

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：32612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630040

研究課題名(和文) 眼鏡による矯正を必要としない近視・遠視・老視・乱視用ディスプレイ映像の生成法

研究課題名(英文) Method to Make Display Pictures for Myopia, Hyperopia, Presbyopia, and Astigmatism without Anastigmatic Lens

研究代表者

青山 英樹 (Aoyama, Hideki)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：40149894

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：人間は、眼球の水晶体(レンズ)を毛様体(筋肉)で調節し、網膜(スクリーン)上に映像を形成することにより、外界の視覚情報を得ている。様々な原因で屈折異常をおこし、網膜上に鮮明な映像を形成できない場合、近視・遠視・老視・乱視といった症状になる。本研究では、近視・遠視・老視・乱視に対してスマートフォン・携帯電話・デジカメなどのディスプレイにデフォーカス画像(ボケ画像)を表示することにより、眼鏡矯正をすることなく鮮明な映像を得る方法を開発するために、デフォーカス画像(ボケ画像)の生成法を開発した。

研究成果の概要(英文)：Humans obtain visual information from a picture which is made on the retina (screen) by adjusting the crystalline lens with a ciliary body (muscle). When a clear picture is not made on the retina due to ametropia caused by several factors, humans have myopia, hyperopia, presbyopia, or astigmatism.

In this research, a method to make a de-focus picture (blurred image) on the display of a smart phone or a personal computer was developed in order to give a clear picture to a person taking myopia, hyperopia, presbyopia, or astigmatism without anastigmatic lens.

研究分野：CAD/CAM, デジタルデザイン, デジタルマニュファクチュアリング, 感性工学, 金型, 生産システム

キーワード：ユニバーサルデザイン 視覚矯正 ディスプレイ映像 老視 眼鏡レス

### 1. 研究開始当初の背景

(1) レンズシステムの光学理論に基づき、近視・遠視・老視・乱視により形成される映像の生成技術は実用化しており、眼鏡による視力矯正の基盤技術となっている。本研究は、スマートフォン・携帯電話・デジカメのディスプレイにポケ映像を表示し、眼鏡による視力矯正することなく近視・遠視・老視・乱視の屈折異常に対して網膜に鮮明な映像を形成する手法・技術を開発するものであり、国内・国外において例のない研究である。

眼球の焦点調節特性、空間周波数特性、水晶体分光特性、焦点調節速度特性について、年齢を変数とする関数としてモデル(正変換モデル)を構築し、その逆変換モデルにより目的を達成する極めてオリジナリティの高い研究である。唯一、本研究と同様の目的をもつ研究が2011年5月12日に特許公開(特開2011-95842)されているが、これはフィルタ関数によりディスプレイに表示する画像を導出する手法であり、十分な結果が得られていない。

(2) 応募者は、加齢(老眼)にともなう網膜上の映像をシミュレーションする手法・システム下記文献を開発してきた。同手法の逆プロセス、すなわち、網膜上に形成したい鮮明な画像を近視・遠視・老視・乱視の光学系によりディスプレイの位置に結像される映像を生成し、それを表示することにより、眼鏡により矯正することなく鮮明な映像が得られるという発想に至った。

### 2. 研究の目的

(1) 人間は、眼球の水晶体(レンズ)を毛様体(筋肉)で調節し、網膜(スクリーン)上に映像を形成することにより、外界の視覚情報を得ている。様々な原因で屈折異常をおこし、網膜上に鮮明な映像を形成できない場合、近視・遠視・老視・乱視といった症状になる。この場合、通常、眼鏡(あるいはコンタクト)により網膜上の画像を矯正するが、特に老視では、状況に応じて眼鏡を掛けたり外したりしなければならず、非常に煩わしく、矯正することなく視覚を得たい。

本研究では、近視・遠視・老視・乱視に対してスマートフォン・携帯電話・デジカメなどのディスプレイにデフォーカス画像(ポケ画像)を表示することにより、眼鏡矯正することなく鮮明な映像を得る方法を開発するために、デフォーカス画像(ポケ画像)の生成法を開発する。

(2) 平成25年度では、焦点調節特性、空間周波数特性、水晶体分光特性、焦点調節速度特性について、医学データに基づく年齢を変数とした正変換モデル(網膜映像生成モデル)を構築する。平成26年度では、近視(屈折性近視、軸性近視、偽近視)、遠視(屈折性遠視、軸性遠視、無水晶体眼)、乱視(正乱

視、不正乱視)の状態の逆変換モデル(ディスプレイ映像生成モデル)を構築し、個人ごとに最適化したポケ画像の生成方法を開発する。

### 3. 研究の方法

(1) 次の(A)~(C)の項目を実施し、眼球の屈折異常(近視・遠視・老視・乱視)を眼鏡により矯正することなく鮮明な映像を網膜上に形成する手法を開発し、スマートフォン・携帯電話・デジカメのディスプレイに応用し、有効性を確認する。

- (A) 眼球の屈折異常(近視・遠視・老視・乱視)により網膜上に形成される映像を、医学データを基に生成する正変換モデルを構築し、その妥当性を検証する。
- (B) 個人個人で異なる正変換モデルの構築法を確立し、その逆変換モデルを導出して網膜上に鮮明な映像(目的とする映像)を形成したときに、対象ディスプレイに逆変換される映像(ポケ画像)を生成する。
- (C) 上記(B)で生成されたポケ画像を対象ディスプレイに表示し、提案手法の検証を行う。

(2) 医学データを基に、次の(a)~(d)の手順で、屈折異常(近視・遠視・老視・乱視)によって網膜上に結像する映像を生成する正変換モデルを構築する。

- (a) 老視に関する焦点調節速度特性の変換モデルを構築し、老視正変換モデルに追加する。
- (b) 近視・遠視・乱視に関する焦点調節特性、空間周波数特性、水晶体分光特性、焦点調節速度特性の変換モデルを構築する。
- (c) 近視・遠視・老視・乱視のそれぞれの焦点調節特性、空間周波数特性、水晶体分光特性、焦点調節速度特性の変換モデルを統合して図1に示す近視・遠視・老視・乱視に対応する正変換モデル構築し、その妥当性を検証する。このモデルにより、屈折異常をもつ眼球の網膜上の映像を生成することができる。

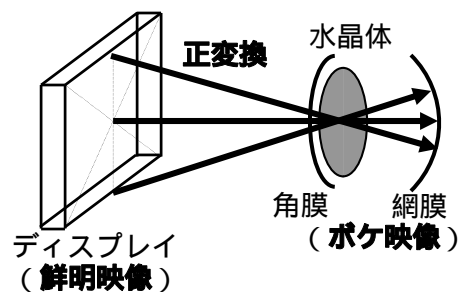


図1 屈折異常の正変換モデル

(d) 屈折異常眼球被験者のインタビュー調査・アンケートを実施する。

(3) 上記の成果を基礎として、次の(e)~(i)の

手順により、矯正することなく、屈折異常眼球の網膜上に鮮明な映像を形成するためのディスプレイ映像を生成し、その効果を評価する。

- (e) 平成 25 年度に構築した正変換モデル式を基にその逆変換式を導出し、近視・遠視・老視・乱視のそれぞれの焦点調節特性、空間周波数特性、水晶体分光特性、焦点調節速度特性の逆変換モデルを構築する。
- (f) 上記(e)の逆変換モデルの構築において、個人個人で異なる眼球特性を逆変換モデルに組み込むための簡易キャリブレーション手法を開発する。(簡易なパターンの表示とそのパターン位置の同定により行う。)
- (g) 焦点調節特性、空間周波数特性、水晶体分光特性、焦点調節速度特性の逆変換モデルを統合して図 2 に示す近視・遠視・老視・乱視に対応する逆変換モデル構築する。

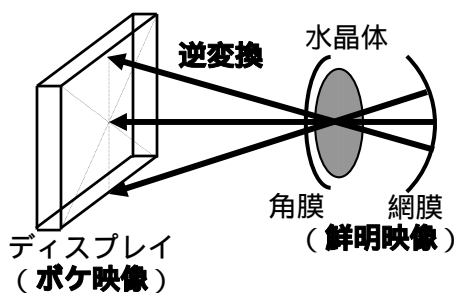


図 2 屈折異常の逆変換モデル

- (h) 網膜上に形成したい鮮明な映像に対して、逆変換モデルによりディスプレイに形成(逆写像)する映像(ボケ映像)を生成し、それをディスプレイに表示して屈折異常眼球をもつ被験者による評価実験を行い、提案手法の有効性を確認する。
- (i) 逆変換モデルの評価において、屈折異常眼球被験者のインタビュー調査・アンケートを実施する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 視覚シミュレーション

###### シミュレーション概要

加齢による生理的な視覚機能変化として、(a)年齢に対する焦点調節特性、(b)年齢に対する空間周波数特性、(c)年齢に対する水晶体分光特性、(d)年齢に対する焦点調節速度特性を基に、年齢に伴う視覚機能の変化をモデル化する手法を提案した。提案手法に基づいた基礎システムは、所望の年齢、視覚状態(正視、近視、遠視)、対象物までの距離に応じて当該年齢の視覚を模擬した。

焦点調節特性に基づく視覚シミュレーション

加齢により、焦点を近距離に設定する機能である調節力が低下する。調節力の低下により焦点が合わなくなることにより、焦点ボケ

が生じる。調節力は既存の調節力年齢曲線[1]から導出される。近点(焦点を定めることができる最も近い)は、正視の場合、調節力の逆数から求められるため、簡易眼球モデルにより焦点ボケ直径を求めた。焦点ボケの模擬において、求めた焦点ボケ直径に沿って視点を複数配置し、各々の視点からの描画画像を重ねることにより、調節力の低下による焦点ボケにより生成される視覚を模擬した。

空間周波数特性に基づく視覚シミュレーション

空間周波数特性とは、明暗縞模様の判別ができる限界を表す特性であり、空間周波数とコントラスト感度の関数で表わされる。加齢に伴いコントラスト感度の高周波数成分が減衰するため、それにより文字などが見づらくなる。空間周波数特性は、3-5 cpd にピークをもつバンドパス特性であるため、年齢に応じてカットオフ周波数を変化させたガウシアンフィルタを用いて加齢に伴う空間周波数特性変化を模擬した。

水晶体分光特性に基づく視覚シミュレーション

人の眼の水晶体は加齢に伴い濃度が増加するため、その分光特性が変化し色覚が変化する。水晶体分光特性の加齢変化モデルとして、Pokorny らによる Two-Factor モデルを用いた[2]。水晶体分光特性、対象物からの放射光の分光特性、目の分光感度特性の波長領域の積分により、人の網膜が知覚している RGB 値の感度特性が求められる。視覚映像を模擬する際、標準観測者(32 歳)の感度特性と所望の年齢の感度特性の比より所望の年齢の色覚を再現した。

焦点調節速度に基づく視覚シミュレーション

人の眼が焦点を合わせるために要する時間は、加齢に従い長くなる。既存研究結果を基に、年齢ごとの焦点調節速度を求めた。注視点を変更した際、変更前後の奥行差を求め、年齢ごとの焦点調節速度から調節に要する時間を算出し、算出した焦点調節時間で焦点が徐々にあっていくように調節し、視覚映像を模擬した。

###### シミュレーション実行結果

上記の手法をもとに視覚シミュレーションシステムを構築した。図 3(a)はオリジナル映像を、図 3(b)はそのオリジナル映像を 70 歳(正視)の方が見えていると思われるシミュレーション映像を示している。

###### シミュレーション評価実験

評価実験として高齢者(平均 73 歳)にオリジナル映像を提示し、若年者(平均 23 歳)に提案手法により生成された 73 歳の方のシミュレーション映像を提示し、両者の映像に対する見やすさの評価が一致するかどうかを確認した。色に関する評価実験では、文字と背景の二色配色サンプルを 8 個提示し、見やすさについて順位を得た。若年者と高齢者の結果に対して順位相関係数が 0.83 と高い



(a)オリジナル映像



(b)高齢者視覚シミュレーション映像  
(70歳・正視)

図3 シミュレーション実行結果

相関が認められ、両側 5% で有意という結果を得た。焦点ボケに関する評価実験ではランドルト環とアンテナマークをサンプルとし、環の途切れる方向とアンテナの各線が分離して見えるかについて回答を得た。ランドルト環に関しては、若年者と高齢者でよく一致した結果が得られた。アンテナマークにおいては高齢者の方がよく見えるという結果となったが、これは、アンテナマークの見やすさが定性的評価であり、個人間の感覚のばらつきが原因と挙げられるため、提案手法は妥当であると考えられる。

## (2) 色に関する見やすさの指標

### 見やすさ指標の算出

構築した視覚シミュレーションシステムを用いて、デザイン指標として、二色配色の見やすさ指標を算出した。視覚シミュレーションにより 70 歳の視覚状態を模擬した標識モデル 36 個を提示サンプルとし、20 代の大学生 21 名が 5 段階で見やすさを評価した。アンケート結果に対し重回帰分析を行い、回帰式を算出した。算出した回帰式を用いて色に関するシミュレーション評価で用いられたサンプルに順位をつけ、評価実験結果と比較したところ、CIERGB 表色系と CIELAB 表色系の色差を説明変数として用いた回帰式において両側 5% で有意であるという結果を得たため、これらを見やすさ指標として用いる。

### 見やすさ指標の評価実験

評価実験として、8 個の携帯電話のボタンサンプルの見やすさに関して 20 代の学生 12 人がつけた順位と、見やすさ指標により算出された順位を比較した。RGB による見やすさ指標は相関係数が 0.83 であり、両側 5% で有意であるという結果に対し、色差による見やすさ指標は有意でないという結果を得た。以

上より見やすさ指標として RGB による指標の有用性を確認した。

## (3) 高齢者のための視覚向上デザイン補正

提案した視覚シミュレーション手法を基に、加齢による視覚機能の低下を考慮したデザイン補正方法を提案した。

### 色に関するデザイン補正

人が感知する光は、外界からの入射光の分光特性に水晶体分光透過率を乗じて得ることができる。この水晶体分光透過率が加齢によって変化するため、色の見え方に変化が生じる。したがって、当該年齢の水晶体分光透過率の逆数をオリジナル映像の各点における分光特性に乗ずることにより補正映像を生成した。このとき、オリジナル映像の各点の RGB 値が 0 から 255 に収まるように全体の比を変えずに RGB 値を縮尺した。また、明るさ補正のため、オリジナル映像の RGB 値を色情報と輝度情報にわけて、輝度情報のみをあらかじめ求めた年齢ごとの補正係数により補正した。さらにオリジナル映像における設計者の意図が変わらないようにするため、ヒストグラム平坦化により色味を調整した。

### 焦点ボケに関するデザイン補正

焦点ボケに関するデザイン補正は、空間周波数特性と焦点調節特性の補正により行った。空間周波数特性に対する補正として、フィルタリング手法を導入した。空間周波数特性により焦点ボケが生じた映像は、オリジナル映像と点拡がり関数 PSF の畳み込みで求められる。この PSF の逆関数を補正係数として乗じることによりフィルタリング処理を行った。通常 PSF の妥当な逆関数は存在しないため、ウィナーフィルタを補正係数として用いた[3]。空間周波数特性はガウス関数であるため、ウィナーフィルタで用いる PSF としてガウス関数を用い、年齢ごとにカットオフ周波数を変化させ、年齢に応じた補正を行った。焦点調節特性に対しては画像処理を用いた補正を行った。オリジナル映像と焦点ボケが生じた所望年齢のシミュレーション映像の全画素においてシミュレーション映像とオリジナル映像の画素値の比を求めた。その比を補正係数とすることで焦点ボケによる見え方の変化を予測することができ、補正係数をオリジナル映像に乗ずることにより年齢に応じた補正を行った。

### デザイン補正結果

上記の手法に基づいてデザイン補正を行った例を図 4 に示す。補正年齢は 74 歳としている。色補正、焦点補正の映像はさらに改善すべき点は認められるが、文字の見やすさについては補正後の方が補正前に比べ改善されていることが確認できる。

### 補正手法の評価実験

色に関するデザイン補正の評価として、算出した RGB による見やすさ指標を用いた。図 4 の文字付近の色に対して指標より見やすさの得点を算出したところ、補正前の 2.4 点



図4 デザイン補正結果

に対し補正後は 3.2 点と補正効果を確認できた。また、焦点ボケに関するデザイン補正の評価実験として、60, 70, 80, 90 歳の補正映像とオリジナル映像の各年齢の視覚シミュレーション結果を提示した。20 代の学生 15 人のうち補正映像の方が見やすいとした回答率が 73%以上となり補正効果を確認した。さらに高齢者 2 名(76 歳, 79 歳)に色補正, 焦点ボケ補正, 両方の補正映像とオリジナル映像を見せ, どちらが見やすいか回答してもらったところ, 正答率は平均 72%となり補正効果を確認した。

#### 本研究の位置づけ・展望

網膜に形成される映像の生成技術として, 焦点調節特性, 空間周波数特性, 水晶体分光特性, 焦点調節速度特性に関して, 医学データを基に年齢を変数としたモデルを構築し, 網膜に形成される映像を生成する正変換モデル下記文献を構築してきた。本研究は, 網膜に映像を形成する正変換モデルの逆変換モデル構築するもので, 従来にない新しい理論の展開である。単純な光学幾何を基礎とする方法ではなく, 眼球の焦点調節特性, 空間周波数特性, 水晶体分光特性, 焦点調節速度特性に加え, 水晶体および毛様体の年齢特性を組み込むことも独自の展開である。

本研究の成果は, 網膜に結像したい映像を, 申請者の手法に基づく逆変換モデルによりスマートフォン・携帯電話・デジカメのディスプレイに表示する画像として生成し, その画像を表すことにより, 屈折異常に対して, 眼鏡による矯正をすることなく鮮明な画像を得ることが可能となり, 特に加齢による屈折異常(老眼)に対して大きな効果となる。

#### <引用文献>

[1] 小口芳久, 澤充, 大月洋, 湯澤美都子偏,

眼科検査法ハンドブック, 第 4 版 (2005), pp. 64-68, 医学書院

- [2] 岡嶋克典, 徐爽, 岩元健治: コントラスト弁別感度の加齢変化を考慮した高齢者視覚シミュレーション, 映像情報メディア学会技術報告, 34, 6(2010) pp.35-39.
- [3] 小山田雄仁, 斎藤英雄: プロジェクタスクリーン上に生じる焦点ボケ解消のための投影画像の事前補正法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 12, 4(2007) pp.479-486.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

#### 〔雑誌論文〕(計 1 件)

山内しおり, 青山英樹, 大家哲朗, 視覚において高齢者に優しい製品開発のための視覚シミュレーションシステム, 日本機械学会誌(C 編), 査読有り, Vol. 79, No. 800, 2013, pp. 1196-1203.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaic/79/800/79\\_1196/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaic/79/800/79_1196/_pdf)

#### 〔学会発表〕(計 2 件)

青山英樹, 山内しおり, 視覚シミュレーションに基づく高齢者用スマートフォン画面デザイン, 日本デザイン学会第 4 支部 平成 26 年度研究発表会, 2015 年 2 月 8 日, 大阪工業大学うめきたナレッジセンター(大阪府・大阪市).

青山英樹, デジタルデザインシステムマニファクチュアリングシステム, 精密工学会九州支部主査宮崎地方講演会(招待講演), 2013 年 12 月 15 日, 宮崎大学(宮崎県・宮崎市).

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

青山 英樹 (AOYAMA, Hideki)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：4 0 1 4 9 8 9 4