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)	液圧細径人工筋肉を用いた超人化グローブの試作研究
Title(English)	Prototype Research of Superman Glove with Thin Hydraulic Artificial Muscles
著者(和文)	齋藤健生, 中村友哉, 井手徹, 難波江裕之, 遠藤玄, 鈴森康一
Authors(English)	Kensei Saito, Tomoya Nakamura, Tohru Ide, 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2019 予稿集, Vol. , No. , pp.
Citation(English)	Proceedings of the 2019 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. , No. , pp.
発行日 / Pub. date	2019, 6

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

液圧細径人工筋肉を用いた超人化グローブの試作研究

Prototype Research of Superman Glove with Thin Hydraulic Artificial Muscles

○学　齋藤健生　（東工大）　学　中村友哉　（東工大）
正　井手徹　（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）

Kensei SAITO, Tokyo Institute of Technology, saito.k.bo@m.titech.ac.jp
Tomoya NAKAMURA, Tokyo Institute of Technology
Tohru IDE, Tokyo Institute of Technology
Hiroyuki NABAE, Tokyo Institute of Technology
Gen ENDO, Tokyo Institute of Technology
Koichi SUZUMORI, Tokyo Institute of Technology

Recently, powered exoskeletons for strengthening have been used in heavy work like construction industry. However, most of the powered exoskeletons can only strengthen a part of the body of a user. A small and light actuator which generates great force is required for the powered exoskeletons strengthening the whole body. It is expected that a thin hydraulic artificial muscle is such a high efficient actuator. In this paper, we developed the thin hydraulic artificial muscle that has a mass of 22 g/m and a diameter of 6 mm. It has 1262 N generation force in applying 5 MPa. We also developed and evaluated a powered exoskeleton for strengthening hands using the thin hydraulic artificial muscle. The result showed that the artificial muscle strengthened the grip force of a finger about 300 N under a pressure of 3 MPa. Therefore the thin hydraulic artificial muscle is effective for strengthening powered exoskeletons.

***Key Words*:** Thin hydraulic artificial muscle, High generation force, Wearable robot

1　緒言

近年，災害現場，生産現場，建設現場等の重作業や，医療介護分野で，人体を補助・強化するパワードスーツの需要が高まっている [1][2][3][4][5]．人体の強化を目的としたパワードスーツには大きい発生力をもつアクチュエータが必要となる．従来の発生力の大きいアクチュエータは，発生力が大きくなるにつれて，重量や体積も大きくなる傾向にある．しかし，重量の大きいアクチュエータを用いたパワードスーツは重いため，装着者の負担を大きくしてしまう．また，体積の大きいアクチュエータを用いたパワードスーツは大きくなるため，装着者の可動域を小さくしてしまう．これらの影響は，多数のアクチュエータを使用をする全身強化のパワードスーツでは特に顕著になる．そのため，装着者の負担が小さく，可動域の大きい全身強化のパワードスーツの開発には，軽量でコンパクトな，発生力の大きいアクチュエータが必要となる．

軽量・コンパクトという特徴をもつアクチュエータとして空圧細径人工筋肉が注目されている．空圧細径人工筋肉は，圧力 0.3 MPa を印加した時の発生力は 20 N 程度と小さい．しかしながら，空圧細径人工筋肉を含むマッキベン型人工筋肉は，構成するゴムの径の二乗と印加する圧力に比例して，発生力が大きくなることが幾何学的に示されている [6]．実際，空圧利用されることの多かった人工筋肉を液圧利用し，高圧化させた液圧人工筋肉では 7 MPa 印加時に，最大収縮力 12 kN という大きい発生力が得られている [7][8]．しかしながら，従来の液圧細径人工筋肉の径は 40 mm と大きく，全身強化のパワードスーツには適さない．そこで，空圧細径人工筋肉を液圧化し，印加する圧力を大きくすることで，空圧細径人工筋肉のもつ軽量・コンパクトという特徴に加え，液圧人工筋肉のもつ大きい発生力を兼ね備えた液圧細径人工筋肉を開発できる可能性がある．

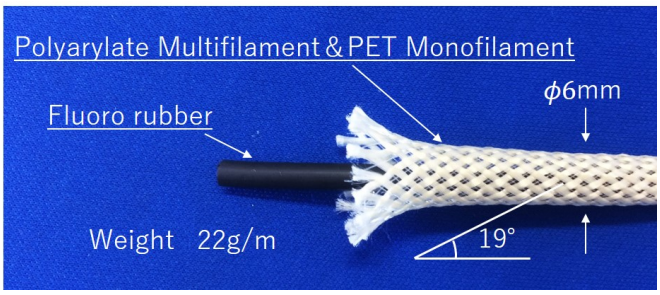

Fig.1 Configuration of the developed thin hydraulic artificial muscle

本稿では，軽量・コンパクトという特徴をもつ発生力の大きいアクチュエータとして液圧細径人工筋肉を開発する．また，全身強化のパワードスーツを開発する第一歩として，小さくて複雑な形状をもつことから体の中でも特に強化が困難である，手先を強化する超人化グローブを液圧細径人工筋肉を用いて試作する．最後に，超人化グローブを評価し，液圧細径人工筋肉のパワードスーツへの有用性を示す．

2　液圧細径人工筋肉

軽量・コンパクトという特徴をもつ発生力の大きいアクチュエータである液圧細径人工筋肉を開発する上で，高圧にも耐えら

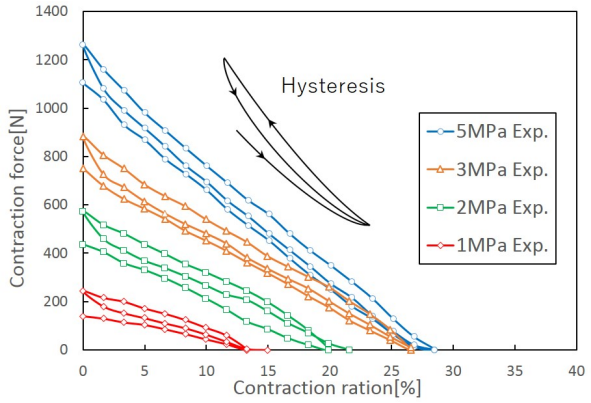

Fig.2 Contraction force vs Contraction ratio of the developed thin hydraulic artificial muscle

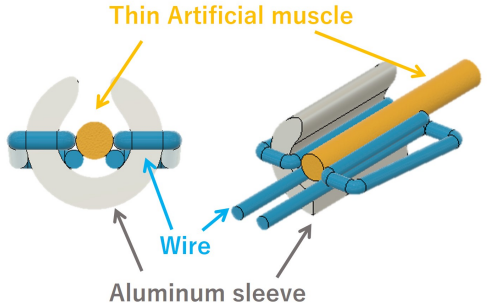

Fig.3 Configuration of the joining of the artificial muscle and the wire with the aluminum sleeve

れるゴムが必要となる．そこで複数のゴムに対して耐圧試験を行い，耐圧性の高いゴムを用いて液圧細径人工筋肉を開発した．開発した液圧細径人工筋肉（Fig.1) は，ポリアリレート繊維のマルチフィラメントと PET のモノフィラメント混合の繊維を編み角 19° で編んだスリーブと，フッ素ゴムで構成されている．また，その外径は約 6 mm，単位長さあたりの質量は 22 g/m と軽量でコンパクトなアクチュエータである．加えて，収縮率-収縮力の関係（Fig.2）に示す通り，開発した液圧細径人工筋肉は，5 MPa 印加時に最大収縮力 1262 N という大きい発生力をもつ．Fig.2 には，人工筋肉に印加した圧力の増加方向と減少方向で収縮力は異なる値を示している．このヒステリシス特性は人工筋肉の内部のゴムとスリーブ間の摩擦に起因すると考えられる．

続いて，液圧細径人工筋肉をロボットに応用するために，人工筋肉とワイヤの接合方法について検討を行う．空圧細径人工筋肉では，人工筋肉とワイヤを接合することで筋骨格ロボットや上肢支援アシストスーツなどに応用されてきた [9][10]．そのため液圧細径人工筋肉でも，ワイヤとの接合を行うことで様々なロボットに応用できる可能性がある．しかしながら，液圧細径人工筋肉は，空圧細径人工筋肉に比べ発生力が大きいため，人工筋肉とワイヤの接合に空圧細径人工筋肉に用いられた手法を適用してしまうと，発生力に耐えられず破損してしまう．そこで，アルミニウムスリーブを用いたワイヤとの接合を行った．その構成を Fig.3 に示す．ワイヤをアルミニウムスリーブに二重に巻きつけ，人工筋肉とともにかしめた．この手法を用いることで，液圧細径人工筋肉の発生力にも耐えられる人工筋肉とワイヤとの接合を実現した．

3　超人化グローブの概観

本稿では液圧細径人工筋肉を用いて，手先の強化を行う超人化グローブを試作した．超人化グローブの構成を Fig.4 に示す．超人化グローブは，外骨格型のパワードスーツで，上腕に固定した

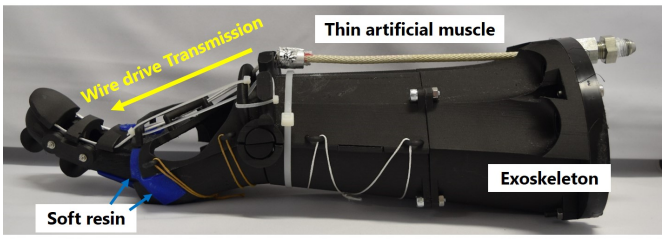

Fig.4 Configuration of the developed Superman glove

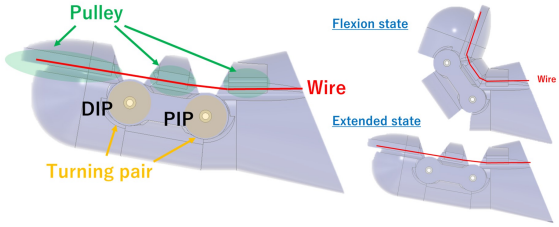

Fig.5 Flexural mechanism of the finger exoskeleton

液圧細径人工筋肉からワイヤを用いて指の外骨格までの動力伝達を行う．指の外骨格は Fig.5 に示すように，各関節は回転対偶になっており，腹部を通るワイヤが牽引することにより，指の外骨格が屈曲する．

4　超人化グローブの評価

本稿では，超人化グローブのみの把持力を評価する単体把持力測定と，超人化グローブを装着した状態での把持力を評価する装着試験を行った．評価方法を Fig.6 に示す．DIP 関節（第一関節）を回転自由，PIP 関節（第二関節）を伸展状態で固定した状態で，指の先端に固定したワイヤの張力 F をロードセルで測定した．測定値より指の先端から $R = 15$ mm 離れた位置での把持力 F_g を求め，評価した．なお 1 MPa 印加した時のロードセルの値を 0 とし，そこからの増加量で評価した．

単体把持力測定で得られた結果を Fig.7 に示す．印加する圧力を 3 MPa 増加させたとき，超人化グローブの指の把持力は約 300Ñ 増加した．また，圧力の増加時と減少時で把持量は異なる値を示したが，これは人工筋肉のヒステリシス特性に加え，ワイヤと外骨格間の摩擦に起因すると考えられる．また，印加する圧力が高くなるにつれて収縮力の増加量の低下が見られた．これは人工筋肉の収縮力が大きいため，人工筋肉に接合されたワイヤに伸びが生じたことに起因すると考えられる．

続いて，装着試験の結果を Fig.8 に示す．装着者のみの指の把持力が約 40 N 程度に対して，装着時では約 340 N 程度の指の把持力が生じた．この結果から超人化グローブは指に対して，約 300 N の強化を実現したと考えられる．

5　結言

本稿では，全身強化のパワードスーツを開発するために求められる軽量・コンパクトという特徴を持つ発生力の大きいアクチュエータとして液圧細径人工筋肉を開発した．また液圧細径人工筋肉を用いて，強化が困難な手先を強化をするパワードスーツである超人化グローブを試作した．最後に超人化グローブを評価し，指先の把持力が強化されたことを確認した．以上より液圧細径人工筋肉のパワードスーツへの有用性を示した．今後は液圧細径人工筋肉を用いて，装着者への負担が少なく，可動域の大きい，全身を強化するパワードスーツを開発する予定である．

謝辞

本研究は，科研基盤 (A)「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」(18H03760) を受けて実施したものです．

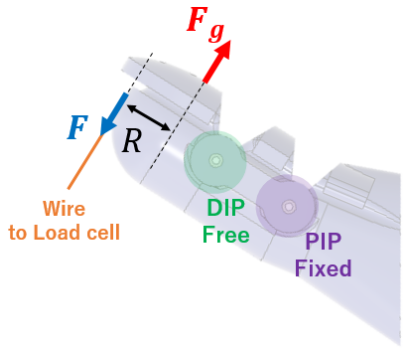

Fig.6 Schematic model of the finger exoskeleton in the evaluation

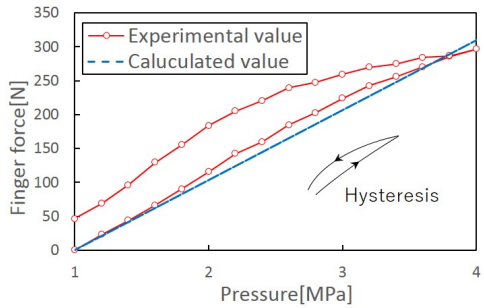

Fig.7 Finger force vs Apply pressure in unit testing

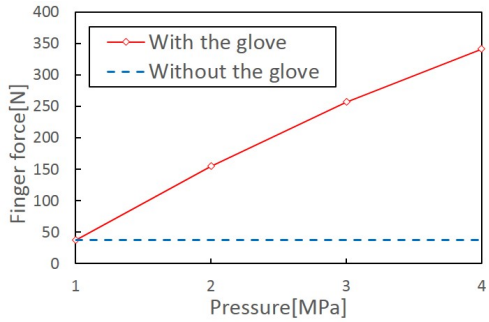

Fig.8 Finger force vs Apply pressure in wear testing

参考文献

[1] ロボットスーツ、被災地活躍の舞台裏　「社内でかき集め、大急ぎでプログラム書き換えた」——西日本豪雨で. `http://www.itmedia.co.jp/news/articles/1807/23/news032.html`（閲覧日 2019 年 2 月 1 日）.

[2] Eksoworks & ford partnership. `https://eksobionics.com/eksoworks/ford/`（閲覧日 2019 年 2 月 20 日）.

[3] 上向き作業用アシストスーツ「ekso vest」施工従事者向け改良品を開発、住宅施工現場へ順次導入. `https://www.sekisuihouse.co.jp/company/topics/datail/__icsFiles/afieldfile/2018/05/16/20180516_3.pdf`（閲覧日 2019 年 2 月 20 日）.

[4] Yuichi Muramatsu, Hideyuki Umehara, and Hideo Kobayashi. Improvement and quantitative performance estimation of the back support muscle suit. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE*, pp. 2844–2849. IEEE, 2013.

[5] Mirko Aach, Oliver Cruciger, Matthias Sczesny-Kaiser, Oliver Höffken, Renate Ch Meindl, Martin Tegenthoff, Peter Schwenkreis, Yoshiyuki Sankai, and Thomas A Schildhauer. Voluntary driven exoskeleton as a new tool for rehabilitation in chronic spinal cord injury: a pilot study. *The Spine Journal*, Vol. 14, No. 12, pp. 2847–2853, 2014.

[6] HF Schulte. The characteristics of the mckibben artificial muscle", the application of external power in prosthetics and orthotics, pp. 94-115, national academy of sciences-national research council, publication 874. 1961.

[7] Mayuko Mori, Koichi Suzumori, Syukushi Seita, Masayuki Takahashi, Takashi Hosoya, and Koji Kusumoto. Development of very high force hydraulic mckibben artificial muscle and its application to shape-adaptable power hand. In *2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pp. 1457–1462. IEEE, 2009.

[8] 森田隆介, 難波江裕之, 鈴森康一, 遠藤玄, 山本明菜, 櫻井良. 油圧駆動高出力マッキベン型人工筋の開発. 第 34 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, pp. 3C3–01, 2016.

[9] Shunichi Kurumaya, Hiroyuki Nabae, Gen Endo, and Koichi Suzumori. Design of thin mckibben muscle and multifilament structure. *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 261, pp. 66–74, 2017.

[10] Tomoki Abe, Shoichiro Koizumi, Hiroyuki Nabae, G Endo, and Koichi Suzumori. Muscle textile to implement soft suit to shift balancing posture of the body. In *2018 IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)*, pp. 572–578. IEEE, 2018.