

# 磁気ばねモデルにおける高次スペクトル解析

## およびモデル化検討

○竹内 幸司      松本 宏行      大石 久己      山川 新二  
(工学院大)      (ものづくり大)      (工学院大)      (工学院大)

Higher order spectral analysis in the magnetic spring model and modeling examination

Kouji TAKEUCHI    Hiroyuki MATSUMOTO    Hisami OHISHI    Shinji YAMAKAWA  
(Kogakuin Univ.)    (Institute of Technologists)    (Kogakuin Univ.)    (Kogakuin Univ.)

今回の報告は、磁気ばねモデルにおける実験モデルを対象として高次スペクトル解析を行い、変位における多項式モデルの検討を行った。振幅に依存した非線形特性（ソフトばね）特性などの特徴を実験解析により明らかにした。

**Keywords:** 非線形振動、非線形解析、振幅依存性、周波数特性

### 1. はじめに

本研究では、実験働時を想定して不規則入力における非線形振動系の解析および検討を行うものである。非線形特性は磁気による反発特性に注目して実験モデルを製作した。高次スペクトル解析を用いることにより、統計的に非線形特性を推定する方法および有効性を提示した。振幅に依存した非線形特性（ソフトばね）を推定し、主共振を中心として高調波振動および分数次振動などのお互いに従属する特性もバイスペクトル解析により把握することが可能であることを実験的に示した。最後に、この振動系における非線形パラメータを実験的に推定し、ランダムデータにおける変動幅を考慮した等価な非線形特性を検討した。以下、報告を行う。

### 2. 高次スペクトル

高次スペクトルは、元々は高次キュムラントの多重フーリエ変換として定義される。実際の計算では、データの対象性や計算時間の短縮などを考慮して、フーリエスペクトルの高次積で算出することが一般に多い。また、これらのデータ処理については、前処理やウィンドウを掛けたりなどの統計的なデータ処理を行い、精度良くかつ統計的な誤差を考慮して算出することが特に重要である。

また、高次元のデータ処理となるので、結果を図示化する場合については、必要とする周波数間の関係を見定め、その周波数成分間を含む断面図などを適宜選択して、データの低次元化を

図ることが必要である。今回の報では、高次スペクトルの一つである「バイスペクトル」について取り上げる。

バイスペクトルとは、「二つの周波数のスペクトル」という意味である<sup>(1)</sup>。パワースペクトルが相関関数のフーリエ変換で表されるのに比べて、バイスペクトルは、三次相関関数の二重フーリエ変換として定義される。

$$B(f_1, f_2) = \frac{1}{T} E[X(f_1)X(f_2)X^*(f_1 + f_2)]$$

ここで\*は複素共役数をあらわす。

バイスペクトルは2次の周波数スペクトルを有し、かつそれぞれの従属関係が存在するときに値に意味をもつ。上記は一つの変量のみを取り扱ったもので、オートバイスペクトル (auto bispectrum) という。また入出力相互の非線形伝達特性をあらわしたものをクロスバイスペクトル (cross bispectrum) という。その特徴の一つは、着目している周波数成分間の従属関係を示していることにある。

これは、非線形振動系における高調波、分数調波振動など主共振の周波数を中心として、他の周波数成分を含まれる場合には特に有効な手法となる。

これらの周波数成分間の特性を示すために、より厳密な形式でスペクトルを論じることが必要である。時間データを Foulrier-Stieltjes