

二関節筋モデルを用いたパワーアシストスーツの研究

Research of Power Assist Suit adapted to bi-articular muscles model

○学 高瀬 鍛 (日本工大院) 正 中里裕一 (日本工大)

Kitau TAKASE (Nippon Institute of Technology Graduate School)

Yuichi NAKAZATO (Nippon Institute of Technology)

Key Words: Power Assist Suit , bi-articular muscles

1. はじめに

現在、日本は少子高齢化が急速に進行しており厚生労働省は2055年には約2.5人に1人が65歳以上の高齢者になると予想している。

この極度の高齢化社会を予想した背景には、合計特殊出生率の低下による生産年齢人口の減少や、医療技術の進歩や生活水準の向上による平均寿命の上昇などがある。2008年の日本の合計特殊出生率は1.37であり、人口を維持するのに必要な2.00を大きく下回った。厚生労働省はこれまでの傾向からこの先数十年は合計特殊出生率が2.00を超えることはなく日本の総人口が減少し、2055年には総人口に対し高齢者の占める割合が多くなる構図(人口逆ピラミッド)になると予想している。これにより、福祉施設における従業者数が増加し労働人口は減少、また介護と労働を両立した場合の負担は非常に大きいため経済状況の悪化は免れないと考えられる。

このように極度の高齢化社会に陥ると経済を維持、発展させるためには生産年齢人口だけでは労働力が足りず、高齢者の労働力にも頼らざるを得ない状況になる。しかし、今後は後期高齢者(75歳以上)の割合が高くなり体力的に労働が困難になる人が増加するということが懸念されている。しかし、経験豊富である高齢者の体力を補助することができれば十二分に社会復帰が可能であり、また介護の場合においても介護者の体力を補助し負担を軽減することが出来れば生産性の向上に繋がるといったこと等から、労働者の力を補助する装置の開発が急がれている。

2. 二関節筋について

現在の産業ロボットから医療用に使われるような小さいロボットに至るすべてのロボットは関節を回転動作させるために、対象の一関節のみを動作させるアクチュエータが一つ以上備える構造になっている。また、アームの先端部にアクチュエータを搭載すると慣性モーメントが増大してしまい動作が鈍くなってしまふことから、平行リンクを介しアクチュエータをアームの根元に搭載することでアーム先端部のモーメントを軽減しているロボットもよく見られる。このようにロボット分野では、各関節を個別に制御する場合アクチュエータの出力を対象の一関節のみに当てるのがごく当たり前のことでありロボット産業が始まって以来大きく変わることはない要素であった。

ところが生物には各関節を個別に動作させるにも関わらず、一関節に作用する筋肉の他にも二関節に対して同時に作用する筋肉が存在し、前者は一関節筋、後者は二関節筋と呼ばれている。図1より、一関節筋は関節Aと関節Bをそれぞれ回転させる作用がある筋肉のことであり、二関節筋は関節Aと関節Bのように隣り合った二つの関節をまたぐように存在し、両関節を同時に回転させる作用がある筋

肉のことであり。二関節筋は解剖学的には古くから周知の筋で、哺乳類から両生類にいたるまで極めて普遍的に存在し、⁽¹⁾四肢先端の出力や出力方向制御、軌道制御等に重要な役割を果たしている。これを一関節筋と共にロボットアームに応用することで従来のロボットアームより単純に制御が可能でかつ高保持力のロボットアームが実現できるということが最近の研究で明らかになってきている。

本研究では、この一関節筋と二関節筋の特徴に着目し、制御が簡便かつ高保持力なパワーアシストスーツを目標とし研究を行う。

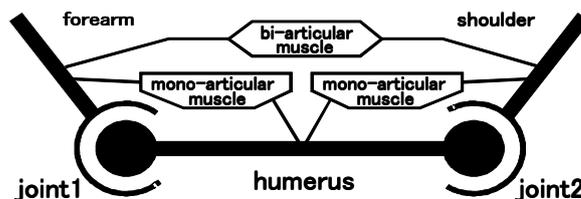


Fig1. The position of mono and bi-articular muscles

3. 装置の仕様

製作した装置をFig2に示す。図に示す平行リンク機構が二関節筋に当たり、膝関節と足首関節が同時に動作するように設計してある。また足首関節のリンクジョイントを固定することが出来るため、膝関節のみが出力となる一関節筋モデル動作も可能であり、一般的なパワーアシストスーツの制御にも対応している。またこの装置の性能については、一般成人男性の定常歩行(4km/h)における膝関節の動作(最大瞬間角速度400deg/s⁽²⁾、最大屈伸・伸展角度60deg⁽³⁾、周期1s)に追従し、更に装着者の力をアシストすること出来ることを目標としている。

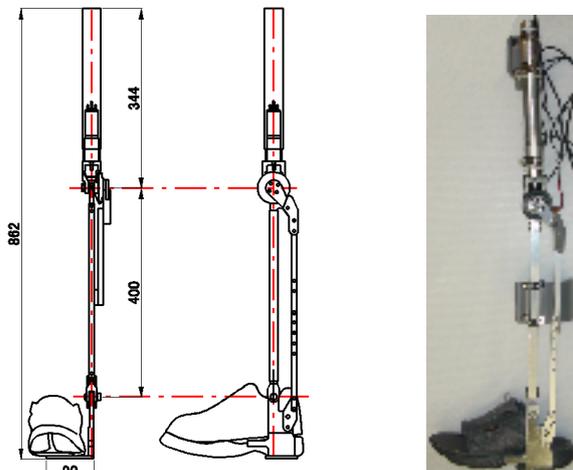


Fig2. Produced device

アクチュエータは膝関節部に20Wブラシレス電動DCギアードモータを1個使用し、最大出力は約25Nm、無負荷回転速度は80rpm程度である。スパイラルベベルギアでモータを脚に沿って配置することにより装置を薄型にすることで、動作時における四肢への干渉を軽減した。装置本体の重量は約1.8kgで、そのうち下肢の重量は約0.8kgである。

4. 実験方法

今回製作した装置が装着者の動作に追従可能かどうかを検証するためステップ応答実験と周波数応答実験を行った。

今回の実験ではFig3のように装置の大腿部を固定し、膝関節から足先までの骨格を屈曲、伸展させる動作で検証した。

動作電圧は16.5Vで膝関節から足先にかけてのフレーム(重量0.8kgで重心は回転中心から0.4m離れている)の負荷と、ギアードモータの出力軸に負荷をかけていない状態(無負荷状態)をそれぞれ実験した。また、関節角度は目標である0~60degの範囲より大きめに設定し、関節を直角に屈曲させた状態を初期状態としこれを0deg、伸展方向に80deg回転させたところを目標値に設定し10ms毎にサンプリングした。

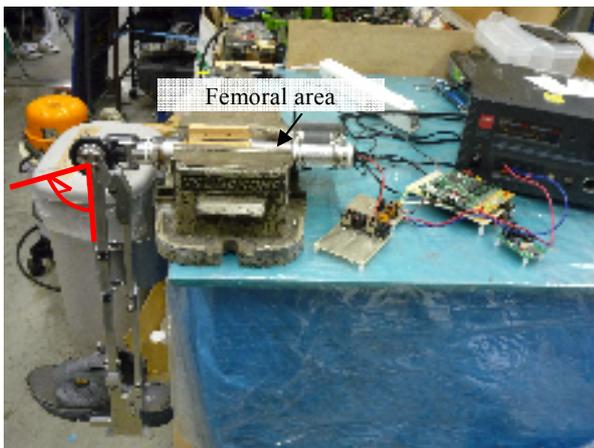


Fig3. Experiment apparatus

5. 実験結果

ステップ応答実験の結果をFig4、周波数応答実験の結果をFig5、Fig6に示す。図中のプロットしていない線がステップ入力、■マークでプロットしたものが下腿フレームの重量を負荷したときのステップ応答、▲マークでプロットしたものが無負荷状態でのステップ応答である。Fig4よりステップ信号を入力してから指令角度(80deg)に達するまで、無負荷状態では約0.2s(時定数0.15s)、下肢の重量を負荷した状態では0.3s(時定数0.2s)程度の時間を要した。平均角速度は無負荷時400deg/s、フレーム重量負荷時270deg/sであり、フレーム重量負荷時には定常歩行時の瞬間角速度に達することが出来たという結果になった。

一方、周波数応答実験ではFig5、Fig6より目標としている周期1s付近で減衰が始まっている。しかし実験では目標より大きい範囲で設定し周期的動作をさせており、目標の範囲であれば、0.6s付近まで追従可能であり定常歩行動作に追従できる結果になった。

6. 考察・まとめ

今回製作した装置はステップ応答実験と周波数応答実験により、定常歩行動作中における膝関節の屈曲速度が

270deg/sを超えた時の追従は難しいことが判明した。この問題については、下肢フレームの軽量化や動作電圧を上げる解決方法を検討している。また周波数応答実験で歩行周期に十分追従することが判明したためギアードモータのギア比を上げて出力の立ち上がりをシャープにするといった解決方法も検討中である。

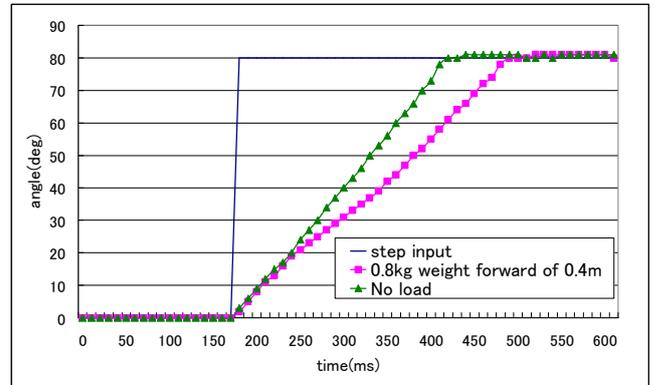


Fig4. The result of the step response

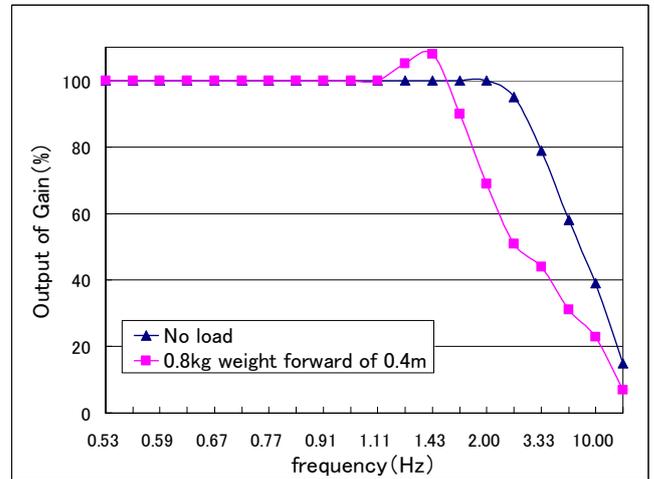


Fig5. The result of frequency response (Gain)

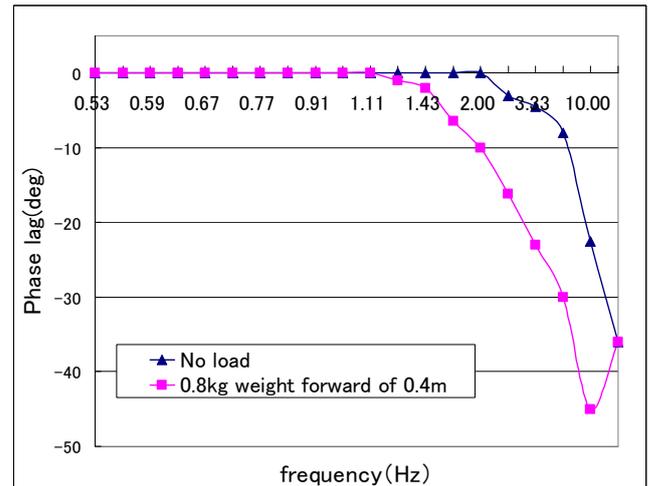


Fig6. The result of frequency response (Phase lag)

参考文献

- (1) 熊本水頼、アクチュエータの使い方に見る動物運動制御の妙 電気学会システム・制御研究会資料 Vol.SC-04 Page.47-52
- (2) 谷川 聡、競技者と一般人の走および歩行動作の特徴 体育学研究 Vol.53, No1, pp.75-85, 2008
- (3) 柗幸伸 3軸加速度センサを用いた動作分析の試み 理学療法科学Vol.20, No.2 May pp.93-98, 2005