

風力発電用風車研究の展望*

日本機械学会論文集(B編)
70巻693号(2004-5)

清水 幸 丸*¹

Review for Recent Wind Power and Wind Turbine R & D

Yukimaru SHIMIZU*²

*² Department of Mechanical Engineering, Mie University, 1515 Kamihama-cho, Tsu-shi, Mie, 514-8507 Japan

Key Words: Horizontal Axis Wind Turbine, Rotor Aerodynamics, Thick Airfoil, Wind Condition on Complex Terrain, Wind Forecast Method

1. 緒 言

最近わが国においても単機出力2000kW{2MW}級の水平軸風車が見られるようになってきた。また、集合形風力発電所2万kW級や大きいところでは、北海道苫前町の5万2800kW総風車本数(600kW×2,1000kW×21,1500kW×5,1650kW×14)42が挙げられる(図1)。これらの風車は、大部分がヨーロッパ製の大型水平軸風車である。

現在世界にはヨーロッパおよび米国を中心に、おおよそ3500万kWの風車が建設され発電運転されている。中でも目立つのがドイツの約1350万kWで、この風力発電所から発電される電力は、全ドイツ消費電力の3%弱に達している。目標は3000万kWとのことであり、着実にこの目標に向かって進んでいる。わが国の目標値は、2010年に300万kWであり、現在この目標に向かって風車建設が進んでいる。全世界の目標値は、グリーンフォース21⁽¹⁾によれば、2030年に全世界消費電力の12%と見積もられている。

このように、大きな期待をもって進められている風力発電の技術を振り返ってみる。図2⁽²⁾には1980年から1996年までの水平軸風車の1年間の単位回転面積(1m²)当たり発電量の比較を示す。1980年当初約500kWh/年であったものが、1996年には1000kWh/年強になっている。すなわち、トータルで1m²当たりの年間発電量が約2倍になったということであ

る。この間風車直径は、1980年当初10~15m、20~50kW程度であったものが1996年には直径が40m~45mで600kWになった。1996年から2004年現在までは、図1のような調査研究結果が見当たらないので紹介できないが、現在は市販品カタログで図3に示すように、直径70m設計出力1500kWから大きいものでは直径120m、4000kWという風車が登場している。1994年ごろに登場した直径30m、400kW風車から、技術革新後の風車といわれている。その内容を少し検討してみよう。

2. 風車の技術革新

風車の技術革新は、多面的に展開されている。風力発電では空気の運動エネルギーを電気エネルギーに変換することが行われるが、この目標達成のために工学の相当多くの分野を含むことになり、それぞれの技術革新が集積された結果が技術革新後の風車として市場に登場してくる。その中の2点を取り上げる。

一つは風車ブレード大型化の推進である。1985~1992年ごろまでの100kW風車(米国カルフォルニアの6000台を超える風車)、あるいは250kWから300kW級の風車群に図4⁽³⁾に示すような低速航空機用の翼形が使用された。この低速航空機用の翼形は一般に、翼の最大の厚み比が12~15%程度である。この薄翼は水平軸風車では、風速が小さくなる翼の取付部(回転中心部)に近くなると風速変動に伴う迎え角変動が大きくなり、失速状態になり、性能が発揮できなくなる。さらに、薄い翼では、翼の付け根部の強度が弱く、翼を長くすると折れてしまうという結果になる。翼の付け根部を強くするには太くする必要があ

* 原稿受付 2004年1月19日。

*¹ 正員, フェロー, 三重大学工学部(☎514-8507 津市上浜町1515)。

E-mail: shimizu@mach.mie-u.ac.jp

Table 1 Various research areas and paper number in 2003 EWEC Conference and Exhibition

Number	Research Field for Papers	Number of Papers
1	Finance	27
2	Market Development & Construction & Offshore Development	24
3	EU & National Policies & Wind Power in Society	86
4	Liberalized Electricity Markets	10
5	New Commercial Wind Turbines & Large Scale Wind Penetration and Storage	21
6	Forecasting Wind & Short Term Prediction & Wind Resources Design Wind Conditions	128
7	Aerodynamics & Aero elasticity & Road & Safety	78
8	Grid Integration & Electrical Design & Control	81
9	Development of Measurement Methods	52
10	Large Wind Turbine Design & Innovative Offshore Design	50
11	Autonomous, Hybrid & Desalination Systems	35
Total		592

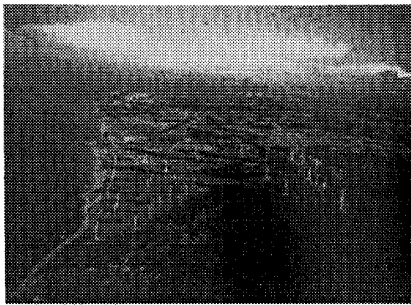


Fig.1 Large scale wind farm in Tomamae town, Hokkaido

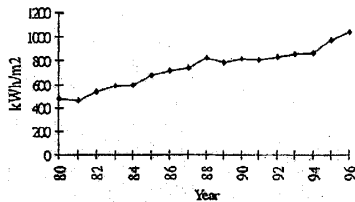
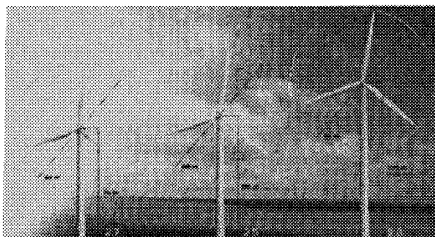
Fig. 2 Total output in a year per 1 m² of rotor surface of HAWT made in Denmark from 1980 to 1996 [kWh/m²/year]⁽²⁾

Fig. 3 Size of large scale HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine)

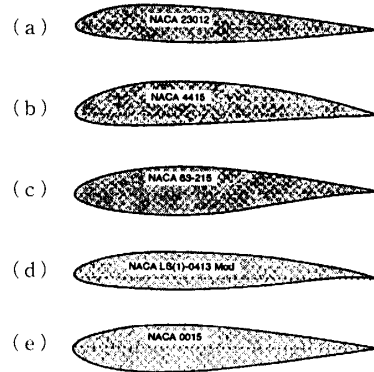


Fig. 4 Aerofoil sections of low speed aircraft used in beginnings of HAWT

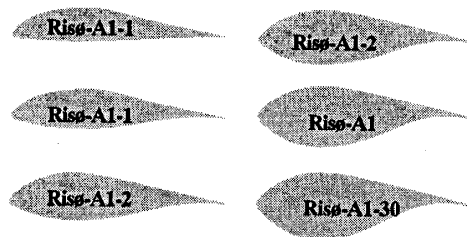


Fig. 5 Aerofoil sections with large thickness developed in Riso Laboratory, Denmark

る。太い翼形すなわち、厚翼でしかも失速しにくい翼、すなわち、失速角の大きい翼の必要性に気づき、1987年ごろから研究が活発に行われ、1992年ごろに一応の結果が出てきた。その結果を実機に採用したのが1994年ごろの400 kW級機である。これ以降は厚翼の効果がますます認められ、長尺翼の製作が可能になり、直径40, 50, 70, 80, 120 mと風車の大型化が急速に進んだ。航空機では最大厚み比が30~35%という

ような抗力が大きくなる翼形は必要でなかった。

最近紹介されている厚翼シリーズを図5⁽⁴⁾で紹介する。風車の研究開発で有名なデンマークのリソ研究所で開発されたものである。そのほか厚翼としては、オランダ・デルフト工科大学風力エネルギー研究所、米国 National Renewable Energy Laboratory (NREL)、ドイツ・ボルツマン翼形の厚み比大のもの、三重大学開発厚翼(35%)がある。もう一つの技術革新は、可変速回転発電システムである。風の強さに応じて回転数を変えて3 m/sの低風速まで発電が可能になった。ここでは、詳述を省略する。

3. 最近の風車技術研究開発動向

上記のように、風力発電は技術革新により大きな進歩を遂げるに至った。これらの結果を踏まえて現在研究はますます活発になり、多面化している。

本稿では風車の空気力学と風の測定および予測に関する分野に限って、ごく最近の研究内容を紹介する。風車研究の発表の場は、大きなものではEWEA (Europe Wind Energy Association)およびEWECのConference、米国ではAWEA, ASME, AIAA等の風力関連シンポジウム、WWEA(世界風力エネルギー協会)Conference、日本では小さい風車(数百W級)を中心とした日本風力エネルギー協会の風力エネルギー利用シンポジウム、また日本機械学会の講演会等では、風力エネルギーのオーガナイズセッションが開催されている。

以下ではASMEのJ. Solar Energy, J. Fluid Eng., 世界の風力専門誌Wind Eng., EWEC Conf. 発表論文、日本機械学会論文集を中心に論文の傾向を整理して述べることにする。まず2003 EWEC(European Wind Energy Conference and Exhibition)に発表された研究分野別論文数を表1に示してみよう。

以上の結果のごとく風力発電に関する研究は、人類の求める新しいエネルギー資源確保の観点から普及拡大に必要なあらゆる分野の研究が行われ、一つの国際会議で600件に近い研究論文が発表されている。

ここでは、機械工学を中心とした流体工学、流体機械部門に関係の深い表1の6, 7および9の内容を取り上げ研究の傾向を記述する。上述した論文集・誌のおもに2003年度分を対象に50編程度を選び解説する。対象論文は1000編を超えるが紙面の都合上制限することにした。

以下展望する。大気境界層のwind shearと乱れ強度が大形風車にどの程度影響するか、Eggersら⁽⁵⁾は、大形HAWT(Horizontal Axis Wind Turbine)で可

変速度タイプの発電機をもつ風車ロータの疲労と負荷制御について検討した。Mandellら⁽¹³⁾は、ロータその他風車要素の疲労に関するデータを提供している。

風車全体の性能改善や挙動およびブレードの性能改善に関する研究としては、次のような研究がある。Duquette-Visser⁽⁶⁾は、古典的風車研究テーマである小形HAWTの性能に対するブレード枚数、ソリディティの影響を翼素運動量理論と揚力線理論を用いて数値解析的に研究している。清水ら⁽⁷⁾⁽⁴²⁾は、HAWTの出力増加の方法として、ブレード翼端に小翼(三重大学形小翼, Mie ベーン)を付ける方法を開発している。出力増加の理由を詳細に解明するため、ブレードのアスペクト比、ブレード枚数、ブレードピッチ角、レイノルズ数を変化させた場合の効果について研究した。さらに清水ら⁽²¹⁾は、Mie ベーンの効果について、Mie ベーン周囲の流れを二次元LDVを用いて詳細に測定し翼端渦の挙動変化の解明、可視化法による翼端周辺境界層の挙動の解明を行っている。

Mayda-Dam⁽¹⁶⁾は、HAWTブレード翼面圧力分布に対する層流はく離泡の影響と空気力学特性を示している。Benni-Toffolo⁽¹⁷⁾は、ストール制御HAWTの設計に対して、翼素理論と漸近計算法の使用を提案している。Malcolm⁽¹⁸⁾は、3枚ブレードHAWTの発電運転中の運動を停止しているタービンの力学的特性から検討している。Moriartyら⁽¹⁹⁾は、HAWTに対する負荷見積もりに対して、平均風速と乱れ強度の両面から検討している。Lishman⁽²⁶⁾は、風車後流モデルおよびブレード断面の非定常空気力学モデルの確立を目指している。清水ら⁽³⁸⁾は、パッシブピッチフラップ機構を装着した40 kW HAWTのフィールドテスト結果を詳しく述べ、乱れ度の大きい山岳領域で、この機構が有効であることを証明している。Suzukiら⁽⁴³⁾は、オリジナルCFDコードを用いて、HAWTブレード周囲の流れを解析し、風車ブレード性能の予測について、CFDの妥当性を示している。

前述したが、風車専用厚翼の開発は風車に技術革新をもたらした。厚翼その他翼形、翼の性能解析・性能改善研究には、次のような研究がある。Rooij⁽⁹⁾らは、翼形シリーズ、DU, FFA, S8xx, AH, RisoおよびNACAの性能を述べている。厚み比25%および30%厚翼に対して、上面の厚み形状および中心線がS字形的の場合の翼下面の影響を検討している。Standish-Dam⁽¹⁰⁾は、ブレード後縁形状を鈍頭にした大形風車ブレードを提案している。Timmer-Rooij⁽¹¹⁾は、TU Delftで開発された風車専用翼形の設計方法と風洞実験結果を述べている。Bak-Fuglsang⁽¹⁴⁾は、

NACA 632-415 翼断面の前縁部分を修正し、修正後の翼形は原形よりよい翼特性を示している。Fuglsang⁽³⁰⁾は、リソ翼形シリーズの開発に対する設計指針が示されている。David-Kamm⁽³³⁾は、薄翼および厚翼設計に対して逆設計法を提案している。Bakら⁽³⁴⁾は高い最大揚力をもつ厚み比15~53%のリソB1翼形を紹介している。これらはピッチ制御・可変速回転MW級大形HAWTに適用されている。Freudenreichら⁽³⁵⁾は、風車専用厚翼に対するレイノルズ数の影響を数値計算と実験の両方から示している。Monge⁽³⁶⁾は、風車専用翼形を設計するすべての考えを取扱うツールを開発する手法を示している。Kogakiら⁽³⁹⁾は、3-D CFDコードを使って、MEL 081翼形にN-S方程式を適用し、実験的結果と比較している。Timmer⁽⁴⁰⁾は、3種類のDU翼形と文献で得られた他の翼形の高迎え角範囲での翼特性(揚力・抗力モーメント係数等)が比較されている。

“風車回転翼の空気力学”研究分野の一つに、実際の発電運転中の風車ブレード上の圧力分布の測定と数値計算結果との比較研究がある。この研究はIEA (International Energy Agency)第14分科会および、第18分科会で取り上げられ「Enhanced Field Rotor Aero-dynamics」のプロジェクト名で6箇国の国際共同研究が行われた。構成国と研究機関は次のようである。オランダ(Technical University of Delft・Institute for Wind Energy, Energy Research Center of Netherlands・Wind Division), デンマーク(Riso National Laboratory, Wind Division), 米国(NREL・National Wind Technology Center), 日本(三重大学・エネルギー環境流体工学研究室), 英国(Imperial College, London・Rutherford Appelton Laboratory), ギリシャ(CRES・Center for Renewable Energy)。国際共同研究の結果は“Enhanced Field Rotor Aerodynamics Data Base”, ホームページアドレス <http://www.ecn.ne/wind/other/IEA/index.en.html> に有料で公開されている(関連報告⁽⁶⁰⁾⁽⁶¹⁾)。ごく最近、この共同研究の内容が部分的に論文化され、発表され始めている。これらの研究を紹介する。米国NRELでは、直径10m, 3枚ブレード、可変ピッチHAWTを用いてフィールドで発電中のブレード表面圧力分布の測定を行った。NASAエイムズ研究所の超大形風洞内に、このHAWTを持ち込み、風洞実験でブレード表面圧力分布を測定している。これら一連の研究論文は、Schreck-Robinsonが文献(8), (25), (27), (31)で発表している。オランダ(TU Delft & ECN)の Rooij, Bruining, Schepers,

Brandは、文献(37), (41), 日本・三重大学の 前田・清水・鎌田は、文献(58), (59)でおのおの論文を発表している。

Windファーム全体の発電性能および複雑地形の風の流れについての研究は次のようなものがある。Amaraら⁽¹⁵⁾は、Windファーム内の後流干渉の影響、風車出力の影響、風車出力の変化、出力予測等についての数値解析を行っている。Seifert-Kroning⁽³²⁾はWindファーム内で狭い間隔で並べられた場合の風車後流の影響、増加する乱れ強度による負荷の増加等を検討している。Muijadi-Butlerfielo⁽⁴⁴⁾は、風速の時間変化、電力網の特性、代替電力を含めたWindファームの運用シミュレーションを述べている。Wanら⁽⁴⁵⁾は米国中西部各州300MWの風力発電所の発電電力データの解析を行い、短時間内の電力移動について検討している。Fuglsangら⁽⁴⁷⁾は、六つの異なった風車サイト(平たん地形、複雑地形、オフショア等々)で二つの異なったタイプの大形風車について、発電運転結果を解析し、サイト特性を検討している。Eecen⁽⁴⁹⁾は、大形洋上風力発電所に対する大気境界層の影響を風洞実験により検討している。実験にはマイクロHAWTが使われた。Erikら⁽⁵¹⁾は、ノルウェー海岸の複雑地形についてWindファームの短時間風予測方法を述べている。Catlin⁽⁵²⁾は、平たん地形から最も複雑な地形まで、風の調査方法を検討している。Hasegawa⁽⁵⁴⁾は、複雑地形の乱れ特性および大気境界層について検討している。清水ら⁽⁵⁷⁾は、集合形風力発電所での風車の相互干渉を明らかにするため、大形風洞内に2台の小形HAWTを設置し、実験的に検討している。

集合形風力発電所を建設するに当たって、これまでには風況観測にプロペラ式あるいはカップ形風速計および風向ベーンを用いてきたが、風車が大形化するにつれて、高所までの風速・風向が必要になり、音波レーダ[ドップラーソーダ(SODAR)]が使用され始めている。ここでは、SODARを使った風況測定研究について述べる。

Hayashiら⁽⁵⁶⁾は、ミニドップラーソーダの測定精度を確かめるため、高さ70mに設置された風速計との値を比較している。Ormelら⁽⁴⁸⁾は、七つのヨーロッパの研究所によるWISEプロジェクトによるSODARと通常の風速計の結果を比較している。Albers⁽⁵⁰⁾は、SODARを使った風速および乱れ測定について検討している。Maedaら⁽⁴⁶⁾⁽⁵⁵⁾は、日本国内のいくつかの風車サイトを選び、ドップラーSODARによって、風向・風速・乱れ強度を三次元的に測定し、

複雑地形のこう配, 表面粗度と風向・風速分布の関係を検討している. Coppalle⁽⁵³⁾ は, SODAR で測定された風速・風向を通常の風速・風向計データと比較している.

風車ノイズ研究は, 最近はあまり話題にならなくなった. McNerey ら⁽¹²⁾ では, HAWT から放出される低周波ノイズについて要約している. また, 翼端渦とタワー後流との干渉についても検討している. Joosee⁽²⁰⁾ らのマイクロ風車のノイズがある. 風車タワーを含めた構造物全体の力学的研究として, 次のようなものがある. Lee ら⁽²⁸⁾ は, 新しい方法によって HAWT の構造動力学を検討している. Bertanoglio ら⁽²⁹⁾ は, 構造有限ビーム要素モデルと CFD コードを組合せて, 風車構造物の動力学についてシミュレーションを行っている.

風力発電の主流は, 大形機(1 500~2 500 kW), および中形機(600~1 000 kW 未満)が担っている. しかし, 開発途上国や環境教育用に 50 W~1 kW 程度の, いわゆる, マイクロスケール風車の研究も活発である. これらマイクロスケールの風車研究については, Wind Eng. 誌が多くを取り上げている. Duquette ら⁽²²⁾, Bechly-Clausen ら⁽²³⁾, Michos ら⁽²⁴⁾ をその代表例として示す. これらの論文では, 100 W~5 kW 程度までのマイクロ風車が多方面から検討されている.

文 献

- (1) EWEA/GREENPEACE, *Wind Force*, **12** (2003), 1-52.
- (2) Jensen, P. H., *Wind Energy Technology for 21 st Century*, Proc EWEC, Dublin, (1997), 25-28.
- (3) Spera, D. A., *Wind Turbine Technology*, (1994), 294, ASME PRESS, N. Y.
- (4) 清水幸丸, 風力発電入門 73, パワー社 (2003), [Fuglsang, P., 講演原稿, (2002)]
- (5) Eggers, A. J., Digumarthi, R., Jr. and Chaney, K., Wind Shear and Turbulence Effects on Rotor Fatigue and Loads Control, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 402-409.
- (6) Duquette, M. M. and Visser, K. D., Numerical Implications of Solidity and Blade Number on Rotor Performance of Horizontal-Axis Wind Turbines, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 425-432.
- (7) Shimizu, Y., Ismaili, E., Kamada, Y. and Maeda, T., Rotor Configuration Effects on the Performance of a HAWT with Tip-Mounted Mie-Type Vanes, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 441-447.
- (8) Schreck, S. and Robinson, M., Boundary Layer State and Flow Field Structure Underlying Rotational Augmentation of Blade Aerodynamic Response, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 448-456.
- (9) Van Rooij, R. P. J. O. M. and Timmer, W. A., Roughness Sensitivity Considerations for Thick Rotor Blade Airfoils, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 468-478.
- (10) Standish, K. J. and van Dam, C. P., Aerodynamic Analysis of Blunt Trailing Edge Airfoils, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 479-487.
- (11) Timmer, W. A. and Van Rooij, R. P. J. O. M., Summary of the Delft University Wind Turbine Dedicated Airfoils, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 488-496.
- (12) McNerney, G. M., van Dam, C. P. and Yen-Nakafuji, D. T., Blade-Wake Interaction Noise for Turbines with Downwind Rotors, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 497-505.
- (13) Mandell, J. F., Samborsky, D. D. and Wang, L., New Fatigue Data for Wind Turbine Blade Materials, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 506-514.
- (14) Bak, C. and Fuglsang, P., Modification of the NACA 632-415 Leading Edge for Better Aerodynamic Performance, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **124** (2002), 327-334.
- (15) Ammara, I., Leclerc, C. and Masson, C., A Viscous Three-Dimensional Differential/Actuator-Disk Method for the Aerodynamic Analysis of Wind Farms, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **124** (2002), 345-356.
- (16) Mayda, E. A. and van Dam, C. P., Bubble-Induced Unsteadiness on A Wind Turbine Airfoil, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **124** (2002), 335-344.
- (17) Benini, E. and Toffolo, A., Optimal Design of Horizontal-Axis Wind Turbines Using Blade-Element Theory and Evolutionary Computation, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **124** (2002), 357-363.
- (18) Malcolm, D. J., Modal Response of 3-Bladed Wind Turbines, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **124** (2002), 372-377.
- (19) Moriarty, P. J., Holley, W. E. and Butterfield, S., Effect of Turbulence Variation on Extreme Loads Prediction for Wind Turbines, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **124** (2002), 387-395.
- (20) Joosee, P. A., Blanch, M. J., Kouroussis, D. A., Philippidis, T. P. and Vionis, P. S., Acoustic Emission Monitoring of Small Wind Turbine Blades, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **124** (2002), 446-454.
- (21) Shimizu, Y., Ismaili, E., Kamada, Y. and Maeda, T., Power Augmentation of a HAWT by Mie-Type Tip Vanes, considering Wind Tunnel Flow Visualization, Blade-Aspect Ratios and Reynolds Number, *Wind Eng.*, **27-3** (2003), 183-194.
- (22) Duquette, M. M., Swanson, J. and Visser, K., Solidity and Blade Number Effects on a Fixed Pitch, 50 W Horizontal Axis Wind Turbine, *Wind Eng.*, **27-4** (2003), 299-316.
- (23) Bechly, M. E. and Clausen, P. D., The Dynamic Performance of a Composite Blade from a 5 kW Wind Turbine. Part II: Predicted Blade Response, *Wind Eng.*, **26-5** (2002), 273-286.
- (24) Michos, D., Dialynas, E. and Vionis, P., Reliability and Safety Assessment of Wind Turbines Control and Protection Systems, *Wind Eng.*, **26-6** (2002), 359-369.
- (25) Schreck, S., The NREL Full-Scale Wind Tunnel Experiment, *Wind Energy*, **5** (2002), 77-84.
- (26) Lishman, J. G., Challenges in Modelling the Unsteady Aerodynamics of Wind Turbines, *Wind Energy*, **5** (2002), 85-132.
- (27) Schreck, S. and Robinson, M., Rotational Augmentation of Horizontal Axis Wind Turbine Blade Aerodynamic Response, *Wind Energy*, **5** (2002), 133-150.
- (28) Lee, D., Hodges, D. H. and Patil, M. J., Multi-Flexible-

- Body Dynamic Analysis of Horizontal Axis Wind Turbines, *Wind Energy*, **5** (2002), 281-300.
- (29) Bertanoglio, F., Sorensen, N., Hansen, M. and Gaunaa, M., Aeroelastic Simulation of a Wind Turbine Airfoil by Coupling CFD and a Beam Element Model, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (30) Fuglsang, P., Status of RISO Wind Turbine Airfoils, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (31) Schreck, S. J. and Robinson, M. C., Aerodynamic Structures and Processes in Rotationally Augmented Flow Fields, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (32) Seifert, H. and Kroning, J., Recommendations for Spacing in Wind Farms, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (33) David, A. and Kammoun, B., The Wind Turbine Blade Section Design Achieved by Solving the Inverse Problem, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (34) Bak, C., Fuglsang, P., Gaunaa, N. and Antoniu, M., I., Wind Tunnel Measurements on Two RISO-B1 Airfoils, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (35) Freudenreich, K., Kaiser, K., Rebstock, R., Schaffarczyk, A. P. and Winkler, H., Reynolds Number Effects on Thick Aerodynamic Profiles for Wind Turbines, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (36) Monge, F., A Novel Approach for the Aerodynamic Design of Wind Turbine Airfoils, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (37) Schepers, G., Brand, A., van Rooij, R. and Bruining, A., Detailed Measurements on Wind Turbines: Analysis of Results, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (38) Shimizu, Y., Kamada, Y., Maeda, T., Ismaili, E., Kaneko, K. and Yamanaka, K., Field Tests on a Small HAWT With Passive Pitch-Flap Mechanism, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (39) Kogaki, T., Matsumiya, H., Kieda, K. and Iida, M., Numerical Verification of an Airfoil for Small Wind Turbines at Low Reynolds Numbers, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (40) Timmer, W. A., Comparison of Two-Dimensional Aerodynamic Characteristics of Airfoils at Angles of Attack from 0 to 360 Degrees, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (41) Van Rooij, R. and Bruining, A., Improvement of Rotor Stall Models by Analysis of the IEA Field Test Data, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (42) 清水幸丸・イスマイリ エドモンド・鎌田泰成・前田太佳夫, MIE型翼端小翼(Mieペーン)付水平軸風車の性能と翼アスペクト比, 翼枚数, レイノルズ数の関係, *機論*, **68**-676, B (2002), 180-187.
- (43) 鈴木正巳・フレグ オリバー・飯田誠・貞住武志・荒川忠一, 非圧縮と圧縮性数計算コードによる風車翼型の特性予測, *機論*, **69**-681, B (2003), 47-53.
- (44) Muljadi, E. and Butterfield, C. P., Dynamic Simulation of a Wind Farm With Variable-Speed Wind Turbines, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 410-417.
- (45) Wan, Y., Milligan, M. and Parsons, B., Output Power Correlation Between Adjacent Wind Power Plants, *Trans. ASME, J. Solar Eng.*, **125** (2003), 551-555.
- (46) Maeda, T., Shimizu, Y. and Yokota, T., Measurement of Atmospheric Boundary Layer for Siting Wind Farm, *Proc. EWEC*, Nice, (1999), 1228-1231.
- (47) Fuglsang, P., Bak, C., Cockerill, T. T., Claiden, P., Olesen, A. and van Rossum, R., Site-Specific Design Optimization of Wind Turbines, *Wind Energy*, **5** (2002), 261-279.
- (48) Ormel, F., Antoniu, I., Jorgensen, H., Mellinghoff, H., Kindler, D., Mouzakis, F., Ermeis, S. and Soria, E., Wind Energy SODAR Evaluation (WISE) : Phase 1, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (49) Eecen, P. J., Wind Tunnel Experiments on a Small Rotating Turbine for Measurement of Boundary Layer Effects due to Large-Scale Offshore Wind Farms, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (50) Albers, F. and Warmbier, G., Wind and Turbulence Measurements with SODAR-New Aspects for Wind Energy Siting and Repowering, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (51) Erik, B., Knauer, A. and Koltzow, M., Short-Term Prediction of Energy Production in Complex Terrain, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (52) Cattin, R., Schafner, B. and Kunz, S., Wind Assessment: Customizing Measurements, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (53) Coppalle, A., Lenfrancois, G., Etur, P. and Pierano, E., Assessment of Mini-Sodar Data Against Sonic and Cup-Anemometers: Application to the Analysis of the Wind Speed Profiles in the Surface Layer, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (54) Hasegawa, Y., Kikuyama, K., Imamura, H., Inomata, N., Suzuki, H. and Ishikawa, H., Topographical Effects on Turbulence Characteristics of Wind Flow over Complex Terrain, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (55) Maeda, T., Shimizu, Y., Kamada, Y., Homma, Sh. and Nakano, M., Effect of Terrain Configuration on Vertical Wind Profile Measured by Sodar, *Proc. EWEC*, Madrid, (2003), CD-R.
- (56) 林農・劉薇・佐々浩司・原豊, ミニドップラソードによる風況精査, *機論*, **69**-688, B (2003), 38-45.
- (57) 清水幸丸・横田健・鎌田泰成・前田太佳夫・安立和弘・本間秀一郎・中野美和, 風洞実験による風車相互干渉の基礎的研究, *機論*, **70**-689, B (2004), 140-146.
- (58) Maeda, T., The Effect of Inflow Angle, Cross & Parallel, on the Section Performance of a Rotor Blade, *Proc. WVEC*, Cape Town, (2003), CD-R.
- (59) Maeda, T., Field Measurement of Pressure Distribution on Rotating Blade of Horizontal Axis Wind Turbine, *Proc. 7th Asian Int. Conf. Fluid Mach.*, Fukuoka, (2003), CD-R.
- (60) Schepers, J. G., IEA Annex XIV/XVIII, Field Rotor Aerodynamics, *Proc. EWEC*, Copenhagen, (2001), 457-461.
- (61) Schepers, J. G., IEA Annex XVIII, *Enhanced Field Rotor Aerodyn. Database, Final Rep.*, No. ECN-C-02-016 (2002).