

Raspberry Pi を用いたLTE 通信対応データロガーの 製作

松島, 啓二
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/4482083>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 3, pp.27-31, 2021-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

Raspberry Pi を用いた LTE 通信対応データロガーの製作

松島 啓二

要 旨

風力発電装置に係る研究・開発・運用においては、野外での長期継続的な風況観測が頻繁に行われる。風力エネルギーの有効利用を研究テーマとする風工学分野では、風況観測のために、高額・高性能なデータロガーが使用されていたが、観測地の増加に伴い、より低コストの機器が求められていた。そこで、技術支援として、Raspberry Pi と LTE 通信モジュールを用いた安価で必要機能を備えたデータロガーを製作した。

キーワード

風況観測 データロガー AD 変換 LTE 通信 Raspberry Pi

1. はじめに

新エネルギー力学部門風工学分野は、風力発電に係る研究・開発に取り組んでいる。研究成果であるレンズ風車は、企業と連携・協力しながら風力発電事業として運用されつつ、さらなる高性能化・安定化に向けて、実機を用いた長期野外試験にも供されている。風力発電装置の建設・設置に際しては、安定して強い風が吹くという立地条件が極めて重要であり、当該研究室でも、風車設置候補地に対して、風況の調査と観測が念入りに行われる。得られた風況の観測データは、立地条件の検証に加えて、風のシミュレーションや風況予測手法の研究・開発にも役立てられている。

近年、さらなる野外風車試験機の建設に向けて、複数の候補地において風況観測を同時実施することとなった。当該研究室において頻繁に行われる風況観測は、風速と風向を 24 時間数ヶ月以上にわたって計測し続けるものであるが、使用される機器部材（センサー類・データ収録装置・データ転送用通信機器・観測ポール用建材）は、決して安価なものではない。風況観測は今後も増加見込みであるため、必要十分な観測をより安価に行うことは、従前からの課題であった。

自身は、当該研究室が行う風況観測への技術支援として、主にデータ収録・転送機能の整備と保守を行ってきたが、これまで研究室でデータ収録に使用されていた市販のデータロガーは、高額で

ある上、データ転送機能に難のある製品であった。

そこで、低コスト化の要望に応えた上で安定的なデータ転送を行えるように、データ収録・転送機器の開発に取り組み、Raspberry Pi と追加モジュールを使用した LTE 通信対応データロガーを製作したので、本稿にて紹介する。

2. 必要な機能

当該風況観測において使用しているセンサーは、主に風速計と風向計であり、いずれもアナログ電圧信号が出力される。ここで、データロガーに求められるロギング機能は、AD 変換を行い、バイナリファイルまたはアスキーファイルとして信号ログを保存することである。さらに、観測場所は遠隔地であるため、収録データを研究室まで転送できることが要求される。従来の市販データロガーは、ロギング機能の他に Ethernet 通信機能と FTP サーバーを備えており、LTE ルータを用いることで、データ転送を行うことができた。図 1 に、従来のデータ収録・転送模式図を示す。新規製作するデータロガーも同様の機能を備えている必要がある。

さらに、消費電力が少なく、電源投入時に自動起動するシステムが要求される。これは、観測場所に商用電源が届かない場合、観測システムの電源を太陽光発電装置とバッテリーに依存するからである。雨天／曇天が続いた際に備えて、バッ

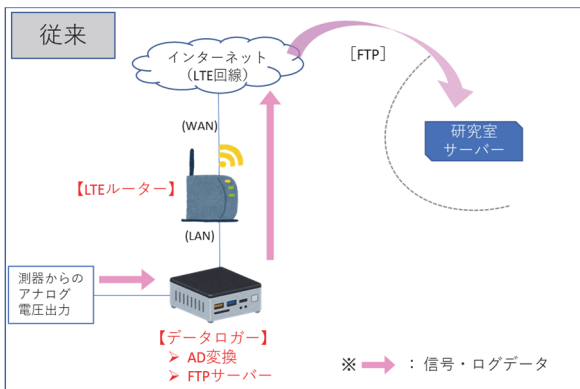


図 1 従来のデータ収録・転送模式図

テリー消費の少ないシステムが求められる上、バッテリー枯渇後も、晴天になってバッテリーが回復すればシステムは自動で再起動しなければならない。

加えて、データ転送機能の安定性も重要である。従来のデータロガーは、FTP サーバー機能を備えていたものの、大量のファイル同期には不向きであった。例えば、Internet Explorer での接続にしか対応しておらず、Linux の FTP 関連コマンドでアクセスするとハングアップする問題や、保存ファイル数が数ヶ月分に及ぶとミラーリング時にハングアップする問題等を抱えていた。新しいデータロガーでは、こうした問題が解消されていることが望ましい。

図 2 は、上記要件を満たして、今回製作したデータロガーを用いた新データ収録・転送の模式図である。製作内容の詳細については、次節より説明する。

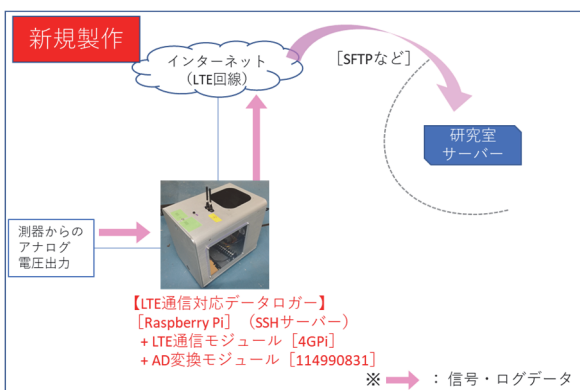


図 2 新データ収録・転送模式図

3. メインシステム

データロガーのメインシステムとしては、図 3

に示すシングルボードコンピュータである Raspberry Pi 3 Model B+ (以降、RPI と呼称) を採用した。RPI の仕様^[1]と使用 OS を表 1 に示す。採用理由としては、安価であること、消費電力が高過ぎないこと、電源投入時に自動起動すること、目的の機能を備えたモジュールが販売されていること、自分でインストールした Linux OS で制御できるので、システムやプログラムを自由に作り込めることなどが挙げられる。目的の機能を備えたモジュールとは、後述する AD 変換モジュールと LTE 通信モジュールである。Linux サーバーとして機能する RPI であれば、SFTP によるファイル転送や rsync による同期など、柔軟なファイル転送が可能であり、従来のデータロガーが抱えていた技術的な課題を解消できる。

OS インストール後、パーソナルファイヤーウォール設定 (ufw を使用)、ネットワークやユーザ関連設定、sshd 設定等を行い、メール送信機能 (exim4 を使用)、ウイルス対策 (ClamAV を使用、定期スキャン設定) を導入して、基本的なセットアップを完了した。

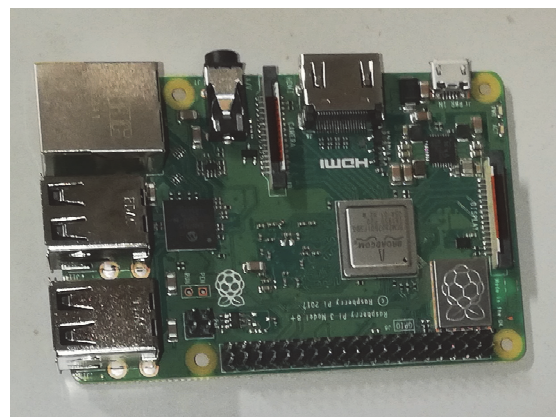


図 3 Raspberry Pi 3 Model B+の外観

表 1 RPI の仕様と使用 OS

プロセッサ	Broadcom BCM2837B0 (CPU: 4core 1.4GHz)
メモリ	1GB LPDDR2 SDRAM
ネットワーク	Gigabit Ethernet
拡張 I/O	Extended 40-pin GPIO, USB2.0 ポート×4
電源	5V 2.5A (最大約 12.5W)
動作温度	0~50°C (目安)
使用 OS	Raspberry Pi OS 10 (buster)

4. AD 変換およびデータ収録プログラム

RPi 用の AD 変換モジュールとして、図 4 に示す High-Precision AD/DA Board for Raspberry Pi (SKU : 114990831) を選択した。理由としては、価格のほか、精度・性能に不満がないこと、過去に使用実績があったことなどがある。当該モジュールは、GPIO (図 4 枠内) を使用して RPi と通信を行い、RPi 側から電力供給を受ける。後述の LTE 通信モジュールも GPIO で RPi 本体と接続するため、占有使用するピンが競合しない (競合回避が可能である) ことも選定条件とした。表 2 に、当該モジュールの仕様^[2]を示す。

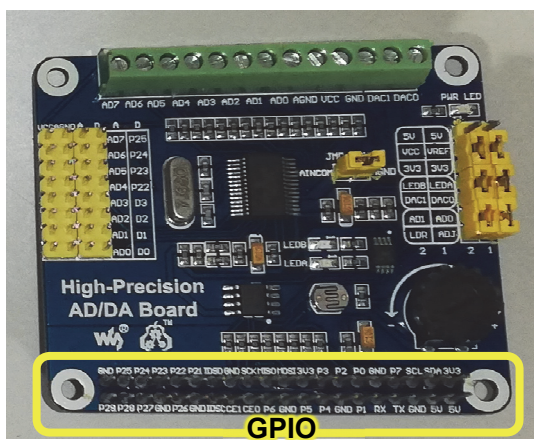


図 4 High-Precision AD/DA Board for Raspberry Pi の外観

表 2 High-Precision AD/DA Board for Raspberry Pi の仕様

AD 変換素子	Onboard ADS1256
Ch 数	8ch (4ch differential input)
分解能	24bit
sampling rate	30ksps
電源電圧	5V

※ ここでは AD 変換部分に関する情報のみ記載

基本的な使用方法に難しい点はなく、RPi 上で、マニュアルに従ってライブラリをインストールしてサンプルプログラム (Python) を実行すれば、アナログ電圧を数値として取り込めた。サンプルプログラムを参考にして、データ収録プログラムを作成した。当該風況データを利用する研究者と相談の上、データ収録プログラムの仕様を以下のように定めた。

- ▶ サンプル周期 : 1 秒
- ▶ AD 変換 CH 数 : 2 (風速、風向)
- ▶ その他収録値 : CPU 動作周波数
CPU 使用率
CPU 温度
メモリ使用率
- ▶ 出力形式 : CSV ファイル
(1 日 1 ファイル)

動作テスト後、RPi 起動時に収録が自動スタートするように、データ収録プログラムを OS のサービスとして登録した。

5. LTE 通信

インターネットへ接続するためには別途 LTE ルータを設置すればよいが、今回は図 5 に示す 4GPi を使用し、ルータを用いない構成とした。4GPi は、RPi で 4G(LTE) 通信を行うためのモジュールである (一般的な LTE ルータ同様、回線契約した SIM カードが必要)。表 3 に 4GPi の仕様^[3]を示す。

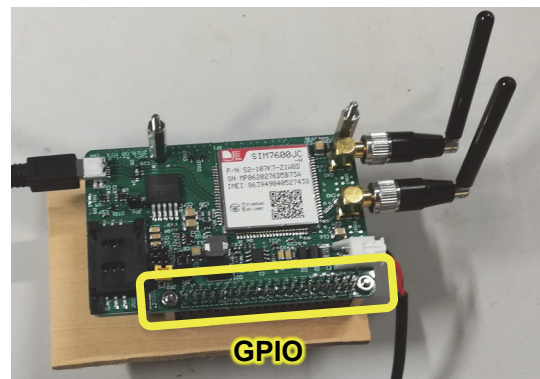


図 5 4GPi の外観

表 3 4GPi の仕様

電源 (参考値)	12V 0.4A (4.8W)
動作温度	0~50℃

LTE ルータとしてこれまで使用していた製品は、動作温度が 60℃まで保証されている IoT/M2M 向けのものであり、安定動作はするものの、高価格であることがネックであった。より安価なモバイルルータを試した経験もあったが、バッテリー枯渇からの回復時に自動復旧しない、動作温度が 35℃程度までしかないといった難点があり、風況観測には不向きと判断した。4GPi 使

用案の採択理由は、モバイルルータほどではないが従来ルータよりは安価であり、かつモバイルルータにあった難点が克服されているためである。

4GPi も GPIO を介して RPi との通信・電力供給を行う。使用開始に際して、まずは AD 変換モジュールを外し、RPi と 4GPi だけで動作テストを行った。SIM カード挿入後、4GPi のマニュアルに従って、4GPi 側ジャンパピンの切り替え(使用する GPIO ピンに応じて切り替える)、RPi への関連パッケージインストール、RPi 上での初期設定を行って、正常にインターネット接続できることを確認した。デフォルトでは使用する GPIO ピンが AD 変換モジュールと競合するので、ジャンパピンの切り替えと設定ファイル修正を行い、4GPi の使用ピンを変更している。

6. モジュールの競合回避

前節の通りに競合回避の設定を行ったにも関わらず、4GPi と AD 変換モジュールの両方を接続した状態で起動すると、AD 変換モジュールが正常動作しなくなっていた。

原因は、4GPi 用パッケージインストール時に、RPi の GPIO ピンモード (IN/OUT) が変更されるためであった。デフォルト設定の 4GPi が使用する特定のピンについて、モードが自動変更されており、その上、4GPi が当該ピンを使用しないように設定変更しても、当該ピンのモードは自動変更された状態のまま戻らない現象が起きていた。AD 変換モジュールは、当該ピンを不可避的に使用するので、動作不良に陥っていた。

RPi 上で当該ピンのモードを手動修正すると、両モジュールとも正常動作するようになったので、競合可能性のあるピンについて、モードを適切なものに変更するスクリプトを作成した。RPi 起動時に当該スクリプトが実行されるようにセットして、以降の競合を回避した。

7. 安定動作への試み

7-1. 冷却

RPi は、ファンやヒートシンク等の冷却機構こそ備わっていないものの、サーマルスロットリング (CPU 温度の上昇に応じて、自動で CPU 動作周波数を落とす機能) によってオーバーヒートを避ける仕組みとなっている。とはいえ、風況観測では空調設備のない屋外の金属/プラスチック

ボックス内に機器を収納設置するため、特に夏場の運用を見据えて、RPi の熱対策を講じた。

図 6 に、冷却ファンとヒートシンクを取付けた RPi を示す。多様な RPi 用冷却ファンが市販されている中で当該製品を選んだのは、送風方向が基盤を向いていないためである。経験上、基盤に向けて送風するタイプの CPU ファンを屋外環境の RPi で長期使用すると、土埃が基盤に張り付いてしまう。この埃が排熱を妨げること、あるいは湿気を吸ってショートを起こすことを危惧して、横向きのファンを選定した。

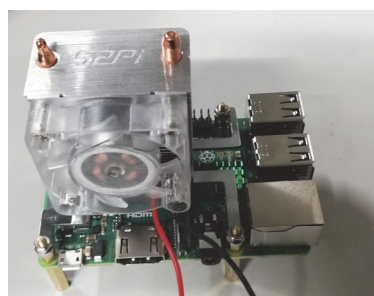


図 6 冷却ファンとヒートシンクを取付けた RPi

7-2. ケーシング

RPi およびモジュール周辺のエアフロー改善と防塵を企図して、ファン・フィルター付きケースを準備した。図 7 にケースへ収納する RPi 類を、図 8 にケーシング後の様子を示す。

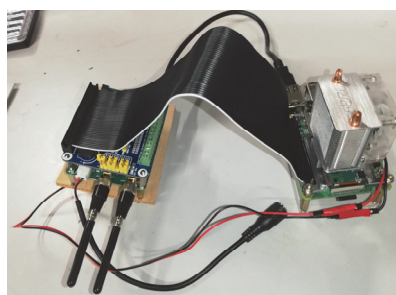


図 7 ケースへ収納する RPi 類

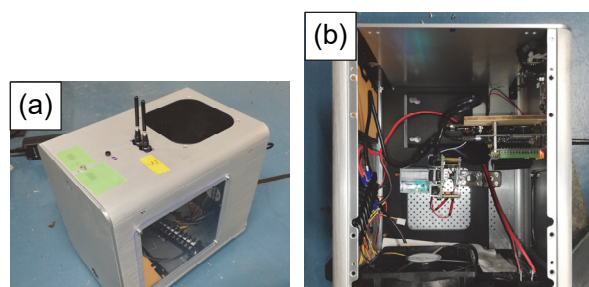


図 8 ケーシング後の様子 (a: 外観、b: 内容)

筐体としてはキューブ型 PC ケースを使用し、RPI・モジュール・結線用端子台・電源スイッチを組み付けられるように少し加工した。さらに、防塵のため、ケースファンで吸気を行う正圧構造とし、吸気口に換気扇用のフィルターを貼り付けた。

7-3. Watchdog Timer

Watchdog Timer は、システムがハングアップした際にシステムを強制再起動させる機能である。システムの正常稼働を知らせる定期信号 (Heartbeat 信号) を監視して、Heartbeat が指定時間途絶えるとシステム再起動の割り込み命令を発生し、システムを復旧させるという仕組みである。今回使用している RPi は、そのプロセッサである BCM2837 に Watchdog 機構が組み込まれており、OS 側で設定することで本機能が使用可能である。さらに、Watchdog Timer によるハングアップ検出があった場合、(復旧後に) メール通知されるようになっている。

過去に遠隔地の屋外環境で長期間稼働させていた RPi について、何らかの不具合によって通信・遠隔操作不能となって、誰かが現地へ赴いて電源 OFF→ON しなければならなかった、という事例が何度かあった。システム異常への耐性が少しでも向上することを期待して、本機能を有効化している。

8. 動作テスト

製作した新データロガーの動作テストとして、主に以下を実施した。

- ▶ ファンクションジェネレータを使用した長期データ収録 (1 週間程度)
- ▶ 研究室サーバーへの自動データ転送
- ▶ 電源喪失→復帰時におけるシステム自動復旧
- ▶ システム負荷 (CPU 使用率・メモリ使用率) チェック
- ▶ 消費電力チェック

結果はいずれも問題なく、消費電力は従来システムの 4 割減であった。

9. おわりに

Raspberry Pi を用いて新規開発・製作した LTE 通信対応データロガーについて紹介した。製作費に関しては、従来のデータロガーと LTE ルータを用いる場合の 1/4 以下に抑えられている。

新ロガーは、2020 年 12 月より 3 ヶ月程度の予定で、2 台が運用開始され (図 9)、特段の支障なくデータ収録・転送の役割を果たした。1 台は 2021 年 5 月に運用を終了し、もう 1 台は同年 6 月現在も運用を継続している。

今後、夏季の気温上昇による障害、長期連続使用による粉塵の蓄積が招く障害などが懸念される。想定される問題点を検討しつつ、必要に応じて改良やバージョンアップを図りたい。

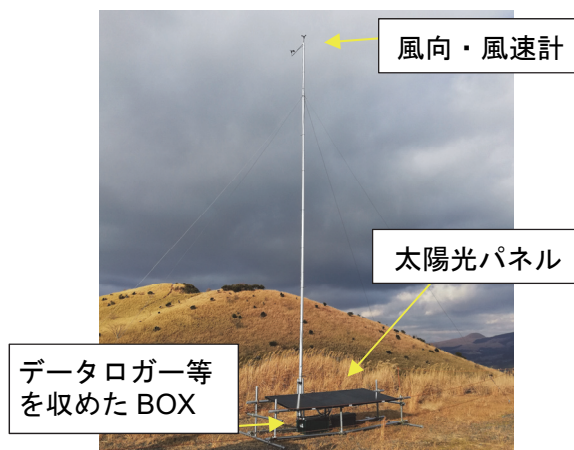


図 9 現地の風況観測設備

参考文献

- [1] Raspberry Pi Foundation: Raspberry Pi 3 Model B+ product brief
- [2] Seeed Technology Co., Ltd.: 114990831 データシート
- [3] MechaTracks Co., Ltd.: 4GPi 技術資料

謝辞

本製作に際し、風工学分野の内田孝紀准教授、大屋裕二特任教授、烏谷隆協力研究員、渡邊公彦氏にご指導とご配慮を賜りました。ここに感謝の意を表します。