

## 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

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

Verification test of smartification for introduction of IoT  
to small and medium-sized enterprise in Chiba prefecture

Kazushige JONOUCHI, Daisuke OTANI, Takao NAKAJIMA, Takaaki ISHIKAWA,

Kazushi AKUTSU and Wataru TANAKA

「身の丈IoT」をキーワードとして、IoT技術に関心のある県内中小企業へのIoT技術導入を推進するべく、安価なセンサ類を用いたシステムを構築した。本報では使用したセンサ等の紹介と当所での測定事例を通して見えた注意点を示し、製造現場への導入の一助となるようまとめたものである。

### 1. はじめに

第4次産業革命とも呼ばれるIoT、ロボット、ビッグデータ、人工知能(AI)といった、新たな技術が生産現場の改革を起しつつある現在、千葉県でも中小製造業スマート化推進事業として、スマートセンサー等を活用したIoT導入体験実習などの取組みを行っている。

当所でも、平成18年度からロボット技術に関する研究等で得た知見を基に、センシングや制御、画像処理、組込みシステムなどの企業支援を行ってきた。その様な中、RaspberryPiをはじめとする小型・省電力なコンピュータボード、国内認証を取得した無線モジュール、高い演算能力をもったGPGPU(General-Purpose computing on Graphics Processing Units)対応のグラフィックカードが安価に入手できるようになり、IoTやAIといった技術が中小企業でも容易に導入できるようになった。

本報では、企業ヒアリング等で多く聞かれた課題を解決する技術や問題点などを、技術導入の一助となるよう第一報としてまとめた。

### 2. 要素技術

#### 2.1 無線モジュール

近年、電波法の技適(技術基準適合証明)が

付き、ユーザーが免許・申請を必要とせずに行うことができる無線モジュールが、一般にも容易に入手できるようになった。このことにより、従前の有線接続では少なからず必要であった配線工事等を必要としない無線センサネットワークが安価に構築可能となった。本研究では一般に入手性の良い製品から、短距離ネットワークに向けた2.4GHz帯のモノワイヤレス社製TWELITE及び中距離通信に向けた920MHz帯のインタープラン社製IM920を使用して実証を行った。

TWELITEは2.4GHz帯の無線モジュールにマイコンが内蔵されており、UART(Universal Asynchronous Receiver / Transmitter)、I<sup>2</sup>C(Inter Integrated Circuit)、SPI(Serial Peripheral Interface)による通信、AD変換、PWM(Pulse Width Modulation)出力、パルスカウンタ等、多様な入出力を持っている。またソフトウェア開発環境が公開されているため、C言語により必要な機能の追加等も自由に行える。特にセンサからのデータを間欠的に無線出力するモードは省電力であり、乾電池での運用が可能、設置場所を選ばないセンサネットワーク構築が可能となる。

IM920は920MHz帯のARIB STD-T108準拠の特定小電力無線モジュールであり、高速通信(50kbps、見通し通信距離400m)モードと長距離

通信モード(1.25kbps, 見通し通信距離 7,000m)が選択できる。インターフェースとして UART, DIO, AD 変換を備え, また DIO ではアンサーバックモードによる, 確実な遠隔制御としての利用が可能となっている。本研究では, 屋外でのセンサデータの通信用として検討した。

## 2.2 温度・湿度センサ

企業でのヒアリング等の結果から, 要望が多かったのは温度・湿度の記録であった。これには製品の品質管理・暗黙知の定量化といった当初想定していたものの他, 作業者の熱中症対策による労働環境の改善等, 管理部門での応用を期待している企業が多いことがわかった。本研究では一般に入手性の良いBosch社製BME280(温度・湿度・気圧), AnalogDevices社製ADT7410(温度), Maxim社製MAX31855K(K熱電対), Melexis社製MLX90614(非接触温度)による検証を行った。

BME280は温度・湿度・気圧の出力が可能であるが, 特に温度についてはセンサ内部温度であり, あくまでも参考値としての使用であることに注意しなければならない。ただし, 環境の温度計測程度であれば, 環境試験機等で補正すれば実用に耐えられるものと思われる。このセンサ特有の注意点としては, 気圧の測定のためにセンサ上にピンホールが開いているため, ホコリ等の環境に注意することである。出力されるデータは温度・湿度・気圧の直接のデータではなく, また, 測定精度を高めるには内部レジスタに書き込まれている補正係数を用いた64bit整数演算が必要である。

ADT7410は0.5°Cの精度を持つ温度センサであるが, センサの取り付け方により実際の測定対象が変わってしまうため, 高精度を求めるには注意を必要とする。これは, 測温部はICパッケージ内にあり, 温度はパッケージ表面や端子からの熱の流入(流出)により変化するためである。測定対象が物体であれば貼り付け, 大気であればヒートシンク等を使用すべきであるが, ヒートシンクの熱容量により遅れ時間が発生する。

MAX31855KはK型熱電対を接続して使用す

る冷接点補償型の熱電対アンプである。熱電対を利用するため, 使用する熱電対の被覆等を選べば高温部や液体等の温度を簡易に測定することが可能であり, 広い範囲での応用が可能である。注意点としては熱電対の原理上, アンプモジュール側の接点と零接点補償を行うチップとの温度差がそのまま誤差となるため, モジュール周囲に温度変化の少ない状況を作り出す必要がある。

MLX90614は赤外線により温度を計測する非接触式の温度センサである。その測定原理から被測定物の放射率を知る必要があるが, 簡易的には被測定物の表面温度を他のセンサで測定することにより計算できる。注意点としては, 内部構造として熱電対を使用しているため, 冷接点補償点と内部熱電対との温度差がそのまま誤差となる点である。また, センサの視野角を満たす大きさの表面が一様であることが必要であるが, そのために被測定物に近づけすぎるとセンサケース温度が上昇し, 結果として冷接点補償点と内部熱電対との温度差が大きくなってしまふこととなる。

## 2.3 測距センサ

STMicroelectronics社製VL53L0Xを用いた。このセンサはTOF(Time of Flight)法により屋内で最長2mの測距が可能であるが, 赤外線レーザーを使用していることから屋外や赤外線が入ってくる環境では, 測距レンジが大幅に短くなる。物体の特定位置での有無やベルトコンベア上を流れる被測定物のカウント, 往復動作するものの動作回数等, 得られたデータの時間変化を処理することによって応用は広がる。

## 2.4 アナログ信号処理

RaspberryPi等にUSB接続のマイクアンプを接続し, アナログ出力のセンサを接続して音, 振動, AE(AcousticEmission), 電流波形等の入力を検討した。音としては通常のコンデンサマイクを用いた波形収集を, 電流センサはAgilent社製電流プローブとの波形比較により, 応答性に問題ないことを確認した。AEに関してはエヌエフ回路ブロック社製AE9501を導入したが実際のAE波形を制御して出すことが難しく, シャープ

ペンシル芯の圧折による擬似AEの発生とイベントの観測に留まっている。

## 2.5 画像処理

RaspberryPi等に専用のカメラまたはUSB接続のカメラを接続することにより、OpenCV等の画像処理ライブラリとあわせて様々な画像処理が行える。これらの機能を用い、撮影画像からの色の抽出、画像の変化、エッジの抽出等を行うことができる。当所でも特定色の物体の有無／無しや計器盤の特定ランプの点灯の有無、移動物体の検知、積層式表示灯の点灯／点滅状況の判断、棒状物体の計数等を実験的に行った。

## 3. 実証試験

### 3.1 無線モジュール

TWELITEによるセンサ計測を実際に企業工場内でテスト運用したところでは、使用している周波数からか通信距離は周囲の環境に大きく依存されることがわかった。特に製造工程での観測では機器に隣接した位置での測定が必要となることが多く、周囲の金属が遮蔽物となるからか中継器の設置をカットアンドトライしながらの設置となった。この事よりエッジコンピューティング的運用としてRaspberryPi等をハブとした無線LAN等の環境構築が安定した長期運用では必要と思われる。またセキュリティへの配慮は必要になるものの、各種センサ情報の閾値の設定によりメールを送信し、アラートを能動的に遠隔地へ促すなどの運用も可能となる。

IM920による屋外通信実験では、当所天台庁舎新本館を基地局とし、移動局側にGPS位置情報をデータ通信モードで間欠送信し検証を行い、敷地内(15,000m<sup>2</sup>程度)であれば十分通信が可能であることが検証された。電源の無い屋外での運用を想定して、小型太陽電池パネル(12W)と鉛蓄電池による自立システムを試作し、簡易的な発電量の自動計測を行う実験を計画している。

### 3.2 センサ類

当所では測定・試験のために、また機器の保護のために空調管理を行っている部屋がある。近年圧縮機・コンデンサの故障・能力低下等の修理のため、温度の安定性の検証も必要となっ

た。ここで2.2のADT7410の項でも述べたが、室温測定でのセンサの状態の違いによる事例を示す。

図1は当所精密測定室の温度変化(5分間隔で1時間)をADT7410で測定したものであるが、3つのグラフはそれぞれ「センサのみ」「ヒートシンク付」「ヒートシンクにエアフローをつけたもの」となっている。ここで熱容量の大きい試験機につけた熱電対は20.3℃を示しているため、これを平均の室温とすれば、センサの状態によりセンサ精度を超える1℃以上の差が表れ、またセンサの状態を適切にすれば簡易なシステムでも精度良く測定できることがわかり、このことは周囲条件を考慮したシステムの重要性を確認できるものである。

図2は当所精密測定室の冬季における長期空調停止時の温度変化である。冬季に空調を停止した場合、室温は8℃を切っていることがわかる。通常の20℃50%Rh運転時の露点温度はJISZ8806湿度-測定方法の水の飽和蒸気圧からおよそ9.3℃となるため、空調再開時の湿度制御に注意をしないと、測定機器を結露させてしまう可能性がある。

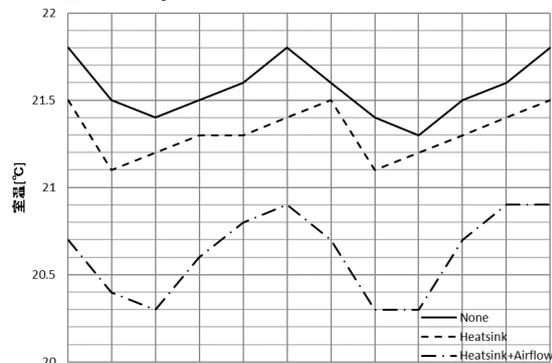


図1 温度センサの状態による測定値の違い

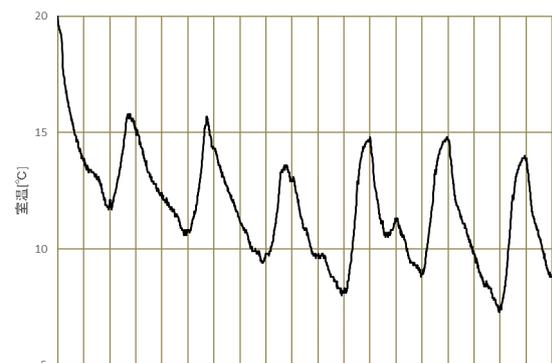


図2 冬季空調停止時の室温変化

### 3.3 電氣的観点

今回使用しているセンサ類は主にPC接続であり、2芯で双方向の通信を行うため、回路的に各端子は入出力を兼用したオープンドレイン(オープンコレクタ)で接続されている。このため、信号線にはプルアップ抵抗が必要となり、各デバイスがLoに落とすことにより通信する規格となっている。規格上は信号線の静電容量のみが規定されており、また、各デバイス(センサ)がどれほどの駆動能力を持っているかにより通信長は変わってくる。今回のような省電力が求められるシステムではプルアップ抵抗を大きくし、消費電力を落とす必要があるが、耐電磁環境的観点からはプルアップ抵抗を小さくし、配線長を短くする必要がある。

実際に企業での試験運用の際にインバータ制御機器の近くでノイズの影響から動作が不安定になる事象が発生したことからも、インパルス試験器でのラディエーション試験等、ケーブルの種類・信号線の配置による耐性評価を行う必要があると思われる。

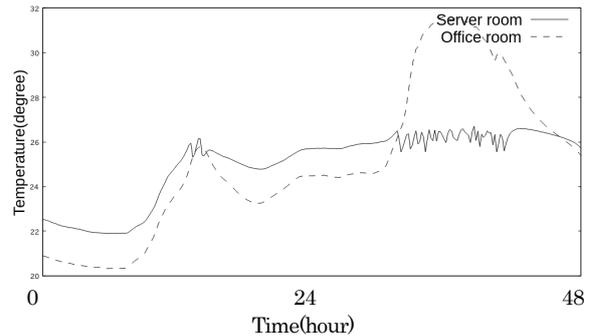
### 3.4 複数点の温湿度測定

複数点での温湿度測定の実証を行うため、TWILITEとWindowsパソコンによるシステムを構築した。測定にはBME280をPC接続でTWELITEに接続し、Windowsパソコンにデータを送信・集計した。ここで集計プログラムはPython言語で記述し、ユーザーに合わせて集計フォーマット等を自由に変更することができるものとした。また、プログラムをEXEファイル化し、特別の環境を必要としない、購入したままのWindowsパソコンに一つのファイルをコピーするだけで実行が可能なシステムとしている。

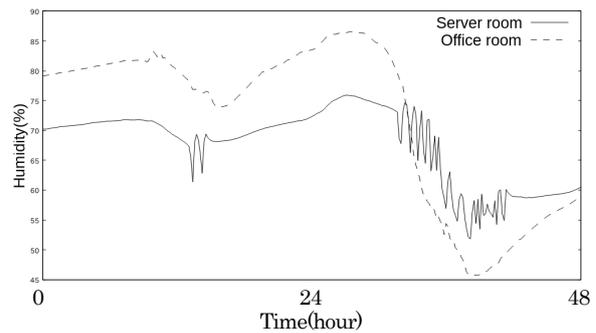
サーバ室と事務室の双方に測定ユニットを置き、集計用Windowsパソコンは事務室に設置した状態で温度等の測定を行った。サーバ室と事務室は廊下を挟んで2枚の壁に隔てられているが、通信は問題なく行うことができた。

図3にある2日間の(a)温度、(b)湿度、(c)気圧の変化を示す。スタート時刻は午前零時である。なお、サーバ室は設定温度を26℃として冷房運転による空調を行っており、事務室は空調を行

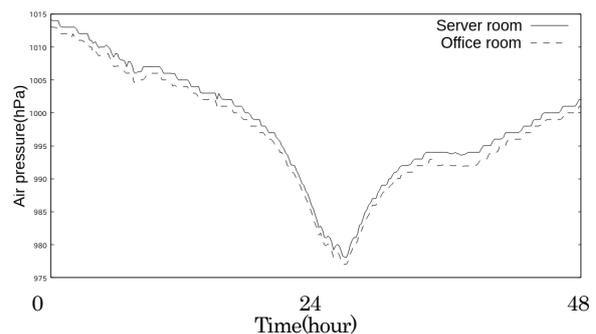
っていない環境である。1日目深夜から2日目未明には台風の接近により天気は崩れ、気圧が26時間付近で大きく下がっているのが示されている。また2日目の午前中から快晴となり気温が高くなったため、事務室の気温は上昇し湿度が下がっているのに対し、サーバ室は空調により気温が上昇していないこと、空調によるものと思われる気温、湿度の細かい上下動も観察できた。



(a) 温度



(b) 湿度



(c) 気圧

図3 サーバ室・事務室の温湿度、気圧の変化

### 3.5 画像処理

所内で試験的に画像処理による状態検知を行った結果、模擬環境と現場環境の特に照明の差異による誤認識が一番の問題となった。これは色による認識を行った際の、日中の太陽光が入

る状況と蛍光灯のみの状態による色合いの差や、積層式表示灯の認識の際に太陽光の状況によって点灯状態との区別がつかなくなる等の状況である。また、現在USB接続のカメラは多種多様な製品が出ているが、視野角や画素数といった表面上のスペックでは現れない色の再現性などによるところが大きく、同じ条件でもカメラの機種による認識率の差などもあった。

#### 4. まとめ

企業でのヒアリング、試用実験、所内での模擬実験や実観測をとおしてIoT技術導入の有効性や問題点が見えてきた。特に企業でのヒアリングで見えた一番の問題は、導入を考えている

企業での人材（人員）の不足であると考えられる。特に測定システムとして機能させるためには、ネットワークの構築や測定ユニット等との通信、記録システムとしてのソフトウェアなど、様々な知識を必要とする。現在は試用実験として当所職員が設定・調整等を行っているが、センサの追加ひとつとっても現状のシステム構成では専門的な知識が必要とされてしまう。

今後の検討事項として、簡易な設定で再利用しやすい形式でのデータの取得やセンサ構成の変更が可能なフレームワーク等を検討するなど、主にソフトウェア面での導入の敷居を下げる必要があると思われる。