

Sigfox, Matlab, および Thingspeak を用いた IoT 装置の教育システム

田中 武*・濱田 拓茉**・榎原 健人**

(令和3年11月5日受付)

Education system for IoT device using Sigfox, Matlab, and Thingspeak

Takeshi TANAKA, Takuma HAMADA and Kento MAKIHARA

(Received November 3, 2021)

Abstract

We installed a Sigfox antenna at Hiroshima Institute of Technology and used the Sigfox network to acquire data from a water meter equipped with an IoT device via the Internet. In addition, the results of the water meter revealed that it is possible to create an IoT-related system that combines an environment sensor, ozone sensor, illuminance sensor, and GPS sensor in one procedure. Some of these studies were incorporated into the studies of students in the first half of the doctoral program at the graduate school, and the research results were obtained, so it is considered that a rudimentary educational system could be constructed.

Key Words: IoT (Internet of Things), Sigfox, water meters, ozone sensor, GPS, LPWA (Low Power Wide Area)

1. はじめに

1-1 Society 5.0とは¹⁾、

サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）であり、

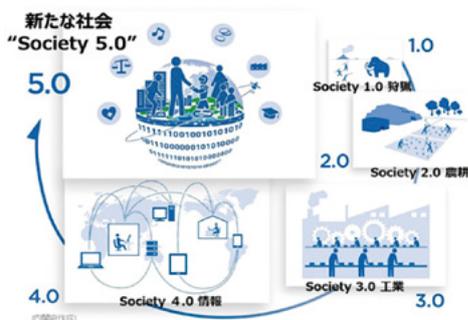


Fig. 1 狩猟社会 (Society 1.0)、農耕社会 (Society 2.0)、工業社会 (Society 3.0)、情報社会 (Society 4.0) から、新たな社会へ

狩猟社会 (Society 1.0)、農耕社会 (Society 2.0)、工業社会 (Society 3.0)、情報社会 (Society 4.0) に続く、新たな社会を指すもので、第5期科学技術基本計画において我が国が目指すべき未来社会の姿として初めて提唱されました。(Fig.1 参照)

これまでの情報社会 (Society 4.0) では知識や情報が共有されず、分野横断的な連携が不十分であるという問題がありました。人が行う能力に限界があるため、あふれる情報から必要な情報を見つけて分析する作業が負担であったり、年齢や障害などによる労働や行動範囲に制約がありました。また、少子高齢化や地方の過疎化などの課題に対して様々な制約があり、十分に対応することが困難でした。

Society 5.0で実現する社会は、IoT (Internet of Things) で全ての人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出すことで、これらの課題や困難を克服します。また、人工知能 (AI)

* 広島工業大学工学部電子情報工学科

** 広島工業大学大学院工学系研究科電気電子工学専攻

により、必要な情報が必要な時に提供されるようになり、ロボットや自動走行車などの技術で、少子高齢化、地方の過疎化、貧富の格差などの課題が克服されます。社会の変革（イノベーション）を通じて、これまでの閉塞感を打破し、希望の持てる社会、世代を超えて互いに尊重し合あえる社会、一人一人が快適で活躍できる社会となります。

1-2 Society 5.0で実現する社会¹⁾



Fig. 2 Society 5.0で実現する社会

これまでの情報社会（Society 4.0）では知識や情報が共有されず、分野横断的な連携が不十分であるという問題がありました。人が行う能力に限界があるため、あふれる情報から必要な情報を見つけて分析する作業が負担であったり、年齢や障害などによる労働や行動範囲に制約がありました。また、少子高齢化や地方の過疎化などの課題に対して様々な制約があり、十分に対応することが困難でした。Society 5.0で実現する社会は、IoT（Internet of Things）で全ての人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出すことで、これらの課題や困難を克服します。また、人工知能（AI）により、必要な情報が必要な時に提供されるようになり、ロボットや自動走行車などの技術で、少子高齢化、地方の過疎化、貧富の格差などの課題が克服されます。社会の変革（イノベーション）を通じて、これまでの閉塞感を打破し、希望の持てる社会、世代を超えて互いに尊重し合あえる社会、一人一人が快適で活躍できる社会となります。

広島工業大学における、IT化の一つの例を示す。工学部電子工学科（現 電子情報工学科）内に、昭和61年の五日市キャンパス内の学科移転に伴い、クラス1000、10000のクリーンルームが設置され、5年間経過した後、クリーンルームの維持および管理について報告した。²⁾ その後、簡単な集積回路の設計およびプロセス工学教育のできる「集積回路教育実習システム」が平成元年度の文部省教育装置助成でクリーンルーム内に導入され、電子情報工学

科の授業の一つである電子工学実験 III において、ビットマップ法のCADにより、MOSインバータ等の簡単な論理回路のレイアウト設計、およびpn接合ダイオードの製作を体験し、その作製したpn接合ダイオードの電流-電圧特性、および容量-電圧特性等の基本的な電気的特性評価等の実習内容を報告した^{3,4)}。また、この集積回路教育システムを用いて、リングオシレータの設計および製作について報告した⁵⁾。

大規模集積回路関連設計・プロセス工学教育支援システムが、平成10年度に日本私立学校振興・共済事業団の「特色のある教育研究の推進」に採択され、本学電子工学科と電気工学科にワークステーション等が整備された。

システムLSIを設計・試作、設計した評価基板に実装、動作確認を同時にe-learning化することにより理解を深め、ものづくりとe-learningシステムの両立する高度なシステムの構築するために、北九州学術研究都市の共同研究開発センター⁶⁾で用いられているpMOSおよびCMOSFETプロセスを、システムLSI関連のものづくり教育に取り込むために初歩的なシステムLSIを作製した。⁷⁾

近年、インターネット技術や各種センサー・テクノロジーの進化等を背景に、パソコンやスマートフォンなど従来のインターネット接続端末に加え、家電や自動車、ビルや工場など、世界中の様々なモノがインターネットへつながるIoT時代が到来している。⁸⁾ (Fig. 3 参照)

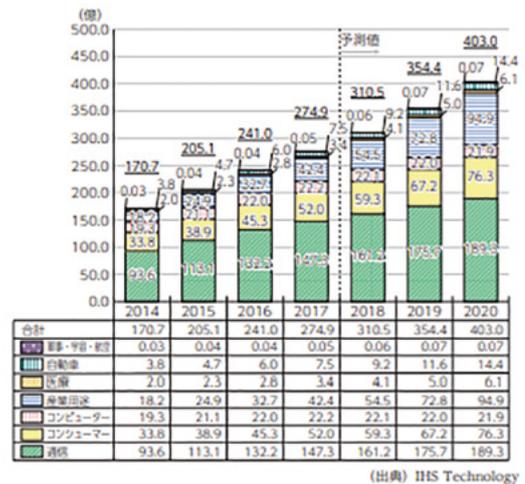


Fig. 3 世界のIoTデバイス数の推移及び予測

IoT のための LPWA (Low Power Wide Area) の通信ネットワークの一つとして、Sigfox があります。(Fig. 4 参照)

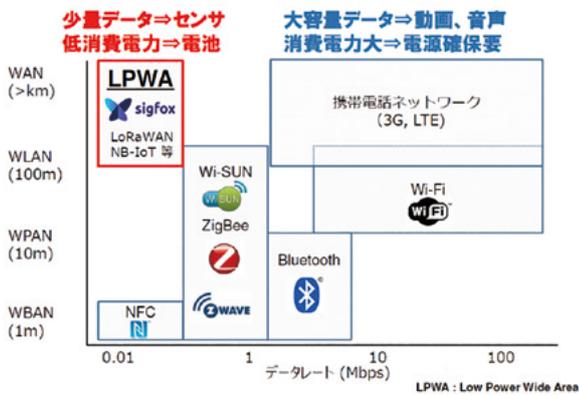


Fig. 4 各種ネットワークのご紹介

少量データは、センサー等に有効であり、低消費電力なので、電池で長期間動作させることができます。

Sigfox 社は、2009年設立され、本社はフランスにあります。下記の特徴があります。

- 1) LPWA に特化したグローバル通信事業者
- 2) 1 国 1 事業者と契約し、その事業者がネットワークを構築運用
- 3) たった12バイトのデータを送る UNB(ウルトラナローバンド) 通信

Sigfox ネットワークサービスの概要を Fig. 5 に示す。

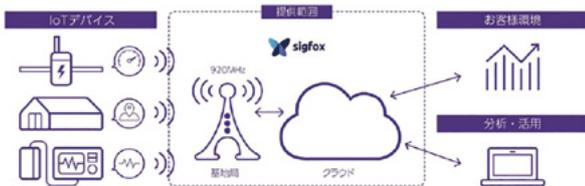


Fig. 5 SIGFOX ネットワークサービス

Sigfox ネットワークサービスの特徴は、

- 1) 超低消費電力 (バッテリー・乾電池で数年間稼動)
- 2) 低コスト (1 回線 (デバイス) 年額100円~)
- 3) 簡便化 (クイックスタート)
 - ・SIGFOX クラウドの提供
 - ・SIM / ペアリング設定必要なし

4) グローバル展開
である。

本研究では、本学内に Sigfox のアンテナの設置、Sigfox ネットワークを用いる IoT 機器を作製し、応用した。また、そのシステムを教育システムとして応用を試みた。

2. Sigfox アンテナの設置について

広島工業大学内での Sigfox アンテナの設置場所について検討するために、大学マップ²⁾を Fig. 6 に示す。



Fig. 6 広島工業大学のバーチャルキャンパス⁹⁾

広島工業大学のバーチャルキャンパスの一番上のタワーデネブから三宅の森、Nexus21まで下り坂なので、Sigfox のアンテナは、一番高い位置にある、第一駐車場の給水塔に設置した。給水塔の右端に sigfox のアンテナが見ることができる。(Fig. 7 参照)



Fig. 7 給水塔の写真(給水塔の右端に sigfox のアンテナが見える。)



Fig. 8 Google マップで見た Sigfox のアンテナの位置

Google マップで、Sigfox のアンテナの位置を示す (Fig. 8 参照)。現在、厳島の北東部や、広島市の宇品港近辺で、Sigfox のアンテナを捕捉することができた。

3. Sigfox のエリア³⁾



Fig. 9 Sigfox の日本のエリア

Sigfox の日本のエリアを Fig. 9 に示す。北海道、関東、中京、京阪神、福岡地区がカバーされており、広島地区では最初の sigfox のアンテナ設置になりました。

4. Sigfox ネットワークを用いた IoT 機器の設置

広島工業大学内に、Sigfox のアンテナを設置したので、Sigfox を用いる IoT 機器を付加した水道メータを設置し、そのデータをインターネット経由で取得することを試みた。

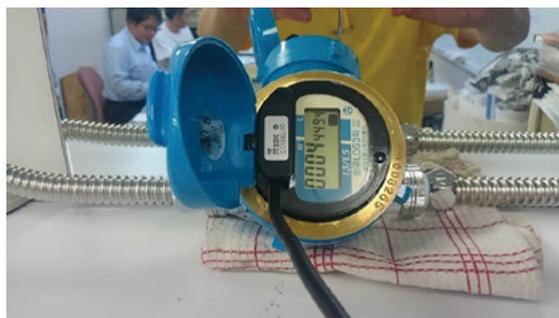


Fig.10 使用した水道メータの写真

使用した水道メータの写真 (Fig.10) を示す。電子式の水道メータで、このメータから出る信号を受けることにより、水道の利用料を測定することができる。



Fig.11 電子カウンター (左) と sigfox のアンテナ (右)

水道メータからの電気信号を Fig.11 (左) の電子カウンターで受信し、(右) の Sigfox のアンテナから電波を発信する

受信ログ

受信日時	受信Body	Index
2017/11/01 17:34:48	{ "device" : "4CE4FC", "time" : 1509525277, "duplicate" : "false", "snr" : 43.84, "station" : "5861", "data" : "015300000000000000000000", "avgSnr" : 42.62, "lat" : 34.0, "lng" : 132.0, "rssi" : -107.00, "seqNumber" : 1391 }	

Fig.12 受信ログの例

Fig.12 の受信ログの説明を行うと、Sigfox Device は、4CE4FC です。Time は、1509525277 です。Unix 時刻は1970年1月1日0時0分0秒を基点に経過した時間を秒と μ 秒 (32ビット分6桁) 表示するものです。1509525277を変換すると2017/11/01-17:34:48になります。Snr 比は、43.84 dBです。Station、基地局の番号は5861です。Data は、015300000000000000000000です。メータの値は1916 m^3 でした。水を流し、1923 m^3 にすると、015300000000000000000007になり、この値の10進法が使用流量 m^3 になります。avgSnr は、42.62です。lat は

緯度、34.0度、lng は経度で132.0度です。Rssi は受信強度で -107.00dBm です。seqNumber は受信番号です。

以上により、IoT 機器を付加した水道メータとの Sigfox 通信が可能になりました。

5) ThingSpeak 及び Matlab/Simulink を用いたデータ処理

今年の Electrotechnica & 3・4月号の表紙の写真に、Sigfox + Arduino UNO、Arduino IDE、および、Thingspeak / Matlab の構成が採用されました。(Fig.13 参照)



Fig.13 Electrotechnica & 3・4月号¹⁰⁾ の表紙の写真

Sigfoxを用いたセンサーの例

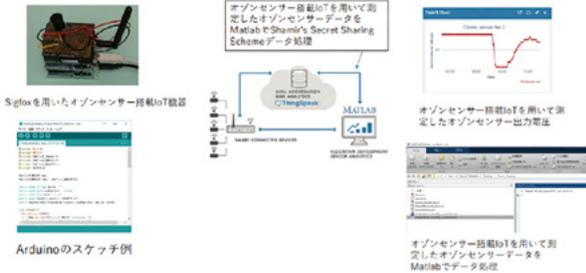


Fig.14 IoT 機器、Arduino のスケッチ、ThingSpeak¹¹⁾、Matlab/Simulink¹²⁾ の概要

ThingSpeak のデータ処理は、Analytics, および、Actions で構成される。

Analytics としては、MATLAB Analysis, MATLAB visualizations, Plugins がある。

Actions としては、ThingTweet, TimeControl, React, TalkBack, ThingHTTP がある。



Fig.15 ThingSpeak のチャンネル設定例

6) Sigfox を用いた IoT 機器の製作

6-1 環境センサーの製作、および運用

環境センサーの製作の主要な手順は、

- ハードウェアの構築
 - Arduinoのスケッチの作成
 - Sigfoxのcallbackの作成
 - ThingSpeakのチャンネル設定
 - 環境センサーの運用
- で、構成される。

6-1-a ハードウェアの構築

Arduino Uno Rev 3 に、Sigfox Shield for Arduino V2 S¹³⁾ を差し込み、IoT 機器を作成した (Fig.16 参照)



Fig.16 環境センサー

Sigfox Shield for Arduino V2 S内の温湿度・気圧センサー (BOSCH BME-280¹⁴⁾) を用いた。そのセンサーの様子は、

- 動作温度範囲：-40 ~ +85 °C (定格)
 - 湿度：0 ~ 100 % (相対湿度)
 - 気圧：300 ~ 1100 hPa
 - 温度精度：± 1 °C (0 ~ 65°C)
 - 湿度精度：± 3 %RH (25°C, 絶対精度の公差)
 - 気圧精度：± 1.0 hPa (0 ~ 65°C, 絶対精度)
- である。

次に、人感センサーと、部屋の照度の目安を得るために、

CdS を、IoT 機器 (Fig.17参照) に組み込み、ハードウェアを構成した。

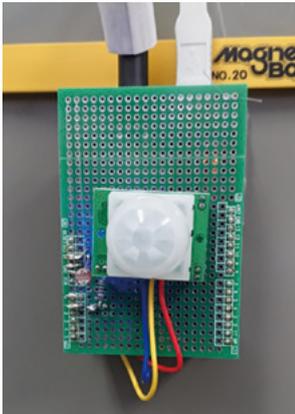


Fig.17 環境センサーの設置写真

Sigfox ネットワークにより、データを転送するときに、データの確認を容易にするために、最初に電子メールで送付し、その値を Fig.19に示す。



Fig.19 受信メールの例

6-1-b Arduino のスケッチの作成

Arduino IDE を用いて、Arduino UNO Rev 3 にスケッチを入れた。

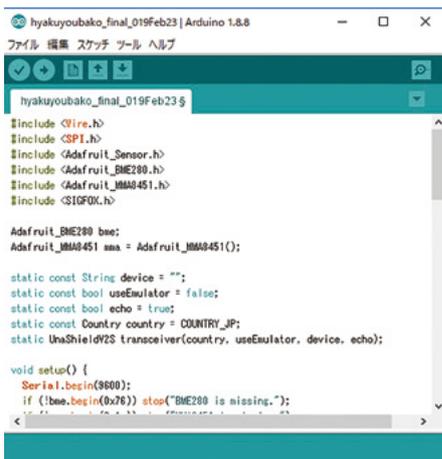


Fig.17 Arduino のスケッチ例

6-1-d ThingSpeak のチャンネル設定

ThingSpeak のチャンネル設定の設定例は、Fig.15 に示す。

6-1-e 環境センサーの運用

環境センサーの運用例として、温度 (Fig.20)、湿度 (Fig.21)、気圧 (Fig.22)、人感センサーの値 (Fig.23)、および照度 (a.u.) を示す。

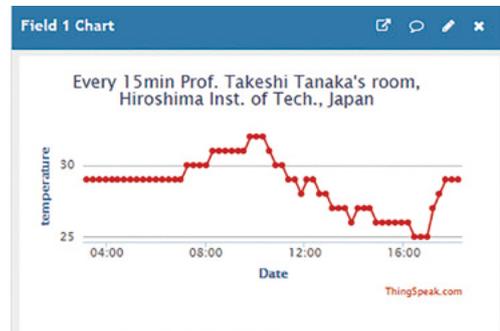


Fig.20 環境センサーの測定値 (温度)

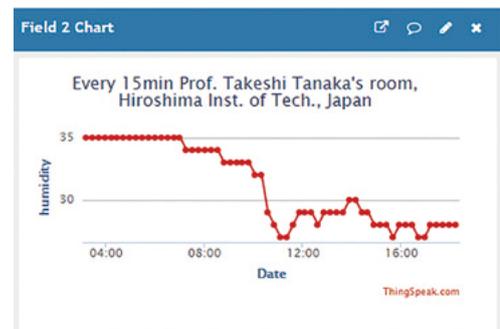


Fig.21 環境センサーの測定値 (湿度)

6-1-c Sigfox の callback の作成

環境センサーからのデータを、Sigfox ネットワークを経由してデータ転送を行うときに、データ転送制御のために、callback を作成する必要がある。Callback の一例を、図18 に示す。



Fig.18 Sigfox Shield for Arduino V 2 S の CallBack の例

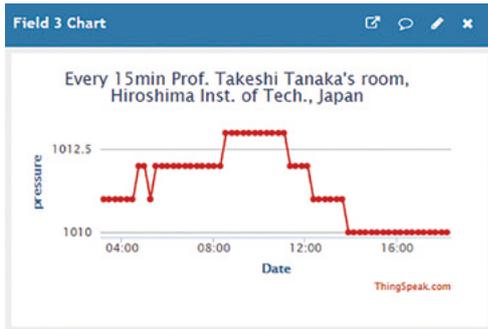


Fig.22 環境センサーの測定値（気圧）

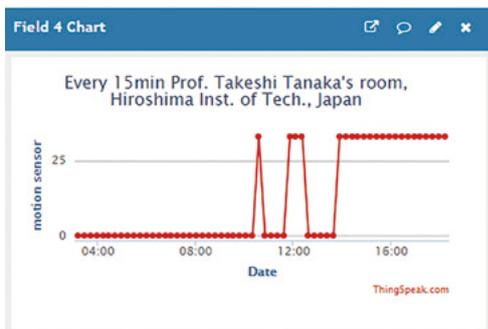


Fig.23 環境センサーの測定値（人感センサーの値）人感センサーの値（25を越えていると在室、0は不在）

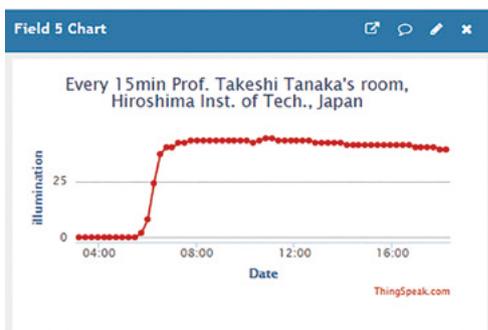


Fig.24 環境センサーの測定値（部屋の照度（a.u.））



Fig.25 環境センサーの設置した部屋の不快係数

暑さ指数（WBGT（湿球黒球温度）：Wet Bulb Globe Temperature）は、熱中症を予防することを目的として1954年にアメリカで提案された指標です。単位は気温と同じ摂氏度（℃）で示されますが、その値は気温とは異なり

ます。暑さ指数（WBGT）は人体と外気との熱のやりとり（熱収支）に着目した指標で、人体の熱収支に与える影響の大きい ①湿度、②日射・輻射（ふくしゃ）など周辺の熱環境、③気温の3つを取り入れた指標です。¹⁵⁾



Fig.26 環境センサーの設置した部屋の暑さ係数

6-2 オゾンセンサーを搭載した IoT 機器の製作、および運用¹⁶⁾

オゾンセンサーを搭載した IoT 機器の製作の主要な手順は、

- ハードウェアの構築
 - Arduino のスケッチの作成
 - Sigfox の callback の作成
 - ThingSpeak のチャンネル設定
 - オゾンセンサーの運用
- で、構成される。

6-2-a ハードウェアの構築

Arduino Uno Rev 3 に、Sigfox Shield for Arduino V2S を差し込み、オゾンセンサーを付け加えて IoT 機器を作成した（Fig.26 参照）

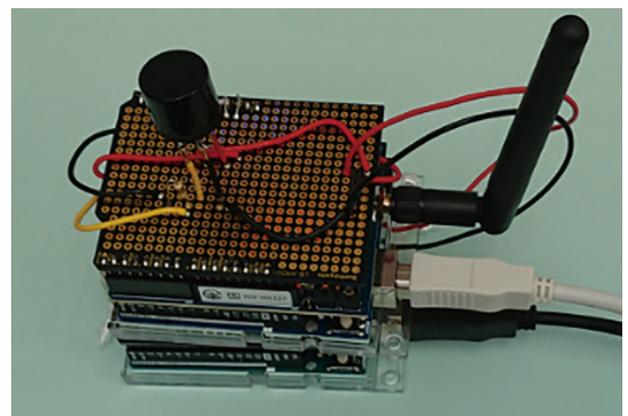


Fig.26 Sigfox を用いたオゾンセンサー搭載 IoT 機器

IoT 機器内のセンサーは、温湿度・気圧センサ（BOSCH BME-280）を用いた。そのセンサーの仕様¹⁴⁾は、
 動作温度範囲：-40 ~ +85℃（定格）
 ・湿度：0 ~ 100%（相対湿度）

- ・気圧：300～1100 hPa
- ・温度精度：±1℃（0～65℃）
- ・湿度精度：±3%RH（25℃，絶対精度の公差）
- ・気圧精度：±1.0 hPa（0～65℃，絶対精度）

である。

6-2-b Arduino のスケッチの作成

Arduino IDE を用いて、Arduino UNO Rev 3 にスケッチを入れた。

```

#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <Adafruit_MMA8451.h>
#include <SiGFOX.h>

Adafruit_BME280 bme;
Adafruit_MMA8451 mma = Adafruit_MMA8451();

static const String device = "";
static const bool useEmulator = false;
static const bool echo = true;
static const Country country = COUNTRY_JP;
static UaShieldV2S transceiver(country, useEmulator, device, echo);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  if (!bme.begin(0x76)) stop("BME280 is missing.");
  if (!mma.begin(0x76)) stop("MMA8451 is missing.");
}
    
```

Fig.27 本研究に用いた Arduino のスケッチ例

6-2-c Sigfox の callback の作成

Sigfox の callback の作成例は、Fig.18を参照する。

6-2-d ThingSpeak のチャンネル設定

ThingSpeak のチャンネル設定の設定例は、Fig.15 に示す。

6-2-e オゾンセンサーの運用

オゾン発生装置として、充電式オゾン脱臭器 Ozone Air Salas（株式会社仁淀デンツウ）を用いた。弱モードで、オゾン発生量は 1 mg/h、強モードで 3 mg/h である。

オゾン濃度測定時のオゾン発生装置と測定装置（Fig.26 参照）の配置を、Fig.28 に示す。



Fig. 28 オゾン濃度測定時のオゾン発生装置と測定装置の配置写真

測定結果、温度（Fig.29）、湿度（Fig.30）、気圧（Fig.31）、オゾンセンサー印加電圧（Fig.32）、および、オゾンセンサー出力電圧（Fig.33）を示す。

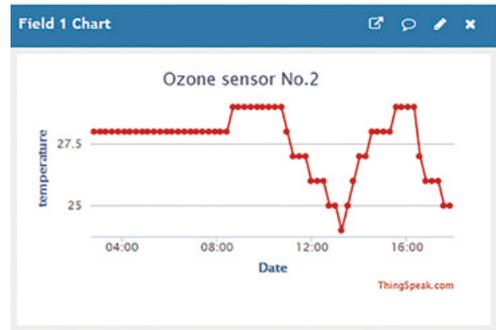


Fig.29 オゾンセンサー搭載 IoT を用いて測定した温度

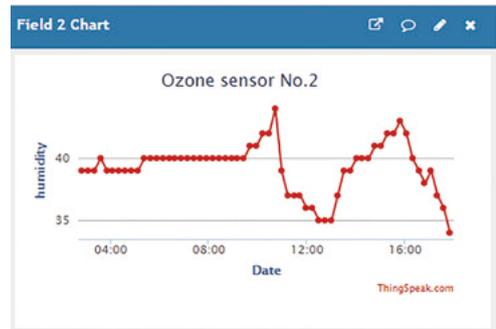


Fig.30 オゾンセンサー搭載 IoT を用いて測定した湿度

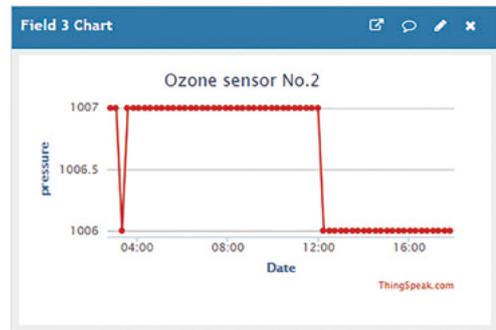


Fig.31 オゾンセンサー搭載 IoT を用いて測定した気圧

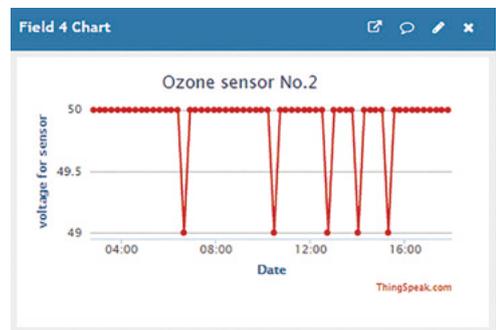


Fig.32 オゾンセンサー搭載 IoT を用いて測定したオゾンセンサー印加電圧

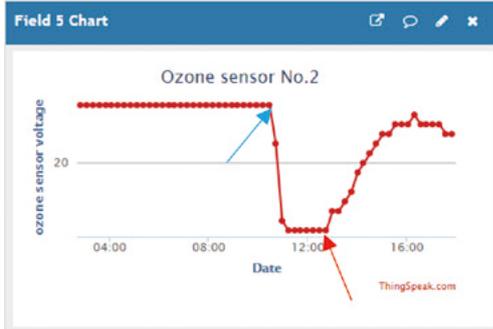


Fig.33 オゾンセンサー搭載 IoT を用いて測定したオゾンセンサー出力電圧 (青い矢印は、オゾン発生装置 ON、赤い矢印は OFF)

オゾンセンサーの出力電圧の図 (Fig.33) から、オゾンの発生装置 ON によるオゾンの検出、OFF によるオゾン濃度の低下を検出できた。

今後は、オゾン濃度の測定環境や測定精度向上を検討していきたいと思います。

6-3 照度センサー

照度センサーを搭載した IoT 機器の製作の主要な手順は、

- a) ハードウェアの構築
- b) Arduinoのスケッチの作成
- c) Sigfoxのcallbackの作成
- d) ThingSpeakのチャンネル設定
- e) 照度センサーの運用

で、構成される。

6-3-a ハードウェアの構築

照度センサー用の光源として、水銀ランプ置き換え用 LED を選択した。



Fig.34 水銀ランプ置き換え用 LED ランプ

照度センサーとして、Adafruit_VEML7700を選択し、照度の測定を行った。現在、sigfox を用いた通信システムの準備を行っている。

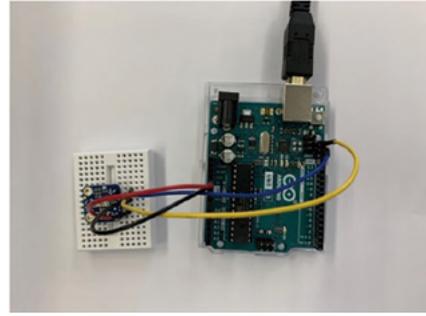


Fig.35 Arduino (写真右) と Adafruit_VEML7700 (写真左) を組み合わせた照度センサー

6-4 GPS

GPS 用センサーを搭載した IoT 機器の製作の主要な手順は、

- a) ハードウェアの構築
 - b) Arduinoのスケッチの作成
 - c) Sigfoxのcallbackの作成
 - d) ThingSpeakのチャンネル設定
 - e) GPS用センサーの運用
- で、構成される。

6-4-a ハードウェアの構築

GPS 用センサーとして、太陽誘電製の小型高感度 GPS モジュール GYSFDMAXB を用いて、sigfox 機能付き IoT 装置を製作した。(Fig.36参照)



Fig.36 GPS を搭載した Sigfox 機能付 IoT 装置

6-4-c Sigfox の callback の作成

Sigfox の callback の作成例は、Fig.18を参照する。

6-4-d ThingSpeak のチャンネル設定

ThingSpeak のチャンネル設定の設定例は、Fig.15 に示す。

6-4-e GPS 用センサーの運用

測定したGPSデータを、緯度 (Fig.36) および経度 (Fig.37) 示す。これらのデータを用いることにより、初歩的なGPSとして機能することが明らかになった。



Fig.36 測定したGPSデータ (緯度)

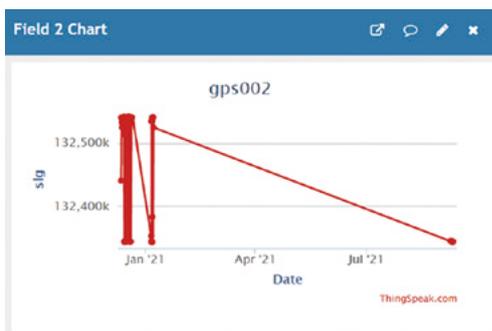


Fig.37 測定したGPSデータ (経度)

5. 終わりに

広島工業大学内に Sigfox のアンテナを設置し、Sigfox ネットワークを用いて、IoT 機器を付加した水道メータのデータをインターネット経由で取得することを実現した。その成果をベースに、環境センサー、オゾンセンサー、照度センサー、およびGPSセンサーを用いたIoT関連のシステムを、一つの手順で作りに上げれることを明らかにした。これらの研究の一部を大学院博士課程前期の学生の研究に取り込み、研究成果を上げることができたことから、初歩

的な教育システムが構築できたと考えられる。

今後は、この教育システムを充実させ、本学の学部や大学院の講義や実習に用いていきたいと思います。

謝辞

本研究を実施するにあたり、協力して頂いた株式会社アルトナーの関係者各位に謝意を表します。

文献

- (1) https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/
- (2) 田中武、川畑敬志、“広島工業大学におけるクリーンルームの維持及び管理”、広島工業大学研究紀要第26巻 (1992) pp.161-168.
- (3) 川畑敬志、田中武、“学部課程におけるマイクロエレクトロニクス実験”、平成3年度電気・情報関連学会中国支部第42回連合大会講演予稿集、p.342.
- (4) 田中武、川畑敬志、“広島工業大学における電子デバイス教育”、1992年秋季応用物理学会講演会、17a-LL-4.
- (5) 小川昭雄、水本浩二、田中武、川畑敬志、中村正孝、“集積回路教育システムを用いた、リングオシレータの設計及び製作”、平成年度電子情報通信学会学生会研究発表会。
- (6) <http://www.ksrp.or.jp/shisetsu/access/floor02.html>
- (7) 田中武、安藤秀幸、山田明宏、“システム LSI 関連ものづくり教育における IC チップ作製”、広島工業大学紀要、2005, pp.7-12.
- (8) <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/n1100000.pdf>
- (9) <https://www.it-hiroshima.ac.jp/virtualcampus/>
- (10) <https://epluse.ceec.bg/issues/3-4-2021/>
- (11) <https://thingspeak.com/>
- (12) <https://jp.mathworks.com/>
- (13) <https://unabiz.github.io/unashield/hardware.html>
- (14) <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>
- (15) <https://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php>
- (16) 田中武、岡光序治、中本正彦、“オゾンセンサーを内蔵するIoTの作成とその応用”、広島工業大学紀要研究編、第55巻 (2021) 31-39.