

# 特殊編地によるむくみ予防サポータ部材の開発

中島明哉\*

マッサージ効果を持たせた脚のむくみ予防サポータ部材の開発を目的に、市販の弾性ストッキング11製品について、着圧を発揮するのに必要な張力の評価を行った。また、その結果を元に熱で長さ方向に収縮する形状記憶合金糸を編成加工してソフトアクチュエータとし、弾性生地と組み合わせてサポータ部材を試作した。サポータ部材をマネキンに装着した状態での着圧試験では、形状記憶合金糸編地の両端に5V印加することで10hPaから35hPa間で着圧を変化させたり保持させたりすることが可能であり、むくみ予防サポータ部材としての活用が期待できる。

キーワード：サポータ，形状記憶合金，編地，ソフトアクチュエータ

## Development of Material of Supporter Knitted with Shape Memory Alloy for Preventing Swelling in the Legs

Akichika NAKASHIMA

For the purpose of developing material for supporter with a massage function for the prevention of swelling in the legs, the tensions of 11 kinds of compression stockings on the market were measured. Based on the measurement results, a soft-actuator was developed by knitting shape memory alloy wire that contracted lengthwise with temperature. A material for supporter was prepared by combining the soft-actuator and elastic fabric, and its compression pressure was measured by fitting it on a mannequin leg. It was possible to change and hold compression pressure in the range of 10~30hPa by applying 5V. It is expected that the material for supporter will be used for preventing swelling in the legs.

Keywords : supporter, shape memory alloy, knit, soft-actuator

### 1. 緒言

むくみは、重力の影響で心臓から下の遠い位置にある脚に起こりやすい。これは立ち仕事の人によく見られる症状であり、同じ姿勢が長時間続くことや脚の運動不足により、血液やリンパ液などの循環が悪くなるのが原因と考えられている<sup>1)</sup>。近年、脚のむくみを予防するために弾性ストッキングを着用する方法が用いられているが、着用が簡単ではないためその効果を十分に利用できておらず、また、マッサージ機能がないためむくみを完全に予防できていないのが現状である。そこで、熱で収縮する形状記憶合金糸を用いて締め付ける圧力を動的に変化させ、脚をマッサージする機能を付与したソフトアクチュエータを開発するとともに、むくみ予防サポータへの適用について検討した。

### 2. 弾性ストッキング

#### 2. 1 弾性ストッキング

一般に、弾性ストッキングは図1に示すように、足先から体に近くなるにつれて脚を締め付ける力が弱くなるように設計されている。市販の製品には、着用した際に脚を締め付ける力の目安として足首とふくらはぎの着圧が表示されているものの、着圧の測定方法や締め付け力との関係(着圧の算出方法)については明記されていない<sup>2)</sup>。そこで、表1に示す市販されている11商品(標準タイプ：a~i, 高圧力タイプ：j, k)について、着圧を発揮するために必要な張力を調べることにした。

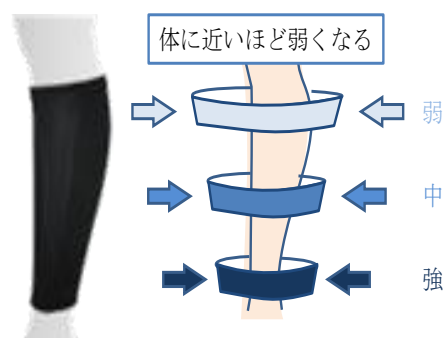


図1 弾性ストッキング

\*繊維生活部

表1 測定対象の仕様

種別	タイプ	足首		ふくらはぎ	
		適応寸法[mm]	着圧[hPa]	適応寸法[mm]	着圧[hPa]
a. ストッキング	サポータ	190~230	30	320~380	21
b. ストッキング	ハイソックス		27		19
c. ソックス	オープントゥ		21	300~380	16
d. ソックス	オープントゥ		20		15
e. ソックス	ハイソックス		29		20
f. ストッキング	ハイソックス	200~220	22~23	330~350	12~21
g. サポーター	ハイソックス	200~230	24.0	320~360	19.2
h. ハイソックス	ハイソックス		表記なし		表記なし
i. サポーター	サポータ	表記なし		320~370	
j. ソックス	ハイソックス	190~230	35	300~380	21
k. ストッキング	オープントゥ		40	320~380	28

## 2. 2 測定方法

張力の測定では、測定対象のストッキング等を幅10mmの輪切りにして試料とした。図2に示すように精密万能試験機(島津製作所(株)・AG-5kNI)で各製品の適応寸法上限まで試験速度100mm/minで引き伸ばして2秒間保持した後、適応寸法下限まで同じ速度で戻して2秒間保持する。これを4回繰り返した。

## 2. 3 測定結果

試料aの張力-伸び曲線を図3に示す。また、それぞれの製品の適応寸法上限と下限における張力(5回の平均値)を表2に示す。最大張力は標準タイプで0.21N/mm、高圧タイプは0.33N/mmであった。この結果より、むくみ予防に必要な着圧を発生させる力は、0.21~0.33N/mmであることがわかった。

## 2. 4 着圧比較

足の断面形状が真円で周囲均等と近似すれば、着圧Pは次式で求められる。

$$P = T \times \frac{\ell}{2\pi} \dots\dots (1)$$

ここでTは張力、 $\ell$ は周長である。

図4は、表2の結果から(1)式を用いて着圧に換算し、比較した結果である。約8割の製品で表示値と換算値が誤差1hPa以内で一致していることから、(1)式による着圧換算は、ほぼ妥当であると考えられる。

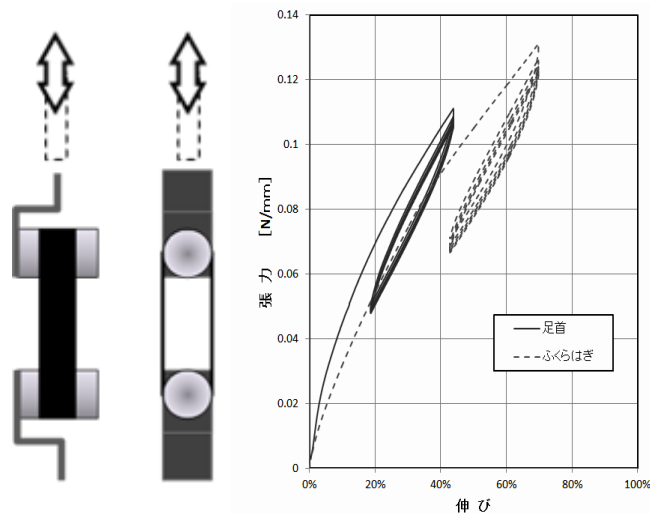


図2 測定方法

図3 張力-伸び曲線(a)

表2 測定結果

[N/mm]

サンプル	張力			
	適応寸法下限		適応寸法上限	
	足首	ふくらはぎ	足首	ふくらはぎ
a	0.05	0.07	0.11	0.13
b	0.10	0.10	0.21	0.20
c	0.06	0.04	0.12	0.12
d	0.05	0.03	0.08	0.05
e	0.06	0.07	0.10	0.13
f	0.07	0.06	0.12	0.09
g	0.08	0.10	0.12	0.14
h	0.08	0.12	0.13	0.18
i	-	0.06	-	0.12
j	0.10	0.17	0.23	0.33
k	0.10	0.10	0.20	0.23

### 3. むくみ予防サポータ部材

マッサージ効果を持ったむくみ予防サポータ開発では、温度により長さ方向に伸縮する形状記憶合金糸を使用した。これをゴム編みすることで、着圧が変化するソフトアクチュエータができる。

#### 3. 1 形状記憶合金糸の機械的特性

熱応力試験機(インテック(株)・KE-2S/PC)を用いて、表3に示す仕様の形状記憶合金糸の両端を固定した状態で30℃から100℃に加熱した時の張力(発生力)の変化を測定した。また、0.03Nの荷重を加えた状態で同条件により加熱した場合の収縮率の変化も調べた。これらの結果を図5に示す。仕様の収縮率4%を得るためには80℃以上にまで加熱する必要があり、70℃強に加熱すると仕様の発生力(内部破壊が起きる限界値)1.47Nを超えることがわかった。そのため、形状記憶合金糸の最大加熱温度は70℃とし、この時に得られる発生力と収縮率は、それぞれ1N、1.2%である。

#### 3. 2 形状記憶合金編地の作製

形状記憶合金糸の伸縮性向上のため、横編機((株)島精機製作所・SFE161(7G))を使用して、図6に示すような形状記憶合金糸のゴム編地を作製した。編地はウェール数60、コース数32で、無負荷状態での長さ、幅はともに約75mmである。

むくみ予防に必要な0.21N/mmの力を発生させるためには、形状記憶合金糸の仕様から計算すると0.14本/mmが必要になる。作製した編地における形状記憶合金糸の密度はウェール方向で1.5本/mm、コース方向で0.82本/mmであり、70℃以下でも十分な力を発生させることができる。

#### 3. 3 形状記憶合金編地の機械的特性

恒温槽を装備した万能試験機(島津製作所(株)・AG-100kNplus)を用い、作製した形状記憶合金編地のウェール方向、コース方向のそれぞれについて、編地の両端を固定した状態で温度を28℃から70℃に加熱した時の最大張力(最大発生力)を測定した。また、編地に0.21N/mmの張力を作用させた状態で同条件により加熱した時の収縮率も調べた。これらの結果を表4に示す。ウェール方向では、最大発生力0.32N/mm、最大収縮率3.3%、コース方向では、最大発生張力0.15N/mm、最大収縮率4.1%を生じていることがわか

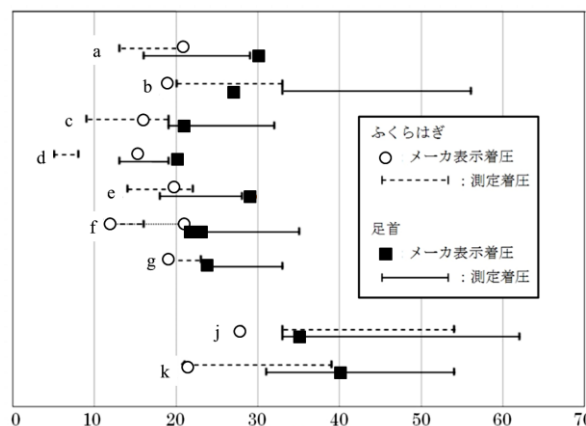


図4 着圧比較

表3 形状記憶合金糸 (仕様)

線径 [mm]	0.15
収縮率 [%]	4
発生力 [N]	1.47

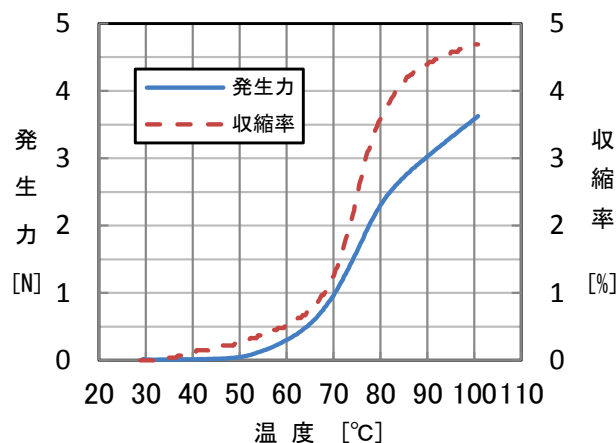


図5 形状記憶合金糸の特性



図6 形状記憶合金編地

った。

#### 4. 着圧実験

形状記憶合金編地と伸縮性のある弾性生地とを直列に組み合わせて、図7のようなむくみ予防サポータ部材を試作した。これを図8に示すようにマネキンの脚に装着して形状記憶合金編地の両端に5Vを印加し、抵抗加熱により生じる温度と弾性生地における着圧の変化を測定した。その結果を図9に示す。着圧は約10秒で10hPaから35hPaまで変化し、電圧のオンオフによりソフトアクチュエータとして動作することがわかった。

#### 5. 結 言

形状記憶合金糸編地を用いたむくみ予防サポータ部材の試作とその特性評価を行ない、以下の結果が得られた。

- (1)市販されている11商品についての張力を調べた結果、むくみ予防に必要な着圧を得るための張力は、0.21～0.33N/mmであった。
- (2)線径0.15mmの形状記憶合金糸を用いたゴム編地では、70℃以下の加熱でもウェール方向で0.32N/mmの力を発生する。
- (3)形状記憶合金編地と弾性生地を組み合わせたサポータ部材を試作し、5Vの印加では着圧が10hPaから35hPa間で変化することがわかった。

今回試作した形状記憶合金編地の制御温度域は最大で70℃であり、今後は、実際に人が装着した際に火傷しないよう安全対策に取り組むとともに、県内企業と連携した実用化を目指したい。

#### 参考文献

- 1) 足のむくみ予防研究会. “忙しいOLでもできる!足のむくみは解消よりも予防!”<http://www.mukumi.com/hiroba/prevention/index.html>, (参照 2013-07-11).
- 2) 小南幸哉. “ストッキングの着圧値提示の問題”. (株)エイエムアイ・テクノ. 2010-01-07. <http://www.ami-tec.co.jp/pdf/stocking-tyakuatu-mondai.pdf>.
- 3) 堂埜茂, 斎藤亮, 桑田亨. 人体装着に適した編目SMA人工筋肉. 松下電工技報. 2003, no. 82, p. 59-63.

表4 形状記憶合金編地の特性

編地方向	最大発生力 [N/mm]	最大収縮率 [%]
ウェール	0.32	0.15
コース	3.3	4.1



図7 むくみ予防サポータ部材

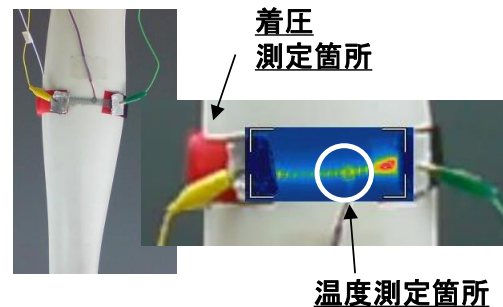


図8 着圧実験の様子

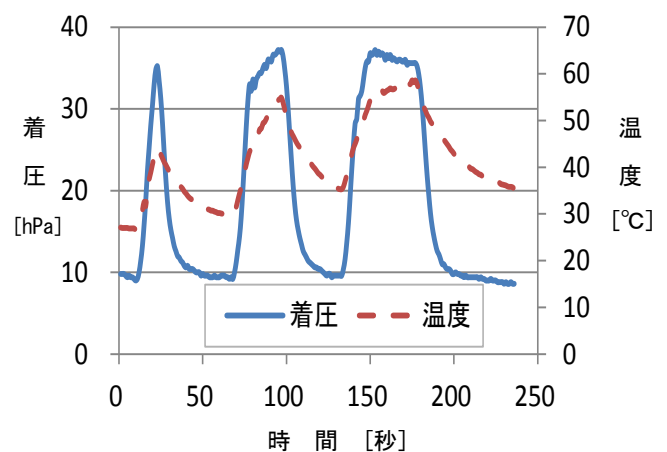


図9 着圧実験結果