プローニー解析法による電力系統実測データの動揺モード検出

正員 天野 雅彦 (日立製作所)
 正員 世古口 雅宏 (日立製作所)
 正員 襦里 勝義 (関西電力)
 正員 河田 謙一 (関西電力)

Power Swing Mode Detection from Power System Measured Data Based on Prony Analysis
 Masahiko Amano, Member, Masahiro Sekoguchi, Member (Hitachi, Ltd.),
 Katsuyoshi Neri, Member, Ken'ichi Kawata, Member (The Kansai Electric Power Company, Inc.)

Prony analysis method can detect oscillation frequency, damping, phase and amplitude directly from time series data. Several applications based on the method have been developed in power systems, but it is said that it gives less accurate results for noisy data. In this paper, a power swing mode detection method is presented which is suitable for noisy measured data in power systems.

First, the analysis parameters such as sampling interval, number of data and number of orders are investigated. For detection of low frequency inter-area modes, longer sampling interval (0.2 to 0.4s) is preferable. The importance of each detected mode can be evaluated by an index based on integration of each waveform. And for data containing large noise, the accuracy of analysis can be improved by applying a low-pass filter. By modifying amplitudes and phases based on the filter characteristics, the original waveform eliminating noise can be estimated precisely.

Effectiveness of the method were verified through examinations using active power and bus voltage data actually measured in a power system.

キーワード：プローニー解析，電力系統，安定度監視，動揺モード検出，長周期動揺，フィルタ

1. はじめに

電力系統の大規模化・複雑化に伴って系統内に発生する電力動揺モードも多様化してきており、特に連系系統間の長周期動揺のダンピング向上が課題となっている。ダンピング向上策として新型 PSS の設置^{(1),(2)}や直流送電によるパワーモジュレーション⁽³⁾などの検討が進められているが、系統運用の面からも、系統内に発生している動揺の周期や減衰率を常に監視し、必要に応じて制御系のパラメータ変更等の対策を施すシステムが望まれるようになってきている。

時系列データからの周波数の検出としてはフーリエ解析法が一般的だが、周波数がベース周波数の整数倍に限定される、減衰特性が直接得られないなどの制約がある。一方プローニー解析法は、固有値に相当する動揺周波数と対数減衰率が直接得られるという特徴があり、動揺モードの検出に適している。電力系統においても系統監視や PSS のチ

ューニングなど、応用例がいくつか報告されている^{(4)~(7)}。

しかし、一般にプローニー解析ではノイズが多いデータに対して解析精度が低下するため⁽⁸⁾、シミュレータ波形などノイズ成分が比較的少ないデータ (SN比 20dB 程度以上) への適用が中心で、ノイズが多く含まれた実測波形への適用検討例は多くない。

そこで本論文では、ノイズが多く含まれた実際の電力系統での実測データに対する動揺モードの検出方法について検討した。

まず、データのサンプリング間隔、データ点数、モード次数など、解析パラメータの選定について検討した。長周期動揺モードの検出を主目的とすれば、データのサンプリング間隔は大きめにとることができ、これにより比較的少ないモード次数での検出が可能となる。また、観測波形の中に含まれる各動揺モードの大きさを定量的に評価することにより、算出された複数のモードの中から主要な動揺モードが選択できる。

ノイズの多く含まれるデータに対しては、ローパスフィルタによりノイズ成分を低減させてからプローニー解析を適用する方法を検討した。フィルタの時定数を適切に選定すれば、長周期モードを保ったままノイズ成分が低減でき、解析精度を向上させることができる。また、フィルタによって生じた振幅や位相の変化については、周波数に応じた補正をかけることにより、その影響を打ち消すことができる。

本論文では、まずプローニー解析法の概要を述べた後、実測データへの適用例を示し、主要モードの抽出方法、及び解析パラメータの選定法について述べる。次に、ノイズが多いデータに対するローパスフィルタの適用効果、及びゲインと位相の補正方法について述べ、検討した検出手法の有効性を示す。

2. プローニー解析法の概要

まず、プローニー解析法の手順⁽⁴⁾について簡単に説明する。プローニー解析では、観測された信号 $y(k)$, ($k=0, 1, \dots, N-1$) を次式に示す複数モードの線形和 $\hat{y}(k)$ として推定する。

$$\hat{y}(k) = \sum_{i=1}^n B_i Z_i^k \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Z_i = \exp(\lambda_i \Delta t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 n はモードの次数、 Δt はサンプリング間隔、 λ_i は固有値、 B_i は初期値である。 Z_i は次に示す n 次の多項式 (特性方程式) の解として与えられる。

$$Z^n - (a_1 Z^{n-1} + a_2 Z^{n-2} + \dots + a_n Z^0) = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

一方、(1)式と (3)式とから多項式の係数 $a_1 \sim a_n$ は次式で表される。

$$\begin{bmatrix} y(n-1) & y(n-2) & \dots & y(0) \\ y(n) & y(n-1) & \dots & y(1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y(N-2) & y(N-3) & \dots & y(N-n-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(n) \\ y(n+1) \\ \vdots \\ y(N-1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

したがって、観測値から (4)式を作り、最小2乗法を用いて $a_1 \sim a_n$ を求め、(3)式を解けば Z_i が得られ、固有値 λ_i が算出できる。

次に (1)式から B_i について次の関係が導出される。

$$\begin{bmatrix} Z_1^0 & Z_2^0 & \dots & Z_n^0 \\ Z_1^1 & Z_2^1 & \dots & Z_n^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_1^{N-1} & Z_2^{N-1} & \dots & Z_n^{N-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(0) \\ y(1) \\ \vdots \\ y(N-1) \end{bmatrix} \quad \dots\dots (5)$$

これから最小2乗法を用いて初期値 B_i が計算できる。固有値 λ_i が複素数 (振動モード) の場合、 B_i も複素数となり、その絶対値が振幅、偏角が初期位相となる。

実行手順をまとめると、次の3ステップとなる。

- ステップ1：最小2乗法による特性方程式係数の算定
- ステップ2：特性方程式の求解
- ステップ3：最小2乗法による初期値の算定

このうち、ステップ2までの計算で固有値 λ_i が求められるので、動揺モードの周波数と減衰率を求めるには、ここまでで十分である。しかし、それぞれのモードが実際にどれだけの大きさで含まれているかは、ステップ3により初期値を求めないと判別できない。特に、実測波形においては、ノイズ成分の影響で電力動揺には直接関係がないモードが多数現れるため、それらの中から主要なモードを選別するためにステップ3は必須である。また、ステップ3により初期値を求め、(1)式に従って時系列推定値 $\hat{y}(k)$ を算出すれば、実測データとの誤差を評価し、解析の妥当性をチェックすることができる。

3. 実測データからの動揺モード検出

<3.1> 動揺モードの検出例 今回の検討で用いた実測データは、系統内の変電所で測定された母線電圧実効値と送電線有効電力であり、データサンプリング間隔は16.67msである。

図1 有効電力実測波形
Fig. 1. Measured Waveform of Active Power

表1 プローニー解析結果
Table 1. Prony Analysis Results

モード No.	周波数 (Hz)	減衰率 (1/s)	振幅 (MW)	位相 (deg)
1	0	0.00073	1314	—
2	0.35	-0.17	173	-72
3	0.60	-0.18	30.6	-14
4	0.21	-0.43	62.2	115
5	0.93	0.095	3.6	71
6	1.31	-0.19	17.2	21

図2 プローニー解析波形 (全モード)
Fig. 2. Prony Analysis Waveform (all modes)

初めに、比較的ノイズの少ないデータに対してブローニー解析を適用し、動揺モードを検出した例を示す。図1は有効電力の実測波形で、3秒程度の周期の長周期動揺が発生している。この波形に対して、時刻1秒から11秒まで0.2秒間隔で50点のデータを用い、モード次数を24としてブローニー解析を実施した。なおフィルタは用いていない。

解析結果のうち上位6モードまでを表1に示す。周波数0.35Hz、対数減衰率-0.17の長周期モードがNo.2のモードとして検出された。なお、No.1のモードは定常分(1314MW)を示している。また、解析結果から(1)式に従って推定値を求めた結果を図2に示す。図2の細線が実測波形、太線が推定波形である。多少ノイズの影響を受けているが、比較的精度良く推定できていることがわかる。

解析精度の評価には、次式に示す平均2乗誤差MSERを指標として用いることにした⁹⁾。

$$MSER = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{N-1} \{\hat{y}(k) - y(k)\}^2}{N}} \quad \dots\dots\dots (6)$$

図2のケースでは、MSER=16.3 [MW]であった。実測波形に含まれるノイズ成分の振幅を考慮すると、解析精度は十分高いと言える。また、この値を雑音の実効値とみなし、信号の実効値を主要モードであるNo.2の初期振幅AMPの $1/\sqrt{2}$ 倍と仮定して、次式により信号対雑音比SNRを概算した。

$$SNR = 10 \log \left(\frac{AMP/\sqrt{2}}{MSER} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

このケースでは、SNR=17.5 [dB]であった。

<3.2> 主要モードの抽出 一般にブローニー解析では、主要モード以外に多数の動揺モードが算出される。またノイズ等の影響により、実際の現象には含まれない不安定なモードが現れることも少なくない。そこで、算出された複数のモードの中から系統動揺に対応する主要モードのみを自動的に選択する機能が必要である。

モードの重要度を示す指標として、単純には、ステップ3で得られた初期振幅の大きさに着目する方法が考えられ

る。しかしその場合、初期振幅は大きい減衰率も大きく実際には重要度が低いモードを主要モードと判定してしまうことがある。

そこで、次式に示すように、各モードが推定値の算出にどれだけ寄与しているかを、解析区間内の面積で評価するようにした¹⁰⁾。

$$J_i = \int_{t_1}^{t_2} |B_i \exp(\sigma_i t)| dt$$

$$= \frac{|B_i| \{ \exp(\sigma_i t_2) - \exp(\sigma_i t_1) \}}{\sigma_i} \quad \dots\dots\dots (8)$$

(8)式は、非振動モードについては解析区間内 $t_1 \sim t_2$ の面積そのものを、振動モードについては包絡線の面積を表す(図3参照)。

表1は(8)式に従って順位付けした結果である。このうち上位6つのモードの波形を同じスケールで表示すると図4となる。定常分と長周期モード以外のNo.3以下のモードは波形推定への寄与が小さく、重要度が低いことがわかる。また、No.5は不安定モードであるが、これは時刻8~10秒付近のノイズ成分に対応するものであり、実際の現象に含まれるモードではない。

No.3以下のモードを無視し、上位2モードのみで波形を推定した結果を図5に示す。このケースでは、2つのモードだけでほぼ実測波形が推定できていることがわかる。2つのモードのみで推定した場合の平均2乗誤差はMSER=25.0 [MW]であり、全モードを用いた場合に比べてそれほど大きく外れていない。

このように(8)式に基づいてモードを順序付けすることにより、主要モードが簡単に判別できる。また、解析結果から伝達特性を同定する場合の伝達関数の次数低減化にも有効である。

<3.3> 解析パラメータの選定 ブローニー解析の際のパラメータとして、モード次数、データのサンプリング間隔、データ点数の3つがある。これらについての検討結果を以下に述べる。

(1) モード次数

モード次数は、使用するデータ点数の1/3から1/2とするのが良いと言われている⁴⁾。実際に図1の波形例に対して、サンプリング間隔0.2秒、データ点数50を一定として、モード次数を変化させ、平均2乗誤差と長周期モードの固有値の変化を調べた。結果を図6、図7に示す。

モード次数が高いほど平均2乗誤差が小さく、推定精度が良いという傾向が図6に現れている。しかし、次数24と18ではほとんど差はなく、データ点数の1/3から1/2という値は妥当と言える。また、次数12の場合でも固有値にそれほど大きな違いは出でならず、長周期モードの概略値を短時間で得るには、データ点数の1/4程度の低い次数でも解

図3 モードの評価指標
Fig. 3. Index for Mode Evaluation

図4 プローニー解析波形 (各モード)
Fig. 4. Prony Analysis Waveform (each mode)

図5 プローニー解析波形 (上位2モード)
Fig. 5. Prony Analysis Waveform (main two modes)

析可能である。次数が6の場合は、さすがに次数が低すぎて大きな誤差が生じている。

なお、与えるデータによっては、モード次数を少し変えたただけでも解析結果が大きく変わったり、計算の収束性が悪くなったりすることもある。計算時間が許す場合には、何通りかの次数を指定して実行し、推定誤差の小さいものを選ぶといった方法が有効と思われる。

図6 平均2乗誤差 (モード次数を変化)
Fig. 6. Mean Square Error to Mode Orders

図7 長周期モード固有値 (モード次数を変化)
Fig. 7. Eigenvalue of Low Frequency Mode to Mode Orders

(2) サンプル間隔

サンプリング間隔を Δt とすると、原理的にナイキスト周波数 $f = 1/(2\Delta t)$ 以上の周波数成分は推定できない。監視の対象とする電力動揺の周波数を 2Hz 以下と仮定すれば Δt の上限は 0.25 秒、1Hz 以下と仮定すれば Δt の上限は 0.5 秒となる。 Δt の下限は、もとの観測データのサンプリング間隔である。

図1の実測波形に対して、サンプリング間隔 Δt を 0.05 秒、0.1 秒、0.2 秒、0.4 秒、0.6 秒と変え、平均2乗誤差と長周期モードの固有値の変化を調べた。結果を図8、図9に示す。なお、解析区間が 1~11 秒になるようデータ点数を調整し、モード次数はデータ点数の約 1/2 (サンプリング

図8 平均2乗誤差 (サンプリング間隔を変化)
Fig. 8. Mean Square Error to Sampling Interval

図9 長周期モード固有値 (サンプリング間隔を変化)
Fig. 9. Eigenvalue of Low Frequency Mode to Sampling Interval

図 10 プローニー解析波形 ($\Delta t=0.05$ 秒)
Fig. 10. Prony Analysis Waveform ($\Delta t=0.05s$)

0.05 秒については約 1/3) とした。

図 8 からわかるように、サンプリング間隔が小さいほど平均 2 乗誤差は小さくなっている。これは、サンプリング間隔が小さいほど高い周波数成分へのマッチングが可能になるためと考えられる。例としてサンプリング 0.05 秒の場合の推定結果を図 10 に示す。図 2 に比べて高い周波数成分が現れていることがわかる。

しかし、平均 2 乗誤差の値はサンプリング 0.4 秒の場合でもそれほど大きくはなく、また図 9 からわかるように長周期モードの固有値もあまり変化はない。サンプリング間隔が短い場合はモード次数が高くなり、計算時間がかかるだけでなく、計算の収束性に問題が生じることもあるため、あまり得策ではない。2Hz 以上の高い周波数成分が必要でなければ、サンプリング間隔は 0.2~0.4 秒程度とするのが適切と思われる。

(3) データ点数

サンプリング間隔を一定とすれば、データ点数を変えることは、解析区間を変えることと同じである。図 1 の例に対してサンプリング間隔を 0.2 秒で一定とし、データ点数を 20~70 まで 10 刻みで変化させ、平均 2 乗誤差と長周期

図 11 平均 2 乗誤差 (データ点数を変化)
Fig. 11. Mean Square Error to Number of Data

図 12 長周期モード固有値 (データ点数を変化)
Fig. 12. Eigenvalue of Low Frequency Mode to Number of Data

図 13 有効電力実測波形
Fig. 13. Measured Waveform of Active Power

図 14 長周期モード固有値 (データ点数を変化)
Fig. 14. Eigenvalue of Low Frequency Mode to Number of Data

モードの固有値の変化を調べた。なお、解析の開始時刻は 1 秒、モード次数はデータ点数の約半分とした。結果を図 11、図 12 に示す。

平均 2 乗誤差については、図 11 からわかるようにあまり変化はない (なお、これは解析区間内のみの誤差評価である)。しかし、長周期モードの固有値は、図 12 に示すように特に対数減衰率が大きく変わっている。これは、実際の現象が純粋な振動波形の線形合成にはなっておらず、負荷変動などの外乱要素や非線形成分が含まれているためと考えられる。したがって、解析区間内の解析精度が十分高くても、区間外の波形も精度良く推定できるということには必ずしもならない。

逆に例えば、図 13 に示す実測波形のように比較的単純な振動波形に対しては、解析区間を変えても固有値に大きな変化は生じない。図 1 の波形と同様にデータ点数を 20~70 と変えて長周期モードの固有値を調べると図 14 となり、それほど大きく変化しないことがわかる。

解析の目的にもよるが、長周期動揺の監視が目的であれば、解析区間を 10 秒程度として傾向を見るのが望ましい。解析区間が短すぎる場合には、外乱や非線形現象の影響を受けて誤った判断を下す可能性がある。

なお、図 1 の波形においては、時刻 0 秒と 0.8 秒付近に系統故障および高速再閉路によるインパルス状の大きな変動があるため、その区間は解析区間に含まないようにしている。(1)式からもわかるように、プローニー解析はステップやインパルスの波形推定には不向きであり、推定誤差の要因となるため、急激な変動成分が解析区間に含まれないよう注意する必要がある。

4. ローパスフィルタの適用

<4.1> ローパスフィルタの適用効果 母線電圧波形などノイズ含有量の多いデータに関しては推定誤差が大きくなる⁽⁹⁾。有効電力波形についても、外乱のない定常時には動揺振幅に対するノイズの振幅が相対的に大きくなり、誤差が大きくなる可能性がある。

そこで、ローパスフィルタにより高い周波数のノイズ成分を低減してからプローニー解析を適用する方法を検討した。

図 15 は母線電圧の実測波形を示したもので、(7)式により求めた信号対雑音比は $SNR=0.65$ [dB] とかなり低い。この波形に対して、フィルタなしでプローニー解析を行った結果を表 2 と図 16 に示す。解析には時刻 0 秒から 10 秒まで 0.2 秒間隔で 50 点のデータ用い、モード次数は 25 とした。表 2 に示すように、一応長周期成分も No.2 のモードとして検出できているが、図 16 からわかるようにノイズの影響をかなり受けており、平均 2 乗誤差も $MSER=1.5$ [kV] とやや大きい。

次に、このデータに対して、一次遅れのローパスフィルタ (時定数 0.2 秒) を通してからプローニー解析を行った。フィルタ適用の順序としては、もとの実測波形 (16.67ms 間隔) に対してローパスフィルタを適用してからプローニー解析用のダウンサンプリング (0.2 秒間隔) を行うようにした。結果を表 3 と図 17 に示す。ローパスフィルタによってノイズ成分がかなり低減されるため、解析精度は大きく向上している。平均 2 乗誤差 (フィルタを通した実測値に対する誤差) は $MSER=0.08$ [kV] である。

フィルタにより各動揺モードの振幅と位相は変化するが、動揺周波数と減衰率は理論上変化しない。電力動揺モードの検出が目的であれば、時定数 0.2 秒程度のローパスフィルタをかけてノイズの影響を低減するのが有効と考えられる。

<4.2> 振幅と位相の補正 ローパスフィルタにより各モードの固有値は変化しないが、振幅と位相は変化するため、フィルタ後の解析結果をそのままの実測波形と比較すると多少の誤差が生じる。

そこで、各モードの振幅と位相をフィルタのゲイン、位相特性に基づいて補正することを考えた。振動モードに対しては、2 章で述べたように (1) 式の初期値 B_i (複素数) の絶対値が振幅 A_i 、偏角が位相 ϕ_i に対応する。一次遅れフィルタの周波数特性を考慮し、フィルタによって変化した各モードの振幅 A_i と位相 ϕ_i がもとの値に戻るよう、次式に示す補正をかける。

$$\bar{A}_i = A_i \sqrt{1 + (2\pi f_i T)^2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\bar{\phi}_i = \phi_i + \tan^{-1}(2\pi f_i T) \quad \dots\dots\dots (10)$$

ただし、 $\bar{A}_i$ 、 $\bar{\phi}_i$ は補正後の振幅と位相、 f_i はモードの動揺

図 15 母線電圧実測波形

Fig. 15. Measured Waveform of Bus Voltage

表 2 プローニー解析結果 (フィルタなし)

Table 2. Prony Analysis Results (without filter)

モード No.	周波数 (Hz)	減衰率 (1/s)	振幅 (kV)	位相 (deg)
1	0	0.00028	505	—
2	0.31	-0.27	2.6	-158
3	0.43	0.098	0.29	-52
4	0.37	2.9	0.4×10^{-11}	3.2

図 16 プローニー解析波形 (フィルタなし)

Fig. 16. Prony Analysis Waveform (without filter)

表 3 プローニー解析結果 (フィルタあり)

Table 3. Prony Analysis Results (with filter)

モード No.	周波数 (Hz)	減衰率 (1/s)	振幅 (kV)	位相 (deg)
1	0	0.00014	505	—
2	0.32	-0.0053	0.79	154
3	0.24	-0.81	1.8	-134
4	0.51	0.14	0.046	132

図 17 プローニー解析波形 (フィルタあり)

Fig. 17. Prony Analysis Waveform (with filter)

図 18 プローニー解析波形 (フィルタあり、補正後)

Fig. 18. Prony Analysis Waveform (after compensation)

周波数, T は一次遅れフィルタの時定数である。なお, 非振動モードについては, 周波数 0 の直流分でありローパスフィルタの影響は受けないため, 補正は行わない。

図 17 の解析結果に対して (9)(10) 式の補正を行い, もとの実測波形と比較した結果を図 18 に示す。補正なしでもとの実測値と比較した場合, 平均 2 乗誤差は $\text{MSER}=0.66$ [kV] であるが, 補正を行うことにより $\text{MSER}=0.61$ [kV] と精度が向上する。図 16 と図 18 を比較すると, ローパスフィルタの効果がよくわかる。

なお, このような手順で推定した図 18 に示すような波形は, もとの実測データからノイズ成分のみを遅れなしで除去したものを見なすこともできる。プロローニー法を用いた一連の解析手順を一種のフィルタとして利用することも有効と思われる。

5. おわりに

電力系統での実測データに対してプロローニー解析法により動揺モードを検出する手法について述べた。サンプリング間隔を 0.2 から 0.4 秒程度と長めにとることにより, 少ないデータから長周期動揺モードの検出が可能であること, また, 波形の面積に対応した指標により, 各モードの重要度が評価できることが確認できた。ノイズが多いデータに対しては, 時定数 0.2 秒程度のローパスフィルタが有効であること, また, フィルタによる振幅と位相のずれが補正可能であることがわかった。

今回の検討により, 実測データに対してもプロローニー解析が十分適用可能であることが確認できた。今後は, この結果をベースにして, 実測データ解析ツール, オンライン監視システムなど, 実用化に向けた検討を進めていく予定である。

(平成 11 年 5 月 21 日受付, 同 11 年 9 月 28 日再受付)

文 献

- (1) 三枝和彦・道上勉・真鳥岩男・北村哲:「長周期動揺抑制用 $\Delta p + \Delta f$ 形 PSS の多機系統への適用」, 電気学会電力技術研究会, PE-93-69 (1993)
- (2) 北内義弘・谷口治人・白崎隆・市川嘉則・天野雅彦・萬城実:「長周期動揺抑制用 多入力 PSS の開発」, 電気学会 B 部門大会, No.130~132 (1997)
- (3) 松野克彦・山地幸司・鈴木昭男・後藤益雄・世古口雅宏:「HVDC のパワーモジュレーションによる系統安定化」, 電気学会全国大会, No.1417 (1995)
- (4) J. Hauer, C. Demeure, L. Scharf: "Initial Results in Prony Analysis of Power System Response Signals", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.5-1, p.80 (1990)
- (5) D. Trudnowski, et al.: "An Application of Prony Method in PSS Design for Multimachine Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.6-1, p.118 (1991)
- (6) J. Hauer, et al.: "Keeping an Eye on Power System Dynamics", IEEE Computer Applications in Power, Vol.10-4, p.50 (1997)
- (7) 天野雅彦・渡辺雅浩・萬城実:「プロローニー解析法に基づく励磁系の同定と比率加算形 PSS の自動設計方法」, 電学論 B, Vol.118-B, No.7/8, p.892 (1998)
- (8) 島村徹也・高橋進一・日浦正俊:「低 SN 比信号のための反復的 Prony スペクトル推定アルゴリズム」, 計測自動制御学会論文集, Vol.26-7, p.23 (1990)
- (9) 梶里勝義・河田謙一・世古口雅宏・天野雅彦・後藤益雄:「電力系統実測データのプロローニー解析による電力動揺モード検出」, 電気学会全国大会, No.1404 (1999)
- (10) 天野雅彦・渡辺雅浩・牧野淳一・松沢邦夫:「プロローニー解析法の電力系統実測波形への適用検討」, 同上, No.1405 (1999)

天野 雅彦

(正員) 1961 年 4 月 1 日生まれ。85 年 3 月 京都大学大学院工学研究科電気工学第二専攻修士課程修了。同年 4 月 (株)日立製作所入社, 日立研究所に勤務。電力系統の AI 応用, および解析・制御に関する研究に従事。IEEE 会員。

世古口 雅宏

(正員) 1956 年 5 月 30 日生まれ。79 年 3 月 名古屋工業大学電子工学科卒業。同年 4 月, (株)日立製作所入社。同社大みか工場にて原子力関係の解析, エンジニアリング業務に従事した後, 現在同社電力事業部系統制御部にて, 主として電力システムの解析, エンジニアリング業務に従事。

梶里 勝義

(正員) 1947 年 9 月 9 日生まれ。66 年 3 月 豊岡実業高校電気科卒業。同年 4 月 関西電力 (株) 入社。76 年 3 月 大阪工業大学電気工学科卒業。現在, 同社総合技術研究所主任研究員。主として, 電力系統解析技術の研究に従事。

河田 謙一

(正員) 1952 年 2 月 9 日生まれ。77 年 3 月 大阪大学大学院工学研究科 (電子工学専攻) 卒業。同年関西電力 (株) 入社。主として系統運用関係の業務に従事。現在, 同社総合技術研究所主幹。系統技術, 系統保護制御関係の業務に従事。