

磁気熱材料と超伝導材料の複合機器の開発

研究代表者 理工学研究部（工学） 西村 克彦

(1) プロジェクトの背景・目的

磁気熱量効果による冷凍機器をデザインするとともに、その機器で超伝導材料を冷却して、マイスナー効果を活用した磁気浮上機器を考案する。

一般に低温は気体の断熱圧縮で生成されるが、近年磁気熱効果を利用した冷凍技術が高いエネルギー効率や低い環境負荷の観点から注目されている。近年、希土類元素磁性化合物を用いた試験的磁気冷凍器では、室温付近で540Wの冷凍能力を達成している。

一方、YBCO (YBa₂Cu₃O_{7-y}) に代表される酸化物高温超伝導体は、材料の脆性のため線材開発がなかなか進んでいない。そこで、YBCO を超伝導バルク材として利用する方法を考える。例えば、YBCO の超伝導臨界温度 90K 付近で高い磁気熱効果をもつ磁気熱材料を開発し YBCO と複合化して、マイスナー効果による磁気浮上機器を設計する。

(2) 研究成果

平成 19 年度は、HoCo₂ 化合物の磁気熱量効果 (MEC) を評価し、更に希土類元素 Ho を Er で置換することによって有効温度領域の制御を試みた。図 1 は、(Ho_{1-x}Er_x) Co₂ の磁化の温度依存性を測定した結果である。Ho を Er で置換していくと、Er 濃度 x に直線的に依存して磁気転移温度が下降していくのがわかる。つまり、Er 置換により MCE の有効温度領域を制御できる。

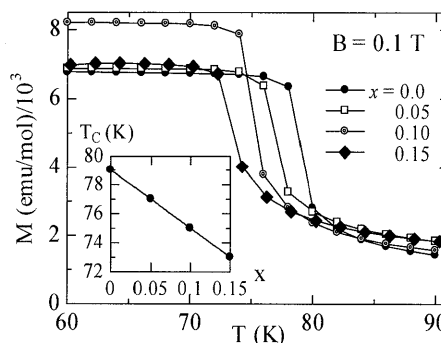


図 1

MCE を定量的に評価するために、温度を一定に保ちながら磁化の外部磁場依存性を測定した。図 2 は、Er 濃度が 5% の試料を用いた測定結果である。温度が 74K や 76K の磁化曲線から分かるように、外部磁場が 1 T 付近で磁化が急激に上昇しメタ磁性転移を起こしていることがわかる。一般に、メタ磁性転移を伴う磁気構造転移は大きな MCE をもたらすことが知られている。

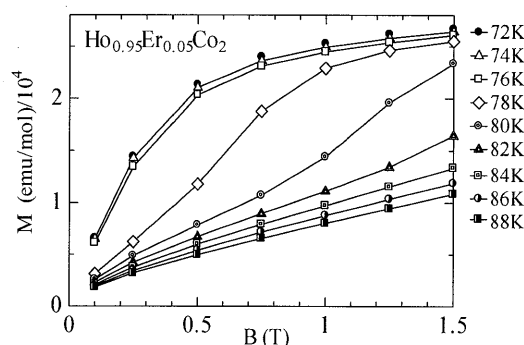


図 2

測定した磁化曲線からマックスウェル関係式 $\Delta S_{mag} = \int_0^B \left(\frac{dM}{dB} \right) dB$ を用いて磁気エント

ロピー変化を評価した。図 3 はその結果である。外部磁場が大きくなると磁気転移が高温側にシフトするのは、強磁性転移の特徴である。

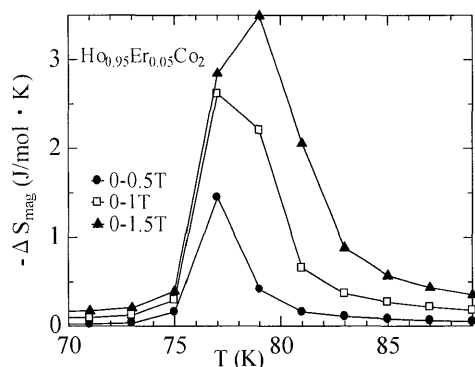


図 3

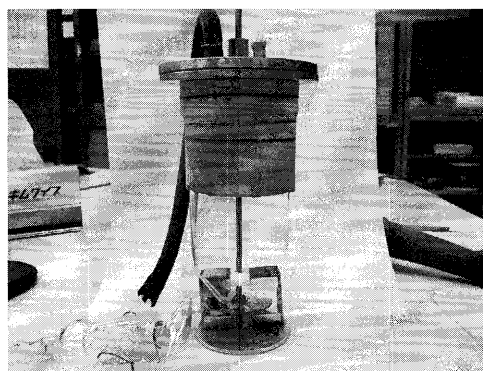


図 4

試料の MCE を直接評価するために図 4 に示すような測定器具を作製した。試料はステンレス製の回転円盤に取り付けられ、ガラス容器の断熱真空の中に置かれる。磁場はネオマックス永久磁石で発生させた。磁束が試料に集中的に作用するように、鉄のヨークをデザインしている。ホール素子による磁場測定では、最高約 0.8T を観測した。

図 5 は、この装置を用いて実測した MCE の結果である。温度 77K 付近で $\text{Ho}_{0.95}\text{Er}_{0.05}\text{Co}_2$ 試料をステンレス回転板に固定して磁場中に出し入れたところ、約 0.6K の温度変化を観測した。試料温度は半導体抵抗を用いて測定した。

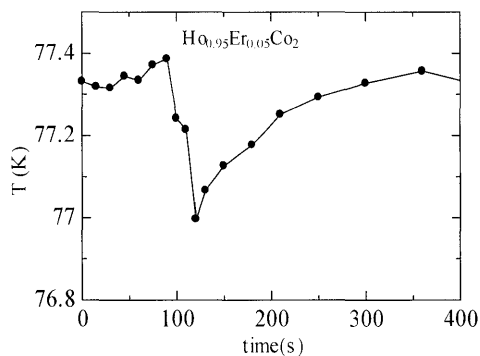


図 5

(3)プロジェクト成果（特許，起業，技術移転等）

今回の研究成果は十分新規性があるが、自作した磁気熱量測定器具の完成度がまだ不十分のため、改善をすすめていきたい。

(4)プロジェクト成果の応用・効果・構想

同時に研究を進めている FeRh 合金の MCE 研究で、実用レベルの性能を見いだしている。今後は、FeRh の Rh を安価な元素に置換して大きな MCE を発生する材料の開発を進める。

(5)利用施設

この研究では、総合研究棟 1 階に導入されている「極限環境先進材料評価システム」を利用して、作成した材料の電気・磁気・熱特性を総合的に評価している。利用日数は、一月に 8 日程度、年間 80 日程度である。（本システムでは、保守点検や修理のために 50 日程度をあてている）