

ウィリアムズ・ドメインの形成過程

東工大・理・応物・榎屋嘉実

薄い水平層からなるネマティック液晶を透明な二枚の電極で挟み電圧を加えると、ある臨界値以上で一様に配列していた液晶分子が空間的に周期的な配向をする。これを透過光で見るとWilliams domain と呼ばれる縞状のパターンが観測される。¹⁾ これはベナール対流の構造に似ており散逸構造の一つである。本研究は、この縞状パターンの形成過程を明らかにするために波数空間における挙動を実験的に調べたものである。

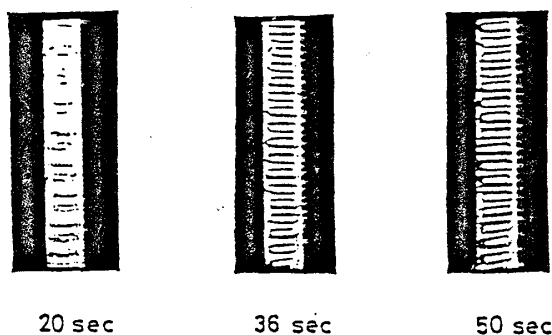


図 - 1

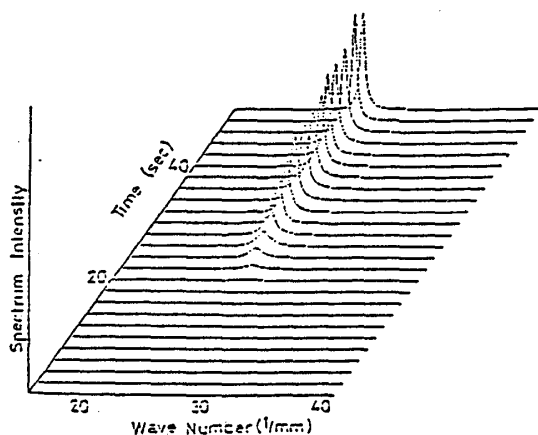


図 - 2

散逸構造の典型例であるベナール対流の構造不安定はいくつかの外部パラメータ（レイリー数，境界条件等）により大きく依存することが知られている。²⁾ 特に水平流体層の厚さと広さの比つまりセルの縦横比はパターンの安定性に非常に重要である。液晶の電気流体力学的不安定性に関してはこれまで縦横比が非常に大きな（ > 50 ）セルを使って行われてきた。本研究では安定なパターンが生ずるような条件で形成過程を調べることによりパターンダイナミクスの本質的な性質が得られると考え、幅を厚さの二倍程度にした一次元的なセル（厚さ $38 \mu\text{m}$ ，幅 $80 \mu\text{m}$ ，長さ 10mm ）を作り実験を行った。なをラビングの方向はセルの長さの方向であり生ずるパターンのストライプは幅の方向に向いていた。

液晶に突然パターンの現れるしきい値以上の電圧（ 40Hz ）を加えしだいに現れてくるパターンの一部の形成過程の写真をいくつか図1に示す。データはパターンの中心を通りセルの長さの方向に沿った一次元パターン強度信号のシーケンスを一定の時間間隔で取り込んだものであり、これをフーリエ解析した。図2は波数空間におけるスペクトルの形成過程である。ある時刻

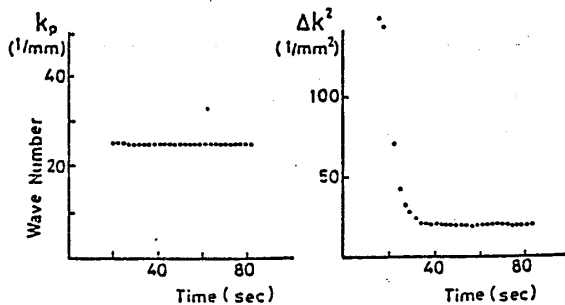
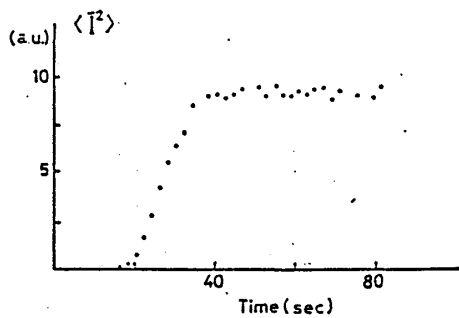


図 - 3

図4は定常スペクトルの積分強度の電圧依存性を示す。ここで横軸は臨界点からのずれの程度 $\varepsilon = (v^2 - v_c^2) / v_c^2$ を示す。²⁾ 臨界指数は 0.98 ± 0.05 である。スペクトルのピーク波数 k_p の電圧依存性を図5に示す。波数が臨界点近傍

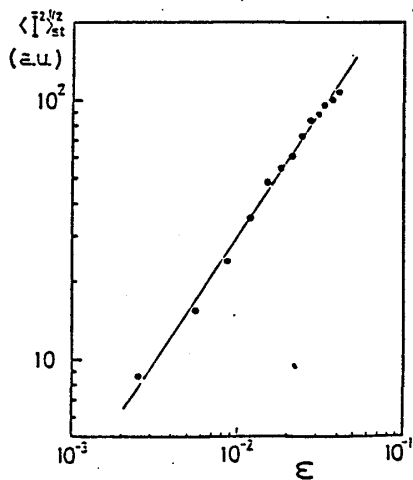


図 - 4

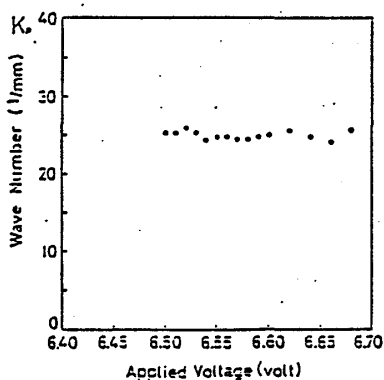


図 - 5

からパターンの周期性を反映したスペクトルの成長が観測される。このスペクトルの積分強度、ピーク波数、分散等の過渡過程を図3に示す。ここに $\langle \Delta k^2 \rangle$ はピーク波数のまわりの二次のモーメントである。このような形成過程を臨界値近傍でのいくつかの電圧に対して行い波数空間でのパターン形成の挙動を明らかにした。

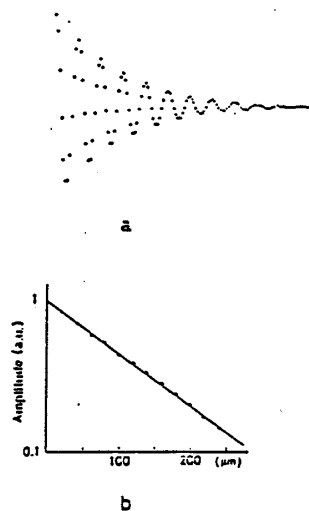


図 - 6

では変化がみられず単一モードが安定であることを示している。図6 (a) はパターンの空間相関関数を示す。これはスペクトルを逆フーリエ変換して得られたものである。図6 (b) はエンベロープを表わすが縦軸は対数スケールであり指数関数的に減衰している。この結果はスペクトルが単一

のローレンツ型であることを示している。従って半値幅の逆数はパターンの相関距離を表わす。図7は相関距離 ξ の電圧依存性を表わす。電圧に比例して増加している。

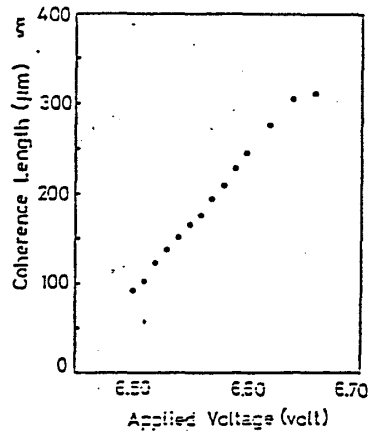


図 - 7

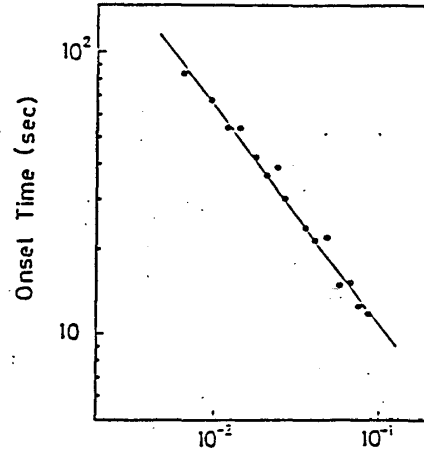


図 - 8

次に過渡過程におけるスペクトルについての解析結果を示す。図8はパターンのオンセットタイム $t_{1/2}$ の電圧依存性を示す。ここで $t_{1/2}$ は積分強度が定常値の1/2

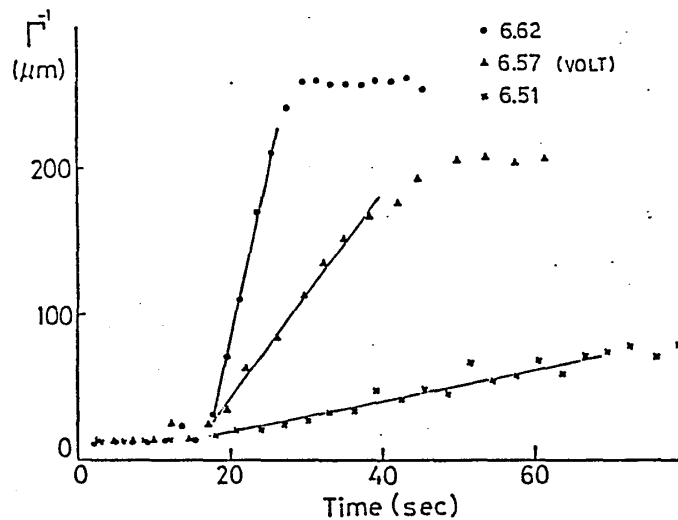


図 - 9

に達するまでの時間として求めたものである。得られた臨界指数は約 0.96 ± 0.02 。

ピーク波数は図3で見られるように一定値のままである。これは形成過程において単一モードが安定に現れてくることを示している。図9はスペクトルの半値幅 Γ の逆数の時間変化を示す。三つの電圧に対して示してあるが、どの場合で成長領域で Γ^{-1} は時間

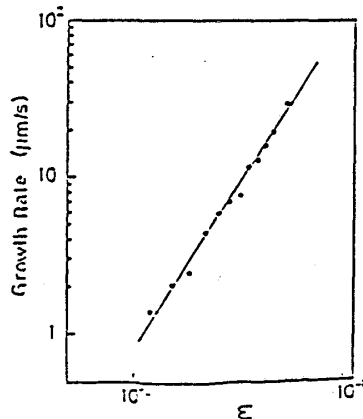


図 - 10

と共にリニヤーに変化しているのが分かる。この結果はいくつかのドメインが互いに侵食しあい成長していく過程⁽⁴⁾ではなく、むしろ単一ドメインのダイナミクスを反映していると考えられる。なお、この傾きは一種のパターンの成長率と考えることが出来る。図10は成長率の電圧依存性を示す。臨界指数は約2.20である。

最後に積分強度，スペクトルに関しスケーリング⁵⁾をこころみた。図 1 1 は積分強度，時間を各それその定常値，オンセットタイムでスケールした結果である。いろいろな電圧に対し，一つの関数で表わせられると考えられる。実線は

$$\dot{z} = -z - z^{3/2}$$

の解の一つであり，データはよく乗っている。したがって $z \sim \langle \tilde{I}^2 \rangle \sim \langle \theta_0^4 \rangle \sim \langle \theta_0 \rangle^4 (1 + O(\langle \delta \theta_0^2 \rangle / \langle \theta_0 \rangle^2) + \dots)$ であることを考慮すると，ある程度パターンが成長した後はダイレクターの配向角度の振幅 $\langle \theta_0 \rangle$ は

$$\langle \dot{\theta}_0 \rangle = -\alpha \langle \theta_0 \rangle - \gamma \langle \theta_0 \rangle^3$$

なる方程式に従うことが予想される。これは $\langle \theta_0 \rangle$ を一種のオーダーパラメーターと考えれば，パターンの平均的な挙動はレーザー⁶⁾や電気回路の発振⁷⁾など単一モードあるいは均一系の形成過程と類似していることを示している。

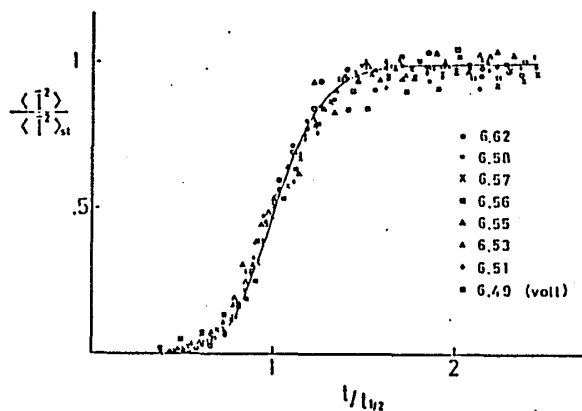


図 - 1 1

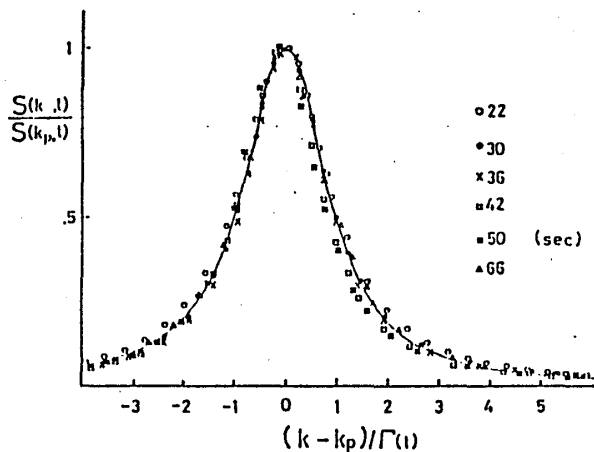


図 - 1 2

図 1 2 は $V = 6.57$ V での形成過程におけるスペクトルをそのピーク値とピーク波数からのずれを半値幅でスケールしたものである。形成過程を通してスペクトルはローレンツ型であり，単一モードからなるドメインのパターン成長を反映していると考えられる。初期過程の結果はここには示していないが，スペクトルはローレンツ型からずれ，上と同様のスケーリングは出来ず，より複雑な挙動が現れる。

参 考 文 献

- 1) R. Williams ; J.Chem.Phys. 39 384 (1963).
- 2) J.P.Gollub and S.V.Benson ; J.Fluid Mech. 100 440 (1980).
- 3) Orsay Liquid Crystal Group ; Mol.Crys. and Liq.Crys. 12 251 (1971).
- 4) K.Kawasaki, M.C.Yalabik and J.D.Ganton ; Phys.Rev. B17 455 (1978).
- 5) M.Suzuki ; Adv.Chem.Phys. 46 195 (1981).
- 6) H.O.Scully and W.E.Lamb, Jr. ; Phys.Rev. 159 208 (1967).
- 7) S.Kabashima, M.Itsumi, T.Kawakubo and T.Nagashima ; J.Phys.Soc.Jpn. 39 1183 (1975).