

IoTを用いた 高大連携 による初歩的な環境計測

田中 武*・岡光 序治*・川本 啓正**・岩崎 直樹**・黒田 京子***・宮本 洋子***
向井 緑****・濱元 優一****

(令和2年10月31日受付)

Preliminary environmental measurement by high school-university cooperation using IoT

Takeshi TANAKA, Nobuharu OKAMITSU, Yoshimasa KAWAMOTO, Naoki IWASAKI,
Kyoko KURODA, Yoko MIYAMOTO, Midori MUKAI and Yuichi HAMAMOTO

(Received Oct. 31, 2020)

Abstract

Using the Sigfox network and the Internet, we created an IoT device equipped with temperature, humidity, and barometric pressure sensors that are related to the environment. We acquired environment-related data from IoT devices and displayed it on the Web using ThingSpeak. Furthermore, the data was processed using Matlab / Simulink, and the data such as discomfort coefficient and heat coefficient could be redisplayed using ThingSpeak. In this research, the IoT device was installed in a high school as part of a high school-university collaboration research, and data was successfully acquired without going through the network in the high school. Furthermore, we were able to display the results on the PCs and smartphones of all concerned parties. In the future, I would like to aim to build an education system that uses a large amount of data obtained from sensors.

Key Words: IoT (Internet of Things), Sigfox, LPWA (Low Power Wide Area), Matlab/simulink, ThingSpeak

1 はじめに

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。¹⁾

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える社会、一人

* 広島工業大学工学部電子情報工学科

** 広島県立呉三津田高等学校

*** 広島県立広島皆実高等学校

**** 広島県立熊野高等学校



Fig. 1 Society 5.0 で実現する社会¹⁾

一人が快適で活躍できる社会となります。¹⁾

Society 5.0 は、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実現します。これまでの情報社会（Society 4.0）では、人がサイバー空間に存在するクラウドサービス（データベース）にインターネットを経由してアクセスして、情報やデータを入手し、分析を行ってきました。¹⁾

Society 5.0 では、フィジカル空間のセンサーからの膨大な情報がサイバー空間に集積されます。サイバー空間では、このビッグデータを人工知能（AI）が解析し、その解析結果がフィジカル空間の人間に様々な形でフィードバックされます。今までの情報社会では、人間が情報を解析することで価値が生まれてきました。Society 5.0 では、膨大なビッグデータを人間の能力を超えた AI が解析し、その結果がロボットなどを通して人間にフィードバックされることで、これまでは出来なかった新たな価値が産業や社会にもたらされることとなります。¹⁾



Fig. 2 Society 5.0 のしくみ¹⁾

IoT 時代においては、多様なアプリケーションの通信ニーズに対応することが求められる。例えば、遠隔手術のように高精細な映像が必要な用途では高速接続性が求められ、環境モニタリングやスマートメーターのように多数の IoT 端末から情報を収集する用途では収容性が求められ

る。また、接続手段としては、上述の携帯電話システムの他、広域なエリアを効率的にカバー可能な衛星通信や、近距離で超高速な通信を実現する無線通信技術など、アプリケーションによって様々な接続手段から適切なものを利用することが重要である。特に、産業用途など、デバイスや回線あたりに通信容量は小さいが大量接続をサポートすることが求められる通信用途・ニーズにおいては、低コストであることや、センサー機器に組み込み長期間使えるような低消費電力などの要件に対応する必要がある。²⁾

こうした要件に特化して現在開発・提供等が進んでいるのが LPWA (Low Power Wide Area) と呼ばれるコンセプトである。LPWA の通信速度は数 kbps から数百 kbps 程度と携帯電話システムと比較して低速なものの、一般的な電池で数年から数十年にわたって運用可能な省電力性や、数 km から数十 km もの通信が可能な広域性を有している。既にフランスなどでは Sigfox 社により全土に LPWA のネットワークが構築され、米国などでも LoRa 規格による LPWA の導入が始まっている²⁾。

また、本学では 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、そのシステムを用いた Sigfox の初歩的な教育システムを構築した^{3,4)}。

さらに、Sigfox を用いた IoT 機器を製作し、その機器から発信されるデータを ThinSpeak で受信し、Matlab/Simulink で演算し、その結果を ThingSpeak を経由して、HomePage で公開する。また、必要であれば、Twitter を用いて、データを送信する。さらに、社会にこの装置を実装し、得られたデータから考察した。また、京セラコミュニケーションシステム株式会社 (KCCS) が提供する Sigfox サービスに関して、パートナープログラムとは、販売、ソリューションの提案活動、デバイスやアプリケーション提供などのビジネス展開をお考えのパートナー向けのプログラムです。広島工業大学は、インテグレーションパートナーになりました。⁵⁾

本研究では、Sigfox を用いた IoT 機器を、高大連携の研究の一環として高校に設置し、高校内のネットワークを介さず、データの取得、さらに関係各位のパソコンやスマートフォンへの表示を試みた。

また、それらの応用について検討した。



Fig. 3 KCCS の HP に掲載されている広島工業大学のマーク

2 Sigfoxを用いたIoT機器の製作

Arduino Uno Rev3 に、Sigfox Shield for Arduino V2S を差し込み、IoT 機器を作成した (Fig. 3 参照)

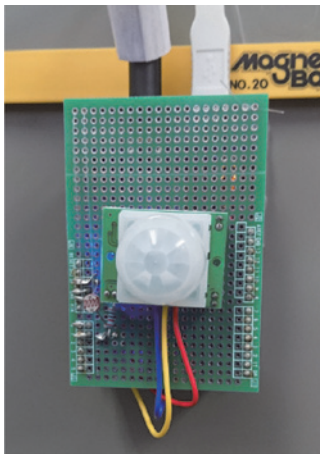


Fig. 4 Sigfoxを用いたIoT機器

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⁶⁾は、

- 動作温度範囲：- 40 ~ + 85°C (定格)
- ・湿度：0~100% (相対湿度)
- ・気圧：300~1100hPa
- ・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：±1.0hPa (0~65°C、絶対精度)

である。

追加したセンサーは、人感センサーと、照度を測定するために CdS を用いた。

Arduino IDE を用いて、Arduino UNO Rev3 にスケッチを入れた。

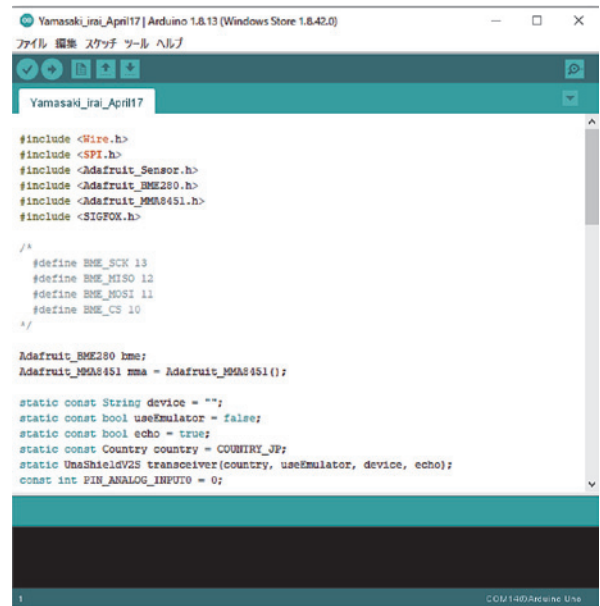
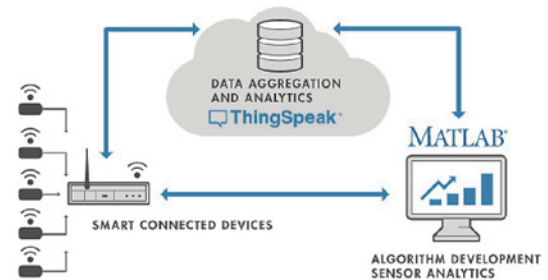


Fig. 5 本研究に用いた Arduino のスケッチ例

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.4 参照) に組み込み、測定した。

3 ThingSpeakを用いたデータ処理

Fig.6 IoT 機器、ThingSpeak、Matlab/Simulink の概要⁷⁾

ThingSpeak のデータ処理は、Analytics、および、Actions で構成される。ここでは Analytics としては、MATLAB Analysis, Actions としては、TimeControl を用いた。

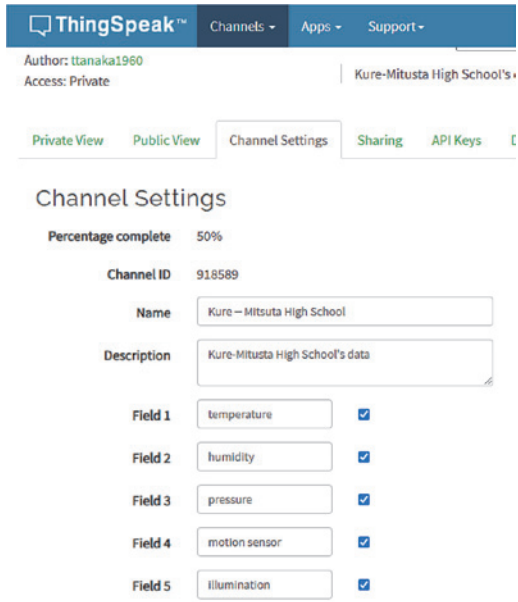


Fig. 7 ThingSpeak のチャンネル設定例

4 実際の測定例

4-1 広島県立呉三津田高等学校

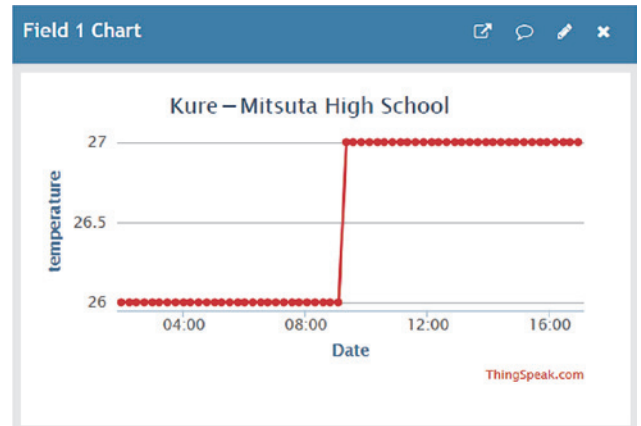


Fig. 10 広島県立呉三津田高等学校の気温



Fig. 8 MATLAB Analysis の例

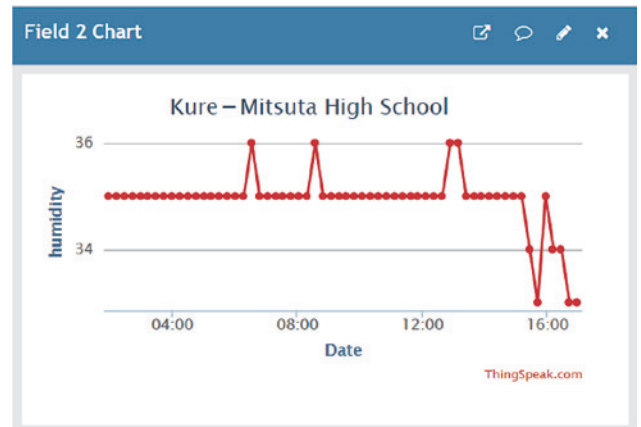


Fig. 11 広島県立呉三津田高等学校の湿度

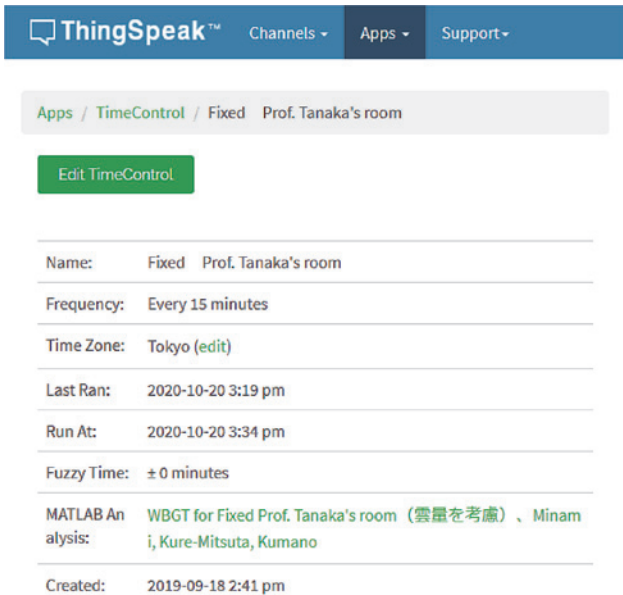


Fig. 9 TimeControl の例

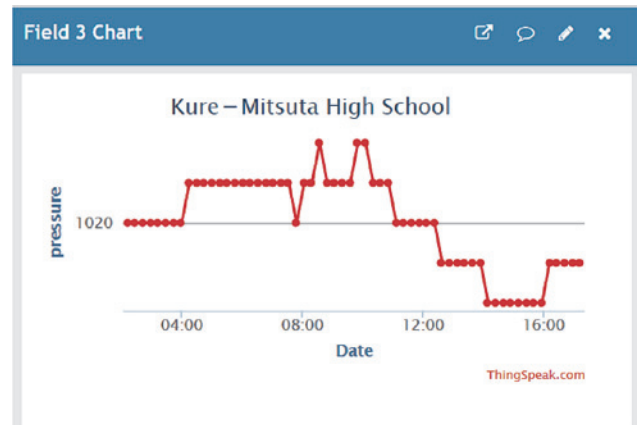


Fig. 12 広島県立呉三津田高等学校の気圧

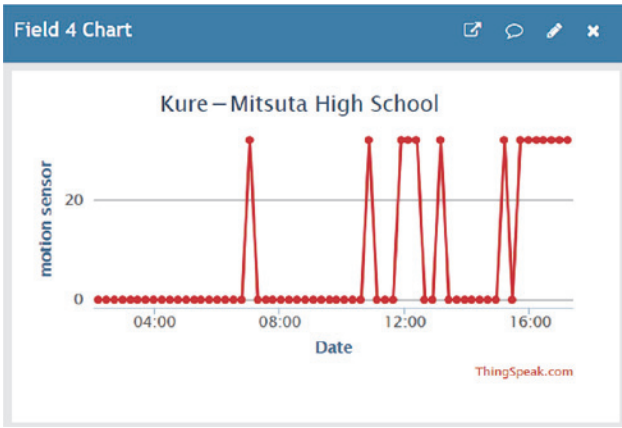


Fig. 13 広島県立呉三津田高等学校の人感センサー

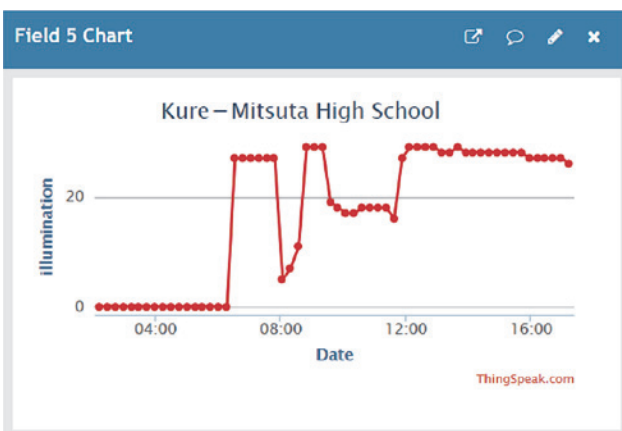


Fig. 14 広島県立呉三津田高等学校の照度 (a.u.)

気温、湿度、気圧、人感、および照度を測定することができた。夏には、熱中症が起りやすいため、以上から得られたデータと、一般的な気象データを用いて、不快係数や、暑さ指数を計算で求めることにした。

人間が生活するうえで不快を感じるような体感を、気温と湿度で表した指数。風速が含まれていないため、体感とは一致しないことがある。気温を T °C、相対湿度を H % とすると

$$\text{不快指数} = 0.81 \times T + 0.01 \times H(0.99 \times T - 14.3) + 46.3 \quad (1)$$

で計算される。不快を感じる値は人種などにより違いがあるが、日本人は 77 になると 65% の人が不快を感じ、85 では 93% の人が不快を感じるといわれている。一方、アメリカ人は 80 以上ではほぼ 100% の人が不快を感じるといわれる。⁸⁾

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 (°C) 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。⁹⁾

WBGT は、乾球温度 (T_a , °C)、相対湿度 (H , %)、全天日射量 (kW/m^2)、平均風速 (WS , m/s) 及び、それらの組み合わせを用いた以下の式 (2) により求める。¹⁰⁾

$$\text{WBGT} = 0.735 \times T_a + 0.0374 \times H + 0.00292 \times T_a \times H + 7.619 \times SR - 4.557 \times SR^2 - 0.0572 \times WS - 4.064 \quad (2)$$

なお、平成 24 年度までの計算手法は、以下のとおり。2010 年観測データから求めた回帰式 (3) を用いる。

$$T_g = T_a - 0.17 + 0.029 \times SR - 0.48 \times WS^{1/2} - 1.27 \times 10^{-5} \times SR^2 \quad (3)$$

ここで、 T_g : 黒球温度 (°C)、 T_a : 乾球温度 (°C)、 SR : 全天日射量 (W/m^2)、 WS : 風速 (m/s)

暑さ指数 (WBGT) は、熱中症の発生と密接に関係しています。¹¹⁾ これは、「気温」と「暑さ指数 (WBGT)」で比較すると明瞭です (図 1-8、図 1-9)。暑さ指数 (WBGT) と熱中症による救急搬送人員数との相関をみると、日最高気温の上昇に対しては必ずしも単調ではない (Fig. 15) ですが、日最高暑さ指数 (WBGT) の上昇に対してはほぼ単調に増加している (Fig. 16) ことがわかります。

また、Fig. 16 からは、日最高暑さ指数 (WBGT) が 28°C (北海道では 26°C) を超えるあたりから急激に熱中症による搬送人員数が増加することも読み取ることができます。

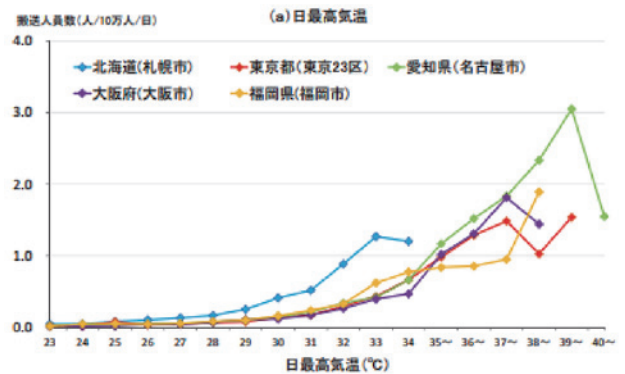


Fig. 15 日最高気温別熱中症搬送人員数 (人 / 10 万人 / 日)

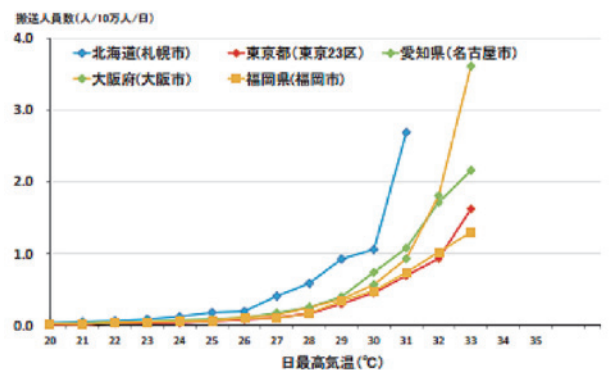


Fig. 16 日最高 WBGT 別熱中症搬送人員数 (人 / 10 万人 / 日)

暑さ指数 (WBGT) に応じた熱中症の予防について検討した。

このように、熱中症に対する暑熱環境の評価として、暑さ指数 (WBGT) が有効ですが、この暑さ指数 (WBGT) を用いた活動の指針を日本スポーツ協会 (「熱中症予防運動指針」) と日本生気象学会 (「日常生活における熱中症予防指針」) を作成しており、表 1 に示されているとおり、暑さ指数 (WBGT) の段階に応じた熱中症予防のための行動の目安とすることが推奨されています。他に、市民マラソンにおける指針については、Hughson (カナダ) による指針が提案され、アメリカやカナダで用いられています。熱中症を予防するためには、ひとりひとりがこの指針を参考に、自らの体調を考慮しながら行動する事が重要ですが、同時に、イベントの主催者や施設管理者等も、参加者の特性やこの指針を踏まえた上でイベントや施設の運営

を行うことも必要です。表 1 に示されているように、暑さ指数 (WBGT) が 3℃ 上昇するとランクが 1 つ厳しくなりますので、少しでも暑さ指数 (WBGT) の低い環境を保つことが重要です。

表 1 暑さ指数に応じた注意事項等

暑さ指数 (WBGT)	注意すべき生活活動の目安 ^(*)	日常生活における注意事項 ^(*)	熱中症予防運動指針 ^(*)
31℃以上	すべての生活活動でおこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が大きい。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。	運動は原則中止 特別の場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合には中止すべき。
28～31℃	中等度以上の生活活動でおこる危険性	外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。	厳重警戒 (激しい運動は中止) 熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。10～20分おきに休憩をとり水分・塩分の補給を行う。暑さに弱い人は運動を軽減または中止。
25～28℃	中等度以上の生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に充分に休憩を取り入れる。	警戒 (積極的に休憩) 熱中症の危険が増すので、積極的に休憩をとり適宜、水分・塩分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休憩をとる。
21～25℃	強い生活活動でおこる危険性	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。	注意 (積極的に水分補給) 熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。

(*) 日本生気象学会「日常生活における熱中症予防指針 Ver.3」(2013)より
 (**) 日本スポーツ協会「熱中症予防運動指針」(2019)より、両指針補足 熱中症の発生のリスクは個人差が大きく、運動強度も大きく関係する。運動指針は平均的の目安であり、スポーツ前者では個人差や競技特性に配慮する。
 ※暑さに弱い人(体力の低い人、肥満の人や暑さに慣れていない人)など。

4.2 広島県立広島皆実高等学校

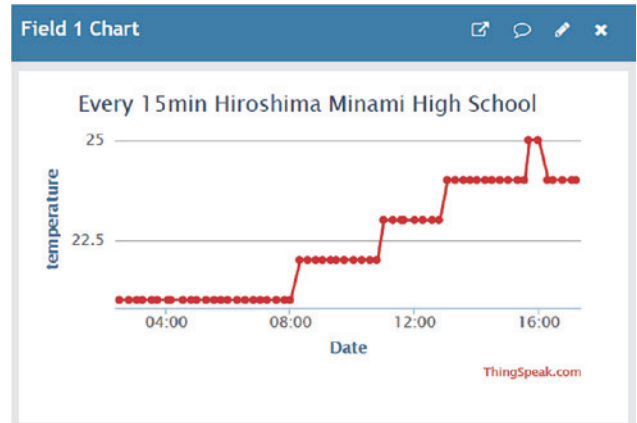


Fig. 17 広島県立広島皆実高等学校の気温

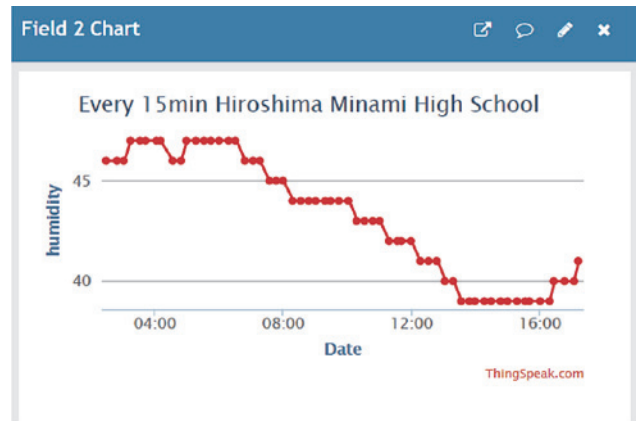


Fig. 18 広島県立広島皆実高等学校の湿度

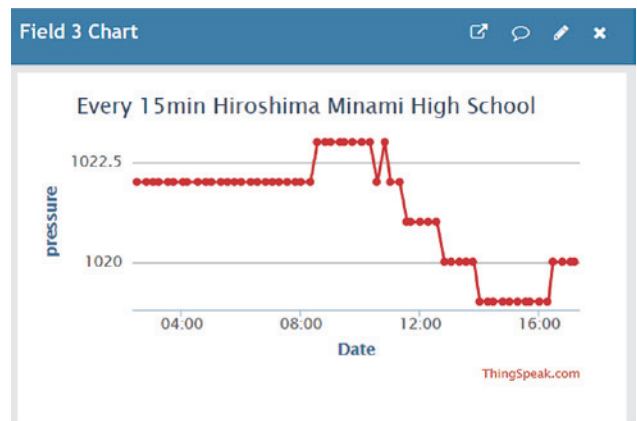


Fig. 19 広島県立広島皆実高等学校の気圧

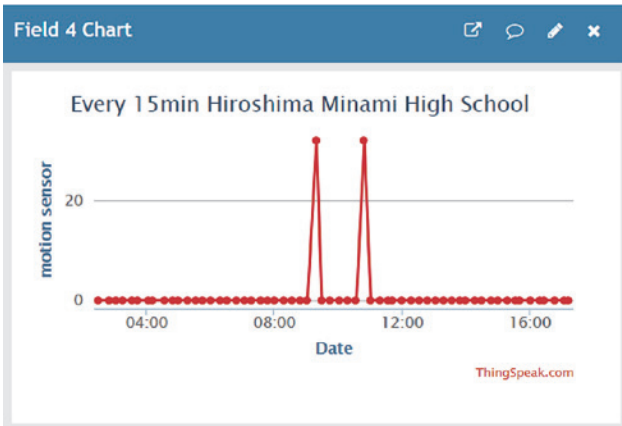


Fig. 20 広島県立広島皆実高等学校の人感センサー

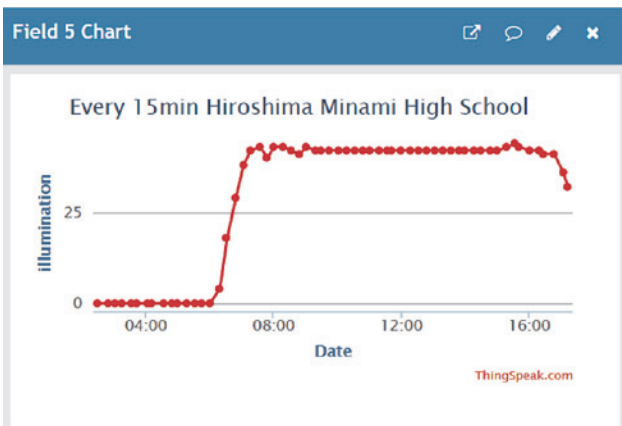


Fig. 21 広島県立広島皆実高等学校の照度 (a.u.)

以上の気温、湿度、気圧、人感、および、照度のデータが得られた。その中で、気温と湿度を用いて、不快係数を算出した。その結果を Fig. 22 に示す。

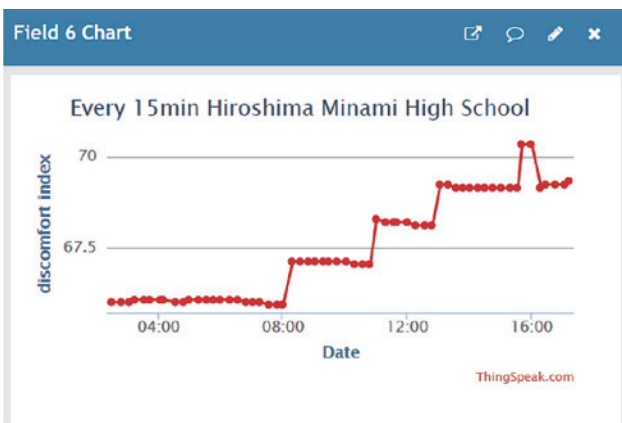


Fig. 22 広島県立広島皆実高等学校の不快指数

暑さ係数を求めるために、初歩的な近似として、近くの気象データの利用と、全天日射量を、雲量の割合で計算する、すなわち、 $\text{全天日射量} = 1\text{kW}/\text{m}^2 \times \text{雲量}(\%) / 100$ と仮定して行った。

広島県立広島皆実高校では、OpenWeatherMap¹²⁾ の 広

島のデータの利用を試みた。



Fig. 23 OpenWeatherMap の広島近郊

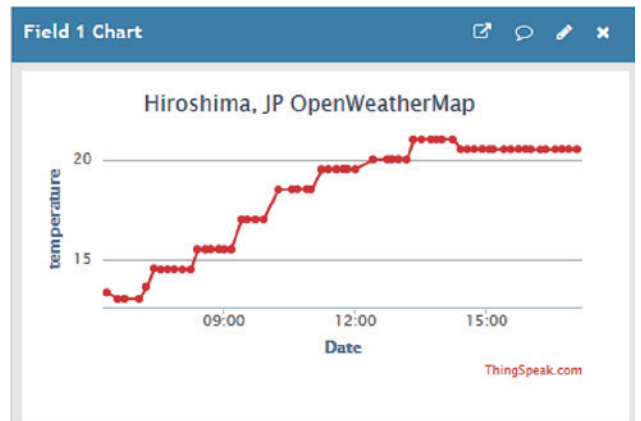


Fig. 24 OpenWeatherMap の広島の気温

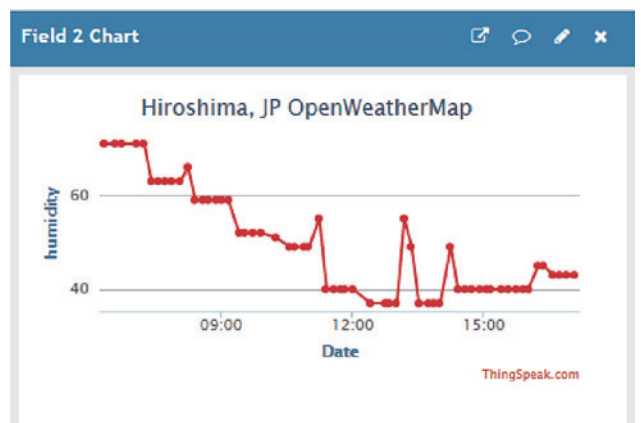


Fig. 25 OpenWeatherMap の広島の湿度

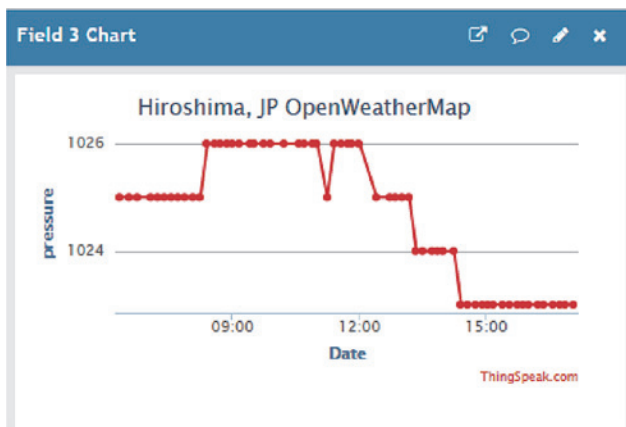


Fig. 26 OpenWeatherMap の広島の高気圧

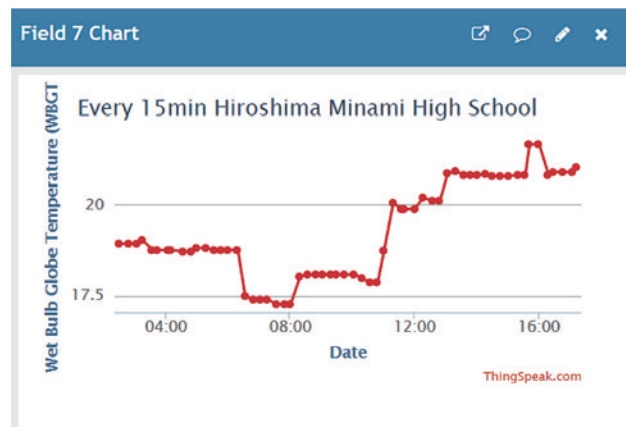


Fig. 29 広島県立広島皆実高等学校の WBGT

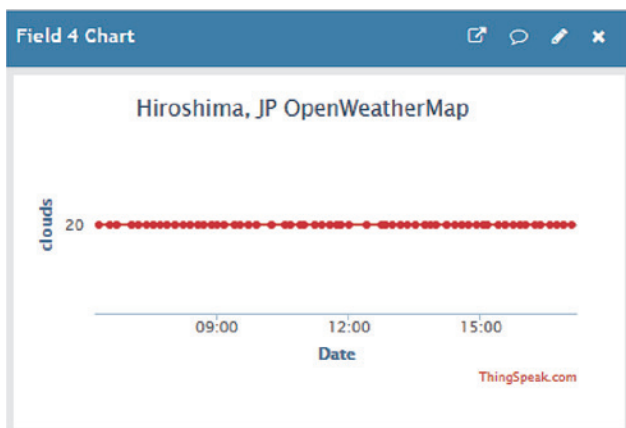


Fig. 27 OpenWeatherMap の広島の高気圧 (%)



Fig. 30 広島県立広島皆実高等学校の位置

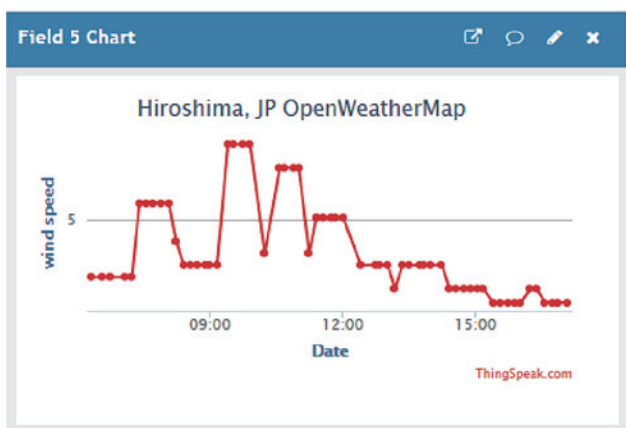


Fig. 28 OpenWeatherMap の広島の高気圧

4.3 広島県立熊野高等学校

広島県立熊野高等学校に Sigfox の IoT 装置を設置するために Sigfox の coverage¹³⁾ を調べた。(Fig. 31 参照)

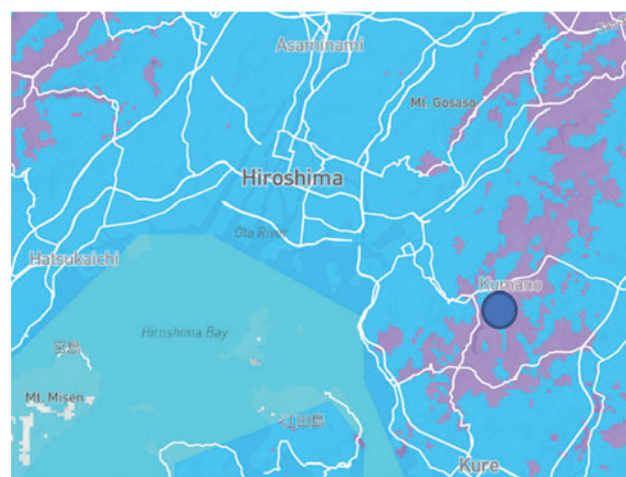


Fig. 31 熊野高校付近の Sigfox の coverage¹³⁾
● は、熊野高校の位置

広島県立広島皆実高等学校の環境データ (Fig. 19 から Fig.22) と、OpenWeatherMap の広島の高気圧データ (Fig. 24 から Fig. 27) を用いて、広島県立広島皆実高等学校の WBGT を算出した。(Fig. 29 参照)

広島県立熊野高等学校は、Sigfox の圏内と圏外の間地点であった。

広島県立熊野高等学校の1Fと4FにSigfox IoTを設置し、IoTからのデータの受信状態を調べた。その結果、4Fに設置したIoTからのデータは受信できたが、1Fからのデータは受信できなかった。そこで、SigfoxのAccess Station Micro¹⁴⁾(Fig. 32参照)を熊野高等学校に設置し、IoTからのデータの受信状態の改善を試みた。



Fig. 32 広島県立熊野高校に設置したSigfoxのAccess Station Micro¹⁴⁾

基地局設備 基地局本体
 サイズ 本体：186 × 159 × 108mm
 質量 450g
 受信感度 -132dBm
 想定設置場所 屋内

SigfoxのAccess Station Microの設置後、1Fからのデータの受信可能になった。(Fig.33からFig. 35参照)

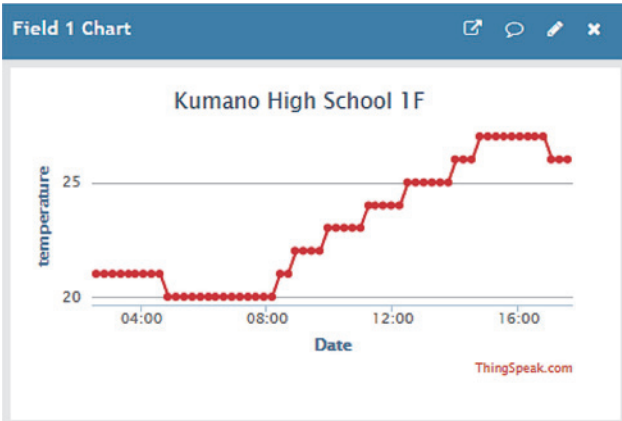


Fig. 33 広島県立熊野高校の気温

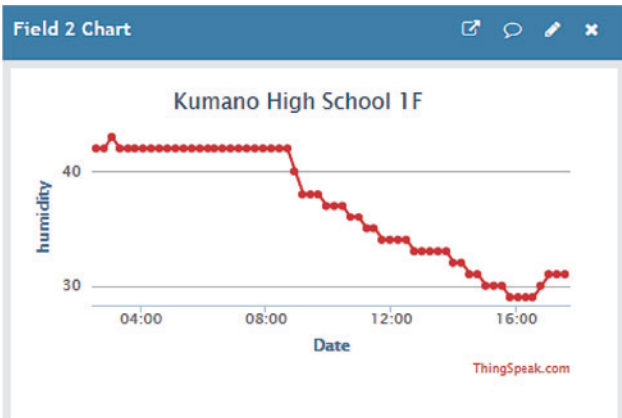


Fig. 34 広島県立熊野高校の湿度

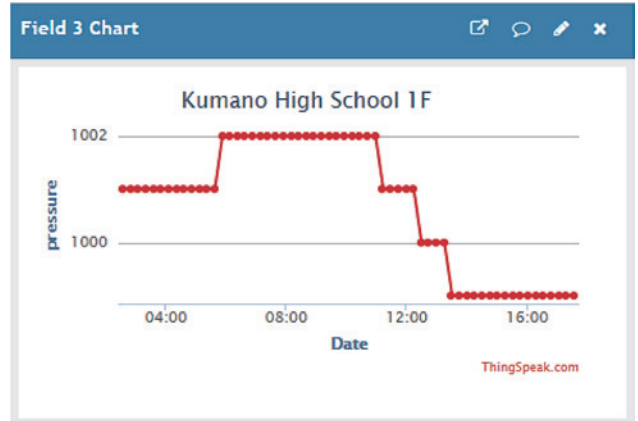


Fig. 35 広島県立熊野高校の気圧

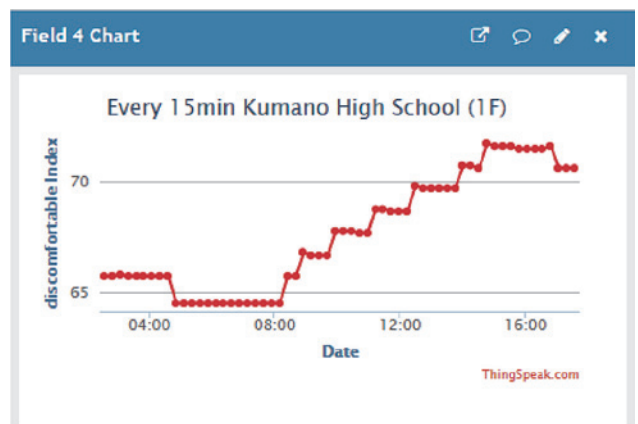


Fig. 36 広島県立熊野高校の不快係数

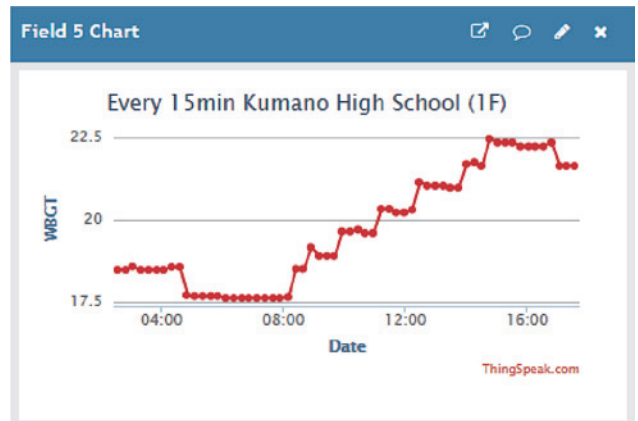


Fig. 37 広島県立熊野高校の暑さ係数

5 まとめ

Sigfox ネットワークとインターネットを利用して、環境にかかわる、温度、湿度、気圧センサー等を搭載するIoT機器を、広島県立呉三津田高等学校、広島県立広島皆実高等学校、および、広島県立熊野高等学校に設置した。設置したIoT機器からの環境関連データを取得し、ThinSpeakを使用してWeb上に表示した。さらに、そのデータを

Matlab / Simulink を用いて処理し、不快係数、暑さ係数等のデータを ThingSpeak を用いて再表示も可能にした。このシステムは、高等学校内の既存のネットワークシステムとは、独立に設置でき、高等学校内の環境関連のデータを取得し、パソコンやスマートフォンを通じて関係者が入手可能になった。今後は、これらのデータのデータベースの構築や大量のデータを AI 等を活用して有効に活用し、高校、大学等の教育機関に、ビッグデータ、AI、IT 等を有効利用できる教育体制の構築を目指していきたいとします。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、協力して頂いた広島県立呉三津田高等学校（校長大林 秀則）、広島県立広島皆実高等学校（校長平田 浩一）、および広島県立熊野高等学校（校長中原 朝男）に謝意を表します。

文 献

- (1) https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/
- (2) 「平成 29 年度情報通信白書」（総務省）
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/html/nc133220.html>
- (3) 田中武他、“Sigfox ネットワークを用いた IoT 機器との通信システムの構築と教育への応用”、広島工業大学紀要教育編第 17 巻（2018）59-63.
- (4) Ryota Matsuda, et al., “CONSTRUCTION OF COMMUNICATION SYSTEM IoT EQUIPMENT USING SIGFOX NETWORK AND ITS APPLICATION TO EDUCATION”, , Int. J. Industry 4.0, iss.1, pp.11-14（2018）, ISSN 2543-8582.
- (5) <https://www.kccs-iot.jp/partner/integration/>
- (6) https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BME280-DS002.pdf
- (7) https://thingspeak.com/pages/commercial_learn_more
- (8) ブリタニカ国際大百科事典 小項目事典ブリタニカ国際大百科事典
- (9) <http://www.wbgt.env.go.jp/wbgt.php>
- (10) https://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/kentoukai/nettyusyou/part1/part1_shiryoi-3-1.pdf
- (11) https://www.pref.ishikawa.lg.jp/kenkou/necchuushou/documents/heatillness_guideline_full_1.pdf
- (12) <https://openweathermap.org/>
- (13) <https://www.kccs-iot.jp/area/>
- (14) <https://www.kccs.co.jp/news/release/2019/0130/>