

日本の環境に適した新型風車の開発

～小規模風力発電機 ジャイロニウス風車～

兵庫県立龍野高等学校

上 田 日花里

1. 研究目的

現在最も一般的で普及している風力発電機は、大型で水平軸の3枚羽のプロペラ型風車（写真1）である。

この風車には、大規模なので発電効率が良いという長所があるが、短所も存在する。1つ目は、特定方向からの風に対応できず、1年を通して多方向から風の吹く日本では、能力を最大限に発揮できない点。2つ目は、回転に大きな力が必要な点。3つ目は、国土の狭い日本では、大規模風力発電機を設置する土地の確保が難しい点。4つ目は、大きな羽が回転するため、騒音が発生し近隣住民の迷惑になる点だ。私たちはこれらの短所を解決すべく、日本の環境に適した風力発電機の作成を目指した。

2. 作成する風車

私たちが注目したのは、垂直軸型の小規模風力発電機であるサボニウス風車（写真2）だ。サボニウス風車の長所は、全方向からの風に対応可能な点。同じ風を2度利用する（図1）ため、弱風でも回転可能な点。小型のため騒音が少なく、また設置場所が確保しやすい点等が挙げられる。しかし、風の流れに対して水平に働く抗力を利用して回転するので、風速以上の速度での回転が不可能という短所が存在する。

そこで、私たちはこの短所を異なる風車と組み合わせることで解決しようと考えた。組み合わせる風車の選考は以下の流れで行った。まず、風車の形はサボニウス風車と同じ小型かつ垂直軸型とする。候補はクロスフロー型、ダリウス型、ジャイロミル型、パドル型の4種類の風車が挙げられる（図2）。

しかし、クロスフロー型、パドル型の2種類は、サボニウス風車と同様に抗力で回転するため、短所を補うことができない。また、ダリウス型は曲線形の羽の加工が手作業では難しく、実験で使用する際に正確性に欠ける。よって、揚力で回転し（図3）、羽が加工の比較的容易な板状であるジャイロミル風車を組み合わせることが決定した。

サボニウス風車とジャイロミル風車の2台を組み合わせた新しい風車（写真3）を作成した。弱風の際はサボニウス風車（内側の透明な羽）で回転し、強風になるとジャイロミル風車（外側の青色の羽）に移行する。2台の長所を組み合わせ合わせた新風車「ジャイロニウス風車」だ。



写真1 プロペラ型風車



写真2 サボニウス風車



図1 サボニウス風車の仕組み

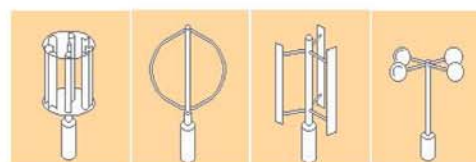


図2 小型垂直軸風車の種類

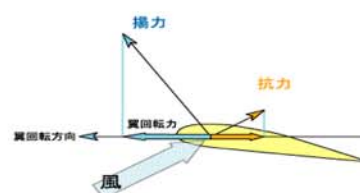


図3 ジャイロミル風車の仕組み

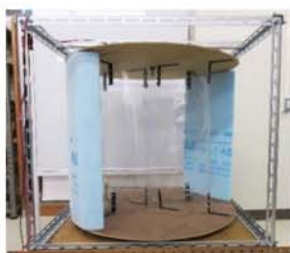


写真3 ジャイロニウス風車



写真4 実験に使用したモデル機

3. 研究方法

2018年に行った実験(1)～(3)までは写真3の小型のモデル機(写真4)を使用した。2019年に行った実験(4)からは実験(1)～(3)の結果をもとに作成した風車(写真3)を使用した。

(1) サボニウス風車の発電効率を上げる

① 実験方法 サボニウス風車の羽(直径15cm)が重なる部分(図4)を2～10cm間で2cmごとに変化させ、各重ね幅の発電量を電流計で計測し、最も発電効率の良い羽の直径と重ね幅の比を調べる。風速は扇風機と風速計を使用し2.5m/s～3.0m/sで一定に保つ。ジャイロミル風車の羽は取り外しサボニウス風車のみの状態で実験を行う。

② 仮説 羽根の直径と重ね幅が3:1の時、風を受ける部分と風の通り道となる部分の両方が十分に確保でき、発電量が最も多くなる。

③ 実験結果 グラフ1 羽の重ね幅ごとの発電量。

④ 考察 羽の直径と重ね幅の比が5:2のときに最も発電量が多くなる。風を受ける部分と風の通り道となる部分がほぼ同じ面積となった。これよりサボニウス風車の発電方法において1度に多量の風を受け大きな力で回転する仕組みと同じ風を2度使用し弱風で回転する仕組みは同等に重要であると考えられる。

(2) ジャイロミル風車の発電効率を上げる

① 実験方法 ジャイロミル風車の羽を6種類(図5)作成し、各羽を使用した時の発電量計測し、最も発電効率の良い羽を調べる。風速は実験(1)同様に2.5m/s～3.0m/sで一定に保つ。サボニウス風車の羽は取り外し、ジャイロミル風車のみの状態で実験を行う。

② 仮説 ジャイロミル風車は揚力で回転し、飛行機も揚力で飛行する。よって飛行機の羽を参考にした⑥の羽が最も多くの揚力を発生させ、最も多く発電する。

③ 実験結果 ⑥の羽のみ回転した。

④ 考察 図3からジャイロミル風車は揚力で回転する。揚力は羽の上下に生じる気圧差で発生する。つまり、羽の上下で面積に差がない場合揚力は発生しない。よって②・⑤の羽は揚力が発生せず回転しない。また、①・③・④の羽は上下の形状に多少の差はあるが、羽の先端が平らで風を受ける面積が大きいため、回転方向と逆向きに働く抗力を受けやすく、それを上回る揚力が発生せず、回転しなかった。よって、羽の上下の面積に大きな差があり揚力が発生しやすく、先端が鋭く比較的抗力を受けにくい⑥の

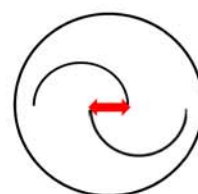


図4 羽の重ね幅(赤い矢印)

グラフ1 羽の重ね幅ごとの発電量

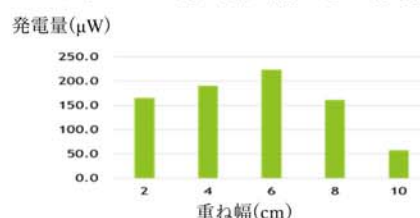


図5 作成した羽の断面図

表1 羽の形状と回転の有無

①		×	④		×
②		×	⑤		×
③		×	⑥		○

羽が回転した。

(3) 2台の風車の最適な位置関係を調べる

① 実験方法 風車の天板に1cmごとに目盛りを打ち、5cmずつジャイロミル風車の羽を移動させる。目盛りはジャイロミル風車の羽の末端部分(写真5の赤丸)に合わせる。発電量を計測し、最も発電効率の良い位置関係を調べる。風速は実験(1)同様2.5m/s～3.0m/sで一定に保つ。サボニウス風車の重ね幅は実験(1)より6cm、ジャイロミル風車の羽は実験(2)より⑥の羽を使用した。

② 仮説 ジャイロミル風車の羽がサボニウス風車の裏側にあるとき互いが受ける風を遮らず、最も多く発電する。

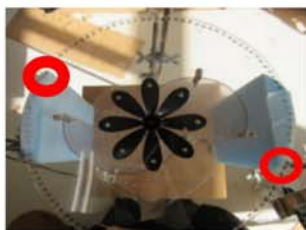
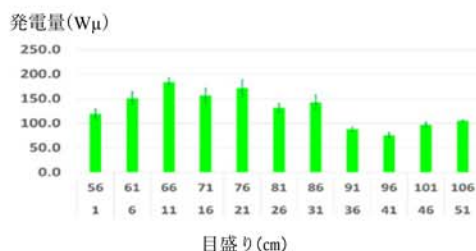


写真5 実験で使った風車

グラフ2 2台の風車の位置関係と発電量

写真6 ジャイロミル風車の羽の位置が
11cmと66cmの風車

③ 実験結果 11cmと66cm(写真6)のとき最も発電量が多かった。

④ 考察 ジャイロミル風車が11cmと66cmのとき写真6からジャイロミル風車の羽はサボニウス風車の羽の裏側にある。そのため、ジャイロミル風車はサボニウス風車を受ける風を遮らない。さらに、サボニウス風車単体では使われない羽の裏側の風を有効に利用できる。

(4) 3台の風車の発電量の比較

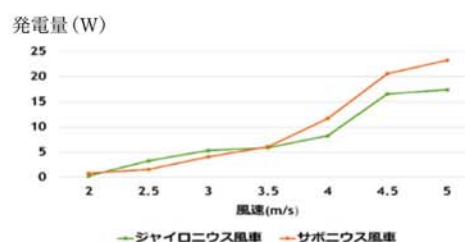
① 実験方法 風車は実験(1)～(3)の結果をもとに作成した風車(写真3)を使用する。風速は扇風機と風速計を用い2.0m/s～5.0m/sで0.5m/sずつ変化させる。扇風機で風を送ると風に渦が生まれ風速にむらができるため、ハニカム構造を設置し、まっすぐな風で実験を行う。

② 仮説 抗力で回るサボニウス風車は弱風でよく発電し、強風では発電量が伸びない。揚力で回るジャイロミル風車は強風でよく発電するが弱風ではあまり発電できない。2台を合わせたジャイロニウス風車は常によく発電する。

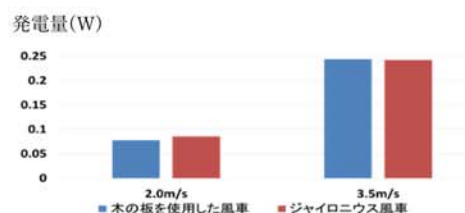
③ 実験結果 2.5m/s～3.0m/sでジャイロニウス風車がサボニウス風車を上回った。3.5m/s～5.0m/sでサボニウス風車がジャイロニウス風車を上回った。ジャイロミル風車は回らなかった。

④ 考察 ジャイロミル風車は小型だが、揚力で回転

グラフ3 発電量の比較



グラフ4 発電量の比較



するため弱風での回転には向かず、発電には強い風が必要だ。しかし、実験では扇風機の風力の限界の風速5m/sまでの風しか発生させられない。そのためジャイロミル風車が回るのに十分な風力が得られず回らなかった。

しかし、ジャイロミル風車が回転できないはずの2.5m/s～3.0m/sでジャイロニウス風車がサボニウス風車の発電量を上回った。2.5m/s～3.0m/sでジャイロミル風車が回転する揚力が発生したとは考えにくい。そこでジャイロミル風車の羽が本来の風車の働きとは別の働きをしたと考えた。具体的には整流板の働きだ。整流板とは風の流れを一定に整えるため設けられた板のことだ。同じ風速でもより風車が風を受けやすくなる。よって、2.5m/s～3.0m/sでジャイロニウス風車がサボニウス風車を上回ったと考えられる。

(5) 整流板効果の検証

① 実験方法 ジャイロニウス風車のジャイロミル風車の羽を揚力が発生しない木製の板に取り換えて発電量を計測し、実験(4)の結果と比較する。風速は2.5m/s～3.0m/sで0.5m/sずつ変化させる。

② 仮説 実験(4)のジャイロニウス風車の結果と同様の結果になる。

③ 実験結果 2台の発電量にはほとんど差がなかった。

④ 考察 実験(4)のジャイロニウス風車と同様の結果となったことから、実験(4)の考察で挙げたジャイロミル風車の羽が整流板の働きをしたという仮説は正しい。

4. 結 論

サボニウス風車の羽の重ね幅は羽の直径との比が5:2のときに最も発電量が多くなる。風を受ける部分と風の通り道となる部分がほぼ同じ面積であることからサボニウス風車の発電方法において、1度に多量の風を受け大きな力で回転する仕組みと同じ風を2度使用することで弱風で回転しやすくする仕組みは同じくらい重要である。

ジャイロミル風車の羽は揚力が発生しやすいように羽の上下の面積に大きな差があり、受ける抗力を小さくするために先端が鋭い形状が適している。

ジャイロミル風車とサボニウス風車を組み合わせる際には、ジャイロミル風車の羽はサボニウス風車の羽の裏側に設置するのが良い。ジャイロミル風車はサボニウス風車が受ける風を遮ることを防ぐことができ、さらに、サボニウス風車単体では使用することがないと考えられる羽の裏側の風を有効に利用することができる。

ジャイロニウス風車は、ジャイロミル風車の羽が整流板の働きをすることにより、2.5m/s～3.0m/s 間でサボニウス

風車よりも多く発電できる。また、この整流板は従来の整流版と異なり風車と共に回転するため、サボニウス風車本来の長所である、全方向からの風に対応可能という点を損なわない。

文 献

- ・ソフィアエンジニアリング（株）：<http://www.sophia-eng.net/風力発電リンク/genri.html>
- ・パナソニック HIT 旧三洋：「太陽光発電システム 日々の 発電 売電 記録」，http://www.kirin001.com/taiyoukou/archives/cat49/post_22/（最終閲覧日：2019 年 3 月 20 日）

研究グループ紹介

中部電力(株) 技術開発本部 電力技術研究所 流通グループ

内田 克己〔中部電力(株)〕

1. はじめに

中部電力(株)技術開発本部は、傘下に電力技術研究所、エネルギー応用研究所、原子力安全技術研究所の3研究所があり、そのうち電力技術研究所では「電力の安定供給」に資する研究を主に実施している。電力技術研究所は5つのグループからなり、今回紹介する流通グループは「電気を送る技術」を主として研究するグループであり、電力系統に関する研究を行っている系統チーム、電力流通設備(変電設備、送電設備)に関する研究を行っている送変電チーム、さらには高温超電導体を用いたコイルにより発生する強磁場の産業応用を研究している超電導チームよりなる。

2. 主な研究テーマ

現在、実施している研究のうち、主な研究を以下に紹介する。

(1) 系統分野

電力系統に太陽光発電等の再生可能エネルギーが大量導入されると、その大きな出力変動に伴い、電圧変動、余剰電力(周波数変動)、系統安定度低下等の様々な問題が生じる可能性がある。これら各種課題に対する対策の一つとして、電力系統内への蓄電システム(Battery Energy Storage System: BESS)設置が考えられるが、適用に当たってはシステム全体の設置コストを最小化でき、上記の複数課題を効率よく解決するための協調制御方式等の検討が必要である。そこで、実験やシミュレーションを用いてこれらの課題について研究を実施している。試験結果の一例を図1に示す。BESSを設置した場合、1回線3相地絡故障発生後の同期化力・ダンピング力が向上している(系統安定化制御)。また、協調した周波数制御によりBESSが負荷脱落分を補償することで系統安定後に潮流が元の値に戻っている。

話は変わるが、昨年度、北海道で地震を発端としたエリア内全停(ブラックアウト)が発生し、その復旧には多くの時間を費やした。当社においても東南海地震等の大災害によるエリア内全停の可能性が否定できないため、安全かつ迅速な復旧を行えるように、最新のリアルタイムシミュレータを用いて、詳細な全停復旧方法の再検討を実施している。

(2) 送変電分野

変電所の遮断器に入・切不動作の障害が発生した時には障害部位の特定および対策を行う必要がある。そこで遮断器の動作音を常時記録し、障害発生時の動作音から異常様相を判別する技術の検討を行っている。実際の変電所で使われていた6.6kV電動ばね駆動式真空遮断器を用いて、入・切動作の異常様相を模擬して、動作音が変化する状況

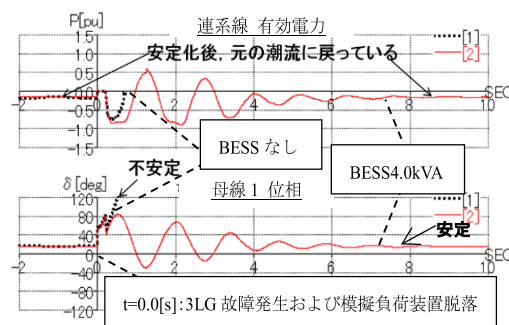


図1 系統安定化制御と周波数制御の協調例

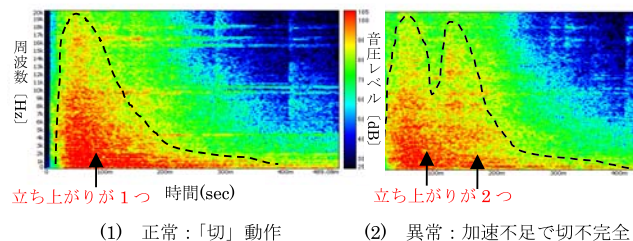


図2 FFT カラーマップ

を確認した。その結果、図2に示すFFTカラーマップ(横軸:時間、縦軸:周波数、色:音圧レベル)を用いることで、正常と異常を色模様や波形形状の違いで定性的に判別できることが分かった。また、ノイズを避けた周波数帯域である13k~15kHzの音圧レベルを抽出し時間特性を見ることで、定量的な異常判別ができることが分かった。

また送電分野では、落雷発生時のVHF放射パルスの放射特性を詳細に分析することで、多重落雷と多地点落雷を明確に判別することが可能となった。多重落雷は、同一箇所に放電が継続することで放電電荷量が累積され、架空地線の損傷につながる懸念される。一方、多地点落雷は複数の送電鉄塔で故障が発生し、雷サージの発生源が複数地点となることで送電線の雷故障様相を複雑化する。この2つの現象を正しく判別できるようになったことで、巡視・点検業務を効率的に実施することができる。

3. おわりに

2016年の電力小売全面自由化、2020年の発送電分離等、電力分野を取り巻く環境は大きく変化を迎えている。しかし、毎年のように大きな災害が発生する昨今、「電力の安定供給」に資する研究は、益々その重要性が高まっているといえる。今後も、コストダウンも意識しつつ、これらの研究・技術開発に努める所存である。

(2019年11月15日受付)

第 11 回 慣性核融合科学と応用に関する国際会議(IFSA2019)報告

有川 安信, 白神 宏之 (大阪大学レーザー科学研究所)

1. はじめに

2019 年 9 月 22 日から 27 日まで、大阪市中央公会堂において、第 11 回慣性核融合科学と応用に関する国際会議 (11th International Conference on Inertial Fusion Science and Applications: IFSA2019) が開催された。1999 年以来、フランス・日本・アメリカの三極で隔年で持ち回り開催されてきた、慣性核融合分野において最大規模の国際会議である。19 カ国から 400 名以上の参加者があった。

2. 各国のレーザー核融合研究の情勢

我が国からは、レーザー核融合研究、中性子応用研究、並びにハイパワーレーザー開発等に関して、多くの招待講演が行われ、研究力の高さを世界にアピールした。

米国のローレンスリバモア国立研究所からは、超大型レーザー施設 NIF (National Ignition Facility) における中心点火方式 (Central Ignition)[†]のレーザー核融合実験の結果が報告された。ここ数年の成果として核融合反応で発生したアルファ粒子により燃料の自己加熱が起こっており、核融合点火燃焼に向けた重要なステップを越えつつある。近年問題とされてきた燃料ターゲットに取り付けた燃料導入管や非一様爆縮が原因で、圧縮燃料が最終的に非対称に潰れるという問題に対して、多くの実験がなされ精緻な実測データとその詳細な解析結果が出てきた。レーザー出力の向上に関する研究も進展しており、現在 1.8 MJ である NIF レーザーの出力が近々 2.6 MJ まで増強できると言い、点火へ向けての明確な見通しまであと一歩という所まで来ている。またサンディア国立研究所からは、パルスパワー装置 Z-machine における磁化ライナー慣性核融合 MagLiF (Magnetized Liner Inertial Fusion) と呼ばれる、磁場圧縮とレーザーによる燃料加熱とを用いた新たな点火概念実験についての進展が報告された。この手法では、シリンダー形状の燃料プラズマにおいて半径方向へは磁場核融合と同様のアルファ粒子の磁場閉じ込め効果が期待できるという特徴がある。

我が国からは、中心点火方式と比べて少ないレーザーエネルギーで高い核融合エネルギー利得が得られる可能性のある高速点火方式 (Fast Ignition)[‡]に関して、外部磁場印加の爆縮実験で高効率の燃料加熱が検証されたこと、などが報告された。

フランスからは、部分的に完成した超大型レーザー施設



図 1 基調講演の会場風景

LMJ (Laser Mega Joule)、並びに Petal という超短パルスレーザーを用いて実験が開始されたことが報告された。

中国から新たな国家プロジェクトが発表された。中国科学院が中心となった研究所が組織を作り、基礎学術研究としてのレーザー核融合研究を進める事が決定したとのことである。中国ではレーザーに用いられる光学素子、結晶、ネオジムドープガラスなどの開発をすべて自前で進めており、高品質でありながら圧倒的な低コストを実現している。これにより高精度なレーザー装置を短期間で完成させる計画である。中国は大出力レーザーを全て自国産で建設できる国となりつつある。今後の進展を注視していきたい。

全体として、レーザー核融合は点火燃焼を視野に入れた研究段階にきたとともに、一方で超短パルス、超高強度、高繰り返しなど様々なレーザー技術の進展にもめざましいものがあることが顕著に現れた会議であった。

3. その他

会議においては、優れた業績に対して従来からのシニア対象の Teller 賞が 2 名に、加えて中堅研究者への Fabre 賞が 1 名に、若手研究者への山中賞が 6 名に授与された。

また、会議前日の 22 日(日)には、関連行事として主に小学生以下の年齢層を対象とした市民公開講座「核融合とレーザー」が開催された。国内の核融合関連研究所等 7 機関が共同で公開実験ブースを設け、科学の面白さをわかりやすく伝えた。600 名の来場者があり、大盛況であった。今後、このようなアウトリーチ活動はますます重要になってくると考えられる。

なお、次回 (第 12 回) 会議は、2021 年 9 月に米国コロラド州デンバー市において開催される予定である。

(2019 年 11 月 6 日受付)

[†] 中心点火方式: 爆縮された燃料の中心部分に高温の点火部分を自己形成する点火方式

[‡] 高速点火方式: 爆縮された燃料の一部を外部から超高強度レーザーで照射し高温の点火部分を形成する点火方式