

視覚特性に基づく車載表示機器の文字サイズと配色の決定

坂口靖雄，樋口和則，杉山和彦，中野倫明

Decision of Character Size and Color for On-Board Displays Based on Human Vision

Yasuo Sakaguchi, Kazunori Higuchi, Kazuhiko Sugiyama, Tomoaki Nakano

要 旨

近年自動車の情報化が急速に進んでおり，ナビゲーションシステムなど自動車運転中にドライバに与えられる情報は増加している。

一方，視覚特性の衰える高齢者ドライバが増加傾向にある。また自動車はさまざまな環境を走行するためドライバの目もさまざまな視環境にさらされる。車載情報機器はどのようなドライバに対しても，またどのような環境下においても読みやすいものであることが求められる。

筆者らは車載表示機器の文字表示による情報の視認性を改善する手段として文字サイズおよび文字と背景のコントラストの關係に注目し，目の分解能とコントラストの關係である視覚の空間周波数特性から読みやすい文字サイズとコントラストの關係を求める方式を開発した。

さらに，この方式を用いた車載ディスプレイ画面設計システムの提案とこの方式の妥当性を検証するための実験を行った。

キーワード

自動車，ディスプレイ，ナビゲーションシステム，文字，視認性，コントラスト，視覚特性，加齢

Abstract

In the automobile, various information such as route guidance or road traffic information is provided. The number of displayed characters and images for the on-board displays are increasing. In order to drive safely and smoothly, visibility improvement of the on-board display will be come more and more important. The development of an on-board display which is easy to observe for older people and robust for environmental changes is strongly required.

We propose a method to determine character size and contrast between the character and the background of the displayed characters and symbols for designing on-board display images. This method estimates the legibility of the characters based on the spatial frequency property of human vision which varies with age or environmental luminance. This method will help in designing easy-to-observe images for the on-board display.

Keywords

Vehicle, Display, Navigation system, Character, Legibility, Contrast, Human vision, Aging

1. はじめに

近年自動車の情報化が急速に進んでいる。特にナビゲーションシステムは急速に普及している。また，渋滞情報や駐車場情報などの運転支援情報

や，電子メールなど個人向け情報を車内に表示するシステムが市販されている¹⁾ように，自動車運転中にドライバに与えられる情報は増加し続けている。これらの情報は音声によるものも増え始めているが，主に視覚によってドライバに伝えられ

ているのが現状である。

自動車はさまざまな環境下を走行する。時刻（昼・夜）、天候（晴・雨・雪）、走行場所（舗装路面・積雪面・トンネル）などの走行環境によってドライバの目もさまざまな視環境にさらされる。車載情報機器にはどのような視環境下においても見やすいものであることが求められる。

また高齢化社会を迎え、今後高齢者ドライバの増加も予想される。高齢者は視覚が衰えるため、安全に走行するためには車載情報機器の視認性に特に留意する必要がある。

車載情報機器の視認性に関してはこれまでディスプレイの輝度や色など、主に光学的な要因を中心とした検討がなされてきた¹⁻³⁾。筆者らも高齢者⁴⁾や視環境変化⁵⁾に対応した車載ディスプレイ表示システムを開発してきた。今後、車載情報機器に表示される文字情報が増えると予想されるため、文字表示の視認性を高めることが重要と考えられる。

情報を読み取りやすくするための表示文字の要件として (a) 文字の情報量 (b) 字間・行間 (c) 字体 (d) 文字サイズ (e) 文字と背景のコントラスト が挙げられる。このうち文字の情報量に関しては一般に視覚から得られる文字情報量は50bit/秒程度であるといわれており⁶⁾、車載ディスプレイを対象としたものでは、ISOや日本自動車工業会などで表示文字数などのガイドラインが整備されつつある⁷⁾。また、走行中に視認することが多い車載ディスプレイの表示としては地名や渋滞情報など単語や1行以内の短文が中心なので、字間・行間の要因は比較的小さいと考えられる。さらに、現在使用されている車載ディスプレイは画素が比較的粗く、そのようなディスプレイでの文字表示では字体の自由度も小さく、文字の視認性に寄与する度合は小さいと考えられる。

以上のことから、本報告では文字の視認性の要因として文字サイズおよび文字と背景のコントラストを取り上げる。なお、本報告ではコントラストを「明度の差と色度の差の双方を加味した対比」の意味で用いる。

従来、車載ディスプレイの画面作成において文字サイズやコントラストを決定する際は、デザイ

ナが全体のバランスや見た目の美しさ、情報量や目立ちやすさなどを考慮しているが、読みやすいかどうかは主にデザイナーの主観によって判断されているため客観的な読みやすさの判断基準が求められている。

読みやすい表示文字サイズと文字色に関する過去の研究例としてはOA機器でのCRT表示を対象としたもの^{8,9)}やテレビの文字多重放送を対象としたもの¹⁰⁾などがある。これらの研究例ではOA機器やテレビのようにオフィスや家庭など一般の室内で使用されるディスプレイを対象としており、自動車用ディスプレイとは視認条件が異なる。

自動車用ナビゲーション画面の視認性については文字サイズを一定としたときの読み取りやすい文字と背景とのコントラストなどが検討されている¹⁾が、文字サイズを変更したときの効果などは検討されていない。

筆者らは車載情報機器特有の課題や高齢者の視覚特性を考慮した上で、安全性の観点から車載情報機器に表示される文字情報の視認性向上を目的とした文字サイズとコントラストの決定法を提案する。

以下、第2章では自動車における文字表示の課題について通常の表示との相違点を述べる。第3章では読みやすい文字のサイズとコントラストの関係を視覚特性を用いて明らかにする。また、第4章ではこの関係を用いた文字画面設計システムへの応用について述べる。第5章では文字サイズとコントラストの関係の検証実験について述べる。

2. 自動車における文字表示の課題

自動車における文字表示はオフィスや家庭内での文字表示（OA機器や電化製品など）にない特徴を有している。

(1) 視認時間が短い

車載情報機器はドライバが運転中に視認する場合が多く、メインタスクである運転に対して車載情報機器の視認はサブタスクである。このため視認時間は短くなる。例えば、車載ディスプレイの視認時間が2秒を超えると不安を感じる人が半数を超えるとされている²⁾。従って必要な情報を短時間で確実にドライバに伝達できるような表示方法を取る必要がある。

(2) 環境変化が激しい

自動車はさまざまな環境下を走行する。真夏の炎天下や晴天下の積雪面など非常に明るい場所から夜間やトンネル内のように暗い場所までドライバの置かれる視環境も様々である。ドライバの目はそのような視環境下に順応しているため、同一の車載表示でも順応状態によって見え方が大きく異なる。

さらに、高齢者ドライバは視覚特性や運動能力が衰えるため安全性の確保には十分留意する必要がある。

車載情報機器の文字表示では以上に挙げたような特徴を考慮しなければならない。そのためにはそれぞれの状況下での視覚特性を考慮した表示方法が有効であると考えられる。本報告では環境変化と高齢者の視覚特性を考慮した場合の文字サイズとコントラストの決定法について述べる。

3. 文字サイズと色度の関係

3.1 基本的考え方

定性的には文字サイズが大きいほど、また文字と背景のコントラストが大きいほど文字が読みやすいと考えられる。

従って、文字サイズおよびコントラストを2次元平面上に表すとFig. 1のようになり、読みやすさが等しいと文字サイズとコントラストの組合せを示す「等読みやすさ線」が存在することが予想できる。

一方、視覚特性として空間周波数特性を考える。Fig. 2に目の空間周波数特性^{11, 12)}を示す。これは明るさまたは彩度を正弦波状に変化させた縞模様を被験者に提示し、縞模様が見えるかどうか判定させ、縞模様が見えるぎりぎりのレベル(閾値)を表したもので、空間周波数(縞模様の細かさに相当)に対するコントラスト感度(縞模様の変調度)を示している。この特性は視認できる縞模様の細かさとコントラストに一定の関係があることを示している。

視認できる縞模様の細かさを目の分解能と考えることで分解能と読みやすい文字サイズとに一定の関係があると仮定すれば、空間周波数特性から、文字の大きさおよびコントラストと読みやすさの関係を導くことができる。

以下この方法について詳述する。

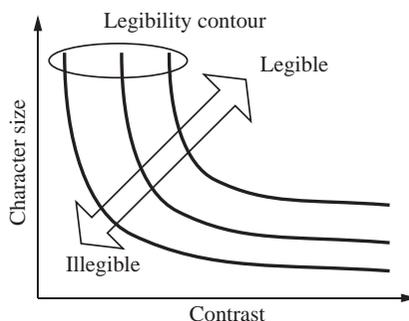


Fig. 1 Relation between character size and contrast.

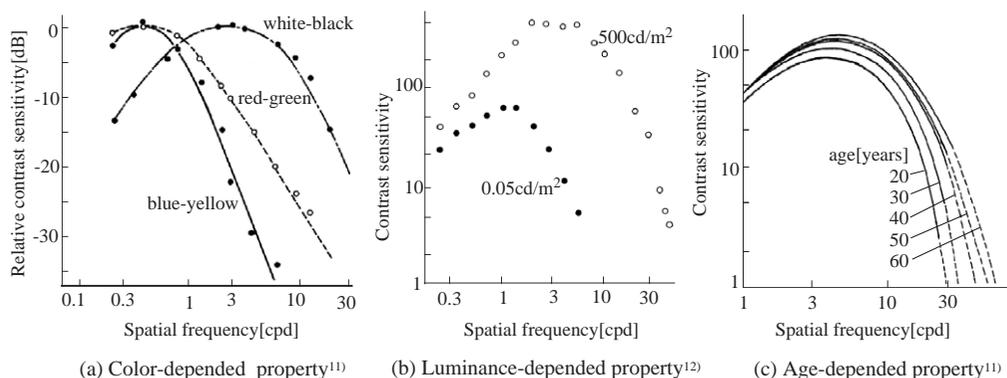


Fig. 2 Spatial modulation transfer function of human vision.

3.2 方法

Fig. 3に示すように視覚空間周波数特性のうち、表示文字の空間周波数成分が多く含まれる1cpd (cycles per degree) 以上の高周波部分のみに注目する。

文献¹³⁾によると、色覚機構において輝度および色度(赤-緑, 青-黄)チャンネルの空間周波数特性はそれぞれ独立して扱うことができるとされている。一方、均等色空間の一つであるCIELAB色空間においては色度をL(輝度), a*(赤-緑), b*(青-黄)の3つのパラメータで表現しており、これは色覚機構の3つのチャンネルに対応している。そこでFig. 3の空間周波数特性の縦軸であるコントラスト感度(縞模様の変調度)を、縞模様の色をCIELAB色度で表現したときのpeak-to-peakの色差

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

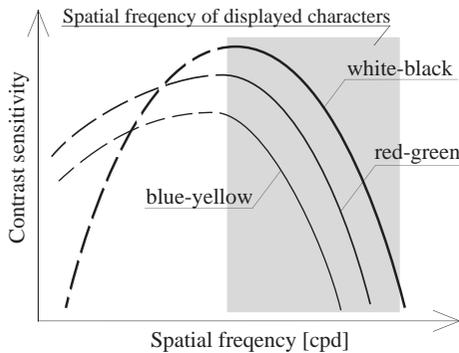


Fig. 3 Consider on high frequency part of the modulation transfer function.

に置き換える (Fig. 4(a))。ただし、文字の読みやすさにおいては明度コントラストと色相・彩度のコントラストで寄与度が異なるため、寄与度を加味した修正色差を $\Delta E'$ として

$$\Delta E' = \sqrt{\Delta L^{*2} + k_c \Delta C^2 + k_h \Delta H^2} \quad (2)$$

で表す。なお

ΔC : クロマ差

ΔH : 色相差

k_c : クロマ差の補正係数

k_h : 色相差の補正係数

でクロマ差, 色相差はそれぞれ以下の式で定義される。

$$\Delta C = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (3)$$

$$\Delta H = \sqrt{\Delta E^2 - \Delta L^{*2} - \Delta C^2} \quad (4)$$

このとき係数 k_c, k_h を適当に調整すれば, Fig. 4(b)のように見分けることのできる最小色差の色依存性が無くなる。

一方横軸は空間周波数であるが、同じ色度の組合せでも色によってこれ以上周波数を高くすると縞模様が見えなくなる限界が異なる。これは前述の空間周波数特性の通り、白黒の縞模様と色の縞模様では細かい部分の見え方が異なるためである。そこで、横軸も明度コントラストの寄与分による修正項を加えて

$$f' = k_L f \quad (5)$$

ここで k_L は明度寄与係数で次式で定義される。

$$k_L = 1 + t_a P_a + t_b P_b \quad (6)$$

$$P_a = \Delta a^{*2} / (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}) \quad (7)$$

$$P_b = \Delta b^{*2} / (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}) \quad (8)$$

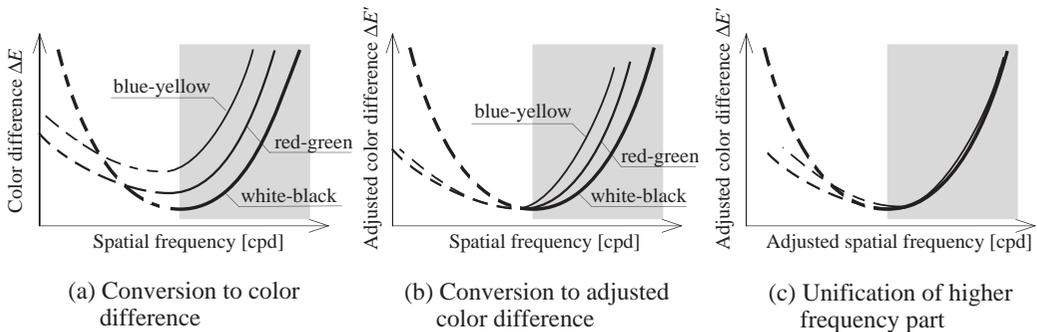


Fig. 4 Conversion to independent relation on color.

f' : 修正空間周波数

f : 空間周波数

t_a, t_b : 色差式中の彩度差の寄与度

とする。

こうすることで空間周波数と判別可能な縞模様
の色差との関係が縞模様を用いる色に依存しない
関係を作ることができる (Fig. 4(c))。実用のため
にはこの関係 (高周波部分のみ) を近似した式

$$E' = A \cdot \exp(\sigma f'^{\gamma}) \quad (9)$$

を用いる。

これは空間周波数と色の違いが判別できる閾値
との関係である。逆に見ると、ある色差の縞模様
に対してこれを判別できる最大修正空間周波数
 f_{cmax} [cpd]を示していることになる。

これと最小分離閾 θ_d [rad]との関係は

$$\theta_d = \frac{\pi}{360 f_{cmax}} \quad (10)$$

となる。従って修正色差と最小分離閾の関係は式
(9)の関係を用いると

$$\theta_d = \frac{\pi}{360 \left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{E'}{A} \right)^{1/\gamma}} \quad (11)$$

となる。

一方、文献¹⁴⁾によれば最適な文字の大きさは
視距離によらず最小分離閾のほぼ定数倍であるこ
とが知られているため、この倍率を K とすると文
字の大きさ θ は次式で求められる。

$$\theta = K \cdot \theta_d = \frac{K\pi}{360 \left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{E'}{A} \right)^{1/\gamma}} \quad (12)$$

この K の値が大きいくほど読みやすいと考えら
れる。そこで K の値が等しければ読みやすさも等
しいと仮定する。するとFig. 5のような「等読み
やすさ線」を描くことができる。文献¹³⁾によれば
視認文字視覚 (文字が視認できる大きさの下限 =
可読限界) は最小分離閾の約10倍、読みやすい文
字の大きさ (最適文字視角) は最小分離閾の約40
倍とされている。ここから適当な文字の色度と大
きさの組合せを選ぶことができる。

さらに視環境や年齢差を考慮する場合は前節の
空間周波数特性をそれぞれの視環境や年齢に対応
した特性に置き換えた上で、前節で述べた方法を

用いることによって同様に色差と文字サイズの間
係 (Fig. 6) を得ることができる。

以上の方法を用いて実際に色差と文字の大きさ
の関係を求める。

文献^{11, 12, 15)}における空間周波数特性測定結
果から前節で述べた方法を用いて色差と文字サイ
ズの間係を求めると式 (12) のパラメータの値は
以下の通りとなる (20歳・昼間の場合)。

$$s = 0.138, A = 0.472, \gamma = 1.06$$

またクロマ差、色相差の補正係数 k_c, k_h は

$$k_c = 0.4, k_h = 0.2$$

4. 文字画面設計システムへの応用

前章で述べた読みやすい車載表示機器上の文字

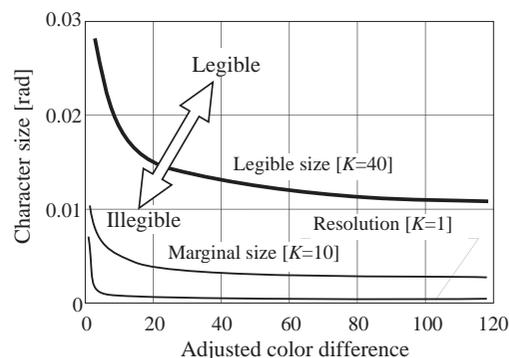


Fig. 5 Contour map of legibility.

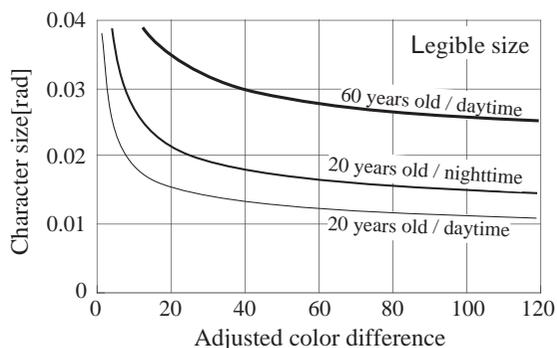


Fig. 6 Contour map of legibility considered driving environment and aging.

サイズとコントラスト（文字と背景の修正色差）との関係を車載ディスプレイの文字画面設計システムに応用した例を示す。

Fig. 7に本システムのブロック図を示す。設計条件である運転環境や年齢と設計したい文字画面の素案を入力すると、設計条件に応じた文字サイズとコントラストの関係から読みやすい文字サイズとコントラストの候補がオペレータに提示される。オペレータは提示された候補の中から画面全体のバランスなどを考慮の上、文字サイズとコントラストの組合せを選び、対話的に設計を進めてゆく。Fig. 8に設計した画面の一例（ナビシステムのメニュー画面）を示す。Fig. 8(a) は素案となる文字画面、(b) は読みやすいように文字サイズとコントラストを修正した画面である。全体的に文字サイズを約30%大きくし、選択された項目などのコントラストを大きく（背景色を濃く、文字色を薄く）している。

5. 妥当性の検証

5.1 検証方法

開発した方式の妥当性を検証するために評価実験を行った。ここでは、視環境と年齢を一定（通常の室内で若年者が観視）にした状態での評価実験について述べる。

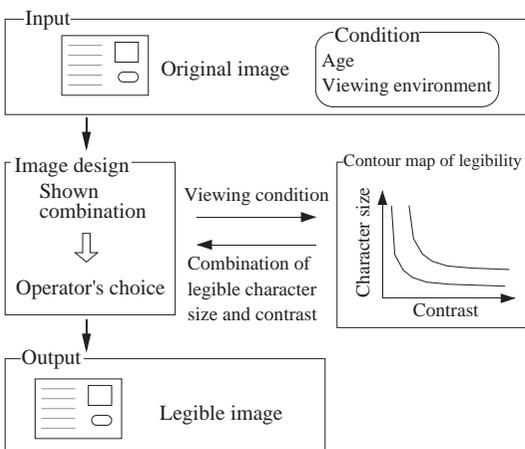


Fig. 7 Block diagram of designing system for character images.

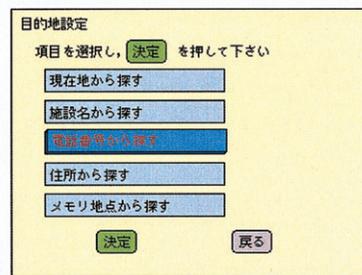
5.1.1 可読限界の測定

客観的評価として文字の可読限界を測定する実験を行った。

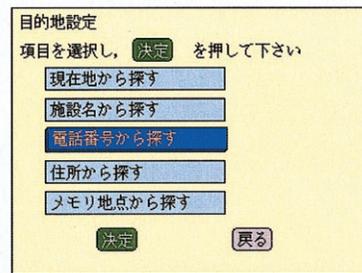
(1) 実験条件

実験条件をTable 1に示す。被験者は視覚機能が正常な男子3名とした。視対象はCRTに表示される文字である。

Fig. 9に文字の表示画像例を示す。スクリーンのほぼ中央に長方形の表示エリア（240×180 mm）が現れ、そのエリアの中央部に文字が提示される。文字は都道府県名もしくは主要都市名に用いられ



(a) Original image.



(b) Compensated easy-to-look image.

Fig. 8 Examples of designing of on-board display image.

Table 1 Conditions of experimental evaluation.

Subject	3 males, 30-40 years old
Environment illuminance	500lx
Display luminance	75cd/m2(max)
Viewing distance	75cm
Viewing image	Character patterns Sentence patterns

ている漢字のうち画数が8～12画の文字30文字を選び、そこからランダムに選んだ5文字を表示させた。色度はCIELAB色空間内のディスプレイが表現できる色度範囲のうち L^* , a^* , b^* が均等に散らばるように選んだ50色の中から2色をランダムに選び、背景色、文字色としてそれぞれ設定した。このとき、両者の L^* の値が等しくなるものを「輝度差なし」、 L^* の値が異なるものを「輝度差あり」とした。

視距離はドライバと車載ディスプレイの代表的な距離である75cmとした。

(2) 実験装置

ワークステーション (SGI社製 Power Indigo2) で提示画像を作成し、CRT上に表示した。

(3) 実験方法

最初に最も小さい文字サイズで文字列を提示し、順次提示する文字サイズを大きくしてゆき、被験者が「全ての表示文字が読めた」と回答した時点で提示を打ち切り、そのときの文字サイズを記録する。これを表示色度を変えて繰り返した。

5.1.2 読みやすさの測定

主観的評価として文字の読みやすさを測定する実験を行った。

(1) 実験条件

実験条件は5.1.1と同一である。視対象としてFig. 10に示すような文章の表示画像を用いた。CRTスクリーンのほぼ中央に長方形の表示エリア (240 × 180 mm) が現れ、そのエリアの中央部に文字が提示される。

色度は5.1.1と同様、2色をランダムに選び、背景色、文字色としてそれぞれ設定した。

(2) 実験装置

客観評価と同様ワークステーションで提示画像



Fig. 9 Example of displayed character.

を作成し、CRT上に表示した。

(3) 実験方法

最初に最も小さい文字サイズで文章を提示し、順次提示する文字サイズを大きくしてゆき、被験者が「文章がスムーズに読み取れる」と回答した時点で提示を打ち切り、そのときの文字サイズを記録する。これを表示色度を変えて繰り返した。

5.2 検証結果

可読限界の測定結果と文章の読みやすさの結果をまとめてプロットしたものをFig. 11に示す。

文字サイズの可読限界をみると本手法で求めた可読限界に比べ実験結果の可読限界は約1.5倍となっている。これは、本手法で求めた可読限界¹⁴⁾は印刷文字を対象にしている一方、CRTに表示される文字は画素が粗いため小さな文字の表示が印刷文字に比べて見にくいのが理由であると考えられる。

また、読みやすい文字サイズについてはばらつきが大きいものの、本手法で求めた「等読みやす

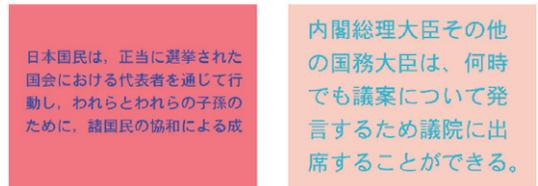


Fig. 10 Examples of displayed sentence.

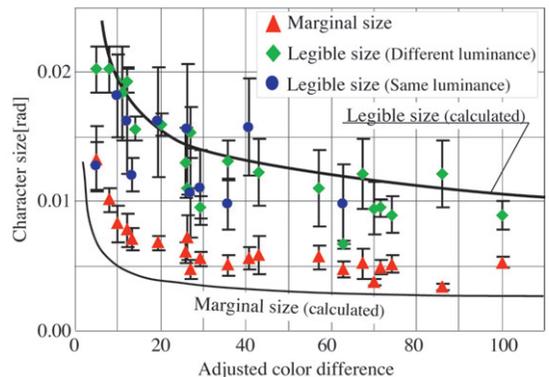


Fig. 11 Experimental result of evaluation.

さ線」にほぼ合致しており，本手法が文字サイズとコントラストの決定法としておおむね妥当であることがわかった。

6. まとめ

車載ディスプレイの視認性向上の一環として見やすい文字表示のための文字サイズと文字のコントラストの組合せの決定方法について提案した。本方式はコントラストと目の分解能の関係である視覚の空間周波数特性から，文字サイズとコントラストの組合せに置き換えるものである。

今後，走行中の車載表示機器視認がサブタスクであることと視認時間が短いことが視認特性にどの程度影響するかを見極めた上で，本方式の改良とさらなる検証を行ってゆく予定である。また，車載表示機器に警報を表示する場合の目立ちやすさなどについても検討する予定である。

参考文献

- 1) 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(1992), 61
- 2) 木村賢治, 大澄義正, 永井芳宏: "自動車用CRTディスプレイの視認性検討", 自動車技術, 43-10(1989), 70
- 3) 森下和彦: "ITSへの取組", 自動車技術, 53-1(1999), 47
- 4) 樋口和則, 中野倫明, 山本新: "車載ディスプレイの設計支援のための高齢者の視覚特性の再現と補正", 電気学会論文誌C, 117-C-1(1997), 27
- 5) 坂口靖雄, 樋口和則, 中野倫明, 山本新: "運転環境変化に配慮した車載ディスプレイの表示方式", 電気学会論文誌C, 118-C-1(1998), 79
- 6) 紙谷博之, 中村之信, 松本弘之: "車内画像情報の認知に関する一考察", 自動車技術会学術講演会前刷集, No.952(1995), 247
- 7) 伊藤肇: "ITSヒューマンファクタの標準化動向", 自動車技術, 52-2(1998), 22
- 8) 鏑沢勇, 長谷川敬, 村崎主助: "表示文字の評価", テレビジョン学会誌, 40-4(1996), 298
- 9) 磯野春雄: "CRTディスプレイの文字表示性能の評価手法", テレビジョン学会誌, 41-5(1987), 469
- 10) 長田昌次郎, 安田稔, 長谷川敬, 吉田辰夫, 福田忠彦: "文字放送の画像の好ましいコントラスト", テレビジョン学会誌, 39-6(1985), 516
- 11) 大頭仁, 行田尚義: 視覚と画像, (1994), 23, 森北出版
- 12) Rea, M. S.: "Lighting Handbook 8th Edition", (1993), 89, IES
- 13) 坂田春夫: "視覚の色度空間周波数特性 - 有彩色での色度軸 - ", 電子通信学会論文誌A, 64-2(1981), 121
- 14) 鏑沢勇, 井上正之: "文字表示における文字サイズと読み易さの関係", 電子通信学会総合全国大会講演論文集, 1261 (1984), 5-33
- 15) Mullen, K. T.: "The Contrast Sensitivity of Human Colour Vision to Red-green and Blue-yellow Chromatic Gratings", J. Physiol., 359(1985), 381
(1999年12月23日原稿受付)

著者紹介



坂口靖雄 Yasuo Sakaguchi
 生年: 1965年。
 所属: 人間行動研究室。
 分野: 自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究開発。
 学会等: 電子情報通信学会, システム制御情報学会, 映像情報メディア学会会員。



樋口和則 Kazunori Higuchi
 生年: 1962年。
 所属: 人間行動研究室。
 分野: 自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究開発。
 学会等: 電子情報通信学会, 電気学会, 情報処理学会会員。



杉山和彦 Kazuhiko Sugiyama
 生年: 1960年。
 所属: 人間行動研究室。
 分野: 自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究開発。
 学会等: 自動車技術会会員。



中野倫明 Tomoaki Nakano
 生年: 1956年。
 所属: 人間行動研究室。
 (1999年9月末にて退社)
 分野: 自動車におけるヒューマンインタフェース分野の研究開発。
 学会等: 電子情報通信学会, 電気学会, 映像情報メディア学会, ヒューマンインタフェース学会, 自動車技術会会員。
 工学博士。