

## ソケット装着時の体表面温度変化分布計測

Measurement of the body surface temperature distribution variance  
while donning upper limb prosthetic socket

○ 大井健太郎(東電大) 大西謙吾(東電大) 中北麻紀子(東電大)

河邊和宏(東電大) 三田友記(国リハ) 中村隆(国リハ)

Kentaro OOI, Kengo OHNISHI, Makiko NAKAKITA, Kazuhiro KAWABE, Tokyo Denki University  
Tomoki MITA, Takashi NAKAMURA, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

**Abstract:** The upper limb prosthetic socket design and evaluation method based on the mechanical characteristics are capable of providing a socket with low pressure pain and good force transmission. However, discomfort triggered by chilling or perspiration are unsupported, and there is a compelling need for solution based on heat transfer and thermophysiological response for prosthetic sockets. In this paper, we report the basic experimental results of the variance in the body surface temperature and prosthetic socket outer surface temperature while donning the upper limb prosthetic socket. The test was conducted on a non-amputated subject donning a quasi transradial prosthetic socket. The surface temperature variances are measured with 8 IC temperature sensors and infrared thermography, and the effect of the surface temperature variations in relation to the donning time is discussed.

**Key Words:** Upper Limb Prosthesis, Prosthetic Socket, Body Surface Temperature

## 1. はじめに

臨床で用いられる義手は大きく分類すると手先具, 継手, 操作用インタフェースとソケットの4構成要素からなる。前3者は市販品から選定直接組み込まれるのに対し, ソケットは使用者に合わせたカスタムメイドである。ソケットは採形した断端の形状・寸法に応じ設計, 製作され, 装着時の手先具に規定荷重が加わった状態での圧痛やソケットのズレ変位をもとに適合評価が行われる。ゆえ, 経験則が主となるところがあるものの, 力学的な設計, 評価, 対応方法は確立されている。これに対し, 通気性の悪い樹脂製ソケットを装着することの温熱生理学に関する研究は十分ではない。四季による使用温度環境の変動, なかでも夏季の高温多湿な環境下での装着に伴う蒸れ, 搔痒感, 発疹, 臭いなどについての対応は, ユーザからの愁訴があるものの, ソケットの設計, 製作に反映できる十分なデータがない。この問題に対し, 先行研究として, 西村ら<sup>1)</sup>や Kluteら<sup>2)</sup>が下肢切断や義足を対象とした計測結果, ソケット材質選定について報告しているが, 義手ソケットを対象とした研究事例はほとんどない。下肢と上肢では, 体積や心臓に対する相対位置も異なり, さらに手先具を操作するセンサを内包する義手用ソケットでは条件が異なることから, データの蓄積は基礎的な実験から行う必要がある。

そこで, 本研究では, 筋電義手用ソケットの設計, 評価法へ応用可能な切断端の伝熱モデルの構築を最終目標とし, 第一段階の基礎実験として義手ソケット装着時のソケットと体表面温度の変化について調査する。本報告ではソケット内外の多点における表面温度と装着時間との関係について, 非切断者3名を対象とした測定結果について述べる。

## 2. 実験

本実験ではソケット装着に伴う体表面温度分布の時系列変化を調査する。測定比較対象は, ①ソケット内一体表面温度, ②ソケット外表面温度, ③ソケット非装着部体表面温度, ④体心温度であり, これら①~④の時系列変化傾向の相対関係について議論する。

## 2.1. 実験装置

ソケット内体表面温度測定には IC 温度センサ (National Semiconductor Japan, LM35) を使用し, データ記録装置 (HIOKI, メモリハイコード 3802) を用いた。ソケット外表面温度分布とソケット非装着部体表面温度分布の撮像, 算出は, 非接触型赤外放射温度計 (NEC Avio, Thermo Shot, F30) を使用しカメラ専用ソフトウェア (同, Thermography Studio) を用いた。さらに体心温度測定には耳式体温計 (OMRON, MC-510) を使用した。実験は非切断者に対して行うため, 被験者毎に対象前腕部を採形し, 熱可塑性樹脂サーリン製の模擬ソケット (Fig.1 参照) を各々製作, 調整した。

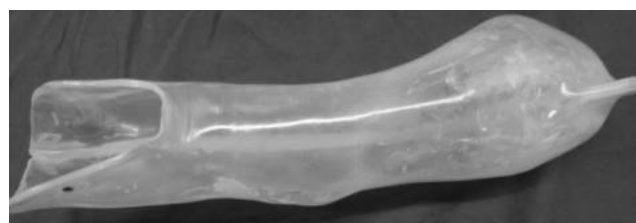


Fig.1 Quasi-transradial prosthetic socket

## 2.2. 実験条件

測定される多点の温度の相関を見るため, センサ等の配置などの測定環境を次のように定めた。ソケット内一体表面温度用の温度センサの張り付け位置は計8点とし, 前腕部6点, 手部2点とした。前腕部は, 外側上顆と橈骨茎状突起を結ぶ体表面上最短距離の線上にて, 外側上顆の位置を0[%], 橈骨茎状突起の位置を100[%]としたときの50, 75, 100[%]の位置において, 前腕周囲長の25[%]だけ掌側, 背側の位置とした。手部は舟状骨結節から中指種子骨を結ぶ線上的中間点を手部掌側, 尺骨頭から示指中手骨骨頭までの線上的中間点を手部背側とした (Fig.2 参照)。センサは粘着包帯 (阿蘇製菓株式会社, デルガード) を用いて体表面上に貼りつけた。

サーモグラフィは前腕・手部の掌側が撮影範囲に収まるよう被験者毎にカメラ-被写体間距離 (約1[m]) とカメラ姿勢を調整し測定を行った。

室内温度は空調機にて 25[°C]に設定し、環境温度ならびに個々の体温へ影響の条件を揃えるため、各々別日測定とし、全員 18 時より測定開始とした。さらに被験者は実験開始 1[h]前から飲食禁止とし、安静座位にて休息を取った後の測定開始とした。計測時の姿勢は椅子座位にて肩関節の屈曲伸張 0[°]、内外旋中間位、内外転 0[°]、肘関節屈曲 90[°]前腕回内外中間位とし、体の横に設けた台上に前腕を置けるように椅子の高さを調整した。この際、被験者の不要の身体負担を避けるために厳密な姿勢の拘束条件は設けず、ソケット装着側は体表面に局所的な高い圧力が生じないようにのみ配慮し、台上には 600×300[mm<sup>2</sup>]の気泡緩衝材を断熱材として敷いた。なお、測定はソケット装着直後から開始した。

温度センサ信号はサンプリング周波数 10[Hz]、LPF 5[Hz]にて、サーモグラフィと耳式体温計はサンプリング周期 1[min]にて計 30 分間記録した。ソケット装着時と未装着時の計測は同日に行い、インターバル 30[min]として未装着、装着で測定した。

### 3. 実験結果・考察

被験者は非切断者 3 名(年齢 22.33±SD0.47 歳, 男:女=2:1)に対し実施。実験は東京電機大学のヒト生命倫理委員会の承認を受け、被験者に事前に実験の内容を説明し同意を得て実施した。

ソケット装着時の測定結果として被験者 1 名のサーモグラフィ画像を測定開始 0, 10, 20, 30[min]時の時系列として Fig.3 にしめす。さらに、同時刻の Fig.2 中で示した領域のソケット外表面温度のヒストグラムを Fig.4 に示す。被験者 3 名の 30[min]のソケット内一体表面温度、ソケット外表面温度、ソケット非装着部体表面温度、体心温度を各々 Fig.5~8 に示す。Fig.5 は温度センサのデータプロット数をサーモグラフィ、耳式温度計でのサンプル数と合わせるため、計測開始時の出力値を 0[s]の値とし、以降は 1 分毎に 8 点のセンサの測定値隣接 600 件(計 4800 件)の平均値をオフラインで算出しグラフ化した。さらに Fig.6,7 はサーモグラフィの撮影画像から、Fig.3 で示したセンサ貼り付け位置間のソケット外表面範囲、ならびにソケット非装着部体表面範囲の各データから平均値を算出した。

以上の結果より、Fig.3 のサーモグラフィの熱画像からはソケット装着部においては、ソケット外表面温度は 10[min]以後では温度分布に顕著な変化がなく、ソケット外表面の中では手部の温度が高く、ソケット外表面とソケット非装着部とは 30[min]経過後も境界線がはっきりと分かる程度の温度分布に差があることが確認できた。また、Fig.4 よりソケット外表面は、測定開始時に室温近傍で正規分布を示していたが、10 分後には測定開始時の体表面温度の 31[°C]近傍の値まで取るようになり、時間の経過とともに、分布は体方向に移動していることが確認できる。さらに、Fig.5~8 の比較から、測定時間内でのソケット内一体表面温度上昇が 2[°C]以下、体心温度変化は 0.5[°C]以下であるのに対し、ソケット外表面温度は平均 3[°C]の上昇が確認された。これは、ソケット非装着部での体表面温度が平均 1 [°C]下降するのとは顕著に異なる。

そこで、実験結果から温度変化が装着直後より 5 分間において顕著な変化の傾向が見られるので、測定結果を 5 分間隔の計 6 群に分け、それぞれの平均温度変化率を算出し、統計解析を行った。平均温度変化率は、温度センサの元データから数値微分を行い、1[min]毎に隣接 600 点の平均値として求めた結果を Fig.8 に示す。これをさらに測定時間

を 6 群に分け、被験者 3 名の 5[min]毎のデータについて群間で有意差があるかを Mann-Whitney 検定を用いて調べた。結果、ソケット内一体表面温度では測定開始時の 1~5 分(1 群)と 11~15 (3 群)、16~20 分(4 群)、21~25 分(5 群)とでは有意差が確認された。

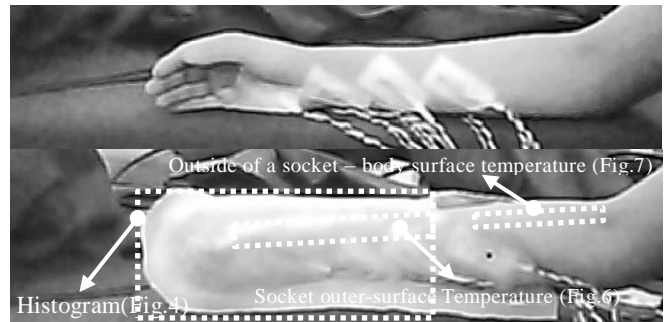


Fig.2 IC temperature sensor layout on the forearm: Subject A

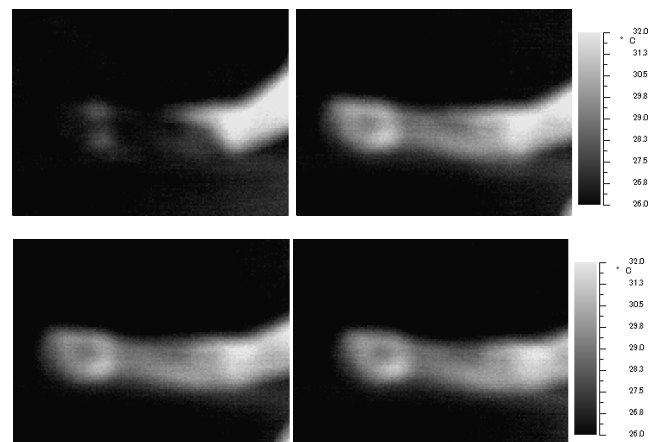


Fig.3 Thermography image after donning: Subject A, right arm (Top-left: 0[min.], Top-right: 10[min.], Bottom-left: 20[min.], Bottom-right: 30[min.])

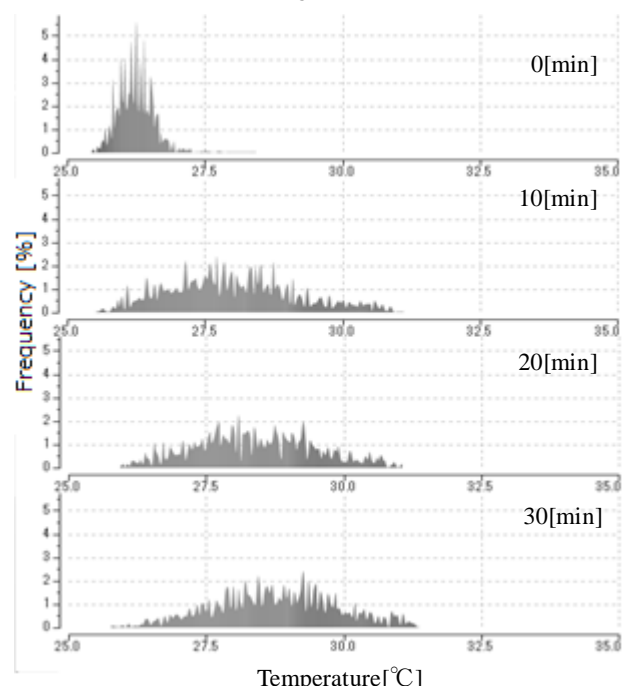


Fig.4 Histogram of the socket's outer-surface temperature in the thermograph image from the beginning of the measurement up to 30 minutes in 10-minutes interval. (subject A)

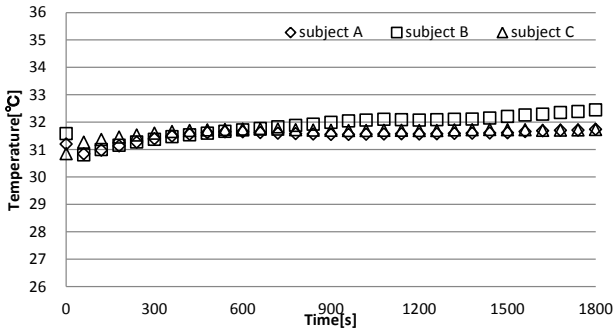


Fig.5 Experimental result of the inner socket body surface temperature variance of 3 subjects.

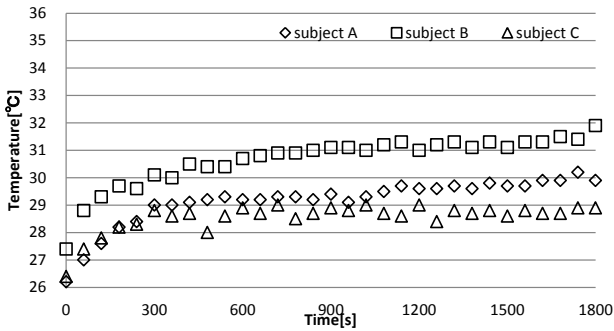


Fig.6 Experimental result of the outer socket surface temperature variance of 3 subjects.

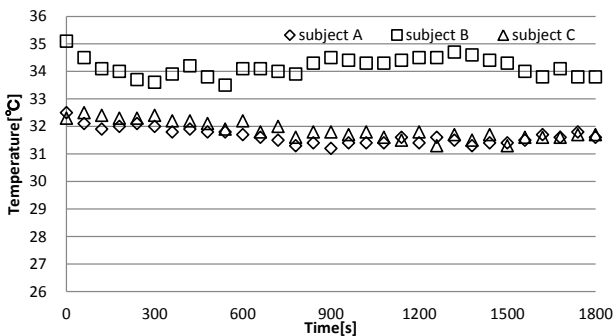


Fig.7 Experimental results of the out-of-socket body surface temperature variance of 3 subjects.

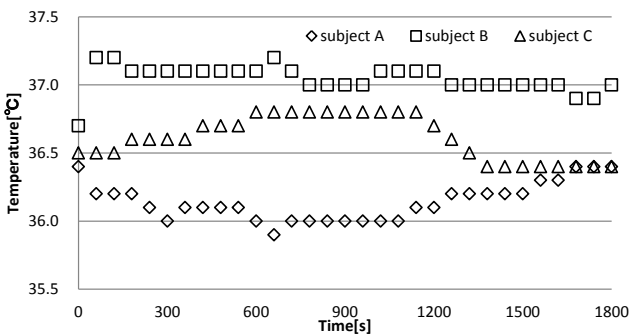


Fig.8 Body center temperature variance of 3 subjects.

以上の結果から、ソケットとソケット装着部の体表面温度は最初の5分間では大きく変動し、11~25[min]の間では一度安定化した後、変動が始まるサイクルがあることが示

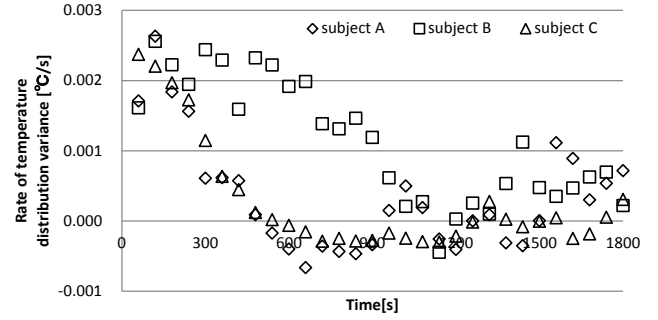


Fig.9 Rate of temperature distribution variance of 3 subjects.

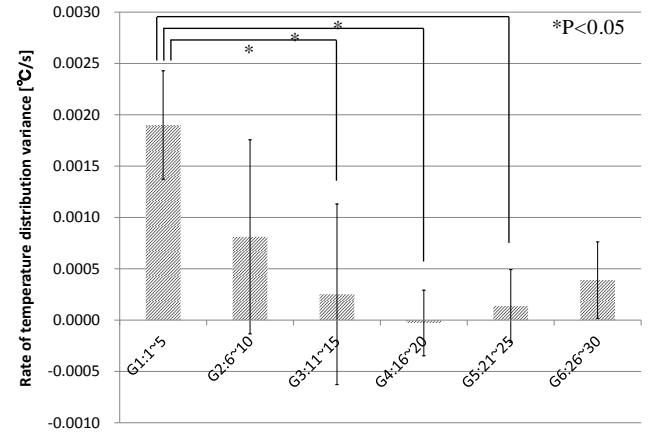


Fig.10 Statistics results comparing the rate of inner socket body surface temperature distribution between time period.

唆されるとともに、ソケットの温度上昇を生じさせている熱移動のため、体表面温度の平均1[°C]の上昇が生じていることが確認された。

#### 4. おわりに

本研究ではソケット装着が体表面温度に及ぼす影響について調査を行うことで、ソケットの設計、評価方法に繋げることを目的とする。基礎実験としてソケット内外の複数点での温度変化を測定し、ソケット内一体表面温度、ソケット外表面温度、ソケット非装着部体表面温度、体心温度の関係を示した。この結果、ソケット装着によりソケット内一体表面温度が平均1[°C]上昇し、この変化は最初の5分間で生じることが確認できた。今後はソケットの材質、形状、寸法などの伝熱特性の影響を調査し、ソケット内一体表面温度の上昇を抑える因子を調査したい。また、切断者の協力のもと、切断肢のソケット装着時の伝熱特性を調査する。

#### 参考文献

- (1) 西村敦, 奈良勲, 立野勝彦, 田川義勝, 生田宗博, 清水順市, 前田真一, 断端に体重を负荷した時の温度変化測定, vol.7, no.2, pp.132-134, 1980.
- (2) G. K. KLUTE, G. I. ROWE, A. V. MAMISHEV, W. R. LEDOUX, The thermal conductivity of prosthetic sockets and liners, vol.31, no.3, pp.292-299, 2007.
- (3) 河野陽一, アトピー性皮膚炎診療ガイドライン2009: アトピー性皮膚炎の疫学, 日本アレルギー学会, Vol.59, No.11, pp.1533-1538, 2010.