

## 超磁歪素子を用いた高性能小型動的粘弾性センサーの開発

関根正裕\*<sup>1</sup> 正能俊之\*<sup>2</sup> 本多春樹\*<sup>3</sup> 深澤希望\*\*

### Development of a high performance compact dynamic visco-elasticity sensor applying giant-magnetostrictive materials

SEKINE Masahiro\*<sup>1</sup>, SHOUNOU Toshiyuki\*<sup>2</sup>,  
HONDA Haruki\*<sup>3</sup>, HUKASAWA Nozomi\*\*

#### 抄録

超磁歪アクチュエータを利用した粘弾性測定装置に対し、実用化と高機能化を図るための改良を行った。粘弾性解析に用いる力学モデルを実際の測定系を反映させて再構築し、解析精度を向上させた。また、様々な形態の試料に対応可能な測定治具を開発した。また試料形態に応じて設定する形状係数の決定に必要な形状値の入力を簡易化した。

キーワード：超磁歪アクチュエータ，粘弾性測定装置，力学モデル，測定治具

## 1 はじめに

前報<sup>1)</sup>において超磁歪素子を用いたアクチュエータを振動子とする動的粘弾性測定装置の開発について報告した。この装置は従来のものに比べて大幅に小型化することができ、また、低価格化も可能である。そのため、従来装置のように大学や大企業の研究開発に特化された利用法だけではなく、中小企業への普及や生産現場における品質管理用としても導入可能と期待される。本年度はこの動的粘弾性測定装置に対し、計測手段としての信頼性と実用性をさらに高めるための様々な改良を行った。本報告では代表的な改良点である粘弾性解析の力学モデルの再検討及び様々な形態の試料に対応した測定治具の開発に関して述べる。

## 2 装置

### 2.1 動的粘弾性測定装置

前報<sup>1)</sup>にて報告した動的粘弾性測定装置を用いた。図1にシステム構成を示した。

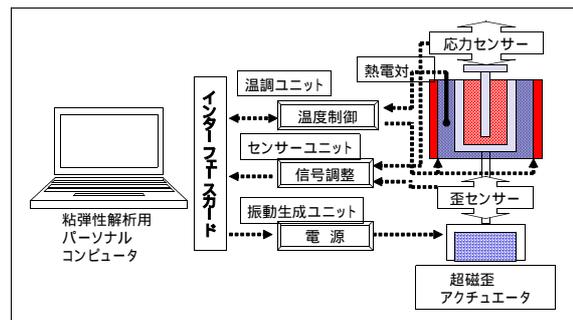


図1 粘弾性測定装置のシステム構成

この装置はパーソナルコンピュータを用いてセンサー、アクチュエータの制御及び粘弾性的解析、温度調節を行う。測定部は変位振動を生成する磁歪アクチュエータと歪センサー、応力センサーから構成され、基本的な温調機能を装備している。実際の外観は図2に示したようにコンパクトなも

\*<sup>1</sup> 北部研究所 生物工学部

\*<sup>2</sup> 北部研究所 生物工学部 (技術支援室)

\*<sup>3</sup> 電子情報技術部

\*\* (有) サンズコーポレーション

のである。

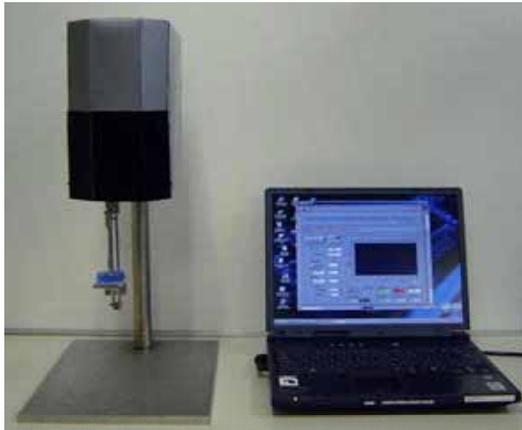


図2 動的粘弾性測定装置の外観

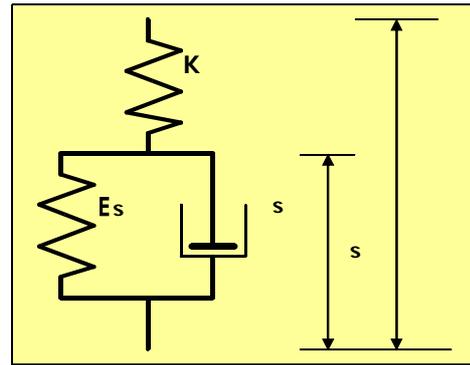


図4 動的粘弾性測定に用いた力学モデル

開発した粘弾性測定装置は所定の変位振動を加える測定方式であるが、図4に示したように試料上部に応力測定のためのロードセルを配置した測定系を形成し、このロードセル自体も弾性変形するスプリングとして作用するため、単純なMaxwell要素として解析するのは適切ではない。そこで、試料とスプリングが直列に配置された系に一定変位を加える測定方式として解析モデルの構築を試みた。直列に配置された系に変形を加えた場合、全要素に同一の応力が生じることから、試料部に加わる応力はスプリング成分、即ちロードセルで検出される応力と等しい。そのため、この測定系全体に変位を与えることは、試料部にもロードセルにより計測される応力を加えることを意味する。従って、試料部としてFoigt要素が用いられ、全体としては図3に示したスプリングとFoigt要素を直列にした3成分の力学モデルが構築され、次の関係式が成り立つ。

### 3 結果

#### 3.1 動的粘弾性解析モデルの構築

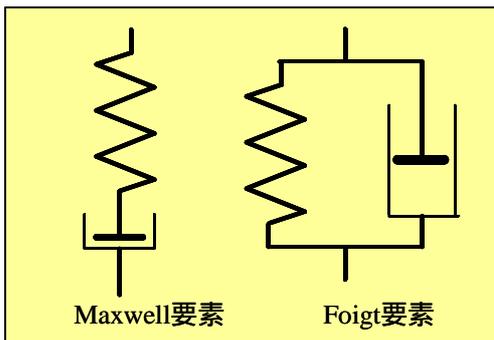


図3 粘弾性解析に用いる力学模型

粘弾性解析では、通常、図3に示したMaxwell要素あるいはFoigt要素を力学模型として用いる<sup>2)</sup>。各要素は弾性変形を持つスプリング成分と流動するダッシュポット成分を直列あるいは並列に配置した力学模型であり、測定方式により選択して用いる。変形を与えて応力を測定する場合、瞬間的な変形により生じた応力及びその緩和を評価できるMaxwell要素を用い、応力を加えて変形を測定する場合、ダッシュポット成分に起因する変形の遅れを評価できるFoigt要素を用いる<sup>3)</sup>。

$$\begin{aligned}
 &=K \cdot ( \quad s ) \quad \dots \text{ロードセル部} \\
 &=E_s \cdot s + s \cdot \frac{d s}{d t} \quad \dots \text{試料部}
 \end{aligned}$$

ただし、系全体の変位を、応力をとし、試料部の変位を $s$ とする。また、ロードセルのバネ定数を $K$ とする

この系全体に変位振動 [ $= s_0 \sin t$ ] を印加して粘弾性測定を行う場合、試料の粘弾性係数は以下のように導くことができる<sup>4)</sup>。

$$s = \left( \frac{2 \cdot \sigma_0 \cdot \sigma_0}{K \cdot \cos \theta} + \frac{\sigma_0^2}{K^2} \right)^{1/2}$$

$$\tan \theta = \frac{K \cdot \sin \theta}{(K \cdot \cos \theta - \sigma_0 / \sigma_0)}$$

$$E_s = m \cdot \frac{\sigma_0 \cdot \sin \theta + s \cdot \cos \theta}{\sigma_0 \cdot \sin \theta} \quad m: \text{形状係数}$$

$$E''_s = 2 \cdot f \cdot s = E_s \cdot \tan \theta$$

$$s = \frac{E''_s}{2 \cdot f}$$

ただし、検出される応力波形を  $[ \sigma = \sigma_0 \sin(\omega t + \theta) ]$  とし、 $\theta$  は系全体として検出される変位との位相差とする。

ここで得られる粘弾性関数は、試料部の貯蔵弾性率  $E_s$ 、損失弾性率  $E''_s$  及び、損失正接  $\tan \theta$  であり、測定時の真の振幅値  $s$  も求められる。形状係数  $m$  は測定モード及び試料形状に基づく定数である。

以上の通り、測定系を忠実に反映させ構築した解析モデルを用いることにより高精度な粘弾性解析を行うことができ、信頼性の高い粘弾性値を得ることが可能となった。

### 3.2 様々な試料形状への対応

本装置では縦振動方式を採用しているため、液

状試料に対しては剪断モードだけでなく、縦振動を加える測定も可能である。また、固形物試料に対しては、圧縮、引張りの各モードに加え、板状試料の3点支持曲げ測定モードも可能である。これらの測定に対応するために開発した各種測定治具を図5に示した。それぞれの測定モードに設定することにより、表1に示した形状値<sup>5)</sup>の入力が可能となり、粘弾性解析に用いる形状係数が自動的に計算される。

表1 形状パラメータ

測定モード	形状係数の決定に必要なパラメータ
圧縮試験	圧縮面面積、試料厚さ
引張り試験	治具間距離、試料厚さ、試料幅
剪断試験	接触面積、試料厚さ
曲げ試験	治具間距離、試料厚さ、試料幅

## 4 まとめ

測定系を反映した力学モデルを用いて粘弾性解析を行い、粘弾性値の精度を向上させた。測定治具の充実及び形状係数の自動設定により測定装置の用途を拡大させた。

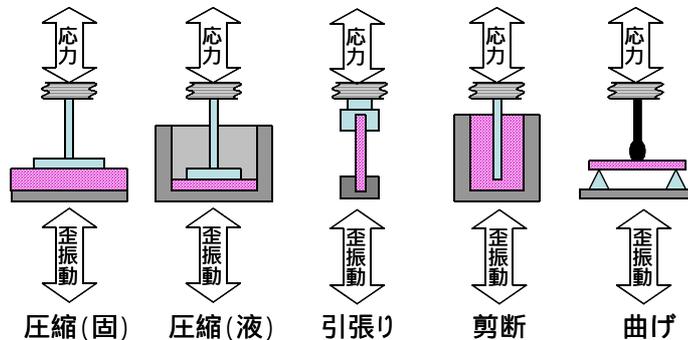


図5 各種測定モードと測定治具

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、客員研究員として指導いただいた東京大学大学院空閑重則教授に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 関根正裕他：超磁歪素子を用いた新製品の開発  
- 超磁歪素子を用いた高性能小型動的粘弾性センサーの開発、埼玉県産業技術総合センター研究報告、2、(2004)155
- 2) 小野木寛一：レオロジー要論、槇書店、(1957)
- 3) 鈴木寛一：食品物理化学、文永堂、(1996)169
- 4) 関根正裕：超磁歪アクチュエータを用いた動的粘弾性測定装置の開発及び塗料品質評価への応用、塗装工学、39、10 (2004)388
- 5) John D. Ferry：高分子の粘弾性、東京化学同人、(1971)