

風力発電の高効率化に向けた、 集風装置周辺における 空気の流れの可視化

京都府立桃山高等学校

グローバルサイエンス部エネルギー班

若菜朝陽 河村祥

目次

1. 研究の経緯
2. 対称翼を用いた検証
3. 集風装置内部の空気の流れの可視化

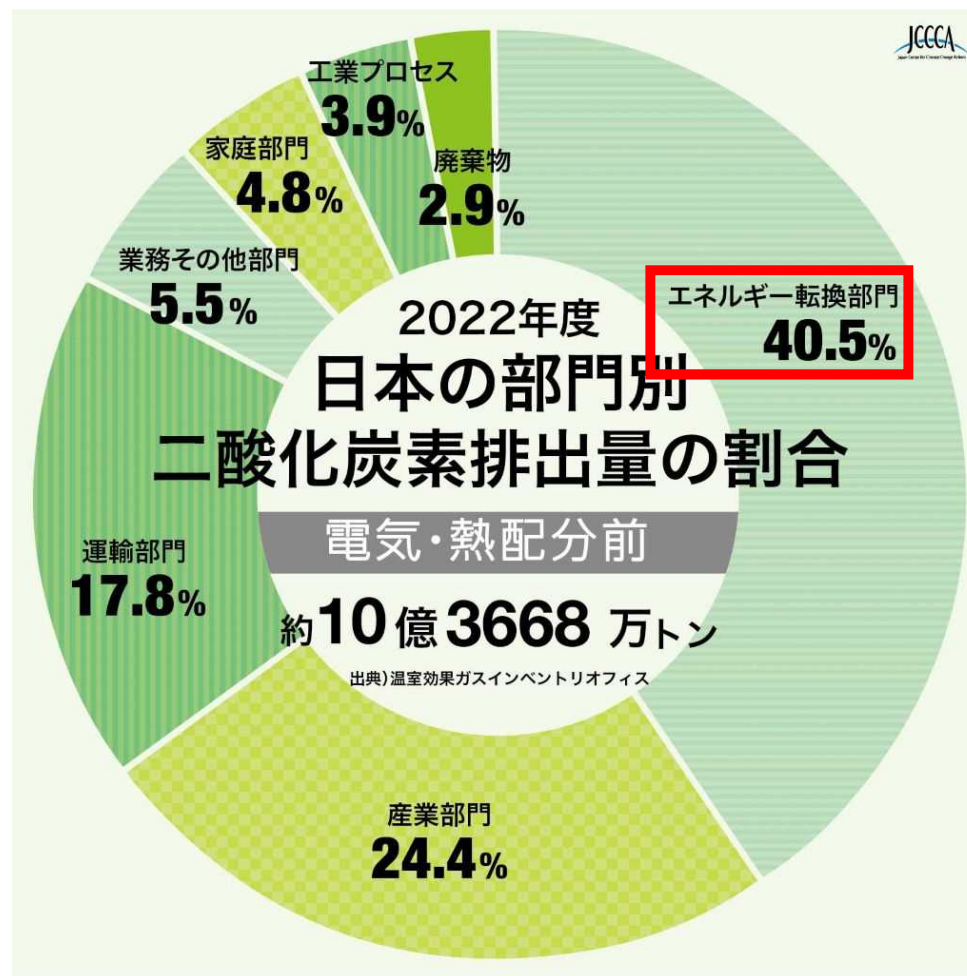
目次

1. 研究の経緯

2. 対称翼を用いた検証

3. 集風装置内部の空気の流れの可視化

はじめに



研究の動機



桃山高校 校門

低風速地域でも、その風のエネルギーを利用すべきであると考えた

研究の目的

低風速で効率良く発電できる風車を開発する



S+3Eの達成に貢献できる

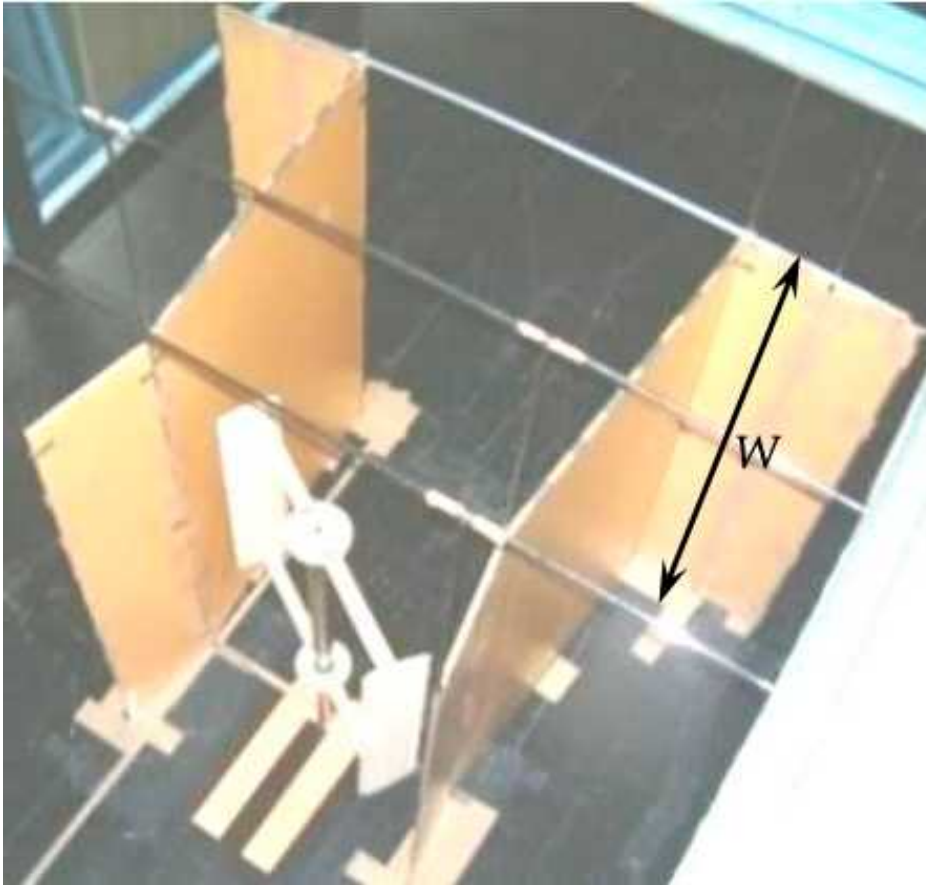
研究の方針



引用：株式会社 リアムウィンド

垂直軸型風車に集風装置を設置する

昨年度の研究



研究が行われているのは集風装置を
左右につけた垂直軸型風車

Koichi Watanabe, Shuhei Takahashi, Yuji Ohya. Application of a Diffuser Structure to Vertical-Axis Wind Turbines. 2016. p.3

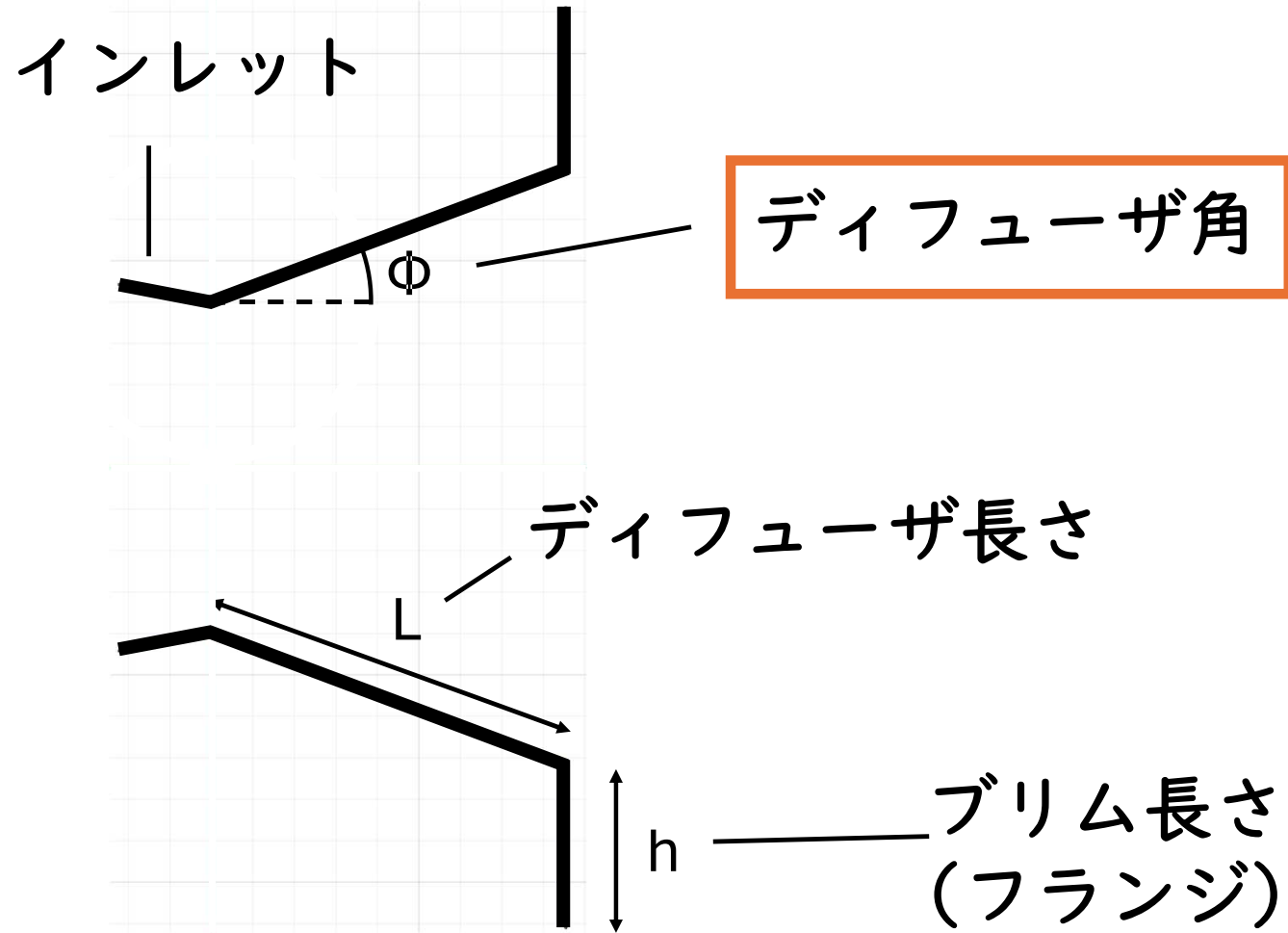
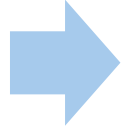
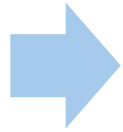
昨年度の研究



私たちが開発したのは集風装置を
上下につけた垂直軸型風車

集風装置の各部位の名称

風上

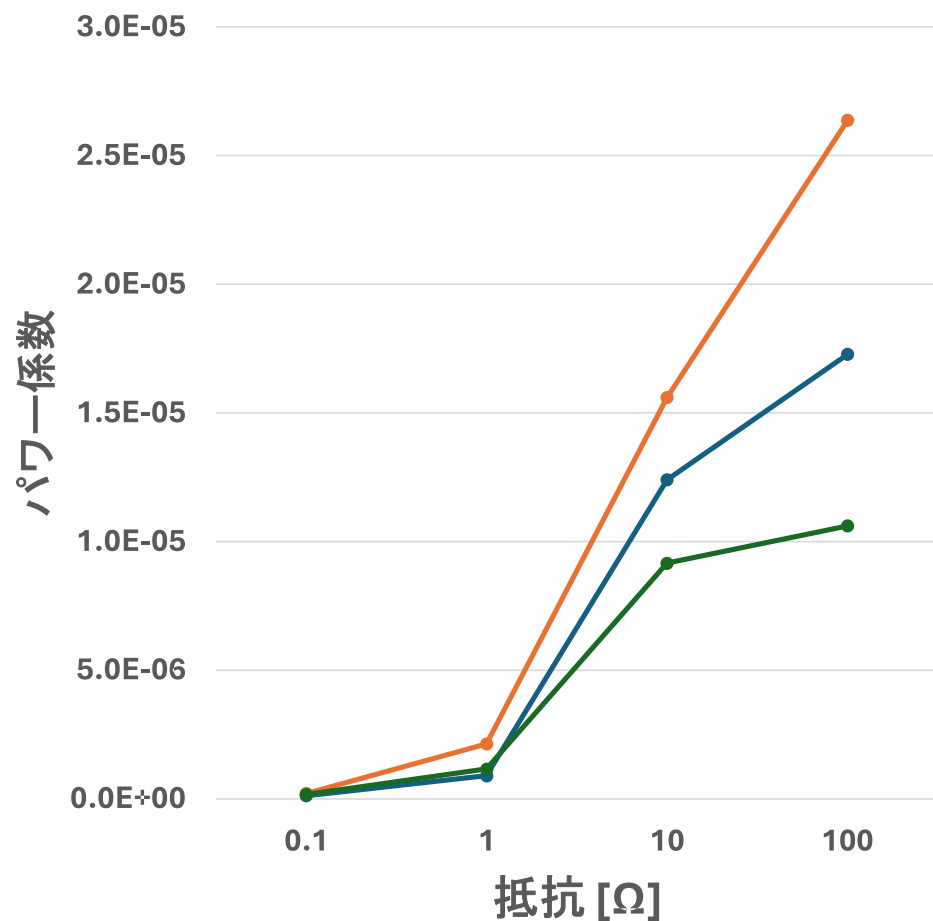


ディフューザ角 Φ の比較



昨年度の実験

ディフューザー角とパワー係数



最大パワー係数の大きさ

実測値：角度30°で**最小**



剥離により引き起こされたと考察

目次

1. 研究の経緯

2. 対称翼を用いた検証

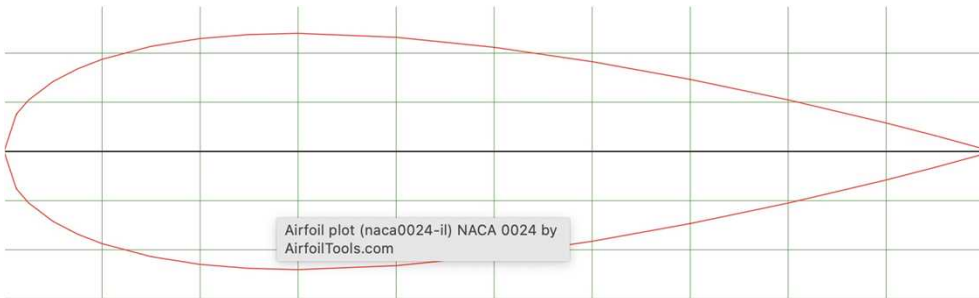
3. 集風装置内部の空気の流れの可視化

実験に用いる翼型



昨年度使用した翼型

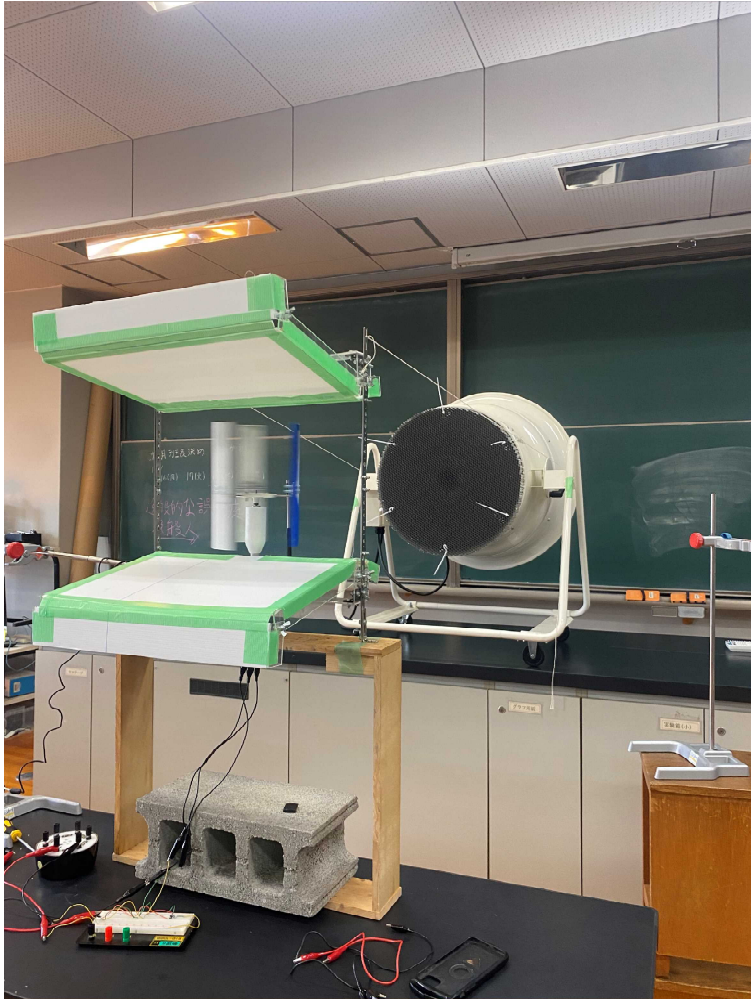
翼型は円弧翼
抗力を強く受ける



今年度使用する翼型

先行研究で多く使用されている対称翼

検証方法



ブリム長さ 65.5 mm

ディフューザ長さ 300 mm

インレット長さ 70 mm

パワー係数とは

$$C_p = \frac{P}{0.5\rho AU^3}$$

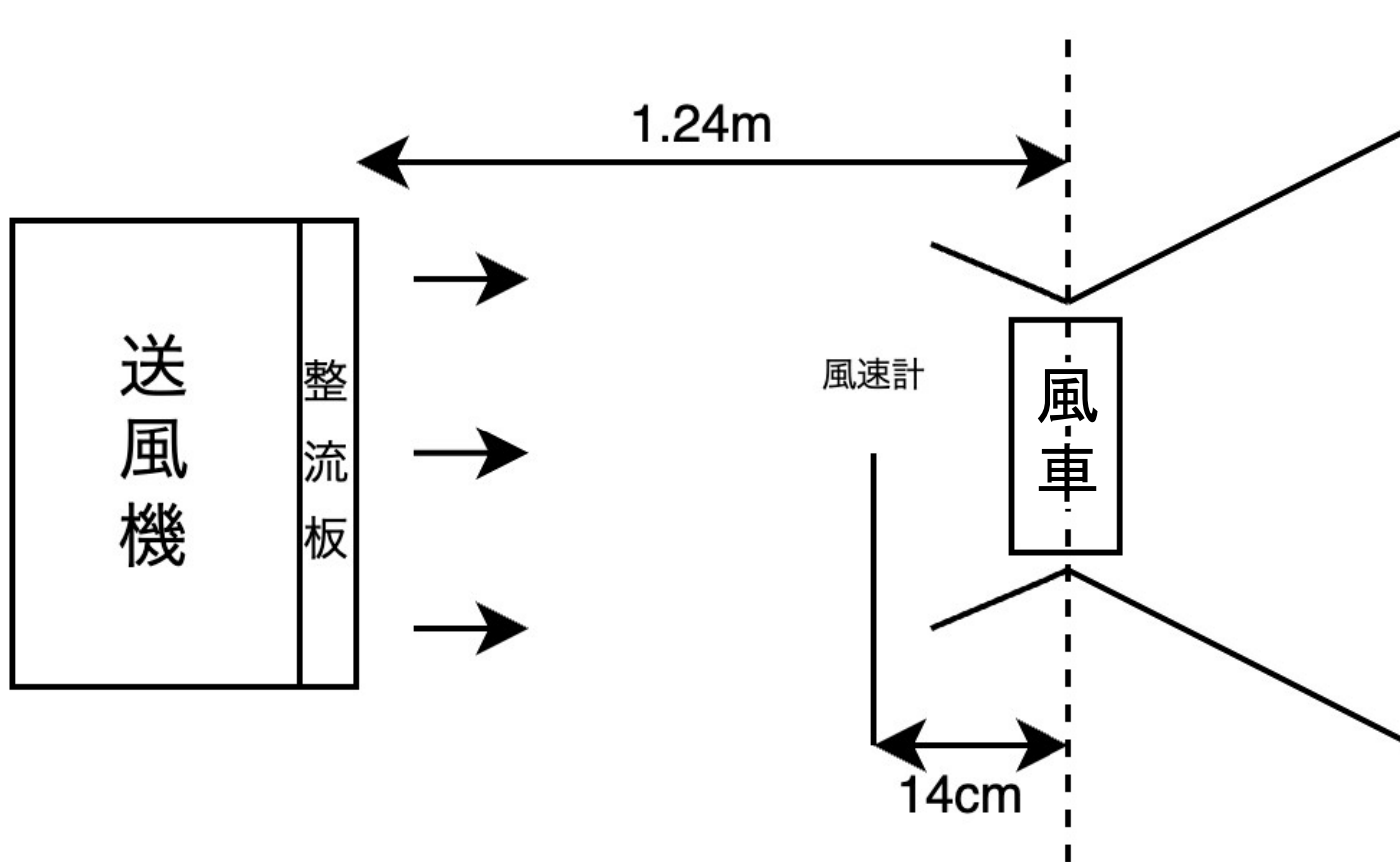
- C_p …パワー係数
- P …発電量（電流の二乗と抵抗の積で算出・1秒ごとの値の平均）
- ρ …空気密度（気温と大気圧を考慮して算出）
- A …受風面積（翼が回転することによりできる円柱の側面積）
- U …風速（1秒ごとの値の平均）

実験の様子

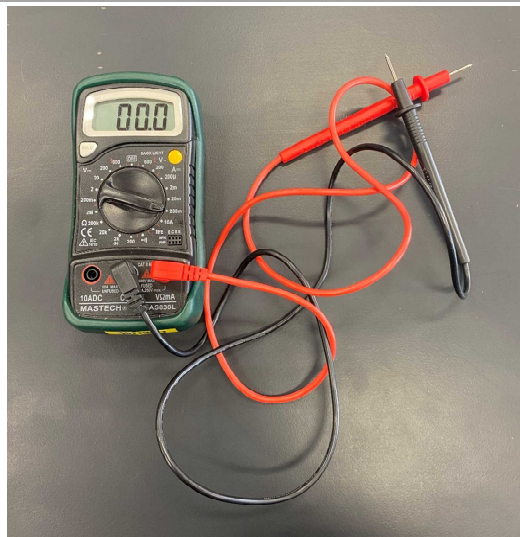


実験装置

実験装置全体



実験に使用した機器

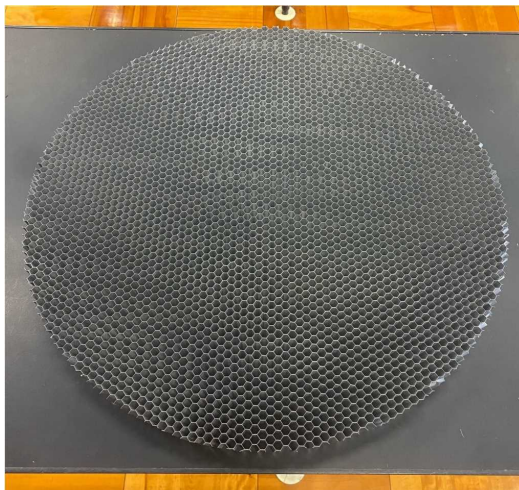


風速計

- 株式会社 KANOMA 「ANEMOMASTER LITE MODEL6006-D0」 (左)

電流計

- MASTECH MAS830L (右)



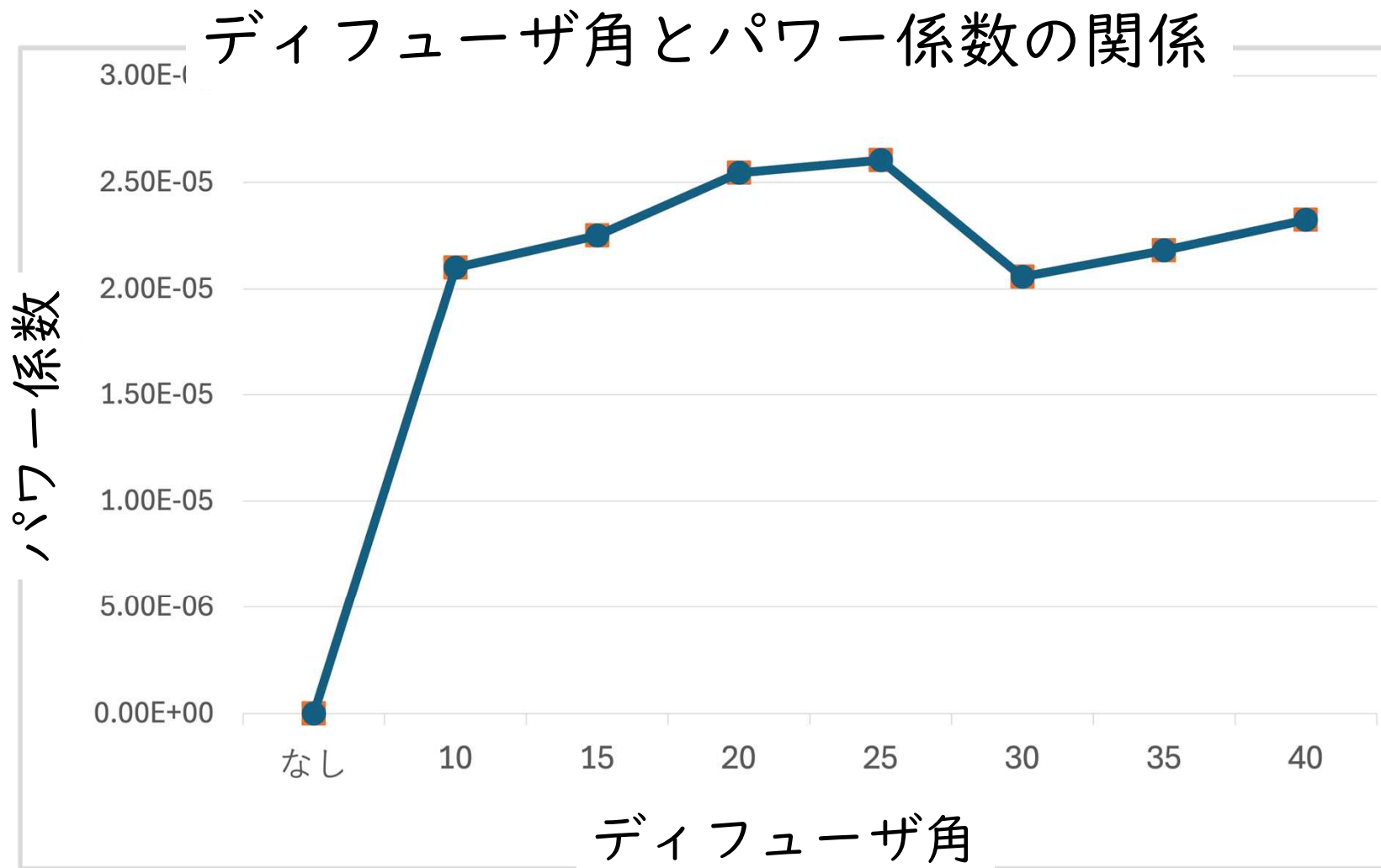
送風機

- 株式会社 スイデン 「こでかファン SJF-504A-1」 (左)

整流板

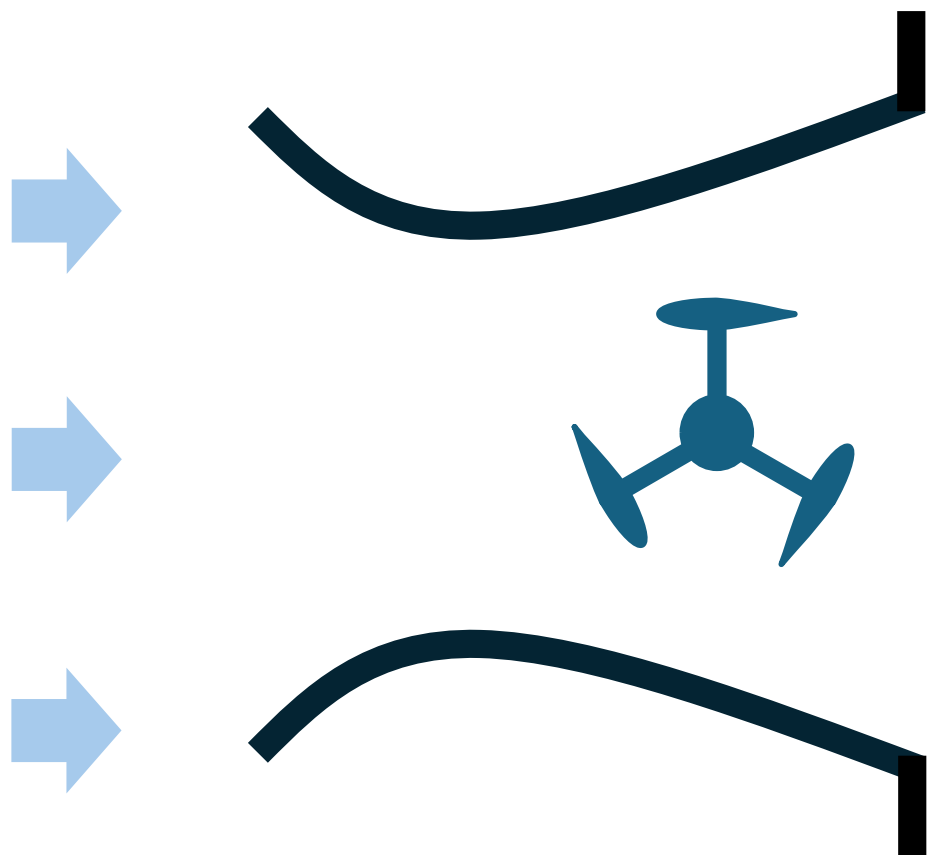
- 新日本フェザーコア株式会社 AH-60 50mm厚 (右)

結果

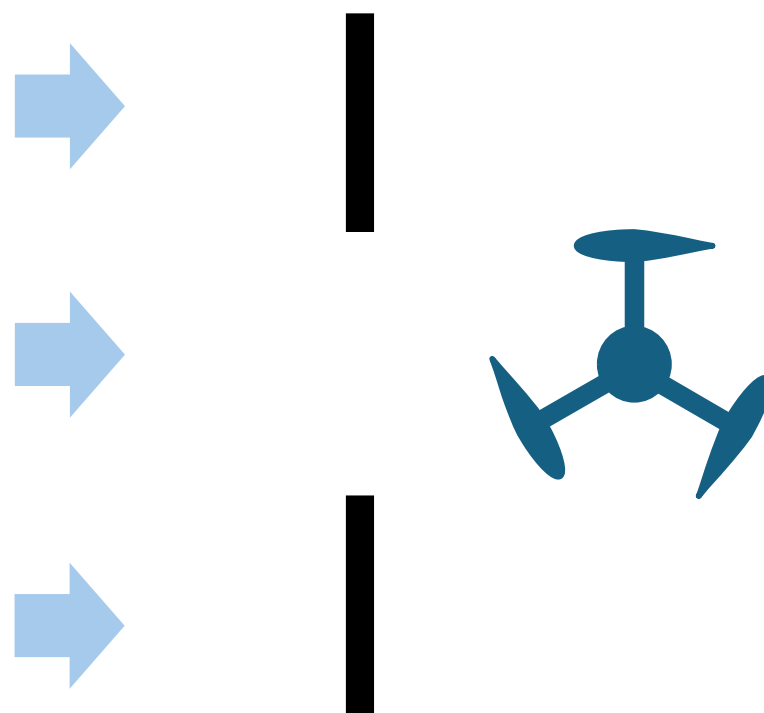


考察

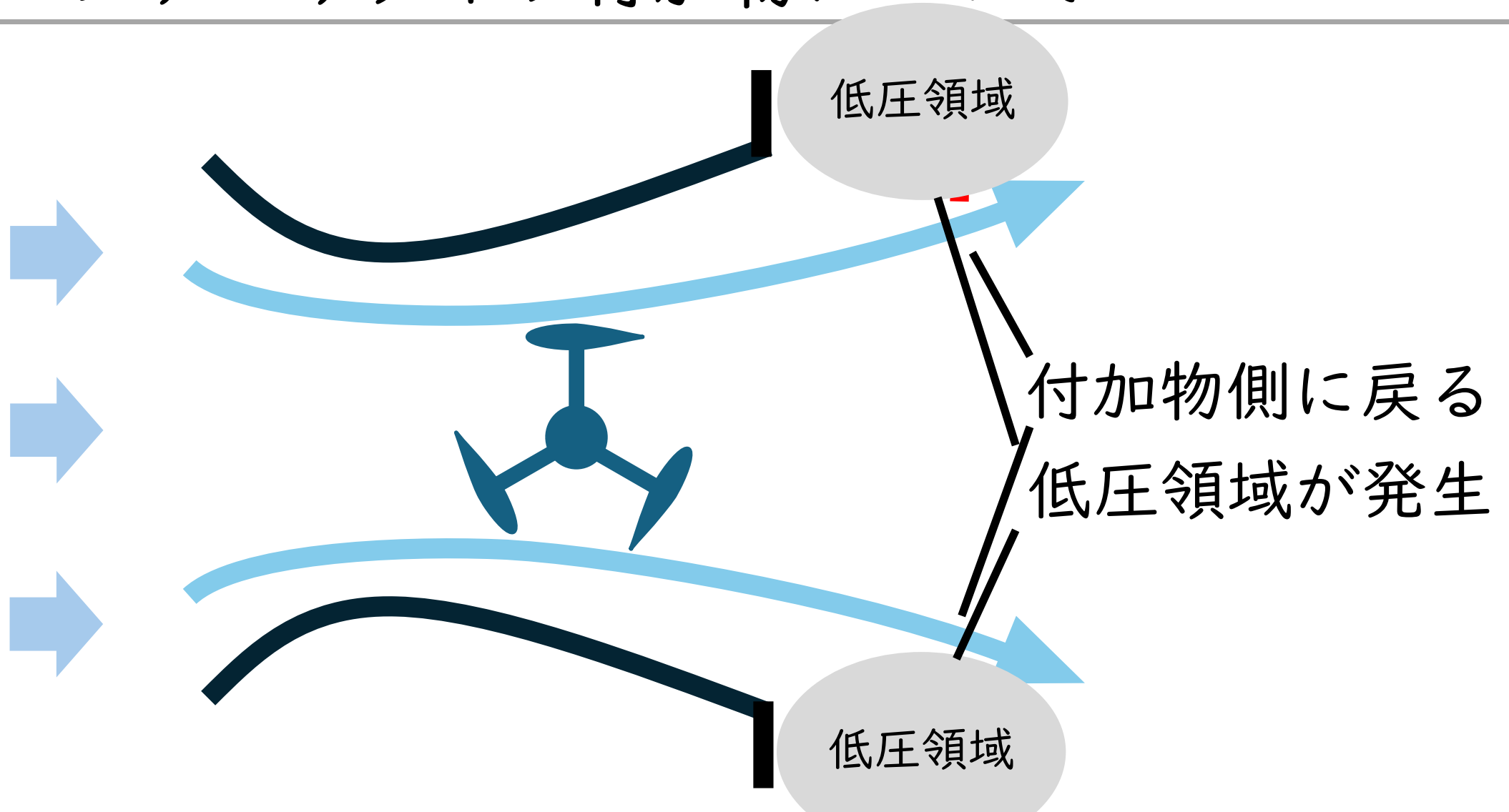
ベンチュリタイプ付加物



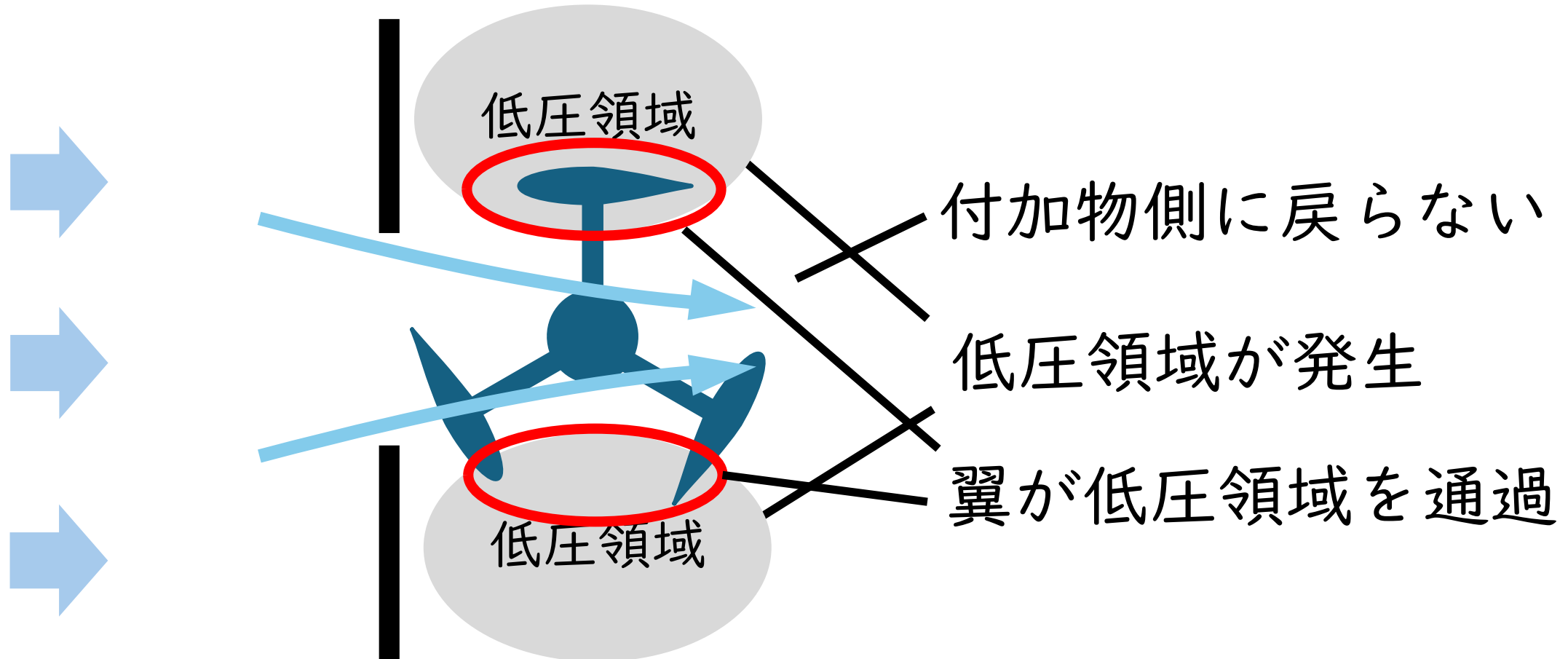
平板タイプ付加物



ベンチュリタイプ付加物について

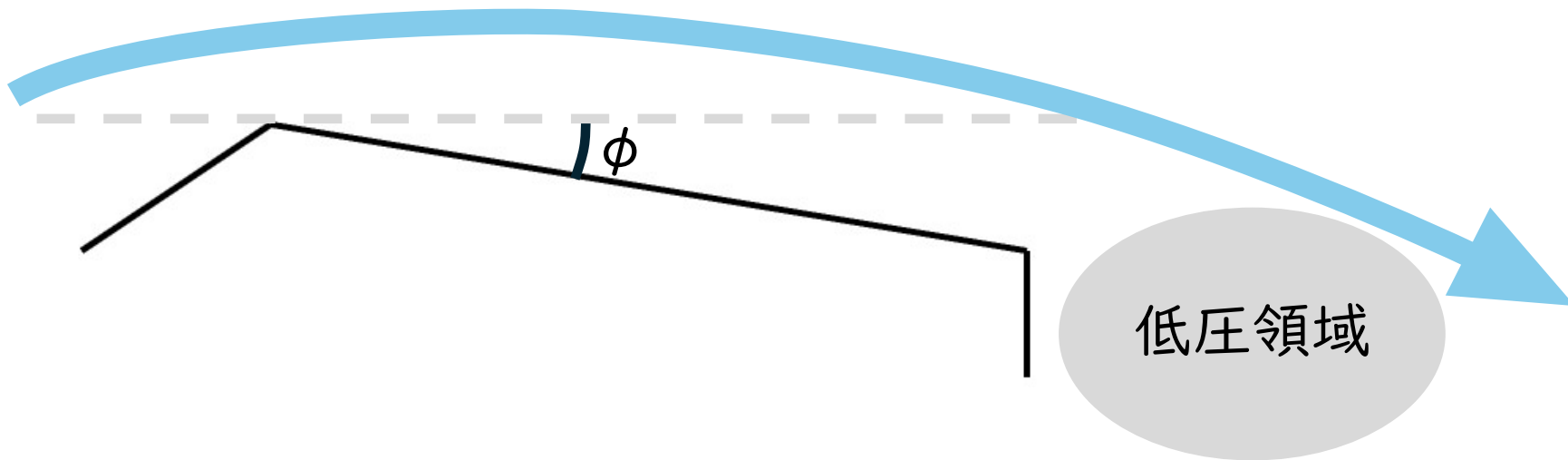


平版タイプ付加物について



考察

ディフューザ角 $\phi = 5^\circ \sim 25^\circ$



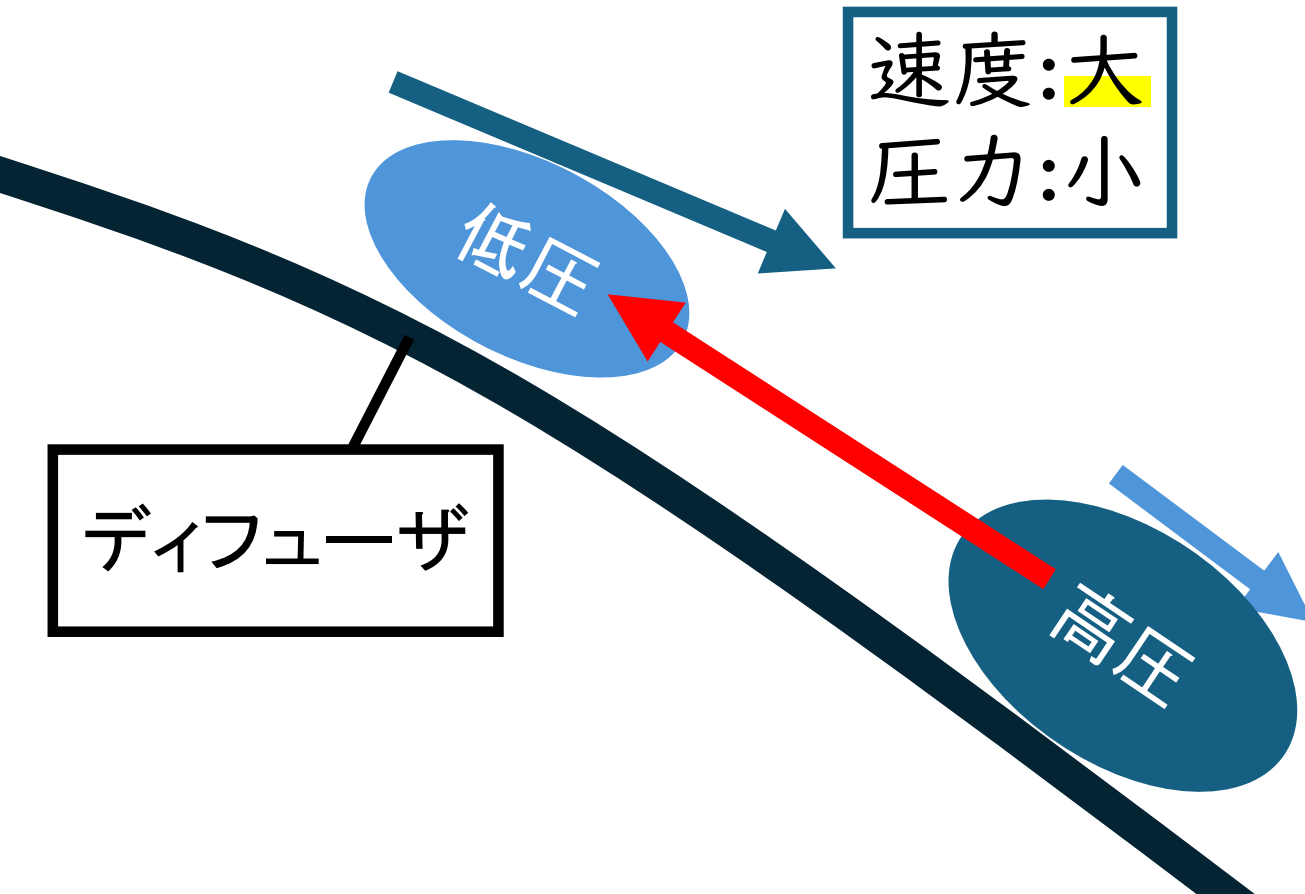
考察

ディフューザ角 $\phi = 30^\circ$



考察

境界層の剥離とは



ベルヌーイの定理

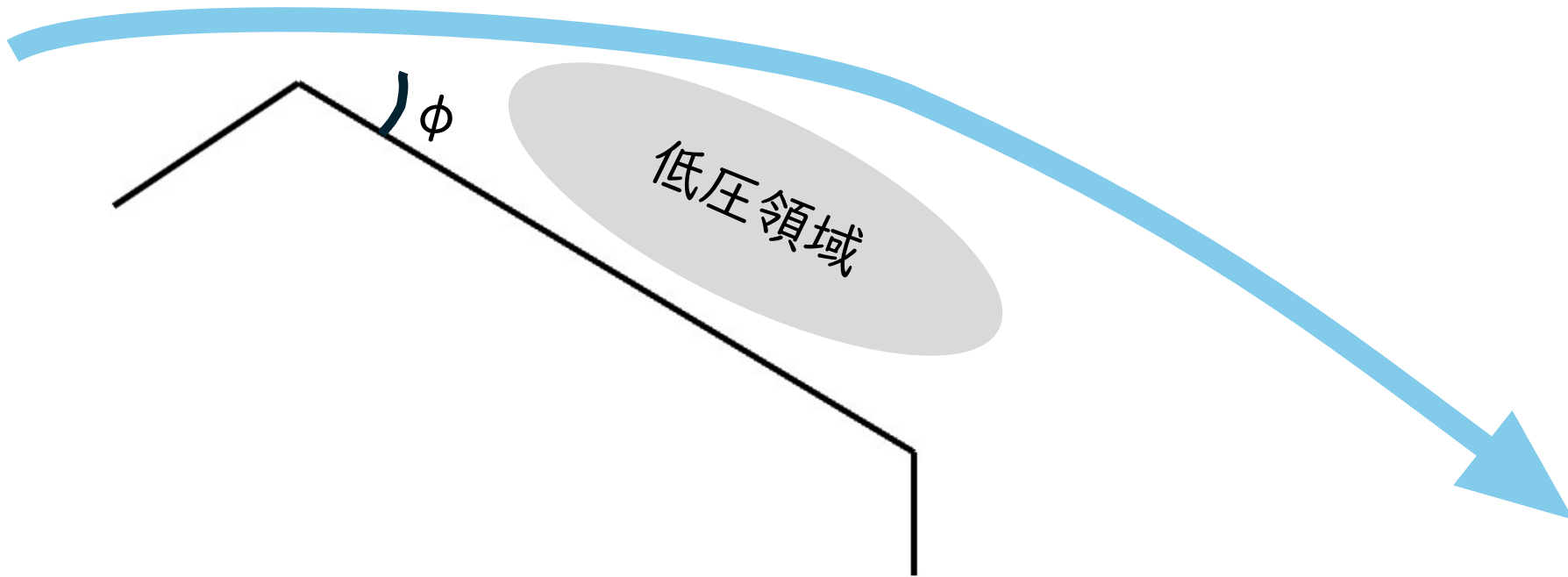
$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = \text{一定}$$

P : 圧力 ρ : 密度 v : 流速

g : 重力加速度 z : 高さ

考察

ディフューザ角 ϕ : $35^\circ \sim 40^\circ$



目次

1. 研究の経緯
2. 対称翼を用いた検証
3. 集風装置内部の空気の流れの可視化

検証方法

検証1: スモークワイヤー法を用いた可視化

検証2: タフト法を用いた可視化

検証 1



引用: スモークワイヤー法による風車後流の可視化実験

スモークワイヤー法を用いて 空気の流れを可視化する

スモークワイヤー法とは

流動パラフィン等をワイヤーに
塗布し、通電によって加熱することで
白煙を発生させ、流体の動きを可視化
させる方法

ワイヤーの製作

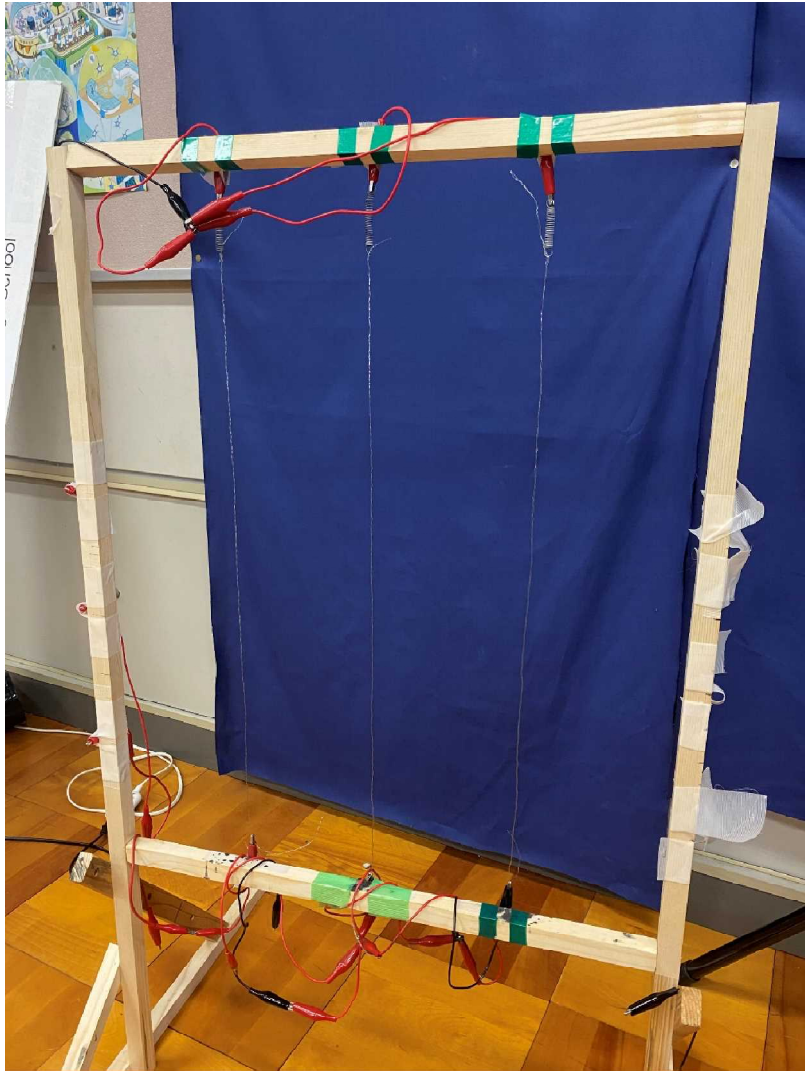
光ファイバー

ニクロム線

製作したワイヤー



ワイヤーについて



ワイヤーを地面に対して
垂直に張る

実験に使用した装置

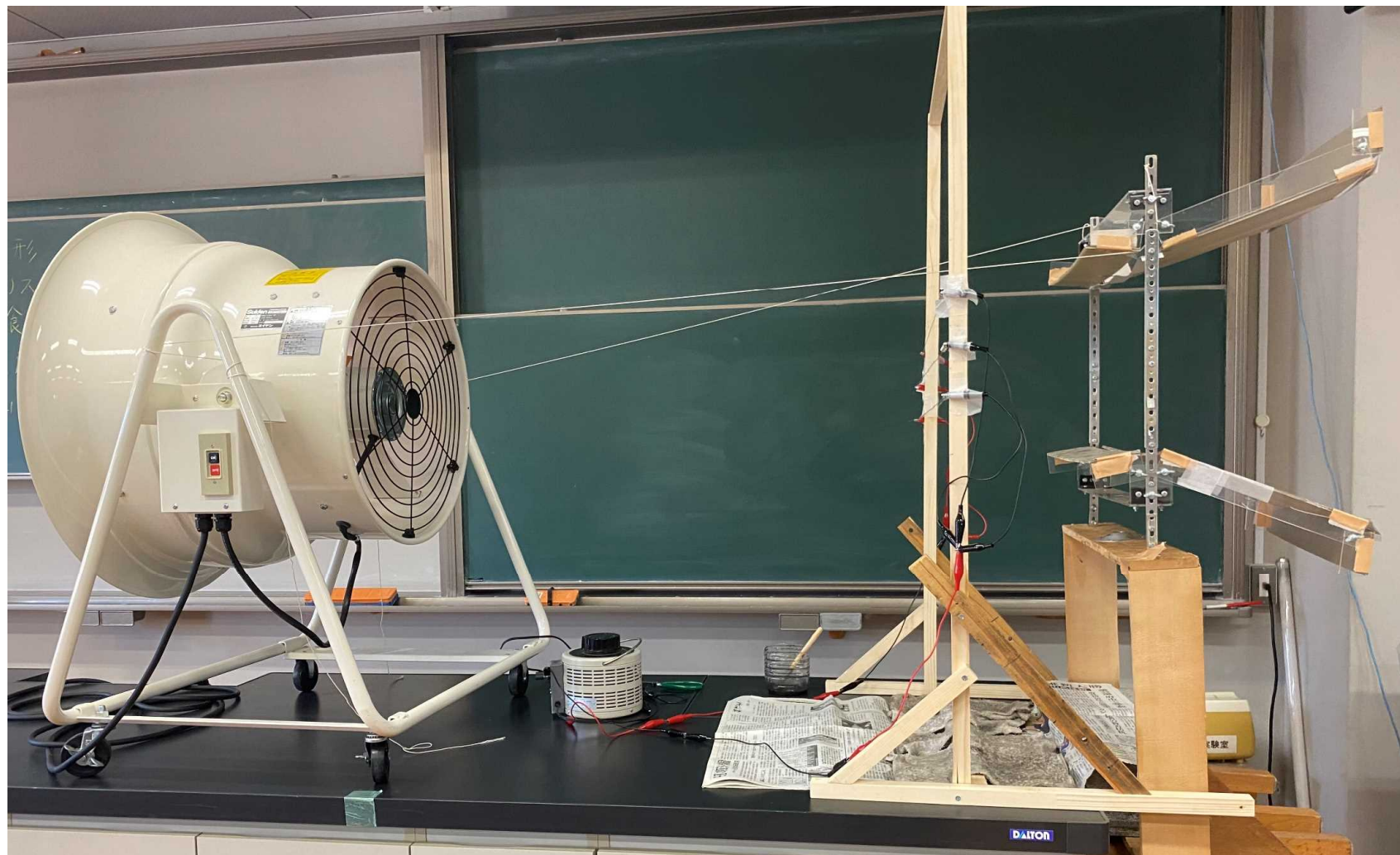
プロジェクター



送風機



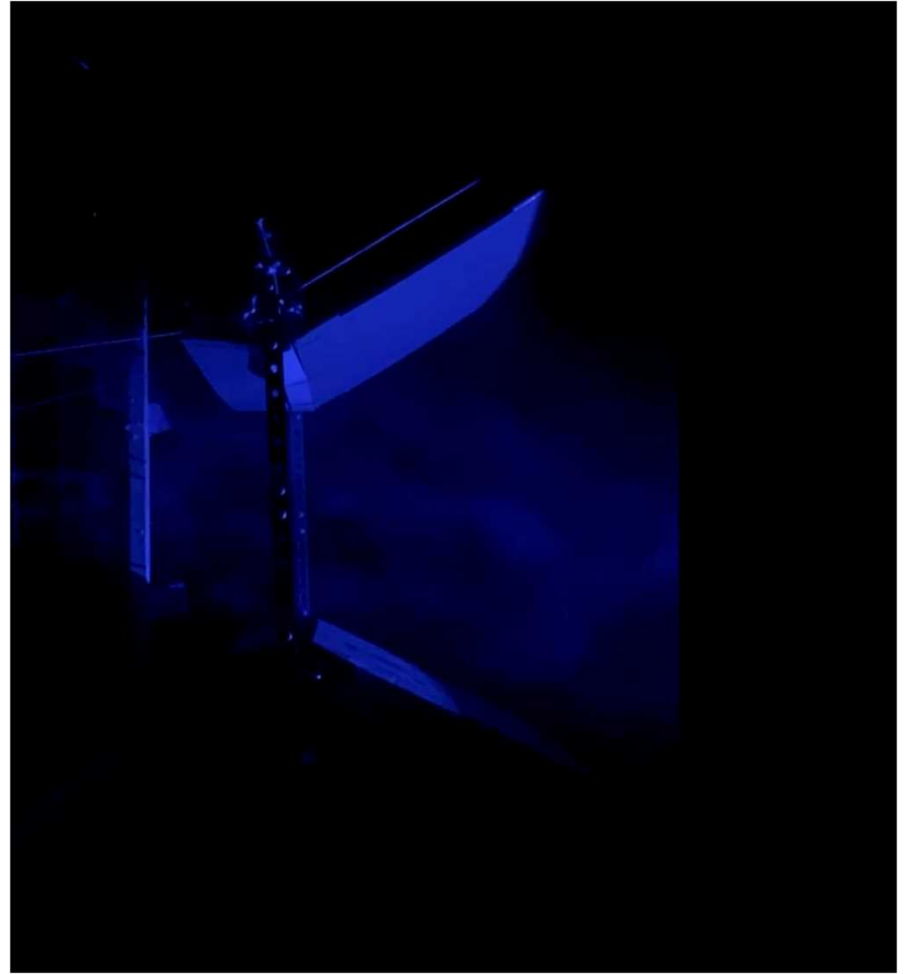
実験装置



結果



$\Phi = 20^\circ$



$\Phi = 30^\circ$

考察

- ・ 光源の数が少ない

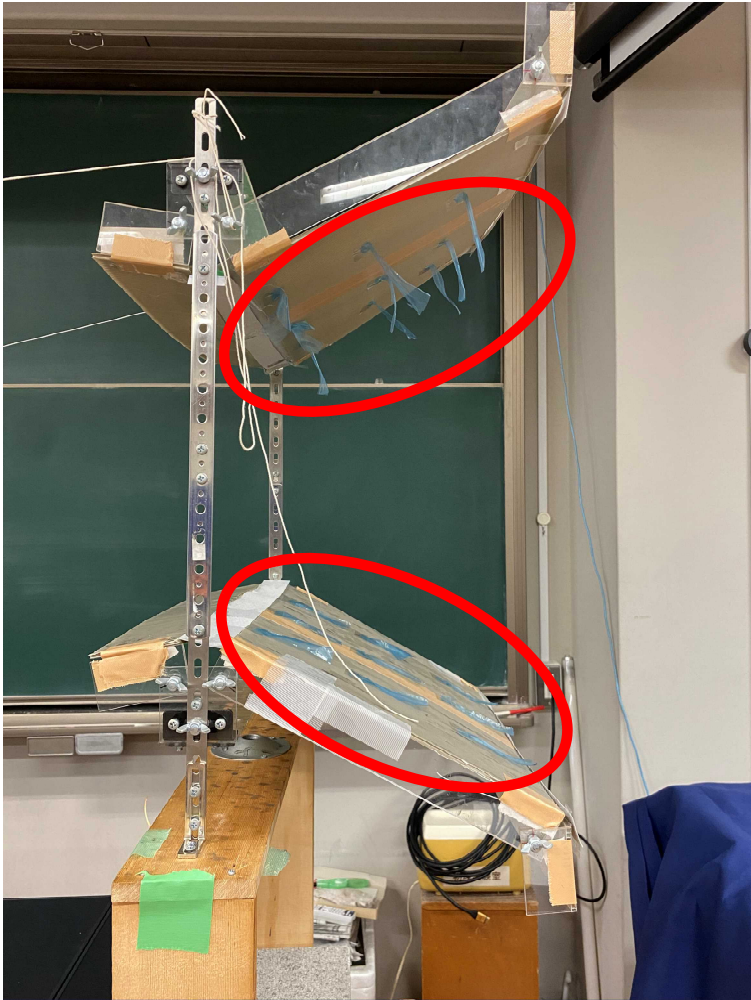
可視化されている範囲が狭い

- ・ 白煙が広がってしまった

見たい範囲の煙が遮られた

煙が薄くなった

検証方法



集風装置の表面にタフト
を取り付ける

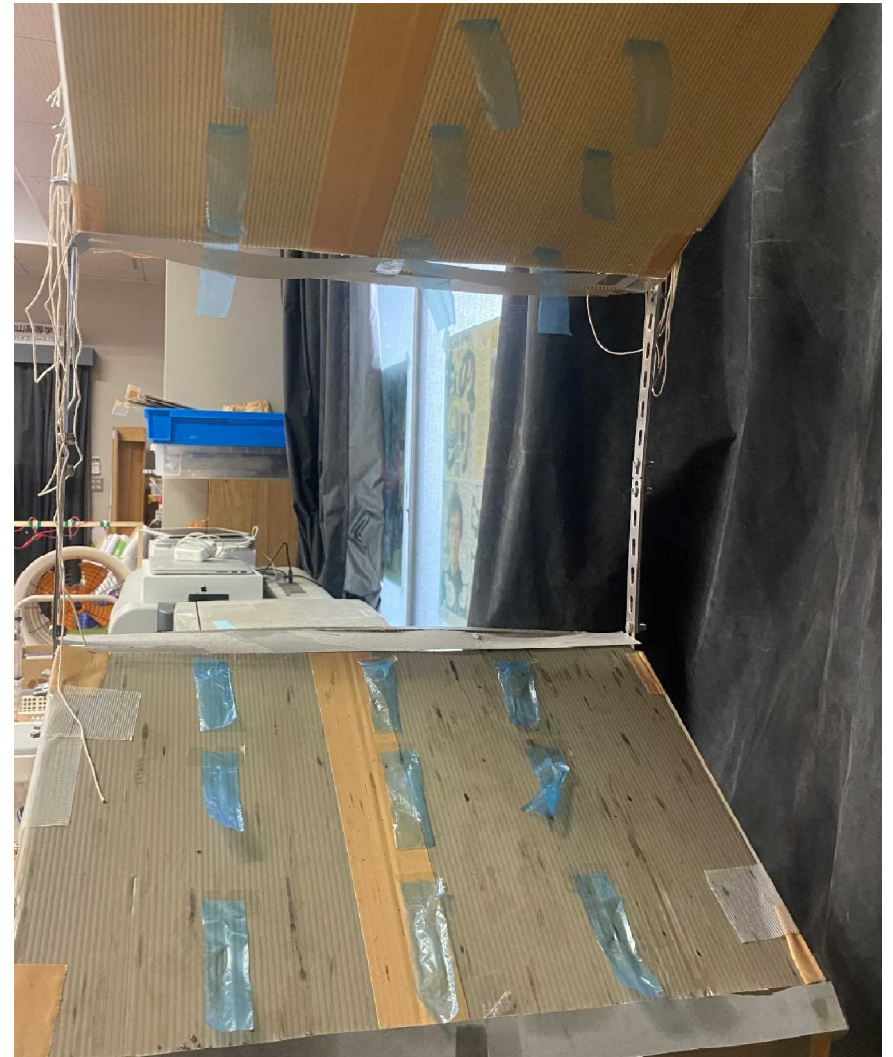


装置表面の空気の流れを
可視化する

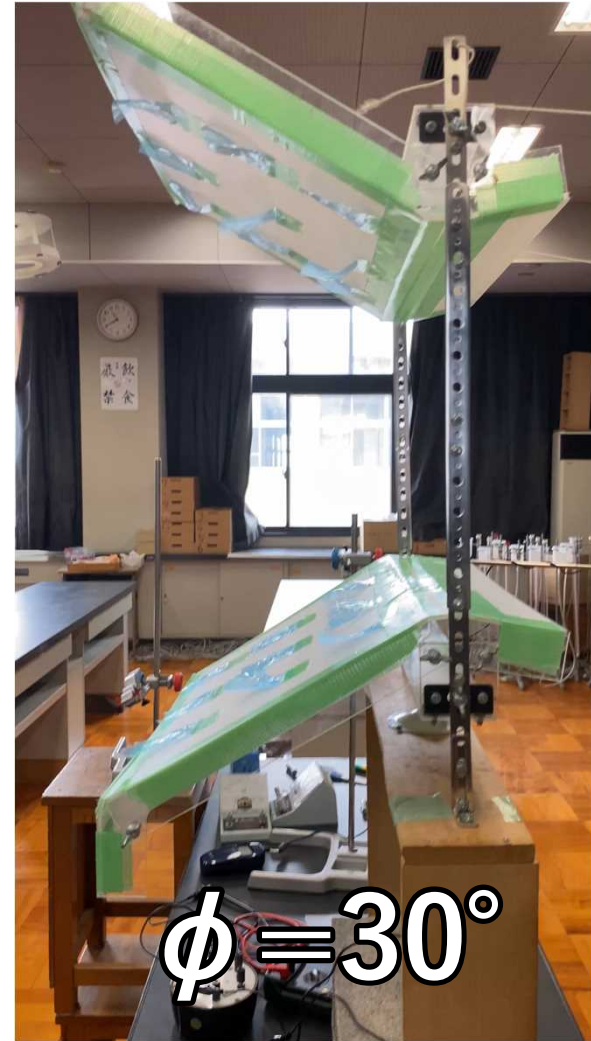
装置の作成



ポリプロピレンテープ



結果



結果・考察

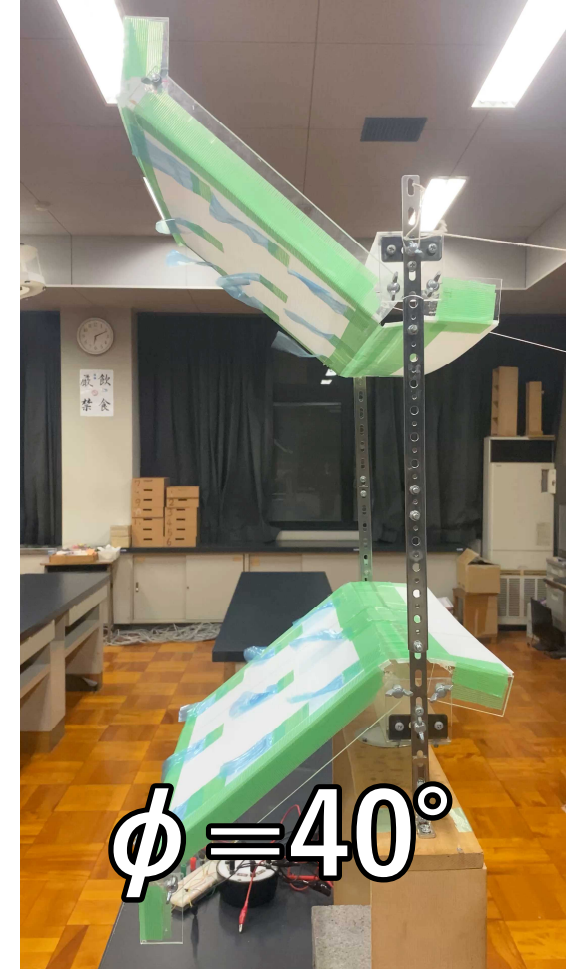


$$\phi = 20^\circ$$

$$\phi = 25^\circ$$

$$\phi = 30^\circ$$

結果・考察



まとめ

- スモークワイヤー法を用いて空気の流れの可視化を試みた
→ 可視化に**失敗した**
- タフト法を用いて空気の流れの可視化を試みた
→ 可視化に**成功した**

タフト法により、 $\Phi = 25^\circ \sim 30^\circ$ から剥離が発生していることが確認できた

まとめ

ディフューザ角 $\phi = 25^\circ \sim 30^\circ$

境界層の剥離が発生した

集風装置直壁面にて渦が発生した

まとめ

1. 集風装置を上下につけた垂直軸型風車においてディフューザ角 $\phi = 25^\circ \sim 30^\circ$ から空気の流れが剥離している。
2. ディフューザ角 $\phi = 35^\circ \sim 40^\circ$ で集風装置壁面にて渦が発生した。

今後の展望

- ・ ディフューザ角をさらに大きくした場合の検証
- ・ 実用化に向けた検討



風車設置予定地の桃山高校屋上

小学生向けワークショップの開催



謝辞

研究を行うにあたり、日本原子力文化財団の課題研究活動支援事業から支援をいただきました。また、本研究に用いた整流板は新日本フエザーコア株式会社に提供をしていただきました。

また、本校グローバルサイエンス部2年の吉井直希をはじめとする多くの部員に多大なご協力を頂きました。最後に、佐藤靖豪先生をはじめとするグローバルサイエンス部顧問の先生方には多大なご助言、ご協力、ご指導を頂きました。

本研究に協力してくださった全ての方々に感謝の意を表します。

参考文献

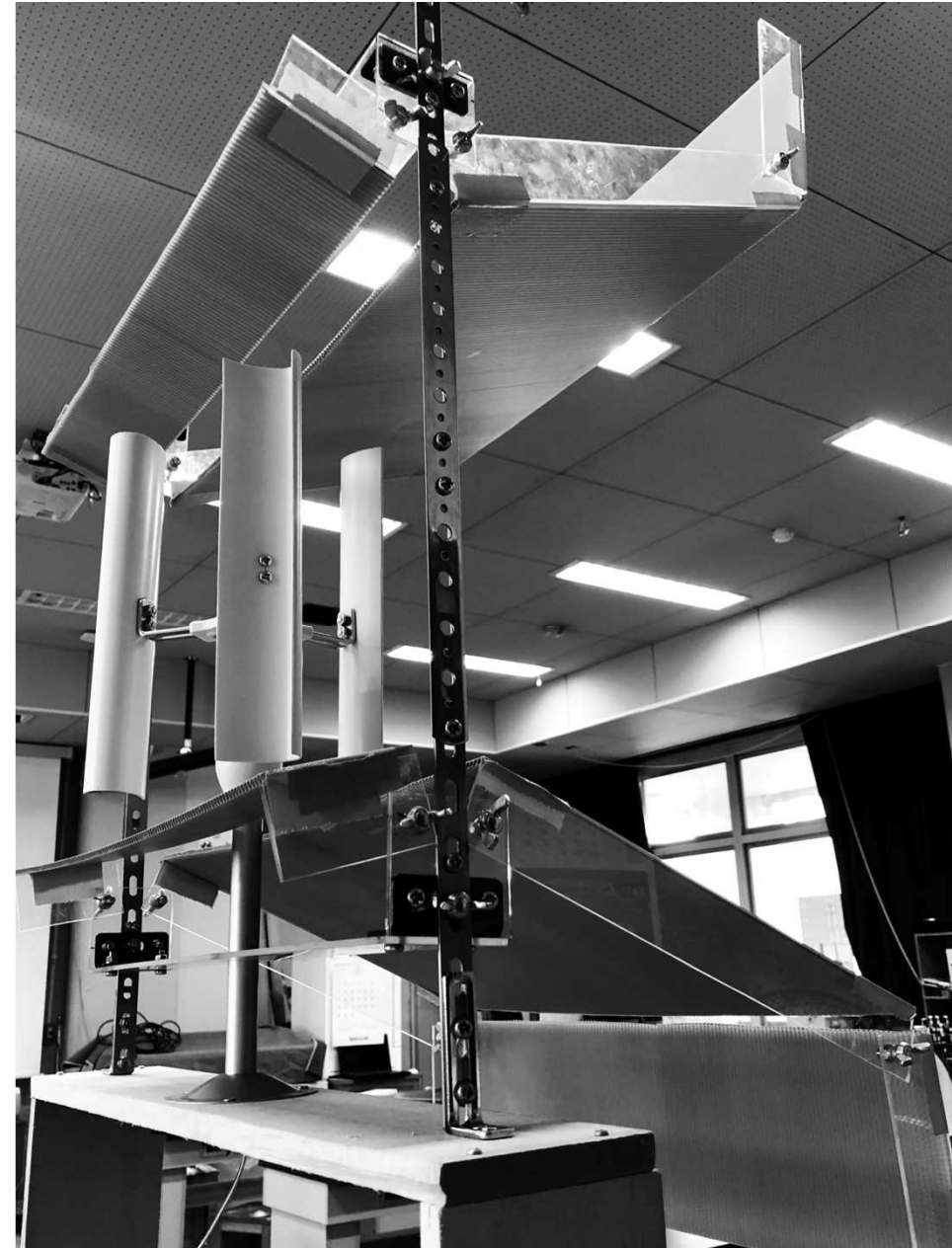
- 【1】 高橋周平、濱田純一、大屋裕二、鳥谷隆、渡辺公彦.「垂直軸型風車に適した翼型の検討と集風体の適用による出力性能の向上」.第 19 回 風車工学シンポジウム論文集.2006.pp169-174.(2024/6/22確認)
- 【2】 Koichi Watanabe, Shuhei Takahashi, Yuji Ohya. Application of a Diffuser Structure to Vertical-Axis Wind Turbines. 2016.(2024/6/22確認)
- 【3】 松島, 啓二.「スモークワイヤー法による風車後流の可視化実験」.九州大学応用力学研究技術室 技術室報告. 2, pp.1-6, 2020-7.(2024/6/22確認)
- 【4】 株式会社 リアムウィンド ホームページ.<http://windlens.com>(2024/6/22確認)
- 【5】 日本のエネルギー2023年度版「エネルギーの今を知る10の質問」.資源エネルギー庁.<https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/energy2023/05.html>(2024/6/22確認)
- 【6】 熱設計の検証 ②流れの可視化技術
https://www.nda.ac.jp/~nhajime/pdf/lecture_KAST-2_20090527.pdf(2024/10/3)

風力発電の高効率化に向けた 集風装置における 空気の流れの可視化

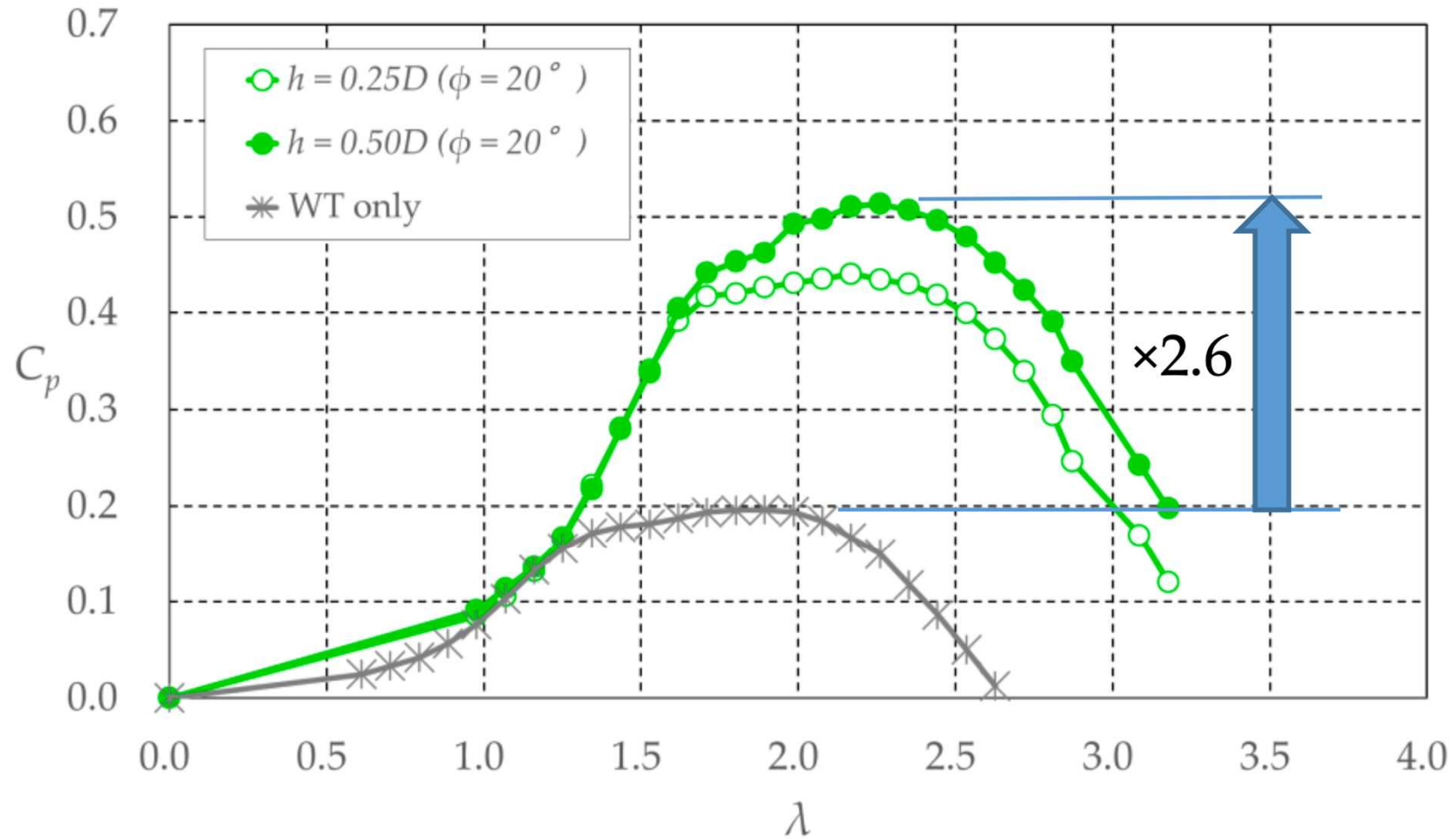
京都府立桃山高等学校

グローバルサイエンス部エネルギー班

若菜朝陽 河村祥



左右に集風装置をつけた垂直軸型風車



まとめ

ディフューザ角を大きくすると、ベンチュリタイプから平板タイプもしくは両方の特徴を備えたものとなる。

資料2



送風機

株式会社 スイデン

「こでかファン SJF-504A-1」

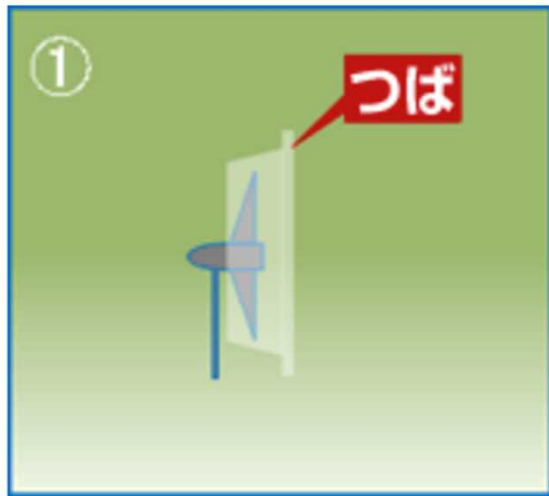
Suiden こでかファン 低騒音
SJF-504A-1

電 圧	100V	電動機出力	0.2kW 6P
消費電力	120/180W	ハネ外径	500mm
周波数	50/60Hz	風 量	140/176m ³ /min
使用場所	屋内用	製造番号	2000170

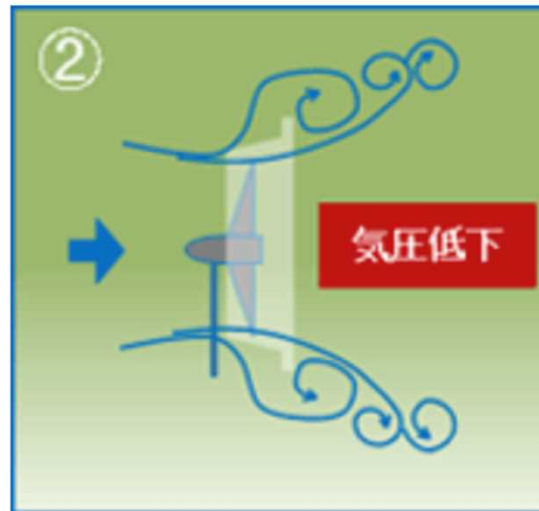
PS E 株式会社 スイデン

MADE IN JAPAN 1219901000

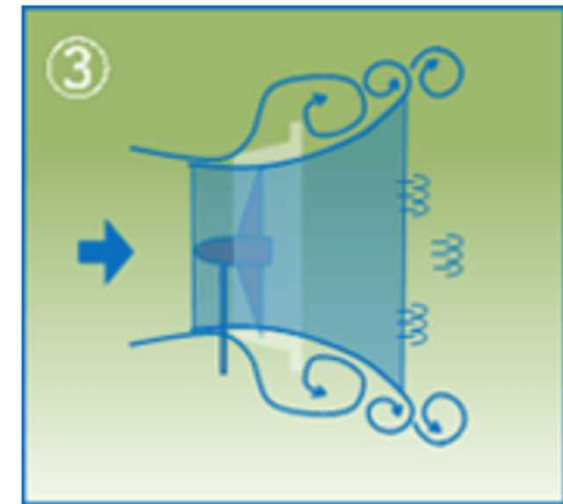
風レンズの原理



・ローター周りにダクトを取り付け



・強い渦が発生
・渦により、風車後ろの気圧が低下



・低い圧力へ風が吸い込まれダクト内の風速が1.3~1.5倍に増速

発電量 P は風車に流入する 風速 V の3乗に比例 ($P \propto V^3$)

研究の目的



Energy Security (自給率)

東日本大震災前(約20%)を更に上回る
30%程度を2030年度に見込む(2019年度12.1%)

Economic Efficiency (電力コスト)

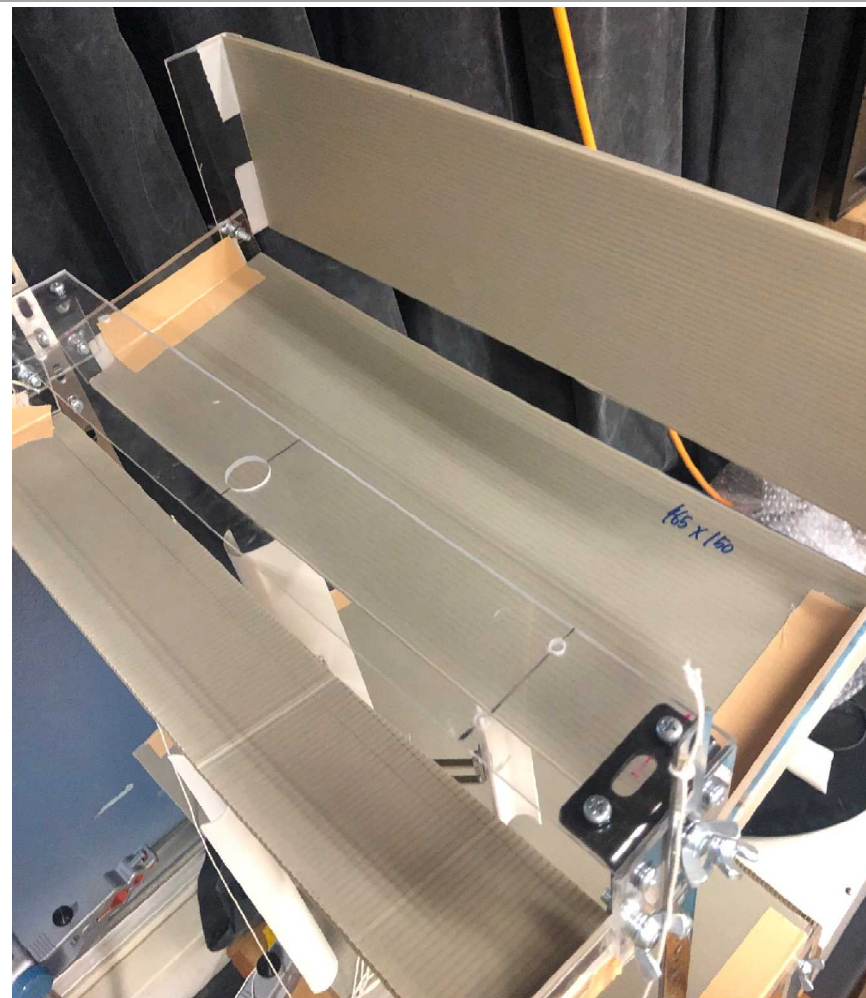
2013年度の9.7兆円を下回る
2030年度8.6~8.8兆円を見込む

Environment (温室効果ガス排出量)

2050年カーボンニュートラルと統合的で野心的な削減
目標である2030年度に2013年度比▲46%^{*}を見込む

※非エネルギー起源CO₂等を含む温室効果ガス全体での削減目標

資料3



集風装置とフレームの接合部分

資料3 対称翼 集風装置なし



ディフューザ角の大きさと風車の干渉の可視化



ラインレーザーを用いる



煙の動きを狭い範囲で、より
はっきりと可視化させる

