

地球と人との確かなつながりにむけて

兵庫県立洲本実業高等学校 山本 碧

本研究は、地球と人との確かなつながりにむけて、小型風力発電として用いられているクロスフロー型風力発電機の性能改善について報告し、エネルギー変換効率だけではなく設備利用率を改善することで、エネルギー回収率が向上するという小型風力発電機開発のあり方を提案する。さらに、この取組内容をもとに、平成 27 年から今日にわたり、東北「絆」ボランティア活動において、風力街路灯「ひかりん」を 8 基寄贈してきた実践内容も含め報告する。

1. はじめに

地球の財産ともいえる化石燃料を、大量に消費する 20 世紀型利用から、太陽エネルギーを起源とした再生可能なエネルギーを利用する 21 世紀型の持続可能な社会へ転換することが求められている。風力発電は、世界でも基幹電力として位置づける国が増える中、我が国では導入が遅れている。日本の風況に適した日本型風車を実現することによって、政府の掲げる目標を早期に達成させ、我が国を再生可能エネルギー立国と位置づけて、「地球と人との確かなつながり」にむけた社会を実現させなければならない。

これまで、プロペラ風力発電機の高性能化のために、原動機と発電機の整合化が総合効率を高めるという実験結果をまとめた上で、プロペラ風車の諸課題を解決するために、新たにマグニウス風力発電機を開発し、総合的なエネルギー回収率の向上をはかるという風車開発のあり方¹⁾を提案してきた。プロペラ風車は日に日に大型化し、世界最大となる 7MW 級の洋上風車が福島県沖に設置されている。一方、小型風力発電機はソーラ発電と比較しても、エネルギー変換効率が高くメンテナンスもしやすい特長があるものの、カットイン風速が高いうえ、強風になれば止まるという技術的課題が解消できずにいる。

そこで、このような課題を解決するために、微風でもスムーズに回転し、強風時には外部電源を用いず自動的に回転数を制御する小型風力発電機の開発をおこなった。

本研究では、地球と人との確かなつながりにむけて、小型風力発電として用いられているクロスフロー型風力発電機の性能改善について報告し、変換効率だけではなく設備利用率を改善できれば、エネルギー回収率が向上するという小型風車開発のあり方を提案する。さらに、本技術を導入した東北「絆」ボランティア活動についても報告する。

2. 「課題研究」での新型風車開発

2. 1 世界の風力発電の現状

NEDO の統計²⁾によれば、2016 年度末の時点での風力発電の設備容量は、中国が世界 1 位で 1 億 6873 万 kW、次いで 2 位のアメリカが 8218 万 kW、3 位のドイツが 5001 万 kW、以下 4 位インド、5 位スペイン、6 位イギリスの順となっている。日本は 336 万 kW で 19 位、設置基数 2,253 基と風力先進諸国とは大きく遅れる結果となっている。さらに、世界の風力発電の累積導入量は既に約 5 億 kW に到達しており、これは原発約 500 基分に相当する。新規導入量は、年率 10%を越え、この 5 年間で 170%の成長率であることが示されている。このような成長が続けば、2020 年には、風力発電が世界の電力供給の 10~12%になることが予測されている。これは、風力発電が技術的にも成熟し経済性が追求できる有力電源として認知されていることが挙げられる。米国エネルギー省がまとめた発電統計資料によれば、風況の良い場所に大量導入すれば、発電コストは 3~7 円/kWh と、原子力や石炭火力などの発電コストより安

価な発電装置であることを公表している。米国では2030年までに約15万台の風力発電機を導入して、電力需要の20%をまかなう予定である。したがって、世界的にも風力発電技術は、今後ますます有望な産業としてその成長が期待できる。

2.2 クロスフロー型風車について

クロスフロー型風車は縦軸型風車（図1）であり、プロペラ風車と異なり主軸が縦に位置する小型風車である。微風域の自己起動性は、羽根の枚数が多いため他の風車と比較して良好であるが、強風域では異常に高い回転数となり、発電機が損傷したりする事故がみられる。通常、過回転防止のために、機械的な制御法であるブレーキが採用されている。しかし、これでは、活用できる風速であるにもかかわらず、回転が止まり有効利用できないという課題が残されていた。



図1 クロスフロー型風車

そこで、それらの改善を図るために、新たにクロスフロー翼を変形させる風車構造を開発し、流体力学的な回転数制御法について考案した。

図2に、試作した新型クロスフロー風力発電機を示す。直径φ200mm、全高450mmである。直径φ30mmの紙管を用いて8枚の翼とし、翼の中央部を縦に割って、それら2つを蝶番で固定して可変翼とした。発電機にはステッピングモータを採用した。回転むらを防止するために、8枚の可変翼を同時に開閉させることで、慣性モーメントを一定にする工夫もしている。



図2 新型クロスフロー型風力発電機

2.3 新型風車開発

まず、強風時の過回転を抑制する方法について、チームで様々な意見を出し合いながら検討した。①ブレーキを用い機械的に制御する方法、②空気力学的に制御する方法、③発電機サイドで電氣的に制御する方法などが指摘された。設備利用率を向上させるためには風車を如何なる風環境においても回転させることが必要である。その場合、原動機的设计と加工方法に注目して、表1に示すような対策案を検討した。その詳細な実験結果については、次項2.4にまとめて述べる。

図3に、開発した可変翼式クロスフロー型風車の回転翼を示す。

表1 新型風力発電機の改善案

項目	課題	対策案
①	・外部電源の必要性 ・回転数を電氣的に把握	風力を用いた回転数制御機構
②	・自立型可変翼機構	可変翼機構
③	・電氣的損失	発電機による重負荷制御

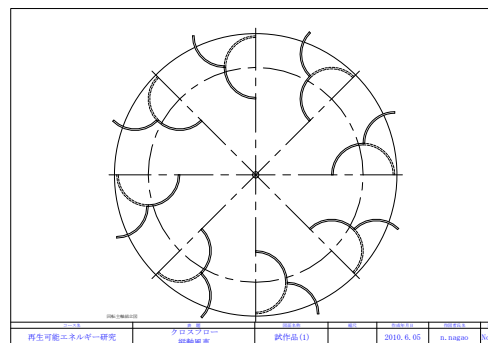


図3 可変翼式クロスフロー型風車の回転翼

45度毎にクロスフロー翼を備え、翼の一部を反転させて流入空気を逃がす構造とした。この工夫により、プレーキのような機械的制動装置を用いることなく、流体力学的な制動が可能となった。特に25m/secを超える風速が流入したとき、大幅な回転数の抑制ができた。過剰な風速の場合でも、発電機が焼損するような事故を未然に防止できる風車機構が開発できた。

変換効率や起動性、安全性の向上を図るために、風車構造を検討するだけでなく、実証実験にも取り組んだ。

2.4 実験結果および考察

ここでは、 C_p はパワー係数、TSRは周速比として、式(1)、(2)より求めた。

$$C_p = T\omega / (\rho A V_m^3 / 2) \quad (1)$$

$$TSR = r\omega / V_m = 2\pi N r / (60 V_m) \quad (2)$$

ただし、 T はトルク[N・m]、 ω は角速度[rad/sec]、 ρ は標準状態の空気密度、 A は受風面積[m²]、 V_m は平均風速[m/sec]、 r はロータ半径[m]、 N は回転数[rpm]を示す。

図4に、新型風力発電機の風洞実験結果を示した。(a)は、微風や中程度の風速の場合のストリームラインを示す。通常のカロスフロー型の翼形状が良好に維持できていることが明らかになった。また、空気流は、翼のカップに絡んでいることがわかる。(b)は、強風時の場合のストリームラインを示す。翼はすべて開放して、失速させている様子が明らかになった。また、空気流は、翼の両側に逃がれていることがわかる。これにより、トルクが減少し、回転数も大幅に低下させることができた。

図5に、ディフューザを設置した風車(試作品)を示した。図の白い羽根のようなものがディフューザである。これにより、エネルギー変換効率が30%以上も向上させることができた。以上、安全性も向上し、エネルギー変

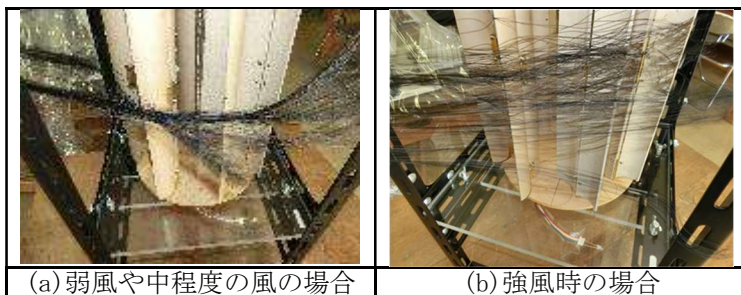


図4 開発風車

換効率も大幅に向上できる風車構造が開発できた。



図5 本開発ディフューザを設置した風車

図6に、本開発風車の特性比較を示す。縦軸はパワー係数、横軸は周速比で表した。その結果、試作品はパワー係数0.165という高い値が得られ、

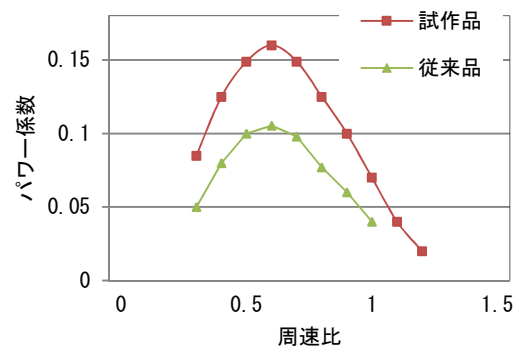


図6 本開発風車の特性比較

従来風車と比較して183%の向上が認められた。

課題としていたカットイン風速は、従来品1.3m/secに対して試作品では風速0.85m/secと低くなり、結果大幅に向上できた。以上、ディフューザを設置することで、カットイン風速も低くでき、エネルギー変換効率も向上できたことで、設備利用率の向上が期待できる。このことは、単に稼働率の向上だけではなく、実際の発電量が高まることを意味する。

レイリー分布による試算結果では、カットイン風速からカットアウト風速までの範囲が大幅に広がることで、従来比180%もの設備利用率向上が期待できることが明らかになった。エネルギー変換効率とともに設備利用率が大幅に改善される風車が開発でき、当初の目標がようやく達成できた。

3 東北「絆」ボランティア活動について

兵庫県教育委員会の協力のもと、「ひょうごボランティアプラザ」が主催した「ひょうご・東日本大震災被災地『絆』ボランティア活動」は、毎年約 600 名の高校生が参加している。本校は、2 年連続して 8 月 1 日から 4 日の 4 日間参加した。その実践内容を報告する。

3.1 石巻市仮設住宅

石巻市役所の生活再建支援課の協力の下、風力発電灯（ひかりん）6 基を設置した。仮設団地連合自治会の皆様に、石巻市の被災状況と復興状況を説明いただいた後、仮設大橋団地の入口付近に設置している風力発電灯の電気回路と回転部のメンテナンスを行った。北上川からの風を受け、音もなく回転していた。仮設開成団地、仮設旭化成団地にも設置している。「役にたっているよ。」というお言葉を頂いた。

表 2 報道機関の取扱い(一部)

	内 容	機関
8 月 1 日	番組「News PORT」洲本実業高校の生徒が製作-風力発電の街路灯を東北へ-	サンテレビ
8 月 5 日	番組「サンテレビ ニュース」洲本実業高校の生徒が東北へ-風力発電の街路灯を寄贈-	サンテレビ
8 月 8 日	News 石巻かほく-兵庫・洲本実高 仮設団地訪れメンテナンス-	三陸河北新報
8 月 9 日	回る 回る支援の風車街路灯 兵庫・洲本実業高生-仮設団地を点検訪問-	石巻日々新聞
8 月 10 日	石巻の仮設に淡路から街灯 今年も高校生製作-阪神被災時のお礼-	朝日新聞宮城
8 月 20 日	自然エネで仮設明るく 兵庫・洲本実高生 風力発電の街路灯 3 基寄贈-石巻住民「非常時も役立つ」-	河北新報
8 月 20 日	高校生、被災地で活躍 仮設団地訪れメンテナンス- 兵庫洲本実業高 街路灯を製造し昨年も寄贈-	石巻かほく
8 月 23 日	東北被災地へ風力街路灯 洲本実業高 ソフトエネルギー研究ユニット	神戸新聞淡路

これは、平成 29 年度報道記事の一部をまとめたもの

3.2 陸前高田市仮設住宅

陸前高田市区長様の協力の下、前年度に設置した風力発電灯 1 基のメンテナンスを行った、2 年経過しても問題なく稼働している。「ありがとう。」といったお言葉も

頂いた。一中仮設住宅集会所では、団地に住む皆様とも当時の様子をお聞きした。陸前高田市は、産業基盤を喪失したことから、有名な「奇跡の一本松」をはじめとする観光開発に注力している現状もお話いただいた。

表 2 に、この活動における報道機関の取扱いの一部をまとめた。NHK の「てれまさむね」やサンテレビの「News PORT」にも紹介頂き、朝日新聞社、読売新聞社、神戸新聞社、河北新報社、石巻日々新聞社、石巻かほく、三陸河北新報（順不同）などにも掲載された。

4. まとめ

従来風車と比較した結果、微風から強風までの広い風速域にわたりスムーズな回転が可能となり、エネルギー変換効率も大幅に向上した。稼働率や変換効率だけではなく、幅広い風速域にわたり風車の有効利用率を高めることで、エネルギー回収率が向上するという小型風力発電機開発のあり方が提案できた。すなわち、地球と人との確かなつながりを目的とした新たな風車が開発できた。

さらに、これまでの得られた知見を東北「絆」ボランティア活動に生かすべく、新型風力街路灯（ひかりん）を非常用電源灯として利用することを提案し、現在まで活用いただいている。

参考文献

- 1) 岩脇陸斗, 除補博之, 除補順之, 神代瑛介, 皿袋雅大, 吉田勇樹; 「人と環境にやさしいマグニウス風力発電機の開発」 平成 27 年度産業教育振興中央会生徒研究文・作文コンクール (2015)
- 2) NEDO ; <http://www.nedo.go.jp/>