

磁気支持された磁性流体液錐の頂点角度・定常電流評価

北守 祐貴・柴田 将聡・大路 貴久・飴井 賢治 (富山大学)

1. はじめに

外部磁場に対する磁性流体 (Ferrofluid, FF) の変形・挙動を観察する実験的研究は古くから存在する。筆者らは、室温かつ大気圧中で垂直磁場下における磁性流体液滴の非接触支持に成功しており [1], 簡便な装置で磁性流体液滴の変形観察を実現した。また、図 1 に示す装置を製作し、磁性流体溜りから円錐状の液体 (以下「液錐 (cone)」とする) を非接触支持・操作する能動制御実験も実施しており [2], AM (Additive manufacturing) 技術への応用を見据えた基礎実験を進めている。本稿では、磁気支持中の液錐高さ (頂角), 制御電流の関係について静特性を調査した。

2. 磁性流体の頂角・定常電流評価

図 1 の磁気浮上装置について説明する。1 軸アクチュエータ下に設置された棒状の制御電磁石と透過型変位センサ (OMRON, ZX-LT030) により、液錐頂点の位置決め制御を行う。磁性流体 (榊フェローテック, MSGP50) をシャーレ (直径 85.7 mm) 内に初期深さ 4 mm で満たし、Z ステージに設置する。制御環境は一般的な磁気浮上系と同様であり、PID 制御による演算結果を電磁石への制御入力とする。各ゲインは試行錯誤的に $k_p = 0.6$, $k_i = 3.1$, $k_d = 0.005$ に選定し以降の実験では不変とする。

実際の液錐形成の様子を図 2 に示す。ここで、電磁石先端から液面までの距離 (初期設定距離) を d_0 [mm], 形成された液錐の高さを h [mm], 電磁石先端と液錐頂点との距離 (ギャップ) を d [mm] とする。Z ステージにより初期設定距離を $d_0 = 11$ mm から 23 mm まで 2 mm 間隔で固定し、液錐高さの目標値を $h = 1$ mm から 1 mm ごと上昇させ液錐が維持される高さまで実験を行う。このときの液錐高さ h と液錐頂点の角度との関係を図 3 に示す。また、初期設定距離 d_0 と定常電流との関係を図 4 に示した。なお、液錐は図中の写真のように厳密に尖った頂点とはならない。そこで、液錐の写真をもとに両側の母線のなす角を頂角 α [deg.] と定義する。図 3 より液錐が高いほど頂点が鋭角となり、液錐頂点の磁束密度の増大が示唆される。また、図 4 より、初期設定距離 d_0 が小さいほど同一高さの液錐を生成するための電流値が小さく省電力となる。

3. まとめ

磁性流体液錐を維持できる範囲で、広範囲に液錐形成試験を行い、液錐頂点角度と定常電流の状態を評価した。今後は、液錐高さ、頂点角度、およびその際の定常電流値を FEM モデルに反映し、磁束密度分布結果をもとに液錐形状の決定要因を明確化する予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 (17H03213) の助成を受けて実施されました。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] T. Ohji, et al., "Magnetic Levitation of a Ferrofluid Droplet in Mid-Air," AIP Advances Vol.10, Issue 1, 015037 (2020).
 [2] 北守他: 「能動制御により磁気支持された磁性流体液錐の垂直・水平振動試験」, 第 33 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, SEAD33-1, (2021).

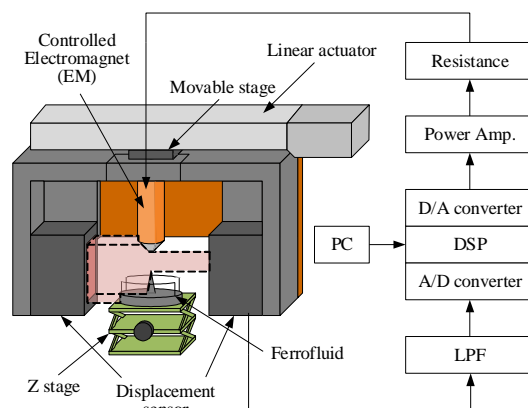


図 1 装置概要

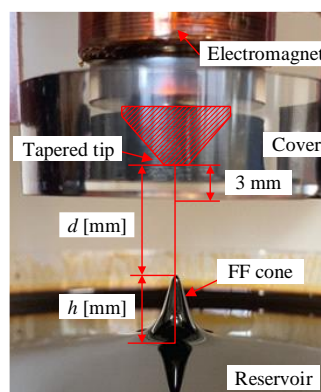


図 2 液錐形成の様子

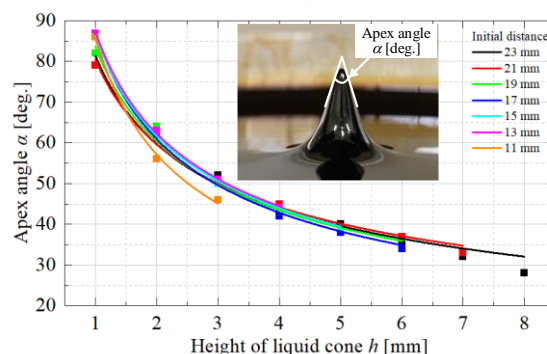


図 3 液錐頂点の角度比較

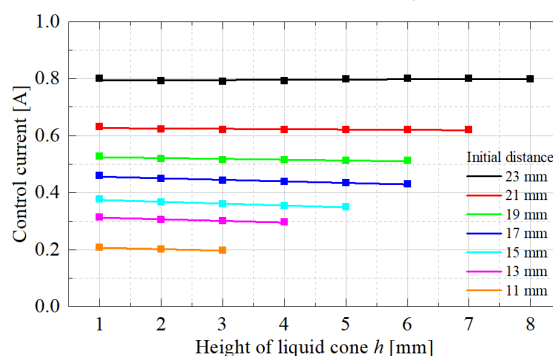


図 4 液錐時の定常電流比較