

円筒熱源モデルを用いた前腕義手ソケット内冷却実験

Cooling experiment of transradial prosthesis socket with cylindrical heat source model

○ 神田智基（東電大院） 大西謙吾（東電大院） 大田弥史（東電大院） 高見響（東電大院）

Tomoki KANDA, Kengo OHNISHI, Yasushi OHTA, Hibiki TAKAMI, Graduate School of Tokyo Denki University

Abstract: Upper limb prosthesis user suffers from the discomfort of heat and sweat donning a prosthetic socket, which are the major cause of discontinuing the use of the prosthesis. This research targets to investigate the effect and efficiency of the socket design factors on heat-transfer property. Cylindrical heat source model resembling the heat production of the forearm is constructed to investigate the socket models inner socket heat transmission by measuring the inner and outer socket temperatures. This report discusses the experiment result of a peltier device cooling system mounted on the socket. Experimental results show that the inside-socket temperature's rise decreases compared to non-cooling condition. Further research is required to confirm the efficiency of the peltier device to cool and control the inside-socket temperature to improve the comfort.

Key Words: Upper limb prosthesis, Prosthetic socket, Thermomigration, Peltier device

1. はじめに

義手ソケットは切断肢と義肢との接続面となる部分であり、義肢装具士によって痛みや圧迫感などの力学的要因に着目し設計、製作、調整されている。一方で、使用者から挙げられるソケット装着に伴う搔痒感、発汗、発疹、臭いなどの生理学的要因に基づく愁訴⁽¹⁾への対応策は確立されていない。わが国では四季の温湿度は大きく変動し、身につける衣類を変えるのが習わしであり、義肢ソケットも周りの温湿度に応じて適切に調整可能とすることで快適性は向上すると考えられる。そこで本研究では生理学的要因としてソケット内の暑さ、蒸れと関係のある腕部の熱移動と体熱放散とソケットの伝熱特性について調査を行う。ソケット内温度の制御を目標とし、ソケットの伝熱特性を実験的に評価することを目的とする。ソケットは切断者に応じてその形状は異なり、装着者も体組織の構成は均一、等質ではないことから体系的な調査を行うことが容易ではない。それに対しこれまで前腕を模した円筒熱源モデルを製作し、このモデルにソケットを装着して比較実験を行うことで、ソケットの材質、形状等の設計因子が伝熱特性に及ぼす影響を比較、評価を進めてきた。本報告ではソケット装着に伴うソケット内の温度上昇を抑制することを目標として冷却器にペルチェ素子を用いる効果をソケット内外の表面温度変動を測定し検証した。

2. 円筒熱源モデルとペルチェ素子を用いた冷却システム

義手ソケット装着状態を模した環境を製作するために、7点面積荷重値に対応した前腕の代表円筒寸法⁽²⁾を参考に直径 80 mm、日本人の成人平均前腕長より長さ 241 mm とする円筒モデルを設計した。そして、実験装置として直径 76 mm の硬質塩化ビニル管にリボンヒータ(MISUMI, MRBH5)を巻き付け、ストッキングを被せ、熱電対(MISUMI, MSEW)、温度調整器(MISUMI, MTCTSD)、SSR(NKK, MSSSR10)を用いて、PID 温度制御系熱源モデルを構成した。

本研究では温度制御ペルチェ素子の制御には秋月電子通商社のペルチェ温度コントロールキットを使用した。制御に PIC マイコン(Microchip Technology, PIC16F887-L/P)を用いた PID 制御であり、ボタン入力により設定された目標値に対し、温度センサ（エスアイアイ・セミコンダクタ, S8120）の信号を用いたフィードバック制御系を構成した。

ペルチェ素子の配置はソケット吸熱面に 1 枚、アルミ板を挟み排熱面に 2 枚の 2 段構造とした。ペルチェ素子(Wellen Tech, TES1-12705)、50×70 mm, t0.6 mm のアルミ板、100×70, t12mm の発泡スチロール断熱材、ヒートシンク、定格回転数 5600 rpm のファン(山洋電気, A46002-003)から構成し、それぞれの接面部には放熱グリス(信越シリコーン, G-747)を用いた。

3. 円筒熱源モデルを用いた前腕義手ソケット内冷却実験

3.1 目的・条件

本実験では、ソケット装着によるソケット内温度上昇の抑制をソケット表面に温度センサを設置した PID 制御式のペルチェ素子を用いて実施した場合の効果の検証をするため、円筒熱源モデルを用いて実験的に比較をすることを目的とする。

円筒熱源モデルに装着するソケットはポリエステル樹脂(テルモリン)とし⁽³⁾、ソケット内を冷却するため、全長の半分の位置に直径 45 mm の孔を 1 箇所設けた。ソケット内壁には、熱伝導性両面テープ(寺岡製作所, 7090)を貼り、熱源モデルと接する面にはアルミニウム箔を取り付け、孔から外気と接している熱伝導性両面テープにペルチェ素子を接するように取り付けた。冷却システム装着時のソケットを Fig. 1 に示す。測定用に、ソケット内温度とソケット外表面温度を温度センサ(Texas Instruments, LM35CAZ)を用い測定した。ソケット内は同一直線上に 22 mm 間隔で 10 箇所、ソケット外表面は 66 mm 間隔で 4 箇所医療用粘着包帯でセンサを貼付し、内部の各々のセンサを閉口部から Ch.1~10、外部を閉口部から Ch.11~14 とした。ソケット測定時の温度センサ配置を Fig. 2 に示す。センサ信号はデータ収録デバイス(National Instruments, USB-6210)とシステム開発ソフトウェア(同, LabVIEW)にてサンプリング周期 1 s、収録時間 900 s とし、ペルチェ素子による冷却は測定開始から 250 s 時を開始点とした。ソケット周囲温度は空調にて 25 °C に設定、室内温度を一定に保つようにした。ペルチェ素子を取り付けたソケットと熱源はセンサ位置が水平になるように発泡スチロール製の箱(内寸 W410×D920×H250 mm)内に設置した。

冷却効果の検証として、円筒熱源モデルとペルチェ温度コントロールキット設定温度はそれぞれ 35 °C と 27 °C、

36℃と28℃の2条件とし、各条件ペルチェ素子装着時と、非装着時ともに3試行測定した。

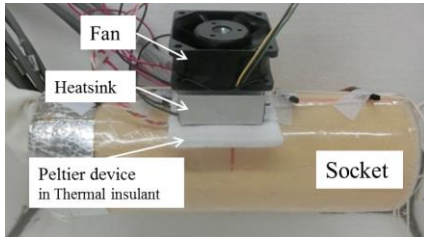
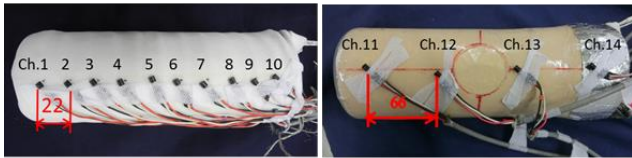


Fig. 1 Cooling system



(a) Inside the socket (b) Outside the socket
Fig. 2 Position of temperature measurement

3.2 結果・考察

円筒熱源モデルとペルチェ温度コントロールキットの設定温度を各35℃と27℃、36℃と28℃としたときのソケット内外(Ch.1~10, Ch.11~14)の温度センサ信号を平均した時系列変動と、冷却システムを取り除いた際の各条件での時系列変動を Fig. 3 に示す。測定開始から250s時の温度分布を Fig. 4 に、測定終了時で定常状態の900s時の温度分布を Fig.5 に示す。

Fig. 3 から各条件で測定開始250sから温度上昇傾向が変化する特徴を確認できた。冷却時と非冷却時の900s時の温度を比較すると、ソケット内平均温度は円筒熱源モデル設定35℃時、非冷却時より冷却時は-1.0℃、設定36℃時は-1.4℃となった。ソケット外平均温度は円筒熱源モデル設定35℃時、非冷却時より冷却時は-1.3℃、設定36℃時は-1.6℃となり、ソケット内外共に低下傾向が確認された。円筒熱源モデル設定温度35、36℃は共に、設定温度変更後のソケット内温度は31.1℃、31.3℃と近い状態となった。

Fig.4 から、測定開始から250sにおける各温度センサの値を比較をすると、孔のペルチェ素子直下 Ch.5, 6の温度は装着前と比べ、各条件で1.0~1.2℃低下している。温度センサの公称誤差は±0.5℃のため、ペルチェ素子の影響があると考えられる。250s時は冷却システム稼働前であるため、孔とソケット内壁面に取り付けた熱伝導性両面テープの効果で高温部の円筒熱源モデル体表面の熱が低温部のペルチェ素子に移動した影響から温度が低下したと考えられる。Fig. 5 の900sにおける各温度センサの値を比較すると、ペルチェ素子直下の Ch.5, 6の温度は円筒熱源モデル設定温度35, 36℃で冷却時と非冷却時とで各々-1.4℃と-1.2℃の差があり、その他のセンサ位置でもソケット内温度は-0.4~-1.4℃、ソケット外温度は-0.4℃~-2.3℃低下した。Fig. 3 から冷却開始直後のソケット内外温度が大幅に低下していることから冷却効果は確認された。ソケット内温度の低下はペルチェ素子の冷却効果による熱移動の影響であると考えられるが、本実験で使用している箱内の容積が0.094 m³と限られた空間内でファンを使用することにより、空気の対流によるソケット内温度低下が懸念される。

4 まとめ

ソケットの設計・調整指針の確立のため、前腕を模した円筒熱源モデルを用いて材質、形状等の設計因子が伝熱特性への影響の比較を行った。ソケット装着による温度上昇を抑制することを目的とし、ペルチェ素子を用いた冷却実験を実施した。ペルチェ素子の制御を行うことによって、ソケット内温度を下げる効果があることを確認した。ただしペルチェ素子による冷却効果そのものかペルチェ素子を冷却するためのファンによるソケット周囲の対流の影響かの明確な区別には至っておらず、今後実験を進めたい。

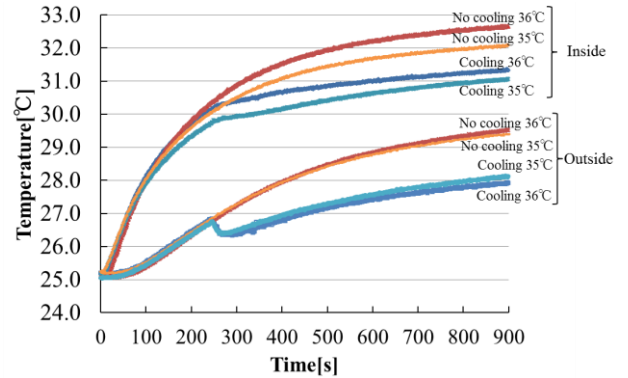


Fig. 3 Time variation of inner and outer socket temperature

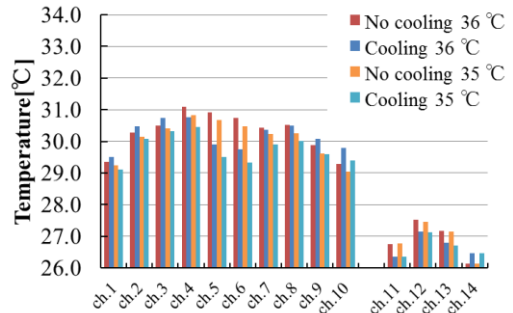


Fig. 4 The temperature at 250 s

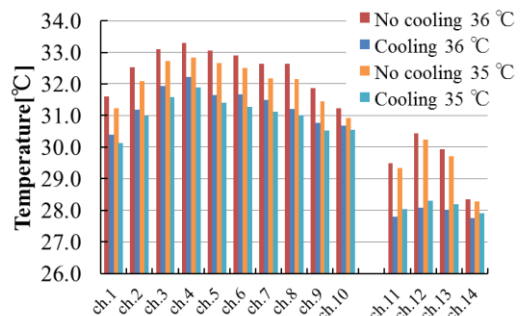


Fig. 5 The temperature at 900 s

参考文献

- (1) 蜂須賀研二, 他7名, 義足におけるインターフェース評価—特に生物学的適合の観点から—, 日本義肢装具学会誌, Vol.17, No.2, pp.112-117, 2001.
- (2) 持田 徹, 森山 敏彦, 人体を円筒モデルとした対流熱伝達率の研究. 北海道大学工学部研究報告, 140, pp.39-50, 1988.
- (3) 大西謙吾, 他3名, ソケットの熱伝達的等価モデルを用いた伝熱特性評価, 第31回日本義肢装具学会大会講演集, Vol.31特別号, p.249, 2015.