

IPS-LCDおよびVA-LCD用視野角補償フィルム「NVフィルム」

中央技術研究所
化学研究所 情報化学材料グループ

たかはし ゆうじ
高橋 裕司



中央技術研究所
化学研究所 情報化学材料グループ

うえさか てつや
上坂 哲也



1. はじめに

液晶ディスプレイ (LCD: Liquid Crystal Display) は、薄く、軽く、低消費電力であるという特長を持つことから、テレビをはじめ、携帯電話、デジタルカメラ等のモバイル機器のディスプレイとしても広く採用されてきた。一方、色再現性や斜めから見た場合の画質 (視野角特性) はブラウン管やプラズマディスプレイに劣るとされてきたため、これらを改善するための研究開発も盛んである。LCD がブラウン管やプラズマディスプレイに比べて視野角特性が劣る理由はディスプレイの表示方式そのものに起因している。すなわち、ブラウン管やプラズマディスプレイのような自発光型ディスプレイとは異なり、液晶ディスプレイでは液晶それ自体は発光しない。液晶の役割は、いわば電圧可変型のシャッターであり、常時点灯しているバックライトの上にこのシャッターを置くことで光の透過量を制御して画像を表示する。このシャッターが斜めから LCD を見た際に完全な透過光のオン・オフを実現できないことが視野角特性低下の主な理由である。この問題を改善するために様々な LCD の方式が提案されてきた。そして同時にそれら各種 LCD 方式に最適な視野角補償フィルムもまた進化を続けてきた。

2. LCD の方式と視野角補償フィルム

LCD の方式について触れる前に LCD の表示原理について、汎用的な方式である TN-LCD を例に取り述べる。図 1 に示したように LCD の基本構成は 2 枚の偏光板とこれに挟まれた液晶セルからなる。液晶セルの内部には屈折率異方性をもった低分子液晶が封止されており、印加電圧によって低分子液晶の配向状態を変えることで偏光の透過量を制御している。LCD の方式、すなわち液晶セル内の低分子液晶の配向構造は様々な方式が提案されており、例えば、液晶セルの中で液晶分子が 270 度程度ねじれた STN (Super Twisted Nematic) -LCD、液晶分子が 0~90 度程度ねじれた TN (Twisted Nematic) -LCD や ECB (Electrically Controlled Birefringence) -LCD、液晶分子が水平に並んでおり特殊な電極構造を備えることで液晶分子の動きを水平方向とし性能を向上させた IPS

(In Plane Switching) -LCD、液晶分子が垂直に並んだ VA (Vertical Alignment) -LCD などを挙げることができる。STN-LCD や TN-LCD、ECB-LCD は液晶セル内の低分子液晶がねじれた複雑な配向をしているため、液晶セルによる視野角特性の低下が大きい。製造が比較的容易なためボリュームゾーン向けとして多く採用されている。一方、IPS-LCD や VA-LCD は液晶セル内の低分子液晶の配向を極力単純な構造とすることで液晶セル起因の視野角特性の低下を抑えた方式 (図 2) であり、高画質を要求されるハイエンド向けで多く採用されている。各種 LCD の方式は許容コスト、要求性能、適用する製品等に応じて使い分けられている状況にあるが、近年はテレビや携帯電話をはじめとする多くの用途で、高画質な IPS-LCD と VA-LCD のニーズが上昇している。

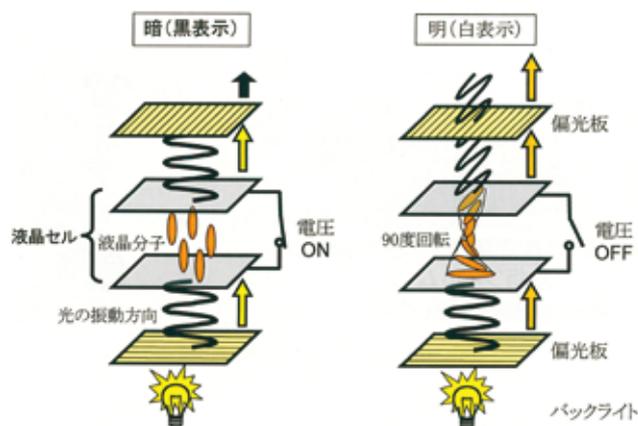


図 1 LCD の表示原理 (TN-LCD の例)

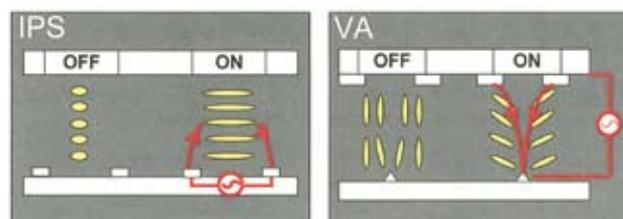


図 2 高画質 LCD の液晶セル構造
(a) IPS-LCD、(b) VA-LCD

これら各種 LCD の方式が生み出されていくに従い、視野角補償フィルムもそれを追いかけるように開発が進められてきた。視野角補償フィルムとは屈折率異方性をもったフィルムで、偏光板と液晶セルの間に配置することで偏光板や液晶セルの異方性を低減し LCD の視野角を拡大する。LCD の方式が変われば適用すべき視野角補償フィルムも異なった構造のものとなるため、これまでに様々な視野角補償フィルムが開発されてきたが、大きくは延伸フィルムと塗布型フィルムに分けることができる。延伸フィルムは製法が比較的シンプルのため安価・大面積の製造に適している反面、フィルムの厚み方向の屈折率異方性を制御することは困難であり、製造可能な光学パラメータには比較的制約も多い。一方、当社が世界に先駆けて開発した塗布型フィルムは製法が複雑なためコスト、大面積対応ではやや不利な点もあるが、製造可能な光学パラメータの制約が少なく、特にフィルムの厚み方向で屈折率異方性を変化させた特殊な構造を実現できることは延伸フィルムにはない優れた特長となっている。また塗布型フィルムは一般に延伸フィルムに比べて薄いフィルムとすることができる点も特長として挙げられる。当社液晶フィルムは基板フィルム上に液晶層を塗布した図 3 のような構造であり、基板フィルム付きで用いる形態、基板フィルムを剥離し液晶層だけを用いる形態いずれの形態でも使用可能である。最近では LCD に対する薄型化要求が強まっており、基板フィルムを取り除いた形態の引き合いが強いが、わずか $10\mu\text{m}$ 程度という極めて薄い膜厚（髪の毛の太さの $1/10$ 程度）で視野角補償機能を実現できる点は大きな強みとなっている。また当社では高分子液晶の配向を自在に制御することで図 4 に示すような様々な構造の光学フィルムを実現することができる。既に STN-LCD 向けに LC フィルムを¹⁾、TN-LCD および ECB-LCD 向けに NH フィルムを^{2,3)} 上市しており、2009 年には IPS-LCD および VA-LCD 向けに NV フィルムを生産開始した。本報では NV フィルムによる視野角補償について報告する。

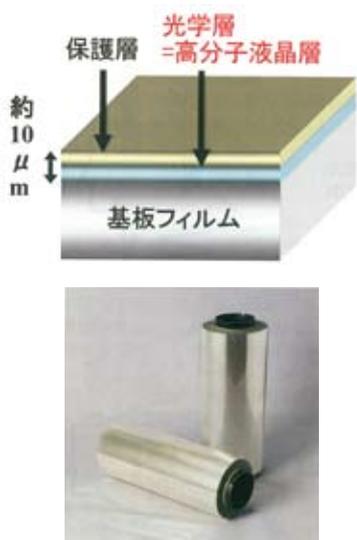


図 3 当社液晶フィルムの断面構造模式図

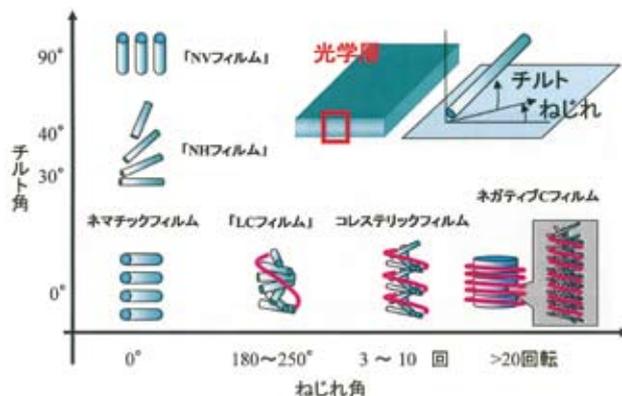


図 4 製造可能な液晶フィルム一覧

3. NV フィルムの機能 ～偏光板補償とは～

IPS-LCD および VA-LCD は視野角特性に優れた LCD の方式であり、TN-LCD をはじめとする他の方式に比べ液晶セルそのものに起因する視野角特性の低下はほとんど無い。一方で LCD を構成するもう 1 つの要素である偏光板に起因する視野角特性の低下は他の方式同様に存在しており、NV フィルムはこの偏光板起因の視野角特性低下を改善（偏光板補償）するために用いられている。ここで、偏光板起因の視野角特性の低下について詳しく述べる。先述のとおり、LCD は液晶セルとそれを挟む 2 枚の偏光板で構成されており、多くの場合、これら 2 枚の偏光板は吸収軸が直交するように配置されている。このような 2 枚の偏光板を透過する光について考えると、垂直に入射する光（観察者が偏光板を真正面から見る状態に相当）は透過することができないため引き締まった黒表示が実現される（図 5- (a)）。ところが斜めに入射する光（観察者が偏光板を斜めから見る状態に相当）に対しては 2 枚の偏光板の吸収軸は直交ではなく見かけ上 90 度以上の角度で交差するかのよう振舞うため、光が漏れてしまい厳密な黒表示が実現されないことになる（図 5- (b)）。この問題を解決するために用いられるものが偏光板補償フィルムであり、2 枚の偏光板の間に介在することで偏光を回転させ、斜めに入射する光に対しても光漏れを防ぎ優れた黒表示を実現することができる⁴⁾（図 5- (c)）。

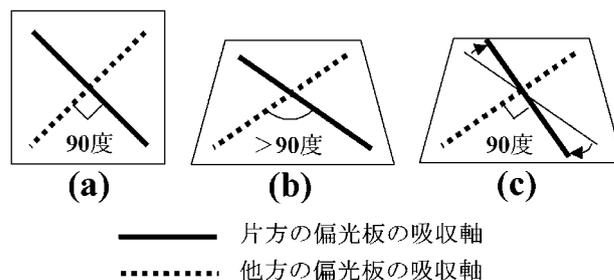


図 5 吸収軸が直交する偏光板を (a) 真上から見たとき、(b) 偏光板補償フィルムなしで斜めから見たとき、(c) 偏光板補償フィルムありで斜めから見たときの比較

そのような機能を持つフィルムとして図6に示したような屈折率異方性をもつフィルムが有効であることが分かっている⁵⁾。この図で n_x 、 n_y はフィルム面内の屈折率、 n_z はフィルムの厚み方向の屈折率を表している。一般的な延伸フィルムにおいては延伸方向の屈折率が大きくなるため厚み方向の屈折率 n_z は最小になり、図6に示したような屈折率異方性($n_x > n_z > n_y$)を実現することは難しい。現状では収縮性のフィルムを用いた特殊な延伸方法⁶⁾によって厚み方向屈折率の大きなフィルムが実現されているが、製造方法が複雑なため生産性が低く、また非常に厚いフィルムとなってしまうため、用途が限られている現状にある。

そこで、当社は高分子液晶を垂直配向させ硬化したNVフィルム($n_z > n_x = n_y$)と汎用の環状オレフィン系延伸フィルム($n_x > n_y > n_z$)を組み合わせることで、擬似的に図6と同等な屈折率異方性をもつ偏光板補償フィルムを実現した(図7)。このフィルムをIPS-LCDおよびVA-LCDに適用することで得られた優れた視野角補償効果について次に述べる。

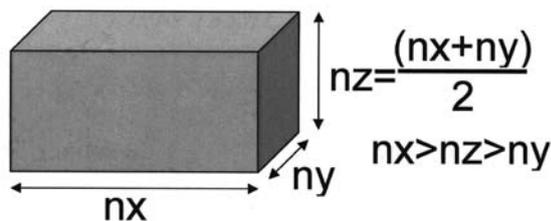


図6 偏光板補償に有効な屈折率異方性構造

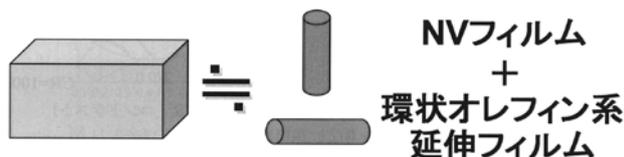


図7 NVフィルムと環状オレフィン系延伸フィルムによる偏光板補償

4. NVフィルムによるIPS-LCDの視野角補償

図8-(a), (b)にNVフィルムを適用した場合としない場合のIPS-LCDのフィルム構成を示す。この図でNVフィルムと環状オレフィン系延伸フィルムは液晶セルの上側に配置されているが、下側に配置することも可能である。

図9-(a), (b)にIPS-LCDにNVフィルムを適用した場合としない場合の等コントラスト領域を光学シミュレーションにより計算した結果を示す。コントラストとは、ディスプレイで表示できる最も明るい状態(白表示)と最も暗い状態(黒表示)の明るさ(輝度)の比であり、一般に高いほど良い。コントラストは正面で最も高くなり、視線を斜めに倒していくにつれ低下する傾向があり、高コントラスト領域

が広いほど視野角特性が良いとされる。図9ではコントラストが20、100、200の等高線を示してあり、円の中心がLCDを正面から見たコントラストを、同心円状に外に行くにつれてLCDを傾けて見たコントラストを、そして円周部はLCDを80度傾けて見たコントラストを表している。また円の方角はLCDを傾けて見る際の傾ける方向に対応している。図9に示したとおり、NVフィルムを用いることでコントラストが200以上の領域が顕著に拡大しており、また方位角290度付近を除いてほぼ全ての視野角でコントラストが100以上になるという結果が光学シミュレーションによって得られた。

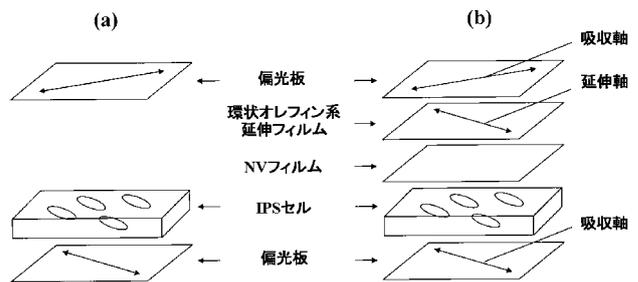


図8 IPS-LCDのフィルム構成
(a) NVフィルムなし、(b) NVフィルムあり

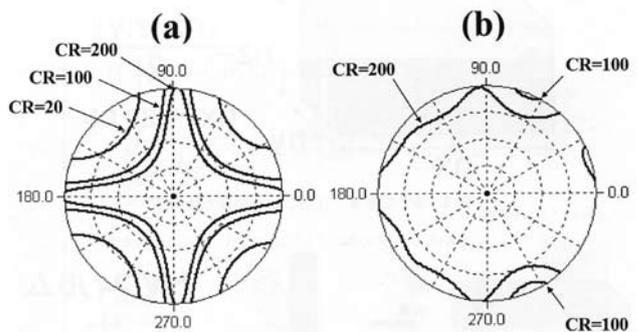


図9 IPS-LCDの視野角特性光学シミュレーション結果(CR:コントラスト)
(a) NVフィルムなし、(b) NVフィルムあり

次に光学シミュレーション結果を受け、実際に市販のIPS-LCDにNVフィルムを適用した場合の等コントラスト領域を測定した。実測結果を図10-(a), (b)に示す。光学シミュレーションによる予想通り、実測においても高コントラスト領域の拡大効果を確認できた。

また、IPS-LCDにNVフィルムを適用することで白表示の色味が改善するという効果も得られた。図11には白表示をしたIPS-LCDを斜め60度から見た際の色味の変化をグラフに示した。このグラフでx、yは色座標を表しており、図中○印で表した点が着色の無いニュートラルな白色の座標であり、そこから離れるほど着色が強いことを表す。NVフィルムを適用した場合、グラフ上のプロットが○印周辺に集中しており、色味変化の少ない表示が得られた。

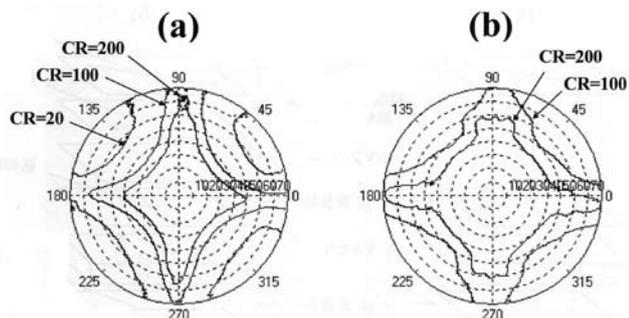


図 10 IPS-LCDの視野角特性実測結果(CR:コントラスト)
(a)NVフィルムなし、(b)NVフィルムあり

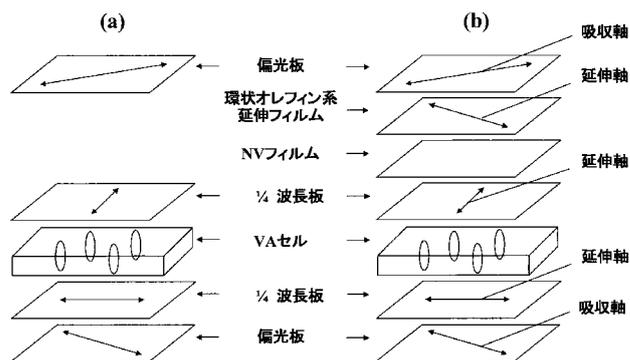


図 12 VA-LCDのフィルム構成
(a)NVフィルムなし、(b)NVフィルムあり

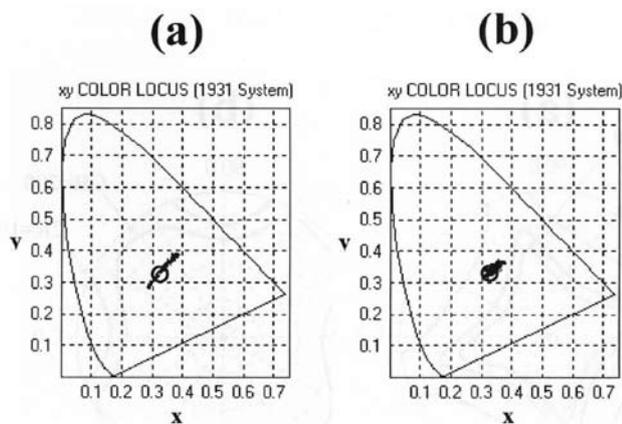


図 11 IPS-LCDの色味特性実測結果(○印:着色の無い理想的な座標)
(a)NVフィルムなし、(b)NVフィルムあり

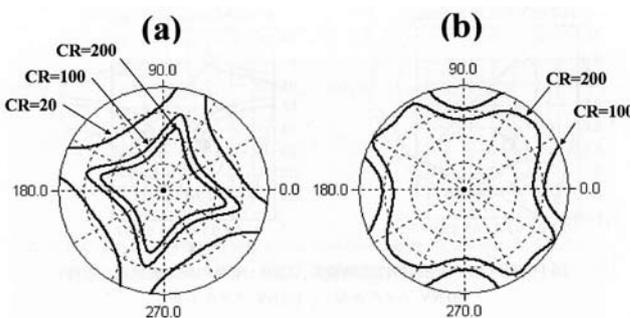


図 13 VA-LCDの視野角特性光学シミュレーション結果(CR:コントラスト)
(a)NVフィルムなし、(b)NVフィルムあり

5. NV フィルムによるVA-LCDの視野角補償

図12-(a), (b)にNVフィルムを適用した場合としない場合のVA-LCDのフィルム構成を示す。この図でNVフィルムと環状オレフィン系延伸フィルムは液晶セルの上側に配置されているが、下側に配置することも可能である。

図13-(a), (b)にVA-LCDにNVフィルムを適用した場合としない場合の等コントラスト領域を光学シミュレーションにより計算した結果を示す。なお、VA-LCDにはコントラストを重視した「直線偏光VA」と画面輝度を重視した「円偏光VA」という2つの方式があり、当社では「円偏光VA」へのNVフィルム適用を提案している。図13に示したとおり、NVフィルムを用いることでVA-LCDの視野角特性を大幅に改善できるという結果が光学シミュレーションによって得られた。

次に実際に市販のVA-LCDにNVフィルムを適用した等コントラスト領域を測定した。実測結果を図14-(a), (b)に示す。光学シミュレーション結果同様、実測においても視野角特性の改善効果を確認できた。

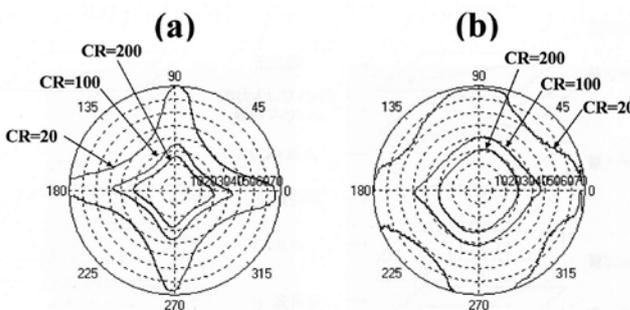


図 14 VA-LCDの視野角特性実測結果(CR:コントラスト)
(a)NVフィルムなし、(b)NVフィルムあり

6. まとめ

各種LCDの視野角補償に用いられるLCフィルム、NHフィルム、NVフィルムについて紹介した。特にIPS-LCD、VA-LCDの偏光板補償に好適なNVフィルムについて、光学シミュレーション結果、実測結果をもとにその優れた特性について報告した。今回紙幅の都合でLCフィルム、NHフィルムの説明については割愛させていただいたが、これらのフィルムについて詳細を知りたい方は参考文献⁷⁾をご参照いただきたい。LCD分野の技術進歩はめま

ぐるしいスピードで展開しており、光学フィルムの開発に終わりはない。引き続き時代の先端を捉えた魅力的な製品を開発し、これまで以上にLCD業界における存在感を示していきたい。

－ 参考文献 －

- 1) A. Masaki, T. Uesaka, Y. Kumagai, T. Kaminade, T. Toyooka and Y. Kobori; SID Symposium Digest, “Twisted-Nematic Compensator for Reflective Color NB-STN-LCDs with a Single Polarizer” , 32, 452-455, (2001).
- 2) T. Toyooka, E. Yoda, Y. Kobori, T. Yamanashi and H. Ito; SID Symposium Digest, “Optical Design for Wide-Viewing-Angle TN-LCD with Hybrid Aligned Nematic Compensation Film” , 29, 698-701, (1998).
- 3) E. Yoda, T. Uesaka, T. Ogasawara and T. Toyooka; SID Symposium Digest, “Wide-Viewing-Angle Transflective TFT-LCDs with Hybrid Aligned Nematic Compensators” , 33, 762-765, (2002).
- 4) T. Ishinabe, T. Miyashita and T. Uchida; Jpn. J. Appl. Phys., “Wide-Viewing-Angle Polarizer with a Large Wavelength Range” , 41, 4553-4558, (2002).
- 5) Y. Saitoh, S. Kimura, K. Kusafuka and H. Shimizu; Jpn. J. Appl. Phys., “Optimum Film Compensation of Viewing Angle of Contrast in In-Plane-Switching-Mode Liquid Crystal Display”, 37, 4822-4828, (1998).
- 6) 吉見裕之, 長塚辰樹, 藤村保夫; 特許第 2818983 号.
- 7) 西村涼, 上坂哲也, 豊岡武裕; ENEOS Technical Review, “日石 LC フィルムによる携帯電話用液晶ディスプレイの高性能化” , 47, 1, 19-23.