

令和 5 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03760

研究課題名(和文) 多繊維油圧人工筋肉が切り拓くパワー筋肉ロボティクス

研究課題名(英文) Power Muscle Robotics Realized by Multi-filament Hydraulic Artificial Muscles

研究代表者

鈴森 康一 (Suzumori, Koichi)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：00333451

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、力強い人工筋肉で駆動され、人間をはるかに超えた大きなパワーで作業を行うロボットを「パワー筋肉ロボット」と呼び、(1)パワーヒューマノイドと(2)ウェアラブルロボットへの応用を想定して、従来の機械仕掛けのロボットとは異なる「パワー筋肉ロボット」の可能性を探ることを目的とした。

具体的には、従来の空圧人工筋肉に比べて30倍以上のエネルギー密度を持つ油圧駆動のマッキベン型人工筋肉を用いて、29本の筋肉からなる長さ1.5mのヒューマノイドアーム、立ち上がり動作補助パワーウェアラブルロボット、大車輪運動を補助するスーパーマンスーツを試作し、「パワー筋肉ロボット」の有用性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、例えば、人間に超人的な運動能力を与えるウェアラブルロボットや、災害や外敵から人類を守る力強いヒト型ロボットの実現につながる。

既存の大型電磁モータや油圧シリンダを使う機械仕掛けのロボットとは異なり、生き物のような外観や特性を備えたヒューマノイドや、ヒトの身体形状や動きに沿って動作する装着感のよいウェアラブルロボットの実現につながり、重作業支援や災害対応といった現実の世界で、人間と協調しうる重作業支援ツールとしての活用が期待できる。

研究成果の概要(英文)： In this study, we call robots that are driven by powerful artificial muscles and perform tasks with great power far beyond that of humans "power muscle robots," and aim to explore the possibilities of "power muscle robots" that are different from conventional mechanized robots, assuming their application to (1) power humanoids and (2) wearable robots. The objective of this study was to explore the possibilities of "power muscle robots," which are different from conventional mechanized robots.

Specifically, using hydraulically driven McKibben-type artificial muscles that have 30 times higher energy density than conventional pneumatic artificial muscles, we developed a 1.5-m-long humanoid arm consisting of 29 muscles, a power wearable robot that assists in standing up motions, and a Superman suit that assists in giant swing performance. We demonstrated the usefulness of the "Power Muscle Robot."

研究分野：ロボティクス

キーワード：メカトロニクス 人工筋肉 パワーソフトロボット

1. 研究開始当初の背景

本研究では、力強い人工筋肉で駆動され、人間をはるかに超えた大きなパワーで作業を行うロボットを「パワー筋肉ロボット」と呼ぶ。パワー筋肉ロボットは、例えば、人間に超人的な運動能力を与えるウェアラブルロボットや、災害や外敵から人類を守る力強いヒト型ロボットといった設定で、これまで多くのSFで描かれてきた。社会においても、ロボティクスにおいても、ロボット誕生初期からの究極のロボット像の一つである。さらに近年、重作業支援や災害対応といった現実の世界で、人間と協調しうる重作業支援ツールとしての実現と活用が大きく期待されている。

単に大きな力のロボットを作るのであれば、既存の大型電磁モータや油圧シリンダを使えばよい。しかし、それらが実現するロボットの駆動機構は、重く硬く、ヒトや動物の筋肉駆動機構とは全く異なったものになる。そしてその違いがロボットとヒトの形態や運動特性に様々な違い(例えば、体腔内の狭空間へのアクチュエータの集積度、冗長駆動系の有無、自由度配置、関節の可動範囲、バックドライバビリティ、手先のコンプライアンス多角形、動作のしなやかさ/滑らかさ)を生み出し、その違いが、生き物のような外観や特性を備えたヒト型ロボットやヒトの身体形状や動きに沿って構成される装着感のよいウェアラブルロボットの実現を妨げてきた。もし大きなパワーを持つ優れた人工筋肉があれば本格的なパワー筋肉ロボットが実現でき、実世界でのロボット活用が大きく展開する。

2. 研究の目的

本研究では、大出力の人工筋肉を用いることにより、従来の機械仕掛けのロボットとは異なる本格的な「パワー筋肉ロボット」を創造し、その可能性を探る実証研究をおこなう。これにより、ロボティクスが目指してきた究極のロボット像の一つであるパワー筋肉ロボットの設計法の確立や有用性を示すことを目的とする。

3. 研究の方法

代表者らはこれまでに、油圧駆動のマッキベン型人工筋肉を実現した。空圧から油圧への変更により高圧での駆動が可能となる。現在開発している油圧人工筋肉は外径 18mm で 1.3 ton の最大収縮力、従来の空圧人工筋肉に比べて 30 倍以上のエネルギー密度を持つ。この人工筋肉技術を基に、パワーヒューマノイド及びパワーウェアラブルロボットについて設計、試作、評価を行う。

4. 研究成果

4. 1. パワーウェアラブルロボット

パワーウェアラブルロボットに関しては、立ち上がり動作補助と、懸垂運動及び大車輪運動用の2種類のデバイスを試作し、実験的評価を行った。

立ち上がり動作補助用のデバイスを図 1 に示す。膝関節部の動作補助を行うことを想定しており、人工筋 1 本を搭載している。関節部は人の膝関節における回転中心の移動を考慮し、四節リンクを用いた構成となっている。立ち上がり動作時の補助性能に関して、筋電センサによる評価を行い、立ち上がり時の補助効果を確認した。

懸垂運動用のデバイスでは、装着者は力をほとんど発揮することなく懸垂運動を行えることが確認された。また、大車輪用のデバイスの質量は 30 kg であり、腰部のジョイントが人工筋肉によって駆動されるようになっている。人工筋肉への油圧の印加は電磁弁を用いたマニュアル

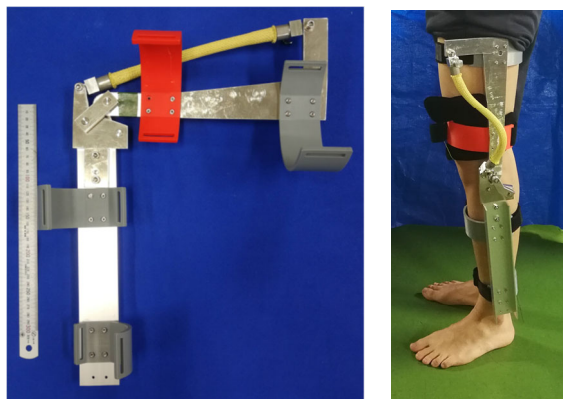


図 1 立ち上がり動作補助用パワーウェアラブルロボット

での制御としている。駆動試験を行い、40 kg のおもりを取り付けた状態で、大車輪運動の実現に成功した。

4. 2. パワーヒューマノイド

パワーヒューマノイドロボットアームを開発した。本ロボットアームは、合計 29 本の人工筋肉を用いた 7 自由度構成となっている。図 2 に本ロボットアームを示す。アームの全長は人の平均的な腕の約 2 倍の 1.5 m となっている。

肩の部分は、前後、左右の回転と腕の持ち上げを担う 3 つの関節で構成されている。前後と左右の回転関節はともに、油圧筋肉の配置は左右対称の設計となっており、両側に三本の油圧筋肉が配置されている。腕を持ち上げる関節には、上部に五本と下部に一本と非対称に配置されている。これは、可搬重量を高くしつつ、アームの総重量を低く抑えるためである。

肘部分は 2 つの関節で構成されており、それぞれ前腕の回転と持ち上げ動作に対応している。回転用の関節は左右に各 2 本の人工筋肉を配置しており、ワイヤ駆動機構を用いて回転運動を実現している。持ち上げ動作の関節は肩部分の関節と同様に、上側に三本、下側に二本の人工筋肉を配置する非対称の設計となっている。手首部に関しても 2 つの関節で構成されており、そ

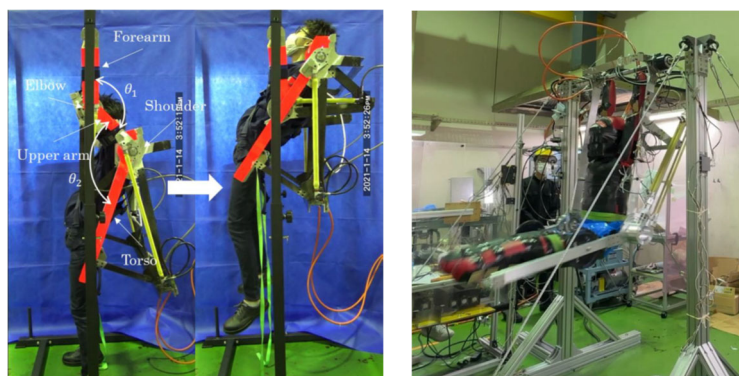


図 2 パワーウェアラブルロボット (左：懸垂用、右：大車輪用)

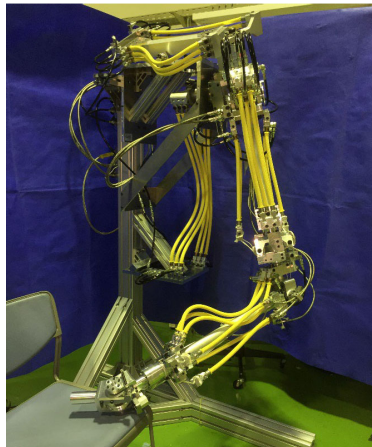


図 3 パワーヒューマノイドロボットアーム

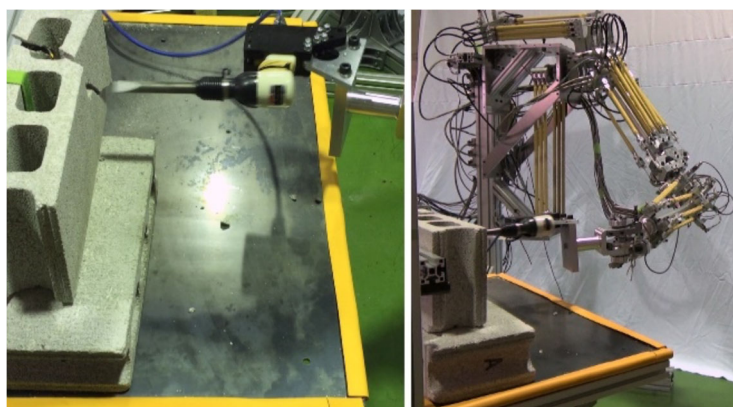


図 4 パワーヒューマノイドロボットアームによるハツリ作業

れぞれ手首の回転と持ち上げに対応する。回転部分は肘部と同様に、ワイヤ駆動機構を採用しており、人工筋肉に関しては、左右各1本配置しており、持ち上げ動作には、上側に1本の筋肉のみを配置し、拮抗側はバネを使用している。また、エアハンマーを用いたハツリ作業の実験を行った図3に示すように、本ロボットアームを用いてコンクリートブロックのハツリに成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Mazzolai Barbara, Carpi Federico, Suzumori Koichi, et al.	4. 巻 accepted manuscript
2. 論文標題 Roadmap on soft robotics: multifunctionality, adaptability and growth without borders	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Multifunctional Materials	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/2399-7532/ac4c95	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 該当する

1. 著者名 Feng Yunhao, Ide Tohru, Nabae Hiroyuki, Endo Gen, Sakurai Ryo, Ohno Shingo, Suzumori Koichi	4. 巻 83
2. 論文標題 Experimental comparison of antagonistic hydraulic muscle actuation under single/dual and zero/overlapped servovalve configurations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mechatronics	6. 最初と最後の頁 102737 ~ 102737
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.mechatronics.2022.102737	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 高倉隆大, 馮雲皓, 木口皓介, 難波江裕之, 鈴森康一	4. 巻 61
2. 論文標題 油圧ロボットとアクチュエータ 油圧アクチュエータ開発とロボットへの応用 タフランナー・油圧7軸ロボットアーム・パワーソフトロボット	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 油空圧技術	6. 最初と最後の頁 8-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 鈴森康一	4. 巻 60
2. 論文標題 「強いロボット」を実現する油圧技術	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 296-300
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Suzumori Koichi	4. 巻 32
2. 論文標題 New Robotics Pioneered by Fluid Power	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 854 ~ 862
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2020.p0854	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 Kittisares Sarin, Nabae Hiroyuki, Endo Gen, Suzumori Koichi, Sakurai Ryo	4. 巻 7
2. 論文標題 Design of knee support device based on four-bar linkage and hydraulic artificial muscle	5. 発行年 2020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/s40648-020-00165-2	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 Sarin Kittisares, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, Koichi Suzumori, Sakurai Ryo	4. 巻 7-16
2. 論文標題 Design of knee support device based on four-bar linkage and hydraulic artificial muscle	5. 発行年 2020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/s40648-020-00165-2	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 Sarin Kittisares, Yosiharu Hirota, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, Koichi Suzumori	4. 巻 85
2. 論文標題 Alternating pressure control system for hydraulic robots	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Mechatronics	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) 10.1016/j.mechatronics.2022.102822	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 -

[学会発表] 計17件(うち招待講演 7件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Koichi Suzumori
2. 発表標題 Soft actuators/robots pioneering E-kagen world
3. 学会等名 The international Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (Paficicem2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koichi Suzumori
2. 発表標題 Soft robotics and material sciences: An adaptive way leading to a smart society and future
3. 学会等名 The 5th International Conference on Active Materials and Soft Mechatronics (AMSM2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koichi Suzumori
2. 発表標題 Soft Robotics leading to E-Kagen technology
3. 学会等名 the second general assembly of Priority Programme "Soft Material Robotic Systems" (SPP 2100) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koichi Suzumori
2. 発表標題 Soft Actuators Pioneering E-kagen Robotics
3. 学会等名 MaP Distinguished Lecture Series 'Soft Robotics' (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ヒョウ ウンコウ, 井手徹, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一, 櫻井良, 大野真吾
2. 発表標題 油圧人工筋肉を用いた7自由度パワーソフトロボットアームの開発
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2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 程晋輝, 井手徹, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
2. 発表標題 油圧人工筋肉を用いた上肢用超人化スーツによる懸垂運動の実現
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2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koichi Suzumori
2. 発表標題 Soft Robotics Leading to E-kagen Science and Technology
3. 学会等名 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Koichi Suzumori
2. 発表標題 Future soft actuator based on E-kagen engineering
3. 学会等名 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ヒョウ ウンコウ, 井手 徹, 難波江 裕之, 遠藤 玄, 鈴森 康一, 櫻井 良, 大野 真吾
2. 発表標題 油圧人工筋肉を用いた拮抗型関節の開発と安全性評価
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2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sarin Kittisares, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, Koichi Suzumori, Ryo Sakurai, Shingo Ohno
2. 発表標題 Hydraulic Artificial Muscle-Powered Knee Support Wearable Device with Four-bar Linkage Mechanism
3. 学会等名 2020 JSME Conference on Robotics and Mechatronics
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴森康一
2. 発表標題 ソフトアクチュエータによるE-kagenモーションコントロール,
3. 学会等名 日本機械学会RC283第3回分科会「モーションコントロールを支える要素技術の最新動向～歯車とそのライバル達～」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sarin Kittisares, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, Koichi Suzumori
2. 発表標題 Knee Support Device with Polycentric Joint Mechanism Driven by Bundled Thin Soft Muscles
3. 学会等名 The Robotics and Mechatronics Conference 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村友哉, 井手徹, 齋藤健生, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
2. 発表標題 高出力液圧細径マッキベン型人工筋の開発と能動織布への応用
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 齋藤健生, 中村友哉, 井手徹, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
2. 発表標題 液圧細径人工筋肉を用いた超人化グローブの試作研究
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 木村 稔輝, 井上 淳, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
2. 発表標題 マルチチャンネルEHA のエネルギー効率に関する実験的検証
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 Tatsuhiko Hiramitsu, Koichi Suzumori, Hiroyuki Nabae, Gen Endo
2. 発表標題 Experimental Evaluation of Textile Mechanisms Made of Artificial Muscles
3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Soft Robotics (Robosoft 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 車谷 駿一, 高橋 宣裕, 鈴森康一
2. 発表標題 細径人工筋を用いたフィッティング機構の試作
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 鈴森 康一	4. 発行年 2021年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 208
3. 書名 いいかげんなロボット	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京工業大学 鈴森・遠藤研究室 http://www.robotics.mech.e.titech.ac.jp/home.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
研究 分 担 者	難波江 裕之 (Nabae Hiroyuki) (90757171)	東京工業大学・工学院・助教 (12608)	

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
---------	---------