

偏光子スリットを用いた新方式立体表示装置

阪本 邦夫, 木村 理恵子, 高木 美和

島根大学総合理工学部 数理・情報システム学科

Stereoscopic 3D Display Systems using Polarizer Slits

Kunio SAKAMOTO, Rieko KIMURA and Miwa TAKAKI

*Department of Mathematics and Computer Science,
Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University*

Abstract

A display system requiring no special glasses is useful for 3D images. However conventional parallax barrier 3D display and lenticular 3D display have disadvantages such as having images with divided horizontal resolution, the pseudoscopic problem and so on. The authors have proposed 3D displays using polarizer slits to solve each problem. This paper describes these new techniques for improvements of stereoscopic 3D displays.

1. ま え が き

近年、バーチャルリアリティ（仮想現実感）の研究が盛んになり、医療、教育、設計・デザインなど様々な分野へ、3次元画像技術が応用されるようになってきた^{1)~3)}。立体ディスプレイは、2次元ディスプレイに擬似的に表示されていた3次元映像情報を、奥行き方向も含めて表現できるディスプレイであり、ヒトが見ている3次元の実空間と同じような高臨場感の映像空間を再現することができる。立体映像の表示方法には、両眼視差を利用した2眼式メガネ方式をはじめ様々な方式が研究されており、筆者らも3次元空間上に情報オブジェクトを提示し、様々な操作を行うシステムを構築するため、立体映像表示装置や映像とのインタラクションについて研究を行っている^{4)~13)}。先に筆者らは、パララックスバリア方式の2眼式立体表示による映像と実空間の映像との重畳表示を実現するため、従来の遮光スリットに代わり、偏光フィルタ（偏光子）で構成したスリット（偏光子スリット）を用いて左右映像を分離する表示方法⁹⁾、さらに、液晶セルを利用して偏光状態の制御を行い立体映像表示を行う手法¹⁰⁾について提案した。ランダムな偏光状態を有する実空間の映像に対しては、遮光スリットと異なり偏光子には遮蔽効果が無いため、実空間映像の観察を妨げる遮光スリットがなくなり、シースルー表示での実空間映像の視認性を向上させることができた。この偏光子スリットによる左右映像分離の技術は、拡張現実感のためのシースルー立体映像表示だけでなく、立体ディス

プレイ装置の特性改善にも適用可能である。筆者らは、この基礎技術を基に、偏光方向の異なる2画面分の視差映像を、偏光子スリットを利用して左右眼に対応する視差映像に分離することで、従来の2眼式立体表示で生じる水平方向画素の解像度が1/2になる問題を解決⁹⁾し、また、偏光状態により光の透過・不透過の選択性を偏光子が有する特性を利用して、パララックスバリアによる2眼式立体表示で生じる逆視問題の改善⁹⁾や、多視点化の際に生じる水平方向表示画素数の減少を、水平・垂直両方向に振り分けることにより水平解像度の減少を改善する手法⁷⁾も提案した。この左右に分離された視差光束を偏光子を用いて制御する技術は、パララックスバリア方式だけでなく、レンチキュラレンズ方式にも適用可能な技術であり、レンチキュラレンズ板を利用した立体映像表示の特性を改善した¹¹⁾¹²⁾。

一般にパララックスバリア方式やレンチキュラ方式では、左右の眼に対応する映像を短冊状に分割し、画素列ごとに左右交互に並べた縦ストライプ状の左右混成映像を映像スクリーンに表示し、この映像を遮光スリットやレンズにより左右映像に分離する。このため、メガネなしで立体表示を実現できるが、2眼立体視のシステムでは、水平方向画素の解像度が1/2になる問題があった。また、偏光メガネ方式と異なり、メガネなし方式では遮光バリアやレンズの機能により、観察領域を左眼観察用・右眼観察用の領域に区分することで両眼立体視を実現しているため、観察者の眼の位置によっては、左眼映像を右眼で、右眼映像を左眼で観察するために、奥行き感が

逆転する逆視の問題も生じる。筆者らは文献 8), 9) で、これらの問題を解決する方法を提案したが、解像度問題の改善と逆視防止を同時に実現することはできなかった。これらの改善法では、目的に応じて設計したストライプ状偏光子を、パララックスバリアやレンチキュラレンズに貼付していたが、偏光子により実現できる制御は透過・不透過の二者択一であるため、複数機能の同時実現は不可能である。そこで、解像度問題の改善と逆視防止の複数機能を同時に実現するため、偏光子スリットを 2 重に配置し、前面と後面の偏光子特性の組合せにより、4 通りの光束制御を実現することで、解像度問題の改善と逆視防止を同時に実現することのできる立体表示法を提案した。このシステムは、偏光特性を有する 2 画面分の映像を投影し、半円筒形レンズ群と縦ストライプ状の偏光フィルタを組合せて、これら映像を左右の眼に分離・提示することで、解像度劣化の生じない 2 眼式立体表示を行い、さらに偏光スリットを二重に配置するダブルスリット構造を採用することで、逆視防止の機能も付加することが可能な立体映像システムである。本稿では、これまでに行ってきた偏光子スリットを用いた立体表示装置について述べる。

2. 両眼視差立体映像表示の原理

本章では、両眼視差を利用した立体表示方式であるレンチキュラ方式と、パララックスバリア方式を取り上げ、両方式による立体ディスプレイの設計について簡単に述べる。

2.1 レンチキュラ方式の原理

図 1 はレンチキュラレンズ板により、視差映像が分離される原理を示したもので、ストライプ状の左右混成視差画像の前に配置したレンズ群を通して、これらの画像を分離して観察する方法である。一般にレンズは、樹脂製で大型化が容易なため、リア投写型の大画面立体ディスプレイに用いられていたが、近年では、液晶ディスプレイと組合せた立体テレビモニタ型の立体表示装置も開発されている。また、パララックスバリアのように、光を遮光してしまうことがないため、画面が明るいという特徴がある。レンチキュラレンズ板により 2 眼式の立体表示を行う場合、表示映像の水平画素ピッチを P_L 、観察者の眼間距離を E 、観察距離を Z_E とすると、半円筒形レンズの幅 P_S は $P_S = 2P_L E / (E + P_L)$ 、設置位置 Z_B は $Z_B = P_L Z_E / (E + P_L)$ と求められる。また、半円筒形レンズの焦点距離 f は、 $1/f = 1/Z_B + 1/(Z_E - Z_B)$ を満たすものが用いられる。

2.2 パララックスバリア方式の原理

多数の半円筒形レンズからなるレンチキュラレンズ板の代わりに、遮光バリアをディスプレイの前面に配置し、視差映像分離を行う方式がパララックスバリア方式である。図 2 はパララックスバリアにより、視差映像が

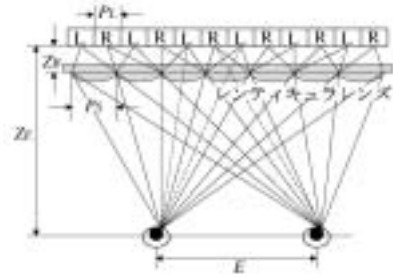


図 1 レンチキュラ 3D ディスプレイの原理

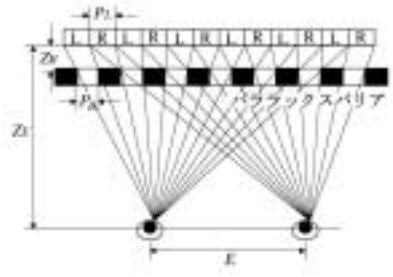


図 2 パララックスバリア 3D ディスプレイの原理

分離される原理を示したものである。パララックスバリア方式は図 2 に示すように、ストライプ状の左右の眼に対応する画像の前に配置したスリット状の遮光マスクを通して、この画像を分離して観察する方法である。この遮光マスクの位置、スリット幅、バリアのピッチは、ストライプ状の画像の幅によって変わるが、このバリアのために一般に明るさが減少し、また、ピッチ幅が大きいとスリットの存在が目障りとなる。現在では、視差画像の表示部として液晶ディスプレイを用いるものが一般的となっており、パララックスバリアにより 2 眼式の立体表示を行う場合、液晶ディスプレイの水平画素ピッチを P_L 、観察者の眼間距離を E 、観察距離を Z_E とすると、パララックスバリアのスリット幅 P_B と設置位置 Z_B は幾何学的に決定され、それぞれ $P_B = P_L E / (E + P_L)$ 、 $Z_B = P_L Z_E / (E + P_L)$ と求められる。

3. シースルー型立体表示ビューア

立体表示ビューアにより提示される立体映像は、実空間に存在する物体（映像）と重ね合わせて表示可能なように、シースルー表示を実現する必要があるため、ステレオ画像は液晶プロジェクタを利用した透過型スクリーンへの投影方式とする。さらに投影による左眼、右眼に対応する画像の画素配置にずれを生じさせないように、偏光を利用して透過型スクリーンの最適位置に投影する方法を採用した。図 3 は、透過型スクリーンとパララックスバリアで構成された、立体表示ビューアの表示原理を示したものである。スクリーン投影型偏光メガネ方式の立体表示方法と同様に、使用する 2 台の液晶プロジェクタには偏光フィルタを装着し、偏光方向が異なるステレオ画像を投影する。

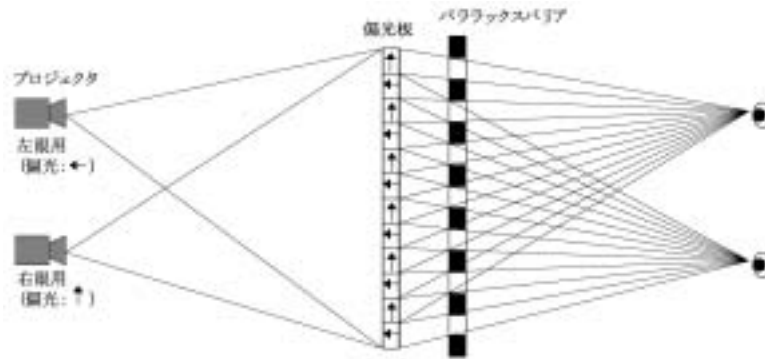


図3 パララックスバリア方式シースルー型表示ビューア SUA-01

さらに透過型スクリーンには、偏光方向の異なる偏光フィルタをストライプ状に配し、左眼、右眼用のステレオ画像がストライプ状に分離されて投影できる構造となっている。このストライプ状に分離されたステレオ画像を、パララックスバリアを通して、左眼、右眼用のステレオ画像をそれぞれの眼で観察することにより、両眼視差による立体表示がメガネなしで実現できる。メガネなし方式でステレオ画像の分離を行う場合には、パララックスバリアの設置位置とステレオ画像の画素配置が重要であるが、最適な画素配置は投影されるステレオ画像ではなく、ストライプ状偏光板により決定される設計となっている。したがって、偏光を利用したステレオ画像の投影と、パララックスバリアによるステレオ画像の両眼分離を併用することで、スクリーンへの投影位置に制約が生じないため、シースルー表示可能なメガネなし可動式立体表示ビューアを容易に実現できる。

また、立体ディスプレイ装置とハーフミラーを利用して、立体映像と実空間の映像との重畳表示を実現する場合と異なり、ステレオ画像の提示を投影方式とすることで、映像提示部と映像表示スクリーン部分を分離でき、ビューアの可動スクリーン部分の小型軽量化を実現できるため、視野を妨げることのないスクリーン部だけの扱いやすい可動式シースルー立体表示ビューアを構築できる。

4. レンティキュラ方式での倍密度表示の原理

一般に、2眼式の立体表示では、投影スクリーンに表示された映像を、左右の眼で異なる映像を観察するように分離して両眼立体視を実現している。このため、図1に示したレンティキュラ方式の立体表示では、ステレオ画像の画素配置がストライプ状になるため、横方向の解像度の劣化を生じ、左右それぞれの視差映像の解像度は半分となる。そこで、偏光メガネ方式と同様に、左右の眼で観察する視差映像を2台のプロジェクトにより投影することで、投影スクリーン上に2倍の映像情報の提示を行う倍密度表示を実現する。1台のプロジェクトで映像投影を行う場合には、解像度は半分となるが、倍密度

の2眼式表示では、解像度の劣化を生じることなく、映像面全域の表示が可能となる。

図1に示した2眼式の立体表示では、横方向の解像度は半分となるため、レンティキュラレンズ板を構成する半円筒形レンズの数は、水平方向画素数の約半分となっている。視差分離された映像の各画素は1つのレンズを通して観察されるため、倍密度表示を行う場合には通常の2倍の個数の半円筒形レンズが必要となる。そこで、図4に示すように、半円筒形レンズの幅を $1/2$ とし、レンズの個数を2倍にしたレンティキュラレンズ板を使用して左右視差映像の分離を行う。したがって、倍密度の2眼式立体表示を行う場合、設置位置 Z_S 、半円筒形レンズの焦点距離 f は、図1の場合と同じく、 $Z_S = P_L Z_E / (E + P_L)$ 、 $1/f = 1/Z_S + 1/(Z_E - Z_S)$ であるが、半円筒形レンズの幅 P_S は $P_S = P_L E / (E + P_L)$ となる。

本方式では、倍密度の立体表示を実現するため、偏光メガネ方式のように2台のプロジェクトを利用し、投写光の偏光方向を直交させて、2倍の視差情報を提示する。倍密度表示を行う場合でも、レンティキュラレンズ板により視差分離を行うため、投影スクリーン上にはストライプ状の左右混成画像が必要となる。2台のプロジェクトにより投影される映像の偏光方向は互いに直交しているため、各プロジェクトで図5に示すような偏光方向の異なる左右ストライプ画像を投影すればよい。また、図6に示すように偏光方向を 90° 回転させることができる $1/2$ 波長板を利用すると、投影画素と同じ幅で投影スクリーン上に $1/2$ 波長板をストライプ状に貼付することにより、偏光方向が直交する左眼、右眼用映像を投影すると、ストライプ状の $1/2$ 波長板により偏光方向が 90° 回転する。その結果、図5に示すように、 $1/2$ 波長板と同じストライプ幅で、左右ステレオ混成画像が生成される。偏光方向の異なる2台のプロジェクトの映像は同時にスクリーン上へ投影されているため、図5に示す水平方向に偏光したストライプ混成画像と、垂直方向に偏光した混成画像が2重に投影されることになる。

このような2種類の偏光状態を持つ2重に投影された

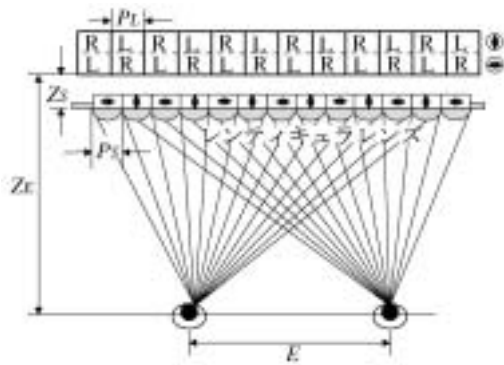


図 4 倍密度表示レンチキュラ 3D ディスプレイ SUA-130

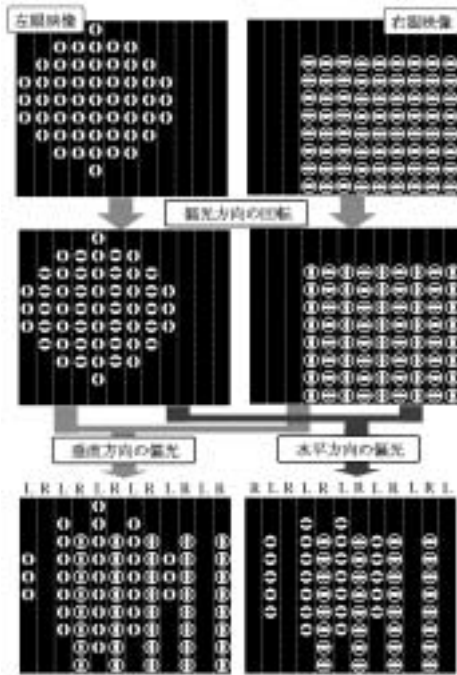


図 5 左右ストライプ混成画像の生成

視差情報を分離するために、図 7 に示すような偏光方向により光の透過、不透過の選択性を有する偏光フィルタを利用する。図 4 に示すように、偏光方向の異なる偏光フィルタをレンチキュラレンズ板にストライプ状に貼り付ける。水平方向の偏光を有する左右混成画像に対しては、図 8(a) に示すように、レンチキュラレンズ板の水平方向の偏光フィルタが開口部、垂直方向の偏光フィルタが遮光部となるため、開口部のレンズにより左右映像の分離が行われる。垂直方向の偏光を有する左右混成画像に対しても同様に、図 8(b) に示すように、垂直方向の偏光フィルタが開口部、水平方向の偏光フィルタが遮光部となるため、左右映像の分離が行われる。水平・垂直両方向の偏光を持つ混成画像は、同時に視差分離が行われるため、倍密度の立体表示が実現でき、2 眼式の立体表示の場合には、図 9 に示すように解像度劣化の生じない立体表示が可能となる。

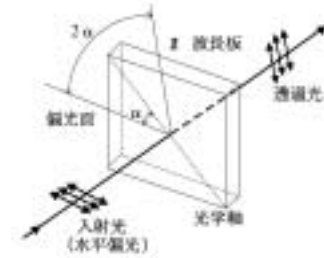


図 6 1/2 波長板



図 7 偏光板を用いた遮光バリア

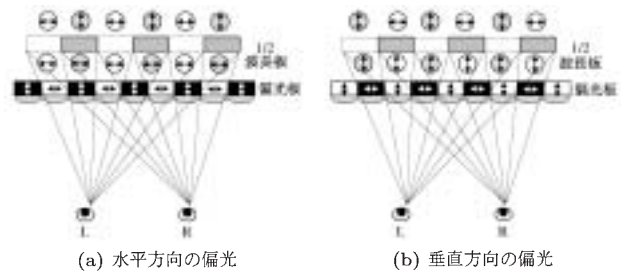


図 8 レンチキュラレンズ板による左右映像の分離

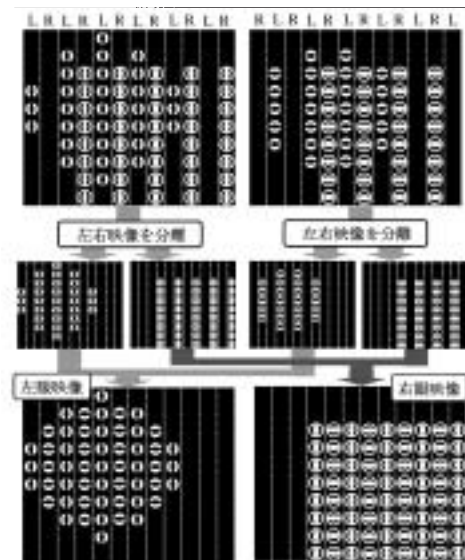


図 9 解像度劣化のない視差映像表示

5. パララックスバリアを用いた倍密度立体表示

図 10 は、左眼、右眼に対応する 2 画面分の映像を使用し、偏光特性を有する左眼、右眼用映像を、偏光パララックスバリアにより両眼分離を行う方法を採用して、解像度劣化の生じない立体表示を行う原理を示したものである。一般にパララックスバリア方式の立体表示では、

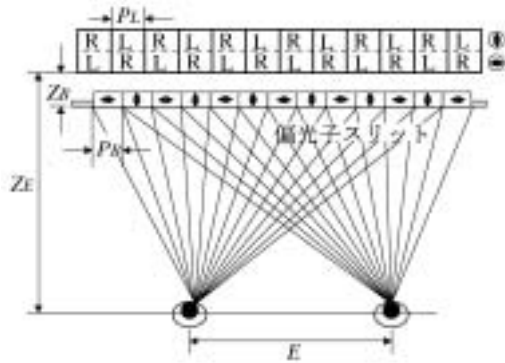


図 10 倍密度表示パララックスバリア 3D ディスプレイ SUA-10

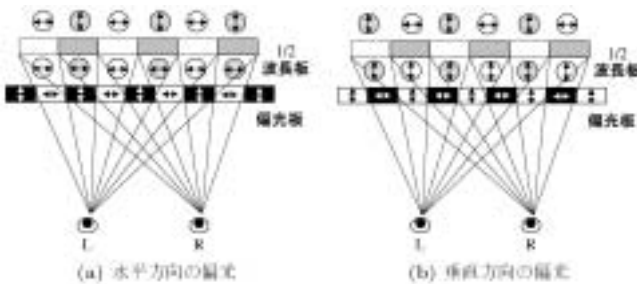


図 11 偏光パララックスバリアによる左右映像の分離

ステレオ画像の画素配置がストライプ状になるため、横方向の解像度の劣化を生じる。しかし、左眼、右眼に対応する2画面分の映像表示を行い、偏光を利用してメガネなしで左右映像を分離する偏光パララックスバリア方式では、左右それぞれの眼で観察される映像は1画面全領域が表示エリアとなっているため、水平画素方向の解像度劣化を生じない両眼立体視を実現できる。

図7に示すように、偏光フィルタは偏光方向により光の透過、不透過の選択性があるため、偏光特性を有する視差映像に対してパララックスバリアとして利用できる。したがって、偏光方向の異なる偏光フィルタをストライプ状に配することにより、偏光を利用したパララックスバリアを構成できる。偏光方向が直交する左眼、右眼用映像が1/2波長板を通過すると、ストライプ状の1/2波長板により偏光方向が 90° 回転する。その結果、図11(a)および(b)に示すように、1/2波長板と同じストライプ幅で、左右ステレオ混成画像が生成され、図11(a)に示す水平方向に偏光したストライプ混成画像と、図11(b)に示す垂直方向に偏光した混成画像が2重に表示されることになる。図11(a)においては、映像の偏光方向が水平であるため、垂直方向に偏光特性を有する偏光フィルタが遮光バリアとなり、左右眼に対応する映像を分離し、図11(b)においては、映像の偏光方向が垂直であるため、水平方向に偏光特性を有する偏光フィルタが遮光バリアとなり、両眼分離を行う。これら互いに直交する偏光フィルタによる両眼分離は、偏光方向の異なる2つのストライプ映像に対して同時に起こるため、偏

光パララックスバリアを通して観察することにより、表示されたステレオ映像が両眼分離され、解像度劣化のない立体表示を実現できる。

液晶シャッターを利用した可変パララックスバリア¹⁴⁾の場合には、時分割によりステレオ画像を2重に表示する必要があるが、左右眼で偏光方向が互いに直交する映像を提示して立体表示を行う偏光パララックスバリア方式では、パララックスバリアは偏光特性を利用して構成しており、デバイスなどに高速な制御速度が必要ないため、容易に解像度の改善を実現できる。

6. 液晶セルを用いた偏光パララックスバリア

6.1 ネマティック液晶による偏光方向の制御

図12はTN (Twisted Nematic) モードの動作原理を示したものである。ネマティック液晶分子は、棒状の分子構造をもっており、棒状分子の長軸側と短軸側で屈折率が異なる複屈折と呼ばれる光学特性を有している。この屈折率の異方性により、光の進行(振動)方向によって速度が変わるため、液晶の中を通り抜けてくる偏光の状態が変化する。この液晶をガラス基板に挟む際、上下で直交する方向に液晶が並ぶように配向処理を施すと、図12(a)に示すようなねじれた状態に液晶分子が配列する。このようなねじれ配向した液晶が存在すると、光の振動方向(偏光)が液晶分子の配向方向に追従して回転するため、上下で直交する方向に配向処理が施された液晶セルを光が通過すると、偏光方向が 90° 回転する。また図12(b)に示すように、上下方向に電圧を印加すると、液晶分子は電界方向に沿って並ぶため、液晶分子のねじれ構造がなくなり、光の振動方向(偏光)は回転することなく液晶を通過する。このようにTNモードの液晶セルでは、電圧の印加状態により偏光方向の制御が可能であり、偏光方向が 90° 回転する液晶セルは1/2波長板として利用することができる。したがって、液晶セルの電圧印加状態を領域ごとに制御することにより、ストライプ状の1/2波長板を液晶セルを用いて構成することができる。

また、図13(a)は、ストライプ状偏光板の構造を示したものであるが、図13(b)に示すように、1方向のみの偏光板とストライプ状の1/2波長板を組合せても同じ機能を実現できるため、TNモードの液晶セルの片面に偏光板を装着することにより、ストライプ状偏光板として利用することができる。以上のように、ストライプ状の1/2波長板および偏光板を液晶セルを用いて構築することにより、電子的に制御が可能なパララックスバリアを構成することができる。

6.2 液晶セルを用いた偏光パララックスバリアの構成

偏光パララックスバリア方式立体ディスプレイで使用される2枚(映像提示部と偏光パララックスバリアの構成要素)の1/2波長板のストライプ幅は、それぞれ2章で

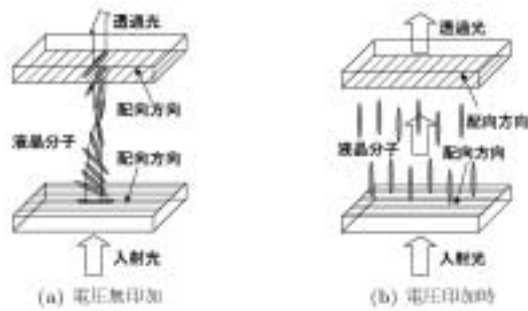


図 12 TN モード

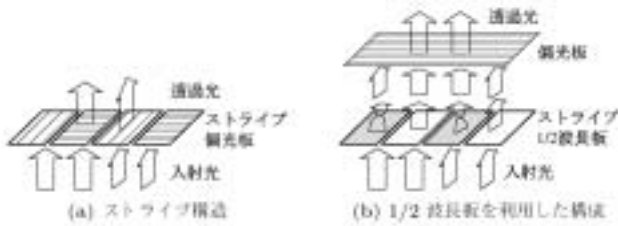


図 13 ストライプ状偏光板の構造

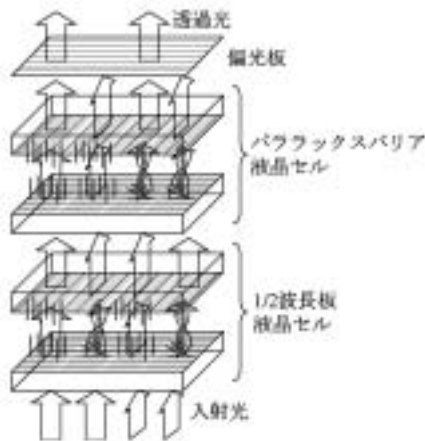


図 14 偏光パララックスバリアの構造 SUA-01X

述べたように関係式 $P_B = P_L E / (E + P_L)$ で決定される。プロジェクタの映像を投影する本方式の場合、画像投影部（投影スクリーン側の $1/2$ 波長板）のストライプ幅が P_L に相当し、偏光パララックスバリア（偏光板側の $1/2$ 波長板）のストライプ幅が P_B に相当する。従来のパララックスバリア方式では、表示する立体映像の画質に影響するため、これらのピッチ幅はなるべく狭いほうが望ましいが、本方式では、立体映像の画質はストライプ幅に関係しないため、任意の値に設定することが可能である。

上記のような設計のストライプ状 $1/2$ 波長板を液晶セルを用いて構成するため、ストライプ幅 P_L で ITO 透明電極が蒸着されたガラス基板上に、ポリビニルアルコールの配向膜を形成し、上下で直交する方向に液晶が並ぶように配向処理を施した。液晶には、ネマティック液晶として市販されている 4-シアノ-4'-ペンチルピフェニル (5CB) を利用し、この液晶を 2 枚のガラス基板の間に

封入して液晶セルとした。このストライプ幅 P_L のセルを、画像投影部の $1/2$ 波長板液晶セルとして使用する。一方、偏光パララックスバリア（ストライプ状偏光板）に使用する液晶セルは、ストライプ幅 P_B で ITO 透明電極が蒸着されたガラス基板を用いて同様の処理を行い、観察者側に偏光板を装着して偏光パララックスバリアとする。図 14 に配向膜による液晶の配向方向と、ガラス基板および偏光板の配置を示す。

7. 液晶パネルを 2 面用いた映像提示部の構成

偏光を利用して左右映像の分離を行う立体表示方式では、立体映像表示装置の映像提示部に、偏光方向が互いに直交するような、左右それぞれの眼に対応する視差映像を提示する必要がある。左右 2 画面の映像情報を提示するため、映像表示面を 2 面用いて映像を表示する。液晶ディスプレイパネルは、図 12 に示す液晶セルを 2 枚の偏光板で挟んだ構造をしており、観察者側から、検光子、液晶セル、偏光子、バックライトが順に配置されている。そのため、検光子と偏光子の間に液晶セルを 2 枚配置すれば、左眼、右眼用映像を 2 画面同時に表示することができる。しかし、従来の液晶セルを積層する方法では、観察者に届く映像の偏光方向は、検光子により決定される。そのため、偏光を利用して両眼映像を分離できるように、左眼用と右眼用映像では偏光方向を直交させる必要がある本方式では、利用することができない。そこで、図 15 に示すように、観察者と検光子の間にも液晶セルを配置し、偏光方向を制御できるような構造とした。なお、左眼用と右眼用の映像輝度の分配比は、偏光方向制御用の液晶セルで調節できるため、検光子-偏光子間の液晶セルは 1 枚で充分である。したがって、観察者側から見た映像提示部の構造は、偏光制御液晶セル、検光子、輝度制御液晶セル、偏光子、バックライトの配置となる。図 12 に示す TN (Twisted Nematic) 型の液晶セルでは、ガラス基板間で液晶分子が 90° ねじれた状態で配向しており、印加電圧の状態により、ねじれの状態が $0 \sim 90^\circ$ の間で変化する。光の振動方向（偏光）は液晶分子の配向方向に追従して回転する性質があるため、液晶セルにより偏光の方向を $0 \sim 90^\circ$ の間で変化させることができる。このため、検光子-偏光子間の偏光の回転角度を α としたとき、輝度は $\sin^2 \alpha$ で表すことができる。

図 15 において、検光子、偏光子の偏光方向は、それぞれ紙面に垂直、水平であると、輝度および偏光方向制御用の液晶セルによる偏光角の変化を、それぞれ α_k , β_k , 左眼、右眼用映像の輝度値を、それぞれ I_L , I_R (ただし、 $0 \leq I_L, I_R \leq 1/2$)、左眼、右眼用映像の偏光方向を、それぞれ紙面に垂直、水平であると仮定すると、

- (1) 輝度 I_L の左眼用映像のみ表示する場合は、 $\sin^2 \alpha_1 = I_L$, $\beta_1 = 0$ なる角度 α_1 , β_1 の変化



図 15 液晶セル 2 重積層構造による映像提示部 SUA-X

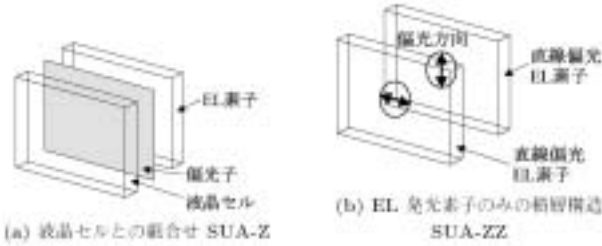
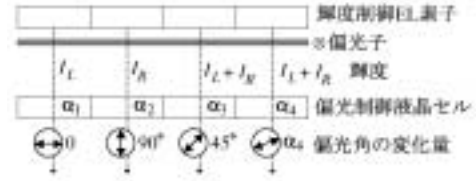


図 16 映像提示部の構造

を液晶セルで生成すれば、左眼用映像のみ観察される。

- (2) 輝度 I_R の右眼用映像のみ表示する場合は、 $\sin^2 \alpha_2 = I_R$, $\beta_2 = 90^\circ$ なる角度 α_2 , β_2 の変化を液晶セルで生成すれば、右眼用映像のみ観察される。
- (3) 輝度が等しい左眼用、右眼用映像を表示する場合は、 $\sin^2 \alpha_3 = 2I_L = 2I_R = I_L + I_R$, $\beta_3 = 45^\circ$ なる角度 α_3 , β_3 の変化を液晶セルで生成すれば、左眼および右眼映像が等しい輝度で観察される。
- (4) したがって、輝度が I_L , I_R である左眼用、右眼用映像を表示する場合は、 $\sin^2 \alpha_4 = I_L + I_R$, $\cos^2 \beta_4 : \sin^2 \beta_4 = I_L : I_R$ なる角度 α_4 , β_4 の変化を液晶セルで生成すれば、左眼および右眼映像のそれぞれを任意の輝度で観察することができる。

図 15 に示す構造の映像表示装置を利用することで、偏光方向が直交する左眼、右眼用映像を提示することができ、偏光を利用して左右映像分離を行う高解像度立体表示装置の薄型化を実現できる。

8. EL 発光素子を用いた映像提示部の構成

液晶パネルの代わりにエレクトロルミネッセンス (EL) 型の表示装置も用いる場合には、映像提示部を構成する方法として、EL 発光素子の特性に応じて液晶セルとを組合せた図 16(a) の構造や、EL セルのみを積層した図 16(b) の構造が可能である。

8.1 エレクトロルミネッセンス型発光素子

映像表示用のディスプレイデバイスには、CRT、液晶、LED などを用いたものが一般的であるが、近年ではプラズマやエレクトロルミネッセンス (EL) 型の表示装置も用いられるようになってきている。この中で、EL 型

発光素子は自発光型であり、液晶ディスプレイのようにバックライトが不要なため、非常に薄い表示素子を構成することができる。この EL 素子には、電場 (電界) 印加・駆動方式により直流量型や交流型、発光部分の素子構造により分散型や薄膜型などに区分されるが、Tang らによる 1987 年の報告以後、薄膜型直流 EL として有機薄膜 EL が注目を集めており、低電力化、発光効率の改善など研究が盛んに行われている。

EL 素子の構造は、相対する電極の間に、正孔輸送層、発光層、電子輸送層の 3 層が挟まれた構造が基本となるが、正孔輸送層、蛍光体を含む発光層、電子輸送層に明確な区別が無く、各層の機能をまとめて 1 層構造にすることも可能であり、任意の層からなる発光機能部が両電極に挟まれた構造だと考えればよい。この発光機能部の両端の電極に、電圧を印加することにより発光現象が生じるが、光を外部に取り出すために少なくとも一方の電極は透明のものが用いられている。

立体映像表示装置の左右視差画像の映像提示部に使用する EL 素子としては、どのようなタイプの素子でも液晶表示デバイスの代替として利用することができる。また、EL 素子の両電極を透明電極とすることも可能であり、バックライトを必要としない自発光型の EL 素子では、透明なガラスやフィルム上に任意の映像を表示させることで、シースルー効果をもつ映像表現も実現できる。さらに、分子配向性を有するポリイミド、ポリシランあるいは液晶などを蛍光分子 (発光材料) を固定するバインダ (保持材料) として用いるとともに、異方性の高い (配向秩序を有する) 蛍光分子を発光材料として発光機能部を構成することで、直線偏光を有する発光を得ることができ、液晶ディスプレイのバックライト用光源に用いて、光の利用効率を高める用途などに利用されている。

8.2 EL 発光素子と液晶セルの積層構造

左右の眼に対応する 2 画面の映像情報を提示するため、偏光方向が互いに直交するような、左右それぞれの眼に対応する視差映像を提示する装置として、7 章では液晶セルを 2 枚積層した映像表示面を用いて映像を表示する手法を述べた。しかし、液晶セル自体は発光する機能を有していないため、通常は液晶セルの背面にバックライトを装着する必要がある。そこで、積層した 2 面の表示装置のうち、偏光方向の制御に使用している前面部の液晶セルはそのまま利用し、映像の表示 (輝度制御) に使

用する後面の素子を, 自発光型の EL 発光素子に置き換え, さらに薄型の構造を実現する. 図 16(a) は, 輝度制御部を EL 発光素子, 偏光制御部を液晶セルで構成した映像提示部の積層構造を示したものである. EL 素子の発光を直線偏光として液晶セルに入射させるために, EL 素子と液晶セルの間には偏光子が設けられているが, EL 素子が直線偏光の発光である場合には, この偏光子は省略可能である. なお, 左眼用と右眼用の映像輝度の分配比は, 偏光方向制御用の液晶セルで調節できるため, EL 発光素子は 1 枚で充分である.

偏光方向の制御は, 液晶セルを 2 枚積層する場合と同様に, TN 型の液晶セルを使用し, 偏光の方向を $0 \sim 90^\circ$ の間で変化させる. 図 17 において, 偏光子の偏光方向は紙面に垂直であるとし, 輝度を I , 偏光方向制御用の液晶セルによる偏光角の変化を α_k , 左眼, 右眼用映像の輝度値を, それぞれ I_L, I_R (ただし, $0 \leq I_L, I_R \leq 1/2$), 左眼, 右眼用映像の偏光方向を, それぞれ紙面に垂直, 水平であると仮定すると,

$$I = I_L + I_R, \quad I_L = I \cos^2 \alpha_k, \quad I_R = I \sin^2 \alpha_k$$

となる. したがって, $I = I_L, \alpha_1 = 0$ とすれば, 輝度 I_L の左眼用映像のみ, $I = I_R, \alpha_2 = 90^\circ$ とすれば, 輝度 I_R の右眼用映像のみ, $I = 2I_L = 2I_R = I_L + I_R, \alpha_3 = 45^\circ$ とすれば, 左眼および右眼映像が等しい輝度で観察される. 図 17 に示す構造の映像表示装置を利用することで, 偏光方向が直交する左眼, 右眼用映像を提示することができ, 偏光を利用して左右映像分離を行う高解像度立体表示装置を実現できる.

8.3 直線偏光 EL 発光素子のみの積層構造

8.2 節で述べた映像表示面を 2 面用いて, 偏光方向が互いに直交する左右映像を提示する方法では, 前面の素子で偏光, 後面の素子で輝度の制御を行うため, 表示する左右映像を基に, 前後面それぞれの素子に送出する映像信号を再生成 (変換) しなければならない. EL 発光素子は, 素子の構造により直線偏光の発光も可能であるため, 直線偏光 EL 発光素子を 2 面用いることで, 映像信号変換が不要な映像提示部を実現できる. 図 16(b) は, 直線偏光 EL 発光素子を 2 面積層した映像提示部の構造を示したもので, 前面と後面に配した EL 発光素子による直線偏光発光の偏光方向が互いに直交するように配置する. 左右映像の偏光方向は, EL 発光素子による直線偏光発光の偏光方向で決定されるため, 前後面にそれぞれ左右の眼に対応する映像を表示することで, 偏光方向が互いに直交する左右映像を提示できる. なお, 後面に表示された映像を観察可能なように, 少なくとも前面素子の両電極は透明電極でなければならない. また, 後面素子の両電極も透明電極とすることで, シースルー表示も実現可能である. 8.2 節で述べた構造の装置を用いた場合に表示される映像の特性と差異はないが, 図 16(b)

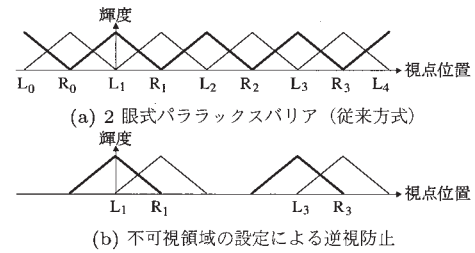


図 18 観察視点位置の移動による輝度変化

に示す構造の映像表示装置を利用することで, 映像信号変換を行うことなく偏光方向が直交する左眼, 右眼用映像を提示することができる.

9. メガネなし立体表示方式での逆視問題

図 18 は, 観察視点位置と 2 眼式立体表示装置で表示される左右映像の輝度の関係を示したものである. メガネなしで立体映像を観察可能な 2 眼式のパララックスバリア方式では, 図 18(a) に示すように, 眼間距離 E ごとに左眼用, 右眼用画像の観察位置が交互に現れる*. そのため, 観察者の視点位置によっては, 左 (右) 眼用画像を右 (左) 眼で観察する場合があるため, 左眼と右眼の映像が入れ替わる「逆視」の問題が発生する. メガネ方式では, 常に左眼用の映像は左眼で, 右眼用映像は右眼で観察するため, 逆視は生じない. メガネなし方式でも, 頭の位置を検出するヘッドトラッキング機能を利用して, 観察者の両眼位置を考慮し, 逆視領域では左右の映像を逆に表示することで, 逆視を防止する方法が提案されている. しかし, ヘッドトラッキング機能により, 左右画素の入れ替えを行う方式では, 動きに追従できるのは観察者 1 名に限られるため, 一般に多人数での観察に対しては適用できない. 多人数鑑賞が可能な逆視の生じない立体表示方法としては, 3 眼式の立体表示を行い, このうち一つの観察位置で何も映像が観察されないように, 左眼・右眼の画素対の間に黒画素を設けることで, 正立体視領域のみ構成する方法が提案されている. 図 19 はパララックスバリア方式において, 黒画素挿入により逆視防止を実現する原理を示したものである. 正立体視領域の両サイド (左眼用映像観察領域の左側, 右眼用映像観察領域の右側) に, 黒画素の観察領域を設けることで, 本来逆視となる領域では, どちらか一方の眼で黒画素映像を観察できるようになるため, 両眼で映像を観察できるのは正立体視領域のみとなり, 逆視状態での映像観察を防ぐことができる. しかし, 黒画素挿入方式では, 2 眼式立体表示であるにも関わらず, 逆視防止のために映像表示に利用しない黒画素を挿入するため, 3 眼式立体表示と同等の解像度になり, 水平方向の解像度が, 2 眼式表示の場合に比べ劣化するという問題が生じる. こ

* レンティキュラ方式でも左眼, 右眼映像の観察領域が交互に現れるため, パララックスバリア方式と同様に「逆視」問題が生じる.

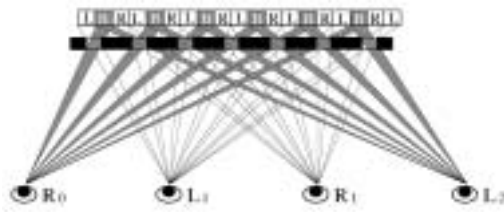


図 19 黒画素挿入方式による逆視防止

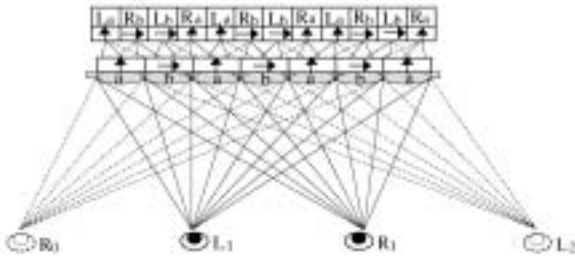


図 20 逆視防止レンティキュラ 3D ディスプレイ SUA-100

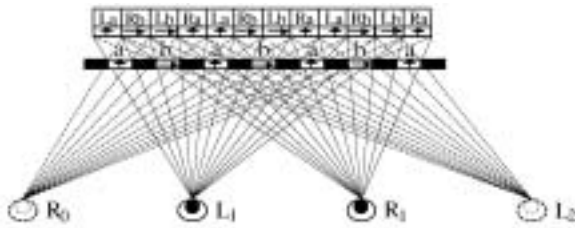


図 21 逆視防止パララックスバリア 3D ディスプレイ SUA-30

のように、メガネなし方式で生じる逆視問題を解決する方法が提案されているが、観察者の人数に限られる、解像度劣化の問題があるなど、いずれの方式にも一長一短があり、メガネ方式のように多人数鑑賞可能で、かつ解像度劣化なく逆視の生じない立体映像の観察ができることが望ましい。

10. 偏光子による不可視領域の生成と逆視防止

図 18(a) に示す 2 眼式立体表示において、左（右）眼の映像観察位置が一つおきに可視領域と不可視領域が入れ替わるように、 $L(R)_0$, $L(R)_2$, $L(R)_4$ を不可視領域に設定すれば、図 18(b) に示すように、左（右）眼用画像を右（左）眼で観察するが生じないため、逆視を防止することができる。本章では、レンティキュラ方式およびパララックスバリア方式において、従来不可能であった半円筒レンズ部、あるいはバリア開口部を通過する視差映像光束の制御を、偏光を利用することで選択的に通過させることが可能になり、不可視領域を設けることで逆視の発生を防止する原理について述べる。

10.1 レンティキュラ方式での逆視防止

2 眼式のレンティキュラ方式において、 $L_{2k+1}(R_{2k+1})$ の左（右）側に位置する観察領域 $R_{2k}(L_{2k+2})$ を不可視領域として逆視の発生を防止するため、半円筒形レンズ部分に偏光方向が交互に直交するように、偏光フィルタ

を貼付して構成した縦ストライプ状の偏光スリットを、図 20 に示すように、レンティキュラレンズ板と組合せて、左右視差映像の分離を行う。図 20 において、画素 $L(R)_a$ は半円筒形レンズ部 a を通過して観察位置 $L(R)_1$ に到達する光束を生成する。この画素 $L(R)_a$ は、通常の 2 眼式立体表示においては、レンズ部 b も通過するため、観察位置 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などにおいても、映像の観察が可能になる。レンズ部 b を通過する光束を遮光することにより、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などを不可視領域とすることができるが、同時にレンズ部 b を通過する画素 $L(R)_b$ の光束も遮光することになるため、一つの視差画像表示に利用できる画素が $1/2$ になり、解像度が劣化することになる。そこで、偏光の方向により光の透過、不透過の選択性を有する偏光フィルタを利用して、半円筒形レンズ部を通過する視差光束を制御する。図 20 に示すように、レンティキュラレンズ部分に偏光スリットを構成するとともに、映像提示部の左右映像画素一組ごとに、視差光束の偏光方向が直交するように偏光フィルタを貼付し、レンズ部分を通過する光束を偏光を利用して制御できるように、映像提示部と視差映像分離部を構成する。したがって、画素 $L_{a(b)}$, $R_{a(b)}$ と半円筒形レンズ部 $a(b)$ で、同じ偏光方向となるように図 20 に示すような偏光スリットを構成すると、画素 $L_{a(b)}$, $R_{a(b)}$ はレンズ部 $a(b)$ のみを通過して、観察位置 $L(R)_1$ に到達する光束のみ生成され、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などに到達する光束は生成されないため、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などを不可視領域とすることができる。このように、逆視防止のために黒画素を挿入する必要がないため、2 眼式立体表示の場合と同等の解像度を維持することができ、多人数鑑賞可能な逆視領域のない立体表示をメガネなし立体表示の方式でも実現することができる。

10.2 パララックスバリア方式での逆視防止

2 眼式のパララックスバリア方式立体表示において、図 18(b) に示す観察領域とするため、偏光方向が交互に直交するように偏光フィルタを開口部に貼付した図 21 に示すようなパララックスバリアを利用して、左右視差映像を分離する。図 21 において、画素 $L(R)_a$ はバリア開口部 a を通過して観察位置 $L(R)_1$ に到達する光束を生成する。この画素 $L(R)_a$ は、通常の 2 眼式立体表示においては開口部 b も通過するため、観察位置 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などにおいても映像の観察が可能になる。開口部 b を塞ぐことにより、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などを不可視領域とすることができるが、同時に開口部 b を通過する画素 $L(R)_b$ の光束も遮光することになるため、一つの視差画像表示に利用できる画素が $1/2$ になり、解像度が劣化することになる。そこで、バリア開口部を通過する視差光束を制御するため、偏光の方向により光の透過、不透過の選択性を有する偏光フィルタを利用する。図 21 に示すように、偏光を利用したスリットを構成するとともに、

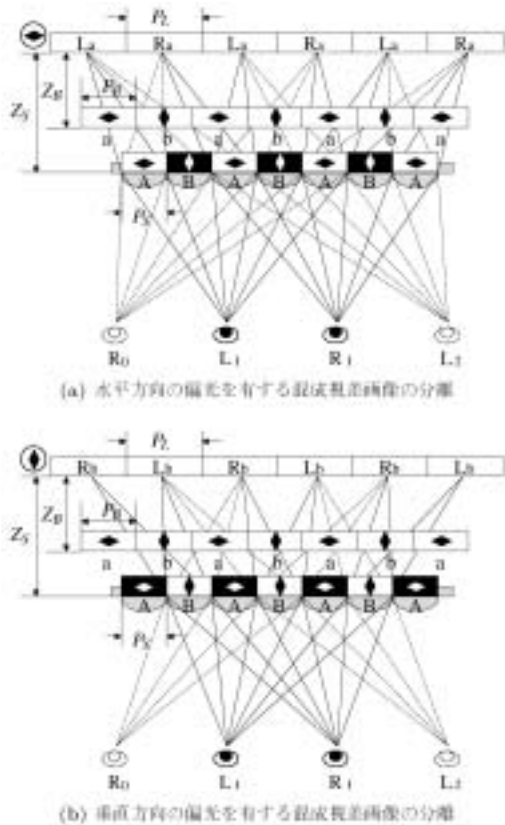


図 22 偏光ダブルスリットによる逆視防止 SUA-210

映像提示部の左右映像画素一組ごとに視差光束の偏光方向が直交するように、縦ストライプ画素列の偏光方向を調整する。映像提示部に LED ディスプレイなどを使用して視差映像の表示を行う場合には、偏光フィルタを貼付して視差光束の偏光方向を調整するが、LCD ディスプレイを利用する場合には、表示された映像は直線偏光となっており、偏光方向がすべて 1 方向に配向されているため、偏光方向を回転させることのできる $1/2$ 波長板を使用して、左右画素一組ごとに視差光束の偏光方向が直交するように偏光方向を調整する。したがって、画素 $L_{a(b)}$, $R_{a(b)}$ と開口部 $a(b)$ で、同じ偏光方向となるように図 21 に示すような遮光バリアを構成すると、画素 $L_{a(b)}$, $R_{a(b)}$ は開口部 $a(b)$ のみを通して、観察位置 $L(R)_1$ に到達する光束のみ生成され、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などに到達する光束は生成されないため、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などを不可視領域とすることができ、2 眼式立体表示と同等の解像度で、多人数鑑賞可能な逆視領域のない立体表示を実現できる。

11. 偏光ダブルスリットによる逆視防止

2 眼式立体表示において、左 (右) 眼の映像観察位置が 1 つおきに可視領域と不可視領域が入れ替わるように、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ を不可視領域に設定すれば、左 (右) 眼用画像を右 (左) 眼で観察するが生じないため、逆視を防止することができる。本章では、倍密度表示を実

現したレンチキュラ方式において、投影スクリーンとレンチキュラレンズ板の間に、新たに偏光スリットを追加することにより、偏光を利用することで半円筒形レンズ部を選択的に通過させる視差映像光束の制御が可能になり、不可視領域を設けることで逆視の発生を防止する原理について述べる。

2 眼式のレンチキュラ方式倍密度立体表示において、 $L(R)_{2k+1}$ の左 (右) 側に位置する観察領域 $R_{2k}(L_{2k+2})$ を不可視領域として逆視の発生を防止するため、倍密度の立体表示を実現するために投影された水平・垂直両方向の偏光方向を持つ視差映像に対し、左右視差映像の分離を行うためにレンチキュラレンズ板の半円筒形レンズ部分に貼付した偏光フィルタに加え、図 22 に示すように、偏光方向が交互に直交するスリット幅 P_B の偏光フィルタを、投影スクリーンとの距離が Z_B の位置に新たに配置する。投写映像の水平画素ピッチを P_L 、半円筒形レンズの幅を P_S 、レンズ板の設置位置を Z_S とすると、 P_B , Z_B は幾何学的に決定され、それぞれ $P_B = 2P_L P_S / (P_L + P_S)$, $Z_B = P_L Z_S / (P_L + P_S)$ と求められる。また、水平方向の偏光特性を有する左右混成映像に対しては、図 22(a) に示すように、レンチキュラレンズ板に貼付された垂直方向の偏光フィルタ B が遮光部となり、水平方向の偏光フィルタ A が開口部となるため、レンズにより視差分離が行われ、垂直方向の偏光特性を有する左右混成映像に対しては、図 22(b) に示すように、偏光フィルタ A が遮光部、フィルタ B が開口部となり、投写映像の偏光方向に対応するレンズにより視差分離が行われるため、倍密度表示が実現されている。

このようにして、レンチキュラレンズ板により左右眼に分離される視差映像光束のうち、不可視領域に設定された観察視点位置に到達する光束を、設置位置 Z_B に配置された偏光スリットにより遮光することで、逆視の発生を防止する。水平方向の偏光特性を有する左右混成映像の視差分離の原理を示した図 22(a) において、画素 $L(R)_a$ はスリット部 a および半円筒形レンズ部 A を通過して観察位置 $L(R)_1$ に到達する光束を生成する。この画素 $L(R)_a$ は、通常の 2 眼式立体表示においてはスリット部 b も通過するため、観察位置 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などにおいても映像の観察が可能になる。スリット部 b を通過する光束を遮光することにより、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などを不可視領域とすることができるが、同時にスリット部 b を通過する垂直方向の偏光特性を有する図 22(b) に示す画素 $L(R)_b$ の光束を遮光することになるため、偏光方向により光の透過、不透過の選択性を有する偏光フィルタを利用してスリット部を通過する視差光束を制御する。したがって、画素 L_a , R_a 、半円筒形レンズ部 A とスリット部 a で、同じ偏光方向となるように図 22(a) に示すような偏光スリットを構成すると、レンズ部 A を通過する画素 L_a , R_a はスリット部 a のみを通して、観察位置

$L(R)_1$ に到達する光束のみ生成され、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などに到達する光束は生成されないため、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などを不可視領域とすることができる。また、図 22(b) に示した垂直方向の偏光特性を有する左右混成画像の視差分離についても同様に考えると、画素 L_b , R_b もスリット部 b , レンズ部 B のみを通過して、観察位置 $L(R)_1$ に到達する光束のみ生成され、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などに到達する光束は生成されないため、 $L(R)_0$, $L(R)_2$ などを不可視領域とすることができる。このように、倍密度立体表示においても偏光ダブルスリットを用いることで、黒画素を挿入することなく逆視防止が実現できるため、逆視防止の機能を付加しても、4章で述べた倍密度立体表示の場合と同等の解像度を維持することができ、多人数鑑賞可能な逆視領域のない立体表示をメガネなし立体表示の方式でも実現することができる。

12. む す び

2台の投影装置によりリア投写された互いに直交する左右映像を、縦ストライプ状の偏光フィルタを貼付したレンチキュラレンズ板あるいはパララックスバリアを用いて、左右映像の分離を行うことにより、倍密度の立体映像表示が実現できる立体表示装置について述べた。2偏光の左右映像を投影し、偏光子により2重に投影された左右映像を分離するため、既存の液晶プロジェクタの投影光学系に改良を加えることなく、倍密度表示が実現できる。また、偏光子スリットを2重に配置したダブルスリット構造の採用により、逆視防止も同時に実現することができる。レンチキュラ方式はリア投写型の大画面表示装置として利用されているため、2眼式立体表示においては、水平方向の解像度劣化が生じない大画面立体映像表示を実現できる。今後は映像スクリーンで提示された仮想空間内のオブジェクトへの操作の実現などの3Dワークスペースシステムの機能拡張、スクリーンの大型化、多面設置による仮想空間の構築などについて検討を行う予定である。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金（課題番号 14780328 および課題番号 17700115）、独立行政法人科学技術振興機構「実用化可能性試験」の補助を受けて行われたものであり、ここに関係各位に謝意を表する。

【参 考 文 献】

- 1) 大越孝敬：“三次元画像工学”，朝倉書店（1991）
- 2) 泉武博監修：“3次元映像の基礎”，オーム社（1995）
- 3) 谷千束編著：“高臨場感ディスプレイ”，共立出版（2001）
- 4) 阪本邦夫，高木美和：“立体映像へのインタラクションのための3次元位置計測の一手法”，映情学誌，**57**, 9, pp.1152 - 1154（2003）
- 5) 阪本邦夫，木村理恵子：“単眼カメラ画像を用いた指差しポインタの構成”，映情学誌，**58**, 5, pp.721 - 723（2004）
- 6) 阪本邦夫，木村理恵子：“3Dワークスペース構築のためのシースルー立体表示ビューア”，映情学誌，**58**, 7, pp.999 - 1001（2004）

- 7) 阪本邦夫，高木美和：“偏光パララックスバリア方式多視点立体ディスプレイの試作”，映情学誌，**58**, 9, pp.1288 - 1290（2004）
- 8) 阪本邦夫，木村理恵子：“逆視領域のないパララックスバリア立体ディスプレイの一方式”，映情学誌，**58**, 11, pp.1669-1671（2004）
- 9) 阪本邦夫，木村理恵子：“解像度劣化のないパララックスバリア方式立体表示の一手法”，映情学誌，**59**, 1, pp.155 - 157（2005）
- 10) 阪本邦夫，木村理恵子：“偏光パララックスバリア方式透過型立体ディスプレイ”，映情学誌，**59**, 2, pp.296 - 301（2005）
- 11) 阪本邦夫，高木美和：“偏光スリットを用いた多眼式立体ディスプレイの試作”，映情学誌，**59**, 5, pp.791 - 793（2005）
- 12) 阪本邦夫，木村理恵子：“逆視領域の無いメガネなし立体ディスプレイ”，映情学誌，**59**, 8, pp.1199 - 1203（2005）
- 13) 阪本邦夫，西田雅貴：“偏光ダブルスリットを用いた視差バリア方式3Dディスプレイ”，情報科学技術レターズ，**4**, pp.241 - 244（2005）
- 14) H.Isono, M.Yasuda and H.Sasazawa: “Autostereoscopic 3D LCD Display using LCD generated Parallax Barrier”, 12th Int. Display Research Conf., Japan, Display'92, pp.303-306（1992）.