

令和元年6月14日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2018

課題番号：17K20091

研究課題名（和文）近接場光誘起アクティブ造影制御による超解像MRI技術の開発

研究課題名（英文）Development of super-resolution MRI using near-field induced active contrast control

研究代表者

八井 崇（Yatsui, Takashi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：80505248

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：MRIで利用するマイクロ波帯における磁場を制御することで、MRI画像の高解像度化が期待される。本研究では、マイクロ波帯において、磁場を集中し、増強させる構造について研究を行った。マイクロ波を局在させる構造微細構造をシミュレーションにより明らかにするとともに、磁場が集中することを実験により示した。また、作製した構造を用いてMRI画像評価を行い、造影効果を確認することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、この、近接場光誘起の磁場をMRIに活用したアクティブ制御超解像MRIの実現を目的として研究を行った。従来のMRIでは明瞭な画像を得るために造影剤が利用されるが、近接場光を利用することで非磁性材料も造影剤としての機能発現が可能となる。近接場光は、光照射時にのみ誘起される、つまり造影剤として機能が光照射時のみで発生するため、光照射のオン・オフで造影効果が制御可能となる。従来の不可逆的な操作であった造影の考え方を覆し、造影・非造影のMRIを交互に実施して継続的な変化を追跡する新たなMRI診断技術の実現が期待される。

研究成果の概要（英文）：It is expected that the control the magnetic field at micro wave range for MRI application results in super resolution of MRI images. In this study, we have investigated the structures which can focus the micro wave range. In though the simulations, we found the optimum structure to enhance the magnetic field. In addition, we confirmed the designed structure resulted in the magnetic field enhancement. Finally, we succeeded to confirm the fabricated structure resulted in the improvement of the contrast in the MRI images.

研究分野：非一様光場

キーワード：近接場光 MRI アクティブ造影 磁場増強

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近接場光は、微細構造近傍に局在する電磁場であり、従来は、この局在性を活かした高空間分解能顕微鏡の開発が行われてきた。研究代表者は、近接場光の持つ、空間的に非一様な電場・磁場分布によって局所的な磁気モーメントが生成されることを明らかにしている。本研究では、この、近接場光誘起の磁気モーメントを核磁気共鳴画像法 (MRI) に活用したアクティブ制御超解像 MRI の実現を目的として研究を行った。従来の MRI では明瞭な画像を得るために造影剤が利用されるが、近接場光 (ナノ磁石) を利用することで非磁性材料も造影剤としての機能発現が可能となる。近接場光は、光照射時にのみ誘起される、つまり造影剤として機能が光照射時のみで発生するため、光照射のオン・オフで造影効果が制御可能となる。従来の不可逆的な操作であった造影の考え方を覆し、造影・非造影の MRI を交互に実施して継時的な変化を追跡する新たな MRI 診断技術の実現が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、MRI の解像度向上のために近接場光による局所磁場発生を用いることを考える。マイクロ波領域において磁場増強のための最適な構造は明らかになっていない。そこで本研究では、非磁性材料として身近な Cu を用いどのような構造が磁場を増強するかどうかを明らかにすることを目的とする。

シミュレーションを行い、理想的な構造を調べると同時に実際に Cu で構造を作成し MRI に通し磁場がどのように変化するかを調べ、近接場光と技術的な貢献についての知見を得ることを目標とする。

3. 研究の方法

3.1 磁場増強構造の設計

MRI 装置内に挿入が可能で、かつ実験で利用する 4GHz 領域における磁場の局在が可能な構造の数値シミュレーションにより行った。シミュレーションには、Finite Difference Time Domain (FDTD) 法により行った。

磁場を吸収し、集中させるために、疑似プラズモンを励起するための歯車構造 (図 1) について検討を行った。

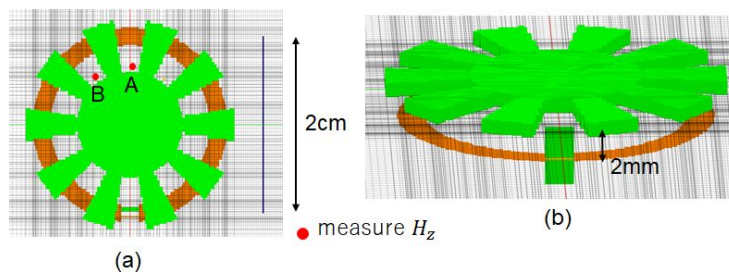


図 1 計算モデル。

3.2 磁気プローブによる磁場増強部の観測

前述の歯車状の構造で 4GHz に対応する構造を作製した。構造体の作製には、プリント基板を使用した。この基板は厚さ 1.2mm のガラスエポキシ樹脂に厚さ 18 μ m の銅箔が両面にあり、片面に歯車の構造を作製した (図 2 (a))。この構造の磁場強度分布を 2.5mm のコイル (図 2 (b)) によって評価した。歯車に対する磁場の励起は、基板の裏側に 20mm コイルを設置することで行った。

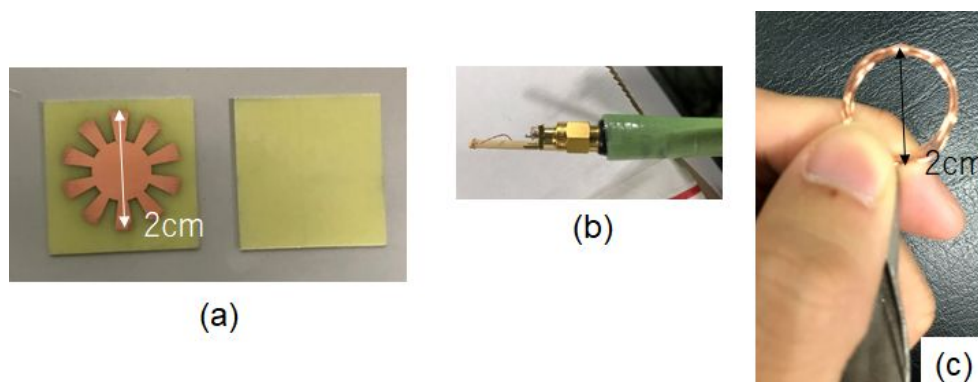


図 2 (a)作製した歯車構造。(b)磁場評価用プローブ。(c)磁場励起用コイル。

3.3 MRI 装置内での評価

歯車構造を MRI 内部に挿入することで、MRI 画像のコントラスト変化を観測した(図3(a)および(b))。MRI のパルスシーケンスは、T2 過程に影響を与えるための MW を印加し(図3(c))、これによってスピン緩和が早まり MRI の画像が暗くなることを期待して実験を行った。

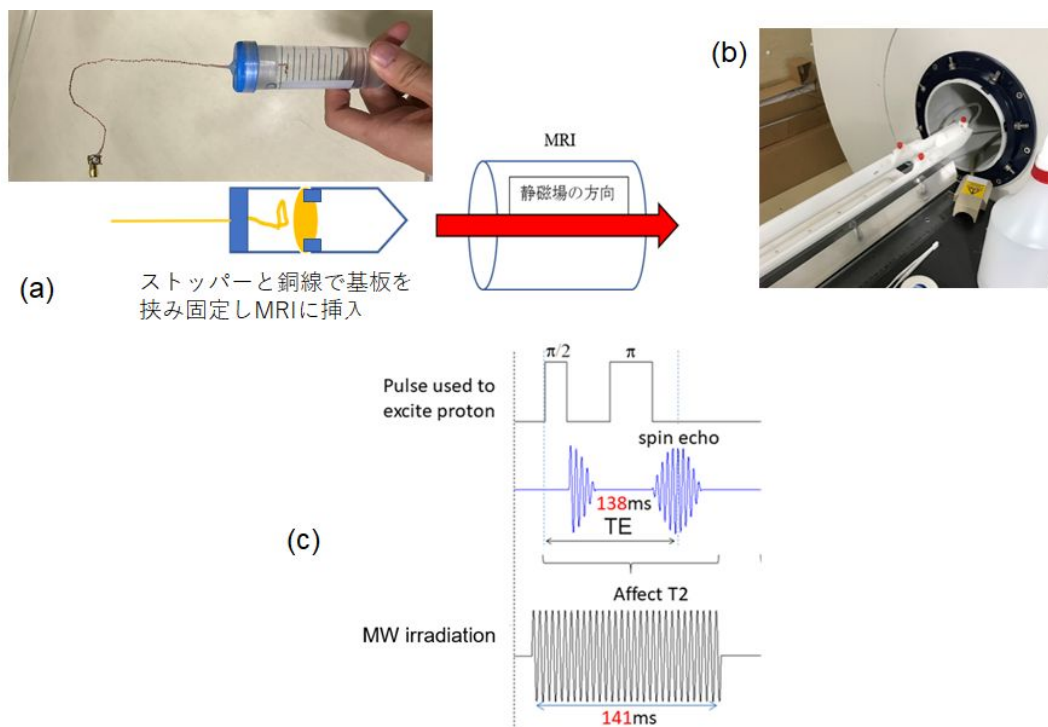


図3 (a)MRI 実験の概要。(b)MRI 装置外観。(c)パルスシーケンス。

4. 研究成果

4.1 磁場増強構造の設計

図1の計算モデルに対する計算結果を図4に示す。この結果に示されるように、歯車構造が

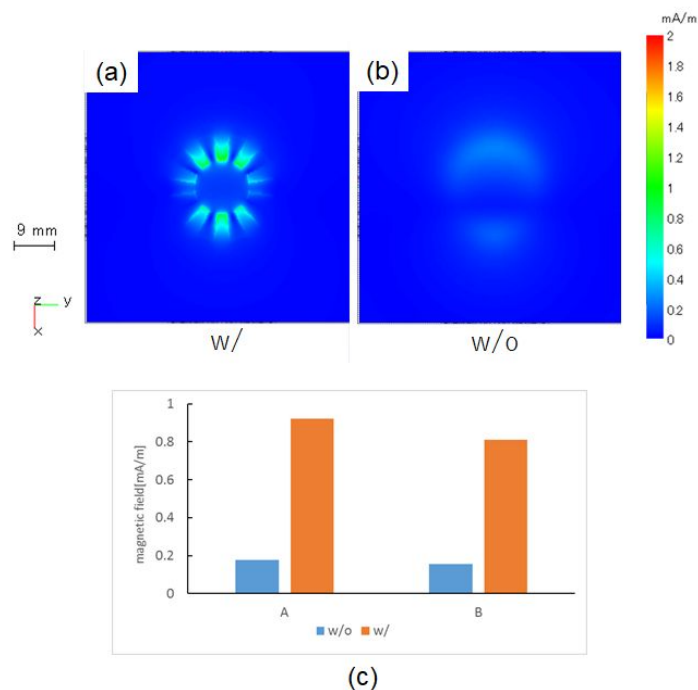


図4 磁場強度分布。(a)構造あり、(b)構造なし。(c)図1に示す点AおよびBでの磁場強度比較。青：構造なし、オレンジ：構造あり。

ることによって、疑似プラズモンが歯に沿って励起され、磁場の集中が発生していることが分かった (図 4 (a))。また歯車構造があることによって、磁場の増強度は約 4.6 倍であった (図 4 (c))。

4.2 磁気プローブによる磁場増強部の観測

図 5 に評価結果を示す。この結果に示されるように、シミュレーションで示されたように歯車の内側での磁場強度が歯車がない場合と比較して強くなることが示された。

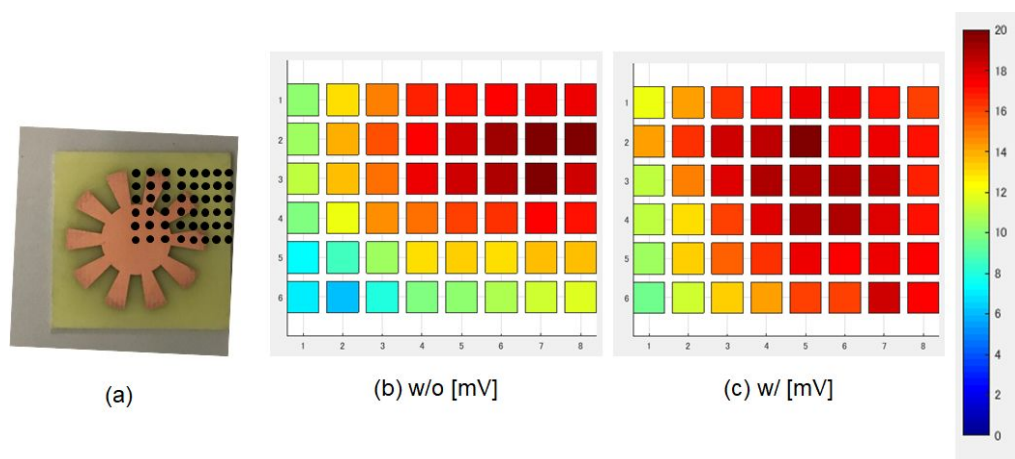


図 5 磁気分布評価結果。(a)測定点、(b)歯車なし、(c)歯車あり。

4.3 MRI 装置内での評価

図 6 に MRI 装置内で得られた MRI 画像評価結果を示す。図 3 (c) で示されるパルスシーケンスにより磁場を印加した結果、マイクロ波 (MW) を印加することによって画像が暗くなること、つまりスピン緩和が早まりコントラストが向上したことを示す結果が得られた。

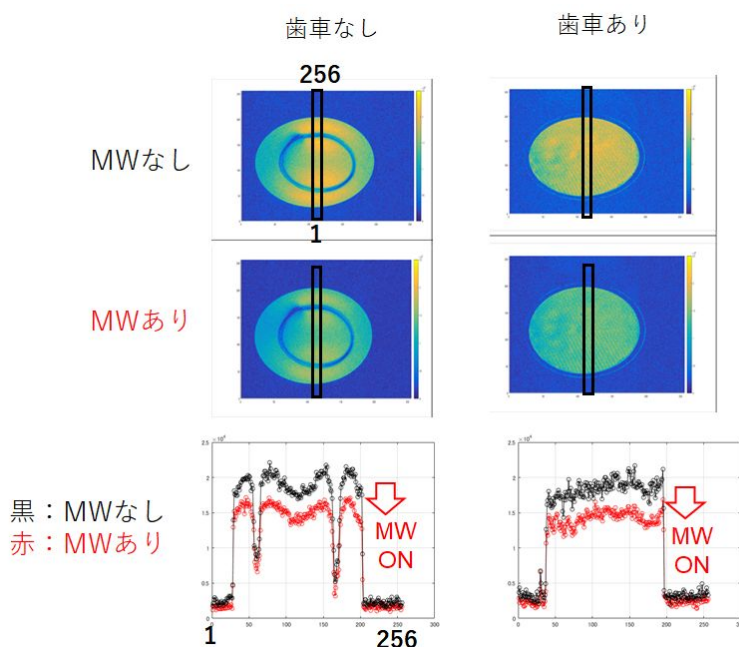


図 6 MRI 画像評価結果。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 4 件)

1. F. Brandenburg, R. Nagumo, K. Saichi, K. Tahara, T. Iwasaki, M. Hatano, F. Jelezko, R. Igarashi, and T. Yatsui, "Improving the electron spin properties of nitrogen-vacancy centres in nanodiamonds by near-field etching," Scientific Reports, Vol. 8, October 2018, 15847 (8 pages)
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34158-4>

2. T. Yatsui, H. Saito, K. Nishioka, B. Leuschel, O. Soppera, and K. Nobusada, "Effects of a power and photon energy of incident light on near-field etching properties," Appl. Phys. A, Volume 123, Issue 12, December 2017, 751
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00339-017-1361-z>
3. T. Yatsui, H. Saito, and K. Nobusada, "Angstrom-scale flatness using selective nano-scale etching," Beilstein Journal of Nanotechnology, Vol. 8, October 18, 2017, pp.2181-2185.
DOI: 10.3762/bjnano.8.217.
4. T. Yatsui, M. Yamaguchi and K. Nobusada, "Nano-scale chemical reactions based on non-uniform optical near-fields and their applications," Progress in Quantum Electronics, September 2017, Vol. 55, pp. 166-194
DOI: 10.1016/j.pquantelec.2017.06.001. (review article).
5. F. J. Brandenburg, T. Okamoto, H. Saito, O. Soppera, and T. Yatsui, "Surface improvement of organic photo-resists through a near-field-dependent etching method," Beilstein Journal of Nanotechnology, April 2017, Vol. 8, pp.784-788
DOI: 10.3762/bjnano.8.81

〔学会発表〕(計 5件)

1. Y. Suzuki, A. Kuwahata, M. Sekino, and T. Yatsui, "Enhancing the magnetic field by optical near-field for super resolution MRI," Technical digest, JSPS Core-to-Core Japan Workshop 2018, July 5-6, 2018, Koshiba Hall, The University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, p20
2. 八井 崇、「非一様光場に基づくデバイス・加工技術の新機軸」、光とナノ物質の相互作用：分子科学の未来にむけて、2018/6/10、愛知県岡崎市分子科学研究所岡崎カンファレンスセンター 大隅ホール、愛知（招待講演）
3. T. Yatsui, "Recent development of a sub-nanometer flattening using a non-uniform optical field," The 6th Laser Ignition Conference 2018, April 26, 2018, Pacifico Yokohama conference center, Nishi-ku, Yokohama, Kanagawa, Japan, paper ID: LIC2-1 (1 page)（招待講演）
4. 鈴木耀介、桑波田晃弘、関野正樹、竹内嵩、信定克幸、八井崇、「超解像 MRI に向けたマイクロ波帯近接場光援用磁場増強」、第3回 Core-to-Core 学生研究講演会、2017/12/11、東京都目黒区・東京工業大学
5. T. Yatsui, "Recent development of a nano-scale chemical reactions and the applications based on an optical near-field," Program, The 11th Asia-Pacific Conference on Near-field Optics (APNF011), July 10-13, 2017, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, paper ID: Invite 14 (July 13, 2017)（招待講演）

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.lux.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究分担者

(2)研究協力者

研究協力者氏名：関野 正樹

ローマ字氏名：(SEKINO, masaki)

研究協力者氏名：桑波田 晃弘

ローマ字氏名：(KUWAHATA, akihiro)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。