

(¹東大院総合・²東京農工大院) ○松下未知雄¹, 菅原正¹, 田中剛², 松永是²

【緒言】磁性細菌は、菌体内にマグネタイト微結晶を持ち、これを用いて地磁気を感知していると考えられている。磁性細菌が菌体内に合成するバイオマグネタイトは、高度に形態制御された 50~100 nm の粒子であり、単磁区構造を持つと考えられている。磁性細菌 *Magnetopirillum magneticum* AMB-1 株から得られるマグネタイト微結晶は一つ一つが hexagonal prism 構造を有しており、4~6 nm のリン脂質膜により被覆され、さらに、菌体内で 10~20 個連なるチェーンを形成している (図 1)。このような生体が形成する特徴的なナノ構造体が物性に及ぼす効果を調べる目的で、バイオマグネタイトの磁性及び導電性を検討した。



図 1 走磁性細菌

【実験】磁性細菌 *M. magneticum* AMB-1 株の培養菌体をフレンチプレスにより破碎し、Nd-Fe-B 磁石を用いて平均粒径 65 nm のバイオマグネタイトを磁気捕集した (試料 A)。さらに飽和 NaOH エタノール溶液を用いてバイオマグネタイトを被覆するリン脂質膜を除去した試料を調製した (試料 B)。一方、菌体を破碎せずにグルタルアルデヒドで固定化し、エタノールで洗浄・脱水し、PTFE フィルターで濾過・乾燥することで、菌体中にチェーン構造が保持されたフィルム状試料を調製した (試料 C)。

得られた試料について、QuantumDesign 社製 MPMS-5XL を用い、静磁化率及び交流磁化率を測定した。また、脂質膜を除去した試料 (C) を櫛型電極 (金電極、電極間隔 2 μm) 上に堆積し、Keithley 社製 6487 型ピコアンメータを用いて、10 mV の一定電圧で抵抗の温度依存性及び磁場依存性を測定した。

【結果と考察】試料 A 及び C の磁化の磁場依存性 (M-H) の測定結果を図 2 に示す。いずれの試料も明瞭なヒステリシスを示し、室温から残留磁化を持つフェリ磁性体として挙動することが示された。また、保持力・残留磁化とも、温度の低下とともに増大する挙動を示した。菌体を保持した試料 C が、試料 A に比べて明らかに大きな保持力を示したことは、試料 C ではそれぞれのナノマグネタイトが菌体によって隔離されているのに対し、抽出された試料 A においてはナノマグネタイト同士が近接し、磁気閉ループを形成しやすいためと考えられる。

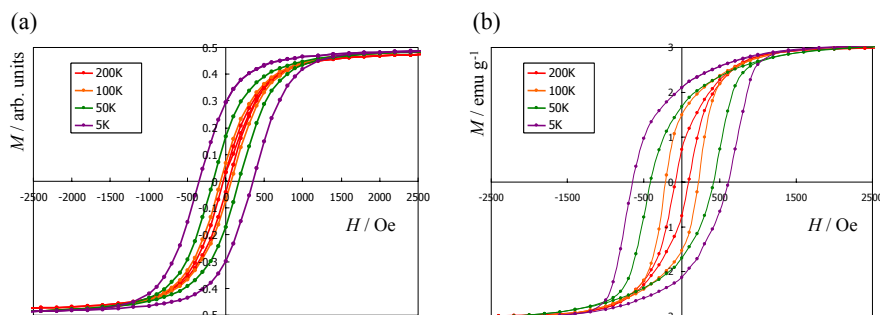


図 2 バイオマグネタイトの磁化の磁場依存性 (a) 抽出試料 A, (b) 菌体試料 C

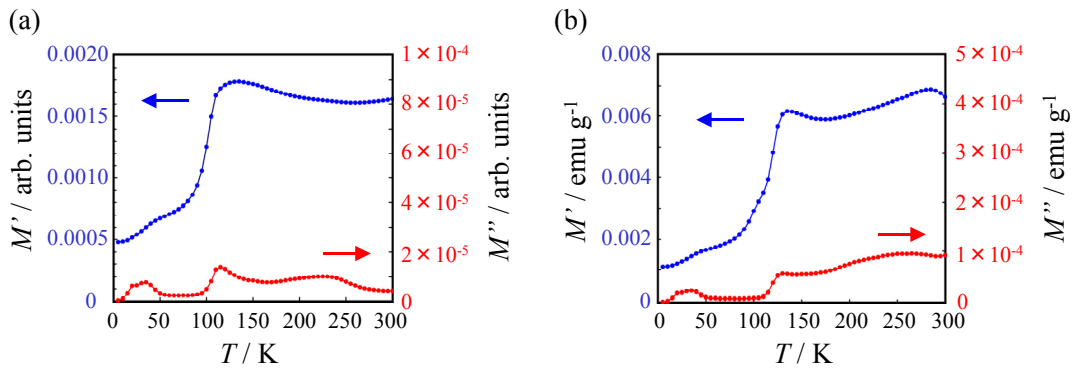


図3 バイオマグネタイトの交流磁化率の温度依存性 ($f=10$ Hz) (a) 抽出試料 A (b) 菌体試料 C

磁化率の温度依存性の測定の結果 (図 3)、いずれの試料も低温部で磁化率が大きく減少する挙動が見られた。この挙動は、Verway 転移に基づくものと考えられる。この際、試料 C における転移温度がバルクのマグネタイトと同程度である 120 K であるのに対し、試料 A で 100 K に低下していることは、試料 A においては抽出によって結晶表面の酸化が進むなどの変化が生じたこと、一方、菌体内では、マグネタイトの構造・組成が良く保存されていることを示唆している。

櫛型電極上に堆積された試料 B の抵抗の温度依存性 (図 4a) は、温度の低下とともに抵抗が上昇する熱励起型の挙動 ($E_a = 85$ meV) を示した。一方、バルクのマグネタイトが Verway 転移に伴って 2 桁程度の抵抗上昇を示すのに対し、バイオマグネタイトにおいてはこのような変化が見られなかった。磁気挙動に Verway 転移が現れているにもかかわらず、導電特性に現れなかったことは、マグネタイト内部ではなく、ナノ結晶の粒界が導電特性を支配していることを示している。得られた温度依存性が Variable-Range Hopping モデルで低温まで良く再現されることも、上記の考察を支持している。

この試料に、温度を一定に保った状態で 5T の磁場を印加したところ、室温で -2.6 %、100 K で -5 % の、負性磁気抵抗が観察された (図 4b)。磁気抵抗の大きさは磁場の方向によらず、誘導電流によるものではないことがわかる。この負性磁気抵抗は、マグネタイト微結晶間のスピンの依存したトンネル伝導に基づくものと考えられる。即ち、熱により揺らいでいる個々のマグネタイト微結晶の磁化方向が磁場の印加によって揃うことにより、トンネル確率が上昇するためと解釈される。

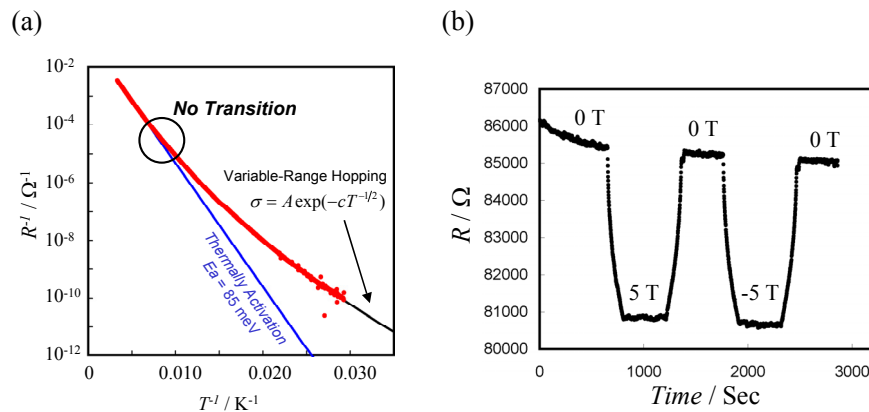


図4 バイオマグネタイトの導電特性 (a) 抵抗の温度依存性 (b) 100 K における抵抗の磁場依存性