

# 視環境と年齢を反映した操作パネルの見え方の予測法

樋口和則，坂口靖雄，杉山和彦，中野倫明

## Simulating Human Vision Based on Adaptation and Age-related Visual Changes

Kazunori Higuchi, Yasuo Sakaguchi, Kazuhiko Sugiyama, Tomoaki Nakano

### 要 旨

高齢者にも見やすい操作パネルを開発するために、明るさと年齢を反映した操作パネルの見え方を予測・画像化する方式を開発した。この方式は、明るさに応じて変化する視覚特性（順応特性）と加齢に伴って変化する視覚特性（空間周波数特性，分光特性）の生理計測データを用い、入力された視環境（明るさ，視距離，表示サイズ）と年齢に応じた操作パネルの見え方をコンピュータ画面上に表示する方法である。同方式を用いたシミュレーションシステムをシャワートイレの操作パネルの評価に適用し、その有効性を確認した。

キーワード 視覚特性，高齢者，シミュレーション，画像処理，年齢，順応

### Abstract

In this paper, we propose a new approach to designing visual displays for the elderly based on a human vision model, which is represented by three visual properties: the adaptation of eyes to light, spatial sensitivity and the optical transmittance of eyes. The approach is first to generate a mathematical model as a transfer function approximately equal to the human visual system and then to process the original image using image processing techniques according to the deterioration of human vision with age under specific illuminance levels. This paper describes the proposed method and shows the evaluation results. It is demonstrated that the system can be used as a design tools which will aid prototype evaluation of control panels used in consumer product, including shower-toilets with illuminated buttons.

Keywords Visual property, Elderly, Simulation, Image processing, Age, Adaptation

### 1. はじめに

我が国は高齢化が急速に進み、2020年には4人に1人は65歳以上という高齢社会が到来すると言われている<sup>1)</sup>。高齢者や障害者を含む多様なユーザに配慮した製品が求められており、ユニバーサルデザインのコンセプトに基づく製品設計の重要性が高まっている。一方、電化製品の高機能化に

伴って、日常生活のいたるところで多種多様な操作パネルが使われるようになった。家庭ではテレビやビデオのリモコンをはじめ、エアコン，電子レンジ，シャワートイレなどほとんどの電化製品に何らかの操作パネルが使われているといっても過言ではない。

一般的に高齢になると視覚機能が低下<sup>2)</sup>することは避けられず，日常生活の質の向上のためには

表示の見やすさを一層改善することが重要である。さらに、暗いところでは視覚機能がより低下することから、機器が使用される明るさを考慮することも重要である。しかしながら、これらは、主として若い人が明るい部屋で使用することを基準に設計されており、一部を除いて高齢者や使用環境の明るさを考慮した検討はあまりなされていないのが現状である。そのため、高齢者が実際に使用する環境では「見づらい」表示となっていることがしばしばある。この原因は、若年の設計者にとって実際に使用する環境で高齢者がどのように見えているのかが分からないため、どの部分が「見づらい」のかが実感できないためと考えられる。したがって、高齢者が実際に使う環境で何が見にくいのかを設計者が直感的に体験できることは、見やすい表示を設計する上で非常に有効であると考えられる。

ここ数年、ヴァーチャルリアリティ (VR) やコンピュータグラフィックス (CG) の技術の進展により、シミュレーションや Visualization の分野で、実際に体験することが難しい現象や環境を仮想的な世界で体験することが可能になってきた<sup>3)</sup>。視覚世界を計算機で仮想的に再現する研究としては、ニューラルネットを用いて色覚異常者の色の見え方を再現した例<sup>4)</sup>や、異なる照明下における色と明るさの見え方を予測する方法が提案されている<sup>5,6)</sup>。しかし、いずれも年齢に伴う視覚特性の変化を考慮したものではない。また、建築の分野では外観や照明環境をCGで再現した例は多くあるが、いずれも、視点や照明条件を変化させたときの3次元世界を物理的光学特性に基づいてフォトリアリスティックな画像で表現するものであり、人間の視覚機能まで考慮したものではない。

従来、表示の見やすさに関しては、表示の大きさ、視距離、コントラスト、明るさなどの要件から検討されてきたが、これらは主に官能による評価が中心である<sup>7)</sup>。

筆者らは、高齢者にも見やすい操作パネルを開発するために、設計段階での事前評価を支援することねらいに、明るさと年齢を反映した操作パネルの見え方を予測・画像化する方式を開発した。この方式は、明るさに応じて変化する視覚特性

(順応特性) と加齢に伴って変化する視覚特性 (空間周波数特性, 分光特性) の生理計測データを用い、入力された視環境 (明るさ, 視距離, 表示サイズ) と年齢に応じた操作パネルの見え方をコンピュータ画面上に表示する方法である。以下、開発した方式と本方式を用いたシミュレーションシステムについて述べる。

## 2. 視環境と年齢による視覚特性

ここでは、人間の視環境と年齢に応じて変化する視覚特性について概説する。

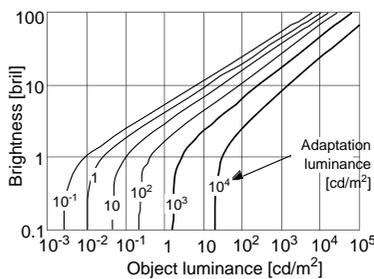
人間の視覚系は周囲の明るさに応じて自動的にその感度を調整する。これが順応と呼ばれる機能であり、瞳孔径の変化、網膜の感度特性の変化および大脳神経系の変化が複合されたものである。この調節機能により人間は月夜から太陽光下という $10^6$ 倍以上の非常に幅広い明るさの範囲に適応して、対象物を視認することができる<sup>8,9)</sup>。典型的な順応の静特性の測定例<sup>10)</sup>を Fig. 1(a)に示す。これは、視対象の物理的な輝度と人間の感覚的な明るさを示したものである。この関係は、順応輝度 (目がどの程度の明るさに慣れた状態かを表す値) をパラメータとした特性である。この特性から、視対象の物理的な輝度が異なっても目の順応状態 (順応輝度の値) が異なると、感覚的には同じ明るさに感じる場合があることがわかる。

次に、年齢に応じた視覚特性の変化について説明する。加齢に伴って、暗いところや近距離の細かい文字が見にくくなる場合が多くなる。これらは人間の生理的な特性の変化であり、程度の差こそあれ避けることはできない<sup>12,11)</sup>。操作パネルの表示では、表示の見やすさの点から明瞭さが肝心である。本報告では、見やすさを評価するために表示の明瞭さの観点から、空間周波数特性と分光特性を検討する。

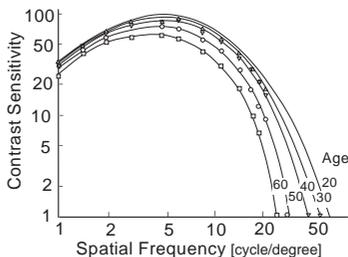
Fig.1(b)に空間周波数特性の測定例を示す<sup>12)</sup>。空間周波数特性は、網膜から大脳に至る視覚系の特性で脳の低次の処理を取り扱うもので、一般にコントラスト感度 (明暗の縞模様を判別できる最小コントラストの逆数) と空間周波数 (縞模様の細かさの程度, 単位: cycle/degree, 以下, cpd) との関数で表される。この関数は $3 \sim 5$ cpdにピー

クを持つバンドパス特性で、年齢が高くなるにつれて高周波領域での感度が低下する<sup>12)</sup>。

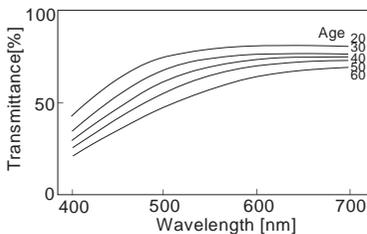
Fig.1(c)に分光特性の測定例を示す<sup>13)</sup>。分光特性は、水晶体の分光透過率と波長との関係を示したものである。高齢になると水晶体の黄色化により分光透過率は低下し、特に短波長光（青色成分の光）に対する透過率の低下が顕著になる<sup>14)</sup>。高齢者の色知覚については、若年者比べて赤や緑などの色を見た場合に黄色味を帯びた色に知覚さ



(a) Adaptation property



(b) Spatial sensitivity



(c) Spectral sensitivity

Fig. 1 Examples of human vision properties.

れる<sup>15)</sup>。

### 3. 視覚特性に基づく見え方の予測方法

#### 3. 1 表示画像の処理方法

Fig. 2に基本的なブロック図を示す。基本的な考え方は、前述した視覚特性（順応特性、空間周波数特性、分光特性）を伝達関数としてモデル化し、入力画像に対してこのフィルタ処理を施した出力画像を生成し、明るさと年齢に応じた見え方の違いを画面上で確認するというものである。ここでは、入力画像は標準観察者（20歳の若者）が観測すると仮定する。実際には、この方法は画素の分解能や処理の有限性から、見え方を厳密に再現するというものではないが、明るさや年齢に応じた視認性の違いを確認する目的には十分役立つものとする。

以下では、各々の視覚特性のモデルについて説明する。

#### 3. 2 順応特性

前述したように、人間が知覚する感覚的な明るさは対象物の物理的な輝度と視覚系の順応レベルによって決定される。順応のレベル（順応輝度）は、目に入射する光の総量の関数となる。ここで、一様に照明された白い紙で囲まれた部屋を考えると、その中にいる人の順応輝度は、紙の面の輝度と一致する。このことから、我々はシーンを撮像して得られた画素値の平均値から近似的に順応輝度を計算することとした。具体的には、順応輝度  $L_a$  は式(1)から計算される。

$$L_a = \frac{\sum N D(v)}{N} \tag{1}$$

ここで、 $v$ はシーン画像の画素値、 $N$ はシーン画像の画素数、 $D$ は画素値と輝度値との関数である。

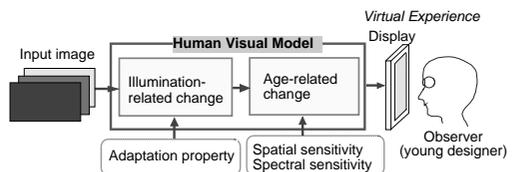


Fig. 2 Block diagram of the fundamental method.

Dはあらかじめキャリブレーションして求めておく。感覚的な明るさBは式(2)から計算される。

$$B = S_{La}(D(v)) \tag{2}$$

ここで、 $S_{La}$ は、Fig. 3に示すように、順応輝度 $La$ の場合の物理的輝度から感覚的明るさへの対応を示す関数であり、Fig. 1(a)から求められる。計算された感覚的な明るさは再び画素値にマッピングされ、次の処理へ渡される。もちろん、CRTなどの表示機器のダイナミックレンジによって処理結果の表現には限界があるが、家庭での日常生活での明るさ変化に応じた操作パネルの見え方の違いを表現することは十分可能なレベルである。

### 3.3 空間周波数特性

視覚の空間解像度の低下（視力の低下）は、網膜にピントが合わなくなること（焦点調節特性）と、網膜以降の視覚機能として高い空間周波数に対するコントラスト感度が低下すること（空間周波数特性）の両者によって起こる。ここでは、眼鏡などの補正手段を用いて網膜にはピントが合う状態で画像がぼけること、すなわち年齢ごとの空間周波数特性を検討する。

空間周波数特性による画像のぼけは、画像処理で一般的に用いられるガウス関数の畳み込み積分にて実現する。すなわち、空間周波数特性 $Hc$ を空間周波数 $f$ を変数として、式(3)で近似する。

$$H_c(f) = \exp\left(-\frac{1}{2} \sigma^2 f^2\right) \tag{3}$$

ここで、画像のぼけの程度を決める $\sigma$ の値を年齢に対応して決定すればよい。具体的には、Fig. 4に示すように、 $H_c$ を年齢ごとの空間周波数特性のデータに最小二乗法でフィッティングして $\sigma$ を求

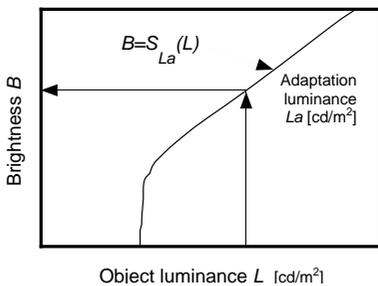


Fig. 3 Illustration of computing brightness based on adaptation.

めた。このとき、高齢者が読みにくくなる部分（例えば、文字など）の空間周波数はそのサイズからおよそ5cpd以上と概算できる。そこで、今回我々は5cpd以上の比較的細かい部分を近似対象とした。

### 3.4 分光特性

Fig. 5に分光特性の再現の考え方を示す。基本的な考え方は、加齢による水晶体の分光透過率の変化に相当する光学フィルタを通した画像を計算するというものである。 $T_n(\lambda)$ を年齢 $n$ 歳の水晶体の分光特性、網膜のRGB各チャンネルに対応する細胞の感度特性を $h_R(\lambda)$ 、 $h_G(\lambda)$ 、 $h_B(\lambda)$ とすると、年齢 $n$ 歳の人の網膜で知覚されるRGB値は、波長領域で積分して次式で表される<sup>16)</sup>。

$$\begin{cases} R = K \int T_n(\lambda)E(\lambda)h_R(\lambda)d\lambda \\ G = K \int T_n(\lambda)E(\lambda)h_G(\lambda)d\lambda \\ B = K \int T_n(\lambda)E(\lambda)h_B(\lambda)d\lambda \end{cases} \tag{4}$$

ここで、原画像を標準観察者の知覚するRGB値と仮定し、これを $(R_0, G_0, B_0)$ とし、標準観察者の水晶体の分光特性を $T_0(\lambda)$ とすると、年齢 $n$ 歳の人が知覚するRGB値は次式のようになる。 $G, B$ も値が入れ替わるだけなので省略する。

$$R = \left( \frac{\int T_n(\lambda)E(\lambda)h_R(\lambda)d\lambda}{\int T_0(\lambda)E(\lambda)h_R(\lambda)d\lambda} \right) R_0 \tag{5}$$

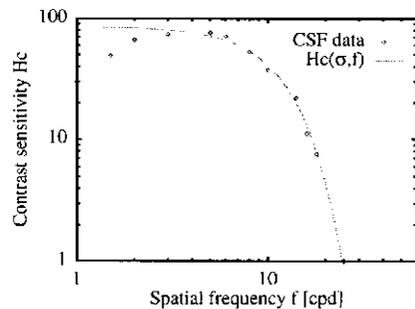


Fig. 4 Gaussian fitting ( $H_c$ ) to the spatial vision property data (age 60).

ここで、 $E(\lambda)$  は入力画像のRGB値から直接求められないので、標準光源の下で完全拡散反射面（白色）を仮定し既知として与えた。

一方、ここまでの分光特性の近似では色の恒常性は考慮していない。すなわち、照明の色が変わって色度値が変化しても、人間が感じる色はそれほど大きく変化しないという色に対する視覚系の調節機能である。そのため、水晶体の分光透過率の近似だけでは、年齢に相当する光学フィルタを装着した瞬間の見え方を近似していることと考えられ、加齢に伴う視覚機能の変化を近似するには、変化の程度を抑制する機構を考慮する必要がある。そこで、高齢者の水晶体を模擬した黄色いメガネを装着して測定したユニーク白色の測定実験の結果<sup>17)</sup>より、分光特性による変化を定数倍する係数を式(5)に導入することで、色に対する視覚系の調整機能を近似した。計数值は、標準観察者（20歳）と高齢者のユニーク白色の測定結果の差から求められ、その値は約0.5である。

#### 4. 実験

##### 4.1 実験方法

提案する再現方式の妥当性を確認するために、テストパターンを用いた評価実験を行った。具体的には、EWSのCRT画面上にテストパターン（Fig. 6）を表示し、高齢者が原画像を見る場合と若齢者が高齢者の再現画像を見る場合について、コントラスト感度（最小コントラストの逆数）を計測する心理物理実験である。テストパターンは縦縞で、正弦波でレベルを変調した。視距離は0.75mで実験室の蛍光灯照明下（500lux）で実験を行った。被験者は20～30歳代、60歳代の各4名である。なお、

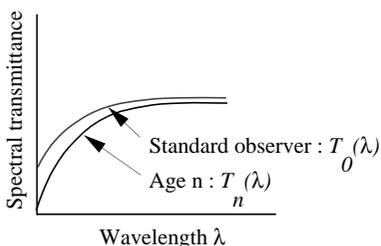


Fig. 5 Approximation of the spectral transmittance.

評定者は事前に視覚機能が正常であることを確認した。

##### 4.2 実験結果

Fig. 7にコントラスト感度特性の測定結果を示す。ここでは、高齢者（60歳代）が原画像を見る場合（ケース1）と若齢者（20歳代）が高齢者（60歳）の再現画像を見る場合（ケース2）について比較して示す。この結果から、ケース1とケース2の場合のコントラスト感度の測定結果がほぼ一致することから、本方式が妥当であることが分かる。また、同時に測定した若齢者が原画像を見る場合と高齢者を比較すると、高齢者は空間周波数特性の生理データと同様に高周波領域でのコントラスト感度が低いことが分かる。ここで、空間周波数

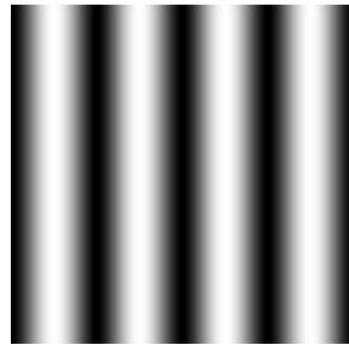


Fig. 6 Example of a test chart (Black-white pattern).

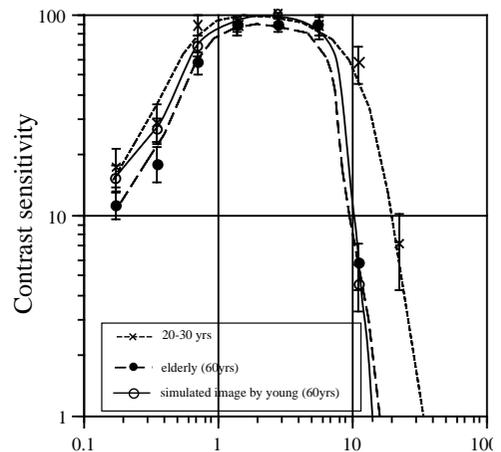


Fig. 7 Experimental results.

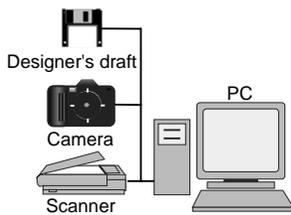
特性のカットオフ周波数がランドルト環による視力値に対応するといわれていることから、高齢者の視力値を擬似的に見積もると、例えば、若齢者のカットオフ周波数を視力値1.5相当とすると、高齢者では視力0.7と換算できる。

以上、限られた人数の実験ではあるが、本方式により、提案する視覚特性の再現方式により高齢者の見え方を再現できることが確認された。

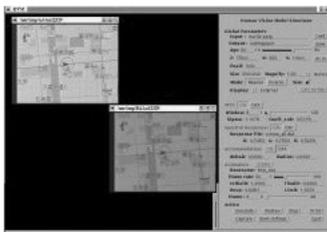
## 5．操作パネルへの応用

### 5．1 システム構成

第3章で述べた方法を用いて、明るさと年齢に応じた見え方を画面上で仮想体験できるシステムを開発した。Fig. 8(a)にシステムの構成を示す。このシステムは、デジタルカメラ、スキャナなどの画像入力装置、EWS、カラーモニタから構成される。入力画像は、スキャナから取り込んだ画像だけでなく、デザイナーが設計中の画像を用いることもできる。ここで、入力装置とカラーモニタはカラーチャートと輝度計を用いて、あらかじめ色と輝度の校正を行っておく必要がある。Fig. 8(b)は本システムの操作画面の一例である。このシステムは、ユーザが年齢、明るさ、視距離、対象物



(a) A system configuration



(b) A snapshot of the system console

の大きさなどのパラメータを操作画面からインタラクティブに設定できるGUIを有している。このシステムを用いることで、高齢者が様々な明るさの下で見た場合の見え方を若齢者が仮想的に体験できる。これにより、高齢者にとってどの部分が見づらいか、配色や明るさは適当かなどの検討が試作品を作成することなく設計者が画面上で確認できる。

### 5．2 実験結果と考察

開発した視覚特性仮想体験システムを、シャワートイレの操作パネルの見え方の検討に適用した。Fig. 9(a)が操作パネルをスキャナで取り込んだ原画像であらかじめ明るさと色のキャリブレーションがなされている。これを若齢者(20歳)が明るい場所(300 lux)で見ている場合の見え方と仮定し、原画像とする。Fig.9(b)(c)はそれぞれ、



(a) Original image (age20, 300 lux)



(b) Simulated image ( age60, 300 lux)



(c) Simulated image ( age60, 100 lux)

Fig. 8 Block diagram of the simulation system.

Fig. 9 Example of the simulated image.

高齢者（60歳）が明るい場所（300lux）と暗い場所（100lux）で見た場合を再現したものである。トイレの照明は、通常デザイナーのオフィスに比べて暗いため、実際に使用される環境でどのように見えるのかをあらかじめ評価しておくことは非常に重要である。この結果から分かるように、高齢者が操作ボタンの小さい文字やマークを読み取りにくい場合があることが分かる。特に、暗い照明下では青色のボタンのコントラストが低下するために読み取りが容易でないと思われる。

そこで、バックライト照明付きのボタンにした場合の見やすさの改善効果を本システムを用いて見積もることを試みた。ボタン部分のバックライト照明の輝度は高齢者が暗い場所で見た場合に若い人並の明るさに感じるような輝度値を計算し、ボタン部分だけ画像の輝度値を増加した画像を作成して入力画像とした。本システムを用いて高齢者が暗い環境で見ている場合の見え方を再現した結果をFig. 10に示す。この結果から分かるように、バックライト照明によりボタン部分の見やすさがかなり改善されたことが分かる。このように、原画像を設計する段階で文字やマークのサイズや配色を変えた原画像を用意すれば試作品を製作することなく見え方を確認できるため、設計の効率化に有効であると考えられる。

## 6. むすび

若年者から高齢者まで幅広いユーザに見やすい操作パネルの開発支援をねらいに、視覚特性に基づいて明るさと年齢を反映した見え方を仮想体験



Fig. 10 Simulated image of control panel with illuminated buttons( age60, 100 lux).

するシステムを開発した。このシステムは、視覚の生理計測データ（順応特性、空間周波数特性、分光特性）に基づいて、年齢や視環境（明るさ、視距離など）を反映した見え方を画像処理により再現する方式である。開発したシステムをシャワートイレの操作パネルの見え方の評価に適用し、設計の事前評価に有効であることを示した。

ユニバーサルデザインのコンセプトに基づいた設計が一層望まれることが予想され、設計の効率化のために設計段階での事前評価が重要なキー技術となると思われる。今後は、感覚・知覚レベルの視覚特性だけでなく視点や情報量などの認知特性を考慮した見やすい表示法の検討など課題である。

## 参考文献

- 1) 総務庁統計局「国勢調査」「人口推計資料」および厚生省人口問題研究所「日本の将来推計人口（平成4年9月推計）
- 2) 福田忠彦：“高齢者の視覚機能”，電子情報通信学会技術研究報告，IE90，409(1991)，1～8
- 3) Earnshaw, R. A., Gigante, M. A. and Jones, H.: "Virtual Reality Systems", Academic press, (1993)
- 4) Usui, S. and Nakauchi, S.: "Neural Network Models for Normal and Dichromatic Color Vision", Color Vision Deficiencies (Ed: B. Drum), XII(1995), 127～134
- 5) Hunt, R. W. G.: "A Revised Colour Appearance Model for Related and Unrelated Colours", Color Res. Appl. 16-3 (1991), 146～165
- 6) Nayatani, Y., Takahama, K., Sobagaki, H. and Hashimoto, K.: "Color-appearance Model and Chromatic Adaptation transform", Color Res. Appl., 15-4(1990), 210～221
- 7) 樋渡涓二：“視覚とテレビジョン”，日本放送協会
- 8) Lighting Handbook, Ed. by Rea, M. S., Illuminating Eng. Soc. of North America, NY.
- 9) Thomas, C.W., Gilmore, G. C. and Royer, F. L.: "Models of Contrast Sensitivity in Human Vision", IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., 23-3(1993), 857～864
- 10) Stevens, J. C. and Stevens, S. S.: "Brightness Function: Effects of Adaptation", J. of the Opti. Soc. of Am., 53-3 (1963), 375～385
- 11) Weale, R. A.: "Aging and Vision", Vision Res., 26-9(1986), 1507～1512
- 12) Nameda, H., Kawara, T. and Ohzu, H.: "Human Visual Spatio-temporal Frequency Performance as a Function of Age", Optometry and Vision Science, 66-11(1989), 760～765
- 13) Kanaya, S., Akashi, Y. and Yano, T., "Visual Environment

in Interior for Aged People", Nat. Tech. Rep., 38-6 (1992), 651 ~ 659

- 14) Said, F. S. and Weale, R. A. : "The Variation with Age of the Spectral Transmissivity of the Living Human Crystalline Lens, Gerontologia, 3(1959), 213 ~ 231
- 15) Granville, W. C. : "Colors do look different after a lens implant!", Color Res. Appl., 15-1(1990), 59 ~ 62
- 16) 池田光男 : "色彩工学の基礎", 朝倉書店
- 17) Kuriki, I., Ishii, W. and Uchikawa, K. : "Effect of Crystalline-lens Contrast on Color Perception", ITE Tech. Rep. VIS98-51, 22, 26(1998), 25 ~ 30, (Japanese)

(2000年2月14日原稿受付)

### 著者紹介



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



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。



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。