

# Sigfox 通信に伴うバッテリー寿命に関する実験的評価 — 農業 IoT を想定として —

中嶋 佑斗† 山崎 悟史‡

沼津高専 制御情報工学科†‡

## 1. まえがき

IoT 向けの無線ネットワークとして LPWA(Low Power Wide Area)規格が注目されている. アンライセンスバンド(920MHz)を用いる LPWA として, LoRa と Sigfox が挙げられる. 文献[1]では各規格が干渉源になったときの特性が示されている. LoRa を用いる際, 基地局を適切な場所に設置する必要であり, カバレッジ解析[2]や電波伝搬特性の評価[3],[4]などが報告されている. このように LPWA の Wide Area 性能は比較的多くの知見がみられるが, Low Power に関する性能は十分明らかにされていない. 本稿では Sigfox を対象に, 地域農業をユースケースとして無線通信に伴う電流(エネルギー)消費のメカニズムを明らかにし, 簡易にバッテリー寿命を見積れる実験的近似式を確立する.

## 2. 提案手法

以下の一連の手順で先に述べた目的を達成する.

- (1) 一般で購入可能なデバイス類のみを用いて消費電流を測定可能とする Sigfox 通信規格のセンサ端末を開発する.
- (2) Sigfox における状態遷移図, 送受信シーケンスを明らかにし, エネルギー消費する全ての状態を抽出する.
- (3) ユーザが任意に指定可能なパラメータを設定する (以後, 入力値と称す).
- (4) 各々の状態に対して, フィールド実験によって消費電流を測定する (以後, 測定値と称す)
- (5) (2)で抽出した状態に対して, 入力値と測定値を用いて計算することで消費電流を算出する.
- (6) 入力値と算出した消費電流値から, バッテリー寿命を見積れる実験的近似式を確立する.
- (7) 確立した近似式を活用して新たな知見を得る.

## 3. 実験的近似式の確立

### 3.1 実験環境と仮定した条件

静岡県東部の果樹栽培ハウスにて, オシロスコープ WaveJet324A を用いて消費電流の測定実験を実施した. 測定に関する機器接続図等は誌面の都合上省略する. ハウス内の 1 つのセンサ端末のみが基地局とデータ送受信を行う状況を想定する. すなわち, 複数端末によるデータ衝突やキャリアセンス等を考慮しない.

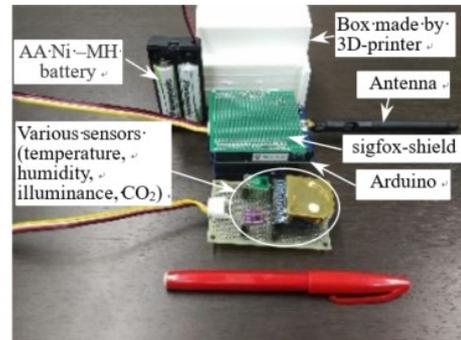
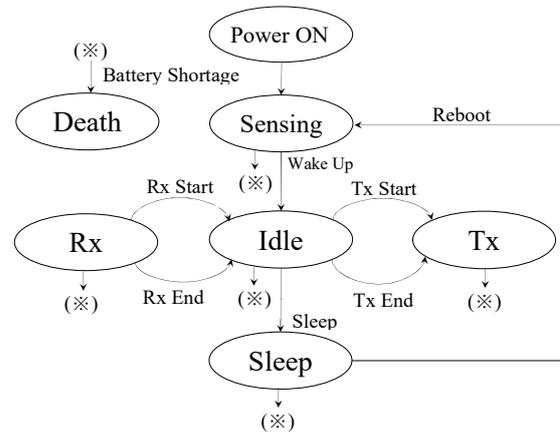
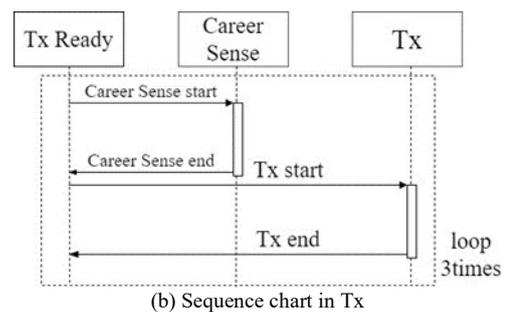


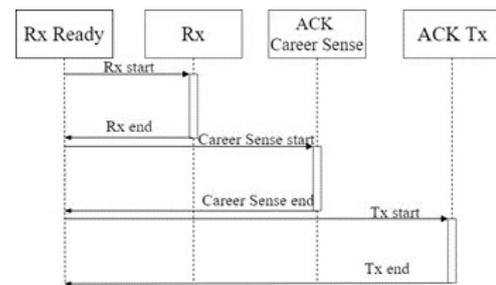
Fig.1 Developed sensor node for Sigfox communication



(a) State machine diagram in Sigfox communications.



(b) Sequence chart in Tx



(c) Sequence chart in Rx

Fig.2 State machine diagram and sequence chart in Sigfox

### 3.2 開発したセンサ端末

本稿では Sigfox 通信を Arduino マイコンで扱うためのシールド[5]をベースに、温湿度、照度、CO2 を計測対象として、センサ端末を設計・試作した。図 1 に開発したセンサ端末の概観を示す。

### 3.3 状態遷移と送受信シーケンス

文献[6]を元に加筆した Sigfox 通信規格の端末の状態遷移を図 2(a)に示す。さらに、送信状態のシーケンスを図 2(b)に、受信状態のそれを図 2(c)に示す。

### 3.4 測定した消費電流波形

アップリンク(端末→基地局)の結果を図 3(a)、ダウンリンク(基地局→端末)のそれを図 3(b)に示す。以降、図 3(a)に示した一連の処理を“Uplink シーケンス”と称す。Downlink についても同様である。

### 3.5 入力値の定義

以下の 4 種のパラメータを入力値とする。

- $B$  : バッテリー容量[mAh]
  - $x$  : 送信データサイズ[byte]
  - $n_u$  : 1 日の Uplink シーケンスの回数
  - $n_d$  : 1 日の Downlink シーケンスの回数
- さらに、 $B$  は式(1)で求まる。

$$B = n \cdot B_0 \cdot 3600 \quad (1)$$

ただし、 $n$  : 電池の並列本数、 $B_0$  : 電池一本当たりの容量[mAh/本]である。

### 3.6 測定値の定義

測定値は、以下の 5 つの諸量である。

- $IM_u(x)$  : Uplink シーケンスに要する電流量[mAh/回]
- $IM_d(x)$  : Downlink シーケンスに要する電流量[mAh/回]
- $I_s$  : sleep 時の消費電流[mA]
- $T_u(x)$  : Uplink シーケンスに要する時間[s/回]
- $T_d(x)$  : Downlink シーケンスに要する時間[s/回]

### 3.7 消費電流量 $IM_D$ の算出

1 日の消費電流量  $IM_D$  [mAh/日]は式(1)で求まる。

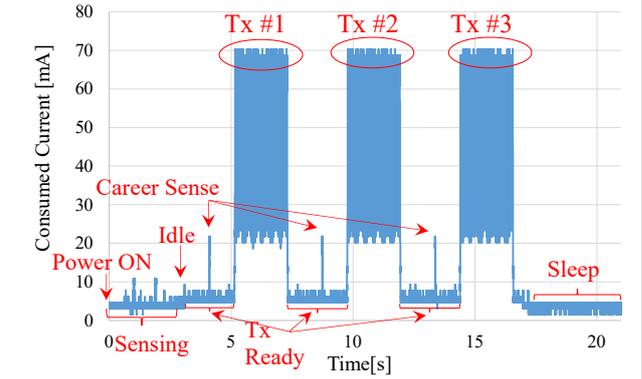
$$IM_D(x) = n_u \cdot IM_u(x) + n_d \cdot IM_d(x) + IM_s(x) \quad (2)$$

ここで、 $IM_s$  は 1 日の sleep 時の電流量[mAh/日]であり、式(2)で求まる。

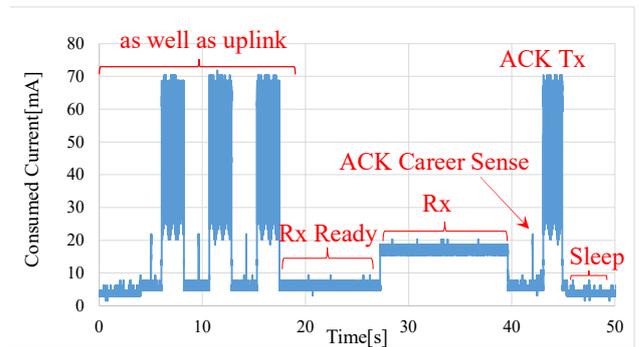
$$IM_s(x) = (86400 - n_d \cdot T_d(x) - n_u \cdot T_u(x)) \cdot I_s \quad (3)$$

### 3.8 バッテリー寿命 $L$ の近似式

バッテリー寿命  $L$  [日]は、式(1)のバッテリー容量  $B$  を、式(2)で表される 1 日の消費電流量  $IM_D(x)$  で除算することで求まる。



(a) Uplink



(b) Downlink

Fig.3 Consumed current measured in the field

## 4. まとめ

Sigfox を対象に、地域農業をユースケースとして無線通信に伴う電流(エネルギー)消費のメカニズムを明らかにし、簡易にバッテリー寿命を見積れる実験的近似式を確立した。現在、更なる実験により測定値の高精度化を進めている。今後、具体的な近似式を得た後、それを活用して現実的な利用を想定したパラメータ値を与えたときのバッテリー寿命の推定値を明らかにする。

### ■謝辞

センサ端末の製作に関して、(株)構造計画研究所 大黒篤氏より有益な御助言を頂いた。本研究の一部は、JSPS 科研費 19K11986 および令和元年年度 豊橋技術科学大学 高専連携教育研究プロジェクトの助成によって実施されたものである。

### ■参考文献

- [1] J. Haxhibeqiri et al., “LoRa Scalability: A Simulation Model Based on Interference Measurements,” *Sensors*, 17(6),1193, pp.1?25, May, 2017.
- [2] R. Fernandes, R. Oliveira, M. Luis, S. Sargento, “On the Real Capacity LoRa Networks: the Impact of Non destructive Communications,” *IEEE Communications Letters*, 2019.
- [3] D. Magrin, M. Centenaro, and L. Vangelista, “Performance Evaluation of LoRa networks in A Smart City Scenario,”*Proc. of IEEE ICC 2017*, pp.127, May, 2017.
- [4] A. Lavric et al., “Long Range SigFox Communication Protocol Scalability Analysis Under Large-Scale, High-Density Conditions,” *IEEE Access*, vol. 7, no. 1, pp.35816 - 35825, Apr. 2019.
- [5] [https://soracom.jp/products/sigfox/sigfox\\_shield\\_for\\_arduino](https://soracom.jp/products/sigfox/sigfox_shield_for_arduino)
- [6] [https://crm.steliau-technology.com/assets/files/spe\\_technique/DS\\_WSSFM10R3AT\\_REV03\\_180702.pdf](https://crm.steliau-technology.com/assets/files/spe_technique/DS_WSSFM10R3AT_REV03_180702.pdf)