

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	王 忠奎 (わん づんくい)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 709 号
○授与年月日	2011 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	MODELING AND PARAMETER ESTIMATION OF RHEOLOGICAL OBJECTS FOR SIMULTANEOUS REPRODUCTION OF FORCE AND DEFORMATION (力と変形の同時再現のためのレオロジー物体のモデリングとパラメータ推定)
○審査委員	(主査) 平井 慎一 (立命館大学理工学部教授) 川村 貞夫 (立命館大学理工学部教授) 山本 憲隆 (立命館大学理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

本論文は、レオロジー物体の力と変形を同時に再現するモデリング手法とパラメータの推定法を確立することを目的としている。私達の身の周りには人の臓器や組織、粘土、食品のようにレオロジー的な振る舞いをする物体が多く存在する。また、医療や食品で用いる多くの装置では、レオロジー物体の特性について考慮したモデリングや制御手法が必要となる。レオロジー物体は変形が完全に戻らない残留変形が生じ、モデリング手法の確立を困難にしている。

本論文では、レオロジー的挙動を表現するためのモデルに関する研究が行われた。まず、さまざまな力学モデルを直列モデルと並列モデルの二つのグループに集約した。両グループの一般的な構成則を定式化し、レオロジー的な力と残留変形の解析的表現を導出した。解析的表現より、力と変形を同時に再現することが困難であることを発見した。そこで、この問題を解決するために、二重粘性要素を用いたモデルを導入した。次に、得られた一次元の変形モデルから、二次元と三次元の有限要素(FE)力学モデルを導出した。これにより二次元あるいは三次元のレオロジー変形をシミュレートすることが可能になった。さらに、制約安定化法を基礎として、非一様な構造のレオロジー変形や他物体との接触を定式化することができた。また、大きな変形や回転運動を取り扱うために、非線形グリーンひずみテンソルを用いた FE モデルに提案した。

レオロジー物体の変形をシミュレートするためには、対象とするレオロジー物体の変形

特性をあらかじめ推定する必要がある。本論文では、レオロジー物体の変形パラメータの推定する方法として、シミュレーションと非線形最適化に基づく手法を提案した。推定は、シミュレーション結果と計測結果の誤差を最小とする非線形な最適化に基づいて行われる。多重粘性要素を持つ FE モデルの物理パラメータを推定するために、提案する方法を用いた。粘土や和菓子の材料を用いた様々な実験が、提案した FE モデルと物理パラメータ推定法を立証した。FE モデルに二重粘性モデルを導入することにより、レオロジー物体の力と変形の挙動を同時に再現することに成功した。

<論文審査の結果の要旨>

本論文は、レオロジー物体の力と変形を同時に再現するモデリング手法とパラメータの推定法について研究した。本論文は以下の点で評価できる。

- 力学モデルを直列モデルと並列モデルに分類し、それぞれのモデルの構成方程式から、レオロジー的な力と残留変形の解析的表現を得た。解析的表現より、力と変形を同時に再現することが困難であることを発見した。
- レオロジー変形の有限要素モデルを導いた。有限要素モデルは、弾性力を表す項と塑性変形を表す項を含み、後者を定式化するために残留変形を表す状態変数を導入した。
- 制約安定化法を基礎として、非一様な構造のレオロジー変形や他物体との接触を定式化した。大きな変形や回転運動を取り扱うために、非線形グリーンひずみテンソルを用いたレオロジー物体の有限要素モデルを構築した。
- レオロジー物体の変形パラメータの推定する方法として、シミュレーションと非線形最適化に基づく手法を提案した。粘土や和菓子の材料を用いて変形パラメータの推定実験を行った。
- 有限要素モデルに二重粘性モデルを導入することにより、レオロジー物体の力と変形の挙動を同時に再現することに成功した。粘土や和菓子の材料からなるレオロジー物体に対して、力と変形を同時に再現できることを検証した。

本論文の審査に関して、2011年1月31日（月）15時00分～16時00分、機械システム系演習室において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 王 忠奎 に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、対象とする形状や操作はどの程度一般的か、二重粘性モデルの物理的意味は何か、有限要素シミュレーションの限界はどこかなどの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、本論文提出者と本学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文提出者は、本学学位規程第 18 条第 1 項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、本論文提出者が十分な学識を有し、課程博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、本論文提出者に対し、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することを適当と判断する。