123 ヒトの筋特性を有する人工筋アクチュエータの開発と ロボットアーム開発のための基礎研究

Development of artificial muscular actuator
Simulating human muscle and application for robot arm

○正 塩野谷 明 (長岡技術科学大学) 学 高本 俊一 (長岡技術科学大学)
学 小島 輝明 (長岡技術科学大学) 正 長谷川光彦 (長岡技術科学大学)
学 三宅 仁 (長岡技術科学大学)

Akira SHIONOYA, Nagaoka University of Technology, Kamitomiokamachi1603-1, Nagaokashi, Niigata
Shunichi TAKAMOTO, Nagaoka University of Technology
Teruaki KOJIMA, Nagaoka University of Technology
Mitsuhiko HASEGAWA, Nagaoka University of Technology
Hitoshi MIYAKE, Nagaoka University of Technology

Key Words: robot arm, Hill's equation, human muscular, elbow flexion

1. 緒言

高齢社会において重要な看護・介護業務は精神的・体力的に非常に重労働であり、看護・介護者の腰痛等職業病の問題が重要視されてきている。そのため、被看護・被介護者に対して柔軟に対応でき、看護・介護を補助・代行できるロボットの研究が進められている。

本研究では医療・福祉用ロボットへの応用を前提に、ヒトの運動源である生体骨格筋(以下、生体筋とする)について再考し、ヒトの筋特性を再現する駆動機構(アクチュエータ)を開発した。さらに、その機構を用いて肘屈曲内骨格型ロボットアームへの応用を試みた。

なお、本研究ではヒトの筋特性として、筋収縮時の力-速度特性を示す Hill の特性方程式に着目した。

$$(P + a)(V + a) = b(P_0 + a) \dots\dots\dots (1.1)$$

$$(P + a)V = b(P_0 - P) \dots\dots\dots (1.2)$$

(P は負荷、 V は筋収縮速度、 P_0 は最大等尺性収縮筋力、 a は熱定数、 b はエネルギー遊離定数)。

本研究では、この Hill の方程式への近似がすなわちヒトの筋特性の再現となるのか、その手掛かりとして、これまで見落としてきた力-速度特性における P_0 付近での速度低下特性の再現についても報告する。

2 筋特性再現機構と理論計算

本研究で開発した駆動機構を Fig.1 に示す。この機構は外周をサーボモータで巻き上げ、内径が発揮張力の大きさに可変する。またモデルは、八角形モデルを一樣なバネで囲まれた円モデルとして近似した。モデルを以下に示す。

・八角形モデル

$$\omega = \{V_m / [L \cos(\pi/8 - \theta)]\} = \{V_p / [r \cos(\pi/8 - \theta)]\}$$

Fig.1 Model of Muscular Actuator driving

$$\therefore V_p / V_m = r / L \dots\dots\dots (2.1)$$

・円形モデル

$$\omega = V_m / L = V_p / r$$

$$\therefore V_p = V_m r / L \dots\dots\dots (2.2)$$

$$LF_m = rF_p \quad F_p = kx = k(R - r)$$

$$\therefore r = R - (F_p / k) \dots\dots\dots (2.3)$$

(2.2),(2.3)式より

$$V_p = [(R / L) - (F_p / kL)]V_m \dots\dots\dots (2.4)$$

が導かれる。また、以下に計算条件を示す。

$$\cdot F_p = 0 \sim 12 \text{ (kgf)} \quad \cdot V_m = -42.51F_m + 234.9 \text{ (mm/s)}$$

$$\cdot L = 56 \text{ (mm)} \quad \cdot R = 42 \text{ (mm)} \quad \cdot r = 42 \sim 16 \text{ (mm)}$$

$$\cdot k = 0.319 \text{ (kgf/mm)}$$

3 筋特性再現機構の力-速度特性

筋特性再現機構の本体はアクリル板を用い、バネはステンレ

ス製引きバネ(バネ定数=0.3193kgf/mm)を採用した。内径可変の変化範囲は $\phi 42 \sim \phi 16$ mmである。また今回の実験に用いた、機構の駆動源となるサーボモータの規格は以下に示すとおりである。

- ・トルク : 9.8[kg・cm]
- ・ドラム回転速度 : 2[revolution / sec]
- ・ドラム直径 : 30[mm]
- ・寸法 : 46×23×44[mm]
- ・重量 : 83[g]
- ・レギュレータ出力 : 6[V] / 1.5[A] (MAX)

理論計算値と実験値を比較したものを Fig.2 に示す。理論計算値において負荷 8.3kgf 付近ではバネが完全に伸びきった状態となり、内径 r が収縮限界に達するためそれ以上の負荷をかけた場合は r が変化せず、線形な出力特性が表れている。この特性は、近年報告される実際のヒトの筋特性と同じものが再現されている。

Fig.2 Comparison between theory and experiment

4. ロボットアームの提案と力 - 速度特性

本研究で提案するモデルは、一関節筋の内骨格型ロボットアームであり、筋特性再現機構をヒトの上腕二頭筋に相当する部分に取り付け、ヒトの肘屈曲運動と同様にロボットアームも屈曲運動するものとして提案した。

ロボットアームの概略を Fig.3 に示す。このロボットアームは肘屈曲1自由度のアームである。上腕部は市販の 5mm 厚のステアーを加工し剛性を持たせ、前腕部はバネ下重量の軽減から、アルミ製のサッシを加工しロボットアームの駆動部位を構成した。

ロボットアームの力-速度を Fig.4 に示す。Hill の特性方程式への適応において、測定で得られたデータから定数 a, b を求めたところ $a=0.3928, b=155.2, P_0=3.5$ kg の値が得られた。また、ここでも 1kgf 付近で収縮速度の低下がみられ、実際の関節運

動に近い特性が再現されている。今後の課題としては、使用するサーボモータの出力向上によるロボットアームの出力向上と実用化があげられる。

Fig.3 Making of Robot Arm

Fig.4 Comparison between Hill's equation and experiment

参考文献

- (1) 桜井豊、谷内田誠、塩野谷明: “生体筋特性を模倣した人工筋アクチュエータの基盤研究” バイオメカニズムシンポジウム前刷 No16, pp.1-10, 1999
- (2) Shionoya, A., et al : Development of artificial muscular actuator simulating human muscular characteristics. The engineering of sport. b. 3. pp.113-121, 2000.