

# ウェーブレット変換を用いた差動磁気センサーの可視化信号処理

河内 裕記、早野 誠治、斎藤 兆古(法政大学工学部)  
國井 利泰(法政大学計算科学研究センター)

## Visualizing Processing of a differential Magnetic Sensor Signals By the Wavelets Transform

H.KOCHI, S.HAYANO, Y.SAITO, and T.L.KUNII (Hosei Univ.)

### Abstract:

This paper proposes a vectorized signal visualization method based on a multi-resolution analysis of the discrete wavelets. We apply our approach to a signal processing of a differential type magnetic position sensor for the metallic objects. At first, to derive a frequency domain information, we apply a conventional FFT analysis to the sensor output signals. Second, we apply a wavelet transform to the sensor output signals. After expanding the sensor output signals into a multi-resolution form, we comprise a series of the signal vectors by combining the low level on and off loaded signals. As a result, we have succeeded in visualizing the no-load and target reaction output signals. Thus, it is revealed that our vectorization methodology based on the wavelet analysis may become one of the distinguished methodologies for a signal processing technique.

**Keywords:** Wavelet transform, Vectorization, Magnetic sensor, Signal processing

### 1. まえがき

磁気センサーには、大きく分けて材料の特性を利用した、いわゆる、ホールセンサーのように物性応用に基づく形式とコイルを巻いて作成するコイル形式へ分類される。ホールセンサーは、AV機器のみならず、コンピュータで代表される映像情報処理機器へ広範に使われている。他方、コイル形式は、ECT (Eddy Current Testing) 応用などで使用される代表的磁気センサーであり、原子炉の熱交換器を始め多くの金属構造物に対する非破壊検査に使われている。コイル型磁気センサーの中で、差動コイル型磁気センサーは、出力信号が直接差動コイルで微分演算されるため、信号処理用電子回路への依存性が低く、且つ、高感度である。しかしながら、得られる信号が微分演算処理を受けているため、信号波形の解析に一定の習熟度を必要とする。特に、磁界を発生する励磁電流の周波数が広範囲に跨るパルス励磁は、センサーの検出感度が向上する反面、出力信号波形が複雑となる。

本論文は、差動コイル型磁気センサーのパルス励磁に

伴う複雑な出力波形信号解析へウェーブレット変換を採用する方法を提案する。差動コイル型磁気センサーの出力信号は時間領域の1次元信号であるが、ウェーブレット変換の多重解像度解析を行うことで3次元的可視化情報へ変換され、その結果、本質的な出力信号の特徴が容易に抽出可能となることを報告する。また、信号処理の常套手段であるフーリエ変換法と比較検討し、その結果、ウェーブレット変換による可視化情報処理法は、フーリエ変換法と併用することでより広範な応用が期待できる手法であることも併せて報告する。

### 2. 差動コイル型磁気センサーの信号処理

#### 2.1 差動コイル型磁気センサーの動作原理

差動コイル型磁気センサーの構成を図1に示す。図1で、上下両端のコイルは直列接続され、励磁電流を通电することで軸方向へ流れる磁束を形成する。他方、内側にギャップを挟んで対向する上下のサーチコイルは差動接続され、両者を共通に同一磁束が貫いた場合、出力電

圧は生じない。しかし、サーチコイル間の中心からずれた位置にアルミなどの導体が存在すると、導体に生ずる渦電流の磁界が上下のサーチコイルに平等に鎖交せず、差動接続されたサーチコイルに電圧が誘起する。従って、差動コイルに誘起する電圧を測定すれば、軸上の導体の位置が検出できる。これが磁気差動コイル位置センサーの原理である[1]。

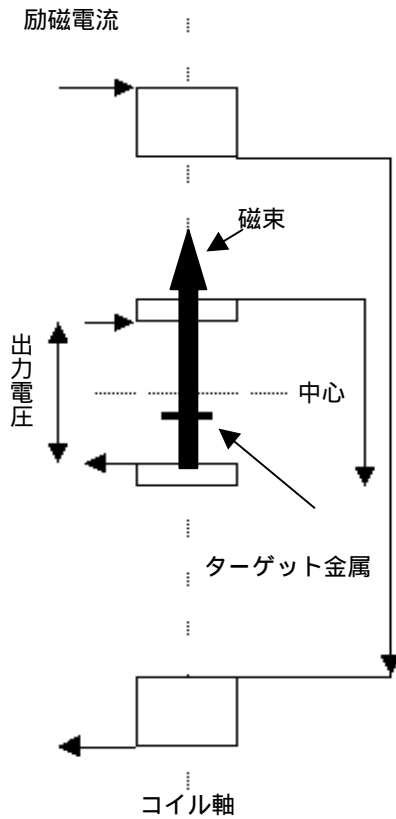


Fig.1. Schematic diagram of the differential coils magnetic sensor

## 2.2 実験装置の諸定数

実験に用いた差動コイル型磁気センサー及び測定ターゲットの諸定数を表1に示す。励磁コイルは上下同一仕様のコイルを直列で接続し、サーチコイルは上下同一仕様のものを差動接続とした。

Table.1. Various constants of the differential coils magnetic sensor

励磁コイル	コイル直径：40mm 導線の直径：0.6mm 巻き数：100回(上下同一仕様)
サーチコイル	コイル直径：40mm 導線の直径：0.4mm 巻き数：20回(上下同一仕様)
ターゲット	直径20mmのアルミ球

## 2.3 差動コイル型磁気センサーの出力信号

図2(a)にターゲット金属が存在しない場合の最大値で正規化したパルス応答出力信号を示す。本来は、差動コイル出力電圧はゼロであるべきであるが、励磁・サーチコイル、何れも完全に同一仕様で機械的製作が不可能であるため、図2(a)に示す出力信号が生ずる。図2(b)は図1の中心からコイル軸上2cmの位置にアルミ球がターゲット金属として存在する場合の出力信号である。明らかに、両者の信号波形は異なる。この相違波形を抽出し可視化することが本論文の目的である。

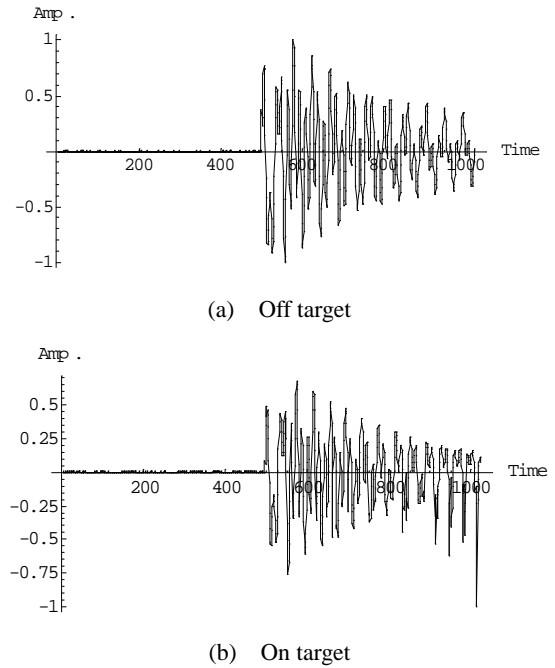


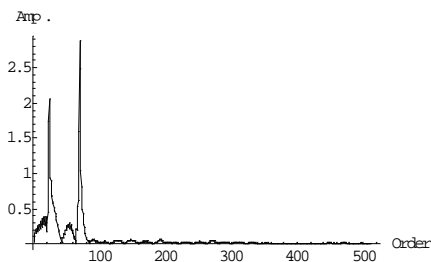
Fig. 2. Sensor out signal waveforms, (a)On target, (b)Off target

## 2.4 フーリエ解析

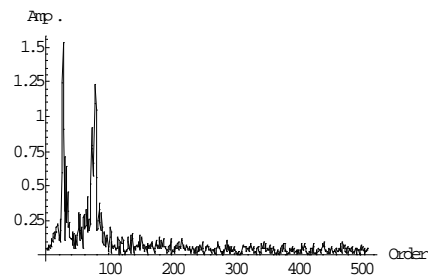
図3にセンサー出力信号のフーリエスペクトラムを示す。図3(a)は対象金属が存在しない場合の出力信号のフーリエスペクトラムであり、このフーリエスペクトラムは大きく分けて、2個の周波数成分からなることがわかる。センサー出力は電圧として測定されているため、これは、明らかに左右外端部に位置する励磁コイルの共振周波数が異なるためである。また、ターゲットが存在しない場合、共振周波数が低いスペクトラムの振幅は共振周波数が高いスペクトラムよりも小さい。図3(b)はターゲットが中心からコイル軸上2cmの位置に存在する場合の出力信号のフーリエスペクトラムであり、ターゲット金属が存在する場合、共振周波数が低いスペクトラムの振幅は共振周波数が高いスペクトラムよりも大きい。これは、ターゲットに渦電流が流れ、この渦電流による磁束は加わる磁束を打ち消す方向であるため、ターゲットに近いサーチコイルの誘起電圧が低下したためである。すなわち、図1の内側に対向して存在するサーチコイルで、上

方のサーチコイルは巻数が若干少なく共振周波数が低い、下方のサーチコイルは巻数が上方のサーチコイルより多く共振周波数が高いことを意味する。

図4にターゲットが存在する場合のフーリエスペクトラムからターゲットが存在しない場合のフーリエスペクトラムを引き算して得られたターゲットに起因するセンサー出力信号のフーリエスペクトラムを示す。明らかに、図3(a)の共振周波数の高いスペクトラムを減衰する周波数成分が大きい。従って、図1の下方のサーチコイルはターゲットに接近しているため、共振周波数が高く、ターゲットの存在を大きく反映した出力を与える。



(a) Off target



(b) On target

Fig.3. Fourier spectrum,  
(a)Off target,(b)On target

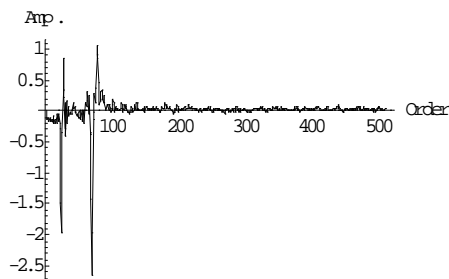
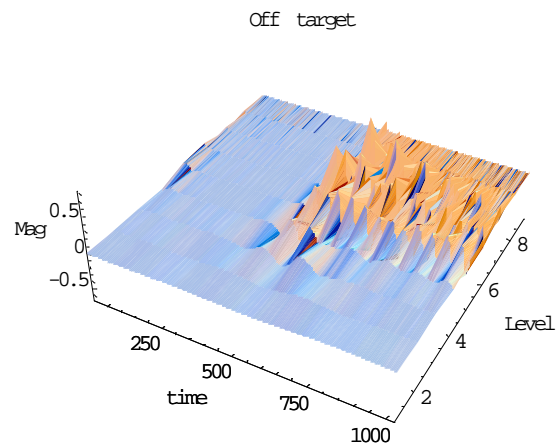


Fig.4. Fourier spectrum caused by a target

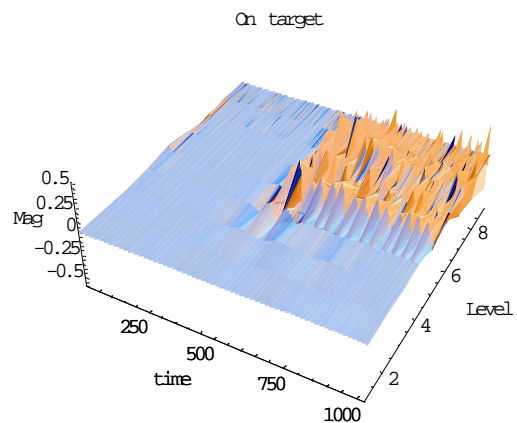
## 2.5 ウェーブレット多重解像度解析

図5に図2の信号をドビッシーの8次基底を用いてウェーブレット変換を行い、その結果を用いて多重解像度解析を行った結果を示す。図5からターゲットが存在する場合としない場合の相違部分を把握するのは難しい。これは、時間・周波数（レベル）に跨った情報であるた

め、同時に表現される情報量が過多となることに起因する[2,3]。



(a)Off target



(b)On target

Fig.5. Wavelet multi-resolution analyzed result,  
(a)Off target,(b)On target

## 2.6 ウェーブレットベクトル化解析

図3,4のフーリエ解析の結果から、対象金属の存在はサーチコイルの共振周波数近傍の比較的低周波数領域に存在することがわかっている。このことから、対象金属が存在しない場合と対象金属の存在に起因する出力信号波形、それぞれのウェーブレット多重解像度解析結果で、レベル1から4までを合成して得られる波形を考え、同一時間における前者（対象金属が存在しない場合）を縦成分、後者（対象金属の存在に起因する出力）を横成分とする2次元ベクトルを時間軸に沿ってプロットした一連のベクトルを図6に示す。図6で、縦軸方向はターゲットが存在しない場合の出力信号であり、横軸方向はターゲットの存在に起因する出力信号であるから、両者のベクトル和は近似的にターゲットが存在する場合の出力信号に等しい。図6から、最初はターゲットが存在しない場合と同じ信号が出力されるが、この信号に続いてター

ゲットのリアクション信号が大きく現れ、つづいてターゲットが存在しない場合の信号、ターゲットのリアクション信号と交互に出力されることがわかる。また、パルス応答にも拘らず、センサー本来の出力はセンサーコイルの共振周波数近傍の周波数を持つ比較的きれいな正弦波状波形となることが判明した。

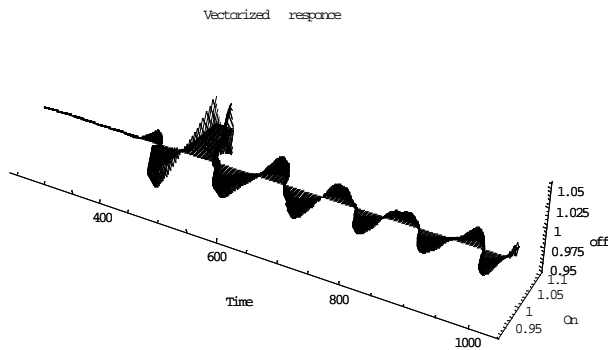


Fig.6.Vector sensor output signal

### 3 まとめ

本論文では、差動コイル型磁気センサーに関する動作原理を述べた後、機械的工作精度に起因する誤差信号、そしてパルス応答として得られる複雑な減衰振動波形の例を示し、誤差信号とパルス応答信号へフーリエ変換を適用し、対象金属の存在に起因する信号周波数成分を抽出した。その結果、コイルの機械的工作精度はコイルの共振周波数として出力信号へ反映し、対象金属中に流れる渦電流の影響はサーチコイルの共振周波数近傍の出力信号に大きく反映することを示した。また、ウェーブレット変換の多重解像度解析結果を用いてセンサー出力信号波形のベクトル化表現法を提案した。その結果、出力信号はターゲットが存在しない場合と同じ信号から始まり、続いてターゲットのリアクション信号が大きく現れ、以後、交互にターゲットが存在しない場合の信号とターゲットのリアクション信号が出力されることを見出した。また、パルス応答にも拘らず、センサー本来の出力はセンサーコイルの共振周波数近傍の周波数を持つ比較的きれいな正弦波状波形となることを明らかにした。

### 参考文献

- [1] 河内裕記、"差動コイル型磁気位置センサーの開発、" 1998年度法政大学卒業論文
- [2] 斎藤兆古、"ウェーブレット変換の基礎と応用"、朝倉書店 1998年5月
- [3] 緑川洋一、早野誠治、斎藤兆古、"ウェーブレット変換によるノイズフィルタ評価の検討"、電気学会論文誌 A、Vol.117-A、No.2、128-133、(Feb.1997)