

二関節筋モデルを用いたパワーアシストスーツの研究

第2報 重量物保持モデルの開発

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

Part 2 –Development of weight assist model

○学 田村 康晃 (日本工大院) 正 中里 裕一 (日本工大)

Yasuaki Tamura (Graduate School of Engineering, Nippon Institute of Technology)

Yuichi Nakazato (Nippon Institute of Technology)

Abstract: In this study, we develop a power assist suit with bi-articular muscles mechanism. On the first report, we developed the leg mechanism of power assist suit adapted to bi-articular muscles mechanism. The leg mechanism of power assist suit adapted to bi-articular muscles model has high torque and safety from a series of experimental results. We confirm and show the efficiency about this mechanism. In this paper, the new model is able to hold 10kgf weight as a result of mechanical improvement. The major improvement is to replace the motor with a high torque one. We report the effectiveness of some countermeasure associated with this replace.

Key Words: Power Assist Suit , bi-articular muscles

1.目的

1-1 開発背景

日本の将来人口推移によると、少子高齢化が世界的にも非常に早いペースで進行していることがわかる。この状態が続けば、比較的近い将来に少子高齢社会になると予測されている。これにより、単身で複数人の介護を行わざるを得ない状況になり、生活・社会面での悪影響が生じる⁽¹⁾。この問題を食い止めるため、海外からの介護士等の受け入れや、職場における育児環境の整備などの対策がとられているが、どれも成果が得られるまでには多くの時間と費用を要する。そこで、身体的アシストにより行動負担を減らす、パワーアシストスーツの開発に着手した。

1-2 本研究における目標

これまでの研究で、Fig.1に示す二関節筋構造を取り入れたモデルにて歩行アシストを行い、二関節筋の特徴である六方向へのトルク出力の安定性、低出力モータを用いることによる出力トルクの増加を確認できた⁽²⁾。しかし、実環境での動作テストを通じて、ギアの破損・高電流の流入による損傷など、突然の高負荷への対応が十分でない事が判明している。

本報ではアクチュエータの強度とトルクの強化とそれに伴う問題点の改善、更に新たな目標として、労働作業に従事して社会復帰できるように、10kgの荷物を持ち運べるように改良を加えていく。



Fig.1 Power Assist Suit adapted to bi-articular muscles model

2.機構及び制御

2-1 二関節筋

Fig.2 は本研究で用いるパワーアシストスーツの概念図を表している。この構造は二関節筋構造と呼ばれ、筋肉が一つの関節だけでなく、二つの関節に跨った構造をしている⁽³⁾。

現在開発されているほとんどのパワーアシストスーツは一つのアクチュエータが一つの関節を動作させている一関節筋構造が多い。そのためアクチュエータが故障した場合には関節が脱力もしくはロックし、大きな負荷がかかっている状況では装着者にとって非常に危険な場面が想定される。二関節筋構造では平行リンクにより二つの関節がリンクしているため、万が一の場合でもリンクロッドにより負荷を支えることが可能である。また、アクチュエータ二つ分のトルクを個々の関節に伝えているため、緊急の際はどちらかのアクチュエータが補助装置として機能することが期待できる。

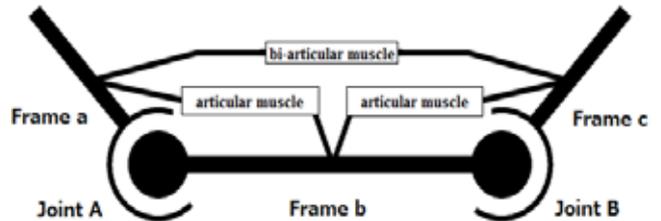


Fig.2 Mechanics of Bi-articular muscles

2-2 筋肉活動電位

本研究では、パワーアシストするタイミングを筋肉活動電位によって制御している。制御信号として用いる筋肉活動電位の検出は表面電極(湿式・原田電子工業株式会社 EMG-025)を採用する。

表面電極では針電極と比べ、手軽に装着でき、振動や動作によるズレの影響を受けにくいことから低侵襲かつ安定した波形が取得可能であるのが利点であるが、その構造上検知範囲が広くなってしまう、不必要な複数の筋細胞の電位と多くのノイズそれぞれが干渉した波形を拾う欠点がある。また、疲労度・筋肉量などによって同じ運動量でも差が生じるため、それらが混ざった波形をどのように処理していくかが問題となる。

2-3 バックプロパケーション

2-2 項で述べた筋肉活動電位処理問題を解決するため、

本研究ではニューラルネットワークでの波形解析手法を用いる。

ヒトの神経伝達回路をモデル化した多層パーセプトロンモデルにおいて、あらかじめ入力・出力を例示し、各ユニットの重み調整（学習）を行うことで、パターン認識を可能にする手法としてバックプロパゲーションがある⁽⁵⁾。これにより、未学習の入力データでも、このネットワークを通せばパターン認識が可能になる。また、重み修正を繰り返し行うことで、識別精度が向上する。これを本研究における筋肉活動電位におけるデータ識別に応用する。

3.従来モデルからの改良点

3-1 アクチュエータの変更

従来モデルでは、Table.1 に示す平均的な体格の 65 歳男性の定常歩行動作時にかかる床反力（踵接地時約 600N、爪先離地時 700N）を 30%アシストするように、Table.2 上段の DC モータ（マクソンジャパン株式会社 RE25）を使用していた。しかし、高負荷がかかると強度不足によりギアの破損が生じていた。

今回はモータ本体の耐久性を向上させ、さらに装着者が労働作業に従事し、運搬する荷物の重量が 10kg 程度であると仮定、それを運搬可能にするモータの使用を検討する。なお、今回は脚部モデルのみの製作であるため、上半身モデルを装着する今後の展開を考慮し、そのみで上半身の保持、荷物保持のアシストが可能にようにする。

Table.1 のモデルから、モータ最大出力を求める。上半身 α に重力加速度と大腿長 γ を掛け、膝関節を 90° 屈伸させた場合の静止状態で片足の膝関節にかかるトルクを求めると、(1) 式になる。なお本来は動的加重で発生するトルクを考慮する必要があるが、余剰トルクを持たせていることから、今回は詳しくは検討しない。

$$53\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 0.4\text{m} \times \frac{1}{2} = 104\text{Nm} \quad (1)$$

これに重量物保持に余裕を持たせ、耐久性を向上させたモータを検討した結果、Table.2 下段の DC モータ（マクソンジャパン株式会社 RE40）を用いる。

Table.1 The average value of 65-year-old men's body

Height	164cm
Weight	63kg
Upper body α	53kg
Lower body β	10kg
Thigh γ	0.4m

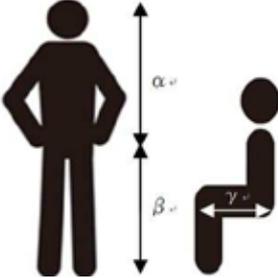


Table.2 Specification of each motors

	Torque (motor+gearhead+ spiral bevel gear)	Radial direction withstand load	Axial thrust direction withstand load	Weight (motor+gearhead)
RE25	29.8Nm	16N	3.2N	720g
RE40	144.5Nm	28N	5.6N	2820g

3-2 各部品の改良

これまではモータと傘歯車が直接繋がっていたため、傘歯車の受けるモータの耐久力以上の力が直接モータに伝わっていた。

重量物保持モデルにおいては更に大きな負荷がかかるこ

とが予測されるため、この荷重を吸収するために、Fig.3 に示すようにモータと傘歯車間にモータ保護装置を設ける。この装置はモータ耐荷重以上の力がかかった場合に変形・破断することで過負荷をモータに伝えず、保護する機能を持つ。本報では CAE による解析で、その機能を確認する。

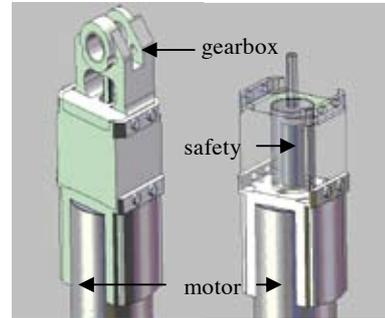


Fig.3 Safeguard unit

4.結果

Fig.4 は設計した装置を Dassault Systemes SolidWorks Corporation の CAE(COSMOSWorks)によって応力解析したものである。モータ保護装置の材質をアルミ合金 3003 番で設定し、モータの耐久力以上の力（ラジアル方向 28N、軸スラスト方向 5.6N）をギアボックス側軸からかけたところ、モータ保護装置は変形して負荷を吸収し、モータ側にはほとんど負荷が伝わっていない。

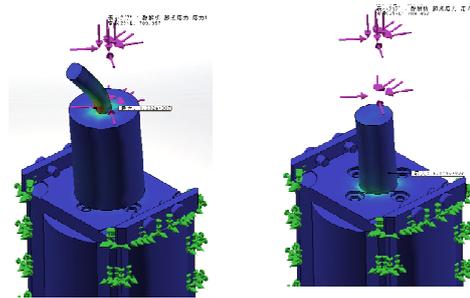


Fig.4 The analysis by cosmosworks

5.今後の課題

今回はこれまでのモデルを元にモータ換装による改良を行い、設計したモータ保護装置に対してシミュレータによる評価を行ったところ、モータ耐久以上の力で変形して負荷を吸収し、保護装置として機能する良好な結果が得られた。

今後はこれを製作の後、動作実験とアンケート調査を行い、装着感等の改良とこれまでのモデルと比較し、最終的な評価を行う。またここで得られた結果を参考に、上半身モデルの制作に着手し、パワーアシストスーツを実用的なものに近づけて行こうと考えている。

参考文献

- (1) 総務省統計局・政策統括官（統計基準担当）・統計研修所、人口推計（平成 23 年 8 月確定値、平成 24 年 1 月概算値）
- (2) 高瀬鍛，二関節筋モデルを用いたパワーアシストスーツの研究（第 1 報），WWLS2010 講演会，2010
- (3) 福井勉，理学療法ジャーナル 42 巻 6 号（2008. 06）pp. 511
- (4) 三田勝己，筋電図計測、BME, Vol. 5, No. 1, 1991, pp. 33-40
- (5) 西川隆記，離散学習パラメータを持つバックプロパゲーション学習法の評価、電子情報通信学会技術研究報告. CAS, 回路とシステム 98(223), (1998-07-30) p23-29,