

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560215

研究課題名(和文) 発電用風車の振動解析と制振法に関する研究

研究課題名(英文) Study on Vibrations of a Wind Turbine and Its Suppression

研究代表者：

石田 幸男 (ISHIDA YUKIO)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：10092991

研究成果の概要(和文)：最初に、回転する1枚の剛体ブレードと弾性ブレードの振動の、回転速度に対する応答を求めた。そして、ブレードの自重による励振効果と、高さにより変化する風力による励振効果の相乗作用を明らかにした。つぎに、大きな慣性モーメントの方向差をもつ2枚ブレードをもつ風車タワーに発生する不安定振動を調べた。最後に、ブレードの振動がタワーに引き起こす振動に対する流体ダンパーの制振効果も調べた。

研究成果の概要(英文)：First, responses of a rotating rigid blade and a rotating flexible blade to the rotational speed were investigated. The synergetic effect of the excitation due to the blade weight and that due to wind which varies by height was clarified. Next, an unstable vibration of a tower with a two-blade turbine was investigated. Finally, the suppression effect of a fluid damper to the tower vibration was investigated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：振動工学，回転体力学

科研費の分科・細目：機械工学，機械力学・制御

キーワード：風車，回転機械，ブレード，制振，液体同調ダンパー

## 1. 研究開始当初の背景

(1)化石燃料の枯渇，地球温暖化などに対する対策として，風力発電が注目され，世界各国で風車の建設が急増している。それに伴い，風車ブレードあるいは風車タワーの振動問題が深刻となってきた。たとえば，ブレードの破損やタワーの倒壊などの事故が各地で起きている。

(2)風車に関するこれまでの研究は，たとえば効率のよいブレードの翼形状を決めたり，海上の風況調査などの流体力学的研究が中心となっており，振動に関する研究はあまり見られない。振動の研究としては，バランシング，ばね・質量を用いたダンパ，液体を用いたダンパなどがかんがえられるが，そのような制振法に関する振動は皆無であった。

## 2. 研究の目的

(1)高さによって異なる風速をもつ風を受けながら鉛直面内で回転する長大なブレードの振動を明らかにする。

(2)ブレードとしては，単翼，2枚翼，3枚翼などの風車を研究する。

(3)このブレードの振動やその他の原因によって引き起こされるタワーの振動を明らかにする。

(4)タワーの振動を抑えるための各種の制振法を検討する。

(5)現在計画されている浮体式風車の振動を調べるとともに，その制振法を検討する。

## 3. 研究の方法

(1) 研究のスターとして、もっとも基本的となる1枚のブレードが風力を受けて回転した場合の振動を調べる。風車ブレードの解析モデルとして、根元が弾性支持された剛体ブレードと、根元が固定支持された弾性ブレードの2種類を取り扱う。これらのブレードが、無風、一様分布した風、高さによって速度が異なる風を受けて回転するとき発生する振動特性、すなわち発生する振動の種類、回転速度に対する応答などに注目して調べる。つぎに、対応する実験装置を作り、解析結果を実験によって確認する。

(2) 2枚ブレードをもつ風車をもつタワーの振動を調べる。2枚ブレードは、極端に大きな慣性モーメントの方向差をもつシステムであるから、係数励振系として解析し、不安定振動の発生などを調べる。

(3) もっとも広く用いられている風車は3枚ブレードであるので、そのモデルに制振器として液体を含む容器を取り付け、スロッシングによる制振を試みる。

#### 4. 研究成果

(1) 回転する剛体ブレードの振動について：

- ・ 図1に解析モデルを示す。ブレードの自重により角位置によって重量の方向が異なり、その結果、係数励振効果が現れる。その影響で、ブレードの剛性が小さい風車では、風が無くてもブレードの振動に不安定領域が現れる。
- ・ 一様な一定風力が作用する場合、風力と上記の自重による係数励振作用の相乗効果により、主危険速度より低速側で各種の超調波共振が現れる(図2)。
- ・ 現実の風速分布に近いような、風力に高度差がある場合は上記の相乗効果がさらに強まり、超調波振動のより大きな共振が現れる。

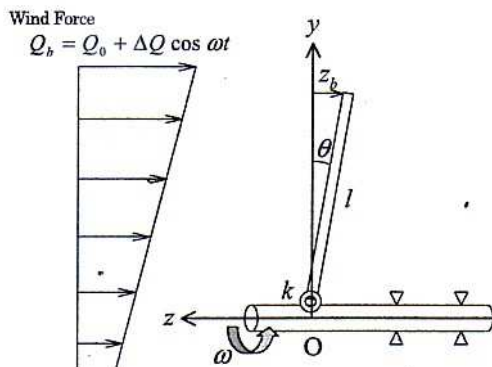


図1 剛体ブレードの解析モデル

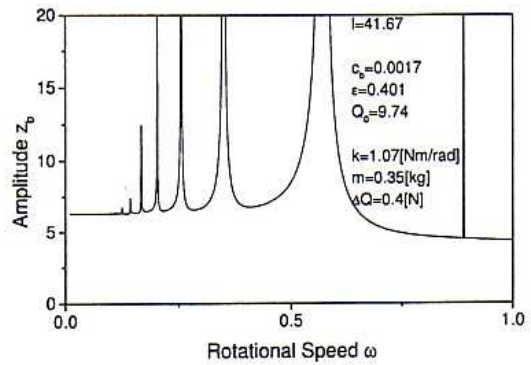


図2 高さにより速度が変化する風力のときの応答

(2) 回転する弾性ブレードの振動について：

- ・ 剛体ブレードと同様、風力と自重による係数励振作用の相乗効果により、超調波共振が現れる。基本的には、上述の剛体ブレードの場合と類似な特性をもつ。

(3) 2枚翼型風車タワーの不安定振動について：

- ・ 解析モデルを図3に示す。2枚のブレードは直結しており、1つの非対称ロータを構成し、非常に大きな慣性モーメントの方向差をもっている。ブレードの大きな非対称性に起因して、タワーの主共振点付近で大きな不安定領域が現れる。またその整数分の1の回転速度付近で、小さな不安定領域が存在することがわかった。

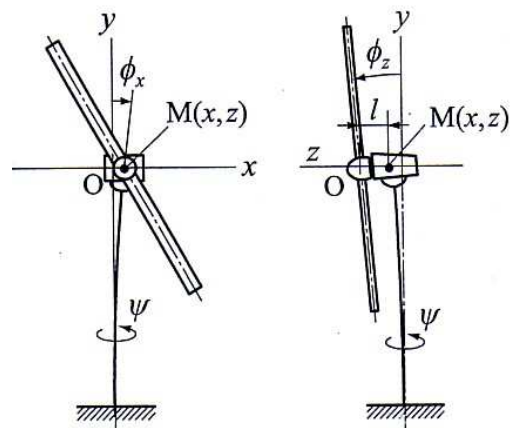


図3 二枚翼型風車タワー

(4) 風車タワーの制振について

- ・ 図4のように、風車タワーのナセルの部分に制振器として液体ダンパーをつけ、タワーの第一モードの固有振動数と容器内のスロッシングの固有振動数と一致させ、同調させることによって制振を行う。
- ・ この場合の風の流りに直角な方向の応答曲線を図5に示す。制振器が無い場合は破線のように大きな共振現象が現れるが、同調液体

ダンパを付けた場合、実線で示すように良い制振効果が得られた。

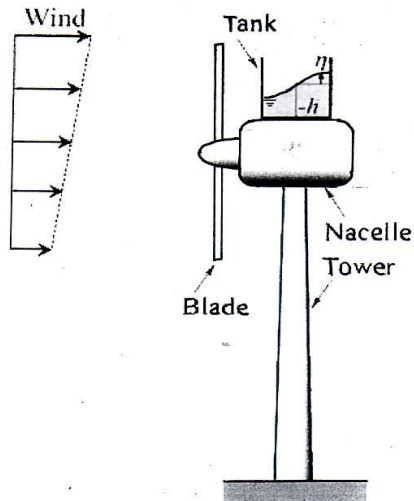


図4 液体ダンパーを付けた風車タワー

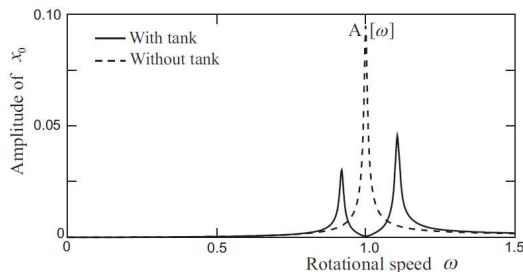


図5 風に直角方向のタワーの応答曲線

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 石田幸男, 風車の振動解析, 風力エネルギー協会誌, 査読無(招待論文), Vol. 96, pp. 85-90, 2011.
- ② Y. Ishida, T. Inoue, K. Nakamura, Vibration of a Wind Turbine blade (Theoretical Analysis and Experiment Using a Single Rigid Blade model), Journal of Environment and Engineering, 査読有, Vol. 4, no. 2, 2009, pp. 443-454.
- ③ 石田幸男, 井上剛志, 中村耕平, 風車ブレードの振動解析(剛性1枚翼単体モデルを用いた理論解析と実験), 日本機械学会論文集C編, 査読有, 74巻741号, 2008, pp. 12-20.

[学会発表] (計6件)

- ① 池田隆, 原田祐志, 石田幸男, 二枚翼型風車タワーの不安定振動, 日本機械学会

D&D Conference2011, 2011. 9. 6, 高知市.

- ② 池田隆, 高橋尚士, 原田祐志, 石田幸男, 円筒型同調液体ダンパーによる風車タワーの制振解析, 日本機械学会 D&D Conference2011, 2011. 9. 6, 高知市.
- ③ 池田隆, 高橋尚士, 原田祐志, 石田幸男, 同調液体ダンパーによる風車タワーの制振解析, 機械学会中国四国支部第49回総会講演会, 2011.3.5, 岡山市.
- ④ 井上剛志・石田幸男・清原隆志, 風車ブレードの非線形振動解析(弾性ブレードに生じる面外振動), 日本機械学会 D&D Conference 2009, 2009.8.3, 札幌市.

[その他]

石田幸男, 風車の振動解析, 風力エネルギー協会平成22年度総会において招待講演を行った

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石田 幸男 (ISHIDA YUKIO)  
名古屋大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 10092991

### (2) 研究分担者

井上 剛志 (INOUE TSUYOSHI)  
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 70273258  
長坂 今夫 (NAGASAKA IMAO)  
中部大学・工学部・准教授  
研究者番号: 60102779  
高 行男 (KOU IKUO)  
中日本自動車短期大学・自動車工学科・教授  
研究者番号: 80141399

### (3) 連携研究者 なし

