

ネットワークシステム及び小型水平軸風力発電機の系統連系に関する研究

Study on grid connection of the small horizontal axis wind turbine and network system

清水幸丸*・岡村 聖*・程 田*・山村直紀**

SHIMIZU Yukimaru*, OKAMURA Kiyoshi*, TEI Den* and YAMAMURA Naoki**

*名古屋産業大学大学院環境マネジメント研究科 **三重大学大学院工学研究科

Abstract: The utilization methods of small wind turbine are two types. One of them is stand-alone type. Small electric power is charged to the battery system and the battery power is supplied to the light, TV, other domestic facilities and so on. Also, it is applied to the emergency facilities. Another one is applied to the Grid-Connection. The electric power is sold to the electric power company. In this case, high level quality of electric power is required. The quality of electric power is 60Hz+0.5Hz, and so on. The voltage and current of supply power of small wind turbine must be regulated to the recognized value. The commercial power conditioner is applied to the variable output power of small wind turbine. The detail of the experimental results is described in this report.

Keywords: Small horizontal axis wind turbine, grid connection to commercial net work system, power conditioner, data correction by network system

1. 緒言

報告では、小型水平軸風車、最大出力3kW、の発電電力を商用電力網へ系統連系し、売電することを目的とし、実験的研究を行った。小型風車で使用する発電方法は、多様である。いくつか例を示す。本研究で用いた発電方法は、発電機回転しに最近開発された強力な磁力を持つ永久磁石を多数個円形に配置し、固定子側には円形コイルを設置し、コイル内に発電させる方法である。その他の方法としてはいくつかあるが、その内の数例を紹介する。

誘導モータの滑り周波数、すなわち、s/n比を変える方法、あるいは、同期発電機を用いて発電する方法、誘導モータに自己励磁方法を用いて発電する方法等多様である。

著者等の用いた方法は、発電機の回転子に設置する永久磁石の個数を増やして発電機を作り、翼車すなわち風車ロータの回転数をあまり上げずに交流電力を効率よく発生させる方法である。結果としては成功した。発電された交流電力は、ダイオードを用いて、直流に変換され、パワーコンディショナに入力し、パワーコンディショナによって、系統連系可能な交流に変換される。

本報告では、パワーコンディショナから出力された交流電力が系統連系される状態を模擬システムを用いて詳細に測定した。その結果を詳述し、小型風車電力が系統連系されていく状態を模擬実験的に解析した。

2. 実験装置および実験方法

2.1. 実験装置

図2-1には、実験装置全体のシステム図を示す。左側からダブルピッチ制御小型水平軸風車、カップ型風速計、実験測定装置および風車コントローラ、

データロガー、バッテリー、パワーコンディショナ、LANシステム用ルータ等が設置されている。

写真2-1には、実験に使用している小型風車写真の写真を示す。

写真2-2には、風車発電機コントローラおよびバッテリーシステム。

写真2-3には、風車コントローラ盤面の機器およびブレーキ操作ボタン。

写真2-4には、風車コントローラ内部におかれた計測用データロガー。

写真2-5には、パワーコンディショナ PV-PN30Gと独立運転時の100W電球。



写真2-1 実験用小型水平風車の写真

独立電源システムの 仕組み

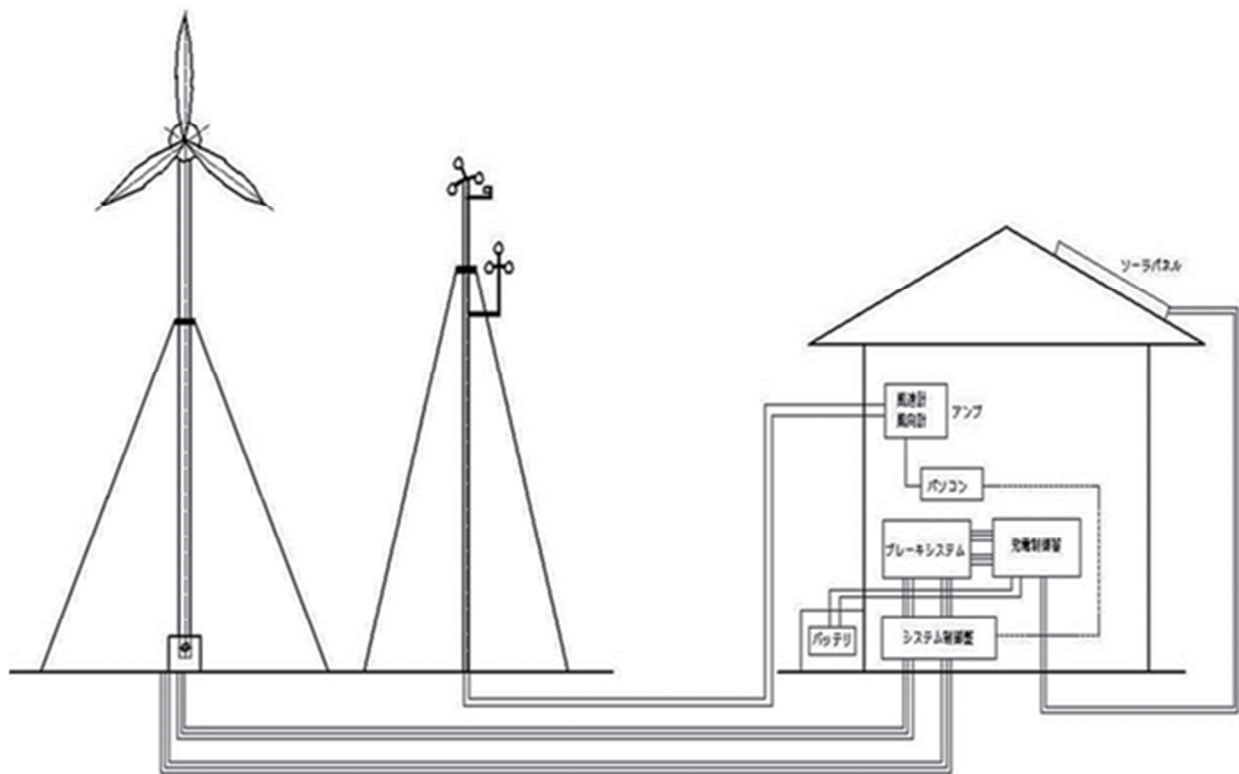


図 2-1 実験用ダブルピッチ制御機構付水平軸風車及び独立電源発電システムの説明図

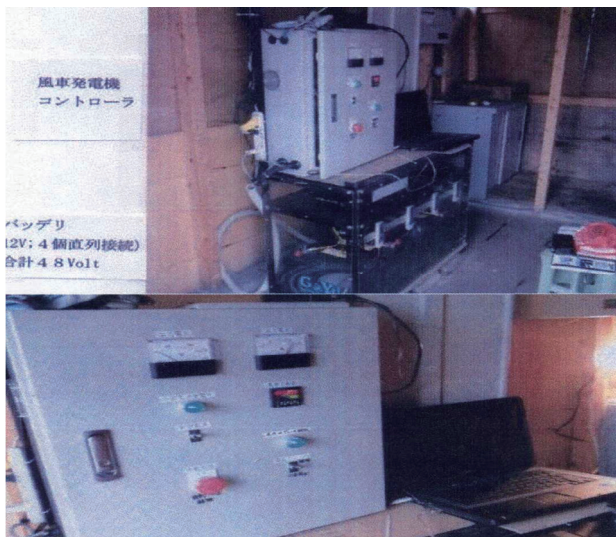


写真 2-2 風車発電機コントローラ及びバッテリーシステム (上)

写真 2-3 発電機コントローラ盤面の機器及びブレーキ操作ボタン (下)

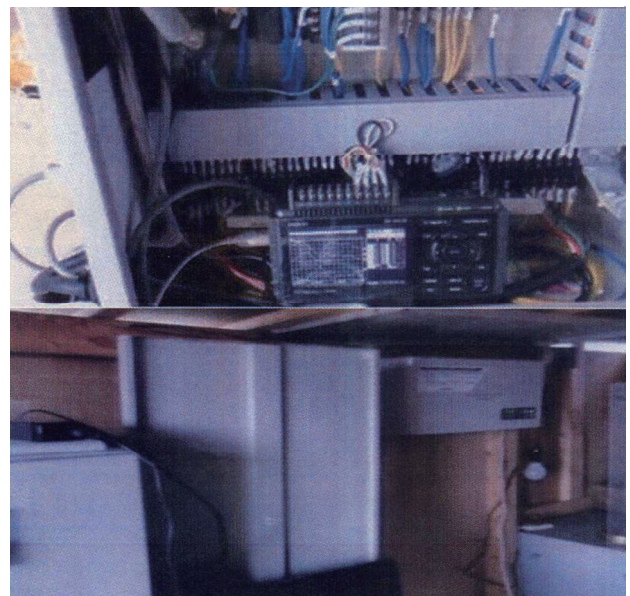


写真 2-4 コントローラ内部おかれた計測用データロガー (上)

写真 2-5 パワーコンディショナ PV-PN 30 と独立電源運転時の100W電球を示す (下)

2.2. 実験方法

図 2-2 を用いて、系統連系模擬実験について図解する。図の右側、商用電源、すなわち、中部電力の単相 200V を図中に示した 100W 電球 30 個、3kW 負荷に流す。風力発電機で発電した電力は交流である。ダイオードを用いて、直流に変換する。この直流を直流電圧調整器（ニプロン製電圧調整器）を用いて昇圧し、パワーコンディショナに導く。パワーコンディショナで交流に変換し、202V に電圧調整し、中電一電路に接続する。図中に示した場所に 2 個のエコメータを設置する。左エコメータで風力発電電力が中電一電路に系統連系されて行く電流・電圧・電力を測定する。風車で発電された電力は、全てパワーコンディショナに流入されるわけではない。パワーコンディショナには、入力電圧範囲があり、著者等が使用している機種、PV-PN30G では、表 2-1 のパワーコンディショナ仕様に示すように、115V～380V の範囲にある。パワーコンディショナの入力条件 115V に達しない電力は、系統連系されず、著者等の発電システムでは、バッテリーに流入して行くことになる。115V 以上が系統連系されて行く。

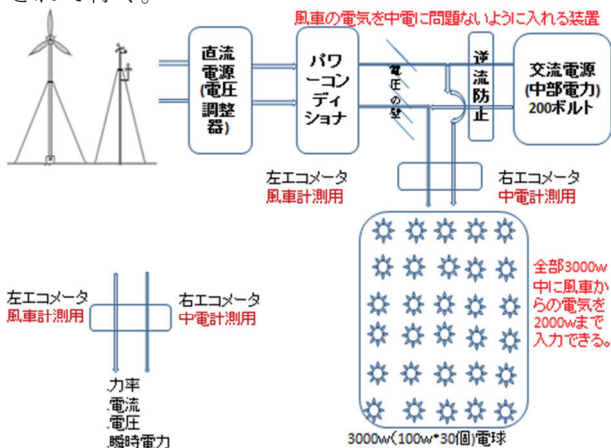


図 2-2 実験用風車から電球負荷(3000w)までの電気の流れ図

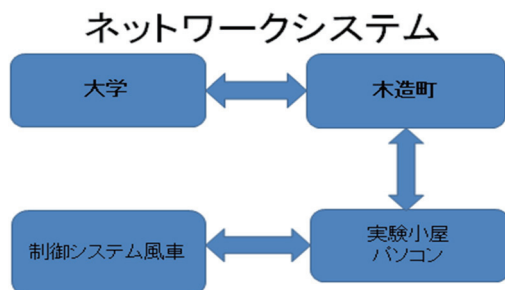


図 2-3 小型風車実験場から名古屋産業大学研究室までのネットワークシステム

表 2-1 には、パワーコンディショナ PV-PN30G の仕様を示す。図 2-3 には、ネットワークシステムを用いた系統連系実験を行う際のデータ収集方法を示す。風車実験場の風力発電装置から計測されてくるデータ

を実験小屋のパソコンに入力し、無線でルータへ送り、津市木造町の有線ネットワークへ接続する。その後尾張旭市にある名古屋産業大学のサーバーへ送られ、研究室でデータ整理される。送信データの種類の種類は、表 2-2 に示す 20 種類である。20 種類のそれぞれのデータは、そのまま使えるわけではなく、表 2-3 に示してあるソフトを使用して、利用できる表示形式になる。

表 2-1 パワーコンディショナの仕様（三菱太陽光発電システム PV-PN30G 取扱説明書 p 15）

| 形名 | ※1 | PV-PN30G | PV-PN50G |
|--------------|----|-------------------------------------|---|
| 使用環境条件 | | 屋内 (0~40℃) ※2 | |
| 定格入力電圧 | | DC250V | |
| 入力電圧範囲 | | DC115~380V | |
| 最大入力電流 | | DC21A | DC28A |
| 定格出力電圧・周波数 | | AC202V (自立運転時 AC101V)、50/60Hz | |
| 定格出力電力 | | 連系運転時: 3.0kVA 自立運転時: 1.5kVA | 連系運転時: 5.0kVA 自立運転時: 1.5kVA |
| 電力変換効率 ※3 | | 95.5% | 95.0% |
| 出力基本波力率 | | 0.95以上 | |
| 高調波歪み率 | | 総和5%以下、各次3%以下 | |
| 待機時消費電力 | | 0.1W以下 | |
| 運転時騒音 | | 36dB以下 (正面1mでのAレゾンス値、15kHz以下) | |
| 主回路方式 | | インバータ方式 スイッチング方式 絶縁方式 電気方式 | 電圧型電流制御方式 正弦波PWM方式 トランスレス方式 連系運転時: 単相2線式 (単相3線式配電線に接続) 自立運転時: 単相2線式 |
| 保護機能 | | 連系保護 単独運転検出 | OV、UV、OF、UF 受動的方式、能動的方式 |
| 外形寸法 (W×D×H) | | 430×140×240mm | 635×170×250mm |
| 質量 (本体のみ) | | 14.4kg | 24.0kg |

※1. 本パワーコンディショナは設置用製品です。
 ※2. 周囲温度が25℃以上の場合、パワーコンディショナの保護機能により出力を抑制することがあります。
 ※3. JIS C 8961「太陽光発電用パワーコンディショナの効率測定方法」による定格負荷効率。

表 2-2 インターネットを使って実験場から名古屋産業大学まで送られてくるデータ一覧表

| | | | |
|-----------|-------------|-----------|-----------|
| ①風速 | ②回転数 | ③発電電流 | ④発電電圧 |
| ⑤発電電力 | ⑥調整器入力電流 | ⑦調整器入力電圧 | ⑧調整器入力電力 |
| ⑨調整器出力電流 | ⑩調整器出力電圧 | ⑪調整器出力電力 | ⑫左エコメータ電流 |
| ⑬左エコメータ電圧 | ⑭左エコメータ瞬時電力 | ⑮左エコメータ力率 | ⑯右エコメータ電流 |
| ⑰右エコメータ電圧 | ⑱右エコメータ瞬時電力 | ⑲右エコメータ力率 | ⑳映像データ |

表 2-3 風速・発電データ表示システムの使用ソフトウェア一覧

| 項目 | 開発元 | ソフトウェア名 |
|-----------------------------|-----------|----------------------------------|
| 風速データ取得 | MadgeTech | Data Recorder Software Ver2.07.1 |
| 発電データ取得 (電流・電圧・回転数) | KEYENCE | DATA BUILDER Ver2.13 |
| 風速・発電データのウェブサイト表示 | Google | Google サイト |
| 風速・発電データの統合及びウェブサイト更新の自動化処理 | Umiumi | UWSC Ver5.2.0 |

図 2-4 には、風速・発電データ表示システムの図説を示す。それぞれのデータは、ソフトがあれば、即使用できるのではなく、目的に応じていくつものデータに整理される。そのデータに基づいて実験結果が考察される。

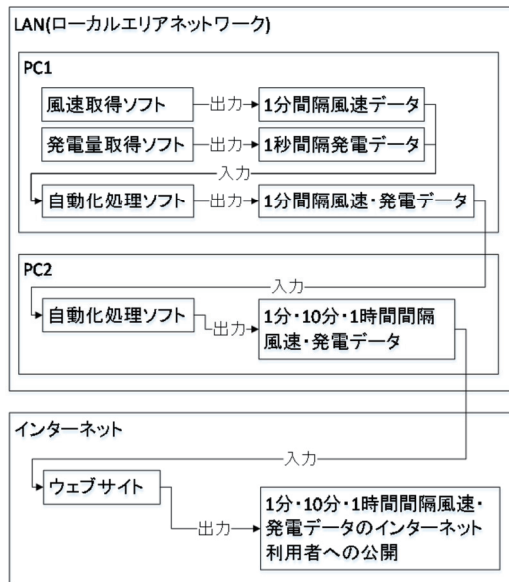


図 2-4 風速・発電データ表示システムの図説

写真 2-6 には、左右 2 個のエコメータを示す。

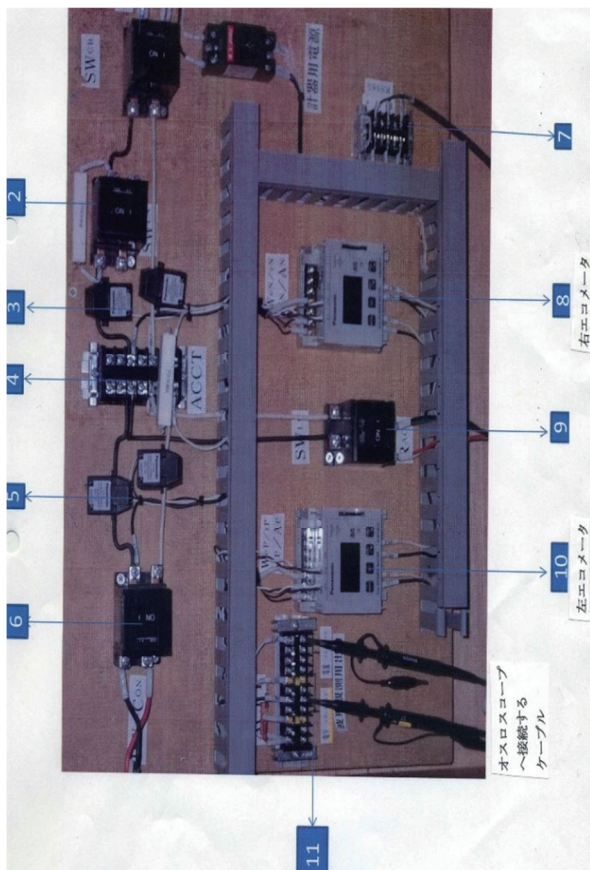


写真 2-6 左右 2 個のエコメータを用いた連系実験装置

写真 2-7 には、中電路から単相 200V で最終消費点 100W 電球 30 個までの写真を示す。

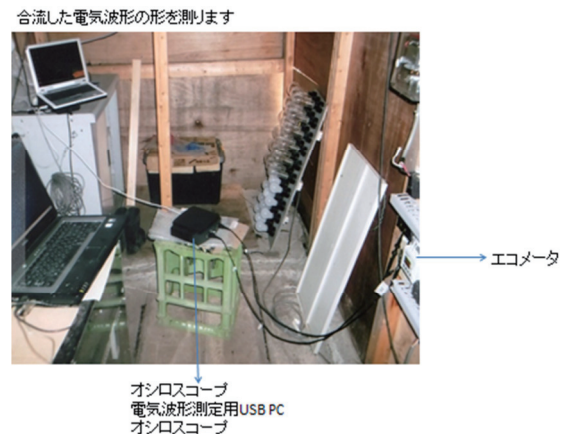


写真 2-7 中電路から単相 200V で最終消費点 100W 電球 30 個までの写真

3. 系統連系模擬実験

3.1. 風車発電機から電灯 (3000 ワット) 負荷までの電気の流れ

図 2-2 には系統連系模擬実験の図説を示す。系統連系模擬実験とはどのようなものか簡単に説明する。中部電力の電路に直接接続することは不可能である。しかし接続相手の電気の質は中部電力の質と同一なければならない。そこで、次のような電路システムを考え、設計し、実験した。

- (1) 中部電力の電気単相 200 ボルトの電路を農家の作業小屋から我々の実験小屋までふ設し、その末端に 100 ワットの電灯、30 個、合計 3000 ワットを接続し、3000 ワット負荷とした。
- (2) その 3000 ワット負荷の手前にパワーコンディショナの電路を接続した。パワーコンディショナから出てきた電気は、中電の電路に系統連系されたことになる。

以上の内容が図 2-2 に示されているのでそれを説明する。図の左上に風車を示す。風車の発電機から発電された交流電力は直流に交換され、ニプロン製直流-直流昇圧装置によって昇圧され、三菱電機太陽光発電用 3kW パワーコンディショナに入力される。このパワーコンディショナによって中部電力の電気に融合可能なように電圧、周波数その他の条件がコントロールされる。その結果、風車で発電された電力は売電可能な品質で中部電力電路に入っていく。

図の右下には、100 ワット電球、30 個の絵を示す。パワーコンディショナから中部電力の電路へ無事電気が連系入力されているかどうかを測定することは、可能である。その為に、電球負荷の手前に 2 個のエコメータが取り付けられている。左側のエコメータで、風車発電電力が測定され、図の右側のエコメータでは、中部電力の電力が測定される。

エコメータでは電流、電圧、瞬時電力、力率が測定される。

3.2. パワーコンディショナとその役割

図 3-1 には小型水平軸風車からパワーコンディショナまでの単線結線説明図を示す。大きな流れとしては①風車発電機→②交流電力→③ダイオードにより直流に変換→④その後電圧調整器(ニプロン製の直流電圧増幅器)→⑤電圧をパワーコンディショナの入力口電圧まで昇圧してパワーコンディショナに入力する→⑥パワーコンディショナ内部で各種電氣的に調整を行い、交流に交換して系統連系に必要な電圧に調整される→⑦系統に連系されていく。

③と④の間で電圧調整器で昇圧されない低電圧の電力、すなわち、風車発電機の回転が 70rpm 前後までの電力はバッテリーにチャージせれていく。

70rpm 以上の回転数、風速にして、約 4m/min 以上になると電圧調整器に入力し、パワーコンディショナへと流れていく。

パワーコンディショナの役割

- ① 直流の電源を[パワーコン]によって交流に交換する。
- ② この交直変換に合わせて電圧の調整と周波数の安定化を行う。
- ③ 電圧や周波数の値が大きく変動した際には、電路を切離すことで電力の健全性を保つ。
- ④ 電源の安定性が乱された場合に、これら開放する安全装置がパワーコンディショナに内蔵されている。
- ⑤ 太陽光発電や風力発電によって発電された不安定な電力はパワーコンディショナを経由することで、一定以上の品質を保った電力に調整される。
- ⑥ 電圧変動抑制機能→瞬時電圧変動抑制機能
- ⑦ 単独運転防止機能→過電圧継電器(OVR)、不足電圧継電器(UVR)、過周波数継電器(OFR)、不足周波数継電器(UFR)の 4 要素を安全装置として使用している。パワーコンディショナに内蔵されている。

パワーコンディショナには以上①から⑦までの機能が内蔵されているので、信頼できる機器といえるのではないだろうか。

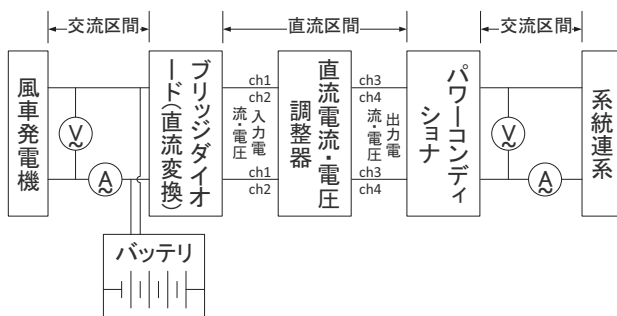


図 3-1 風車発電機からパワーコンディショナを経て、系統連系に至るまでの単線結線模式図

4. 実験結果と考察

4.1. 一分間平均出力値での電流、電圧、電力、力率の考察

今回の小型風車発電系統連携模擬実験で測定される値は、表 2-2 に示してあるように 20 番目の映像データを除いた 19 種類に及ぶ。過去に行われた同一小型風車の実験では、独立(自立)運転状態であり、系統連系は想定せず、発電機の電流、電圧、電力、風速 (m/min)、回転数を計測したものである。負荷の与え方も全く異なってくる。本報告では、系統連系を前提にして、計測システムが準備され、測定が行われた測定値を中心に考察する。

図 4-1 には、表 2-2①から⑱までの実験データが示されている。実験は、1 分間平均風速が約 5 m/min から約 8 m/min の風車発電実験に好都合な条件で行なわれた。この条件は、風車実験を行うものにとって、あまり緊張せず、また風が弱くていられず実験できる条件である。

図 4-1①には、一分間平均風速、13: 52 から 15: 19 分まで約一時間半の値を示す。13: 53 に一分間平均風速で 11.5m/min が記録されているが、その他の時間帯は 6-7m/min 前後の値が記録されている。駄足であるが、実験中の話を述べる。

9 月下旬のまだ残暑、気温 35℃ の日中に、狭い実験小屋内に 3000 ワット(100 ワット電球 30 個)を点灯すると小屋内は 40℃ 以上の高温になる。パソコン関係は 50℃ まで大丈夫とのことで故障してないが、劣化は激しいのでないか考えている。実験者は小屋外でなんとか耐えている状態である。(日射があると暑い)②には、風車回転数が rpm で表示されている。風速約 11.5m/min の時間 13: 53 分頃の風速回転数は、非常に高く、350 rpm を示している。本風車は、350 rpm 前後で単絡ブレーキが自動で作動、その 3 秒後にディスクブレーキ(機械的な摩擦ブレーキ: 電磁ブレーキ)が自動で作動する。この場合もブレーキが作動し、すぐに手でブレーキを解除し、実験を再開した。その後風の条件がよく、系統連系されている。14: 37 頃風が少し、弱くなり、回転数が落ち始め、50 rpm を切るまで低下している。回転数 60 rpm から 70 rpm を切ると発電機電圧が低下して、パワーコンディショナの連系条件が切れて、連系がストップする。その後、60 rpm~70 rpm を越えた所で、連系条件が回復し、それから 150 秒後に連系準備が再開する。パワーコンディショナの表示盤には、連系なし状態、連系準備で C150 と表示され、C149、C148...と 1 秒ずつ下っていく、C1 の次には JU の記号が表示され、その後 c/u の表示で連系がスタートする。14: 51 頃、再度風が弱くなり、風車回転数が落ちて、連系条件がなくなり、14: 56 頃風が弱くなり、C150 が表示され、C1 以降連系運転が再開する。風速変化に応じて、このような状態が連続的に繰返される。

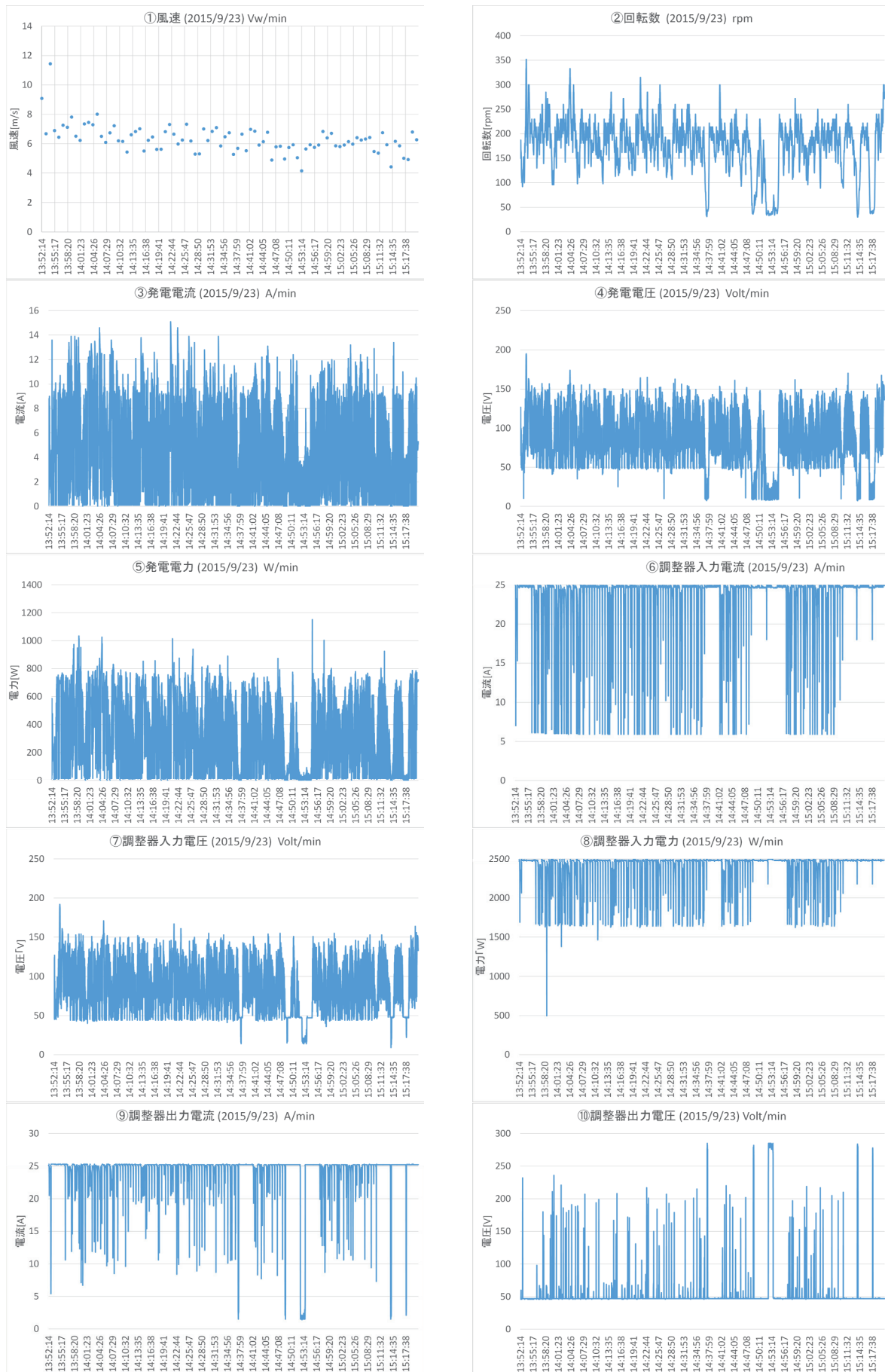


図 3-1 実験データ (風速 6m/min～7m/min 程度、2015/9/23 13:52～15:19 の約 1 時間半)

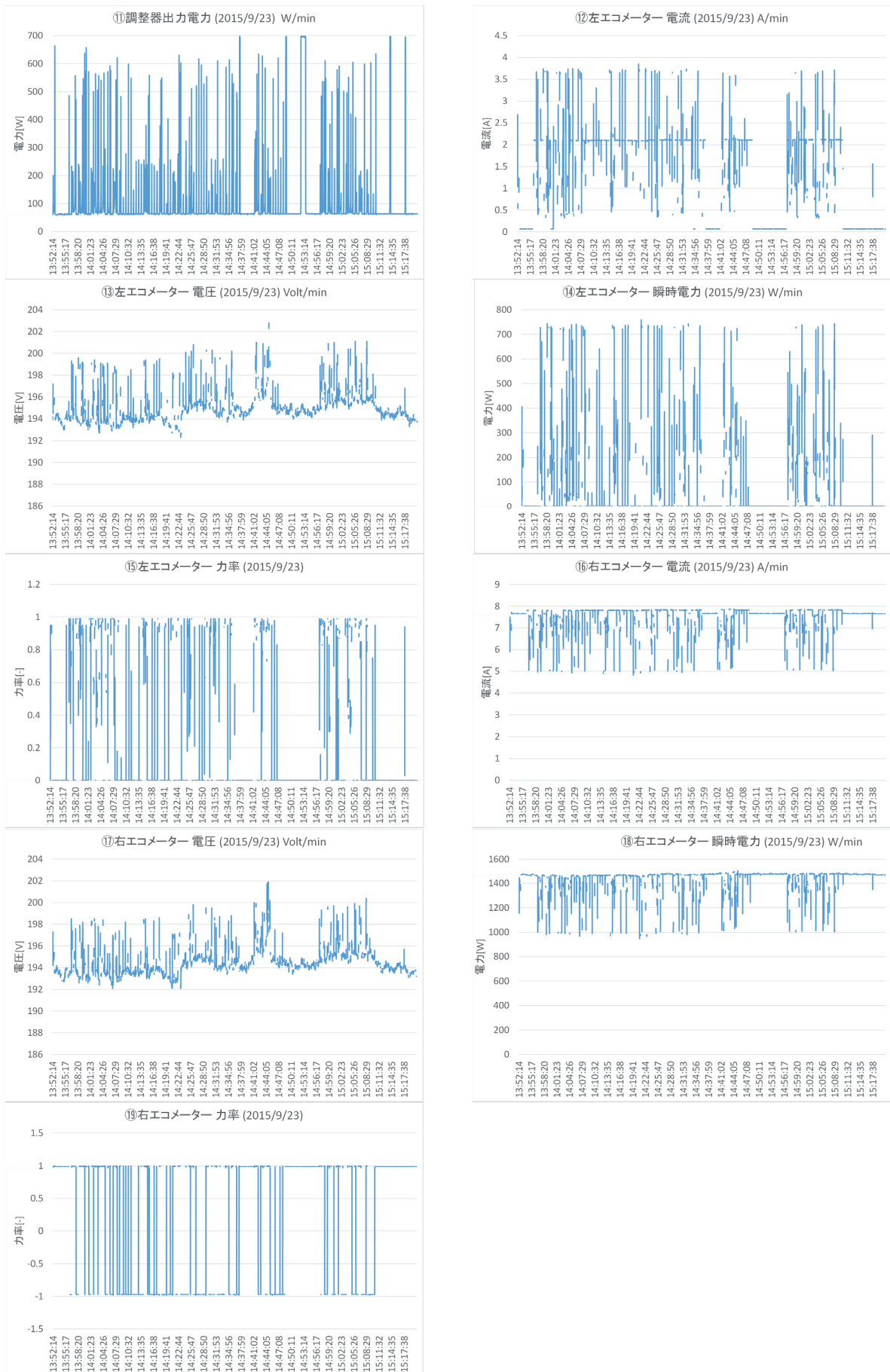


図 3-1 実験データ（風速 6m/min～7m/min 程度、2015/9/23 13:52～15:19 の約 1 時間半）（続き）

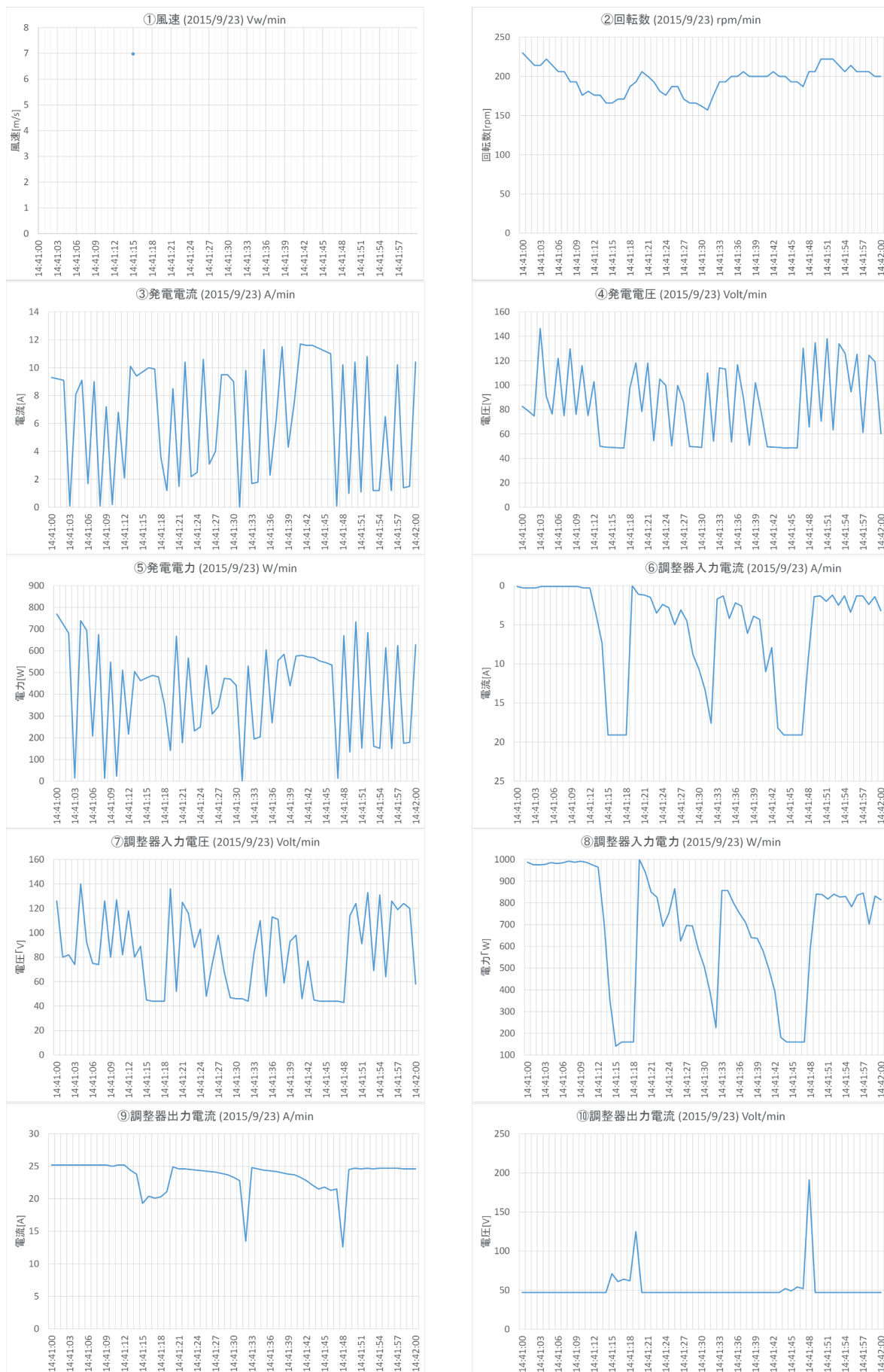


図 3-2 実験データ（風速 6m/min～7m/min 程度、代表的な 1 分間、2015/9/23 14:41～14:42）

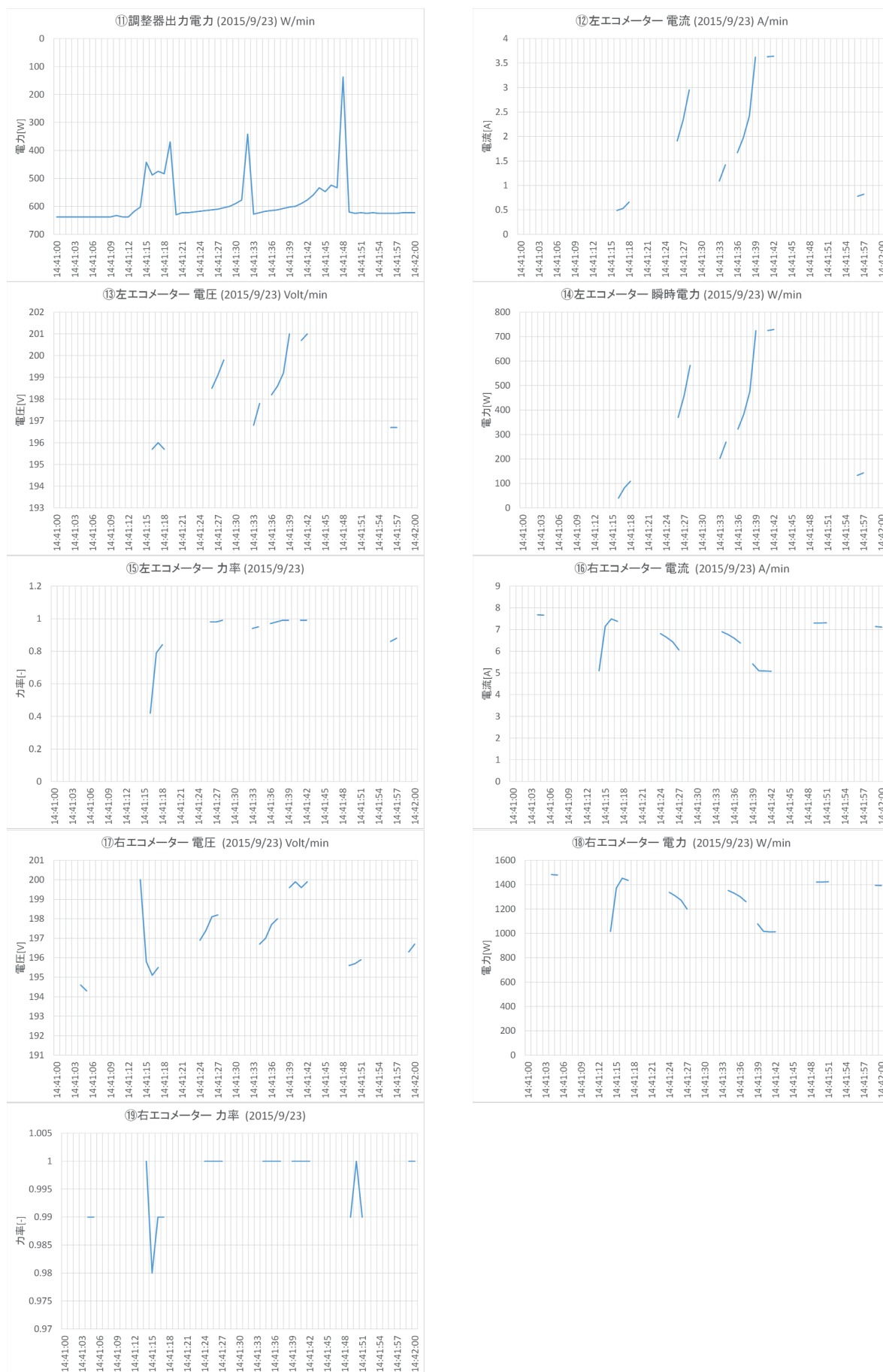


図 3-2 実験データ（風速 6m/min～7m/min 程度、代表的な 1 分間、2015/9/23 14:41～14:42）（続き）

表 4-1 実験データ（風速 6m/min～7m/min 程度、代表的な 1 分間、2015/9/23 14:41～14:42）

| 日時 | 入力電 流(A) | 入力電 圧(V) | 入力電 力(W) | 出力電 流(A) | 出力電 圧(V) | 出力電 力(W) | 発電電 流(A) | 発電電 圧(V) | 発電電 力(W) | 回転数 (rpm) | 風速 (m/s) | 瞬時電 力 W(左) | 電流 I(A)(左) | 電圧 V(RS)[V(左) | 力率 (左) | 瞬時電 力 W(右) | 電流 I(A)(右) | 電圧 V(RS)[V(右) | 力率 (右) |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------------|-------------------|----------------------|-----------|------------------|-------------------|----------------------|-----------|
| 14:41:00 | 0.1 | 126 | 987.4 | 25.2 | 47 | 637.6 | 9.3 | 82.7 | 769.11 | 230 | | | | | | | | | |
| 14:41:01 | 0.3 | 80 | 976 | 25.2 | 47 | 637.6 | 9.2 | 78.9 | 725.88 | 222 | | | | | | 1483 | 7.68 | 194.6 | 0.99 |
| 14:41:02 | 0.3 | 82 | 975.4 | 25.2 | 47 | 637.6 | 9.1 | 74.8 | 680.88 | 214 | | | | | | | | | |
| 14:41:03 | 0.3 | 74 | 977.8 | 25.2 | 47 | 637.6 | 0.1 | 146.4 | 14.64 | 214 | | | | | | | | | |
| 14:41:04 | 0.1 | 140 | 986 | 25.2 | 47 | 637.6 | 8.1 | 91.2 | 738.72 | 222 | | | | | | 1483 | 7.68 | 194.6 | 0.99 |
| 14:41:05 | 0.1 | 92 | 981.6 | 25.2 | 47 | 637.6 | 9.1 | 76.3 | 694.33 | 214 | | | | | | 1479 | 7.66 | 194.3 | 0.99 |
| 14:41:06 | 0.1 | 75 | 985 | 25.2 | 47 | 637.6 | 1.7 | 121.9 | 207.23 | 206 | | | | | | | | | |
| 14:41:07 | 0.1 | 74 | 992.6 | 25.2 | 47 | 637.6 | 9 | 75 | 675 | 206 | | | | | | | | | |
| 14:41:08 | 0.1 | 126 | 987.4 | 25.2 | 47 | 637.6 | 0.1 | 129.7 | 12.97 | 193 | | | | | | | | | |
| 14:41:09 | 0.1 | 80 | 992 | 25.2 | 47 | 637.6 | 7.2 | 76.1 | 547.92 | 193 | | | | | | | | | |
| 14:41:10 | 0.1 | 127 | 987.3 | 25 | 47 | 632.5 | 0.2 | 116 | 23.2 | 176 | | | | | | | | | |
| 14:41:11 | 0.3 | 82 | 975.4 | 25.2 | 47 | 637.6 | 8.8 | 75.1 | 510.68 | 181 | | 500 | 2.88 | 198.5 | 0.94 | | | | |
| 14:41:12 | 0.3 | 118 | 984.6 | 25.2 | 47 | 637.6 | 2.1 | 102.9 | 216.09 | 176 | | | | | | | | | |
| 14:41:13 | 3.6 | 80 | 712 | 24.4 | 47 | 617.3 | 10.1 | 50 | 505 | 176 | | | | | | | | | |
| 14:41:14 | 7.3 | 89 | 350.3 | 23.8 | 47 | 602.1 | 9.4 | 49.2 | 462.48 | 166 | | | | | | 1017 | 5.1 | 200 | 1 |
| 14:41:15 | 19.1 | 45 | 140.5 | 19.3 | 71 | 442.0 | 9.7 | 49 | 475.3 | 166 | 7.0 | | | | | 1373 | 7.15 | 195.8 | 0.98 |
| 14:41:16 | 19.1 | 44 | 159.6 | 20.4 | 61 | 487.6 | 10 | 48.7 | 487 | 171 | | 40 | 0.49 | 195.7 | 0.42 | 1453 | 7.49 | 195.1 | 0.99 |
| 14:41:17 | 19.1 | 44 | 159.6 | 20.1 | 64 | 474.4 | 9.9 | 48.5 | 480.15 | 171 | | 82 | 0.53 | 196 | 0.79 | 1435 | 7.38 | 195.5 | 0.99 |
| 14:41:18 | 19.1 | 44 | 159.6 | 20.3 | 62 | 483.1 | 3.6 | 97.8 | 352.08 | 187 | | 109 | 0.66 | 195.7 | 0.84 | | | | |
| 14:41:19 | 0 | 136 | 1000 | 21.1 | 125 | 369.3 | 1.2 | 118.2 | 141.84 | 193 | | | | | | | | | |
| 14:41:20 | 1.1 | 52 | 942.8 | 24.9 | 47 | 630.0 | 8.5 | 78.5 | 667.25 | 206 | | | | | | | | | |
| 14:41:21 | 1.2 | 125 | 850 | 24.6 | 47 | 622.4 | 1.5 | 118.1 | 177.15 | 200 | | | | | | | | | |
| 14:41:22 | 1.5 | 116 | 826 | 24.6 | 47 | 622.4 | 10.4 | 54.5 | 566.8 | 193 | | | | | | | | | |
| 14:41:23 | 3.5 | 88 | 692 | 24.5 | 47 | 619.9 | 2.2 | 105 | 231 | 181 | | | | | | | | | |
| 14:41:24 | 2.4 | 103 | 752.8 | 24.4 | 47 | 617.3 | 2.5 | 99.8 | 250 | 176 | | | | | | 1337 | 6.81 | 196.9 | 1 |
| 14:41:25 | 2.8 | 48 | 865.6 | 24.3 | 47 | 614.8 | 10.6 | 50.3 | 533 | 187 | | | | | | 1308 | 6.64 | 197.4 | 1 |
| 14:41:26 | 5 | 75 | 625 | 24.2 | 47 | 612.3 | 3.1 | 99.7 | 309 | 187 | | 370 | 1.91 | 198.5 | 0.98 | 1272 | 6.43 | 198.1 | 1 |
| 14:41:27 | 3.1 | 98 | 696.2 | 24.1 | 47 | 609.7 | 4 | 85.8 | 343 | 171 | | 459 | 2.34 | 199.1 | 0.98 | 1200 | 6.06 | 198.2 | 1 |
| 14:41:28 | 4.5 | 68 | 894 | 23.9 | 47 | 604.7 | 9.5 | 49.8 | 473 | 166 | | 582 | 2.95 | 199.8 | 0.99 | | | | |
| 14:41:29 | 8.8 | 47 | 586.4 | 23.7 | 47 | 599.6 | 9.5 | 49.5 | 470 | 166 | | | | | | | | | |
| 14:41:30 | 10.7 | 46 | 507.8 | 23.3 | 47 | 589.5 | 9 | 49 | 441 | 162 | | | | | | | | | |
| 14:41:31 | 13.3 | 46 | 388.2 | 22.8 | 47 | 576.8 | 0 | 109.9 | 0 | 157 | | 137 | 0.79 | 196.7 | 0.87 | | | | |
| 14:41:32 | 17.6 | 44 | 225.6 | 13.5 | 47 | 341.6 | 9.8 | 54.1 | 530 | 176 | | | | | | | | | |
| 14:41:33 | 1.7 | 84 | 857.2 | 24.8 | 47 | 627.4 | 1.7 | 114.1 | 194 | 193 | | 203 | 1.09 | 196.8 | 0.94 | | | | |
| 14:41:34 | 1.3 | 110 | 857 | 24.6 | 47 | 622.4 | 1.8 | 113.1 | 204 | 193 | | 269 | 1.42 | 197.8 | 0.95 | 1352 | 6.9 | 196.7 | 1 |
| 14:41:35 | 4.2 | 48 | 798.4 | 24.4 | 47 | 617.3 | 11.3 | 53.5 | 605 | 200 | | | | | | 1330 | 6.77 | 197 | 1 |
| 14:41:36 | 2.2 | 113 | 751.4 | 24.3 | 47 | 614.8 | 2.3 | 116.7 | 268 | 200 | | 322 | 1.67 | 198.2 | 0.97 | 1302 | 6.6 | 197.7 | 1 |
| 14:41:37 | 2.6 | 111 | 711.4 | 24.2 | 47 | 612.3 | 6.2 | 89.6 | 556 | 206 | | 384 | 1.68 | 198.6 | 0.98 | 1260 | 6.38 | 198 | 1 |
| 14:41:38 | 6.1 | 59 | 640.1 | 24 | 47 | 607.2 | 11.5 | 50.8 | 584 | 200 | | 476 | 2.42 | 199.2 | 0.99 | | | | |
| 14:41:39 | 3.9 | 93 | 637.3 | 23.8 | 47 | 602.1 | 4.3 | 102 | 439 | 200 | | 724 | 3.62 | 201 | 0.99 | 1078 | 5.42 | 199.6 | 1 |
| 14:41:40 | 4.3 | 98 | 578.6 | 23.7 | 47 | 599.6 | 7.5 | 76.8 | 576 | 200 | | | | | | 1017 | 5.1 | 199.9 | 1 |
| 14:41:41 | 11 | 46 | 494 | 23.3 | 47 | 589.5 | 11.7 | 49.5 | 579 | 200 | | 725 | 3.63 | 200.7 | 0.99 | 1012 | 5.09 | 199.6 | 1 |
| 14:41:42 | 7.9 | 77 | 391.7 | 22.8 | 47 | 576.8 | 11.6 | 49.3 | 572 | 206 | | 729 | 3.64 | 201 | 0.99 | 1013 | 5.08 | 199.9 | 1 |
| 14:41:43 | 18.2 | 45 | 181 | 22.1 | 47 | 559.1 | 11.6 | 49 | 568 | 200 | | | | | | | | | |
| 14:41:44 | 19.1 | 44 | 159.6 | 21.5 | 52 | 533.2 | 11.4 | 48.5 | 553 | 200 | | | | | | 1150 | 5.96 | 198.1 | 1 |
| 14:41:45 | 19.1 | 44 | 159.6 | 21.8 | 49 | 547.2 | 11.2 | 48.7 | 545 | 193 | | | | | | | | | |
| 14:41:46 | 19.1 | 44 | 159.6 | 21.3 | 54 | 524.0 | 11 | 48.6 | 535 | 193 | | | | | | | | | |
| 14:41:47 | 19.1 | 44 | 159.6 | 21.5 | 52 | 533.2 | 0.1 | 130.2 | 13 | 187 | | | | | | | | | |
| 14:41:48 | 9.5 | 43 | 591.5 | 12.6 | 191 | 137.3 | 10.2 | 65.7 | 670 | 206 | | | | | | | | | |
| 14:41:49 | 1.4 | 114 | 840.4 | 24.5 | 47 | 619.9 | 1 | 134.7 | 135 | 206 | | | | | | 1421 | 7.3 | 195.6 | 0.99 |
| 14:41:50 | 1.3 | 124 | 838.8 | 24.7 | 47 | 624.9 | 10.4 | 70.5 | 733 | 222 | | | | | | 1422 | 7.3 | 195.7 | 1 |
| 14:41:51 | 2 | 91 | 818 | 24.6 | 47 | 622.4 | 1.1 | 138 | 152 | 222 | | 115 | 0.69 | 196.3 | 0.85 | 1424 | 7.31 | 195.9 | 0.99 |
| 14:41:52 | 1.2 | 133 | 840.4 | 24.7 | 47 | 624.9 | 10.8 | 63.3 | 684 | 222 | | | | | | | | | |
| 14:41:53 | 2.5 | 69 | 827.5 | 24.6 | 47 | 622.4 | 1.2 | 133.8 | 161 | 214 | | | | | | | | | |
| 14:41:54 | 1.3 | 131 | 829.7 | 24.7 | 47 | 624.9 | 1.2 | 126 | 151 | 206 | | | | | | | | | |
| 14:41:55 | 3.4 | 64 | 782.4 | 24.7 | 47 | 624.9 | 6.5 | 94.5 | 614 | 214 | | | | | | | | | |
| 14:41:56 | 1.3 | 126 | 836.2 | 24.7 | 47 | 624.9 | 1.2 | 125.3 | 150 | 206 | | 133 | 0.78 | 196.7 | 0.86 | | | | |
| 14:41:57 | 1.3 | 119 | 845.3 | 24.7 | 47 | 624.9 | 10.2 | 61.2 | 624 | 206 | | 143 | 0.82 | 196.7 | 0.88 | | | | |
| 14:41:58 | 2.4 | 124 | 702.4 | 24.6 | 47 | 622.4 | 1.4 | 124.5 | 174 | 206 | | | | | | | | | |
| 14:41:59 | 1.4 | 120 | 832 | 24.6 | 47 | 622.4 | 1.5 | 119.1 | 179 | 200 | | | | | | 1395 | 7.14 | 196.3 | 1 |
| 14:42:00 | 3.2 | 58 | 814.4 | 24.6 | 47 | 622.4 | 10.4 | 60.4 | 628 | 200 | | | | | | 1393 | 7.11 | 196.7 | 1 |

③、④、⑤には発電電流、電圧、電力を示す。前述の回転数が 50 r p m 以下になるところで、電圧が著しく低下している。

⑥、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪には図 3-1 の単線結線図のパワーコンディショナ手前の直流電圧調整器(ニプロン製)の入力側と出力側の直流電流、電圧、電力を示す。

⑫、⑬、⑭、⑮には左エコメータ、すなわち、パワーコンディショナから中部電力側の電路に系統連系される電気の電流、電圧、電力及び力率を示す。エコメータは、1 個のメータで高速スイッチを使って 4 個の値を測定して行く、のでスイッチの切れ目で値は出力値からベースライン値に戻ることが繰返

される。⑭の瞬間値に注目すると、パワーコンディショナから順調に電力が連系されていることが、よく理解できる。

⑯、⑰、⑱、⑲に示す右エコメータの値は、中部電力側電路にパワーコンディショナ出力が系統連系された時の残りの中部電力電路の値を示す。各々の値は、電流、電圧、力率を示す。各々妥当な値が示されている。

4.2. 代表的風速における1秒間隔出力の電流、電圧、電力及び力率を考察し、系統連系される電力と力率(品質)を評価する

これまでの、1分間平均値の電流、電圧、電力及び力率の測定値を考察してきたが、ここでは、1秒間隔出力値を用いて、電流、電圧、電力及び力率の考察する。考察する代表的なデータとしては1秒出力値、60個、すなわち、1分間のみを取り上げる。実験条件は9月23日(中風時)、風速約6m/min~約7m/min程度、を取り上げて考察する(表4-1及び図4-2)。

表4-1には、1分間ぶんの1秒出力値が示されている。表の最上段には、19種類のデータ名が記述されている。

図4-2の19図に及ぶ多数の図には、表3-1に示された数値が図示されている。各図には、①から⑱までの番号がふられているが、これは、表2-2に基づいている。

この場合には、1分間平均風速は、6.97 m/minである。風車回転数は、230(rpm)から低くて157(rpm)を示している。左エコメータの瞬時電力は14:41:11秒で500wを示している。その後40wという値もあるが、14:41:57秒まで電力値は続いている。切り換えスイッチであるエコメータで測定しているので値のとぎれが見られるが、順調に継続的に連系運転されている。電力の品質を判断する、力率(左)の値も、一つだけ0.42という値が見られるが、ほぼ全て0.8以上を示し、良質と判断される。

5. 結論

2章には、津市木造町名古屋産業大学風車実験室から尾張旭市名古屋産業大学キャンパスの研究室までネットワークシステムを構成して、データを伝送する方法を開発し、結果を明らかにしている。

3章には系統連系模擬実験を成功させるために種々の測定システムを開発したので、その詳細を記述している。系統連系実験は教科書に記述されている一般的な方法はなく、秘密事項の多い世界である。その開発した方法によって、小型風車から発電された電力が中部電力(株)という電力会社の持つ電路に、認められる品質のもとで、流し込まれていくことを証明できる測定システムを開発した。

4章には開発した測定システムを用いて実際に系統連系されていく電気の流れを計測し、それを図として表示している。

その結果、著者らが開発した風車発電システムによって発電した電力は商業的に供給できる品質であることが明らかになった。

風力発電では、風の強弱が興味ある検討対照になる。本研究では、(1)弱風：1分間平均風速が2m/min~4m/min程度(2)中風：5m/min~8m/min程度(3)強風：10m/min~12m/min程度(4)台風：

13m/min~20m/sec程度の4階段に分けて、実際に測定を行った。

本論文では(2)中風：5m/min~8m/min程度の測定結果が述べられている。

本発電システムは、いずれの風でも、十分に作動することが明らかになった。ここで、ことわっておくが20m/secが文章に入っているが、1分間の風には、例えば、15m/minであれば、7m/sec~20m/secの風速が含まれており、その平均値として、15m/minということになる。強風以上ではこういう現象はしばしば生じている。

上述した実験結果に基づいて、ここで使用している風力発電機の発電した電力の流れを要約的に説明すると次のようになる。

- (1) 風車は2m/min~3m/minの弱風で回転し始める。このレベルの風速でも、若干発電するが、パワーコンディショナは作動せず、系統連系はなく、発生した電力は、バッテリーにチャージされる。
- (2) 車回転数が60(rpm)~70(rpm)以上を150秒間以上持続するとパワーコンディショナは作動し、系統連系される。すなわち、風車電力は、中電電路に流れ込んでいく。これを(発電機出力)電圧で見ると、約50~60v以上になり、150秒以上持続すると、系統連系されると言える。約50~60v以下の電圧では、発電電力はバッテリーにチャージされていくが、系統には連系されない。連系されない電力はバッテリーにチャージされていく。
- (3) 発電システム全体の働きは、次のように説明される。風車回転数が60(rpm)~70(rpm)以上になり、150秒以上持続すると、パワーコンディショナのゲートが開き、系統連系されて行く。60(rpm)~70(rpm)以下になるとゲートが閉じて、連系しなくなり、電力はバッテリーにチャージされる。再度風車回転数が60(rpm)~70(rpm)以上になり、150秒以上持続すると、パワーコンディショナのゲートが開き、系統連系が始まる。この動作が常時くり返されて行く。
- (4) 文中に示した図表からは、見せることができないが、強風で運転している場合に、風向きの変化等で突然風車の回転数が低下し、60(rpm)~70(rpm)以下になることがある。その状態で、再度強風に、風車がおおられると風車は急激に回転が上昇する。この場合回転数が350(rpm)を越えると自動的に短路ブレーキ3秒後に、ディスクブレーキの順でブレーキが作動し、風車の回転は停止する。