

グリップの表面形状が触感および筋活動に与える影響

藤巻吾朗^{*1}, 安藤敏弘^{*2}, 楯千弘^{*3}, 横山清子^{*3}

Effect of Grip Surface on Tactile Sensation and Muscle Activity

Goroh FUJIMAKI^{*1}, Toshihiro ANDO^{*2}, Chihiro TATE^{*3}, Kiyoko YOKOYAMA^{*3}

グリップの表面形状が触感や機能性に与える影響を調査した。触感に関するアンケート調査の結果より、グリップの触感は主に柔らかさ、好ましさ、滑らかさの3つの因子により評価され、それぞれの因子と表面形状の特性との関連性を検討した。また、グリップの機能性として表面筋電図およびアンケート調査を行った結果より、静的な条件、動的な条件に適したグリップの表面形状の特性について基礎的な知見が得られた。

1. はじめに

手で使う道具について、接触面の表面形状は触感や滑りにくさ、力の伝えやすさなどに作用する重要な因子のひとつである。また、近年の高齢社会において、握り心地や力の伝えやすさ、身体への負担などを考慮したグリップのニーズは高く、その適用範囲は生活用品やスポーツ用品など幅広く、様々な分野への応用が期待できる。

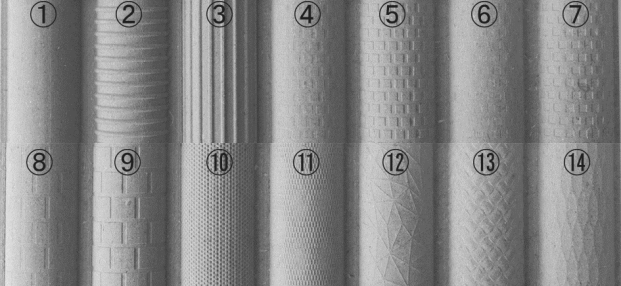
先行研究に関して、触感については指先の触感に関する報告が主流で手掌やグリップを対象としたものは少なく、グリップの機能性については、フォルムや太さ、断面形状に関する報告が多く、表面形状（表面の凹凸模様）に関する事例は少ない。そのため、製品開発において参考とする科学的なデータが不足しているのが現状である。

そこで、本研究では、グリップに求められる基本特性として、握り心地や握りやすさ、滑りにくさ、身体負担の軽減などの機能性に着目し、表面形状が触感や機能性に与える影響についての基礎的な知見を導出することを目的とする。

2. グリップの試作

数値制御による機械加工が可能で、大量生産への展開が容易なデジタルシボ（シボ：表面の凹凸模様）で表面形状を形成することを前提とし、

直径35mmの円筒状のグリップを試作した。試作したグリップの概要を図1に示す。なお、図1に示した画像はMDFで加工したものであり、実験には同じ形状の樹脂性のサンプルを使用した。



サンプル番号 および略称	表面形状	溝の深さ	溝の間隔
①	なし	模様なし	0mm
②	横	横溝	1mm
③	縦	縦溝	1mm
④	S01	タイル(3mm)	0.1mm
⑤	S03	タイル(3mm)	0.3mm
⑥	S01凹	凹タイル(3mm)	0.1mm
⑦	S03凹	凹タイル(3mm)	0.3mm
⑧	L01	タイル(9mm)	0.1mm
⑨	L03	タイル(9mm)	0.3mm
⑩	円	ディンプル(小円)	-
⑪	楕円	ディンプル(楕円)	-
⑫	多角形	多角形ポリゴン状	-
⑬	斜め	斜めの網目状	-
⑭	甲羅	甲羅状	-

図1 試作したグリップの概要

^{*1} 生活技術研究所 試験研究部

^{*2} 岐阜県商工労働部新産業振興課

^{*3} 名古屋市立大学芸術工学部

3. 触感に関するアンケート調査

3.1 実験概要

グリップの触感と表面形状の特性との関連性を調査するため、40名の被験者を対象に試作したグリップの触感について、SD法によるアンケート調査を行った（図2）。実験の際はサンプルの呈示順序はランダムに行った。



図2 アンケート調査風景

3.2 結果と考察

アンケートの調査結果については、被験者ごとに標準化し、因子分析を行った。その結果、グリップ表面形状の触感評価に関する主要な3つの因子が抽出された（表1）。また、抽出された各因子について第1因子を「柔らかさ」、第2因子を「好ましさ」、第3因子を「滑らかさ」と解釈した。

表1 因子分析結果

	第1因子 (柔らかさ)	第2因子 (好ましさ)	第3因子 (滑らかさ)
軟らかいー硬い	0.771	0.154	0.074
弱いー強い	0.761	0.159	0.274
リラックスしたー緊張感のある	0.749	0.302	0.202
自然なー人工的な	0.611	0.194	0.068
痛くないー痛い	0.552	0.414	0.199
しっとりしたーからつとした	0.495	0.425	0.156
暖かいー冷たい	0.494	0.069	-0.204
心地良いー心地悪い	0.390	0.759	0.086
好きー嫌い	0.292	0.738	-0.011
精密なー粗雑な	0.040	0.512	0.026
親しみのあるー親しみのない	0.461	0.503	-0.037
高級感のあるー高級感のない	0.080	0.490	0.054
つるつるしたーざらざらした	0.230	0.293	0.663
すべりやすいーすべりにくい	0.354	0.152	0.630
単純なー複雑な	-0.086	-0.093	0.338
寄与率(%)	23.6	16.9	8.0
累積寄与率(%)	48.4		

「柔らかさ」の項目についてサンプルごとに求めた平均値を図3に示す。タイル状のサンプルに着目してみると、溝が浅く、模様が小さいものが柔らかいと感じる傾向が見られた。また、凸形状に対して凹形状のものが柔らかく、模様なしや多角形、斜め、甲羅などの溝の浅いサンプルが柔らか

いと感じる傾向があることから、皮膚の変形に対して馴染みがよく（圧力の集中が小さく）、接触面積の大きいサンプルが柔らかいと感じると考えられた。

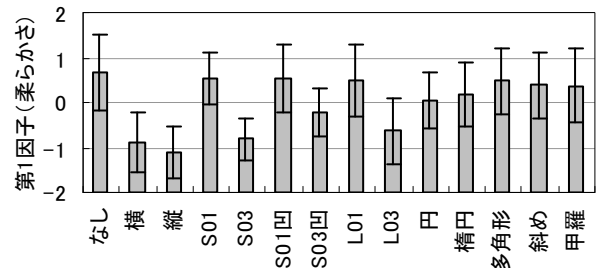


図3 第1因子（柔らかさ）

「好ましさ」の項目についてサンプルごとに求めた平均値を図4に示す。タイル状のサンプルに着目してみると、溝が浅く、模様の小さいものが好まれる傾向が見られた。甲羅や斜めのサンプルが好ましく、横溝やタイル状の深いサンプルがあまり好まれていないことから、円柱グリップの円周に沿った方向（把持した際に指と平行する方向）でエッジ数が多いものほど好ましさが低下すると考えられた。

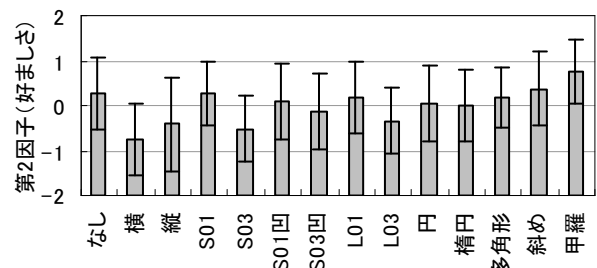


図4 第2因子（好ましさ）

「滑らかさ」の項目についてサンプルごとに求めた平均値を図5に示す。タイル状のサンプルに着目してみると、溝が浅く、模様の大きいものが滑らかだと感じる傾向が見られた。また、円や楕円などの模様の細かいサンプルが滑らかでないと感じる傾向があり、甲羅や縦のサンプルが中程度以上の滑らかさであることや円に対して楕円がやや滑らかであると感じることから、エッジとして知覚される最小限の刺激の強さが存在すると考えられた。知覚可能なエッジの数が滑らかさの評価に影響を与えており、特に把持した際に指と直交する方向でのエッジ数が多いと滑らかでないと感じると考えられた。

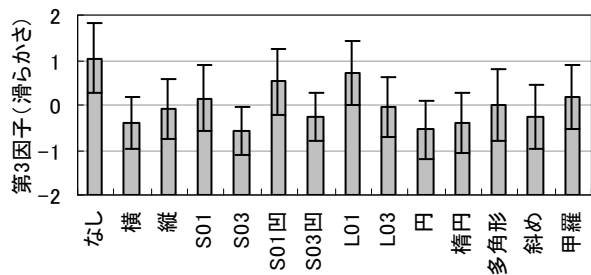


図5 第3因子（滑らかさ）

全体的に溝の深いものやエッジの数が多いものほど触感が悪くなる傾向が見られ、主に溝の浅いものは柔らかい印象、把持した際に指と直交する方向でのエッジ数が少ないものは滑らかな印象を与え、溝が浅く、把持した際に指と平行な方向でのエッジ数が少ないものが好ましい印象を与えると考えられた（図6）。

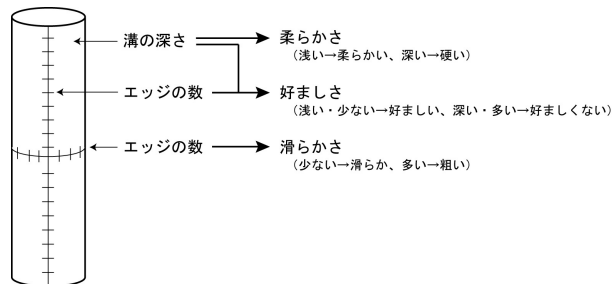


図6 グリップの触感

4. 静的負荷時の機能性評価

4.1 実験概要

静的な荷重を加えたときのグリップの表面形状と身体負担との関連性を明らかにし、静的負荷に適したグリップの表面形状を検討するため、12名の被験者を対象に表面筋電位測定ならびにアンケート調査を実施した。被験者には折りたたみパイプ椅子に着座した状態で前腕部を肘掛けに設置させ、サンプルを把持させた。サンプルの下に吊したプラスチック製バケツに異なる重量（1kg、2kg、3kg）の粘土を入れて静的負荷条件を変化させた（図7）。なお、肘掛け高さは、被験者ごとに着座肘頭高に合わせて肩関節が上がらないように調整し、上腕および前腕の動作を制限した。サンプルの呈示順序はランダムに行った。

表面筋電位測定については、WEB-7000（日本光電）を使用し、各条件15秒間の測定を行った。測定部位は、表2および図8に示した6箇所とした。

アンケート調査は「握り心地」「手の痛み」「握りやすさ」の3項目について11段階の評定尺度法により各条件の表面筋電位測定後に実施した。



図7 静的負荷実験風景

表2 筋電図の測定部位

筋の名称	備考
短母指屈筋（たんぼしゅくきん）	親指を曲げる筋肉
第1背側骨間筋（はいそくこつかんきん）	人差し指を曲げ、伸ばし、親指側に外転させる筋肉
浅指屈筋（せんしゅくきん）	人差し指から小指までの4本を曲げ、手関節を掌側に曲げる筋肉
総指伸筋（そうしんきん）	人差し指から小指までの4本を伸ばし、手関節を甲側に曲げる筋肉
橈側手根伸筋（とうそくしゅこんしんきん）	手関節を甲側および親指側に曲げる筋肉
尺側手根屈筋（しゃくそくしゅこんくつきん）	手関節を掌側および小指側に曲げる筋肉

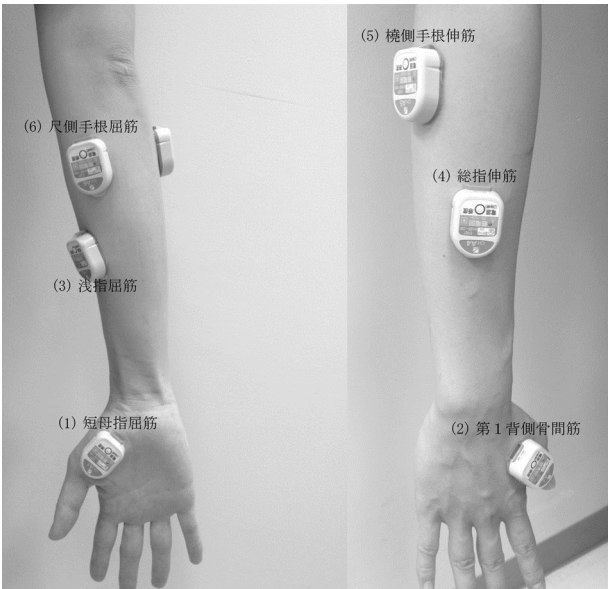


図8 電極貼り付け位置

4.2 結果と考察

表面筋電位測定の結果から2.5秒～12.5秒の区間積分値を算出し、被験者の測定部位ごとに標準化した標準化筋電位を解析に用いた。

把持力に関連する筋肉の活動量については、負

荷重が増加すると増加する傾向が見られ、橈側手根伸筋についてはサンプルの違いによる影響が見られた(図9)。

タイル状のサンプルに着目してみると、S01を除き、溝の深さが深いものほど筋活動が増加する傾向が見られた。これは、溝の深いものは摩擦抵抗が大きくなるため手首が尺屈しやすく、それを防ぐために橈屈するための筋活動が増加したのだと考えられた。それに反し、摩擦抵抗が小さいと考えられる縦や斜めのサンプルで筋活動が高い値を示しており、溝の深さや模様の大きさなどの形状特性との関係だけでは説明できない部分が多く、後に示す主観評価による影響も存在することが考えられた。「手の痛み」や「滑りやすさ」の感覚により、グリップ把持に必要以上の力を発揮していることが推察された。

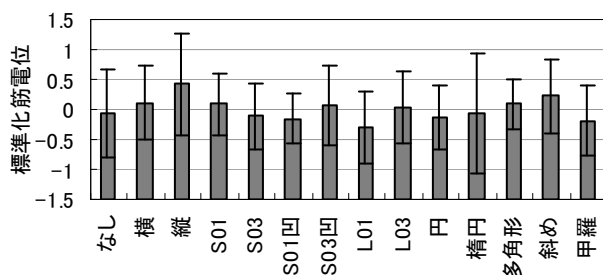


図9 橈側手根伸筋の活動量(静的負荷時)

アンケート調査の結果については、被験者ごとに標準化を行った。負荷荷重が大きくなるほど、「握り心地」が低下し、「手の痛み」や「滑りやすさ」の評価が高くなる傾向が見られた。

「握り心地」について、タイル状のサンプルに着目すると、溝が浅く模様の大きいサンプルの評点が高い傾向が見られた。また、甲羅や多角形のサンプルの評点が高く、縦や横のサンプルの評価が低いことから溝の深さや模様の大きさが評価に影響を与えていると考えられた(図10)。

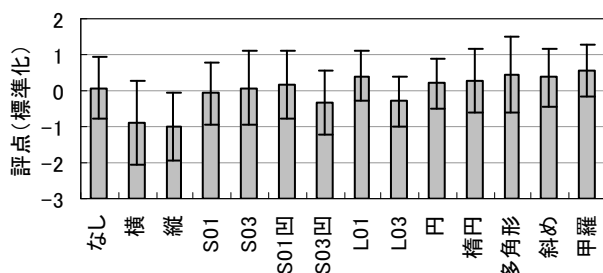


図10 「握り心地」の評価(静的負荷時)

「手の痛み」について、タイル状のサンプルに着目すると、溝が深く、模様が小さいほど手の痛みを感じる傾向が見られた。縦や横のサンプルで評点が高く、模様なし、多角形、楕円のサンプルの評点が低かったことから溝の深さの影響が大きいと考えられた。これは、溝の深いものほど一つの凹凸部分のエッジが皮膚表面に接し、静的負荷を加えた際に摩擦抵抗として、これらのエッジが皮膚を引っ掻くように作用するために生じたと考えられた(図11)。

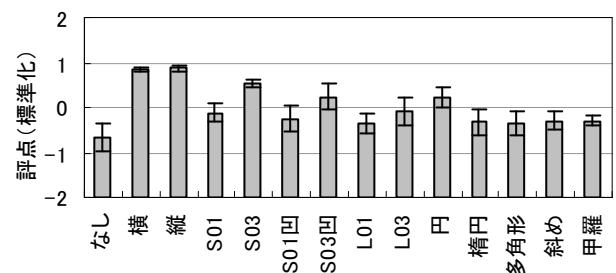


図11 「手の痛み」の評価(静的負荷時)

「滑りやすさ」について、タイル状のサンプルに着目してみると、溝が浅いものが滑りやすいと感じる傾向が見られた。模様なしや縦溝のサンプルで評点が高く、横溝や円のサンプルで評価が低いことから、把持した際に指と平行する方向でのエッジ数が多いものほど、荷重方向に対しての摩擦抵抗が増加するため滑りにくいと考えることが考えられた。(図12)

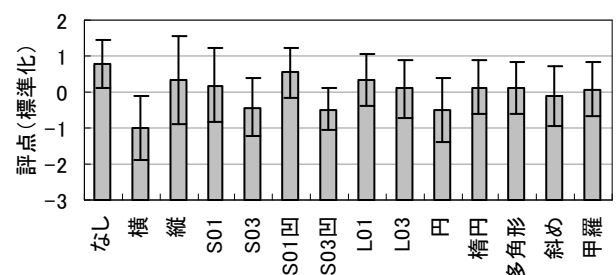


図12 「滑りやすさ」の評価(静的負荷時)

サンプルの違いによる影響のあった橈側手根伸筋とアンケート結果について相関分析を行った結果、「手の痛み($r=0.731$)」「滑りやすさ($r=0.534$)」と正の相関関係があり、「握り心地($r=0.457$)」とは負の相関関係が見られた(図13~15)。このことから、滑りやすく、手の痛みを感じるものほど手首の背屈や橈屈に関わる筋肉の活動が大きくなり、握り心地の良いものほど筋肉の活動が小さ

くなる傾向があると考えられた。また、アンケート項目間において「握り心地」と「手の痛み」との間に相関関係が見られ（図16）、静的負荷時には手の痛みが握り心地に与える影響が大きいと考えられた。

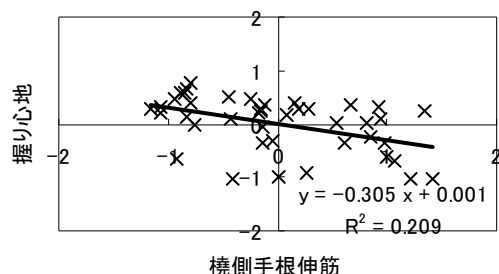


図13 橈側手根伸筋と握り心地（静的負荷時）

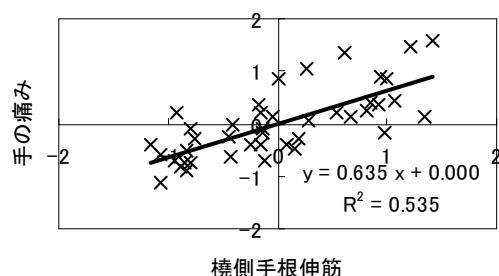


図14 橈側手根伸筋と手の痛み（静的負荷時）

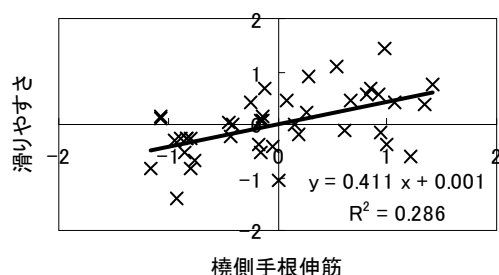


図15 橈側手根伸筋と握りやすさ（静的負荷時）

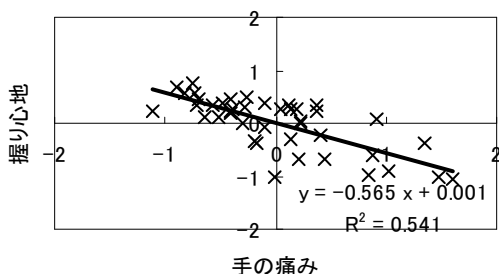


図16 手の痛みと握り心地（静的負荷時）

静的負荷条件において、負荷荷重が増加すると把持力に関連する筋肉の筋活動が増加する傾向が見られた。手関節の背屈、橈屈に関わる橈側手根伸筋の活動量については、表面形状の違いによる影響を受けることが確認され、主に溝の深いサンプルほど筋活動が増加する傾向があり、摩擦抵抗の大きいものは手首が尺屈しやすく、それを防ぐために橈側手根伸筋の活動量が増加する傾向にあると考えられた。また、橈側手根伸筋の活動量の増加には主観評価も影響していると考えられ、滑りやすく、手の痛みを感じるものほど活動量が高くなる傾向が見られた。溝の深いものは手が痛いと感じ、把持した際に指と平行な方向でのエッジ数が少ないものは滑りやすいと感じる傾向が見られた（図17）。

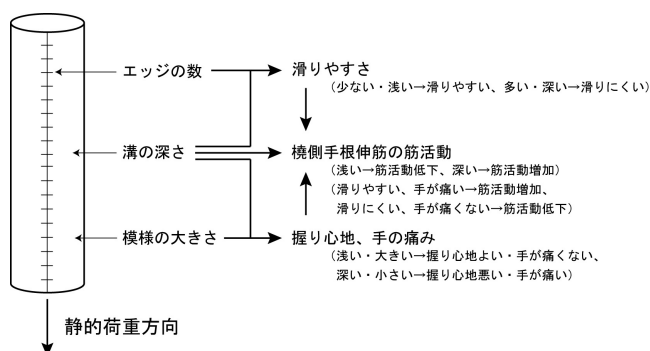


図17 静的負荷時の機能性

以上のことから、静的負荷条件において、グリップ把持時の身体負担を軽減するには、溝が浅く、把持した際に指と平行な方向でのエッジ数を増やすことが望ましいと考えられた。しかし、エッジ数の増加は把持面での摩擦抵抗の増加に繋がるため、手の痛みが生じやすく、手首が尺屈しやすい。そのため、指側に対して掌側のエッジ数を増加させること手首の尺屈を生じにくくさせることや応力の集中しやすいグリップの端部に対して中央部のエッジ数を増加させることで手の痛みを緩和などを検討することで、身体負担が小さく、握り心地の良いグリップ形状の提案に繋がると考えられた。

5. 動的負荷時の機能性評価

5.1 方法

動的な荷重を加えたときのグリップの表面形状と身体負担との関連性を明らかにし、動的負荷に適したグリップの表面形状を検討するため、12名の被験者を対象に動的負荷時の表面筋電位測定およびアンケート調査を実施した。被験者には折り

たたみパイプ椅子に着座した状態で前腕部を肘掛けに設置させ、サンプルを把握させた。サンプルにはワイヤを繋ぎ、電動スライダを使用して異なる速度で下方に引っ張った。引張速度は5mm/sec、25mm/sec、50mm/secの3条件とし、電動スライダに固定したフォースゲージにより最大荷重を記録した(図18)。なお、肘掛け高さは、被験者ごとに着座肘頭高に合わせて肩関節が上がらないように調整し、上腕および前腕の動作を制限した。サンプルの呈示順序はランダムに行った。

表面筋電位測定については、WEB-7000(日本光電)を使用し、静止状態からサンプルが手から滑り始めた時点(最大負荷到達後)までを各条件3試行ずつ記録した。測定部位は静的負荷時と同様に表2、図8に示した6箇所とした。

アンケート調査は「握り心地」「手の痛み」「滑りやすさ」の3項目について11段階の評定尺度法により各条件3試行の表面筋電位測定後に評価を実施した。



図18 動的負荷実験風景

5.2 結果と考察

各条件の1試行ごとに手と試料が滑り始めた直前と考えられる最大荷重時の前0.1秒間の区間積分値を表面筋電位測定の結果から算出し、被験者の測定部位ごとに標準化した標準化筋電位を解析に用いた。

すべての被験筋において引張速度が増加すると把持力に関連する筋肉の筋活動が増加する傾向にあり、短母指屈筋、橈側手根伸筋についてはサンプルの違いによる影響が見られた(図19~20)。

タイル状のサンプルに着目すると、いずれの筋も溝の深いものほど筋活動が増加する傾向があった。しかし、楕円や甲羅のサンプルのように溝の浅いサンプルの筋活動が高いことや図21に示した引張荷重の最大値がサンプルにより異なることから、筋活動のみでの比較は困難であり、考察については後述する。

短母指屈筋および橈側手根伸筋の筋活動と引張荷重の最大値を照らし合わせたところ、タイル状の模様が小さいサンプルについては(S01、S03、S01凹)筋活動に対して最大荷重が大きい傾向があると考えられた。また、縦や模様なし、楕円、斜めのサンプルについては、筋活動に対する最大荷重が小さく、動的負荷にはあまり向かない形状であると考えられた。これらのサンプルについては、把持した際に指と平行する方向でのエッジ数が少なく、このエッジ数と模様の小ささが把持力発揮の効率に影響していると考えられた。

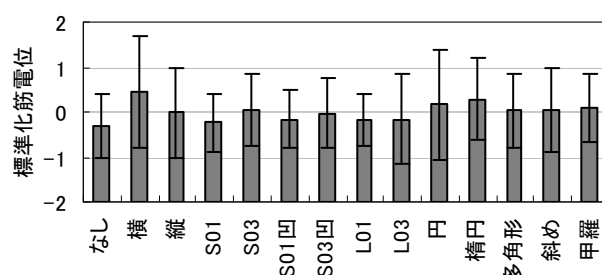


図19 短母指屈筋の活動量(動的負荷時)

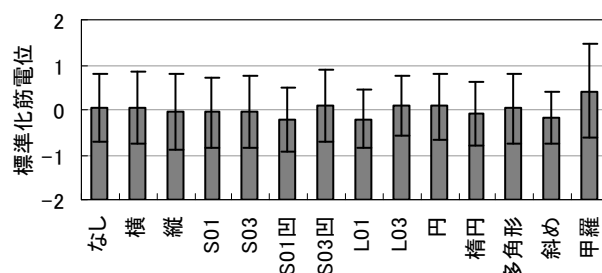


図20 橈側手根伸筋の活動量(動的負荷時)

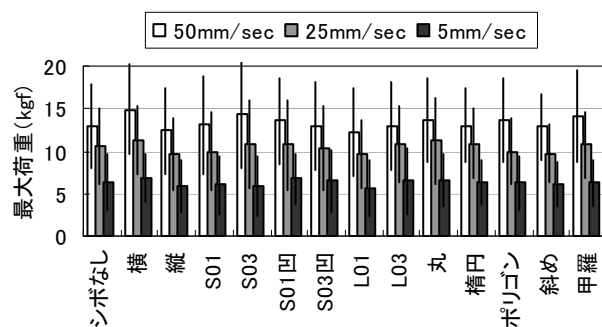


図21 引張荷重の最大値

アンケート調査の結果については、被験者ごとに標準化を行った。引張速度が増加するほど「握り心地」「手の痛み」「滑りやすさ」の評定が高くなる傾向が見られた。「手の痛み」「滑りやすさ」については、サンプルの違いが評価に影響を

与えることが確認され、「手の痛み」については、溝の深いサンプルで痛みを感じやすく（図22）、「滑りやすさ」については、溝が浅く、模様が大きいものほど滑りやすいと感じる傾向が見られた（図23）。

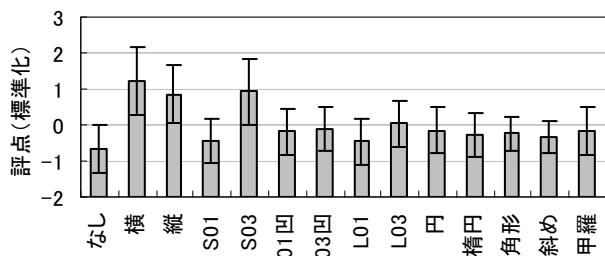


図22 「手の痛み」の評価（動的負荷時）

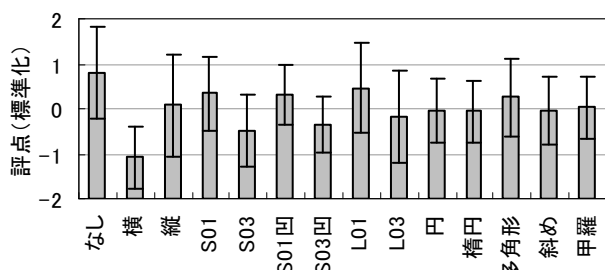


図23 「滑りやすさ」の評価（動的負荷時）

サンプルの違いによる影響のあった短母指屈筋や橈側手根伸筋とアンケート結果について相関分析を行った結果、短母指屈筋と「手の痛み（ $r=0.74$ ）」に正の相関関係が見られ（図24）、橈側手根伸筋と「手の痛み（ $r=0.63$ ）」「滑りやすさ（ $r=0.53$ ）」「握り心地（ $r=0.63$ ）」との間に正の相関関係が見られた（図25～27）。また、アンケートの項目間において、「滑りやすさ」と「握り心地」に強い相関関係（ $r=0.95$ ）が認められた（図28）。このことから、短母指屈筋の筋活動が増加することで手の痛みが生じやすく、手の痛みが生じることで手首が尺屈し、それを支えるために橈側手根伸筋の筋活動が増加することが推察された。また、動的負荷時には滑りやすさが握り心地に与える影響が強いことが確認された。

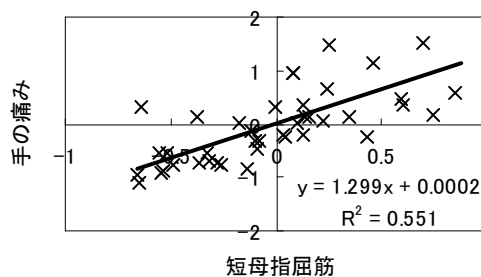


図24 短母指屈筋と手の痛み（動的負荷時）

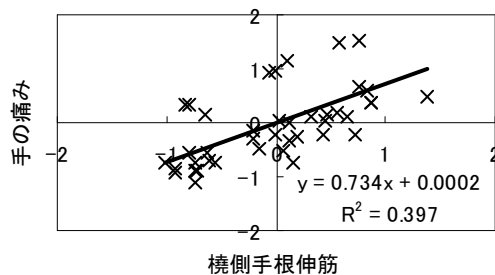


図25 橈側手根伸筋と手の痛み（動的負荷時）

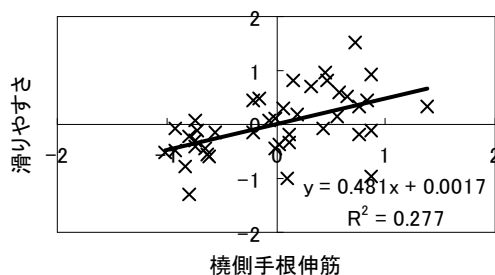


図26 橈側手根伸筋と滑りやすさ（動的負荷時）

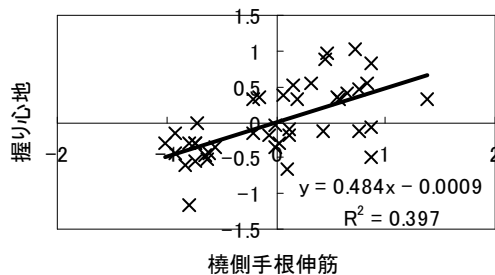


図27 橈側手根伸筋と握り心地（動的負荷時）

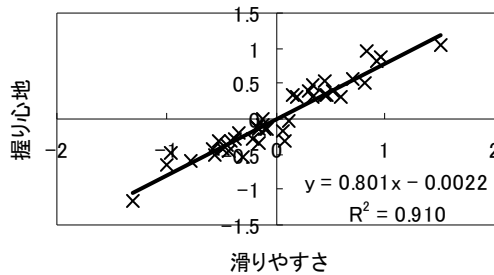


図28 滑りやすさと握り心地（動的負荷時）

動的負荷条件において、引張速度が増加すると把持力に関連する筋肉の筋活動が増加する傾向が見られた。把持力に関わる短母指屈筋や手関節の背屈、橈屈に関わる橈側手根伸筋の活動量については、表面形状の違いによる影響を受けることが確認され、主に溝の深いサンプルほど筋活動が増加する傾向が見られた。また、短母指屈筋の筋活動の増加は手の痛みを生じやすく、手の痛みが生じることで手首の尺屈を誘発し、それを支えるために橈側手根伸筋の筋活動が増加することが推察された。また、把持した際に指と平行する方向でのエッジ数が多く、模様の小さいサンプルでは筋活動に対する引張荷重（把持力）が高い値を示し、力を効率良く伝えることが可能であると考えられた。また、溝が浅く、模様の大きいサンプルほど滑りやすいと感じる傾向があり、滑りやすいと感じるサンプルは橈側手根伸筋の筋活動が増加する傾向が見られた（図29）。

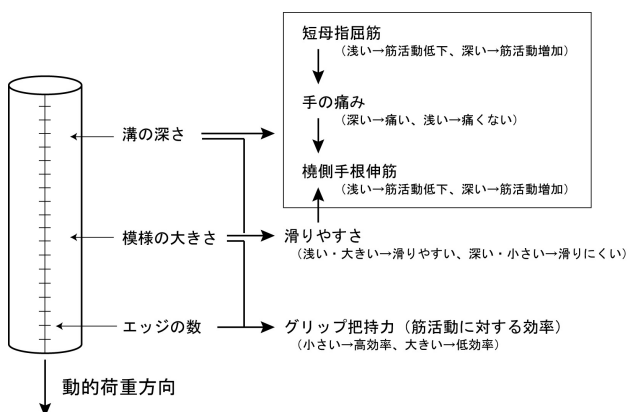


図29 動的負荷時の機能性

以上のことから、動的負荷条件において、グリップ把持時の身体負担を軽減し、力を効率よくグリップに伝えるには、溝が浅く、模様が小さいもので、把持した際に指と平行な方向でのエッジ数を多くすることが望ましいと考えられた。しかし、溝が浅いと滑りやすいと感じる傾向があり、橈側

手根伸筋の筋活動の増加を招くことが考えられるため、手の痛みの生じにくい部位で溝を深くすることを検討する必要がある。手の圧覚域については、指に比べて掌の感覚が鈍く¹⁾²⁾、触感の感覚が異なることから³⁾、深い溝を手の掌に集中させることなどを検討することで動的負荷条件での身体負担が小さく、力の伝達効率や握り心地の良いグリップ形状の提案に繋がることが考えられた。

6. まとめと今後の課題

グリップ表面形状が触感や機能性に与える影響について、以下の知見が得られた。

1) グリップの触感について

溝の浅いものは柔らかい印象を与え、把持した際に指と直交する方向でのエッジ数が少ないものは滑らかな印象を与える傾向が見られた。また、溝が浅く、把持した際に指と平行な方向でのエッジ数が少ないものが好ましい印象を与える傾向が見られた（図6）。

2) 静的負荷時の機能性について

手関節の背屈、橈屈に関わる筋肉については、溝の深いサンプルほど筋活動が増加する傾向があった。また、筋肉の活動量の増加には主観評価も影響していると考えられ、滑りやすく、手の痛みを感じるものほど活動量が高くなる傾向が見られた。また、溝の深いものは手が痛いと感じ、把持した際に指と平行な方向でのエッジ数が少ないものは滑りやすいと感じる傾向が見られた（図17）。得られた知見をもとに静的負荷条件に適した表面形状の基本特性を考察した。

3) 動的負荷時の機能性について

短母指屈筋や橈側手根伸筋については、溝の深いサンプルほど筋活動が増加する傾向が見られた。また、短母指屈筋の活動量の増加は手の痛みを生じやすく、手の痛みが生じることで手首の尺屈を誘発し、橈側手根伸筋の活動量が増加することが推察された。把持した際に指と平行する方向でのエッジ数が多く、模様の小さいサンプルでは筋活動に対して把持力が高い値を示し、力を効率良く伝えることが可能であると考えられた。溝が浅く、模様の大きいサンプルほど滑りやすいと感じる傾向があり、滑りやすいと感じるサンプルは橈側手根伸筋の活動量が増加する傾向が見られた（図29）。得られた知見をもとに動的負荷条件に適した表面形状の基本特性を考察した。

今後、商品開発への応用展開を目指すにあたり、課題として、表面形状の数値化を行い、触感や筋活動との関連性について定性的・定量的なモデルの構築が挙げられた。

謝辞

本研究は独立行政法人科学技術振興財団による研究成果最適展開支援プログラム A-S T E P【FS】探索タイプの助成を受け実施しましたことをここに記し感謝の意を表します。また、研究にご協力頂きました株式会社ケイズデザインラボ横山様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 大山正他（編）：新編 感覚・知覚心理学ハンドブック，誠信書房，1994.
- 2) 松田隆雄（著）：知覚心理学の基礎，培風館，2000.
- 3) 千原健司，安藤敏弘：製品表面形状の高感性化と高機能化に関する研究，岐阜県工業技術研究所研究報告，No. 2，2014.