平成13年度

卒業論文

LCDパネルへの ネマティック液晶注入の実験

高知工科大学工学部 知能機械システム工学科 知能流体力学研究室

岩崎 睦

目次

第1章			緒言			
	1.	1	はじめに		1	
	1.	2	液晶		2	
第2章			実験			
	2.	1 N	/IBBA		3	
	2.	2 🗐	ミ験装置		4	
	2.	3 L	.CD パネル		6	
	2.	4 ′	ブラフ化		9	
第3章			実験結果・考	察		
	3.	1	LCD パネル	の実験	1 ()
	3.	2	LCD パネル	の実験	1 4	1
	3.	3	LCD パネル	の実験	2 ()
	3.	4	LCD パネル	の実験	2 3	3
	3.	5	考察		2 8	3
第4章			シミュレーシ	ョン結果との比較		
	4.	1	LCD パネル	についての比較	3 4	1
	4.	2	LCD パネル	についての比較	3 5	5
第5章			結言		3 6	5
参考文南	ť				3 7	7
謝辞					3 8	3

第1章 緒言

1.1 はじめに

現在,ディスプレイとして,CRT(Cathode-ray tube)ディスプレイ,蛍光表示管(Vacuum Fluorescent Display; VFD), プラズマディスプレイ(Plasma Display Panel; PDP), エレクトロルミネセンス(Electro Luminescence; EL),発光ダイオード(Light Emitting Diode; LED),液晶ディスプレイ(Liquid Crystal Display; LCD),エレクトロクロミックディスプレイ(Electro-chromic Display; ECD)など様々な種類のものが実用化されている.

LCD には応答速度が遅いことや,使用温度範囲が狭いこと,自ら発光しないため外光が 必要であることなどの短所がある.しかし,LCD は消費電力が少なく,薄型で軽く,安価 で生産できることなど,他のディスプレイでは持ち得ない長所があるため,ディスプレイ として幅広く使用されている⁽¹⁾.また,ディスプレイを携帯する機会が増えたことや,省 スペース化の必要性のためにフラットパネルディスプレイへの要求が高まっているために, LCD の生産性の更なる向上が望まれている.

生産性を上げるためには,液晶ディスプレイの製造に必要な時間を短縮する必要があり, その方法の一つとして,LCD 製造過程中最も多くの時間を必要としている液晶注入過程で の所要時間を短縮することが考えられる.LCD への液晶注入の所要時間には,注入口の位 置と,その大きさが強く影響している.そのため,液晶注入過程での所要時間を短縮する ためには,最適な注入口の位置と,その大きさを知ることが重要である.注入口の位置や 大きさを決定するためには,まず,LCD パネル内での液晶の流動を明らかにしなければな らない.したがって,液晶注入プロセスをシミュレーションできるソフトウェアが必要で あり,そのためのソフトウェアは既に開発されている.よって,シミュレーションした結 果の正確さを実験によって確認する必要がある.

また,リアルタイムで,液晶の流れの先端部分,すなわち液晶の自由表面位置を明らか にすれば,液晶注入の現場において,現在製造している LCD パネルのどの位置まで液晶の 注入が完了しているか,ということを知ることが出来る.また,注入の際に,液晶が異常 な流動を示した LCD パネルは不良品である確率が高く,この段階で不良品である可能性が あるものは以降の製造段階を中止すれば,不良品にかけるコストを少しでも削減すること ができる.このような利点があることによっても,LCD パネル内での液晶の自由表面位置 を明らかにする必要が生じてくる.

LCD への液晶注入効率を上げられれば, さらに安価で販売することへと繋がり, 市場での LCD の普及率を上げることができる.本研究の目的は,液晶注入の実験を行い, LCD パネル内における液晶の自由表面位置を明らかにし,その結果と数値計算によってシミュレーションしたものとを比較することで,液晶注入効率の向上に寄与することである.

1.2 液晶

液晶(liquid crystal)とは,ある物質が固体結晶と等方性液体との中間を示す状態である.結晶状態にある物質の分子は,重心の位置や方向が,規則に従って並んでいるが,液体状態においては,分子の重心の位置と,方向の規則性の,そのどちらも持たない.分子がその重心の位置の規則性(秩序)は失っているが,方向の規則性をおおよそ保っているという状態が液晶である.したがって,液晶は液体の特徴である流動性をもつ一方で,結晶の持つ異方性も持っている.液晶という名前のほかに中間相(mesophase またはmesomorphic phase)と呼ばれることもある⁽²⁾.

現在,LCD で使用されている液晶はサーモトロピック液晶の中のネマティック液晶に分類される液晶である.サーモトロピック液晶とは,その物質固有のある温度で結晶から液晶へと転移し,またさらに高温のある温度で液晶から等方性液体へと転移する.従って, ある範囲内でのみ液晶の状態をとる物質である⁽²⁾.図1.2にネマティック相の特徴を示す.

ネマティック液晶では,分子は位置に関する秩序を持たず,分子の方向に関する秩序(図 1.2 中では矢印の向き)のみが存在する⁽³⁾.この方向を指定するためにダイレクターと呼 ばれる単位ベクトルnが使用されている⁽²⁾.



図1.2 ネマティック相の特徴

第2章 実験

2.1 MBBA

本実験ではネマティック液晶を発生させる

N - (p - methoxy benzylidene) - p' - butyl aniline (以下 MBBA)を使用する.化学構造を図 2.1 に示す.



転移温度については温度を上げた場合と下げた場合で多少の違いがあることがあるが, MBBA の場合は約 22 以下では固体結晶の状態,約 22 以上,47 以下では液晶状態,約 47 以上になると等方性液体の状態を示す,サーモトロピック液晶である.

MBBA の Leslie 粘性係数⁽⁴⁾は表 2.1 に示す通りである.*t* は液晶の温度を示す.Leslie 粘性係数の単位は Pa・s である.

Leslie 粘性係数	計算式	
1	$-0.0215 + 0.0034 / 10 \times (t - 20)$	
2	-0.1534 + 0.0043 / 10 × (<i>t</i> – 20)	
3	-0.000773 - 0.000331 / 10 × (<i>t</i> – 20)	
4	0.1095 - 0.0269 / 10 × (<i>t</i> – 20)	
5	0.1071 - 0.0292 / 10 × (<i>t</i> – 20)	
6	-0.0471 + 0.0135 / 10 × (<i>t</i> – 20)	

表 2.1 Leslie 粘性係数

2.2 実験装置

LCD パネルを簡略化した図を図2.2 に示す.LCD パネルは二枚のガラス板をシール材 で貼り合わせた物である.注入口がある辺以外の三辺はシール材によって密封されており, ガラス板二枚の隙間と外部での物質の行き来は注入口を通ることによってしかなされない.



図 2.2 LCD パネル簡略図

図2.3に本研究で使用した実験装置の概略を示す.

液晶注入は真空状態で行わなければならないため,真空内でLCDパネルを移動させなけ ればならない.モータの軸とネジ棒,ネジ棒に通したナットを連結し,クリップによって LCDパネルを支持している.モータと連結していない側の丸棒は,支持するためのもので ある.そのため,モータを駆動させることによりネジ棒が回転し,LCDパネルは上下方向 に移動する.また,ネジ棒と丸棒の上部には,前後左右方向へのぶれを防止するためにガ イドを取り付けてある.土台部分には液晶を溜めておくために溝(liquid crystal bath)を 掘ってある.LCDパネルの両面には偏光板をクロスニコルで貼りつけている.さらにその 後方にはELパネルを光源として取りつけている.偏光板を使用する理由は,偏光板が一方 向に振動する光しか透過させない性質を持っているためである.そのため,偏光板二枚の 偏光軸を直行させ,クロスニコルの状態で貼り合わせると,一枚目で透過できた光も二枚 目では遮断され,通常では光が透過できない.しかし,液晶は異方性があるために,光の 振動方向を変化させる性質を持つ.従って,偏光板をクロスニコルで貼り付けてあっても, その偏光板間に液晶が入ることにより,何も無い場合では透過できなかった光が透過でき る.したがって,偏光板と光源を使用することにより,液晶がLCDパネルのどの位置まで 入っているかを観察することが可能となる.

なお,ここで使用する真空ポンプは,BOC EDWARDS 社 RV8 Rotary Vane Pump であ り,-0.1MPa までの真空引きが可能である.



図2.3 実験装置概略

本実験ではディップ方式⁽³⁾により液晶注入を行う.ディップ方式とは,真空中で容器に 溜めた液晶にパネルの注入口側端面全体を浸け,その後大気圧に戻し液晶注入を行う方法 である.

実験手順について述べる.まず,真空ポンプを動作させバルブ1を開放し,チャンバー 内,LCDパネル内を真空引きしておく.バルブ1を閉鎖し,真空ポンプを停止させ,モー タを駆動してLCDパネルを下方にある液晶に接液する.これは注入口を液晶で塞ぎ,LCD パネル内を真空状態に保つことでもある.したがって,この段階ではチャンバー,LCDパ ネル内の両者ともに真空である.その後バルブ2を開放してチャンバー内を大気圧に戻す. この時,LCDパネル内は真空状態のままであるが,チャンバー内は大気圧であるためにチ ャンバー内と LCD パネル内で圧力差が生じる.その圧力差と LCD パネルの注入口が液晶 に接液することによって生じる毛細管現象によって液晶が LCD パネル内へと入り込んでい く.その様子をビデオカメラで撮影し,その映像から液晶の自由表面位置を明らかにする.

2.3 LCD パネル

本実験では4通りの LCD パネルについて実験を行った.それぞれの LCD パネルにおい ての液晶が見える部分のサイズを以下に示す.単位は mm である.セルギャップ(二枚の ガラス板間の厚み)はすべて5µm である.液晶の自由表面位置を座標にするため,横軸方 向を x,縦軸方向を y と置く.LCD パネル と は同サイズであり, のパネルの注入口 を片方塞いだものが のパネルである.また同様に LCD パネル と は同サイズであり, のパネルの注入口を片方塞いだものが のパネルである. LCD パネル



図 2.4 の LCD パネルサイズ

LCD パネル



図 2 . 5 の LCD パネルサイズ

LCD パネル



図 2.6 の LCD パネルサイズ

LCD パネル



図 2.7 の LCD パネルサイズ

2.4 グラフ化

実験で得られた画像を二値化しグラフを作成する.実験の映像をビデオカメラに撮影し, コンピュータに取り込む.画像の色の数値を1ピクセルごとに取り出し,予め設定したし きい値よりも画像の一点の数値が大きければ,すなわち画像が明るければ白く,反対に画 像の一点の数値がしきい値よりも小さければ,すなわち画像が暗ければ黒く表示し,二値 化を行い,その色の境界部分の座標を取り出すプログラムを作成した.

図 2.8, a はビデオカメラで LCD パネル の実験の模様を撮影した画像であり,図2. 8, b は図2.8, a をプログラムにより二値化した画像である.図2.8, b での色の境界部 分の座標を取り出してグラフ化すると図2.8, c になる.



図 2.8,a の二値化後

ビデオカメラの映像

図 2.8,C 図 2.8,bのグラフ化

第3章 実験結果・考察

3.1 LCD パネル の実験

本実験は,2.3節 LCD パネル を用いて

- ・室温 25
- ・液晶の温度 真空時 22

注入中 24

- ・湿度 32%
- ・粘度 [Pa・s] (24 の場合)
 - 1 = -0.021415
 - ₂ = -0.152325
 - $_{3} = -0.000781275$
 - 4 = 0.1088275
 - ₅ = 0.10637
 - ₆ = -0.0467625

の条件下で3時間連続して脱気した直後にLCDパネルへの液晶注入を開始した.

実験の映像を図3.1に示す. t は接液後の経過時間を表す.LCDパネルに液晶が既に 注入されている部分は光が透過できるために明るく,そうでない部分は黒くなっている.







⊠ 3.1.2



 $t = 100 \, \sec$ ⊠ 3.1.3



t = 200 sec ⊠ 3 . 1 . 4



 $t = 400 \sec 23.1.5$



 $t = 600 \sec 3 \cdot 1 \cdot 6$



t = 800 sec 図 3 . 1 . 7



t = 1000 sec ⊠ 3 . 1 . 8



t = 1200 sec 図 3 . 1 . 9



t = 1400 sec ⊠ 3 . 1 . 10



t = 1600 sec ⊠ 3 . 1 . 11



t = 1800 sec ⊠ 3 . 1 . 12



t = 2000 sec ⊠ 3 . 1 . 13



t = 2200 sec ℤ 3 . 1 . 14



 $t = 2400 \sec 23 \cdot 1 \cdot 15$



LCD パネル への液晶注入に 2820 秒を要した.図3.1の画像を二値化し,自由表面位 置の座標をグラフ化したものを図3.2に示す.グラフの間隔は 200 秒である.



図 3.2 LCD パネルの実験における LCD パネル内の自由表面位置の時間変化

3.2 LCD パネル の実験

本実験は,2.3節 LCD パネル を用いて

- ・室温 25
- ・液晶の温度 真空時 22

注入中 23

- ・湿度 52%
- ・粘度 [Pa・s] (23 の場合)
 - $_{1}$ = -0.021386666
 - ₂ = -0.151966666
 - ₃ = -0.000784033
 - 4 = 0.108603334
 - ₅ = 0.106126667
 - ₆ = -0.04665

図3.3.1

の条件下で3時間連続して脱気した直後にLCDパネルへの液晶注入を開始した.実験の映像を図3.3に示す.*t* は接液後の経過時間を表す.



t = 50 sec🗵 3 . 3 . 2

t = 100 sec ⊠ 3 . 3 . 3



t = 200 sec ⊠ 3 . 3 . 4



t = 400 sec 図 3 . 3 . 5



t = 600 sec 図 3 . 3 . 6



t = 800 sec 図 3 . 3 . 7



t = 1000 sec ⊠ 3 . 3 . 8



t = 1200 sec ⊠ 3 . 3 . 9



 $t = 1400 \, \sec$ 図3.3.10

 $t = 1600 \, \sec$ 図3.3.11

 $t = 1800 \, \sec$ 図3.3.12



図3.3.13

🛛 3 . 3 . 15



t = 2600 sec ⊠ 3 . 3 . 16



t = 2800 sec ⊠ 3 . 3 . 17



t = 3000 sec 図 3 . 3 . 18



t = 3200 sec ⊠ 3 . 3 . 19



t = 3400 sec ⊠ 3 . 3 . 20



t = 3600 sec ⊠ 3 . 3 . 21



t = 3800 sec ⊠ 3 . 3 . 22



t = 4000 sec ⊠ 3 . 3 . 23



t = 4200 sec ⊠ 3 . 3 . 24



t = 4320 sec(注入完了) 図 3.3.25

LCD パネル への液晶注入に 4320 秒を要した. *t* = 800sec 以降の画像では,図の左下 部に暗い部分が確認されるが,この部分の液晶の注入は既になされており,偏光板と光源 の間に液晶が浸入し,光の透過量に変化が生じたものと考えられる.

図 3.3 の画像を二値化し,自由表面位置の座標をグラフ化したものを図 3.4 に示す. グラフの間隔は 200 秒である.



図 3.4 LCD パネルの実験における LCD パネル内の自由表面位置の時間変化

3.3 LCDパネル の実験

本実験は,2.3節LCDパネル を用いて

- ・室温 25
- ・液晶の温度 真空時 24

注入中 25

- ・湿度 22%
- ・粘度 [Pa・s] (25 の場合)
 - $_{1}$ = -0.021432
 - ₂ = -0.15254
 - $_{3}$ = -0.00077962
 - 4 = 0.108962
 - ₅ = 0.106516
 - ₆ = -0.04683

の条件下で3時間連続して脱気した直後にLCDパネルへの液晶注入を開始した.実験の映像を図3.5に示す. *t* は接液後の経過時間を表す.



t = 0 sec ⊠ 3.5.1



t = 50 sec 図 3.5.2



t = 100 sec ⊠ 3.5.3





t = 1400 sec ⊠ 3.5.10



t = 1600 sec ⊠ 3.5.11



t = 1800 sec 図 3.5.12



2200 秒で注入が終了した.中央やや左部分に黒点が確認される.これは後部の光源の光 が弱い部分であり,液晶の注入は完了している.左下部にも暗い部分が確認される.これ は3.2節に述べたものと同じ理由であると考えられる.図3.5の画像を二値化し,自由 表面位置の座標をグラフ化したものを図3.6に示す.グラフの間隔は200秒である.



図 3.6 自由表面位置の座標 LCD パネル

3.4 LCDパネル の実験

本実験は,2.3節LCDパネル を用いて

- ・室温 25
- ・液晶の温度 真空時 25

注入中 25

- ・湿度 30%
- ・粘度 [Pa・s] (25 の場合)
 - $_{1}$ = -0.021432
 - $_2$ = -0.15254
 - $_{3}$ = -0.00077962
 - 4 = 0.108962
 - ₅ = 0.106516
 - ₆ = -0.04683

の条件下で3時間連続して脱気した直後 LCD パネルへの液晶注入を開始した.実験の映像 を図7に示す. *t* は接液後の経過時間を表す.



t = 0 sec 図3.7.1 t = 50 sec 図 3.7.2 t = 100 sec 図 3.7.3



t = 200 sec ⊠ 3.7.4

t = 400 sec ⊠ 3.7.5

t = 600 sec ⊠ 3.7.6



t = 800 sec ⊠ 3.7.7

t = 1000 sec 図 3.7.8

t = 1200 sec 図 3.7.9



t = 1400 sec ⊠ 3.7.10

t = 1600 sec 図 3.7.11

t = 1800 sec 図 3 . 7 . 12



t = 2000 sec ⊠ 3.7.13

t = 2200 sec ⊠ 3.7.14

t = 2400 sec 図 3.7.15



t = 2600 sec ⊠ 3.7.16

t = 2800 sec 図 3.7.17

t = 3000 sec 図 3.7.18



t = 3200 sec ⊠ 3.7.19

t = 3400 sec 図 3.7.20

t = 3600 sec 図 3.7.21



 t = 3800 sec
 t = 4000 sec(注入完了)

 図 3 . 7 . 22
 図 3 . 7 . 23

図 3.7 の画像を二値化し,自由表面位置の座標をグラフ化したものを図 3.8 に示す. グラフの間隔は 200 秒である.



図 3.8 LCD パネルの実験における LCD パネル内の自由表面位置の時間変化

3.5 考察

各 LCD パネルでの液晶注入所要時間は,

- ・LCD パネル 2820 秒
- ・LCD パネル 4320 秒
- ・LCD パネル 2200 秒
- ・LCD パネル 4000 秒

であった.

まず,同サイズで注入口の数に着目して比較を行う.LCD パネル と の接液後の経過 時間 *t*=1000,2000 秒での自由表面位置を図3.9 にグラフ化した.



図 3.9 LCD パネル と の同時刻での自由表面位置の比較

注入口が二箇所(この場合注入口の幅も二倍となる)のLCDパネルの方の液晶注入が 1500秒早く完了した. LCD パネル と の LCD パネル *x* 軸中心付近での時間による *y* 座標の変化を図 3.10 にグラフ化した.



図 3.10 LCD パネル と の x 軸中心付近での時間変化による比較

やはり傾きに大きな差があることが確認できた.

同様に LCD パネル と についての比較も行った . LCD パネル と の接液後の経過 時間 *t* =1000, 2000 秒での自由表面位置を図 3.11 にグラフ化した .



図 3.11 LCD パネル と の同時刻での自由表面位置の比較

注入口が二箇所(この場合注入口の幅も二倍となる)のLCDパネルの方の液晶注入が 1800秒早く完了した. LCD パネル と の LCD パネル *x* 軸中心付近での時間による *y* 座標の変化を図 3.10 にグラフ化した.



図 3.12 LCD パネル と の x 軸中心付近での時間変化による比較

また,LCDパネル内の容積だけで単純に判断すれば,LCDパネルの容積は67.645mm³であり,LCDパネルの容積は70.2125mm³であるため,LCDパネルの方の容積が大きく,LCDパネルの方がたくさんの所要時間を必要とするように感じる.しかし,実験結果より,実際にはLCDパネルの方が620秒多くの所要時間を必要とすることが明らかになった.これは,両壁面の影響と,高さ方向に液晶を注入するよりも,横方向に液晶を注入する方が効率良く注入できたためであると考えられる.LCDパネルとのLCDパネルのx軸中心付近でのy座標の時間による変化を図3.13にグラフ化した.



図 3.13 LCD パネル と の x 軸中心付近での時間変化による比較



図 3.14 LCD パネル と の x 軸中心付近での時間変化による比較

x軸中心付近での自由表面位置が, y軸最大値に届くまでのグラフの傾きは, 図 3.13, 3.14 ともに両者近似している.

4.1 LCD パネル についての比較

3.1 節 LCD パネル の実験と, LCD パネルサイズ, 液晶の温度等を同条件にして行った数値シミュレーション結果⁽⁵⁾との比較を 200 秒間隔でグラフ化し,図4.1 に示す.



図4.1 数値シミュレーション結果と実験結果との比較

シミュレーションでは,2624 秒で注入が完了した.シミュレーション結果と実験結果を 比較すると,注入開始直後の形状に違いが見られるものの,実験での注入所要時間は2820 秒であったため,注入時間についてはおおむね良好な結果が得られた.この注入開始直後 の形状の差については,数値シミュレーションする際の初期条件として接液後の経過時間 *t*=0 のとき,すでに液晶が LCD パネル内に *x* 軸に平行に *y*=5 mm の位置まで注入され た状態からスタートしているために生じたものであると考えられる. 同様に 3.2 節 LCD パネル の実験と同条件で行った数値シミュレーション結果を 200 秒間隔でグラフ化し図 4.2 に示す.



図4.2 数値シミュレーション結果と実験結果との比較

シミュレーションでの注入所要時間は 3863 秒であった.実験結果では 4320 秒であった ため,ややシミュレーション結果の方での注入時間が短めである.これはやはり 4.1 節 LCD パネル についての比較で述べたスタート位置の違いが影響しているためと考えられ る.LCD パネルの壁面での形状に違いが見られるが,LCD パネルへの液晶注入全体として はあまり影響も無く,注入所要時間や,この LCD パネルの注入口位置が特異なパターンで あることなどを総合して考えると,数値シミュレーション結果が充分に信用できることが 確かめられた.

第5章 結言

本研究により以下に示すことが明らかになった.

- ・LCD パネルへの液晶注入の所要時間は,LCD パネル内の容積によってのみ決定されるわけではない
- ・LCD パネルへの液晶注入の所要時間は,LCD パネルの形状,注入口の数,位置によって 決定される

また,実験結果と液晶注入の数値シミュレーション結果からは,LCDパネルの内部壁面 付近での自由表面位置に違いが見られたが,注入時間についてはおおむね良好であり,こ の形状の違いが液晶注入全体に及ぼす影響はほとんど無いと考えられる.

数値シミュレーション結果の信頼性を確かめることができる良いデータを得られた.

参考文献

- (1)伊吹順章, ディスプレイデバイス, (1989), 産業図書.
- (2)W.H.de Jeu,液晶の物性,(1991),共立出版.
- (3)液晶若手研究会編,液晶:LCDの基礎と新しい応用,(1998),シグマ出版.
- (4)S. Chandrasekhar,液晶の物理学,(1995),吉岡書店.
- (5) 蝶野成臣, 辻知宏, ネマチック液晶の流動と欠陥の計算機シミュレーション, 液晶, 3,2,107,(1999).

謝辞

本研究を遂行するにあたり,終始懇切丁寧なご指導を賜りました蝶野成臣教授,辻知宏 助手に対し,深く感謝いたします.寺田敦史先輩には,実験装置の加工,実験において助 言頂きました.感謝の意を表します.

また,高知工科大学知能流体力学研究室の皆さんからは多大なるご援助を頂き,あわせて感謝いたします.