

# 直流電界下におけるネマチック液晶の電流雑音

増山 富男\*・植田 勇\*\*・三池 秀敏\*\*\*  
古賀 和利\*\*\*・蛭名 良雄\*\*\*

The Current-Induced Noise of Nematic Liquid Crystal  
under dc-Excitation

Tomio MASHIYAMA, Isamu UEDA, Hidetoshi MIIKE,  
Kazutoshi KOGA and Yoshio EBINA

## Abstract

Current (I) -Voltage (V) characteristic and current-induced noise are measured for quantitative research of the degradation of nematic liquid crystal under dc-field. The conclusion is that I-V characteristic is very different under ac excitation from dc one, and current-induced noise becomes extremely large at DSM 2 state and power spectrum shows anomalous behavior ( $\sim 1/f^5$ ).

## 1. ま え が き

負の誘電異方性を持つネマチック液晶に印加する電圧を漸増すると、電気流体力学的不安定性により液晶の巨視的流れが生じ、最終的に光を拡散的に散乱する乱流状態 (DSM) へ移行する。すなわち、電場が加えられた領域は他の領域に比べて白濁して見え、このような電気光学効果は DSM 型表示素子として応用されている。一方、正の誘電異方性を持つネマチック液晶は電界効果型として実用化されている。DSM 型は電界効果型に比べ表示が美しく視角特性も良いが、DSM を起こすためにある程度のイオン電導を必要としているので、消費電力は大きい。これらの表示法では通常交流駆動であるが、ドライブの過程で残留直流分が液晶に加わることがある。また、直流駆動が可能ならばドライブ回路の簡略化ができるので、直流でも劣化しにくいドープメントを加えた液晶についての報告もある<sup>1)</sup>。この報告によると、非可逆酸化が直流駆動デバイスの劣化の主なる原因と結論づけられている。それ由、このような劣化現象を物理的な面から定量的に取扱うにあたり、液晶の電流-電圧特性を測定することは意味がある。また相転移-臨界現象<sup>2)</sup>との

類似性により液晶に質的变化が生じる際には、イオン電導等の物理量の揺らぎの増大が期待され、直流電圧印加時における電流雑音の測定は興味を持たれる。

一方、DSM 状態へ至る過程においては、逐次的に質の異なる対流のパターンが形成され<sup>3)</sup>、これは熱平衡から遠く離れた開放系に出現する新しい状態 (散逸構造の形成) として理解されている。このような非平衡状態では、平衡時に見られない特異な性質が出現する。たとえば、平衡状態では抵抗体の両端に現われる熱雑音電圧のパワースペクトル密度 (1Hz の周波数幅内のゆらぎ振幅の 2 乗) は周波数によらず一定のレベル (白色雑音) を示すが、直流電流を流すと低い周波数でパワースペクトルが周波数に逆比例して大きくなる。この雑音は電流雑音、あるいは  $1/f$  雑音と呼ばれ平衡状態に近い状態 (near equilibrium) での抵抗値の熱的揺らぎとして理解されている<sup>4)</sup>。本報告では、DSM 状態のような熱平衡から遠く離れた状態 (far from equilibrium) における揺らぎの性質を明らかにし、前に述べた劣化の原因との関連を追求する為に液晶の直流電界下における電流-電圧特性及び、電流雑音の測定を行った。

## 2. 実 験

使用された液晶は、17°C~46°C の温度範囲でネマチック相を示す MBBA を用いた。ネサ膜をスプレー法

\* 大学院電気工学専攻

\*\* 電気工学科学生

\*\*\* 電気工学科

によりスライドガラス上に蒸着し、サンドイッチ型のセルをエポキシ系接着剤を用い作成した。蒸着液は35 wt % SnCl<sub>4</sub>, 0.8 wt % SbCl<sub>3</sub>, 4.7 wt % HCl を H<sub>2</sub>O に溶かしたネサ液を用いた<sup>5)</sup>。セルの厚さは約 100 $\mu$ m, 電極面積約 5 cm<sup>2</sup> である。直流電圧5.0V 印加時の電気伝導度は約10<sup>-16</sup>/ $\Omega$ cm である。

電流-電圧特性は、Fig. 1 に示す回路で液晶セルを一定温度に制御 ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ) して測定した。

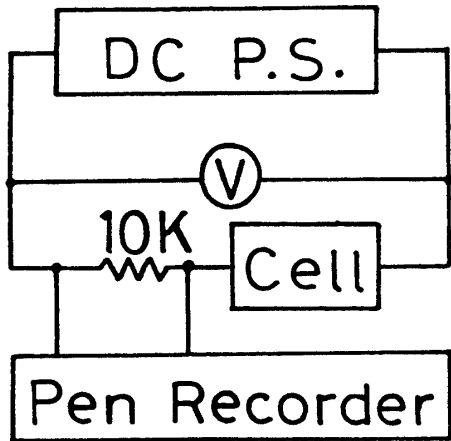


Fig. 1 Block diagram for current-voltage measurement

雑音測定は、外部雑音を避けるため、シールド室に於いて Fig. 2 に示す装置で行なわれた。雑音電圧の

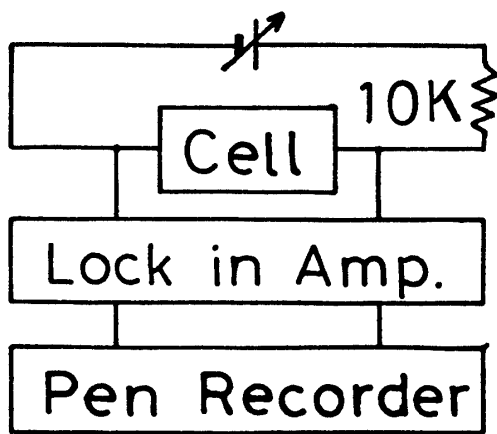


Fig. 2 Block diagram for current-induced noise measurement

電力スペクトルはロックインアンプを同波数選択増幅器として用い、その交流実効値の約15分間における平均電力とした。測定範囲は 2 Hz~1000Hz で、直流電圧は 0~74.0V で行った。特に高電圧での液晶の劣化が心配されるため、ひと通りの測定の後、再現

性を確かめている。測定中は室温をほぼ 30 $^\circ\text{C}$  に保った。

### 3. 結果と議論

#### 3. 1 電流電圧特性

ネマチック液晶の電流-電圧特性は過去にいくつかの報告が見られるが<sup>6,7)</sup> 液晶セル、純度、測定手法の違いによるものか、その結果に統一性が見られない。ここでは劣化状態の把握と電流雑音特性との関連を求める意味であらためて測定を行なった。比較のため、一例として 50 Hz の交流電圧印加時の測定結果を直流電圧印加時の電流特性の測定結果とあわせて Fig. 3 に示している。測定は別の液晶セルで 30 $^\circ\text{C}$  ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ) の一定温度で測定した。交流の場合、最初の散逸構造である Williams Domain (WD, Photo. 1, a) の出現と共に電流の増加の割合が増している。こ

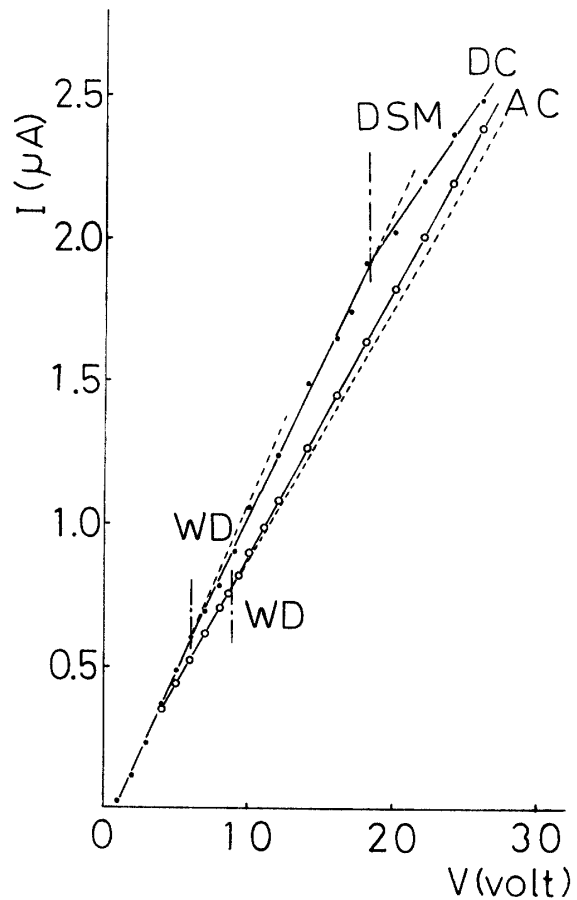


Fig. 3 Nonlinearity of I-V characteristic caused by electrohydrodynamic instability

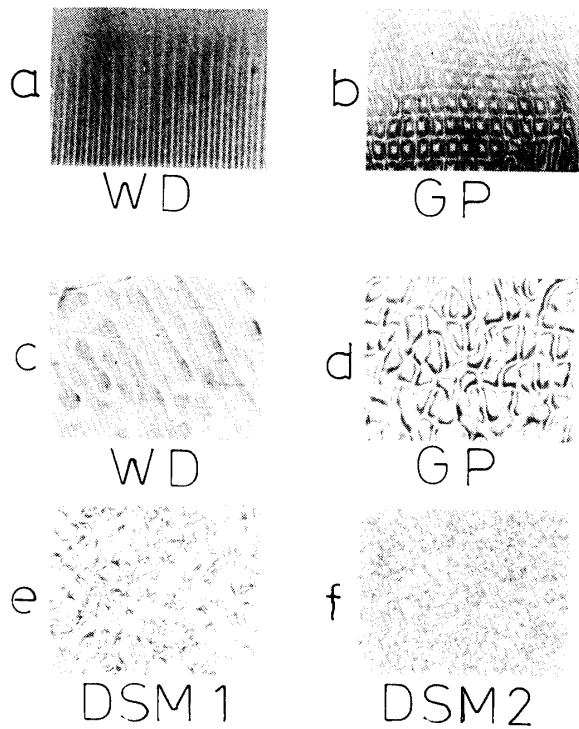


Photo. 1 The microscopic photographs of the dissipative structures in nematic liquid crystal (a, b; ac excitation, c, d, e, f; dc excitation)

これは、セル内の対流によりイオン伝導度が促進されて、電気伝導度が増したことによる。直流ではWD (Photo. 1, c) で電流増加の割合が減少し、さらにGP (photo. 1, d), DSM (photo. 1, e) と状態が進むにつれて減少する結果が得られた。これは、直流の場合、セル内で対流が起っているにもかかわらず、液晶組成物中の不純物等がイオン化して、両電極面に強く引きつけられてイオンの堆積が起り、相対的に電界を弱めているためと考えられる。

### 3.2 電流雑音

電流雑音の測定を行うにあたり、入力 Short 時の測定系の雑音と、純抵抗体に電流を流した時の電流雑音の測定結果を Fig. 4 に示す。測定系と抵抗体の電流雑音はほぼ  $1/f$  型のスペクトルを示している。液晶セルを構成しているネマ透明電導膜は n 型アモルファス半導体であるが、これに数  $\mu\text{A}$  の直流電流を流した時の電流雑音は、System Noise と区別がつかない程度であった。抵抗体の電流雑音が  $1/f$  型スペクトルを示していることから、この測定系の信頼性に問題は無いと考えている。

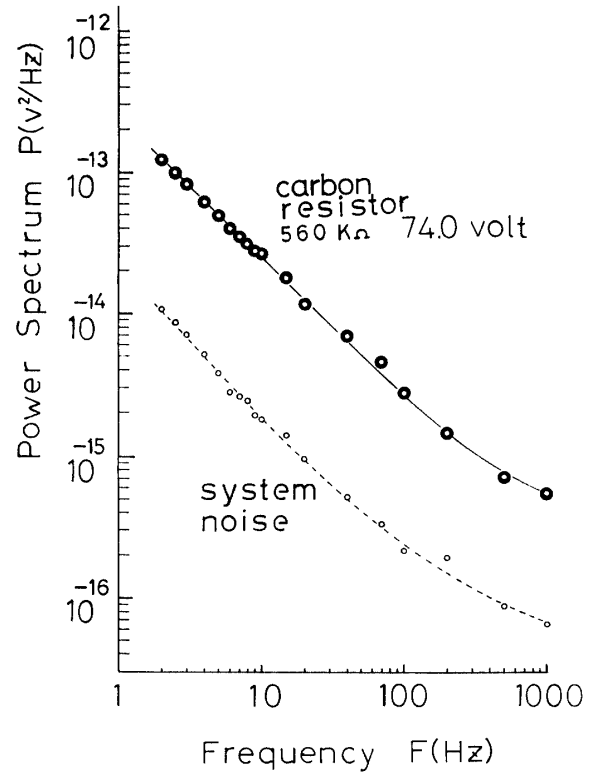


Fig. 4 Noise power P vs frequency for carbon resistance

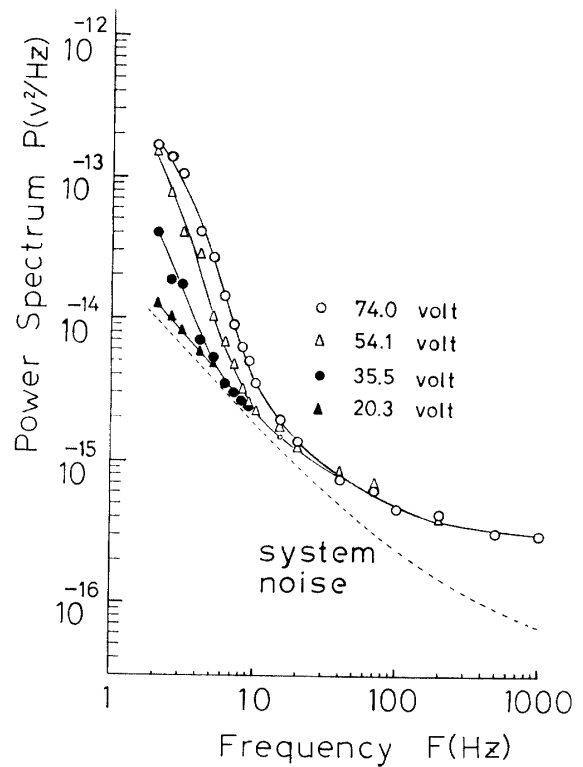


Fig. 5 Typical example of a noise measurement for liquid crystal (including system noise)

液晶セルの System Noise を含む電流雑音の測定結果を Fig. 5 に示している。測定は同一セルで、低電圧から順次高電圧へと実行している。20.3V 以下では、System Noise と区別がつかない程度であった。Fig. 6 は、直流電圧印加時の液晶セル端子電圧のゆらぎの平均電圧から、System Noise のゆらぎの平均電圧を差し引いて、パワースペクトル密度を計算した結果である。

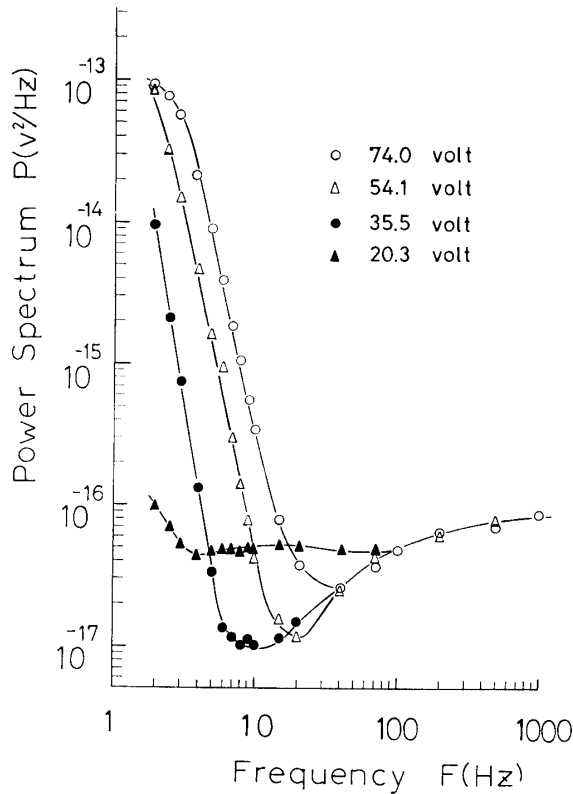


Fig. 6 Noise power P vs frequency for liquid crystal

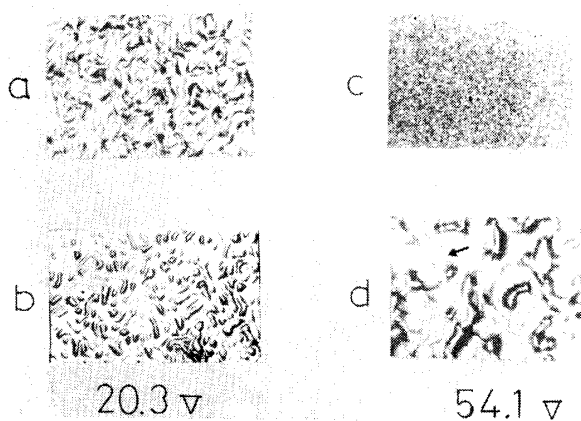


Photo. 2 Change of the dissipative structure (a, b; DSM I, c, d; DSM 2, b, d is just after the voltage is turned off. The directed line in picture d is disclination line)

20.3V では 3 Hz 以下で  $1/f$  型の傾向を示しており、この時は DSMI (photo. 2, a, b) である。35.5V, 54.1V, 74.0V と印加電圧を増すと雑音強度も増加し、同時にそのパワースペクトルに極小値が出て、それが高周波側へ移動している。74.0V では 3 Hz 以下でスペクトル強度が飽和する傾向を見せている。このように、電流雑音が急増している 35V 以上では、液晶セル内は DSMI より散逸度の大きな DSM 2 (Photo. 2, c, d) となっていて、液晶分子の配列の不連続な線 (disclination line) の出現を伴っている。

この時のスペクトルは低周波側でほぼ  $1/f^5$  型である。高周波側では、一定レベルになっている。このような雑音スペクトルの周波数依存性は今までに知られておらず、その原因は目下のところ明らかではないが、DSM 2 の状態で顕著に現われていることからして、disclination の出現と関連していると考えられる。これに対応して、直流電流-電圧特性も Fig. 7 (電流雑音測定と同一セルで 27°C にて測定) に示すよ

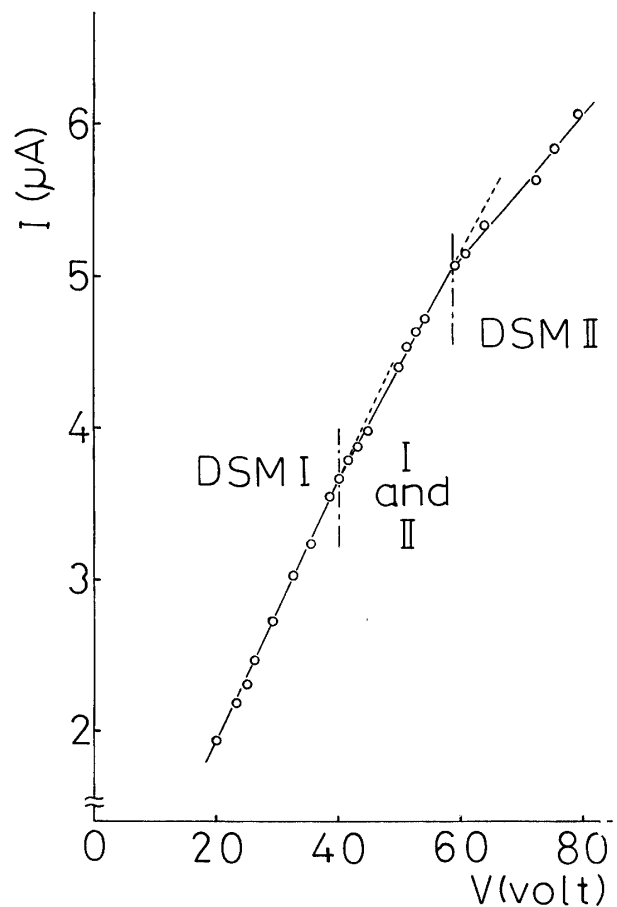


Fig. 7 Relation between I and V at DSM region

うに, DSMI から 2 へ移ると電流の増加の割合が減少している。この現象も,  $1/f^5$  型スペクトルと何らかの関連性があるものと考えられ特にこの領域での電流密度ゆらぎ (抵抗値のゆらぎ) 測定には興味をもたれる。Fig. 7 で DSM 1 と 2 の共存範囲は, セルのネマ膜の不均一さ等により, ある電圧値で全体が 1 から 2 へと変化しないことによる。

#### 4. おわりに

電流-電圧特性の測定により, 交流, 直流電圧印加時では伝導機構に違いがあり, photo. 1 に示しているようにパターン質の違いとしても表われている。今回は特に劣化以前の直流特性に着目して実験を行なっているが, 直流駆動では非可逆酸化が起こり液晶分子のイオン化を促進して, そのイオンが両電極面上に堆積していると考えられる結果を得た。

電流雑音強度の測定からは, DSM 2 のような **Disclination line** を伴う乱流状態で特に大きな雑音強度 ( $1/f^5$  型 **Power spectrum**) が見い出された。電流雑音については, 金属薄膜等で見られる  $1/f$  型スペクトルを示すものが広く知られておりその雑音強度は表面効果によるものではなく, サンプル内の全電子数の逆数に比例することが報告されている。<sup>8)</sup> 液晶セルの場合, 電気伝導の担い手はイオンであるが, DSM 2 の状態では Fig. 7 にも示されているように電気伝導に寄与しているイオンの数が, 相対的に減少している。このことが, 電流雑音の増加の原因の 1 つとも考

えられる。

以上の電流-電圧特性の測定と電流雑音の測定により液晶の劣化現象を定量的に取扱う手がかりが得られたと信ずる。すなわち, 直流電圧下での数百時間にもわたる測定により劣化が促進した結果として, 電気伝導度の増加が報告されており<sup>9)</sup>, 今後, 電流密度, 電流雑音等の時間的変化を観測することにより, 劣化過程のトレースが出来るだろう。

最後に, 測定に関して適切な助言をいただいた田中邦秀助教授に深謝いたします。

#### Reference

- 1) S. Brret, F. Gaspard, R. Herio and F. Mondon ; J. Appl. phys. 47, 2375 (1976).
- 2) スタンリー「相転移-臨界現象」東京図書.
- 3) S. Kai and K. Hirakawa ; 九州大学工学部研究報告 36,4 (1977).
- 4) For example, R. F. Voss and J. Clarke ; Phys. Rev. Lett. 36, 42 (1976).
- 5) 児玉洋二 ; 山口大学工学部卒業研究論文 (1976).
- 6) 平川一美, 甲斐昌一 ; 液晶討論会 (1975).
- 7) 河村一, 石橋新太郎, 稲垣米一 ; 電気学会全国大会 594 (1977).
- 8) For example, F. N. Hooge and A. M. Hoppenbrouwers ; Physica, 45, 386 (1969).
- 9) S. Barret, F. Gaspard, R. Herino and F. Mondon ; J. Appl. Phys. 47, 2378 (1976).

(昭和52年10月15日受理)