

報告日： 2024 年 6 月 13 日
報告者： 近畿大学 工学部 講師
松野 孝博

1. 研究概要

(和文)

(1) 課題名

バネとリンク機構を用いた定把持力空気圧グリップの開発

(2) 研究者氏名、職名

松野孝博、講師

(3) 研究概要

本研究では、機構的に一定把持力を生成する空気圧グリップを開発する。提案する機構は空気圧シリンダ、複数のリンクとバネで構成される。この機構では、グリップ把持部の開きに応じて力が単調減少するバネと、力が単調増加するバネを組み合わせることで、定力把持を実現する。把持物体の大きさやシリンダへの印加圧力に関わらず、バネの設定のみにより一定の力が把持物体に加わる。従来の空気圧駆動式グリップでは困難であった定力把持を、センサや制御システムを追加することなく、従来通りの空気圧シリンダと駆動システムに本機構を追加するだけで実現できる。

(4) キーワード

空気圧駆動式グリップ、空気圧ばね、定荷重機構、可変剛性バネ

(英文)

(1) Research title

Development of constant grasping force pneumatic gripper using springs and links mechanism

(2) Name of researcher with title of position

Takahiro Matsuno, Lecturer

(3) Summary

In this study, a pneumatic gripper that mechanically generates a constant gripping force is developed. The proposed mechanism consists of a pneumatic cylinder, multiple links, and springs. This mechanism achieves constant force gripping by combining a spring whose force monotonically decreases according to the opening of the gripper's gripping part, and a spring whose force monotonically increases. Regardless of the size of the grasped object or the pressure applied to the cylinder, a constant force is applied to the grasped object simply by setting the spring. Constant force gripping, which was difficult with conventional pneumatically driven grippers, can be achieved by

simply adding this mechanism to the conventional pneumatic cylinder and drive system, without adding any sensors or control systems.

(4) Key Words

Pneumatic gripper, Pneumatic Spring, Constant force mechanism, Variable stiffness springs

2. 本研究の意義、特色

空気圧システムが苦手とするフィードバック制御を避けつつ、受動的に力のコントロールを可能にする点が本研究の意義である。既存の空気圧システムに対し、本研究で開発したリンク・バネ機構を補助機構として取り付けることで、空気圧システムをより多くの現場に適用することができる。また、開発したリンク・バネ機構は空気バネとの親和性も高く、機構の一部を空気バネに置き換えることで、可変式の定把持力機構を実現することを可能とする。これは、空気バネの新たな応用方法を確立しており、本研究は、既存の空気圧システムをより広い範囲に適用することに留まらず、空気バネ等の要素技術の発展性を示すことができる。

3. 実施した研究の具体的内容、結果

本研究ではまず、1 リンクと 1 個のコイルバネで構成されるクリスティー式サスペンションに着目し、この機構を力学解析することで、変位に関わらずほぼ一定の力を出力する疑似定荷重機構を設計した。この機構ではリンク先端を大変位させることで、非線形な変位一力関係を出力できる点に着目し、バネの設置位置と出力の関係を解析することで疑似的に定力を実現した。この機構を空気圧グリッパの指先として用いることで定把持力グリッパを開発した。開発した指先はクリスティー式サスペンションに平行リンクを追加した構成である。なお、提案した定把持力グリッパでは、指先の駆動方法は限定されず、空圧、油圧、電動などいずれの方法でも実現可能である。本研究では市販の空気圧グリッパに提案した指先を設置し、定把持力グリッパを構築した。試作したグリッパを用いて把持力を検証した。検証の結果、把持力は最大で 7.0 N、最小で 6.3 N となり、誤差 0.7 N の範囲で定把持力を実現した。把持物体の大きさに関わらず設計値に近い力で、物体を把持できることを確認した。ただし全ての変位において、実際の把持力が理論上の把持力を上回り、最大で 0.4 N の誤差がでた。この原因として、機構の摩擦が考えられる。解析モデルでは摩擦を考慮していないため、実際の把持力は理論値よりも大きくなる。把持力を正確に設計するためには、これらのモデルの改善が必要になる。

つづいて本研究ではグリッパの目標把持力を自在に変化させる方法を提案した。目標把持力の可変化にあたり、本研究ではベローズ型の空気バネに着目した。この空気バネは内部に印加する圧力を調整することでバネ定数を疑似的に変更することができる。定把持力グリッパのコイルバネ部分をこの可変剛性ばねに置き換えることで、目標把持力を自在に

変化できる定把持力グリップを実現した。電空レギュレータの設定空気圧を変更するだけで目標把持力を変更することができ、尚且つ定力把持のための制御は不要である。ベローズ型の空気バネは主に金属性のベローズか、あるいはシリコーン材料やゴム材料などで構築された柔軟材料のベローズが用いられる。金属製のベローズ型空気バネは、バネ本体の弾性の線形性が高く、解析解との適合性が高い。一方で、金属製ベローズは主に溶接で製造されるため、ベローズの生産に数カ月近くの時間が掛かり、またその生産コストが高くなる。シリコーン製のベローズの場合、材料の高い柔軟性からバネのストロークを長く確保することができる。しかし、これらの生産には型の製作が必要となり、多品種を少数ずつ生産する場合、製作期間とそのコストが多くかかる。また、離型の工程への配慮のため、ベローズの形状や傾斜角度に大幅な制約がある。そのため本研究では、ベローズ型の引きバネを 3D プリンタで製造する方法を提案し、バネの性能評価、印加圧力によるバネ剛性の変化について検証した。3D プリンタで構築可能な空気バネは、金属ベローズや成形品の空気バネと比較して短期間で製作することが可能である。また、印加圧力を減少させるとバネ剛性も単調減少することを確認し、印加圧力に応じてバネ係数を変更できることを確認した。一方で製作した空気バネは非線形性とヒステリシスがあり、特にバネの変位が 20 mm を超えると強い非線形性が現れた。

つづいて、空気バネを用いた定把持力グリップの定力把持について検証した。幅 40 mm から 60 mm までの把持物体を、空気バネに -40 から 0 kPa を印加しつつ把持をする検証を行った。把持物体の大きさが 40 mm から 55 mm の場合、空気バネへの印加圧力で把持力が変化し、また、いずれの圧力においても定力に近い把持力を示すことを確認した。各印加圧力において、把持力の最大値と最小値の誤差は 0.7 N 未満である。これは前述のコイルバネを用いた定把持力グリップと同等の性能を示している。一方で把持物体の大きさが 60 mm 以上の場合、定力での把持ができないことを確認した。特に空気バネへの印加圧力が -40 kPa の時に誤差が最大となり、把持力の最大値と最小値の差が 3.3 N 以上あった。これは、製作した空気バネは変位が大きくなると非線形性が強くなることが原因であると考えられる。より広い範囲で定力把持を実現するためには、より長いストロークで線形性を持つ空気バネの開発が必要である。また、空気バネに圧力を印加せず、把持物体の大きさが 40 mm から 55 mm の場合、理論値と実際の把持力が近い値を示した。一方で、把持物体の大きさが 60 mm の場合、理論値と実測値の誤差が 1.6 N 有り、この時に誤差が最大である。空気バネに -40 から -10 kPa を印加した場合においても同様に、把持物体の大きさが 60 mm の時に理論値と実測値の把持力の誤差が最大となった。また、空気バネに -40 から -10 kPa を印加した場合においては、全サイズの把持物体において実測値のほうが大きくなることを確認した。この原因についても、コイルバネを用いた定把持力グリップと同様に、軸、リンク同士の摩擦の影響が考えられる。なお、空気バネに印加する圧力はレギュレータで容易に変更できるため、実測値から把持力を調整することが可能であり、コイルバネを用いた定把持力グリップにはない利点の一つである。

4. 本研究を実施したグループに属する主な研究者の氏名、職名

早川 恭弘, 奈良工業高等専門学校 電子制御工学科 教授

平井 慎一, 立命館大学理工学部 ロボティクス学科 教授

5. 研究実施時期

2023 年 4 月 1 日から 2024 年 3 月 31 日まで

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

- [1] 松野孝博, クリスティー式サスペンションを用いた疑似定把持力グリッパの開発, 2023 年秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp. 141-143.
- [2] Takahiro Matsuno, Yasuhiro Hayakawa, Shinichi Hirai, Variable Constant Grasping Force Gripper using Christie Suspension and Pneumatic Spring, Proceeding of the 12th JFPS International Symposium on Fluid Power in Hiroshima. (to be appeared)
- [3] 松野孝博, 早川恭弘, 平井 慎一, 3D プリンタで製作可能な空気圧式可変剛性バネの提案, 2024 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集. (発表予定)

7. 内外における関連研究の状況

脆弱物の把持を目的とした空気圧グリッパとしては、ニューネット式ソフトグリッパやその派生形が代表として挙げられる。様々な研究機関において、この構造の応用方法や、生産方法、解析方法が研究されている。ただしこれらのソフトグリッパは把持対象物を傷つけることはないものの、一定把持力の生成はできない。そのため、把持対象物の大きさによって把持力が異なり、十分に把持力が生成できず把持に失敗する可能性がある。本研究で最も重点を置いている受動的な定把持力の生成については、関連する空気圧式グリッパは研究されていない状況である。

8. 今後の発展に対する希望

本研究で開発したグリッパは剛体のリンクで構成されているため、今後の研究では、これらを柔軟の一体構造物で構築する方法を考案する。柔軟物で構成するため、把持物体を損傷させることがなくなることを期待できる。また一体の構造物で構築した場合、部品点数が少なくなり、グリッパの製造コストや使用中の破損や部品落下のリスクが少なくできる。また、本研究内で考案した空気バネを改良し、非線形性とヒステリシスを抑制する生産方法を確立する。最終的には一体物で構成されたグリッパに空気バネのパートも組み込み、部品点数の少ない可変定把持力空気圧グリッパを開発していくことを今後の目標とする。