

2024年3月8日(金)

第5回産学連携技術シーズ発表会【環境・エネルギー分野】



# 風による振動を利用した コンパクトなエネルギー回収システム

---

日本大学理工学部土木工学科  
風工学研究室

長谷部寛

# 自己紹介

---

## ・ 所属等

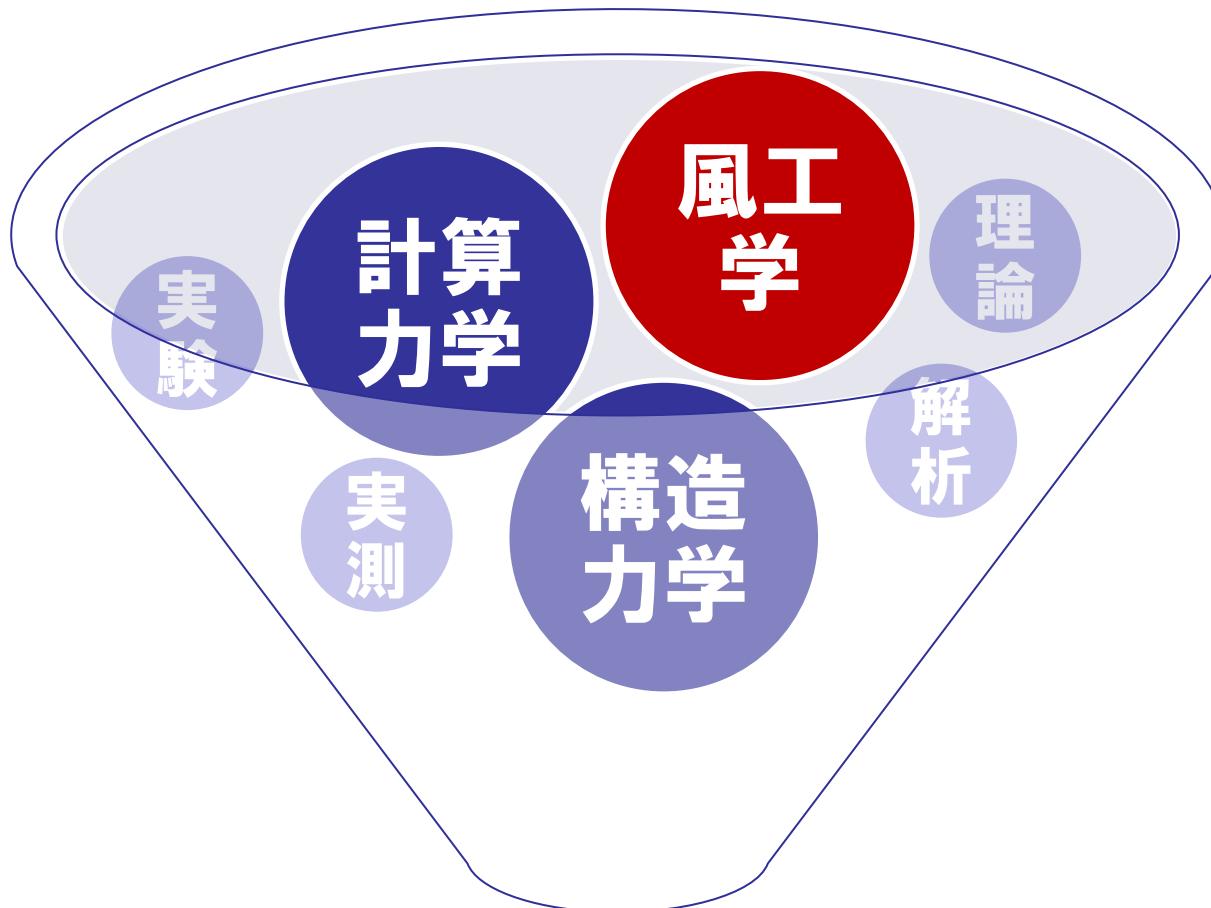
- 日本大学 理工学部 土木工学科 準教授
- 風工学研究室
- 担当授業:応用力学, 景観・デザイン, プロジェクトスタディ (橋梁設計)
- 学内業務:情報教育研究センター・駿河台キャンパス長, 教学DX戦略委員会・委員
- 所属学会:土木学会, 風工学会, 計算工学会, 火災学会



## ・ 研究テーマ

- 長大橋梁の耐風設計, 次世代型橋梁の開発と利活用, 火災に対する風の影響評価, 台風などの風水害予測, スポーツへの風の影響評価, 新しい風力発電システムの開発など

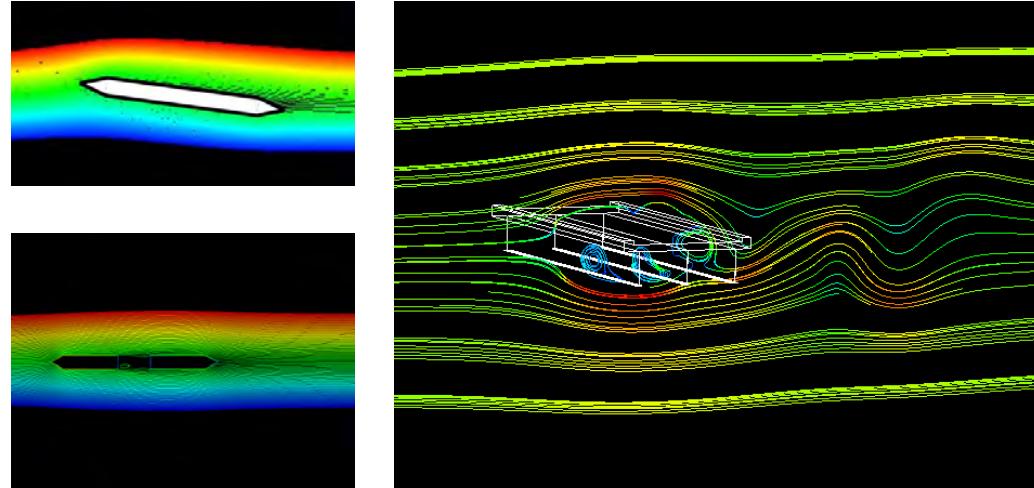
- 研究のコンセプト



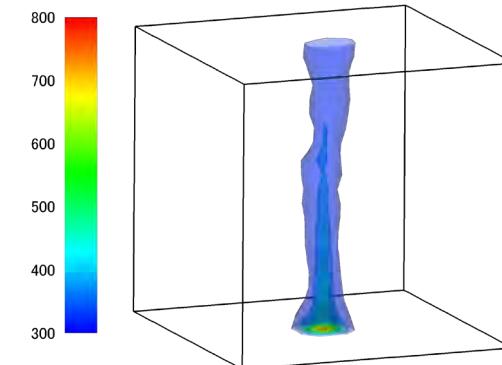
- 人員構成 (2023年度)

- 専任教員: 1名
- 大学院生: 5名
- 学部生: 20名 (4年10名, 3年10名)
- 客員研究員・連携研究員: 3名

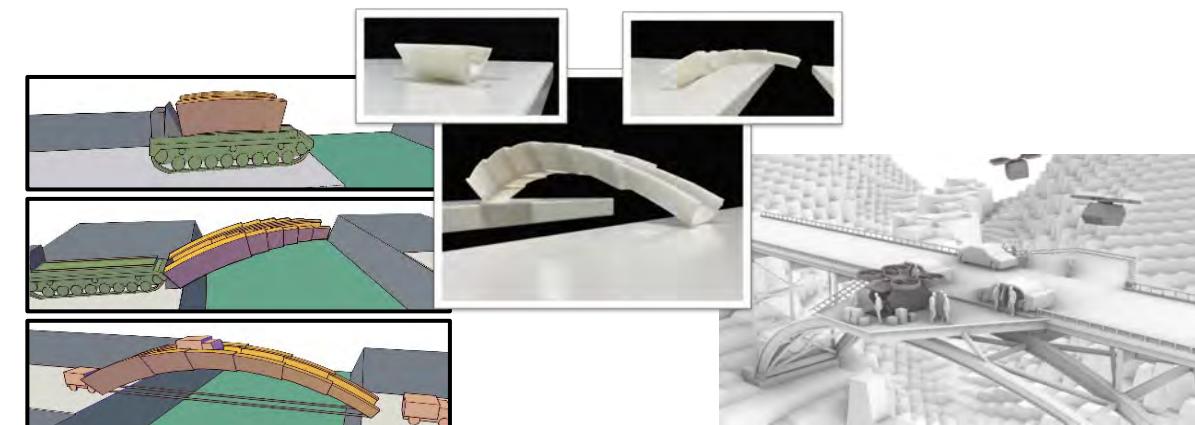
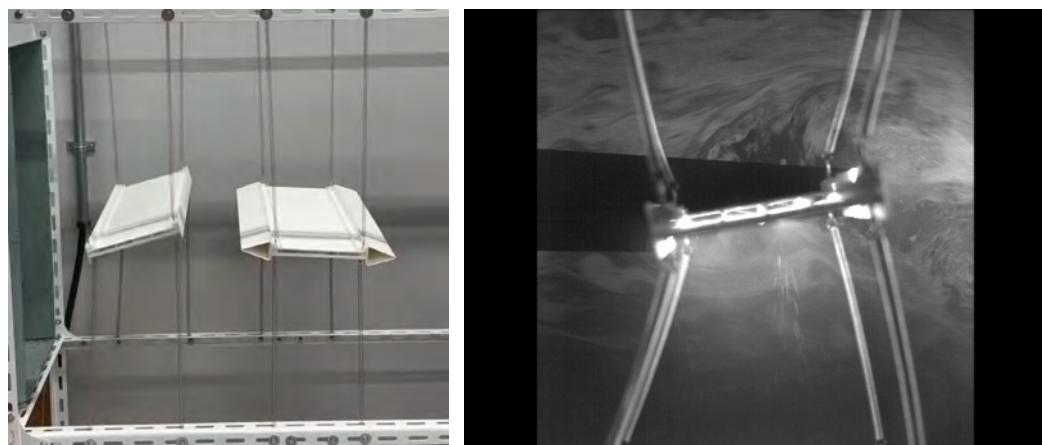
- ・ 長大橋梁の耐風設計



- ・ 風と火災の相互作用の研究



- ・ 次世代型橋梁の開発と利活用



# 開発中の風力エネルギー回収システム

---

- コンパクトな風力エネルギー回収システム
- 風による『振動』を利用した発電
- 発電デバイスの近接配置
- 現状の課題
  - 微量な発電量
  - 最適な発電デバイスの検討
    - ・ 圧電素子？ バネを利用した電磁誘導？？

- 風力発電の推進
  - 再生可能エネルギー需要の高まり
  - 風力発電設備コストの低下
  - 洋上風力発電に関する制度の整備
- 都市域の再生可能エネルギー回収
  - 既存インフラへの太陽光発電設備の付与が主流（国土交通省主導）
  - 小型風車によるスポット的な風力発電
- 都市域での風力エネルギー回収の余地



出典：洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会 資料

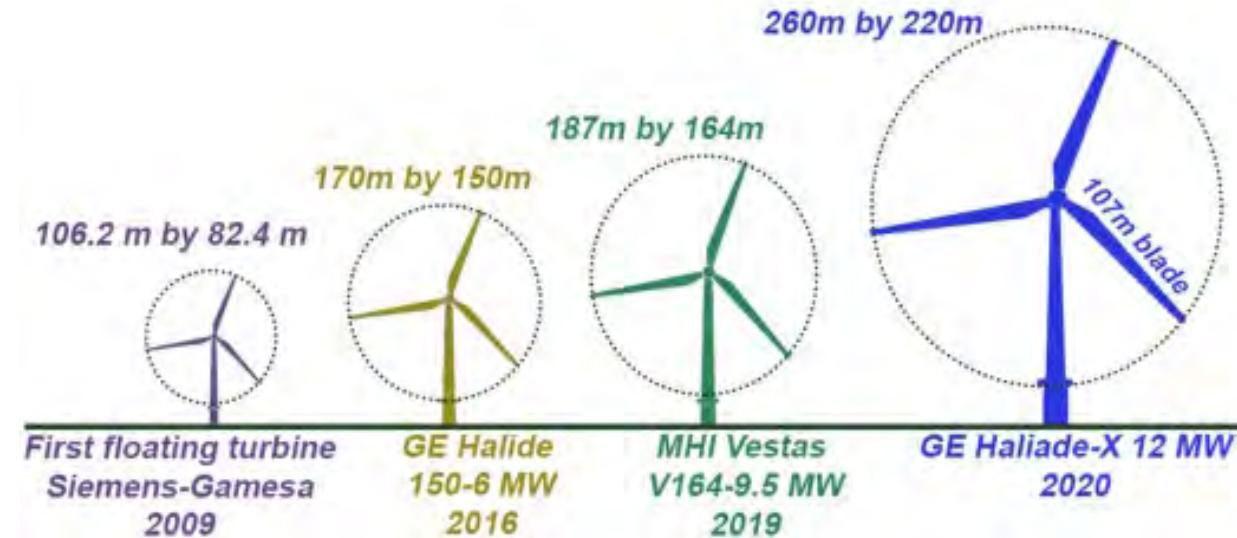
## ・ 設備規模

- 100mを超えるブレード直径
- 広大な敷地
- ✓ 都市域は小型風車が一般的

## ・ 後流(ウェイク)の影響

- ブレードの回転に伴う乱れた気流
- 風車直径に対して側方3倍程度、下流側10倍程度まで影響
- 発電効率の大幅な低下

➤ ウェイクの利用が新たな風力発電法開発へのポイント



Source: M. Bilgili, Clean Technologies and Environmental Policy, 2022



Photo : Christian Steiness / Vattenfall



Courtesy : Dr. M-C. Hsu / Iowa State Univ.

## ➤ 都市域に導入可能な新たな風力発電システムの開発

- コンセプト

コンパクト

ウェイク利用

風による振動

- 想定設置場所

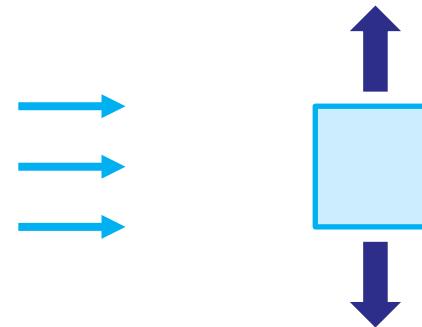
- 1次元的な気流が生成される場所
- ピロティ, ダクト, トンネル, 高速道路脇, 車両上 など

# 本発表に関する空力不安定振動



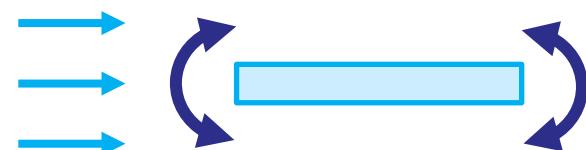
## ・ ギャロッピング

- 激しいたわみ（上下）振動
- 円柱や辺長比の小さい角柱に発現



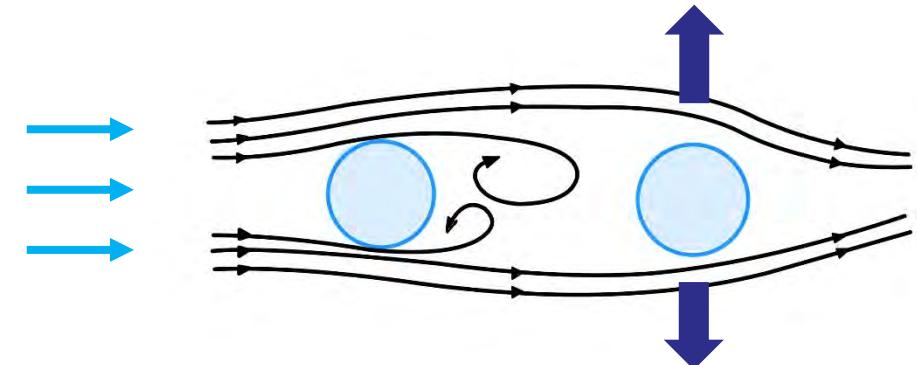
## ・ フラッター

- 激しいねじれ振動
- 辺長比の大きい角柱（平板）に発現



## ・ ウエイクギャロッピング

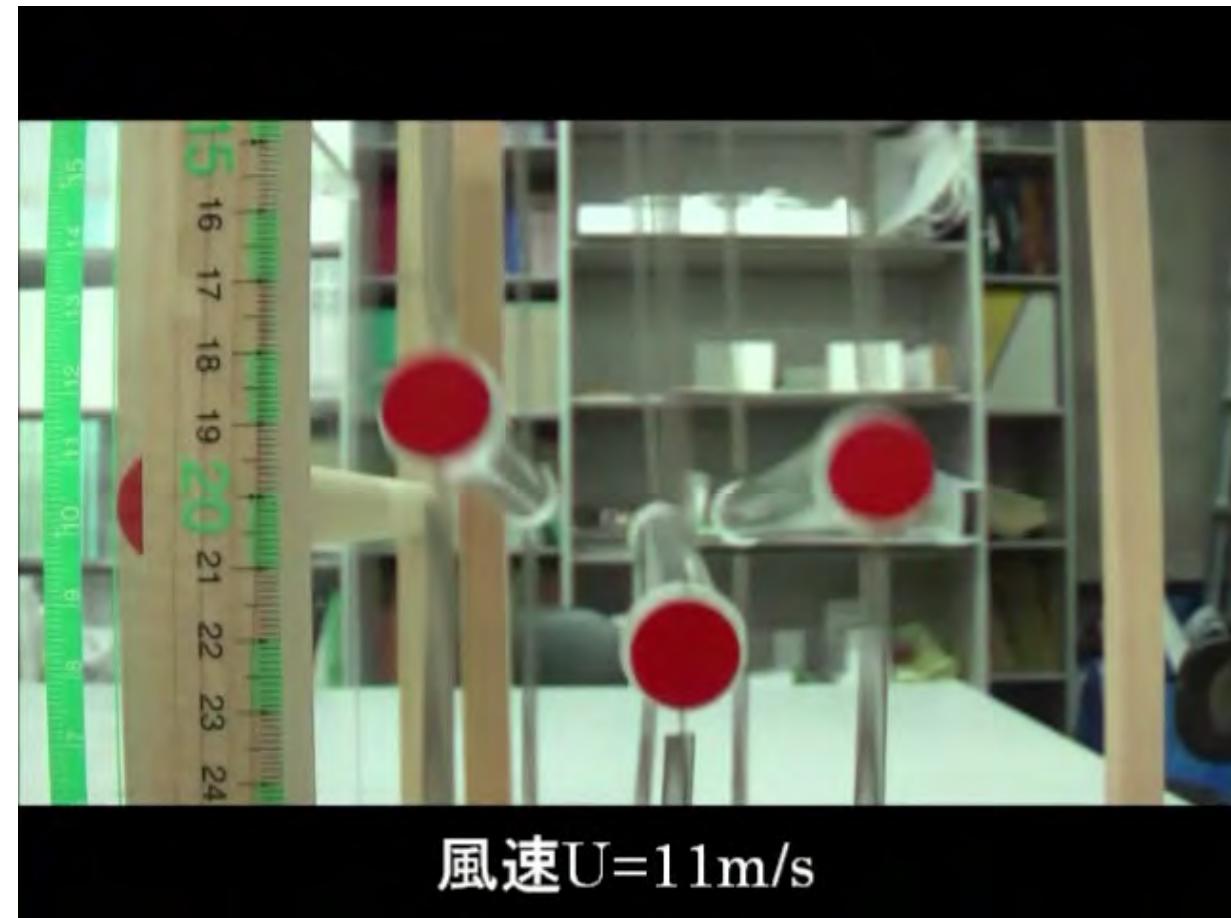
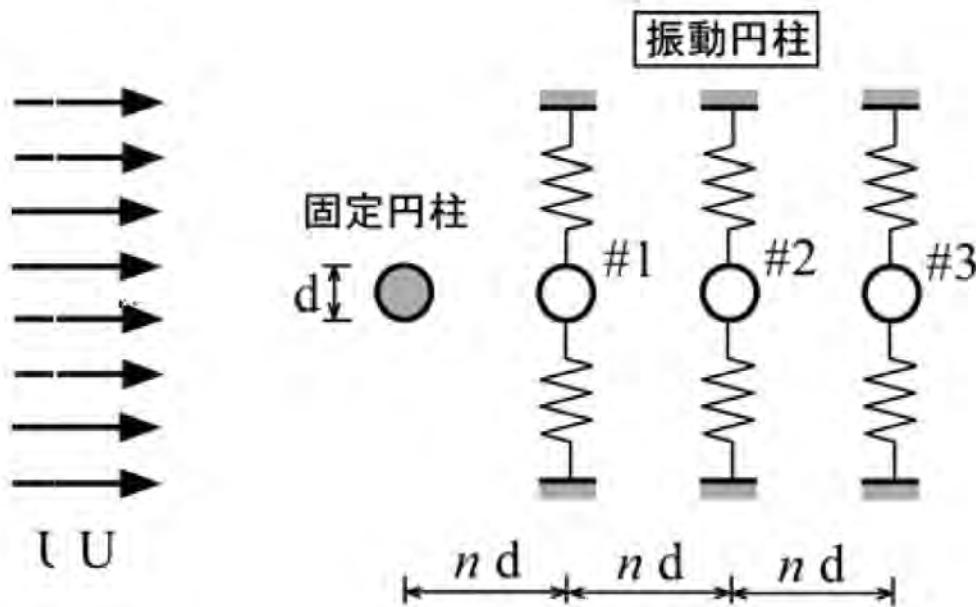
- 流れに対して直列に配置された2つの物体のうち、下流側物体にギャロッピングが生じる振動
- 斜張橋の並列ケーブルなどに発現



# ウェイク風力発電の既往研究

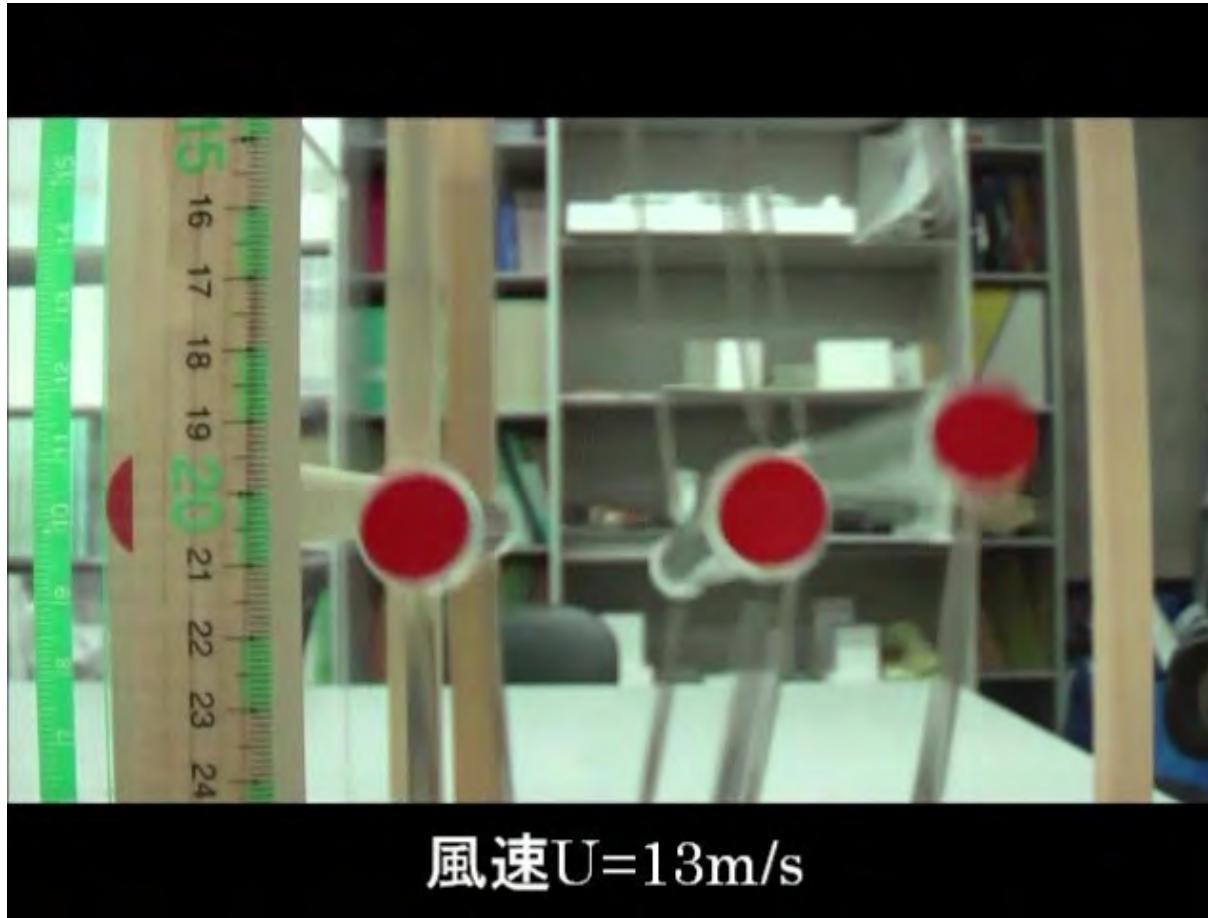


- 野村, 長谷部ら: 固定円柱の後流に直列配置された複数円柱の振動に関する基礎的実験, 2012



✓ 3本以上の円柱を直列配置した場合でも  
下流側円柱にギャロッピングが発現

✓ 高風速で複雑な振動モードが発現  
➤ 発電デバイスの付与が困難



↑  
固定円柱

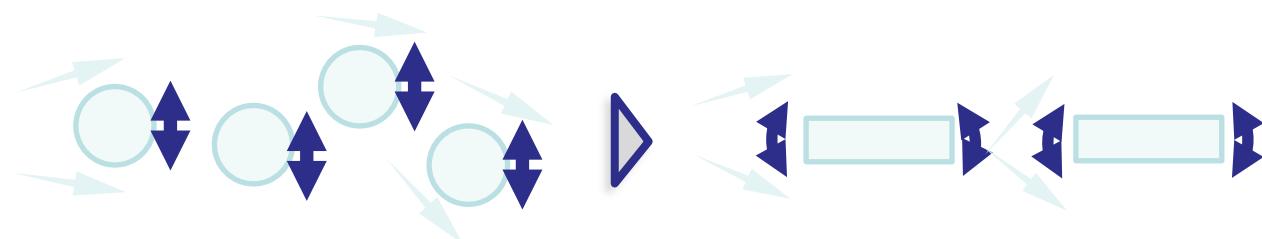
- 発電システムへの昇華のための検討事項

- 振動モードの限定

- アイディア

- 円柱振動子
  - ギヤロッピング

▷ 平板振動子  
フラッター



✓ ウェイク内において近接配置された複数物体のフラッター性状は未解明

# 複数平板のフラッター性状の確認



- 平板1体



- 平板3体

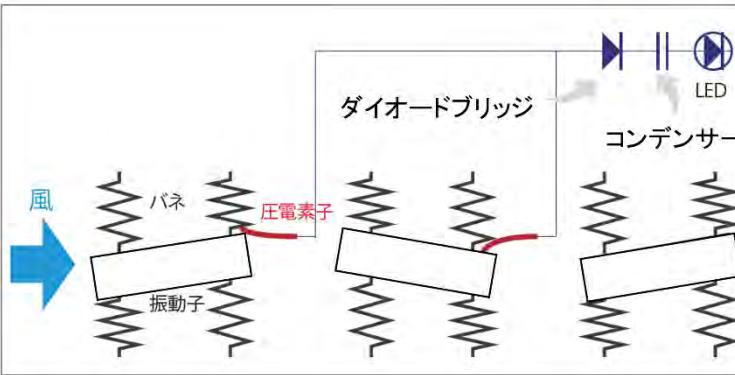


ウェイク内の複数平板に  
フラッターが発現  
ウェイクフラッターと命名



ウェイク風力発電の振動子として採用

# 構築したウェイクフラッター風力発電システム



【システム模式図】

## 【システム諸元】

- ✓ **平板数:** 3体
- ✓ **平板寸法:**  
80x10x300mm
- ✓ **中心間距離:** 200mm
- ✓ **風速:** 7.5m/s



# ウェイクフラッター発現時の風の流れ



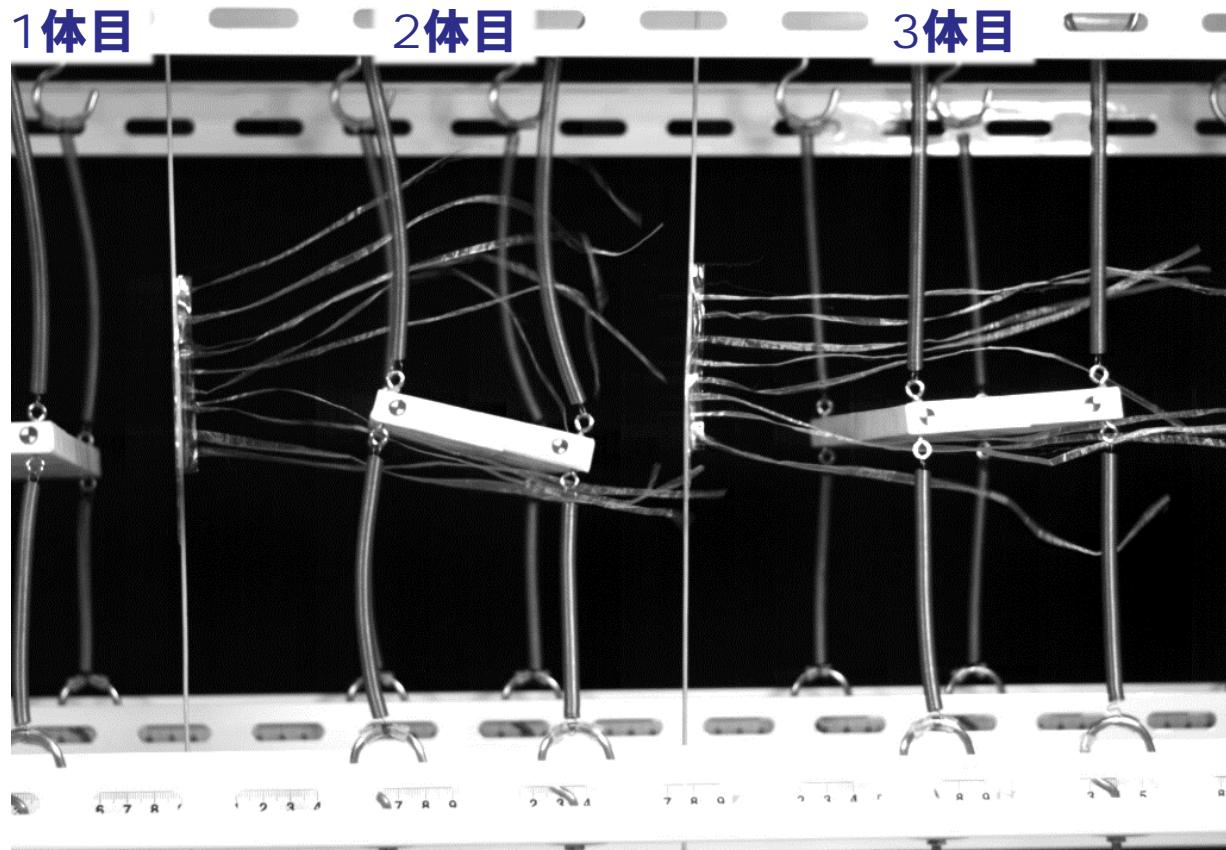
## ・流れの可視化実験の条件



### 【模型諸元】

|       |              |
|-------|--------------|
| 平板数   | 3体           |
| 平板寸法  | 80x10x300 mm |
| 中心間距離 | 200 mm       |
| 質量    | 38 g         |
| バネ定数  | 0.007 N/mm   |

## ・タフトを用いた可視化結果



- ✓ 1体目のウェイク変動が大きい
- ✓ 2体目のウェイク変動は1体目より小さい

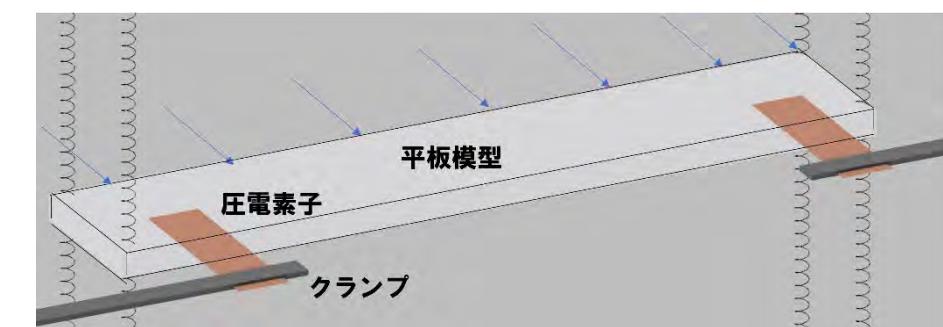
## ・ 検討デバイス

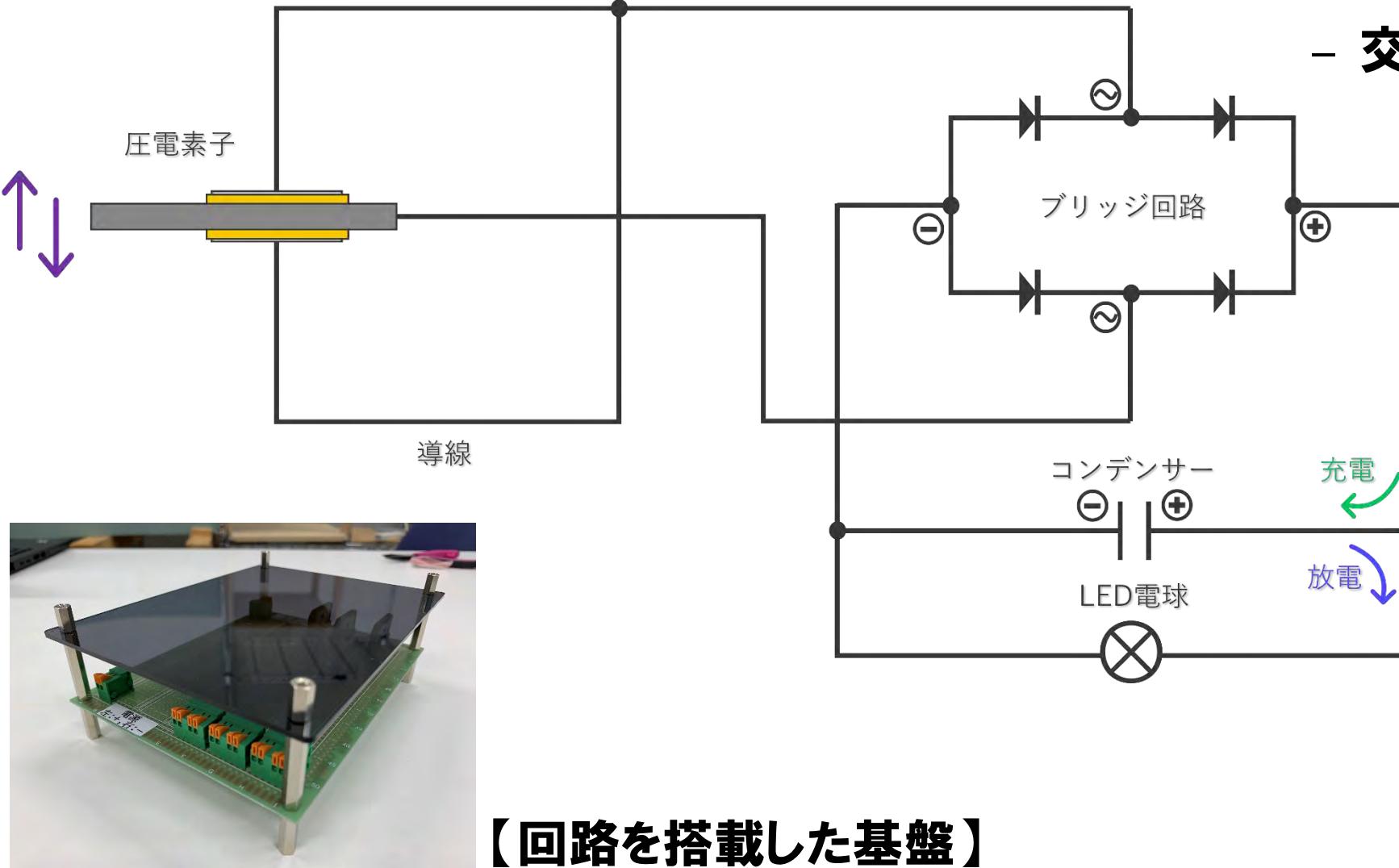
|     | コイル | 小型モーター | 圧電素子 |
|-----|-----|--------|------|
| 発電量 | △   | ○      | ○    |
| 作業性 | ○   | △      | ○    |

✓ 圧電素子を発電デバイスとして採用

## ・ 圧電素子の仕様

- メーカー: THRIVE
- 型式: K7520BS3
- 寸法: 75x25x0.43mm
- 質量: 5g
- 出力電圧: 80Vpp
- 出力電流: 100μA



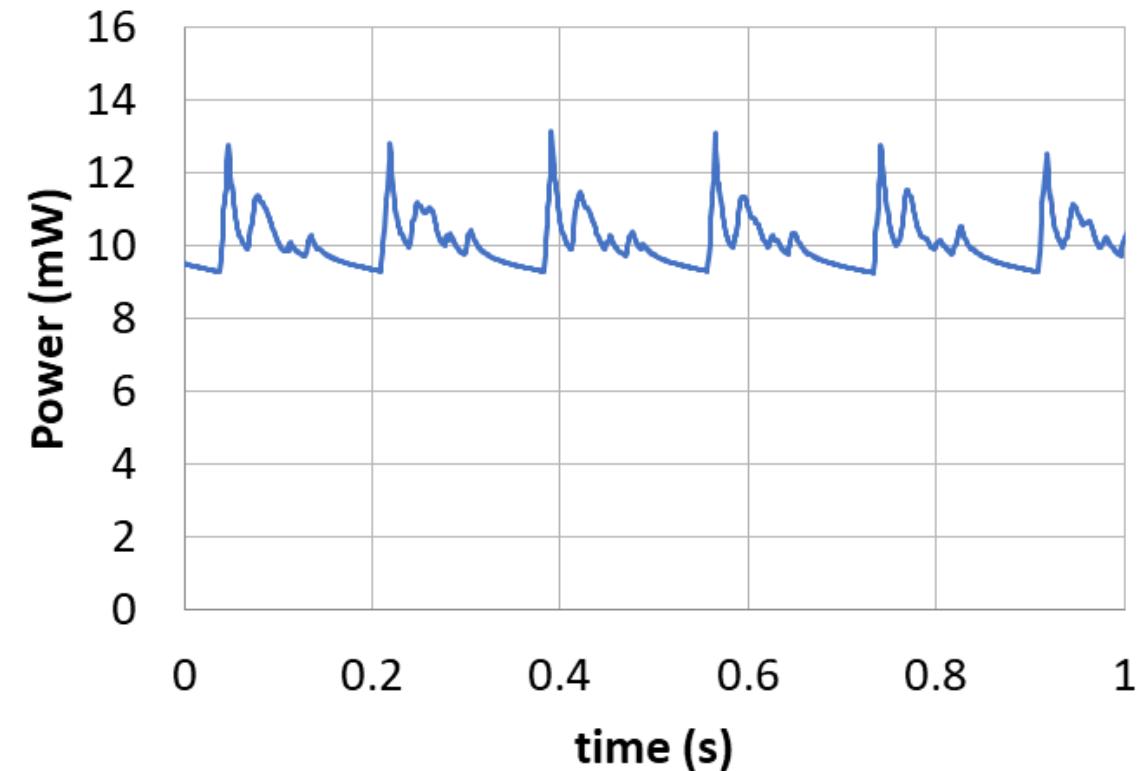
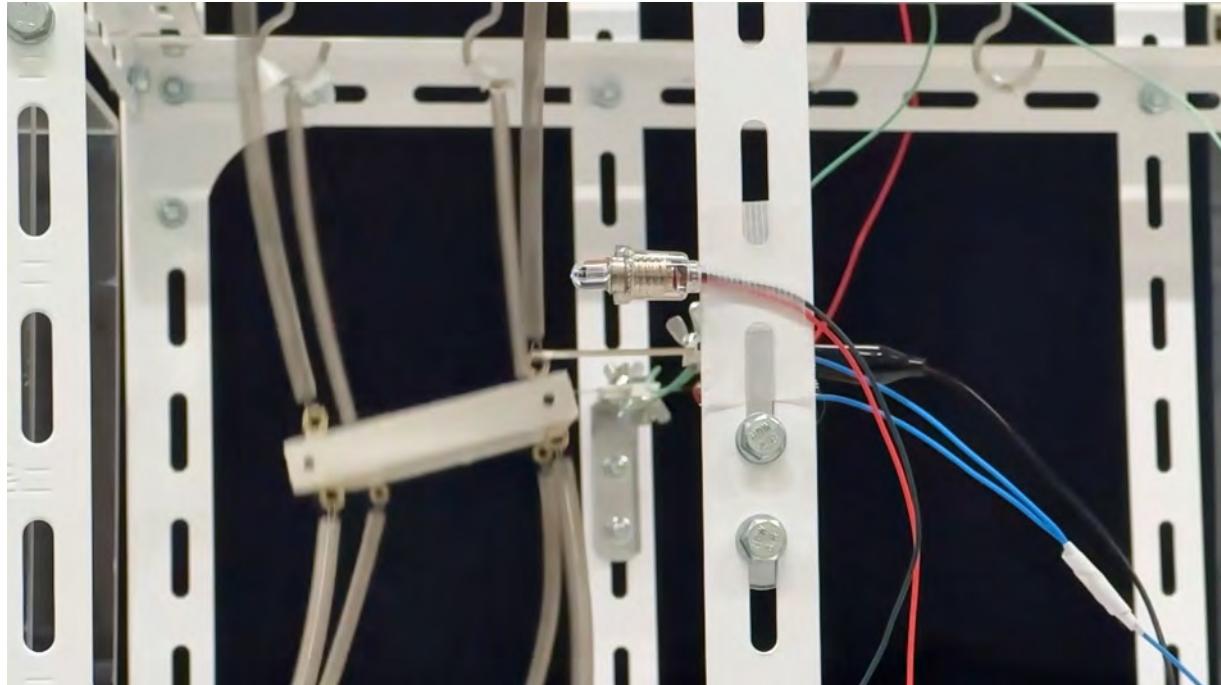


- ダイオードブリッジ回路
  - 交流電圧を直流電圧に変換

- コンデンサー
  - 電力を充電

【回路を搭載した基盤】

# 発電量計測 ~平板1体~

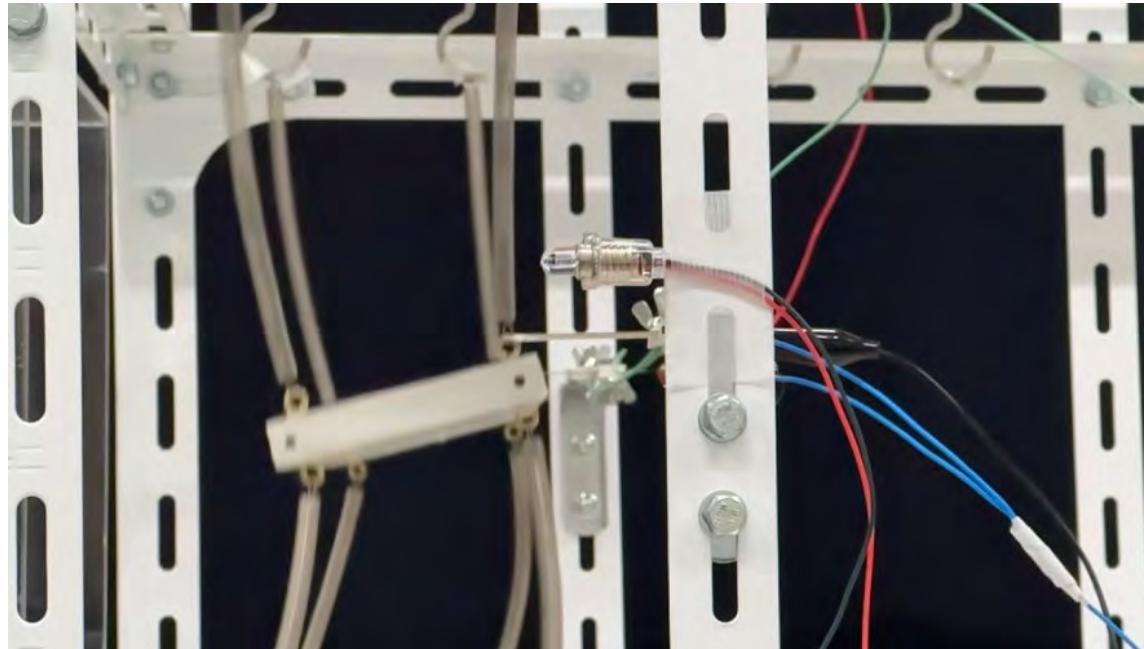


- ✓ 電圧を測定し、電力に変換 (LED電球抵抗値:  $600\Omega$ )
- ✓ 発電量が微量のため今後の改良が必要

# 今後のビジョン

---

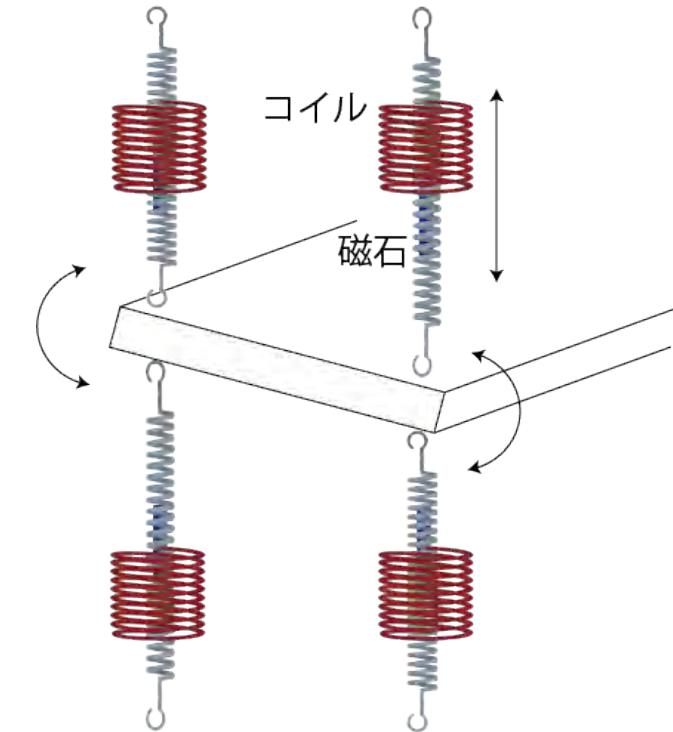
- **圧電素子**



- ✓ **最大発電量** 13.4 mW

- 発電量の多い圧電素子の模索

- **コイルと磁石による電磁誘導**

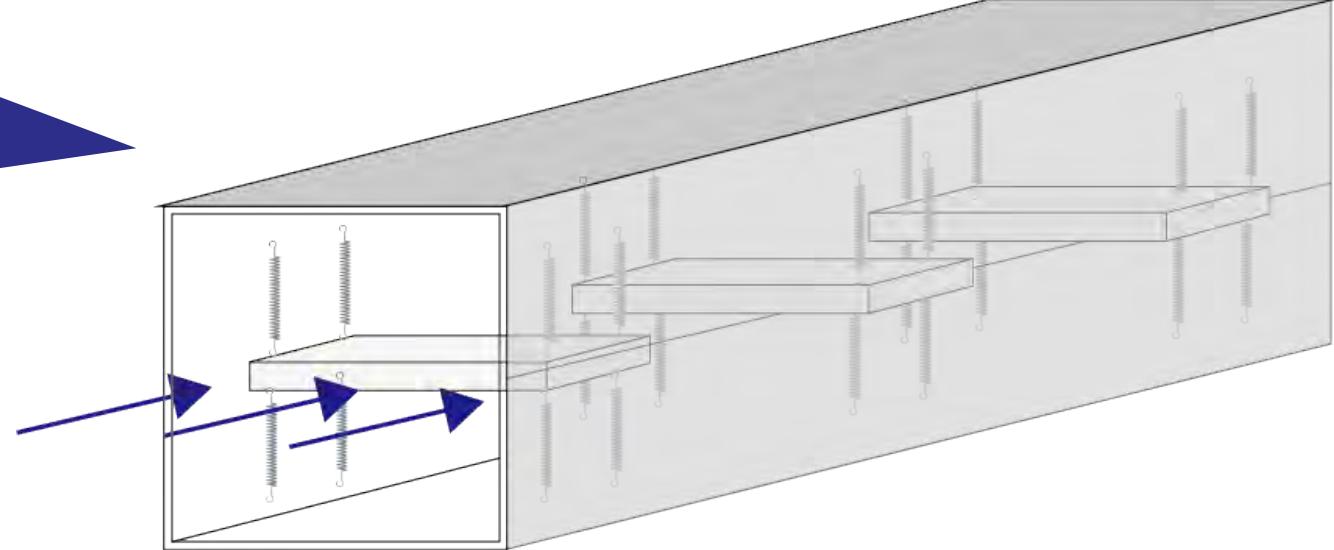


- 他の発電デバイスの検討

- 例) 地下鉄構内の排気ダクト



[引用]‘名古屋市交通局’HP  
<https://www.kotsu.city.nagoya.jp/jp/pc/>



## 【想定される配置場所のポイント】

- ✓ 決まった方向に風が吹く場所
- ✓ 常時吹かなくても定期的に風が吹く場所
- ✓ 人が直接触りにくい場所

# 聴講いただいた企業様への期待



- ・ **発電デバイス（圧電素子やコイルなど）を開発している企業様との共同研究を希望**
- ・ **都市域の風力エネルギー回収と一緒に取り組んでいただける企業様との共同研究を希望**

- **開発の目的**
  - 都市域に導入可能な新たな風力発電システムの開発
  - システムのコンセプト: コンパクト・ウェイク利用・空力不安定振動
- **成果**
  - ウェイクフラッター現象の発見
  - 圧電素子を用いた発電システムの構築
- **今後の課題**
  - より大きな振動が生じる平板パラメーターの模索
  - 発電量を増加させるデバイスの検討
  - 設置場所の検討

