

# 風力発電システムの最大負荷追従制御についての一検討 Study on Maximum Power Point Tracking Control of Wind Generator System.

神谷高志<sup>†</sup>, 申 真淳<sup>†</sup>, 雪田和人<sup>††</sup>, 後藤泰之<sup>††</sup>, 新宮博康<sup>††</sup>, 一柳勝宏<sup>††</sup>, 日下部哲朗<sup>†††</sup>  
Takashi Kamiya<sup>†</sup>, Masaatsu Shin<sup>†</sup>, Kazuto Yukita<sup>††</sup>, Yasuyuki Goto<sup>††</sup>, Hiroyasu Shingu<sup>††</sup>,  
Katsuhiko Ichiyanagi<sup>††</sup>, Tetsuro Kusakabe<sup>†††</sup>

**Abstract:** This paper studies the maximum power point tracking control system in wind power generation. Especially, the generator used in this paper (ex. AIR405, WS503, WT-600) is a wind power generator that the installation has mainly been made in the individual. To begin with, first the basic characteristic of this generator was taken, and the maximum load tracking point was searched. This characteristics are the case in which the AVR of the generator was considered, and case in which it was not considered. Next, the maximum load tracking using the wind velocity measured actually was examined.

## 1. はじめに

電力システムは、社会生活や産業の高度化、多様化に伴い、安定で信頼性の高い電力の供給がますます要求されている。この系統において、近年、電力市場の規制緩和や自由化に伴い、独立系発電事業者 (Independent Power Producer: IPP) の参入、風力発電ならびに太陽光発電などの分散電源が、系統内に今後増加してくるものと思われる。特に、太陽光発電や風力発電は、地球環境に優しい発電システムあるいは環境調和型発電システムとして注目されている<sup>(1)</sup>。特にこれらの発電システムは、大容量かつ大型のものから小容量の小型のものまで、数多くのものが系統に混在してくるものと思われる。しかしながら、これら発電設備のエネルギー源は、太陽光や風力などの自然現象であるために、発電出力が激しく変動し、安定した電力供給は難しい。また、設備稼働率に関しても、十分な値と考えるににくいものと思われる。従って、これら発電設備を有効的に使用するためには、発電可能となった状況において、出来る限り発電をさせることが高効率運用につながる。現在までに、太陽光発電においては太陽追従方式や最大負荷追従方式などが提案され商品化されている<sup>(2)</sup>。一方、風力発電においては、低風速でも発電するように風レンズ方式<sup>(3)</sup>や集風発電方式<sup>(4)</sup>などが提案されている。さらに、風車のブレード (羽根) の形式や新しい垂直発電方式、可変速装置の導入な

どに関する数多くの手法が提案されている。本論文では、近年、各家庭や工場などで比較的多く導入されているサウスウエスト社のウインドシーカー503やブルーベンWT-600のフィールド試験による風速と発電量の関係を調べた。さらに、多くの企業や自治体などで導入されているサウスウエスト社AIR405を用いて、最大負荷追従方式について基礎的な検討を実施した。このとき、AIR405は発電機本体に自動電圧制御装置 (AVR) を装備しているため、AVRを考慮した場合と考慮しなかった場合について比較検討をした。

## 2. 小型風力発電機によるフィールド試験結果

図1～図3は、平成14年7月7日における小型発電機の1日の発電量と風速を示している。図1は、風速であり図2は、サウスウエスト社ウインドシーカー503<sup>(5)</sup>の出力特性、図3は、ブルーベンWT-600の特性である<sup>(6)</sup>。この日における風速の特性を表1に示す。さらに各発電機の定格を表2および表3に示す。ここで、測定に用いた風速計は超音波風速計であり3次元での観測が可能である。これら小型風車は当大学建物屋上に設置し、地上約50mの位置にある。設置場所の概略図を図4に示す。同図(a)はキャンパスの建物配置概念図である。同図(b)は、このモデルにおいて西から風速3m/sがあるときのシミュレーションである。この図からわかるように、5号館西の屋上において比較的風速が強く、集風効果があることがわかる。従って、風力発電機は5号館西の屋上に設置した。

<sup>†</sup>愛知工業大学大学院電気電子工学専攻 (豊田市)

<sup>††</sup>愛知工業大学工学部電気工学科 (豊田市)

<sup>†††</sup>株式会社ノースパワー (札幌市)

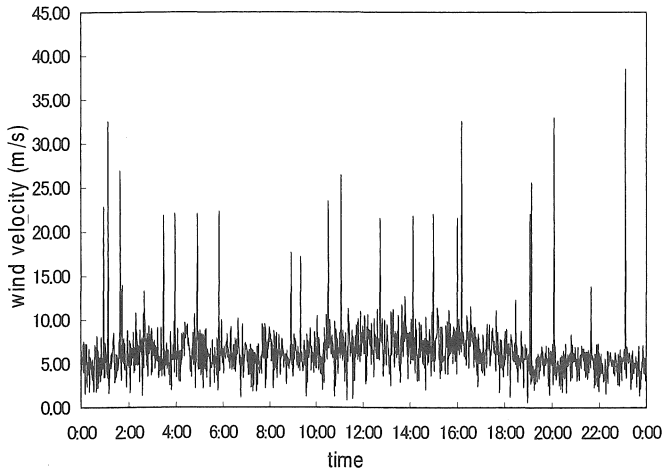


図1. 1日の風速特性

Fig.1 Characteristics of the wind velocity.

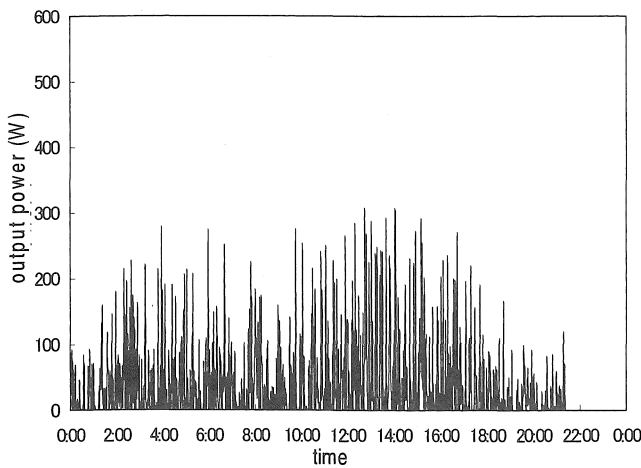


図2. ウインドシーカー503の出力変動

Fig.2 Power variation characteristics of Wind Seeker 503.

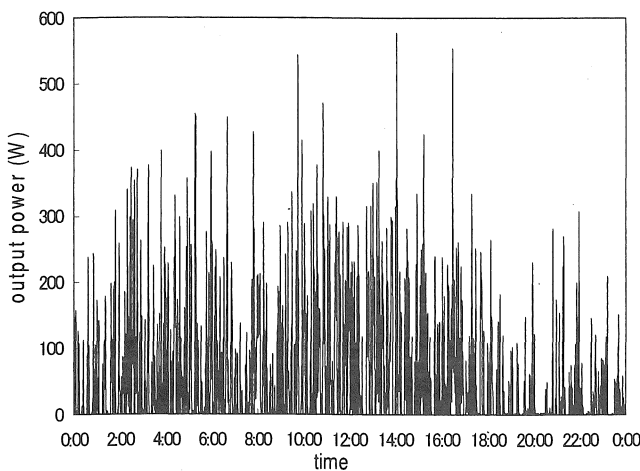


図3. プルーベン WT-600 の出力変動

Fig.3 Power variation characteristics of Proven WT-600.

表1. 平成14年7月7日の風速特性表

Table.1 Wind speed characteristic table on July 7, 2002.

wind speed characteristic	
average	6.272666667
standard deviation	0.078324347
medium value	5.92
mode	5.82
standard error	2.972199982
dispersion	8.833997273
kurtosis	30.85037771
skewness	4.162223068
range	37.77
minimum	0.7
maximum	38.47
sum total	9032.64
number of samples	1440
confidence interval	0.15364232

表2. ウインドシーカー503の定格表

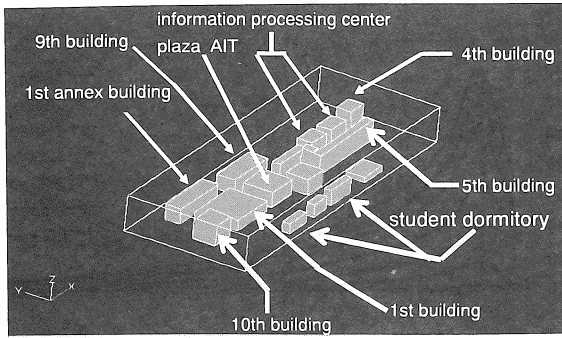
Table1.2 Rating of Wind Seeker 503.

rated power	500W(25m/s)
wind velocity of reloading	24m/s
number of blades	3
weight	10kg
wind velocity of limitation	54m/s
output voltage	12V

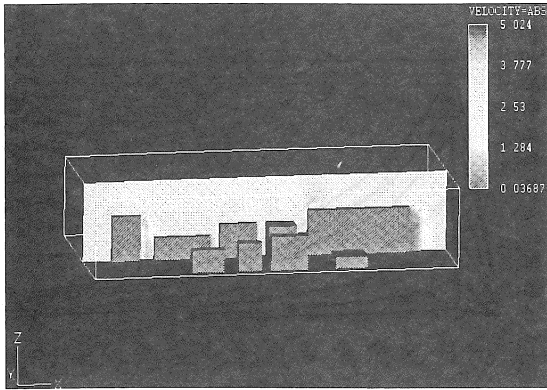
表3. プルーベン WT-600 の定格

Table.3 Rating of WT-600.

rated power	600W(10m/s)
output voltage	AC24V
wind velocity of rated output	10m/s
wind velocity of reloading	25m/s
wind velocity of limitation	70m/s
number of blades	3
diameter of the propeller	2.6m
rotating speed of rated output	500rpm
weight	70kg
mast height	5.5m



(a) キャンパスモデル概念図  
(a) Campus model



(b) 集風効果のシミュレーション

(b) Simulation on the effect of collection wind

図4. 風車の設置場所

Fig.4 Installation site of the windmill.

3. 最大負荷追従方式

小型の太陽光発電や風力発電は、比較的低電圧で高い出力になるように設計されている。従って、接続されている負荷状態により、取り出せる電流が決まってしまうという特徴がある。効率よく発電システムからエネルギーを取り出すには、取り出した電力が最大になるように、接続されている負荷の大きさを調整する必要がある。

このような方式として、太陽光発電や風力発電に最大負荷追従方式の提案がなされている。近年、風力発電システムについては、DC-DCインバータ<sup>(7)</sup>やPWMを用いた方式<sup>(8)</sup>などが報告されている。このとき、最大負荷追従装置は、各発電機特有の性質を考慮するマッピング方式あるいは、どの装置にも対応できる山登り方法<sup>(9)</sup>などが現在提案されている。さら

にこの装置に、風速が定格よりも非常に強い場合は、発電機端を短絡させ、ブレーキをかけるようなシステムの提案がなされているのが現状である<sup>(3)</sup>。従って、小型の太陽電池ならびに風力発電システムに最大負荷追従方式を導入することは、システムを高効率に運用する際に必要であると予想される。

本論文では、現在、多くの設置例がみられるAIR405について、最大負荷追従の基礎的特性を調べた。実験装置の構成を図5に示す。同図に示すように、風力発電機を可変速モータの軸に直結し、さらに可変速モータにインバータを接続して、風力発電機の回転数を変化させるものである。そして、この装置により発電機を回転数および負荷抵抗の変化に対する端子電圧、負荷電流を測定した。図6にAIR405の出力特性を示す。また表4に定格値を示す。測定した結果を図7ならびに図8に示す。図7は、AIR405のAVRを考慮した場合であり、図8はAVRを考慮しなかった場合である。

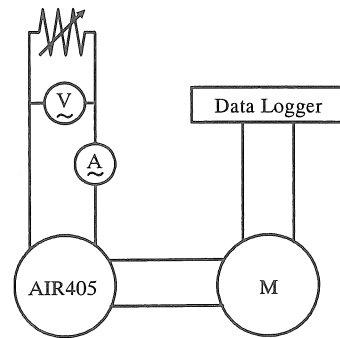


図5. 実験装置図

Fig.5 The test equipment.

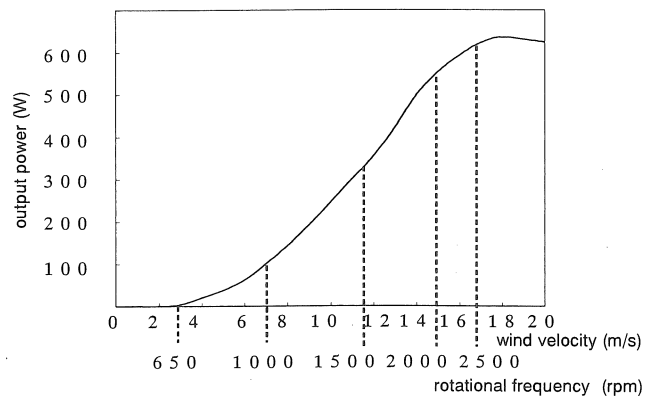


図6. AIR405の出力特性

Fig.6 AIR405 output characteristics.

表4. AIR405の定格値

Table.4 AIR405 rated value.

specification of wind power generator	
diameter of the propeller	1170mm
operating range of spin	1240mm
weight	6kg
overall length	675mm
reloading wind velocity	30m/s
wind velocity of reloading	650rpm
rotating speed of rated output	1650rpm
setting limit of the regulator	DC13.8~17.8V
rated power	400W(25m/s)
maximum output voltage	600W

図7および図8に示す発電機の定格は1,640rpmであるので、最大を1,800rpmとして特性を検討した。ここで、定格の1,640rpmのときの風速は、約14m/sである。図1の平均風速特性から判断すると、約6m/sであるので定格の約50%での運用になるものと思われる。図7に示されるようにAVRの有無に依存せず、出力が最大となる条件として負荷抵抗は0.48~0.83Ωの同一値であり、比較的小さい抵抗値に最大出力値が得られることになる。AIR405の発電機のAVRを考慮しなかった場合の図8では、A相、B相、C相の各相を単相でとりだし、図7と同様の検討を行った。各相ともAVRを考慮した場合と同様に、負荷抵抗が0.43~0.83Ωに最大出力点があることがわかる。従って、この小型風力発電機の場合は、負荷を0.48~0.83Ωあたりになるように制御すると、高効率に運用できるものと思われる。

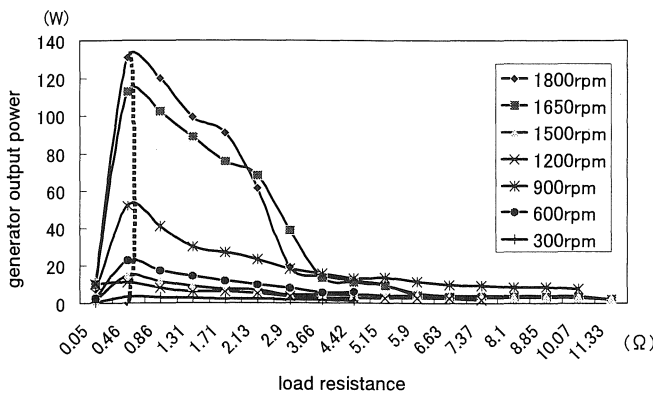
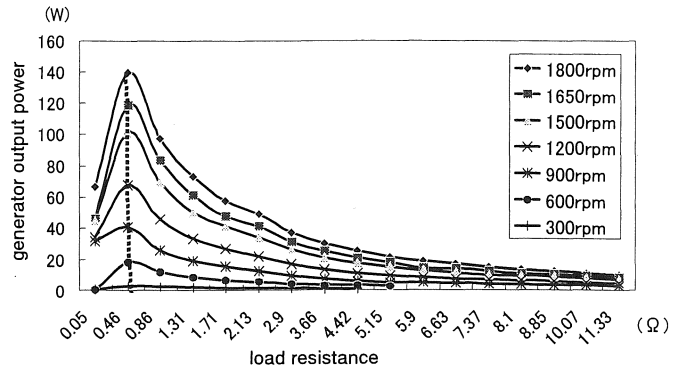


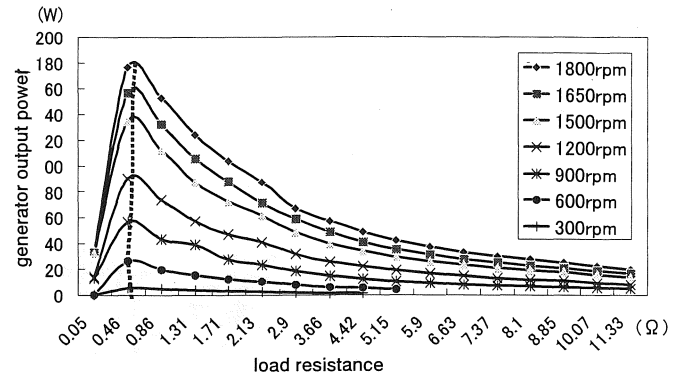
図7. AVRを考慮した場合の出力特性

Fig.7 Characteristics in considering the AVR.



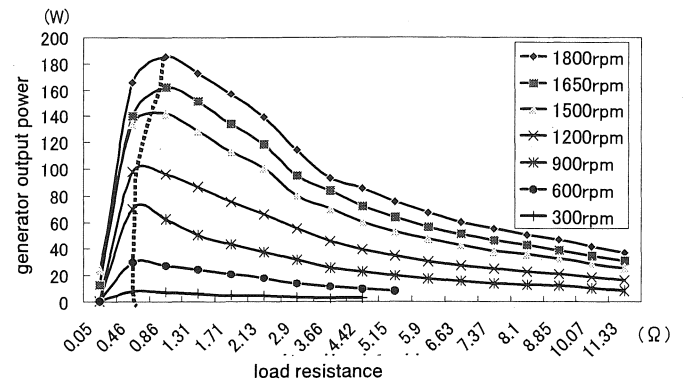
(a) A相における出力特性

(a) Output characteristics of the A phase



(b) B相における出力特性

(b) Output characteristics of the B phase



(c) C相における出力特性

(c) Output characteristics of the C phase

図8. AVRを考慮しなかった場合の出力特性

Fig.8 Characteristics in not considering the AVR.

#### 4. まとめ

本論文では、自然エネルギーによる発電システムである風力発電機に注目し、その高効率運用を目的として最大負荷追従について、小型実システムを用いて検討をした。

本論文で検討した内容は、以下の通りである。

(1) 風速と小型風力発電機の出力特性についての検討

(2) 小型風力発電機の最大負荷追従についての検討

今後は、AVRの特性解析ならびに風車の回転数を検出し、PWMを用いた最大負荷追従をフィールドで実施する予定である。

謝辞: 本研究は、愛知工業大学総合研究所プロジェクト研究の一環として実施しました。関係各位にお礼を申し上げます。

#### 文献

- (1) 資源エネルギー庁公益事業部: 電力構造改革, 通商産業調査会, 2000
- (2) 例えば <http://www.zephyreco.co.jp/>
- (3) <http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/japanese-j.html>
- (4) 申, 雪田, 後藤, 一柳: 高効率風力発電のための集風シミュレーション, 第19回電気設備学会全国大会, F-25, 2001年8月
- (5) <http://www.northpower.co.jp>
- (6) <http://www1.odn.ne.jp/hantec/Wind/Proven.html>
- (7) ゼファー: 小型発電機用, 新コントロールシステムの導入事例および課題, 第23回風力エネルギー利用シンポジウム
- (8) 千住, 浜野, 浦崎, 上里, 舟橋, 藤田: 永久磁石同期発電機による風力発電システムの最大電力点制御法, 平成14年電気学会全国大会[7]p124
- (9) 藤田, 中野: 風力発電システムのシミュレータとその試験結果平成14年電気学会全国大会[7]p114

(受理 平成 15 年 4 月 30 日)