

## 県内中小企業の IoT 導入支援に向けたスマート化実証試験(第二報)

プロジェクト推進室 近間 真澄, 足達 幹雄, 大谷 大輔, 田中 弥, 阿久津 和司  
生産技術室 城之内 一茂, 中嶋 貴生  
材料技術室 石川 隆朗

### Verification Test of Smartification for Introduction of IoT to Small and Medium-sized Enterprise in Chiba Prefecture(second report)

Masumi CHIKAMA, Mikio ADACHI, Daisuke OTANI, Wataru TANAKA, Kazushi AKUTSU,  
Kazushige JONOUCHI, Takao NAKAJIMA and Takaaki ISHIKAWA

「身の丈 IoT」をキーワードとして、IoT に関心のある県内中小企業が自社の実情に応じて IoT 技術を活用する取組を後押しするため、安価なセンサ類を用いたシステムの構築やシステムの有用性の検証を継続して実施してきた。使用したセンサの特徴や実証試験を通して見えた利用上の問題点等について第二報としてとりまとめたので報告する。

#### 1. はじめに

2030 年新産業構造ビジョンの策定や、企業・業種の枠を超えて産官学で利活用を促進するための枠組み「IoT 推進コンソーシアム」が設立されるなど、IoT・ビッグデータ・AI の進展を見据えた動きが活発化する中、千葉県においても平成 29 年 3 月に千葉県 IoT 推進ラボへの選定を受け、IoT 推進に向けた取組を進めてきた。

県内中小企業においても IoT への関心が高まり、一部取組が始められているが、未だ IoT 技術で何ができ、IoT 技術の導入には何をすればよいのか、そのメリットは何かといった疑問を持つ企業も少なくない。

このような状況において、企業の IoT 技術導入を拡大するためには、企業の実情を把握し、隠れたニーズへの気づきを促し、データ活用の有用性を理解することなどを通じ、企業がそれぞれの実情に合わせて IoT 技術の活用に着手する、いわゆる「身の丈 IoT」の取組を進めることが重要となってくる。

このような「身の丈 IoT」の取組を後押しするためには、各種センサからどのような情報が得られ、どのようなシステムが使用でき、そこにどのような課題が生じるのか、IoT の要素技術の特徴について把握し情報提供する必要がある。

そこで、研究所をフィールドとし多種多様なセンサを取り付け“もの”や“設備”からどのような情報が得られるかを検証する実証試験を行った。その結果について第二報としてとりまとめたので報告

する。

#### 2. 要素技術

##### 2.1 シングルボードコンピュータ

IoT システムの構築にあたり多用されるシングルボードコンピュータの代表例が RaspberryPi である。RaspberryPi は、CPU やメモリ、入出力インターフェイス等コンピュータ要素を 1 枚のプリント基板に配置したシンプルな構造で、小型、省電力等の特徴を有する。Python など軽量のプログラミング言語で作成した計測プログラムを作動させることができ、エッジコンピューティング的運用に適している。

RaspberryPi には core の数や無線機能の有無、USB や HDMI 等入出力ポートの数・種類によって Zero WH, 3 Model B, 4 Model などの種類があり、設置環境(電源や無線環境の有無)や加わる負荷の大きさ(計測データの蓄積のみ、表示ソフトウェア等の実行有無等)に応じ適切なモデルを選択する必要がある。

例えば、センサが感知したデータをエッジで蓄積するような場合には Zero WH を、複数のセンサが計測したデータを集約するサーバー機能や、負荷の大きな表示用ソフトウェアを実行し管理機能を持たせる場合には、3 Model B や 4 Model を選択することが望ましい。加えて、4 Model は高機能であるため、発熱の影響が無視できないことから、選定にあたっては注意が必要である。

## 2.2 無線モジュール

近年、Wi-Fi(IEEE802.11)による無線通信環境が整備された工場が増加しているが、Wi-Fiを利用した装置は消費電力が大きく、バッテリーにより長時間運用することは難しい。また、多くの機械設備が設置され稼働している環境下では、電波が遮断・減衰されるなど通信の障害となることも多い。

本研究では、Wi-Fi 環境を利用しセンサネットワークを構築する他、IEEE802.15.4規格に準拠した32bit 無線マイコンモジュールであるモノワイヤレス社 TWELITE(2.4GHz 帯)を使用し実証を行っている。

TWELITE は非常に省電力で乾電池での運用が可能であり、設置場所を選ばずセンサネットワークを構築することができる。I<sup>2</sup>C(Inter Integrated Circuit)やSPI(Serial Peripheral Interface)による通信、AD変換等、多様な入出力を持っており、多様なセンサモジュールと接続できるため、自由なIoTモジュールの作成が可能である。

## 2.3 温度センサ・湿度センサ

温湿度は品質管理や作業環境の把握など様々な目的でデータを収集したいと考える企業が多い基本的な計測項目である。

本研究では、Bosch 社 BME280(温湿度・気圧センサ)、SENSIRION 社 SHT31(高精度温湿度センサ)、AnalogDevices 社 ADT7410(高精度温度センサ)をそれぞれ搭載したセンサモジュールや、Maxim 社 MAX31855K を使用したデジタル温度計測モジュール(K型熱電対を使用した温度測定)など、安価で容易に入手可能なセンサモジュールを用途に合わせて使用している。

## 2.4 距離センサ

距離センサは、特定位置における物体の有無やベルトコンベア上を流れる製品個数のカウント、往復動作するものの動作回数等、様々な用途への適用が可能である。

本研究ではこれまで、ToF(Time of Flight)法により距離を算出する STMicroelectronics 社 VL53L0X 搭載測距センサモジュールを使用し検証を行ってきたが、距離センサには様々な種類があり、測定対象物の特徴(色・形状・表面性状等)によっては正しく計測できない場合も想定される。

そこで本報告では、超音波の反射時間を利用して距離を算出する「超音波距離センサ HC-SR04 (Rainbow E-Technology 社)」や、赤外線の発光部と

受光部を有し三角法により距離を計測する「赤外線式測距センサ GP2Y シリーズ(SHARP 社)」についても検証を行い、距離センサの選定において必要な情報収集を行った。

## 2.5 IoT ロボット

照明スイッチや電源ボタンのように物理的に押すという動きは、本来、人の介在が必要であるが、遠隔操作したロボットにその動きを代替させることができれば、身の回りの様々な機器を自動で稼働させることが可能となる。

このような背景から、押す動きを再現できる指ロボットデバイスの開発が進んでおり、単機能IoTロボットの代表例となっている。

本研究では、指ロボットデバイスの先駆けである SwitchBot を使用し、あらかじめプログラムされている設定値に至った時、装置の電源スイッチを押すという動作を行わせる実証試験を行った。

これを応用すれば、決められた時間に照明スイッチを押し照明器具を点灯させる、既定の温度に達した時エアコンを稼働させる等、IoT機能を有していない装置をIoT装置様に運用することができる。

## 2.6 その他センサ

照度センサや電流センサは生産設備に大きな改造を加えることなく取り付けるだけで生産設備の稼働状況を把握することができる。

設備に点灯(点滅)して運転中であることを知らせるランプが付属する場合には、照度センサでその光を検出することにより、装置の運転状況を把握することが可能である。本研究ではフォトトランジスタ NJL7302L-F3(日清紡マイクロデバイス社)を照度センサとして使用した。フォトトランジスタは、出力をヒステリシス回路等に通すことにより安定したデジタル出力が得ることができる。

一方、電流センサによる稼働状況把握については、安価で入手が容易な CT(Current Transformer)型電流センサを使用した。このセンサはACのアナログ出力であるため、デジタル信号への変換が必要となる。今回は、稼働状況を把握することを目的としたため、ON/OFF 信号をデジタル出力することとし、電流センサの出力をACフォトカプラに入力し、このパルス出力をワンチップマイコンにより必要な時定数を持つデジタルフィルタとヒステリシス処理にかけ、稼働信号を生成した。

## 2.7 ソフトウェア

本研究では、オープンソースプログラミング言語

である Python を使用し、様々なプログラムを作成した。

Python はコードの記述がシンプルで、専門的なライブラリを多数有しており、組み込み開発やウェブアプリケーションの他、近年では、人工知能開発やビッグデータ解析などで使用されている。

また、プログラムにより取得したデータは、オープンソースデータベースである InfluxDB を使用し格納した。

InfluxDB は一般的なリレーショナルデータベースとは異なり、時系列データを扱うことに特化したデータベースである。時刻情報を軸とし、大量の時系列データの蓄積が可能で、高速性・データ圧縮性に優れるという特徴を有する。

データベースに格納されたデータは、そのままでは数字の羅列であることから、必要なデータを抽出してグラフ化する、複数のグラフを比較し検証する等を行う場合には可視化ツールの利用が有効である。

この可視化ツールはダッシュボードツールソフトウェアと呼ばれ、本研究では、Grafana Labs によって開発されたオープンソースソフトウェアである Grafana を使用した。Grafana は視認性の良いダッシュボードを容易に作成でき、グラフの大きさや配置の変更、複数グラフの一括表示、システム間の統計情報比較など多様な機能を有している。

### 3. 実証試験

#### 3.1 温湿度測定

電源が確保できない環境下において環境中の温湿度測定が可能であるか検証を行った。

温湿度・気圧センサ BME280, 高精度温湿度センサ SHT31, 高精度温度センサ ADT7410 それぞれを搭載した 3 種類のセンサモジュールを使用し、無線モジュール TWELITE と組み合わせて計測ツール各 1 セットを作成した。

これを 1 台の電池パック(単 3 電池使用)で駆動させ、空調設備のない天台庁舎機械棟に設置(図 1)、通年で温湿度の変化を捉えるとともに、電池を交換せずどのくらいの期間継続して測定できるか、センサの種類によって測定値に差が見られるか検証を行った。

この結果、3 種類のセンサの測定温度に大きな差は見られず(最大 0.43℃差)、電池についても 1 年以上継続して使用することが可能であった(図 2)。

これにより、省電力な無線モジュールを使用することで、電池駆動であっても長期間の継続測定が可能であることが示された。

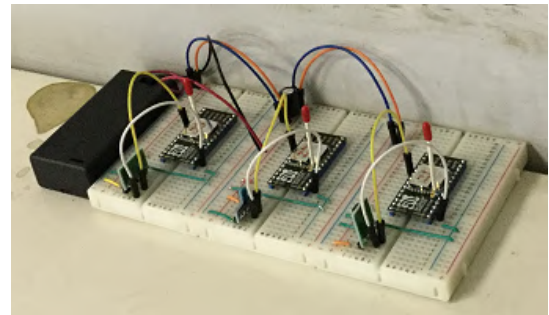


図 1 計測ツール設置の様子

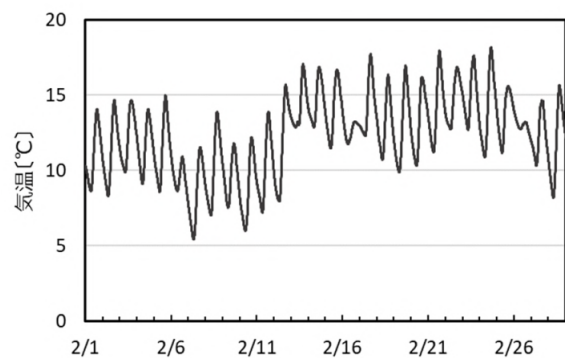


図 2 温湿度・気圧センサ BME280 の計測結果

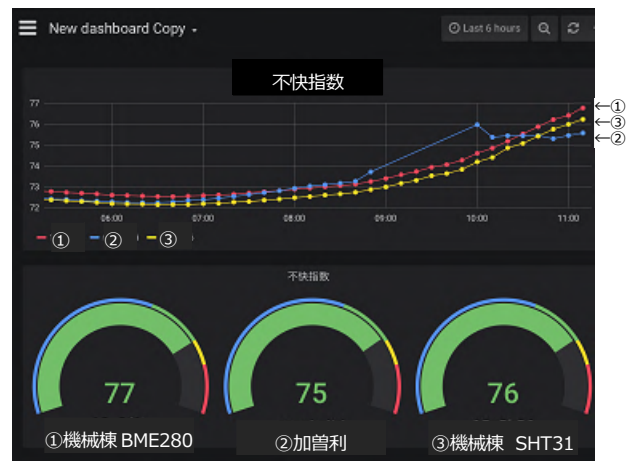


図 3 一元管理している Grafana ダッシュボード

様々な場所に設置された計測ツールの測定結果について、管理者が個々のデータにアクセスして確認するのは非効率である。このような場合、ダッシュボードソフトウェアが有用であり、本研究では Grafana を活用して計測値やその経時変化のグラフを一括表示することにより、管理者の負担を軽減し一元管理することが可能となった(図 3)。

また、粉塵や塗料が霧散する悪環境の温湿度測定に BME280 搭載センサモジュールが適用できるか検証を行った。この結果、比較的短期間(最短で約1ヶ月)で湿度測定ができなくなるという異常が発生した。この現象は、気圧の測定のためセンサに施されたピンホールに、環境中の異物が付着し、計測の妨げになったことで発生したものと考えられる。このように浮遊物の多い環境においては長期使用が難しく、定期的なセンサ交換が必要である。

一方、電気炉や金型等比較的高温条件で使用される設備の温度測定には、熱電対アンプ MAX31855K と K 型熱電対の利用が適切である。

これらを組み合わせて作成される計測システムは、RaspberryPi Zero WH(USB 電源により駆動)に熱電対アンプを接続し、RaspberryPi 内のデータベースに直接データを保存する方式や、電池駆動の無線モジュール TWILITE と熱電対アンプで回路を組み、データベースが収められている外部サーバー(PC や RaspberryPi で構築)に無線でアクセスしてデータを保存する方式が考えられる。

この2方式について、企業の実環境において実証試験を行ったところ、生産設備が稼働している環境下では、2方式の間で計測データに違いが見られ、USB 電源により駆動する方式では安定した計測が難しいことがわかった。

動力の大きな生産設備が稼働している状況では、放射ノイズや電源線を通じたノイズが影響を及ぼすことから、ノイズに強い電池駆動のシステムにするなど、最適なシステム構成を選択する必要がある。

### 3.2 距離センサを用いた個数計測

距離センサは、出力した赤外線や超音波が測定対象物表面で反射して戻ったシグナルを検出し対象物までの距離を測定している。そのため、ベルトコンベアで製品が運ばれるような場合には、製品の有無で反射する位置が変化し、計測距離に違いが生まれる。この計測距離の違いから製品の通過個数(=生産数)を把握できると考えられる。

そこで、VL53L0X 搭載(ToF 法)測距センサモジュール、超音波距離センサ HC-SR04、赤外線式測距センサ GP2Y シリーズの3種類の距離センサを使用し、企業の実環境において実証試験を行った。

その結果、超音波距離センサ及び赤外線式測距センサにおいては、安定した距離計測が可能であり、生産数量をカウントできることがわかった(図4)。一方、ToF 法測距センサモジュールでは、計測が安

定せず、適切に数量をカウントすることができなかった。

なお、超音波距離センサでは、製品が連続して通過し製品間の隙間が小さい場合には計測が難しく、赤外線式測距センサでは、赤外線を吸収しやすい色の製品の場合に計測が難しい(反射光が検出できない)という問題が認められたため、注意が必要である。

以上のことから、各センサが不得意とする製品の検出誤差が補完されるよう複数のセンサを使用し距離測定を行い、製品のカウント数に正しく反映されるようシステムを構築することが重要である。

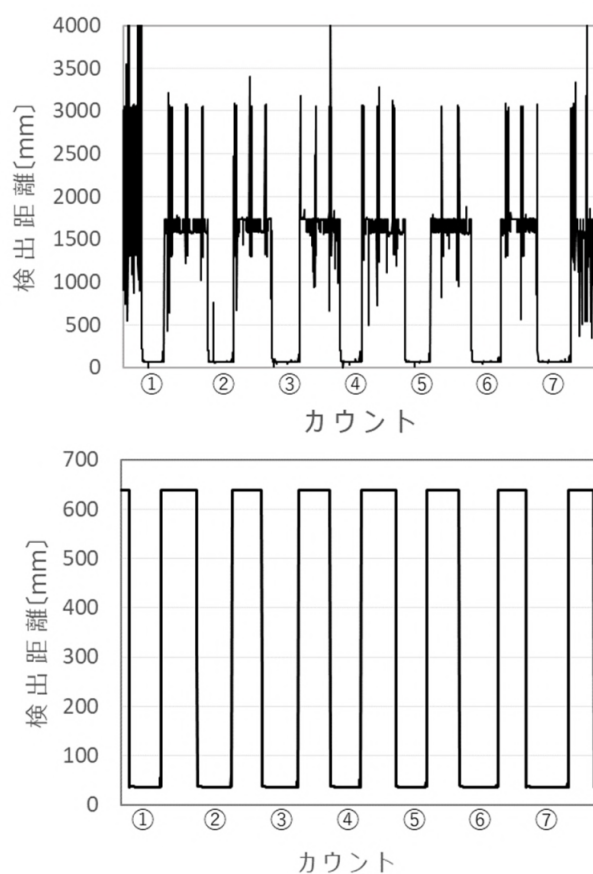


図4 検出結果

(上：超音波センサ，下：赤外線センサ)

### 3.3 IoTロボットによる装置の起動・停止

IoTロボットであるSwitchBotを使用し、所定の温度で空調設備の起動・停止できるかについて検証するため、天台庁舎本館廊下に設置されているワイヤードリモコンに、電源ボタンを押すSwitchBotを取り付けた(図5)。

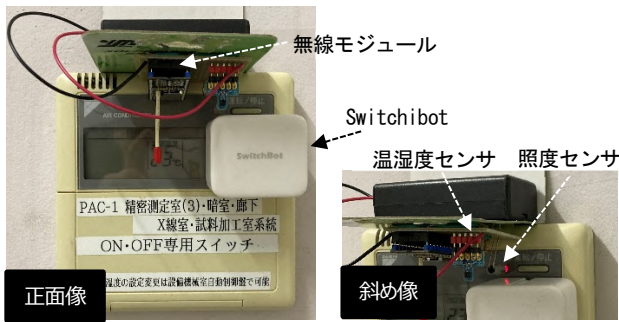


図5 IoT ロボットを設置の様子

次に、ADT410 搭載温度センサモジュールと SHT31 搭載温湿度センサモジュールを使用し、無線モジュール TWELITE と組み合わせて制御システムを作成した。温度センサ ADT410 は顕微鏡室内に設置し、検知温度が 25°C 以上または 23°C 以下になった場合に SwitchBot を作動させて電源ボタンを押し、自動で空調設備が起動・停止されるようプログラムした。また、温湿度センサ SHT31 は顕微鏡室に供給される冷風の通り道となるリモコン付近に設置し、顕微鏡室周辺環境の温度をモニタリングした。

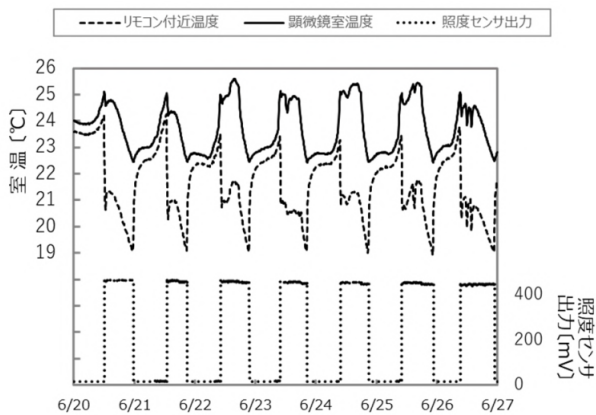


図6 室温及びランプ点灯のモニタリング結果

顕微鏡室の室温が 25°C を超えると、空調が始動して室温が下がり、23°C を下回ると停止して室温が上昇している(図6)。このことから、温度センサであらかじめプログラムされた設定温度が検知されると、SwitchBot が作動し、電源ボタンを押していることがわかる。

また、ワイヤードリモコンに取り付けた温湿度センサの情報から、空調設備が稼働すると一気に室温が低下し、停止とともに上昇する様子が捉えられた。顕微鏡室の室温を下げるため、冷風を供給する廊下

の温度はより低温に設定されていることから、その状況を反映した結果と考えられる。

さらに、ワイヤードリモコンには空調設備が起動していることを知らせるランプが附属していることから、ランプの光を検知できる位置に照度センサ NJL7302L-F3 を取り付け、空調設備が現在稼働しているか否かを確認できる機能を盛り込んだ。

ランプの点灯をモニタリングした結果(図6)、空調設備の電源が入り温度が低下したタイミングで照度センサの出力値が増加していることから、温湿度センサと照度センサは同期していることがわかる。

また、ランプ点灯の有無から空調設備の運転状況が把握できるようになったことで、空調設備の運転中に 25°C 以上の温度検知がなされた場合には、電源を押さないという制御が可能となった。

なお、照度センサでランプの点灯を検知する場合、室内灯等他の光の影響が懸念されることから、不要な光が検知されないようセンサ取付方法に配慮が必要である。

### 3.4 装置稼働状況の把握

IoT 技術を導入する目的として、生産性向上や省エネ対応を図ることが挙げられる。その第一歩として装置が実際にどのくらいの時間稼働しているのを見える化したいというニーズは多い。

そこで、電流センサを活用し、装置にどのくらい時間通電されているのかを把握する実証試験を行った。

三次元測定機に圧縮空気を供給するエアコンプレッサは、所定の圧力以下になると自動で起動し、圧縮空気を製造するよう設定されている。

そこで、ブレーカ内にあるエアコンプレッサの電源線に電流センサを取り付け(図7)、時間あたりの稼働率、ON/OFF 頻度など、設備の効率化に必要な指標が得られるか検証した。

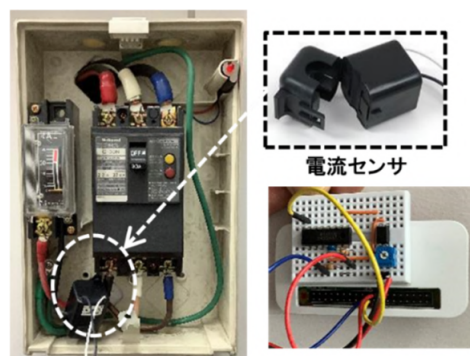


図7 電流センサ設置の様子

その結果、エアコンプレッサの作動回数や作動時間を計測することができ(図8), これにより、電力計やクランプメーターなどの高額機器を使用しなくても、安価なセンサで通電時間を確認できることがわかった。



図8 コンプレッサの作動状況(回数・時間)

#### 4. まとめ

実証試験を通じて各種センサの特徴を把握し、システムを構築する上での問題点について明らかにすることができた。これにより、どのような情報を得たいのかニーズに応じて適切なセンサを選択することが可能となった。

また、無線モジュールの活用や Wi-Fi 等のネットワーク環境に適したシステム構成について検証を行ったことにより、ネットワーク環境がない、障害物が多く通信状況が良くない等現場の状況を踏まえたシステム提案に必要な知見を得た。

本研究で得られた知見をいかし、IoT 技術の活用に関心のある企業に対しそれぞれの実情に応じた支援を行っていく。

また、中小企業においては、専門人材を確保して自ら「身の丈 IoT」を体験できる IoT システムを構築することは難しいことから、現場で起こりやすい様々な問題の対応法について整理し、企業が容易に「身の丈 IoT」を体験できる支援ツールの作成等に取り組むことにより、支援の充実を図っていく。