

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

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

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	77,000,000	77,000,000	20,061	77,020,061	77,020,061	0	
間接経費	23,100,000	23,100,000		23,100,000	23,100,000	0	
合計	100,100,000	100,100,000	20,061	100,120,061	100,120,061	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	0	46,430,151	10,638,004	12,881,934	69,950,089
旅費	0	53,440	862,157	405,294	1,320,891
謝金・人件費等	0	0	0	5,307,905	5,307,905
その他	0	42,000	299,581	99,595	441,176
直接経費計	0	46,525,591	11,799,742	18,694,728	77,020,061
間接経費計	0	13,957,677	3,539,922	5,602,401	23,100,000
合計	0	60,483,268	15,339,664	24,297,129	100,120,061

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
物理特性測定システム	PPMS(日本カ ンタムデザイ	1	43,437,450	43,437,450	2012/3/21	株式会社東芝 研究開発センター
材料作製の原料	ランタン-鉄-シ リコン合金の原	1	504,000	504,000	2012/12/21	株式会社東芝 研究開発センター
化合物の組成分析	原料粉末(3種) に関する含有	1	528,000	528,000	2013/1/30	株式会社東芝 研究開発センター
材料作製の原料	ランタン-鉄-シ リコン合金の原	1	504,000	504,000	2013/3/22	株式会社東芝 研究開発センター
材料作製の原料	液体ヘリウム・ 300L	1	570,150	570,150	2013/9/30	株式会社東芝 研究開発センター
材料作製の原料	LaCoSi・500G	1	519,750	519,750	2014/1/31	株式会社東芝 研究開発センター
材料作製の原料	ランタン-鉄-シ リコン合金の原	1	504,000	504,000	2014/1/31	株式会社東芝 研究開発センター

5. 研究成果の概要

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の民生汎用冷凍技術への適用を目指して、実用化の鍵となる高性能な磁性機能材料の開発を行った。この結果、高性能候補材LaFeSi系物質について、従来1000℃以上で1週間程度所要した焼成プロセスを4時間程度に短縮することに成功し、量産対応が可能な簡便な新規製法を確立した。また、物性と冷凍性能の相関をモデル化し、冷凍材料の物質設計基礎技術を確立した。本研究で実用的な製法が確立された高性能材料が実用化された場合、低磁場で動作する小型磁気冷凍システムの実現が可能となり、オゾン層破壊や地球温暖化懸念のある気体冷媒を使わない、環境にやさしい高効率な冷凍技術の実現に繋がる。冷蔵庫、空調などの汎用機器への適用が期待できる。

課題番号	GR104
------	-------

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

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
	Research on magnetic materials of thermal and magnetic energy-conversion
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
	Senior Research Scientist, Functional Material Laboratory, Corporate Research & Development Center, Toshiba Corporation
氏名	齋藤 明子
	Akiko Takahashi Saito

研究成果の概要

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の民生汎用冷凍技術への適用を目指して、実用化の鍵となる高性能な磁性機能材料の開発を行った。この結果、高性能候補材LaFeSi系物質について、従来1000℃以上で1週間程度所要した焼成プロセスを数時間に短縮することに成功し、量産対応が可能な簡便な新規製法を確立した。また、物性と冷凍性能の相関をモデル化し、冷凍材料の物質設計基礎技術を確立した。本研究で実用的な製法が確立された高性能材料が実用化されれば、低磁場で動作する小型磁気冷凍システムの実現が可能となり、オゾン層破壊や地球温暖化懸念のある気体冷媒を使わない、環境にやさしい高効率な冷凍技術の実現に繋がる。将来、冷蔵庫、空調などの汎用機器への適用が期待できる。

This project is a study concerning magnetic materials utilized for magnetic refrigeration. New fabrication process of large magnetocaloric La(Fe,Si)₁₃ compounds was established which can reduce the high-temperature annealing time required to generate La(Fe,Si)₁₃-phase from more than a week to few hours. It facilitates the production of the magnetocaloric material in near-net-shape and lead to the development of magnetic refrigerator with this material. We also established a basic method of material design on the correlation aspect between physical property and refrigeration performance. We hope this study significantly contribute to the advancement of the magnetic refrigeration which is a promising candidate of environmentally friendly and efficient new refrigeration technology.

1. 執行金額 100, 120, 061円
 (うち、直接経費 77, 020, 061円、 間接経費 23, 100, 000円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

(1)研究の背景

現代社会に不可欠な冷凍技術の分野では、クリーンかつ安全で高効率な新技術の開発を望む技術の一大転機を向えている。地球温暖化対策の観点から、フロン系の温暖化冷媒の代替化、及び機器の高効率化(省エネルギー化)が社会的要請となっている。一般に、気体の圧縮・膨張を利用した冷凍では、その原理から、冷媒の種類に関わらず低温域ほど冷凍効率が低下するため、低温域での高効率化は本質的な課題である。磁気冷凍は、気体冷凍とは全く異なる原理の冷凍で、磁性体の磁気熱量効果^{※1}を利用して低温や温熱を創生する技術であり、フロン、代替フロンやアンモニアなどの作業冷媒を必要とせずクリーンで安全な上、気体冷凍と比べて原理的には高効率を実現できることが指摘されている。また、効率の温度依存性が小さいことから、特に冷凍倉庫などの低温では、原理的には10倍程度の効率を目指すことも不可能ではない。

磁気冷凍は、歴史的には極低温域を対象とした技術として発展してきたが、1982年にBarclayらによって考案された能動的蓄冷式磁気冷凍(AMR:Active Magnetic Regenerative Refrigeration)の方式では、磁性体の磁気熱量効果による温度変化(磁気冷凍作業)に加えて、磁気比熱と格子比熱による蓄熱作業を積極的に利用することで、格子比熱が顕在化する室温近傍においても大きな温度差を生成することが可能となった。最近では、社会的なニーズを背景に、AMR方式の磁気冷凍の研究が世界的に活発化している。実際に、磁気冷凍技術を汎用機器へ応用するためには、磁場発生手段を永久磁石とした磁気冷凍装置の開発と、低磁場でも大きな磁気エントロピー変化を発現する磁気冷凍材料の開発が必要不可欠である。我々は、2007年に、永久磁石を用いた磁気冷凍の単純な原理システムを構築し、Gd合金を搭載したAMRサイクルによって温度差44℃を生成して、室温域から零下10℃までの冷凍に成功し、冷凍原理を基礎検証した。永久磁石で生成可能な低い磁場による磁気冷凍で、室温から零下を達成したのは世界初の成果である。

一方、磁気冷凍材料に関しては、室温の熱擾乱に対抗して永久磁石の低い磁場でスピンのエントロピーを制御する必要があり、室温付近で強磁性-常磁性相転移が起こる(スピンの揺らいでいる)Gdが注目されている。しかしながら、Gdなどの強磁性物質において永久磁石の磁場で得られる磁気熱量効果は、汎用機器への応用を念頭にした磁気冷凍では必ずしも充分ではない。このため、最近では、新たな磁気冷凍材料の研究が活性化し、通常の2次の強磁性磁気相転移とは異なり、磁気相転移と構造相転移が同時に起こる機構のGd₅(Ge,Si)₄系物質(米国 アイオワ大)やMnFe(P,As)系物質(蘭国アムステルダム大)、Mn(As,Sb)系物質(京大)、メタ磁性転移を利用するLa(Fe,Si)₁₃系物質(東北大,東芝)などが相次いで提案されている。Gd₅(Ge,Si)₄系、MnFe(P,As)系、Mn(As,Sb)系は温度履歴を有する欠点があり、冷凍サイクルには適さない。La(Fe,Si)₁₃系は、他の材料系に比べて熱伝導率も高く、常温域の磁気冷凍材料として世界的にも有望視されている。しかしながら、作製プロセスが単純ではなく、実用上の大きな課題となっている。

表1. 低磁場で優れた磁気熱量効果を示す物質

物質系	低磁場での磁気熱量効果	温度履歴	熱伝導率
Gd	×	なし	○
① Gd ₅ (Ge,Si) ₄ 系 (米国)	○	あり	△
② MnFe(P,As)系 (蘭国)	○	あり	△
③ Mn(As,Sb)系 (日本)	○	あり	×
④ La(Fe,Si) ₁₃ 系 (日本)	○	なし	○

このため、最近では、新たな磁気冷凍材料の研究が活性化し、通常の2次の強磁性磁気相転移とは異なり、磁気相転移と構造相転移が同時に起こる機構のGd₅(Ge,Si)₄系物質(米国 アイオワ大)やMnFe(P,As)系物質(蘭国アムステルダム大)、Mn(As,Sb)系物質(京大)、メタ磁性転移を利用するLa(Fe,Si)₁₃系物質(東北大,東芝)などが相次いで提案されている。Gd₅(Ge,Si)₄系、MnFe(P,As)系、Mn(As,Sb)系は温度履歴を有する欠点があり、冷凍サイクルには適さない。La(Fe,Si)₁₃系は、他の材料系に比べて熱伝導率も高く、常温域の磁気冷凍材料として世界的にも有望視されている。しかしながら、作製プロセスが単純ではなく、実用上の大きな課題となっている。

(※1磁気熱量効果:磁性体に磁場を印加・除去すると磁性体の温度が上昇・下降する現象。能動的に磁場を作用させることで磁気と熱のエネルギー変換が起こり、これを利用して冷凍サイクルを構成できる。)

(2)研究の目的

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 La(Fe,Si)_{13} 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)_{13} 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注目されている La(Fe,Si)_{13} 系物質の作製プロセスでは、溶解により La と Fe が相分離するため、1000°C以上の高温で10日間程度の長時間の熱処理を施す方法で作製されている。球状や板状などの実用形状に加工する際には、高温長時間の必須熱処理プロセスとのマッチングがネックとなっているのが実状である。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)_{13} 系物質を中心に、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などの諸物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

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検討する。項目②で得られる知見を物性設計に反映し、高性能化の可能性を秘めた物理現象を整理するとともに、冷凍に必要な諸物性の整理を行い、これら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。

4. 研究計画・方法

本研究では、原理的に高効率期待できる磁気冷凍技術を、民生の汎用の冷凍技術に適用することを目指し、これを可能にする鍵となる高性能な磁性機能材料の開発研究を行う。また、本研究とは別に磁気冷凍システム技術に関する研究を実施しており、これによる冷凍機能試験結果を参照して、冷凍サイクルにおける機能と材料物性とを相互に確認しながら総合的な視点から物性研究を行うことを特徴としている。具体的な内容は以下の通りである。

①高性能候補材: La(Fe,Si)_{13} 系物質の作製プロセスの簡便化

NaZn_{13} 型結晶構造を有する La(Fe,Si)_{13} 相の生成過程について考察し、生成経路の見直しを行って、1000°C以上で 10 日間程度といった高温長時間の熱処理プロセスを必要としないための要素を抽出する。これに基づいて、高温長時間熱処理プロセスを必要としない新たな作製方法を考案し、試作試験を行う。次いで、新たな作製方法で中量試作を行ない、必要に応じてプロセスをリファインする。さらに、実用形状加工とのマッチを検討し、最終的に、 La(Fe,Si)_{13} 系物質について、将来の量産対応が可能な作製プロセスを提案する。

②磁性材料の物性と冷凍機能の相関の明確化、および ③高性能な磁性機能材料の探索

磁気冷凍サイクルにおいて、冷凍機能に関与する磁性材料の物性について考察・整理して重要な物理量を抽出し、これらの物理量の評価が可能な物性評価設備を導入する。また、冷凍機能に関与する材料物性の高性能化の可能性を秘めた物理現象について整理する。次に、Gd合金系やLa(Fe,Si)₁₃系物質を試作して、磁気エントロピー変化、比熱、磁気特性などの評価を行なう。さらに、比熱における格子寄与と磁気寄与のバランスにフォーカスし、これら材料を搭載した冷凍機能試験の結果を参照して、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について検討する。ここでは、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などの物性を考慮した磁気冷凍サイクルの計算モデルを構築し、計算手法も用いて物性と冷凍機能の相関について考察し、実用での総合的なパフォーマンスの観点から物性にブレークダウンする。ここで得られた知見を基に、冷凍性能向上に必要な諸物性の高性能化の可能性を検討し、物質設計に反映する。これを基に材料の試作・物性評価を行ない、冷凍機能への効果を検討する。最終的には、磁性材料の物性とこれらを搭載した場合の冷凍機能の相関を明確化して、冷凍サイクルに適した高性能な磁性機能材料の物質設計基礎技術を確立する。また、新しい高性能な磁性機能材料の可能性について知見を得る。

5. 研究成果・波及効果

(1)研究成果

①高性能候補材:La(Fe,Si)₁₃系物質の作製プロセスの簡便化

La(Fe,Si)₁₃系物質は、大きな磁気熱量効果を示し、常温域を対象とした磁気冷凍材料として世界的にも有望視される一方で、NaZn₁₃型結晶構造を持つLa(Fe,Si)₁₃相の生成は、溶解による合金化の後、相分離した母合金に1000℃以上10日間程度の高温長時間熱処理を施す方法で作製されており、球状や板状などの実用形状加工とのマッチングも含め、実用への大きな課題となっていた。LaとFeは非固溶であるため、原料元素の溶解ではLa-rich相(Fe非含有)とα-Fe相(Si含有)への相分離は本質的に避けられない。そこで本研究では、本物質の作製プロセスを根本的に見直し、La-rich相(Fe非含有)とα-Fe相(Si含有)からの元素拡散ではなく、別のパスからのLa(Fe,Si)₁₃相生成に取り組むこととした。図1は、La-Fe-Siの三元状態図の900℃断面であるが、赤色のLa(Fe,Si)₁₃相(図中1)は、LaFe₂Si₂相(図中2)やLaFeSi相(図中4)と隣接している。これらを出発原料とし、放電プラズマ焼結法を採用して、原子拡散パスを変えることで、数時間プロセスでLa(Fe,Si)₁₃系物質を作製することに成功した。また、物質の生成と同時に実用に近い板形状への加工を併せて行うことにも成功した(図2参照)。これにより、La(Fe,Si)₁₃系物質の製造工程が簡便化でき、時間、消費電力の大幅削減が可能となる。

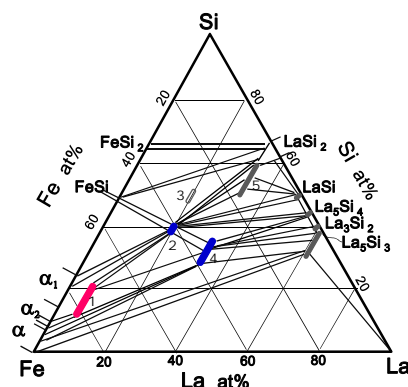


図1. La-Fe-Siの三元状態図(900℃断面)

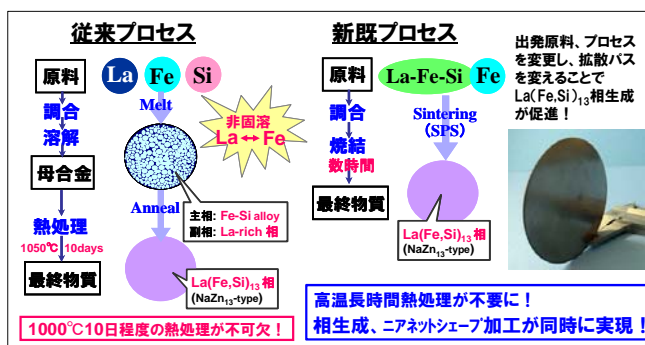


図2. La(Fe,Si)₁₃系物質の作製プロセスの模式図とLa(Fe,Si)₁₃試作板

②磁性材料の物性と冷凍機能の相関の明確化、および ③高性能な磁性機能材料の探索

現状の磁気冷凍研究においては、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、冷凍性能向上に向けた材料開発指針がないのが実状であった。そこで本研究では、Gd合金系とLa(Fe,Si)₁₃

系物質をモチーフとして、これらを搭載した磁気冷凍サイクルの冷凍機能と材料物性との相関について、実験および計算手法を併せて検討した。これまでに蓄積してきた磁気冷凍サイクルの実験結果を参照しながら磁気冷凍サイクルの計算モデルを構築するとともに、冷凍機能に関与する磁性材料の物性評価結果を用いて、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計算モデルに発展させた。磁気冷凍サイクル動作を模擬したモデル計算(図3参照)では、実験とよく整合する結果が得られたため、計算手法によって、冷凍サイクルの運転条件を変えながら冷凍性能(生成温度差、最低到達温度、冷凍能力)と物性との相関について検討した。この結果、両材料とも、高出力化に向けたサイクル高速化においては、周波数 10 Hz 以下では渦電流損は殆ど影響がない一方で、熱伝導や熱伝達が冷凍性能を律速することが判った。また、蓄熱作業に関連する格子比熱が大きくなると、生成温度差では不利だが冷凍出力には有利であることが確認された。さらに、磁気相転移のピーク幅も生成温度差に大きく影響することが判った。Gd 合金系に比べて格子比熱が大きくピーク幅が狭い La(Fe,Si)₁₃ 系物質では、生成温度差は Gd 合金系に比べてほぼ半減するが、冷凍出力の点では優位であることが判った。La(Fe,Si)₁₃ 系物質においては、最適動作温度の異なる組成を逐次積層して搭載することで、優位な冷凍出力を活かすとともに生成温度差が拡大し冷凍性能を向上できることが明らかとなった。ここで得られた知見を基に、冷凍性能向上に向けて、重要因子である熱伝導率の向上と格子比熱の制御について試みた。この結果、高熱伝導材との複合化による熱伝導率の向上や、低格子比熱材料との複合化による蓄熱効果抑制と生成温度差拡大の可能性が見出された。材料複合化の手法は、冷凍性能向上に向けた材料特性制御に有用であると考えられる。本研究では、材料物性とこれらを搭載した場合の冷凍機能の相関が明らかになり、磁気冷凍材料の物質設計基礎技術が確立された。この指針によれば、高性能磁気冷凍材料の効率的な研究開発が促される。

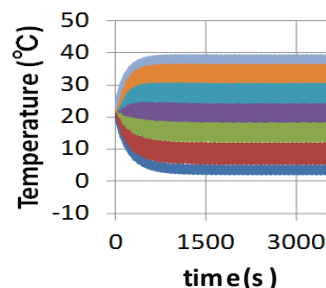


図3. 磁気冷凍サイクルのモデル計算

(2)波及効果

冷凍分野は技術の転機を迎えている。冷媒の観点では、フロンが全廃され、エアコンでは代替フロンへの転換が進められているが、その温暖化係数はCO₂の千倍以上と大きく京都議定書による削減が義務付けられている。冷蔵庫では、温暖化懸念の少ないアンモニア、イソブタン等への転換が進められているが本質的に安全な技術とは言い難い。エネルギー消費の観点でも、地球環境へ高い負荷をかけており、冷熱技術の省エネルギー化は火急に取り組むべき重要な課題となっている。しかし、図4に示したように、気体冷凍技術では低温ほど冷凍効率が低下することから免れられない。

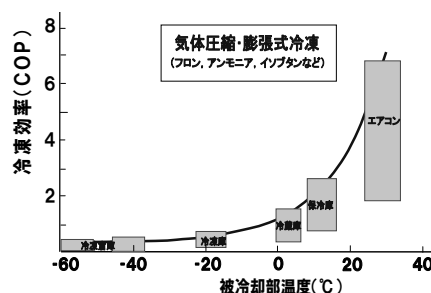


図4. 気体冷凍による汎用機器のCOP

磁気冷凍は、これらの問題に一石を投じる技術であり、民生用途技術として実用化した場合、**クリーンで高効率で安全な冷凍技術が社会に提供**される。原理的に、安全で安心な技術であり、オゾン層破壊や地球温暖化の解消にも寄与し、省エネルギーにも大きな貢献が期待できる。その波及効果は、食物の貯蔵・保管・輸送や、生活空間の空調といった日常生活に密接し、社会的なインパクトも大きい。

磁気冷凍の民生応用への鍵となる高性能候補材 **La(Fe,Si)₁₃ 系物質**では、従来その製造に多くのエネルギーと時間を要し、冷凍試験へ供する実用のボトルネックとなっていたが、本研究において、原料から数時間で本物質を生成でき、同時にニアネットシェープへの加工も併せて行うことができる新規プロセスを確立した。本製法は、量産対応も可能で、**製造に要する日数及び消費電力の大幅削減の**効果がある。これを用いれば、**世界で進められている磁気冷凍システム研究への本材料の広く安定的な供給が図られ、磁気冷凍技術の実用研究が加速する**ことが期待される。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計3件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計2件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 齋藤明子、加治志織、小林忠彦、中込秀樹、“磁気熱量効果を応用した磁気冷凍技術の常温域への展開”、日本AEM学会誌、2013年、21巻1号、4～9頁 2. 齋藤明子、加治志織、小林忠彦、“磁気冷凍技術の常温応用を目指して”、日本電子材料技術協会会報、2013年、44巻、24～30頁 <p>(掲載済み一査読無し) 計0件 (未掲載) 計1件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. S. Kaji, T. Kobayashi, and A. T. Saito, Adv. Cryogenic Engineering,
<p>会議発表 計9件</p>	<p>専門家向け 計6件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第59回応用物理学関係連合講演会、東京・早稲田大学、2012.3.15～3.18、応用物理学会主催、齋藤明子、辻秀之、加治志織、小林忠彦、“La(Fe_{1-x}yCo_xSi_y)₁₃系物質における磁気熱量効果のC添加効果” 2. IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG 2012), Vancouver, Canada, 2012.5.7～5.11, IEEE Magnetism Society, Akiko T. Saito, Shiori Kaji, Tadahiko Kobayashi, “Magnetocaloric Effects and Magnetic Properties in Gd_{1-x}Y_x and their Applications”. 3. International Cryogenic Engineering Conf. 24-International Cryogenic Materials Conf. 2012 (ICEC-ICMC2012), Fukuoka, Japan, 2012.5.14～5.18, Cryogenics and Superconductivity Society of Japan, A. T. Saito, S. Kaji, T. Kobayashi, R. Yagi, N. Tomimatsu, H. Sakamoto, D. Monma, H. Nakagome, T. Numazawa, “Study of active magnetic regenerative refrigeration at room temperature”. 4. International Cryogenic Engineering Conf. 24-International Cryogenic Materials Conf. 2012 (ICEC-ICMC2012), Fukuoka, Japan, 2012.5.14～5.18, Cryogenics and Superconductivity Society of Japan, D. Monma, H. Nakagome, R. Yagi, T. Kobayashi, S. Kaji, N. Tomimatsu, A. T. Saito, “Numerical analysis of magnetic refrigeration at room temperature with multi-layered magnetic refrigerant”. 5. The 2013 Materials Research Society Spring Meeting (2013MRS Spring), San Francisco, USA, 2013.4.1～4.5, Materials Research Society, A. T. Saito, S. Kaji, and T. Kobayashi, “Development of Magnetocaloric Materials for the Active Magnetic Regenerative refrigeration”. (招待講演) 6. The 18th International Cryocooler Conf. (ICC18), Syracuse, USA, 2014.6.9～6.12, Cryogenic Society of America, Y. Yamada, H. Nakagome, R. Yagi, T. Kobayashi, S. Kaji, N. Tomimatsu, A. T. Saito, “Numerical analysis of magnetic refrigeration at room temperature with the refrigerant materials”. <p>一般向け 計3件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 九州大学“最先端・次世代研究開発支援プログラム研究発表会”、アクロス福岡、2012.2.28、九州大学高等研究院主催、齋藤明子、“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” 2. 東北大学市民公開講座‘12 夏 “最先端・次世代材料の研究最前線”、東北大学材料科学総合学科、2012.7.30～7.31、東北大学工学研究科、金属材料研究所、多元物質科学研究所主催、齋藤明子、“磁力で熱をあやつる不思議な世界”

	3. Women in Engineering “女性が拓く未来のテクノロジー”、東京、機械振興会館、2012.10.20、IEEE Japan Council Women in Engineering Affinity Group 主催、齋藤明子、“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”
図書 計0件	(掲載済み) 計0件 (未掲載 計1件)
産業財産 権 出願・取 得状況 計0件	(取得済み) 計0件 (出願中) 計0件
Webペー ジ(URL)	特になし
国民との 科学・技 術対話の 実施状況	<p>これまでに、国民との科学・技術対話を計4件実施し、本プログラムによる研究内容や意義について、国民の広い層への分かりやすい説明に務めてきた。詳細は下記の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none"> 九州大学“最先端・次世代研究開発支援プログラム研究発表会” 日 時:2012年 2月28日、 場 所:福岡、アクロス福岡 国際会議場 主 催:九州大学高等研究院、 後 援:福岡市、国公立大コンソーシアム・福岡 題 目:「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」 対象者:一般市民、大学関係者 東北大学 市民公開講座‘12夏 “最先端・次世代材料の研究最前線” 日 時:2012年 7月30日～31日、 場 所:仙台、東北大学材料科学総合学科 主 催:東北大学工学研究科、金属材料研究所、多元物質科学研究所、共 催:日本金属学会 題 目:「磁力で熱をあやつる不思議な世界」 対象者:一般市民、特に理工系志望の高校生(東北大学オープンハウス併催の為)、大学関係者 Women in Engineering “女性が拓く未来のテクノロジー” 日 時:2012年 10月20日、 場 所:東京、機械振興会館 主 催:IEEE Japan Council Women in Engineering Affinity Group、 共 催:ICTMT 研究推進委員会 題 目:「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」 対象者:一般市民、特に女性技術者 FIRSTシンポジウム「科学技術が拓く2030年」へのシナリオ (NEXT研究ポスター展示) 日 時:2014年 2月28日～3月1日、 場 所:ベルサール新宿グランド 主 催:FIRSTプログラム公開活動実行委員会 後 援:内閣府、文部科学省、独立行政法人日本学術振興会 題 目:「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」 対象者:一般市民、理工系研究者
新聞・一 般雑誌等 掲載 計0件	特になし
その他	特になし

7. その他特記事項

特になし