

令和 3 年 5 月 12 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04064

研究課題名（和文）真空圧により剛性が変化する機械要素の力学モデルの構築

研究課題名（英文）Development of a physical model for a machine element whose stiffness changes with vacuum pressure

研究代表者

満田 隆（Mitsuda, Takashi）

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：30335591

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：柔軟な袋の内部の空気を抜くと、袋の内部の物体が凝集して袋全体が硬くなる。近年、この現象を利用した柔軟なロボットの研究が多く行われている。本研究は、空気を抜くことで硬くなると同時に曲げ変形が生じる新しい構造を考案し、この構造を利用した柔軟なロボットグripperと身体固定具を開発した。また、皺が生じることなく曲面に沿って変形できる可変剛性シートを考案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した可変剛性シートは手術時に用いる身体保定具としての利用が期待され、現在、医療機関と共同研究を行っている。空気を抜くことで硬くなると同時に曲げ変形が生じる新しい構造は、アクチュエータと剛性調節の両方の機能を持つことに新規性がある。この構造を利用して開発した柔軟ロボットグripperは、従来のロボットハンドでは把持が難しい食品などの柔軟な物体や、さまざまな形状の物体の把持に利用でき、従来の可変剛性機能をもつロボットハンドと比べて低コストである。

研究成果の概要（英文）：When the air inside a flexible bag is evacuated, the objects inside the bag aggregate and the entire bag becomes hard. In recent years, many studies have been conducted on flexible robots that utilize this phenomenon. In this research, we devised a new structure that hardens and bends when the inside air is evacuated, and developed a flexible robot gripper and body fixture that utilize this structure. We also devised a variable rigidity sheet that can be deformed along a curved surface without wrinkles.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ソフトロボット ロボットグripper 空気圧 可変剛性

1. 研究開始当初の背景

粒子系が凝集により硬化する現象(granular jamming, 図1参照)は古くから知られ、これまで医療用身体固定具に利用されてきた。2001年に研究代表者らは、真空式可変剛性要素の剛性が内部真空圧にほぼ比例することを示すとともに、この要素を剛性が調節できる機構としてロボットに応用した。近年は、とくに海外において柔軟なロボットに対する関心が高まり、柔軟、軽量、単純な構造である真空式可変剛性要素を柔軟ロボットに利用する研究が盛んに行われている。しかし、真空式可変剛性要素の剛性のモデル化は未だ行われておらず、試行錯誤的に材料や構造を選定しているのが現状である。

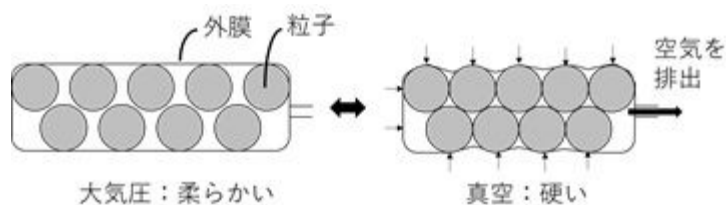


図1 粒子凝集による剛性変化 (Granular jamming)

2. 研究の目的

真空式可変剛性要素の形状や内蔵する物体の形状と材質などから剛性を予測できる力学モデルを構築することが本研究の目的である。本研究では、4種類の真空式可変剛性要素(粒子型、積層繊維型、積層シート型、小片シート連結型)の力学モデルを構築する。また、新しい真空式可変剛性要素を開発すると同時に、身体固定具の開発を行う。身体固定具には伸縮性が高く非常に柔らかい状態から非常に硬い状態にするダイナミックレンジの大きい剛性調節が求められる。

3. 研究の方法

各真空式可変剛性要素の外膜と内蔵物の形状、剛性、摩擦係数などをパラメータとした力学モデルを作成し実際の剛性との比較を行う。また、剛性発揮に重要な要因を明らかにし、各型を組み合わせることで、それぞれの長所を活かした新しい構造の要素の開発を目指す。

4. 研究成果

本研究の目的である力学モデルの作成に関しては、材料の塑性変形、摩擦係数の変化など評価が難しい問題が明らかとなり、当初の想定どおりには進まなかった。一方、材料と構造を変えた真空式可変剛性要素の試作と評価を行う中で、新しい構造の可変剛性要素を複数考案した。また、真空式可変剛性要素から発想を得た新しい身体固定具とロボットグリップを開発した。これらについては、特許出願と論文発表を行い、成果を上げることができた。

(1) 空気を抜くと曲げ変形が生じて物体に巻き付き、同時に剛性が増加する構造

真空式可変剛性要素を身体固定具として利用する際には、まず初めに、固定具を身体に沿って巻き付けて、その状態を保ったまま固定具の内部空気を抜いて剛性を上げる必要がある。巻き付けた際に固定具と身体の間隙があると、固定具を固めても、身体が動き十分に固定することができない。これに対して、粒子型の可変剛性要素の中にスポンジを埋め込むことで、内部空気を抜くと曲げ変形が生じて身体に巻き付き、同時に剛性が増加する固定具を考案した(図2参照)。

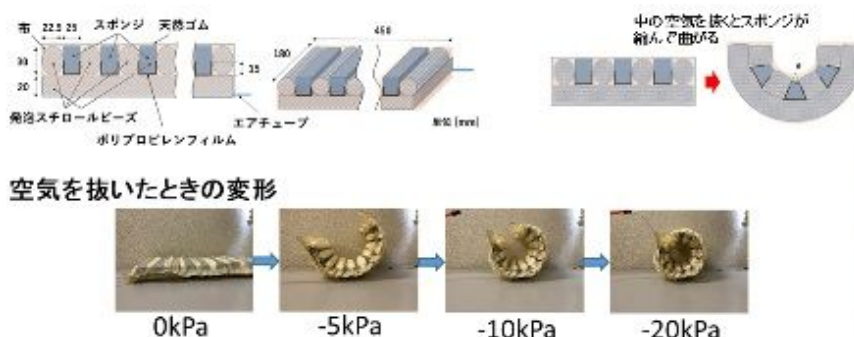


図2 空気を抜くと曲げ変形が生じて物体に巻き付き、同時に剛性が増加する構造

(2) 空気を抜くことで物体に巻き付いて硬くなるロボットグripper

上記の構造を用いて柔軟なロボットグripperを開発した(図3参照)。空気圧を用いた柔軟なロボットグripperは、その柔軟性によって、さまざまな形状の物体を優しく把持することができる。しかし、柔軟であるために、物体を把持して持ち上げる際に物体が重さによって落下することがある。この問題を解決するために、真空式可変剛性要素を組み合わせ、指の剛性を調整できるグripperが提案されている。しかし、これらのグripperでは、指の開閉と剛性調整のために、2系統の空気圧制御システムが必要であった。これに対して、開発したロボットグripperは空気を向くだけで指を閉じる動作と剛性の増加が同時に生じるので、1系統の空気圧制御システムだけで動作させることができる。

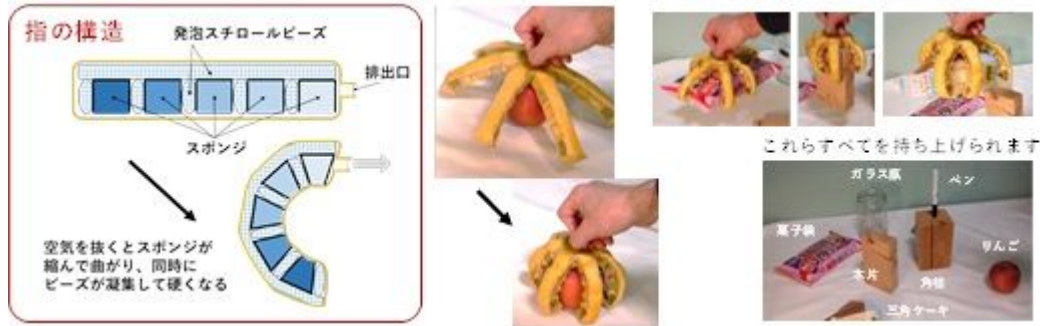


図3 空気を抜くことで物体に巻き付いて硬くなるロボットグripper

(3) スポンジの収縮を利用したリング状のロボットグripper

上述したグripperより着想を得て、スポンジのみを用いたリング状のロボットグripperを開発した(図4参照)。このグripperは、輪ゴムのようにさまざまな物体の形状に巻き付く。また、スポンジが収縮することによりグripperの剛性が増すので、物体をぐらつかせることなく把持できる。

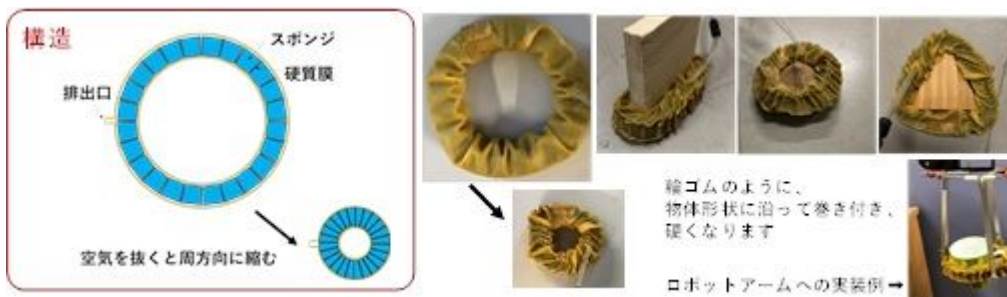


図4 空気を抜くことで物体に巻き付いて硬くなるリング状のロボットグripper

(4) ジャミングシューズ

真空式可変剛性要素の新しい応用として、靴底に粒子型の可変剛性要素を内蔵することで、アスファルトのような硬い路面を歩く感覚と、砂浜を歩く感覚を切り替えて提示できるバーチャルリアリティ用の靴を開発した(図5参照)



図5 砂浜を歩く感覚を提示できるジャミングシューズ

(5) 曲面に皺なく沿う可変剛性シート

曲面に皺を生じさせることなくシートを沿わせるためには、シートに伸張性が必要である。研究代表者が先に開発した積層繊維型の可変剛性要素は、伸張性に富み、曲面に皺なく沿わせることができる。しかし、剛性が小さく、身体固定具として用いるためには厚みを大きくする必要があった。これに対して、メッシュを積層させることで剛性が大きい可変剛性要素を新たに開発した。メッシュは繊維方向に対して伸縮性がないが、限られた方向の伸縮性であっても皺を作ることなく曲面に沿わせることができる。本シートについては、2021年に開催される日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会で発表を行う。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Ko Yamada, Takashi Mitsuda | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 A vacuum-driven rubber-band gripper | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Robomech Journal | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40648-021-00203-7 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Mitsuda Takashi, Shinsaku Otsuka | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Active Bending Mechanism Employing Granular Jamming and Vacuum-Controlled Adaptable Gripper | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters | 6. 最初と最後の頁 3041～3048 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2021.3058914 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 大塚 晋作, 満田 隆 | 4. 巻 85-876 |
| 2. 論文標題 真空圧により形状と剛性が変化する機械要素の開発 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 日本機械学会論文集 | 6. 最初と最後の頁 No.19-00046 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/transjsme.19-00046 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 増田 宗一郎, 満田 隆 |
| 2. 発表標題 粒子ジャミングを用いた靴型路面感覚提示装置の開発 |
| 3. 学会等名 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 山田 滉, 満田 隆 |
| 2. 発表標題 減圧によるスポンジの収縮を用いたゴムバンド型グリッパの開発 |
| 3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大塚 晋作, 満田 隆 |
| 2. 発表標題 真空圧により剛性と形状が変化する機械要素 -異なる硬さのスポンジを付加することによる巻きつき動作の改良- |
| 3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大塚 晋作, 満田 隆 |
| 2. 発表標題 真空圧により形状と剛性が変化する機械要素を用いた身体拘束具の開発 |
| 3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| <p>内部真空圧により剛性が変化する機械要素 http://www.br.ci.ritsumeai.ac.jp/particle.html</p> |
|---|

6. 研究組織

| | | | |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| | |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|