2104 設計者の創造性と多段階最適設計法に基づいた コンプライアントメカニズムの創成設計法

An Innovative Design Method for Compliant Mechanisms Combining Topology Optimization and Designer Creativity

○正 小林 正和 (早大) 正 吉村 允孝 (京大)
正 西脇 眞二 (京大) 正 泉井 一浩 (京大)

Masakazu KOBAYASHI, Waseda University

Masataka YOSHIMURA, Shinji NISHIWAKI and Kazuhiro IZUI, Kyoto University

This paper proposes an innovative two-step approach to the design of practical and sophisticated compliant mechanisms. The approach consists of two optimization methods; topology and shape optimizations and a scheme to implement designer input of ideas. In the first step, a designer explores the most fruitful design concepts by combining several compliant mechanisms generated by the topology optimization with additional mechanisms based on his or her ideas. In the second step, the shape optimization procedure yields a detailed optimal shape based on the design concept.

Key Words: Optimal Design, Compliant mechanism, Topology optimization, Shape optimization, Designer's creativity

1. 緒 言

近年、機械構造物の柔軟性を利用した新しいメカニズムとしてコンプライアントメカニズム⁽¹⁾が提案されている。コンプライアントメカニズムは、(1)無騒音、(2)無潤滑、(3)部品点数の削減、(4)小型化、などの利点を持ち、多くの適用範囲が考えられている。

このように幅広い応用が期待されているコンプライアントメカニズムに対して、著者らは、トポロジー最適化と形状最適化を段階的に実行する多段階創成設計法を提案した⁽²⁾。これにより、応力集中などの工学的要件を考慮した実用的なコンプライアントメカニズムの創成設計が可能となった。

本研究では、著者らの構築した方法を基に、コンプライアントメカニズムに更に新しい機能を付加する方法を検討する。例えば図1に示すように、コンプライアントメカニズムにストッパーの機能を付加することで、コンプライアントメカニズムがワークピースを把持する場合に、外力を作用させる必要なく把持し続けるようにすることができる。

Fig.1 Addition of a stopper to compliant mechanism

このような機能の付加を実現する方法として、トポロジー最適化を拡張し、付加機能を考慮可能な目的関数を設定し、最適構造を得る方法が研究されている⁽³⁾。これに対して本研究では、設計者の創造性に注目し、最適化手法により創成されたコンプライアントメカニズムに、設計者の創造性に基づいて得られた機構を有機的に付与する方法を検討する。しかし、このような設計者の創造性に基づくプロセスは、一般により良いアイデアを求めるための試行錯誤が避けられないため、効率的な設計を実現するためには、何らかの支援手法が不可欠である。そこで本研究では、設計者の創造活動を支援可能な方法と最適化手法を組み合わせることにより、効率的・効果的にコンプライアントメカニズムの設計が可能となるよう

な創成設計法の構築を行う。

2. 設計者の創造性と最適化手法に基づいた創成設計法

2.1 創成設計法の概要 本研究では、実用的かつ、革新的なコンプライアントメカニズムの設計を可能とするために、図2に示した2段階からなる創成設計法を構築する。すなわち、第1段階では、設計者が発想支援手法とトポロジー最適化を用いて、コンプライアントメカニズムや付加的な機構を創成し、これらを組み合わせて素性の良い設計コンセプトを作成する。第2段階では、設計コンセプトを基に最適化モデルを作成し、形状最適化を実施することで、定量的な性能と、応力集中などの工学的要件を考慮した最適形状を求める。以降、各段階について詳細を述べる。

Fig.2 Flowchart of a proposed design method

2.2 第1段階：発想支援手法を用いた設計コンセプトの作成 第1段階では、発想支援手法を用いて機構を創成し、それらを組み合わせて素性の良い設計コンセプトを作成する。

2.2.1 発想支援手法の構築 本研究では、設計コンセプト作成のプロセスを支援するために、著者らの提案する方法⁽⁴⁾を用いる。この方法を用いることで、一連のプロセスは以下の2つの視点から可視化できる。

(1) 設計者の思考の流れ

創造活動における設計者の行動は、アイデアの発想と検討という2つの行動に大別できる。そして、この2つの行動を定義したとき、設計者の思考の流れは、一つのアイデアの発想とそこから生じる一連の検討という一まとまりの流れの集合として表現できる。本手法では、この一まとまりの流れをセッションと呼び、創造活動の基本単位とする。また、セッ

セッションのきっかけとなる行動をトリガーアクション、そこから引き起こされる一連の行動をレスポンスアクションと呼ぶ。以下にトリガーアクションとレスポンスアクションを定義する。

- ・トリガーアクション

アイデアの発想やレスポンスアクションで検討したい話題の提示などの、セッションの起点となる行動。

- ・レスポンスアクション

アイデアの検討やトリガーアクションで提示された話題の検討、セッションの過程で新たに得られたアイデアの提示など、トリガーアクションや他のレスポンスアクションに対して取られる行動。

レスポンスアクションはトリガーアクションや他のレスポンスアクションに対して自由に行うことができるため、セッションは図3のようなツリー構造として可視化できる。創造活動における設計者の思考の流れは、このセッションのツリー構造が集まったものとして可視化できる。

Fig.3 Session tree structure

(2) 設計目標とアイデアの関係

一般に、問題の解決や目標の達成を目指してアイデアを模索する場合、初めに問題解決や目的達成のための方向性を考え、その後にアイデアの具体化を行う。本研究ではこの目標達成の方向性をアプローチと定義する。アプローチを定義することで、目標とアイデアの関係は、図4に示すような階層構造としてモデル化できる。そこで、この階層構造図を用いて、方向性、すなわちアプローチを考える過程を明示的に実施し、そのアプローチに基づいてアイデアを具体化することで、幅広いアイデアの探索が可能となる。

Fig.4 Hierarchical structure consisting of goals, approaches and ideas

本研究では、製品に持たせたい機能为目标に置き、その機能を実現するための機構の構想をアプローチに、そのアプローチに基づいて具体化した機構をアイデアとして階層構造図を作成する。本研究において創成する機構はコンプライアントメカニズムとそれ以外の部位に分類できるが、コンプライアントメカニズムについては、設計領域と入出力の関係をアプローチとし、それ以外の部位については、部位の動作原理をアプローチとする。そして、アプローチからアイデアへの機構の具体化に際しては、コンプライアントメカニズムはアプローチに基づいて設計条件を設定し、トポロジー最適化を用いてその初期形状を創生する。一方、コンプライアントメカニズム以外の機構は、アプローチに記された動作原理に基づいて設計者が自ら創成する。

2.2.2 設計コンセプトの作成手順 最後に設計コンセプト作成の手順を述べる。本手順は2つのステップからなる。

(1) ステップ1: 階層構造図の作成

設計者は創造活動の流れをセッションとして記録しながら、アプローチやアイデアをリンク構造図に書き込み階層構造図を作り上げていく。

(2) ステップ2: 設計コンセプトの作成と評価

ステップ2では、ステップ1で得られたメカニズムを組み合わせ、設計コンセプトを作成し、評価を行う。設計者の満足する設計コンセプトが得られた場合は第1段階を終了し、第2段階へと移行する。一方で、満足できなかった場合は、

その設計コンセプトの問題点を分析した後にステップ1へと戻り、新しい機構を創成し、新たな設計コンセプトの作成を試みる。なお、このステップ2についても、セッションを用いてその一連のプロセスを可視化することとする。これにより、検討や改良のプロセスが明確になるため、より良い設計コンセプトを模索する助けになる。

2.3 第2段階: 設計コンセプトの具体化 第2段階では、第1段階で作成された設計コンセプトを元に形状最適化を実施することで、具体的な形状を決定する。第2段階は、初期形状の作成、設計条件の設定、形状最適化の実施および、最適構造の評価の4ステップから構成される。

2.3.1 形状最適化の初期形状の作成 まず初めに、設計コンセプトを元に形状最適化の初期形状を作成する。初期形状の作成方法は、コンプライアントメカニズムの部分については、著者らの方法⁽⁴⁾を用いる。この方法では、図5に示すようにヒンジ部の位置と幅およびランプ部の幅を設計変数にとり、その幅に基づいてコントロールポイントを配置する。そして、隣り合うコントロールポイントを曲線で連結することで、初期形状が得られる。この方法を用いて作成した初期形状を基に形状最適化を行うことで、各部位の柔軟性と応力制約を同時に考慮することができる。

Fig.5 Allocation of design variables and control points to initial model

一方で、コンプライアントメカニズム以外の部分については、機構によって考慮すべき特性が異なるため、機構の種類に応じて設計変数を設定し、初期形状を作成する。

2.3.2 設計条件の設定と形状最適化の実施 次に、メカニズムの種類や用途に基づいて形状最適化の設計条件を設定し、形状最適化を実施する。本研究では、汎用解析ソフトウェア ANSYS を用いて解析と最適化を行った。

2.3.3 最適構造の評価 最後に、形状最適化により得られた最適構造の評価を行う。得られた最適構造が設計要求を満たしている場合は設計を終了し、満たしていない場合は、第1段階へと戻り、新たな設計コンセプトを作成する。

3. 結言

本研究では、従来にない高機能・高性能なコンプライアントメカニズムの設計を可能にするために、トポロジー最適化によって創成したコンプライアントメカニズムと、設計者が創成した付加的な機構を組み合わせ、設計コンセプトを作成し、その後に形状最適化を行うという創成設計法を構築した。

参考文献

- (1) Howell, L. L.: Compliant Mechanisms, John Wiley & Sons, Inc., New York, N. Y., (2001).
- (2) 小林正和, 山下進介, 西脇眞二, 泉井一浩, 吉村允孝, 富田直秀: トポロジー最適化と形状最適化に基づくコンプライアントメカニズムの多段階創成設計法, 第14回設計工学・システム部門公演論文集, (2004), 264-265.
- (3) Ohsaki, M. and Nishiwaki, S.: Shape design of bistable compliant mechanisms by utilizing snapthrough behavior, Proceedings, CJK-OSM 3, (2004), 359-364.
- (4) 吉村允孝, 小林正和, 泉井一浩: デザイナー間のインタラクションに基づいた創造的コラボレーション, 日本機械学会論文集, 70-690, C(2004), 523-530.