

マイクロ風力発電機の大出力化に関する研究

鳥家秀昭* 築澤祐史** 明石紀美*** 湯地敏史****

Study for Increasing the Output Power of a Micro-Wind Generator

Hideaki Toya* Yuji Tsukizawa** Norimi Akashi*** Toshifumi Yuji****

A wind power generator is one of the clean energy sources. Since the output power increases proportionally to the third power of the wind velocity, a diffuser-type wind turbine has been known to increase the output power. Then, a study for increasing the output power of a micro-wind generator was performed. It is shown that novel diffuser structure (a cylindrical shroud) that can provide wind energy to blades effectively. The shroud was designed on the basis of an electronic computer analysis as well as experiment. The generation test with a truck running at a speed of 40-60km/h proves that the generator with shroud can provide higher output power than that without shroud. Based on the analysis, another diffuser structure (a compound shroud) was designed to reduce cost to manufacture the cylindrical shroud. The generation test was done with a test machine and preliminary result was reported.

Keywords: wind generator, diffuser-type wind turbine, shroud, blade

1. まえがき

地球環境保護やエネルギー資源の有効活用の観点から自然エネルギーを利用した発電は積極的に取り組むべき課題である。風力資源の利点は、永久に枯渇することがない点、昼夜を問わず利用可能な点、大気汚染や地球温暖化の心配がない点など多々あるが、特に注目すべきは比較的安価に家用風力発電が可能になる点である。日本では都市部においても常時平均 2~4m/s の風が吹いている所が多く、これを効率的にとらえて電気エネルギーに変換できれば、各家庭が自力で電気を蓄え、生活に利用することができる。一般に風力発電機の出力は風速の 3 乗に比例するため、強風地域に建設して商用電力に利用するために大形化の開発が活発に行われてきた。一方、近年の環境意識の高まりにつれて小形風車の研究も増加し、例えば、九州大学では風の出口にツバ状片を設置したディフューザによる大出力化の研究開発を行っている¹⁾。

小形風車とは発電出力が 20~30kW 以下とされているが、一般家庭用として普及している太陽光発電の発電出力が 2~3kW であることから、これに相当するものをマイクロ風力発電機と言われている。発電出力は風を受けるブレード（羽根）の有効面積にも比例し、現状の発電性能は、風速が 10m/s の条件下でブレード（羽根）の直径が 1.5m の風車の発電出力は高々 1 kW 程度である²⁾。本研究では、ツバの無い中細ディフューザ（以下、シュラウドという）を搭載したマイクロ風力発電機を対象として、平成 15 年度から発電実験を開始し³⁾、平成 16 年度からは ANSYS によるシュラウドの流体解析を実施している⁴⁾。研究の目的はシュラウド内外における風の流路を制御することにより風速増加効果を最大化し、5~10 倍程度の出力増大を実現することである。本報告では、これまでに行った、円筒型シュラウド付試作機の実験、ANSYS による流体解析、これに基づき設計・製作を行った複合型シュラウド付実験機について述べる。

2. 大出力化の原理・方法

大出力化の原理は、Fig.1 に示すようにプロペラ風車の周りを断面積が後方にゆくにしたがって拡大する円筒形の囲いで覆い、この拡散筒(ディフューザ)

原稿受付 平成 18 年 8 月 31 日

*電子制御工学科

**専攻科

***電子制御工学科卒業生(現、旭化成(株))

****広島商船高専

3. 実験及び結果

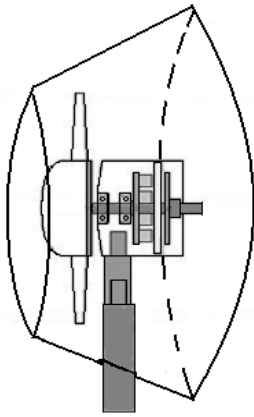


Fig.1. Diffuser envelope

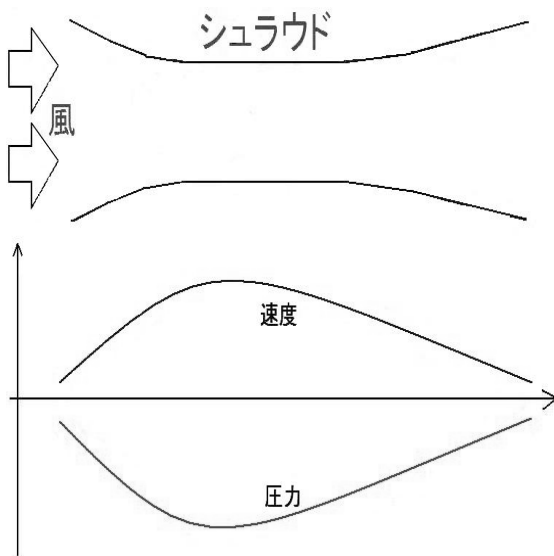


Fig.2 Distribution of wind velocity and pressure in a diffuser envelope

の作用によりシュラウド内外において圧力差を発生させて内部の風速を増大するものである。この方法は比較的簡単であり、また発電機を保護することにもなり、性能向上ばかりでなく安全性の確保の観点からも有効である²⁾。風速が増大する原理は、Fig.2の模式図に示すように、ベルヌーイの定理によりシュラウド内部を風が通過する際に断面積が最小になる領域では風速が最大で逆に圧力は最小になり、断面積と速度は反比例するという関係がある⁵⁾。

従って、風速が最大になる部分に風車のブレード（羽根）を設置することによりシュラウドのない場合に比べてブレードを高速で回転できる。前述したように風力発電機の発電出力は風速の3乗に比例して増大することから、発電出力の大出力化が可能である。

3. 1 実験装置と実験方法

実験に使用した円筒型シュラウド付実験機と実験方法について述べる。Fig.3に円筒型シュラウド付実験機の横断面図を示し、Fig.4(a), (b)に実験装置の配線図を示す。実験は風力発電機のみの場合と、風力発電機に円筒型シュラウドを設置した場合について、各々、別々にトラックに積載して走行し、トラックの走行速度が一定値になった時のブレードの回転数

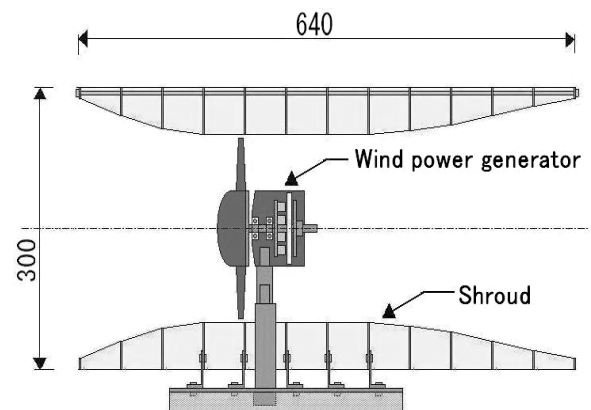


Fig.3 Cross-sectional drawing of a wind generator with a cylindrical shroud

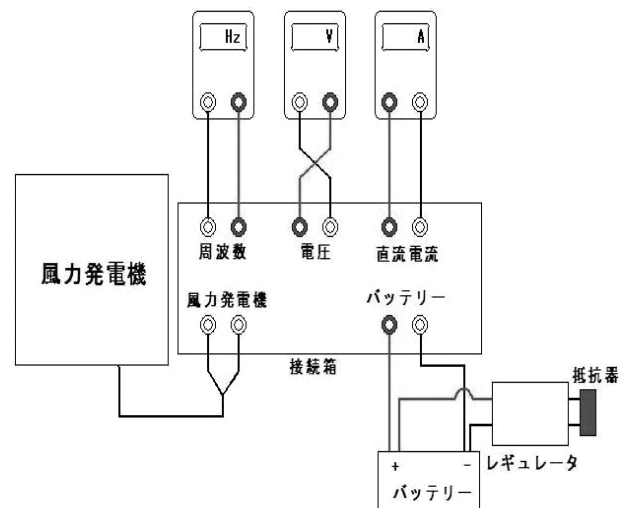


Fig.4(a) Experimental apparatus

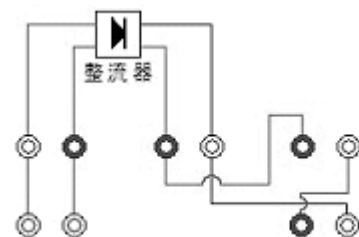


Fig.4(b) Distribution in the connection box

と発電機の電圧・電流をデジタルマルチメータで測定し、これらの指示値をデジカメに記録した。発電機の出力は交流であるが、今回の実験では整流器で直流に変換してバッテリー（12V/25Ah）に充電した。別途、抵抗負荷（2Ω）の場合の実験データも収集した。以上の測定データから、発電出力と走行速度の関係を求め、シュラウドの有無における発電出力を比較することによりシュラウドの効果を検討した。

3. 2 実験結果

円筒型シュラウド付実験機の実験結果を Fig.5～Fig.7 に示す。Fig.5 はシュラウドの有無における発電出力と車速の関係を示す。シュラウド無の場合は車速が 40km/h の時はほとんど発電しないが、車速が速くなるにつれて発電出力が増大し、65km/h の時に最大 2W になった。シュラウド有の場合は、車速が 40km/h の時に約 1W の出力があり、これより高速になるにつれてシュラウド無の場合との差が大きくなり、65km/h の時に最大 7W の発電出力が得られた。

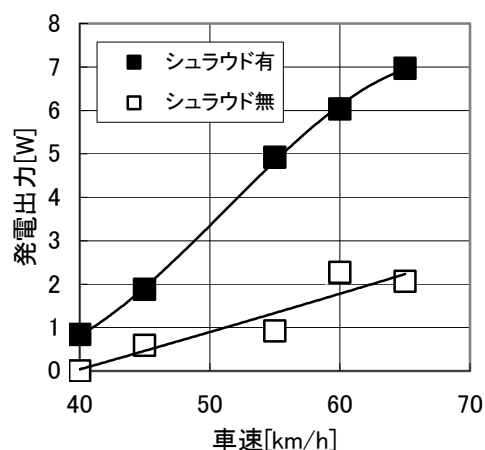


Fig.5 Generator output and truck speed

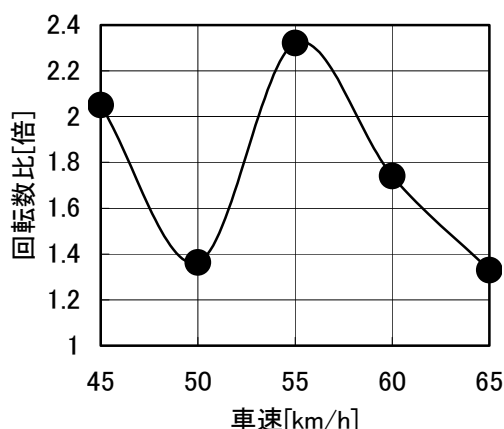


Fig.6 Rotational-number ratio with shroud to without

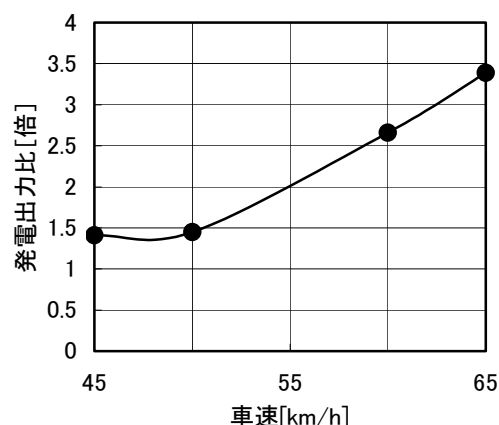


Fig.7 Output ratio with shroud to without shroud and truck speed

Fig.6 は、回転数比と車速の関係を示す。車速を一定に保つことが困難なため測定データのバラツキが大きい、回転数比は 1.4～2.4 倍である。Fig.7 は発電出力比と車速の関係を示す。車速が 50km/h 以上ではシュラウドの効果が顕著で車速の増加につれて出力比が上昇し、65km/h では約 3.5 倍になった。Fig.7 には示していないが、55km/h の時の出力比は約 5 倍に達した。これは Fig.5 に示す 55km/h の時のシュラウド無しの場合の出力が他の車速の時よりも低い（約 1W）ことと対応し、車速を一定に保持できなかったのではないと思われる。

4. シュラウド内外の風速と気圧の解析

本章では、サイバネットシステム（株）製の汎用構造解析プログラム(ANSYS)に付属しているプログラム (FLOTRAN) を使用して、シュラウド内外における流体解析⁶⁾を行った結果を述べる。解析には、ANSYS ED 版 Release 7.0 とテクノセンターの ANSYS Ver.8.0 を用いた。前者のプログラムは解析領域の分割数が高々 1000 と少ないため大まかな解析に使用し、詳細な解析は ANSYS Ver.8.0 で行った。

4. 1 円筒型シュラウド付実験機

円筒型シュラウド付実験機では車速が 65km/h の時の発電出力は最大 7W で、シュラウド無しの場合の発電出力より 3 倍程度増加した。Fig.3 に示すシュラウドの構造を最適化してこの実験結果よりもさらに風速を増大させることを目的に解析を行った。Fig.8 に円筒型シュラウドの全長に対するフラット部の長さの割合と最大風速の関係を示す。解析ではシュラウドの風の入口における風速を 10m/s として、フラット部の長さの割合が 20～35%程度の時、風速

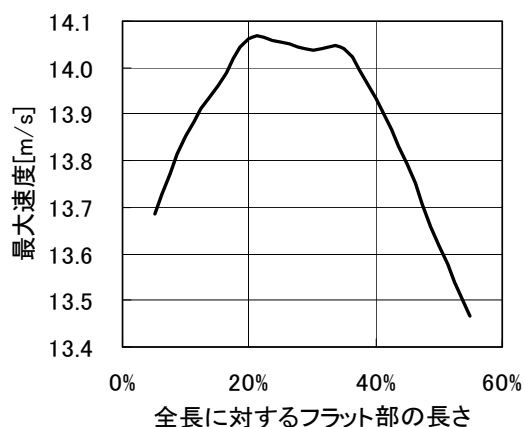


Fig.8 Maximum wind velocity and rate of the flat portion

シュラウドのフラット部は約 30%であり、妥当な設計であると考えられる。

4. 2 内部テーパ型シュラウド付実験機

円筒型シュラウドの改良のためにシュラウドの外側に適当な他の部材を設置することが考えられるが実験機全体の寸法が大きくなり好ましくない。また、シュラウドの内壁にテーパ部を形成するのは構造的に加工し難く製作コストが高い。そこで、シュラウドの内部にテーパ部を形成したシュラウド（内部テーパ型シュラウドという）を考案した。いくつかの内部テーパ型シュラウドについて、構造を変化させて ANSYS ED 版 Release 7.0 で解析した。これより得られた円筒型と内部テーパ型における風速分布を Fig.9 に示す。この解析では、シュラウド外部の風の流れを考慮していないが、内部テーパ型の方がより高い風速が得られると思われる。

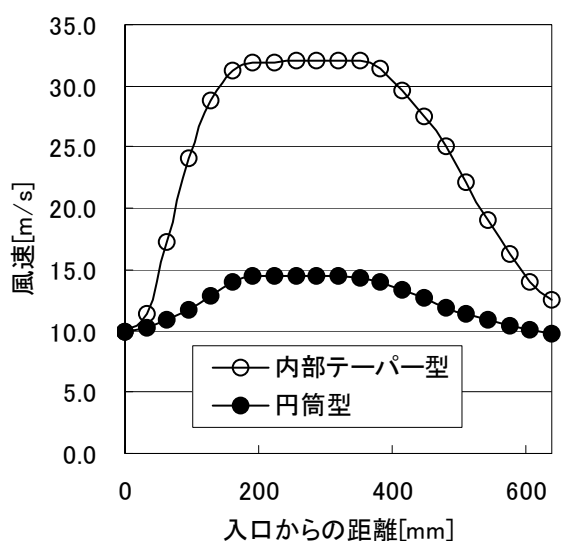


Fig.9 Distribution of the wind velocity for a cylindrical shroud and for an inner-taper shroud

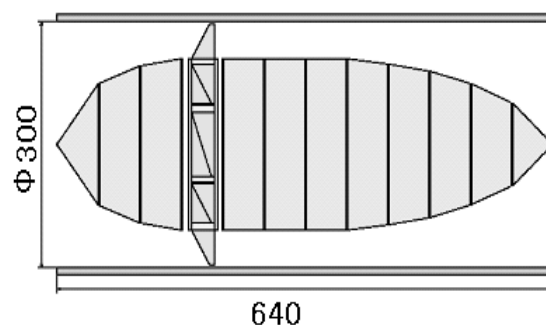


Fig.10 Cross-sectional drawing of a wind generator with an inner-taper shroud

以上の解析結果から Fig. 10 に示すような内部テーパ型シュラウド付実験機を設計した。

4. 3 内部テーパ型シュラウド付実験機の風速分布の再解析

前節で述べた内部テーパ型シュラウドの流体解析 (Fig.9) では、ANSYS ED 版 Release 7.0 を使用してシュラウドの入口から出口までの風の流れを調べた。しかし、実験時の風の流れはこれとは異なりシュラウドの外側円筒 (Φ300) の外側の領域における空気の流れを考慮する必要がある。そこで、解析領域としてシュラウドの風の入口の少し前から出口の少し後までとして ANSYS Ver.8.0 で再解析を行った。Fig.11 に示す再解析の結果から、内部テーパ型シュラウドの外側円筒の外側の方がシュラウド内部より高風速になることがわかる。Fig.12 は 10m/s の風を送った場合のシュラウド内部の風速分布を示す。これらのことから、内部テーパ型シュラウドはシュラウド内部の風速は円筒型と同程度であるが、実験時にシュラウド内に風が入り難いと考えられる。

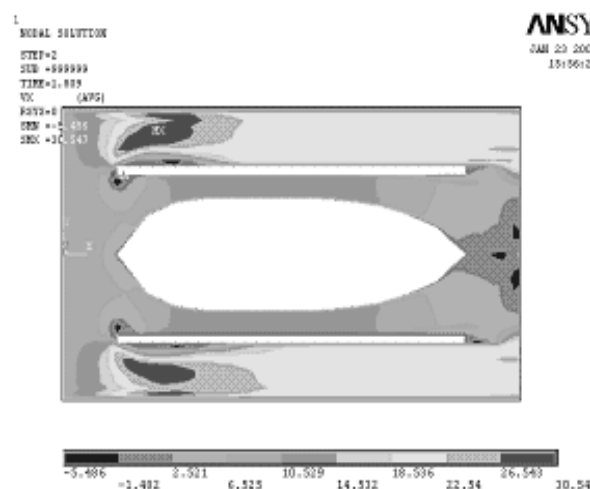


Fig.11 Wind velocity profile of the inner-taper shroud shown in Fig.10

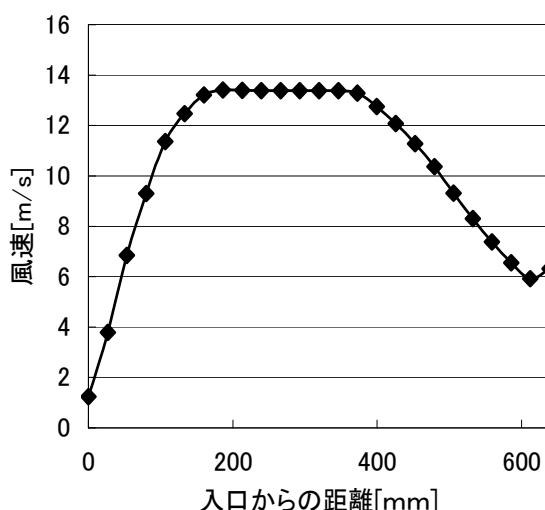


Fig.12 Distribution of the wind velocity in the inner-taper shroud shown in Fig.10

4. 4 複合型シュラウド付実験機

内部テーパ型シュラウドの改善策として、シュラウド内に風を取り込むためのインレット（案内材）を内部テーパ型シュラウドの風の入口に設置して開口面積を広げ、これによりシュラウドの外側に逃げていく風をシュラウド内に集めることを考えた。まず、シュラウドの風の入口に設置するインレットの角度として、 45° と 90° の 2 種類について ANSYS Ver.8.0 で解析を行った。インレットの長さは、シュラウドの円筒の内半径（約 150mm）を基準に 4 分割して、各々の風速分布を計算した。

Fig.13~Fig.15 に示す解析結果から、2 種類ともシュラウド内部に高風速領域ができること、インレットの角度で多少の差はあるがインレットの長さ（開口面積）が増加するにつれて風速が増大することが分かる。また風速比が 2 倍になる時のインレットの長さ

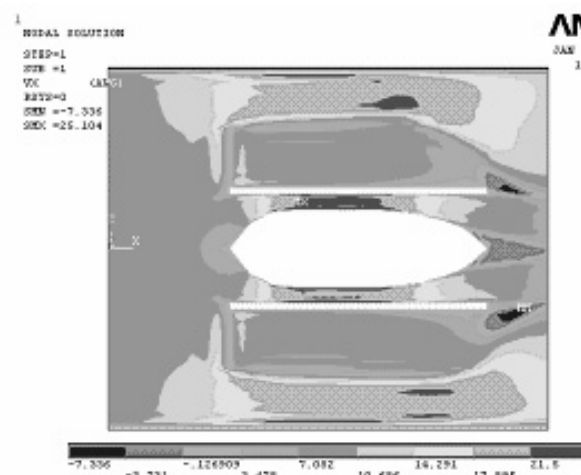


Fig.14 Wind velocity profile of the inner-taper shroud with a 90° inlet

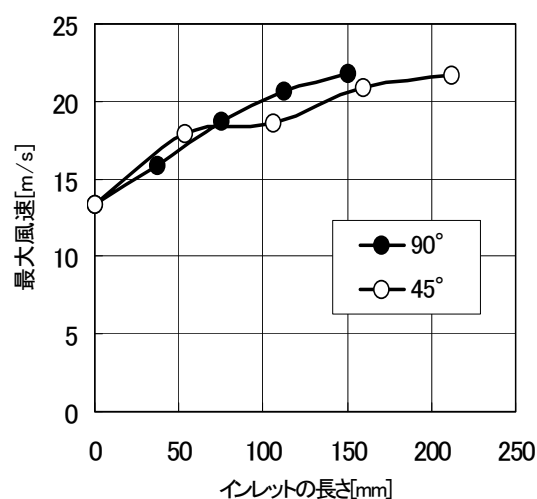


Fig.15 Maximum wind velocity in the inner-taper shroud with inlet and inlet length

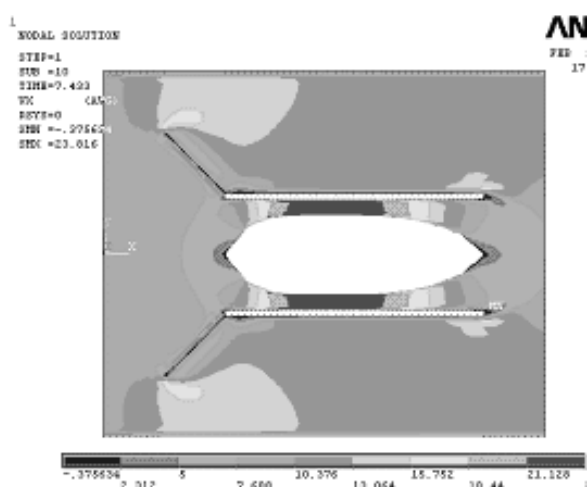


Fig.13 Wind velocity profile of the inner-taper shroud with a 45° inlet

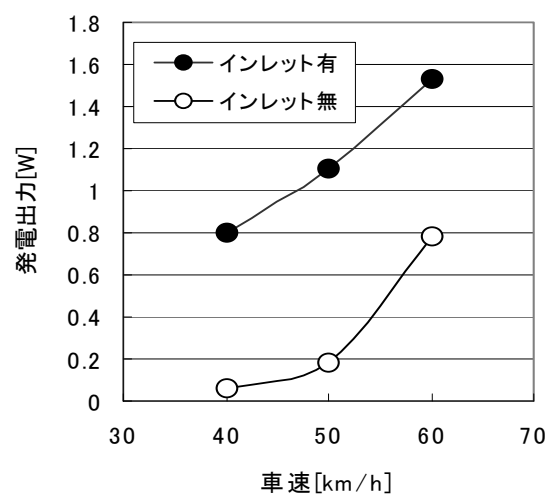


Fig.16 Output power and truck speed for the compound shroud with a 90° inlet

は Fig.15 から約 150mm であり、これより開口面積を求めると 216400mm^2 である。インレットの角度が 45° の方が機械的な強度は大きい製作コストは高い。そこで、長さが約 150mm (外側直径 $\Phi 300\text{mm}$) の 90° インレットを製作し、これを内部テーパ型シュラウドに付加した実験機 (複合型シュラウド付実験機という) を製作して発電実験を行った。Fig.16 に示す実験結果は抵抗負荷 (1000Ω) の場合であるが、インレット有りの場合の発電出力は最大 5 倍程度増大したことが分かる。上記の複合型シュラウド付実験機の発電出力は円筒型シュラウド付実験機 (Fig.5) よりも大幅に低下した。主たる理由は、両者の実験機で発電機部分の構造が異なるためであると考えられる。しかし、ANSYS Ver.8.0 による解析結果で、円筒型 (Fig.8) と複合型 (Fig.15) を比較すると、後者の方が前者より約 1.4 倍高風速領域が出現することが分かる。これより、発電機部分の構造を改善することにより円筒型シュラウド付実験機と同程度の発電出力が得られると推測され、今後、発電出力の改善策を検討する予定である。

5. まとめ

マイクロ風力発電機の大出力化を目的として、新しい円筒型のシュラウドによる発電出力に及ぼす効果の確認実験を行い、目標どおり約 3 倍の出力比を得た。汎用構造解析プログラム (ANSYS) を用いて各種のシュラウド構造について流体解析を実施し、円筒型の風速増大効果を明らかにした。また、この解析に基づいて円筒型シュラウドより製作が容易で低コストの内部テーパ型シュラウドを考案した。

これにインレットを付加した複合型シュラウド付実験機を製作して、インレットの設置効果を実験で確認した。しかし、発電出力は円筒型シュラウド付実験機より低下しており、今後、発電出力の改善策を検討し、その結果を報告したい。

謝 辞

本研究は、平成 15 年度 (財) 八雲環境科学技術振興財団、平成 17 年度 (財) ウエスコ、ならびに平成 14, 16, 17 年度の本校傾斜配分枠研究費の援助により実施した。ここに記して感謝の意を表します。

また、卒業研究において、発電実験や ANSYS による流体解析を行っていただいた、電子制御工学科平成 15 年度卒業生三浦聡氏と平成 16 年度卒業生岡部克也氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 大屋裕二他、第 23 回風力エネルギー利用シンポジウム講演論文集、pp.76-79
- 2) 牛山泉、さわやかエネルギー 風車入門増補版、(三省堂) pp.77-78 (2004)
- 3) 三浦聡、平成 15 年度電子制御工学科卒業論文
- 4) 岡部克也、平成 16 年度電子制御工学科卒業論文
- 5) 例えば、斉藤孟著、基礎機械工学「工業熱力学の基礎」pp.154-165 (サイエンス社)
- 6) CADCAE 研究会編、有限要素法解析ソフト ANSYS 工学解析入門第 2 版、pp.154-165 (理工学社)