

形状記憶合金型人工筋肉を使用したロボットハンドの開発

Development of a Robot Hand using Shape Memory Alloy type Artificial Muscle

宇田川 博貴

指導教員 長谷川 淳

拓殖大学大学院 工学研究科 長谷川研究室

キーワード：ロボットハンド・形状記憶合金

1. はじめに

近年、義手やヒューマノイドロボットなどに使用するために、様々なアクチュエータや機構を有したロボットハンドが開発されている。それら多くのヒトの手を模倣している形状の5指型ロボットハンドは電動モータを用いているのが主流であるが、中でも複雑な動作を可能とする器用さを有するロボットハンドにおいては、非常に多くのアクチュエータを用いる必要があり、電動モータを用いてそのような器用さを実現しようとするすれば、その分多くの電動モータを用いる必要があり、動作音や重量、大きさの点で問題がある。

このような問題を解決するために空気圧ゴム人工筋肉を用いたロボットハンドの開発が行われている。しかし、空気圧ゴム人工筋肉を駆動させるためにはコンプレッサーが必要であり、小型軽量で十分な圧力を供給することができるコンプレッサーがない現状では、義手などの応用には不向きである。そこで、この問題を解決するには電流で駆動させることができる形状記憶合金型人工筋肉が適していると考える。

本研究の目的は、アクチュエータに形状記憶合金型人工筋肉を用い、機構にはヒトの手の筋配置を模倣することで、電動モータを使用していた従来のロボットハンドより更に柔軟な動きが可能であり、軽量で動作音のない、義手などへの応用が可能なサイズのロボットハンドを開発することである。

今回は主にロボットハンドに実装するアクチュエータ部分に関して報告を行う。

2. アクチュエータ

2.1 形状記憶合金型人工筋肉の概要

形状記憶合金型の人工筋肉を使用する理由としてはアクチュエータのサイズに対して、発生力、変形量の点で優れ、入手が容易で価格も安く、設計する際に電気抵抗と見なせるため、単純な構成で駆動することが可能であるからである。本研究に用いる人工筋肉はバイオメタル・ヘリックス (BioMetal Helix・トキ・コーポレーション株式会社の登録商標) とする。このバイオメタル・ヘリックス(以下 BMX) は同社製品のバイオメタル・ファイバーをコイル状にしたものである。この製品は一般的な形状記憶合金と同じように温度により形状を変化させるので、ニクロム線の様に電流を流した際のジュール熱により駆動させるというものである。また、駆動時は振動や音もなく、今回用いる BMX は収縮時に 50[%] の運動変位を持つ。

2.2 ロボットハンドの駆動条件

開発するロボットハンドに必要とされるアクチュエータの発生力と変位量がどの程度必要なのかを知る必要がある。そこで、ヒトと同じサイズの指の機構を単純にしたワイヤ駆動機構のモデルを 3D プリンタにより出力し(図 1)、測定した。測定方法は手根中手関節(以下 CMC 関節)を固定し、伸展、深指屈曲、浅指屈曲させるのに必要な力を測定する。それぞれの動作に用いるアクチュエータは独立している為、測定に使用する腱以外は全て固定せず、一つの腱により中手指節関節(以下 MP 関節)、近位指節関節(以下 PIP 関節)、遠位指節関節(以下 DIP 関節)の各関節が可動域限界(表 1)まで回転したところで力を加えるのを止め、その時の値をプッシュプルゲージにより測定した。測定結果を表 2 に示す。

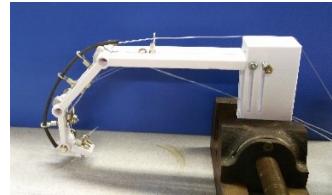


図 1. ワイヤ駆動機構モデル外観

表1. 関節の可動域限界

	MP関節	PIP関節	DIP関節
屈曲[°]	90	100	80
伸展[°]	45	0	0

表2. ワイヤ駆動機構モデルによる力の測定(30回)

	伸展	深指屈曲	浅指屈曲
張力(平均値)[gf]	219.16	368.80	362.07
張力(中央値)[gf]	210.63	368.22	348.33
変位[mm]	41	50	40

2.3 BMX の問題点

2.2 節の測定結果より、ロボットハンドの駆動に求められるアクチュエータの張力と変位量がわかつたが、BMX の問題点として仕様書上の実用最大発生力が 20~40[gf] (駆動電流 200~300[mA] 時、動作寿命 800 万回) と小さい点である。しかし、3[cm] の BMX に 5[V] の直流電圧で駆動させてみたところ、500[mA] の電流が流れ、153[gf] の力が出力できることがわかった。この測定結果より動作寿命は未知数になるが、実用範囲の電流を流すことでの発生力を得られることが確認できた。

2.4 駆動系設計

2.4.1 機構

2.3 節に挙げた問題を解決するために実用範囲での使用を前提とし、BMX を用いたロボットハンド駆動用のアクチュエータ(以下 BMX モジュール)の開発を行った。外観を図 2 に示す。

今回、BMX モジュールを製作した。2.2 節の測定結果より、平均値と中央値に大きな差はないため、最低限必要な力を平均値の 362.07[gf] とし、4[cm] の BMX を 4 本並列に用いることにした。BMX の駆動時には放熱穴を備えた内径 3[mm] 外径 5[mm] のシリコンチューブの中を移動させることで、外部の物との接触や BMX 同士の接触による短絡、及び収縮の阻害を防ぐようになっている。

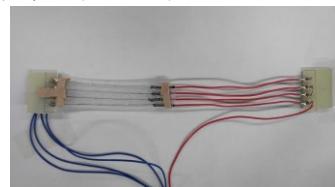


図 2. BMX モジュール外観

2.4.2 回路

BMX は電気抵抗とみなせるため、単純に複数の BMX を並列接続した設計が考えられるか、より効率的に発生力が得られる回路の開発を試みた。

まず並列に BMX を接続した設計の場合、駆動時間 1[sec]、放電能力の低いバッテリーでの運用を想定しているため、電源より BMX モジュール 1 つに

充てられる最大電流を $600[\text{mA}]$ とすると、4 本の BMX に流れる電流は分流により 1 本当たり $150[\text{mA}]$ となる。仕様書より BMX 抵抗値を $16[\Omega]$ 、この際に得られる発熱量を Q とするとジュールの法則より、

$$Q[\text{J}] = I^2[\text{A}] \times R[\Omega] \times t[\text{sec}] \quad (1)$$

$$Q[\text{J}] = (0.15)^2[\text{A}] \times 16[\Omega] \times 1[\text{sec}] = 0.36[\text{J}]$$

となる。本稿で提案する回路は(1)式の発熱量が電流に 2 乗比例することから、複数の BMX を並列接続せずに、4 本の BMX に対して 1 本ずつ順番に電流を流していくことで、発熱量を稼ぐ回路である。1 本当たりの発熱量は(1)式より、

$Q[\text{J}] = (0.6)^2[\text{A}] \times 16[\Omega] \times 0.25[\text{sec}] = 1.44[\text{J}]$ となり、同量の電流でより発熱量を得られるが、順番に電流を流しているため、残りの $0.75[\text{sec}]$ は電流が流れずに放熱してしまう。しかし、BMX はヒステリシス特性を有しているため、この問題を軽減できると考える。

開発した駆動回路を図 3 に示す。この回路の仕組みは RTC により生成された $16\sim819[\text{Hz}]$ のクロックをリングカウンタ回路に入力することで BMX4 本分に分周されたパルスを出力し、その信号とマイコンから出力される $0\sim3.3[\text{V}]$ の直流信号をパルス電圧調整回路により組み合わせることで、BMX を駆動させるパワー MOSFET のゲートに掛かるパルス電圧と周期を調整できる回路である。

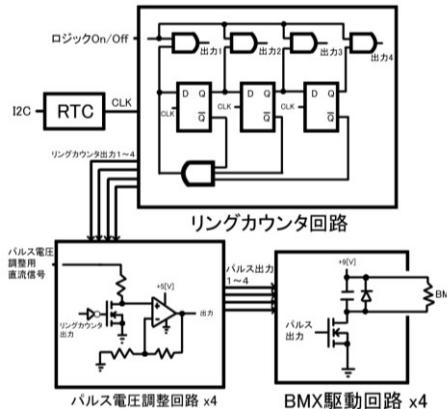


図 3. BMX モジュール回路

2.4.3 ソフトウェア

駆動回路の制御には PC と ARM Cortex-M4 搭載マイコン Teensy3.5 を用いた。PC とマイコン間の通信は USB 接続によるシリアル通信で行い、PC 側の制御ソフトは Unity を用いて製作した。全体の制御図を図 4 に示す。

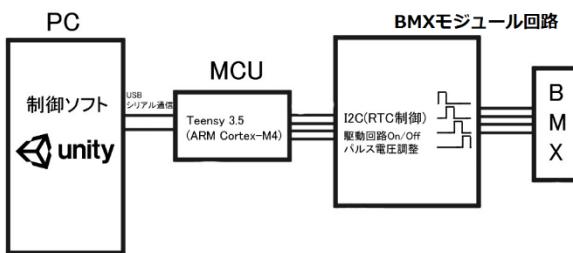


図 4. 制御系

3. 評価実験

3.1 発生力

室温 $25[\text{°C}]$ の中で行い、BMX に流れる電流が飽和するまで、BMX 駆動用パワーFET に掛かるパルス信号の電圧を上げた。各 CLK の最大発生力の測定結果を表 3 に示し、時間と発生力の関係を図 5 に示す。これらの結果より、CLK の違いによる最大発生力の違いは確認できなかった。しかし、 $16[\text{Hz}]$ の駆動時では発生力に脈動の様な動きが確認できたことから、低 CLK での駆動は滑らかな動作の妨げになるため、

ロボットハンドの使用には適さないと考える。

表3. BMXモジュール最大発生力							
クロック[Hz]	819	455	240	120	60	30	16
最大発生力[gf]	418.2	418.2	413.1	412.08	418.2	418.2	418.2
BMX電圧[V]	8.32	8.24	8.32	8.32	8.38	8.4	8.32
BMX電流[mA]	500	520	520	520	520	520	520

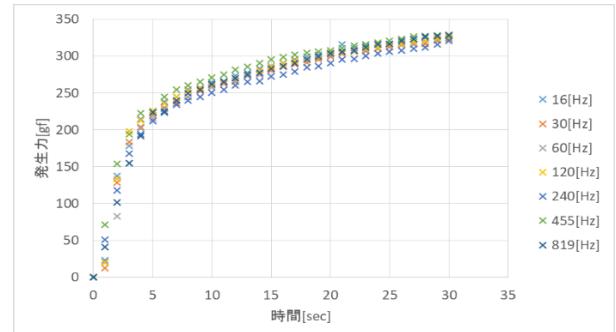


図 5. 各 CLK の駆動時間に対する発生力

3.2 BMX 放熱期間

2.4.2 節において問題についていた $(3/4)t$ の BMX 放熱期間の影響を調べるために、熱電対を BMX に取り付けて温度計測を行い、BMX を並列接続して駆動させた場合と開発回路による駆動の温度特性を比較した。室温 $20[\text{°C}]$ 、駆動時間を $10[\text{sec}]$ 、それぞれの回路の消費電力を $3.6[\text{W}]$ と $2.7[\text{W}]$ に設定し測定した結果を図 6 に示す。図 6 の結果より、 $2.7[\text{W}]$ の駆動において開発回路の優位性は確認できなかったが、 $3.6[\text{W}]$ 駆動の測定結果では開発回路の方が並列回路より温度上昇速度が優れ、 $5[\text{°C}]$ 高い温度に達していることから、より効率的な動作が行えていると言える。この結果より、放熱期間の影響を考慮しても、BMX を並列に接続して用いる設計に比べて、今回提案した設計の方がより効率的である。

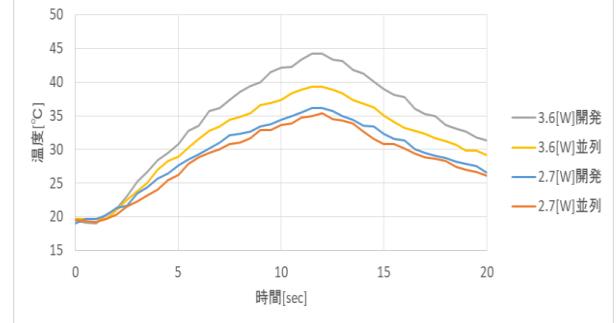


図 6. 並列回路と開発回路の温度特性

4. 結論

本稿ではロボットハンドに使用するアクチュエータモジュールを提案した。ワイヤ駆動機構モデルを作成し、動作に必要な張力と変位の測定結果より、アクチュエータモジュールに要求される性能を確認した。また、BMX の動作をより効率的に行える駆動回路の開発に成功した。

参考文献

- [1] 三宅 仁「内骨格型形状記憶合金人工筋肉マニピュレータの動的設計」『人工臓器』Vol. 21 (1992) No. 1 P 151-155, 1992.
- [2] 福井 真吾「形状記憶合金製アクチュエータを用いた筋電義手の研究」高知工科大学大学院工学研究科修士論文(未刊行), 2008
- [3] 桶野俊野 前野隆司「形状記憶合金を拮抗配置した剛性可変小型ロボットフィンガの開発」, 2004