

人工筋肉を用いた筋骨格系アームに関する基礎研究

苫小牧高専 ○氏家 英樹 天野 雅敬 吉村 斎

要旨

最近、医療目的の人工筋肉が開発され、注目を集めるようになってきている。特に、イオンポリマー・金属複合材料は大きな動作を与えるアクチュエータとして機能する。本研究は、イオンポリマー・金属複合材料を用いた筋骨格系アームのインピーダンス制御を行うための基礎研究である。

1. はじめに

本研究では、イオンポリマー・金属重合材料(Ionic Polymer-Metal Composites;以降 IPMCs とする)[1]を用いた筋骨格系アーム (以降アームとする) のインピーダンス制御を行うために、インピーダンス制御に必要な、作業空間での力、関節空間でのトルク、筋空間での力を求める。その準備として、本研究では作業空間で特定の位置にアームを移動させる必要がある場合に、各筋肉をどのように伸縮させるかという制御を行うための、アームの作業空間から、筋空間へのマッピングを行った。なお、本研究では後に剛性を保ちながら移動を行わせることを考えて、図1のようなアームを考え、このアームにおける作業空間から関節空間を介して筋空間へのマッピングを行った。

アームの動作の検証を行うためにモデルを作成し、Matlab(MATH WORKS inc.)を用いて、作業空間でのアームの移動が筋空間にどのような影響を及ぼすかについてシミュレーションを行った。

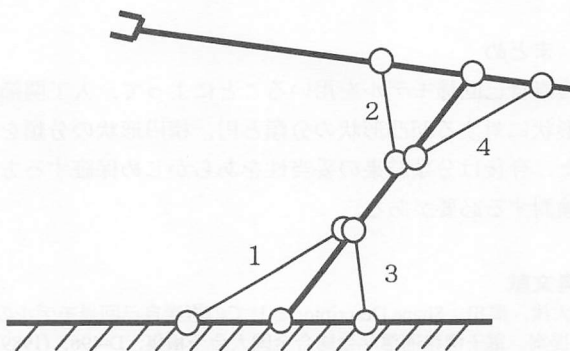


図1 本研究で用いる筋骨格系アームのモデル

2. 作業空間から関節空間へのマッピング

まず、作業空間から関節空間へのマッピングを考える。な

お、本研究では同次座標系[2]を用いてマッピングを行う。

まず図2に示すアームにおいてアームの、長さを l_1 、 l_2 、第一関節の関節角を θ_1 、第二関節の関節角を θ_2 としたときのアームの関節角と、目標の座標 (x,y) との関係は、

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{r^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \quad (1)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{-l_2 \sin \theta_2}{l_2 \cos \theta_2 + l_1} + \phi \quad (2)$$

となる。ただし

$$\phi = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (3)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (4)$$

である。

以上の式を用いて、作業空間から関節空間へのマッピングを行う。なお、第一関節の関節角 θ_1 の範囲は $-90^\circ \sim +90^\circ$ 、第二関節の関節角 θ_2 の範囲は $0^\circ \sim 180^\circ$ としている。

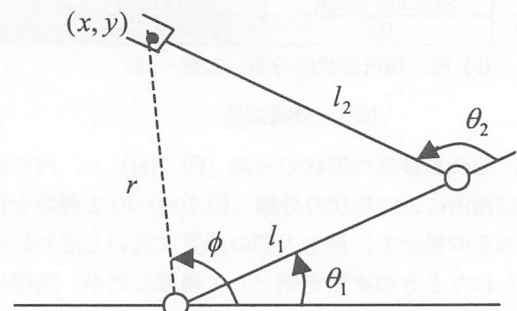


図2 作業空間から関節空間へのマッピング

3. 関節空間から筋空間へのマッピング

次に、関節空間から筋空間へのマッピングを考える。図3に示す位置に取り付けられた筋肉の筋長 L_i と関節の関節角 ϕ の関係は、筋肉の取り付け位置 a_i 、 b_i とすると、余弦定理から

$$L_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2 - 2a_i b_i \cos \varphi_i} \quad (5)$$

となる。ただし

筋1に対する $\varphi_1 = 180 - \theta_1$

筋2に対する $\varphi_2 = \theta_1$

筋3に対する $\varphi_3 = 180 - \theta_2$

筋4に対する $\varphi_4 = \theta_2$

という関係がある。式(5)とこの関係を用いて、関節空間から筋空間への写像[3]を行う。

また、 θ_2 の範囲は $0^\circ \sim 180^\circ$ なので式(5)をそのまま適用できるが、 θ_1 の範囲は $-90^\circ \sim +90^\circ$ なので $\cos \varphi$ の部分 $\sin(\pi/2 + \varphi)$ として計算する。

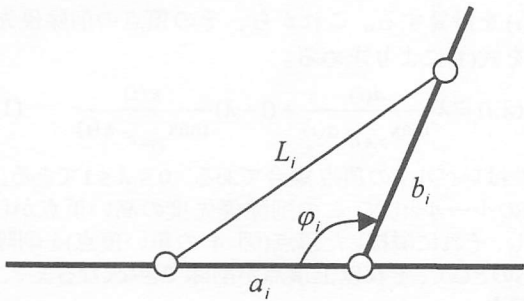


図3 関節空間から筋空間へのマッピング

4. シミュレーション結果

Matlab を用いて作業空間から関節空間を介して筋空間へのマッピングのシミュレーションを行った。初期のアームの関節角を θ_1, θ_2 を入力し、同次座標変換を用いて、現在位置を求める。次に目標位置を入力し、直線補間を行った結果を図4に示す。

シミュレーションの結果から、各アーム間の角度 θ が 90° から離れるに連れ、筋肉の収縮が大きくなる。IPMCsでは、曲げの変位は人工筋肉の長さの10%以上であるから、筋肉の自然長を20mmとすると、収縮可能な範囲は、18mm~22mm程度である。シミュレーション結果では、筋肉の収縮は、アームの関節角 θ が 180° の範囲に対して、自然長を20mmとした場合、0~30mm程度の変位をもつ。この変位は、アームの取り付け位置によって変化するので、アームの用途によって、取り付け位置を設計上変更する必要がある。

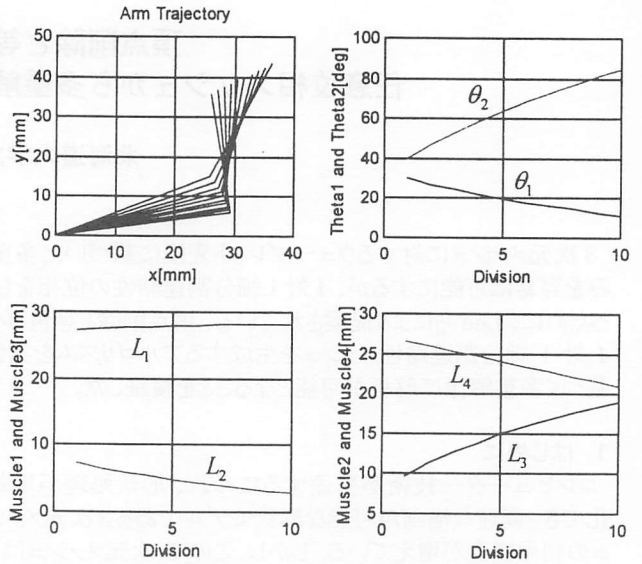


図4 作業空間から筋空間へのマッピング

5. おわりに

本研究では、インピーダンス制御を行うための基礎研究として、アームを設計するための基礎研究としてアームの動作を確認するシミュレーションを行った。今後の課題としては、
 ・インピーダンス制御を行うために、作業空間でのアームの力を筋空間へマッピングし、アームの力の制御を筋の収縮で行えるようにする。

・インピーダンス制御を行うために、関節空間でのアームのトルクを筋空間へマッピングし、アームのトルクの制御を筋の収縮で行えるようにする。

・筋空間での筋の変位を作業空間の力に写像するためのインピーダンスを求め、そのインピーダンスを用いて、作業空間でのアームの運動を制御する。

本研究は、苫小牧高専協力会により研究費の助成を受けたものである。

参考文献

[1] M.Shahinpoor, Y.Bar-Cohen, J.O.Simpson and J.Smith "Ionic Polymer-Metal Composites(IPMC) As Biomimetic Sensors, Actuators & Artificial Muscles A review", 1999
 [2] Richard P. Paul, "ROBOT MANIPULATORS MATHEMATICS, PROGRAMMING, AND CONTROL The Computer Control of Robot Manipulators ", 1981
 [3] 伊藤 宏司, 伊藤 正美, "生体とロボットにおける運動制御", コロナ社, 1991