

ハイパーサーミヤ用高周波磁界発生器における ブースターコイルによる磁界の増強

山田外史, 池畑芳雄, 林 亮平, 上野敏幸, 柿川真紀子
(金沢大学)

Enhancement of High-Frequency Magnetic Fields
By Using Booster Coils Added to Applicator for Hyperthermia Therapy

S.Yamada, Y.Ikehata, R.Hayashi, T.Ueno, M.Kakikawa,
(Kanazawa University)

はじめに

ワイヤレス給電によるダブルパンケーキコイルの発生磁界の増加, また主な損失のコイル抵抗損失を低減させるため, リッツ線の導線数 ($60\mu\text{m}^{\phi}$, 6000本)の増加が必要であるが製作上の困難である. 本報では, コイルを並列とし, 起磁力を増加させ発生磁界の増強を行った. さらに, それぞれのコイルにコンデンサを付けたLCブースター回路としてワイヤレス給電回路とすることにより, コイルの自己インダクタンス等のバラつきによる並列コイル間の電流の不均一を検討した.

ブースター回路付アップリケーター

Fig. 1は, 平面コイルにて構成されるのがん治療用の誘導加熱形ハイパーサーミアの励磁コイルシステムである. 体をサンドイッチするように上下コイルが配置され, また上下コイルを直列にすることによるインダクタンスの増加, すなわち励磁電圧の増加を抑制するため, 磁電磁誘導形ワイヤレス給電により一方の電流を流している^{1), 2)}.

このシステムの磁界発生を増加させるため, Fig. 2に示すように上下コイルを2並列回路(2×2コイル)とした. 並列に巻いたコイルは, LCブースター回路として電磁誘導により給電する. この等価回路は, Fig. 3となる. 上コイルの一方のみに直接電源に接続し, 他の3コイルには共振用コイルが直列接続される. 抵抗はコイル損失等を含めた等価直列抵抗である. 各コイル, コンデンサの値は基本的には同じ値とする. 上下の並列コイル間の結合係数 $k=0.95$, また上下コイル間の結合係数 $k=0.065$, コイルのインダクタンス値 $L=6.0\mu\text{H}$, コンデンサ値は $0.29\mu\text{F}$ である.

シミュレーション結果とまとめ

Fig. 3に示す等価回路にてシミュレーションした結果を Fig. 4に示す. パラメータの値は, 計測によって得られたものを使用した. 上下のそれぞれのコイルに流れる電流はほぼ同位相の同振幅であり, かつ利用する共振周波数(f_1)近傍では, 上下コイルにおいても同じとなる. また, シミュレーションの結果は, コイルの自己インダクタンス, コンデンサの値の変動による電流の不均一性は大きく抑制できることが明らかになった.

参考文献

- 1) S.Yamada, et al, : *J. Magn. Soc. Jpn.*, **37**, 282 (2013).
- 2) S.Yamada, et al, : *J. Magn. Soc. Jpn.*, **38**, 37 (2014).

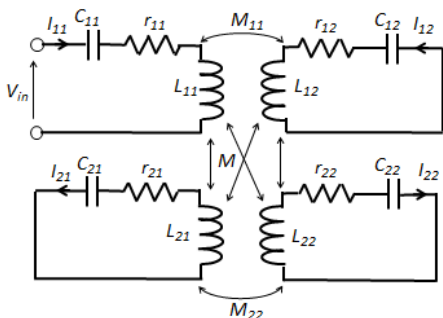


Fig. 3 Equivalent circuit of applicator.

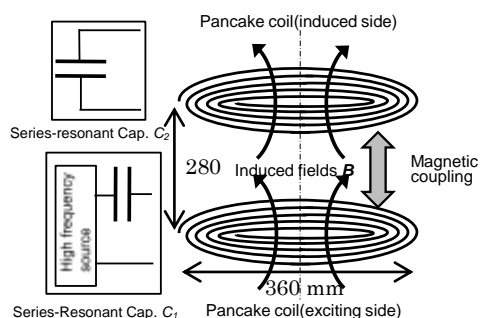


Fig. 1 Applicator with wireless transmission system.

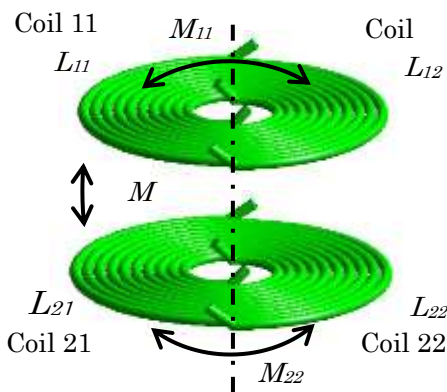


Fig. 2 Double pancake coils with parallel coils.

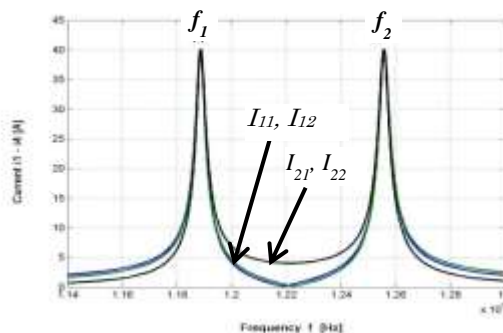


Fig. 4 Frequency characteristics of currents.

磁気機能性流体を用いた円管内面マイクロ加工のための磁界解析

塚田悠太, 池田慎治, 平松信義, 櫻井 豊, 西田 均
(富山高等専門学校)

Magnetic Field Analysis for Micro Processing for Internal Horizontal Circular Pipe Utilizing Magnetic Functional Fluid

Y. Tsukada, S. Ikeda, N. Hiramatsu, Y. Sakurai, H. Nishida
(Toyama National College of Technology)

はじめに

各種産業用の金属円管の内面精密加工は、その強度などの材料特性が優れているほど被削性が低下する。そのため、これを高精度かつ容易に加工する方法が求められており、磁気混合流体 (MCF) を用いた加工法が提案されている。MCFは粒径の異なる磁性微粒子を分散させた粘性流体であり、磁界分布を制御することにより、砥粒と混合した長くフレキシブルな凝集体 (磁気クラスタ) を形成することができる。本研究では、MCFを用いた研削法の工具設計のための磁界解析を行った。

数値解析の方法と結果

これまでに実験的にいくつかの研削方法が検討されている中から、Fig. 1に示す形状の工具を数値解析の対象とした。工具はリング形状の永久磁石を一定間隔で連結したものであり、磁石は軸方向に着磁されており、着磁方向は、隣接する磁石毎に反対方向となっている。砥粒は非磁性体であり、磁気クラスタによってトラップされる。円管内面で一定以上の磁界を発生させないと磁気クラスタを形成できない。一方、単純に磁石を多くして位置を近づけると、隣接クラスタ間の相互作用が期待できる半面、磁気クラスタの体積減少などにより研削効率は向上しないことが実験的に明らかとなっている。

以上より、解析手法は軸対象2次元静磁界解析とした。磁石形状とその配置をパラメータとして広範囲に解析し、実験結果との比較を行うことと、将来的な工具設計の最適化に資するデータを得ることを目的とした。2次元解析のため1つの計算条件当たりの計算量は比較的少ないが、これを多数の条件において解析するため、解析処理を連続化するシステムを構築した。

結果の一例をFig. 2に示す。管内径は14.9mmである。磁石間隔を13mm以上とすると磁石間には磁気クラスタの保持が難しくなる条件である。磁石間の最低磁束密度は約180mTとなっており、磁石間でこれより大きな磁束密度を確保しながら、その周囲に大きな磁束密度勾配を得よう設計すればよいことがわかる。

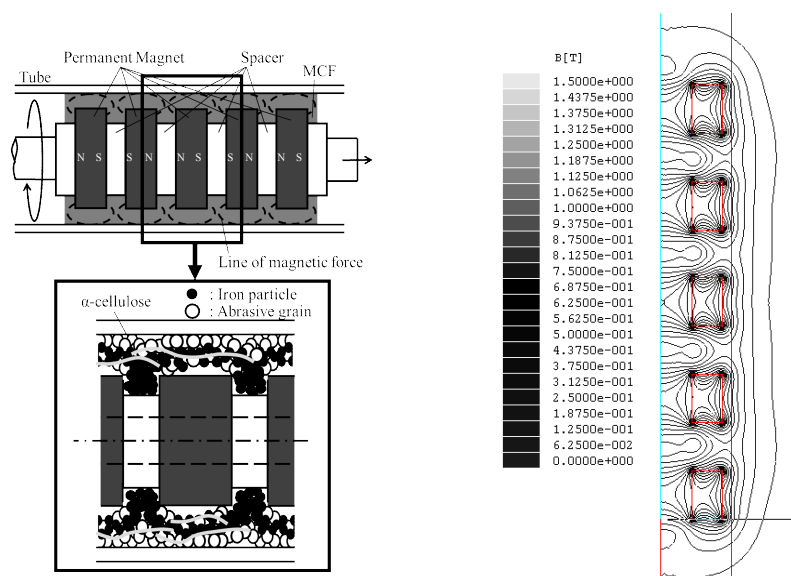


Fig. 1 Schematic diagram

Fig. 2 Distribution of flux density

参考文献

- 1) H. Nishida, et. al., "Influence of Magnetic Field Distribution on Micro Processing for Internal Horizontal Circular Pipe Utilizing Magnetic Functional Fluid", Journal of JSAEM, Vol 22, (2014 in press)

ハルバッハ配列磁石の磁束密度向上へ向けたヨーク構造の最適化

磯上 慎二¹, 松本 拓樹²
(福島高専¹一般教科, ²電気工学科)

Optimum yoke structure for enhancement of magnetic flux density in Halbach-type permanent magnets

Shinji Isogami, Hiroki Matsumoto

(Fukushima National College of Technology, ¹General Education, ²Electric Engineering)

1. はじめに

現行アクチュエーターデバイスの磁気浮上駆動機構の性能は、そこに搭載される永久磁石がつくる磁束密度分布や強度などによって決められている。今後デバイスサイズの縮小に伴い永久磁石の小型化が進むと、従来の駆動性能が得られない可能性がある。これは永久磁石から発生する磁束密度が低下するためである。永久磁石体積の縮小による磁束密度の低下を抑制するため、我々はこれまで、磁石を Halbach 配列化することで漏れ磁束を集中し磁束密度の向上を目指してきた。しかし、更なる向上のためにはバックヨーク構造の最適化が必須である。Halbach 配列磁石は Plain 型磁石とは異なる複雑な磁束パターンを有するため、バックヨークには特異的な構造が求められると推測される。よって本研究では、Halbach 配列磁石に対して最適なバックヨーク構造の設計を目的とした。

2. 検証方法

磁束密度の検証には、磁場解析ソフト (JMAG) を用いて算出を行った。Halbach 配列磁石材料には、Wellmax-18ME ネオジウムボンド磁石 (住友金属鉱山製) を仮定した。Halbach 配列磁石は図 1 に示すように、同極を向かい合わせた両側 2 枚の永久磁石 ($4 \times 14 \times 4 \text{ cm}^3$) で中央の永久磁石 ($6 \times 14 \times 4 \text{ cm}^3$) を挟み込む構造とした。この Halbach 配列磁石を空隙 $d = 6 \text{ mm}$ だけ離し、上下に重ねて配置した。代表的なバックヨーク構造はコの字型を基準とし、①フロントヨーク設置、②断片型バックヨークの 2 種類の場合について、JMAG 解析を行い、空隙中央の磁束密度の Z 成分を比較した。ここで空隙中央とは、磁石表面から 3 mm の高さで定義している。

3. 検証結果

図 2 は種々の永久磁石と種々のバックヨーク構造による中央磁束密度 (B_z) の増加率を示す。両側 Plain 磁石に比べて、両側 Halbach 磁石の場合は、40%の増加となった。これは Halbach 配列により、漏れ磁束が空隙中央に集中した効果であることが JMAG による解析で別途明らかとなった。次にフロントヨークを設置したところ、さらに 7.3%の増加が得られた。これは両側 Halbach 磁石から外部への漏れ磁束が、対をなす磁石へ効率よく戻った結果であることが判った。更なる増加を目的としてバックヨークを断片化したところ、2.2%の増加を見出した。これは Halbach 磁石内部の特異的な磁束構造に起因すると考えられる。本講演会ではこの主要な原理を具体的に議論し、磁束密度向上へ向けた種々の磁石に対する汎用的なバックヨークの設計指針を示す予定である。

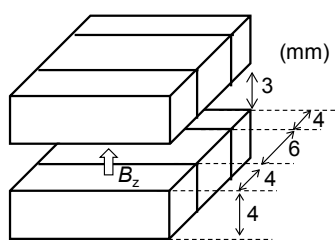


図 1 解析に用いた Halbach 配列磁石モデル

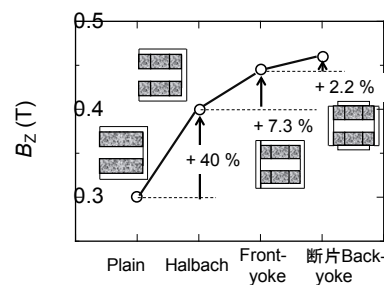


図 2 種々の永久磁石とバックヨーク構造の最適化による中央磁束密度の Z 成分 (B_z) の増加率

参考文献

- 1) K. Halbach, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, 246, 77 (1986).
- 2) Z. O. Zhu, and D. Howe, *Electric Power Applications*, 148, 299 (2001).

ヒステリシスを考慮可能な磁気回路モデルを用いた 種々の磁性材料の鉄損算定

田中秀明, 中村健二, 一ノ倉理
(東北大学)

Iron loss Calculation of Soft Ferromagnetic Materials using Magnetic Circuit Model
considering Magnetic Hysteresis

H. Tanaka, K. Nakamura, O. Ichinokura
(Tohoku University)

はじめに

トランスやモータなどの電気機器の高効率化には、磁気ヒステリシスも含めた鉄損の定量的な算定が必要不可欠である。マイクロマグネティクスは磁壁や磁区の挙動を微視的に解析する手法であり、ヒステリシスや磁気飽和などの複雑な磁気現象を表現できるが、一般にモデルが大規模になるため、電気機器の解析に適用することは容易では無い。これに対し、いくつかの仮定を設けることで、モデルを簡略化する手法が提案されている⁽¹⁾。これを受けて、先に筆者らは、簡略化されたマイクロマグネティクスモデルを磁気回路法に取り入れることで、磁気ヒステリシスを簡便かつ精度良く算定する手法を提案した⁽²⁾。

本稿では、提案手法の適用拡大を目的とし、2種類の無方向性ケイ素鋼板、並びにアモルファス金属のヒステリシスループの算定を行ったので報告する。

ヒステリシスを考慮可能な磁気回路モデル

図1に、巻数 N の巻線が施され、交流電源に接続された鉄心と、これに対応する磁気回路モデルを示す。本モデルは、同図に示すように、直流ヒステリシスを LLG 方程式で計算し、交流損失を磁気インダクタンスと従属電源で計算する。LLG 方程式のパラメータは、実測した直流ヒステリシスを近似することで求められる。また、交流損失を表す素子のパラメータである γ_1 および γ_2 は、材料の高周波鉄損曲線を近似することで求まる。

提案手法の妥当性を確認するため、板厚 0.35 mm の一般的な無方向性ケイ素鋼板 (35A440) と板厚 0.20 mm の低鉄損の無方向性ケイ素鋼板 (20HTH1500)、およびアモルファス金属のヒステリシスループを実測し、計算結果と比較を行った。図2に、ヒステリシスループの実測値と計算値を示す。これらの図を見ると、提案手法によって種々の磁性材料のヒステリシスループを精度良く算定できることが了解される。

参考文献

- 1) 古屋, 藤崎, 上原, 清水, 大島, 村上, 高橋, 電学研資 SA-13-6, RM-13-6 (2013)
- 2) 田中, 中村, 一ノ倉, 電学論 A, Vol. 134, pp.243-249 (2014)

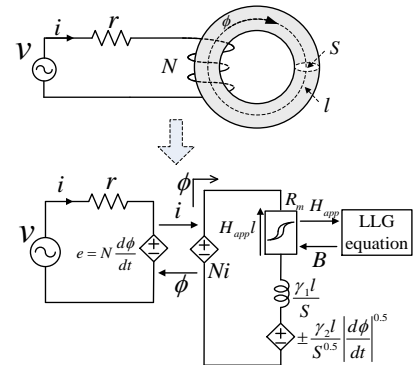
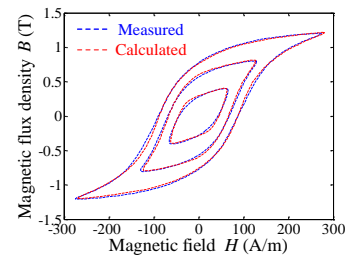
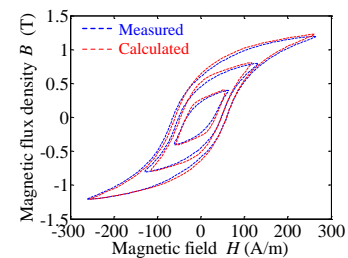


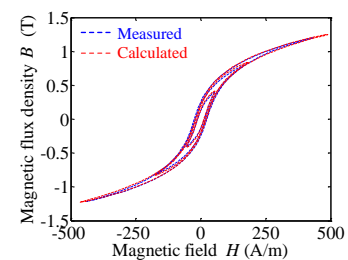
Fig. 1 Proposed magnetic circuit model.



(a) 35A440 ($f = 200$ Hz)



(b) 20HTH1500 ($f = 200$ Hz)



(c) Amorphous ($f = 2$ kHz)

Fig. 2 Measured and calculated hysteresis loops.

高効率化と出力電圧安定化を両立した非接触給電装置に関する検討

太田佑貴, 有賀暢幸, *宮原敏, 佐藤文博, *松木英敏
(東北大学大学院工学研究科, *東北大学大学院医工学研究科)

Compatibility with High Efficiency and Output Voltage Stabilization on Wireless Power Transfer

Y. Ota, N. Aruga, *S. Miyahara, F. Sato, *H. Matsuki

(Grad. Sch. of Eng., Tohoku Univ., *Grad. Sch. of Biomed. Eng., Tohoku Univ.)

はじめに

電磁誘導を用いた非接触給電技術は、携帯機器や電気自動車、医療・ヘルスケア機器等、幅広い機器への応用が期待されている。本技術が対象とする機器の多くは定電圧電源を要求するため、充電状態の変化等により負荷変動が生じても出力電圧が安定していることが求められる。これまでの研究²⁾においては、送電コイルを定電流駆動とした場合の出力電圧安定化手法について考察を行ってきたが、対象機器によっては、回路規模等の観点から送電側も一般的な定電圧駆動であることが求められる場合がある。そこで今回は、LCブースタ方式³⁾を活用し、高効率な非接触給電と出力電圧の安定化を両立する方法について検討を行った。

検討内容

給電中の負荷状態はバッテリーの充電状態や機器の動作状況によって数 Ω ~ ∞ まで大きく変化するため、効率と負荷端電圧の両方について負荷特性を検証する必要がある。本検討では、携帯機器やヘルスケア機器への給電を想定したコイル(外径40 mm, 20 turn)を試作し、そのコイルパラメータを用いて負荷変動による負荷端電圧と効率の変化を直列共振、並列共振、LCブースタの各方式で回路シミュレータにより確認した。

検討結果

負荷変動と出力電圧の関係を Fig. 1, 負荷変動と効率の関係を Fig. 2 に示す。Fig. 1 より、直列共振に比べて、並列共振形やLCブースタ型は出力電圧の変動範囲が小さくなるのがわかる。一方 Fig. 2 より、直列共振とLCブースタ方式が重負荷領域で効率最大であり、並列共振型は軽負荷でピークを迎えることがわかる。一般に非接触給電装置を設計する際には、電力消費が大きい重負荷時に効率が高くなるよう調整されるため、効率の観点からは直列共振またはLCブースタ方式を選択したほうが有利であるといえる。以上より、直列共振同様の効率特性を持ちながら出力電圧変動が抑えられる、LCブースタ方式の活用が有効であることが示された。引き続き他のマッチング方式の活用などについて考察を深めていく。

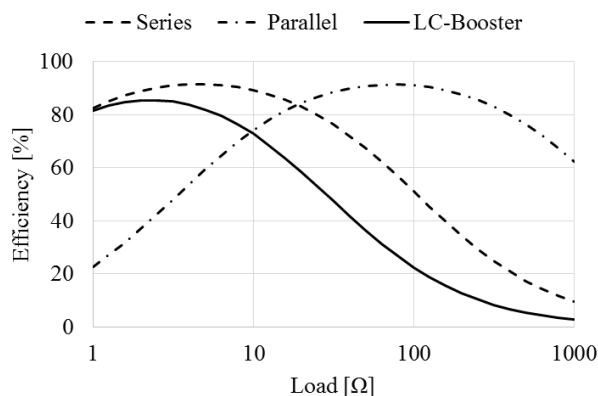


Fig. 1 Load - Efficiency Characteristics

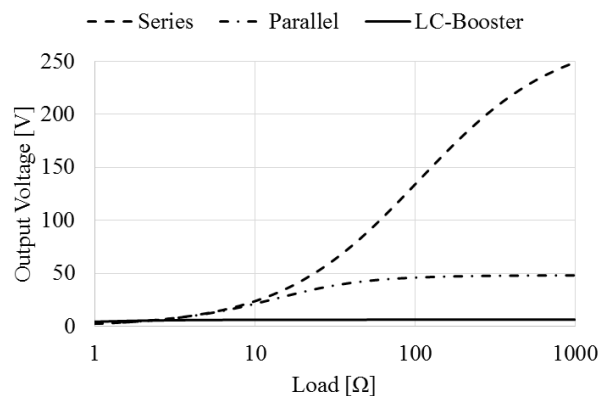


Fig. 2 Load - Output Voltage Characteristics

参考文献

- 1) 松木, 高橋: ワイヤレス給電技術が分かる本, pp.82-91, 131-140 (2011)
- 2) 太田, 田倉, 佐藤, 佐藤, 松木: 平成 24 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 2G24(DVD) (2012)
- 3) Y. Ota, T. Takura, F. Sato, H. Matsuki, T. Sato, T. Nonaka: *IEEE Trans. Magn.*, **47**, pp.4235-4237 (2011)

EV 用走行中非接触給電システムにおける 電力給電時の効率改善に関する検討

有賀暢幸, 宮原敏, 佐藤文博, 松木英敏
(東北大学)

A study on efficiency improvement during power supply for Contactless Electric Vehicle Charge on Moving
N. Aruga, S. Miyahara, F. Sato, H. Matsuki
(Tohoku Univ.)

はじめに

現在, 環境負荷が小さい EV (電気自動車) に注目が集まっているが, 航続距離と充電時間の最適な関係を成立させることが重要な課題となっている. そこで, 我々は当初より走行中に非接触で車両に給電を行うことを提案し, スケールモデルにおける種々の検討を行ってきた¹⁾. しかし, 実際に走行中非接触給電を行う場合には, 負荷に合わせた整合回路の設計と, kW 級の電力を給電する必要があり, それに付随する問題を解決する必要がある. そこで本検討では, 整合回路として LC ブースタ方式²⁾を用い, 併せてシールド材として送受電コイル背面に磁性体を装着させた際の電力上昇に伴う効率変化に関する検討を行った.

検討方法

送電コイル (L_1), 受電側 LC ブースタコイル (L_2), 負荷整合を行うための受電側ピックアップコイル (L_3) を Fig. 1, Table. 1 の様に設計した. 送電コイルには走行方向に安定的に給電可能なレーン状長方形コイルを用い, LC ブースタコイルは普通乗用車に搭載可能な仕様を満たす外径 500 mm, 15 turns の円型スパイラルコイルとし, ピックアップコイルは外径 200 mm, 10 turns とした. 整合回路は, バッテリ及びモータの想定負荷として, 50 Ω で最大効率を得られるよう設計を行った. また, 磁性体には MnZn 系フェライトを用い, コイル間ギャップを 100 mm, 周波数を 100 kHz とし各入力電圧における効率の負荷特性を測定した.

実験結果

Fig. 2 に実験結果を示す. 出力電力が低い場合は計算結果とほぼ一致していることがわかるが, 出力電力が大きい状態では, 効率低下が著しい事がわかる. 更に最大効率を与える負荷 (最適負荷) が入力電圧を上昇させることにより重負荷へと遷移していることが分かる. これは, 電力増加に伴い伝送系のパラメータが変化したためであると考えられる. 今後は電力規模を大きくした際に生じる効率低下をより抑えるコイル設計・磁性体の配置方法について検討を行っていく.

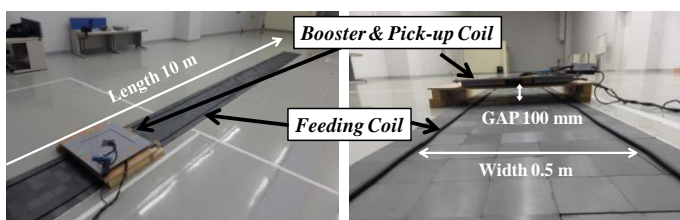


Fig. 1 Figure of Coil configuration

Table. 1 Coil Specifications at 100 kHz

	Feeding	Booster	Pick-up
Inductance L [μH]	33.1	176.5	25.4
Resistance r [Ω]	0.20	0.20	0.05
Coupling Factor k		0.07	0.3

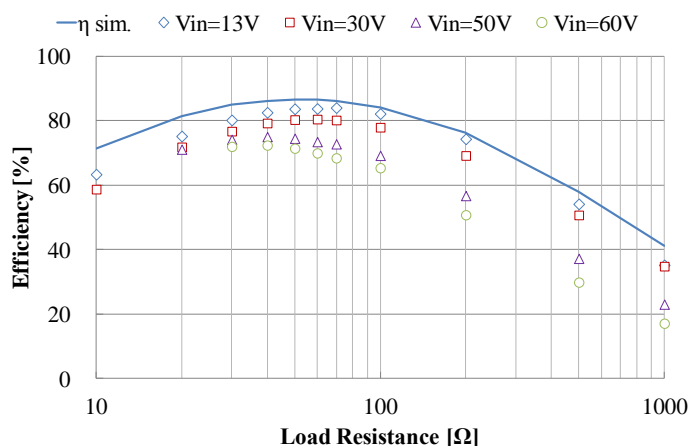


Fig. 2 Load characteristics of efficiency at each Input Voltage

参考文献

- 1) F. Sato, J. Morita, T. Takura, T. Sato, and H. Matsuki : *J. Magn. Soc. of Jpn.*, 36, 249-252 (2012)
- 2) T. Takura et al.: *J. Magn. Soc. of Jpn.*, 35, 132-135 (2011)

マルチ周波数バンド型電磁界共振式 WPT システムの提案

土井 達也
(足利工業大学工学部)

Proposal of electromagnetic resonant coupling type WPT using multi-frequency band

DOI Tatsuya
(College of Engineering, Ashikaga Institute of Technology)

はじめに

近年、比較的高い周波数のスイッチング電源を用いた電磁界共振式ワイヤレス給電 (WPT) が検討されている⁽¹⁾。スイッチング電源は電源高調波成分による漏洩磁界や放射磁界の対策が必要になる。電磁界共振式では、システムの共振周波数成分が支配的となって他の周波数成分は受電側負荷にほとんど供給されない。

本稿では、複数の周波数成分を利用した電磁界共振結合式 WPT を提案し、基礎検討を行なう。提案システムを示し、電源高調波成分を使ったワイヤレス給電への応用について述べる。

提案システム

本稿では、複数の周波数成分を同時給電可能な WPT システムの構築を目的とする。Fig.1 に提案 WPT システムの概念図を示す。1 次側電源からは高調波成分または多周波数成分をもつ交流電圧が供給される。Fig.1 のシステムは単一の共振周波数をもつ送受電デバイスを複数セットもち、送電及び受電デバイスは 1・2 次側でそれぞれ並列接続されている。各セットの送受電デバイスには、それぞれの共振周波数近傍の電流が流れやすくなる。

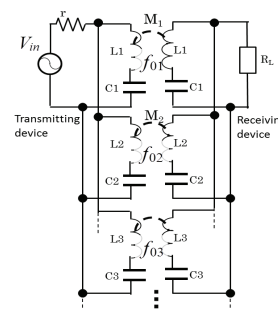


Fig. 1. Concept of resonant coupling type WPT with multi-frequencies.

提案法の応用

一般に、電磁界共振式では単一の共振周波数をもつ LC 共振コイルを送受電コイルに使用される。このため、電源高調波成分の電力は受電側に供給されにくく、効率を下げの一要因となっている。本稿では、電源高調波成分を使ったワイヤレス給電に提案システムを応用した例を示す。

本稿では、基本波成分と第 3 高調波成分を給電する 2 組の送受電デバイスをもつ WPT システムの例を示す。Fig.2 に、意図的に高調波成分を含むよう設計した 1 次側の電源電圧波形を示す。

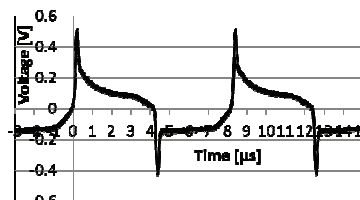


Fig. 2. Voltage waveform of primary power supply [2].

Table 1 に、基本波成分と第 3 高調波成分を給電する送受電デバイスの電圧波形の周波数分析結果をそれぞれ示す。Table 1 の結果から、共振周波数 120kHz の送受電デバイスでは第 3 高調波成分 360kHz も含まれるが、基本波成分 120kHz が大きく効率が低い。一方、共振周波数 360kHz の送受電デバイスでは基本波成分は皆無(ノイズレベル)であり、第 3 高調波成分が支配的で変換効率が高い。第 5 高調波成分 600kHz も受電側に給電されている。結果として、Table 1 は提案システムによって、周波数分割給電が可能であることを示す

Table 1. Measured voltages.

A set of transmitting and receiving coils with $f_0=120\text{kHz}$ [dB μ VB]		
120kHz component	Primary	29.6
	Secondary	26.8
360kHz component	Primary	27.1
	Secondary	21.8
A set of transmitting and receiving coils with $f_0=360\text{kHz}$ [dB μ VB]		
120kHz component	Primary	22.4
	Secondary	23.1
360kHz component	Primary	56.6
	Secondary	43.5
600kHz component	Primary	30.6
	Secondary	26.9

参考文献

- 1) 細谷達也：信学技法，WPT2013-16 (2013)
- 2) 松坂駿也：平成 25 年度足利工業大学卒業論文 (2014)

マルチデバイス方式ワイヤレス給電システムの伝送コイル形状の検討

古里洸一、野中崇、田倉哲也*、佐藤文博**、松木英敏**
 (八戸工業高等専門学校、*東北工業大学、**東北大学)

A study on transmission coil in multi-device type wireless transmission system

K. Furusato, T. Nonaka, T. Takura*, F. Sato**, H. Matsuki**
 (Hachinohe Nat. Coll. Tech., *Tohoku Inst. Tech., **Tohoku Univ.)

序論

近年、モバイル機器の普及が著しいものとなっている。そこでモバイル機器の充電に関する利便性を向上することが求められる。これらの問題を解決する技術のひとつにワイヤレス電力伝送技術がある。給電システムには給電ステーション上のどの場所にモバイル機器をおいても、電力伝送効率と機器の受電電圧が安定することが要求される。しかし、送電コイルと受電コイルの位置関係のずれが生じることによって、結合係数が変化するため、結果的に電力伝送効率や受電電圧の変動を招く。よって本研究では、送受電コイル間の結合係数の分布がコイルの位置関係によって変化しないための最適な1次側送電コイル形状を検討した。

コイルの作成と評価

送受電コイル間の結合係数の理論計算¹⁾を行い、送電コイルの形状の最適化を行った。送電側の複数巻円形ステーションコイルを複数の円形コイルの組み合わせとして近似して、過去に検討されたコイル²⁾の大きさ、巻数を変更せずに形状を改良した。最適化対象のモバイルコイルは半径 20 mm のものを使用し、送受電コイル間の距離は 6 mm とした。提案したコイルの外観を Fig. 1 に示す。Fig. 1 のコイルを用いて空心での結合係数分布の測定を行った。コイルの横ずれによる結合係数の変化量は改良前より小さくなり、結合係数の位置特性の改善がコイル形状の変更によって可能であるといえる。

効率の改善のためにフェライト挿入する場合を考慮し、電磁界シミュレータ Maxwell 3D を用いて、コイル中心軸が一致した状態での結合係数と受電コイルサイズとの関係を検証した。シミュレーション条件は前述のコイルを用い、受電コイル半径を 20 mm から 50 mm まで検証を行った。Fig. 2 にその結果を示す。グラフ内の k_a は空心での、 k_f はフェライトを使用した場合の結合係数をそれぞれ示している。フェライトによる変化率は空心に比べ 120 % 程度の一定の値で推移していたことから、空心での理論計算結果に 120 % 程度の比を乗じることでフェライトを設置した場合の特性についてもおおそ得ることができる。

参考文献

- 1) 古里洸一、野中崇、田倉哲也、佐藤文博、佐藤忠邦、松木英敏: マルチデバイス方式ワイヤレス電力伝送の送電コイルの数値解析, 平成 25 年度電気関係学会東北支部大会講演論文集 (2013)
- 2) T. Futatsumori, T. Nonaka, T. Tetsuya, F. Sato, T. Sato, and H. Matsuki: Contactless Power Transmission System of Station-type Charger in Mobile Device, J. Magn. Soc. Jpn., 36, pp. 131~134 (2012).



Fig. 1. Proposed station coil in supply side.

(Left side : Primary coil. Right side : Secondary coils)

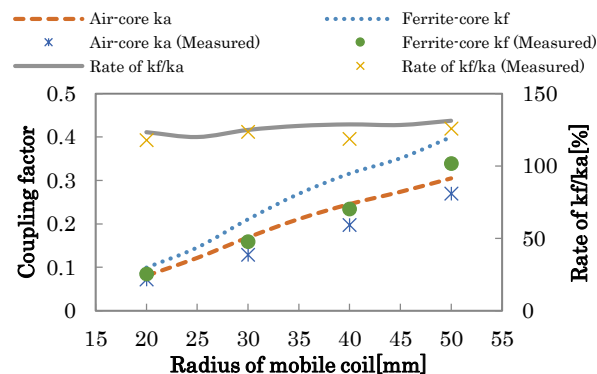


Fig. 2. Effect of coupling factor by ferrite.

極低磁場核磁気共鳴を想定した強磁性トンネル接合磁場センサによる微弱磁場検出

遠藤基¹、水上成美²、藤原耕輔¹、西川卓男³、大兼幹彦¹、永沼博¹、安藤康夫¹
(東北大¹、東北大 WPI²、コニカミノルタ³)

Weak field detection using MTJs magnetic sensor aimed at ultra-low-field nuclear magnetic resonance

M. Endo¹, S. Mizukami², K. Fujiwara¹, T. Nishikawa³, M. Oogane¹, H. Naganuma¹ and Y. Ando¹
(Tohoku Univ.¹, WPI-AIMR, Tohoku Univ.², Konica Minolta³)

はじめに

近年、極めて低い磁場下における核磁気共鳴(ULF-NMR)に注目が集まっている。その理由として、低磁場において低歪、高コントラストな磁気共鳴画像を得られることが挙げられる。現在、ULF-NMRには SQUID を応用した磁場センサがよく用いられているが、SQUID の動作は低温に限定されているため、これに代わる室温で動作する高感度磁場センサが求められる。100 μm 程度の静磁場中では、NMR のラーモア周波数は kHz 帯である。従って、我々は ULF-NMR を想定し、静磁場および周波数 kHz の微弱交流磁場をセンサに印加する測定系を構築し[1]、強磁性トンネル接合(MTJ)磁場センサの磁場検出能力を評価した。

実験方法

成膜は超高真空マグネトロンスパッタ法を用いて行った。膜構成は Si/SiO₂/Ta (5)/NiFe (70)/Ru (0.85)/CoFeB (3)/MgO (2.5)/CoFeB (3)/Ru (0.85)/CoFe (5)/IrMn (10)/Ta (5)/Ru (8) (膜厚:nm)とした。ゼロ磁場付近で直線的な応答を示す磁気抵抗曲線を得るため、自由層と固定層の磁化容易軸を直交化させた。さらに 1/f ノイズを低減するため、一万個の MTJ を直並列に接続した。また、直流二端子法により MTJ 磁場センサの磁気抵抗を測定した。MTJ 磁場センサの磁場検出能力評価にはスペクトラムアナライザを用い、ヘルムホルツコイルおよびワンターンコイルにより静磁場および微弱交流磁場を各々印加した。バイアス電流の印加には定電流源を用いた。

実験結果

Fig. 1 に MTJ 磁場センサへ 20 mA の電流を印加した際のゼロ磁場付近における磁気抵抗曲線を示す。ゼロ磁場付近の抵抗の変化から、MTJ 磁場センサの感度は 110%/mT であることが分かった。現在、最も高感度な MTJ 単素子の感度は 400 %/mT であり[2]、このセンサの感度はその 1/4 程度である。Fig. 2 に周波数 2.2 kHz の微弱磁場を印加した際の実出力電圧スペクトルを示す。ここでは MTJ の感度が最大となるように静磁場を印加している。交流磁場周波数における電圧のピーク値とノイズスペクトルの平均値から、この MTJ 磁場センサの磁場検出能力は 200 pT/Hz^{0.5} と見積もられた。この磁場の値は ULF-NMR において 1 cc の水の核磁気により距離数 cm の所に発生する微弱磁場の大きさである。

謝辞

本研究の一部は JST 研究成果展開事業「戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)」の支援により行われた。

参考文献

- 1) M. Endo *et al.*, The abstract of the 74th JSAP Autumn Meeting, 16p-P5-1 (2013).
- 2) D. Kato *et al.*, Appl. Phys. Express **6**, 103004 (2013).

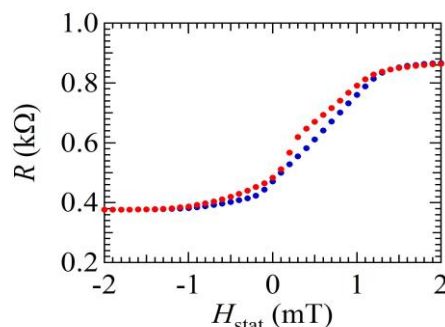


Fig. 1 Magnetoresistance curve of a MTJ sensor with bias current of 20 mA

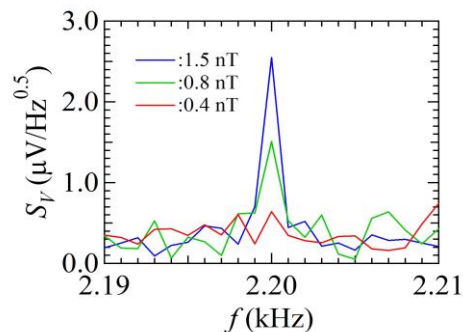


Fig. 2 Voltage spectrum of current-biased MTJ sensor when alternating magnetic field with frequency of 2.2 kHz was applied

高感度磁気インピーダンスセンサによる脳波 N100 および P300 信号の検出

王 可望、田島真吾、内山 剛、中山晋介
(名古屋大学)

N100 and P300 Brain Waves Detection Using Highly Sensitive Magneto-impedance Sensor

K. Wang, S. Tajima, T. Uchiyama
(Nagoya Univ.)

はじめに これまでに、パルス通電による磁化回転を利用した磁気インピーダンス (MI) センサにより、ピコテスラオーダーの磁界検出分解能が実現されている^[1]。我々は、磁気インピーダンスセンサの小型で操作性に優れた特徴を利用して、人体表面における生体磁場を近接的に計測する方法を検討している。これまでの実験結果から、数十 pT 程度の大きさの脳波に類似する磁気信号が後頭部や頭頂部付近で検出できることが分かってきた^[2]。一方、SQUID による、脳磁場計測の事例では、その信号の大きさは fT オーダーである。すなわち、MI センサにより計測される頭部付近の生体信号は、SQUID による計測事例より、数十倍から数 100 倍程度信号が大きいためシールドレスでの計測も可能である。本研究では、MI センサを利用して、脳波 N100 および P300 信号の検出を行った。

実験結果

事象関連電位 P300 信号を検出するためにまず、後頭部の生体磁気を計測した。高音 (2000 Hz) の標的信号は低確率 ($p = 0.2$) で提示され、標準の低音域信号 (1000 Hz) は、高確率で ($p = 0.8$) 提示された。被験者には、標的信号に応じて、左手側のスイッチを押すように指示を行った。図 2 は、オドボール課題により得られた、後頭部の生体磁気信号の時間領域波形を示す。25 回の測定結果の平均として求めた結果である。各信号は -100ms から 0ms の平均値をオフセットとして補正した。標準刺激に対する反応波形が時間に対してほぼ一定 (平坦) なのに比べて、標的刺激では、 300ms 付近で波形が大きく変化することが示されている。さらに、頭頂部の磁気信号に関しては、研究室の 4 名の被験者から、P300 と考えられる信号を検出した。また、脳波 N100 を検出するために、2 名の被験者に対して聴覚刺激の実験を行った。磁場に換算して $20\text{--}30\text{pT}$ の大きさの信号ピークが、100 回の加算平均により、 100ms 付近に観測された。

[1] T. Uchiyama, K. Mohri, Life Fellow, IEEE, Y. Honkura, and L. V. Panina, "Recent Advances of Pico-Tesla Resolution Magneto-Impedance Sensor Based on Amorphous Wire CMOS IC MI Sensor," IEEE Trans. Magn., vol. 48, no.11, pp. 3833-3839, Nov. 2012.

[2] S.Tajima, T. Uchiyama, Y. Okuda, and K. Wang, "Brain activity measurement in the occipital region of the head using a magneto-impedance sensor," Seventh International Conference on Sensing Technology, pp.267-270,3-5,Dec.2013.

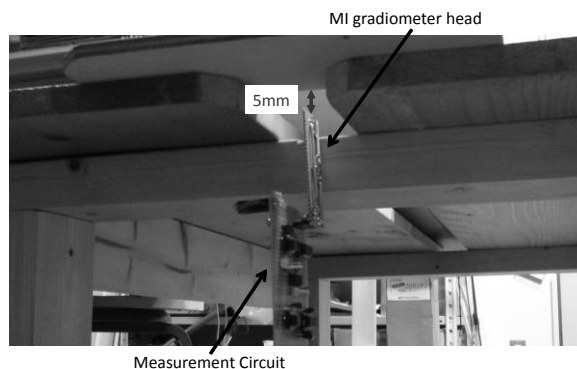


Fig.1 Magnetic field measurement system at in the occipital region using MI sensor

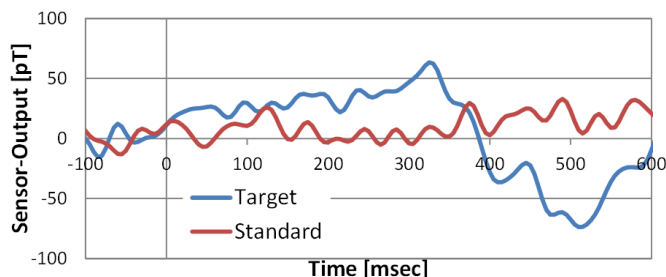


Fig. 2 Time series of magnetic wave forms in the occipital region due to oddball paradigm

磁気シールドルームの低周波遮蔽性能評価法の検討

その3 1層シールドルームのコイル配置条件

米山祐太^{*1}, 酒井昭彦¹, 結城聡², 風見邦夫², 山崎慶太³, 新納敏文⁴, 山口孝夫⁵, 村松和弘⁶
 (¹技研興業, ²横河電機, ³竹中工務店, ⁴鹿島建設, ⁵大同プラント工業, ⁶佐賀大学)

Investigation on method for evaluation of shielding factor of magnetically shielded room applied magnetic field with low-frequency. Part 3. Placement condition of coil on single-layered shielded room.

Yuta Yoneyama¹, Akihiko Sakai¹, Satoshi Yuuki², Kunio Kazami², Keita Yamazaki³, Toshifumi Shinnoh⁴, Takao Yamaguchi⁵, Kazuhiro Muramatsu⁶
 (¹Giken-kogyo Corp., ²Yokogawa Electric Corp., ³Takenaka Corp., ⁴Kajima Corp., ⁵Daido Plant Industries Corp., ⁶Saga Univ.)

まえがき

(社)電子情報技術産業協会 (JEITA) 金属磁性材料標準化専門委員会 (現 磁気シールドルーム G) は, 2012年1月に JEITA EM-4502 規格「磁気シールドルームの超低周波 (1Hz 以下) 環境変動磁気ノイズに対する遮蔽性能評価法」¹⁾を制定した. 引き続き, 姉妹版の 1Hz よりも高い周波数 (低周波と称す) の遮蔽性能評価法の規格化を検討している. 本報では, 商用周波数 (55Hz) に対する 1層磁気シールドルーム (MSR) の遮蔽性能評価法の検討として, MSR の形状を変えたときのコイル配置条件の妥当性について解析により検証する.

遮蔽性能評価とコイル配置条件

MSR の寸法を幅 W , 奥行 D , 高さ H , 正方形励磁コイル一辺の長さを L_c , MSR 扉面からコイルまでの離隔距離を L_g として, コイル配置条件を設定した. 遮蔽性能 SF の過大評価を防ぐため, 磁気シールドの弱点部である扉面にコイルを設置し, 磁界を印加する.

L_c は扉の幅 D_w 以上とする. また, L_g は EM-4502 規格に従い, コイル中心を MSR 扉面の中心に合わせる. 磁束強度分布に偏りがあるため²⁾, 中心から範囲を広げて評価をする必要がある. そこで, シールドがない場合の MSR 中心点の磁束密度を B_0 , シールドされた時を B_0 , 中心点周辺の 4 点の磁束密度を B_a, B_b, B_c, B_d とし (Fig.1), 遮蔽性能 SF を式(1)と定義した.

$$SF = 8B_0 / (4B_0 + B_a + B_b + B_c + B_d) \quad (1)$$

MSR 形状と設定誤差の検討

前章で述べた条件のコイル配置における SF と一様磁界の SF_0 を比較し, 誤差を検討する. $L_c=1435\text{mm}$ とし, MSR 形状 (パーマロイ 1層, 銅 1層) を基本モデル, $D=3000\text{mm}$ モデル, $W=3000\text{mm}$ モデルに設定して, 有限要素法による渦電流を考慮した三次元線形磁界解析を行った (Fig2).

その結果, 基本モデル, $D=3000\text{mm}$ モデル, $W=3000\text{mm}$ モデルでは EM-4502 規格のコイル配置条件での誤差 (SF_0 に対する SF の比率) はそれぞれ 40%, 19%, 59% となり, MSR 形状によっては著しく SF が低く評価されることが分かった (Fig3).

今後は, 誤差を考慮した上で, 規格化に向けて多様な MSR の形状に対応した条件を検討したい.

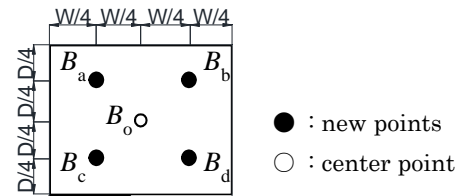
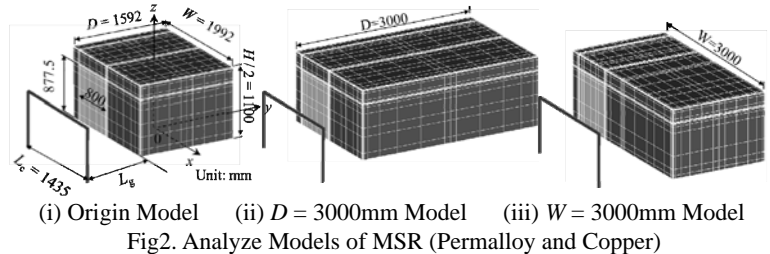
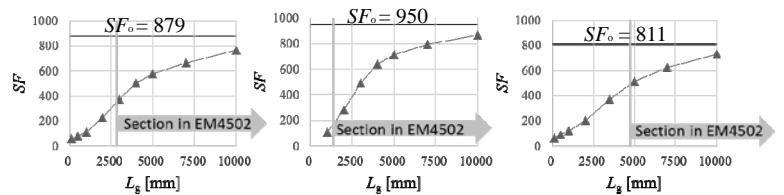


Fig.1 Evaluation Points around the Center Point



(i) Origin Model (ii) $D=3000\text{mm}$ Model (iii) $W=3000\text{mm}$ Model
 Fig2. Analyze Models of MSR (Permalloy and Copper)



(i) Origin Model (ii) $D=3000\text{mm}$ Model (iii) $W=3000\text{mm}$ Model
 Fig3. SF vs L_g (55Hz)

参考文献

- 1) JEITA: 「磁気シールドルームの超低周波 (1Hz 以下) 環境変動磁気ノイズに対する遮蔽性能評価法」, EM-4502, 2012
- 2) 米山 他: 「磁気シールドルームの遮蔽性能評価法の検討 その1 遠方磁気ノイズに対する遮蔽性能評価法」第37回日本磁気学会学術講演会
- 3) 山崎 他: 「環境磁気ノイズと磁気シールド」第28回日本生体磁気学会

磁気シールドルームの低周波遮蔽性能評価法の検討

その4 2層シールドルームの測定結果

結城聡¹, 風見邦夫¹, 米山祐太², 酒井昭彦², 山崎慶太³, 新納敏文⁴, 山口孝夫⁵, 村松和弘⁶
 (¹横河電機, ²技研興業, ³竹中工務店, ⁴鹿島建設, ⁵大同プラント工業, ⁶佐賀大学)

Investigation on method for evaluation on shielding factor of magnetically shielded room applied magnetic field with low frequency. Part 4. Measurement results of double-layered shielded room.

Satoshi Yuuki¹, Kunio Kazami¹, Yuta Yoneyama², Akihiko Sakai², Keita Yamazaki³, Toshifumi Shinnoh⁴, Takao Yamaguchi⁵, Kazuhiro Muramatsu⁶
 (¹Yokogawa Electric Corp., ²Giken-kogyo Corp., ³Takenaka Corp., ⁴Kajima Corp., ⁵Daido Plant Industries Corp., ⁶Saga Univ.)

まえがき

(社)電子情報技術産業協会 (JEITA) 磁気シールドルーム G では、一様磁界における 1Hz 以下 (超低周波) の磁気シールドルーム (MSR) の遮蔽性能評価法¹⁾に続き、現在、渦電流の影響が無視できない 1Hz より高い周波数 (低周波) の遮蔽性能評価法の規格化を検討している。これまで、導電層を含み渦電流による遮蔽効果を有する 1層 MSR (パーマロイ 1層, 銅 1層) に励磁コイルを用いて磁界を印加し、コイルの大きさと離隔距離を変化させた実測及び解析による検証を行ってきた²⁾。

本報告では、より遮蔽性能が高い 2層 MSR について 1層と同様の効果が得られるか実測にて検証する。

磁気シールドルームと励磁コイル配置

Fig.1 に測定に用いた MSR を示す。幅 $W=3,004\text{mm}$, 奥行き $D=3,004\text{mm}$, 高さ $H=3,004\text{mm}$ で、パーマロイ 2層 (2mm), アルミ 2層 (4mm) を内側よりパーマロイ, アルミ, アルミ, パーマロイの順で構成された立方体 MSR である。励磁コイルは、各方向とも MSR の扉面片側で中心軸に一致するように配置する。MSR がない場合の中心点での磁界 B_0 と MSR がある場合の漏洩磁界 B_m を測定して遮蔽性能 $SF (=B_0/B_m)$ を求めた。励磁コイルの大きさ L_c を $1,435\text{mm}$ とし、離隔距離 L_g を変化させ、x, y, z 方向の SF を測定する。

実験結果

Fig.2 に $L_g=1,200\text{mm}$, 周波数 $0.75\sim 200\text{Hz}$ の範囲で変化時の各方向の遮蔽性能特性を示す。各方向とも周波数が高くなると SF は大きくなり、x, z 方向は 5Hz, y 方向は 10Hz で最大となり、それ以降は小さくなる。1層 MSR の実測では、ピークが発生しなかったため、傾向に違いがある。 SF の大きさは、y 方向が x, z 方向に比べ約 1 桁大きくなっている。また、1層 MSR の SF と比べ、1 桁以上の大きい遮蔽効果がある。

Fig.3 に周波数 55Hz, $L_g=500\sim 3,000\text{mm}$ の範囲で変化時の各方向の遮蔽性能特性を示す。各方向とも L_g が大きくなると SF も大きくなり、1層 MSR 同様の傾向を示している。

まとめ

2層 MSR において 1層 MSR と同様の評価を行い、同じ傾向を示す距離特性とピークの有無が発生する周波数特性を確認することができた。今後は、1層 MSR と同様に解析による検証を実施し、実測と解析結果の比較検証を行い、2層 MSR にも適用できる遮蔽性能評価法を検討していく。

参考文献

- 1) JEITA : 「磁気シールドルームの超低周波 (1Hz 以下) 環境変動磁気ノイズに対する遮蔽性能評価法」, JEITA 規格 EM-4502, 2012
- 2) 米山 他 : 「磁気シールドルームの低周波遮蔽性能評価法の検討 その3 1層シールドルームのコイル配置条件」, 第38回日本磁気学会学術講演会

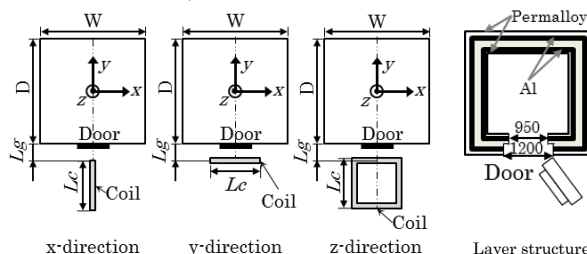


Fig.1 Experimental MSR and Exciting Coil

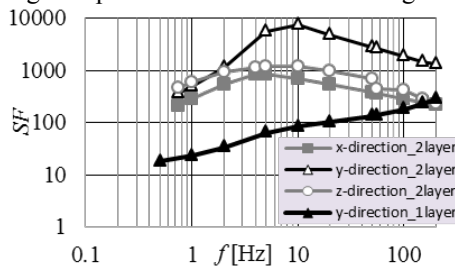


Fig.2 SF vs frequency ($L_c=1,435\text{mm}$, $L_g=1200\text{mm}$)

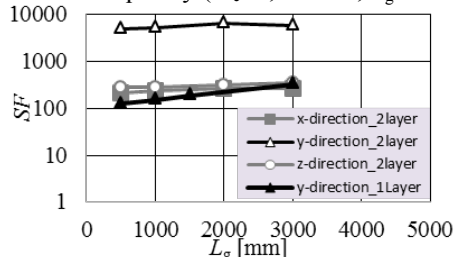


Fig.3 SF vs L_g ($L_c=1,435\text{mm}$, $f=55\text{Hz}$)

Improvement of Mechanical Stability and Dispersion of Hollow Porous Au/FePt Nanocapsules with Thermally Fused Netlike Shell

R. Zhang, Y. Kitamoto

Department of Innovative and Engineered Materials, Tokyo Institute of Technology, Japan

Introduction

A novel multifunctional nanocapsule with hollow interiors and porous Au/FePt shells has been developed for image-guided photothermal therapy and drug delivery. This architecture has strong plasmon resonance in NIR range, high magnetic response, and drug loading capability. In our previous work, we successfully fabricated hollow porous Au/FePt nanocapsules using silica spheres as template and improved their pore structure and magnetic properties of the thermally fused netlike shell by high-temperature high-pressure treatment (HTHP) in suspension. However the agglomeration and destruction of Au/FePt nanocapsules were observed after HTHP. In this work, a silica coating was prepared on the surface of Au/FePt/silica composite spheres to protect them from agglomeration and destruction during HTHP. The Au/FePt nanocapsules showed a better dispersion and higher mechanical stability even after removing silica spheres and the silica coating layer.

Experiment

Firstly, as-prepared Au/FePt silica spheres were modified with Polyvinylpyrrolidone (PVP). Then the PVP-modified Au/FePt silica spheres were dispersed in a mixture of ethanol, deionized water, and ammonia aqueous solution. TEOS was added drop-wise to the mixed solution. After being stirred for 2 h, the products were washed and then redispersed in ethanol. The ethanol solution of silica-coated Au/FePt silica spheres were HTHP-treated at 573 K for 1 h. The purified particles were stirred in NaOH solutions to dissolve both of silica coating and silica cores. Finally hollow Au/FePt nanocapsules were purified, and their morphology, crystallographic structure, optical and magnetic properties were investigated.

Results and discussion

TEM images of the Au/FePt/silica composite spheres at various steps are shown in Fig.1. A solid and uniform silica coating with the thickness of about 50 nm was prepared on the surface of Au/FePt/silica composite spheres. After HTHP, metallic nanoparticles deposited on the silica template sphere were thermally fused together, forming the Au/FePt netlike shell. The influence of silica coating during the fusion process of metallic nanoparticles was investigated in details by transmission electron microscopy (TEM) and X-ray diffraction. There was no obvious difference in the fusion process between Au/FePt silica spheres with and without the silica coating. After dissolving the silica coating and silica sphere, hollow Au/FePt nanocapsules with the pores of ~40 nm in diameter were obtained. TEM images and data of particle size distribution showed these hollow capsules have a better dispersion and higher mechanical stability. Magnetic properties of the nanocapsules were not influenced by the silica coating.

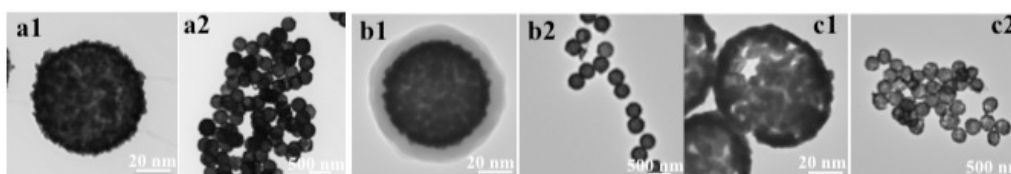


Fig.1 TEM images of Au/FePt/silica composite spheres (a1, a2), silica-coated Au/FePt/silica composite spheres (b1, b2), and hollow porous Au/FePt nanocapsules (c1, c2)

異方的形状を持つ強磁性酸化鉄ナノ粒子の作製と評価

堀内あかり、Hawa Latiff、関淳史、大田浩司、岸本幹雄、山本真平*、柳原英人、喜多英治
(筑波大物工、*京都大)

Synthesis of iron oxide nanoparticles having anisotropic shape

A. Horiuchi, H. Latiff, A. Seki, K. Ota, M. Kishimoto, H. Yanagihara, E. Kita

(Institute of Applied Physics, University of Tsukuba, *Kyoto Univ.)

背景

近年、交流磁場中での磁性流体の発熱を利用した磁気温熱治療法が検討されている。我々は、生体適合性に優れた板状酸化鉄ナノ粒子(DINP¹⁾)において大きな発熱量を見出し、形状異方性が発熱に寄与すると推察して検討を進めている²⁾。ここでの板状形状は前駆体となる板状 α -FeOOH ナノ粒子の合成時に形成されたものであるが、形状を最終生成物まで維持することは困難である。形状崩壊の原因は、高温の還元反応による焼結、強磁性体への還元に伴う結晶構造の変化などが考えられる。そこで本研究では、前駆体の形状を維持しつつ強磁性化する手法を見出すこととした。まず板状 α -FeOOH ナノ粒子を SiO_2 で厚く被覆し、結晶構造の変化に伴う粒子成長や溶解析出を防止する。更に、低温で強い還元力を持つ CaH_2 を還元剤として採用し、焼結の抑制を検討した。

実験

水熱法によって合成した板状 α -FeOOH ナノ粒子の表面に、 $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ の加水分解によって SiO_2 を析出させた。これを CaH_2 で還元して Fe_3O_4 とし³⁾、水を添加して分散させた。TEMとXRDによる観察と結晶構造解析、VSMによる磁気特性評価、DLSによるサイズ測定を行った。

結果

Fig. 1に、水熱法によって合成した板状 α -FeOOH ナノ粒子の粒度分布ヒストグラムを示す。粒子の形状は楕円板状をしており、長径と短径についてそれぞれ粒度分布を測定した。粒子サイズやアスペクト比は反応温度等の合成条件に依存して容易に変化させられることが明らかになっている。

Fig. 2に、長径70 nm、アスペクト比約2の SiO_2 被覆板状 α -FeOOH ナノ粒子のTEM像を示す。板状 α -FeOOH ナノ粒子の表面に、均一な厚みの SiO_2 が析出した。Fig. 3に、無被覆 α -FeOOH粒子と SiO_2 被覆 α -FeOOH粒子のXRDパターンを示す。 SiO_2 被覆した粒子のパターンから、非晶質 SiO_2 の存在が示唆された。講演では、反応条件を広範囲に変え、形状及び磁気特性との関係を報告する。

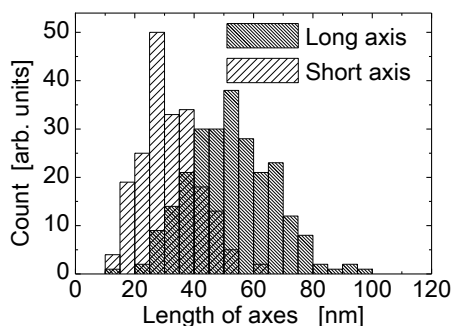


Fig. 1
TEM photographs of α -FeOOH nanoplates synthesized by hydrothermal treatment

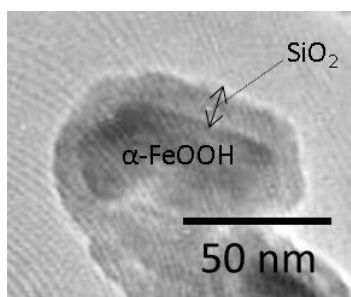


Fig. 2
TEM photographs of α -FeOOH nanoplates coated with SiO_2

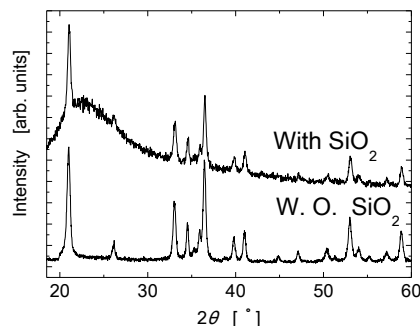


Fig. 3
XRD patterns of α -FeOOH nanoparticles

参考文献

- 1) M. Kishimoto, *et al.*, J. Magn. Magn. Mater., **324** (2012) 1285
- 2) 関淳史：筑波大学数理工学研究所電子・物理工学専攻修士論文(2014)
- 3) S. Yamamoto, *et al.*, Chem. Mater. **23** (2011) 1564–1569

生体親和性の高いハイドロキシアパタイト-(LaSr)MnO₃ ハイブリッド微粒子の合成

杉田秀次、Das Harinarayan、坂元尚紀、青野宏通*、篠崎和夫**、鈴木久男、脇谷尚樹、
(静岡大、*愛媛大、**東京工大)

Synthesis of biocompatible hydroxyapatite-lanthanum strontium manganite hybrid particles
S.Sugita, N.Sakamoto, H.Aono*, K.Shinozaki**, H.suzuki, N.Wakiya
(Shizuoka Univ., *Ehime Univ., **Tokyo Tech.)

はじめに

(La_{0.77}Sr_{0.23})MnO₃(LSMO)は約 50~60℃付近にキュリー温度(Tc)を有するため、高周波印可によって自己発熱させた場合にはこれ以上の昇温をしないという、発熱量の制御が可能な磁性体である。一方、LSMO は重金属を含む物質であり、生体親和性が低い。本研究では、LSMO 微粒子の表面をハイドロキシアパタイト(HAp)で被膜した、コアシェル型ハイブリッド微粒子を合成することにより、生体親和性の高い HAp-LSMO ハイブリッド微粒子の合成を目指した。

実験方法

HAp-LSMO ハイブリッド微粒子は超音波噴霧熱分解と SBF(Simulated Body Fluid)浸漬を組み合わせることにより合成を行った。まず、硝酸ランタン六水和物、硝酸ストロンチウム、硝酸マンガン六水和物を使用し、超音波噴霧熱分解により LSMO を合成した。合成された LSMO を遊星ボールミルにより解砕した後、HAp の前駆体溶液に分散させ、再び超音波噴霧熱分解することにより、HAp で被膜された LSMO 微粒子の合成を試みたが、この段階では HAp 層の厚さが薄いため、LSMO からの重金属の流出を抑制することは難しい。そこで、この複合微粒子を疑似体液(SBF 溶液)に浸漬させて HAp 被膜層の膜厚の増加を目指した。浸漬溶液には 1.0SBF と濃度が 1.5 倍である 1.5SBF を使用した。また、体内と同様の pH7.4、36.5℃の条件下で 2 週間浸漬させた。得られた試料は、結晶構造、組成、被膜厚さ、溶出測定、磁気特性及び高周波を印可した際の発熱特性を評価した。

実験結果

XRD、SEM-EDS の結果より、粒子が LSMO、HAp によって構成されており、また LSMO が HAp によって被膜されていることが確認できた。Figure.1 に超音波噴霧熱分解後(SBF 浸漬前)と SBF 浸漬後の粒子の SEM 画像を示す。SEM 画像より、浸漬後の粒子は浸漬前と比べ表面構造が変化しており、浸漬後の粒子表面には凹凸があることが確認できる。HAp は棒状の結晶成長がすることが知られており、HAp 結晶の表面は凹凸ができやすいとされている。そのため、SBF 浸漬によって被膜厚さ及び、溶出抑制効果の向上が示唆された。

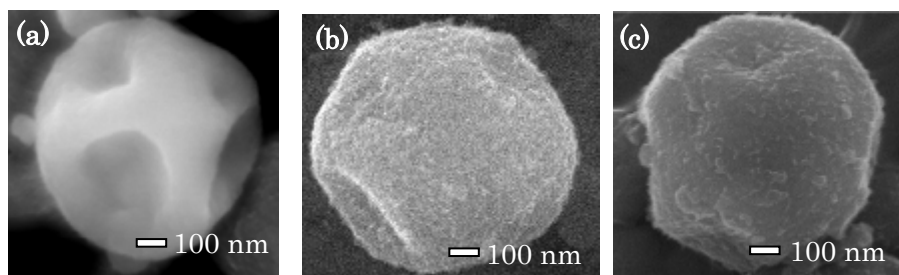


Fig.1. SEM micrographs of LSMO-HAp hybrid particles.

(a) before soaking (b) after soaking in 1.0SBF (C) after soaking in 1.5SBF

参考文献

- 1) A.Inukai, et al, J. Magn. Magn. Mater., 323, (2011), 965
- 2) Marc. Bohner, et al, Biomaterials, 30,(2009), 2157
- 3) G.-H.An et al, Mater. Sci. Eng. A, (2007), 449

広範囲の交流磁界条件に適用可能なマグネタイトナノ粒子の合成物性と発熱特性

岩本多加志、徳永充子、水野篤、間宮広明*、ジョン クヤ、宮村弘、
 バラチャンドラン ジャヤデワン
 (滋賀県立大学、*物質材料研究機構)

Development of synthesis technology for particles suitable magnetic hyperthermia in wide magnetic field and frequency range

T. Iwamoto, M. Tokunaga, A. Mizuno, H. Mamiya*, J. Cuya, H. Miyamura, B. Jeyadevan
 (The University of Shiga Prefecture, *National Institute for Materials Science)

1. 緒言

近年、患者への負担が少ない効果的な癌治療法として、磁性ナノ粒子を用いた磁性流体温熱療法(MFH)が注目されている。実際に MFH で用いる磁場は比較的大きく、こうした磁場中での磁性ナノ粒子の発熱挙動はシミュレーションによって予測しなければならない¹⁾。しかし、このシミュレーションの妥当性は未だ証明されていない。本研究では、単分散で、粒径を制御したマグネタイトナノ粒子を化学合成で作製し²⁾、そのナノ粒子の広範囲交流磁場下における粒径に依存した発熱挙動を実験的に明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

典型的な合成方法として、既存の方法を改良して、オレイン酸とオレイルアミンの混合溶液に、金属前駆体として鉄(III)アセチルアセトナート($\text{Fe}(\text{acac})_3$)を加え、室温で 1.0 h 攪拌したのち、280 °C で 2.0 h 加熱還流を行った²⁾。その後、反応溶液を室温に戻し、洗浄を繰り返した。作製したナノ粒子の粒径および形状評価には透過型電子顕微鏡(TEM)を用い、発熱特性評価には交流磁場発生装置を用いた。

3. 結果と考察

$\text{Fe}(\text{acac})_3$ の濃度を変化させることにより、平均粒径 7.0–17.4 nm のマグネタイトナノ粒子の合成に成功した。様々な交流磁界下における試料の発熱特性を評価した結果、平均粒径 16.6 nm の試料(Fig. 1)が最も高い発熱を示し、その比吸収熱量(SAR)は 88.8 W/g であった(Fig. 2)。粒径 17.7 nm のナノ粒子は、分散性に乏しく、低い SAR 値を示した。ナノ粒子の磁化測定を行ったところ、他の試料と比較して、この試料は低磁場での磁気応答が敏感なため、外部磁場によるエネルギーの増大を効率良く熱エネルギーに変換できたと考えられる。

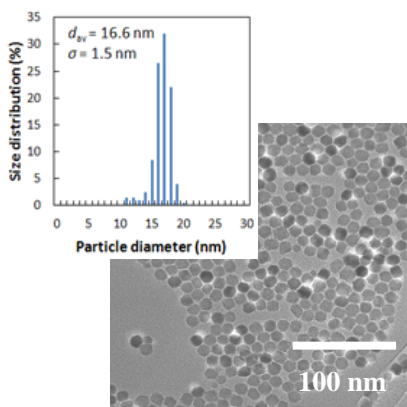


Fig. 1 TEM photographs of magnetite nanoparticles with 16.6 nm in diameter. The inset is a size distribution histogram.

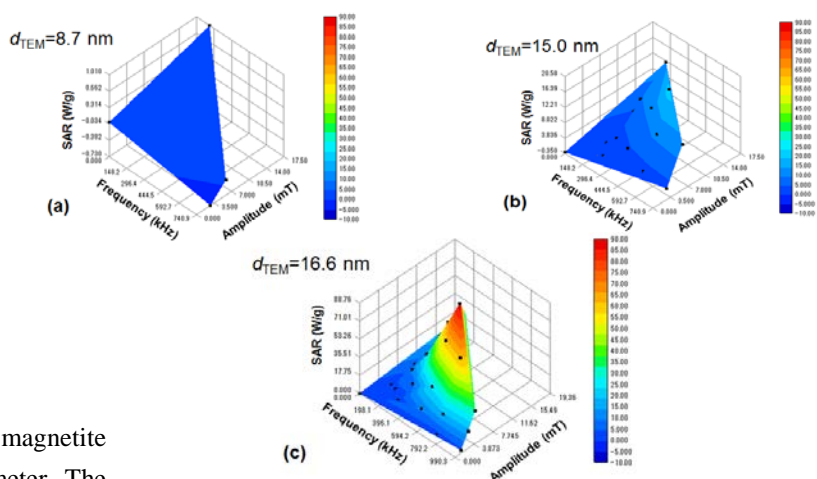


Fig. 2 Heat dissipation properties of (a) 8.7, (b) 15.0, and (c) 16.6 nm magnetite nanoparticles under various AC magnetic fields and frequencies.

参考文献

- 1) M. Suto et al., J. Magn. Magn. Mater. 321 (2009) 1493.
- 2) T. Kikuchi et al., J. Magn. Magn. Mater., 323 (2011) 1216.

磁気ナノ粒子体積分布の混合対数正規分布によるモデル化

笹山 瑛由、吉田 敬、圓福 敬二
(九州大学)

Modeling of Volume Distribution of Magnetic Nanoparticles by a Mixture of Log-normal Distributions
Teruyoshi Sasayama, Takashi Yoshida, Keiji Enpuku
(Kyushu University)

1. はじめに

磁気マーカーイメージングや磁氣的ハイパーサーミア等に磁気マーカーが幅広く用いられている。磁気マーカーを用いる際には、その磁気特性を正確に把握する必要がある。一方、磁気マーカーは磁気ナノ粒子の凝集体からなるが、その凝集の程度は一様でないため、磁気マーカーの磁気ナノ粒子の体積は分布する。

代表的な磁気マーカーである Resovist の磁気ナノ粒子の体積分布を、2 つの混合対数正規分布でモデル化する報告¹⁾があるが、その妥当性については十分検証されていなかった。一方、この体積分布を磁気マーカーの $M-H$ カーブより分析する方法として、特異値分解法 (SVD 法) を用いた分析方法²⁾が提案されている。そこで本稿では、SVD 法によって得られた体積分布が混合対数正規分布でモデル化できるか否かについて検証する。

2. 方法

磁気ナノ粒子の直径 d_c に対する体積分布が、次式のような混合対数正規分布に従うとモデル化する。

$$n_c(d_c)V_c = \sum_{k=1}^K w_k \text{LN}(d_c; \mu_k, \sigma_k^2) \quad \text{where } \text{LN}(d_c; \mu_k, \sigma_k^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_k d_c} \exp\left[-\frac{(\ln d_c - \mu_k)^2}{2\sigma_k^2}\right]$$

ここで、 $n_c(d_c)$ および V_c はそれぞれ磁気ナノ粒子の直径が d_c の粒子数および一個当たりの体積、 K は体積分布のピーク数、 w_k は重み、 $\text{LN}(d_c; \mu_k, \sigma_k)$ は対数正規分布であり、 d_c の対数を取ったときに平均値 μ_k 、標準偏差 σ_k の正規分布に従う。この分布と SVD 法によって得られた体積分布との差の二乗和を最小とする最適化問題を解くことで w_k および σ_k を求めた。なお、 μ_k は SVD 法によって得られる体積分布においてピーク値を取る d_c より算出した。

また本稿では、SVD 法の適用前に $M-H$ カーブの磁気飽和部分の傾きを差分することで計測誤差を抑制した。

3. 結果

図 1 に SVD 法による磁気ナノ粒子体積分布の結果と、混合対数正規分布でモデル化した結果を示す。SVD 法によって得られた体積分布において、 d_c が 5.0 nm と 18.9 nm でピークが見られた。それぞれのピークに対応する対数正規分布の標準偏差は各々 3.8×10^{-1} 、 4.6×10^{-1} であった。図 1 の結果より、体積分布は 2 つの対数正規分布の混合分布に従っていると言える。この結果より、Resovist の磁気ナノ粒子の体積分布を 2 つの対数正規分布の混合分布でモデル化した他の報告¹⁾を裏付ける結果が得られた。

参考文献

- 1) D. Eberbeck, F. Wiekhorst, S. Wagner, and L. Trahms, Applied Physics Letters 98, 182502 (2011)
- 2) T. Yoshida, N. B. Othman., T. Tsubaki, J. Takamiya, and K. Enpuku, IEEE Trans. Magn. 48, 3788 (2012)

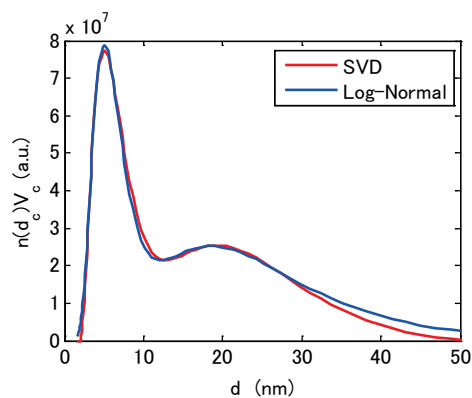


Fig 1. Volume distributions of the magnetic nanoparticles and the fitting of a mixture of log-normal distributions.

磁気ナノ粒子における第三高調波の特性評価

廣川 愛生*, 白石, 田邊 一博, 吉田 敬, 圓福 敬二
九州大学システム情報科学府

Characterization of the Third Harmonics for Magnetic Nanoparticles
Aiki Hirokawa, Shi Bai, Kazuhiro Tanabe, Takashi Yoshida, Keiji Enpuku
Kyushu Univ.

1. 序論

磁気ナノ粒子はナノサイズの強磁性体であり、その表面に検査試薬や薬剤等を結合したものは磁気マーカーと呼ばれる。近年、磁気マーカーからの磁気信号を利用して癌等の疾病領域を高感度・高分解能に画像化する MPI (磁気粒子イメージング) と呼ばれる手法が医療診断において注目されている。我々の MPI システムにおいては、磁気ナノ粒子の磁化応答の高調波信号を抽出し、得られた信号電圧データから粒子分布画像を再構築する。本稿では、画像再構築を行うための粒子モデルについて検討し、システムの性能改善を狙う。

2. 磁気ナノ粒子の第三高調波特性

磁気ナノ粒子の磁化特性は一般的に以下の Langevin 関数で表される。

$$L(mB/k_B T) = \coth(mB/k_B T) - k_B T/mB \quad (1)$$

ここで、 m は粒子の磁気モーメントである。MPI における実際の粒子の特性を調査するため、Resovist(富士フィルム RI ファーマ)60 μ l に純水を添加した試料と glycerol を添加した試料に 2 mT_{rms} の交流磁界を印加し、その磁化応答における第三高調波成分の直流磁界依存性を測定した。その後、 m をパラメータとして実験結果と(1)式をフィッティングした。Fig. 1 に実験結果及び(1)式でのフィッティング結果を示す。(a)は交流磁界と並行な直流磁界を印加したとき、(b)は直交する直流磁界のときの実験結果である。 m は純水、glycerol でそれぞれ 3.3×10^{-18} Am²、 5×10^{-18} Am² となった。(a)ではどちらの試料においても実験値と理論値は概ね一致しているが、(b)では glycerol を添加した試料において乖離がみられる。

3. 結論

Resovist の第三高調波特性を測定し、Langevin 関数との比較を行った。純水を添加した試料は実験値と理論値が一致したものの、glycerol を添加した試料においては大きなずれがみられ、従って Langevin 関数では glycerol 中での粒子の振る舞いを再現出来ていないことがわかった。

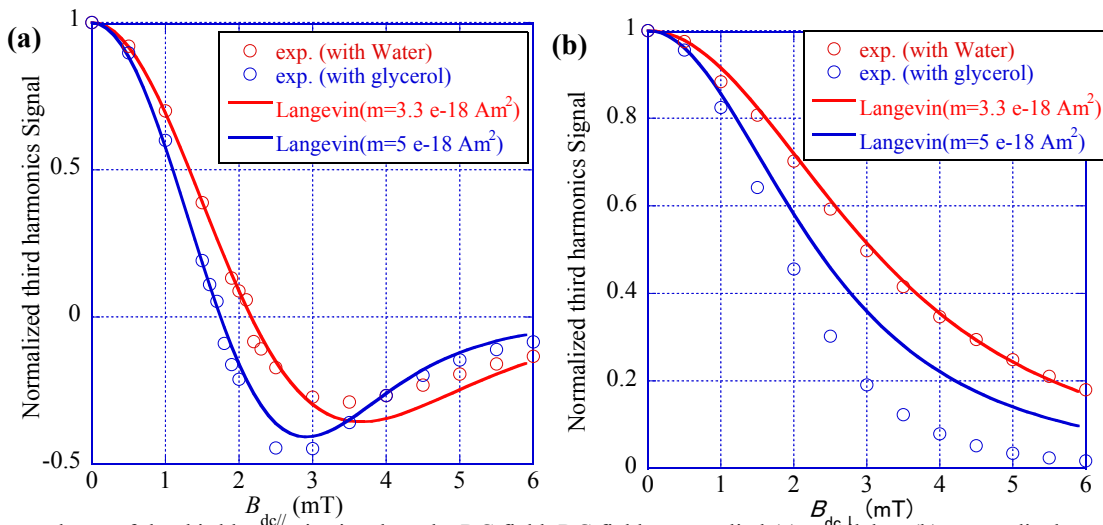


Fig. 1. Dependence of the third harmonic signal on the DC field. DC field was applied (a) parallel or (b) perpendicular to the AC field. Symbols are experimental results, while solid lines are calculated from (1).

磁気ナノ粒子イメージングシステムの高空間分解能化

白石、広川 愛生、田辺 一博、吉田 敬、円福 敬二
(九州大学大学院システム情報科学府)

Improvement of Spatial Resolution of Magnetic Nanoparticle Imaging

Shi Bai, Aiki Hirokawa, Kazuhiro Tanabe, Takashi Yoshida, Keiji Enpuku

(Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University)

はじめに

磁気ナノ粒子イメージング (MPI) は磁気ナノ粒子 (MNP) の非線形磁化応答を利用した新しい体内診断技術である。MPI は外部磁場に対する MNP の磁化応答を直接検知するため、高速、高感度、高安全性などの特徴があり、近年多くの研究者に注目されている。ただし、この磁化応答信号はサンプル周辺で空間的に幅広く検出されるため、空間分解能が不足することが MPI の弱点である。そこで、我々は MPI の空間分解能の改善に着目している。先行研究では、AC 励起磁場と直交する方向に設置した DC 傾斜磁場を使うことが空間分解能の改善に有効であることを確認した⁽¹⁾。しかし、用いた傾斜磁場が弱いため 11 mm の空間分解能 (信号の半値幅) しか得られなかった。本研究では先行研究に基づいて、がん検診などの生体応用を想定し、さらに空間分解能を高めることを目指した。

原理とグラディエントコイル

MNP に AC 励起磁場を印加すると交流の磁化信号が発生するが、強い直流磁場が加わると磁気飽和状態となり信号が発生しなくなる。この特性を利用して、中心が 0 mT である DC 傾斜磁場を用いることで、MNP 信号の発生を中心部 (Field Free Point, 略: FFP) に限定出来る。この FFP, 即ち信号が出る領域の大きさが傾斜磁場の勾配で決まる。本研究では、銅線で巻いた線径 0.8 mm、200 Turns の 7 x 7 cm 正方形コイルを四つ並べた、傾斜磁場用四重極グラディエントコイルを作製した。このグラディエントコイルの表面で形成された中心が 0mT の傾斜磁場は x , y 方向に均等な勾配があり、その強さは 0.1 T/m @ 1A である。

検証イメージングと考察

先行研究で構築した MPI システムに今回作製したグラディエントコイルを実装し、イメージング実験を行った。強い傾斜磁場を得るために、グラディエントコイルに 8 A の DC 電流を流して 0.8 T/m の傾斜磁場を形成した。サンプルにかかる AC 励起磁場は $B_{ac} = 1 \text{ mT} @ f = 22.75 \text{ kHz}$ 、直径 2.1 mm 円柱状容器に注入したサンプル (Resovist : Fujifilm RI Pharma) の含量は $100 \mu\text{g}$ である。Fig. 1 は三つのサンプルを間隔 10 mm で配置したときの第三高調波によるイメージング結果である (検出コイルより 35 mm 離れた平面)。

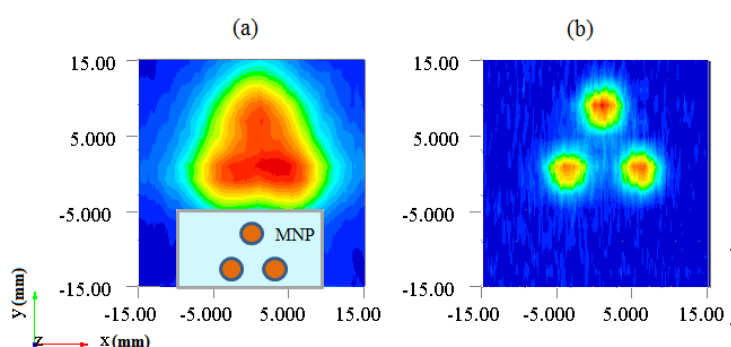


Fig. 1 Contour map of the magnetic field generated from the three MNP samples with spacing of 10 mm. The gradient field is (a) 0.4 T/m and (b) 0.8 T/m.

Fig. 1(a) は先行研究で用いた勾配 0.4 T/m の傾斜磁場を用いた時のイメージング結果である。三つのサンプル影がくっついていることが見える。

Fig. 1(b) は勾配 0.8 T/m の新たな傾斜磁場を用いたイメージング結果である。三つのサンプルが明らかに分離されている。サンプル一個における信号の半値幅は約 4 mm で、空間分解能を 2 倍以上も高めた。

参考文献

- (1) S. Bai, A. Hirokawa, K. Tanabe, T. Yoshida, K. Enpuku, IEEE Transactions on Magnetics, No. EW-04, 2014

磁性ナノ粒子の非線形非平衡磁気応答と がんイメージングにおけるアーティファクト

間宮広明, バラチャンドラン ジャヤデワン*

(物材機構, *滋賀県立大学)

Non-equilibrium and non-linear magnetic response of magnetic nanoparticles
and artifacts in magnetic particle imaging

H. Mamiya and B. Jeyadevan*

(NIMS, *The University of Shiga Prefecture)

準備困難で非常に高価なトレーサーである陽電子放出放射性物質と同様、体内には存在しない磁性粒子の、人体を容易に透過する磁気応答を用い、がんを電磁誘導検出によって簡便にイメージしようとする研究に注目が集まっている。この磁性粒子イメージング(MPI)と呼ばれる検査法では、最近著しく発達した生体内分子輸送システムを利用して磁性ナノ粒子をがん事前に集積させた後、体外から大振幅の交流磁場を印加する。このとき、磁性ナノ粒子の有無に関わらず得られる基本波の応答とは異なり、高調波の信号は磁性ナノ粒子を取り込んだ腫瘍部分からのみ発せられる。また、静磁場によって磁化を飽和させると、この高調波は消えるので、意図的に零磁場スポットを作り出しそれを操作すれば、がんのイメージングが可能となる。MPIは、こうした特質を利用した検査法である。

実用に強く結びついたこのMPI研究では、磁性ナノ粒子は単純に(磁氣的にも)丸いと仮定され、異方性障壁のない応答は超常磁性でLangevin関数で記述されるとしてイメージが構成されてきた。しかし、現実のナノ粒子には磁気異方性は必ず存在し、この場合、これによる超常磁性ゆらぎの抑制が問題となるはずである。また、異方的、すなわち磁化容易軸の向きが存在するなら、粒子自身の回転を無視できない。そこで、我々は、磁性粒子の大振幅の交流磁場応答を数値計算し、これまで無視されてきた丸くない事実のMPIへの影響を明らかとすることを試みた。

数値計算は、今後、感度向上を目指して利用が進むと考えられる10 nmから20 nmの磁鉄鉱ナノ粒子を対象とした。まず、磁化容易軸の配向をランダムとおき、この大きさでは磁気モーメントの向きが磁化容易軸に束縛されている仮定して、軸に平行な2状態間の熱活性型の遷移として交流磁場応答を数値計算した。また、回転に関しては、特に、零磁場スポットの操作に対する超常磁性ナノ粒子交流磁場応答の変化に注目し、様々な粘度の環境下でのシミュレーションを行った。なお、腫瘍中に想定される粒子密度を考慮して、粒子間の相互作用は無視した。

磁性ナノ粒子の磁気応答の3次高調波成分は、粒径を10 nmから増していくと飛躍的に正に増大する。その後、15 nm程度で最大値をとり急減、負となる。これは、異方性障壁の影響で応答が遅れ磁化曲線にヒステリシスが生じたことに由来する。また、交流磁場振幅が大きいほどゼーマンエネルギーによる異方性障壁の低減効果が大きいので、一定の大きさの粒子では低磁場振幅で信号が負、高磁場振幅で正となる。通常、体表付近に比べて深部で磁場はかなり減衰するため、この結果は、感度向上を目指して大きな粒子を用いた場合、検査深度によって信号の位相反転が起きることを示している。

一方、回転に関しては、異方性を有する磁性ナノ粒子の応答が超常磁性であってもLangevin関数で記述されず、磁化容易軸の向きに依存することの影響が大きかった。すなわち、零磁場スポットに当たる以前の静磁場中で飽和した状態では磁化容易軸も配向しているので、磁場を消磁しても配向がランダムになるまでの間、磁気応答の3次高調波成分は、以前にかかっていた静磁場の向きに大きく依存する。最近の細胞内構造にアンカーされたナノ粒子でもゆっくりと回転するとの報告と考え合わせれば、この結果は、診療時間短縮を目指して零磁場スポットを高速で操作した場合、信号に操作履歴依存性が現れることを示している。

以上のように、磁性ナノ粒子は実際には(磁氣的に)丸くないとしてシミュレーションを行うと、これまで考慮されてこなかったような挙動がみられた。逆に、従来のように安易にLangevin関数だと仮定してイメージを構成すれば、思わぬアーティファクトが生じる可能性があることがわかった。

交流磁場印加により発生する励磁音響波の 遅延時間に関する基礎研究

石田巖, 中川貴, 清野智史, 山本孝夫
(大阪大学)

Study on delay time of sonic wave emission from magnetic nanoparticles
stimulated by alternating magnetic field application

I. Ishida, T. Nakagawa, S. Seino, T. A. Yamamoto,
(Osaka University)

1. 研究背景

磁性ナノ粒子に外部交流磁場を印加すると、粒子から磁場の2倍の周波数を持つ音波（励磁音響波）が誘起されるという現象“励磁音響効果”が2008年に報告された¹⁾。励磁音響波は励磁してから音波が検出されるまでに非常に長い遅れ（遅延時間）が生じることが明らかになっている²⁾。本研究では、この遅延時間の要因を磁場の印加から励磁音響波が発生するまでの“発音遅延時間”と励磁音響波の媒質中の“伝搬速度”に分けて考え、磁性粒子径を変化させて励磁音響波を測定し、磁性粒子径が発音遅延時間と伝搬速度に与える影響を調べた。

2. 実験

励磁音響波を検出するための実験系は以下の通りである。平均粒径がそれぞれ15、18、30 nmの Fe_3O_4 粒子2652FY、2655YD、2650MY（Nanostructured & Amorphous Materials Inc.製、以下それぞれ M_{15} 、 M_{18} 、 M_{30} と略す）をNaOH溶液中に濃度10 wt.%で分散させた磁性流体を励磁音響波発生源とし、これらの磁性流体をポリアクリルアミドゲル（以下PAGと略す）中に封入したものを測定試料とした。この測定試料をコイル中心上に磁性流体が位置するように固定した。発生した励磁音響波をマイクロフォンによって電気信号として検出し、アンプを用いて増幅し、デジタルオシロスコープによってPCに取り込んだ。この実験系を用いて各試料ごとにPAG表面からの磁性流体の深さ距離が異なる2つの場合で励磁音響波を測定し、発音遅延時間とPAG中の伝搬速度を算出した。

3. 結果と考察

図1に、各試料において交流磁場を印加してから音波が検出されるまでにかかった時間と、励磁音響波の媒質中の伝搬距離の関係を示す。発音遅延時間は図の直線のx切片から、媒質中の伝搬速度は直線の傾きからそれぞれ計算できる。表1にそれぞれの値を示す。これらの結果より、磁性粒子径が増加しても伝搬速度は変化しないが、発音遅延時間は短くなることが分かった。

表1. 各試料の発音遅延時間と伝搬速度

	M_{15}	M_{18}	M_{30}
発音遅延時間 (ms)	5.7	3.7	2.7
伝搬速度 (m/s)	7.7	7.1	7.7

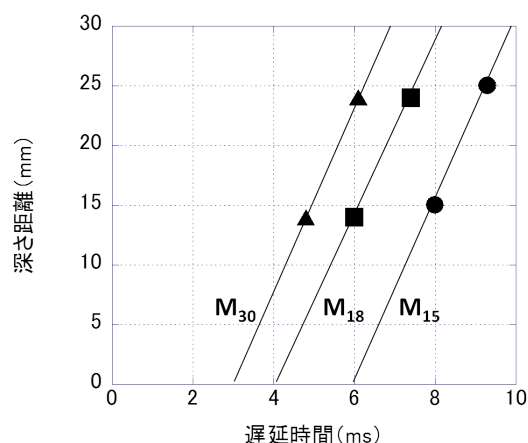


図1. 磁性粒子径を変化させたときの遅延時間と磁性流体の深さ距離の関係

参考文献

- 1) 掛川健司 ほか, 第32回日本磁気学会学術講演会概要集 (2008) 12pC-10
- 2) M.Tano et al: Extremely long signal delays from magnetic particles, *Mater. Lett.* Vol.98, pp51-54, 2013.

磁場中での磁気マーカー結合を用いた免疫検査法の開発

榊原達人、吉田敬、圓福敬二

(九州大学大学院システム情報科学府)

Immunoassay using binding reaction of magnetic marker under applied magnetic field

Tatsuhito Sakakibara, Takashi Yoshida, Keiji Enpuku (Kyushu University)

はじめに

本研究では磁気マーカーを用いた液相での免疫検査法の開発を行っている。磁気センサとして MR センサを用いたシステムを試作し、そのシステムを用いた磁気緩和測定法により、高分子ポリマーに固定したビオチンの検出を行った。これまでは結合マーカーから磁気信号を取り出すため、磁気マーカーに強い励起磁界を数回印加し測定していた。しかし、この励起磁界は未結合マーカー同士の凝集も発生させるため、感度悪化の原因にもなっていた。今回、反応磁界を印加しながら抗原抗体反応をさせることで、マーカーの磁気モーメントの向きをそろえながら抗原と結合させる方法を開発した。本方法を用いれば、強い励起磁界の印加回数を減らすことができ、マーカー同士の凝集をなくした信号の検出が可能であることを示した。

実験方法

磁気マーカーを結合するための抗原抗体反応を磁界を印加しながら行った。反応磁界としては、 $B_{re}=500 \mu\text{T}$ 、 1 mT 、 1.5 mT を用いた。磁気緩和測定においては、測定前に励起磁界として 40 mT を k 回印加した。また、MR センサシステムの雑音は $35 \text{ pT/Hz}^{1/2}$ であり、測定回数を $N=72$ 回で行った。

実験結果

反応磁界 B_{re} と励起磁界の印加回数 k の組み合わせとして、 $(B_{re}, k) = (0, 30 \text{ 回})$ 、 $(500 \mu\text{T}, 30 \text{ 回})$ 、 $(1 \text{ mT}, 20 \text{ 回})$ 、 $(1.5 \text{ mT}, 5 \text{ 回})$ とした実験結果を Fig.1 に示す。これより反応磁界をかけることによって、励起磁界の印加回数を減らしても信号を検出できることがわかった。また、反応磁界が大きいくほど、少ない励起磁界回数で大きな信号を示すことがわかった。この結果は始めに述べた、抗原抗体反応中に磁界をかけることでマーカーの磁気モーメントの向きをそろえながら抗原と結合させるとい現象が起きていることを実証している。

次に、Fig.1 の結果でポリマー数 5000 個の時の信号と 0 個の時の信号の割合を Table.1 に示す。ポリマー数 0 個の信号は未結合マーカーの凝集による信号や装置の雑音を示している。Table.1 に示される割合が大きいくほど信号における雑音の影響が小さくなり、感度改善の指標として用いる事ができる。したがって、Table.1 より今回実験した条件の中では、反応磁界を 1.5 mT とし、励起磁界回数を 5 回としたときが最もよい感度を示した。

まとめ

反応磁界と励起磁界回数を変化させ、免疫検査による信号の違いを検証した。今回行った実験の条件では反応磁界が 1.5 mT で励起磁界回数が 5 回の時に最も良い感度を示した。今後は反応磁界や励起磁界回数の条件を細分化して、検証していく必要がある。

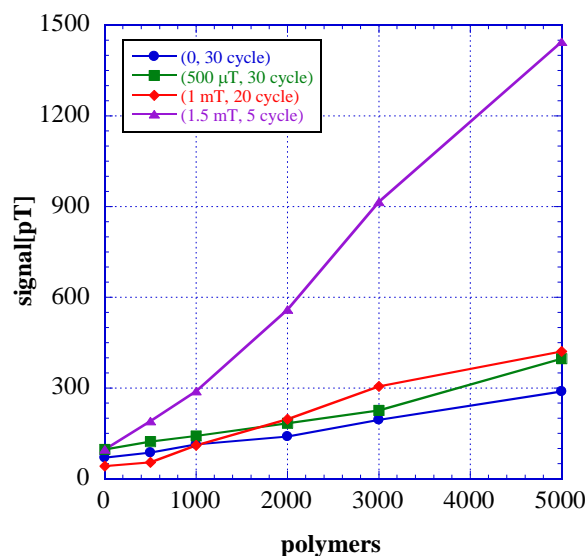


Fig.1 Detection of biotin coated polymer beads. Relationship between the number of polymer beads and the detected signal obtained under different conditions.

Table.1 Ratio of the measured signal between the case of 5000 and 0 polymers. The results are obtained under four conditions.

B_{re}	0	$500 \mu\text{T}$	1 mT	1.5 mT
k	30 cycle	30 cycle	20 cycle	5 cycle
Ratio (5000/0)	4.1	4.1	10.0	14.9