

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 25 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02163

研究課題名(和文)がん診断治療への最適化を目指したマルチコア構造磁性ナノ粒子の磁化応答モデル構築

研究課題名(英文)Evaluation of magnetization dynamics in multicore magnetic nanoparticles for cancer theranostics

研究代表者

大多 哲史(Ota, Satoshi)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：30774749

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：マルチコア構造と類似したナノフラワー構造の磁性ナノ粒子について、複数コアの集合体としての磁化応答と、内部コア粒子の磁化応答を分離して解析することに成功した。10 ns程度のスイッチング時間であるパルス磁場を用いて、5 ms程度まで磁性ナノ粒子の磁気緩和を観測した。実効的粒径が同程度のシングルコア構造およびナノフラワー構造の磁性ナノ粒子において、実効的な磁気異方性定数が顕著に異なる可能性をネール緩和時間の差異から見出した。生細胞に添加した磁性ナノ粒子の磁化応答計測システムを構築した。細胞内における粒子自体の物理的回転の抑制と、凝集による双極子相互作用の影響で磁化が減少する可能性を実測から示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

腫瘍に集積させた磁性ナノ粒子を可視化する磁気粒子イメージングやがん温熱治療が注目されている。粒子が単体で応答するシングルコア構造に対して、複数のコア粒子が集合して実効的に単一粒子として機能するマルチコア構造が、診断治療に有効であるが、その磁化応答が未解明なため、診断治療の実用化に十分な磁気信号と発熱量が得られていない。粒径などの粒子パラメータと磁化応答の相関性を体系化し、マルチコア構造のコア粒子間相互作用を考慮した磁化応答モデル構築することは学術的に意義深い。さらに生細胞環境での計測により、生体環境での粒子の形態変化を考慮した、がん診断治療への最適な粒子設計指針を得ることは社会的意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：With respect to magnetic nanoparticles of the nanoflower structure similar to the multicore structure, the magnetization dynamics in the single core particles included in the multicore structure was divided from the effective dynamics in the multicore structure. By the pulsed magnetic field whose switching time was approximately 10 ns, the magnetization relaxation for 5 ms was observed. The magnetization in the nanoflower particles was compared to the single core particles whose diameter was similar to the effective diameter in the nanoflower particles. The measured Neel relaxation time indicates that the effective anisotropy constant in the nanoflower particles was significantly different from that in the single core particles. The measurement system for magnetic nanoparticles internalized into living adherent cells was constructed. It is indicated that the magnetization was reduced by inhibiting particle physical rotation and the dipole interaction due to aggregation in cells.

研究分野：バイオ磁気工学

キーワード：磁性ナノ粒子 磁気緩和 磁気粒子イメージング がん温熱治療

### 1. 研究開始当初の背景

がん診断において、腫瘍に集積させた磁性ナノ粒子を可視化する磁気粒子イメージング (Magnetic particle imaging: MPI, Gleich et al., Nature, 2005.) が注目されている。MPI は、磁場 (交流磁場) に対する磁性ナノ粒子の応答に由来する磁気信号の検出により高感度撮像を指向した革新的技術である。磁性ナノ粒子は磁場に反応するベクトル量 (磁化) を有するため、磁場に対して応答を示す。さらに交流磁場印加による粒子の発熱を利用した低侵襲ながん温熱治療を MPI と併用した、診断治療の実用化が期待されている。粒子が単体で応答するシングルコア構造に対して、複数のコア粒子が集合して実効的に単一粒子として機能するマルチコア構造 (図 1) が、診断治療に有効であるが、その磁化応答が未解明なため、診断治療の実用化に十分な磁気信号と発熱量が得られていない。

マルチコア構造では、集合体を一つの実効的なコアとして扱い応答が議論されているが、その詳細は未解明である。これは従来では、集合体の応答の基盤となるコア粒子個々の応答観測が困難であったためである。本研究では、「マルチコアを構成するコア粒子個々の挙動が、集合体としての実効的な挙動にどのように影響するか」という学術的問いを核心とした。そして、磁化応答に裏付けられた粒子設計により、磁気信号と発熱量を革新的に向上した、がん診断治療への最適化の必要性を見出した。

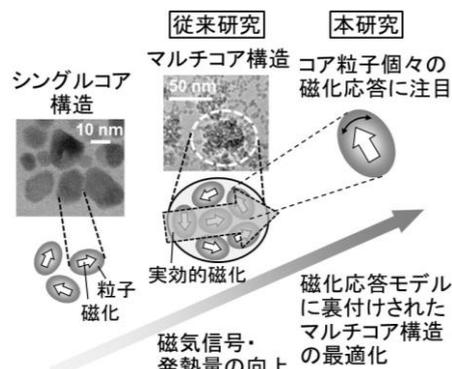


図 1 磁化応答モデル構築の意義

### 2. 研究の目的

磁性ナノ粒子の磁化応答は、磁場への配向を基本とし (図 2(a)), そこに隣接する粒子由来の磁束 (磁気相互作用, 図 2(b)) が影響する。マルチコア構造内部のコア粒子には、この磁気相互作用が深く関連していることが考えられる。本研究は、粒径などの粒子パラメータと磁化応答の相関性を体系化し、マルチコア構造のコア粒子間相互作用を考慮した磁化応答モデル構築を第一目的とした。さらに生細胞環境での計測により、生体環境での粒子の形態変化を考慮した、がん診断治療への粒子設計に寄与する知見を得ることができる。

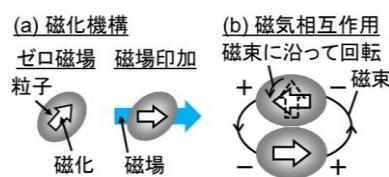


図 2 磁化機構と磁気相互作用

### 3. 研究の方法

#### (1) 磁化計測

本研究では、高速で定常状態に遷移するパルス磁場印加による磁化応答の直接観測、交流磁場印加による磁気信号と発熱量の計測 (磁場と磁化のリサージュである磁化曲線を解析)、磁化の時間変化を表す Landau-Lifshitz-Gilbert 方程式に基づく数値計算、を行う。単純なシングルコア構造とマルチコア構造を比較計測することで、マルチコア構造のコア粒子間の相互作用を考慮した磁化応答を解析した。

パルスおよび交流励磁計測においては、励磁コイルにより磁性ナノ粒子に磁場印加し、磁化応答を検出コイルにより計測する。本システムにより、パルス磁場による磁化応答計測と、交流磁場を用いた磁気信号・発熱量計測の両方を実施可能である。

パルス励磁による計測では、パルス磁場のスイッチング時間においては、正確な磁化応答を捉えることができない。このため、コイルのインダクタンスを減らして、パルス磁場のスイッチングを高速化する必要がある。その一方で、インダクタンスが小さい場合、磁性ナノ粒子の磁化応答に起因して検出コイルに発生する誘導起電力が小さくなるため、時間変化の小さな磁化応答の検出が困難になる。本研究では、ナノ秒からミリ秒代という広い時間領域での計測が必要なため、インダクタンスの異なる励磁および検出コイルのセットを 3 種類用意した。インダクタンスはコイルの巻数によって調整した。

図 3 のように、励磁コイル内部に検出コイルを配置して、試料を挿入することで計測を実施した。場合によっては、検出コイルと同程度のインダクタンスに調整した励起磁場由来の起電力打ち消すためのキャンセルコイルを配置した。

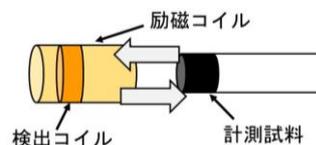


図 3 励磁・検出コイルの一例

## (2) 生細胞環境における磁化計測

生体環境を模擬した実験として、生細胞環境における粒子の形態変化に依存した磁化応答を解析した。本研究では、接着性の細胞である間葉系幹細胞を用いた。

磁性ナノ粒子を添加した細胞をリン酸緩衝液で洗浄して表面に付着した磁性ナノ粒子を除去後に剥離して磁気分離を行った。これにより、磁性ナノ粒子を取り込んだ細胞 (positive) のみが残るように計測用試料を作製した (図4)。

磁性ナノ粒子を取り込んだ接着細胞を剥離することなく接着状態で磁化計測を実施するためのシステムを構築した (図5)。励磁コイル内部に配置した検出コイルの径を細胞培養ディッシュが入るように設計した。また本計測では、ロックインアンプを用いて、磁化由来の信号を周波数成分ごとに計測した。

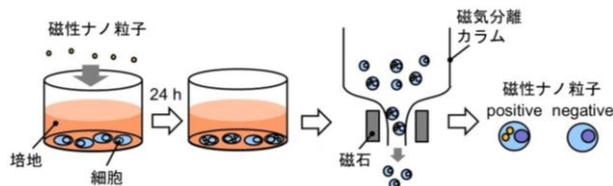


図4 細胞の磁気分離

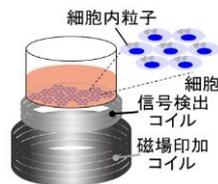


図5 生細胞内の磁性ナノ粒子の磁化応答計測

## 4. 研究成果

### (1) マルチコア磁性ナノ粒子の解析

振動試料型磁力計を用いた直流磁化計測について、磁気異方性の影響を考慮したランジュバン関数を適用して、マルチコア構造と類似したナノフラワー構造の磁性ナノ粒子の解析を実施した (図6)。複数コアの集合体としての磁化応答と、集合体内部のコア粒子の磁化応答を分離し、各実効的パラメータを示すことに成功した。

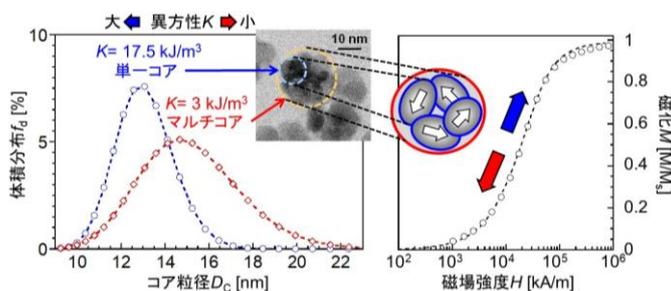


図6 実効的パラメータ解析

### (2) パルス磁場を用いた磁化応答計測

超常磁性ナノ粒子の磁化の過渡的な応答時間として計測できる緩和時間 (特にネール緩和時間) は、ナノ秒オーダーである。このため、10 ns 程度でのスイッチング時間であるパルス励磁システムを用いて、5 ms 程度まで磁気緩和 (磁化の過渡的な応答) を観測した。

コア径 20 nm のシングルコア磁性ナノ粒子と、集合体として 20 nm 程度の径を有するナノフラワー構造の磁性ナノ粒子について、パルス励磁による磁気緩和の観測に取り組んだ。特に粒子をエポキシ樹脂により固定して、粒子自体の物理的回転を制限した試料において、シングルコア構造では、100 ns 以下の時間領域における磁化上昇に加えて 10 μs 以上においても磁化が上昇した。対してナノフラワー構造では、100 ns 以下の時間領域における磁化上昇のみが確認された。磁化自体の緩和時間 (ネール緩和時間) は、磁気異方性エネルギーに依存する。実効的粒径はシングルコア構造およびナノフラワー構造の磁性ナノ粒子において同程度であったが、実効的な磁気異方性定数の違いからネール緩和時間に差異が生じたと考えられる。

### (3) 生細胞環境における磁性ナノ粒子の磁化応答計測

細胞内における磁性ナノ粒子の磁化応答計測は、磁性ナノ粒子の医療応用において生体内における磁化応答を理解する意味で極めて重要である。生細胞に添加した磁性ナノ粒子の磁化応答計測をするために、培養された接着細胞に取り込まれた微量の磁性ナノ粒子を計測可能な微小信号計測システムを構築した。

磁性ナノ粒子を取り込んだ接着細胞に加えて、水中に分散させた試料と、エポキシ樹脂により固定した試料を用意して磁気特性を比較した。粒子が樹脂で固定されている際には、粒子自体の物理的回転が制限されるため、液体中よりも磁化が低下した。細胞内の磁性ナノ粒子については、固定試料に対して、特に高調波成分で減衰が確認された。一般的に、磁化が促進すると高調波成分が増加する。このため、細胞が接着状態においても、粒子自体の物理的回転は抑制されており、さらに細胞内における凝集の影響で、双極子相互作用により、磁化が減少する可能性を実測から示した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Satoshi Ota, Yasushi Takemura	4. 巻 9
2. 論文標題 Evaluation of magnetization dynamics influenced by Brownian relaxation in magnetic nanoparticles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal on Magnetic Particle Imaging	6. 最初と最後の頁 2303055
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18416/IJMPI.2023.2303055	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 Wang Jie, Kim Hyungsub, Seo HyeongJoo, Ota Satoshi, You Chun-Yeol, Takemura Yasushi, Bae Seongtae	4. 巻 33
2. 論文標題 The role of Co <sup>2+</sup> cation addition in enhancing the AC heat induction power of (Co <sub>x</sub> Mn <sub>1-x</sub> )Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> superparamagnetic nanoparticles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 485701
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6528/ac8c4b	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 Shoya Noguchi, Suko Bagus Trisnanto, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura	4. 巻 46
2. 論文標題 AC Magnetic Susceptibility of Magnetic Nanoparticles Measured Under DC Bias Magnetic Field	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Magnetism Society of Japan	6. 最初と最後の頁 42-48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3379/msjmag.2203R003	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 Seiya Tanaka, Satoshi Ota, Harutoyo Hirano, Masato Futagawa, Yasushi Takemura	4. 巻 58
2. 論文標題 Evaluation of harmonic signals derived from multiple spatially separated samples for magnetic particle imaging	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 6501005
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TMAG.2022.3151159	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 Ji-wook Kim, Dan Heo, Jie Wang, Hyung-sub Kim, Satoshi Ota, Yasushi Takemura, Chulhaeng Huh, Seongtae Bae	4. 巻 13
2. 論文標題 Pseudo-single domain colloidal superparamagnetic nanoparticles designed at a physiologically tolerable AC magnetic field for clinically safe hyperthermia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 19484-19492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1NR04605E	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 Satoshi Ota, Seiichi Ohkawara, Harutoyo Hirano, Masato Futagawa, Yasushi Takemura	4. 巻 539
2. 論文標題 Empirical and simulated evaluations of easy-axis dynamics of magnetic nanoparticles based on their magnetization response in alternating magnetic field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 168354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2021.168354	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 Satoshi Ota, Suko Bagus Trisnanto, Seiji Takeuchi, Jiaojiao Wu, Yu Cheng, Yasushi Takemura	4. 巻 538
2. 論文標題 Quantitation method of loss powers using commercial magnetic nanoparticles based on superparamagnetic behavior influenced by anisotropy for hyperthermia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 168313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2021.168313	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 該当する

1. 著者名 Tsuyoshi Yamaminami, Satoshi Ota, Suko Bagus Trisnanto, Mamoru Ishikawa, Tsutomu Yamada, Takashi Yoshida, Keiji Enpuku, Yasushi Takemura	4. 巻 517
2. 論文標題 Power dissipation in magnetic nanoparticles evaluated using the AC susceptibility of their linear and nonlinear responses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	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) 10.1016/j.jmmm.2020.167401	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 Shota Kobayashi, Tsuyoshi Yamaminami, Hibiki Sakakura, Mahoto Takeda, Tsutomu Yamada, Hiroshi Sakuma, Suko Bagus Trisnanto, Satoshi Ota, Yasushi Takemura	4. 巻 25
2. 論文標題 Magnetization Characteristics of Oriented Single-Crystalline NiFe-Cu Nanocubes Precipitated in a Cu-Rich Matrix	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2020.167401	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 -

[学会発表] 計33件(うち招待講演 3件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Evaluation of magnetization dynamics influenced by Brownian relaxation
3. 学会等名 12th International Workshop on Magnetic Particle Imaging (IWMPI) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hyuna Ahn, 鈴木健太, Trisnanto Suko Bagus, 大多哲史, 吉田 敬, 竹村泰司
2. 発表標題 頭部サイズの励磁・検出コイルを用いた磁気粒子の検出
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大多哲史
2. 発表標題 がん診断治療への応用に向けた磁性ナノ粒子の磁化応答解析
3. 学会等名 スピン医療応用研究会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西田穰, 二川雅登, 竹村泰司, 大多哲史
2. 発表標題 接着細胞内磁性ナノ粒子の磁気緩和機構の評価
3. 学会等名 マグネティックス研究会 (生体磁気, 生体医工学, 磁気応用一般)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 J. Wang, H. Kim, S. Ota, C. You, Y. Takemura S. Bae
2. 発表標題 The Role of Co <sup>2+</sup> Cation Addition in Enhancing the AC Heat Induction Power of (Co <sub>x</sub> Mn <sub>1-x</sub> )Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Superparamagnetic Nanoparticles
3. 学会等名 The 67th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Nishida, S. Tanaka, M. Futagawa, Y. Takemura S. Ota
2. 発表標題 Evaluation of detection technique of magnetic nanoparticles using pulsed magnetic field
3. 学会等名 The 67th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haruki Goto, Yuka Akita, Ren Takahashi, Harutoyo Hirano, Masato Futagawa, Yasushi Takemura, Satoshi Ota
2. 発表標題 Estimation of Interdepending Parameters Distribution in Magnetic Nanoparticles Based on Magnetization curves
3. 学会等名 11th International Conference on fine particle magnetism (ICFPM) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shoya Noguchi, Suko Bagus Trisnanto, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 AC Magnetic Susceptibility of Magnetic Nanoparticles with Different Effective Core Diameters
3. 学会等名 11th International Conference on fine particle magnetism (ICFPM) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 後藤春樹, 秋田祐加, 高橋廉, 平野陽豊, 二川雅登, 竹村泰司, 大多哲史
2. 発表標題 磁性ナノ粒子のパラメータ間相互依存性を考慮した分布推定
3. 学会等名 第46回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本多勤汰, 清水広介, 二川雅登, 竹村泰司, 大多哲史
2. 発表標題 腫瘍内における磁性ナノ粒子の磁気特性評価
3. 学会等名 第46回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾花洋輝, 大多哲史, 竹内誠治, S. Trisnanto, 山田努, 竹村泰司
2. 発表標題 商用超磁性磁性ナノ粒子の交流磁化・自己発熱特性
3. 学会等名 第46回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木健太, H. Ahn, S. Trisnanto, 山田努, 大多哲史, 吉田敬, 竹村泰司
2. 発表標題 頭部サイズの磁気粒子イメージング用励磁・検出コイル
3. 学会等名 第46回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中靖也, 平野陽豊, 二川雅登, 竹村泰司, 大多哲史
2. 発表標題 パルス磁場を用いた磁性ナノ粒子の二次元イメージング
3. 学会等名 マグネティクス研究会「生体磁気、生体医工学、磁気応用一般」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Seiya Tanaka, Harutoyo Hirano, Masato Futagawa, Yasushi Takemura, Satoshi Ota
2. 発表標題 Evaluation of harmonic signals derived from separately located multiple samples for magnetic particle imaging
3. 学会等名 2022 Joint MMM-INTERMAG (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keita Honda, Kosuke Shimizu, Harutoyo Hirano, Masato Futagawa, Yasushi Takemura, Satoshi Ota
2. 発表標題 Investigation of magnetic relaxation of intratumor magnetic nanoparticles for hyperthermia
3. 学会等名 2022 Joint MMM-INTERMAG (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川真守, 大多哲史, S. Trisnanto, 山田努, 吉田敬, 竹村泰司
2. 発表標題 磁気分画したフェルカルボトランの磁気異方性
3. 学会等名 第45回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笹岡英将, C. Yang, S. B. Trisnanto, 小林樹, 山田努, Z. Song, 大多哲史, 竹村泰司
2. 発表標題 磁化容易軸を配向させた超常磁性ナノ粒子のFORC測定
3. 学会等名 第45回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野口翔矢, S. B. Trisnanto, 山田努, 大多哲史, 竹村泰司
2. 発表標題 直流磁場により配向制御した磁性ナノ粒子の交流磁化率
3. 学会等名 第45回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大多哲史, 宮澤良真, 永田大貴, 二川雅登, 竹村泰司
2. 発表標題 磁性ナノ粒子のネール緩和とブラウン緩和の複合磁化応答モデル
3. 学会等名 第45回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中靖也, 平野陽豊, 二川雅登, 竹村泰司, 大多哲史
2. 発表標題 パルス励磁による磁性ナノ粒子のイメージング手法
3. 学会等名 第45回日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大多哲史
2. 発表標題 バイオ医療応用を見据えた磁性ナノ粒子の磁気緩和観測
3. 学会等名 第203回スピニクス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹村泰司, 大多哲史
2. 発表標題 磁気ハイパーサーミア~これまでとこれから
3. 学会等名 第34回東海ハイパーサーミア研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹村泰司, 大多哲史
2. 発表標題 磁性ナノ粒子の医療応用: がん温熱治療とイメージング
3. 学会等名 電気学会全国大会シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本貴章, 佐藤晴紀, 大多哲史, 平野陽豊, 二川雅登
2. 発表標題 熱電(TE)モジュールを用いた熱検出型土中水分量計測方法に関する研究
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山南豪, Suko Bagus Trisnanto, 山田努, 大多哲史, 竹村泰司
2. 発表標題 磁性ナノ粒子の発熱と線形・非線形応答の交流磁化率
3. 学会等名 第44回学術講演会日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 笹岡英将, Suko Bagus Trisnanto, 山田努, Jiaojiao Wu, Yu Cheng, 大多哲史, 竹村泰司
2. 発表標題 Magnetic vortex nanorings の直流・交流磁化特性と発熱特性
3. 学会等名 第44回学術講演会日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川真守, 大多哲史, Suko Bagus Trisnanto, 山田努, 吉田敬, 竹村泰司
2. 発表標題 磁気分画したフェルカルボトランの発熱特性
3. 学会等名 第44回学術講演会日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林昌太, 山南豪, 坂倉響, 竹田真帆人, 山田努, 佐久間洋志, Suko Bagus Trisnanto, 大多哲史, 竹村泰司
2. 発表標題 Cuマトリクス中に配向する単結晶強磁性ナノキューブの結晶磁気異方性の評価
3. 学会等名 第44回学術講演会日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大多哲史, 宮澤良真, 永田大貴, 二川雅登, 竹村泰司
2. 発表標題 磁性ナノ粒子の構造に依存した磁気緩和の評価
3. 学会等名 第44回学術講演会日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大多哲史, 大河原誠一, 平野陽豊, 二川雅登, 竹村泰司
2. 発表標題 バイオ医療応用を目指した磁性ナノ粒子の磁化容易軸応答の実験的観測
3. 学会等名 マグネティックス研究会「生体磁気, 生体医工学, 磁気工学一般」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大多哲史
2. 発表標題 バイオ医療応用を見据えた磁性ナノ粒子の磁気緩和の実験的観測
3. 学会等名 第5回バイオマグネティックス専門研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂本貴章, 大多哲史, 平野陽豊, 二川雅登
2. 発表標題 熱電冷却器(TEC)を用いた土中水分量計測方法に関する研究
3. 学会等名 第37回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Individual observation of Neel and Brownian relaxations in magnetic nanoparticles
3. 学会等名 10th International Workshop on Magnetic Particle Imaging IWMPI 2020 (国際学会)
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
研究 分担 者	倉科 佑太  (Kurashina Yuta)  (40801535)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授   (12605)	

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
---------	---------