドアップディスプレイを例にとると、高速走行

図15 系列間隔法による“素早く読める”の表示像距離依存性

では認識応答時間は約0.2秒ヘッドダウンディスプレイより速くなる。即ち、表示像から素早く目を離し、前景内の障害物を約0.2秒だけ速く発見できる。実験1と実験2の結果とH.MetzlerやK.Enkeらのモデルから概算推定すると、本実験で用いたタイプBのヘッドアップディスプレイでの心理尺度間隔4.6や、正答率 η_{HS} の差17%は、(表示情報認識の遅れにより起こる)追突事故を30%低減できる効果に対応していると言える。

以上の概算推定を用いれば、自動車用ヘッドアップディスプレイの優位性を事故低減と言う観点からも予測することができよう。

8. まとめ

(1) 表示像と前景の情報認識・受容特性については、実験室実験と実車走行実験の結果はよく一致した。

(2) ヘッドアップディスプレイの表示像距離を規定するファクタには、“表示像と前景の情報認識”に関わる因子に加え、前景との整合性を表す因子がある。この因子は自動車が移動することにより発生し、表示像距離を長くすると評価は悪くなることが分かった。

(3) 曲線路や低速路の走行より高速直線路の走行の方が、ヘッドアップディスプレイの視覚情報受容に関する優位性は顕著であった。

参考文献

- 1) Phaneuf, R.J. and O'Brien, J.E.: Head-Up Display in Commercial Aviation, AIAA Aircraft Systems & Technology Meeting (1977) 77~1241
- 2) Kyle, D., W.: Head-Up Displays for General Aviation, SAE General Aviation Aircraft Meeting and Exposition (1985) 850902
- 3) Weihrauch, M., Meloeny, G. and Goesch, T.: The First Head Up Display Introduced by General Motors, SAE International Congress and Exposition (1989) 890288
- 4) J.D.Rivard: The Automobile in 1997, IEEE SPECTRUM Vol.24, No.10 (1987) 67~71
- 5) 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

における前景情報と表示情報の認識について, 照学誌 Vol.75, No.6(平3)267~274

- 6) 岡林, 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 II, 照学誌 Vol.76, No.2(平4)81~90
- 7) 三浦利章: 高速走行における視野の問題, 交通科学研究会資料第26集(昭60)201~204
- 8) 増山英太郎, 小林茂雄: センサリエバリュエーション, 垣内出版(平2)17~23, 182~191
- 9) 杉原, 渡部, 吉田: 主幹的空間周波数と画質評価関数 II—臨場観に関する画質評価関数一, テレビ誌 Vol.41 No.12(昭62)1177~1181
- 10) Izuka, H., Yabuta, K., Tsuda, H., Seko, Y. and Saito, T.: Visual Performance Characteristics in Vehicles, 11th International Technical Conference of Experimental Safty Vehicle, May (1987)
- 11) 岡林繁, 畑田豊彦: 自動車用ヘッドアップディスプレイの前景視認特性—表示像と前景が重畳する場合—I, テレビ誌 V1.46, No.4(平4)508~517
- 12) 村田隆裕, 中村良夫: 自動車運転者の注視点, 交通工学 Vol.5, No.5(昭45)3~12
- 13) 有馬哲, 石村貞夫: 多変量解析のはなし, 第三章, 東京図書(平3)
- 14) 斉藤友子, 落合清史: 車両感覚のつかみやすさと距離感覚, 日産技報 26(平元)86~91
- 15) 佐藤新: 統計的官能検査法, 日科技連(昭60)21章
- 16) Hans-Georg Metzler, "Computer Vison Appld to Vehicle Operation", SAE 1988 Future Transportation Technology Conference and Exposition 881167 (1988)
- 17) Kurt Enke Possibiliies for Improving Safty Within the Driver—VehicleEnvironment Control Loop : Proceeding of the ESV Conference (1979) 789~802
- 18) Okabayashi, S., Sakata, M., Fukano, J., Daidoji, S., Hashimoto, T. and Ishikawa, T.: Development of Practical Heads—Up Display for Production Vehicle Application, SAE Transactions Vol.98 Journal of Passenger Cars (1989) Section 6, 638~647

(受付 1992年6月3日/採録 1993年1月20日)

おかばやし しげる
岡林 繁君 (正会員)

昭和22年生まれ。昭和47年名古屋大学大学院工学部電子工学修士課程を修了。同年4月日産自動車(株)中央研究所に入社, 電子機器研究部を経て, 電子研究所において主として自動車用表示装置の視覚光学に関する研究に従事。平成4年度照明学会論文賞受賞。現在, 電子研究所主管研究員。工学博士照明学会, 自動車技術会, テレビジョン学会, 応用物理学会, SAE, SID 会員

さかた まさお
坂田 雅男君 (正会員)

昭和30年生まれ。昭和56年慶応義塾大学大学院工学部電気工学修士課程を修了。同年4月, 日産自動車(株)中央研究所に入社, 電子研究所において自動車用表示装置の研究に従事。平成4年度照明学会論文賞受賞。現在, 同研究所課長補佐。照明学会, 自動車技術会, 応用物理学会会員

ふるかわ まさみつ
古川 政光君 (正会員)

昭和30年生まれ。昭和49年岩国工業高校を卒業。同年4月日産自動車(株)中央研究所に入社, 電子研究所において自動車用表示装置の実験に従事。平成4年度照明学会論文賞受賞。現在, 電子研究所実験主任。照明学会, 自動車技術会会員

はた とよこ
畑田 豊彦君 (正会員)

昭和15年生まれ。昭和45年早稲田大学大学院理工学研究科博士課程を修了。昭和46年NHK放送科学基礎研究所研究員。昭和56年より東京工芸大学で視覚光学, 生理光学に関する基礎研究に従事。平成4年度照明学会論文賞受賞。現在, 東京工芸大学写真工学科教授, 工学博士。照明学会, テレビジョン学会, 応用物理学会, 人間工学会, 写真学会会員。