

ドライバに対する適切な情報伝達方法に関する研究

－ヘッドアップディスプレイの要件に関する考察－

森田和元*, 関根道昭*, 塚田由紀**, 岡田竹雄*, 豊福芳典**

Appropriate Information Convey Systems to Drivers in Vehicle

-Consideration on Requirements of Head-Up Display-

Kazumoto MORITA*, Michiaki SEKINE*, Yuki TSUKADA**, Takeo OKADA*, Yoshinori TOYOFUKU**

Abstract

When drivers look aside from the forward direction to gaze at an in-vehicle display, they would not notice a dangerous event on the road in front of them. To reduce the risk of looking aside, head-up display (HUD) can be used, which displays an image on the windshield. HUDs have advantages of transmitting information quickly to drivers, though we have to consider some factors of HUDs to reduce the disadvantage of them. For example, since drivers have to perceive the double images, which are frontal scenery and display images, they may feel confused to look simultaneously at the two objects during driving. From another point of view, since it is superimposed on the background when drivers look at the display, the colors on the HUD, which are set in advance, appear to change depending on the background colors.

In this paper, we first discuss the appropriate area for HUDs considering troublesomeness feeling of drivers. Upon these considerations, concerning the vertical direction, we found that the area under 4 degrees below the horizontal line would be a safer display area to reduce the drivers' discomfort.

Secondly, to study the influence of the background on the HUD image, we used CIE1976L*u*v* calculations based on measurement data. We investigated the changes in color on the HUD that appear against four backgrounds: vehicles of three different colors and the road surface. We can conclude that because of the effect of background on the appearance of HUD colors, communicating information of any kind with color alone is unsuitable for HUDs.

Lastly, we had participants to drive a test vehicle which displayed the HUD image to them on a proving ground to investigate the actual characteristics of HUDs in use. The results show the advantage of green color, though the recognition of HUDs is influenced by the road surface brightness.

Keywords: Automobile, Safety, Visibility, Driver, Recognition, Head-up display, Color change

*自動車安全研究領域

**交通システム研究領域

目 次

1. 序 論	63
2. 適切な表示位置に関する考察	64
2.1 目的	64
2.2 煩わしさ感	64
2.2.1 停止状態での煩わしさ感	64
2.2.1.1 実験概要	64
2.2.1.2 実験結果	65
2.2.2 走行時の視線移動状況	65
2.2.2.1 実験概要	65
2.2.2.2 実験結果	66
2.2.2.3 測定結果の補正	67
2.2.2.4 有効データの抽出	67
2.2.3 走行時の推定煩わしさ感	68
2.3 前方対象の認知	69
2.3.1 先行車両のストップランプ	69
2.3.1.1 ストップランプ取り付け位置に関する法規	69
2.3.1.2 妨害にならない HUD 表示位置	69
2.3.2 上方向の対象物	70
2.4 表示位置に関するまとめ	71
3. 背景を考慮した場合の HUD の色の变化	71
3.1 目的	71
3.2 HUD の色度変化の計算	71
3.2.1 使用した測定データ	71
3.2.2 HUD と背景が混色する場合の計算方法	72
3.2.3 計算結果	73
3.3 ストップランプと重なる場合	75
3.4 表示色に関するまとめ	75
3.5 表示色に関する付録	75
4. 走行実験の評価結果	77
4.1 目的	77
4.2 HUD 装置の試作	77
4.3 HUD の評価実験	77
4.3.1 概要	77
4.3.2 実験手続き	77
4.3.3 実験条件	78
4.4 実験結果	78
4.5 路面輝度と正答率との関係	79
4.6 走行実験に関するまとめ	80
5. 結 論	80
参考文献	81

1. 序 論

最近、カーナビゲーション装置のようにドライバーに様々な情報を与える装置が多くの中車に搭載されるようになってきている(図 1-1)。しかし、ドライバーに的確な情報を与えることによる利便性は向上するものの、情報が過剰である場合には、かえって運転に集中できなくなるおそれも心配されている。特に、表示装置がセンターコンソール内に組み込まれていると、その画面を見ることがわき見運転となり、ドライバーが前方の危険事象の発生に対して反応時間が遅れることが明らかにされている。著者らの研究結果では、前方を見ているときに、危険事象が起きたときのブレーキを踏むまでの反応時間は約 0.9 秒であるのに対し、わき見(平均約 1 秒)をしているときには、前方の危険事象に対してブレーキを踏むまでの時間は平均で約 1.3 秒と長くなることを明らかにしている¹⁾。一方、前方を見ている場合には、注意が集中していない漫然運転の場合であってもブレーキを踏むまでの反応時間は平均で約 0.97 秒という結果を得ており²⁾、注意が不足している場合であっても前方を見ている限り、わき見をしている場合に比較するとより安全であると考えられる。

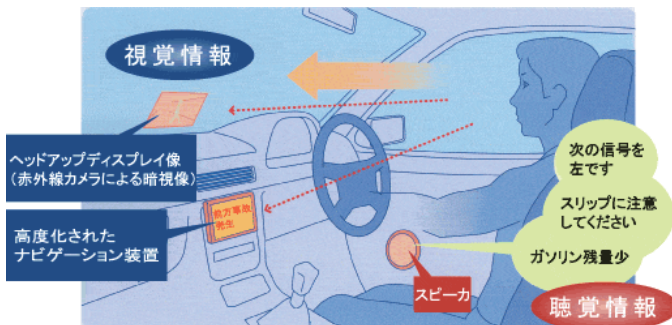


図 1-1 ドライバーに対する各種の車載情報呈示

従って、ドライバーに情報を提供する場合に、わき見につながらないようにすることが重要である。このための方法として、前方のウィンドシールドを利用して表示するヘッドアップディスプレイ(HUD)の技術が開発されている^{3,4,5,6,7)}。この技術を利用すれば、ドライバーは視線を前方に向けたまま表示情報を獲得することが可能となる。

HUDの基本的な構成は図 1-2 に示すとおりであり⁸⁾、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。ドライバーは前方視野内に表示されるその虚像を見ることとなる。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。

この HUD の製作時の課題としては、表示器による像を作成する場合の高輝度化をどのように実現するか、反射版に反射させたとき歪みのない虚像をどのように実現するか、表示器をどこまで小さくしてインパネ内に収納可能とするか等の課題がある。

しかし、HUDに関しては、製作上の問題とは別に、ドライバーの情報処理の観点からいくつかの注意すべき点がある。一つは、ドライバーのアイポイントからの俯角をどのように取るかということである。正面前方に HUD を表示すれば読み取りやすくなるということは容易に想像される場所であるが⁹⁾、逆に前方の道路状況を認識するのに不都合が生じる可能性がある。また、表示器については、従来は単色表示の蛍光表示管が多く使用されていたが、最近では液晶を利用してカラー表示が行われるようになってきている。この場合には、どのような色で表示する方がドライバーにとって望ましいのかという観点からの検討が必要である。

また、HUDの評価を行う際には、実験実施の容易さから停止状態での実験が行われることが多いが、実際に走行して HUD を評価する場合では評価結果が異なる可能性がある。従って、今回、HUDの表示位置、色、走行実験時の評価という3つの観点から、適切な HUD に関する考察を行うこととした。

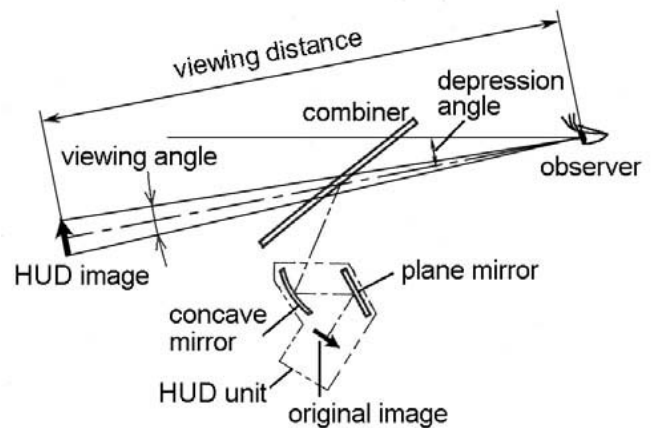


図 1-2 HUDの基本構成

2. 適切な表示位置に関する考察

2.1 目的

これまで、HUD は車速やナイトビジョンの画像をウィンドシールドの狭い領域に表示するために使用されてきたが、最近では、ウィンドシールド全ての領域を利用して、様々な情報を広く表示する技術が開発されている。HUD の気づきやすさという観点から考えると、正面前方に近い位置に表示をすることが望ましいが、この場合には、ドライバは前方風景と HUD との両方を同時に見ることとなり、認知の混乱を起こすおそれがある。従って、ドライバの混乱を避けるためには、HUD の情報の読みとりやすさを犠牲にして、少し外れた位置に表示をすることが望ましいと考えられる。

HUD の適切な表示位置を求めるためには、様々な観点を考慮する必要がある。本稿においては、これら観点のうち、HUD の煩わしさ感と前方対象を認知可能かどうかの観点から、HUD の適切な表示範囲を考察する。

2.2 煩わしさ感

2.2.1 停止状態での煩わしさ感

2.2.1.1 実験概要

HUD の表示位置を変更したときの煩わしさ感について、屋外のテストコースにおいて 15 名の観測者（平均年齢 34.1 歳）を用いた評価実験を行った（図 2-1）^{10,11)}。HUD は緑色の蛍光表示管を利用して表示する“88”という数字であり、その大きさは水平方向 1.2 度、垂直方向 0.7 度であった。暗室内において、観測方向から測定した輝度は 1600 cd/m²、色度座標は x=0.242, y=0.436 であった。表示位置は図 2-2 に示す 20 通りであり、3 度刻みで水平方向に-6 度（左側）から 6 度（右側）まで、垂直方向に-6 度（下側）から 3 度（上側）までの範囲とした。それぞれの座標で示される表示位置に、HUD の像の中心が呈示されるようにした。前方 50m 先に停車させた乗用車を観測者に見させたときに、HUD を 10 秒間観測者に呈示した後、煩わしさ感の主観的評価結果を表 2-1 に示す評価基準により評価させた。20 種類の表示位置は無作為の順序で呈示され、2 回繰り返した。15 名の観測者が 2 回ずつ評価したので、各表示位置において、30 件の評価データが得られた。

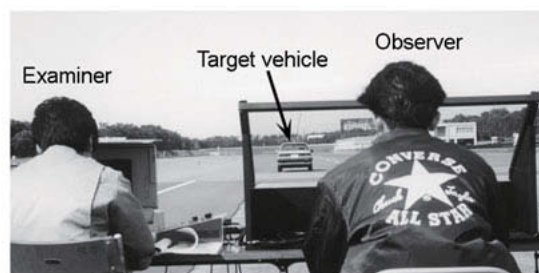


図 2-1 停止状態での HUD 評価実験の実験風景

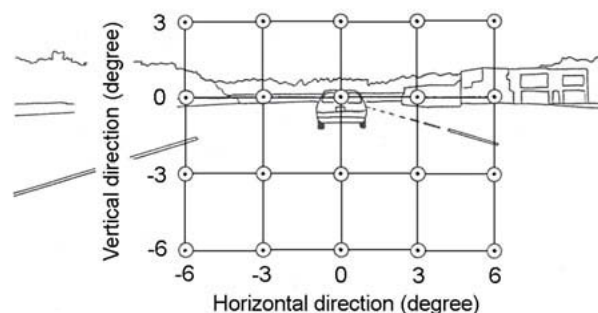


図 2-2 HUD の表示位置

表 2-1 煩わしさ感に関する評価基準

Evaluation value	Meaning
0	Not troublesome (煩わしくない)
-1	Slightly troublesome (やや煩わしい)
-2	Rather troublesome (かなり煩わしい)
-3	Very troublesome (非常に煩わしい)
-4	Extremely troublesome (極めて煩わしい)

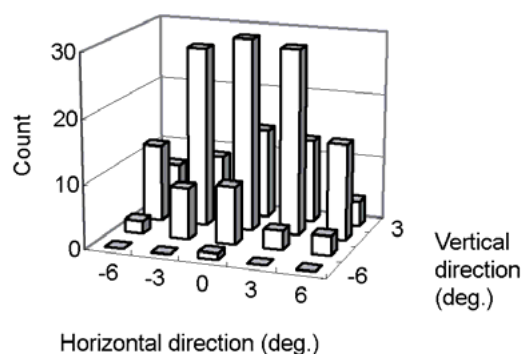


図 2-3 煩わしさ感の静的評価結果

2.2.1.2 実験結果

観測者に評価させた煩わしさ感のうち、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の3種類の評価結果の数の合計を各表示位置に対して示すと図 2-3 となる。この3種類の評価の合計について、煩わしさに問題があると考え。逆に「やや煩わしい」「煩わしくない」という回答については、煩わしさの問題がないと考えていることとなる。図 2-3 において、原点位置で最大の30件を示しており、すべての被験者が煩わしく感じていたこととなる。また、分布は、水平方向、垂直方向に離れるにつれて低減する傾向を示した。この分布に関して、2次元正規分布で近似できることを確認したので、これを2次元正規分布で近似すると図 2-4 となる。ここで、煩わしさ感の評価値について、最大値が1となるように正規化して表示している。また、水平方向は-10度から10度まで、垂直方向は-6度から6度までの範囲を示す。図 2-5 にこの2次元正規分布の平面図を0.2刻みの等高線で示す。煩わしさ感が0.2以下の部分について白色部分で示されている。この範囲の表示であれば、「かなり煩わしい」、「非常に煩わしい」、「極めて煩わしい」の3種類の評価結果の合計が最大値の0.2以下となるので、煩わしさについて問題のない範囲であると考えることが可能である。

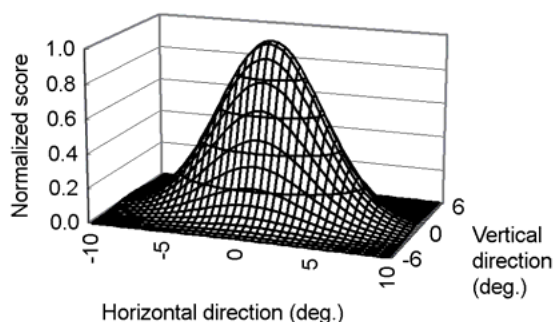


図 2-4 2次元正規分布で近似した煩わしさ感

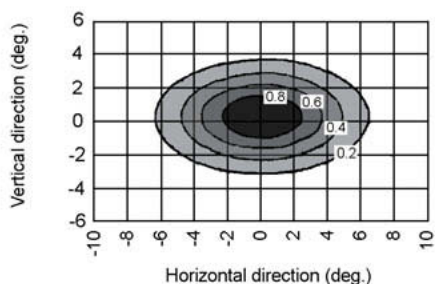


図 2-5 2次元正規分布で近似した煩わしさ感の平面図

2.2.2 走行時の視線移動状況

2.2.2.1 実験概要

上述のように求めた煩わしさ感は、静止状態で評価した結果である。実際の走行時にはドライバーの視線が時々刻々と変化するため、煩わしさ感の評価について異なる結果となることが予想される。この点について考察するため、市街地走行時にドライバーがどのように視線を移動させているのかについて調査した¹²⁾。被験者は6名であり（平均年齢25.0歳、標準偏差5.9歳）、いずれも眼鏡、コンタクトレンズを使用していなかった。アイマークレコーダ（ナック・イメージ・テクノロジー社製 EMR-8）を頭に装着して乗用車を運転した。走行時間は被験者一人あたり約1時間であり、走行開始前と途中の休憩時においてドライバーに正面前方を注視してもらい、校正のためのデータとした。すなわち、その方向が原点となるようにアイマークデータの校正を、後の解析時に行った。レンズ視野角は62度で左眼の測定とした。

走行した道路は片道2車線の市街地の道路であった。交通状況については、時速約30~50km/hで走行できるものの、絶えず他車両が走行している状態であった。アイマークレコーダで記録した実験状況を図 2-6 に示す。この他、片道1車線の道路も走行してデータを採取した。

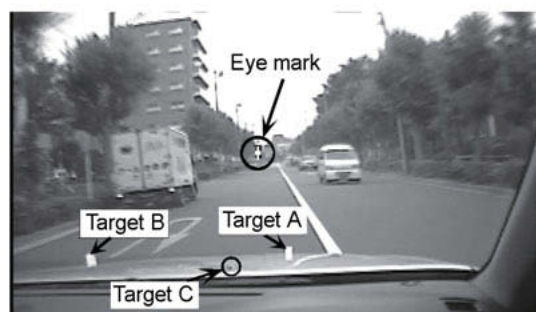


図 2-6 アイマークレコーダの記録例

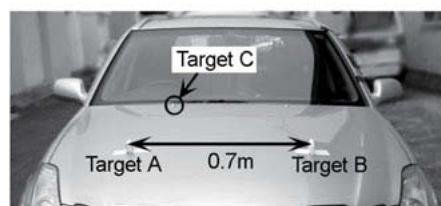


図 2-7 視角解析のためのターゲット設置位置

ここで、アイマークデータの解析のために、実験用車両のフード上の左右離れた位置にターゲットを2つ設置して、解析時の座標を求めるために使用した。ターゲット A はドライバの前となる位置（地上高さは 0.91m）であり、ターゲット B はターゲット A の同一地上高で左側の位置（AB 間の水平距離 0.7m）となるようにした（図 2-7）。この他、ウィンドウウォッシャー液の噴出口をターゲット C として、後述するような解析に使用した。走行前に、ドライバの目の位置の地上からの高さ、及び、目の位置からターゲット A までの水平距離を各被験者に関して測定した。ターゲット A とターゲット C との相対的な位置関係も測定した。

2.2.2.2 実験結果

使用したアイマークレコーダはドライバの頭部に装着する帽子タイプのものであり、目の角膜反射を利用して眼球の向きを測定するものである。従って、出力データは車両の座標系に対するデータではなく、ドライバの頭部に対する眼球の向きを示す。このため、その値そのものを使用すると頭部に対する移動量となり、車両に対する移動量とはならない。従って、ドライバの頭部の動きを補正して、車両に対する移動量を求めるために、フード上の2点のターゲットを利用して解析した。アイマークデータは数値的に記録されるものの、今回はそれとは別に、ビデオの記録画像（サンプリングレート 30Hz）を基にして必要な座標を求めることとした。ビデオの記録画像を PC にとりこみ、1 フレームごとに再生して、手作業により画面上のピクセル座標を読みとった。

解析に使用したデータは、ほぼ直線走行時のものであり、30 秒間のデータを4 区間使用して、一人あたり 120 秒間のデータ (3600 フレーム) を解析した。

解析方法は以下のとおりである。

- (1) 校正時の画像を基にして、フード上の2つのターゲット間の座標（ピクセル値）を求める。次に、ドライバの目の位置から見たときの2つのターゲット間の角度を基にして、ピクセルあたりの角度を求める。この計算を行うにあたって、前述のドライバの目の位置高さ、目の位置からターゲット A までの距離を使用する。
- (2) 2つのターゲットは地上面に対して水平の高さであるとし、ターゲット A を仮の原点として、2つのターゲットを結ぶ線を X 軸、それに対する垂直方向の軸を Y 軸として仮の座標系とする（図 2-8）。
- (3) 同時に、校正時の正面前方の注視点について、画

像上の座標（ピクセル値）を求める。

- (4) 仮の座標系 XY に対して、校正時の正面前方の注視点の座標（ピクセル値）を計算する。
- (5) 走行時の画像データを基にして、アイマークデータのピクセル座標とフード上の2つのターゲットの座標（ピクセル値）を各フレームごとに読みとる。被験者一人あたり 3600 フレームについて、この作業を繰り返す。
- (6) フード上の2つのターゲットについては、撮影画面上では水平から傾いていることがあるものの、傾いた仮の XY 座標系に対するアイマークデータの座標（X、Y）を計算により求める。
- (7) 校正時の正面前方の注視点の座標を原点とする座標軸を新しく設定する。この新しい座標軸は、仮の X 軸、Y 軸に平行とする。
- (8) 上の(6)で求めた座標（X、Y）を新しい座標軸に対する座標値(x,y)に変換する。
- (9) ピクセル値で表される座標を角度に変換して視対象への視角とする。

以上の処理によって、頭部（目）の回転による影響を排除して、車両に対して視対象への視角を求めることが可能となる。

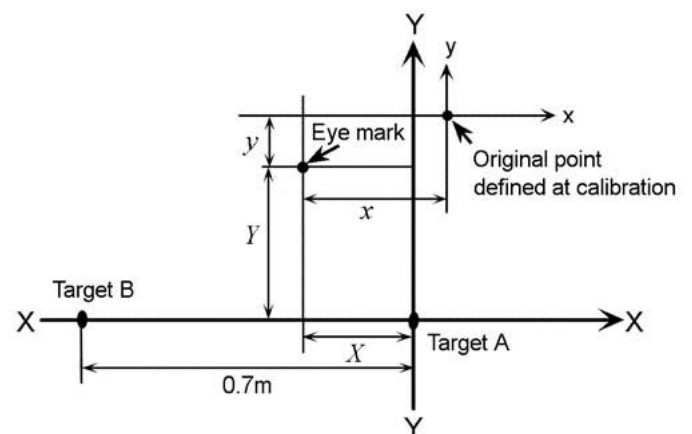


図 2-8 視線方向を求める計算説明図

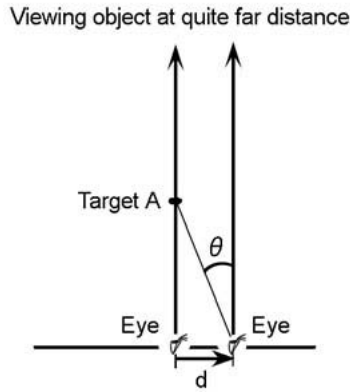


図 2-9 目の移動による影響を補正する説明図

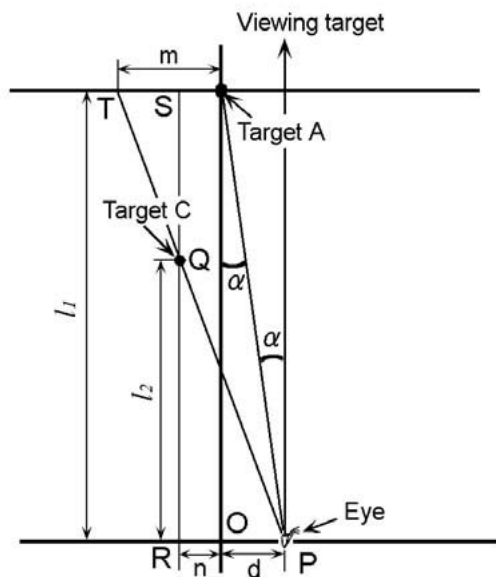


図 2-10 目の移動による影響を補正する説明図

2.2.2.3 測定結果の補正

目の運動に関しては、回転運動のみならず、平行移動による影響も考慮する必要がある。図 2-9 に示すように、ターゲット A と視対象が同一方向であって、視角 θ の場合であっても、目の位置が横方向に移動した場合、同一の視対象を見ている場合でもターゲット A に対する見かけ上の角度 θ が発生することとなる。ここで、目からターゲット A までの距離に比較して、視対象は十分に遠い距離にあるとする。目の移動による影響を排除するための方法は以下のとおりである。

上方向から見た平面図を考え（図 2-10）、目の位置がターゲット A と同一線（車両中心線と平行な線）上に位置していないことによる角度 α を以下のように

に求める。ここで、車両の重心を長手方向に貫いて、地平面と平行な線を車両中心線とする。

(1) ターゲット A を通り車両中心線と平行な線上に、O 点を仮定する。O 点からのターゲット A までの距離 l_1 、O 点からターゲット C (Q 点) までの距離（車両中心線と平行に測定した距離） l_2 、O 点からターゲット C までの横方向の距離 n については、それぞれ既知である。各フレームの点 P（目の位置）から、ターゲット A とターゲット C の間のピクセル値を求め、その値を距離に変換して m を求める。

(2) 三角形 QST と三角形 QRP は相似の関係にあるので、

$$(m-n)/(l_1-l_2)=(d+n)/l_2$$

の関係から移動量 d を計算できる。次に

$$\alpha = \arctan(d/l_1)$$

から α を求める。

(3) 停車時の校正時においても、目の位置は O 点とは一致していないので、このときの α を求める。

(4) 校正時の α に対して、各フレームでの α each を求め、 α each - α の値を移動量に対する補正值（角度）とする。各フレームで求められた視角から、この補正量を引いて新しい視角とする。

(5) 垂直方向の移動量についても、水平方向の移動量と同様に補正する。

後の解析の結果からみると、水平方向の補正量は全被験者のデータの平均で -0.3 度 (SD は 1.1 度)、垂直方向については平均で -0.0 度 (SD は 0.8 度) であり、目の移動による影響は、それほど大きくなかった。ここで、水平方向にマイナスの値をとるということは、校正時と比較して左側に目が移動していることを意味する。

2.2.2.4 有効データの抽出

測定したデータには、瞬目時、サックード時のデータが混入しているので、注視点の頻度分布を求めるために注視点のデータのみを選ぶ必要がある。その際の条件は以下のとおりとする。

(1) 解析対象となる注視点は 3 フレーム以上一カ所に停留しているものとする。2 フレーム以内の停留は視線が移動中と考えて、注視点とはしない。

(2) ただし、停留の判定については、測定点から次の測定点までの移動角度が 1 度以内かどうかで判定する。1 度以内であれば停留と判定する。なお、複数の測定点を使用した場合には、それらの重心点を仮の測定点として、次の測定点との移動角度が 1 度以内であるかどうかを判定する。

このようにして求めた6名全員の注視データの解析個数は15324個、水平方向の平均は-1.1度、垂直方向の平均は-0.5度であった。すなわち、正面前方よりも少し左下に視線が行くことが多いと考えられる。

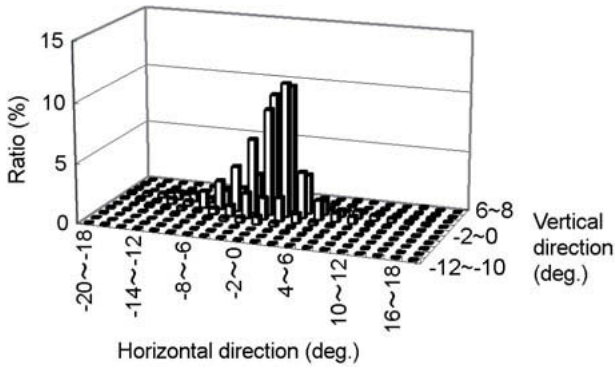


図 2-11 走行時の視線移動に関する頻度分布

この注視データの比率を求めて、視線移動に関する頻度分布として図 2-11 に示す。水平方向については-20度~20度まで、垂直方向については-12度から8度までの範囲を示しており、この範囲内に全体の97.0%が示されている。図 2-11 の高さ方向である「比率」は、それぞれの2度×2度の範囲内の頻度を示す。

視線移動の分布の平面図を図 2-12 に示す。図では3%の値を区切りとして等高線が描かれており、3%以下の範囲が白色として示されている。この白色の部分に基づいて考えれば、右方向に約4度、左方向に約6度、上方向に約3度、下方向に約3度の範囲となるのがわかる。

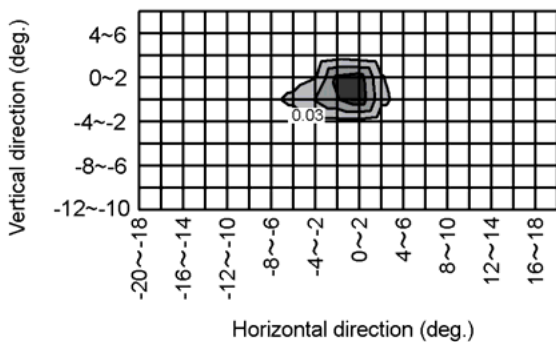


図 2-12 視線移動分布に関する平面図

2.2.3 走行時の推定煩わしさ感

図 2-4 に示す静止時の煩わしさ感が、実際の走行時に図 2-11 の視線移動とともに動くと考え、その累計をとる。すなわち、視線移動分布の値を基にして、静止時の煩わしさ感の重み付けを行い加算する。その結果を頻度分布で図 2-13 に示す。高さ方向の値は正規化された煩わしさ感である。静止時の煩わしさ感の原点において評価値1をとったが、視線が移動することから、各位置における正規化評価値は低下して、原点においても約0.5の値となる。また、視線移動の分布は正面前方よりも少し左下に移動しているので、その影響を受けて、煩わしさ感について最大値を示すのは原点から少し左下の方向となる。

等高線を図 2-14 に示す。図 2-14 においては0.2毎の区切りで等高線が描かれている。図 2-5 と同様に、煩わしさ感の評価値が0.2以下の部分について白色で示す。垂直方向についてみると、水平線から下方向約3度よりも下の領域においては白色の部分となるので、これよりも下の領域については、煩わしさ感の観点から望ましいと考えられる。横方向については、右側で約6度、左側で約7度の範囲よりも外側であれば、煩わしさの問題がないと考えられる。

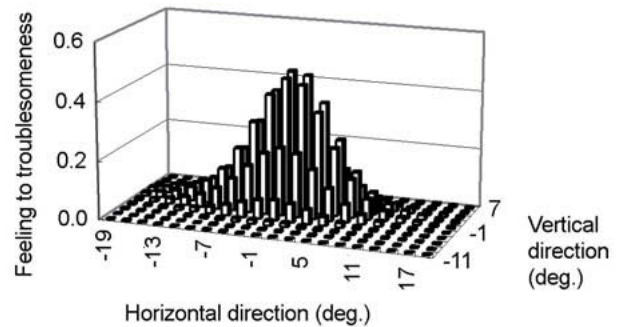


図 2-13 走行時の煩わしさ感の推定結果

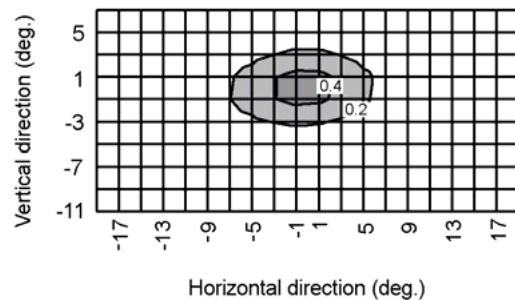


図 2-14 走行時の煩わしさ感推定結果の平面図

2.3 前方対象の認知

2.3.1 先行車両のストップランプ

2.3.1.1 ストップランプ取り付け位置に関する法規

先行車両に追従走行しているときに、先行車両がストップランプを点灯して減速する場合を考える。この時、ストップランプの点灯が HUD によって見にくくなるようではいけない。この観点から、ストップランプの取り付け位置の基準から問題のない範囲を検討する。

国土交通省による保安基準（ECE Reg.48 と同等内容）では、ストップランプは地上高 0.35m 以上（ストップランプの下端で測定）、1.5m 以下（ストップランプの上端で測定）の範囲であると定められている（図 2-15）。この他、乗用車においては、ハイマウントストップランプが義務づけられており、その地上高は 0.85m 以上、または、リアガラスの下端より 0.15m 以内であると定められている（図 2-16）。

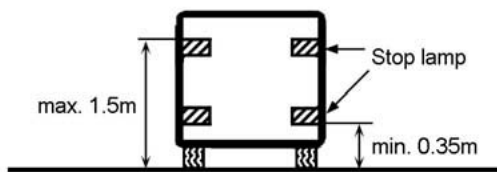


図 2-15 保安基準により規定されたストップランプ取り付け位置

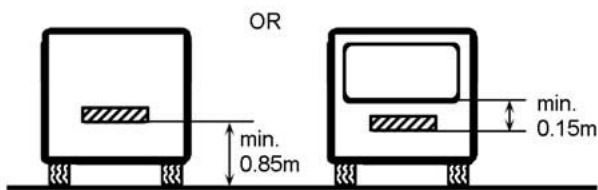


図 2-16 ハイマウントストップランプ取り付け位置

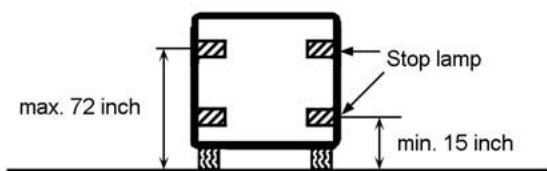


図 2-17 米国 FMVSS108 によって規定されたストップランプ取り付け位置

なお、米国の FMVSS108 においては、ストップランプ中心で測定して、地上高 15 インチ（38.1cm）以上、72 インチ（182.9cm）以下とされている（図 2-17）。下側の取り付け位置について、日本、ヨーロッパにおいてはストップランプの下端で測定し、米国においては中心で測定していることを考慮すると、実際は、両者はほぼ同一の基準であると考えられる。

2.3.1.2 妨害にならない HUD 表示位置

HUD によってストップランプが隠れる心配があるのは、垂直方向に関して下方向の話である。従って、最初にこの検討を行う。図 2-18 に先行車両のストップランプと後続車ドライバーとの位置関係を示す。L は車間距離（後続車両の前端と先行車両後端との間の距離）、 l は車両先端からドライバーの目の位置までの距離、H は目の位置の地上高、 h は先行車両のストップランプの地上高である。

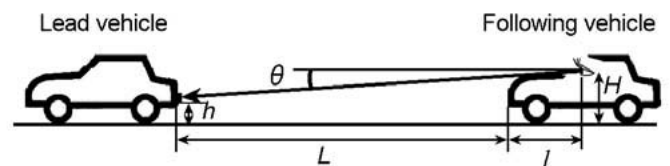


図 2-18 先行車両のストップランプを見る後続車ドライバー

前提として、先行車両との車間時間（車間距離を後続車両速度によって割った値）が 2 秒である場合を考える。次に、時速 20km/h 以下の速度の場合には危険度が低いと考えて、時速 20km/h 以上の場合を考える。車間時間 2 秒で、時速 20km/h のときの車間距離 L は 11.1m となる。後続車両前端からドライバーの目の位置までの距離は車両によって異なるが、実測例によると、乗用車の場合には約 2.4m であるので、目の位置から先行車両後端までの距離 (L+l) は 13.5m となる。h の値は、最も低い位置の 0.35m とする。また、ドライバーの目の高さ (H) を地上高で 1.2m とすれば、俯角 θ は 3.6 度となる。従って、この角度よりも下に HUD を表示すれば、先行車両のストップランプにかかることはないと考えられる。車間時間が一定とすれば、速度が高くなるほど車間距離は長くなるので、先行車両のストップランプは正面前方に近い位置に見えることとなる。

ハイマウントストップランプが装着されている車

両であれば、さらに、正面前方に近い位置にそれを見ることとなるので、この場合には、HUDの表示位置をより高い位置にしても、ストップランプの視認性は悪くならない。

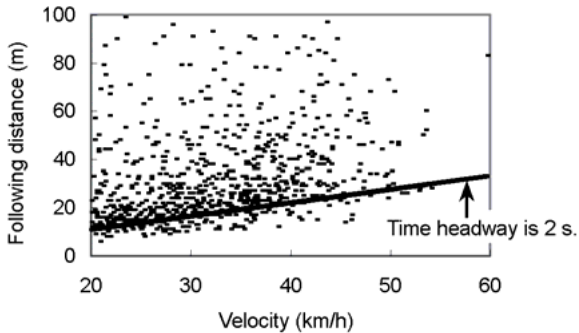


図 2-19 走行時における速度と車間距離計測結果

ここで、車間時間が2秒という値をとることについて、著者らの過去の実験結果¹³⁾を示すと以下のようである。乗用車を被験者(12名、平均年齢27.1歳)に運転させ、市街地を走行したときの車速とそのときの車間距離を図2-19に示す。いずれもドライバーがわき見を開始した時点でのデータである。低速時は安全上の問題が少ないことから、車速20km/h以上のときのデータについて解析を行うと、全測定点数は809件となった。図中には車間時間が2秒であるときの状態を直線で示す。車間時間が2秒よりも短いケースは142件となり、17.6%であった。逆に、車間時間2秒以上の車間距離をあけて走行する場合が80%以上となり、車間時間2秒とすればほとんどの場合を網羅できると考えられる。

なお、上記の俯角の計算にあたっては、いくつかの変数を仮定している。その仮定された値の妥当性について確認するために、例として、ドライバーの目の位置の地上高と車間時間とについて検証を行う。目の位置の高さについて、1.0~1.4mの範囲、車間時間については1~4秒と変更し、他のパラメータは前述と同じとする。俯角の計算結果を図2-20に示す。図中で、車間時間2秒のときが太線で示されている。また、俯角2度ごとに色の濃さを変えている。この結果を見ると、俯角が4度よりも大きい場合があるものの、車間時間2秒以上であれば、ほとんどの場合4度よりも小さな値を示す。

ここで、定性的にみると、先行車両との車間距離が長くなれば(車間時間が長くなれば)俯角は小さくなり、後続車両ドライバーの目の高さが低ければ俯

角は小さくなる。俯角が小さくなるということは、HUDを俯角4度よりも上に表示しても先行車両のストップランプにかからないということである。

以上のことを考慮すると、垂直方向に関しては、HUDの表示位置は俯角4度よりも下の位置であれば、多くの場合、先行車両のストップランプ点灯の認知を妨げることはないと考えられる。

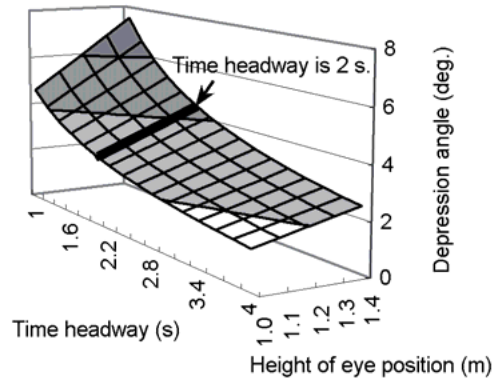


図 2-20 車間時間とドライバーの目の位置との関係で示した俯角計算結果

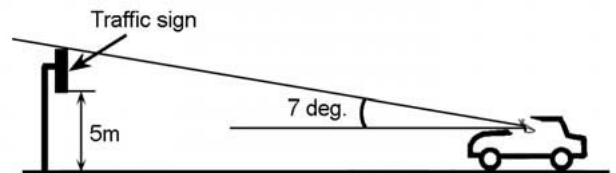


図 2-21 上方向への視線に関する説明

2.3.2 上方向の対象物

上方向に関する対象物としては、信号機、道路標識がある。信号機に関しては警察庁の法規において、信号機の下限の地上高は4.5mとなっている。信号機の大きさも考慮すれば、地上高5mまでの範囲に信号機があると考えるよい。しかし、この規則では、信号機の仰角について、特に定まった値はない。

一方、道路標識設置基準によれば、頭上に表示されるキャンチレバー式(片持ち式)・ゲート式(門型式)の表示板の設置高さは5.0mが標準である。また、ドライバーが標識を見ることのできる限界として、消失点が決められている。この点よりも標識に接近した場合には、標識が見えなくてもよいということである。この消失点における進行方向線と標識最外線

との作る角度は頭上表示の場合には7度が標準とされている(図2-21)。単純に考えれば、ドライバから見て上方向に関して、7度よりも上の範囲にHUDが表示されているならば、道路標識の認知に問題がないと考えられる。

2.4 表示位置に関するまとめ

本章においては、HUDの表示位置に関して、煩わしさと前方視対象の認識しにくさという観点から検討を行った。煩わしさ間に関する基本的な評価結果を基にして、走行時の視線移動を考慮したものを計算により求めた。また、先行車両のストップランプ等の取り付け位置との関係からの考察も行った。その結果、最も重要な指標である垂直方向に関しては、下方向4度よりも下の領域、かつ、上方向7度よりも上の領域であれば、多くの場合、安全上問題のないことが推測された。左右方向に関しては、右側6度、左側7度という値が煩わしさ感の解析結果から得られたものの、今後の検討が必要である。

なお、今回の検討対象としたHUDの表示内容は、定常的に表示される車速、ナビ情報等であって、通常の表示の場合を想定している。しかし、緊急時のみに短時間表示される内容というのもHUDに関しては大いに考えられるところであり、この場合には、認識の素早さという観点から正面前方に近い位置に表示することが適当であるとも考えられる。

3. 背景を考慮した場合のHUDの色の变化

3.1 目的

HUDの表示に関しては、一般にウィンドシールドを利用して表示されるため、前方の風景となる背景に重畳された状態でドライバはHUDを見ることとなる。このため、HUDの見やすさに関しては背景の影響を受けることとなる。背景としては、グレイ色の路面ばかりではなく、前方車両の車体が背景となる場合も考えられる。この場合には、車体の色の影響をうけてHUDの表示色の見え方が変わることが予想される。また、この背景の影響は環境輝度によっても左右される。

従って、本稿では、背景となる車体の輝度が周囲の明るさとともに変化する場合を想定して、背景の色によってHUDの見かけの色がどのように変化するかについて、均等色空間であるCIE1976 L*u*v*を用いて検討した¹⁴⁾。

3.2 HUDの色度変化の計算

3.2.1 使用した測定データ

HUDが先行車両の後部に重なって表示される場合を想定する。その場合、純粋なHUDの色は先行車両の車体の色によって影響を受けることとなる。ここでは、実際の3台の車両の輝度、色度の測定結果を利用して、想定した緑色、赤色、青色の3種類のHUDの見え方がどのように変化するかを検討する。

3台の対象車両については、以下の3台とした。

- (1) 紺色車両
- (2) 白色車両
- (3) 赤色車両

それぞれの車体後部について、約0.8mの高さの位置(測定可能な点を探したため、車両によって少しずつ異なる)を5mの距離から輝度計(トプコン製BM-5A)で測定した。輝度計は地上高1.15mの位置に設置したので、俯角にして約3~4度の位置を測定していることとなる。また、車体後部は直射日光が当たらないような位置関係で測定した。白色車両の測定位置の写真を図3-1に示す。

3台の車両のそれぞれの色度座標をそのときの天空照度、車体輝度とともに示すと以下のとおりであった。なお、天空照度は照度計(トプコン製IM-3)を水平に設置したときの測定値である。

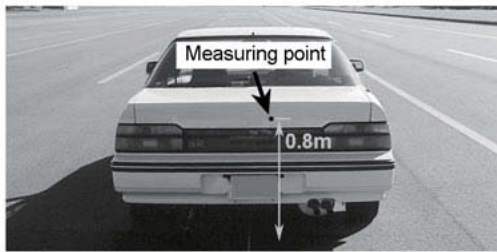


図 3-1 白色車両の色度、輝度の測定位置

- (1) 紺色車両: $x=0.251, y=0.270$ (天空照度 61,800 lx, 車体輝度 326 cd/m²)
- (2) 白色車両: $x=0.303, y=0.319$ (天空照度 63,400 lx, 車体輝度 2210 cd/m²)
- (3) 赤色車両: $x=0.448, y=0.324$ (天空照度 19,340 lx, 車体輝度 253 cd/m²)

なお、HUD の背景が路面となることも多いので、アスファルト乾燥路面についても同様に測定した。この際、俯角 3.3 度を想定して 20m 遠方の路面を測定した。結果は以下のとおりであった。

- (4) 道路: $x=0.345, y=0.355$ (天空照度 62,000 lx, 路面輝度 3720 cd/m²)

ここで、天空照度と車体輝度との関係は、ほぼ線形関係にあることが明らかにされているので（3章の付録参照）、天空照度(x)がわかれば、その値から車体輝度(cd/m²)を推定することが可能である。すなわち、

$$\text{車体輝度}(y) (\text{cd/m}^2) = \text{係数} \times \text{天空照度}(x) (\text{lx})$$

の式で表した場合に、実験結果を基にすると、上記 4 種類の対象についての式は以下のとおりとなった。

- (1) 紺色車両: $y=0.00528 \cdot x$
- (2) 白色車両: $y=0.03486 \cdot x$
- (3) 赤色車両: $y=0.01308 \cdot x$
- (4) 路面: $y=0.0600 \cdot x$

3.2.2 HUD と背景が混色する場合の計算方法

今回使用した背景は上記のように 4 種類（3 台の車両と路面）である。また、HUD として以下の色度座標をもつ緑色、赤色、青色の 3 種類を代表的な色度として想定した。

- (1) 緑色 HUD : $x=0.24, y=0.44$
- (2) 赤色 HUD : $x=0.60, y=0.33$
- (3) 青色 HUD : $x=0.17, y=0.18$

これらの HUD の色度座標を上記の 4 種類の背景とともに色度図に示すと図 3-2 となる。図中において、3 種類の HUD の他に、紺色車両、白色車両、赤色車両、路面の色度座標が示される。

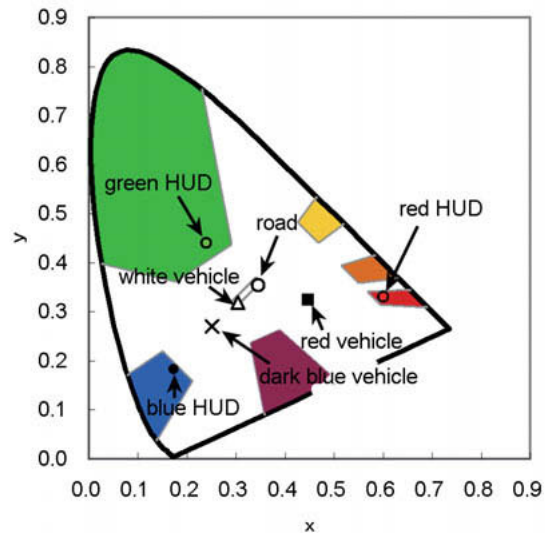


図 3-2 解析に使用した背景と HUD の色度座標

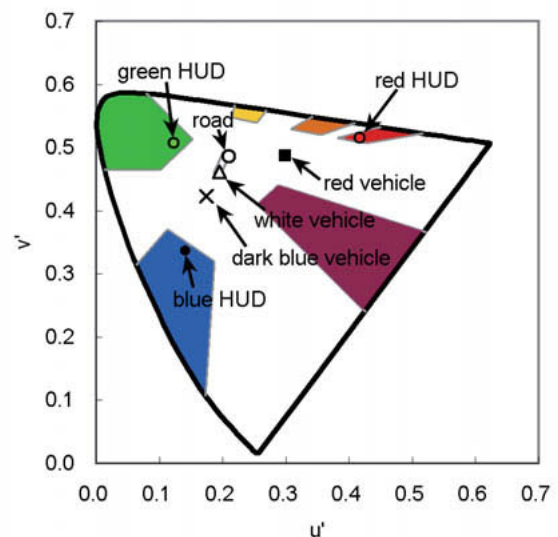


図 3-3 均等色空間で表現した場合の色度座標

また、均等色空間である $u'v'$ 線図における各色度位置を図 3-3 に示す。均等色空間であるので、図中の距離が色度の差の大小とほぼ比例することが期待される。ここで、図中のマークの意味は図 3-2 と同様である。

次に、背景と HUD とが加法混色すると考える。ここで、計算にあたっては、背景が環境の明るさとともに変化することを考え、実際に起こりえる天空照度として 100,000 lx、50,000 lx、25,000 lx、10,000 lx の 4 種類を設定した。100,000 lx は夏の晴天時の天空照度、10,000 lx は曇り状態での天空照度を想定して

いる。なお、環境が暗くなると自動的に HUD の輝度を低下させることが通常行われているので、環境輝度のさらに低い範囲については、今回は除外した。混色の組み合わせは、背景について4種類、HUD に関して3種類の計12種類となる。

加法混色に関しては、以下の式(1)、式(2)により計算される¹⁵⁾。ここで、添字の1は背景、添字の2は HUD 表示に関して示しており、Lは輝度、x,y は色度座標である。

$$X = L_1 \frac{x_1}{y_1} + L_2 \frac{x_2}{y_2}$$

$$Y(=L) = L_1 + L_2 \quad \dots(1)$$

$$Z = L_1 \frac{1-x_1-y_1}{y_1} + L_2 \frac{1-x_2-y_2}{y_2}$$

この X,Y を基にして、

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad \dots(2)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

が求められる。

さらに、この混色された色度座標により、均等色空間に関する CIE1976 L*u*v*により u', v' を式(3)により求める。

$$u' = \frac{4x}{-2x+12y+3} \quad \dots(3)$$

$$v' = \frac{9y}{-2x+12y+3}$$

3.2.3 計算結果

最初に、HUD の表示輝度を 3000 cd/m² と仮定して計算した結果を、緑色 HUD (図 3-4)、赤色 HUD (図 3-5)、青色 HUD (図 3-6) について u'v'線図に示す。色の变化を理解しやすいように、u'v'線図の一部が拡大して表示される。たとえば、図 3-4 においては、緑色 HUD、白色車両と路面の本来の座標が示され、同時に対象との混色の結果が細線で結ばれたマークによって示される。図中の細線で結ばれたマークに

ついて、x は紺色車両、Δは白色車両、■は赤色車両、○は路面についての混色を示す。なお、図 3-4～図 3-6 において、横軸、縦軸ともに同じ縮尺となるように表される。また、図中の太線の矢印の方向は、天空照度が低下する際の混色の見え方の変化の方向を示す。矢印で示されるように、天空照度が低下するにつれて、混色の結果は HUD 本来の色度に近づく。

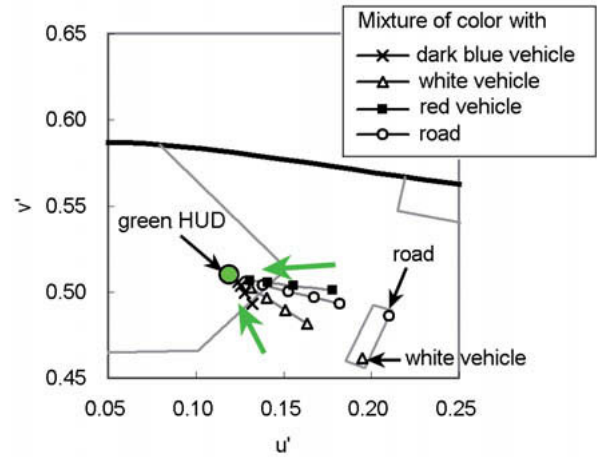


図 3-4 緑色 HUD の混色計算結果

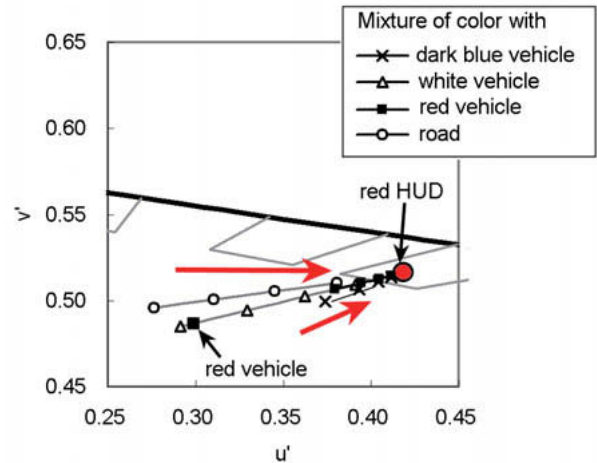


図 3-5 赤色 HUD の混色計算結果

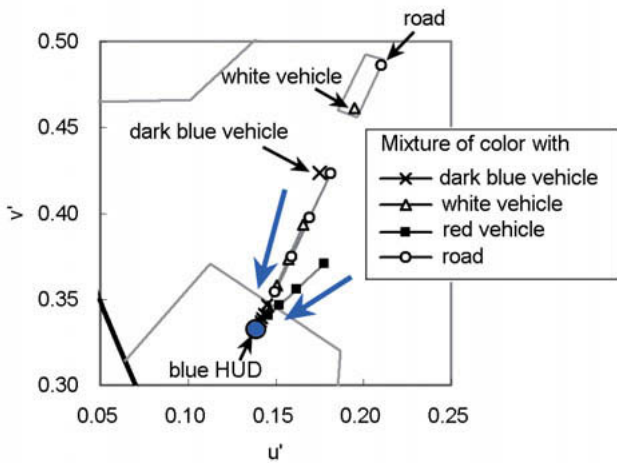


図 3-6 青色 HUD の混色計算結果

u'v'色度図上での移動量は、青色 HUD、赤色 HUD の場合には大きく、緑色 HUD に関しては少ないことが理解される。ただし、無彩色に近い白色車両と路面を対象にした場合の混色では、色度の変化というよりは彩度の変化と考えた方がよいとも考えられる。

ここで、HUD の表示器が液晶により構成されている場合には、カラーフィルタの特性から、実際には緑色、赤色、青色の輝度の実現可能な値は異なる。そのため、実現可能な最大輝度として、緑色 HUD に関して 7000 cd/m^2 の場合 (図 3-7) と青色 HUD に関して 1000 cd/m^2 の場合 (図 3-8) を想定して、同様に u'v'線図を求める。赤色 HUD については、上記と同じ 3000 cd/m^2 とする。緑色 HUD に関しては、背景にかかわらずほぼ緑色と認識されるが、青色の場合には HUD 表示の輝度が低いため、見かけの色の変化が著しくなる。したがって、HUD の表示色に関しては、赤色、青色よりも緑色 HUD の方が安定して色が認知されると考えられる。

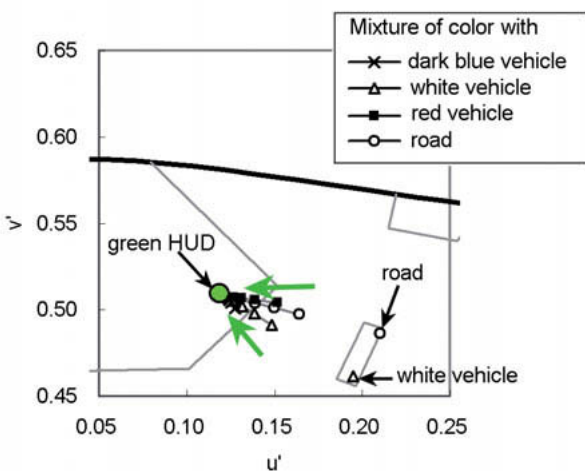


図 3-7 緑色 HUD(7000 cd/m^2)の混色計算結果

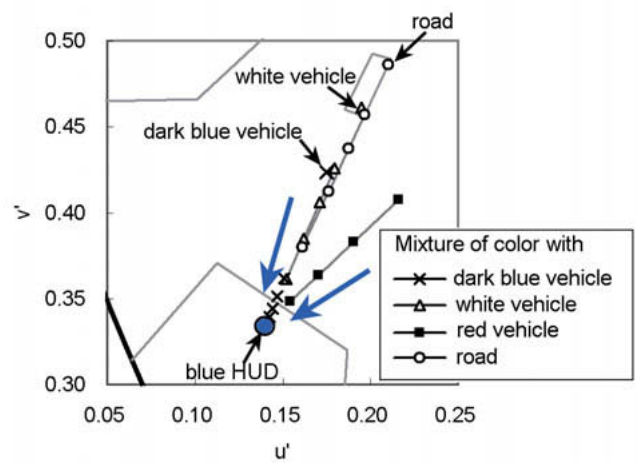


図 3-8 青色 HUD(1000 cd/m^2)の混色計算結果

一方、背景と HUD との明るさのコントラストに関しては、環境輝度が暗くなるにつれて、背景と HUD の明るさのコントラストが上昇し、紺色車両の場合には HUD が明るすぎる感じのことも考えられる。コントラスト比は下記の式で定義される。

$$\text{コントラスト比} r = \frac{\text{背景輝度} + \text{HUD輝度}}{\text{背景輝度}}$$

ただし、ここでの背景輝度はコンバイナを通した値である。

HUD 輝度 3000 cd/m^2 、HUD コンバイナの透過率 80% の場合に、環境輝度の変化 (それに伴う車体輝度の変化) によって、どのようにコントラスト比が変化するかを図 3-9 に示す。一般にコントラスト比は 1.3 以上が望ましいとされる。今回の計算では、その条件は十分に満足されている。

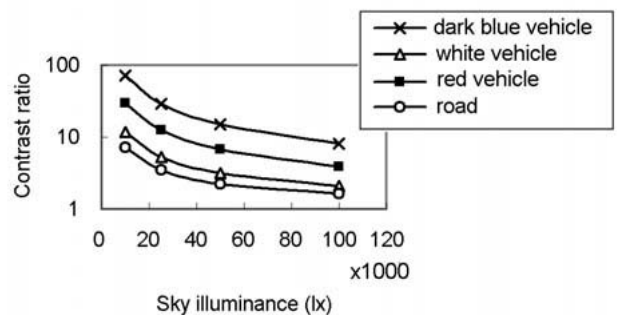


図 3-9 天空照度に関連するコントラスト比の変化

3.3 ストップランプと重なる場合

先行車両に追従している場合、先行車両との位置関係によっては、HUD の表示が先行車両のストップランプと重畳する場合もあり得る。この場合には、ストップランプが点灯するかどうかで、HUD の見え方が大きく異なることが予想される。ストップランプを背景としたときの消灯時と点灯時の混色の結果を図 3-10 に示す。図中の太線の矢印の方向は、ストップランプ消灯時から点灯時の HUD の混色の方向である。これを 3 種の HUD について示す。この計算にあたっては、ストップランプに関して、以下の昼間曇天時の実測値を使用した。

消灯時 $x=0.561, y=0.314, L=350 \text{ cd/m}^2$

点灯時 $x=0.669, y=0.313, L=3000 \text{ cd/m}^2$

また、混色させる HUD の輝度に関しては、緑色 (7000 cd/m^2)、赤色 (3000 cd/m^2)、青色 (1000 cd/m^2) とした。

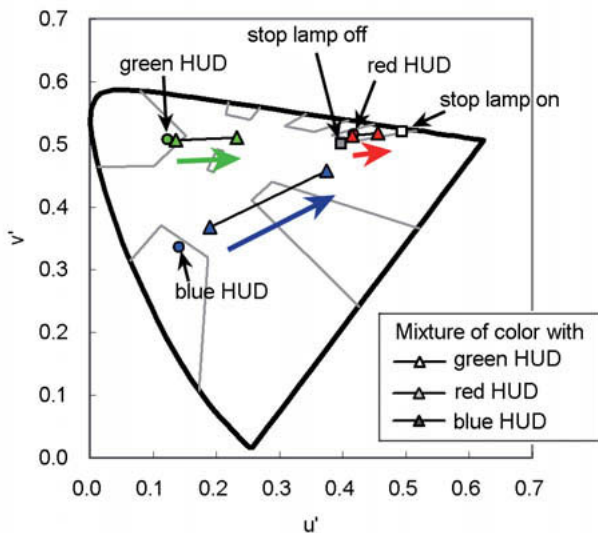


図 3-10 ストップランプとの混色結果

赤色のストップランプであるので赤色 HUD に関しては色度の変化に対する影響が少ないものの、青色 HUD に関してはストップランプ点灯の影響を受けて大きく色度が変化して赤色に近づいて見えることがわかる。青色 HUD の場合には、先行車両のストップランプ点灯により、青色とは見えなくなることを示す。別の観点から考えれば、青色 HUD についてはストップランプ点灯の影響を大きく受けて色が変わって見えることとなるが、逆に、ストップランプ点灯に気づきやすくなると考えられる。赤色 HUD に

ついては色度の変化が少ないことから、ストップランプ点灯については、色の点から考えると視認しにくくなる可能性がある。

3.4 表示色に関するまとめ

ウィンドシールドを利用して表示する HUD に関しては、背景と重畳することを前提とするため、背景の影響を受けることとなる。今回は、背景と重畳する場合の HUD の色度変化について、実測値を基にして計算により推定した。HUD に関しては、緑色、赤色、青色の 3 種類、背景としては、紺色車両、白色車両、赤色車両、路面の 4 種類としてそれぞれの組み合わせを計算した。その結果、緑色 HUD の場合には赤色、青色の場合に比較して見かけ上の色の変化が少ないことがわかった。また、先行車両のストップランプの点灯の影響については、青色の HUD の混色の結果が大きく変化することがわかった。これらのことを考慮すると、緑色の HUD が背景の影響を受けにくく、認知の観点から望ましいと考えられる。ここで、一般的に、HUD の見かけの色は背景の影響を大きく受けるため、赤色 HUD に緊急警報の意味を持たせる等のような HUD 表示色そのものに何らかの意味を持たせることは不適當であると考えられる。

3.5 表示色に関する付録

車体の明るさと天空照度との関係について、ほぼ線形関係の成り立つことを以下のように調べた。

埼玉県熊谷市 (北緯 35 度、東経 139 度) において、1 月の晴天時に測定した水平面照度の結果を図 3-11 に示す。天空照度は 14 時の約 40000 lx から 17 時においては 52 lx まで低下した。このような天空照度の影響をうけて、車体の明るさも変化することとなる。

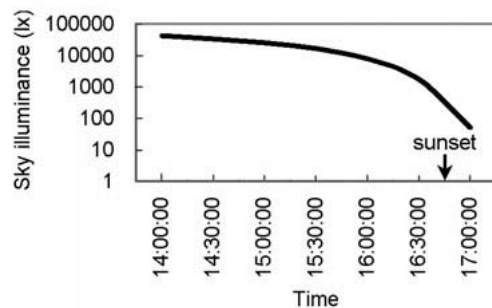


図 3-11 天空照度の測定例

車体の明るさの変化を調べるために、車両4台を並置して(図3-12)、そのときのフード部分の輝度の変化を50mの距離から測定した。この測定にあたっては、専用のCCDカメラにより撮影した結果を基にしてフード部分の輝度を求めた。校正のための白色板を4台の車両と同時に撮影し、あわせて輝度計により白色板の輝度を測定して、その値を基にして他の車両のフード部分の輝度の値を求めた。

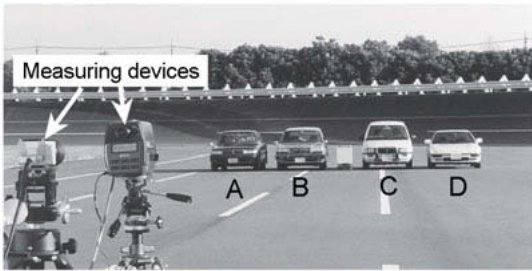


図3-12 4台の車体輝度測定状況

このときの天空照度 (lx) の常用対数を x とし、車体輝度 (フード部分の平均輝度) (cd/m^2) の常用対数を y とし、両者の関係を4台について示すと下記のようになった(図3-13)。

- 車両 A (紺色) : $y=0.992x-1.138$ ($r^2=0.999$)
- 車両 B (グレイ色) : $y=0.993x-1.065$ ($r^2=0.999$)
- 車両 C (白色) : $y=0.971x-0.635$ ($r^2=0.999$)
- 車両 D (白色) : $y=0.977x-0.693$ ($r^2=0.999$)

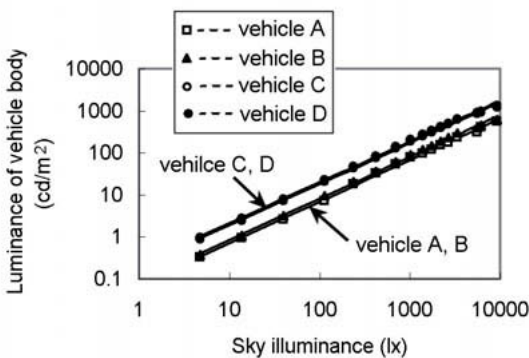


図3-13 天空照度と車体輝度との関係 (常用対数により表示)

常用対数で表した両者の関係については、線形関係が極めてよく成り立っていることがわかる。ここで、車両Aと車両B、ならびに車両Cと車両Dに関

してそれぞれほぼ同じ値となったので、図中には2本のグラフしか認められないが、実際には各車両に対する4本のグラフが記載されている。

ここで、後の解析の容易さを考えて、天空照度を x 、車体輝度を y とし、切片が0となるように一次式で近似する。切片が0であるということは、上記の対数で表したときの x の係数が1となることと等しい。これらの近似式は以下のようなものである。

- 車両 A: $y=0.0631x$ ($r^2=0.992$)
- 車両 B: $y=0.0730x$ ($r^2=0.985$)
- 車両 C: $y=0.161x$ ($r^2=0.979$)
- 車両 D: $y=0.147x$ ($r^2=0.973$)

このように簡易的に近似した場合でも相関係数は高い値を示し、図3-14に見られるようにほぼ線形関係が成り立っていると考えられる。従って、天空照度から車体輝度を推定する場合には、ある時刻における両者の関係が求められれば、他の天空照度の場合にも車体輝度を推定することが可能であると考えられる。

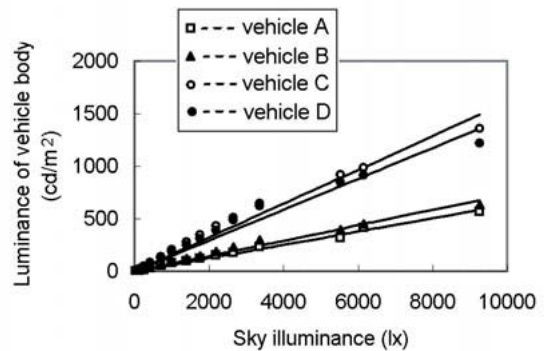


図3-14 天空照度と車体輝度との関係 (線形関係により近似)

4. 走行実験の評価結果

4.1 目的

運転は認知、判断、操作の連続であり、ドライバーは外界から取得した情報に応じて、安全か危険かを判断して、それに従って車両の操作を行う必要がある。ドライバーの脳内ではこのような情報処理が連続して行われているため、運転操作自体がHUDの見え方に影響を与える可能性がある。このため、実際の運転時の評価が実行可能なように、HUD搭載車両を試作し、テストコースにおいてHUDの実際の見え方についての評価実験を行った¹⁶⁾。

4.2 HUD装置の試作

ゴルフカートを改造してHUD評価専用車両を試作した(図4-1)。運転席の前方に虚像投影用の反射率20%のハーフミラーを設置した。液晶プロジェクタの映像をまず小型のリアスクリーンに投影し、この映像を反射用ミラーを介してハーフミラーに写すことにより虚像までの距離を長く確保することとした。ドライバーのアイポイントを地表から1360mm高に設定し、虚像はこの2630mm前方に呈示された。

この装置の特徴は、映像の自由度が高いことである。液晶プロジェクタを用いているため、任意の位置と表示時間で文字や画像を表示することができる。ただし、蛍光表示管などを使った製品と比較すると、表示可能な輝度は低くなる。

4.3 HUDの評価実験

4.3.1 概要

HUDの表示像はプロジェクタに接続したノートPCから出力した。今回の実験では、表示色を緑、赤、青の3種類を単独で使用した。各色の階調値を0から255までの範囲で暗い色から明るい色までを連続的に表示可能である。HUDの色や明るさは、あらかじめ暗室の中で測定して、屋外で実験を行う場合も、暗室で得られた設定を再現した。表示色の測定は、アイポイントの位置からトプコン製の輝度計BM-5Aの0.2度視野で測定した。

実験では、HUDの見え方をできるだけ客観的に評価するために、HUDに表示された文字(数字)の内容を判断させる課題を設定した。この課題の成績が高い色、明るさ、位置は、容易に情報を読

み取ることができる要件を備えていると推測できる。HUD情報の表示位置としてアイポイントから下方3度、下方6度および左3度、中央、右3度を組み合わせた合計6ヵ所での検討を行った(図4-2)。アイポイントの設定および表示位置の設定は、FARO製の多関節型三次元測定装置を用いて、アイポイントとHUDの虚像の位置関係を測定しながら行った。

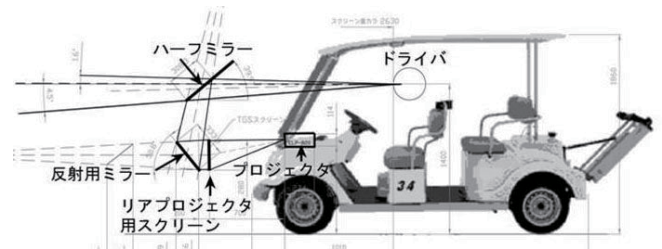


図4-1 HUD評価車両の概要

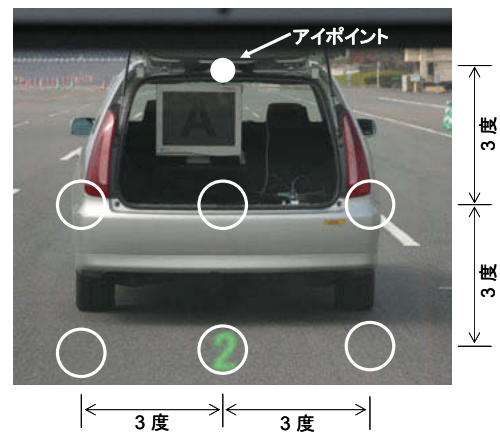


図4-2 HUDの表示位置

4.3.2 実験手続き

実験は埼玉県熊谷市の自動車試験場(テストコース)において実施した。被験者は評価車両を運転した状態、あるいは停止した状態で、HUDに表示される一桁の数字(高さ0.8度)が偶数か奇数

かを判断し、マウスボタンの押下によりできるだけ速やかに報告するように求められた。HUDの数字は、実験者が任意のタイミングで表示させ、表示から300ms後に自動的に消失した。表示位置は前述の6カ所の内のいずれか1カ所であった。

実験に参加した被験者は、26歳から41歳までの男性3名、女性9名であった(平均年齢33.0歳、標準偏差5.4歳)。

ドライバの注意を前方に維持するために、被験者が搭乗する評価車両の約14m前方に普通乗用車を配置し、荷台にディスプレイを設置してアルファベット1文字を1秒間隔でランダムに表示した。ドライバはアルファベットをすべて口に出して読み上げながらHUDの数字課題を行った。この数字課題を、評価車両と普通乗用車がどちらも停車した状態(停止条件)と、どちらも走行した条件(走行条件)で行った。停止条件と走行条件を交互に3回ずつ実施した。評価車両はアクセル全開(24km/h)で前の車を追跡するように運転させた。前方の普通乗用車側が速度を調整することにより、車間距離約14m(車間時間2秒間相当)を維持した。車両はテストコース上を大きいカーブを描いて方向転換することがあったが、その間、実験者の制御により数字課題を中断した。

4.3.3 実験条件

HUDの数字は緑色、赤色、青色のいずれか単色で表示した。プロジェクタの特性上、緑色はもっとも高輝度で表示可能であり、青色の輝度はもっとも低く、赤色はその中間であった。色の効果と輝度の効果を検討するために、高い輝度で表示可能な色は、低い輝度でも表示する条件を設定した。

PCで緑色の最大階調に設定した場合、緑色は2340 cd/m²で表示される。一方、赤色は最大でも133 cd/m²であったため、緑色もこれに近い輝度(144 cd/m²)で表示する条件を設けた。青色は最大でも59 cd/m²しか表示できないため、緑色と赤色もこれに近い輝度で表示する条件を設けた(それぞれ、58 cd/m²、59 cd/m²)。結果的に6種類(緑3、赤2、青1)の色と輝度の条件を設定した。

一回の停止条件、走行条件ごとに6種類の色・輝度条件を6カ所の位置で2回ずつ検討したため、72(=6×6×2)試行を連続して行った。停止条件、走行条件はこの順に3回ずつ実施したため、それぞれの条件で216試行のデータが得られた。

また、従来型の表示画面(ナビ画面)と比較を

行うために、ドライバのアイポイントから水平左25度、垂直下30度の位置に設置した液晶画面にも数字(緑色107 cd/m²、一カ所のみ)を表示して同じ数字課題を行った。ナビ画面の条件はHUD実験の終了後、停止、走行の順に1条件ずつ実施した。

4.4 実験結果

数字課題において奇数、偶数を正しく反応できた試行数を被験者別、色別、位置別に加算し、それぞれの条件数で除算することにより正答率を求めた(図4-3)。また、平均正答率について分散分析を実施した。その結果、緑色の最高輝度(2340 cd/m²)の正答率が最も高かった(p<.05)。赤の最大輝度(133 cd/m²)と緑の近い輝度(144 cd/m²)の正答率は、停止条件ではほぼ同じであったが、走行条件では有意差が認められた(p<.05)。最低輝度では、青色の正答率が20%程度観測されたものの、赤と緑(約60 cd/m²)はほとんど見落とされていたことが判明した。

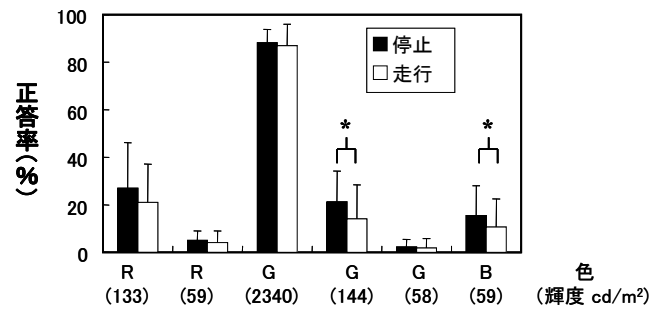


図4-3 色別、輝度別の正答率

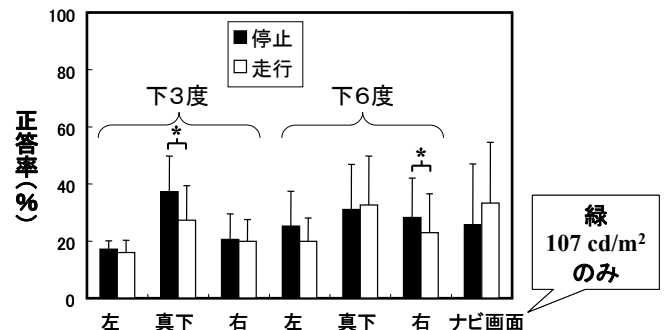


図4-4 位置別の正答率

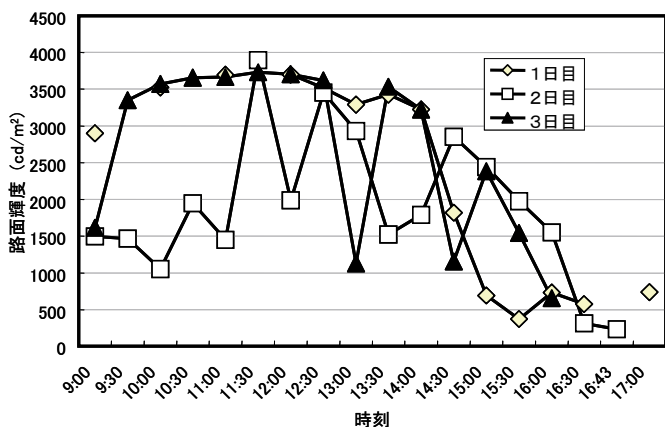


図 4-5 テストコース路面輝度の変化
(熊谷、3月下旬、13m前方)

また、位置別の正答率を検討したところ(図 4-4)、アイポイントから真下の位置が約 30%であり、左右はいずれも約 20%であった。真下 3度と右下 6度の位置では走行中と停止中の正答率に有意差が認められた ($p < .05$)。ナビ画面の正答率は HUD 画面の正答率とほぼ同様であった。

4.5 路面輝度と正答率との関係

以上の実験は外乱が比較的少ないテストコースで実施したが、実験実施期間(2008年3月下旬)

の天候は晴天あるいは曇天であり、天空照度が時々刻々と変化する状況であった。そこで、実験と平行してテストコースの路面輝度の測定を行った。路面輝度はトプコン製の輝度計 BM-5A で測定し、ゴルフカートのアイポイントと同じ地表から 1360mm の高さから西向きに 13m 先の路面に対して 1 度視野角の輝度を測定した。実験期間の 3 日間 30 分おきに測定した結果を図 4-5 に示す。HUD の見え方は路面輝度の影響を受けると予想したため、路面輝度に対する正答率をアイポイントの下方 2 カ所についてプロットした(図 4-6)。この図における一点は各参加者において 3 回ずつ実施した、走行、停止条件のブロックごとの平均値を示している。そのため色や明るさの条件は無視して、下 3 度の 3 カ所、下 6 度の 3 カ所についてそれぞれ平均正答率を示している。

正答率は下 3 度では路面輝度の影響をほとんど受けないが、下 6 度では路面輝度と負の相関が認められた。下 3 度の呈示位置は前方車両の荷台の位置に相当するが、下 6 度は路面の位置に相当するため(図 4-2 を参照)、輝度が増える路面と重なる位置に呈示された HUD は見え方が変化すると推測された。

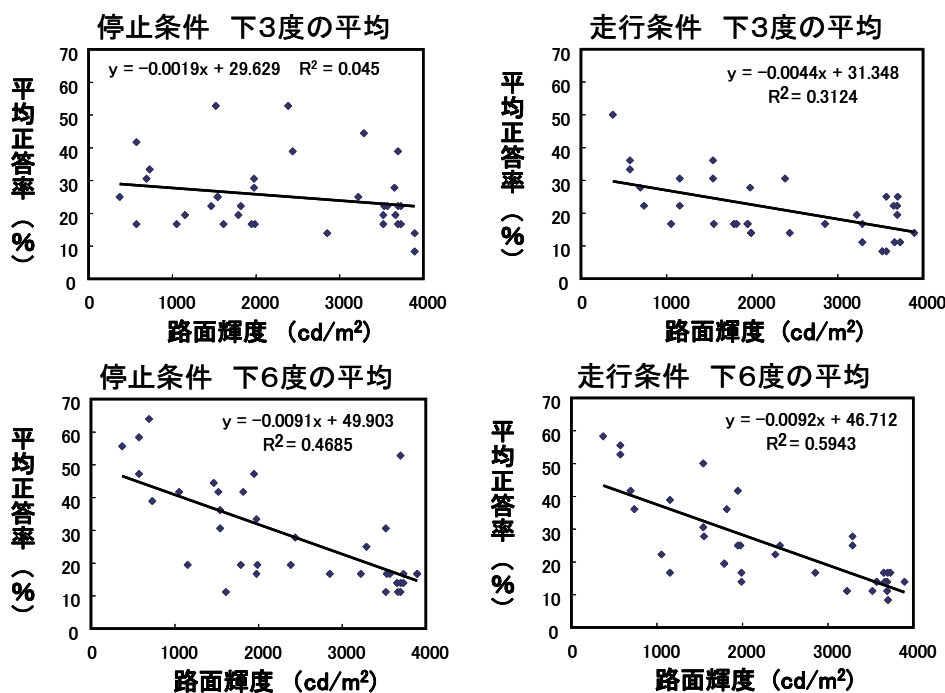


図 4-6 路面輝度と正答率の関係

4.6 走行実験に関するまとめ

ゴルフカートを改造した HUD の評価装置を試作し、屋外での HUD の見え方に関する評価実験を実施した。その結果、表示色については緑色の高輝度が見落とされにくく、運転負荷による影響も受けにくいことが分かった。また、位置については、アイポイントから真下の視認性が左右よりもやや高いが、路面に重なる位置は、背景の明るさの影響を受けやすいことが示唆された。HUD と従来型のナビ画面を比較したところ、必ずしも HUD の視認性が高い訳ではないことも示唆された。そのため、HUD を安全に利用するには、表示色や明るさ位置を限定したやり方で表示する必要があると考えられる。

5. 結 論

ドライバに対する情報呈示技術である HUD に関しては、表示の自由度が高まるという利点はあるものの、ドライバの情報処理の観点からいくつかの考慮すべき点がある。一つは、アイポイントからの俯角をどのように取るかということである。正面前方に HUD を表示すれば読み取りやすくなるということは容易に想像される場所であるが、逆に前方の道路状況を認識するのに不都合が生じる可能性がある。また、表示器については、従来は単色表示の蛍光表示管が多く使用されていたが、最近では液晶を利用してカラー表示が行われるようになってきている。この場合には、どのような色で表示する方がドライバにとって望ましいのかという観点からの検討が必要である。

また、HUD の評価を行う際には、実験実施の容易さから停止状態での実験が行われることが多いが、実際に走行して HUD を評価する場合には評価結果が異なる可能性がある。従って、今回、HUD の表示位置、色、走行実験時の評価という3つの観点から、適切な HUD に関する考察を行うこととした。その結果は以下の通りである。

(1) 表示位置に関するまとめ

HUD の表示位置に関して、煩わしさ感と前方視対象の認識しにくさという観点から検討を行った。煩わしさ間に関する基本的な評価結果を基にして、走行時の視線移動を考慮したものを計算により求めた。また、先行車両のストップランプ等の取り付け位置との関係からの考察も行った。その結果、最も重要な指標である垂直方向に関しては、下方向4度よりも下の領域、かつ、上方向7度よりも上の領域であれば、多くの場合、安全上問題のないことが推測された。左右方向に関しては、右側6度、左側7度という値が煩わしさ感の解析結果から得られたものの、今後の検討が必要である。

なお、今回の検討対象とした HUD の表示内容は、定常的に表示される車速、ナビ情報等であって、通常の場合を想定している。しかし、緊急時のみに短時間表示される内容というものも HUD に関しては大いに考えられるところであり、この場合には、認識の素早さという観点を重視して正面前方に近い位置に表示することが適当であるとも考えられる。

(2) 表示色に関するまとめ

ウィンドシールドを利用して表示する HUD に関

参考文献

しては、背景と重畳することを前提とするため、背景の影響を受けることとなる。今回は、背景と重畳する場合の HUD の色度変化について、実測値を基にして計算により推定した。HUD に関しては、緑色、赤色、青色の3種類、背景としては、紺色車両、白色車両、赤色車両、路面の4種類としてそれぞれの組み合わせを計算した。その結果、緑色 HUD の場合には赤色、青色の場合に比較して見かけ上の色の変化が少ないことがわかった。また、先行車両のストップランプの点灯の影響については、青色の HUD の混色の結果が大きく変化することがわかった。これらのことを考慮すると、緑色の HUD が背景の影響を受けにくく、認知の観点からは望ましいと考えられる。なお、一般的に、HUD の見かけの色は背景の影響を大きく受けるため、HUD 表示色そのものに何らかの意味を持たせることは不適當であると考えられる。

(3) 走行実験に関するまとめ

走行実験を実施可能な HUD の評価装置を試作し、屋外での HUD の見え方に関する実験を実施した。その結果、表示色については緑色の高輝度が見落とされにくく、運転負荷による影響も受けにくいことが分かった。また、位置については、アイポイントから真下の視認性が左右よりもやや高いが、路面に重なる位置は、背景の明るさの影響を受けやすいことが示唆された。HUD と従来型のナビ画面を比較したところ、必ずしも HUD の視認性が高い訳ではないことも示唆された。そのため、HUD を安全に利用するには、表示色や明るさ位置を限定したやり方で呈示する必要があると考えられる。

- [1] 森田,益子,岡田:「わき見運転時のブレーキ操作の遅れに関する考察」,自動車技術会論文集, 33 卷, 第 3 号 pp.161-166 (2002)
- [2] 森田,関根,岡田:「ブレーキ反応時間に及ぼす発話および思考による心理的負荷の影響」,自動車技術会論文集, 38 卷, 第 4 号, pp.203-208 (2007)
- [3] R. J. Kiefer and A. W. Gellatly "Quantifying the Consequences of the "Eyes-on-Road" Benefit Attributed to Head-Up Displays", SAE Technical Paper Series No. 960946 (1996)
- [4] N. J. Ward and A. Parkes "Head-Up Displays and Their Automotive Application: An Overview of Human Factors Issues Affecting Safety", Accident Analysis And Prevention, Vol. 26, No. 6, pp.703-717 (1994)
- [5] N. S. Martinelli, S. A. Boulanger "Cadillac Deville Thermal Imaging Night Vision System", SAE Technical Paper Series No. 2000-01-0323 (2000)
- [6] K. Nakamura, H. Ando, N. Kawahara, "Windshield display for active safety", FISITA2006, F2006D105, 2006, pp.1-9
- [7] 江尻, 永野, 秦:「Head-Up Display 視認時における前方注意への影響評価」, 自動車技術, Vol.62, No.2, pp.42-46 (2008)
- [8] (社) 照明学会:「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」, p.7 (2005)
- [9] 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, Vol.75, No.6, pp.267-274, (1991)
- [10] K. Morita, J. Mashiko, T. Okada "Considerations on a Feeling of Troublesomeness Regarding Automotive Head-Up Displays During Driving", SAE1997 Transactions Vol.106, Journal of Passenger Cars, Section 6-Part1, pp.360-368 (1998)
- [11] 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さ感に関する考察(第1報)ー表示位置と運転者の目の位置による影響ー」, 照明学会誌論文号, 第 81 卷, 第 2 号 pp.19-25 (1997)
- [12] K. Morita, M. Sekine, Y. Tsukada, T. Okada, Y. Toyofuku: "Consideration on Appropriate Display Area for Head-Up Displays" The 14th Asia Pacific

Automotive Engineering Conference, CD-ROM,
pp.1-9 (2007)

[13] 森田,益子,岡田,坂本 : 「自動車用ナビゲーション装置の表示画面に対する運転者の注視行動」,交通安全公害研究所報告第 29 号 pp.17-24 (2000)

[14] K. Morita, Y. Tsukada, M. Sekine, Y. Toyofuku: "Change in HUD colors with consideration of background", Proceedings of the 15th ITS World Congress, pp.1-11, CD-ROM (2008)

[15] 池田光男 : 「色彩工学の基礎」, 朝倉書店, 東京, 264p. (1980)

[16] 関根, 森田, 塚田, 岡田 : 「Head Up Display に表示される文字の判読性に関する実験的検討」, 照明学会第 41 回全国大会講演論文集, p.187 (2008)