

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	多繊維能動構造体とヒト型筋骨格ロボットの研究
Title(English)	
著者(和文)	車谷駿一
Author(English)	Shunichi Kurumaya
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11127号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鈴木 康一,中島 求,田中 博人,菅原 雄介,遠藤 玄
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11127号, Conferred date:2019/3/26, 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）： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	( 工学 )
学生氏名： Student's Name	車谷駿一		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	鈴森康一
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	遠藤玄

### 要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本研究の目的は軽量かつ高出力で形状柔軟性を特徴とする多繊維能動構造体の開発とこれを適用することでヒトの筋骨格構造と超冗長駆動系を有するヒト型筋骨格ロボットを実現することである。

第1章「序論」では、軽量かつ柔軟な空圧人工筋とヒト型筋骨格ロボットが求められる背景および従来研究の課題を述べ、本研究の位置づけと目的を明らかにした。

第2章「細径人工筋の力学特性解明と定式化」では、ロボット適用に向けた細径人工筋の製作方法を提案し、形状柔軟性を示した。実験的に細径人工筋の収縮力、収縮率、径方向膨張率、コンプライアンス特性に関する力学特性を明らかにした。実験から得られた細径人工筋の力学特性を元に、実験式が細径人工筋の収縮力と軸方向収縮率に適用できるだけでなく、体積変化に関する実験式を用いて径方向膨張率にも適用できることを示した。また、細径人工筋の破壊機構を明らかにし、2種の繰り返し曲げ耐久試験法を提案した。繰り返し曲げ耐久試験では細径人工筋が曲げた状態で100万回の収縮動作に耐えうることを示した。

第3章「多繊維能動構造体の開発と筋繊維干渉メカニズムの解明」では、ロボット応用に向けた並列構造人工筋と能動織布を考案し、多繊維化されたアクチュエータの端部処理法および送気系の設計手法を確立した。また、細径人工筋のみを用いて多繊維化することで形状応用や織布化する方法を考案し、これら多繊維能動構造体が細径人工筋と同等の形状柔軟性があることを示した。多繊維化の収縮特性に与える影響を明らかにするために並列構造と三つ編み構造に分類して力学特性についてモデリングを行い、収縮特性の理論式、多繊維化によって収縮率が向上すること、収縮特性に影響を与えるパラメータが並列構造においては束ねた本数と人工筋のアスペクト比、三つ編み構造においては編み目の密度であることを明らかにした。上記から明らかになった収縮特性に影響を与えるパラメータを設計変数とした実験を行い、その結果と理論式を比較して収縮特性の傾向が一致していることを確認した。並列構造人工筋においては束ねた本数と人工筋のアスペクト比が大きいほど、三つ編み構造においては編み目が密なほど収縮率が増加する傾向になった。しかしながら、収縮率増加モデルには筋繊維間の摩擦や人工筋の変形および長さの不均一さが考慮されていないため、三つ編み構造では編みの粗密度によって理論値と実験値に差が出た。これら実験値と理論式の誤差要因を疎密度別に同定した。特性試験の最大印加圧 0.50 MPa において10本の細径人工筋からなる並列構造人工筋の最大収縮力は159.8 Nであり、最大収縮率は29%で単体と比較して収縮率は11%増加した。最大印加圧 0.40 MPa において細径人工筋12本からなる三つ編み能動織布の最大収縮力は131.4 N、最大収縮率は29.6%で単体と比較して22%増加した。この実験結果を元に従来の人工筋および能動織布と比較して収縮率、軽さ、質量エネルギー密度、形状柔軟性の観点で優れているアクチュエータであることを示し、従来の織布化による収縮率低下問題も解決した。

第4章「ヒト型筋骨格ロボットの開発」では、筋肉自由度、筋配置および骨格構造の観点から、ヒトの骨格と多繊維能動構造体を用いてヒトの筋骨格駆動系を模倣したヒト型筋骨格ロボットの設計手法を提案した。従来の筋骨格ロボットはアクチュエータの取り付け密度の問題から筋肉自由度を大きく取れないという問題があったが、軽量で形状柔軟性のある多繊維能動構造体を適用することでこれを解決した。提案した設計概念を用いてヒト型筋骨格ロボットの顎関節、体幹、下肢を開発し、ヒトと比較して顎関節で100%、体幹で29.4%、下肢で85.4%の筋肉数を再現した。開発した筋骨格ロボットの動作試験から医学的に明らかになっている筋肉収縮の組み合わせによってヒトの動作メカニズムを再現できることを示した。顎関節の動作試験において口の開閉と左右へのすりつぶし動作を実現した。体幹の能動的動作においては屈曲・伸展、側屈、回旋動作を実現した。下肢にある股関節では屈曲・伸展、内外転、回旋の動作を、膝関節では屈曲・伸展、回旋の動作を、足関節においては背屈・底屈、内外返し諸動作をそれぞれ実現した。また、二関節筋による2つの関節動作、膝関節の終端強制回旋機構を筋骨格駆動系で実現したことを実験で示した。従来の筋骨格ロボット足部アーチ構造は足部の骨がリンクになっていたため、骨同士の干渉による足部アーチ構造の剛性変化は再現できなかったが、足部アーチ構造をヒトと同様の骨格構造とすることでコンプライアンス特性実験において剛性変化に関与する後脛骨筋と長腓骨筋を収縮させて力学特性変化を測定し、筋肉の収縮に対してコンプライアンスおよびエネルギー散逸率が変化することを確認した。

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、東工大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で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 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) : 博士 Academic Degree Requested Doctor of	( 工学 )
学生氏名 : Student's Name	車谷駿一		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	鈴木康一
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	遠藤玄

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

This paper presents development of multifilament active structure and musculoskeletal robot. Focusing on the high output weight ratio and shape flexibility of thin McKibben muscle, multifilament active structure has been designed, which realizes its high contraction force with its light weight and shape flexibility by making thin McKibben muscles into multifilament. The effects of multifilamentation have been figured out from both the theoretical model and experimental results and clarified that its contraction ratio is improved by muscle fiber interference. From the theoretical model, design parameters related to the characteristic have been estimated and the influence of the design parameters on the characteristics has been verified experimentally. From experimental results, multifilament active structures are superior in terms of contraction ratio, lightness, output weight ratio, shape flexibility compared to conventional artificial muscle and active textile.

Design method of musculoskeletal robot using multifilament active structures has been proposed. In this paper, a jaw joint, trunk and lower limb have been developed and experimented with individual motion. Taking advantage of the output weight ratio, compliance characteristics and shape flexibility of the developed multifilament active structure, musculoskeletal robot has been developed to apply the multifilament active structure to a skeletal structure. The musculoskeletal robot has a redundant driving system and a human musculoskeletal structure as well as human, imitating the human musculoskeletal driving system. The developed musculoskeletal robot has realized muscle numbers and redundancy which could not be attained by conventional musculoskeletal robotic mechanism and showed individual human motion by the same muscle contraction as that of human and variable rigidity of foot arch structure specific to musculoskeletal mechanism.

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、東工大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で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).