

報告日 2016 年 (平成 28 年) 3 月 14 日

報告者 大分大学 工学部 准教授

菊池 武士

1. 研究概要

(和文)

(1) 課題名 (日本語)

空気圧人工筋と生体適合性の高い関節継手によるパワーアシストスーツ

(2) 研究者氏名

菊池 武士 大分大学 工学部 准教授

(3) 研究概要 (日本文)

空気圧人工筋を用いたパワーアシストスーツはこれまで多く開発されているが、そのほとんどの関節中心は一点で固定されており、生体膝関節の複雑な動きに追従できていない。そこで我々は生体膝関節の動きとトルク調節機構を模擬した新規な膝関節機構を開発した。開発されたパワーアシストスーツを用いて立ち上がり動作の補助を行った。深屈曲からの立ち上がりに関しても、軸の不一致による違和感なく動作させることができた。またアシストありの場合に大腿直筋の筋電の低減を確認できた。

(4) キーワード

パワーアシスト, 生体適合, 膝関節, 空気圧アクチュエータ, 立ち上がり動作

(英文)

(1) Research title

Power-assist suit using pneumatic muscle with human-friendly joint

(2) Name of researcher with title of position

Takehito Kikuchi, Associate Professor, Oita University

(3) Summary

A lot of the power assist suits using pneumatic artificial muscles for assisting extension of knee have been developed. But in almost all of devices their centers of rotation are fixed on their mechanisms. The knee joint of human has a complex movement. We developed a new knee joint mechanism with a bio-inspired joint motion, torque adjustment mechanism. We also evaluated the motion of the knee mechanism. The combination of the sliding mechanism and wire-pulley mechanism fitted the subject's flexion-extension motions. The muscle activation with / without the developed assist suit during standing were measured. The use of the device reduced EMG of rectus femoris.

(4) Key Words

Power assist, human-friendly, knee joint, pneumatic actuator, standing motion

2. 本研究の意義・特色

多くのウェアラブルロボットはその関節中心が単軸回転であるため、すべての姿勢で生体関節と回転中心を一致させることは困難である。特に膝関節は水平面、前額面の動きもあり、動作を矢状面上に固定してしまうと人体、装具に大きな負荷がかかる。そこで我々は、空気圧人工筋と人体の膝関節を規範とした生体適合性の高い関節を組み合わせた立ち上がり訓練用のパワーアシスト装置の試作を行った。

3. 実施した研究の具体的内容、結果（本文）

3-1. 設計・開発

膝の関節軸運動を模擬した機構

膝関節軸の運動を再現するために図1の機構を考案した。本機構は上部パーツ（大腿骨側）、下部パーツ（脛骨側）、上部パーツに固定された円形プーリ、円形プーリと下部パーツをつなぐワイヤからなる。下部パーツには長穴があり、プーリの中心軸がこの長穴の中を運動する。ワイヤは上部パーツと下部パーツの接触を補助する。上部パーツの非円形面の半径は膝角度によって異なるが、これは人工筋使用時のモーメントアームの調整の役割を持つ。本機構を用いることで90度以上の深屈曲も可能となる（図2）。

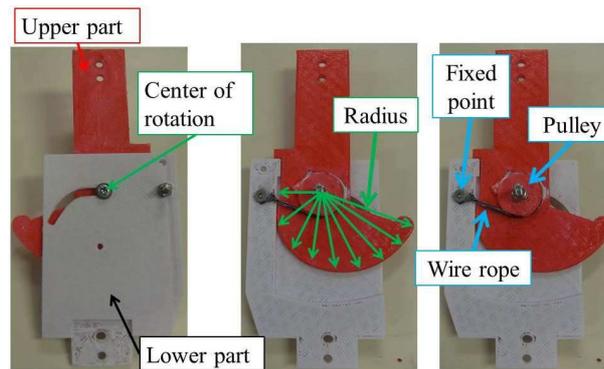


図1. 開発した膝関節

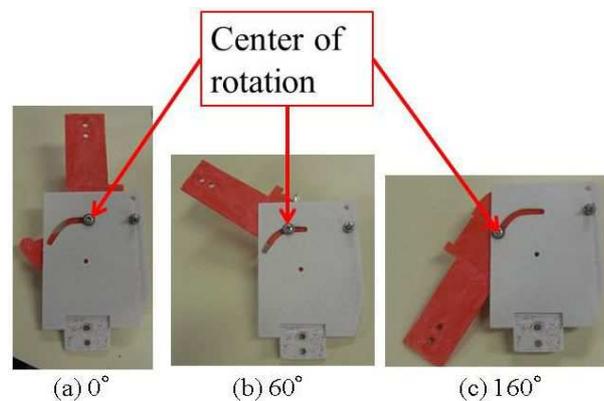


図2. 膝関節の動き

人工筋のためのトルク調節機構

トルク目標を達成するために、膝蓋骨に相当する部位を設けてモーメントアームを拡大した(図3)。人工筋に関してエアマッスル(神田通信工業, A800Bφ50)を使用することを想定した。空気圧人工筋の張力は空気内圧と収縮率に依存するが、その張力特性はカタログ値を参考とした。この人工筋に内圧で0.3MPa与えることを仮定して設計した。これは小型のポンプでも対応できるようにするためである。

計算結果を図4に示す。目標トルク曲線に近い曲線が得られた。これは特別な制御をしなくても一定圧力をかければ各関節角度ごとに必要なトルクをアシストできることを意味する。

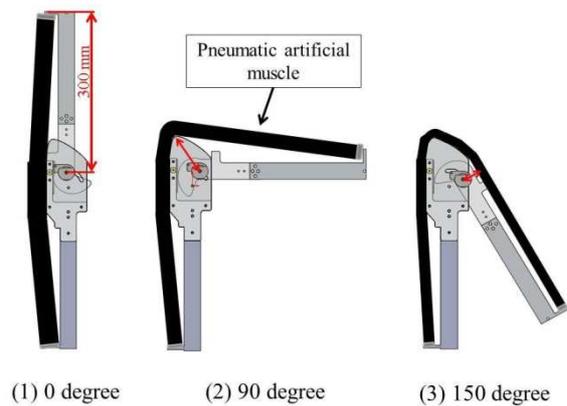


図3. トルク調節機構

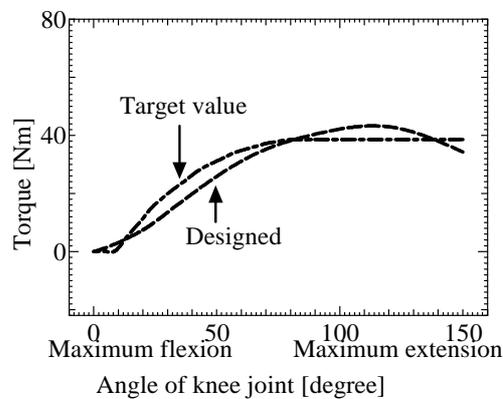


図4. アシストトルク

回転運動、回旋運動を妨げない機構

生体の膝関節は屈伸時、屈曲・伸展だけでなく、内旋運動(5~10度)、内転・外転運動(ともに最大10度)も行っている。そのため、膝関節が最大伸展の状態では装具を完全固定してしまうと、皮膚と装具が擦れ、不快感を生む。また、人体や装具に負担がかかり、怪我や破損などにつながる。

そこで我々は新たなパーツを考案した(図5)。考案したパーツは単軸回転のヒンジ(大腿用)と、回転中心がスライド可能なヒンジ(下腿用)の2種類であり、フレームと人体の間に装着することで、内転・外転運動に対応できるようになる(図6)。

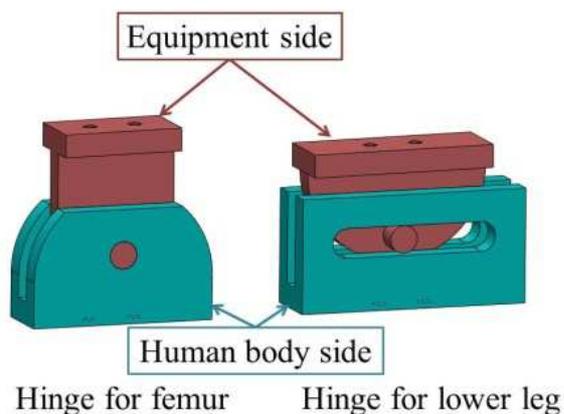


図 5. 生体適合性を高めるヒンジ部品

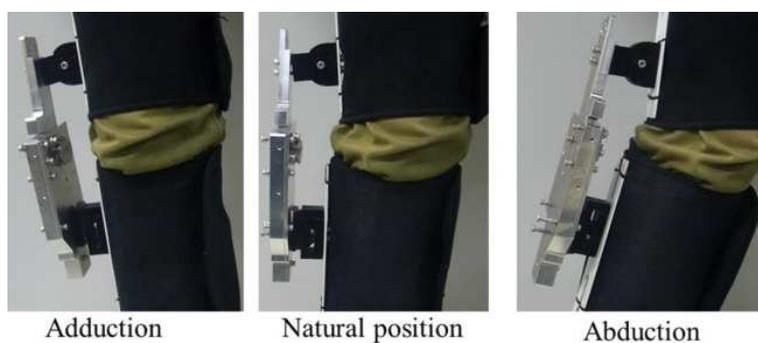


図 6. 内転・外転運動時の様子

3-2. 基本性能実験

方法

目標トルクが得られているか確認するために、図 7 のに実験装置を用いた。アシスト装置の下部パーツをアングル材に固定し、空気圧人工筋(神田通信工業株式会社, A800B 雄裯 C 雌裯 D φ 6.0E500F φ 50)に 0.3 MPa の空気を供給した。鉛直方向に引き上げる力をロードセル(共和電業株式会社, LUX-B-1KN-ID)により測定し、計算によりトルクを求めた。

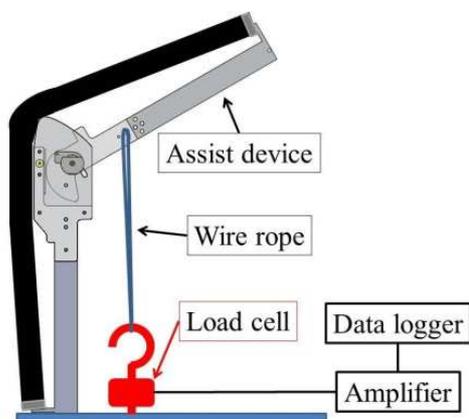


図 7. 基本性能実験の方法

結果と考察

結果を図 8 に示す。計算値より 6 割のトルクしか出力されなかった。その理由として、人工筋の個体差によるカタログ値からの差、機構内の摩擦、人工筋が折り曲げられることによる性能低下が考えられる。結果として体重 65 kg の人の 40% のアシスト能力となった。

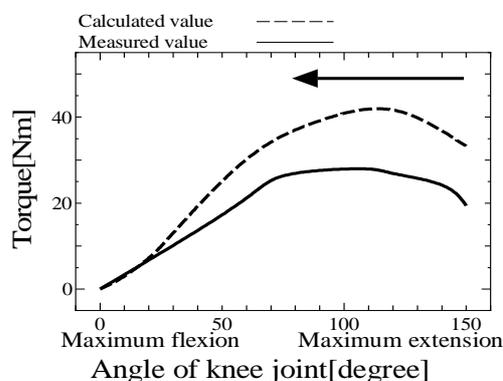


図 8. 基本性能実験の結果

3-3. アシスト実験

方法

開発したアシスト装具を用いてアシスト実験を行った。図 9 は装着時の様子である。装着用サポータとインナーカフを用い、その上からさらにサポータと伸縮性の無いバンドを巻いて固定した。



図 9. 開発したアシストスーツ

ワイヤレス筋電センサ（ロジカルプロダクト，LP-WS1221）を用い、起立時の大腿直筋の筋電を測定した。筋電のサンプリング周波数は 1 kHz，測定時間 4 秒とした。アシスト装置の操作は被検者自身がキーボードにより行った。キーヒットの後に電磁弁を開き、0.3 MPa の圧縮空気を流入した。

座面の高さは地面から 210 mm と 420 mm の 2 種類を行った。特に 210 mm からの立ち上がりは深屈曲となるように設定した。測定は (a) アシストなし，座面の高さ 420 mm，(b) アシストあり，座面の高さ 420 mm，(c)

アシストなし, 座面の高さ 210 mm, (d)アシストあり, 座面の高さ 210 mm の 4 条件とした。

筋電は最大自発筋収縮 (MVC) との割合で示した。MVC の測定は, 膝角度 120 度の状態で筋収縮を 1 秒間行い, 平均をとった。すべての筋電のデータは積分区間 100 ms で RMS 処理を行った。

結果

実験の結果を図 9 に示す。(a)アシストなし, 座面の高さ 420 mm, (b)アシストあり, 座面の高さ 420 mm, (c)アシストなし, 座面の高さ 210 mm, (d)アシストあり, 座面の高さ 210 mm の結果である。左側の縦軸は最大自発筋収縮の割合を示している。右側の縦軸は膝角度を示しており, 最大伸展位が 0 度である。横軸は時間を示している。破線は筋電で, 実線は膝角度を表している。

考察

大腿直筋の筋活動はアシスト装置を装着することで約半分になった。動作中, 装具軸の不一致による違和感は感じられなかった。提案する機構によって深屈曲からの立ち上がりアシストが可能であることが確認された。今後は, 自己の筋電に基づくアシストを達成し, バイオフィードバックに基づくリハビリテーションへの効果検証も実施したい。

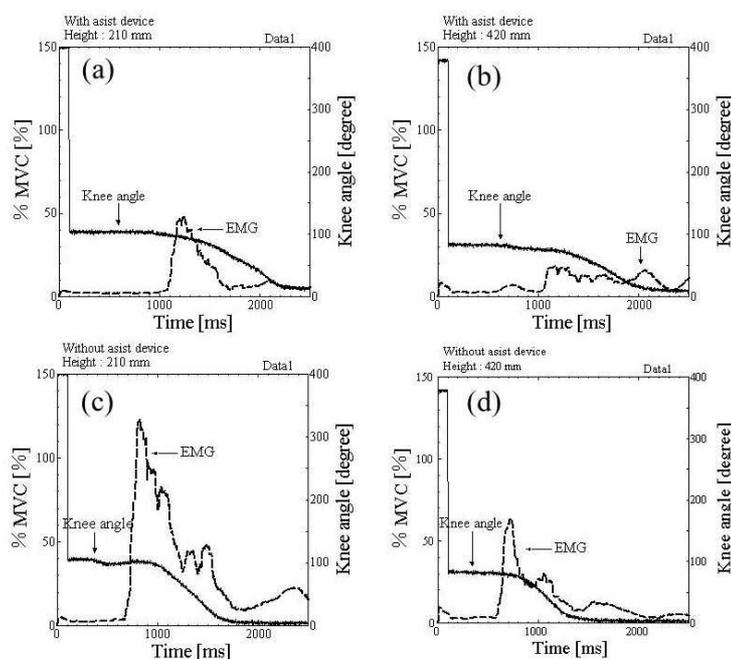


図 9. アシスト実験の結果

4. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

菊池 武士 大分大学 准教授

阿部 功 大分大学 工学部 技術職員

酒井 紘平 大分大学大学院 工学研究科 博士前期課程

5. 研究実施時期

2014年(平成26年)10月1日から2016年(平成28年)3月11日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

- [1] Kohei Sakai, Takehito Kikuchi, Isao Abe, Development of Bio-inspired Knee Joint for Power Assist Suit, The 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.523-528 (2015.12, China).
- [2] 菊池武士, 酒井紘平, 阿部功, 生体膝関節を規範としたパワーアシスト装具の開発と基礎特性の評価, 日本機械学会 2016 年ロボティクス/メカトロニクス講演会講演論文集, in press (2016.6, 横浜).
- [3] 酒井紘平, 菊池武士, 阿部功, 膝装具, 生体関節を規範とした膝用パワーアシスト装具の開発に関する基礎研究, 第 33 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3D3-02 (2015.9, 東京電機大)
- [4] 酒井紘平, 阿部功, 菊池武士, 膝関節の運動機構を規範としたパワーアシストスーツの開発に関する基礎研究, 日本機械学会 2015 年ロボティクス/メカトロニクス講演会講演論文集, 2A1-J03 (2015.5, 京都).

7. 内外における関連研究の状況

空気圧人工筋は, 空気の流入によって膨らむゴム袋とそれを覆う網状スリーブから構成されており, 内圧の増加によって軸方向に非常に大きな収縮力を発生させることができる. その軽量・高出力特性に注目したパワーアシストスーツが近年注目されている.

空気圧人工筋によるアシスト方式は

- (1) 支援する関節の前後に人工筋を直接装着する方式^[5]
- (2) 機械関節を用いて人工筋を横に配置した方式^[6]

が主流である. (1) の方式は生体関節軸へのアライメントが不要と言う利点があるが, 使用者に圧迫感を与えてしまう. (2) の方式は圧迫感は軽減されるが生体関節へのアライメントがシビアになる. 本提案方式はこれらの課題解決に有用である.

[5] 杉野ら, Proc. Robomec 2008, 2P2-F02

[6] 村松ら, Proc. Robomec 2011, 2A1-E04

8. 今後の発展に対する希望

近年では, ウェアラブルロボットを用いた立ち上がり訓練を行う病院もある. ウェアラブルロボットを用い本人の意思に基づく運動を反復することで, バイオフィードバックによる神経回路の再建が可能と言われている. また, 立ち上がりに必要な力をサポートできるため, 訓練回数の増加と療法士の負担軽減が可能となる. 今後, 本装置を用い, 筋電に基づくバイオフィードバックへの発展も行う.