

令和 3 年 6 月 25 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02762

研究課題名（和文）温熱療法を目指したスーパースピングラス磁気ナノ微粒子の創製と医療への応用

研究課題名（英文）Preparation of super spin glass magnetic nanoparticles and biomedical application for hyperthermia therapy

研究代表者

一柳 優子 (Ichiyangi, Yuko)

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90240762

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：ナノサイズの磁性体を作製し、バルクとは異なるナノスコピック系に特徴的な磁気特性を分析した。特に複素磁化率に注目しながら磁氣的性質と熱エネルギー蓄積機構を明らかにした。酸化物絶縁体に官能基を修飾する方法を確立し、がん細胞へ選択的に導入される磁気微粒子の開発を行った。官能基修飾により、毒性の低下や分散性の向上が見出された。がん温熱療法やMRIの造影剤としての可能性を示唆し、磁気微粒子の医療への応用に近づくことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノサイズの磁性体を作製し、バルクとは異なる磁気特性を分析した。特に複素磁化率に注目しながら磁氣的性質と熱エネルギー蓄積機構を明らかにした。ナノサイズの磁気緩和現象は学術的にも興味深く、さまざまな組成、粒径における挙動が明らかになったことは意義がある。さらに、磁気特性と熱散逸の関係を明らかにし、がん細胞を抑制させる効果を確認した。同じ微粒子で造影剤としての機能を持つことも明らかになり、治療と診断が同時にできる可能性を示唆した。医療分野での貢献に期待できる。

研究成果の概要（英文）：Magnetic nanoparticles were prepared and magnetic properties were analyzed. The characteristic of nanoscopic systems were different from those of bulk crystals. The magnetic properties and the heat dissipation mechanism were clarified with particular attention to the ac magnetic susceptibility. We established a method to modify functional groups on oxide insulators, and developed magnetic particles that can be selectively introduced into cancer cells. The functional magnetic particles were found to reduce toxicity and improve dispersibility. We have suggested the possibility of using them as a contrast agent in cancer hyperthermia treatment and MRI, holds great potential for the application of magnetic nanoparticles in medicine.

研究分野：磁性

キーワード：ハイパーサーミア 微粒子 がん治療 ナノ医療 造影剤 磁気緩和損失 セラノスティクス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

磁気ナノ微粒子は、ムーア則が限界を迎える昨今、ビッグデータを支える意味でも大いに期待されている。さらに近年は、医療への応用研究が注目され、がん温熱療法や造影剤の用途を目指して、世界中で研究が進められている。物理の分野でも、鉄酸化物や既存の造影剤リゾピストを用いた温度上昇の観測などの報告があった。しかしながら、わずか数ナノメートルの磁気微粒子で、組成や粒径を細かく変化させ、磁気緩和現象のモデルにフィットする系の報告は数少ない。

2. 研究の目的

独自の製法でスーパースピングラス(SSG)磁気ナノ微粒子を生成し、特に複素磁化率に注目しながら磁氣的性質と熱エネルギー蓄積機構を明らかにするとともに、官能基や葉酸を修飾し、医療応用を可能にする。がん細胞への磁気ナノ微粒子導入技術とハイパーサーミア(温熱治療)効果を築き、特に難治性がん細胞の検出、治療を行えるような複合機能微粒子を開拓する。がんの早期発見・早期治療手法の確立の実現を目指し、診断と治療を同時に行う時代を切り開く。

3. 研究の方法

(1)種々のナノサイズ磁気微粒子の作製と複素磁化率分析

独自の製法で組成、粒径がさまざまな磁気ナノ微粒子を生成し、ナノスコピック系に特徴的な磁気緩和現象を明らかにする。ナノ構造の評価には、放射光を用いた局所構造解析を利用する。

(2)修飾方法の開拓と分散性の向上化

これまでにアモルファス SiO₂ に内包された磁気微粒子に、アミノ基を修飾した。この手法を応用して他の官能基やグルコースを修飾する。水中分散性を向上させる修飾も検討する。

(3)細胞選択性を持つ磁気微粒子の作製

がん細胞の表面には葉酸受容体が過剰に発現することに注目し、アミノ基を修飾した上で、さらに葉酸を修飾し、がん細胞に選択的に導入されることをすでに確認した。この手法を応用しタンパクの修飾、グルコースの修飾方法を開拓し、より多種のがん細胞へ選択的に導入させるよう試みる。水中分散性を向上させるために、親水性の PEG を利用して、新たな修飾方法を探求する。

(4)診断用の機能の探索

診断用微粒子としての機能を評価するために、MR 緩和曲線を測定し、組成や粒径の依存性を調べる。ファントムイメージも撮像し、磁気パラメータとの関係を明らかにするとともに、MRI の造影剤としての可能性を確認する。

4. 研究成果

(1)種々のナノサイズ磁気微粒子の作製と複素磁化率分析

粒径が 2-30 nm 程度のさまざまなフェライト微粒子を作製した。特に、非磁性である亜鉛(Zn)をドーピングすることで磁化が増大することを見出したので、Zn を含む多元系フェライトに注目した。複素磁化率の周波数依存性、粒径依存性を詳細に調べ、各粒子における組成、粒径の最適条件を求めた。これらの試料について、実際に磁場中での温度上昇と熱散逸特性の整合性を確認した。

(2)修飾方法の開拓と分散性の向上化

タンパクの修飾を検討するにあたり、SiO₂ に内包された磁気微粒子の SiO₂ をアルカリ処理により取り除いた。その後ポリマー被覆をし、Mn-Zn ferrite の磁気ビーズを作製した。その後、His タグ導入タンパク質を用いて、磁気ビーズへ固定化した。すい臓がん特異的タンパク human S100P を修飾することを試み、17.3 μg/mg のタンパクの固定を確認した。

水中分散性を向上させるため、これまでとは全く異なる手法で PEG に包含された磁気微粒子を作製した。微粒子を PEG で包含することにより、水中での 2 次粒径が平均で 209μm から 31μm へと一桁もの分散性が向上した (Fig.1)。さらに、PEG 修飾により毒性も緩和されることも明らかになった (Fig.2)。

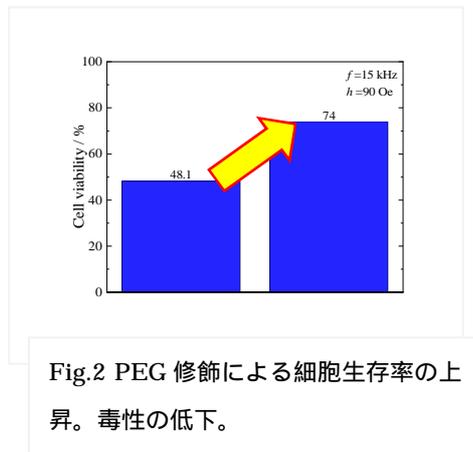
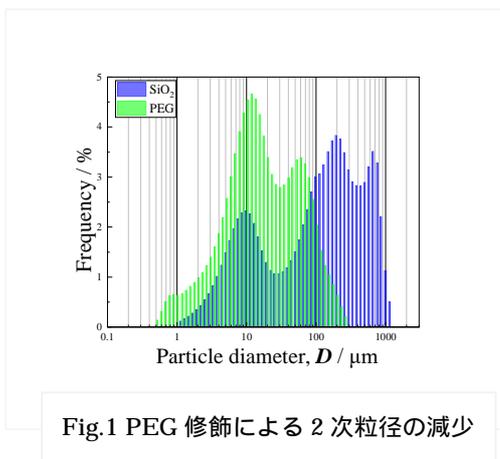
(3)細胞選択性を持つ磁気微粒子の作製

がん細胞はブドウ糖代謝を主体とした代謝を有するものが多いため、磁気微粒子へのグルコースの修飾を検討した。PEG とグルコサミンを駆使してグルコースの修飾に成功した。がん細胞と正常細胞を用いて in vitro 実験を行ったところ、優位にがん細胞のみへグルコース磁気微粒子が導入されることを確認した。

(4)診断用の機能の探索

ハイパーサーミア in vitro 実験で高い効果を示した、Mn_{0.8}Zn_{0.2}Fe₂O₄ 微粒子について、MRI 造影剤としての機能を見るために、スピンエコーシーケンスで T₂ 緩和を測定した。この組成で粒径を 7-31 nm の範囲で緩和曲線を取得したところ、全ての粒子で大きな T₂ 短縮効果を確認することができた。興味深いことにハイパーサーミアで最も熱散逸特性が高かった、18 nm の試料が最も緩和能が高かった。現在使用されている造影剤リゾピストの成分は Fe₂O₃ と Fe₃O₄ であることが知られているが、これらの成分と比較すると約 2 倍もの緩和能を持つ。磁氣的性質としては、超常磁性で粒径が小さいものほど、よい緩和能を示し、ファントム画像でも、わずか 30

msec ほどで明瞭なコントラストが得られることがわかった。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|------------------------|
| 1. 著者名 K. Fujiwara, S. Kimura, S. Miyano, T. Ide, and Y. Ichiyonagi | 4. 巻 43 |
| 2. 論文標題 Suppression of Lahn-Teller distortion by chemical pressure of SiO ₂ and local structure analysis of CuFe ₂ O ₄ nanoparticles | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 J. Magn. Soc. Jpn. | 6. 最初と最後の頁 59-63 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.1905R004 | 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 Akito Oshima, Kouhei Kanda, Koki Fujiwara, Taisei Ide, Mayumi Takano-Kasuya, and Yuko Ichiyonagi | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 PEGylation of Co-Zn Ferrite Nanoparticles for TheraCu-Zn フェライトナノ微粒子の磁気特性と医療応用nostics | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Nanoscience and Nanotechnology | 6. 最初と最後の頁 in press |
| 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 藤原康暉, 木村慎司, 宮野俊太, 井手太星, 臼井章仁, 斎藤春夫, 細貝良行, 一柳優子 | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 Cu-Zn フェライトナノ微粒子の磁気特性と医療応用 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ナノ学会会報 | 6. 最初と最後の頁 61-67 |
| 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 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 Takahiro Yamazaki, Shota Morimoto, Kuminori Hyodo, Tomoya Ishikawa, Yuko Ichiyonagi | 4. 巻 745 |
| 2. 論文標題 Effect of cobalt-doping on the magnetic properties and crystal structure of delafossite AgFeO ₂ nanoparticles | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 631-636 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2018.02.261 | 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 Daiki Shigeoka, Takahiro Yamazaki, Tomoya Ishikawa, Kazunari Miike, Koki Fujiwara, Taisei Ide, Akito Oshima, Tatsuya Hashimoto, Daiki Aihara, Akihito, Usui, Yosgiyuki Hosokai, Haruo Saito and Yuko Ichiyanagi | 4. 巻 54 |
| 2. 論文標題 Functionalization and Magnetics Relaxation of Ferrite Nanoparticles for Theranostics | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics | 6. 最初と最後の頁 6100707-1-7 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2018.2845132 | 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. Ide, K. Fujiwara, T. Hashimoto, K. Kanda, D. Aihara, A. Oshima, and Y. Ichiyanagi | 4. 巻 16 |
| 2. 論文標題 Ferromagnetic Behavior and Electronic Characterization of ZnO Nanoparticle | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. | 6. 最初と最後の頁 406-410 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1380/ejssnt.2018.406 | 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 K. Fujiwara, S. Kimura, S. Miyano, T. Ide, and Y. Ichiyanagi | 4. 巻 43 |
| 2. 論文標題 suppression of Lahn-Teller distortion by chemical pressure of SiO ₂ and local structure analysis of CuFe ₂ O ₄ nanoparticle | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 J. Magn. Soc. Jpn | 6. 最初と最後の頁 59-63 |
| 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 オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Yuko Ichiyanagi | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Characterization and theranostics application of pluralistic ferrite nanoparticles | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Material Science & Engineering | 6. 最初と最後の頁 68-68 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4172/2169-0022-C1-079 | 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 - |

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Takahiro Yamazaki, Shota Morimoto, Kuminori Hyodo, Tomoya Ishikawa, Yuko Ichianagi | 4. 巻 745 |
| 2. 論文標題 Effect of cobalt-doping on the magnetic properties and crystal structure of delafossite AgFeO ₂ nanoparticles | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 631-636 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2018.02.261 | 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 Ichianagi, Y., Miike, K., Usui, A., Machida, Y., Saito, H | 4. 巻 17100919 |
| 2. 論文標題 Magnetic properties and MR effect of CoFe ₃ -xO ₄ nanoparticles | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 2017 IEEE International Magnetism Conference | 6. 最初と最後の頁 1-1 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/INTMAG.2017.8007966 | 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 Akito Oshima, Kouhei Kanda, Koki Fujiwara, Taisei Ide, Mayumi Takano-Kasuya, and Yuko Ichianagi | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 PEGylation of Co-Zn Ferrite Nanoparticles for Theranostics | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Nanoscience and Nanotechnology | 6. 最初と最後の頁 7255-7262 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1166/jnn.2020.18884 | 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 神田康平、白井章仁、細貝良行、井手太星、藤原康暉、大嶋晃人、一柳優子 | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 非磁性Znドーブによるフェライトナノ微粒子のMR特性向上とハイパーサーミア効果 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 ナノ学会会報 34-37 | 6. 最初と最後の頁 34-37 |
| 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 - |

[学会発表] 計66件(うち招待講演 21件/うち国際学会 44件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Magnetic nanoparticles for diagnostics and therapies " 7th China-Japan symposium on nanomedicine |
| 3. 学会等名 7th China-Japan symposium on nanomedicine (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 PEGylation of Magnetic Nanoparticles for Theranostics |
| 3. 学会等名 7th China-Japan symposium on nanomedicine (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hikaru Katayanagi, Sota Hamada, Akito Oshima, Keita Kodama, Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Heat dissipation characteristics and functionalization of magnetic nanoparticles |
| 3. 学会等名 Joint European Magnetic Symposia (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Magnetic nanoparticles toward to the diagnostics and therapies |
| 3. 学会等名 Nanomaterials: Applications & Properties (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Local Structure Analysis of Magnetic Nanoparticles and Application for Theranostics |
| 3. 学会等名 6th International Conference on Theoretical, Materials and Condensed Matter Physics (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Cell Selective Magnetic Nanoparticles for Theranostics |
| 3. 学会等名 13th International Symposium on Nanomedicine (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Development of Magnetic Nanoparticles for Diagnostics and Therapies |
| 3. 学会等名 International Conference on Smart Materials and Structures2020 (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Akito OSHIMA, Kouhei KANDA, Kota AOKI, Keita KODAMA, Kentaro NASHIMOTO, Sota HAMADA, Yuko ICHIYANAGI |
| 2. 発表標題 Thermal Behavior and Magnetic Relaxation Effect of Pegylated Magnetic Nanoparticles |
| 3. 学会等名 7th Internaytional Symposium on the New Frontiers of Thermal Studies of Materials (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 Keita KODAMA, Akito OSHIMA, Kouhei KANDA, Kota AOKI, Sota HAMADA, Kentaro NASHIMOTO, Yuko ICHIYANAGI |
| 2 . 発表標題 Preparation of NiFe ₂ O ₄ Nanoparticles Covered by PEG and Their Heat Dissipation Properties |
| 3 . 学会等名 7th Internaytional Symposium on the New Frontiers of Thermal Studies of Materials (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 Kouhei KANDA, Akito OSHIMA, Keita KODAMA, Kentaro NASHIMOTO , Sota HAMADA, Kota AOKI, Akihito USUI, Yoshiyuki HOSOKAI, Yuko ICHIYANAGI |
| 2 . 発表標題 Hyperthermia Treatment and MR Imaging Effect of Zn _x Fe _{3-x} O ₄ Nanoparticles |
| 3 . 学会等名 7th Internaytional Symposium on the New Frontiers of Thermal Studies of Materials (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 Kentaro NASHOMOTO, Akito OSHIMA, Kouhei KANDA, Kota AOKI, Keita KODAMA, Sota HAMADA, Yuko ICHIYANAGI |
| 2 . 発表標題 Self Heating Effect of Cu-Zn Ferrite Nanoparticles for Hyperthermia Treatment |
| 3 . 学会等名 7th Internaytional Symposium on the New Frontiers of Thermal Studies of Materials (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 Sota HAMADA, Hikaru KATAYANAGI, Akito OSHIMA, Keita KODAMA, Yuko ICHIYANAGI |
| 2 . 発表標題 Heat Dissipation Characteristics and Functionalization of Co-Mg Ferrite Nanoparticles |
| 3 . 学会等名 7th Internaytional Symposium on the New Frontiers of Thermal Studies of Materials (国際学会) |
| 4 . 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Akito Oshima, Kohei Kanda, Kota Aoki, Keita Kodama, Kentaro Nashimoto, Sota Hamada, Yuko Ichianagi |
| 2. 発表標題 Development of magnetic nanoparticles for MPI and medical application |
| 3. 学会等名 29th Annual meeting of MRS-Japan2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kouhei Kanda |
| 2. 発表標題 Magnetic Hyperthermia Effect of Glucose-Modified PEG-Containing Mn-Zn Ferrite |
| 3. 学会等名 13th International Symposium on Nanomedicine (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Akito Oshima |
| 2. 発表標題 Magnetic Imaging Application of High-Performance PEGylated Magnetic Nanoparticles |
| 3. 学会等名 13th International Symposium on Nanomedicine (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Sota Hamada |
| 2. 発表標題 Magnetic Properties and Biomedical Application of Mg Doped Cobalt Ferrite Nanoparticle |
| 3. 学会等名 13th International Symposium on Nanomedicine (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Keita Kodama |
| 2. 発表標題 Preparation of NiFe ₂ O ₄ Nanoparticles Covered by PEG and Their Hyperthermia Application |
| 3. 学会等名 13th International Symposium on Nanomedicine (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kentaro Nashimoto |
| 2. 発表標題 Magnetic Properties of Cu-Zn Ferrite Nanoparticles for Magnetic Particle Imaging |
| 3. 学会等名 13th International Symposium on Nanomedicine (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyangi |
| 2. 発表標題 Magnetic Nanoparticles for Theranotics |
| 3. 学会等名 Intermag2018 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyangi |
| 2. 発表標題 Magnetic Nanoparticles for Diagnostics and Therapies |
| 3. 学会等名 Asian Symposium on Nanoscience and Nanotechnology2018(ASNANO) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Heat Dissipation of Magnetic Nanoparticles and Biomedical Applications |
| 3. 学会等名 International Symposium of Structural Thermodynamics for Young Thermodynamics(ISST-YT) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Functional Magnetics Nanoparticles for Diagnostics and Therapies |
| 3. 学会等名 3rd International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials(ICEAN 2018) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Functional magnetic nanoparticles for thranostics |
| 3. 学会等名 7th World Congress and Expo on Nanotechnology and Materials Science(Nano and Materials Science Germany Conference2018) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Characterrization of Ferrite Nanoparticles and Application for Theranostics |
| 3. 学会等名 5th International Conference on Theoretical and Condensed Matter Physics (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Characterization of Magnetic Nanoparticles and Application for Theranostics |
| 3. 学会等名 Silver Jubilee Assembly of Advances Matirial Congress (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 井出太星、藤原康暉、大嶋晃人、神田康平、相原大輝、橋本達哉、一柳優子 |
| 2. 発表標題 Al ドープZnONANO微粒子の強磁性発現と蛍光プローブ |
| 3. 学会等名 ナノ学会第16回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大嶋晃人、藤原康暉、井出太星、橋本達哉、相原大輝、神田康平、一柳優子 |
| 2. 発表標題 PEG 包含 Co-Zn ferrite ナノ微粒子の作製と磁気ハイパーサーミア効果 |
| 3. 学会等名 ナノ学会第16回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 神田康平、井出太星、藤原康暉、相原大輝、大嶋晃人、橋本達哉、一柳優子 |
| 2. 発表標題 Zn ドープマグネタイト微粒子と熱散逸特性 |
| 3. 学会等名 ナノ学会第16回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 藤原康暉、石川智也、井出太星、大嶋晃人、神田康平、白井章仁、斎藤春夫、細貝良行、一柳優子 |
| 2. 発表標題 Co-Zn フェライトナノ微粒子の磁気特性と医療応用 |
| 3. 学会等名 ナノ学会第16回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 藤原康暉、宮野俊太、木村慎司、白井章仁、細貝良行、町田好男、斎藤春夫、神田康平、大嶋晃人、井出太星、一柳優子 |
| 2. 発表標題 Zn ドープ Cu ferriteナノ微粒子のMR効果 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2019秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大嶋晃人、藤原康暉、井出太星、神田康平、一柳優子 |
| 2. 発表標題 3d 遷移金属ともドープNiO ナノ微粒子の先生徒希薄磁性半導体特性 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2019秋季大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 井出太星、藤原康暉、大嶋晃人、神田康平、一柳優子 |
| 2. 発表標題 希薄磁性半導体ナノ微粒子ZnO の作製とアニール温度依存性 |
| 3. 学会等名 題54回熱測定討論会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichinagi, Tsisei Ide, Koki Fujiwara, Akito Oshima and Kohei Kanda |
| 2. 発表標題 Functional Magnetic Nanoparticles for Diagnostics and Therapies |
| 3. 学会等名 12th International Conference on the Scientific and Clinical Application of Magnetic Carriers (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 藤原康暉, 石川智也, 井手太星, 依田浩平, 細貝良行, 白井章仁, 町田好男, 斉藤春夫, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 多元系フェライトナノ微粒子の磁気特性とセラノスティクス応用 |
| 3. 学会等名 ナノ学会第15回大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 井手太星, 石川智也, 藤原康暉, 依田浩平, 宮野俊太, 捧俊太郎, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 希薄磁性半導体を目指したZnOナノ微粒子へのAl, Mn共ドーブ効果 |
| 3. 学会等名 ナノ学会第15回大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Ichinagi |
| 2. 発表標題 Magnetic Nanoparticles for therapy and diagnostics |
| 3. 学会等名 EMN Meeting on Smart and Multifunctional Material (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Hybrid magnetic nanoparticles for future theranostics |
| 3. 学会等名 EMN Meeting on Magnetic Nanoparticles (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Magnetic nanoparticles for theranostics |
| 3. 学会等名 5th China-Japan Symposium on Nanomedicine (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Hybrid Magnetic Nanoparticles for Theranostics |
| 3. 学会等名 A3 Foresight 9th Meeting (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi |
| 2. 発表標題 Characterization and Theranostics Application of Pluralistic Ferrite Nanoparticles |
| 3. 学会等名 Theoretical and Condensed Matter Physics2017 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyangi |
| 2. 発表標題 Magnetic nanoparticles for theranostics |
| 3. 学会等名 Nanomaterials applied to life sciences (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 橋本達哉, 井手太星, 藤原康暉, 相原大輝, 大嶋晃人, 神田康平, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 CoFe ₂ O ₄ /SiO ₂ ナノ微粒子のSiO ₂ 層の変化によるMRI造影効果とイオン化支援機能 |
| 3. 学会等名 応用物理学会 2017 秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Ide, K. Fujiwara, T. Hashimoto, K. Kanda, D. Aihara, A. Oshima and Y. Ichiyangi |
| 2. 発表標題 Ferromagnetic behavior and electronic characterization of ZnO nanoparticles for imaging probes |
| 3. 学会等名 Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Koki Fujiwara, Shinji Kimura, Shunta Miyano, Taisei Ide, Yoshiyuki Hosokai, Akihito Usui, and Yuko Ichiyangi |
| 2. 発表標題 Structural analysis and suppression of Jahn-Teller distortion in Cu-ferrite nanoparticles surrounded by amorphous SiO ₂ for biomedical application |
| 3. 学会等名 Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 藤原康暉, 石川智也, 井手太星, 高野真由美, 徳永正之, 権田幸祐, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 多元系フェライトMn-Co-Znナノ微粒子の交流磁化率 |
| 3. 学会等名 日本物理学会 2017 秋季大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 A. Oshima, T. Ide, K. Kanda, K. Fujiwara, D. Aihara, T. Hashimoto, Y. Ichianagi |
| 2. 発表標題 Particle size control by annealing temperature of CoZnFe ₂ O ₄ nanoparticles for magnetic hyperthermia |
| 3. 学会等名 8th International and 10th Japan-China Joint Symposium on Calorimetry and Thermal Analysis (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 K.Kanda, K. Fujiwara, T. Ide, A. Oshima, D. Aihara, T. Hashimoto, Y. Ichianagi |
| 2. 発表標題 Temperature dependence of magnetic susceptibility and self-heating property of Mn-Zn ferrite nanoparticles |
| 3. 学会等名 8th International and 10th Japan-China Joint Symposium on Calorimetry and Thermal Analysis (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 青木孝太, 神田康平, 大嶋晃人, 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 PEG包含Mn-Zn ferrite ナノ微粒子のグルコース修飾とがん細胞選択性 |
| 3. 学会等名 ナノ学会第18回大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 児玉慶太, 大嶋晃人, 神田康平, 青木孝太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 細貝良行, 白井章仁, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 生体適合性向上を目指したNiFe ₂ O ₄ ナノ微粒子と磁気ハイパーサーミア効果 |
| 3. 学会等名 ナノ学会第18回大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 濱田颯太, 大嶋晃人, 神田康平, 青木孝太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 Co-Mg ferrite磁気ナノ微粒子の磁場中昇温測定とMR造影効果 |
| 3. 学会等名 ナノ学会第18回大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyonagi, Kouhei Kanda, Yuki Ito, Taisei Ide, Koki Fujiwara, Akito Oshima Akihito Usui, Yoshiyuki Hosokai and Haruo Saito |
| 2. 発表標題 AC susceptibility and PEG modification of Zn _x Fe _{3-x} O ₄ Nanoparticles for Theranostic Materials |
| 3. 学会等名 Intermag 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 梨本健太郎, 藤原康暉, 青木孝太, 児玉慶太, 濱田颯太, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 Cu-Zn ferrite磁気ナノ微粒子の第三高調波測定と交流磁場依存性 |
| 3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会(オンライン) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 青木孝太, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 PEG包含Ni-ferrite磁気ナノ微粒子の発熱機構と磁気ハイパーサーミア効果 |
| 3. 学会等名 第56回熱測定討論会(オンライン) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hikaru Katayanagi, Sota Hamada, Akihito, Usui, Yoshiyuki Hosokai, Yuko Ichianagi |
| 2. 発表標題 Modification of thiol groups on magnetic nanoparticles for theranostics |
| 3. 学会等名 MMM2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 濱田颯太, 坂井直樹, 青木孝太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 細貝良行, 白井章仁, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 セラノスティクス応用に向けたCo-Mg系フェライトのT2緩和 |
| 3. 学会等名 日本磁気学会学術講演会(オンライン) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuko Ichianagi |
| 2. 発表標題 Development of magnetic nanoparticles for diagnostics and therapies |
| 3. 学会等名 International Conference on Smart Materials and Structures (招待講演)(国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Keita Kodama, Sota Hamada, Kentaro Nashimoto, Kota Aoki, Yuko Ichiyangi |
| 2. 発表標題 Biocompatibility and magnetic hyperthermia effect of NiFe ₂ O ₄ nanoparticles |
| 3. 学会等名 JEMS2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuko Ichiyangi |
| 2. 発表標題 Heat dissipation and relaxation effect of magnetic nanoparticles |
| 3. 学会等名 ISTES2020 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Keita Kodama, Sota Hamada, Kentaro Nashimoto, Kota Aoki, Mitsuhiro Okimasu, Kentaro Ohara, Kenta Nakazawa, Nurul Adibah Saadon, Yuko Ichiyangi |
| 2. 発表標題 Preparation of PEGylated Ni-ferrite nanoparticles and hyperthermia effect |
| 3. 学会等名 ISTES2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kentaro Nashimoto, Kota Aoki, Keita Kodama, Sota Hamada, Mitsuhiro Okimasu, Kentaro Ohara, Kenta Nakazawa, Nurul Adibah Saadon, Yuko Ichiyangi |
| 2. 発表標題 Local structure analysis and water dispersibility of Cu-Zn ferrite nanoparticles encapsulated with amorphous SiO ₂ |
| 3. 学会等名 ISTES2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Nurul Adibah binti Saadon, Kentaro Ohara, Mitsuhiro Okimasu, Kenta Nakazawa, Kentaro Nashimoto, Kota Aoki, Sota Hamada, Keita Kodama, Yuko Ichihayashi. |
| 2. 発表標題 Magnetic Properties of Silica Coated Cu _{0.5} Zn _{0.5} Fe ₂ O ₄ Nanoparticles |
| 3. 学会等名 ISTES2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Kentaro Ohara, Kota Aoki, Sota Hamada, Keita Kodama, Kentaro Nashimoto, Mitsuhiro Okimasu, Kenta Nakazawa, Nurul Adibah binti Saadon, Yuko Ichihayashi |
| 2. 発表標題 Local structure analysis and dispersibility improvement of Nickel ferrite nanoparticles coated with PEG |
| 3. 学会等名 ISTES2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 児玉慶太, 大嶋晃人, 神田康平, 青木孝太, 瀧田颯太, 梨本健太郎, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 PEG包含Ni-Fe系磁気ナノ微粒子の磁気緩和損失と熱散逸特性 |
| 3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 青木孝太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 瀧田颯太, 沖増光彦, 小原健太郎, 中澤健太, Nurul Adibah Saadon, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 MnFe ₂ O ₄ ナノ微粒子の磁気特性に及ぼすGd ³⁺ 置換の影響と磁気ハイパーサーミア応用 |
| 3. 学会等名 第68回応用物理学会・春季学術講演会 (オンライン) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 濱田颯太, 青木孝太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 沖増光彦, 小原健太郎, 中澤健太, Nurul Adibah Saadon, 一柳優子 |
| 2. 発表標題 SiO ₂ 包含Mg-ferriteナノ微粒子のZnドーブ効果と発熱特性 |
| 3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会 (オンライン) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 小原 健太郎, 青木 孝太, 濱田 颯太, 児玉 慶太, 梨本 健太郎, 沖増 光彦, 中澤 健太, Nurul Adibah Saadon, 一柳 優子 |
| 2. 発表標題 PEG包含Ni-ferriteナノ微粒子の分散性の向上と熱散逸特性 |
| 3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会 (オンライン) |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Harutaka Mekar, Yuko Ichianagi and Fuyuhiko Tamanoi | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 Springer | 5. 総ページ数 165-179 |
| 3. 書名 Cell-inspired materials and engineering | |

〔出願〕 計2件

| | | |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| 産業財産権の名称 「ナノ微粒子、及びナノ微粒子の製造方法」 | 発明者 一柳 優子、橋本 達哉、千本松 孝 明、阿部 真之、田 | 権利者 横浜国立大学、 埼玉医科大学、 大阪大学、情報 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、2018-038989 | 出願年 2018年 | 国内・外国の別 国内 |

| | | |
|--|--|--------------------------------------|
| 産業財産権の名称 ナノ微粒子、及びナノ微粒子の製造方法、並びに抗腫瘍剤 | 発明者 一柳 優子、橋本 達哉、千本松 孝 明、阿部 真之、田 | 権利者 横浜国立大学、 埼玉医科大学、 大阪大学、情報 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2019/008494 | 出願年 2019年 | 国内・外国の別 国内・外国の別 外国 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

yukolab.ynu.ac.jp

| |
|--|
| |
|--|

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 |
|-------|---|--------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 千本松 孝明 (Senbonmatus Takaaki) (70216563) | 埼玉医科大学・医学部・教授 (32409) | |

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1件

| | |
|--------|--------------|
| 国際研究集会 | 開催年 null年 |
|--------|--------------|

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 | | | |
|---------|------------------------------------|--|--|--|
| 米国 | Argonne National Laboratory | | | |
| スペイン | Oviedo University | | | |
| スペイン | オビエド大学 | | | |
| ロシア連邦 | サントペテルスブルク物理研究所 | | | |
| ロシア | Ioffe Physical-Technical Institute | | | |
| ドイツ | Hannover University | | | |
| 米国 | New York City University | | | |