T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	細径人工筋を用いた筋骨格ロボット体幹背部の試作
Title(English)	Prototype of Musculoskeletal Back Mechanism with Thin Mckibben Muscles
著者(和文)	車谷駿一, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Shunichi Kurumaya, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, Koichi Suzumori
出典(和文)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2018 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2018 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2018, 6

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

細径人工筋を用いた筋骨格ロボット体幹背部の試作

Prototype of Musculoskeletal Back Mechanism with Thin Mckibben Muscles

○正　車谷 駿一（東工大）　　正　難波江 裕之（東工大）
正　　遠藤　玄（東工大）　　正　鈴森 康一（東工大）

Shunichi KURUMAYA, Tokyo Institute of Technology, kurumaya.s.aa@m.titech.ac.jp
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology
Gen Endo, Tokyo Institute of Technology
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Musculoskeletal back mechanism with 56 degree of freedom driven by thin Mckibben muscles has been developed. Back mechanism of conventional musculoskeletal robots is simplified or underactuated and do not have all muscles of human because it is difficult for conventional motors to be attached. Because thin McKibben muscles are small enough to be densely attached, we can overcome these problems by applying them to the back of the musculoskeletal robot.

***Key Words*:** Musculoskeletal robot, Thin McKibben muscle, soft actuator, Spinal column, Redundant driven system

1.　緒言

脊椎動物は多数の椎骨がつながった脊柱を有し，ヒトだけでなく哺乳類，爬虫類，魚類など幅広い生物が脊柱を持つ．生体模倣ロボットを開発するとき，脊柱構造と付随する筋肉の機能を再現することは必要不可欠であり，ヒトだけでなくその他脊椎動物のロボット開発にも広く応用できる可能性がある．本研究ではヒトの椎体運動に関与する筋肉を再現した筋骨格ロボットを開発し，脊椎動物型筋骨格ロボットに広く応用できることを示すことを目的とする．

筆者らが開発したコンパクトな腱駆動機構系を実現することができるアクチュエータとして細径人工筋がある[1]．これまでにも，この人工筋を多数集積した多繊維構造人工筋を開発し，ヒトと同様の筋配置，冗長性を持つ筋骨格ロボットの開発を行っており，下肢[2,3,4]，上肢[5,6]において良好な動作を確認している．これまでに開発してきた筋骨格ロボットは体幹部分にアクチュエータを有しておらず，金属芯によって姿勢を維持していた．そのため，体幹部分を動かすことや，柔軟性を変化させることで姿勢維持や脱力を制御することは出来なかった．しかしながら，体幹部分は歩行や姿勢維持といったヒトの動作を実現する上で極めて重要な役割を持っており，剛性変化や姿勢制御可能な脊柱の動作機構の開発が求められている．

体幹部分の筋肉は椎体間に起始，停止を持ち，複雑かつ大量に配置されている一方で，動作としては屈曲，伸展，側屈，回旋といった基本的動作しかないため，これまでの筋骨格ロボットは劣駆動や簡易化された機構で開発されていた[7,8]．こうした背景として，脊柱は高自由度かつ冗長駆動系で筋骨格ロボットの開発において設計が難しいという点がある．しかしながら，脊柱は頭部，頚椎，胸椎，腰椎それぞれにおいて個別の動きが出来て作用する筋肉も異なっており，人間らしいしなやかな動きの実現を考えた場合，人間と等価な冗長駆動機構系にすることが望ましい．そこで，細径人工筋の高集積性と冗長駆動に適している点に着目し，脊柱運動に関わる筋肉を同種類，同配置で取り付け，ヒトの脊柱駆動機構の再現を行うことで，ヒトと同等の脊柱駆動メカニズムの再現を目指す．

本稿では．細径人工筋を用いた 56 自由度を有するヒトの脊柱背部駆動機構の試作ついて報告する．

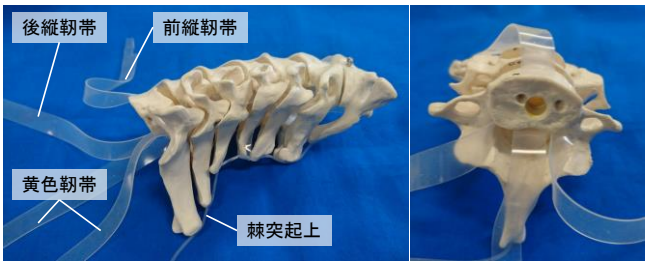

Fig.1 Ligament fixing between vertebral bodies (left: side view, right: cross-sectional view).

2.　ヒトの脊柱構造とロボット応用

ヒトの脊柱は上部から 7 の頚椎，12 の胸椎，5 の腰椎，そして下端の仙椎で構成される．ヒトの脊柱は S 字に湾曲しており，頚椎で前湾，胸椎で後湾，腰椎で前湾している．この生理的湾曲によって垂直加重を分散させ，しなやかに受け止めることが出来る．また，椎体は椎間板を挟んで靭帯によって連結されており，各椎体間で 3 自由度を持つ．この自由度によって屈曲，伸展，側屈，回旋の動作が可能となる．

前述した脊柱構造を再現するために，本研究では身長 160cm の骨格標本を用いてロボット開発を行った．開発に用いた骨格標本は脊柱に金属芯を有していたため，ヒトと同等に柔軟に稼動させることが困難であった．本試作では金属芯を除き，Fig. 1 に示すように靭帯に見立てたシリコンゴムで各椎体を固定することで，ヒトと同様の自由度および可動域を有する

Fig. 2 Spinal motion (left: bending, middle: extension, right: side bending).

脊柱を再現した（Fig. 2）．取り付けた靭帯は脊柱前部の前縦靭帯，椎孔内の後縦靭帯および黄色靭帯，棘突起上の棘上靭帯である[9,10].

3. 背部骨格筋による脊柱の駆動機構

背部深層には上部から多裂筋，回旋筋，頭半棘筋，頸半棘筋，胸半棘筋が存在し，それを覆うようにしてやや深層に頭最長筋，頭板状筋，頚板状筋，頸棘筋，頸最長筋，胸棘筋，胸最長筋，胸腸肋筋，腰腸肋筋が存在する．いずれの筋肉も脊柱の伸展に関与し，左右どちらかを体幹前部の対応する拮抗筋と合わせて動作させることで，側屈を行う．また，深層の筋肉群は回旋動作にも関与する．

4. 体幹骨格筋への適用

本試作研究では前述した背部の筋肉のうち，頭半棘筋，頸半棘筋，胸半棘，頭最長筋，頸最長筋，胸最長筋，腰腸肋筋を外径 4.8mm 細径人工筋で再現した．また，最長筋，半棘筋群は取り付け密度の観点から半数を取り付け，各筋肉独立駆動可能な 56 自由度脊柱ロボットを開発した．駆動実験では機能別に筋肉を分類し，7 種左右独立で 14 自由度とした．この自由度によって頚椎，胸椎，腰椎の各部位独立に伸展させることが可能である．取り付けた人工筋を駆動させ，脊柱の伸展，屈曲および回旋を行ったものを Fig. 3, 4 にそれぞれ示す．本試作では，拮抗筋が取り付けられていないため，伸展時の屈曲および回旋のみ行った．動作実験から図に示した脊柱の可動域を確認することが出来た．回旋運動は頚椎，腰椎においてわずかに確認できた．伸展においてはヒトの可動域を超える動作を確認できたが，これは拮抗筋を実装して拮抗駆動系にした場合，人間と同等に落ちると考えられる．また，頚椎の伸展は理論値と比較して小さくなったが，頭部を伸展させる筋肉が実装されていないこと，吊り下げているため負荷が大きいことが原因として上げられる．側屈に関してはいずれも理論値よりも小さな値となったが，体幹前部の筋肉を取り付けて同時に駆動させることで，より大きな可動域が期待できる．

5. 緒言

本稿では，細径人工筋を用いた筋骨格ロボット体幹背部の試作を行い，動作を確認した．試作ではヒトと同等の可動域を有する脊柱構造背部に 56 本の細径人工筋を取り付けた．動作試験では脊柱の伸展・側屈動作を確認し，ヒトと同等の可動域を有する脊柱ロボットの可能性を示した．

今後は体幹前部の筋肉を実装し，拮抗駆動系を構築し，動作試験を行う予定である．

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費(基盤(A),26249028「次世代マッキベン人工筋の実現」) の補助を受けて実施した．

参考文献

[1] Shunichi Kurumaya, Gen Endo, Hiroyuki Nabae, and Koichi Suzumori "Design of Thin McKibben Muscle and Multifilament Structure", Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 261, pp.66–74, 2017.

[2] 鈴森 康一，車谷 駿一，脇元 修一:“多繊維構造マッキベン人工筋の開発と筋骨格ロボットへの適用”，第 32 回 日本ロボット学会学術講演会，2D1-06，2014.

[3] 車谷駿一，鈴森康一，福田雅俊，脇元修一: “細径マッキベン人工筋を用いた筋骨格ロボット機構の研究　第 2 報下肢骨格ロボット機構の試作", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 講演論文集, 1P1-W04, 2015.

[4] 車谷駿一，森田隆介，鈴森康一，脇元修一: “細径マッキベン人工筋を用いた筋骨格ロボットの研究　第 4 報筋骨格ロボット股関節筋骨格ロボットへの適用", 第 24 回日本ロボット学会学術講演会, 1A1-03，2015.

[5] 福田雅俊，鈴森康一，車谷駿一，脇元修一: “細径マッキベン人工筋を用いた筋骨格ロボットの研究　第 3 報上肢骨格ロボット機構の試作", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 講演論文集, 1P1-W03, 2015.

[6] 森田隆介，車谷駿一，鈴森康一，福田雅俊，脇元修一: “細径マッキベン人工筋を用いた筋骨格ロボットの研究　第 5 報筋骨格ロボット肩甲上腕関節への適用", 第 24 回日本ロボット学会学術講演会, 3A3-04，2015.

[7] 浅野悠紀，上月豊隆，大久保壮一，川村将矢，矢野倉伊織，中島慎介，片山健，廣瀬俊典，垣内洋平，　岡田慧，稲葉雅幸:

[8] 実世界での環境接触動作に向けた人体模倣筋骨格ヒューマノイド腱悟郎の開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'16 講演論文集, 2A1-13a2, 2016.

[9] Marques HG, Jäntsch M, Wittmeier S, Owen Holland, Alessandro C, Diamond A, Lungarella M, Knight R (2010) ECCE1: The first of a series of anthropomimetic musculoskeletal upper torsos. In: Proceedings of the IEEE-RAS international conference on humanoid robots 2010, p 391–396, 2010.

[10] 相磯貞和訳:ネッター解剖学アトラス 原書第5版，図54, 55，株式会社南江堂 ，2015.

[11] 石井直方，左 明，山口 典孝: “カラー図解 筋肉のしくみ・働き事典 第 16 版”，株式会社 西東社，2013.

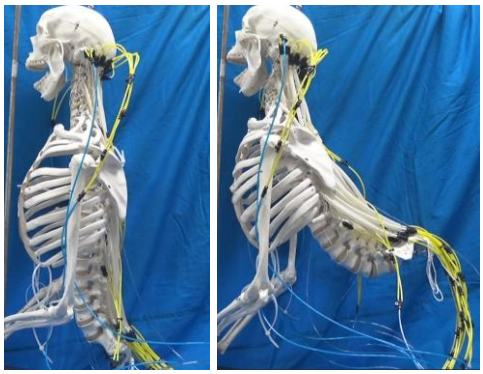

Fig. 4 Extension of the back mechanism.

Fig. 5 Side bending of the back mechanism (left: natural state, middle: left side bending, right: right side bending).