# 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	MBBA		3
	2.	2 🥫	実験装置		4
	2.	3 I	LCD 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 0
	3.	2	LCD パネル	の実験	1 4
	3.	3	LCD パネル	の実験	2 0
	3.	4	LCD パネル	の実験	2 3
	3 .	5	考察		2 8
第4章	シミュレーション結果との比較			<sup>'</sup> ョン結果との比較	
	4 .	1	LCD パネル	についての比較	3 4
	4 .	2	LCD パネル	についての比較	3 5
第5章			結言		3 6
参考文献	ţ.				3 7
謝辞					3 8

#### 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<sup>(2)</sup>

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).

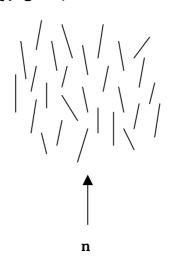


図1.2 ネマティック相の特徴

#### 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.

$$CH_3O$$
 —  $CH$  —  $N$  —  $C_4H$ 

図 2.1 MBBA の化学構造

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  $Pa \cdot s$  である .

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

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.

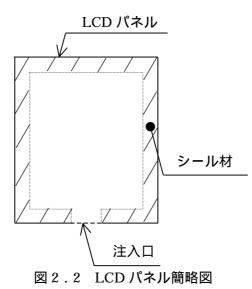


図2.3に本研究で使用した実験装置の概略を示す.

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.

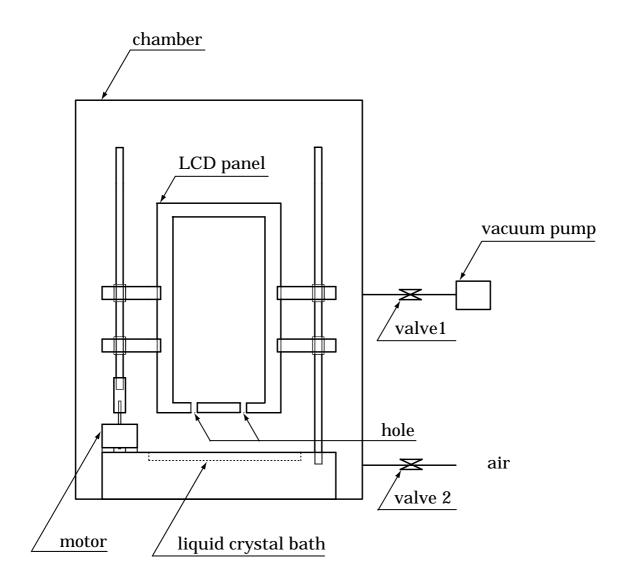


図2.3 実験装置概略

本実験ではディップ方式<sup>(3)</sup>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  $5\,\mu$  m 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

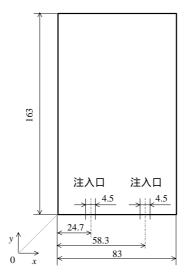


図 2 . 4 の LCD パネルサイズ

## LCD パネル

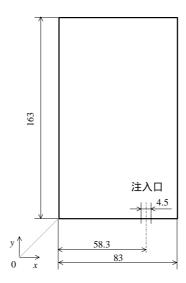


図 2 . 5 の LCD パネルサイズ

## LCD パネル

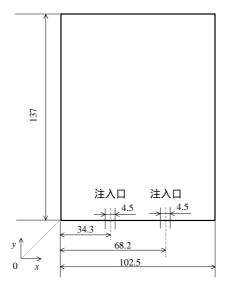


図 2 . 6 の LCD パネルサイズ

## LCD パネル

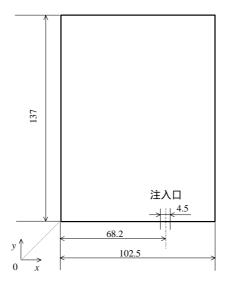
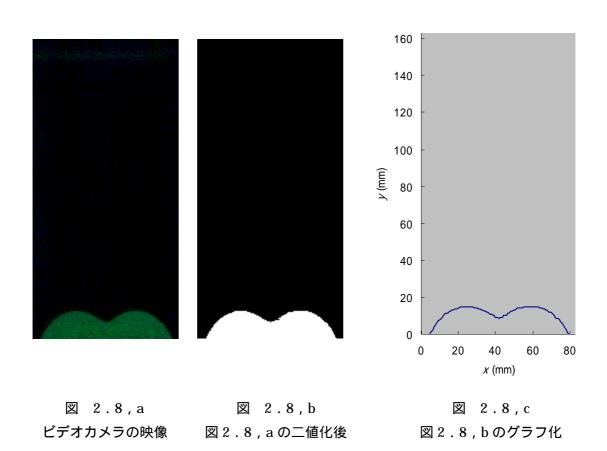


図 2.7 の LCD パネルサイズ

#### 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.



#### 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.



 $t = 0 \sec$ 

図3.1.1



t = 50 sec

図3.1.2



t = 100 sec

図3.1.3







 $t = 600 \sec$   $\boxtimes 3.1.6$ 



 $t = 800 \sec 2 3 \cdot 1 \cdot 7$ 





t = 1200 sec 2 3 . 1 . 9



 $t = 1400 \sec 2$  3 . 1 . 10



 $t = 1600 \sec 3 \cdot 1 \cdot 11$ 



t = 1800 sec  $\boxed{2} 3.1.12$ 



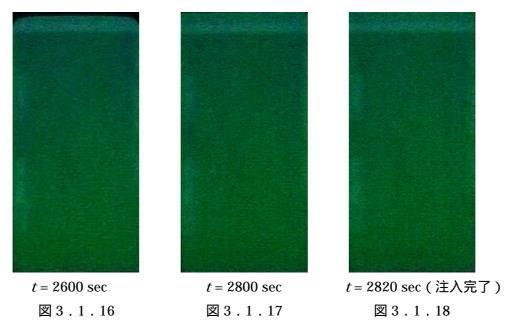
 $t = 2000 \sec 200 \ 3 \cdot 1 \cdot 13$ 



図3.1.14



t = 2400 sec  $\boxed{2}$  3 . 1 . 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.

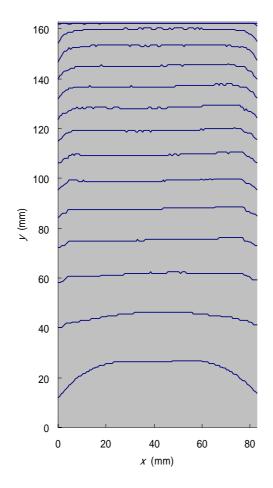


図 3.2 LCD パネル の実験における LCD パネル内の自由表面位置の時間変化

#### 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

<sub>2</sub> = -0.151966666

 $_{3}$  = -0.000784033

 $_{4} = 0.108603334$ 

 $_{5}$  = 0.106126667

 $_{6}$  = -0.04665

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 .



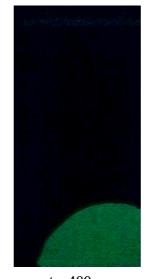


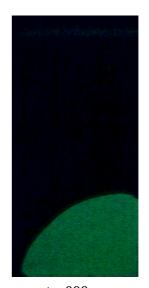


t = 100 sec



 $t = 200 \sec$  ② 3 . 3 . 4





t = 600 sec  $2 3 \cdot 3 \cdot 6$ 



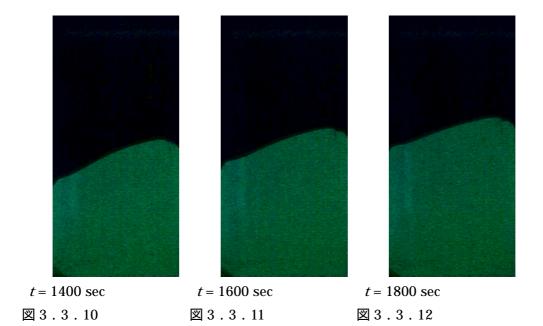
 $t = 800 \sec 23 \cdot 3 \cdot 7$ 

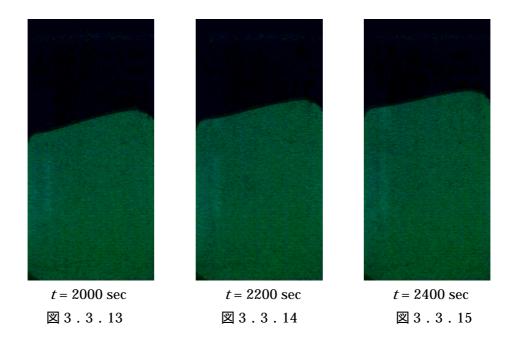


型 3 . 3 . 8



 $t = 1200 \sec$  ② 3.3.9







 $t = 2600 \sec$   $23 \cdot 3 \cdot 16$ 



t = 2800 sec  $\boxtimes 3.3.17$ 



t = 3000 sec  $2 3 \cdot 3 \cdot 18$ 



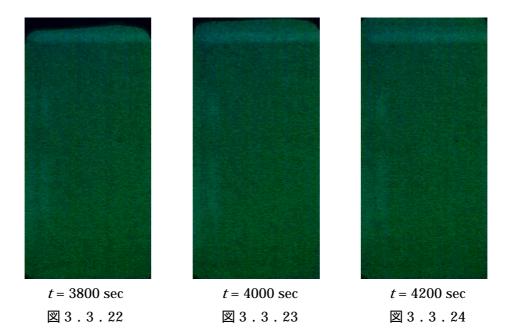
t = 3200 sec 2 3 . 3 . 19



 $t = 3400 \sec 20$  3 . 3 . 20



 $t = 3600 \sec 2$ 23 3 . 3 . 21





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.  $t=800 {
m sec}$  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 .

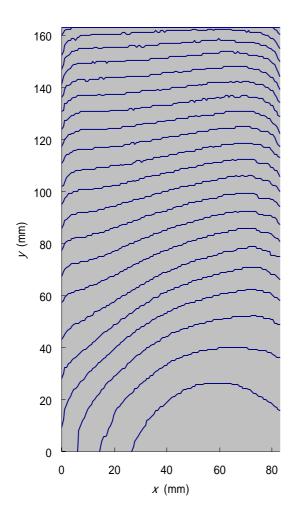


図 3.4 LCD パネル の実験における LCD パネル内の自由表面位置の時間変化

#### 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

<sub>2</sub> = -0.15254

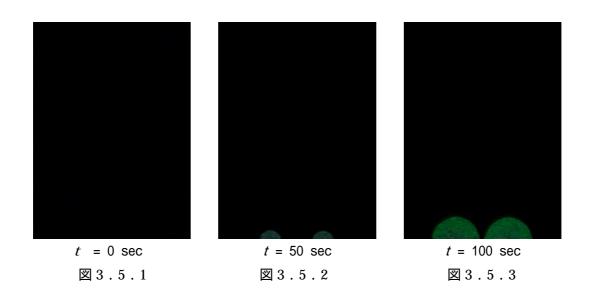
 $_{3}$  = -0.00077962

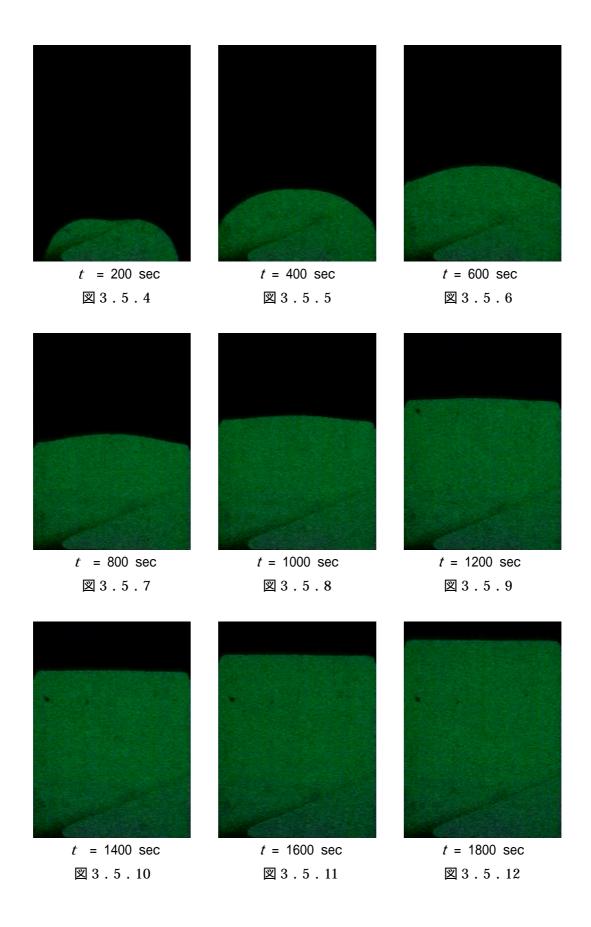
 $_{4} = 0.108962$ 

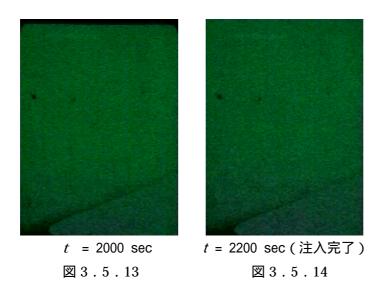
 $_{5}$  = 0.106516

 $_{6}$  = -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 .







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.

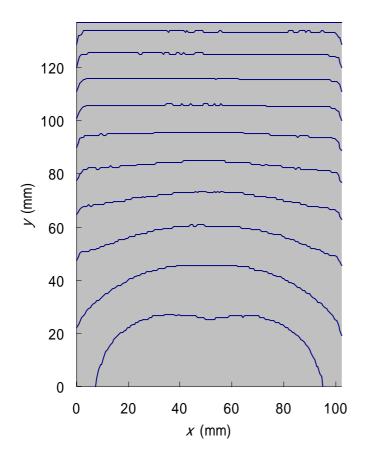


図 3.6 自由表面位置の座標 LCD パネル

#### 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

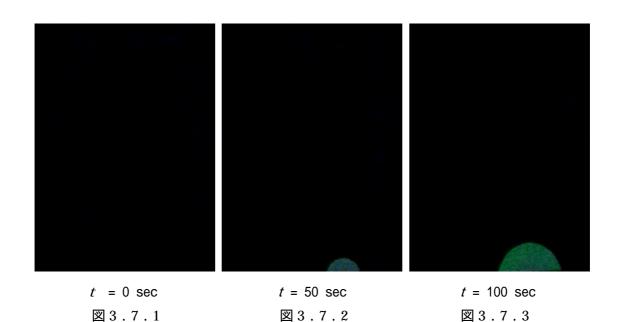
 $_{3}$  = -0.00077962

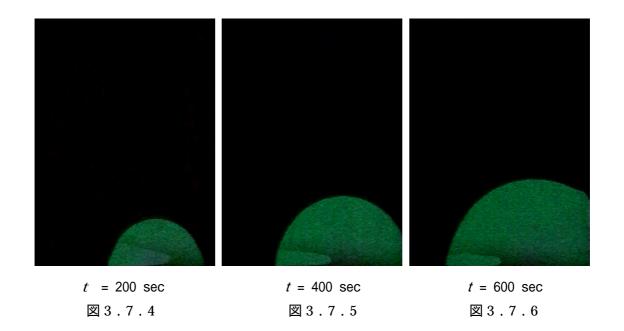
 $_{4}$  = 0.108962

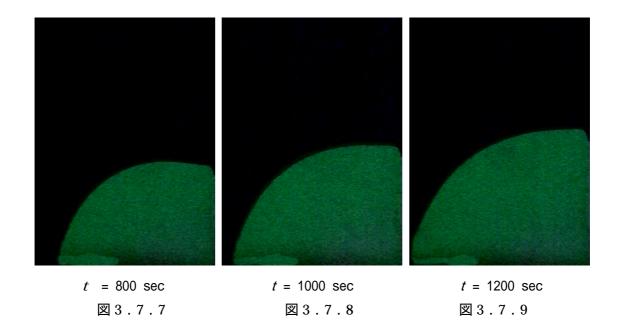
 $_{5}$  = 0.106516

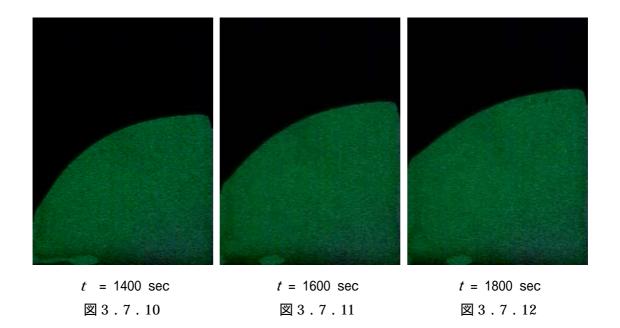
 $_{6}$  = -0.04683

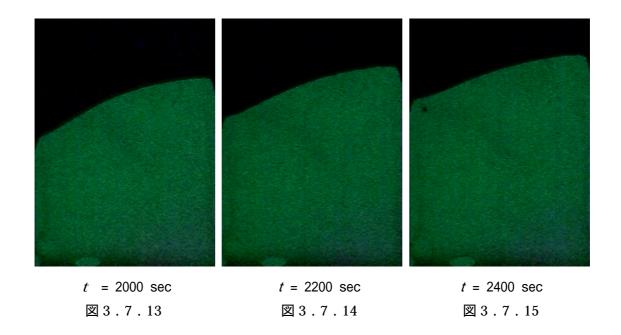
の条件下で3時間連続して脱気した直後 LCD パネルへの液晶注入を開始した.実験の映像を図7に示す. t は接液後の経過時間を表す.

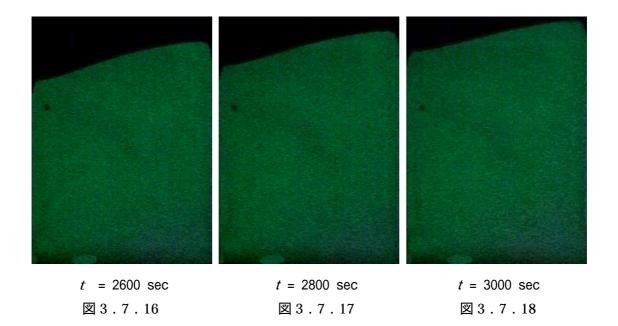


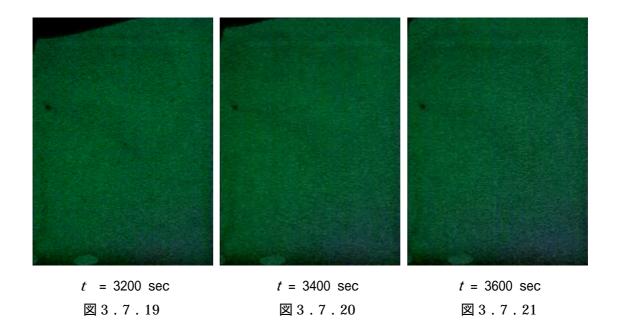












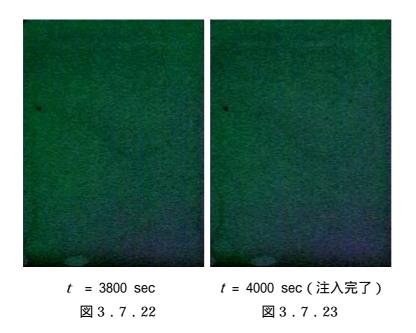


図 3 . 7 の画像を二値化し,自由表面位置の座標をグラフ化したものを図 3 . 8 に示す . グラフの間隔は 200 秒である .

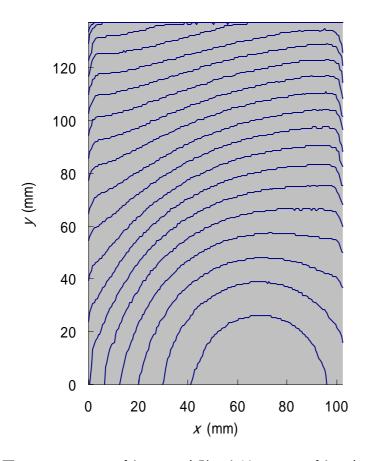


図 3.8 LCD パネル の実験における LCD パネル内の自由表面位置の時間変化

#### 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.

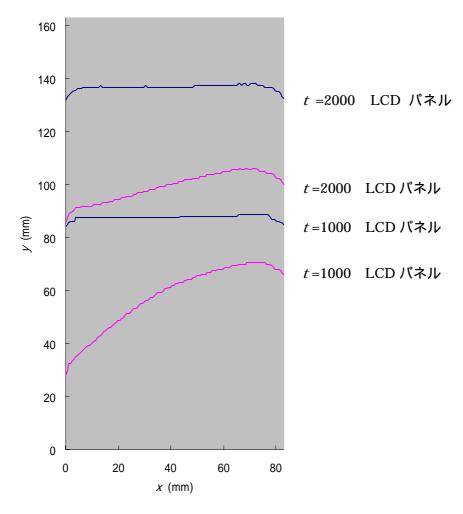


図 3.9 LCD パネル と の同時刻での自由表面位置の比較

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 .

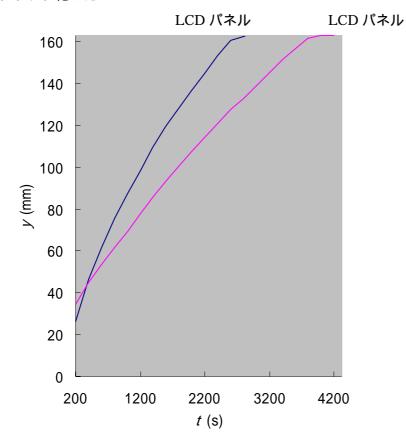


図 3.10 LCD パネル と の x 軸中心付近での時間変化による比較

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 .

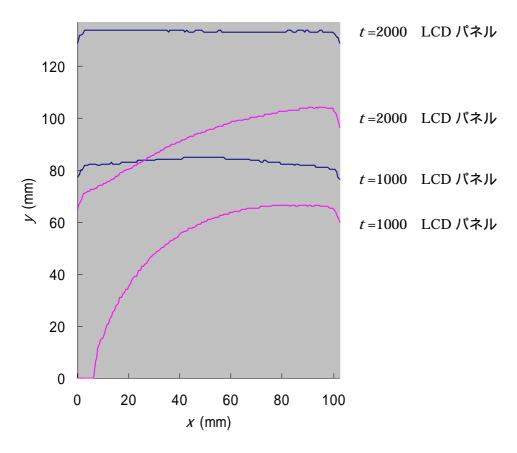


図 3.11 LCD パネル と の同時刻での自由表面位置の比較

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 .

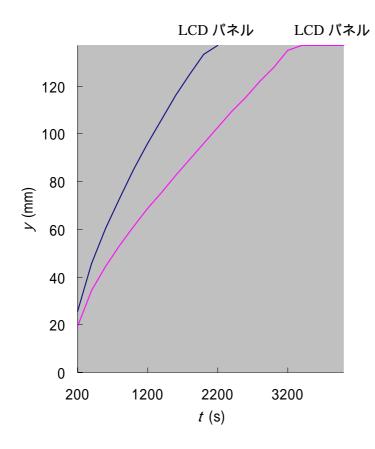


図 3.12 LCD パネル と の x軸中心付近での時間変化による比較

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  $67.645 \,\mathrm{mm}^3$  であり , LCD パネル の容積は  $70.2125 \,\mathrm{mm}^3$  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  $620 \,\mathrm{秒多}$  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.

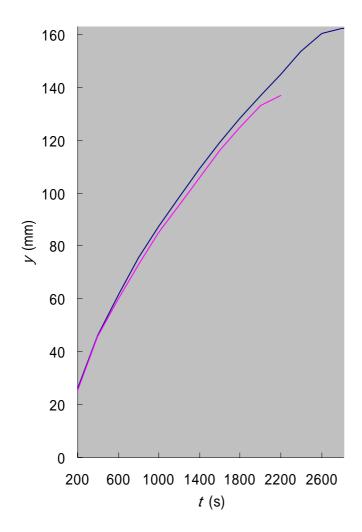
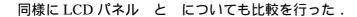


図3.13 LCD パネル と の x 軸中心付近での時間変化による比較



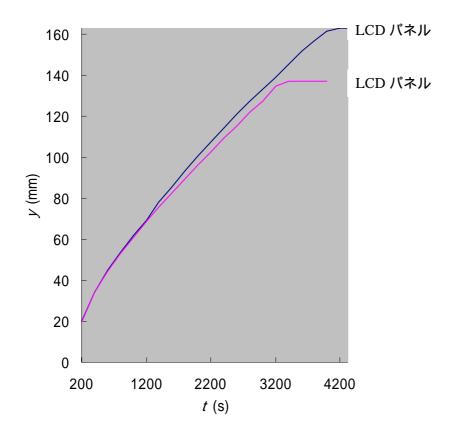


図 3.14 LCD パネル と の x軸中心付近での時間変化による比較

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.

#### 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

3.1 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.

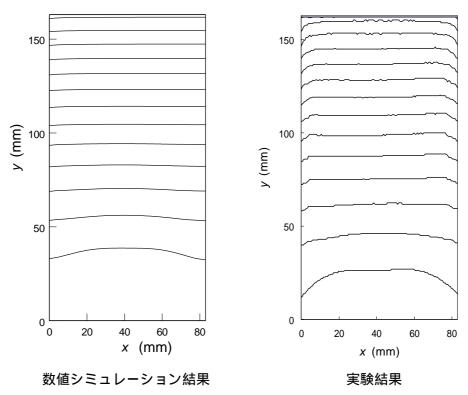


図4.1 数値シミュレーション結果と実験結果との比較

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.

#### 4.2 LCD パネル についての比較

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.

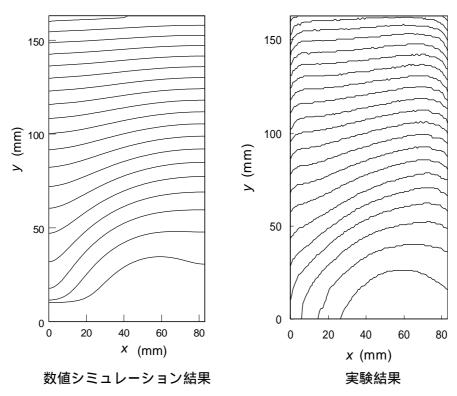


図4.2 数値シミュレーション結果と実験結果との比較

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.