

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).

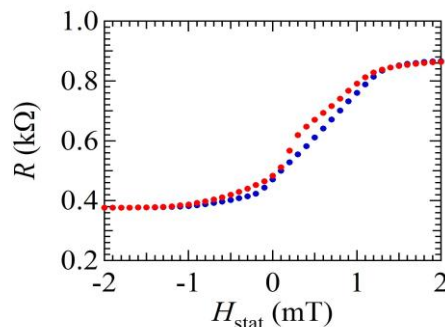


Fig. 1 Magnetoresistance curve of a MTJ sensor with bias current of 20 mA

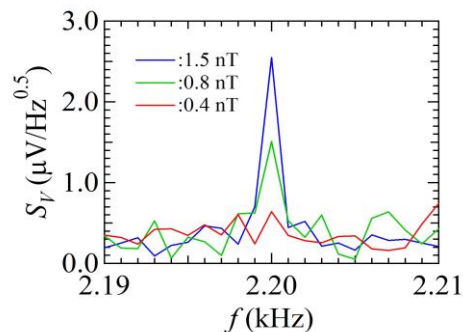


Fig. 2 Voltage spectrum of current-biased MTJ sensor when alternating magnetic field with frequency of 2.2 kHz was applied

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.

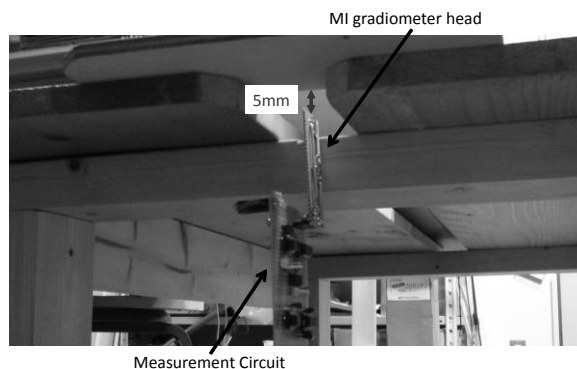


Fig.1 Magnetic field measurement system at in the occipital region using MI sensor

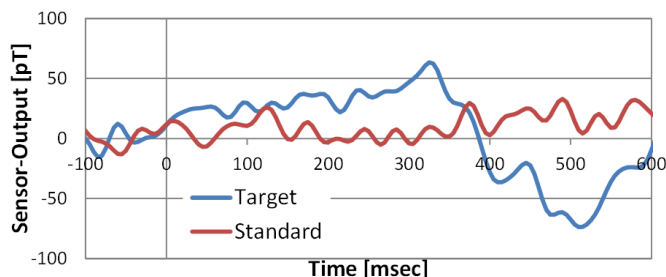


Fig. 2 Time series of magnetic wave forms in the occipital region due to oddball paradigm

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 と同様磁界の 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。

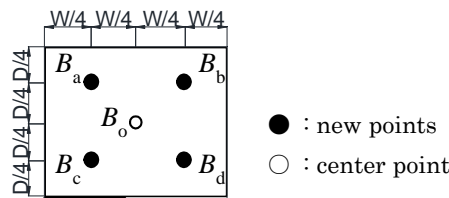
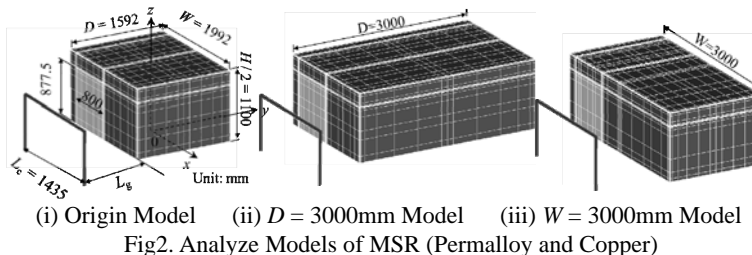
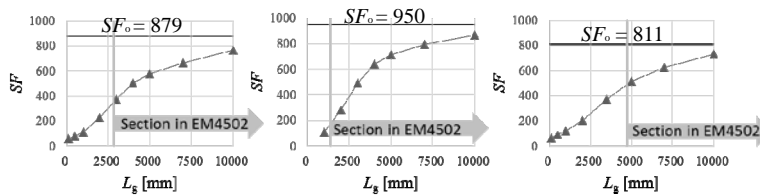


Fig.1 Evaluation Points around the Center Point



(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

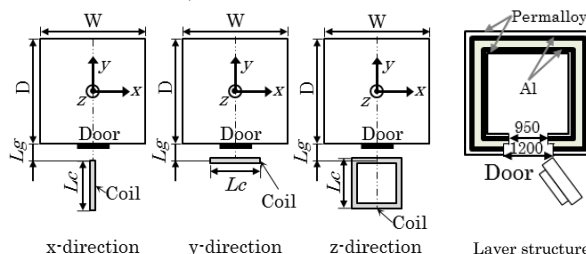


Fig.1 Experimental MSR and Exciting Coil

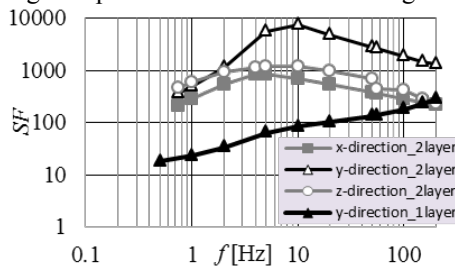


Fig.2 SF vs frequency ($L_c=1,435\text{mm}$, $L_g=1200\text{mm}$)

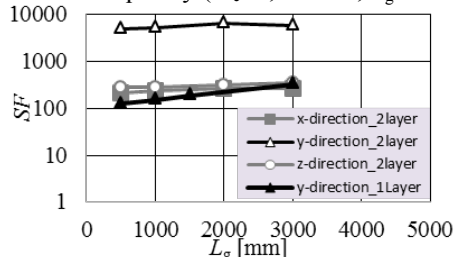


Fig.3 SF vs L_g ($L_c=1,435\text{mm}$, $f=55\text{Hz}$)