

集風による高効率風力発電の検討

Study on Wind Collector for High-efficient of Wind Power Generator

申 真淳[†], 雪田 和人^{††}, 後藤 泰之^{††}, 一柳 勝宏^{††}
日下部 哲朗^{†††}

Masaatsu Shin, Kazuto Yukita, Yasuyuki Goto, Katsuhiko Ichiyanagi
Tetsuro Kusakabe

Abstract Effective utilization and high-efficient power generation method of natural energy are widely studied for the global environmental protection. Recently, as one of them, the power generation method of environmental harmony type is noticed, and the wind power generation of small size and photovoltaic power generation are introducing widely in each home. However, it must be greatly dependent on the wind which is a natural phenomenon on the installation of the wind power generator. Therefore, enough examination is necessary on the installation point. In this paper, collection wind technique for the purpose of the high-efficient utilization of wind power generator is proposed. The examination is carried out by the computer simulation in respect of the effectiveness of proposal technique. Concretely, it is reported referring to the Aichi Institute of Technology campus model. The computer simulation using finite element method is carried out for selecting the effective point of collection wind.

1. はじめに

地球環境保全のために自然エネルギーの有効利用や高効率な発電方式が盛んに検討されている⁽¹⁾⁽²⁾。その一つとして、環境調和型発電方式が注目され、各家庭にも小型風力発電や太陽光発電の導入が盛んになされつつある⁽³⁾。このような風力発電ならびに太陽光発電システムは、発電のためのエネルギーを自然現象である太陽光ならびに風に依存しているために、出力変動の大きいことが考えられる。そこで、これら発電設備においては、自然エネルギーが得られるときに、高効率に利用することが期待される。自然エネルギーの有効利用を目的として筆者らはこれまでに風力発電に注目した。そこで、風力発電の高効率利用を目的とした集風方式を検討してきた⁽⁴⁾⁽⁵⁾。本報告では、実際に愛知工業大学キャンパス内の風況について有限要素法を用いたシミュレーションを行うことにより集風効果からみた風力発電設備の設置場所の選定を行った。さらに、風況シミュレーション結果とフィールド試験による実測値とを相互に比較することにより、有効性を確認した。また、風力発電機の高効率利用を目的とし、集風装置についても計算機シミュレーションおよび小型発電機を用いた検討を行った。

2. 風力エネルギーの特性

一般に、風力発電における風の保有する理論的エネルギー P_{th} [J] は、風車の受風面積 A [m²]、風速 V [m/s]、空気密度 ρ [kg/m³] とすれば、次式で与えられる⁽⁶⁾。

$$P_{th} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad \dots \dots (1)$$

(1)式より、風の保有する理論的エネルギーは空気の密度および受風面積に比例し、風速の3乗に比例することになる。したがって、建築物などを利用して集風することにより、仮に風速を2倍にすると発電電力は8倍になることが予想される。

3. 風向分布

シミュレーションを実施する前に、風がどの方向から吹くのかということ調べるために各種風況データを観測した。具体的に愛知工業大学5号館屋上を風況調査の対象として気象観測装置により風況を実測した。2001年10月の一ヶ月間における風向分布を調べた結果を図1に示す。

同図は円周方向に風向を示し、半径方向にその頻度を示す。図からもわかるように、この時期においては、北西の風が強く吹いている。

[†] 愛知工業大学大学院電気電子工学専攻 (豊田市)

^{††} 愛知工業大学工学部電気工学科 (豊田市)

^{†††} 株式会社 ノースパワー (札幌市)

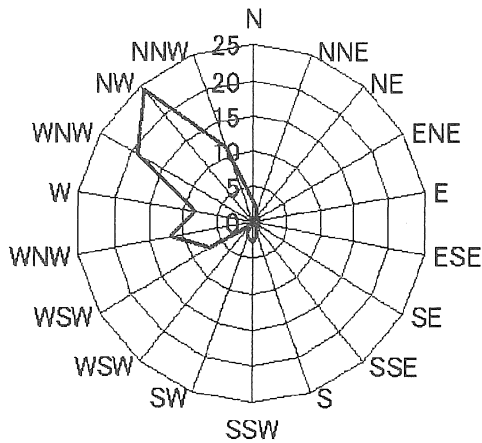


図1 風向分布

4. 愛知工業大学キャンパス内の風況シミュレーションと解析

4・1 シミュレーション条件

本報告では、キャンパス内において、集風効果がある場所を選定するために、有限要素法を用いて、計算機シミュレーションを実施した。図2に本報告で用いたキャンパスモデルを示す。ここで、シミュレーションの仮定としては、年間を通してキャンパス内に吹きつける風については、気象年鑑を参考にして、西からの風で平均3.0m/sであるとした。また各種パラメータは、空気の初期温度14℃、風の初期温度10℃、物質の初期温度17℃、物質の密度 $\rho=1000.0\text{kg/m}^3$ 、物質の熱伝達係数 $H=50.0\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ 、物質の比熱 $C_p=1.0\text{J}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}$ 、物質の熱伝導率 $\lambda=0.1\text{W/m}\cdot\text{K}$ 、空気の粘性係数 $\mu=0.01\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、空気の熱伝導率 $\lambda=0.01\text{W/m}\cdot\text{K}$ 、空気の比熱 $C_p=1.0\text{J/kg}\cdot\text{K}$ 、空気の密度 $\rho=1.142\text{kg/m}^3$ と各々設定した。

4・2 シミュレーション結果

地上付近の風の状態をXY平面で切ったものを図3に示す。同図(a)は比較的風の強い場所(5m/s以上)を○印で示す。図(b)は比較的風の弱い場所(2m/s以下)を○印で示す。図4は、建物屋上付近、地上15mにおける風の強さのシミュレーション結果について、上から見たものである。これらの結果から以下のことがわかる。初速3.0m/sの風るとき最大で風速5.024m/sを示しており約1.67倍に風力が増幅されている地点があることがわかる。逆に風速1m/s未満に減衰してしまう場所も多数あることも認めることができる。地上付近では、建造物の影響を大きく受け風の乱れが多数あることも同図からわかる。一方、屋上付近では乱れもほとんどなく風の流れも落ち着いているのが図4よりわかる。

ここで、風の強いところで風が1.67倍されるのであれ

ば、(1)式より1.67の3乗倍になるので、風の保有するエネルギーを約2.78倍にまで地形効果により増幅されると考えられる。これらの結果より、図4に示す○地点が最適な位置ということがわかる。

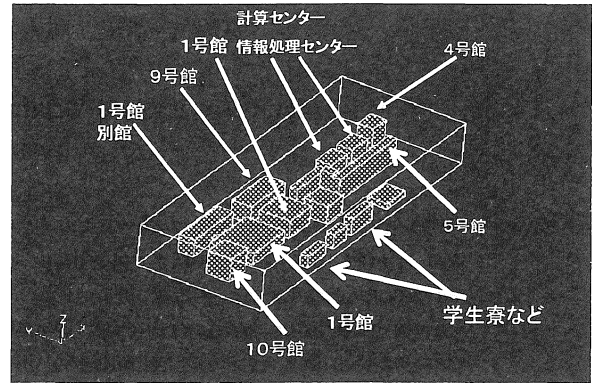
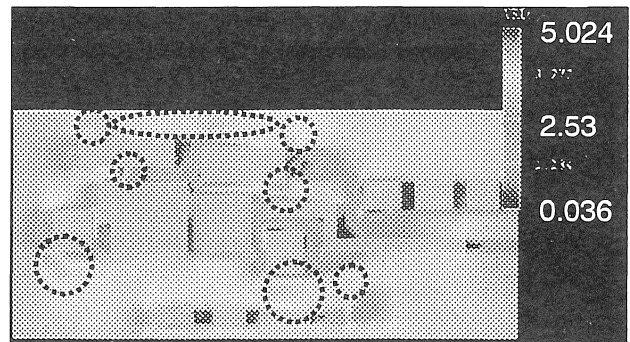
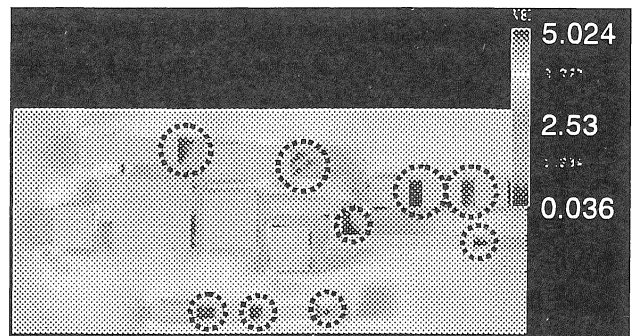


図2 愛知工業大学キャンパス



(a) 風の強い場所

(風速5m/s以上の場所を○印で示す)



(b) 風の弱い場所

(風速2m/s以下の場所を○印で示す)

図3 地上付近の風の状態

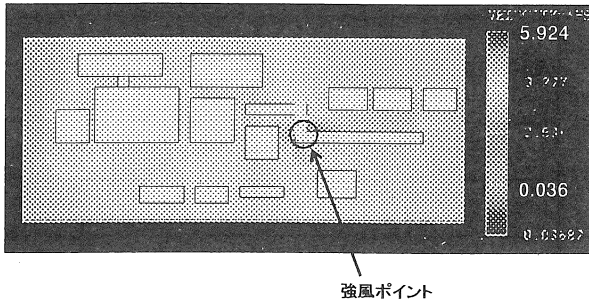


図4 5号館西側屋上付近の風の状態

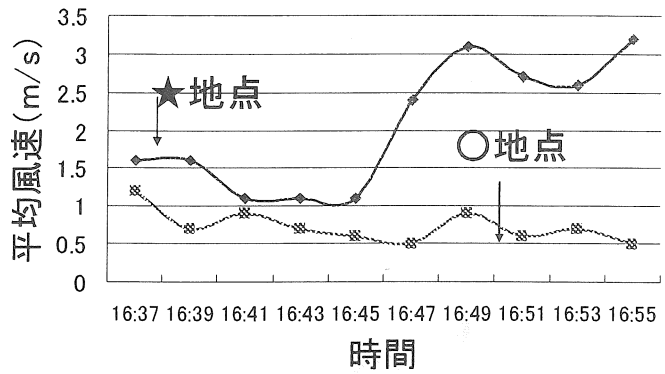


図7 ○-★地点の測定結果

5. キャンパス内におけるフィールド実験

シミュレーションの有効性を図るために風速計ならびに小型風力発電機を用いてフィールド実験を行い比較および検討した。まず、図5に示す3地点において風速の計測を行った。図5に示す○地点と☆地点の平均風速をGPSで同期をとり同時刻に測定した結果を図6に示す。同図に示すようにいずれの時間も☆地点は○地点の1.6~1.8倍の風速を示しており、先の計算機シミュレーションとほぼ同様な結果を得ることができ、建物で集風効果があることがわかる。次に、○地点と★地点の平均風速を測定した。その結果を図7に示す。同図からも確かに集風されていることがわかる。フィールド実験によりシミュレーションの有効性を確認できた。

以上の結果より、キャンパス内における集風効果のある場所は、★地点として選定できる。

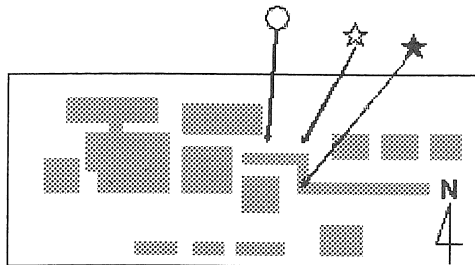


図5 測定地点

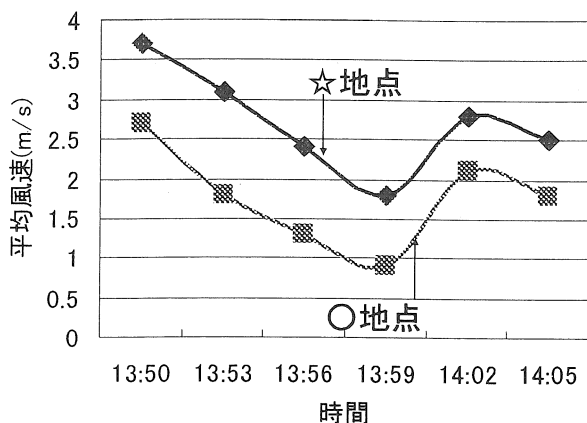


図6 ○-☆地点の測定結果

6. 集風装置を用いたシミュレーションと解析

集風装置として直方体および台形体を想定し、それぞれについての計算機シミュレーションを実施し、各装置の集風効果について解析を行った。

6.1 直方体モデルにおける集風効果

本報告で用いた直方体モデルの外形を図8に示す。シミュレーション条件としては風速を1m/sとし、残りの諸条件は第3章と同一とした。シミュレーション結果を図9に示す。

図9のA地点、B地点を比較した場合、B地点では1(m/s)の風が約1.43(m/s)にまで直方体により集風が行われている。従って、直方体の集風効果により発電量は(1)式より約2.9倍になることが予想される。

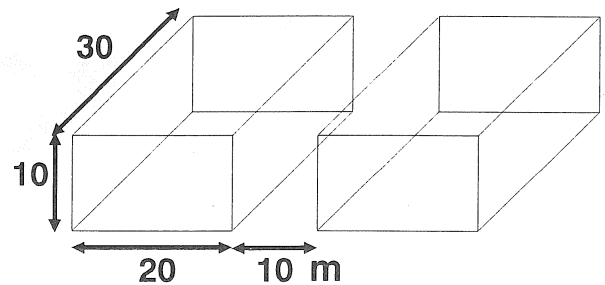


図8 直方体モデル

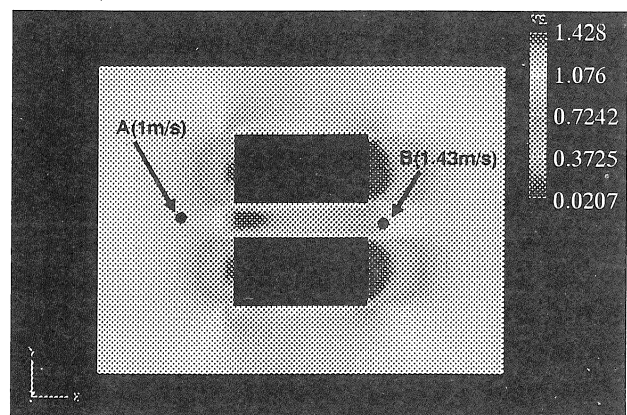


図9 直方体を用いた風速シミュレーション結果

6・2 台形体モデル

次に, 図10に示すような台形体を想定し, 集風シミュレーションを行った。その結果を図11に濃淡表示で示す。このとき, 風速の初速度 6m/s を与えた場合, 最大で 10.92m/s を示し発電効率は約1.8倍の集風効果を示した。

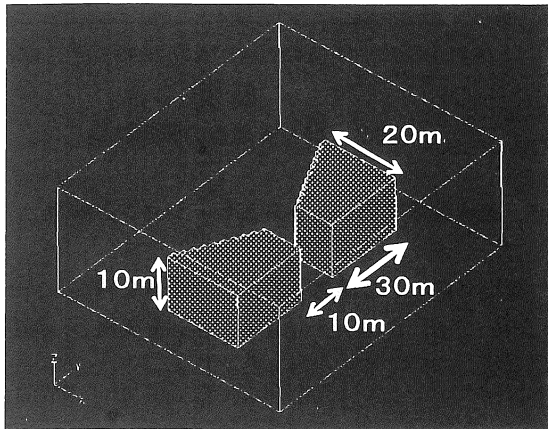


図10 台形体モデル

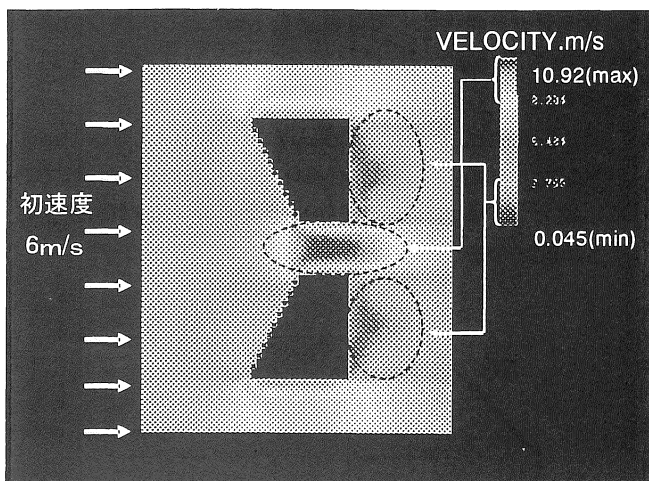


図11 シミュレーション結果

7. シミュレーションと実験との比較

実際に送風機, 直方体モデルならびに小型風力発電機を設置し, 図9のA地点, B地点において風速の測定を行った。その観測データを表1に示す。表1と第6章のシミュレーション結果を比較すると, 両者ともほぼ近い値になった。次に, A地点, B地点に小型風車を設置し, 実験を試みた。小型風車は, Southwest Wind power社のAir405を使用した。この仕様については, 表2に示す。A地点においては, 風車は回転さえしなかったが, B地点に設置した場合は, 回転し, 線間電圧12Vを示した。以上の結果より, 風車が回らないような比較的風の弱い地域においても, 構造物を設置することにより風を集め, 風力発電が可能であることを示すことができた。

表1 A地点とB地点の測定結果

計測回数	平均風速A (m/s)	平均風速B (m/s)	B/A
1回目	2.70	3.60	1.33
2回目	1.80	2.80	1.56
3回目	1.30	2.40	1.85
4回目	1.20	2.00	1.67
5回目	2.10	2.80	1.33
6回目	1.80	2.50	1.39
平均	1.82	2.68	1.48

表2 Air405の仕様

項目	仕様
定格出力 定格風速	400(W) 風速12.5(m/s)時
発電開始風速	風速2.9(m/s)
ブレード直径	1140(mm)
ブレード枚数	3枚
本体重量	約6(kg)
耐風速強度	風速60(m/s)
出力電圧	直流12(V)

8. 風力発電システムの運用

4章のシミュレーション結果により決定した, 図4の○の地点(図12)にPROVEN, WT600を実際に設置した。その仕様を表3に示す。

表3 PROVEN WT600の仕様

項目	仕様
定格出力 定格風速	600(W) 風速10(m/s)時
発電開始風速	風速2.5(m/s)
ブレード直径	2,550(mmφ)
ブレード枚数	3枚
ブレード材質	樹脂製(PP)
本体重量	約65(kg)
耐風速強度	風速70(m/s)以上
出力電圧	直流24(V)

8・1 運用状況

本報告では、運用状況のデータの解析することは行わずに単純に、2001年3月26日のデータの提示に留める。この風力発電システムは、実際は太陽光パネルとのハイブリッドシステムであるが、今回は風力発電にだけ着目する。データを図12に示す。図より、この日は午前10時から午後6時にかけて風車が発電を行っているのが見て取れる。これを一般家庭に導入したときにこの乱れは、大きな出力変動を生むのは必至である。

9. まとめ

自然エネルギーの有効利用を目的として、風を集める集風についてシミュレーション、実験を行い、その有効性と可能性についての検討を行った。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 愛知工業大学キャンパス内における風況を調べるために有限要素法によるシミュレーション実験を行った結果では東西に並ぶ建造物間で風速が増している。
- (2) 直方体、台形体を設置しシミュレーションと風洞実験と比較、検討した結果からも、集風効果が確認できた。

- (3) 小型風力発電機を設置し、発電機出力の実例により、集風の有効性を確かめた。
- (4) 風力発電システムを構築し、その実験を行った。

今後の課題としては、集風装置の作成と設置、風力発電システムの安定化を目的とした制御の研究を進めてゆく。

参考文献

- (1) 清水幸丸：「風力発電技術〔改訂版〕」、パワー社
- (2) 清水幸丸：「自然エネルギー利用学〔改訂版〕」、パワー社
- (3) 篠：新エネルギー・産業技術総合開発機構における風力発電技術開発の現状、第23回風力エネルギーシンポジウム、p1、平成13年11月
- (4) 雪田、水野、後藤、一柳：電気関係学会東海支連大、No. 111、平成12年9月
- (5) 申、雪田、後藤、一柳：高効率の風力発電のための集風シミュレーション、電気設備学会全国大会、F-25、平成13年8月
- (6) P. Gipe, 1994 Wind Energy Come of Age: John Wiley & Sons, Inc.

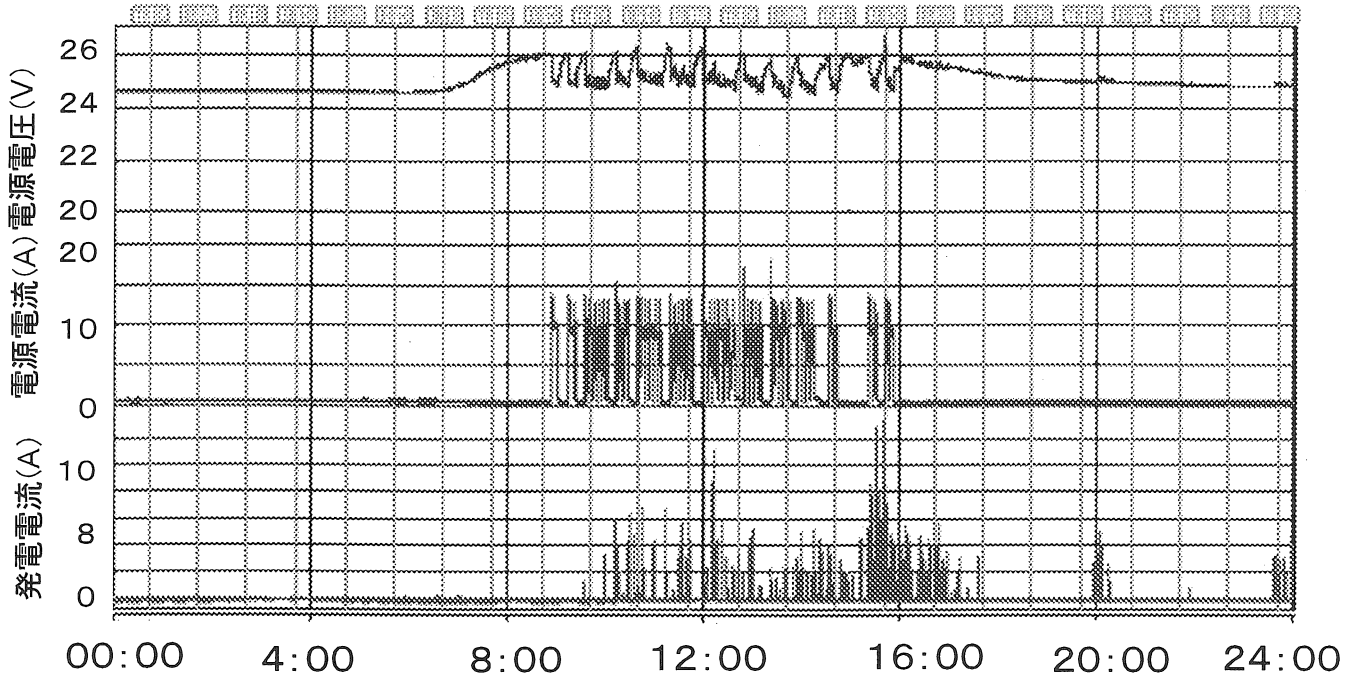


図12 2002年3月26日における風力発電システム運用データ

「高効率小型風力発電機の開発」

○雪田和人, 申真淳, 後藤泰之, 一柳勝宏” 高効率風力発電のための集風シミュレーション” 平成13年電気設備学会全国大会 389 (2001,8)

○森近景子, 神谷高志, 雪田和人, 後藤泰之, 一柳勝宏, 松村年郎 (名古屋大学)” DSP を用いた半導体型限流器の一検討” 平成13年電気学会 静止器研究会資料, SA-01-49, pp25-28 (2001,12)

○申真淳, 雪田和人, 後藤泰之, 一柳勝宏” 集風による高効率風力発電の検討” 平成13年電気関係学会 東海支部連合大会, 106, pp53, (2001,11)

○申真淳, 雪田和人, 後藤泰之, 一柳勝宏” 高効率風力発電のための集風装置の検討” 平成14年電気学会全国大会 7-092 (2002,3)

○文部科学省科学研究費補助金 (奨励(A))

○八木敬祐, 雪田和人, 後藤泰之, 一柳勝宏, 水谷芳史 (東海大学)” 分散型電源を考慮した負荷推定機構

(受理 平成14年4月10日)