

Sigfox IoT 機器の集積回路モジュールを用いた小型化

田中 武¹⁾・渡部 雅也¹⁾・多田 覚¹⁾・山内 将行¹⁾・角川 幸治¹⁾・大地 秀二²⁾

(令和7年10月31日受付)

Miniaturization using integrated circuit modules for Sigfox IoT devices

Takeshi TANAKA, Masaya WATANABE, Satoru TADA, Masayuki YAMAUCHI,
Koji KAKUGAWA and Shuji OHJI

(Received October 31, 2025)

Abstract

We developed an IoT device capable of acquiring weather information and MAC addresses, and communicating via Sigfox. We also succeeded in miniaturizing the device. When using Sigfox Atlas Native and Atlas Wi-Fi for location estimation, the estimation error was approximately several kilometers. On the other hand, when using Wi-Fi MAC addresses and the HERE API for location estimation, the estimation error was approximately 70 meters. By increasing the number of measurement points, we aim to achieve location accuracy on the order of 10 meters.

Key Words: SIGFOX, Wi-Fi, MAC address, location information, weather information

1. はじめに

情報化社会 (Society 4.0) では知識や情報の交流が進んだものの、学際的な連携不足といった課題が依然として残されている。これに対し、Society 5.0 では、あらゆる人やモノが IoT (Internet of Things) でつながり、さまざまな知識や情報が共有される社会が目指されている。

このような背景のもと、Sigfox ネットワークとインターネットを利用し、温度、湿度、気圧などのセンサーを搭載して多様な物理データを計測する IoT デバイスを開発してきた^[1-5]。

本稿では、このデバイスの更なる小型化に向けた取り組みと、Wi-Fi の MAC アドレスを用いて場所を特定する方法およびスマート保安への拡張構想について報告する。

2. Sigfox IoT機器の小型化

2.1 Arduino UNO上にSigfox機器



Fig. 1 京セラコミュニケーションシステム

Sigfox Breakout Board^[6]

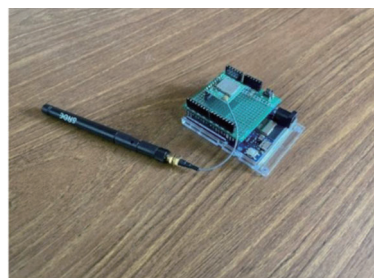


Fig. 2 Sigfox モジュールを持つ Arduino の IoT デバイス

2.2 3Dプリンタで作成したケースに入れたSigfox機能付き Arduino UNO機器

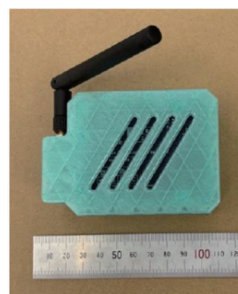


Fig. 3 Arduino Sigfox IoT デバイス
(幅 95mm / 高さ 65mm / 奥行 40mm)

* Hiroshima Institute of Technology

** Chudenko Corporation.

2.3 ESP32とSigfox機器

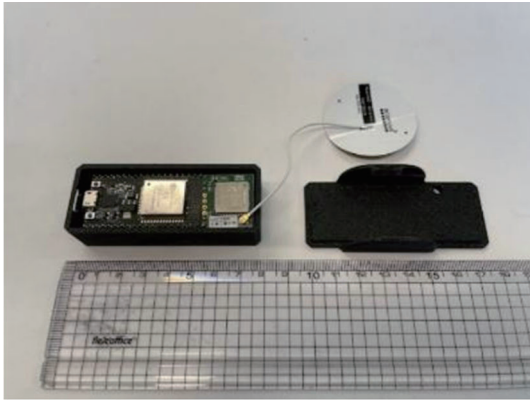


Fig. 4 作製されたIoT デバイス
(幅 90mm / 高さ 35mm / 奥行 12 mm)

2.4 更に小型のSigfox通信機能付きIoTの小型化を試みた。

Braveridge 製の Sigfox モジュールの採用 [7]。



Fig. 5 Braveridge 製の Sigfox のモジュール

表 1 920MHz 帯 Sigfox モデムモジュールの仕様

仕様

搭載チップ	STMicroelectronics製RFトランシーバ S2-LPQTR
認証	Sigfox Verified RC3c P1認証・電波法認証 取得済
周波数	923.20MHz(uplink) 922.20MHz(downlink)
送信電力(端子出力)	Software control : +9dBm
動作電圧	1.8 ~ 3.6v (Typ:3.0V)
アンテナ	外部アンテナ (日本電波法にて認証済みの各種アンテナが使用可能です。詳細はお問い合わせください。)
ホストインターフェース	UART(4pin)
ファームウェア書き込み	SEGGER Port(2pin)
サイズ	W: 11.0mm x D: 15.0 mm x H: 2.3mm

※詳細は、製品仕様書をご確認ください。

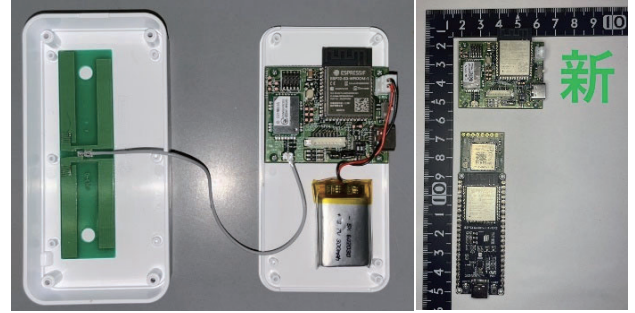


Fig. 6 (左) Braveridge 製の Sigfox のモジュールを用いた新規製作のIoT デバイス (右)前回のサイズ比較(上が(新) Fig.6 参照、下が(旧) Fig.4 参照)

3. Sigfox通信

3.1 通信容量の割り振り

Sigfox の通信では、1 回あたり 12byte のデータ容量が割り当てられている。この 12byte に、温度、湿度、気圧、照度、CO₂ 濃度といった各環境データを効率的に配分し、以下の形式でデータをエンコードした。

```
temp:0:int:12 (温度)
humi:1:uint:12::3 (湿度)
pres:3:uint:16 (気圧)
lux:5:uint:12 (照度)
co2:6:uint:16::3 (CO2 濃度)
```

データ転送において、例えば気圧が 1021.6hPa のような値の場合、これをそのまま送信しようとする、単精度浮動小数点 (float) で 4byte、倍精度浮動小数点 (double) では 8byte を必要とし、限られた 12byte の容量を圧迫します。そのため、効率的なデータ表現が重要となる。

3.2 Sigfox回線購入 [8]

IoT Sigfox ネットワークは、低消費電力、長距離通信といった LPWA (Low Power Wide Area) 技術の特長に加え、以下のようなサービス利点を有する。

・グローバル・ワン・ネットワーク

国内で契約した単一の回線を、世界中でローミングを意識することなくシームレスに利用可能である。

・シンプルな利用開始 (アクティベーション)

デバイス登録後、最初のメッセージが送信されたタイミングで自動的に回線が開通する。これにより、面倒な個別の回線開通手続きが不要となる。

3.3 デバイスの登録^[9]

デバイス登録には、1台ずつ行う方法（[New]）と複数台をバッチ登録する方法（[New series]）の2種類が存在する。本項では、1台ずつ登録する方法（[New]）について説明する。

登録先は、デバイスタイプ管理で事前に登録した「温湿度センサーデバイスタイプ」とする。

まず、DEVICE タブをクリックし、画面右上にある [New] ボタンをクリックする。

これにより、「Device - New」画面（Fig. 7）が表示されるため、各項目に必要な情報を入力する。

Device - New

Fig. 7 新しく設定したデバイス登録画面

Identifier：登録するデバイスの ID を入力する。

Name：登録するデバイスの名称を任意で入力する。例えば、Sens'it V3 デバイスを登録する場合、「Sens'itV3#0017B46」のように命名規則を設けて登録すれば、デバイス名から種類を容易に識別可能となる。

PAC：登録するデバイスの ID に対応する PAC を入力する。

End product certificate：登録するデバイスが Sigfox Ready certificate（P2 認証）を取得済みの場合、その認証番号を入力する。認証番号は「P_」から始まる番号であり、Sigfox Partner network サイトからも確認可能である。

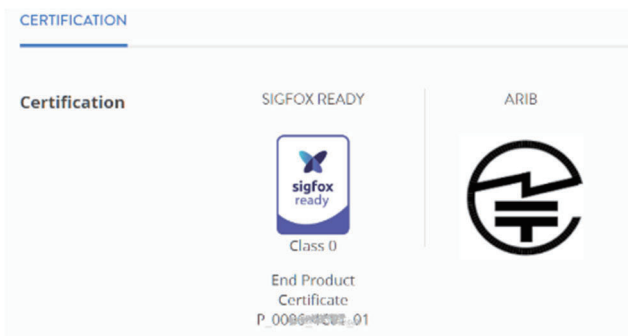


Fig. 8 Sigfox IoT の認証例

認証番号がない場合（プロトタイプ登録）

デバイスが Sigfox Ready certificate 未取得の場合は、「Where can I find the end product certificate?」をクリックし、「Register as a prototype」のチェックボックスにチェックを入れる（Fig. 9）。

Fig. 9 使用した Sigfox モジュールに認証番号がない場合の設定例

Type：デバイスタイプ名を選択する。

Lat/Lng：デバイスの設置位置が固定されている場合、緯度経度を登録することで、Sigfox クラウド上から位置情報を確認できる。

デバイスの確認

登録が完了したデバイスは、DEVICE タブのデバイス一覧（Fig. 10）で確認できる。表示項目を変更する場合は、画面右上の「歯車」ボタンから設定変更が可能である。

Average Rssi	Device type	Id	Last seen	Token state	Name	Communication status
19.79	Keyapp 920-20mW	920e5a00b0511d0094592000	2018-06-01 13:51:58	📧	Keyapp #000168BE	🔴
15.17	Keyapp 920-20mW	920e5000b0511c0094592000	2018-06-21 10:00:00	📧	KeyApp_00018CH3	🔴
10.00	Keyapp 920-20mW	920e4600b0511d0094592000	2018-05-11 14:58:35	📧	Keyapp #00019CC0	🔴
19.01	Keyapp 920-20mW	920e3c00b0511d0094592000	2017-06-28 08:54:55	📧	Keyapp #00019CC4	🔴
18.09	Keyapp 920-20mW	920e3200b0511d0094592000	2018-06-05 15:54:27	📧	Keyapp #00079E55	🔴
16.34	Keyapp 920-20mW	920e3200b0511d0094592000	2018-06-05 15:55:22	📧	Keyapp #0007A2A1	🔴

Fig. 10 登録完了し、通信が成功した場合のデバイスの例

Token state

デバイスに割り当てられたトークン（回線）の状態を示す。S アクティベート時（初回通信時）に Contract で設定された回線が割り当てられる。

デバイスメッセージの確認

アクティベート済みのデバイスが送信したメッセージは、DEVICE タブで確認できる。メッセージを確認したいデバイスの Id を選択後、左メニューの MESSAGES をクリックする。

Time	Data / Decoding	Location	Link quality	Callbacks
2018-06-05 18:08:44	920e5a00b0511d0094592000	📍	📶	🔴
2018-06-05 18:08:18	920e5000b0511c0094592000	📍	📶	🟢
2018-06-05 18:07:52	920e4600b0511d0094592000	📍	📶	🔴
2018-06-05 18:07:25	920e3c00b0511d0094592000	📍	📶	🔴
2018-06-05 18:06:57	920e3200b0511d0094592000	📍	📶	🟢

Fig. 11 Sigfox IoT 機器のメッセージの例

4. Thingspeakを用いたデータ表示

Sigfox デバイスから送信されたデータを外部プラットフォームで可視化する際の一連の流れを説明する。

1. データ送信 (デバイス → Sigfox クラウド)

センシングデバイス (Sigfox デバイス) から送信された 12byte のデータペイロードは、Sigfox 基地局を経由し、まず Sigfox クラウド(バックエンド)に集約される。このデータは「デバイスメッセージの確認」で参照可能である。

2. データ転送 (Sigfox クラウド → Thingspeak)

Sigfox クラウドの「コールバック (Callback)」機能を用いて、受信したデータを外部の Web サービスヘリアルタイムに転送する設定を行う。転送先として、データ可視化プラットフォームである Thingspeak の API (Update Channel Feed) を指定する。

3. データ蓄積と可視化 (Thingspeak)

コールバックによって Thingspeak に転送されたデータは、指定されたチャンネルの各フィールド (field1, field2 など) に蓄積される。Thingspeak は、これらの時系列データを自動的にグラフとして描画する機能を持つため、ユーザーは Web ブラウザを通じて温度や湿度などの変化を視覚的に確認することが可能となる。

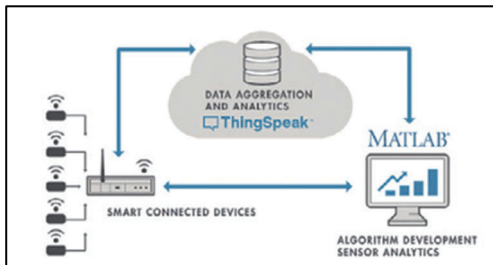


Fig. 12 IoT 機器、ThingSpeak、Matlab/Simulink の概要^[10]

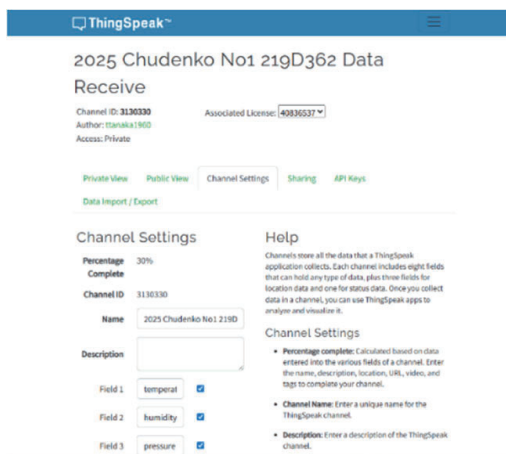


Fig. 13 Thingspeak のチャンネル設定例

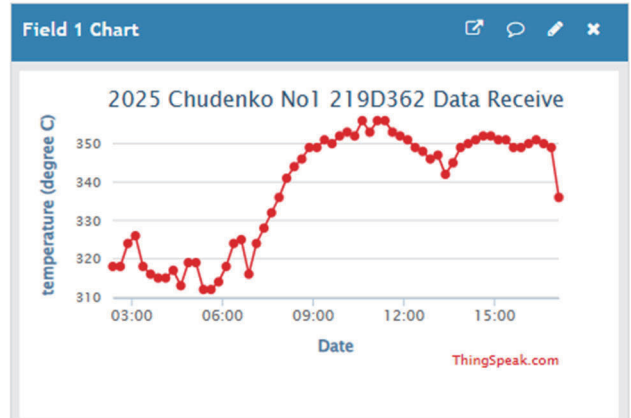


Fig. 14 新装置の気温

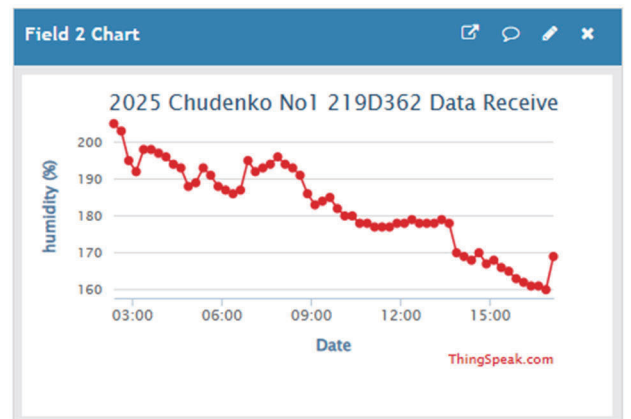


Fig. 15 新装置の湿度

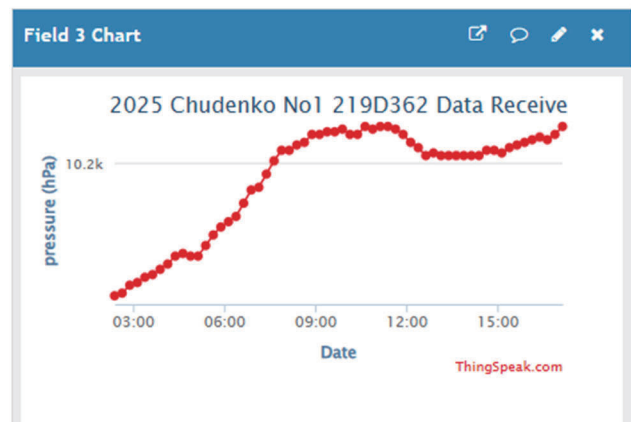


Fig. 16 新装置の気圧

Thingspeak の機能の中の Time Control を、使って、環境データの桁数を合わせる。

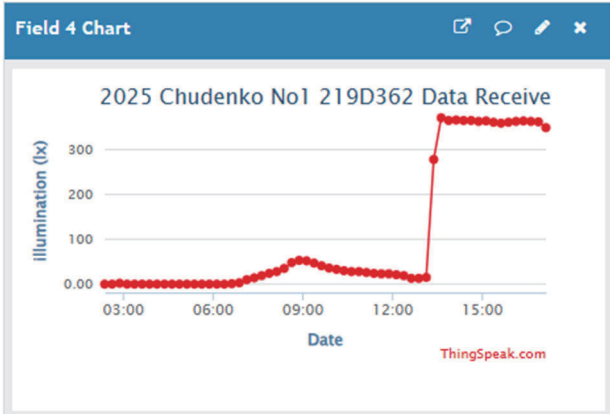


Fig. 17 新装置の照度

Fig. 20 Thingspeak の機能の中の Time Control

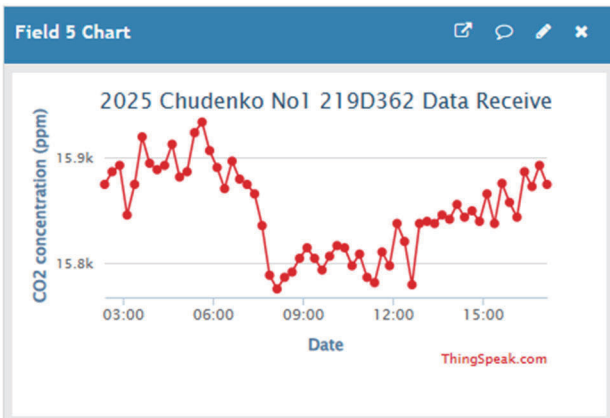


Fig. 18 新装置の CO₂ 濃度

2025 Chudenko No1 219D362 Data display

Fig. 21 ThingSpeak のチャンネル設定例

Thingspeak の機能の中の MATLAB Analysis を、使って、環境での桁数を合わせる。

Fig. 19 Thingspeak の機能の中の MATLAB Analysis

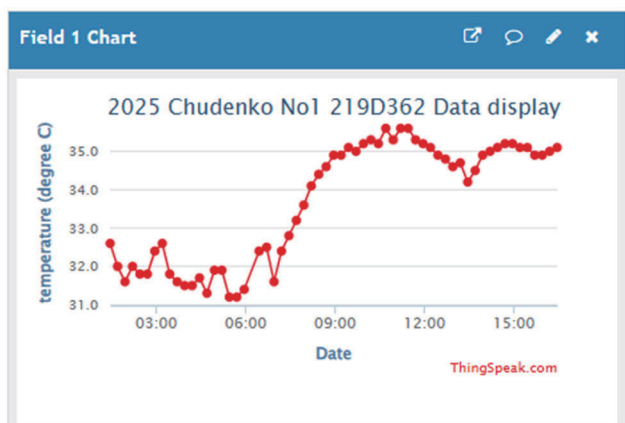


Fig. 22 新装置の気温

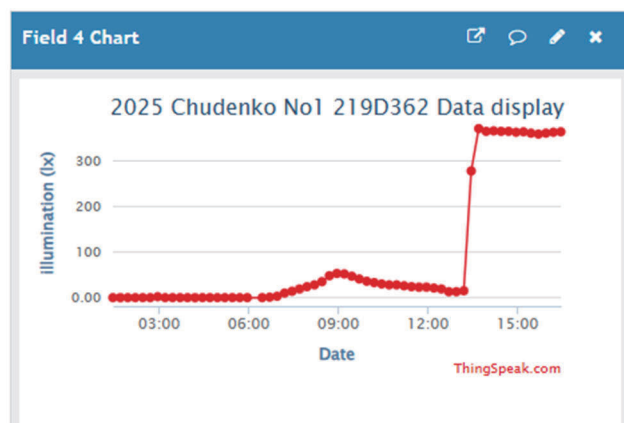


Fig. 25 新装置の照度

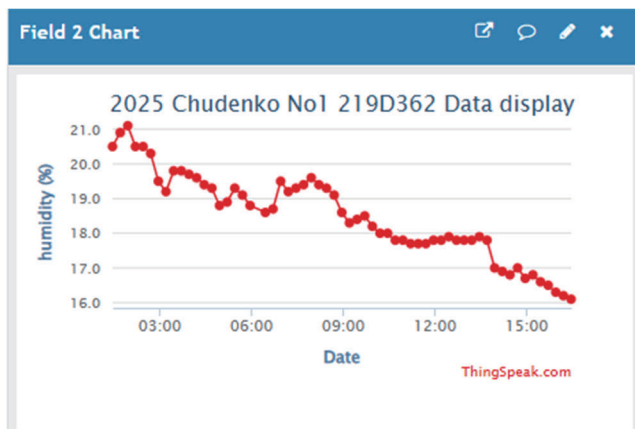


Fig. 23 新装置の湿度

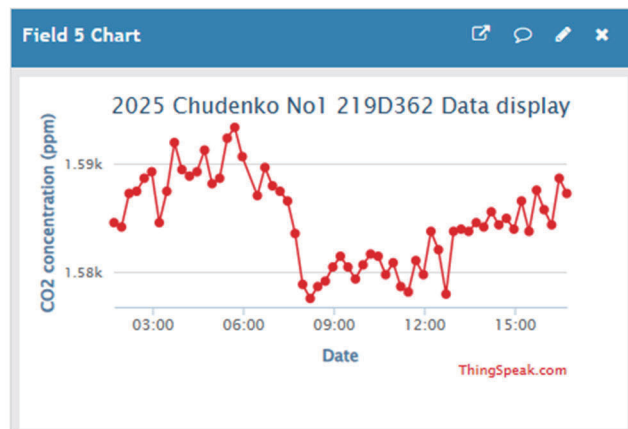


Fig. 26 新装置のCO₂濃度

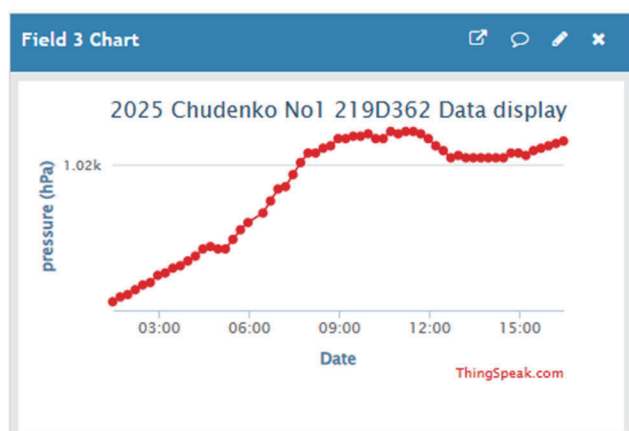


Fig. 24 新装置の気圧

OpenWeatherMap^[11]を用いて、近隣（甘日市市）の気象情報を入手して、比較するために表示した。

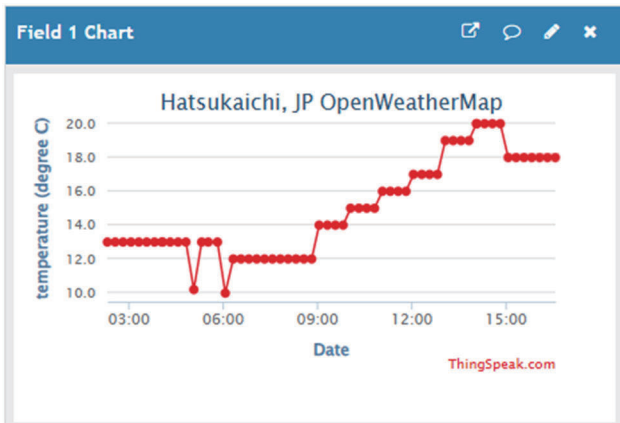


Fig. 27 廿日市市の気温

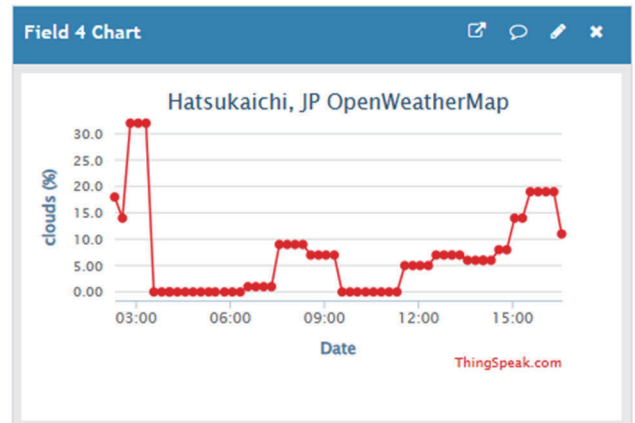


Fig. 30 廿日市市の雲の割合

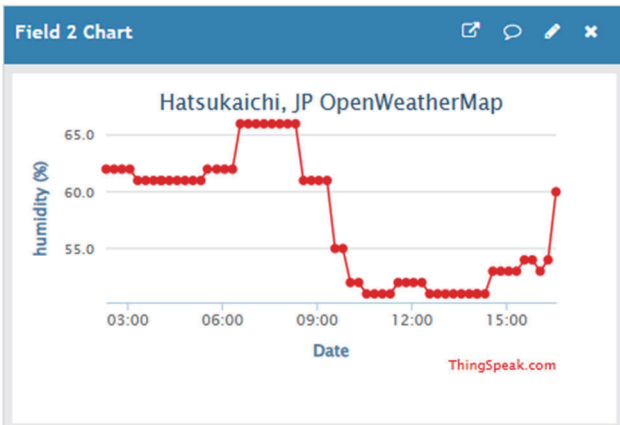


Fig. 28 廿日市市の湿度

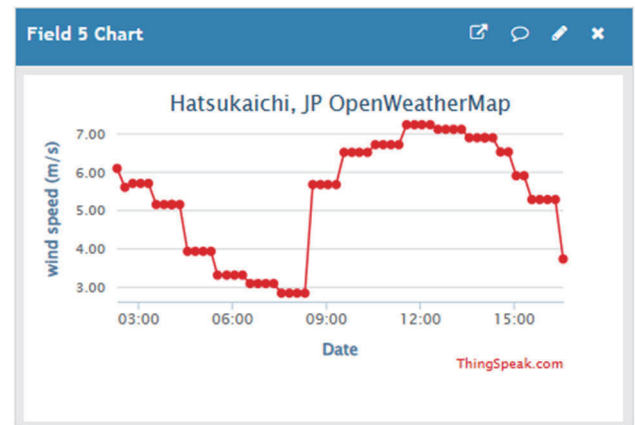


Fig. 31 廿日市市の風速

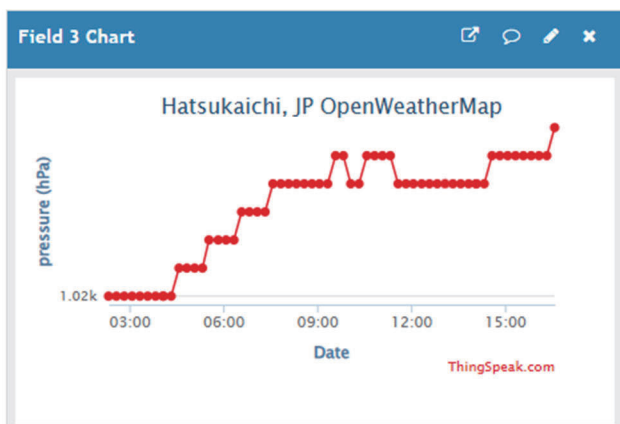


Fig. 29 廿日市市の気圧

以上より、OpenWeatherMap を用いることで、地域の気象データが容易に収集可能となり、農作物の成長に与える環境の効果を考察できる可能性が示された。

5. Atlas Suite ^[12]

Atlas Suite は、Sigfox ネットワークを活用したアセットロケーションサービスの総称である。

測位精度、バッテリー消費量、屋内外どちらでの使用かを考慮し、ニーズや用途に合わせた最適な測位手法が選択可能である。

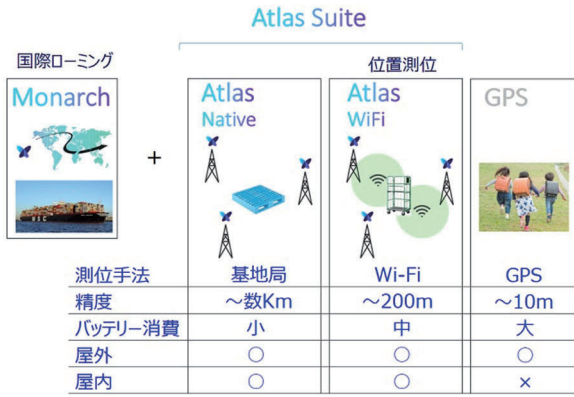


Fig. 32 Atlas Suiteの説明

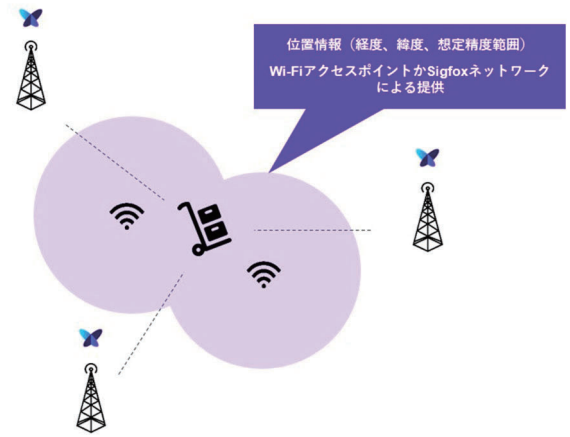


Fig. 34 Atlas WiFiの概略図

5.1 Atlas Native

Atlas Native は、Sigfox 基地局をベースにした位置測定サービスである。コールバックまたは標準の Sigfox API を介して配信されるデバイスメッセージに対し、地理座標 (緯度/経度) と推定半径を提供することを目的としている。

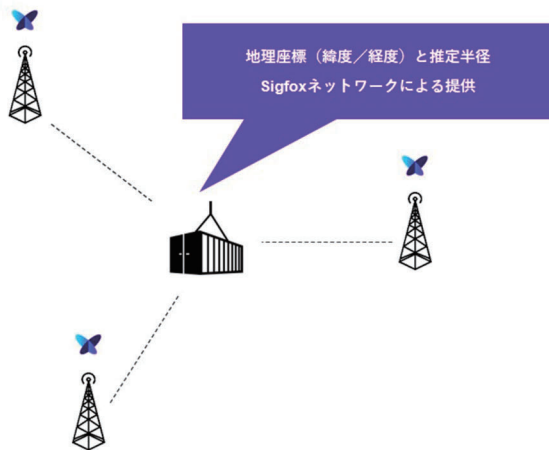


Fig. 33 Atlas Nativeの概略図

5.2 Atlas WiFi

Atlas WiFi は、Sigfox 通信が可能な場所であれば、Wi-Fi アクセスポイントを活用することで、屋内・屋外を問わず低消費電力で位置情報を取得することができるサービスである。本サービスは、Wi-Fi アクセスポイントの MAC アドレスをもとに、数十メートル精度の位置情報 (経度、緯度、想定精度範囲) を提供する。

これにより、物流分野をはじめ位置情報を活用するあらゆる分野において、Sigfox ネットワークの容易な活用が可能となる。

Atlas WiFi の仕組み

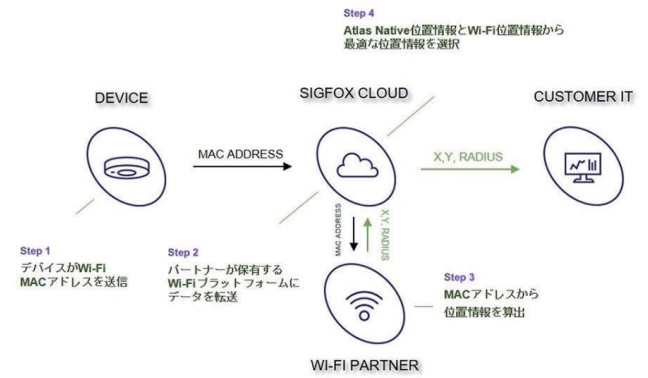


Fig. 35 Atlas WiFiの仕組み図

5.3 Atlas WiFi Private DBサービス

特定のWi-Fi アクセスポイントをあらかじめ Private DB サービスへ登録することにより、Sigfox デバイスが収集したWi-Fi アクセスポイント情報から、緯度経度に加えて付加情報 (フロアや建屋) を提供することが可能となるサービスである。

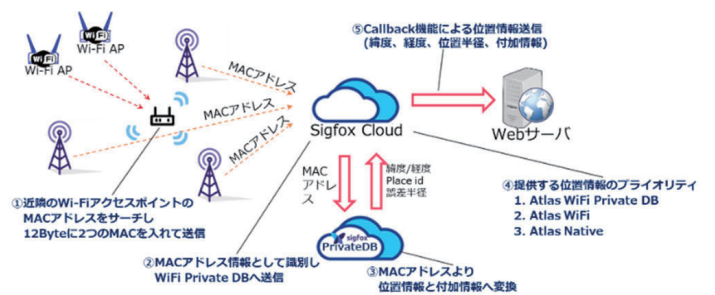


Fig. 36 Atlas WiFi Private DB サービスの概略図

5.4 Atlas WiFiを補完する付加価値サービス

5.4.1 Atlas WiFiの成功率向上

Atlas WiFi サービスのDB上に登録が無い、もしくは不正確な位置情報が返される場合に Private DB サービスを活用することで、Atlas WiFi サービスの成功率や正確性を向上させることが可能となる。

5.4.2 Atlas WiFiにコンテキスト情報付加

Private DB サービスは、緯度経度情報に加えてコンテキスト情報（付加情報）を追加する機能を持つ。これにより、フロア情報や建物情報といった付加情報を、位置情報と合わせて取得することが可能である。

5.4.3 ユーザーによるマネージメント可能なインターフェースの提供

Private DB サービスでは、APIまたはGUIを介して、Wi-Fi アクセスポイント情報（MAC アドレスや位置情報など）の登録・削除・変更が可能なインターフェースを提供する。

特にAPIインターフェースは、既存のBackendクラウドとの互換性を持つよう設計されているため、すでに接続環境を構築済みのユーザーはシームレスに本サービスを導入することができる。

5.4.4 Atlas WiFi Private DBサービス ユースケース

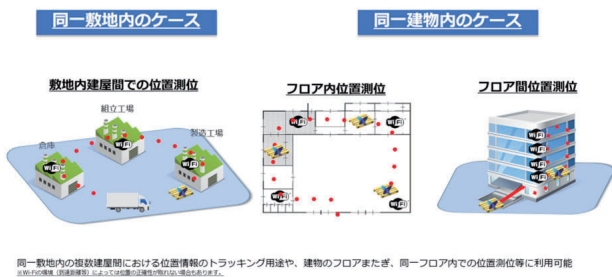


Fig. 37 Atlas WiFi Private DB サービスケース

6. 実際のAtlasサービスの例

6.1 Atlas Nativeの例

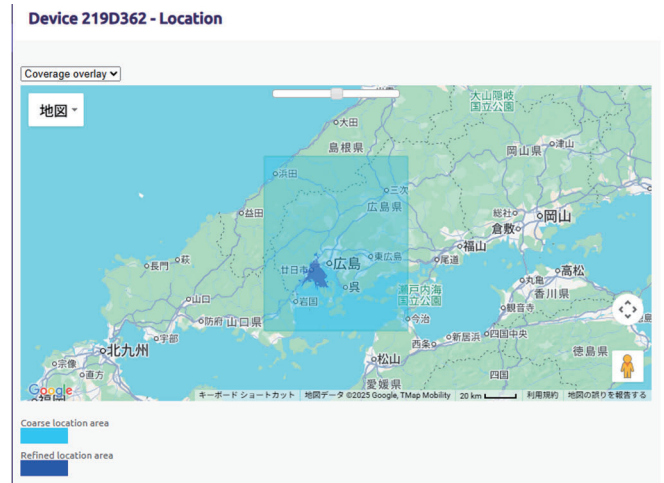


Fig. 38 Atlas native を用いた、Sigfox IoT の位置

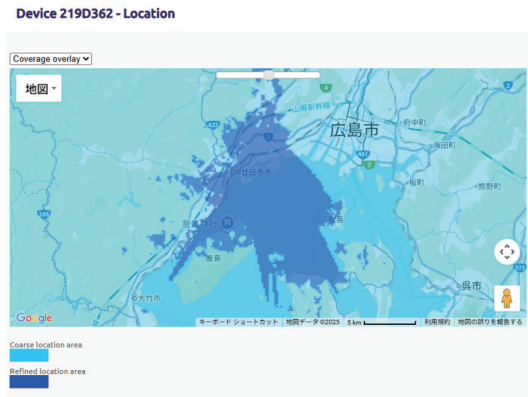


Fig. 39 Fig. 38 の拡大図

6.2 Atlas Wifiの例

Atlas Wifi を活用した事例については、既存の研究報告^[13]が存在する。

本研究において、実際の機器から Sigfox 経由で送信された（位置情報を含む）通知メールの内容を、Fig. 40 に示す。

```
SIGFOX <backend-noreply@sigfox.com>
17:56 (15 分前)
To black-1-neck、 sulfur.mercury.salt.3、
{
  "device": "30CE865",
  "time": 1762246575,
  "seqNumber": 688,
  "data": "2c1a056815c22c1a056815c3",
  "mac1": , h ,
  "mac2": , h
}
```

Fig. 40 Sigfox Cloud からのメール

6.3 Atlas WiFiの実測結果

Atlas WiFi サービスを用いてデバイス (ID: 30CE865) の位置特定を試みた。実験において観測されたデータと、サービスから返された結果を以下に示す。

観測データ (抜粋)

観測時刻 : 2025/11/04 17:56:15

観測 MAC アドレス : 2c:1a:05:68:15:c2, 2c:1a:05:68:15:c3

測位結果

lat (緯度) : 34.37105913

lng (経度) : 132.34290497

accuracy (推定誤差半径) : 68 (m)

この結果は、デバイス「30CE865」が北緯 34.37105913 度、東経 132.34290497 度を中心とする半径 68m の円内に存在することを示しており、複数の Wi-Fi アクセスポイント情報を併用することで、測位誤差を抑制できる可能性が示された。

また、観測された MAC アドレスについて、Netspot^[14] のような外部ツールを用いることで、アクセスポイントのベンダー情報や既知の設置場所情報を参照できる場合がある。これは、位置特定の精度や信頼性を補完する情報として活用できる可能性がある。

これらの手法を組み合わせた、より詳細な位置特定の方法については、今後さらに検討する必要がある。

7. Sigfox IoTデバイスでのスマート保安構想

7.1 サーモパイルを使用した機能拡張

Sigfox デバイスを活用したスマート保安構想において、状態監視の重要な指標の一つが「温度」である。従来の接触型温度センサー (サーミスタ、熱電対など) では、設置の制約や測定範囲の限界があった。

本機能拡張では、非接触で広範囲の温度を測定可能な「サーモパイル (アレイ) センサー」を Sigfox デバイスへの統合を検討している。これにより、危険な場所や稼働中の設備に触れることなく、異常発熱や火災の予兆、または人の侵入といった事象を早期に検知し、保安レベルを飛躍的に向上させることを目的とする。

サーモパイルセンサーは、対象物から放射される赤外線

を検知し、非接触で温度を測定する。特にアレイ型を使用することで、低解像度ながら「熱画像」を取得できる。

今回は検証として SSC 社製サーモパイルセンサーユニット^[16] を使用し、灯油ファンヒーターを熱源に見立て (Fig.42) 検証を行った。

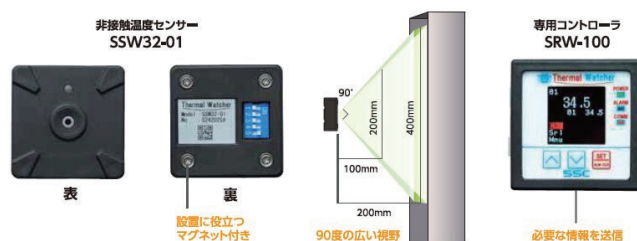


Fig. 41 温度異常監視ユニット Thermal Watcher (SSC 社製) 製品概要

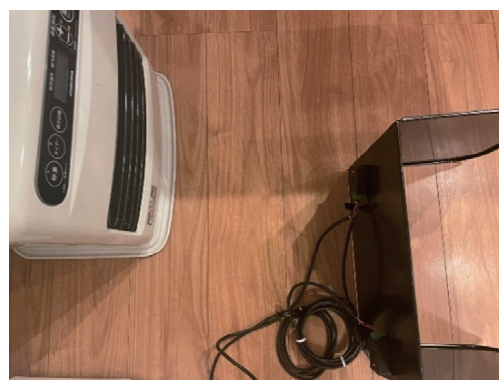


Fig. 42 サーモパイルセンサーの性能検証 (センサー 1 は熱源に近く、センサー 2 は熱源から遠く設置)

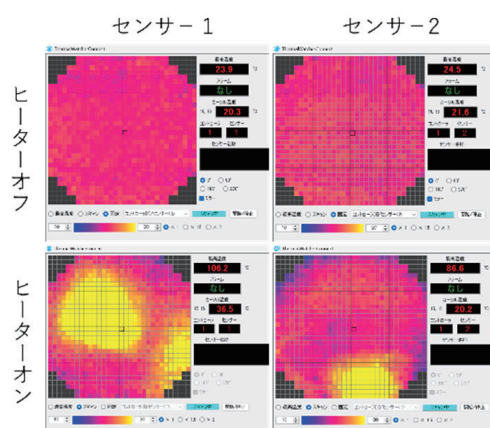


Fig. 43 サーモパイルセンサーの熱画像

7.2 Sigfoxネットワークへのデータ送信戦略

Sigfox ネットワークは、1 回の送信データ量が最大 12byte と極めて少ないため、サーモパイルアレイが取得する熱画像データをそのまま送信することはできない。したがって、デバイス側のマイコン (MCU) で高度な「エッジ処理」を行い、データを圧縮・集約する必要がある。

送信データの例：**モード1：異常検知（アラート）**

事前に設定した閾値（例：90℃）を超えた場合のみアラートフラグを送信する。[フラグ] + [最高温度] + [発生座標] + [周辺平均温度]

モード2：定期監視（ヘルスチェック）

1日数回、監視エリア全体のサマリーデータを送信する。
[最高温度 + [最低温度] + [平均温度] + [急上昇フラグ]

7.3 配電盤の異常発熱監視（予知保全）

対象：主幹ブレーカーおよび分岐ブレーカー、端子台、電磁開閉器、変圧器（トランス）、電線・バスバー（導体）、力率改善コンデンサ等。

概要：機器に向けてサーモパイルを設置し、非接触で稼働中の温度を常時監視する。

効果：経年劣化や過負荷による「異常な発熱」（故障の予兆）を検知。突発的な停止や火災事故を未然に防ぎ、メンテナンス（CBM：状態基準保全）を最適化する。

まとめ

これまで、Society 5.0の実現に向けて、Sigfox ネットワークを活用した多点環境センシングデバイスの開発を進めてきた^[1-5]。

本報告では、これまでの研究成果^[1-5]を基盤とし、実用化に向けた複数の重要な機能拡張について論じた。第一に、デバイスの設置自由度を高めるための「さらなる小型化」の手法を述べた。第二に、GPSは、一般的に常時動作しているため、消費電力が高いと考えられる。それに比べて、WiFi通信時の短時間で、得られるWiFi MACアドレスを用いて位置を算出する、省電力の可能性のあるAtlas WiFiの実証試験を行った。

さらに、これらのデバイス技術の具体的な応用分野として「スマート保安構想」を掲げ、その中核機能としてサーモパイルセンサーを用いた非接触型の火災予兆検知システムについても詳述した。

謝辞

本研究の一部は、株式会社中電工との共同研究として行われたもので、ここに謝意を表します。

文献

- 1) R. Matsuda, H. Suizu, K. Hiyama, K. Kai, I. Yamasaki, K. Oda, N. Okamitsu, K. Eto, T. Tanaka, Industry 4.0, 3 (2018), Issue 1, pg (s) 11-14
- 2) T. Tanaka, N. Okamitsu, T. Hamada, K. Nishino, Electrotechnica & Electronica55 (E+E), (3-4), 2020, 35-40, ISSN: 0861-4717 (Print), 2603-5421 (Online)
- 3) T. Tanaka, N. Okamitsu, K. Nishino, Electrotechnica & Electronica (E + E), 55 (5-8), 2020, 94-98, ISSN: 0861-4717 (Print), 2603-5421 (Online)
- 4) N. Okamitsu, K. Miyazono, T. Tanaka, Electrotechnica & Electronica (E + E), 55 (9-12), 2020, 99-104, ISSN: 0861-4717 (Print), 2603-5421 (Online)
- 5) T. Tanaka, M. Yamauchi, K. Kakugawa, T. Uchida, S. Ishihara, K. Ishihara, Electrotechnica & Electronica (E+E), 57 (1-2), 2022, 24-30, ISSN: 0861-4717 (Print), 2603-5421 (Online)
- 6) <https://www.marutsu.co.jp/pc/i/2719606/?srsltid=AfmBOor8zf3Dr-EUf0c7kwpdsYU95fuC2Ox0LRW4QpuXAZGiyRRBS2Ug> (2025年11月4日)
- 7) <https://www.braveridge.com/product/archives/13> (2025年11月4日)
- 8) <https://qiita.com/ghibi/items/0917e7abe4fd90a75f8d> (2025年11月4日)
- 9) <https://www.kccs.co.jp/sigfox/blog/technical/2018/0626-04/> (2025年11月4日)
- 10) <https://jp.mathworks.com/products/thingspeak.html> (2025年11月4日)
- 11) <https://openweathermap.org/> (2025年11月4日)
- 12) <https://www.kccs.co.jp/sigfox/service/atlas/> (2025年11月4日)
- 13) M. Watanabe, S. Ohji, T. Ishikawa, Y. Ueda, S. Tada, R. Asumoto, M. Yamauchi, K. Kakugawa, T. Tanaka, and K. Vutova, Industry 4.0, Vol. 10 (2025), Issue 2, pg (s) 43-46
- 14) <https://www.netspotapp.com/jp/> (2025年11月4日)
- 15) <https://www.ssc-inc.jp/catalog/lp/thermal-watcher/> (2025年11月4日)
- 16) https://www.ssc-inc.jp/product/ssc_product_category/%E3%82%B5%E3%83%BC%E3%83%A2%E3%83%91%E3%82%A4%E3%83%AB%E3%82%BB%E3%83%B3%E3%82%B5%E3%83%BC/ (2025年11月7日)