

||||| 特集 2：航空機による学生無重力実験コンテスト |||||
(解説)

微小重力下での磁性流体を用いた磁界解析実験

阿南 隆史¹・野村 哲史²・井手 和幸²・山本 竹志³・菱井 彩乃⁴

Magnetic Field Analyzing Experiment under Microgravity, using Ferrofluid

Takafumi ANAN¹, Tetsushi NOMURA², Kazuyuki IDE²,
Takeshi YAMAMOTO³ and Ayano HISHII⁴

Abstract

When magnetism is put on ferrofluid, spike-like figure appears. This is called the “Spiking Phenomenon”. The “Spiking Phenomenon” on the ground receives the influences from the surface tension, the magnetic energy, and most of all, the gravity from the earth. The purpose of this experiment is to observe the behavior of ferrofluid different from the ground by putting magnetism on ferrofluid under microgravity, and to examine the influence that the surface tension and the magnetic energy is exerting on ferrofluid.

In this experiment, we observed many difference in the behavior of ferrofluid. The spike of ferrofluid expands longer under microgravity compared with the ground, and each spike has worn roundness. This is because the influence of gravity got small and the influence of the surface tension appeared greatly. Moreover, various shape was formed in the process of combining strength of an upper and lower electromagnet.

1. はじめに

磁性流体に磁力をかけると磁性流体はスパイクを生じる。これは“スパイク現象”と呼ばれている。地上でのスパイク現象は表面張力と静磁エネルギーの他に重力による影響を強く受けている。この実験の目的は微小重力下において磁性流体に磁力をかけることで、地上とは異なった磁性流体の挙動を観察し、磁性流体に表面張力と静磁エネルギーが及ぼしている影響を調べる事である。

- 実験装置 : 電磁石装置
- 実験実施日 : 2004年12月10~13日 (3 フライト)
- 試料 : 磁性流体フェリコロイド W-40
(タイホー工業)

2. 実験内容

2.1 方針

シャーレとそれを囲うようなアクリル製の容器を作り、シャーレに磁性流体を入れ、容器の上下に電磁石を配置する。まず容器の下側の電磁石に電流を流し磁化させ、スパ

イク現象を生成させる。次にセルの上の電磁石にも電流を流して磁性流体の形状の変化を見る。上下の電磁石の強さの組み合わせ等を変えてみて、どういった形状が見られるかを撮影する。得られた結果、画像を微小重力と地上とで比較する。

2.2 電磁石

この実験で使用した電磁石は、底面の半径1.2 cm、長さ5.5 cmの鉄心に1400回コイルを巻いたものである。これに電流 I (A) が流れたとき、鉄心の電磁率を μ とすると、 $\mu \times 1400 / 0.055 \times I = 2.55 \mu I \times 10^3$ (T) の強さを持つものとする。よってこの電磁石からは $2.55 \times \mu I \times 10^3$ 本の磁力線が出ていることになる。磁性流体中の磁性微粒子が磁石から受ける力は磁石との距離の二乗に反比例する。磁性流体はこの力を磁石までの距離で積分したエネルギーと、表面張力によるエネルギーが釣り合う点で静止すると考えられる。

電源装置の電源電圧は可変であり、今回の実験では8V及び12Vを使用した。また図のスイッチでは上下の電磁石に流れる電流を調節でき、それぞれの電磁石に電源電圧

1 東京大学建築学科 〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

Department of Architecture, the Univ. of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan (E-mail: patapata_57@yahoo.co.jp)

2 東京大学航空宇宙工学科 〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

Department of Aeronautics and Astronautics, the Univ. of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

3 東京大学工学部機械工学 A 〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

Department of Mechanical Engineering, the Univ. of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

4 東京大学生命認知科学科 〒113-8656 文京区本郷 7-3-1

Department of Life and Cognitive Sciences, the Univ. of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

を V [v] として $5/V, 7/V, 12/V$ [A] の電流を流すことができるようになってきている。電流値 $= X/V$ (A) として X の値を上下の電磁石でそれぞれ変え、組み合わせを変えて実験を行った (Table 1)。

2.3 実験条件

今回の航空機実験では、3回のフライトを通して“磁性流体の量”、“上下の電磁石間の距離 (ギャップ)”の2つのパラメータを変えて実験を行った (Table 2)。

2.4 実験装置

容器の上下に電磁石を配置し、容器の中のシャーレに磁性流体を入れる。実験の様子は容器の横につけた照明とカメラで撮影した (Fig. 1)。

3. 実験画像

3.1 電流量 (上 0, 下 5-12)

上の電磁石に流れる電流量を 0 とした時、磁性流体は地上と μG で似た形状になる。地上では、(上 0, 下 5) の時はトゲが全く見られない。(0, 7) でようやく少しだけ見られ、(0, 12) では通常のスパイク現象が確認出来る。それに比べ μG の時は重力の影響がなくなるぶんトゲが形成しやすくなる。またスパイクの高さが増し、とげが丸みを帯びていることがわかる。スパイクのできる面積も若干広

Table 1 Combinations of X

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
上	5	7	12	5	5	5	7	7	7	12	12	12	0	0	0
下	0	0	0	5	7	12	5	7	12	5	7	12	5	7	12

Table 2 Parameter Values in Each Flight

	1回目	2回目	3回目
磁性流体量	10 ml, 16 ml	8 ml, 18 ml	6 ml, 8 ml
ギャップ	45 mm (最大)	45 mm	35 mm

くなり、スパイク全体の淵の部分の外側へのせり出しがより顕著に見られる。

3.2 電流量 (上 7, 下 5-12)

上 7 を固定して下を変化させた場合、7.1 と比べ上に向かって張る力が強くなるのでトゲの高さが高くなる。 μG で真ん中のとげが際立って伸びているが、これは上下の電磁石を結ぶ線上、スパイクの中心の部分に及ぼされる磁力が特に大きいからだと思われる。

3.3 電流量 (上 5-12, 下 0)

下の電流値を 0 とし、上の方に電流を流した場合、このような形状となる。 μG では、上側の電流が増えるにつれて上側に付着する流体量が増えている。この視点からだと見づらいが、上側に付着した流体もスパイクを形成している。また、上側の電流が増えるにつれて引っ張られている流体の山の傾きが徐々に急になっている。シャーレ上に残

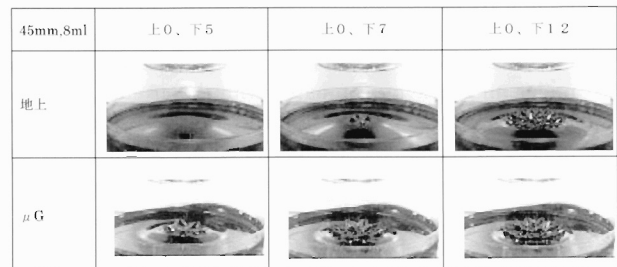


Fig. 2 Current intensity (upper 0, lower 5-12)

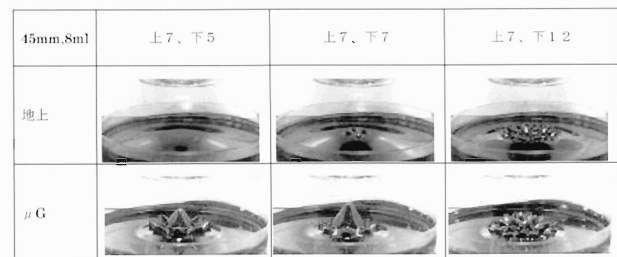


Fig. 3 Current intensity (upper 7, lower 5-12)

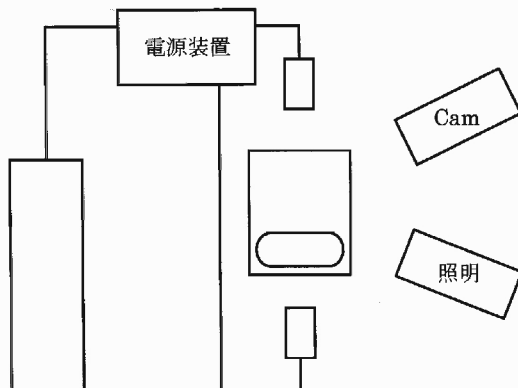
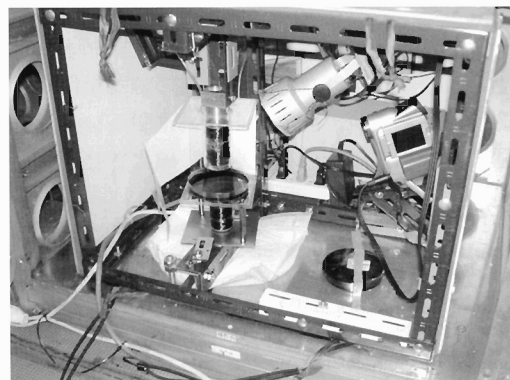


Fig. 1 Experimental apparatus.



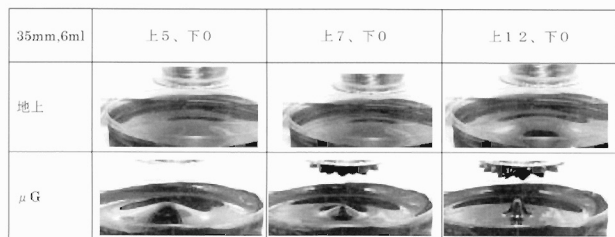


Fig. 4 Current intensity (upper 5-12, lower 0)

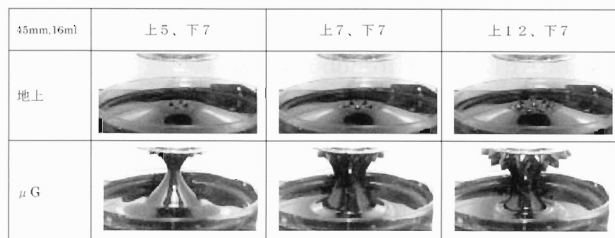


Fig. 5 Current intensity (upper 5-12, lower 7)

っている流体が少なくなり、磁力の影響が増すためである。

一方、地上実験において、動きはほとんど見られない。重力があるため、上側の電磁石からの磁力のみでは磁性流体を持ち上げるに至らない。

3.4 電流量 (上5-12, 下7)

μG において磁性流体の量を増やすと、上下のスパイクがつながった形状になる。磁力が極端に強くなったり、ギャップが小さくなったりすると、上に引っ張られた磁性流体が上下の電磁石をつなぐようになる。この電磁石の強さ

ではそこまで及ばないが、地上でも電磁石の強さを強くすれば μG の場合のようになる。微小重力下だと、このような現象は確認されやすくなる。

μG の画像を見ると、磁力の強さ、また磁力線の密度の分布が電磁石を強くしていくにつれ大きくなっていくことが、スパイク柱が太くなっていく様からわかる。

4. 実験結果・結論

地上に比べて微小重力下では磁性流体のスパイクはより長く伸び、1本1本は丸みを帯びていた。重力の影響が小さいので表面張力の影響が大きく現れたのだと考えられる。また、上下の電磁石の強さの組み合わせによって磁性流体が上下につながるなど様々な形状が形成された。これらの形状は、磁力の影響のみによるものであり、磁力の分布、磁力線の形状などをより可視的に我々に示してくれるものであった。

謝辞

本実験は宇宙航空研究開発機構、日本宇宙フォーラムの援助を受け「第2回航空機を利用した無重力実験コンテスト」の一環として実施されました。航空機実験の実施にあたり、多大なご協力を賜った財団法人日本宇宙フォーラム、ダイヤモンドエアサービス株式会社の皆様に深く感謝致します。また、実験を行なうにあたり全ての面で本学・鈴木俊夫教授と池田実助手に多くのアドバイスと支援を頂きました。深く感謝致します。

(2005年12月12日受理)