

PRESS RELEASE (2025/10/02)

液晶と高分子の複合材料で生じる新しい電気流体现象

～ポストディスプレイ技術やエネルギー利用への応用に期待～

ポイント

- ① 液晶と高分子の複合材料は、応用が期待される一方、動的な物理現象は未解明だった
- ② 世界で初めて、この複合材料の中で電圧による新しい流れの構造を発見し、電流特性を解析
- ③ 今回の複合材料を多孔質媒体(※1)の新しいモデルとして、地下のエネルギー資源の利用研究への応用も期待

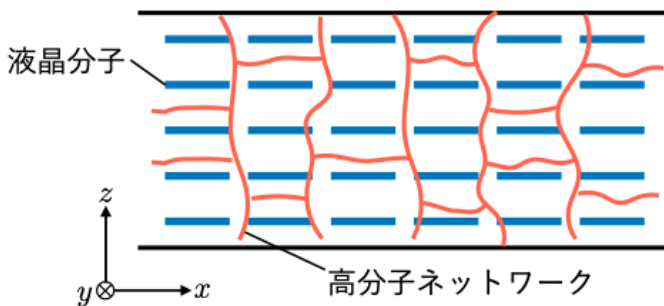
概要

高分子の細かい網目構造の中に液晶を閉じ込めると、「高分子ネットワーク液晶」ができます(図)。この材料は、電圧で透明と不透明を切り替えるスマートガラスや、高速応答のディスプレイなどへの応用が実現されてきました。しかしこれまでの研究は、主に材料化学として静的な性質に注目しており、電圧を加えたときに生じる流れの構造や電流など、動的な物理現象は十分に理解されていませんでした。こうした動的な現象の解明は、新しい液晶応用の可能性を広げることが期待されています。それだけでなく、液晶を「小さな流体実験室」として利用することで、他分野の現象を理解する手がかりにもなり得ます。

九州大学大学院工学研究院の日高芳樹助教と井福弘基・児島亮平元工学府修士大学院生らの研究グループは、高分子ネットワーク液晶に電圧を加えて流れを起こす実験を行いました。その結果、液晶が高分子の細かい網目構造に閉じ込められると、電圧をかけたときに現れる流れの模様がゆがみ、動きが遅くなること、さらに電流が流れにくくなることを明らかにしました。そして、高分子ネットワークが密になるほどこれらの傾向が強まることを示し、この複合材料が「多孔質媒体」として振る舞うことを初めて実験的に示しました。

この発見は、現在さまざまな側面から研究されている、液晶を利用した新しいポストディスプレイ技術の開発に役立つことが期待されます。また、今回の複合材料を「多孔質媒体のモデル」として用いることで、地下水の流れやエネルギー資源利用など、環境や資源に関わる研究への応用の可能性も広がります。今後は、材料内部の構造観察と組み合わせることで、より詳細な理解が進むと考えられます。

本研究成果は、アメリカ物理学会の学術誌「Physical Review E」に2025年8月27日(水)に掲載されました。



図：高分子ネットワーク液晶

研究者からひとこと：液晶や高分子は「ソフトマター」と呼ばれる物質で、液晶ディスプレイや、コンタクトレンズに使われる高分子ゲルなど、私たちの日常生活の中で広く使われています。一方、多孔質媒体は、資源、エネルギー、環境、土木など、社会全体を支えるインフラと深く関わります。両者はこれまでまったく交わりのない研究対象でしたが、今回の研究で初めて接点を持ち、その重なりが新しい視点を与えてくれました。このような異なる領域の交わりに、研究の醍醐味があると感じています。(日高助教)

【研究の背景と経緯】

容器に入れた流体を下から熱すると、初めは分子の衝突による「熱伝導」で熱が上方に伝わりますが、さらに強く熱すると流れが生じ、熱を運ぶようになります。この「熱対流」は、大気の流れで重要な役割を果たすので、気象や気候に大きな影響を及ぼす現象です。

「多孔質媒体」と呼ばれる小さなすき間を多数含む物質における熱対流も盛んに研究されています。これは、石油や地熱、地下水など地下資源を利用するための基礎現象だからです。熱対流は、循環的な流れ構造が規則正しく配列した秩序構造を作りますが、まずその秩序構造が多孔質媒体からどういう影響を受けるかが重要です。また、下から上への熱の流れを表す「ヌッセルト数」と呼ばれる量が、多孔質媒体の熱対流を特徴づける重要な指標となっています。

一方、液晶に電圧を印加すると、イオンが液晶分子の間を移動する「電気伝導」によって電流が流れますが、電圧を上げると、流れが生じてイオンを運ぶようになります。これを「液晶電気対流」と呼び、熱対流と同様の秩序構造が生じます（図 1(a)）。電圧をさらに上げると流れが激しく乱れた「乱流」になりますが、この状態は光を散乱するので白濁して見えます。これを利用したのが世界初の液晶ディスプレイです。

その後、別方式の液晶ディスプレイが広く普及しましたが、液晶電気対流は、対流現象や乱流現象の実験的プロトタイプとして利用される道をたどりました。これは、熱（温度）に比べて電圧の制御が容易であり、かつ、液晶の光学特性によって流れの構造を観察しやすいからです（図 1(a)）。

液晶にモノマーという高分子の種を入れて紫外線を当てると、光重合(※2)によって液晶の中に高分子の網目が形成されます（図 2）。この材料は「高分子ネットワーク液晶」と呼ばれます。高分子ネットワーク液晶は、光重合を行ったときの液晶の状態を“記憶”する性質をもち、これまでこの性質がとくに注目されてきました。例えば、この性質を利用して電圧のオンオフで透明とすりガラスを切り替えるスマートガラスが開発されています。また、高速ディスプレイを実現できる液晶の状態が現れる温度範囲を広げるなど、幅広い応用が進められています。

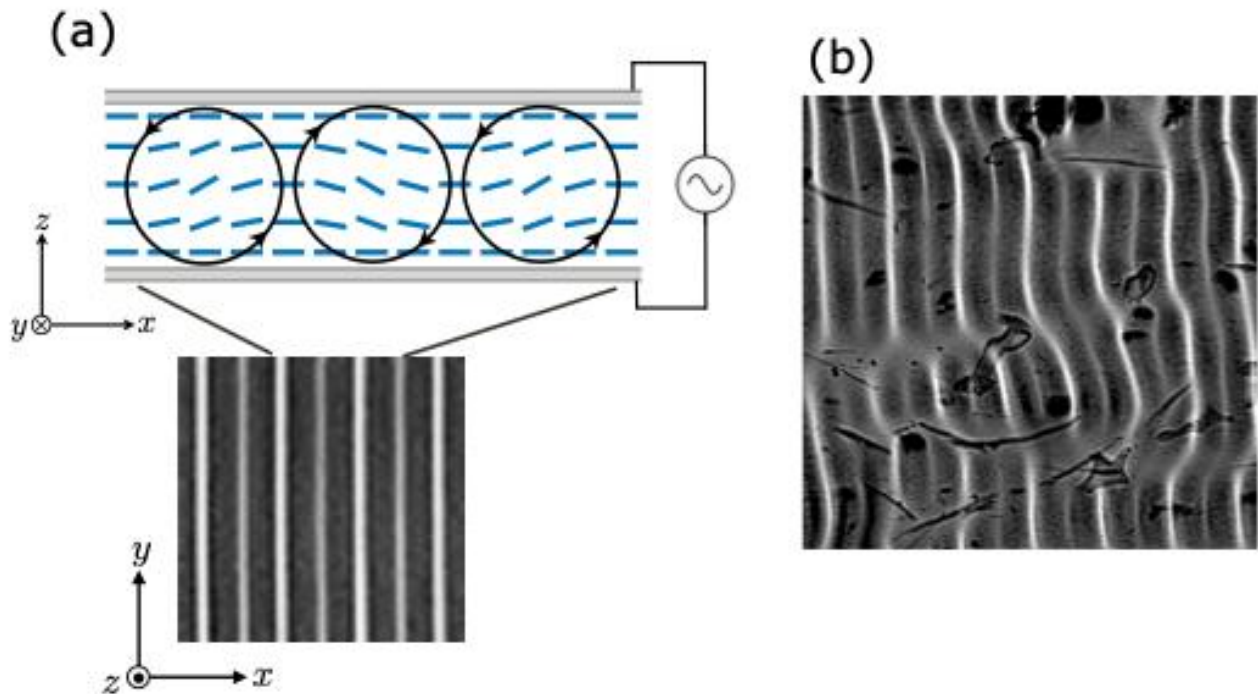


図 1：(a) 液晶電気対流。ある種の液晶に電圧を印加すると、電流効果によって循環的な流れ（対流）が生じる。その状態を上（ z 方向）から観察すると、液晶の光学特性によって、対流構造を反映した縞模様が現れる。(b) 高分子ネットワークの影響で歪んだ対流構造。

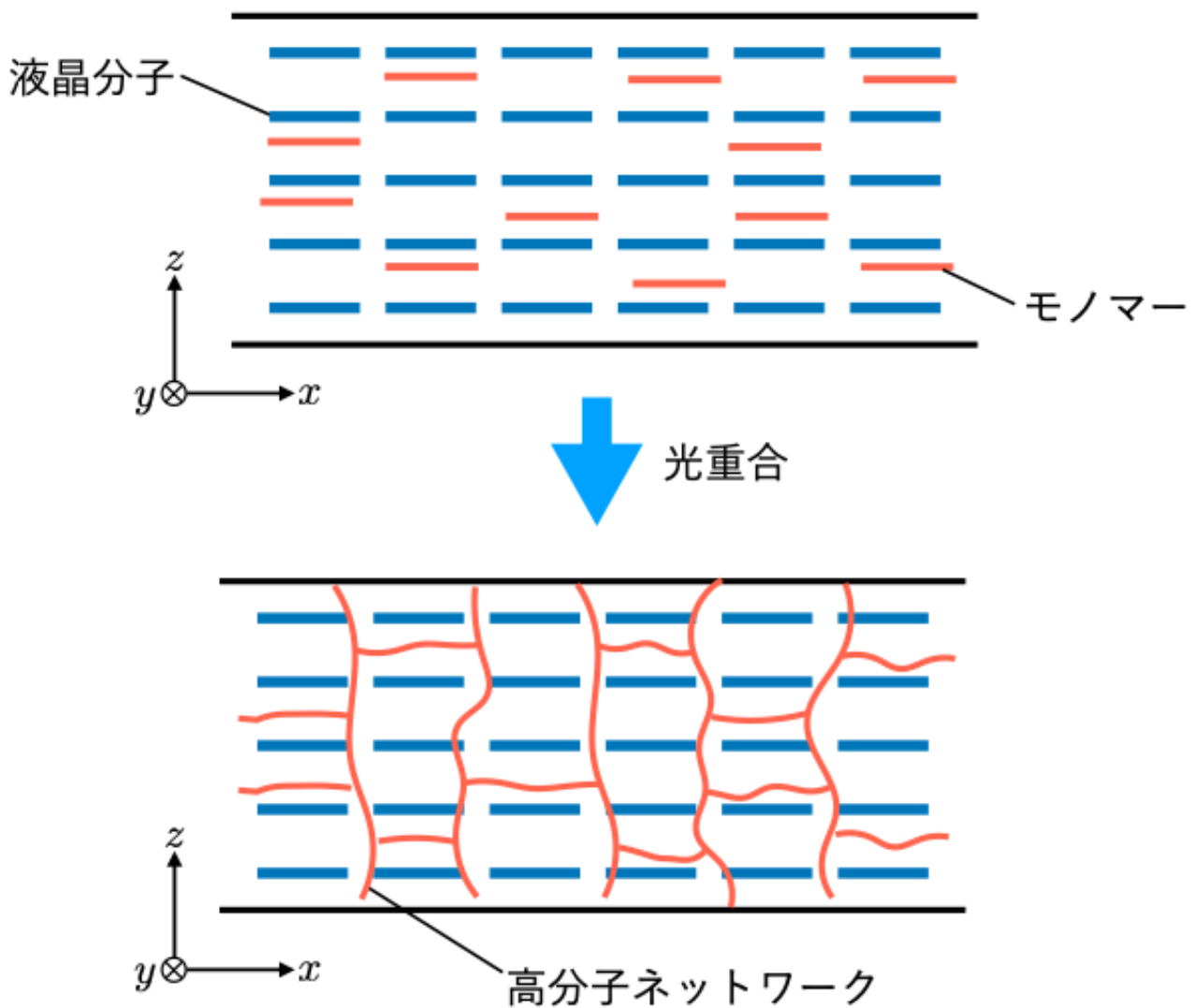


図2：光重合によって作製された高分子ネットワーク液晶

【研究の内容と成果】

今回本研究グループは、ある種の高分子ネットワーク液晶に高い電圧を印加すると、液晶電気対流が起こることを発見しました。高分子の網目は多孔質媒体とみなせるため、この新規現象は、多孔質媒体における対流であると言えます。

モノマーの量を変えて網目の密度を調整して実験を行った結果、密度が高くなるほど対流の秩序構造が大きく歪むことを確認しました（図1(b)）。また、本来なら対流構造が時間変化しない電圧値で、構造が非常にゆっくりと動く現象を発見しました。これは、秩序状態に落ち着こうとする効果と、高分子の網目による妨げとの競合によるものと考えています。

さらに、熱対流のヌッセルト数に相当する「電気ヌッセルト数」を得るために、電流測定を行いました（図3）。その結果、網目密度が高いほど電気ヌッセルト数が減少することを定量的に示しました。この結果は、高分子ネットワーク液晶における電気対流についての、今後の理論構築に役立つと期待されます。

また、これらの成果は、対流現象の実験的プロトタイプとしての液晶電気対流が、多孔質媒体の対流のモデルへ拡張されたことを意味します。

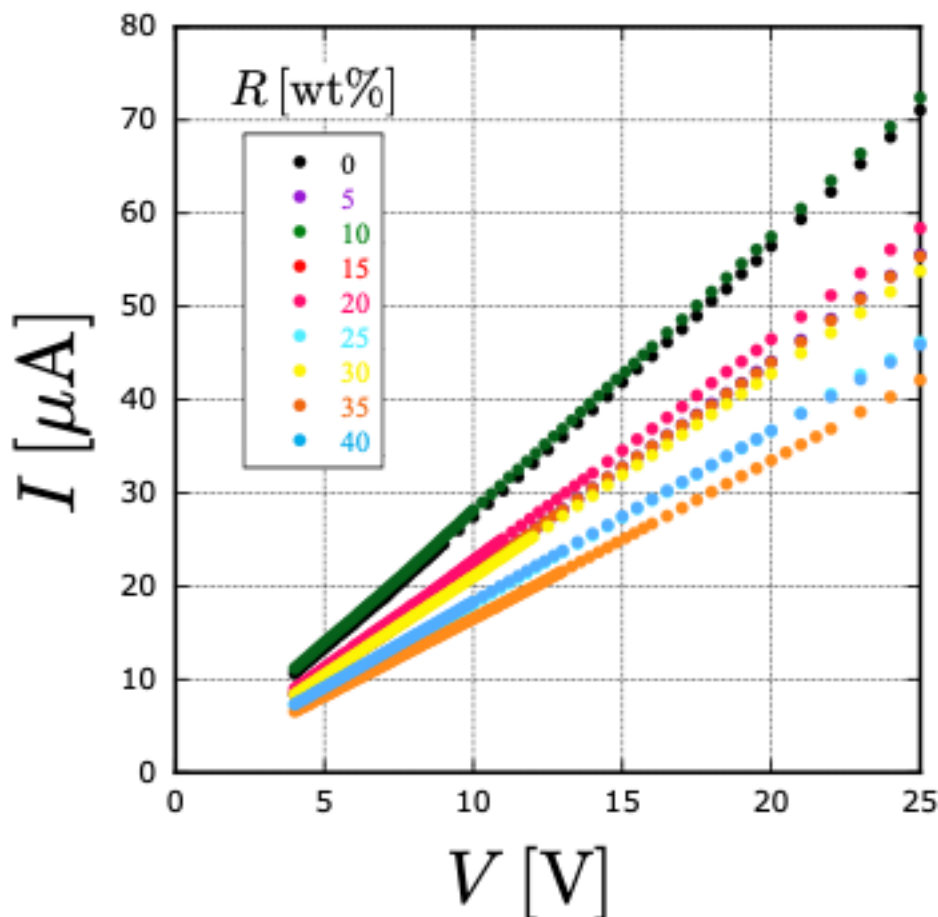


図3：高分子ネットワーク液晶中を流れる電流の印加電圧依存性

R はモノマーの重量百分率で、 R が大きいほど網目が密になり、その結果電流が流れにくくなる。電流は直線的に増加しているように見えるが、ある電圧以上でわずかに上向きに折れ曲がっている。その電圧で、電気伝導から電気対流への転移が起こっている。転移電圧は R とともに上昇する。

【今後の展開】

今回は高分子ネットワークの構造の詳細は調べられていません。今後は、網目構造と対流構造の歪みや電気ヌッセルト数との関係を明らかにすることが、この現象を理解するうえで重要です。

光重合の液晶状態を記憶する効果を液晶電気対流の秩序構造に適用する研究が、他のグループによって一部で行われています。今後は、さまざまな秩序構造や乱流を生み出す液晶電気対流に広くこの手法を応用し、新しい材料やデバイスの開発に結びつくと考えられます。

さらに、多孔質媒体のモデルとしての側面を活かし、網目構造と電気ヌッセルト数（熱輸送特性に相当）の関係を、地熱や地下水などの実際の多孔質媒体の流動現象と比較することによって、地下資源利用にも寄与すると期待されます。

【用語解説】

(※1) 多孔質媒体

小さなすき間を多数含む物質。シリカゲルのような材料や、岩石や土壌など多くの物質が該当する。

(※2) 光重合

紫外線を当てることで小さな分子（モノマー）がつながり、大きな分子（高分子）になる化学反応。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費（JP22K03469）の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：Physical Review E

タイトル：Electroconvection of a nematic liquid crystal in polymer networks as porous media

著者名：Hiroki Ifuku, Ryohei Kojima, Hirotaka Okabe, Shinya Kawano, Kazuhiro Hara, and Yoshiki Hidaka

D O I : 10.1103/3cwl-nl1m

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学 大学院工学研究院 助教 日高芳樹（ヒダカヨシキ）

TEL：092-802-3529

Mail：hidaka.yoshiki.565@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp