

## [優秀賞]・[経済同友会賞]

# エネルギー自立社会をめざす マグリウス風力発電機の開発

兵庫県立洲本実業高等学校 電気科3年

谷岡 涼・古岡 大輝・松本 和 大  
緑 樹 宏 斗・山 本 碧

### 1. はじめに

風力発電は、温室効果ガスなどの環境汚染物質の排出が少ない電源だけではなく、エネルギーの純国産化につながり、政治的かつ経済的リスクに左右されることなく、燃料費が無償でコストも安く、国益に資する技術であることが指摘されている。

本校では、これまで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報告した<sup>1)</sup>。また、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図るという風車開発のあり方を提案した<sup>2)</sup>。さらに、幅広い風環境に対して有効利用できる縦軸風車構造を新たに開発してきた<sup>3)</sup>。

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、風力発電機はソーラー発電と比較しても、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上、静粛性に欠け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、いかなる風環境においても静かに回転し発電する小型風力発電機の開発を行った。

本研究では、エネルギー自立社会の実現を目的として、エネルギーの純国産化が国益に資する現状についてまとめ、これまでの横軸型風力発電機

の性能改善をとおして、新型マグリウス風力発電機開発について報告する。なお、この風力発電機は、「第15回高校生技術・アイデアコンテスト全国大会」にて、「理事長特別賞」を受賞した。

### 2. 新型風車開発

#### 2.1 わが国のエネルギー事情

わが国の主な鉱物性燃料(原粗油と液化天然ガス、石炭で構成)輸入額は、東日本大震災の翌年12年には約21兆円台、13年約23兆円台と続き、16年には漸く約11兆円台と落ち着きははじめ、17年には約13兆円台と推移している。これは、近年5か年間のトータルで、国家予算にも匹敵する90兆円もの国富が、国外に流出したことになる。わが国の輸入先のひとつが中東であり、その依存度は約83%と諸外国と比べて高い。内訳は、サウジアラビアが31.1%でトップにあり、アラブ首長国連邦22.5%、カタール10.2%、イラン7.8%の順となっている。過去5年間で見ると、約72兆円の巨額な日本円が中東諸国に流れ、オイルダラーとして世界市場を席巻している。さらに、中東情勢には政治的リスクが常態化し、原油価格が安定しづらいことは周知のとおりである。

わが国において、オイルショック後、石油代替エネルギーの開発は重要なテーマとなっている。これまで、サンシャイン計画やムーンライト計画などで取り組んできた経緯があり、実用化している有力な技術があるものの、脱化石化に対しては十分に成果が上がっているとはいえない。

電気料金の国際比較(電力中央研究所2018)によれば、産業用電気料金の場合、イタリアが1番高く、わが国は世界で2番目となっている。また、家庭用電気料金についても、米国、韓国、カナダ、フランス、英国などと比べて割高となっている。

以上のように、わが国の電気料金は、国際比較においても決して安価ではない。

米国では、風力による発電コストは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。さらに、今後多くの風力発電機を導入する予定である。

世界的にも脱化石化の有力な風力発電技術は、環境面だけではなく、経済合理性の観点からも、ますます有望な技術として期待されている。

## 2.2 マグリウス風車について

従来型のプロペラ風車の問題点を改善することを目的として、マグナス効果を用いた風車らを提案してきた。

図1に、本校が開発したスパイラルマグニウス風力発電機を示す。直径 $\phi$ 650mm、全高750mm、使用材料は、透明アクリル樹脂や白色MBS樹脂を用いて軽量化を図り、発電機にはステッピングモータを採用した。マグニウス(Magnius)とは、サボニウス(Savonius)とマグナス(Magnus)との融合を意味する名称である。さらに、起動性を改善させるためにサボニウス翼をスパイラル状にねじることで起動性を向上させている。3Dプリンターの普及により、このような異形状の翼体



図1 スパイラルマグニウス風車(洲実開発品)

加工も容易になり、様々な風車実験が可能となっている。計画案(Plan)はあってもなかなか具体化(Do)できず、結果を確認し考察(See)する余裕もなかった。これにより今後が期待されよう。

図2に、本校が新しく開発したマグリウス風力発電機を示す。同じく、直径 $\phi$ 650mm、全高750mm、使用材料は、透明アクリル樹脂や白色MBS樹脂を用いて軽量化を図り、発電機にはステッピングモータを採用した。マグリウス(Magrius)とは、ダリウス(Darrieus)とマグナス(Magnus)との融合を意味する名称である。これにより、回転トルクが向上し、トルク係数 $C_t$ とともにパワー係数 $C_p$ も向上できた。翼は、3DプリンターによりNACA0015翼を採用し、表面は加工痕を少し残すような仕上げとしている。また、翼の先端にいくほど回転半径が小さくなるように設計したことで、なめらかな回転となり、トルクが向上する結果となった。



図2 新型マグリウス風力発電機(新開発)

この新型風力発電機の開発については、課題研究(3単位)を活用して実施した。「エネルギー問題」、「風力発電技術」、「新型風車開発」の3つで構成し取り組んだ研究概要について述べる。「エネルギー問題」では、わが国の厳しいエネルギー事情や切実な環境問題について調査した。次に、エネルギー自立社会の実現のために、「風力発電技術」について調査・研究を行った。高校近辺の風速測定や、レイリー分布の結果を踏まえ、市街地でよく見られる風車に関する技術的課題を調査した結果、微風においても起動しやすく、強風時においても止まることが少ない、すなわち如何な

る風環境においても発電可能な風車が理想であることがわかった。一般に、風車は抗力型と揚力型に大別できるが、今回は抗力型のスパイラルマグニウス風車ではなく、揚力型の新型マグリウス風車に注目して開発を行った。風力発電機に関する知識を深めるために、流体力学の専門書や、国内に限らず様々な学会論文や特許・実用新案の内容の調査を行った。「新型風車開発」の内容については、次項で詳述する。

### 2.3 新型風車開発

風車性能向上のために、マグナス効果を有効に活用する方法について、チームで様々な意見を出し合いながら検討した。クッタ・ジューコフスキーの定理(Kutta-Joukowski Lift Theorem)による理想流体における回転体の揚力は、風速だけではなく、回転数、回転翼形状、空気密度などの影響を受けることが示される。①回転数を高めるための機構開発、②回転翼形状について、③回転翼表面性状などが改良ポイントとして指摘された。そこで、風車原動機の設計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。その実験結果については、次項2.4にまとめて述べる。

表1 新型風力発電機の改善案

項目	課題	対策案
①	・効率向上化構造 ・回転速度向上化	揚力型採用
②	・テーパ翼 ・パラレル翼	角度最適化
③	・翼表面に渦流発生	翼表面のあかさ

図3に、今回開発したマグリウス風車の回転翼を示す。120度ごとに3枚のNACA0015翼を備え、



図3 新型マグリウス風車のテーパ回転翼

さらに、翼をテーパ状に固定する構造とした。この工夫により、回転数が向上し、特に2 m/sec前後の微風域においても問題なく起動した。また、強風域の場合でもスムーズな回転が得られ、風切り音や機械的な異音の発生は見られず、問題のない風車機構が開発できた。

以上、変換効率や起動性、安全性の向上を図るために、風車構造だけを検討するだけではなく、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。

$$C_p = \frac{T\omega}{\frac{\rho AV_m^3}{2}} \quad (1)$$

$$TSR = \frac{r\omega}{V_m} = \frac{2\pi Nr}{60V_m} \quad (2)$$

ただし、 $T$ はトルク[N・m]、 $\omega$ は角速度[rad/sec]、 $\rho$ は標準状態の空気密度、 $A$ は受風面積[m<sup>2</sup>]、 $V_m$ 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、風洞実験での騒音比較の結果を示した。左は本開発マグリウス風車で、右は同じ大きさのプロペラ風車での騒音の比較である。風速は5 m/secとし、測定器を回転する翼の直下において測定した。その結果、マグリウス風車が41%も少ない音であることが示された。これは、プロペラ翼の周速比の高さに対して、マグリウス風車のそれは、約1/3程度であることによるものと推察される。これにより、騒音が大幅に低下させることができた。



図4 騒音比較

図5に、ディフューザを設置したマグリウス風車を示した。図の丸い金属製の輪のようなものがディフューザである。これにより、空気の流入速度が約30%程度増速されることで、風車出力が増加し、エネルギー変換効率を向上させることができた。以上、騒音が少なく、起動性が良好でエネルギー変換効率も向上できるディフューザを備えた風車が開発できた。

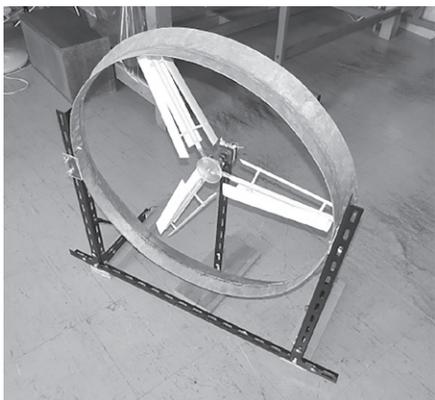


図5 ディフューザ付マグリウス風車

図6に、本開発風車と従来品(マグニウス風車)との特性比較を示す。縦軸はパワー係数 $C_p$ 、横軸は周速比 $TSR$ で表した。その結果、本開発ディフューザ付マグリウス風車(赤ライン)はパワー係数0.21という高い値が得られ、従来品(青ライン)と比較して131%の向上が認められた。さらに、性能改善可能と考えられる。

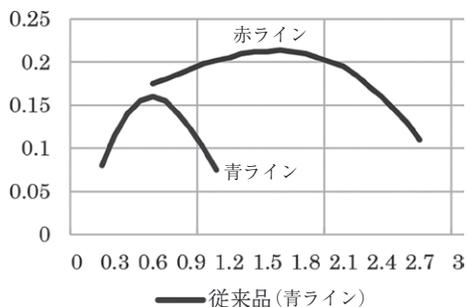


図6 本開発風車の特性比較

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、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。さらに、従来風車よりも静粛な風車が開発できた。

## 2.5 受賞について

図7に、全国工業高校長協会主催「第15回高校生技術・アイデアコンテスト全国大会」にて「理事長特別賞」の受賞を示す。さらに、ディフューザ付マグリウス風車改善仕様についても、経済産業省製造局長賞を受賞した。ソフトエネルギー研究については、2011年から7年も連続して上位賞を受賞するなど、有力な技術系の賞を数多く受賞してきた。

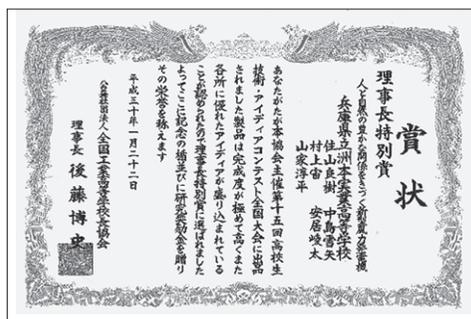


図7 本開発風車の受賞

## 3. まとめ

従来開発品と比較した結果、幅広い風環境に対して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。さらに、従来風車よりも静粛な風車ができた。また、国内において有力な技術賞も受賞でき、報道機関による発表もいただいている。すなわち、エネルギー自立社会をめざす新たな風車が開発できた。

### 参考文献

- 1) 植野裕介;「小型プロペラ型風力発電装置の開発」平成25年度産業教育振興中央会生徒研究文・作文コンクール (2013)
- 2) 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)
- 3) 田村銀河、登森慎悟、水田海人、宮尾美里;「人と自然の豊かな関係をきづく社会実現に向けて」平成28年度産業教育振興中央会生徒研究文・作文コンクール (2016)