

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

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

野嶋 悟士, 齋藤 兆古
Satoshi Nojima, Yoshifuru Saito

法政大学大学院工学研究科電気工学専攻

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. 結 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材である。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 1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。

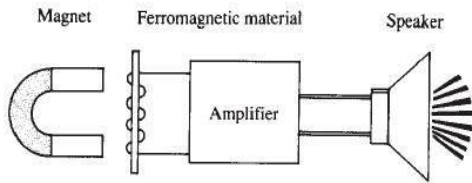


Fig.1 Barkhausen signal generation.

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。

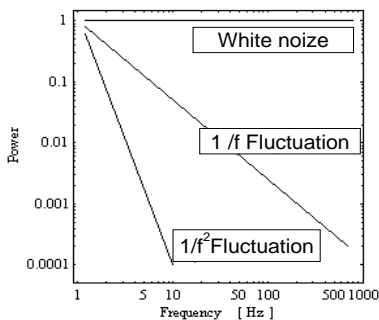


Fig.2 Typical fourier power spectrum.

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。

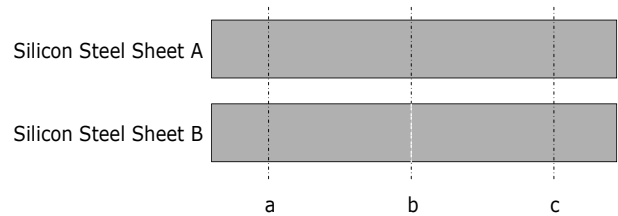


Fig.3 Tested materials.

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。

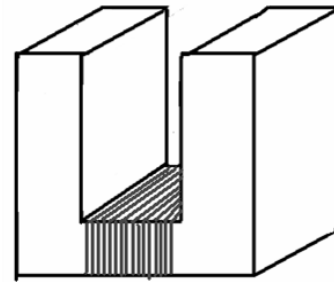
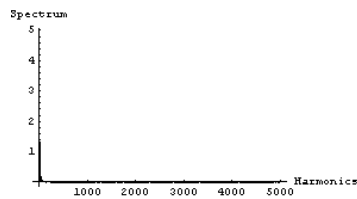


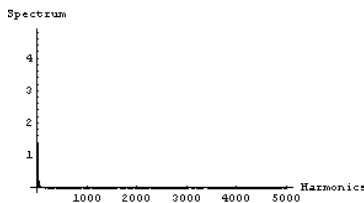
Fig.4 U-shaped ferrite core.

3.2 実験結果

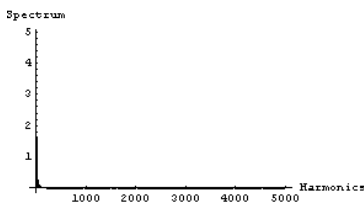
環境ノイズの位相は変化する。しかし、その周波数成分の振幅は変化しないと仮定して、バルクハウゼン信号のパワースペクトラムから空芯のサーチコイルに誘起する環境ノイズ電圧のパワースペクトラムを差分して環境ノイズを削減した。珪素鋼板 A、B それぞれ上の点 a、b、c の合計 6 点に於けるバルクハウゼン信号のパワースペクトラム対周波数特性を Figs.5、6 で、互いの相関係数は 0.98 以上でありフーリエスペクトラムのみでは両者の識別が困難である。



(a)Point a

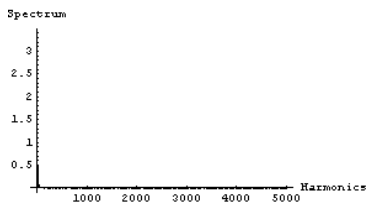


(b)Point b

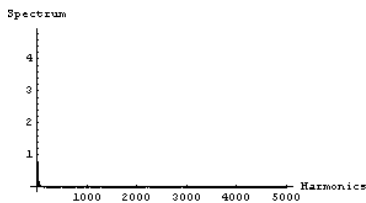


(c)Point c

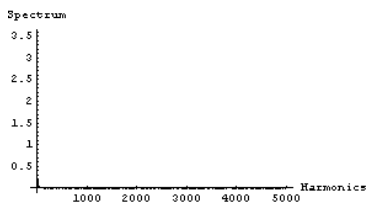
Fig.5 Fourier power spectrum of sample A.



(a)Point a



(b)Point b

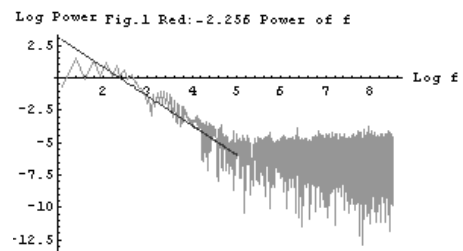


(c)Point c

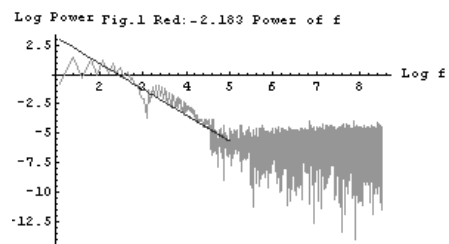
Fig.6 Fourier power spectrum of sample B.

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。

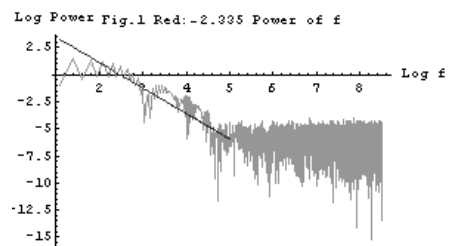
Figs.7、8 より珪素鋼板 A は、応力が加わっていないため、多少の固有差はあるが、全ての点でほぼ様な揺らぎ周波数特性を持つことがわかる。他方、珪素鋼板 B では、応力が加わっている b 点のみ明らかに他の 2 点 a、c とは異なる揺らぎ周波数特性を持つことがわかる。Figs.9、10 から判るように、高周波領域においては何れの供試材料に於ける測定点でも揺らぎ周波数特性に大きな差異は見られない。



(a)Point a Gradient:-2.256

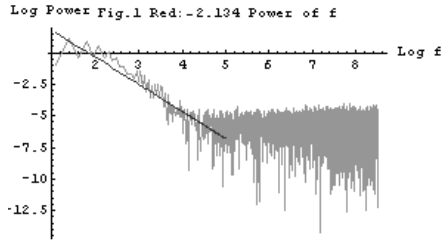


(b)Point b Gradient:-2.183

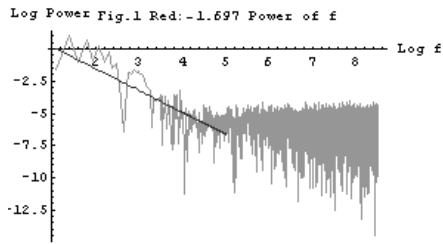


(c)Point c Gradient:-2.335

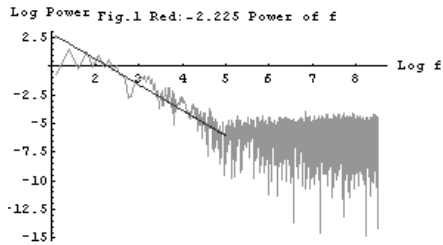
Fig.7 Gradient of low frequency ranges calculated by 1st order least squares of silicon steel sheet A.



(a) Point a Gradient: -2.143

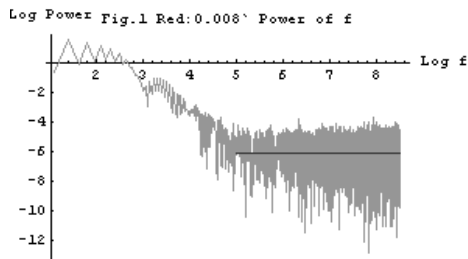


(b) Point b Gradient: -1.697

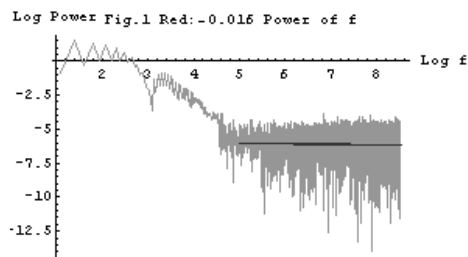


(c) Point c Gradient: -2.225

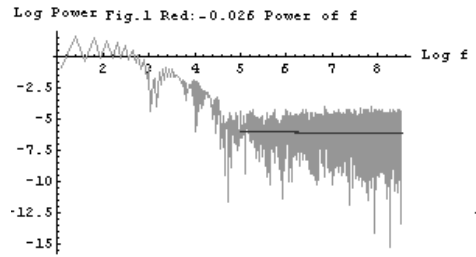
Fig.8 Gradient of low frequency ranges calculated by 1st order least squares of silicon steel sheet B.



(a) Point a Gradient: 0.008

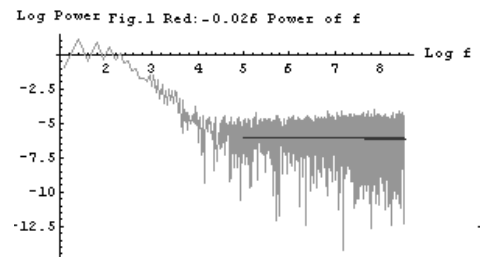


(b) Point b Gradient: -0.016

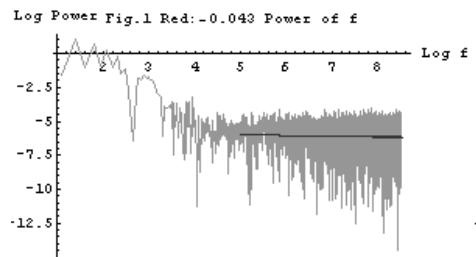


(c) Point c Gradient: -0.026

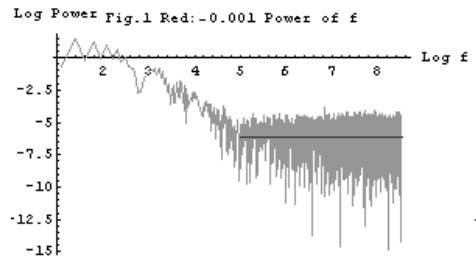
Fig.9 Gradient of high frequency ranges calculated by 1st order least squares of silicon steel sheet A.



(a) Point a Gradient: -0.026



(b) Point b Gradient: -0.043



(c) Point c Gradient: -0.001

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

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。

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