

シングルボードコンピュータを用いた非接触型温度計測器の開発

黒星 ころろ*

井上 天翔*

友田 陽大*

福田 京也†

Development of a non-contact temperature measurement device using a single board computer

Kokoro KUROBOSHI*

Tenshou INOUE†

Haruto TOMODA†

Kyoya FUKUDA†

In recent years, inexpensive and versatile single-board computers have attracted much attention. The purpose of this research is to create educational contents for students to learn basic technologies of information and electronic circuits through the process of developing a non-contact temperature measurement device using Raspberry Pi. We attempted to develop contents that would attract the interest of students and draw out their initiative through practical manufacturing experience in the measurement of body temperature, which has become more familiar under the circumstances of the spread of the new coronavirus infection.

1. はじめに

近年、安価で汎用性のあるシングルボードコンピュータが注目を集めている。シングルボードコンピュータとして様々な製品が市場に供給されているが、入手しやすく、書籍やインターネット等で活用に関する情報にアクセスしやすい製品は Raspberry Pi[1] であろう。本校は新居浜市 IoT 推進ラボに参画、新居浜市と連携し、市内の高校生、高専生に対する IT 教育の場を提供するとともに、企業の技術者向けに Raspberry Pi を用いた IT や AI に関する基礎知識に関するワークショップを実施 [2]、地域の DX・IT 人材育成に貢献している。我々はこれまでに光学実験への応用を念頭に、汎用樹脂ブロック (LEGO mindstorm NXT) やレゴよりも安価でハード面・ソフト面ともに ICT 活用技術が要求される Raspberry Pi を用いたプログラミングと教育教材の開発を行ってきた [3][4]。今回我々は新型コロナウイルス感染拡大の状況下でより身近になった非接触型体温計測について、本校及び我々を取り巻く状況の把握、課題発見とその解決策の提示、実用的な装置開発の経験を通して学生・生徒の関心を喚起し、主体性を引き出すようなコンテンツ開発を試みた [5][6]。年々 Raspberry Pi 単体の性能は向上しており、計測分野において非常に有用なツールとなっており、その活用についても検討を行った。

2. 課題の抽出

シングルボードコンピュータとして Raspberry Pi を用い、非接触型温度計測器の開発を試みるが、開発を始めるにあたり、我々や本校の現状に対する課題抽出を行った。

課題 1 継続した体温の記録と管理が難しいこと

本研究を開始したのは令和 3 年 4 月である。新型コロナウイルス感染症拡大第 4 波の只中であり、新居浜市でも人口 10 万人比で東京の感染者数を超える日も多々あった。本校では感染の拡大とともに、体調変化を早期に捉えることができるように学生に体温の記録を指示、測定結果を登校前に本校のラーニングマネジメントシステムである WebClass に入力するように依頼した。学生の健康観察とともに、もし発症した場合は発症日の把握、さらには学内での濃厚接触者特定に活用しようとした。しかしながら、継続的に体温計測結果を提出した学生は全学生の約 10% であった。毎日の体温計による温度測定と WebClass へログイン、及び入力作業という手間が提出率低下の原因と考えられた。

課題 2 入手容易な接触型体温計の使用を避けること

新型コロナウイルス感染症は接触と飛沫が主な感染ルートであるため、入手が容易な接触型体温計の使用

令和 5 年 10 月 1 日受付 (Received Oct. 1, 2023)

* 新居浜工業高等専門学校専攻科電子工学専攻 (Electronic Engineering Program, Advanced Engineering Course, National Institute of Technology (KOSEN), Niihama College, Niihama, 792-8580, Japan)

† 新居浜工業高等専門学校電子制御工学科 (Department of Electronics and Control Engineering, National Institute of Technology (KOSEN), Niihama College, Niihama, 792-8580, Japan)

と流用を避けざるを得ない状況であった。そこで本校は非接触型体温計測器を購入し、全クラス及び保健室・学生課等に配布した。学生が登校した後、発熱等体調の異変を訴えた際に、クラス担任、保健師や事務職員が非接触で体温計測をすることになるが、測定結果を記録し、そのデータを継続的に管理することが難しい。また、教職員の負担も増えるとともに、コロナ収束後の計測器の有効活用も難しい。

課題3 サーモグラフィ型温度計は高価であること

サーモグラフィのような二次元画像で色の濃淡で温度を表示する機器もすでに市場に存在するが、数十～数百万円の導入コストがかかる。学内における感染拡大を防ぐ意味でサーモグラフィ型温度計測器の導入は避けられない状況であったため本校管理棟玄関入口に設置したが、高専生の持つ知識やスキルを活用し、何か貢献できることはないかを考え、ものづくりに挑戦することも教育の一環と捉えた。

これらの課題を踏まえ、本研究では安価で入手しやすく汎用性のあるシングルボードコンピュータである Raspberry Pi を用い、非接触型の温度計測器を開発した。計測結果を csv ファイル形式で保存可能とし、Raspberry Pi のカメラモジュールおよび赤外線サーモモジュールを使用し、python 言語で画像認識・人物認識に成功した。また、教材としての利用を検討し、非接触型体温計測器の開発過程を4年生に体験してもらい、アンケートや率直な意見を通じて教材としての評価を行った。プログラミングおよび電子回路の基礎技術を学ぶ教材コンテンツとしても活用可能と考える。

3. 実験装置

図1に今回開発した計測装置の概要を示す。カメラモジュール (Seed studio V2 ラズベリーパイカメラ)、超音波距離センサ (SainSmart HC-SR04)、赤外線センサ (Conta サーモグラフィ Panasonic AMG8833)、及び Raspberry Pi 4 (モデル B) で構成され、カメラモジュールで測定対象者の顔画像を取得、python プログラム [7] で個人を識別する。サーモモジュールで測定対象者の温度 (体温) を計測し、顔データと紐づける。温度計測の精度を高めるため、距離センサによって測定対象とのモジュールとの間の距離を測定し、温度計測時の距離を数値化する。

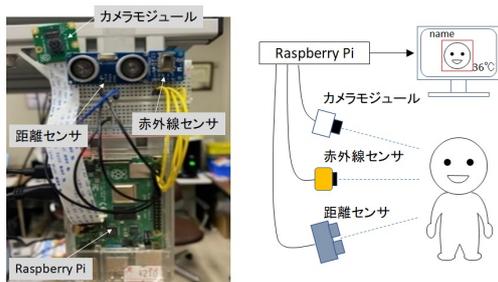


図1 RaspberryPi を用いた非接触型温度計測装置

4. 実験結果

4-1 顔認証システム

まず、カメラモジュールを用いた顔認証システムの動作確認を行った。OpenCV を導入し、顔画像の撮影、保持、撮影した画像データを用いて顔認識ができるように準備した [8]。顔認証を行うためのステップは以下の通りである [9]。

1. カメラのセットアップ

カメラモジュールを Raspberry Pi に接続し、カメラ機能を有効化する。

2. 識別させる顔の撮影

顔画像から個人を認識させるため、本研究では一人につき 10 枚程度の画像撮影を行った。顔画像は、正面を基本とするが、横方向や斜め方向等の正面と異なる角度からも撮影し、認識精度の向上を図った。

3. 撮影した画像データから学習を実行

撮影した画像データから顔の特徴情報を抽出し、その画像が誰であるかを学習させるためのプログラムを実行し、学習させた。学習に用いる画像枚数が多いほど処理に時間がかかった。具体的には、Raspberry Pi 4 (モデル B) において 10 枚で 24 秒、20 枚で 39 秒、30 枚で 54 秒の学習時間が必要であった。

4. 被測定対象の人物の顔認証を実施

所属研究室の卒研生の顔画像を取得、学習させた状態で、カメラモジュール及び顔認証プログラムを起動した。リアルタイムでモニターにカメラ映像を表示させ、事前に学習した人物がカメラで撮影されたとき、正しく認識と個人名 (事前登録名) が表示されるか確認した結果を図2に示す。正しく個人識別できていることがわかった。



図2 顔認証システムの動作確認 (左: Tanaka、右: Kyohei)



図3 顔認証システムの動作確認 (Tanaka、Kyohei の二人同時)

また、二人を同時にカメラで撮影した場合のモニター画面を

図3に示す。はっきりと二人を区別して認識できていることがわかる。しかしながら、画像データが多い状態で顔認証を何度か繰り返すと、ひんぱんに誤認識が発生した。そこで対策としてプログラムにしきい値機能を導入した。

4-2 顔認識の精度向上

プログラムを見直し、顔認識の判定をどれだけ厳しく行うかを定めるしきい値パラメータを導入し、その効果を検証した。10名以上の被測定対象者に対し、カメラモジュールや赤外線センサとの距離、画像データ数の数等、同一条件としたときの、パラメータの導入前と後の動作の比較を行った。結果を図4に示す。



図4 しきい値パラメータ導入による認識精度の改善結果：青色の円グラフは正しく認識できた割合、オレンジ色は誤って認識した割合

しきい値パラメータ導入前は、被測定対象者10名中6名が正しく認識されていた。パラメータ導入後は、被測定対象者13名中12名が正しく認識された。しきい値パラメータは0から1までの数字で入力する。その初期値は0.6で設定していたが、人間の目で見ても顔が似ている場合は誤った判定が多く出ることもあり、その際は手作業でしきい値を細かく調整し、判定ミスが少なくなるように画像データを学習させた。

4-3 距離センサ

被測定対象の温度は赤外線センサで非接触で計測するが、センサと対象物との距離によって温度表示値が変化することが予想される。測定条件を一定に保つために、センサと対象物との距離を超音波距離センサ (SainSmart HC-SR04) により数値化した。まず、超音波距離センサの動作確認を行い、測定値が妥当であることを確認した。

4-4 赤外線センサによる温度計測

次に、赤外線センサ (Conta サーモグラフィ Panasonic AMG8833) の動作確認を行った [10]。このセンサの出力はサーモグラフィ画像であり、色とその濃淡で温度の高低を視覚的に表示する。カメラモジュールによる画像と比較した結果を図5に示す。赤外線センサで計測した温度の最高値をカメラ画像と共に表示するようにした。この結果からセンサによって正常に温度計測することが確認できた。

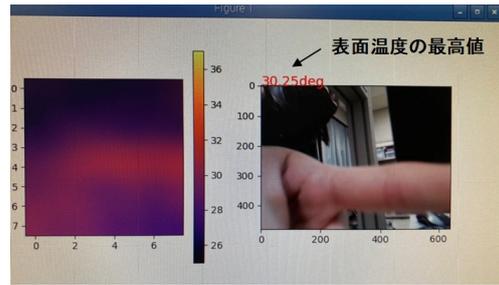


図5 赤外線センサ出力とカメラ画像

さらに、赤外線センサと被測定対象までの距離による温度計測値の変化を調べた。図6に実験概略図を示す。赤外線センサによって顔の額の表面温度を測定することとし、センサと額までの距離を前述の距離センサで計測する。

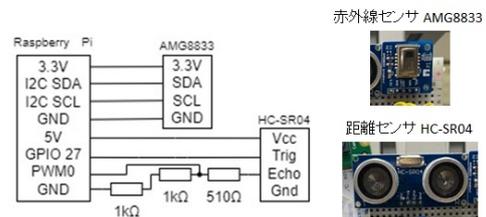


図6 赤外線センサと距離センサ

有効な温度表示は、センサと額までの距離が10cmから19cmの間であったため、この範囲を1cm刻みで温度測定を行った。測定した温度数値がばらついたため、測定を同じ地点で10回行い、その平均値をその地点の温度測定値とした。測定結果を図7に示す。

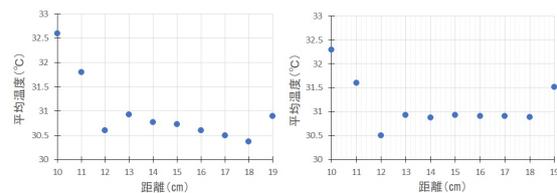


図7 赤外線センサによる温度表示の距離依存性：(左) 修正前、(右) 修正後

図7(左)の結果から、センサと被測定対象の距離によって測定温度が変化していること、また、今回測定した範囲では、13cmから18cmまでの間の温度測定値が比較的安定していることがわかった。したがって、本研究で開発する非接触型体温測定装置については、センサからの距離範囲は13cmから18cmとし、測定対象の温度がその範囲内で計測できない場合は、温度計測を行わないシステムにした。また、上記の実験から得られたデータをもとに、計測範囲内では測定値が一定になるよう、測定値を校正する演算をプログラムに組み込み、温度計測の再現性を高めた。その結果を図7(右)に示す。13cmから18cmの範囲で測定温度の距離依存性がほぼなくなっていることがわかる。

4-5 市販の非接触型温度計との比較

距離センサを併用することで、距離による測定温度のばらつきを抑えることに成功したが、設定した測定距離範囲内の温度は一般的な体温数値と大きく異なることがわかった。そこで、同じ非接触型の市販体温測定装置 (FLUS IR-805) との比較実験を行った。測定対象は本科一年生の数名に協力を依頼した。まず、本研究で開発した非接触型体温測定装置で 10 回温度を計測し、その平均温度を算出した。次に IR-805 で体温を測定し、二つの測定結果を比較した。図 8 に結果を示す。

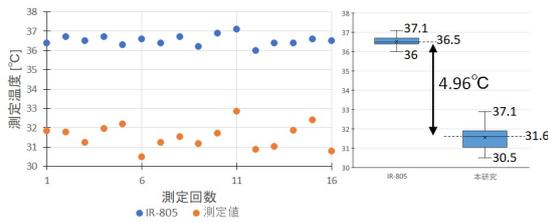


図 8 市販の非接触型温度計との比較

図 8 (左) は、横軸に測定の 1 回目から 16 回目の回数、縦軸にそのときの測定値をプロットし、図 8 (右) は測定値の箱ひげ図を示す。市販温度計 (IR-805) は体温として妥当な値を示す一方、本研究の装置による値は平均値で 4.96 °C 低いことがわかった。そこで、市販温度計の測定値を真の値とし、今回開発した非接触型体温測定装置の測定結果を図 8 の結果を元に補正することとした。

課題として、上記の結果から言えることは、測定のばらつきが大きいという点である。この原因の一つとして、測定場所が額ではなく、額温度を測定するために髪をかき上げた際の手や指を測定対象としてしまった可能性である。この点を解決するため、スムーズに測定を終わらせる必要があると考える。本研究では、顔の認識に成功した後に温度計測を実行するというプログラムで実験を行っていたが、実際に測定を行っている際、センサから 13cm から 18cm という距離は顔認証のセンシング距離としてはかなり近く、体温測定のプロセスがうまく作動しなかった場面が何度かあった。その都度測定をやり直したため、同じ条件での測定ができなかったことにより値のばらつきが生じた可能性もある。そのため、カメラや各センサの位置を調整する、もしくは、別の赤外線センサを使用し計測時間を短縮する等、工夫することで再現性の良いスムーズな測定が可能になると考える。

4-6 計測システムとしての動作について

上述した顔認証、距離センサ、赤外線センサを統合した計測システムとしての動作確認を行った。図 9 に結果を示す。顔認証、距離計測及び温度計測の三つの機能を同時に動作させることに成功した。

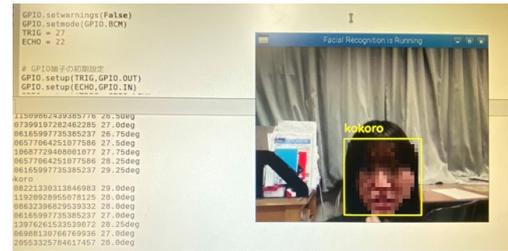


図 9 計測システムとしての動作確認

しかしながら、顔認識と温度計測は問題なかったが、距離センサの動作が度々不安定になった。3つの処理を同時に行うには、RaspberryPi4 の能力が足りなかったと考えられる。

4-7 教育コンテンツへの応用可能性について

IoT 活用教材として今回開発した計測システム (顔認識) を評価するため、プログラミングに苦手意識をもつ本科 4 年生にしきい値の変更、プログラムのコンパイルと実行、顔認識精度評価を実施してもらった。図 10 に実験風景を示す。また、本システムの使用前後の意識の変化をアンケートで調査した。アンケートの質問項目は以下の通りである。



図 10 顔認識プログラムを使った実験の様子

- 実験前後でシングルボードコンピュータ (RaspberryPi) の使い方への理解が深まったか? (はい・いいえ)
- センサ等の配線を自ら行うことができたか? (はい・いいえ)
- プログラムを自ら作成できたか? (はい・いいえ)
- 非接触型体温測定器の原理について、少しでも理解できたか? (はい・いいえ)
- RaspberryPi やこの研究に興味を持つことができたか? (はい・いいえ)
- 実験テキスト (システム立ち上げから測定までの一連の手順書) は適切だったか? (はい・いいえ)
- 自由記入欄 (質問や意見があれば記入を)

得られた回答、コメントを以下に示す。

- Raspberry Pi への興味が深まった
- 防犯カメラも同じような顔認識 (人物認識) しているのか気になった
- コミュニケーション促進ツールに活用できる

- プログラミングが苦手だが、これなら楽しく実験できた
- 配線を自分たちで行うことができなかった
- この装置の原理について、あまり理解ができなかった

概ね好評であるが、テキストに配線図をもっとわかりやすく描くべきだったこと、実際に市販されている非接触型体温測定装置と比較して、原理と違いなどを事前学習させる必要があったこと、等、改善点も見つかった。

4-8 計測分野における Raspberry Pi の活用について

本研究ではカメラモジュールを用いた顔認識、サーモグラフィを用いた温度計測、超音波センサを用いた距離計測、これらを一つの Raspberry Pi によって実施した。CPU のリソースは限られているため、これらを同時に実行すると処理が滞り、動作が不安定になったと考えられる。しかしながら、それぞれの計測を単独で実行する分には、全く問題なく、安定な動作であることを確認した。今回使用したカメラモジュールは可視光領域に感度のある通常のもジュールであるが、赤外光領域に感度のあるモジュールも市販されている。我々は、近赤外領域の 852nm 帯に吸収のあるセシウム原子のスペクトル観測用半導体レーザ光源の開発を行っている [4]。原子吸収波長に同調したレーザ光を照射すると、光励起された原子は自然放出光を出す。セシウム原子の場合、それは近赤外光のため人間の目には見えないが、赤外線カメラモジュールを用いれば容易に可視化することができる [11]。また、温度計測について、本研究では非接触型のサーモグラフィを用いたが、Raspberry Pi には I²C で接続容易な接触型温度センサもあり、原子やレーザ光源の温度制御も入出力 GPIO ポートを用いることで容易に実施できる。さらに、I²C 接続の三軸磁気センサも市販されており、微弱磁場による原子スペクトルの影響観測やコイルによる地磁気キャンセルも可能である [12]。原子とレーザ光を用いた量子光学の実験においても、Raspberry Pi は非常に有用なツールとして利用可能である。

5. まとめ

新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い生じた学校現場の課題を抽出し、その解決策を提案、実行した。シングルボードコンピュータの一種である Raspberry Pi を用いて非接触型温度計測装置を開発した。温度計測データ取得と被測定人物の顔認識に成功した。顔認識に温度計測及び距離センサを組み合わせた全体システムでは、計測処理に時間がかかる等の課題もわかった。本研究は学生の健康観察及び体温記録とその管理という学校運営上の課題解決の一助になると信じる。

また、本研究遂行が学生の教育に役立つのではないかと思

い、教育コンテンツとしての評価も行った。本科学学生に装置開発のプロセスを経験してもらい、実施後のアンケート結果からプログラミングの苦手学生の興味を引くことができたことが確認できた。顔認識と温度計測という身近な話題に関する計測を体験させることで、プログラミングが苦手な学生やこの分野に興味がなかった人にも IoT に関する興味を引き出すことができると考える。

近年、教育現場でもシングルボードコンピュータが注目を集めており、低コスト、小型軽量、高い汎用性、プログラミングによるシステム制御が可能なこと等、様々な分野の研究遂行に多くのメリットが期待される。シングルボードコンピュータは教育現場導入が容易であり、センサ類が豊富かつデータ取得も容易である。中学生または工業系ではない学生にも電子・情報分野に興味を持つきっかけを作ることが可能と考える。特に Raspberry Pi は関連書籍やインターネット上での情報も豊富であり、教育現場への導入の敷居は低い。今後、社会実装教育に繋がる教育教材への発展を検討したい。

参考文献

- [1] Raspberry Pi Foundation, <https://www.raspberrypi.org/> .
- [2] 新居浜市 IoT 推進ラボ実施事業ワークショップ (2021).
- [3] 曾我部一貴 他 “LEGO リサジュー曲線描画装置の開発,” 秋季第 78 回応用物理学会講演会 6a-PA1-21 (2017) .
- [4] 松木亮磨 他 “シングルボードコンピュータを用いた半導体レーザ光源の制御,” 秋季第 79 回応用物理学会講演会 19a-PA1-11 (2018) .
- [5] 田中悠太郎 “新居浜高専電子制御工学科令和 4 年度卒業論文,” (2022) .
- [6] 黒星ころこ 他 “シングルボードコンピュータを用いた非接触型温度計測器に関する教材開発,” 秋季第 83 回応用物理学会講演会 22a-P01-10 (2022) .
- [7] 辻慎吾 “Python スタートブック,” 技術評論社
- [8] 金丸隆志 “Raspberry Pi で学ぶ電子工作,” 講談社ブルーバックス
- [9] IT エンジニア もりしーの動画,
<https://www.youtube.com/watch?v=9P-Hq8Dh1R0>,
<https://www.youtube.com/watch?v=q2a0arclhbU>
- [10] YASU “赤外線アレイセンサ (AMG8833) を使って、非接触体温計に挑戦 ～完結編～”, ラズパイ活用日記,
<https://raspi-katsuyou.com/index.php/2020/09/24/20/20/54/1875>
- [11] 井上天翔 他 “シングルボードコンピュータを用いた原子蛍光の観測,” 秋季第 84 回応用物理学会講演会 20p-P07-04 (2023) .
- [12] 福田京也 他 “シングルボードコンピュータを用いた地磁気キャンセル装置の開発,” 新居浜工業高等専門学校紀要, Vol.59, pp.74-78 (2023) .