

## ゲル材料で構成した伸縮性液晶ディスプレイに関する先駆的研究

## Frontier Research on Stretchable Liquid Crystal Displays Using Gel Materials

2161019



研究代表者 (助成金受領者)	東北大学大学院 工学研究科	教授	藤掛 英夫
共同研究者	東北大学大学院 工学研究科	准教授	石鍋 隆宏
共同研究者	東北大学大学院 工学研究科	助教	柴田 陽生

## [研究の目的]

今後の情報ネットワークの発達により、あらゆる生活環境の機械・構造物に装着できて、必要な情報を随時提示する電子ディスプレイが必要となる。例えば高度な伸縮性と密着性を有する電子ディスプレイを実現できれば、コンパクトな車内の曲面部位も活用でき、運転者に有用な死角情報などを自然に提示できる(図1)。さらに移動体やロボットのボディに貼り付ければ、インタラクティブな情報入出力が可能となる。そこで本研究では、人と機械が調和した高度なインタフェース空間を創出するため、伸縮



図1 伸縮可能なディスプレイの車載応用イメージ

可能な電子ディスプレイの基盤技術を創出することを課題とした。

昨今、信頼性が高く製造技術が確立された液晶ディスプレイにおいて、ガラス基板をプラスチック基板で置き換えることで、フレキシブルディスプレイを実現する取り組み<sup>1)</sup>が進んでいる。しかし、プラスチックなどの硬質高分子は、分子鎖が高密度に凝集しており、曲げ変形は可能であるが、伸縮性はほとんど得られない。そのためプラスチック製の液晶ディスプレイを湾曲した場合、基板に挟まれる液晶(液体)の厚みが、基板からの圧力により面内で変動して、表示が大きく乱れる。その一方、基板を薄くして柔軟化すると<sup>2)</sup>、基板間の柱状スペーサが機能しなくなり、液晶層の厚みを一定に保てない。

そこで筆者らは、理想的な湾曲・伸縮機能を得るため、デバイスを高分子でなくゲル材料で構成することを着想した。高度に伸縮変形が可能なゲル基板を用いて、自己保持性(自立性)と弾性を有する液晶ゲル膜を挟み込むことで、液晶層の厚みの不均一化を抑制できると考えた。ここで用いるゲル材料は、柔軟な高分子ネットワークが液体分子を多く含有するため、伸縮可能な機械的性質を有する。

これまでゲル材料で構成された液晶ディスプ

レイの報告例はなく、未着手の研究分野である。本研究では、伸縮性液晶ディスプレイの実現に向け、光変調が可能な自己保持性液晶ゲル膜と伸縮自在のゲル基板を応用する。特にキーマテリアルとなる液晶ゲル膜については、液晶へのゲル化剤添加により試作して、その有用性を明らかにする。これらの実験的な検討により、伸縮性液晶ディスプレイの基盤技術をいち早く構築することを目標とした。

### [研究の内容, 成果]

動作の安定性・信頼性に優れて安価な液晶ディスプレイを、生活環境の構造物はもとより人体などの三次元曲面に装着できるようにするには、湾曲変形だけでなく伸縮機能も求められる。ここでは、液体の液晶をゲル化して、自己保持性、伸縮性、弾力性を付加することで、延伸時でも破断せず表示の均一性を保持することを目指す。

今回、筆者らが提案する液晶ゲル膜の構造と光変調原理を図2に示す。液晶ゲル内に溶解した2色性色素（分子軸に平行な偏光成分を強く吸収）は、電圧印加なしの状態ではランダムに配向して、あらゆる偏光の入射光を効率良く吸収して、暗表示状態となる。その一方で、交流電圧を印加すると、液晶が電界方向に配向するのに伴って色素分子も液晶と同方向に配向するため、光吸収が減少して明表示状態に変化する。

本デバイスでは、液晶内の色素の光吸収を利

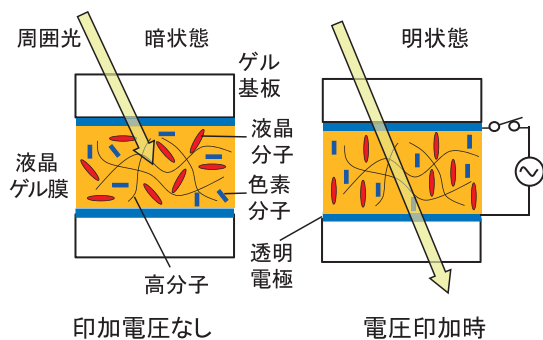


図2 液晶デバイスの光変調原理

用することで、既存のディスプレイで不可欠であった硬い偏光フィルム（2枚）が不要となり、伸縮機能が確保される。さらに、従来の液晶表示では液晶の厚みが増加すると光の偏光方向が変わり明暗が大きく変動したが、色素吸収を用いれば若干の光吸収の減少に留まる。そのため、一定の表示品位を保てると予想される。

これまでに液晶に自己保持性を付加できるゲル化剤として、デンドリマー構造の化合物<sup>3)</sup> (POSS-Lys) が報告されている。このゲル化剤は、多数の分子鎖が3次元放射状に拡がった構造を有する。その場合、分子鎖が分極して極性があるため、分子鎖どうしが凝集・結合しやすく、立体的な分子ネットワーク構造を構築すると考えられる（物理ゲル）。そのため、ネットワーク間には多量の液晶分子が取り込まれる。しかし、液晶ゲル膜の形成条件、2色性色素の及ぼす影響、電圧印加時の光変調特性はこれまでに未検討であるため、本研究により明らかにする必要がある。

そこで、筆者らは液晶の分子構造の違いによるゲル化の可否を調べるため、シアノ基を有するネマチック液晶とフルオロ基を有するネマチック液晶の2種類の材料群を用いることとした。ここでは、両グループに属する各種の液晶組成物に、デンドリマー型のゲル化剤を0.5 wt%を混合して、150℃に加熱することによりゲル化を試みた。

最初に、液晶にゲル化剤の溶解性を調べる実験を行った。その結果、分子鎖に極性を持ったゲル化剤は、分子に強い極性を有するシアノ系液晶に高い相溶性を示すことが分かった。

次に、加熱によるゲル化を行い、放冷した。サンプル管の倒立試験を行った結果、シアノ基を有する液晶群で、液晶ゲルの自己保持性を確認できた。図3は実験の様子であり、液晶が液体でなくなり落下せず、ゲル化していることが分かる。分極を有するシアノ基を有する液晶は、ゲル化剤の分子ネットワークの間に入り込みやすいと考えられる。これにより、シアノ系液晶

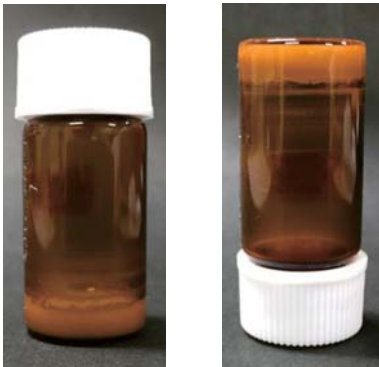


図3 ゲル化した液晶の観察例



電圧印加なし



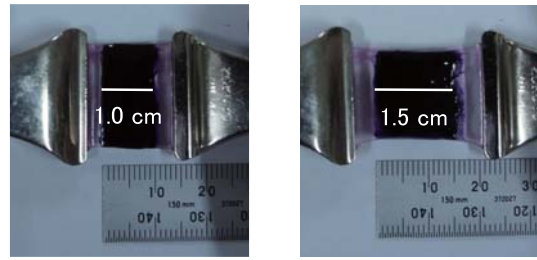
電圧印加時

図4 ガラス基板で挟んだ液晶ゲル膜

が伸縮性ディスプレイを構成するのに有用であることが分かった。

次に、シアノ系液晶とゲル化剤の混合液に二色性色素を添加して (0.5 wt%), 透明電極 (ITO) 付きのガラス基板間に注入して (基板間隔: 10  $\mu\text{m}$ ), 150 $^{\circ}\text{C}$ でゲル化した。

図4は、ガラス基板の透明電極間に交流電圧を印加したデバイスの外観である。電圧印加により光吸収が変化しており、面内で均一な光変調が確認された。次に、作製した液晶ゲル膜に光を入射して、光変調特性を測定した。入射光の中心波長は、色素の最大吸収波長である 554 nm である。電圧印加により透過率を制御でき、そのコントラスト比は 6.7:1 であった。



延伸前

延伸時

図5 液晶ゲル膜の延伸性

なお、透過率の増加が飽和する電圧は 30 V と通常の液晶に比べて高かった。これは、液晶分子がゲル化剤の分子ネットワークの配向規制力 (アンカリング力) により、強く束縛されているためと考えられる。

筆者らは様々な高分子ゲル基板の中から伸縮性が高く、光学的な散乱がなく透明で、平坦性に優れた基板を探索した。その結果、2 mm 厚の透明ゲル基板 (タナック社製) を本実験では使用することにした。

選択した透明ゲル基板の上に、液晶ゲル膜をキャスト法で作製した。それを延伸した様子を図5に示す。1.5 倍に伸長しても、液晶ゲル膜は破断しないことが確認できた。これにより、液晶ゲル膜が伸縮性ディスプレイに応用可能であることが分かった。

#### [今後の研究の方向, 課題]

今回、延伸変形と光変調が可能な液晶ゲル膜を試作できた。しかし、有機透明電極とゲル基板の相互浸食作用により、ゲル基板上に有機透明電極を形成できず、延伸可能な液晶デバイスの試作には至らなかった。

今後、延伸可能でゲル基板に溶解しない透明電極材料 (銀ナノワイヤの凝集膜など) を探索して、透明電極付きゲル基板で液晶ゲル膜を挟んだ伸縮性デバイスを試作することにより、ゲル材料の有効性を検証していく予定である。

[参考文献]

- [1] H. Sato, H. Fujikake, Y. Iino, M. Kawakita, and H. Kikuchi, Flexible Grayscale Ferroelectric Liquid Crystal Device Containing Polymer Walls and Networks, Jap. J. Appl. Phys., part 1, vol. 41, no. 8, pp. 5302-5306, 2002.
- [2] Y. Obonai, Y. Shibata, T. Ishinabe, H. Fujikake, Effects of LC-Confining Spacers on Cell Gap Uniformity of Flexible LCDs in Coat-Debond Process, International Display Workshops, no. FLXp1-14L, pp. 1434-1435, 2016.

- [3] S. Chen et al., Stretchable Light Scattering Display Based on Super Strong Liquid Crystalline Physical Gels with Special Loofah-like 3D gel networks, J. Mater. Chem. C, vol. 3, pp. 12026-12031, 2015.

[成果の発表, 論文等]

- [1] 齋藤 椋介, 柴田陽生, 石鍋隆宏, 藤掛英夫, ストレッチャブル液晶ディスプレイに向けた色素ドーブ型液晶ゲル膜の電気光学特性, 第64回応用物理学会春季学術講演会予稿集, no. 17, p. 416-3, 2017.