

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 元 年 5 月 27 日現在

機関番号：34419

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12965

研究課題名（和文）液晶素子を用いた色覚異常者向け色弁別補助デバイスの開発

研究課題名（英文）Development of assist device in color discrimination using liquid crystal for color vision defect

研究代表者

中山 敬三（nakayama, keizo）

近畿大学・理工学部・講師

研究者番号：80324333

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、電圧印加により着色状態の変化が可能なHeilmeyer型ゲストホスト液晶素子を用いた色覚異常者向け色弁別補助デバイスを作製し、その基本的な評価を行った。実際に色覚異常の協力者に使用してもらうことによりD-15テストの結果において改善が見られた。また、色覚シミュレータを用いた正常色覚者でも補助デバイスの評価ができる実験系を構築し、その実験系を用いて補助デバイスの評価を実施したところ、補助デバイスの効果は統計的に有意であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年では情報処理技術の発展により、スマートフォンのカメラを用いた支援ソフトやヘッドマウントディスプレイタイプの非常に多機能な支援ツールの提案もなされている。しかしながら、様々な環境で社会活動を行う色覚異常者にとって、入手コスト、機能、使用に伴う肉体的・心理的負担が異なる支援ツールの選択肢の多様性は極めて重要である。本研究で提案している素子はシンプルな機能ではあるが、低コスト化や一般に普及している眼鏡型デザイン採用による使用時の心理的負担の少なさなどに優れていると考えられ、液晶素子を用いる色弁別補助デバイスの研究は社会的意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the assist device in color discrimination using Heilmeyer type guest-host liquid crystal for color vision defect was evaluated. A participant with color vision deficiency assessed it and there was the improvement on the results of the D-15 test. An experimental system using a video camera and a PC with a vision simulator was constructed and participants with normal vision using the experimental system assessed it and the effect of the device was statistically significant.

研究分野：電子工学

キーワード：色覚異常 液晶 色弁別 D-15テスト ゲストホスト

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

印刷技術や表示技術の発展により様々な色の表現が容易になるにつれて、色自体に重要な情報を関連づけて伝達手段として用いるケースが増えている。正常色覚者にとっては、色による情報伝達は便利で間違いが生じにくい方法であると感じられるが、色覚異常者にとっては色の判断に困難を伴うこともある。日本人男性の5%に見られる赤緑色覚異常は、正常色覚者が感じる赤味と緑味の知覚が生じず、赤色と緑色が弁別（識別）できない混同色（仮性同色）となる。以降、断りのない限り色覚異常としてはこの赤緑色覚異常を指すものとする。

これまで色覚異常の矯正用道具として、色覚補正眼鏡などの名称で着色した眼鏡および着色したコンタクトレンズに関する特許・実用新案が多く出されている。これらの原理の本質は、着色したフィルタ（フィルム）、すなわち特定の波長の光を吸収あるいは反射する着色フィルタを通して対象物を観察することにより、裸眼時において混同色となる色の組み合わせの一方の色の色味や輝度を変化させ、混同色を区別しやすくするものである。しかし上記補助道具の透過特性は、制御や変化させることができない静的なものである。そのため裸眼時には区別できた色の組み合わせが、逆に色覚補正眼鏡やコンタクトレンズの装着後には区別が困難になってしまうことが発生する。つまり、色覚補正眼鏡の使用者は色の弁別に不安を感じた場合あるいは連続使用に負担を感じた場合は、眼鏡やコンタクトレンズの着脱を行わなければならない。

上記の問題に対して、電圧印加により簡単に着色状態を動的に変化できる液晶素子を応用すれば解決の一助になるのではないかと申請者は考え、液晶素子を用いた色の弁別補助デバイスの提案を行った（出願特許：中山敬三、色弁別補助装置、特願 2006-246260）（11th Congress of the International Colour Association, Sydney, (2009)）。

2. 研究の目的

本申請研究も含む全体構想としての目的は、透明状態と着色状態をスイッチ操作により切り替えることができる液晶素子を応用した眼鏡型あるいは手に保持して使用するシート型のデバイスを作製し、色覚異常者が色の弁別に迷った際に用いる色弁別補助デバイスを実現することである（図1）。

上記の全体構想を実現するために、本申請研究での目的を以下のように設定した。色覚異常の度合いは個人ごとに異なることから、提案デバイスのアイディア自体に効果があるかを検証する現段階においては、多くの色覚異常者に効果のある汎用的な素子作製ではなく、少人数の色覚異常の協力者のもと、素子の色素の選択、色素濃度の調整などを行い、特定の協力者に最適な条件下での提案アイディアすなわち提案の補助デバイスの効果に関するデータを得ることを目的とした。また、デバイスの効果のみならず使用者の意見を取り入れたユーザインタフェースなどの基本的な知見を得ることも目的とした。

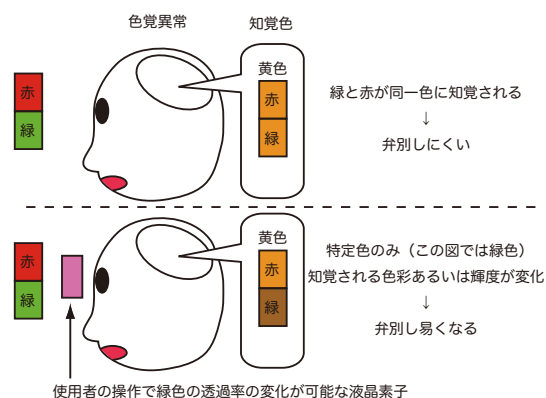


図1 着色状態が動的に変化可能な液晶素子を用いた色弁別補助デバイスの原理

3. 研究の方法

本申請研究の目的遂行に向けての取り組みとしては、色弁別補助に適した液晶素子の作製や実験協力者の負担を減らした実験系の作製および実験手順・評価方法の構築など、ハード面とソフト面の両面からのアプローチが必要であった。主要な実験方法を下記に示す。

(1) 実験に適したゲストホスト型液晶素子の作製

提案のアイディアを実現する液晶としては二色性色素を利用したゲストホスト型液晶以外にも複数の方法が考えられる。本申請研究では素子作製の容易さなどからゲストホスト型液晶素子を研究のターゲットとした。ゲストホスト型液晶素子の作製のみならず実験協力者が快適に素子を保持あるいは装着するための部品類を3Dプリンタにより作製するなどの工程も含まれる。

(2) 実験協力者の負担を考慮したデバイス評価実験系・実験手順の構築およびデバイス評価

動的に変化する色弁別補助デバイスに対して確立された評価手法が存在しないことから、デバイスの効果を客観的に示す手法を検討する必要がある。また、顎のせ台などの身体的な装置の使用の有無や液晶操作のスイッチなど電気、電子回路的なハードの構築も行った。

これらの研究手法は色覚異常の実験協力者の協力が必要となるため、近畿大学大学院総合理工学研究科生命倫理委員会の承認を得て実施した。

4. 研究成果

まず、後述する評価実験に用いた液晶素子について説明する。

ゲストホスト型液晶素子にも複数の種類があり、本研究では主に Heilmeyer 型ゲストホスト

液晶素子を対象とした。この素子は偏光子の有無が着色状態と透明状態に影響を与える。偏光子を有する液晶素子では着色状態での色の濃さが濃くなる、すなわち素子を駆動させた時に特定の色の輝度変化量が大きくできる。しかしながら、偏光子を有していることから透明状態での透過率は 50%以下となる。偏光子を用いない場合は、逆に着色状態での色の濃さは薄くなるが、透明状態での透過率は高くなる。将来的に実際の使用時の安全性等を考慮すると、環境光が暗い場面での使用も考えられるため使用者の安全面を考えると、透明状態で出来るだけ明るい観察が可能な偏光子を使用しないタイプでの実現が望ましい可能性がある。本申請研究での目的は提案デバイスのアイディアの有効性の評価であるため、透明状態と着色状態の差が大きくなる偏光子を用いる素子方式を採用した。使用した色素は赤紫色、すなわち緑色を吸収する色素である。そのため、実際に作製した補助デバイスの動作としては図 1 に示すものと同一である。液晶素子を通して観察中に液晶素子の透明状態と着色状態を知覚できる周期で繰り返し切り替えた場合、混同色である赤と緑色を比較すると緑色の方が液晶の状態変化の影響を受けるため、輝度変化が生じ強く明滅することになる。つまり、色覚異常者は輝度変化の大きい色味が緑色である可能性が高いと判断できることになる。実際の素子は、ネマチック液晶（メルク株式会社、ZLI-1565）にマゼンタ色素（株式会社林原生物化学研究所、G239）を 2.0wt%で混合した材料を、ギャップ 10 μm の評価用セル（株式会社イー・エッチ・シー）に注入し作製した。

図 2 に作製した素子の透過率を示す。駆動電圧は 1kHz の矩形波を用いた。印加電圧が 0V の時が緑色の光を最も吸収する状態で、印加電圧が大きくなるにつれて色素が光を吸収しない状態へと変化した。この時の変化を詳細に見ると、赤色の波長領域の透過率は常に高いのに対して、緑色の波長領域は約 0%から 20%と変化量が大きい。この結果は、作製した素子への印加電圧を変化させることで、色覚異常者にとって混同色である赤色と緑色のうち選択的に緑色の光の透過率を大きく変化させることができることを示しており、駆動しているこの素子を通して対象物を観察すると緑色の領域や物体の輝度の明滅が強調されて感じることを示している。

次に、実験協力者が用いる実験系の構築結果について報告する。

申請当初の実験では、液晶素子を用いた補助デバイスの形態は片目のみを用いる、すなわち補助デバイスを通して対象物を観察する目とは逆の目を閉じてもらう必要があり、実験協力者から両目を用いる補助デバイスの作製要望が強かった。そこで本研究予算で購入した 3D プリンタを用いることで、二つの素子を固定し両眼ともに使用する形態のデバイスが作製できた。これにより実験協力者の負担が大幅に軽減できた。

補助デバイスの効果を確認する方法としては、実験実施者が色票（着色された紙片や駒など）を実験協力者に提示し色の弁別結果を報告してもらう手順、すなわち実験協力者は補助デバイスの操作のみを行う手順が考えられる。一方、色票自体を実験協力者に渡し並べ替えや分類の操作を直接行ってもらう手順もある。特に色覚異常の程度判定に良く用いられる Farnsworth D-15 test（D-15 テスト）は後者の手順となる。後者の手順を実験協力者にスムーズに実施してもらうためには手で行なっていたスイッチ操作が問題となった。そこで補助デバイスを操作するフットスイッチを 3D プリンタを活用し作製した。

色票を用い実験協力者の色弁別を評価する方法として、多くの色範囲で評価を行いたい場合は、多くの色票を用い実験を行えば良い。しかし、同じ色覚異常を有する人たちでも、個人によって見分けられる色味に違いがあることが知られている。そのため、事前に個人ごとに弁別の困難な色票の選択などを行い、個人間で用いる色票が異なるなど、実験条件が異なる実験となってしまう。個人個人に最適な補助デバイスの作製工程ではこの評価手法は重要であるが、提案のアイディア自体の有効性を客観的に議論するには、条件が一定とならず適さない評価方法であると考えた。そこで、前述した D-15 テストの結果がどのように変化するかで、補助デバイスの有効性を評価した。D-15 テストは、15 色のカラーキャップを基準のカラーキャップ（pilot cap）から色が最も似ていと感じるカラーキャップ順に並べていき、その並び順から色覚異常の種類と程度を判別するものである。

色覚異常の実験協力者への D-15 テスト

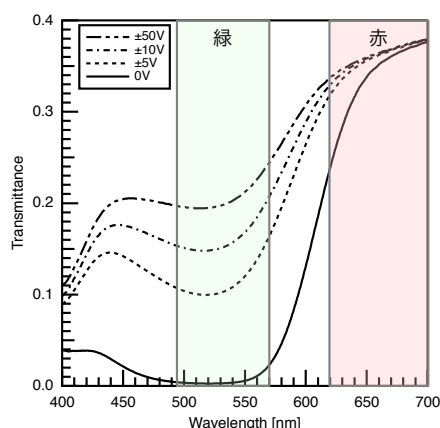
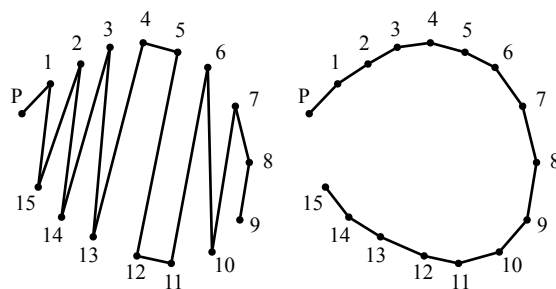


図 2 作製したゲストホスト液晶素子の印加電圧変化に伴う透過率変化



(a) 裸眼

(b) 補助デバイス使用

図 3 D-15 テスト結果

の結果を図 3 に示す。この図は実験者によって並べられたカラーキャップの順番を基準のカラーキャップ (図中の P) から結んで図示したものであり、正常色覚の場合はキャップ番号が 1 から 15 まで順になる配列が得られ、円の外周を綺麗になぞる形状となる。図 3(a) は裸眼の状態での D-15 テスト結果で横断線が多く色の判断に誤りが生じていることがわかる。実験協力者に補助デバイスを用いてもらい、「正常色覚者が類似色と感じる色が近くに配置される順番を再現する」課題を行ってもらった際の結果を図 3(b) に示す。横断線が一切なく正常色覚者と同じ配列が得られたことから、補助デバイスの効果を示す結果である。ただし、補助デバイスは赤味か緑味かの推測を補助したのであって、正常色覚者の色感覚を生じさせたのではないことに注意が必要である。

色覚異常は体調や心理的状态により色認識の結果に影響が出ることが知られており、また、色覚異常の実験協力者の負担を増加させず、安定した補助デバイスの改良・評価のサイクルを高頻度で行う目的で、色覚シミュレータを用いることにより正常色覚者でも補助デバイスの評価が行える実験系の構築も並行して行なった。ビデオカメラの映像をリアルタイムでコンピュータに取り込み、色覚シミュレーションソフト (EIZO 株式会社, UniColor Pro) を通した映像を液晶モニタ (EIZO 株式会社, ColorEdge CG222W) に表示するシステムを構築した。モニタを通して観察することにより正常色覚者でも色覚異常での見えを体感できる。また、3D プリンタを活用してビデオカメラのレンズ部に補助デバイスを装着できるようにした。正常色覚の実験協力者は手元のスイッチでカメラに装着の補助デバイスを操作し、観察はモニタの映像を通して行うことにより、色覚異常の人が補助デバイスを用いて D-15 テストを行う状態をシミュレートできるようになった。D-15 テストはカラーキャップを移動する必要があるが、カラーキャップの移動は実験協力者の指示に従い実験実施者が行うため、実験協力者がカラーキャップを直接見ることはなかった。

正常色覚の実験協力者に、色覚シミュレータを用いて D-15 テストを実施した時の結果を図 4 に示す。図 4(a) はカメラに補助デバイスを装着しない、すなわち補助デバイスを用いない色覚異常の人の D-15 テストをシミュレートしていることになる。横断線の数や角度から赤緑色覚異常と判断できる。図 4(b) はビデオカメラに補助デバイスを装着し、実験を行なった結果である。図 4(a) から横断線、すなわち誤りの数が減り改善していることがわかる。さらに、複数の正常色覚者に同様の実験を行い、D-15 テスト結果の評価に C-index を採用し定量的な補助デバイスの効果の検討を行なった。その結果、補助デバイスによる改善効果は統計的に有意 (p 値=0.002) であった。

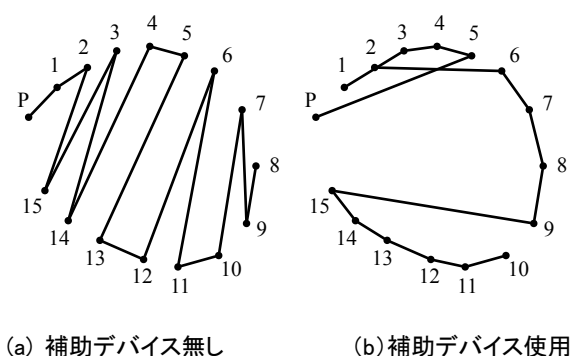


図 4 色覚シミュレータを用いた正常色覚者による D-15 テスト結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

- ① 中山敬三、Heilmeyer 型ゲストホスト液晶素子を用いた赤緑色覚異常向け色弁別補助装置、電気学会論文誌 A (基礎・材料・共通部門誌)、査読あり、Vol. 139、2019 年、<https://doi.org/10.1541/ieejfms.139.246>

〔学会発表〕 (計 2 件)

- ① 中山敬三、Heilmeyer 型ゲストホスト液晶素子を利用した赤緑色覚異常者向け色弁別補助装置の評価実験、2018 年日本液晶学会討論会、2018 年 9 月 5 日
- ② Keizo Nakayama、Application of Reddish Purple Guest-Host Liquid Crystal to Assist Device for Color Vision Defects、27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018) (国際学会)、2018 年 7 月 26 日

〔その他〕

- ① 中山敬三、吉田知恵子、液晶素子を用いた色弱者向け色弁別補助デバイス、第 30 回東大阪産業展 テクノメッセ東大阪 2017、2017 年 11 月 8、9 日
- ② 吉田知恵子、中山敬三、液晶を用いた色弁別補助装置の評価実験系の構築、電気材料技術懇談会若手研究発表会、2017 年 7 月 12 日

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。