

令和 4 年 12 月 28 日現在

機関番号：52101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03190

研究課題名(和文) 強磁性ナノ粒子を用いた高効率ガン局所焼灼治療システムの開発

研究課題名(英文) High efficiency Cancer therapy system using ferromagnetic nanoparticles

研究代表者

喜多 英治 (Kita, Eiji)

茨城工業高等専門学校・その他部局等・校長

研究者番号：80134203

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：磁性ナノ粒子を発熱体としたがん磁気温熱治療の実現に向けて、まず効率よく安全に高い発熱を得るため、人体適合性に配慮したFe酸化物ナノ粒子を開発した。発熱に関わる交流磁場をできるだけ有効に使うために、交流磁化過程測定装置を高精度化し発熱機構の情報を簡単に得られるようにし、発熱測定の簡素化を実現した。同時にDCバイアス磁場印加を可能とし、発熱機構の解明、他の診断や治療方法との併用の検討に道を開いた。実際の治療を想定して交流磁場発生装置の大型化を検討した。高周波電源の高電圧化を避けるためには分割直列共振回路が適しており、インバータによる駆動で実現できることを示しプロトタイプで検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

侵襲性の低いがん治療法として磁性ナノ粒子を用いる磁気温熱治療が有望視されているが、実現のためには多くの課題が残っている。発熱源である磁性ナノ粒子には、交流磁場を最大に利用する発熱が得られることと人体に無害な材料であることが条件となり、MgやFeなどで構成される材料を検討した。交流磁場を掛けた際に効率よく発熱を得るために実際の動作環境での磁気性能評価を可能とする測定装置を開発し、発熱機構と発熱の関係を議論した。人体に交流磁場を掛ける装置は、なるべく小型で小電力駆動が望ましい。最新のインバータ技術を駆使することで可能となることを設計で示し、試験的に実証して有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：We developed magnetic nanoparticles, an evaluating system of dynamic magnetic properties of a nano-particle suspension and a design of an alternating magnetic field (AMF) applicator in order to realize the hyperthermia using magnetic nanoparticles. Fe based oxide nanoparticles were developed with attention to biological compatibility. A dynamic magnetization process was investigated with a newly developed high-resolution measurement system for the effective use of AMF and the evaluation of the heating mechanism. Addition of DC magnetic field to AMF gives us information on relaxation behaviors and on a possibility of combination uses with other diagnostic and therapies. A design of a large-scaled AMF applicator for real therapy was created. A magnetic field generator was newly designed using a separated parallel resonate circuit and an inverter circuit to avoid the high voltage operation. A possibility as a real usage was confirmed by making a prototype magnet in this research.

研究分野：磁性材料

キーワード：磁気温熱治療 強磁性ナノ粒子 高周波磁場

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ガン温熱治療は長い歴史を持ちすでに一定の評価を受けている。全身の温度を上昇させるハイパーサーミアに対し、局所的に患部を短時間高温に保つことにより、積極的にガン細胞を死滅させる熱焼灼 (Thermoablation) が可能になれば、身体に対する負荷の小さな低侵襲治療法が可能となる。磁性体の高周波磁場下での発熱を利用する方法を磁気ハイパーサーミアと呼ぶ。

高発熱の強磁性ナノ粒子を利用する場合、交流磁場の大きさと周波数を高くする必要があるが、治療法完成には治療に向けた磁場発生装置が重要な開発項目となる。また人体が電気導体であるため渦電流による発熱が起こる。このため磁性ナノ粒子の開発目標として限られた印加磁場で最大の発熱を引き出す有効利用が最大の課題となり、ナノ粒子の発熱機構を熟知した上で、取り組む必要がある。

### 2. 研究の目的

腫瘍に熱を加えて焼灼・壊死させるハイパーサーミアは高い治療効果が期待できるが、腫瘍だけを効率よく加熱する方法が開発できず治療法に至っていない。実用化に求められる要件は、i) 高発熱磁性ナノ粒子 ii) 磁性ナノ粒子の癌患部集積 iii) 生体に応用可能な交流磁場発生装置の開発である。高効率で発熱を可能とする磁性ナノ粒子の開発のためには、発熱機構に基づいて交流磁場の徹底した有効利用を実現する必要がある。このことを念頭に置いて交流磁化過程計測用の装置を改善し高精度化する。また MRI や薬剤運搬のための併用を予想して静磁場を重畳させたときの磁化過程 (発熱特性) を計測可能とする。

### 3. 研究の方法

研究開始時の研究目標として次の項目を次のように設定した。

1) 強磁性ナノ粒子の発熱最適化と分散安定化 2) ガン組織へのナノ粒子の選択的集積

3) 小動物における焼灼実験 4) 治療用磁場発生装置の検討

治療実現の予備研究となる 4) はこれまでの研究成果から周波数 100 kHz、振幅 640 Oe の交流磁場を条件として最大 200kHz で励起できることとして磁石設計を行い、検証する。

#### 3. 1 強磁性ナノ粒子の発熱最適化と分散安定化、小動物焼灼実験

この研究では、以前から進めているハイパーサーミアに適した酸化物強磁性ナノ粒子の作製と開発に有効な評価方法として発熱機構を反映するダイナミック磁化過程の測定に着目し、装置の高精度化などの改良を行う。また磁気ハイパーサーミアの他の治療法や診断法との併用と発熱の影響を調べるために、静磁場を印加したときのダイナミック磁化測定を可能とすることを目的とした。また安定したナノ粒子作製や制御性の向上のため、酸化物作製のプロセスにおいて参加・還元剤を選んで生成物を制することをを行った。具体的には酸化剤の選択と CaH<sub>2</sub> の利用による酸化度の制御である。また酸化物成長時におけるフラックスの利用により粒子サイズや形状を変化させる研究を行った。

これまでの研究で治療に必要な発熱には、強磁性ナノ粒子が不可欠であり、人体への影響を考慮するなるべく低磁場、低周波での使用が必要となる。そのため印加する AC 磁場の効果的利用をめざして発熱機構まで考えた材料の開発や利用方法が検討されなければならない。このためナノ粒子分散体の発熱特性だけでなく、発熱動作環境での磁化過程 (ダイナミック磁化過程) を知ることは非常に有意義である。この研究ではこれまでに開発してきた測定装置の精度を向上を図り、昇温実験より短時間で特性を得ることができシステムを構築した。磁化および磁場の較正方法を検討し、特に磁場の精度と再現性、直線性の検証を行った。

ナノ粒子の分散安定化と選択的集積については、これまでの研究成果を活用して分散体試料を調製し、物性測定や発熱試験に供した。

#### 3. 2 マグネットおよび電源の実現可能性検討

本研究では、人体半身用磁場印加を可能とする大空間向けコイルと電源の構成についての実現可能性を検討した。磁場発生コイルとしては、Fig. 1 に示すような磁気コアを用いて磁束を加熱対象部に集める方式を検討の対象とした。コアのギャップとして、人体が入ることを想定し 300 mm を設定した。これまでの本グループの成果から温熱治療に必要な発熱を得るには強磁性ナノ粒子を使用し、磁場振幅 ( $\mu_0 H_0$ ) は磁化過程を考えて 0.06 T (600 Oe) 程度必要である。また周波数は 100kHz を使ってきたが、200kHz まで使用できればナノ粒子集積に対する要求を抑えることができる。このため加熱対象として想定するギャップの中心部の磁場振幅  $\mu_0 H_0$

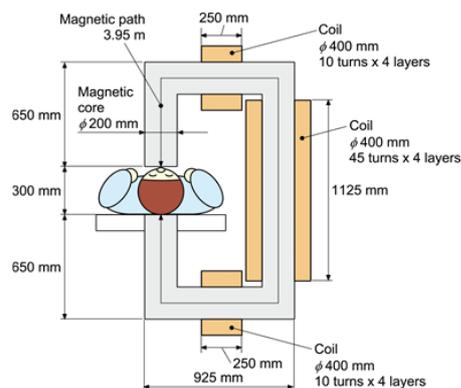


Fig. 1 試設計するマグネットの構成

=0.06 T, 周波数 200 kHz とし, 300 s の運転時間を設定した。

このコイルに電流を流した時のコイル両端電圧は 2.20 MV と計算できる。これは絶縁や電源の点で実現不可能な電圧である。そこで本研究では, このような場合によく用いられる直列コンデンサによる直列補償を採用し, かつコイルを分割してコンデンサを接続する構成をとることを検討した。1 ターン電圧は 8.47 kV であり, 1 ターンごとにコンデンサで補償することで, 対地電圧は高々1 ターン電圧程度であり, 絶縁の実現性は高い。また現実に入手可能なコンデンサも耐圧は数 kV のものが入手しやすいことが考えられる。

#### 4. 研究成果

##### 4. 1 ナノ粒子開発

ハイパーサーミア用ナノ粒子には高効率な発熱もさることながら最終的には人体への使用を目的とするため, 高い安全性が求められる。本研究グループで開発した Co 添加 Fe 酸化物ナノ粒子は物理特性の広範囲な制御が可能であったが, Co を含むため安全性に不安が伴う。そのため人体適合性の良い元素で構成されるナノ粒子を用意する事も必要である。このため人体適合性に優れた Mg を含む Fe 酸化物、(Mg)Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> と記述、に着目して合成を行った。発熱に大きな影響を与える磁気異方性について、添加元素を含まない Fe 酸化物の形状異方性によって制御する事を考え、合成中の還元剤を CaH<sub>2</sub> としてナノ粒子合成を行った。

##### 4.1.1 (Mg)Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ナノ粒子の合成

同一条件で Mg 添加量を変化させたナノ粒子では, その粒径が Mg 濃度の上昇につれて減少し,  $x = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$  が 0.3 以上では 15nm とほぼ一定となった。そこで粒径をそろえるために水熱処理を施し, 粒径を 23nm にそろえた。Table 1 に水熱処理温度と粒径を示した。

作製した(Mg)Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 粒子の Mg の分布状態を調べるために, 室温と 77K においてメスバウアー効果を測定した。この結果, Mg 原子はほとんどスピネル構造の B サイトに配置して試料によっては酸化が進み, B サイトに空孔が存在することが判った。

この粒子の分散液を作製できなかったため, 磁性ナノ粒子の発熱特性を測るため, ナノ粒子を固体ペレット状に成形して測定した。磁場振幅  $\mu_0 H_0 = 40 \text{ mT}$ 、周波数  $f = 120 \text{ kHz}$  の交流磁場下では, 標準物質として知られる磁性流体(Resovist®)の発熱能力 12 W/g を超える 51 W/g を有する。

##### 4.1.2 CaH<sub>2</sub> を還元剤として利用したナノ粒子合成

これまでに当研究グループでは, 磁気温熱治療用に板状  $\alpha\text{-FeOOH}$  粒子を出発物質としてその形状を維持した他の金属元素を含まない Fe 酸化物ナノ粒子を合成し, 高い発熱が得られる結果を得ている。磁気異方性制御のために, 粒径や形状決定に重要な合成プロセスを開発する。

形状を決定する板状  $\alpha\text{-FeOOH}$  粒子は, 水酸化第 2 鉄を沈殿させた後, 水熱処理することにより得られる。その後, 焼結防止処理, 脱水と還元を経て Fe 酸化物ナノ粒子を得るが, この還元過程で温度を過剰に上昇させると, 粒子の結晶成長が起こり, 前駆体の形状が失われてしまう。より低温で還元が可能な還元剤としてこれまでのテトラエチレングリコール(TEG)に代わり新たに CaH<sub>2</sub> を使用した。その結果, 290°C まで上昇させていた反応温度を 180~190°C においてマグネタイト(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)を得ることができた。低温域における合成で前駆体の形状を維持することが可能になり磁気特性の制御につながる結果を得たが, 詳細については別途報告する。

##### 4. 2 発熱の最適化を目的とした評価法の開発

ナノ粒子分散体の発熱を発熱機構にさかのぼって知見を得るために, 動的磁化過程の測定装置を開発してきた。超常磁性ナノ粒子の分散体 Risovist® についての動的磁化過程の計測などを行ってきたが, 直接的な発熱測定に代わる発熱能力を短時間で計測する装置を開発し, その機構も議論可能にした。Fig. 2 に概略図を示す。静磁場の印加も可能にするため静磁場印加用の電磁石をそなえる。静磁場の中心に交流磁場 (AMF) 発生用コイルを設置した。コイルは内径 14mm 外径 40mm 長さ 60mm でインダクタンスは 20  $\mu\text{H}$  である。このコイルによって 50 kHz~400 kHz の周波数帯域で磁場振幅  $\mu_0 H_0 = 0.07 \text{ T}$  までの AMF を発生する。まず高精度化のために信号処理における AD 変換 8bit から 12bit 分解能を持つオシロスコープを使用したところ, 磁場軸の確度は 1/4 程度に減少した。ピックアップコイルと AD 変換の

Table 1 MTH シリーズの合成条件と粒径

Sample	Mg content x	水熱処理温度 (°C)	$D_{\text{XRD}}$ (nm)
MTH0	0	130	42
MTH1	0.10	130	23
MTH2	0.18	150	23
MTH3	0.24	230	23
MTH4	0.30	250	22

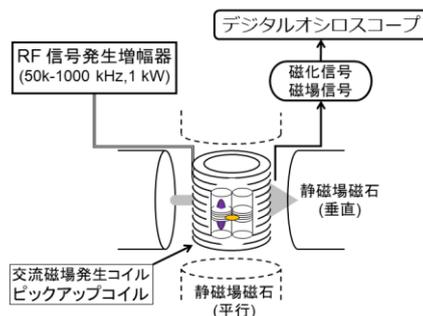


Fig. 2 動的磁化過程測定の概略図

分解能の考察により磁場と磁化の検出限界の知見を得て計測の精度と再現性を向上させることができた。(国際学会発表 2)

磁気温熱治療は静磁場を用いた他の診断法や治療法との併用が期待されている。またドラッグデリバリーとの併用の治療には効果が期待される。先行研究では静磁場中での発熱特性として AMF が垂直の配置の場合について強磁性ナノ粒子分散体での実験[Mehdaoui 2011]が報告されている。

精度の向上した測定装置を用い、この研究では静磁場下での AMF による発熱の影響を静磁場と平行と垂直の配置 (Fig. 2 参照) で検証した。試料には市販の超常磁性ナノ粒子分散体 Resovist® と Co 添加酸化鉄ナノ粒子 (強磁性) の分散体を用いた。Fig. 3 に Co 添加酸化鉄ナノ粒子分散体の動的磁化のデータを示す。磁場振幅の増大によりヒステリシスループの変化が精度良く測定できていることが判る。磁場振幅が小さい領域では、磁化信号が位相のずれによって生じていて磁場振幅の増大とともに飽和する傾向が観測された。この図からは単なる発熱特性では判断できないような発熱機構に関わる情報が得られる。

垂直配置ではすでに先行研究において静磁場の増大に伴って急激にヒステリシスが小さくなり、発熱能力を失う結果が得られているが、Resovist ではその傾向が弱かった。また Co 添加酸化鉄ナノ粒子は球形の形状を持つため、緩和機構が媒体との相互作用によるブラウン緩和に支配されると考えられ、動的磁化過程からそれが見とれる。Fig. 4 に動的磁化過程のループ面積を計算してグラフに表した。超常磁性物質は静磁場の影響を受けにくいことが判った。(平行配置においては、Resovist では  $H_0$  が大きい場合、明らかな飽和傾向が見られるが  $H_{DC}$  の存在によるループ面積の減少は、強磁性ナノ粒子の場合よりなだらかである。これは超常磁性による磁化の揺らぎによって DC 磁場による磁化の整列を妨げるためと考えられる。また  $H_{DC}$  を大きくすると小さいながらもループ面積の増大が見られた。(成果論文 Onodera2021)

さらに測定精度を上げるため、静磁場中での動的磁化過程測定部を回転できるように改良し、システムティックな測定を可能にした。特に鉄イットリウムガーネット(YIG)球状試料を用いて計測装置を構成する方法を確立した。Fig. 5 に計測装置の測定部を示し、直流磁場に対して AMF が垂直と平行に印加できる。Fig. 6 には直径 3mm の YIG 球の動的磁化過程を静磁場の大きさを変えたデータを示す。静磁場の分だけシフトさせれば大振幅での磁化過程を再現でき、この試料の加算性を示せた。この性質を使って温熱治療の加熱材料としてよく使われる Resovist® について静磁場 // AMF の場合を詳しく測った。その結果 AMF の振幅が大きい場合は、静磁場の大きさの影響を受けにくいことが分かった。MRI と磁気温熱治療との共存の可能性を示した結果と言える。(成果論文 Onodera 2022)

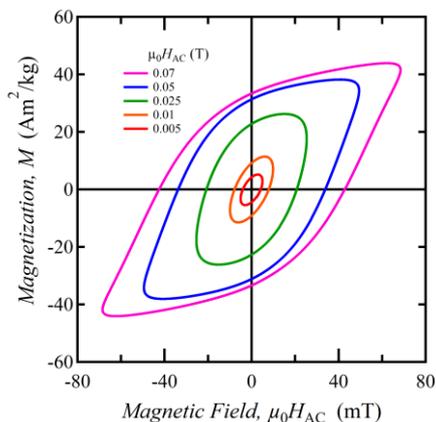


Fig. 3 動的磁化過程の測定例 (Co 添加ナノ粒子分散体) 測定周波数 58kHz、 $H_{DC}=0$ 。(成果論文 : Onodera 2021)

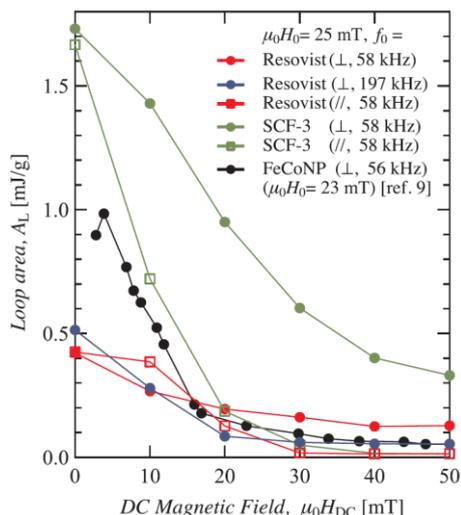


Fig. 4 ループ面積の静磁場依存性。静磁場は交流磁場の方向(//)と垂直方向(⊥)に印加。(成果論文 : Onodera 2021)

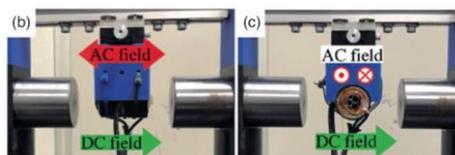


Fig.5 静磁場印加を可能にした動的磁化測定部(成果論文 Onodera 2022)

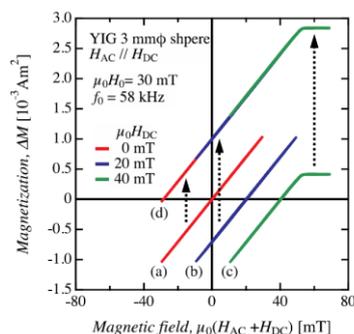


Fig. 6 静磁場印加時の YIG 球の動的磁化過程。(成果論文 Onodera 2022)

#### 4. 3 ハイパーサーミア用マグネットの小型プロトタイプ試作

いくつかの線材を用いた 10 ターンのダブルパンケーキコイルを試作し、交流電流に対する抵抗値を評価した。比較した Coil A のみ単なる撚線を用い、ほかは素線がそれぞれ絶縁されたリッツ線を用いた。また 5 つのコイルは総断面積が概ね等しくなるようにした。測定結果を Fig. 7 に示す。リッツ線による交流抵抗の増加の抑制は確認できたが、試作に使用した素線径ではなお 200 kHz における損失の増加は課題であるといえる。

次に、フェライト材を用いて構成したコアの形状を固定（長さ 1 m となる形状）し、自己インダクタンスおよび発生磁場の強さがコイルの配置によりどのように変わるかを測定した。Fig. 8 にコイルの配置と外観を示す。いずれも Coil B の構成とした 10 ターンのダブルパンケーキコイル 8 個を配置し、それを直列接続したものの自己インダクタンスを測定した。

Fig. 9 に測定した自己インダクタンスを示す。磁束が漏れず、すべての磁束がコア中およびギャップを通過すると考えたモデルの自己インダクタンスを Ideal state とし、いずれのコイル配置によっても漏れ磁束などによって大きく自己インダクタンスが増加することがわかる。自己インダクタンスの増加は補償コンデンサの増加や、1 ターン電圧の増加を招くため好ましくない。したがって、(c)で示すようなギャップ部に集中してコイルを配置するのが望ましいということが分かった。

次に、直列補償用のコンデンサについて検討した。小型プロトタイプでは、8 個のコイルに分割されている。そこでコイル間に 2 個ずつのコンデンサバンクを設けることとした。このとき 1 つのコンデンサバンクの静電容量は 5.45 nF とする必要がある。また電流値は実効値で 46 A 流れ、耐圧はピークで 6.7 kV 以上必要である。

本研究では 1 つのコンデンサバンクを市販のフィルムコンデンサ（350 V 耐圧、15 nF）を 23 直列 8 並列にしたもので構成することを検討した。これにより、等価静電容量は 5.21 nF、最大電圧は 8 kV となる。しかし使用したコンデンサのカタログスペックのリプル電流に基づけば、コンデンサバンクの電流の定格は 20.4 A となり必要な電流値に及ばない。

そこで、コイルの冷却と同様に FC-40 フロリナートにより冷却することを想定し、検討した。実験は同じ構成のコンデンサバンクを想定し、その 1 並列分のみを冷媒に浸漬することで行った。想定するコンデンサバンクに対し、8 L のフロリナートに浸漬すれば温度上昇を 20 K に抑えることができるため、このコンデンサ構造で実現可能ということがわかった。

これらプロトタイプ作製により得られた知見から大型磁場発生装置の実現可能性が確かめられた。（成果論文 3, 6 に公表済み）

#### 4. 4 小動物による焼灼実験

これまでにマウスを対象にした焼灼実験を行っていて、一部を成果論文 2 で発表している。さらなる成果については後日公表予定である。

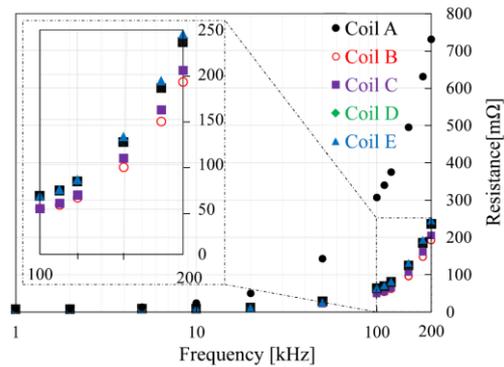


Fig. 7 測定したコイルの抵抗値

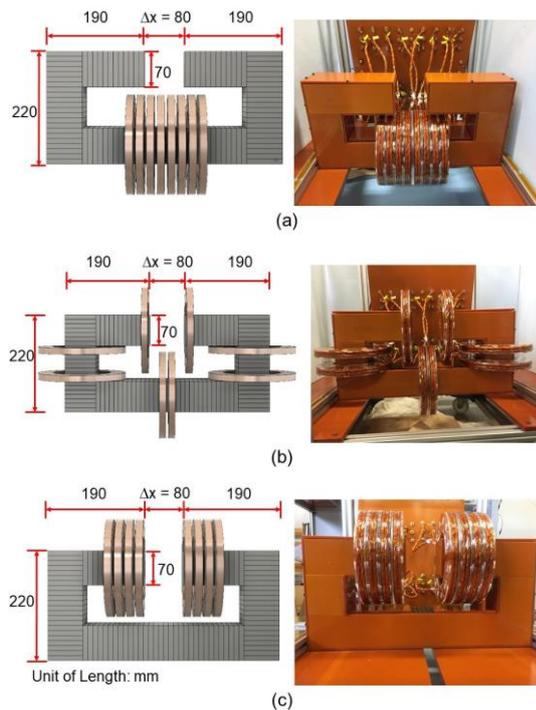


Fig. 8 インダクタンスおよび磁場の強さを評価したコイル配置

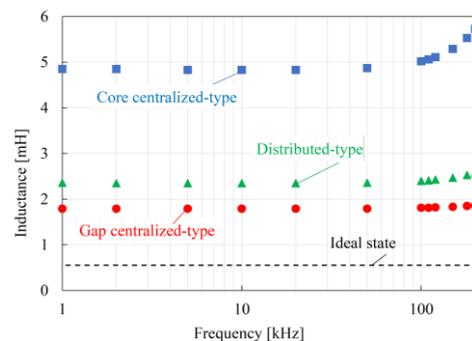


Fig. 9 測定した自己インダクタンス

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 E. Kita, K. Shibata, Y. Sasaki, M. Kishimoto, H. Yanagihara	4. 巻 7
2. 論文標題 Magnetic anisotropy in spherical Fe16N2 core shell nanoparticles determined by torque measurements	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 56212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4974276	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 E Kita, H Yanagihara, M Kishimoto, K Ota, R Miyamoto, T Oda, N. Ohkohchi	4. 巻 53
2. 論文標題 Dynamic magnetization properties of platelet ferromagnetic nanoparticles and their heat generation injected in tumors of mice	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetism	6. 最初と最後の頁 5100905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2017.2718585	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 S. Nomura, T. Isobe	4. 巻 28
2. 論文標題 Design Study on High-Frequency Magnets for Magnetic Hyperthermia Applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2018.2800056	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 S. Yamada, R. Shigesawa, H. Latiff, M. Kishimoto E. Kita, H. Yanagihara	4. 巻 56
2. 論文標題 Magnetic Properties of Tetragonal Cobalt Manganese Ferrite Particles Prepared Using the Molten Salt Method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetism	6. 最初と最後の頁 6702618
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2019.2962021	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 H. Xu, S. Nomura, T. Isobe	4. 巻 30
2. 論文標題 Design and Development of a High-Frequency Magnet Prototype for Magnetic Hyperthermia Applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 4702806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TASC.2020.2978791	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 R. Onodera, Eiji Kita, Mikio Kishimoto, T. Kuroiwa, Hideto Yanagihara	4. 巻 57
2. 論文標題 Dynamic hysteresis measurement of magnetic nanoparticle suspensions under DC magnetic fields	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Magnetics	6. 最初と最後の頁 6100605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMAG.2020.3021428	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 Reisho Onodera, Eiji Kita, Takuya Kuroiwa Hideto Yanagihara	4. 巻 61
2. 論文標題 Effect of static magnetic field bias on dynamic hysteresis loops of a magnetic nanoparticle suspension	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 065003 ~ 065003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac6407	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19件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 E. Kita, H. Yanagihara, M. Kishimoto, R. Miyamoto, T. Oda and N. Ohkohchi
2. 発表標題 Dynamic magnetization properties and heat generation of platelet ferromagnetic nanoparticles injected in tumors of mice. (Invited)
3. 学会等名 INTERMAG Europe, 24 - 28 April 2017 Dublin, Ireland (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Nomura and T. Isobe
2. 発表標題 Design Study on High-Frequency Magnets for Magnetic Hyperthermia Applications
3. 学会等名 The 25th International Conference on Magnet Technology Amsterdam, The Netherlands, August 27-September 1, 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小野寺礼尚, 黒岩拓也, 柳原英人, 金 甫根, 藏 裕彰, 喜多英治
2. 発表標題 高周波磁化過程測定の高精度化と材料特性評価
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 小野寺礼尚, 黒岩拓也, 柳原英人, 金 甫根, 藏 裕彰, 喜多英治
2. 発表標題 高周波・高精度磁化過程測定手法の開発
3. 学会等名 日本磁気科学会第13回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 許 航, 野村新一, 磯部高範
2. 発表標題 ハイパーサーミア用高周波電磁石試作機の直流励磁結果及びインピーダンスの周波数特性
3. 学会等名 2018年度秋季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 許 航, 野村新一, 磯部高範
2. 発表標題 ハイパーサーミア用高周波電磁石試作機の冷却設計および直列共振補償キャパシタバンクの設計
3. 学会等名 2019年春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Onodera, T. Kuroiwa, H. Yanagihara, M. Kin, H. Kura and E. Kita,
2. 発表標題 Hysteretic measurements of magnetic materials in an alternating magnetic field (AMF)
3. 学会等名 Joint MMM InterMAG conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinichi Nomura, Hang Xu, and Takanori Isobe
2. 発表標題 Design and Development of a High-Frequency Magnet Prototype for Magnetic Hyperthermia Applications
3. 学会等名 The 26th International Conference on Magnet Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hang Xu, Shinichi Nomura, and Takanori Isobe
2. 発表標題 Experimental Study on the Feasibility of Superconducting High-Frequency Coils for Magnetic Hyperthermia Application
3. 学会等名 10th ACASC/2nd Asian-ICMC/CSSJ Joint Conference, Jan. 6-9, 2020, Okinawa, Japan. (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 R. Onodera, E. Kita, T. Kuroiwa, M. Kishimoto and H. Yanagihara
2. 発表標題 Dynamic Hysteresis Measurement of Magnetic Nanoparticle Suspension Under Parallel and Perpendicular DC Magnetic Fields
3. 学会等名 InterMAG Americas 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小野寺礼尚、黒岩拓也、柳原英人、喜多英治
2. 発表標題 磁性ナノ粒子懸濁液の平行・垂直磁場下における動的ヒステリシス測定
3. 学会等名 第44回 日本磁気学会 学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Reisho Onodera, Eiji Kita, Hideto Yanagihara
2. 発表標題 Dynamic hysteresis measurement of a magnetic nano particle suspension under a DC bias magnetic field
3. 学会等名 第45回 日本磁気学会 学術講演会シンポジウム講演(invite) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 喜多英治, 小野寺礼尚, 岸本幹雄, 柳原英人
2. 発表標題 磁性ナノ粒子の DC 磁場を重畳させた交流磁化過程の解析
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 喜多英治, 小野寺礼尚, 岸本幹雄, 柳原英人
2. 発表標題 凍結した磁性流体のメスパウアー効果と磁気緩和
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 小野寺礼尚, 喜多英治, 岸本幹雄, 黒岩拓也, 柳原英人
2. 発表標題 磁性ナノ粒子懸濁液の直流バイアス磁場下での動的ヒステリシス測定
3. 学会等名 応用物理学会 第82回秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺礼尚, 喜多英治, 黒岩拓也, 柳原英人
2. 発表標題 直流磁場下の高周波磁化測定による損失評価
3. 学会等名 第15回 日本磁気科学会 年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野寺 礼尚, 浜崎 亜富, 諏訪 雅頼, 喜多 英治
2. 発表標題 パルス減衰磁場を用いた磁性体の動的磁化測定
3. 学会等名 応用物理学会 第69回春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野寺礼尚, 浜崎亜富, 諏訪雅頼, 喜多英治
2. 発表標題 パルス減衰磁場を用いた動的磁化測定装置の開発
3. 学会等名 日本磁気科学会 第16回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Eiji Kita, Reisho Onodera, Mikio Kishimoto, Hideto Yanagihara
2. 発表標題 Magnetic relaxation of Superparamagnetic Fe Oxide Particle studied with Mossbauer Spectroscopy
3. 学会等名 International Conference on Fine Particles Magnetism(ICFPM) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022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	小田 竜也 (Oda Tatsuya) (20282353)	筑波大学・医学医療系・教授  (12102)	
研究分担者	柳原 英人 (Yanagihara Hideto) (50302386)	筑波大学・数理物質系・教授  (12102)	
研究分担者	磯部 高範 (Isobe Takanori) (50545928)	筑波大学・数理物質系・准教授  (12102)	

6. 研究組織（つづき）

	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	小野寺 礼尚  (Onodera Reisho)  (80758540)	茨城工業高等専門学校・国際創造工学科・助教    (52101)	
研究分担者	野村 新一  (Shinichi Nomura)  (90401520)	明治大学・理工学部・専任准教授    (32682)	

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