

高効率常温磁気冷凍材料の実用化

育成研究：JSTイノベーションプラザ宮城 平成16年度採択課題
「高効率常温磁気冷凍材料の実用化」



代表研究者：東北大学・大学院工学研究科
知能デバイス材料学専攻 准教授 藤田麻哉

■ 研究概要

フロン類ガスが不要で高効率な磁気冷凍の実現に必要な新規Fe系磁気冷凍用材料の開発を行った。冷凍機搭載に適した球形状を付与した材料において、金属組織と動作温度の制御を実施し、さらに、量産に向けた技術安定化の基礎を確立した。また、本球状材料が良好な熱分離特性を示すことも実証した。

■ 研究内容、研究成果

磁気冷凍は、フロン類ガスを一切用いず、現状の気体冷凍方式よりも高い効率が期待されるため、早急な実用化が待望されている。本プロジェクトでは、我々東北大グループが見出した高磁気熱量効果を示す $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 化合物を実用材料として応用するため、最適な形状を付与した材料において、均質な磁気特性を適切な温度範囲において得るための技術を確立した。

磁気冷凍においては、磁性体は固定され、水などの流体が熱交換を担うので、熱移動やフローの損失低減のために、材料の球状化が必要である。そこで、回転電極プロセス(Rotating Electrode Process: REP)により図1(a)に示すような直径数百マイクロン程度の球状の中間材を作製し、均質化熱処理により最終材として球状 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 材料を作製することを目指した。中間材における組成の偏析や粗大な属組織は均質化を阻害し、磁気熱量効果が低減する。この問題を解決する手段として、REPに供する電極の金属組織を調整すると、図1(a)に示すように平均組成および組織が均質化された球状中間材が得られ、熱処理後には、図1(b)のように $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 化合物が球内のほぼ全域で形成されることがわかった。

高磁気熱量効果はキュリー温度 T_C の直上で得られるが、本化合物の優位性として、 T_C を水素吸収により制御し、動作温度範囲を約200K~330Kの範囲に任意に設定できる。しかし、球材料において水素濃度の分布のために特性が不均一になると、球集団全体での冷凍能力が発揮できない。そこで吸収条件を探索し、球内および球間において水素濃度差が抑制される水素吸収方法を確立した。図2には、 T_C を300K付近に制御した $\text{La}(\text{Fe}_{0.86}\text{Si}_{0.14})_{13}$ の複数の球における、磁化の温度変化を示す。各データは重なっており、磁化の変曲点から求められる T_C は数度の範囲内に収まる。水素吸収のバッチ処理をくり返し、数100gオーダーの球試料群を作製しても、 T_C の分布は±3K程度に抑制できるので再現性にも優れている。図3には T_C を295K、300Kおよび310Kに制御した水素化REP球の約50個程度をまとめて、磁気熱量効果の指標となる磁気エントロピー変化 ΔS_m の温度依存性を測定した結果を示す。 ΔS_m の最大値および半価幅を保持した状態で T_C は目標温度範囲に制御されている。

上記手法により得られた球状材料($T_C = 295\text{K}$)を、永久磁石を備えた冷凍原理検証モジュールに搭載して試験した結果、モジュールの高温端と低温端の間に約20°Cの温度差が生じることが確認され、大きな熱分離動作が実証された。これらの成果は、本材料をシステム搭載まで視野に入れた実用化が現実的に可能になったことを意味する。なお、本プロジェクトで開発した製造プロセスは量産にも対応可能であり、将来の工業化も期待できる。

■ 今後の展開、将来の展望

常温磁気冷凍の汎用冷凍機器応用はフィジビリティ・スタディ段階にある。磁気冷凍材料として実用化するためには、本材料系を適用した磁気冷凍システムとしての冷凍性能の確認や、大量生産へのプロセス拡張性、長期的信頼性の確保など、更なる課題の展開が必要である。今後これらを社内事業部とともに検討し、磁気冷凍技術の実用化を目指す。東北大学では、異なる T_C を有する本系材料をハイブリッド化して温度範囲を拡充するための磁気熱量特性制御法などを調査し、磁気冷凍システムとの対応を視野に入れた事業化に向けて、技術支援を継続する。

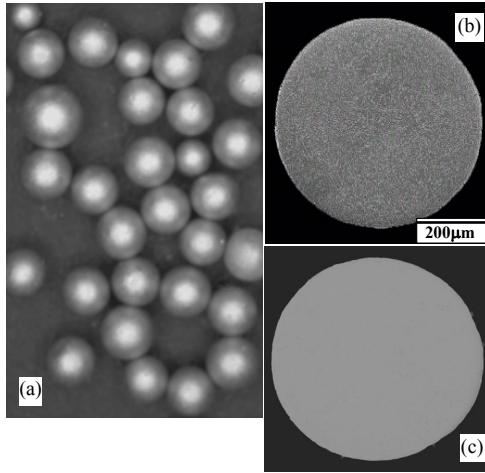


図 1 (a) 回転電極法 (REP) により作製した球状試料および球内断面の SEM による観察結果: (b) REP 直後, (c) 均質化熱処理後。

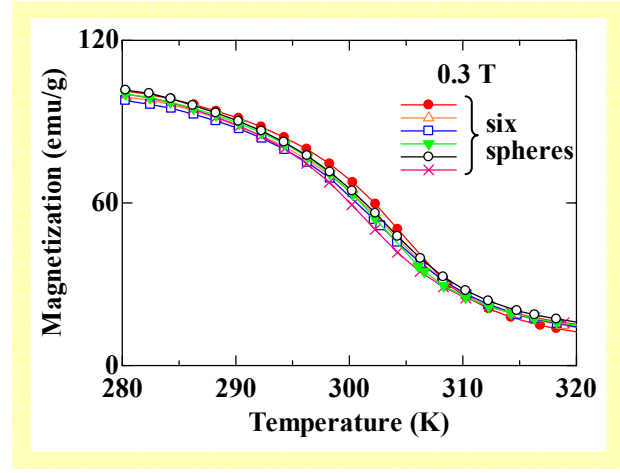


図 2 水素吸収によりキュリー温度制御した $\text{La}(\text{Fe}_{0.86}\text{Si}_{0.14})_{13}$ 球状試料 6 個の磁化-温度曲線。

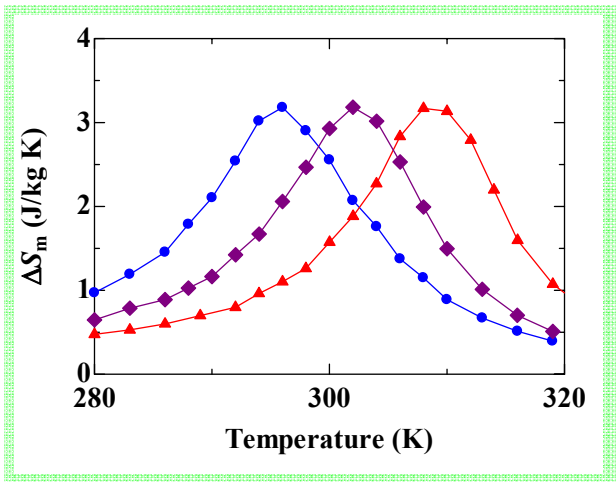


図 3 キュリー温度 T_c を異なる値に制御した球状材料の磁気エントロピー変化 ΔS_m の温度変化。

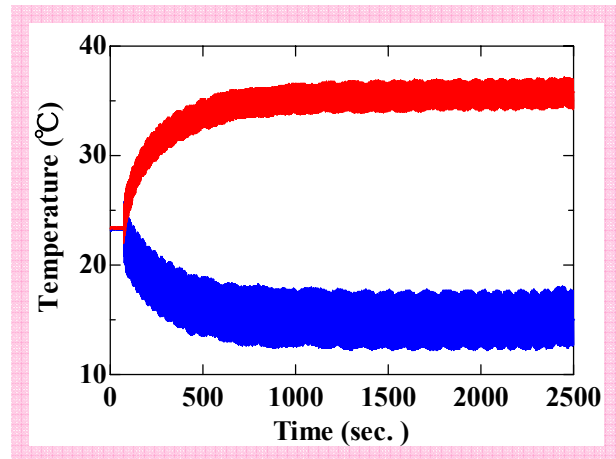


図 4 水素化球状材料を用いた熱分離試験結果。温度差 20°C を実証。

■ 研究体制

- ◆ 代表研究者
東北大学・工学研究科 知能デバイス材料学専攻 准教授 藤田麻哉
- ◆ 研究者
深道和明 (東北大学)、小岩井貞義 (科学技術振興機構)、藤枝 俊 (日本学術振興会 PD: 随時参加)、斉藤明子 (東芝)、小林 忠彦 (東芝)、辻 秀之 (東芝)、加治 詩織 (東芝)
- ◆ 共同研究機関
株式会社 東芝、 東北大学

■ 研究期間

平成 17 年 4 月 ~ 平成 20 年 3 月