

# 小型風力発電のための高効率制御回路の開発

－事前に風車の発電特性測定が不要な発電制御回路－

田村陽一\* 加藤直孝\* 上田芳弘\* 笠原竹博\*

本研究では、小型風力発電装置に適した高効率な発電制御回路の開発を目的に、より大きな発電電力を得られる制御特性を自動的に選択する機能を持つ発電制御方法を開発した。本発電制御方法では、事前に風力発電装置の発電制御特性のチューニングを必要とせず、設置後の風力発電装置に接続してしばらく稼働させるだけで、高い発電電力が得られる。小型簡易風洞を用いた実験において、風速を7m/s, 6m/s, 5m/sに変化させても制御特性が最適値から大きく外れることはなく、効率よく安定して発電ができることが確認された。

キーワード：風力発電，発電制御，汎用的，自動チューニング

## Development of a High-efficiency Control Circuit for Compact Wind Power Generators

- A Power Generation Control Circuit that does not require Presetting of the Power Generation Characteristics of Wind Turbines -

Youichi TAMURA, Kato Naotaka, Ueda Yoshihiro, Kasahara Takehiro

In this study, we devised a power control method with the function of automatically selecting the optimal control characteristic for generating the greatest power, for the purpose of developing a high-efficiency power control circuit suitable for compact wind power generators. This power control method does not require the tuning of the power generation control characteristic of wind turbines in advance, and can generate the highest power simply by connecting to wind turbine generators for a period after installation. In our experiments using a small simple wind tunnel and wind speeds of 7m/s, 6m/s, and 5m/s, it was confirmed that the control characteristics did not deviate significantly from the optimum values, and power generation was stable and efficient.

Keywords: wind power generator, power control, versatility, automatic tuning

## 1. 緒言

風力による発電は、風況の変化により発電機の出力電圧が大きく変動する。そのため、バッテリーなど入力に一定の電圧を要求する負荷に直接発電機を接続しても効率の良い発電ができない。これを解決するため、DC-DCコンバータ回路を応用し、電力を維持したまま大きく変動する発電電圧を任意の定電圧に変換する発電制御回路を使用することが一般的となっている。

また、風力発電装置から取り出せる電力は風速の3乗に比例し、風速と発電機の発電電圧はおおよそ比例する。このため、風力発電装置に使われる発電制御回路は、発電電力が発電電圧のおおよそ3乗に比例する制御特性を持つ必要がある<sup>1)</sup>。この制御特性は、風力発電装置固有であるため、発電制御回路は風力発電装置を試作し、その特性を風洞実験などで測定しながら、

特性に適した制御ができるよう専用に設計、開発されている。そこで本研究では、小型風力発電装置を主な対象とし、設置され稼働中の風力発電装置の発電状況を監視しながら適切な制御特性を自動的に選択することで、風力発電装置開発時の風洞実験などによるチューニングを必要とせずに効率の良い発電を可能とする汎用性のある発電制御回路の開発を試みた。

## 2. 制御方法の検討

### 2.1 実験装置

本研究のために試作した小型簡易風洞を図1に示す。風洞装置は送風機、送風機制御用インバータ、整流板、風洞部、風速計、プロベラ型風力発電装置、電子負荷、パソコンによって構成されている。この風洞では、風速計が出力するデータをパソコンに入力し、送風機制御用インバータを介して送風機の回転数を制御することにより、風洞内に任意の風速の風を発生させること

\*電子情報部

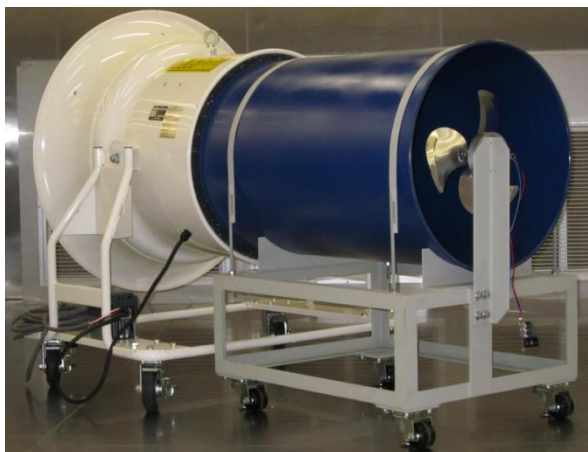


図1 小型簡易風洞

ができる。また、風力発電装置の出力を任意の電圧と電流の組み合わせに設定できる機能を持っている。

## 2. 2 発電制御方法

風力発電では、風が持つエネルギーが風速の3乗に比例すること、風速を受ける発電機の回転数と発電電圧がおおよそ比例することから、発電電力が発電電圧の3乗に比例する曲線に近い特性で入力負荷を調整する機能を持つことが一般的である。この場合、風車の形状や発電機の特性によって比例定数が異なることから、風力発電装置の試作後に風洞施設を使用して、複数の定風速下で電圧と電流の組み合わせを変更しながら風力発電装置の出力を測定し、その測定結果から、発電制御回路の制御特性を決定している。図2に発電電圧と発電電力の関係を示す。

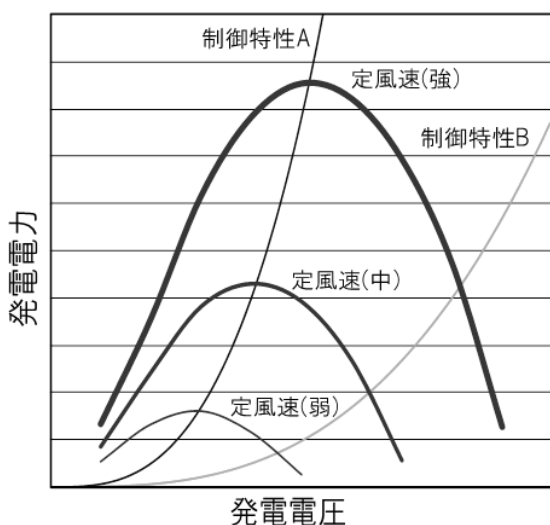


図2 発電特性と制御回路特性

定風速(強)、定風速(中)、定風速(弱)に対しての測定結果が得られる場合、制御特性Aを持つ発電制御回路では、いずれの風速下においても高い発電電力が得られることになる。しかし、制御特性Bを持つ発電制御回路を使用すると発電電力が低下し、風力を効率よく電力に変換できていない。

そこで、あらかじめ発電制御回路に電力が電圧の3乗となる制御特性を、比例定数を変えて多数用意し、風力発電装置の電圧、電流、電力の状態に応じて、最適な制御特性に切り替える方法を考案した。図3に発電特性と制御特性群の関係を示す。この方法では、最も急峻な制御特性を最初に選択し、その状態における発電電力を測定、記憶する。その後、制御特性をなだらかな方へ切り替えて、発電電力を測定し、先ほど記憶した発電電力と比較、発電電力が増加していれば、制御特性を更になだらかな方へ切り替えていく。この際、比較される2つの発電電力の変化が、制御特性の切り替えによるものか、風況変化によるものかを発電電圧により判断している。

これにより、風車を設置した後も、発電稼働中に風況に応じた高い発電電力が得られる制御特性を選択できるため、事前に風洞設備などを使った風力発電装置の出力チューニングが不要となる。また、通常行われている少しずつ電圧を変化させながら最大電力を探索する方法とは異なり、風力発電装置の特性に適した制御特性カーブ群の中で切り替えることから、発電中に風速が変わっても制御特性が最適から大きく外れる

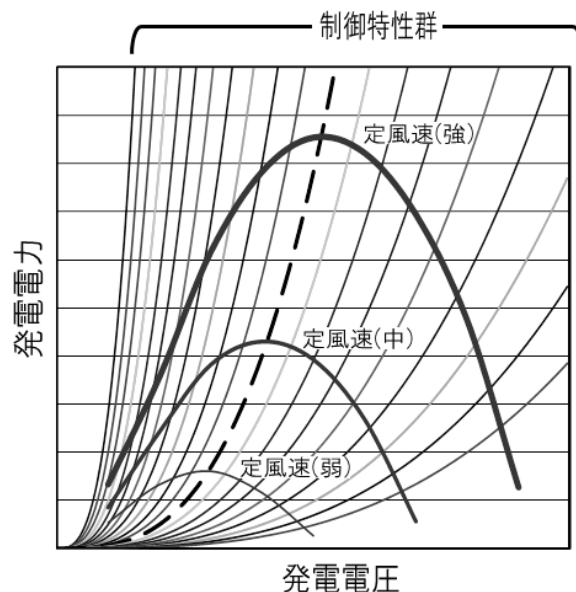


図3 比例定数の異なる多数の制御特性

事はなかった。

## 2. 3 発電制御の論理<sup>2)</sup>

本研究における発電制御では、マイコンで発電電圧、発電電流、発電電力を計測する動作と、計測情報から制御特性を選択する動作、計測電圧と選択した制御特性により発電機から流入する電流をDC-DCコンバータを制御する動作からなる。この中で、計測情報から制御特性を選択していることが本発電制御方法の大きな特長である。図4に制御特性選択プログラムのフローを示す。

制御特性の初期値は、図3の制御特性群のうち最も左に位置する急峻な傾きを描く制御特性、つまり負荷が重い(抵抗値が低い)制御特性が選ばれる。

この時の発電電圧と電力を記憶し、次に制御特性を1段なだらかな特性へ、つまり負荷を軽くする方向へ変更する(図4①)。制御特性を変更したことで発生する一時的な発電電圧、電力の変動が安定するまで待ち、発電電力を計測する。ここで、前段階で記憶した発電電力に対して増加していれば、

(1)制御特性変更による発電電力の増加

(2)風況の変化による発電電力の増加

のどちらかが発生したことになる。

発電電力増加の原因確認のため、制御特性を一時的に一段急峻側に変更する(図4②)。この時点で選ばれている制御特性は前段階で選ばれていた制御特性と同じとなる。制御特性の変更による一時的な発電電圧の変動が安定するまで待ち、前段階の電圧と比較を行なう。この比較で、大きな変化が無い場合は風況が安定しており、制御特性の変更が原因で発電電力が増加したことになる。よって、上記の(1)と判断し、制御特性の一時的な変更を解除した後、図4①へ戻ることで制御特性を1段なだらかに変更することを確定する。

図4②で制御特性を変更した後、前段階の電圧と比較して発電電圧に大きな変化があった場合、上記(2)の風況の変化が原因と判断できる。この場合、制御特性の一時的な変更は解除され、制御を図4③へして制御特性を変更しないことが確定する。

また、図4①において、制御特性が変更されると電力が低下することがある。この場合は、選ばれた制御特性が電力のピーク付近を捉えていることになり、図4③へ制御が移って制御特性を変更しないよう処理される。しかし、電力が低下する状態が長時間継続した

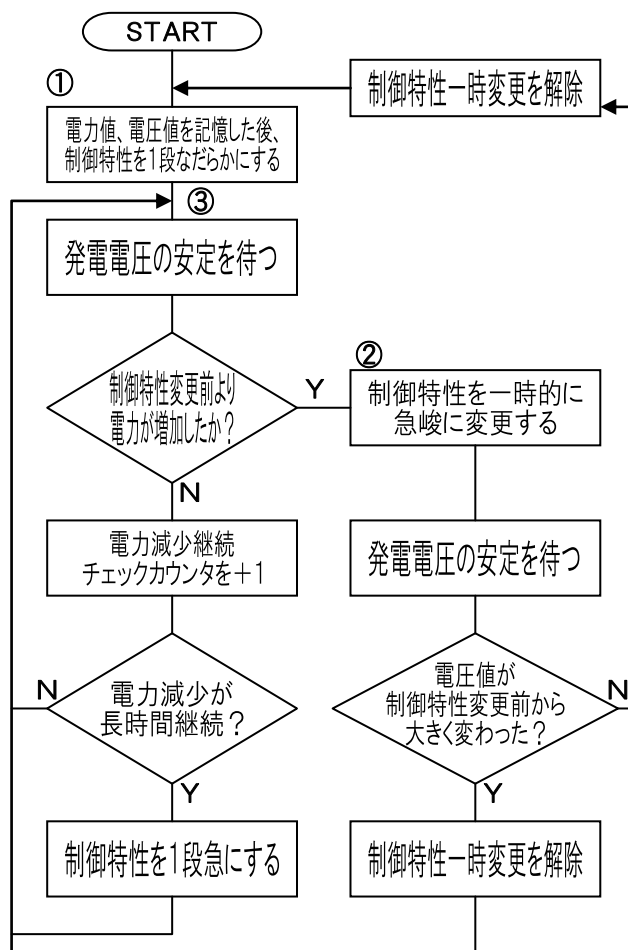


図4 制御特性選択のフローチャート

場合は、何らかの要因で電力ピークを捉える制御特性(図3中の破線)より右側へ制御特性が移動してしまったことになり、制御特性を1段急峻にするよう確定する。以上の動作を繰り返すことで、効率よく電力を発電できる発電制御特性が選択された。

## 3. 発電制御方法の検証

検討した発電制御プログラムを実装したマイコン制御による発電制御回路の試作品を図5に示す。小型簡易風洞の風速を7m/s、6m/s、5m/sと変化させ、試作回路を風力発電装置に接続して制御を最適化した時の発電電圧正規化値と発電電力正規化値の関係を図6に示す。風速7m/sで制御特性0から開始した時の発電電力は180であったが、制御特性が最適化されるに従い、発電電力正規化値は4倍以上に増加していることがわかる。その後、制御特性を切り替えても電力が増加しなくなるため、制御特性9~11を選択しながら安定して発電を行われた。この状態から、風速6m/s、風速

5m/sへ変化させても制御特性9~11の範囲から大きく外れることがないことが確認された。

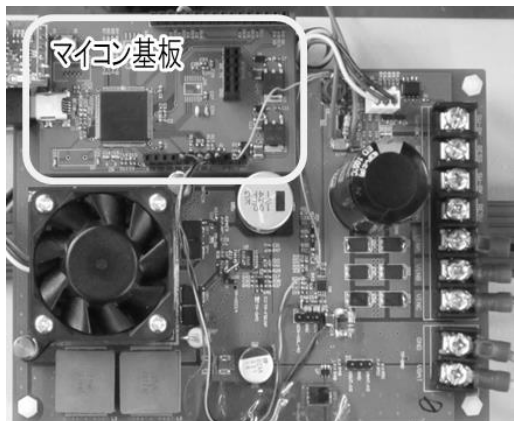


図5 マイコン制御による発電制御回路

#### 4. 結 言

風洞などによる風力発電装置の特性の測定を必要とせず、高い発電電力を得られる発電制御方法を考案し、小型簡易風洞を用いた実験により、次の結論が得

られた。

- (1) 本発電制御方法は、事前に風力発電装置の発電制御特性のチューニングを必要とせず、設置後の風力発電装置に接続してしばらく稼働させるだけで、高い発電電力が得られる。
- (2) 風洞実験では、風速を7m/s、6m/s、5m/sと変化させても制御特性が最適値から大きく外れることはなく、効率よく安定した発電ができる。

今後は、実際の風力発電装置に取り付けて、風力発電装置の発電開始時、ブレーキ動作時、バッテリー満充電時での動作が本発電制御方法に与える影響を検討し、実用化を進めていきたい。

#### 参考文献

- 1) 久保大次郎. マイクロ風力発電機の設計と製作. CQ出版社. 2012, p.2-125.
- 2) 古平晃洋. シリーズ最強! PSoC3ボード+デバッグ・ボード. CQ出版社. 2007, p.142-168.

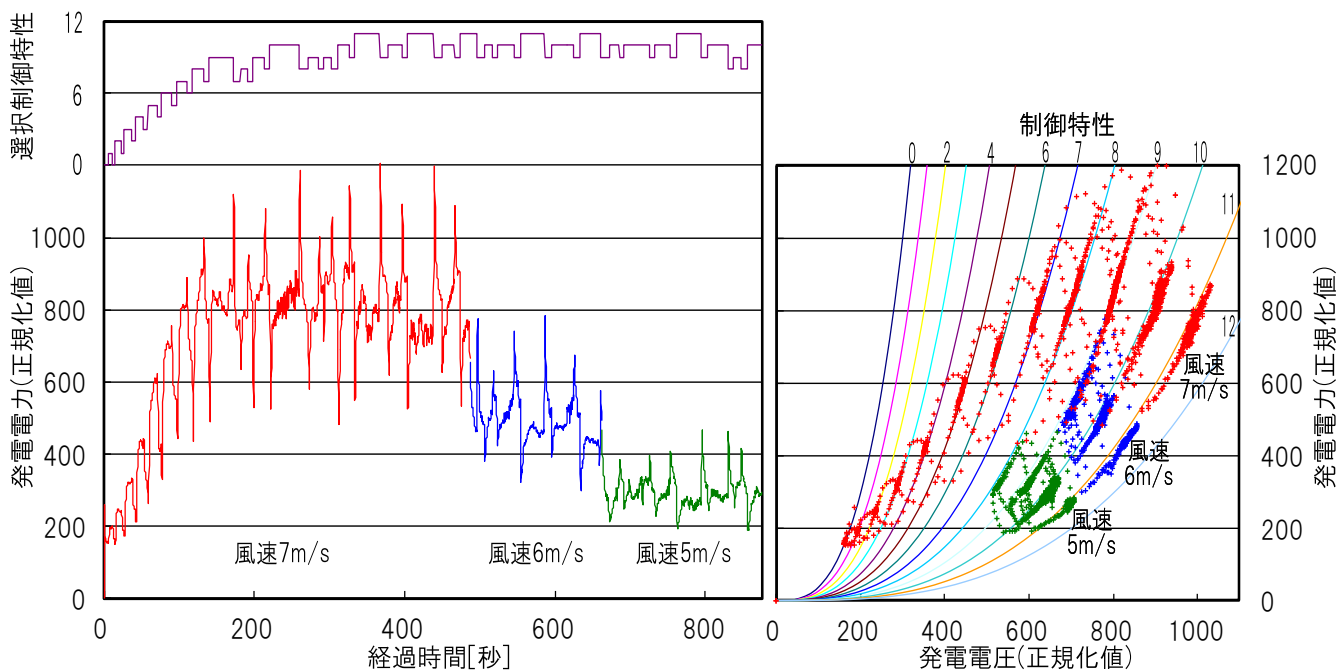


図6 適切な発電制御特性の探索