

# 常時装着型データロガーの開発

## Development of a wearable data logger

真壁 友

MAKABE Tomo

キーワード：ウェアブル、センサー、IoT、Arduino

Keywords：wearable, sensor, IoT, Arduino

The miniaturization of sensors and microcontrollers, as well as the reduction of power consumption, have made it easier to build systems. However, it is still unclear what kind of devices can actually be used to realize a system, and to what extent they can be miniaturized. In this research, we aim to build a system that can be used with entry-level development environment such as Arduino. The sensor used in this paper is a thermometer, which is convenient for health management. However, this system can acquire and visualize a variety of information by changing the sensor.

### 1. はじめに

Arduino<sup>1</sup>を使い、初心者でも電子工作とプログラミングでさまざまなことが可能になっている。Arduinoが提供する開発環境 Arduino-IDE<sup>2</sup>とさまざまな開発者が提供するライブラリにより可能になったおかげである。ブレッドボード<sup>3</sup>を使い簡易に電子回路を作成し、トライ&エラーで回路を作る事が可能になっている。従来であれば複雑なロジック回路で実現していた事も、マイクロコントローラの Arduino を使い、コードで実現し動かす事が可能になっている。プロトタイピングとして制作するには、Arduino とブレッドボードの組み合わせは非常に有効な開発環境である。しかし、一歩踏み込んで実際に使うという事を考えると不向きな点がある。Arduino とブレッドボードの開発環境には以下のような欠点がある。

- 1 ブレッドボードで作成した回路の安定性
- 2 Arduino ボードの大きさによる持ち運びの悪さ
- 3 Arduino の仕様による電源の問題

ブレッドボードは電子部品を直接刺し込んで接点を確保し電気回路を作る。接点部分のトラブルにより、接触不良が起こることがある。また振動などにより部品が抜けてしまう事もある。

Arduino にはさまざまな種類があるが初心者に人気があり情報の一番多いモデル Arduino UNO<sup>4</sup>はサイズが68.6 × 53.4mmある。また小さいモデルの Arduino Nano<sup>5</sup>でも18 × 45mm、Arduino Micro<sup>6</sup>でも18 × 48mmとなっている。作る物の目的にもよるが、装置への組み込みには大きすぎる場合がある。特に、今回のようなウェアラブル用途では大きすぎる。

Arduino UNO は動作電圧が5V、推奨供給電圧が7～

12V となっている。乾電池でこの電圧を作り出すためには4本の電池が必要になり、電池ケースだけで50 × 65mm程度のフットプリントサイズになる。また Arduino UNO 内部の電源レギュレータなどの消費電力があるため消費電力を抑えることが難しい。そのため長期間の連続使用には向かない。

そのため本研究では以下の点を考えて開発を行った。

ウェアラブル、人体への装着が可能なサイズのデバイスを開発する。24時間人体に装着して使用しても故障の無い堅牢なデバイスにする。コードの開発は Arduino IDE を使い、安易な開発が可能にする。乾電池などで長期間の運用が可能なシステムにする。また、人体から取得するデータは体温にした。これはコロナ禍で健康管理、体温測定に関心が高まっていることを意識し、また、人体の情報としては基本的な物で測定が安易なためである。

### 2. 先行事例

#### 2.1 体温測定について

Toshiyo TAMURA らによる「Current Developments in Wearable Thermometers」<sup>7</sup>に2018年までのウェアラブル体温計の開発状況が紹介されている。この論文中にもあるが体温計で測定されるのは体表面の温度である。体幹での体温が37℃でも熱が運ばれ体表面、体幹より遠い部分では37℃よりも低い温度になる。また、遠い部分になるほど外気温の影響を強く受ける。そのため、体温測定を行うには体幹付近での測定が必要となる。

#### 2.2 商品化された事例

装着型の体温計としては、以下のような商品化された事例がある。

「fever scout」<sup>8,9</sup> 図1

本体は柔らかい素材で、人体に貼り付けて使用できるようになっている。この商品は2017年に発売されているが、その後に事業を停止している。

「iThermonitor」<sup>10,11,12</sup> 図2

Frida 社が販売する商品。赤ちゃん向けに特化した内容で、商品サイズが3.18 × 5.08 × 0.51cm、リチウムコイン電池で動作し、スマートフォンと通信して体温を確認できる商品であった。2016年に発表されているが現在は公式ページからは削除されており発売終了している様子。

「Fever Smart」<sup>13,14,15</sup> 図3

fever scout とよく似た外観の装置である。Amazon では2018年に発売開始となっている。Bluetooth で通信を行い、室内に設置したベースステーションを介してスマートフォンで測定結果を確認できる。amazon では購入不可となっているが、公式ストアからは購入が可能な様子である。

このように数社から商品化はされているが定着した商品カテゴリーとはなっていない。購入可能な Fever Smart で価格が\$129.99 と高価な事、粘着テープで人体に貼り付ける仕組みのため剥がれてしまえば測定不可能になり、使い勝手が悪い、そもそもそこまで頻繁に体温を測定したい



図1 fever scout



図2 iThermonitor



図3 Fever Smart

という要求がない、と言った理由が考えられる。

### 2.3 DIYによる事例

マイクロコントローラやセンサーのボード開発と販売を行う Adafruit 社<sup>16</sup>のサイトで、温度センサーとマイクロコントローラを使った例として制作記事が紹介されている<sup>17</sup>。充電式のリチウムイオン電池を使用し、78 × 52 × 12mm程度のサイズとなっている。Adafruit 開発のスマートフォンアプリと通信して測定結果を表示するようになっている。稼働時間についての記述はない。

## 3. 開発

### 3.1 ESP8266 版の開発

#### 3.1.1 システム構成

ESP8266<sup>18</sup>は、Espressif 社が開発したマイクロコントローラである。このチップを搭載した ESP-WROOM-02<sup>19</sup>が一般に入手も容易で、Arduino IDE での開発も可能であり、資料も充実している。このチップの特徴は、wi-fi に簡単に接続してクラウドとデータのやり取りが容易なことである。この ESP-WROOM-02 を使い、システムの開発を行った。このシステムは次の通りの構成としている(図4)。センサーで取得した値をマイクロコントローラで取得し、そのデータを wi-fi 経由でクラウド上のサーバーに送信する。データを受け取ったサーバーは、日時の情報と共に体温を CSV 形式で記録する。測定結果の表示には、web ブラウザを使用する。

データ受信用の PHP コードは[コード1]を参照。

データ表示用の PHP コードは[コード2]を参照。

データ表示ページの html コードは[コード3]を参照。

#### 3.1.2 センサー

体温センサーは MAX30205<sup>20</sup>を使用する。このセンサーはフィットネス、メディカル用途の体温センサーで I2C 方式でデータの読み出しができる。動作電圧が 2.7V ~ 3.3V と使いやすく、消費電流も 600  $\mu$ A と小さい。精度も 0.1℃、分解能は 16 ビット (0.0039℃) と優れている。

#### 3.1.3 マイクロコントローラについて

マイクロコントローラは ESP8266 (ESP-WROOM-02) は 3.3V で動作し、追加部品なしで wi-fi への接続が可能で

ある。また、待機時にはマイクロコントローラの動作を止めて消費電力を  $\mu$ A オーダーまで下げるディープスリープ機能を持っている。Arduino IDE からの開発も可能であり、手軽に使用できる。回路図を図5に示す。基板パターンは図6に示す。基板設計は KiCAD を使用し、基板製作は FusionPCB を利用した。USB-シリアル変換コネクタを使用してコードを書き込む仕様となっている。

#### 3.1.4 ESP8266 のコード

ESP8266 のコードは[コード4]を参照されたい。動作は以下の手順になっている。

- 1 起動後にマイクロコントローラの初期処理を実行し、体温センサー MAX30205 から I2C 通信を行いデータを受信
- 2 wi-fi に接続しデータを文字列に変換し、サーバー上の PHP に送信。
- 3 スリープ時間を指定してディープスリープに入る。(スリープから復帰後には手順1から実行する)

ディープスリープの時間を 60 秒として実験を行なった。

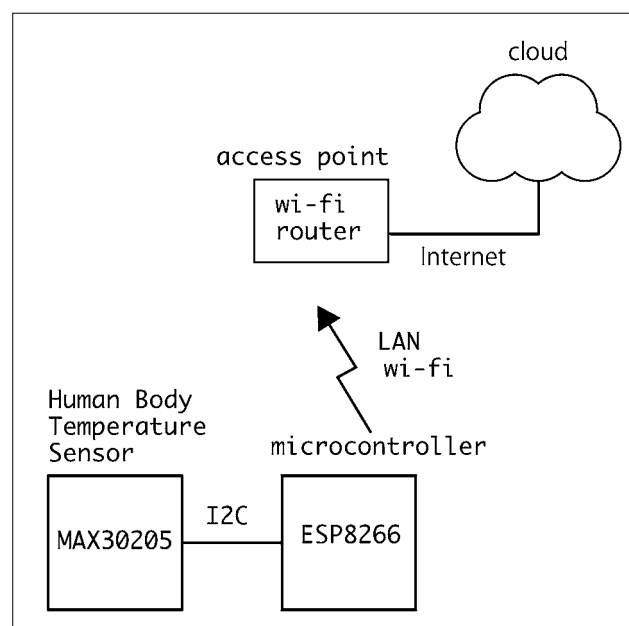


図4 システム構成図

#### コード 1 データ保存用 PHP コード

<https://github.com/mkbtm/wearable-data-logger/blob/main/code1.php>

#### コード 2 データ表示用 PHP コード

<https://github.com/mkbtm/wearable-data-logger/blob/main/code2.php>

#### コード 3 データ表示用 HTML コード

<https://github.com/mkbtm/wearable-data-logger/blob/main/code3.html>

#### コード 4 ESP8266 コード

<https://github.com/mkbtm/wearable-data-logger/blob/main/code4.ino>

### 3.1.5 装置外観と装着方法

装置外観を図 7 に示す。ESP8266 と電池を入れると身体に直接装着するには大きすぎるサイズとなった。そのためセンサー部とマイコン部を分けた。装着はセンサー部分をバンドで上腕部内側に固定。ケーブルでマイクロコントローラ部分に接続している。

電池は単 4 電池を 2 本使い昇圧回路で 3.3V にしている。動作時間はおおよそ 4 日間であった。ESP8266 はディープスリープ機能により省電力動作が可能ではあるが wi-fi 接続時に電流を消費するため動作時間の制限につながっている。この ESP8266 版は駆動時間の短さ、ケーブル方式の装着の煩わしさがあった。マイコン+電源部分をポケットに入れるなどの必要もあり、装着が煩わしい物であった。

### 3.2 nRF52840 版の開発

ESP8266 版での欠点を改良するために Bluetooth での通信方式を採用する。センサーのデータをマイクロコントローラで取得し BLE で発信する。その BLE の通信をベースステーションが受信して wi-fi または LTE 通信でクラウド上のサーバーに送信する。システム構成については図 8 を参照。ケーブルを必要とせずに BLE 通信のため電池の消耗を抑えることが可能になる。ただし BLE では直接データをクラウドに送ることはできないのでデータ送信のためのベースステーションが必要となる。

### 3.2.1 マイクロコントローラとシステムについて

BLE 通信が可能で省電力のマイクロコントローラ、そして Arduino IDE で開発可能な Nordic 社の nRF52840<sup>21</sup> がある。このチップを搭載したモジュールに Raytac 社の MDBT50Q<sup>22</sup> がある。この MDBT50Q は日本国内の技術適合試験にも合格している。そしてこのモジュールを使った Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express-Bluetooth LE<sup>23</sup> がある。MDBT50Q は部品が小さく、部品背面に端子があり通常の半田付けが困難なためこの開発ボードを使うことにする。このボードのサイズは  $36 \times 17.6 \times 5.3\text{mm}$  でコンパクトである。nRF52840 の動作電圧は 1.7V ~ 5.5V と広くバッテリーでの駆動に向いている。そして sleep 時の消費電流を  $\mu\text{A}$  オーダーまで減らすことが可能である。Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express と MAX30205 の結線を図 9 に示す。この図では電源、I2C 通信のプルアップ抵抗、アドレス設定の結線は省略している。

### 3.2.2 nRF52840 の動作

nRF52840 のコードは次の通りである [コード 4]。基本動作は温度センサーから読み込み、BLE で発信、スリープとなる。また省電力のためボード上の電源レギュレータ、RGB LED を取り外している。取り外す部品については図 10 を参照。この部品は nRF52840 が sleep に入っても電流を消費し続けている。これを外すことにより長期間の動作が可能になる。CR2032 電池を使った動作期間は 1 回目の実験で 961 時間 (40 日間)、2 回目の実験で 856 時間 (35 日間) を記録している。1 回目と 2 回目で差が出ているのは 2 回目の実験では BLE の接続安定を確保するために BLE の発信時間を長くするようにコードを改良したためである。

### 3.2.3 装置外観と装着方法

リチウムコイン電池 (3V) を直接ボードに接続し図のような外観となっている (図 11)。装着にはウェットスーツ用のジャージ付きゴム素材を使用したバンドを使っている。適度な通気性と伸縮性があり、しっかりとセンサーを固定できている。

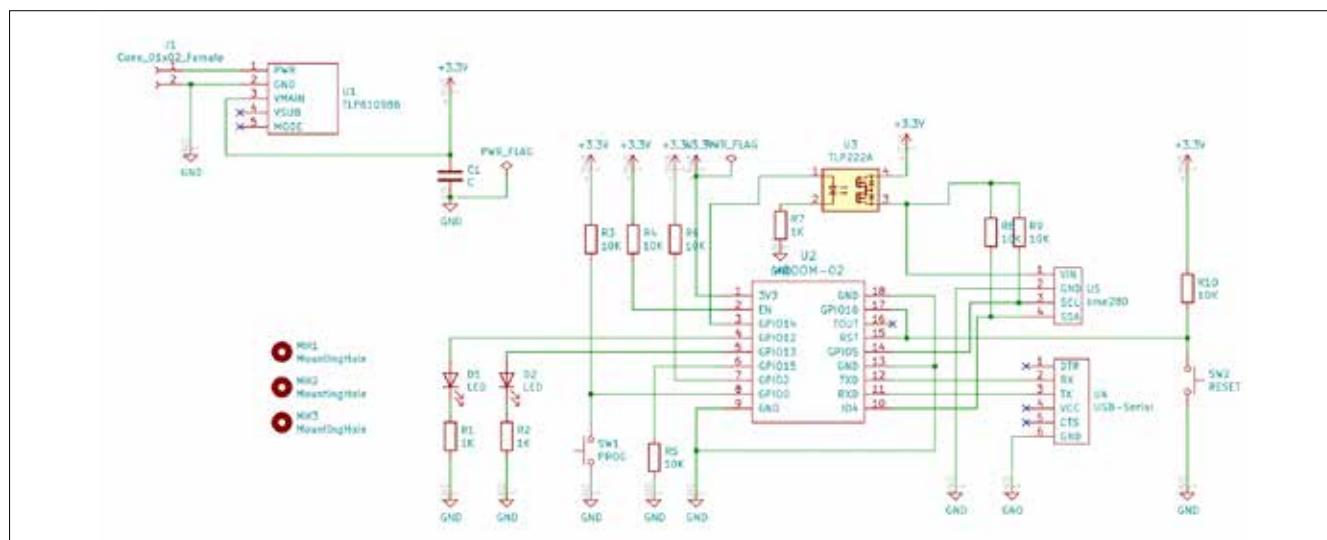


図 5 回路図

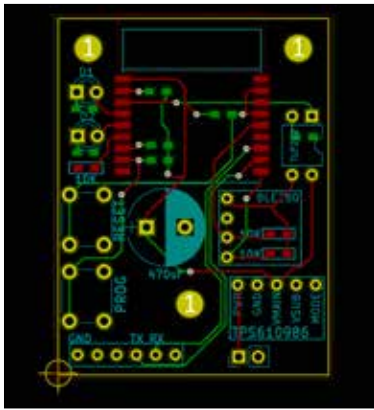


図6 基板パターン



図7 乾電池駆動プロトタイプモデル

### 3.2.4 ベースステーション

使用場所に応じて2つのベースステーションを用意してテストを行なっている。1つはwi-fiでデータを送るタイプ(図12参照)。もう1つがLTEの通信網を使いデータを送るタイプである(図13参照)。wi-fiタイプではESP32<sup>24</sup>を使いBLEの受信とwi-fiでの発信を行なっている。電源はACアダプタを使い常時通電し、BLEを受信したらwi-fiで送信するようになっている。

LTEタイプではLILYGO TTGO ESP32 WIFI Bluetooth Nano Card Slot SIM800C Module<sup>25, 26</sup>を使い、SIM7600JCモデムカードを搭載してIIJのSIMを使い、LTEに接続している。バッテリーの消費を抑えるために送信後は一定時間スリープするようになっている。

### 3.2.5 複数ベースステーションへの対応

上記のようにwi-fi経由、LTE経由の複数の経路でデータのアップロードが可能になり利便性は増した。また今後の使い方としてBLEの到達範囲に合わせ各部屋にwi-fi経由のベースステーションを配置して送信の漏れがないようにするなどの対策が可能になる。しかし、その場合には同じ測定データが複数の経路で送られてしまうことが発生する。その対策としては測定データに時刻データを入れることが一般的である。そのためには装置にリアルタイムクロックモジュールを追加する必要がある。しかし体温計を小型にしたいため追加のデバイスは難しい。また電池寿命の点からも不利になる。そこで、追加のデバイス無しでデータ重複を防ぐ方法として、乱数を送信データに含める

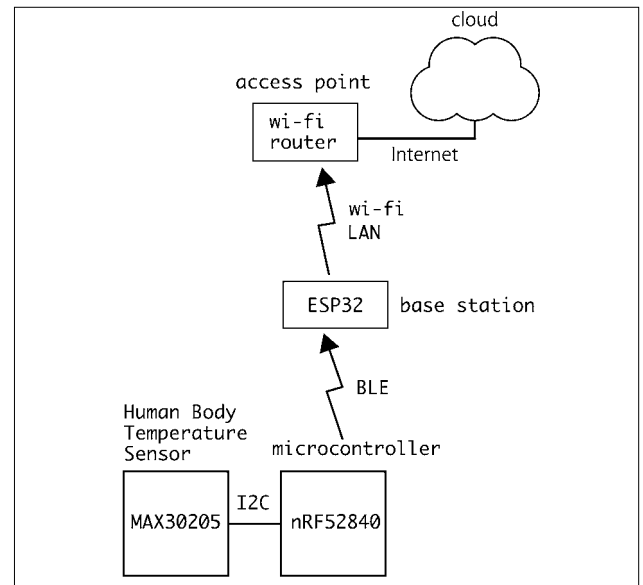


図8 nRF52840版 システム構成図

方法を採用した。しかしArduino標準の乱数発生機能は同じ並びの乱数を発生する傾向がある。乱数を発生するときの初期値とし、何も接続していないアナログポートの値を読み取る方法があるが、この値が同じ値を返すことが多いためである。そこで今回はアナログポートの値を複数回読み取り、ビットシフトにより確実な乱数を作成する方法を使った<sup>27</sup>。この方法により256までの乱数を2つ作り、それを測定データと一緒に送信する。データを受け取ったクラウド上のサーバーはこの2つの乱数の値をチェックして、前回と同じ乱数が含まれていた場合には重複データとして記録しないという処理を行う。ただしこの方法では同じ乱数が発生してしまう可能性もゼロではない。ただその確率は非常に低い。

## 4. 測定結果

測定結果データはクラウド上のサーバーにCSV形式で記録される。その結果はwebブラウザで見ることができる(図14)。表示はPCでもスマートフォンからでも見る事ができる。睡眠パターン、日中の活動状況により体温は変化している。ここからさまざまなデータが読み取れそうであるが本研究では測定とデータ取得までの環境開発が目的であるため、この部分は本研究の範囲外である。

## 5. おわりに

### 5.1 結論

開発環境としてArduinoを使い実用的な装着可能なデバイスの開発が可能であることが本試作により示せた。Arduinoはプロトタイピングの道具、手段として使われている。電子工作の入門として広く使われている。しかし、入門やテストのためのプロトタイピングだけでなく、そこから発展して実際に運用可能なシステムを開発することが可能であることを実証することができた。また外装を3Dプリンタで作製、実際に数ヶ月の単位で装着試験を行い、不具合なく動作可能であることも検証できた。



## 5.2 今後の課題

### 5.2.1 プラットフォームとしての活用

今回は、体温センサーを使い体温計としてシステムを構築した。センサーは I2C 接続の体温センサーを使った。同じように I2C 接続のセンサーであれば接続してシステムを構築することができる。身体装着タイプのシステムを構築し、各種のセンシングを行うことが可能になる。24 時間連続して測定が必要な物に応用可能である。そのためのプラットフォームとして、今回の開発したシステムを使うことができる。マイクロコントローラと電池部分をユニット化して各種のセンサーが簡単に接続できるモジュールとして、発展させることが求められる。

### 5.2.2 体温計としての展開

一方で、体温計として特化させて発展させることも可能性としては考えられる。コロナ禍の健康管理として体温測定が重要視されている<sup>28</sup>。

非接触の体温計が各所に設置されているが、より正確な接触型の体温表面温度計により常時体温を測定することの有効性もある。装着しやすくするためには小型化、薄型化が求められる。今回は既存の基板 Adafruit's ItsyBitsy を利用したが、専用の基板を設計し、更なる小型化と装着の快適さを求める方向がある。Seok-Oh YUN<sup>29</sup>らの研究のようにフレキシブル基板を使い、人体に装着しやすい形状にすることも考えられる。



図 11 装置外観



図 12 Wi-Fi データ送信装置

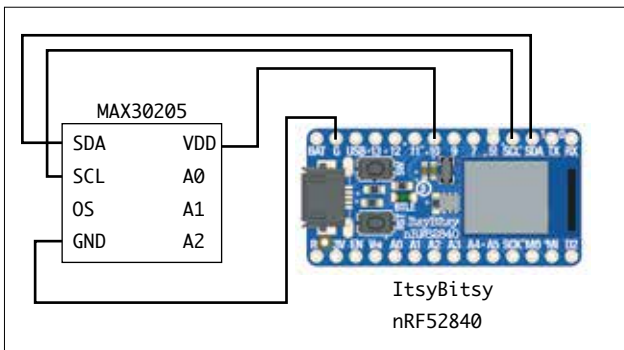


図 9 nRF52840 とセンサーの結線



図 13 LTE データ送信装置

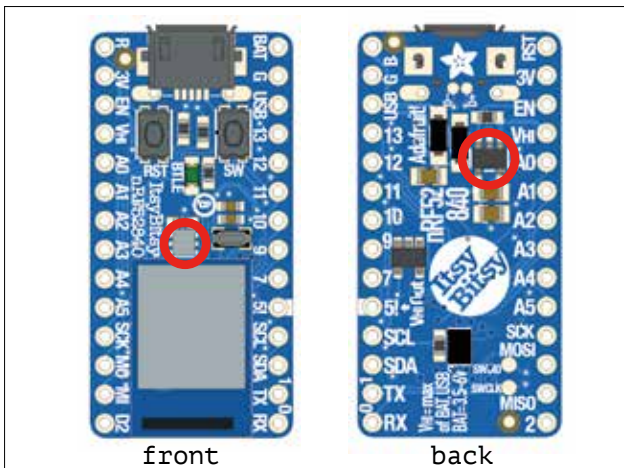


図 10 省電力化のために ItsyBitsy から取り外す部品

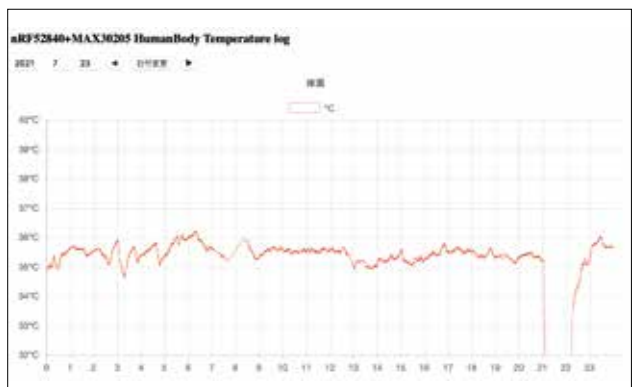


図 14 体温の測定結果

## 注釈

- <sup>1</sup> Arduino <https://www.arduino.cc> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>2</sup> Arduino IDE <https://www.arduino.cc/en/software> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>3</sup> ブレッドボード [https://www.sunhayato.co.jp/problem-solving/howto\\_SAD-101.html](https://www.sunhayato.co.jp/problem-solving/howto_SAD-101.html) (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>4</sup> Arduino UNO <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3/> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>5</sup> Arduino Nano <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>6</sup> Arduino Micro <https://store.arduino.cc/products/arduino-micro> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>7</sup> Current Developments in Wearable Thermometers Toshiyo TAMURA,\* # Ming HUANG,\*\* Tatsuo TOGAWA [https://www.jstage.jst.go.jp/article/abe/7/0/7\\_7\\_88/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/abe/7/0/7_7_88/_pdf) (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>8</sup> FeverScout <http://www.feverscout.com/> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>9</sup> FeverScout 販売ページ [https://www.amazon.co.jp/dp/B0795M2DMH/ref=cm\\_sw\\_r\\_tw\\_dp\\_JAWSK5X-NCBTKPD5JS9DY](https://www.amazon.co.jp/dp/B0795M2DMH/ref=cm_sw_r_tw_dp_JAWSK5X-NCBTKPD5JS9DY) (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>10</sup> iThermonitor 販売ページ [https://www.amazon.co.jp/dp/B01644ODF8/ref=cm\\_sw\\_r\\_tw\\_dp\\_ZVG4E-PSTSN61N228SMDA](https://www.amazon.co.jp/dp/B01644ODF8/ref=cm_sw_r_tw_dp_ZVG4E-PSTSN61N228SMDA) (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>11</sup> iThermonitor 商品紹介 <https://www.youtube.com/watch?v=eZd9AbP729E> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>12</sup> iThermonitor 公式ページ: <https://frida.com/collections/baby> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>13</sup> Fever Smart 公式サイト <https://feversmart.com> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>14</sup> Fever Smart 紹介動画 <https://www.youtube.com/watch?v=IBdBWcG9NKO> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>15</sup> Fever Smart 販売ページ [https://www.amazon.co.uk/dp/B077BQ945V/ref=cm\\_sw\\_r\\_tw\\_dp\\_JHN6Y-BR666H2JKTC3JWV](https://www.amazon.co.uk/dp/B077BQ945V/ref=cm_sw_r_tw_dp_JHN6Y-BR666H2JKTC3JWV) (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>16</sup> adafruit 公式サイト <https://www.adafruit.com> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>17</sup> Wearable Continuous Temperature Monitor <https://learn.adafruit.com/wearable-temperature-monitor> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>18</sup> ESP8266 <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>19</sup> ESP-WROOM-02 データシート [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp-wroom-02u\\_esp-wroom-02d\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp-wroom-02u_esp-wroom-02d_datasheet_en.pdf) (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>20</sup> 体温センサー MAX30205 <https://www.maximintegrated.com/jp/products/sensors/MAX30205.html> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>21</sup> Nordic 社 nRF52840 <https://www.nordicsemi.com/products/nrf52840/getstarted?lang=ja-jp> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>22</sup> Raytac 社 MDBT50Q-1MV2 [https://www.raytac.com/product/ins.php?index\\_id=24](https://www.raytac.com/product/ins.php?index_id=24) (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>23</sup> Adafruit ItsyBitsy nRF52840 Express - Bluetooth LE <https://www.adafruit.com/product/4481> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>24</sup> ESP32 <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>25</sup> LILYGO® TTGO [http://www.lilygo.cn/prod\\_view.aspx?TypeId=50063&Id=1342&FId=t3:50063:3](http://www.lilygo.cn/prod_view.aspx?TypeId=50063&Id=1342&FId=t3:50063:3) (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>26</sup> LilyGo-T-PCIE <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/LilyGo-T-PCIE/blob/master/examples/SIM7600/SIM7600.ino> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>27</sup> Better Arduino Random Numbers <https://rheingold-heavy.com/better-arduino-random-values/> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>28</sup> Feasibility of continuous fever monitoring using wearable devices <https://www.nature.com/articles/s41598-020-78355-6> (2021/10/4 最終アクセス)
- <sup>29</sup> A Flexible Wireless Sensor Patch for Real-Time Monitoring of Heart Rate and Body Temperature [https://www.jstage.jst.go.jp/article/transinf/E102.D/5/E102.D\\_2018EDL8167/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/transinf/E102.D/5/E102.D_2018EDL8167/_pdf) (2021/10/4 最終アクセス)

## 付録

本稿で使用しているプログラムソースコードは長岡造形大学リポジトリ (<https://nagaoka-id.repo.nii.ac.jp>) で付録として公開している。

(長岡造形大学リポジトリ／長岡造形大学研究紀要第 19 号／付録／常時装着型データロガーの開発【コード】)