308 磁性流体と非磁性微粒子のクラスター現象

木倉 宏成[○] (東工大原子炉研), 山中 玄太郎 (東工大研), 松崎 充男 (東工大原子炉研)
澤田 達男 (慶大理工), 有富 正憲 (東工大原子炉研), 中谷 功 (金材研)

The clustering phenomena of magnetic and non-magnetic particles in magnetic fluids

Hiroshige Kikura, Gentaro Yamanaka, Mitsuo Matsuzaki
Tatsuo Sawada, Masanori Aritomi, Isao Nakatani

Magnetic fluids are suspension of ferromagnetic particles less than 10nm in diameter and it is well-known for the chain(cluster) formation of the magnetic particles under the magnetic field. In the present paper, using the light scattering from the particles, direct visualization on the behavior of cluster formation of the ferromagnetic particle and non-magnetic particles have been made under the magnetic field.

Key Words: Magnetic Fluid, Cluster formation, Magnetic field, Brownian motion.

1. 緒言 磁性流体は、直径 10nm ほどの強磁性微粒子を溶媒内に安定に懸濁させたコロイド溶液であり、磁場作用下では磁場方向に強磁性微粒子の鎖状クラスターが形成されることが知られている⁽¹⁾。

磁性流体のクラスター現象は特に水ベース磁性流体の場合に顕著に現れ、磁性流体の粘度特性や流動特性の異常現象の原因と考えられている。このクラスター現象を解明すべく粒子モデル解析や数値解析などが行われているが、実験的には光の波長より小さい強磁性微粒子の光学観察は困難なため、電子顕微鏡や NMR を用いたクラスター構造の解明が行われたにすぎなかった。

これらに対して Nakatani はコンデンサー・レンズを用いて、強磁性微粒子からの散乱光を観察する方法により、光学顕微鏡での磁性流体の可視化実験を考案し、磁性流体のブラウン運動から印加磁場下でのクラスター形成に至るまで、タイムリーな観察に成功した⁽²⁾。

そこで、本研究では磁性流体中の強磁性微粒子と非磁性微粒子のクラスター挙動を調べる事を目的として、Nakatani が考案した方法を用いて可視化実験を行った。磁性流体には水ベース磁性流体を用い、シリカ微粒子を混入して微粒子のブラウン運動およびクラスター現象を顕微鏡観察した。

2. 実験装置および方法 図 1 に実験装置の概略図を示す。この装置の基本的原理は、カーディオイド・コンデンサーレンズで凝集した光をサンプルに照射し、微粒子からの散乱光を光学顕微鏡で観測する事にある。

供試流体は、水ベース磁性流体 W-40(タイホー工業)を強磁性微粒子の重量濃度が 8% から 24% となるように希釈し使用した。非磁性微粒子として分散性に富んだ多孔質球形のシリカ微粒子 MSF-10M(平均直径 1 μ m; 大

阪リキット・ガス) および MSF-100M(平均直径 10 μ m)を用い、混入量を調整してサンプルを作成した。サンプルは、スライドガラス上に薄膜ができる程度に微量添加し、カバーガラスで挟み作成した。

磁場は電磁石を用いた一様磁場で、その強度は最大 500Oe であった。

カーディオイド・コンデンサーレンズは、反射鏡からの入射光を円筒形光に平行した後これを集光する。このレンズの集光角は、対物レンズの集光角よりも大きい。そのため、微粒子からの散乱光のみを観測できる。また、コンデンサーレンズとスライドガラスの間にはガラスと同屈折率のマッチングオイルを充填し、光学精度を高めた。(図 2 参照)

3. 結果および検討 本可視化実験により、磁性流体を観察すると、散乱光が瞬いて強磁性微粒子のブラウン運動がはっきりと観察できる。ここに試料に平行に一様磁場を印加すると磁場方向に強磁性微粒子が凝集し始め、鎖状のクラスターを形成する。図 3 は、24wt% の水ベース磁性流体 (以下 W-24 とする) に磁場を印加した時の強磁性微粒子のクラスター形成の様子である。このときすでにブラウン運動は生じていない。そして、外部磁場を解除すると、クラスターは解き放され再びブラウン運動の支配的な運動が見られる。

光量を増加させるため、磁性流体を 8wt% まで希釈し、これに 10 μ m のシリカ微粒子 (MSF-100) を混入した。この場合、強磁性微粒子にはブラウン運動はみられるものの、シリカ微粒子にはもはや見ることはできない。この試料に磁場を印加すると図 4 のようにシリカ微粒子と磁性流体の強磁性微粒子の鎖状クラスターがはっきり形成される。そして、磁場を解除すると強磁性微粒子および

1. Optical microscope
2. CCD camera
3. Cardioid condenser lens
4. Monitor
5. Video cassette recorder
6. Electro magnet

Figure 1 Experimental set up

Figure 2 Test section

シリカ微粒子とともにバラバラに分散したが、試料内の自由度の関係から、シリカ微粒子は数個の凝集を残した。

つぎに、ブラウン運動が考えられる粒径のシリカ微粒子として MSF-10M($1\mu\text{m}$) を混入した。強磁性微粒子に比べ、シリカ微粒子は大きく、散乱光観察からの区別が可能であるものと期待されたがこれは困難であった。図 5 は、この試料に磁場を印加した時の可視化写真である。図 5 から、微粒子が鎖状のクラスターを形成している事は確認できるものの、強磁性微粒子と非磁性微粒子のクラスター形成を区別する事はできなかった。図 5 と図 3 とを比較すると、画像の明度に明らかな違いがある。これは、非磁性微粒子を混入した事で、全体

的に散乱光の強度が増したためと考えられる。

参考文献

- (1) Rosensweig, R.E., Ferrohydrodynamics, Cambridge university press, (1985)
- (2) Nakatani, I., Abst. 8th Int. Conf. Magnetic Fluids, Timisoara, Rumania, (1998), pp39-40.

Figure 3 Cluster formation of magnetic particles

Figure 4 Cluster formation of magnetic and non-magnetic particles (MSF-100)

Figure 5 Cluster formation of magnetic and non-magnetic particles (MSF-10)