

# 渦励振発電装置の低流速域における 発電性能を向上させるワイヤを用いた 機構の開発

東京都立産業技術研究センター  
情報システム技術部 IoT技術グループ  
研究員・金 大貴

2025年2月4日

## 開発の背景

- **環境問題の観点から環境負荷の小さい発電方法が望まれている。**
- **再生可能エネルギーの導入について自治体が設置を推進している。**
- **日本には広大な排他的経済水域・沿岸部・北海道のような風力発電好適地があり再生可能で豊富な流体エネルギーが利用できる環境がある。**

# 流体エネルギーの凄まじさ

1940年11月7日

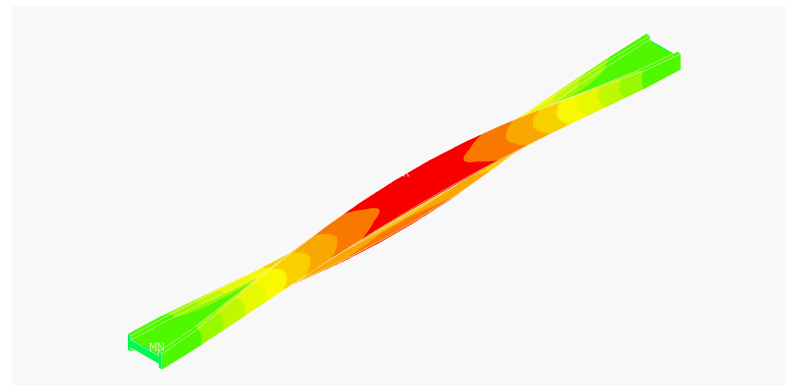
米国シアトル郊外

タコマ橋が落橋

流体関連振動(風速19m/s)により崩落した  
橋梁として著名な事例です



この事故で流体関連振動の存在と  
エネルギーの大きさが知れ渡る



※事例の流体関連振動を簡易に模擬したシミュレーション

“危険な現象だが流体のエネルギーは凄まじい”

“この流体関連振動を用いて発電をする”

# 流体関連振動

うずれいしん  
**渦励振とは**

D: 代表長さ

U: 流速

$\nu$ : 動粘度

$f_k$ : カルマン渦発生周波数

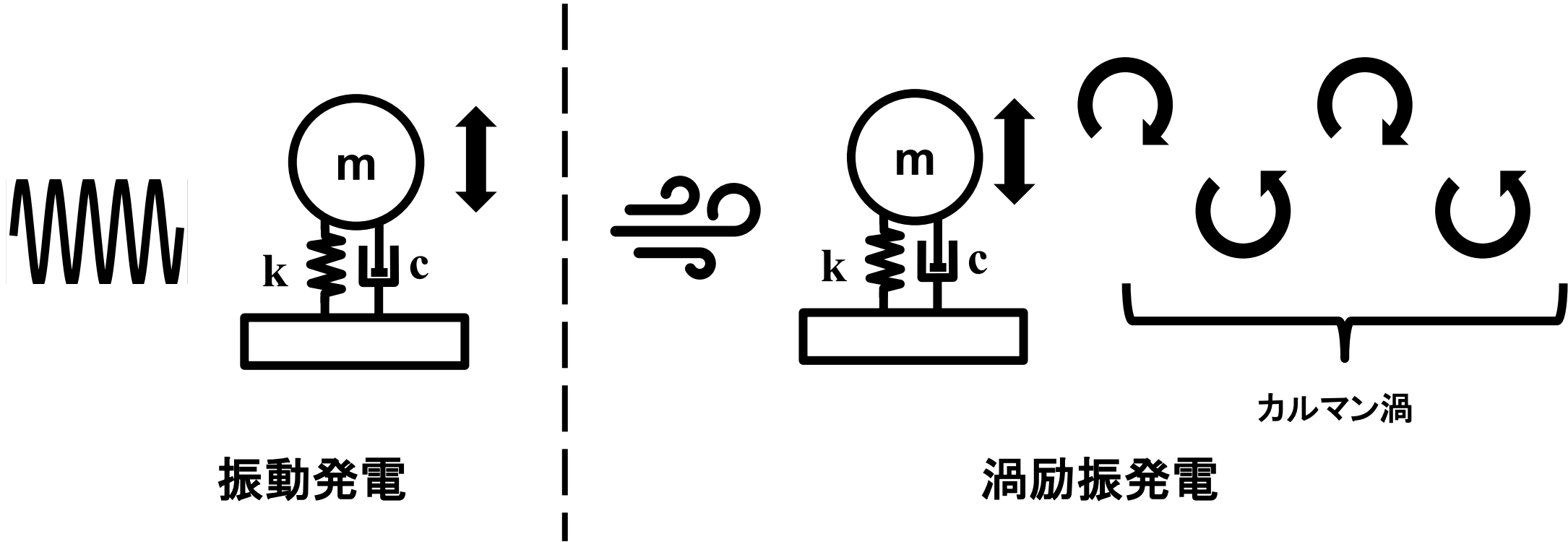
## 流体関連振動の一種

レイノルズ数:  $Re = \frac{DU}{\nu}$       ストローハル数:  $St = \frac{f_k D}{U}$

カルマン渦発生周波数と構造の固有振動数の関係から  
渦励振が生じることが知られている。

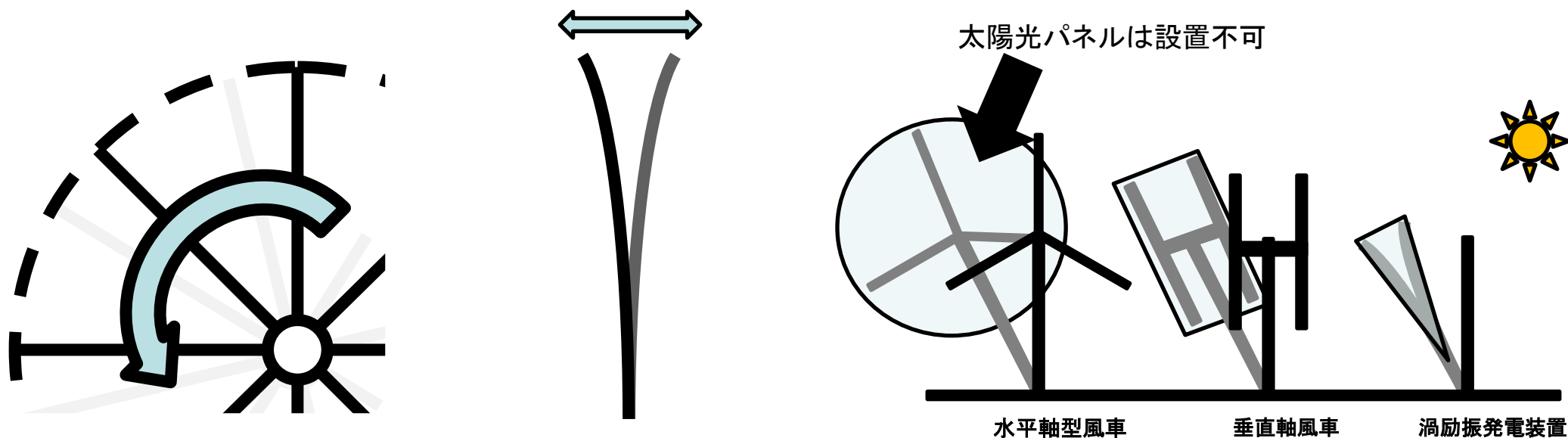
( $Re$ の広い範囲・円断面で  $St = 0.15 \sim 0.20$  でカルマン渦が発生する)

# 渦励振発電装置



回転機構がない発電方法として注目されている  
渦励振の弾性エネルギーで逆磁歪材料・コイルや永久磁石・圧電素子を用いて発電する  
先行例では10mほどのサイズで1kW前後のタイプが開発されている

# 渦励振発電装置のメリット



※渦励振発電装置のイメージ及び回転周速度の比較の模式図と発電装置から落ちる影の模式図

周速度が小さく低騒音（受風部が同じ長さで同じ運転周波数なら）

回転機構がないためメンテナンスコスト低

断面が円形なら風向依存性低

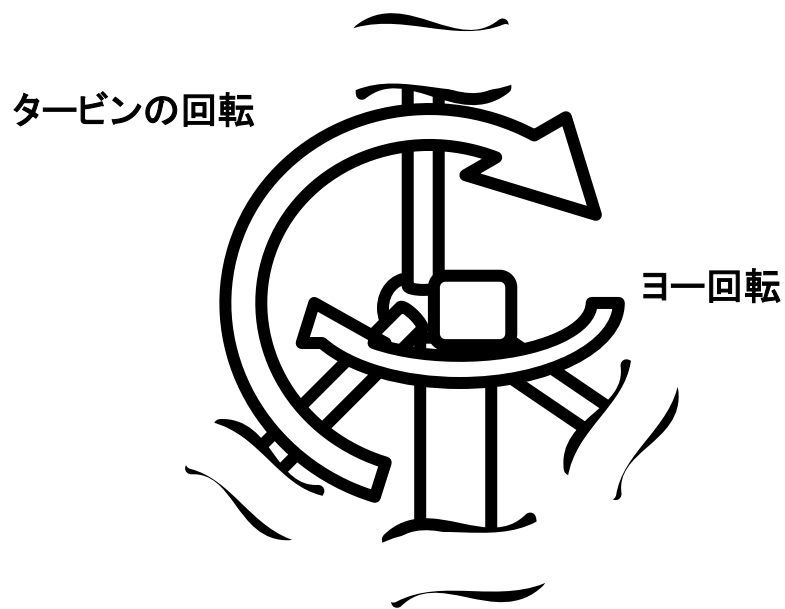
シャドウフリッカーが生じる範囲（水色部分）少ない（高さが同じなら）

# 渦励振発電装置が解決する課題

風力発電を検討したが

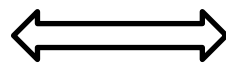
回転機構（発電機構タービンやヨー回転制御）由来の

メンテナンスコストや環境負荷で利用できなかった地域の電源など

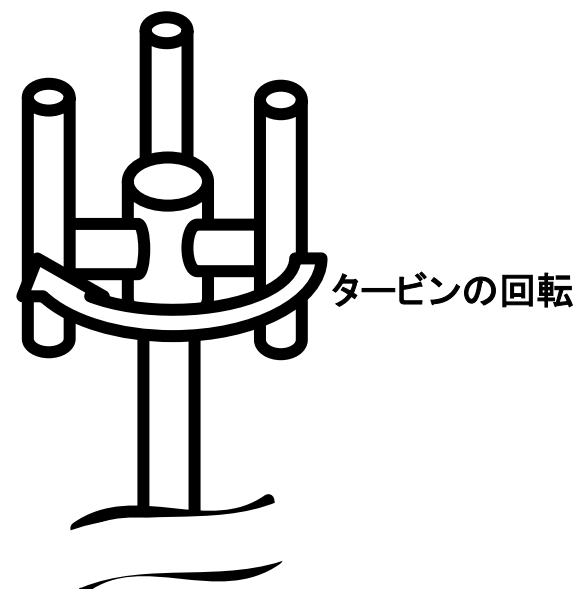


水平軸式風力発電装置

梁構造の弾性振動



渦励振発電装置



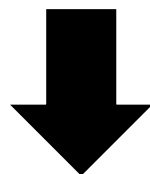
垂直軸式風力発電装置

# 渦励振発電装置の課題

## 低流速（弱風）での発電に課題がある

渦励振が起きる範囲＝発電可能流速範囲

（渦励振が起きる範囲は決して広くない）



タービンを有するものに比して発電量小 & 電源として不安定

発電可能領域（低流速域）の拡大が期待されている

（トータルでの発電量増大と安定性向上のため）

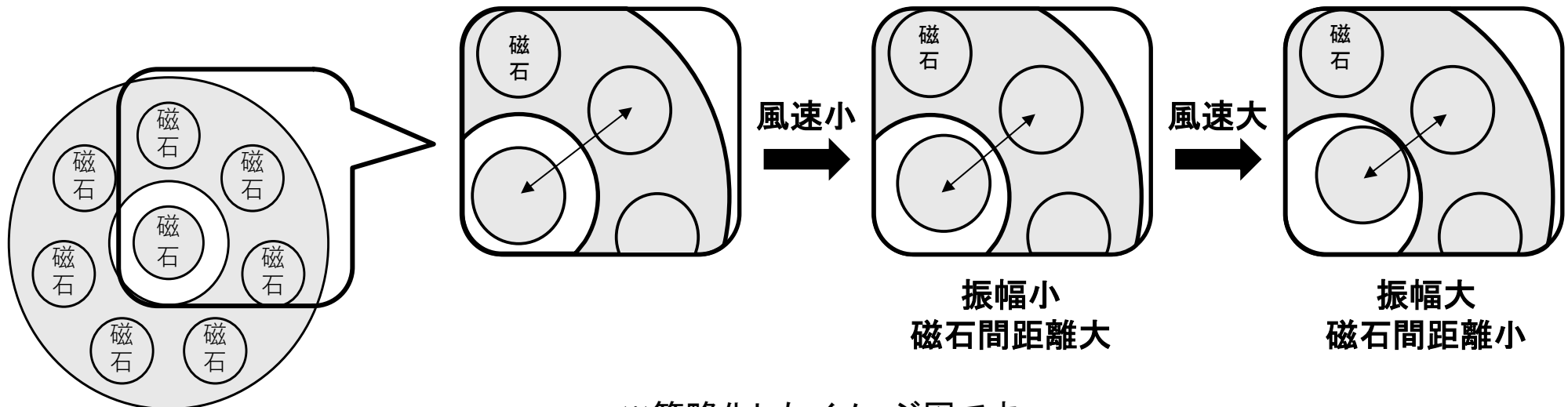


# 競合の渦励振発電装置の原理と機構

渦励振を用いた発電方法はすでに存在している

発電機構を兼ねた永久磁石による自動風速適合機構が利用されている

磁力で見かけ剛性を変化させる機構



※簡略化したイメージ図です

# 提案する渦励振発電装置の原理と機構

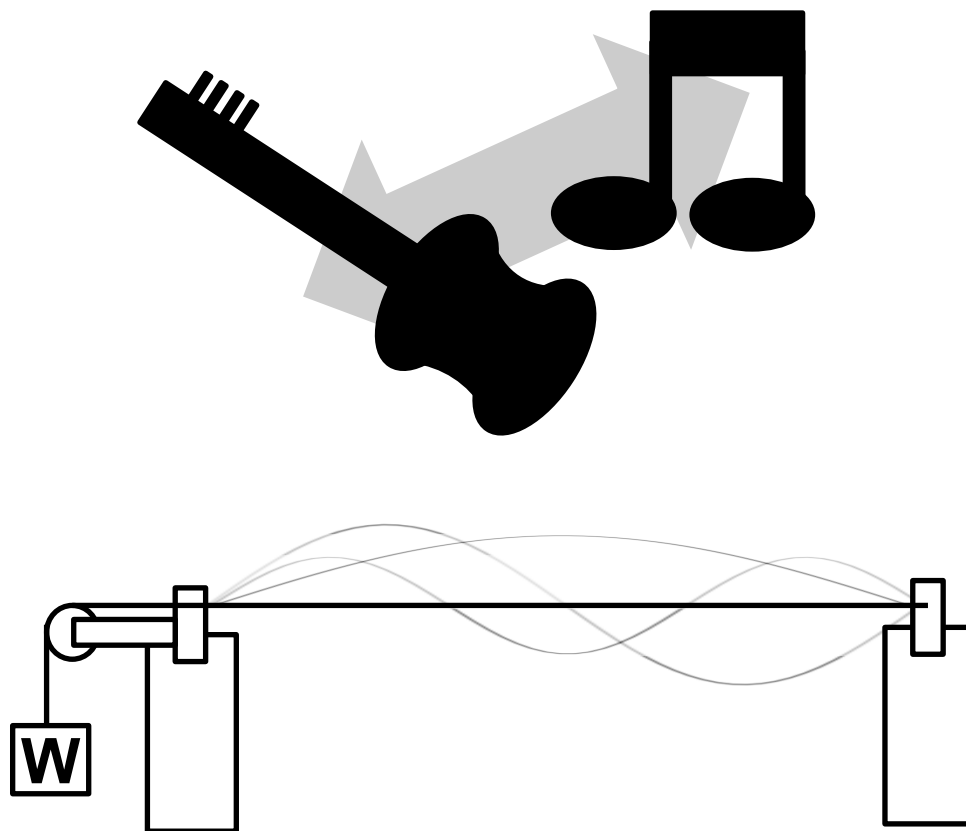
## 弦楽器の調律

音を高めるには張力を与える



音を低くするには張力を減らす

“固有振動数を荷重で能動的  
に調整する作業“



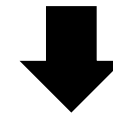
※弦の張力(重り)により固有振動数を増減させる

物理の実験の模式図

# 提案する渦励振発電装置の原理と機構

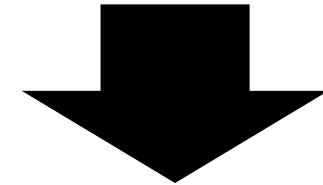
軸力(P)を考慮した梁の曲げ振動の偏微分方程式

$$\rho A \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + P \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = 0$$

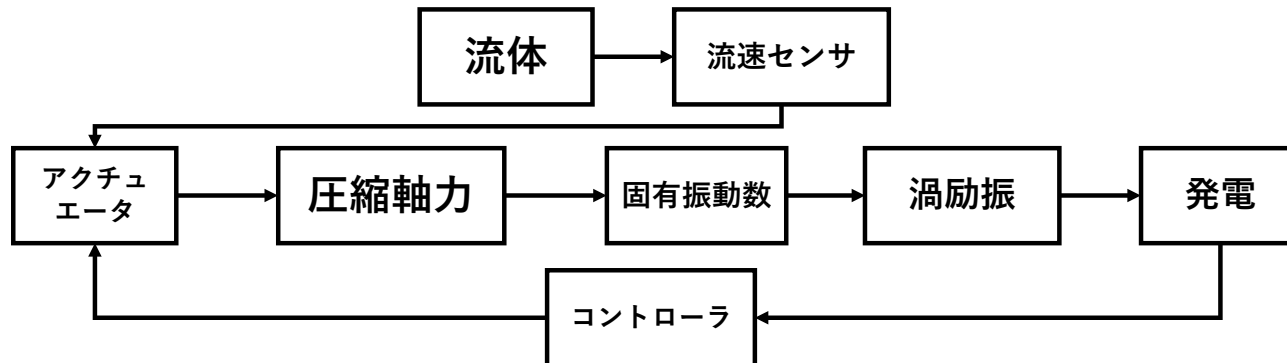
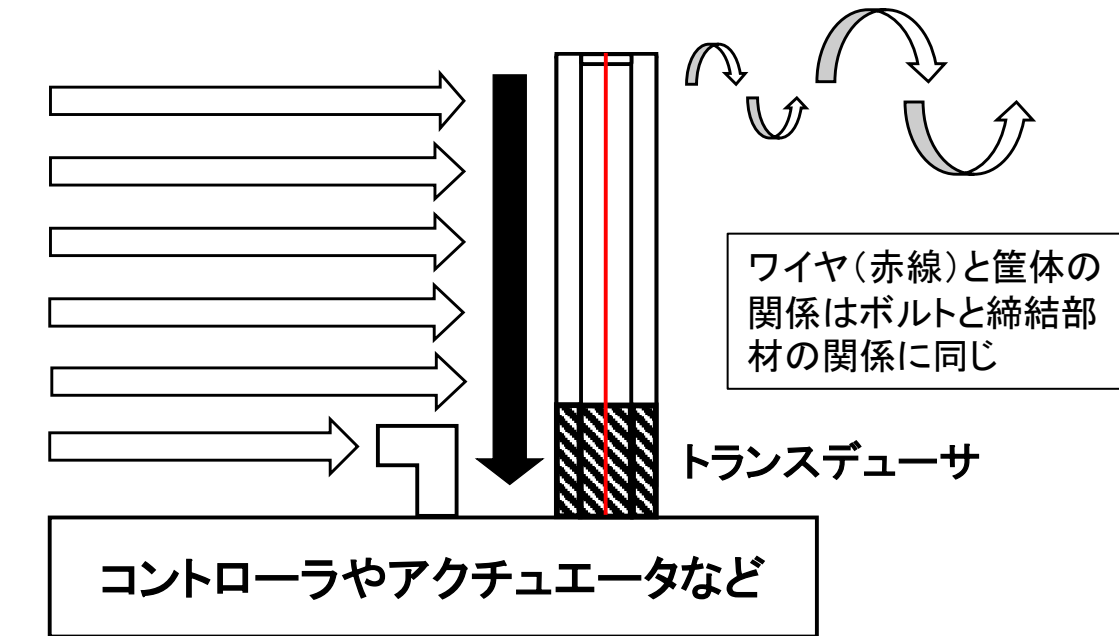


$$f_{SB}(P) = f_S \sqrt{1 - \frac{P}{P_{cr}}}$$

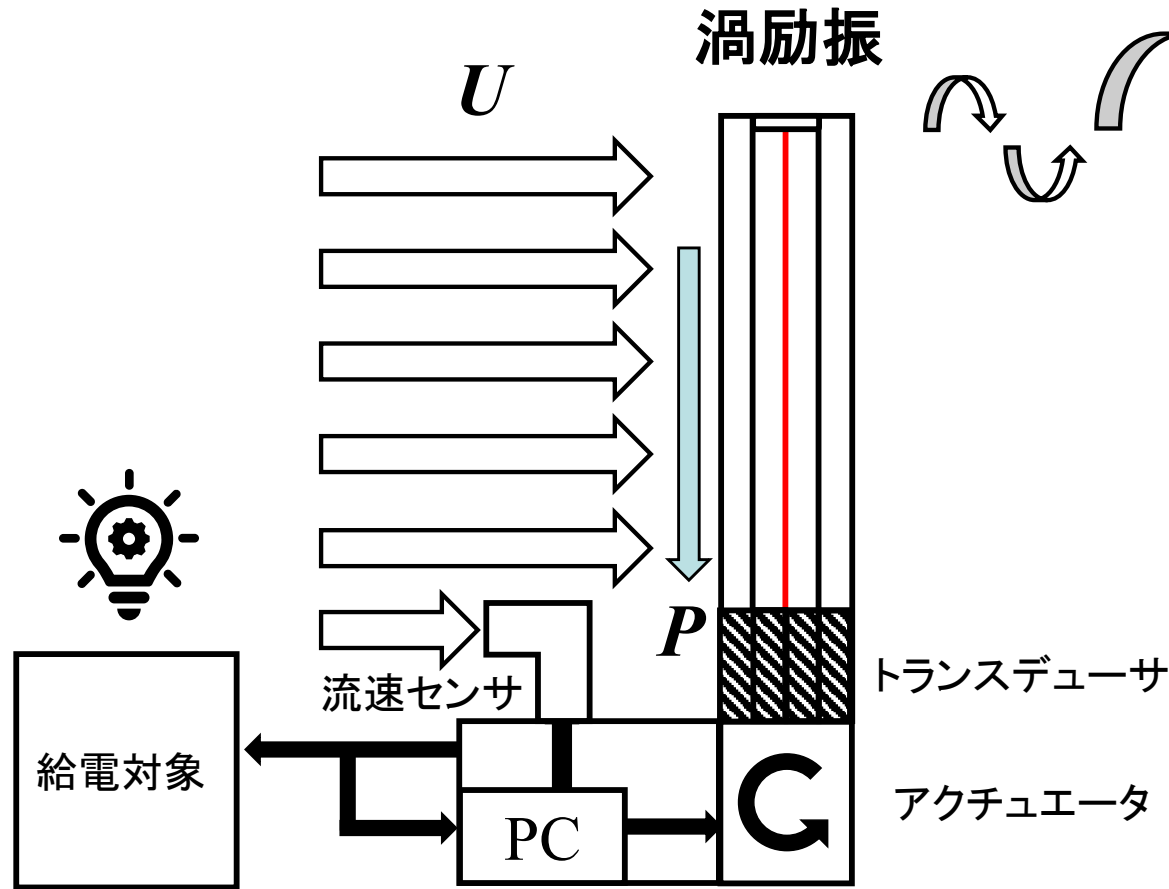
圧縮の軸力Pが増大



固有振動数  $f_{SB}$  が減少  
(構造の振動特性を可変にできる)



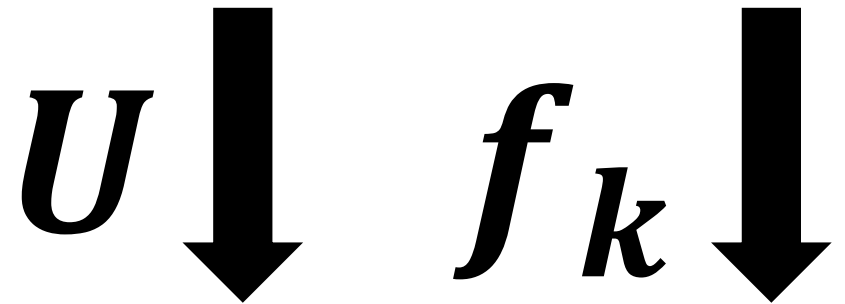
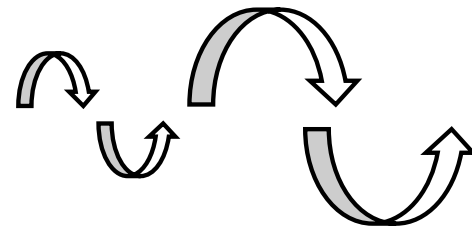
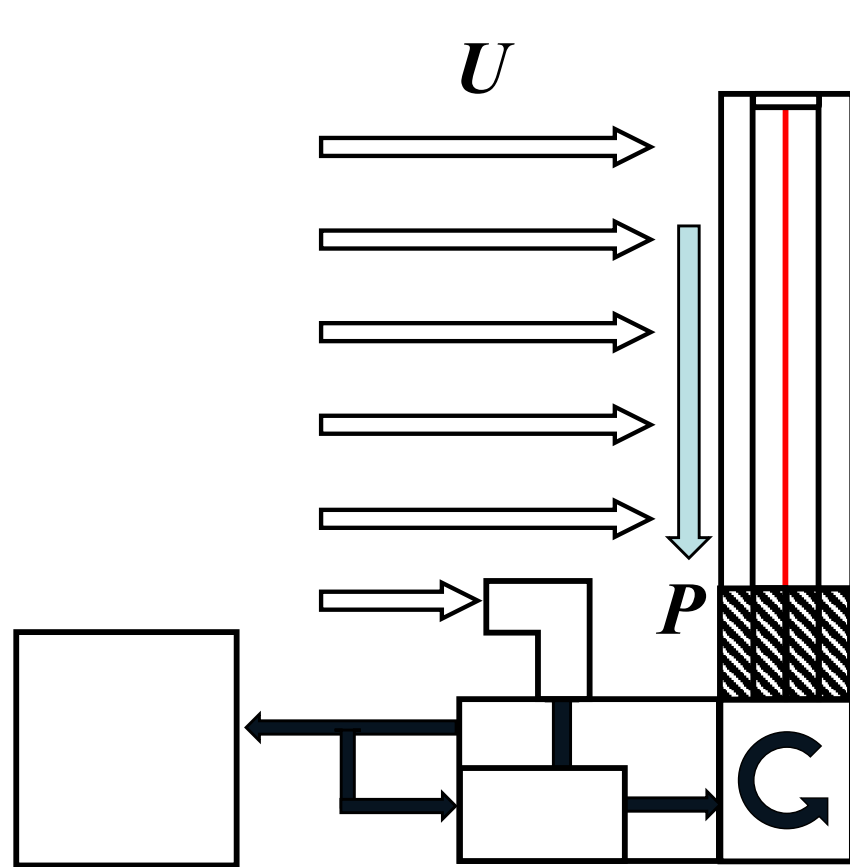
# 提案する渦励振発電装置の原理と機構



$$f_k \cong f_{SB}$$

$$\text{※} St = \frac{f_k D}{U}$$

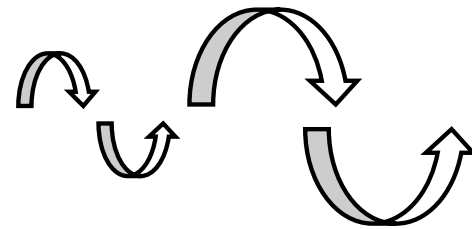
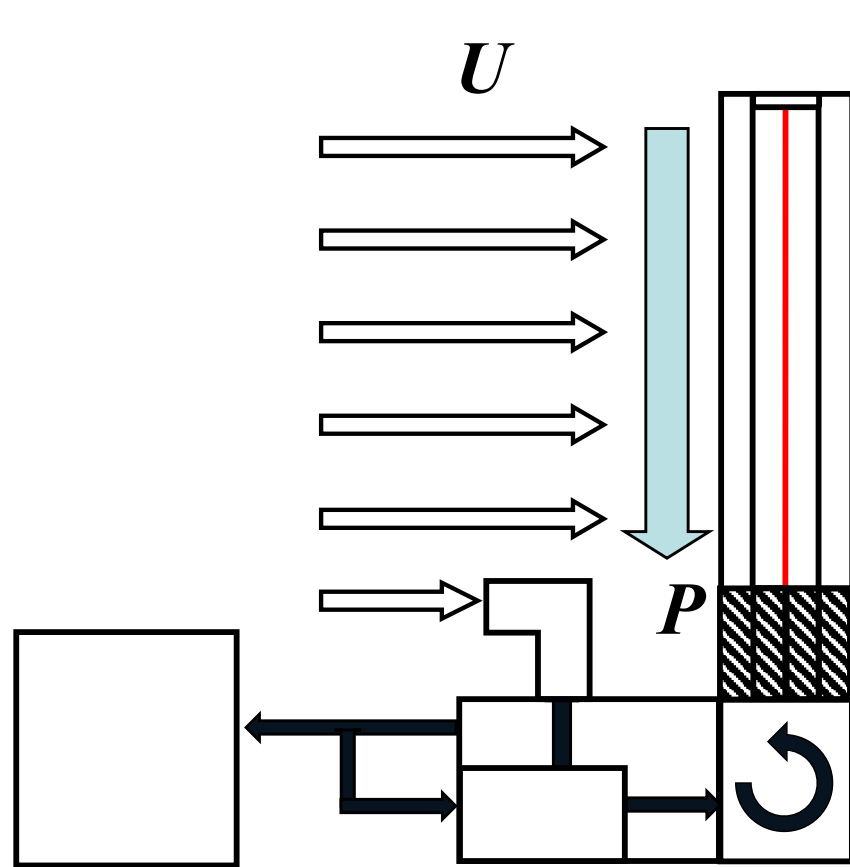
# 提案する渦励振発電装置の原理と機構



$$\text{※} St = \frac{f_k D}{U}$$

$$f_k \neq f_{SB}$$

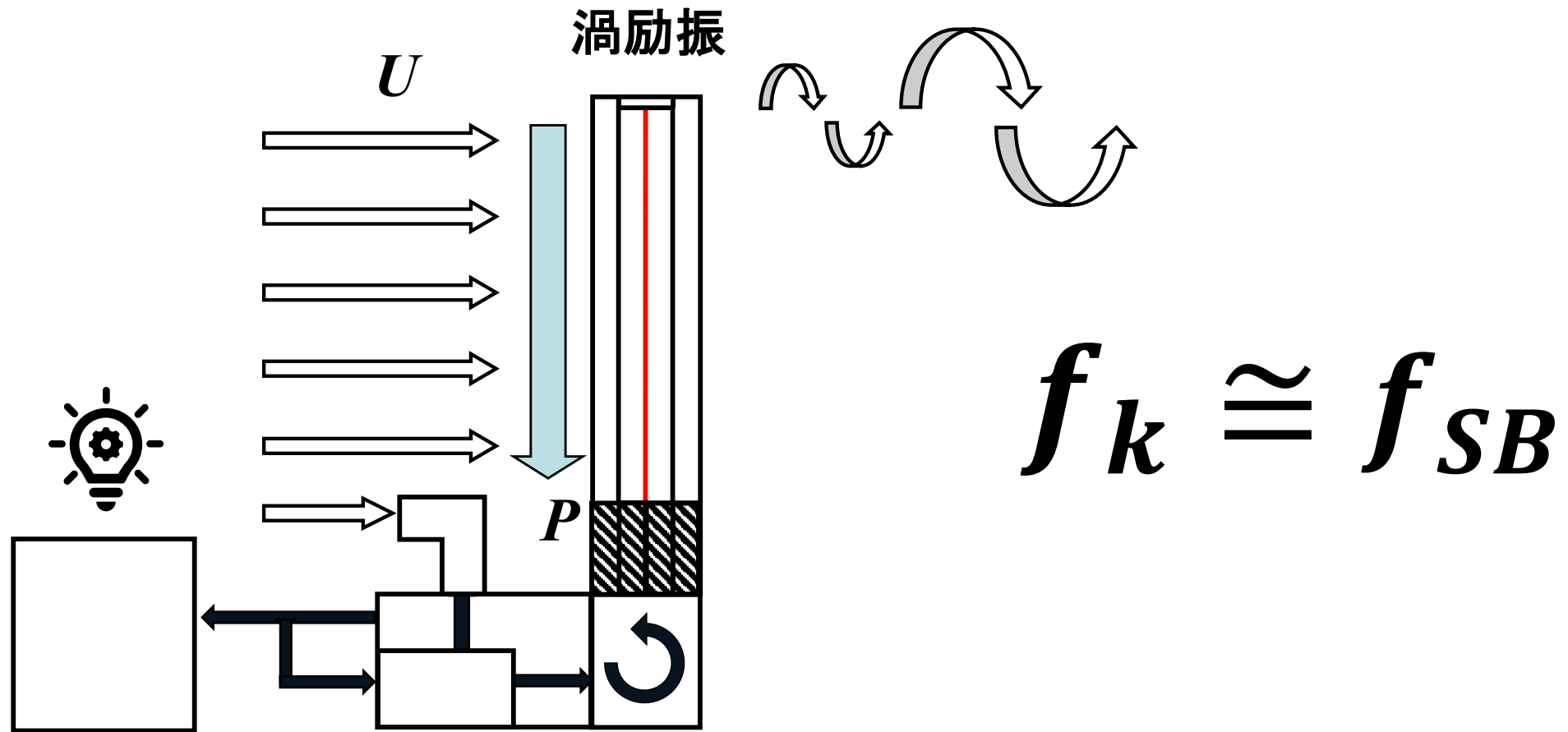
# 提案する渦励振発電装置の原理と機構



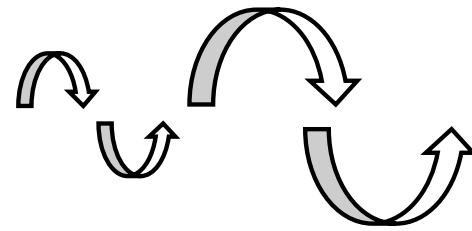
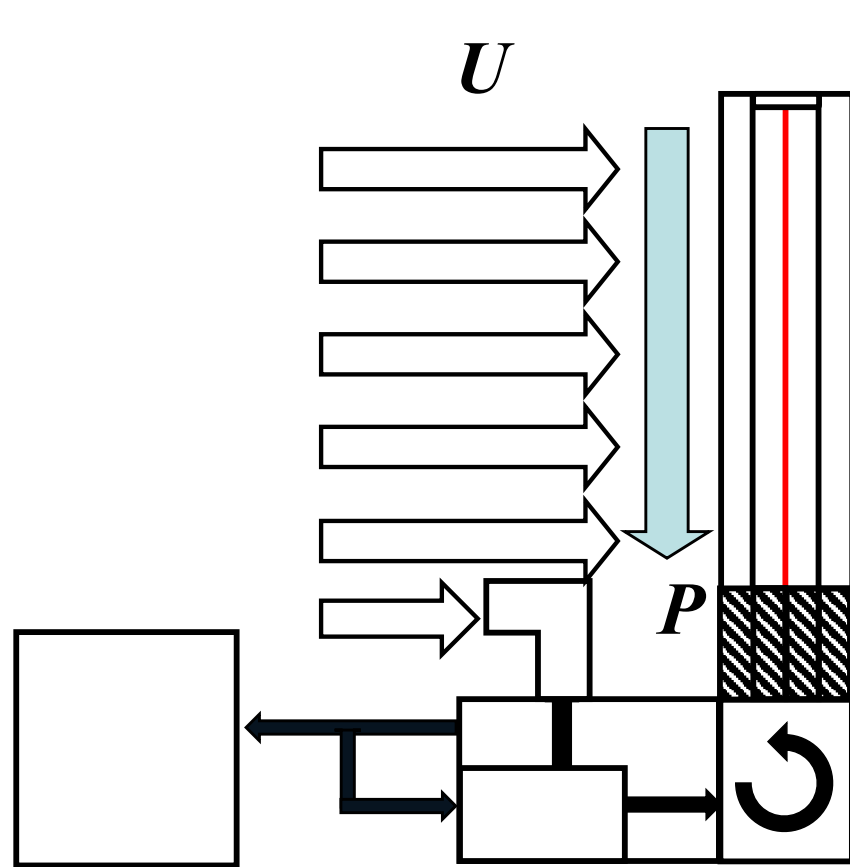
$P \uparrow$        $f_{SB} \downarrow$

$$\ast f_{SB}(P) = f_s \sqrt{1 - \frac{P}{P_{cr}}}$$

# 提案する渦励振発電装置の原理と機構



# 提案する渦励振発電装置の原理と機構

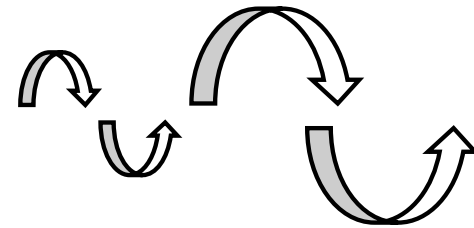
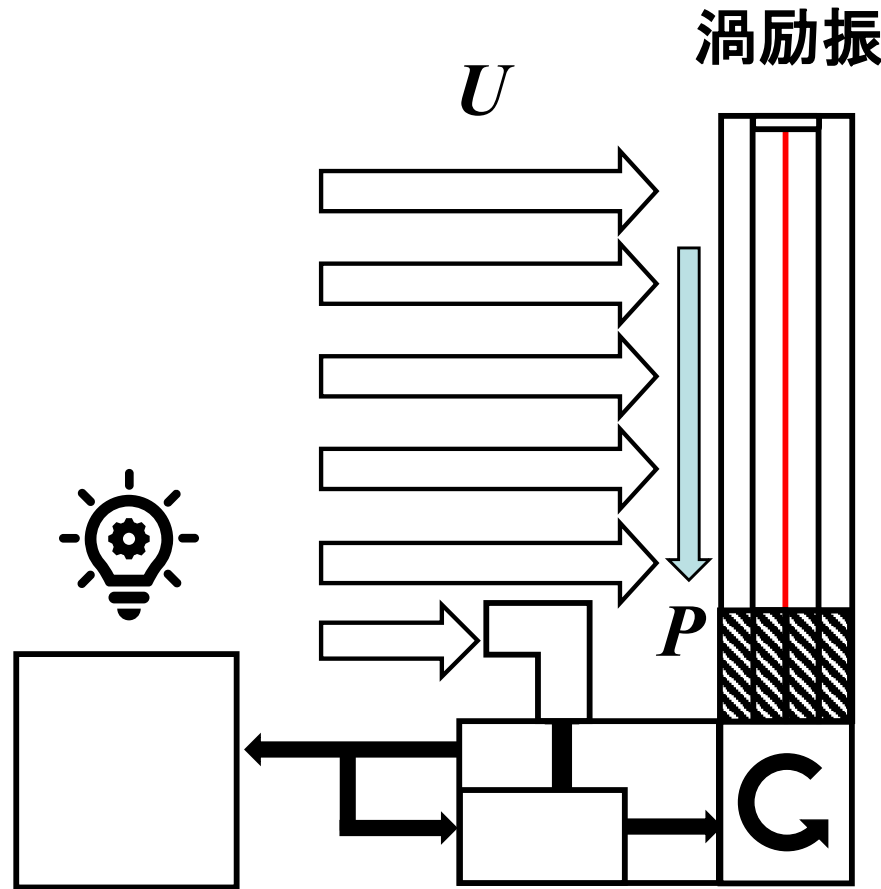


$U \uparrow$        $f_k \uparrow$

$f_k \neq f_{SB}$



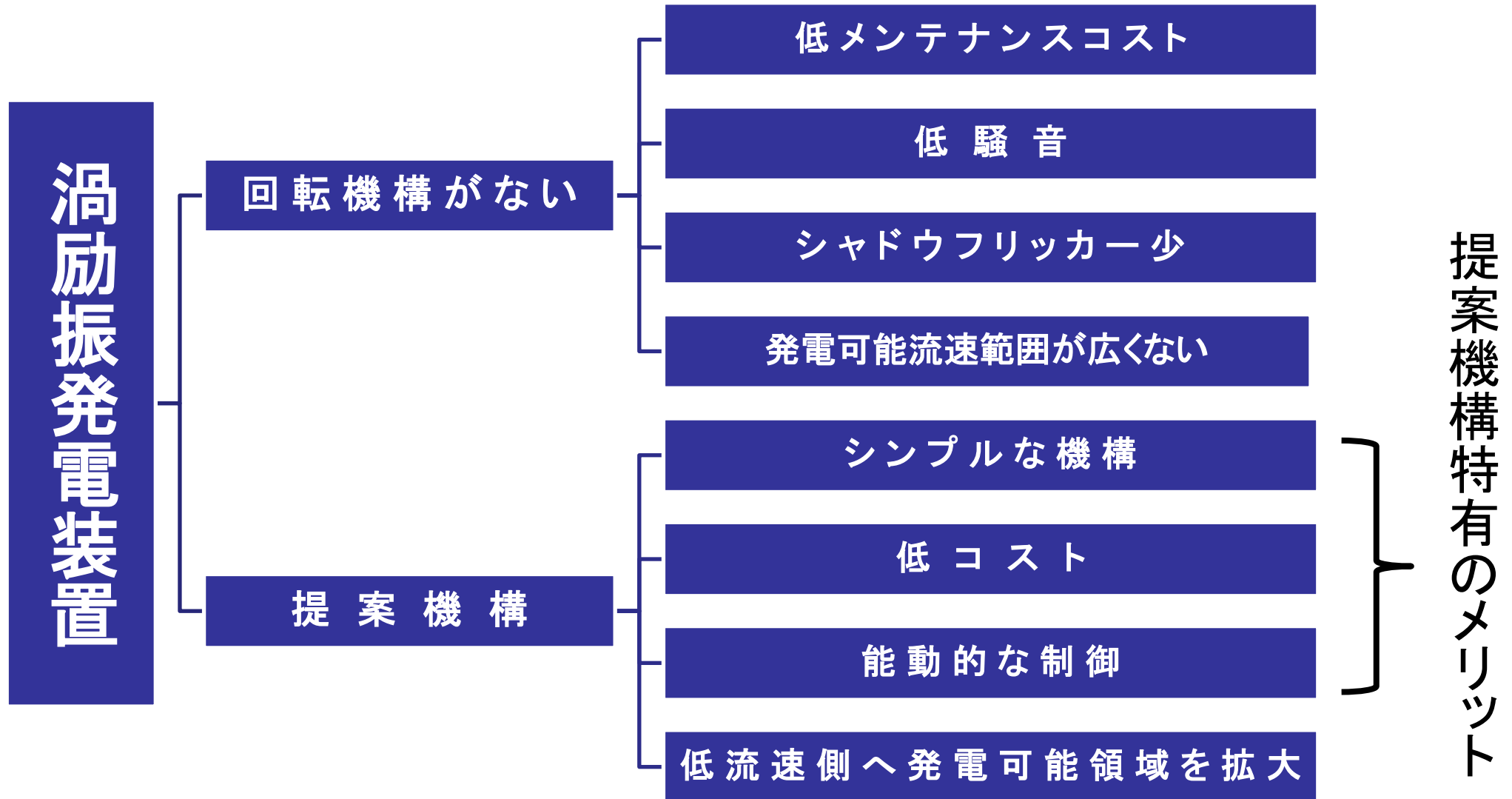
# 提案する渦励振発電装置の原理と機構



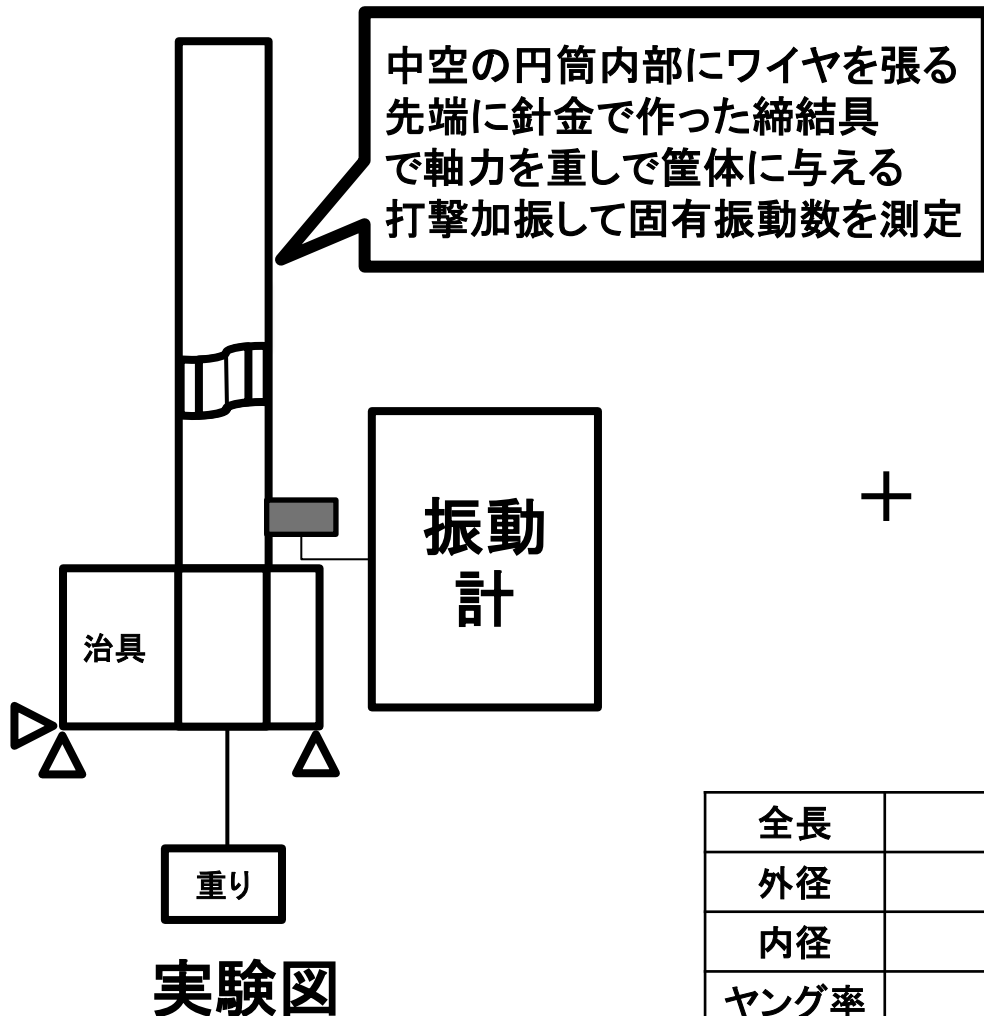
$P \downarrow$   $f_{SB} \uparrow$

$$\ast f_{SB}(P) = f_s \sqrt{1 - \frac{P}{P_{cr}}}$$

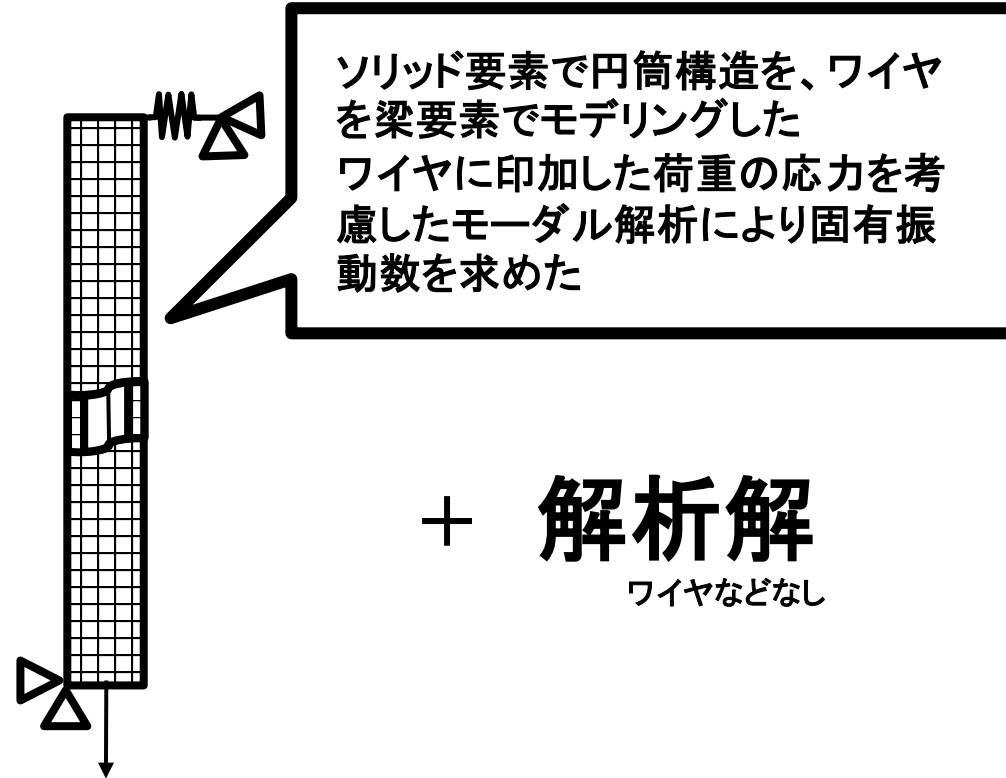
# 渦励振発電装置の特徴と提案機構のメリット



# 実験と数値計算による検証

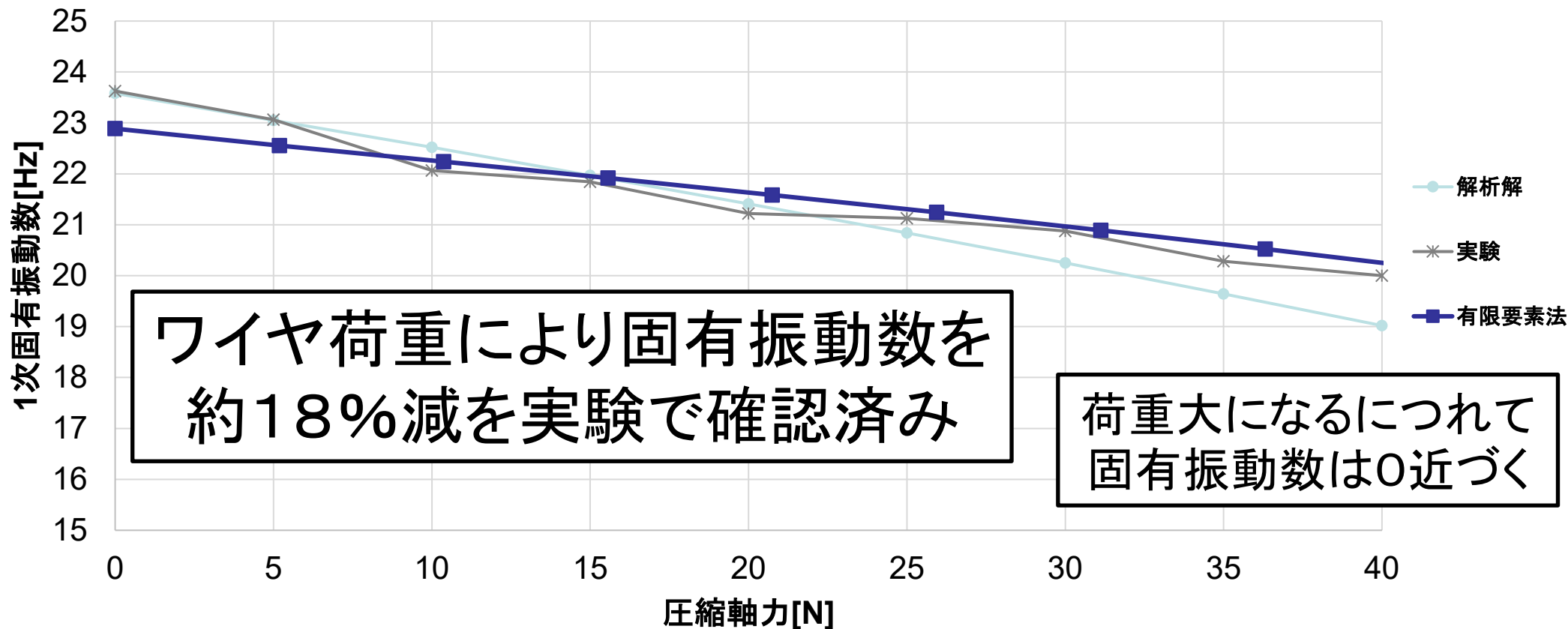


+



全長	300mm	
外径	8mm	
内径	5mm	
ヤング率	3GPa	
密度	1000kg/m <sup>3</sup>	

# 実験と数値計算による検証：結果



実験+FEM+解析解で比較的一致

提案機構により固有振動数が可変であることを確認

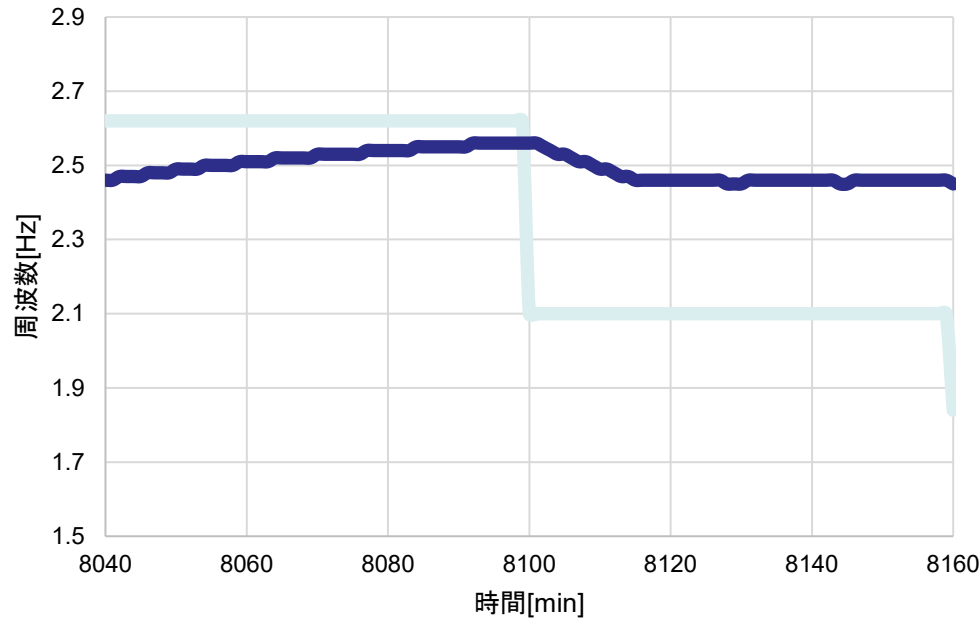
18%減⇒発電可能流速範囲を下限に18%増

$$U_{lower} \cong \frac{f_{SB}(P_{max})D}{St}$$

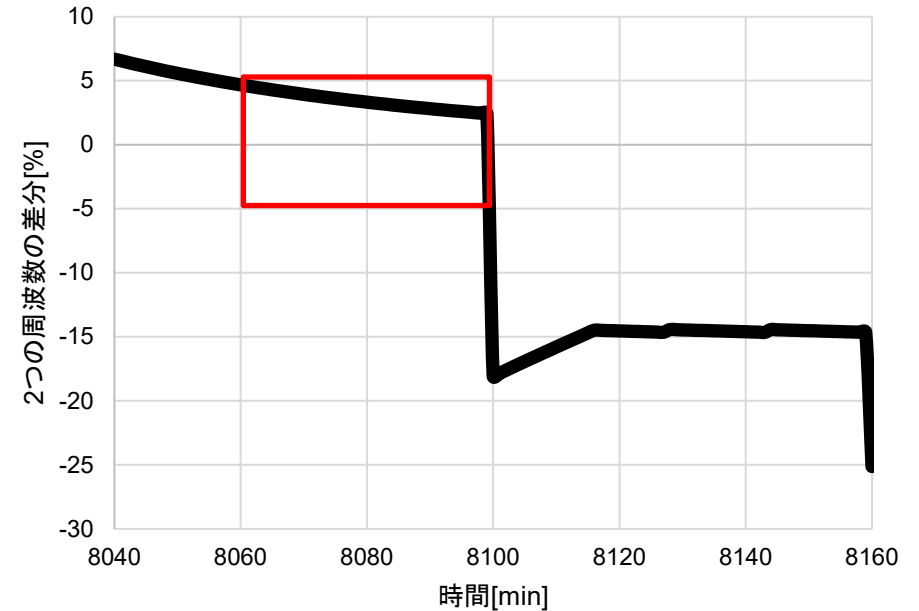
$St$  : ストローハル数 (概ね一定)

$D$  : 代表長さ (直径で一定)

# 簡易的な発電時間シミュレーションの例



— カルマン渦発生周波数[Hz]    — 制御した筐体固有振動数[Hz]



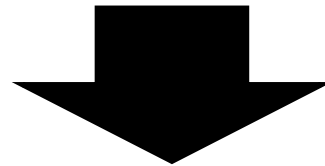
※簡易化のため用いた仮定群: 気象庁 東京(都市) > 江戸川臨海(地点)の風速データを用いた  
 風速は1時間同じ風速で吹き続ける・風向に関係なく発電できる(円筒断面)・炭素繊維強化複合材料製  
 $D_o = 0.2m$  ,  $D_i = 0.18m$ ・ロックイン現象を周波数差分 $\pm 5\%$ ( $St = 0.175$ を中心に)の範囲で渦励振に簡易化

右図赤枠の時間を1年間の風速データをもとに累計したもので評価

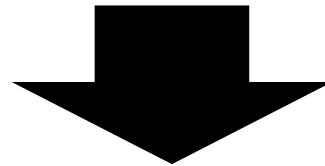
※ロックイン現象: 2つの周波数が完全に一致していなくても、ある程度接近すると両者が同期して渦励振が起きる現象

# 簡易的な発電時間シミュレーション

風速データから平均値を求める



仮定、平均値風速とストローハル数からカルマン渦発生周波数を求める



カルマン渦発生周波数と同値の固有振動数を持つ筐体長さを逆算

# 簡易的な発電時間シミュレーション: 結果

使用年	平均値風速 [m/s]	全長 [m]	発電時間 (提案機構) [min]	発電時間割合 (提案機構) [%]	発電時間 (機構なし) [min]	発電時間割合 (機構なし) [%]	発電時間 上昇幅 [%]
2023	3.9	8.26	48800	9.29	31980	6.09	52.6
2022	3.4	8.85	56080	10.7	40920	7.79	37.0
2021	3.5	8.66	48838	9.31	24900	4.74	96.1
2020	3.6	8.54	52992	10.1	27000	5.13	96.3
2019	3.7	8.43	52606	10.0	28020	5.33	87.7
2018	4.1	8.02	51222	9.75	35040	6.67	46.2
平均	3.7	8.46	51756	9.85	31310	5.96	69.3

**機構により1年のうち約10%発電できる試算が得られた**

タービン式(20%)に比して稼働時間割合では劣るが

低騒音や低メンテナンスコストで設置できなかった環境での設置を目指す

機構を使用することで、安定した電源にすることができた

※2022年はDynamics and Design Conference 2024 (9/3)発表資料より、風速データに用いる値の種類が異なる場合や他都市結果も同様

# 結論

- **提案機構により渦励振発電装置の発電可能流速範囲を拡大させ発電量増大や安定性向上が期待できる**
- **実験・有限要素解析・解析解と一致するモデルが確認できた**
- **大型サイズの数値計算による設計や遺伝的アルゴリズムなどを用いた最適設計が可能、渦励振を積極的に利用する構造の創出を最適設計で目指す**

## 【謝辞】

本研究はJSPS科研費JP23K03639の助成を受けたものです



## 想定される用途(渦励振発電装置)

- **電池交換が難しい箇所(遠洋部や山間部)の電源**

EX.人が立ち入れない環境のセンシングIoTデバイスの電源:筐体30cm程度

- **従来の風力発電が環境負荷で設置が難しい地域**

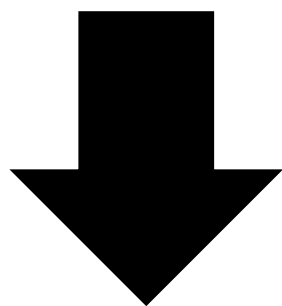
EX.住環境や鳥獣への負荷が懸念される地域での電源:筐体人間大から数メートル級

- **風力発電の導入がコストで難しい自治体**

EX.人口が減少している自治体や離島などの電源:筐体十数メートル級

## 想定される用途（提案機構）

- 渦励振発電装置の発電可能流速範囲を低流速側に拡大
- 固有振動数を能動的に調整したい
- 固有振動数でなく、軸力を能動的に与えたい



**シンプルな機構で上記を達成できます**

# 実用化に向けた課題

- 渦励振の弾性エネルギーを効率的に電力へ変換するトランスデューサ（逆磁歪材料や圧電素子などを用いた）の開発
- 渦励振による弾性体の振動を利用するため疲労強度や各種強度と発電効率などを考慮した設計
- 設計に必要な評価方法（各種強度や環境適合性など）

# 企業への期待

## 提案する渦励振発電装置の

人間大サイズ(それ以上も可)の実証実験を目的とした

共同研究先の団体を募集しています

実証のため大型風洞や流路が利用できる協業先を探しています

原理的には風力だけでなく水流(河川、海流や流路)でも可能です

# 本技術に関する知的財産権

**発明の名称：渦励振発電装置及び渦励振発電システム**

**出願番号：特願2024-037040**

**出願人：東京都立産業技術研究センター**

**発明者：金大貴**

# お問い合わせ先

**地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター  
企画部 開発企画室**

**TEL 03-5530-2528**

**e-mail [kaihatsu@iri-tokyo.jp](mailto:kaihatsu@iri-tokyo.jp)**