

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300210

研究課題名(和文) 視覚情報の知能的マルチモーダル補償システムの開発に関する研究

研究課題名(英文) Study on development of multimodal systems for intelligent compensation of visual information

研究代表者

岡嶋 克典 (Okajima, Katsunori)

横浜国立大学・環境情報研究院・准教授

研究者番号：60377108

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円、(間接経費) 4,290,000円

研究成果の概要(和文)：ユニバーサルデザインを実現したいデザイナーを支援する新しい色補償システムを開発した。本システムによって、色画像情報を色覚正常者(3色覚者)における色カテゴリーを変化させることなく、色覚異常者や高齢者等にも見やすく配色に自動的に変換できる。被験者評価実験の結果から、本システムの有効性が示された。また、視覚(輝度・距離)情報を音の振幅・周波数・呈示時間等に変換することを試みた。評価実験の結果、音情報から輝度や距離の視覚情報を推定でき、音による視覚情報の補償の有効性が示された。さらに、新たなハプティックデバイスを用いた空間認識システムを開発し、距離情報や物体形状を触覚情報に変換できることを示した。

研究成果の概要(英文)：We developed a new system that can help designers create their designs based on the color universal design. The system re-colors the original images to become clearly visible to dichromats and elderly people but keeping the same color categories as the original images for trichromats. The evaluation of the system indicated that the proposed system is effective. In addition, we examined how luminance and distance information can be converted to amplitude, frequency and duration of sound. The results of evaluation experiments showed that participants can estimate distance and luminance level, suggesting that frequency and duration of sound can be used to create a sensation substitute system of visual information using auditory signals. Finally, we developed a new spatial recognition system with a haptic device, and conducted some experiments. The results showed that we can convert visual information, such as distance and shape of surrounding objects, to tactile stimuli with this system.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：医療・福祉 情報工学 認知科学 色彩工学 バーチャルリアリティ マルチモーダルインターフェース 色覚異常 ロービジョン

### 1. 研究開始当初の背景

同じものを見ても、視覚特性が違えば脳内に生じる視覚イメージは異なる。加齢によって視覚特性は系統的に変化するため、ある世代の人が見ている視覚情報と、それとは異なる世代の人が見ている視覚情報は必然的に異なっている。現在の測光・測色学は、若い標準観測者の視覚特性を基に規定されているため、測色学的には色再現がよい写真やカラープリンタでも、高齢者には元の色とは異なる色に見えるという問題が生じる。また、若い人に見やすいカラーデザインが高齢者にとっては見えにくい配色になってしまうケースや、色覚正常者によってデザインされたカラーデザインが日本人男性のおよそ5%を占める色覚異常者には判別できないケースが多発しており、高齢者や色覚異常者が日常生活を過ごす上で支障となっている。

### 2. 研究の目的

加齢で劣化した視覚特性を有する高齢者には適切な画像補正を施し、色覚異常者には色情報を変換するとともに文字や図形情報を視聴覚的に付加し、また視力が著しく低下したロービジョン(弱視)者には材質の質感まで含む視覚情報を補完するための聴覚・触覚情報を付加することで、日常生活を支障なく過ごせるよう環境の視覚情報を知的に補償するマルチモーダルシステムを開発する。その実現のために、高齢者・色覚異常者・ロービジョン者の各視覚特性を測定・定式化するとともに、視・聴・触覚間の相互作用も解明・定式化し、補償効果の定量的評価法を提案する。本研究の成果は、視覚情報の取得に不自由を感じている人々の生活改善に役立つだけでなく、脳の多感覚情報処理機能の解明に寄与するとともに、健常者に対してもこれまで不可能だった材質の質感等までも忠実に伝達可能なマルチモーダルインタフェースシステムを提供する。

### 3. 研究の方法

初めに色変換による視覚補償について説明する。色変換による視認性補償の前のステップとして、画像中の見えにくくなる問題箇所を抽出することが必要になる。これはそれぞれの視覚特性の変換画像とオリジナル画像の色差・明度差を計算し、比較することによって、どこが見えにくい箇所が検索することによって実現することができる。また、このシステムによって求められた問題箇所を視覚的に表示することにより、どこに問題箇所が存在するか容易に認識することができるため、グラフィックデザイナーなどにとって、見やすいカラーデザインの提供の助けとなり得る。そこで本章では、上記のように色覚異常者や

高齢者にとって見えにくくなる画像中の問題箇所を抽出し、表示することを目的とする。

問題箇所の抽出のためには、それぞれの特性のシミュレーション画像と比較することとなるが、ここでの比較対象は画像の部分領域であるクラスタとなる。入力画像の全ての画素の色から量子化、つまりクラスタリングされた画像のクラスタ同士の比較を行う。クラスタリングとは、データの集合を部分集合であるクラスタに切り分けて、それぞれの部分集合に含まれるデータが高い類似度を持つようにすることである。クラスタリングにより同じ色の領域に分割することによって、その後の問題箇所の検出や色変換のシステムの処理時間を大幅に短縮することができる。また、ピクセル単位の処理ではなく、一定の領域を一括りに扱うことで、正しくクラスタリングできればその後の処理である色変換の結果が安定することにメリットがある。

また、加齢による視覚特性の系統的な変化により、若齢者に比べ高齢者の視界の明るさは低下する。高齢者が日常的に見る対象物である街中の案内板や看板、インターネットを介したWebや電子メールの文字、画像、または映像情報などは、場合によってはその視覚・色覚特性故に非常に見えづらく、デザイナーが意図した情報の伝達に障害が存在する可能性がある。そこで、画像ごとに適切な問題箇所を検出し、それを示すことが必要である。検出の前に入力画像は適切なクラスタ数の画像に $L^*a^*b^*$ 均等色空間で量子化される。それぞれのピクセルをそれに対応するクラスタに集約させることで、問題箇所をクラスタとして抽出することができる。

$xy$ 色度図において、同一混同色線上の色は色覚異常者にとっては違いを認識することができず、混同色となり非常に見えづらくなってしまふ。 $L^*a^*b^*$ 色空間において、オリジナル画像中の $n$ 個のクラスタ間で色差が十分にあったにも関わらず、1型2色覚者の $n$ 個のクラスタ間もしくは、2型2色覚者の $n$ 個のクラスタ間では色差が一定のしきい値以下になってしまうクラスタ対を色覚異常者の問題箇所として検出する。すなわち、検出の条件は、

オリジナルクラスタ間の色差がしきい値以上である。

1型2色覚シミュレーションのクラスタ間の色差がしきい値以下である。

または、

2型2色覚シミュレーションのクラスタ間の色差がしきい値以下である。

とし、これらの条件を満たすクラスタ対を問題箇所として検出する。また、各しきい値は検出の基準となる色差であり、調節することで、検出の度合いを変えることができる。

問題箇所はクラスタ対として検出される。問題箇所は高齢者、1型2色覚者、2型2色覚者の場合においてそれぞれ独立に求まるが、その問題箇所をグラフィックデザイナーなどに示す際には、それぞれ別のウィンドウで表示するよりも、1つの画像、映像に関しては1つのウィンドウで、すべての視覚特性を確認できれば非常に実用的であると考えられる。それぞれ、別のウィンドウであれば、特性ごとの問題箇所がわかるが、全てを見るのは煩わしく、ユーザにとっての負担となりかねない。そこで本研究では1つのウィンドウで、示された問題箇所が誰にとっての問題箇所かを表示できるシステムを構築した。

高齢者、1型2色覚者、2型2色覚者のそれぞれの場合において、それぞれ問題箇所が検出されるので、その問題箇所を1つのウィンドウに集約し表示させる。その場合、その表示させた問題箇所が誰にとっての問題箇所かを表す際、1型2色覚と、2型2色覚の場合においては、どちらも赤緑色覚異常であるので、ともに色覚異常として表示する。つまり、画像中の問題箇所は高齢者の問題箇所と色覚異常者の問題箇所の2通りとする。以下がそれぞれの問題箇所を並列的に検出し、それを統合するアルゴリズムとなる。

入力画像を読み込み、各ピクセルの  $L^*a^*b^*$  値を算出する。

オリジナル画像を  $L^*a^*b^*$  均等色空間上で、 $n$ 個のクラスタに分割する。

オリジナルクラスタ間の明度差、並びに色差を算出する。

オリジナルクラスタから、視覚・色覚シミュレータを用い、高齢者クラスタ、1型2色覚者クラスタ、2型2色覚者クラスタを得る。

高齢者クラスタ間の明度差、1型2色覚者クラスタ間の色差、2型2色覚者クラスタ間の色差を求める。

クラスタ対の内、誘目性が低いクラスタのフラグを立てる。高齢者の場合にはフラグを1に、色覚異常の場合にはフラグを2にする。(はじめの状態では全てのクラスタのフラグは0としておく。)

以上の操作を全てのクラスタ対に関して総当たりで行う。また、高齢者と色覚異常者の両方場合においてクラスタのフラグが立てられるべきときは、シミュレータによる変化が比較的大きい色覚異常者の場合のフラグ2に立てる。

次に、1つのウィンドウで表示できるように統合された問題箇所を、表示する方法を提案する。問題箇所のクラスタ対の内、誘目性が低くフラグが立てられたクラスタに画像中の背景部分(背景色がない場合や、背景の検出が難しいときには、白や黒や灰といった色から1色を恣意的に選択しても良い)を割り当

て、オリジナル画像と交互に表示させる。この際に、高齢者の問題箇所と、色覚異常者の問題箇所の表示を時間的にずらすことにより違いを認識させることができる。(図1)。

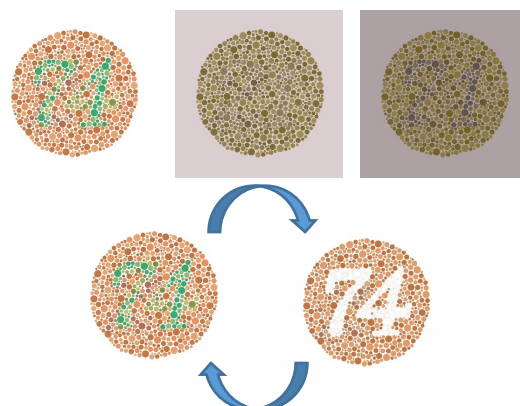


図1 問題箇所の検出と表示例

高齢者のための色補償を実現するためには、色変換後(再配色後)のクラスタ間の明度差が一定値以上になるような変換色を求めればよい。そこで、色変換後のクラスタ間の必要条件は、

- ・ 色変換後のクラスタ間の明度差がしきい値以上である。

とする。この明度差とは色変換後のクラスタに高齢者シミュレーションを行ったときの明度差である。また、当然この変換色はカテゴリ基本色と色の誘目性の制約を満たす色のみとする。

色覚異常者のための色補償を実現するためには、色変換後(再配色後)のクラスタ間の色差が一定値以上になるような変換色を求めることとなる。そこで、色覚異常の問題箇所の色変換後のクラスタ間の必要条件は、

- ・ 色変換後のクラスタ間の色差がしきい値以上である。

となる。この色差は色変換後の1型、2型シミュレーションを行ったクラスタ間の色差の小さい方の値である。このようにして色覚異常者が感じる色差を確保できる。

以上のことから、静止画像の色補償アルゴリズムは次のように設定すればよい。

色補償を行う静止画像を入力する。

入力画像を複製する。

画像のクラスタリングを行う。 $L^*a^*b^*$ 均等色空間上で、 $n$ 個のクラスタに分割する。また、色変換後クラスタを初期化する。

オリジナルクラスタ間の明度差・色差を高齢者・色覚異常者のシミュレーションクラスタ間との比較から問題箇所の検出を行う。つまり、問題箇所のクラスタ対のように検出される。

検出されたクラスタ対の1つを取り出す。

誘目性の低いクラスタにフラグを立てる。高齢者の場合にはフラグを1に、色覚異常の場合にはフラグを2にする(はじめの状態では全てのクラスタのフラグは0としておく)。

フラグが立てられたクラスタがどのカテゴリー基本色に分類されるかを確認する。

そのクラスタと同じカテゴリーの色を1色取り出し、変換色候補とする。

変換色候補と、問題箇所(フラグが1の場合)の高齢者シミュレーションを行ったときの明度差がしきい値以上、色覚異常者の問題箇所(フラグが2の場合)1型、2型シミュレーションを行ったクラスタ間の色差の小さい方の色差がしきい値以上、とする条件を満たす変換色候補かを確認する。満たさない場合は、に返る。

を満たす変換色候補に関して、その他のクラスタとの1型シミュレーションにおける色差をそれぞれ計算する。

同様に、を満たすこの変換色候補に関して、2型シミュレーションにおける色差をそれぞれ計算する。

において計算した値の内、小さい方を代表色差とする。

全ての変換色候補について ~ を行う。その中で最も代表色差が大きい変換色候補をそのクラスタの色変換後クラスタとしてのj番目を更新する。

検出されたすべての問題箇所のクラスタについて ~ の処理を行いすべての更新を行う。

すべてのnについて、色変換ベクトルを求める。

で複製されたオリジナル画像のすべてのピクセルについて、 $L^*a^*b^*$ 均等色空間上で、色差が最も小さいクラスタと関連付ける。

クラスタと関連付けられたピクセルに変換ベクトルを加算する。

すべてのピクセルについて、 を行い、この画像を補償された画像として出力する。

以上のアルゴリズムによって、色補償を行う。また、における目標明度差、目標色差を変えることによって、色補償の結果を調整することができる。

次に、画像から得られる輝度・距離情報を聴覚情報に変換し、被験者に呈示し、視覚イメージを形成するためのシステムを開発した。今回は主に、聴覚への感覚代行システムを構築するにあたって、視覚情報をどのように聴覚情報へ変換する手法について検討した。なお、本実験では音の感じ方が周波数に

よらず一定になるよう、ラウドネス曲線に基づく補正を行なった。変換対象とする視覚の要素、輝度と距離の2つに対し、音の周波数、音の大きさ、単音の呈示時間の3つを、各々 $2 \times 3 = 6$ 通りで割り当てた。いずれの実験も、被験者は24歳~26歳の男性3名で行った。実験の順番は、どの被験者も、輝度、距離の順で行った。その中で、音の要素は音の大きさ、周波数、単音の呈示時間の順で変えて呈示した。この時、変換したい輝度と距離の分解能と、変換先の音条件を以下のように設定した。輝度に割り当てた各種類の音は、被験者ごとに、事前にランダムに用意しておき、実験者がパソコンを操作し、2秒間呈示した。被験者は、輝度に関する画像とその番号が記されたPCモニターを見ながら、音に対応すると感じた値を回答してもらった。毎回、実験の前に、被験者に対し、画像の要素の割り当てそれぞれに対応する音を順番に1度だけ呈示しておいた。被験者は、その対応付けを把握した上で回答してもらった。距離については、各要素に対して、1~100mの16段階に対して割り当てを行なった。被験者が、距離のスケールをイメージしながら回答できるように、スケール画像を用意した。

最後に、視覚障がい者の空間認識を支援するためのハプティックインターフェースを開発した(図2)。

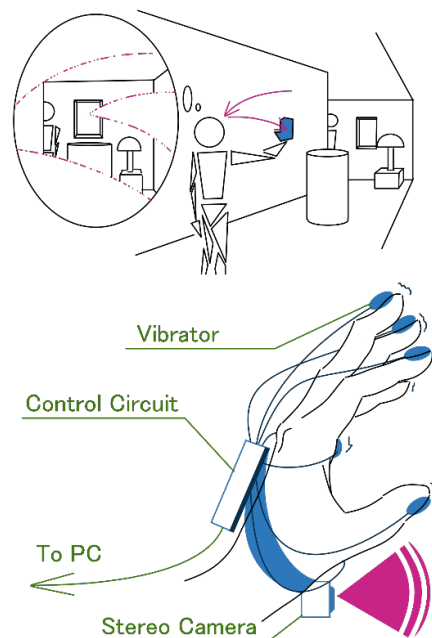


図2 触覚デバイスの使用法と構造

グローブ型の振動デバイスであり、入力装置として手首に手のひらに平行になるよう取り付けられたステレオカメラを、指先その他手の各部位には振動子を、制御部としてPC(ま

たはスマートフォン)に接続された振動子制御回路を備える。複数の振動子から手の先にある物体までのそれぞれの距離に応じて、各振動子の振動の強弱が変化する。手にカメラ入力を備えることで、ジャイロセンサや画像処理等による手の位置のトラッキングなしに、さらに頭や胴体を知りたい方向に向けることなく、手を知覚したい方向に向け、手自体を動かすことで、周囲の状況をスキャンし、振動子を二次元的に配置したことで広い範囲の情報を得ることが可能である。ステレオカメラで撮影した視差画像(人間の左右の眼に映る像に対応)にステレオ画像処理を施し、画素毎に奥行情報を乗せた深度画像(デプスマップ)を作成する。次に手の振動子位置に対応する座標の深度をデプスマップから抽出し、深度(距離)に対応する振動数に変換する。この変換式は、物体までの距離が近い程振動が強くなるよう設定する。その後、振動子に適切な電圧を入力し、振動を出力する。即ち、手に画素毎の深度を振動数の強弱によって二次元的に出力するシステムである。振動子はDC小型振動モータ(FM34F、TPC社製)を、制御部としてPCとの通信部(マイコン)はSTBee Miniを、モータードライバはDRV8830を使用し、これらを市販の薄手皮手袋に搭載した。爪上に配置した振動子により指腹に振動刺激を加えることが可能であることが知られているため、モータは5個、各指の爪上に配置した。また通信インターフェースはRS232C規格の非同期式シリアル通信(UART)を使用し、PCと有線接続した。ステレオカメラは、市販のステレオwebカメラを利用した。これは内部で2個のUSBカメラがハブで取り付けた。

#### 4. 研究成果

明度差と色差の比較をシミュレーション前後で行うことで、高齢者と色覚異常者の画像毎に最適な問題箇所を検出し、その問題箇所を表示するシステムを提案した。求められた問題箇所を視覚的に表示することにより、どこにそれぞれの視覚特性を有する者の問題箇所が存在するかを容易に認識することができるようになった。また、検出された問題箇所に対して、どのような補償をすればよいかを明らかにし、それぞれの入力画像に対して最適な補償を行う知能的色変換システムを開発した。オリジナル画像の配色の印象を可能な限り保存するとともに、様々な視覚・色覚特性を有する人々にとっての最適な配色に色変換を実現した。評価実験の結果からも、補償画像の「見えやすさ」、すなわち視認性に関しての優位性を示した。また、配色の自然さや印象を同じような程度で保存されることを示した。本システムは非常に実

用的であり、視覚情報の取得に不自由を感じている人々の生活改善を実現に貢献する重要なツールが開発できたといえる。

また、視覚情報を聴覚情報に置き換える実験において、輝度を音圧に変換した結果は線形のグラフで示され、被験者は音圧の変化を聴き取り、音圧が増加するにつれ、輝度が増加するという対応可能であることが示唆された。また、被験者が距離に対しても、音の要素の対応付けを行うことが出来ることが実験的に示された。以上の結果は、事前に簡単な学習を行うだけで、人は視覚に音を割り当てることができることを示唆している。

また、ハプティックデバイスの評価実験の結果、振動による距離の指毎の弁別ができ、奥行形状の判別が可能であることから、広い空間にある物体の2次元的な形状を推定できることが示唆された。立体形状が判別しやすい最適な距離域(振動数域)が存在することも分かった。

以上の実験結果から、色情報を的確に変換することで、誰にでも見やすい配色を実現できることが示された。また、視覚情報を的確に変換することで、聴覚や触覚情報に置換し、補償できることから、マルチモーダル補償システムの有効性が示された。

#### 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7件)

(1) 齋藤晴美、岡嶋克典:「2型二色覚者の色名応答における刺激呈示時間の影響」、電子情報通信学会情報・システムソサイエティ和文論文誌、J97-D, No.1, 85-94 (2014)(査読有)

(2) Liang Li, Akira Asano, Chie Muraki Asano and Katsunori Okajima: "Statistical Quantification of the Effects of Viewing Distance on Texture Perception," .Journal of Optical Society of America. A, Vol.30, No.7, 1394-1403 (2013) (査読有)

(3) Katsunori Okajima, Shino Okuda, Noboru Tsukamoto, Kenji Iwamoto, Masahiro Suzuki: "Intelligent Support Tool with Dynamic Image Processing for Color Universal Design," Journal of the Color Science Association of Japan, Vol.36, Supplement, 236-237 (2012) (査読有)

(4) 岡嶋克典:「ユニバーサルカラーデザインのための基礎とツール」、日本デザイン学会誌、Vol.19, No.2, 28-31 (2012) (招待論文、査読無)

(5) 岡嶋克典:「高齢者の視覚特性と必要照度」、照明学会誌、Vol.96, No.4, 229-232 (2012) (招待論文、査読無)

(6) Taka-aki Suzuki, Katsunori Okajima and

Takashi Funai: "Optical Simulation of Reduced Retinal Illuminance Caused by Senile Miosis," *Optical Review*, Vol.19, No. 3, 174-181 (2012) (査読有)

(7) 柳田拓人、岡嶋克典、三村秀典:「三種の色覚特性を考慮したファジィ制約充足による配色調整」、*人工知能学会論文誌*、Vol.26, No. 5, 518-526 (2011) (査読有)

〔学会発表〕(計18件)

(1) 鈴木雅洋、岡嶋克典:「基本色名ごとのクラスタリングを用いたユニバーサル配色支援システム」、*日本色彩学会色覚研究会研究発表会論文集*、29-30 (2014)

(2) 西澤昌宏、岡嶋克典:「グローブ型触覚デバイスを用いた視覚障害者の空間認識支援システム」、第39回感覚代行シンポジウム講演論文集、pp.5-8 (2013)

(3) Katsunori Okajima: "Individual Differences in Human Colour Vision and its Simulation," *International Colour Vision Society (ICVS)*, 48 (2013)

(4) Yasuki Yamauchi, Minoru Suzuki, Taka-Aki Suzuki and Katsunori Okajima: "Measurement of Colour Matching Region to infer Individual Colour Matching Functions," *Proceedings of Congress of the International Colour Association (AIC)*, 1429-1432 (2013)

(5) Minoru Suzuki, Yasuki Yamauchi, Taka-aki Suzuki and Katsunori Okajima: "A novel method to measure color-matching functions," *Proceedings of Interium Meeting of the International Colour Association(AIC)*, 338-341 (2012)

(6) 鈴木雅洋、瀬川かおり、岡嶋克典:「CIELAB 色空間での色差に基づいて推定した色カテゴリーとカテゴリカル色知覚との対応」、*日本色彩学会色覚研究会第2回研究発表会論文集*、7-8 (2013)

(7) 柳田拓人、岡嶋克典、三村秀典:「PCCSに基づく自動配色調整ツール」、*電子情報通信学会シンポジウム論文集*、374-377 (2012)

(8) 鈴木雅洋、岡嶋克典:「カラーユニバーサルデザイン支援のための知能的再配色技術による画像自動生成システム」、*日本色彩学会色覚研究会論文集*、3-4 (2012)

(9) 鈴木雅洋、岡嶋克典:「知能的再配色技術によるカラーユニバーサルデザイン画像自動生成システム」、*日本産業・労働・交通眼科学会予稿集*、27 (2012)

(10) 鈴木雅洋、塚本昇、岩元健治、岡嶋克典:「知能的カラー画像変換による視認性補償システム」、*電子情報通信学会技術研究報告*、Vol.112, No.112, 71-74 (2012)

(11) Katsunori Okajima: "Age-Related Changes of Contrast Discrimination Threshold and Contrast Response," *Perception*, 41, Suppl., 191 (2012)

(12) 鈴木さおり、岡嶋克典、鈴木敬明、高

山圭介:「分光視感度の簡易測定法とその最適化」、*日本光学会年次学術講演会*、#29aH4, (2011)

(13) 岩元健治、岡嶋克典:「種々の視覚特性を模擬した動画像シミュレータの精緻化」、*日本産業・労働・交通眼科学会予稿集*、37 (2011)

(14) 鈴木さおり、岡嶋克典、鈴木敬明、高山圭介:「LEDを用いた分光視感度と眼光学特性の同時測定法」、*日本産業・労働・交通眼科学会予稿集*、35 (2011)

(15) 鈴木さおり、岡嶋克典、鈴木敬明:「眼光学特性の個人差を考慮した分光視感度のスマート測定法」、*日本色彩学会*、第8回視覚情報基礎研究会論文集、11-14 (2011)

(16) Manuel Melgosa, Luis Gomez-Robledo, Marta Garcia-Romera, Michal Vik, Martina Vikova and Katsunori Okajima: "Color Differences for a Farnsworth-Munsell 100-Hue Test Illuminated by a D65 Source" *Proceedings of Midterm Meeting of the International Colour Association(AIC)*, 130-133 (2011)

(17) Harumi Saito, Yoko Asano, Masahiro Watanabe and Katsunori Okajima: "Impression differences in colour vision characteristics" *Proceedings of Midterm Meeting of the International Colour Association(AIC)*, 694-697 (2011)

(18) Taka-aki Suzuki, Minoru Suzuki, Yasuki Yamauchi, Katsunori Okajima: "Development of simple color bipartite apparatus using single light source with LEDs and measurement of individual color matching functions," *Proceedings of Midterm Meeting of the International Colour Association(AIC)*, 763-766 (2011)

〔図書〕(計1件)

(1) 新編色彩科学ハンドブック(第3版)改訂版(共著) pp. 285-288: 東京大学出版会(2011)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.okajima-lab.ynu.ac.jp/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡嶋 克典 (OKAJIMA KATSUNORI)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授

研究者番号: 60377108

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし