

Electrohydrodynamicsにおける非定常流れから定常流れへの遷移領域についての解明

佐藤, 匡

<https://hdl.handle.net/2324/4475120>

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)

氏 名 : 佐藤 匡

論 文 名 : Electrohydrodynamics における非定常流れから定常流れへの遷移領域
についての解明

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

油やアルコールなどの誘電性流体（導電率が低い流体）に高電圧を印加すると流動が発生する現象は“Electrohydrodynamics (EHD)”と呼ばれている。この現象は、低消費電力、機械要素が必要ないといったメリットから近年注目されている。この現象を用いた EHD デバイスの開発は盛んに行われているが、最適化設計をすることができていない。その理由として、EHD は電気化学反応と流動が同時に発生する複雑な現象であるため、正確な原理解明が進んでいないことが挙げられる。そこで、先行研究において行われてきた取り組みとしては、EHD に関わるパラメータを固定し、EHD の複数ある現象のうち一部を取り出して考慮することにより、解析が行われてきた。取り扱われるパラメータとしては、マクスウェル方程式において重要な比誘電率と、電気化学反応に直接関係する電荷密度に絞って解析が行われている。これらの先行研究の成果により、EHD の定常流れについては理解が進んでいる。しかし、定常流れへと発達する遷移領域については未だ理解が進んでいない。そのため、デバイス内部における流体的な効果を議論することができていない。ゆえに、発生した EHD 流れがどのように発達し、定常流れへと遷移していくのか調査を行うことが重要である。そこで、本研究では EHD の非定常流れから定常流れへと発達するモデル提案し、そのモデルについて実証実験とシミュレーションを行い、遷移領域を解明することを目的とした。

本論文の調査内容は下記に記載する 8 章構成となっている。

第 1 章では、本研究における背景と先行研究で行われてきた調査内容を時系列ごとにまとめ、EHD 研究において解明すべき領域を明確にした。

第 2 章では、解明すべき調査領域の中では、EHD に影響を及ぼす物性値が相互相関関係を持ち、パラメータが変動し続けることについて言及した。そこで、本研究で変数とするパラメータと固定するパラメータを明示した上で、非定常流れから定常流れへと発達するモデルを提案した。また、このモデルを解析するのに適した式を EHD の一般的な体積力の式から導出した。

第 3 章では、提案したモデルの実証を行うために、EHD の持つ局所的な密度差および圧力差が発生する特性から、それらを可視化するシュリーレン光学系について述べた。

第 4 章では、実際に誘電性流体で満たしたデバイス内に高電圧を印加することで、デバイス内部に流動を発生させ、非定常流れから定常流れへと発達する様子を可視化した。また可視化結果の確かからしさについても、熱、誘電率、拡散、物質流れの観点から考察を行った。

第5章では、取得した画像データを第6章で行う数値解析結果と比較しやすくするために、EHDに適した **Optical flow** 技術とその解析手法の選定、そして実際に用いたアルゴリズムについて説明を行い、EHDの実現象におけるベクトル図を算出した。

第6章では、2章で非定常流れから定常流れへと発達するモデルより導出した式を使用して数値解析を行った。実現象と数値解析データの比較を行うと、流れのトレンドと流速のオーダーが一致していたため、解析結果の妥当性について言及し、非定常流れから定常流れへと発達するモデルが成り立つことを実証した。

第7章では、実証した EHD の流れモデルが第3章から第6章で取り扱ったデバイスとは異なる形状でも成り立つのか検証を行った。第7章の実験の結果から、デバイス形状が異なったとしても同様に非定常流れから定常流れへの発達が予測可能であることが分かった。この結果より、他の EHD デバイス形状においても流れの予測ができる可能性について示唆した。一方で、得られた実験結果から考える応用研究として、EHD の低電圧化の可能性について述べた。EHD デバイスは一般的に、数 kV の高電圧を印加して駆動させるため、この EHD の低電圧化を達成することは、応用研究の汎用性向上のために大変重要である。本研究では低電圧化した EHD の観察まで到達することはできなかったが、実験結果から低電圧化 EHD を可視化するために必要な、デバイスの材質、収差の問題、光学系の条件について設定することができた。この条件を達成し、低電圧化 EHD の実証実験を行うことを今後の展望とした。

最後に、第8章では本研究によって達成した項目等について簡潔にまとめた。

以上、本研究では EHD の非定常流れから定常流れへと発達する遷移領域について調査することを目的として、この遷移領域で流れの予測をすることができるモデルと式を提案した。また、これらの有用性を実験と解析、両方からアプローチすることによって示した。本研究は EHD のデバイス設計において、設計論の一助となる EHD の遷移領域で成り立つモデルの確立と流れの予測ができる式を導出したことに意義がある。

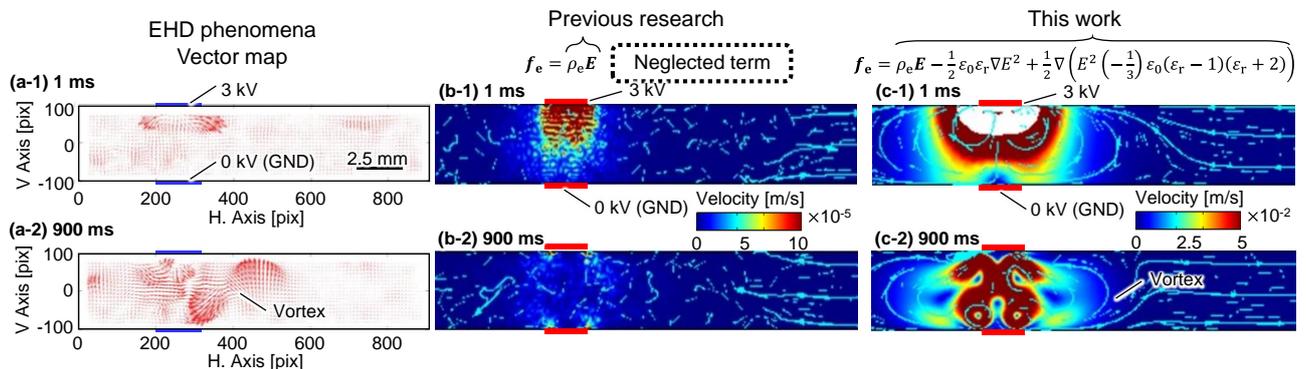


Fig. 1. Generated vortex and flow in parallel EHD device. (a) Experimental results of vector map of EHD phenomena. (b) FEM analysis results using previous research body force equation. (c) FEM analysis results using this work body force equation considering the forces of electric field on a dielectric fluid.