

リストバンド型省エネ個別暖房デバイスの設計と実装

徳田 貴拓 (15809059)

ロペズ研究室

1 はじめに

近年、省エネルギー政策の推進により、電力使用制限が執行されている。その結果、今まで豊富な電力により実現されていた快適環境が崩壊し、健康危機、労働生産性の低下などの問題が起こっている。

また、エアコンやストーブ等の、空気を媒介として体温調節を行う現在主流の空調システムでは、個人間の体感温度の差を埋めることは難しい。そのためオフィスや学校などの共同空間では、空調能力に対する不足感を補うために、夏には扇風機を使用したり、冬には膝掛け毛布を使用したりするなど、個人がそれぞれに対応しているのが普通のこととなっている。

この状況下で、空気を介さず人体を効率よく直接冷却・加熱できるウェアラブル局所冷暖房機能（ネックウェア）が板生らによって開発された[1]。しかし、現行のネックウェアでは、排熱のために、水冷用のパイプとウォーターポンプ、ラジエータを用いた冷却システムを必要とするため小型化が難しい。また加熱時には指先や足先などの末端の冷えによる不快感に対応することができない課題がある。

そこで本研究では、より小型かつ、末端の冷えによる不快感を解消するバンド型暖房機能（PICO-BAND: Personal Intelligent Comfort Control-Band）を提案している。PICO-BAND を実際に開発し、装着時の手先の温度の推移を計測することで、身体への影響を検証した他、装着者の温度に対する「慣れ」を防ぐことで加熱感を持続させる制御法「波状制御」を提案し、その効果を検証した。

2 手首の加熱が身体へ与える影響の検証

2.1 温熱源の選定

本デバイスでは、手首の温熱源として加熱に関して電熱線よりもエネルギー効率が良いペルチェ素子を用いた[2]。また、ペルチェ素子は電流の方向を逆転させると加熱面と冷却面が入れ替わる性質があるため、将来的な機能拡張として、冷却機能を持たせることができる。

2.2 加熱部の構造設計と温度制御方法

ペルチェ素子と銅板の間に埋め込んだサーミスタにより、皮膚との接触部である銅板の温度を計測している。サーミスタから連続的に計測された銅板の温度をフィードバック情報としてマイコン（Atmel 社製 ATmega328P）に返し、設定温度に保つよう出力電力の制御を行う。温度制御法としてフィードバック制御（PID 制御）を実装することで、銅板の設定温度を 1℃ 単位で設定可能にした。

低温やけどの危険性[3]を考慮し、最高設定温度は 40℃とした。また、PID 制御のパラメータは限界感度

法により求めた。オーバーシュートによって瞬間的に設定以上の温度が出力されることを防ぐため、設定温度を超えないよう、手動調整を行った。

2.3 実験方法

試作機を作成し、平均室温 25℃の環境下で、被験者の右手首内側に試作機の加熱面を接触させ、40℃に温めた際の身体の状態変化を検証した。被験者は安静状態の成人男性 4 名、成人女性 1 名であった。各被験者の体表面温度（中指、手の平、手の甲）と、加熱面から右手首への熱流量を計測した。図 1 に実験時の計測項目と測定機器を示す。

電源 ON 時と OFF 時の 2 パターンを別の日に分けて実験を行い、各実験前には 10 分間の安静時間を設けた後、10 分間生体情報の計測を行った。

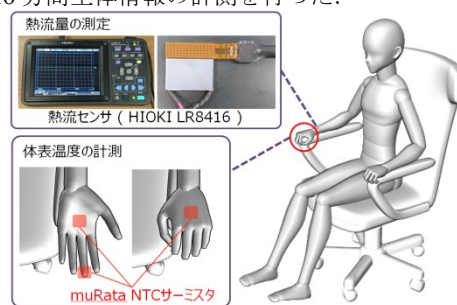


図 1 実験時の計測項目と機器

2.4 結果と考察

5 名中 3 名に加熱有無の間の変化が見られず、2 名においては、加熱時に指先温度の低下が見られた。アンケートの結果、加熱によって指先の体表温度が低下した 2 名は冷え性であった。図 2 に通常の被験者と冷え性の被験者の体表温度の推移の一例を示す。

また、図 3 に、加熱部から手首方向への熱流量の推移の一例を示す。どの被験者においても、加熱を開始した直後は多量の熱が手首に移動し暖かく感じるが、120 秒程度で熱流量 300~400[W/m²]を推移するようになり、ほとんど加熱感を感じなくなることを確認した。

手首の加熱により、体内の熱を排出する方向に生理的作用が働いたと考えられ、冷え性の被験者に関しては、その生理的作用がより強く働いたと考えられる。

また、デバイスの加熱部から手首への熱の流入速度が、装着者の加熱感の強さに関与していることが示唆された。そこで、熱の流入量を一定ではなく、持続的に変化させることで、より高い加熱感を与えられるのではないかと考えた。

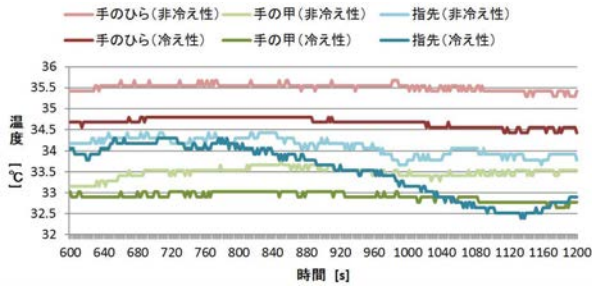


図 2 体表温の推移比較

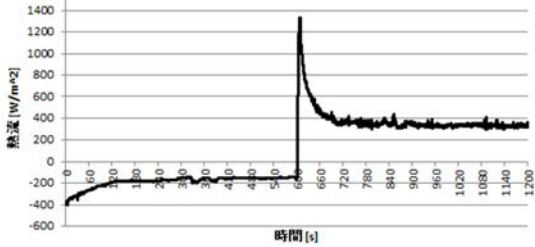


図 3 加熱部から手首方向への熱流量

3 試作機のウェアラブル化 (PICO-BAND の実装)

3.1 加熱部の構造と制御部の改良

試作機をベースに、構造の改良とウェアラブル化を行った。図 4 にその外観と、底部の加熱部の構造を示す。

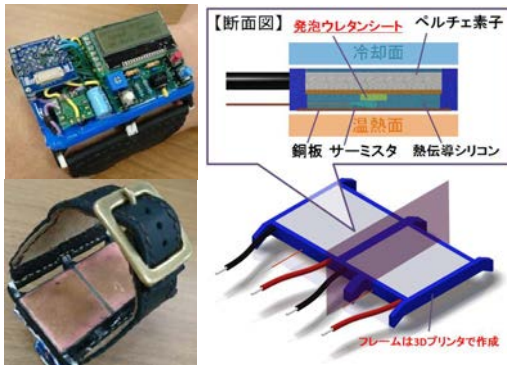


図 4 PICO-BAND の加熱部の内部構造と外観

3.2 温度の波状制御アルゴリズム

手先側と身体側の出力の ON/OFF が、10 秒ごとに切り替わるようにした。これにより、皮膚との接触面の温度は 20 秒を周期として約 2°C の温度変化を繰り返す。図 5 に、設定温度 40°C 時の加熱部の比較グラフを示す。

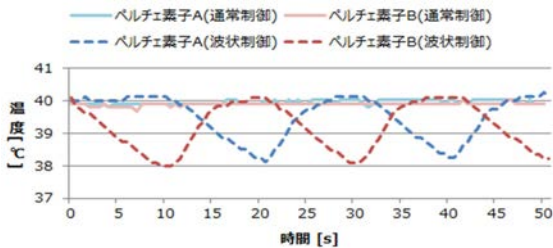


図 5 制御方法による温度推移の比較 (40°C 設定)

4 装用者の持続的な加熱感の検証実験

4.1 実験方法

被験者の左手首甲側に PICO-BAND (設定温度: 40°C) を装着し、従来の温度一定の制御法 (通常制御) と、温度を周期的に変化させる制御法 (波状制御) でそれぞれ、10 分間手首を加熱し、装用者が PICO-BAND との接触部に感じている温度についてアナログスケール (-100 ~ +100) で回答させた。また、実験終了時に「前半と後半どちらが暖かさを感じたか」「指先が温まる感覚の有無」「身体が温まる感覚の有無」のアンケートを実施した。被験者は成人 22 名 (男性 14 名, 女性 8 名) で、安静状態で実験を行った。

4.2 結果と考察

図 6 に示すように、86% の被験者において、通常制御よりも波状制御の方が、腕に感じる熱さが上昇した (平均 48 → 62.5)。また t 検定の結果でも、装用者の加熱感が優位に高いことが確認された (1% 優位水準)。このことから、波状制御の方が、より長期に渡り高い加熱感を持続させることができると言える。またアンケートの結果 59% の被験者が「腕が暖められたことで、身体が温まったと感じた」と答えた。ここから、腕を温めることで、身体が温まっていると錯覚させ、「寒さによる不快感」を軽減する効果があることが示唆された。

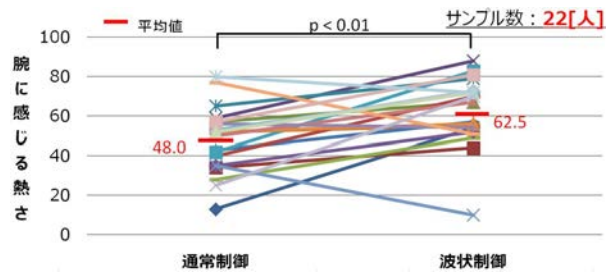


図 6 制御法による加熱感の比較とアンケート結果

5. おわりに

PICO-BAND の試作機を開発し、手首装着時の身体への影響を検証した結果、冷え性の装用者の場合は指先の体表温度が低下した。また、加熱部から手首方向の熱流量の減少に伴って、次第に装着者の加熱感が消失することが確認された。そこで、試作機をウェアラブル化したリストバンド型個別暖房デバイス「PICO-BAND」を開発した上、温度制御に波を発生させる制御法「波状制御」を実装し、加熱感の持続性を検証した。その結果、波状制御の方が通常制御に比べ、装用者の加熱感が優位に持続することが確認された。また腕の加熱により「身体が温まった」と錯覚させる作用が示唆された。

今後は、より厳格な実験環境の元、各種生体センサを使用し、体表温度の低下の原因を解明するとともに、波状制御の最適化により、装用者の加熱感の持続性と省エネ化を追及する。

文献

- [1] 板生 清, “快適・省エネヒューマンファクターに基づくエンジニアリングの概念”, 2013 年度精密工学会秋季大会シンポジウム資料集, pp.20-21
- [2] 佐藤 伸也, “ペルチエ加熱の成績係数の評価”, サレジオ工業高等専門学校 卒業研究, 2011
- [3] 山田幸生, 「製品と安全 第 72 号」低温やけどについて, 製品安全協