

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 4 月 24 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03275

研究課題名(和文) 磁性ナノ粒子の磁気緩和機構を解明する評価分析法の確立と診断治療への貢献

研究課題名(英文) Analytical method of magnetization relaxation of magnetic nanoparticles for biomedical applications

研究代表者

竹村 泰司 (Takemura, Yasushi)

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：30251763

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：磁性ナノ粒子を使用する新しい診断・治療技術が期待されている。本研究では、診断技術として、腫瘍等に集積させた磁性ナノ粒子の磁気信号を体外から検出する画像診断(磁気粒子イメージング)を、治療技術として、交流磁界中で磁性ナノ粒子が発熱することを利用するハイパーサーミア(がん温熱治療)を対象とした。

交流磁界を印加した際の磁性ナノ粒子の磁化応答が、これら診断治療の性能や効果を決定する。磁化応答は磁気緩和機構によって説明されるが、本研究により、粒子自体が回転するブラウン緩和と、粒子内の磁化が回転するネール緩和、両者の分離観測に初めて成功し、診断治療に適した粒子や磁界条件について有用な知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

磁気粒子イメージングは、腫瘍等に集積させた微量の磁性ナノ粒子を体外から検出する感度の向上が課題である。ハイパーサーミア(がん温熱治療)は、臨床で広く用いられている外科療法(手術)、化学療法(抗がん剤)、放射線療法などで危惧される傷跡や副作用などの患者負担を軽減させることが期待されている。しかしながら腫瘍等に集積させる微量の磁性ナノ粒子から、がん細胞を熱で殺傷させるのに十分な発熱を得ることが困難との課題がある。

本研究では、磁性ナノ粒子の交流磁界中での磁化応答を解明することにより、これらの課題を解決することに挑戦し、画像診断の感度向上や発熱量向上に直結する研究成果を得た。

研究成果の概要(英文)：Magnetic nanoparticles are expected to be used for new technical methods of diagnosis and therapy. In this research, we focus on magnetic particle imaging and hyperthermia as diagnosis and therapy, respectively. In the magnetic particle imaging, magnetic nanoparticles are detected by signals from their magnetic response under the applied AC magnetic field. The magnetic nanoparticles are heated under the applied AC magnetic field. So the magnetic response of magnetic nanoparticles to the AC magnetic field is important to develop those medical applications.

In this research, magnetization relaxation of the magnetic nanoparticles are clarified by measuring the magnetic response. We could clearly distinguish the signals from Neel and Brownian relaxations, and clarify the optimum conditions for magnetic nanoparticles and applied field conditions.

研究分野：計測工学、磁気工学

キーワード：磁性ナノ粒子 ハイパーサーミア 磁気粒子イメージング 磁化過程 磁気緩和

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ハイパーサーミアは、細胞の生存率が 42.5 以上において急激に低下することを利用する、がんの温熱治療のことである。正常細胞の損傷を抑えるために、腫瘍部のみを選択的に加温することが求められる。現在、臨床において広く用いられているがんの治療方法には、外科療法、化学療法(抗がん剤)、放射線療法などがあるが、傷跡や副作用といった患者負担が軽微ではないことが少なくない。磁性ナノ粒子は交流磁界を印加すると磁気損失により発熱するという性質があり、ハイパーサーミアの発熱体として国内外で広く研究されている。しかしながら腫瘍に集積させた比較的低濃度の磁性ナノ粒子から十分な発熱を得ることが困難であるために、低強度・低周波数の磁界印加下において高い発熱を示す磁性ナノ粒子の実現が課題である。

磁性ナノ粒子に交流磁界を印加した際には、磁化が磁界に追従するべく変化するために、その磁化変動を体外から電磁誘導により信号として検出することも可能である。これを応用するのが、磁気粒子イメージングであり、新しい診断技術として期待されている。

2. 研究の目的

磁性ナノ粒子に外部から磁界を印加した際の、磁化の配向過程を磁気緩和と呼び、ハイパーサーミアにおける発熱量や磁気粒子イメージングにおける検出感度を決定する現象である。実際に体内で磁性ナノ粒子を使用することを想定し、細胞内や血液中での環境下における磁性ナノ粒子の磁気緩和機構に着眼した。その磁気緩和機構を解明するための測定手法を確立することを研究目的とした。低強度・低周波数磁界で高発熱を示す磁性ナノ粒子の構造や粒径、凝集状態等の形態を明らかにするとともに、実用化レベルの画像診断性能に求められる磁性ナノ粒子の磁気特性及び印加磁界の条件を提示することを目指した。

3. 研究の方法

(1)磁性ナノ粒子の測定試料

診断治療として用いる磁性ナノ粒子として、人体に有害となる物質は不適當である。一般的には、生体親和性があると認識されている鉄と酸素の化合物として、酸化鉄が用いられている。磁気特性の観点から、マグネタイト： Fe_3O_4 、マグヘマイト： Fe_2O_3 が広く研究に用いられている。本研究では、磁気粒子画像診断(MRI)の肝臓がん診断用として臨床で使用することが認可されている酸化鉄ナノ粒子である、リゾビストを主に使用した。またリゾビストの原料であるフェルカルボトランも使用した。

リゾビスト及びフェルカルボトランは、直径 10nm 以下のコア粒子が複数、デキストランにより包括されたような構造であるとされており、一般的にはマルチコア粒子と言われる構造である。このコア、及びマルチコアの粒径には、分布があることが報告されており、磁性ナノ粒子の諸特性の粒径分布を考察するうえでは、好都合とはいえない。そこで磁気分離法によりリゾビストやフェルカルボトランを基に、特定の粒径をもつ粒子群のみを抽出させた磁気分画粒子も測定対象とした。

測定試料として、磁性ナノ粒子が液中に分散している液中試料、及び磁性ナノ粒子をエポキシや寒天中等の固体中に固定分散している固体試料の2通りを作製した。前者は血液中など、後者は腫瘍内などのように体内での磁性ナノ粒子の形態を模擬する試料である。

(2)磁性ナノ粒子の測定方法

本研究では、磁性ナノ粒子の直流・交流磁化特性を測定する計測システムを独自に構築した。直流磁化特性には、試料振動型磁力計を用いた。交流磁化特性は、励磁・検出コイルとそれらを駆動・検出する回路・機器系から構成される測定システムを用いた。特に、液中に分散する微量の磁性ナノ粒子の交流磁化特性を高精度に評価可能な測定システムを構成することに成功した。

4. 研究成果

(1)フェルカルボトランを測定試料として、液中試料と固体試料の直流・交流磁化特性を比較した(図1、静岡大学・大多哲史先生との共同研究、Applied Physics Express, 10, 085001, 2017)。

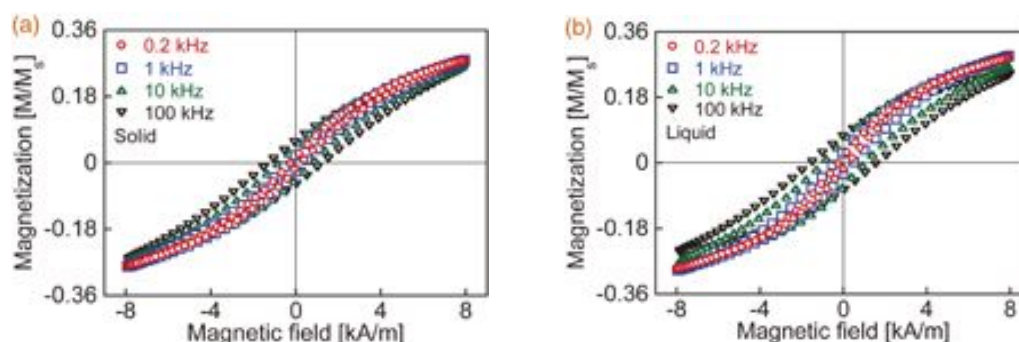


図1 フェルカルボトランの交流磁化特性 (a)固定試料、(b)液中試料

液中試料では、磁化が回転するネール緩和に加えて、粒子自体が回転するブラウン緩和も生じることが特徴である。固体試料では、ブラウン緩和は生じない。図1のように、ブラウン緩和による磁化反転を生じる分、液中試料のほうが磁化が大きい。そこで磁化反転の印加交流磁界の位相も含め、液中試料と固体試料との磁化の時間信号の差分を計算したのが、図2である。特異的なヒステリシスであるが、この軌跡が粒子（正確には粒子の磁化容易軸）の交流磁界に対する応答であり、このような現象を明示したのは、本研究が初めてである。

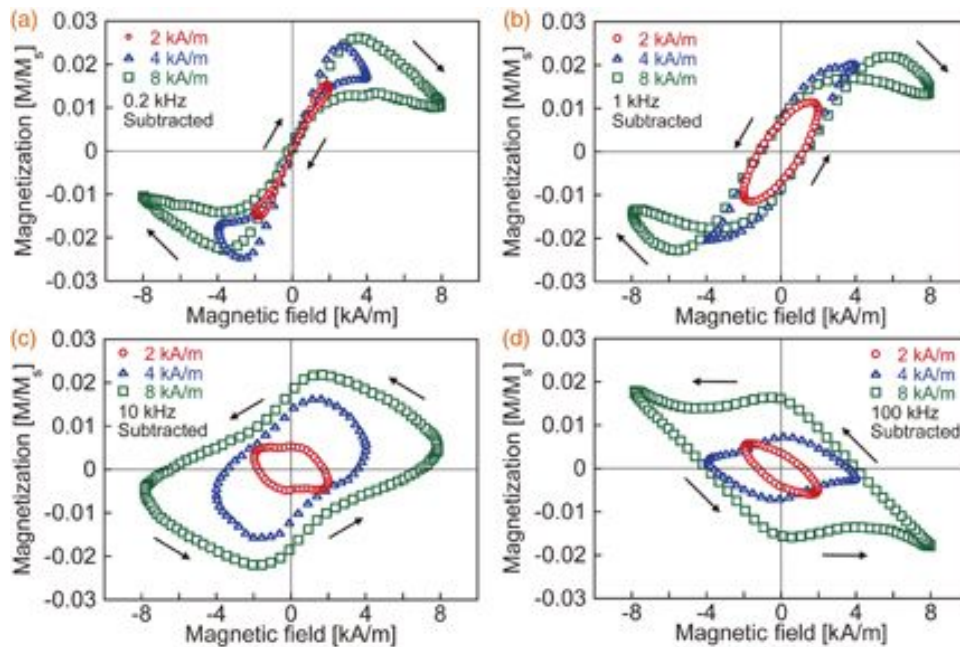


図2 交流磁界に対する粒子（磁化容易軸）の応答を現すヒステリシス曲線

(2)前項のように、液中試料と固体試料の交流磁化特性を詳細に分析することにより、ブラウン緩和とネール緩和を実測により解明できるのでは、との知見をさらに発展させた。その一方法として液中試料にパルス磁界を印加させ、磁化の過渡応答（時間変化）を測定した。図3(a)は、パルス磁界の時間変化（青線）と、それに対する磁性ナノ粒子の磁化応答の時間変化（赤線）である（Applied Physics Express, 11, 075001, 2018）。70 Oeのパルス磁界を印加した最上段の磁化応答が特に明瞭であるが、パルス磁界に追従するようにまずはネール緩和による磁化反転が確認される。この試料では、ネール緩和は ns オーダーと高速であるのに対して、ブラウン緩和は μs オーダーである。これまではブラウン緩和とネール緩和は並行して、重畳して生じると考え、実効的緩和時間という概念で理解されてきたが、本研究において、2つの緩和が2段階で生じていることを初めて観測した。同図(b)は、パルス磁界による磁化反転量（黒線）が、ネール緩和による磁化反転（青線）とブラウン緩和による磁化反転（赤線）の合計であることを示している。

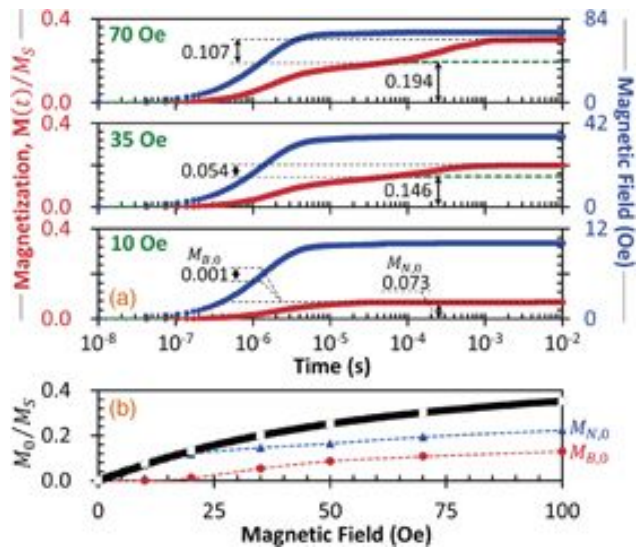


図3 パルス磁界に対する磁性ナノ粒子の磁化応答

(3)ハイパーサーミアにおける磁性ナノ粒子の発熱量を向上させる課題については、ブラウン緩和とネール緩和の相異を明らかにすることに留まらず、具体的な高発熱を得る磁性ナノ粒子の形態を検討した。従来は、ネール緩和に加え、ブラウン緩和も寄与する液中試料のほうが、固体試料よりも発熱量が高いと実験的にも理論的にも理解されてきた。しかしながら磁化容易軸を固定配向させた固体試料（図4(e)）において液中試料よりも発熱量が高いという実験結果を初めて得るに至った（Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 473, 148-154, 2019）。磁気異方性の寄与を解明したことに加え、ハイパーサーミアの報告事例としても有用となる高

発熱が得られた。

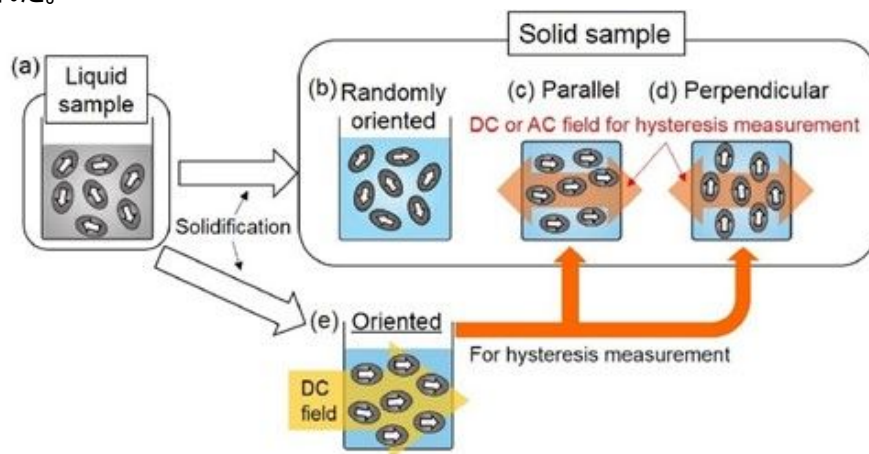


図 4 磁性ナノ粒子の(a)液中試料、(b)従来の固体試料（粒子の方向がランダム）、新しく作製した固体試料（粒子の方向を配向固定させている）

(4)磁気緩和の理論モデル検証・理論構築において、磁性ナノ粒子の粒径依存が重要であることは従来より知られていた。前項のように粒子の磁化容易軸を配向させた試料では、液中試料よりも比吸収率 SAR が大きくなることを見だしているが、粒径分散の狭い試料を用いることにより世界最高レベルの発熱特性を得た（日本磁気学会学術講演会、25pE-14、2019）。これらの諸特性に対して、磁気緩和を定式化させたシミュレーションにより予測される磁化応答と実測が一致することを検証した。

(5)磁気粒子イメージングについては、実験・理論の両面から磁気緩和の理解が進んだ結果、励磁に用いる交流磁界に対して重畳させる直流の勾配磁界の印加方向を変える手法を考案するに至った。この手法では、画像構成において通常活用される、磁性ナノ粒子の磁化反転に伴う磁化信号の第 3 高調波ではなく、第 2 高調波信号を用いることにより磁性ナノ粒子の検出感度を向上させることに成功した（図 5、AIP Advances, 10, 015007, 2020）。

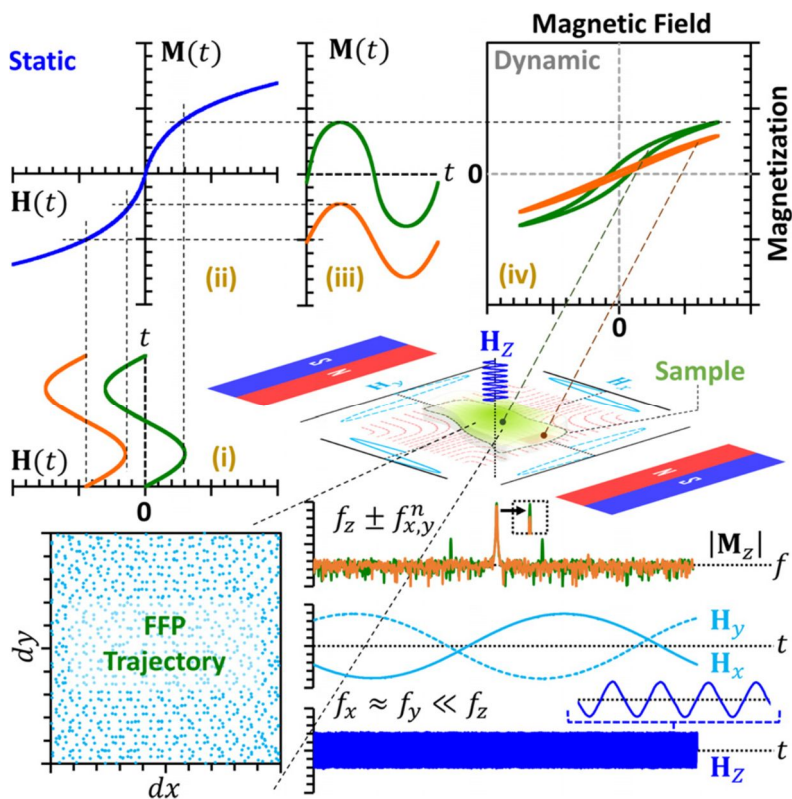


図 5 磁気粒子イメージングにおける励磁信号・変調信号の新しい配置を提案

(6)診断治療の各用途に適した磁性ナノ粒子の設計指針については、がん温熱治療と磁気粒子イメージングの各用途に対して研究を行った。がん温熱治療については、前項の高 SAR の観測の他、Cu マトリクス中に配向する強磁性単結晶ナノキューブの交流磁化特性（同学会、25pE-15）や、Au コート Fe_2O_3 粒子における高発熱の起源（同学会、25pE-16）を明らかにした。これらの研究結果については、2020 年に 2 編のジャーナル論文として投稿予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Trisnanto Suko Bagus, Takemura Yasushi	4. 巻 115
2. 論文標題 Modulating relaxation responses of magnetic nanotracers for submillimeter imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 123101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5102081	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 Ota Satoshi, Takemura Yasushi	4. 巻 123
2. 論文標題 Characterization of N ² eI and Brownian Relaxations Isolated from Complex Dynamics Influenced by Dipole Interactions in Magnetic Nanoparticles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 28859 ~ 28866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b06790	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 Ota Satoshi, Nishimoto Kizuku, Yamada Tsutomu, Takemura Yasushi	4. 巻 10
2. 論文標題 Second harmonic response of magnetic nanoparticles under parallel static field and perpendicular oscillating field for magnetic particle imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 15007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5129973	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 Asahi Tomitaka, Hamed Arami, Zaohua Huang, Andrea Raymond, Elizette Rodriguez, Yong Cai, Marcelo Febo, Yasushi Takemura, Madhavan Nair	4. 巻 10
2. 論文標題 Hybrid magneto-plasmonic liposomes for multimodal image-guided and brain-targeted HIV treatment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 184-194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7nr07255d	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 Suko Bagus Trisnanto, Yasushi Takemura	4. 巻 480
2. 論文標題 Dipolar field-induced asymmetric magnetization hysteresis of immobile superparamagnetic nanoclusters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 132-137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2019.02.077	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 Kizuku Nishimoto, Satoshi Ota, Guannan Shi, Ryoji Takeda, Suko Bagus Trisnanto, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura	4. 巻 9
2. 論文標題 High intrinsic loss power of multicore magnetic nanoparticles with blood-pooling property for hyperthermia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Advances	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) 10.1063/1.5079875	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 Satoshi Ota, Yasushi Takemura	4. 巻 43
2. 論文標題 Dynamics of Magnetization and Easy Axis of Individual Ferromagnetic Nanoparticle Subject to Anisotropy and Thermal Fluctuations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Magnetism Society of Japan	6. 最初と最後の頁 34-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.1903R005	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 Guannan Shi, Ryoji Takeda, Suko Bagus Trisnanto, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura	4. 巻 473
2. 論文標題 Enhanced specific loss power from ResovistR achieved by aligning magnetic easy axes of nanoparticles for hyperthermia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 148-153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2018.10.070	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, Yuki Matsugi, Takeru Nakamura, Ryoji Takeda, Yasushi Takemura, Ichiro Kato, Satoshi Nohara, Teruyoshi Sasayama, Takashi Yoshida, Keiji Enpuku	4. 巻 474
2. 論文標題 Effects of size and anisotropy of magnetic nanoparticles associated with dynamics of easy axis for magnetic particle imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 311-318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2018.11.043	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 Cody Patterson, Maarij Syed, Yasushi Takemura	4. 巻 451
2. 論文標題 Harmonic decomposition of magneto-optical signal from suspensions of superparamagnetic nanoparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 248-253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2017.11.053	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 Suko Bagus Trisnanto and Yasushi Takemura	4. 巻 8
2. 論文標題 Complex magnetization harmonics of polydispersive magnetic nanoclusters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nano8060424	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 Suko Bagus Trisnanto, Satoshi Ota, Yasushi Takemura	4. 巻 11
2. 論文標題 Two-step relaxation process of colloidal magnetic nanoclusters under pulsed fields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.11.075001	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 大多哲史、竹村泰司	4. 巻 42
2. 論文標題 磁性ナノ粒子を用いた温熱治療	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 まぐね	6. 最初と最後の頁 187-192
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 無
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 Ryoji Takeda, Satoshi Ota, Tsutomu Yamada, and Yasushi Takemura	4. 巻 42
2. 論文標題 Dynamic hysteresis measurement of magnetic nanoparticles with aligned easy axes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Magnetism Society of Japan	6. 最初と最後の頁 55-61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.1803R009	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 Guannan Shi, Suko Bagus Trisnanto, Keita Nakai, Shin-ichi Yusa, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, and Yasushi Takemura	4. 巻 42
2. 論文標題 Evaluation of dispersibility in liquid and AC magnetization properties of polyion complex-coupled magnetic nanoparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Magnetism Society of Japan	6. 最初と最後の頁 41-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.1803R007	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 Jung-tak Jang, Jooyoung Lee, Jiyun Seon, Eric Ju, Young Ill Kim, Min Gyu Kim, Yasushi Takemura, Ali Syed Arbab, Geon Wook Kang, Ki Ho Park, Sun Ha Paek, Seongtae Bae	4. 巻 30
2. 論文標題 Giant magnetic heat induction of magnesium Doped -Fe ₂ O ₃ superparamagnetic nanoparticles for completely killing tumors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 1704362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.201704362	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 Asahi Tomitaka, Hamed Arami, Zaohua Huang, Andrea Raymond, Elizette Rodriguez, Yong Cai, Marcelo Febo, Yasushi Takemura, Madhavan Nair	4. 巻 10
2. 論文標題 Hybrid magneto-plasmonic liposomes for multimodal image-guided and brain-targeted HIV treatment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 184-194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7nr07255d	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 Asahi Tomitaka, Yasushi Takemura, Madhavan Nair	4. 巻 30
2. 論文標題 Magnetic Nanogel-enabled Image-guided Therapy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nanogels for Biomedical Applications	6. 最初と最後の頁 109-127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/9781788010481	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 Yuki Ohara, Yuuki Kawata, Anita Hyde, Chi Phan, Ryoji Takeda, Yasushi Takemura, and Shin-ichi Yusa	4. 巻 46
2. 論文標題 Preparation of a Magnetic-responsive Polycation with a Tetrachloroferrate Anion	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1473-1475
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.170621	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 Tomohiro Aoto, Katsuki Takahashi, Hiroki Hoshiyama, Yuta Yoshioka, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yoshio Ikehata, Sotoshi Yamada, Yasushi Takemura	4. 巻 137
2. 論文標題 Specific loss power of magnetic nanoparticles for hyperthermia excited by pancake-type applicator	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 476-480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.137.476	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 and Yasushi Takemura	4. 巻 10
2. 論文標題 Evaluation of easy-axis dynamics in a magnetic fluid by measurement and analysis of the magnetization curve in an alternating magnetic field	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 85001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/APEX.10.085001	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45件(うち招待講演 9件/うち国際学会 26件)

1. 発表者名 大多哲史、竹村泰司
2. 発表標題 磁性ナノ粒子のネール・ブラウン緩和のパルス磁場印加による実験的観測
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大多哲史、竹村泰司
2. 発表標題 パルス磁場を用いた磁性ナノ粒子のネール緩和とブラウン緩和過程の重畳観測
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山南豪、小林昌太、L. Tonthat、水戸部一孝、藪上信、山田努、大多哲史、竹村泰司
2. 発表標題 AuコートFe2O3粒子の交流磁化特性と発熱特性
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林昌太、山南豪、坂倉響、竹田真帆人、山田努、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強磁性単結晶ナノキューブの交流磁化特性
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川真守、竹内誠治、史冠男、大多哲史、吉田敬、圓福敬二、加藤一郎、野原聡、山田努、竹村泰司
2. 発表標題 磁気分離したフェルカルボトランのSLP
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大多哲史、竹村泰司
2. 発表標題 単一粒子に注目したバイオ医療用磁性ナノ粒子の磁化ダイナミクス
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsuyoshi Yamaminami, Shota Kobayashi, Loi Tonthat, Kazutaka Mitobe, Shin Yabukami, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Evaluation of AC magnetization and heat dissipation of Au-coated Fe ₂ O ₃ particles
3. 学会等名 The Forth International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuta Oka, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Electrical properties of magnetic nanoparticles depending on their fluid pH and zeta potential
3. 学会等名 The Forth International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shota Kobayashi, Tsuyoshi Yamaminami, Suko Bagus Trisnanto, Hibiki Sakakura, Mahoto Takeda, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 AC magnetization characteristics of oriented ferromagnetic single crystal nanocube in copper matrix
3. 学会等名 The Forth International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Guannan Shi, Mamoru Ishikawa, Seiji Takeuchi, Satoshi Ota, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Specific loss power of magnetic nanoparticles with various particle orientation for hyperthermia
3. 学会等名 The Forth International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Dynamics of magnetization and easy axis of magnetic nanoparticles for magnetic particle imaging
3. 学会等名 The Forth International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasushi Takemura
2. 発表標題 Optimum structures of magnetic nanoparticles for biomedical applications
3. 学会等名 The Forth International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suko Trisnanto, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Magnetic nanoparticles for theranostic applications
3. 学会等名 International Conference on Magnetism and Its Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasushi Takemura
2. 発表標題 Dynamic magnetization property of magnetic nanoparticles for hyperthermia and magnetic particle imaging
3. 学会等名 International Baltic Conference on Magnetism (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Ota, Kizuku Nishimoto, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Second harmonic response of magnetic nanoparticles enhanced by a static bias magnetic field perpendicular to an alternating excitation field for magnetic particle imaging
3. 学会等名 Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	Guannan Shi, Ryoji Takeda, Kizuku Nishimoto, Suko Bagus Trisnanto, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題	Enhanced specific loss power from Resovist achieved by aligning magnetic easy axes of nanoparticles for hyperthermia
3. 学会等名	The 12th International Conference on the Scientific and Clinical Applications of Magnetic Carriers (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Satoshi Ota, Yuki Matsugi, Takeru Nakamura, Ryoji Takeda, Yasushi Takemura, Ichiro Kato, Satoshi Nohara, Teruyoshi Sasayama, Takashi Yoshida, and Keiji Enpuku
2. 発表標題	Effects of size and anisotropy of magnetic nanoparticles associated with dynamics of easy axis for magnetic particle imaging
3. 学会等名	The 12th International Conference on the Scientific and Clinical Applications of Magnetic Carriers (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Yasushi Takemura and Satoshi Ota
2. 発表標題	Magnetic Hyperthermia Using Magnetic Nanoparticles:- for Maximizing Temperature Rise -
3. 学会等名	The 5th International Conference of Asian Union of Magnetics Societies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	Satoshi Ota and Yasushi Takemura
2. 発表標題	Analysis on magnetization dynamics of magnetic nanoparticles for hyperthermia
3. 学会等名	The Third International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名 Yu Ichikawa, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Dependence of harmonic signal intensity in magnetic particle imaging on particle size
3. 学会等名 The Third International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kizuku Nishimoto, Suko Bagus Trisnanto, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 High intrinsic loss power of multi-core magnetic nanoparticles for hyperthermia
3. 学会等名 The Third International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Guannan Shi, Suko Bagus Trisnanto, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Specific loss power of biocompatible magnetic nanoparticles for hyperthermia
3. 学会等名 The Third International Workshop on Magnetic Bio-Sensing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大多哲史、竹村泰司
2. 発表標題 実測に基づいた磁性ナノ粒子の磁化・容易軸ダイナミクスの解析
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Yoshida, Satoshi Ota, Takuru Nakamura, Ryoji Takeda, Yasushi Takemura, Ichiro Kato, Satoshi Nohara, and Keiji Enpuku
2. 発表標題 Evaluation of harmonic magnetization properties of clinical magnetic nanoparticles for magnetic particle imaging
3. 学会等名 第42回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 史冠男、竹田遼二、西本築、トリスナント・スコバグース、山田努、大多哲史、竹村泰司
2. 発表標題 Resovistの磁化容易軸配向によるSLP向上
3. 学会等名 第42回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大多哲史、トリスナント・スコバグース、竹村泰司
2. 発表標題 液中磁性ナノ粒子の磁化・容易軸ダイナミクス
3. 学会等名 第42回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasushi Takemura
2. 発表標題 Recent development in magnetics toward biomedical engineering
3. 学会等名 International Conclave for the advancement of Biotechnology, Chemical and Pharmaceutical Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yu Ichikawa, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Effect of particle structure and hydrodynamic size of blood-pooling magnetic nanoparticles on harmonic signal intensity in magnetic particle imaging
3. 学会等名 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kizuku Nishimoto, Suko Bagus Trisnanto, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 High intrinsic loss power of multi-core magnetic nanoparticles with long blood-pooling property for hyperthermia
3. 学会等名 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Guannan Shi, Suko Bagus Trisnanto, Tsutomu Yamada, Satoshi Ota, Yasushi Takemura
2. 発表標題 High biocompatibility and specific loss power of magnetic nanoparticles for hyperthermia
3. 学会等名 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Ota, Yu Ichikawa, Ichiro Kato, Satoshi Nohara, Yasushi Takemura
2. 発表標題 Core and hydrodynamic sizes dependence of harmonic signal in blood-pooling magnetic nanoparticles
3. 学会等名 9th International Workshop on Magnetic Particle Imaging
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大多哲史、竹村泰司
2. 発表標題 磁性ナノ粒子の磁化ダイナミクスと診断治療応用
3. 学会等名 電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasushi Takemura
2. 発表標題 Dynamic magnetization process of magnetic nanoparticles for hyperthermia and magnetic particle imaging
3. 学会等名 EMN Magnetic Nanomaterials Meeting, Magnetic Nanoparticles (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasushi Takemura
2. 発表標題 Specific loss power and excitation condition of magnetic nanoparticles for hyperthermia
3. 学会等名 International Workshop on Magnetic Bio-sensing (IWMBS2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasushi Takemura
2. 発表標題 Characterization of magnetic nanoparticles for biomedical application
3. 学会等名 IUPAC 13th International Conference on Novel Materials and their Synthesis (NMS-XIII) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasushi Takemura
2. 発表標題 Magnetic and structural properties of iron-oxide nanoparticles for biomedical applications
3. 学会等名 IUMRS International Conference in Asia (IUMRS-ICA), Symposium of D4: Advanced Magnetic Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Asahi Tomitaka, Hamed Arami, Zaohua Huang, Andrea Raymond, Yasushi Takemura, Madhavan Nair
2. 発表標題 Hybrid magneto-plasmonic liposomes for image-guided and brain-targeted drug delivery
3. 学会等名 The 4th Personalized NanoMedicine Symposium (SPMN2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Matsugi, Satoshi Ota, Takeru Nakamura, Ryoji Takeda, Yasushi Takemura, Ichiro Kato, Satoshi Nohara, Teruyoshi Sasayama, Takashi Yoshida, Keiji Enpuku
2. 発表標題 Evaluation of magnetic particle imaging using blood-pooling magnetic nanoparticles
3. 学会等名 8th International Workshop on Magnetic Particle Imaging (IWMPI) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大多哲史、大橋成美、竹村泰司
2. 発表標題 細胞培養液中に分散させたマルチコア磁性ナノ粒子の磁化特性評価
3. 学会等名 第41回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西本 築、大多 哲史、山田 努、竹村 泰司
2. 発表標題 励磁方向に垂直な磁性ナノ粒子の交流磁化測定
3. 学会等名 第41回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. B. Trisnanto, G. Shi, R. Takeda, T. Yamada, S. Ota, and Y. Takemura
2. 発表標題 Relaxation responses of magnetic nanoparticles immobilized by hydrocolloid polymer (agar)
3. 学会等名 第41回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 竹田 遼二、大多 哲史、山田 努、竹村 泰司
2. 発表標題 磁化容易軸を配向させた磁性ナノ粒子の交流磁化特性評価
3. 学会等名 第41回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 市川 裕、大多 哲史、竹田 遼二、山田 努、加藤 一郎、野原 聡、吉田 敬、圓福 敬二、竹村 泰司
2. 発表標題 血中滞留の長い磁性ナノ粒子のMPI高調波信号とその粒径・粒子構造依存
3. 学会等名 第41回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 史冠男、トリスナント・スコパグース、中井啓太、遊佐真一、山田努、大多哲史、竹村泰司
2. 発表標題 磁性PIC会合体の液中分散と交流磁化特性の評価
3. 学会等名 第41回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青戸知広、山田努、大多哲史、池畑芳雄、山田外史、竹村泰司
2. 発表標題 ハイパーサーミア用人体サイズコイルの磁場・電場の効果
3. 学会等名 第41回 日本磁気学会学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Asahi Tomitaka, Hamed Arami, Yasushi Takemura, and Madhavan Nair	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 15
3. 書名 Image-Guided Therapy, Advances in Personalized Nanotherapeutics	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>横浜国立大学・研究者総覧（竹村泰司） https://er-web.ynu.ac.jp/html/TAKEMURA_Yasushi/ja.html 横浜国立大学・竹村研究室 http://www.takemura.ynu.ac.jp</p>
