

腕腰補助用マッスルスーツの実用的運用

○貝健太 (東京理科大学), 小林 宏 (東京理科大学, (株) イノフィス)

Practical Operation of Muscle Suit for Arms and Lower Back Support

○Kenta Kai(Tokyo University of Science) and
Hiroshi KOBAYASHI (Tokyo University of Science, INNOPHYS Co. Ltd.)

Abstract: In order to assist human motion, we have been developing a compact and light weight “Muscle Suit” which uses pneumatic McKibben-type artificial muscles. Since most of manual workers have lower back pain, we have developed Muscle Suit for lower back assist and have shipped more than 3,400 ones so far. Since in addition to lower back assistance, arm assistance is also important for workers, Muscle Suit for arm and back support is described in this paper.

1. 緒言

農林水産業、製造業、建設業、介護分野など労働の作業現場において、機械化が困難な作業現場が多く存在する。これらの現場では多くの労働者が上肢骨格系障害や腰痛を発症している。欧州安全衛生機構(EU-OSHA)の調査によれば、激しい肉体労働、荷物の持ち上げなどにより、欧州だけでも毎年何百万もの労働者が筋骨格系障害(Musculoskeletal disorders:MSDs)を発症しており、労働者全体の33%が重量物の取り扱いを求められ、また、17%が腕や足の筋肉痛を訴えている⁽¹⁾。

これらの問題の解決策として、人間の動作を物理的に支援して作業負担を軽減することを目的に、著者らは着用型筋力補助装置:マッスルスーツ⁽²⁾の開発を行っている。厚生労働省が職場における腰痛予防対策指針⁽³⁾を提案しているように、筋骨格系障害の中で腰が最も問題となっていることから、まず腰補助用⁽⁴⁾⁽⁵⁾に関して実用化し、2014年9月から東京理科大学発ベンチャー株式会社イノフィス⁽⁶⁾で販売を開始した。これまでに3,400台以上を出荷している。

ところで、肉体労働では上肢にも大きな負担があり、著者らはこれまで、腰と同様に腕の補助装置の開発も進めてきた⁽⁷⁾。そして、2018年10月から株式会社イノフィスで販売を開始した(製品名:マッスルアップ)。腕の補助を行うと、その反力は着用者の腰への負担となるため、腕単独ではなく、腰と同時に補助を行う。

本報では、腕腰補助用マッスルスーツの概要を述べると共に、実際に想定される作業現場での、使用環境を考慮した運用例について述べる。

2. 腕腰補助用マッスルスーツの概要

2.1 アクチュエータ

腕腰補助用マッスルスーツに用いた McKibben 型人工筋肉は、伸縮性の少ないポリエステルモノフィラメント製の繊維を格子状に編んだスリーブでゴムチューブ

を覆ったものであり、金属をほとんど用いないため軽量である。図1に、McKibben型人工筋肉の構造と動作メカニズムを示す。ゴムチューブに圧縮空気を注入すると、その圧力によってゴムチューブは半径方向に膨張し、このとき生じる円周方向の張力が繊維コードにより軸方向の大きな収縮力に変換される。

マッスルスーツで使用している McKibben 型人工筋肉は、直径1.5インチ、長さ300mm、重さ130gで、0.5MPaの供給により200kgf以上の引張り力を発生する。また、100万回以上の繰り返し収縮を実現している。

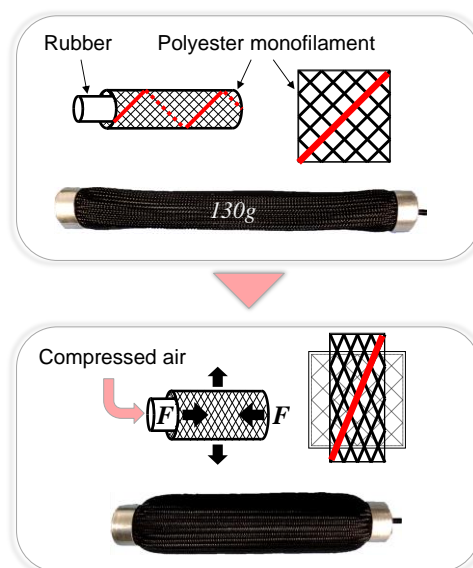


Fig.1 Structure of actuator

2.2 動作原理と装置の構成

これまでの腕腰補助用マッスルスーツでは、腕用と腰用に、それぞれ独立に人工筋肉を用いていた⁽⁷⁾。それぞれ独立に制御できるというメリットはあるが、装置が大型化するというデメリットがある。また、両者の動作タイミングの適切性も検討しなければならない。そこで、

腕と腰の両方を一つの人工筋肉で補助することにした。これにより、装置全体のコンパクト化が可能になると共に、腕と腰の動作のタイミングやそれぞれの補助力の分配を、着用者自身で調整することができる。と期待できる。

図2に基本的な構造を示し、以下に概要を紹介する。上述のように、①McKibben型人工筋肉の両端にワイヤを接続する。①McKibben型人工筋肉が発生する収縮力により、ワイヤを介して②肩部プーリ、及び③脚部プーリを回転させる。これにより、④腕フレーム先端の手首サポータを通して着用者の腕の重力に抗する方向の補助力と、⑤脚フレーム先端の腿パッドを支点とした腰部補助力が発生し、腕と腰の伸展を補助する。このとき、着用者自身で腕と腰の補助力のバランスをとる。すなわち、人工筋肉の収縮量、補助力は決まっているため、片方を大きく屈曲すれば、もう片側は伸展が促進されるので、腰を落としたり、腕も屈曲させたりして、着用者が適宜、作業に合わせて腰と腕の補助動作・補助力を調整することができる。

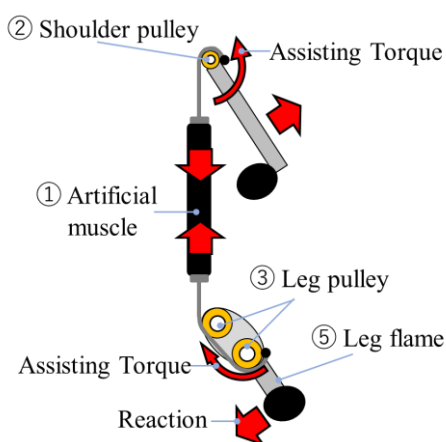


Fig.2 Principle of operation

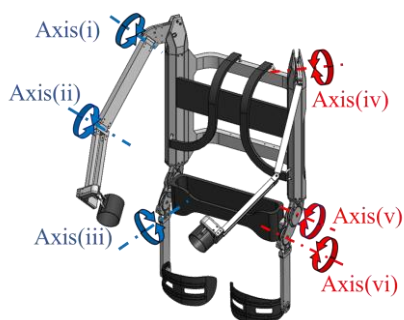


Fig.3 Mechanical structure

図3に腕腰補助用マッスルスーツの全体図を示す。軸(i)は肩関節の外転、軸(ii)は肘関節の内転に対応しており、腕部の長手方向に対して垂直な軸である。軸(iii)は脚部の外転動作に対応し、脚部の長手方向に対して垂直

な軸であり、軸(i), (ii), (iii)はそれぞれ受動的に動作する。軸(iv), 軸(v), 軸(vi)は人工筋肉により能動的に動作し、軸(iv)は肩の伸展動作に対応している。軸(v), 軸(vi)は1本のワイヤのガイドとなっており、腰の伸展動作に対応している。

図4に、装置を装着し、荷物を持ち上げているイメージを示す。装置は肩ベルト、腰ベルト、手首サポータ、背中パッドおよび腿パッドの5箇所体に着用し、腕の補助は手首サポータを通して行う。上腕、前腕は特に装置と体に接点はないが、これは、腕を動かすと両者の位置関係が大きく変わることで、荷物は指で持ち、手首で支えることから、本装置では手首を覆うサポータにより補助力を伝達することにした。

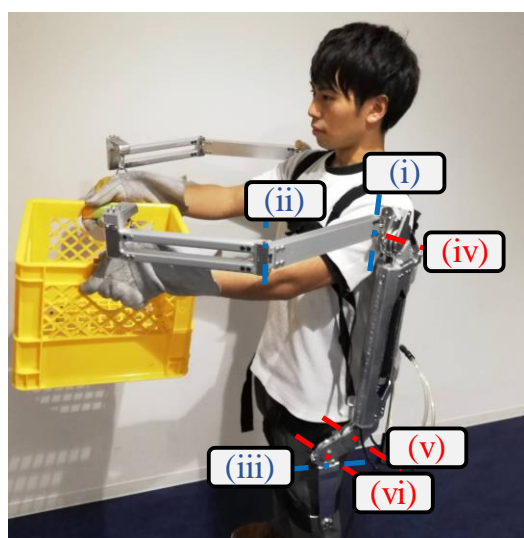


Fig.4 Image wearing muscle suit

2.3 システム構成

腕腰補助用マッスルスーツのシステム構成を図5に示す。図5のように、人工筋肉へ供給する圧縮空気の圧力を調整する電磁弁、コンプレッサ、呼吸スイッチで構成されている。着用者は、口にくわえた呼吸スイッチを吸う吐くことにより、人工筋肉へ圧縮空気の注入、排気を制御する。

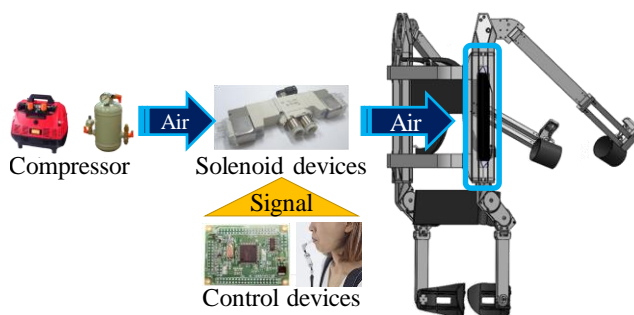


Fig.5 System configuration

3. 実用的運用に向けた開発

3.1 作業内容について

本章では、作業現場への導入に際し、一連の作業を効率よく行えるように種々の機能を追加した例を紹介する。作業内容としては、図 6 に示すように、(A)重量物(約 20 kg)を持ち上げ、(B)前傾姿勢でその重量物を前方に置き、(C)それを再度、持ち上げて元の位置に戻すことである。また図 7 に示すように、装置の周辺環境についても開発を行った。

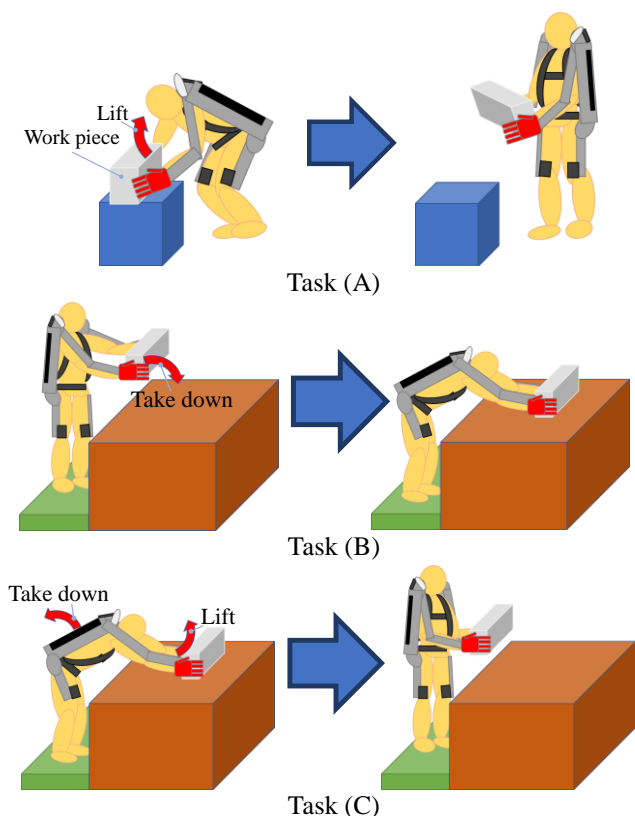


Fig.6 A series of work flow

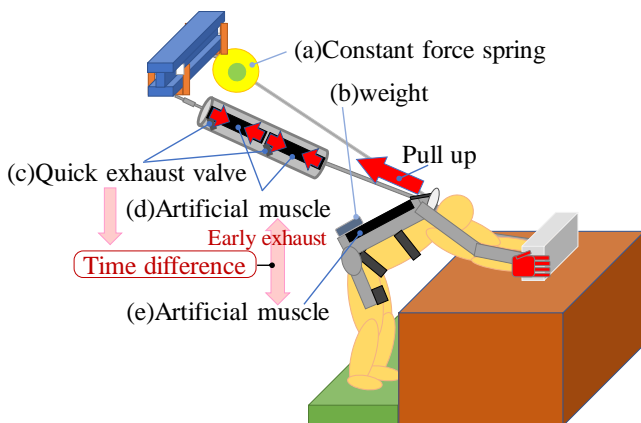


Fig.7 Work site

3.2 作業における本装置の役割

3.2.1 使用時について

まず、本装置非使用時は図 7(a)の定荷重ばねにより工場上部に吊り上げた状態とする。使用時にのみ引きおろすが、この際、使用者にとって背負っている装置の重みを感じないことは違和感の原因となりうる為、図 7(b)軽量の錘によりこれを解消する。

3.2.1 作業(A)

この作業では、図 7(e)の McKibben 型人工筋肉に圧縮空気を吸気し、収縮させることで発生する補助力により、持ち上げの負担を軽減する。この際、図 7(e)と(d)の McKibben 型人工筋肉は連動している為、(d)の人工筋肉も収縮する。

3.2.2 作業(B)

この作業では、装置の圧縮空気を徐々に排気することで補助力を弱め、ワークを前方に下ろす。また、この際、図 7(d)の McKibben 型人工筋肉も収縮状態である為、前傾姿勢を取るには十分な長さを確保できていない。そこで図 7(c)に示す急速排気弁を取り付けることで、(d)の McKibben 型人工筋肉の排気を素早くし、十分に距離を取ることを可能とした。

3.2.3 作業(C)

この作業では A と同様に装置が持ち上げの補助を行うだけでなく、図 7 に示すように装着者後方の(d)McKibben 型人工筋肉の収縮により、大きく前傾している装着者の上体を起こす補助も行う。

4. 結言

本報告では、腕腰補助マッスルスーツの概要を紹介し、実際の現場で効率よく作業を行えるようにするための追加機能を紹介した。今後も作業現場に適した機能を提案し、労働環境改善に寄与していきたい。

文 献

- (1) 中田実, 欧州労働安全衛生機構(EU-OSHA)における労働関連筋骨格系障害の研究・予防対策の動向, pp1(2002)
- (2) H.Kobayashi, J.Aoki, H.Hosono, T.Matsushita, Y.Ishida, K.Kikuchi and M.Koseki, Concept of Wear-type Muscular Support Apparatus (Muscle Suit), Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.3236-3241, Washington,DC, (2002-05)
- (3) 厚生労働省, 職場における腰痛予防対策指針の改訂の概要等 別添資料, pp1~3 (2013)
- (4) 佐藤裕, 何佳欧, 小林寛征, 村松慶紀, 橋本卓弥, 小林 宏, "腰補助用マッスルスーツの開発と定量的

- 評価", 日本機械学会論文集C編, Vol.78, No. 792, pp. 2987-2999, 2012.
- (5) 佐藤千恵, 横矢重治, 渡邊博美, 梅原英之, 中村裕紀, 小林宏, "腰補助用マッスルスーツ(R)のフィールドテスト (物流の作業現場への適用)", 日本機械学会論文集C編, Vol.79, No.806, pp.3525-3538, 2013
- (6) <https://innophys.jp/>
- (7) Hiroshi Kobayashi, Takamitsu Aida and Takuya Hashimoto, Muscle Suit Development and Factory Application, International Journal of Automation Technology, Vol.3, No.6, pp..709-715 (2009.11)