視覚特性を考慮した周波数帯域の補正表示方式

非会員 倉持 敦* 非会員 米村 恵一**
正 員 杉浦 彰彦*

The Frequency Revision Displaying Method Considered Visual Characteristic

Atsushi Kuramochi*, Non-member, Keiichi Yonemura**, Non-member, Akihiko Sugiura*, Member

Recently, visual function defect has being social problem. Though people felt an incongruity are a few on using glasses and so on, the needs that seeing CRT without using correcting instruments is high, too. So we suggest the method sight revising on the part of CRT as new sight revising method. In the experiment, we made the image removed high frequency band, and then carried out an eye test using the image added high frequency band by linear function and logarithmic function to it. As a result, we could be sight revising by added high frequency band.

キーワード：視覚特性，視力，周波数，色，コントラスト

Keywords: visual characteristic, sight, frequency, color, contrast

1. はじめに

近年，コンピュータや TV ゲーム，携帯電話などの電子機器が急速に発達，普及し，その結果として視力低下が社会問題になっている。現在，特殊な場合を除くほとんどの視力低下は矯正器具を使用することで解決が可能になるものの，それらの矯正器具にはそれぞれ短所，長所が存在する。眼鏡やコンタクトレンズの使用に違和感を感じる人は少ないが，矯正器具を使用せずにディスプレイ装置を見ることのニーズが高いのも事実である。

そこで，新しい視力矯正方法としてディスプレイ装置側で視力の補正をする方法を提案する。ディスプレイ装置を一人で見ていると仮定し，見ている人の視力に合わせてディスプレイ装置で表示されている画像を変化させ，視力を補正する。これより，眼鏡やコンタクトレンズなどの視力矯正器具を使用することなく，テレビなどのディスプレイ装置を見ることが可能となる。

2. 提案する矯正方法

以下に示す 3 種類の補正を提案する。

(1) 周波数帯域の拡大による視力の補正：表示する周波数が高く画面サイズが大きいディスプレイ装置を使用し，高周波数帯域を拡大する。

(2) 個人における色強度の特性による視力の補正：個人における色に対する視覚特性を考慮し，色強度を個人の視覚特性に合わせて変更する。

(3) 2 つの手法を組み合わせた場合の視力の補正：高周波数帯域拡大及び色強度の補正の両方を用いる。

今回の実験では，提案するディスプレイ装置側で視力を補正する視力矯正方法の準備段階として，失われた高周波数（実際には視力低下により失われるが実験では高周波数帯域を除去することにより再現）を一次関数や対数関数を用いて補うことが可能かを検討する。

3. 原 理

3.1 ランドルト環 「視力」というのは，2 つの別の点を 2 点として識別する能力のことで，正確には最小分離覚という。視覚では対象物の大きさを表すのに視角という単位を用いる。単純に大きさのみを比較すると，距離によって見える大きさが違うため統一することが出来ないからである。環の切れ目と，眼の間にできる角度を視角といい，5m の距離から 1.5mm の切れ目を見たときの角度は 1 分（ $= 1/60$ 度）となる。この最小分離覚 1 分を視力の単位とし，これが 1.0 となるのであるが，これが 2 分ならば 0.5，逆に 1/2 分ならば 2.0 となる。すなわち，視角の逆数が視力の数値となる。

この視力の測定のために，本研究では，ランドルト環視

* 豊橋技術科学大学

〒 441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

Toyohashi University of Technology, 1-1, Hibarigaoka, Tenpaku-chou, Toyohashi-shi, Aichi 441-8580

** 木更津工業高等専門学校

〒 292-0041 木更津市清見台東 2-11-1

Kisarazu National College of Technology, 2-11-1, Kiyomidai-Higashi, Kisarazu-shi, Chiba 292-0041

図1 ランドルト環
Landolt ring.

図2 高周波数帯域付加イメージ
Image added high frequency band.

力表で用いられているランドルト環(図1)を使用する。ランドルト環視力表は、イタリアのランドルトが提案したもので、1909年の第11回国際眼科会での協定によって決められた。決められたランドルト環は、直径7.5mm太さ・切れ目の幅が1.5mmあるため前述の最小分離覚の測定が可能である。

3・2 周波数補正 高い周波数を表示できるCRTを用いて、周波数帯域と画面サイズの両方を大きく取ることで視力を補う。

本研究では原画像の周波数帯域に高周波数帯域を加えることになる。例えば図2のように、原画像の周波数帯域において半分以上を高周波数とし削除(点線部)、さらに高周波数を加えて高周波数帯域補正画像を作成している。高周波数を加える際には、一次関数と対数関数を用いている。まず、2つの単純な関数による高周波数帯域付加による結果について検討し、その後の応用への展開を考える。

3・3 色補正 人間の色知覚に対する視覚特性には個人差がある。画像を見る人にとって見やすい色を作成することができれば、視力の補完が可能となる。コンピュータで使われているCRTはRGBで色を表現しているため、RGBそれぞれの色を256段階に分けることができる。これを利用し、画像を見る人に最適な色を作成する。その結果、例えばTVを見ている時に表示されるニュース速報などの文字列を補正した色に変換し、より情報を取り入れやすくすることが可能となる。

DC Components

Transformation Coefficient of Image (512 * 512)	0
0	0

(1024, 1024)

図3 作成したウェーブレット変換行列
Example of wavlet transformation line.

図4 提示刺激例
Example of showing stimuli.

4. 高周波数帯域補正による実験

4・1 実験方法 本実験では、以下の4種類のランドルト環画像を使用し、被験者の視力を測定した。

- (1) 原画像
- (2) 高周波数帯域除去画像
- (3) 高周波数帯域除去画像に一次関数により高周波数帯域を加えた画像
- (4) 高周波数帯域除去画像に対数関数により高周波数帯域を加えた画像

高周波数帯域除去画像は、図3のようにウェーブレット変換を施した行列に対して高周波数帯域となる帯域を0とし、逆変換を行い作成する。実験では高周波数帯域の除去量を全周波数帯域の1/2と3/4の2種類に設定した。

(3)(4)における高周波数除去後に高周波数帯域を加えた画像は、以下の方法で作成した。

表 1 除去量 1/2 における視力
Eyesight in cut volume 1/2.

Subject	Eyesight	1/2	Linear	Logarithmic
A	0.150	0.100	0.100	0.100
B	0.900	0.800	0.900	0.900
C	0.050	0.040	0.050	0.040
D	0.400	0.200	0.300	0.300
E	0.800	0.600	0.800	0.700
F	0.800	0.600	0.800	0.700
G	0.040	0.040	0.040	0.040
H	1.400	1.200	1.300	1.300
I	1.400	1.400	1.300	1.400
J	0.600	0.600	0.600	0.600

表 2 除去量 3/4 における視力
Eyesight in cut volume 3/4.

Subject	Eyesight	1/4	Linear	Logarithmic
K	0.400	0.400	0.500	0.500
L	0.055	0.050	0.050	0.050
M	0.800	0.600	0.800	0.800
N	0.800	0.700	0.600	0.600
O	1.400	1.200	1.400	1.100
P	0.600	0.500	0.500	0.400
Q	1.400	1.300	1.200	1.000
R	0.035	0.035	0.035	0.035
S	0.800	0.800	0.700	0.800
T	0.200	0.200	0.190	0.200

- 高周波数帯域を除去した画像と同様にウェーブレット変換を行い変換行列を作成
 - 高周波数帯域となる部分を 0 とする
 - その変換行列に一次関数，対数関数の各式に基づいて高周波数帯域を加える
 - その変換行列を逆変換し，画像に戻す
- 高周波数帯域を加えるための式を以下に示す。

$$P_{lin} = (X + Y)K_1$$

$$P_{log} = \log(X + Y)K_2$$

P_{lin}, P_{log} : 補正值 X, Y : ウェーブレット変換行列の座標 K_1, K_2 : 係数

被験者は PC の前に座り，視力に合わせて 1m 単位でディスプレイとの距離を決定する。提示刺激は作成した 4 種類の画像を各 3 回ずつ，計 12 回を 1 セットとし，ランダムにランドルト環画像を表示する（通常の視力検査と同じ）。被験者は提示された各画像を片目で見，ランドルト環画像のあいている方向を上・下・左・右もしくは不明をキーボードで解答する。

図 4 は提示刺激の例で，左上が原画像，右上が高周波数帯域除去画像，左下が一次関数による高周波数帯域付加画像，右下が対数関数による高周波数帯域付加画像である。原画像の回答が 3 回すべて正解した場合「見えている」とし，次の大きさのランドルト環に移行する。原画像の回答が 3 回すべて不正解であった場合に終了する。全ての試行において，正解数，不正解数をカウントし，3 回共に正解で

あったときに「見えている」とする。試行順序は通常の視力検査，高周波数帯域除去画像，一次関数による高周波数帯域付加画像，対数関数による高周波数帯域付加画像の順序で行う。それぞれの試行の間に 10 分以上の休憩を挟み，目を休めてもらうように心がける。実験時の画像解像度は 1024×1024 とし，画面解像度を 1920×1440 ，22 インチ CRT を用いた。また，背景は白色で行った。被験者は年齢が 18 歳から 24 歳までの男女計 10 名で，視力が 1.5 未満である。

4.2 実験結果 高周波数帯域除去量 1/2 の場合における実験結果は表 1 のようになった。除去量 1/2 における視力に比べ，一次関数による高周波数帯域付加時の視力は有意（両側確率 $P = 0.10$ ）に向上している。同様に，対数関数による付加時においても有意（両側確率 $P = 0.05$ ）に向上した。しかし，除去量 3/4 の場合の結果（表 2）では，各関数による付加で視力の向上は見られなかった。この結果より，原画像のデータを大幅に除去すると周波数帯域付加による影響はなくなるが，適当（今回では 1/2）な除去量においては周波数帯域付加による視力の向上が得られることがわかった。

5. 色補正実験

5.1 実験方法 被験者は前に述べた実験と同様に PC の前に座り，視力に合わせて 1m 単位でディスプレイとの距離を決定する。まず，通常の視力を黒色のランドルト環で測定する。次に，R 原色のみ，G 原色のみ，B 原色のみの視力を，それぞれ $1/4(63) \cdot 2/4(127) \cdot 3/4(191)$ の 3 種類の輝度値において測定し，被験者の色に対する特性を調べる。結果に応じて，各色ともに $1/4, 2/4, 3/4$ の 3 種類から最も成績の良い輝度値を用いて 3 原色を合成したランドルト環画像を被験者ごとに作成する。このように，各被験者の色に対する特性に最適な合成ランドルト環画像を用いて視力検査実験を行う。被験者は年齢が 18 歳から 24 歳までの男女計 5 名である。他の条件は，先に行った高周波数帯域補正による実験と同様である。

5.2 実験結果 色補正実験の結果は表 3 のようになった。表から数人の被験者において若干の視力の向上が見られるものの有意差は得られなかった。

6. コントラスト評価実験

色補正実験では，結果に有意差は得られなかったものの，色の補正により若干の視力の向上が見られた。ここで，色を変化させることがコントラストを変化させることも含んでいる点に注目しなければならない。現時点では，色補正実験の結果がコントラストの変化により得られたのか，色の補正により得られたのかを明確に示すことは難しい。したがって，コントラストにおける視覚特性を検討することで，色とコントラストの関係について評価し，前述した結果が色とコントラストのどちらに影響されたものかを明らかにする。

表 3 色補正時の視力
Eyesight in color revision.

Subject	Eyesight	R Revision	G Revision	B Revision	After Revising
U	0.035	127	191	127	0.035
V	0.055	191	127	63	0.065
W	0.400	63	63	63	0.500
X	0.200	127	127	191	0.200
Y	0.090	191	127	191	0.095

図 5 表示した格子縞画像の例
8,16,32,64,128,256[Hz]
Example of stripes 8,16,32,64,128,256[Hz].

6.1 実験方法 本実験では、コントラストにおける視覚特性を評価するため、次のような画像を用意した。ディスプレイに、白黒の格子縞画像を表示する。コントラストの表現として、8ビットの輝度値を用いているため、格子はコントラストが0(最小)の場合、白の輝度値、黒の輝度値ともに127となり、表示画面は輝度値127の灰色となる。コントラストが256(最大)の場合、白の輝度値が0、黒の輝度値が255となり図5のように明確な格子縞となる。図には8Hz、16Hz、32Hz、64Hz、128Hz、256Hzの格子縞画像を示しているが、実験では8Hzから256Hzまで8Hz毎の32種類の格子を用いた。

被験者は視力が1.5以下である18歳から24歳までの男女合計10名である。実験画面は図6のようになる。32種類の刺激画像はランダムに提示され初期状態はコントラスト0である。被験者はスライドバーを動かしコントラストを変える。格子縞が見えた時点のコントラスト値を記録する。

6.2 実験結果 実験結果をグラフにしたものを図7に示す。被験者の平均値を見ると、低周波数帯域と高周波

図 6 コントラスト評価実験画面
Contrast evaluation experiment's screen.

数帯域における格子縞を認識するのに強いコントラストが必要である様子がわかる。

この平均値と、各被験者の結果との相関を取ると8人において強い相関があり、残りの2人も少なくとも弱い相関をもつ結果となった。したがって、得られた結果は一般的なコントラストにおける視覚特性の傾向であるといえる。このことは、色補正実験での結果が、コントラストにおける視覚特性とは関係なく、個人の色に対する視覚特性により得られたものであることを示唆する。

7. 周波数と色の両方を補正する実験

ここまで、周波数補正実験、色補正実験、コントラスト評価実験と3つの実験を行い、周波数補正の有効性を示した。最後に、周波数補正と色補正をあわせて評価することで色補正の必要性を検討する。

7.1 実験内容 有意に視力の向上が見られた高周波数帯域の除去量 $1/2$ においての一次関数と対数関数の付加による補正画像に、さらに色補正を施し実験を行った。被験者は年齢が18歳から24歳までの男女5名である。他の条件は先に行った高周波数帯域補正による実験と同様である。

7.2 実験結果 実験結果を表4に示す。一次関数による高周波数帯域付加時の視力では若干の向上が見られる

図7 コントラスト評価実験結果のグラフ
Graph of result in a contrast evaluation experiment.

表4 周波数及び色補正時の視力
Eyesight in frequency and color revision.

Subject	Eyesight	Linear	Logarithmic
a	0.035	0.035	0.040
b	0.055	0.065	0.065
c	0.400	0.500	0.400
d	0.200	0.200	0.200
e	0.070	0.080	0.080

文 献

- (1) T. Nakano, S. Yamamoto, K. Sugiyama, and K. Higuchi: "Display Method for Compensating Deterioration of Visual Functions of Elderly People", *Proc. of the JSME Conference on Robomec '98*, pp.2BIII4-2(1)-2BIII4-2(2) (1998-6) (in Japanese)
中野倫明・山本 新・杉山和彦・樋口和則:「加齢による視覚特性の低下を考慮したディスプレイの表示法」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, pp.2BIII4.2(1)-2BIII4.2(2) (1998-6)
- (2) T. Kiryu, N. Kobayashi, Y. Nanbo, T. Taniyama, N. Ito, and T. Bando: "Feasibility Study for Assessment of Mental Stress under Visual Tasks", *Proc. of the IEICE General Conference, SD-2-1*, pp.268-269 (2001) (in Japanese)
木竜 徹・小林直樹・南保洋子・谷山朝一・伊藤尚人・板東武彦:「視覚への映像負荷時のストレス評価の試み」, 電子情報通信学会総合大会, SD-2-1, pp.268-269 (2001)
- (3) M. Funakawa: "Aged vision and visibility", *Proc. of the JSME Conference on Robomec '97*, Vol.B, No.97-22, pp.691-694 (1997-6) (in Japanese)
船川政美:「高齢者の視覚と視認性」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, Vol.B, No.97-22, pp.691-694 (1997-6)
- (4) M. Funakawa and K. Tanaka: "Aged eyes and display legibility", *Proc. of the JSAE*, No.91-99, pp.5-8 (1999) (in Japanese)
船川政美・田中兼一:「高齢者の視覚特性と表示系デザイン」, 自動車技術会学術講演会前刷集, No91-99, pp.5-8 (1999)
- (5) T. Hatada: "Multimedia and Human Visual Function", *Journal of SPSTJ*, Vol.59, No.1, pp.173-178 (1996-1) (in Japanese)
畑田豊彦:「マルチメディアと視覚特性」, 日本写真学会誌, 59, 1, pp.173-178 (1996-1)
- (6) A. Kuramochi and A. Sugiura: "Advantage of face of contour conduct by resolution and luminance change", *T. report IEICE*, PRMU99-133, pp.1-6 (1999-11) (in Japanese)
倉持 敦・杉浦彰彦:「解像度・濃度変化による輪郭誘導の顔優位性評価」, 信学技報, PRMU99-133, pp.1-6 (1999-11)
- (7) A. Kuramochi and A. Sugiura: "Method of displaying visual characteristic according to considered frequency and revised color", *Proc. of the IEICE General Conf., Information and Syst. 2*, D11, p.62 (2001) (in Japanese)
倉持 敦・杉浦彰彦:「視覚特性を考慮した周波数・色補正表示方式」, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システム 2, D11, p.62 (2001)

ものの有意な差はなかったが、対数関数による付加時においては有意(両側確率 $P = 0.10$)に向上した。

この結果は、周波数補正による視力の向上より良いものとはいえない。したがって、色補正の必要性を示す結果とはならなかった。

8. ま と め

今回の実験では、高周波数帯域を除去した画像を作成し、それに一次関数と対数関数により高周波数帯域を付加した画像での視力検査を行った。その結果、高周波数帯域を付加することにより視力を補うことができた。これは今回の目的である疑似的に作り出された視力低下を復元できたことになり、次のステップへの足がかりを得たといえる。

色補正実験では、個人の視覚特性に合わせて色を補正することにより若干の視力を補うことができたが有意な向上とはいえなかった。さらに、周波数補正と色補正を同時に行うことで色補正の必要性を調べたが、良好な結果は得られなかった。よって、今後は周波数補正のみによる視力の補正をさらに検討していく。

現在は、高周波数帯域補正における補正式の最適化について検討中である。被験者に応じて補正式を最適な式に変更することにより、さらに視力を補えることが期待でき、我々の提案する新しい視力矯正方法への実現へつながら。

(平成15年3月27日受付, 平成15年8月1日再受付)

倉 持 敦（非会員）1977年12月25日生。2000年豊橋技術科学大学知識情報工学課程了。2002年豊橋技術科学大学大学院工学研究科修士課程了。同年，日本電気（株）入社。同年 NEC システムテクノロジー株式会社出向。電子カルテシステム・オーダリングシステムの開発に従事。

杉 浦 彰 彦（正員）1965年10月16日生。1990年東京農工大学大学院修士課程了。同年，豊田工業大学制御情報工学科 助手。1998年豊橋技術科学大学大学院工学研究科知識情報工学専攻，講師。1999年同大学 助教授。工博。マルチメディア情報通信，高エネルギー符号化，画像応用，スペクトル拡散，CDMA，Bluetooth，携帯電話方式，デジタル放送方式などの研究に従事。電子情報通信学会，IEEE 会員。

米 村 恵 一（非会員）1975年5月15日生。2000年豊橋技術科学大学大学院工学研究科修士課程了。2003年同大学大学院工学研究科博士後期課程電子・情報工学専攻了。同年，木更津工業高等専門学校情報工学科 助手。工博。顔画像処理，マルチメディア情報通信の応用に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。