内部にバッハ・勾玉型ロータを有する 直線翼ダリウス型風車の性能評価

加瀬 篤志^{a,*} 中島 基来^b 山地 凌輔^b 川口 清司^a

Performance Evaluations of Straight Darrieus Type Wind Turbine Appended inner Bach - Comma Shaped Rotor

Atsushi Kase^{a,*}, Motoki Nakajima^b, Ryosuke Yamaji^b, Kiyoshi Kawaguchi^a

(Received July 11, 2019; revised August 22, 2019; accepted September 2, 2019)

Abstract

The straight Darrieus type wind turbine, which is expected to use for dispersed power source in urban site, has low performance especially at low tip speed ratio. In this paper, we suggested new type inner rotor to increase the power coefficient over wide range of tip speed ratio. The new type inner rotor, called “Bach – Comma shaped rotor”, is consist of a combination with cylindrical outer shape and Bach type inner shape. The Bach type shape has straight part to gain more torque from the wind than the classical Savonius bucket. The outer cylindrical shape inhibit the flow separation on the blade and rise the power coefficient. It was verified that the “Bach – Comma shaped rotor” is valid for increase the power coefficient over wide range of tip speed ratio by performing both two-dimensional numerical simulations of flow and the torque measurement experiments under the wind-tunnel.

キーワード：混合風車，直線翼ダリウス型風車，バッハ・勾玉型ロータ，円柱型ロータ，勾玉型ロータ

Keywords : Hybrid Wind Turbine, Straight Darrieus, Bach-Comma Shaped Rotor, Cylindrical Rotor, Comma Shaped Rotor

1. はじめに

風力発電や太陽光発電を始めとする再生可能エネルギーの活用は，化石燃料の枯渇や地球温暖化といったエネルギー問題の解決策として期待されている。中でも大型のプロペラ型風車を用いた風力発電は，比較的高効率であることから，現在世界中で稼働している再生可能エネルギー発電の約半数は風力発電が占めている。

大型のプロペラ型風車では大規模発電が可能であるが，一般に周速比が高い条件で運用されるため騒音が大きいという欠点があり，都市部近郊へ設置することが難しい。一方，直線翼ダリウス型風車はプロペラ型よりも低い周

速比で運用されることから比較的低騒音であり，垂直軸型であることから風向制御機構が不要という利点がある。このことから，分散型電源としてはプロペラ型よりも直線翼ダリウス型の方が適していると考えられる。

直線翼ダリウス型風車は揚力型であることから，抗力型のプロペラ型風車などと比べて効率が低いものの，同じく揚力型であるプロペラ型風車よりは劣る。これは，直線翼ダリウス型風車では十分な揚力を発揮する迎え角で動作する回転角の範囲が狭いことに起因する。また抗力型風車に比べて低周速比での性能が低く，起動特性が悪いという問題もある。これらの問題を解決するため，風車のピッチ角を能動的に変更する可変ピッチ機構⁽¹⁻²⁾の採用や，サボニウス型と組み合わせる混合風車⁽³⁻⁴⁾が提唱されている。ただし，前者は周速比に応じてピッチ角制御を電動で行う場合は電力を消費することに加えて，機構の複雑化によるメンテナンス性の低下等の問題がある。また後者は低周速比においてはパワー係数が向上するものの，高周速比においてはサボニウス型ロータ部が抵抗となり，性能が低下してしまうという問題がある。

* Corresponding author. E-mail: kase@eng.u-toyama.ac.jp

a 富山大学

〒930-8555 富山県富山市五福 3190

University of Toyama

3190, Gofuku, Toyama-shi, Toyama, Japan 930-8555

b 富山大学大学院理工学教育部

〒930-8555 富山県富山市五福 3190

University of Toyama, Graduate School of Science and Engineering for Education

3190, Gofuku, Toyama-shi, Toyama, Japan 930-8555

これらに対し、筆者らは混合風車のコンセプトを継承しつつ、より幅広い周速比での直線翼ダリウス型風車の高性能化を実現する方法を模索してきた。筆者らはこれまでに、直線翼ダリウス型風車の内部に円柱型ロータを設置することで、翼面からの剥離を抑制し、パワー係数が向上することを見出した⁽⁵⁾。さらに発展させて、サボニウスバケットと円柱型ロータを組み合わせた勾玉型ロータを提唱し、その性能向上効果を実証してきた⁽⁶⁾。この勾玉型ロータは、ロータの外周部が円柱形状であるため、従来のサボニウス型との混合風車の弱点であった高周速比での抵抗の低減と、円柱型ロータと同様の翼面からの剥離抑制効果を併せ持つ。そこで、この勾玉型ロータを更に改良する方法を検討した。

本報告では、サボニウス型よりも性能の良い抗力型風車として提唱されているバツハ型⁽⁷⁾の形状を勾玉型ロータに取り入れることで直線翼ダリウス型風車の性能向上を図り、二次元数値シミュレーション及び実験により性能向上効果を実証した結果について報告する。

2. 二次元数値シミュレーション

2.1 解析モデル

バツハ型の形状を取り入れた勾玉型ロータの有効性を

Fig.1 Schematic diagrams of wind turbine model

検証するため、比較的計算コストの低い二次元数値シミュレーションを実施した。今回検討した風車モデルの概略図を Fig.1 に示す。

Fig.1(a)は基準となる、内部にロータを有しない直線翼ダリウス型風車モデル（以降 Basic）を示しており、その風車径 d_w は 400 mm、翼型は NACA0020 で、翼弦長 l_c = 80 mm の 2 枚翼 ($N=2$) である。Fig.1(b)~(d)は、Basic の内部に $d_r=180$ mm（ロータ比 $d_r/d_w=0.45$ ）の各種ロータを設置したものであり、順番に円柱型ロータ（以下 Cylinder）、従来型のサボニウスバケットを有する半円・勾玉型ロータ（以下 S-Comma）、そして今回提唱するバツハ・勾玉型ロータ（以下 B-Comma）を示している。なお、S-Comma と B-Comma の外側部分は共通であり、 $d_r=180$ mm の円弧の先端にカウル半径 $r_c=45$ mm の円弧を組み合わせて構成されている。また S-Comma の内側バケット部は $r_b=60$ mm の円弧であり、B-Comma の内側バツハ部は $r_b=40$ mm の円弧と 71.45 mm の直線で構成されている。Fig.1(e)は、ロータ径 $d_r=180$ mm のバツハ型サボニウス風車との混合風車（以下 Bach）を示している。なおバツハ部の形状は B-Comma と同じである。

2.2 使用ソフトウェア

計算メッシュの作成には、市販の計算格子生成ソフトウェアである Gridgen (Pointwise Inc.)を用い、流れ場の計算及び可視化には有限体積法に基づく汎用熱流体解析ソルバーである ANSYS CFX (ANSYS Inc.)を使用した。

2.3 計算条件

Fig.2 に境界条件の概略図を示す。流路長さ 2500 mm、流路幅 1800 mm の矩形の静止領域の内部に直径 660 mm の回転領域を設けている。図の左側の境界において一様な流入流速 $V_a=6$ m/s を与え、図の右側の境界において圧力 0 Pa を指定し、左から右への流れを形成している。また図の上下の境界には Opening 条件を与え、有限体積法で二次元計算を行うため、紙面奥行方向に対称条件を課している。また翼表面及びロータ表面は滑り無しとし、回転領域は反時計回りに周速比に応じた回転数で回転するように設定した。周速比 λ は、主流速度 V_a と風車翼の周速度 V_b を用いて次式で定義される。

$$\lambda = \frac{V_b}{V_a} \quad (1)$$

なお、作動流体の物性値については、ANSYS CFX のライブラリ内に用意されている 25℃の空気の使用した。また乱流モデルには $k-\omega$ モデルを使用した。

2.4 パワー係数の比較

二次元数値シミュレーションにより得られた各周速比 λ におけるパワー係数 C_P の算出結果を Fig.3 に示す。ただし、パワー係数 C_P は次式により定義される。

$$C_P = \frac{2\omega T}{\rho V_a^2 A} \quad (2)$$

Fig.2 Schematic diagram of calculation conditions

ここで V_a は主流速度, V_b は直線翼ダリウス型風車の周速度を表し, ρ は空気密度, ω は角速度, T は 1 回転の平均トルク, A は風車の前方投影面積 (風車直径 $\times$ スパン) をそれぞれ表す。今回 C_P は 3 回転分の平均値として算出した。

Fig.3 を見ると, 周速比 λ が 1 以下においては, パワー係数 C_P は Bach が最も高く, B-Comma, S-Comma, Cylinder の順でいずれも Basic よりも高い値を示している。このことから, 内部ロータを設置することで低周速域での性能向上が期待できる。特に今回提唱した B-Comma は, 低周速比において Bach には及ばないものの, C_P の向上効果が顕著であり, 従来の Cylinder や S-Comma 以上の性能向上効果があることが示唆されている。一方, $1 \leq \lambda \leq 2$ の範囲を見ると, Cylinder, S-Comma, B-Comma はいずれも Basic よりも C_P が向上しているが, Bach は Basic よりも C_P が低下している。これは Bach においては内部ロータが完全な抗力型であるため, 高周速比においては形状抵抗が大きくなるためであると考えられる。S-Comma, B-Comma も抗力型のロータを有してはいるが, 外周部が円弧であるため回転時の形状抵抗が小さく, Bach ほどの抵抗にはならないと考えられる。また Cylinder や S-Comma については翼周りの流れの剥離を低減する作用⁽⁵⁻⁶⁾が確認されており, その効果が B-Comma においても現れているものと考えられる。また, この範囲においては B-Comma と S-Comma の C_P はほぼ同じ値を示しており, 内部ロータ内側の形状は高周速比においてはあまり影響がないと考えられる。周速比が 2 を超えると Basic の C_P が最も高く, 周速比が高すぎると内部ロータによる性能向上は期待できないと考えられる。

2.5 トルク係数の比較

周速比 $\lambda = 1$ 及び $\lambda = 2$ における 1 回転中のトルク係数 C_T の変動をそれぞれ Fig.4, 5 に示す。回転角 θ については, 翼が Fig.1 の状態にあるときを 0 deg として回転方向である反時計回りに増加するものとする。ここでトルク係数 C_T は, 次式により定義される無次元化されたトルク

Fig.3 Comparison of power coefficient
(2D numerical simulation)

を示している。

$$C_T = \frac{2T}{\rho V_a^2 A r_w} \quad (3)$$

ただし r_w は風車の半径 (200 mm) を示している。また Fig.4, 5 は 3 回転分の位相平均で示している。

Fig.4, 5 より, いずれも翼枚数 N が 2 枚であることから, 1 回転中に 2 回の変動があることが分かる。また, より周速比の大きい Fig.5 の方が全体的にトルク係数 C_T は大きい。なおトルク係数 C_T とパワー係数 C_P は, 次式のような比例関係にある。

$$C_P = \lambda C_T \quad (4)$$

Fig.4 より, $\lambda = 1$ においては, いずれのモデルもトルク係数 C_T の最大値にはそれほど顕著な変化が見られない。しかし, 回転角 θ が $90 \sim 180, 270 \sim 360 \text{ deg}$ 付近で Basic は C_T が大きくマイナスの値になるのに対し, その他のモデルではそこまで低下していない。また内部ロータを有する Basic 以外のモデルではいずれも Basic よりも C_T がプラスとなっている θ の範囲が広い。これらのことにより, 1 回転中の平均トルクが増大し, パワー係数 C_P の向上につながったと考えられる。

Fig.5 より, $\lambda = 2$ においては, C_T の最大値は Basic が最も高い値を示しているが, マイナスのピーク値も大きく, 結果的に Cylinder, S-Comma, B-Comma の方が 1 回転の平均トルクが大きくなり, 高い C_P を示すと考えられる。実際, 1 回転の平均トルク係数は Basic が約 0.096 であるのに対し, Cylinder, S-Comma, B-Comma ではそれぞれ 0.102, 0.110, 0.109 となっている。またこの 3 つのモデルでは C_T の変動についてもほぼ同じであった。一方, Bach は他のモデルよりも C_T の最大値が小さく, C_T がプラスの値をとる θ の範囲も狭いため, 1 回転の平均トルクが小さくなり, 結果的に $\lambda = 2$ において最も性能が低くなったと考えられる。

Fig.4 Change of torque coefficient ($\lambda = 1.0$)

(a) Wing1

Fig.5 Change of torque coefficient ($\lambda = 2.0$)

(b) Rotor1

Fig.6 Change of torque coefficient of each parts ($\lambda = 1.0$)

各モデルについて、 $\lambda = 1$ 及び $\lambda = 2$ におけるパーツ毎のトルク係数の変動をそれぞれ Fig.6, 7 に示す。ただし、各パーツの名称は $\theta = 0 \text{ deg}$ において上側にあるものを 1、下側にあるものを 2 としている。翼 1 と翼 2、ロータ 1 とロータ 2 はそれぞれ位相が 180 deg ずれているだけであるため、2 つあるものについては 1 のみを示している。

Fig.6(a) を見ると、翼については、内部ロータを有するモデルはいずれも C_T が最大値をとる位相が Basic に比べて 10 deg 程ずれているが、最大値自体はほぼ同じである。また $\theta \leq 180 \text{ deg}$ で C_T がマイナスとなる範囲が Basic では $\theta = 80 \sim 170 \text{ deg}$ 付近であるのに対し、S-Comma では $\theta = 110 \sim 160 \text{ deg}$ 付近、Bach では $\theta = 120 \sim 170 \text{ deg}$ 付近、Cylinder と B-Comma ではほぼマイナスにならないという違いが見受けられる。一方 Fig.6(b) を見ると、Cylinder ではロータ自体のトルクの発生はほぼ見受けられないのに対し、他のモデルではロータ自体にトルクの発生が確認出来る。Bach ではロータの中では最大値が最も大きく、次いで B-Comma, S-Comma という順になっている。この 3 種のロータはいずれも抗力型であるため、 C_T がプラスの値をとる位相はほぼ同じであると予想していたが、実

際にはそれぞれ異なっており、B-comma は比較的広い範囲でプラスになっている。また Fig.4 において、 $\theta = 120 \text{ deg}$ 付近で B-comma の C_T が盛り上がっているが、これはロータ 1 でトルクが発生したことによるものであることが Fig.6(b) より分かる。

Fig.7(a) を見ると、 $\lambda = 1$ の場合と同様に、内部ロータを有するモデルはいずれも C_T が最大値をとる位相が Basic に比べて 10 deg 程ずれている。しかし、最大値は Basic が最も高く、その他のモデルでは全体的にほとんど差が見受けられない。このことから、円柱型ロータや従来の勾玉型ロータで見られた翼面での流れの剥離の抑制効果が B-Comma においても作用していることが考えられる。また C_T がマイナスの値をとる範囲は、Basic では $\theta = 130 \text{ deg}$ 付近以降であるのに対し、その他のモデルでは $\theta = 160 \text{ deg}$ 付近以降である。一方 Fig.7(b) を見ると、ロータについても $\lambda = 1$ の場合と同様に、Cylinder ではトルクの発生が認められず、その他のモデルではロータ自体にトルクの発生が確認出来る。ただし、Bach は C_T がマイナスとなる範囲が広く、一回転で平均するとマイナスとなる。それに対し、S-Comma と B-comma は、ほぼ同じ値を

Fig.7 Change of torque coefficient of each parts ($\lambda = 2.0$)

示し、広い回転角の範囲で C_T がプラスの値をとっており、一回転で平均するとプラスになっている。翼の C_T においても差が無いことから、 $\lambda = 2$ においては S-Comma と B-comma での流れ場はほぼ同じになっていることが推測される。

2.6 流れ場と圧力分布

Basic, B-comma について、周速比 $\lambda = 1$ における圧力分布及び流線を Fig.8, 9 に示す。Fig.8 は $\theta = 70$ deg (250 deg), Fig.9 は $\theta = 120$ deg (300 deg) の結果をそれぞれ示しており、主流は左から右に流れている。またカラーコンターは圧力分布を示しており、負圧が強い箇所が青く表示されている。

Fig.8 を見ると、Basic では上流側 (図の左側) の翼 1 の下流で大きく剥離し、負圧の中心が翼中腹部にあるのに対し、B-Comma では翼 1 の剥離が抑制され、翼の前縁付近に負圧の中心が来ている。この負圧中心の位置から、Basic よりも B-Comma の方が強いトルクを発生していると考えられる。また流線を見ると、B-Comma において、図の右側のロータ 2 のパッハ部に突き当たる流れが確認できる。この流れに押されることによって、ロータのト

Fig.8 Pressure distribution and streamlines ($\lambda = 1.0$, $\theta = 70, 250$ deg)

Fig.9 Pressure distribution and streamlines ($\lambda = 1.0$, $\theta = 120, 300$ deg)

ルクが発生していると考えられる。すなわち、ロータの内側のパッハ部が抗力型風車として機能していることが

言える。

Fig.9 を見ると、Basic では翼の後縁付近に負圧が発生していることから、マイナスのトルクが生じていることが分かる。それに対して B-Comma では負圧の中心が翼から離れた位置にあるため、ゼロに近いトルクとなっていることが考えられる。またロータ 1 (図の下側) を見ると、外側の円弧の曲率が変わる箇所の付近で、負圧が生じており、これがプラスのトルクの要因となっていると考えられる。すなわち、ロータの外側の形状が一種の揚力型風車として機能していることが言える。また、もう一方のロータ 2 には流線が突き当たっていることから、こちらは抗力型として機能していると考えられる。

3. 風洞下での実証実験

3.1 実験装置

二次元数値シミュレーションにより、基準となる Basic と、低周速比において性能向上が認められた Bach, 周速比の広い範囲で性能向上が認められた Cylinder 及び B-Comma の各モデルに対し、風洞下でトルク計測実験により性能向上の実証を試みた。

Fig.10 に使用した実験装置の概略図を示す。基本的な構成や測定方法は過去の実験⁽⁵⁻⁶⁾で使用したものと同一である。風洞のテストセクションは、800mm×800mm の矩形ノズルから一様な風速が噴き出すようになっている。供試風車はトルク変換機（共和電業，TP-20KCE）を間に挟む形でギアードモータ（オリエンタルモーター，51K90GU-SF+5GU3KB）にフレキシブルカップリングにより接続されており、インバータ（東芝，VFNC1S-1001P）の周波数を調整することで、周速比に応じた回転数で回転できるようになっている。トルク変換機からの出力は、アンプとなる動ひずみ計（共和電業，DPM-713B）と A/D 変換機（CONTEC，AIO-160802AY-USB）を介して PC に取り込む。風速は風車上流側で熱線流速計（カノマックス，Model 6003）を用いて測定し、回転数は非接触式タコメータ（日本電産シンポ，EE-2B）を用いて測定した。また、測定されるトルクには、各翼の重量のアンバランスや僅かな偏心等による回転軸の摩擦トルクが含まれてしまうため、別途風洞を停止させて無風状態でのトルク測定を行い、主流のある状態での測定結果から差し引くことで風車の発生トルクとして算出した。

3.2 パワー係数の比較

Fig.11 に風洞下でのトルク測定実験により得られた各周速比におけるパワー係数の関係を示す。Fig.11 より、二次元計算の結果と同様に、Bach は低周速比においては他のモデルよりも高いパワー係数を示しているが、高周速比では他のモデルよりも劣る。また測定した周速比の範囲において Cylinder, B-Comma とともに Basic を上回るパワー係数を示していることが分かる。このことから、

Fig.10 Experimental apparatus

Fig.11 Comparison of power coefficient
(wind-tunnel experiments)

Cylinder, B-Comma はいずれも直線翼ダリウス型風車の性能向上に効果があることが分かる。ただし、Cylinder は周速比 λ が 2 よりも大きい高周速比では B-Comma よりもパワー係数が高いものの、低周速比から $\lambda \leq 2$ では B-Comma の方が高いパワー係数を示している。よって、B-Comma を内部ロータとして組み込むことで、Cylinder よりも幅広い周速比の範囲において性能向上が見込まれることが実証された。

なお、上述の二次元計算の結果と値を比較すると、実験値の方が小さな値を示している。これは、今回の計算が二次元であるため、三次元的な流れを考慮出来ないことに加えて、実際の実験装置に設置されている上下の円盤の存在が考慮されていないことによるものと推測される。また、周速比が 2 以上の領域で二次元計算では Basic が最も高いパワー係数を示しているのに対し、実験結果では逆に Basic が最も低い。周速比が高い条件、すなわち回転数の高い条件で実験結果との食い違いが顕著であることから、二次元計算の時間分解能が不十分であった

可能性が考えられる。時間分解能を向上させた計算については未検討であり、今後の課題である。

また、今回検討した B-Comma の形状は、既存のバッハ型の形状を取り入れたものであるが、バッハ部の直線部の長さやロータの間隔等の細部の形状の他、翼との相対位置やロータ比等、パワー係数の向上により適した形状や配置が存在する可能性がある。このことについてはまだ十分に検討されておらず、今後 B-comma のロータ形状や配置等の最適化の検討を実施すれば、更なる風車性能向上の可能性が考えられる。

4. まとめ

直線翼ダリウス型風車の風車内部に円柱型ロータ (Cylinder) や勾玉型ロータ (S-Comma) を設置することで風車性能が向上することが確認されているが、更なる性能向上を目指して、勾玉型ロータの内側バケット形状に「バッハ型」の形状を取り入れた「バッハ・勾玉型ロータ」(B-Comma) を考案した。そのロータを付加した効果について、他の内部ロータを付加した場合との比較を、ANSYS CFX を用いた二次元数値シミュレーションにより行った。また、風洞下でのトルク測定実験により、風車性能向上効果の実証を行った。その結果、以下のことが分かった。

ANSYS CFX を用いた二次元数値計算により、周速比 λ を変えてパワー係数 C_P を比較したところ、バッハ・勾玉型ロータ (B-Comma) を使用することで、幅広い周速比 λ の範囲において高い C_P を発揮することが示された。ただし、 λ が 1 以下の低周速比においては、バッハ型との混合風車 (Bach) が最も高い C_P を示した。

風洞下でのトルク測定実験により、上記の数値計算結果を検証した結果、二次元計算と同様に、低周速比ではバッハ型との混合風車 (Bach)、バッハ・勾玉型ロータ (B-Comma) の順で高いパワー係数が得られ、高周速比では円柱型ロータ (Cylinder)、バッハ・勾玉型ロータ (B-Comma) の順で高いパワー係数が得られた。

以上のことから、直線翼ダリウス型風車の内部に、従来の勾玉型ロータ (S-Comma) のサボニウス部をバッハ型にしたバッハ・勾玉型ロータ (B-Comma) を設置することで、幅広い周速比の範囲においてパワー係数を向上出来ることが実証された。

謝 辞

実験の実施に協力してくれた富山大学工学部機械知能システム工学科の天野敬介君、作田恭悟君の両名に感謝します。

文 献

- (1) 木綿隆弘, 河野孝昭:「可変ピッチ式直線翼ダリウス風車」, 風力エネルギー, Vol.39, No.1, pp.24-26, 2015
- (2) 小作敏晴, 厚海慶太, 加瀬篤志, 川口清司:「電動式可変ピッチ機構による小型垂直軸風車の高効率化に関する実験的研究」, ターボ機械, Vol.46, No.6, pp.348-358, 2018
- (3) 中嶋智也, 植田芳昭:「円筒付抗力型タービンをを用いたハイブリッド風車の特性: - 円筒型タービンがダリウスタービンの基本特性に及ぼす効果の確認」, 風力エネルギー利用シンポジウム, Vol. 37, pp.335-338, 2015
- (4) 松浦和彦, 鈴木祐介:「小型風力発電装置「Corazon series」」, 風力エネルギー, Vol.32, No.3, pp.40-43, 2008
- (5) 川口清司, 春山幸浩:「円柱型ガイドを用いた直線翼ダリウス型風車の性能向上」, 日本機械学会論文集, Vol.84, No.865, p. 18-00212, 2018
- (6) 川口清司, 河原昂也, 加瀬篤志:「勾玉型ロータを用いた直線翼ダリウス型風車の性能向上」, ターボ機械, Vol.47, No.7, pp.47-58, 2019
- (7) 呉鑑, 木谷収, 岡本嗣男, 鳥居徹:「サボニウス風車の効率向上に関する研究 (第 2 報)」, 農業機械学会誌, Vol.58, No.4, pp.3-7, 1996

加瀬 篤志

2007 年 3 月関西大学工学部機械システム工学科卒業。同年 4 月同大学院理工学研究科博士課程前期課程入学, 2009 年 3 月修了。同年 4 月同大学院博士課程後期課程入学, 2012 年 3 月修了, 博士 (工学)。同大学研究員等を経て 2015 年 4 月富山大学大学院理工学研究部 (工学) 助教, 現在に至る。血流や羽ばたき翼等の生物流体関連の研究の他, 近年は主に風車, 水車, 送風機等の研究に従事。

中島 基来

2018 年 3 月富山大学工学部機械知能システム工学科卒業。同年 4 月同大学大学院理工学教育部機械知能システム工学専攻入学, 現在に至る。直線翼ダリウス型風車の性能向上に関する研究に従事。

山地 凌輔

2018 年 3 月富山大学工学部機械知能システム工学科卒業。同年 4 月同大学大学院理工学教育部機械知能システム工学専攻入学, 現在に至る。直線翼ダリウス型風車の性能向上に関する研究に従事。

川口 清司

1979年3月金沢大学工学部機械工学科卒業。同年4月日本電装㈱（現㈱デンソー）入社，2001年4月富山大学に移り，現在富山大学大学院理工学研究部（工学）教授，工学博士。ファン騒音の低減，再生可能エネルギー，アルミ水素エネルギー等，熱流体の研究に従事。