

## [研究助成 (A)]

## 形態変化によってユーザに行動変容を促す Robotic Clothing の開発

Robotic Clothing ; changing its shape to modify behavior of its user

2191002



研究代表者

早稲田大学 創造理工学部

准教授

石井 裕之

## [研究の目的]

家電の自動化は、人間と機械が調和した便利で豊かな生活をわれわれに提供してくれた。今後さらに、身の回りの様々なものが機械化・知能化されていくと予想されるが、申請者は衣服の可能性に注目している。衣服を機械化・知能化してユーザとインタラクションする機能を持たせたら、衣服とユーザの関係やユーザの行動はどのように変化するのだろうか。また、両者のインタラクションを適切にデザインすれば、ユーザに対して好ましい行動変容を促すことができるのではないかな。

このような期待にもとづき、まったく新しい人間調和型機械として、形態変化によってユーザに行動変容を促す Robotic Clothing の開発をここに提案する。Robotic Clothing のユースケースとしては、ユーザがパニックを起こした際に自動的に衣服のフードが展開して視覚的・聴覚的にユーザを外界から隔離して鎮静を促す用途や、ユーザが過度に集中している際に自動的に衣服の各部が緩んでリラックスへの移行を促す用途などを想定している。

本研究では、Robotic Clothing の実現に必要な要素技術を開発し、それを実際の衣服に実装した Robotic Clothing の試作機の開発を目的とする。

## [研究の内容, 成果]

まず、Robotic Clothing の実現に必要な不可欠な要素技術の開発に取り組んだ。ここでは、テキスタイル中に実装可能な軽量薄型のアクチュエータ・ユニット開発に取り組んだ。アクチュエータ・ユニットの動力源には、小型で軽量なワイヤ型の形状記憶合金（以降 SMA）アクチュエータを採用した。

SMA アクチュエータは極細の超合金ワイヤで、通電によって収縮力および収縮変位を発生する。通電を解除すると、収縮変位が消失し、初期長へ戻る。このような特徴を持つ SMA を図 1 に示すように拮抗配置することで、ヒンジを能動的に動作させる機構を考案した。

この機構は次式に示すように、2本の SMA

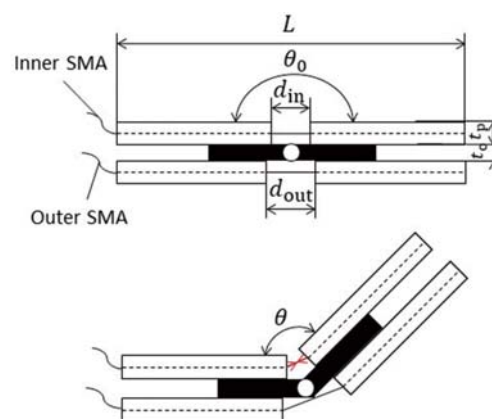


図1 SMA で駆動される能動ヒンジの幾何学モデル  
(上：屈曲前, 下：屈曲後)

に  $\Delta d$  の変位を発生させることで、ヒンジ部に角度  $\theta$  の屈曲を発生させることが可能となっている。

$$d_{in} = \frac{2(t_p + t_o)\cos\frac{\theta}{2} + \Delta d}{1 - \sin\frac{\theta}{2}}$$

$$d_{out} = \frac{2(t_p + t_o) - \Delta d\cos\frac{\theta}{2}}{\tan\frac{\theta}{2} - \cos\frac{\theta}{2}}$$

例えば、この機構では  $d_{out} = 14.6[\text{mm}]$ 、 $d_{in} = 39.2[\text{mm}]$  となるよう SMA に変位を発生させれば、 $L = 90[\text{mm}]$  で  $\theta = 120[^\circ]$  の屈曲を生じさせる事が可能である。

Robotic Clothing は、ある形態から別の形態へ変化した後、その形態を長時間にわたって保持することが必要となると想定される。前述の拮抗駆動機構において、長時間変形を維持する場合、SMA への継続的な通電が必要となるが、これは消費エネルギーの観点からすると無駄な通電と言える。そこで、SMA に通電せずに保持するために、図 2 に示すように熱可塑性材料のポリウレタンによる変位保持機構を考案した。

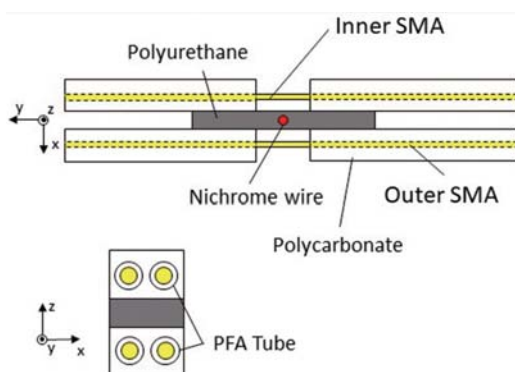


図2 SMAで駆動される能動ヒンジの設計

この機構では、図3に示す一連の動作によって、SMAによって生じるヒンジの屈曲を通電無しに保持することを実現する。まず、SMA

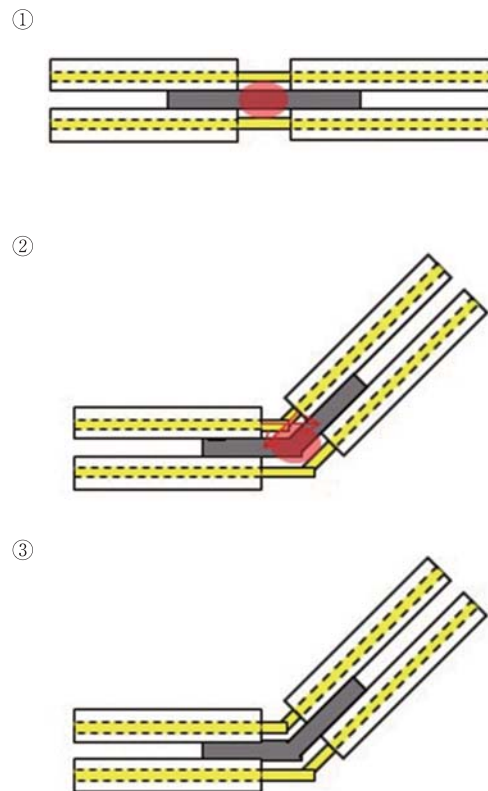


図3 ポリウレタンとニクロム線による屈曲保持機構

表1 各部の材料の熱に対する特性

ポリウレタンのガラス転移点	℃	60
ニクロム線の発生温度	℃	60
SMA 収縮力発生時の温度	℃	120
ポリカーボネートのガラス転移点	℃	150
PFAの連続最高使用温度	℃	260

への通電に先立ちポリウレタン中のニクロム線へ通電し、ニクロム線の発熱によりポリウレタンを軟化させる(図中①)。ポリウレタンが十分に軟化したらSMAに通電し、ヒンジに屈曲を発生させる(図中②)。ヒンジの屈曲が必要な角度に達したら、ニクロム線への通電を止めてヒンジを硬化させ、SMAへの通電を止める(図中③)。なおポリカーボネート製のリンク部には、SMAの発熱によるポリカーボネートの溶解の防止と、摩擦によるSMAの破断を防ぐために、PFAチューブが埋め込まれている。各部の材料の熱に対する各種特性を表1に示す。

能動ヒンジ3個を、受動ヒンジを介して連結

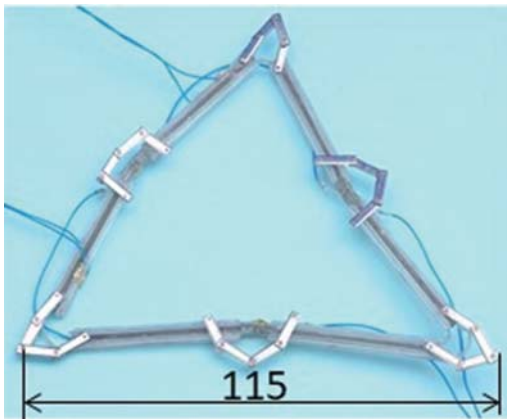


図4 アクチュエータ・ユニット (図中の単位はmm)

して図4に示すアクチュエータ・ユニットを試作した。このユニットは、能動ヒンジの動作によって三角形(拡張時)から3つの頂点を有する星形(収縮時)に任意に形状を変化させることが可能となっている。なお、試作したアクチュエータ・ユニットの大きさは三角形時の一辺の長さが115[mm]となっているが、リンク長を変更すれば大きさをさまざまに変更することが可能である。それぞれの能動ヒンジのSMAへの電力供給は、極細の被服電線を介して行われ、電力源は衣服のポケット等に収納することを想定している。

ポリエステル生地に対してアクチュエータ・ユニットを手縫い糸によって装着し、能動的に変形するテキスタイルを製作した。その変形の様子を図5に示す。またその仕様を表2に示す。写真より見てとれるように、能動ヒンジの動作に従ってテキスタイルに伸縮が発生している事がわかる。

続いて図6に示すように、Robotic Clothingの試作機として、アクチュエータ・ユニットが実装されたテキスタイルを用いたスヌード(ネックウォーマー)型 Robotic Clothing を製作した。一般的なスヌードは環状となっているためユーザは着脱時に手などで環を押し広げる必要があるが、Robotic Clothing スヌードはスヌード自体が変形することで、押し広げるなどの作業を必要とせずに着脱が可能となっている。



図5 能動的に変形するテキスタイルの動作の様子 (上: 拡張時, 下: 収縮時)

表2 能動的に変形するテキスタイルの仕様

寸法	mm	115×80×2
質量	g	3
最大発生変位	mm	40
駆動電圧	V	10-12
駆動電流	mA	340



図6 スヌード型 Robotic Clothing (上: 拡張時, 下: 収縮時)

被験者実験により、このような機能が実現できていることを確認した。なお写真では、ポリエステル生地とアクチュエータユニットが露出しているが、使用時は薄手のテキスタイルのカバーを装着することを想定している。

[今後の研究の方向, 課題]

今後は、服飾デザイナーや服飾心理学者と共同で、さまざまな形態の衣服に開発したアクチュエータ・ユニットを適用し、Robotic Clothing のバリエーションを増やしていく。

上記に加えて、環境の変化を検知してアク

チュエータを制御する知能化技術の開発にも取り組む。まずは、前述のスヌード型 Robotic Clothing に各種センサを実装し、温度や湿度など周辺環境に応じて形状を変化させるスヌードを開発する。さらに今後は、コロナウイルス拡大にともなう生活様式の変化に注目しながら、より安全で豊かな生活を実現するための Robotic Clothing の開発にも取り組んでいく。

[成果の発表, 論文等]

佐々木健, 岡林誠士, 石井裕之: 形状記憶合金と熱可塑性樹脂を用いた変形する布の提案と開発, 第37回日本ロボット学会学術講演会, 2019年9月.