

氏 名	ア-メド モハメド ガラル <b>Ahmed Mohamed Galal</b> (エジプト)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	工博甲第272号
学位授与の日付	平成20年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学 位 論 文 題 目	Proposal of Unique Wind Power Unit (独創的な風力発電ユニットの提案)
論 文 審 査 委 員	主 査 教 授 金 元 敏 明 〃 鶴 田 隆 治 〃 塚 本 寛 〃 久 保 喜 延 准教授 服 部 裕 司

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

Wind power is a significant promising source of renewable energy that will play a very important role in the 21st century. Wind turbines are very effective to generate the electrical energy from the wind power. There is great need/obligation to exploit the renewable energy because of the rapid decrease of the earth's fossil energy sources, and the global warming resulting from utilizing them. Wind exists everywhere on Earth, and in some places with considerable energy density. It was widely used in the past, for mechanical power as well as transportation. Certainly, it can be utilized effectively for generating the electrical power where it is sustainable, home grown and clean source of power. The author introduces a new/unique technological development in the field of wind turbines, through a vision of a new design of intelligent wind turbine generators that may make a revolution in the field of the wind power unit industry. This work proposes a propeller type horizontal axis wind power unit with tandem wind rotors. This chapter shows the importance of exploiting the renewable energy, concentrating on wind power. Advanced technologies in the field of electronics, and long experience in the work of wind turbines, made the market of wind power units far better than before because of the fruitful advantages that can result from using these clean sources of electric power. Wind can supply power at remote places where electrical grid cannot reach, and can help to overcome difficulties that result from using other sources of energy, such as polluting exhausts that may damage the surrounding environment. Wind turbines are mechanical devices specifically designed to convert part of the kinetic energy of the wind into useful mechanical energy. Several designs have been devised throughout the times. Most of them comprise a rotor that turns round propelled by lift or drag forces, which result from its interaction with the wind. Depending on the position of the rotor axis, wind turbines are classified into vertical-axis and horizontal-axis ones.

The idea of the tandem wind rotors is that using two sets of blades instead of one, to increase the output. There were many attempts done using this idea. This research is also discussed the fruitful advantages from using this idea, but with completely different way than most of the researches. Previous work dealt with conventional generator types, while this research is concerning a unique generator that differs than the conventional wind generators. The operation of the proposed wind power unit using the tandem wind rotors is in cooperation with the double rotational armature type generator without the need of the gearbox, and the pitch control mechanisms. The author has developed a unique wind power unit using two new/unique types of generators that have been used through experiments. These types are the double rotational armature type doubly fed induction generator, and the permanent magnet, AC synchronous generator with double rotational armatures. The induction type generator has been applied usually to the large-scale wind turbine generator in the grid system. The other synchronous type generator was used in the field tests. The

original unique design of these two generators was made by Professor Toshiaki Kanemoto, from Kyushu Institute of Technology, Japan.

The author calls these types as unique wind generators, because conventional type generators have both stator and rotor, while these unique types have no stators, where both inner and outer armatures of the generators are rotating. When using the unit as an up-wind type, the doubly fed induction generator was equipped by the large-sized front wind rotor and the small-sized rear wind rotor which driven respectively the inner and the outer armatures of the generator. On the other hand, when the unit was used as a down-wind type, the permanent magnet synchronous generator was used, while the large-sized front wind rotor and the small-sized rear wind rotor driven respectively the outer and the inner armatures of the generator, while keeping the rotational torque counter-balanced inside the generators. Such behavior of the tandem wind rotors enabled the output to become higher than the conventional turbines and to keep the output constant in the rated operation mode without using the brake and/or the pitch control mechanisms. The author have designed and manufactured the larger sized wind rotor of diameter 2m, and the smaller sized wind rotor of diameter 1.33m using simple aerodynamic theories. These wind rotors were used in the experiments that were done on the prototype unique wind power unit to test its performances in the field. Bench tests were done on both previously mentioned unique wind turbine generators before preparing them for the experiments, and the characteristics of both wind generators were presented. The wind power unit was very stable, and dynamically balanced through different experiments. Sometimes, especially at high wind speeds, the vibration of the unit was increased, but always it was in a matter that never caused any kind of danger to the wind power unit. This nice performance is because the resultant torque on the casing of the wind generator nearly vanishes, because the torque generated from the large sized front wind rotor is always balanced by the torque generated from the small sized rear wind rotor. This counterbalance between both tandem wind rotors will not only affect the dynamical behavior of the wind power unit, but also will increase the output power, and will maintain it steady at the rated operation. For good quality of electric power generated from wind power units, it is important to keep the frequency of the generator  $f_e$  as steady as possible. This steady value of the frequency will be affected by the value of the relative rotational speed of tandem wind rotors  $N_T$ , which also is affected by the rotational behavior of both tandem wind rotors. The main force that drives the wind turbine blades is the lift force. This force is affected by the value of the attack angle of the blade. Advanced technology of the tandem wind blades showed that the best diameter ratio between the front and rear wind rotors must be close to 0.84. Beside, the minimum distance between both wind rotors shows the better performance. The camber and blade shape/profile have a direct effect on the behavior of the wind rotor, which means that optimization for this profile will lead to a sound and optimum performance to the unique wind power unit.

## 学位論文審査の結果の要旨

地球温暖化防止／循環型社会の構築に向けて、非再生資源依存型からクリーンな再生可能（循環）資源依存型への変換を担う一つとして、風力発電が世界的規模で積極的に導入されつつある。しかし、良好な風況を対象とした従来技術の延長線上にある現状の風車は、日本に代表されるような微風と強風の差が著しく、風車にとって良好な風況が豊富に得られない地域には必ずしも適しているとは言えない。

以上のことを踏まえた本論文では、新たな形式の風力発電ユニットを提案し、車載によるフィールド実験でその有効性を確認するとともに、風車ロータの望ましい姿を求めている。

第1章では、クリーンな自然エネルギー資源の有効利用が望まれている背景を調べた上で、その一翼を担う風力発電に着目し、風車に対する従来技術を踏まえながら本研究の位置付けをしている。すなわち、現在活躍している風車は、風況が良好な欧州や米国に適した単段プロペラ技術の延長線上にあり、(a) 風況に合った風車ロータの厳選、(b) 増速機構や大径／多極発電機の搭載、(c) 複雑な回転速度制御機構の搭載、(d) 定格運転開始風速の地域や季節に応じた見直し、などの解決すべき課題を抱

えている。このことを踏まえて、低風速域でも安定した高出力運転ができ、かつ上記課題が解決できる新たな形式の風力発電ユニットを提案することが本研究の目的であることを述べている。

第2章では上記課題を克服するため、(a) 微風速下での出力増大、(b) 定格運転開始の低風速化、(c) 複雑な回転速度制御機構の排除、を目指して、大径の前段風車ロータと小径の後段風車ロータが固定子を持たない発電機の内外二重回転電機子をそれぞれ駆動する新たな水平軸風力発電ユニットを世界に先駆けて着想している。特別な制動機構を必要とせず、風車ロータと発電機の風速に応じた的確な連携プレー能力により、極微風から強風まで、従来風車に比べて格段の高出力で安定した連続稼働ができる。後段風車ロータは、極低風速で前段風車ロータとは逆方向に回転し始め、風速の増加とともに回転速度を増し、更に風速が増加すると、減速、停止状態を経て前段風車ロータと同方向に回転する独創的な特徴を有している。続いて、本着想を実証するため、二重回転電機子方式の同期発電機と二重巻線形誘導発電機、前後二段の風車ロータを準備している。このとき、前後段風車ロータの最適ブレード枚数は3枚と5枚であることを示している。

第3章では、前章で準備した前後二段の風車ロータと二重回転電機子方式同期発電機からなる発電ユニットを、ピックアップトラックに搭載して走行実験を行い、前章の着想が有望であることを実証している。同時に、前後段風車ロータのブレード取付け角と負荷が回転挙動および発電特性に与える影響を把握している。同期発電機では静止時でも磁力が発生しているため、低風速域での風車ロータの回転トルクを大きくしないとカットイン風速を遅くすることができない。これを解決するため、半径の小さいハブ側は低風速で仕事をし、半径の大きいティップ側では高風速で仕事をする、独特な後段風車ロータ形状も提案している。

第4章では、前章のフィールド実験結果を踏まえた本風力発電ユニットの実用化に向けて、様々なブレード形状を対象とした風洞実験により、効率向上が望める風車ロータ形状を提案している。揚抗比の高い翼型からなる翼素の採用は無論のこと、(a) 前段風車ロータ径に対する後段風車ロータ径の比は0.84程度にすること、(b) 両風車ロータは可能な限り隣接させて設けること、などを初めて提案したことは注目に値する。

第5章では、本研究で得られた成果を総括するとともに、今後の展望を述べている。

以上のように本論文は、地球温暖化防止／循環型社会構築の一助として、新たな形式の風力発電ユニットを世界に先駆けて提案し、その有効性を実証した上で実用化に向けた風車ロータの設計資料を提案した価値ある業績であり、機械工学とくに流体工学分野の発展および社会に寄与するところが極めて大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値すると認められる。

また、本論文に関する公聴会において、審査委員および出席者から、(a) 車載によるフィールド実験方法と取得データの妥当性、(b) 実用化後の強風に対する安全対策、(c) 出力等に関する単段風車ロータとの比較、(d) 風車ロータブレード枚数の最適化手法、(e) 今後の展開、など種々な質問がなされたが、いずれも著者からの的確な回答がなされ、質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。