

形状記憶合金を拮抗配置した小型ロボットフィンガの開発

Development of a Miniature Robot Finger Using Shape Memory Alloy

○樋野俊之（慶大） 前野隆司（慶大）

Toshiyuki HINO, Keio University, y12483@educ.cc.keio.ac.jp
Takashi MAENO, Keio University

This paper describes a new driving mechanism for a miniature robot finger. Miniaturizing robot hands will actualize execution of more detailed work. In developing miniature robot hands for dexterous manipulation, simplification of the structure is an inevitable issue. The new driving mechanism uses Shape Memory Alloy (SMA) wires as actuators placed inside the robot finger. This paper first describes the driving mechanism of finger joint. The developed robot finger has 3 joints and 3 degrees of freedom, with which fundamental driving test is conducted. As a result, the capability of the driving mechanism of finger is confirmed.

Key Words: Robot finger; Shape Memory Alloy; Miniaturization

1. 背景と目的

近年、工学分野、医療分野および生物バイオ分野などにおいて、操作・加工・組立作業対象の微小化が進んでいる。それに伴い、微細作業を簡便に行うための手法の確立が求められている。微小対象物の大きさは数ミリメートルから数マイクロメートルであり、これらの物体を人間が直接作業することは難しい。そこで、人間に代わって微細作業を行うことが可能な、汎用性の高い小型マニピュレータの開発が必要不可欠である。従来のロボットハンドは、複雑な駆動機構を有しているため、小型化が非常に困難であった。そこで、マイクロマシンやマイクロロボットを開発するために、新たなアクチュエータの研究が盛んに行われている。筆者らは、小型化に適したアクチュエータとして形状記憶合金(SMA)ワイヤを拮抗配置した1関節1自由度の小型ロボットフィンガを製作し、フィンガの位置制御、力制御および剛性制御を行えることを確認した⁽¹⁾。本研究では、これらの知見を踏まえ、5指20自由度を有する小型ロボットハンドのための多関節多自由度フィンガの開発を行う。

2. 設計

2.1 小型ロボットハンドの概念設計

直感的な操作およびさまざまな作業を実現するため、開発するロボットハンドは以下に示す点を満たすロボットフィンガを有するものとする。

- 1) ヒトの手指形状を模倣した1指3関節を有する機構とする
- 2) アクチュエータおよびセンサを用いて関節角度のフィードバック制御を行う
- 3) 対象物の把握および操りを行うために十分な指先力を発生させる
- 4) 将来的に更なる小型化が可能な単純な駆動機構とする

これらの条件を満たすフィンガを組み合わせることで5指型ロボットハンドを構成する。本研究ではヒトの示指に相当するフィンガの開発を行う。

2.2 SMA アクチュエータ

本研究で製作するフィンガの最大の特徴はアクチュエータとしてSMAワイヤを使用することである。SMAワイヤは温度を変化させるとマルテンサイト変態が生じ、長さが

伸縮する。この特性を利用することによってアクチュエータとして用いることが可能となる。

従来のロボットハンドの多くはアクチュエータとしてDCモータ等の電磁モータを使用していた。近年ではマグネットなどの材料の高性能化と、コイル製法の改善および半導体技術の進歩によって電磁モータの超小型化が実現されている⁽²⁾。しかし、一般的な電磁モータの出力はアクチュエータの体積に比例するため、小型化することによって出力が著しく低下する。また超小型モータの回転速度は容易に数万rpmに達するため、ロボットなどのアクチュエータとして適用するためには、回転速度を減少させ、モータの出力トルクを増すための減速器が必要となる。以上より、電磁モータは小型ロボットハンドのアクチュエータとしては適していない。しかしSMAワイヤの出力は断面積に比例するため、小型化することによって出力/重量比が飛躍的に向上する。また機構の単純性やダイレクトドライブが可能といった特徴を有しており、小型のアクチュエータとしてSMAワイヤは非常に適している。このため本研究ではアクチュエータとしてSMAワイヤを用いる。

2.3 関節駆動機構

ヒトの母指以外の4指は、手根骨側からMP関節、PIP関節およびDIP関節を有し、それぞれが屈伸運動を行う。製作するフィンガは、ヒトと同様に3関節を有し、それぞれが独立した屈伸運動を生成することが可能である。本フィンガの駆動機構をFig. 1に示す。各関節は、上下に各3本ずつ拮抗配置したSMAアクチュエータにより駆動する。PIP関節を駆動させる場合拮抗型に配置したSMA_{u1}およびSMA_{d2}を収縮させる。これによってPIP関節のみ独立した駆動が可能となる。この駆動方式を他関節にも適用するこ

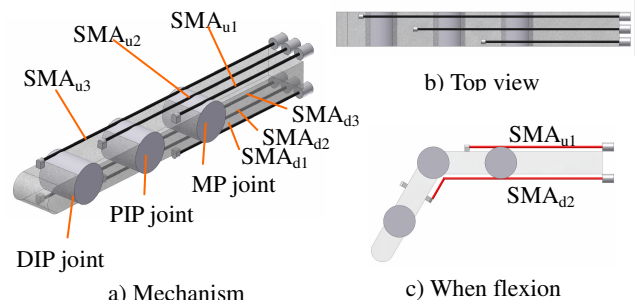


Fig. 1 Driving mechanism

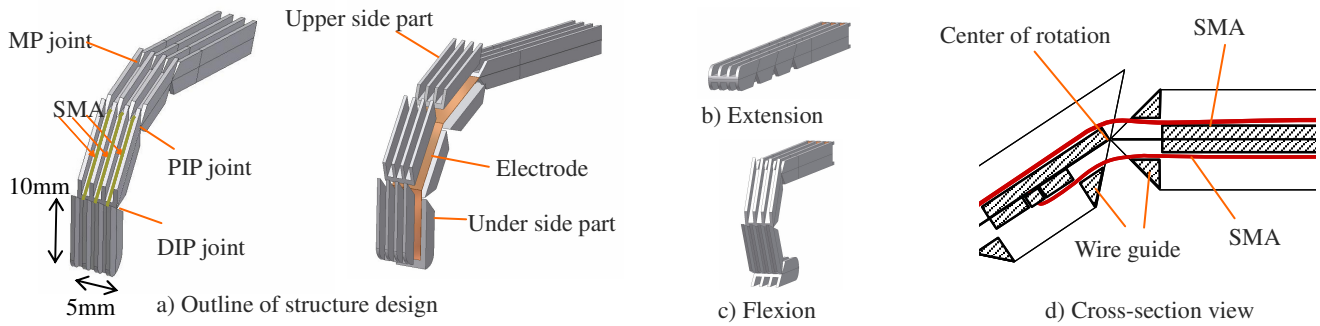


Fig. 2 Outline of structure design

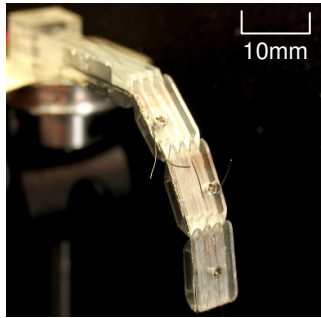


Fig. 3 Development miniature robot finger

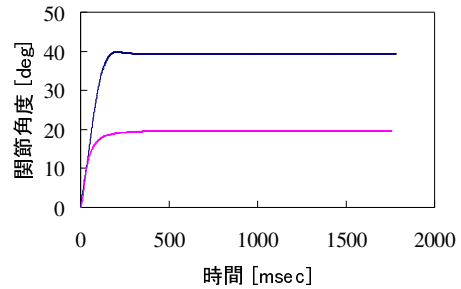


Fig. 4 Result of position control

とによって、多関節多自由度のフィンガを製作することが可能になる。

2.4 詳細設計

提案するフィンガの詳細を Fig. 2 に示す。製作するフィンガは3関節3自由度を有する。各指節骨の寸法はヒトの手指の約 1/3 になるように、それぞれ長さ 10 mm、幅 5 mm とした。各指節骨部分にはワイヤガイドを設け、ガイドに沿って SMA アクチュエータを配置する。関節部では回転中心から SMA アクチュエータまでの距離が 0.5 mm となるように設計した。各指節骨部分は上部と下部から構成され、その間に関節のヒンジ部の役割を兼ねる電極を設置した。この電極を共通 GND とし、各 SMA アクチュエータの一端を接続し、他端は導線を介し制御系に接続する。また、各関節の可動範囲は 0 deg から 90 deg になるように設計した。

3. 関節駆動特性

3.1 フィンガの製作

製作したフィンガを Fig. 3 に示す。SMA アクチュエータとしてトキコーポレーション社製の BMF100(線形 100 μ m) を用いた。BMF100 は全長の約 5% の伸縮性を有している。また最大で約 1N の力を発生することが可能である。フィンガ部には軽量化および絶縁のためにアクリル材を使用した結果、1 指あたりの質量は 1.5g 以下であった。関節のヒンジ部にはアルミ箔を用い、SMA の一端を銅線に接続し、他端をアルミ箔に接触させることによって通電した。

Table 1 Motion range of joint angle

	Robot finger	Human finger	When precision grasping
MP joint	0 - 90	-30 - 90	0 - 30
PIP joint	0 - 90	0 - 100	0 - 60
DIP joint	0 - 90	0 - 70	0 - 30

3.2 関節可動範囲

製作したフィンガの駆動特性を検証するために、まず可動範囲の測定を行った。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。長さ制御を行うために A/D 変換ボード、D/A 変換ボードおよび制御用 PC を用いて制御システムを構築した。PC からの出力を電圧に変換して SMA に印加し通電過熱することによって SMA を伸縮させ関節を駆動させた。各関節を独立に駆動させた場合における可動範囲を Table 1 に示す。これらはヒトが対象物を精密把握するために必要な可動範囲^[1]を包含している。

3.3 位置制御実験

角度指令に基づく関節角度制御実験を行った。角度センサとして measureand 社製のシェイプセンサを使用し、関節角度フィードバック制御系を構築した。MP 関節において、伸展した状態の関節角度を、初期状態とした。目標角度変位を 20 deg および 40 deg したときの応答を Fig. 4 に示す。各関節は目標角度に対して誤差 1% 以内に収束した。以上より、製作したフィンガに、提案した駆動機構を実装することによって安定した位置制御を行えることを確認した。

4. 結論および今後の展開

本研究では、小型ロボットハンドの開発を目的として、SMA アクチュエータを用いた 3 関節 3 自由度を有する小型ロボットフィンガの駆動機構を提案した。またフィンガを製作して駆動特性実験を行い、駆動機構の有効性を示した。

文献

- (1) 樋野俊之, 前野隆司: “形状記憶合金をきつ抗配置した剛性可変小型ロボットフィンガの開発”, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol.22nd, Page3J24, (2004)
- (2) 宮川豊美, 堀光平, 伊藤賢一: “超小型減速機・エンコーダを内蔵したサーボアクチュエータの開発”, 精密工学会誌, vol. 63, No. 8, pp. 1073-1076, (1997)