

世界初、液体酸素温度で超電導浮上

ナノテクノロジーによる組織制御で高性能化に成功

芝浦工業大学¹材料工学科の村上雅人教授と、盛岡超電導技術応用研究所²のミリヤラムラリダ主任研究員、腰塚直己所長代理、超電導工学研究所坂井直道主幹研究員らは、図1に示すように世界ではじめて液体酸素温度での超電導浮上実験に成功し、その成果を6月30日から7月2日の日程でドイツのイエーナで開催される第4回バルク超電導体の基礎と応用に関するワークショップで発表する³。

高温超電導体の液体酸素温度（氷点下196、絶対温度77K）での超電導浮上実験は、科学館や理科の祭典などでも一般に行われており、現在では中学や高校の授業でも取り上げられている。

また、超電導浮上を利用した超電導磁気ベアリングの開発は、日本、米国、ヨーロッパで行われており、日本では電力貯蔵用超電導フライホイールの開発が国家プロジェクトとして進められている。また、中国では、超電導浮上を利用した磁気浮上列車の開発も進められている。

産業応用に関しては、液体酸素の利用分野も広く、医療現場における酸素ガス供給源や、ロケット発射用の液体燃料などとして利用されている。このため、高温超電導体を液体酸素冷却で実用化しようとする試みもあった。

しかし、現在、液体酸素温度以上の高温での応用が可能なY-Ba-Cu-O系超電導体⁴の臨界温度⁵は、氷点下182（絶対温度91K）程度であり、液体酸素温度が氷点下183（絶対温度90K）であるため、超電導体の特性が十分ではなく、この温度での応用は不可能とされていた。

今回、同研究グループは、Y-Ba-Cu-Oよりも臨界温度が4 高い氷点下178（95K）の(Nd, Eu, Gd)-Ba-Cu-O系⁶において、液体酸素温度での臨界電流密度を向上する目的で、微細なGd₂₁₁相⁷の分散を試みた。

具体的には、添加するGd₂₁₁相をボールミル粉碎により70nm（ナノメートル）程度まで微細化して、超電導体を製造した。この際、粉碎に利用したセラミックスボールの原料であるZr（ジルコニウム）がわずかに試料に混入した結果、図2に示すように、20-50nm程度の超微細なZr-Gd-Ba-Cu-Oの組成からなるナノ粒子が試料内に分散することが分かった。この結果、液体酸素温度における臨界電流密度が、液体酸素温度の90Kにおいて、従来のほぼゼロの状態から40000A/cm²という高い値に向上し、液体酸素冷却によっても超電導浮上させることが可能となった。

- 1 学校法人芝浦工業大学は東京都港区芝浦に本部があり、学長は江崎玲於奈博士である。村上雅人教授は超電導工学研究所の特別研究員も兼任している。
- 2 国際超電導産業技術研究センター（理事長：荒木浩）の研究所（所長：田中昭二）で、超電導技術の応用をめざした研究を行っている。超電導工学研究所は東京にある。
- 3 The 4th Workshop on Processing and Applications of Superconducting (RE)BCO Large Grain Materials, June 30 – July 2, 2003, Jena, Germany . この国際ワークショップは2年ごとに日米欧で開催されるもので、第2回ワークショップは岩手県盛岡市で1999年に開催されている。
- 4 Y（イットリウム）,Ba（バリウム）,Cu（銅）からなる酸化物であり、超電導体の化学組成はY: Ba: Cu = 1: 2: 3 (YBa₂Cu₃O₇)である。略してY123超電導体と呼ばれている。
- 5 臨界温度は、超電導状態を示す上限の温度である。つまり、臨界温度以下に冷却すると、超電導体は超電導の性質を示す。臨界温度が高いほど応用には有利と考えられている。
- 6 Y123超電導体のYサイトをNd（ネオジウム）,Eu（ユーロピウム）,Gd（ガドリニウム）で置き換えた超電導体である。この超電導材料の基本特許は、岩手県工業技術センターと国際超電導産業技術研究センターが有している。
- 7 GdとBaとCuの比率が2:1:1の酸化物（Gd₂BaCuO₅）の非超電導相である。超電導相の中に、このような非超電導粒子を分散させると、電気抵抗ゼロで流せる上限の臨界電流密度を向上できることが知られている。

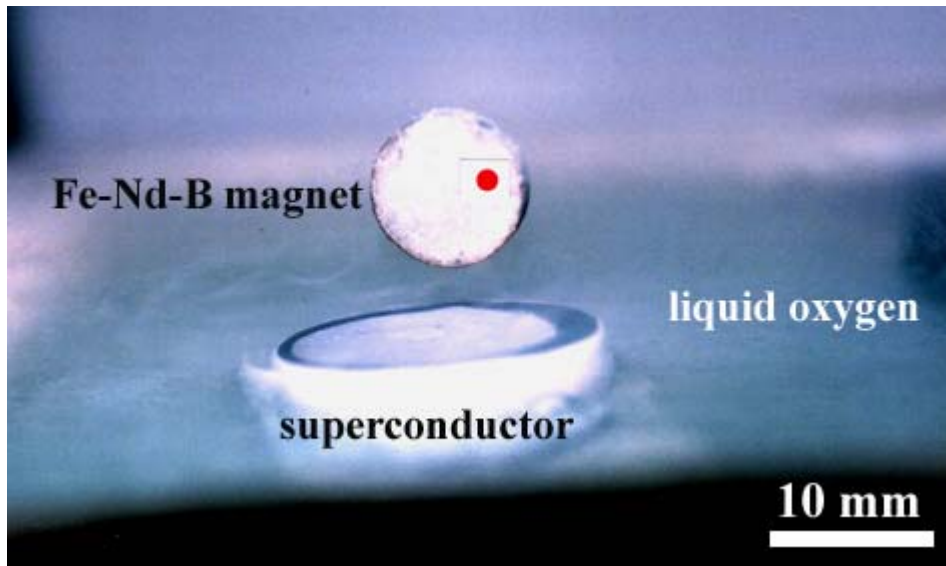


図1 今回開発した(Nd, Eu, Gd)-Ba-Cu-O超電導体を液体酸素で冷却し、その上に永久磁石を浮上させた写真。永久磁石に日本の国旗を貼り付けている。液体窒素は無色透明であるが、液体酸素は薄く青みがかったきれいな色をしている。

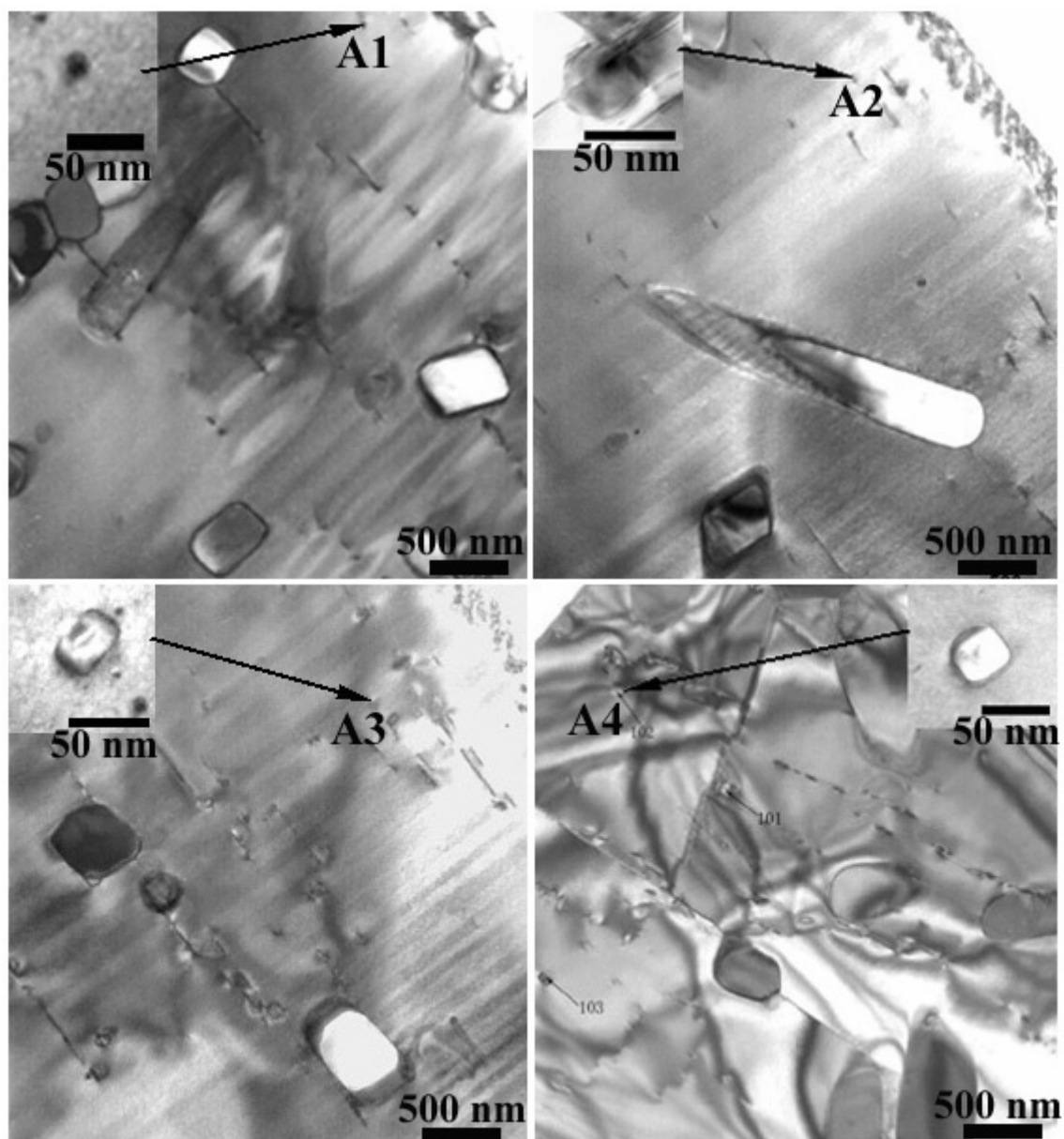


図2 今回開発した(Nd, Eu, Gd)-Ba-Cu-O超電導体の透過型電子顕微鏡写真。それぞれの部位の拡大図も示した。写真で、瑕のように見えるのがZr-Gd-Ba-Cu-Oの組成を有するナノ粒子である。

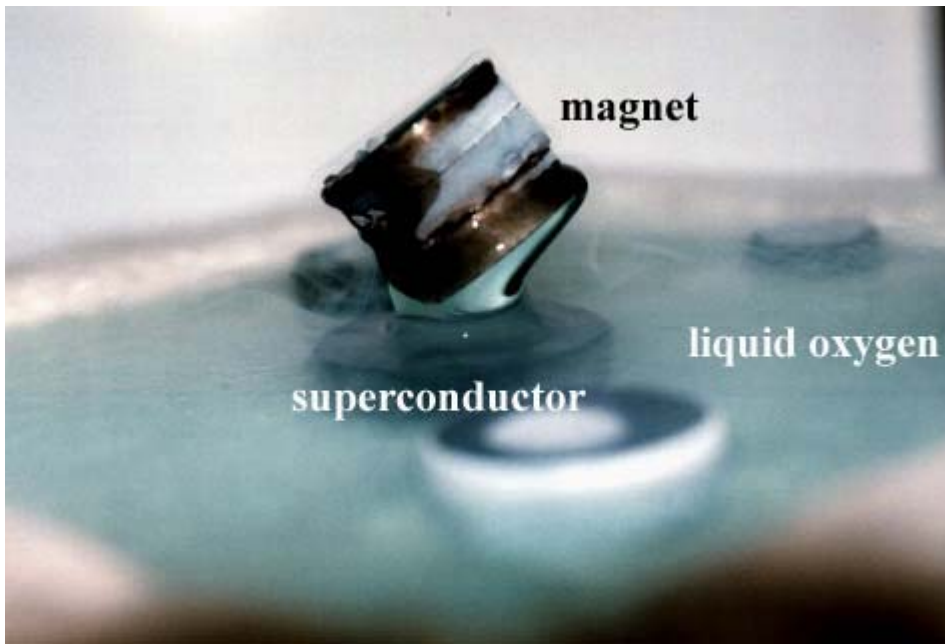


図3 液体酸素は磁性を有するため、浮上磁石に液体酸素が吸い寄せられ、図のように超電導体と磁石の間に液体酸素のブリッジができる。液体酸素の色が青みがかっている様子が分かる。