

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

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	フロン類温室効果ガス削減と省エネルギー化を両立する磁気冷凍実現のための材料開発
研究機関・ 部局・職名	東北大学・大学院工学研究科・准教授
氏名	藤田 麻哉

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	98,000,000	98,000,000	0	98,000,000	98,000,000	0	0
間接経費	29,400,000	29,400,000	0	29,400,000	29,400,000	0	0
合計	127,400,000	127,400,000	0	127,400,000	127,400,000	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	280,000	42,996,794	23,163,613	7,372,322	73,812,729
旅費	0	450,050	1,433,442	1,783,920	3,667,412
謝金・人件費等	0	0	5,750,506	7,629,003	13,379,509
その他	0	1,744,965	3,712,252	1,683,133	7,140,350
直接経費計	280,000	45,191,809	34,059,813	18,468,378	98,000,000
間接経費計	84,000	15,297,000	10,774,500	3,244,500	29,400,000
合計	364,000	60,488,809	44,834,313	21,712,878	127,400,000

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
全自動多目的X線解析装置	(独)ブルカー・エイエック クスエス社製 D8 ADVANCE/L	1	25,399,500	25,399,500	2011/12/21	東北大学
高純度雰囲気アーク溶解炉	大亜真空(株) 製ACM-S01F	1	6,187,671	6,187,671	2011/12/27	東北大学
磁場中示差走査型熱量計	(株)プレスト製 DSC6100FPV	1	7,098,000	7,098,000	2012/2/29	東北大学
AC・DC電流源	ケースレーシンス トルメンス(株)製 6221	1	709,800	709,800	2012/3/15	東北大学
偏光顕微鏡	(株)ニコン製イクリ プス LV100TP-M62	1	1,876,392	1,876,392	2012/3/16	東北大学
磁気刺激装置	MagventureA /S製・ 9086E0852	1	2,822,925	2,822,925	2012/9/4	東北大学
IR用イメージ炉	米倉製作所 製・IR-QP1-	1	2,643,375	2,643,375	2012/10/4	東北大学
日立卓上顕微鏡	(株)日立ハイ テクノロジー ズ製 Miniscope TM-3000	1	10,111,500	10,111,500	2012/10/11	東北大学

様式20

電流増幅器	DLインストゥルメント社製・1211	1	655,200	655,200	2013/2/5	東北大学
PPMS用液体ヘリウム再凝縮ユニット	カンタムデザイン社製	1	2,154,600	2,154,600	2013/3/6	東北大学
ホットステージ&温度コントローラ	INTEC社製・HCS302MK1000-TF	1	1,985,760	1,985,760	2013/3/22	東北大学
3GHz リアルタイム・シグナル・アナライザ	(株)TFF製 RSA5103A	1	2,659,650	2,659,650	2013/12/8	東北大学
キセノン光源	林時計工業(株)製 LA-410UV-3	1	741,300	741,300	2013/12/25	東北大学
ターボ分子ポンプ	(株)島津製作所製 PT-50	1	705,600	705,600	2014/2/17	東北大学
ターボ分子ポンプ	(株)島津製作所製 PT-50 空冷ICF114	1	518,940	518,940	2014/2/26	東北大学

5. 研究成果の概要

本研究では、フロン不要で省エネ効果の大きい室温磁気冷凍を実現するため、巨大磁気熱量材料の特性開発を行った。合金設計によりエントロピープロファイルを制御した。第一原理計算から、電子状態の調整により、マクロな熱力学特性を制御できることを示した。この結果、履歴損失は1桁小さくなった。相転移の進行について、磁気系固有の静磁気の影響を見出し、「磁氣的ギブストムソン効果」を提唱した。以上に加え、Fe高濃度試料作成法を開発し、弱磁場特性の向上を示した。

以上の成果は磁気冷凍実用化を加速し、フロンフリーで省エネが期待できる新たな冷凍方式あるいはヒートポンプ方式として民生・工業用など各分野に波及すると予想される。

課題番号	GR015
------	-------

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

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	フロン類温室効果ガス削減と省エネルギー化を両立する磁気冷凍実現のための材料開発
	Materials development for realization of magnetic refrigeration toward abolition of fluorocarbon green-house gasses and establishment of energy-saving
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東北大学・大学院工学研究科・准教授
	Tohoku University, Graduate school of engineering, Associate Professor
氏名 (下段英語表記)	藤田麻哉
	Asaya Fujita

研究成果の概要

(和文): 磁気冷凍の民生用に向けた実用のため、Fe系磁気熱量化合物の冷凍能力を保持して、材料化に必要な磁気物性制御を研究した。熱量効果の源である磁気相転移について、静磁気効果による形状依存性を明らかにした。また、相転移履歴について電子論的要因をつきとめ、複合置換により熱量効果を保持した履歴損失低減を実現した。本複合置換は、複数材料の直列カスケードにおいて重要な、熱量効果の温度特性制御にも有効である。以上の開発特性は、いずれも民生用機器に必要であり、機器実現は食料保存、医療、など多くの分野に影響する。加えて、低磁場における高特性を示す試料作成法を見出し、将来的な民生・車載用などに向けた軽量化の方向性を提示した。

(英文): To realize magnetic refrigeration for public welfare, control of magnetic properties has been investigated in order to sophisticate Fe-based magnetocaloric compound as usable materials by maintaining cooling capacity. In a magnetic phase transition, as a source of magnetocaloric effect, a shape-dependent feature owing to magnetostatic influence was confirmed. Furthermore, electronic origin of the transition hysteresis was detected and the alloy design for reduction of hysteresis loss with keeping a caloric performance has been carried out by a complex partial

様式21

substitution. By this complex substitution, modification of temperature profile of the caloric effect, which is important in a cascade series array of magnetic materials, is also achieved. These developed features are necessary in the public welfare machines, and its realization gives influences on various fields such as food preservation and medical purpose. In addition, fabrication method for materials with high performance at low magnetic fields was found, displaying a route to realization of light weight systems usable in the public welfare and in-vehicle units.

1. 執行金額 127,400,000 円
 (うち、直接経費 98,000,000 円、 間接経費 29,400,000 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

従来型冷凍技術における問題として、フロン類の大きな環境負荷と、気体圧縮方式の効率限界の問題がある。磁気冷凍はこれらを解決できる固体冷凍技術であるが、実用化には磁気熱量材材料の特性改善が不可欠である。研究代表者が見出した Fe 系メタ磁性化合物は、大きな磁気熱量効果を発揮し、さらに構成元素に関わる、材料コストおよび安全性の面でも有利であるため、世界中から注目を集めている。現在、本化合物をモジュール等に搭載し、冷凍サイクルが構築される事は実証されている。更なる実用開発には、磁気熱量効果に加え、いくつかの冷凍実現への障害となっている磁気物性制御が必要である。そこで本化合物をベースとして冷凍能力が冷凍機内で十分に発揮する材料を開発するための課題解決を目指す。

4. 研究計画・方法

$\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ の基本特性として、エントロピー変化 ΔS_M および断熱温度変化 ΔT_{ad} の最大値が $x = 0.88$ において 約 -20 J/kgK および $6.5 \text{ K @ } 2\text{T}$ であり、数 kW オーダーの冷凍サイクル構築が実際に可能である事が、すでに本プロジェクト開始前から明らかにされていた。しかし、これらの検証では、冷凍能力だけが対象となっており、機器設計と熱量効果の追従、あるいは効率のための損失低減など、特に民生用あるいは車載用などの観点からの問題点は対象とされてこなかった。そこで、本研究では、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ の冷凍能力的なスペックのクリアを前提として、現在の冷凍能力を保持して、さまざまな転移・磁気熱量特性を制御することで、民生用として使える材料の特性実現の方策を検討する。

材料使用量を増加せずに効率を上昇させる方策として、磁場サイクルの高速化や、モジュール内で様々な熱交換を考慮した磁性材料の配置が検討されている。しかし、これらの案には磁気相転移のカイネティクスが全く考慮されていない。例えば、平板材料の場合、転移が板の端から中央まで進展すること自体が仮定であり、実際には、一切確認されていない。そこで、冷凍サイクルへの追従性を考慮し、相転移カイネティクスの解明を行う。 さらに、1次相転移には、熱力学的理由か

ら必ず履歴を伴うが、サイクル的に転移を繰り返すと履歴は損失低減になる。そこで履歴を抑制し損失を低減する。また熱分離温度(たとえば冷蔵庫内-庫外間の 40℃程度)確保には、異なる動作温度の材料を多段化することが必須であるが、このためには磁気熱量効果の温度特性カーブの重なりが重要になるので、特性カーブの半価幅などの制御方法を見出す必要がある。これらについて具体的には(1)相転移の時間的空間的なカインेटイクスの特徴解明、(2)元素部分置換による強磁性-常磁性相間エネルギー障壁の低減、(3)磁気エントロピー温度プロファイル制御の方策に基づいて研究を進める。また、プロジェクト終了後に速やかに実用的開発研究につながるように、(4)試料作成手法などについても期間内に検討する。

5. 研究成果・波及効果

【研究成果】

(1)相転移の時間的空間的なカインेटイクスの特徴解明

従来の磁気熱量効果の評価は、バルク磁化を用いて、マクスウェル式よりエントロピー変化(熱変化)を算出するのが世界共通の手法であった。しかし、例えば水-氷転移の場合は、部分的に発生した氷粒が水と共存し、氷領域が拡大して全体が凍結するのであって、全体が中間値をとる状態は経由しない。このような進行は、1次相転移共通の現象であり、核生成・成長と呼ばれる。つまり、試料内の相転移進行は時間や試料形状に依存した変化を示すので、核生成の優先サイトや成長様式の情報サイクル設計に必要である。そこで局所的な磁気相の状態を、空間および時間に対する変化を測定し、相転移進行を解明する。

当初は空間的および時間的変化を別項目として観測する予定であったが、熱変化が核成長の際に前進する界面近傍だけで発生し、また静磁気相互作用の影響、磁氣的核生成・成長が、予想していたような完全なランダムプロセスではなく、試料形状を反映したマクロな異方性を示すことが明らかとなった。そこで、界面付近での放熱に伴うゼーベック電圧(自発電圧発生:Spontaneous Voltage Generation SGV)を観測することで、潜熱放熱箇所の微視的観察と、転移進行に関して同時に情報を得られることに注目した。

図1は、本研究で新規に開発した手法を用いた磁気核生成成長のシミュレーション結果である。Time-Dependent Ginzburg Landau(TDGL)法と電磁気Maxwell方程式を両立するように、有限要素法により実空間解を求めた。(a)は磁場中での成長過程であり、(b)は過冷温度下での無磁場中の過程である。図からわかるように、試料形状を反映したマクロな異方性が現れる。また、(a)(b)の差は、外部磁場の有無により、核生成の優位サイトが異なる事を示す。計算結果を踏まえ、実際の試料において、短冊型試料(9×3×2 mm³)の長手方向を図2(a)のように2セクションに分けてSGVを同時観測した。図2(b)-(d)のように、1セクション内のデータカーブに対称性があり、またセクション間では符号反転している。SGVはゼーベック効果に起因するので、これらの形状は、図

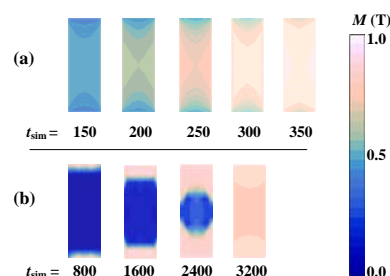


図1 相転移進行シミュレーション結果:(a)磁場誘起(b)温度誘起

1(a)の成長パターンを再現している。従来、磁気一次相転移は、組成ムラや欠陥あるいは結晶粒界などから乱雑に一様分布して核生成すると考えられていた。このように磁気相互作用が支配的に作用し、マクロな異方性が発現するのは本系の特徴であり、本研究で初めて明らかにされた。(磁氣的ジュールトムソン効果と名付けた。) またこれらの結果は、電気抵抗のセクションング測定によっても確認しており、観測された高抵抗の強磁性界面異動が、SGVの解析と矛盾しない事を確認している。

(2) 強磁性-常磁性相間エネルギー障壁の低減,

(3) 磁気エントロピー温度プロファイル制御

本項目2つについては、合金設計上において、密接に関連していることが判明したので、個別説明ではなく、以下にまとめて結果を述べる。

1次相転移には、相転移履歴が普遍的に付随する。転移をサイクルで利用する場合、応答曲線の履歴が囲む面積が熱損失になり、直接的な効率低下になる。Fe濃度が増加すると磁気熱量効果が増大する一方で、履歴も大きくなり損失も増加する。転移履歴は、強磁性-常磁性相を分けるエネルギー障壁が原因であるが、本系の相転移は3d電子構造に由来するものであり、障壁も電子構造に由来する。そこで、Fe3dバンド形状に影響を与えずに電子状態を価電子数変化により実現するため、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ のSiサイトをAlで部分置換した $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12-y}\text{Al}_y)_{13}$ を作製した。図3は合金効果を考慮したバンド計算(KKR-CPA)により得られた、発生磁化Mの関数としての磁気自由エネルギー変化 ΔF である。実験的格子定数 $a = 1.147 \text{ nm}$ に近い、 $a = 1.15 \text{ nm}$ の計算により得られた ΔF -M曲線は $22\mu_B/\text{f.u.}$ に強磁性の安定極小を示しており、実際の化合物と良く一致している。一方、 $a=1.125$ では、常磁性と強磁性の ΔF がバランスし、転移点直上の状態を再現する。この際、両相の間には上に凸の障壁が現われているが、内挿図から明らかなように、 $y = 0.03$ で大幅に障壁が減少しており、履歴抑制が期待できる。

実際に作製した $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12-y}\text{Al}_y)_{13}$ では、たしかに履歴減少が認められたが、同時に、相転移全体が不明瞭化し ΔS_M も一緒に低下した。そこで、電子状態制御を損なうことなく ΔS_M を増加させる方法として、化学圧力による磁気体積効果を応用した。具体的にはLaサイトをPr部分置換する事で、格子定数を低下させ、圧力印加と同じ環境を実現した。磁気体積効果は ΔS_M には強く反映されるが障壁にはあまり影響しないことを予測した方策である。 $\text{La}_{0.7}\text{Pr}_{0.3}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.10}\text{Al}_{0.02})_{13}$ を作製し磁化測定を行ったところ、キュリー温度直上での磁場誘起転移が明瞭となる一方で、履歴は大幅に削減された。この結果

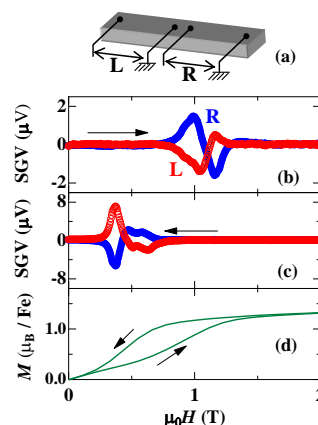


図2 SGV測定の結果:(a) 試料模式図,(b)昇磁および(c)減磁過程,(d)磁化曲線

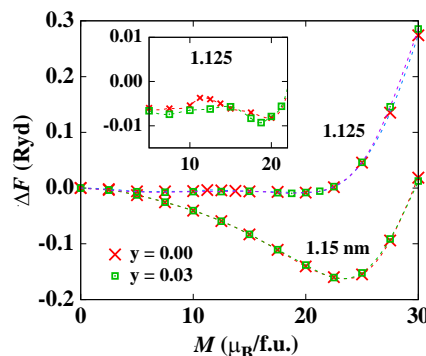


図3 第一原理計算による磁氣的自由エネルギーの発生磁化依存性

からエントロピー変化 ΔS_M と履歴損失 Q (履歴面積を積分) を算出した結果を図4に示す。部分置換前に比べ ΔS_M はほぼ同じ値を示すが、 Q は1/5程度に低下している。従来の材料評価では、どの材料でも効率計算に Q を加えずに行われて来たが、 Q の低減により正味の効率は、より上昇することになる。このような ΔS_M を保持した履歴損失 Q 低減の方策は他に例がない。

さらに、図4の複合置換後の ΔS_M - T プロファイルを見ると、明らかに、部分置換前より半価幅が増加し、台形性が増していることがわかる。これは、主に Al 部分置換により、相転移磁場の温度依存性が小さくなったためであるが、Pr 部分置換を複合化した事により、 ΔS_M - T が囲む面積は、複合部分置換前と同等になっている。すなわち、1サイクルで運べる熱量は変わらないが、動作温度幅が4割近く広がっているので、概算で4~5段程度のカスケードあたり1段減少させることができる。これはシステム構成を簡素化する上で大きなインパクトがある。

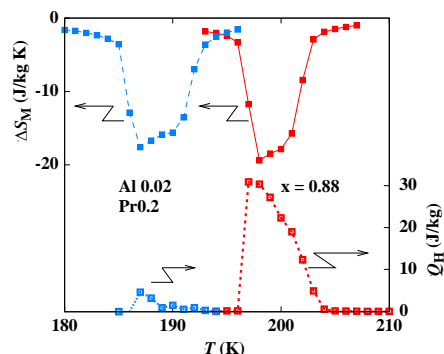


図4 Al+Pr 部分置換によるエントロピー変化および履歴損失の変化

(4) 試料作成手法

当初、本項目は、独立した開発項目として計画に入れていなかったが、本材料の簡便な工業的作製法が国内だけでなく海外の企業等でも探索されているため、プロジェクト期間内に探索を実施する事にした。

本材料は、金相的な原因(包晶反応)のため、通常の溶解凝固法では直接的に作製できない。溶解凝固を経ると通常は、一旦、中間材として Fe(Si)相と LaFeSi 相に2相分離した組織が得られ、これを焼鈍し本来の平衡相である La(Fe, Si)₁₃ に均質化して最終目的材を得る。この際、高温長時間(例えば 1000°C 10日間)の熱処理が必要となり、これは電力消費などコスト的に不利益である。また熱量特性は Fe 高濃度ほど上昇するが、包晶反応温度が著しく低下し、Fe 高濃度試料の焼鈍は著しく困難性が高まる。そこで本研究では、包晶反応を迂回した Fe 高濃度試料作製法として、反応性粉末焼結の可能性について検討した。

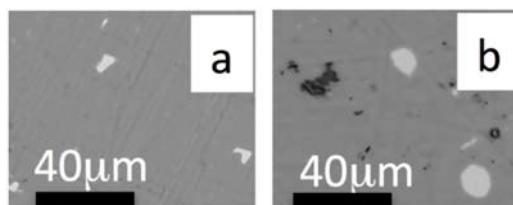


図5 反応性焼結試料表面のSEM写真

(a) $x = 0.90$, (b) 0.91

低融点の La 単体を用いると高温処理ができないため、出発原料として LaSi, La₃Si₂ 化合物と Fe を適宜配合した。図5(a), (b)は焼結条件 1050°C 7days の処理後の試料の走査電子顕微鏡 SEM による組織写真である。(a)は $x=0.90$, (b)は $x = 0.91$ の試料である。(a)では灰色の部分は La(Fe_{0.90}Si_{0.12})₁₃ であり、余剰 La の酸化物

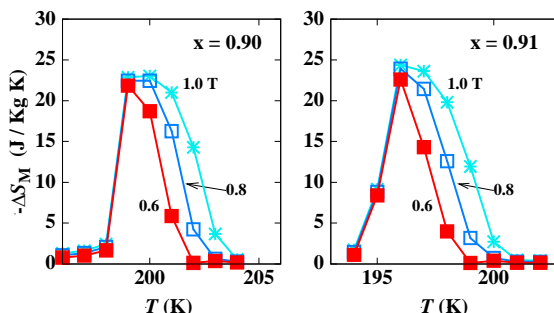


図6 焼結試料の弱磁場エントロピー特性

様式21

を示す白斑点の他に異相は見当たらない。(b)の $x = 0.91$ では、僅かな残留 Fe を示す黒い斑点がみえるが、存在比は 0.6vol%以下であり、極めて少ない量である。これらの試料について重要なことは、図 6 のように、従来の Fe 低濃度試料において 2T 程度の磁場を印加した場合の ΔS_M と同程度あるいは凌駕する値が、0.6~1.0 T でも得られている事である。このような特性の弱磁場下は、磁場印加のための永久磁石回路をコンパクト化でき、あるいは磁気熱量材料自身の使用量を低下できる。このことは、現在、実用化の上で課題となっているシステム総重量あるいは総体積の削減を可能にする方策である。

【波及効果】

各研究成果についてはそれぞれ、磁気冷凍サイクルの高周波化、履歴損失低減、カスケード配置の高度化およびシステムの軽量化につながる。これらはいずれも、 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ を用いた冷凍モジュールを、民生用あるいは車載用磁気冷凍機器として実現するための材料調整手法である。冷凍冷房あるいはヒートポンプ技術において、現在、フロン類撤廃に関わるガス種の選択および気体圧縮方式の効率限界が問題視されており、民生用磁気冷凍用機器の実現はこれらの問題を解決できる。冷凍あるいはヒートポンプ技術は社会のインフラに深く関わり、関係する分野全て(例えば、食料備蓄、医療、大型施設の空調など)に波及すると予想される。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 9 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 8 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 藤田麻哉、藤枝俊、深道和明、"Influence of Supercooling on the Thermally Induced First-Order Magnetic Transition in Magnetocaloric Compound $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$"、IEEE Transactions on Magnetics, 2011, 47 巻、10 号、3387-3390 2. 矢子ひとみ、藤枝俊、藤田麻哉、深道和明、"Influence of Demagnetization Effect on the Kinetics of the Itinerant Electron Metamagnetic Transition in Magnetic Refrigerant $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$"、IEEE Transactions on Magnetics, 2011, 47 巻、10 号、2482-2485 3. 藤田麻哉、矢子ひとみ、"Stability of metallic, magnetic and electronic states in NaZn_{13}-type $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ magnetocaloric compounds", Scripta Materialia, 2012, 67 巻 578-583 4. 藤田麻哉、近藤貴紀、狩野みか、矢子ひとみ、"Shape-anisotropic heterogeneous nucleation and magnetic Gibbs-Thomson effect in itinerant-electron metamagnetic transition of $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ magnetocaloric compound" Applied Physics Letters, 2013, 102 巻 4 号, 041913:1-5. 5. 藤田麻哉、矢子ひとみ、狩野みか、"固体における磁気自由度と磁気相転移の冷凍への応用", 日本 AEM 学会誌, 2013, 21 巻, 52-57. 6. 藤田麻哉、狩野みか、矢子ひとみ、"Contribution of paramagnetic entropy to magnetocaloric effect in $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$" Journal of Applied Physics, 2013, 113, 17A924:1-3 7. 藤田麻哉、狩野みか、松波大地、"スピン協調現象による巨視的熱変化と磁気冷凍" 日本磁気学会研究会資料 (2013) 193 巻 pp.1-6. 8. 藤田麻哉、松波大地、矢子ひとみ、"Realization of small intrinsic hysteresis with large magnetic entropy change in $\text{La}_{0.8}\text{Pr}_{0.2}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.10}\text{Al}_{0.02})_{13}$ by controlling itinerant-electron characteristics" Applied Physics Letters, 2014, 104, 122410:1-4. <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 1 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 藤田麻哉、中山吉之、狩野みか、松波大地、"Improvement of low-field magnetic entropy change by increasing Fe concentration in solid-state reactive sintered $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$" Journal of Alloys and Compounds" 2014, 601, in press.
<p>会議発表 計 28 件</p>	<p>専門家向け 計 28 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 藤田麻哉、藤枝俊、深道和明、"Influence of Supercooling on the Thermally Induced First-Order Magnetic Transition in Magnetocaloric Compound $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$"、台湾、2011 年 4 月 25~29 日、Intermag 2011 Management Committee & IEEE 2. 矢子ひとみ、藤枝俊、藤田麻哉、深道和明、"Influence of Demagnetization Effect on the Kinetics of the Itinerant Electron Metamagnetic Transition in Magnetic Refrigerant $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$"、台湾、2011 年 4 月 25~29 日、Intermag 2011 Management Committee & IEEE 3. 藤田麻哉、矢子ひとみ、"Kinetics of thermally induced first-order magnetic transition in $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ itinerant electron magnet"(招待講演)、大阪、2011 年 9 月 4~9 日、The International Conference on Martensitic Transformations(ICOMAT) 2011 Management Committee 4. 藤田麻哉、矢子ひとみ、「$\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ における温度誘起磁気相転移の定速降温過程での進行挙動」、沖縄、2011 年 11 月 7~9 日、日本金属学会(第 149 回講演大会) 5. 矢子ひとみ、藤田麻哉、「$\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ 遍歴電子メタ磁性化合物における相転移進行時間の温度変化」、沖縄、2011 年 11 月 7~9 日、日本金属学会(第 149 回講演大会) 6. 藤田麻哉、近藤貴紀、矢子ひとみ、「遍歴電子メタ磁性 $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ 化合物における強磁性核成長の電氣的観測」、横浜、2012 年 3 月 28~30 日、日本金属学会(第 150 回講演大会) 7. 矢子ひとみ、藤田麻哉、「$\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ 遍歴電子メタ磁性化合物における転移履

	<p>歴の時間変化」、横浜、2012年3月28～30日、日本金属学会(第150回講演大会)</p> <p>8. 藤田麻哉、矢子ひとみ, “Magnetic susceptibility avalanches in thermally-induced first-order phase transition of $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ magnetocaloric compound” 2012年7月8～13日, 韓国, The 19th International conference of magnetism, International Union of Pure and Applied Physics</p> <p>9. 矢子ひとみ、藤田麻哉, “Balance between the growth rate of ferromagnetic phase and demagnetizing fields in itinerant electron metamagnetic transition of $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$” 2012年7月8～13日, 韓国, The 19th International conference of magnetism, International Union of Pure and Applied Physics</p> <p>10. 藤田麻哉、狩野みか、矢子ひとみ, “CROSS-OVER OF KINETIC CHARACTERISTICS BY A MAGNETIC FIELD IN THERMALLY INDUCED PHASE TRANSITION OF $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ COMPOUND” 2012年9月17～20日, フランス, 5th IIR/IIF International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, International Institution of Refrigeration</p> <p>11. 矢子ひとみ、藤田麻哉, “STATIC AND DYNAMICAL HYSTERESES OF THE ITINERANT ELECTRON METAMAGNETIC TRANSITION IN MAGNETIC REFRIGERANT $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$” 2012年9月17～20日, フランス, 5th IIR/IIF International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, International Institution of Refrigeration</p> <p>12. 狩野みか、矢子ひとみ、藤田麻哉, “ELECTRICAL DETECTION OF PARAMAGNETIC DISORDER SCATTERING IN MAGNETOCALORIC COMPOUND, $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ UNDER PRESSURE” 2012年9月17～20日, フランス, 5th IIR/IIF International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, International Institution of Refrigeration</p> <p>13. 藤田麻哉、狩野みか, “Exploring Attempts for New Magnetic Phase Transition as Functional Materials”, 2012年9月23～28日, 横浜, International Union of Materials Research Society (IUMRS Symposium)</p> <p>14. 藤田麻哉、狩野みか, “Asymmetric kinetics in forward and reverse evolutions of thermally induced phase transition in $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ magnetocaloric compound”, 2012年10月2～5日, 奈良, International Conference of the Asian Union of Magnetic Societies 2012, Asian Union of Magnetic Societies</p> <p>15. 藤田麻哉、狩野みか、矢子ひとみ, “$\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ 化合物の温度誘起1次相転移における核生成・成長の次元性” 2013年3月26～29日, 広島, 日本物理学会(第68回年次大会)</p> <p>16. 狩野みか、藤田麻哉, “遍歴電子メタ磁性化合物 $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ の圧力中磁気相図と電気伝導特性”, 2013年3月26～29日, 広島, 日本物理学会(第68回年次大会)</p> <p>17. 藤田麻哉、矢子ひとみ、狩野みか, “$\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ の温度誘起1次相転移における磁気核生成への磁場の影響” 2013年3月27日～3月29日, 東京, 日本金属学会(第152回講演大会)</p> <p>18. 狩野みか、矢子ひとみ、藤田麻哉, “$\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ 磁気熱量化合物における常磁性揺らぎの圧力依存性” 2013年3月27日～3月29日, 東京, 日本金属学会(第152回講演大会)</p> <p>19. 矢子ひとみ、藤田麻哉, “$\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 化合物における動的および静的転移履歴へのFe濃度の影響” 2013年3月27日～3月29日, 東京, 日本金属学会(第152回講演大会)</p> <p>20. 藤田麻哉、矢子ひとみ, “Kinetic Features of Phase Transition in $\text{La}(\text{Fe},\text{Si})_{13}$ Magnetocaloric Compounds” (招待講演) サンフランシスコ(米国), 2013年4月2～3日 Materials Research Society: Spring Meeting 2013</p> <p>21. 藤田麻哉、狩野みか、松波大地, “Magnetostatic Influence on Kinetics of Magnetic First-Order Transition in $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ Compounds”(招待講演) カンクン(メキシコ), 2013年8月11～15日, XXII INTERNATIONAL MATERIALS RESEARCH CONGRESS 2013</p> <p>22. 藤田麻哉、矢子ひとみ、狩野みか, “$\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ の遍歴電子メタ磁性転移における潜熱と転移進行速度の関係” 2013年9月3～6日, 札幌, 日本磁気学会(第37回学術講演会)</p> <p>23. 松波大地、矢子ひとみ、藤田麻哉, “$\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ 化合物における温度誘起1次磁気相転移のアバランチ挙動” 2013年9月17～19日, 金沢, 日本金属学会(第153回講演大会)</p> <p>24. 藤田麻哉、狩野みか、矢子ひとみ, “$\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$ における自己静磁場による転移停止状態の交流磁場応答” 2013年9月17～19日, 金沢, 日本金属学会(第153回講演大会)</p> <p>25. 藤田麻哉, “遍歴電子磁性の磁気体積効果に関わる諸現象”(シンポジウム講演) 2013年10月25～28日, 徳島, 日本物理学会(2013秋季大会)</p> <p>26. 藤田麻哉、狩野みか, “Influence of Magnetic Field on Nucleation of Thermally-induced Phase</p>
--	--

様式21

	<p>Transition in $\text{La}(\text{Fe}_{0.88}\text{Si}_{0.12})_{13}$”(招待講演), デルフト(オランダ), 2013年10月28~29日, Delft Days on Magnetocalorics.</p> <p>27. 藤田麻哉、中山吉之、狩野みか、”焼結法により作製した Fe 高濃度 $\text{La}(\text{Fe}_x\text{Si}_{1-x})_{13}$ の弱磁場エントロピー変化”, 2014年3月21~23日、東京、日本金属学会 (154 回講演大会)</p> <p>28. 松波大地、狩野みか、藤田麻哉、竹中康司、”Mn₃GaN におけるフラストレーションにより増大された巨大圧力熱量効果”, 2014年3月21~23日、東京、日本金属学会 (154 回講演大会)</p> <p>一般向け 計0件</p>
図書 計1件	<p>藤田麻哉、Jian Liu、齋藤明子、Oliver Gutfleisch, ”$\text{La}(\text{FeSi})_{13}$ - from fundamentals towards application” in <i>Magnetic Cooling: From Fundamentals to High Efficiency Refrigeration</i>, John Wiley & Sons Inc (2014), ISBN 978-1-119-97529-8,印刷中</p>
産業財産権 出願・取得 状況 計0件	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計0件</p>
Webページ (URL)	<p>NEXT プログラム_藤田麻哉 http://www.material.tohoku.ac.jp/~kotaib/fujita/NEXT/NEXTtop.html</p>
国民との科学・技術対話の実施状況	<ol style="list-style-type: none"> 1. 市民公開講座:「東北大ブランドの最先端・次世代材料を語る」” <磁力が拓く新しい冷凍材料>”2011/12/28、仙台メディアテーク、一般市民、80名、市民向けテーマ解説および質疑応答とアンケート 2. 出前講義:「磁気で冷やすー省エネ・温暖化防止への金属材料の挑戦」、2011/9/17、屋代高校(長野県)、高校生、40名、高校生向け講義によるテーマ説明 3. 市民公開講座:「'12 夏 最先端・次世代材料の研究最前線」“磁力が拓く新しい冷凍材料” 2012/7/30-31 東北大学、一般市民 15名、市民向けテーマ解説と質疑応答 4. 出前講義:「磁力で冷やすー グリーンな冷凍技術への金属材料の挑戦」、2012/9/15、長野県立屋代高校、高校生 40名、高校生向け講義 5. 宮城県古川黎明高等学校 SSH 研修夏期研修 Labo Tuor (NEXT 代表者4名合同企画)、高校生、12名、2013年8月13日、東北大学、研究室見学および関連テーマ実習
新聞・一般雑誌等掲載 計0件	
その他	

7. その他特記事項

該当なし