

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 24 年 4 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22760239

研究課題名（和文） アイリス面空間分割による光方向制御技術の確立と高品位三次元ディスプレイへの新展開

研究課題名（英文） Development of High resolution Autostereoscopic Display using Liquid Crystal Sutter dividing the Iris-plane

研究代表者

石鍋 隆宏 (ISHINABE TAKAHIRO)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：30361132

研究成果の概要（和文）：

本研究ではアイリス面の空間分割に基づいた裸眼立体ディスプレイにおいて、二台のプロジェクタによる偏光状態の違いを利用した左右画像の分離、偏光保持型前方散乱フィルムの開発による左右画像のクロストークの低減、高光利用効率を実現するレンズ光学系の設計と複数枚の液晶シャッターを用いた観察領域のノンメカニカルでかつ高速な制御の実現により、光利用効率および観察範囲を改善し、明るく、高品位な立体画像が表示可能な立体ディスプレイを実現した。

研究成果の概要（英文）：

We developed the high-resolution autostereoscopic 3D display system based on the iris-plane dividing technology. We electrically controlled the observation area discretely in the direction of the depth without any mechanical parts by changing the position of activated LC cell according to the visual distance.

We also developed the front diffusing film which maintains the polarization state and has a top-hat light diffusing distribution, wide-viewing angle OCB-mode liquid crystal shutter and realized high light efficiency and high luminance uniformity. We confirmed that that our 3D display successfully produced high-quality stereoscopic images without cross-talk noise.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気・電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：液晶、ディスプレイ、立体ディスプレイ、高精細、アイリス面

1. 研究開始当初の背景

次世代のエレクトロニクスは高度な動画像による情報交換を中心として、大きく発展するものと考えられている。この中でマンマシンインターフェースであるディスプレイは極めて重要な役割を担っている。将来、人に優しいシステムを構築するため、より現実感の高い高臨場感ディスプレイの実現が強く期待されると考えられる。高臨場感ディスプレイの実現は医療分野への応用や新たなコミュニケーション技術の創出につながることから重要な課題であり、このための最も大きな課題の一つが高品位立体ディスプレイ技術の確立である。

しかし、現在実用化されている立体ディスプレイは特別なメガネを必要とし、またメガネを必要としない裸眼立体ディスプレイの場合、レンチキュラレンズやパララクスバリア等の光学素子を用いることから解像度や光利用効率、視点数、観察距離の制限などの問題を有しており、高品位な立体画像表示を実現することが困難であった。

これらの問題を解決し、高品位な立体ディスプレイを実現するためには物体が放つ光を忠実に再現することが必要であるが、従来、このために必要となる人間の目にとって十分密で、かつ精度良い光の方向制御が困難であった。

2. 研究の目的

本研究ではこれまでに液晶シャッターを用いて投射光学系におけるアイリス（絞り）面を空間分割し、アイリス面を通過する光の空間位置を制御することでスクリーンに結像する光の進行方向を精密に制御できることを明らかにした。観察者の位置に合わせた液晶シャッターの開口位置の精密な制御と、視差画像の表示により光を忠実に再現し、眼鏡を不要とする人に優しい高品位な立体ディスプレイの実現が可能となると考えられる。

従って高い解像度、光利用効率を有し、かつ観察領域が広い裸眼立体ディスプレイが実現できれば、高臨場感ディスプレイの発展において大きく貢献できると考えられる。そこで本研究ではアイリス面分割技術に基づいた高解像度裸眼立体ディスプレイについて検討を行い、試作よりその有効性について検証することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では投射光学系におけるアイリス（絞り）面を通過する光の空間位置とスクリーンに結像された光の進行方向に関して学術的なアプローチを行い、液晶シャッターを用いたアイリス面の空間分割による精密な

光の方向制御手法とそれに基づいた高品位立体表示技術の確立を目的として以下のことを行う。

(1) 液晶シャッターによるアイリス面の空間分割法、およびレンズ光学系の最適設計条件を明確化し、スクリーンに結像された光の精密な方向制御手法の確立

(2) 液晶シャッターの光学設計条件および駆動条件を明確化し、これを用いた立体表示システムの構築と有効性の実証

具体的にはアイリス面に配置した液晶シャッターとレンズ光学系による光方向制御について、PC ワークステーションと光学計算ソフトウェアを用いた理論解析を行い、これにより、スクリーンに結像した光の進行方向と光学素子の設計条件との関係を体系的に明らかにし、精密な光方向制御に必要な液晶シャッターおよび光学レンズの最適条件を導出する。更に、メタルハライド平行照明光学系とゴニオメトリ式光学測定装置からなる光分布評価システムを構築し、試作したレンズ光学系における光の空間分布を測定・評価する。この結果をもとに光方向制御のための設計理論を体系化する。

また、液晶分子の配向分布および液晶素子を通過する偏光状態の精密な制御に基づき、液晶シャッターの高性能化に必要な設計条件を確立し、視差画像の空間的および時間的クロストークによる立体画像の画質低下を抑えるため、液晶シャッターの高速化、高コントラスト化、広視野角化に必要な設計手法および駆動条件を確立する。

4. 研究成果

(1) 原理

アイリス面は光学系においてその面のどの点で観測しても全ての画像情報が保存されている面である。図1に凸レンズを用いた光学系の一例を示す。凸レンズは対象物の実像を結像している。図1(a)において対象物の全画像情報は点0を通過しており、同様に、レンズの主平面AB上のどの点においても対象物の全画像情報が通過していることから、レンズの主平面ABがアイリス面となっている。

ここで、図1(b)のように平面A0に設置したシャッターによってアイリス面の半分を通過する光を遮断した場合、光量の半分が失われ実像は暗くなり、また光の進行方向も変化するが、画像情報は欠落することなく結像される。

図2にアイリス面空間分割立体ディスプレイの原理を示す。光学系は画像表示デバイスであるマイクロディスプレイとアイリス面を空間分割する液晶シャッターを主平面に

有するレンズ①、およびマイクロディスプレイの画像が結像される位置に配置されたレンズ②の2枚のレンズから構成される。レンズ①を通過した画像はレンズ②の位置で結像し、その後レンズ②により向きを変えられて観測者に提示される。

この時、アイリス面における液晶シャッターの像は観測者の位置に結像されており、このことから図 2(a)に示すように画像表示デバイスが左眼用画像を表示している場合、右眼シャッターを閉じることで画像は右眼に提示されず、左眼のみに画像が提示される。従って、時分割で左右の画像を表示し、それに同期させてアイリス面にある液晶シャッターを動作させることで解像度をロスすることなく高精細な立体画像を表示することが可能となる。

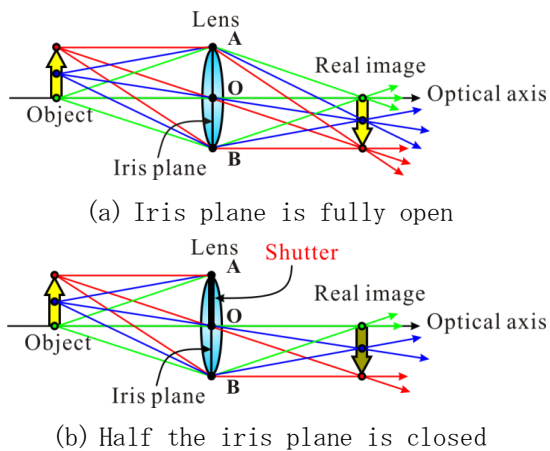


図 1 Image formation of an object with a convex lens.

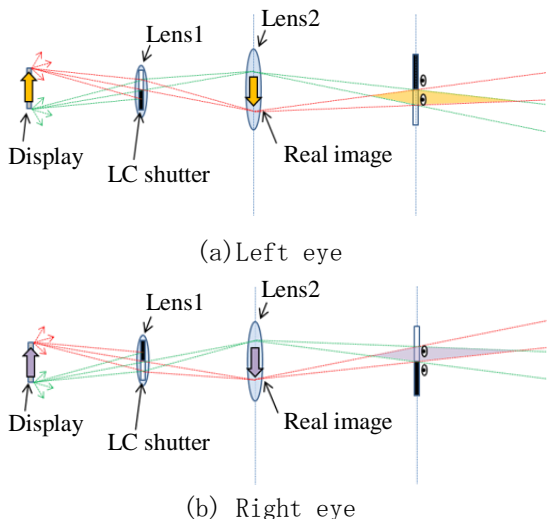


図 2 Principle of the 3D projection display, with a space-dividing iris-plane LC shutter.

本方式におけるその他の特徴として、ヘッドトラッキングシステムとマトリクス型の液晶シャッターを用い、観測者の位置に合わ

せて液晶シャッターの開口位置を制御することで水平方向における観察領域を拡大し、更には多視点の立体画像表示を実現することができる。

従来、この原理を基にした立体ディスプレイとして液晶ディスプレイ、レンズ、ミラーを用いる方法が Kakeya らにより提案されている。これは左右の視差画像をそれぞれ異なる空間位置に集光し、フレネルレンズを用いて分離するものである。これにより、クロストークが無い高品位な立体画像表示を実現することができる。しかし、この方式ではミラーやレンズのアライメントが厳しいという問題を有している他、観察者の位置に応じてミラーを動かす必要があり、このことが観察範囲や複数人での観察において問題となっている。一方、Dodgson らにより CRT と液晶シャッターを用いたマルチビュー立体ディスプレイが報告されている。この方式は時分割で視差画像を複数の方向に表示することにより、スリットをメカニカルに動作させること無しに多視点の立体画像表示または複数人での立体画像の観察が可能という特長を有している。しかしこの方式では時分割で表示を行うことから、左右画像間におけるクロストークを抑えてかつ均一な明るさを実現するために CRT と液晶シャッターとの同期が必要であり、この結果、光利用効率が低くなるという問題が生じると考えられる。

以上のことから、本研究ではアイリス面の空間分割に基づいた裸眼立体ディスプレイにおける光利用効率および観察範囲の改善し、明るく、高品位な立体画像が表示可能な立体ディスプレイについて検討を行った。

(2) 偏光の制御による光利用効率の改善

一般に時分割方式立体ディスプレイでは画像表示デバイスと液晶シャッターとの高速な同期が重要であり、左右画像間のクロストークを抑えるためには液晶の応答が完了した時点でシャッターを動作させることが必要となる。しかしこの場合、シャッターが動作する時間が短くなり、光利用効率が低くなるという問題が生じる。そこで光利用効率および画像品位を低下させることなく右目および左目画像を作るため、本研究では図 3 に示すような二台のプロジェクタと偏光ビームスプリッタを用いる構成について検討を行った。それぞれのプロジェクタからは互いに直交した直線偏光の視差画像光が射出され、液晶シャッターは一枚の検光子と液晶セルから構成される。この場合、液晶シャッターは静的に動作することとなる。本方式では偏光を利用して左右画像の分離を行うことから表示デバイスと液晶シャッターの同期が不要となり、高い光利用効率を達成することができる。

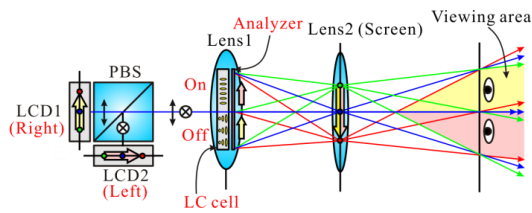


図3 Polarization control autostereoscopic 3D projection display with two LCDs and a PBS.

(3) 液晶シャッターの設計

本立体ディスプレイにおいて左右画像のクロストークを抑えるため、液晶シャッターは光の入射角度によらず高いコントラスト比を有することが必要である。我々はアイリス面空間分割に用いる液晶シャッターとして Optically Compensated Bend (OCB) 方式を採用し、広視野角特性を実現するために必要な光学異方性フィルムおよび液晶セルの最適化を行った。液晶材料として TD5003 (楨チソ)、配向膜として SE7210 (楨日産化学工業) を使用した。セル厚は $3.0\mu\text{m}$ である。図4に設計した液晶セルの視野角特性を示す。光学異方性フィルムを用いて液晶セルから射出される光の偏光状態を三次元的に制御することで視野角 160 度、コントラスト比 1000:1 という優れた特性を実現した。

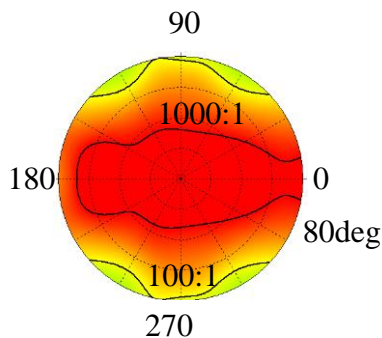


図4 Viewing angle property of the OCB-mode LC shutter.

上記結果に基づきアイリス面空間分割方式による立体ディスプレイの設計を行い、図5に示すレンズ構成で試作を行った。

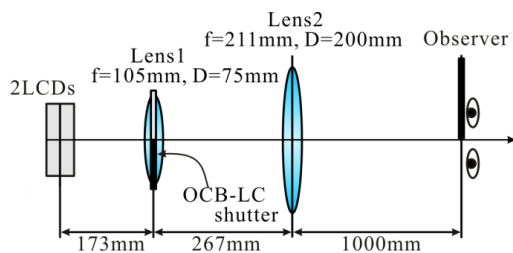


図5 Optical configuration of the prototype.

図6に試作機の外観を示す。また図7に右眼および左目の領域における観察位置に対する明るさの変化を測定した結果を示す。ここで右目画像を黒、左目画像を白とした。また図8に右眼および左目領域における表示画像の写真を示す。右眼領域と左目領域の境界において明るさが急峻に変化しており、従来のレンティキュラレンズやパララックスバリアを用いた方式と比較して、クロストークが無い、極めて良好な特性が実現されていることを確認した。

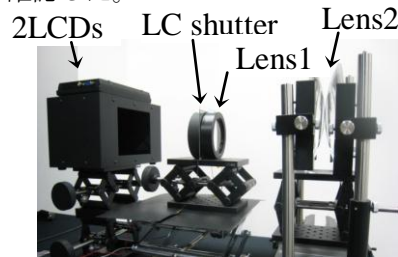


図6 Photograph of the prototype.

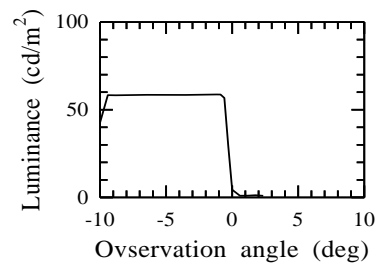


図7 Luminance of our 3D projection display system when scanning horizontally across the viewing zones.



(a) (b)

図8 Photograph of the images displayed in the (a) left and (b) right eyes.

(4) 二枚のレンズを用いた高光利用効率光学系の設計と観察領域の拡大

さらなる光利用効率の向上を達成するため新たに考案した光学系を図9に示す。直交した異なる偏光を有した視差画像を表示する2台のプロジェクタ、偏光ビームスプリッタ、二枚のフレネルレンズ、偏光保持型前方散乱フィルム、一枚の偏光フィルタ、液晶セル、ガラスレンズから構成される。

プロジェクタはフレネルレンズ1の焦点位置に配置され、この結果、フレネルレンズ1を通過後の画像光は平行となり前方散乱フィルムに入射する。本研究では新たに入射し

た光の偏光状態を保持し、特定の角度範囲において均一な拡散強度（トップハット拡散特性）を有する前方散乱フィルムを開発した。図 10 に前方散乱フィルムの拡散-角度特性を示す。拡散強度が±15度の角度範囲において一定となるトップハット特性を有していることがわかる。このようなトップハット特性を有した前方散乱フィルムを用いることで、観察者の位置によらず均一な明るさを有する表示特性を実現することができる。

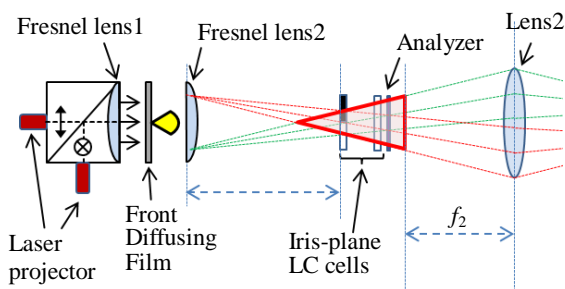


図 9 Autostereoscopic display using two Fresnel lens with high light efficiency.

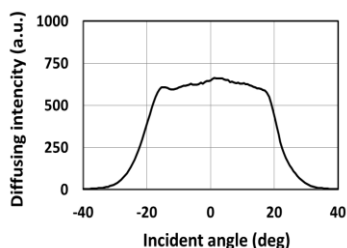


図 10 Diffused light distribution of newly developed front diffusing film which maintains polarization state.

フレネルレンズ2は拡散した画像光の主光線方向をフレネルレンズ2の光軸上の出射側焦点位置を通過する方向に変換する。これによりプロジェクタから射出されたほぼ全ての光をガラスレンズに向けることが可能となり高い光利用効率を実現することができる。

ここで図9における三角の領域がアイリス空間であり、奥行き方向に並べた複数枚の液晶セルと一枚の偏光板がこの位置に配置される。奥行き方向に並べた複数枚の液晶セルのうち、観測者の奥行き方向の位置に対応した1枚の液晶セルのみについて偏光方向を90°回転させるか、させないかの機能を動作させることで、空間結像アイリス面の位置を奥行き方向に離散的に制御可能となる。観測者の位置に対応しない液晶セルは、全て偏光方向を回転しない状態にしておく。これにより、観測者の奥行き方向の変化への対応が可能となり広い観察領域を実現することができる。本提案システムは、奥行き方向にお

ける観察領域の移動をノンメカニカルに実現できるため、耐久性が良く、高速に対応できる長所を有している。さらに、複数枚の奥行き方向に並べた液晶セルには偏光子がないことから、多くの液晶セルを奥行き方向に並べても光利用効率が大きく悪くならない。検光子は最後の出射側液晶セルの後に1枚のみ設置すればよく、従って光利用効率が良いという長所をも有している。

但し、この場合、観察距離をスクリーンレンズから近くすると液晶セルを通過する光量が減少し、光利用効率が低下すると共に観察領域も小さくなるという問題が生じる。これはアイリス空間が三角の形状をしていることが原因であり、このことは両眼視差が重要となる近距離における観察において深刻な問題となると考えられる。

この問題を解決するためにはアイリス空間を四角形状とし、液晶セルの位置に寄らずアイリス面の大きさが一定にする必要がある。これを実現するために我々は二つのガラスレンズを用いた光学系を考案した。(図 11 参照)

レンズ1の焦点距離を f_1 とし、前方散乱フィルムと画像デバイスとレンズ2を f_1 の距離に配置する。レンズ1を通過した画像光はコリメートされ、レンズ2に入射する。この場合、アイリス空間は図 11 に示す台形の領域となり、この結果液晶セルの位置による光利用効率の変化が小さくなっていることが分かる。特に近距離における観察の時に光利用効率は最大となる。図 11 に液晶セルの位置に対する観察領域の変化を示す。観察者の位置に応じて駆動する液晶シャッターの位置を変えることで、奥行き方向の極めて広い観察範囲において明るい立体画像を観察できることが分かる。

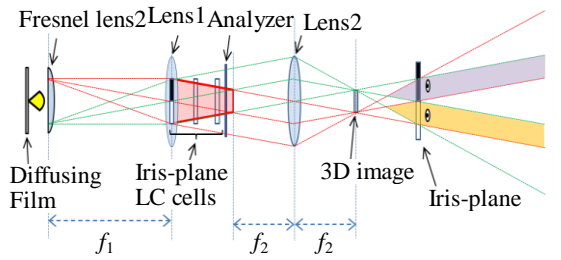
(5) 結論

本研究ではアイリス面の空間分割に基づいた裸眼立体ディスプレイにおける光利用効率および観察範囲を改善し、明るく、高品位な立体画像が表示可能な立体ディスプレイについて検討を行った。この結果、二台のプロジェクタを用いて射出される画像の偏光状態の違いを利用することで、時分割駆動無しで左右画像の分離が可能であることを示すと共に偏光保持型前方散乱フィルムの開発および広視野角 OCB 方式液晶シャッターを用いた試作により、左右画像のクロストークが無い良好な特性を実現すると共に、その設計の有効性を確認した。

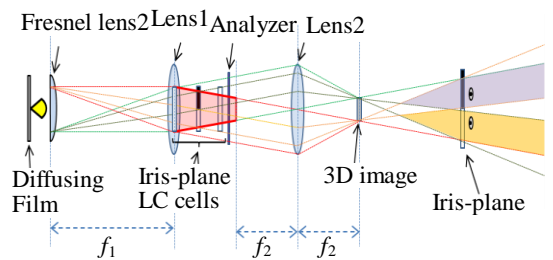
更に二枚のフレネルレンズを用いてプロジェクタから射出される画像光をガラスレンズに向けることで高い光利用効率を実現した他、ガラスレンズを用いて前方散乱フィルム上の画像を平行にすることでアイリス

空間広げ、複数枚の液晶シャッターを配置して観察者の距離に応じて動作させる液晶シャッターを選択することで、高い光利用効率を保持したまま奥行き方向の観察領域をノンメカニカルでかつ高速に制御できることを明らかにした。

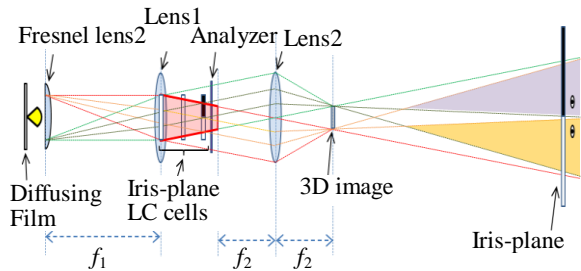
本方式は複数の観察者位置および視点数、2D-3D 切り替え、高い光利用効率、高精細表示、左右画像間におけるクロストーク無し、構造が容易という特長を有しており、新たなコミュニケーションデバイス、デジタルサイネージ等の新しいディスプレイアプリケーションへの応用が期待される。



(a)



(b)



(c)

図 11 Depth control for the observation area by stacked LC Cells in new optical configuration, (a) short distance, (b) middle distance, and (c) long distance.

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 1 件)

1. Takahiro Ishinabe, Tohru Kawakami, Noriyuki Takahashi and Tatsuo Uchida: High-resolution autostereoscopic 3-D

projection display with a space-dividing iris-plane shutter, Journal of the Society for Information Display, 査読有り, 18, 2010, pp. 583-588.

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石鍋 隆宏 (ISHINABE TAKAHIRO)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 30361132

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし