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—

正会員 森田 和 元 非会員 益 子 仁 一 非会員 岡 田 竹 雄
(交通安全公害研究所)

Consideration of Feeling of Troublesomeness Regarding Automobile Head-Up Displays II

—Influence of HUD Luminance, Observer's Age, and Actual Driving—

Member **Kazumoto Morita**, Non-Member **Jin'ichi Mashiko**, Non-Member **Takeo Okada**

(Traffic Safety and Nuisance Research Institute)

ABSTRACT

Since the image of an automobile head-up display (HUD) overlaps with the scenery in front of the vehicle, this may be considered to be troublesome for drivers. We have already revealed the basic relationship between display position and a feeling of troublesomeness by conducting experiments outdoors. In this research, we carried out indoor experiments to clarify the influence of factors such as luminance of the HUD and observer's age on a feeling of troublesomeness. As a result, we found that older observers feel much troublesomeness in a position directly in front of them. We also carried out outdoor experiments, in which the observer was actually in a car and a mock-up HUD making use of clear film was used. We investigated how the feeling of troublesomeness changed depending on whether the vehicle was stopped or moving. We found that while driving, the observer was likely to feel much troublesomeness at display positions on the left side. This is probably because the distribution of the line of vision of the driver moves toward the left when driving in Japan (where one drives on the left.)

KEYWORDS : automobile, head-up display, troublesomeness, older driver, visibility

1. はじめに

最近、自動車の運転者への情報伝達方法の一つとして、前面窓ガラス上に車速等を表示するヘッドアップディスプレイ（以下「HUD」という）が採用されてきており^{1,2)}さらに、ナビゲーションシステムの表示に利用することが提案されてきている^{3,4)}。HUDに関しては、運転者の視線移動量が低減されることや焦点調整の時間が短縮される等の点が、これまでも実験的に明らかにされている⁵⁾。しかし、HUDの技術が普及するためには、ただ単に視線移動量低減等の数値上の性能向上を実現するものだけでなく、多数の運転者にとって違和感を与えない好ましいものである必要がある。

自動車用HUDの表示位置に関していえば、表示内容をすばやく読みとらせるためには、運転者の正面前方に表示するのが最適であることが明らかにされている⁶⁾。しかし、実際の自動車運転時においては、運転者の正面前方にHUDを表示することは、前方の風景と重なることから、運転者にとって煩わしく感じられるため、正面前方から離れた位置にHUDを表示する方がよいとも考えられる。従って、HUDの表示位置は、読みとり易さと煩わしさとの両者の関係を考慮して決定される必要がある。我々は、既に、屋

外における静止状態の観測実験を行うことにより、表示位置と煩わしさ感の分布との基礎的関係を明らかにしており⁷⁾、正面前方を原点とした場合に、上下、左右にそれぞれほぼ対称で水平方向に広がりを持つ2次元正規分布で近似できることを示している。また、運転者の目の位置により、煩わしさ感がどのように変化するか⁸⁾の検討も行ってきた。

煩わしさ感に影響を及ぼす要因としては、この他にも、HUDの表示輝度、観測者の年齢等の要因が考えられる。従って、今回は、室内実験を行うことにより、それらの要因が煩わしさ感に及ぼす影響について明らかにすることとした。また、実際に車両に乗り込んだ場合に、停車時と運転時とで煩わしさ感が異なることも考えられる。従って、屋外の走行実験を行うことにより、この影響を明らかにすることとした。

2. 室内実験方法

照明を消した暗室内で観測実験を行った。前報⁷⁾で報告したテストコースにおける実験状況を再現するために、テストコース上の観測者の視点からの前方風景をビデオカメラにより撮影して、これを室内実験において、観測者から約5.6m離れたスクリーンに投影した。テストコース上で前方をみるのに目標とした50m先の

小型乗用車の大きさがほぼ同じ視角（車幅で約1.8度）で再現できるようにビデオカメラの撮影及び室内実験装置の設定を行った。実験にあたっては、観測者に対して、この車両を見るように指示をした。使用した HUD の装置は屋外実験時と同一のものであって、「88」という表示像を平板な板ガラスに呈示するものである。全体の実験状況を図1に示し、HUD の表示の例を図2に示す。観測者は、高さ1.00m のあご台にあごを乗せて頭部の位置を決定した。テストコース上の風景に関しては、水平方向について右側には建築物、左側には雑木林があった。この左右の風景の違いが評価結果に及ぼす影響を避けるため、観測者の半数に関しては、ビデオの風景画像を左右反転させて投影した。スクリーン上の風景画像全体の大きさを観測者からの視角で表すと、水平方向に約22度、垂直方向に約16度となった。

HUD の表示は緑色の蛍光表示管を利用しており、表示輝度を5種類（21, 43, 85, 166, 311cd/m²）とし、それぞれ約2倍ずつの表示輝度となるようにした。表示輝度の設定に当たっては、過去の実験結果⁹⁾を参考にして、適切な明るさと感じられる表示輝度を含む範囲とし、予備実験を行って最終的に表示輝度を決定した。色度座標は、表示輝度によって多少異なるものの、およそ、 $x=0.24, y=0.43$ であった（表示輝度及び色度座標については、い

図1 室内実験状況
Fig. 1 Layout of indoor test conditions.

図2 HUD の表示例
Fig. 2 Example of HUD image.

ずれも暗室内で前方スクリーンの明るさの影響をうけない状態で測定した値である）。また、スクリーン上の風景画像の輝度は、測定個所によっても異なるが、正面前方付近で約10cd/m²、下側の表示位置となる道路部分で約10cd/m²、上側の表示位置となる天空部分で約20cd/m²であった。スクリーン上の全体の輝度については、約6～24cd/m²の範囲であった。

観測者から HUD の虚像までの距離は約1.2m であり、また、車速を表示する場合の HUD の一般的な表示像の大きさを参考にし、観測者から見た場合の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度とした。表示用板ガラスは、表面に酸化チタンを蒸着した反射率20%のものであって、これを水平面から31度の傾きをもって設置した。観測方向からの板ガラスの透過率は75%であった。

HUD の表示位置は図3に示す9通りである。表示位置に関しては、観測者の正面前方を原点として、水平方向（x 軸、右側をプラス）について、左6度から右6度まで3度ずつの間隔で5種類とし、また、垂直方向（y 軸、上側をプラス）の視角については、下6度から上6度まで3度ずつの間隔で5種類とした。水平方向及び垂直方向のみで評価結果を求めているのは、前報⁷⁾において両者の評価結果はそれぞれ独立であって、それらの評価結果から2次元的な分布をほぼ推定できることが明らかとなったからである。

実験手順については、各表示位置について、HUD の表示を10秒間観測者に対して呈示した後、煩わしさ感の主観的評価結果を表1に示す0から-4までの整数値による評価基準により回答させた。9種類の表示位置を無作為に選定して観測者に対して呈示し、煩わしさ感を評価させる実験を繰り返した。

図3 室内実験時の HUD の表示位置
Fig. 3 Display positions of the HUD at indoor experiment.

表1 煩わしさ感の評価基準
Table 1 Rating scale for a feeling of troublesomeness.

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

観測者は、色覚正常な20代10名(平均年齢25.8歳)、40代10名(平均年齢44.0歳)、60代10名(平均年齢62.7歳)の計30名である。同一表示位置において表示輝度を5種類ずつ設定したことから、観測者一人当たりについて計45回の観測実験となった。各表示位置に関しては、表示輝度が5種類、観測者が30名であることから、合計150件のデータが得られた。

3. 室内実験結果

3.1 煩わしさ感の全般的傾向

煩わしさ感の5段階の評価基準のうち、どの範囲まで観測者にとって煩わしいと考えるかについてはさまざまに判断することができる。本稿では、前報⁷⁾と同様に、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の回答数の合計をとり、煩わしさ感を検討することとする。逆にいえば、「煩わしくない」と「やや煩わしい」という評価結果については、観測者にとって煩わしさの問題がないと考えていることになる。この3種類の回答数の合計を、5種類の表示輝度及び全観測者の総計として図示すると図4のようになる。原点における回答数が最も多く、左右または上下に離れるに従い回答数が低減することがわかる。また、左右方向及び上下方向について、それぞれほぼ対称であることがわかる。このように、前報⁷⁾で求めた煩わしさ感の分布に関する定性的な特徴が再現されている。

煩わしさ感について検討する場合、上記のように3種類の回答数の合計で評価するのではなく、各評価基準の回答数に評価値を乗じて重み付けを行い、その値の合計をとる方法も考えられる。つまり、各評価基準の尺度の間隔が等しいという前提のもとに、「極めて煩わしい」の回答数に4を乗じ、「非常に煩わしい」の回答数に3を乗じ、「かなり煩わしい」の回答数に2を乗じ、「やや煩わしい」の回答数に1を乗じてその合計値を求め、重み付けをした煩わしさ感とするというものである。ここで、今回は煩わしさ感について検討することから、乗じる値は便宜的にプラスとしており、また、「煩わしくない」の回答数については、煩わしさ感の中に入れていない。この重み付けをした煩わしさ感を図5に示す。分布の特性は、図4に示す結果と類似していることがわかる。

以下、解析にあたっては、前記の回答数を単純に合計する評価

図4 煩わしさ感の評価結果
 (「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の回答数の合計)

Fig. 4 Evaluation results of a feeling of troublesomeness
 (total of answers including "rather troublesome", "very troublesome" and "extremely troublesome").

図5 重み付けをした煩わしさ感
 Fig. 5 Weighted feeling of troublesomeness.

方法と重み付けをした煩わしさ感を求める評価方法との両方を考えることとする。

3.2 表示輝度による影響

5種類の表示輝度ごとの「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」と「極めて煩わしい」の回答数の合計を図6に示す。各表示位置の回答数の最大値は、観測者数30名に対応して、30件である。表示輝度が高くなるにつれて、少しずつ煩わしさ感が高くなることがわかる。

表示輝度による回答数の差を統計的に調べるため、ここで、以下に示すような、2つの母集団における比率の差に関する検定を行う。すなわち、2つの母集団において、対象となる事象の母比率をそれぞれ P_1 、 P_2 とするとき、「 $P_1 = P_2$ 」という帰無仮説をたてて、次式で求められる頻度分布が、平均0、標準偏差1の正規分布曲線で近似できることを利用して、帰無仮説が棄却されるかどうかを調べるというものである⁹⁾。

$$z = \frac{P_1 - P_2}{\sqrt{\frac{P_1(1-P_1)}{n_1} + \frac{P_2(1-P_2)}{n_2}}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $P_i = \frac{k_i}{n_i}$

(n_i は母集団 i における標本数、 k_i は母集団 i における事象の数を表す。)

今回の各表示輝度の組について、回答数の比率の差に関する検定を行うと表2のようになる。表中において、*は有意水準10%、**は有意水準5%、***は有意水準1%で「回答数が等しい」という帰無仮説が棄却されることを示す。また、—は有意水準10%で帰無仮説が棄却されないことを示す。この結果、表示輝度に大きな差がある場合には回答数に有意な差が生じているものの、条件によっては統計的に有意な差を示さない場合もあることがわかる。従って、今回の表示輝度の範囲の変化であれば、表示輝度によって少しずつ煩わしさ感が高くなるものの、それほど大きく評価結果が異なるわけではないといえる。

重み付けをした煩わしさ感についても(図7)、同様に、表示輝度が高くなるにつれて、少しずつ煩わしさ感が高くなることが認められる。

3.3 観測者の年齢による影響

「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の回答数の合計に関し、観測者の年代別による差異を図示すると、図8のようになる。データのばらつきはあるものの、20代、40代

図6 煩わしさ感の表示輝度による比較
 (「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の回答数の合計)

Fig.6 Comparison of a feeling of troublesomeness with respect to HUD luminance
 (total of answers including "rather troublesome", "very troublesome" and "extremely troublesome").

図7 重み付けをした煩わしさ感の表示輝度による比較
 Fig.7 Comparison of a weighted feeling of troublesomeness with respect to HUD luminance.

表2 表示輝度による回答数の差の検定結果
Table 2 Test results regarding difference of replies due to HUD luminance.

表中の*は有意水準10%、**は有意水準5%、***は有意水準1%で「回答数が等しい」という帰無仮説が棄却されることを示す。—は有意水準10%で棄却されないことを示す。

(1) 表示位置 (x = - 6 度, y = 0 度) の場合

表示輝度	21cd/m ²	43cd/m ²	85cd/m ²	166cd/m ²	311cd/m ²
21cd/m ²		—	*	—	**
43cd/m ²			—	—	—
85cd/m ²				—	—
166cd/m ²					—
311cd/m ²					

(2) 表示位置 (x = - 3 度, y = 0 度) の場合

表示輝度	21cd/m ²	43cd/m ²	85cd/m ²	166cd/m ²	311cd/m ²
21cd/m ²		—	*	—	**
43cd/m ²			—	—	—
85cd/m ²				—	—
166cd/m ²					—
311cd/m ²					

(3) 表示位置 (x = 0 度, y = 0 度) の場合

表示輝度	21cd/m ²	43cd/m ²	85cd/m ²	166cd/m ²	311cd/m ²
21cd/m ²		**	*	***	**
43cd/m ²			—	—	—
85cd/m ²				—	—
166cd/m ²					—
311cd/m ²					

(4) 表示位置 (x = 3 度, y = 0 度) の場合

表示輝度	21cd/m ²	43cd/m ²	85cd/m ²	166cd/m ²	311cd/m ²
21cd/m ²		—	***	**	***
43cd/m ²			—	—	**
85cd/m ²				—	—
166cd/m ²					—
311cd/m ²					

(5) 表示位置 (x = 6 度, y = 0 度) の場合

表示輝度	21cd/m ²	43cd/m ²	85cd/m ²	166cd/m ²	311cd/m ²
21cd/m ²		—	*	**	**
43cd/m ²			—	**	**
85cd/m ²				—	—
166cd/m ²					—
311cd/m ²					

(6) 表示位置 (x = 0 度, y = - 6 度) の場合

表示輝度	21cd/m ²	43cd/m ²	85cd/m ²	166cd/m ²	311cd/m ²
21cd/m ²		—	—	*	***
43cd/m ²			—	—	**
85cd/m ²				—	—
166cd/m ²					—
311cd/m ²					

(7) 表示位置 (x = 0 度, y = - 3 度) の場合

表示輝度	21cd/m ²	43cd/m ²	85cd/m ²	166cd/m ²	311cd/m ²
21cd/m ²		—	**	**	***
43cd/m ²			—	—	**
85cd/m ²				—	—
166cd/m ²					—
311cd/m ²					

(8) 表示位置 (x = 0 度, y = 3 度) の場合

表示輝度	21cd/m ²	43cd/m ²	85cd/m ²	166cd/m ²	311cd/m ²
21cd/m ²		—	*	**	**
43cd/m ²			—	—	*
85cd/m ²				—	—
166cd/m ²					—
311cd/m ²					

(9) 表示位置 (x = 0 度, y = 6 度) の場合

表示輝度	21cd/m ²	43cd/m ²	85cd/m ²	166cd/m ²	311cd/m ²
21cd/m ²		—	—	—	—
43cd/m ²			—	—	—
85cd/m ²				—	—
166cd/m ²					—
311cd/m ²					

及び60代について、特に顕著な差は認められない。

次に、「非常に煩わしい」と「極めて煩わしい」の回答数の合計を年代別に図示すると、図9のようになる。正面前方の原点付近についてみると、20代の煩わしき感の回答数は多くないものの、40代、60代となるにつれて、煩わしき感が増大することが明確に認められる。原点における回答数については、20代の場合20件、40代の場合33件及び60代の場合41件となっている（回答数の最大値は、表示輝度5種類、各年代別観測者数10名であることから、50件である）。また、逆に、原点から離れた周辺の表示位置については、60代観測者の場合には煩わしき感が低下する傾向が認められる。

前述と同じ方法により、観測者の年齢による回答数の差の有無を統計的に調べると表3のようになる。表3に示されるように、原点においては、各年代の間で統計的に有意な差が認められる。また、表示位置 (x = 0 度, y = 6 度) の点を除けば、原点から離れた周辺の表示位置では、60代観測者の場合に他の20代、40代の場合と比べて有意に差がある（回答数が少ない）ことがわかる。

このように、高齢者ほど、原点付近の煩わしさを強く感じやすくなり、逆に、周辺の表示位置ではあまり煩わしさを感じないと

図8 煩わしさ感の年代別の比較
 (「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」の回答数の合計)

Fig.8 Comparison of a feeling of troublesomeness with respect to observer's age
 (total of answers including "rather troublesome", "very troublesome" and "extremely troublesome").

図9 煩わしさ感の年代別の比較
 (「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の回答数の合計)

Fig.9 Comparison of a feeling of troublesomeness with respect to observer's age
 (total of answers including "very troublesome" and "extremely troublesome").

いえる。

重み付けをした煩わしさ感についても(図10)、原点において、年齢が高くなるにつれて煩わしさ感が高くなる傾向が認められる。

高齢者は一般的に、加齢により目の水晶体が混濁して散乱光が生じ、若年齢者よりも不快グレアを感じやすくなることが知られている¹⁰⁾。また、高齢者の場合、周辺視野の感度が低下して、有効視野が狭くなることも知られている¹¹⁾。今回の評価結果は、高齢者の視覚に関するこれらの一般的傾向と関係しているものと推測される。

4. 車両に乗車して行った評価実験方法

この実験では、テストコース上で、観測者が実際の車両(小型乗用車)に乗車し、停車時と運転時とでそれぞれ HUD を観測した。実験に使用した車両は、観測者が乗車する観測車両及びその前方50mの位置にある先行車両との2台である。先行車両については、観測者が前方を見るときに目標にするとともに、運転時には観測車両が追隨して走行した(図11)。

虚像を表示する HUD の装置を車室内の任意の位置に設置することが困難であったため、透明フィルムを利用した模擬的な

表3 観測者の年齢による回答数の差の検定結果
 Table 3 Test results regarding difference of replies due to observer's age.
 表中の*は有意水準10%、**は有意水準5%、***は有意水準1%で「回答数が等しい」という帰無仮説が棄却されることを示す。—は有意水準10%で棄却されないことを示す。

(1) 表示位置 (x = - 6 度, y = 0 度) の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		—	**
40代観測者			**
60代観測者			

(2) 表示位置 (x = - 3 度, y = 0 度) の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		—	—
40代観測者			—
60代観測者			

(3) 表示位置 (x = 0 度, y = 0 度) の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		***	***
40代観測者			*
60代観測者			

(4) 表示位置 (x = 3 度, y = 0 度) の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		—	—
40代観測者			—
60代観測者			

(5) 表示位置 (x = 6 度, y = 0 度) の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		—	***
40代観測者			**
60代観測者			

(6) 表示位置 (x = 0 度, y = - 6 度) の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		—	**
40代観測者			***
60代観測者			

(7) 表示位置 (x = 0 度, y = - 3 度) の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		—	—
40代観測者			—
60代観測者			

(8) 表示位置 (x = 0 度, y = 3 度) の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		—	—
40代観測者			—
60代観測者			

(9) 表示位置 (x = 0 度, y = 6 度) の場合

観測者の年齢	20代観測者	40代観測者	60代観測者
20代観測者		—	—
40代観測者			—
60代観測者

図10 重み付けをした煩わしさ感の年代別の比較
 Fig.10 Comparison of a weighted feeling of troublesomeness with respect to observer's age.

図11 テストコースにおける実験状況
(観測車両と先行車両)

Fig.11 Test conditions of experiment at test course
(observation car and preceding car).

HUDをウィンドシールド上に貼り付けて代用した。なお、観測車両の基準アイポイントを、JASO Z008¹²⁾に従い、運転席のシーティングリファレンスポイント¹²⁾より垂直方向に0.635m上の点とした。ここで、基準アイポイントとは、運転者の目の位置の統計的分布を基にして運転者の目の位置を代表する点として定められたものである。表示位置に関しては、基準アイポイントからの正面前方を原点として、水平方向(x軸上)には、基準アイポイントからの視角で表現して、-15度から15度まで5度刻みで7点、垂直方向(y軸上)には-6度から6度まで3度刻みで5点とした(図12)。また、その他、参考として、(x=-5度, y=-3度), (x=-5度, y=3度), (x=5度, y=-3度), (x=5度, y=3度)の4点も付加した。水平方向と垂直方向について原点は重複するので、表示位置の数は計15点となった。これらの表示位置について無作為の順序で観測者に対して呈示した。HUDの表示像はこれまでと同じ形状で緑色の「88」という数字である。表示像の大きさについては、いままでとほぼ同じ大きさとなるようにして、正面前方の原点において、垂直方向に約0.8度、水平方向に約1.3度となるようにした。

観測者は、車両を停止した状態で評価する実験と60km/hで運転した状態で評価する実験との2種類の実験をそれぞれ2回ずつ繰り返した。約10秒間HUDの表示像を観測した後、観測者は煩わしさ感に関する評価結果を表1と同じ基準で回答した。

観測者は色覚正常な男性14名(20代12名, 40代2名, 平均年齢27.1歳)であり、従って、1つの表示位置に関して、28個のデータが得られた。実験時の天候は、晴れまたは曇りであった。

今回の実験においては、透明フィルムをウィンドシールドに貼り付けて代用としたので、通常のHUDによる実験と比較して、以下のような違いがある。

- (1) 今回の模擬的なHUDに関しては、通常のHUDのように明るく表示を行うというのではなく、逆に、数字の部分が暗くなるというものである。透明フィルムの地の部分の透過率は93%、緑色の数字部分の透過率は47%であった。
- (2) ウィンドシールド上に模擬HUDを貼り付けることから、基準アイポイントから表示位置までの距離が短い。たとえば、基準アイポイントからウィンドシールド上の原点表示位置までの距離は約0.56mであった。通常のHUDであれば、表示位置までの距離

図12 テストコースにおける実験時のHUDの表示位置

Fig.12 Display positions of the HUD of experiment at test course.

は一般的にもっと長い。

(3) ウィンドシールドは、運転者に対して傾いて取り付けられており、また、複雑な曲面形状をしている。従って、基準アイポイントからウィンドシールド上の表示位置までの距離が、各表示位置に関して、少しずつ異なる。このため、透明フィルム上での数字の大きさが同じ場合、表示位置により、表示大きさも見かけ上異なって見えることとなる。今回は、透明フィルム上での大きさが少し異なる2種類の模擬的なHUDを使いわけることにより、表示位置による見かけ上の表示大きさの差が著しくならないようにした。

また、このほか、次のような問題もある。観測者(運転者)に対しては、50m前方の先行車両の運転者の位置に、ウィンドシールド上の原点の高さが一致するように、シートの高さを調整させた。また、水平方向についても同様に、先行車両の運転者の位置に原点の位置が一致するように、観測者の左右方向の乗車姿勢を調整させた。(正確には、先行車両に観測者が目の焦点を合わせた場合、観測者の左目と右目による模擬HUDの2つの像が、右側と左側にそれぞれ見えることとなる。従って、その2つの像の間に先行車両が見えるように観測者の左右の乗車姿勢を調整させた。)しかし、前後方向に関しては、乗車姿勢を観測者の自由に任せているので、観測者の目の位置は基準アイポイントとは必ずしも一致しない。従って、HUDの表示位置に関して、全観測者が、必ずしも設定したような視角の表示位置に、HUDの表示像を見るわけではない。

以上のような制約があるので、この実験から得られる結果については、煩わしさ感の分布を求めるために使用するのではなく、主に、停車時と運転時との煩わしさ感の比較を行うために使用する。

5. 車両に乗車して行った実験結果及び考察

車両停車時と運転時との評価結果について、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」及び「極めて煩わしい」の3つの回答数の合計をとり、図示すると図13のようになる。停車時、運転時とも、垂直方向については、 $y=0$ の水平線に対してほぼ対称であり、水平方向については、 $x=0$ の垂直線に対して、左側に煩わしさ感が分布している。停車時と運転時とを比較すると両者の評価結果は似ているが、詳細に検討すると、運転時の場合に左側及び下側の回答数が多い傾向が認められる。

以下、3.2節と同様に式(1)による統計的検定を行い、この点について検討する。最も左側の表示位置($x=-15$ 度, $y=0$ 度)にお

図13 車両停車時と運転時の煩わしさ感
 (「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の回答数の合計)

Fig.13 Feeling of troublesomeness in a stop state and in a driving state
 (total of answers including "rather troublesome", "very troublesome" and "extremely troublesome").

いては、車両停車時の回答数は4件、運転時の回答数は9件であり、式(1)の z の値は1.62となる。正規分布曲線から $z=1.62$ を越える確率を求めると0.053となる。従って、棄却域が正負の両側に存在することを考慮すると、 $z=1.62$ に相当する有意水準は11%となる。すなわち、「車両停車時と運転時とで回答数が等しい」という帰無仮説は、有意水準11%で棄却されることがわかる。この11%の値は、通常使用される5%等の有意水準よりも高い値である。従って、表示位置($x=-15$ 度、 $y=0$ 度)における車両停車時と運転時との回答数の差は認められるにしても、その差は大きなものではないと考えられる。一方、原点より下側の表示位置に関しては、統計的にみると回答数の差はさらに小さく、車両停車時と運転時とで回答数の差はほとんどなかったものと考えられる。

このように、車両停車時よりも運転時の方が、左側の表示位置において少し煩わしさ感の回答数が多くなり、一方、垂直方向については、停車時と運転時とで、ほとんど差は認められないといえる。

重み付けをした煩わしさ感の結果についても(図14)、上記と同様の傾向が認められる。

運転時における運転者の視線分布を検討した過去の研究では、運転者の視線は道路端側(歩道側)の方に分布することが明らかにされている^{13,14)}。すなわち、日本のように道路の左側を車両(右ハンドル車)が走行する場合には、左側の方に視線が分布する¹³⁾。一方、米国のように道路の右側を車両(左ハンドル車)が走行する場合には、右側の方に視線が分布する¹⁴⁾。従って、今回、停車時

図14 車両停車時と運転時の重み付けをした煩わしさ感
 Fig.14 Weighted feeling of troublesomeness in a stop state and in a driving state.

に比べ運転時に、左側の表示位置に関して煩わしさを感じやすくなったということは、運転時に経験的に左側の方に運転者の視線(注意)が移動して、その方向にあるHUDを煩わしく感じたためと考えられる。

一方、垂直方向の視線分布に関して、垂直方向の視線分布の中心は、高速道路ではほぼ原点あたりであり、混雑度の高い道路においては原点より下方の約1~1.5度に移動するという研究成果が明らかにされている⁶⁾。今回の実験においては、テストコース上で、50m前方の先行車両の後を走行するという余裕のある交通状況であったので、混雑の程度は低く、高速道路の状況に近いものと考えられる。従って、運転時においても、停車時と比較して、下方への視線移動量は小さかったものと考えられる。混雑の程度の高い道路を走行する場合には、視線分布が下方方向に移動し、それに伴い、下側の表示位置に関して煩わしさを感じやすくなるものと推測される。

6. まとめ

自動車用HUDに関しては、一般的に、情報を読みとるためには、運転者の正面前方にHUDの表示することが望ましく、逆に、運転者に対する煩わしさを考えて、正面前方の視野から離れた位置に表示した方がよいといえる。この煩わしさ感に関して、HUDの表示輝度及び観測者の年齢の影響がどのように表れるのかを調べる室内実験を行った。20代、40代及び60代の観測者に、HUDの表示像を呈示した後、煩わしさ感に関する5段階の評価値を回答させ、その集計データを解析することにより、以下のような知見を得た。

(1) 煩わしさ感の分布については、正面前方の原点付近が最も高

く、左右または上下に離れるに従い煩わしき感^①は低下するという傾向が認められる。この結果は、これまでに得られた煩わしき感の分布の傾向と一致する。

(2) 今回の表示輝度の範囲(21cd/m²から311cd/m²までの範囲で5段階に表示輝度を設定)では、HUDの表示輝度が高くなるにつれて、煩わしき感が少しずつ増大する。

(3) 若齢者より高齢者のほうが、一般的に、正面前方の原点付近に関して煩わしき感を感じやすくなる。一方、正面前方から離れた周辺付近では、高齢者の方があまり煩わしき感を感じない。

さらに、運転時の影響を調べるため、実際に車両に乗車した観測者にHUDの煩わしき感を評価させる実験を行った。この実験では、透明フィルムを使った模擬的なHUDを使用して実験を行い、停車時と運転時とで、煩わしき感がどのように変化するのかを調べた。その結果、以下の知見を得た。

(5) 停車時と比較して、運転時には、左側の表示位置に関して煩わしき感を感じやすくなる。この理由は、一般的に、運転者の視線分布が運転時に左側に移動するためであると考えられる。左側に視線分布が移動するのは、日本のように車両(右ハンドル車)が左側道路を走行する場合であって、米国のように車両(左ハンドル車)が右側道路を走行する場合には、逆に右側に視線分布が移動する。従って、この場合には、右側の表示位置に関して煩わしき感を感じやすくなるものと推測される。

(6) 垂直方向に関しては、今回の実験のように、テストコース上での余裕のある交通状況においては、停車時と運転時とでは、煩わしき感の分布に関して、ほとんど差が認められなかった。過去の研究においては、混雑の程度の高い道路においては、視線分布が下方に移動することが明らかにされている。従って、混雑の程度の高い道路を走行する場合には、下側の表示位置に関して煩わしき感を感じやすくなるものと推測される。

さて、今回の実験に使用したHUDの表示像については、垂直方向約0.7度、水平方向約1.2度の大きさのものを使用しており、その表示像の中心位置の座標で表示位置を表していた。煩わしき感の分布に関しては、表示像の大きさも関係すると考えられるので、今後、HUDの表示像の大きさを変更した場合の結果について検討していきたい。

さらには、表示の読みとり易さとの関係も考慮して、適切なHUDの表示位置を最終的に求めることとしたい。

参 考 文 献

- (1) Shigeru Okabayashi et al.: "Development of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application," SAE Paper 890559 (1989)
- (2) M. Weihrauch et al.: "The First Head Up Display Introduced by General Motors," SAE Paper 890288, (1989)
- (3) Jun'ichi Fukano et al.: "Automotive Head-Up Displays for Navigation Use," Proc. of the 14th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles, paper No.94-S2-O-02, (1994)
- (4) Kazumoto Morita et al.: "Legibility of Displayed Place Names by In-Vehicle Navigation Devices," J. Light & Vis. Env. Vol.20, No.1, (1996)
- (5) たとえば、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」, 照明学会誌, 第75巻, 第6号, pp.267~274, (1991)

- (6) 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—表示像位置の高さの影響—」, 照明学会誌, 第76巻, 第2号, pp.35-44, (1992)
- (7) 森田, 益子, 岡田:「自動車用ヘッドアップディスプレイの煩わしき感に関する考察(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, 第81巻, 第2号, pp.89-95, (1997)
- (8) 森田, 益子, 伊藤, 岡田:「自動車用ヘッドアップディスプレイの明るさ感評価結果—観測者の加齢及び作業負荷による影響—」, 照明学会誌, 第80巻, 第2号, pp.44-52, (1996)
- (9) 岸根:「理論・応用統計学」, 養賢堂, pp.343-346, (1966)
- (10) たとえば、矢野, 金谷, 市川:「高齢者の不快グレア—光色との関係—」, 照明学会誌, 第77巻, 第6号, pp.296-303, (1993)
- (11) Karlene Ball et al.: "Clinical Visual Perimetry Underestimates Peripheral Field Problems in Older Adults," Clin. Vision Sci., Vol.5, No.2, pp.113-125, (1990)
- (12) JASO Z008:「運転者アイレンジ(乗用車)」, 自動車技術会, (1973)
- (13) 三浦:「行動と視覚的注意」, 風間書房, pp.56-57, (1996)
- (14) David Shinar: "Psychology on the Road-The Human Factor in Traffic Safety," John Wiley & Sons, Inc., (1978)

(受付日1996年10月24日/採録日1997年5月8日)

もりた かずもと
森田 和元 (正会員)

運輸省交通安全公害研究所自動車技術評価部

もりた しげる
森田 益子 (非会員)

運輸省交通安全公害研究所自動車技術評価部

おかだ たけお
岡田 竹雄 (非会員)

運輸省交通安全公害研究所自動車技術評価部

昭和46年4月運輸省交通安全公害研究所入所, 現在自動車技術評価部主任研究官。主に、自動車の運転視界, 車検機器などの研究に従事。自動車技術会, 日本機械学会会員。