

お風呂の温度を浴室外で体感しよう

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科

畠山・岩瀬研究室(A班)

代表者氏名：佐藤泰彦, 金子仁

概要

本実験の目的は、遠隔地で外部環境の温度を取得し、その温度を体感できるように再現するシステムを開発することである。

本実験では、遠隔地で温度情報を取得するための温度取得システムとその温度を体感するための温度再現システムを製作する。そして、製作した温度取得システムと温度再現システムに対し、温度追従実験を実装することで、システムの動作を確認する。温度取得システムでは、外部環境から温度情報を取得するために、温度センサを利用する。取得した温度情報を使用者に提示するための4桁7セグメントLEDを使用した温度表示回路を製作する。そして、取得した温度情報を遠隔地に存在する温度再現システムへ送信する。温度再現システムでは、温度取得システムから送信される外部環境の温度情報を受信する。温度再現システムでは、使用者が直接温度を体感できるように、加熱するためにペルチェ素子と、冷却するためにDCファン、温度を取得するために温度センサを使用する。温度追従実験では、製作したシステムの動作を確認する。具体的には、温度取得システムの温度センサの値を変化させ、温度再現システムから得られる体感温度がその温度と一致するように定温制御が実装されるかを確認する。

本実験の結果として、温度取得システムと温度再現システムを製作した。温度取得システムと温度再現システムに対し、温度情報を表示するための温度表示回路を製作した。そして、温度再現システムで放熱板にペルチェ素子、DCファン、温度センサを固定するためのフレームをそれぞれ設計し、3Dプリンタによって製作した。このとき、使用者が直接温度を体感できるように、指先と放熱板が直接接触れるように設計した。そして、温度追従実験では、温度取得システムは、温度センサにより浴槽を想定した恒温槽の温度情報を取得し、RaspberryPiへ出力、その数値を温度表示回路で表示した。そして、その温度情報を無線LANによって、温度再現システムへと送信した。温度再現システムでは、放熱板の温度をペルチェ素子とDCファンによって、受信した温度と一致するような定温制御が実現された。恒温槽の設定温度を初期温度30℃から最大温度45℃まで5℃刻みで加熱させたときの温度取得システムの温度センサの値と、温度再現システムの放熱板の温度の時間応用のログデータを取得した。

本実験の結論として、遠隔地で外部環境の温度を取得するための温度取得システムと、その温度を体感するための温度再現システムを製作した。そして、温度追従実験を通して、2つのシステムの動作を確認した。したがって、本実験の目的を達成することができた。

1. 社会的背景・目的

現在、日本は超高齢化社会と呼ばれ、高齢者の割合が増加している。高齢者の日常生活には、様々な問題が生じている。その一例が温度差による心臓発作である。外気温の急激な変化は、血圧の急激な変化に繋がる。この結果、心臓や血管に一時的に大きな負荷が生じるため、心筋梗塞などの心臓発作の引き金となる。この現象が顕著に現れるのが、冬場の浴室である。暖かいリビングから寒い脱衣所へ移動し、熱いお湯に浸かることになる。このため、激しい温度変化を繰り返すこととなり、心臓や血管に負荷がかかりやすくなる。そして、高齢者はお湯の温度に鈍感になるため、40℃以上の熱いお湯に長時間浸かることが多い。熱いお湯に長時間浸かることも心臓や血管への負担となる。^[1]したがって、予め外気温やお湯の体感温度を知っておくことにより、急激な温度に対する対策を講じることが必要となる。しかし、温度をただ数値的に見るだけでは、その環境を想像しにくい。このため、人間の表皮で直接その温度を体感することで、より直感的に温度差を知覚できるのではないかと考えた。

そこで、本実験の目的は、遠隔地で外部環境の温度を取得し、体感できるようにその温度を再現するためのシステムを開発することである。

2. 実験日時

実験日：10月30日(火)、天候：はれ、温度：25.0℃、湿度：45.0%

実験日：12月14日(金)、天候：はれ、温度：20.3℃、湿度：52.2%

3. 使用機器、使用部品

本実験で使用した機器および電子部品を表1にまとめる。

表1 本実験で使用した実験機器および電子部品

機器名・部品名	型番・特徴	個数
RaspberryPi	RaspberryPi Zero WH	2
温度センサモジュール	ADT7410	2
ペルチェ素子	TEC1-12706	1
4桁7セグメントLED	0SL40562-LB	2
33kΩ抵抗	1/4W	16
シンクドライバ	TD62083APG	2
7セグメントドライバ	CD74HC4511E	2
MOSFET	EKI04036	2
ヒートシンク	15x25x11 mm	2
ピンヘッダ	-	適宜
CPUクーラ	Dell Vostro CP825	1

4. システム構成

本実験で構築するシステムの構成について説明する。本実験では、温度取得システムと温度再現システムの2つのシステムを構築する。温度取得システムでは、外部の気温や水温を取得し送信する。温度再現システムでは、放熱板を加熱および冷却することにより、受信した温度を再現する。使用者は温度再現システムの放熱板に直接指の表皮で触れること外部の温度を体感する。温度取得システムと温度再現システムのシステム構成を図1に示す。

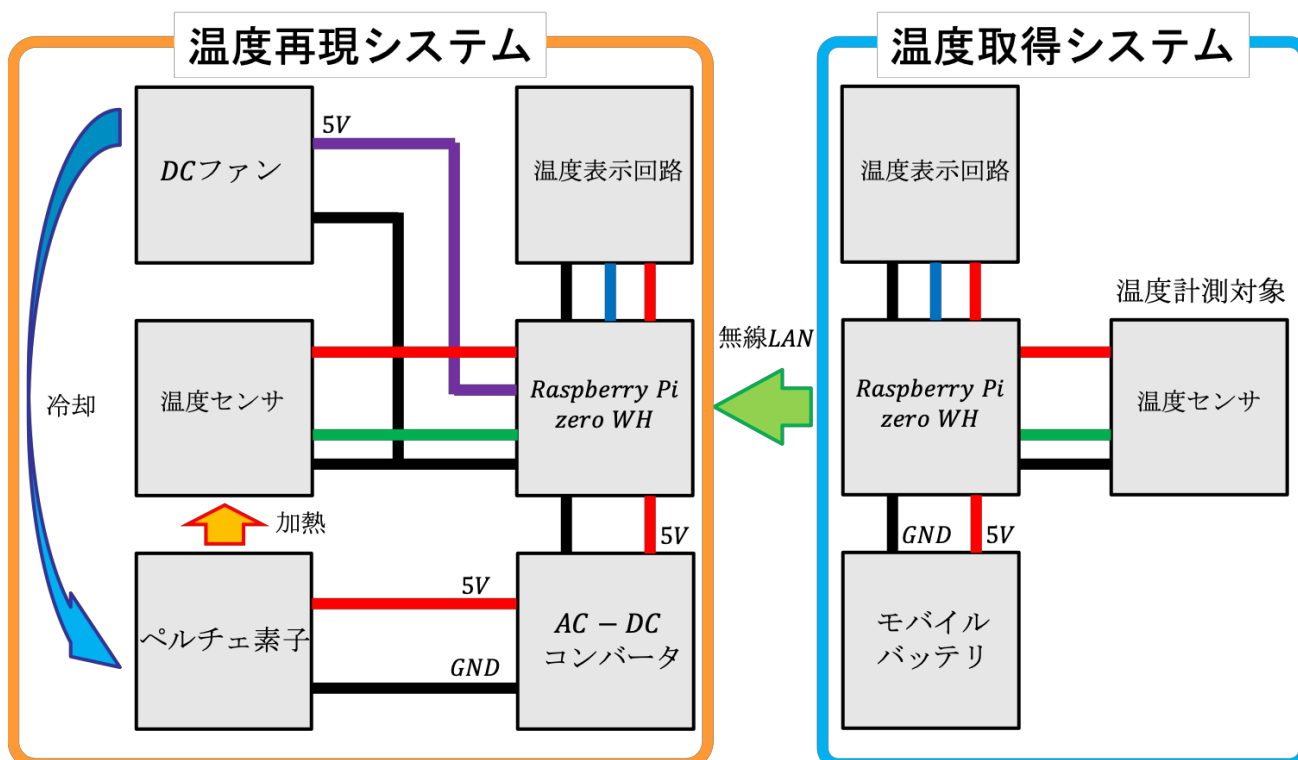


図1 温度取得システムと温度再現システムのシステム構成

図1の温度取得システムでは、浴室や屋外などの環境でも使用できることを想定し、小型軽量化を目標としているため、システムの電源供給はモバイルバッテリーを使用する。温度センサを温度計測環境に接着させ、環境の温度情報をRaspberryPiへ出力する。取得した温度情報を温度表示回路の4桁7セグメントLEDで表示する。そして、取得した温度情報を温度再現システムへ送信する。この際、温度取得システムと温度再現システムは互いにアドレスを取得しているため、遠距離での無線通信が確立されているものとする。

そして図1の温度再現システムでは、コンセントから得られる交流をAC-DCコンバータにより変換し電源としている。温度再現システムでは、加熱モードと冷却モードを切り替えることで温度を制御する。加熱モードでは、ペルチェ素子に電力を供給し、接着されている放熱板を加熱する。冷却モードでは、ペルチェ素子への電源供給を断ち、DCファンへ電源供給することによって加熱された放熱板を冷却する。放熱板には温度取得システムの温度センサと同一の温度センサが接着されており、取得する温度情報をRaspberryPiへ出力し、温度表示回路の4桁7セグメントLEDに表示する。温度再現システムは温度取得システムから受信する温度情報を閾値として、加熱モードと冷却モードを交互に切り替えることにより、温度情報の再現を実現する。

5. 実機製作

本章では、本実験で製作する温度取得システムおよび温度再現システムを製作する。温度取得システムと温度再現システムには、取得温度情報を表示するための温度表示回路が必要となる。そして、温度再現システムでは、温度を再現するために加熱・冷却する放熱板と、ペルチェ素子、DC ファン、温度センサを配置するためのフレームを製作する必要がある。

本実験で設計した温度取得システムと温度再現システムの回路パターンをそれぞれ図 2 と図 3 に示す。温度取得システムと温度再現システムでは温度情報を表示させるために、4桁7セグメントLEDを利用する。本実験では4桁の7セグメントLEDを表示させるために、ダイナミック点灯方式を採用する。7セグメントLEDを制御するための配線は温度センサと同様にRaspberryPiのGPIOピンに接続している。加えて、温度再現システムのための回路では、ペルチェ素子とDCファンをそれぞれ動作させる必要がある。このため、ペルチェ素子とDCファンに対し、パワーMOSFETを利用して電源供給を直接制御できるように設計している。そして、温度取得システムと温度再現システムの回路はシステムの小型化を目標とするため、RaspberryPiのGPIOピンの直上に接続されるように設計している。実際に製作した温度取得システムと温度再現システムの回路基盤を図4と図5に示す。

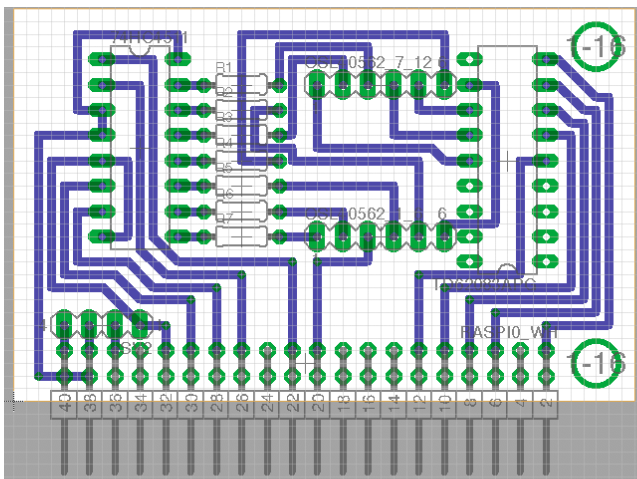


図 2 温度取得システムの回路パターン

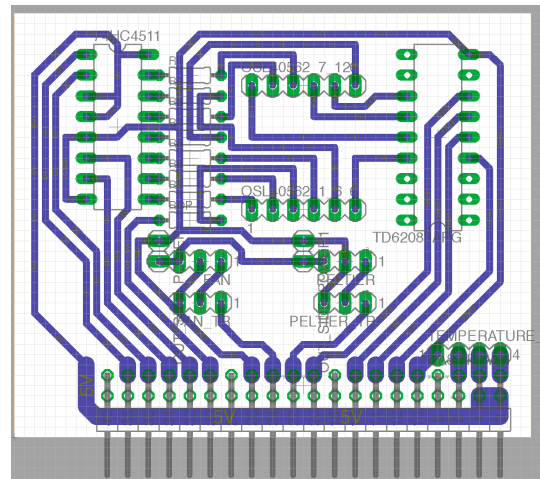


図 3 温度再現システムの回路パターン



図 4 製作した温度取得システムの回路基盤



ペルチェ素子用 DCファン用 温度センサ

図 5 製作した温度再現システムの回路基盤

そして、本実験で製作する温度再現システムでは、温度を再現するために放熱板とペルチェ素子、DCファン、温度センサを利用する。各 부품の配置関係を図6に示す。

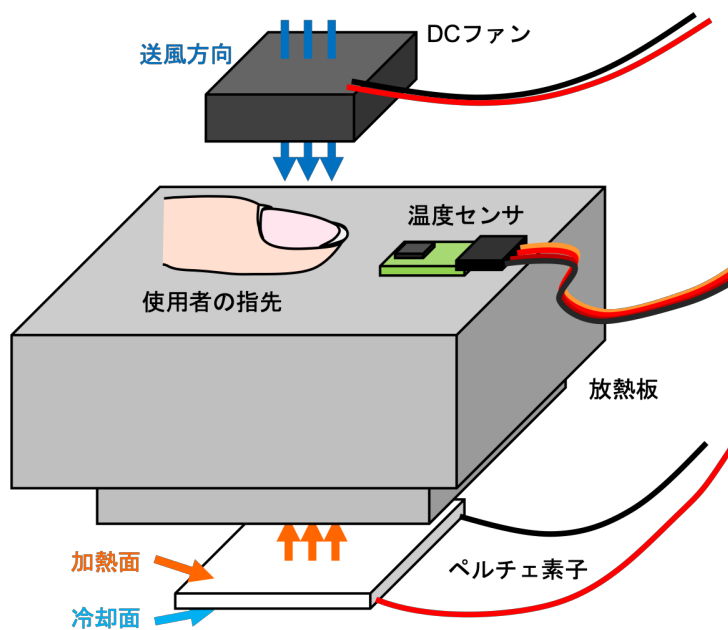


図6 温度再現システムの放熱板周辺の部品配置関係

図6のように、放熱板の下面にペルチェ素子の加熱面、放熱板の表面部分に温度センサ、放熱板の上方にDCファンを配置することにより、放熱板の温度を制御する。温度再現システムの放熱板の中央部分を使用者が指先で直接触れることで、再現される温度を体感する。ここで、本実験で使用する放熱板の大まかな寸法を図7に示す。

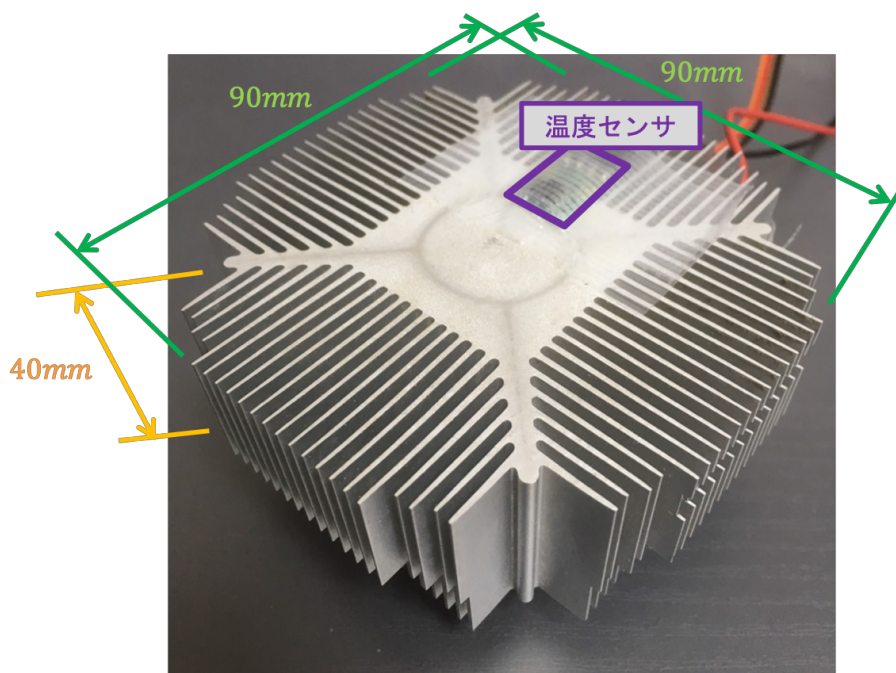


図7 温度再現システムの放熱板の寸法

図7のように、放熱板は幅90mmの正方形であり、高さ40mmの直方体である。図7の放熱板の中央部分を直接指先で触れることが可能であり、尚且つ図6のように部品を配置するために、3Dプリンタを利用して固定用のフレームを製作した。設計した各固定用フレームの大まかな寸法を図8から図12に示す。製作した温度再現システムの全フレームの組み立て後の外形を図13に示す。そして、完成した温度取得システムと温度再現システムをそれぞれ図14と図15に示す。

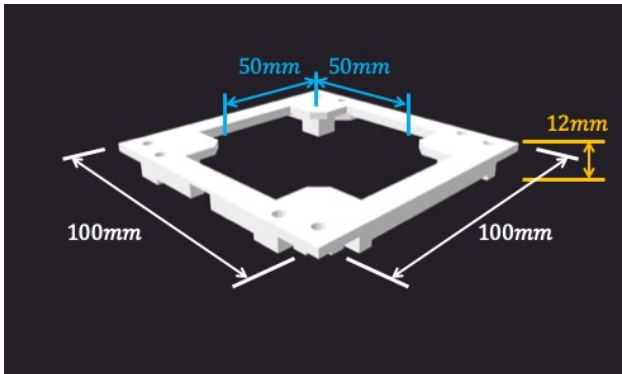


図8 放熱板とDCファン固定用フレームの寸法

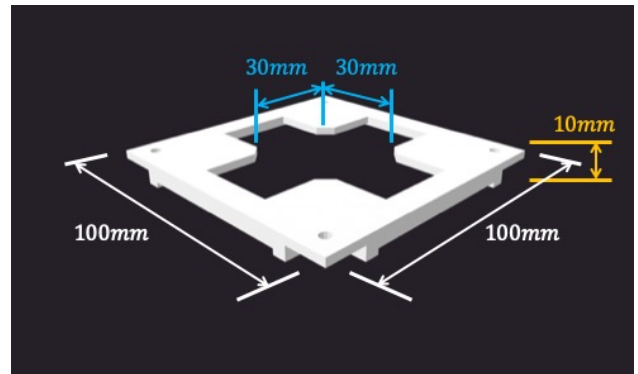


図9 放熱板とペルチェ素子固定用フレームの寸法

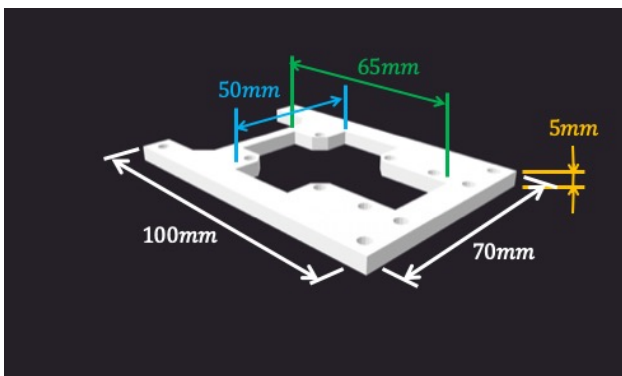


図10 DCファン固定用フレームの寸法

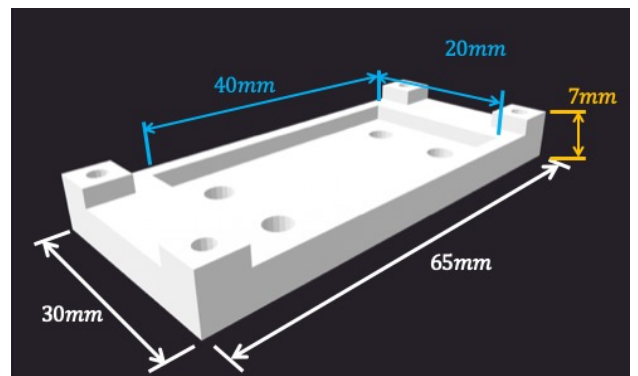


図11 RaspberryPi 固定用フレームの寸法

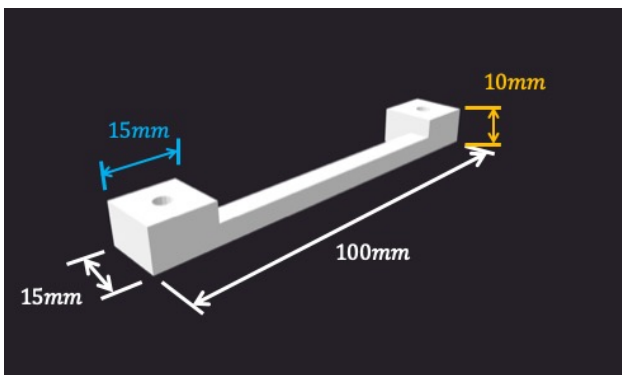


図12 放熱板固定用フレームの寸法

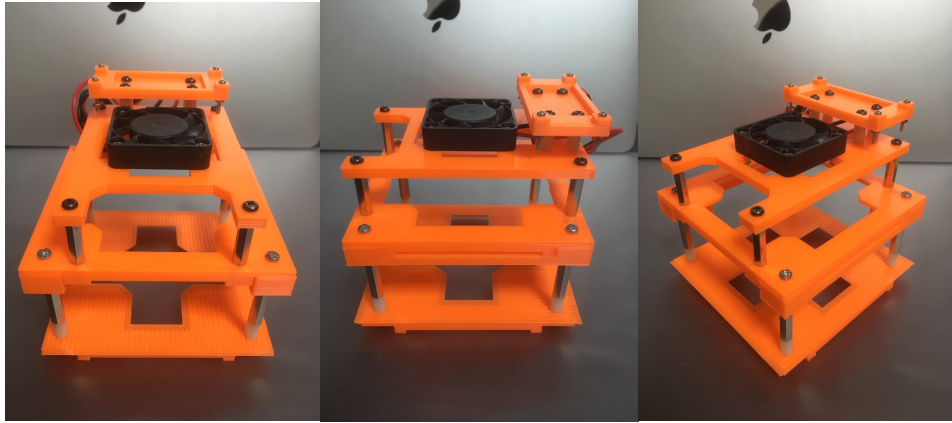


図 13 製作した温度再現システム的全フレームの組み立て後の外形

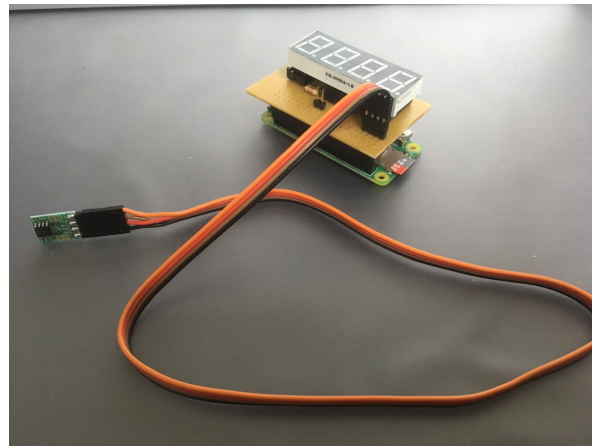


図 14 製作した温度取得システム

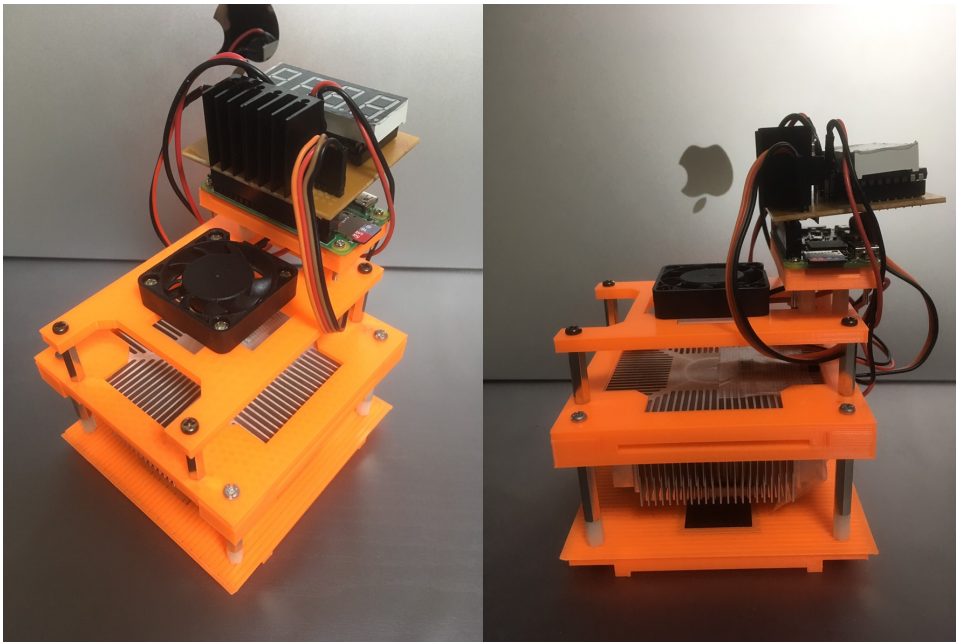


図 15 製作した温度再現システム

以上のことから、図 14 と図 15 のように、温度取得システムと温度再現システムを製作した。

6. 温度追従実験

本実験では、製作した温度取得システムと温度再現システムを使用し、本システムの動作を確認する。動作と有効性を確認するために、本システムを使用して、温度追従実験を実装する。温度追従実験では、温度取得システムの温度センサの温度を徐々に変化させたときの温度再現システムの放熱板の温度変化を確認する。本実験では浴槽の水温を再現するという状況を模倣するために、温度取得システムの温度センサを恒温槽に入れる。恒温槽の初期の水温を 30°C に設定する。その後、温度再現システムの放熱板の温度が温度取得システムの温度と一致した場合には、恒温槽の設定温度を 5°C 上昇させる。一般的な浴槽の温度が 40°C 前後とされており、^[2] 高めの設定温度として最大温度を 45°C とした。よって、作業工程を恒温槽の温度が 45°C になるまで繰り返す。本実験の実験環境を図 16 に示す。そして、実験環境の構成図を図 17 に示す。



図 16 温度追従実験の環境

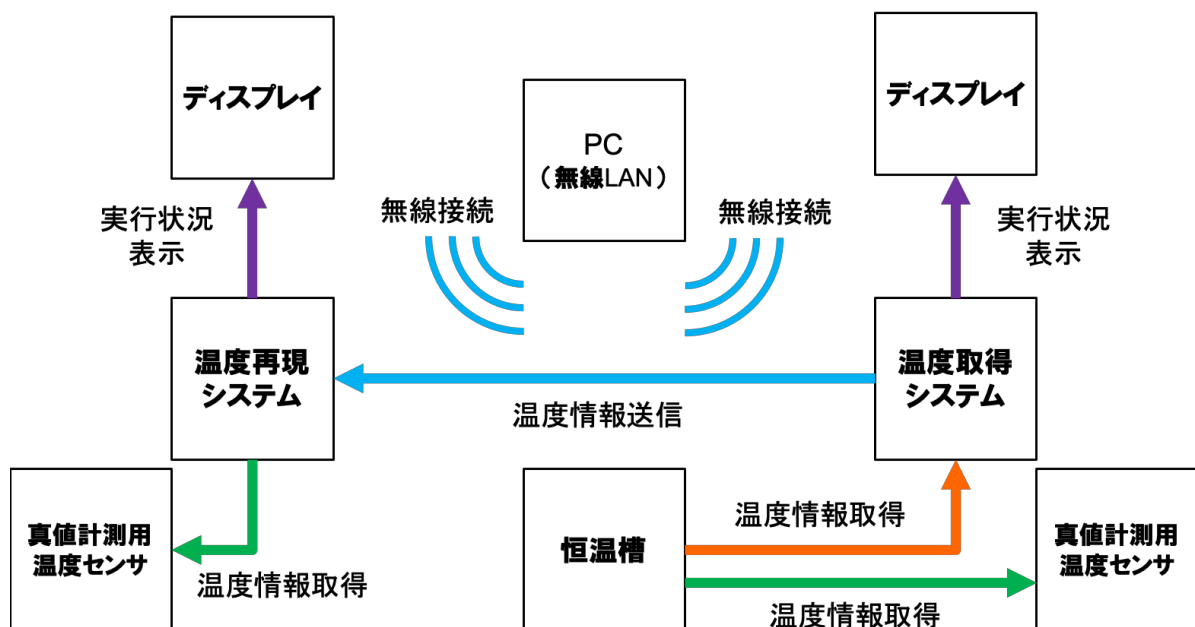


図 17 温度追従実験の環境の構成

図 17 より，温度取得システムでは，恒温槽から水温の温度情報を取得し，温度再現システムへ無線送信している．温度再現システムでは，受信した温度情報に一致するまで放熱板の温度を加熱・冷却する．

本実験の結果について述べる．温度追従実験を通して，本システムの動作と有効性を確認した．本システムの動作については，温度取得システムでは，恒温槽内に固定されている温度センサで取得した水温情報が温度表示回路に表示されることを確認した．このとき，真値計測用温度センサとの誤差は最大 2.5°C となった．温度取得システムのプログラムの更新周期は 6 s であることを確認した．そして，温度取得システムで取得した温度情報が温度再現システムへ送信されていることを確認した．

一方，温度再現システムは，受信した温度と一致するまで加熱モードと冷却モードを繰り返しながら放熱板の温度を変化させた．そしてその際の温度情報を温度表示回路に表示していた．このときの真値計測用温度センサとの最大誤差は 4.3°C となった．温度再現システムのプログラムの更新周期も 6 s であることを確認した．以上の結果から，本実験で製作したシステムが正常に動作することを確認した．温度取得システムと真値計測用温度センサとの間に誤差が生じた原因としては，恒温槽内の各温度センサの位置にズレが生じていることや，本システムで使用している温度センサの精度が粗いことが挙げられる．温度再現システムと真値計測用温度センサとの間の誤差の原因に関しても同様に，放熱板状での各温度センサの位置にズレが生じていることや，センサの精度の粗さが原因として挙げられる．さらに，真値計測用温度センサの計測部分の形状は円柱状であることに対し，本システムで使用している温度センサは接触面で温度を計測する形状である．このため，真値計測用温度センサの放熱板との接触面積の違いによるものであると考えられる．

そして，本実験で温度取得システムが取得した温度の時間応答と温度再現システムの放熱板の温度の時間応答のログデータを図 18 に示す．

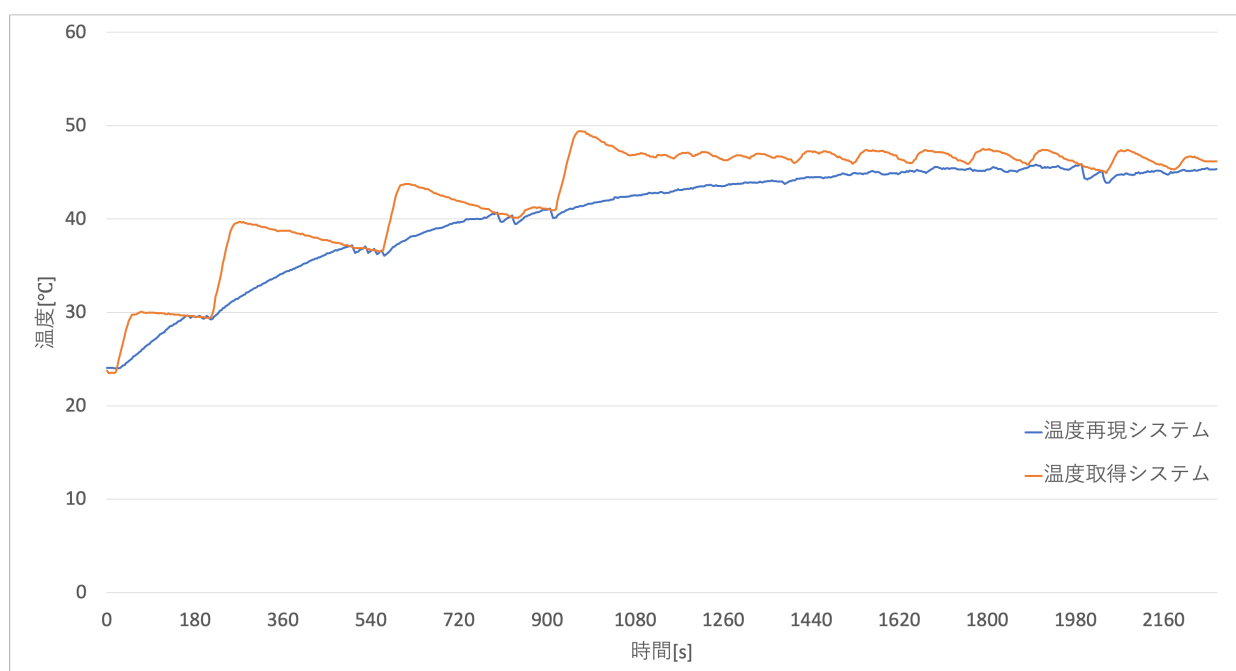


図 18 温度追従実験の時間応答

図 18 から、温度取得システムで恒温槽から取得した温度の時間応答に注目すると、温度変化の安定時について、初期温度 30°C から最大温度である 45°C まで 5°C 刻みで加熱されていることがわかる。同様に、温度設定変更時に設定温度より 5°C ほど高く変化していることも確認できる。これは恒温槽の特性であると言える。そして、温度再現システムの放熱板の温度の時間応答に注目すると、恒温槽の温度が安定化したときの温度に追従して温度が上昇していることが確認できる。そして、温度取得システムから受信した温度情報より放熱板の温度が低い場合には、加熱モードとなり温度が上昇しており、温度が高い場合には、冷却モードとなり温度が低下していることが確認できる。恒温槽の温度が最大温度 45°C の場合にも、最終的に 45°C に収束している。温度再現システムが冷却モードになった場合の温度の低下の変化量は、再現温度の上昇に対応して増加していることが確認できる。以上のことから、本システムを使用した温度の追従に成功していると考えられる。したがって、温度追従実験を通して、本システムの動作を確認できたと考えられる。

7. 考察

本実験では、温度取得システムと温度再現システムの双方を製作し、温度追従実験で動作確認した。本章では、本実験で製作したシステムの有効性を検証する。有効性の検証方法として、複数人の協力の下、アンケートを実施した。アンケートの環境としては、本システムで動作確認した温度追従実験と同様の実験環境を構築する。このときの恒温槽の温度は、一般的な浴槽の温度である40~42°Cの範囲内^[2]と指定し、温度再現システムの放熱板の温度との温度差が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ である状態としている。アンケートでは、温度再現システムの放熱板の温度と恒温槽の水温に対し、放熱板の温度から想像した水温がどの程度一致しているかを5段階で評価する。5段階評価とは、“完全に一致している”、“概ね一致している”、“まあまあ”、“違う”、“全く違う”である。そして、温度再現システムの放熱板の温度と恒温槽の水温のどちらが熱いかについても、“放熱板の方が熱い”、“どちらも同じ”、“恒温槽の水温の方が熱い”の3段階で評価する。

アンケート参加者17人によるアンケート結果について、5段階評価の棒グラフを図19に、3段階評価の円グラフを図20に示す。

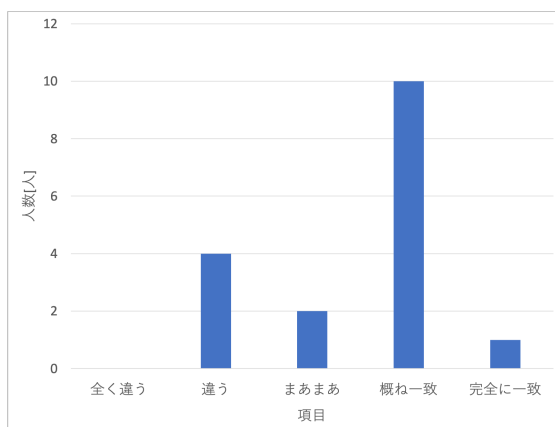


図19 5段階評価のアンケート結果

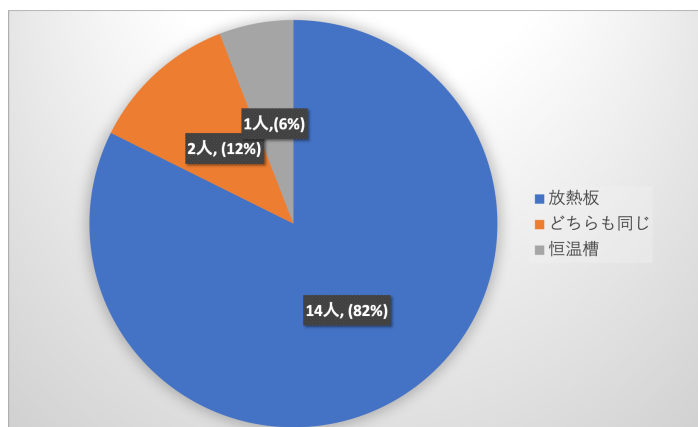


図20 3段階評価のアンケート結果

図19の5段階評価については、“概ね一致”が最大値である10人となり、続いて“違う”が4人、“まあまあ”が2人、“完全に一致”が1人となり、“全く違う”は0人という結果となった。この結果から、59%のアンケート参加者が“概ね一致”を選択する結果となった。そして、図20の3段階のアンケート結果からは、全体の82%(14人)が“放熱板の方が熱い”を選択する結果となった。これらのアンケート参加者の感想としては、“普段、温度が高めのお湯に入るため、熱いのに慣れている”や、“冷え性で手先が冷たいため、余計に熱く感じる”、“差がよくわからない”などであった。このアンケートの結果から、浴槽温度を再現するためには、温度再現システムの定温制御対象を放熱板ではなく、水に変更して再度検証する必要があるということがわかった。そして、本システムの有効性について検証できた。

8. 結論

本実験の結論として、日常生活の環境内での急激な温度差が生じることによる病気の危険性を改善するためのシステムとして、温度取得システムと温度再現システムについて提案した。そして、温度取得システムと温度再現システムをそれぞれ製作した。その後、温度追従実験で2つのシステムの動作を確認した。したがって、遠隔地で取得した温度を再現し、体感するシステムを開発できたため、本実験の目的を達成したと考えられる。

参考文献

[1]消費者庁：“冬季に多発する高齢者の入力中の事故に御注意ください”，

http://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_safety/release/pdf/170125kouhyou_1.pdf,

(2018-12/19,20:10)

[2]株式会社ウェザーニューズ：“お風呂の温度はどれくらい？”，

<https://news.nifty.com/article/item/neta/12225-170621011730/>,(2018-12/19,22:32)