

# 四重極電磁石による電磁スピニング法を用いた粘弾性計測の要素技術開発

チームリーダー 石原進介 (京都電子工業(株)開発推進部・テクニカルエキスパート)

サブリーダー 酒井啓司 (東京大学生産技術研究所・教授)

Keyword

粘弾性計測、四重極電磁石、電磁スピニング法

タイプ 実証・実用化タイプ

開発課題名 革新的粘弾性計測法「EMS 法(Electro Magnetically Spinning)」の実用化開発

■ 参画機関: 東京大学生産技術研究所

■ 開発期間: 要素技術タイプ:平成21~23年度、実証・実用化タイプ:平成24~27年度 (予定)

## 課題概要

流体を工業的に扱う際に、粘弾性特性が重要な物性値になる。この計測には、数十年前に開発された計測方式が今でも使用されている。本開発は、新たな方法論をもとに、非接触かつ少量の試料で粘弾性を計測可能な装置の開発を目指す。この開発により、新規材料開発、希少価値の高い医療分野などへの応用が可能になるとともに、簡便に測定ができることにより、計測機会を増大させることが期待される。

## 得られた開発成果の概要

近年、粘弾性計測技術における技術革新は停滞しており、従来法では測定前の装置調整や測定後の洗浄等、測定に関わる一連の操作に測定者の熟練度が要求されている。また、試料を開放系でしか測定できない等の課題もある。本開発で実現しようとしている電磁スピニング法の粘弾性計測装置では、こうした課題の解決策を提供することができる。具体的には、測定者は試料を密閉容器に入れて装置にセットするだけで測定でき、測定後も試料容器ごと使い捨てが可能等、革新的な特長がある。これらの特長により、様々な分野で粘弾性計測を行う機会の拡大に繋がると考えられる。

東京大学の酒井啓司教授によって考案された電磁スピニング法は、次のような測定原理の粘弾性計測手法である。小型試料容器に金属球、試料を入れ、回転磁場を印加する。これ

により球内に誘起された誘導電流と磁場の間のローレンツ相互作用によってトルクが発生し球が回転する。外部磁場と球の回転速度を測定・解析することにより粘弾性計測が可能となる。これらを実現するために、要素技術開発を行い、以下のような成果が得られている。

①電磁スピニング法のキーデバイスとなる電流制御型磁場生成機構の実現

四重極電磁石方式(QEMS)を開発することにより、電氣的に制御可能な時間変動磁場の生成技術の構築に成功した。今回試作したQEMSの外観写真を図1に示す。QEMSにより、可動部のない装置にすることができ、装置の信頼性を向上させた。さらに磁場強度のフィードバック制御を用いた駆動回路により各種外乱の影響を受けない安定強磁場を実現

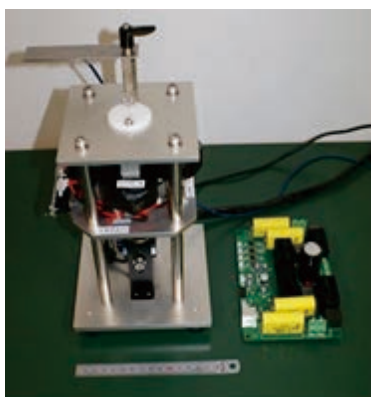


図1 QEMSの外観写真

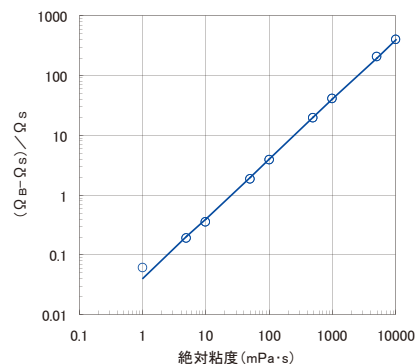


図2 検量線測定結果

し、定量性の高い計測を可能とした。また粘弾性計測装置の実用化には必須の要素となる測定試料の高精度な温度制御機構を含めたセンシング部の開発を行った。

② QEMS 回転磁場による粘度測定の実理検証

粘度既知の各種ニュートン流体標準試料に対して、外部磁場の回転速度  $\Omega_B$  を変化させ、球の回転速度  $\Omega_S$  を測定した。粘度と  $(\Omega_B - \Omega_S) / \Omega_S$  の関係を両対数目盛でグラフ化すると図2が得られる。すなわち、球の回転速度  $\Omega_S$  を測定することにより、試料粘度を算出することが可能となる。

また、QEMSでは、時間的に任意にベクトル磁場の大きさと向きを制御することが可能となったことから、従来は徐々に周波数を変化させながら測定を行っていた粘弾性スベ

クトルについて、パルス応答計測などによりごく短時間のうちに粘弾性スペクトルの全体を計測しうる多周波同時測定を試みた。デバイ型の粘弾性緩和を示す界面活性剤 (CTAB) 水溶液を試料とし、パルス状のトルクを印加した後の金属球の回転を計測し、その過渡応答から粘弾性スペクトルを求めた(図3)。得られた過渡応答波形は流動を示すダッシュポットにマックスウエル型の粘弾性緩和を示すばねダッシュポット並列系を、直列につないだ力学モデル(図4)の挙動とよく一致した。これにより緩和部分の緩和強度並びに周波数と、古典粘性部分の大きさを一度の測定で決定することが可能であることを示した。

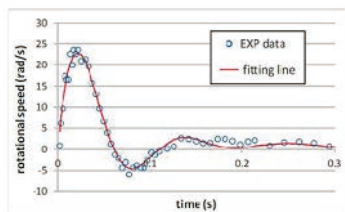


図3 球回転速度の過渡応答

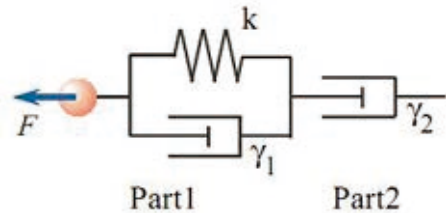


図4 ばね-ダッシュポットモデル

新たな粘弾性計測手法により、材料研究開発の現場で少量試料による計測が可能に

新しい方式の粘弾性計測手法を実現する上で必須の要素技術開発を成功させることにより、将来的に革新的な粘弾性計測装置の実現に繋がる。QEMSでは、従来法と比較して次のような優位性がある。

QEMS方式を社会に広めていくことにより、流体物性計測の現場に革新をもたらすことが可能となる。現在、研究開発を行っている技術者に労働集約的な作業を強い

ている従来法に対して、本方式のような簡便な装置を提案するインパクトは非常に大きいと期待される。最先端の材料研究開発の現場において、流動特性をより積極的に評価する機会を飛躍的に増大させることが可能となる。また医療分野における生体試料の流動特性に関する疫学データ取得、新規合成材料における物性評価の迅速化、工業製品の品質管理精度の向上など、基盤技術として幅広い社会貢献につながるものと信ずる。

表1 QEMSと従来法との比較

方式	測定操作・時間	装置可動部	密閉測定	治具洗浄	試料量
QEMS	簡単操作、短時間で測定可	なし 装置の信頼性向上	可 揮発性試料測定可	使い捨て可、 洗浄不要	数100 $\mu$ L 合成材料・生体試料も測定可
従来法	装置調整作業に 時間を要す	あり 可動部の故障・破損	不可	洗浄要	数10mL

上記成果の科学技術的根拠

【出願特許】

1. 特許願 2010-032375、「粘度測定方法および粘度測定装置」、出願人：京都電子工業 (株)
2. 特許願 2010-032376、「粘度測定装置」、出願人：京都電子工業 (株)

【発表論文等】

1. K. Sakai, T. Hirano, and M. Hosoda, "Electromagnetically Spinning Sphere Viscometer", Appl. Phys. Express, Vol. 3, pp. 016602 1-3 (2010)
2. 保田正範、倉内奈美、中村美希、平野太一、酒井啓司, "球回転型(EMS)粘度計の各種レオロジー材料計測への応用", 日本レオロジー学会誌, Vol.39, Nos. 1-2, pp.29-35 (2011)