

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

樋野俊之(慶大院) 前野隆司(慶大)

Development of a Miniature Robot Finger with a Variable Stiffness Mechanism using Shape Memory Alloy

*Toshiyuki HINO, Keio UNIV., Takashi MAENO, Keio UNIV.

Abstract - This paper describes a miniature robot finger which uses shape memory alloy as the actuator. Aiming at developing robot hands to perform human work instead of men, numerous research have been conducted. By miniaturizing robot hands, execution of more detailed work becomes possible. In developing miniature robot hands for dexterous manipulation, it is necessary to consider miniaturizing and simplification. The miniature robot finger proposed in this paper is driven by shape memory alloy (SMA) wires. The structure of the robot finger imitates the musculo-skeletal system of humans, since SMA wires exhibit nonlinear features similar to human muscles. Highly precise position control of fingertip is performable by using SMA owing to its shape memory effect. Force control of the fingertip is performed by measuring the tension of the SMA wire. We confirmed that stiffness control of the finger joint can be conducted by controlling tensions of the SMA simultaneously.

Key Words: robot finger, shape memory alloy, stiffness control

1. はじめに

近年、宇宙空間や原子炉内などの危険な環境や、微細加工や低侵襲医療といったマイクロ環境など、人間が直接作業を行うことが困難な空間における作業代行を目的としたロボットの研究開発が盛んに行われている。ロボットが作業を行ううえで、ロボットハンドは外界に対するエンドエフェクタとして重要な役割を果たしている。従来のロボットハンドの多くは人間の手の形状を模倣しており、大きさも人間の手と同程度もしくはそれ以上のものが多い[1][2]。これらのハンドを数 mm オーダの微細作業に適用することは困難である。一方、精密作業に特化したエンドエフェクタの研究も行われている。谷川らは piezoelectric actuator によって駆動するパラレルメカニズムを有する 2 指マイクロハンドを製作し、数 μm オーダの物体の操作に成功している [3]。しかし、これらはグリッパタイプのエンドエフェクタであるため、把持や操りなどの複雑な作業を行うことは困難である。したがって、精密かつ複雑な作業を行うために、人間の手指の形状を模倣した小型ロボットハンドを開発する必要があると考え

られる。従来のハンドは複雑な駆動方式や機構を有しているため小型化には適していない。単純な駆動機構についての研究も行われている。Lottitらはフィンガの内部に 3 本のワイヤを配置したフィンガの駆動機構を提案した [4]。しかし、アクチュエータを外部に配置しているため、様々なロボットアームとの接続が困難である。このため本研究では、将来的に微細作業への応用が可能なマイクロロボットハンドを実現するために、小型化が可能なロボットフィンガの関節の駆動機構を開発する。

2. 設計概念

フィンガの設計を行うにあたり、人間の筋骨格系に着目した。人間の筋は、収縮することにより、張力を発生し、筋長が短縮する。この現象を筋収縮という。人間の関節は 2 つの筋が拮抗型に配置され、それぞれの筋が筋収縮を行うことによって、位置制御、力制御および剛性制御を実現している。筋長と張力の間には非線形の関係があり、その関係は筋活動レベルによって変化する。

筋と類似した特性をもつ材料として注目されて

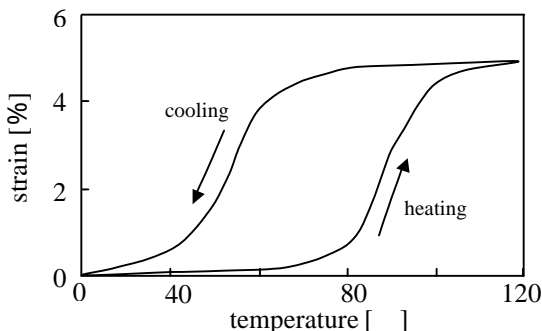


Fig. 1 Temperature-strain curve

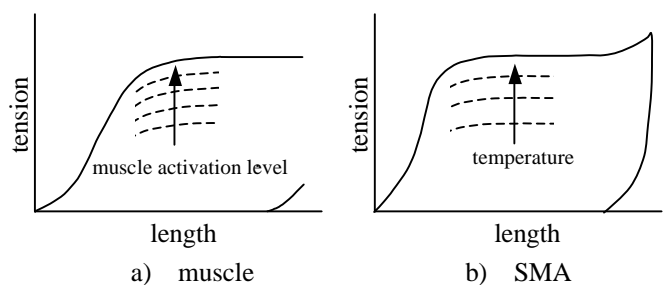


Fig. 2 Tension-length curve

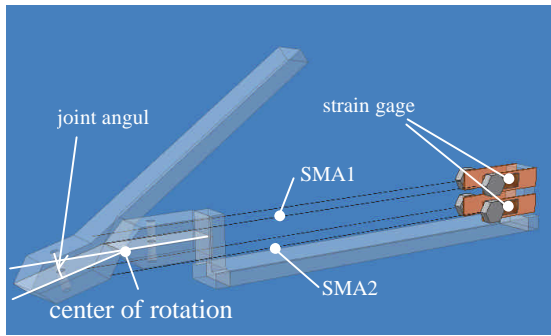


Fig.3 Outline of structure design

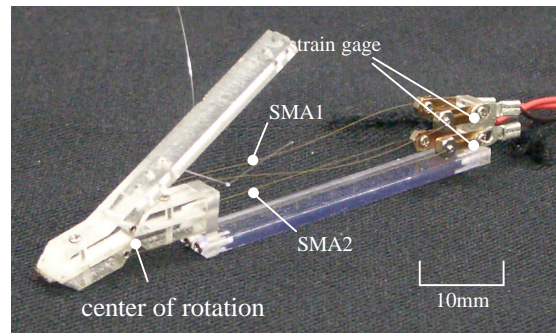


Fig.4 Developed miniature robot finger

Table 1 Feature of SMA

name	BMF75	BMF100	BMF150	BMF200	BMF250
Diameter [mm]	0.075	0.1	0.15	0.2	0.25
Constriction [mm]	2.7	2.5	2.1	1.5	1.8
Constriction ratio [%]	5.4	5.0	4.2	3.0	3.6
Constriction time [s]	0.40	0.40	0.45	0.60	1.00
Constriction speed [mm/s]	6.75	6.25	4.67	2.50	1.80
Extension time [s]	1.70	2.10	7.30	11.55	17.05
Extension speed[mm/s]	1.59	1.19	0.29	0.13	0.11
Generative force [N]	1.88	2.65	3.23	6.66	7.45

いるのが形状記憶合金(SMA: Shape Memory Alloy)である。SMAは形状記憶効果という特性をもつ。低温状態でSMAにある一定以上の負荷を加えると塑性変形を生じる。その後、変形力を除荷すると見かけ上のヒステリシスが発生する。しかし、SMAをある一定以上の温度に加熱するとヒステリシスは無くなり、もとの形状を回復する。この現象を形状記憶効果という。SMAの収縮量と温度はFig. 1に示すような非線形関係を有する。Fig. 2に筋の張力-長さ線図の模式図とSMAの応力-ひずみ線図の模式図を示す。筋は筋活動レベルを変化させ張力と長さを調整することができる。同様にSMAは温度を変化させることにより張力と長さを調整することができる。このため、SMAを拮抗型に配置すれば、筋同様に位置・力・剛性を制御できると考えられる。

本研究で開発するフィンガの特徴は、小型でありながら、人間の作業を代行するために与えられたタスクを行うためのフィンガの可動域、および発生力を十分に満たすことができることである。また、従来応答性が悪いとされていたSMAを小型化して使用することにより、十分な応答性が得られると考えられる。

3. 設計および製作

製作するロボットフィンガの設計方針は以下の通りである。

- ・ヒトの筋骨格系を模倣した関節の駆動機構とする
- ・SMAの応答性を調べ、フィンガの寸法を決定する

- ・精密把握を行う際の手指の動きを再現させる
- ・位置制御および剛性制御を行わせる
- ・最終的には人間の1/10の大きさを目標とする

まず、SMAの応答性について調べた。実験結果をTable 1に示す。本研究では応答性が十分に高かった線径75 μ mのSMAを使用することにした。次に、人間が精密把握を行う際の示指の各関節可動域を測定した。その後、使用するSMAの収縮量および発生力をもとに、フィンガの形状寸法および関節ヒンジ部の構造設計を行った。今回試作するフィンガの寸法は人間の1/4の大きさとした。本口ポットフィンガは、人間の筋骨格系と同様に、アクチュエータとして細線状SMAを拮抗型に配置した。関節の駆動機構をFig.3に示す。SMA1が収縮しSMA2が伸展することによって関節は伸展運動を行う。また、SMA1が伸展しSMA2が収縮することによって関節は屈曲運動を行う。角度測定装置としてエンコーダ、力測定装置としてひずみゲージを用いた。

製作したロボットフィンガをFig.4に示す。本フィンガの関節を駆動させるためにはSMAの長さを制御する必要がある。長さの制御を行うために16bitマイクロコンピュータH8/3048を用いた。H8/3048からPWM波形の電圧を出力し、SMAを通電加熱することによって、長さの制御を行う。位置制御を行う際はSMA1およびSMA2において独立したPID制御を行う。関節角度をエンコーダによって測定し、フィードバックすることによって目標角度に収束させる。また、剛性制御は、SMA1およびSMA2を同時に通電し、両方のSMAに張力を発生させることに

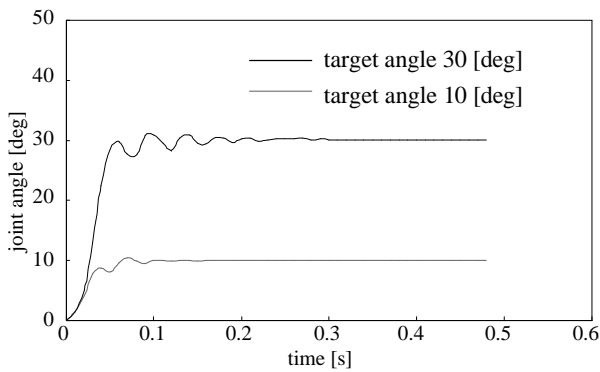


Fig.5 Step response

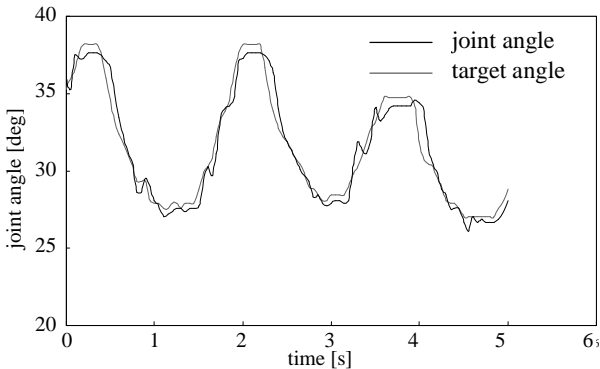


Fig.6 The response of master-slave

よって行う。張力は SMA の先端に取り付けたひずみゲージによって測定する。

4. 評価実験

4.1 位置制御実験

フィンガのステップ応答を Fig. 5 に示す。PI フィードバック制御を行い、目標値 10 deg および 30 deg としてステップ入力を与えた場合、いずれも約 100 ms で誤差 1 % 以内に収束した。またマスタ装置を用いた位置追従実験を行った結果を Fig. 6 に示す、図より最大 100 ms 程度の遅れで目標角度に追従していることがわかる。以上より、提案した駆動機構を用いれば応答性の優れた、精度の高い位置制御を行うことが可能であることを示した。

4.2 剛性制御実験

剛性制御実験を行った結果を Fig.7 に示す。拮抗型に配置した SMA1 および SMA2 に等しい電圧を印加し外力を加えた結果、関節は外力の変化に応じて回転した。duty 比が小さい場合、すなわち、PWM の平均電圧を小さくした状態では、関節は外力に応じて大きく回転した。また duty 比を大きくした場合、すなわち、平均電圧を大きくした状態では、外力を加えても関節の回転角度は小さかった。これにより、SMA に印加する平均電圧を変化させることにより関節の剛性値を変化させることが可能であることを定性的に示した。また平均電圧を変化させれば関節の剛性を調節できることを示した。

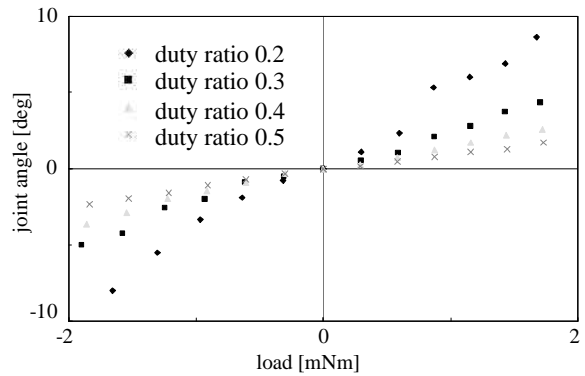


Fig. 7 Stiffness control

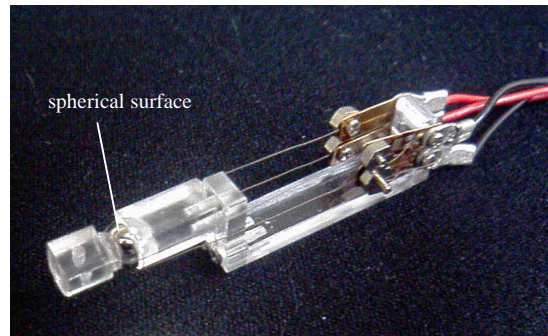


Fig. 8 The driving mechanism of 2DOF

5. 今後の展開

4 章で述べた評価実験により、Fig. 3 に示した駆動機構は小型化に適していることを確認した。しかし、この機構では 1 自由度の運動しか再現することはできない。人間の指関節は 1 指につき 3 関節 4 自由度を有している。すなわち、PIP 関節、および DIP 関節は屈伸運動の 1 自由度を、MP 関節は屈伸運動および側屈運動の 2 自由度を有している。そのため、本稿で示した駆動機構では PIP 関節および DIP 関節に適用することは可能であるが、MP 関節の設計に用いることができない。そこで、新たに 2 自由度を有する関節駆動機構を提案した構造を Fig. 8 に示す。関節接合面を球面状とすることにより、屈伸運動および側屈運動を行うことが可能になると考えられる。今後、Fig. 8 に示した駆動機構の詳細設計を行い、この機構を適用したロボットフィンガを製作し評価を行う。

6. 結論

本稿では SMA を拮抗配置した剛性可変小型ロボットフィンガの駆動機構を提案した。人間の筋骨格系を模倣した 1/4 サイズの 1 関節 1 自由度フィンガを製作し、位置制御および剛性制御が可能であることを確認した。また、人間の MP 関節の運動を再現させるために、複数の自由度を有する関節の設計を行った。

参 考 文 献

- [1] C. S. Lovchik , M. A. Diftler : The Robonaut Hand: A Dexterous Robot Hand For Space, Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotic and Automation, p.907-912, (1999)
- [2] I. Yamano, K. Takemura, T. Maeno: Development of a Robot Finger for Five-fingered Hand using Ultrasonic Motors, Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation , (2003)
- [3] Tamio Tanikawa, Tatsuo Arai: 二本指マイクロハンドの設計と微細作業, 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 284-289, (1997)
- [4] Fabrizio Lotti, Gabriele Vassura; A Novel Approach to Mechanical Design of Articulated Fingers for Robotic Hands, Proceedings of the 2002 IEEE/RSJIntl. Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1687-1692, (2002)