デジタル計測の単発波形パラメータの測定精度

正員 道下 幸志 (東京大)

正員 河村 達雄 (東京大)

正員 石井 勝 (東京大)

Accuracy of Waveform Parameters in Digital Measurement
of Single-Shot Waveforms

Koji Michishita, Member, Tatsuo Kawamura, Member, Masaru Ishii, Member (University of Tokyo)

In high voltage measurement digital measuring system is widely used for its attractive features, for example automatic data acquisition. However, the accuracy in the measurement of both the amplitude and time parameters by digital measuring system is not known in detail, especially in the measurement of single-shot waveforms.

In this paper, the accuracy of the peak value and the virtual front time of the standard lightning impulse without any signal processing of raw data is shown. From these results, the required characteristics for digital measuring system to satisfy the IEC Draft on digital recorders for measurement in high voltage impulse test techniques are shown. In addition, the accuracy of the peak voltage and the rise time of the Gaussian pulse is shown.

キーワード：サンプルレート，分解能，ディジタイザ，測定精度，有効ビット数，A/D変換

1. ま え が き

近年、電力系統における送電電圧の上昇、送電容量の増大に伴って使用される電圧、電流は増々高電圧、大電流化の傾向にある。このため、高電圧試験における試験内容は複雑、多岐となり、一層の信頼性が試験に要求されるようになっている。高電圧試験の主要な動向としては、

- (i) 試験の自動化、省力化
- (ii) 試験の測定精度の向上
- (iii) 試験結果の処理の自動化、効率化

などがあげられる。これらの目的に対し、デジタル計測は、極めて有力な手段であり、各所で大幅に取入れられつつある。

高電圧現象は、一般に継続時間が極めて短く、統計的なばらつきも多いため、信頼できる結果を得るためには、一つの現象を確実に測定し、大量のデータを取得する必要がある。更に試験によって得られた結果に

統計的検討を加える必要があり、自動計測の利点をもつデジタル計測システムは極めて有力な手段となる。

また高電圧試験が生ずる偶発現象の測定や、測定系の応答を考慮した測定誤差の補正も可能であるなどの利点を有している。

近年、走査コンバータや直並列比較方式などの高速A/D変換方式の進歩によって、サンプルレート(Sampling rate: サンプル時間間隔の逆数)は高速化されつつある。また、大容量メモリの開発による記録時間の増大とも相まって、デジタル計測の測定精度は飛躍的に向上しつつある。

一方、デジタル計測機器の対雑音性が高まり、高電圧試験に特有の高磁界、高電界下の過酷な測定環境においてもデジタル計測技術が盛んに適用されるようになった。

このような特徴をふまえてデジタル計測技術は、研究開発はもとより高電圧機器のルーチン試験、フィ

ールドにおけるサージ測定や雷観測など広い範囲にわたって適用されている。

デジタル計測システムの測定精度の把握に関連して、高電圧の分野では、A/D変換に伴う誤差に関する研究が行われてきた。デジタル計測システムでは、オシロスコープのアナログ出力をA/D変換して記録するディジタイザが一般に利用される。ディジタイザの垂直軸分解能はビット数(n)で表記され、フルスケールの電圧を $1/2^n$ に等分化することを意味する⁽¹⁾。A/D変換に伴う誤差の評価は、各メーカーごとに多くの試験が行われている⁽²⁾。これらの試験のうち、正弦波や三角波といった繰返し波形を入力波形とし、A/D変換後のデータとの差を求め、その実効値を量子化誤差のみの場合の実効値と比較することによって得られる有効ビット数(Effective number of bits)がディジタイザの実質的な分解能の表記形式の一つとして知られている⁽³⁾。しかし、有効ビット数を求めるカーブフィッティングに関しても規格化された試験法はなく、メーカーによってその試験法は異なっており、また測定上十分な情報はメーカーのカatalogデータからは得られない。

特に高電圧測定においては、標準雷インパルスなどの単発波形の測定を行う場合が多く、デジタル測定システムの単発波形測定時の特性の把握を行う必要がある。試験波形の多様性から、正弦波の周波数や直線上昇波の傾きなどの一般性をもつパラメータを基に、単発波形に対するディジタイザの特性を推定することが望ましい。単発波形測定時の最大誤差の把握を行うことは最小限必要なことであり、この目的に対しては、誤差の標準偏差を求めることによって統計的な性質から最大誤差が求められる利点をもつ標準偏差を用いた有効ビット数が提案された⁽³⁾⁽⁴⁾。

近年、単発波形に対するディジタイザの誤差評価法も検討され、その結果、単発波形に対するディジタイザの特性は、入力波形の傾きおよびディジタルコードに依存することがわかった⁽⁵⁾。この結果から、ディジタイザの特性評価を傾きおよびディジタルコードに対して行い、これらをパラメータとした有効ビット数の提案も行われている⁽⁶⁾。

一方で標準雷インパルスの各波形パラメータに関する測定精度の研究も進められている。これらの研究においては、分圧器の出力をA/D変換する方式を用いた測定システムを前提に国内、CIGRE Study Committee No. 33 Working Group 33-03“高電圧試験および測定技術”で議論されており、この方式での規格化が現在IECで検討されている⁽¹⁾。しかし従来の研究で

は、電圧値パラメータに関してはディジタイザの垂直軸分解能のみに基づいて、また時間パラメータに関してはサンプルレートのみを基に検討されていた⁽⁷⁾。

本論文においては、高電圧試験でよく用いられる標準雷インパルス、およびアナログ回路の帯域試験でしばしば用いられるガウシアンパルスの波形パラメータの測定精度を、ディジタイザの出力データに処理を加えない生データ(Raw data:以後単に生データと呼ぶ)を用いた場合について、デジタル計測システムの垂直軸分解能およびサンプルレートを基にして求めた。また、デジタル計測を用いた際の波高値および規約波頭長の測定精度に関する検討から、現在のIEC規格で要求されるディジタイザの性能について検討した。

2. 波形パラメータの測定精度の理論的検討

高電圧試験でしばしば用いられる標準雷インパルスは、(1)式で表される。

$$V(t) = e^{-at} - e^{-bt} \dots\dots\dots (1)$$

a の逆数が $70 \mu\text{s}$ 、 b の逆数が $0.4 \mu\text{s}$ の場合には、規約波頭長 $1.2 \mu\text{s}$ 、規約波尾長 $51 \mu\text{s}$ の雷インパルスを与える。(1)式のピークを与える時間 t_{max} は、時間 t に関する微分が0であることを用いて(2)式で与えられる。

$$t_{\text{max}} = \{\log(b) - \log(a)\} / (b - a) \dots\dots\dots (2)$$

垂直軸分解能が n ビットのとき、(2)式を(1)式に代入して得られる波高点 $V(t_{\text{max}})$ がディジタイザのフルスケール(Full scale)に等しくなるように(3)式のように A を選ぶ。

$$A = 2^n / V(t_{\text{max}}) \dots\dots\dots (3)$$

A と $V(t)$ の積で与えられる(4)式のインパルスについて以下では検討を行う。

$$f(t) = AV(t) \dots\dots\dots (4)$$

波高値が、ディジタイザのフルスケールに満たない波形に対しては、ディジタイザの垂直分解能の減少とみなして評価を行うことができる。

生データを用いた場合のデジタル計測の測定精度を考える場合には、A/D変換に伴う誤差が量子化誤差のみの理想的なディジタイザについて考える。この場合のデジタル計測システムの測定誤差要因は、以下のように分類される。

(1) サンプル時間間隔が、有限である。サンプル時間間隔が無限小の場合が、アナログ計測であると考えられる。

(2) 電圧値方向の分解能が有限である。この場合

アナログ計測においては、分解能が無大であるとして考えることができる。

〈2・1〉 波高値の測定精度 サンプル時間間隔が有限であることを考慮した場合には、測定誤差が最大となる波高値を与える時間 t_0 は、 t_0 と $t_0 + \Delta T$ における (4) 式の値が等しいことを条件に (5) 式で与えられる。

$$t_0 = \{\log(1 - e^{-a\Delta T}) - \log(1 - e^{-b\Delta T})\} / (a - b) \quad (5)$$

ここに、 ΔT ：サンプル時間間隔

(5) 式を (4) 式に代入すると、測定誤差が最大となる波高値 p_{Li} は、(6) 式で与えられる。

$$p_{Li} = f(t_0) \quad (6)$$

(6) 式から上記二つの誤差分類の内サンプル時間間隔が有限であることに伴う波高値の測定精度が評価できる。更に、量子化誤差が加わってデジタル計測に用いた場合の波高値 V_{Dmax} は (7) 式で与えられる。

$$V_{Dmax} = [f(t_0)] \quad (7)$$

(7) 式において $[x]$ はガウスの関数であり、 x を超えない最大の整数を示す。

図 1 雷インパルスの波高点近傍のアナログ波形と 8 ビット、1 MHz で測定したデジタル波形

Fig. 1. Lightning impulse waveform around crest point in analog (real line) and digital (A) measurement (8 bits, 1 MHz).

図 2 雷インパルス波形の波高値の測定精度
Fig. 2. Accuracy of the crest value of lightning impulse.

図 1 に波高点付近のアナログ波形とデジタル計測システムを用いた場合の例を示す。サンプル時間間隔が大きくなると、波高値の測定誤差は 1 LSB (Least significant bit) を超えるようになり、波高値の測定誤差は大きくなることがわかる。このことから、波高値の測定精度がディジタルの垂直軸分解能およびサンプルレートの両者に依存することがわかる。

図 2 に波高値の測定精度を示す。図の水平軸は、規約波尾長 (Time to half-value) で規格化して示している。標準雷インパルス波形については、波頭長に対して $\pm 30\%$ 、波尾長に対して $\pm 20\%$ 、波高値に対して $\pm 3\%$ の裕度が定められている⁽⁸⁾。このため表記に一般性をもたせるためには、規格化を行う必要があり、波高値の測定精度は波高点以降の緩やかな波尾に大きく依存するため、規約波尾長で規格化を行った。サンプル時間間隔が長くなると (6) 式で与えられる波高値の測定誤差は徐々に大きくなるが、ディジタルを用いた場合には、測定誤差が 1 LSB 以下の範囲では、(7) 式で与えられる波高値の測定誤差は、一定値である。また、同一のサンプル時間間隔に対して、垂直軸分解能の増大によって測定精度が改善されない場合もある。例えば、ビット数が 1 ビット増加した場合には、増加前の 1 LSB を更に 2 分割することになり、増加前の (6) 式における測定誤差が、1/2 LSB より大きく 1 LSB 以下の場合には、増加後の (6) 式の測定誤差は、1 LSB より大きく 2 LSB 以下となる。この結果、測定誤差を図 2 のように分解能に対する割合で示した場合、改善は見られない。

〈2・2〉 規約波頭長の測定精度 標準雷インパルスの時間パラメータとしては、規約波頭長、規約波尾長があげられる。一般に測定時間長 T_x が短いものを、同じサンプル時間間隔および垂直軸分解能で測定した場合には、測定精度を保つことが難しいことから、規約波頭長に関する測定精度の検討を行った。

標準雷インパルスの規約波頭長は、インパルスの波高値の 30%~90% の時間長を 0.6 で除したものの (1.67 倍) として定義されている⁽⁸⁾。

図 2 に示すように、測定された波高値が既に誤差を含んでおり、この結果 30、90% 波高点もディジタル計測とアナログ計測では、図 3 に示されるように一致しない。90% 波高点において 30% 波高点よりも誤差が大きくなる。更にディジタルによって割当てられるディジタルレベルは、量子化誤差が更に加わるために 30、90% 波高点と一致するわけではない。このため、生データを用いた場合の測定時間長 T は、見掛け上 30% レベルを上回り、かつ 90% レベルを超える

図3 雷インパルスの30%波高点近傍(a)および90%波高点近傍(b)のアナログ波形(実線)とデジタル波形(Δ :8ビット, 10 MHz)
Fig.3. Lightning impulse waveform around 30%(a) and 90%(b) of peak value in analog (real line) and digital (Δ) measurement (8 bits, 10 MHz).

直前までの時間となる。

以上の結果として、真の波高値に対する30~90%の時間長 T_x とデジタル計測を用いた場合に測定される波高値に対する30~90%の時間長 T は異なる。

波高値の測定精度が1 LSBの場合の T の T_x に對

図4 雷インパルスの規約波頭長の測定精度
Fig.4. Accuracy in the measurement of virtual front time of lightning impulse.

する誤差率は、6ビットの場合4.2%，8ビットの場合0.8%，10ビットの場合0.3%，12ビットの場合0.05%であった。

更に、 T をサンプル時間間隔 ΔT で測定する場合には、その時間長内に含まれるサンプル点数は、サンプル点の変化に伴って(8)式の N_{s1} または(9)式 N_{s2} で表される。

$$N_{s1} = [T/\Delta T] + 1 \quad \text{..... (8)}$$

$$N_{s2} = [T/\Delta T] \quad \text{..... (9)}$$

この結果、(8)式に対応する時間長 t_{d1} 、(9)式に対応する時間長 t_{d2} は、それぞれ(10)、(11)式で与えられる。

$$t_{d1} = [T/\Delta T] \Delta T \quad \text{..... (10)}$$

$$t_{d2} = ([T/\Delta T] - 1) \Delta T \quad \text{..... (11)}$$

(10)、(11)式を比較した場合には、 T が T_x よりも短くなることから、(11)式の測定誤差が大きくなる。また、(10)、(11)式よりサンプル時間 ΔT について、(12)式が成立しているときに時間長の測定誤差は最も

小さくなる。

$$\Delta T = T/n \dots\dots\dots (12)$$

ただし、 n : 正の整数

図4に生データを用いた場合の規約波頭長の測定誤差の最大値を示す。水平軸は真の波高値に対する30~90%の時間長 T_x で規格化されている。波高値の測定精度とは異なり、(11)式で示される変化をする。

3. IEC 規格原案を満たすのに要求される ディジタイザの性能

現在、各国で検討されている IEC 規格に関する原案⁽¹⁾では、ディジタイザに波高値に対して2%、時間パラメータには4%以内の測定誤差を生データ (Raw data) で要求しており、それを実現するために必要な性能を表1のように規定している⁽⁹⁾。

雷インパルスに関しては、規約波頭長 $1.2 \mu\text{s}$ 、規約波尾長 $50 \mu\text{s}$ のものを標準波形としており $1.2 \times 50 \mu\text{s}$ と表記している。標準雷インパルスに対する、波頭長、波尾長の裕度の範囲内で、測定上最も困難な波形は、 $0.84 \times 40 \mu\text{s}$ となる。この場合について、図3および図4から、IEC 規格原案⁽¹⁾が要求する各パラメータに関する精度を満たすためのディジタイザの性能について知ることができる。波高値測定に関して2%以

表 1 IEC 規格原案で要求されている
ディジタイザの性能

Table 1. Characteristics of digital measuring system required in the IEC Draft.

項目	必要性能
サンプルレート	$30/T_x$, $8 f_{\text{max}}$ 以上
定格分解能	0.4% fsd (2^{-8}) 以上 0.2% fsd (2^{-9}) 以上 (波形比較の時)
非直線性 電圧軸	$\pm 0.5\%$ fsd (積分非直線性以内) $\pm 0.8\%$ fsd (微分非直線性以内)
時間軸	2% T_x (測定最小時間間隔以内)
インパルススケール ファクタ	0.5 ~ 1 μs (波頭さい断波) $\pm 1\%$ 以内で一定 0.5 ~ 5 μs (標準さい断波) 0.5 ~ 100 μs (標準波) 0.5 ~ 2 ms (開閉インパルス)
立上り時間	$1/2 \pi f_{\text{max}}$ 以下 0.03 T_c 以下 (T_c : さい断までの時間)
内部雑音レベル	0.4% fsd 以下 (原案 0.5% fsd) 0.1% fsd 以下 (波形比較のとき)
雑音限界	1% 以内 (測定振副に対し)
電力周波数効果	0.5% fsd

* : 0.5% T_x ~ 2% T_x のとき試験ごと校正

0.5% T_x 以下のとき定期的校正を行う。

T_x : 測定時間間隔

f_{max} : 試験回路において起こり得る最大振動周波数

fsd : full scale deviation

内という精度を満たすためには、垂直軸分解能が6ビットの場合には、規約波尾長に対して 4.2×10^{-2} 倍以下のサンプル時間間隔が必要になる。同様にして、垂直軸分解能が、8, 10, 12 ビットの場合に対して、要求されるサンプル時間が図3から求められ、規約波尾長が IEC 規格⁽⁸⁾の定める裕度 $\pm 20\%$ 以内で最短の $40 \mu\text{s}$ の場合については、(13)式を満たすサンプルレートが要求される。

$$\left. \begin{array}{l} \text{サンプルレート} \geq 592 \text{ kHz} \\ \text{(垂直軸分解能: 6 ビット)} \\ \text{サンプルレート} \geq 510 \text{ kHz} \\ \text{(垂直軸分解能: 8-10 ビット)} \\ \text{サンプルレート} \geq 507 \text{ kHz} \\ \text{(垂直軸分解能: 12 ビット)} \end{array} \right\} \dots\dots (13)$$

一方、規約波頭長の測定の場合にも測定時間長 T_x に対して4%以内の測定精度を満たすためには(14)式のサンプルレートを満たす必要がある。IEC 規格⁽⁸⁾の定める裕度 $\pm 30\%$ 以内で最短の測定時間長 T_x は、標準雷インパルスの30~90%の時間長 ($1.2 \mu\text{s} \times 0.6$) 720 ns の0.7倍の504 nsであり、これを(14)式に代入すると各垂直軸分解能に対して必要なサンプルレートが(15)式のように与えられる。規格におけるサンプルレートの推奨値は、 $30/T_x$ である。これはサンプルレートのみを有限とし、分解能が無量大と想定したからである。

$$\left. \begin{array}{l} \text{サンプルレート} \geq 56/T_x \\ \text{(垂直軸分解能: 8 ビット)} \\ \text{サンプルレート} \geq 49/T_x \\ \text{(垂直軸分解能: 10 ビット)} \\ \text{サンプルレート} \geq 49/T_x \\ \text{(垂直軸分解能: 12 ビット)} \end{array} \right\} \dots\dots (14)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{サンプルレート} \geq 112 \text{ MHz} \\ \text{(垂直軸分解能: 8 ビット)} \\ \text{サンプルレート} \geq 98 \text{ MHz} \\ \text{(垂直軸分解能: 10 ビット)} \\ \text{サンプルレート} \geq 98 \text{ MHz} \\ \text{(垂直軸分解能: 12 ビット)} \end{array} \right\} \dots\dots (15)$$

4. ガウシアンパルスの測定精度

ガウシアンパルスは、波形に対する定義が極めて明確であり、アナログ回路の帯域の評価などに応用されることが多々ある。このため、その波高値および立上り時間の測定誤差の評価を行うことは実用上重要である。ガウシアンパルスの理論式は、(16)式で与えられる。

図 5 ガウシアンパルスの波高値の測定精度
Fig. 5. Accuracy in the measurement of peak value of Gaussian pulse.

図 6 ガウシアンパルスの 10~90% 立上り時間の測定精度

Fig. 6. Accuracy in digital measurement of 10~90% rise time of Gaussian pulse.

$$g(t) = Ae^{-\pi t^2 / \tau^2} \dots\dots\dots (16)$$

ここに $A=2^n$, n : デジタルの垂直軸分解能

〈4・1〉 波高値の測定精度 雷インパルスの場合と同様にして分解能が無限度でサンプル時間間隔が有

限な場合の、波高値を与える時間 t_{0g} は、(17)式で与えられる。

$$t_{0g} = \pm \Delta t / 2 \dots\dots\dots (17)$$

(17)式を(16)式に代入することによって分解能が無限度の場合の波高値が求まり、分解能を考慮した場合の波高値 V_{dmg} は、(18)式で与えられる。

$$V_{dmg} = [g(t_0)] \dots\dots\dots (18)$$

(18)式を基に測定誤差を評価したのが図 5 である。

〈4・2〉 立上り時間の測定精度 ガウシアンパルスの立上り時間は、波高値の 10, 90%の時間で与えられる。雷インパルスの規約波頭長の場合と同様に、〈4・1〉節に示した誤差を含むデジタル計測を用いた際の波高値に対する 10, 90%は、真のガウシアンパルスの 10, 90%とは異なる。更に量子化誤差の影響のために真の立上り時間 T_x とデジタル計測の場合の測定時間 T は異なる。図 6 に示されるサンプル時間間隔が $0.025 T_x$ 以下の場合の、 T の T_x に対する誤差率は、6 ビットの場合 3.9%, 8 ビットの場合 0.7%, 10 ビットの場合 0.25%, 12 ビットの場合 0.04% で一定である。

時間パラメータに対する測定誤差の最大値の計算過程は、標準雷インパルスの規約波頭長の場合と同様である。(8)~(11)式を用いて、ガウシアンパルスの立上り時間の測定精度を求めたものを図 6 に示す。

5. データ補正と測定精度

以上の検討において、アナログ計測の場合の測定精度として得られたものには、読取り誤差が含まれていない。実際には、アナログ計測では、十分な精度を満たしつつ、標準雷インパルスの規約波頭長と規約波尾長のようなオーダの異なる時間パラメータを測定するためには、時間掃引速度を調整する必要がある、一台の測定器による同時計測は困難である。

また高電圧計測においては、オシロスコープの読取り誤差 3% を許容しているが、デジタル計測の場合には読取り誤差はなく、垂直軸分解能が高い場合には、得られたデータの信頼性は非常に高い。

本論文において計算された生データを用いた際の測定精度は、最低限保証される測定精度であり、改善も可能である。

実際に波形パラメータを求める際には、あてはめ (fitting) などのデータ処理を行う場合が多く、簡単なデータ処理によっても測定精度は大きく向上する⁽¹⁰⁾。

プルトリガ機能や、短いサンプル間隔での長時間にわたる現象の観測などアナログ計測に比べて多くの利

点を有するデジタル計測は、高電圧計測のような偶発現象の観測において、極めて有力である。

6. 結 言

(1) 有効ビット数と垂直軸分解能が一致するような A/D 変換に伴う誤差がないディジタル化における標準雷インパルスに対する波頭長、波高値の測定精度の評価を行った。

(2) 波高値の測定精度は、垂直軸分解能が一定の場合サンプル時間間隔に対してガウスの記号で表される変化をすることがわかった。

(3) 時間パラメータの測定精度は、ガウスの記号で表される項と、サンプル時間間隔の積で表記される変化をすることがわかった。

(4) 現在、審議中の IEC 規格草案で規定されるディジタル化に要求される性能について評価を行った。実質的に問題となるのは、規約波頭長に要求される測定精度 4% であり、波高値に対して要求される測定精度 2% は、規約波頭長に対して要求される測定精度を満たす垂直軸分解能、サンプル時間間隔が実現されていれば、満たされることがわかった。

(5) 規約波頭長に要求される測定精度を満たすためには、垂直軸分解能が 8 ビットの場合には 112 MHz 以上、10 ビットから 12 ビットの場合には 98 MHz 以上のサンプルレートが必要ながわかった。

(平成元年 9 月 27 日受付, 同 2 年 2 月 23 日再受付)

文 献

- (1) IEC 42 (Secreteriat) 55 "Draft-Digital recorders for measurement in high-voltage impulse tests" (1989)
- (2) 例えば, "Dynamic Performance Testing of A to D Converters", Hewlett Packard Product Note 5180A-2
- (3) K. Schon, H. Korff & R. Malewski: "On the Dynamic Characteristics of Digitizers for HV Impulse Measurement", 4th International Symposium on High-Voltage Engineering, Pa65, 05 (1983)
- (4) R. Malewski, T. McComb & M. Collins: "Measuring Properties of Fast Digitizers Employed for Recording HV Impulses", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-32**, 17 (1983)
- (5) T. Kawamura, M. Ishii & K. Michishita: "Accuracy in Digital Measurement of Single-shot Waveform", Second International Conference on Properties and Application of Dielectric Materials, p. 303 (1988)
- (6) K. Michishita, T. Kawamura & M. Ishii: "Improved Method in Evaluating Dynamic Characteristics of Digitizers 6th International Symposium on High-Voltage Engineering, No. 42 (1989)
- (7) T. R. McComb & R. Malewski: "Technical Basis of International and Electronics Engineering Inc. Standards on Digital Recorders for Measurement in HV Impulse Tests",

5th International Symposium on High-Voltage Engineering Pa. 72, 01, 1987

- (8) IEC Publication 60-2 "High-voltage test techniques" Part 2 (1973)
- (9) 原田・松本・道下・石井・河村: 「インパルス試験用ディジタルレコーダに要求される性能について」, 平元電気学会会大, No. 1119
- (10) 道下・河村・石井: 「単発波形のディジタル計測精度」, 電気学会放電高電圧合同研究, ED-87-95; HV-87-42 (昭 62)

道 下 幸 志 (正員)

昭和 37 年 9 月 24 日生。63 年 3 月東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻修士課程修了。同年 4 月同大学院博士課程進学, 現在に至る。

主として, 高電圧工学に関する研究に従事。

河 村 達 雄 (正員)

昭和 5 年 8 月 16 日生。34 年 3 月東京大学数物系大学院博士課程修了。同年 4 月, 東京大学生産技術研究所勤務。37 年 1 月同助教授, 44 年 4 月同教授, 現在に至る。工学博士。電力工学, 高電圧工学に関する研究に従事。46, 48, 59 年電気学会進歩賞, 46 年 IEEE Power Engineering Society Prize paper Award, 51 年電気学会論文賞および電力賞受賞。43, 44 年度電気学会東京支部評議員, 53, 54 年度編修理事, 60, 61 年度副会長。電気設備学会会長。電子情報通信学会, 応用物理学会, 電気設備学会, IEEE, CIGRE 会員。

石 井 勝 (正員)

昭和 24 年 3 月 11 日生。51 年 3 月東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年 4 月東京大学助教授, 生産技術研究所勤務, 現在に至る。工学博士。主として, 系統絶縁, 自然雷, 高電圧現象の測定に関する研究に従事。平成元, 2 年度電気学会東京支部評議員。IEEE Senior Member。