

## 連続的微分可能な減衰モデルにおける高次スペクトル解析

○松本 宏行      大石 久己      伊藤 良介  
(ものづくり大)      (工学院大)      (工学院大院)

High-order spectral analysis in a continuously differentiable dumping model

Hiroyuki MATSUMOTO      Hisami OHISHI      Ryosuke ITOH  
(Institute of Technologists)      (Kogakuin Univ. )      (Kogakuin Univ. )

本研究は、連続的微分可能な減衰モデルを対象としている。これは、Makkar らが提唱した双曲線正接関数  $\tanh$  の重ね合わせのモデルに加えて、非対称性も考慮可能である。粘性減衰、クーロン摩擦、静摩擦・動摩擦などの減衰特性を柔軟に表現できる点が特色である。この非線形性を有する減衰モデルを対象として高次スペクトル解析を用いた特性把握の検討を行い、その有効性を提示した。

**Keywords:** 減衰、非線形振動、高次スペクトル、非線形カルマンフィルタ

### 1. はじめに

筆者らは、粘性減衰、クーロン摩擦、静止摩擦、動摩擦など複数の減衰特性を多様に表現できるモデルの有効性検討を進めている。

Makkar らが提案したモデルに着目して、この減衰モデルを対象とした。さらに、実稼働時を想定して不規則入力を受ける場合に非線形モデルの解析手法としてバイスペクトル、トライスペクトルなどの高次スペクトル解析の有効性検討を行っている。

今回の報告では、上記の減衰モデルの解説および高次スペクトル解析（トライスペクトル）の適用例を紹介する。

また、今後の展望のひとつとして、パラメータを同定する手法として非線形カルマンフィルタの一つである UKF を適用して状態量および未知パラメータを同時に推定する手法の有効性を示した。

### 2. 連続的微分可能な摩擦モデルについて

はじめに、Makkar らが提案している減衰モデル<sup>(2)</sup>について解説を行う。時間の関数である速度  $v = v(t)$  を変数とした減衰力  $F(v)$  の式を (1) 式に示す。

$$F(v) = \gamma_1(\tanh(\gamma_2 \cdot v) - \tanh(\gamma_3 \cdot v)) + \gamma_4 \cdot \tanh(\gamma_5 \cdot v) + \gamma_6 \cdot v \quad (1)$$

ここで、 $\gamma_1, \dots, \gamma_6$  の6つのパラメータで定義されており、双曲線正接関数  $\tanh(\cdot)$  で表現されている。また筆者らは、非対称特性も考慮したモデル検討を行っている。今回の報告では、対称特性に限定して検討を行っている。

特色として、クーロン摩擦特性において良く用いられる符号関数  $\text{sign}(\cdot)$  のように、符号によって、正負が切り替わるような不連続な特性を有していない。