

2022年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	東京大学 大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻
職位または役職	助教
氏名	小室 淳史

1. 研究題目

回転円柱により誘起される流れ場の動的制御に関する研究

2. 研究目的

本研究では小型風力発電システムの普及を目指し、垂直軸型風車の一種として提案されているマグナス風車の発電効率の向上を目的とする。近年、再生エネルギーに対する需要が高まっている。特に日本は資源が少ない島国であるために、とりわけエネルギー自給率が低く、大部分のエネルギー源を他国に依存せざるを得ない。このような問題を解決するために、総発電電力に対する再生可能エネルギーの割合を増加させることは現代日本における重要な課題となっている。

マグナス風車は風車の回転軸が地面に対して垂直であり、またプロペラに円柱を用いる点の特徴である。プロペラに円柱を用いることで突風などの自然外乱に対して堅牢であり、日本のような丘陵地が多い島国では特に環境に適合する。また、通常の風車に対して小型化できることもメリットであり、小規模の発電網を形成することが出来る。一方で、マグナス風車は風力発電の効率という観点では、従来のプロペラ型には及ばず、風力に対する発電量を改善することが課題である。このような課題を解決するために、本研究では、円柱の回転に用いられるモーターを気流制御用のアクチュエータとして活用し、モーターの回転速度や向きを動的に変えることで動的な気流制御を実現し、マグナス風車の平均発電電力を向上させることを目指す。

3. 研究内容及び成果

初めに実験に用いる風洞の整備と円柱の回転制御機構の構築を行った。風洞は回転制御機構を取り付けるために翼端板を新しく設計し、円形のフランジ加工を行って回転を妨げないような構造とした。また回転制御機構としてはステッピングモーターとカップリングを用いて円柱とモーターを結合した。

円柱は表面圧力を計測するために中央部分のみを 3D プリンタで作成し、アクリルの円柱と接着することで製作した。3DCAD で作成した設計図を図 1(a)に、実際に製作した実物の写真を図 1(b)に示す。写真中央部の白色の部分が 3D プリンタで製作した部位であり、直径 1.5 mm のステンレスパイプを取り付けて円柱表面の圧力を引き出している。

圧力計測用のセンサとして Kulite 社製の非定常圧力センサを用いる予定であったが、近年の半導体不足により供給の見込みがつかないということが判明した。そのため、今年度中にセンサをモデルに埋め込むことはあきらめ、圧力チューブにより圧力を引き出し多点圧力スキャナで計測する手法に変えた。多点圧力スキャナは非定常圧力センサに比べて計測周波数が遅いため、代替手法として熱線流速計を用いた計測を行うことに変え、Kanomax 社製の熱線流速計を購入した。

構築した実験系を用いて、一様流れ中における円柱周りの圧力分布の計測を行った。その結果を図 2 に示す。先行研究結果と比較することで同様の結果が得られていることを確認し、実験系が問題なく構築できていることを確認した。また、円柱の動的試験として、円柱を時計方向に半回転、半時計方向に半回転させることを繰り返し、その際の円柱表面圧力の計測を行った。その結果、円柱の回転速度を変えたり、回転方向にピッチング運動をさせたりすることによって、円柱に発生する揚力が変化することが確認された。また、より気流制御効果を上げるために、追加のアクチュエータとしてプラズマアクチュエータを取り付けて気流制御実験を行った。円柱の回転周期に同期させてプラズマアクチュエータを駆動し、その際の円柱表面圧力の変化を計測した。その結果、回転円柱にプラズマアクチュエータを用いることで円柱周りの流れを動的に制御できることがわかった。

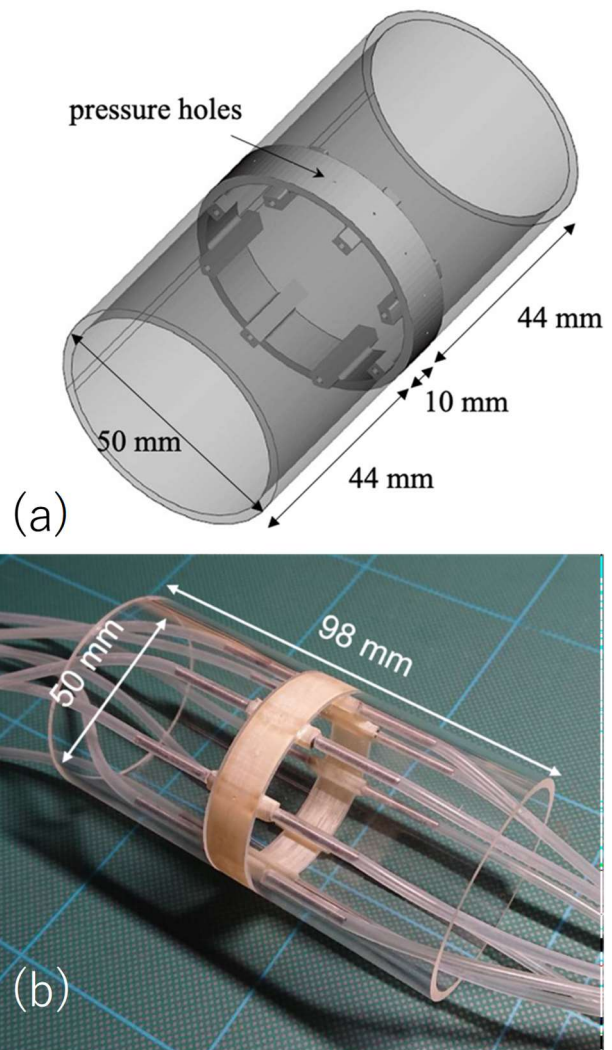


図 1: (a)風洞実験で用いる円柱の設計図と (b) 実際の写真

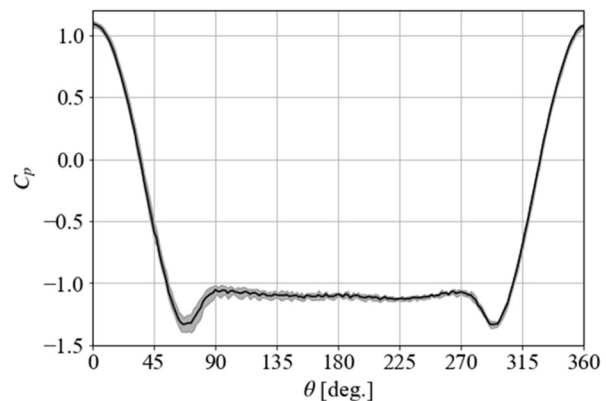


図 2: 円柱周りの圧力分布

4. 今後の研究の見通し

本年度の研究は、当初の予定では非定常圧力センサを用いて円柱周りの表面圧力を計測する予定だったが、購入できないことが判明したために計測方法の変更が必要となった。そこで、圧力計測は手持ちの多点力圧力スキャナを用いて行うことにし、時間応答性の早い計測は熱線流速計を新たに購入して行うこととした。したがって、今後の研究は圧力スキャナを用いた圧力計測と、熱線流速計による流速計測を評価項目として進めていく。

これまでの研究により風洞の整備と円柱の回転機構の整備が出来たので、今後は円柱周りの流れ制御としてプレディターミンド制御やフィードバック制御を進めていく。様々な制御手法を試し、円柱の回転のみによる気流制御効果の最適化を目指す。

また、2023年度期間の後半では円柱の形状そのものに着目し、円柱の形状を変えることでマグナス力の改善を目指すため、現在考えているのはスパイラル型円柱とエンドプレート付き円柱である。円柱の形状が変わると最適な制御側も変わる可能性があるため、それぞれの円柱形状に対する制御手法も検討する。さらに、円柱の回転のみによる制御効果が小さい場合には、追加のアクチュエータを搭載することも検討する。円柱表面に取り付けが可能な MEMS アクチュエータや、プラズマ放電により気流を制御するプラズマアクチュエータの搭載も検討を進める。

5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

Uemura T, Komuro A and Ono R 2023 Flow control around a pitching oscillation circular cylinder using a dielectric barrier discharge plasma actuator *J. Phys. D: Appl. Phys.* **56** 125202.
(関連研究)