

(続紙 1)

京都大学	博士 (工学)	氏名	木下 拓也
論文題目	コンプライアントメカニズムの生成手法と力学的特性に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>部材の弾性変形を利用してメカニズムの機能を実現するコンプライアントメカニズムについて、幾何学的非線形性を考慮した新しい生成手法の開発と、その力学的特性を生かした利用法を提案することを目的としており、全5章から構成されている。</p> <p>第1章は、序論であり、コンプライアントメカニズムの定義及び概要と、その工学の諸分野での利用の現状について述べている。また、主に連続体モデルを用いた既往の生成手法の体系化を行い、幾何学的非線形性を考慮してコンプライアントメカニズムを生成する際の困難点、及びそれを実現した際の有効性について述べている。</p> <p>第2章は、幾何学的非線形性を考慮したコンプライアントメカニズムの効率的な生成手法をまとめている。局所的な不安定現象を回避するため、最適化の対象をトラス構造として、部材断面積と節点位置を変数とした非線形計画法に基づく最適化手法を利用している。その枠組の中で、(1) 設計領域を静定トラスに限定し、収束性を改善した生成手法、(2) 指定した釣合い経路を有するコンプライアントメカニズムの生成手法、(3) 複数のユニットを連結するコンプライアントメカニズムの生成手法、の3種類の目的の異なるコンプライアントメカニズムの生成手法を提案している。</p> <p>(1) においては、既往のグランドストラクチャ法を適用したトポロジー最適化手法では、多数の存在可能部材から不要部材を除去するため、計算コストが増大し、かつ幾何学的非線形性を考慮した場合には最適化問題の非線形性が高まってしまうことから、最適化アルゴリズムの収束性が著しく悪くなるという問題点があった。また、多数の部材の除去にともない、最適化の過程で局所的に不安定な構造が生じるため、最適化アルゴリズムが収束しない場合もある。そこで、トポロジー最適化によって得られる棒材とジョイントによるコンプライアントメカニズムが、静定トラス構造に帰着することに着目し、初期設計領域を静定トラス構造に限定した収束性の高い最適化アルゴリズムを開発した。また、初期設計領域となる多数の静定トラス構造の集合を見出すため、グラフ理論における列挙アルゴリズムを利用した。数値例題を通して、設計領域を限定した生成手法によって、既往の手法より短い計算時間で多様なトポロジーのメカニズムの集合が得られることを示した。</p> <p>(2) においては、幾何学的非線形性を考慮したコンプライアントメカニズムの特徴を生かした構造として、指定した非線形の釣合い経路を持つコンプライアントメカニズムを生成するため、指定釣合い経路からの誤差の定義が異なる2種類の最適化問題を定式化した。また、スナップスルーを呈する主要な部分構造と複数の補剛部材の組合せによって、荷重作用点での変位と荷重係数の関係が非線形となるような構造を生成できることを示した。例題を通して、2つの問題の収束性について比較し、最適化問題を解くことで、荷重一定領域を持つコンプライアントメカニズムを生成できることを確認した。</p> <p>(3) においては、コンプライアントメカニズムの利用価値を高めるため、小さい入力変位によって大きい出力変位を得ることを目的として、複数のユニットを連結して構成されるコンプライアントメカニズムの生成手法を提案した。また、3個のコンプライアントメカニズムのユニッ</p>			

氏名	木下 拓也
----	-------

トを連結することにより、構造の変形を効率よく増幅できることを、例題を通して確認した。

第3章では、複数の自己釣合い状態を有するトラス要素で構成されるメカニズムを、梁要素で構成されるメカニズムに変換するための最適化手法を提案している。第2章で示したように、コンプライアントメカニズムをトラス要素でモデル化することにより、最適化過程での収束性に関する問題点を解決できる。しかし、トラス部材はピンジョイントで接合されるため、とくにマイクロメカニクスに適用する場合、実際に生産して利用するためには、接合部の実現が困難となる場合がある。したがって、メカニズムの生成問題を2段階に分け、第一段階でトラスメカニズムを生成し、それを第二段階で梁要素によって構成されるメカニズムに変換することにより、最適化過程の収束性を維持しつつ、実際に生産可能なメカニズムを生成できる。

第4章では、第2章で生成された指定釣合い経路を有するコンプライアントメカニズムの建築構造への利用例として、免震システムへの適用を検討している。メカニズムを支承部に配置したせん断型構造モデルとアーチ状トラス構造に対して、ホワイトノイズあるいは記録地震波を入力して時刻歴応答解析を行い、水平方向および鉛直方向の地震動に対する応答加速度を低減するために、コンプライアントメカニズムを有効に利用できることを明らかにしている。従来の免震構造は、上下方向入力に対する利用が困難であったため、本手法は、上下動に対する応答低減が重要となる大空間構造や精密機器の免震のために有効に利用できる。

第5章は、結論であり、本論文で得られた成果を要約し、将来の研究課題を述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、部材の弾性変形を利用してメカニズムの機能を実現するコンプライアントメカニズムについて、幾何学的非線形性を考慮した新しい生成手法の開発と、その力学的特性を生かした利用法を提案することを目的としている。幾何学的非線形性を考慮したコンプライアントメカニズムは、生成するための最適化問題の非線形性や安定性の問題から、一般的な生成手法が確立されていない。そのような状況の中で、本論文で得られた成果は以下のように要約される。

1. メカニズムを生成するための計算コストを低減することを目的として、トポロジー最適化によって得られる棒材とジョイントで構成されたコンプライアントメカニズムが、静定トラス構造に帰着することに着目し、設計領域を限定した収束性の高い最適化問題を定式化した。数値例題により、設計領域を限定した生成手法によって、既往の手法より少ない計算量で多様なトポロジーのメカニズムを出力できることを確認した。

2. 幾何学的非線形性を考慮したコンプライアントメカニズムの釣合い経路を、指定した釣合い経路に近づけるための2種類の最適化問題を定式化した。これらの最適化問題を解くことによって、荷重一定領域を持つコンプライアントメカニズムを生成できることを、例題を通して確認した。

3. メカニズムの利用価値を高めるため、小さい入力変位で大きい出力変位を得ることを目的として、複数のユニットを連結して構成されるコンプライアントメカニズムの生成手法を提案した。また、3つのコンプライアントメカニズムのユニットを連結して大きな出力変形が得られることを、例題を通して確認した。

4. トラス部材で構成されたコンプライアントメカニズムを、製作性を考慮して一体型のメカニズムとして実現することを目的として、トラス部材によるコンプライアントメカニズムを、それと等価な機能を持つ梁要素メカニズムに変換するための最適化問題を定式化した。例題を通して、提案手法によってトラス要素によるバイステーブルコンプライアントメカニズムと等価な梁要素メカニズムを生成できることを確認した。

5. 釣合い経路において荷重一定領域を持つコンプライアントメカニズムを、水平方向及び上下方向入力地震動に対する免震システムとして利用する方法を提案した。骨組構造を想定したせん断型6質点モデル及び大スパンアーチの支承部に、コンプライアントメカニズムによる免震支承モデルを接続し、複数の記録地震波に対する時刻歴応答解析を行って、上部構造の応答加速度が低減されることを確認した。

以上、本論文は、最適化手法、応用力学、構造力学、計算力学などの諸分野の技術を統合して新しい構造システムの生成手法を開発したものであり、構造工学の発展に寄与するところが少なくない。したがって、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22年2月23日、論文内容とそれに関連した事項についての諮問を行った結果、合格と認めた。