

## 強磁場における物質の挙動と新素材の創製

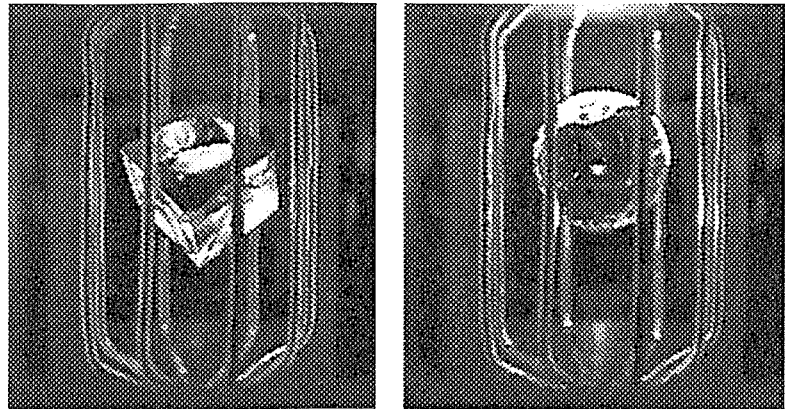
本河 光博 東北大学金属材料研究所 教授

物質の性質の特徴は電子の量子力学的運動によって決まることはよく知られている。そしてその電子は電荷および磁気モーメントをもつためいかなる物質も磁場と相互作用をする。いわゆる磁性体はもとより、一般の物質、例えば水のようなものでも磁場と相互作用をし、弱いながらも反発力が働く。驚くべきことに、この現象はすでに19世紀の半ば、ファラデーという人によって見つけられていた。この力は通常の磁場ではあまりにも弱すぎて気がつかないが、常識を越える強い磁場の下では、反発力と重力がバランスをとって浮かすことさえ可能である。このような磁気浮上の状態は宇宙と同様の無重力状態と考えられ、容器なしで結晶成長させたり、るつぼなし熔融で不純物の混入を防いだり、あるいは、るつぼの融点より高い融点の物質を熔融することが可能になるなど多くのメリットがある。また一方、釘のような細長い磁性体を磁場の中に置くと磁力線に平行になるように、非磁性の物質でも、強い磁場の下では分子そのものが磁場に対して特定の方向を向こうとする力が働く。これを磁場配向効果というが、このような状態で化学反応、結晶成長、物質合成などを行うと通常とは異なった物質が得られると期待できる。このような技術を新機能性材料の開発に応用するのがこの研究の目的である。そして、このような技術に応用できる強磁場発生用マグネットの開発も行う。

### 1) 磁気浮上効果

磁気浮上は容器なしで液体を磁場中に保持することができるため、材料開発においては結晶成長への応用がまず考えられる。我々は磁気浮上状態の水溶液から塩化アンモニウムをはじめとするいくつかのイオン結晶の成長過程の観察を行っている。塩化アンモニウムの結晶成長では磁気浮上した球状溶液内で単一の核から成長するデンドライト結晶が観察され、不均一核の発生を抑制できる可能性が示唆された。また、デンドライト結晶が球状溶液の表面に沿って二次元的に成長する特異な現象も観察された。塩化カリウム、硝酸カリウムの結晶成長にも成功し、両者とも球状溶液の気液界面に沿って成長する様子が観察された。さらに、磁気力を利用して溶液内で結晶の位置を制御する方法も見出した。これにより、容器を用いても、容器の壁や気液界面と非接触の状態、結晶を成長させる方法を開発することができた。ひずみの無い良質の単結晶成長技術への応用が期待できる。また、炭酸ガスレーザーを用いて、磁気浮上状態で雰囲気制御した物質の熔融凝固の実験も試みた。この実験では、ZnSeの窓の付いたガ

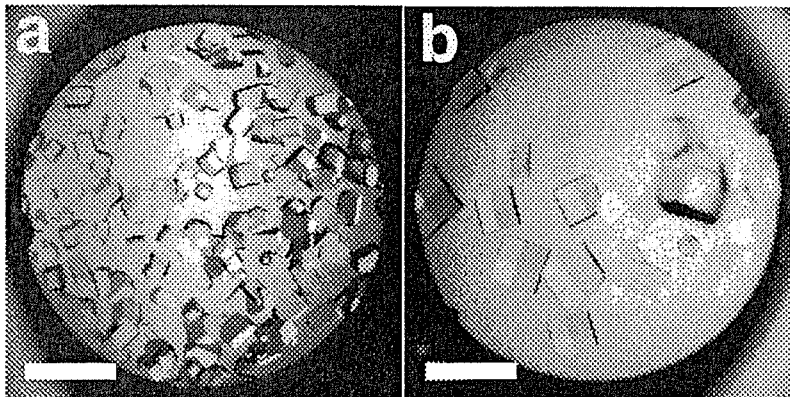
ラス容器の中に試料と不活性ガスを封入し、この中で磁気浮上した物質に炭酸ガスレーザーを照射できる装置を作製した。この装置を用いて、ガラスのみならず、砂糖やパラフィンなどの溶融凝固に成功した。これは宇宙へ行かなくても宇宙計画にあるような実験ができるという点で今後大きく発展する可能性を秘めている。



磁気浮上したガラス。溶ける前（左）と溶けた後（右）

## 2) 磁気配向効果

タンパク質の良質大型単結晶の育成は、その3次元構造解析や、バイオ高機能性材料の創製に必須の課題である。しかし、タンパク質の結晶化は現在のところ非常に困難で、この段階がボトルネックとなっている。我々



磁場なし（左）と10Tの磁場中（右）での蛋白質の結晶成長

は、タンパク質の結晶化過程を磁場により制御できることを見つけ、磁場が結晶の配向、個数（核形成過程）、形に顕著な影響をおよぼす事を明らかに磁場中で結晶化するとタンパク質結晶の「質」が格段に向上することを明らかにした。

次世代のエレクトロニクス材料として多方面での応用が期待されているポリピロールを取り上げ、磁気電解重合法をによる薄膜合成を試みた。これまでの研究で、膜が緻密になる組織変化があり、これはポリマーの酸化還元挙動に反映されることが分かった。ゼロ磁場膜の還元過程では、ドーパントのアニオンの脱ドーピングが同時に起こるが、5 T膜ではカチオン（ナトリウムイオン）のドーピングが同時に起こることが明らかとなった。磁場による膜の組織制御が、膜の特性制御につながることを明確に示した例である。さらに、重合膜を電極として用いて水素イオンの還元を調べたところ、5 T膜では水素イオンの還元が極めて起こりにくいことを見出した。