

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
慶應義塾大学 工学部	教授	松本 佳宣

研究テーマ

途上国用自立電源IoT環境計測ステーションの試作と実証

研究報告

1. 研究の背景と目的

世界人口の90%が汚染された大気で暮らし、大気汚染に起因して年間700万人が早死しており (WHO, 2018)、中でも経済発展途上の中東・インド・アフリカの死亡率が高い(米環境影響研究所)。大気汚染対策の第一歩として多地点での継続的なモニタリングが必要であるが、途上国では機材・予算が不足し十分な測定データが集まらない点が問題である。例えば日本では大気汚染防止法に基づき、全国700カ所以上のモニタリングポストが常時稼働し、環境省や自治体のWebサーバでリアルタイムデータが公開される。これらビッグデータは公害対策研究や民間の環境事業に大いに生かされている。また、先進各国でも同様のシステムが稼働している。一方、汚染が深刻なインドや中東各国でも州毎に1カ所程度のモニタリングポストしか無く、一方でアフリカでは、政府が公式に管理する環境モニタリングポストが東アフリカに3カ所あるのみであり、先進国のモニタリングポスト数・密度と比較して大きな開きがあり環境アセスメント、健康影響評価を困難にしている。また、これらの計測装置ははいつでも先進国から寄付されたものが多く、運用コストが高く結果的にメンテナンスや校正が不十分な状態にある事が多い。

そこで、今後経済発展が見込まれるアジア・アフリカ諸国を念頭に、研究代表者が培ってきたIoT技術、半導体センサ技術を用いて高耐久なIoT環境ステーション (モニタリングポスト) を開発し、実フィールドでの動作実証を行う。半導体物理量センサによる温湿度・気圧・日射量・PM10/2.5測定のために電気化学式センサによるSO₂、NO₂ガス濃度測定を実現する。また、計測マイコンボードの低消費電力化を行い、無線に関しては3G回線の他にIoTセンサ無線 (Sigfox、LTE-IoT) を用いて動作電流を抑え、自立電源によって駆動を行う。計測データのクラウド上での可視化と簡単なメッセージ伝達機能を実現して、途上国での環境アセスメント、健康影響評価に寄与する事を目的とする。

2. 研究成果および考察

本研究では 次の技術的課題を解決したIoT式のモニタリングポストを試作・開発する事を目指した。
技術課題① 半導体物理量センサによる温湿度・気圧・日射量・PM10/2.5、測定のために電気化学式センサによる大気化学濃度 (SO₂、NO₂、CO、O₃) の実用精度での測定

技術課題② 低消費電力センサ駆動回路とIoT無線 (動作時300mA以下と間欠駆動) を乾季・雨季の気象に対応したソーラー・風力電源で駆動

これらに関して、はじめに代表的な計測マイコンボードWioLink (プロセッサ: ESP8266、Wi-Fi通信)、WioLTE (プロセッサ: STM32F405RG、LTE Cat.1通信)、UnaShield V2S (プロセッサ: ATMEGA328、Sigfox通信)、Wio LTE M1/NB1 (プロセッサ: STM32F439VI、LTE CAT M1通信) に各種センサをI2Cプロトコル、UARTプロトコル、A/D変換で接続を行い、Arduino言語とライブラリを用いて読み取りプログラムをコーディングすることで温湿度・気圧・日射量・PM10/2.5センサ、電気化学式ガスセンサ (SO₂、NO₂、CO、O₃) のデータ取得を行った。さらに、IoTクラウドとしてSORACOMクラウドとAmbientクラウドを採用してそれらに時刻と一緒にデータをUploadするコーディングを行った。その上で、マイコンのスリープ機能やリアルタイムクロックでマイコンボードの電源を切断できるWioRTCボードを併用して30分に1回の測定をするシステムを構築した。

自立電源に関してはソーラー・風力電源による環境発電技術を検討した。環境発電はIoT向けの μ WからmW程度の発電技術のことであり、風力は屋外で場所を選ばず利用でき、昼夜問わず利用できる点が利点である。IoT向け風力発電では地表付近での利用であるため、カットイン風速が小さく、静穏性に優れ、風向に依存しない風車を用いることが望ましい。これらを満たすサボニウス型風車とジャイロミル風車、らせん風車を検討して、らせん風車がカットイン風速3.3 m/s、発電電力32.8 mWの良

好な特性を示した。ソーラー発電は体積当たりの発電効率が最も優れるため、日照が確保できる設置場所ではソーラー発電を用いるが、日照が確保できない場所へ設置する場合や、設置国の雨季の状況に応じては風力発電を組み合わせたハイブリッド電源を構築するための基礎データが得られた。

その後、現地カウンターパートナーであるNEMA (National Environment Management Authority) の政府機関やNGOと調整しながらフィールドテストの場所を選定して、ルワンダにおいてはNPO法人ルワンダの教育を考える会の経営するウムチョムウイーザ学園、ウガンダにおいてはNEMAの建物近隣とする事とした。両国ともIoTセンサ無線 (Sigfox, LTE-IoT) が未整備である事からトラベルSIMを用いた3G回線とWi-Fi通信を用いる事とした。運送や設置後のメンテナンスができないルワンダ・ウガンダ現地環での実証実験を行うに当たり、送信間隔を30分に1回としてセンサ・無線回路の低消費電力化を進め、電源はソーラー発電のみとする事とした。センサの取り付け位置、自然対流による換気設計、砂塵・防水対策などの外装設計を最適化した。また、高温動作時の回路の安定動作に取り組み、申請者の所有する恒温恒湿槽内で疑似環境での動作確認を行った。その後2019年8/11~8/21(11日間)の日程でルワンダ国の首都キガリ、ウガンダ国の首都カンパラに出張を行い、現地NPOなどとの交流、REMA/NEMA等の政府機を訪問した。

現地スタッフと途上国における環境計測のあり方に関して議論を行った環境計測器の設置を行った。さらにキガリ市やカンパラ市内の大気環境などをフィールドテストにより調査を行った。下記に、最終的な装置内部写真と設置写真を示す。

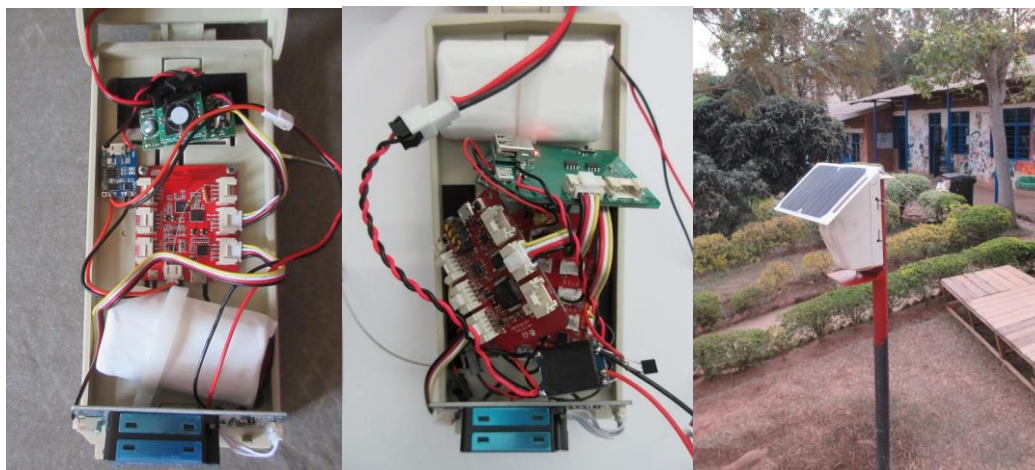


図1. ルワンダ(Wi-Fi式)とウガンダ(3G式)に設置したIoT計測器の内部構造と設置写真

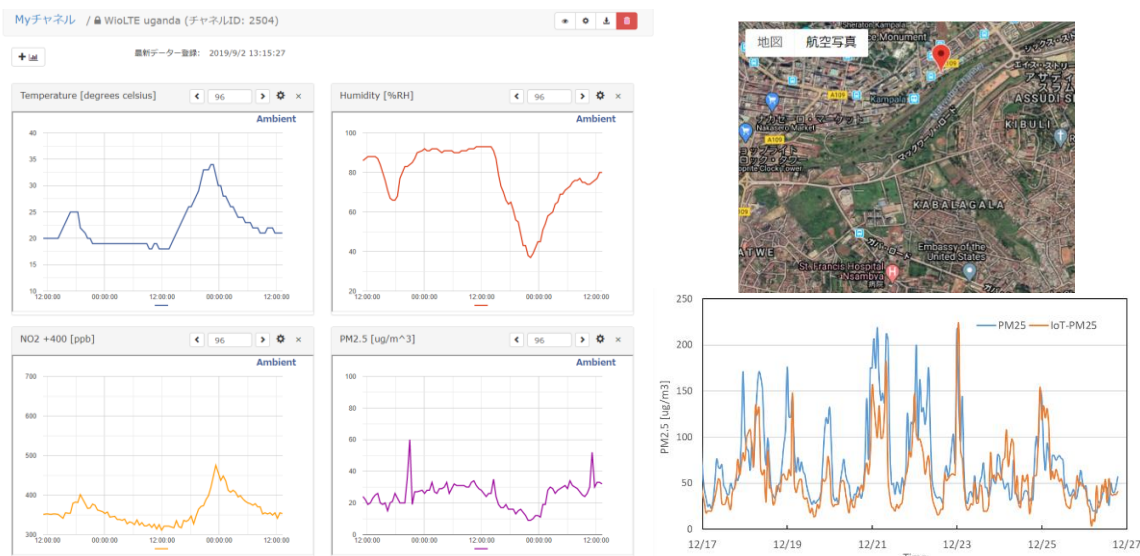


図2. クラウド上へUploadされたデータの可視化画面と設置場所、米国大使館の装置との比較

技術課題③ アジア・アフリカ・中東においても市民のスマートフォン所有率は高いことを利用して、最新のクラウド技術を用いて可視化・メッセージ機能を実現

に関しては Ambient クラウドでの測定可視化の画面を下記に示すがこの画面は市民のスマートフォンにも公開可能である。また、SORACOM クラウドの Lagoon システムによりメッセージ機

能も実現可能である事を確認した。この装置は、8月15日設置後、自立ソーラー電源により2020年6月現在も順調に動作している。約半年のデータからPM値の平均時間変動を計算すると、ルワンダでは現地時間の7-8時に急に濃度が上昇する傾向があり、この時間帯に測定地点の周辺で出勤や幼稚園児の屋外活動などが一因として考えられる。一方、ウガンダでは7時と22時頃に濃度ピークがあり日中が夜間よりも低濃度の傾向があった。原因としては、出勤・帰宅による交通量の増大、調理などによるPM値の増大が考えられる。

PM2.5センサに関しては、クラウド上のデータとウガンダ米国大使館の測定公開値をpython言語により解析を行った。NEMAとウガンダ米国大使館は1km程度離れているが、図2に示すように数値には相関が得られている。また、得られたデータを機械学習により回帰分析を行うことで、PM値の予測に使えるという知見が得られた。IoT環境計測ステーションによるデータを統計、機械学習処理する事によって有益な環境アセスメントデータが得られる事がわかった。NO2などのガスセンサに関しては電気化学センサを用いているためオフセットや温度ドリフトが大きいことがわかった。このデータに関しては、温湿度センサの値とその時間遅れの関係から自己回帰モデルによる補正によりある程度補正可能である。さらに、ウガンダにおいてもコロナウィルスの影響で2020年3月28日より外出制限・ロックダウンが行われたが、この措置によるカンパラ市内のPM2.5の値の変化に関して、NEMAよりデータ提供依頼が来たため送付を行った。NEMAに設置した装置でロックダウンによる大気環境の改善状況が明確に観測された。

3. 将来展望

上述の技術課題①～③を達成することで、「途上国向けIoT環境モニタリングポスト」により途上国が導入・長期運用可能な装置を実現する事ができた。高耐久自立電源が実現できた事から、電源がない地方や山林・荒野における環境モニタリングが増加させることができ、大気環境の定量化が可能となる。これにより、現地の経済発展の中で大気環境改善の効果把握が可能となり適切な環境改善対策の立案及びその実行が可能となる。

さらに、IoT技術によりクラウドを介在させ可視化しつつ長時間の環境データを蓄積して環境研究に役立てる事が可能である。特に市民への可視化により「市民が環境情報にアクセスすること」が実現できる事から公害や健康被害を未然に防ぐことが可能となる。また、発生源解析、環境影響評価による定量的な大気汚染対策と健康対策に寄与する事が可能となる。

今後の課題としては、現地の市民の健康状況をビデオ会議および現地訪問での聞き取り調査を通して明らかにして、「健康影響を自主判断できる環境」を提供する事である。これにより、地域住民が大気環境の状態を認識し、改善への意識づけの教育活動につなげることになる。これにより、途上国の行政・住民・企業が一体となったサステイナブルディベロップメント推進と環境改善が期待できる。さらに、IoT技術を途上国で展開することで途上国におけるIT教育を進めIT活用ビジネスの発展とイニシアチブ獲得を行い、将来的にサービス輸出などにより貧困からの脱却の一助となると考えられる。

4. 研究発表

日刊工業新聞 2019年8月27日 総合/国際面 「東アフリカの環境改善 慶大など ノウハウ蓄積世界へ」

CQ出版社 トランジスタ技術増刊 エレキジャックIoT2 pp.42-43 「東アフリカのPM2.5を減らしたい IoT環境計測センサ・システムの研究 環境改善のためのはじめの一歩」2020年4月1日発刊