

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 難波江 裕之

本論文は「粘弾性測定方法とその加振機構に関する研究」と題し、高精度な加振が可能な粘弾性測定装置及び粘弾性特性の同定手法と、新しい原理の電磁アクチュエータによる加振機構に関する一連の研究で得られた成果を纏めたものである。

本文は以下に示す3部・9章で構成されている。

第1章「緒言」では、研究の背景と目的について述べている。まず、一般的な粘弾性測定法について述べ、測定標準が存在しないことや測定装置の高コスト化等の問題点、特に生産管理への普及に関わる課題を提起し、これらの問題を解決するため、高精度な加振が可能かつ、力センサを用いずに測定が可能な測定装置及びこれを用いた粘弾性特性の同定手法の開発を研究目的としたことを述べている。

第I部「粘弾性測定装置」は、以下の2章から構成されている。

第2章「繰り返し制御とボイスコイルモータを用いた粘弾性測定装置」では、摩擦やガタなどの機構的な非線形性及び試料が大きく変形した際の加振波形の歪みに対して、ボイスコイルモータと繰り返し制御を組み合わせた加振システムを提案し、その原理の説明と試作機による検証について述べている。試作機による検証により、目標値通りの高精度な加振が可能なこと、また質量の推定実験及びロードセルでの測定結果との比較により、ボイスコイルモータへの印加電流を用いた推力の推定及び、それを利用した測定の妥当性を示している。

第3章「繰り返し制御を用いた粘弾性測定装置の大変形時の測定への適用」では、第2章にて、線形範囲の測定において有効性を示した繰り返し制御を用いた粘弾性測定に関して、粘弾性体を大きく変形させた際、つまり測定対象の力応答が変位に対して非線形となる場合の有効性について行った検証結果について述べている。試料を大きく変形させた際の加振精度に関して、従来手法であるオートゲインコントロールを用いた測定法との比較を行い、提案手法の有効性を示している。

第II部「粘弾性特性の同定」は、以下の3章から構成されている。

第4章「有限要素法を用いた粘弾性特性の同定」では、一様で等方性の粘弾性固体において、その完全な特性を表すのに必要な、複素ラーメ定数、複素横弾性係数、複素ヤング率（縦弾性係数）、複素ポアソン比、複素体積弾性率等の内2つのパラメータを取得する方法について、2つの試料の圧縮加振の結果から、複素ヤング率、ポアソン（複素ポアソン）比を有限要素法を用いた逆解析により求める手法を提案している。そして、本手法により求められたパラメータを用いて有限要素法により、粘弾性体の試料の加振時の力応答をシミュレーションし、この結果と同条件で実際に測定した値とを比較し、本手法により得られるパラメータを用いて実際の現象をシミュレーションすることが可能であることを確認している。また、その手法の欠点として、

有限要素法と逆解析手法を組み合わせているため、計算機への負担が大きく粘弾性特性の同定に非常に時間がかかり、多くの周波数でのパラメータの導出が必要な動的粘弾性測定では大きな問題となることを述べている。

第5章「粘弾性特性の同定への近似式の適用」では、第4章で課題となった計算機への負荷の高さに関して、有限要素法の代わりに、両端を固定された弾性体の変位と力の関係の近似式を適用することにより解決する手法について論じている。考案した手法の妥当性について、有限要素法との適合性を検証し、測定に用いる試料の形状に適した近似式を用いることによって、有限要素法に対して妥当な結果を得ることが出来ることを明らかにしている。そして、第4章での手法と比較して、同定に必要な計算時間の大幅な短縮に成功している。

第6章「2軸加振による粘弾性パラメータの同定」では、第4章・第5章では2つの試料の圧縮加振の結果から、粘弾性特性を同定していたのに対して、一つの試料に対して引張・圧縮及びせん断方向の二方向での加振を行い、その測定値から粘弾性特性を同定する手法を提案している。まず、有限要素法との適合性を検証し、提案手法の実現可能性を確認している。そして、2軸での加振が可能な粘弾性測定装置を第I部にて開発した粘弾性測定用の加振機構を応用することで簡素な構造で実現し、前章での提案手法との比較によりその妥当性を示している。

第III部「新しい加振機構の提案」は、以下の2章から構成されている。

第7章「変位拡大機構を用いた電磁アクチュエータの提案」では、低コスト化を目指し、粘弾性測定装置の加振機構用に変位拡大機構と電磁吸引力を組み合わせた新しい電磁アクチュエータを提案している。電磁吸引力と変位の拡大を組み合わせることによって、制御性の向上を期待できることを簡単なモデルによって示している。そして、提案した原理に基づく電磁アクチュエータを製作した。数値モデルによるシミュレーション結果と試作機を用いた駆動実験の結果は良く一致しており、考案の有効性を実証している。

第8章「変位拡大機構一体型電磁アクチュエータの粘弾性測定への適用」では、第7章で提案し実現した電磁アクチュエータを粘弾性測定に適用することを試みている。提案した新規電磁アクチュエータを用いる場合においても繰り返し制御を適用することにより、正確な正弦波状の加振が実現できることを示し、粘弾性測定用の加振機構への適用が可能であることを明らかにしている。

第9章「結言」では、論文を総括するとともに、今後解決されていくことが望まれる具体的な技術課題などについて述べている。

このように、本論文は、制御工学と材料力学の見地から、粘弾性測定法を論じ、実践的かつ経済的な粘弾性測定システムの実現をめざし、新しい測定装置を開発するとともに、粘弾性特性の同定法の提案を行った研究を纏めたものである。その成果は、粘弾性測定において新たな手法を提案することで精密工学、メカトロニクス、測定工学等の学問分野の発展に貢献するものである。本論文の研究成果に基づく粘弾性測定装置の商品化が進められており、今後の産業利用への期待も大きいと言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。