

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25709055

研究課題名(和文) 低温還元熱処理による高保磁力の3d遷移金属規則合金微粒子の創製

研究課題名(英文) Synthesis of ordered alloy particles consist of 3d transition metal elements by low temperature reduction annealing

研究代表者

藤枝 俊 (Fujieda, Shun)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：60551893

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,000,000円

研究成果の概要(和文)：ポリオールと呼ばれる多価アルコールを用いた液相法において、反応条件の調整により、10～90 at%程度の広い範囲の任意のFe濃度のFe-Ni水酸化物微粒子の合成に成功した。その微粒子に400℃で還元熱処理を施すことにより、還元前の微粒子と同程度のFe濃度を有したfcc構造のFeNi合金粒子が得られることを突き止めた。さらに、Fe濃度を51 at%に制御して合成したFe-Ni水酸化物微粒子に、300℃の比較的低温で還元熱処理を施すことにより得たFe-Ni合金微粒子においてL10型相の形成を強く示唆する結果を得た。

研究成果の概要(英文)：Fe-Ni hydroxide nanoparticles with Fe compositions ranging between about 10 and 90 at% were successfully synthesized using polyol by adjusting reaction conditions. Subsequent reduction-annealing of the above polyol-derived particles with 13-56 at% Fe at 400 °C resulted in the synthesis of fcc Fe-Ni alloy nanoparticles. The Fe composition of fcc Fe-Ni alloy nanoparticles was evaluated to be close to those of Fe-Ni hydroxide nanoparticles before reduction annealing. In addition, it was suggested that Fe-Ni alloy nanoparticles with L10-type structure is obtained by reduction annealing of Fe-Ni hydroxide nanoparticles with about 51 at% Fe at 300 °C.

研究分野：材料物性

キーワード：金属物性 磁性 ナノ材料

1. 研究開始当初の背景

fcc 構造の Fe-Ni 合金はパーマロイなどの軟磁性材料として広く普及しているが、L1₀ 型規則構造の Fe-Ni 合金は大きな磁気異方性を示す¹⁾。そのため、L1₀ 型 Fe-Ni 合金を微粒子にして単磁区状態にすると、大きな磁気異方性に起因して大きな保磁力の発生が予測される。また、L1₀ 型 Fe-Ni 合金は比較的大きな飽和磁化および高いキュリー温度も有している。さらに、資源枯渇が危惧される希土類元素を一切用いないため、自動車および電子機器などの分野に活用できる画期的なボンド磁石用素材となることが期待できる。

Fe-Ni 二元系状態図によると、L1₀ 型相は Fe 濃度 50 at% 近傍において、320 程度の規則 - 不規則変態温度以下の比較的低温領域に存在する²⁾。このような低温における fcc 構造の原子拡散は極めて遅いため、原料を溶解して得た fcc 構造の Fe-Ni 合金に単に長時間熱処理を施しただけでは L1₀ 型相を得るのは困難である。そのため、宇宙空間で徐冷された鉄隕石中に形成した L1₀ 型相を用いて基礎的研究が行われている³⁾。また、欠陥を多量に導入するために中性子¹⁾、電子⁴⁾およびイオン⁵⁾を照射したバルクや薄膜の作製が行われている。さらに、超高真空において単結晶基板上に Fe および Ni の単原子相を交互にエピタキシャル成長させて積層する方法により作製した超格子薄膜の研究も行われている⁶⁾。しかし、高保磁力が期待される微粒子の研究は殆ど無い。

ポリオールと呼ばれる多価アルコールを用いた液相法 (ポリオール法) は、金属、酸化物および水酸化物などの微粒子を合成する有力な方法として注目されている^{7,8)}。最近、我々はポリオール法により粒径が数十 nm の Fe-Ni 水酸化物微粒子の合成に成功した。それに還元熱処理を施すと Fe-Ni 合金微粒子が得られる。本研究では、ポリオール法で組成を制御して合成した Fe-Ni 水酸化物微粒子に、規則 - 不規則変態温度以下の低温で還元熱処理を施すプロセスにより、L1₀ 型 Fe-Ni 合金微粒子の開発を目指す。

2. 研究の目的

ポリオール法により組成を制御して Fe-Ni 水酸化物微粒子を合成する条件を確立する。また、それに規則 - 不規則変態温度以下の低温で還元熱処理を施すプロセスにより L1₀ 型 Fe-Ni 合金微粒子を開発する。

3. 研究の方法

Fe-Ni 水酸化物微粒子の液相合成には、溶媒としてポリオールであるエチレングリコールを用いた。合投入金属塩として FeCl₂ · 4H₂O および (CH₃COO)₂Ni · 4H₂O を用いた。Fe-Ni 水酸化物微粒子の組成を制御するために、Fe と Ni の投入金属塩比、反応温度、反応時間および水酸化ナトリウムの投入量の異なる条件で合成を行った。遠心分離により

分離回収した生成微粒子をエタノールで複数回洗浄した後、還元雰囲気下で熱処理を施した。結晶構造は X 線回折により評価した。組成を調べるために、生成微粒子を溶解した溶液の誘導結合プラズマ発光分光 (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy: ICP-AES) 分析を行った。メスバウアー効果測定には ⁵⁷Co 線源を用いた。

4. 研究成果

L1₀ 型 Fe-Ni 合金微粒子を得るには、Fe-Ni 水酸化物微粒子の組成を制御することが求められる。そこで、反応温度、反応時間および水酸化ナトリウムの投入量の最適化に取り組んだ。図 1(a)に、130 のポリオールに 20 g/L の水酸化ナトリウムを投入して 3 分間反応させる条件で、異なる Fe と Ni の投入金属塩比 (Fe: Ni) で合成した Fe-Ni 水酸化物微粒子の X 線回折パターンを示す。比較のために Ni(OH)₂ · 0.75H₂O の回折パターンも示す。

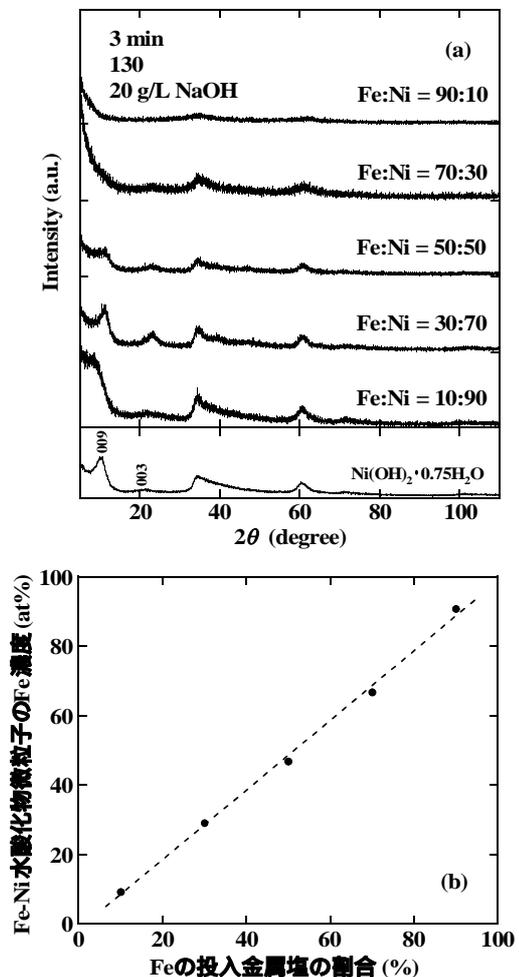


図 1 (a)ポリオール法により異なる Fe と Ni の投入金属塩比 (Fe: Ni) で合成した Fe-Ni 水酸化物微粒子の X 線回折パターン。比較のために、Ni(OH)₂ · 0.75H₂O の回折パターンを示す。(b) Fe の投入金属塩の割合と Fe-Ni 水酸化物微粒子の Fe 濃度の関係。

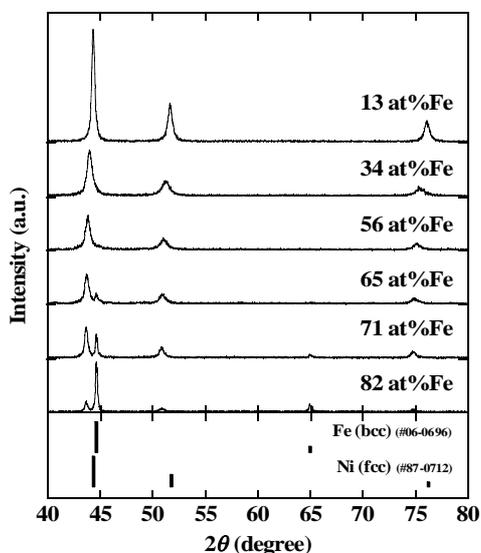


図2 異なる Fe 濃度の Fe-Ni 水酸化物微粒子に 400 で 1 時間の還元熱処理を施して得た微粒子の X 線回折パターン。比較のために ICDD データベースにおける bcc 構造の Fe と fcc 構造の Ni の回折パターンを示す。

$\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 0.75\text{H}_2\text{O}$ は、Ni と O の八面体の稜共有からなる層が積み重なった層状の結晶構造を有する。Fe:Ni = 10:90 の条件で合成した Fe-Ni 水酸化物微粒子は $\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot 0.75\text{H}_2\text{O}$ と類似した回折パターンを示す。Fe の投入金属塩の割合の増加に伴い、回折ピークはブロードになるが回折パターンは類似の特徴を示す。これらの Fe-Ni 水酸化物微粒子を溶解した溶液の ICP-AES 分析結果から求めた Fe 濃度と Fe の投入金属塩の割合の関係を図 1(b) に示す。Fe-Ni 水酸化物微粒子の Fe 濃度は、Fe の投入金属塩の割合の増加に伴いほぼ直線的に増加する。すなわち、10~90% 程度の広い範囲の任意の Fe 濃度に制御して Fe-Ni 水酸化物微粒子を合成する条件の確立に成功した。

ポリオール法で作製した異なる組成の Fe-Ni 水酸化物微粒子に 400 で 1 時間の還元熱処理を施して得た微粒子の X 線回折パターンを図 2 に示す。比較のために International Center for Diffraction Data (ICDD) データベースにおける bcc 構造の Fe と fcc 構造の Ni の回折パターンを示す。また、図中に示した組成は、Fe-Ni 水酸化物微粒子を溶解した溶液の ICP-AES 分析結果から求めた。Fe 濃度が 13~56 at% の範囲において、fcc 構造の回折パターンが観察される。また、Fe 濃度の増加に伴い、回折パターンは全体的に低角側へシフトし、格子は膨張する。そこで、還元熱処理を施して得た微粒子の fcc 相の格子定数の Fe 濃度依存性を図 3 に示す。また、図 4 には還元熱処理を施して得た微粒子の室温での飽和磁化の Fe 濃度依存性を示す。微粒子における fcc 相の格子定数の Fe 濃度依存性は、比

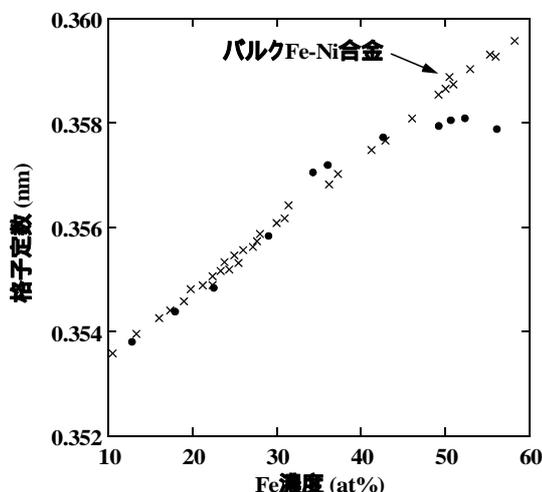


図3 還元熱処理を施して得た微粒子の fcc 相の格子定数の Fe 濃度依存性。比較のためにバルクの fcc 構造の Fe-Ni 合金のデータも示す⁹⁾。

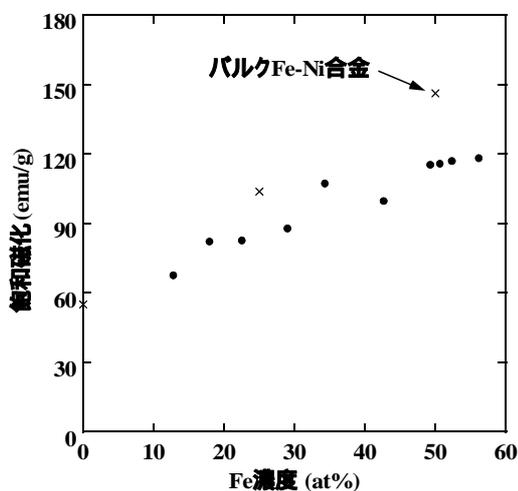


図4 還元熱処理を施して得た微粒子とバルクの fcc 構造の Fe-Ni 合金の室温での飽和磁化の Fe 濃度依存性。

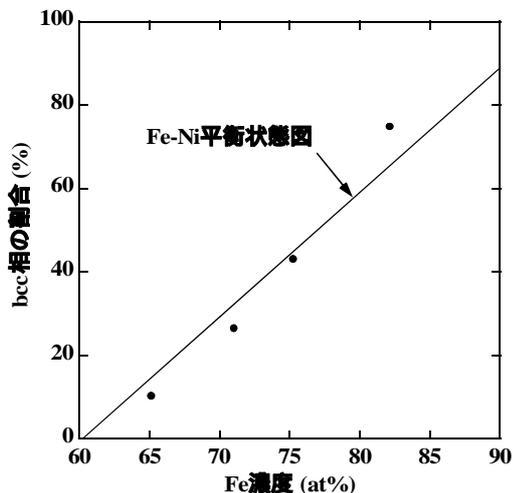


図5 Fe-Ni 水酸化物微粒子に 400 で還元熱処理を施して作製した Fe-Ni 合金微粒子の Fe 濃度と bcc 相の割合の関係。実線は Fe-Ni 二元系状態図からの算出値を表す。

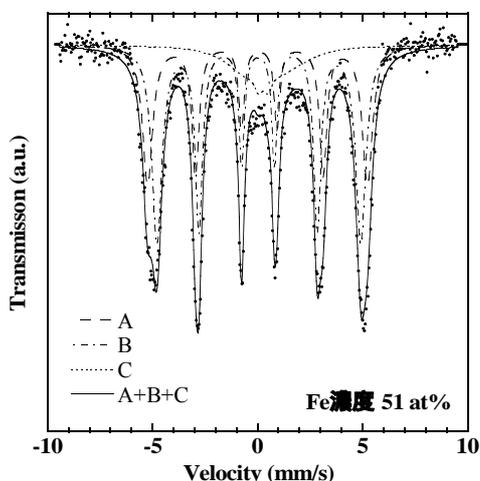


図6 Fe濃度51 at%のFe-Ni水酸化物微粒子に300°Cで還元熱処理を施して得た微粒子のメスbauer効果スペクトルおよびその解析結果。

表1 メスbauer効果スペクトルの解析により得たアイソマーシフト δ 、内部磁場 H_f および四重極相互作用 ΔE_q 。

	δ (mm/s)	H_f (kG)	ΔE_q (mm/s)
A	0.05	310	0.09
B	0.003	317	0
C	0.27	72	0.95

較のために示したfcc構造のバルクのFe-Ni合金のデータ⁹⁾とほぼ一致する。また、飽和磁化のFe濃度依存性も、fcc構造のバルクのFe-Ni合金と同様の傾向を示す。還元熱処理後に得られるFe-Ni合金微粒子のFe濃度は還元熱処理前のFe-Ni水酸化物微粒子と同程度であると推察される。Fe-Ni水酸化物微粒子の組成の制御によりFe-Ni合金微粒子の組成を調整できることが明らかになった。

図2において、Fe濃度が65~82 at%の範囲ではfcc構造とbcc構造の回折ピークが観測される。Fe濃度が変化しても回折ピークの位置は殆ど変化せずに、その強度が変化する。このことは、fcc相およびbcc相の組成は殆ど変化せず、その割合が変化することを示唆している。Fe-Ni二元系平衡状態図において、400°Cおよび65~82 at%のFe濃度ではbcc相とfcc相の2相平衡となる²⁾。そこで、X線回折ピークの積分強度から求めたbcc相の割合のFe濃度依存性を、Fe-Ni二元系平衡状態図から求めた算出値と比較して図5に示す。還元熱処理を施して得た微粒子におけるbcc相の割合は、状態図から求めた値とほぼ一致する。つまり、比較的低温かつ短時間の還元熱処理でも、熱平衡に近い状態のFe-Ni合金微粒子が得られると推察される。従って、Fe濃度が50 at%近傍のFe-Ni水酸化物微粒子に規則-不規則変態温度以下で還元熱処理を

施すことによりL1₀型相の形成が期待される。

Fe濃度が51 at%のFe-Ni水酸化物微粒子に、300°Cで100時間の還元熱処理を施した。得られた微粒子のメスbauer効果測定の結果を図6に示す。観測されたスペクトルは、3つの強磁性スペクトルの足し合わせで再現が出来る。それらのアイソマーシフト、内部磁場および四重極相互作用を表1に示す。スペクトルAおよびBはスペクトルCと比較して小さなアイソマーシフトを示す。電子密度とアイソマーシフトは電子密度と密接に関連することから、スペクトルAおよびBは還元された金属相、スペクトルCは還元されなかった酸化物相などに起因すると推察される。ここで注目すべき点は、スペクトルAはスペクトルBと比較して、小さな内部磁場および大きな四重極相互作用を示すことである。四重極相互作用は、原子核における電場勾配に敏感である。そのため、鉄隕石中に形成したL1₀型相の研究によると、四重極相互作用は立方晶のfcc相ではゼロであるが、僅かに格子が歪んだ正方晶のL1₀型相では有限の値を示す¹⁰⁾。また、L1₀型相はfcc相よりも小さな内部磁場を示すことが報告されている¹⁰⁾。つまり、スペクトルAの特色は、L1₀型相の特色と良く対応する。ポリオール法で組成を制御して合成したFe-Ni水酸化物微粒子に、低温で還元熱処理を施すプロセスにより得たFe-Ni合金微粒子においてL1₀型相の形成を強く示唆する結果が得られた。

<引用文献>

- 1) J. Paulevé, A. Chamberod, K. Krebs and A. Bourret, *J. Appl. Phys.* **39** (1968) 989-990.
- 2) K. B. Reuter, D. B. Williams, J. I. Goldstein, *Metall. Trans. A* **20** (1989) 711-718.
- 3) R. S. Clarke, Jr. and D. R. D. Scott, *Am. Mineral.* **65** (1980) 624-630.
- 4) A. Chamberod, J. Laugier and J. M. Penisson, *J. Magn. Magn. Mater.* **10** (1979) 139-144.
- 5) L. Amaral, R.B. Scorzelli, A. Paesano, M.E. Brückman, Angel Bustamante Dominguez, T. Shinjo, T. Ono and N. Hosoito, *Surf. Sci.* **389** (1997) 103-108.
- 6) T. Shima, M. Okamura, S. Mitani and K. Takanashi, *J. Magn. Magn. Mater.* **310** (2007) 2213-2214.
- 7) F. Fiévet, J. P. Lagier and M. Figlarz, **14** (1989) 29-34.
- 8) A. Abdallah, T. Gaudisson, R. Sibille, S. Nowak, W. Cheikhrouhou-Koubaa, K. Shinoda, M. François and S. Ammar, *Dalton Trans.* **44** (2015) 16013-16023.
- 9) L. J. Swartzendruber, V. P. Itkin and C. B. Alcock, *J. Phase Equilib.* **12** (1991) 288-312.
- 10) R. B. Scorzelli and J. Danon, *Phys. Scripta.* **32** (1985) 143-148.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 10 件)

- 1 加藤玄一郎, 藤枝 俊, 篠田弘造, 鈴木 茂, XRD および XAS 測定による液相合成 FeNi 層状水酸化物の熱分解挙動の解析, X 線分析の進歩 **48** (2017). 査読有り (印刷中)
- 2 T. Kojima, S. Fujieda, G. Kato, S. Kameoka, S. Suzuki and A. P. Tsai, Hydrogenation of propyne verifying the harmony in surface and bulk compositions for Fe-Ni alloy nanoparticles, Mater. Trans. **58** (2017) 776-781. 査読有り
DOI: 10.2320/matertrans.MBW201606
- 3 S. Fujieda, W. Miyamura, K. Shinoda, S. Suzuki and B. Jeyadevan, Composition-controlled Fe-Ni Alloy Fine Particles Synthesized by Reduction-annealing of Polyol-derived Fe-Ni Hydroxide, Mater. Trans. **57** (2016) 1645-1651. 査読有り
DOI: 0.2320/matertrans.M2016063
- 4 S. Fujieda, A. Yomogida, K. Shinoda and S. Suzuki, Magnetic Properties of Cobalt-based Carbide Particles Synthesized by the Polyol Process, IEEE Magn. Lett. **7** (2016) 2107104. 査読有り
DOI: 10.1109/LMAG.2016.2610581
- 5 S. Fujieda, T. Kuboniwa, K. Shinoda, S. Suzuki and J. Echigoya, Spin Glass Transition in Ni Carbide Single Crystal Nanoparticles with Ni₃C-type Structure, AIP Adv. **6** (2016) 056116. 査読有り
DOI: 10.1063/1.4943608
- 6 S. Fujieda, K. Shinoda, S. Yamaguchi, M. Korosaki and S. Suzuki, Transformation of Green Rust to Ferric Oxyhydroxide due to Oxidation Reaction in Aqueous Solution Containing Zn, Sn and Sand Solid Substances, Curr. Inorg. Chem. **5** (2015) 208-213. 査読有り
DOI: 10.2174/1877944105666150421000915
- 7 S. Fujieda, K. Shinoda and S. Suzuki, In Situ Measurements of X-ray Absorption Spectra during Transformation of Green Rust in Aqueous Solution Containing Phosphate ions, Proc. of Asia Steel Int. Conf. (2015) 568-569. 査読有り
- 8 S. Fujieda, K. Shinoda and S. Suzuki, Large Porous Iron Oxide Particles Synthesized from Hydrated Iron Phosphate Particles of Strengite, Ceramic Trans. **250** (2014) 35-41. 査読有り
- 9 S. Fujieda, A. Yoshino, K. Shinoda, S. Tsuru and S. Suzuki, Influence of Tungstate Ions on Transformation of Green Rust to Ferric Oxyhydroxide via Aqueous Solution

Investigated by In Situ X-ray Absorption Spectroscopy, Corros. Sci. **82** (2014) 85-92. 査読有り

DOI: doi.org/10.1016/j.corsci.2014.01.003

- 10 S. Fujieda, K. Fukamichi and S. Suzuki, Suppression of Aqueous Corrosion of La(Fe_{0.88}Si_{0.12})₁₃ by Reducing Dissolved Oxygen Concentration for High-performance Magnetic Refrigeration, J. Alloys Compd. **600** (2014) 67-70. 査読有り
DOI: 10.1016/j.jallcom.2014.01.229

〔学会発表〕(計 26 件)

- 1 加藤玄一郎, 藤枝 俊, 篠田弘造, 鈴木 茂, XRD および XAS を用いた液相合成金属水酸化物の酸化過程および熱分解挙動の解析, X 線分析討論会, 2016 年 10 月 26 日 28 日, 筑波大学 (東京都・文京区)
- 2 藤枝 俊, 篠田弘造, 鈴木 茂, リン酸および亜鉛イオンを含む水溶液中での Green Rust の酸化過程の X 線吸収分光測定によるその場評価, 日本鉄鋼協会, 2016 年 9 月 21 日 23 日, 大阪大学 (大阪府・豊中市)
- 3 加藤玄一郎, 藤枝 俊, 篠田弘造, 鈴木 茂, FeNi 層状複水酸化物の還元熱処理による FeNi 合金微粒子の合成, 資源・素材関係学協会, 2016 年 9 月 13 日 15 日, 岩手大学 (岩手県・盛岡市)
- 4 S. Fujieda, A. Yomogida, K. Shinoda and S. Suzuki, Synthesis of Cobalt-carbide Particles by Polyol Process and Their Magnetic Properties, International Conference of Asian Union of Magnetism Societies, 1st-5th August 2016, Tainan, Taiwan
- 5 S. Fujieda, W. Miyamura, K. Shinoda, and S. Suzuki, Fe-Ni Alloy Fine Particles Synthesized by Reduction-annealing of Polyol-derived Fe-Ni Hydroxide, International Conference on Polyol-mediated Synthesis, 11th-13th July 2016, The university of Shiga prefecture (Shiga・Hikone)
- 6 加藤玄一郎, 藤枝 俊, 篠田弘造, 鈴木 茂, Fe-Ni 層状複水酸化物の還元熱処理による Fe-Ni 合金微粒子の合成, 日本鉄鋼協会, 2016 年 3 月 23 日 25 日, 東京理科大学 (東京都・葛飾区)
- 7 S. Fujieda, T. Akiyama, K. Shinoda and S. Suzuki, Needle-shaped Porous Particles Composed of Spinel-type Iron Oxide, Joint Conference of Magnetism and Magnetic Materials/ International Magnetic Conference, 12th-15th January 2016, San diego, USA
- 8 S. Fujieda, T. Kuboniwa, K. Shinoda and S. Suzuki, Spin Glass Transition in Single

- Crystal Ni Carbide Nanoparticles with Ni₃C-type Structure, Joint Conference of Magnetism and Magnetic Materials/ International Magnetic Conference, 12th-15th January 2016, San diego, USA
- 9 S. Fujieda, K. Shinoda, S. Suzuki, and B. Jeyadevan, Synthesis of Ni Carbide Nanoparticles with Ni₃C-type Structure and Their Spin Glass Behavior, French Research Organizations-Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials, 30th November-2nd December 2015, Tohoku university (Sendai, Miyagi)
 - 10 S. Fujieda, K. Shinoda, and S. Suzuki, In Situ Measurements of X-ray Absorption Spectra during Transformation of Green Rust in Aqueous Solution Containing Phosphate ions, Asia Steel International Conference, 5th-8th October 2015, PACIFICO Yokohama (Kanagawa, Yokohama)
 - 11 蓬田 綾香、藤枝 俊、篠田 弘造、鈴木 茂、ポリオール法を用いた準安定遷移金属炭化物微粒子の合成および磁気特性、日本金属学会、2015年9月16日 18日、九州大学(福岡県・福岡市)
 - 12 藤枝 俊、篠田弘造、鈴木 茂、亜鉛を含む水溶液中の準安定水酸化鉄の酸化反応のその場 X 線吸収分光、日本金属学会、2015年9月16日 18日、九州大学(福岡県・福岡市)
 - 13 藤枝 俊、園田 柁、宮村 渉、篠田弘造、鈴木 茂、水酸化物微粒子の還元熱処理により作製した Fe-Ni 合金微粒子の構造と磁気特性の評価、日本鉄鋼協会、2015年3月18日 20日、東京大学(東京都・目黒区)
 - 14 蓬田 綾香、藤枝 俊、篠田弘造、鈴木 茂、ポリオール法によるコバルトカーバイドナノ粒子の合成と磁気特性評価、日本鉄鋼協会、2015年3月18日 20日、東京大学(東京都・目黒区)
 - 15 藤枝 俊、篠田弘造、鈴木茂、X 線吸収分光その場測定によるリン酸イオン共存下での Green Rust の水溶液中酸化過程の評価、日本鉄鋼協会、2014年9月24日 26日、名古屋大学(愛知県・名古屋市)
 - 16 園田柁、藤枝 俊、篠田弘造、鈴木茂、低温還元熱処理により作製した FeNi_{1-x}Co_x 合金粒子の構造と磁気特性、日本鉄鋼協会、2014年9月24日 26日、名古屋大学(愛知県・名古屋市)
 - 17 園田 柁、藤枝 俊、篠田弘造、鈴木 茂、還元熱処理により作製した FeNi_{1-x}Co_x 合金微粒子の構造評価、X 線分析討論会、2014年10月30日 31日、東北大学(宮城県・仙台市)
 - 18 S. Fujieda, K. Shinoda, S. Suzuki and B. Jeyadevan, Spin Glass Transition in Ni Carbide Nanoparticles with Ni₃C-type Structure, International Conference on Polyol-mediated Synthesis, 23th-25th June 2014, Paris, France
 - 19 藤枝 俊、篠田弘造、鈴木 茂、B. Jeyadevan、土井正晶、鹿又 武、越後谷淳一、低温還元熱処理による L1₀ 型 FeNi 規則合金微粒子の作製、日本鉄鋼協会、2014年3月21日□23日、東京工業大学(東京都・目黒区)
 - 20 園田 柁、藤枝 俊、篠田弘造、鈴木 茂、シリカ被覆により焼結を抑制して作製した FeNi 合金微粒子の高保磁力、日本金属学会、2014年3月21日□23日、東京工業大学(東京都・目黒区)
 - 21 園田柁、藤枝 俊、篠田弘造、鈴木茂、前駆体のシリカ被覆による FeNi 合金微粒子の保磁力増大、日本金属学会 東北支部大会、2014年1月13日、東北大学(宮城県・仙台市)
 - 22 S. Fujieda, W. Miyamura, K. Shinoda, S. Suzuki and B. Jeyadevan, Composition-controlled Synthesis of FeNi Alloy Fine Particles, Materials Science & Technology 2013, 27th-31th October 2013, Montreal, Canada
 - 23 S. Fujieda, Y. Takahashi, K. Shinoda and S. Suzuki, Retardation of the Transformation Rate of Green Rust to Ferric Oxyhydroxide by Oxoions in Aqueous Solution, Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics, 5th-7th June 2013, Tohoku university (Miyagi・Sendai)
- 〔その他〕
 ホームページ等
 東北大学研究者紹介
<http://db.tohoku.ac.jp/whois/>
 多元物質科学研究所 業績データベース
<http://db.tagen.tohoku.ac.jp/php/db/>
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
藤枝 俊 (Fujieda Shun)
 東北大学・多元物質科学研究所・助教
 研究者番号：60551893
- (2) 研究協力者
 鈴木 茂 (Suzuki Shigeru)
 東北大学・多元物質科学研究所・教授
 研究者番号：40143028
- 篠田弘造 (Shinoda Kozo)
 東北大学・多元物質科学研究所・准教授
 研究者番号：10311549
- Balachandran Jeyadevan
 滋賀県立大・工学部・教授
 研究者番号：80261593