

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06775

研究課題名(和文) ナノ相分離を利用した軟磁性金属ガラスの特性向上と超高飽和磁化材料開発への展開

研究課題名(英文) Improvement of magnetic properties of soft magnetic metallic glasses by nanophase separation and development of soft magnetic materials with high saturation magnetization

研究代表者

尾藤 輝夫 (Bitoh, Teruo)

秋田県立大学・システム科学技術学部・教授

研究者番号：40315643

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：Fe-B-Si-Nb合金のNbを希土類元素(RE)で置換することで、合金のガラス形成能が向上することを確認した。希土類元素は化学的性質が類似しているが、ガラス形成能向上の効果は、Fe-RE系でFe₂₃RE₆相が安定相として存在するY, Dy, Tbなどでより大きいことが確認された。更にYで置換した場合は、同時に飽和磁化も向上することを確認した。また、アモルファス形成の限界を超える高Fe濃度Fe-B-C合金にCuを微量添加することでガラス形成能が向上し、高い飽和磁化と優れた軟磁気特性を示すアモルファス合金が実現できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

種々の携帯電子機器の普及により、それらに使用されるインダクタなどの磁性部品の小型化・高性能化・省電力化が強く要求されている。これらの要求に対応するためには、高い飽和磁化(小型化のため)と低い磁心損失(省電力化のため)を兼ね備えた材料が必要である。本研究では、代表的な低磁気損失材料であるFe基アモルファス合金/金属ガラスのガラス形成能と飽和磁化を同時に向上させる手法を見出しており、各種電子機器の小型化・省電力化に対応できる次世代高性能軟磁性材料の開発に繋がることを期待される。

研究成果の概要(英文)：The glass-forming ability (GFA) of the Fe-B-Si-Nb metallic glass is enhanced by replacing Nb with rare earth elements (REs). Although the chemical properties of REs are similar, the greater enhancement of GFA has been obtained for Y, Dy and Tb, in which the Fe₂₃RE₆ exists as a stable phase in the Fe-RE system. In addition, the saturation magnetization is also increased in the case of substitution with Y. On the other hand, the GFA is also enhanced by addition of a small amount of Cu to the high Fe-rich Fe-B-C alloy, which is beyond the limit of amorphous formation. As a result, the amorphous alloys with high saturation magnetization as well as good soft magnetic properties have been developed.

研究分野：材料工学

キーワード：アモルファス合金 軟磁性材料 ガラス形成能 飽和磁化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年は種々の携帯電子機器の普及が急速に進み、これらの小型化・高性能化・省電力化が強く要求されている。電源の中で大きな体積を占めているインダクタを小型化するためには、磁心材料の飽和磁化を向上させる必要がある。また電源を省電力化するには、磁心材料の磁気的な損失を低減する必要がある。すなわち、携帯電子機器を更に進化させるためには、低磁気損失・高飽和磁化を兼ね備えた高性能軟磁性材料の開発が不可欠である。しかし、低磁気損失などの軟磁気特性と飽和磁化はトレードオフの関係にあり、このような材料の開発は困難である。

最近、Fe 基金属ガラスのガラス形成能が Y の添加により向上することが報告されている^{①,②}。また、正の混合熱を持つ Nb と Y の同時添加によるナノスケールの相分離(ナノ相分離)が、熱分析の結果から示唆されている^②。これらの先行研究では、mm オーダーのバルク材の作製を念頭に高いガラス形成能の実現を主目的としており、結果として Fe 濃度が低くて飽和磁化は著しく低い。本研究代表者は、これらの先行研究の結果から、高い Fe、Co 濃度を有するアモルファス合金に相分離傾向の強い Nb と Y を同時添加することにより、高い飽和磁化と良好な軟磁気特性、そして必要十分なガラス形成能を同時に実現できるのではないかと考え、研究を開始した。その結果、(Fe, Co)基アモルファス合金の飽和磁化とガラス形成能の両方が向上し、さらに軟磁気特性も向上することを明らかにした^{③,④}。この手法を発展させることで、Fe 基金属ガラスの最大の欠点である飽和磁化の低さを解消でき、低磁気損失・高飽和磁化を兼ね備えた新しい高性能磁性材料の実現、およびそれによる各種電子機器の小型化・省電力化が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、低磁気損失材料である Fe 基アモルファス/金属ガラスのガラス形成能と飽和磁化を向上させ、各種電子機器の小型化・省電力化に対応できる、次世代高性能軟磁性材料を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

Fe 基アモルファス/金属ガラスに相分離傾向の強い正の混合熱を有する元素を添加することでナノ相分離を誘発させ、ガラス形成能と、飽和磁化を始めとする磁気特性を向上させる。

(1) Nb と希土類元素の同時添加効果の検討

Nb は Fe 基金属ガラスのガラス形成能を向上させるのに有効な元素である。Nb との間で正の混合熱を有する希土類元素を同時に添加し、ガラス形成能や磁気特性への影響について検討する。

(2) Cu の添加効果の検討

Cu は α -Fe 相と相分離する傾向を有する。高 Fe 濃度 Fe 基アモルファス合金に Cu を添加することにより、高い飽和磁化を維持したまま、ガラス形成能の向上を試みる。

4. 研究成果

(1) Nb と希土類元素の同時添加効果の検討

①希土類元素の選定

Fe-Co-B-Si-Nb 合金の Nb を、Nb との間で正の混合熱を有する Y で部分置換することにより、ガラス形成能と飽和磁化が向上するが^{③,④}、そのメカニズムは未解明である。そこで、Y と類似した元素で Fe-Co-B-Si-Nb 合金の Nb を置換し、ガラス形成能や飽和磁化への影響を詳細に調べた。置換元素の候補としては、Y と化学的な性質が類似している希土類元素(RE)を選択した。元素選択に先立ち、Fe-RE 系の平衡状態図を検討した結果、希土類元素は次の 4 種類に大別できることが分かった。

(A) Fe リッチ側に共晶点があり、かつ $\text{Fe}_{23}\text{RE}_6$ 相($\text{Mn}_{23}\text{Th}_6$ 型)が安定相として存在する(Y, Dy, Ho, Er, Tm, Lu)。

(B) Fe リッチ側に共晶点はないが、 $\text{Fe}_{23}\text{RE}_6$ 相が安定相として存在する(Gd, Tb)。

(C) Fe リッチ側に共晶点が無く、 $\text{Fe}_{23}\text{RE}_6$ 相も存在しない(La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm)。

(D) 合金化が困難なもの(Eu, Yb)。

一般に、共晶合金系はガラス形成に有利である。また Fe 基金属ガラスの結晶化の際には準安定相である Fe_{23}B_6 相(Cr_{23}C_6 型)が析出することが多く、ガラス形成能との関連が議論されている^⑤。そこで、上記(A)~(C)のグループに属する元素による置換の効果を比較し、ガラス形成能向上のメカニズムについて検討した。グループ(A)は Y と Dy, (B)は Tb, (C)は Nd と Sm を選択した。過去の(Fe, Co)-B-Si-(Nb, Y)合金の結果を参考に、基本組成として $\text{Fe}_{79}\text{B}_{17}\text{Si}_1\text{Nb}_{3-x}\text{RE}_x$ ($x=0, 2$)を選択した。

尚、上記グループ(D)の元素として Yb による置換を試みたが、合金化が困難であり、液体急冷法で作製した試料に Yb がほとんど含まれていないことが確認されたため、その後の検討からは除外した。

②ガラス形成能

図 1 に、単ロール液体急冷法で作製された、厚さ約 20 μm の $\text{Fe}_{79}\text{B}_{17}\text{Si}_1\text{Nb}_1\text{RE}_2$ 合金試料の自由面の X 線回折(XRD)図形を示す。全ての合金で、ロール面側(急冷時に冷却ロールに触れていた面で、冷却速度が大きい)はアモルファス単相であった。それに対し、無置換($\text{RE}=\text{Nb}$)合金の自

由面において $2\theta = 65^\circ$ 付近に α -Fe 相の(200)回折ピークが見られ、アモルファス相と α -Fe 相の混相になっていることが分る。Nb を RE で置換することにより、回折ピークの強度が小さくなる、または無くなっていることが確認された。特に Y, Dy, Tb で置換することで、回折ピークの強度が大幅に減少した。このことから、Nb を RE で置換することでガラス形成能が向上したことが分る。

$\text{Fe}_{79}\text{B}_{17}\text{Si}_1\text{Nb}_1\text{RE}_2$ 合金の示差走査熱分析(DSC)曲線を図 2 に示す。Nb を RE で置換することにより、結晶化開始温度(T_x)が上昇し、ガラス遷移を示すようになる。ガラス形成能の目安となる過冷却液体領域の広さ($\Delta T_x = T_x - T_g$, T_g はガラス遷移温度)は、RE = Nd, Sm では約 18 K であるが、RE = Y, Dy, Tb では 26~30 K まで増加する。従って、X 線回折の結果(図 1)と合わせて考えると、Nd, Sm よりも Y, Dy, Tb の方がガラス形成能向上の効果が明らかに大きいと言える。

$\text{Fe}_{79}\text{B}_{17}\text{Si}_1\text{Nb}_1\text{RE}_2$ 合金の 300 s 熱処理後の XRD 図形を図 3 に示す。無置換合金、または Nd, Sm で置換した合金は α -Fe 相と t - Fe_3B 相(正方晶)の析出が確認された。一方、Y, Dy, Tb で置換した合金では、 α -Fe 相と Fe_{23}B_6 相の析出が確認された。さらに、これらの回折ピークの強度は弱く、ブロードであるため、結晶相の析出量は少なく、かつ粒径も微細化していると考えられる。

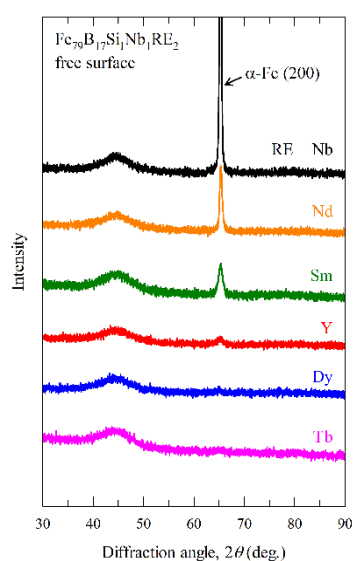


図 1 $\text{Fe}_{79}\text{B}_{17}\text{Si}_1\text{Nb}_1\text{RE}_2$ 合金の自由面の X 線回折図形(未熱処理)

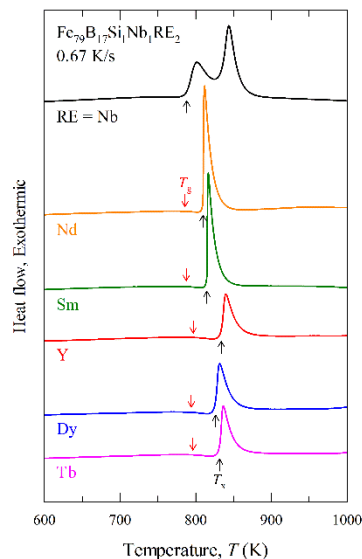


図 2 $\text{Fe}_{79}\text{B}_{17}\text{Si}_1\text{Nb}_1\text{RE}_2$ 合金の示差走査熱分析(DSC)曲線

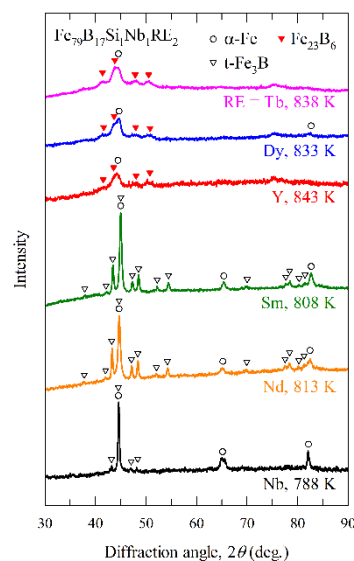


図 3 $\text{Fe}_{79}\text{B}_{17}\text{Si}_1\text{Nb}_1\text{RE}_2$ 合金の熱処理後の X 線回折図形

Y, Dy, Tb で置換した合金で析出した Fe_{23}B_6 相は、Fe 基金属ガラスの結晶化時によく見られる結晶相である^⑤。前述の通り、Fe-RE 系において、Fe-Y, Fe-Dy, Fe-Tb 系では $\text{Fe}_{23}\text{RE}_6$ 相が平衡相として存在するが、Fe-Nd, Fe-Sm 系では存在しない。 Fe_{23}B_6 相と $\text{Fe}_{23}\text{RE}_6$ 相は、化学量論組成だけでなく、属する空間群($Fm\bar{3}m$)と Pearson 記号(cF116)も同一であり、格子定数も 1 nm を超えるほど大きい(Fe_{23}Y_6 相: 1.195 nm, Fe_{23}B_6 相: 1.059 nm)。更に、両者とも頂点を共有した大小 2 種類の八面体のネットワーク構造となっている^⑥。

無置換合金、または Nd, Sm で置換した合金で析出した t - Fe_3B 相は、一般的な Fe 基アモルファス合金の結晶化でよく見られる結晶相である。 t - Fe_3B 相は Fe 原子が構成する三角プリズムが整列した構造であるため、Fe 基アモルファス合金の局所構造は歪んだ三角プリズムが結合したネットワーク構造であると考えられる。一方、金属ガラスは Fe_{23}B_6 相に類似した準結晶-like な局所構造が発達していると考えられ、それが大きなガラス形成能と関係していると考えられる^⑦。そのため、本合金では、 Fe_{23}B_6 相と類似した構造を持つ $\text{Fe}_{23}\text{RE}_6$ 相を形成する RE を添加することで、熱処理前のガラス相の局所構造が変化し、ガラス形成能が向上したと考えられる。従って、Nb との間で正の混合熱を有し、かつ $\text{Fe}_{23}\text{RE}_6$ 相を形成する RE 元素による Nb の置換は、合金のガラス形成能を向上させる上で有効な手法であることが確認された。

表 1 $\text{Fe}_{79}\text{B}_{17}\text{Si}_1\text{Nb}_1\text{RE}_2$ 合金の質量飽和磁化(未熱処理試料)

RE	σ_s ($\text{A m}^2/\text{kg}$)
Nb	146
Y	155
Nd	158
Sm	158
Tb	138
Dy	139

③磁気特性

$\text{Fe}_{79}\text{B}_{17}\text{Si}_1\text{Nb}_1\text{RE}_2$ 合金の未熱処理試料の室温における質量飽和磁化(σ_s)の値を表 1 に示す。飽和磁化の値は、Nb を Y, Nd, Sm で置換した合金では増加し、Tb, Dy で置換した合金では減少した。Nd と Sm は Fe と強磁性的に結合し、Tb と Dy は Fe と反強磁性的に結合する元素である^{⑦~⑩}。そのため、飽和磁化は Nd または Sm を添加すると

特に増加し、Tb または Dy を添加すると減少したと考えられる。一方、Y は原子磁気モーメントを持っていないにも関わらず、合金の飽和磁化を向上させる効果を有していた。本研究では残念ながら、Y による飽和磁化向上のメカニズムを解明することはできなかったが、Y はガラス形成能と飽和磁化の向上をもたらす、極めて有効な元素であることが確認された。

(2) Cu の添加効果の検討

Fe₇₉B₁₇Si₁Nb₁RE₂ 合金の検討により、Y を用いることでガラス形成能と飽和磁化の向上が達成できることが明らかとなった。しかし、市販の Fe 基アモルファス合金の飽和磁化を大きく超えるような合金の開発は容易ではなく、より高 Fe 濃度の合金の開発が望まれる。

最近、アモルファス単相が得られないような高 Fe 濃度 Fe 基アモルファス合金に Cu を少量添加することにより、ガラス形成能が向上し、アモルファス単相化が可能であることが報告されている^{⑩, ⑪}。そこで、Fe 濃度の高い Fe-B-C 合金に Cu を添加し、ガラス形成能の向上が可能かどうかについて検討を行った。合金の基本組成としては、過去の Fe-B-C 合金の検討の結果を参考に選定した^⑩。

① ガラス形成能

図 4 に、板厚 25 ~ 30 μm の Fe_{83-x}B₁₁C₆Cu_x (x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5) 合金の (a) 自由面と (b) ロール面の XRD 図形を示す。x = 0 においては、ロール面側はアモルファス単相であるが、自由面側はアモルファス相と結晶相の混相であることが分かる。x = 0.1 においては、自由面とロール面の両面に結晶相の回折ピークが見られたが、強度が低く、かつブロードであるため、析出している結晶相の体積分率は低く、かつ nm オーダーまで微細化していると考えられる。x = 0.2, 0.3 においては、自由面とロール面の両面ともなだらかなハローパターンのみを示し、アモルファス単相となっていると考えられる。しかし、x = 0.5 においては、自由面とロール面の両面に結晶相の回折ピークが明瞭に観測され、明らかに結晶化しているものと考えられる。これらの結果により、Cu を 0.2 ~ 0.3 at% 程度添加することによりガラス形成能が向上し、アモルファス単相合金が得られることが分かった。

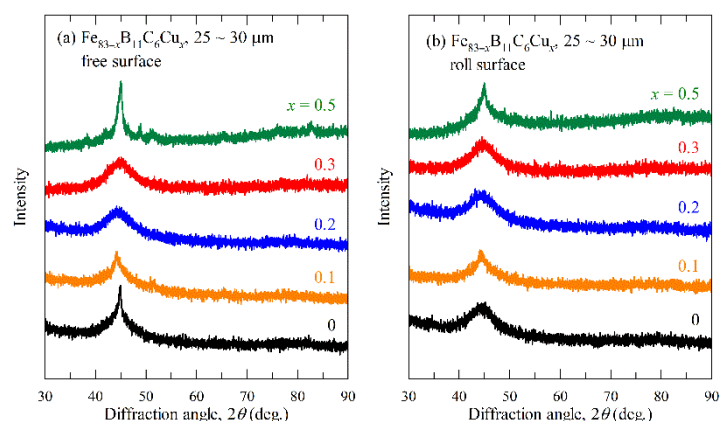


図 4 Fe_{83-x}B₁₁C₆Cu_x 合金の X 線回折図形(板厚 25 ~ 30 μm, 未熱処理)
(a) 自由面, (b) ロール面

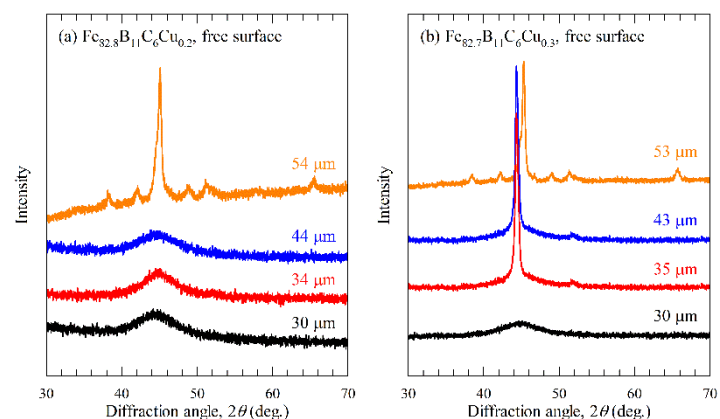


図 5 Fe_{83-x}B₁₁C₆Cu_x 合金の自由面の X 線回折図形の板厚依存性(未熱処理)
(a) x = 0.2, (b) x = 0.3

Cu を微量添加した合金のガラス形成能を評価するため、合金作製時の冷却ロールの回転数を低下させて意図的に厚い試料を作製し、その構造を評価した。図 5 に、 $\text{Fe}_{83-x}\text{B}_{11}\text{C}_6\text{Cu}_x$ ($x=0.2, 0.3$) 合金の自由面の XRD 図形の板厚による変化を示す。図 5(b) の $x=0.3$ においては厚さ $30\ \mu\text{m}$ までしかアモルファス単相薄帯は得られていないが、図 5(a) の $x=0.2$ においては厚さ $43\ \mu\text{m}$ のアモルファス単相薄帯が作製できていることが分かる。

Cu は液相では Fe に固溶するが、固相では $\alpha\text{-Fe}$ 相には固溶できず、またアモルファス相中では相分離してナノサイズのクラスターを形成する傾向を有することが知られている。また、アモルファス相中の Cu クラスターは、 $\alpha\text{-Fe}(\text{Si})$ 相の不均質核生成サイトになる。これらの性質のため、Fe 基アモルファス合金に 1 at% 程度 Cu を添加すると、熱処理により Cu クラスターが形成され、不均質核生成によりナノ結晶化することが知られている。添加量が微量の場合、急冷時に $\alpha\text{-Fe}$ 相が析出するためには Cu 原子の拡散による相分離が必要なため、結果として $\alpha\text{-Fe}$ 相の析出が抑制されると考えられる。しかし、Cu の添加量が 0.5 at% まで増加すると急冷時に Cu のクラスターが容易に生成してしまい、それにより $\alpha\text{-Fe}$ 相の析出が促進されてしまうと考えられる。

②磁気特性

図 6 に、 $\text{Fe}_{83-x}\text{B}_{11}\text{C}_6\text{Cu}_x$ 合金(板厚 $25 \sim 30\ \mu\text{m}$, 未熱処理)の(a)質量飽和磁化(σ_s)と(b)保磁力(H_c)の Cu 濃度(x)依存性を示す。高い Fe 濃度を反映し、Cu 無添加合金の飽和磁化は $174\ \text{A m}^2/\text{kg}$ に達する。密度は $7.48 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$ 程度であるので^⑩、体積磁化は約 $1.64\ \text{T}$ である。 $x=0.1 \sim 0.2$ では磁化は $179\ \text{A m}^2/\text{kg}$ ($1.68\ \text{T}$) まで増加し、 $x=0.3$ 以上では磁化は減少に転じる。また、 $x \leq 0.1$ では保磁力は $10\ \text{A/m}$ 程度のやや大きな値を示す。これは、これらの合金のガラス形成能が低く、アモルファス相と結晶相の混相となっているためであると考えられる。アモルファス単相化する $x=0.2, 0.3$ においては、 $6 \sim 7\ \text{A/m}$ の低い保磁力が得られている。また結晶相が多量に析出している $x=0.5$ では、保磁力は $30\ \text{A/m}$ まで急増している。

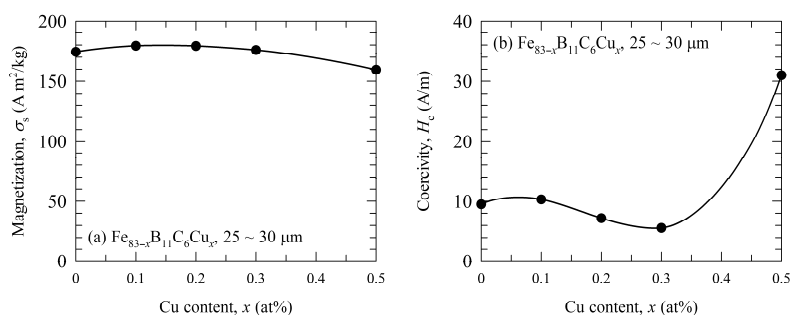


図 6 $\text{Fe}_{83-x}\text{B}_{11}\text{C}_6\text{Cu}_x$ 合金(板厚 $25 \sim 30\ \mu\text{m}$, 未熱処理)の (a)質量飽和磁化(σ_s)と(b)保磁力(H_c)の Cu 濃度(x)依存性

以上の結果により、高 Fe 濃度 Fe-B-C 合金に 0.2 at% 程度 Cu を置換することによりガラス形成能を向上させることが可能であり、高い飽和磁化、良好な軟磁気特性および優れた生産性を兼ね備えた材料を開発することが可能であることが確認された。

<引用文献>

- ① J. H. Kin, J. S. Park, E. Fleury, W. T. Kim and D. H. Kim, Mater. Trans. **45** (2004) 2770.
- ② S. Lee, H. Kato, T. Kubota, K. Yubuta, A. Makino and A. Inoue, Mater. Trans. **49** (2008) 506.
- ③ T. Bitoh and S. Kikuch, IEEE Trans. Magn. **50** (2014) 2002704.
- ④ T. Bitoh and D. Watanabe, Metals **5** (2015) 1127.
- ⑤ A. Hirata, Y. Hirotsu, K. Amiya, N. Nishiyama and A. Inoue, Phys. Rev. B **80** (2009) 140201(R).
- ⑥ P. R. Ohodnicki Jr., N. C. Cates, D. E. Laughlin, M. E. McHenry and M. Widom, Phys. Rev. B **78** (2008) 144414.
- ⑦ R. C. Taylor, T. R. McGuire, J. M. D. Coey and A. Gangulee, J. Appl. Phys. **49** (1978) 2885.
- ⑧ N. H. Duc and P. E. Brommer, *Handbook of Magnetic Materials*, vol. 14 (Elsevier, Amsterdam, 2002) p. 89.
- ⑨ R. Krishnan, L. Driouch, F. E. Kayzel and J. J. J. M. Franse, Appl. Phys. Lett. **68** (1996) 256.
- ⑩ J. Coey, J. Appl. Phys. **49** (1978) 1646.
- ⑪ H. X. Li, J. E. Gao, Y. Wu, Z. B. Jiao, D. Ma, A. D. Stoica, X. L. Wang, Y. Ren, M. K. Miller and Z. P. Lu, Sci. Rep. **3** (2013) 1983.
- ⑫ S. Guo and C. T. Liu, AIP Adv. **8** (2018) 056115.
- ⑬ T. Hibino and T. Bitoh, J. Alloys Comp. **707** (2017) 82.
- ⑭ F. E. Luborasky, J. J. Becher, J. L. Walter and D. L. Martin, IEEE Trans. Magn. **MAG-16** (1980) 521.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Teruo Bitoh, Takafumi Hibino, Hisato Koshiba	4. 巻 -
2. 論文標題 Thermal and Magnetic Properties of Ternary Fe-B-C and Quaternary Fe-B-C-Si Alloys with High Glass-Forming Ability and High Magnetization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Teruo Bitoh, Takafumi Hibino, Hisato Koshiba	4. 巻 65
2. 論文標題 Development of Ternary Fe-B-C and Quaternary Fe-B-C-Si Amorphous Alloys with High Glass-Forming Ability and High Magnetization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy	6. 最初と最後の頁 389 ~ 394
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2497/jjspm.65.389	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Keita Moriya, Teruo Bitoh	4. 巻 65
2. 論文標題 Glass-Forming Ability and Magnetization of (Fe, Co)-B-Si-(Nb, RE) (RE = Nd, Sm, Dy) Amorphous Alloys	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 粉体および粉末冶金	6. 最初と最後の頁 395-400
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.2497/jjspm.65.395	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 尾藤輝夫, 日比野貴郁, 小柴寿人	4. 巻 4
2. 論文標題 高い飽和磁化を有するFe-B-Cアモルファス合金へのSi添加効果	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 秋田県立大学Web Journal B	6. 最初と最後の頁 107-112
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 小島修輔, 尾藤輝夫
2. 発表標題 Fe79B17Si1Nb3-xREx (RE = Y, Nd, Sm, Tb, Dy) (x = 0, 2)アモルファス合金の結晶化過程
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期(第165)大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小島修輔, 長崎幸太, 尾藤輝夫
2. 発表標題 (Fe, Co)79B17Si1Nb3アモルファス合金のガラス形成能に及ぼすNbの希土類元素置換の効果
3. 学会等名 粉体粉末冶協会2019年度春季大会(第123回講演大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊那哉, 尾藤輝夫
2. 発表標題 Fe-B-C(-Si)軟磁性アモルファス合金におけるY添加効果
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期(第163)大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島修輔, 尾藤輝夫
2. 発表標題 Fe79B17Si1Nb3-xYx (x = 0~3)アモルファス合金の結晶化過程
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期(第163)大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Bitoh, T. Hibino and H. Koshiba
2. 発表標題 Development of Ternary Fe-B-C and Quaternary Fe-B-C-Si Amorphous Alloys with High Glass-Forming Ability and High Magnetization
3. 学会等名 JSPM International Conference on Powder and Powder Metallurgy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 尾藤輝夫
2. 発表標題 高い飽和磁化を有するFe基軟磁性金属ガラスの開発
3. 学会等名 金属ガラス・ナノ金属結晶材料合同講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Moriya and T. Bitoh
2. 発表標題 Glass-Forming Ability and Magnetization of (Fe, Co)-B-Si-(Nb, RE) (RE = Nd, Dy) Amorphous Alloys
3. 学会等名 JSPM International Conference on Powder and Powder Metallurgy (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森谷圭太, 尾藤輝夫
2. 発表標題 アモルファス(Fe, Co)-B-Si-(Nb, Sm)の熱的・磁氣的性質
3. 学会等名 日本金属学会2017年秋期(第161)大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡邊那哉, 尾藤輝夫
2. 発表標題 Fe-Co-B-Si-(Nb, RE) (RE = Nd or Dy)金属ガラスのガラス形成能と磁氣的性質
3. 学会等名 日本金属学会2017年秋期(第161)大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----