振動性インパルス電圧に対する SF₆ 中くさびギャップにおける部分放電特性

正員 乾 昭 文 (東 芝)
 正員 寺 西 常 治 (東 芝)
 正員 村 瀬 洋 (東 芝)
 正員 柳 父 悟 (東 芝)

Characteristics of Partial Discharge in SF₆ Gas Wedge Gap against Oscillating Impulse Voltages

Akifumi Inui, Member, Tsuneharu Teranishi, Member, Hiroshi Murase, Member, Satoru Yanabu, Member (Toshiba)

It has been reported that there exists a significant difference between the AC and impulse partial discharge characteristics of a wedge gap in SF₆ gas. To clarify this, the partial discharge characteristics against polarity-reversing oscillating impulse voltages with relatively high frequency of 5.4 to 154 kHz have been studied. At low gas pressures, the partial discharge inception voltage(PDIV) is almost independent of the frequency and attenuation factor of the applied oscillating voltage, and shows fairly good agreement with PDIV of lightning impulses. On the contrary, at high gas pressures, the PDIV becomes lower as the attenuation factor decreases than the value of lightning impulses and the calculated breakdown voltage of SF₆ gas. It is considered that residual charges remained in the wedge gap are responsible for these phenomena.

キーワード：SF₆ ガス，くさびギャップ，振動性インパルス電圧，部分放電

1. ま え が き

SF₆ ガスは絶縁性能に優れ，高電圧機器の絶縁媒体として広く用いられている。近年，機器の高電圧化が進む中，絶縁耐力の向上を図り信頼性を高めるため，SF₆ ガス単体の絶縁特性の研究に加えて，固体絶縁物との複合絶縁特性に関する研究が進められている。複合絶縁においては，いわゆるトリプルジャンクションが形成されることが多く，また固体絶縁物どうしが接触するような構造は実器の絶縁構成では避けられない構造である。このような部分の SF₆ ガス中複合絶縁特性についての研究が実験的に行われる一方，理論的な解析も進められている^{(1)~(3)}。

ところが，複合絶縁構成においては，特に実器に対しては部分放電特性が重要であるにもかかわらず，現

象が複雑であるため未解明な部分が多く，部分放電機構に関する研究が十分ではないのが実状である。

このような点をふまえ，著者らは，先に固体絶縁物としてポリエチレンテレフタレート (PET) フィルムを用い，固体絶縁物間にはさまれ連続的にギャップ長が変化するようなくさび状ガスギャップでの部分放電特性を光学的手法を導入して調査した⁽⁴⁾。その結果，くさびギャップでの部分放電特性においては，交流とインパルス電圧による部分放電開始電圧に大きな差が認められ，交流に比べ雷インパルスでは 1.5~1.8 倍部分放電開始電圧が高くなることが明らかになった。また，特に高ガス圧力では，パッシェンの法則から求まるくさびギャップにおける SF₆ ガスの計算破壊電圧に比べ，インパルスでは部分放電開始電圧が高く，交流では低くなることも明らかにな

った。

このようなくさびギャップ特有の部分放電特性は、くさびギャップにおける初期電子の不足やくさびギャップに残留する電荷に起因すると考えられ、交流では電圧極性の反転が部分放電開始電圧に影響していると推察される。

そこで本論文では、特にくさびギャップに残留する電荷と電圧極性の反転が部分放電開始に及ぼす影響をさらに明確にするため、零点を切る減衰振動性のインパルス電圧により部分放電開始電圧を調査した結果を報告する。すなわち、5.4～154 kHzの比較的高周波の振動成分をもつ零点を切る減衰振動性インパルス電圧により、くさびギャップでの部分放電開始電圧を振動の周波数と波形の減衰を変えて求めた。そして、電荷の移動と拡散の関係から残留電荷と印加電圧の極性反転の影響について検討した。

2. 試験方法

〈2・1〉 電極構成 電極構成を図1に示す。上部リング電極を高压電極とし、PETフィルム（厚さ25 μm 、比誘電率3.2）により厚さ1.0 mmの被覆を施した。下部平板電極を接地電極とし、リング電極と平板電極の間にPETフィルム（厚さ100 μm 、幅200 mm×200 mm）を厚さ1.1 mmとなるよう積層して挟み、フィルム間にくさびギャップを形成した。

図1 電極構成

Fig. 1. Electrode configuration.

図2 振動波発生回路

Fig. 2. Generating circuit of oscillating impulse voltages.

試験は所定の SF_6 ガス圧力($P=0.2, 0.35, 0.45\text{MPa}$)を封入した試験用圧力タンクにて外部からの光の入射を一切遮断して暗中共に行い、部分放電に伴う微小発光を観測した。

〈2・2〉 振動性インパルス電圧発生回路

零点を切る減衰振動性インパルス電圧は、図2に示すようにコンデンサ C_0 に充電された電荷を試料の電極と並列に接続したインダクタンス L を通して放電させる回路で発生させた。発生電圧の振動周波数 f はコンデンサ C_0 とインダクタンス L の値を変えて変化させ、減衰率は L に直列に入る抵抗 r または C_0 に直列の抵抗 r_0 を変えて変化させた。また、第1波の波頭長は標準雷インパルスの波頭長1.2 μs になるようにした。ただし、振動周波数が高くなると第1波の波高値を低下させることなく波頭長を1.2 μs に合せることは困難であるため154 kHzでは波頭長を0.2 μs とした。

なお、電圧波形は試験用タンクのスぺーサがもつ漂遊キャパシタンス C_2 を用いた容量分圧器により測定した⁽⁵⁾。これは試料と並列に抵抗分圧器を設けて測定する抵抗分圧法では分圧器の抵抗が回路の減衰に大きく影響を及ぼし、減衰の小さい波形が得にくくなるためである。

試験した振動性インパルス電圧の波形定数を表1に、電圧波形の一例を図3に示す。ここでは振動の減

表1 回路定数と波形定数

Table 1. Circuit parameters and waveform parameters.

$L(\text{mH})$	$r(\Omega)$	$r_0(\Omega)$	$f(\text{kHz})$	半減周波数 (サイクル)
17.2	1.95	0	5.4	4.86
"	1.95	150	"	0.919
2.6	0.650	0	11.1	5.89
"	0.650	30	"	1.78
0.0867	0.502	0	72.5	3.33
0.111	0.195	0	154	3.71
"	10.3	0	154	1.33

図3 印加電圧波形

Fig. 3. Oscillogram of applied voltage wave form.

衰を表す定数として半減周波数を用いた。これは、振動波の包絡線が半波高値になる時間を振動周期で除したものである。なお、振動周波数と半減周波数はオシログラムから求めた。

〈2・3〉 電圧印加方法と部分放電測定 各振動性インパルス電圧を10 kVから5 kVステップにて上昇させ、各ステップ1回ずつ印加する。第1波の電圧極性が正極性の場合と負極性の場合のそれぞれについて、部分放電開始電圧を求めた。

部分放電の観測は、先の雷及び開閉インパルス電圧による部分放電検出の場合と同様の方法を用いた⁽⁴⁾。すなわち、高周波CT（立上り時間20 ns）にて試料の接地電流波形を測定し、電流波形の変化から検出すると共にイメージンテンシファイヤ（I.I. 光増倍率44,000倍）により部分放電に伴う発光を撮影した。また、今回、集光レンズを取付けてくさびギャップに焦点を合せ、光ファイバを通してフォトマル（PM 分光感度波長範囲400~1,200 nm）により微小発光の観測も行い、印加電圧波形と部分放電発生の際的関係も調査した。

3. 試験結果

零点を切る振動性インパルス電圧を印加すると、部分放電開始電圧にて電流波形が変歪し、くさびギャップでストリーマによる微小な発光が生じるのが、PMおよびI.I.にて観測される。

部分放電開始時の部分放電による微小発光をPM

$V=30\text{ kV}$, $P=0.2\text{ MPa}$, $f=11.1\text{ kHz}$
半減周波数 1.78 サイクル
上段：電圧波形, 100 $\mu\text{s}/\text{div}$
下段：PM 波形

図4 部分放電による発光に対するPM波形
Fig. 4. Oscillogram of PM to the partial discharge.

により検出した例を図4、図5に、I.I.によりとらえた一例を図6に示す。図4は、ガス圧力 P が0.2 MPaで $f=11.1\text{ kHz}$ 、半減周波数が1.78サイクルの場合の電圧波形とそれに対応するPMの出力波形である。電圧波形の第1のピークに対応してくさびギャップで発光するのがPMの波形よりわかる。これに対し、図5は P が0.45 MPaで $f=11.1\text{ kHz}$ 、半減周波数が5.89サイクルの場合の例である。電圧波形の第1のピークでは発光せず、逆極性となる第2のピークおよび電圧が低くなる第4、第5のピークでも発光するのがわかる。なお、この部分放電が発生する時間遅れに対しては、第1波の電圧極性による差は認められなかった。図6はこのときのI.I.によりとらえたくさびギャップでの発光静止写真である。これは図1に示す電極構成においてくさびギャップを水平方向真横から撮影したもので、くさびギャップ部分で一様に発光が生じている。なお電流波形が変わり電圧と、微小発光が観測される電圧は一致した。また、電流波形に変わりが生じる時間とPMにより発光が観測される時間は一致した。このような電気的手法と光学的手法の両者で部分放電が確認される最小の電圧を部分放電開始電圧とした。くさびギャップでの部分放電は、最小検出感度0.3 pCで測定した交流部分放電特性によ

$V=35\text{ kV}$, $P=0.45\text{ MPa}$, $f=11.1\text{ kHz}$
半減周波数 5.89 サイクル
上段：電圧波形, 50 $\mu\text{s}/\text{div}$
下段：PM 波形

図5 部分放電による発光に対するPM波形
Fig. 5. Oscillogram of PM to the partial discharge.

図6 I.I.による放電静止写真
Fig. 6. Partial discharge photograph with I.I.

図 7 半減周波数と部分放電開始電圧
($P=0.2\text{MPa}$)

Fig. 7. Relation between partial discharge voltage and half reduction frequency ($P=0.2\text{MPa}$).

図 8 半減周波数と部分放電開始電圧
($P=0.35\text{MPa}$)

Fig. 8. Relation between partial discharge voltage and half reduction frequency ($P=0.35\text{MPa}$).

図 9 半減周波数と部分放電開始電圧
($P=0.45\text{MPa}$)

Fig. 9. Relation between partial discharge voltage and half reduction frequency ($P=0.45\text{MPa}$).

ると、部分放電開始電圧以上の電圧に対し放電電荷の上昇が急激であり、しかも部分放電開始電圧で数十 pC の部分放電が急に始まるのが特徴である⁽⁴⁾。インパルス部分放電開始にても微小光による検出と電流波形による検出が一致しており、また、交流部分放電特性と同様に部分放電の発生が電圧変化に対し急激であることから、部分放電開始電圧としては精度良く測定できていると考えられる。

図 7～図 9 に各ガス圧力における部分放電開始電圧を半減周波数を横軸にとって示した。図中には、同条件により試験した雷インパルス電圧と交流電圧（波高値）での部分放電開始電圧を破線で、またくさびギャップにおいて SF_6 ガスのパッシェン曲線から求めた SF_6 ガスの計算破壊電圧を一点鎖線で示す⁽⁴⁾。

P が 0.2MPa と低いときは、 f が 154kHz 、半減周波数が 1.33 サイクルの場合を除いて周波数や半減周波数にかかわらず、ほぼ雷インパルス部分放電開始電圧と同レベルである。

これに対し P が 0.35MPa と高くなると、半減周波数が小さいときは雷インパルス部分放電開始電圧とほぼ等しいが、半減周波数が大きく減衰の小さい振動性インパルス電圧では印加電圧極性反転の影響が現れ、部分放電開始電圧が低下する。この傾向は P が高くなるほど顕著であり、 P が 0.45MPa では、半減周波数の増加にともない部分放電開始電圧が低下する割合は大きくなる。なお、部分放電開始電圧には第 1 波の電圧極性の違いによる顕著な差は認められない。これはくさびギャップが非常に短ギャップでかつほぼ対称なギャップであるためと考えられる。

4. 検 討

<4・1> 電圧極性反転の影響 図 7～図 9 に示したように零点を切る振動性インパルス電圧の部分放電開始電圧と振動周波数および半減周波数との関係は、ガス圧力 P が低い場合と高い場合でその傾向が異なる。すなわち、 P が 0.2MPa と低いときは半減周波数にかかわらず部分放電開始電圧はほぼ雷インパルスの場合と等しいのに対し、 P が高くなると半減周波数の増加に伴い部分放電開始電圧の低下が認められるようになる。

更に、 P により図 4、図 5 に示すように部分放電が発生する時間遅れも異なる。すなわち、 P が低い 0.2MPa では印加電圧の第 1 のピークにほぼ対応して部分放電が発生する。これに対し、 P が 0.45MPa と高ガス圧力になると第 1 のピークでは部分放電が発生せず、逆極性となる第 2 のピークで始めて部分放電が発生し、また電圧が低くなる第 4、第 5 のピークでも部分放電が発生する。このことは極性反転の影響により、低い電圧でも部分放電が生じることを示している。

ここで、部分放電開始電圧にて、第 1 のピークで部分放電が生じる割合と SF_6 ガス圧力の関係を示した結果の一例を図 10 に示す。これは f が 5.4kHz と 11.1kHz および 154kHz における、それぞれ半減周

図 10 第1のピークで部分放電が発生した割合と SF_6 ガス圧力の関係

Fig. 10. Relation between discharge inception probability in the first peak and SF_6 gas pressure.

波数の大きい場合について、第1波の電圧極性が正の場合、負の場合すべてを含めて図示したものである。 P が低いときは第1のピークで部分放電が100%発生し、極性反転の影響が生じないのに対し、 P が高くなると第2のピーク以降で部分放電が発生する確率が高くなり、高ガス圧力では極性反転の影響が大きく現れている。

ところで、標準雷インパルス電圧に対するくさびギャップの部分放電開始電圧はパッシェン曲線から求まる SF_6 ガスの計算破壊電圧よりも高くなり、これは初期電子不足に起因していることを前報で示した⁽⁴⁾。すなわち、 P が0.2 MPaと低いときは、紫外線を照射して初期電子を十分供給してやると雷インパルス部分放電開始電圧は SF_6 ガスの計算破壊電圧にほぼ一致するが、外部からの光の入射を一切遮断すると、インパルス電圧の極性によっても異なるが、 SF_6 ガスの計算破壊電圧の1.5倍前後に上昇する。これが図7の一点鎖線（計算値）と破線（雷インパルスに対する部分放電開始電圧）の差である。なお、光の入射がない状態において、低ガス圧力、短ギャップでは初期電子の発生はガス中のイオンの電子放出であると考えられ、ガスギャップのイオン密度が $10 \sim 100$ 個/ cm^3 程度であると仮定するとうまく説明ができることが報告されている⁽⁶⁾。更に前報では、高ガス圧力になるほど、紫外線照射による初期電子供給の影響が現れにくくなり、部分放電開始電圧が計算値より高くなる原因としてくさびギャップに残留する電荷の影響も考えるべきであることを示した⁽⁴⁾。

今回、振動波による実験によって、以下に述べるように、残留電荷の影響が更に明らかになったと考える。

すなわち、 P が0.2 MPaの低ガス圧力において、振動性インパルス部分放電開始電圧が半減周波数にかかわらずほぼ雷インパルスの場合と等しく、電圧極性が反転する影響が生じていないのは、本実験の周波数範囲では初期電子の不足に起因するものが支配的であるためと考えられる。なお、 f が154 kHz、半減周波数が1.33サイクルの場合、部分放電開始電圧が雷インパルスの場合より高い。これは、周波数が高く減衰が大きいため印加時間が短く、初期電子の不足と放電の時間遅れの関係から、 $V-t$ 特性によって部分放電開始電圧が上昇したからであると考えられる。

これに対し、 P が0.35 MPa以上になると、初期電子不足により部分放電開始電圧が高くなる効果以上に電圧極性が反転する影響が現れ、半減周波数が大きくなると部分放電開始電圧が低下する傾向が見られる。特に、 P が0.45 MPaと高ガス圧力になると、半減周波数が多い場合、部分放電開始電圧の低下が顕著になり、パッシェン曲線から求まる SF_6 ガスの計算破壊電圧よりも低下する。

このように高ガス圧力ほど電圧極性反転の影響が大きいのは、次のようにくさびギャップの残留電荷を考えると説明できる。

くさびギャップの電界は、接触部に近づくにつれて急激に高くなる。従って、くさびギャップのギャップの長さの短い部分では部分放電開始電圧以下の電圧で SF_6 ガスの電離電界を越えており電子などが発生していると考えられる。電気力線に沿ったギャップの長さを電離距離とすると、この電離距離が短いためストリーマに転移せず、くさび部のガスの破壊には至らない。なお、くさびギャップの部分放電はくさび部のガスの破壊によって発生するものと予想される⁽⁴⁾。くさびギャップ中には SF_6 の電離係数 α 相当分の正イオン、付着係数 η 相当分の負イオン、 $(\alpha - \eta)$ 相当分の電子が生じ、これらが正、負電荷としてくさびギャップ間に残留していると考えられる。振動性インパルス電圧の印加により第1の半波で生じた電荷がくさびギャップに残留している時に、続いて極性の反転された電圧が印加されるため、局部的に高電界部分が形成され部分放電の発生が容易となる。

また、ガス圧力が高いほど臨界電界が高く、印加電界も高くなるので α および $(\alpha - \eta)$ の値が大きくなり、作られる電荷の数もガス圧力に対し指数関数的に多くなる。従って、高ガス圧力ではくさびギャップに残留する電荷の影響が顕著になるものと思われる。

このように、振動性インパルス電圧では、くさびギャップに電荷が残留しているときに極性の反転する電

圧が続いて印加されることが部分放電開始電圧を低下させていると推定される。そこで、残留電荷の影響を電荷の移動と拡散の関係から考察する。

〈4・2〉 残留電荷の影響 くさびギャップ中に残留する電荷を SF_6 ガスの電離および付着から生じるイオンの移動と拡散から検討する。なお、電子なだれによって発生した電子は SF_6 ガ스에捕えられ負イオンを作るので、負電荷としては電子より負イオンが有効であると考えられる。

振動性インパルス電圧の第1の半波で生じた電子なだれによるイオンがくさびギャップを渡り切り、くさびギャップに残留していると、逆極性電圧となる次の半波により局部的に高電界部分が形成され则认为られる。このためには、正・負イオンが半波の間にギャップを渡り切らなければならない。

SF_6^+ イオンならびに SF_6^- イオンの移動度 μ は $\alpha = \eta$ となる臨界電界 E_{crit} 近傍でともに約 $7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ であり⁽⁷⁾、これより電界の低いときは電界にかかわらずほぼ一定で約 $5 \sim 6 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ であることが報告されている⁽⁷⁾。ここで、パッシェン曲線を満たす SF_6 ガスの最小破壊電圧となるのは、本電極形状では図1に示すくさび部の角度 θ が約 10° の部分であり⁽⁴⁾、電気力線に沿ったギャップの長さ d は約 0.13 mm となる。また、この位置より θ の小さいギャップの長さの短い部分では SF_6 ガスの電離電界を越えており正・負イオンが発生する。このギャップの長さ d を SF_6^+ イオンならびに SF_6^- イオンが臨界電界 E_{crit} のときに渡るのに要する時間 t は、おおむね次式で与えられる。

$$t = \frac{\sqrt{2}d}{\mu E_{\text{crit}}} \dots\dots\dots (1)$$

なお、上式では印加電圧を正弦波とし、移動度 μ は一定であると仮定している。(1)式より θ が約 10° のくさびギャップを渡る時間を計算すると、ガス圧力が高いほど臨界電界は高いのでギャップの長さを渡り切る時間は短くなるが、本試験のガス圧力範囲である $0.2 \sim 0.45 \text{ MPa}$ では約 $0.15 \sim 0.07 \mu\text{s}$ となる。この時間は 154 kHz までの周波数範囲では、印加電圧の半波の間に十分ギャップを渡り切ることできる時間である。次に拡散を考えると、例えば SF_6^- イオンの拡散係数 D_i は D_i/μ として臨界ストレスよりやや低い領域で 0.149 V と与えられている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。この値を用いると、臨界電界における拡散半径は最も拡散の大きい 0.2 MPa の低ガス圧力においても、ギャップの長さに比べ約2けた低い値であり、イオンの移動に比べ拡散は非常に小さい。

以上のイオンの移動と拡散の関係から次のように考えることができる。高ガス圧力では臨界電界が高くなるので発生する電子・イオンの数は多くなり、これらのイオンは振動性インパルス電圧の半波の間にギャップを渡り切り、正・負電荷としてくさびギャップに残留する。半減周波数の大きい波形では逆極性となる後続の波形により局部的な高電界部分が形成され部分放電の発生が容易になる。半減周波数が大きくなるとパッシェン曲線から求まる SF_6 ガスの計算破壊電圧より低下するのはこのためであろう。更に、図5、図10に示すように電圧の第1のピークで部分放電が発生せず、第2のピーク以降で部分放電が発生することはこのことを裏付けている。なお、半減周波数の小さい波形では後続の電圧が低くなるため、残留電荷の影響が生じず部分放電開始電圧の低下は生じなかったものと考えられる。

以上のように、くさびギャップでは電子なだれによる電荷が残留し、特にガス圧力が高くなるとこの残留電荷が部分放電開始電界に大きく影響を与えらる。前報⁽⁴⁾において、交流部分放電開始電圧が計算値より低下しインパルス比が高くなったのも、この残留電荷の影響と考えられる。

5. ま と め

SF_6 ガス中、絶縁物 (PET フィルム) 間に形成されるくさびギャップにおける部分放電開始電圧を、零点を切る減衰振動性インパルス電圧により調査した。振動の周波数と波形の減衰を変えて部分放電開始電圧を求めたところ次の事項が明らかとなった。

(1) SF_6 のガス圧力が 0.2 MPa の低ガス圧力においては、振動性インパルス電圧の部分放電開始電圧は周波数や半減周波数にかかわらず、ほぼ雷インパルス部分放電開始電圧と等しくなる。これは低ガス圧力では初期電子の不足がインパルス部分放電開始電圧を高める効果が大きいためであり、電圧極性が反転する影響は生じない。

(2) ガス圧力が高くなると半減周波数の大きな振動性インパルス電圧では部分放電開始電圧が低下する。これはくさびギャップに残留する電荷と印加電圧の極性が反転する影響によるものと考えられる。

このように、 SF_6 ガス中絶縁物で被覆されたくさびギャップにおける部分放電開始特性には、印加電圧の極性反転が大きく影響することがわかり、 SF_6 ガス中複合絶縁における部分放電現象の一端が明らかになった。

(平成2年3月6日受付、同2年10月11日再受付)

文 献

- (1) 宅間・河本：「絶縁物が電極と接したとき」, 電気学会放電研資, ED-83-14 (昭58)
- (2) 宅間・河本：「絶縁物が電極と接したとき(続)」, 同上, ED-83-50 (昭58)
- (3) 放電常置専門委員会「SF₆ガス中の支持絶縁物における沿面放電特性」, 電気学会技報 (II部), 83 (昭54)
- (4) 乾・寺西・大久保・柳父：「SF₆ガス中くさびギャップにおける部分放電特性」, 電学論 A, 110, 101 (平成2-2)
- (5) H. Murase, I. Ohsima, et al.: "Measurement of Transient Voltages Induced by Disconnect Switch Operation.", *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.*, PAS, 104, 157 (1985)
- (6) 花井・寺西・大久保・柳父：「SF₆ガス中微小ギャップの雷インパルス電圧に対する絶縁特性」, 電学論 A, 109, 255 (平成元-6)
- (7) R. Morrow: "A Survey of the Electron and Ion Transport Properties of SF₆", *IEEE Trans. Plasma Sci.*, PS-14, 234 (1986)
- (8) M. S. Naidu & A. N. Prasad: *J. Phys. D.*, 3, 951 (1970)

乾 昭 文 (正員)

昭和29年2月5日生。54年3月早稲田大学大学院電気工学専攻修士課程修了。同年4月(株)東芝入社。高電圧絶縁技術に関する研究に従

事。IEEE 会員。

寺 西 常 治 (正員)

昭和21年2月10日生。48年3月名古屋大学大学院博士課程修了。同年4月(株)東芝入社。変圧器開発設計に従事。54年より、主として、変圧器絶縁技術に関する研究に従事。工学博士。

村 瀬 洋 (正員)

昭和27年7月9日生。55年3月東京工業大学電気工学専攻博士課程修了。同年4月(株)東芝入社。高電圧絶縁現象、GIS中の急しゅん波サージ現象の研究に従事。工学博士。IEEE 会員。

柳 父 悟 (正員)

昭和16年7月15日生。39年3月東京大学工学部電気工学科卒業。47年イギリスリバプール大学電気電子工学部博士課程修了。39年4月(株)東芝入社。以来、高電圧現象、遮断現象、高電圧大電流試験法などの研究、高電圧開閉保護装置の開発などに従事。47年 Ph. D (Liverpool), 56, 63年電気学会進歩賞, 58年同論文賞受賞。IEEE fellow, Current Zero Club 会員。