

補助事業番号 2024M-461
補助事業名 2024年度 ウェアラブル深部体温センサのためのリファレンスフリー校正法の開発 補助事業
補助事業者名 東京科学大学工学院機械系 橋本優生

1 研究の概要

本研究では、深部体温の代表的なウェアラブル計測手法である熱流束法において、従来の初期校正のような高い侵襲を伴う参照値の計測を不要とするリファレンスフリー校正法の開発を行った。数値解析及びプロトタイプを用いた臨床実験により、開発手法の有効性を示した。

2 研究の目的と背景

温暖化の進行に伴い熱中症発症者が増加する現代において、熱中症予知に有益な生体情報の1つである深部体温を活動下で簡便に計測する技術が求められている。現在、一般的に用いられる手法では直腸や食道にプローブを挿入し直接深部体温を測定するため侵襲性が高く測定負担が大きい。一方、近年、皮膚表面の熱流から深部体温を推定する手法（熱流束法）が開発され、深部体温を計測するウェアラブルセンサの開発が進むものの、計測開始時の初期校正のため、上記侵襲を伴う手法で測定された参照値が必要となることが実用上の課題の1つである。本研究では、着用者の安静中における、当該センサ装着直後からの皮膚温度の時間変化に着目し、上記のような高い侵襲を伴う計測を行うことなく初期校正を可能とする「リファレンスフリー校正法」の開発に取り組んだ。

3 研究内容

本事業では目標を達成するために「①数値解析による机上検討」および「②試作機を用いた臨床実験による検証」を実施した。 <https://sites.google.com/view/yuki-hashimoto>

① 数値解析による机上検討

計測プローブの装着開始から装着後を模擬した2段階の数値計算モデルを開発し（図1）、当該モデルを用いた数値熱流体解析により、提案手法の有効性の机上検討を実施した。計算結果の概要を図2に示す。校正パラメータの1つである α の変化に応じ、皮膚の温度応答性を示す時定数 τ が変化することが確認され（同図a）、 τ は α の多項式で精度よく近似できることを確認した（同図b）。また、もう一つの校正パラメータ β に関しては、開発した

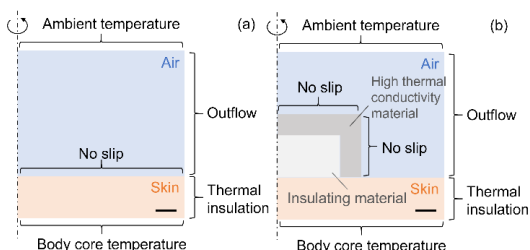


図1 提案手法の実施形態を模擬した数値計算モデルとその境界条件の概要。(a) 測定プローブ装着前。(b) 測定プローブ装着後。各スケールバーは5 mmを表す。

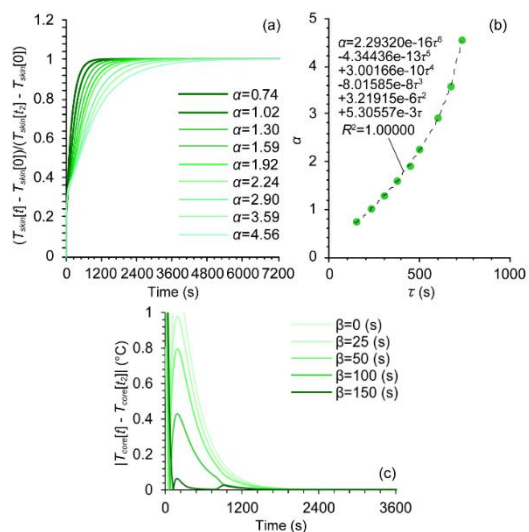


図 2 数値解析結果の概要. (a) 異なる α の値の場合における正規化した皮膚温度の時間変化. (b) α と τ の関係. (c) $\alpha = 1.30$ の場合に、 β を変化させた際の $|T_{core}[t] - T_{core}[t_2]|$ の時間変化.

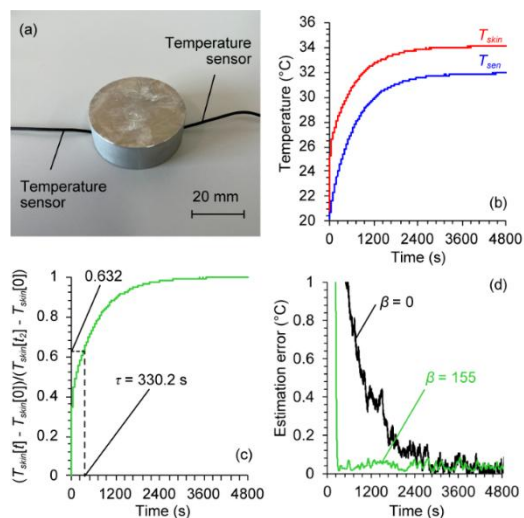


図 3 臨床実験結果の概要. (a) プロトタイプの外観. (b) T_{skin} と T_{sen} の時間変化. (c) 正規化した皮膚温度の時間変化. (d) 推定誤差の時間変化.

アルゴリズムで β を適切に決定すると、体温計の国際標準規格相当の範囲内で初期校正できることを確認した（同図c）.

② 試作機を用いた臨床実験による検証

試作機（図3a）を用いた臨床実験による提案手法の検証を実施した。装着直後からのプローブ内の温度履歴（同図b）を基に提案手法を用いて校正を行った結果、食道温を用いて校正した場合と校正パラメータが高い精度で一致し、数値解析結果と同様に、体温計の国際標準規格相当の範囲内で初期校正できることを確認した（同図cd）.

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本事業で開発した校正手法は、既存の熱流束型深部体温センサに実装可能な手法であり、当該センサによる非侵襲深部体温計測のハードルを大きく下げ、熱流束法に基づくウェアラブル深部体温センサの利活用の幅を大きく広がっていくことが期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者は熱流束法に基づく深部体温センサの研究を進めており、従来法で課題であった環境変化による誤差を低減する機構を搭載した深部体温センサを開発した (Hashimoto, et al., 2024). 当該センサと本事業で開発する校正方法を組み合わせることで、簡便かつ高精度な深部体温センサの実現が期待できる。当該センサと既存の生体センサを組み合わせ、熱中症研究に活用していきたいと考えている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

Y. Hashimoto, S. Tada, Y. Nishida, “Reference-Free Calibration for Wearable Core Body Temperature Sensor Based on Single-Heat-Flux Method,” *IEEE Sen. Lett.*, vol. 8, no. 9, pp. 1-4, 2024. <https://doi.org/10.1109/LSENS.2024.3435965>

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

特になし

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東京科学大学工学院機械系（トウキョウカガクダイガク）

住 所： 〒152-8552

東京都目黒区大岡山2-12-1

担 当 者： 助教 橋本優生（ハシモトユウキ）

担 当 部 署： 工学院機械系（コウガクインキカイケイ）

E - m a i l： hashimoto.y.e45a@m.isct.ac.jp

U R L： <https://www.lcdlab-titech.com>