

磁気熱量材料と超伝導材料の開発

研究代表者 理工学研究部(工学) 西村 克彦

○プロジェクト成果報告

(1)プロジェクトの背景・目的

超伝導を利用した高速鉄道輸送システムの実現性が高まってきた。医療機器の分野では超伝導を応用した精密診断機器 (MRI) が益々普及している。今後、超伝導を応用した機器は広範囲に利用されると思われる。しかし、寒剤として使われているヘリウムガスが戦略物資として輸入困難になってきていることは、我が国にとって大きな問題である。解決策は、超伝導臨界温度が高い線材料を開発することである。MgB₂は金属系として非常に高い超伝導転移温度約 40K を持つ。本研究では、MgB₂超伝導線材の製造プロセス開発を1つのテーマとしている。また、これまで低温の製造は、気体の断熱圧縮と膨張により行われてきたが、近年磁性材料を用いた磁気冷凍や蓄冷材の開発が注目を集めている。本研究では、超伝導利用のため室温と 40K 付近で磁気熱量効果の大きな磁性材料の探索も行う。

(2)研究成果

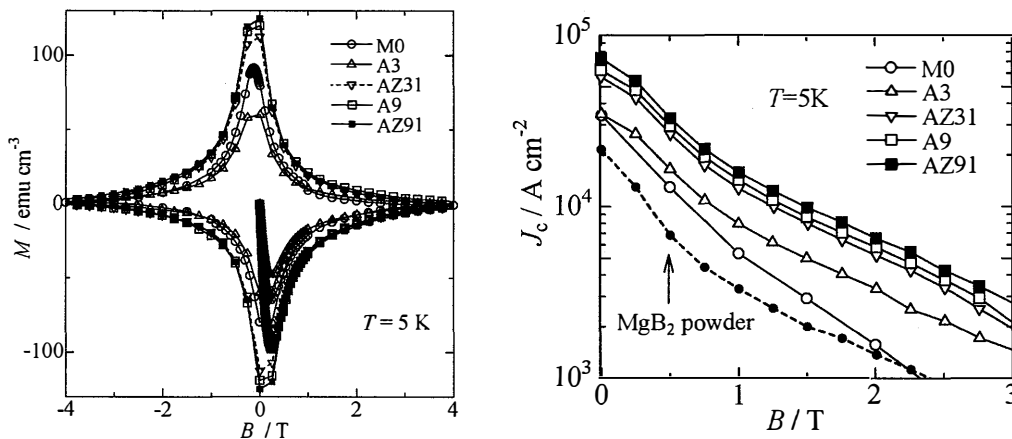
磁気冷凍材料の研究では、GdCo₂B₂やDy_{0.9}Tm_{0.1}Ni₂B₂Cが実用材料レベルの磁気熱量効果を示すことを発見し、その結果を公表している[ref.1,2]。特に、GdCo₂B₂は、30K付近で大きな磁気熱量効果を示し、MgB₂超伝導材料を冷却する装置のワーク物質として有望である。また、次世代エネルギー源としての液体水素の製造プロセスでの利用も期待できる。磁気熱量材料の応用範囲を広げるために、希土類元素を変えたRCo₂B₂系および磁性が似ているRCo₃B₂系の磁気熱量効果を系統的に調査した。その結果、HoCo₂B₂の10K付近からGdCo₃B₂の50K付近の温度範囲で有効な磁気熱量材料群を見いだした[ref.3-6]。下記の表に、その一部をまとめた。

Material	T_M (K)	Order of transition	$-\Delta S_M^{\max}$ (J/kg K)		RCP (J/cm ³)		ΔT_{ad}^{\max} (K)	
			0-2T	0-5T	0-2T	0-5T	0-2T	0-5T
GdCo ₂ B ₂	25	first	9.3	17.1	1.06	3.8	6.7	15.4
TbCo ₂ B ₂	16	first	1.5	6.2	0.44	1.8	3.3	13.7
DyCo ₂ B ₂	10	second	5.4	12.1	0.91	2.9	3.5	9.9
HoCo ₂ B ₂	10	second	6.8	12.2	0.71	2.3	6.7	14.5
GdCo ₃ B ₂	54	second	5.0	9.4	0.57	1.8	2.8	5.2
TbCo ₃ B ₂	28	second	4.9	8.7	0.59	2.2	4.0	7.3
DyCo ₃ B ₂	22	second	7.4	12.6	1.2	3.1	6.4	11.6

1. Giant reversible magnetocaloric effect in antiferromagnetic GdCo₂B₂ compound: Lingwei Li, K. Nishimura and H. Yamane: Appl. Phys. Lett. 94 (2009) 102509-1, 3pp March
2. Giant reversible magnetocaloric effect in antiferromagnetic superconductor Dy_{0.9}Tm_{0.1}Ni₂B₂C compound: Lingwei Li, K. Nishimura: Appl. Phys. Lett.95 (2009) 132505 (3p) Sept.

3. Magnetic properties and large reversible magnetocaloric effect in PrCo_2B_2 compound: Lingwei Li, K. Nishimura and H. Yamane: J. Appl. Phys. 106 (2009) 023903(5p) July
4. Magnetic properties and magnetocaloric effect in NdCo_2B_2 compound: Lingwei Li and K. Nishimura: J. Phys. D. 42 (2009) 145003 (5pp) July
5. Large magnetocaloric effect in TbCo_3B_2 compound: Lingwei Li, D. Huo, H. Igawa, K. Nishimura, J. Alloys and Compounds 509 (2011) 1796-1799 Feb.
6. Magnetic properties and magnetocaloric effect GdCo_3B_2 compound: Lingwei Li, K. Nishimura, H. Igawa, D. Huo, J. Alloys and Compounds 509 (2011) 4198-4200 Mar.

MgB_2/Mg 超伝導複合線材の製造プロセスの開発研究では、AlやZnの添加が臨界電流密度 J_c の向上に役立つことを新たに見いだした。Al原子は、 MgB_2 粒子のMgサイトを置換し、粒子内でピン止め効果を発揮し J_c を向上させていると思われる。Zn原子は、Mg-Al析出物の生成を促進し、この析出物が MgB_2 粒子界面でピン止め効果を発揮し J_c を向上させていると思われる。今後は、 J_c を実用レベルに向上させるために、他の元素添加による効果を調査していく。



(3)プロット

今回は RCO_2B_2 および RCO_3B_2 系の磁気熱量効果を系統的に調査し、有効温度範囲が 10~50K の磁気熱量材料群を見いだした。今後はより高い温度領域での磁気熱量材料を見だし、特許申請を目指す。 MgB_2 超伝導線材の製造プロセスに関しては、新たなプロセスを構想しており、研究を推進するための種々の研究助成金を申請している。

(4)プロジェクト成果の応用・効果・構想

RCO_2B_2 磁気冷凍は、液化水素燃料の製造などに多いに活用されることが期待できる。Al や Zn を添加して臨界電流密度を向上させた MgB_2/Mg 超伝導線材の作製プロセスは超伝導応用において重要になると考える。

(5)利用施設

極限環境先進材料評価システムにより、超伝導複合材料や磁気熱材料の特性評価を行っている。作業は、週平均3日、年間90日程度である。