

# 画像の固有パターンと磁界認識への応用

非会員 若林 健一 (法政大)

正員 早野 誠治 (法政大)

正員 齋藤 兆古 (法政大)

## The eigen pattern of image and its application to magnetic field identification

Kenichi Wakabayashi, Non-member, Seiji Hayano, Member, Yoshifuru Saito, Member (Hosei University)

A new concept is introduced to extract the essential and distinct characteristics of the magnetic field distributions. A key idea is to calculate an eigen pattern, which can represent the characteristics of magnetic fields independent of their resolutions and space positions. The eigen pattern of a magnetic field distribution is obtained by projecting the three orthogonal magnetic field vector components at each of the space coordinates onto the  $x$ -,  $y$ - and  $z$ -magnetic field components coordinate system. Thereby, this projection is possible to remove the space coordinate information, and extract the essential vector characteristics of the target magnetic field distribution. As a result, we have succeeded in identifying and recovering the magnetic field distributions with high resolution.

キーワード：固有パターン、画像認識、磁界分布

### 1. まえがき

現代の電気電子工学においては、高周波数で動作する電子機器から放射される電磁界を考慮して設計を行わなければならない。特に、携帯電話やパーソナルコンピュータなどの機器は数多くの半導体素子で電子回路が高度に集積されており、その高度な集積化のため電子機器の検査、不良部位の特定は困難となっている。その問題の解決にあたり、磁界を利用した非破壊検査法は社会的必要性も大きい。本研究は、その一手法を提案するものである。

自然界の多くは、パネの固有振動数などに代表される固有の特性を持つ。それに対し完全な人工構築物であるコンピュータグラフィクスでは、自然界における固有値や固有ベクトルに相当する画像の不変量が存在するのだろうか。画像情報においては、人間の視覚情報処理能力を前提とした場合、画像中の不変量を感知し、対象を認識することが可能である。機械に画像中の不変量を感知させることが可能であれば、その延長線上に存在する認知も可能であろう。本論文では、画像中の不変量を自然界における固有値へ対応させ、固有パターンと呼ぶこととする。この固有パターンが完全に抽出可能であれば、人間の視覚情報処理能力を必要とする多くの作業が機械で処理可能な形態へ変わらるであろう。計算機のスクリーン ( $x, y$  直交座標) 上に表現され

る画像データは、通常、 $x, y$  直交座標上の赤、緑、青 (以下、 $R, G, B$  と略記) 画素成分から構成される。このため、画像は画像を構成する画素数、画像の  $x, y$  座標上の位置・回転角度などのハードウェアに依存する成分を持つ。このようなハードウェアに依存する性質を削減し、画像本来の性質を抽出する方法として、 $R, G, B$  直交座標系を考え、この3次元直交座標上へ  $x, y$  座標上の原画像を投影することで、画像の固有パターンを抽出する方法を提案する<sup>(1)</sup>。本論文では、固有パターンを磁界分布に適用するにあたり、磁界の  $x, y, z$  成分をそれぞれ  $R, G, B$  に対応させカラーイメージとして磁界分布を表現し、導出された画像の固有パターンの具体的応用例として、粗いサンプリングで得られた磁界分布を表す画像から詳細な画像を再現する画像の再構成問題を取り上げる。

### 2. 画像の固有パターン

**<2.1> 画像の固有パターン** ここでは、画像から固有パターンを抽出する概念を述べる。コンピュータグラフィックスで表現される画像は、スクリーンの  $x, y$  直交座標上の  $R, G, B$  画素の組み合わせである。すなわち、 $m, n$  をそれぞれ、 $x, y$  方向の画素数とすれば、画像は次式で表される。

$$\begin{aligned} \text{image} &\in \text{pixel}_{i,j}, \\ \text{pixel}_{i,j} &\in f_r(x_i, y_j), f_g(x_i, y_j), f_b(x_i, y_j) \\ i &= 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

(1)式で、 $f_r, f_g, f_b$ はそれぞれ、 $R, G, B$ 成分を与える関数であり、(2)式の条件を満足する。

$$0 \leq f_r(x_i, y_j), f_g(x_i, y_j), f_b(x_i, y_j) \leq 1, \quad (2)$$

(1)式で、画像は画素の集合で表現され、画素は  $x, y$  座標の関数で表現されるが、 $R, G, B$  直交座標系を考え、この3次元直交座標上で画像が表現されるとしよう。このとき固有パターン  $E$  は  $h(r, g, b)$  を要素として、

$$\begin{aligned} E &\in h(r_o, g_p, b_q) \\ r_o &\in f_r(x_i, y_j), g_p \in f_g(x_i, y_j), b_q \in f_b(x_i, y_j) \\ o &= 1, 2, \dots, R_m, \quad p = 1, 2, \dots, G_m, \quad q = 1, 2, \dots, B_m \end{aligned} \quad (3)$$

(3)式の形で画像は表現できる。ここで、(3)式中の  $o, p, q$  はそれぞれ、 $R_m, G_m, B_m$  を最大値とする整数であり、各色の階調数を意味し、固有パターンのデータ量を決定する。このとき固有パターンは  $R_m \times G_m \times B_m$  個のデータから成る配列を形成する。また、関数  $h(r, g, b)$  は、

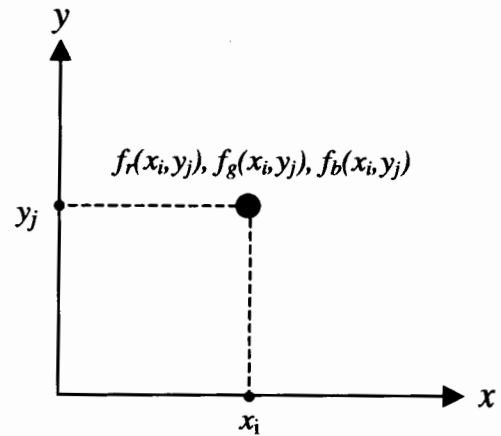
$$0 \leq |h(r_o, g_p, b_q)| \leq 1 \quad (4)$$

を満足するものとする。(4)式は、固有パターンの画素数依存性を低減する。ここでは、関数  $h(r_o, g_p, b_q)$  の初期値はすべてゼロとし、座標値  $(r_o, g_p, b_q)$  が与えられる毎に関数値は、

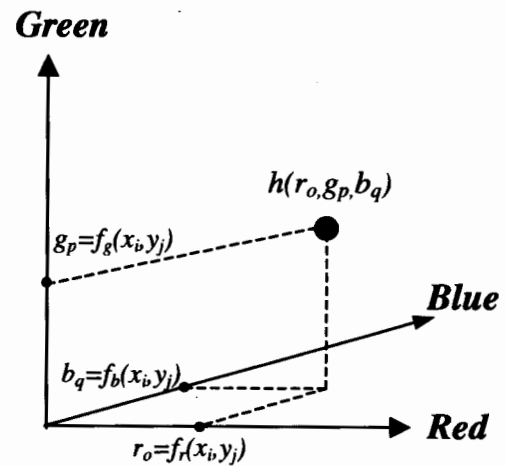
$$h(r_o, g_p, b_q) = h(r_o, g_p, b_q) + 1 \quad (5)$$

と加算される。すべての座標値について投影が終了した時点で、(4)式を満足する形へ最大値で正規化する。図1に、画像を  $x, y$  直交座標系から  $R, G, B$  直交座標系へ投影する概念図を示す。

**<2.2> 磁界分布の可視化** 固有パターン抽出の概念を磁界分布へ適用するため、磁界分布を可視化することを考える。磁界ベクトルの各直交成分が  $x, y, z$  方向3成分について得られている場合、それら  $x, y, z$  方向成分をそれぞれ  $R, G, B$  成分に対応させることで画像として表現することができる。この場合、(2)式の条件を満たすように各成分の最大値を1に正規化する必要がある。平面状コイルに交流電流を通じ、サーチコイルにより測定された磁界の  $x, y, z$  方向成分、およびそれらの各色を成分とした画像を図2に示す。このようにして、可視化された画像から固有パターンを抽出する。



(a) Screen coordinate



(b) RGB coordinate

図1 固有パターン抽出の概念図

Fig. 1 Concept to extract the eigen pattern from the image.

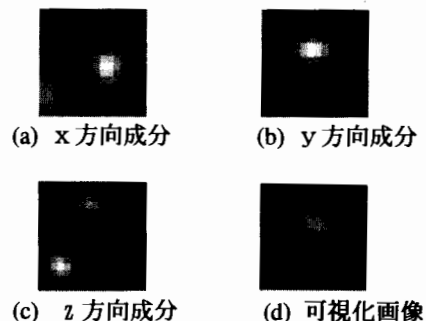


図2 磁界の各成分と可視化画像

Fig. 2 Each magnetic field component and visualized image; (a) x-component, (b) y-component, (c) z-component and (d) visualized image.

### 3. 画像のシステム方程式

本論文では、固有パターンの具体的応用として、最小自乗法を用いて低解像度画像から高解像度画像を再現する画像の再構成、認識問題を取り上げる。

**〈3.1〉 入力ベクトル** 可視化された磁界分布画像の各成分を、それぞれ  $R_m$ ,  $G_m$ ,  $B_m$  を最大値とする入力画像の固有パターン  $E_T$  へ変換する。

$$E_T \in h_T(i, j, k) \quad (6)$$

$$i=1,2,\dots,R_m, \quad j=1,2,\dots,G_m, \quad k=1,2,\dots,B_m$$

このとき、入力ベクトル  $Y$  は、 $E_T$  の要素を一列に並べた、 $R_m \times G_m \times B_m$  次の列ベクトルとなる。

$$Y = [h_T(1,1,1), h_T(2,1,1), \dots, h_T(R,1,1), \\ h_T(1,2,1), h_T(1,3,1), \dots, h_T(1,G,1), h_T(1,1,2), h_T(1,1,B), \dots, \\ h_T(R,G,B-1), h_T(R,G,B)]^T \quad (7)$$

**〈3.2〉 システム行列**  $p$  個のコイルが生成する磁界分布画像をデータベース画像とし、データベース画像の固有パターン  $C_D$  を考える。

$$C_D^{(n)} \in h_D^{(n)}(i, j, k) \quad (8)$$

$$i=1,2,\dots,R_m, \quad j=1,2,\dots,G_m, \quad k=1,2,\dots,B_m, \\ n=1,2,\dots,p$$

(7)式と同様に、システム行列の  $i$  番目のベクトルは(9)式で与えられる。

$$d^{(i)} = [h_D^{(i)}(1,1,1), h_D^{(i)}(2,1,1), \dots, h_D^{(i)}(R,1,1), \\ h_D^{(i)}(1,2,1), h_D^{(i)}(1,3,1), \dots, h_D^{(i)}(1,G,1), h_D^{(i)}(1,1,2), h_D^{(i)}(1,1,B), \dots, \\ h_D^{(i)}(R,G,B-1), h_D^{(i)}(R,G,B)]^T \quad (9)$$

結局、システム行列  $D$  は(10)式で与えられる。

$$D = [d^{(1)}, d^{(2)}, \dots, d^{(p)}] \quad (10)$$

**〈3.3〉 システム方程式** システム方程式は、(11)式のように書くことができる。

$$Y = DX \quad (11)$$

通常、データベース数  $p$  よりも、固有パターンの要素数、すなわち  $R_m \times G_m \times B_m$  の方が大きいため、システム行列は縦長となり、最小自乗法を適用することができる<sup>(2)</sup>。

最小自乗法を用いて、解ベクトル  $X$  は(12)式で求めることができる。

$$X = [D^T D]^{-1} D^T Y \quad (12)$$

**〈3.4〉 画像の再構成** (11)式のシステム方程式は、入力画像の固有パターンが、解ベクトル  $X$  の要素を重みとしたデータベース画像の固有パターンの線形結合で表すことができることを意味する。固有パターン空間で得られた解ベクトル  $X$  ( $w_1, w_2, \dots, w_p$ ) を用いて、画像の再構成を行う。再構成画像  $V$  は、(8)式のデータベース画像を用いて(13)式で与えられる。

$$V_i = \sum_{i=1}^p w_i C_D^{(i)} \quad (13)$$

もし、解ベクトルの第1番目の要素  $w_1$  が1で他の要素が全てゼロならば、再構成された画像はデータベースの1番目の画像と同一であることを意味する。

### 4. 画像の再構成

**〈4.1〉 データベース画像** 図3は、シミュレーションおよびサーチコイルを用いて実際に測定された、データベースとなる15個の磁界分布を示す。解像度は  $16 \times 16$  画素である。図3の画像から抽出された固有パターンを並べて最小自乗法におけるシステム行列を作成する。

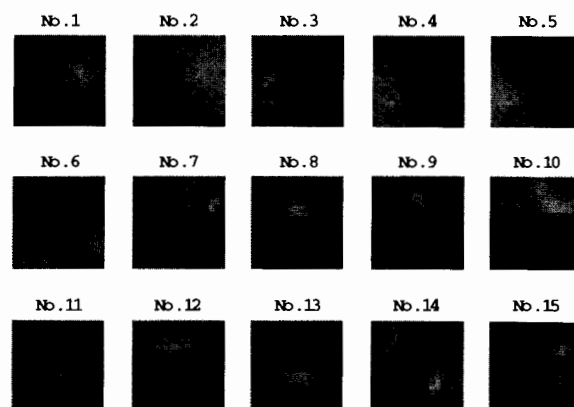


図3 データベース画像

Fig. 3 Database images.

**〈4.2〉 入力画像** 図4には、図3のデータベース画像から作成した5個の入力画像と、その磁界分布を示す。各入力画像は、縦方向もしくは横方向に圧縮してある。図4のNo. 1の画像は、 $8 \times 8$  画素まで圧縮している。これらの画像から、固有パターンを抽出し入力ベクトルを作成する。これらは、測定間隔の粗い実験で得られる磁界分布を想定している。

**〈4.3〉 最小自乗解** データベース画像、入力画像から、(12)式を用いて解ベクトル  $X$  を求め、(13)式により画像の再構成を行う<sup>(3)(4)</sup>。図5に、再現された画像と認識された供試コイルを示す。

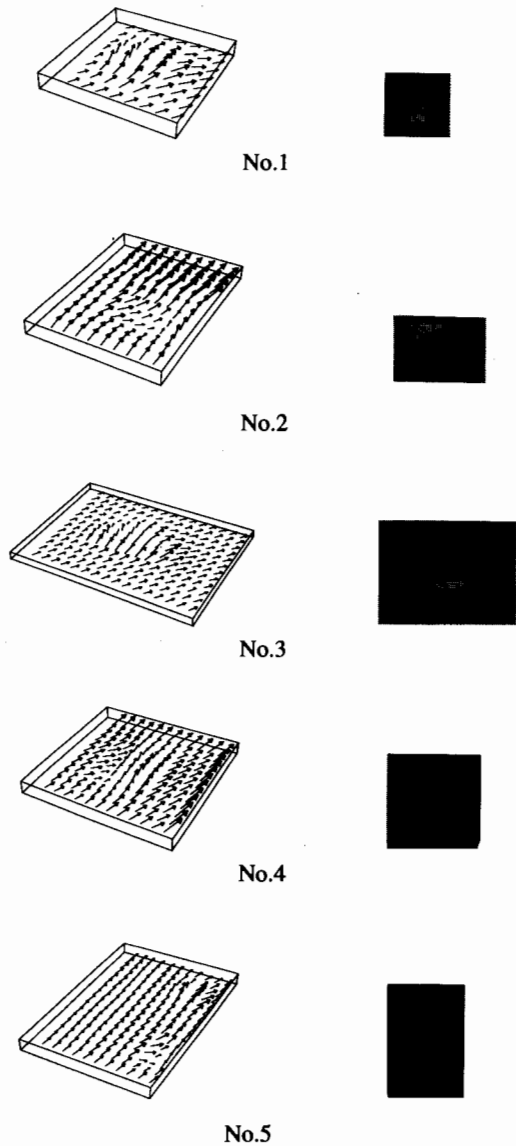


図4 入力画像(右)とその磁界分布(左)  
Fig. 4 Visualized input images (right column) and magnetic field distributions (left column).

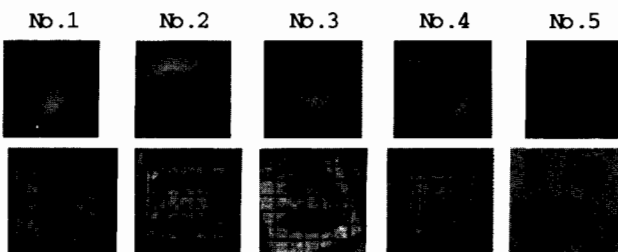
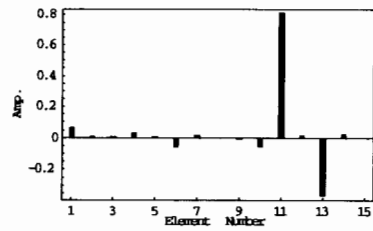
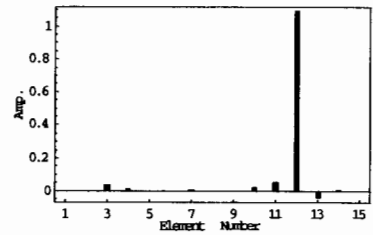


図5 再現された画像(上段)と  
認識された供試コイル(下段)  
Fig. 5 Recovered images (upper row) and identified coils (lower row).

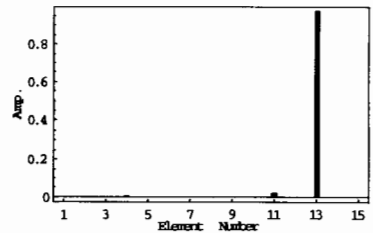
また、得られた画像の妥当性を吟味するために、それぞれの解ベクトルの要素を図6に示す。



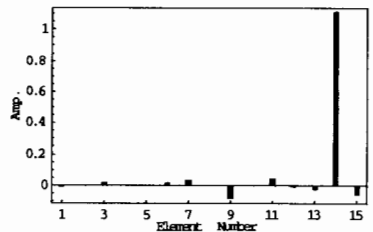
(a) No.1の画像を構成する要素



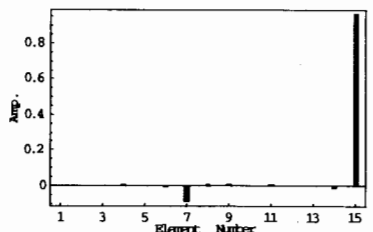
(b) No.2の画像を構成する要素



(c) No.3の画像を構成する要素



(d) No.4の画像を構成する要素



(e) No.5の画像を構成する要素

図6 解ベクトルの要素

Fig. 6 The elements of solution vector;  
(a) No.1, (b) No.2, (c) No.3,  
(d) No.4, (e) No.5  
((a)-(e) are the Nos.1-5 of the input image, respectively).

図6の解ベクトルで最大値を取る要素から、供試コイルを識別した。図6の解ベクトルの要素では、いずれの画像も正解の画像の番号が支配的であり、得られた解の妥当性が確認できる。図4におけるNo.1の画像では、データベース画像に比べ画素数は1/4にまで減少しているために、解ベクトルは複数個の非ゼロ要素から成る。したがって、他の画像の影響があるものの、精度よく再現されており磁界の固有パターンが効率良くその特徴を抽出していることがわかる。

## 5. まとめ

本論文では、画像を構成する画素数、画像のスクリーン $x, y$ 座標上の位置・角度などのハードウェアに依存する性質を削減するため、カラー画像の赤、緑、青の各成分が構成する $R, G, B$ 直交座標系を考え、この3次元直交座標上へ $x, y$ 座標上の原画像を投影することにより画像の固有パターンを抽出する方法を提案した。

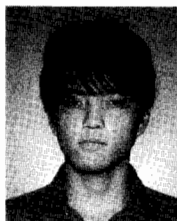
固有パターンの具体的な応用として、低解像度磁界分布画像から高解像度の磁界分布画像を再構成・認識する問題を最小自乗型逆問題として解いた。その結果、画像の固有パターンは画像の画素数・位置に対する依存性を大幅に削減した画像本来の情報を有することを示した。本稿の例題では、低解像度の入力画像をデータベースの高解像度画像の中から識別することができた。このことは測定された磁界分布から特定の電子回路素子が探査可能であることを示唆し、電気電子機器の非破壊検査の一方法として期待できることを意味する。

(平成11年12月20日受付, 平成12年7月6日再受付)

### 文 献

- (1)若林健一、早野誠治、斎藤兆古、國井利泰、堀井清之、佐久間正剛:「画像の固有パターンと磁界分布解析への応用」、電気学会マグネティックス研究会資料、MAG-99-142、1999
- (2)G. Strang, "Linear Algebra and Its Applications", 1976, Academic Press, Inc.
- (3)高橋広幸、早野誠治、斎藤兆古、國井利泰:「データベース型逆問題解析法へのウェーブレット変換応用」、第27回可視化情報シンポジウム講演論文集、1999
- (4)K. Wakabayashi, "Eigen Pattern of the Magnetic Field and Its Application to the Nondestructive Inspections", Digest of the Joint Seminar '99, Hokkaido University, 1999

若林 健一 (非会員) 1976年5月18日生。1999年3月法政大学工学部電気電子工学科卒業。現在、同大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程在学中。主として電磁界の可視化に関する研究に従事。



早野 誠治 (正員) 1947年7月6日生。1977年3月法政大学大学院工学研究科修士課程修了。同年同大学助手、1993年同専任講師、1996年同助教授、現在に至る。電気磁気学の講座を担当。主として、計算電磁力学および磁化特性のモデリングに関する研究に従事。工学博士。IEEE, 応用磁気学会, 日本生体磁気学会, 日本AEM学会会員。



斎藤 兆古 (正員) 1946年7月24日生。1975年3月法政大学大学院工学研究科博士課程修了。同年同大学助手、1976年同講師、1978年同助教授、1987年同教授、現在に至る。主として、計算電磁力学、および高周波変圧器に関する研究に従事。工学博士。International Journal of Applied Electromagnetics in Materials, Editorial Board. IEEE, 電子通信情報学会, 日本応用磁気学会, 日本生体磁気学会, 日本AEM学会, Electromagnetics Academy (MIT) 会員。

