

P01-007

コンデンサー中に流れる変位電流の可視化法

星野 賢治[○], 齋藤 兆古(法政大学院), 堀井清之 (白百合女子大学)

A Method of Visualization for Displacement Currents in Capacitors
Kenji HOSHINO, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORI

ABSTRACT

Electrical capacitor is one of the most popular and widely used electric circuit elements storing electric field energy. Due to its mechanical structure, electric field distribution could not uniform at the edges of electrode plates constructing the capacitor. This field distortion is so called edge effect.

Principal purpose of this paper is to minimize the edge effect, so that it enables us to optimize the shape of electrodes leading to the maximum capacitance but minimum size. To realize this purpose, it is essential to compute the electric fields around capacitor exactly.

The electric fields around the capacitor theoretically distribute to an infinitely long distance point. In order to take into account this electric field nature rigorously, in this paper, we employ the strategic dual image (SDI) method along with conventional first order triangular finite element method.

Keywords: Visualization, Displacement current, Capacitor, Edge effect

1. 緒 論

近年のデジタル計算機の高性能化, 小型化, ならびに低価格化はデジタル計算機の爆発的普及をもたらし, いわゆる, デジタル計算機が PC などの高級・多機能文房具として使われるようになった. このため, 有限要素法などで代表される電磁界の数値解析は, PC で実行可能な環境になり, この意味で, 既に数値解析の汎用パッケージが販売されるに至っている¹⁾.

本論文では電磁界解析手法のひとつとして有限要素法を採用している. 有限要素法の特徴の一つは, 偏微分方程式で記述される物理現象を呈示する未知関数を, 区分的多項式群で近似的に表そうとすることにある. この考えは, 対象とする解析領域を, 有限要素と呼ばれる単純な形状の部分領域に分割することにより実現される.

本論文では, 有限要素法の欠点のひとつである閉領域問題のみしか適用できない問題点を双対映像 (SDI) 法によって厳密に解決する. 双対映像法は電磁気学の電気映像法を拡張したもので開領域問題を二つの閉領域問題に置き換えて解析する手法である²⁾.

本論文では, 偏微分方程式を数値的に解く有効な手段である有限要素法に SDI 法を併用し, キャパシタンス中を流れる厳密な変位電流可視化の第一段階を述べる.

2. 有限要素法

二次元有限要素法は任意形状の二次元問題対象領域を

三角形などの任意の形状の平面要素を用いて離散化し, ポテンシャル分布を計算する方法である.

単純に問題対象領域を一次関数で表現しただけでは全領域のポテンシャルを連立するシステム方程式は得られない. このため, 問題対象領域のエネルギーに対応する関数, すなわち, 汎関数を考える. また, 変分原理より, 有限要素法は, 任意形状の領域を任意の形状を持つ要素に離散化し, 場のエネルギーを表す汎関数をもとめ, この汎関数の第一変分を取ることでエネルギーが最小になるようなポテンシャルの分布を求めるエネルギー最小原理に基づく偏微分方程式の解法である.

電界系の汎関数は, ϕ をスカラーポテンシャル, ϵ を誘電率, さらに ρ を電荷密度として, 式(1)で与えられる.

$$F(\phi) = \frac{1}{2} \int \{ \epsilon (\nabla \phi)^2 - 2\phi \rho \} ds \quad (1)$$

式(1)を変分原理に基づき変形し, Green の定理を用いれば, 式(2)の Poisson の方程式, および式(3)の対象境界条件 (Symmetrical Boundary condition) が得られる.

$$\lambda \nabla^2 \phi = -\sigma \quad (2)$$

$$\partial \phi / \partial n = 0 \quad (3)$$

3. 電界系等価回路法

Fig.1 に示す三角形一次要素で, 汎関数のパラメータ $(\epsilon/2) \cot \alpha = (\epsilon/2)(OD/DC)$ を考える. 二次元の偏微分方程式は無限に厚い 3次元空間の単位厚さ部分で成り立つと

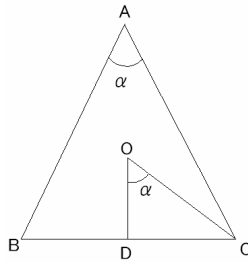


Fig. 1 Relationship among the Angles and Lines.

仮定しているから、 $(\epsilon/2)(OD/DC)$ は単位厚さ当たりになり立つパラメータである。キャパシタンス C は誘電率 ϵ と電極面積 $1 \times OD$ に比例し、電極間距離 DC に反比例するから、明らかに $(\epsilon/2)\cot \alpha$ は節点 B, C 間のキャパシタンスとなる。以上のことから電界系の偏微分方程式は等価回路を描くことにより電気回路の知識で解くことが可能とされる³⁾。

4. 双対映像法

三角形 1 次有限要素を用いた有限要素法は、解析領域を三角形要素で離散化して近似解を得る。よって三角形要素による離散化は、有限の領域しか適用できない。それは同時に境界条件を明確に設定する閉領域で解くことを前提にしている。すなわち、有限要素法は開領域問題に直接使用できないという欠点をもつ。そこで、その解決策として双対映像法を適用する²⁾。双対映像法は、電気映像法を拡張したもので映像を仮定することで開領域問題を閉領域問題に置き換えて有限要素解を得る解法であり、開領域問題を解く際に非常に有効な解法である。2次元解析の場合、解析領域は円となる特徴をもつ⁴⁾。

4.1 システム方程式

双対映像法でベクトルの回転・発散方向成分を求めるシステム方程式を式(4)とする。式(4)はすでに固定境界条件に関する行列要素、ベクトル要素を取り除いていることに注意しなければならない。

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここで、 $C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}, X_1, X_2, F_1, F_2$ はそれぞれ仮想境界内部の係数行列、仮想境界内部と仮想境界上を結ぶ係数行列、仮想境界上と仮想境界内部を結ぶ係数行列、仮想境界上の係数行列、仮想境界内部の解ベクトル、仮想境界上の解ベクトル、仮想境界内部からの入力ベクトル、仮想境界上からの入力ベクトルを示す。式(4)へゼロ境界条件と対象境界条件をそれぞれ設定し、平均をとることで開領域問題の解、式(5)を得る。

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & 2C_{22} - C_{21}C_{11}^{-1}C_{12} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

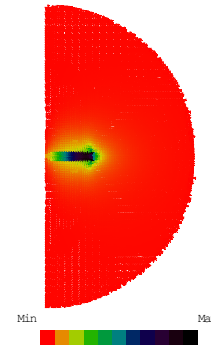


Fig. 2 Visualized Displacement Current Vectors Distribution of Parallel Plates Capacitor.

4.2 双対映像法による解析

端効果によりキャパシタンス中の電流は電極の中央付近と端部では均一に流れない。さらにキャパシタンスの電極寸法は、同一容量とするためには、端効果を見逃した解析値と端効果を考慮した解析値を比較すると後者のほうが大きくなる。

具体的な変位電流の可視化例として、極めてポピュラーな形状で構成される平行板キャパシタンスの変位電流分布を可視化する。Fig.2 は平行板キャパシタンスとその周辺の領域を本論文の提案する手法から得られた可視化変位電流ベクトル分布を示す。三角形の分割個数は 13102 個である。Fig.2 から平行板コンデンサーの電極間に流れている変位電流が均一に流れていないことが判り、端効果を確認できる。数値的な観点から比較しても中央付近と端部の変位電流ではかなりの有意差がある。このことから平行板コンデンサーがどの付近まで端効果の実質的影響を与えるかが判る。

Fig.2 と同様の条件で解析範囲(半径)を変更して解析し、電極周辺の変位電流を比較した。その結果、数値的に同じの値になっていることがわかった。よって、SDI法によって厳密に開境界条件が満たされていることが確認された。

5. まとめ

本研究では有限要素法へ双対映像法を併用することで厳密に開境界問題を解決し、キャパシタンスの端効果問題を正確に解析可能な方法を提案した。その結果、最適キャパシタンス形状問題決定の一步が記された。

参考文献

- 1) <http://www.jri-sol.co.jp/field/service/package.html>
- 2) Y.Saito, K.Takahashi and S.Hayano, "The Strategic Dual Image Method: An extremely simple procedure for open field problems," J. Appl. Phys. 63(8) 15 April 1988
- 3) 星野賢治, 齋藤兆古, "端効果の可視化によるコンデンサー形状の最適化" MAGDA 第 15 回, pp.83-87, 2006.
- 4) Y.Saito, K.Takahashi and S.Hayano, "Finite Element Solution of Open Boundary Magnetic Field Problems," IEEE Trans. MAG-23 No.5, September 1987.

学術論文

ビッター法による可視化磁区画像から周波数特性の抽出

Extraction of Frequency Characteristics from Visualized Magnetic Domain Images by Bitter Method

須永 高志*¹(学生員), 寺西 正晃*²(学生員), 齋藤 兆古*¹(正員)

Takashi SUNAGA(Stu.Mem.), Masaaki Teranishi(Stu.Mem.), Yoshifuru SAITO(Mem.)

The Bitter method is most commonly observing way of the magnetic domains situation even though it is possible to observe only the surface of specimen. To observe the magnetic domains by Bitter method, magnetic liquid is put on the target magnetic material after electrical field polishing process. 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. This paper extracts the $1/f$ fluctuations from the visualized magnetic domain dynamics.

Keywords: magnetic domain dynamics, local magnetization characteristic, visualized, magnetic domains situation, Bitter method.

1 緒言

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[1]。

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[2]。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[3]。

本稿では、ビッター法で可視化した磁壁動画像から $1/f$ ゆらぎ周波数成分が分布する領域を抽出するを試みる。一般に、磁性体は磁気ノイズを電子回路へ与えることや磁気飽和による非線形特性を呈することが知られている。このなかで磁気ノイズ発生メカニズムを解明するため、ビッター法による磁壁の動画像の時間領域周波数特性から、特に磁気ノ

イズに関係すると考えられる $1/f$ ゆらぎ周波数成分分布の可視化を試みる[4]。

2 ビッター法による磁壁移動の可視化と磁化特性

2.1 ビッター法

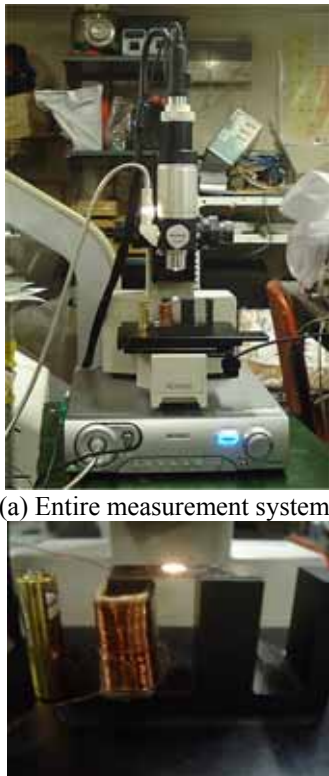
ビッター法による磁壁可視化の原理について述べる。試料表面の磁壁を観察するために、反射型の金属光学顕微鏡を用いる。顕微鏡の倍率は、通常、100~200 倍程度でもよいが、本稿では、機材の都合から、全て 750 倍で行った。試料台に試料を載せて、表面歪みを取り除いた研磨面にスポイトで磁性コロイド溶液をたらし、カバーガラスを載せて観察する。強磁性微粒子 (γ 酸化鉄) のコロイド液を強磁性体表面につけると、コロイド液内に分散していた酸化鉄の微粒子が、磁壁付近の急峻な磁化変化に起因する漏れ磁束の急激な勾配に反応し、表面近くの磁壁の観測ができる。この引き付けられた微粒子を光学顕微鏡で観察する[1,5,6]。

この原理はマグネットビューワーと呼ばれる商品などに応用されており、比較的面倒な実験準備を必要とせずに磁壁を観察可能とする。Fig.1 は磁壁移動の可視化に使用した実験装置を示す。励磁コイルを使って周波数 f [Hz] の交流磁界を観測対象に印加する。Table 1 に珪鉄と励磁コイルの仕様を示す。顕微鏡は KEYENCE 社の HD 中倍率ズームレンズ VH-Z75 に高精密クイックマイクロスコープ VH-5000 を接続したものである。動的磁壁移動を可視化した。Fig.2 は観測したフレーム画像の例を示す。

2.2 磁壁の可視化

連絡先：須永 高志, 〒184-8594 法政大学院工学研究科
電気工学専攻齋藤兆古研究室,
e-mail: sunaga@ysaitoh.k.hosei.ac.jp

*¹法政大学大学院, *² 現在ブリジストンタイヤ(株)



(a) Entire measurement system.

(b) Yoke and exciting coil.

Fig.1 Experimental device for magnetic wall observation.

Table 1 Various constants used in the experiment.

	Number of turns	The diameter of a coil	The length of a coil
Magnetization coil	300[Turn]	10[mm]	30[mm]
Detector coil	100[Turn]	4[mm]	10[mm]

2.2.1 軟鉄

金属中で最も大きな飽和磁束密度を持つ軟鉄を 30[Hz]のフレームレートで撮影し、印加した外部磁界の周波数は 1[Hz]として実験を行った。

2.2.2 無方向性珪素鋼板

Fig.2 に示す軟鉄に珪素を添加し、飽和磁束密度は低下するが鉄損を削減した無方向性珪素鋼板、いわゆる電気鉄板と呼ばれる低損失珪素鋼板の磁区挙動を観察した。

Fig.3 は観測された磁区フレーム画像を示す。軟鉄と同様に、30[Hz]のフレームレートで撮影し、印加した外部磁界の周波数は 1[Hz]として実験を行った。

2.2.3 磁区画像から動的部分の抽出

ピッター法によって観察された磁区画像には、磁性流体の動き以外にも磁性流体の不動部分と珪素鋼板そのものの物理的な傷なども含まれているの

で、その不動部分を削除し、動画部分だけの抽出を行う。Fig.4 は無方向性珪素鋼板の磁区画像から不動部分を取り除いた動的部分の画像を示す。

Fig.4 を各画素単位でフレーム方向にフーリエ変換をすることによって周波数特性を求めることができる。ここでは、周波数特性がどのような傾向を示しているかを、非線形系で観察される $1/f$ ゆらぎで評価する。

2.3 モノクロ濃淡比

1 周期の外部磁界印加させた場合、動的部分の磁区画像を Fig.4 に示す。この画像の濃淡分布を構成する全画素値のフレーム方向への変化を Fig.5 に示す。

外部磁界 1 周期に対して、モノクロ濃淡比が 2 周期する。これは磁性流体が磁界、もしくは磁化の極性に無関係に吸着されるためである。すなわち、外部磁界の正と負の極性、それぞれで磁性流体の吸着がなされるためである[6]。

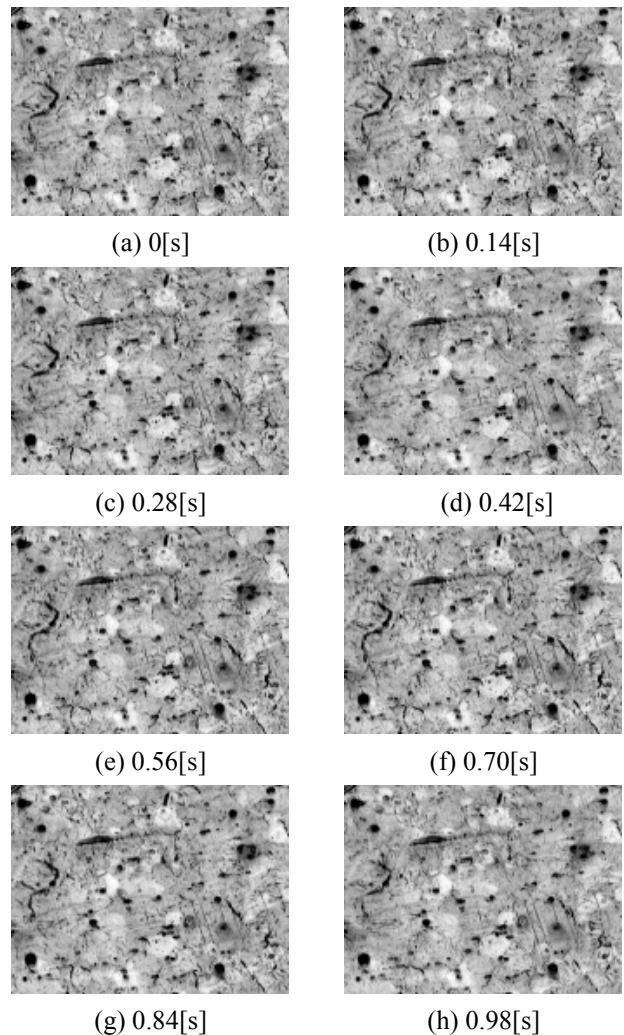


Fig.2 Frame images of magnetic wall sample: soft iron.

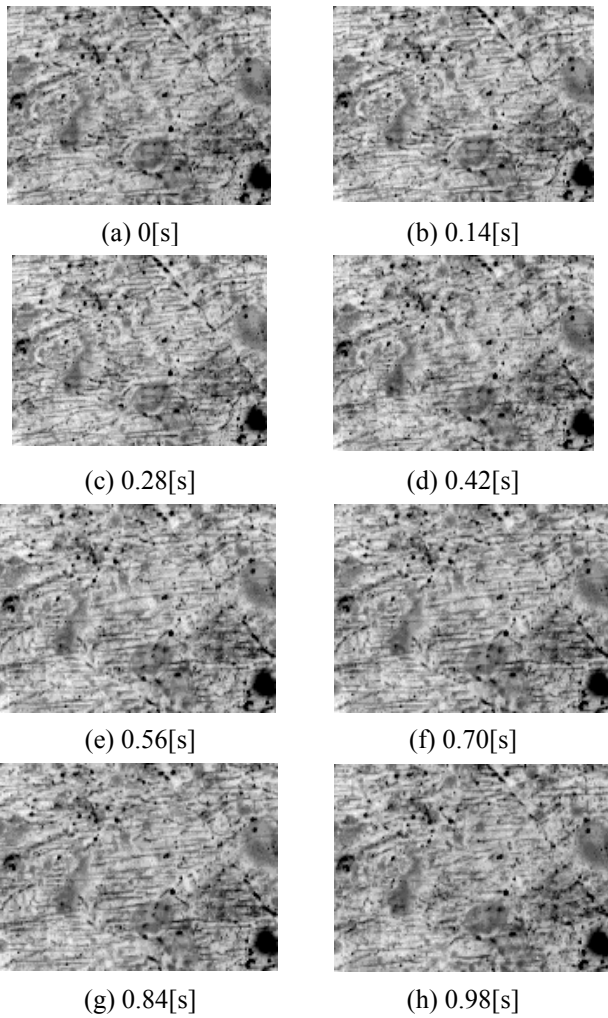


Fig.3 Frame images of magnetic wall, sample: silicon steel.

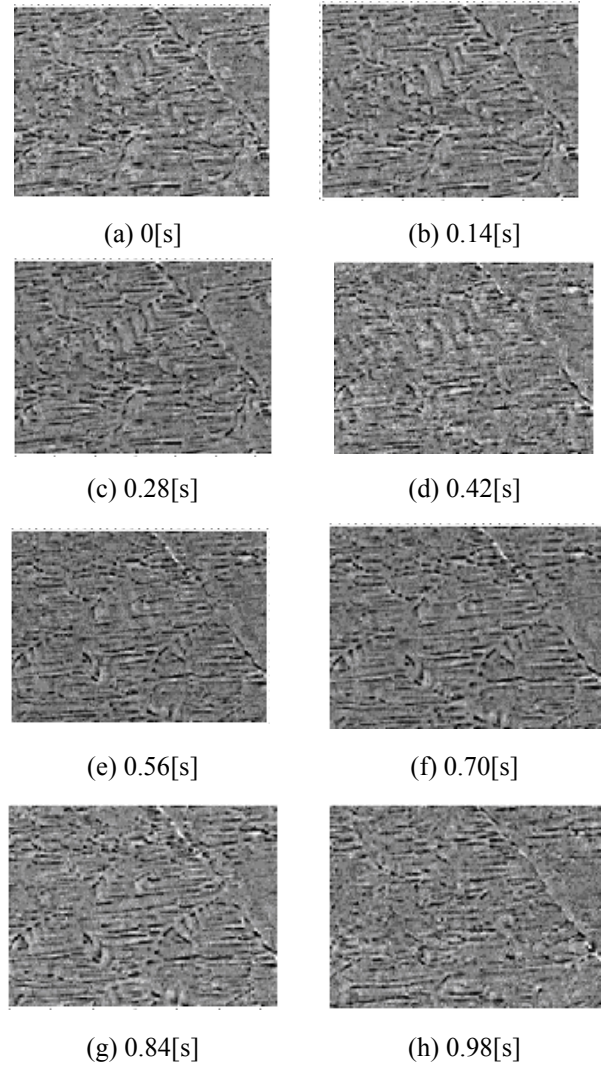


Fig.4 Frame images of dynamic parts sample: silicon steel.

3 磁区画像の周波数特性

3.1 1/f ゆらぎ周波数

「1/f ゆらぎ」は自然界に多く存在し、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くリズムが相当する。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。

全フレームの各画素値をフレーム順に時系列に並べた1次元データに対してフーリエ変換を適用し、フーリエ・パワースペクトラムの周波数に対する変化率からゆらぎの特徴を求める。

より具体的には、ある信号へ離散フーリエ変換(DFT, 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を「1/f ゆらぎ」と呼ぶ。視覚的に判りやすくするために、よく行われる方

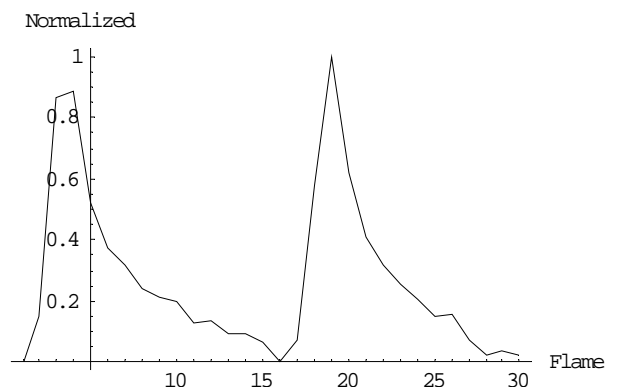


Fig.5 Pixel values histogram of domain dynamic image.

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。

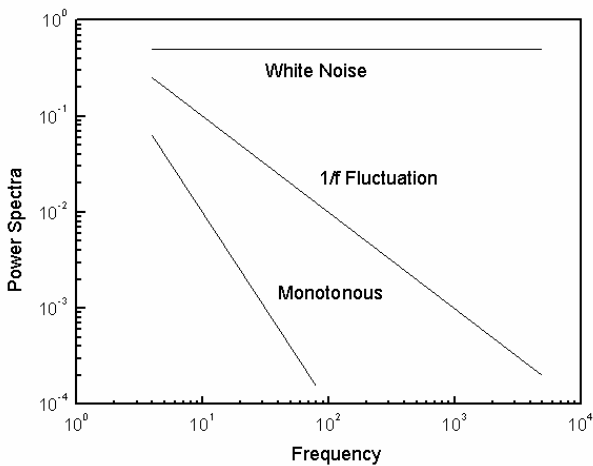


Fig.6 Typical Fourier power spectra.

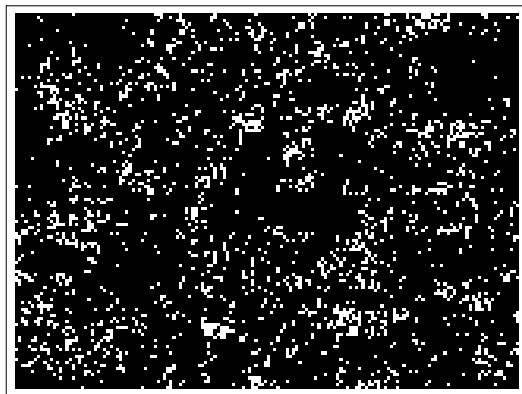
Fig.6 にフーリエ・パワースペクトラムの一例を示す。Fig.6 において、直線の傾きが 0 の場合は主にホワイトノイズである。また、直線の傾きが急になる程単調な信号である。そしてホワイトノイズと単調な信号の中間的な信号で傾きが約-1 の場合を「1/f ゆらぎ」と呼び、人間が心地よいと感じる信号と言われている。

3.2 1/f ゆらぎ周波数部分の可視化

飽和磁束密度は最も高いが鉄損も大きい軟鉄における 1/f ゆらぎ周波数成分(厳密には周波数 f に対して-0.95 乗から-1.05 乗)分布を調べた結果を Fig.7 に示す。Fig.7 では見易くするため、周波数 f に対して-0.95 乗から-1.05 乗を 1, それ以外を 0 と二値化した。白色の点部が 1/f ゆらぎ周波数で運動する磁壁部分を示す。

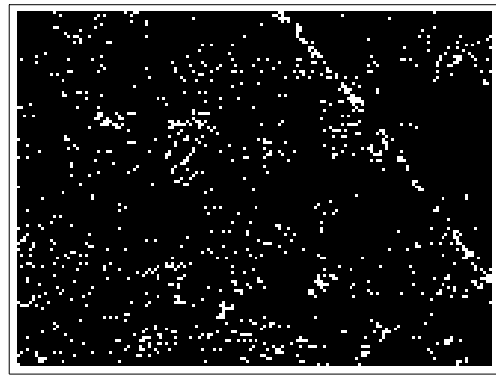
Fig.7 から、通常の軟鉄では 1/f ゆらぎ周波数成分は材料全体の磁壁に分布することが判る。

Fig.8 は無方向性珪素鋼板の 1/f ゆらぎ周波数分布を示す。Fig.8 の結果は Fig.7 と同様に見易くするため、周波数 f に対して-0.95 乗から-1.05 乗の画素値



White : 1/f frequency

Fig.7 Extracted 1/f frequency fluctuation parts in soft iron.



White : 1/f frequency

Fig.8 Extracted 1/f frequency fluctuation parts of silicon steel.

を 1, それ以外の画素値を 0 と二値化してある。白色の点部が 1/f ゆらぎ周波数で運動する磁壁部分を示す。Fig.8 から、無方向性珪素鋼板は Fig.7 に示されている軟鉄よりも白点部が削減され、1/f ゆらぎ周波数で運動する磁壁が少ないことが判る。

拠って、Figs.7,8 の比較は、鉄損を削減するためにシリコンを含有させた無方向性珪素鋼板は 1/f ゆらぎ周波数で運動する磁区を削減し、結果として磁性体から生ずるノイズを削減している可能性が判明した。この検証には、後に示す Figs. 7,8 の白色部に対する局所的 B-H 磁化特性(Fig.10,11)を詳細に吟味する必要がある。すなわち、Figs.7,8 の白色部の B-H 磁化特性が大きな不連続性や飽和磁束密度の増加などを呈すれば、1/f ゆらぎ周波数特性が磁気ノイズに寄与している可能性は極めて大きいと考えられる。

3.2 局所的磁化特性

モノクロ画像の濃淡を与える画素値とサーチコイルから得られる平均的磁束密度を対応させて、全体的な磁化曲線を描く。具体的には画像の画素値の平均値と実測磁束密度との比から換算係数を計算し、モノクロ画素値を磁束密度に比例した画素値へ変換する。

Fig.9 は平均的磁化特性, Fig.10(b)と Fig.11(b)はそ

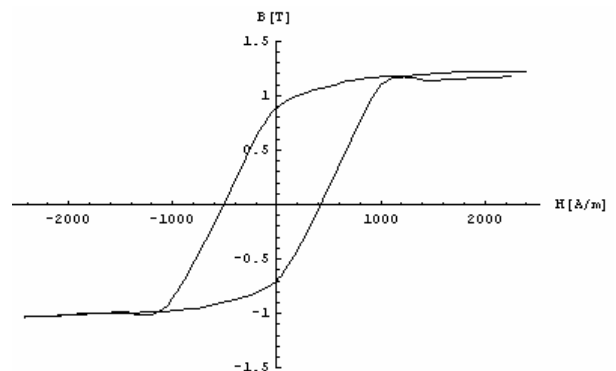
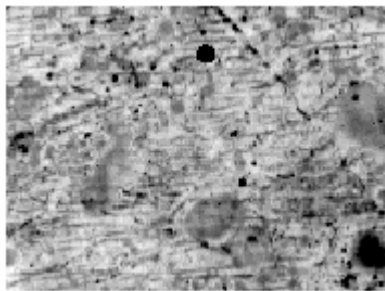
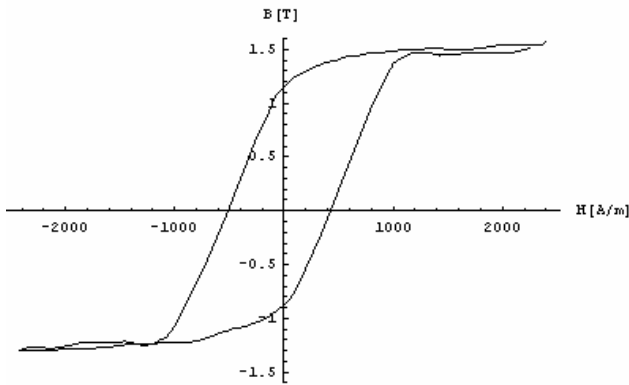


Fig.9 Average magnetization characteristic.

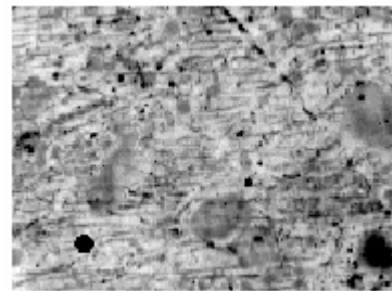


(a) A frame image of magnetic wall sample: silicon steel.

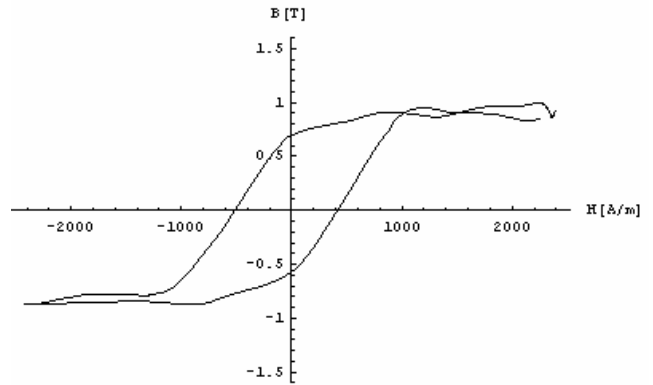


(b) Magnetizing properties of a point “ ”.

Fig.10 Local magnetization characteristics exhibiting 1/f fluctuation points.



(a) A frame image of magnetic wall sample: silicon steel.



(b) Magnetizing properties of a point “ ”.

Fig.11 Local magnetization characteristics not exhibiting 1/f fluctuation points.

れぞれ Fig.10(a)と Fig.11(a)の画像中の黒点部の局所的磁化特性である。黒点部は 1/f ゆらぎが検出された部分とされなかった部分のそれぞれの位置を示す。

1/f ゆらぎ周波数特性が検出されなかった点では、Fig.11(b)に示すように、飽和磁束密度が Fig.9 のいずれと比較しても低い。この結果は、1/f ゆらぎ周波数特性が検出されなかった点には非磁性体である珪素が多く含まれている部分と考えられる。逆に、Fig.10(b)では、飽和磁束密度が Fig.9 の平均的磁化特性の飽和磁束密度に比べて高い。これは、1/f ゆらぎ周波数特性が検出された点には、非磁性体である珪素がほとんど含まれていない軟鉄部分と考えられる。

4 結言

本稿では、ビッター法で可視化した磁壁動画像から 1/f ゆらぎ周波数成分が分布する部分を可視化した。

一般に、磁性体は磁気ノイズを電子回路へ与えることや磁気飽和による非線形特性を呈することが知られているが、この中で磁気ノイズ発生メカニズムを解明するため、ビッター法による磁壁の可視化動画像の周波数特性から、特に磁気ノイズに関係

すると考えられる 1/f ゆらぎ周波数成分分布領域の可視化を試みた。

本稿では、金属中で最も飽和磁束密度が高い軟鉄と軟鉄の鉄損を削減するために珪素を含有させた無方向性珪素鋼板に対する 1/f ゆらぎ周波数分布特性を可視化して吟味した。その結果、鉄損を削減するためにシリコンを含有させた無方向性珪素鋼板は 1/f ゆらぎ周波数で運動する磁区部分を削減し、結果として磁性体から生ずるノイズを削減している可能性が判明した。このノイズに関する仮説の検証にはより詳細な局所的磁化特性と 1/f ゆらぎ周波数特性で動く磁壁の関係を吟味する必要があり、これが次の研究課題の一つである。

(2006年11月15日受付, 2007年2月15日再受付)

参考文献

- [1] Alex Hubert, Rudolf Schaefer, Magnet Domains, Springer, 1998.
- [2] H. Endo, S. Hayano, Y. Saito, M. Fujikura, and C. Kaido, Magnetization Curve Plotting from the Magnetic Domain Images, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 37, No. 4, pp.2727-2730, 2001.
- [3] 藤咲忠春, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之, ビッター法による可視化画像から磁化特性の抽出, 可視化情報学会シンポジウム, B211, 2005.

- [4] 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.
- [5] 川西健次,近角聰信,櫻井良文,磁気工学ハンドブッ
ク,朝倉書店,1998.
- [6] 須永高志,寺西正晃,齋藤兆古,堀井清之,ピッター
法による可視化磁区画像から $1/f$ ゆらぎ抽出,可視化
情報シンポジウム,A311,2005.

P01-006

ビッター法による磁性材料の鉄損分布の可視化

須永 高志 , 齋藤 兆古(法政大学大学院) 堀井 清之(白百合女子大学)

Iron Loss Distribution Visualization in Ferromagnetic Materials by Bitter Method

Takashi SUNAGA, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

The Bitter method is most commonly observing way of the magnetic domains situation even though it is possible to observe only the surface of specimen. Applying magnetic field to this magnetic material covered by magnetic fluid makes it possible to observe the magnetic domain dynamics by a microscope. This paper reveals that the parts exhibiting $1/f$ fluctuation frequency characteristic give high the iron loss while not exhibiting $1/f$ fluctuation parts, i.e. containing much silicon, give low iron loss. Thus, it is revealed that the mixture rate of iron and silicon determines the optimal silicon steel composing most of the electrical machines.

Keyword: Bitter method, Magnetic domains visualization, $1/f$ Fluctuation

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¹⁾。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、磁気光学的方法是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^{2,3)}。

一般に、磁性体は磁気ノイズを電子回路へ与えることや磁気飽和による非線形特性を呈することが知られている。このような磁気ノイズ発生メカニズムを解明するため、ビッター法による磁壁の動画像の時間領域周波数特性から、特に磁気ノイズに関係すると考えられる $1/f$ ゆらぎ周波数成分分布の可視化も試みた⁴⁾。

本稿では、ビッター法で可視化した磁壁動画像から $1/f$ ゆらぎ周波数成分が分布する領域を可視化することを

試み、ゆらぎ周波数を呈する部分と呈しない部分の磁化特性を評価し、鉄損とシリコン含有率との関係を明らかにせんと試みる。

2. 磁壁の可視化

2.1 無方向性珪素鋼板

軟鉄に珪素を添加し、飽和磁束密度は低下するが鉄損を削減した無方向性珪素鋼板、いわゆる電気鉄板と呼ばれる低損失珪素鋼板の磁区挙動を観察した。Fig.1 は観測された磁区フレーム画像を示す。

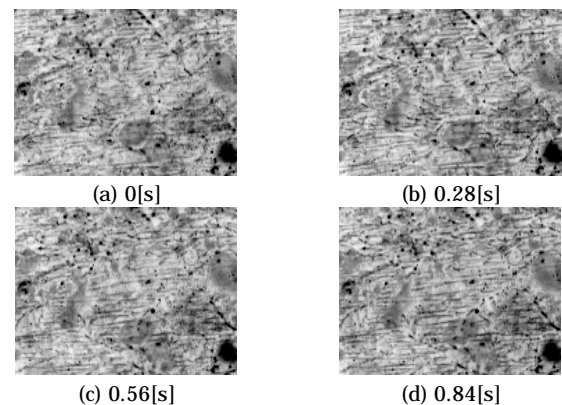


Fig.1 Example of Magnetic Wall Flame Images
Sample: Isotropic Silicon Steel.

いずれの珪素鋼板も後述の Figs.3,4 に示すように個々の領域で異なる磁化特性を呈するが、全体としては滑らかに変化する B-H 特性をもつことが判る。これは磁性体の発生するノイズは材料全体として小さいが材料の場所に拠ってはかなり大きいことを意味する。

3. $1/f$ ゆらぎ周波数部分の可視化

3.1 $1/f$ ゆらぎ周波数

「1/f ゆらぎ」は自然界に多く存在し、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。

全フレームの各画素値をフレーム順に時系列に並べた1次元データに対してフーリエ変換を適用し、フーリエ・パワースペクトラムの周波数に対する変化率からゆらぎの特徴を求める。より具体的には、ある信号へ離散フーリエ変換(DFT, 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を「1/f ゆらぎ」と呼ぶ。

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.2 にフーリエ・パワースペクトラムの一例を示す。Fig.2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。

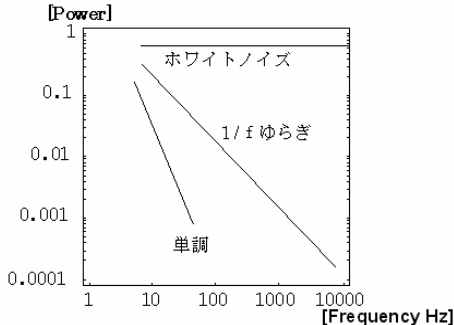


Fig.2 Typical Fourier Power Spectra.

4 . 実験結果

可視化された無方向性珪素鋼板の1/f ゆらぎ周波数分布部分を抽出し、1/f ゆらぎを呈する部分と呈しない部分の平均画素値から求めた B-H 特性を Figs. 3,4 に示す。Fig.3 に比べ Fig.4 の 1/f ゆらぎを呈する部分は最大飽和磁束密度が高いことが判る。

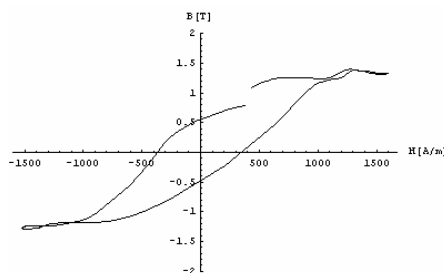


Fig.3 Local magnetization characteristics not exhibiting 1/f fluctuation.

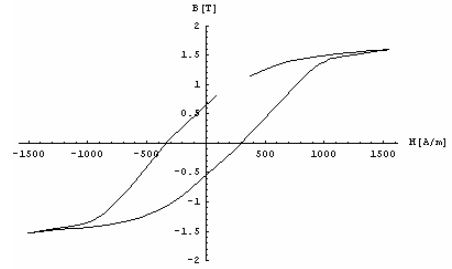


Fig.4 magnetization characteristics exhibiting 1/f fluctuation.

4 . まとめ

本稿では、ピッター法で可視化した磁壁動画から 1/f ゆらぎ周波数成分を呈する部分と呈しない部分の B-H 特性を比較することで、

1. シリコンリッチ部分は 1/f ゆらぎ周波数を削減する。さらに最大飽和磁束密度を低下させ、結果として鉄損を削減する。
2. シリコン非リッチ部分は 1/f ゆらぎ周波数を呈するが、最大磁束密度も低下しない。結果として鉄損が多い部分と考えられる。
3. 従来から、珪素鋼板のシリコン含有率は 6.5% が最適と言われているが、これは最大飽和磁束と鉄損の最大妥協点と考えられる。

以上の考察は珪素鋼板の元素分布分析が可能ならば妥当性が詳細に検討できると考えられる。

参考文献

- 1) H. Endo, S. Hayano, H.Mogi, M.Fujikura, C.Kaido and Y. Saito: Estimation of Iron Loss Distribution by Image Helmholtz Equation Method, IEEE Trans. Magn., Vol. 39 No. 3, pp. 1377-1380 (2003)
- 2) 大窪雄亮, 遠藤久, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之: 球状永久磁石を用いて模擬した磁性鋼板の動的磁区挙動の可視化, 可視化情報, Vol.23, No.1 (2003) pp.263-266.
- 3) 藤咲忠春, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之: ピッター法による可視化画像から磁化特性の抽出, 可視化情報学会シンポジウム (2005) B211.
- 4) 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) B108.
- 5) Alex Hubert, Rudolf Schaefer: "Magnetic Domains" (1998).
- 6) 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).

P01-005

準解析的手法による高周波電流分布の可視化

黒田 洪平[○], 齋藤 兆古(法政大学大学院), 堀井 清之(白百合女子大学)

Visualization of High Frequency Current Distribution By Semi-analytical Method

Kohei KURODA, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

To visualize the electromagnetic fields, we have previously proposed a semi-analytical method, which has made it possible to simulate the complex electromagnetic field distributions not obtain by the conventional numerical schemes, such as finite elements and boundary elements means. Distinguished superior point of our semi-analytical method is that our semi-analytical method is only one way solving for the electromagnetic field, conducting and displacement currents simultaneously.

In this paper, we propose a new semi-analytical approach to visualize the eddy current distribution in a two-dimensional plate. Successful result of this computation promises that eddy current testing may be carried out taking into account the displacement current, i.e., capacitive, effects.

Keywords: High Frequency, Eddy current, Semi-analytical approach

1. 緒論

小型・軽量・高性能な個人用計算機 (Personal Computer, 以下, PC と略記) は, その多機能化と低価格化により広汎な普及を遂げている. 従来, 電磁界の数値解析は極めて大規模の計算となるため, 大型計算機で行われていた. しかし, 近年の高性能 PC の普及は電磁界解析を個人レベルで可能としている. また, 電気電子機器の高性能化に伴い, 高周波動作を前提とする磁気素子が増加している. これは, 電磁界解析において, 磁気素子の抵抗やインダクタンスを集中定数として考えることが困難なことを意味している.

一方, 電磁界解析は, 電磁界を支配する方程式が偏微分方程式であることから, 微分を有限差分で直接置き換える有限差分法(Finite Difference Method), 変分原理に基づく有限要素法(Finite Element Method)などの数値解析法で行われる. また, 電磁界が無限遠点まで広がる開領域問題に対しては, 偏微分方程式の基本解を仮定した境界要素法(Boundary Element Method)などの積分方程式形解法が採用される. 何れの数値解析法も空間・時間領域を細分化し, 細分化された個々の領域で解析的な関数を仮定して解くのが共通の特徴である. しかしながら, このような電磁界の数値解析法は, かなり煩雑な作業と仮定を必要とする.

このような現状を踏まえ, 従来から有限要素法等とは全く異なる準解析的手法を提唱している^{1),2)}. 従来の準解析的手法では電流が可視化面に対し垂直方向に流れる場合の例^{3),4)}しかなかったが, 可視化面に対し平行方向に電流が流れる場合でも適用可能であることを論ずる.

本論文では, 準解析的方法を用いた例題として, 誘起電圧による渦電流の可視化を試みた一例を報告する.

2. 原理

ここでは, 本論文で採用する準解析的手法の原理を説明する. 具体例として Fig. 1 に示す試験回路のように 1 次側より定電流源から印加した有限長ソレノイドコイルの作る磁界によって 2 次側の銅板に流れる渦電流の可視化を試みる.

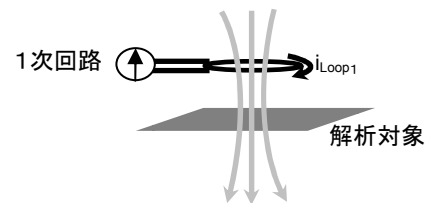


Fig. 1 Test circuit

2.1 モデリングと等価回路

解析領域は円形とし, 正 n 角形の導線が幾十にも重なって領域を満たしていると仮定した分割モデルを考える. Fig.2 に分割モデルの例を示す. 導線の各辺にコイルと抵抗が存在すると考え Fig.3 に示す等価回路を描くことが可能となる.

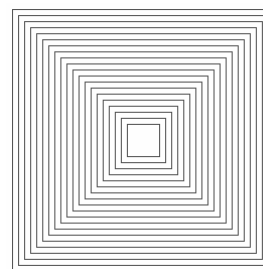


Fig. 2 Discretization of semi-analytical method.

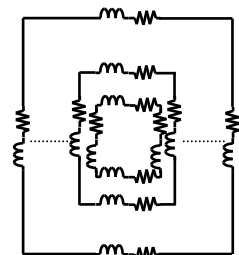


Fig. 3 Equivalent circuits of the model.

2.2 システム方程式

各辺の内部抵抗や自己インダクタンスはそれぞれ解析的に計算でき、式(1), (2)でそれぞれ与えられる。さらに、各辺間の相互インダクタンスは同ループ内であれば式(3)、同ループ以外であれば式(4)で与えられる。

$$r = \sigma \frac{l}{S} \tag{1}$$

$$L = \frac{\mu_0}{8\pi} + \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\log \left(\frac{2l}{r'} \right) - 1 \right) \tag{2}$$

$$M_{ij} = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\log \left(\frac{l + \sqrt{l^2 + d_{ij}^2}}{d_{ij}} \right) - \sqrt{1 + \left(\frac{d_{ij}}{l} \right)^2} + \frac{d_{ij}}{l} \right) \cos \theta \tag{3}$$

$$M_{ij} = \frac{\mu_0}{4\pi} (l_i \log[l_i + \sqrt{l_i^2 + d_{ij}^2}] - \sqrt{l_i^2 + d_{ij}^2} + \sqrt{d_{ij}^2} - l_j \log[\sqrt{l_j^2 + d_{ij}^2} - l_j] - \sqrt{l_j^2 + d_{ij}^2} - (l_i - l_j) \log[(l_i - l_j) + \sqrt{(l_i - l_j)^2 + d_{ij}^2}] + \sqrt{(l_i - l_j)^2 + d_{ij}^2}) \tag{4}$$

したがって、Fig.3の等価回路から領域内の総辺数を m 個とすれば、正弦波定常状態のインピーダンス行列 \mathbf{Z} は以下のようにあらわされる。

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} r_1 + j\omega L_1 & j\omega M_{12} & \dots & j\omega M_{1m} \\ j\omega M_{21} & r_2 + j\omega L_2 & \dots & j\omega M_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ j\omega M_{m1} & j\omega M_{m2} & \dots & r_m + j\omega L_m \end{bmatrix} \tag{5}$$

また、入力電圧ベクトルと出力電流ベクトルをそれぞれ、 \mathbf{V}, \mathbf{I} とすれば、次のシステム方程式を得ることができる。

$$\mathbf{V} = \mathbf{Z} \mathbf{I} \tag{6}$$

よって、求める電流分布ベクトル \mathbf{I} は次式で与えられる。

$$\mathbf{I} = \mathbf{Z}^{-1} \mathbf{V} \tag{7}$$

ここで、磁界の大きさは解析領域の中心にかかる磁界が領域全体に均一になっているとし、各辺の端子電圧を Faraday の法則より求めた誘起電圧 v とする⁵⁾。入力電圧ベクトルと出力電流ベクトルはそれぞれ次式で与えられる。

$$\mathbf{V} = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_m]^T \tag{8}$$

$$\mathbf{I} = [i_1 \ i_2 \ \dots \ i_m]^T \tag{9}$$

ここで、 v_n, i_n ($n=1,2,\dots,m$)は各辺の電流と電圧とする。

3. 解析

2章で述べた原理に基づき、ソレノイドコイルの半径を 1.5cm, 軸長 5cm, 巻数を 200 回巻とし印加電流を 1A とした場合の厚さ 1mm の銅板に流れる正弦波定常状態における渦電流ベクトル分布の解析を行う。また磁界の方向は紙面より読者方向に突き抜けた場合とする。

Fig. 4 に正 64 角形が 30 ループあると仮定した場合の周

波数を 100Hz, 10kHz, 1MHz の電流ベクトル分布を示す。また解析半径は 0.5cm とする。

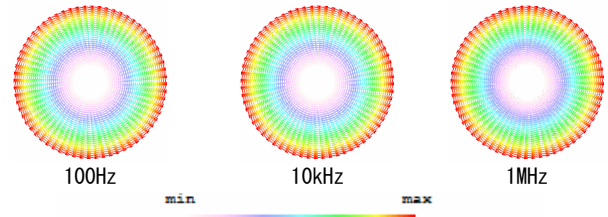


Fig. 4 Eddy Current Vector distributions.

分布の強度は Fig. 4 中のカラーバーに準ずるものとする。電流は、励磁コイルであるソレノイドの周辺に等しい外側が 1 番多く流れていることが判る。これは磁束が鎖交する面積が大きくなるため誘起電圧も大きくなるからである。また分布の傾向としては何れの周波数も同様な広がり方をしていることが判る。これは平面上の渦電流ベクトル分布は平面方向に関して周波数と無関係であることを意味する。

4. まとめ

本論文では、可視化面と平行に流れる電流ベクトル分布の可視化に対しても準解析的手法が有効であることを論じ渦電流のベクトル分布の可視化を試みた。

このことは渦電流探傷法へ準解析的方法の応用の可能性を示すこととなる。

今後の課題としてキャパシタンスを考慮した場合への拡張とそれに対する実験的検証を行う必要があると考えられる。また対象導体の厚さ方向に対しても分割することでより精度の良い解析が可能であると考えられる。

参考文献

- 1) T.Takano, S.Hayano, and Y.Saito : Coil impedance computation having arbitrary geometrical shape, IEEE PESC'98, Vol.2, (May.1998), pp. 1991-1996
- 2) Yasuyuki Watazawa, Seiji Hayano and Yoshifuru Saito : Semi-analytical electromagnetic field Computation, Int. J. Appl. Electromagn. Mater. Vol.15,Nos.1-4, IOS Press (April.2002), pp. 353 - 357
- 3) 黒田洪平, 齋藤兆古, 堀井清之: 表皮効果の可視化による高周波用導体断面形状の最適化, 可視化情報学会(July.2006), pp.271-274
- 4) 黒田洪平, 齋藤兆古: 表皮効果の可視化による高周波用導体断面形状の最適化, MAGDA コンファレンス(November.2006), pp77-80
- 5) 齋藤兆古, 早野誠治: 応用電磁工学入門, 産図テキスト, 2000年, pp28-30

描画療法における静止画像の 1/f ゆらぎ解析*

—職場不適応者の事例を通して—

加藤 千恵子[○] (東洋大学), 齋藤 兆古 (法政大学)

1/f Fluctuation Analysis of Image Drawing Therapy

—In the Case of a Maladjusted Person—

Chieko KATO and Yoshifuru SAITO

ABSTRACT

The principal purpose of this paper is to develop and establish a methodology of 1/f fluctuation analysis in art therapy. As an initial example, we applied our methodology to several images drawn by the maladjusted person in a state of excessive adjustment. As a result, we succeeded in extracting and visualizing the 1/f components. Thus, it is revealed our methodology proposed here has turned out to be very promising one.

Keywords: 1/f Fluctuation, Drawing Therapy, Image Processing, Visualization

1. 緒 論

「ゆらぎ」とは物理学では「力, 速度, 密度, 温度, 音量, 濃淡等の物理量を測定して得る観測値に対して, その統計的に見た平均値の近くで変動する現象」と定義されている。その変動の大きさが周波数 (一定期間内の同じ振動状態の繰り返し) に反比例する場合, このような現象を「1/f ゆらぎ」と呼んでいる^{1), 2)}。

1/f ゆらぎ現象は自然界に多く存在し, 例えば小川のせせらぎや小鳥の囀り等の心安らぐリズムが相当する。また, 1/f ゆらぎは潮騒の音の強弱の他, 音楽の強弱やテンポ, 絵画の濃淡の変化等, 身の回りに広く見られる現象である。このように自然界において 1/f ゆらぎに合致すると思われる現象が種々存在し, 人間の感性, 特に癒し効果を与える心地良さと密接な関係があることが解明されている。これは, 例えば人に「1/f ゆらぎ」のリズムを聴かせると, 心地良さを感じ脳波に α 波が多く分布することなどで検証されている。

本研究では, 「1/f ゆらぎ」理論を芸術療法の描画解析に適用し, 芸術療法における描画の解析方法を確立することを目的とする。適用事例は著者が行ったカウンセリングにおける軽症うつ症状を示した職場不適応者における芸術療法である。本事例の職場不適応者は過剰適応の状態にあったがその状態に気付いておらず, 自己への気付きが求められていた。気付きを促すために, 描画療法を用いた。描画により, 無意識化の自己への気付きを促すことが出来る³⁾。しかし, カウンセラーがクライアントの無意識下の状態を知ることは大変難しい。そこで, 本研究では, クライアントの描画の1枚を取り上げ, 描画による解析結果がクライアントの状態を知る手がかりとなる可能性があることを示す。

2. 解析方法

ゆらぎ解析は, 一次元離散フーリエ変換を用いて, あ

る時系列信号の各周波数に対するパワースペクトルを計算し, パワースペクトル—周波数分布からゆらぎを判別する^{1), 2)}。Fig.1 に示すように, パワースペクトル対周波数の両対数グラフを描き, グラフの傾きによってゆらぎの種類を大別する。直線の傾きが0の場合は主にホワイトノイズとなり, 傾きが急になる程単調な信号になる。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, 人間が心地良いと感じることが出来る信号と言われる。すなわち, 周波数の低下とともにパワースペクトルが増加するような信号の中で, パワースペクトル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。

画像は空間情報をもつため, 本研究では, デジタル画像の各画素単位で横と縦方向にそれぞれフーリエ変換を行い, 1/f ゆらぎを抽出する。

カラー画像では, 色を混ぜ合わせることで別の色をつくる混色という考え方に基づき色が作られる。この場合は, 画像の各画素が3つの基本色 (赤 R, 緑 G, 青 B) 成分をもつことになるが, 通常は各成分に対応した3枚の濃淡画像の組で表す。すなわち, 各画素の情報を R, G, B 三原色それぞれの輝度値で表す。RGB は光の三原色を波長が長い赤から, 中間波長の緑, 最も短い青成分に対応させる。このため, 赤成分の画像は滑らかな柔らかい感じの画像情報を与え, 青成分のように周波数が高いほど細かい凹凸情報をもつ画像を与える。

本研究では, RGB 画素の輝度値の 1/f ゆらぎを右側から左方向である横方向と下方から上方への縦方向, それぞれの画素値へ離散フーリエ変換を適用し, 各空間周波数に対するパワースペクトルを計算する。さらに, それぞれのパワースペクトルと空間周波数へ累乗近似を用いて両対数グラフで表したときの傾きを求める。得られた縦と横方向それぞれの傾きの畳み込み演算で2次元傾き分布を可視化する。RGB の各色成分それぞれに対して同様にして2次元傾き分布可視化画像を得る。

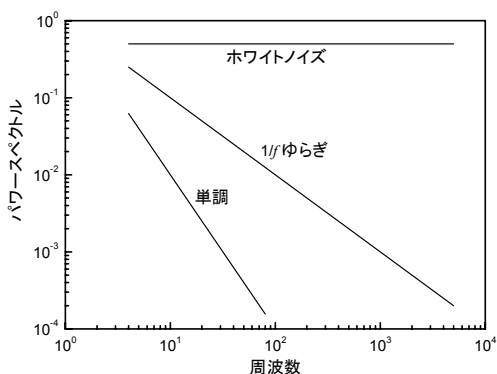


Fig.1 Definition of 1/f fluctuation

3. 結果と考察

Fig.2はクライアントが描画療法を始めた頃の描画である。この時期、クライアントは過重労働の状態にあり、過剰適応しているにもかかわらず、仕事をこのまま継続していきたいと希望していた。しかし、継続希望を持ちつつも内心続ける自信を失いかけていた。Fig.2についてクライアントは、最初太陽を書いたが、後で、黒く塗り潰して月であるとした。クライアントは「新芽は月では成長しないんです」と述べていた。新芽はクライアント自身を示していると考えられる。

Fig.3にFig.2の「1/fゆらぎ」分布の2次元可視化画像を示す。の解析結果（描画の赤、緑、青の成分の縦・横方向に共通な周波数特性分布）を示す。Fig.3中に赤色は「1/fゆらぎ」を示す。描画の赤成分（Fig.3(a)）においては、太陽の周辺でゆらぎがわずかに見られた。緑成分（Fig.3(b)）においては、太陽の付近に縦と横方向にゆらぎが生じた。青成分（Fig.3(c)）においてはほとんど「1/fゆらぎ」が見られない。赤成分は、辛さや痛みを示す。緑成分は、心身の疲れを癒し、回復へと導いてくれるとされ、心身のバランスを取るものである^{3)・6)}。自己を受け入れ、自分の理想と現実のバランスを取ろうとしてきているが、それに対して葛藤を抱えていると思われる。青成分は沈静を示すが、それはクライアントには見られない。描画における空間の象徴的意味を考えると、右下には「1/fゆらぎ」が見られない。右下は葛藤、混乱、無気力、受動性を示す⁷⁾。クライアントは、口頭では仕事を続けたいと述べているが、葛藤を抱えながらも過剰適応であることを受け入れつつあるのではないかと示された。

4. まとめ

本研究では、過剰適応であるクライアントの描画に対して「1/fゆらぎ」解析を行った結果、クライアントの状態をRGBごとに捉えることが可能となり、本手法の客観的描画診断の可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 佐治晴夫, “快適空間の物理”, 応用物理, Vo. 60, No. 3, pp. 247-253, 1991.
- 2) ゆらぎ研究会編, “ゆらぎの科学 10”, 森北出版社, 1999.
- 3) 岩井寛, “絵画療法の理論と実践 1 絵画療法とは何か”,

- 徳田良仁・村井靖児 (編著), 講座サイコセラピー, 第7巻, アートセラピー, 日本文化科学社, pp. 14-18, 1988.
- 4) J, Dee and L, Taylor (著), 鈴木宏子 (訳), “カラーセラピー”, 産調出版, 2003.
- 5) L, V, Bonds (著), 今井由美子 (訳), “実用カラーの癒し”, 産調出版, 2006.
- 6) 山脇恵子, “よくわかる色彩心理”, ナツメ社, 2006.
- 7) 高橋雅春・高橋依子, “樹木画テスト”, 文教書院, 東京

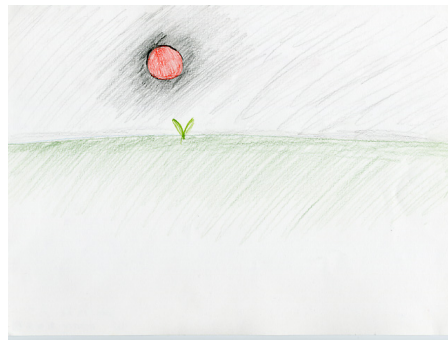


Fig.2 Paint drawing by the client

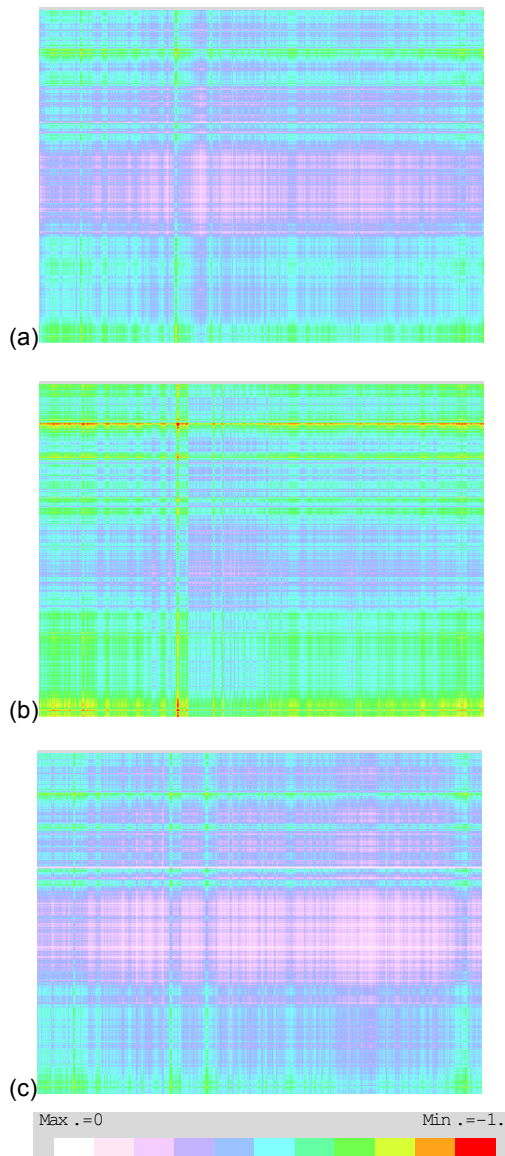


Fig.3 Distribution of fluctuation components, common to both vertical and horizontal directions. (a) Red, (b) Green, (c) Blue

『ロミオとジュリエット』における家族と恋愛 離散値系ウェーブレット多重解像度解析

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)

Family and Love in "Romeo and Juliet"
Discrete Wavelets Multi-Resolution Analysis
Mayumi INAMI, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

Elements, "Love", "Hatred" and "Death" in "Romeo and Juliet" written by William Shakespeare were examined by the discrete wavelets multi-resolution analysis. As a result, it is shown how the "Hatred" of the fighting two families changed to reconciliation through "Love" and "Death" of lovers. The wavelet analysis was visualized the "Love" and "Death" of the love story's of Romeo and Juliet and "Hatred" of hostility families. Further, it is clarified that "Hatred" of both families influences not only love but also fate of the hero and the heroin. On the other hand "Hatred" leads an opportunity of switch "Love" in the first half to "Death" in the latter half.

Keywords: Discrete wavelets multi-resolution analysis, Love, Hatred, Death

1. 緒 論

二人の若者の恋愛悲劇を描いた『ロミオとジュリエット』¹⁾の「愛」、「憎しみ」、「死」を構成する要素は既往研究²⁾⁻⁶⁾で得られているが、それらの要素の揺れについて構成要素ごとに検証したものはない。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構成要素ごとの揺れを可視化し検証することを目的とする。

『ロミオとジュリエット』"Romeo and Juliet" (1595年頃) はイギリスの劇作家ウィリアム・シェイクスピア (William Shakespeare, 1564~1616) による悲劇の代表作品である。四大悲劇(『ハムレット』, 『マクベス』, 『オセロ』, 『リア王』)のような重厚な悲劇とは見なされていない²⁾が、憎しみ合う二つの家の勢力争いのもとで、二人の恋人が死に至る作品は恋愛悲劇の典型として後世の人々に愛されており、バレエやオペラの分野においても人気が高い。日本での初演は1904年、伊井容峰一座による真砂の公演で、現在でも上演の回数が多い。

本作品の二つのプロット⁵⁾はロミオとジュリエットの恋物語と敵対するモンタギュー家とキャピュレット家である。若い性急な愛が両家の憎しみや運命によって悲劇的な結末へと導かれるこの作品は「愛と死」⁷⁾、「愛と憎しみ」⁸⁾の間で揺れ動く悲劇であることが示されている。また、精神分析の視点から作品が死で彩られている⁷⁾との指摘もある。

2. 解析方法

2.1 解析対象

14世紀のイタリアの都市ヴェローナではモンタギュー家とキャピュレット家が、抗争を繰り返している。

モンタギュー家の一人息子ロミオは、敵対するキャピュレット家のパーティに紛れ込んだ際、キャピュレット家の一人娘ジュリエットに出会い恋に落ちる。二人は修道僧ロレンスの元で秘かに結婚するもその直後、ロミオは親友マキューシオが殺された仕返しにキャピュレット夫人の甥、ティボルトを殺してしまう。ロミオは追放の罪に処せられる。一方、ジュリエットはパリスと結婚することを命じられる。ロレンスは二人を添わせるべく、仮死の毒を使った計略を立てる。しかしロミオはジュリエットが死んでしまったと思い彼女の墓で毒を飲んで死ぬ。その直後に仮死状態から目覚めたジュリエットもロミオの短剣で後を追う。そして両家は、ついに和解する。

2.2 要素の選択と解析方法

1. 作品の構成を経時的に考察するために、要素として「愛」、「憎しみ」、「死」を表す単語を選び、場面ごとに頻度を調べた。

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⁹⁾⁻¹⁰⁾する。Table 1 に要素を示す。

Table 1 Selected Element

要素	事例
第1要素「愛」	love, loved ...
第2要素「憎しみ」	hate, hateful ...
第3要素「死」	death, dead, die ...

「愛」、「憎しみ」、「死」の要素にベクトルの概念を用いる。「愛」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。

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

他のレベルも式(2)と同様にして得られる^{3),10)}。

3. 結果と考察

『ロミオとジュリエット』におけるウェーブレット多重解像度解析の代表的な結果をFigs. 1-3に示す。横軸は本作品の最初から最後まで場面ごとに構成要素を時系列に並べた。縦軸は要素の場面ごとの頻度を表す。

3.1 解析結果

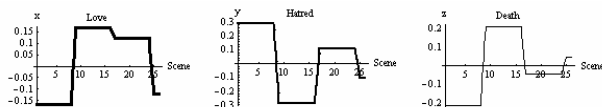


Fig.1 Level 3 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: Feelings "Love", "Hatred", "Death" in "Romeo and Juliet".

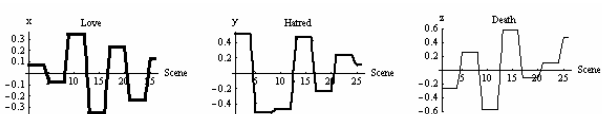


Fig.2 Level 4 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: Feelings "Love", "Hatred", "Death" in "Romeo and Juliet".



Fig.3 Level 5 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: Feelings "Love", "Hatred", "Death" in "Romeo and Juliet".

まず、Fig. 1のレベル3は全作品を4分割した場合で、「憎しみ」が支配であり、9-16章では「愛」と「死」、17-24

章では「愛」と「憎しみ」が積極的に用いられ、同じような揺れが見られた。

次にFig. 2はレベル4で全体を8分割した場合である。「死」の揺れが大きく支配的である。「愛」は前半大きくゆれながら後半少なくなり、「憎しみ」と同じ傾向が見られる。一方「死」は逆に多くなる。

Fig. 3はレベル5の結果を示す。これは全体を16分割した場合である。1-4章の「憎しみ」の後に8-12章の「愛」に大きな変化が見られる。17-20章の「憎しみ」は「死」と同じ傾向があり、再び「憎しみ」に大きな揺れが見られるが、「死」は終焉に向けて拡大する。

4. 結論

前半部は主人公両家の「憎しみ」が多く、中間部では「愛」と「死」、後半部は「愛」と「憎しみ」が多くなっている。このことから、本作品が「愛」と「死」、「愛」と「憎しみ」の二つの対立がテーマとなっていることが示された。

前半部の「憎しみ」の後は「愛」の揺れが大きく、後半部の「憎しみ」の後は「死」の揺れが大きく、「憎しみ」が「愛」から「死」への転換の契機となっていることが明らかとなった。

若い主人公らの「愛」と「死」を通じて両家の「憎しみ」が和解へと導かれる過程が示された。

『ロミオとジュリエット』においては主人公の恋愛だけでなく、敵対する両家の憎しみが主人公の運命をも支配しているといわれている従来の説が検証された。

参考文献

- 1) Shakespeare, w.: "Romeo and Juliet", Cambridge Univ. Press, London (1961).
- 2) 村主幸一, 『ロミオとジュリエット』のジェンダー地理学, あるいは空間と死, 言語文化論集, 名古屋大学大学院国際言語文化研究科, Vol.27, No.1, (2005) pp. 167-183.
- 3) 増田真里, 『ロミオとジュリエット』 愛と時について(授業のレポートから), 常葉英文, 常葉学園短期大学英文学会, Vol.22, (2002) pp. 60-69.
- 4) 稲富健一郎, ロミオとジュリエット 死を超越した完全な恋愛詩, 香川大学教育学部研究報告 第1部, 香川大学教育学部, Vol.113, (2001) pp. 23-37.
- 5) 大島芳材: 「ロミオとジュリエット」の悲劇について, 立正大学人文科学研究所年報, Vol.17, (1980) pp. 18-23.
- 6) 佐野昭子: ロミオとジュリエットにおける「死」の観念, 御茶ノ水女子大学人文科学紀要, 御茶ノ水女子大学, Vol.29, No.1, (1976) pp. 13-30.
- 7) 梅田倍男, 「ロミオとジュリエット」論 愛と死の主題, 愛知教育大学研究報告 人文科学, 愛知教育大学, Vol.35, No.12, (1986) pp. 33-46.
- 8) 鈴木喜久雄, 愛と憎しみのアンビヴァレンツ 「ロミオとジュリエット」をめぐって, 法政大学教養部紀要, 法政大学教養部, Vol.57, (1986) pp. 225-236.
- 9) 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.
- 10) 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.

日米首脳の演説比較， 離散値系ウェーブレット多重解像度解析

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)

Speech Comparison between the Japan and US leaders Discrete Wavelets Multi-Resolution Analysis Mayumi INAMI, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

Three elements "Will", "Fact" and "Judgment" in speech of the Japan-US leaders were examined by the discrete wavelets multi-resolution analysis. As a result, it has been clarified that both curves of "Will" shows the similar tendency and these of "Judgment" shows the different tendency. In Policy Speech, Prime Minister Shinzo Abe tends to show his leadership as a new leader by expressing his "Will" and "Judgment". On the other hand, in State of the Union Address, President George Walker Bush emphasizes his agreements of legitimacy and demands an agreement of the present policy by quoting "Fact" repeatedly as the president accomplishing on second term.

Keywords: Discrete wavelets multi-resolution analysis, Will, Fact, Judgment

1. 緒 論

本稿の目的はウェーブレット多重解像度解析を用いて安倍内閣総理大臣施政方針演説¹⁾とブッシュ大統領の一般教書演説(State of the Union Address)²⁾の揺れを検証することである。

安倍晋三(1954年～)は第三次小泉改造内閣にて内閣官房長官を務め、2006年9月に第90代内閣総理大臣に任命された。2007年1月26日には、第166回国会において第1回目の安倍内閣総理大臣の施政方針演説が行われた。施政方針演説は例年一月下旬に行われる国会の常会開会式の後に行われ、演説に対し各会派を代表する議員との質疑応答が繰り広げられる。

ジョージ・ウォーカー・ブッシュ(George Walker Bush, 1946年～)は、2001年1月アメリカ合衆国の第43代大統領に就任し、現在2期目である。ブッシュ大統領による第6回目となる一般教書演説が2001年1月23日、上下両院合同本会議で行われた。アメリカ大統領による一般教書演説は、現在アメリカが置かれている状況とその年を通じた内政・外交の施政方針を上下両院に説明するもので、日本での首相の施政方針演説に相当する。しかし、大統領は議会で議席も持たず、法案提出権も持たないため、この一般教書演説が自身の考えを議会に提示できる大きな機会となっている。

内閣総理大臣および大統領演説は国内外から注目が集まり、分析・検討の対象となっている。政治的見地からだけでなく、言語学の視点から、文法、談話³⁾やさまざまなレトリック⁴⁾の研究がなされ、引用⁵⁾もレトリック

の重要な要素の一つであるにとらえられている。また、コンピュータによる計量的解析⁶⁾などが行われている。しかし、演説における揺れについての研究はいまだ行われていない。そこで、本研究では日米の演説の揺れを可視化し、その違いを考察する。

2. 解析方法

2.1 解析対象

安倍内閣総理大臣は、戦後レジームの見直しや教育再生を課題とし、美しい国の実現基盤として経済が不可欠だとしている。演説には以下の9つの項目を設けている。数字は筆者による。

1)はじめに、2)成長力強化、3)「チャンスにあふれ、何度でもチャレンジが可能な社会」の構築、4)魅力ある地方の創出、5)国と地方の行財政改革の推進、6)教育再生、7)「健全で安心できる社会」の実現、8)主張する外交、9)むすび。

ブッシュ大統領は、前回5回までは強気的外交政策が目立ったが、今回は、順調な経済状況や福祉政策の充実など内政についても言及するようになった。演説内容は、以下の12に分類した。分類、数字とも筆者による。

1)はじめに、2)経済、3)教育、4)健康、5)出入国管理、6)エネルギー、7)裁判、8)テロ、9)戦争、10)外交戦略、11)外交政策、12)むすび。

2.2 要素の選択と方法

1. 演説の構成を経時的に考察するために、「意志」「事実」「判断」を要素として選び、項目ごとに文章の数を調べる。公約や将来への政策は「意志」、出来事や引用

は「事実」、また、考えや説明は「判断」とする。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⁷⁾⁻⁸⁾する。

Table 1 Selected Element of Policy Speech by Prime Minister Shinzo Abe

要素	事例
第1要素「意思」	...安心な地域医療を確立します。
第2要素「事実」	...初の有人飛行に成功しました。
第3要素「判断」	...船出をすべきときが来ています。

Table 2 Selected Element of State of the Union Address by President George W. Bush

要素	事例
第1要素「意思」	We will continue to speak out for the cause of freedom....
第2要素「事実」	...the number of people receiving life-saving drugs has grown from 50,000 to more than 800,000....
第3要素「判断」	...it is our duty to keep them permanently sound.

「意思」、「事実」、「判断」の要素にベクトルの概念を用いる。「意思」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ーの2次を採用する。

2のべき乗 n の要素からなる n 字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はスペクトラム行列 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^{7),8)}。

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

3. 結果と考察

3.1 解析結果

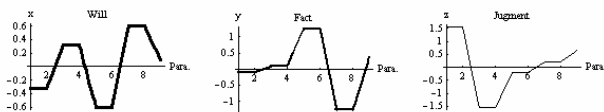


Fig.1 Level 4 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: elements of "Will", "Fact" and "Judgment" in speech of Prime Minister Shinzo Abe.

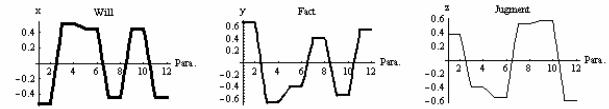


Fig.2 Level 4 of the discrete wavelets multi-resolution analysis: elements of "Will", "Fact" and "Judgment" in speech of President George Walker Bush.

まず, Fig. 1 のレベル4は安倍内閣総理大臣の演説を8分割した場合である。「判断」は、はじめの部分に大きな揺れがあり、「事実」は後半に、また、「意思」における2つの揺れは「判断」と「事実」の後にそれぞれ見られた。

次に Fig. 2 はレベル4でブッシュ大統領の演説の場合である。「判断」は、はじめと後半が多い。「事実」は、はじめ、中盤、終わりりと3箇所が多い。「意思」は前半と後半の2箇所が多くなっている。「意思」と「事実」には相反する傾向が見られた。前半は「事実」と「判断」、後半は「意思」と「判断」に同じ傾向が見られた。

Figs. 1-2 から、「意思」の描く曲線には同じ傾向が見られた。ブッシュ大統領には「事実」を積極的に利用している傾向が見られ、また、「判断」は「意思」と「事実」を挟んだ曲線となっている。

4. 結論

「意志」の描く可視化曲線は両者とも前半と後半に揺れが現れた。

安倍内閣総理大臣においては、要素の緩やかな配置が見られた。はじめの「判断」に大きな揺れが見られ、全体としてリーダーシップを発揮しようとする傾向があることが明らかになった。

ブッシュ大統領の演説においては「事実」と「判断」の配置に細かい工夫がみられた。「事実」を重ねることによって現在とられている政策の正当性を強調し、政策続行の同意を求めていることが検証された。

参考文献

- 朝日新聞(夕刊), (2007.1.26) 4面
- <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2007/01/20070123-2.html>.
- 中村秩祥子: 内閣総理大臣演説の文体分析 鳩山首相から大平首相について, 竜谷大学国際センター研究年報, Vol.13, (2004), pp.37-68.
- 村上直久: ブッシュ米大統領の2004年一般教書演説のディスコース分析, 長岡技術科学大学言語・人文科学論集, Vol. 18, (2004) pp.159-178.
- 中村秩祥子: 大統領就任演説内の直接引用の機能と効果, 英語英米文学研究, 龍谷大学, Vol. 33, (2005) pp.42-61.
- 沖博美 他: 初期・現代のアメリカ大統領就任演説の計量的解析と社会情勢の関係, 電子情報通信学会技術研究報告.ET, 教育工学, 社団法人電子情報通信学会, vol. 99, No.581(2000), pp.25-32.
- 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.
- 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.

赤外線動画画像の識別*

高 翔 , 齋藤 兆古(法政大学), 堀井 清之(白百合女子大学)

Dynamic Infrared Image Cognition Xiang GAO, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

The paper proposes one of the methods of dynamic infrared image cognition based on the Fourier cosinusoidal transform of dynamic images. Previously, we have proposed a method of cognizing the color dynamic images based on Fourier cosinusoidal transform. In the present paper, we apply our previously proposed method to the infrared dynamic images in order to identify the behavior of each of the persons without any lighting condition. As a result, it is revealed that a fairly good cognition rate over 90% could be obtained.

Keywords: Eigen pattern, Fourier cosinusoidal transform, Dynamic infrared image cognition

1. 緒 論

現代社会において, 犯罪の凶悪化及び増加などにより, セキュリティに対する意識が高まって来ており, 防犯の観点で, 繁華街や住宅街などの監視に適したカメラの設置のニーズが高まりつつある. 赤外線カメラは暗闇の中にある物体や霧や煙などの向こう側にある物体を透過して撮影することが可能であり, 可視光が得られない状況で広く用いられている. 状態監視システム, 特に可動機器の熱分布のダイナミックな変化を利用した事故・破損予知を究極の目的とした機械監視システム構築を試みている.

最初に, 本論文では, 筆者らが既に報告したデジタルビデオカメラを使って撮影した動画画像からフーリエ余弦変換による動画画像の幾何学的特徴抽出する方法について述べる. 次にテスト画像とデータベース画像の一致性評価を最小自乗法で行う手法に関して述べ, 最後に本手法を赤外線動画画像の識別に適用した結果について述べる. その結果, 赤外線 CCD カメラを使って微弱な可視光の環境下で撮影した赤外線動画画像に対して 90% 以上の識別率が達成できた.

2. 動画画像認識の一致性評価法

1 画像を構成する R, G, B 各成分の 2 次元画素値分布をフーリエ余弦変換し, フーリエ余弦スペクトラムの原点近傍の 16×16 要素のみを取り出し, 1 次元配列へ並べ替え, 1 画像の幾何学的(空間周波数)固有パターン(Frame spectrum)₁ とする.^{1, 2, 3)}

本論文において, 動画画像認識とは空間周波数成分が構成する動画画像の幾何学的固有パターンを用いて静止画像認識手法へ適用し, 静止画像認識手法を動画画像認識へ広

張することを意味する.

動画画像は複数のフレーム画像によって構成される. 従って, フレーム画像全体を通して幾何学的固有パターンとなる特徴量を抽出する必要がある. このため, 式(1)により各フレーム画像から空間周波数情報を算出し, 全フレームのスペクトラム情報を時系列方向に積分し, 動画画像の幾何学的固有パターン(以下, 固有パターンと略す)とする.

$$E_{geo, mono} = \sum_{i=1}^n (\text{Frame spectrum})_i \quad (1)$$

本研究において提案する動画画像認識手法は, 予め複数の動画画像から固有パターンを抽出し, データベースを構築しておく. その後, 認識対象として与えられる未知の入力動画画像から固有パターンを抽出し, データベースと入力間の固有パターンの一致性を線形システム方程式で評価し, 入力動画画像をデータベース内のいずれかの動画画像と同定するものである. R, G, B 各成分が収められた固有パターンを E とし, n 個の動画画像データからシステム行列 C を構築すると, システム行列 C は式(1)で与えられる.

$$C = [E_1, E_2, E_3, \dots, E_n] \quad (2)$$

従って, 入力動画画像の固有パターンを E_x とすると, 線形システム方程式(3)が得られる.

$$E_x = C \cdot X \quad (3)$$

式(3)における X は, データベース画像の各固有パターンの重みを要素とする n 次のベクトルである. 固有パターンの次数を m とすると, $n = m$ でない限りシステム行列

C は m 行 n 列の長方形列となるので、式(3)は不適切な線形システム方程式となる。本論文における動画の幾何学的固有パターンは次数 m が、動画データベースに格納された固有パターンの個数 n よりも大きいと仮定すれば、システム行列 C が m 行 n 列の縦長の長方形列となり、近似解ベクトル X は式(4)の最小自乗法によって与えられる。

$$X = [C^T C]^{-1} C^T E_x \tag{4}$$

式(4)において最大値をとる要素が認識された動画を示す。^{3,4)}

3. 赤外線動画へ応用

3.1 赤外線

赤外線は可視光外の長波長領域に分布し、すべての温度エネルギーを有する物体から放射される光である。一般に、赤外線は目に見えないため、可視光の明るさ、暗さに依存しない。また、物体が放射する光の全エネルギー、波長と物体の温度の間には相関関係があり、温度が高い物体は、放射される赤外線の全エネルギーが多く、波長が短い赤外線を多く放射する。従って、物体から放射される特定波長の赤外線の強度を測定することによって物体の温度が測定できる。

3.2 赤外線動画の識別

通常、人の体温は 36 度程度であり、赤外線カメラによって人の検知が可能である。ここでは、理論の検証実験として、簡単な規則的な動作の赤外線動画識別を行った。

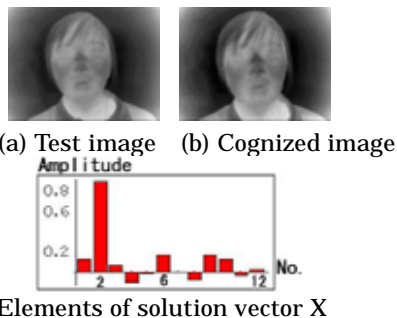


Fig. 1 Example of infrared dynamic images cognition by means of geometrical Eigen pattern along with least squares.

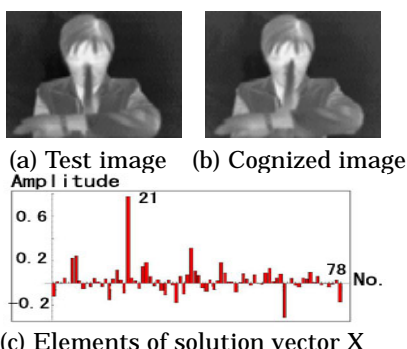


Fig. 2 Example of a succeeded infrared sign animation image cognition by means of geometrical Eigen pattern.

Fig.1(a)と 1(b)にそれぞれテスト画像と式(4)によって識別されたデータベース中の画像例を示す。Fig.1(c)は式(3)の解ベクトル X の要素の大きさを示す。Fig.1(c)から、この例では 12 個の幾何学的固有パターンからなり、入力ベクトル E_x と最も一致する固有ベクトルは式(2)の係数行列 C の第 1 列であることを意味する。赤外線動画の動きに制限が伴うが、ほぼ 100%近く識別された。

3.3 赤外線手話動画識別への応用

2章で述べた動画認識の一致度評価を赤外線動画手話に適用し、規則的に動くより複雑な動作の認識を試みる。常温のもとで 7 人が 10 通りと暖房環境のもとで 6 人が 10 通り（全体で 130 通り）を収録した。Fig.2 は赤外線手話動画の幾何学的固有パターンを使った認識結果で、識別に成功した 1 例である。

Fig.2 は識別に成功した 1 例を示す。全体で 130 個の赤外線手話動画に対して 106 通りの手話が正確に識別され、24 通りの手話の識別に失敗し、全体として識別率は約 82%となった。これは、暖房環境下において、部屋の温度が上昇し、識別対象である人間の熱情報が削減されるためである。換言すれば、赤外線がエネルギーを有する対象が生ずる熱分布を可視化するため、他の熱源の存在が識別率を低下するのは当然であることを意味する。部屋に熱源が無い環境下では 90%以上の識別率を得た。

以上の結果から、本手法は熱源を対象物のみが有する場合良好な識別率を得ることが可能である。

4. まとめ

本論文では、筆者らが既に報告したデジタルビデオ画像の識別をフーリエ変換と最小自乗法を併用することで成功した動画識別法を赤外線 CCD ビデオ画像へ適用した。その結果、赤外線動画識別は、環境下に識別対象以外に熱源が存在しない場合、90%以上の識別率を可能とすることを明らかにした。

以上の結果から、赤外線を使った状態監視システム、特に可動機器の熱分布のダイナミックな変化を利用した事故・破損予知を究極の目的とした機械監視システム構築の実現性が期待できることが判明した。

参考文献

- 1) 小杉山格, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之, 可視化画像の幾何学的複雑さ抽出の試み, 可視化情報学会誌, Vol. 25, No. 1 (2005) pp.67-70.
- 2) 小杉山格, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之, "画像の固有パターンに関する一考察", 可視化情報学会誌, Vol. 25, No. 2 (2005) pp.135-136.
- 3) 高翔, 小杉山格, 齋藤兆古, 堀井清之, フーリエ変換による動画の特徴抽出, 可視化情報学会誌 Vol. 26, No. 1 (2006) pp.141-144.
- 4) 高翔, 青木亮一, 齋藤兆古, 画像の幾何学的固有パターンを用いた手話識別, 第十五回 MAGDA コンファレンス, (2006) pp.66-70.