

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～

関根正裕*¹ 荻野重人*² 深澤 弘**

Application of Giantmagnetostrictive Materials to Test Instruments

Development of a Compact Dynamic Viscoelasticity Sensor

SEKINE Masahiro*¹, OGINO Shigeto*², HUKAZAWA Hiroshi**¹

抄録

超磁歪素子を振動子に用いた新しい動的粘弾性測定装置を開発した。超磁歪素子の磁界 - 変位特性は非線形でヒステリシスを呈するが、本装置は測定時の磁歪特性を解析して得られる磁界 - 変位関係式に従って磁界を制御することにより動的粘弾性測定に必要な正弦波歪を安定して発生できる。測定試料に周波数0.02 ~ 100Hz、振幅15 ~ 100 μ mの歪振動を加えたときの応力波形を解析することにより動的粘弾性特性値 E' 、 E'' 、 $\tan \delta$ を得ることができた。

キーワード：動的粘弾性測定，超磁歪素子，非線形，ヒステリシス，正弦波歪

1. はじめに

食品、化学、石油化学、製薬、セラミックスなどの工業プロセスにおいて、通常原材料や中間品は均質化や成形を目的として流動状態で扱われる。これらの品質特性を把握し適切に対処するのは工程管理や品質管理を行う上での基本であるが、固体材料を溶解、融解あるいは懸濁させた流動体は単純な液体ではなく、粘性と弾性を併せ持った粘弾性を呈する¹⁾。また、食品工業等では製品もゲルの形態で粘弾性を示すことが多い²⁾。これらの物性を粘度計やインストロン型引張圧縮試験機を用いた静的測定により把握するのは難しい。このような物性の評価に最も適した手法のひとつに正弦波の歪あるいは応力に対する応答を調

べて粘弾性を測定する動的粘弾性測定がある^{3,4)}。この方法は主に化学工業分野等において材料物性の評価手法として用いられているが、近年、食品や食品原料の品質評価に有効なことも明らかにされている⁵⁾。しかし、この測定では高精度な歪や応力計測が必要で装置が非常に高価になることから、大企業の研究室や大学等で行う高度な研究用途に限られ、中小企業や実際の生産現場には普及できなかった。

本研究では動的粘弾性測定の普及を目的として、磁界変化によって変形する超磁歪素子の強力な振動発振を利用した安価な小型粘弾性測定装置の開発を試みた。

2. 実験方法

2.1 粘弾性測定装置

図1に試作した装置の粘弾性測定機構の略図を示した。パーソナルコンピュータによる信号(以後制御信号と記す)により定電流電源の出力電流

*¹ 北部研究所 生物工学部

*² 電子情報技術部

** (有) サンズコーポレーション

を所定の周期波形に制御して超磁歪アクチュエータ a (モリテックス MA-50/6) を振動させ、テコを利用した増幅機構により振幅を増幅させた歪を試料 d に伝えた。試料 d の歪変位は渦電流式非接触変位センサー b (キーエンス EX201) を用いて検出し、荷重は歪ゲージ式荷重変換器 c (エアンドデイ T1-200) を用いて検出した。

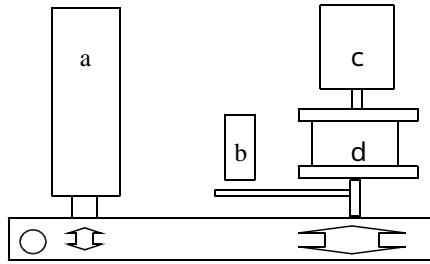


図1 粘弾性測定機構

a : 超磁歪アクチュエータ、b : 変位センサー、
c : 荷重変換器、d : 試料

信号入出力インターフェースには P C M C I A カード(ナショナルインスツルメンツ、NI6024E)を用い、入出力波形の解析・生成及び粘弾性解析を行うプログラムは LabVIEW6.1にて作成した。

3. 実験結果

3.1 正弦波信号による変位波形

定電流電源に対して出力する制御信号を正弦波の時間関数列 $V = \sin(t)$ としたときの変位波形を図2に示した。

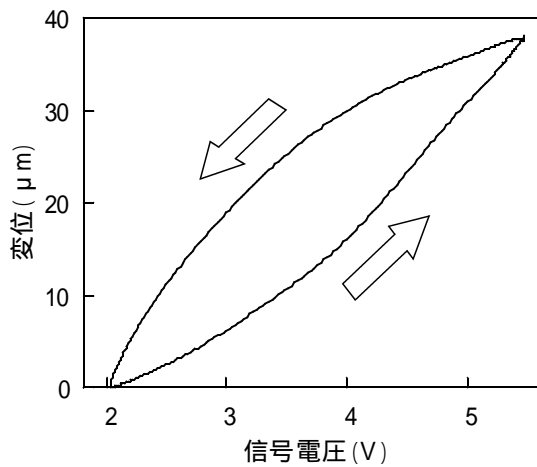


図2 正弦波信号出力時における変位波形

超磁歪素子の変形に基づく歪変位は制御信号に対して非線形であり、さらに伸張時と収縮時でヒ

ステリシスを示した。

3.2 正弦波歪生成プログラム

図2に示されるような制御信号 V と変位 δ の関係を示す近似式 $V = f(\delta)$ を非線形最小二乗法により求め、続いて正弦波形歪の時間関数 $\delta = \sin(t)$ を代入した制御信号 $V = f(\sin(t))$ を計算する正弦波歪生成プログラムを作成した。このプログラムを用いて図2の磁歪特性を解析して再構成された制御信号とその結果発生した歪変位の波形を図3に示した。歪変位はほぼ正弦波形を示し、同位相で同振幅 A の正弦波 $\delta = A \sin(t)$ との誤差分散は1%以下であった。

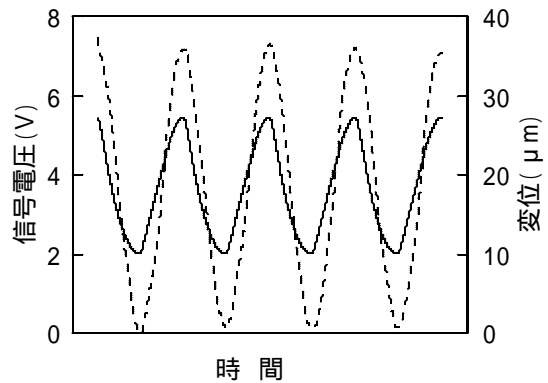


図3 再構成信号と変位波形

3.3 動的粘弾性測定

ペースト状試料に周期変位を加えて粘弾性測定を試みた結果を図4に示した。

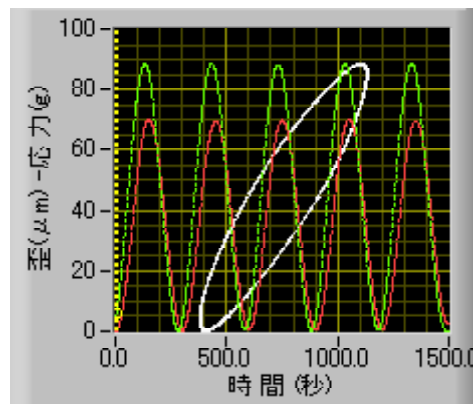


図4 歪波形と応力波形

歪波形及び応力波形とも正弦波であり、リサーチ図も正常な楕円を示した。このことから線形

領域で変位 - 応力測定が行われていることが確認され、この結果から粘弾性の解析が可能なが示された。

図5及び図6に発泡ウレタンと入歯固定ペーストの圧縮変形時動的粘弾性を示した。

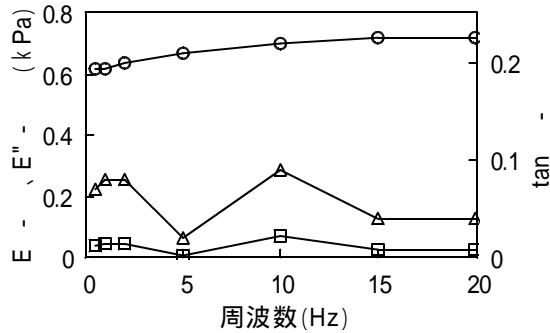


図5 発泡ウレタン粘弾性の周波数依存
室温、振幅40 μm

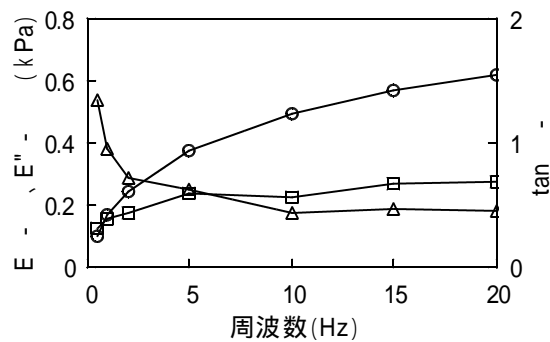


図6 入歯固定用ペースト粘弾性の周波数依存
室温、振幅40 μm

いずれもリサージュ図から線形領域で測定されていることを確認した。動的粘弾性は次式により計算した⁶⁾。

$$E' = m / \cos$$

$$E'' = m / \sin$$

$$\tan \delta = E''/E'$$

m : 試料の形状係数 (断面積/厚さ)

図5の発泡ウレタンと図6のペーストで各粘弾性の周波数曲線の形状に明らかな差があるが、特に低周波領域における周波数依存性に顕著な差がみられた。即ちペーストでは周波数の増加に伴いE'に著しい増大が観察されるが、発泡ウレタンでは同じ周波数域でも変化が小さかった。

また、これらの試料に対して、振幅15 ~ 100 μm、周波数域0.02 ~ 100Hzの範囲で同様の粘弾性測定を行い、その粘弾性の差を同様に評価することができた。

4. まとめ

超磁歪素子を振動子に用いて正弦波形の歪を発生させることが可能となり、動的粘弾性測定を行うことができた。周波数特性などを変化させた高度な測定も可能であった。

謝辞

本研究の遂行に当たり、ご指導いただいた東京大学大学院 空閑重則教授に感謝致します。

参考文献

- 1) L.E.Nielsen : 高分子と複合材料の力学的性質 (化学同人、京都)
- 2) 鈴木寛一 : レオロジー、p169、食品物理化学 (文永堂、東京)
- 3) 小野木寛一 : レオロジー要論 (槇書店、東京)
- 4) John D. Ferry : 高分子の粘弾性 (東京化学同人、東京)
- 5) 関根正裕、石内幸典、松岡和文、古澤栄作、盛俊哉、小川和雄、柴崎誠次 : デンプンのゲル分散動的粘弾性値による食品弾力性予測、食科工、48, (2001)520
- 6) Nishinari, K.: Longitudinal vibrations of high-elastic gels as a method for determining viscoelastic constants, Japan J. Appl. Phys., 15,(1976)1263