

Magnetic techniques for diagnosis and treatment of breast cancer

Masaki Sekino¹, Akihiro Kuwahata¹, Mutsuko Hatano², and Moriaki Kusakabe³

¹ Graduate School of Engineering, the University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan

² School of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo 152-8552, Japan

³ Graduate School of Agricultural and Life Sciences, the University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan

In the treatment of cancer, it is important to identify the lymph nodes involved in metastasis. By administering magnetic nanoparticles to the lymphatic system and detecting accumulation in downstream lymph nodes with a magnetic sensor, lymph nodes involved in metastasis can be identified non-invasively and objectively. To realize this new technique, we developed a handheld device consisting of a permanent magnet and a Hall sensor¹. Previous researches on magnetic sensors were mainly based on the approach of detecting small amounts of magnetic nanoparticles using SQUIDs. Those devices were not very suitable for clinical use because the devices reacted to other surrounding magnetic materials due to their high sensitivities. We devised a new mechanism for strongly magnetizing nanoparticles with a permanent magnet and detecting the magnetic field with a small Hall sensor, and developed a prototype handheld device for detecting magnetic nanoparticles. With this mechanism, the influence of external devices was sufficiently reduced and clinical application was realized. Since the power consumption was smaller than that of existing devices, the entire drive circuit can be stored in the grip, making it a compact device. We also reported a technique for quantifying the accumulation of magnetic nanoparticles administered to living organisms by non-invasive imaging using MRI. Animal experiments showed the dose and time dependence of the accumulation. We ensured the safety of the developed magnetic probe by complying with the standards for electrical safety and risk management of medical devices, and proceeded with clinical research. In particular, a multicenter clinical trial was conducted on 200 breast cancer patients, and the new method using magnetic sensors and magnetic nanoparticles is non-inferior in terms of identification rate to the standard RI method². In addition, in order to expand the application, clinical trials were conducted in 20 and 4 cases of oral cancer and uterine cancer, respectively, and successful results were obtained such as the ability to identify sentinel lymph nodes in all cases. Furthermore, we also developed a prototype device equipped with a diamond quantum magnetic sensor³. Due to the high sensitivity, the sensor could be operated with weak magnetic fields generated from a coil.

Reference

- 1) M. Sekino, A. Kuwahata, T. Ookubo, M. Shiozawa, K. Ohashi, M. Kaneko, I. Saito, Y. Inoue, H. Ohsaki, H. Takei, and M. Kusakabe, *Sci. Rep.*, **8** (2018) 1195.
- 2) K. Taruno, T. Kurita, A. Kuwahata, K. Yanagihara, K. Enokido, Y. Katayose, S. Nakamura, H. Takei, M. Sekino, and M. Kusakabe, *J. Surg. Oncol.*, **120** (2019) 1391.
- 3) A. Kuwahata, T. Kitaizumi, K. Saichi, T. Sato, R. Igarashi, T. Ohshima, Y. Masuyama, T. Iwasaki, M. Hatano, F. Jelezko, M. Kusakabe, T. Yatsui, and M. Sekino, *Sci. Rep.*, **10** (2020) 2483.

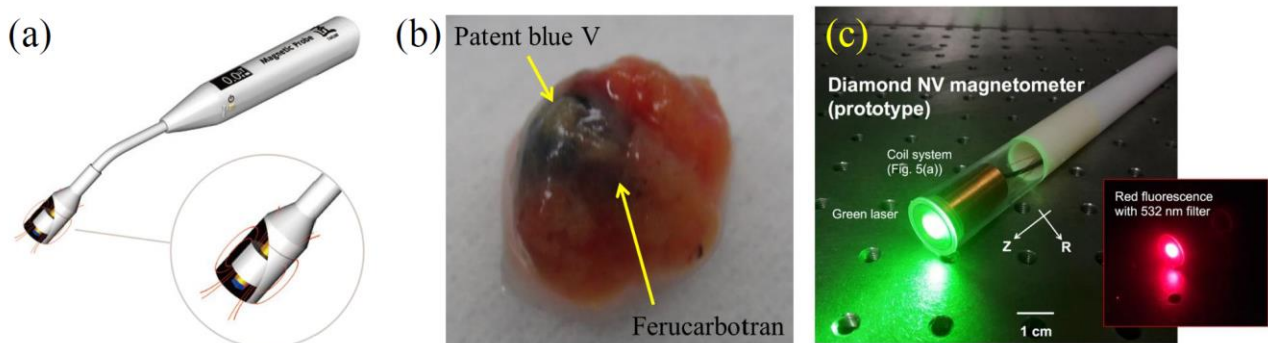


Fig. 1. (a) Handheld magnetic probe for sentinel lymph node biopsy. (b) Extracted lymph node containing magnetic nanoparticles and blue dye. (c) Magnetic probe equipped with a diamond quantum sensor.

Highly sensitive diamond quantum magnetometer with large sensor volume

Yuta Masuyama

(National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology)

Nitrogen-vacancy (NV) centers in diamond are promising solid-state quantum magnetometer working at room temperature. The quantum magnetometer is a magnetometer that measures the magnetic field by using the energy change of qubits¹⁾. By constructing an appropriate measurement system, it is possible to achieve highly sensitive sensing with measurement noise reduced to the quantum limit. Thanks to the property of the diamond that is a wide bandgap semiconductor, the quantum coherence of the qubits maintains under a wide range of temperatures and pressures, including under room temperature and atmospheric pressure. This characteristic enables us to use the sensor for various applications including operating *in vivo* and in extreme environments.

One of the important steps towards the practical use of the diamond quantum magnetometer is to improve the sensitivity. Because the sensitivity of the diamond quantum magnetometer increases as the number of NV centers increases²⁾, a large sensor volume is required to achieve high sensitivity. We have developed a technology of the diamond quantum magnetometer to achieve high sensitivity by improving the control and readout of the qubit with a large sensor volume, such as enhancing a microwave and an effective photoexcitation method³⁾. In parallel to these improvements, we are also improving the quality of the diamond quantum magnetometer such as the density and coherence time of the NV center. Our institute has a technology of electron irradiation with high temperature and ion implantation. We constructed an evaluation system suitable for the material evaluation of the diamond quantum magnetometer, and are researching the relationship between NV center generation efficiency and coherence time by the electron beam irradiation.

Another important point towards the practical use of the diamond quantum magnetometer is noise rejection from the signal. The diamond quantum magnetometer potentially achieves highly sensitive magnetic field sensing without any magnetic shield because the Zeeman shift of the qubit even occurs under a strong magnetic field. To realize this, we constructed a gradiometer system that cancels environmental magnetic field noise for DC magnetic field sensing, and a dynamical decoupling system that works as a noise rejection filter for AC magnetic field sensing.

Reference

- 1) C. L. Degen *et al.*, *Rev. Mod. Phys.* **89**, 035002 (2017)
- 2) J. M. Taylor *et al.*, *Nat. Phys.* **4**, 810 (2008)
- 3) Y. Masuyama *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **89**, 125007 (2018)

Development of a compact ultra-low field MRI system

Daisuke Oyama¹, Naohiro Tsuyuguchi²

¹Applied Electronics Laboratory, Kanazawa Institute of Technology

² Faculty of Medicine, Kindai University

Magnetic resonance imaging (MRI) around geomagnetic field strength, also referred to as ultra-low field MRI (ULF-MRI), has been expected to be the new application of Biomagnetics. Comparing to conventional MRIs that use a much stronger magnetic field, the benefits of the ULF-MRI include the low cost of the system, more open geometry, decreased susceptibility to artifacts, increased relaxation time contrast, and being combined with biomagnetic “functional” measurements, e.g., magnetoencephalography (MEG).

Existing studies have mainly dealt with developing ULF-MRI systems for human body or head. In contrast, the author’s group has conducted extensive studies on measuring biomagnetic signal from small-animals, known as small-animal MEG systems. Therefore, we have been developing a compact ULF-MRI system for small-animals.

Our compact ULF-MRI system consists of a set of five pairs of coils: for a polarizing field, a measurement field, and three dimensional gradient fields¹⁾. These coil sets were designed and fabricated to be the desktop size for installation inside a magnetically shielded box. The coil pairs for measurement and gradient fields were optimized by using a target field method, and sufficient area of homogeneity has been obtained for ultra-low field MRI measurements.

In our research, two types of magnetic sensors have been tested to detect the magnetic resonance signal. The first sensor is a superconducting quantum interference device (SQUID) sensor that has extremely high sensitivity in the ultra-low magnetic fields and is commonly used for ULF-MRI measurements. We demonstrated ULF-MRI measurements of water phantoms and a rat head at 33 μT using the SQUID sensor²⁾.

However, there are some difficulties with using SQUIDs because of their fragility against larger magnetic fields such as a polarization pulse and necessity of cooling with a cryogen, like liquid nitrogen or helium. We also developed a novel detection unit composed of an induction coil that has been used to detect magnetic resonance signal in a higher magnetic field so far. The induction coil does not need a cryogen and is more robust and easier to handle than SQUIDs. We demonstrated ULF-MRI measurement³⁾ and T_1 relaxation time measurement of water and aqueous solutions at 70 μT , as shown in Figs. 1 and 2. The results show the potential of using induction coil detection to realize a compact ULF-MRI system.

In the presentation, we would like to discuss these two detection techniques for ULF-MRI applications.

References

- 1) J. Hatta et al., *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **21**, 526-529, 2011.
- 2) D. Oyama et al., *15th Inter. Supercond. Electr. Conf.*, 15721070, 2016.
- 3) D. Oyama et al., *IEEE Trans. Magn.*, **53**, 5100504, 2017.

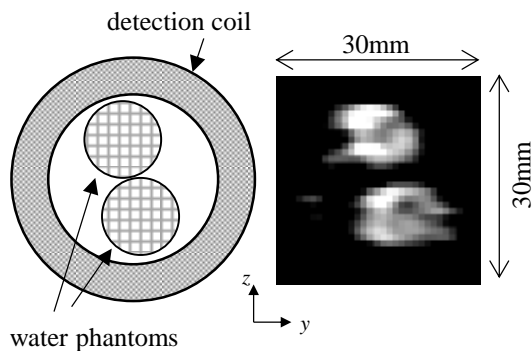


Fig. 1 Magnetic resonance image of water phantoms taken by the detection coil at 70 μT .

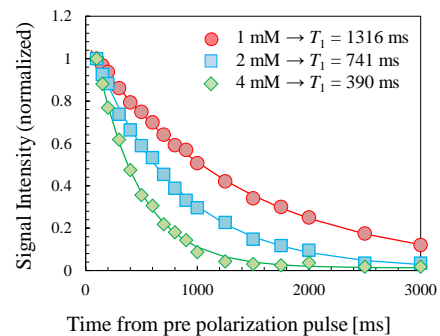


Fig. 2 Measured relaxation curves and calculated relaxation time of NiCl_2 aqueous solution phantoms.

Application of EEG/MEG analytical methods to magnetic nanoparticle imaging

Teruyoshi Sasayama, Naoki Okamura, and Takashi Yoshida

Department of Electrical Engineering, Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Japan

Imaging of magnetic nanoparticles (MNPs) is expected to be a new biomedical technique for imaging of targets, e.g. cancer cells¹⁾. We previously propose an MNP imaging method that uses multiple magnetic sensors; this method is referred to as “magnetic nanoparticle tomography” (MNT)^{2,3)}. We used multiple pickup coils, or magnetic sensors, to achieve imaging in accordance with signal processing techniques used in electroencephalography (EEG) and magnetoencephalography (MEG). In this paper, we apply the techniques and compare the imaging performances.

Figure 1 shows the experimental setup. The Resovist MNP sample containing 100 μgFe was arranged in the AC magnetic field generated using an excitation coil. The third harmonic magnetic field from MNPs were detected using 16 pickup coils. To improve the sensitivity, the cancelation circuit for the fundamental magnetic field was employed. Then, the two-dimensional concentration map of the MNP sample was obtained by solving an inverse problem. In this paper, we chosen non-negative least squares (NNLS) method and minimum variance spatial filter (MV-SF). The former one is often used in magnetic particle imaging (MPI) analytical methods¹⁻³⁾, whereas the latter one is often used in EEG/MEG analytical methods⁴⁾.

Figure 2 shows the result of the reconstructed map when the MNP sample was set at $(x, y, z) = (0, 0, -25 \text{ mm})$. As shown in Fig. 2(a), a sharp signal peak is observed in the vicinity of the sample position using NNLS method, however, several artifacts also appear. In contrast, as shown in Fig. 2(b), the signal peak is observed in the vicinity of the position and the artifacts do not appear using MV-SF. The result indicates that EEG/MEG analytical methods such as MV-SF is useful for estimating MNP sample position.

Acknowledgments

This work was supported in part by the Japan Society for the Promotion of Science (JSPS) Grant-in-Aid for Young Scientists under Grant JP19K14996 and in part by a research grant from The Mazda Foundation.

Reference

- 1) T. Knopp and T. M. Buzug, *Magnetic Particle Imaging—An Introduction to Imaging Principles and Scanner Instrumentation* Heidelberg, Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.
- 2) T. Sasayama, T. Yoshida, and K. Enpuku, *J. Magn. Magn. Mater.* **505** (2020) 166765.
- 3) T. Sasayama, N. Okamura, and T. Yoshida, *IEEE Trans. Magn.* In press. DOI: 10.1109/TMAG.2020.3014375.
- 4) K. Sekihara and S. S. Nagarajan, *Adaptive Spatial Filters for Electromagnetic Brain Imaging*. New York, NY, USA: Springer-Verlag, 2008.

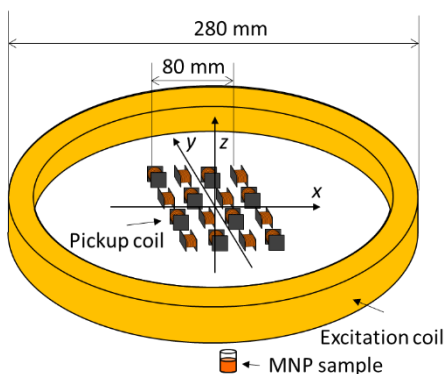


Fig. 1 Overview of the experimental setup.

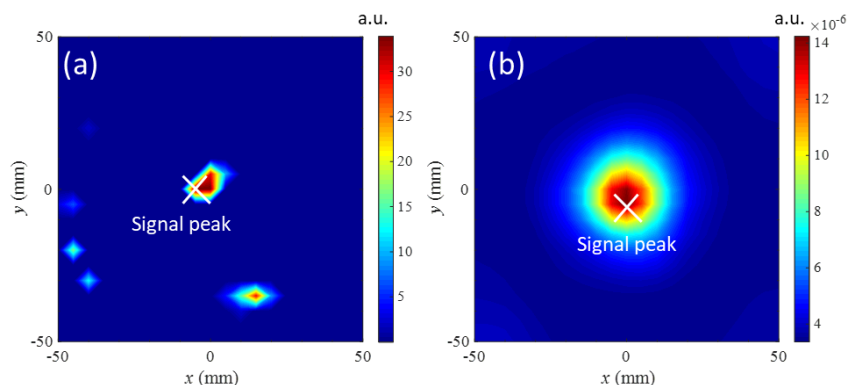


Fig. 2 Result of reconstructed map.
(a) NNLS and (b) MV-SF

Development of heating element and techniques for detecting its temperature and position for hyperthermia

Loi Tonthat¹, Kazutaka Mitobe², Shin Yabukami¹

¹ Graduate School of Engineering, Tohoku University, Sendai 980-8579, Japan

² Graduate School of Engineering Science, Akita University, Akita 010-8502, Japan

Magnetic hyperthermia is a promising cancer therapy gaining great interest in recent years with less invasive than surgical therapy and fewer side effects compared to chemotherapy. This therapy induces cell death within the therapeutic temperature range of 40–45°C utilizing heat generation from magnetic particles injected into tumor subjected to a high frequency magnetic field. To make this therapy feasible in clinical settings, in addition to the magnetic particles, important elements include techniques for detecting the temperature and position of magnetic particles in determining the effectiveness of therapeutic heating. Among heating elements, nanoparticles have been gaining more attention due to their potential as diagnostic and therapeutic agents. Besides, self-controlled heating elements with low Curie point have been studied due to the fact that they are capable of avoiding overheating and damaging of the surrounding healthy tissue. In previous studies¹⁻², we developed thermosensitive magnetic micro/nanoparticles with high heating efficiency for tumor treatment and considerable permeability change around Curie point for temperature and position monitoring by using the nanoparticles to fill the gaps between microsize ferromagnetic implants with low Curie temperature (FILCT) (Fig. 1). Thereafter, by utilizing the permeability of FILCT that varies around its Curie point resulting in the change in the magnetic field around it, we also developed a wireless temperature measurement method to monitor the temperature of treated areas using pickup coils (Fig. 1).

Currently, noninvasive methods for sensing the magnetic particles *in vivo* are magnetic resonance imaging, positron emission tomography, and magnetic particle imaging. However, they are either costly, complex, time-consuming, requires expertise or a combination of these disadvantages. Taking the advantage of the fact that the induced voltage in pickup coil depends on the position of magnetic particles, we also developed a simple, rapid, low cost and automated localization system using three pickup coils symmetrically installed inside drive coil³. To localize the implant, the magnetic field supply and detection unit of drive coil and pickup coils is coarsely scanned over the whole existence possibility area of the implant and then moved to a position close to the implant until there is no difference in pickup voltages (Fig. 1). Using the developed system, the implant could be automatically localized with accuracy below 1 mm. Future studies are needed to extend the detectable distance for deeper tumor by investigating the optimal micro/nanoparticles and pickup coil as well as investigate *in vivo* how distribution of the implant in affected part affects the accuracy of the proposed method.

References

- 1) Loi Tonthat *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, **54** (7), 5400506 (2018).
- 2) Loi Tonthat *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, **54** (6), 5400104 (2018).
- 3) Loi Tonthat *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, doi: 10.1109/TMAG.2020.3008490 (early access).

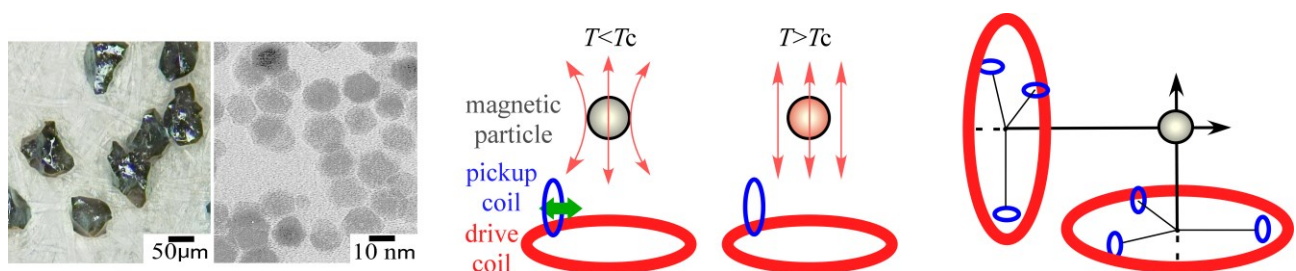


Fig. 1 Heating elements (microsize ferromagnetic implant with low Curie temperature and magnetite nanoparticles) (left), the concepts of wireless temperature measurement method (middle) and localization method (right) for the implant using the voltages induced in pickup coils around its Curie point.

生体磁場計測に向けた低ノイズ TMR 磁気センサの開発

藤原耕輔¹、大兼幹彦²、熊谷静似¹、有本直³、安藤康夫^{1,2}

(¹ スピンセンシングファクトリー(株)、² 東北大、³ コニカミノルタ(株))

Development of low-noise TMR magnetic sensor for bio-magnetic field measurement

K. Fujiwara¹, M. Oogane², S. Kumagai¹, T. Arimoto³, Y. Ando^{1,2}

(¹ Spin Sensing Factory Corp., ² Tohoku univ., ³ KONICA MINOLTA INC.)

はじめに

強磁性トンネル接合 (Magnetic Tunnel Junction: MTJ) を用いたトンネル磁気抵抗 (Tunnel Magneto-Resistance: TMR) センサは、室温動作する小型・低消費電力の磁気センサである。近年の TMR センサの高感度化により、人体の電氣的活動に起因する生体磁場の室温下での計測に期待が高まっている。我々はこれまでに TMR センサを用いた心臓磁場 (心磁図: MCG) や脳磁場 (脳磁図: MEG) の計測を報告してきた¹⁾。一方で、TMR センサのもう一つの特徴である、広い磁場ダイナミックレンジを利用したウェアラブル・磁気シールドルームの生体磁場計測の実現には、TMR センサ自身のノイズ低減・シグナル向上と、環境ノイズのキャンセリング技術の確立が必要である。本講演では、TMR センサのノイズ・シグナル改善のための要素技術検討と、二つの TMR センサを用いた環境ノイズキャンセリングの検討結果について報告する。

実験方法と実験結果

TMR センサの作製に用いた MTJ 多層膜は超高真空スパッタリング装置を用いて成膜を行った。MTJ 膜は絶縁層として MgO 層を用い、低ノイズ化のためフリー層に CoFeSiB/ Ru/ CoFeSiB の三層構造を用いた。また、多数の MTJ を用いてアレイを形成することで、低周波数領域での大幅なノイズの低減を実現している。加えて、MTJ アレイの近傍にフラックスコンセントレータと呼ばれる磁束の収束構造を配置することで、シグナルを大幅に向上させた。以上、作製した TMR センサの磁場分解能は約 10 pT/Hz^{1/2}(@1 Hz)であった。

環境ノイズのキャンセリングを検討するため、二台の上記 TMR センサを作製し、50 mm 離して配置した。

環境ノイズは発生源が遠方にあると考えられるため、それぞれのセンサ信号の差をとることで低減することができる。一方、計測の対象である生体磁場の場合、人体を片方のセンサの近傍に配置しておくことで片方のセンサのみが強く信号を出力するため、二台のセンサ信号の差には生体磁場の情報のみが残ることとなる (グラジオメータ)。Fig.1 に通常の会議室の環境ノイズ低減の検討を行った結果を示す。二台の Ch1・Ch2 の TMR センサ信号には、空調が原因であると考えられる数 Hz、約 1 nT の環境ノイズが観測されたが、それぞれのセンサ信号の差をとることでこのノイズ信号を大幅に低減することができた。この低減後の環境ノイズを含んだ磁場分解能は約 40 pT/Hz^{1/2}(@1 Hz)であり、シールドルームを用いない通常的环境下で、心臓の脈拍に伴う MCG の R 波信号 (数十 pT) を数十秒の計測で観測することが十分に可能であると考えられる。

この研究の一部は、科学技術振興機構 (JST) の S-イノベーションプログラムの支援によって行われた。

参考文献

- 1) K. Fujiwara *et al.*, Appl. Phys. Express **11**, 023001 (2018).

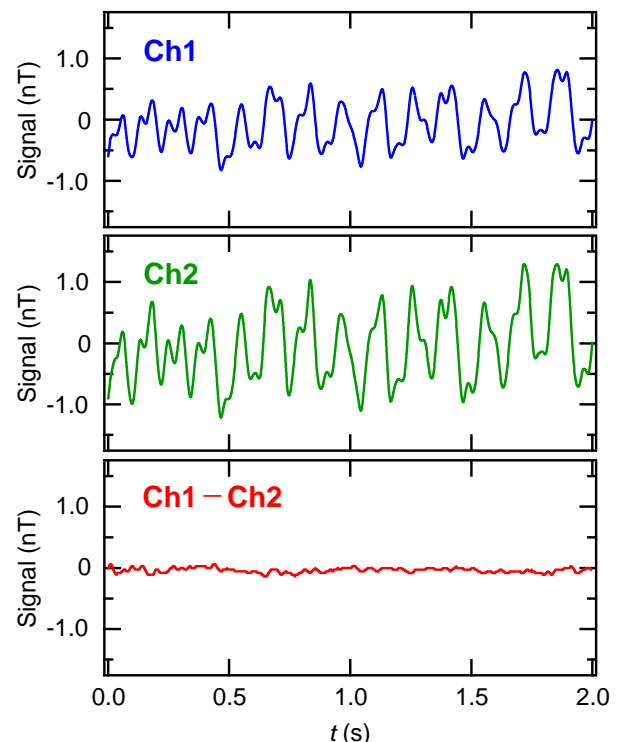


Fig.1 Output waveform of each channel of the TMR sensor.

シールドルーム不要の TMR センサアレイ心磁計測システム

中村威信, 加藤静一, 片岡誠, 市村翔, 益田征典, 湯澤雅樹, 森安嘉貴, 岡武茂樹*, 安藤康夫**
(旭化成エレクトロニクス株式会社, *旭化成株式会社, **東北大学)

An MCG measurement system using TMR sensor array without an MSR

T.Nakamura, S.Kato, M.Kataoka, K.Ichimura, M.Masuda, M.Yuzawa, Y.Moriyasu, S.Okatake*, Y.Ando**
(Asahi Kasei Microdevices Corp., *Asahi Kasei Corp., ** Tohoku University, Japan)

心臓の電気的活動として生じる磁場(心磁)の計測は、環境ノイズを低減するためにシールドルーム(MSR)内で高感度な磁気センサを利用して行うのが一般的である。しかしながら、シールドルームは、大きい、重い、価格が高いという課題があった。

我々は、一昨年提案した、高感度・高分解能かつ線形性が極めて優れているクローズドループ型のTMRセンサデバイスを多数採用することで、高精度な信号空間分離法(Signal Space Separation method)²⁾を適用可能であり、信号処理のみによる環境磁場キャンセルにより、シールドルーム不要の心磁計測実現の可能性を見出した。

そこで、上述のTMRセンサデバイスを96個用意し、環境磁場を含めて3軸方向の磁場を計測でき、かつ、人の胸部を覆うように配置したセンサアレイと専用の計測システムを作製した。

このセンサアレイ計測システムを用いて、オフィスビル内のシールドルームのない実験室において、環境磁場を観測し、信号空間分離処理による環境磁場キャンセル性能を確認したものがFig.1である。実験室における環境磁場は、20Hz、50Hzなどに1nT以上の雑音が存在した(Fig.1(a))。この環境磁場計測結果に対して、信号空間分離処理を行うと、それらの雑音は三重シールドルーム相当の低減ができた(Fig.1(b))。

我々はさらに同環境磁場下において、40代男性の心磁計測を実施した※。信号空間分離処理を適用後、50Hzノッチフィルタ、ローパスフィルタ($F_c:100\text{Hz}$)、及び、心電波形と同期した60拍分のデータを積算処理したところ、左胸部近傍に置かれたセンサデバイスでの計測結果はFig.2のようであった。このセンサデバイスにおけるR波のピーク値は約30pT、ノイズは3pTrmsであった。これにより、シールドルームが不要となり、SQUIDのように液体Heを必要としない室温動作のTMRセンサデバイスで、安価な心磁計測装置の実現可能性を実証した。

(※本研究における人の心磁計測実験は、旭化成内研究倫理審査会承認済み。)

謝辞

このシステム開発におきましては、スピンセンシングファクトリー株式会社よりTMRセンサをご供給頂いたことに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) M.Masuda et al., 第42回日本磁気学会学術講演会概要集 13pA-2(2018)
- 2) S. Taulu et al., JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 97, 124905 (2005)

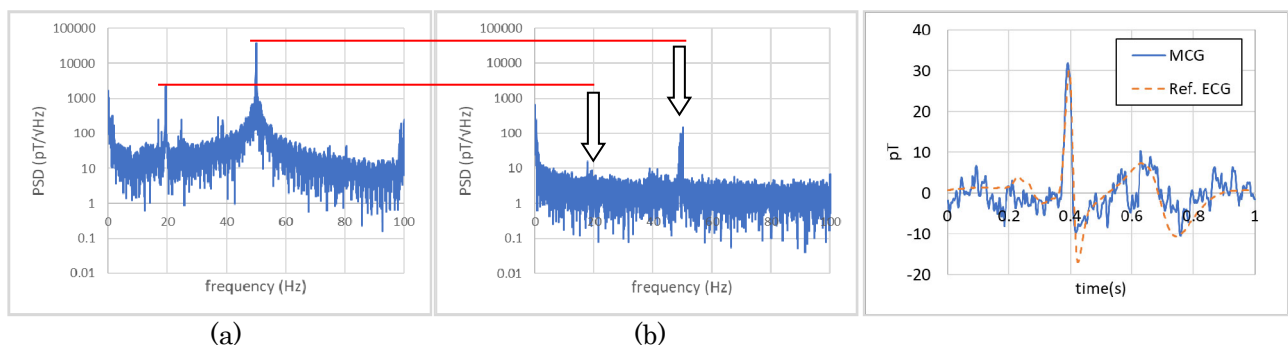


Fig.1 Shield effect of environmental magnetic field noise.

Fig.2 MCG measurement result.

低 SNR 時における心磁図を用いたノイズ除去法の前処理の検討

岩井守生, 三浦克哉, 安倍正人, 藤岡豊太, 小林宏一郎
(岩手大学理工学部システム創成工学科)

Consideration of preprocessing of noise reduction method using ICA at low SNR.

M. Iwai, K. Miura, M. Abe, T. Fujioka, K. Kobayashi

(1) Department of System Innovation Engineering, Iwate University

はじめに

心磁図は、心疾患の診断に有効であり、近年臨床研究において注目されている。しかし、心磁図は環境磁気ノイズに比べて非常に小さいため、ノイズ除去なしに心臓活動を正確に評価することは困難である。そのため現在多くの場合、独立成分分析(Independent Component Analysis:ICA)¹⁾を用いたノイズ除去が行われているが、心磁界成分に比べて磁気ノイズが非常に大きい場合、信号分離の妨げとなりノイズ除去が困難になる。そこで本研究では、適応フィルタ²⁾を用いて定常ノイズを除去したデータに対し ICA を行うことで、低 SNR 下における心磁図のノイズ除去精度の向上を目指しシミュレーションによる検討を行った。

提案方法

任意の周波数成分 f_n (環境磁気データに多く含まれる 50Hz 成分, およびその高調波) の正弦波信号を参照信号としてフィルタ入力に用い、出力信号に存在する f_n の正弦波信号のみを推定する。適応フィルタにより推定された f_n の正弦波信号を計測データから減算することによって、特定の周波数成分のみを除去する方法である。

シミュレーション結果

本研究では 3 つのノイズ除去法[ICA, 従来法 (帯域通過フィルタ³⁾ + 帯域除去フィルタ³⁾ + ICA), 提案法 (適応フィルタ + ICA)]をシミュレーションにて比較・検討した。Fig. 1 に 3 つのノイズ除去法の SN 比 0, -10, -20, -30, -40 [dB] のシミュレーションデータにおけるノイズ除去結果の比較を示す。ノイズが付加される前のデータとの相関で評価しており、他の 2 つの方法と比較して提案法はほぼすべての SN 比帯で従来法よりも高いノイズ除去精度を示した。特に低 SNR になるほどその差は顕著となった (ICA : 0.18, 従来法 : 0.24, 提案法 0.66)。Fig. 2 に SN 比 -40dB のシミュレーションデータを用いた場合のノイズ除去結果を示す。Fig. 2(a) に -40dB のシミュレーションデータ, (b) に提案方法によるノイズ除去後の波形を示す。図示している波形は最もノイズ除去精度が高かった結果であり、相関係数は 0.96 である。図からもわかる通り SN 比を大幅に改善していることが分かる。これらのことより、提案方法が低 SNR 時の ICA を用いたノイズ除去の前処理として有効であり、磁気シールド外での心磁図の計測の可能性が示唆されたので報告する。

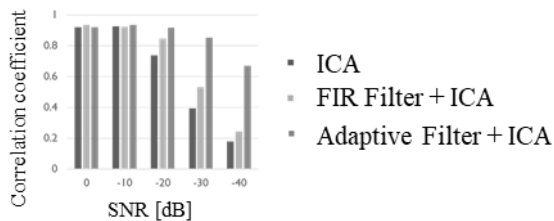
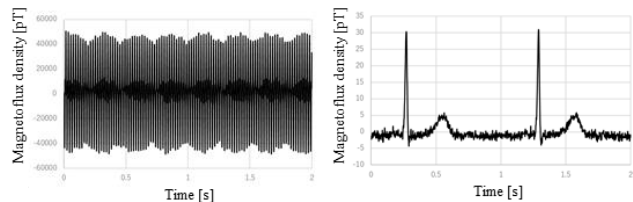


Fig.1 Noise reduction results comparison.



(a) Simulation data

(b) Processed data

Fig.2 Waveforms at -40dB simulation data.

参考文献

- 1) [詳解]独立成分分析 信号処理の新しい世界 (著者: Aapo Hyvärinen, Juha Karhunen, Erkki Oja)
- 2) 藤岡豊太, 永田仁史, 安倍正人, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J92-A No.2 pp.71-83, 2009
- 3) はじめて学ぶデジタル・フィルタと高速フーリエ変換 (著者: 三上直樹)

空間フィルタ法による心磁図の信号源推定における センサ領域と解析空間に関する研究

成田青峰⁽¹⁾, 岩井守生⁽¹⁾, 孫文旭⁽²⁾, 小林宏一郎⁽¹⁾

(1) 岩手大学, (2) 国立循環器病研究センター研究所

Study on sensor plane and analysis space in signal source estimation
with spatial filter method for MCG

Seihou Narita(1), Morio Iwai(1), Wenxu Sun(2), Koichiro Kobayashi(1)

(1) Iwate University

(2) Research Institute, National Cerebral and Cardiovascular Center, Osaka Japan

はじめに

心疾患の早期発見を目指し、病変個所の特定を可能とする技術として心磁図を用いて心筋活動を3次元的に可視化する技術が期待されている。心筋の活動(信号源)は広がりを持っているため、その広がりを持つ信号源の推定に適した手法として空間フィルタ法がある。本研究では、空間フィルタ法の心磁図への応用を目指し、計測されるセンサ領域と解析点による解析空間の関係性に着目した手法を提案する。実際に計測された心磁図データを用いて解析空間の大きさを変更した信号源推定を行い検討した。

実験方法

Fig.1に解析条件の模式図を示す。センサは175mm四方に64個、等間隔に配置されている64chSQUID磁束計を使用した。本研究では、心磁図データのR波ピークにおける信号源推定結果に関して検討した。解析空間は1辺8mmの立方体の解析点で以下に示す2パターンを用いて構成する。心臓の大きさに合わせた解析空間(x:15個, y:15個, z:10個, xy平面120mm四方)以下(a),およびセンサ平面と同等の大きさの解析空間(x:22個, y:22個, z:10個, xy平面176mm四方)以下(b)とする。また本研究では、空間フィルタ法の1つであるeLORETAを用いた。

実験結果

Fig.2に解析空間(a), (b)の推定結果を示す。ひし形の枠がセンサ領域を表し、その下の直方体が解析空間を表す。塗りつぶされている部分が推定解(推定解最高強度の80%以上)を表す。解析空間(b)の内側の直方体は解析空間(a)を表す。R波は心室の活動信号であり1つのまとまった領域の活動と考えられる。Fig.2より解析空間(a)では推定解が2つに分離しており正しく推定できていない。一方、解析空間(b)は推定解が1つのまとまった領域に推定されている。したがって、解析空間の領域を広くすることで推定精度を向上させることが可能である。これは、空間フィルタの各ボクセルの値が、センサ領域と解析空間の関係に影響しているためと考えられる。今後さらなる検討を行う。

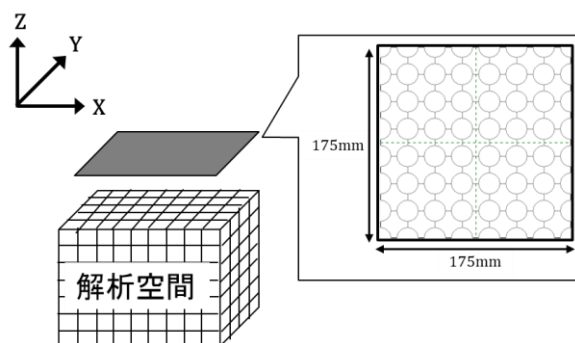
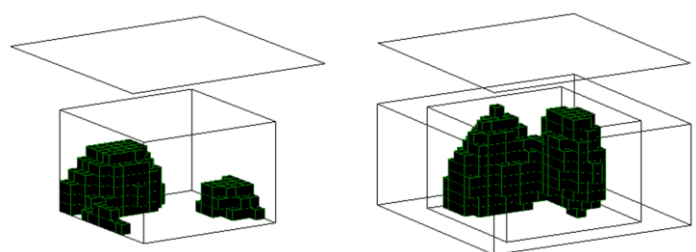


Fig1. Analysis condition



(a) 15×15×10 analysis space (b) 22×22×10 analysis space

Fig2. MCG current source estimated
at two types analysis space