目の順応特性に基づいた車載ディスプレイの表示方式

A Displaying Method for On-board Displays That is Based on The Adaptation Property of Human Vision

正会員 坂口靖雄[†], 樋口和則[†]
正会員 中野倫明[†], 正会員 山本新^{††}

Yasuo Sakaguchi[†], Kazunori Higuchi[†], Tomoaki Nakano[†] and Shin Yamamoto^{††}

Abstract With the increasing number of on-board visual displays, it is important to develop displays that are easy to see in various driving environments, such as a snow-covered road. In this paper, we propose a new displaying method that is based on luminance adaptation, one of the human vision properties which is associated with luminance changes that occur while driving. In this method, the level of adaptation by the driver is estimated to the luminance outside the vehicle. Then the luminance and the chromatic saturation of the display is determined by using the adaptation luminance in order to perceive the constant brightness of the display in different environmental luminances. Experimental results of subjective and objective evaluation that compare the conventional display and our new one indicate the effectiveness of the method.

キーワード: 車載ディスプレイ, 自動車, 視認性, 視覚特性, 順応特性, 輝度

1. ま え が き

自動車の情報化を背景に、車載のナビゲーションシステムが広く普及しつつある。ナビゲーションシステムには、これまでの経路案内や交通情報に加えて駐車場や諸施設の案内など、新たなサービス情報の提供も検討されていて、その数はさらに一層増えるものと考えられる。ナビゲーションシステムはこれまで主に利便性の側面から開発されてきたが、これからは利便性に加えて安全性の視点での取り組みが重要となる。ナビゲーションシステムに代表される車載ディスプレイの視認性向上は、ドライバの安全性向上の重要な要因のひとつである。

自動車は昼夜の日変化や天候および路面状態など、様々な運転環境の下を走行する。ドライバは、これらの運転環境条件が変化する下で車載ディスプレイを視認することが必要となる。ドライバにとって視認性の高い車載ディスプレイの実現には、ドライバの目の特性を考えた運転環境条

件の変化に対応した表示方法が重要と考えられる。運転環境の変化の代表例として、晴天時のトンネル内への出入りや晴天時の太陽光下の積雪面走行などがある。

視認性に関する従来の研究には、屋外の環境照明や屋外の照明下における看板や標識などについての研究^{1)~3)}、さらに屋内照明下におけるOA機器のディスプレイの表示要件に関する研究などがある^{4)~6)}。屋内外の照明環境下におけるの看板や標識などの視認性についての研究では、環境照明下で目立つための表示輝度や、背景輝度を考えた文字の輝度や、そのコントラストなどの検討が行われている¹⁾。また、防犯上の見地から、街路照明下で人物が見やすい街路灯の照明要件も検討されている²⁾。屋内照明下におけるOA機器ディスプレイの視認性についての研究には、室内照度に対する透過型の液晶ディスプレイの最適な表示輝度やコントラスト条件の検討⁴⁾⁷⁾、室内照明のディスプレイの表示面への映り込みを定量評価して映り込みを低減する最適な照明条件の提案⁵⁾などがある。

車載ディスプレイの視認性に関する研究では、メータやディスプレイの輝度とそのコントラストに関するもの⁸⁾やナビゲーションディスプレイの輝度コントラストや色度差についての研究⁹⁾¹⁰⁾がある。メータ表示に関するものでは、昼夜の運転環境条件の変化を考慮した輝度とそのコントラストの要件⁹⁾、ナビゲーションの表示に関しては、視認性の良い輝度コントラストや色度差の点での研究が行われている¹⁰⁾。

1997年9月29日、電気関係学会東海支部連合大会で発表

1997年10月9日受付、1998年2月16日再受付、1998年3月4日採録

[†] 株式会社豊田中央研究所

(〒480-1192 愛知県長久手町, TEL 0561-63-4654)

^{††} 名城大学

(〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜口, TEL 052-832-1151)

[†] Toyota Central R & D Labs., Inc.

(Nagakute, Aichi 480-1192, Japan)

^{††} Meijo University

(Shiogamaguchi, Tempaku-ku, Nagoya-shi 052-8502, Japan)

以上述べた、屋内外や照明下での表示やディスプレイの視認性に関するものや車載ディスプレイの視認性に関する従来研究においては、どの研究例とも、視認性に及ぼす要因を抽出して、その要因の中から最適な要件を官能評価などによって見出す方法が採られている。

筆者らの提案する方法は運転環境である車外の輝度に注目し、この輝度が晴天時の積雪面走行のように通常走行の輝度より大きく変化するときには、ドライバの目の視覚特性を配慮してディスプレイの表示方法を制御しようとするものである。すなわち、走行中の車外の輝度を検出して、その値が著しく高い場合には、通常走行と同程度の視認性となるように目の順応特性を考えてディスプレイの表示方法を変えようとするものである。これにより、晴天時の太陽光下の積雪面走行のような車外輝度が著しく高い場合にも、従来のアスファルト路面走行と同程度の視認性の良い表示を実現することができる。

本論文では、2章でこの研究の必要性和技術的課題、3章で提案する方式、そして4章と5章でその有効性を示す検証実験とその結果について述べる。

2. 技術課題

ドライバは、運転中には運転環境を見ながら必要に応じて車内のディスプレイから情報を得ている。すなわち、車載ディスプレイを視認するごとに、車外の輝度に慣れていたドライバの目は車内のディスプレイの輝度に遭遇することになる。図1は、筆者らの行った運転環境である走行路に存在する代表的な対象物の輝度と車内の車載ディスプレイの表示面の輝度の測定結果を示したものである。この図から、車外で測定したアスファルト路面の輝度は曇天時には500 cd/m²であるのに、晴天時では2000 cd/m²にもなる。また、同じ晴天下の走行時でも、アスファルト路面ではその輝度が2000 cd/m²であるのが、積雪面では10000 cd/m²にもなる。また、運転中のドライバがナビゲーションシステムのディスプレイを視認するために、前方視野から目を離す時間は0.4~1.2秒との報告がある¹¹⁾。これらから、前方視野を見ながら走行している時にディスプレイに視線を移す場合には、視線移動の0.2~0.6秒の間に、晴天時のアスファルト路面走行の場合に目の受ける輝度変化は10~12倍程度であるのに対し、晴天時の積雪路面走行の場合には50~60倍と、大きな輝度変化を受けることになる。

一方、このような目の輝度変化を考えるときの重要な視覚特性に順応特性がある^{12~14)}。この順応特性には、高輝度の対象物を見ていて急に低輝度の対象物に目を移したときの暗順応と、その逆の明順応があり、さらに、定常的な特性である静特性と、視野内の輝度が急変した場合の順応の度合いの変化特性である動特性があって、これらの諸特性については先駆的な研究者によって明らかにされている¹³⁾¹⁵⁾。自動車の運転中に遭遇する輝度変化の代表例に

図1 運転環境の車外輝度と車載ディスプレイの輝度
Luminance of outside of the vehicle and an on-board display.

図2 順応の静特性
Static property of adaptation.

は、太陽光下の一面の積雪面のように視野内が比較的均一な輝度である場合と、夜間にヘッドライトの直射光を浴びた場合のような視野内の輝度が局部的に大きく変化する場合がある。このうち、晴天時に一面が積雪面の中を走行する場合は、視野内の輝度は一様であり、順応特性も静特性として取り扱うことができると考えられる¹⁶⁾。

順応特性は、これまでに先駆的研究者によって明らかにされているが、図2は、Stevensらの研究による順応の静特性を示したものである¹³⁾。この図は、対象物の物理量としての輝度と人間の感知的明るさとの関係を示したものである。この図から、目の順応状態が異なれば、対象物の輝度が異なっても、人間は感知的に同じ明るさを感じる場合があることを示している。

このことは、図2の順応特性に基づいた表示方式にすれば、晴天時の一面が積雪面のように車外輝度が高い場合でも、視認性の良い車載ディスプレイの表示が実現できることを示唆している。

図 3 順応特性に基づく表示方式の基本的な考え方
Block diagram of the fundamental display method based on adaptation.

3. 表示方式

3.1 基本的な考え方

本研究は、晴天時の一面が積雪面であるような車外輝度が全面ほぼ一様で、かつ高い場合の走行でも視認性の高い表示方法を提示しようとするものである。この研究では、積雪面走行でもアスファルト路面走行の場合と同等の視認性となる表示を目標としている。

図 3 は、提案する表示方式の基本的な考え方を示したものである。図において、基本表示画像はアスファルト路面走行の場合の表示画像である。この方式は、基本表示画像に、検出した車外輝度に基づいて晴天時のアスファルト路面走行相当の表示輝度に、輝度と彩度の補正を加味した表示画像を生成し、これをディスプレイに表示しようとするものである。補正は輝度補正を優先させ、その輝度値が表示装置の表示輝度の上限を越えた場合にのみ彩度補正が行われる。この輝度補正は、図 2 に示した順応特性に基づいて行われる。

3.2 表示画像の処理方法

図 4 は、補正表示画像作成の処理の流れを示したものである。この研究は、前述のように車外輝度が全面ほぼ一様の積雪面走行を想定している。したがって、検出される車外輝度は前方を見て運転しているときのドライバの順応輝度に相当すると考えてよい。車外輝度が一様でない場合には、順応輝度は注視点の輝度だけでは決まらず、視野内の対象物の輝度分布の影響を受ける¹⁶⁾¹⁷⁾。対象物と注視点との輝度差が大きいほど、また対象物が注視点に近いほど、さらに対象物が視野内に占める面積が大きいほど、順応輝度への影響が大きくなる。ドライバが前方を注視している一般の状態を考えると、視野に入るのは路面の他、一部天空と車室内である。しかし、この研究のように、視野全面が一様な積雪面の場合には、積雪面の輝度を順応輝度として差し支えない。

この検出された車外輝度から、図 4 の手順で基本表示画

図 4 補正表示画像作成処理の流れ
The algorithm of the generation of a compensated display image.

図 5 表示輝度決定の流れ
The algorithm of deciding luminance level of the display.

像の感覚的明るさと同じ明るさに感じるディスプレイの表示輝度 L が決定される。この決定された表示輝度 L が現実の表示装置で実現できる輝度値であれば、その値が表示輝度となるが、表示装置の最大の輝度 $L_{\max}$ を越えている場合には L の最大値が $L_{\max}$ となるよう各画素の輝度をシフトさせ、これに彩度の補正が加えられる。

図 5 は、表示輝度決定の流れを示したものである。まず、基本表示画像での感覚的明るさを得るため、晴天時のアスファルト路面走行時の順応特性 A_0 が車外輝度 (2000 cd/m^2) と感覚的明るさの関係から求められる。この状態でのディスプレイの表示輝度分布 $L_0(i, j)$ に対する感覚的明るさの分布 $B_0(i, j)$ を求める。ここで、 i, j は、ディスプレイ表示面の画素の座標値である。この $B_0(i, j)$ が基本表示画像における感覚的明るさとなる。次に、ドライバの順応輝度を示す車外輝度に対応する順応特性 A を用いて、

- A_0, B_0 : 基準状態におけるA, Bの色度
 A_1, B_1 : 暗く見えるときのA, Bの色度
 A_2, B_2 : 彩度を補正した場合のA, Bの色度
 D_0 : 基準状態におけるA, Bの色度差
 D_1 : 暗く見える時のA, Bの色度差
 D_2 : 彩度を補正した場合のA, Bの色度差
 C_{A0} : A_0, A_2 のクロマ値
 C_{A1} : A_1 のクロマ値
 C_{B0} : B_0, B_2 のクロマ値
 C_{B1} : B_1 のクロマ値

図6 彩度補正による見え方の改善

Improvement of visibility by the compensation of saturation.

基本表示画像における感覚的明るさの分布 $B_0(i, j)$ と同じ感覚的明るさになるための表示輝度分布 $L(i, j)$ を計算する。この処理が、ディスプレイ中の全画素について行われる。

図6は、彩度補正の考え方を示したもので、ディスプレイ上の表示色をCIEの $L^*a^*b^*$ 表色系で表現している。この表色系では、空間中の2点間の距離で表される2つの色の差(色度差)は人間の目に感ずる色の差に対応して表示される。順応輝度よりディスプレイの表示輝度が小さいと、ディスプレイが見づらくなる。これは色度差が低下するからである。図6で、順応輝度から求めた表示輝度が実際の表示装置で実現できないと、その最大輝度で表示してもディスプレイは基準より暗くなってしまう。これは、ディスプレイの輝度が等価的に低下したことに相当し、 A_0 の色度は A_1 に、 B_0 は B_1 になって、クロマ値(近似的に彩度に相関する値で、 $L^*a^*b^*$ 表色系においては $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ で表される)が小さくなる。これは、任意の色の輝度のみが低下した場合、 $L^*a^*b^*$ 表色系では a^* 、 b^* ともに絶対値が小さくなるためである。この結果、両者の色度差は D_1 となり、色度差が低下($D_0 > D_1$)する。そこで、 A_1 、 B_1 の彩度を高めてクロマ値を基本表示画像の A_0 、 B_0 と同じ値に(A_2 、 B_2)変換することで、暗い状態でも基準画像と同程度の色度差が確保され、見やすいディスプレイ画像を得ることができる。

表1 客観評価実験の条件

Experimental condition of the objective evaluation.

被験者	20~30 歳代, 5 名
車外輝度	7500 cd/m ² (積雪面を想定) 1500 cd/m ² (舗装路面を想定)
ディスプレイ	120 cd/m ² (従来方式) 200 cd/m ² +彩度補正(提案方式)
視距離	75 cm
提示パターン	2 種の色度差(青-黄, 赤-シアン)の正弦波パターン

4. 実験方法

提案した方式の有効性を検証するために、補正表示する提案方式と補正しない従来方式について、縞模様パターンを用いた客観評価実験と、実際のナビゲーションシステムの画面を用いた主観評価実験を行った。なお、提案方式は車外輝度が全面一様な場面を前提に開発されたものである。実験もそれを念頭に行った。また、車外に相当する輝度は直接測定せず、スクリーン設定輝度で代表させ、それをもとに画像の補正を行った。

4.1 客観評価

客観評価では、感覚的明るさの違いによる彩度コントラスト感度の変化を調べるため、一様な輝度で彩度のみを正弦波状に変化させた2種類(黄-青, 赤-シアン)の縞模様パターンをCRT上に提示し、車外輝度に順応させた状態で被験者がどこまで細かい縞模様まで視認できたかを実験した。これは、視覚の空間周波数特性であるMTF(modulation transfer function)の測定に相当するものである。

(1) 実験条件

表1に実験条件を示す。被験者は視力が1.0~1.5の年齢が20~30歳代の5名とした。想定した走行環境は、今回開発の対象とした晴天昼間の積雪面走行(輝度7500 cd/m²)と視認性の目標とした晴天昼間のアスファルト路面走行(輝度1500 cd/m²)である。ディスプレイに表示するパターンは、従来方式では昼間の走行時の通常のディスプレイの輝度(輝度120 cd/m²)を、提案方式では輝度が高い積雪面走行状態に対応して輝度と彩度を補正(輝度200 cd/m²、彩度30%上昇)したものを用いた。

走行環境とディスプレイ表示を組合せて、以下の3通りの実験を行った。

(a) 晴天昼間の積雪面走行を想定

(a-1) 従来方式によるディスプレイ表示

(a-2) 提案方式によるディスプレイ表示

(b) 晴天昼間のアスファルト路面走行を想定

(b-1) 従来方式によるディスプレイ表示

視距離(被験者とディスプレイ間の距離)は、ドライバの目と車載ディスプレイとの代表的な距離である75 cmとした。

図 7 客観評価実験システムの構成
Configuration of the experiment system for the objective evaluation.

図 8 縞模様パターン
Sinusoidal striped pattern.

想定した走行環境での車外輝度は、本来は積雪面が 10000 cd/m^2 、アスファルト路面が 2000 cd/m^2 であるが、本実験ではそれぞれ輝度の 75%で行った。これは、後述する主観評価でナビゲーション画面の提示に用いた液晶ディスプレイ (以下、LCD と略す) の最大輝度が 270 cd/m^2 であるのに対して、本実験で縞模様を提示する CRT の最大輝度が 200 cd/m^2 である (LCD は解像度が低いので縞模様の提示には不適)。そのため、両者を同一の条件で実験するために、車外輝度とディスプレイの最大輝度の比率が同じになるように車外輝度を下げる必要があるためである。この輝度の変化の範囲では、感覚的明るさと輝度の関係がほぼ線形であるため、順応輝度と対象物輝度の比率を保ったまま輝度をシフトさせても見え方は変わらないと考えられる。

(2) 実験システム

図 7 に実験システムの構成を示す。車外シーンに相当する前方のスクリーンは蛍光灯で照明されていて、その蛍光灯は被験者から見た輝度がほぼ一樣になるように配置されている。被験者の視線の水平 (真正面) 方向から見て、左 20° 、下 15° に CRT が設置される。この位置は、自動車

図 9 $L^*a^*b^*$ 色度図上での縞模様の色度
Chromaticity of the striped pattern on the CIE $L^*a^*b^*$ coordinates.

図 10 客観評価実験の提示タイミング
Indication timing of the striped pattern.

のナビ画面位置に相当する。CRT にはパソコンが接続され、後述の縞模様パターンが提示される。

(3) 提示方法

図 8 に提示される縞模様パターンの一例を示す。縞模様パターンは、輝度を一定にして彩度のみを正弦波で変調させた青-黄と赤-シヤンの縞模様パターンの 2 種類を用いている。この色を用いたのは、ディスプレイの表現可能な色の範囲を $L^*a^*b^*$ 表色系で表した (図 9) 場合、これらの色の組合せで色度範囲全体を代表できると考えられるからである。これらの縞模様パターンを、空間周波数と彩度のコントラストを変えて提示した。

図 10 に提示タイミングを示す。車外輝度に順応した状態を模擬したスクリーン視認時の順応状態におけるディスプレイの見え方を評価するため、スクリーンを 5 秒間視認し続けてその輝度に順応させた後、音による合図とともにディスプレイにパターンを提示する。被験者は合図を聞いてからディスプレイに視線を移動し、1 秒間だけ提示されるパターンを視認し、縞模様が見えたかどうかを回答する。

(4) 評価方法

想定した走行環境の下で空間周波数特性をどの程度改善できるかを評価するため、提案方式と従来方式による空間周波数に対する目のコントラスト感度を測定した。具体的には、最初にコントラストが最も低いパターンを提示し、

表 2 主観評価実験の条件
Experimental condition of the subjective evaluation.

被験者	20～30 歳代, 5 名
車外輝度	10000 cd/m ² (積雪面を想定)
ディスプレイ	160 cd/m ² (従来方式) 270 cd/m ² +彩度補正 (本方式)
視距離	75 cm
提示パターン	ナビシステム実画面

図 11 主観評価実験システムの構成
Configuration of the experiment system for the subjective evaluation.

順次提示するパターンのコントラストを高めていき、被験者が「縞模様が見えた」と回答した時点で提示を打ち切り、そのときのコントラストを記録する。これを 0.225～15 cpd (cycles per degree) の間の 7 通りの空間周波数について行った。

4.2 主観評価実験

実際のナビゲーションシステムの画面を対象に、従来方式と提案方式による表示をディスプレイ (LCD) 上に同時に提示し、被験者にどちらがどの程度見やすいかを 5 段階評価で回答させた。

(1) 実験条件

表 2 に実験条件を示す。被験者は客観評価の場合と同じである。走行環境として晴天昼間の積雪面走行を想定し、車外輝度を 10000 cd/m² とした。従来方式では昼間の走行時の通常のディスプレイ輝度 (輝度 160 cd/m²) のものを、提案方式では順応輝度が高い積雪面走行状態に対応して輝度と彩度を補正 (輝度 270 cd/m², 彩度 30% 上昇) したものを横並びで表示し、両者を比較することで評価を行った。視距離は、客観評価と同じ 75 cm とした。

(2) 実験システム

図 11 に実験システムの構成を示す。自動車のボディーを模したモックアップをスクリーンの前に設置している。スクリーンは客観評価実験と同じものを用い、蛍光灯によって全面輝度が一樣になるような照明がされている。LCD の設置位置は、客観評価実験における CRT の設置位置と同じである。この LCD にはパソコンが接続され、

図 12 地図画面
Map images.

後述の地図画面が提示される。被験者は運転席に座り、前方のスクリーンと LCD を後述する方法に従って視認し、地図画面の見やすさを評価する。

(3) 提示方法

図 12 に提示される地図画面の一例を示す。これは、ナビゲーション地図画面 (1 種類) を従来方式と提案方式の 2 通りによって、画面の左右半分ずつに表示したものである。提示画面は、図 12 に表示したもの以外に左右を入れ換えたものと、ダミーとして左右が同じであるものを用いた。提示のタイミングは客観評価の場合と同様である。被験者は 1 秒間だけ提示される地図画面を視認し、後述する評価方法による評点を回答させる。これを被験者 1 名当たり 10 回繰り返した。

(4) 評価方法

想定した走行環境下において、提案方式が従来方式に比べてどの程度見やすくなるかを検証するため、被験者には「画面の左側を基準とした右側の見やすさ」を 5 段階で評価してもらった。評価は、明るさとコントラストの観点から見た画面全体の見やすさとした。5 段階の尺度はテレビの画質評価法に準拠した評価尺度法¹⁸⁾に基づき、「非常に見やすい」、「見やすい」、「同程度」、「見づらい」、「非常に見づらい」とし、被験者の評点をそれぞれ 5～1 で表した。評価結果においては、この評点を「従来方式に対する提案方式の見やすさ」に換算 (左側に提案方式, 右側に従来方式を並べた画面の評価に対しては 2 を 4 に, 1 を 5 に読み替える) した。

5. 実験結果と考察

5.1 客観評価実験

図 13 に客観評価実験の結果を示す。これは晴天昼間の積雪面走行を想定し、従来方式と提案方式による表示での空間周波数特性を示したものである。さらに、目標とした従来方式による晴天昼間のアスファルト路面を場合の空間周波数特性も示している。

ナビゲーションシステムの画面に代表される車載ディス

(a) 黄—青

(b) 赤—シアン

図 13 客観評価実験結果

Experimental results of the objective evaluation.

図 14 主観評価実験結果

Experimental results of the subjective evaluation.

プレイでは、空間周波数で1~10 cpdの範囲の視認性が重要である。これは、ディスプレイの解像度が20 cpd程度で、これに対しナビ画面上での文字の大きさが16~24ドット、道路の太さが2~4ドットであることから、この周波数領域での見やすさの改善が重要なためである。

実験結果によると、提案方式による積雪面における空間周波数特性は、従来方式に比べ、上述の空間周波数で

1.5~2倍のコントラスト感度の上昇が見られた。提案方式による空間周波数特性はアスファルト路面でのそれにほぼ匹敵し、提案方式による表示は積雪面を走行中でもアスファルト路面走行と同等の見やすさとなっていることを示し、目標とする視認性が得られていることが確認された。

5.2 主観評価実験

図14に主観評価実験の結果を示す。この図は、被験者による評点(従来方式に対する提案方式の見やすさ)の平均値と標準偏差を被験者ごとに示したものである。すべての被験者で、従来方式より提案方式の方が見やすいという結果になった。被験者5名の平均評点は3.9であった。被験者ごとの評点の違いもほとんどなく、さらにどの被験者も見やすいとの結果から、提案方式の方が従来方式より有意に見やすいと考えられる。

晴天時の積雪面走行のように、前方注視時の順応輝度が高くなると、従来方式による表示ではディスプレイがかなり暗く見えるのに対し、輝度に加えて彩度を補正する提案方式では、主観評価でもかなり効果的であることが確認された。

なお、車外輝度は実験では直接測定せずに、スクリーン設定輝度で表示画像を補正しているが、実際の車両では、現在一部車両に装備されている光電素子を用いて輝度の検出を行うことができる。

6. む す び

ドライバは運転中には車外の運転環境を見ながら、必要に応じて車載ディスプレイから情報を得ている。そのため、車載ディスプレイは、どのような車外輝度の下でも視認性が高い表示が望まれる。晴天時の太陽光下の雪道走行は、車載ディスプレイが見難い条件のひとつである。このような一面が積雪面のような様な高い車外輝度の下での新しい車載ディスプレイの表示方式を提案した。

この方式は、晴天時のアスファルト路面走行の表示を基本とし、走行中の車外輝度を検出して、その輝度に応じてディスプレイの輝度と彩度を補正表示する方法である。この補正のときに、目の順応特性に基づいた処理を行う。提案した表示方式を、縞模様パターンを被験者に提示する客観的評価実験と実際のナビゲーション画面のを提示する官能評価による主観的評価実験により、この方式の有効性を検証した。その結果、どちらの評価実験においても、提案した方式が従来の方式に比べて相当の視認性改善が認められ、この方式が高い車外輝度の環境条件での車載ディスプレイの表示方式として非常に有効であることが確認された。

今後に残された課題は、夜間の低い車外輝度環境も含めた環境条件に対応できる表示方式を追加して、実際の車両を用いてその有効性を検証することである。

〔文 献〕

- 1) 田淵義彦, 中村肇: “サインの視覚的所要条件”, 照学誌, **76**, 1, pp. 8-12 (Jan. 1992)
- 2) 宮前あつ子, 武内徹二: “街路・防犯照明における顔の見え方と照明レベル”, 照学誌, **73**, 6, pp. 303-307 (June 1989)
- 3) 鹿倉智明, 菊地壮一, 田中俊彦, 古田康衛: “コンピュータグラフィックスによる住宅街路照明の印象評価”, 照学誌, **74**, 10, 648-653 (Oct. 1990)
- 4) 窪田悟: “透過型液晶ディスプレイに求められる表示輝度とコントラストの条件”, テレビ誌, **50**, 6, pp. 768-774 (June 1996)
- 5) 高橋貞雄, 袴田薫生: “OA 機器のある室の照明設計”, 照学誌, **68**, 3, pp. 122-126 (Mar. 1984)
- 6) 池田勇, 杉本賢: “VDT 作業における視覚条件と生理的負担”, 照学誌, **90**, 6, pp. 321-327 (June 1990)
- 7) J. H. Krantz: “Visibility of Transmissive Liquid Crystal Displays under Dynamic Lighting Conditions”, Human Factors, **34**, 5, pp. 615-632 (1992)
- 8) 梅田幸彦, 東重利, 今井豊: “デジタルメータの光学特性について”, 自動車技術会論文集, **43**, pp. 134-137 (1990)
- 9) 岸浩司, 杉浦精一, 木村賢治: “自動車用ナビゲーション画面の視認性検討”, 自動車技術, **46**, 9, pp. 61-67 (1992)
- 10) K. Kimura, Y. Osumi & Y. Nagai.: “CRT Display in automobiles”, Ergonomics, **33**, 6, pp. 707-718 (1992)
- 11) 坂口靖雄, 中野倫明, 山本新: “自動車用ディスプレイにおける視認性評価とその応用”, テレビ誌, **50**, 11, pp. 1760-1767 (Nov. 1996)
- 12) Illuminating Engineering Society of North America 編: “Lighting Handbook 8th Edition”, pp. 73-74 (1993)
- 13) J. C. Stevens & S. S. Stevens: “Brightness Function: Effects of Adaptation”, J. Opt. Soc. Am. **53**, 3, pp. 375-385 (Mar. 1963)
- 14) 山根茂: “目の明・暗順応特性に関する研究”, 電子技術総合研究所研究報告, 777 (Dec. 1977)
- 15) B. H. Crawford: “Visual adaptation in relation to brief conditioning stimuli”, Proc. Royal Society, **134**, pp. 283-302 (July 1947)
- 16) 伊藤克三, 野口太郎, 井上容子: “実効輝度による視認問題の統一的解明”, 照学誌, **72**, 6, pp. 34-41, (June 1988)
- 17) 井上容子, 野口太郎, 伊藤克三: “高輝度面の実効輝度への影響”, 日本建築学会計画論文集, 473, pp. 1-6 (July 1995)
- 18) テレビジョン学会編: “テレビジョン画像の評価技術”, コロナ社 (1988)

きかぐち やすお
坂口 靖雄 1991 年, 大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了。同年, (株)豊田中央研究所入社。以来, ドライバの目の挙動計測や車載ディスプレイの視認性など, 自動車におけるヒューマンインタフェースの研究と開発に従事。現在, 同所システム 2 部所属。正会員。

ひぐち かずのり
樋口 和則 1986 年, 名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, (株)豊田中央研究所入社。以来, 3 次元画像計測・認識および車載ディスプレイの視認性に関する研究と開発に従事。現在, 同所システム 2 部所属。1992~1993 年, 米国カーネギーメロン大学客員研究員。

なか の ともあき
中野 倫明 1982 年, 名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了。同年, (株)豊田中央研究所入社。画像によるパターン認識, 3 次元画像計測および車載ディスプレイの表示と視認性など, 自動車におけるヒューマンインタフェースの研究と開発に従事。現在, 同所システム 2 部所属。工学博士。正会員。

やまもと しん
山本 新 1965 年, 岐阜大学工学部電気工学科卒業。同年, (株)豊田中央研究所入社。以来, 3 次元画像計測, 運転支援システム用視覚および車載ディスプレイの視認性の研究と開発に従事。1998 年 4 月より, 名城大学理工学部電気電子工学科教授。工学博士。正会員。