

# 体毛－毛包受容器構造に着目した触覚増強機構

○岡崎 龍太 (電気通信大学), 佐藤 未知 (電気通信大学), 福嶋 政期 (電気通信大学), 古川 正紘 (電気通信大学, 日本学術振興会), 梶本 裕之 (電気通信大学, JST さきがけ)

## Tactile Enhancement Structure Focus on Hair Follicle Receptor

○Ryuta OKAZAKI (UEC), Michi SATO (UEC), Shogo FUKUSHIMA (UEC), Masahiro FURUKAWA (UEC) and Hiroyuki KAJIMOTO (UEC,JST)

Abstract: We propose a tactile enhancement structure focusing on hair follicle receptor. Comparing with other receptors, hair follicle receptor has specificity that part of receptor is exposed to outside. Also, recent research showed that skin hair contributes to the perception of minute force which cannot be perceived with hairless skin. We considered that we can perceive minute force which is normally unnoticeable by extending this structure. Our idea of tactile enhancement mimics the structure of hair follicle receptor. In this mechanism, a matrix of artificial skin hair is driven by minute force from outside and it drives the skin surface. This structure can be used at any part of the human body because it is fully composed of passive elements.

### 1. はじめに

我々が運動を正しく行うためには、今自分の体がどのような体勢になっているのかという身体感覚を身につけることが大切だと言われている。例えば競泳、シンクロナイズドスイミングなどでは、より早く、より美しく泳ぐ為の身体感覚を身につける必要がある。例えば水泳の教本には身体感覚を身につける為に水面を常に知覚することが重要であるという表記が多く見られる[1]。

身体感覚を習得するために水面の知覚が重要であるならば、水面をより鮮明に知覚出来れば、身体感覚を把握しやすくなる可以考虑することができる。そこで著者らは、人間の水面の知覚能力を増強させることで、身体感覚をより習得しやすくなるのではないかという着想に至った。

触覚増強の先行事例として、指先に装着するだけで人間の触覚受容器の時間的・空間的なレンジを変更し、微小な変位を知覚可能にする佐野らの「触覚コンタクトレンズ」がある[2]。触覚コンタクトレンズでは、人間のセンサのダイナミックレンジに合わせた力学的変換を行うことで通常知覚不可能な力を知覚できるようになる。

一方、人工的ではなく、人間が生来持っている機構の中にも触覚を増強する機能が備わっている。その一例が毛包受容器である。人間の持つ触覚受容器の中でも、体毛－毛包受容器からなるセンシング構造は、センサの一部である体毛が体外に露出している点で他の受容器に比して特異性を持つ(Fig. 1)。Satoらは、無毛部の皮膚では知覚されないような微小な力が体毛の寄与によって知覚される現象について明らかにした[3]。

本研究では、この体毛－毛包受容器構造がもつインピーダンス変換機能を模倣・拡張することにより水面の知覚を鮮明化し、ひいては身体感覚の習得を補助する触覚増強装置の製作を目的とする。本機構を皮膚に装着することで、素肌では知覚できない微小な外力の知覚が可能になると考えられる。また本機構は電氣的制御機構を一切持たず、形状の自由度が高い。よって、あらゆる身体部位で広範囲に装着が可能である。

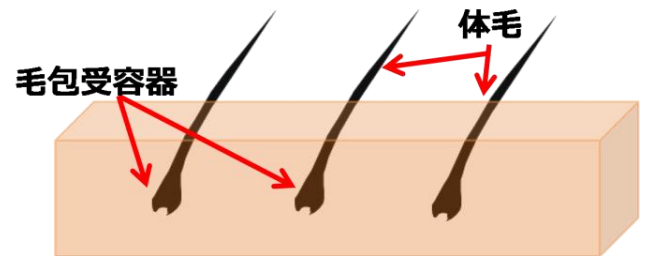


Fig. 1 Structure of hair follicle Receptor

### 2. 提案機構

本機構では平面に並べられた人工毛が外界からの微細な刺激により駆動され、皮膚表面への刺激を増強する(Fig. 2)。前述の触覚コンタクトレンズは、外的刺激の力は十分に強いが変位量が小さすぎて知覚困難な状況に対して、力を変位量に変換して知覚を可能にしていた。一方で本機構は十分な変位のポテンシャルを持ちながら力が小さすぎて知覚困難である刺激を、閾値以上の刺激強度に変換する。両者は力と変位に着目すると双対な関係を持つ。

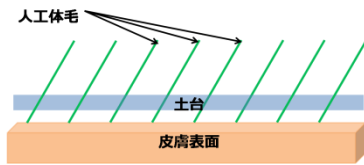


Fig. 2 Outline chart of proposed mechanism

### 3. 水面知覚の鮮明化実験

#### 3.1 実験装置

シリコン(信越シリコン, KE-109-A/B)と光ファイバ(三菱レイヨン, エスカ,  $\Phi=0.50\text{mm}$ )を用いて, 体毛一毛包受容器構造を模倣した装置を製作した(Fig. 3). これは薄いシート状のシリコンに, 体毛に見立てた光ファイバを等間隔に配置したものである. 光ファイバは大気と水の密度差によって水面で駆動され, テコの原理によって知覚可能な力に変換される. 光ファイバの駆動を妨げないようにするため, 光ファイバの根元部分には空間を設け, 自由に駆動できるようにした(Fig. 4).

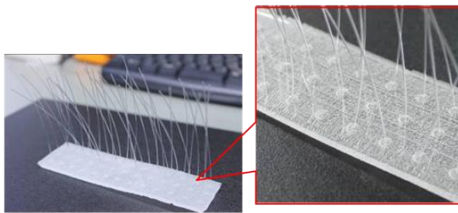


Fig. 3 Experiment device and its close up

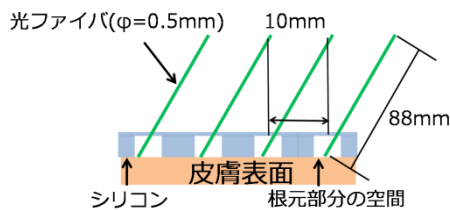


Fig. 4 Section view of device

#### 3.2 実験概要

試作装置を装着した皮膚と素肌での水面知覚比較実験を行った. シート状のシリコン土台自体が水面の知覚に影響を及ぼす可能性を考慮し, シリコンシートのみを装着した状態を基準刺激として採用し, 素肌と装置について水面知覚の鮮明さを評価した(Fig. 5).

実験は被験者 21 歳から 25 歳までの 14 名(うち女性 4 名)について行った. 実験作業の順番の違いによる感覚の偏りを考慮して, 被験者の半分は腕の左右の条件を入れ替えて実験を行った(A 群, B 群). 先行研究より, 水面知覚は水温が皮膚表面の温度と同程度( $34^{\circ}\text{C}$ 付近)である場合に一番知覚されやすい事が知られているた

め,  $34^{\circ}\text{C}$ に保った水道水を用意して, 実験に使用した. 各試行内では, 視覚から得た事前知識によるバイアスを取り除くため, 被験者の視覚情報を遮断した. その後被験者は実験者の指示に応じて, 基準となる腕と評価を行う腕とを同時に水中に浸し. 温度統制を行うために各試行前に 30 秒間腕を浸した. 被験者にあらかじめ設問内容を把握させるため, この時間を利用し設問を 2 度読み上げた.

温度統制の後, 被験者はメトロノーム(60 拍毎分)に合わせて腕を 10 往復上下運動した(図 4). 一回の試行が終わるたびに装置が被験者の目に入らないよう遮蔽板を用いて被験者の腕を隠した後, 基準刺激に対する相対的な鮮明さをアナログスケール内に線分で記入させた. 回答終了後, 再び被験者の視覚情報を遮断した後, 次の試行に備えて装置の付け替えを行った. この試行を繰り返し, 1 名あたり合計 4 試行を実施した(Fig. 6).

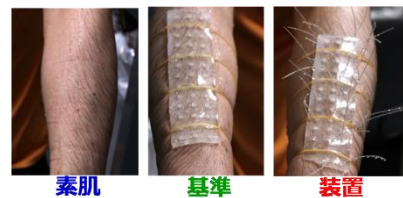


Fig. 5 Experiment condition



Fig. 6 Appearance of experiment

#### 3.3 実験結果

統計解析を行うため, 実験結果のアナログスケールを評価基準の状態を 0 として正規化した.

A, B 群間において平均値に有意な差が見られなかったため, A, B 群の値を平均して一つにまとめた(Fig. 7). 装置を腕に装着した時の鮮明さは素肌の時と比べて向上した ( $t(12)=5.279, p<0.01$ ).

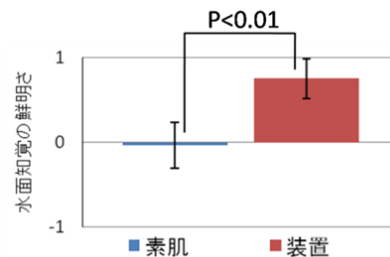


Fig. 7 Result of experiment

## 4. 考察 1

実験の結果、体毛一毛包受容器を模した触覚増強機構によって、水面を大幅に鮮明に知覚することが可能であることが判明した。実験に参加した全 14 名の被験者のうち全員が、装置を装着した時に水面知覚が鮮明化したと回答した。このことから、装置を装着することで水面知覚の鮮明化が確実に起こるとことが判明した。

## 5. 装置の最適化の指針

実験によって、本機構は水面の知覚を鮮明化できるということが判明したが、前述の実験では装置設計の最適化については明らかに出来なかった。そこで腕の入水速度を変えて実験を行ない、本装置における水面知覚鮮明化の速度特性を明らかにすることで、本装置の設計の最適化の指針を立てようと考えた。速度を選んだ理由は、装置の設計を運動の身体感覚補助という点から考えたとき、運動にはそれぞれ理想とする速度があり、水面知覚鮮明化の速度特性を明らかにすることが装置の設計に貢献すると考えたためである。

## 6. 入水速度別の水面知覚鮮明化実験

### 6.1 実験概要

試作装置を装着した皮膚と素肌での水面知覚の鮮明さを素肌の状態を評価基準として評価した。実験は入水速度を 20 拍毎分、40 拍毎分、60 拍毎分、80 拍毎分、100 拍毎分と変えて計 5 試行を行った。その他の実験条件は基本的に変更していないが、前実験より試行順序による結果への影響とシリコン土台による結果への影響はないことが判明したため、群分けを廃し、比較条件は装置と素肌とした。また、被験者の左腕に装置を装着し、右腕は素肌の状態に統一した。実験は被験者 21 歳から 25 歳までの 7 名(うち女性 3 名)について行った。

### 6.2 実験結果

統計解析を行うため、実験結果のアナログスケール基準の状態を 0 として正規化した。グラフより、装置を装着した腕の水面知覚の鮮明さは、腕の入水速度によって異なるということが判明した (Fig. 8)。

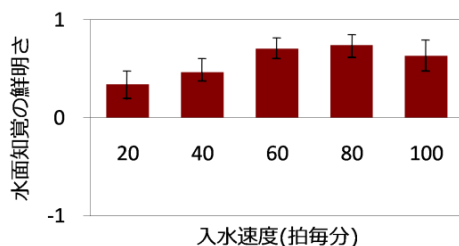


Fig. 8 Result of experiment

## 7. 考察 2

結果から、入水速度が上がると装置による水面知覚鮮明化が明瞭に現れ、60 拍毎分と 100 拍毎分の間に鮮明化の極大点があることが分かった。また「速度が 60 拍毎分の時が一番分かりやすかった」との内観報告も得られた。しかしながら入水速度と知覚の関係については入水速度が上がるほど知覚が鮮明になったと回答する被験者も複数いた。実験の様子を観察していると、入水速度が上がったときに、腕の運動によって水面が波立ち、平面状でなくなってしまう場合と、速度を上げてあまり波立ちが起こらない場合の二種類が存在した。さらに「速度を上げたとき水面が波立って分からなくなった」との報告もあることから、この極大点は、知覚すべき水面が荒れてしまった為に、波立ちが起こらない程度の速度が極大点として現れたと解釈できる。

また、被験者全員が装置による水面知覚の鮮明化が弱かったと回答した 20 拍毎分の場合でも興味深い内観報告が得られた。それは「20 拍毎分の場合には装置による鮮明化も起きていたが、自分の体毛でも水面を知覚出来ていたため、差分としては弱かった」というものである。これは、入水速度が遅い速度域には本物の体毛による水面知覚鮮明化の極大点があり、それよりも速い速度域では装置による鮮明化の方が有意であるという可能性を示唆していると考えられる。

## 8. おわりに

本稿では、提案した触覚増強機構が外界からの力の増幅能力を持つことを検証するために、水面知覚の鮮明化を基準に装置を評価した。その結果、提案した機構を用いることで素肌の状態よりも水面の知覚が鮮明になることが分かった。また、腕の入水速度が変わると、装置による水面知覚鮮明化の度合いが変化するということが分かった。今後は水面知覚鮮明化における本装置の最適設計を続けるとともに、人間が持つ体毛による水面知覚鮮明化の最適条件を研究していこうと考えている。

## 9. 参考文献

- [1] 飯沼誠司『水泳上達 BOOK』成美堂出版, 2005 年
- [2] Ryo Kikuuwe, Akihito Sano, Hiromi Mochiyama, and Naoyuki Takesue, and Hideo Fujimoto : Enhancing Haptic Detection of Surface Undulation, ACM Transactions on Applied Perceptions, Vol. 2, No. 1, pp. 46-67, 2005.
- [3] Michi Sato, Jyunya Miyake, Yuki Hashimoto, Hiroyuki Kajimoto : Tactile Perception of a Water Surface - Contributions of Surface Tension and Skin Hair, EuroHaptics2010, Vol. 2, pp. 58-64, 2010.