

『 フェロフルイドのスパイク構造の2次元定量解析 』

大釜茶門

緒方謙親

片山奏

村上和輝

指導教員 永尾俊博

1 序論

1. 背景 フェロフルイドとは、磁場によって液体の表面にトゲ状構造（スパイク）が現れる磁性流体である。スパイクが結晶格子のように規則正しく並ぶ「結晶相」から、乱れが増える「融解相」へと変化する現象は、固体物理・相転移の理解において重要なモデル系として注目されている。
2. 先行研究 スパイク構造は磁場強度により変化し、結晶相・融解相・液体相のような構造が報告されている。しかし、スパイクの形状や周期の定性的な解析が中心であり、スパイクの位置や向きの乱れを位置座標として抽出し、結晶性を定量的に評価する研究はほとんど行われていない。
3. 問題 スパイクの位置を正確に抽出し、格子の乱れや向きの揃い具合を数値化する必要がある。しかし、スパイクは液体上に形成されるため形状が不安定であり、距離が近い場合はスパイクが潰れて座標抽出が困難になるなどの問題が残っている。解決には、スパイクの輪郭を自動で認識できる画像処理技術と、得られた座標を統計的・物理的に解析する数値計算手法が必要である。
4. 研究の目的 スパイクの撮影画像から位置座標を抽出し、Delaunay分割・欠陥密度・位置相関関数などを導入することで、ミクロ構造の乱れを数値として扱える枠組みを構築することを目指す。

2 進捗状況

1. 方法 ①磁性流体を入れている容器の底面からネオジム磁石までの距離を変化させて写真撮影した。②写真画像からスパイクの頂点を位置座標で読み取った。③位置座標を用いてPythonにより解析した。

2. 結果 ネオジム磁石までの距離が 5 mm における写真（図1）とボロノイ図（図2）を示す。解析結果から、スパイク平均間隔は磁石からの距離が 9 mm 以上で急速に広がった。欠陥密度は 43%を下回ることがなく、完全な六方最密構造には程遠い。その他、配向秩序、位置相関長などを得た。



図1 スパイクの様子

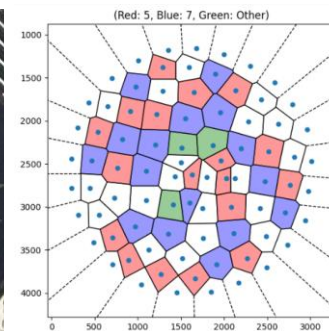


図2 ボロノイ図

3. 考察 スパイク平均間隔は、磁石との距離が 9 mm より近いと、表面張力と反発力によって変化しなくなったと考えた。欠陥密度が距離 13mm で 100%になってしまった。原因は、検出されたスパイクの総数自体が少なく、少数の欠陥粒子が全体比率を大きく押し上げてしまったからと考えた。
4. 結論 スパイク平均間隔と配向秩序の非単調な変化から、「近いほど秩序が高まる」との仮説は支持されない。近距離では引力過多による急速な凝集、遠距離では引力不足が秩序形成を妨げると考えられる。欠陥密度は全域で高く、完全な結晶化には至らなかった。

3 今後の展望

データ数を増やすことと、スパイク位置の自動検出方法を探ることにより、より精密な解析を行う。それにより、2次元モデルを構築する。また、Python のコードを改良していきたい。

4 文献

- ・ Qianhong Yang, *et al.* (2024), 15, 2874.
- ・ François Boyer and Eric Falcon (2009), PRL 103, 144501.
- ・ 西川 宜彦 (2017), 博士論文, 東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻 関連基礎科学系.
- ・ B. I. Halperin, D. R. Nelson (1979). Light Scattering in Solids, Conference paper, 47.
- ・ 渡辺宙志(2007),アンサンブル. 9(4),22.
- ・ H.H. von Grunberg, P. Keim, G. Maret (2007), Phase Transitions in Two-Dimensional Colloidal Systems.
- ・ Johannes Schindelin, *et al.* (2012). *Nature Methods*, 9(7), 676.