

MODELING AND MEASUREMENT SYSTEM FOR MAGNETIC FIELD DISTRIBUTIONS IN BIOLOGICAL STRUCTURES

I. Marinova, V. Mateev, H. Endo* and Y. Saito**

Department of Electrical Apparatus

Technical University of Sofia

Sofia 1756, Bulgaria

Emails: iliana@tu-sofia.bg, vmateev@tu-sofia.bg

*Power & Industrial Systems R & D Lab., Hitachi Ltd, Japan

Email: hisashi.endo.fa@hitachi.com

** Graduate School of Hosei University, Tokyo 184-8584 Japan

Email: ysaito@hosei.ac.jp

Abstract- In this paper we develop a system for modeling and measurement of magnetic field distributions in biological structures caused by the externally applied electromagnetic field. We describe an effective and versatile approach for three-dimensional reconstruction of the field distributions from two-dimensional visualization the measured magnetic field data. The finite element model for magnetic field calculation is built. The magnetic fields of very thin slices of the 3D object are determined and visualized. Using these 2D images as slices of 3D image and based on the field theory and image processing techniques we developed a reconstruction approach for 3D visualization of magnetic field. This approach combines new technologies of 3D visualizations and characterizes with flexibility, simplicity and portability. The proposed approach was successfully applied for 3D reconstruction and visualization of magnetic field and current distributions in biological structures. The virtual microscope is developed for investigations of magnetic field distributions in biological structures during magnetic stimulation. *Anisotropic Magneto-Resistive (AMR) sensors are applied for magnetic field measurements. AMR sensors are combined in array probes in order to increase productivity of measurement process and improving the performance of probes.*

Index terms: Magnetic field modeling, Finite element method, Image reconstruction, Magnetic field, Visualization., AMR sensors array, Magnetic field measurement.

MODELING AND MEASUREMENT SYSTEM FOR MAGNETIC FIELD DISTRIBUTIONS IN BIOLOGICAL STRUCTURES

I. Marinova, V. Mateev, H. Endo* and Y. Saito**

Department of Electrical Apparatus

Technical University of Sofia

Sofia 1756, Bulgaria

Emails: iliana@tu-sofia.bg, vmateev@tu-sofia.bg

*Power & Industrial Systems R & D Lab., Hitachi Ltd, Japan

Email: hisashi.endo.fa@hitachi.com

** Graduate School of Hosei University, Tokyo 184-8584 Japan

Email: ysaito@hosei.ac.jp

Abstract- In this paper we develop a system for modeling and measurement of magnetic field distributions in biological structures caused by the externally applied electromagnetic field. We describe an effective and versatile approach for three-dimensional reconstruction of the field distributions from two-dimensional visualization the measured magnetic field data. The finite element model for magnetic field calculation is built. The magnetic fields of very thin slices of the 3D object are determined and visualized. Using these 2D images as slices of 3D image and based on the field theory and image processing techniques we developed a reconstruction approach for 3D visualization of magnetic field. This approach combines new technologies of 3D visualizations and characterizes with flexibility, simplicity and portability. The proposed approach was successfully applied for 3D reconstruction and visualization of magnetic field and current distributions in biological structures. The virtual microscope is developed for investigations of magnetic field distributions in biological structures during magnetic stimulation. Anisotropic Magneto-Resistive (AMR) sensors are applied for magnetic field measurements. AMR sensors are combined in array probes in order to increase productivity of measurement process and improving the performance of probes.

Index terms: Magnetic field modeling, Finite element method, Image reconstruction, Magnetic field, Visualization., AMR sensors array, Magnetic field measurement.

I. INTRODUCTION

In many applications such as nondestructive testing, electromagnetic compatibility, identifications, medical diagnosis and etc., we search for sources or anomalies inside an inaccessible regions. This problem classically is done by detection, localization and characterization. The present development of the measurement devices does well in the detection and localization, but the exact determination of the shape, surface and volume reconstruction of the object under consideration are still a problem of paramount importance. Determination of the field distributions from locally measurements outside the source area formulates the inverse electromagnetic problem. The present visualizing devices, high technology methodologies for visualization, image processing and data manipulations give possibilities for precise analysis and solutions of forward and inverse problems in electromagnetics, medicine, architecture etc. Recently, the field theory and image processing techniques were successfully applied for visualization of electromagnetic fields as well as to several inverse electromagnetic problems [1-3].

In this paper we develop a system for modeling and measurement of magnetic field distribution in biological structures caused by the externally applied electromagnetic field. We propose an approach for 3D field reconstruction visualizing the measured data of 2D magnetic field distributions. The finite element method (FEM) is applied for determination of magnetic field distribution in very thin slices of human leg exposed to externally applied time varying magnetic field. The images obtained by visualizing the magnetic field distributions are considered as slices of 3D image. Based on the field theory and image processing techniques, we built 3D reconstruction approach for 3D visualization of magnetic field. The proposed approach was successfully applied for 3D reconstruction and visualization of magnetic field and current distributions. This approach suggests a possibility for 3D visualization of magnetic field with complex structure and characteristics.

During modeling, simulation and measurements usually very large multidimensional datasets are generated and utilized. In order to facilitate the analysis of the phenomena, processes as well as magnetic field distribution in biological structures during magnetic stimulation the virtual biomagnetic microscope is developed.

The Anisotropic Magneto-Resistive (AMR) sensors are applied for magnetic field measurements [15-21]. AMR sensors are based on anisotropic magnetoresistance effect: the resistivity of ferromagnetic alloys measured in a direction parallel to the magnetization of permalloy film is slightly higher than the resistivity measured perpendicular to the magnetization. The main advantages of AMR sensors compared to Hall sensors are:

- high sensitivity;
- higher accuracy;
- no piezo effect;
- higher operational temperatures.

AMR sensors are combined in array probes in order to increase productivity of measurement process and improving the performance of probes applied for magnetic field measurements in space around coils. The AMR magnetic sensors and sensor arrays offer improvements in speed and resolution in eddy-current testing and bio-magnetic imaging. Arrays of AMR magnetic sensors allow rapid scanning of an area of interest in a single pass. The small size and low power consumption of these solid-state magnetic sensors enable the fabrication of compact arrays of sensors on circuit boards and even on-chip sensor arrays.

II. MAGNETIC FIELD IN HUMAN BODY

The externally applied time-varying magnetic fields are widely used in medicine, especially for diagnosis and therapy. A wide range of frequencies and magnetic field intensities are employed, and various requirements are associated with these applications [4-8]. Applying magnetic field to human body results in current flow and electrical field induced in non-homogeneous and anisotropic biological structures. Magnetic stimulation has become an important powerful tool in neurophysiology. In magnetic stimulation, short and very intensive current pulses are supplied to the coil in order to produce a fast rising, strong magnetic field and to stimulate nerve fibers in the cerebral cortex or in peripheral nerves [9-13]. Faraday's law expresses the electric field \mathbf{E} induced in the tissue during externally applied time varying magnetic field .

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1)$$

where \mathbf{B} is the magnetic field produced by magnetic stimulation coil with current I and

determined by the Biot-Savart law

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I(t) \int_S \frac{d\mathbf{l}(\mathbf{r}') \times (\mathbf{r} - \mathbf{r}')}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|^3}, \quad (2)$$

where μ_0 is the permeability of free space.

The electric field is expressed by magnetic vector potential \mathbf{A} and electric potential V as

$$\mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \nabla V. \quad (3)$$

The magnetic field distribution changes according to respective configuration of electromagnetic systems used to excite the magnetic field in human body.

Development of computation model of magnetic field distributions that take into account all properties and characteristics of the biological structures are extremely important in order to realize effective medical diagnosis and therapy. The numerical methods, e.g. finite element method and boundary element method, are powerful tools to investigate the electric and magnetic field distribution produced by electromagnetic devices. Numerical techniques are capable of analysis of various heterogeneous structures of biological bodies exposed to magnetic fields.

III. MAGNETIC STIMULATION OF HUMAN BODY

The human leg has been exposed to magnetic field excited by coil. The cross-section of the human anatomical leg regions under consideration is shown in Fig. 1(a). The images of the slices with distance 1 cm between them are presented in Fig. 2. A three-dimensional stacked image model in Fig. 1(b) is created from the 2-D slices shown in Fig.2.

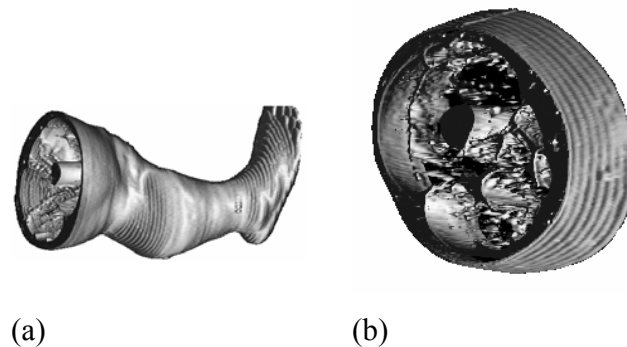


Figure 1. Cross section of human leg.

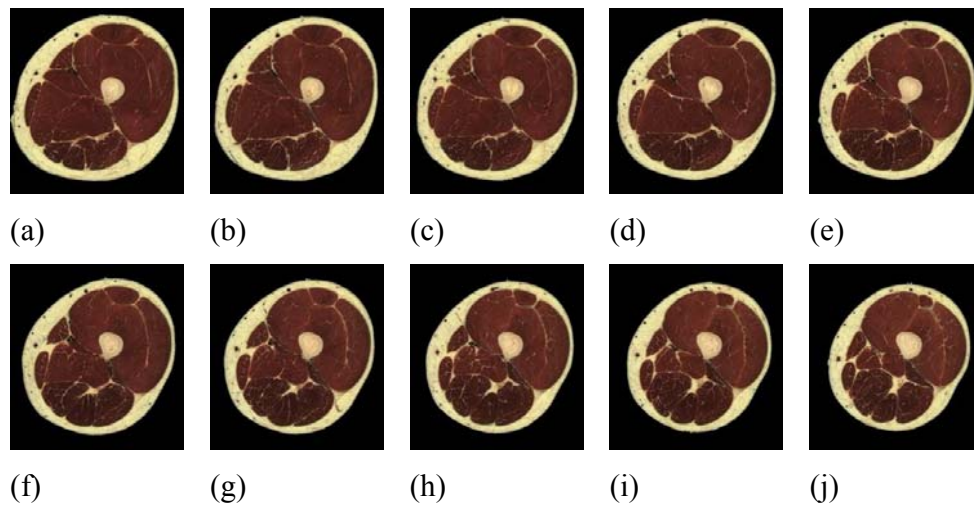


Figure 2. Leg slices at distance 1 cm.

The external magnetic field is excited by standard planar construction of single circular coil for magnetic stimulation with inner diameter - 0.044m and outside diameter - 0.087m. The coil is wound of 9 concentric turns of rectangular copper wire. The magnetic stimulation circular coil is shown in Fig. 3(a). The magnetic field distribution produced by the coil is shown in Fig. 3b.

IV. FINITE ELEMENT MODEL

Three-dimensional finite element model for magnetic field calculations in biological structures is built and applied to the each slice of the human legs shown in Fig. 2.

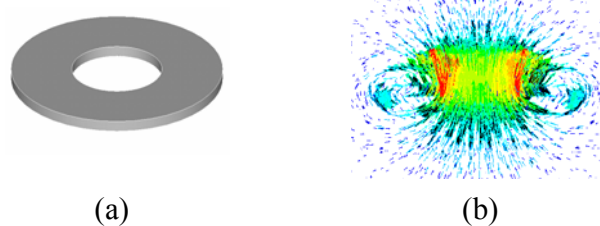


Figure 3. Magnetic stimulation coil and field distribution

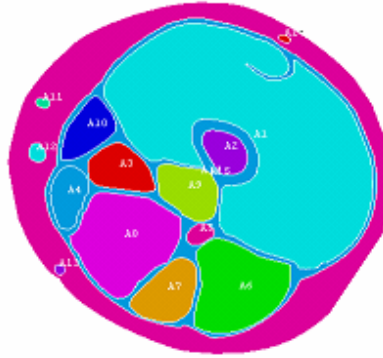


Figure 4. Finite element model areas

Table 1 Tissue properties and model areas

Tissue	Areas	Conductivity σ , S/m
Blood	1,9,11	7.00 e-01
Bone	5	2.03 e-02
Bone marrow	26	8.51 e-01
Fat	24	2.34 e-02
Muscle	2,4,7,8,10,12,15,16,17,18,19	3.34 e-01
Nerve	5	3.20 e-01
White matter	6	6.55 e-02
Skin dermis	25	2.01 e-02

The leg slices are with diameter of 20 cm approximately and length of 1 cm. The slice images are traced and the corresponding areas and volumes for application of FEM are created as shown in Fig. 4. The tissue properties used in the FEM model are listed in Table 1. The medium is accepted to be magnetically homogeneous, with relative magnetic permeability $\mu_r = \mu_0$.

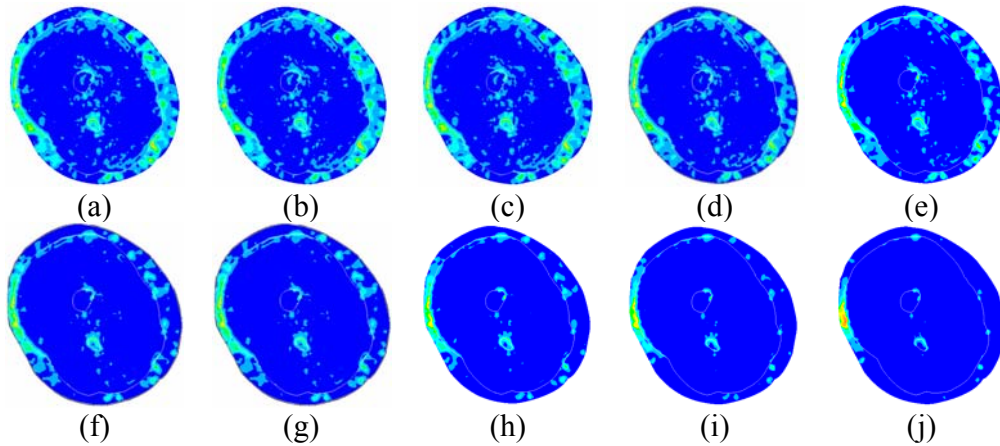


Figure 5. Magnetic field distributions

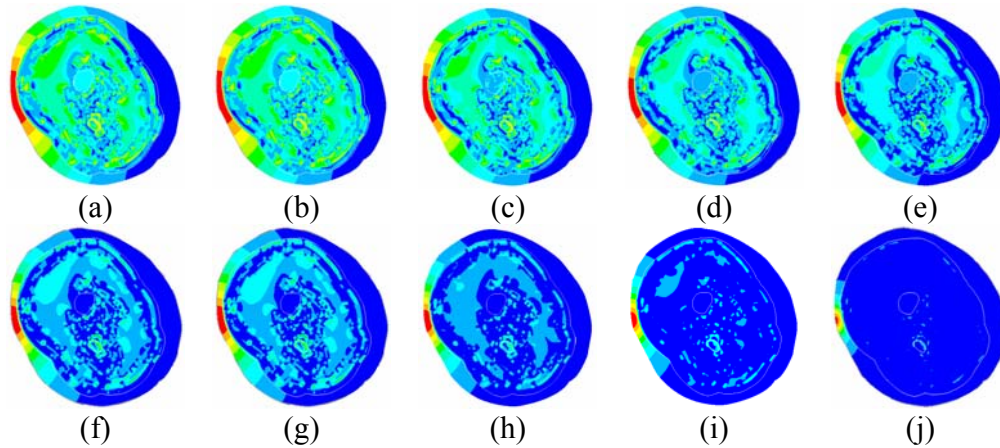


Figure 6. Current distributions

Firstly, the open boundary problem is solved determining the magnetic field distribution of the magnetic stimulation coil for given frequency. As a result, values of the three components of magnetic vector-potential $\mathbf{A} - A_x, A_y,$ and $A_z,$ at the boundary of the slice under consideration are determined. The relative magnetic homogeneity of biostructures with magnetic permeability $\mu \approx \mu_0$ gives possibility the magnetic vector potential to be determined by expressions

$$\mathbf{A} = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{\mathbf{J}}{\mathbf{r}} dv. \tag{4}$$

The components of magnetic vector potential could be considered as independent from the field induced in interior of the region under consideration. This is possible because of the relatively low value of specific conductivity of the biostructures as well as low values of the eddy currents. Secondly, the values of the magnetic vector potential over the slice boundary are imposed as boundary conditions solving the internal Dirichlet boundary problem. As a result the magnetic

field distribution is determined in the slice. Using the developed FEM model the magnetic field was calculated and visualized for each slice of the human leg during magnetic stimulation. The field distribution is investigated at different values of coil current and frequencies. The results presented are for the peak value of the current 1kA with frequency 10 kHz. The magnetic field distributions are visualized and presented in Fig. 5. Figure 6 shows the current distributions caused by the induced voltage.

V. 3D RECONSTRUCTION OF MAGNETIC FIELD

A 3D volume of data for visualization of magnetic field was created from the 2D slices of locally determined and visualized magnetic field distribution at parallel surfaces by transforming each pixel in the 2D slice to its corresponding 3D location using the position, orientation and Green's function. If the 2D slices are arbitrary oriented and positioned in space, some of the voxels in the volume data set are not assigned intensity values. These voxels were identified and assigned an intensity value based on the weighted average of its neighboring voxels. Consequently resembled 3D magnetic field data set is visualized.



Figure 7. 3D reconstruction of magnetic field distributions

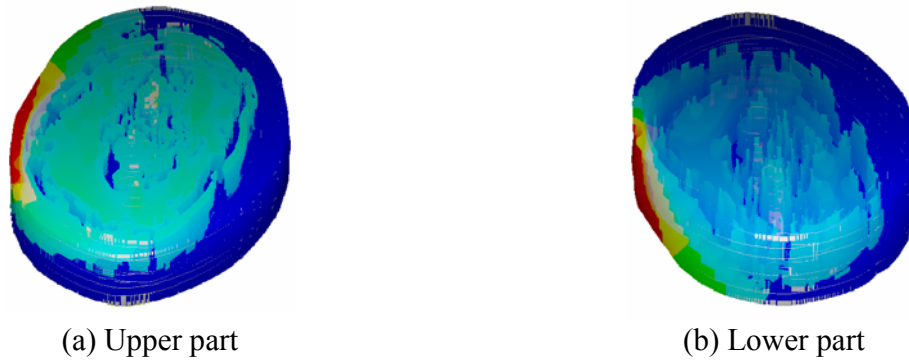
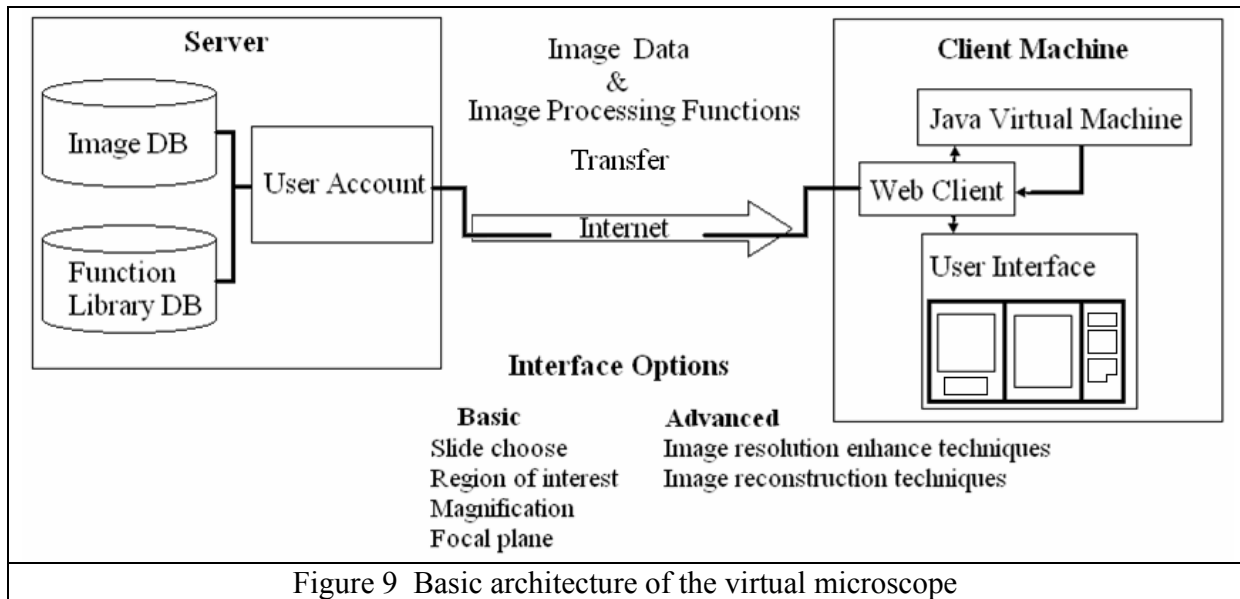


Figure 8. 3D reconstruction of current distributions

Combining the 2D magnetic fields shown in Fig. 5 does the 3D reconstruction and visualization of magnetic field. The 3D magnetic field of the human leg under consideration is shown in Fig. 7. Fig. 8 shows the 3D reconstructed current distributions. Thus, using the 2D magnetic field and current distributions the 3D reconstruction is realized.

VI. VIRTUAL BIOMAGNETIC MICROSCOPE

The virtual biomagnetic microscope has been design and implemented for analysis of biomagnetic field distributions [14]. The system store and processes the extremely large quantities of data required to represent a collection of slides as well as provides an access to archived digital slide images. The virtual biomagnetic microscopy is capable to explore the most important characteristics of fields and regions of interest as concentration and localization, zoom, focus-in-depth of magnetic field, etc. The Virtual Microscope is a client-server system designed to provide a realistic digital emulation of a high power light microscope. The architecture of the developed virtual microscope is shown in Fig. 9.



The 3D virtual microscope interface shown in Fig. 11 consists of 3D anatomy display window, the 3D field distribution window and control window. The 3D biological display window shows the 3D reconstruction of the available biological slices of the object under consideration. The 3D Field Distribution window shows the 3D field distribution of the object obtained by reconstruction of 2D field distribution presented by 2D virtual biomagnetic microscope interface shown in Fig. 10.

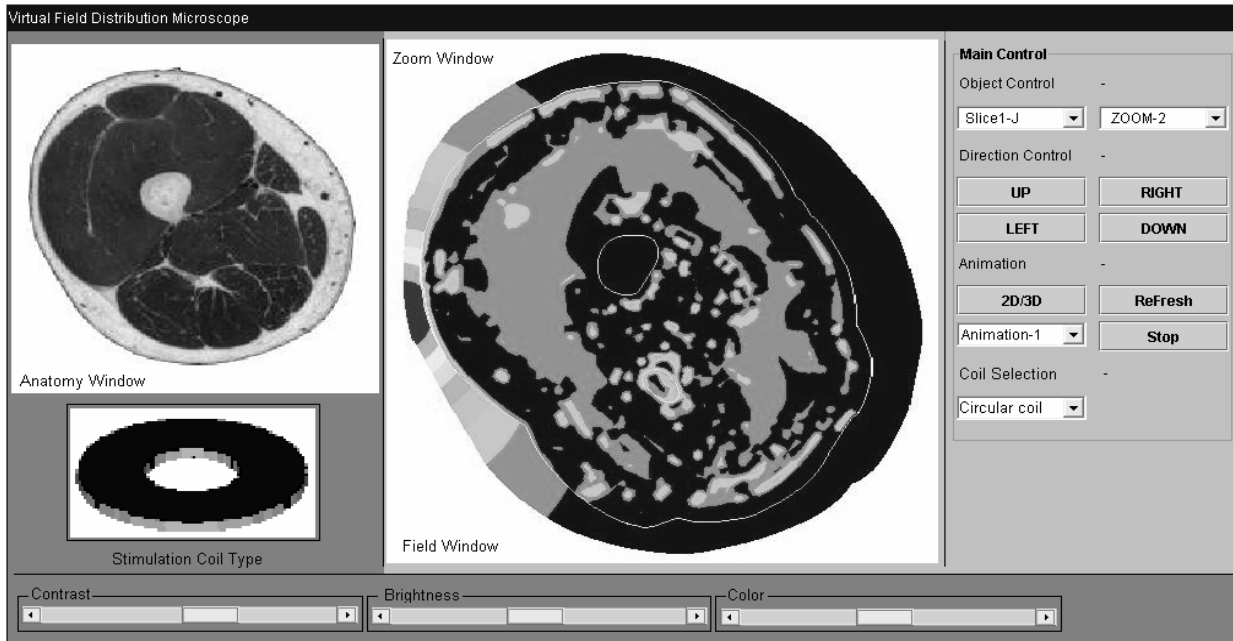


Figure 10. 2D Virtual microscope interface

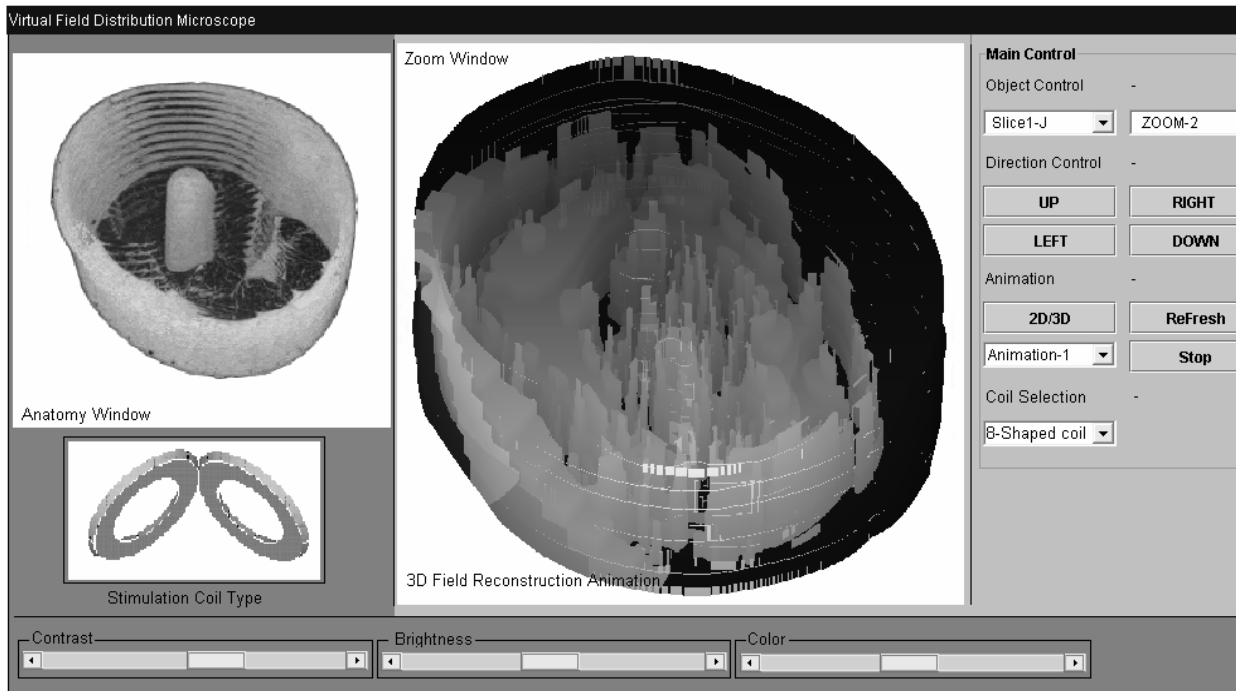


Figure 11. 3D Virtual microscope interface

VII. ARRAY SENSOR SYSTEM FOR MAGNETIC FIELD MEASUREMENT

For measurement of magnetic field in biological structures we developed measurement system using Anisotropic Magneto-Resistive (AMR) sensors. AMR sensors are based on anisotropic magnetoresistance effect. AMR sensors are combined in array probes in order to increase productivity of measurement process and improving the performance of probes applied for magnetic field measurements. Arrays of very small magnetic sensors can be used to detect very small magnetic fields with very high spatial resolution. Sensor array design depends largely upon the specific application. Arrays can include two- and three-axis sensors to measure vector fields. They are configured as extended one-dimensional arrays to survey a wide area in a single pass. Two-dimensional arrays of sensors can be left in place to survey an area without moving the array. The design of a two-dimensional array with 9 sensors is shown in Fig.12. Each sensor is a Wheatstone bridge. The bridges are connected in parallel with a common supply and ground. An example of a two-dimensional array of seven sensors is shown in Fig.13. This array can assure direct magnetic field image as well as field gradient in XZ plane. The total width of both arrays is 16 mm and the length is 22 mm. They are detecting the vertical component (Y) of the magnetic

field. Design of a two-dimensional array with 8 sensors is shown in Fig.14. This type of sensor can assure simultaneously information of two components of magnetic field flux density components (X-Y).

Several types for sensor signal pick up circuit systems are considered in Fig. 15-17.

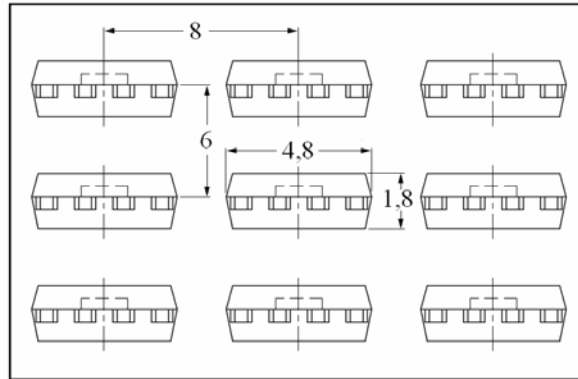


Fig.12. 3x3-element square array.

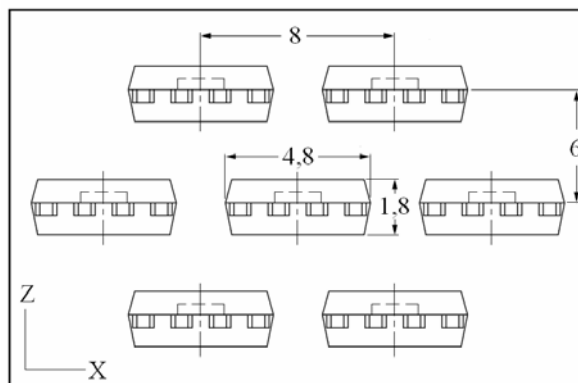


Fig.13. 7-element hexagonal array.

First array circuit in Fig.14 is based on National Instruments USB-6008 data acquisition device. Voltage range of USB-6008 is 10V at resolution 14,7mV with accuracy $\pm(1,7\%)$ [20]. Limitation of this circuit is the number of analog input channels of data acquisition device.

Second array circuit in Fig.15 uses multiplexing IC controlled by a signal generator. Pick-up voltage signal is measured with Protek-506 Digital multimeter with voltage range 400mV at resolution 0,1mV with accuracy $\pm(1,5\%)$ [21].

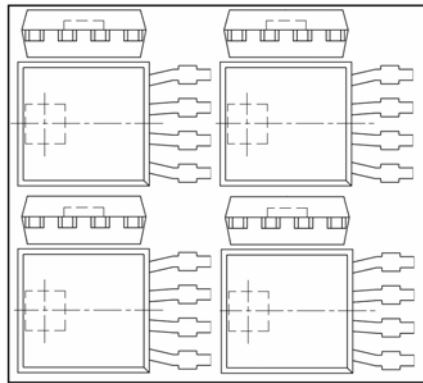


Figure 14. X-Y magnetic field flux density components array.

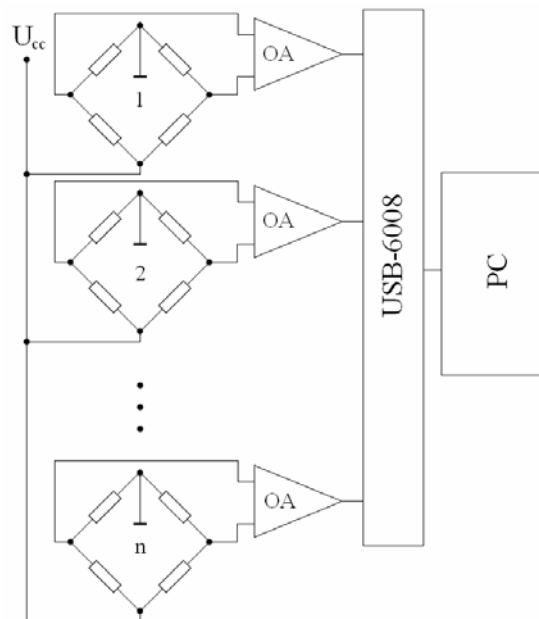


Fig.15. Signal pick-up circuit with USB-6008.

USB-6008 is directly connected to the PC and LabVIEW. Virtual instrument is created for signal processing and storage. Protek-506 uses RS-232 interface for data collection. [21]

Third array circuit in Fig.17 is a combination of both previously considered systems. It uses multiplexing IC controlled by a signal generator and USB-6008 DAQ device. Multiplexor IC unit controls the portions of data to USB-6008 DAQ device. Maximal capacity of this circuit with $8\text{ch.}(\text{multiplexor IC}) \times 8\text{ch.}(\text{DAQ})=64\text{ch.}$ or 64 sensor elements.

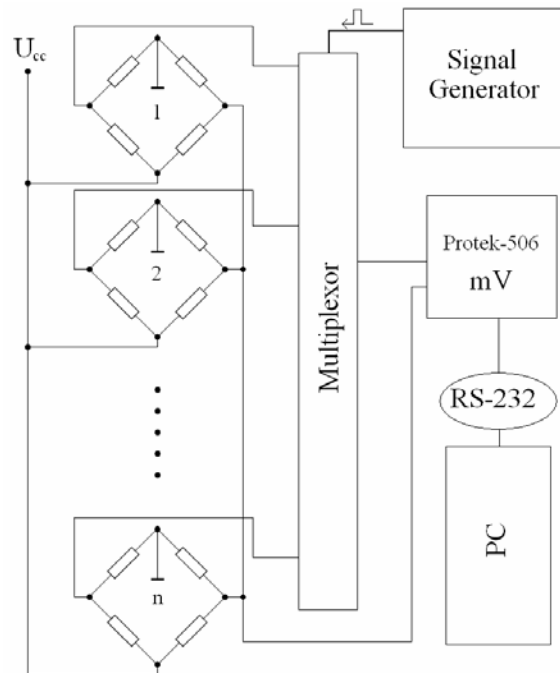


Fig.16. Signal pick-up circuit with Protek506.

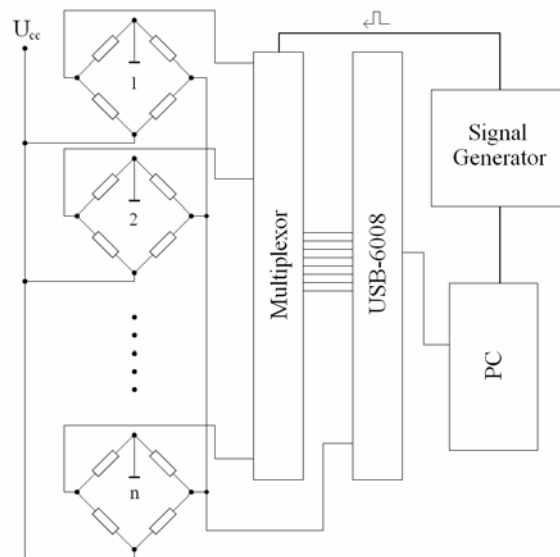


Figure17. Signal pick-up circuit.

Multiplexer in Fig. 17 activates eight pick-up AMR sensors at the time. The receiving configuration may be composed up to 64 sensor elements. Eight channels are activated in eight acquisition time intervals (or time slots of DAQ) to activate the complete probe in a very short period of time.

This multiplexing technique provides a large coverage in a single inspection pass while maintaining high scanning resolution.

VI. CONCLUSIONS

Computational model using FEM has been developed and used to investigate the electric and magnetic field distributions in human body produced by externally applied magnetic field. The model could use the CT images or cross-section images of the human biostructures.

Magnetic field and current distributions are visualized and analyzed. The 3D magnetic field visualization is realized by the 3D reconstruction approach using images of 2D magnetic field distribution. The 3D reconstruction approach combines new technologies of 3D visualizations and characterizes with flexibility, simplicity and portability. The proposed approach was successfully applied for 3D reconstruction and visualization of magnetic field as well as current distributions in the human leg exposed to externally applied time varying magnetic field.

The virtual microscope is developed for investigations of magnetic field distribution in biological structures during magnetic stimulation.

For measurement of magnetic field in biological structures we developed measurement system using anisotropic magneto-resistive sensors. The system give possibilities to measure weak magnetic field with high precisison and high spatial resolution.

Significant improvements in the efficacy and device performance used for medical diagnosis and therapy are expected as a result of a field analysis using numerical methods. In practical aspect this study can be used to build the effective methodologies for modeling, investigation of the fields, processes, phenomena in human body and for design of electromagnetic devices for medical therapy or diagnosis use.

VI. ACKNOWLEDGMENT

Parts of the research are supported by contract D002-157/2008 with Ministry of Science and Education.

REFERENCES

- [1] I. Marinova, H. Endo, S. Hayano, and Y. Saito, "Image Reconstruction for Electromagnetic Field Visualization by an Inverse Problem Solution", *Int. Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 15 IOS Press, (2001/2002), pp. 403-408.
- [2] I. Marinova, H. Endo, S. Hayano, and Y. Saito, "Inverse Electromagnetic Problems by Field Visualization", *IEEE Trans. Magn.* Vol. 40, No. 2, 2004, pp.1088-1093
- [3] T. Doi, S. Hayano, I. Marinova, and Y. Saito, "Defect recognition in conductive materials by local magnetic field measurement", *Journal of Applied Physics*, Vol. 75, No. 10, 1994, pp. 5907-5909
- [4] I. Marinova, C. Panchev, and D. Katsakos, "A Neural Network Inversion Approach for Electromagnetic Device Design", *IEEE. Trans. Magn*, Vol. 36, No. 4, 2000, pp. 1080-1084
- [5] I. Marinova, C. Panchev, and D. Katsakos, "Gradient Coil Design for MRI by Neural Networks", The Joint Seminar'99, Nov. 1-3, Sapporo, Japan, 1999, pp.14-15
- [6] C. Im, C. Lee, "Computer-Aided Performance Evaluation of a Multichannel Transcranial Magnetic Stimulation System", *IEEE Trans. Magn.*, Vol. 42, No. 12, 2006, pp. 3803-3808
- [7] I. Marinova and L. Kovachev, "Inverse Approach for Determination of the Coils Location in Magnetic Stimulation", in *Applied Electromagnetics. Proceedings of the 3rd JBMSAEM*, Sept. 15-17, Ohrid, Macedonia, 2000, pp. 140-146
- [8] V. Krasteva , S. Papazov and I. Daskalov, "Magnetic Stimulation for Non-homogeneous Biological Structures", *BioMed Eng OnLine*. 1: 3, <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/1/1/3>, 2002
- [9] P. Basser, "Focal Magnetic Stimulation of an Axon", *IEEE Trans. Biomedical Engineering*, Vol. 41, No. 6, 1994)
- [10] S. Ueno, "Inverse Problem Aspects in the Field of Biomagnetic Applications", *Non-Linear Electro- magnetic System*. V. Kose and J. Sievert (Eds.) IOS Press, 1998
- [11] R. Jalinous, "Guide to Magnetic Stimulation", Magstim Company Ltd., 1998
- [12] M. A. Stuchly, "Applications of Time-varying Magnetic Fields in Medicine", *Critical Review in Biomedical Engineering*, Vol. 18, No. 2, 1990, pp. 89-124
- [13] J. P. Reilly, "Peripheral Nerve Stimulation by Induced Electric Currents: Exposure to Time Varying Magnetic Fields", *Medical & Biological Engineering & Computing*, 1998, pp. 101-118

- [14] I. Marinova and V. Mateev, "Virtual Magnetic Microscope", Proceedings of 16th symposium on Metrology and Metrology Assurance, Sept. 12-14, Sozopol, Bulgaria, 2006, pp. 138-142
- [15] C. Smith, B. Schneider, A. Pohm. High-Resolution, Chip-Size Magnetic Sensor Arrays. Sensors Magazine, Vol. 20(3), 2003, pp. 44-49.
- [16] B. Marchand, F. Vacher, C. Gilles-Pascaud, JM. Decitre, C. Fermon. High Resolution Eddy Current Probes For Non Destructive Testing. 34th Annual Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation. AIP Conference Proceedings, Vol. 9(75), 2008, pp. 313-320.
- [17] Vacher, F., C. Gilles-Pascaud, J. M. Decitre, C. Fermon, M. Pannetier. Non Destructive Testing with GMR Magnetic Sensor Arrays. ECNDT, Vol. 4, 2006, pp. 13-18.
- [18] Philips Semiconductors. KMZ10B Magnetic Field Sensor - Product Specification. 1998.
- [19] Philips Semiconductors. Magnetic Field Sensors - General. 1998.
- [20] National Instruments Corporation. USB-6008/6009 User Guide And Specifications. 2005.
- [21] <http://www.protektest.com>.

鉄共振現象に関する考察

Study of Ferro-resonance phenomenon

松尾 佳祐^{*1} (学生員), 遠藤 久^{*2} (正員), 齋藤 兆古^{*1} (正員)

Keisuke MATSUO (Stu. Mem.), Hisashi ENDO (Mem.), Yoshifuru SAITO (Mem.)

This paper studies nonlinear phenomenon caused by ferromagnetic materials. To represent nonlinear properties of ferromagnetic materials used in series ferroresonance circuit, we employ a Chua-type magnetization model composed of the nonlinear parameters: permeability μ , reversible permeability μ_r , and hysteresis parameter s independently measured from the past magnetization history. By the modified backward Euler method with automatic modification, a transient analysis of this initial value problem is carried out. As a result, it is clarified that some of the magnetic energy to be iron loss is recovered from magnetic materials when the ferroresonance phenomenon is occurring. This energy may be considered as a reason why the series ferroresonance is continuing even if a source voltage is reducing.

Keywords: Nonlinear, Ferromagnetic materials, Ferroresonance

1 緒言

磁氣的結合など磁性材料の特性を積極的に利用した多彩な機能を有する電気機器が数多く開発され、実用化されている。しかし、磁性材料の持つ磁気飽和、ヒステリシス、渦電流等の特性は、時として磁性材料を用いる電気機器において、予測困難で複雑なシステム応答を示す場合がある。したがって、磁性材料を含む電磁界解析の高信頼化は、高度化する電気機器の設計に必要不可欠であり、予測し難いシステム応答の解明に重要な役割を果たす。このような現状と共に、近年のパーソナルコンピュータの大メモリー容量と演算速度の高速化は目覚しく、パーソナルコンピュータで比較的大規模な有限要素解、非線形解析をも遂行可能となりつつある。

磁気ヒステリシスを表現するためにさまざまな磁化特性モデルが提案されているが、その大半は過去の磁気履歴や物理的要因、例えば、残留磁気、残留応力等によって影響を受けるパラメータを用いている。このため、履歴特性を表現するパラメータそのものが履歴を含むことに起因して、再現される履歴現象は限定されることとなる。磁性材料を含む電磁界解析のキーは、材料の特性を表現する磁化特性モデル、すなわち構成

方程式を導出し、Maxwell の方程式を解くことに帰する。以前から早野・齋藤らが提案する Chua 型磁化特性モデルを用いて、筆者等のグループは強磁性体特有の現象であるヒステリシス、磁気余効、鉄共振現象などのシミュレーションおよびその実験的検証に成功し、電気機器設計に有用な鉄損、周波数特性、表皮深さに関する報告をしている[1,2]。さらに他の代表的磁化特性モデルとの関係も明らかにしている[1,2,3]。

本論文では、Chua 型磁化特性モデルを用いて直列鉄共振回路の共振時における磁化特性の解析を行い、鉄共振現象発現の根幹と考えられる現象を明らかにする。具体的には、Chua 型磁化特性モデルの構成方程式より導出される回路方程式を状態変数法で表現し、逐次修正型後方オイラー法を用いて過渡解析を行う[4]。その結果、磁化が磁気飽和（回転磁化領域）に達すると本来鉄損となるべき磁気エネルギーの一部が回路へ回生され、この回生エネルギーによって印加電源電圧の低減にも拘わらず共振が持続する。すなわち、鉄共振現象を喚起する磁性材料の性質を報告する。

2 Chua 型磁化特性モデル

鉄共振回路の過渡解析を行うために、式(1)で与えられる Chua 型磁化特性モデルの構成方程式を用いる。

$$H = \frac{1}{\mu} B + \frac{1}{s} \left(\frac{dB}{dt} - \mu_r \frac{dH}{dt} \right) \quad (1)$$

式(1)の右辺第1項は静的な磁区状態を表し、第2項は動的な磁区状態を表す。ここで、 H 、 B はそれぞれの磁界の強さ[A/m]と磁束密度[T]を表し、 μ 、 μ_r 、 s は

連絡先：松尾 佳祐，〒184-8584 東京都小金井市梶野町3-7-2，法政大学大学院工学研究科電気工学専攻齋藤兆古研究室，

e-mail: matsuo@ysaitoh.k.hosei.ac.jp

^{*1} 法政大学

^{*2} (株) 日立製作所

Chua型磁化特性モデルのパラメータであり、それぞれ透磁率[H/m]、可逆透磁率[H/m]、ヒステリシス係数[Ω/m]である。この3パラメータは、過去の磁気履歴や駆動周波数に依存しない方法で導出、測定されることが磁化特性モデル構成に関する最大のキーポイントである[5]。

透磁率 μ は磁化曲線の各点において交流消磁をして得られる理想磁化曲線から決定する。飽和値に達する周期的磁化状態のヒステリシスループにおいて、同一磁束密度における上昇曲線と下降曲線それぞれの磁界の平均値をトレースすると近似理想磁化曲線が得られることが知られている。この理想磁化曲線は過去の磁

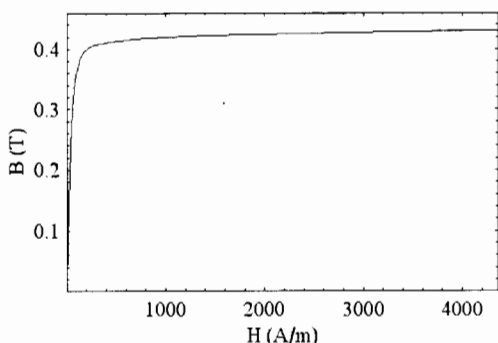


Fig. 1 Magnetization Curve Giving Permeability μ (TDK H5A)

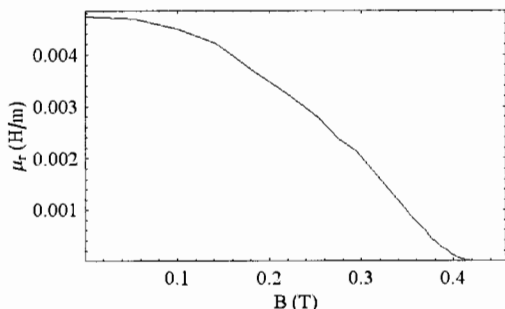


Fig. 2 Reversible Permeability μ_r (TDK H5A)

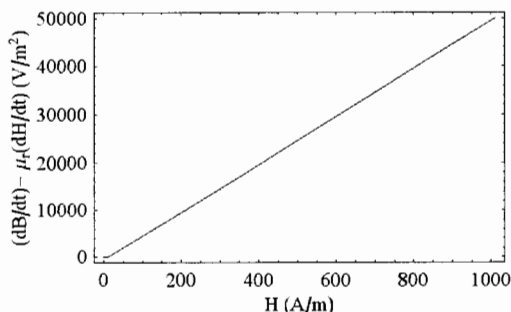


Fig. 3 Hysteresis Parameter s (TDK H5A)

化履歴を交流消磁して得られるため過去の磁化履歴に無関係である。

可逆透磁率 μ_r もまた、過去の磁化履歴に依存しないパラメータでなければならない。このため、過去の磁化履歴に無関係である理想磁化曲線測定時におけるマイナーループ、すなわち理想磁化曲線測定時に得られる増分透磁率を用いる。この増分透磁率を測定する場合、渦電流や表皮効果の影響を削減するため、極めて低周波の励磁電源を用いて測定する必要がある。

ヒステリシス係数 s は、磁束密度 $B=0$ 時のサーチコイル誘起電圧より dB/dt 、さらに電流より dH/dt を求めることで決定できる。すなわち、磁束密度 $B=0$ 時の磁界 H は、保磁力 H_c に対応するから式(1)よりヒステリシス係数 s は、

$$s = \frac{1}{H_c} \left(\frac{dB}{dt} - \mu_r \frac{dH}{dt} \right) \quad (2)$$

となる。結果として、励磁電圧を変化させ、磁束密度 $B=0$ 時の dB/dt と dH/dt より、ヒステリシス係数 s が求まる。また、 μ_r は $B=0$ のとき最大となるため、式(2)でヒステリシス係数 s を求める場合に使用する μ_r の値は最大可逆透磁率である。

磁化特性モデルは、磁気履歴を表現しようとするものであり、モデルを構成するパラメータ自身が過去の磁化履歴に依存するようなものであってはならない。Figs.1-3 は実際に測定されたフェライトコア (TDK H5A) の Chua 型モデルのパラメータ μ 、 μ_r 、 s を与える曲線である。本論文ではこれらのパラメータを解析に用いる。

3 鉄共振回路の解析

3.1 直列鉄共振回路

本論文の解析対象は、Fig.4 に示すように R-L-C 直列回路を構成するものである。

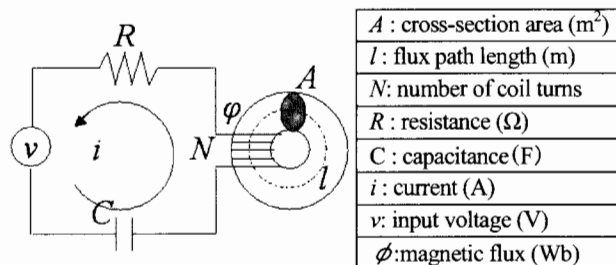


Fig.4 Single phase transformer composing a series ferroresonance circuit

式(1)の構成方程式を Fig.4 に示すリアクトルを構成するトロイダルコアの磁路 l に沿って線積分することで、電流 i と磁束 ϕ の関係式(3)を得る。

$$Ni + \frac{\mu_r}{s} N \frac{di}{dt} = \frac{l}{\mu A} \phi + \frac{l}{sA} \frac{d\phi}{dt}$$

Fig.4 に示す回路より、電流 i とその時間微分 di/t は以下の式(4), (5)でそれぞれ与えられる。

$$i = (v - N \frac{d\phi}{dt} - V_c) / R$$

$$\frac{di}{dt} = (\frac{dv}{dt} - N \frac{d^2\phi}{dt^2} - \frac{dV_c}{dt}) / R$$

式(4), (5)を電流 i とその時間微分 di/t を磁束 ϕ の関係式(3)に代入し、解くべき連立微分方程式(6), (7)を得る。

$$\frac{\mu_r N^2}{s R} \frac{d^2\phi}{dt^2} = -\frac{l}{\mu A} \phi - (\frac{N^2}{R} + \frac{l}{sA} + \frac{\mu_r N^2}{s CR^2}) \frac{d\phi}{dt}$$

$$+ (-\frac{N}{R} + \frac{\mu_r N}{s CR^2}) V_c + (1 - \frac{\mu_r N}{s CR^2}) v + \frac{\mu_r N}{s R} \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dV_c}{dt} = (v - N \frac{d\phi}{dt} - V_c) / CR$$

式(6), (7)から式(8)の状態変数方程式が導かれる。

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \phi \\ \frac{d\phi}{dt} \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi \\ \frac{d\phi}{dt} \\ V_c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

式(8)の非線形状態変数方程式へ時間刻み幅自動逐次修正型後方オイラー法を適用して解く[6]。

3.2 解析結果

Table1 に示す定数を用いて直列鉄共振回路の過渡解析を行った。ここで、コンデンサ容量 C の決定法につ

μ : permeability (H/m)	Fig. 1
μ_r : reversible permeability (H/m)	Fig. 2
s : hysteresis parameter(Ω /m)	Fig. 3
A : cross-section area (m^2)	48.0×10^{-6}
l : flux path length (m)	75.4×10^{-3}
N : number of coil turns	100
R : resistance (Ω)	1.0
C : capacitance (F)	1.0×10^{-6}

Table 1 Parameters used in the computation

いて述べる。鉄共振現象は LC 共振に基づいているから共振する条件を勘案しなければならない。

本論文においては、以下の手順でコンデンサ容量 C を決定した。

- 1)飽和領域に入る直前近傍の透磁率 μ を選ぶ
- 2)線形回路におけるインダクタンス L を求める
- 3)共振条件と励磁周波数からコンデンサ容量を決定する。

(4)

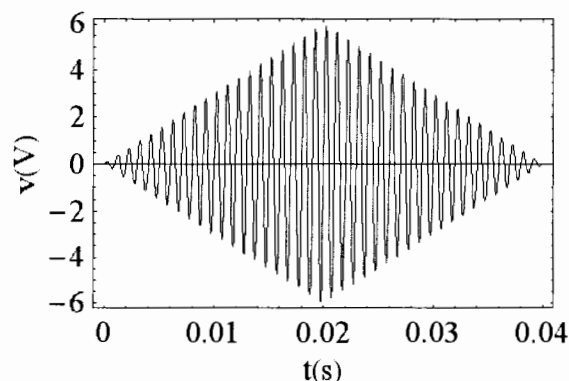


Fig.5 Applied Input Voltage

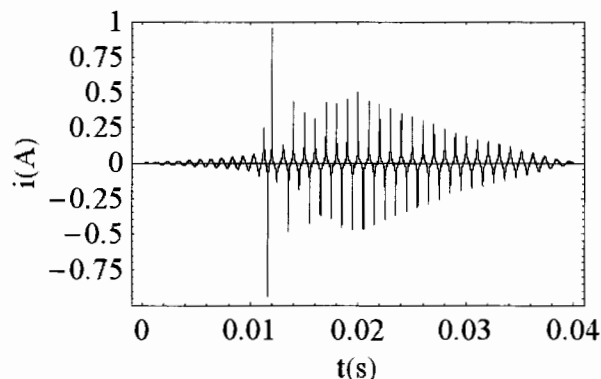


Fig.6 Current (computed)

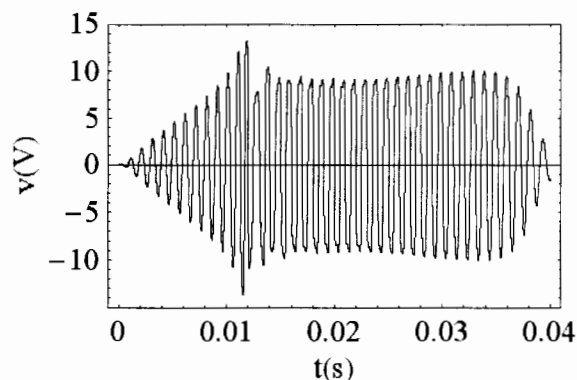


Fig.7 Terminal Voltage (computed)

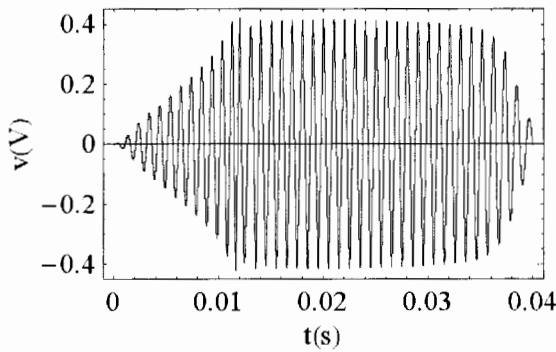


Fig.8 Flux Density (computed)

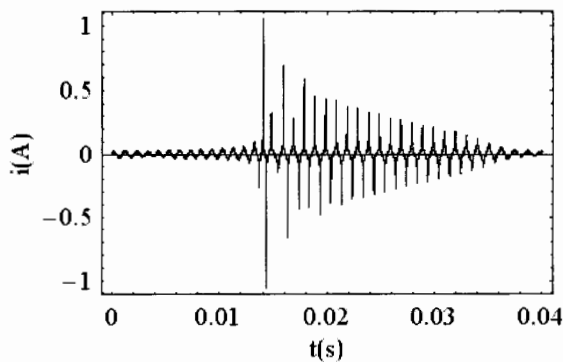


Fig.9 Current (Measured)

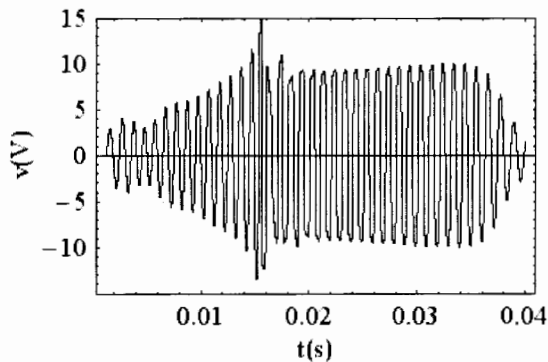


Fig.10 Voltage (Measured)

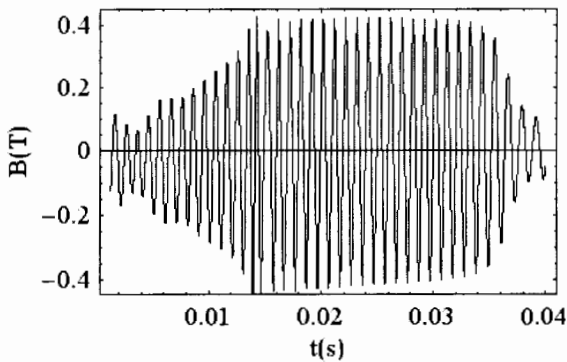


Fig.11 Flux Density (Measured)

Figs.5-8 はそれぞれ入力となる駆動電圧 v , コイルに流れる電流 i , コイルの端子電圧 V_L , 磁束密度 B の時間波形の計算結果である。入力電圧は、周波数 1kHz 一定とし、振幅を 0V から 6V まで徐々に増加させ、その後 0V まで減少させた波形である。Figs.6, 7 より、 $t=0.013$ s 付近で鉄共振現象が起これ、電流が急激に増加し、コイルの端子電圧はほぼ一定値を取っていることがわかる。また、Fig.8 より、鉄共振現象は、磁気飽和領域に達する近傍で開始し、飽和領域に達しなくなると終了していることがわかる。Figs.9-11 はそれぞれ、電流と端子電圧、磁束密度の実験値である。磁束密度は、高周波ノイズに対して加算平均処理で平滑化されたコイルの端子電圧を時間方向へ数値積分して求めた。Figs.6-8 の計算値と良く一致していることがわかる。また、鉄共振現象は、理想磁化曲線から計算される最大透磁率近傍で開始されるということからもこの計算結果は、妥当と考えられる。

Figs.12, 13 は、それぞれ鉄共振中のヒステリシスループの計算値と実験値を示す。Figs.14, 15 は、磁気飽和（回転磁化）領域に至る部分を拡大した図である。

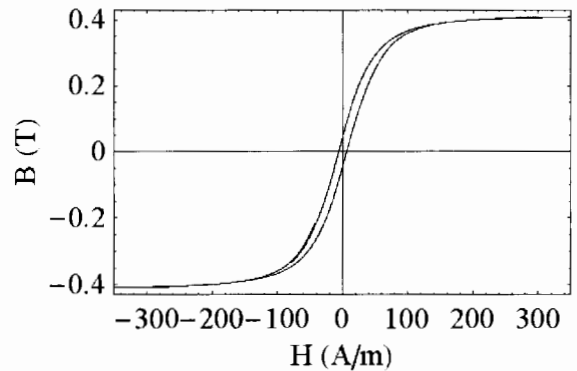


Fig.12 B-H loop (computed)

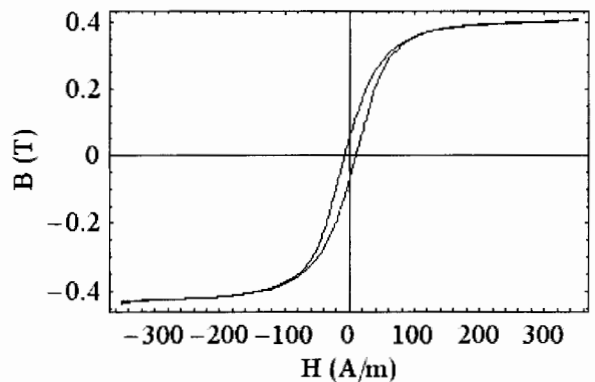


Fig.13 B-H loop (Measured)

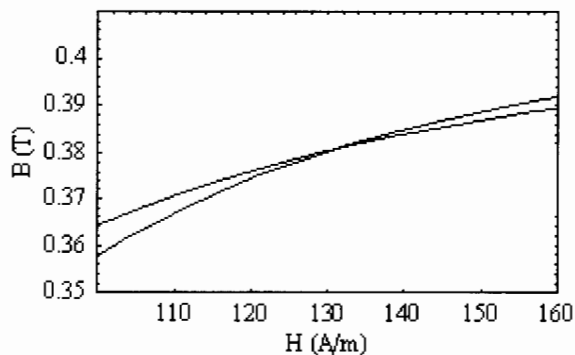


Fig.14 Enlarged B-H loop (computed)

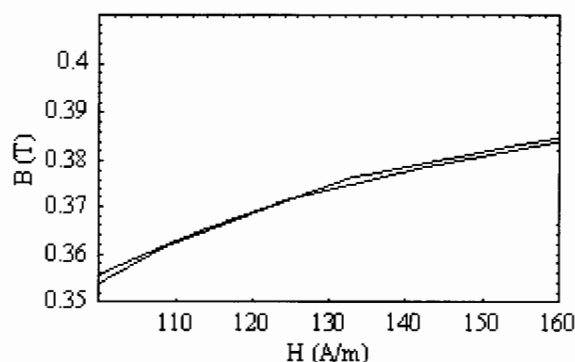


Fig.15 Enlarged B-H loop (Measured)

これらの結果から、磁気飽和領域に達すると、上昇曲線と下降曲線が反転したヒステリシスループが描かれることがわかる。

一般に、ヒステリシスループが囲む面積は単位体積あたりの鉄損に等しい。上下が反転したヒステリシスループは鉄損となるべき磁気エネルギーの一部が系へ回生されることを意味する。よって、磁性体が磁化され、磁気飽和領域へ達すると、鉄損となるべきエネルギーの一部が系へ回生され鉄共振が開始する。そして、飽和領域に達しなくなると、回路に回生されるエネルギーがなくなり鉄共振が終了する。直列鉄共振現象は、入力電圧が減少しているにも拘わらず出力電流が一定値を維持する特徴を持っている。これは、磁性体の鉄損となるべきエネルギーの一部が回生し、入力エネルギーへ重畳することで共振の持続がなされると解釈される。

4 結言

本論文では、Chua型磁化特性モデルを用いて、直列鉄共振現象の過渡解析を行い、鉄共振中の磁化特性の解析を行った。

その結果、磁化が飽和領域まで達すると鉄損となる

べき磁気エネルギーの一部が回路へ回生し、結果として、電源電圧の低下にも拘わらず共振の持続を促し、鉄共振現象を持続させると解釈可能であることを明らかにした。

(2008年10月23日受付, 2008年12月15日再受付,
2009年1月30日再々受付)

参考文献

- [1] 早野誠治, “磁性材用の構成方程式に関する研究”, 法政大学学位論文 (1995-1)
- [2] Y. Saito, M. Namiki, and S. Hayano, “A Magnetization Model for Computational Magnetodynamics”, *J. Appl Phys.*, Vol.69, No.8, pp.5684-5686, (1991-4)
- [3] Y. Saito, S. Hayano, and Y. Sakaki, “A Parameter Representing Eddy Current Loss of Soft Magnetic Materials and Its Constitutive Equation”, *J. Appl. Phys.*, Vol.64, No.10, pp.5684-5686(1988-11)
- [4] R.S.Varger, “Matrix Iterative Analysis”, Prentice-hall, NJ (1962)
- [5] 遠藤久, 早野誠治, 齋藤兆古, “可飽和インダクタンスを含む回路解析に関する考察”, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-02-139
- [6] 田中祐司, 齋藤兆古, “磁化特性のモデリングと電気機器可視化解析への応用”, 第15回MAGDAコンファレンス in 桐生 講演論文集, pp104-109, (2006-11)

共振型 ECT センサによる金属欠損の可視化

細原 隆史 , 齊藤 兆古(法政大学大学院), 堀井 清之(白百合女子大学)

Fault Visualization in Metallic Materials by Resonance Type ECT Sensor

Takafumi HOSOHARA, Yoshifuru SAITO, and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

ECT (eddy current testing) is extensively used to inspect such as elevator, escalator, and airplane, nuclear electric and power plant without any destructive testing. This paper proposes a resonance type ECT sensor system which makes it possible to detect the defect of metallic plate with high reliability. Operating principle of this system is based on essential nature of parallel resonant electrical circuit. When the primary coil is working as a sensing part and the secondary coil, i.e. a target metallic material, is magnetically coupled with the primary coil, the resonant frequency and impedance of the ECT sensor system greatly depend on the secondary impedance change caused by a defect such as cracks. By means of this resonance type ECT sensor system, we have visualized the defects of plane metallic materials as a demonstrative example revealing its usefulness.

Keywords: ECT sensor, Resonance type, Fault visualization

1. 緒 論

エレベータやエスカレータ,さらに航空機などの構造を支える金属材料の非破壊検査は安全性確保のために極めて重要な技術である。金属の非破壊検査として,渦電流(ECT)による方法は検査対象と直接接触の必要がなく,比較的簡単な装置で高速な作業が行える反面,渦電流の流れる方向によって金属中の欠損を探知できない問題もあるが,非接触で探査可能であり他の非破壊検査法に比較して有利な特性を有する¹⁾。

本論文で取り上げる共振型 ECT センサ系は励磁コイルの並列共振周波数とインピーダンスが磁氣的に結合する検査対象金属の状態に依存して変化することを利用して。すなわち,励磁コイルの入力端から見た共振条件が

励磁コイルと磁氣的に結合する検査対象中のクラックなどの欠損を反映することを利用したセンサ系である。

本論文では,共振型 ECT センサによる金属板中の欠損を可視化することで共振型 ECT の有効性を示す。

2. 共振型 ECT センサ

2.1 動作原理

共振型 ECT センサの原理を述べる。Fig.1 に示すセンサーコイルで,(a)コイル単独のインピーダンス $|Z|$ と位相の周波数特性を測定する。次に,(b)コイル下に平行金属板を設置して,コイルのインピーダンス $|Z|$ と位相の周波数特性を測定する。さらに,(c)コイル下に1mmの空隙がある金属板を設置して,コイルのインピーダンス $|Z|$ と位相の周波数特性を測定する。

Fig.2 にインピーダンス|Z|および位相の周波数特性を示す。最も共振時のインピーダンスが大きく共振周波数が低い場合はコイル単体時(1)であり、最も共振時のインピーダンスが小さく共振周波数が高い場合はコイルが金属板に面している場合(2)である。金属板に空隙がある場合(3)の共振時のインピーダンスと共振周波数は両者間に位置する値となる。

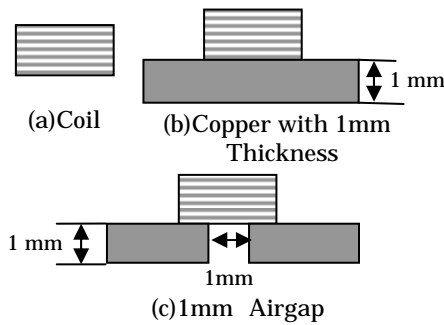


Fig.1 Tested Coil and Measurements

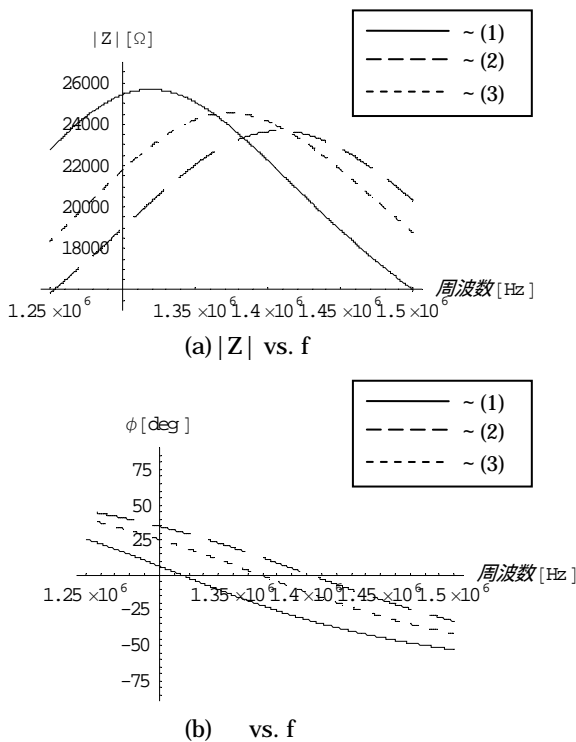


Fig.2 Tested Results

2.2 欠損の可視化

巻き数 500 回、外径 10mm、内径 5mm、さらに長さ 10mm の Fig.1(a)に示す有限長ソレノイド型の励磁コイルを用いて Fig.3 に示す銅板の欠損を共振時のインピーダンス|Z|と位相を用いて可視化する。

Fig.4 は、共振型 ECT を用いて銅板の欠損を可視化し

た結果である。実際の欠損は縦 1cm×横 5mm であるが、インピーダンス|Z|、位相のいずれの結果においても約 2 倍近く大きな輪郭のイメージとなった。ここで、Fig.4 のコントラストに対応するパラメータであるインピーダンスと位相の変化率は式(1)で計算した。さらに、測定点数は 2.5mm 間隔で縦横共に 11 点とした。

$$\text{変化率} = \frac{\text{測定値} - \text{基準値}}{\text{基準値}} \times 100[\%] \quad (1)$$

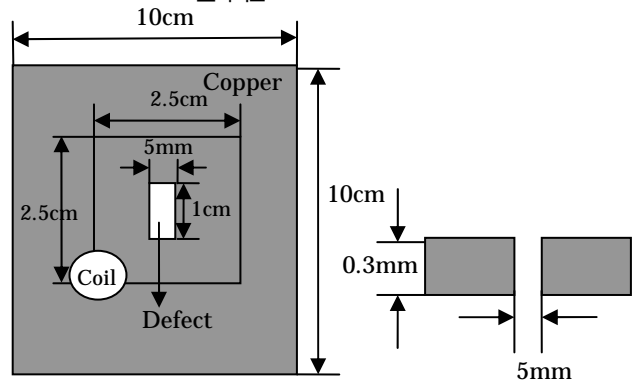


Fig.3 Tested Target Copper Sheet with Rectangular Defect

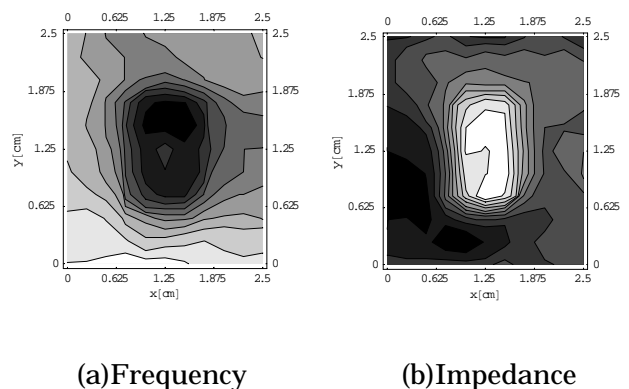


Fig.4 Visualized Defect of Resonance Type ECT

3. まとめ

本論文では共振型 ECT センサの動作原理を述べ、具体的な例として銅板の欠損を可視化した。その結果、共振型 ECT センサを用いて非破壊的に金属板の状態が把握できることが判明した。

参考文献

1) 佐藤庸平、早野誠治、齋藤兆古、堀井清之、“三相交流磁気センサの高度化と薄板状金属の欠損可視化”、可視化情報学会誌、Vol.25、No.1、pp.185-188、(2005)。

『源氏物語』における源氏と醜女末摘花の恋—

井波 真弓[○](白百合女子大学), 齋藤 兆古(法政大学), 堀井 清之(白百合女子大学)Love between Genji and Ugly Lady Suetsumuhana
in “The Tale of Genji”

Mayumi INAMI, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

The movements of the feelings of love in Suetsumuhana (The Safflower) of The tale of Genji, were examined by the discrete wavelets multi-resolution analysis. The aspects for analysis has employed following three elements of Genji: “Obsession” is the interesting and expectation of Genji to Suetsumuhana, “Disappointment” is the broken feelings of expectation and “Acceptance” is his feeling of acceptance with sympathy in spite of her ugly features and awkward manner.

As a result, it is verified that “Obsession” and “Disappointment” have gradually been emphasized showing the opposite shakes and “Acceptance” has the same tendency with “Disappointment” in the latter half. Furthermore, it has been suggested that “Obsession” of Genji would be expanding for future.

Keywords: Obsession, Disappointment, Acceptance, Multi-Resolution Analysis, Wavelet Transform

1. 緒論

本稿の目的は『源氏物語』第六帖「末摘花」における醜女末摘花に対する源氏の感情の揺れを離散値系ウェーブレット多重解像度解析を用いて検証することである。

『源氏物語』の「帚木・空蟬・夕顔」は一まとまりの作品として帚木三帖と呼ばれているが、「末摘花」も帚木三帖と同様に「中の品」の女性が続く一連の作品として第四帖「夕顔」を受けるかたちで書かれている。帚木三帖的な失敗談話の後に「雨夜の品定め」で触発された中の品の女との物語は一応ここで終わりをみる。

第六帖「末摘花」は第五帖「若紫」と同時併行しており、末摘花は、夕顔を追慕する源氏の期待を結果的に裏切る形で登場する。十八歳となる源氏は若紫、藤壺、末摘花という多面的かつ異様な愛情を求め、生涯における好きごとのクライマックス¹⁾となっている。

末摘花²⁾というのは紅花の異称であり、茎の先に付いた花を摘み取って紅を製するところから付いた名である。和歌では恋心の表れを抑えたり、恐れしたりする形で詠まれ、表に表れた恋の比喻として用いられた。しかし『源氏物語』の末摘花の姫君は実際に鼻の先が赤いところからその名で呼ばれる。

故常陸の宮の娘、末摘花は荒廃した邸にただ一人、時代に置き去りにされたようにひっそりと暮らす古風な姫君である。容

貌が醜く、極めて内向的な上、世の習慣にも疎いが故に、他の女性に比べ極端にその特徴が取り上げられ、さまざまに論じられている。鈴木日出男³⁾は神話的視点に立ち、記紀などで知られる木花之佐久夜毘売と石長比売の神話が投影されており、木花之佐久夜毘売を花のはかなさと危うさを夕顔、石長比売の堅牢さ醜さを末摘花と捉えている。また、源氏が彼女を忌避せず、その生活を援助しつつけるのも醜女なればこそその威力が彼にもたらされるから⁴⁾との説もある。さらに、滑稽譚⁵⁾としての側面からも研究されている。

源氏が末摘花に関心を持ったのは夕顔との恋が忘れられず、夕顔のような女性に再会したいとの思いからである。大輔の命婦の話から末摘花に憧れ、心の中に勝手彼女の虚像をつくり上げた。末摘花を琴の名手だと思いつみ、頭の中將とのライバル意識から恋心を駆り立てられ、控えめ過ぎた彼女の態度に心をはやらせた。やがて、源氏は末摘花の醜い容姿を目の当たりにして驚愕するが、源氏はこの不本意な結縁を悔いつつも、その醜貌と困窮に同情し、また、姫君の身を憂える故父宮の靈魂の導きにより自分は招き寄せられたのだらうとの思いから常に庇護者となり続けた。

「末摘花」において、その人物像に関する研究は多量に存在するが、源氏の感情の揺れについて可視化したものはない。そこで、本稿では夕顔のような女性に再会したいと願った源氏が期待にそぐわない醜女末摘花と出会い、どのように「妄執」と

「落胆」繰り返しながら、「受容」していったか、それぞれの要素の揺れをウェブレット多重解像度解析を用いて可視化し考察する。

2. 解析方法

2.1 解析対象

本稿ではテキストに『新編日本古典文学全集』⁶⁾を使用することとする。

源氏十八歳の春、今は亡き夕顔の可憐さが懐かしく思い起こされ、高貴な女性たちとの関係もわずらわしく感じ始めた頃、大輔の命婦から、故常陸の宮を父とする姫君、末摘花の噂を聞いた。

末摘花は宮家に生まれた高貴な姫君であったが、早くに両親と死別し、今ではすっかり没落した生活の中で、琴だけを相手にひっそりと暮らしていた。

官家の姫君、荒れ果てた邸、孤独な生活、野に埋もれた美女というロマンに胸をときめかせながら、源氏は、大輔の命婦の手引きによって、十六夜の月に誘われた一夜、こっそりと末摘花邸に忍んでゆき、彼女の琴の音を聞いて、ますます若き恋心を掻き立てられた。

しかし、その夜は自分の跡をつけてきた恋のライバル頭の中將に見つかり、源氏はしびしび、頭の中將と連れ立って帰った。

いつしか春が過ぎ、夏も去って、再び秋が廻ってきた。源氏は、八月二十日過ぎの月の明るい夜、大輔の命婦の手引きで、再び末摘花邸に忍び込み、彼女と初めて一夜をとにした。しかし、末摘花がまだ恋愛そのものに疎く、風情がなく、無口でひどく無愛想な女性であったので、胸をときめかせていた源氏は、大きく失望した。

源氏はその後も何度か末摘花邸を訪問してはいたが、かわいそうな姫君であるとは思ふものの、積極的に逢おうと思ふ心もないまま、政務にかまけて訪問を怠っていた。しかし、ある冬の雪の夜、久しぶりに末摘花邸を訪問した。

その翌朝の雪明かりの中で彼女の容貌を目の当たりにした源氏は想像をはるかに超えるほどの異常な醜貌に驚く。体型は胴長で、骨ばっており、垂れた鼻は紅花で染めたように赤かった。さらに、現代の女性とも思われぬような古風で田舎じみた服装をしていたが、豊かで長い黒髪だけは、つやつやと美しかった。

源氏はそんな末摘花に同情して、その後も何とか世話をし、援助を惜しまなかった。

年の暮れになって、末摘花は、愛する源氏のために正月用の装束をあつらえ、歌を添えて贈った。源氏はその時代遅れの装束や歌の詠みぶりに苦笑するが、彼女の気持ちを受けて、自分の方からも新年の装束を贈った。

十九歳を迎えた早春の一日、源氏は二条院で、末摘花とは対

照的に美しく聡明な紫の上を相手に、自分の鼻に紅をつけて、戯れるのであった。

2.2 キーワードの選択と方法

- 1) 作品の構成を継時的に考察するために、源氏の末摘花に対する感情の中から「妄執」、「落胆」、「受容」を要素として選び、段落ごとの使用頻度を調べた。Table 1, 2 は要素を示す。
- 2) 得られたデータに離散値系ウェブレット変換の多重解像度解析を適用する。

Table 1 Selected Element.

要素	意味
第1要素 「妄執」	源氏がまだ見ぬ末摘花にいだく期待、虚像、憧れなど
第2要素 「落胆」	末摘花の現実と接した時の失望した源氏の気持ち
第3要素 「受容」	末摘花に対して落胆しつつも同情したり、状況を受け入れようとしたりする

Table 2 Examples of Element.

要素	事例
第1要素 「妄執」	<ul style="list-style-type: none"> ・ 我に聞かせよ。父親王の、さやうの方にいとよしづきてもものしたまうければ、おしなべての手づかひにはあらじと思ふ。(その琴をわたしに聞かせておくれ。父宮が、そちらの方面にはじつに堪能でいらっしゃったのだから、姫君も一通りの手並みではあるまいと思うが) ・ 生ひなほりを見出でたらむ時と思されて(年が改まったのだから、ましになられたご容貌をこの目で見る事ができたら、とお思いになって)
第2要素 「落胆」	<ul style="list-style-type: none"> ・ まづ、居丈の高く、を背長に見えたまふに、さればよと、胸つぶれぬ。(まづ第一に、居丈が高く、背まがりにお見えになるので、ああやっぱりと、胸のつぶれる思いである) ・ さても、あさましの口つきや・・・(それにしてもなんとあきれた詠みぶりだ)
第3要素 「受容」	<ul style="list-style-type: none"> ・ 我ならぬ人はまして見忍びてむや、わがかうて見馴れけるは、故親王のうしろめたしとたぐへおきたまひけむ魂のしるべなめり(しかしながら自分以外の男が、ましてこうした縁に辛抱してゆけるだろうか。この自分がこうして姫君と交わるようになったのは、故父君が亡きあとの姫君の御身をお案じになって、姫君のおそばをお離れにならなかつた魂の導きなのだろう) ・ これこそは手づからの御事の限りなめれ、侍従こそとり直すべかめれ・・・(これこそたしかにご自身で精いっぱい詠まれたのだろう。いつもは侍従が直してあげているのだろうが)

2.3 分析

「妄執」, 「落胆」, 「受容」の要素にベクトルの概念を用いる。「妄執」を基準ベクトルとして, ベクトルをグラムシュミットの方法によって全て直交化し, 重複要素を除く. さらに直交化されたベクトルを単位ノルムに正規化する. 正規化されたデータにウェーブレット多重解像度解析を適用する. 本研究では基底関数は演算処理の意味が把握できるドビッシューの2次を採用する.

2のべき乗 n の要素からなる n 次のデータベクトルを Y , ウェーブレット変換行列を W とすればウェーブレットスペクトラム S は次式で与えられる.

$$S = WY \quad (1)$$

ウェーブレット多重解像度解析は, レベル1はスペクトラムベクトル S の第1要素のみを残し他の要素をゼロとしてウェーブレット逆変換式 (2) で得られる.

$$S' = \begin{bmatrix} S_0 \\ \cdot \\ \cdot \\ S_n \end{bmatrix}, \quad D_0 = W^T \cdot S' \quad (2)$$

他のレベルも式(2)と同様にして得られる^{7),8)}.

3. 結果と考察

「末摘花」におけるウェーブレット多重解像度解析の結果を Figs. 1-4 に示す. 横軸は本作品の最初から最後まで段落ごとに構成要素を時系列に並べた. 縦軸は要素の段落ごとの頻度を表す.

「末摘花」における解析結果から, 「妄執」と「落胆」が交互に繰り返されていることから, 「妄執」が拡大されていくことが示唆された. 以下, 離散値系ウェーブレット多重解像度解析による詳細な分析結果を述べる. 横軸は段落の数を示し, 縦軸はキーワードの頻度の変化率を表す.

実際のデータ数としては48段落までであるが, 解析には2のべき乗のデータが必要であるため最後の段落に49から64段落をゼロデータとした⁸⁾. また, 結果はゼロを追加した段落を削除してある. 離散値系ウェーブレット多重解像度解析は, 全体, 半分, 1/4, 1/8, 1/16... というように段階に分けて分析し, これをレベル1, レベル2, レベル3, レベル4, レベル5... と呼ぶ. レベル1では作品全体の平均を示す. レベル2では半分に分けた1段落から16段落の平均と17段落から32段落の平均の変化を示す. レベル3では4等分した1段落から8段落の平均と9段落から16段落の平均の変化, 17段落から24段落の

平均と25段落から32段落の平均の変化である. レベル4では8等分, レベル5では16等分である.

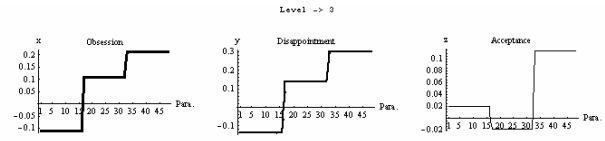


Fig.1 Level3 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: Sentimental Patterns "Obsession", "Disappointment", "Acceptance" in *The Safflower*.

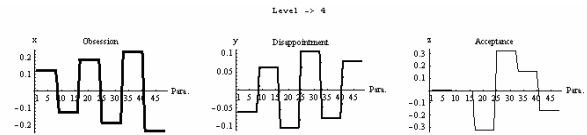


Fig.2 Level 4 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: Sentimental Patterns "Obsession", "Disappointment", "Acceptance" in *The Safflower*.

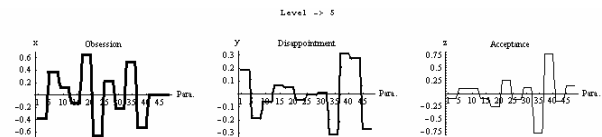


Fig.3 Level 5 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: Sentimental Patterns "Obsession", "Disappointment", "Acceptance" in *The Safflower*.

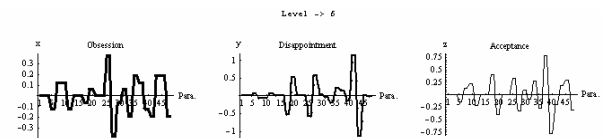


Fig.4 Level 6 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: Sentimental Patterns "Obsession", "Disappointment", "Acceptance" in *The Safflower*.

3.1 作品の構成要素に関する解析結果

まず, 分析対象を4等分したレベル3の結果を Fig.1 に示す. 「妄執」, 「落胆」ともに前半部, 中間部, 後半部と次第に多くなっていく傾向が見られる. 「受容」は前半部, 中間部においては大きな揺れは見られないが, 後半には急激に多くなっている. 夕顔のような女性に再び会いたいと思う気持ちから, 「妄執」に拍車がかかり, 大輔の命婦の策略や頭中将への対抗心もあってまだ見ぬ末摘花に対する期待が膨らんでいく. 末摘花の現実に出会って, 彼女の性格, 詠んだ和歌や衣装への落胆はその都度増殖していく. それにもかかわらず, 少しでも変化が見られないかと期待し続け, 落胆しつつも受け入れていく.

次に分析対象を8等分したレベル4の結果 Fig.2 に示す. 「妄執」は前半部, 中間部, 後半部と次第に揺れが大きくなっていく.

った。前半部、中間部、後半部で見られる「落胆」の揺れは「妄執」の後に起こり、「落胆」と「妄執」は相反する揺れを示した。末摘花に対する憧れは髪的美しさ以外はことごとく裏切られている。「受容」は中間部に大きな揺れが見られ、後半部では「妄執」と連動する傾向が見られた。

Fig.3は分析対象を16等分したレベル5の結果である。「妄執」は前半部、中間部、後半部を通じて常に大きい揺れが見られる。「落胆」は前半部の初めと後半部に揺れが見られるが、源氏が末摘花の容貌を目の当たりにする箇所特に大きな揺れが見られる。「受容」は後半部の揺れが大きい。

最後に分析対象を32等分したレベル6の結果をFig.4に示す。「妄執」は中間部から後半部に大きな揺れが見られる。末摘花への「妄執」は実際に姫に会ってからのほうが大きく揺れる。

「落胆」は前半部、中間部、後半部と次第に揺れが大きくなって「落胆」はするものの「妄執」が止むことがなく、さらなる「落胆」を経験する。「受容」は前半部、中間部、後半部と揺れを繰り返すが、後半部の揺れが大きい。

4. 結論

- (1) 「妄執」は常に揺れが見られるが、前半部より後半部にかけての揺れが大きい。
- (2) 「落胆」の揺れも「妄執」と同様に後半部にかけて次第に揺れが大きくなる傾向があるが、「落胆」は「妄執」の後に起こり、「妄執」とは相反する揺れを示した。現実接して「落胆」しても「妄執」が止むことがなかった。現実を直視するよりも「妄執」を追い求める気持ちのほうが強い傾向があった。
- (3) 「受容」は後半部に大きな揺れがみられ「落胆」と連動する傾向が見られた。恋における「受容」とは相手の負の面をも含めた全人格を受け入れることが示された。
- (4) 「妄執」と「落胆」が繰り返されながらも、「妄執」が止むことなく増大していることから、源氏が今後も女性遍歴を続けていくことが示唆された。
- (5) 「妄執」と「落胆」を繰り返しながらも、女性を「受容」していく源氏の人間としての魅力の一端が明らかとなった。

参考文献

- 1) 重松信弘：源氏物語研究叢書III 源氏物語の主題と構造、風間書房（1981）pp. 212-229.
- 2) 久保田淳 馬場あき子：歌ことは歌枕大辞典、角川書店（1999）p. 471.
- 3) 鈴木日出男「夕顔と末摘花——『源氏物語』の古代構造についての断章——」季刊 文学 春号、岩波書店（1991）p. 139-151.
- 4) 壺内美佳：末摘花論—その“山の神”的性格、大谷女子大学国文、大谷女子大学国文学会、19、（1989）pp. 54-59.
- 5) 野村精一：源氏物語の創造、桜楓社（1969）p. 100.
- 6) 阿部秋生、秋山虔、今井源衛、鈴木日出男 校注・訳：新編日本古典文学全集20 源氏物語①、小学館（1994）pp. 265-307.

- 7) 齋藤兆古：ウェーブレット変換の基礎と応用—Mathematica で学ぶ、朝倉書店（1998）p. 39, pp. 93-95.
- 8) 堀井清之、齋藤兆古：特許「文学作品解析方法および解析装置」、特願JP10-102673A.

動的磁壁画像の可視化による強磁性体の磁化特性

石井 隆^o, 齋藤 兆古(法政大学大学院), 堀井 清之(白百合女子大学)

Magnetization Characteristics of Ferromagnetic Materials by Visualizing The Dynamic Magnetic Wall Movements

Takashi ISHII, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

The Bitter method is most commonly observing way of the magnetic domains even though it is limited to the surface observation of specimen. To observe the magnetic domains by Bitter method, magnetic liquid is put on the target magnetic material surface after electrical field polishing processes. Applying magnetic field to this magnetic material covered by magnetic fluid makes it possible to observe the magnetic domain dynamics by a microscope.

We have previously reported that local magnetization characteristics could be obtained from the visualized magnetic domain dynamics.

Final purpose of our research on visualized magnetic domain dynamics is to work out a fully automatic quality control system for the thin magnetic materials by visualizing the magnetic domain dynamics.

In this paper, we try to visualize the magnetic wall dynamics of ferromagnetic materials when superposing the direct current magnetic fields to the alternating current magnetic field excitation, i.e. anhysteretic magnetizing condition.

Keywords: Ferromagnetic materials, Magnetic wall dynamics, Visualization.

1. 緒論

磁性鋼板は電気・電子機器を構成する主要な材料である。一般に、磁性材料は磁区と呼ばれる微小磁石の集合で構成され、外部磁界に応じて材料中の磁気エネルギーが最小となるように磁区が変化する。すなわち、磁性材料の磁化過程は外部磁界に対する磁区挙動である。所望の磁化特性を持つ材料開発・評価に、磁区挙動の可視化は磁化過程を掌握するために重要な役割を担う。磁区挙動の可視化は、磁性コロイド溶液を用いたビッター法、電子顕微鏡に拠る方法、磁気光学効果を利用した方法等で行われる。ビッター法は手軽な方法であるが、磁区間の磁壁しか観察できない。また、磁気光学的方法は磁性体表面の磁区挙動可視化に限定される。電子顕微鏡に拠る方法は磁性体内部の磁区挙動を観察可能とするが、高価な機器を必要とする。

従来、我々は磁区の電子顕微鏡画像から磁性体の磁化

特性を抽出する全く新しい方法を提案した。現在、我々は安価な設備で磁性体の磁壁を可視化可能とするビッター法を用いて磁性体の磁化特性を抽出する方法を開発している¹⁾。

本稿では、鉄、珪素鋼板、パーマロイ 45%、ニッケルの 4 種類の強磁性体を用いて、交流磁界中における強磁性体の磁壁移動および、交流磁界中に直流磁界を印加させた場合の磁壁移動をビッター法で可視化し、その結果から直流偏磁した場合の磁化特性抽出を試みる。

2. 磁壁移動の可視化と磁化特性

2.1 ビッター法による磁壁移動の可視化

試料台に試料を載せて、研磨した試料面にスポイトで磁性コロイド溶液をたらし、カバーガラスを載せて観察する。強磁性体微粒子 (γ 酸化鉄) のコロイド液を強磁性体表面につけると、コロイド液内に分散していた酸化

鉄の微粒子が、磁壁付近の急峻な磁化変化に起因する表面の漏れ磁束の傾斜に引き付けられて集まり、表面近傍の磁壁の観測ができる。この引き付けられた微粒子を光学顕微鏡で観察する。この原理は、マグネットビューワ商品などに应用されており、比較的面倒な実験準備を必要とせず実行可能である¹⁾。

2.2 交流磁界中の磁壁移動と磁化特性

Fig.1 に周波数 1[Hz]の交流磁界を印加した場合の磁区フラム画像例を示す。Fig.2 は各試料の磁化特性である。

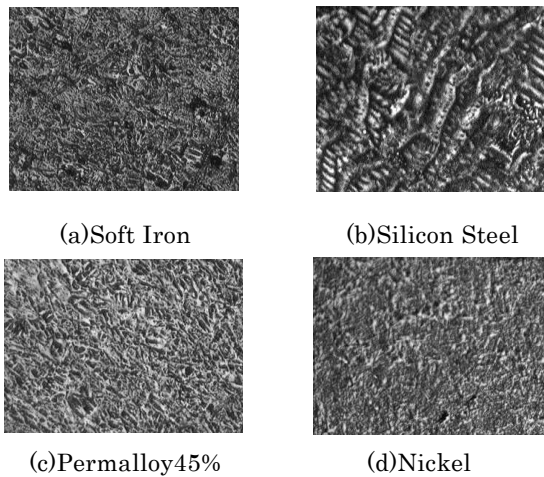


Fig.1 Flame Images of Magnetic Domain Dynamics under the Alternating Magnetic Fields

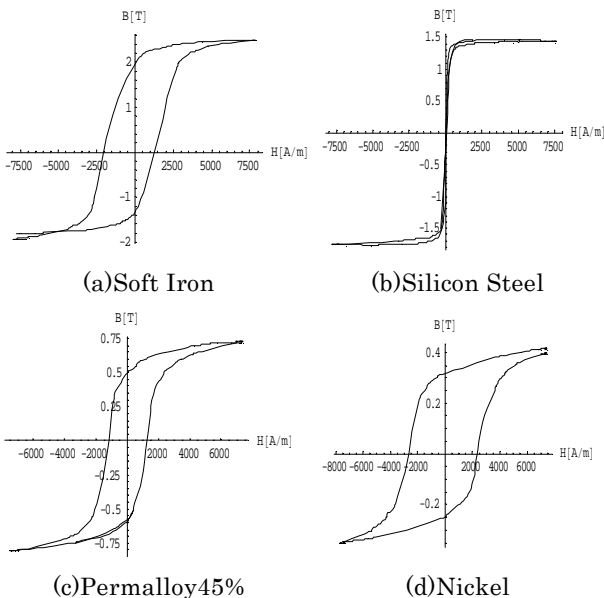


Fig.2 B-H Loops of the Tested Magnetic Materials

2.3 直流偏磁下の磁区の可視化と磁化特性

Fig.3 に周波数 1[Hz]の交流磁界下に直流磁界を重畳した場合、すなわち、直流偏磁下の磁区画像を示す。

Fig.4 は各試料が直流偏磁された場合の B-H 特性である。

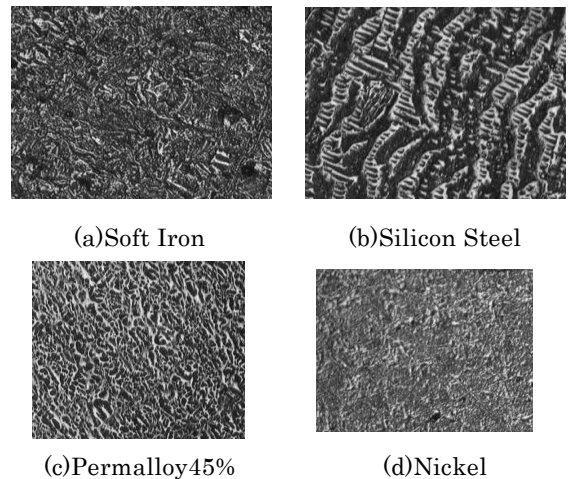


Fig.3 Flame Images of Magnetic Domain Dynamics under the Anhyseretic Magnetic Fields

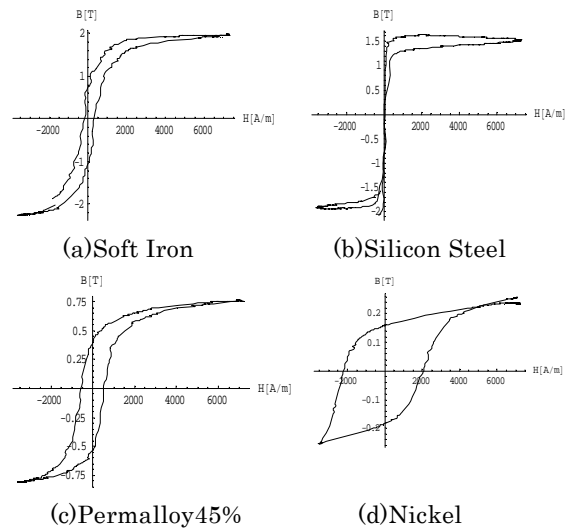


Fig.4 Anhyseretic B-H Loops of the Tested Magnetic Materials

3. まとめ

本稿では、従来から我々のグループで開発している可視化磁区動画から局所磁化特性の抽出法を直流偏磁下へ拡張を試みた。

その結果、直流偏磁下の磁区動画がビッター法で十分に可視化可能であり、直流偏磁がどのように局所的偏反映するかを可視化可能とした。

参考文献

- 1) 須永高志、寺西正晃、齋藤兆古、堀井清之：ビッター法による可視化画像から 1/f ゆらぎの抽出、可視化情報学会シンポジウム、2006年7月、A311.
- 2) 川西健次、近角聡信、櫻井良文：磁気工学ハンドブック、朝倉書店(1998).

時間領域一次元信号の特徴抽出と可視化

野嶋 悟士[○], 齊藤 兆古(法政大学大学院), 堀井 清之(白百合女子大学)

Feature Extraction and Visualization of 1D Time Domain Signal

Satoshi NOJIMA, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

Ferromagnetic materials, i.e., iron steel and its composites, are widely used as the frame parts of various artificial products and constructions such as a building, bridge and so on. Because of its mechanical property, iron steel is most popular in use for the frame materials to maintain their mechanical strength. On the other side, nondestructive testing of iron steel is an extremely important way in order to keep their mechanical reliability.

One of the deterministic differences between the ferromagnetic and nonmagnetic materials is that all of the ferromagnetic materials when applying external magnetic field attracts major magnetic field; and also magnetization process of ferromagnetic materials always accompanies with the Barkhausen effect. The Barkhausen effect is a phenomenon caused by movement of the magnetic domains.

In order to carry out the nondestructive inspection of the iron structure, this paper proposes a signal cognition methodology by means of the fluctuation frequency analysis to the Barkhausen signals. Some initial examples of our method demonstrate one of the potentials of our method.

Keywords: Barkhausen phenomenon, 1/f Fluctuation, Signal cognition

1. 緒論

多くの時間領域一次元信号はオシロスコープで電気信号として可視化される。音声信号や計算機のクロック信号などが代表例である。これらの信号の中で、人間の可聴周波数である音声信号はキーボードを経由せずに計算機へコマンドを入力可能とするため、計算機と人間間の有力なインターフェイスと考えられ、これを実現するために音声認識・識別方法が鋭意研究開発されている。

本研究では、音声認識・識別の一方法として音声の 1/f ゆらぎ周波数特性応用を提案する。さらに音声認識・識別技術を非破壊検査で使われる Acoustic Emission (AE) や強磁性体のバルクハウゼンノイズなどの可視化解析を試みる。

2. 時間領域一次元信号の解析

2.1 バルクハウゼン信号

多くの金属材料中で、鉄は最も広汎に使われる構造物である。鉄は機械的性質が制御可能であり、コスト的にも安価である。これが広汎に使われる理由であろう。鉄は磁性体であり、磁性体の磁化過程は、可逆的磁壁移動、非可逆的磁壁移動、さらに可逆的回転磁化領域へ分類さ

れる。磁化曲線で考えれば、レイリーの法則が成り立つ範囲が可逆的磁壁移動による磁化過程範囲であり、非可逆的磁壁移動による磁化過程は不連続な磁壁移動で磁化されるために再現性は無く、周辺へ比較的高周波の磁界変化を与える。これがバルクハウゼン現象と呼ばれる磁性体特有の現象である²⁾。

Fig.1 に示すように磁性体の周辺へコイルを巻き、磁石を運動させるとバルクハウゼン現象に起因する磁界の時間変化によってコイルに電圧が誘起する。この電圧を増幅してスピーカーへ入力すればスピーカーからバルクハウゼンノイズ (Barkhausen noise) が聞かれる。本論文ではバルクハウゼン現象に起因する電圧をストレージデジタルオシロスコープによって記録する。

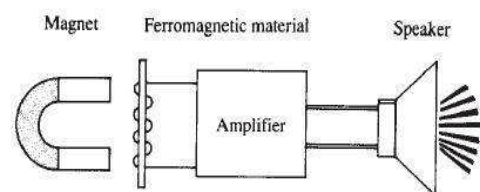


Fig.1 Barkhausen Signal Generation

2.2 1/f ゆらぎ

1/f ゆらぎとは自然界の鳥のさえずりや小川のせせらぎなどに存在する特有の周波数特性である。信号のパワースペクトラムが周波数に反比例する場合、すなわち、フーリエパワースペクトラム対周波数の両対数グラフの傾きが-1になるものを特に「1/f ゆらぎ」と呼ぶ。本論文では、信号のゆらぎ周波数分布を信号の「固有の情報」として捉える。

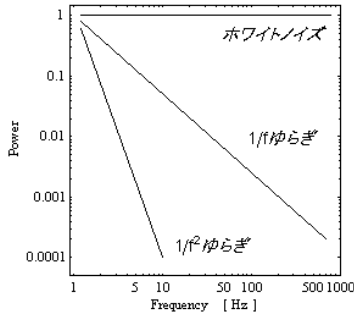


Fig.2 Typical Sample Power Spectrum

2.3 パワースペクトラム

高さ 75mm、直径 3.05mm の鉄釘を最も単純な供試構造材として取り上げた。供試材に太さ 0.2mm のホルマル線を 6 層、1000 回巻いてサーチコイルとした。

環境ノイズの位相は変化するが周波数成分の振幅は変化しないと仮定して、バルクハウゼン信号のパワースペクトラムから空芯のサーチコイルに誘起する電圧のパワースペクトラムを差分して環境ノイズを削減した。その結果として得られるバルクハウゼン信号のパワースペクトラム対周波数特性を Fig.3 に示す。

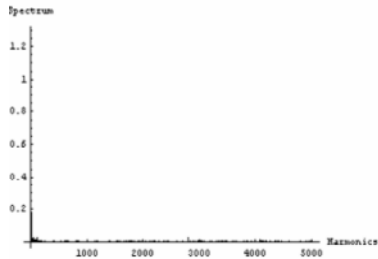


Fig.3 Power Spectrum vs. Frequency Characteristic of Barkhausen Signal

Fig.3 の縦軸と横軸、それぞれの対数をとって描かれる周波数特性を Fig.4 に示す。Fig.4 から、釘のバルクハウゼン信号は低周波領域と高周波領域に 2 分されたゆらぎ周波数特性を持つことが判る。Figs.5,6 に示すように、低周波と高周波領域、それぞれのゆらぎ周波数特性を 1 次関数の傾きで近似する。最小自乗法によって得られた両者の傾きはそれぞれおよそ -1.5 と -0.03 であった。この結果から、釘のバルクハウゼン信号は $f^{1.5}$ ゆらぎ周波数特性を有する低周波部分と殆どホワイトノイズである高周波特性からなることが判明した。

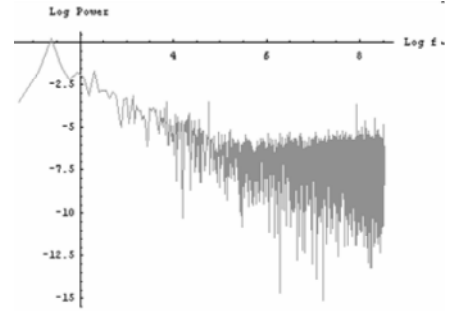


Fig.4 Power Spectrum of An Iron Nail's Barkhausen Signal

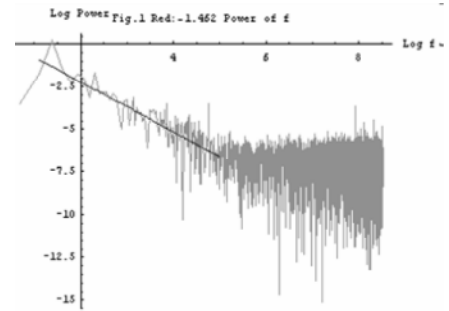


Fig.5 Gradient Calculation of Low Frequency Range by 1st order Least Squares

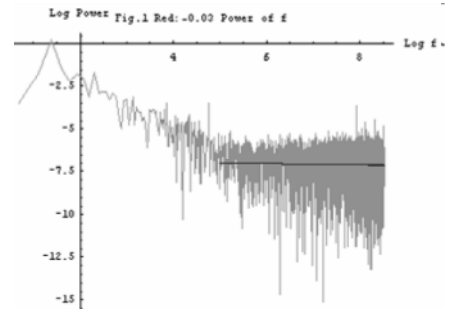


Fig.6 Gradient Calculation of High Frequency Range by 1st order Least Squares

3. まとめ

本論文ではバルクハウゼンノイズの特徴を可視化する一方法としてゆらぎ周波数解析を用いる方法を提案し、その妥当性を最も簡単な構造材である鉄釘を用いて検証した。その結果、供試鉄釘の固有情報は低周波領域で呈する $f^{1.5}$ ゆらぎ周波数特性と考えられることを述べた。

参考文献

- 1) 寺西正晃、丸山和夫、早野誠治、齊藤兆古：自然界の画像が持つ 1/f 周波数成分の可視化、可視化情報シンポジウム、2005 年 7 月、B108
- 2) 勝又理毅、早野誠治、齊藤兆古：バルクハウゼン現象の可視化法に関する一考察、可視化情報シンポジウム、2003 年 7 月、B203

1/f ゆらぎ可視化による万葉仮名・草仮名・平仮名字体解析

岡田 司 , 齋藤 兆古(法政大学大学院), 堀井 清之(白百合女子大学)

Manyoh-, Soh- and Hira-Kana Style Analysis by Visualizing 1/f Fluctuation Tsukasa OKADA, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

The hirakana style had been innovated at Heian period and hardly modified until now. Also, hirakana made it possible express the Japanese poem distinctly different from China one. In such meaning, hirakana is one of the distinguished Japanese literature expressions in order to develop an original Japanese culture.

This paper concerns with a character style analysis based on the 1/f fluctuation frequency characteristics. At first, we apply two-dimensional Fourier transform to each of the original Chinese- and katakana- characters. According to the space harmonics difference, the character is divided into global to precise images composing an animation. Apply Fourier analysis to frame axis of this animation makes it possible to 1/f fluctuation frequency analysis.

As a result, it is clarified that 1/f fluctuation analysis suggests how the hirakana has been accepted in Japanese culture, and developed the original Japanese culture.

Keywords: 1/f fluctuation frequency, visualization, kana style

1. 結論

昨今のインターネットや携帯電話の普及により従来に比べ「文字を送受信する機会」は格段に増加した。現代の日本は活字離れが懸念されているが、あくまで印刷物の読書量が減っているのであり、情報通信機器の発達により文字に触れる機会は増えている。

文字は国の文化を反映したユーザーインターフェースといえる。現在、日本では漢字、平仮名、片仮名、ローマ字、算用数字、ギリシア文字の6種類の文字が用いられ使用文字種類数は世界で最も多い。これらの文字の中で平仮名と片仮名は日本で漢字から派生した文字であるゆえ日本文化独自の文字である。

平仮名は片仮名より文字誕生時から現代まで使用頻度が遥かに高く、「和歌の表現性の開拓」という日本文化の向上に寄与した。本研究ではこの平仮名に焦点を当て、漢字から平仮名が派生するまでの経緯を解析対象とした。この派生経緯を1/f ゆらぎの観点から解析することにより規則性を発見することが本稿の目的である。



Fig. 1 Examples of Manyoh-, Soh-, and Hirakana-style characters

2. 万葉仮名・草仮名・平仮名の1/f ゆらぎ解析

2.1 漢字の伝来から平仮名の誕生まで

漢字は『日本書紀』によると4世紀頃に中国から日本に伝えられた。漢字は意味と音の2つの要素を持っていたが、それだけでは日本語を正確かつ十分に記すことができなかった。そこで8世紀に漢字の意味を無視し、音だけを使用して漢字を当て字の様に用いるようになった。

これらの漢字は楷書体または行書体で書かれており、『万葉集』に用いられたゆえ「万葉仮名」と呼ばれる。そして万葉仮名の速記や書き易さの必要性から簡略化し草書体で書いた文字を「草仮名」、それがさらに簡略化された文字を「平仮名」と呼び9世紀末から10世紀初頭に誕生する。一例として図1に示す平仮名の「あ」は万葉仮名の「安」が簡略化されたものである。

2.2 解析文字について

本研究では「あ」から「ん」まで48文字各々の万葉仮名、草仮名、平仮名の3種類計144文字を解析し1/f ゆらぎの含有率(後述)を調べた。解析対象文字の万葉仮名は三筆の一人である空海が記したものを、草仮名は草仮名の書の代表作である『秋萩帖』より、平仮名は平仮名の書として最高峰と言われる『高野切第一種』『高野切第二種』『高野切第三種』より抜粋した。

2.3 1/f ゆらぎについて

1/f ゆらぎとは規則性と不規則性を併せ持つ空間的、時間的な変化のことで自然界のあらゆるものに存在する。人間の心臓の鼓動、そよ風や火のゆらぎにも含まれている。1/f ゆらぎは人間や動物、植物や自然現象などに多く存在するため「生体のリズム」と考えられている。また、1/f ゆらぎは視覚や聴覚に入力されると脳波に波が現れ癒し効果をもたらすと言われている。

1/f ゆらぎ含有量を視覚化する場合、まず離散的フーリエ変換により解析対象である信号の各周波数に対するパワースペクトルを求める。次にパワースペクトル値を縦軸にとり、周波数を横軸にとってFig.2に示すような両対数グラフを描く。このパワースペクトルの傾きが約-

1 の場合、その信号の周波数に対する変化を「1/f ゆらぎ」と呼ぶ。傾きがゼロの場合は「白色ゆらぎ」と呼ばれ規則性は全く存在しない。傾きが急になるにつれ信号の変化が持つ規則性は増加し単調になる¹⁾。

2.4 書字動作における腕の動き

人間の腕は上から順に肩、上腕、肘、前腕、手首、手から成る。腕の動作は肩、肘、手首の関節が回旋し筋肉の伸張・収縮が起こることにより生じる。書字動作も同様である。関節の回旋運動が基となっているため、本来腕は回転動作に適しており直線的な動作にはあまり適していない。なぜなら回転動作は肩、肘、手首の関節のいずれか一部が機能すれば可能である。しかし、直線的な動作は二部分以上の関節が連動しなければならない。換言すれば、Fig.3 に示すように書字動作は三部の関節の回旋運動が上手く連動することにより行われている。

2.5 文字の 1/f ゆらぎ含有率

最初に文字画像へフーリエ変換を適用し、空間高調波次数に応じて低解像度から高解像度に変化する多重解像度のアニメーション画像を生成する。次にフーリエ変換を各フレーム画像を構成する画素値の時間軸方向へ適用し各周波数に対するパワースペクトラムを計算する。得られたパワースペクトラム対周波数の両対数グラフを描く。さらにこの両対数グラフに最小自乗法を適用し、パワースペクトラムの周波数に対する変化率を一次関数で近似する。この一次関数の傾きによって 1/f ゆらぎの有無を判断する。Fig.4 に 1 例を示す。

本研究では傾きが -1.2 から -0.8 の場合を 1/f ゆらぎとし、1/f ゆらぎを示す部分の画素数を文字全体の画素数で除することにより 1/f ゆらぎの含有率を求めた。また、1/f ゆらぎの分布を見易くするために 1/f ゆらぎ部分を黒色で表示する画像を出力した。

2.6 解析結果と考察

144 文字を解析した結果、48 文字の仮名は万葉仮名から草仮名、平仮名になるに連れて Table 1 に示すように 1/f ゆらぎの含有率が増加する傾向にある。また、Fig.5 から 1/f ゆらぎは文字の曲線部分に多く出現し、直線部分では少ないことがわかる。

平仮名は書字において直線という概念はなく「縦画も横画も円の一部を用いる様を書くことが慣わし」であるゆえ万葉仮名より多くの曲線を用いる²⁾。上述した様に人間の腕の動作は関節の回旋運動から生じるため回転動作に適している。したがって直線的な動作よりも回転動作は人間本来の生体のリズムを多く含む。このため、「回転動作で書かれた曲線により構成された平仮名に 1/f ゆらぎが多量に含まれている」という規則性が成り立つと考えられる。

また、平仮名が誕生した平安時代の書家が速記性や書き易さを求めて万葉仮名から平仮名に文字構造を変化させたことは「人間本来の生体のリズム、1/f ゆらぎに則った結果」といえるであろう。

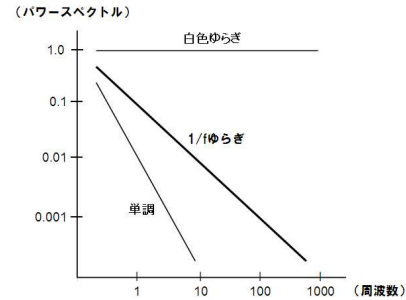


Fig.2 Definition of 1/f fluctuation frequency

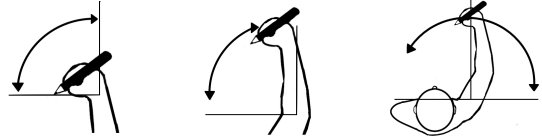


Fig.3 Arm movement accompanying with writing

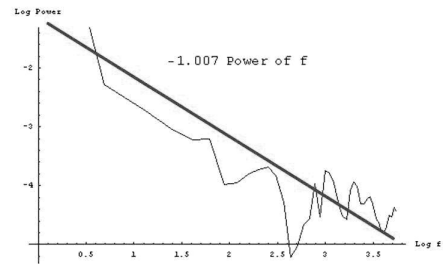


Fig.4 First order least squares approximation

Table 1 Frequencies of the 1/f fluctuation characteristic

	ま	み	む	め	も
■万葉仮名	0.0249	0.0002	0.0028	0.002	0.0117
■草仮名	0.0062	0.1424	0.2131	0.1296	0.2492
□平仮名	0.1446	0.2795	0.1052	0.2927	0.6256

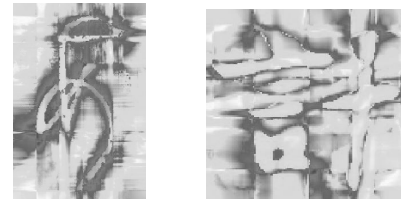


Fig.5 Dark denotes the positions exhibiting 1/f fluctuations. Curved and straight parts are high and low occurrences, respectively

3. まとめ

生体リズムに則った動作によって書かれた線には 1/f ゆらぎが多量に含まれる傾向があることが確認でき、漢字から平仮名が派生するまでの経緯と 1/f ゆらぎ含有率の関係を明らかにした。

参考文献

- 1)武者利光,ゆらぎの発想,日本放送出版協会(1998年)
- 2)植村和堂,書道技法講座 10 高野切第三種,二玄社(2007年)

音楽に伴う $1/f$ ゆらぎ周波数成分の抽出と その人間生理への応用

菅井 桂子 (法政大学), 齋藤 兆古 (法政大学), 堀井 清之(白百合女子大学)

Extraction of $1/f$ fluctuation frequency components from music And Its Application to human physiology Keiko SUGAI, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

Most of the engineering products have to equip the well designed human interface.

In order to enhance the human interface ultimately, it is essential to take the human physiological effects into account. This means that most of the engineering product design has to consider the human sensing feelings as well as physiological effects into account.

This paper concerns with the extraction of $1/f$ fluctuation frequency components from music and its application to the human psychophysiology.

Fourier analysis is applied to the music in order to extract the $1/f$ fluctuation frequency characteristics. According to the Fourier analysis, music is classified into two major categories: rich $1/f$ fluctuation or not. Electroencephalograph analysis to the objects hearing the music composed of the $1/f$ fluctuation components reveals the human physiological effects.

Keywords: $1/f$ fluctuation frequency, human physiology, Electroencephalograph analysis

1. 緒 論

現代の多くの機器は、単に高性能が要求されるだけでなく、より洗練されたヒューマンインターフェイスを備えなければならない。このような意味で、現代の人間工学は取り扱い易さに加えて人間へ与える心理的効果も考慮しなければならない。

音響は人間の感性へ訴える最も効果的な信号である。このことは近年、音楽療法が多くの医療施設で取り入れられるなど、音楽の効果的な作用が医学的に認められていることからわかる。音楽の心理的作用には、気分の転換、感情の誘発、発散、感情の高揚や沈静などがある。音楽療法士は音楽の持つこれらの心理的・生理的作用を、患者の状態と照らし合わせながら選曲し、リハビリ処置を施す。

これまでに音楽の性格とその作用について、脈拍・呼吸の関係、血圧との関係、波との関係など、様々な研究がされてきたが、いずれも決定的な結果は出ていない¹⁾。このような音楽の不確か性から、音楽療法には豊富な知識と経験が求められると考えられる。

本研究は人間へ癒しを与えるとされる $1/f$ ゆらぎが、音楽の持つ不確か性を明らかにする一指標とならないかを探ることが目的である。具体的には、対極的な性質を持つ二種類の音楽中に、 $1/f$ ゆらぎ周波数成分がどのよ

うに含まれているかを可視化する。さらに、それらの音楽が人間生理へどのように作用しているかを脳波測定により調べる。

2. $1/f$ ゆらぎとは

「 $1/f$ ゆらぎ」は自然界に多く存在し²⁾、例えば小川のせせらぎ、小鳥の囀り、爽やかなそよ風などの心安らぐリズムが相当する。同様に、心地良い音楽を聴いたり、快い感じを抱いたり、安静にしているときの脳波にも「 $1/f$ ゆらぎ」が存在する。

「 $1/f$ ゆらぎ」解析法として、信号へ離散フーリエ変換(Discrete Fourier Transform)を適用し、各周波数に対するパワースペクトラムを計算する。周波数の低下とともにパワースペクトラムが増加するような信号の中で、パワースペクトラムの振幅が周波数に対して反比例する信号が「 $1/f$ ゆらぎ」である。

視覚的に判りやすくするために、よく行われる方法は、フーリエ・パワースペクトラム対周波数の両対数グラフを描き、描かれる線図の傾きによってゆらぎの種類を大別する方法である。Fig.1 にフーリエ・パワースペクトラムの例を示す。

Fig.1 において、直線の傾きが 0 の場合は主にホワイトノイズである。また、直線の傾きが急になる程単調な

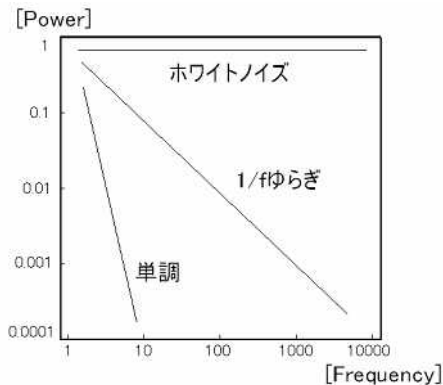


Fig.1 1/f Fluctuation Frequency Characteristic

信号である。そして、ホワイトノイズと単調な信号の中間的な信号で傾きが約-1 の場合を「1/f ゆらぎ」と呼び、人間が心地よいと感じる信号であるとされている。

3 . 1/f ゆらぎの抽出

3.1 実験方法

音楽データの信号を時間領域にフーリエ変換し、フーリエ係数の絶対値を計算してFig. 2に示すようなフーリエ・パワースペクトラムを得る。Fig.3 に示すようにFig.2の周波数特性を両対数で描く。

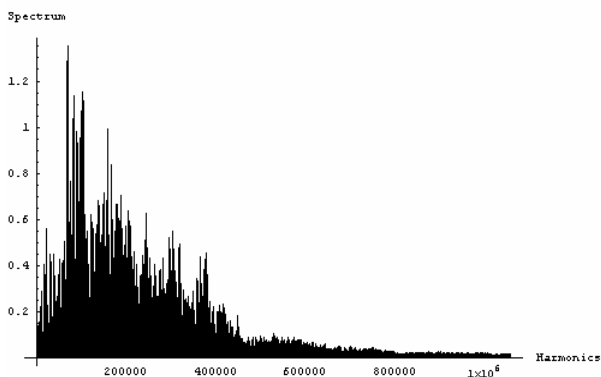


Fig2.Frequency Characteristics

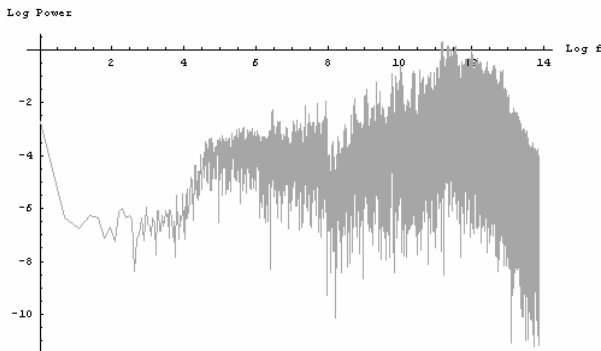


Fig3 Log-Log representation of Frequency Characteristics

フーリエ変換は全サンプル数に等しい実部と虚部を与えるので、独立なパワースペクトラムは全サンプル数の半分までであり、さらにフーリエ変換の精度を勘案し全サンプル数の 1/4 項までで周波数特性解析を行う。

Fig.3 に示す両対数グラフ上に描かれる線図の傾きを最小自乗近似により求め、その傾きから揺らぎの種類を大別し特徴を求める。本稿では全体の傾きに加え、部分的な周波数領域の傾きも求めた。

ストレス解消・鎮静効果と緊張感を高めるとされている二種類の対極的音楽データに関して 1/f ゆらぎ周波数解析を行った。ストレス解消・鎮静効果のあるとされるヒーリング音楽は 13 曲であり、緊張感が高まると言われるクラシック音楽は 17 曲である。

3.2 実験結果

フーリエ・パワースペクトラム対周波数の両対数グラフをグレイで表し、それを最小自乗近似して得られた傾きをモノクロのグラデーションでFig.4のように表示した。



Fig4. Monochrome Graduation Bar

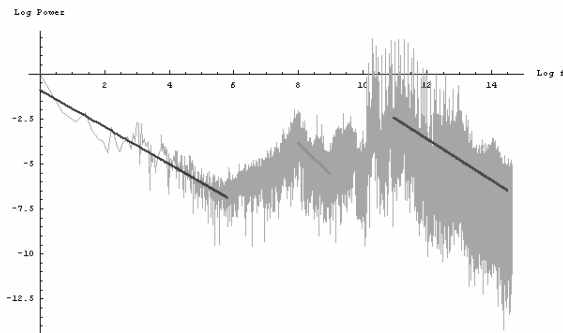


Fig5. First Example of 1/f Frequency Characteristic Extracted from Music having Healing Effect

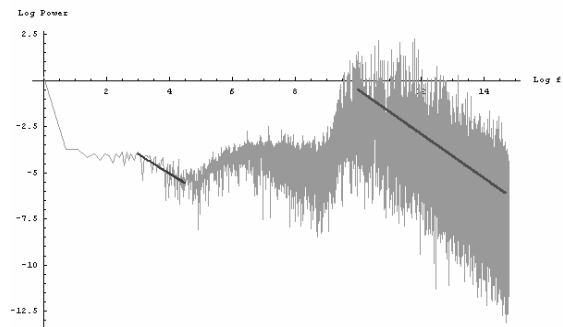


Fig.6 Second Example of 1/f Frequency Characteristic Example Extracted from Music having Healing Effect

P01-003

ストレス解消・鎮静効果のあるヒーリング音楽は部分的に -1 の傾きを呈するものや、全体の傾きが -1 になるもの、部分的且つ全体の傾きが -1 になる場合があり、調べたすべての曲で $1/f$ ゆらぎ周波数特性を呈した。この中で、高域もしくは低域のみで $1/f$ ゆらぎ特性を呈する曲が 62% あり、高域と低域の両方で $1/f$ ゆらぎを呈する曲が 38% であった。

Figs. 7, 8 は緊張感を高める音楽のゆらぎ周波数特性の例を示す。緊張感を高める音楽は部分的な周波数領域で $1/f$ ゆらぎ特性を呈するものは少なく、周波数領域全体で $1/f$ ゆらぎ特性を呈するものが多い。また $1/f$ ゆらぎ特性を呈さない曲も少なくなかった。 $1/f$ ゆらぎを呈さない音楽は、Fig. 7 に示すように低周波領域で殆どホワイトノイズ状であり、高周波終端で急激な傾きを持つ単調な周波数特性がみられた。他方、 $1/f$ ゆらぎ特性を部分的な周波数で呈する曲は、低周波領域で $1/f$ ゆらぎ特性を呈し、高周波領域ではすべて $1/f$ ゆらぎ特性を呈せず急な傾きを持つ単調な曲であった。

以上の結果を纏めると、ストレス解消・鎮静効果のあるヒーリング音楽の特徴は、何らかの形で $1/f$ ゆらぎ周波数特性を呈し、特に高周波領域で $1/f$ ゆらぎ特性を呈する点にある。他方、緊張感を高める音楽は低周波領域のみ若しくは全体として $1/f$ ゆらぎを呈するが、全く $1/f$ ゆらぎ周波数特性を呈さない曲もある。

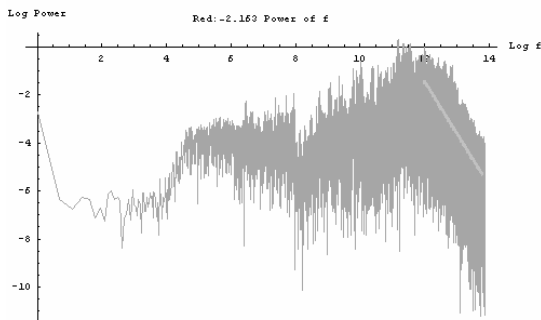


Fig. 7 $1/f$ Frequency Characteristic Example Extracted from Music having Stress Causing Effect

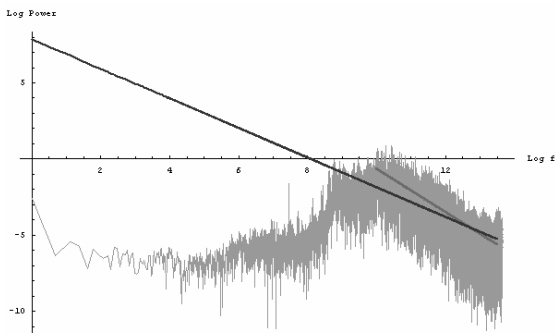


Fig. 8 $1/f$ Frequency Characteristic Example Extracted from Music having Stress Causing Effect

3.3 考察

音楽における周波数は音の高低であり、これをフーリエ変換しパワースペクトラムを得るということは、曲中にそれぞれの音の高低をどれだけの密度で含んでいるかをあらわす。さらに、その傾きを抽出することで音の密度の時間的な変化の規則性が評価出来る。この規則性がランダム過ぎず単調過ぎない音楽が $1/f$ ゆらぎを呈する音楽と考えられる。

実験で使用したストレス解消・鎮静効果のあるヒーリング音楽の曲調はスローテンポで、せせらぎの音など自然音が音楽に織り込まれているものが多く、必ず部分的または周波数領域全体を通して $1/f$ ゆらぎが存在した。

他方、緊張感を高める音楽はアップテンポのものが多く、例えば、現代音楽、そして運動会等で使われる『道化師』や『熊蜂の飛行』などである。テンポや激しさに関わらず、よく耳にする運動会等で使われるような曲では全体的な周波数領域で $1/f$ ゆらぎの存在が確認できた。

$1/f$ ゆらぎを呈さなかった曲には、比較的近代に書かれたものが目立った。ベトナム戦争に触発されて書かれた現代曲や、映画の不気味なシーンに使われた曲などである。

以上の結果から、ストレス解消・鎮静効果は、部分的、特に高周波数領域、または全体として必ず $1/f$ ゆらぎの存在に拠るが、必ずしも $1/f$ ゆらぎの存在がストレス解消・鎮静効果を持つとは限らない。むしろ、緊張感を高める効果を与える場合もあることが判る。すなわち、ストレスを解消するか否かは高周波領域の $1/f$ ゆらぎの存在がカギと考えられる。

4. 脳波測定

4.1 実験

ここでは、鎮静効果のあるとされる楽曲を用いて、ストレス解消効果を脳波測定により吟味する。

前章の実験で用いた沈静効果を持つとされる楽曲の中で、5 曲を連続で被験者に聞かせ、脳波を簡易脳波計によって測定した。脳波測定時には、被験者の周りをパーテーションで区切り楽な姿勢を取らせ、眼球運動を抑えるために被験者にアイマスクの装着をした。曲目毎に脳波の、さらに 波の平均値を計算し、その推移を記録した。

4.2 実験結果

一般に、 波は浅い睡眠状態時、 波は目を閉じた時やリラックスした状態の時、 波は活動時または緊張時に優位になるとされている。また脳の活性度が高くなる場合、原則として全ての脳波は減少する傾向になり³⁾、反対に意識が下がって眠くなると 波が減って 波が混ざ

P01-003

り始めると言われる⁴⁾。これらを踏まえ、実験結果を考察する。

実験結果は、大きく二つの傾向に分かれた。波の増加したケースと、波の増加が見られたケースである。Figs.9,10,11 に代表的な結果を示す。

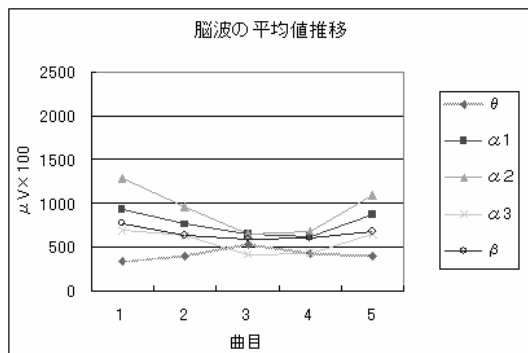


Fig.9 Subject 1

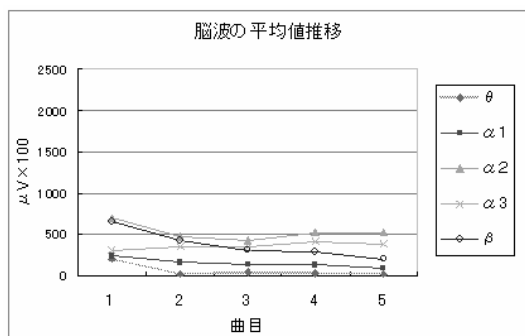


Fig.10 Subject 2

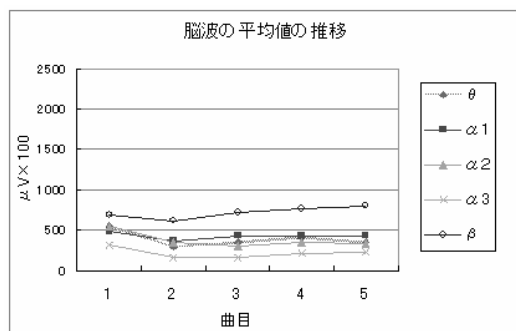


Fig.11 Subject 3

4.3 考察

被験者1は、1番目と2番目の曲、最後の曲でいずれも高い波が確認できる。最初の曲で高い波が検出される場合、このような形のグラフになることが多かった。被験者2は、最初から最後の曲まで全体的に脳波強度の大きな変化はなかったが、詳細に調べると波に比べ波が下がっていることが判明した。

被験者3では波の優位が確認できる。5曲通して波

の優位だった被験者の特徴は波と波が同様な傾向で変化すること、および全曲を通して脳波に極端な変化が現れないことが挙げられる。

波の増加が必ずしもリラックスを意味するとは限らない。しかし、個人差はあるが初めの曲で大きく波が現れ、波の増加と共に波の減少が見られるグループがあることも事実である。

他方、脳が活発に機能する場合に伴うといわれる波が顕著に現れるグループもある。

全体の考察として、ストレス解消・鎮静効果のあるとされているヒーリング音楽には1/f ゆらぎ周波数が極めて多く含まれており、その効果は波、波へ顕著に反映すると考えられる。

5. まとめ

1/f ゆらぎ周波数特性が、音楽療法の一指標となり得る可能性を探る試みとして、最初に音楽に伴う1/f ゆらぎ特性の抽出をおこなった。

その結果、ヒーリング音楽には1/f ゆらぎ特性が極めて多く含まれていることが判明した。供試した曲全てが何らかの1/f ゆらぎ特性を呈し、低域から高域まで部分的に1/f ゆらぎ特性が複数個存在する。他方、緊張を促すクラシック音楽では、低域ではホワイトノイズ状、高域では急な傾きの短調な曲であっても全体として1/f ゆらぎ特性を呈する場合もある。部分的な1/f ゆらぎ特性は低域で見られ、広域では見られない。さらに、全く1/f ゆらぎ特性を呈さない曲も少なくない。

総括すると、緊張を緩和するヒーリング音楽では1/f ゆらぎ特性の存在は必要条件であり、十分条件ではない。必要十分条件は、全体として、さらに部分的に高域と低域においても1/f ゆらぎ特性を呈することであると考えられる。

ヒーリング音楽の効果を脳波測定によって吟味した。その結果、音楽を聴いている間の脳波は波の増加又は波の増加へ二極化することが確認できた。

以上から1/f ゆらぎ周波数を多く含むヒーリング音楽は、波と波に顕著に反映すると考えられる。

参考文献

- 1) 音楽療法入門 : pii-desu.hp.infoseek.co.jp
- 2) 寺西正晃, 丸山和夫, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之, 自然界の画像を持つ1/f周波数成分の可視化, 可視化情報シンポジウム, B108, 2005.
- 3) メディカルシステム研修所 : www.kenn.co.jp
- 4) 「脳波」と「事象関連電位」 : www2f.biglobe.ne.jp/yasuq/eeg.htm

非接触型給電システム近傍磁界分布の可視化

高田 将吾[○], 齊藤 兆古(法政大学大学院), 堀井 清之(白百合女子大学)

Visualization of Magnetic Fields Around Contactless Power Supplier

Shogo TAKADA, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

All of the modern electrical devices are composed of two major parts: one is the electrical signal processing part, and the other is the power supplier. Recent electrical devices are spreading in use not only the conventional consumer electronics products but also electrical vehicles. A reason why electrical vehicles should be developed is simply the antipollution of earth atmosphere, i.e., the electrical motors employed instead of combustion type engines. The electrical vehicles require a battery system which should be charged up by an external power source. This means that a contactless power supplier is extensively convenient to practical use for battery charging of the electrical vehicles.

Contactless power supplier is composed of a transformer having the distinct primal and secondary coils separated by air gap. Because of the electromagnetic compatibility problem, it is essential to keep the leakage magnetic fields around the contactless power supplier as low as possible.

As a first step of the contactless power supplier developments, this paper visualizes the magnetic field distributions around the transformer having the distinct primal and secondary coils separated by air gap.

Keywords: Magnetic field visualization, Contactless Power Supplier, Electromagnetic Compatibility (EMC)

1. 緒 論

半導体技術の発展は、電気・電子機器の小型軽量化のみならず、インテリジェント化を可能とし、爆発的な電気・電子機器の普及をもたらした。その結果、高周波で駆動される電気・電子機器は生産設備のみならず家電機器まで普及し、家庭、事務所、工場、その他あらゆる場所でパソコン、ファックス、携帯電話、空調機器、照明機器等の多くの電気・電子機器が設置され、必要不可欠な文明の利器として活用されている。それらの電気・電子機器が空間を占める密度は、従来想定不可欠な密度である。この意味で、人工的な空間はあらゆる周波数の電磁界で満たされた空間と化している。この過酷な電磁環境中でも、電気・電子機器は誤作動をすることなく円滑にそれらの機能を発揮しなければ、人類の文明生活が維持できない状況に至っている。また、あらゆる周波数の電磁界で満たされた空間の中で人類は生活を強いられている状況である。電気・電子機器に対してだけでなく人

類に対しても可能な限り、高周波の電磁界が分布しない自然な空間が望ましいことは言うまでもない。

近年、地球温暖化対策のために電気自動車の開発が急務となっている。電気自動車普及の大きなボトルネックとして電気自動車への給電システムとそのインフラがある。本稿は電気自動車を前提とする非接触給電システム開発に関するものであり、具体的には非接触給電システムが与える周辺電磁界分布の可視化である。

2. 磁界分布の可視化

2.1 1次・2次コア分離型単相変圧器

非接触給電システムでは1次・2次コイル分離型の変圧器を採用することで非接触な電力電送を可能とする。変圧器のコア材は比較的重量があるため、コア材の量を削減する方途として高周波駆動が一般的である。高周波特性のよい磁性材料はフェライトである。我々の非接触給電システムでは、2個のU字型フェライトを用いて1

次・2次コイル分離型単相変圧器を採用する。

Fig.1 に採用したフェライトコアの BH ループ（磁束密度対磁界）特性を示す。Fig.1 に示すように磁性体の透磁率は有限であり、且つ、必ず飽和磁束密度がある。このため、磁界は変圧器周辺へ漏れて分布する。特に 1 次・2 次コイル分離型では間にエアギャップがあるため顕著となる。

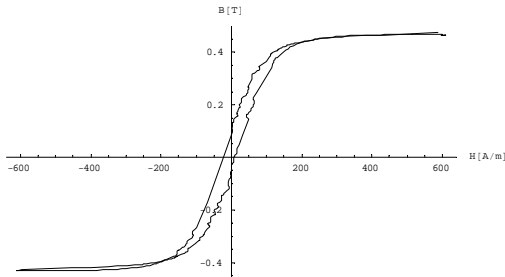


Fig.1 B-H Loop of a Tested Ferrite Core

2.2 コアヘッド近傍の磁界分布

2.2.1 ギャップの違いによる磁界分布の変化

1 次・2 次コア間のギャップの違いによる漏洩磁界分布を、両者間の距離を変えて測定した。具体的には、1 次・2 次のフェライトコアヘッドで平面を挟み込む形とし、コアヘッド間の距離、すなわち、ギャップ長を変えて平面に垂直方向の磁界分布を測定した。ギャップは 0.8mm、15mm、30mm、そして 2 次コアが存在しない場合について測定した。Fig.2 はその結果を濃淡図、Fig.3 は 3 次元的に可視化した例をそれぞれ示す。

Fig.2 では磁界の 2 次元的分布に大きな差異が見られないが、磁界の強度が大幅に異なることが Fig.3 から分かる。

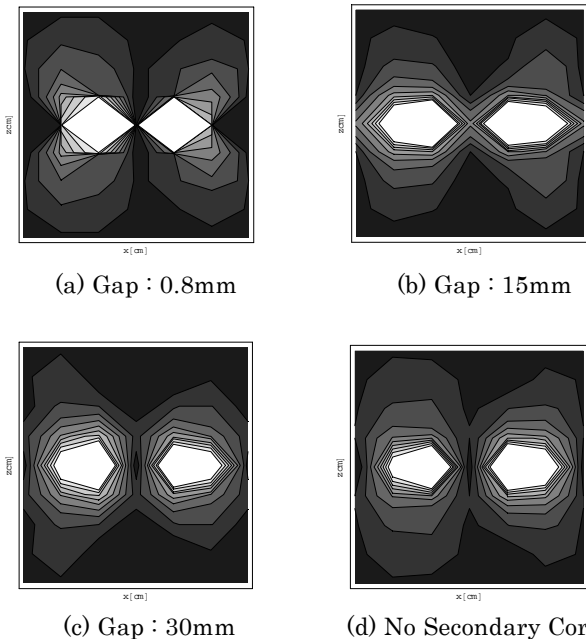


Fig.2 Two dimensional representation of the magnet field distributions

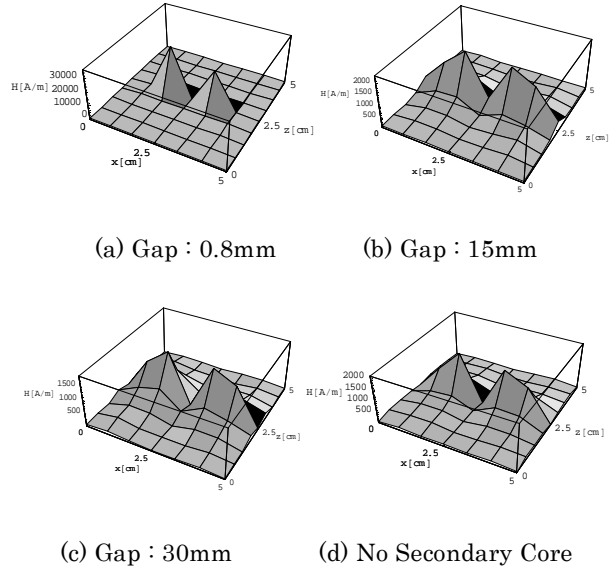


Fig.3 Three dimensional representation of the magnetic field distributions

2.2.2 磁界ベクトル分布

1 次・2 次のフェライトコアヘッド間を 8mm とし、フェライトコアヘッド面に平行な x-y 平面で、フェライトコアヘッド面に垂直な方向を高さ z 方向として、高さ (z 方向) を 5mm 毎に 4 段階変更して、コアから漏れた磁界の xyz の 3 成分を測定した。Fig.4 に磁界ベクトル図を示す。最大磁界の大きさは 1814[A/m]であった。

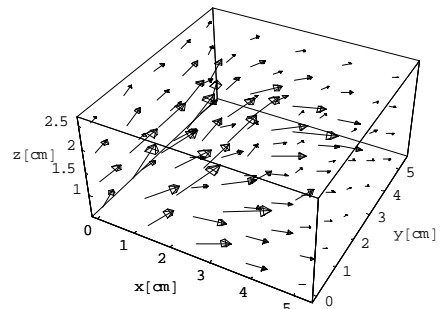


Fig.4 Leakage Magnetic Field Vectors Distribution from The Ferrite Cores

3. まとめ

本稿では、非接触給電システムの根幹要素である 1 次・2 次コイル分離型変圧器に周辺磁界分布の可視化を行った。

参考文献

- 1) 宮原晋一郎、早野誠治、齊藤兆古、増田則夫、遠矢弘和：「電気・電子機器の周辺電磁界分布可視化システム」、マグネティックス研究会資料、1998 年、MAG-98-45-112
- 2) Sekijima, D., Hayano, and Saito, Y: Time-domain Visualization of Quasi-3D Current Vector Distributions PSFVIP-3 March 18-21, 2001, Maui, Hawaii, U. S. A. F3303

非接触給電システム近傍磁界分布のウェーブレット解析

高田 将吾[☆], 齊藤 兆古 (法政大学大学院)

Wavelets Analysis of the Magnet Field Distributions around Contact-less Power Supplier

Shogo TAKADA and Yoshifuru SAITO

ABSTRACT

All of the modern electrical devices are composed of two major parts: one is the electrical signal processing part, and the other is the power supplier. Recent electrical devices are spreading in use not only the conventional consumer electronics products but also electrical vehicles. A reason why electrical vehicles should be developed is simply the antipollution of earth atmosphere, i.e., the electrical motors employed instead of combustion type engines. The electrical vehicles require a battery system which should be charge up by an external power source. This means that a contactless power supplier is extensively convenient to practical use for battery charging of the electrical vehicles.

Contactless power supplier is composed of a transformer having the distinct primal and secondary coils separated by air gap. Because of the electromagnetic compatibility problem, it is essential to keep the leakage magnetic fields around the contactless power supplier as low as possible.

This paper carries out the wavelets multi-resolution analysis to the magnetic field distributions around the transformer having the distinct primal and secondary coil separated by air gap.

As a result, it is found that the most reasonable core head shape of the transformers has the most dominant 1st order wavelet spectrum, i.e., the biggest 1st order wavelet spectrum and negligible higher order wavelets spectra. This means that there is no leakage magnetic field around the contact-less power supplier.

Keywords : Magnetic field visualization, Contactless power supplier, Wavelets analysis

1. 緒 論

半導体技術の発展は、電気・電子機器の小型軽量化のみならず、インテリジェント化を可能とし、爆発的な電気・電子機器の普及をもたらした。その結果、高周波で駆動される電気・電子機器は生産設備のみならず家電機器まで普及し、家庭、事務所、工場、その他あらゆる場所でパソコン、ファックス、携帯電話、空調設備、照明機器等の多くの電気・電子機器が設置され、必要不可欠な文明の利器として活用されている。それらの電気・電子機器が空間を占める密度は、従来想定不可能な密度である。この意味で、現代の人工空間はあらゆる周波数の電磁界で満たされた空間と化している。この過酷な電磁環境中でも、電気・電子機器は誤作動をすることなく円滑にそれらの機能を発揮しなければ、人類の文明生活が維持できない状況に至っている。換言すれば、あらゆる

周波数の電磁界で満たされた空間の中で人類は生活を強いられている状況である。電気・電子機器に対してだけでなく人類に対しても可能な限り、高周波の電磁界が分布しない自然な空間が望ましいことは言うまでもない。

近年、地球温暖化対策のために電気自動車の開発が急務となっている。電気自動車普及の大きなボトルネックとして電気自動車への給電システムとそのインフラがある。

本稿は電気自動車を前提とする非接触給電システム開発に関するものであり、具体的には非接触給電システムが与える周辺電磁界分布の可視化とそのウェーブレット解析である。

2. 磁界分布の可視化

2.1 1次・2次コア分離型単層変圧器

非接触給電システムでは1次・2次コイル分離型の変圧器を採用することで非接触な電力電送を可能とする。変圧器のコア材は比較的重量があるため、コア材の量を削減する方途として高周波駆動が一般的である。高周波特性のよい磁性材料はフェライトである。我々の非接触給電システムでは、2個のU字型フェライトを用いて1次・2次コイル分離型単層変圧器を採用する。

Fig.1 に採用したフェライトコアのBH ループ（磁束密度対磁界）特性を示す。Fig.1 に示すように磁性体の透磁率は有限であり、且つ、必ず飽和磁束密度がある。このため、磁界は変圧器周辺へ漏れて分布する。特に1次・2次コイル分離型では1次・2次間にエアギャップがあるため顕著となる。

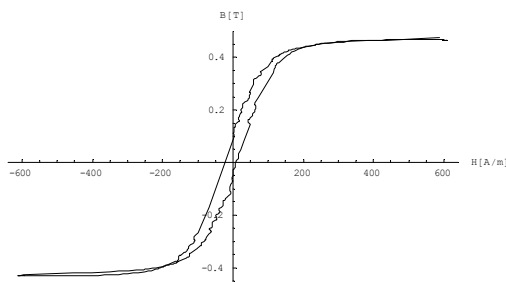


Fig.1 B-H loop of a tested ferrite core.

2.2 コアヘッド近傍の磁界分布

2.2.1 ギャップの違いによる磁界分布の変化

1次・2次コア間のギャップの違いによる漏洩磁界分布を測定した。

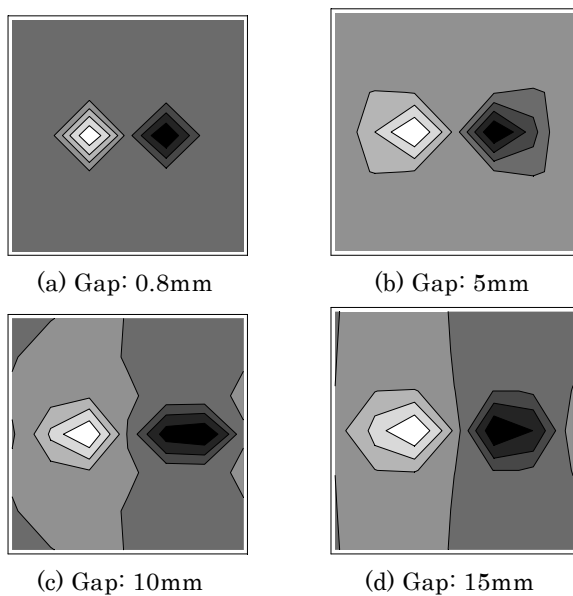


Fig.2 2D representation of the magnet field distributions.

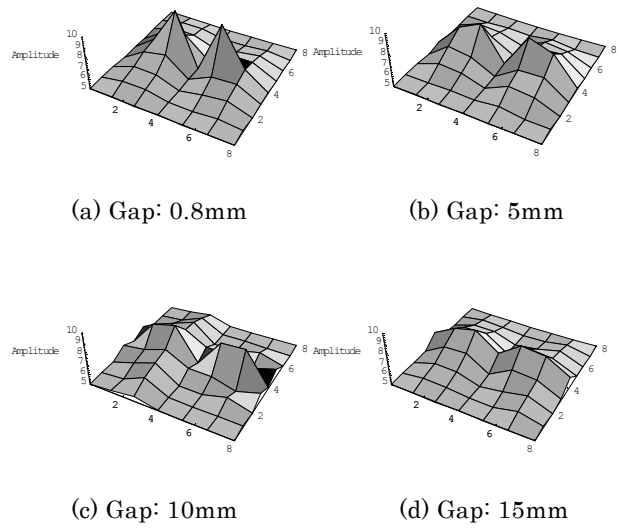


Fig.3 3D representation of the magnetic field distributions.

具体的には、1次・2次のフェライトコアヘッドで平面を挟み込む形とし、コアヘッド間の距離、すなわち、ギャップ長を変えて平面に垂直方向の磁界分布を測定した。ギャップは0.8mm、5mm、10mm、15mmとした。

Fig.2はその結果を濃淡図、Fig.3は3次元的に可視化した例をそれぞれ示す。Fig.2ではギャップ長が5mmを超えると急激に漏洩磁界が広がり、磁界分布モードが大幅に異なることが分かる。

2.2.2 磁界ベクトル分布

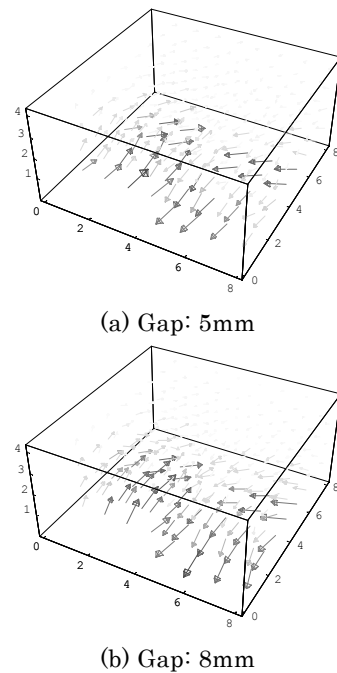


Fig.4 Leakage Magnetic Field Vectors Distribution from The Ferrite Cores.

1次・2次のフェライトコアヘッドに並行な x-y 平面で、フェライトコアヘッド面に垂直な方向を高さ z 方向として、高さ (z 方向) を 10mm 毎に 4 段階変更して、コアから漏れた磁界の xyz の 3 成分を測定した。フェライトコアヘッド間が 5mm、8mm の場合である。

Fig.4(a)にコアヘッド間 5mm、Fig.4(b)にコアヘッド間 8mm の磁界ベクトル図を示す。ギャップ長の短い(a)の場合、コアヘッドからの漏洩磁界の広がり最も少ないことが分かる。

3. 磁界分布のウェーブレット解析

3.1 理論

一般に、3次元のウェーブレット変換は、3次元マトリックスの転置行列を

$$[H_{lmn}]^T = H_{mnl} \quad (1)$$

で表すと、

$$S = [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot H_{lmn}]^T]^T]^T \quad (2)$$

で与えられる。ここで、S はウェーブレットスペクトラム、H は $l \times m \times n$ の直方マトリックス、 W_l 、 W_m 、および W_n はそれぞれ $l \times l$ 、 $m \times m$ 、 $n \times n$ のウェーブレット変換マトリックスである。ここで、H の各要素が x、y、z 方向の 3 成分からなるベクトル

$$H = X + Y + Z \quad (3)$$

であるとき、(1)、(2)式より

$$S = [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot (X + Y + Z)]^T]^T]^T \quad (4)$$

が得られる。ここで X、Y、Z はそれぞれ直交するベクトルであるから(4)式は

$$\begin{aligned} S &= [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot X]^T]^T]^T \\ &+ [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot Y]^T]^T]^T \\ &+ [W_n \cdot [W_m \cdot [W_l \cdot Z]^T]^T]^T \end{aligned} \quad (5)$$

となる。すなわちベクトルデータのウェーブレット変換スペクトラムは各成分のウェーブレット変換スペクトラムを成分とするベクトルである⁴⁾。

3.2 周辺磁界分布

Fig.4(b)で示した 3次元磁界ベクトル分布へ式(4)のウェーブレット変換を適用する。

Fig.4(b)に示したベクトルデータを x、y、z 成分ごとにウェーブレット変換し、ウェーブレットスペクトラムを求める。ここでは基底関数にドビッシューの 2 次基底関数を使用した。ベクトルウェーブレットスペクトラムを Fig.5 に示す。

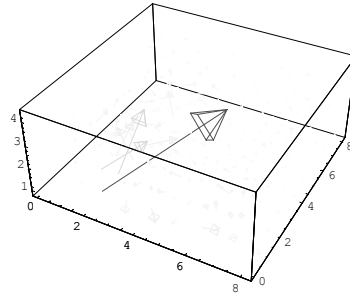
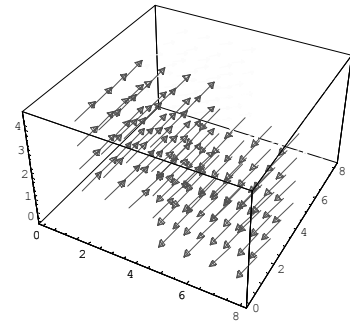
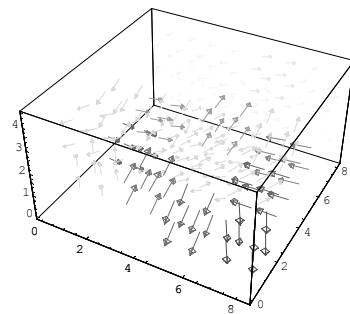


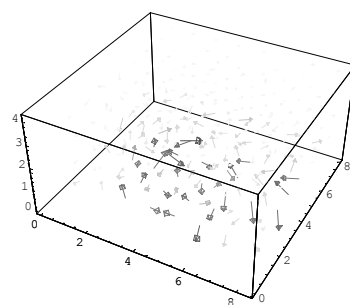
Fig.5 Wavelet Spectrum.



(a) LEVEL 1



(b) LEVEL 2



(c) LEVEL 3

Fig.6 Wavelet Spectrum.

Fig.5 は複数個のベクトルウェーブレットスペクトラムからなる。すなわち、Fig.5 は空間周波数別に空間周波数の低い、最も支配的なウェーブレットスペクトラムと空間周波数が高いウェーブレットスペクトラムからなる。それぞれを独立にウェーブレット逆変換して再現された 3次元磁界ベクトル分布をそれぞれ空間周波数の低いウェーブレットスペクトラムから、Level 1、Level 2、

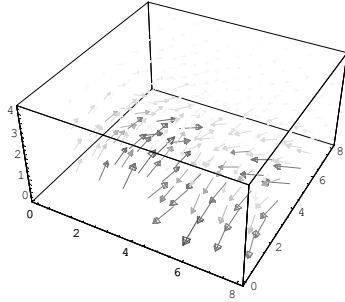


Fig.7 The recovered Leakage Magnetic Field

Level 3 として、Fig.6(a)、(b)、(c)に示す。Fig.6(a)は空間に漏れのない無い理想的な磁界分布を表し、Figs.6(b)、6(c)は磁性体コア周辺の空間に広がる漏洩磁界成分を表している。

この結果から、磁性体コア近傍の3次元磁界ベクトル分布をウェーブレット変換し、得られるウェーブレットスペクトラムで、Level 1 を最大の大きさを持つスペクトラムベクトル、他の高周波スペクトラムの大きさを最小化するコア形状が最も漏れ磁界が少ない最適な磁気コア形状であることが分かる。

Fig.6 の空間周波数別 3次元磁界ベクトルの総和を Fig.7 に示す。Fig.4(b)が完全に再現されていることが分かる。

4. まとめ

本稿では、非接触給電システムの根幹要素である 1次・2次コイル分離型変圧器の周辺磁界分布の可視化を行い、ウェーブレット解析を行った。ウェーブレット解析は、コア形状の最適化指標を明確に与え、非接触給電システムに於ける漏洩磁界問題解決の一助となることが判明した。

参考文献

- 1) 齊藤兆古 著：「ウェーブレット変換の基礎と応用」、朝倉書店、1998年
- 2) 宮原晋一郎、早野誠治、齊藤兆古、増田則夫、遠矢弘和：「電気・電子機器の周辺電磁界可視化システム」、マグネティック研究会資料、1998年、MAG-98-112
- 3) Sekijima,D.,Hayano. and Saito,Y: Time-domain Visualization of Quasi-3D Current Vector Distributions PSFVIP-3 March 18-21,2001, U.S.A. F3303
- 4) 松山佐和、小口雄康、宮原晋一郎、齊藤兆古：「3次元ウェーブレット変換の応用」、日本氏シミュレーション学会、1998年、2-II-3

共振型 ECT センサによる金属中欠損の一可視化法

細原 隆史[☆], 齊藤 兆古(法政大学大学院)

A Method of Defect Visualization in the Metallic Materials

by Resonance Type ECT Sensor

Takafumi HOSOHARA, Yoshifuru SAITO

ABSTRACT

ECT (eddy current testing) is extensively used to inspect such as elevator, escalator, and airplane, nuclear electric and power plant without any destruction. This paper proposes a method of resonance type ECT sensor system which makes it possible to detect the defect of metallic plate. Operating principle of this system is based on the essential nature of parallel resonant electrical circuit. When the primary coil is working as a sensing part and the secondary coil, i.e. a target metallic material, is magnetically coupled with the primary coil, the primary resonance frequency and impedance of the ECT sensor system greatly depend on the secondary impedance change caused by a defect such as cracks.

By means of a simple eddy current property, we have tried to visualize the capacitance arisen in cracks of which the traditional ECT sensor system neglects this capacitance effect. Even though more precise experimentally proof is necessarily, we have succeeded in visualizing a crack effect in the target thin metallic materials.

Keywords : ECT sensor, Resonance type, Defect visualization, Defect capacitance

1. 緒 論

エレベータやエスカレータ、さらに航空機や各種発電所などの構造を支える金属材料の非破壊検査は安全性確保のために極めて重要な技術である。他方、金属そのものの品質評価要素として、材料の均一性、ゆがみ、たわみなどがあり、これらの要素を計測する手段としての非破壊検査技術もある。金属の非破壊検査として、超音波、放射線、電気抵抗、渦電流などが用いられている。この中で、超音波による金属の非破壊検査は精度が良く信頼性も高い反面、振動子を検査対象に接触させる必要がある。この意味では電気抵抗測定による非破壊検査も同様に直接接触させる必要がある。放射線による方法は、安全性の観点から放射線の取り扱いに一定の基準が課されているため、使用上に制約がともなう。

金属の非破壊検査として、渦電流(ECT)による方法は検査対象と直接接触の必要がなく、比較的簡単な装置で高速な作業が行える反面、渦電流の流れる方向によって金属中の欠損を探知できない問題もある。しかしながらその汎用性は高く、非接触で探査が可能であるため、他の非破壊検査法に比較して有利な特性を有する¹⁾。

本論文で取り上げる共振型 ECT センサは、励磁コイルの並列共振周波数とインピーダンスが磁気的に結合する検査対象金属の状態に依存して変化することを利用した共振型 ECT センサである。すなわち、励磁コイルの入力端から見た共振条件が励磁コイルと磁気的に結合する検査対象中のクラックなどの欠損を反映することを利用したセンサである。

本論文では、検査対象である金属板上のクラック状欠損によって生ずるキャパシタンスの効果を励磁コイルから見た入力インピーダンスで感知可能か否かの基礎実験を試みる。

2. 共振型 ECT センサ

2.1 動作原理

共振型 ECT 法はセンサコイルの共振周波数とインピーダンスの変化から検査対象である金属板上に欠損が有るか否かを判定する方法である。被検査対象が持つキャパシタンスの効果が無視出来るとすれば、被検査対象は抵抗とインダクタンスだけの回路と見なされる。このため、被検査対象中の欠損は単純に抵抗の増加に繋がるので、その結果として、共振時の励磁コイルの入力インピーダンスは被検査対象が無い場合と比較して低下する。当然であるが、

被検査対象金属に何ら欠損が無い場合、共振周波数は最も高くなりインピーダンスは最も小さくなる²⁾。

2.2 共振型 ECT センサの特性

共振型 ECT センサの具体例として、Fig. 1 に示すセンサコイルで、まず、(a)コイル単独のインピーダンス |Z| と位相 φ の周波数特性を測定する。次に、(b)コイル下に平行金属板を設置して、コイルのインピーダンス |Z| と位相 φ の周波数特性を測定する。さらに、(c)コイル下に 1mm のクラックを模索した空隙がある金属板を設置して、コイルのインピーダンス |Z| と位相 φ の周波数特性を測定する。

Fig. 2 はそれぞれのインピーダンス |Z| および位相 φ の周波数特性を示す。最も共振時のインピーダンスが大きく共振周波数が低い場合はコイル単体時(1)であり、最も共振時のインピーダンスが小さく共振周波数が高い場合はコイルが金属板に面している場合(2)である。金属板に空隙が有る場合(3)の共振時のインピーダンスと共振周波数は両者間に位置する値となる。

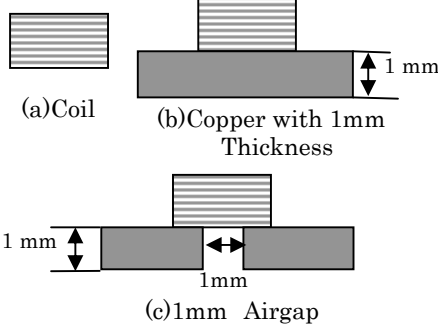


Fig. 1 Tested coil and measurements.

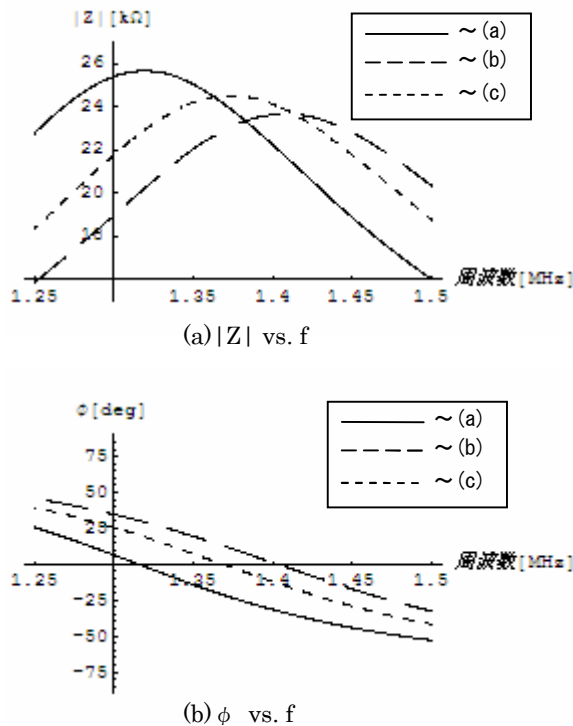


Fig. 2 Tested results.

2.3 欠損の可視化

Table 1 に測定に用いた有限長ソレノイド型試作センサの諸定数を示す。実験は Fig. 3 に示す銅板の欠損を共振時のインピーダンス |Z| と位相 φ を用いて可視化する。

Fig. 4 は、共振型 ECT を用いて銅板の欠損を可視化した結果である。実際の欠損は縦 1cm×横 5mm であるが、インピーダンス |Z|、位相 φ のいずれの結果においても約 2 倍近く大きな輪郭のイメージとなった。ここで、Fig.4 のコントラストに対応するパラメータであるインピーダンスと位相の変化率は、式(1)で計算した。さらに、測定点数は 2.5mm 間隔で縦横共に 11 点とした。

Table 1 Various constants of a tested sensor coil.

巻数	500[回]
外径	10[mm]
内径	5[mm]
長さ	10[mm]
巻線径	0.2[mm]

$$\text{変化率} = \frac{\text{測定値} - \text{基準値}}{\text{基準値}} \times 100[\%] \quad (1)$$

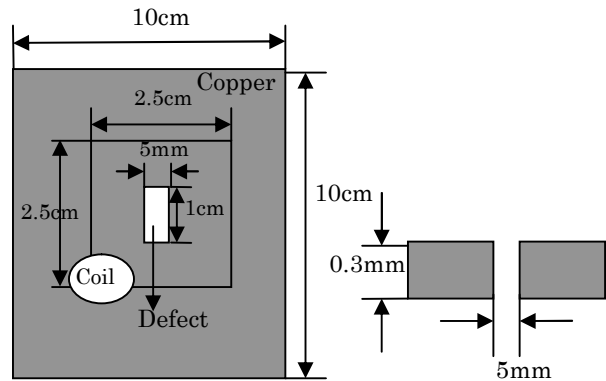


Fig.3 Tested target copper sheet with rectangular defect.

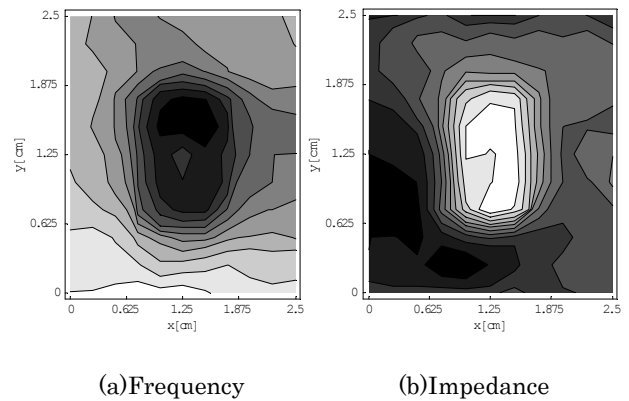


Fig.4 Visualized defect of resonance type ECT.

3. 欠損中のキャパシタンスの測定

3.1 欠損に起因するキャパシタンス

本論文は被検査対象中の欠損、特にひび割れなどのクラックが持つキャパシタンスを励磁コイルの入力インピーダンスから感知可能か否かを吟味する。通常、ECTの数値解析では被検査対象中の欠損に起因するキャパシタンスが無視出来ると仮定する。ECTセンサ系を数値解析する場合、クラックは「面積を有するが距離が無限に小さい部分」としてモデル化される。しかし、これをキャパシタンスで考えれば、クラック中に空気しか存在しないと考える、無限大のキャパシタンスを意味することに他ならない。このキャパシタンスが無視出来る根拠が理解出来ない。

本論文はクラックに起因するキャパシタンスを吟味する一方法として、励磁コイルの入力インピーダンスが最大遅れ位相を取る周波数を測定する。具体的には、Fig. 5の丸で囲まれる部分に存在する位相遅れが最大となる周波数の測定である。この考え方は、誘導性リアクタンスの大きさを削減する要素を単純に直列に接続されたキャパシタンスと仮定したことを意味する。

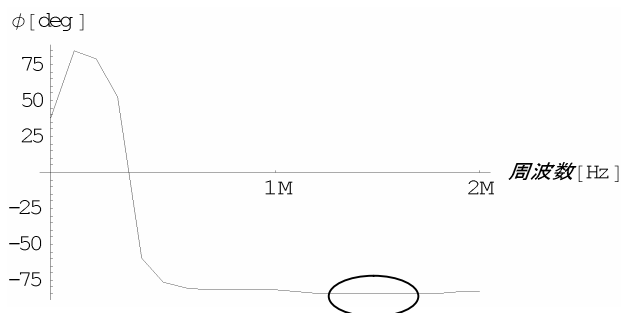


Fig. 5 Frequency characteristic of phase.

3.2 検証実験

Table 2に測定に用いた有限長ソレノイド型試作センサの諸定数を示す。Fig. 6はスリット状の欠損を持つ厚さ0.1mmの銅板である。実験は、Fig. 6に示すように平均径40mmのセンサコイルを左方から5mm間隔で右方へ動かし、励磁コイルの入力インピーダンスで位相遅れが最大となる周波数を測定した。

Fig. 7が実験結果である。明らかに Fig. 7の結果は、スリット状欠損のキャパシタンスが無視出来ないか、若しくは渦電流分布モードの劇的変化が存在することを意味する。被検査対象中を渦電流は励磁電流と逆方向の影像電流となって流れる。しかし、被検査対象にクラックが有り、このクラックが理論上のモデルから想定される無限大のキャパシタンスを持てば、励磁コイルの入力インピーダンスで位相遅れが最大となる周波数は、励磁コイル径とクラック長の関係を示唆する Fig. 7のような結果を与えるとは考えられない。

励磁コイル半径よりも励磁コイル内へ浅くクラックが進入した場合、渦電流はクラックを迂回した経路を取る。

そのため、見かけ上、被検査対象の電気抵抗の増加を促し、結果として励磁コイルの入力インピーダンスで位相遅れが最大となる周波数の増加へ繋がる。

しかし、励磁コイル半径よりも励磁コイル内へ深くクラックが進入すると、渦電流が迂回する経路のインピーダンスは大きくなり、クラックのキャパシタンスが無視出来ない値、若しくは渦電流の分布モードの劇的な変化となる。すなわち、クラックのキャパシタンスへ渦電流が分流するか、若しくは渦電流の分布モード（渦電流の経路）が劇的に変化する。この状態遷移が起こる位置はクラックが励磁コイルの中心近傍に達した点と考えられる。または、Fig. 7から、この点を中心として何らかの共振現象が存在するのかも知れない。

励磁コイルの両端がスリット状欠損に跨ると、渦電流は必ずクラックのキャパシタンスを通過するか、若しくは渦電流（経路）分布モードが完全に固定化する。一般に、キャパシタンスの入力インピーダンスは周波数に反比例するから、この条件以上にクラックのキャパシタンスの効果、若しくは渦電流分布モードの変化を励磁コイルの入力インピーダンスから感知するのは困難である。

Table 2 Various constants of a tested sensor coil.

巻数	200[回]
外径	45[mm]
内径	35[mm]
長さ	10[mm]
巻線径	0.4[mm]

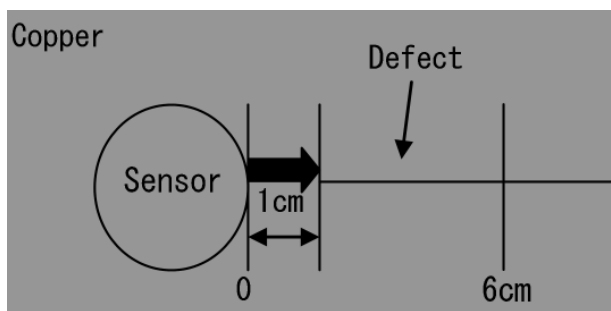


Fig. 6 Schematic diagram of experiment.

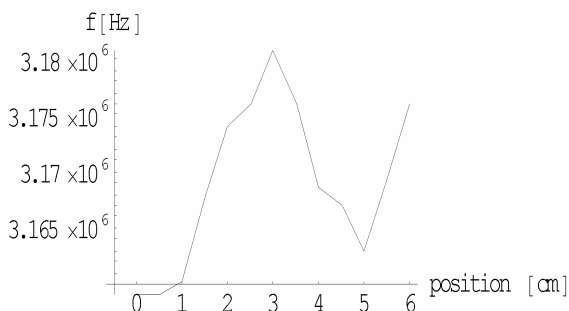


Fig. 7 Position versus frequency taking maximum phase lag.

4. まとめ

本論文では欠損部に生じるキャパシタンスの可視化を試みた。その結果、欠損部に生じるキャパシタンスの影響を可視化できたのか否かは確認出来なかった。これは、測定対象とした入力インピーダンスで位相遅れが最大となる周波数が欠損のキャパシタンスのみならず渦電流の分布モード（渦電流の流れる経路）によって変わるためである。

従って、今後の課題として更なる実験的検証や解析的検証を行う必要がある。

参考文献

- 1) 佐藤庸平、早野誠治、齋藤兆古、堀井清之、“三相交流磁気センサの高度化と薄板状金属の欠損可視化”、可視化情報学会誌、Vol. 25、No. 1、pp. 185-188、(2005)。
- 2) 細原隆史、齋藤兆古、堀井清之、“共振型 ECT センサによる金属欠損の可視化”、2009 年 7 月、P01-006。

『源氏物語』における源氏と藤壺の涙

井波 真弓[○](白百合女子大学), 齋藤 兆古(法政大学), 堀井 清之(白百合女子大学)

Tears of Genji and Fujitsubo in "The Tale of Genji"

Mayumi INAMI, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

The expressions "tears" and "cry" and their derivative words in "The Tale of Genji" were examined by the discrete wavelets multi-resolution analysis. The aspects for analysis has employed following three elements: "Genji" is hero and the second prince of emperor of Kiritsubo, "Fujitsubo" is princess of emperor of Kiritsubo, Genji's mother-in-law and mistress, and "Others" are all characters except Genji and Fujitsubo.

As a result, it has been clarified that Genji's tears have gradually been emphasized in the situation in which he cannot meet Fujitsubo by her rejection. On the other hand Fujitsubo rarely cried to conceal the secret with Genji so that her life was carried out as mother of illicit child. Furthermore, it has been suggested that tears of "Others" take place of "Fujitsubo". "Fujitsubo" and "Others" are drawn opposite curves when the beauty of Genji was admired and the sorrow toward priest of Fujitsubo was expressed.

Keywords: Genji, Fujitsubo, Others, Multi-Resolution Analysis, Wavelet Transform

1. 緒論

『源氏物語』には多くの涙が描かれており、涙や涙にまつわる表現については既往研究^{1),2)}で得られているが、涙が作品内でどのように揺れているかを検証したものはない。そこで本稿では離散値系ウェーブレット多重解像度解析を用いて「藤壺物語」に見られる涙を通して源氏と藤壺の心の揺れを検証する。

「藤壺物語」は源氏と藤壺にまつわる物語で、本稿では藤壺が桐壺の帝に内入する第一帖「桐壺」から死後、源氏の夢枕に現れる第二十帖「朝顔」までを対象とする。藤壺は源氏物語の核であり、源氏物語を長編化させる原動力となっている。『源氏物語』の根幹をなす桐壺の更衣から始まり、藤壺から紫の上と連鎖していく「紫のゆかり」の系譜における中心人物である。

藤壺は先帝の四の宮で、亡き桐壺の更衣によく似ていたために桐壺帝の妃として迎えられた。源氏に思慕され、密通そして冷泉院の誕生といった物語の展開を導き、さらにはその「ゆかり」である紫の上や女三の宮をはじめとする物語を突き動かす原動力³⁾となる。輝く日の宮と呼ばれ、光る源氏と並び称された。藤壺の存在は源氏の心情を通して抽出されている方法をとっているともいわれ、初期の藤壺の表現は曖昧であるが、冷泉院誕生以降、具体的に描かれるようになり、桐壺院崩御後、冷泉院の母として源氏とともに皇子の地位を守った。

三歳で母桐壺の更衣を失った源氏はその顔をよく覚えていなかったが、母にそっくりであるという継母藤壺は源氏にとって

永遠の憧れの女性である。源氏の女性遍歴は、藤壺への決して満たされない禁じられた恋に始まる。母として慕ううちに、いつしか年上の女性として思慕するようになる。やがて、藤壺と密通し、彼女は源氏との不義の子を桐壺の皇子として出産する。妄執を断ち切ることのできない恋愛対象となりえたのは藤壺のみである。

「あはれ」や「みやび」を第一義とする王朝文学においては好んで多くの「泣き表現」が用いられている。『源氏物語』においては二百近くの表現がとられ、場面や登場人物にみあった表現がなされている⁴⁾が、多くの登場人物の中でも源氏の頻度が最多である。その源氏が藤壺に見せる涙は特定個人のために源氏が見せる涙の中で最も数が多く、松本彰弘⁵⁾は源氏の藤壺の魂への呼びかけ、恋の成就の困難さをその激しさによって作者が表そうとしたからなのではないかと述べている。

一方源氏をめぐる女君たちの涙は殊に少なく⁶⁾、藤壺は源氏に直面して泣くことは一度もない。藤壺が涙を落とすのは重病の桐壺拝謁の時と、出家を覚悟して皇子（冷泉帝）に直面した時だけである。藤壺の出家の意を理解しかねる皇子の無心さの前思わず、泣いてしまう。源氏との関係は秘密を守るためにも強い態度を余儀なくされ、涙など見せられない。

「涙」、「泣く」など涙を描いている表現は性によって表現が使い分けられている⁷⁾だけでなく、表現を豊潤なものにするため涙に関連した情景一致の表現⁸⁾も見られる。このように涙の多様性を探るには「藤壺物語」を構成するその他の登場人物た

ちの涙も考察の対象としなければならない。

和歌において涙は、何事かを契機として感受したものを制御しえず、あるいは秩序だてて表現もしえないという心の昂まりの外的な現れ⁹⁾である。したがって、涙を通して感情の変化を検証することは作品を理解する上で、重要であると考えられる。

そこで本稿では離散値系ウェブレットの多重解像度解析を用いて、源氏と藤壺の出会いから終焉までを、「源氏」「藤壺」「その他の人々」を要素として心の揺れを考察する。

2. 解析方法

2.1 解析対象

本稿ではテキストに『新編日本古典文学全集』^{10),11)}を使用することとする。

先帝の四の宮であった藤壺は亡き桐壺の更衣に似ていたため、桐壺帝に望まれて入内した。三歳で母桐壺の更衣と死別した源氏は義理の母である藤壺を母代わりに慕う。源氏は、十二歳で元服し、左大臣家の姫君・葵の上と結婚した。形ばかりの結婚生活の中で、心満たされぬ日々を送る中、源氏は藤壺を思い続ける。元服した源氏は、もはや藤壺の部屋に入ることができなくなってしまふ。歳月は流れて、源氏が藤壺の姪にあたる幼い紫の上を垣間見、引き取った頃、藤壺は病氣療養のために宮廷から三条の宮に里帰りしていた。そして、ある日、源氏は侍女王の命婦の手引きで藤壺の部屋へ忍び込んだ。藤壺は思いもよらなかった前回の密会だけで終わりにしようと思っていたので、源氏の侵入を許してしまったことを、情けなく思い、後悔するばかりであった。その後、藤壺は、源氏の子を懐妊したが、物の怪のために報告が遅れたということにして、桐壺帝に懐妊のことを告げた。藤壺は、桐壺帝行幸の試楽が行われた席上で、源氏の青海波の舞を見て、言い知れぬ感動と苦悩との交錯を体験する。やがて藤壺は、源氏に生き写しの皇子を出産するが、罪の意識が深まり、次第に心身を衰弱させていった。しかし、藤壺を非難する弘徽殿への対抗心からも、健康をとりもどした。藤壺は生まれたばかりの皇子とともに、宮廷に参内するが、何も知らない桐壺帝は、生まれた皇子が源氏にそっくりであることをひどく喜んだ。藤壺と源氏は、いたたまれない気持ちになり、それぞれの罪の深さにおののいた。桐壺帝は自らが譲位した後、藤壺が生んだ皇子を皇太子にするために、朱雀帝の母である弘徽殿の女御を越えて、藤壺を中宮に昇格させた。桐壺院と死別した藤壺は、わが子を守るためには源氏を頼るしかないのであるが、彼の激しくなる一方の求愛衝動にひどく困惑していた。そんなある日、突然寝室の忍び込んできた源氏が強引に迫ってきたので、藤壺は卒倒してしまった。藤壺は、わが子の皇太子を守り、源氏の激しい求愛衝動を避けつつも協力を得る方法として出家を決断した。以後、藤壺はわが子の将来のために母としての立場に徹して生きてゆくことになる。その後、源氏が須

磨・明石に流浪していた間も、藤壺はひとり皇太子を守りとおした。源氏の帰還後、その皇太子が即位して冷泉帝となる。藤壺は女院となり、源氏の栄華の後見役として重要な役割を果たす。藤壺は朱雀院から入内の要請のあった六条御息所の娘、前斎宮を源氏と相談して冷泉帝へ入内させようと画策し源氏の意向として実行する。藤壺は三十七歳の春の初めころから病気となり、冷泉帝の後見役を果たしてくれた源氏に感謝しながらも、栄華と、罪の意識に苦しんだ自らの人生をふりかえりつつ死去した。源氏は母と死別した幼い少年の日より、心の中で慕い続けてきた藤壺の死に深い悲しみに打ち沈む。後に母を失った冷泉帝は近侍していた老僧から出生の秘密を知らされ感乱し苦しむ。冷泉帝は源氏に譲位しようとする。源氏は藤壺との秘密が漏れてしまったことに驚愕するが、譲位は固辞した。源氏が藤壺との秘密を紫の上に語った夜、藤壺が源氏の夢の中に現れ、秘密の漏れてしまったことに対する恨みを訴えた。

2.2 キーワードの選択と方法

Table 1 Selected Element.

要素	事例
第1要素「源氏」	源氏：桐壺帝の第二皇子，主人公
第2要素「藤壺」	藤壺：桐壺の帝の妃，源氏の義母，源氏の永遠の恋人
第3要素「その他の人々」	桐壺の帝：源氏の父，兵部卿の宮：藤壺の兄，女房，上達部，皇子，人，人々

Table 2 Examples of Element.

要素	事例
第1要素「源氏」(Genji)	• 今日はこの御事も思ひ消ちて、あはれなる雪の雫に濡れ濡れ行ひたまふ。(源氏は今日だけは藤壺への慕わしいお気持ちも抑えて、しみじみと雪の雫に濡れつつ涙がちに一周忌のお勤めをなさるのである。)
第2要素「藤壺」(Fujitsubo)	• …さはあらで、髪はそれよりも短くて、黒き衣などを着て、夜居の僧のやうになりはべらむとすれば、見たてまつらむこともいとど久しかるべきぞとて泣きなまへば、まめだちて…。(そうではなくて、髪はあれよりももっと短くて、黒い着物などをまとして、夜居の僧のようになろうというのですから、そうしたら今よりもずっと長いことお目にかかれなくなりましょう)とおっしゃってお泣きになると、東宮は真剣な面持ちになって…)
第3要素「その他の人々」(Others)	• 帝涙をごひたまひ、上達部親王たちもみな泣きたまひぬ。(帝は感嘆の涙をおぬぐいになり、また上達部や皇子たちもみなお泣きになった。)

- 1) 作品の構成を継時的に考察するために、要素として感情の極まりである涙を流した登場人物「源氏」「藤壺」「その他の人々」を要素として選び、段落ごとの使用頻度を調べた。

涙、泣くという語だけでなく、意味内容から涙を流したり、泣いたりしたと判断できる箇所を要素として選んだ。

Table 1, 2 は要素を示す。

- 2) 得られたデータに離散値系ウェーブレット変換の多重解像度解析を適用する。

2.3 分析

「源氏」, 「藤壺」, 「その他の人々」の要素にベクトルの概念を用いる。「源氏」を基準ベクトルとして、ベクトルをグラムシュミットの方法によって全て直交化し、重複要素を除く。さらに直交化されたベクトルを単位ノルムに正規化する。正規化されたデータにウェーブレット多重解像度解析を適用する。本研究では基底関数は演算処理の意味が把握できるドビッシェーの2次を採用する。

2のべき乗 n の要素からなる n 次のデータベクトルを Y , ウェーブレット変換行列を W とすればウェーブレットスペクトラム S は次式で与えられる。

$$S = WY \quad (1)$$

ウェーブレット多重解像度解析は、レベル1はスペクトラムベクトル S の第1要素のみを残し他の要素をゼロとしてウェーブレット逆変換式 (2) で得られる。

$$S' = \begin{bmatrix} s_0 \\ \cdot \\ \cdot \\ s_n \end{bmatrix}, \quad D_0 = W^T \cdot S' \quad (2)$$

他のレベルも式(2)と同様にして得られる^{12), 13)}。

3. 結果と考察

「藤壺物語」におけるウェーブレット多重解像度解析の結果を Figs. 1-2 に示す。横軸は第一帖「桐壺」第二十帖「朝顔」までの「藤壺物語」の箇所を段落ごとに構成要素を時系列に並べた。縦軸は要素の段落ごとの頻度を表す。

「藤壺物語」における解析結果から、「藤壺」と「その他の人々」が描く曲線から、泣くことができない藤壺の感情を「その他の人々」がかわって表現していることが示唆された。以下、離散値系ウェーブレット多重解像度解析による詳細な分析結果を述べる。横軸は段落の数を示し、縦軸はキーワードの頻度の変化率を表す。

実際のデータ数としては44段落までであるが、解析には2のべき乗のデータが必要であるため最後の段落に45から64段落をゼロデータとした¹³⁾。また、結果はゼロを追加した段落を削除してある。離散値系ウェーブレット多重解像度解析は、全

体、半分、1/4、1/8、1/16...というように段階に分けて分析し、これをレベル1, レベル2, レベル3, レベル4, レベル5...と呼ぶ。レベル1では作品全体の平均を示す。レベル2では半分に分けた1段落から16段落の平均と17段落から32段落の平均の変化を示す。レベル3では4等分した1段落から8段落の平均と9段落から16段落の平均の変化、17段落から24段落の平均と25段落から32段落の平均の変化である。レベル4では8等分、レベル5では16等分である。

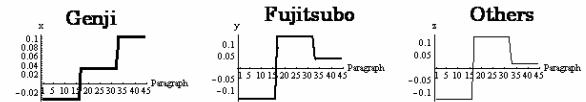


Fig.1 Level 3 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: patterns of tears "Genji", "Fujitsubo" and "Others" in Fujitsubo story.

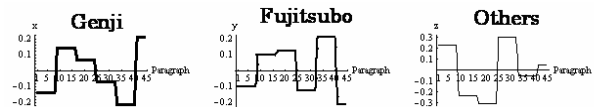


Fig.2 Level 4 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: patterns of tears "Genji", "Fujitsubo" and "Others" in Fujitsubo story.

3.1 作品の構成要素に関する解析結果

作品全体の流れを見るために、分析対象を4等分したレベル1の結果を Fig.1 に示す。「源氏」は前半部、中間部、後半部と次第に多くなっていく傾向が見られる。「藤壺」は前半部、が少なく中間部においては大きな揺れが見られ、後半には再び少なくなっている。「その他の人々」には「藤壺」と同様の揺れが得られた。源氏の涙は『源氏物語』でも特定の個人としては藤壺に対してのものが最多であるが、「藤壺物語」においては増加傾向にある。永遠の憧れの女性は、母として存在していたが、元服後は以前ように会うことがままならなくなる藤壺に対する思慕が強まり、藤壺との子供が誕生すると藤壺にも子供に会いたいと涙を流す。中間部では父桐壺の帝が崩御し、藤壺の出家、須磨への左遷と続く。藤壺への思いも募っていく。後半部は藤壺の死、さらには死後にも成仏できない藤壺の姿に涙する。

次に分析対象を8等分したレベル4の結果 Fig.2 に示す。「源氏」は前前半部では少なく後半部で多くなっている、前中間部、後中間部、前後半部と次第に少なくなっているが後ろ後半部になると急激に多くなり、後半部に大きな揺れが見られる。

「藤壺」の前半部においては「源氏」と同じ揺れが見られる。中間部においては「源氏」よりやや大きな揺れを示すが、後半部においては「源氏」とは相反する動きを示す。「その他の人々」は前半部においては「源氏」と「藤壺」とは相反する傾向が見

られる。中間部においても「源氏」と「藤壺」が減少傾向にあるのに対して増加傾向にある。後後半部においては「源氏」が大きく増加「藤壺」が大きく減少傾向にあるのに対し、「その他の人々」は後半部で源氏と同じ傾向があるものの揺れ幅がかなり小さくなっていて、全ての段落で「源氏」「藤壺」と異なった揺れが見られた。源氏が藤壺との間に生まれた皇子の父親として子供に会いたいと思うのは当然であるが、藤壺は良心の呵責に苛まれて源氏と瓜二つの皇子に面会することを拒む。皇子に会いたいと涙を流し、さらにその気持ちを涙とともに歌に詠んで藤壺に送ると、思いがけなく返事が来る。父親として子を思う気持ちが現れている。やがて源氏の父桐壺の帝が崩御する。源氏は藤壺に会うために女房たちも気づかないようにして忍び込んで、藤壺への愛しい気持ちを伝えたが藤壺にとってははいとわしいことであった。藤壺が死して後、紫の上に藤壺のことを語った源氏の夢に藤壺が現れて恨み言う。生前の仏道修行によっても極楽往生できない藤壺に涙し、法要をする。藤壺を恋する気持ち、わが子に会いたい気持ちが現れた段落で揺れが大きかったが、後に藤壺の罪障の身代わりとなりたいという藤壺の立場に身をおいて考えるようになった。涙を通して源氏の子の成長が現れている。直接の涙を「藤壺」が見せるのはわが子冷泉帝と桐壺の帝の前だけである。わが子に会いたがる源氏への返歌の中で涙を詠むが、源氏の歌の涙を受けた冷淡な涙である。しかし源氏のことでも思い悩む藤壺は帝の前に涙を見せる。桐壺の帝崩御の後にはわが子のために出家を考え、冷泉帝を目の前に涙を流してしまう。源氏が須磨に退去する時は冷泉帝に対する源氏の配慮に感謝して心を込めた歌を詠む。源氏に対する涙が拒絶から感謝へと変化し、母としての立場を貫くために流されている。「その他の人々」は行幸の試楽で青海波を舞った時に多くなる。桐壺の帝をはじめ、上達部や親王たちはその美しさに涙する。「あはれ」や「みやび」を第一義として王朝文学に好んで数多くの「泣き表現」が用いられていることから、涙させることで、源氏のみならず物語らせているといえる。さらに藤壺が法華八講の最終日に出家した時は藤壺の兄の兵部卿の宮をはじめ参会していた人々の涙であふれた。出家の当事者が涙を見せられない時、その大きな悲しみが人々によって示された。

4. 結論

- (1) 源氏の涙は藤壺に会いたくても藤壺の拒絶にあつて会えない状況の中で次第に増加していく。わが子に会いたいと願う親の立場の時と夢の中での藤壺との出会いに大きな揺れが見られた。冷泉帝を愛し幸せを願う親として行動する源氏と生涯藤壺を理想の女性として愛し追い求める源氏の二つの姿が明らかとなった。
- (2) 藤壺が泣かないのは源氏との秘密を隠蔽し、わが子を守りぬくためである。歌の中で詠む涙は源氏に冷淡なもの

から子を支える源氏への感謝へと変化する。家庭の中では夫とわが子の前では涙を流す。家庭を壊さず母としての立場を貫いた。

- (3) 「藤壺物語」においては主人公だけでなく、「その他の人の涙」も重要な意味があることが示唆された。その他の人の涙は「藤壺」の描く曲線とは対照的で、「藤壺」の涙が少なくなった時に多くなっている。涙を公の前で出すことができない「藤壺」のかわりに流された可能性がある。また、源氏の美を称え、藤壺の出家の深い悲しみ描く場面に、効果的に使われていた。
- (4) 正規直交解析によって、出現頻度が多い「源氏」だけでなく、出現頻度が少ない「藤壺」と「その他の人々」の暗黙知が明らかとなった。

参考文献

- 1) 湯本なごさ：光源氏の涙—その精神の成長段階をめぐって、共立女子大学文芸学部紀要, 40, (1994) pp. 127-144.
- 2) 石坂晶子：裁きに抗う—藤壺の宮・身体に刻印される〔宿世〕, 西沢正史企画・監修, 人物で読む『源氏物語』第四巻—藤壺の宮, 勉誠出版 (2005) pp. 253-268.
- 3) 西沢正史：源氏物語作中人物事典, 東京堂出版 (1999) pp. 112-119.
- 4) 伊藤千夏：源氏物語の泣き表現—「涙落つ」と「涙落とす」をめぐって, 岡大文論稿〔森岡常夫先生追悼号〕, 岡山大学法文学部言語国語国文学研究室, 12, (1984) pp. 27-35.
- 5) 松本彰弘：光源氏—藤壺をめぐって, 物語文学研究, 國學院大學文学研究会, 10, (1992) pp. 31-36.
- 6) 湯本なごさ：光源氏をめぐる女君たちの涙, KYORITAIU REVIEW, 共立女子大学大学院文芸学研究科, 22, (1994) pp. 1-13.
- 7) 盧亨美：『源氏物語』における「涙」の性差について, 日本女子大学大学院文学研究科紀要, 7, (2000) pp. 1-7.
- 8) 湯本なごさ：『源氏物語』における「涙」をめぐる表現について, 共立女子大学文芸学部紀要, 38, (1992) pp. 119-143.
- 9) 久保田淳 馬場あき子：歌ことば歌枕大辞典, 角川書店 (1999) pp. 649-650.
- 10) 阿部秋生, 秋山虔, 今井源衛, 鈴木日出男：新編日本古典文学全集 20 源氏物語①, 小学館 (1994)
- 11) 阿部秋生, 秋山虔, 今井源衛, 鈴木日出男：新編日本古典文学全集 21 源氏物語②, 小学館 (1995)
- 12) 齋藤兆古：ウェーブレット変換の基礎と応用—Mathematica で学ぶ, 朝倉書店 (1998) p. 39, pp. 93-95.
- 13) 堀井清之, 齋藤兆古：特許「文学作品解析方法および解析装置」, 特願JP10-102673A.

『破戒』における旧社会と新社会

井波 真弓[○](白百合女子大学), 齋藤 兆古(法政大学), 堀井 清之(白百合女子大学)

Old society and new society in "Hakai"

Mayumi INAMI, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

The movements of the feelings of people live in old society and modern society in "Hakai" were examined by the discrete wavelets multi-resolution analysis. The aspects for analysis has employed following three elements, which are three words of synonym that means the world where people are alive: "Seken" means the interpersonal relationship and innumerable others who surround, "Shakai" is a word of translation into Japanese from society and "Yononaka" is a vague space to be alive with the relation with innumerable people.

As a result, it is verified that there are reasonable meanings in the selection of the words in insisting on the standpoint of Characters in each society. Both societies of people have common recognition about "Seken". "Shakai" is employed by the supporters of the new society when they insist on their right and on realization of equal society.

Keywords: Seken, Shakai, Yononaka, Multi-Resolution Analysis, Wavelet Transform

1. 緒論

本稿の目的は島崎藤村作『破戒』に見られる旧社会と新社会において対立する人々の感情の揺れを離散値系ウェーブレット多重解像度解析を用いて検証することである。

『破戒』は明治38年(1906年)3月、「緑蔭叢書」第一篇として自費出版された。島崎藤村(1879~1943年)は6年間に亘って信州の自然風土や風俗習慣を実地に調べ周到な準備の後、この『破戒』を書いたのであった。明治34年ごろから小説の世界は自然主義的傾向にあったが『破戒』が世に出ることで自然主義小説が確立するにいたった。自然主義小説の代表的作品である所以は、現実の問題を深く追求し、封建的現実を解放するために差別待遇と戦い、不合理性と戦いそこに近代性を表現しようとした¹⁾ところにある。

『破戒』に対する評価は主人公に与えられた部落民という条件を重視して虚構によって成り立つ社会小説^{2),3)}と丑松の苦悩を作者の自己投影と理解しながら告白にまで追い詰められていく自我内面のドラマ^{4),5)}としての性格を重視する二つの立場がある。さらに、それらを統一的見地から論ずる立場⁶⁾もある。

渡辺廣士⁷⁾は小説とは複数のレベルで読まれ得るテキストであると、主要なコードの一つとして作品に敷き込まれた「不調な社会」という語に含まれる文化コードを挙げている。さらに明治の文学者のなかではもっとも熱烈に新しい言葉を探り求めた一人として評価している。藪貞子⁸⁾も語に焦点を当て『破戒』を「社会」の視点からを論じ、「世間」「社会」「世の中」

の重層的な構図が描かれている⁹⁾と指摘している。さらに阿部謹也⁹⁾は『破戒』に使われる「世間」「社会」という語の使用頻度に注目し、日本が「世間」によって機能していると述べている。

人々が共同生活をしている「世間」「社会」「世の中」は類義語^{10),11)}である。「世間」は主観的な存在として、自分と交際・関係のある人々の集団である。「社会」は客観的な存在としてとらえた共同生活を営む人々の集団で、人々が相互に依存しながら生きる場を特定の経済的・政治的・文化的システム、特定の時代相のもとにあるものとしてとらえた語でもある。「社会」は近代西洋の「市民社会」の概念として入ったもので、日本古来から使用されている語の「世間」とは見方を異にし、人間関係・交際範囲といったものを表したものは「社会」とは置き換わらない。「社会」と「世間」の置き換え可能なものもあるがその場合は「世間」と置き換えると自分自身という個人の目から見た周囲の環境・生きるための基盤といて狭く限定されたものになる。「世の中」は無数の人々が互いにかかわりをもちながら生きている空間的な広がりや、やや漠然と捕らえている。漠然という場合は「世の中」のほか「世間」が用いられる。また「社会」と同様に客観的表現にも使われる。

作家の意図的な使用が認められる類義語「世間」「社会」「世の中」は、作品の構造と主題にも重要な役割を演じている。『破戒』は自然主義作品として作品内の封建的で不合理な明治の社会と破戒によって自己解放された近代社会との対立が描かれているが対立の揺れを可視化したものはない。そこで、本稿では

ウェーブレット多重解像度解析を用いて前者を旧社会、後者を新社会側とし両者の対立の揺れを可視化し考察する。

2. 解析方法

2.1 解析対象

『破戒』^[2]のあらすじを以下に述べる。

信州飯山の小学校教員である瀬川丑松は、被差別部落の出身だが、社会へ出て身を立てるには決して身分を明かしてはならないという父の戒めを守り、素性を隠して暮らしている。丑松の尊敬する猪子蓮太郎は、同じく部落出身であるにもかかわらず、その身分を公表し社会の偏見や迫害と戦っている。丑松は蓮太郎の著書を読み、その人間性や勇気ある行動に深く感動しているが、自己の素性は蓮太郎にも明かすことができない。現在の平穏な生活を維持したいという思いから、自分の正義に従って生きたいと思うものの部落民として社会から葬られてしまう現実の恐ろしさが丑松を引き止める。

父が死に際しても「忘れるな」と遺していった戒めに従いながら、部落民だけが負わされた苦しみの中で、社会の不合理や矛盾に引き裂かれながら、丑松は徐々に思い悩む人間になっていく。師範学校時代からの友人でかつ同僚である土屋銀之助は陽気であった丑松の変化を青春の哀傷と受け止める。

政治家高柳は、財産目当てに部落民の娘と結婚し、丑松にその事実を口外しないよう頼んだが、確約が得られないのを恨み、丑松の身分を学校に流した。丑松の教員としての能力を妬んでいる校長は、それを種に丑松を貶めようと画策する。

社会の目に見えぬ圧迫に追いつめられる中、折りしも間近に迫った選挙の応援演説の席で、蓮太郎は政敵高柳のまわし者に襲われて死亡した。蓮太郎の姿を目の当たりにして、丑松はついに父の戒めを破る決心をする。

丑松は生徒たちに自らの素性を明かした。銀之助も、そして丑松が密かに慕っていた蓮華寺の養女お志保も、丑松の素性を知っても動じなかった。丑松は学校を去り大日向の経営するテキサスの農場に新しい生活を求めて町を去っていく。

2.2 キーワードの選択と方法

- 1) 作品の構成を継時的に見るためにまず、「世間」、「社会」、「世の中」を要素として選び章ごとの使用頻度を新社会と旧社会に分けて調べた。ルビの付いた「社会」も「社会」とした。Table 1-4 は旧社会と新社会それぞれの要素を示す。
- 2) 得られたデータに離散値系ウェーブレット変換の多重解像度解析を適用する。

2.3 分析

「世間」、「社会」、「世の中」の要素にベクトルの概念を用いる。「世間」を基準ベクトルとして、ベクトルをグラムシ

Table 1 Selected element.

社会体制	分類基準
旧社会	前近代的, 封建的, 非合理的立場. 校長, 郡視学, 勝野文平.
新社会	近代的, 合理的立場. 瀬川丑松, 猪子蓮太郎.

Table 2 Selected element.

要素	意味
第1要素 「世間」	自分と関係したり, 交際したりする人々を主観的な存在としてとらえた集団.
第2要素 「社会」	Society の翻訳語. 客観的な存在としてとらえた共同生活を営む人々の集団.
第3要素 「世の中」	無数の人々が互いに関わりを持ちつつ生きているやや漠然とした空間的な広がり.

Table 3 Examples of element in old society.

要素	事例
第1要素 「世間」	・ 幼稚なやうに見えて, 馬鹿にならないのは, 世間さ.
第2要素 「社会」	・ 学校にも居られなくなる, 社会からも放逐される, とやれば君, 非常なことだ. それでは宛然死刑を宣告されるも同じだ.
第3要素 「世の中」	・ 今日とても矢張自分等の時代で有ると言ひたいが, 実は何時の間にか世の中が変遷つて来た. 何が可畏いと言つたつて, 新しい時代ほど可畏いものは無い.

Table 4 Examples of element in new society.

要素	事例
第1要素 「世間」	・ 世間の人の睨む通りに睨ませて置いて, 黙つて狼のやうに男らしく死ぬ.
第2要素 「社会」	・ 自分だつて社会の一員だ. 自分だつて他と同じやうに生きて居る権利があるのだ.
第3要素 「世の中」	・ 未だ世の中を其程深く思ひ知らなかつた頃は, 噴飯したくなるやうな, 気楽なことばかり考へて, この大祭日を祝つて居た.

ユミットの方法によって全て直交化し, 重複要素を除く. さらに直交化されたベクトルを単位ノルムに正規化する. 正規化されたデータにウェーブレット多重解像度解析を適用する. 本研究では基底関数は演算処理の意味が把握できるドビッシーの2次を採用する.

2のべき乗 n の要素からなる n 次のデータベクトルを \mathbf{Y} , ウェーブレット変換行列を \mathbf{W} とすればウェーブレットスペクトラム \mathbf{S} は次式で与えられる.

$$\mathbf{S} = \mathbf{W}\mathbf{Y} \quad (1)$$

ウェーブレット多重解像度解析は、レベル1はスペクトラムベクトル S の第1要素のみを残し他の要素をゼロとしてウェーブレット逆変換式(2)で得られる。

$$S' = \begin{bmatrix} s_0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_n \end{bmatrix}, \quad D_0 = W^T \cdot S' \quad (2)$$

他のレベルも式(2)と同様にして得られる^{13),14)}。

3. 結果と考察

『破戒』におけるウェーブレット多重解像度解析の結果をFigs.1-4に示す。横軸は本作品の最初から最後まで章ごとに構成要素を時系列に並べた。縦軸は要素の章ごとの頻度の変化率を表す。

『破戒』における解析結果を見ると、旧社会、新社会ともに「世間」は増加の傾向を示し、「社会」には異なった揺れが示されたことから、作品内の二つの対立に「社会」が重要な役割を演じていることが示唆された。

実際のデータ数としては23章までであるが、解析には2のべき乗のデータが必要であるため最後の段落に24から32段落をゼロデータとした¹⁴⁾。また、結果はゼロを追加した段落を削除してある。離散値系ウェーブレット多重解像度解析は、全体、半分、1/4、1/8、1/16…というように段階に分けて分析し、これをレベル1、レベル2、レベル3、レベル4、レベル5…と呼ぶ。レベル1では作品全体の平均を示す。レベル2では半分に分けた1段落から16段落の平均と17段落から32段落の平均の変化を示す。レベル3では4等分した1段落から8段落の平均と9段落から16段落の平均の変化、17段落から24段落の平均と25段落から32段落の平均の変化である。レベル4では8等分、レベル5では16等分である。

3.1 旧社会の解析結果

まず、分析対象を4等分したレベル3の結果をFig.1に示す。「世間」と「社会」は前半部、中間部、後半部と次第に多くなっていく傾向が見られる。「世の中」は前半部が多く、中間部は少なく後半部は揺れが少なくなっている。従来の社会の存続を望む旧社会は新社会に対する不安や恐れを感じている。旧社会は新しい時代の流れを瀬川丑松に感じており、彼を学校から追放しようとする時に、「世間」を持ち出して旧社会の立場を主張している。しかし、新しい社会になりつつあることは理解しており、作品の進行にしたがって次第に「社会」も多くなる。そこでの「社会」は「世間」と代替可能な表現や、批判材料として用いられており、「世間」との対抗に「社会」という言葉が使

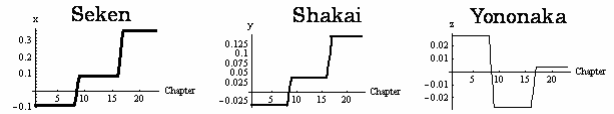


Fig.1 Level 3 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: patterns of 3 synonyms of old society.

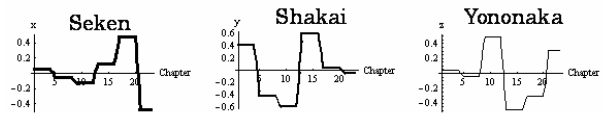


Fig.2 Level 4 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: patterns of 3 synonyms of old society.

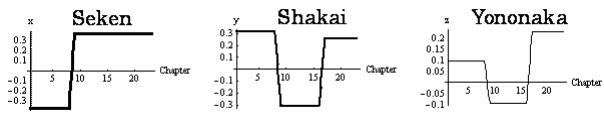


Fig.3 Level 3 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: patterns of 3 synonyms of new society.

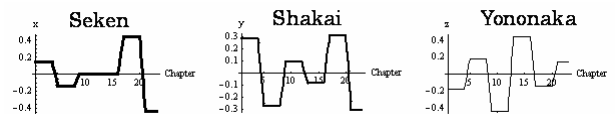


Fig.4 Level 4 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: patterns of 3 synonyms of new society.

われていると考えられる。「世の中」は「世間」と「社会」の使用頻度が高まるにつれて少なくなっていく。

Fig.2は分析対象を8等分したレベル4である。「世間」の前半部、中間部では揺れは緩やかであるが後半部になると多くなる。丑松の素性が明らかになると、旧社会が力を持ち始める。

「社会」は前半部と中間部に大きな揺れがある。前半部では旧社会が新社会の到来を拒否することで自己の立場を表明しており、中間部後半では「社会」という語を使っているが、実は「世間」が語られているのである。「世の中」は中間部前半に大きな揺れがあり、後半部では再び多くなる。中間部前半は丑松の叔父が旧社会にひっそりと生きていくよう説得し、後半部後半では世の中の掟を受け入れて去っていく。

3.2 新社会の解析結果

Fig.3はレベル3の結果である。「世間」は前半部が少なく中間部、後半部は多くなっている。「社会」と「世の中」は共に前半部が多く、中間部が低く、後半部になると再び多くなっている。師範学校を優秀な成績で卒業して社会に出た丑松は猪子蓮

太郎の思想に引かれている。蓮太郎に関する記述に「社会」は多く、「世間」は少ない。丑松は旧社会の「世間」の中でなく、新社会の中に出て生きて行こうとするため前半部は「世間」が少なく「社会」が多くなっている。しかし「中間部」になると丑松は蓮太郎のように生きたいと思いつつも父親の戒めを思い出し、躊躇ってしまう。丑松の葛藤の部分では身分を明かして堂々と新社会で生きようとする考えを封じ込め、身分を隠したまま「世間」に生きたいと思う気持ちから「世間」が多く「社会」は少なくなっている。後半部は「世間」、「社会」、「世の中」の全てが多くなる。従来の旧社会に対して新社会を望む丑松が「社会」のあるべき姿を主張するも結局「世間」の勢力に圧倒され従来の「世の中」を受け入れる。

次にレベル4の結果を Fig.4 に示す。Fig.4 では「世間」の前半部、中間部での揺れは緩やかであるが後半部になると多くなる。身分が明らかになりつつある時、丑松は「世間」で生きたいと強く望む。「社会」は前半部、中間部、後半部にそれぞれ揺れがあり、中間部は前半部、後半部と比較して小さな揺れである。「社会」に出て生きて行こうと希望に燃えている前半部は大きく、「世間」に行きのために素性を隠さなければならぬと悩む中間部は小さい。後半部に再び多くなるが、自己の内部では「世間」に近い「社会」の語も用いられ始める。「世の中」は前半部、中間部、後半部に「社会」と相反する揺れを示し、かつ中間部の揺れが大きい。丑松の求める理想の「社会」は現実の「世の中」とは相反する「社会」だったことが明らかとなった。

3.3 旧社会と新社会の比較

旧社会と新社会のグラフを比較すると「世間」においてはレベル3、4 共にほぼ同じ曲線を描いており、「世間」には新旧社会に共通の認識があると考えられる。「社会」は新旧社会に違いが現れた。レベル3 では旧社会において「社会」が次第に多くなっていくのに対し、新社会は中間部で揺れている。レベル4 では前半部は新旧社会共に多く「社会」に対する認識が語られるが、中間部、後半部では相反する傾向が見られる。旧社会にとって「社会」は旧社会を脅かすものとして批判的に用いられているが、新社会にとっては可能性のある未知の世界である。

「世の中」においてはレベル3 では新旧社会で同じような傾向があるが、レベル4 では後半部を除き、異なる傾向が見られた。

4. 結論

- (1) 旧社会と新社会の「世間」の揺れにはほぼ同様の傾向が見られ、双方ともに日本古来から使用されている語「世間」に対する共通認識があることが確認された。「世の中」においてもレベルによって多少の差はあるが概ね共通の認識が認められた。
- (2) 新社会が自己の考えを主張する場合「社会」が多くなる

が、自己を主張したいと考えながらも内面に大きな葛藤が見られる場合は少なくなっている。立場を主張する上で語の選択に大きな意味があることが明らかとなった。

- (3) 旧社会における「社会」は新社会に対抗したり、批判したりする時に多くなり、「世間」を主張するために「社会」を援用していることが示された。
- (4) 島崎藤村が「世間」、「社会」、「世の中」という従来の日本語と翻訳語を取り混ぜた類義語を使い分けることで、明治の文学者の中でもっとも熱烈に新しい言葉を探り求めた一人であったことが検証された。
- (5) 離散値系ウェーブレット多重解像度解析を用いて「世間」「社会」「世の中」の揺れを可視化することで『破戒』の旧社会と新社会との対立構造が明らかとなった。

参考文献

- 1) 實方清：藤村文芸辞典、清水弘文堂（1979）pp. 48-50.
- 2) 平野謙：島崎藤村、現代作家論全集 第2巻、五月書房（1957）.
- 3) 野間宏：島崎藤村の『破戒』（1953）、島崎藤村、文芸読本、河出書房（1979）pp. 33-39.
- 4) 吉田精一：島崎藤村、吉田精一著作集 第6巻、桜楓社、（1981）.
- 5) 佐々木雅発：『破戒』試稿 一自立への道一、日本文学研究資料叢書 島崎藤村 II、日本文学研究資料刊行会、有精堂（1979）pp. 92-106.
- 6) 三好行雄：島崎藤村論、三好行雄著作集 第1巻、筑摩書房（1993）.
- 7) 渡辺廣士：島崎藤村を読み直す、創樹社（1994）pp. 24-31.
- 8) 藪禎子：『破戒』論—「社会」の視点から、平岡敏夫、剣持武彦編、島崎藤村—文明批評と詩と小説と、双文社出版（1996）pp. 123-138.
- 9) 阿部謹也：『世間』とは何か、講談社（1995）p. 177-180.
- 10) 田忠魁、泉原昇二、金相順編著：日本語類以表現のニュアンスの違いを例証する類義語使い分け辞典、研究社（1998）p. 396.
- 11) 松井 栄一編、ちがいがわかる類語使い分け辞典、小学館（2008）p. 492.
- 12) 島崎藤村：破戒、新潮文庫（1999）.
- 13) 齋藤兆古：ウェーブレット変換の基礎と応用—Mathematica で学ぶ、朝倉書店（1998）p. 39, pp. 93-95.
- 14) 堀井清之、齋藤兆古：特許「文学作品解析方法および解析装置」、特願JP10-102673A.

動的磁壁画像の可視化による強磁性体の磁化特性と 1/f ゆらぎ周波数特性

石井 隆^{*}, 齋藤 兆古(法政大学大学院)

Magnetization and 1/f Fluctuation Frequency Characteristics of Ferromagnetic Materials by Visualizing the Dynamic Magnetic Wall Movements

—Yonezawa 2009—

Takashi ISHII and Yoshifuru SAITO

ABSTRACT

Bitter method is most commonly observing way of the magnetic domains even though it is limited to the surface of specimen. To observe the magnetic domains by Bitter method, a drop of magnetic liquid is put on a target magnetic material surface after electrical field polishing processes. Applying magnetic field to this magnetic material covered by magnetic fluid makes it possible to observe the magnetic domain dynamics by a microscope.

We have previously reported that local magnetization characteristics could be obtained from the visualized magnetic domain dynamics. Final purpose of our research on visualized magnetic domain dynamics is to work out a fully automatic quality control system. And also, we plan to deduce some rules governing the magnetic domain dynamics system from the visualized thin magnetic materials domain dynamics. Present paper, we try to visualize the magnetic domain wall dynamics of ferromagnetic materials when applying not only the anhysteretic magnetizing condition but also mechanical stress. We try to extract $1/f$ as well as $1/f^\alpha$ fluctuating frequency characteristics from the magnetic domain wall dynamics, where α is the generalization of 1.

Keywords: Ferromagnetic materials, Magnetic domain wall dynamics, Visualization.

1. 緒論

磁性鋼板は電気・電子機器を構成する主要な材料である。一般に、磁性材料は磁区と呼ばれる微小磁石の集合で構成され、外部磁界に応じて材料中の磁気エネルギーが最小となるように磁区が変化する。すなわち、磁性材料の磁化過程は外部磁界に対する磁区挙動である。所望の磁化特性を持つ材料開発・評価に、磁区挙動の可視化は磁化過程を掌握するために重要な役割を担う。磁区挙動の可視化は、磁性コロイド溶液を用いたビッター法、電子顕微鏡に拠る方法、磁気光学効果を利用した方法等で行われる。ビッター法は手軽な方法であるが、磁区間の磁壁しか観察できない。また、磁気光学的方法は磁性体表面の磁区挙動可視化に限定される。電子顕微鏡に拠る方法は磁性体内部の磁区挙動を観察可能とするが、高価な機器を必要とする。

従来、我々は磁区の電子顕微鏡画像から磁性体の磁化

特性を抽出する全く新しい方法を提案した¹⁾。現在、我々は安価な設備で磁性体の磁壁を可視化可能とするビッター法を用いて磁性体の磁化特性を抽出する方法を開発している²⁾。

本稿では、強磁性体の鉄を用いて、交流磁界中における強磁性体の磁壁移動および、交流磁界中に直流磁界を重畳させた場合の磁壁移動をビッター法で可視化し、その結果から直流偏磁した場合の磁化特性抽出を試みる³⁾。さらに、珪素鋼板に応力を加えた場合の磁区挙動をBitter法で観察し、応力下の磁区画像の特徴を $1/f^\alpha$ ゆらぎ周波数分布特性で評価する。

2. 磁壁移動の可視化と磁化特性

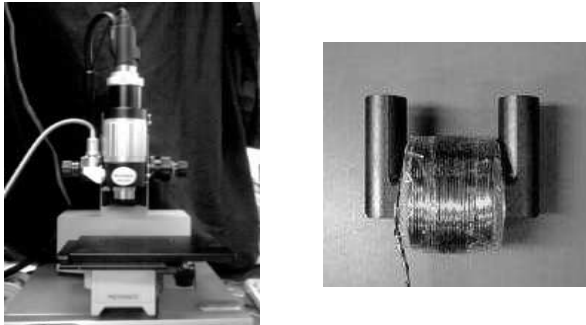
2.1 ビッター法による磁壁移動の可視化

試料台に試料を載せて、研磨した試料面にスポイトで磁性コロイド溶液をたらし、カバーガラスを載せて観察

P01-004

する。強磁性体微粒子 (γ 酸化鉄) のコロイド液を強磁性体表面につけると、コロイド液内に分散していた酸化鉄の微粒子が、磁壁付近の急峻な磁化変化に起因する表面の漏れ磁束の傾斜に引き付けられて集まり、表面近傍の磁壁の観測ができる。この原理は、マグネットビューワーなどの商品に応用されており、比較的面倒な実験準備を必要とせず磁壁観察を可能とする²⁾。

Fig.1 に本研究で使用した実験装置と励磁コイルを示す。Table.1 に本実験で使用した励磁コイルと検出コイルの仕様を示す。

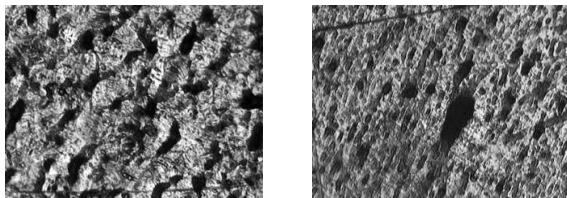


(a) Entire measurement system. (b) Exciting coil.

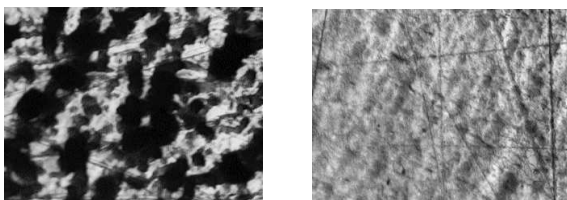
Fig.1 Experimental devices for magnetic domain wall observation.

Table 1 Various constants used in the experiments.

Coil.	Turn.	Diameter of coil.	Length of coil.
Exciting coil.	300[Turn]	11[mm]	20[mm]
Search Coil.	200[Turn]	2.5[mm]	15[mm]



(a) Soft iron. (b) Silicon steel.

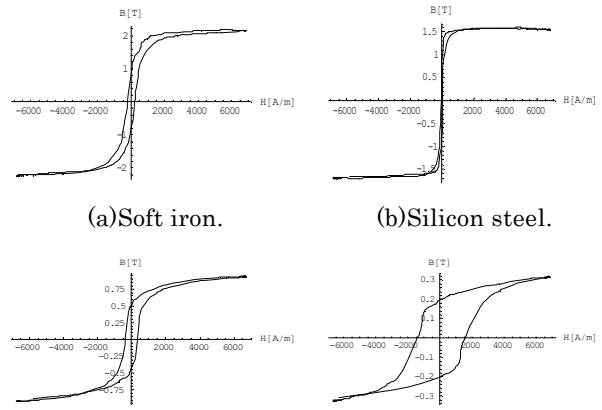


(c) Permalloy45%. (d) Nickel.

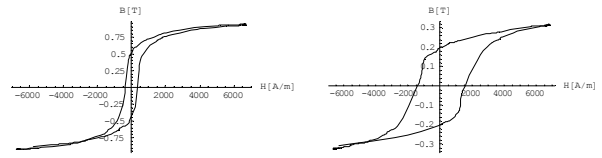
Fig.2 Flame images of magnetic domain dynamics under the alternating magnetic fields.

2.2 交流磁界中の磁壁移動と磁化特性

Fig.2 に周波数 1[Hz]の交流磁界を印加した場合の磁区のフレイム画像例を示す。Fig.3 は供試材料の B-H 磁化特性である。



(a) Soft iron. (b) Silicon steel.

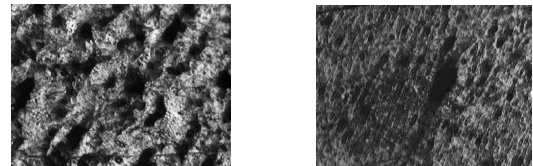


(c) Permalloy45%. (d) Nickel.

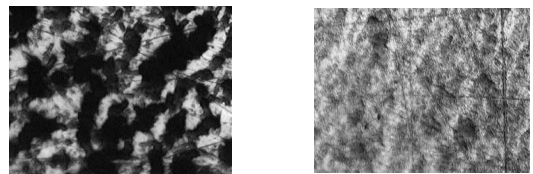
Fig.3 B-H Loops of the tested magnetic materials.

2.3 直流偏磁下の磁壁移動と磁化特性

Fig.4 に直流偏磁下における磁区画像を示す。Fig.5 は供試材料の B-H 磁化特性である。

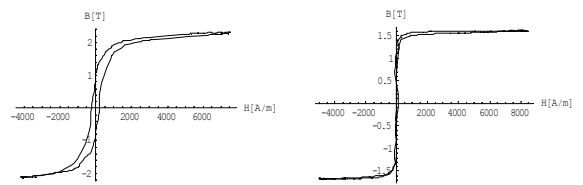


(a) Soft iron. (b) Silicon steel.

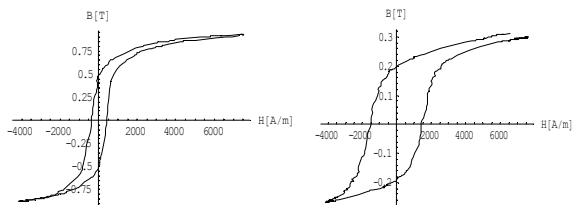


(c) Permalloy45%. (d) Nickel.

Fig.4 Flame images of magnetic domain dynamics under the anhyseretic magnetic fields.



(a) Soft iron. (b) Silicon steel.



(c) Permalloy45%. (d) Nickel.

Fig.5 Anhyseretic B-H loops of the tested magnetic materials.

3. 磁区画像の 1/f ゆらぎ周波数特性

3.1 1/f ゆらぎ周波数特性

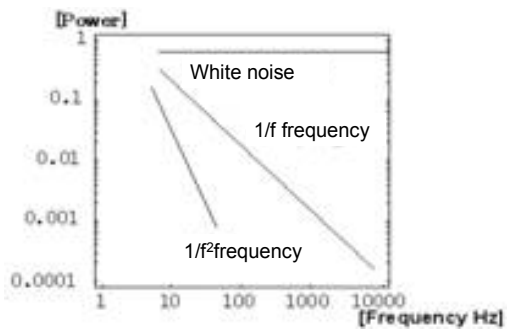
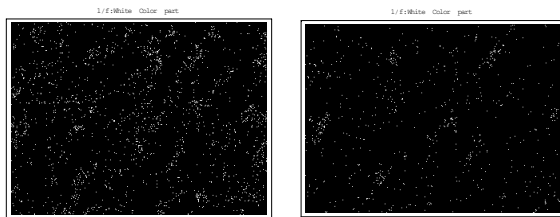
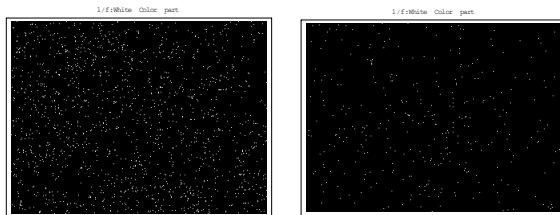


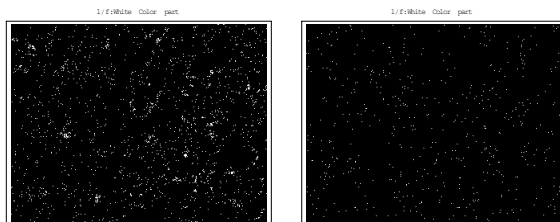
Fig.6 Typical fourier power spectrum.



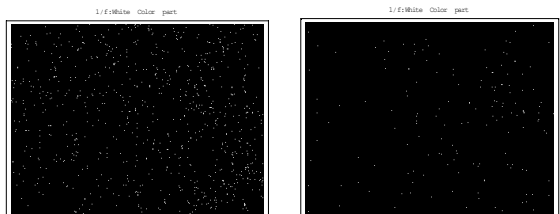
Sinusoidal field. Sinusoidal +DC fields.
(a)Soft iron.



Sinusoidal field. Sinusoidal +DC fields.
(b)Silicon steel.



Sinusoidal field. Sinusoidal +DC fields.
©Permalloy45%.



Sinusoidal field. Sinusoidal +DC fields.
(d)Nickel.

White : 1/f frequency

Fig.7 Extracted 1/f frequency fluctuation.

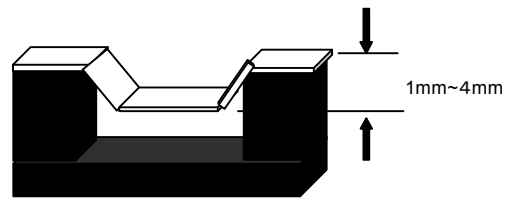
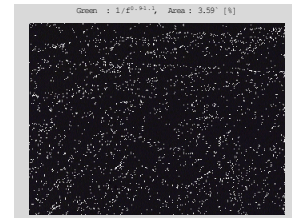
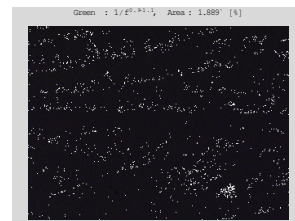


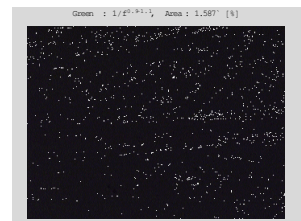
Fig.8 Ferromagnetic under downward stress.



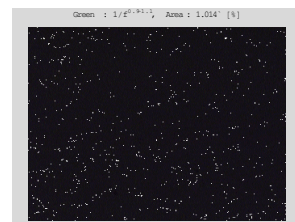
(a)0mm.



(b)1mm.



(c)2mm.



(d)3mm.



(e)4mm.

White : 1/f frequency

Fig.9 Extracted 1/f frequency fluctuation.

「1/f ゆらぎ」は小鳥の囀りなどの自然界に多く存在する。Fig.6のように、直線の傾きが0の場合は主にホワイトノイズである。また、直線の傾きが急になる程単調な信号である。そしてホワイトノイズと単調な信号の中間的な信号で傾きが約-1の場合を「1/f ゆらぎ」と呼び、人間が心地よいと感じる信号と言われている。

磁区動画の1/f ゆらぎは磁区画像のフレーム方向変化、すなわち、時間の変化によって生成される。

3.2 磁区画像の 1/f ゆらぎ

Fig.7に交流磁界中と直流偏磁下における磁区画像の1/f ゆらぎ周波数分布を白黒二値化させて示す。白色の点は1/f ゆらぎを表し、それ以外は黒色である。直流偏磁下では1/f ゆらぎが削減することが判明した。

3.3 応力下の $1/f^\alpha$ 周波数特性

Fig.8 示すように、強磁性体材料の珪素鋼板に応力を加え、たわみを 1mm~4mm まで変化させた。交流磁界を印加させた場合の $1/f^\alpha$ 周波数を抽出した磁区画像を Fig.9 に示す。同図で、 $1/f$ 周波数分布特性を式(1)で評価した結果を Table.2 に示す。さらに、平均値の $1/f^\alpha$ 周波数分布の可視化磁区画像を Fig.10 に示す。

$$\frac{1/f \text{を呈する画素数}}{\text{全画素数}} \times 100[\%] \dots \dots \dots (1)$$

Table2. $1/f$ frequency fluctuation characteristic.

The stress situation.	Extraction rate.
0mm	3.59%
1mm	1.89%
2mm	1.59%
3mm	1.01%
4mm	0.88%

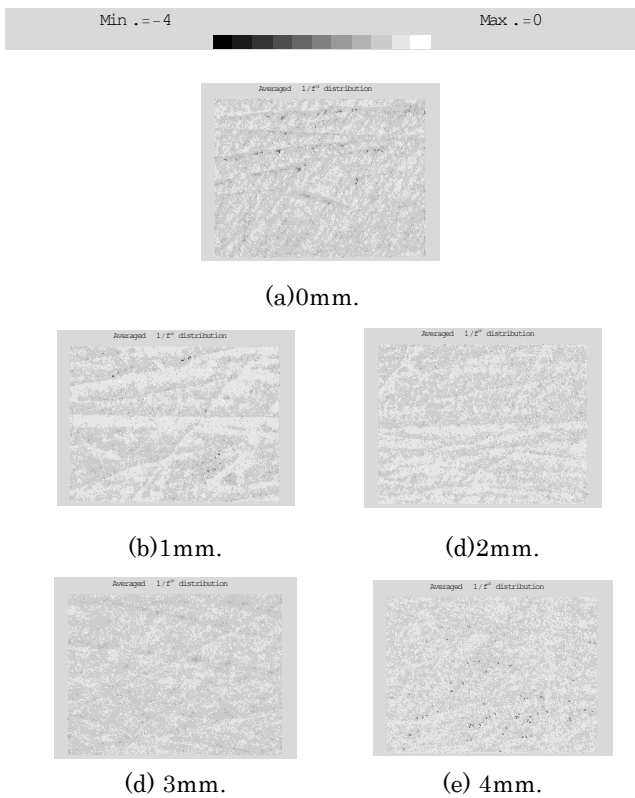


Fig 10. Averaged $1/f^\alpha$ distributions.

$1/f$ 周波数を抽出した磁区画像 (Fig.9) と平均値 $1/f^\alpha$ 周波数の磁区画像 (Fig.10) を観察すれば、たわみ 0mm の場合は、単調な揺らぎから、 $1/f$ ゆらぎ周波数、ホワイトノイズまでバランス良く分布している。しかし、応力の微少な増加がホワイトノイズ喚起し、 $1/f$ ゆらぎ周波数を削減している事が分かる。

磁性体に応力を加えると磁区間の接合が密となり、磁区移動の条件が変わり、磁化は比較的ランダムに近い形でなされるため、これがホワイトノイズを喚起していると考えられる。

4. まとめ

本稿では、従来から我々のグループで開発している可視化磁区動画像から局所磁化特性および $1/f$ ゆらぎ周波数の抽出法を直流偏磁下へ拡張を試みた。その結果、直流偏磁が起きた場合、どのように局所的な磁壁移動へ反映するかを可視化した。 $1/f$ ゆらぎ周波数で直流偏磁特性を評価すると、 $1/f$ ゆらぎ周波数は直流偏磁が無い場合よりも減少する。

応力下では、たわみの長さが長くなるにつれて、ホワイトノイズが顕著となり、 $1/f$ ゆらぎが減少した。従って、直流偏磁と同様に一種の磁気飽和された状態とも見なしえる。しかし、ホワイトノイズの磁壁運動は単純な磁気飽和では説明出来ない。

参考文献

- 1) Hisashi Endo, Seiji Hayano, Masahiro Fujikura, Hisashi Mogi, Chikara Kaido and Yoshifuru Saito; Magnetic domain dynamics visualization, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 15 (2001/2002) 409-416
- 2) 須永高志, 寺西正晃, 齋藤兆古, 堀井清之: ビッター法による可視化画像から $1/f$ ゆらぎの抽出, 可視化情報学会シンポジウム, 2006年7月, A311
- 3) 石井隆, 齋藤兆古, 堀井清之: 動的磁壁画像の可視化による強磁性体の磁化特性, 可視化情報学会シンポジウム, 2009年7月, P01-004

1/fゆらぎ解析によるヨーガの癒し効果の分析

石村 光資郎[○] (東洋大学), 加藤 千恵子 (東洋大学),
齋藤 兆古 (法政大学), 後藤 芙未子 (NTT 東日本)

Relationships between 1 over f fluctuation and YOGA therapy

— Yonezawa 2009 —

Koshiro ISHIMURA, Chieko KATO, Yoshifuru SAITO and Fumiko GOTO

ABSTRACT

The purpose of this paper is to extract the 1/f fluctuation component from a Yoga therapy dynamic image by a trial subject. Each frame of a color moving image consists of Red, Green and Blue components. Each of Red, Green and Blue images is represented as mono-color images independently. We apply Discrete Fourier transform to an arbitrary pixel of their images in time sequentially. Therefore, obtained Fourier spectrum characteristics are represented in terms of power series approximation. Consequently, we have succeeded in extracting the 1/f frequency fluctuation from the Yoga therapy dynamic image.

Keywords : 1/f fluctuation frequency, Yoga therapy

1. 緒 論

1/f ゆらぎはヒーリング効果のある音楽や絵画などに存在すると言われており, 近年の研究から音楽や絵画における 1/f ゆらぎと人間の心理状態との関連が示唆されている¹⁾. この 1/f ゆらぎは芸術作品だけでなく, 自然界の至る所に存在している. 小川のせせらぎや爽やかなそよ風などの心が安らぐリズムがその主な例である²⁾. また 1/f ゆらぎは身体のリズムと関係しているといわれていて, 人間の心拍のリズムや目の動き, 脳波の α 波の周波数にも 1/f ゆらぎは存在している³⁾. これらのことから人間の一般的な動作にも 1/f ゆらぎが存在している可能性がある⁴⁾.

そこで, 本研究では癒し効果が高いとされるヨーガを取り上げる. ヨーガの運動には癒し効果があると言われていたが, その理由として 1/f ゆらぎの有無が考えられる. すなわち, ヨーガの運動に 1/f ゆらぎが含まれていることが判明すれば, ヨーガの癒し効果の一側面を裏付けることとなる.

本研究ではヨーガの運動をデジタル動画像として収録し, 収録された動画像へ 1/f ゆらぎ解析を適用して可視化する. ヨーガの運動における 1/f ゆらぎの存在を検証する.

2. ヨーガにおける 1/f ゆらぎ解析

2.1 1/f ゆらぎの定義

一般に周期関数 $f(t)$ をフーリエ級数で表すと,

$$\begin{aligned} f(t) &= a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} [a_i \cos(i2\pi ft) + b_i \sin(i2\pi ft)] \\ &= a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \cos[2\pi ft - \tan^{-1}\left(\frac{b_i}{a_i}\right)] \\ &= a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} c_i \cos[2\pi ft - \tan^{-1}\left(\frac{b_i}{a_i}\right)] \quad (1) \end{aligned}$$

となる. 離散系フーリエ変換では, 定数項と余弦波の項が実部, 正弦波の項が虚部へそれぞれ対応する. スペクトラムの振幅は実部と虚部のノルムによって表される. 式(1)における周波数と振幅(パワースペクトラム) c_i の関係を両対数で Fig.1 に示す.

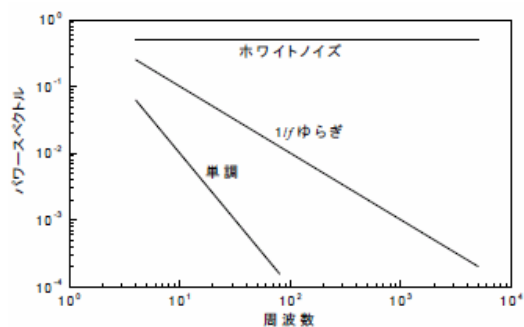


Fig.1 Definition of 1/f fluctuation.

Fig.1において、周波数とは無関係にパワースペクトラムが一定値をとる場合は主にホワイトノイズである。また、高周波数になると急激にパワースペクトラムが減衰するような波形は単調な信号となる。周波数に反比例して、パワースペクトラムが減衰する特性、つまり、パワースペクトラムが $1/f$ に比例して減衰するような波形は人間の感性に対して心地よい感覚を与える。特に直線の傾きが約-1になる場合を $1/f$ ゆらぎと言い、このような周波数特性を $1/f$ ゆらぎ周波数特性と言う。

2.2 ヨーガ動画画像からの $1/f$ ゆらぎの抽出

本研究では、ヨーガの運動における $1/f$ ゆらぎの存在を調べるために、デジタルビデオで撮影されたヨーガ動画画像を解析した。被験者に対して、足の指を閉じて開くというヨーガを、ヨーガセラピストの教示に従って行った。教示により比較的ゆっくりの動作を行い、動作の中で一時的に動作を止めてしばらくその状態を維持し、その後また次の動作に移るように行った。

動画は連続した画像の時系列的集合であるから、 $1/f$ ゆらぎを抽出するために、まず得られた動画を時系列順にフレーム画像へ変換する。カラー動画の任意の1フレームは赤、緑および青の成分から成り、赤、緑、青の画像はそれぞれ独立したモノクロ画像として表現できる。各色の全体のフレーム画像に対して、各フレーム画像平面上の任意の画素位置における画素値を式(1)の周期関数 $f(t)$ に対応させて、フレーム軸方向に離散フーリエ変換を適用し、全ての画素に対するパワースペクトラムを求めた。得られたパワースペクトラム対周波数の両対数グラフを描き、最小二乗近似によりパワースペクトラムの周波数に対する回帰直線の傾きを求めた。例として赤成分についてのグラフを**Fig. 2**に示す。この直線の傾きが-1に近ければ近いほど $1/f$ ゆらぎが生じていることを表す。

本研究では傾きが-0.9から-1.1の値を取る場合を $1/f$ ゆらぎとし、 $1/f$ ゆらぎが生じている画素の部分を黄色で表示する画像を出力した。**Fig. 3**にその結果を示す。

2.3 解析結果と考察

Fig. 3から、ヨーガの運動に $1/f$ ゆらぎが現われており、その位置は足指全体であることがわかる。この部分はヨーガの動作の中で、一時的に動作を止めてその姿勢を維持しているところに他ならない。このことからヨーガの運動に癒し効果が期待できることが示唆される。

ヨーガ以外に人間の動作による癒し効果のあるものを考えると、マッサージが思い浮かぶ。マッサージにおいて、例えば肩を揉むようなマッサージでは、肩を揉む動作は比較的ゆっくりと行い、一度筋肉を一定時間締め付けた後に、緩める動作へと移ることからマッサージの動

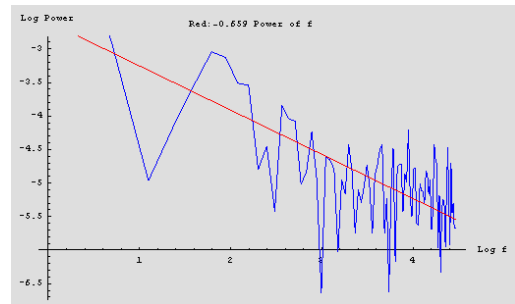


Fig.2 Log power versus log f with respect to red color.

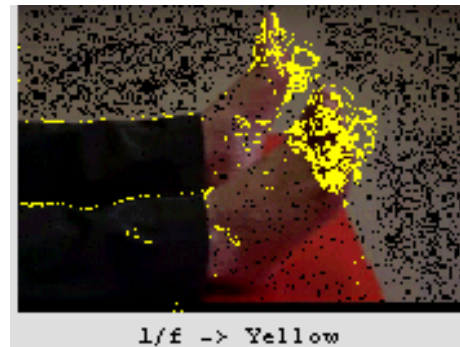


Fig.3 Extracted $1/f$ frequency fluctuation parts on foot.

作についても同様の解析方法で $1/f$ ゆらぎの存在が期待される。つまり、ヨーガやマッサージのような、ある動作から次の動作へと移る時に動作を一定時間停止させることが重要な鍵を握っているのではないかと考えられる。これは既に報告されている知見と一致する⁴⁾。

3. まとめ

本論文では、ヨーガの動画画像の時系列変化における $1/f$ ゆらぎ周波数成分分布の可視化を行った。その結果、ヨーガの運動に $1/f$ ゆらぎが生じていることがわかり、癒し効果が期待できることが示唆された。また、一連の動作が一時停止する時に $1/f$ ゆらぎの生じている可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 加藤千恵子, 齋藤兆古. "職場不適合者の芸術療法における描画の「 $1/f$ ゆらぎ」解析", 芸術工学会誌, Vol.46, (2008) pp.81-89
- 2) 寺西正晃,丸山和夫,早野誠治,齋藤兆古,堀井清之. "自然界の画像がもつ $1/f$ 周波数成分の可視化", 第33回可視化情報シンポジウム B108 工学院大学 2005年7月25日
- 3) f 分の1の謎にせまる: <http://www.athome.co.jp/academy/physics/phy03.html>
- 4) 齋藤兆古, 宮坂総, 菅井桂子, "1/fゆらぎと複雑系に関する考察", 第51回自動制御連合講演会 2008年11月22-23日 No.213

時間領域一次元信号の揺らぎ周波数特性抽出とその一応用

野嶋 悟士[☆], 齊藤 兆古(法政大学大学院)

Frequency Analysis of Time Domain One Dimensional Signals and Its One Application

Satoshi NOJIMA, Yoshifuru SAITO

ABSTRACT

Ferromagnetic materials, i.e., iron steel and its composites, are widely used as the frame parts of various artificial products and constructions such as a building, bridge and so on. Because of its mechanical property, iron steel is most popular in use for the frame materials to maintain their mechanical strength. On the other side, nondestructive testing of iron steel is an extremely important way in order to keep their mechanical reliability.

One of the deterministic differences between the ferromagnetic and nonmagnetic materials is that all of the ferromagnetic materials when applying external magnetic field attracts major magnetic fields; and also magnetization process of ferromagnetic materials always accompanies with the Barkhausen effect. The Barkhausen effect is a phenomenon caused by movement of the magnetic domains accompanying with the discontinuous magnetizations.

In order to carry out the nondestructive testing of iron steels with high reliability, this paper proposes one of the signal cognition methodologies based on the fluctuation frequency characteristics of the Barkhausen signals.

Keywords: Barkhausen phenomenon, $1/f$ Fluctuation, Signal cognition

1. 緒 論

多くの時間領域一次元信号はオシロスコープで電気信号として可視化される。音声信号や計算機のクロック信号などが代表例である。これらの信号の中で、人間の可聴周波数である音声信号はキーボードを経由せずに計算機へコマンドを入力可能とするため、計算機と人間間の有力なインターフェイスと考えられ、これを実現するために音声認識・識別方法が鋭意研究開発されている。

本研究では、音声認識・識別の一方法として音声の $1/f$ ゆらぎ周波数特性応用を提案し、この方法を強磁性体のバルクハウゼンノイズの識別へ応用し、磁性体金属の残留応力、欠損などの識別を試みる。

2. 時間領域一次元信号の解析

2.1 バルクハウゼン信号

多くの金属材料中で、鉄は最も広汎に使われる構造物である。鉄は機械的性質が制御可能であり、コスト的にも安価である。広汎に使われる理由であろう。鉄は磁性体であり、磁性体の磁化過程は、可逆的磁壁移動、非可逆的磁壁移動、さらに可逆的回転磁化領域へ分類される。磁化曲線で考えれば、レイリーの法則が成り立つ範囲が

可逆的磁壁移動による磁化過程範囲であり、非可逆的磁壁移動による磁化過程は不連続な磁壁移動で磁化されるために再現性は無く、周辺へ比較的高周波の磁界変化を与える。これがバルクハウゼン現象と呼ばれる磁性体特有の現象である²⁾。

Fig.1 に示すように磁性体の周辺へコイルを巻き、磁性体近傍で磁石を運動させるとバルクハウゼン現象に起因する磁界の時間変化によってコイルに電圧が誘起する。この電圧を増幅してスピーカーへ入力すればスピーカーからバルクハウゼンノイズ (Barkhausen noise) が聞かれる。

本論文ではバルクハウゼン現象に起因する信号を解析対象とする時間領域一次元信号とし、バルクハウゼン信号の揺らぎ周波数特性解析を行う。その結果、揺らぎ周波数特性が供試磁性体の外部応力条件、すなわち、外部応力の有無で異なることを報告する。これは、バルクハウゼン現象を利用した磁性体の非破壊検査が原理的に可能であることを示唆する。

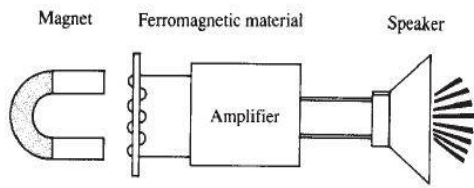


Fig.1 Barkhausen signal generation.

2.2 1/f ゆらぎ

1/f ゆらぎとは自然界の鳥のさえずりや小川のせせらぎなどに存在する特有の周波数特性である。信号のパワースペクトラムが周波数に反比例する場合、すなわち、フーリエパワースペクトラム対周波数の両対数グラフの傾きが-1になるものを特に「1/f ゆらぎ」と呼ぶ。本論文では、信号のゆらぎ周波数分布を信号の“固有の情報”として捉え、「固有の情報」と呼ぶ。

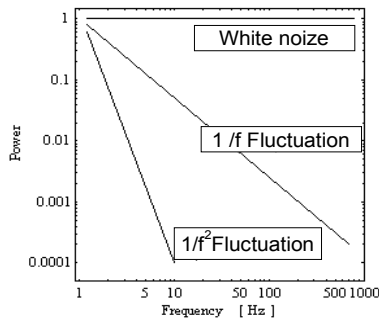


Fig.2 Typical fourier power spectrum.

3. 実験

3.1 実験材料・装置

厚さ 0.3mm、長さ 21.5mm の珪素鋼板を供試材として取り上げた。供試材に太さ 0.2mm のホルマル線で作成した 150 回巻きの空芯サーチコイルを着脱することにより、誘起電圧およびバルクハウゼンノイズを測定可能な装置を作成した。

実験に用いた供試材料を Fig.3 に示す。これらの供試材料へ応力が加わっていない状態である珪素鋼板 A、Fig.3 の b 点へ応力を加えた状態である珪素鋼板 B を実験に用いた。実際に応力が加わっているケースは珪素鋼板 B の b 点のみである。

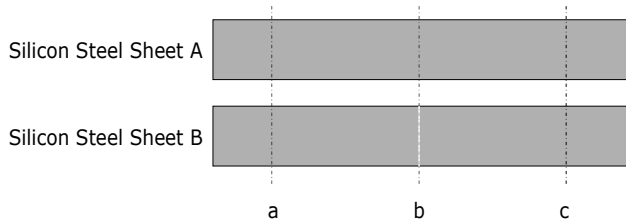


Fig.3 Tested materials.

磁性体を磁化させる装置を Fig.4 に示す。太さ 0.6mm のホルマル線を 300 回巻いたフェライトの U 字型コアであり、これを励磁コイルとした。この励磁コイルの両磁極間に珪素鋼板を乗せて固定したのち、励磁電流を流し、磁極間の供試材料を均一に磁化する。

珪素鋼板 A、B、それぞれ上の点 a、b、c で、合計 6 箇所に巻いたサーチコイルに誘起する電圧をデジタルオシロスコープで記録し、その結果を計算機へ入力して揺らぎ周波数解析を行った。

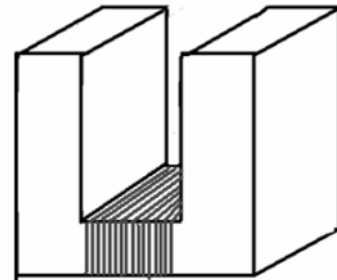
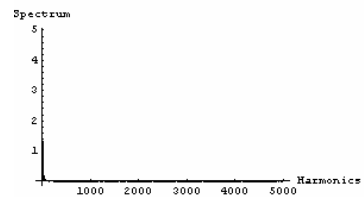


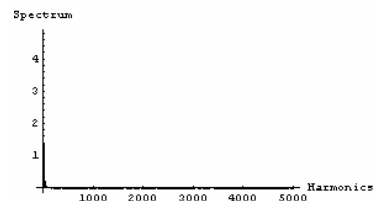
Fig.4 U-shaped ferrite core.

3.2 実験結果

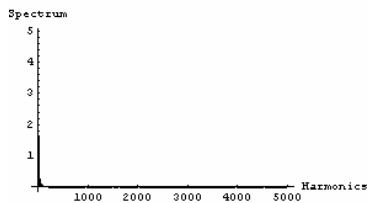
環境ノイズの位相は変化する。しかし、その周波数成分の振幅は変化しないと仮定して、バルクハウゼン信号のパワースペクトラムから空芯のサーチコイルに誘起する環境ノイズ電圧のパワースペクトラムを差分して環境ノイズを削減した。珪素鋼板 A、B それぞれ上の点 a、b、c の合計 6 点に於けるバルクハウゼン信号のパワースペクトラム対周波数特性を Figs.5、6 で、互いの相関係数は 0.98 以上でありフーリエスペクトラムのみでは両者の識別が困難である。



(a)Point a

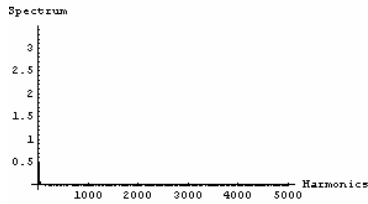


(b)Point b

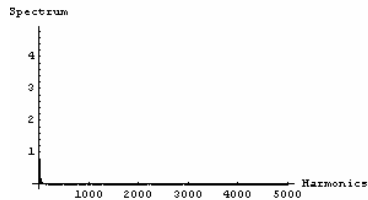


(c)Point c

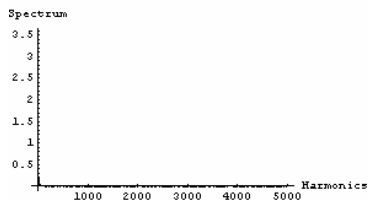
Fig.5 Fourier power spectrum of sample A.



(a)Point a



(b)Point b

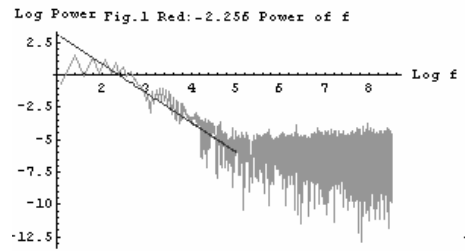


(c)Point c

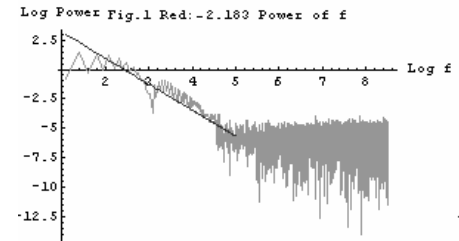
Fig.6 Fourier power spectrum of sample B.

Figs.5,6 の縦軸と横軸それぞれの対数を取り、珪素鋼板 A,B、それぞれの点 a、b、c で測定された誘起電圧の低周波領域揺らぎ解析を行った。その結果をそれぞれ Figs.7、8 に示す。さらにそれらの高周波領域揺らぎ解析結果を Figs.9、10 に示す。

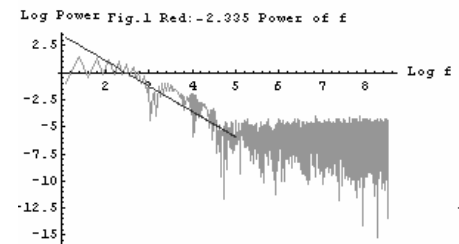
Figs.7、8 より珪素鋼板 A は、応力が加わっていないため、多少の固有差はあるが、全ての点ではほぼ様な揺らぎ周波数特性を持つことがわかる。他方、珪素鋼板 B では、応力が加わっている b 点のみ明らかに他の 2 点 a、c とは異なる揺らぎ周波数特性を持つことがわかる。Figs.9、10 から判るように、高周波領域においては何れの供試材料に於ける測定点でも揺らぎ周波数特性に大きな差異は見られない。



(a)Point a Gradient:-2.256

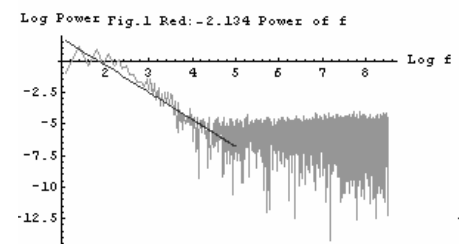


(b)Point b Gradient:-2.183

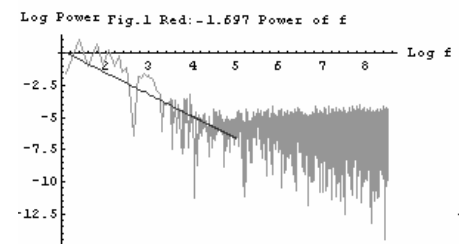


(c)Point c Gradient:-2.335

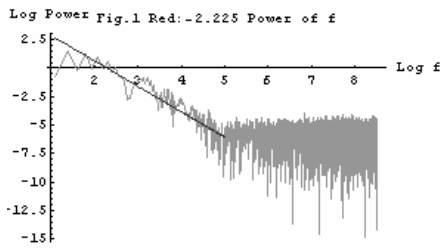
Fig.7 Gradient of low frequency ranges calculated by 1st order least squares of silicon steel sheet A.



(a)Point a Gradient:-2.143

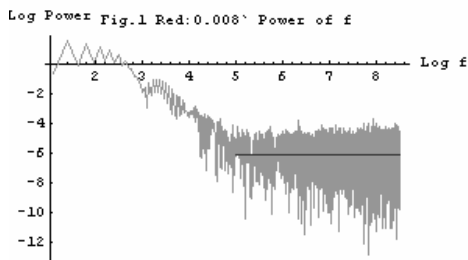


(b)Point b Gradient:-1.697

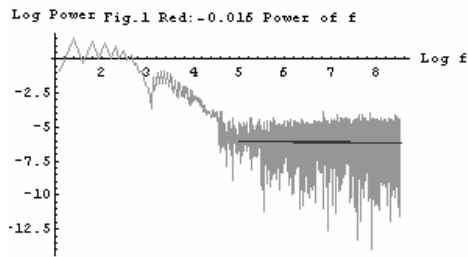


(c)Point c Gradient:-2.225

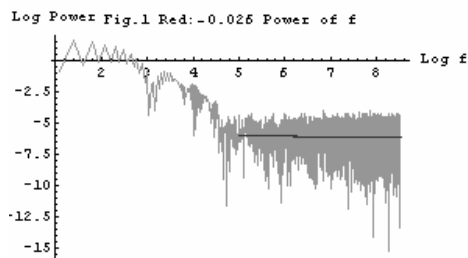
Fig.8 Gradient of low frequency ranges calculated by 1st order least squares of silicon steel sheet B.



(a) Point a Gradient:-0.008



(b)Point b Gradient:-0.016

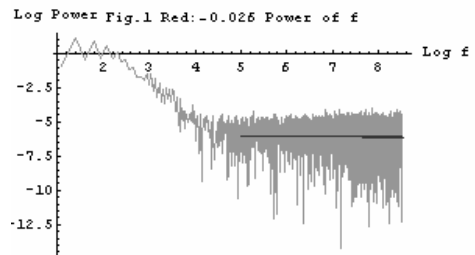


(c)Point c Gradient:-0.026

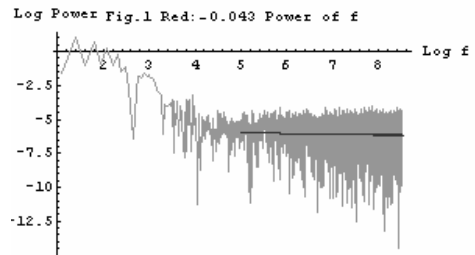
Fig.9 Gradient of high frequency ranges calculated by 1st order least squares of silicon steel sheet A.

4. まとめ

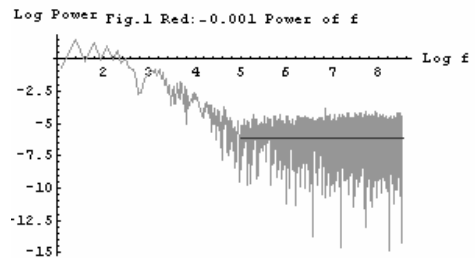
本論文では強磁性体特有のバルクハウゼンノイズの特徴を可視化する一方法として揺らぎ周波数特性を用いる方法を提案し、応力の有無による個体差の判別を行った。



(a)Point a -0.026



(b)Point b -0.043



(c)Point c -0.001

Fig.10 Gradient of high frequency ranges calculated by 1st order least squares of silicon steel sheet B.

その結果、応力を加えた場合の珪素鋼板と応力がない場合の珪素鋼板が持つバルクハウゼンノイズの差異は通常のフーリエスペクトラムでは判別できない。しかし、揺らぎ周波数解析を用いることによって、低周波領域で呈する揺らぎ周波数特性に顕著な変化が存在することを明らかにした。

参考文献

- 1) 寺西正晃、丸山和夫、早野誠治、齊藤兆古：自然界の画像が持つ 1/f 周波数成分の可視化、可視化情報シンポジウム、2005 年 7 月、B108
- 2) 勝又理毅、早野誠治、齊藤兆古：バルクハウゼン現象の可視化法に関する一考察、可視化情報シンポジウム、2003 年 7 月、B203
- 3) 野嶋悟士、堀井清之、齊藤兆古：時間領域一次元信号の特徴抽出と可視化、可視化情報シンポジウム、2009 年 7 月、P01-002