

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		小林 亮太	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	難波江 裕之		准教授	審査員	塚越 秀行	教授
	審査員	遠藤 玄		教授			
		前田 真吾		教授			
		中西 洋喜		教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「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」と題し、以下の8章よりなる。

第1章「序論」では、まず、圧縮を支持する棒状の剛体である圧縮部材と、引張を支持する紐状の弾性体である張力部材を組み合わせた構造体で構成される従来のソフトテンセグリティロボットを概観し、ゴムチューブとそれを覆うスリーブで構成される空圧人工筋を用いれば高い軽量性と形状適応性を両立できる可能性がある一方、構造の変形量が小さく、多様な動作を生成するための機構構成法や駆動法が明らかでないことが課題であると指摘している。この課題に対し、6本の圧縮部材と24本の張力部材から構成される球状のテンセグリティ構造において、一つの圧縮部材を底辺とし、これに最隣接する他の圧縮部材の端点を頂点とする三角形を扁平化する手法を考案し、それを実現する設計手法が必要であると述べている。さらにテンセグリティロボットの多様な運動の実現には、伸縮・曲げ等の大変形運動を実現する個別のモジュール化したテンセグリティを組み合わせる必要があると主張している。そして本研究の目的は、空圧人工筋によるソフトテンセグリティロボットの大変形のための数理モデルに基づいた設計手法を確立するとともに、その有用性を実験により示すことであると述べている。

第2章「細径人工筋の屈曲駆動耐久性向上」では、前述の三角形の扁平化には、細径の空圧人工筋（以下細径人工筋）による駆動が有効であるが、その屈曲駆動での耐久性向上が課題であると指摘している。スリーブの繊維同士の位置ずれに伴うゴムチューブの露出が屈曲駆動における破損機序であることを観察により明らかにしている。細径人工筋のスリーブへの接着剤の塗布により繊維上に突起状の微細構造を形成し、繊維同士のずれを抑制する手法を提案し、最大で10、000倍以上の屈曲駆動回数の向上が可能であることを耐久試験により示している。

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、まず、細径人工筋を三角形に沿って巻き付けることにより、テンセグリティモジュールの伸縮、曲げ、およびねじり変形を実現する構成法を提案している。数理モデルを導出し、数値計算により細径人工筋の配置を変位量に関して最適化した試作機を用いて、約25%の伸長と約40%の収縮、40度以上の曲げ、および50度以上のねじり変形をそれぞれ実現し、大変形における提案手法の有用性を示している。

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章で構成したモジュールを索状に組み合わせることによってロボットを構成し、狭隘空間の移動、ピックアンドプレース、ねじ回し動作をそれぞれ試作機により実現している。

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、まず、第2の手法として三角形の扁平化には空圧人工筋への受動的伸長性の付与が有効であると述べ、高伸長部と低伸長部が直列に配置された紐状要素をゴムチューブとスリーブの間に挿入し、一方の端点を人工筋本体、他端を駆動対象へと接続する構成法を提案している。非加圧時には高伸長部により受動的伸長性を実現し、加圧時には低伸長部がゴムチューブとスリーブとの摩擦により固定されることで駆動力の伝達を実現することを試作機による実験により示している。さらに、伸長により急激に剛性が増加する非線形伸長部を紐状要素に追加する構成を提案し、拮抗駆動系における可動範囲を拡大できることを示している。

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、まず、第5章で構成した空圧人工筋を張力部材としてテンセグリティモジュールを構成する手法を提案し、試作機により30%以上の収縮変形が可能であることを示している。次に、空圧シリンダを圧縮部材として使用することで、圧縮部材の長さ変化を伴う大規模な変形を可能とする構成を提案している。遺伝的アルゴリズムを用いた逆解析により適切な空圧シリンダと空圧人工筋の駆動の組み合わせを特定し、高さや体積等を最大化する所望の変形を実現している。

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、まず、第6章で開発したテンセグリティモジュールに、複数センサおよび駆動システムを搭載することで、1系統の空圧供給により、転がり動作と形状変形、および環境認識が可能なロボットの構成法を提案している。次に、災害対応を想定し、崩れた模擬建造物の下部まで転がり、拡大変形により建造物を支持する動作を実現している。さらに、モジュールを索状に接続したロボットを構成して、狭隘空間での移動と拡大変形が可能であることを示している。

第8章「結論」では、本研究で得られた結果を総括し、今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は空圧人工筋を用いた大変形可能なソフトテンセグリティロボットの実現のための数理モデルに基づいた設計手法を確立するとともに、その有用性を実験により示したものであり、工学上、工業上、貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)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