

IoT Innovation Design Department



IoT イノベーションデザイン学科新設のためのカリキュラム開発事業

# 教材成果報告書

－ IoT 基礎教材（エッジ編）－

令和7年度

本報告書は、文部科学省の教育政策推進事業委託費による委託事業として、九州技術教育専門学校が実施した令和7年度「地方やデジタル分野における専修学校理系転換等推進事業」の成果をとりまとめたものです。

文科省委託「地方やデジタル分野における専修学校理系転換等推進事業」

**KTEC** 学校法人赤山学園 九州技術教育専門学校

## 目次

---

---

教材の概要.....	2
■ 社会課題や実システムとの関係を意識した演習.....	2
■ 実システムの実験モデルとしての演習.....	2
■ IoT 基礎教材と IoT 教材全体の関係.....	3
教材の目的.....	5
■ 役割：IoT システム開発の基本を身につける.....	5
■ 他の教材との連動.....	5
教材の内容.....	6
教材の対象.....	6
■ 想定する受講生の前提とする基礎能力.....	6
教材の構成.....	7
■ IoT 教材（エッジ側）.....	7
教材の成果.....	8
成果物一覧.....	8
■ 01_IoT 教材（エッジ側）_基礎教材_IoT 初歩.pdf: 97 ページ.....	8
■ 02_IoT 教材（エッジ側）_基礎教材_準備編.pdf: 60 ページ.....	8
■ 03_IoT 教材（エッジ側）_基礎教材_センサーとアクチュエータ.pdf: 43 ページ ..	8
■ 04_IoT 教材（エッジ側）_基礎教材_ネットワーク技術.pdf: 67 ページ.....	8
■ 05_IoT 教材（エッジ側）_基礎教材_付録 A_追加情報.pdf: 51 ページ.....	8
■ 06_IoT 教材（エッジ側）_基礎教材_付録 B_演習プログラムリスト.pdf: 25 ページ	
8	
成果物抜粋.....	9
■ テキストのスライドの抜粋.....	9
■ 実証講座の様子.....	12

実証講座で使用了たテキスト.....	13
■ 基礎（準備）編.....	13
■ エッジ編.....	27
今後の課題.....	36

## IoT 基礎教材（エッジ編）成果報告

### 教材の概要

---

#### ■ 社会課題や実システムとの関係を意識した演習

演習の課題設定においては、社会課題のうち、今回はエッジデバイスの活用事情を知ることから導入して、演習で実施可能な課題へと誘導している。これは、受講生において、演習対象の機材の使い方に終始せず、実務において有用な問題に取り組んでいるという意識を持たせることを意図しているからである。

#### ■ 実システムの実験モデルとしての演習

また、想定する学内での演習では、実務レベルの現実感や規模の演習は困難なため、簡略化したシステムを開発することになるが、このことについても、実務においても課題の解決に重要な関心事を取り出してモデル化し、実験結果を実システムの開発に活かすという流儀があることを意識できるよう構成している。

## ■ IoT 基礎教材と IoT 教材全体の関係

最終的な IoT コースウェアの教材において、本報告の IoT 基礎教材は、IoT の基礎的な知識習得部分とエッジ側の基礎知識、基礎演習部分を担う。

最終的な IoT 教材の構成と、その中における本報告における IoT 基礎教材の成果との関係を以下に示す。

- **基礎編：IoT の基礎知識、演習課題の説明（本報告の IoT 基礎教材成果に相当）**

- ・ IoT のしくみと利用技術について理解する
- ・ 演習課題の背景を把握し、演習の内容と意図を理解する。

- **エッジ編：エッジデバイスの開発（本報告の IoT 基礎教材成果に相当）**

- ・ 演習課題のエッジデバイスを開発する
- ・ 開発したエッジデバイスを擬似的な IoT システムに組込んで動かす

- **クラウド編：クラウドサービスの開発（次年度以降の各教材成果に相当）**

- ・ 演習課題のクラウドサービスを開発する
- ・ 開発したクラウドサービスを擬似的な IoT システムに組込んで動かす

- **統合編：統合システムの開発（次年度以降の各教材成果に相当）**

- ・ これまでに開発したエッジデバイスとクラウドサービスを統合する
- ・ 統合したシステムを動かす

エッジ編、クラウド編、統合編の関係を図 1 に示す。

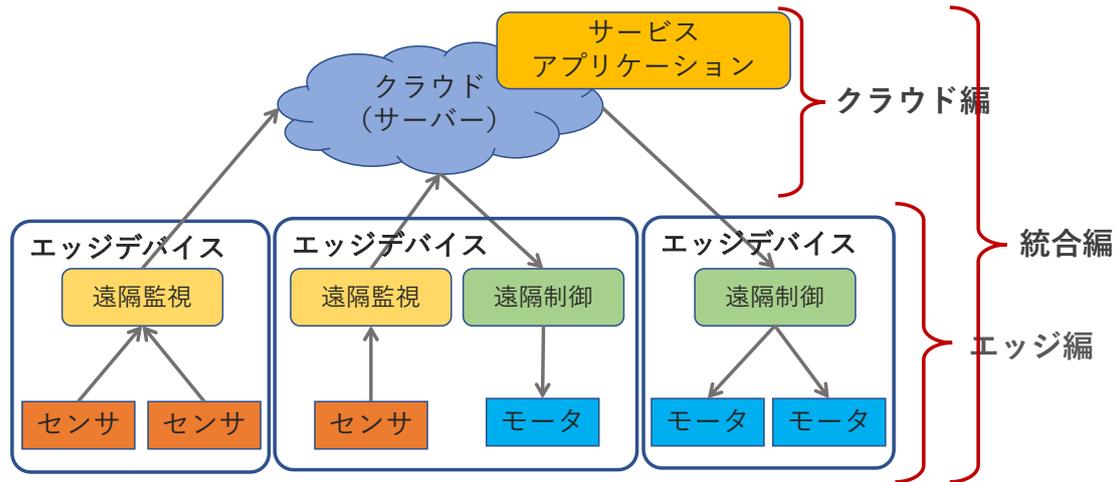


図 1 エッジ編・クラウド編・統合編の関係

## 教材の目的

---

本報告における IoT 基礎教材は、IoT システム開発者が身につけるべき基礎知識とエッジ側のシステム、ソフトウェア開発の基礎的な技術の習得を目的としている。

### ■ 役割 : IoT システム開発の基本を身につける

本報告における IoT 基礎教材には 2 つの役割がある。ひとつは、IoT システム開発者が身につけるべき基礎知識の獲得である。いまひとつは、IoT のエッジ側のシステム開発に必要なとなるハードウェア、ソフトウェアについて、演習を通じて実践的に学ぶことである。

これらの役割を果たすため、IoT 基礎教材では、IoT が求められる社会背景から利用技術に至る基礎知識のための教材と、エッジデバイスを開発する際に必要となる知識とハードウェア、ソフトウェアの両面からなる演習をもって構成している。

### ■ 他の教材との連動

IoT システムやシステムが利用される社会課題や環境は規模が大きく、限られた時間や資源において相応の講義や演習を実施しても、現実を実感するのは難しい。

そこで、IoT 基礎教材はそれ自体で演習可能な構成としつつも、大きな課題の部分としても機能するシステムを開発することを目指す。具体的には、本教材で作成するエッジ編のシステムは、統合編においてクラウド編のシステムと接続できるよう、課題や接続方法などを合わせるよう演習する。

## 教材の内容

---

### 教材の対象

---

#### ■ 想定する受講生の前提とする基礎能力

##### ● プログラミング能力

基本文法を習得し基本的なアルゴリズムを理解しており、簡易なコードを書くことができる。

必須受講科目

##### ● プログラミング演習

- プログラミング言語の基本文法及びデータ型・データ構造の理解

##### ● アルゴリズム理論

- データ構造、探索、ソート等、基本アルゴリズムの理解

##### ● 情報の知識

情報理論、ハードウェア、ソフトウェア、ネットワーク、セキュリティ、システム開発手法等の知識を習得している。

必須受講科目

##### ● 情報テクノロジー

- 基本情報技術者試験のシラバスに対応した情報処理分野の知識の理解

※不足するものについては、本講座の準備編で補う。

## 教材の構成

---

### ■ IoT 教材（エッジ側）

#### ● 01\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_IoT 初歩

- ・ 令和 6 年度計画書の基礎教材① IoT 初歩に相当。
- ・ 実際の IoT システムに関する紹介。
- ・ IoT の概要、Society5.0 と適応後の社会についての基礎知識。

#### ● 02\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_IoT 演習の準備

- ・ 令和 6 年度計画書の基礎教材② センサーとアクチュエーターの一部が相当。
- ・ IoT の構成要素（演習環境で使うエッジコンピューター、センサー、アクチュエーター、ネットワーク等）の設定と動作の確認。
- ・ 演習課題の対象システムやその背景の理解、実システムと演習システムの構成要素の対応関係の把握。

#### ● 03\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_センサーとアクチュエータ

- ・ 令和 6 年度計画書の基礎教材② センサーとアクチュエーターに相当。
- ・ センサーの種類と用途：温度センサー、湿度センサー、光センサー、モーションセンサーなどの動作原理や応用例の理解。
- ・ アクチュエーターの種類と用途：モーター、リレー、LED などの制御方法の理解。

#### ● 04\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_ネットワーク技術

- ・ 令和 6 年度計画書の基礎教材③ ネットワーク技術に相当
- ・ 通信プロトコル：Wi-Fi、Bluetooth、Zigbee、LoRa などの主要な通信プロトコルの基礎知識。
- ・ クラウド、Web3.0 などのクラウド側環境とそのサービスについての基礎知識。

## 教材の成果

---

### 成果物一覧

---

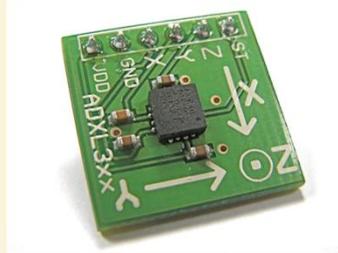
- 01\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_IoT 初歩.pdf: 97 ページ
- 02\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_準備編.pdf: 60 ページ
- 03\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_センサーとアクチュエータ.pdf: 43 ページ
- 04\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_ネットワーク技術.pdf: 67 ページ
- 05\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_付録 A\_追加情報.pdf: 51 ページ
- 06\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_付録 B\_演習プログラムリスト.pdf: 25 ページ



## 加速度センサー



- 加速度センサーは1秒における速度変化（加速度）を測定します
  - 重力加速度の測定可能で、人の動き、振動、衝撃も検知
  - 3軸（XYZ軸）適応センサーであれば水平状態を検出でき、スマートフォンやビデオカメラなど手ぶれ補正でも活用されます
  - その他に、スマートフォン、ゲームコントローラー、ハードディスクカーナビなどにも使われています



IoT教材（エッジ側）基礎教材

<https://smartrivemagazine.jp/>

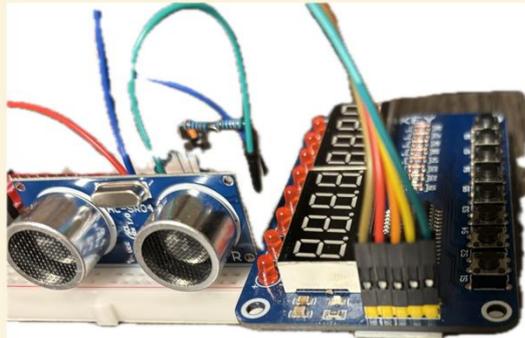
63

## 03\_IoT 教材（エッジ側）\_基礎教材\_センサーとアクチュエータより

### 超音波センサーの回路を構成する（2）



- 配線例



挿す場所に注意

IoT教材（エッジ側）基礎教材

Copyright © iID Project.

25

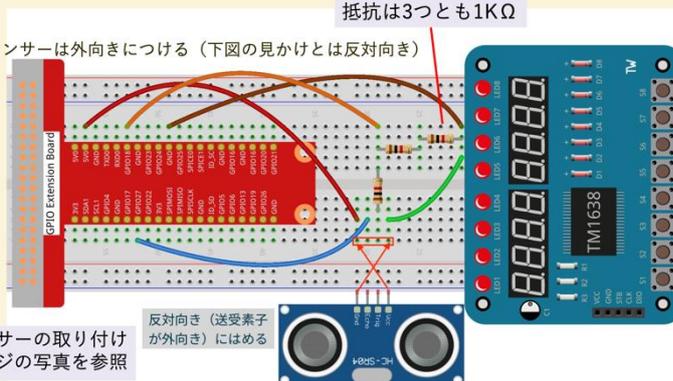
### 超音波センサーの回路を構成する（1）



- 配置図

- 超音波センサーは外向きにつける（下図の見かけとは反対向き）

抵抗は3つとも1KΩ



超音波センサーの取り付け方は次ページの写真を参照

反対向き（送受素子が外向き）にはめる

IoT教材（エッジ側）

Copyright © iID Project.

fritzing

24

## sonar-reader3.py の説明

### • get\_distance: 超音波を発信して受信するまでの時間から距離を求める

- 超音波の発信を指示
  - trig\_pinを10 $\mu$ sだけオンにする
- 超音波送信時刻を覚える
  - 超音波送出後にecho\_pinがHIGHになるので、この時を発信時刻として覚える
- 超音波受信時刻を覚える
  - 超音波受信時にecho\_pinがLOWになるので、その時を受信時刻として覚える
- 距離を求める
  - 発信から受信までの時間に音の速度をかけて距離を求め、(往復なので) 2で割って測定した距離とする

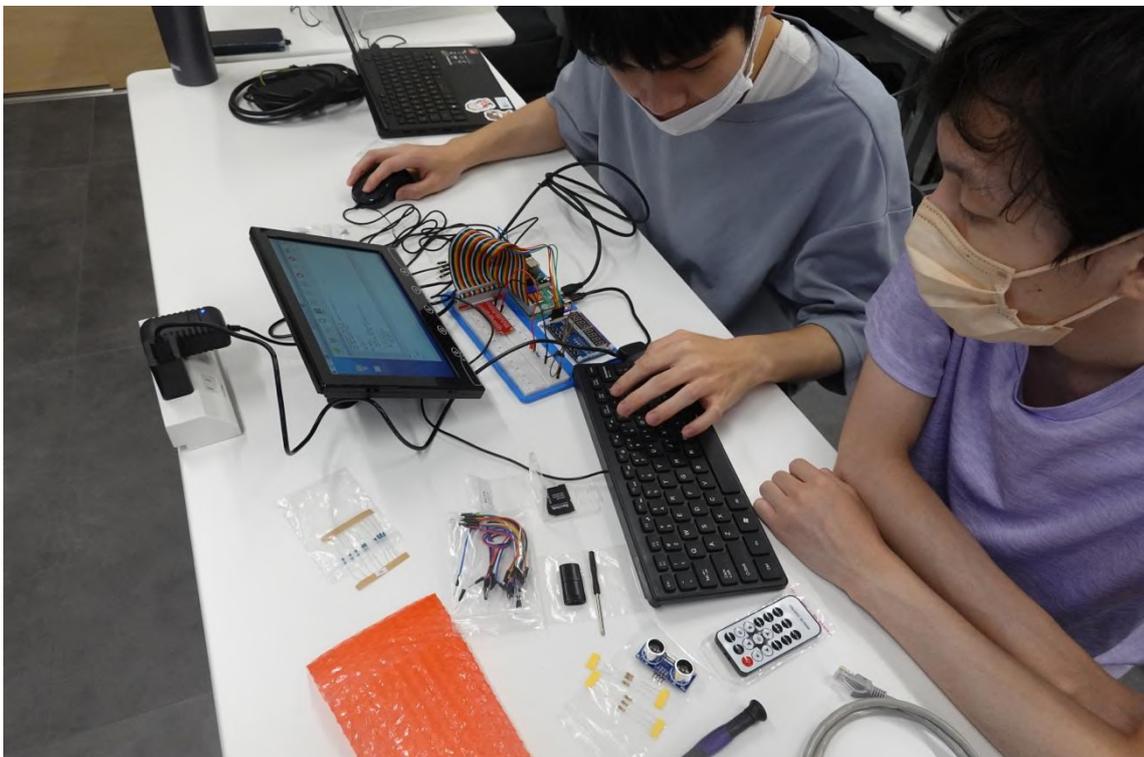
```
24 def get_distance():
25     #Trigピンを10 $\mu$ sだけHIGHにして超音波の発信開始
26     GPIO.output(trig_pin, GPIO.HIGH)
27     time.sleep(0.000010)
28     GPIO.output(trig_pin, GPIO.LOW)
29
30     while not GPIO.input(echo_pin):    この間に超音波が出ている
31         pass
32     t1 = time.time() # 超音波発信時刻 (EchoピンがHIGHになった時刻) 格納
33
34     while GPIO.input(echo_pin):       超音波の戻りを待っている
35         pass
36     t2 = time.time() # 超音波受信時刻 (EchoピンがLOWになった時刻) 格納
37
38     return (t2 - t1) * speed_of_sound / 2 # 時間差から対象物までの距離計算
39
```

■ 実証講座の様子

- 教室の様子



- 演習中の受講生の手元の様子



## 実証講座で使用したテキスト

### ■ 基礎（準備）編

#### ● 検証用機材の組立

今回講座で使用するエッジデバイスの組立を行う

- 各機器の接続
- ブレッドボードを使用した回路組立

### 静電気にご注意



- 電子部品には静電気に弱いものが多いです
  - とくに冬は乾燥しているので注意
  - 演習のときは、静電気の起きやすい状況を減らしましょう
  - 衣服のこすれ、床と足のこすれで帯電します
- 対策
  - セーターよりはトレーナーで
  - カーペットと靴下だと溜まりやすい
  - ハンドクリームを塗る
  - 加湿器を炊く
  - 静電気防止スプレー

Copyright © IID Project.

2

### エッジデバイスで使うもの



- Raspberry Pi 4 model B
  - エッジデバイスのCPUの枠割
- TM1638ボード、その他のセンサーやボード
  - エッジデバイスのセンサー、メーターの役割



<https://www.raspberrypi.org/>

Raspberry Pi 4 model B



Video Courses  
Python C Java Scratch  
センサーやボード類



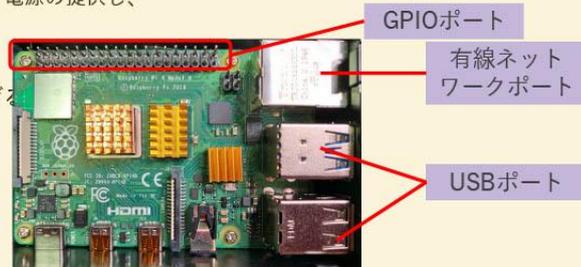
TM1638ボード

Copyright © IID Project.

3

## Raspberry Pi 4 model B

- Raspberry Pi 4
  - 安価なシングルボードコンピュータ (SBC) の第4世代
  - Raspberry Pi財団が開発、販売している
  - コンピュータとデバイスを接続したシステムが作成しやすい
- GPIOポート
  - センサーや周辺機器の回路を接続して、電源の提供し、各種信号を入出力できる
- USBポート
  - キーボード、ディスプレイなどをつなげる
- ネットワーク
  - 有線、Wi-Fi
- SDカード
  - ハードディスクやSSDの代替

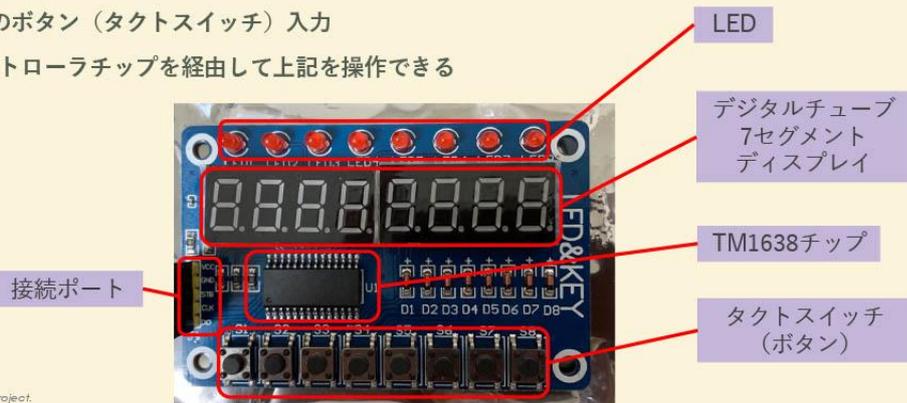


Copyright © IID Project.

4

## TM16398ボード

- 8つのLEDの点灯
- 8桁の7セグメント表示
- 8つのボタン (タクトスイッチ) 入力
- コントローラチップを経由して上記を操作できる

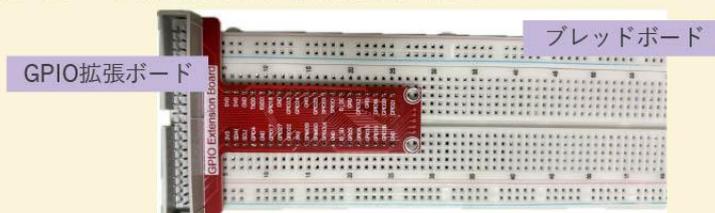


Copyright © IID Project.

5

## GPIO拡張ボードとブレッドボード

- Raspberry PiのGPIOポートを利用しやすくするためのボード
  - TM1638ボードや追加のセンサーやモーターは、この拡張ボードに設置する
- ブレッドボード (breadboard)
  - 電子回路の実験や試作をするために使う基板
  - プロトタイピング基板と呼ぶ人もいる
  - 演習で使うのはハンダ付け等が不要な「差し込み式」のもの



ブレッドボードにGPIO拡張ボードを装着した図 (実際に装着するのはあとの作業で)

Copyright © IID Project.

6

## その他のセンサー等



- 超音波センサー
  - 超音波を使って距離が測れる
- 抵抗、ジャンパ線等
  - 必要な都度使う



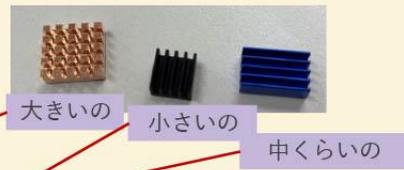
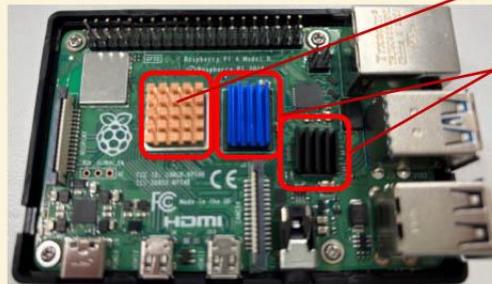
ジャンパ線と抵抗の写真

ジャンパ線      抵抗

## Raspberry Pi の準備 (1)



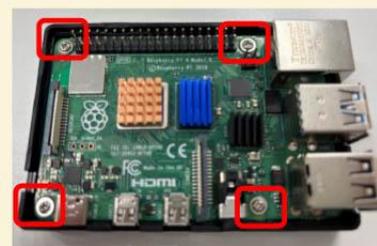
- 基板上的チップにヒートシンクを取り付ける
  - ヒートシンクの両面テープを剥がして取り付ける



## Raspberry Pi の準備 (2)



- 基板をケースに格納する
  - 底板に基板をはめて、ビス穴に合わせる
  - ビスを付属のドライバーで締めて基板を固定する



### Raspberry Pi の準備 (3)



- ・ファンはケースのふたに装着する
  - ビスが2つなので、ネジ穴に合う対角線の2箇所をとめる
  - 後の作業の都合、ふたはケースに取り付けなくてよい



Copyright © IID Project.

10

### Raspberry Pi の準備 (4)



- ・中ケースを取り付ける
  - USBポートやディスプレイ用ポートの穴の位置を合わせてはめ込む



Copyright © IID Project.

11

### Raspberry Pi の準備 (5)



- ・ケースの足を取りつける
  - ケースの底板の裏のまるいところに、樹脂製の足を貼り付ける
  - 4箇所ともはりつける



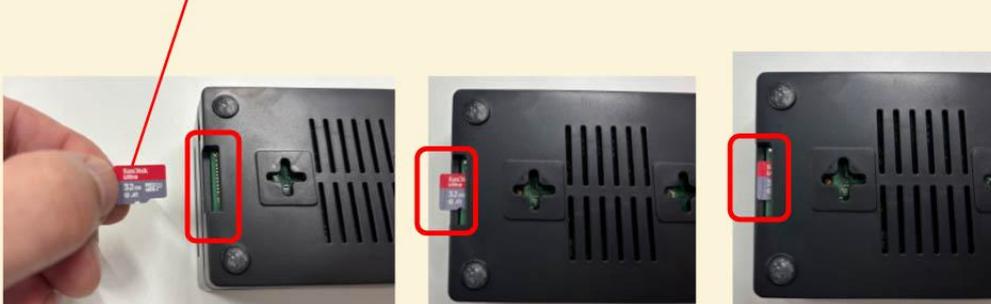
Copyright © IID Project.

12

## Raspberry Pi の準備 (6)



- SDカードを装着する
  - ケースを裏返して、横から挿入する
  - 基板のカード挿入口に合っているか確認する
  - カードの向き (表裏) が合っているか確認する



Copyright © IID Project.

13

## Raspberry Pi の準備 (7)



- 拡張基板用ケーブルを装着する
  - ケーブルをRaspberry PiのGPIOポートに差し込む
  - 蓋の穴にケーブルを通しておく (ケーブルの向きに注意すること)



Copyright © IID Project.

14

## Raspberry Pi の準備 (8)



- USBポートに、キーボード、マウスを接続する
- ディスプレイポートに付属のHDMIケーブル (ミニ側) を接続する
  - 標準サイズのHDMI端子ではないので注意



Copyright © IID Project.

15

## Raspberry Pi の準備 (9)



- ディスプレイに足をとりにつける
- ディスプレイの電源ケーブルを接続する
- ディスプレイにHDMIケーブルを接続する



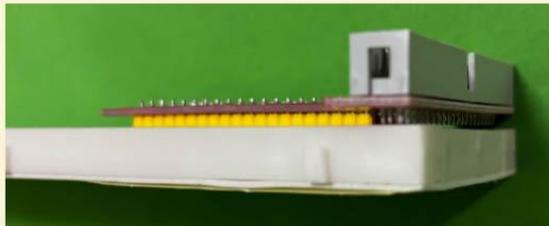
Copyright © IID Project.

16

## GPIO拡張ボードをブレッドボードに搭載する



- GPIO拡張ボードをブレッドボードに差し込む
  - ピンを曲げてしまわないよう注意



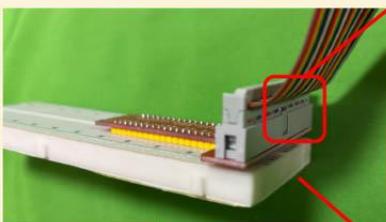
Copyright © IID Project.

17

## Raspberry Pi とGPIO拡張ボードの接続



- 接続用ケーブルを使ってRaspberry PiとGPIO拡張ボードに接続する
  - ケーブルの向きに注意 (爪が出ているので、ソケットのポッチに合わせる)



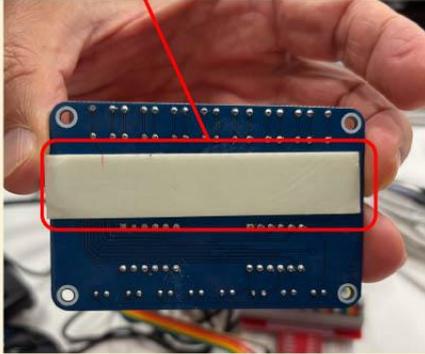
Copyright © IID Project.

18

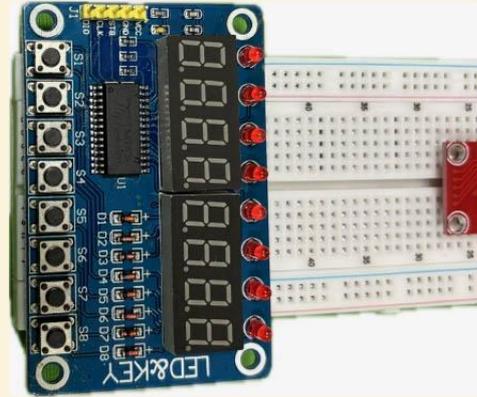
## ブレッドボードにTM1638ボードを搭載する



- ・ 両面テープを使ってGPIO拡張ボードにTM1638ボードを搭載する
  - タクトスイッチ（ボタン）を押すので、押しもガタつかない位置に取り付ける



Copyright © IID Project.

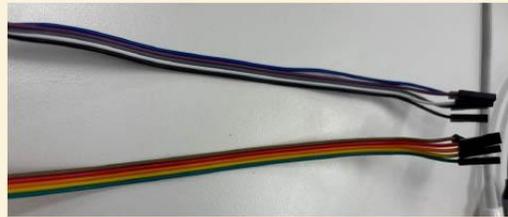
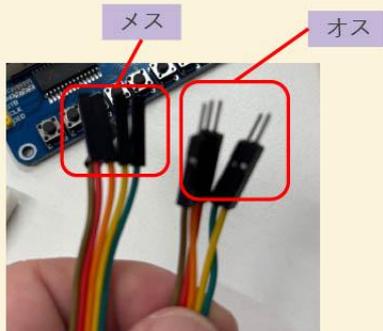


19

## GPIO拡張ボードとTM1638の接続（1）



- ・ GPIO拡張ポートとTM1638を接続するケーブルを用意する
  - 片方はジャンパ線のオスの形、他方はジャンパ線のメスの形のケーブルを探す
  - 10本が束になった線になっているので、5本になるように2つに割く



10本の束を5本の束に割いたところ

Copyright © IID Project.

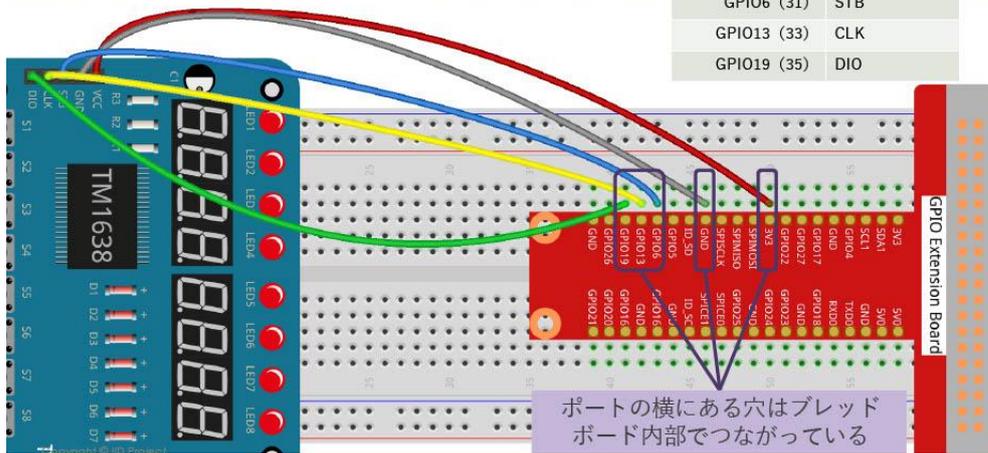
20

## GPIO拡張ボードとTM1638の接続（2）



- ・ GPIO拡張ポートとTM1638をジャンパ線で結線する

ラズパイ	TM1638
+3.3V (17)	VCC
GND (25)	GND
GPIO6 (31)	STB
GPIO13 (33)	CLK
GPIO19 (35)	DIO



ポートの横にある穴はブレッドボード内部でつながっている

21

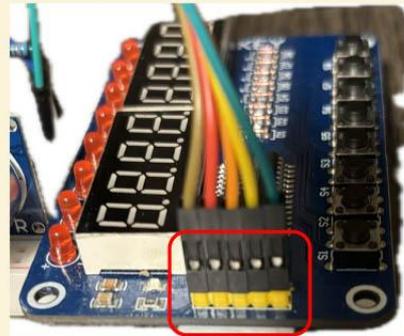
## GPIO拡張ボードとTM1638の接続 (3)



- 実際の接続部分のようす  
 - 前のページの説明と向きが反対なので注意



オス川をブレッドボードの穴に差し込む



メス側をTM1638ボードのポートに差し込む (揃えてから差し込むとやりやすい)

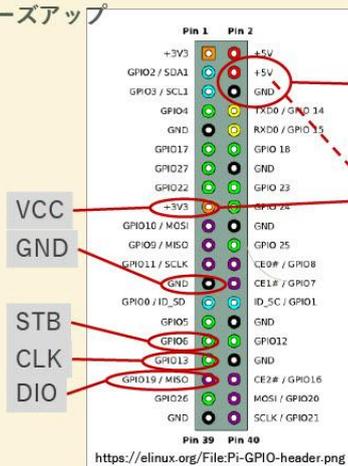
Copyright © IID Project.

22

## GPIO拡張ボードとTM1638の接続 (2)



- GPIOポートのクローズアップ



ファンで使用

TM1638は、3.3Vでも動作するが、個体によって表示がおかしくなるなどの現象がある。そのときは5Vの端子へ使ってみるとよい

Copyright © IID Project.

23

## Raspberry Pi の準備 (10)



- ディスプレイに電源ケーブルを接続する
- 電源ケーブルの中程にあるスイッチがONになっていたら基板の赤いLEDが点灯する
- LEDが点灯していないなら、電源ボタンを押して電源をいれる



Copyright © IID Project.

24

## ● Raspberry Pi 4 の起動

エッジデバイスのメイン機器である Raspberry Pi 4 の起動プロセスを実行する

- 起動前設定及び起動
- ログイン
- ネットワーク接続
- Raspberry Pi の基本操作
  - ◇ Raspberry Pi に直接キーボード、ディスプレイを接続し操作する
  - ◇ VNC または SSH を利用し、Windows PC からリモートデスクトップ環境で操作する

### Raspberry Pi 4を起動する



- 配布キット開梱から起動までの動画も参照
  - <https://www.youtube.com/watch?v=cWJ-KYFkICI&feature=youtu.be>
- 配布のSDカードをRaspberry Pi 4に挿入する
- Raspberry Pi 4に、ディスプレイ、マウス、キーボードをつなぐ
- Raspberry Pi 4に、電源ケーブルを接続後、コンセントに接続し、電源を投入する

Copyright © IID Project.

25

### ラズパイにログインする



- 起動時にユーザー名とパスワードを入力する
  - 演習用のユーザー名: ktec (演習で共通)
  - 演習用ユーザーパスワード: user00 (演習で共通)
  - ユーザー名とパスワードは、各自で変更してもよいが、忘れないこと
    - 忘れると使えるようにするのにけっこう手間がかかるので、注意
- 演習用のホスト名: raspi00、raspi01、raspi02、 ...
  - あとでみんなで変更する



Copyright © IID Project.

26

## Raspberry Pi 4をネットワークに接続する



- 自宅等で演習する場合
  - Raspberry Pi 4を、自分のPCと同じネットワークに接続しておく
  - 有線LANの場合：ネットワークケーブルでハブやルーターに接続する
  - Wi-Fiの場合：アクセスポイントを調べて接続する
- 講義室で演習する場合
  - 講義室のWi-Fiに接続する
  - 詳細は講師の指示に従う



自分のRaspberry Pi 4のMACアドレスは、PCや紙に控えておくと何かと便利  
(b8:27:e1から始まるのがラズパイ)

Copyright © IID Project.

27

## Raspberry Pi 4を操作する



- いずれかの方法で操作できるようにしておく
- Raspberry Pi 4本体にキーボードやディスプレイをつないで使う
  - PCとのやりとりがあるので、ネットワーク接続は必要
- VNCを使ってPCから操作する（参考記事、後述）
  - Raspberry Pi 4のデスクトップをリモートから操作する VNC編
    - <https://pcmanabu.com/raspberry-pi-vnc-server/>
- SSHを使ってPCから操作する（参考記事、後述）
  - Windows10標準のOpenSSHクライアントを試してみる
    - <https://qiita.com/szly/items/e774961a41895ac50cf4>

Copyright © IID Project.

28

## VNC を使ってPCから接続する (1)



- Raspberry Pi 4で予めVNCサーバーを起動しておく
  - メインメニュー→設定→Raspberry Piの設定
  - 「インターフェース」タブの「VNC」を有効に
  - メニューバー右上にVNCアイコンが追加される
  - アイコンをクリックして設定画面を開くとサーバーのIPアドレスがわかる



Copyright © IID Project.

29

## VNCを使ってPCから接続する (2)



- Real VNCのサイトから**Viewer**を取得する
  - <https://www.realvnc.com/en/connect/download/viewer/>
- インストールしたら起動する
  - Raspberry Pi 4の**IPアドレス**を指定する
  - ユーザー名とパスワード (さっき指定したもの) を入力する



Copyright © IID Project.

30

## SSHを使ってPCから操作する (1)



- WindowsでSSHクライアントを追加する
  - 「設定>オプション機能」を開く
  - 「OpenSSHクライアント」が見つければインストール済み
    - 「アンインストール」と表示されればインストール済み
- SSHエージェントを設定する
  - スタート→サービスを検索
  - サービス (ローカル)
    - Open SSH Authentication Agent
    - スタートアップの種類で「自動」を選択「OK」

Copyright © IID Project.

31

## SSHを使ってPCから操作する (2)



- コマンドプロンプト (その他のターミナル) からsshを起動
  - `ssh pi@自分のRaspberry Pi 4のIPアドレス`

```

C:\Users\hakoniwa> ssh pi@192.168.2.195
  
```

ssh が起動できないときは、下記に移動して起動してみる

```

C:\Windows\Sysnative> cd OpenSSH
C:\Windows\Sysnative\OpenSSH>
  
```

Copyright © IID Project.

32

SSHを使ってPCから操作する (3) 

- 最初の接続では known hostsへの登録確認メッセージが出る
  - 「yes」で登録する

```
The authenticity of host '192.168.2.195 (192.168.2.195)' can't be established.
ECDSA key fingerprint is SHA256:/uLTKqHwJNKdVl6E3eJF19SYPZC++gQDI7ffGqS3G4.
Are you sure you want to continue connecting (yes/no/[fingerprint])? yes
Warning: Permanently added '192.168.2.195' (ECDSA) to the list of known hosts.
```

- パスワードを入力する
  - 「(提供したパスワード)」

```
Are you sure you want to continue connecting (yes/no/[fingerprint])? yes
Warning: Permanently added '192.168.2.195' (ECDSA) to the list of known hosts.
pi@192.168.2.195's password:
Linux raspberrypi 4.19.66-v7l #1253 SMP Thu Aug 15 11:49:46 BST 2019 armv7l
```

- シェルが起動する

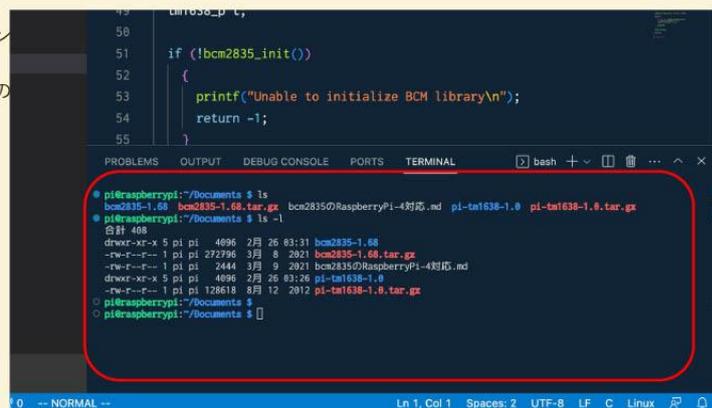
```
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon Feb 27 06:40:12 2023 from 192.168.2.194
pi@raspberrypi:~$
```

Copyright © IID Project.

33

SSHを使ってPCから操作する (4) 

- SSHで接続できていれば、Visual Studio Codeなどからも使える
  - VSCodeにRemote-SSHをインストールしておく
  - VSCodeの中でラズパイ内のファイル編集とターミナル操作ができる



```
pi@raspberrypi:~/Documents $ ls
bcm2835-1.68  bcm2835-1.68.tar.gz  bcm2835のRaspberryPi-4対応_pi-tml638-1.0_pi-tml638-1.0.tar.gz
合計 488
drwxr-xr-x 5 pi pi 4096 2月 26 03:31 bcm2835-1.68
-rw-r--r-- 1 pi pi 272796 3月 8 2021 bcm2835-1.68.tar.gz
-rw-r--r-- 1 pi pi 2444 3月 9 2021 bcm2835のRaspberryPi-4対応.md
drwxr-xr-x 5 pi pi 4096 2月 26 03:26 pi-tml638-1.0
-rw-r--r-- 1 pi pi 128618 8月 12 2012 pi-tml638-1.0.tar.gz
pi@raspberrypi:~/Documents $
pi@raspberrypi:~/Documents $
```

Copyright © IID Project.

接続するネットワークの確認 

- 自分のPCのIPアドレスを調べる
  - ipconfig
  - たとえば"192.168.0.141"とする
- Raspberry Pi 4からPCへpingが通ることを確認しておく

```
$ ping 192.168.0.141
PING 192.168.0.141 (192.168.0.141) 56(84) bytes of data:
64 bytes from 192.168.0.141: icmp_seq=1 ttl=64 time=5.49 ms
64 bytes from 192.168.0.141: icmp_seq=2 ttl=64 time=6.91 ms
```

注意) 後の演習で実際にRaspberry PiからPC内のプログラムへ接続する際には、PCのファイアウォールに警告される

Copyright © IID Project.

35

## ● サンプルプログラムの動作確認

組立て終わったデバイスの接続及び動作確認のため、サンプルプログラムを実行する

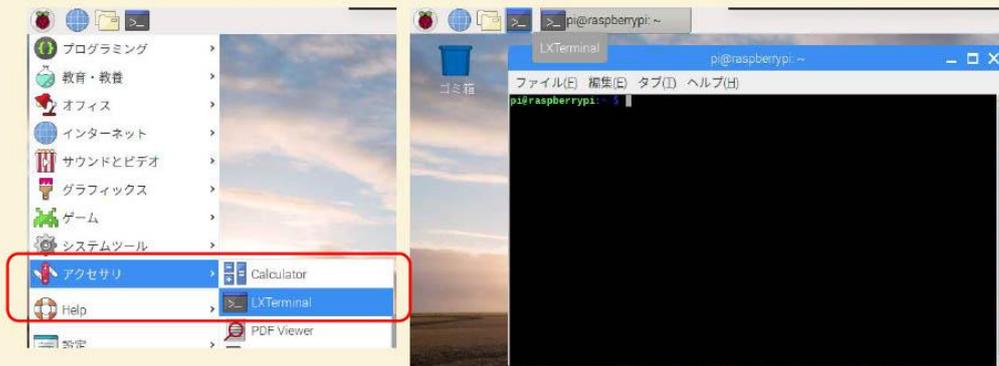
- TM1638 用サンプルプログラムを実行する
- デバッグ (デバイス接続確認等)

### Raspberry Piでターミナルを開く



#### ・ アクセサリ > LXTerminal

- キーボードやディスプレイが繋がってれば、そこから
- もしくはVNCやSSHで接続したターミナルから操作する



Copyright © IID Project.

36

### TM1638のサンプルを動かしてみる (1)



- ・ テストプログラムのディレクトリへ移動する
  - `cd ~/IID/pi-tm1638-1.0/examples`
- ・ テストプログラムを実行する
  - `./tm1638-hello`
    - ・ 「Hello!」 や、その他いろいろをナイトフラッシャー<sup>\*</sup>的に表示する

<sup>\*</sup>アメリカのテレビ番組「ナイトライダー」に登場するドリームカーのAIが話すときにライトが光る様子のこと。

Copyright © IID Project.

37

## TM1638のサンプルを動かしてみる (2)



### • テストプログラムを実行する (つづき)

- ./tm1638-buttons
  - 「Buttons!」と表示後、ボタンを押すと対応する位置のLEDが点く
  - Ctrl-Cで終了 (表示は消えない)
- ./tm1638-clock
  - 時刻を表示する
  - Ctrl-Cで終了 (表示は消えない)



「Buttons!」 のつもり

動作しなかったら、Raspberry PiとTM1638の接続を確認する  
注意) 抜き差しするときは、Raspberry Piの電源を切ってから

Copyright © IID Project.

38

## ● その他

### (おまけ) Raspberry Pi を楽しむための情報



- Raspberry Piをセットアップする
  - <https://projects.raspberrypi.org/ja-JP/projects/raspberry-pi-using>
- Raspberry Pi 入門
  - <https://projects.raspberrypi.org/ja-JP/projects/raspberry-pi-getting-started/>
- プロジェクト
  - <https://projects.raspberrypi.org/ja-JP/projects>
  - 興味があれば、あれこれ試してみてください
  - ゲーム、プログラミング、回路実験、... etc.

Copyright © IID Project.

39

## ■ エッジ編

### ● エッジデバイスの概要

エッジデバイスについての基礎知識を学習する

- エッジデバイスの環境や特性
- エッジデバイスの課題
- エンドポイントの課題

#### エッジデバイスの環境や特性 (1)



- ・ 外界と接するセンサやモータがある
  - そのデバイス向けのデバイスドライバが必要
- ・ 屋外、工場、無人の場所等に設置することが多い
  - 過酷な環境下での稼働
  - 電力、放熱、耐湿、耐衝撃
  - 長期運用が必要
- ・ クラウドやエッジとの通信が必要
  - 標準的な通信プロトコルをサポートすること
  - クラウド側からリモートで操作・管理できること

Copyright © IID Project.

4

#### 水道メーターの例



Copyright © IID Project.

5

## エッジデバイスの環境や特性 (2)



- 末端に大量に設置する
  - 大量に必要
    - 安価であること
  - CPUの性能が低い、メモリが少ない
    - 省資源、省電力
  - 通信が遅い
    - 設置場所のインフラも影響する
  - 数による電力の積算
- デバイス向けに個別開発
  - クラウド側のようにサービスの組み合わせではムリ

Copyright © IID Project.

6

## スマート水道メーターの例



- 末端に大量に設置する (大阪市のデータ)

	配水池 (機場)	配水本管	配水支管	給水栓
施設情報	数量 市内10箇所	約750km (φ400~1500)	約4,350km (φ750~300)	約150万個
属性情報	池容量 経過年数	延長、口径 管材質、内外面塗装 経過年数、漏水履歴	口径	経過年数
計測数	流量TM : 10 水圧TM : 10 水質TM : 10	流量TM : 67 水圧TM : 95 水質TM : 37	各ブロック箇所 : 561 (1回のみ計測)	メーター : 150万 (1回/月検針)
計測データ	配水量 水圧 残留塩素 水温 濁度 色度 電気伝導率 pH	流量、流向 水圧 残留塩素 水温 濁度 色度 電気伝導率 pH	TMS 残留塩素 水温 濁度 色度 電気伝導率 pH 蛍光強度	使用水量
間隔	1回/10秒	1回/10秒	—	—

メーター: 150万個  
配管: 5000km

◎連続測定      ×連続測定

第11回水道技術国際シンポジウムのパネル資料  
「大阪市における水道スマートメーター導入に向けた検討事例」より  
[http://zenken.com/kaiinn\\_sait/kousyuukai/H30/645/645\\_645\\_ekine.pdf](http://zenken.com/kaiinn_sait/kousyuukai/H30/645/645_645_ekine.pdf)

Copyright © IID Project.

7

## エッジデバイスの課題 (1)



- 機器や処理方式が多様
  - 計測方法、通信方法など
- デバイスごとに開発環境等が異なる
  - CPU、チップセット、ベンダー提供環境への依存
  - クロス開発環境が必要
- テストが面倒
  - デバイスがないと動かない
  - 条件、タイミング、設定を思い通りに試すのが難しい
    - 10msごとではデバッグで止めながら調べられない
    - 壊れたときのテストのたびに壊してられない

Copyright © IID Project.

8

## スマート水道メーターの例 (1)



- ・ 機器や処理方式が多様(各社のメーター)

会社名	Itron (アメリカ)	Sensus (アメリカ)	Neptune (アメリカ)	ARAD/Mastar (イスラエル)	DIEHL (ドイツ)	Kamstrup (デンマーク)
製品名	Multimag+	iPERL	MACH 10	Sonata	HYDRUS	MULTICAL 21
概観						
計測方式	羽根車式	電磁式	超音波式	超音波式	超音波式	超音波式
バッテリー	15年	15年	20年	15年	16年	16年

会社名	Elster AMCO (ドイツ)	Elster AMCO (ドイツ)	Badger Meter (アメリカ)	愛知時計 (日本)	アスビル金門 (日本)	東洋計器 (日本)
製品名	V200 / V210 HYBRID	SM700	E-Series	電子式水道メーター	電子式水道メーター	電子式水道メーター
概観						
計測方式	羽根車式	磁体振動式	超音波式	羽根車式	羽根車式	羽根車式
バッテリー	10年	20年	20年	8年	8年	8年

2016.6 (公財)水道技術研究センター 調べ

(一社)全日本建設技術協会、建設技術講習会  
「スマート水道メーターの最近の動向について」資料より  
[http://zenken.com/kaiinn\\_sait/kousyuukai/H30/645/645\\_sekine.pdf](http://zenken.com/kaiinn_sait/kousyuukai/H30/645/645_sekine.pdf)

Copyright © IID Project.

9

## スマート水道メーターの例 (2)



- ・ 機器や処理方式が多様 (通信方式の比較)

	無線マルチ ホップ方式	1 : N 無線方式				
	Wi-SUN	FlexNet	LoRa	Sigfox	NB-IoT	HaLow
通信距離	1km	5-15km	5-15km	10km-30km	20km	1km
伝送速度	400kbps	8kbps	10kbps	0.1kbps	62kbps	150kbps
周波数帯	920MHz	280MHz	920MHz	920MHz	900MHz	920MHz
推進団体	情報通信研究機構、シスコシステムズ、東芝、村田製作所	センサス	セムテック、IBM、シスコシステムズ、ソラコム	SigFox、テレフォニカ、ドイツテレコム、NTTドコモ	エリクソン、インテル、フォーウェイ、KDDI、ソフトバンク	スリーコム、インターシル、ノキア、アップル、LG
現状	提供中	試験使用中	提供中	提供中	2017年開始	2018年以降
免許	不要	必要	不要	不要	必要	不要

LPWA：低消費電力で広域をカバーする無線通信

出典：各協会資料等より JWRC作成

(一社)全日本建設技術協会、建設技術講習会  
「スマート水道メーターの最近の動向について」資料より  
[http://zenken.com/kaiinn\\_sait/kousyuukai/H30/645/645\\_sekine.pdf](http://zenken.com/kaiinn_sait/kousyuukai/H30/645/645_sekine.pdf)

Copyright © IID Project.

10

## エンドポイントの課題 (2)



- ・ 組み込み固有の課題
  - OSなし、またはRTOSを使う
  - 割り込み処理
  - デバイスのレジスタを操作する
  - 電源ONで稼働、電源OFFで停止できる
  - センサやモータの接続が容易ではない
  - 省資源、省電力で稼働
  - 開発者の確保が難しい
    - ・ 特定のデバイスの開発に詳しい人は少ない

Copyright © IID Project.

11

## エンドポイントはなにで作るか？

- リッチな端末を使う（主に試作向け）
  - エンドポイントが少ない場合、パイロット開発など
  - Raspberry Pi、Arduinoなど
- より一般（製造）は組込みシステムになる
  - 廉価で大量に設置できる
  - 耐環境性、電力消費などで優位
  - 一般的なPCアプリより開発は面倒

Copyright © IID Project.

12

### ● スマート水道メータの検討

演習課題として取り組むスマート水道メータについて検討してみる

- 水量の測定方法
  - ◇ 超音波センサーを利用する
  - ◇ 羽根車を利用する
- Raspberry Pi の活用を検討

## 水量の測定方法を調べてみよう

- 流量計の説明（参考）
  - <https://www.keyence.co.jp/ss/products/process/flowmeter/type/>
- Raspberry Piを使ってどうやってやろうか…？

Copyright © IID Project.

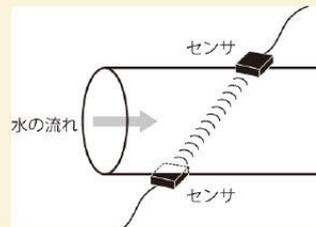
14

## 水量の測定方法（超音波センサを使う方式）



### ・実物の方式（伝播時間差式）

- 水中を進む超音波は、流れに逆らうと遅く、逆に流れに乗ると速く伝わる
- 管内の流体を斜めに横切って交互に超音波を送受信し、2つの超音波の伝播時間の差を流量に換算する



<https://www.keyence.co.jp/ss/products/process/flowmeter/type/ultrasonic.jp>

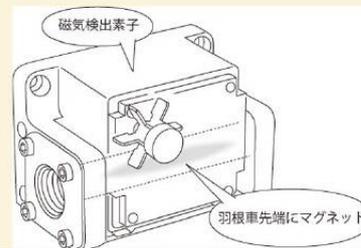
Copyright © IID Project.

15

## 羽根車を使う方式



- ・「接線流羽根車式流量計」（水車）
- ・「軸流羽根車式流量計」（風車）
- ・羽根車を回転させて、回転数から流量を測定する
- ・回転軸にマグネットを埋め込んでパルス信号をとりだして流量に換算される



<https://www.keyence.co.jp/ss/products/process/flowmeter/type/paddle.jp>

Copyright © IID Project.

16

## Raspberry Piをスマート水道メーターの代替品にしよう



- ・超音波で測定しているなら、超音波センサーを使ってみよう
  - 測定している距離を流量量に見立てよう
- ・メーターには、TM1638ボードの7セグメント表示を使おう
  - 流量量を（測定している距離）を表示させよう
- ・あとなんか…機能をつけよう

Copyright © IID Project.

17

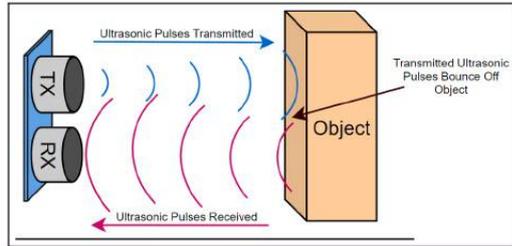
● **超音波センサーを準備する**

超音波センサーの仕組みを知り、回路構成及び制御プログラムの開発方法について学ぶ

- 超音波センサーの仕組み
- 超音波センサー回路の構成
- サンプルプログラムの動作確認

### 超音波センサーのしくみ

- 超音波を出して、物体等に跳ね返って戻るまでの時間を計測
  1. TX (Transmitter) から超音波を送信
  2. 測定対象にぶつかって跳ね返ってきた超音波をRX (Receiver) で受信
  3. かかった時間を測定する
- その時間から、物体等までの距離を知る
  - 測定した時間に音速を掛けて、それを2で割る (往復だから) と距離になる



Gary Smart - Practical Python Programming for IoT, p356

Copyright © IID Project. 19

### 超音波センサーHC-SR04の概要

- デバイスの主な仕様
  - 電源 DC 5V
  - 測定距離 2~400cm (15度の範囲)
  - 分解能 0.3cm
  - 出力 超音波の往復時間
- ピンの役割
  - Vcc 電源のDC 5V
  - Trig 10 $\mu$ s以上Onにすると超音波を発信
  - Echo 超音波の発信終了から受信まで約3.7Vを出力
  - GND 電源のGND



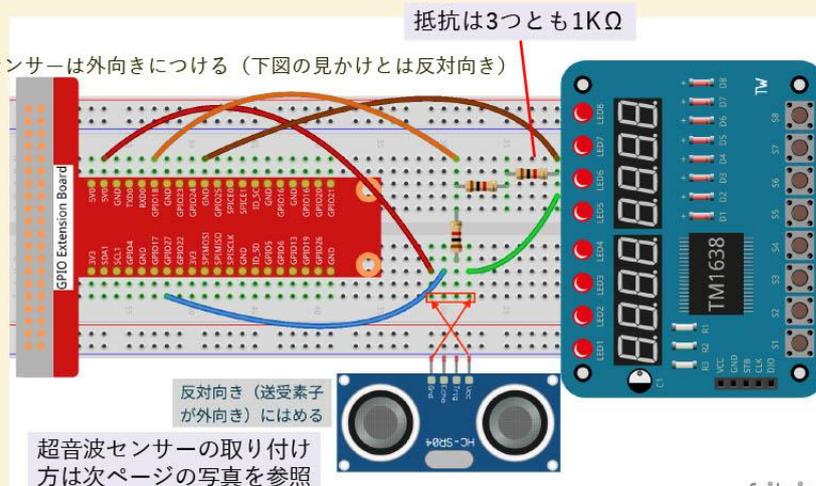
Copyright © IID Project. 20

## 超音波センサーの回路を構成する (1)



### ・ 配置図

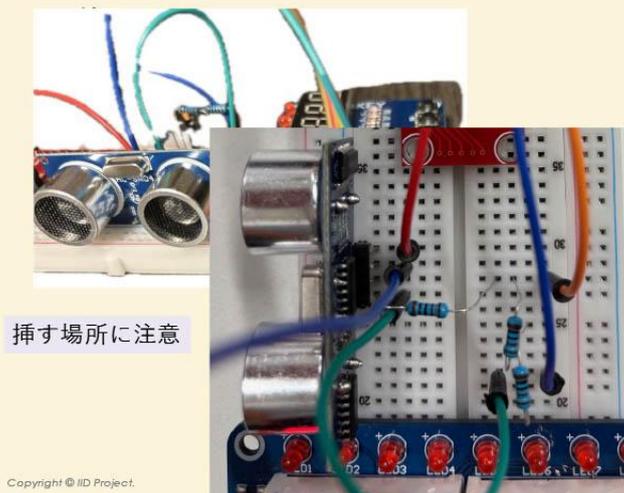
– 超音波センサーは外向きにつける (下図の見かけとは反対向き)



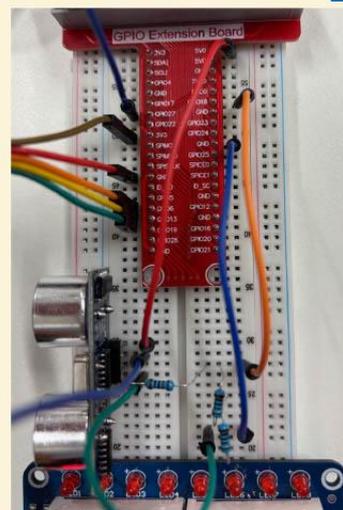
Copyright © IID Project.

fritzing 21

## 超音波センサーの回路を構成する (2)



Copyright © IID Project.



22

## サンプルプログラムを実行する



- ・ Thonny を起動する
  - Raspberry Piメニュー>プログラミング>Thonny
- ・ サンプルプログラムをLoadする
  - IID > sonar-samples > sonar-reader2.py
- ・ サンプルを実行する
  - コンソールに測定した距離が出力される
- ・ 動き続けるので、停止する

物体で遮って距離の変化を確認する

```

led_toggle.py 3K sonar-reader3.py 3K sonar-reader2.py 3K
1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 import sys
4
5 trig_pin = 27
6 echo_pin = 18
7 speed_of_sound = 33150 + 60*24 # 気温24度の音速
8
9 GPIO.setmode(GPIO.BCM) # GPIOをBCMモードで使用
10 GPIO.setwarnings(False) # GPIO警告無効化
11 GPIO.setup(trig_pin, GPIO.OUT) # Trigピン出力モード設定
12 GPIO.setup(echo_pin, GPIO.IN) # Echoピン入力モード設定
13
14 def get_distance():
15     # TrigピンをLOWからHIGHにして超音波の発信開始
16     GPIO.output(trig_pin, GPIO.HIGH)
17     time.sleep(0.000010)
18     GPIO.output(trig_pin, GPIO.LOW)
19
20     while not GPIO.input(echo_pin):
21         pass
22     t1 = time.time() # 超音波発信時刻 (EchoピンがHIGHになった時刻) 帰納
23
24 Shell
25 distance: 16.0cm
26 Distance: 16.2cm
27 Distance: 16.1cm
28 Distance: 16.2cm
29 Distance: 16.5cm
    
```

Copyright © IID Project.

23

## sonar-reader2.py の説明

- ライブラリの初期化
  - TM1638用を追加
- get\_distance
  - 超音波の反射時間を測定
  - 対象までの距離を算出
- メイン
  - 下記を繰り返し
    - 距離を測定する
    - コンソールへ出力
  - 1秒待つ

```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 import sys
4
5 trig_pin = 27
6 echo_pin = 18
7 speed_of_sound = 33150 + 60*24 # 気温24度の音速
8
9 GPIO.setmode(GPIO.BCM) # GPIOをBCMモードで使用
10 GPIO.setwarnings(False) # GPIO警告無効化
11 GPIO.setup(trig_pin, GPIO.OUT) # Trigピン出力モード設定
12 GPIO.setup(echo_pin, GPIO.IN) # Echoピン入力モード設定
13
14 def get_distance():
15     # Trigピンを0usだけHIGHにして超音波の発信開始
16     GPIO.output(trig_pin, GPIO.HIGH)
17     time.sleep(0.000010)
18     GPIO.output(trig_pin, GPIO.LOW)
19
20     while not GPIO.input(echo_pin):
21         pass
22     t1 = time.time() # 超音波発信時刻 (EchoピンがHIGHになった時刻) 格納
23
24     while GPIO.input(echo_pin):
25         pass
26     t2 = time.time() # 超音波受信時刻 (EchoピンがLOWになった時刻) 格納
27
28     return (t2 - t1) * speed_of_sound / 2 # 時間差から対象物までの距離計算
29
30
31 while True:
32     # 以下の処理を繰り返す
33     try:
34         distance = '{:.1f}'.format(get_distance()) # 小数点1までまるめ
35         print("Distance: " + distance + "cm") # 表示
36         time.sleep(1) # 1秒待つ
37
38     # Ctrl-Cが押されたら、終了する
39     except KeyboardInterrupt:
40         GPIO.cleanup()
41         sys.exit()
42

```

Copyright © IID Project.

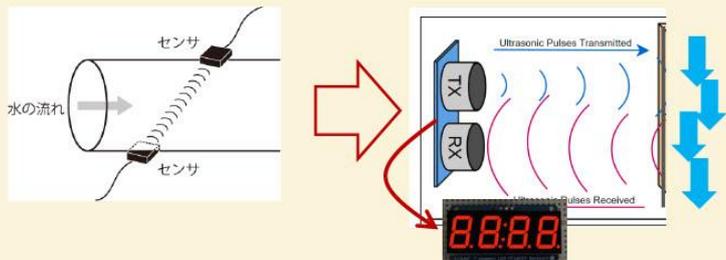
## ● 水道メータを開発する

超音波センサーを利用した水道メータを開発する

- 超音波センサーを水道メータとして利用する方法を考察する
- 水道メータ用回路の構成
- サンプルプログラムの動作確認

## 超音波センサーの返す距離を流量にみてる

- 実際に測定しているのは距離 (cm)
- 流量は単位時間あたりの水の体積
  - 単位は「m<sup>3</sup>/s (立法メートル毎秒)」
- ちょっと変だけど、超音波センサーが取得した距離を流量とみなして使おう



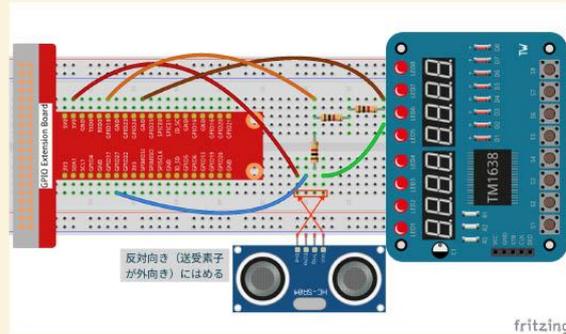
Copyright © IID Project.

## 水道メーターの回路を構成する



### ・ 配置図

- 超音波センサーのほかに、TM1638ボードも使う
- 結線を確認しておく



Copyright © IID Project.

27

## サンプルプログラムを実行する



### ・ Thonny を起動する

- Raspberry Piメニュー>プログラミング>Thonny

### ・ サンプルプログラムをLoadする

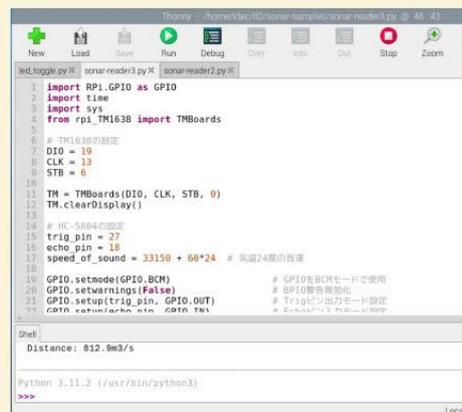
- IID > sonar-samples > sonar-reader3.py

### ・ サンプルを実行する

- コンソールに測定した距離が出力される

### ・ 動き続けるので、停止する

水量の変化 (距離の変化) がメーターの表示を更新するのを確認する



```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 import sys
4 from rpi_TM1638 import TMBoards
5
6 # TM1638の設定
7 DIO = 19
8 CLK = 13
9 STB = 6
10
11 TM = TMBoards(DIO, CLK, STB, 0)
12 TM.clearDisplay()
13
14 # HC-SR04の設定
15 trig_pin = 27
16 echo_pin = 18
17 speed_of_sound = 33150 + 60*24 # 気温24度の音速
18
19 GPIO.setmode(GPIO.BCM) # GPIOをBCMモードで使用
20 GPIO.setwarnings(False) # GPIO警告無効化
21 GPIO.setup(trig_pin, GPIO.OUT) # Trigピン出力モード設定
22 GPIO.setup(echo_pin, GPIO.IN) # Echoピン入力モード設定
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
```

## 今後の課題

---

教材開発分科会 IoT ワーキンググループにおいて、本年度の実証講座の実施を踏まえ、講座内容、テキスト、演習機材等について議論し、得られた課題については、実証講座報告書に記載した。

教材開発（IoT 応用）において類似の課題に備えることとし、必要に応じて基礎編教材の改修も検討する。