

106 エネルギー回生式回転数制御小型風力発電機の開発

Development of a small type Wind Turbine with Rotational Speeds Control in a way of Recovering Energy

○ 酒井勝弘(埼玉工大) 町田和美((NPO)彩の国エコロジーセンター) 正 西沢良史(足利工大総研センター)
波多野和明((株)府中技研) 周藤澄男(昭和理化学器械(株)) 正 菱田博俊(新日鉄(株))

Katsuhiro SAKAI, Saitama Institute of Technology, 1690 Fusaiji, Okabe, Saitama
Kazumi MACHIDA, (NPO) Sainokuni Ecology Center, 3495-6 Nanahongi, Kamisato, Kodama, Saitama
Yoshifumi Nishizawa, Ashikaga Institute of Technology, Omae-cho268-1, Ashikaga City, Tochigi
Kazuaki HATANO, Fucyu Giken Inc., 5-4-12 Maehara, Koganei City, Tokyo
Sumio SYUTO, Syowa Rikagaku Kikai Inc., 193 Manosima, Hirosawa, kiryu, Gunma
Hirotooshi HISHIDA, Nippon Steel Corporation, Tokai Machi, Tokai, Aichi

Key words: Wind turbine, Active & Passive Control, Energy Recovery, Acoustic Noise Problems, Electromagnetic Break

1. 序 論

集住地区への普及が期待される小型風力発電機の場合、騒音対策と同時に貴重な風力エネルギーの有効活用が要請される。従来、強風速域ではディスクブレーキによる機械的摩擦抵抗やフェザーリング等で回転数を抑制する方法が採用されているが、ディスクブレーキの機械的磨耗と同時に風力エネルギーが有効に発電エネルギーに変換されない。そこで回転数を電磁的に非接触的に制御することで、強風時には風力エネルギーをロスすることなく騒音対策を図り、通常風速時は風車の力学的特性と発電機特性のベストマッチングを図るエネルギー回生式回転数制御小型風力発電機を開発している。制御方式として、回転数を検知しコイルと磁石との重なり量をアクティブに制御するコイル可動型アクティブ制御発電機と、遠心力を利用して、コイルと磁石との重なり量を、回転数に応じて自立自動的に制御するパッシブ制御発電機の2種について報告する。

2. アクティブ制御方式

2.1 電磁ブレーキに依る回転数制御の機構

ステーターのコイル部を水平中心軸方向に可動構造とし、ローターの磁石部にコイル部を挿入することで電磁ブレーキを効かせ、電磁氣的相互作用が増大することで、発電エネルギーとして回収しながら回転数を制御する。水平方向への可動性は、ピニオンギアとラックギアの組合せによって実現する(Fig.1)。

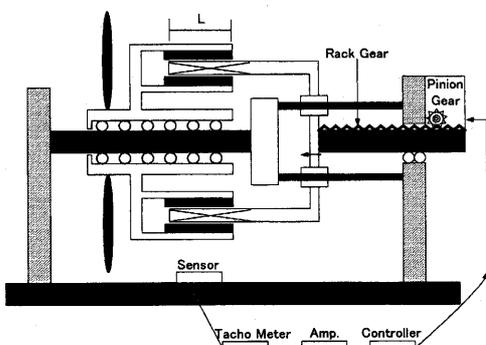


Fig.1 A conceptual representation of a wind turbine with active control mechanism

2.2 数値シミュレーション

ランプドパラメータ近似に基づく数値解析を行い、制御パラメーター、設計仕様の最適値をサーベイする。

1) 制御の数理モデル

制御変数はコイルと磁石部のオーバーラッピング距離 L である。回転数 N が臨界値 N_0 を超えた場合、回転数の差 $(N - N_0)$ に比例して、 L の押し込み速度を上げる制御方式を採用する。即ち

$$dL/dt \propto (N - N_0) \quad (1)$$

2) 動力学方程式

回転の方程式

$$I d\omega/dt = T - \alpha L H N \quad (2)$$

制御系フィードバック方程式

$$dL/dt = \beta(N - N_0) \quad (3)$$

(3)

α : コイル形状から決まる定数 β : 制御パラメータ
 ω : 角速度 I : 断面2次モーメント T : 入力トルク

上記の式で、発電機の内部インピーダンスを無視即ち巻き線コイルのインダクタンス、抵抗を無視、発電機の負荷を純抵抗とする。又電磁ブレーキにより、回転数が最適値より大きく低下すると、周速度が低下し、迎角が大きくなり失速領域に入り、トルクが低下する可能性があるが、これらの非線形効果は無視する。

3) 数値解法

(2)(3)式に対し、次式を用いて無次元化し、各式の
 $\tau = T(t)/T_0$, $n = N(t)/N_0$, $l = L(t)/L_0$

時間微分項を2次精度のクラークニコルソンスキームで離散化すると次式を得る。

$$\frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{\Delta t} = \frac{1}{2} [(a\tau(t) - bl(t)n(t)) + (a\tau(t+\Delta t) - bl(t+\Delta t)n(t+\Delta t))] \quad (4)$$

$$\frac{l(t+\Delta t) - l(t)}{\Delta t} = \frac{c}{2} [n(t) + n(t+\Delta t) - 2] \quad (5)$$

$$a = T_0 / 2\pi I N_0, \quad b = \alpha L_0 / 2\pi I, \quad c = N_0 / 2\pi I L_0$$

(5)式から得られる $I(t+\Delta t)$ を(4)に代入,次式を得る。

$$An(t+\Delta t)^2 + Bn(t+\Delta t) + C = 0 \quad (6)$$

$$A = bc\Delta t^2, \quad B = 4 + bc\Delta t^2(n(t) - 2) + 2b\Delta t l(t)$$

$$C = 2\Delta t\{bl(t)n(t) - a(\tau(t) + \tau(t+\Delta t))\} - 4n(t)$$

(6)式より次の解を得る。

$$n(t+\Delta t) = (-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}) / 2A \quad (7)$$

4) 解析結果

- (1) 基本仕様: $P_0=50[W]$, $N_0=2[rps]$, $L_0=0.07[m]$
- (2) 外乱条件: トルクの 10% ステップ状変化 $\tau=1.1$
- (3) サーベイパラメータ:

$$I = 0.675 \sim 27[kg \cdot m^2], \quad \beta = 0.005 \sim 0.1$$

結果を Fig.2~3 に示す。Fig.3 はオーバーシュートやアンダーシュートが無い最適値 $I=0.675, \beta=0.007$ の時の時間応答である。

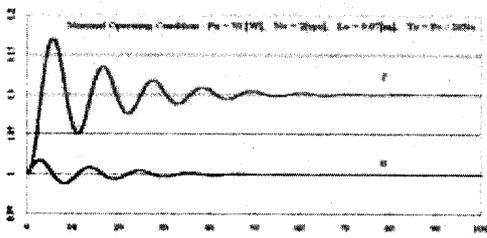


Fig.2 Time response for $I=2.7$ and $\beta=0.1$

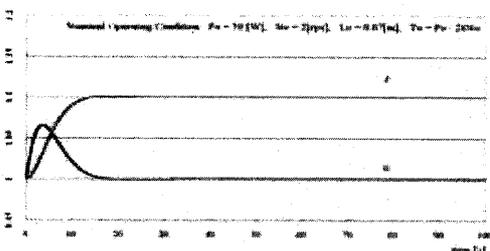


Fig.3 Time response for $I=0.675$ and $\beta=0.007$

2.3 試作機の設計と実験

動特性シミュレーションより決定した最適設計仕様値 $I=0.675, \beta=0.007$ に基づき、設計・製作した (Fig.4)。この試作機による過渡応答試験を実施した結果を Fig.5 に示す。これは最適値の時の数値シミュレーションの結果と大略同じ過渡応答である。



Fig.4 A mockup generator of passive control mechanism.

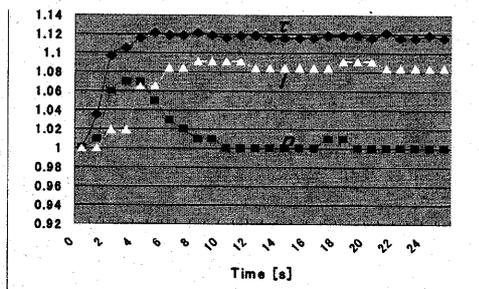


Fig.5 Time response in experiments.

3. パッシブ制御方式

ローターである磁石部分が遠心力により動径方向外側に可動構造とし、回転数の増加によって遠心力が増加することを利用して、磁石部とステーターのコイル部との重なりが増加することで、回転に対する抵抗を自立自動的にかけ、同時に風力エネルギーを発電エネルギーに変換する発電機である (Fig.6)。シミュレーション結果から適切なバネの仕様を決定し、それに基づき設計を行った。その試作機を Fig.7 に示す。

その試作機の出力特性を Fig.8 に示す。この図で、曲線 A はバネの伸びを最大に、C は最小に固定し、B は伸びがパッシブに決まる状態の結果で、200rpm 付近から遠心力が効いていることが判る。又同じ出力に対する回転数の違いから、エネルギー回生方式での電磁ブレーキの効果が確認できる。

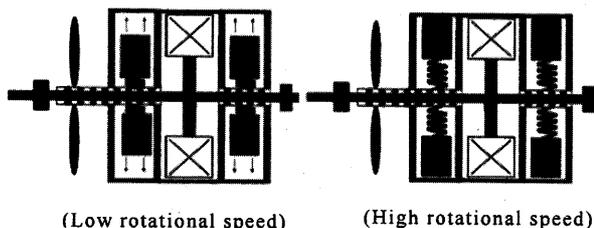


Fig.6 Conceptual representation of passive control



Fig.7 A mockup generator of passive control mechanism

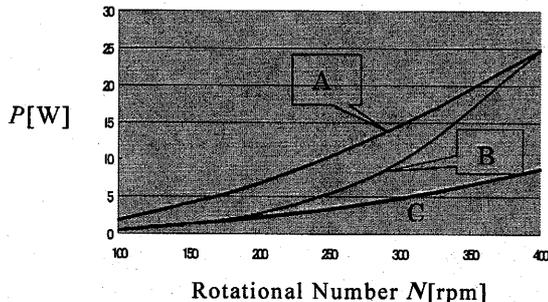


Fig.8 Power characteristics