

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 22 日現在

機関番号：84510

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26330239

研究課題名（和文）ロービジョン者用ディスプレイのための2波長対応回折光学素子の作製

研究課題名（英文）Fabrication of Dual-Wavelength Holographic Imaging Elements for Low Vision Display.

研究代表者

瀧澤 由佳子（YUKAKO, TAKIZAWA）

兵庫県立工業技術センター・その他部局等・主任研究員

研究者番号：20470255

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではロービジョン者の視覚的支援のため、ロービジョン者用ウェアラブルディスプレイを提案してきた。本ディスプレイにはゴーグル型ディスプレイに取り付けたカメラから前方視界の画像を取得してLV者にとって見やすい画像へ改良して提示する機能と、前方障害物との距離検出する機能をもつことを想定している。先行研究では、ホログラフィック光学素子を撮像光学系に用いることで、前方視界を人の目線に近い画像として得られることを確認してきた。今回、前方障害物との距離計測に用いる画像を得るため、前方視界撮像用ホログラフィック光学素子のとは異なる波長で作用するホログラフィック光学素子を作製し、これによる撮像を確認した。

研究成果の概要（英文）：We proposed a wearable display with integrated holographic imaging elements (HIEs) obtained the scene images for easy recognition to low vision people and the images for the measurement of the distance measurement from user to the forward obstacle. In the previous work, we investigated the imaging characteristics of the transmitted-type HIE. In this work, we investigate the HIE with high diffractive efficiency on different wavelength range from the HIE for low vision people in order to obtain images for the measurement of the distance to the forward obstacle. Experimental results show that the imaging system with the HIE for the measurement of the distance measurement can obtain images the targets as a forward obstacle independently.

研究分野：光機能素子、ヒューマンインタフェース

キーワード：ホログラフィック光学素子 ロービジョン ヒューマンインタフェース

1. 研究開始当初の背景

日本国内には100万人以上のロービジョン者（全盲ではないが、日常生活に支障のある視力障害者。以下、LV者）がおり、ロービジョンとなる原因が加齢性疾患である場合もあることから、今後ますますLV者の増加が懸念されている。このようなLV者の視覚的支援を行う補助具として、これまで遮光めがねや読書器などが用いられてきた。しかし、これらは主に静止した状態での利用を前提としている。我々の先行研究においては、歩行時の視覚機能の補助具としてのゴーグル型のLV者用ウェアラブルディスプレイを提案してきた（特願 2013-033995）。本ディスプレイにはディスプレイに取り付けたカメラから前方視界を取得し、これをLV者にとって見えやすいといわれる、画像のコントラスト強調と明るさ向上の画像処理を行ってディスプレイに表示する機能について検討を行ってきた。そして、LV者を対象に一般的な道路で用いられている白線と同じ材料の白線が背景と見分けられる画像が得られる画像処理を見出し、この処理がLV者用ウェアラブルディスプレイとして有用であることを確認した。

また、LV者の前方障害物、特に足元ではなく横から突き出しているような白杖ではわからない障害物との接触事故の防止のため、前方障害物との距離検出機能についても検討を行ってきた。一般に前方障害物との距離計測を行うには、投光照明を用いないパッシブな撮像で得られた画像よりも、投光照明を用いたアクティブな撮像のほうが、投光照明された部分を計測対象として抽出できるため、距離計測精度はよく、画像処理も簡便とされている。そこで、LED光を投光してゴーグル相当の幅での三角測量の原理にもとづく距離計測についても検討を行い、100cmまでの範囲で距離計測ができることを確認してきた。

ここで、これまでの一般的なウェアラブルディスプレイの撮像光学系について考えると、小型カメラをヘッドマウントディスプレイに取り付けた構成となっている。しかし、この構成では前方視界の像を取得するカメラの配置は目の位置とは一致しないため、カメラと人の視界の中心が異なり、カメラで得られた画像の中心のまま画像を提示すると違和感を感じる要因となる恐れがある。もし提示する画像の中心位置をシフトしてカメラの視界を人の視界と一致させるとしても、幾何学的な位置を考慮した計算を行う処理がリアルタイム映像提示の負荷となる可能性がある。そこで、先行研究においてはホログラフィーの原理にもとづいた光学素子であるホログラフィック光学素子（Holographic Optical Element 以下、HOE）を用いた撮像光学系についても検討してきた。HOEは、レーザー光など干渉性が高い光の干渉、回折を利用して作製される

回折光学素子の一つで、HOEにより所望の回折波面を得ることができ、感光材料に種々の機能を設計できる。実際のHOEに作製に使用する材料は厚さ数十 μm の透明なフォトリソグラフィ用レジストであり、ゴーグルに搭載しても負担の少ない軽量の素子である。そして、我々はこの素子を用いることにより光学的に人の視界とカメラの視界の中心を一致させる画像を得ることができることを確認した。ちなみに、光学的な整合性をとる方法としては、ハーフミラーを用いることも考えられるが、カメラの配置はハーフミラーの配置に制約され、装置が大きくなるのが課題となる。

本研究ではこのようなHOEを用いた撮像光学系とシースルー型のヘッドマウントディスプレイとで構成することでLV者用ヘッドマウントディスプレイを実現することを考え、これまでLV者の前方視界の撮像するためのHOEについて検討を行ってきた。本研究事業の範囲内では、前方障害物に投光してその画像を用いた距離計測を実現する撮像光学系に用いる回折光学素子について検討を行うこととした。

2. 研究の目的

研究開始当初考えていた前方障害物検出機能を付加したロービジョン者用ディスプレイのイメージ図を図1に示す。先行研究で提案した撮像光学系に用いるHOEについては人の視界を撮像することを目的とした可視光の波長域を対象とした素子であった。この素子は透過型結像機能をもつ素子（以下、透過型HOE）と背景光ノイズをカットするHOE（以下、背景光カットフィルタHOE）を集積したものであった。

本研究では当初、これらの可視光の波長域のHOEに加えて、近赤外光を対象とした光学素子を併用し、これから得られた近赤外画像を前方障害物との距離計測を行うことを

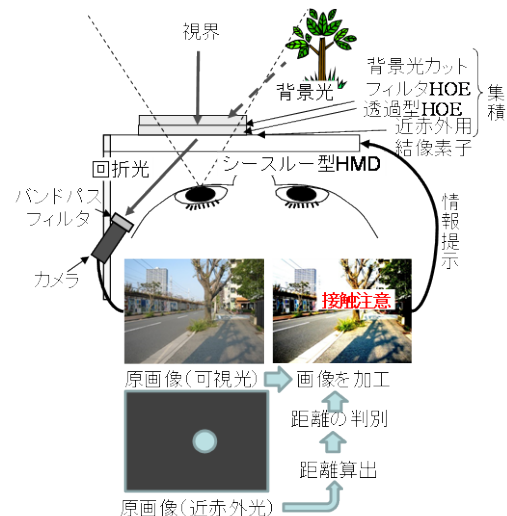


図1 前方障害物検出機能を付加したロービジョン者用ディスプレイのイメージ図

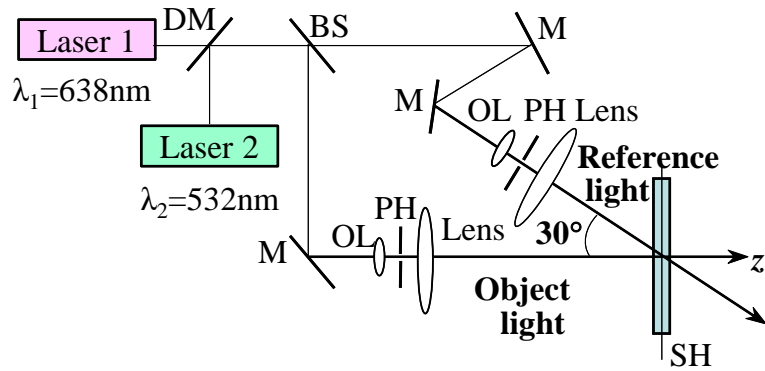


図2 HOE 作製光学系 (DM:ダイクロイックミラー, M:ミラー, OL: 対物レンズ, PH: ピンホール, SH: サンプルホルダー)

想定していた。

本研究では、前方視界撮像用 HOE とは別の波長域で前方障害物との距離計測に用いる撮像光学系に用いる回折光学素子の作製し、これら2波長対応の撮像光学素子を実現することを目指した。

3. 研究の方法

実験では、まず HOE の素子の作製を行った。そして、HOE が回折効率が高い波長域を調べた。次に距離計測用の HOE 単体による撮像の確認を行った。更に、互いに異なる波長域で作用する距離計測用素子と前方視界撮像用素子の双方を集積した場合に撮像の確認を行った。その上、シースルー型ディスプレイに素子を取り付けた場合の撮像について確認を行った。以下にこれらの方法について述べる。

(1) 素子の作製方法

今回の検討対象は前方障害物との距離計測に用いる撮像光学系に用いる素子 (以下、距離計測用素子) であり、人の前方視界を撮像するための HOE ではない。しかし、この素子を HOE で実現するとすれば、最終的にはこれらの2種類を集積して使用するため、人の前方視界を撮像するための HOE も作製できる光学系を構築し、これを用いて作製した。これら2波長に対応した透過型 HOE の作製するための光学系を図2に示す。これらの HOE の作製に用いる光源として、波長 532nm と 638nm のレーザー光を用いた。波長 532nm のレーザーは前方視界撮像用 HOE の作製用で、波長 638nm のレーザーは距離計測用素子の作製用である。素子の作製にはこれらの光源の一方を用いて作製するが、ダイクロイックミラー (図中の DM) 以後の光路は共通となっている。以下に光路を簡単に説明すると、レーザー光をビームスプリッター (図中, BS) で分けて、ホログラムの記録のための参照光と物体光をミラー (図中, M)、対物レンズ (図中, OL)、ピンホール (図中, PH)、レンズ (図中, Lens) で生成する。参照光は、サンプルホルダー (図中, SH) に設置される HOE 材料に対して角度

30degree の方向に伝搬する平行光であり、物体光は、z 軸に沿って伝搬し、サンプルホルダーに対して垂直に入射する平行光である。すなわち、z 軸方向に沿って伝搬する光を物体光の方向においたカメラで捉えることを意図している。このような参照光と物体光による干渉縞を露光して HOE 材料に記録し、それぞれの波長域の透過型 HOE を作製した。実験では、HOE 材料としてサイズ約 40 mm×40 mm のフォトポリマーをスライドガラスに貼り付けて用いた。また、露光時の参照光、物体光の光強度はそれぞれ HOE 材料面において、3.2mW/cm², 2.9mW/cm²であった。そして、このような参照光および物体光を 20 秒露光した。なお、記録後の処理として、フラット照射レンズを取り付けた紫外線照射器 (EXECURE 4000-D, HOYA 社製) を用いて透過型 VHOE の中心付近における光強度が約 6mW/cm² である紫外線を 180 秒露光した。ちなみに、透過型 HOE (距離計測用素子) に、物体光を遮断して参照光と同じ光を照射して読み出すと、透過型 HOE によって物体光と同じ方向に回折されることは確認できた。

次にこのように作製した距離計測用素子がどの波長域で利用するのが効率がよいかを調べるために、分光光度計

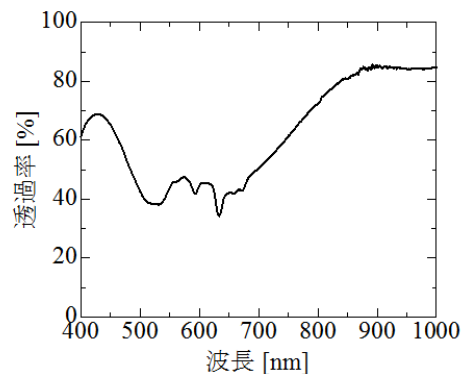


図3 作製した距離計測用素子(HOE)の透過率特性

(SolidSpec-3700, 島津製作所製)で透過率特性を測定した。作製した距離計測用素子(HOE)の透過率を図3に示す。この結果をみると、作製に使用したレーザーの波長638nmに近い、633nmの波長で最も透過率が小さい。つまり、この付近の波長域でホログラムができており回折効率が最もよく、この波長域が撮像素子としては効率よく利用できることがわかった。

そこで、今回のウェアラブルディスプレイに組み込む距離計測用素子の撮像の確認のためには、近赤外ではなく633nmの付近の波長域を利用することとして、撮像光学系を構築した。

3.1 距離計測用素子の撮像実験の方法

まず、距離計測用素子の単体での撮像を確認するために図4に示すような撮像光学系を構築した。撮像対象を作製時の光軸すなわち図4中のz軸上の、HOEとの距離 l の位置に配置した。このHOEはz軸に沿って伝搬する平行光が入射したときにHOE面に対して30degreeの方向に回折するように作製されるため、カメラをHOE面に対して30degreeの方向に配置した。この撮像実験では焦点距離可変レンズが付属したカメラ(WAT-902H, ワテック(株)製)を用いて画像を撮像し、その信号を画像キャプチャーボード(PCI-1405, National Instruments製)で階調値256階調、640×480画素の画像としてパソコンに集録した。また、カメラの前面には市販のバンドパスフィルタ(中心波長632nm, 半値全巾10nm)を取り付け、回折光の中心波長付近以外の波長の光をカットするようにしている。また撮像対象にはUSAFテストチャートを用いて、これと透過型HOEとの距離は20cmとして撮像を行った。

3.2 2波長集積HOEによる撮像実験の方法

本研究が想定している、波長532nmおよび波長633nmに対応したHOEが集積した場合についても確認するため、次のような実験を行

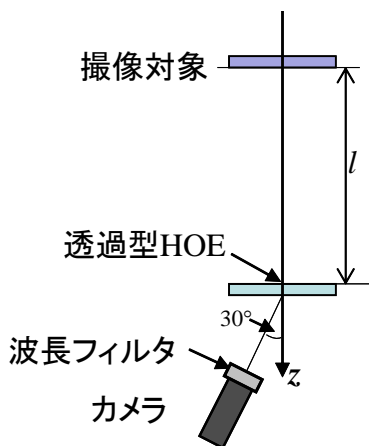


図4 透過型HOEを用いた撮像実験の配置図

った。図4に示した撮像光学系のうち、透過型HOEの代わりに、3.1で作成したそれぞれの波長のHOEを集積したHOEを置き、この撮像光学系を用いて撮像を行った。このとき撮像対象としては図5に示すパターンを用いた。

3.3 シースルー型ディスプレイに搭載したHOEを用いた撮像実験

このような撮像光学系をウェアラブルディスプレイに搭載して使用できることを確認するために、市販のシースルー型ウェアラブルディスプレイ(BT-100, セイコーエプソン製)のディスプレイ部の面にHOEを設置したときの撮像実験を行った。このときの撮像光学系を図6に示す。撮像対象としては図5と同じものを用いた。

4. 研究成果

4.1 距離計測用素子の撮像結果

3.1で述べた距離計測用素子を用いた撮像光学系で撮像した画像を図7に示す。

画像中の黒の枠の内部は波長フィルタごしの画像となっており、透過型HOEの実物が撮像されている。そして、その透過型HOEには撮像対象であるUSAFテストチャートのパターンの一部があり、作製した透過型HOEにて撮像できていることが確認できた。

4.2 2波長集積HOEによる撮像結果

波長532nmおよび波長633nmに対応したHOEを撮像光学系に用いて撮像した結果を図8に示す。集積した場合でも撮像できている

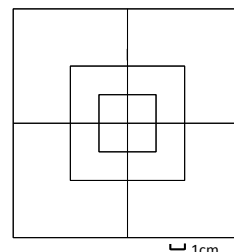


図5 撮像対象

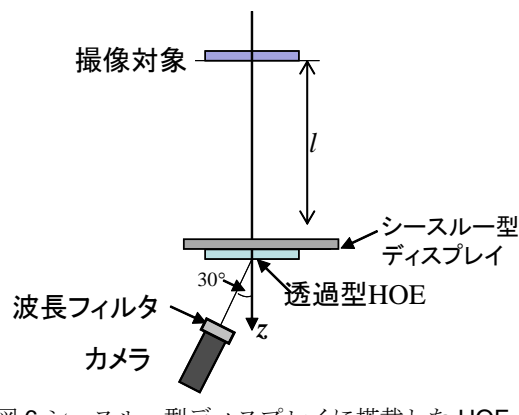


図6 シースルー型ディスプレイに搭載したHOEを用いた撮像光学系

ことを確認できた。

ちなみに、今回、用いた波長フィルタ市販品であり、波長 532nm および波長 633nm の 2 つの帯域に対応していないため、同時には確認できなかったが、これらの帯域に対応するバンドパスフィルタを用いれば実現できると考えられる。

4. 3 シースルー型ディスプレイに搭載した HOE を用いた撮像結果

シースルー型ディスプレイに搭載した HOE を用いた撮像結果を図 9 に示す。当初、シースルー型ディスプレイによって光量が低減した上で、HOE の回折光の光量が本撮像光学系で撮像するだけ十分かどうか懸念されたが、撮像対象としたパターンが撮像できたことができた。

更にこのような撮像光学系について、本ディスプレイのユーザーとして想定している LV 者の視覚特性にも鑑みて考える。ディスプレイに表現される光の波長域がカットされることは健常者には性能低下となりうるが、LV 者にあった画像をディスプレイで提示することを考えた場合、我々の先行研究では、白黒もしくは黄黒のような 2 値画像が最もよく視界が判別できることがわかっており、LV 者にとっては問題とはならないと考えられる。今後、このような一部の波長域をカットしたディスプレイ光で LV 者が見やすい画像を提示できることを確認することが課題である。

ちなみに、今回の実験では、シースルー型ディスプレイの電源は切っており、ディスプレイからの光はない。図 10 に示すように、2 つの撮像用 HOE の波長域をカットする波長フィルタをディスプレイに内蔵すれば、ディスプレイからの光と撮像用の光は独立であり、所望の画像が得られるものと考えられる。

以上の結果より、提案する 2 波長集積 HOE により、シースルー型ディスプレイに取り付けても撮像対象の画像が得られていることが確認できた。このことはロービジョン者用ディスプレイとして、見やすい前方視

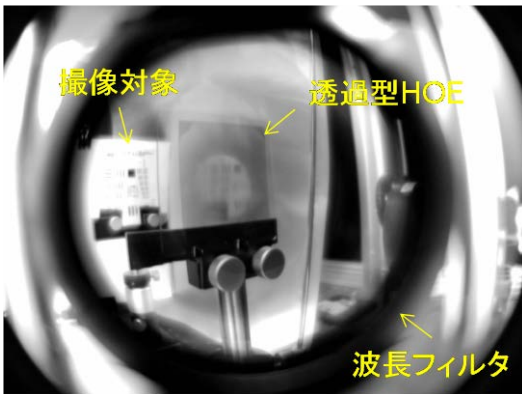


図 7 透過型 HOE(波長 633nm)により撮像した画像

界の表示と前方障害物の警報の機能の提供できる見通しができたことを示している。



図 8 2 波長集積 HOE による撮像 (透過波長域が中心波長 632nm、半値全巾 10nm の波長フィルタを用いた場合)

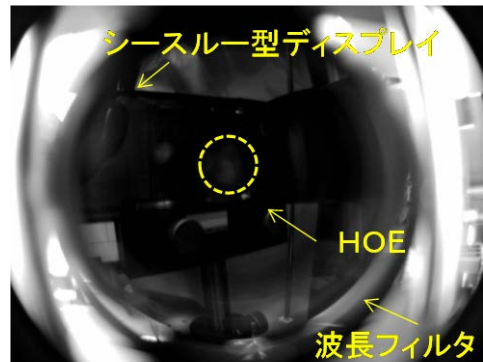
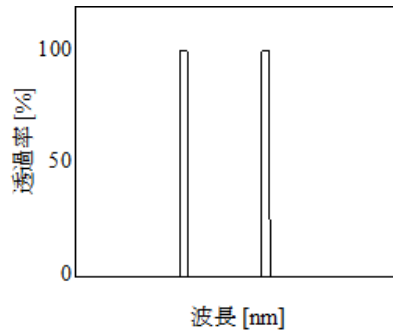
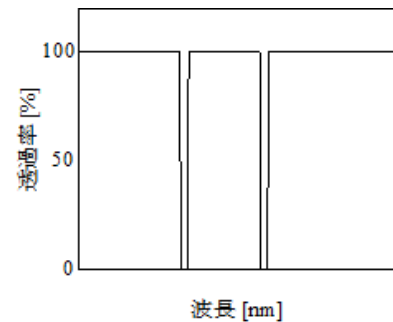


図 9 シースルー型ディスプレイに搭載した HOE を用いた撮像光学系による画像



(a) 撮像光学系用



(b) 表示光学系用

図 10 本システムに用いる理想的な波長フィルタ

5. 主な発表論文等

- 〔雑誌論文〕 (計0件)
- 〔学会発表〕 (計0件)
- 〔図書〕 (計0件)
- 〔産業財産権〕 (計0件)
- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)
- 〔その他〕 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀧澤由佳子(Yukako Takizawa)

(兵庫県立工業技術センター・その他の部局等・主任研究員)

研究者番号 20470255 :

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

的場 修 (Osamu Matoba)

(神戸大学大学院システム情報学研究科・教授)