マッサージチェア・アームへのカーボン繊維強化複合材料の適用 とマッサージ効果の評価に関する研究[†]

中村 守正* 小谷 直樹* 松岡 敬**
坂口 一彦** 近藤 秀志***

Study on Application of Massage Chair Arm Using CFRP and Evaluation of Massage Comfort

by

Morimasa NAKAMURA*, Naoki KOTANI*, Takashi MATSUOKA**,
Kazuhiko SAKAGUCHI** and Hideshi KONDO***

The requirement for the massage chairs as a medical instrument has been increasing. So, it is necessary to improve some of the machine elements of the massage chairs so that they have a higher level of the massage comfort. It is especially expected that the mechanical properties of the massage chair arms will effect the massage comfort. In this paper, CFRP was used as a material for the arm part in order to make massage comfort higher and lighten the arm weight of the massage chair. And also, the massage comfort evaluation was investigated by using the fuzzy membership function. As a result, it was shown that the bending properties of arm material and the principal strain direction on the arm produced an effect on the evaluation for the massage comfort. In addition, it was determined that it was possible to predict massage comfort by using the multiple regression analysis.

Key words : Massage chair arm, CFRP, Fuzzy membership function, Massage comfort, Principal strain direction

1 緒 言

近年、医療器具としてのマッサージチェアの需要が高くなってきている。しかし、使用する人のマッサージ効果の良し悪しには個人差があり、また鍼灸師からのマッサージ効果とも違いがあるのも事実である。したがって、より多く人にあったマッサージ効果が得られるマッサージチェアの開発が望まれている。しかし、現実には個人個人に合わせたマッサージチェアを開発することは困難であることから、マッサージ効果に大きく影響を与える要素の設計変更を行うことで対応することが現実的である。特に人の指によるマッサージに近づけることで、マッサージ効果を高めることが可能になれば、要素設計変更は有効な手段となる。現在使用されているマッサージチェア駆動部の機構はアームにもみ玉が装着された部品より構成され、様々なマッサージ効果を得ることができるように種々の駆動が可能な設計となっている。特に、各種駆動状態から考えてみてもアーム材料の曲げ特性はマッサージ効果に大きく関与すると思われる。現在、アーム材にはステンレス鋼が使用されているが、駆動部分の軽量化や省力化などを考え併せると高分子系複合材料の適用が有効であるといえる。特に、強化繊維の種類や積層構造を変えることにより曲げ剛性を自由に設計できるこ

とから、アーム材として有効な素材になりうる可能性がある。とりわけ炭素繊維強化複合材料 (CFRP) は炭素繊維の高弾性率により、ばね材料として使用されることも多く、実際に車両の振動吸収用板ばねとしても使用されている。^{1), 2)}したがって、CFRP を繰り返しの曲げ変形をとこなうマッサージチェア・アームに適用することは、有効であると考えられる。

本研究では、もみ玉の装着されたブーメラン型アームに注目し、その変形現象の検証を行った上で、ステンレス鋼が使用されているアームを CFRP 化することでマッサージ効果の向上改善が可能かどうか検討を行った。また、マッサージチェアの性能は、その評価基準が確立されていない人間の感性によるところが大きいといえる。このことよりマッサージチェア的设计には、感性工学を取り入れた定量的評価を確立することが必要である。そこで、マッサージ効果の評価に対してあいまいさを容認するファジィ推論法を用い、マッサージ効果の定量評価を試みた。さらに、アームの変形とマッサージ効果との相関についても検討し、多変量解析法を用いたマッサージ効果の予測モデル式を作成することで、マッサージチェア・アームの設計手法についても検討した。

[†] 原稿受理 平成 16 年 8 月 24 日 Received Aug. 24, 2004

* 同志社大学大学院 〒610-0321 京田辺市多々羅, Graduate Student, Doshisha Univ., Tatara, Kyotanabe, 610-0321

** 同志社大学工学部機械系学科 〒610-0321 京田辺市多々羅, Dept. of Mech. Eng., Doshisha Univ., Tatara, Kyotanabe, 610-0321

*** ファミリー(株) 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島, Family, Ltd., Higasiyodogawa-ku, Osaka, 533-0033

Fig. 1. Photograph of massage chair unit.

2 実験方法

2・1 マッサージチェア

実験には、市販のマッサージチェア（ファミリー（株）製、メディカルチェアi-1 FMC-200）を用いた。マッサージチェアの駆動部は、もみ、ローラーなど、必要に応じた様々な動きをプログラムにより制御され、非常に複雑な動きをする。マッサージチェアの機構部の写真を Fig. 1 に示す。Fig. 1 に示すように、マッサージチェアは①もみモード、②たたきモード、③ローラーモードのように、様々なモードが複合的に動作する。もみモードはマッサージチェア・アームの横方向への繰り返し運動であり、たたきモードはアームが垂直方向に小刻みに動作し、ローラーモードはアームが上下方向に駆動し、得られるマッサージ効果はそれぞれ異なる。本研究では、ローラーモードともみモードについて実験を行った。アームは既製品では SUS 材（SUS301-CSP 3/4H 製）が使用され、マッサージに関わる部位は PVC 製のもみ玉が装着されている。なお、マッサージチェアの背もたれ部分は、120° から 170° までリクライニングできるように設計されている。

2・2 アーム材

アーム材は上記のマッサージチェアに使用されている既製品（SUS301-CSP 3/4H 製）と、プレス成形により作製した CFRP を用いた。CFRP はサカイ・コンポジット（株）製であり、プリプレグシートは東レ（株）製トレカ T300（平織り）、T700（一方向）を用いた。5 種類の積層板は、表面層に平織りクロス、中心層に一方向材を 0 度、90 度と交互に積層したものである。各積層板の積層数、厚さ、繊維体積含有率を Table I に示す。作成した積層板から、所定のアーム形状に加工した。Fig. 2 に示すように、Part 1、Part 2 はアームを Upper 側（上側）と Lower 側（下側）とに分けた部分である。また、Fig. 2 に示すように、もみ玉が装着される両端の穴中心と駆動中心方向に対して繊維配向角をとり、実験に使用した CFRP 製アームの繊維配向角を Table II に示した。また、ブーメラン型アームの股部をアーム開口角 α で示した。

なお、これら材料の曲げ弾性率を比較した図を Fig. 3 に示す。曲げ弾性率は 3 点曲げ試験を JIS K 7074 にし

Table I. Number of plies, thickness and fiber volume fraction of CFRP specimens.

Specimen type	Number of plies	Thickness[mm]	Volume fraction of fiber[%]
TypeA	9	2.04	57.1
TypeC	12	2.57	57.4
TypeE	13	2.27	57.2
Type0/90	12	2.57	57.4
Type45/45	12	2.57	57.4

Fig. 2. Explanation of each part of specimen arm.

Part 1: The upper of arm Part 2: The lower of arm

 $\theta_1, \theta_2, \theta'_1, \theta'_2$: Schematic view of fiber orientation

 α : Aperture of arm

たがって行い、試験機にはインストロン万能試験機 4467 型（Instron 製）を用いた。

2・3 マッサージ効果の評価方法

マッサージ効果は人間の主観に左右される漠然としたイメージで表されるものであり、これまでに定量的な評価はなされていない。本研究では感性工学を用いたマッサージ効果の定量的評価を試みた。感性工学とは、人間がもっている願望としてのイメージや感性を、物理的なデザイン要素に翻訳し、具体的に設計する技術のことをいう。³⁾ここではマッサージ効果のようなイメージの定量的な評価を行うために、あいまいさを容認するファジィ推論法を用いたアンケートを実施した。

本研究に用いたアンケート評価用紙には、Word 1（強すぎるー弱すぎる）、Word 2（かたいーやわらかい）、Word 3（いらいらするーいらいらしない）、Word 4（好きー嫌い）、Word 5（気持ちいいー気持ちよくない）の 5 つの Word がそれぞれ尺度の両端に配置されている。横軸に感性値を -1 から 1 まで設定し、比例尺度による評価とした。なお、感性値は正のイメージが負の値で算出されるように設定した。マッサージ効果の評価試験には、22 歳から 27 歳の男性被験者 10 人にマッサージチェアを体験させ、アンケートの数直線上に「最もよく表してい

Table II. Fiber orientation angle of each specimen.

Specimen type	Part1 (θ_1/θ_2) [degree]	Part2 (θ_1/θ_2) [degree]
SUS	-	-
Type A	75/15	5/85
Type C	25/65	45/45
Type E	25/65	45/45
Type0/90	75/15	5/85
Type45/45	25/65	45/45

Fig. 3. Bending modulus comparing SUS and CFRP specimens.

と思う範囲」と「表しているとみなせる範囲」の2つの区間を回答させた。本研究では、マッサージチェアの動作モードはローラーモード、もみモードの2つのモードで実験を行った。マッサージチェアの背もたれ部のリクライニング角度は、最も倒した状態である床面より約10度一定とした。なお、試験時間は、長時間にわたるとマッサージ効果に対する印象が薄れてしまうことを考慮して、約1分間の試験時間とした。

アンケート結果を吉川と西村の方法⁴⁾を用いて数値化する際に用いた計算式を式(1)に示す。式(1)により求められる台形型の関数は、被験者 n の台形型ファジイメン

$$f_n(z) = \begin{cases} 0, & (z \leq z_1) \\ \frac{z - z_1}{z_2 - z_1}, & (z_1 \leq z \leq z_2) \\ 1, & (z_2 \leq z \leq z_3) \\ -\frac{z - z_4}{z_4 - z_3}, & (z_3 \leq z \leq z_4) \\ 0, & (z_4 \leq z) \end{cases} \quad (1)$$

バーシップ関数 $f_n(z)$ である。ここで、 z は感性を評価するために形容詞として使用した言語アンカの大きさを表す感性値である。また、 $[z_2, z_3]$ は数直線上の「最もよく表していると思う範囲」、 $[z_1, z_4]$ は「表しているとみなせる範囲」であり、アンケート結果から得られる値で

ある。ここで構成される台形型ファジイメンバーシップ関数は、言語アンカの感性値の大きさに対応する所属度を表している。アンケート結果の特徴を得るために、台形型メンバーシップ関数を単純に式(2)で合成し、被験者全体のメンバーシップ関数 $f_{all}(z)$ を求めた。

$$f_{all}(z) = \frac{\sum_{n=1}^N f_n(z)}{N} \quad (2)$$

上式のメンバーシップ関数によって広がりを持った関数として得られた感性値から一つの確定した点を求めるため、非ファジイ化を行う。本研究では非ファジイ化に、メンバーシップ関数の重心をその代表点とするMin-Max法(重心法)を用いた。このメンバーシップ関数の代表点 z_0 は、式(3)によって求められる。^{5), 6)}

$$z_0 = \frac{\sum_{k=0}^m z_k \cdot f_{all}(z_k)}{\sum_{k=0}^m f_{all}(z_k)} \quad (3)$$

本研究では、式(3)で求めた z_0 をマッサージ効果評価の感性値とした。

3 結果および考察

3.1 アームの変形検証

アームの動きにより得られるマッサージ効果は異なり、それに伴うアームの変形はマッサージ効果に影響すると考えられる。そこで、アーム材料にSUS, CFRPを用いて、各動作モードにおけるアームの変形を検証した。マッサージチェア・アームは、複雑な形状をしているためにどのような方向にどの程度のひずみが生じるか不明である。ここでは、3軸ロゼットひずみゲージを用い、ひずみを計測した。試験は、マッサージチェア駆動をローラーモード、もみモードの2タイプで行い、マッサージチェアの背もたれ部分のリクライニングを最も倒した状態(170°, 床面より10°)で行った。また、実験条件を一定にするために、マッサージチェアに約40kg分の砂袋を積載させてひずみの計測を行った。なお、ひずみゲージはFig. 4に示すアームのPart 1, Part 2の両面同一の位置に貼り

Fig. 4. Position of strain gauges θ_1, θ_2 : Schematic view of principal strain direction.

付けた。ここで、以下の式 (4) を用いて、Fig. 4 に示すようなアームの Part 1, Part 2 それぞれの主ひずみ方向の角度 θ_1 , θ_2 を求めた。⁷⁾ なお、ひずみゲージ Position 1 からひずみゲージ Position 2 に向かう方向を正とする。

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} \right] \quad (4)$$

この ε_1 , ε_2 , ε_3 は、Fig. 4 に示すひずみゲージの Position 1, 2, 3 で計測されたひずみである。また、この主ひずみ方向がアーム断面に加わる荷重によるひずみ方向を示している。すなわち最大主ひずみ説に基づく変形の主要因となる負荷に対するひずみ方向を示している。マッサージチェアは人間の体重を荷重としてアームに負荷が生じるため、この方向を把握することは重要である。

3・1・1 ローラーモード Fig. 5, 6 にローラーモード時の SUS 材と CFRP 材 (Type C) の Part 1 での主ひずみ方向の実験結果の一例を示す。ローラーモードでは移動したアームの位置に関係なく主ひずみ方向は、ほぼ一定であることがわかる。これはアームが上下に稼働する駆動のみであるため、主ひずみ方向がほぼ一定であると考えられる。また Table III の主ひずみ方向の結果より、SUS 製アームと CFRP 製アームとは主ひずみ方向が異なっていることがわかる。Fig. 4 に示すように、アーム両端穴とアーム中心穴方向に対しての主ひずみ方向の角

Fig. 5. Result of principal strain direction, θ_1 of SUS (Roller mode).

Fig. 6. Result of principal strain direction θ_1 of CFRP Type C (Roller mode).

Table III. Result of principal strain direction (Roller mode).

Specimen type	Principal strain direction θ_1 [radian]	Principal strain direction θ_2 [radian]
SUS	0.53	0.54
TypeA	0.31	0.31
TypeC	0.44	0.70
TypeE	0.52	0.72
Type0/90	0.30	-0.21
Type45/45	0.50	0.75

度が小さい場合、アーム開口角 α を大きくするような現象が起こっていると考えられる。一方、主ひずみ方向の角度が、アーム両端穴とアーム中心穴方向に対して大きい場合、アーム開口角 α を大きくするような現象は起こっていないと考えられる。このような現象の変化は、マッサージ効果に影響を与える可能性がある。

3・1・2 もみモード Fig. 7, 8 にもみモード時の SUS 材と CFRP 材 (Type0/ 90) の Part 1 での主ひずみ方向の実験結果の一例を示す。また Table IV に Fig. 7, 8 で安定した主ひずみ方向を示した約 1 秒間の領域で平均した主ひずみ方向を示した。もみモードでは、主ひずみ方向が時間に対して周期的に変動しているが、これはもみモード時に、アームが繰り返しの横方向運動を行うためである。また Fig. 7, 8 からわかるように、SUS 製アームの主ひずみ方向の時間変化は、CFRP 製アームの場合と比べると急激な変化をしている。これは SUS 材の高い曲げ弾性率によって、稼働時に変形したアームの元に戻る曲げ弾性率が CFRP 材より大きいと考えられる。このような曲げ弾性率の違いが、マッサージ効果に影響を及ぼす可能性がある。また Fig. 7, 8 と Fig. 5, 6 との比較より、ひずみゲージ Position 1 を 0 度とした主ひずみの角度 θ_1 と θ_2 とを比較するとローラーモードに比べてもみモードは角度が大きい。すなわち Fig. 4 より考えると、アーム両端穴とアーム中心穴方向を 0 度とする発生した主ひずみの角度である θ'_1 , θ'_2 が、ローラーモードよりももみモードの方が小さいということである。この結

Fig. 7. Result of principal strain direction θ_1 of SUS (Momi mode).

Fig. 8. Result of principal strain direction θ_1 of CFRP Type 0/90 (Momi mode).

Table IV. Result of principal strain direction (Momi mode).

Specimen type	Principal strain direction θ_1 [radian]	Principal strain direction θ_2 [radian]
SUS	0.75	0.75
TypeA	0.55	0.20
TypeC	0.50	0.51
TypeE	0.52	0.70
Type0/90	0.40	0.15
Type45/45	0.50	0.65

果とアームの稼働中の動きとから判断すると、もみモードでは、アーム両端穴とアーム中心穴方向を長手方向とした曲げ変形が中心に起こっていると考えられる。したがって、アーム材の曲げ弾性率に依存して、マッサージ効果が左右される可能性がある。しかし、CFRP 材によるアームでは繊維配向に従った方向に変形が生じるため、変形は一意的ではないことが考えられる。

3・2 感性値によるマッサージ効果の評価

ローラーモードでの感性値によるマッサージ効果の評価結果を Fig. 9 (a)に示す。アームの物性を評価する Word 1, 2 では、SUS 製アームで正の値となり、CFRP 製アームよりも強すぎる、かたいという評価が被験者はしていることがわかる。これは、SUS 材の曲げ弾性率が高いことが原因であると考えられる。一方、マッサージ効果を評価する Word 3, 4, 5 では、CFRP 製アームではマイナス側で高い値を示している。すなわち、被験者はマッサージ効果が良いと判断していることがわかる。特に CFRP 製の中でも、Type A と Type 0/90 の評価が高いことがわかる。Table II より、この2つのアームは Part 1, 2 で繊維配向角が同じタイプのアームであることから、このときの繊維配向角がローラーモードにおいて、よいマッサージ効果を与えていたと考えられる。この結果より、アーム材の繊維配向角を制御することで、よりマッサージ効果の高いアーム設計が可能であることが示唆された。

もみモードでの感性値によるマッサージ効果の評価結

果を Fig. 9 (b)に示す。ローラーモードの結果と同様に、アームの物性を評価する Word 1, 2 では、SUS 製アームで CFRP よりも強すぎる、かたいという評価がなされていることがわかる。これはローラーモードの場合と同じ原因である。一方、マッサージ効果を評価する Word 3, 4, 5 ではローラーモードと異なり、CFRP 製アームよりも SUS 製アームでマイナス値が大きい。すなわち、被験者にマッサージ効果が良く現れていることがわかる。これは、もみモードではその動作中アームにおける曲げ変形が他のモードに比較して高い。つまり、アーム両端の穴とアーム中心穴方向を長手方向とした曲げ変形が中心に起こっていると考えられるため、他のモードに比較して曲げ弾性率の影響が大きく、SUS 材のように高い曲げ弾性率を持つ材料で高い評価結果が得られたと考えられる。

(a)Roller mode

(b)Momi mode

Fig. 9. Typical points obtained from sensitivity questionnaire tests using each massage chair arm.

以上の結果より、ローラーモードともみモードでは材料によって異なった評価結果が示されたことから、各モードで材料に基づいたアームの設計に展開できると考えられる。

3・3 アームの変形状態とマッサージ効果の相関

3・1・1, 3・1・2 項で主ひずみ方向を算出することで、アームに起こっている各モード特有の変形が考察された。さらに3・2 節で、各モードで得られるマッサージ効果とアームの材料特性には何らかの相関があることを述べた。本節ではアーム材の主ひずみ方向の角度 (Table III, IV 参照) および曲げ弾性率 (Fig. 3 参照) と各 Word の感性値 (Fig. 9 参照) との相関性について検討した。ここでは、各パラメータ同士の相関性を検証するため、相関係数 r を式 (5) を用いて算出した。

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} \times S_{yy}}} \quad (5)$$

$$(S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2, S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2, S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))$$

ただし、ここで示す x_i, y_i は各データ、 $\bar{x}, \bar{y}$ は各データの平均値であり、 S_{xx}, S_{yy} は偏差平方和、 S_{xy} は積和である。⁸⁾

3・3・1 ローラーモード Table V より曲げ弾性率と Word 1, 2 の感性値との相関係数がいずれも 0.8 以上と高く、アームに用いた材料の曲げ弾性率が高いほど、被験者は「強い」、「かたい」と評価していることがわかる。これより、被験者がマッサージチェアの背もたれ部のシートを介していてもアームに使用されている材料の曲げ特性を把握できるといえる。また、Part 1 の主ひずみ方向、及び Part 2 の主ひずみ方向と Word 5 の感性値との相関係数が 0.85, 0.58 と高い。これより、主ひずみ方向が Word 5 (気持ちいいー気持ちよくない) の感性値の大小に関係しているといえる。すなわち、3・1・1 項で述べたブーメラン型アーム開口角 α を大きくする現象とマッサージ効果に相関があると考えられる。

3・3・2 もみモード Table VI よりローラーモード同様に曲げ弾性率と Word 1, 2 の感性値との相関係数が 0.7 以上と高い。また、曲げ弾性率と Word 4, 5 の感性値との相関係数が -0.7 以上と負の相関が高いことがわかる。すなわち、曲げ弾性率が高いほど、Word 4, 5 の感性値は低くなり、被験者の評価が高いということを意味している。したがって、3・1・2 項で述べたアーム材の曲げ弾性率とマッサージ効果に相関があると考えられる。

3・4 多変量解析法を用いたアーム設計手法の検討

3・3 節よりアームの変形状態とマッサージ効果には相関があることがわかった。しかしながら、マッサージチェアにおけるマッサージ効果の評価を予測する報告は、現在のところなされていない。そこで、多変量解析法を用いた予測モデル式の構築について検討した。多変量解析とは、複数の変数に関するデータをもとに、これらの変数間の相互関連を分析する統計的手法の総称であり⁹⁾、この中に重回帰分析は含まれる。重回帰分析とは目的変数を設定し、それに対する説明変数の数式化を図る手法である。これまでの結果を考えあわせると、多変量解析に

Table V. Correlation coefficient between bending modulus, principal strain direction and typical point of word (Roller mode).

	Bending modulus (0degree)	Bending modulus (90degree)	Principal axis (Part1)	Principal axis (Part2)
Word1	0.96	0.95	0.14	-0.15
Word2	0.82	0.83	0.37	0.14
Word3	0.24	0.14	0.88	0.85
Word4	0.21	0.060	0.45	0.20
Word5	0.58	0.47	0.85	0.58

Table VI. Correlation coefficient between bending modulus, principal strain direction and typical point of word (Momi mode).

	Bending modulus (0degree)	Bending modulus (90degree)	Principal axis (Part1)	Principal axis (Part2)
Word1	0.71	0.79	0.85	0.31
Word2	0.83	0.90	0.65	0.37
Word3	-0.40	-0.46	-0.46	0.25
Word4	-0.70	-0.70	-0.51	-0.74
Word5	-0.79	-0.75	-0.82	-0.66

よる予測モデル式を作成することにより、マッサージチェアによるマッサージ効果をアームに使用する材料物性より予測することがある程度可能になると考えられる。重回帰分析により、目的変数と説明変数との関係を明らかにし、予測モデル式を作成する。方法としてはまずデータ間の偏回帰係数を求め、これを数式の係数とする。偏回帰係数は以下に示す式 (6) の連立方程式を解くことで得られる。

$$\begin{cases} S_{11}a_1 + S_{12}a_2 = S_{y1} \\ S_{21}a_1 + S_{22}a_2 = S_{y2} \end{cases} \quad (6)$$

$$(S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2, S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2, S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))$$

求めた係数を一次多項式に導入することにより、重回帰予測モデル式とする。なお、重回帰分析を行う際に説明変数間で相関の高いものは除外するという作業を行っている。予測対象となる目的変数を、Word 5「気持ちいいー気持ちよくない」の感性値とした。重回帰分析の結果から求められた偏回帰係数より、目的変数 (Word 5 の感性値) に対する各パラメータの重要性が判定され、さらに Word 5 の感性値を予測することが可能となり、これによりアームの設計指針が提案できる。

以下に本実験結果に基づく重回帰分析により得られた予測モデル式 (式 (7)) を示す。

$$\begin{cases} y_R = 0.00094x_1 + 0.69x_2 - 0.55 \\ y_M = -0.0010x_1 - 0.19x_2 + 0.36 \end{cases} \quad (7)$$

y_R, y_M はそれぞれローラーモード、もみモードでの Word 5 の予測感性値であり、説明変数 x_1, x_2 はそれぞれアーム材料の 0 度方向の曲げ弾性率 (GPa)、アームに生じる主ひずみ方向 (Part 1, Degree) である。

このモデル式により、ローラーモードではアームの曲げ弾性率を低くする、もしくは主ひずみ方向の角度を小さくするすなわちアーム開口角 α を大きくすることを抑制する、もみモードではアームの曲げ弾性率を高くするもしくは主ひずみ方向の角度を大きくするように設計することにより、マッサージ効果を高めることができると考えられる。また、式 (7) より目的変数 (Word 5 の感性値) に対する重要性は偏回帰係数を比較することでわかるが、この重要な変数は主ひずみ方向であると言える。このことから主ひずみ方向を制御することができる繊維配向角がマッサージ効果を左右する重要な要素であると考えられる。また予測モデル式により理論値と実験値との残差を算出したところ、平均でそれぞれ -1.67×10^{-10} , 1.12×10^{-4} と小さく、重回帰分析の精度がよいことも確認された。

4 結 言

本研究では、マッサージチェア・アームの CFRP 化について検討し、かつ感性工学の観点からマッサージ効果の評価についても検討した結果、以下のような結論を得た。

(1) CFRP 製アームを使用することにより、アームに生じる主ひずみ方向を変化させることができ、また各モードによって、その発生現象に特徴が見られた。特にローラーモードではアームの開口角を大きくする現象が起こっていることがわかった。

(2) マッサージ効果に対して、ファジィ推論法を用いたの評価を行った結果、CFRP 製アームを使用することにより、SUS 製アームを使用した場合とは異なったマッサージ効果を得ることがわかった。ローラーモードでは特に CFRP 製アームの評価が高く、もみモードでは SUS

製アームの評価が高い結果が得られた。

(3) 重回帰分析により各モードに対するマッサージ効果を予測するモデル式を作成した結果、マッサージ効果 Word 5 (気持ちいいー気持ちよくない) の感性値を予測することが可能であることが示された。

なお、本研究をおこなうにあたり、CFRP はサカイ・コンポジット(株)より提供していただいた。ここにこのことを記し、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) ばね技術協会編, “ばね用材料とその特性”, p.250 (1998) 日刊工業新聞社.
- 2) ばね技術協会編, “ばねの種類と用途例”, p.57 (1998) 日刊工業新聞社.
- 3) 長町三生, “感性工学”, p.26 (1989) 海文堂.
- 4) 山下利之, “ファジィ 心理学への展開”, p.71 (1992) 垣内出版.
- 5) 洲之内治男, 山下 元, “ファジィ情報分析 人間科学へのアプローチ”, p.29 (1995) 共立出版.
- 6) 水元雅治, “講座ファジィ第二巻ファジィ集合”, p.58 (1992) 日刊工業新聞社.
- 7) 三木光範, 新保 實, 酒井達雄, 中村康範, 片山傳生, 木田外明, 片山忠一, 山崎光悦, 谷川義信, 藤井 透, 濱田泰以, “材料力学の学び方・解き方”, p.120 (1994) 共立出版.
- 8) 管 民郎, “Excel で学ぶ多変量解析入門”, p.25 (2001) オーム社.
- 9) 奥野忠一, 久米 均, 芳賀敏郎, 吉澤 正, “多変量解析法”, p.2 (1992) 日科技連出版社.