



Title	液晶の電場誘起乱流による負の粘性 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	小林, 史明
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14301号
Issue Date	2020-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/80243
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Fumiaki_Kobayashi_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 小林 史明

審査担当者 主 査 教 授 折原 宏
 副 査 教 授 郷原 一壽
 副 査 准教授 田中 之博

学位論文題名

液晶の電場誘起乱流による負の粘性

(Negative viscosity of liquid crystals in the presence of turbulence induced by an electric field)

粘度とは液体の持つ流れに対する抵抗の程度を表す量であり、一般に正の値を持つ。流れは、外力が働かなければ、この抵抗力のため減衰してやがて静止する。一方、外部からエネルギーが供給される非平衡開放系では流れが増幅されることがある。このとき、粘度が負になったと見なすことが出来る。このような見かけの負の粘度は、液体に磁性微粒子や大腸菌などのバクテリアを分散させた流体において、1990 年代から活発に探索が行われるようになった。しかしながら、それらの研究では粘度の減少は見られたものの、粘度は正のままで負にはならなかった。このような状況下で、2015 年に López らは低粘度用に特別に設計・製作した 10^{-3} mPa·s の測定精度を有するレオメーターを用いて、大腸菌の分散系において初めて粘度が負となることを示した。しかし、観測された負の粘度の絶対値は極めて小さいため (水の粘度の 10 分の 1 程度)、粘度が辛うじて測定されたのみで、流れの増幅等は観測されていない。流体の粘度が負になったときには、負の粘度を起源とした様々な新奇現象が期待されるが、それを観測するにはより大きな負の粘性を示す流体が必要である。また、このような流体がデバイスへの応用上も重要であることは言うまでもない。

このような背景の下、本研究では粘度が印加電場に強く依存することが知られている液晶に注目し、液晶において負の粘性の探索を行った。結果として、極めて大きな負の粘度 (大腸菌分散系の数 100 倍) の観測に成功している。この新たに発見された巨大負性粘度は、今まで観測されたことのない負の粘性を起源とする新規現象を通常の (特別に設計された超高感度ではない) レオメーターにより観測することを可能にした。実際本研究では、自発流れ、せん断速度とせん断応力における非線形関係、自励振動等の観測に成功している。さらに、これらの現象の機構解明のための理論的考察も行っている。この論文では、その成果をまとめている。

第 1 章では、これまでに行われてきた、負の粘性の探索に関する先行研究を紹介し、本研究の背景及び目的を述べている。

第 2 章では、液晶の異方性、連続体力学、乱流等に関して本研究において必要な基礎的事項を紹介している。

第 3 章においては第 4、5 章で実際に用いた液晶試料と実験系について述べている。試料に関しては用いた液晶の構造式、物性値、ドーブしたイオン性物質の構造式および作成した試料の導電率を示している。実験系に関しては、試料の観察とレオロジー測定を同時に行える装置について説明を行っている。また、本研究でレオロジー測定の際に用いたレオメーターの 3 つの測定方式を説明している。

第4章では液晶 MBBA についての結果を述べている。ここでは、せん断速度一定の下でせん断応力の印加電場依存性を測定したときに見いだされた巨大な負の粘度から、せん断応力がゼロの下で測定された負の粘性由来の自発せん断速度の電場振幅依存性までを示している。この際、同時に行った試料の顕微鏡観察から、液晶は強い乱流状態にあることを明らかにしている。次に、せん断速度及びせん断応力制御の下で測定されたせん断速度とせん断応力の間に現れた S 字曲線及び履歴曲線、そのスケーリング関係、さらに、S 字曲線の温度依存性を示している。また、コイルバネをレオメーターのシャフトに取り付けることにより自励振動を発生させることに成功している。また、Ericksen-Leslie 理論を用いて、負の粘性が電氣的応力由来であることを明らかにした。

第5章では主に MBBA と同族の液晶 EBBA を用いた結果を述べている。ここでは、EBBA にドーピングするイオン性物質 TBABE の濃度を変化させた導電率の異なる3つの試料を用いて、レオロジー特性は導電率に強く依存することを明らかにしている。最初にイオン性物質をドーピングした EBBA とドーピングしていない EBBA でせん断応力の電場振幅依存性を測定し、イオンをドーピングしていない EBBA では負の粘性は見られないが、ドーピングした試料では負の粘性が発現することを示している。次に、顕微鏡による観察の結果、負の粘性の発現には乱流の十分な発達が必要であり、その発達には高い導電率が必要であることも明らかにしている。また、導電率の高い試料では4章のものと異なる新しいタイプの自励振動を見出している。負の粘性由来の非線形レオロジー要素と線欠陥由来の粘弾性要素を組み合わせたモデルを作り、運動方程式を解くことで、この自励振動を再現している。

最後に、第6章で本研究の成果を纏めている。

これを要するに、本研究では液晶において負の粘性を初めて見出すとともに、それを起源とする一連の新規現象を観測し、流体の負性粘度に関する新たな知見を得たものであり、応用物理学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格のあるものと認める。