

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06776

研究課題名(和文)新しいSm-Fe系磁性相の探求

研究課題名(英文)Research of new Sm-Fe magnetic phases

研究代表者

齋藤 哲治 (Saito, Tetsuji)

千葉工業大学・工学部・教授

研究者番号：10296311

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は新しいSm-Fe系磁性相を探求することを目的とした研究である。本研究では、主にSm-Fe系合金状態図に存在しない準安定相の探求を急凝固法で行い、またそれらの磁石化を放電プラズマ焼結法等で試みた。本研究では、Sm-Fe系合金状態図に存在しない準安定相としてSmFe<sub>12</sub>磁性相、SmFe<sub>5</sub>磁性相、Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub>磁性相が急凝固法で作製できることを、また得られた準安定相が高い保磁力を示すことを見出した。さらに、得られた準安定相の磁石化が放電プラズマ焼結法等で可能であることも見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

急凝固法によりアモルファスのSm-Fe系合金を作製し、得られた試料に適切な熱処理を施すことにより新しい準安定相を探求する技術を確立した。また、得られたSm-Fe系磁性相は高い磁気特性を有することも見出した。今後も引き続き得られた新しいSm-Fe系磁性相の高特性化および磁石化を図ることにより、現在広く使用されているNd-Fe-B磁石に代わる新しい磁性材料になりえるものと思われる。

研究成果の概要(英文)：Several new intermetallic compounds were obtained by rapid solidification processing and subsequent annealing. The Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> phase was produced by annealing of the amorphous Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> melt-spun ribbons. The Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> magnets were prepared by spark plasma sintering technique from the amorphous Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> melt-spun ribbons. The Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> magnets exhibited a high coercivity of 40 kOe, which is comparable to or higher than that of the high-performance Nd-Fe-B magnets. On the other hand, the SmFe<sub>12</sub> phase was not obtained by annealing of the SmFe<sub>12</sub> melt-spun ribbons. However, the Sm(Fe,Ti)<sub>12</sub> and Sm(Fe, Ti, V)<sub>12</sub> phases were obtained by annealing of the melt-spun ribbons. The annealed specimens exhibited a coercivity over 6 kOe. It was found that the saturation magnetization of the Sm(Fe,Co)<sub>12</sub> phase was found to be comparable to or higher than that of the high-performance Nd-Fe-B magnets. In addition, the new intermetallic compound of the SmFe<sub>5</sub> phase was obtained by rapid solidification processing.

研究分野：磁性材料

キーワード：磁性材料 希土類磁石 急凝固法 粉末冶金

## 1. 研究開始当初の背景

現在、希土類磁石として希土類金属のネオジム (Nd) およびディスプロシウム (Dy) を含む Nd-Dy-Fe-B 磁石がハイブリッド自動車や電気自動車用のエンジンなどとして広く使用されており、今後もこれらの環境にやさしい自動車の生産量の増加が見込まれている。希土類元素は周期表ではⅢa 族の第6周期に原子番号57番のランラン (La) から原子番号71番のルテチウム (Lu) までが入っており、希土類元素の化学的性質は非常に似ていることが知られている。これらの希土類金属は希土類鉱石から精錬されて得られるが、Nd や Dy だけを精錬することはできず、その鉱石中に含まれるすべての希土類金属が精錬により得られる。そのため、どの希土類金属もバランスよく使用される必要がある。ある特定の希土類金属のみを使用することは希土類金属の需要のバランスを大きく崩し、希土類金属の使用における問題となっている。そこで、本研究では現在過剰な供給になっている希土類金属のうち、特にサマリウム (Sm) の応用を早急に検討し、希土類金属の需要のバランスを保つことが求められている。

## 2. 研究の目的

本研究の目標は「資源リスクを回避する観点から、現存の Nd-Fe-B 磁石を代替できる磁石の研究」であり、現在広く使用されている Nd-Fe-B 磁石と同程度の磁気特性を有する新しい Sm-Fe 系磁石の作製を目標とする。具体的には、Sm-Fe 系磁性相の探索とその高性能化に関する研究として、Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> 金属間化合物相や SmFe<sub>12</sub> 金属間化合物相など新しい Sm-Fe 系磁性相の製造条件の確立とそれら新しい Sm-Fe 系磁性相の磁気特性向上のための添加元素 (Co, Ti など) について検討し、Nd-Fe-B 磁石と同程度の磁気特性 (飽和磁化または保磁力) を有する Sm-Fe 系磁石を作製することを目標とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 急冷凝固法による試料の作製

新しい Sm-Fe 系磁性相を有する試料の作製方法としては、まず高周波溶解により Sm-Fe 系合金を作製した後、急冷凝固法により Sm-Fe 系合金試料の作製を行った。図1に本研究で使用した急冷凝固装置の概略図を示す。急冷凝固法では高速で回転する銅ロールに溶解した合金試料を噴射して急冷凝固させることにより、アモルファスの Sm-Fe 系合金急冷薄帯を作製した。

### (2) 急冷凝固法により作製した試料の熱処理

急冷凝固法により作製したアモルファスの Sm-Fe 系合金急冷薄帯に熱処理を施した。得られた試料の構造はX線回折装置および熱分析装置で、磁気特性は振動試料型磁力計で調べた。また、高い保磁力が得られた試料については、その磁石化を放電プラズマ焼結法で試みた。

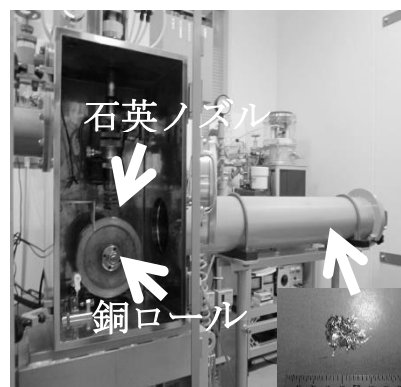


図1 急冷凝固装置および急冷凝固装置で作製した試料の外観写真 (石英ノズル中の合金試料を高周波溶解した後、銅ロール上に噴射し、急冷凝固させて試料を作製)

## 4. 研究成果

本研究では新しい Sm-Fe 系磁性相として Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> 金属間化合物相、SmFe<sub>12</sub> 金属間化合物相、SmFe<sub>5</sub> 金属間化合物相の作製と磁気特性の評価を行った。

(1)  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  金属間化合物相の磁気特性

急凝固法で作製した  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯および  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料の X 線回折図を図 2 に示す。急凝固法で作製した  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯の X 線回折図にはハロー状のなだらかな回折ピークが見られることより、アモルファスであることがわかった。それに対して、 $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料の X 線回折図には鋭い回折ピークが見られた。これらの回折ピークを同定したところ、準安定相の  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  金属間化合物相であることがわかった。このことより、急凝固法で作製したアモルファスの  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯に適当な熱処理を施すことにより、準安定相の  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  金属間化合物相が得られることがわかった。

急凝固法で作製した  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯および  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料のヒステリシス曲線を図 3 に示す。急凝固法で作製した  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯のヒステリシス曲線は細く、保磁力が小さいことがわかった。それに対して、 $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料のヒステリシス曲線は非常に大きく、25kOe を超える高い保磁力を示すことがわかった。超電導型の磁力計で  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料のヒステリシス曲線を測定したところ、その保磁力は 40kOe であることがわかった。このことより、急凝固法で作製したアモルファスの  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯はほとんど保磁力を示さないが、 $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯に適当な熱処理を施し、準安定相の  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  金属間化合物相からなる試料は Nd-Fe-B 磁石を超える高い保磁力を示すことがわかった。

そこで次に、急凝固法で作製した  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯の磁石化を放電プラズマ焼結法で試みた。図 4 に急凝固法で作製した  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯を粉砕した粉末とその粉末より放電プラズマ焼結法で作製した磁石の外観写真を示す。急凝固法で作製した  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯を粉砕した粉末は放電プラズマ焼結法により磁石化できることがわかった。得られた  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  磁石は  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯に熱処理を施した試料と同様に高い保磁力を示すことがわかった。

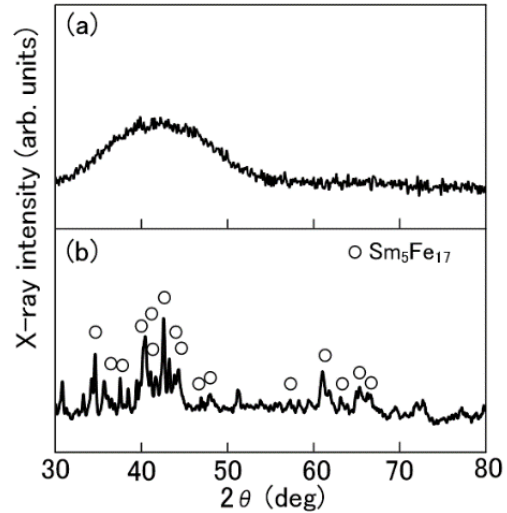


図 2 急凝固法で作製した  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯および  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料の X 線回折図

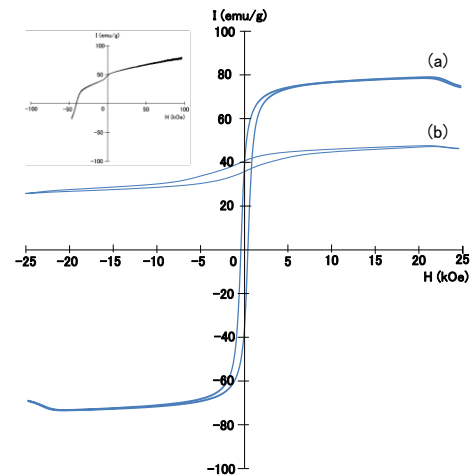


図 3 急凝固法で作製した  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯および  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料のヒステリシス曲線

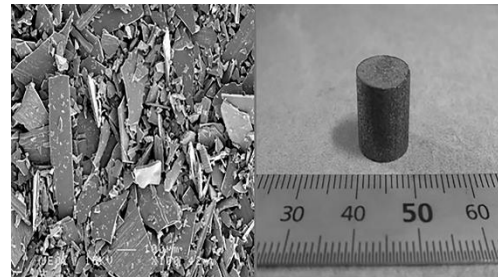


図 4 急凝固法で作製した  $\text{Sm}_5\text{Fe}_{17}$  合金急冷薄帯を粉砕した粉末とその粉末より放電プラズマ焼結法で作製した磁石の外観写真

## (2) SmFe<sub>12</sub> 金属間化合物相の磁気特性

急冷凝固法で作製したアモルファスの Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> 合金急冷薄帯に適切な熱処理を施すことにより、準安定相の Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> 金属間化合物相が得られることがわかったので、次に準安定相の SmFe<sub>12</sub> 金属間化合物相も作製できるかどうかを試みた。急冷凝固法により作製した SmFe<sub>12</sub> 合金急冷薄帯の X 線回折図にはアモルファスではなく、結晶相の回折ピークがみられた。このことより、SmFe<sub>12</sub> 合金を急冷凝固するだけでは目的とするアモルファス相は得られないことがわかった。

急冷凝固法で作製した SmFe<sub>12</sub> 合金急冷薄帯はアモルファスではないが、SmFe<sub>12</sub> 合金の Fe の一部を Ti で置換した Sm(Fe, Ti)<sub>12</sub> 合金急冷薄帯はアモルファスを含むので、これらの試料に熱処理を施したところ Sm(Fe, Ti)<sub>12</sub> 金属間化合物相が作製できることがわかった。図 5 に急冷凝固法で作製した SmFe<sub>11</sub>Ti 合金急冷薄帯に 973-1173K で熱処理を施した試料のヒステリシス曲線を示す。急冷凝固法により作製した SmFe<sub>11</sub>Ti 合金急冷薄帯に 973K で熱処理を施した試料の保磁力は 1.7kOe であった。しかし、急冷凝固法により作製した SmFe<sub>11</sub>Ti 合金急冷薄帯に熱処理を施した試料の保磁力は熱処理温度が上がると大きくなり、急冷凝固法により作製した SmFe<sub>11</sub>Ti 合金急冷薄帯に

1123K で熱処理を施した試料で最大、6.0kOe を示すことがわかった。このことより、急冷凝固法で作製した SmFe<sub>12</sub> 合金急冷薄帯に熱処理を施しても準安定相の SmFe<sub>12</sub> 金属間化合物相は得られないが、急冷凝固法で作製した SmFe<sub>11</sub>Ti 合金急冷薄帯に適切な熱処理を施すと Sm(Fe, Ti)<sub>12</sub> 金属間化合物相が得られ、高い保磁力を示すことがわかった。そこで SmFe<sub>12</sub> 合金の Fe の一部を Ti や V など置換した試料について検討したところ、SmFe<sub>12</sub> 合金の Fe の一部を Ti と V で置換すると保磁力が 9.0kOe まで更に向上することがわかった。

急冷凝固法で作製した SmFe<sub>12</sub> 系合金急冷薄帯も急冷凝固法で作製した Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> 合金急冷薄帯放電プラズマ焼結法で磁石化できることがわかったが、得られた SmFe<sub>12</sub> 系磁石の飽和磁化はそれほど大きくない。そこで次に、SmFe<sub>12</sub> 合金急冷薄帯の飽和磁化の向上を試みた。図 6 に急冷凝固法で作製した Sm(Fe, Co)<sub>12</sub> 合金急冷薄帯に熱処理を施した試料のヒステリシス曲線を示す。SmFe<sub>12</sub> 合金の Fe の一部を Co で置換した Sm(Fe, Co)<sub>12</sub> 合金急冷薄帯の保磁力は数 kOe とそれほど大きくないがその飽和磁化は 160emu/g 以上と大きく、Nd-Fe-B 磁石と匹敵することがわかった。今後はこの試料の飽和磁化を低下させることなく、保磁力を向上する方法について検討していきたい。

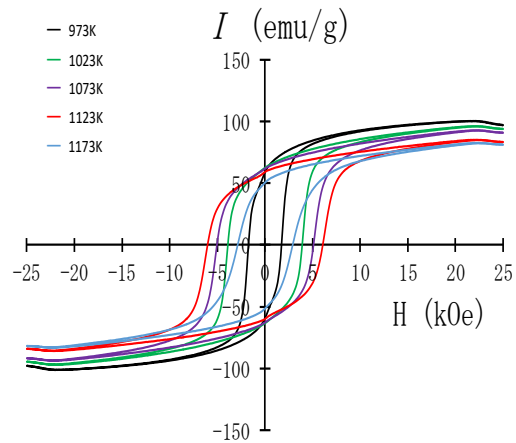


図 5 急冷凝固法で作製した SmFe<sub>11</sub>Ti 合金急冷薄帯に 973-1173K で熱処理を施した試料のヒステリシス曲線

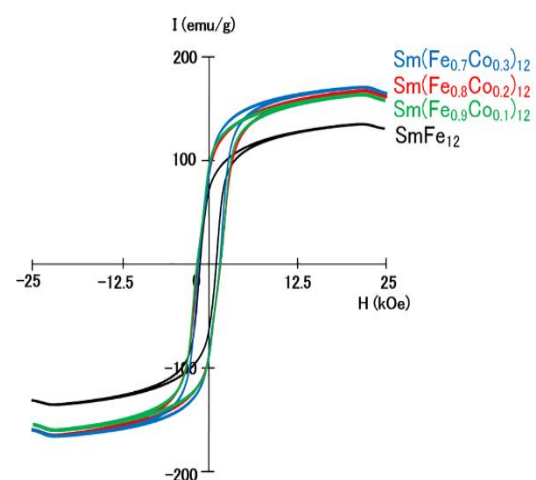


図 6 急冷凝固法で作製した Sm(Fe, Co)<sub>12</sub> 合金急冷薄帯に熱処理を施した試料のヒステリシス曲線

### (3) SmFe<sub>5</sub> 金属間化合物相の磁気特性

急冷凝固法で作製した Sm-Fe 系合金急冷薄帯に熱処理を施すことにより準安定相の Sm<sub>5</sub>Fe<sub>17</sub> 金属間化合物相および SmFe<sub>12</sub> 金属間化合物相が作製できることがわかったので、ここでは Sm-Fe 系合金の新しい準安定相として SmFe<sub>5</sub> 金属間化合物相が作製できるかどうかについて検討した。

図 7 に急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 合金急冷薄帯の X 線回折図を示す。急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 系合金急冷薄帯の X 線回折図にはなだらかなハローピークが見られるが、一部結晶相の回折ピークも見られる元がわかった。このことより、急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 系合金急冷薄帯は主にアモルファスであるが、一部結晶相を含むことがわかった。

そこで、急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 系合金急冷薄帯の微細組織を透過型電子顕微鏡で調べた。図 8 に急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 系合金急冷薄帯の組織写真とその電子線回折図を示す。また下部に電子線回折図の同定結果を示す。急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 系合金急冷薄帯は微細な結晶粒からなり、その微細な結晶粒は電子線回折結果より SmFe<sub>5</sub> 金属間化合物相であることがわかった。このことから、急冷凝固法で準安定相である SmFe<sub>5</sub> 金属間化合物相が作製できることがわかった。

図 9 に急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 系合金急冷薄帯および SmFe<sub>5</sub> 系合金急冷薄帯に熱処理を施した試料のヒステリシス曲線を示す。急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 合金急冷薄帯はほとんど保磁力を示さないが SmFe<sub>5</sub> 合金急冷薄帯に適切な熱処理を施した試料は少し保磁力を示すことがわかった。

そこで現在は、SmFe<sub>5</sub> 合金に添加元素を加えた SmFe<sub>5</sub> 系合金を急冷凝固法により作製した後、得られた SmFe<sub>5</sub> 系合金急冷薄帯に熱処理を施し、その保磁力が向上できるかについて検討している。現在までのところ SmFe<sub>5</sub> 合金の Sm の一部を Zr で置換し、また SmFe<sub>5</sub> 合金の Fe の一部を Co で置換した (Sm, Zr) (Fe, Co)<sub>5</sub> 合金急冷薄帯に適切な熱処理を施すと、保磁力が 5kOe 近くまで向上することがわかってきた。今後も引き続き、急冷凝固法により作製した (Sm, Zr) (Fe, Co)<sub>5</sub> 合金急冷薄帯の磁気特性の更なる向上を目指していきたい。

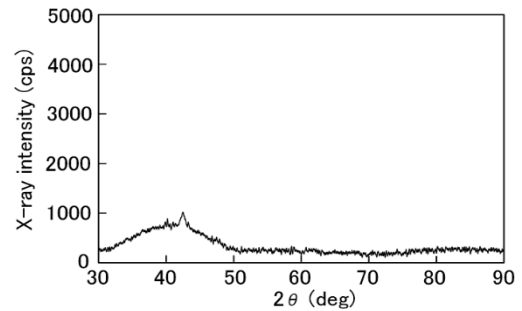


図 7 急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 合金急冷薄帯の X 線回折図

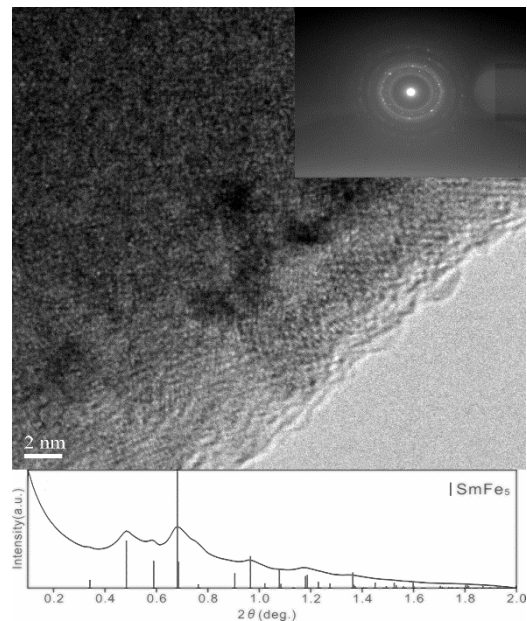


図 8 急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 合金急冷薄帯の組織写真と電子線回折図

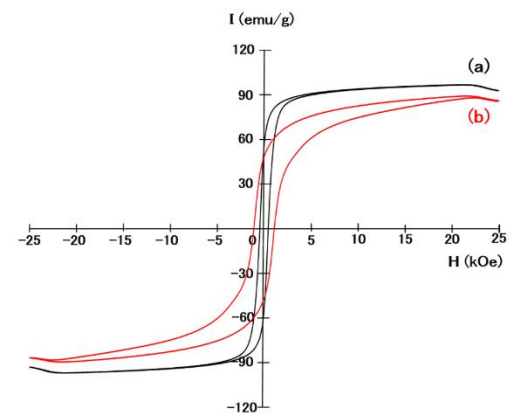


図 9 急冷凝固法により作製した SmFe<sub>5</sub> 合金急冷薄帯および SmFe<sub>5</sub> 系合金急冷薄帯に熱処理を施した試料のヒステリシス曲線

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 T. Saito and D. N. Hamane	4. 巻 494
2. 論文標題 Synthesis of high-coercivity (Y.Sm)Co <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> B nanomaterials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Magn. Magn. Mater.	6. 最初と最後の頁 165797-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/J.Jmmm.2019.165767	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 T. Saito and D. N. Hamane	4. 巻 10
2. 論文標題 Synthesis of SmFe <sub>5</sub> intermetallic compound	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 015311-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5129688	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 T. Saito, Y. Ogawa, and D. N. Hamane	4. 巻 10
2. 論文標題 Production of anisotropic SmFe <sub>3</sub> magnets by hot deformation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 015314-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5129955	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 齋藤哲治	4. 巻 74
2. 論文標題 Sm-Fe系合金の磁気特性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 希土類	6. 最初と最後の頁 134-135
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 T. Saito, T. Horita, and D. N. Hamane	4. 巻 60
2. 論文標題 Magnetic properties of SmFe <sub>3</sub> -type Sm-Zr-Fe-Co-Ti melt-spun ribbons	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mater. Trans.	6. 最初と最後の頁 1384-1389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MS2018317	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 T. Saito and D. N. Hamane	4. 巻 107
2. 論文標題 High coercivity in Sm(Fe,Co) <sub>4</sub> B melt-spun ribbons	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Intermetallics	6. 最初と最後の頁 6-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.intermet.2019.01.001	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 T. Saito, F. Watanabe, and D. N. Hamane	4. 巻 773
2. 論文標題 Magnetic properties of SmFe <sub>12</sub> magnets produced by spark plasma sintering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Alloys Compd.	6. 最初と最後の頁 1018-1022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2018.09.297	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 堀田龍、渡辺文也、齋藤哲治	4. 巻 72
2. 論文標題 急冷凝固法および熱間加工法によるSm <sub>5</sub> Fe <sub>17</sub> 系磁石の作製	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 希土類	6. 最初と最後の頁 66-67
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 T. Saito and D. N. Hamane	4. 巻 735
2. 論文標題 High coercivity SmCo <sub>5</sub> / -Fe nanocomposite magnet	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Alloys Compd.	6. 最初と最後の頁 218-223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2017.11.060	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 T. Saito and D. N. Hamane	4. 巻 8
2. 論文標題 Effects of Ti and Zr additions on magnetic properties of Sm <sub>2</sub> Fe <sub>17</sub> melt-spun ribbons	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP advances	6. 最初と最後の頁 056230-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5006225	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 T. Saito and T. Horita	4. 巻 8
2. 論文標題 Magnetic properties of Sm <sub>5</sub> (Fe,Ti) <sub>17</sub> melt-spun ribbons with high coercivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 AIP advances	6. 最初と最後の頁 056228-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5006208	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 齋藤哲治、堀田龍	4. 巻 70
2. 論文標題 急冷凝固法により作製したSm <sub>5</sub> Fe <sub>17</sub> 系合金急冷薄帯に対する添加元素の影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 希土類	6. 最初と最後の頁 76-77
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



〔学会発表〕 計30件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 小川由資、齋藤哲治
2. 発表標題 熱間加工法によるSmFe <sub>3</sub> 系磁石の作製
3. 学会等名 日本金属学会2020年春期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤哲治
2. 発表標題 急冷凝固法によるSmFe <sub>5</sub> 系合金急冷薄帯の作製
3. 学会等名 令和2年電気学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤哲治
2. 発表標題 急冷凝固法により作製したSm-Fe系磁石の磁気特性
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuji Saito, Fumiya Watanabe, and Daisuke Nishio-Hamane
2. 発表標題 Magnetic properties of Sm(Fe,Ti,V) <sub>12</sub> magnets
3. 学会等名 MMM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuji Saito and Daisuke Nishio-Hamane
2. 発表標題 Synthesis of SmFe <sub>5</sub> intermetallic compound
3. 学会等名 MMM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuji Saito, Toru Horita, and Yusuke Ogawa
2. 発表標題 Magnetic properties of Sm(Fe,Zr) <sub>3</sub> melt-spun ribbons
3. 学会等名 MMM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Ogawa, Tetsuji Saito, and Daisuke Nishio-Hamane
2. 発表標題 Production of SmFe <sub>3</sub> anisotropic magnets by hot deformation
3. 学会等名 MMM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤哲治、小川由資
2. 発表標題 SmFe <sub>3</sub> 系磁石の磁気特性
3. 学会等名 粉末冶金2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤哲治、渡辺文也
2. 発表標題 SmFe12系磁石の磁気特性
3. 学会等名 日本磁気学会第43回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺文也、齋藤哲治
2. 発表標題 Sm(Fe,Ti,V)12系磁石の磁気特性
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuji Saito
2. 発表標題 Progress of Sm-Fe-N magnets
3. 学会等名 APSMR2019 annual meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福地英一郎、橋本龍司、岩佐拓郎、伊藤将志、齋藤哲治
2. 発表標題 C添加Sm5Fe17系急冷薄帯の高温磁気特性
3. 学会等名 粉末冶金2019年春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤哲治
2. 発表標題 放電プラズマ焼結法で作製したSmFe <sub>3</sub> 系磁石の磁気特性
3. 学会等名 粉末冶金2019年春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤哲治
2. 発表標題 Sm-Fe系合金の磁気特性
3. 学会等名 第35回希土類討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤哲治、堀田龍
2. 発表標題 急冷凝固法により作製したSmFe <sub>3</sub> 系合金の磁気特性
3. 学会等名 平成31年度電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Saito, T. Horita and D. N Hamane
2. 発表標題 Magnetic properties of (Sm,Zr) <sub>5</sub> (Fe,Co) <sub>17-x</sub> Ti <sub>x</sub> melt-spun ribbons
3. 学会等名 Intermag2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀田龍、渡辺文也、齋藤哲治
2. 発表標題 急冷凝固法および熱間加工法によるSm5Fe17系磁石の作製
3. 学会等名 第34回希土類討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Saito and H. Watanabe
2. 発表標題 Magnetic properties of SmFe12 magnets produced by spark plasma sintering
3. 学会等名 ICM2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuji Saito
2. 発表標題 New approaches to reduce the reliance on rare earths for permanent magnets
3. 学会等名 APSMR2018 annual meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤哲治、渡辺文也
2. 発表標題 急冷凝固法により作製したSm-Fe系合金急冷薄帯の構造と磁気特性
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤哲治
2. 発表標題 急冷凝固法により作製したSm-Fe-Co-B系合金急冷薄帯の磁気特性
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤哲治、堀田龍
2. 発表標題 新しいSm-Fe系磁石の研究開発
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤哲治、堀田龍
2. 発表標題 急冷凝固法により作製したSm5Fe17系合金急冷薄帯に対する添加元素の影響
3. 学会等名 第33回希土類討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齋藤哲治
2. 発表標題 動的焼結法による希土類磁石粉末の固化成形
3. 学会等名 粉体粉末冶金協会平成29年度春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齋藤哲治
2. 発表標題 急冷凝固法で作製したSm <sub>2</sub> Fe <sub>17</sub> 系合金急冷薄帯の磁気特性
3. 学会等名 日本金属学会2017年度秋期大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀田龍、齋藤哲治
2. 発表標題 急冷凝固法により作製したSm <sub>5</sub> (Fe,Ti) <sub>17</sub> 系合金急冷薄帯の磁気特性
3. 学会等名 平成29年度電気学会基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Horita and T. Saito
2. 発表標題 Sm <sub>5</sub> (Fe,Ti) <sub>17</sub> melt-spun ribbons with high coercivity
3. 学会等名 MMM2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Saito and D. N. Hamane
2. 発表標題 Effects of titanium and zirconium additions on magnetic properties of Sm <sub>2</sub> Fe <sub>17</sub> melt-spun ribbons
3. 学会等名 MMM2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 齋藤哲治、堀田龍
2. 発表標題 Sm-Fe系磁石の研究開発
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堀田龍、齋藤哲治
2. 発表標題 急冷凝固法により作製した(Sm,Zr)5(Fe,Co)17系合金急冷薄帯の磁気特性
3. 学会等名 日本金属学会2018年度春期大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 永久磁石材料	発明者 2018	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、未定	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----