

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05079

研究課題名(和文) 共析型金属/酸化物ナノ複合材料の組成・組織制御と磁気機能探索

研究課題名(英文) Composition- and structure-controls and search for magnetic properties of eutectoid-decomposition-type metal/oxide nanocomposites

研究代表者

山室 佐益 (Yamamuro, Saeki)

愛媛大学・理工学研究科(工学系)・准教授

研究者番号：10402653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：Co置換したFe₀型酸化物の共析分解により、フェロ磁性合金(Fe-Co合金)とフェリ磁性酸化鉄(スピネルフェライト)からなるナノ複合磁性材料を作製し、ナノ領域での組成・組織制御ならびに磁気機能性について調査した。Co置換により、Fe₀相の形成および共析分解が高温側へ大きくシフトすることが判明した。そして、共析分解によりCoは磁性合金および磁性酸化鉄の両相へ分配され、Coフェライト単体の飽和磁化を超えるCoフェライト基ナノ複合体が形成された。その際、Coは磁性合金相側へ優先的に分配されることが分かった。また、CoとCuの共置換により、Co置換Fe₀相の共析分解が若干促進されることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Fe²⁺イオンの一部をCo²⁺イオンで置換したFe₀相の共析分解という冶金学的手法により、結晶磁気異方性の大きなCoフェライトを主相とした磁性ナノコンポジットを形成可能なことを示した。そして、Co置換が共析分解後における形成相の組成・磁気特性に及ぼす影響について明らかにした。以上の結果は、磁性合金とスピネルフェライト相の組み合わせを自在に選択できる可能性を示している。スピネルフェライトは構成金属イオンを異種金属イオンで置換することにより磁気特性を多彩に制御できることから、各種スピネルフェライトとFe基合金からなるナノコンポジット作製の新たな手法を提示することができた。

研究成果の概要(英文)：Magnetic nanocomposites consisting of a ferromagnetic alloy (Fe-Co alloy) and a ferrimagnetic iron oxide (spinel ferrite) have been prepared by eutectoid decomposition of cobalt-substituted iron oxide with Fe₀ crystal structure. Controls of their composition and microstructure in the nanoscale and magnetic properties were investigated. It was found that the cobalt-substitution led to a large shift in the formation of the Fe₀ phase and the eutectoid decomposition to the high-temperature side. After the decomposition, cobalt was distributed into the magnetic alloy and the magnetic iron oxide phases, forming cobalt-ferrite-based nanocomposites with a high saturation magnetization exceeding that of cobalt ferrite alone. It was also found that cobalt was preferentially distributed to the magnetic alloy. In addition, the co-substitution of cobalt and copper was confirmed to slightly promote the decomposition of the cobalt-substituted Fe₀ phase.

研究分野：工学、ナノ材料学

キーワード：共析分解 鉄 スピネルフェライト ナノコンポジット 磁性 磁石

1. 研究開始当初の背景

金属とセラミックスからなる複合体として、金属/セラミックス複合材料がある。従来、マイクロスケールの組織制御に基づく優れた機械的特性発現の観点から、主に高強度材料としての研究・応用展開が図られてきた。本研究では、より微細なナノ領域における元素組成・組織制御と、それに基づく磁気機能発現の観点から取り組んだ。研究対象としては、現在最も広範に使用されている「フェライト磁石」に着目した。現行のフェライト磁石は酸化鉄のみから構成されていることから、安価で化学的安定性に優れるものの、磁石特性は低い(弱磁力)という課題を有している。フェライト磁石を強磁力化することが望まれているものの、本質的に酸化物磁性体の飽和磁化は低く、強い磁力を付与することは難しい。一方、フェライト磁石の特性向上を図る有力な代替手段として、強磁力の起源となる磁性合金相(主に Fe あるいは Fe 基合金)とフェライト相とをナノスケールで複合化(ナノコンポジット化)する手法が注目されている。高い飽和磁化を有する磁性合金を高い磁気異方性を有する磁石化合物とナノ複合化することにより、両相の界面を介して双方の磁気モーメントを磁氣的に結合させて、あたかも単相磁石のように外場応答させることが可能になる。

ただし、Fe あるいは Fe 基合金の多くは酸化しやすく、多彩な酸化物相を形成することから、所望の Fe 基合金相と酸化鉄相からなるナノ複合組織の形成は一般的に難しい。これに関しては、我々の先行研究により、高温相として存在する FeO の共析反応を利用して α -Fe と Fe_3O_4 に相分解(共析分解)し、数十 nm オーダーの層状複合体を形成する手法が利用可能なことを報告している [1]。さらに、FeO 中の Fe^{2+} イオンの一部を Co^{2+} で置換して共析分解することにより、結晶磁気異方性の大きな Co フェライト (CoFe_2O_4) を主相とする磁性合金/磁性酸化鉄ナノ複合材料 (Co フェライト基ナノ複合磁性体) を作製可能な初期結果を得た (図 1)。

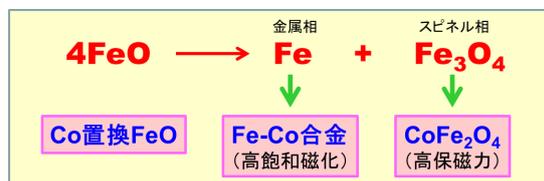


図 1. 共析分解による Fe-Co/CoFe₂O₄ ナノ複合材料の作製スキーム。

2. 研究の目的

本研究では、固相・液相プロセスを併用して、Co 置換した FeO を共析分解することにより、磁性合金相 (Fe-Co 合金) と磁性酸化物相 (CoFe_2O_4) を数十 nm オーダーで複合化した Co フェライト基ナノ複合磁性体 (Fe-Co/CoFe₂O₄ ナノコンポジット磁性体) を作製することを試みた。その際、Co 置換が FeO 相の共析分解挙動、ならびに分解後の両磁性相の元素組成・組織・磁気特性に与える影響について系統的に調査した。固相・液相の両手法を併用した理由は、相互に補完的であることによる。また、 Co^{2+} イオンをベースとして、 Cu^{2+} 等の異種金属イオンを共置換することの可能性についても検討した。以上、FeO 相への異種元素置換が共析分解挙動と磁気特性に及ぼす影響を系統的に調べることにより、磁性合金/磁性酸化物型ナノコンポジット磁性体の創製とその磁気機能性を探ることを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

Co 置換した FeO 相の共析分解を利用して、Fe-Co 磁性合金と Co フェライトからなるナノ複合組織の形成を試みた。試料作製方法としては、原料粉末間の固相反応に基づく固相プロセス、ならびに溶液中でのナノ粒子合成に基づく液相プロセスを用いた。両プロセスにおいて、①Co 置換が FeO 相の形成に及ぼす影響、②Co 置換 FeO 相の共析分解による Fe-Co/CoFe₂O₄ ナノ複合組織の形成条件の最適化と構造・磁気特性評価、③Co とともに微量な Cu あるいは Ni を共置換することによる共析分解の促進効果、④共析分解による生成相への Co の分配挙動について調べた。以下、具体的な実験方法について記す。

(1) 固相プロセスによる Co フェライト基ナノコンポジット磁粉の作製と評価

ミクロンサイズの Fe、 Fe_3O_4 および CoO の各原料粉末を、FeO の共析組成近傍の原子組成比を ($\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x$): O=47:53~50:50 となるように金属元素 ($\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x$) の総量を固定した上で、Fe に対する Co の原子組成比を $x=0\sim 0.3$ の範囲で変えた。また、Cu および Ni を微量置換する際には、原料として CuO ならびに NiO 粉末を用いた。これらの粉末を乳鉢で混合した後、ペレット状に加圧成形した。この圧粉体を石英管に真空封入後、高温焼成(加熱温度 600~1200°C)することにより、Co 置換 FeO 粉末を作製した。得られた Co 置換 FeO 圧粉体を再加熱(加熱温度 300~600°C)することにより共析分解させ、ナノコンポジット試料を作製した。得られたナノコンポジット試料については、X 線回折(XRD)測定により結晶構造評価を行った。磁気特性は、振動試料型磁力計 (VSM) により評価した。

(2) 液相プロセスによる Co フェライト基複合ナノ粒子の作製と評価

高温有機溶媒中での反応により、Co 置換 FeO ナノ粒子をまず作製し、それを共析分解するこ

とによりナノコンポジット化された Fe-Co/CoFe₂O₄ 複合ナノ粒子を作製した。具体的には、金属元素供給源として α -Fe₂O₃ 粉末および CoO 粉末を使用し、オレイン酸および 1-オクタデセンとともにフラスコに充填し、Ar 雰囲気下で 320°C・5 h 加熱して Co 置換 FeO ナノ粒子を作製した。Co 置換 FeO の化学式 (Fe_{1-x}Co_xO) をもとに、Fe に対する Co の仕込み量を $x=0\sim 0.5$ の範囲で変えた。反応終了後、反応溶液を遠心分離することにより生成粒子を回収し、ヘキサン中に再分散させた。その後、ナノ粒子のヘキサン懸濁液をガラス基板上に滴下して乾燥させ、窒素雰囲気のグローブボックス内でホットプレート(HP)を用いて熱分解 (300~450°C・1 h) した。生成試料については、TEM 観察による粒径・形状評価、ならびに XRD 測定による結晶構造評価、SEM-EDS および XRF 測定による組成分析、および VSM による磁化測定により評価した。

4. 研究成果

(1) 固相プロセスによる Co フェライト基ナノコンポジット磁粉の作製と評価

固相プロセスにおいて Co 置換 FeO 単相を得るための反応条件 (組成、加熱温度・時間) を最適化するために、Co 置換が FeO 相の形成に及ぼす影響について調べた。一例として、全金属元素(Fe_{1-x}Co_x)と酸素 O の原子組成比を (Fe_{1-x}Co_x):O=49:51 とし、Co 置換量を $x=0.3$ とした場合において、異なる焼成温度 (600~1200°C) で作製した生成粉末の XRD 測定結果を図 2 に示す。焼成温度 900°C 以上で、FeO 相の形成が確認されるものの、原料物質である Fe₃O₄ が残存している。Co 置換なしの場合には焼成温度 600°C でほぼ FeO 単相が得られていたことから、Co 置換により FeO 相の形成が高温側に大きくシフトしており、焼成温度が高いほど FeO 単相が形成されやすいことが判明した。焼成温度 1200°C において、ほぼ単相の Co 置換 FeO が得られた。状態図からは、FeO 相より CoO 相の共析温度の方が高く、CoO の方が高温でより安定であることが知られている。したがって、FeO 相への Co 置換により FeO 構造が安定化され、より高温にしないと FeO 相が形成されなくなったものと推察される。また、Co 置換量を $x=0.3$ 、焼成温度を 900°C に固定して、全金属元素と酸素の原子組成比(Fe_{1-x}Co_x):O を変化させて Co 置換 FeO を作製した。その結果、(Fe_{1-x}Co_x):O=49:51 の組成で Co 置換 FeO 相が最も生成されやすいことが判明した。この組成は、純粋な FeO 相の共析組成(48.62 at%Fe)とよく対応していることから、Co 置換の有無に関わらず、FeO の共析組成に顕著な変化はないことがわかった。

Co 置換がナノコンポジット形成時の熱分解挙動へ及ぼす影響について明らかにするために、上述した Co 置換 FeO 粉末を真空封入したまま再加熱して共析分解させた。異なる温度 (300~550°C) で共析分解して得られた Fe-Co/CoFe₂O₄ ナノコンポジット磁粉の XRD 測定結果から、主要な生成相であるスピネル相と分解前の主相である FeO 相のメインピーク強度比を算出した結果を図 3 に示す。なお、Co 置換 FeO を作製する際の焼成温度は 900~1200°C とした。Co 置換なし ($x=0$) の場合には 350°C から速やかに分解が進んでいるのに対し、Co 置換あり ($x=0.3$) ではスピネル相からのメインピーク強度比が大きく低下し、共析分解が大きく抑制されていることが確認できる。また、Scherrer 式を用いて結晶子径を見積もったところ、Co 添加により Fe-Co 合金相の結晶子径が減少することから、ナノ複合組織の微細化が示唆された。

作製した Fe-Co/CoFe₂O₄ ナノコンポジット磁粉について、室温で磁化曲線を測定した。その結果、Co 添加量の増大に伴い、最大印加磁場 (8 kOe) における飽和磁化が減少した。異なる Co 置換量について調べた結果、 $x=0.1$ では分解温度 500°C で約 100 emu/g の高い飽和磁化が得られた。この値は CoFe₂O₄ の室温での飽和磁化 (80 emu/g) を超える値であることから、Fe-Co 合金が有する高い飽和磁化が寄与していると言える。一方、保磁力は Co 置換量の増加とともに増大し、 $x=0.3$ の組成で約 1 kOe の大きな値を得た。この大きな保磁力の発現により、スピネル相にも Co が導入され、結晶磁気異方性の大きな Co フェライト (CoFe₂O₄) が形成されている

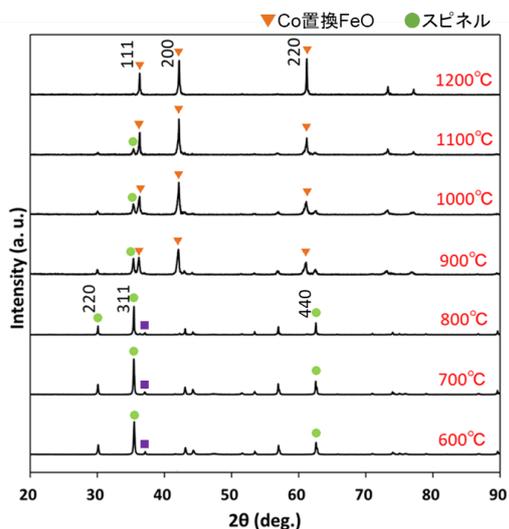


図 2. 焼成温度を変えて作製した Co 置換 FeO 粉末の XRD 測定結果 ($x=0.3$).

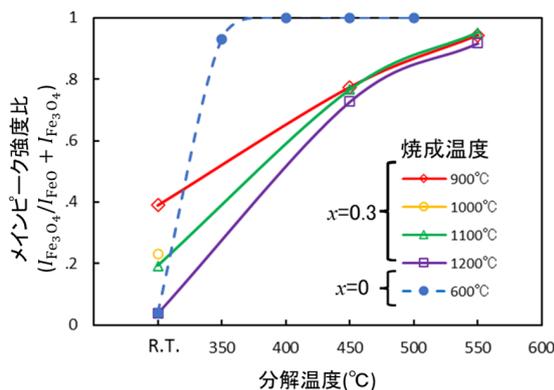


図 3. Fe-Co/CoFe₂O₄ ナノコンポジット磁粉におけるスピネル相からの XRD メインピーク強度比の変化 ($x=0, 0.3$).

ことが明らかになった。また、軟磁性的な Fe-Co 合金と硬磁性的な CoFe_2O_4 の異種磁性相が共存するにもかかわらず、すべての組成において滑らかな磁化曲線が観察された。通常、異種磁性相が共存する試料では磁化曲線に肩ができることから、本研究でのナノコンポジット磁粉では、軟磁性相と硬磁性相が磁氣的に結合していることが示唆された。また、XRD 測定結果から格子定数を精密に算出し、既報の Fe-Co 合金における格子定数 [2] と比較した結果、Co 置換量の増大とともに磁性合金相側へ Co が優先的に分配され、仕込み組成から予想される組成に比べ Co リッチな Fe-Co 合金相が形成されていることが示唆された。

Co 置換した FeO 相では共析分解が阻害されたことから、Co とともに微量な Cu あるいは Ni を共置換することによる分解促進効果について調べた。その結果、Cu を微量置換した場合には、共析分解が抑制される低温域において、分解が若干促進されることが判明した。一方、Ni を微量置換した場合には、共析分解の促進効果は Cu 置換の場合ほど顕著ではなかった。むしろ、共析分解が進行しやすい温度域では分解が不完全となり、FeO 相が残存して磁化が減少する結果となった。純粋な FeO の場合には Cu 微量置換により共析分解が低温で顕著に促進されたことから、Co と Cu を共置換した場合には、Co 無置換の場合に比べ共析分解の促進効果が大幅に抑制される結果となった。

(2) 液相プロセスによる Co フェライト基複合ナノ粒子の作製と評価

液相プロセスに関しても固相プロセスの場合と同様に、Co 置換が FeO 相の形成と、共析分解挙動ならびに磁気特性に及ぼす影響について系統的に調べた。特に、Co 組成 $x=0.3$ について詳しく調べた。Co 仕込み組成を $x=0\sim 0.5$ の範囲で変えて作製した結果、全組成域において FeO 構造を有する Co 置換 FeO ナノ粒子を作製することができた。XRF 測定結果から、高 Co 組成域 ($x=0.4, 0.5$) では生成粒子の Co 濃度は仕込み組成よりも若干低くなったものの、低 Co 組成域 ($x\leq 0.3$) ではほぼ仕込み組成通りの粒子が得られた。

Co 置換 FeO ナノ粒子 ($x=0.3$) を $300\sim 450^\circ\text{C}$ で 1 h 熱分解した複合ナノ粒子の XRD 測定結果を図 4 に示す。熱分解前では、ほぼ FeO 単相からのピークが確認された。熱分解により、 $\alpha\text{-Fe}$ (Fe-Co 合金) 相とスピネル相からのピークが現れ、 350°C という低温で熱分解がほぼ完了することが確認された。この温度は、固相プロセスで述べたマイクロサイズの粉末を用いた場合よりも極めて低い。Co 置換した場合には共析分解が抑制されることから、ナノ粒子化することが共析分解を促進する手段となることが示された。また、分解温度 450°C では、 $\alpha\text{-Fe}$ (Fe-Co 合金) およびスピネル相に加え、fcc-Co からのピークも確認された。Fe-Co 状態図 [3] をもとに考えると、共析分解後には Co は Fe-Co 合金相側へ優先的に分配され、過剰な Co が fcc-Co として析出したものと考えられる。

図 5 に、 $x=0.3$ の Co 置換 FeO ナノ粒子を熱分解 ($400^\circ\text{C} \cdot 1\text{h}$) した試料の磁化曲線 (測定温度: 室温) を示す。比較のため、Co 置換なしの場合についても一緒に示している。Co 置換なしの場合には保磁力は小さいが、Co 置換により保磁力が大幅に上昇し、 1.2 kOe を超える大きな値を示した。このような保磁力の増大は、結晶磁気異方性の大きな Co フェライトが形成されたことを示している。また、異種磁性相が共存しているにもかかわらず、単相のように滑らかな磁化曲線を示したことから、Fe-Co 合金および CoFe_2O_4 相間での磁気結合の存在が示唆された。

一方、Co 置換の有無によらず、飽和磁化の値に顕著な差異は見られなかった。ただし、Co 置換した場合には高飽和磁化を有する Fe-Co 合金相が共存するにも関わらず、期待したほど磁化は向上しておらず、磁性合金相の寄与が不明確であった。そこで、Fe-Co 合金と CoFe_2O_4 からなる複合ナノ粒子 (Fe-Co/ CoFe_2O_4 複合ナノ粒子) と、これを完全に酸化させた CoFe_2O_4 ナノ粒子の磁気特性を比較することにより、磁性合金相の磁気特性への寄与について調べた。その際、比較試料となる結晶性の良い CoFe_2O_4 ナノ粒子を作製するために、酸化鉄ナノ粒子を有機溶媒中に分散した反応系に大気導入しながら加熱する簡便な粒子酸化プロセスを新たに開発した。図 6 に、同一な Co 置換量 ($x=0.3$) を有する Fe-Co/ CoFe_2O_4 複合ナノ粒子と CoFe_2O_4 ナノ粒子の磁化曲線を示す。Fe-Co/ CoFe_2O_4 複合ナノ粒子では、最大印可磁場 (8 kOe) で約 89 emu/g という、ナノ粒子としては比較的大きな磁化が得られた。また、保磁力 (0.9 kOe) は Co 無置換 (Fe_3O_4) の場合と比べ増大していることから、磁気異方性の大きな CoFe_2O_4 相の寄与が確認された。一方、完全酸化させた CoFe_2O_4 ナノ粒子の場合には、飽和磁化は大きく減少すると

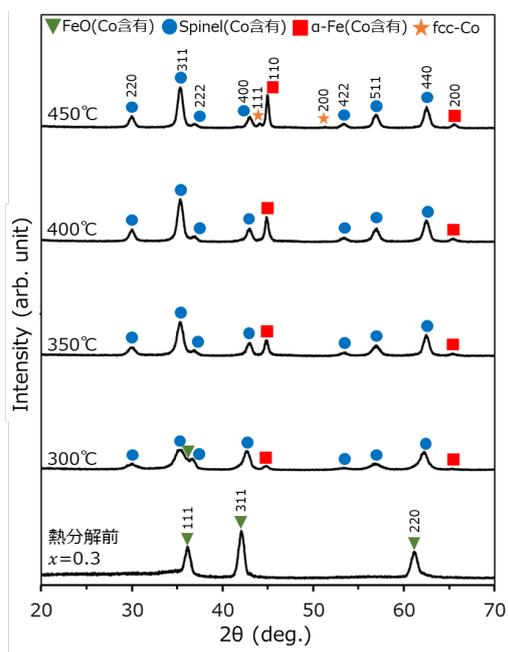


図 4. Co 置換 FeO ナノ粒子を共析分解した複合ナノ粒子の XRD 測定結果 (30 at%Co)。

ともに、1.5 kOe を超える大きな保磁力を示した。酸化にともなう飽和磁化の減少は高飽和磁化を有する Fe-Co 合金相の消失によるものであり、この磁化の減少分が Fe-Co 合金相による寄与と考えられる。また、完全酸化にともなう保磁力の増大は、軟磁性を示す Fe-Co 合金相の消失によるものである。このように、Fe-Co 合金相の存在により、Co フェライト基複合ナノ粒子の磁化が増大し、保磁力が減少するという形で、磁気特性に大きく影響することが明らかになった。以上の結果から Fe-Co/CoFe₂O₄ 複合ナノ粒子で観察された磁化の減少はナノサイズ化にともなう磁化揺動によるものと推察され、Fe-Co 合金相の存在が磁化の向上に寄与していることが確認された。

以上の結果から、FeO 相への Co 置換が共析分解後における形成相の組成・磁気特性に及ぼす影響について明らかにした。また、Co をベースとして、異種金属イオンを共置換することの効果についても検証した。スピネルフェライトは構成金属イオンを異種金属イオンで置換することにより多彩な磁気特性を付与可能なことから、本研究結果は磁性合金とスピネルフェライト相の組み合わせを自在に選択した新たなナノコンポジット作製の可能性を示唆している。

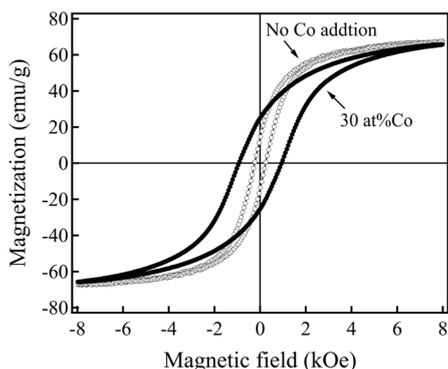


図 5. Co 添加の有無による複合ナノ粒子の磁化曲線の比較 (測定温度：室温、 $x=0, 0.3$).

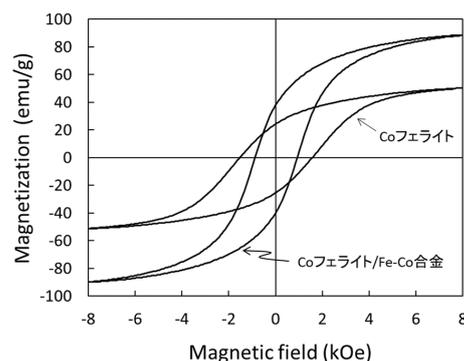


図 6. Fe-Co/CoFe₂O₄ 複合ナノ粒子と CoFe₂O₄ ナノ粒子の磁化曲線の比較 ($x=0.3$).

<参考文献>

- [1] S. Yamamuro, T. Tanaka, “Exchange-coupled Fe/Fe₃O₄ magnetic nanocomposite powder prepared by eutectoid decomposition of FeO”, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, **126**, 152-155 (2018).
- [2] H. Asano, Y. Bando, N. Nakanishi, S. Kachi., “Order-disorder transformation of Fe-Co alloys in fine particles”, *Trans. JIM*, **8**, 180-185 (1967).
- [3] M. Hansen, *Constitution of Binary Alloys*, (McGraw-Hill, New York, 1958), 472.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Saeki Yamamuro, Toshiro Tanaka	4. 巻 290
2. 論文標題 Exchange-coupled α -Fe/Fe ₃ O ₄ bi-magnetic nanoparticles with non-core/shell morphology formed by eutectoid decomposition of FeO nanoparticles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 129468
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.matlet.2021.129468	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 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 山室佐益
2. 発表標題 高温溶液中での大気導入酸化による高結晶性Fe ₃ O ₄ ナノ粒子の合成
3. 学会等名 ナノ学会第20回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西本宣喜, 土橋和弥, 山室佐益
2. 発表標題 大気導入酸化による高結晶性 Zn フェライトナノ粒子の液相合成と磁気特性
3. 学会等名 日本材料科学会四国支部 第30回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Saeki Yamamuro, Ryu Murakami, Yuji Tanaka
2. 発表標題 Solution-Phase Synthesis of Cobalt-Substituted FeO nanoparticles and their Eutectoid Decomposition into Cobalt-Ferrite-Based Composite Nanoparticles
3. 学会等名 11th International Conference on Fine Particle Magnetism (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 足立凱, 山室佐益
2. 発表標題 Co置換FeO粉末の共析分解挙動に及ぼすCo組成の影響
3. 学会等名 第28回ヤングセラミスト・ミーティングin中四国
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村上瑠, 山室佐益
2. 発表標題 溶媒中大気導入酸化による高保磁力Coフェライトナノ粒子の液相合成
3. 学会等名 第28回ヤングセラミスト・ミーティングin中四国
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山室佐益, 村上瑠
2. 発表標題 溶媒中熱酸化処理による高結晶性スピネルフェライトナノ粒子の液相合成
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2023年年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yui Okawa, Shinya Okada, Saeki Yamamuro
2. 発表標題 Synthesis of Hexaferrite-Based SrFe ₁₂ O ₁₉ /Fe-Co Nanocomposites
3. 学会等名 2023 Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山室佐益, 真砂壮, 田中佑治
2. 発表標題 Co置換FeOナノ粒子の合成とその共析分解によるナノ複合化
3. 学会等名 ナノ学会 第19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 汐崎大樹, 山室佐益
2. 発表標題 FeO粉末の焼成温度および圧粉の有無が共析分解挙動に及ぼす影響
3. 学会等名 日本材料科学会四国支部 第29回講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 難波紘, 山本直幸, 山室佐益
2. 発表標題 Cu微量置換したFeO相の共析反応における分解時間の影響
3. 学会等名 日本金属学会 2021年秋季(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山室佐益, 田中佑治
2. 発表標題 Fe-Co/Coフェライト複合ナノ粒子の液相合成とその磁気特性
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山室 佐益, 小池 勝一郎
2. 発表標題 共析型Fe/Fe304ナノコンポジット磁粉へのCo添加による組成・磁気特性制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会 2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本 直幸, 山室 佐益, 田中 寿郎
2. 発表標題 Cu微量添加によるFeOの共析分解の促進: -Fe/Fe304ナノコンポジット磁性体の低温合成に向けて
3. 学会等名 日本セラミックス協会中四国支部 第27回ヤングセラミスト・ミーティングin中四国
4. 発表年 2020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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関