



Smart Hair の運動性能補償システムの提案と評価

岸田 聖生, 大久保 賢, 櫻井 翔, 広田 光一, 野嶋 琢也

1) 電気通信大学

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1,

{skishida, marchalloakbow, sho, hirota}@vogue.is.uec.ac.jp, tnojima@nojilab.org)

概要: Smart Hair は触覚提示インタフェースを構成するための柔軟な細線状の毛状アクチュエータである。しかし、このアクチュエータは屈曲量の制御が困難であるうえに、製造上の理由から個体差が激しいという問題があった。本研究では、アクチュエータの屈曲量に対応する内部状態をフィードバックする制御システムを提案した。これを用いて、個体ごとの特性値を用いることで複数個体間においても均一かつ再現性の高い動作が可能であるかを評価した。

キーワード: 触覚ディスプレイ, ソフトアクチュエータ, 形状記憶合金, Smart Hair

1. はじめに

Smart Hair は、温度により特性の変化する形状記憶合金 (以下, SMA) と超弾性合金 (以下, SEA) から構成される柔軟な細線状のアクチュエータとセンサが一体となった視触覚インタフェースである (図 1(a))。アクチュエータは、シリコンチューブ内部に SMA および SEA ワイヤが並行に配置され、両端が固定された構造を持つ。ワイヤを通電発熱させることで、SMA が収縮しアクチュエータ全体が屈曲する (図 1(b))。

本研究グループでは、Smart Hair の特徴的な屈曲運動に着目したアプリケーションの開発を進めてきた。例えば、スマートフォンに取り付けることで使用者に親密感を抱かせるデバイス[1]や、着用者の身体情報に応じて衣服の形状を変化させるインタフェース[2]が開発されている。加えて、環境再現型ディスプレイとしての利用方法も研究さ

れている[3]。Smart Hair の、センサとアクチュエータが一体となったモジュール構造は、大画面環境再現ディスプレイを構築するにあたって個別の制御が容易であり、スクラビリティに優れていると考えられる。

ところが、本アクチュエータには製造や構造上の理由により屈曲運動の個体差が激しいという問題があった。結果として、利用者は任意のタイミングで任意の屈曲量を提示するのが困難であった。

このような問題に対し、個体ごとに屈曲量を制御するシステムを提案する。制御にあたり、アクチュエータごとの特性値を考慮することで、個体差を吸収可能であることが期待される。また、現在まで Smart Hair の動作は通電の有無のみによって制御されており、必要な屈曲量に対して過剰な電力が供給されていた。屈曲に必要な最低限の電力を出力可能であれば、システム全体の消費電力の減少につながる。これにより、Smart Hair を利用するにあたって、利用者は複雑で大規模な回路を用意したり個体差を意識したりせずに、動作のデザインに集中することが可能となる。

2. 関連研究

Smart Hair を構成する SMA の収縮量と発生する張力から、全体の屈曲量を推定するモデルの作成[4]が行われている。しかし、任意の屈曲量の提示に必要な SMA の収縮量を実現するには至っていない。また、Smart Hair を

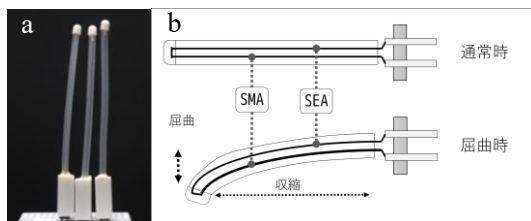


図 1 Smart Hair とその構造

Shoki KISHIDA, Masaru OHKUBO, Sho SAKURAI, Kouichi HIROTA, Takuya NOJIMA

構成している形状記憶合金について、加熱により発生する張力と電気抵抗値の変化がおおよそ線形の関係にあるという特性に着目したフィードバック制御システムが提案されている[5].

以上の研究結果を基に、抵抗値を一定に保つ、すなわち SMA が起こす張力を一定に保つことで、Smart Hair の屈曲量の維持が可能である[6]. しかし、複数個体間の個体差や、動的に変化する目標値への追従については調査されていない。

本研究では、抵抗値フィードバックを用いて、Smart Hair の屈曲量制御を行う。その際、アクチュエータごとに固有の屈曲量と抵抗値の対応を測定することで、複数個体間においても指定した屈曲量が高い再現性を持って提示可能であると考えられる。

3. 提案システム

フィードバック対象となる Smart Hair の抵抗値は、Smart Hair に供給されている電圧と電流から計算可能である。これらを測定し、供給電力量を変化させる機能を持った制御システムが提案されている[6]. 本論文で利用するシステムも、同等の機能を持つものを利用する(図 2).

本システムは、可変電圧電源と、電流計測器、制御用マイコンから構成される。マイコンは、可変電圧電源の出力電圧と、電流計測器から得られる電流値から、Smart Hair に印加されている電圧および Smart Hair 自体の抵抗値を計算する。計算によって得られた抵抗値と、目標となる抵抗値から、次に出力する電圧を決定する。

ここで、予めマイコン内部に Smart Hair の抵抗値と屈曲量の対応表を保存しておく。マイコンは、与えられた屈曲量から対応表を用いて目標抵抗値を計算する。

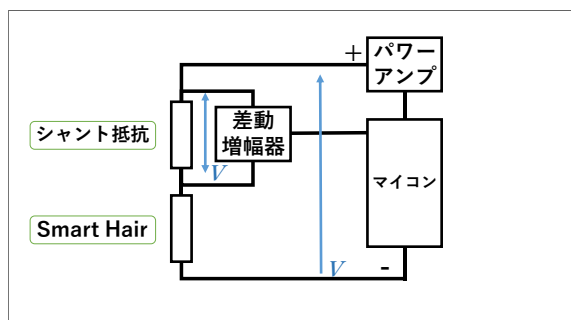


図 2 制御システム概要

4. 実験と結果

4.1 屈曲量の計測方法

Smart Hair の屈曲動作の評価のために、次のような計測装置を構成した(図 3). アクチュエータは方眼紙の前に設置され、カメラで屈曲動作を録画する。予めアクチュエータの先端部にカラーマーカーを取り付けておき、録画された映像からこのマーカーの移動を追跡する。マーカーの座標位置は、色抽出によって得られた面積の中心座標とする。また、方眼紙を用いて、映像中の座標から実空間上の座標値へと変換し、屈曲動作の実距離を得る。

なお、本論文では、屈曲量を、実験開始時を原点とする水平移動量として定義し、評価に用いた。

4.2 個体値の取得と補正方法

株式会社シンフォディア・フィル製の Smart Hair を 3 本選び、個体 A, B, C と区別した。これらを、消費電流が約 50mA から 180mA まで 20 秒程度かけて増加するように設定されたプログラムを用いて屈曲させた。実験はアクチュエータごとに 3 回行われ、各試行は Smart Hair の冷却のため 1 分以上の間隔を空けた。計測によって得られた抵抗値と屈曲量の対応の例を図 4 に示す。

補正パラメータの作成にあたって、得られたグラフ上に点を置いて複数の直線で簡易的に近似した。この近似直線を表現する点を、抵抗値と屈曲量の組としてマイコン内部

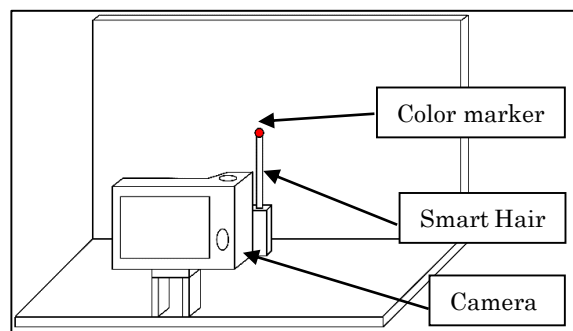


図 3 測定装置概要

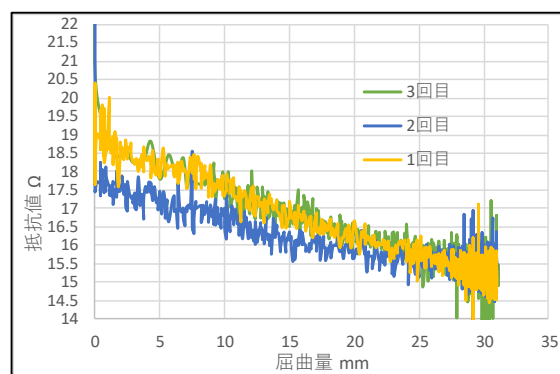


図 4 個体 A の抵抗値-屈曲量グラフ

に保存した(表 1)。

抵抗値 Ω			屈曲量 mm
個体 A	個体 B	個体 C	
18.9	20.8	18.9	0.0
17.4	18.9	17.4	10.0
16.2	17.4	16.4	20.0
-	16.5	-	30.0
15.3	-	-	30.8
-	-	15.4	36.1
-	15.9	-	39.8

以降の実験では、プログラム内部で、与えられた屈曲量から目標の抵抗値を線形補間によって算出する。例えば、個体 A の補正パラメータを用いて、屈曲量 25[mm]を実現するための目標抵抗値は次のように計算される。

25[mm]の屈曲量は、20[mm]と 30.8[mm]のデータ組から線形補間される。このとき、入力された屈曲量を l_i [mm]、参照する屈曲量の小さい方のデータ組を R_a [Ω]、 l_a [mm]、大きい方を R_b [Ω]、 l_b [mm]とすると、目標抵抗値 R_i [Ω] は次のように求められる。

$$\begin{aligned}
 R_i &= (R_b - R_a) \times \frac{(l_b - l_i)}{(l_b - l_a)} + R_a \\
 &= (16.2 - 15.3) \times \frac{(30.8 - 25)}{(30.8 - 20)} + 15.3 \\
 &\cong 15.78
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

4.3 同一パラメータ使い回す場合

4.3.1 実験内容

個体 B、C に対して 4.2 節で求めた個別の補正用パラメータではなく個体 A のパラメータを用いたまま各個体を屈曲させ、屈曲量の評価を行った。目標屈曲量を 25mm と設定し、60 秒間の測定を 3 回行った。各試行は Smart Hair の冷却のため 1 分以上の間隔を空けた。

4.3.2 結果

どの試行、個体においても実験開始後 10 秒間は先端位置が収束せず不安定であった。そのため、10 秒経過後から実験終了後までの期間を保持位置として評価した。作成した箱ひげ図を図 5 として示す。

4.4 個体パラメータを適応した場合

4.4.1 実験内容

4.2 節で求めた、個別別の補正用パラメータをそれぞれ有効にした状態で屈曲量の評価を行った。目標屈曲量を 25mm と設定し、60 秒間の測定を 3 回行った。各試行は Smart Hair の冷却のため 1 分以上の間隔を空けた。

4.4.2 結果

4.3 節と同じく、実験開始後 10 経過時点からの 50 秒間のデータを評価した。作成した箱ひげ図を図 6 として示す。

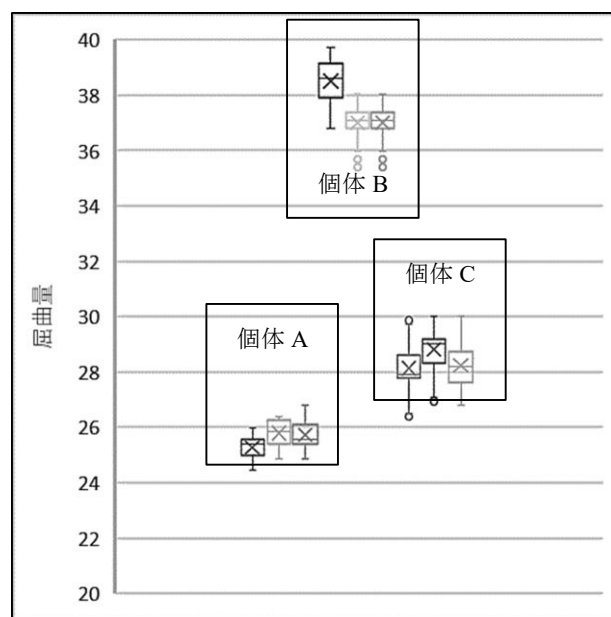


図 5 同じパラメータを再利用した場合の先端位置

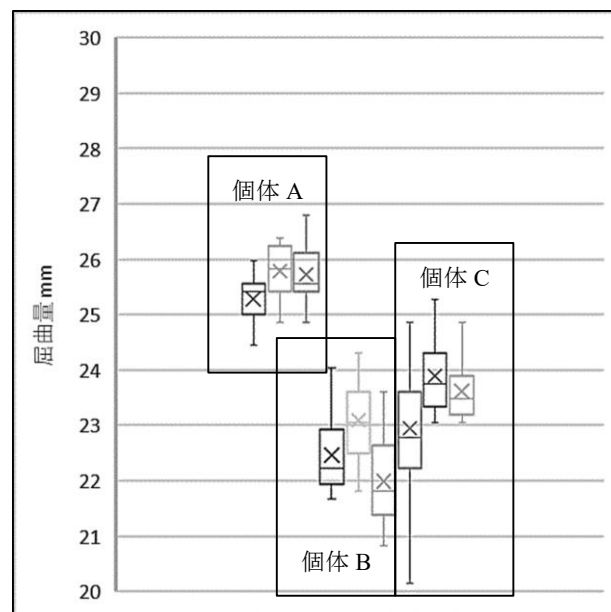


図 6 個別のパラメータを利用した場合の先端位置

5. 考察

5.1 個体差の原因

得られた補正パラメータより、個体 B は全体的に抵抗値が高く、また屈曲量も大きいことが判明した。これは、内部の SMA ワイヤの長さが原因として挙げられる。SMA ワイヤは長いほど抵抗値は増大し、また同じ収縮率であっても実収縮量が増加するため、全体の屈曲運動に影響を及ぼす。したがって、個体 B の SMA は他の個体よりも長いものであった可能性が考えられる。

5.2 個体パラメータの有用性

各個体用の補正パラメータを有効にした際は、特に個体 B について、保持位置が 38mm 付近から 22mm 付近へと大幅な改善が見られた。これは、補正パラメータが有効に働いたと考えられる。また、個体 C についても、保持位置が変化していることから、補正パラメータの影響が出ていると言える。

個体 B, C の補正後の保持位置の誤差が個体 A よりも大きい原因には、補正パラメータの設定方法が挙げられる。今回、得られた抵抗値と屈曲量の対応を複数の直線で近似した。そのため、線形補間による誤差がそのまま屈曲量の誤差となったと考えられる。この場合、今回は 4 点ないし 5 点とした補正点の数を増やすことで改善可能と考えられる。

6. 今後の展望

今回の実験において、目標の屈曲量は 25 [mm] の固定値であった。目標抵抗値が随意に変更可能であると、例えば屈曲運動を遅くするといった表現が可能となる。ところが、実験開始後 10 秒間の先端位置は不安定であったため評価には用いないとした。この制御の不安定さは、動的に変化する目標抵抗値への追従を阻害する要因となると考えられる。そのため、制御パラメータや回路の見直しを行ったうえで、目標値を変動させた状況における先端位置の追従性能の評価を行うことが求められる。

また、得られた抵抗値と屈曲量の対応を直線で近似したが、正確なモデル化についてはさらなる調査が求められる。

7. おわりに

本論文では、屈曲運動を行うアクチュエータである

Smart Hair の抵抗値と屈曲量の関係を測定し、個体差を具体的な数値で得た。これを抵抗値フィードバックによる屈曲量制御システムに適応し、屈曲運動の個体差が補償されているかどうかを評価した。個体間で同じ屈曲量を実現させる実験の結果、補正パラメータを有効にした際に目標屈曲量と提示屈曲量の誤差が減少することが確認された。しかし、補正パラメータの作成方法が原因と思われる誤差もみられた。今後、補正パラメータの作成方法の改善によってより高精度な屈曲量制御が実現可能となることが見込まれる。また、目標抵抗値を動的に変化可能な追従性能を持つ制御パラメータの調整が求められる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 16K00268 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] M. Ohkubo, S. Umezu, and T. Nojima, "Come alive! Augmented Mobile Interaction with Smart Hair," *Proc. 7th Augment. Hum. Int. Conf. 2016 - AH '16*, pp. 1-4, 2016.
- [2] M. Ohkubo, T. Nojima, M. Yamamura, and H. Uchiyama, "Breathing Clothes: Artworks using the Hairlytop Interface," *Proc. Adv. Comput. Entertain. Technol. Conf.*, 2014.
- [3] T. Nojima, Y. Ooide, and H. Kawaguchi, "Hairlytop interface: An interactive surface display comprised of hair-like soft actuators," *2013 World Haptics Conf. WHC 2013*, pp. 431-435, 2013.
- [4] 梅津 周平, 大久保 賢, 野嶋 琢也, "Hairlytop Interfaceの動作シミュレータの開発," *第20回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集*, pp. 3-4, 2015.
- [5] H. CHO, T. YAMAMOTO, Y. TAKEDA, A. SUZUKI, and T. SAKUMA, "Exploitation of shape memory alloy actuator using resistance feedback control and its development," *Prog. Nat. Sci. Mater. Int.*, vol. 20, pp. 97-103, Nov. 2010.
- [6] S. Kishida, M. Ohkubo, and T. Nojima, "毛状インターフェイスの運動制御システムの提案と評価," *第20回ハプティクス研究会*, no. PI-18-024, pp. 1-5, 2018.