

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 4 日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010 年度～2012 年度

課題番号：22560044

研究課題名（和文） 特殊な射影関係を利用した光学系による自然な立体表示装置

研究課題名（英文） Real 3D-image display by applying the certain projection relation of optics

研究代表者

渋谷 真人（SHIBUYA MASATO）

東京工芸大学・工学部メディア画像学科・教授

研究者番号：10339799

研究成果の概要（和文）：

自然な立体視を得るための光学系の結像理論をより基本的な原理から導き、さらに発展させて、ドーム型 3D ディスプレーや一般の光学系に適用できるものとした。この理論に基づくレンズを実際に設計し試作をした。通常の光学系との比較を視覚評価によって行ったところ、有効であることが確認された。今後のヘッドマウント型ディスプレイ光学系の基本原理として活用されると考える。

研究成果の概要（英文）：

By considering the fundamental principle, we have derived the imaging theory which gives us the optics for natural 3D image display. Moreover we have developed this theory to be useful for 3D-dome display and general optics. Being based on our theory, we have practically designed lens and fabricate the real optics. By the difference in vision between the new optics and conventional optics, the effectiveness of our designing method has been confirmed. We think our new proposed method will be useful at least for head-mounted 3D optics.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 応用工学・量子光工学

キーワード：応用光学・量子光学、ディスプレイ、3次元画像、レンズ設計

1. 研究開始当初の背景

立体表示光学装置（3D ディスプレー）はこれからの表示機器として期待されていた（現在は民生機器としては期待が薄くなっているが、産業機器医療機器への応用は今でも大きな期待がある）。しかし、実際に製品化されているものは、全てが両眼視差と輻輳

のみを利用しており、自然な立体視を得るものではなかった。

立体視の 4 要素のうちの両眼視差と輻輳だけでなく、眼のピント機能と運動視差をも考慮した自然な立体視が望まれているが、これといって決め手のあるものはなかった。

①ホログラムによる方法は、スペックルに

よる見栄の悪さ、情報処理量の低減化が必要などの問題がある。②超多眼方式といわれる、小さな二次元表示素子を、多数二次元に並べる方法もあるが、高解像化するための素子の微細化は困難である。たとえそれが解決されても、小さな二次元表示素子にある絞りによる回折によって原理的な微細化の限界があり、コンパクトにすることも大型化することも困難である。③体積表示装置といわれる、厚さ方向に多数の表示素子を並べる方法があるが、大型になり、両眼で異なる素子を用いて両眼視差も利用する場合には、実用的な装置構成が難しい。

2. 研究の目的

このため、実現性のある自然な立体視を得る表示装置の開発が望まれていた。我々は、体積表示装置と光学系を組み合わせた、コンパクトで、両眼視差と眼のピント機能の両方を利用したヘッドマウント型の自然な立体表示装置の実現を目指していた。

しかし、従来の光学系では物体距離が変わると原理的に発生する収差が問題となり、遠距離映像、あるいは近距離映像のどちらかを犠牲にしなければならなかった。我々は、“特別なレンズの射影関係”により、この問題を回避できることを試行錯誤の中からみつけ、理論的に導いた(特願 2009-061388 「立体視光学装置」発明者:渋谷真人、岡幹生、応用物理学学会講演会発表(2009年秋):岡幹生、渋谷真人、前原和寿、中橋末三「自然な立体像を与える光学装置を実現するための光学系の設計」8pA-13)。これにより、コンパクトな自然な立体表示装置を実現することが可能になった。

本研究の第1の目的は、この“特別なレンズの射影関係”に着目して、自然な立体視を得る光学装置を実現する技術を確立することにある。

さらに、我々の見出した光学設計法は、簡易でありながら臨場感のある立体映像を与えてくれる、ドーム型ディスプレイにも応用できる。ドーム半径が変化した時に、得られる画像のボケを小さく抑えられるはずである。その他にも光学系開発に広く適用できるものであり、その理論的な確立が、第2の目的である。

3. 研究の方法

研究は大きく、結像理論の完成、レンズの設計と試作、光学系の視覚的官能的評価、システム検討の4つの面から進めていく。

(1) 結像理論

試行錯誤の中から発見的に見つけた現象を、理論的に整理し、特定の射影関係が物体距離に関わらず先鋭に像を結ぶことを導出した内容を、論文として発表する。さらに、

より基本的な原理に基づく理論の構築を目指し、幅広く活用できるものとする。また、収差論との無矛盾性の確認も行っていく。

さらに、ドーム型ディスプレイや一般の結像光学系への理論の適用を行い、新たな知見を得、光学系全般の発展に寄与する。

(2) レンズ設計と試作

レンズの制作は企業に依頼せざるをえない。基本設計は大学で行い、実設計、特に色収差や製造公差を考慮した設計は、製造を依頼する企業にお願いして、設計と試作を行う。

(3) 視覚的評価

我々の理論に基づく光学系と、市販の顕微鏡対物レンズを流用した装置とを、実際に観察して比較し、統計的な評価を行う。

(4) システム検討

表示装置としては透明有機 EL をひとつの候補として考えているが、現状では十分なデバイスを得ることは出来ない。そのためポジフィルムを代用して、設計評価を行っていく。実用性のある光学系をどのように考えていくべきかを、検討する。

4. 研究成果

(1) 結像理論

試行錯誤の中から発見的に見つけた現象を、理論的に考察し、特定の射影関係が物体距離に関わらず先鋭に像を結ぶことを導出した内容を、論文として発表した。

より基本的な原理として、微小光束の縦倍率に着目し、物体移動による収差低減を達成するための射影関係を理論的に導いた。さらに、球面状の像面がコマ収差発生をさらに抑制することを見つけた。また、収差論との無矛盾性の確認を行った。この成果は、国内外の学会で発表したが、外国においても反響があり評価されたと考えている。さらに国内雑誌に投稿したが、優れた内容ということで、日本光学会奨励賞を受賞したことから、我々の仕事が評価されていると考える。また、十分な内容を国際学会の英文 proceeding に書くことができ、海外に対する発信も十分できていると考える。

さらに、ドーム型3Dディスプレイにおいて、ドームの半径を可変にした時の収差発生を低減する設計手法を導出し、レンズ設計によって効果を確認した。学会発表および論文投稿をおこなった。

また、収差論に用いる瞳座標に関する基本的な問題があり、収差論的な検討を行う上で、その基礎に関しても検討し、研究成果として論文とした。

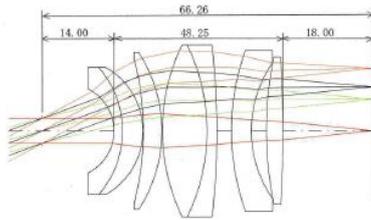
理論的な検討は継続しており、例えば球面状像面で要求される射影関係を、新たな発想に基づき直截的に導いた。またメリジリアル像面とサジタル像面、厳密理論と収差論、平

面像面と球面像面、という対比で網羅し、2013年に国際学会発表と論文投稿を予定している。

(2) レンズ設計と試作

レンズの基本設計を我々自身で行い、それをもとに、外注先の木下光学研究所とレンズの詳細設計および制作について打ち合わせを行った。色収差補正までは難しいかと考えていたが、色収差も含めたレンズ設計が達成でき、十分な性能のレンズが作製された。

基本光路図を下記に示す。



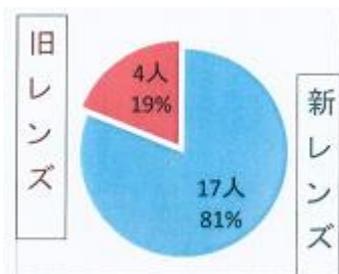
(3) 視覚的評価

我々の理論に基づき設計製作された光学系を用いた自然な立体視を得る立体表示装置と、市販の顕微鏡対物レンズを流用した装置とを、実際に観察して比較し、統計的な評価を行った。

無限遠用のディスプレイ（フィルム）と近距離（250mm）のディスプレイを覗き、無限遠に視野全体のピントを合わせた時の、近距離物体の見えを確認した。視覚評価結果を下表に示す。人数はそれぞれのレンズを用いた装置が見えが良いと判断した人数である。新設計のレンズが有効なことが分かる。ただし、射影関係以外の設計値も異なっており、費用的に可能であれば、射影関係だけの違いによる評価を行う方が望ましい。この点は今後の課題とする。

(4) システム検討

透明有機 EL があることがきっかけで、自然な立体表示装置の開発をはじめた。現状では十分な解像力と薄さを持った透明有機 EL デバイスを得ることは出来ないため、ポジフィルムで代用して装置を構成し、視覚評価を行った。



装置をいろいろと操作し、またポジフィルムのサンプル作成を行ってみると、いずれにしても真に立体的な表示を行うのは、画像取得、画像表示の両面から、非常に難しいことが改めて体感した。実用的な解としては次のようなものが良いのではないかと考えている。表示は両眼視差と輻輳のみを用いるが、視線方向物体距離に合わせて、表示版あるいはレンズを光軸方向に移動させることで、ピントに対する自然な立体感を与える。これは我々の研究室での領分を越えるので、今後は企業との連携を探っていきたい。

(5) まとめ

ヘッドマウント型の体積型表示装置において自然な立体視を与えることのできる光学系の基礎理論を導出し、その確かなことを光学設計および装置による視覚評価で確認できた。実的な解としては、通常の3Dディスプレイにおいて、物体表示位置を変えられるヘッドマウント型装置へ展開することではないかと考えている。

さらに、この方法の3Dドーム型ディスプレイへの応用、一般結像光学系への応用を理論的に解明し、特許出願をしている。

なほ、われわれの2011年でのOPJでの湾曲した像面を考えた発表が、ちょっとした騒ぎになったが、その後国内数社から湾曲した像面に関する特許が出ていることから、我々の研究は有意義であったと考えている。

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4件)

① 山口城、長谷隼佑、渋谷真人、前原和寿、水野統太、中楯末三、ドーム型ディスプレイ用投影光学系の設計、光学、査読有、42巻、1号、38-47、2013

② Masato SHIBUYA、Considering the effectiveness of 3-rd order aberration theory from the view point of sine condition in the presence of spherical aberration、OPTIK、査読有、2013 (to be published)

③ 岡幹生、渋谷真人、前原和寿、長谷隼佑、中楯末三、自然な立体視を与えるための光学系の設計、光学、査読有、40巻、1号、36-45、2011

③ 長谷隼佑、渋谷真人、前原和寿、岡幹生、中楯末三、物体移動による収差変化を抑制する光学設計、査読有、光学、40巻9号、499-508、2011

[学会発表] (計7件)

① Jyunichi Tamaki、Masato Shibuya、and

Suezou Nakadate: ” Analytical Equation Predicting the Forbidden Pattern Pitch for Phase-Shifting Mask” SPIE Advanced Lithography, 査読有, SPIE8683-81 (2013, 2月 27 日, SanJose)

② 任莉、渋谷真人、長谷隼佑、中楯末三、「物体移動により発生する収差を抑制する射影関係の三次収差論的及び直截的導出」 Optics & Photonics Japan2012, 23pB1 (2012、10月 23 日、東京)

③ 田巻純一、渋谷真人、中楯末三、「Defocus を考慮した像強度の解析的公式」第 73 回応用物理学学会学術講演会、13p-F3-5 (2012、9月 13 日、松山)

④ 山口城、長谷隼佑、渋谷真人、前原和寿、中楯末三、ドーム型ディスプレイ投影光学系の設計、Optics & Photonics Japan 2011 (OPJ2011) 29pE7、(阪大) Nov. 2011.

⑤ Shunsuke Hase, Masato Shibuya, Kazuhisa Maehara, Mikio Oka and Suezou Nakadate, Optical design methods to suppress aberrations which are caused by change of object distance, Optical Systems Design, 査読有, SPIE 8167A-33, (Marceille) Sep. 2011.

⑥ 長谷隼佑、渋谷真人、前原和寿、岡幹生、中楯末三：「球面イメージセンサーにおける光学設計」OPJ2010, 9aD3 (中央大学駿河台記念館、2010年 11月 9日)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称：結像光学系

発明者：、長谷隼佑、

権利者：東京工芸大学

種類：特許出願

番号：特許出願 2010-246665、

特許公開 2012-98553

出願年月日：2010年 11月 2日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渋谷 真人 (SHIBUYA MASATO)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号：10339799

(2) 研究分担者

中楯 末三 (NAKATATE SUEZOU)

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号：10124372

前原 和寿 (MAEHARA KAZUHISA)

東京工芸大学・工学部・准教授

研究者番号：10103160

(平成 22 年 4 月から 24 年 3 月)

水野 統太 (MIZUNO TOTA)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号：00337875

(3) 連携研究者
()

研究者番号：