研究論文

超ワイドレンジ型ハイブリッドコントローラの開発

五十嵐　晃*　牧野　斉**　小林　豊*　大野　宏**　山崎　栄一*
渡邉　諭***　小川　靖夫***　橋本　真樹***

Development of Wide-Range Hybrid Controller

IKARASHI Akira*, MAKINO Hitoshi**, KOBAYASHI Yutaka*, OHNO Hiroshi**, YAMAZAKI Eiichi*,
WATANABE Satoshi***, OGAWA Yasuo*** and HASHIMOTO Masaki***

抄　録

太陽光，風力，小水力などの複数の再生可能エネルギーにより発電した電力をバッテリーに充電し，外部へ出力するハイブリッドコントローラにおいて，より多くのユーザーニーズに対応できるように，入力電圧レンジの拡大を研究の目的として開発を進め，0～400V までの入力が可能なコントローラを開発した。また，ハイブリッドコントローラの性能評価用テストベンチを開発し，電力変換効率計測，EMC 計測を行った。さらにマイクロ風力発電機によりフィールド試験を行い製品化を目指した。

1. 緒　　言

東日本大震災以降，太陽光や風力など再生可能エネルギーの有効利用が注目されている。エフテック（株）ではそれ以前から太陽光発電や風力発電によるエネルギーを電池に充電するハイブリッドコントローラを開発し自社の主要製品としている。太陽光発電はその特性から出力電圧が短時間に大きく変化することは少ないが，風力発電機は出力電圧が回転数によって変動してしまうため，風況によっては出力電圧が短時間に大きく変動してしまうことがある。これまでは風力発電機のメーカーも少なく，発電機の出力電圧が小さいモデルが多かったため，入力電圧レンジは 0～80V 程度で十分であった。しかし大震災以降，風力発電機市場に様々なメーカが参入し，発電機の種類が増加したため，出力電圧が 200～300V など，80V レンジではまかなえないケースが増え商機を逃す結果となっていた。

本研究では，従来からのハイブリッドコントローラをベースに，入力段に電圧変換回路（DCDC コンバータ）を付加することで入力電圧 0～400V までのワイドレンジ化を図ることを目的に開発を行った。

研究開発項目を以下に示す。

①テストベンチの開発
②ハイブリッドコントローラの開発
③性能評価 1（電力変換効率計測）
④性能評価 2（EMC 計測）
⑤フィールド試験

2. テストベンチの開発

2.1 開発コンセプト

風力発電機からの出力は風況によって大きな影響を受けるため，そこからの出力を取り込むハイブリッドコントローラの性能試験は，風車の回転数などを制御しながら行うことが必要である。そこで，風況などの条件に応じて風車へ

*　研究開発センター
**　下越技術支援センター
***　エフテック株式会社

の制動制御なども行うために，インバータにより回転制御ができる誘導モータと風力発電機（3.5kW）をプーリーを介してベルトで接続したテストベンチを考案した。なお，装置を可搬型にするためモータの出力は 1.5kW の小型のものを使用した。

2.2　テストベンチの仕様と外観

開発したテストベンチで可能な試験項目，主な仕様および外観について，それぞれ表 1，図 1 に示す。モータ回転数の制御はインバータ（図 1 左側のボックス）の操作で行うことが可能である。

3.　ハイブリッドコントローラの開発

3.1　開発コンセプト

ハイブリッドコントローラの電圧入力範囲を 400V まで広げることをコンセプトに開発を行った。構成は従来の入力段にチョッパ（交流を直流に変換する回路）および DCDC コンバータ（直流電圧の変換回路）を配置する 2 ユニットとし，ユニットごとの単独使用も可能とした。具体的には，風力発電機の出力電圧範囲が 80V 以内の場合は従来の入力段に直接入力し，それ以上の電圧の場合はチョッパへ入力する回路構成とした。

表 1　主な仕様と試験可能な項目

仕様	インバータ 3.7kW
	モータ 1.5kW
	発電機 3.5kW
	減速比 6:1
試験可能な項目	回転特性
	負荷特性
	低速試験
	高速試験

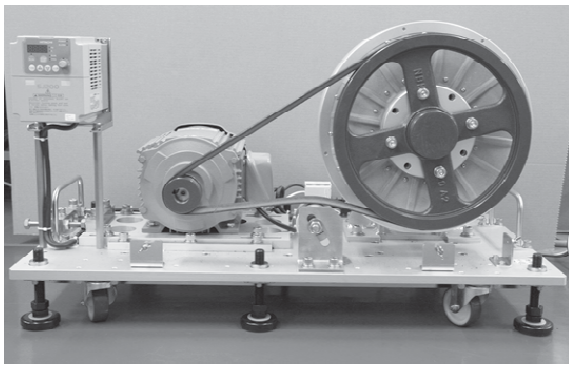

図 1　テストベンチの外観

3.2　図面および外観

開発したハイブリッドコントローラは 2 段構成であり，上段にチョッパおよび DCDC コンバータ，下段にハイブリッドコントローラ本体を配置している。また，表 2 に開発したコントローラの風力発電系の入力仕様を示す。入力電圧範囲は当初の目標どおりに 400V までの対応を達成している。開発したハイブリッドコントローラの外観を図 2 に示す。

図中の上段に入力電圧のワイドレンジ化に対

表 2　開発したコントローラの仕様（抜粋）

	仕様
入力電圧(V)	0～400V
入力電流(A)	0～20A
最大入力電力(W)	500

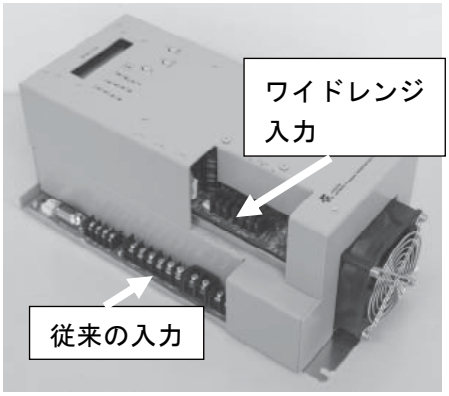

図 2　完成したハイブリッドコントローラ外観

応したチョッパが設置されているため，風力発電機の出力電圧が 80V 以上の場合は，この端子に入力する。一方，80V 以内の場合は，図中の下段にある従来の端子に入力する。この端子はハイブリッドコントローラ本体へ直接入力されるようになっている。これらにより，入力電圧レンジも幅広く，交流，直流のいずれの電力も入力できる仕様となっている。

4.　性能評価 1（電力変換効率計測）

ハイブリッドコントローラの基本的な性能である電力変換効率の計測を行った。ハイブリッドコントローラには入力として太陽光パネルと風力発電機が考えられるが，ここでは電圧の変動の激しい風力発電機からの入力における電力変換効率を計測した。ただし，実際のフィールドにおける計測では定常的な計測ができないため製作したテストベンチを用いて計測した。

4.1　計測装置および計測方法

開発したハイブリッドコントローラは自身でも電圧・電流センサを備えており，それらのデータを液晶表示部に表示できる。その機能を用いて入力電力および出力電力の計測を行った。一方，平成 24 年度のものづくり技術連携活性化事業において導入した精密電力計（YOKOGAWA　WT1800）を用いた計測も行った。精密電力計の外観を図 3 に示す。本機には入力として 6 エレメント（電圧，電流）が装備されているため，風力発電機の出力を 3 相 3 線（3 エレメント）で計測し，負荷として電子負荷（LD1）と鉛電池（BAT）への出力を単相 2 線（2 エレメント）で計測した。計測した項目は表 3 のとおりである。

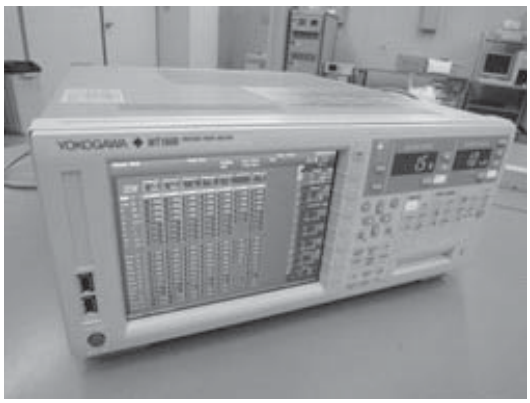

図 3　精密電力計 WT1800 の外観

表 3　計測および計算項目

エレメント	計測項目	電力の計算	効率の計算
1	電子負荷への出力電力（P1）	出力電力（Pout）	
2	鉛電池への出力電力（P2）	= P1+P2	η（%）
3	風力発電機からの電力 U 相（P3）	入力電力（Pin）	= Pout／Pin
4	風力発電機からの電力 V 相（P4）	= P3+P4	× 100
5	風力発電機からの電力 W 相（P5）	（三相平衡と想定）	

4.2　計測結果

4.2.1　ハイブリッドコントローラによる計測結果

ハイブリッドコントローラの読み値による電力変換効率の計測結果グラフを図 4 に示す。風力発電機の回転数がおよそ 80rpm 付近で 85%の最大効率になっている。なお，グラフには示していないが 40rpm 以下では風力発電機からの入力がほぼ 0 となっており，電力変換効率を計算できない状態であった。

4.2.2　精密電力計による計測結果

精密電力計により計測を行った。結果を図 5 に示す。グラフから 85rpm で最大効率 77.4%に達成している。前節と同様，40rpm 以下では風力発電機が電力を発生しないため効率を計算できなかった。また，85rpm 以上はコントローラが動作を中止し測定できなかった。これはハイ

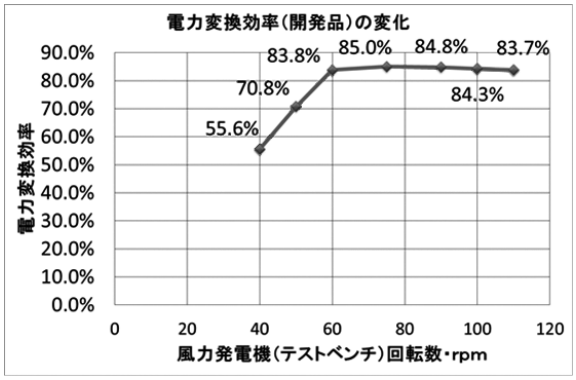

図 4　風力発電機の回転数と電力変換効率の関係（ハイブリッドコントローラによる計測）

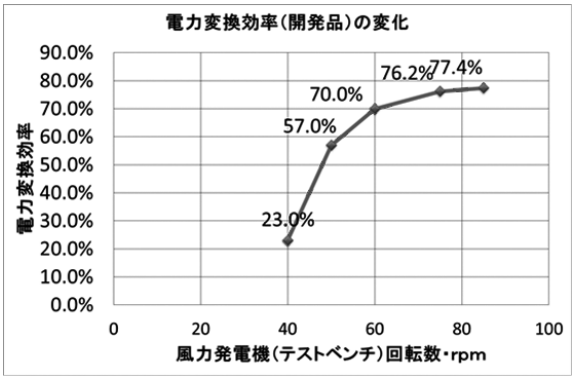

図 5　WT1800 による電力変換効率計測結果

ブリッドコントローラから見た場合，精密電力計が負荷になってしまったことによると考えられるが，この原因についてはさらに検証が必要である。

4.2.3　電力変換効率測定のまとめ

開発したハイブリッドコントローラの性能評価として電力変換効率の計測を行った。結果としては，ハイブリッドコントローラ自身での計測と精密電力計を用いた外部からの計測のいずれにおいても，発電機の回転数に応じて変換効率が変化することを確認した。具体的には 80rpm 付近でもっとも高い効率を得られた。そのため，風力発電機を設置する場所の風況に応じて，その程度の回転数となるように減速機などを選定することで対応可能と考えられる。また，ハイブリッドコントローラ自身と精密電力計での電力変換効率結果に差異が生じた。その原因のひとつとして，精密電力計自身が負荷となってしまっていることが可能性として考えられるが，いずれにしても両者の整合性をとるためにはさらなる検証が必要である。その検証ができれば精密電力計を使用することなくハイブリッドレコーダ単体で電力変換効率の計測が可能となる。

5.　性能評価 2（EMC 計測）

5.1　試験項目

一般に EMC 性能評価試験は EMI 試験と EMS 試験で構成される。本研究では開発品の電磁妨害特性を評価することを目的とするため EMI 試験として，伝導妨害波および放射電界強度測定のみを実施した。なお，試験規格として本開発品が直接該当するものはないが，相当規格として CISPR 11 Ed.5.1 Group 1 Class A を採用した。

5.2　測定系

開発品の概要を表 4 に示す。また，測定系の構成を図 6 に示す。さらに，周辺機器リストを表 5 に示した。A～E は図 6 中の A～E の各機器に対応している。なお，実使用時には C と D の電子負荷を同時に接続可能であるが，D からのノイズの影響が避けられないため，今回の試験では C のみに接続して試験を行った。

表 4　開発品の概要

名称，種類	ハイブリッドコントローラ
型名	F0478-12
電源入力定格	電圧： AC 三相（300Vmax）， DC（400Vmax） 消費電力：（約 1 W）
EUT の製造段階	試作品 Prototype
使用最高周波数	20MHz（MPU クロック周波数 ）
EUT の仕様	・発電機入力電圧範囲：AC300V/DC400V ・発電機入力電流範囲：0～20ADC ・発電機最大入力電力：300W ・太陽電池入力電圧範囲：0～60V ・太陽電池入力電流範囲：0～20A ・LOAD1 最大出力電流：20A ・LOAD2 最大出力電流：10A ・LOAD3 最大出力電流：10A

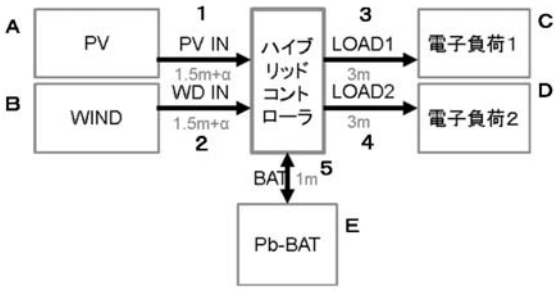

図 6　測定系構成図

表 5　周辺機器リスト

	装置名	型名
A	CVCF　4kVA	ES2000S
B	CVCF　6kVA	ES6000W
C	電子負荷	F0374/400
D	使用せず	
E	鉛ｼｰﾙﾊﾞｯﾃﾘｰ	CF12V70DC

5.3　試験施設

試験を行った電波暗室の概要を表 6 に示す。また，内部の様子を図 7 に示す。

表 6　電波暗室（登録）の概要

設備登録	・VCCI 協会登録、・FCC 登録
測定距離	3m
電波暗室内有効寸法	長さ 9.4 m × 幅 6.3 m × 高さ 5.8 m
ターンテーブル	直径 1.5 m, 耐荷重 500 kg
アンテナ昇降範囲	1 m ～ 4 m
対応周波数	18 GHz 以下

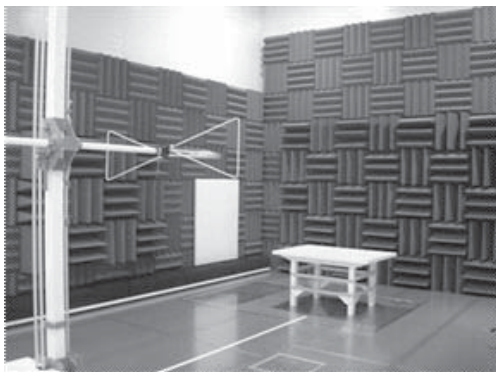

図 7　電波暗室の内部

5.4　試験結果

5.4.1　伝導妨害波測定

①風車を想定した入力ライン（WD IN）が動作している場合で CISPR11 の限度値を超過することがわかった。コントローラのスイッチング周波数に起因すると思われる高調波が全帯域（0.15～30MHz）で発生している（図 8-①）。国内の AM ラジオ（0.5265～1.6065MHz）受信機に影響を及ぼす可能性があるが，ラインフィルタを適用することで 0.5～30 MHz の高調波が改善されることを確認した（図 8-②）。適切なラインフィルタを選択することで全帯域の高調波を低減できるものと思われる。また同周波数帯でフェライトコアは高調波の低減に効果がなかった。

②太陽電池を想定した入力ライン（PV IN）が動作している場合はコントローラが発生する伝導妨害波は観測されなかった。

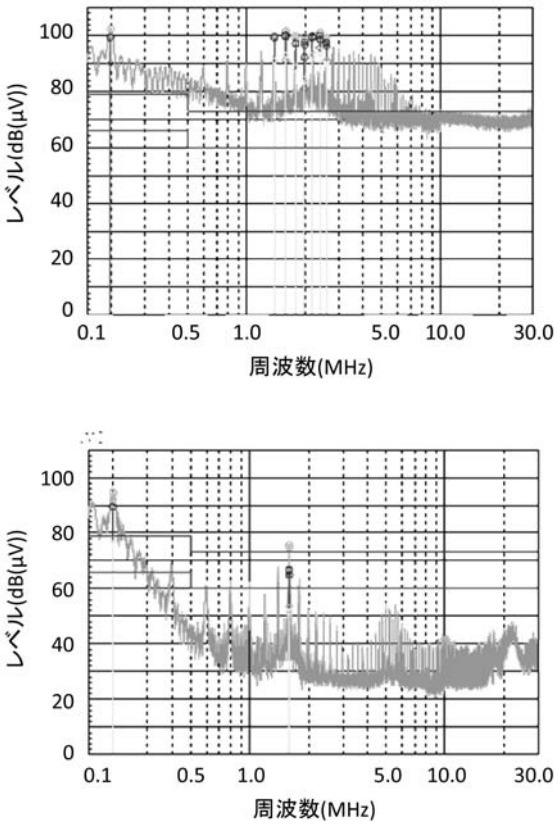

図 8　伝導妨害波結果①（上）、②（下）

③バッテリを想定したライン（BAT）および負荷を想定したライン（LOAD1）についても前項同様に伝導妨害波は観測されなかった。

5.4.2　放射電界測定

①風車を想定した入力ライン（WD IN）が動作している場合で CISPR11 の限度値を超過することがわかった。コントローラのスイッチング周波数に起因すると思われる高調波が 30～50MHz 及び 70～80MHz の帯域で発生している（図 9-①）。30～50 MHz 帯で発生している放射電界はコントローラから直接放射しており，コントローラを適切な筐体に収納することで放射低減が期待できる。70～80 MHz 帯で発生している放射電界はコントローラの入出力線から放射している。国内の FM ラジオ（76～90MHz）受信機に影響を及ぼす可能性があるが，入出力線にフェライトインダクタを配置することで放射低減を確認した（図 9-②）。また，70～80MHz 帯についてはコントローラを設置する際に入出力線などの短距離配線を考慮することでも，放射低減が期待できる（図 9-③）。

②太陽電池を想定した入力ライン（PV IN）が動作している場合ではコントローラが発生する放射電界は観測されなかった。

6. フィールド試験

完成した開発品を用いて実際のフィールドにおいて計測試験を行った。

6.1　設置場所

エフテック（株）に以前から設置してあるマイクロ風力発電機（A-WING 風車: 500W/24V 300W/12V）に接続した。風力発電機の外観を図 10 に示す。設置期間は 4 日間とした。

6.2　計測結果

計測した 4 日間のうち，もっとも出力の取れた瞬間前後 1 分間の計測結果のグラフを図 11 に示す。最高出力 231.7W を記録していること

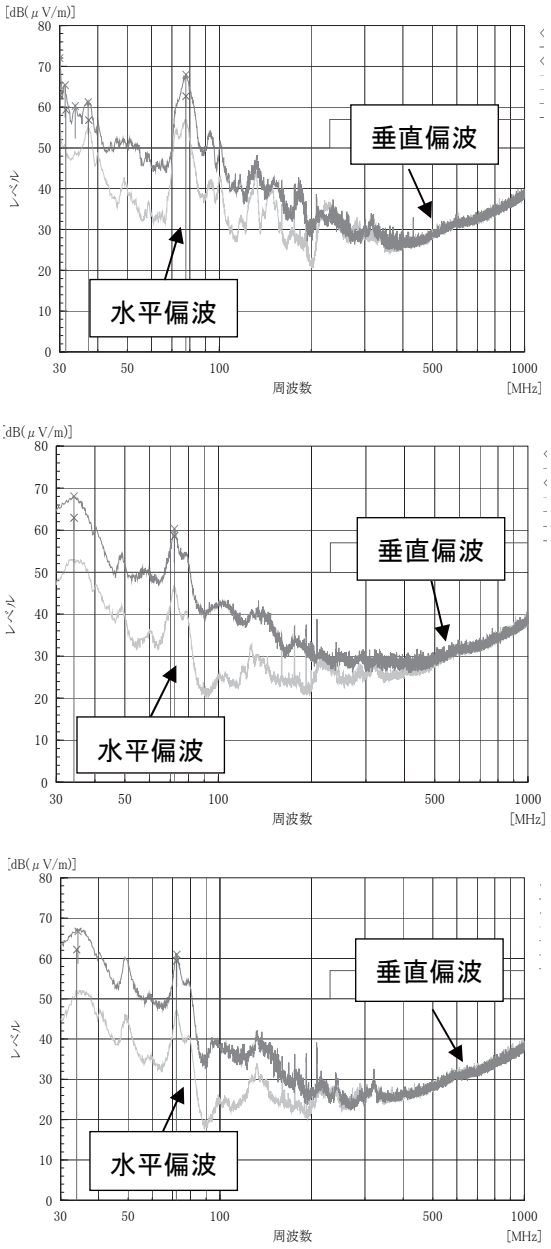

図 9　放射電界測定結果①（上）、②（中）、③（下）

図 10　マイクロ風力発電機の外観

がわかる。また，それを含めた 1 時間の計測データを図 12 に示す。発電電力の時間積分が発電電力量となるが，風力発電の場合，一定出力の状態が継続することがないため，発電は離散的であり，電力量としては稼げないことがよくわかる。これが市街地の風況における風力発電の実態と考えられる。

7. 結　　言

(1) 風力や水力発電の疑似発電機となるインバータ制御のモータを装備したハイブリッドコントローラ用テストベンチを開発した。

(2) 超ワイドレンジ型ハイブリッドコントローラを開発し，入力電圧範囲で 0～400V を実現した。入力段にチョッパを追加し，直流，交流を問わない極性フリー化も実現した。さらに追加したチョッパも含め筐体を一体化した。

(3) ハイブリッドコントローラの性能として，電力変換効率および EMC 特性の評価を行った。電力変換効率は発電機の回転数 80rpm 付近で最大 85%を確認した。EMC 特性は，放射電界強度と伝導妨害波を計測した。

いずれも限度値を越えるノイズを確認したが，対策を取ることで大幅な低減を確認できた。

(4) 社屋軒先に設置したマイクロ風車からの電力を 4 日間計測した結果，最大 231.7W の入力を確認した。

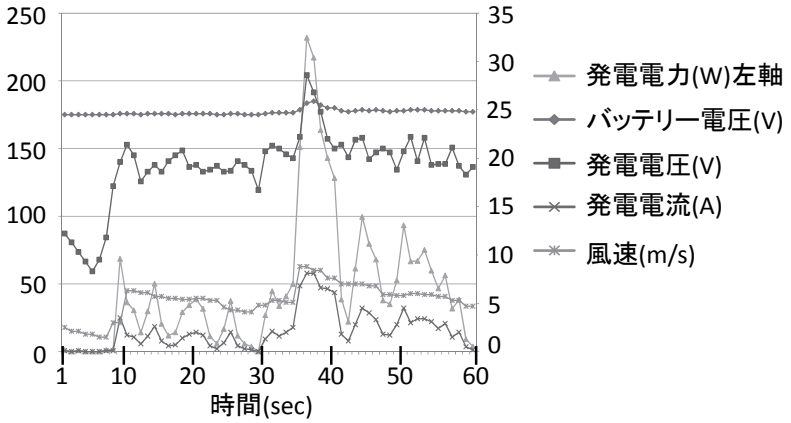

図 11　フィールド計測結果（1 分間）

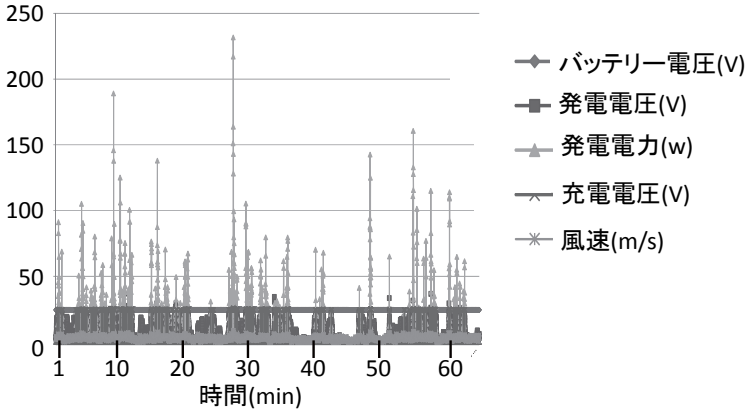

図 12　フィールド計測結果（1 時間）