

1505 平面型マイクロコイルを用いた局所高分解能MRIに関する研究

Local High Resolution MRI with a Micro Planar Coil

○土肥 徹次 (東京大) 高橋 英俊 (東京大)
 桑名 健太 (東京大) 正 松本 潔 (東京大)
正 下山 勲 (東京大)

Tetsuji DOHI, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo
Hidetoshi TAKAHASHI, The University of Tokyo
Kenta KUWANA, The University of Tokyo
Kiyoshi MATSUMOTO, The University of Tokyo
Isao SHIMOYAMA, The University of Tokyo

This paper reports on a micro planar coil as a receiver for a high resolution MRI (Magnetic Resonance Imaging). In this study, a micro planar coil of 10 mm in diameter was fabricated. The MRI signal receiving device was made by attaching the micro coils to the tip of acrylic pipes. The signal to noise ratio of MR image taken by the micro planar coil was 8 times as high as MR image taken by medical MRI coil. MR images of okra (*Abelmoschus esculentus*) were acquired with $2.0 \times 2.0 \times 2.0 \text{ mm}^3$ and $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ mm}^3$ resolutions.

Key Words: MRI, micro planar coil, S/N ratio, high sensitivity.

1. 背景・目的

医療用MRIは、侵襲性が非常に低く、X線CT (Computed Tomography)では撮像が困難な軟部組織を高いコントラストで撮像可能であるため、非侵襲的な診断装置として幅広く利用されている。また、近年では、手術中に利用することで腫瘍の取り除きをできるだけ少なくし、手術成績の向上に利用しようという研究も行われている。しかし、一方で計測時間が長く、空間分解能もサブミリから数ミリオーダーであるため、計測時間の短縮および空間分解能の向上が期待されてきた。この計測時間の短縮と空間分解能の向上に対して、MRI受信信号のS/N比を向上させることが効果的な解決策である。

そこで、本研究ではMRI信号のS/N比向上のための高感度なMRI信号受信コイルとして、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を利用した平面型マイクロコイルを試作する。MEMS技術を利用した平面型マイクロコイルは、その感度領域をコイル近傍に集中させることができるため、感度領域は狭いが非常に高い感度でのMRI信号計測が可能となる。この平面型マイクロコイルをカテーテルや内視鏡の先端部に配置 (Fig. 1) し、術中MRIのための新しい術具としての有効性を示すことが本研究の目的である。

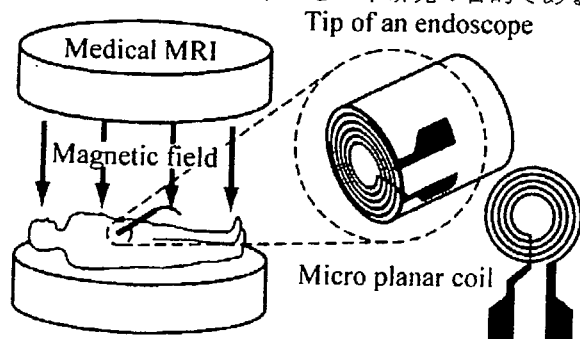


Fig. 1 Concept of a micro planar coil. The micro planar coil is located at the tip of a catheter or an endoscope.

これまで、MEMS技術を利用した小型かつ高感度なコイルによって、MRI信号受信デバイスの試作が行われてきた。マイクロサイズのコイルを利用することで分解能 $16 \times 23 \times 100 \mu\text{m}^3$ での画像計測^[1]や、マイクロ流路と組み合わせた高感度なNMR分光法の研究が行われてきた^[2]。我々も直径5 mmおよび20 mmの平面型MEMSコイルをアクリルパイプの先端に搭載することで、0.2 Tという低い静磁場であるにもかかわらず、分解能 $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ mm}^3$ での高分解能画像計測を実現した^[3]。これに対して本研究は、これらのマイクロコイルを利用したデバイスが、術中MRIで利用する新しい術具として有効であることを示すことが目的である。そのため、内視鏡先端部をマイクロコイルを用いたデバイスと置き換え、他の術具と同様に利用できるデバイスを実現する。

2. 平面型マイクロコイルの試作と特性計測

平面型マイクロコイルの試作プロセスをFig. 2に示す。試作したコイルには、MRI画像計測に与える影響が少ないCuやTi、ポリイミドを材料として利用した^[4]。試作プロセスは、Cu/ポリイミドのフレキシブル基板を利用した。はじめに、基板のポリイミド面側にコイルのワイヤ部となるTi層とCu層を蒸着装置により成膜する。Ti/Cu層をコイル形状にパターンニングした後、ワイヤ部の厚さを増加させ、抵抗値を減少させるためにCuメッキを行った。この際、フォトレジストの側壁を利用することで線幅が変化しないようにした。最後に、裏面のCu層をパターンニングしてコイル中心部と外部接続用電極を配線し、コイルを基板から切り離すことで、平面型マイクロコイルが完成する。

試作した平面型マイクロコイルの写真とその電気的特性をFig. 3に示す。コイルは、直径10 mm、線幅、線間隔ともに100 μm 、巻き数は16である。試作したコイルは、静磁場強度が0.2 TのMRIで利用するため、

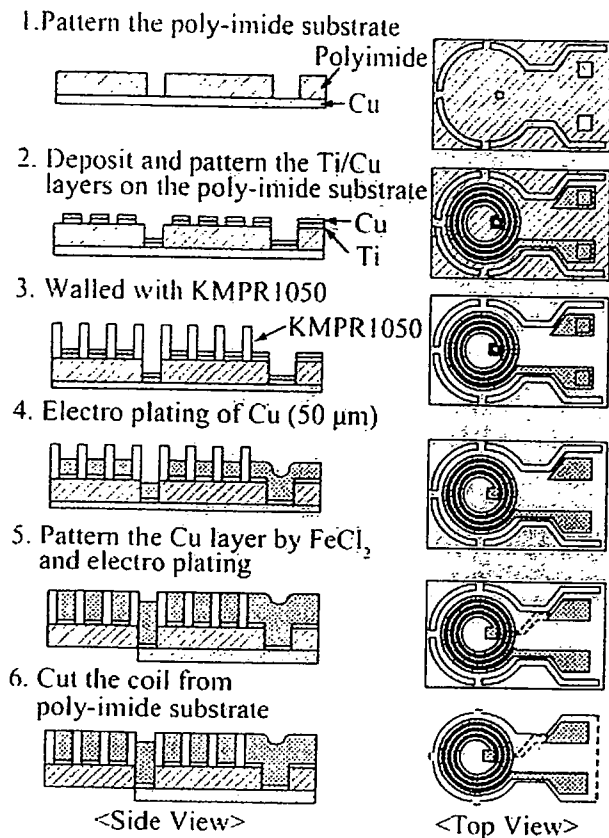


Fig. 2 Fabrication process of a micro planar coil.

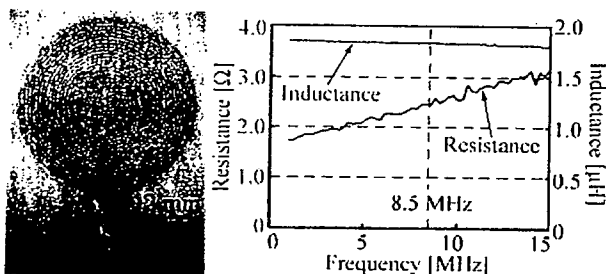


Fig. 3 Photographs of the fabricated micro planar coil. The diameter of the coil is 10.0 mm. The resistance and inductance of the coil are 2.5 Ω, and 1.8 μH at 8.5MHz, respectively.

周波数8.5 MHzで高い特性を持つように設計した。Fig. 3の基礎特性計測結果より、試作したコイルは、周波数8.5 MHzにおいて抵抗値 2.5 Ω, インダクタンス1.8 μHであり、0.2 TのMRI用受信コイルとして十分な特性を持っていることが確認できた。

3. MRI 信号受信回路の試作と画像計測

次に、試作したマイクロコイルをMRI信号受信回路と組合せ、MRI信号受信デバイスとした。Fig. 4に示すように、MRI信号受信回路は平面型マイクロコイルのインピーダンスと周波数を調整するための可変コンデンサと、MRI装置と接続するための保護回路からなる。

このMRI信号受信回路をアクリルパイプの側部に配置し、平面型マイクロコイルを先端部に配置した。

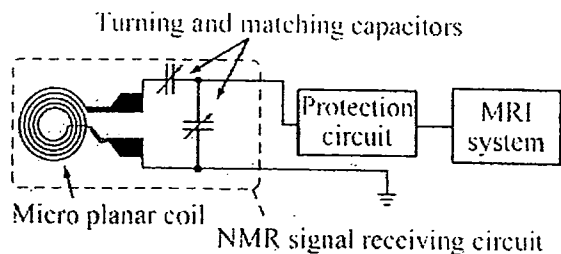


Fig. 4 Schematics of MRI signal receiving circuit.

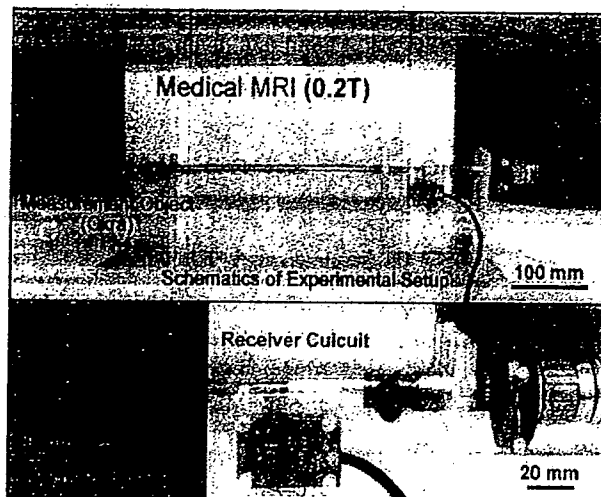


Fig. 5 photographs of the MRI signal receiver with micro planar coil. The planar coil is placed at the tip of acrylic pipe with the receiving circuit. The acrylic pipe can be connected to the base of the endoscope.

Table 1 SNRs of MR images of the phantom..

	2.0×2.0×2.0 mm ³ resolution	0.5×0.5×1.0 mm ³ resolution
Medical Coil	30	3.7
5 mm Coil	259	28
10 mm Coil	258	19
20 mm Coil	264	13

アクリルパイプは直径がφ11 mmであり、内視鏡の根元部と接続可能とした。試作したデバイスをFig. 5に示す。本研究では、φ10 mmの腹腔鏡の根元部を利用したが、MRI対応内視鏡と接続すれば、内視鏡画像と同時にMRI画像を取得可能なデバイスとなる。

試作したMRI信号受信デバイスの特性評価のために、MRI信号のS/N比計測を行った。計測結果をTable. 1に示す。S/N比計測では、水をファントムとして利用し、分解能、2.0×2.0×2.0 mm³, 0.5×0.5×1.0 mm³の画像計測を行った。この際、比較として、φ200 mm程度の医療用コイル、直径5 mmと直径20 mmの平面型マイクロコイル^[3]を利用した。Table. 1の計測結果より、試作したφ10 mmの平面型マイクロコイルを用いたMRI信号受信デバイスは、従来の医療用コイルと比較して5~8倍程度の高い受信感度を持っていることがわかった。

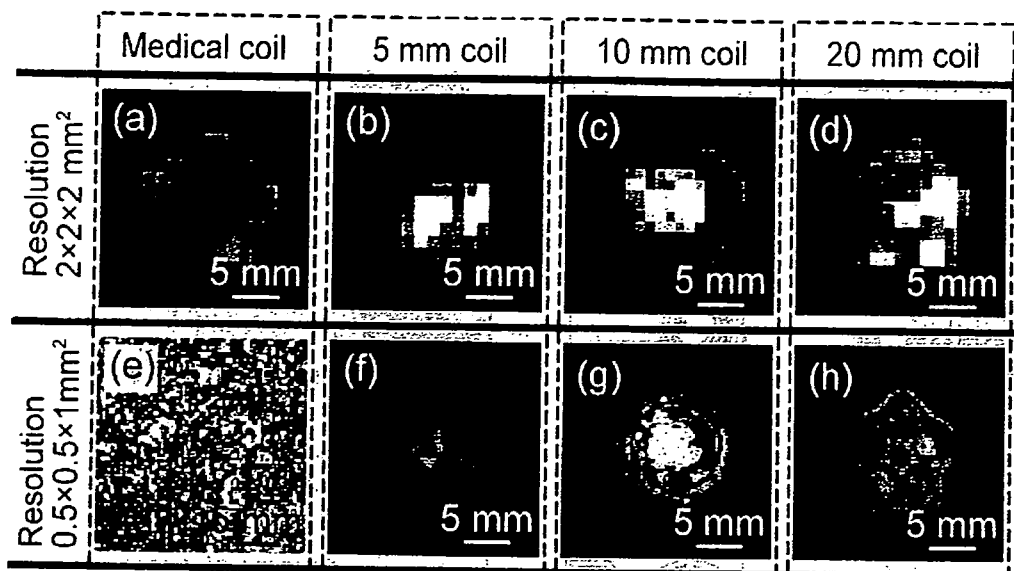


Fig. 7 MR images of an okra taken by the micro planar coils and medical coil. The resolutions of the images were (a - d) $2.0 \times 2.0 \times 2.0 \text{ mm}^3$ and (e - h) $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ mm}^3$. The internal structure of an okra can be observed.

最後に、この受信デバイスを MRI 装置に接続し、Fig. 6 に示すようにオクラの断層画像計測を行った。Fig. 6 (a)~(d)は分解能 $2.0 \times 2.0 \times 2.0 \text{ mm}^3$ で計測した MRI 画像であり、Fig. 6 (e)~(h) は分解能 $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ mm}^3$ で計測した MRI 画像である。Fig. 6 より、試作した平面型マイクロコイルは、従来の医療用コイルと比較して高い S/N 比で画像取得可能であることがわかる。そのため、従来の医療用コイルでは撮影が困難であった分解能 $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ mm}^3$ の条件でも、感度分布が不均一ではあるが、画像取得可能であることがわかった。また、試作した MRI 信号受信デバイスは、硬性内視鏡の根元部を含むが、他の平面型マイクロコイルを用いた画像計測と同程度の画質で画像取得が可能であり、術中 MRI で利用する新しい術具として有効であることが確認された。

4. 結論

本研究では MEMS 技術を利用し、感度領域が局所的だが、非常に高感度な MRI 信号受信コイルを試作した。φ11 mm の円筒形アクリルパイプの先端に試作した平面型マイクロコイルを配置し、コイルの S/N 比を計測した。その結果、試作したマイクロコイルは、従来の医療用 MRI コイルと比較して、5~8 倍の S/N 比を持ち、より高分解能な MRI 画像取得が可能であることを確認した。

参考文献

- [1] H. Wensink et al., "High signal to noise ratio in low field NMR on chip, simulation and experimental results," Proc. of 17th IEEE MEMS, pp. 407-410, 2004.
- [2] C. Massin et al., "Planer microcoil-based magnetic resonance imaging of cells," Proc. of 13th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, pp. 967-970, 2003.
- [3] H. Takahashi et al., "A Micro Planar Coil for Local High Resolution Magnetic Resolution Imaging," Proc. of 17th IEEE MEMS, pp. 549-552, 2007.
- [4] D. Stoianovici, "Multi-imager compatible actuation principles in surgical robotics," Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, vol. 1(2), pp. 86-100, 2005.