

## 異方性対流系における対流ロールの安定性ダイアグラム

九工大・工 那須野悟、佐々木修、甲斐昌一

空間的に一様であった系内に自発的に周期的構造が現れるという現象は様々な非平衡開放系でみることができる。これら周期構造の安定性を調べることは、どの様な構造が実際に選択形成されるかという”パターン選択”の問題や制御パラメータを変化させたときどの様にこれらの秩序構造が崩壊しより複雑な状態へと遷移していくかという”乱流化問題”を理解する上で重要である。

これらの問題に関し最も良く調べられている系のひとつとしては、通常の等方性流体の層を下方から暖めたときに発生する熱対流現象 (=レーリー・ベナール (RB) 対流) がある [1]。この系は層内に周期的に並んだロール状の対流構造を呈するが、側壁の影響を別とすれば現れ得る空間構造には層内で特に決まった方向はなく、この意味で等方性対流系と言える。これに対しここで取り上げるネマティック液晶の電気流体力学的対流 (EHC) 系では、ロール状対流構造は常に系に固有のある方向に沿って並んだものが現れる [2]。このため前者に対して異方性対流系と呼ばれる。

RB系におけるロール状対流構造の安定性は、すでに Busse 等により精力的研究がなされており、その結果はいわゆるブッセ・バルーンと呼ばれる安定性ダイアグラムとしてまとめられている [3]。本研究の目的は、EHC においてこのブッセ・バルーンに相当する安定性ダイアグラムを得ることである。

EHC はネマティック液晶の薄膜に交流電場を印加することにより生じる現象である。従って、ロール状対流構造の安定性を調べる上で重要なパラメータは外部印加電圧の大きさ  $V$ 、その周波数  $f$ 、およびロール構造の波数ベクトル  $\vec{k}$  の 3 つが考えられる。既に我々は、ある特定の  $f$  にたいする  $(k, V)$ -安定性ダイアグラムを得ているが [4]、以下では更に  $f$  もパラメータとして調べた実験結果について述べる。

実験は、最初に任意の波数ベクトル  $(k, 0)$  をもつ対流パターンを任意のパラメータの組  $(\epsilon, f)$  に対して用意し、その後のパターンの時間発展からその安定性を調べるという方法で行った。ここで、 $\epsilon$  は対流発生臨界電圧  $V_c$  からの距離を測る無次元量で  $\epsilon \equiv (V^2 - V_c^2)/V_c^2$  である。実験に用いたネマティック液晶 (MBBA) 層のサイズは、厚さ  $d = 25\mu\text{m}$ 、水平方向のサイズ  $l_x = l_y = 2\text{cm}$  である。

実験結果を図 1 にまとめてある。実線で囲まれた領域内では初期ロール構造は安定であるが、その外側では各種長波長不安定を生じる。観測された長波長不安定は Eckhaus (E)、Zig-zag (ZZ)、および skewed varicose (SV) 不安定である。おもな結果をまとめると;

(1) 印加周波数が比較的低いとき ( $f < 580\text{Hz}$ ) には、ノーマル・ロールの安定領域の

上限は ZZ 不安定によって制限されているが、高周波数時 ( $580 < f < f_c$ ) には SV 不安定によって制限されている。この質的变化は、ZZ 不安定境界に対する SV 境界の相対位置の変化として捉えることができる。すなわち低周波側では、SV 境界は ZZ より上方に位置しているが、 $f$  の増加に伴い SV が ZZ に接近していき、ある周波数  $f^*$  ( $\sim 580\text{Hz}$ ) で上下位置の交替が生じ、SV が ZZ より下方に位置するようになった結果と解釈できる。

(2) 不安定化の結果、新たな秩序構造へと遷移するか、あるいは乱流状態に至るかは  $\epsilon$  に依る。新たな秩序状態としては、別の安定な波数を持つロール状構造に加え、より対称性の低い zigzag パターンや Defect-lattice パターンが観測された。

(3) 普通よく行われる実験では、 $V$  が主要パラメータとして扱われている。上記結果から分かるように、 $V$  を増加させていくときに重要となる不安定のタイプが周波数に依って異なる。このことは、当然、異なった乱流化過程の存在をほのめかしている。図 2 は  $f$  を固定しておいて  $V$  をゆっくりと増加させることにより得られた対流相図を示している。明かに、低周波時と高周波時とでは乱流化の経路が異なっており、上の結果と合致する。また、クロスオーバー周波数  $f^*$  付近ではロール状対流状態から乱流状態へほぼ直接に遷移している様に見えるのも興味深い結果である。

以上の結果の詳細については文献 [5] を参照して頂きたい。

#### 参考文献

- [1] S. Chandrasekhar, *Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability* (Clarendon, Oxford, 1961).
- [2] E. Bodenschatz, W. Zimmermann and L. Kramer, *J. Phys. (Paris)* **49**, 1875 (1988).
- [3] F. H. Busse, in *Hydrodynamic Instabilities and the Transition to Turbulence*, eds. H. L. Swinney and J. P. Gollub, (Springer-Verlag, Berlin, 1981).
- [4] S. Nasuno and S. Kai, *Europhys. Lett.* **14**, 779 (1991).
- [5] S. Nasuno et al., in preparation.

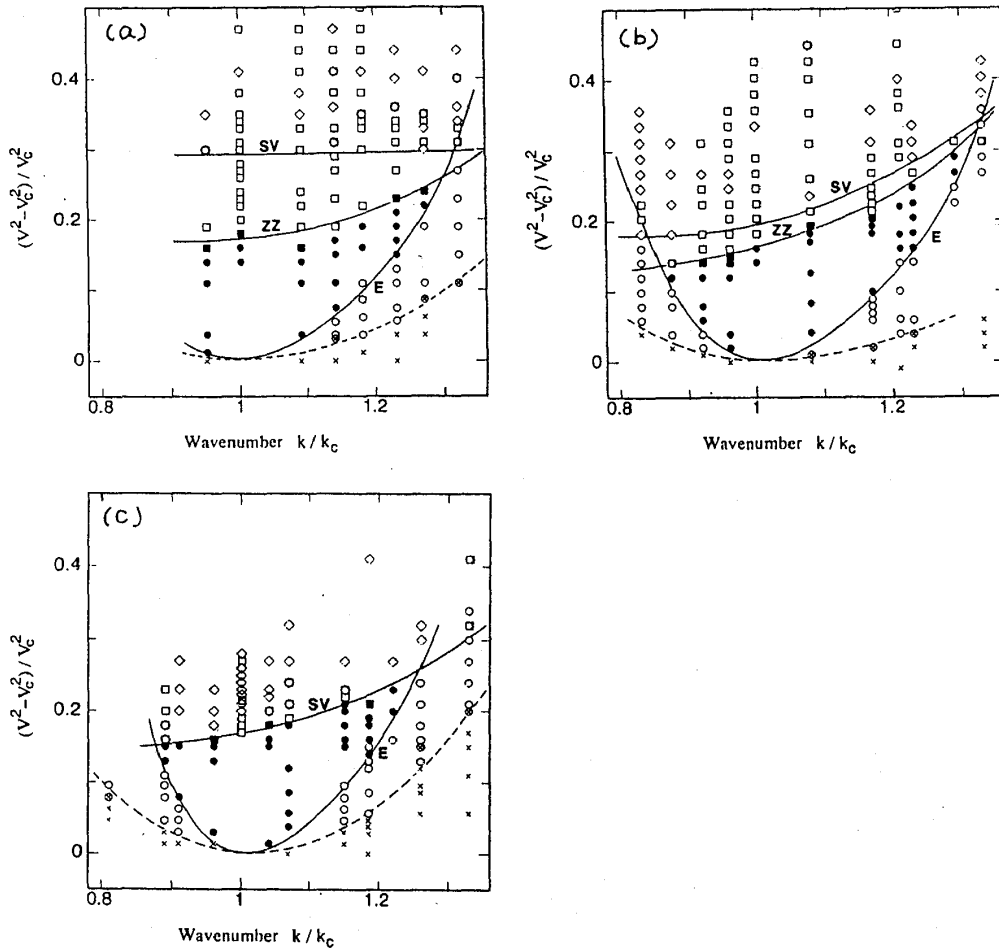


図1 液晶対流系のノーマル・ロールの安定性ダイアグラム:(a)  $f = 400\text{Hz}$ , (b)  $580\text{Hz}$ , (c)  $700\text{Hz}$ . 実線は実験により決定されたロールの不安定化境界であり、それぞれ Eckhaus(E)、Zigzag(ZZ)、Skewed varicose(SV) 不安定化境界を表す。実線に囲まれた領域内では、ノーマル・ロールは安定である。点線は実験により決定された対流開始に関する中立安定境界を表す。

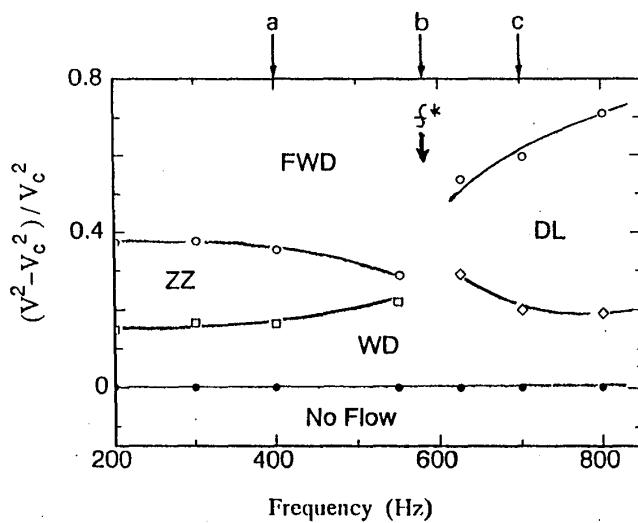


図2 液晶対流系の対流相図。WD、ZZ、DLおよびFWDはそれぞれノーマル・ロール(Williams domains)、Zigzagパターン、Defect-Latticeパターンおよび弱乱流ロール状対流(fluctuating Williams domains)を表している。