

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	空圧人工筋を用いた大変形ソフトテンセグリティロボット
Title(English)	
著者(和文)	小林亮太
Author(English)	Ryota Kobayashi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第706号, 授与年月日:2026年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:難波江 裕之,遠藤 玄,前田 真吾,中西 洋喜,塚越 秀行
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第706号, Conferred date:2026/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	小林亮太		審査員主査： Chief Examiner	難波江裕之	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、周囲の環境形状に柔軟に適応した移動や、周囲の構造を支えるといった作業を可能とするソフトテンセグリティロボットに関するものである。本研究では、柔軟・軽量なテンセグリティの利点と大変形を両立するため、空気圧人工筋による駆動を用いた Six-bar tensegrity と呼ばれる構成のテンセグリティ構造の変形を対象とする。まず、テンセグリティ内の三角形形状の変形をもとに構造全体の大変形を実現する方法を提案する。前述の三角形形状の変形手法として、テンセグリティ構造に人工筋を巻き付ける手法と、テンセグリティの引張部材に受動的な伸びを許容する人工筋を用いる手法を提案する。それぞれの手法実現のため、大きく屈曲させた状態での人工筋の耐久性向上、及び受動的な伸びを許容する人工筋の開発を行う。これらの要素技術を用いることで実現可能なテンセグリティの大変形の実証と、ロボットへの応用を行う。本論文は以下の通り、8 章構成となっている。 第 1 章「序論」では、本研究の背景と目的、先行研究および本論文の構成について述べる。 第 2 章「細径人工筋の屈曲駆動耐久性向上」では、細径人工筋の屈曲耐久性向上手法として、人工筋のスリーブに接着剤を塗布する手法を提案する。細径人工筋を屈曲に配置した状態において繰り返し駆動させたときの破損機序を明らかにし、接着剤を用いた微細なパーティション構造をスリーブの繊維上に形成する手法を提案する。そして、人工筋の耐久試験を行うことで、提案手法の有用性を示す。 第 3 章「細径人工筋の巻き付けによるテンセグリティモジュールの大変形」では、細径人工筋をテンセグリティ構造のストラット部分と弾性紐部分を經由するように配置することによって、ストラット部分の人工筋の収縮率を弾性紐部分の変形に用いることができるといった観点から、2 通りの人工筋配置法を提案する。これらを組み合わせることで、テンセグリティ構造において、従来研究に比して大きな変形での伸縮、ねじり、曲げといったモジュールにおける基本的な変形要素を実現できることを、静力学シミュレーション、実験により示す。 第 4 章「巻き付けテンセグリティモジュールによるロボット」では、第 3 章で実現したテンセグリティの伸縮、ねじり、曲げ、把持動作を組み合わせたロボットへの応用について述べる。ロボットの応用例を示すために、ここでは移動型ロボット、ロボットアーム、マニピュレータへのテンセグリティモジュールの適用を行った。これにより、人工筋巻き付けによるテンセグリティの大変形手法の有用性を示す。 第 5 章「非加圧時に受動的伸長性を有する空圧人工筋」では、従来の空圧人工筋が有する大きな課題であった受動的伸長性の向上について述べる。空圧人工筋に受動的伸長性を与える手法として、従来のマッキベン型人工筋のゴムチューブとスリーブの間に、弾性を有する紐と、弾性を有さない紐から成る 1 本の紐を挿入する手法を提案する。これにより、非加圧時に受動的伸長性を有しつつ、加圧時に能動的に収縮する空圧人工筋を実現できることを示す。さらに、本人工筋を拮抗駆動で動作するロボットアームへ適用することで、提案する人工筋構成の有用性を示す。 第 6 章「受動的伸長性を持つテンセグリティモジュールの大変形」では、第 5 章で開発した受動的伸長性を有する人工筋を用いたテンセグリティ構造の大変形手法について述べる。テンセグリティの圧縮部材として空圧シリンダを用いることによって、テンセグリティの拡大変形が可能となることを示す。そして、6 本の空圧シリンダと 24 本の人工筋という 30 本個のアクチュエータに関して、遺伝的アルゴリズムを用いた駆動最適化について述べる。これを用いることにより、テンセグリティ構造の目的の変形を実現するための駆動すべきアクチュエータの組み合わせを決定することができる。 第 7 章「拡大変形を伴うソフトテンセグリティロボット」では、受動的伸長性を有する人工筋を用いたテンセグリティの拡大変形を用いることで周囲の環境や構造物を支えるソフトテンセグリティロボットの実現可能性を示すため、転がりと拡大を行うロボット、インチワーム型の移動と拡大を行うロボットへの適用を行う。これにより、受動的伸長性を有する人工筋を用いるテンセグリティの大変形手法の有用性を示す。そして、本研究で提案した細径人工筋の巻き付けを用いたテンセグリティ構造の大変形手法、受動的伸長性を有する人工筋を用いたテンセグリティ構造の大変形手法の 2 種類の手法の比較について、ロボット応用の観点からまとめる。 第 8 章「結論」では、本研究で得られた結果をまとめ、研究の今後の展望について述べる。
--

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学機関リポジトリにてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Repository.

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	小林亮太		審査員主査： Chief Examiner	難波江裕之	

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This paper investigates soft tensegrity robots designed for flexible environmental adaptation and structural support. The research focuses on a six-bar tensegrity configuration driven by pneumatic artificial muscles (PAMs) to achieve the inherent lightweight benefits of tensegrity alongside large-scale deformation. The core methodology employs two primary approaches to realize significant structural transformations based on the deformation of the triangular facets.

First, a technique is proposed in which thin PAMs are wound around the struts and rubber threads of the module. By optimizing muscle placement, their contraction is efficiently converted into fundamental motions, including expansion, torsion, and bending. To ensure reliability, a method to enhance the durability of thin PAMs under extreme bending was developed by applying adhesive to create a partition structure on the sleeve fibers, a technique validated through durability testing.

Second, the study addresses a critical limitation of conventional PAMs—their lack of passive extensibility—by developing a novel artificial muscle that allows for passive elongation when unpressurized. This is achieved by inserting a hybrid string, comprising both elastic and non-elastic components, between the rubber tube and the sleeve. This innovation enables the tensegrity to undergo expansive deformation when used in conjunction with pneumatic cylinders as compression members. To manage the complexity of a system involving thirty actuators (six cylinders and twenty-four PAMs), a genetic algorithm was employed to optimize the drive patterns required to achieve specific target configurations.

The utility of these highly deformable structures is demonstrated through various robotic applications, such as an inchworm-inspired mobile robot, a rolling robot, and robotic manipulators. The study confirms that the soft tensegrity structures developed herein can achieve the extensive range of motion required for complex tasks. Finally, the paper evaluates the respective merits and demerits of the thin PAM winding method and the passively stretchable muscle approach.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学機関リポジトリにてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Repository.