

氏 名	いの うえ よし お 井 上 喜 雄
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 2765 号
学位授与の日付	平 成 5 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	非線形系を含む機械・構造物の動的シミュレーションに関する 研究
論文調査委員	(主 査) 教 授 佐 藤 進 教 授 垣 野 義 昭 教 授 矢 部 寛

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ロボットや油圧機械など、構造系だけではなく油空圧系や制御系などとの連成を考慮しなければならない機械の動的シミュレーション、および、ガタを含むねじり振動系や、姿勢が変化する構造物、油圧系の弁における圧力損失と流量の関係など、現象の本質に非線形性が多くかかっているような問題の動的シミュレーションを効率的に行うために、構造系での有限要素法を拡張した汎用的な新しい解析手法を提案するとともに、それらの手法を、構造系、油空圧系、連成系における動的問題に適用し、手法の有効性を明らかにしたものであり、7章から構成されている。

第1章では、構造—油空圧—制御連成系、非線形振動系に対する解析の重要性を示し、従来の研究を整理した後、本研究の目的と意義を明らかにするとともに、本論文の構成について述べている。

第2章では、本研究で提案している振動解析手法について検討している。まず、構造系、油空圧系、制御系、連成系での要素分割の概念を示した後、構造系要素、油空圧系要素、制御系要素に分けて、線形および非線形の離散化された要素の運動方程式、状態方程式を導出し、自動的にMCK型の運動方程式が組み立てられるようにしている。また、組み立てられた運動方程式を解く方法として、計算精度を確保した上で時刻歴応答計算の時間が短縮可能な手法の提案を行うなど、本研究で用いている新手法の概略を示している。

第3章から第6章は、第2章で提案した振動解析理論の検証を行うとともに、構造系、油空圧系、連成系におけるいろいろな振動問題に応用し、手法の有用性を明らかにしている。

まず、第3章では、ガタによる非線形問題をとりあげ、同期電動機駆動の回転軸系のモータ起動時の共振点通過現象、および、2台の駆動源を持つねじり振動系におけるクラッチ切り換え時の過渡的な非線形振動現象について検討している。まず、モデル実験結果と計算結果を比較して、ガタに関する計算手法が妥当であることを示している。さらに、このような系においては、ガタ特有の現象が存在すること、ガタによる非線形の影響を非常に大きく受けることなどを明らかにし、本研究で提案している手法による検討が有効であることを示している。

第4章では、骨組構造物や弾性リンク機構の非線形振動現象に関して、構造系の非線形要素を適用した例について検討している。まず、大変位トラス要素および大変位はり要素について、理論値などとの比較検討を行った後、クレーンの運転時の動的挙動、弾性支持された剛体の浮き上がりおよび転倒振動についての検討を行っている。その結果、計算値は理論値やモデル実験結果などと良く一致し、モデル化手法、計算手法いずれも妥当であること、および、このような問題には、本手法が有効であることを明らかにしている。

第5章では、おもに油空圧要素のみを用いた例、および構造系や制御系とも連成した油空圧機械の動的現象について検討している。まず、ロータリローブブロワをとりあげ、その吐出脈動の過渡現象のシミュレーションを油空圧系要素を用いて行い、モデル化の妥当性を検証した後、シミュレーションにより、最適パラメータを求めている。つぎに、機構系要素と油圧系要素とを連成させたモデル実験を行いモデル化およびシミュレーション手法の妥当性を検証した後、複雑な構造—油圧—シーケンス制御系からなる油圧鍛造プレスの過渡現象について計算し、本手法の有効性を示している。さらに、押出プレスにおける自励振動問題をとりあげ、最適な弁開度を計算により求めている。

第6章では、機構系と制御系との連成を考慮する必要があると考えられる柔軟なロボット運動と振動をとりあげている。まず、多関節ロボットについて、構造系要素、制御系要素を用いてモデル化し、3次元の動作シミュレーションを行い、本手法がロボットの動的設計に有効であることを明らかにしている。さらに、1アームロボットの構造—制御連成系について、複素固有値解析および感度解析を適用し、動特性改善の有効な手段になることを示している。

第7章では、本研究で得られた主要な結論の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、油空圧系や制御系との連成を考慮した機械・構造物の非線形性を含む動的挙動のシミュレーションを行う新しい手法を提案するとともに、それを実際問題へ適用し、その有効性を確かめたものであり、主な成果は以下のように要約される。

1. 汎用的な有限要素法による構造解析手法を、制御系、油空圧系に適用できるように拡張し、構造系—油空圧系—制御系が連成するような機械の動的なシミュレーションにも一般的に使用しうるような手法を新しく提案した。本手法によりメカトロニクスを駆使したロボットや油圧機械などの動的機能を効率的かつ精度よく予測することが可能となった。

2. 構造系での大変位トラス・はり要素や、油圧系のバルブ要素など特徴のある非線形要素を導入し、複雑な非線形解析を汎用的に行う拡張された有限要素法を提案した。本手法を用いれば、バックラッシュを含むねじり振動系や、姿勢が変化する構造物、油圧系の弁における圧力損失と流量の関係など、現象の本質に非線形性が多くかかわっているような問題の動的解析を効率的に行うことが可能となった。

3. 本手法を、バックラッシュを含むねじり振動系の非線形振動、クレーンの動的挙動、弾性支持された剛体の転倒振動、ロータリローブブロワの圧力脈動、押し出しプレスの自励振動、鍛造プレスの動的挙動、ロボットの動的挙動などに適用した。いずれの場合にも、シミュレーションと実験結果はよく一致し、

本手法が現象把握や動的設計のための有効な手段となることを明らかにした。

以上、要するに本論文は、非線形系を含む複雑な機械、構造物の振動特性や動的挙動の把握に貢献するものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成5年6月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。