

# オゾンセンサーを内蔵する IoT の作成とその応用

田中 武\*・岡光 序治\*・中本 正彦\*\*

(令和2年10月31日受付)

## Fabrication of IoT with built-in ozone sensor and its application

Takeshi TANAKA, Nobuharu OKAMITSU and Masahiko NAKAMOTO

(Received Oct. 31, 2020)

### Abstract

Today, the coronavirus is spreading all over the world and is becoming a big problem. Under such circumstances, the inactivation of coronavirus using ozone has been reported. We have also installed a Sigfox antenna at Hiroshima Institute of Technology and have been developing IoT devices via the Internet using the Sigfox network. In this study, we report that we have succeeded in displaying data on computer using Sigfox by installing an ozone concentration measuring device that contributes to coronavirus inactivation in an IoT device. In the future, I would like to aim to build an educational system that can be used for practical training and practical training using teaching materials.

**Key Words:** IoT (Internet of Things) , Sigfox, Ozon, Matlab/simulink, ThingSpeak, corona-virus disease 2019 (COVID-19)

## 1 はじめに

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。<sup>1)</sup>

現在、コロナウイルスが世界中に蔓延し、大きな問題になってきています。そのような中で、オゾンを用いたコロナウイルスの不活性化が報告されている。<sup>2)</sup> また、広島工業大学に Sigfox アンテナを設置し、Sigfox ネットワークを利用してインターネット経由で IoT 機器を開発してきました。本研究では、コロナウイルス不活性化に寄与するオゾン濃度の測定装置を IoT デバイスに搭載し、Sigfox

を用いてデータをコンピュータに表示することを試みた。

## 2 オゾンによる新型コロナウイルス不活性化と不活性化の条件<sup>2)</sup>

奈良県立医科大学(微生物感染症学 矢野寿一教授、感染症センター 笠原敬センター長)と MBT コンソーシアム(感染症部会会員企業:クオールホールディングス株式会社、三友商事株式会社、株式会社タムラテコ、丸三製薬バイオテック株式会社)の研究グループは世界で初めてオゾンガス曝露による新型コロナウイルスの不活化を確認しました。また、その不活化の条件を実験的に明示することにより、実用性を学問的に示しました。

1. CT 値 330 (オゾン濃度 6ppm で 55 分曝露) では、

\* 広島工業大学工学部電子情報工学科

\*\* 株式会社大柿産業

1/1,000 ~ 1/10,000 まで不活化。

2. CT 値 60 (オゾン濃度 1ppm で 60 分曝露) では、1/10 ~ 1/100 まで不活化。

オゾンにより最大 1/10,000 まで不活化することを確認されました。



Fig. 1 オゾンによる新型コロナウイルス不活化の実験装置

### 3 オゾンセンサーの諸特性<sup>3)</sup>

オゾンセンサー (MQ131) の写真 (Fig. 2)、テスト回路 (Fig. 3)、技術的なパラメーター (Table 1)、典型的な感度曲線 (Fig. 4)、典型的な温度/湿度に対する感度曲線 (Fig. 5)、出力電圧を用いた感度曲線 (Fig. 6)、および、応答と再開特性 (Fig. 7) を示す。



Fig. 2 オゾンセンサー (MQ131) の写真

Basic Circuit

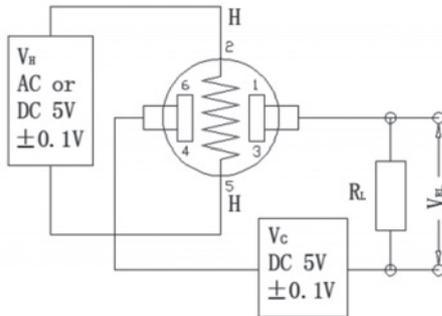


Fig. 3 オゾンセンサー (MQ131) のテスト回路

Table 1 オゾンセンサー (MQ131) の技術的なパラメーター

Model		MQ131	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Plastic cap	
Target Gas		Ozone	
Detection range		10~1000ppb Ozone	
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	$V_c$	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	$V_H$	$5.0V \pm 0.1V$ AC or DC
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	$R_H$	$34\Omega \pm 3\Omega$ (room tem.)
	Heater consumption	$P_H$	$\leq 900mW$
	Sensitivity	$S$	$R_s(\text{in } 200ppb \text{ O}_3)/R_s(\text{in air}) \geq 2$
	Output Voltage	$\Delta V_s$	$\geq 1.0V$ (in 200ppb $\text{O}_3$ )
	Concentration Slope	$\alpha$	$\leq 0.6(R_{500ppb}/R_{100ppb} \text{ O}_3)$
Standard test conditions	Tem. Humidity	$20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}; 55\% \pm 5\% \text{RH}$	
	Standard test circuit	$V_c: 5.0V \pm 0.1V;$ $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
	Preheat time	Over 48 hours	

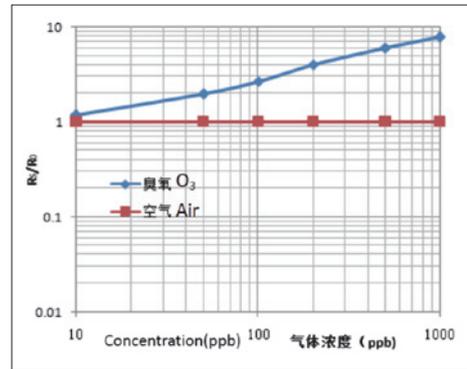


Fig. 4 オゾンセンサー (MQ131) の典型的な感度曲線

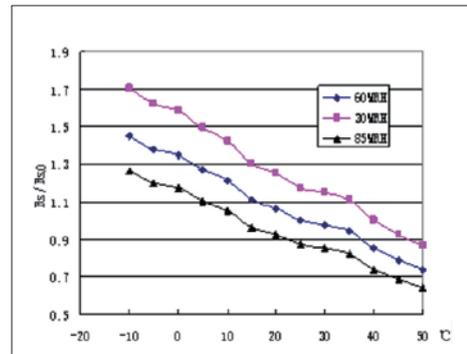


Fig. 5 オゾンセンサー (MQ131) の典型的な温度/湿度に対する感度曲線

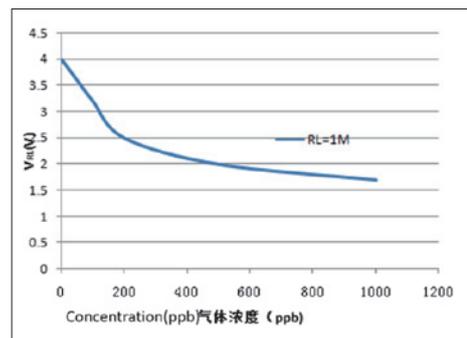


Fig. 6 オゾンセンサー (MQ131) の出力電圧を用いた感度曲線

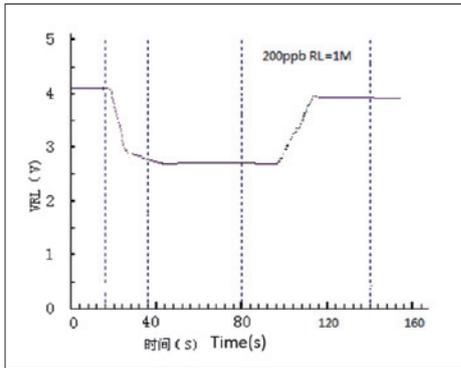


Fig. 7 オゾンセンサー (MQ131) の応答と再開特性

#### 4. オゾンセンサーを搭載した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)

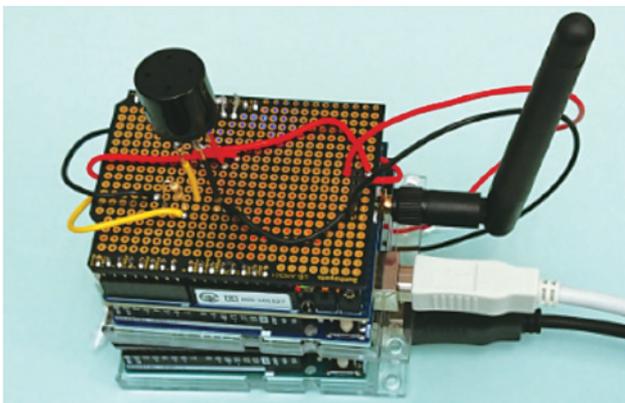


Fig. 8 Sigfox を用いたオゾンセンサー搭載 IoT 機器

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<sup>5)</sup>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。

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

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, Talk Back, ThingHTTP がある。

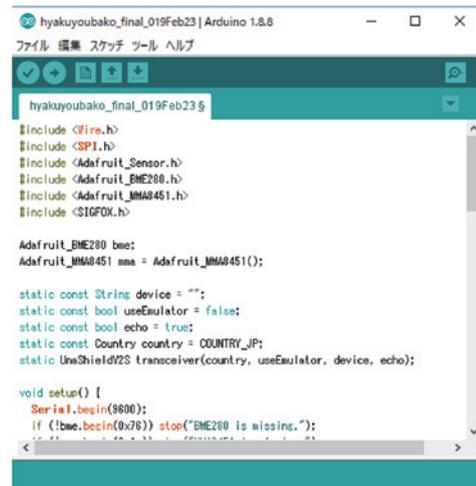


Fig. 9 本研究に用いた Arduino のスケッチ例

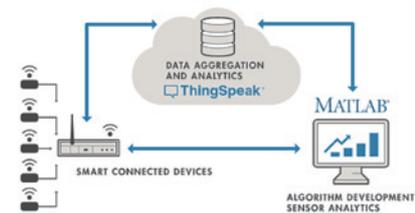


Fig.10 IoT 機器、ThingSpeak、Matlab/Simulink の概要<sup>6)</sup>



Fig. 11 Sigfox Shield for Arduino V2S の CallBack の例

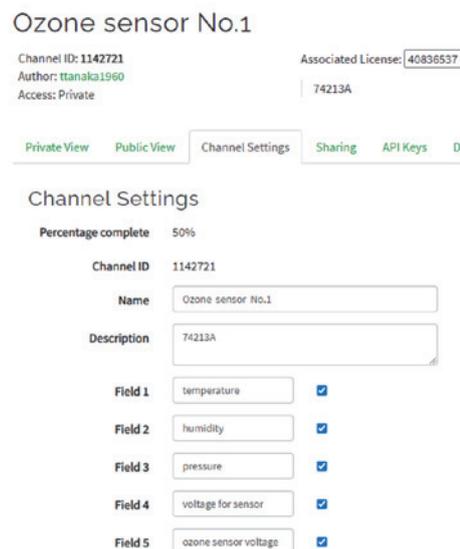


Fig. 12 ThingSpeak のチャンネル設定例

## 5 実際の測定例

### 5-1 オゾン測定方法

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 1mg/h、強モードで 3mg/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. 8 参照）の配置を、Fig. 13 に示す。



Fig. 13 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. 14）、湿度（Fig. 15）、気圧（Fig.16）、オゾンセンサー印加電圧（Fig.17）、および、オゾンセンサー出力電圧（Fig.18）を示す。

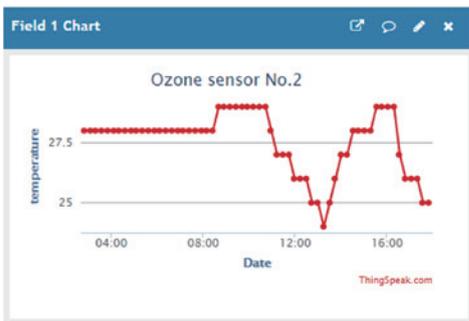


Fig. 14 オゾンセンサー搭載 IoT を用いて測定した温度

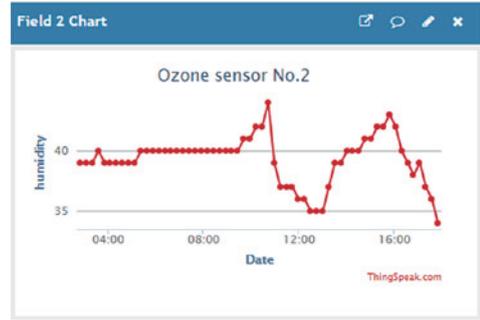


Fig. 15 オゾンセンサー搭載 IoT を用いて測定した湿度

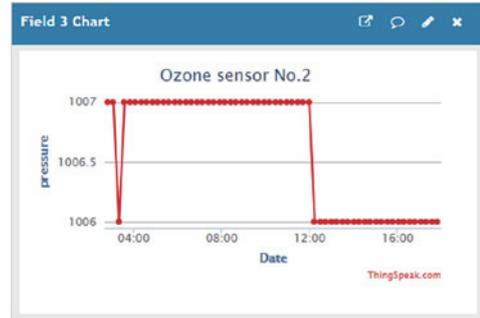


Fig. 16 オゾンセンサー搭載 IoT を用いて測定した気圧

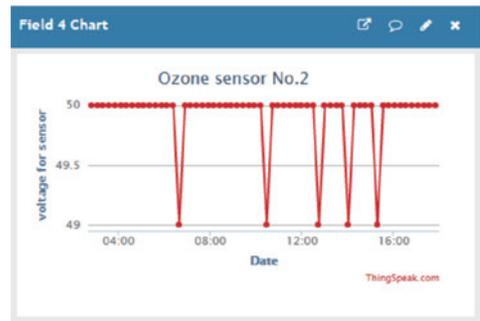


Fig. 17 オゾンセンサー搭載 IoT を用いて測定したオゾンセンサー印加電圧

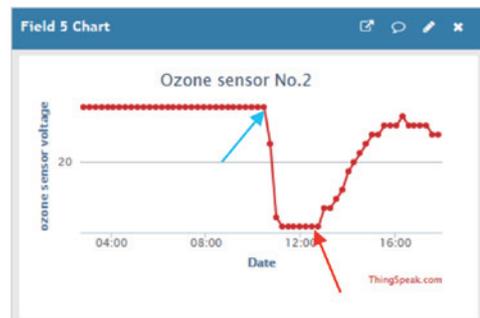


Fig. 18 オゾンセンサー搭載 IoT を用いて測定したオゾンセンサー出力電圧（青い矢印は、オゾン発生装置 ON、赤い矢印は OFF）

オゾンセンサーの出力電圧は、出力電圧を用いた感度曲線（Fig.6 参照）より低いため、オゾン濃度は 1ppm より大きいと考えられる。今後は、オゾン濃度の測定精度向上を検討していきたいと思います。

## 5-2 Arduino-MQ131-driver<sup>4)</sup> を用いたオゾン濃度測定

Arduino-MQ131-driver は、Winsen MQ131 センサーを使用して空気中のオゾン (O<sub>3</sub>) 濃度を取得するための包括的な Arduino ライブラリです。ライブラリは、センサーの両方のバージョン (低濃度と高濃度)、キャリブレーション、ヒーターの制御、環境調整 (温度と湿度)、および ppm (parts per million)、ppb (parts per billion)、mg / m<sup>3</sup> および μg / m<sup>3</sup> の値の出力をサポートしている。

また、Arduino-MQ131-driver の接続図 (Fig.19)、ヒーター部分の接続図 (Fig.20)、および回路図 (Fig.21) を示す。

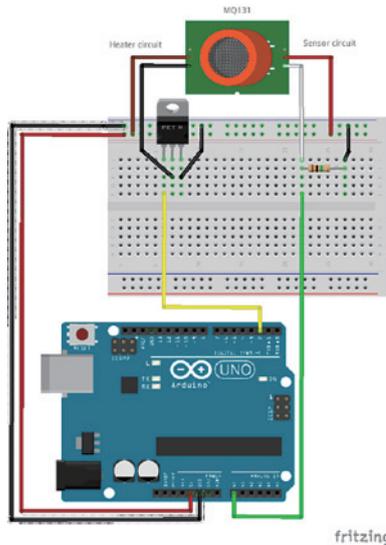


Fig. 19 Arduino-MQ131-driver の接続図

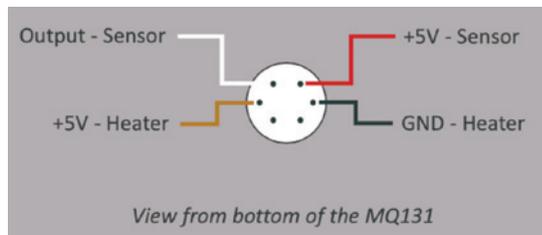


Fig.20 Arduino-MQ131-driver のヒーター部分の接続図

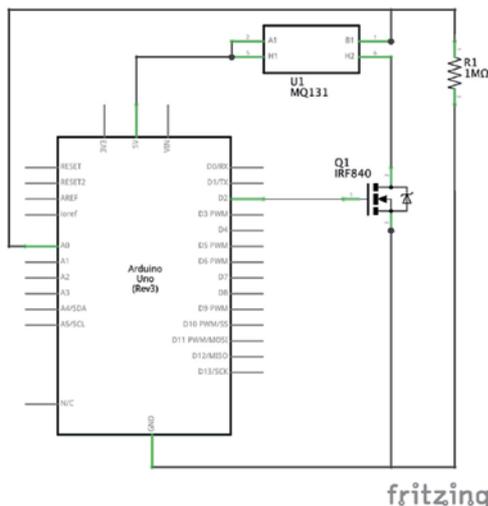


Fig. 21 Arduino-MQ131-driver の回路図

オゾン濃度測定装置 (Arduino-MQ131-driver) と、オゾン発生装置 (Ozone Air Salas (株式会社仁淀デンツウ)) を使い、測定装置と発生装置は Fig.13 と同等で、オゾン濃度を測定し、その結果を Fig.22 に示す。

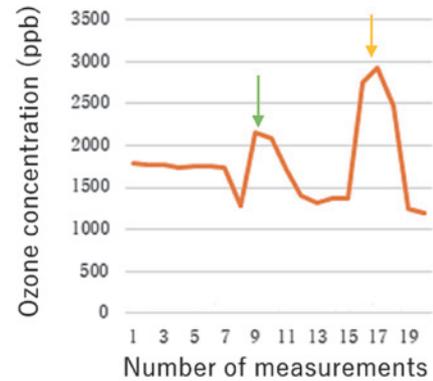


Fig. 22 Arduino-MQ131-driver を用いたオゾン測定結果 (緑の矢印は弱モード、橙色の矢印は強モード)

オゾン発生装置の弱モードを用いると、ピークの高さは、約 700 ppb、強モードを用いると、約 2100ppb とオゾン濃度は約 3 倍である。この濃度比は、オゾンの発生量の比、弱モード (1mg /h)、強モード (3mg /h) の比と同程度であることが示された。

今後は、詳細な検討の必要性が示唆された。

## 5-3 オゾン濃度測定装置の利用電力について

現在、2 種類のオゾン濃度測定装置を製作した。今後、IoT 機器に搭載して稼働させるためには、その装置の消費電力が重要になる。

オゾン濃度測定装置の消費電力の初歩的な考察のため、回は初歩的な測定装置として、Bluetooth ワットチェッカー RS-BTWATTCH2<sup>5)</sup> (ラトックシステム株式会社製) を用いた。



Fig. 23 Bluetooth ワットチェッカー RS-BTWATTCH2 の写真

Bluetooth ワットチェッカー RS-BTWATTCH2 の主な仕様、測定項目、表示範囲を下記に示す。

表示項目	表示範囲	測定精度
消費電力 (W)	10W ~ 1500W	± 1%保証測定範囲
	1W ~ 10W	± 2%保証測定範囲
電流 (A/mA)	1A ~ 15A	± 1%保証測定範囲
	100mA ~ 1A	± 2%保証測定範囲
電圧 (V)	90 ~ 110V	± 1%保証測定範囲
消費電力量 (kWh/Wh)	0mWh ~ 1,258,000kWh	

オゾンセンサーのテスト回路 (Fig. 3 参照) を用いて製作したオゾンセンサーの消費電力を、ワットチェッカーを用いて測定し、その結果を、計測モニターを Fig. 24 に、計測グラフを Fig. 25 に示す。

消費電力が 1.525W であり、この値は、Sigfox Shield for Arduino V2S、オゾンセンサーのヒーターの消費電力 (< 900mW)、Arduino UNO 2 台、その他、超小型 USB AC 充電器 2 台の消費電力の合計である。



Fig. 24 オゾンセンサーのテスト回路 (Fig. 3 参照) を用いて製作したオゾンセンサーの消費電力を、ワットチェッカーを用いて計測中の写真

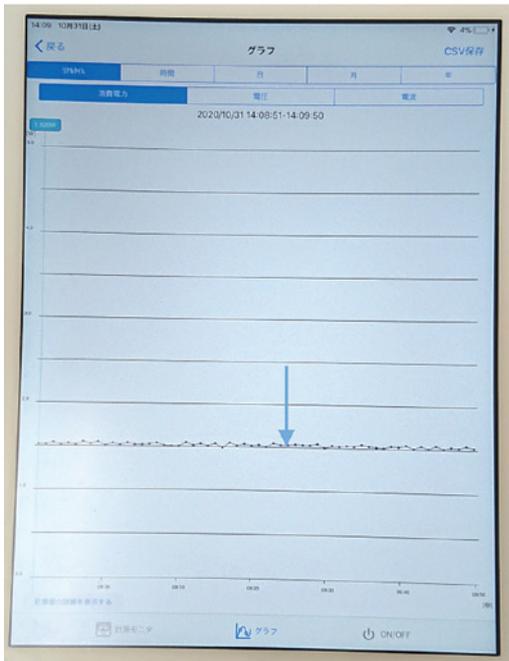


Fig. 25 オゾンセンサーのテスト回路 (Fig. 3 参照) を用いて製作したオゾンセンサーの消費電力を、グラフ表示している写真 (青い矢印の示している線が、測定グラフです。)

また、計測グラフから、消費電力は、ワットチェッカーの仕様に掲載されているように、± 2%の測定精度を有していると考えられる。

次に、Arduino-MQ131-driver を用いたオゾン濃度測定時の消費電力を測定する。このセンサーは、必要なときのみ、ヒータを加熱するため、電流の立ち上がり (Fig. 26 と Fig. 27) と立下り (Fig. 28 と Fig. 29) の時を測定した。



Fig. 26 Arduino-MQ131-driver を用いたオゾン濃度測定オゾンセンサーのテスト回路 (Fig. 19 参照) を用いて製作したオゾンセンサーの消費電力を、ワットチェッカーを用いて立ち上がりの計測中の写真

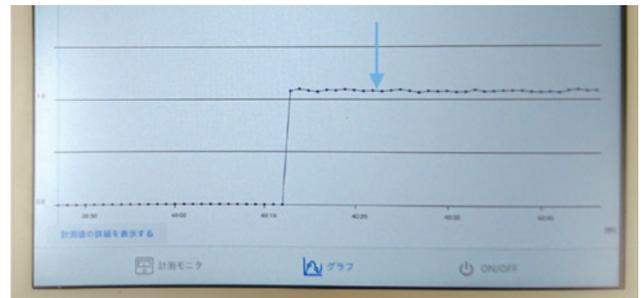


Fig. 27 Arduino-MQ131-driver を用いたオゾン濃度測定オゾンセンサーのテスト回路 (Fig. 19 参照) を用いて製作したオゾンセンサーの消費電力を、立ち上がり中のグラフ表示している写真 (青い矢印の示している線が、測定グラフです。)



Fig. 28 Arduino-MQ131-driver を用いたオゾン濃度測定オゾンセンサーのテスト回路 (Fig. 19 参照) を用いて製作したオゾンセンサーの消費電力を、ワットチェッカーを用いて立ち下り後の計測中の写真

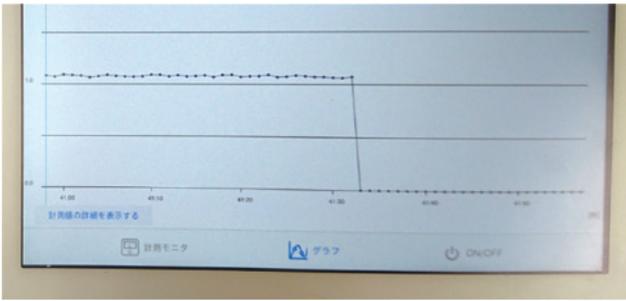


Fig. 29 Arduino-MQ131-driver を用いたオゾン濃度測定オゾンセンサーのテスト回路 (Fig. 19 参照) を用いて製作したオゾンセンサーの消費電力を、立ち下がり中のグラフ表示している写真 (青い矢印の示している線が、測定グラフです。)

消費電力が 1.086W であり、この値は、オゾンセンサーのヒーターの消費電力 (< 900mW)、Arduino UNO 1 台、その他、超小型 USB AC 充電器 1 台の消費電力の合計である。

この値は、オゾンセンサーの動作のための電力消費量を低減するために、回路構成、動作の仕方について、現在判明した点は、

- 1) オゾンセンサー、特にヒータ部分の電力を動作時以外は OFF にする。
- 2) オゾンセンサーのヒータの電源と、データを処理するユニットを一つにする。

があげられる。

今後は、オゾンセンサーの動作をさらに詳細に検討して、測定精度、測定時間、消費電力等の最適化を図っていきたいと思います。

## 6 オゾン発生装置と、オゾン濃度測定装置の応用

### 6-1 オゾンの概要<sup>6)</sup>

これまで説明したオゾン発生装置と、オゾン濃度測定装置の応用について検討する。

オゾンは大気中に自然に存在し、大気を自浄する働き(脱臭・除菌)をしています。日差しの強い海岸などでは 0.03

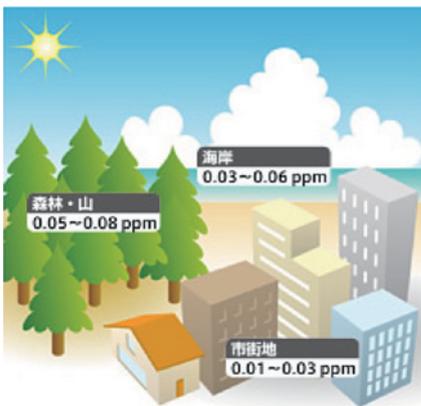


Fig. 30 市街地、森林・山および海岸のオゾン量

～ 0.06ppm、森林では 0.05 ～ 0.08ppm の濃度が観測されています。オゾンは基本的に目で確認できませんが、臭いとして確認することができます。森林などの爽やかな空気には、オゾンが含まれているのです (Fig. 30 参照)。<sup>6)</sup>

### 6-2 オゾン濃度のデータ収集のための Sigfox の環境整備

オゾンの導入例として、ホテル・旅館などの宿泊施設への導入例<sup>7)</sup>があるので、地域社会へのオゾンの導入の一例として、ここでは、江田島市にある宿泊施設「うみのす」への導入を試みた。

うみのすの外観写真 (Fig. 31) と、うみのす付近の Sigfox の coverage (Fig. 32) を下記に示す。



Fig. 31 うみのすの外観<sup>8)</sup>

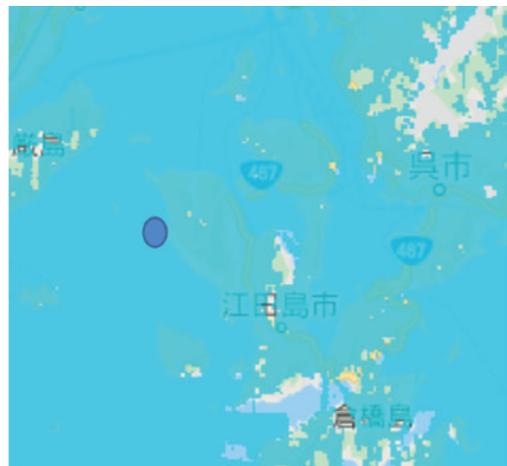


Fig. 32 うみのす付近の Sigfox の coverage<sup>9)</sup>  
●は、うみのすの位置

Home Page から得られた Sigfox の coverage では、うみのすがカバーされています。実際に Sigfox を用いたオゾンセンサー搭載 IoT 機器 (Fig. 8 参照) を「うみのす」の客室設置したところ、受信状態が不良であった。

また、「京セラコミュニケーションシステム株式会社 (本社：京都市伏見区 代表取締役社長：黒瀬 善仁、以下 KCCS) は、お客様が自由に Sigfox ネットワークを構築できる基地局レンタルサービスのラインナップに、従来か

ら提供していた Sigfox 基地局「Access Station Mini」に加え、新たに屋内向け小型 Sigfox 基地局「Access Station Micro」を追加しました。<sup>10)</sup>

「Access Station Micro」は、サイズが約 186 × 159 × 108mm、質量 450g と超小型で低消費電力でありながら、見通し 1 ～ 2km の範囲をカバーします。また、アンテナ内蔵、PoE 給電方式により場所を選ばず、従来型よりもさらに容易に設置可能です。」という発表があったので、早速、Sigfox の Access Station Micro をレンタルし、うみのす 2F に設置した。(Fig. 33 参照)



Fig. 33 うみのす 2F に設置した Sigfox の Access Station Micro <sup>10)</sup>

「うみのす」2F への小型 Sigfox 基地局「Access Station Micro」の設置により、「うみのす」内部の Sigfox 環境整備ができた。

さらに、この基地局の設置により、リリース<sup>10)</sup>に書かれているように見通し 1 ～ 2km の範囲をカバーできれば、うみのすを中心に、IoT や、再生可能エネルギー等社会で注目されているエネルギー関連の教育研究環境の構築の可能性が増大した。今後は、関係各機関や、関係者のご協力を得て、未来につながる環境の構築を目指していきたいと思ひます。

### 6.3 オゾン発生装置とオゾン濃度測定装置のうみのす内の客室への設置

オゾン濃度測定装置の実験で用いた、オゾン発生装置 (Fig. 13 参照) は、オゾン発生量が最大 3mg / h と小さいため、ここでは、オゾン発生量 300mg / h の剛腕 GWN-300CT (オーニット株式会社製)<sup>11)</sup>を用いた。



Fig. 34 剛腕 GWN-300CT (オーニット株式会社製) の写真

また、うみのすの客室の一例を示す (和室 (Fig.35)、洋室 (Fig.36))。



Fig. 35 うみのすの和室の一例 <sup>12)</sup>

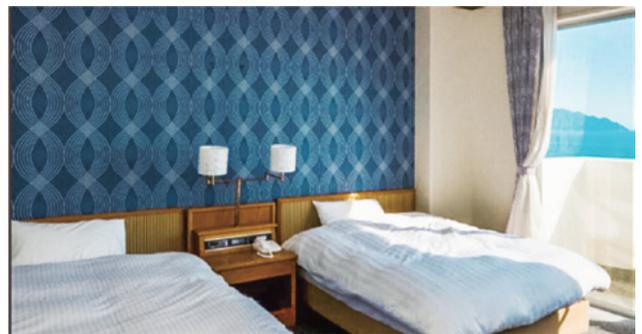


Fig. 36 うみのすの和室の一例 <sup>12)</sup>

今回は、うみのすの和室に剛腕 GWN-300CT (オーニット株式会社製) を設置し、1 時間作動させ、Sigfox を用いたオゾンセンサー搭載 IoT 機器 (Fig. 8 参照) で、客室 (和室) 内のオゾン濃度について考察した。

客室内のオゾン臭は、明らかな臭気があり、鼻や喉に刺激を感じる程度であった。オゾン臭の感じ方には個人差があり、敏感な人で 0.01ppm、普通の人でも 0.04ppm で爽やかなオゾン臭を感じます。<sup>13)</sup> 以上のことから、オゾン濃度が人体に与える影響<sup>13)</sup> からオゾン濃度は 0.1ppm を越えていることが推察される。

また、オゾンセンサーの出力電圧が減少し、出力電圧と典型的な感度曲線 (Fig. 4 参照) を用いてオゾン濃度は算出が可能である。このセンサーは、出力特性において、温度と湿度の影響が大きい (Fig. 5 参照)、センサーの貯蔵時間が長い (6 か月以上) と、使用する前の長いエージング時間 (168 時間) が必要である<sup>3)</sup>。

したがって、今後は、オゾン発生装置、オゾン濃度測定装置等を詳細に、総合的に考察する必要があることが示唆された。

## 7 まとめ

コロナウイルス不活性化に寄与するオゾン濃度の測定装置を IoT デバイスに搭載し、Sigfox を用いてデータをコンピュータ上に表示できることを示した。また、オゾンセンサー (MQ131) の様々な特性を集め、メーカー推薦のテスト回路を用いてオゾン濃度測定装置を製作し、オゾン濃度を測定した。Arduino-MQ131 driver を用いたオゾンセンサーを製作し、オゾン濃度を求めた。さらに、実際の宿泊施設に応用し、オゾンの発生、測定を実現した。今後は、オゾン発生装置、オゾン濃度測定装置等を詳細に、総合的に考察し、課題を明らかにする中で、今まで開発したシステムとの協調や相互活用を目指し、地域社会とのさらなる連携を目指していきたいと思います。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、協力して頂いた江田島市、うみのすの関係者各位に謝意を表します。また、機材を貸与して頂いたオーニット株式会社関係各位に謝意を表します。

## 文 献

- (1) 「平成 30 年度情報通信白書」(総務省)  
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd111200.html>
- (2) [https://www.naramed-u.ac.jp/university/kenkyusangakukan/oshirase/r2nendo/documents/press\\_2.pdf](https://www.naramed-u.ac.jp/university/kenkyusangakukan/oshirase/r2nendo/documents/press_2.pdf)
- (3) [https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/mq131-\(low-concentration\)-ver1\\_3-manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/mq131-(low-concentration)-ver1_3-manual.pdf)
- (4) <https://github.com/ostaquet/Arduino-MQ131-driver>
- (5) <https://www.ratocsystems.com/products/subpage/btwattch2.html>
- (6) [http://www.ohnit.co.jp/about\\_ozone/index.html](http://www.ohnit.co.jp/about_ozone/index.html)
- (7) [http://www.ohnit.co.jp/case\\_studies/index\\_cat03.html](http://www.ohnit.co.jp/case_studies/index_cat03.html)
- (8) <https://uminos.com/>
- (9) <https://www.kccs-iot.jp/area>
- (10) <https://www.kccs.co.jp/news/release/2019/0130/>
- (11) <http://www.ohnit.co.jp/product/GWN-300/index.html>
- (12) <https://uminos.com/stay.html>
- (13) <http://www.rgl.co.jp/html/page123.html>