

## タワーシャドウ効果を用いた風力発電機の運転状態判定法

正員 内藤 督 (室蘭工業大学)

正員 佐藤 孝紀 (室蘭工業大学)

非会員 八木橋 大介 (室蘭工業大学)

正員 徳永 義孝 (東京電力)

## State Criterion of Wind Turbine Generator in Operation with Using Tower Shadow Effect

Tadashi Naitoh, Member, Kohki Satoh, Member, Daisuke Yagihashi, Non-member (Muroran Institute of Technology), Yoshitaka Tokunaga, Member (Tokyo Electric Power Company)

Because of low cost and maintenance free, induction machines are widely used as the wind turbine generators. In order to get wind energy effectively, pole-change-type induction generators are adopted. Otherwise, the pole-change-type induction generator causes the voltage dips at starting and at pole changing time. To keep the power quality, it is important to know the state change of the generator operation.

In this paper a new state criterion of wind turbine generator in operation using the tower shadow effect, which is the oscillation of active power caused by a drop in rotation torque of the wind turbine when the tower of the wind turbine and the blade of the turbine overlap each other, is proposed. By using the developed method, the state of the wind turbine generator can be judged using the short period oscillation frequency of the active power of the wind turbine generator. The developed method is applied to measured data, and it is found that the developed method is effective in the state criterion of the wind turbine generator. It is also found that the moving average method is one of the efficient methods to suppress the fluctuations in the trend of error, namely, the deviation of the frequency of the wind turbine generator.

キーワード：風力発電機，タワーシャドウ効果，状態判定法

Keywords: wind turbine generator, tower shadow effect, state criterion

## 1. ま え が き

環境問題を背景として風力発電機の系統連系が増加してきている。風力発電はクリーンエネルギーである反面、その発電機として安価でメンテナンスが容易な誘導機が採用されることが多く、系統併入時の起動電流による電圧降下など電力品質面での影響が懸念されている<sup>(1)</sup>。さらに、風力エネルギーの有効利用のため、発電機の定格回転数を、小出力時には低速、大出力時には高速に設定するため、発電機は極数切替方式の誘導発電機となることが多い。このため、極数切替時の回転速度制御による大電流に起因する電圧降下も考慮する必要がある<sup>(2)</sup>。

このように、電力系統の電力品質管理を行う上で、どのような運転状態でどのような電力品質問題が生じるかを定量的に把握しその問題点を明らかにすることは、対策や改良点の方向性を与えることから、風力発電の品質向上には必須の基礎事項である。そこで、電力品質の測定・分析を行う必要があるが、前述のように、電圧降下だけでもその

原因は複数ある。発電機の運転状態判定のためには、極数と回転速度が反比例関係にあることから、回転数変化の把握により運転状態判定が可能であるが、系統側では設備分界点での電圧、電流のみしか得られず、直接的に回転数の測定はできない。

そこで本研究では、発電機の系統併入や極数切替など発電機状態変化の判定法の指標として、タワーシャドウ効果<sup>(3)</sup>の適用を検討している。同効果は、風力発電機のタワーが風速を弱めるため、風車ブレードの位置がタワーと重なった時に回転トルク、すなわち、発電出力を低下させるために生ずる発電出力の振動である。その振動数は、極数により異なる回転数と風車のブレード数により理論的に与えられるが、その実用性は実際の精度により決定される。そこで本論文では、実測データを検討・分析し、その精度を吟味するとともに、風力の状態の不安定さからくる誤差の発生原因とその抑制法について検討する。

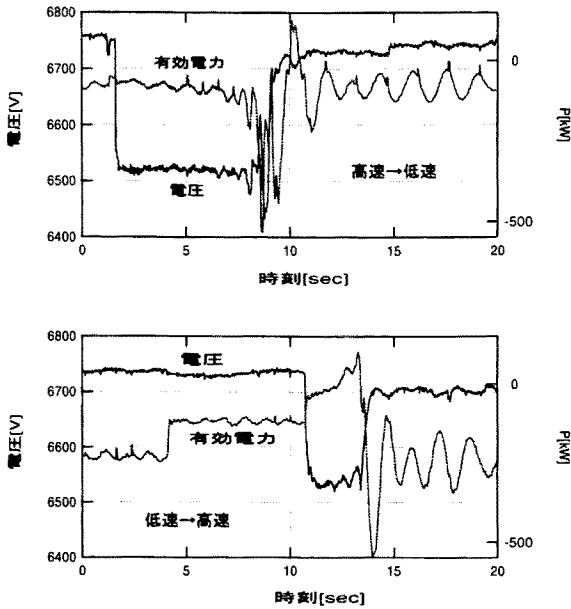


図1 極数切換  
Fig.1. Pole change.

## 2. 運転状態判定法

〈2・1〉 判定における問題点 運転状態判定における問題点は、風速により極数と回転数を変え、二種類の大小発電機を使い分ける極数切換誘導発電機の場合に代表される。すなわち、図1で図示されるように、極数切換時の電圧低下の様相が、大小どちらの発電機に切り換えるかで異なるため、状態判定には単に極数切換を把握するのみならず、どちらへの切換かの把握が必要となる。極数切換は、風速、すなわち、有効電力  $P$  の変動により生ずるため、状態判定には切換前後の  $P$  の値を比較することが考えられる。しかし、風力発電機は、一般的に1~10分間程度の比較的長時間の平均風速値により制御されるため、図2のように切換前後の短時間での発電電力  $P$  の変化は殆ど見られない。このため、変動前後の  $P$  の差を指標にすると、状態変化の前後の短いデータ量で効率良い状態判定は困難である。しかし、上記の風力発電機に対して、少ないデータ量での状態判定は、極めて有効なので次節以降で検討する。なお、図2では電力系統から風力発電機への電流の向きを正として測定したため、発電電力は負として表示される。これは、後述の有効電力トレンドについても同様である。

〈2・2〉 状態判定法の検討 本論文では、風が風車のタワーによって遮られ、その近傍で風速が弱まるタワーシャドウ効果に着目した。同効果により風速の弱い風車のタワーにブレードが重なると、回転トルク、すなわち、発電量が低下する。この発電量の低下の周期は、風車の回転数とブレード枚数により定まり、その振動数（理論振動数）は次式で与えられる。

$$f_0 = \frac{nN_B}{60} \quad [Hz] \quad \dots\dots\dots(1)$$

表1 振動周波数の変化パターン  
Table 1. Pattern of frequency.

変動原因		振動周波数	
		変動前	変動後
系統併入	小発電機	-	$f_{01}$
	大発電機	-	$f_{02}$
極数切換	小発電機から大発電機	$f_{01}$	$f_{02}$
	大発電機から小発電機	$f_{02}$	$f_{01}$
風速急変		変化なし	

ここで、 $f_0$ :振動周波数、 $n$ :風車回転数 (rpm)、 $N_B$ :ブレード数である。

一般に考えられる電圧変動や電力変動の原因として、例えば二種類の回転数を持つ極数切換誘導発電機の場合には、発電機の系統併入、極数切換および風速急変などがあげられる。

一方、極数切換機の二種類の回転数に対応して、上式より次のように二種類の振動周波数を持つ。

$$f_{0i} = \frac{n_i N_B}{60} \quad [Hz] \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、添字  $i=1$  は小発電機、添字  $i=2$  は大発電機を示す。

もし、振動周波数の特定が実測データから精度良くできるならば、測定時に大小いずれの発電機が運転しているかを特定できる。変動前後の振動周波数の変動は原因毎に表1に示されるような異なるパターンになると考えられるので、振動周波数を調べることににより、風力発電機の運転状態の推定が可能になると考えられる。

〈2・3〉 振動周波数の判定法 前節で述べた判定法が有効であるためには、 $P$  の振動周波数を精度良く判定する事が必須である。最もシンプルな手法として、データをフーリエ級数に展開し、最大スペクトラムの振動数をそれとする手法があるが、図3に示すように風速が不安定なため、周波数特定の基礎となるほぼ一定振幅の振動データは、せいぜい10秒程度しか持続しない。他方、通常風力発電機での振動数は、(1)式で計算すると1~2Hz程度なので、例えば振動数が1Hzの場合、精度1%をフーリエ級数で求めるならば、50秒間持続する振動データが必要と考えられる。しかし、このようなデータを得る事は困難なので、フーリエ級数による手法は実用性に乏しい。

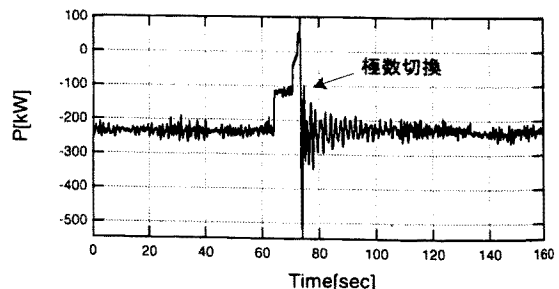


図2 有効電力Pのトレンド  
Fig.2. Trend of active power P.

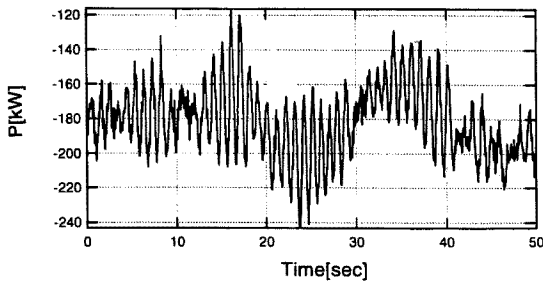


図3 有効電力トレンド  
Fig.3. Trend of active power.

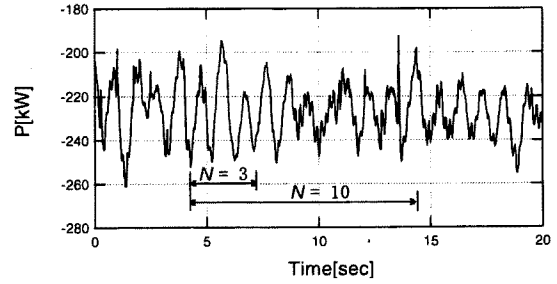


図4 周期数  
Fig.4. Number of periodic.

このように、ここで要求される周波数判定法は、短時間のはほぼ一定振幅の  $P$  の振動データから精度良く振動数を判定できなければならない。そこで、図3に示すように、ほぼ一定振幅振動の区間データを選び出し、その時間領域を  $T \geq t \geq 0$  とし、その両端で方形波窓を用いフーリエ変換を適用すれば、次式が得られる。

$$x(\omega) = \int_0^T p(t)e^{j\omega t} dt \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $\omega$ :フーリエ変換の角周波数、 $p(t)$ :有効電力の瞬時値である。

フーリエ変換では、角周波数  $\omega$  は任意に選べるので、フーリエ級数のようにデータの時間領域を広く取らなくとも、良い精度が得られる事が期待できる。以下に、このことを理論的に示す。

まず、トレンド波形の一定振幅に近いデータ領域を選んだので、 $p(t)$  は正弦波状に変化するものと仮定すれば、次式で与えられる。

$$p(t) = P_m \cos(\omega_0 t + \theta) \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $P_m$ :有効電力波高値、 $\omega_0$ :振動角周波数(=  $2\pi f_0$ )、 $\theta$ :位相である。

上式を(3)式に代入し、積分を行えば次式が得られる。

$$x(\omega) = P_e \int_0^T (e^{j(\omega_t t + \theta)} + e^{j(\delta\omega t - \theta)}) dt \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

$$P_e = P_m/2, \omega_t = \omega + \omega_0, \delta\omega = \omega - \omega_0 \dots\dots\dots (6)$$

$\omega$  は(1)式よりある程度の  $\omega_0$  の近似値に設定でき、 $\delta\omega$  は  $\omega_t$  に比べて十分小と仮定できるので、次の近似式が成り立つ。

$$\begin{aligned} x(\omega) &\cong P_e \int_0^T e^{j(\delta\omega t - \theta)} dt \\ &= -j \frac{P_e e^{-j\theta}}{\delta\omega} (e^{j\delta\omega T} - 1) \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

$x(\omega)$  の絶対値を  $X$  とすれば、次式で与えられる。

$$X = P_e \sqrt{\frac{2\{1 - \cos(\delta\omega T)\}}{\delta\omega^2}} \dots\dots\dots (8)$$

上式の余弦項をマクローリン展開し、4次の項までで近似すると次式となる。

$$X = P_e T \sqrt{1 - (\delta\omega T)^2/12} \dots\dots\dots (9)$$

上式から  $\delta\omega$  が零、すなわち、推定周波数がデータの振動数と一致した時、 $X$  が最大値を与えるとともに、 $\delta\omega$  を横軸とした  $X$  の特性は、最大値の近傍で上に凸となる事がわかる。

なお、以下での検討は  $\delta\omega T$  の絶対値が、上式右辺の根号内を正に保つ範囲で検討する。また、以降では、本節で述べた  $P$  の振動データに種々の推定周波数を用いたフーリエ変換を施し、その絶対値を最大とする周波数を求めて振動周波数とする手法<sup>(5),(6)</sup>を実測データに適用し、その精度や適用方法等について検討する。

〈2.4〉実データへの適用

前述のごとく実際のデータの振動が長時間持続しないため、有効電力  $P$  がほぼ正弦波状と考えて導かれた手法は、データ時間領域  $T$  での制限を受ける。また、図3にも示されるように、 $P$  にはタワーシャドウ効果以外にも、風速の変動と思われる緩やかな低周波振動が重畳される。ここでは、これらの要素が精度にどのように影響するか検討する。

風力発電機の風車の回転数は機種毎に異なるため、誤差を決定する角周波数偏差  $\delta\omega$  の値も異なる。このため、その係数にあたる  $T$  の影響の考察が煩雑となる。そこで、 $\delta\omega T$  を次のように書換える。

$$\delta\omega T = \omega_0 T \frac{\delta\omega}{\omega_0} \dots\dots\dots (10)$$

上式の  $(\delta\omega/\omega_0)$  は誤差であり、その係数  $\omega_0 T$  は次のように書換えられる。

$$\omega_0 T = 2\pi f_0 T = 2\pi N \dots\dots\dots (11)$$

ここで、 $N$  は時間長を理論周波数の周期数に換算したものである。 $N$  は機種毎に異なる回転数に無関係な値のため、その値が同一ならば  $X$  は同一の凸特性を持つ。また、その値も  $P$  トレンド曲線の振動部分から容易に、すなわち、ビジュアリティに直截的に選択できる利点を有する。図4に周期領域の例を示す。

(10) および (11) 式より、誤差の係数中の  $T$ 、すなわち、

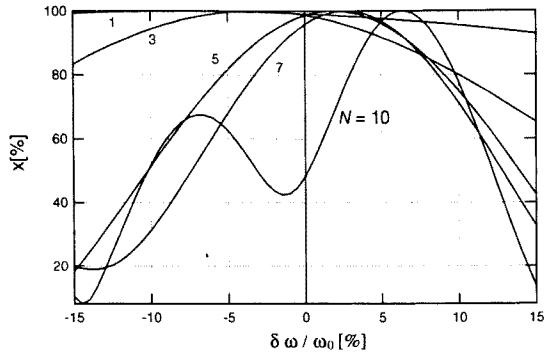


図5 Xの対誤差特性へのNの影響  
Fig.5. Error characteristic.

Nが大きいかほどXの対誤差特性曲線の凸性が鋭くなる。これより、Nが大きいかほど同じ誤差量の変化でもXの変化は大きいため、Xの最大値を与える周波数の判別が容易となり、精度が向上することを理論的に示したが、前述のごとく実際のデータではPの振動が長時間持続するものは稀である。

次に、図4のPトレンド曲線を用い、積分区間のt=0を同一にしたパラメータNの各値に対するXの対誤差特性を図5に比較して示す。ただし、同図において、誤差が零の周波数とは、(1)式の理論周波数のことである。以下、特にことわりのない場合には、同様にして理論周波数が用いられるものとする。

同図よりN=1では凸性が殆どなく精度が低く、他方N=10では4周期目頃から振動が弱まり始め、非振動領域のデータが混入し精度を失っている。このように、ほぼ平坦なPの振動データには、あまり長いものは存在せず、経験的にはN=3~5が適切と考えられる。

〈2・5〉低周波振動の影響 図6に示すように、タワーシャドウによるPの振動よりも、風速の緩やかな変動による低周波の振動が重畳されるデータが多い。そこで、今まで吟味してきた変化の少ない低周波振動のピーク部でのものに加え、ここでは、この低周波振動の影響も併せて理論的に検討する。なお、以降ではこれらの成分が重畳し合うため、タワーシャドウによるものには添字tを、風速の変動によるものには添字wをつけるものとする。これより、p(t)

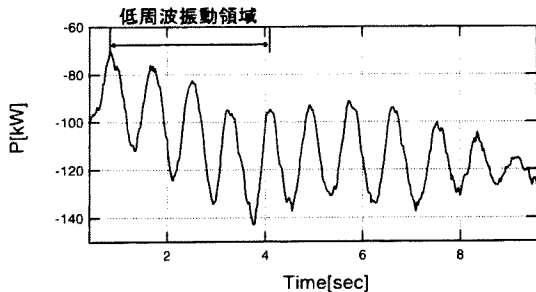


図6 低周波の重畳時トレンド  
Fig.6. Trend of active power added a low frequency element.

表2 低周波振動による誤差への作用  
Table 2. Effect to an error by low oscillation.

	$\theta = \pi/2$	$\theta = -\pi/2$
$\Delta P < 0$	正の方向へ移動	負の方向へ移動
$\Delta P > 0$	負の方向へ移動	正の方向へ移動

は次のようになる。

$$p(t) = p_w(t) + p_t(t) \dots \dots \dots (12)$$

まず、風速変動によるものは、検討を簡潔にするため、図6に示す低周波振動領域の直線近似を行う。これより、低周波の瞬時電力は次式のようにになる。

$$p_w = \Delta Pt + P_0 \dots \dots \dots (13)$$

ここで、 $\Delta P$ と $P_0$ は定数である。  
 $P_w$ をフーリエ変換すると、次式のようにになる。

$$x_w(\omega) = \int_0^T (\Delta Pt + P_0) e^{j\omega t} dt$$

$$= -\frac{\Delta P}{\omega^2} \{ (j\omega T - 1) e^{j\omega T} + 1 \}$$

$$- j \frac{P_0}{\omega} (e^{j\omega T} - 1) \dots \dots \dots (14)$$

更に、検討を容易にするため、時間領域Tを次の条件を満足するように設定するものとする。

$$\omega T = 2n\pi \quad : n \text{ 整数} \dots \dots \dots (15)$$

上式を(14)式に代入すると、次式が得られる。

$$x_w(\omega) = -j \frac{\Delta PT}{\omega} \dots \dots \dots (16)$$

次に、タワーシャドウ項(7)式を $x_t(\omega)$ として加えると、全体の $x(\omega)$ は、次のようになる。

$$x(\omega) = x_w(\omega) + x_t(\omega)$$

$$= -j \frac{\Delta PT}{\omega} - j \frac{P_e e^{-j\theta}}{\delta \omega} (e^{j\delta \omega T} - 1) \dots \dots (17)$$

ここでは、 $\delta \omega$ が小さい領域でその影響を吟味しているので、検討を容易にするため、上式右辺の第二項の位相は $\delta \omega = 0$ のもので近似する。従って、同項にロピタルの法則を適用し、かつ絶対値は(9)式の近似を用いると、全体でのフーリエ変換の絶対値Xは次のようになる。

$$X = |x(\omega)|$$

$$= T \left| \frac{\Delta P}{\omega_0 + \delta \omega} + j e^{-j\theta} P_e \sqrt{1 - (\delta \omega T)^2 / 12} \right| (18)$$

ここで、Xの最大値は上式の絶対値内が低周波振動項とタワーシャドウ項の複素ベクトル和なので、位相 $\theta$ により次のような誤差を持つと推定される。上式より、 $\theta$ の影響が最大となるのは位相 $\theta$ が $\pm \pi/2$ なる時である。説明を明

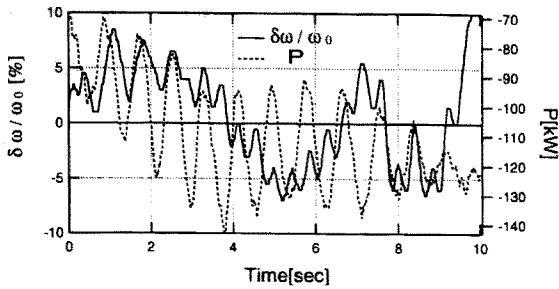


図7 誤差トレンド  
Fig.7. Trend of error.

確にするため、図6のデータに即して説明を行う。同トレンドでは、 $P$ の傾斜 $\Delta P$ は負であり、 $\theta = \pi/2$ の時にベクトル和は逆極性となる。他方、低周波振動の大きさでは、分母の $\delta\omega$ (誤差)が負の時にその値が大きい。これより、 $X$ の最大値は差引かれる量の小さな正の誤差の方に移動する。また、 $\theta = -\pi/2$ の場合には極性は一致し、最大値は負の誤差の方に移動する。表2に低周波振動の誤差への影響を比較して示す。このように、誤差は $\theta$ の変化に伴い振動すると推定される。

次に図7に、図6の $P$ トレンドのデータを用い、 $N = 3$ とした場合の誤差のトレンドを示す。前半は低周波振動が重畳し、後半は振動の影響が低い $P$ トレンドで $t = 0$ のポイント、すなわち、 $\theta$ の値を変化させた場合の誤差トレンドを示す。同図において、最初は $+5.5\%$ の誤差レベルを中心として $\pm 3\%$ 幅で振動しているが、次第に誤差が負の方に移動するとともに、振動も次第に小さくなっていき、低周波振動の影響が最も小さいと思われるピーク部あたりでは、振動は $\pm 1\%$ まで弱まっている。また、平均誤差は逆に負となり $-5.5\%$ レベルが中心となっている。以上より、次の事がわかる。

- (1) 低周波の影響が大なる部分では、その影響はタワーシャドウとの位相差 $\theta$ の関数として振動する事が確認できる。また、前述のごとく、 $\theta$ の位相が $\pi/2$ 近傍で正方向のピークに達している事も、視察により確認される。
- (2) 推定周波数は必ずしも理論周波数とは一致せず、それを中心として変動している。これは、 $P$ トレンドカーブの視察による吟味から、(1)のような計算法によるものでなく、物理的にブレードの回転数が変動している可能性が高い。

〈2.6〉 誤差トレンドの平滑化 計算アルゴリズムによる振動誤差を除去するため、フィルタリングによる誤差トレンドの平滑化を検討する。 $P$ トレンドと同様、誤差のそれも長時間安定したものは得にくい。このため、すぐにフィルタ特性が得られる方法が望まれる。

本問題では平滑化のため消去したい周波数をはっきりしているの、これに着目し低域フィルタである移動平均法<sup>(4)</sup>を用い、誤差トレンドの平滑化を行う事を検討する。移

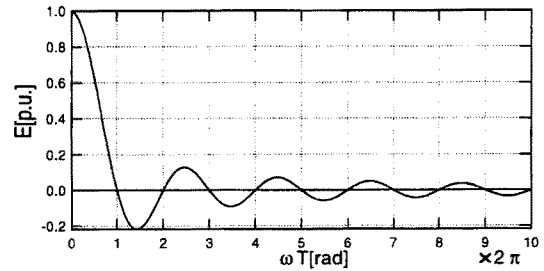


図8 移動平均値の特性  
Fig.8. Characteristic of moving average method.

動平均法の説明を容易にするため、連続系で考える。まず、誤差 $\epsilon(t)$ は、理論周波数で変動しているとすると次式で与えられる。

$$\epsilon(t) = \epsilon_m \cos(\omega_0 t + \theta) \dots \dots \dots (19)$$

ここで、 $\epsilon_m$ は誤差波高値、 $\theta$ は位相である。次に、 $\epsilon(t)$ の移動平均値 $E(t)$ は次式で与えられる。

$$E(t) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \epsilon_m \cos(\omega_0 \tau + \omega_0 t + \theta) d\tau \dots \dots (20)$$

ここで、 $T$ は積分区間長であり、 $\tau$ は積分用ダミー変数である。上式を積分して、次式が与えられる。

$$E(t) = (2\epsilon_m / \omega_0 T) \sin(\omega_0 T / 2) \cos(\omega_0 t + \theta) \dots (21)$$

上式より、 $T$ の設定を次のように、理論周波数の1周期にとれば、 $E(t)$ を零にできる事がわかる。

$$\omega_0 T / 2 = \pi \dots \dots \dots (22)$$

このように、移動平均法を用いると、ピンポイント的に特定周波数の振動を消去でき、助走区間が積分区間の半分でよい事がわかる。また、 $E(t)$ は理論周波数に反比例するので、周波数が高くなるほど急激に減衰する低域フィルタであることがわかる。図8に $E(t)$ の特性を示す。

〈2.7〉 数値的検討 図7に示されている誤差トレンドに対して、移動平均法による平滑化を行った。今回の場合、理論周波数は1.19Hzなので、移動平均でのデータ数は42サイクル分であり、図9に平滑化の結果を示すが、誤差トレンドでの振動は抑制されており、移動平均法が有効

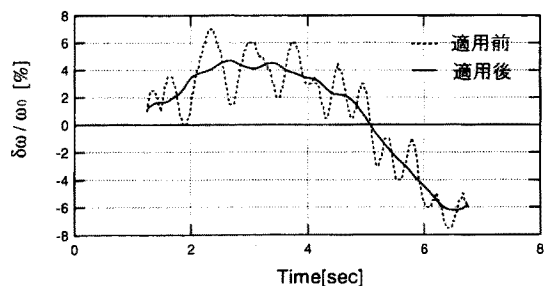


図9 移動平均法の適用結果  
Fig.9. Effect of moving average method.

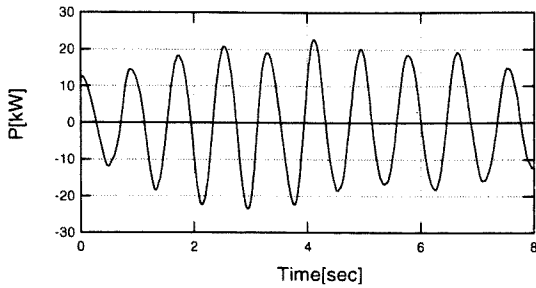


図 10 ピーク点特定用の前処理  
Fig.10. Preprocessing result.

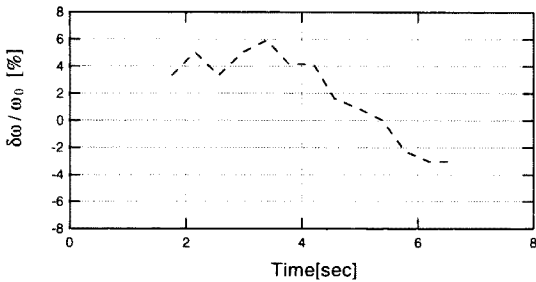


図 11 ピーク点間隔による誤差トレンド  
Fig.11. Trend of error by peak to peak interval.

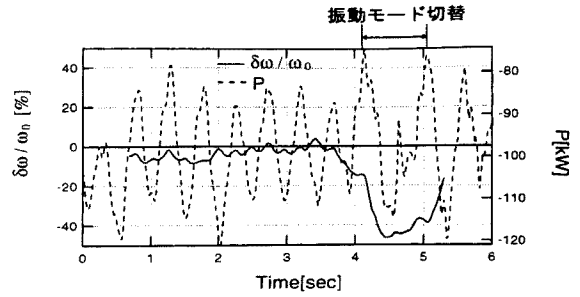


図 12 モード切替を含むデータ  
Fig.12. Mode changing data.

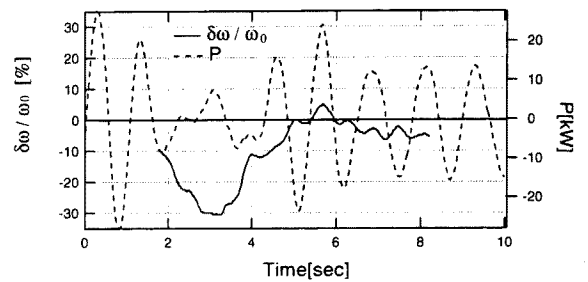


図 13 2つの回転数の場合の誤差トレンド  
Fig.13. Trend of error at two speed.

な事がわかる。

次に、誤差、すなわち、推定周波数が理論周波数を中心に振動している原因について考えると、実際に振動周波数が変化しており、アルゴリズムによるものではないと推定された。これを検証するため、電力の振動ピーク間の時間差を直接調べ、その逆数の周波数のトレンドがどうなるかを検討した。電力の振動ピーク点の特定を容易にするため、振動のベース分である低周波振動分の除去とピーク点近傍の平滑化が必要となった。まず、低周波振動の除去法の手順は以下の様である。

- (1) 理論周波数による移動平均法を適用し、低次の変動分を取り出す。
- (2) オリジナルデータから、(1)で得られた低次変動分を差し引く。
- (3) 次に、(2)で得られたデータに移動平均の適用ポイント数を理論周波数よりも少なくし、より高次分をカットするようにし、ピーク点近傍の平滑化を行う。

この場合の移動平均のポイント数は、経験的には理論周波数の半分程度が良いと思われる。図 10 にピーク点特定のために、前処理を施したデータを示す。

図 11 にピーク点間隔による誤差と比較した誤差トレンドを示すが、いずれも、理論周波数を中心にして振動しており、同振動は実際に発生している事がわかる。

〈2・8〉 振動モード切替による誤差 有効電力トレンドでの振動は長時間は続かず、振動が消滅したり、周波数は同じでも振動位相が不連続なモード切替が発生したりする。前者の場合は周波数推定精度が大幅に低下する事は自明であるが、後者の場合でも精度は低下すると考えられる。

これを検証するため、モード切替を含むデータで数値的検討を行った。図 12 に数値例を示すが、モード切替点を含むデータ領域では 50% 程度まで大幅に低下する事がわかる。これより、周波数推定に用いるデータにはモード切替点を含んではならない事がわかる。このことは、極数切替直後などは過渡状態でモード切替点が多く存在するため、切替時から 1、2 分程度後から推定する必要があることを示している。

〈2・9〉 2 台運転時の場合 日本の高圧配電系統に連系された風力発電所の殆どにおいて、発電機は 1、2 台あるいは 2 台の場合であるので、2 台の場合についても述べる。まず、2 台の場合でも回転数が同一ならば、タワーシャドウ効果に関しては 1 台と等価なので、ここまでの手法で状態判定は可能である。次に、2 台が異なった回転数の場合を考えると、この場合の周波数は 2 つの理論周波数の中間になると考えられる。図 13 に 2 台が異なった回転数の状態での誤差と有効電力のトレンドを比較して示す。図中の周波数真値には、大小発電機の理論周波数の平均値を用いているが、P のモード切替部を含まない振動領域 5~8 秒間では、推定周波数の誤差は 5% 未満となっており、明らかに 2 つの理論振動数の中間になっている。

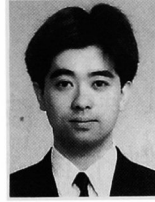
これより、2 台が異なった回転数の場合でも運転状態判定が可能ながわかる。更に多数の異なった回転数の発電機が混在する可能性のあるウインドファームの場合は、更に多くの周波数が存在するが、今後、ウインドファームでの実測を行うことにより、運転状態と周波数の関係を明確にする事でウインドファームへの適用は可能ではないかと考えている。

### 3. あとがき

風力発電機の運転状態判定法として、タワーシャドウ効果の適用を提案するとともに、実測データを用いてその実用性を検証した。今後は、その実システムへの適用のため、判定に適したデータの自動抽出法の検討を進める予定である。また、更に多数台発電機で構成されるウィンドファームや、異なる型式の風力発電機への適用についても研究していきたい。

(平成13年11月26日受付, 同14年4月25日再受付)

徳永 義孝 (正員) 1964年10月31日生。1989年3月九州大学大学院工学研究科修士課程電子工学専攻修了。同年4月東京電力(株)入社。主として、風力発電機の系統連系における解析、電力品質評価研究に従事。現在、(財)国際超電導産業技術研究センター派遣。



### 文 献

- (1) IEC Publication 61400-21: "Power Quality of Grid Connected Wind Turbines", 1999
- (2) 佐々木, 原田, 甲斐, 佐藤: 「風力発電システムの系統併列時の瞬時電圧低下とその対策について」, 電学論B, 120巻2号, pp.180-186, 2000
- (3) B.Lemström, J.Räkköläinen, E.Peltora, "A Wind Farm's Impaction on the Quality of Electricity in a Weak Network", European Wind Energy Conference, pp.747-749, 1999
- (4) 例えば, 南: 「波形データ処理」, CQ 出版社, 1986
- (5) 特開平 5-52883: 「周波数検出器」, 1993
- (6) 特開平 10-213613: 「周波数測定装置」, 1998

内藤 督 (正員) 1948年2月21日生。1973年3月新潟大学大学院電気工学専攻修士課程修了。同年4月富士電機(株)入社。1998年10月室蘭工業大学電気電子工学科教授。現在に至る。この間、主として電磁界の数値解析法、電力品質の計測評価の研究に従事。1993年オーム技術賞受賞。工学博士。日本AEM学会、電気設備学会会員。



佐藤 孝紀 (正員) 1963年12月17日生。1986年室蘭工業大学工学部電気工学科卒業。1991年北海道大学大学院工学研究科博士後期課程電気工学専攻修了。同年室蘭工業大学助手, 1994年4月同講師, 1996年3月同助教授。現在に至る。この間1996年3月~1997年5月オーストラリア・マコーリ大学レーザ応用研究所客員研究員。工学博士。気体放電の基礎過程およびプロセスプラズマのモデリングに関する研究に従事する。応用物理学会、放電学会会員。



八木橋 大介 (非会員) 1977年6月3日生。2000年3月室蘭工業大学電気電子工学科卒業。2002年3月同大学大学院工学研究科博士前期課程電気電子工学専攻修了。現在、東京電力(株)に勤務。

