

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

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

非 樋野俊之 (慶大) 正 前野隆司 (慶大)

Toshiyuki HINO, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa
Takashi MAENO, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama-shi, Kanagawa

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 researches 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 musculoskeletal 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 used strain gages to measure tension. We confirmed that stiffness control of the finger joint can be conducted by controlling tension of the SMA simultaneously.

Key Words: Robot finger; Shape memory alloy; Stiffness control

1. 背景と目的

近年、原子炉内、宇宙空間といった危険な環境や微細加工、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えない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は、人間の手と同程度もしくはそれ以上の大きさであった。今後、ロボットハンドを小型化することによって人間の手指の動作を縮小し、さまざまな微細作業に応用することが可能になると考えられる。しかし、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。本研究では、将来的に微細作業への応用が可能な小型ロボットハンドの開発を行うために、小型化が可能なロボットフィンガの関節の駆動機構を提案することを目的とする。そこで、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を行う。

2. 設計と製作

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、外部に張力を発生し、筋長も短縮する。この現象を筋収縮と言う。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および剛性制御を実現している。また、

筋は粘弾性特性を有し、筋が長くなるにつれて張力が増加する。このとき、筋長と張力の間には非線形関係がある。また、筋長と張力の関係は筋活動レベルによって変化する。筋活動レベルが増大することによって、筋長一定において発生力が増大する。

筋と類似した特性をもつ材料として注目されて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[1]。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ることによって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可能である。以上のような筋とSMAの類似性に着目してロボットフィンガの製作を行う。

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

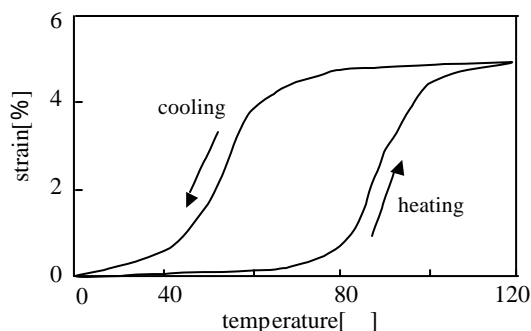


Fig. 1 Temperature-strain

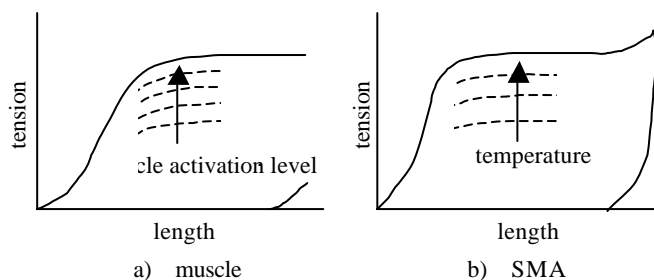


Fig. 2 Tension-length

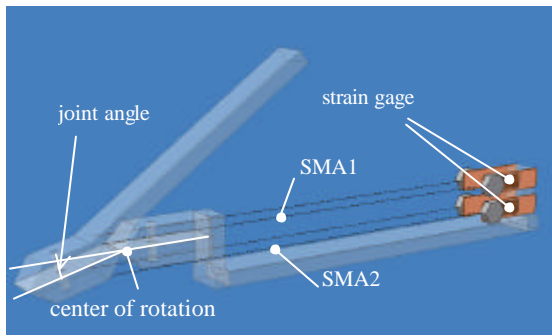


Fig.3 Outline of structure design

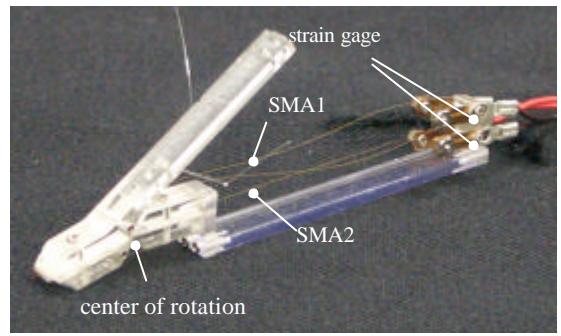


Fig.4 Developed miniature robot finger

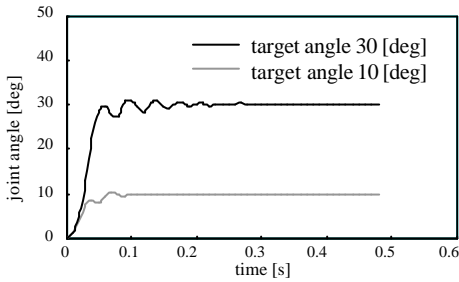


Fig. 5 Step response

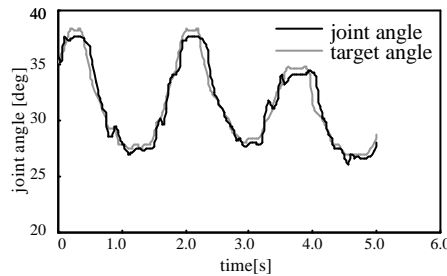


Fig. 6 The response of master-slave

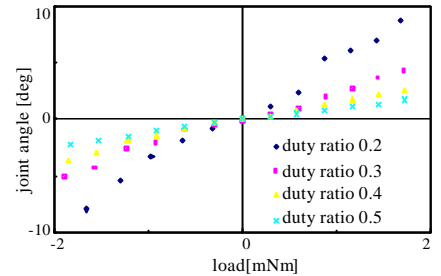


Fig. 7 Stiffness control

- ・ 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

まず、SMA の応答性について調べた結果、応答性が十分高かった、線径 75 [mm] 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。本ロボットフィンガは、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 を用いる。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

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、約 100 [msec] 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 [msec] 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、製作したフィンガは、ヒトと同程度の精度および応答性を有する位置制御を行

うことが可能であることを確認した。また、高周波ノイズは、制御周期が大きいことにより発生したと考えられる。制御周期を短くすることによりこのノイズは除去できると考えられる。さらに、線径の小さい SMA を使用することにより、更なる小型化が可能となり、また、応答性も向上すると考えられる。

次に、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, 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、外力に応じて関節は大きく回転した。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、外力を加えても回転角度は小さかった。これにより、平均電圧を変化させることにより関節の剛性を調節できることがわかった。

今後は、提案した駆動機構を利用して、さらに小型のロボットフィンガを開発し、それらを組み合わせることにより、汎用性の高い多指小型ロボットハンドの開発を行う予定である。また、フィンガに任意の剛性値を与えるために、SMA の非線形特性をモデル化し制御系に組み込み、精度の高い剛性制御を行う予定である。

5. 結論

本研究では、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することで位置制御および剛性制御が可能であることを確認した。また線径の小さい SMA をアクチュエータとして使用することにより、高応答性を得られることを確認した。

6. 参考文献

- [1] 日本工業技術振興協会固体アクチュエータ研究部会編：精密制御用ニューアクチュエータ便覧，フジテクノシステム (1992)