

スポットライト

～第9回「高校生・高専学生ポスター発表」～
日本金属学会会長賞

外部磁場の強度によって磁性流体のスパイクの形状はどのように変化するのか

兵庫県立姫路東高等学校 科学部物理系研究部

志村実咲 菅原 楓 陰山麻愉 松田理沙

1. 動機と目的

磁性流体とは、流体でありながら磁性を帯び、砂鉄のように磁石に反応する性質を持つ機能性流体のひとつで、直径が10 nm程度の磁性超微粒子と、分散媒体である水、有機溶剤、さらに粒子を吸着して分散媒体中で安定に分散させるための界面活性剤からなるコロイド溶液です。磁性流体には、スパイクという特徴的な形状をなすことが知られています。一例として図1にスパイクが立ち上がっている磁性流体の様子を示します。スパイク現象とは、磁場の近くに置くと、その磁力線の流れに沿って磁性流体から角が生えたような突起が形成される現象をいい、他の磁性体にはない特徴的な現象です。

外部磁場を変化させることで、6角形や4角形のスパイクが生じることが知られています⁽¹⁾⁻⁽³⁾が、外部磁場強度とスパイクの形状およびスパイク間距離の関係についてはまだ説明されておらず、筆者らはスパイクの形状がどのように変化していくのかを明らかにすることを目的にしました。



図1 磁性流体のスパイク。(オンラインカラー)

2. 実験方法

磁性流体は、酸化鉄(マグネタイト)、イソパラフィン、イソステアリン酸を成分とする、シグマハイケミカル社製DS-50を用いました(20℃密度1.40 g/cm³, 20℃粘度97 mPa/s, 飽和磁化9 mT)。また、外部磁場として、縦100 mm×横100 mm×厚さ10 mmのケニス社製角形フェライト磁石(磁束密度140 mT)SQ 100を1～3枚重ねて用いました。磁性流体37 mlを内底面が86 mm×86 mmのスチロール樹脂製容器に入れると、5 mmの深さに溜まりました。フェライト磁石と容器底面の距離を変化させ、生じるスパイク

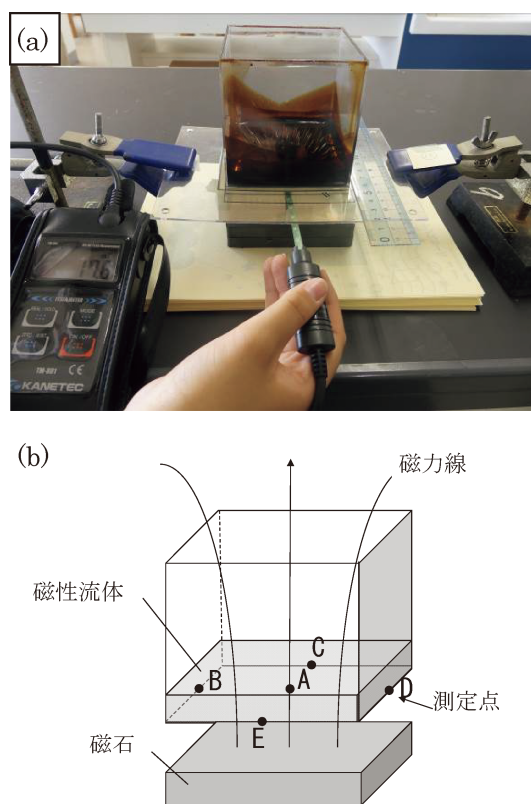


図2 (a)測定装置の外観図。(b)測定装置の模式図、A-Eは磁力の測定点。(オンラインカラー)

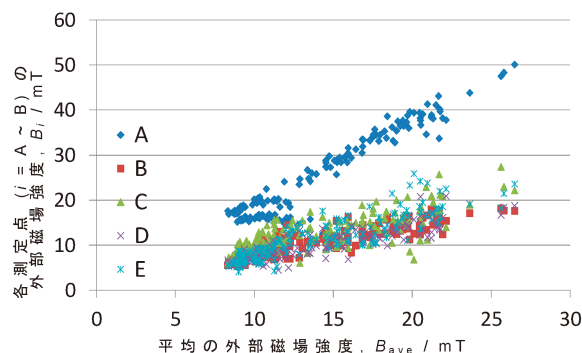


図3 容器底面5か所で測定された平均の外部磁場強度と各測定点における外部磁場強度の関係(測定168回)。(オンラインカラー)

を観察しました。図2に測定装置の外観図と磁束密度(外部磁場強度)の測定点を示します。外部磁場強度の測定は、カネテック社製ガウスメーター TM-801(分解能0.1 mT, 精度 $\pm 5\%$)を用いました。容器底面5か所で測定し、その平均値を外部磁場強度としました。容器底面と磁石の距離をさまざまに変化させた時の、容器底面5か所で測定された平均の磁力の強さと各測定点における磁力の強さの関係を図3に示しました。いずれの測定点においても容器底面と磁石が近くなるほど外部磁場強度は大きくなっていきました。また、磁石の中央の測定点Aの外部磁場強度が最も大きかったです。

3. 結 果

フェライト磁石と容器底面の距離が近くなるほど外部磁場強度も大きくなっていきますが、詳細な関係は不明です。外部磁場強度を変化させると、スパイクの形状や高さ、数が変化しました(図4：スパイクの外観図、図5：外部磁場強度とスパイクの数、図6：外部磁場強度とスパイク1本あたりの底面積、図7：外部磁場強度とスパイクの高さ)。また、磁性流体全体に現れるスパイクの形状の分布を観察し

たため、測定点全体の磁束密度の平均値を平均の外部磁場強度として、その大きさとスパイクの形状の関係を示しました。

磁性流体に外部磁場を加えると、7~8 mT付近で、底面が円形のスパイクが出現しました。円形のスパイクの間には多くの隙間が見られました(図4(a))。外部磁場を強めていくと、スパイクは底面積をほぼ一定に保ったまま次第に高くなり、数を増やしていくため、隣接するスパイクどうしが接着するようになりました(図4(b)~(d))。接着面は最短距離の直線をなして、容易に底面が六角形をなすスパイクに変化

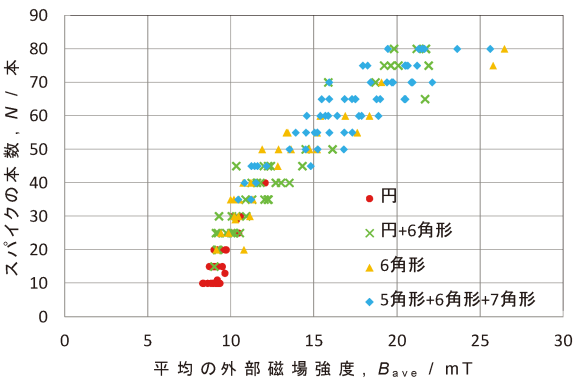


図5 平均の外部磁場強度とスパイクの本数(測定154回)。(オンラインカラー)

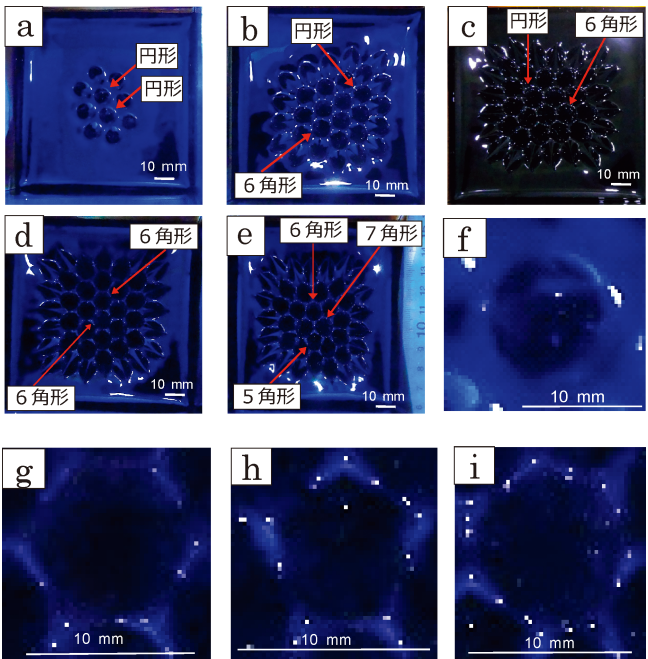


図4 平均の外部磁場強度と生じるスパイク形状。(オンラインカラー)
(a) 円形で隙間が広い(7.8 mT)
(b), (c) 円形の中に六角形のスパイクが現れる(9.2 mT)
(d) 六角形で隙間がない(10.2 mT)
(e) 五角形と七角形のスパイクが隣接して現れる(10.8 mT)
(f) (a)で観察された円形のスパイクの拡大図
(g) (d)で観察された六角形のスパイクの拡大図
(h) (e)で観察された五角形のスパイクの拡大図
(i) (e)で観察された七角形のスパイクの拡大図

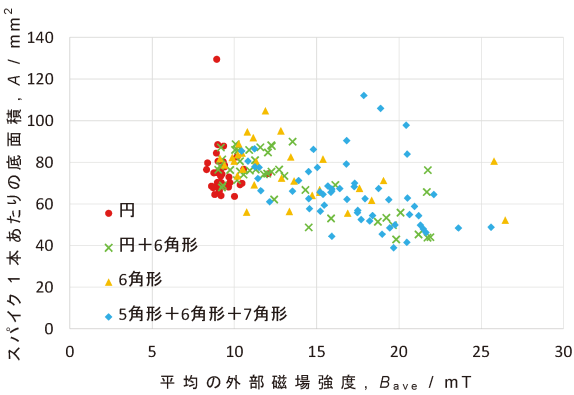


図6 平均の外部磁場強度とスパイク1本あたりの底面積(平均値)(測定154回)。(オンラインカラー)

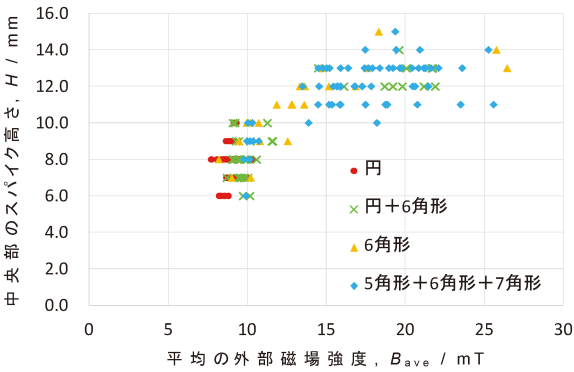


図7 平均の外部磁場強度と中央部のスパイクの高さ(測定168回)。(オンラインカラー)

しました．さらに外部磁場を強めると，10 mT 付近から，6 角形のスパイクの中に 5 角形と 7 角形のスパイクが出現しました．外部磁場を強めると，スパイクの本数は増えていきましたが，6 角形のスパイクが安定を失って，底面積が小さい 5 角形や底面積が大きい 7 角形(図 4(e))のスパイクに変化するものが現れるようになりました．また，外部磁場を強くしても，12～14 mm よりもスパイクが高くなることはほとんどありませんでした．磁性流体を入れる容器の形状や大きさは，スパイクの生成に影響を及ぼさないことがわかっています⁽³⁾．

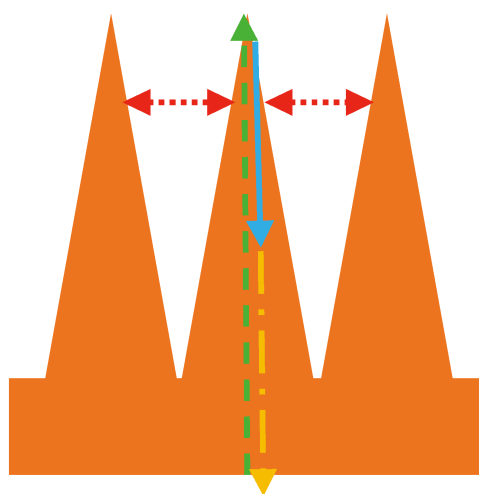


図 8 スパイクのモデル図．(オンラインカラー)
赤：(点線)スパイク間の斥力
緑：(破線)磁性超微粒子間の引力
青：(実線)表面張力
黄：(一点鎖線)重力

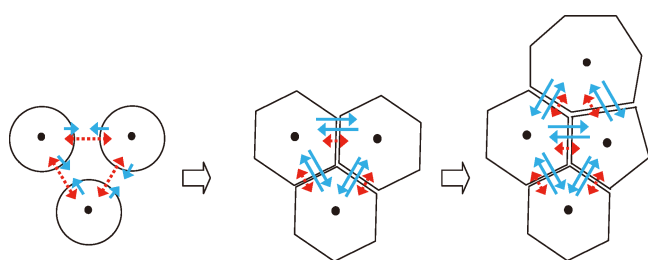


図 9 外部磁場を強くするとスパイク底面の形状が変化する．
(赤(点線)：斥力，青(実線)：表面張力)(オンラインカラー)

4. 考 察

磁性流体に外部磁場を加え，臨界磁場に達すると，磁場の方向に沿ってスパイクを形成します．スパイクの表面は，磁性流体内の磁性超微粒子どうしの引き合う力で盛り上がりませんが，磁性流体の表面張力および重力の合力とつりあった高さで安定となります．一方外部磁場に垂直な方向には斥力がはたらくため，スパイクは外部磁場を加えている平面全体に均一に分布すると考えられます(図 8)にスパイクのモデル図を示します．

スパイクが円形から 6 角形へと成長するにつれて，隣接するスパイクが磁性流体の表面張力によって接着します．表面張力が大きくなり，斥力を上回ると，接着面は最短距離の直線となり，6 角形をなすと考えられます．図 9 に外部磁力を強くしていく際のスパイクの形状変化のモデル図を示しています．さらに外部磁場を強めると，10 mT 付近でスパイクは不安定化して 5 角形や 7 角形に崩れていきます．

5. 結言と今後の課題

本研究では磁力を強くしていくことでスパイクの本数は増えますが，底面積はほとんど変化しないために隣接するスパイクが接着するようになり，スパイクの形状が変化していくということを明らかにしました．

磁性流体を利用した応用機器が多方面で開発されており，本研究はその基礎研究となると考えられます．現在スパイク底面の磁性超微粒子にどのような力が加わって形状が変化するのか，スパイク内の磁性超微粒子の密度分布はどうなっているのか，について研究を続けています．

本研究を行うにあたり，本校科学部顧問の川勝和哉主幹教諭には有意義な議論をしていただきました．ここに記して謝意を表します．

文 献

- (1) A. Galitis : J. Fluid Mech., **82**(1977), 401-413.
- (2) 伊丹俊夫，松本英明，正木匡彦，荒磯恒久：日本マイクログラフィティ応用学会誌，**11**(1994)，101-106.
- (3) 福田芳行，堂原教義：日本機械学会論文集，**66**(2000)，139-146.

(2023年 7 月 7 日受理)[doi:10.2320/materia.62.809]
(連絡先：〒670-0012 兵庫県姫路市本町68番地70)