

最先端・次世代研究開発支援プログラム  
事後評価書

研究課題名	スピンによる磁気と熱のエネルギー変換機能を有する磁性機能材料の開発研究
研究機関・部局・職名	株式会社東芝研究開発センター・機能材料ラボラトリー・主任研究員
氏名	齋藤 明子

## 【研究目的】

本研究では、気体冷媒の代わりに磁性体を用いる新しい原理の磁気冷凍技術を、究極的には民生用途を対象とする冷凍技術へ適用することを目指し、この鍵となる高性能な磁気と熱のエネルギー変換機能を有する磁性機能材料について、基礎物性検討から冷凍サイクル応用まで一貫した開発研究を行うことを目的とする。具体的には、①高性能候補材である LaFeSi 系物質の量産対応が可能な作製方法の提案に向けて作製プロセスの簡便化を行うと共に、②磁性材料の物性と冷凍機能の相関を明らかにし、この知見を物性設計に反映させて、更に③高性能な磁性機能材料の探索と提案を目指す。詳細は下記の通りである。

①高性能候補材:La(Fe, Si)<sub>13</sub>系物質の作製プロセスの簡便化

現在、常温域を対象とした磁気冷凍の高性能材料候補として世界的にも注目されている La(Fe, Si)<sub>13</sub>系物質の作製方法では、La と Fe が非固溶であり単なる原材料の溶解では相分離するため、1000℃以上 10 日間程度の高温長時間の熱処理プロセスが不可欠であり、実用形状加工とのマッチングも含め、本物質の実用化に向けた課題の 1 つとなっている。本研究では、製法を根本的に見直し、将来の量産対応が可能な作製プロセスの提案を行う。

## ②磁性材料の物性と冷凍機能の相関の明確化

現状の磁気冷凍研究においては、磁気熱量効果などの材料物性と冷凍機能の関係が必ずしも明確になっておらず、高性能化に向けた材料開発指針がないのが実状である。そこで、現行の候補物質である Gd 合金系や La(Fe, Si)<sub>13</sub>系物質に注目し、これら材料の磁気エントロピー変化などの磁気熱量効果の特性のみならず、比熱における格子寄与と磁気寄与のバランスや、磁場変動中の電気抵抗などの諸特性にもフォーカスし、冷凍サイクルで機能させた場合の蓄熱作業と磁気冷凍作業のバランスとの整合や過電流損失などの観点も含め、実用での総合的なパフォーマンスを物性にブレークダウンする。即ち、磁性材料の物性とこれらを搭載した場合の冷凍機能<sup>\*1</sup>の相関を明確化して、高性能な磁性機能材料の探索指針を確立する。

## ③高性能な磁性機能材料の探索

本研究では、項目①②と併せて、現行の候補物質に囚われることなく、全く新しい高性能な磁性機能材料の可能性についても検討する。項目②で得られる知見を物性設

計に反映させると共に、実用形状加工や量産のプロセスとの整合も考慮して物質系の探索を行う。高性能化の可能性を秘めた物理現象、冷凍に必要な諸物性を突き合わせて考察し、実際の物質の試作・物性評価・機能評価を実施して、高性能な磁性機能材料の提案を目指す。

(※1 冷凍機能: これまでの研究および平成22～23年度のNEDO省エネルギー革新技术開発事業での研究での冷凍試験結果を参照する。)

### 【総合評価】

	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

### 【所見】

#### ① 総合所見

本研究の最初の目標、高性能候補材  $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}$  系物質の作製プロセスでは、放電プラズマ焼結法によりこれまで10日を要した熱処理プロセスを数時間に短縮することに成功したことは大きな成果といえる。一方、高性能な磁性機能材料の探索については、物性における重要因子である熱伝導率および格子比熱に注目した材料検討を行った。この結果、全く新しい高性能物質の発見には至らなかったが、材料複合化による熱伝導率向上や格子比熱制御など、材料複合化手法による高性能化の可能性が実験検証され、物性制御指針の1つが得られた。この意味では、所期の目的がほぼ達成されたと評価できる。

#### ② 目的の達成状況

・所期の目的が

(全て達成された ・ 一部達成された ・ 達成されなかった)

本研究課題は、原理的に高効率期待できる磁気冷凍技術を民生用の冷凍技術へ適用することを目指している。そのため、高性能な磁気と熱のエネルギー変換機能を有する磁性機能材料の基礎物性検討から冷凍サイクル応用まで一貫した研究を行うことを目的としている。具体的には、

1. 高性能候補材  $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}$  系物質の作製プロセスの簡便化
2. 磁性材料の物性と冷凍機能の相関の明確化
3. 高性能な磁性機能材料の探索

が掲げられている。

目標の1に関しては、これまで10日間要した熱処理プロセスを放電プラズマ焼結法により数時間に短縮することに成功し、同時にニアネットシェープ加工をあわせて行うことも可能とした。プロセス簡便化の目処がたち、所期の目的が達成されたと評価される。

目標2に関しては、千葉大学と協力し、Gd合金系と  $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}$  系物質をモチー

材として、計算手法と冷凍試験を併せて検討し、物性と冷凍性能の相関を明らかにして冷凍材料の物質設計基礎技術を確立した。ここでは、磁気相転移温度近傍における不連続な比熱や、磁気エントロピー変化などの物性を考慮した磁気冷凍性能評価技術を構築し、物性プロファイル、物質形状、冷凍サイクル運転条件を変数とした冷凍能力、最低到達温度、生成温度差などの冷凍性能の見積もりが可能となり、冷凍用の磁性機能材料の探索指針が得られ、所期の目的が達成された。

目標3に関しては全く新しい高性能物質の発見には至らなかったが、材料複合化による熱伝導率向上や格子比熱制御など、材料複合化手法による高性能化の可能性が実験検証され、物性制御指針の1つが得られたことから、所期の目的はほぼ達成されたものと考えられる。

ただ、原著論文等の成果が少ないことが懸念される。

### ③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が  
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が  
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

本研究課題で対象とした材料の開発そのものは当初から予想されていたものであるが、その製造技術を大幅に短縮・低コスト化する手法を確立した。高性能候補材  $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}$  系物質の作製プロセスにおいて、これまで10日間を要した熱処理プロセスを放電プラズマ焼結法により数時間に短縮することに成功し、同時にニアネットシェープ加工をあわせて行うことも可能にした。これは、本物質の製造工程を簡便化できるのみならず、消費電力の大幅削減にもつながるものであり、先進性・優位性が認められる。なお、製造方法の国際特許も出願している点からも技術的な優位性は高いと思われる。

なお、本研究では新たな磁性材料の開発のための評価手法等を開発しており、これにより新たな材料が開発される可能性を有している点も優位性は高いといえる。

### ④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が  
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が  
(見込まれる ・ 見込まれない)

高性能候補材  $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}$  系物質の作製プロセスにおいて、これまで10日を要した熱処理プロセスを放電プラズマ焼結法により数時間に短縮することに成功した。世界で研究されている磁気冷凍システムに安定的に  $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}$  系磁気冷凍材料を供給することが可能となり、磁気冷凍技術の実用化に向けた研究が加速することが期待される。したがって、関連する研究分野の進展に大きな寄与が見込まれる。

磁気冷凍技術は、フロン全廃後に冷凍技術がかかえる様々な問題に一石を投じる技術である。民生用途として実用化した場合、クリーン、高効率で安全な冷凍技術が社会に提供され、グリーン・イノベーションの推進に寄与する。

#### ⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 省エネ研究プロジェクトとの棲み分けも適切であり、その面では適切なマネジメントが行われたと判断される。

助成金は、本研究を推進するために物性評価システム (PPMS)、材料作製の原料や東レレーザーセンター化合物の組成評価に有効に利活用された。

一方、論文等の公表があまり進んでいない。海外の国際会議等は積極的に参加されているようなので、国際的な公表を行うべきであろう。