

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00344

研究課題名(和文) スーパースピングラス磁気ナノ粒子の創製とナノ・セラノスティクスの実現

研究課題名(英文) Preparation of super spinglass magnetic nanoparticles for nano theranostics

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) 34,800,000円

研究成果の概要(和文)：粒子間の相互作用を持つ遷移金属を含むナノサイズの磁気微粒子、スーパースピングラス(SSG)磁気ナノ粒子を得た。数種類の試料について、磁気緩和と発熱メカニズムの関係について、ネール緩和・ブラウン緩和による発熱機構を分離する試みを行った。ポリエチレングリコール(PEG)の修飾により、水中分散性は向上した。これにグルコースを修飾する試みにより、がん細胞への導入率にはわずかな優位性が観察できた。がん細胞を培養したin vitroでのハイパーサーミアの実験後に、細胞死のメカニズムを調べたところ、ほとんどがアポトーシスであることが示唆された。MRIの造影剤としての緩和効果も確認できた。

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の磁気緩和現象と発熱機構の関係を解明することは熱力学的解釈としてもデバイス応用の面でも非常に重要である。磁気クラスター間に相互作用を持つ系である、スーパースピングラスの系に特徴的な興味深い物性の解明に加え、物理エネルギーを利用したがん治療と検出を同時に行うナノ・セラノスティクスの潮流を生み出すことは、社会に貢献する意義も極めて大きい。ハイパーサーミアによる細胞死が、薬理的に重要なアポトーシスである事実を見出したことは意義深い。国際会議を主催し、海外からの優れた研究者らもこの研究分野の重要性に注目した。

研究成果の概要(英文)：A variety of nano-sized magnetic nanoparticles containing transition metals were prepared to obtain super spin glass (SSG) magnetic nanoparticles with particle-to-particle interactions. For several samples, an attempt was made to isolate the relationship between magnetic relaxation and the heat generation mechanism by Neel and Brownian relaxation. Dispersibility in water was improved by modification with polyethylene glycol (PEG). Attempts to modify it with glucose led to the observation of a slight advantage in the rate of incorporation into cancer cells. After in vitro hyperthermia experiments with cultured cancer cells, the mechanism of cell death was investigated, suggesting that it is mostly apoptosis; its effectiveness as an MRI contrast agent for mitigation was also confirmed.

研究分野：磁性

キーワード：magnetic nanoparticle 交流磁化率 フェライト ハイパーサーミア セラノスティクス イメージング

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ナノメートルサイズの磁気微粒子は、昨今、高密度記録媒体や各種磁性材料のみならず、ライフサイエンスの分野でも注目を集めている。がんの温熱療法 (ハイパーサーミア) は古くから知られているが、電極や電磁波によるものであった。応募者は磁気微粒子が外部磁場により発熱する性質を利用して、「磁気ハイパーサーミア」を提案してきた。近年では、この磁気微粒子を利用したがん温熱療法へ向けた研究が世界レベルで盛んになっている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、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ことである。診断と治療を同時に行う時代を切り開くことを目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 遷移金属を含むナノサイズの磁気微粒子を種々作成し、物質の同定とキャラクタライゼーションを行う。放射光を利用した局所構造解析を行い、原子レベルでの配位や電子状態を明らかにする。

(2) 各種サンプルの磁気特性を詳細に調べ、磁気温熱療法に適したものを探索する。磁化のデータから最適化したサンプルについて交流磁場を印加し、昇温過程を観察し、発熱量を定量的に決定する。

(3) 医療応用の実現へ向けて、微粒子の分散性や毒性の向上を試みる。微粒子に官能基、ブドウ糖等を修飾して難治性がん細胞に特異的に導入可能な機能性を持たせる。

(4) *in vitro* の実験を行い、ハイパーサーミア効果を確認する。細胞死のメカニズムを分析する。

(5) 作製した磁気ナノ微粒子が、診断としてのイメージングに適しているか検討する。

### 4. 研究成果

#### (1) 磁気ナノ微粒子の創製と原子レベルでのナノ物質評価

独自の湿式混合法にて、アモルファス SiO<sub>2</sub> のランダムネットワーク中に、直径 2.5 nm-30 nm 程度の磁性ナノクラスターを形成した。磁気クラスターとして、Mn-Zn ferrite, Ni-ferrite, Ni-Zn ferrite, Fe-Zn ferrite, また、それらに Gd をドーブした系などの微粒子を作製した。

亜鉛(Zn)は非磁性であるにもかかわらず、スピネル構造を持つフェライトの A サイトにドーブすることで、磁化が増大することを見出したが、放射光を用いた局所構造解析により、Zn は 100%A サイトに配位することが明らかになった。

#### (2) 超常磁性とスーパースピングラス特性を持つ各種磁気微粒子の実現

交流磁場による熱散逸量  $P$  は  $P = f\Delta U = \mu\pi\chi''\omega h^2$  のように表され、周波数  $f$  や磁場  $h$  のほかに交流磁化率の虚数成分  $\chi''$  が重要であることがわかる。この  $\chi''$  は(1)式のように緩和時間が含まれておりさらにこの  $\chi''$  は(2)のようなネール緩和を含んでいる。

$$\chi'' = \chi_0 \frac{2\pi f\tau}{1 + (2\pi f\tau)^2} \quad (1) \qquad \tau_N = \tau_0 \exp \frac{Kv}{k_B T} \quad (2)$$

このうち、粒径が 3 – 24 nm の NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (Ni-ferrite) の SSG 磁気ナノ微粒子では、直流磁化の温度依存性にて、ブロッキング温度  $T_B$  が粒径により 87 K から 300 K 以上で見られ、17 nm のものでは室温付近では超常磁性を示すことがわかった。(1)式より、交流磁化率の虚数部  $\chi''$  が発熱に寄与することがわかるが、 $\chi''$  の温度依存性では、ピーク  $T_f$  は周波数が高くなるに従い、高温側へシフトした (図 1)。これを、(3)式に従いアレニウスプロットをすると、その傾きから異方性定数  $K$  を算出できる。 $K$  の値は 14 nm で 1.56 (10<sup>4</sup> J m<sup>-3</sup>), 24 nm で 1.06 程度であった。

磁気緩和と発熱メカニズムの関係について、ネール緩和・ブラウン緩和による発熱機構を分離する試みを行った。その結果、緩和時間や比吸収率(SAR)の分析より、20 nm 以下の試料ではネール緩和が支配的、それより大きい粒径ではブラウン緩和が支配的であることが示唆された(図 2)。

$$\ln f^{-1} = \ln 2\pi\tau_0 + \left(\frac{VK}{k_B}\right) \left(\frac{1}{T_f}\right) \quad (3)$$

### (3) 磁気温熱療法の提案と実現

上記の試料を周波数 15kHz、磁場強度 150 Oe の交流磁場中で温度上昇を測定すると、明らかに 17 nm の試料は上昇が高く、9 nm 以下の試料と熱散逸量を比較すると、10 倍以上となった。5 分間での温度上昇を exponential のカーブとして近似し、比熱を用いて計算した値と、ネールの理論に基づく計算値が、よく一致しており、磁気緩和による発熱であることも示された。

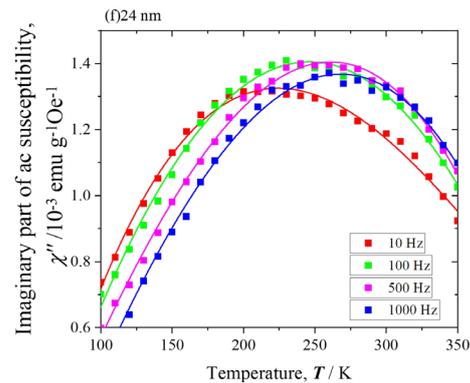


図1 粒径 24 nm の Ni-ferrite の交流磁化率虚数部の温度依存性

### (4) シャーレを用いた in vitro の実験

ヒト乳がん細胞 MDA-MB231 を培養し、最も発熱した 17 nm の粒子をまき、磁場を 30 分印加して、in vitro 実験を行い、視細胞をトリパンブルーで染色し、細胞数をカウントした。細胞生存率は、磁場印加のみではコントロール同様、91%程度を保持しているのに対し、ハイパーサーミアを施した細胞では、25%程度がん細胞を抑制していた。この試料は生体適合性の高いポリエチレングリコール(PEG)で包含していたため、細胞へもマイルドな働きかけとなっているように見える。

細胞生存率は、磁場印加のみではコントロール同様、91%程度を保持しているのに対し、ハイパーサーミアを施した細胞では、25%程度がん細胞を抑制していた。この試料は生体適合性の高いポリエチレングリコール(PEG)で包含していたため、細胞へもマイルドな働きかけとなっているように見える。

### (5) 細胞死のメカニズム解析

ハイパーサーミアを施した後、アポトーシス/ネクローシス キットを用いて細胞死を分析した。染色後に蛍光顕微鏡での観察とフローサイトメトリーで分析した結果、アポトーシスと後期アポトーシスが 71%、ネクローシスが 29%であった。これは薬理的に非常に重要な結果である。

また、ハイパーサーミア(HT)後にヒートショックプロテイン(HSP)の発現を観察してみたところ、初期実験では HT 後に 2 倍以上の HSP の発現を確認することができた。つまり、磁気ハイパーサーミアでは細胞が焼失するのではなく、温熱による免疫作用が働いていると考えられる。

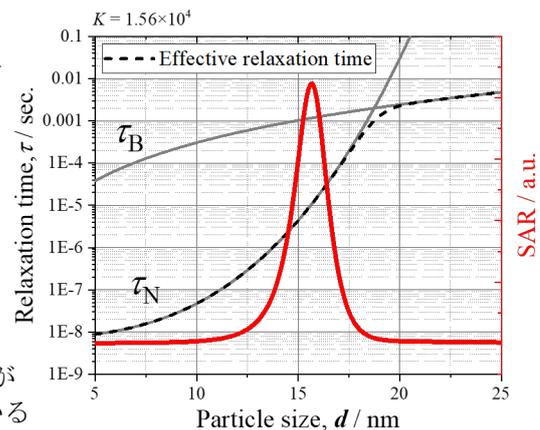


図2 Ni-Ferriteの粒径別緩和特性と熱散逸特性

### (6) 微粒子の機能化と標的化

がん細胞に選択的に導入させるための 1 案として、グルコースの修飾を試みた。従来の SiO<sub>2</sub> で内包した磁気クラスターにかえて、ポリエチレングリコール(PEG)での包含をまず試みた。PEG 修飾により、水中分散性は向上した。グルコサミンをカルボ化した PEG と反応させ、グルコース基の代用とした。赤外線分光(FT-IR)ではグルコース由来の振動が確認できた。この微粒子を用いて in vitro のハイパーサーミア実験を行ったところ、がん細胞への導入率にはわずかな優位性が観察できた。

### (7) 装置側の改良

コイルについては、従来のソレノイド型からより高磁場を得られるように、また、将来的には無理なくヒトへの適用が可能ないように、Zero-Voltage-Switching 回路を導入した。上昇温度は従来の 3 倍ほどになり、コイルの中心から離れた位置でも昇温が可能になることを確認した。

### (8) 診断用イメージング剤としての機能の可能性

MRI の造影剤としての有用性について、緩和現象と MR 曲線の間関係を精査して考察した。従来のフェルカルボトランの組成である、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に比べ、Mn-Zn 系や Mn-Gd 系のフェライトが、きわめて優れた MR 造影効果を示すことが示唆された。MRI 以外のイメージング特性として、新手法である、磁気微粒子イメージング (Magnetic particle imaging, MPI) についての機能も検討した。第 3 高調波成分の測定により、高い機能が期待されることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sakamoto T., Nii K., Fujita Y., Moriwaki T., Amano H., Abe R., Ichianagi Y.	4. 巻 14
2. 論文標題 Harmonic response of Gd-doped Mn-ferrite nanoparticles under AC magnetic field and optimization of Gd doping for MPI applications	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 015241-1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000709	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 Ohara K., Moriwaki T., Nakazawa K., Sakamoto T., Nii K., Abe M., Ichianagi Y.	4. 巻 13
2. 論文標題 Development of biocompatible Ni-ferrite nanoparticles with PEG-coated for magnetic hyperthermia	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 025238 ~ 025238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/9.0000477	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 Liu Nan N., Alekhina Yulia A., Pyatakov Alexander P., Perov Nikolai S., Kovalev Boris B., Sukhorukov Gleb B., Tishin Alexander M., Moriwaki Tomomasa, Nakazawa Kenta, Ichianagi Yuko	4. 巻 14
2. 論文標題 Investigation of Impact of the Annealing on Magnetothermal Properties of Zn <sub>0.2</sub> Mn <sub>0.8</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Nanoparticles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Magnetism Letters	6. 最初と最後の頁 1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LMAG.2022.3233222	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 該当する

1. 著者名 Kang Min A, Fang Justin, Paragodaarachchi Aloka, Kodama Keita, Yakobashvili Daniela, Ichianagi Yuko, Matsui Hiroshi	4. 巻 22
2. 論文標題 Magnetically Induced Brownian Motion of Iron Oxide Nanocages in Alternating Magnetic Fields and Their Application for Efficient siRNA Delivery	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 8852 ~ 8859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.2c02691	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 該当する

1. 著者名 Katayanagi Hikaru, Sakai Naoki, Hamada Sota, Usui Akihito, Aoki Kota, Kodama Keita, Nashimoto Kentaro, Hosokai Yoshiyuki, Ichianagi Yuko	4. 巻 8
2. 論文標題 Magnetic Relaxation and Modification of Thiol Groups on Co Mg Ferrite Nanoparticles for Theranostics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemNanoMat	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cnma.202200014	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 Kodama Keita, Hamada Sota, Nashimoto Kentaro, Aoki Kota, Ohara Kentaro, Nakazawa Kenta, Ichianagi Yuko	4. 巻 32
2. 論文標題 Nanoarchitectonics of PEG-Coated Ni-Zn Ferrite Nanoparticles and Mechanical Analysis of Heat Generation by Magnetic Relaxation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials	6. 最初と最後の頁 3292 ~ 3300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10904-022-02372-3	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 Hamada Sota, Aoki Kota, Kodama Keita, Nashimoto Kentaro, Ichianagi Yuko	4. 巻 559
2. 論文標題 AC magnetic susceptibility and heat dissipation of Zn-doped Mg-ferrite nanoparticles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 169536 ~ 169536
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2022.169536	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 Oshima Akito, Kanda Kouhei, Fujiwara Koki, Ide Taisei, Takano-Kasuya Mayumi, Ichianagi Yuko	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 -

〔学会発表〕 計134件（うち招待講演 14件/うち国際学会 57件）

1. 発表者名 坂本壮, 新居和音, 藤田陽平, 森脇智将, 天野広希, 一柳優子
2. 発表標題 セラロステイクスを目指したMnGdxFe2-xO4ナノ微粒子の交流磁場下における高調波応答とMPI応用
3. 学会等名 ナノ学会 第21回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森脇智将, 坂本壮, 新居和音, 藤田陽平, 天野広希, 中村達夫, 一柳優子
2. 発表標題 Auを修飾したFe3O4ナノ微粒子のイオン化支援機能とグルタチオンの選択的検出
3. 学会等名 ナノ学会 第21回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田陽平, 小原健太郎, 中澤健太, 坂本壮, 新居和音, 森脇智将, 天野広希, 阿部真之, 一柳優子
2. 発表標題 Zinc ferriteナノ微粒子の比吸収率向上の解析と新規装置系での磁気ハイパーサーミア効果
3. 学会等名 ナノ学会 第21回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂本壮, 新居和音, 森脇智将, 藤田陽平, 天野広希, 一柳優子
2. 発表標題 Gd3+ ドープMn-ferrite ナノ微粒子の交流磁場下における高調波応答と熱散逸効果
3. 学会等名 日本物理学会 2023第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新居和音, 天野広希, 坂本壮, 森脇智将, 藤田陽平, 一柳優子
2. 発表標題 PEG包含Zn1-xGdxOナノ微粒子の局所構造解析と希薄磁性半導体特性
3. 学会等名 第26回XAFS討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 新居和音、阿部凌大、小原健太郎、藤田陽平、坂本壮、森脇智将、天野広希、一柳優子
2. 発表標題 PEG包含NiFe204ナノ微粒子の磁気緩和解析
3. 学会等名 日本物理学会 2023第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森脇智将、坂本壮、新居和音、藤田陽平、天野広希、中村達夫、一柳優子
2. 発表標題 グルタチオン検出のためのFe304ナノ微粒子へのAu修飾
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yohei Fujita, Takeshi Sakamoto, Kazune Nii, Tomomasa Moriwaki, Hiroki Amano, Kentaro Ohara, Kenta Nakazawa, Masayuki Abe, Yuko Ichianagi
2. 発表標題 Development of AC magnetic field generator for magnetic hyperthermia effect and magnetic relaxation analysis of Zn0.2Fe2.8O4 nanoparticles
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 阿部凌大、坂本壮、藤田陽平、新居和音、森脇智将、天野広希、一柳優子
2. 発表標題 Zn <sub>0.2</sub> Fe <sub>2.8</sub> O <sub>4</sub> ナノ微粒子のNeel緩和による発熱とがん細胞抑制効果
3. 学会等名 第59回熱測定討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 坂本壮、新居和音、藤田陽平、森脇智将、天野広希、阿部凌大、一柳優子
2. 発表標題 Mn-Gd ferrite ナノ微粒子のセラノスティクスへの応用
3. 学会等名 第32回MAGDAコンファレンス
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kentaro Ohara, Takeshi Sakamoto, Kazune Nii, Yohei Fujita, Tomomasa Moriwaki, Hiroki Amano, Ryota Abe, and Yuko Ichiyanagi
2. 発表標題 Heat dissipation and relaxation mechanism of pegylated Ni-ferrite nanoparticle
3. 学会等名 26th IUPAC International Conference on CHEMICAL THERMODYNAMICS (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yohei Fujita, Kentaro Ohara, Kenta Nakazawa, Takeshi Sakamoto, Kazune Nii, Tomomasa Moriwaki, Hiroki Amano, Masayuki Abe, Yuko Ichiyanagi
2. 発表標題 Development of a new device system and analysis of optimal condition of nanoparticles for magnetic hyperthermia
3. 学会等名 26th IUPAC International Conference on CHEMICAL THERMODYNAMICS (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 片岡昇・瀧田颯太・臼井章仁・一柳優子
2. 発表標題 ZnドーブMgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 磁気ナノ微粒子の緩和特性とMR測定
3. 学会等名 ナノ学会 第21回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Noboru Kataoka, Sota Hamada, Akihito Usui , Yuko Ichianagi
2. 発表標題 Magnetic Relaxation and MR Measurements of Zn-doped MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Nanoparticles
3. 学会等名 13th Joint European Magnetic Symposia (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Sakamoto, K. Nii, T. Moriwaki, Y. Fujita, H. Amano, and Y. Ichianagi
2. 発表標題 Harmonic measurement in FFP of Gd <sup>3+</sup> -doped MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Nanoparticles for MPI Applications
3. 学会等名 MMM2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Noboru Kataoka, Tomoya Ishikawa, Takaya Kondo, Yoshiyuki Hosokai, Akihito Usui, Masayuki Abe, Takeshi Sakamoto, Kazune Nii, Yousei Fujita, Tomomasa Moriwaki, Hiroki Amano, Shu Tanaka, Takaaki Senbonmatsu and Yuko Ichianagi,
2. 発表標題 Mn-Zn ferrite nanoparticles for imaging and hyperthermia treatment
3. 学会等名 MMM2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazune Nii, Kentaro Ohara, Kenta Nakazawa, Takeshi Sakamoto, Tomomasa Moriwaki, Yohei Fujita, Hiroki Amano, Ikumi Kawaguchi, Shuta Kobayashi, Taishu Shimohama, and Yuko Ichiyanagi
2. 発表標題 Magnetic Properties and XAFS Analysis of PEG-coated Gd-doped ZnO Magnetic Nanoparticles
3. 学会等名 Intermag2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yohei Fujita, Takeshi Sakamoto, Kazune Nii, Tomomasa Moriwaki, Hiroki Amano, Ryota Abe, Masayuki Abe, and Yuko Ichiyanagi
2. 発表標題 Magnetic Hyperthermia Effect of Zn <sub>0.2</sub> Fe <sub>2.804</sub> Nanoparticles by Relaxation Mechanism and Development of Temperature Measuring Method for Cancer Cells
3. 学会等名 16th International Symposium Nanomedicine (ISNM2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Ohara, K. Nakazawa, M. Abe and Y. Ichiyanagi
2. 発表標題 Relaxation Phenomena of Magnetic Nanoparticles and Apoptotic Cell Death by Hyperthermia Treatment
3. 学会等名 16th International Symposium Nanomedicine (ISNM2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H.Amano, K. Nii, T. Sakamoto, Y. Fujita, T. Moriwaki, R. Abe, C. Oksana, Y. Ichiyanagi
2. 発表標題 Evaluation of magnetic and optical properties of Ce-doped ZnO
3. 学会等名 16th International Symposium Nanomedicine (ISNM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Hasegawa, T. Kondo, T. Sakamoto, K. Nii, Y. Fujita, T. Moriwaki, R. Abe, H. Amano, R. Katsui, Y. Kusumoto, T. Shimogama, S. Yasuzawa, and Y. Ichianagi
2. 発表標題 An amino group modification of Mn <sub>1-x</sub> Zn <sub>x</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles for magnetic hyperthermia
3. 学会等名 16th International Symposium Nanomedicine (ISNM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Kusumoto, T. Sakamoto, K. Nii, Y. Fujita, T. Moriwaki, R. Abe, H. Amano, R. Katui, T. Shimogama, M. Hasegawa, S. Yasuzawa, and Y. Ichianagi
2. 発表標題 Harmonic response and heat dissipation of Gd <sup>3+</sup> Mn ferrite nanoparticles under AC magnetic field
3. 学会等名 16th International Symposium Nanomedicine (ISNM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuko Ichianagi
2. 発表標題 Magnetic Nanoparticles for Theranostics
3. 学会等名 EMRS European Materials Research Society Spring Meeting 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuko Ichianagi
2. 発表標題 Heat Dissipation and Relaxation Phenomena of Magnetic Nanoparticles for Biomedical Application
3. 学会等名 The 12th China-Japan Joint Symposium on Calorimetry and Thermal Analysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長谷川万里萌, 新居和音, 坂本壮, 藤田陽平, 森脇智将, 阿部凌大, 天野広希, 葛井遼, 楠本悠羽, 下釜知也, 安澤颯介, 一柳優子
2. 発表標題 ZnドーブMnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 磁気ナノ微粒子のXAFS解析と磁気特性
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 一柳優子
2. 発表標題 磁気ナノ微粒子を用いたセラノスティクス応用
3. 学会等名 2024年第71回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 阿部凌大, 坂本壮, 藤田陽平, 新居和音, 森脇智将, 天野広希, 葛井遼, 楠本悠羽, 下釜和也, 長谷川万里萌, 安澤颯介, 一柳優子
2. 発表標題 Ni-ferriteナノ微粒子の形状変化による磁気特性分析と発熱効率
3. 学会等名 2024年第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 天野広希, 坂本壮, 一柳優子
2. 発表標題 セラノスティクスを目指した Gd <sup>3+</sup> ドーブMn-ferrite ナノ微粒子の交流磁場下における高調波応答と熱散逸効果
3. 学会等名 2024年第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 中澤健太, 青木孝太, 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 小原健太郎, 坂本尋, 坂本壮, 新居和音, 森脇智将, 山本陸, 中村達夫, 一柳優子
2. 発表標題 超音波によるPEG包含CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ナノ粒子の作製と分散性の向上
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 T. Sakamoto, K. Nashimoto, Y. Ichiyonagi
2. 発表標題 Magnetic susceptibilities at low magnetic fields and harmonic response of Cu-Zn ferrite nanoparticle for MPI applications
3. 学会等名 JEMS2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mitsuhiko Okimasu, Kazune Nii, Kentaro Ohara, Kenta Nakazawa, Takeshi Sakamoto, Tomomasa Moriwaki, and Yuko Ichiyonagi
2. 発表標題 Magnetization and local structure of diluted magnetic semiconductor of Zn <sub>1-x</sub> GdxO Nanoparticles
3. 学会等名 LT29 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Ohara, K. Nakazawa, T. Sakamoto, K. Nii, T. Moriwaki, Y. Ichiyonagi
2. 発表標題 Magnetic Properties and Hyperthermia Effect of Biocompatible Ni-ferrite Nanoparticles
3. 学会等名 International Conference on Fine Particle Magnetism 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kenta Nakazawa, Kentaro Ohara, Kazune Nii, Takeshi Sakamoto, Tomomasa Moriwaki, Tatsuo Nakamura, Masayuki Abe, and Yuko Ichiyonagi
2. 発表標題 Improvement of Dispersion and Magnetic Hyperthermia Effect of PEG-coating CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Nanoparticles Prepared by Ultrasound Homogenizer
3. 学会等名 International Conference on Fine Particle Magnetism 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Sakamoto, K. Ohara, K. Nakazawa, K. Nii, T. Moriwaki, and Y. Ichiyonagi
2. 発表標題 Harmonic Responses of Gd <sup>3+</sup> -doped MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Nanoparticles
3. 学会等名 International Conference on Fine Particle Magnetism 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazune Nii, Kota Aoki, Kentaro Ohara, Kenta Nakazawa, Takeshi Sakamoto, Tomomasa Moriwaki, and Yuko Ichiyonagi
2. 発表標題 Magnetization Properties and Local Structure Analysis of Diluted Magnetic Semiconductor Zn <sub>1-x</sub> Gd <sub>x</sub> O Nanoparticles
3. 学会等名 International Conference on Fine Particle Magnetism 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Moriwaki, K. Aoki, K. Nakazawa, K. Ohara, T. Sakamoto, K. Nii, T. Nakamura, and Y. Ichiyonagi
2. 発表標題 Magnetic Hyperthermia Effect of Gd <sup>3+</sup> - doped MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Nanoparticles
3. 学会等名 International Conference on Fine Particle Magnetism 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Yuko Ichiyanagi
2 . 発表標題 Cell Death Mechanism and Expression of Heat Shock Proteins by Magnetic Hyperthermia Treatment
3 . 学会等名 ISNM2022 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 H. Amano, N. Adibah, K. Ohara, K. Nakazawa, T. Sakamoto, T. Moriwaki, K. Nii, Y. Fujita, I. Kawaguchi , S. Kobayashi, T. Shimohama, Y. Ichiyanagi
2 . 発表標題 AC Magnetization Properties and Heating Effects of SiO <sub>2</sub> -Coated Cu-Zn Ferrite Nanoparticles
3 . 学会等名 ISNM2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Sakamoto, K. Ohara, K. Nakazawa, T. Moriwaki, K. Nii, Y. Fujita, H. Amano, I. Kawaguchi, S. Kobayashi, T. Shimohama, and Y. Ichiyanagi
2 . 発表標題 Harmonic response of MnGdxFe <sub>2-x</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles and the effect of the application of DC magnetic field
3 . 学会等名 ISNM2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Ohara, Y. Horiuchi, M. Abe, K. Nakazawa, T. Sakamoto, T. Moriwaki, K. Nii, H. Amano, S. Kobayashi, I. Kwaguchi, T. Shimohama, Y. Ichiyanagi
2 . 発表標題 Hyperthermia effect of biocompatible Ni-ferrite nanoparticles and heat shock protein expression
3 . 学会等名 ISNM2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Moriwaki, K. Ohara, K. Nakazawa, T. Sakamoto, K. Nii, M. Abe, and Y. Ichianagi
2. 発表標題 Biocompatible Superparamagnetic NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles for Magnetic Hyperthermia Treatment using a ZVS Circuit
3. 学会等名 MMM2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 N. Kataoka, K. Aoki, Y. Ichianagi
2. 発表標題 Magnetic Relaxation and Magnetic Resonance Effect of Mg-Zn Ferrite Nanoparticles
3. 学会等名 MMM2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomomasa Moriwaki, Taishu Shimohama, Tatsuo Nakamura, and Yuko Ichianagi
2. 発表標題 Highly sensitive detection of glutathione by MALDI-TOF-MS using Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Nanoparticles
3. 学会等名 KBMS Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuko Ichianagi
2. 発表標題 Heat Dissipation and Relaxation Phenomena of Magnetic Nanoparticles for Biomedical Applications
3. 学会等名 Joint Workshop between RCTES Japan and IFJ Poland (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小原健太郎、中澤健太、坂本壮、森脇智将、新居和音、一柳優子
2. 発表標題 磁気ハイパーサーミアに向けたPEG包含Ni-ferriteナノ微粒子の磁気特性と発熱効果
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 坂本壮、小原健太郎、中澤健太、新居和音、森脇智将、一柳優子
2. 発表標題 Gd <sup>3+</sup> をドーピングしたMnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ナノ微粒子の高調波応答
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 新居和音、小原健太郎、中澤健太、坂本壮、森脇智将、一柳優子
2. 発表標題 希薄磁性半導体Zn <sub>(1-x)</sub> Gd <sub>x</sub> Oナノ微粒子の作製と局所構造解析
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 森脇智将、小原健太郎、中澤健太、坂本壮、新居和音、一柳優子
2. 発表標題 Mn-Zn ferriteナノ微粒子のイオン化支援機能
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 坂本壮, 小原健太郎, 中澤健太, 新居和音, 森脇智将, 一柳優子
2. 発表標題 MnGdxFe2-xO4ナノ粒子の高調波応答および直流磁場印加効果
3. 学会等名 日本物理学会 2022秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中澤健太, 青木孝太, 小原健太郎, 坂本壮, 新居和音, 森脇智将, 中村達夫, 一柳優子
2. 発表標題 超音波キャピテーションによって作製したPEG包含CoFe2O4ナノ粒子の分散性の向上と磁気ハイパーサーミア効果
3. 学会等名 日本物理学会 2022秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 新居和音, 小原健太郎, 中澤健太, 坂本壮, 森脇智将, 一柳優子
2. 発表標題 SiO2包含及びPEG包含Zn1-xGdxO磁気ナノ粒子の光学特性とバンドギャップエネルギー
3. 学会等名 日本物理学会 2022秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小原健太郎, 阿部真之, 中澤健太, 坂本壮, 新居和音, 森脇智将, 一柳優子
2. 発表標題 生体適合性を持つ超常磁性NiFe2O4ナノ粒子のがん細胞抑制効果とZVS回路を用いた発熱効果
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術交流会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小原健太郎、阿部真之、中澤健太、坂本壮、新居和音、森脇智将、一柳優子
2. 発表標題 生体適合性をもつNiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ナノ微粒子の磁気緩和現象とがん細胞抑制効果
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田陽平、小原健太郎、中澤健太、坂本壮、新居和音、森脇智将、天野広希、小林周太、川口育海、下濱大州、阿部真之、一柳優子
2. 発表標題 Zn-Ferriteナノ粒子の比吸収率向上のための交流磁場周波数最適化とZVS回路を用いた装置系の導入
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森脇智将、小原健太郎、中澤健太、坂本壮、新居和音、藤田陽平、下濱大州、一柳優子
2. 発表標題 Auを修飾したFe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ナノ微粒子のイオン化支援機能と選択的分離
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤田陽平、小原健太郎、中澤健太、新居和音、坂本壮、森脇智将、阿部真之、一柳優子
2. 発表標題 PEG包含NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ナノ粒子の磁気ハイパーサーミア効果とZVS回路による比吸収率の向上
3. 学会等名 第58回熱測定討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本壮, 川口育海, 小原健太郎, 中澤健太, 新居和音, 森脇智将, 藤田陽平, 天野広希, 小林周大, 下濱大州, 一柳優子
2. 発表標題 MPI応用に向けたMnGdxFe2-xO4ナノ微粒子の最適化と高調波応答
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中澤健太, 小原健太郎, 坂本壮, 新居和音, 藤田陽平, 森脇智将, 中村達夫, 一柳優子
2. 発表標題 磁気ナノ微粒子を用いた温熱療法によるがん細胞死のメカニズム
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keita Kodama, Sota Hamada, Kentaro Nashimoto, Kota Aoki, Mitsuhiro Okimasu, Kentaro Ohara, Kenta Nakazawa, Nurul Adibah Saadon, Yuko Ichianagi
2. 発表標題 PECylation of Ni1-xZnxFe2O4 Nanoparticles with Heat Dissipation Based on Neel and Brownian Relaxation
3. 学会等名 INTERMAG2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梨本健太郎, 児玉慶太, 濱田颯太, 青木孝太, 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 シリカ含量を考慮したCu-Zn ferriteナノ微粒子の局所構造解析および磁気特性
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 小原健太郎, 青木孝太, 濱田颯太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 中澤健太, 一柳優子
2. 発表標題 生体適合性の向上を目指したPEG包含NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 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19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中澤健太, 青木孝太, 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 沖増光彦, 小原健太郎, Nurul Adibah Saadon, 一柳優子
2. 発表標題 gamma-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ナノ微粒子の機能化とイオン化支援ナノマトリクス
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 青木孝太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 濱田颯太, 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 Gd <sup>3+</sup> をドーピングしたMnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ナノ微粒子の磁気特性と磁気ハイパーサーミア応用
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 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 小原健太郎, 青木孝太, 中澤健太, 一柳優子
2. 発表標題 Ni-Zn ferriteナノ微粒子の磁気特性とNéelおよびBrown緩和による発熱評価
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 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 Mg-Zn ferriteナノ微粒子の熱散逸特性とがん細胞抑制効果
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 Yuko Ichiyanagi
2. 発表標題 Magnetic Nanoparticles for Therapy and Diagnostics
3. 学会等名 International Symposium on Thermal and Entropic Science for Young Thermodynamicists (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keita Kodama
2. 発表標題 Magnetic Properties of Ni-Zn Ferrite Nanoparticles and Heat Generation Evaluation by Neel and Brownian Relaxation
3. 学会等名 International Symposium on Thermal and Entropic Science for Young Thermodynamicists (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kentaro Ohara
2. 発表標題 Preparation of Biocompatible Ni-Ferrite Nanoparticles and Magnetic Hyperthermia Effect
3. 学会等名 International Symposium on Thermal and Entropic Science for Young Thermodynamicists (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kentaro Nashimoto
2. 発表標題 3rd harmonic measurement and MPI application of Cu-Zn ferrite nanoparticles encapsulated by silica
3. 学会等名 The 8th Japan-China Symposium on Nanomedicine (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sota Hamada, Kota Aoki, Keita Kodama, Kentaro Nashimoto, Kentaro Oharaa, Keita Nakazawa, Y. Ichianagi
2. 発表標題 AC susceptibility and self-heating effect of Zn doped Mg-ferrite nanoparticles
3. 学会等名 The 8th Japan-China Symposium on Nanomedicine (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenta Nakazawa
2. 発表標題 Functionalized iron oxide nanomatrix for mass spectrometry
3. 学会等名 The 8th Japan-China Symposium on Nanomedicine (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuko Ichianagi
2. 発表標題 Magnetic nanoparticles for therapeutic and diagnostic applications
3. 学会等名 The 8th Japan-China Symposium on Nanomedicine (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keita Kodama, Yuko Ichiyangi
2. 発表標題 Magnetic Relaxation of PEG Modified Ni-ferrite Nanoparticles
3. 学会等名 2021 IEEE 11th International Conference “Nanomaterials: Applications & Properties (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sota Hamada, Kota Aoki, Keita Kodama, Kentaro Nashimoto, Kentaro Oharaa, Keita Nakazawa, Y. Ichiyangi,
2. 発表標題 Debye-type magnetic relaxation behavior and heat generation properties of Zn doped Mg-ferrite nanoparticles
3. 学会等名 ISNM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kentaro Nashimoto, Kota Aoki, Keita Kodama, Sota Hamada, Kentaro Ohara, Kenta Nakazawa, Takeshi Sakamoto, Jin Sakamoto, Kazune Nii, Tomomasa Moriwaki, Riku Yamamoto, Yuko Ichiyangi
2. 発表標題 Effect of DC magnetic field on third harmonic components of Cu-Zn ferrite nanoparticles
3. 学会等名 ISNM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kodama, S. Hamada, K. Nashimoto, K. Ohara, K. Aoki, K. Nakazawa, S. Takeshi, S. Jin, N. Kazune, Y. Riku, M. Tomomasa, Y. Ichiyangi
2. 発表標題 Size dependence of heat dissipation and magnetic relaxation properties of PEGylated Ni-Zn ferrite nanoparticles
3. 学会等名 ISNM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kota Aoki
2. 発表標題 Gd <sup>3+</sup> doping on MnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles and development of cancer cell selectivity
3. 学会等名 ISNM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomomasa Moriwaki
2. 発表標題 Development of nanoparticles for the detection of low-molecular weight
3. 学会等名 ISNM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kenta Nakazawa
2. 発表標題 Development of nano-matrix for the detection of glutathione
3. 学会等名 ISNM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kentaro Ohara
2. 発表標題 Dispersive NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles coated with different molecular weights of PEG for magnetic hyperthermia
3. 学会等名 ISNM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Jin Sakamoto
2. 発表標題 Particle size control and magnetic hyperthermia effect in Zn <sub>0.2</sub> Fe <sub>2.8</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles
3. 学会等名 ISNM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Riku Yamamoto
2. 発表標題 Preparation of CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles coated with PEG400 and heat dissipation for magnetic hyperthermia
3. 学会等名 ISNM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuko Ichiyangi
2. 発表標題 Cancer Cell Selectivity and Dispersibility of Magnetic Nanoparticles
3. 学会等名 ISNM2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ichiyangi, Yuko
2. 発表標題 Magnetic relaxation and heat dissipation of functional magnetic nanoparticle
3. 学会等名 Pacifichem2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuko Ichianagi
2. 発表標題 Magnetic nanoparticles for diagnostics and therapy
3. 学会等名 Pacifichem2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sota Hamada, Kota Aoki, Keita Kodama, Kentaro Nashimoto, Kentaro Oharaa, Keita Nakazawa, Y. Ichianagi
2. 発表標題 Self-heating effect in AC magnetic field of Zn doped Mg-ferrite nanoparticle
3. 学会等名 Pacifichem2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kota Aoki, Sota Hamada, Keita Kodama, Kentaro Nashimoto, Kentaro Oharaa, Keita Nakazawa, Y. Ichianagi
2. 発表標題 Preparation of PEGylated Mn-Zn ferrite nanoparticles and modification with glucose
3. 学会等名 Pacifichem2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hamada, Sota ; Nashimoto, Kentaro ; Aoki, Kota ; Nakazawa, Kenta ; Ichianagi, Yuko
2. 発表標題 Development of Biocompatible Ni-ferrite Nanoparticles for Magnetic Hyperthermia
3. 学会等名 MMM-Intermag2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱田颯太, 青木孝太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 小原健太郎, 中澤健太, 一柳優子
2. 発表標題 Mg-Zn ferriteナノ微粒子の熱散逸特性と磁気ハイパーサーミアによるヒト乳がん細胞生存率評価
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木孝太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 濱田颯太, 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 Gd <sup>3+</sup> ドーブによるMnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ナノ微粒子への影響とがん細胞選択性
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会(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, 中澤健太, 坂本 壮, 坂本 尋, 新居和音, 森脇智将, 山本 陸, 一柳優子
2. 発表標題 磁気ハイパーサーミアに向けた生体適合性の高いNi-ferriteナノ微粒子の開発
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 小原健太郎, 青木孝太, 中澤健太, 一柳優子
2. 発表標題 PEG包含Ni-Zn ferriteナノ微粒子の熱散逸特性とNeelおよびBrown緩和現象
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中澤健太, 青木孝太, 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 小原健太郎, 一柳優子
2. 発表標題 機能化した鉄系酸化物微粒子によるシステインの検出とイオン化メカニズム
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梨本健太郎, 児玉慶太, 濱田颯太, 青木孝太, 小原健太郎, 中澤健太, 一柳優子
2. 発表標題 Cu-Zn ferriteナノ微粒子の第三高調波成分の直流磁場印加効果
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 小原健太郎, 青木孝太, 中澤健太, 一柳優子
2. 発表標題 PEG包含Ni-Zn ferriteナノ微粒子の熱散逸および磁気緩和特性の粒径依存性
3. 学会等名 第57回熱測定討論会(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, 児玉慶太, 梨本健太郎, 濱田颯太, 中澤健太, 坂本 壮, 坂本 尋, 新居和音, 森脇智将, 山本 陸, 一柳優子
2. 発表標題 分子量の異なるPEGで包含したNi-ferriteナノ微粒子の作製と磁気ハイパーサーミア応用
3. 学会等名 第57回熱測定討論会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本壮, 梨本健太郎, 児玉慶太, 濱田颯太, 青木孝太, 小原健太郎, 中澤健太, 坂本尋, 新居和音, 森脇智将, 山本陸, 一柳優子
2. 発表標題 SiO <sub>2</sub> 包含 MnGdxFe <sub>2-x</sub> O <sub>4</sub> ナノ微粒子の高調波応答測定
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中澤健太, 青木孝太, 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 小原健太郎, 坂本尋, 坂本壮, 新居和音, 森脇智将, 山本陸, 中村達夫, 一柳優子
2. 発表標題 CuOと $\gamma$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> の作製とイオン化支援機能
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 濱田颯太, 臼井章仁, 青木孝太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 小原健太郎, 中澤健太, 一柳優子
2. 発表標題 ZnドープMg-ferrite磁気ナノ微粒子のセラノスティクス応用
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梨本健太郎, 児玉慶太, 濱田颯太, 青木孝太, 小原健太郎, 中澤健太, 坂本壮, 坂本尋, 新居和音, 森脇智将, 山本陸, 一柳優子
2. 発表標題 SiO <sub>2</sub> 包含Cu-Zn ferriteナノ微粒子の粒子間相互作用による高調波応答特性
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 青木孝太, 小原健太郎, 中澤健太, 一柳優子
2. 発表標題 PEG包含Ni-Zn ferriteナノ微粒子の磁気緩和現象の粒径依存
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本陸, 小原健太郎, 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 青木孝太, 中澤健太, 新居和音, 坂本壮, 坂本尋, 森脇智将, 一柳優子
2. 発表標題 CoFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ナノ粒子の発熱特性と磁気ハイパーサーミア条件の最適化
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本尋, 濱田颯太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 小原健太郎, 青木孝太, 中澤健太, 新居和音, 坂本壮, 森脇智将, 山本陸, 一柳優子
2. 発表標題 Fe <sub>2.8</sub> Zn <sub>0.204</sub> ナノ微粒子の粒径制御と磁気ハイパーサーミア効果
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森脇智将, 青木孝太, 中澤健太, 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 小原健太郎, 新居和音, 坂本壮, 坂本尋, 山本陸, 一柳優子,
2. 発表標題 Mn <sub>0.8</sub> Zn <sub>0.2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ナノ微粒子のイオン化支援機能
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022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 Structures, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi
2. 発表標題 Heat dissipation and relaxation effect of magnetic nanoparticles of Zn <sub>1-x</sub> Gd <sub>x</sub> O Nanoparticles
3. 学会等名 International Symposium on Thermal and Entropic Science 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuko Ichiyanagi, 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 <sub>x</sub> Fe <sub>3-x</sub> O <sub>4</sub> 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 Sota Hamada, Hikaru Katayanagi, Akihito, Usui, Yoshiyuki Hosokai, Yuko Ichiyanagi
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 Keita Kodama, Sota Hamada, Kentaro Nashimoto, Kota Aoki, Yuko Ichianagi,
2. 発表標題 "Biocompatibility and magnetic hyperthermia effect of NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles
3. 学会等名 The Joint European Magnetic Symposia (JEMS2020) (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 Ichianagi
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 Mitsuhiro Okimasu
2. 発表標題 Evaluation of magnetic and optical properties of Gd-doped ZnO nanoparticles
3. 学会等名 ISTES2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kota Aoki, Kodama Keita, Hamada Sota, Nashimoto Kentaro, Okimasu Mitsuhiro, Ohara Kentaro, Nakazawa Kenta, Nurul Adibah Saadon, Yuko Ichianagi,
2. 発表標題 Ionization assisting ability of gold nanoparticles and NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles as matrices for mass spectrometry
3. 学会等名 ISTES2020
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Kentaro Nashimoto, Kota Aoki, Keita Kodama, Sota Hamada, Mithuhiko Okimasu, Kentaro Ohara, Kenta Nakazawa, Nurul Adibah Saadon, YYuko Ichiyanagi
2 . 発表標題 Local structure analysis and water dispersibility of Cu-Zn ferrite nanoparticles encapsulated with amorphous SiO <sub>2</sub>
3 . 学会等名 ISTES2020
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 Ichiyanagi,
2 . 発表標題 Magnetic Properties of Silica Coated Cu <sub>0.5</sub> Zn <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Nanoparticles
3 . 学会等名 ISTES2020
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Sota Hamada, Hikaru Katayanagi, Naoki Sakai, Kota Aoki, Keita Kodama, Kentaro Nashimoto, Yoshiyuki Hosokai, Akihito Usui, Yuko Ichiyanagi
2 . 発表標題 T <sub>2</sub> relaxation of Co-Mg ferrite NPs and their functionalization by thiol group modification
3 . 学会等名 ISTES2020
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Kenta Nakazawa, Kota Aoki , Keita Kodama , Sota Hamada, Kenataro Nashimoto, Mithuhiko Okimasu , Kentaro Ohara , Nurul Adibah Sadon, Yuko Ichiyanagi
2 . 発表標題 Preparation of iron oxide nanoparticles and assisting ability of ionization
3 . 学会等名 ISTES2020
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Kentaro Ohara, Kota Aoki, Sota Hamada, Keita Kodama, Kentaro Nashimoto, Mitsuhiko Okimasu, Kenta Nakazawa, Nurul Adibah binti Saadon, Yuko Ichiyangi
2. 発表標題 Local structure analysis and dispersibility improvement of Nickel ferrite nanoparticles coated with PEG
3. 学会等名 ISTES2020
4. 発表年 2020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 オンライン
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, 一柳優子
2. 発表標題 生体適合性向上を目指したNiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 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 オンライン
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梨本健太郎, 大嶋晃人, 神田康平, 青木孝太, 児玉慶太, 濱田颯太, 一柳優子
2. 発表標題 Cu-Zn ferriteナノ微粒子の磁気特性と第三高調波測定および昇温測定
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会 オンライン
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, 細貝良行, 臼井章仁, 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 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 3dフェライト系酸化物磁気ナノ微粒子の局所構造解析と磁気特性
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 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 濱田颯太
2. 発表標題 マレイミド系たんぱく担持可能Co-Mg系フェライトのセラノスティクス応用
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木孝太, 佐橋侑馬, 児玉慶太, 梨本健太郎, 瀧田颯太, 一柳優子
2. 発表標題 SiO <sub>2</sub> 包含NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ナノ微粒子への官能基修飾とイオン化支援機能
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 児玉慶太, 瀧田颯太, 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 瀧田颯太, 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T <sub>2</sub> 緩和
3. 学会等名 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梨本健太郎, 児玉慶太, 瀧田颯太, 青木孝太, 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 粒子間相互作用を考慮したCu-Zn ferrite磁気ナノ微粒子の磁性と局所構造解析
3. 学会等名 日本物理学会 2021年春季大会(オンライン)
4. 発表年 2021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, 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 2021年春季大会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中澤健太, 青木孝太, 児玉慶太, 濱田颯太, 梨本健太郎, 沖増光彦, 小原健太郎, Nurul Adibah binti saadon, 一柳優子
2. 発表標題 Gdドープフェライト磁気ナノ微粒子の作製と磁気特性
3. 学会等名 日本物理学会 2021年春季大会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木孝太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 濱田颯太, 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 <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ナノ微粒子の磁気特性に及ぼすGd <sup>3+</sup> 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 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

1. 発表者名 沖増光彦, 青木孝太, 児玉慶太, 梨本健太郎, 濱田颯太, 小原健太郎, 中澤健太, Nurul Adibah Saadon, 一柳優子
2. 発表標題 希薄磁性半導体 Gd ドープ ZnO ナノ微粒子の作製と磁気・光学特性
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 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 <sub>2</sub> 包含Mg-ferriteナノ微粒子のZnドープ効果と発熱特性
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

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Harutaka Mekaru, Yuko Ichianagi and Fuyuhiko Tamanoi	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 265
3. 書名 Cell-inspired materials and engineering	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 特許	発明者 一柳優子、橋本達哉、干本松孝明、阿部真之、田中秀吉	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-505032	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

ICFPM2022  
<http://web.apollon.nta.co.jp/icfpm2022/index.html>  
 ナノ物性物理とバイオの融合研究拠点紹介  
<https://www.youtube.com/watch?v=Dj0dV0oVoPs>

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	阿部 真之  (Abe Masayuki)  (00362666)	大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授   (14401)	
研究分担者	千本松 孝明  (Senbonmatsu 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 International Conference on Fine Particle Magnetism (ICFPM2022)	開催年 2022年～2022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		
ドイツ	University of Duisburg-Essen	PTB Berlin	Hamburg DESY
スペイン	Oviedo University		
米国	Cornell University	Argonne National Laboratory	
ウクライナ	National Academy of Sciences of Ukraine	National Taras Shevchenko Univ	