

## 2E05 弱磁性物質に対する磁場の諸効果—水の浮上、物質分離、自己組織化 etc— (物材機構) 廣田憲之

近年、10 T級の磁場が普及したことで、反磁性・常磁性物質（弱磁性物質）が磁場効果の研究対象として盛んに取り上げられるようになり、それらに対し磁場がどのように影響するかが知られるようになってきた。磁場効果のメカニズムは、磁気力、ローレンツ力、物質の異方性に起因する配向(磁気トルク)、磁氣的エネルギー変化に起因する熱力学的効果、ラジカルへの影響、と既に知られたものだが、どのような系に対し、どのメカニズムを、どう作用させるかにより、材料創製プロセスの制御や物質の分離など多様な磁場の作用が見出されてきている。本発表では、弱磁性物質に対する磁気力の効果を、磁場と物質の相互作用、及び、磁場下に置かれた物質間の相互作用という観点から捉え、いくつかの例とその利用に関して紹介したい。

磁気力は勾配磁場下に置かれた物質に対して、それらの磁性に応じた大きさ・方向に作用する。超伝導磁石で発生する磁場は強く急峻な勾配を有するため、たとえ弱磁性物質であっても、比較的大きな力を作用させることが可能で、これを利用することで、さまざまなプロセスを非接触で制御できる。例えば、重力と平行な方向で作用させれば、重力の擬似的な制御ができる。また、条件を整えれば、図1に示されているように、物質の安定浮上が実現する。磁気浮上環境は、不純物混入の防止や、均一核生成の可能性があるなど、材料創製にとって特殊な場を提供することから、その利用が期待されるほか、微小重力実験と関連させた利用も検討されている。磁気浮上の際の安定浮上位置は、物質とその周囲の媒体の体積磁化率差と密度差で決定される。これを利用すれば、新しい物質分離の手法、磁気アルキメデス分離が実現する(図2)。従来の磁氣的分離手法ではできなかった、被分離物質相互の分離が可能となるほか、これまで磁氣的性質の違いが分離に用いられてこなかった種々の物質分離過程に、新たなパラメータを与えることとなり、今後の利用が期待されている。

また、勾配磁場の下で、何らかの理由により、系内で体積磁化率の空間的な分布が形成される場合、磁場誘起の流れが起こり、種々のプロセスに影響を与える場合がある。例えば、脱気された水に酸素を接触させると、水への酸素溶解が進行するが、この過程を勾配磁場中で行えば、水中での酸素濃度に分布が生ずることから、磁場誘起対流が発生し、その攪拌効



図1 磁気アルキメデス効果による水の浮上。周囲の環境は12気圧に加圧された酸素ガス。



図2 磁気アルキメデス効果により分離された実用ガラス材料

果で酸素溶解が加速する。同様のメカニズムで、水の蒸発が加速・抑制できることも確認されている。さらに、超伝導磁石のボア内で非対称に加熱や冷却を行った際には、気相に流れを誘起したり、熱対流を制御したりすることが可能になる。図3は、平行平板で挟まれた厚み3 mm、直径40 mmの空間に封入された純水中の流れの可視化を行った実験の結果である。純水は下面から加熱、上面から冷却されており、上下面での温度差が一定の条件を満たしたとき、対流が始まる。このとき、温度による屈折率の違いから対流パターンを観測することができる。純水に対して磁気力を印加する方向を変えることで、対流開始点を制御できる。以上のような現象は、いずれも磁場と物質の相互作用を利用したものであると言える。

ところで、磁場下に置かれた弱磁性物質は弱いながらも磁化されるため、その周囲の磁場をわずかに変化させる。そこで、利用する磁場空間をうまく選ぶと、磁場下に置かれた物質間の相互作用を観測する事が可能になる。既に金やガラス、アルミナ等の1 mm程度の多数の粒子を用いて、1次元チェーン状配列や図4のような2次元三角格子状組織が形成されることを確認している。原子や分子が結晶を形成するように、ある程度大きな物質が自己組織的に構造を形成する現象として興味深く、今後、材料創製プロセスへの利用が期待される。

当日は、これらの現象に関して詳しく紹介し、種々のプロセス制御手法としての磁気力利用の可能性について述べる。

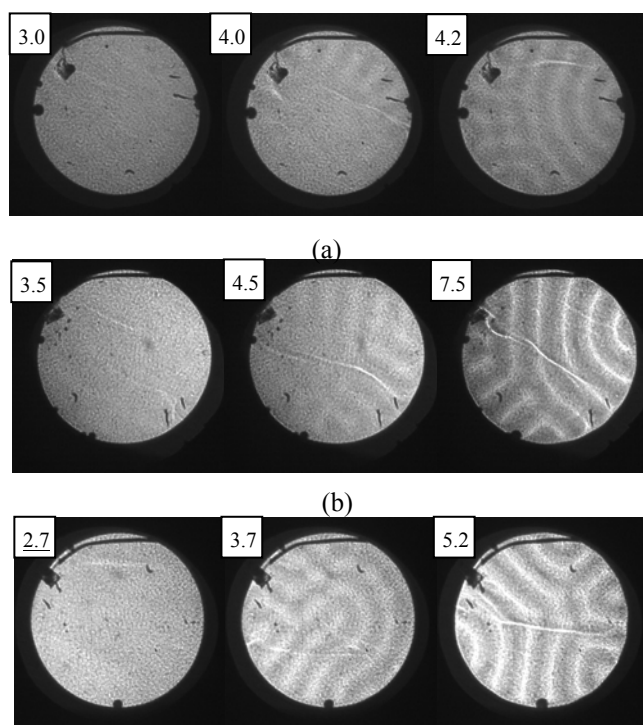


図3 (a)無磁場、(b)上向き磁気力、(c)下向き磁気力下での対流画像。

各写真の左上の数字は $\Delta T$  [ ]の値を表す。

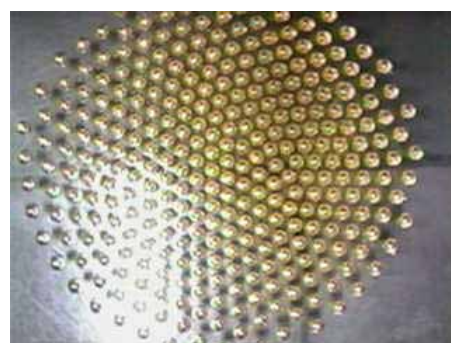


図4 誘起磁気双極子間相互作用により三角格子に配列した金粒子。粒子径1.0 nm、40 wt%塩化マンガン水溶液中、印加磁場4.7 Tで印加方向は写真面に垂直。