

氏名	ひがの としゆき 日向野 敏行		
授与学位	博士(工学)		
学位授与年月日	平成18年3月24日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4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	広視野角液晶ディスプレイの光学設計に関する研究		
指導教員	東北大学教授 内田 龍男		
論文審査委員	主査	東北大学教授 内田 龍男	東北大学教授 伊藤 弘昌
		東北大学教授 中沢 正隆	

論文内容要旨

第1章 序論

臨場感の高い画像によるコミュニケーションの実現のため、軽量、薄型、低消費電力の特長を有する液晶ディスプレイ(LCD)の大型化に伴う高品位化が必要不可欠となってきた。LCDは液晶分子の複屈折性を用い、偏光状態を制御することで画像の表示を行うデバイスである。しかし、液晶の複屈折性はディスプレイを観察する角度によって変化することから、図1に示すようにLCDは観察角度の変化に伴う表示画像の劣化という問題を有していた。この画像の劣化は入射角度の変化に伴う階調反転や、黒状態における光漏れによるコントラスト比の低下によるものである。

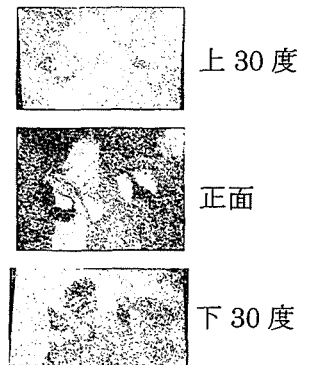


図1 従来のTN方式を用いたLCDの視角特性

LCDの黒状態における光漏れを抑えるために位相差フィルムを用いた光学的な補償が必要であった。したがって、このために必要となる位相差フィルムの設計方法の確立が重要である。従来、位相差フィルムの設計に用いられてきた設計パラメータは平均屈折率に対する依存性を有しており、LCDにおける光学材料の多様化に伴い、平均屈折率の違いによる位相差フィルムの複屈折性の角度特性の変化は、LCDの黒状態において光漏れをもたらすことから問題となっていた。また、液晶分子配向に分布を有する液晶セルを通過する偏光の状態変化は複雑であることから、これまで黒状態における液晶セルの入射角依存性を補償するために必要な位相差フィルムの設計条件は確立されていなかった。一方、階調反転の改善法として、液晶パネルの透過率を下げる方法が報告されているが、この方法は液晶パネルの明るさを保つため、バックライトの輝度を増加させることが必要となり、LCDの消費電力の点で問題となっていた。

本論文はLCDの広視野角化、高透過率化による低消費電力・高品位LCDの実現を目的とし、材料の平均屈折率に依存しない設計パラメータの確立、液晶配向方向に分布を有する液晶セルの黒状態にお

ける光漏れを抑える位相差フィルムの設計条件の確立、透過率を下げることなく階調反転を抑える液晶セルの設計条件の確立、以上の成果についてまとめたものであり、全6章からなる。

第2章

本章では、位相差フィルムの光学特性の角度依存性を決定するパラメータについて述べている。従来の設計パラメータは位相差フィルム材料の平均屈折率に対して依存性を有しており、同じ設計パラメータを有する位相差フィルムであっても、位相差フィルム材料の平均屈折率により異なる光学特性を有していた。このことはLCDのコントラスト比を低下させることから重要な問題となっていた。

光が位相差フィルムに進入する際の屈折を考慮し、フィルムの角度依存性を屈折率に依存する項と視野角に依存する項に分離し、屈折率に依存する項を設計パラメータとすることで、材料の平均屈折率に依存しない角度依存性を得られると考え、その導出を行った。結果として、二軸性位相差フィルムの位相差の入射角依存性の屈折率に依存する項は、正面から観察したときの位相差 δ および入射角90度方向の位相差 γ によって表されることを示した。この結果を元に、 δ および γ を用いて次式で表される平均屈折率に依存しない新しい位相差フィルムの設計パラメータ T_Z を確立した。

$$T_Z = \frac{\gamma}{\delta} = \frac{n_x \sqrt{n_z^2 - 1} - n_z \sqrt{n_y^2 - 1}}{n_z \cdot (n_x - n_y)}$$

図2に示すように、本設計パラメータを用いることで位相差フィルムの平均屈折率に依存することなく角度依存性を初めて設計することが可能となった。さらに、設計パラメータ T_Z を測定する方法を示し、実験により本設計パラメータの

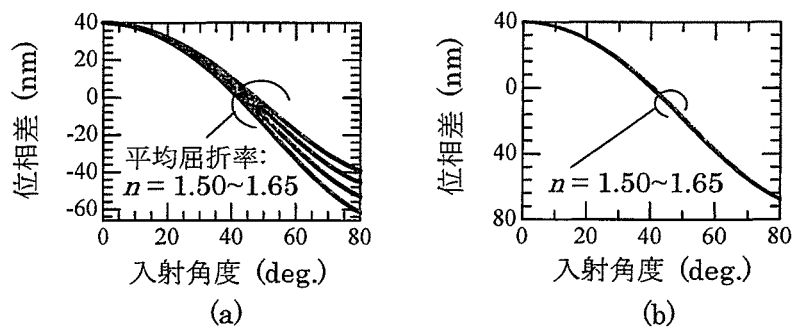


図2 各設計パラメータを用いた位相差フィルムの視角位相差特性
(a) 従来 (b) 本設計

妥当性を確認した。本設計パラメータは二軸性位相差フィルムの入射角度に対する位相差特性を平均屈折率に依存することなく決定できることから、様々な平均屈折率材料を用いる液晶ディスプレイの広視野角化を実現する上で極めて重要であると考えられる。

第3章

本章では、任意の配向分布を有する液晶セルの光学補償を行う位相差フィルムの設計条件について

述べている。液晶ディスプレイの広視野角化を実現するためには、黒状態における光漏れを抑えることが重要であり、このためには液晶セルにおける位相差の入射角依存性を補償することが必要である。しかし、液晶セルの液晶分子の配向分布は均一でないことから、その光学特性を解析することは困難であり、これまで入射角依存性を補償する光学補償フィルムの設計条件は明らかになっていなかった。本研究では配向分布が均一でない液晶セルを一軸性位相差媒体の積層体とみなし、各層における光学特性を解析することにより、液晶セルの黒状態における光漏れを抑える光学補償フィルムの設計条件の確立を目的とした。

液晶層と位相差フィルムの光軸が異なる傾斜角を持ち、位相差フィルムの膜厚を最適化することが必要であることを示し、傾斜一軸性位相差媒体の入射角依存性を補償し、光漏れのない黒状態を得るために必要となる位相差フィルムの設計条件を明らかにした。また、配向分布を持つ液晶セルの分割した各層の入射角依存性を補償する位相差フィルムの条件を求め積層することにより、これらの合成として位相差フィルム全体の光学特性の設計条件が導出できることを明らかにした。また、一例としてベンド配向型液晶セルの位相差フィルムの設計・試作を行い、従来の設計条件では光漏れが5%以上生じるが、本設計により図3に示すように全視野角において透過率0.3%以下が得られることを示した。

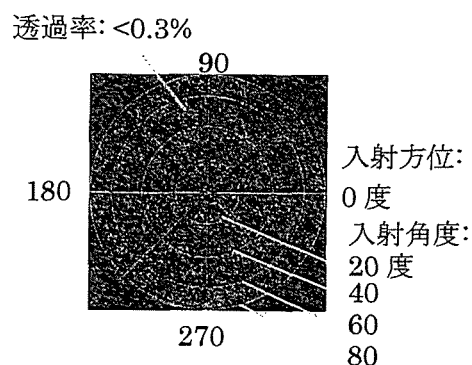


図3 試作したベンド配向型液晶セル

第4章

本章では、従来の各種配向モード液晶セルについて、階調反転を生じさせない設計条件について述べている。液晶セルを通過する偏光状態の変化と透過率の関係について解析を行い、階調反転のメカニズムを明らかにすることにより、階調反転のないLCDの設計方法の確立を目的とした。

これらのモードでは印加電圧の有無によらず液晶分子の配向分布がセル中央に対して対称な分子配向を有している。このような配向分布を有する液晶セルでは、セル中央に対する配向分布の対称性が点対称および線対称の違いによって設計条件が分類され、液晶セルの透過率が液晶セル中央における偏光状態によってそれぞれ決定されることを示した。さらに、透過率と液晶セル中央における偏光状態の関係から、偏光状態が単調に変化するように印加電圧の範囲を限定すればよいことを明らかにした。また、ポアンカレ球を用いて解析を行い、45度直線偏光成分(S_2)および右円偏光成分(S_3)によって液晶セルの階調反転を生じさせない設計条件が以下のように与えられることを明らかにした。

点対称配向: $S_2 \geq 0$ かつ S_2 が単調変化

線対称配向: $S_3 \geq 0$ かつ S_3 が単調変化

平行配向およびベンド配向を用いて設計・試作を行い、図4に示すように実験により階調反転を生じさせない設計条件の妥当性を確認した。

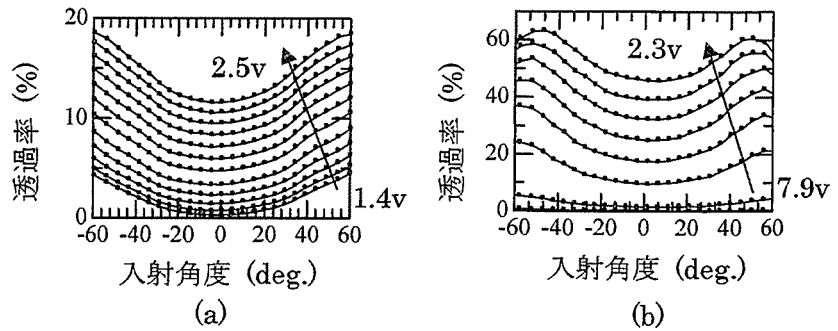


図4 試作した液晶セルの入射角度に対する透過率特性
(a) 平行配向 (b) ベンド配向

第5章

前章までの設計条件をもとに OCB モード LCD の最適設計条件の検討を行っている。その結果、図5に示すように、全方位・全入射角において階調反転が無く、透過率100%を有する高輝度・広視野角特性を有する液晶ディスプレイを実現できることを示した。

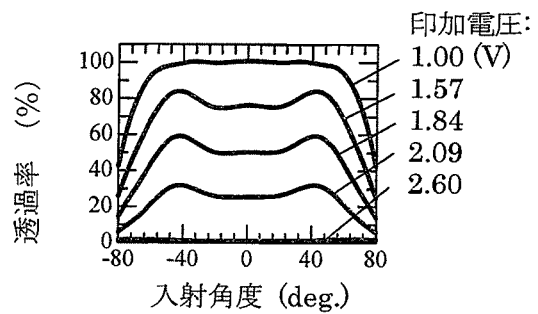


図5 設計したベンド配向セルの入射角透過率特性

第6章

本章では、第5章までの研究成果をまとめた結論を述べている。すなわち、液晶セルの光学補償に必要な位相差フィルムの材料による平均屈折率の影響を考慮した設計パラメータを明らかにすると共に、配向分布を有する液晶セルの光学補償フィルムの設計条件を明らかにした。また、配向分布の対称性に着目し、液晶セル中央における偏光状態と透過率の関係を明らかにすることによって、階調反転を生じさせないために印加電圧を制御すればよいことを示し、液晶セルの設計条件を明らかにした。以上の結果を元に全方位・全入射角において階調反転が無く、透過率100%を有する高輝度・広視野角液晶ディスプレイの実現の可能性を示した。

論文審査結果の要旨

液晶ディスプレイの高品位化が要求されているが、従来の液晶ディスプレイは斜め方向から観察すると黒状態における光漏れ、階調間における輝度の反転、透過率の低下などの問題を有していた。本論文は、液晶セルの光学特性を補償する位相差フィルムの設計条件および階調反転を抑えるための液晶セルの設計条件を明らかにし、広視野角・高透過率特性を有する液晶ディスプレイの実現の可能性を示したものであり、全編6章よりなる。

第1章は序論であり、従来の液晶ディスプレイに求められている広視野角化・高透過率化に関する本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、位相差フィルムの光学特性の角度依存性を決定するパラメータについて述べている。これは、液晶ディスプレイの光学特性の角度依存性の補償に重要なものであるが、これまで用いられてきたパラメータはフィルムに対して普遍的なものではなかった。そこで著者はフィルムの角度依存性を屈折率に依存する項と視野角に依存する項に分離することで、材料に依存しないパラメータを導くことに成功した。近年、新しいフィルム材料が次々と開発されているため、その設計に対して本研究の成果は重要な指針を与えるものとして評価される。

第3章では、任意の配向分布を有する液晶セルの光学補償を行う位相差フィルムの設計条件について述べている。これは液晶セルを一軸性位相差フィルムの積層体と考え、各々の層を補償する位相差フィルムの設計条件を求め、これらの合成としてフィルム全体の位相差分布を決定するものである。一例としてベンド配向型液晶セルおよび位相差フィルムを設計・試作し、全方位および入射角度 70 度の範囲においてコントラスト比 100:1 以上が得られることを実証している。これは実用上重要な成果である。

第4章では、従来の VA (Vertically Aligned)モード、OCB (Optically Compensated Bend)モード、ECB (Electrically Controlled Birefringence)モードなどの液晶セルについて、階調反転を生じさせない条件を検討している。これらのモードは電圧印加の有無によらず液晶分子の配向にねじれが無く、セル断面で中央に対して対象な分子配向を有している。このような液晶セルの透過率は液晶セル中央の偏光状態によって決定され、偏光状態が単調変化するように印加電圧の範囲を限定すれば良いことを明らかにした。またポアンカレ球を用いてそれを解析し、階調反転を抑制する一般的な条件を初めて明らかにしている。これらは実用的に極めて重要な成果として高く評価することができる。

第5章では、以上の結果を基に、OCB モードの液晶セルの最適設計条件を検討している。その結果、全方位・全入射角において階調反転が無く、明状態の透過率 100 %かつ暗状態の光漏れのない液晶ディスプレイが実現できることを示している。この結果は次世代の高品位な液晶ディスプレイの実現の可能性を示すものとして高く評価できる。

第6章は結論である。

以上要するに本論文は、液晶セルの光学補償に必要な位相差フィルムの設計条件および階調反転を抑えるための液晶セルの設計条件を明らかにすると共に、この結果に基づいて従来の設計では得られなかった広視野角・高コントラスト、高透過率の液晶ディスプレイの実現の可能性を実証したものであり、電子工学および画像工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。