

Bluetoothを用いた小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの運転・制御データ収集システムの開発

Development of the operation and data acquisition system of a city type small wind power generation and photovoltaics hybrid system using the Bluetooth

佐藤義久*¹ 吉田尚嗣*² 田辺幸典*² 一色正男*³ 嶋田隆一*⁴
Yoshihisa SATO Naotsugu YOSHIDA Yukinori TANABE Masao ISSHIKI Ryuichi SHIMADA

Abstract

It is necessary to use the renewable energy, such as wind power generation and photovoltaics from a viewpoint of CO₂ discharge regulation, environmental protection of the Earth. Since very many city type small wind power generation and photovoltaics hybrid systems are installed in a city part, operation and data acquisition must be able to be performed simply. It is an image like a round medical checkup, and moreover, data collection must be able to be carried out by un-contacting. Then, we proposed adopting the radio terminal Bluetooth which can communicate by no setting up as a data collection terminal. Since the basic experiment for judging whether Bluetooth can be used as a data collection system of a city type wind power generation and photovoltaics hybrid system was conducted satisfactory.

キーワード : 小型風力発電, 風力・太陽光発電, ハイブリッドシステム, Bluetooth, データ収集

Key Words : small wind power generation, photovoltaics, hybrid system, Bluetooth, data acquisition

1. はじめに

天然資源の枯渇, CO₂排出抑制の観点から太陽光発電, 風力発電など再生可能エネルギーの有効活用を図っていく必要がある⁽¹⁾. 近年, 風力発電システムは発電単価の低減などを目的に益々大型化し, 現在は単機容量 2000kW 級が主流になりつつある. しかし, 大型風力発電システムは立地場所に制約があり, 我が国の風力発電導入目標である 3000MW (於 2010 年) を達成し, さらに風力発電の割合を増加させるためには, 住宅地に設置可能な小型風力発電・太陽光発電ハイブリッドシステムの実用化が必要不可欠である⁽²⁾. しかし, 小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムは設置台数が膨大となるため, その運転・制御データの収集システムには自動化などの省力化

システムの実用化が必要不可欠である. 我々は膨大な台数になる小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの運用管理には無線での運転・制御データ収集が必要不可欠と考え, 家電用の汎用無線端末である Bluetooth の適用を提案し, その基礎的な実験を行ったので報告する.

2. 小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの概念

小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムのコンセプトを以下のように考えた.

- (1) 小型風力発電システムは発電容量 1kW 以下で太陽電池とのハイブリッド型独立電源とする.
- (2) 通常は夜間照明, 表示灯などとして活用し, 災害等非常時は情報発信・中継ターミナルとして活用する.
- (3) 設置台数が非常に多く, 住宅地に近接して設置され, さらに一般市民が管理する.

小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムは以上のような特徴を有するので, 巡回検針のようなイメージで運転データが簡単に収集できなければならない. 一般市

*1 大同工業大学工学部電気電子工学科教授
(〒457-8530 名古屋市南区滝春町10-3)
e-mail : satoy@daido-it.ac.jp

*2 大同工業大学大学院生

*3 東芝コンシューママーケティング株式会社

*4 東京工業大学原子炉工学研究所創造エネルギー専攻
(原稿受付 : 2006年3月23日)

民が手軽に運用管理できるよう無設定で通信可能な家電用無線端末 Bluetooth をデータ収集端末として採用することを提案する。実験に用いた小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの基本構成を図1および表1に示す。

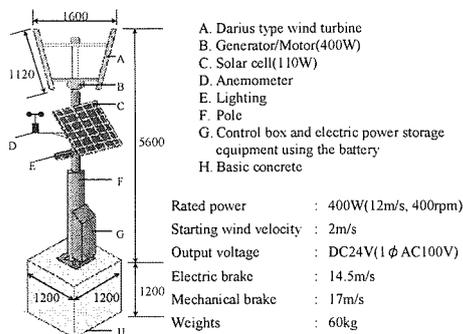


図1 小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステム実験装置概要

Fig. 1. Experiment equipment for a city type small wind power generation and photovoltaics hybrid system.

表1. 小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステム概要
Table.1 Outline of a city type small wind power generation and photovoltaics hybrid system.

システム構成		風車・発電機	
A	ダリウス型風車(東芝ブランドシステム EWF-400)	風車タイプ	垂直軸直線翼(ダリウス風車)
B	発電機/アシストモーター400W(永久磁石アウターロータ式3相ブラシレスDCモータ)	ブレード枚数	3枚
C	太陽電池パネル 110W(昭和ソーラ GT172(980×870×35))	定格出力	400W
		定格風速	12m/s
D	三杯風速計(R.M.Young Modul 03102)	定格回転数	400 min ⁻¹
		最大出力	600W
E	LED照明灯	起動風速	2m/s
F	支柱	出力電圧	DC24V
G	制御装置 Bluetooth モジュール, 電力貯蔵用バッテリー(DC24V-65Ah, AC delco M27MF)	電気ブレーキ	風速 14.5 m/s
		機械ブレーキ	風速 17 m/s
		耐風速	60 m/s
H	基礎	保護	過充放電
		本体重量	約 60kg

3. Bluetooth を用いたデータ収集実験

3.1 実験の目的 小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムは夜間照明灯, 防災電源, 非常用情報ターミナ

ルなどの独立分散型電源としての用途が考えられ, システムの設置台数が数十~数百と非常に多数になる。このような多数の小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの運転・制御, データ収集を効率良く行うために家電用無線通信技術である Bluetooth に着目し, その有効性を実証する基礎実験を行った。

3.2 Bluetooth

(1)概要 Bluetooth は 1994 年にスウェーデンのエリクソン社が“あらゆるモバイル端末同士をワイヤレス接続すること”を目的に考案した技術であり, 10 世紀デンマークとノルウェーを無血統合したデンマークの王“Bluetooth II”に由来し, 通信業界とコンピュータ業界の相互のメリットを生かす融合を計るという意味合いが込められている。Bluetooth の距離は当初の Version 1 では 10m であったが, Version 2 では 100m に仕様変更されている。Bluetooth は免許の必要がない 2.4GHz 帯の電波を使用しているため, 間に壁などの障害物があっても通信可能である。同じ周波数帯を用いる無線通信技術に IEEE802.11b および HomeRF などがある。IEEE802.11b はパソコンの無線 LAN として利用されている。一方, Bluetooth は汎用的で, ヨーロッパでは携帯電話などのモバイル機器に利用され, 日本では主に家電製品を対象として推進されている。HomeRF は Bluetooth と類似の規格であるが, 技術公開が不十分であり, 汎用性に欠ける。これら 3 規格の主な仕様を表 2 にまとめて示す。

表 2. Bluetooth と他の無線規格との比較

Table2. Comparison with Bluetooth and other radio technical standards.

方式名	Bluetooth (Ver. 2)	IEEE802.11b	HomeRF
最大データ伝送速度	2Mbps	11Mbps	0.8/1.6Mbps
最大伝送距離	100m	30m	50m
周波数帯域	2.4GHz 帯	2.4GHz 帯	2.4GHz 帯
消費電力	0.36W (送信時) 3.6mW (待機時)	最大 1W	未公開
セキュリティ	認証及び暗号化	オプション	暗号化
アドホック接続機能	○あり	×なし	×なし

Bluetooth の Version 2 は通信距離が他の規格よりも長い(100m)こと, セキュリティ機能が高いこと, アドホック機能があること, 消費電力が少ないことが大きな特徴である。これらの特徴が小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの運転・制御パラメータの変更, データ収集に適し

ているので Bluetooth に着目した。Bluetooth の最大の特徴であるアドホック機能とは、ある Bluetooth 機器 1 台をマスターとして、そこに Bluetooth 機器が最大 7 台のスレーブとして接続でき、この接続状態をピコネット (piconet) と呼ぶ(図 2 参照)。また、ピコネットに参加しているスレーブ 1 台が、同時に他のピコネットのマスターとなることもできる。これによりピコネット同士を数珠繋ぎ接続することが可能である。この接続状態をスキヤッタネット(scatternet)と呼ぶ(図 3 参照)。スキヤッタネットは最大 256 個のピコネットにより構成される。従って、最大 2048 台の Bluetooth 機器が接続可能となる。スキヤッタネットは Bluetooth の Version 2.0 以降で利用できる予定となっている。Bluetooth のネットワーク構築は、それぞれの機器に特別な設定や煩雑な手順を必要としない。ただお互いを近付けただけで、必要なときにだけ繋がるアドホック接続ができる。また、

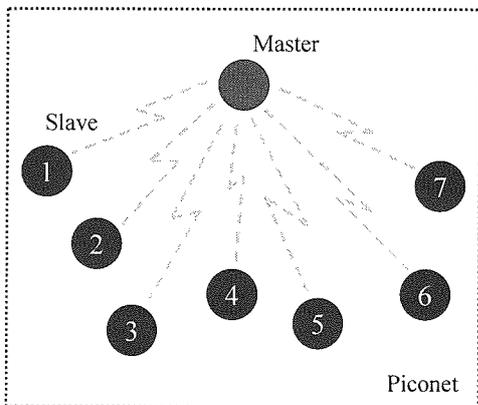


図 2 ピコネットの概念図
Fig. 2. Conceptual figure of a Piconet.

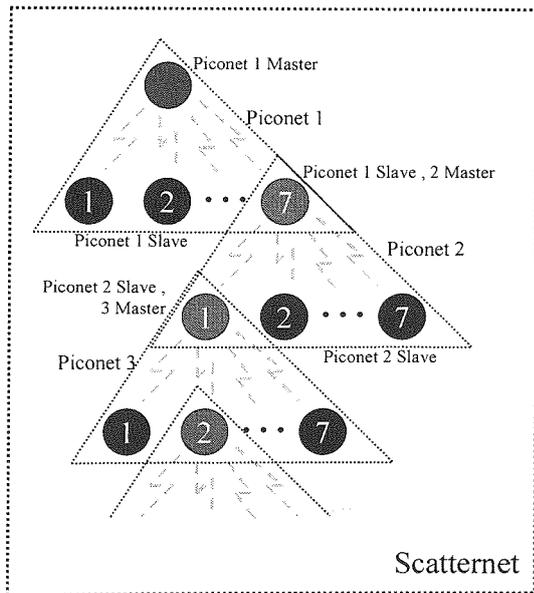


図 3 スキヤッタネットの概念図
Fig. 3. Conceptual figure of a Scatternet.

ピコネット内でマスターとなっている機器が抜けたとしても、別の機器が自動的にマスターとなってネットワークは形成され続ける。このように自律的にネットワークが構成できることが Bluetooth の最大の特徴である。その一方で、セキュリティが問題となるが、Bluetooth は送受信データの盗聴や漏洩を防ぐための認証と暗号化の機能が標準で用意されている。Bluetooth 機器はそれぞれ異なった機器アドレスを持っており、この機器アドレスを使用して各機器の識別を行なう。接続時に Personal Identification Number (PIN コードと略称する) による認証が必要となるが、一度認証されると PIN コードは記録されるので 2 回目以降は自動的に認証される。

(2) 実用化に向けて Bluetooth の特徴の 1 つである、近付けただけで通信ができることを利用することで、データ収集のケーブルレス化が可能となる。受信装置が Bluetooth の通信範囲内へ入ると、自動的に通信が行われデータ収集ができる。近付けるだけで、他の作業は不要である。この近付けるという作業さえ自動化できれば、自動巡回受信も可能となる(図 4 参照)。さらに Bluetooth のスキヤッタネットが実現されれば、1 つの巨大な、かつ柔軟なネットワークが形成され基地局に居ながらにして

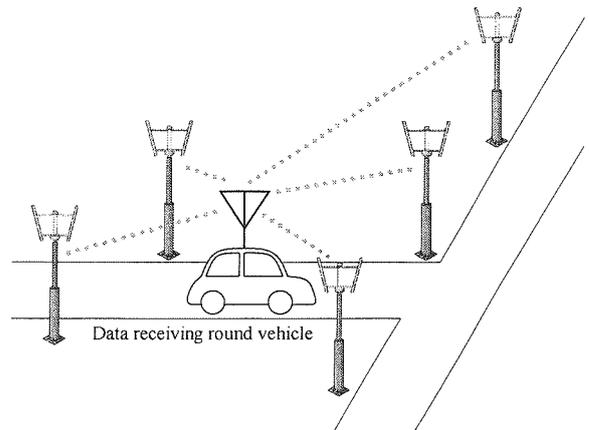


図 4 巡回受信のイメージ図
Fig. 4. Image figure of a data receiving round vehicle.

遠隔管理が可能となる。都市部に設置される小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムでは表示パネルを設置し、通常時は発電状況などを表示するが、非常時は災害情報などを表示する防災ターミナルとして活用する。災害時は電話などの通信インフラがパンクしたり中継器の故障などで不通になるケースが多いが、スキヤッタネットが実現すると、風車を中継器とし、多数の小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムで通信網を構成し、離れた避難場所間での通信が可能となる(図 5 参照)。特に Bluetooth のネットワークは自律的であるので、数台が故障したとしても複数の通信経路が確保できるという防災面からみたシステムの強さが大きな特長である(図 6 参照)。

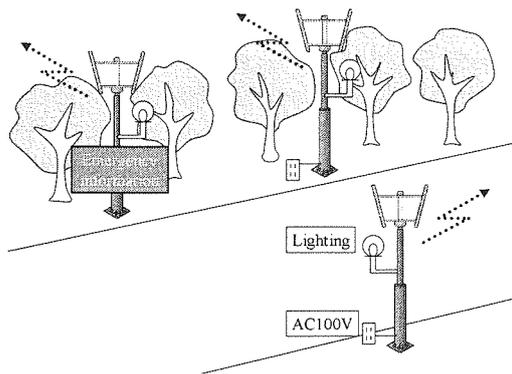


図5 防災電源としての応用イメージ
Fig. 5. Application image as a disaster prevention power supply.

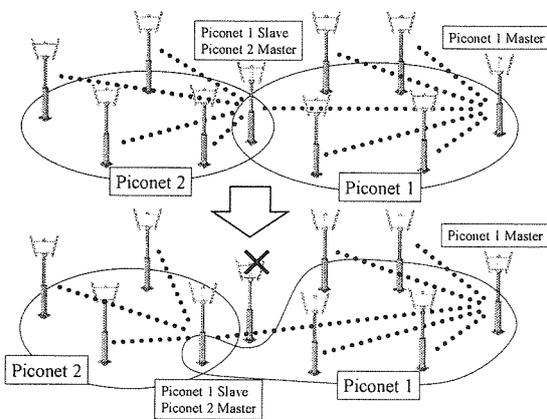
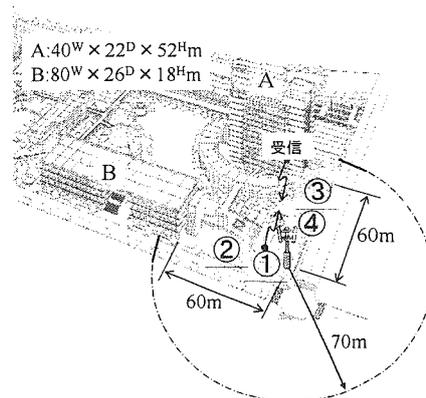


図6 自律的ネットワーク
Fig. 6. Self-supporting distributed network.

3. 3 基礎通信実験 Bluetooth はモバイル機器への搭載を前提とした近距離無線通信技術であり、主に屋内用であり、屋外では数 m 以内を想定しており、当初の Ver.1 は通信距離 10m であったが、Ver.2 の 100m 仕様の Bluetooth が発売されたので、それを用いて小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムのように屋外で数 10m~100m 間の通信が正常に行えるか否かを確認する為の基礎通信実験を行った。

基礎実験 1 (ノート PC-ノート PC 間のデータの送受信)

小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムは図 7 に①~④で示す位置に 4 台設置されており、それぞれ Bluetooth が内蔵されている。受信装置一式は図 7 に示す A 棟 5 階の窓際に設置した。4 台の小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムそれぞれに取り付けた Bluetooth からの信号を 1 台のパソコン (PC と略称する) でデータ収集した。代表例として窓際の PC から見て一番遠い①号機との通信実験について述べる。実験に使用した Bluetooth 機器は (株) 東芝製 PC カード型 Bluetooth アダプターである(図 8 参照)。小型風力・太陽光発電ハイブリ

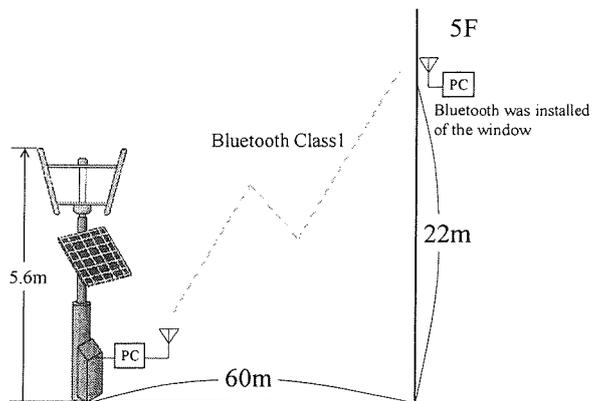


図7 Bluetooth を用いた屋外通信実験
Fig. 7. Outdoor communication experiment using Bluetooth.

ッドシステムのデータを PC に取り込み、そのデータを PC に差し込んだ PC カード型 Bluetooth アダプターを用いて送信し、約 70m 離れた建物の 5 階窓際に同じく PC カード型 Bluetooth アダプターを差し込んだ PC で受信した。ガラス窓越しの屋外との通信実験であったが、通信が途切れるなどの問題は全く発生しなかった。運転・制御パラメータの変更、ブレーキの on/off などを行うときは信号の流れはこの逆となる。図 9 に基礎通信実験風景を示す。以上の通り、Bluetooth を用いて屋外数 10m の距離で小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの運転・制御パラメータの変更およびデータ収集が行えることを確認した。

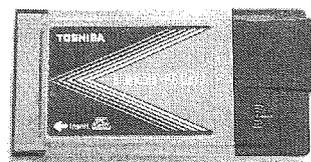


図8 PC カード型 Bluetooth アダプター
Fig. 8. PC card type Bluetooth adapter.

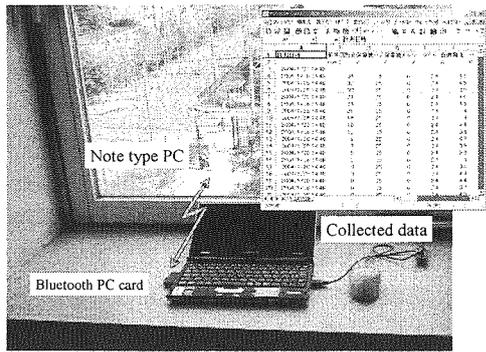


図9 実験風景と取り込んだデータ例

Fig. 9. Data acquisition experiment using Bluetooth and PC.

基礎実験2 (Bluetooth 搭載型小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステム-ノート PC 間のデータの送受信)

小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムは実用化の段階では極めて多数設置されるので、個々の小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムに PC を設置することは現実的ではない。そこで、小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムに PC を設置せずに直接 Bluetooth アダプターでデータの送・受信ができるよう Bluetooth コントローラーを開発した。その仕組み・Bluetooth コントローラーの機能を図 10 に示す。Bluetooth コントローラーを開発したことにより小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムにノート PC を設置せずに Bluetooth アクセスポイントを経由したデータ通信を行えるようになった(図 11 参照)。実験 1 と同様に 4 台の小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムそれぞれに取り付けた Bluetooth からの信号を最大約 70m 離れた建物 5 階窓際に設けた Bluetooth アクセスポイント (図 12 参照) 経由 Bluetooth USB アダプター(図 13 参照)を取り付けた 1 台のノート PC でデータ収集した。実験は①~④号機の順番で 4 台の小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステム全てについて行った。データの送受信にはデータ通信ソフト WFM BT を使用した。図 14 に示すように、小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの Bluetooth モジュールから、風速、風車回転数、発電量、充電電圧などのログデータを受信することができた。これらのデータは風力・太陽光発電ハイブリッドシステムのコントローラで A/D (0-5V/10Bit) 変換し、0.2 秒毎にシリアル信号として Bluetooth に入力する。Bluetooth を用いたデータ収集は基本的にオンラインである。具体的には Bluetooth アクセスポイントから 2 秒間隔 (この時間はデータ収集間隔として設定可能; 1~99 秒) で読みに行き、そのとき Bluetooth にある信号を読み取って来る。また PC より、小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの運転・制御パラメータ (風力ポンプアップ運転開始風速, ポンプアップ継続時間, ポンプアップ休止時間, 機械式ブレーキの on/off など) の変更が行えることも確認した。

以上より今回開発した Bluetooth コントローラー, Bluetooth アクセスポイントを経由した Bluetooth データ通

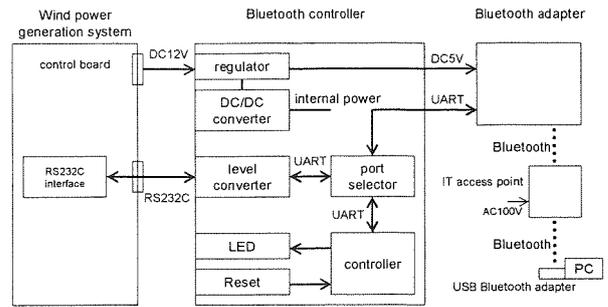


図 10 開発した Bluetooth コントローラーの機能

Fig. 10. Function of the developed Bluetooth controller.

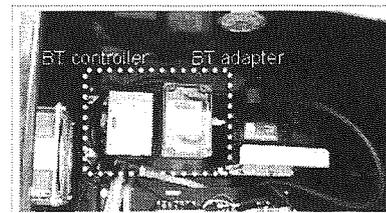


図 11 ダリウス風車側 Bluetooth モジュール

Fig. 11. Bluetooth module attached in the Darius wind power system.

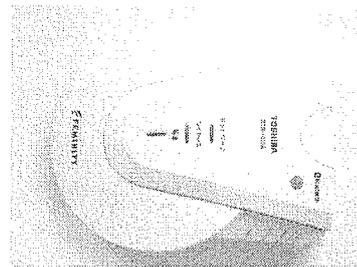


図 12 Bluetooth アクセスポイント

Fig. 12. Bluetooth access point apparatus.



図 13 Bluetooth USB アダプター

Fig. 13. USB type Bluetooth adapter.

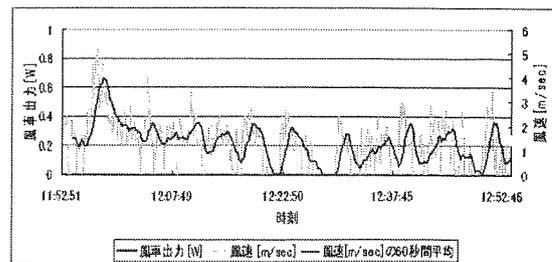


図 14 Bluetooth で収集した風速, 発電出力データ

Fig. 14. Data collected using Bluetooth.

信経路でも前述の基礎実験 1 と同様の通信性能が発揮できることを確認した。

3.4 データ収集エラー

(1)データ収集エラー頻度 基礎実験 2 において、データ収集間隔を 2 秒に設定したにも関わらず、データ収集間隔が 4 秒または 6 秒となってしまうデータ収集エラーが散見されたので、データ収集間隔を 4 秒、6 秒、8 秒、10 秒に変更した実験を行った。しかしデータ収集間隔を大きくしても同様のデータ収集エラーが散見された。データ収集エラーの頻度（各設定間隔毎のデータ収集エラー回数を 1 時間あたりのデータ収集回数で除した値）を図 15 に示す。データ収集間隔が長いほどエラーが少ないというわけでもなく、収集間隔が 4 秒～8 秒の時に最もデータ収集エラーが少ないことが確認できた。エラー頻度は予想外に高く、データ収集エラー発生の原因については現在調査中であるが、小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムのデータ収集では風速 (m/s, 但し一般的に

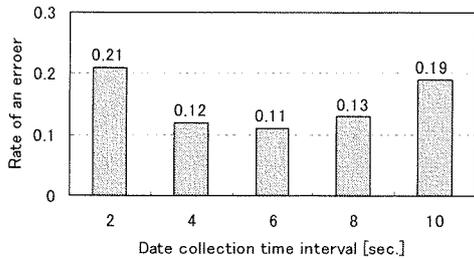


図 15 データ収集間隔ごとのエラー頻度
Fig. 15. Error rate vs data collection time interval.

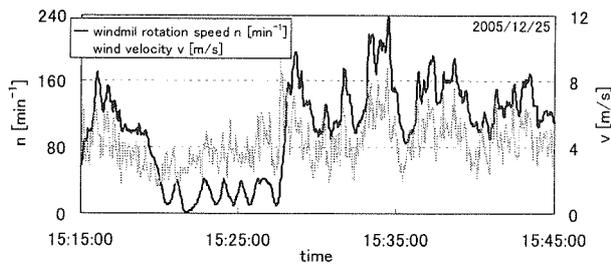


図 16 ケーブル接続測定によるデータ
Fig. 16. Data collected by cable connection.

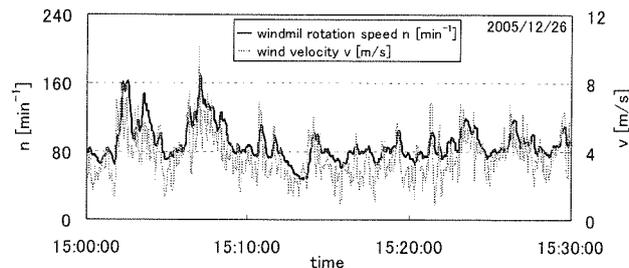


図 17 Bluetooth で収集したデータ
Fig. 17. Data collected using Bluetooth.

は 10 分平均風速), 風車回転数 (rpm), 発電量 (kWh, 1 時間毎の積算値) 風力ポンプアップ継続時間 (30 秒～99 秒), ポンプアップ休止時間 (30 秒～999 秒), 機械式ブレーキの on/off などであり, 本来それ程の高速リアルタイム通信を必要としていない (分オーダーの平均値が分かれば十分) ので, 実用上, 問題はないものと考えられる。

(2)有線通信と Bluetooth 無線通信との比較 Bluetooth 通信によるデータ収集ではデータ収集エラーが散見されたので, 収集したデータが有効に使えるか否かを検討する為, 有線接続で収集したデータ(図 16 参照)と無線端末 Bluetooth で収集したデータ(図 17 参照)を比較検討した。風速および風車回転数を比較する限り, 両図に差異はなく, 風車回転数あるいは発電機出力など小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの運転・制御パラメータの変更, データ収集には Bluetooth を用いたデータ収集システムが有効であることが確認できた。

3.5 巡回データ収集実験 巡回受信では自動車で移動しながらデータ収集することを想定し, 走行中の自動車の中からのデータ収集実験を行った(図 18 参照)。図 19 に走行経路を示す。時速 20km で走行しながらのデータ収集では, 半径 70m 以内では通信がとぎれず全く問題がなかったが, 70～90m では時々切れ, 90～110m では繋がることもある程度, 120m 以上では全く繋がらなかった。

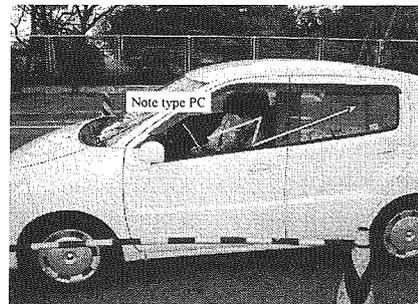


図 18 巡回受信実験風景
Fig. 18. Data collection experiment by the round vehicle.

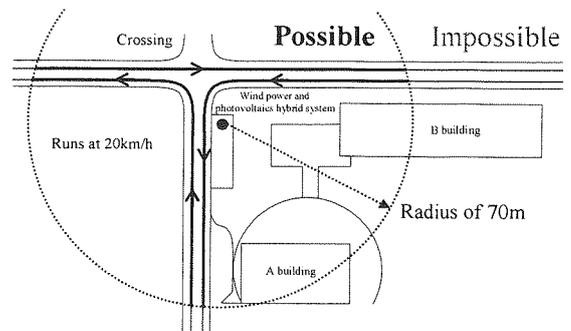


図 19 巡回受信実験走行経路
Fig. 19. Round data collection experiment run course.

以上の実験より、100m 仕様の Bluetooth (Version.2) を用いれば、70m 以内であれば車で走行しながら巡回データ収集ができることが確認できた。

4. 結論

小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの実用化に必要な不可欠な無線通信端末 Bluetooth を用いた運転・制御パラメータの変更、データ収集システムの基礎実験を行い、Bluetooth の有効性が、以下の通り確認できた。

- (1) Bluetooth (Version2) は屋外においても約 70m 以内であれば通信可能であることが実証された。
- (2) Bluetooth を用いたアドホック接続による無線でのデータ収集が可能であることが実証された。
- (3) 時速 20km で走行中の車の中から、風速、風車回転数、発電量など小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの運転制御データの収集が可能であることが実証された。

5. 今後の課題

本研究を通して、今後解決すべき課題も以下の通り明らかになった。

- (1) データ収集エラーの原因を明らかにし、対策を行う。
- (2) Bluetooth はリアルタイム/オンラインでの通信が基本となっているが、インターフェイス側にメモリ (EEPROM、1MBit(128KByte)) を組み込み、ファイル通信が可能な Bluetooth モジュールを開発し、信頼性を向上させる必要がある。

今後、これらの課題を早急に解決して、Bluetooth を用いた小型風力・太陽光発電ハイブリッドシステムの運転・制御、データ収集システムの実用化に貢献して行きたい。

文 献

- (1) 嶋田隆一 監修、佐藤義久 著、「図説 電力システム工学 電気をつくる・送る・ためる!」(2002), pp.123-129, 丸善
- (2) 佐藤義久・吉田尚嗣・嶋田隆一:「都市型風力発電システムの実用化開発」, 電学論 D, 125 巻, 11 号(2005), pp.1016-1021