

氏名	宮 下 哲 哉		
授与学位	工 学 博 士		
学位授与年月日	平成 3 年 3 月 28 日		
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電子工学専攻		
学位論文題目	三次元ディスプレイに関する研究		
指導教官	東北大学教授 内田 龍男		
論文審査委員	東北大学教授 内田 龍男	東北大学教授 高木 相	
	東北大学教授 樋口 龍雄		

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

高度情報化社会と呼ばれる現在の社会では情報の果たす役割は重要であり、この情報を人間に伝達するためのインターフェースとしてディスプレイは重要な役割を果たしている。より多くの情報をより正確に伝達するために、大画面・フルカラー・高解像度のディスプレイが実現されているが、更に高度な情報を人間に伝達するという観点から三次元情報を表示するシステムすなわち三次元ディスプレイが不可欠になるものと考えられる。

従来、三次元ディスプレイとしていくつかの方式が提案されているが、動画像の表示を行うことを考えた場合、一般には情報量が膨大になるために、撮影、記録、伝送、表示の装置を実現することは困難である。これに対して、三次元ディスプレイの方式の一つである立体画像ディスプレイは、両眼の視差に応じた 2 枚の二次元画像を観察者の両眼に個別に表示する方式であり、通常の二次元ディスプレイの 2 倍程度の情報量で済むため、最も有望な方法と考えられる。そこで本研究では、この立体画像ディスプレイに着目し、まずその奥行き表示特性を詳細に解析した。次に、立体画像ディスプレイの最も重要な問題の一つである疲労の問題を取り上げ、原因の解明を行うと共に、その対策を検討した。最後に液晶を用いた薄型・軽量の新しい立体画像ディスプレイを新たに考察し、その最適設計条件を明らかにした。

第 2 章 立体画像の撮影および表示条件

立体画像のディスプレイで歪のない立体画像を表示するために、撮影条件と表示条件の間の幾何

学的な位置関係について解析を行なった。

まず、立体画像表示において表示画像と両眼視差および輻輳に基づく認識位置との関係を解析した。その結果、被写体を直接観察する場合と表示画像を観察する場合に、両者の視角関係が等しければ奥行きは正確に認識されるが、表示画像の倍率を変化させると画像の奥行きと上下左右の関係が比例しなることを明らかにした。更に、この問題に対して表示像の倍率を M とした場合、カメラの間隔を人間の目の間隔の M 倍にすれば上述の歪を最小限におさえることができることを示した。

第3章 立体画像ディスプレイによる奥行き認識特性

まず、実際に立体画像ディスプレイを製作し、これを用いて、前述の輻輳、両眼視差、水晶体調節の立体表示条件を意識的にずらした状態を作り奥行き知覚特性を調べてみた。この結果、水晶体調節と輻輳による奥行き知覚精度はあまり高くないことを明らかにした。このことは、水晶体調節による奥行き知覚要因に正しい情報を与えることのできない立体画像ディスプレイにとってはむしろ有利に働くことを示す。

次に、各種の奥行き知覚要因について、その認識精度を調べてみた。その結果、次の点が明らかになった。

- (1) 奥行き長さの判断には図形要素が支配的な役割を演じている。
- (2) 図形要素による奥行き判断が行いにくい場合には、両眼視差が補助的に働く。

このことから、図形要素と両眼視差による表示機能を有する立体画像ディスプレイは、奥行き長さの認識精度の点からも表示効率が高いといえることができる。

第4章 立体画像観察時の疲労

本章では、立体画像ディスプレイ観察時の疲労の原因を検討し、この問題を解決するための条件を明らかにした。

疲労の原因を考察するために二次元ディスプレイ、立体画像ディスプレイ、現実空間の見え方を比較した。この結果、考えられる疲労の要因は、次の3つに分類することができる。

要因(1) 両眼視差は奥行き位置が異なる2つの対象の間で生じるために、奥行き位置が大きく異なる場合には少なくとも一方の像は必ず焦点ぼけを伴う。一方立体画像ディスプレイでは表示面に焦点が合うため、表示奥行き位置によらず焦点ぼけが生じない。このため、現実空間を見ている場合と比べて立体画像ディスプレイでは必要以上に両眼視差が強調されることになる。

要因(2) 三次元空間では輻輳と水晶体調節が必ず同時に変化するが、立体画像ディスプレイでは輻輳角が変化しても水晶体調節は表示面に固定されたままである。このため、輻輳と水晶体調節の間にミスマッチが生じることになる。

要因(3) 二次元ディスプレイを長時間観察すると疲れるが、現実の三次元空間を長時間観察しても疲労を感じない。このことから二次元ディスプレイと同じ疲労の原因が、立体画像ディスプレイでは大きく影響を与える可能性がある。例えば、現実空間には存在しないディスプレイの枠の問題や、ディスプレイの解像度が十分でない問題などがある。

これらの要因のうち、奥行き表示の強いものほど疲労が大きいことから要因(3)は支配的な原因ではないことが予想された。また、両眼視差がある図形とない図形を用いて疲労の比較を行ったところ大きな違いは生じなかった。このことから、要因(1)も主な疲労の原因ではないことがわかった。一方、水晶体調節と輻輳の間には強い相関関係があるという実験結果の報告があることから、要因(2)が疲労の原因であろうと予想して、水晶体調節と輻輳の間のミスマッチをなくした場合の影響を調べてみた。すなわち、目の前に開口絞りを設け、目の焦点深度を深くして水晶体調節による焦点ぼけが生じないディスプレイを構成し、焦点深度が浅いまのディスプレイを観察した場合について疲労の強さを比較してみた。その結果、焦点深度の深いディスプレイを用いた方が疲労は少ないという傾向が得られた。

これより立体画像ディスプレイ観察時の疲労の主な原因は、水晶体調節と輻輳のミスマッチによるものであるということがわかった。したがって焦点深度を深くすることなどにより上述のミスマッチをなくした立体画像ディスプレイを実現すれば疲労の問題を解決しうる可能性が示された。

第5章 フラットパネル型立体画像ディスプレイ

前章までの研究により立体画像ディスプレイは次世代のディスプレイとして有望な方式であることを示した。このような立体画像ディスプレイを構成するためには右目と左目に独立した画像を表示するシステムを構成する必要がある。2枚の画像を分離する方法について分類、検討した結果、良好な表示品位が得られるものとして、2つの独立した偏光により分離する方法があげられる。偏光を利用した立体画像ディスプレイを直視型のフラットパネル型で実現するには、2つの偏光方向の透過光強度を独立に制御できる薄型のデバイスが必要であり、このような条件を満たす唯一の物質として2色性色素がある。この2色性色素は分子長軸方向に平行な偏光面を持つ光に対する吸光度が、それに直交する偏光面を持つ光に対する吸光度と比べて著しく大きい。この色素を液晶に添加すると、その分子長軸は液晶のそれと平行に配向する性質がある。したがって電界で液晶分子の配向を変化させることによって色素分子の配向方向も制御できることになる。この性質を利用すると、一つの方向の偏光の透過率だけを制御することができる。すなわち図1のように配向方向が互いに直交する液晶セルを2枚重ね、それを偏光眼鏡を通して観察する構成にすると、左右の目で別々の映像を観察できることになり、立体画像ディスプレイとして動作させることができる。以後、これを液晶立体画像ディスプレイと呼ぶ。

本研究ではこのような液晶立体画像ディスプレイを実際に試作し、その表示特性を明らかにした。その結果、良好な立体画像が得られることが確認された。次に、この液晶立体画像ディスプレイでは、斜め方向の特定の方位から観察すると左右像のクロストークやコントラストの低下が生じるという問題があることを明らかにした。この現象は、液晶の光軸に対して斜めに光が伝搬する場合には複屈折が生じ、2つの偏光が互いに独立ではなくなるために生じるものである。そこで、この問題について厳密な解析を行い、これを解決する方法として、色素濃度を高くし、セルギャップを小さくするとともに屈折率異方性の小さい液晶を用いることが有効であることを明らかにした。

第6章 結 論

各章ごとに得られた結果をとりまとめた。

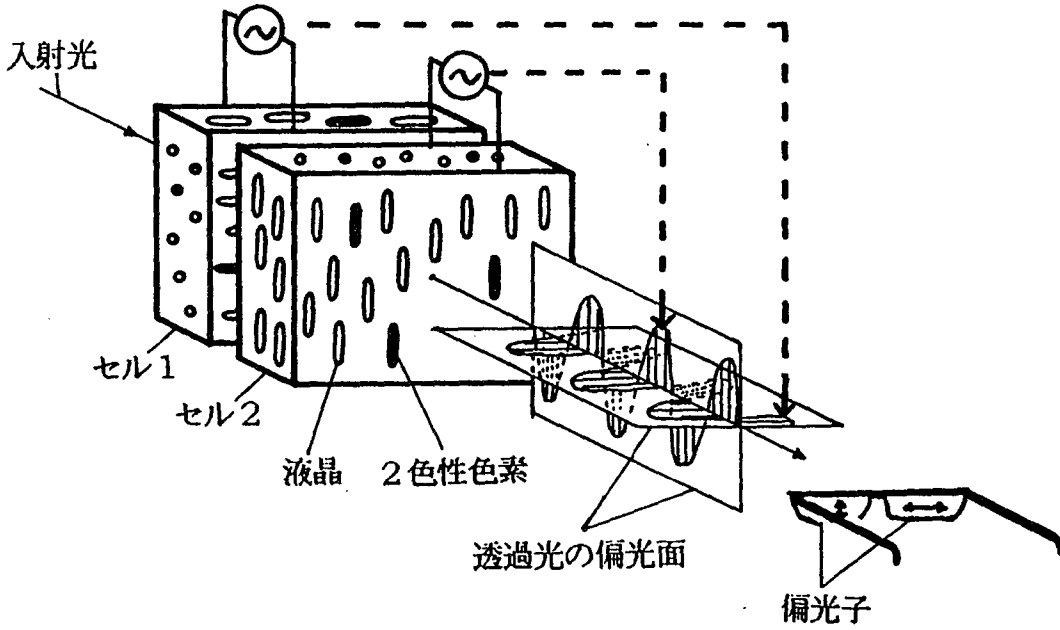


図1 液晶立体画像ディスプレイの原理

審査結果の要旨

近年、シミュレーション、遠隔操作、航空管制、医療等の分野で、動画表示の可能な三次元ディスプレイの実現が強く望まれている。著者はこのような要望に対して、2眼式の立体画像ディスプレイに着目し、その表示特性の解析、疲労の原因の解明とその対策、フラットパネル型ディスプレイの実現等を目指して研究を進めてきた。本論文はその成果をとりまとめたもので、全編6章よりなる。

第1章は序論である。第2章では、立体画像の撮影条件と表示条件の関係を幾何学的に詳細に解析している。正確な奥行き表示を行うためには、被写体を直接観測する場合の視角と表示画像を観察する場合の視角を等しくし、カメラの間隔を人間の眼の間隔に一致させなければならないこと、またカメラの倍率を変化させて、表示画像を拡大または縮小した場合には、倍率に応じてカメラの間隔を適当に設定することにより、ほぼ正確な奥行き表示が可能となること等を明らかにしている。

第3章では人間の主要な奥行き知覚要因を取り上げて、それらの奥行き知覚精度を実験的に比較検討している。その結果、図形要素が支配的な役割を演じ、これが得られない場合には両眼視差が補助的に働くこと、水晶体調節と輻輳の奥行き知覚精度はそれほど高くないこと等を明らかにしている。これは立体画像ディスプレイの設計上重要な知見である。

第4章では、立体画像ディスプレイの最も重要な問題の一つとされている、眼の疲労について多くの実験と考察を行っている。まず、現実空間を観察した場合と比較して、立体画像ディスプレイでは水晶体調節と輻輳の奥行き知覚にミスマッチが生じることを示し、これが疲労の原因となっていることを明らかにしている。また、アパーチャーを用いて眼の焦点深度を深くし、これによって前述のミスマッチを解消すれば、疲労を減少させ得ることを見いだしている。これは立体画像ディスプレイを実用化する上で重要な成果である。

第5章では、液晶を用いた立体画像ディスプレイを提案するとともに、その光学的特性を解析し、最適設計条件を明らかにしている。このディスプレイは液晶に添加した二色性色素の特異な吸収異方性を応用したものであり、フラットパネル型として最初の提案である。薄型・軽量が要求される将来の立体画像ディスプレイとして有望な方式と考えられる。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、立体画像ディスプレイの表示特性、人間の奥行き認識特性および眼の疲労の原因等を明らかにすると共に、フラットパネル型立体画像ディスプレイを初めて提案し、その設計指針を明らかにしたものであり、電子工学ならびに画像工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。