GIS中の超音波伝搬特性と それに基づく新しい部分放電発生位置標定

学生員 小迫 雅裕 (九州工業大学)
正 員 澤井 浩司 (高岳製作所)

正 員 大塚 信也 (九州工業大学)
正 員 匹田 政幸 (九州工業大学)

Propagation Properties of Acoustic Waves in GIS and New Identification of Partial Discharge Location

Masahiro Kozako, Student Member, Shinya Ohtsuka, Member (Kyushu Institute of Technology),
Koji Sawai, Member (Takaoka Electric Mfg. Co., Ltd), and Masayuki Hikita, Member (Kyushu Institute of Technology)

We investigated propagation properties of acoustic waves in the frequency range from 10 kHz to 200 kHz using two acoustic emission (AE) sensors to diagnose the insulation performance of GIS. From the experimental results, we estimated that attenuation and velocity of the acoustic waves propagating in SF_6 gas and GIS tank wall. Taking these results into consideration, we tried to identify the location of partial discharge (PD) source in the model GIS tank using the difference in the measured time between the PD occurrence and the first wave arrival at two different frequency components of the acoustic signal by utilizing the dispersive property of the velocity of the waves. Consequently, we could identify the location of PD with high accuracy.

キーワード：GIS，部分放電，超音波，位置標定，ラム波，デジタル信号処理

1. はじめに

近年，ガス絶縁開閉装置 (Gas Insulated Switchgear : GIS) や変圧器などの送変電機器に対する信頼性の高い絶縁診断技術の開発が重要となっている。そこで，絶縁破壊の前駆現象である部分放電 (Partial Discharge : PD) の測定および解析が幅広く行われている^(1,2)。筆者らはこれまで，電磁波および超音波信号に基づく電氣的ならびに音響的検出法によるPD特性の検討を行っている⁽³⁻⁵⁾が，今回は，特に，物理機構を考慮した音響的検出法を用いてGIS内のPD発生位置の標定を検討した。

音響的検出法は，GISタンク壁中を伝搬する音波の振動を，タンク外壁面に取り付けた音響センサで検出する手法である。音響センサとして，通常，可聴音より高い20 kHz以上の周波数である超音波を検出するAE (Acoustic Emission) センサが，SN比が高いという理由から用いられている。したがって，音響的検出法は，機器外部から容易に診断できる，電磁干渉の影響を受けない，高感度およびPD源の位置標定に適用可能などの利点がある⁽⁵⁻¹⁰⁾。一方，同検出法は，信号の減衰が大きい，反射，干渉および伝搬速度の分散などのために波形解析が困難，周辺環境の影響を受けやすいなどの欠点がある。このため，これまで，測定した超音波信号の振幅値などに基づき，超音波の伝搬特性などの物理的機構を考慮することなく絶縁診断を試みている報告が多い。

以上のような背景から，本論文では，音響的PD検出法によるGIS内部診断技術の確立を目的として，超音波の詳細な伝搬特性の解明を行い，その伝搬特性に基づいた新しいPD発生位置の標定を行った。

2. 実験装置と方法

< 2.1 > 超音波伝搬の基礎特性の測定 SF_6 ガス中，ガスからGISタンク壁およびタンク壁中の超音波伝搬特性を，二つの広帯域型のAEセンサ(NF回路社製，AE-900S-WB)を用いて調べた。GISタンクは，厚さ5.8 mmの鉄製であり，タンク内径200 mm，導体外径80 mmである。図1に， SF_6 ガス中における超音波の伝搬特性の測定回路を示す。5

図1 SF_6 ガス中における超音波伝搬特性の測定回路
Fig.1. Experimental setup for measuring acoustic waves in SF_6 gas.

周期の正弦波を振幅変調した単一周期パルスを、ファンクションジェネレータ (Sony Tektronix 製, AFG320) で生成し、増幅器 (NF回路製, 4005) で100倍増幅した後、AEセンサに入力することで超音波パルスを発生させた。 SF_6 ガス中を伝搬した超音波信号は、センサ間距離を r としてタンク内に設置されたもう一つのAEセンサにより検出し、プリアンプ (NF回路製, 9913) およびメインアンプ (NF回路製, AE-922) を用いて80～100 dB増幅し、入力信号と同時にデジタルオシロスコープで測定した。GISタンク壁中の伝搬特性を調べるときには、両センサをタンク外壁面に取り付けた。ガスからタンク壁への伝搬特性を調べるときには、発信側をタンク内のガス中に、受信側をタンク外壁面にそれぞれ設置した。超音波の伝搬特性を解析する周波数は20 k～200 kHzの範囲で行い、本実験で用いた各測定装置はその周波数範囲では測定可能であることを確認している。なお、センサおよび測定系の各装置による応答時間の遅れを調べた結果、各センサによる出力電気信号の極性の違い、プリアンプでの極性反転、フィルタでの時間遅れなどが存在することがわかった。以後の測定では、これらの各装置が持つ特徴に起因する要因を補正して検討している。また、実験は全て室温状態で実施した。

<2.2> 部分放電信号の測定 図2に、実験回路を示す。0.4 MPaの SF_6 ガスが封入されているGIS内の高電圧導体上に、ギャップ長を h として設置した銅製の針に交流高電圧を印加してPDを発生させた。PDにより発生した超音波信号は、針直下からタンク外壁面上の同軸方向への距離 d の位置に設置した共振型のAEセンサ(NF回路製, AE-700S, 共振周波数: 70 kHz)で検出した。同センサは、磁石式のセンサホルダを用いてタンク外壁面に取り付けた。PDにより接地線に流れる電流は、CT (EMC製, 94430-1) を用いて検出され、同調増幅器 (同調周波数: 25 MHz) を介して測定した。超音波信号の測定には、ノイズを軽減し単発PDに対する超音波波形を明確にするため、デジタルオシロスコープ内で電流パルス発生に同期させて約30回の平均化処理を行った。

図2 GIS内の部分放電による電気信号および超音波信号の測定回路

Fig.2. Experimental setup for measuring electrical and acoustical signals caused by partial discharges in GIS.

3. 実験結果

<3.1> 基礎的な超音波伝搬特性

(1)ガス中の伝搬特性 図3(a), (b)および(c)に、周波数20 kHzのAEセンサへの入力信号、 SF_6 ガス (ガス圧力0.4 MPa) および比較のために空気 (大気圧) 中におけるセンサ間距離 $r=400$ mmでの受信信号をそれぞれ示す。同図中の入力信号と受信信号の時間差 Δt の関係から明らかに、 SF_6 ガス中の伝搬速度は空気中よりも遅く、それぞれ理論値⁽⁶⁾と等しい135および345 m/sであった。

センサ間距離 r を変化させることで、超音波信号の減衰特性を調べた。図4(a)および(b)に、空気および SF_6 ガス (0.4 MPa) 中での各周波数による超音波信号の振幅比 R_a の距離依存性を示す。なお、振幅比 R_a は、 $r=10$ mmでの信号振幅値に対する各測定距離での信号振幅値の比率である。同図(a)に示すように、空気中での R_a は、周波数にはほとんど依存せず、 $\log(r)$ に比例して減少していることがわかる。これは、信号振幅が、伝搬距離に逆比例して減衰することを意味している。また、空気中の減衰定数 a は、約2 dB/cmと評価された。一方、 SF_6 ガス中での R_a は、同図(b)に示されるように、20 kHzの低周波では $\log(r)$ にほぼ比例して減衰するが、高周波になるほど距離 r に対する減衰は更に大きくなることがわかる。 SF_6 ガス中の減衰定数 a は、20 kHzおよび200 kHzでは、それぞれ約2および8 dB/cmと評価された。

(2)タンク壁中の伝搬特性 図5(a), (b)および(c)に、周波数70 kHzの入力信号と伝搬距離 d が250 mmおよび500 mmの受信信号の波形をそれぞれ示す。受信信号は、入力信号波形よりも長い時間観測されることがわかる。受信信号の第1到達波の100 μ s以後の波は、タンク壁面径方向の回り込み、またはタンク端部からの反射であると考えられる。

図3 AEセンサへの入力信号および気体中における $r=40$ mmで検出された超音波信号の波形
Fig.3. Waveforms of the input signal to the AE sensor, and the acoustic signal detected at $r=40$ mm in gas. (a) electrical input signal at 20 kHz, (b) acoustic signal in SF_6 gas ($P=0.4$ MPa), (c) acoustic signal in air.

図4 気体中の超音波信号の振幅比 R_a の伝搬距離依存性
Fig.4. Distance dependence of amplitude ratio R_a of the acoustic waves as a function of frequency.

同図(b)および(c)の第1群波の振幅値から、タンク壁中の伝搬による減衰定数 a を評価すると約 20 dB/m となり、前述の気体中の減衰と比べ 0.1 倍程度になる。同図(a)および(b)に示されるような入力と受信信号の立ち上がり時間差 Δt から、各周波数におけるタンク壁中の超音波の伝搬速度（群速度） v_p を求めた。図6に v_p の周波数依存性を示す。比較のために、厚さ 3 mm の鉄板における測定結果を併せて示す。図6より、タンク壁中の超音波の伝搬速度 v_p は、周波数に依存する分散性を示し、周波数が 20 kHz から 100 kHz 付近までは急激に増加するが、100 kHz 以上では鉄の横波速度の 3,240 m/s に収束することがわかる。また、板の厚さが薄くなると速度が収束する周波数は大きくなるのがわかる。

(3) ガスからタンク壁面への伝搬特性 ガスからタンク壁への超音波の伝搬特性の周波数依存性を調べた。その結果、異なる媒質にある波長を持った音波が透過する際に、ある入射角を有するというスネルの法則⁽¹⁰⁾に基づいて検討を行うと、約 15 度以下の入射角度が存在することがわかっ

図5 AEセンサへの入力信号およびタンク壁中を伝搬した超音波信号の波形

Fig.5. Waveforms of the input signal to the AE sensor, and the acoustic signal propagated in the tank wall.

(a) electrical input signal at 70 kHz, acoustic signal (b) $d = 250$ mm, (c) $d = 500$ mm

図6 タンク壁中の超音波の伝搬速度の周波数依存性
Fig.6. Frequency dependence of propagation velocity of the acoustic waves in the tank wall (plate thickness, $w = 5.8$ mm and 3.0 mm).

た。この 15 度の入射角を考慮しない場合、ガス中の伝搬距離 h の長さ誤差は 3% と小さいため、以下では入射角度は無視して伝搬特性を議論する。

<3.2> 部分放電による超音波信号の伝搬特性 図7(a)~(d)に、約 20 pC の PD による電流パルス、タンク外壁上のセンサ距離 d が 0, 200 および 400 mm において検出された超音波波形を併せて示す。同図(b), (c)および(d)より、タンク壁中の伝搬距離 d が大きくなるに連れ、検出される超音波信号の波面は、変歪しながら小さくなっていることがわかる。図8に、図7(d)の超音波信号の波形を高速フーリエ変換して得られた周波数スペクトルを示す。同図から、PD による超音波信号は、約 100 kHz 以下に大きく現れていることがわかる。これは、100 kHz 以上の高周波成分は、SF₆ ガス中での超音波伝搬による減衰が大きいためであると考

図7 PDによる電流パルスと超音波信号の波形

Fig.7. Waveforms of PD current pulse and the acoustic signals emitted by PD ($h = 12$ mm).

(a) current pulse ($q = 20$ pC), acoustic signal (b) $d = 0$ mm, (c) $d = 200$ mm, (d) $d = 400$ mm

図8 超音波信号の周波数スペクトル

Fig.8. Frequency spectrum of the acoustic signal of

Fig.7(d) ($h = 12$ mm, $d = 400$ mm).

えられる。このことから、数10 kHzに感度特性を有するAEセンサが信号検出には有効であることがわかる。

4. 考察

前章までの結果から、GIS中のPD発生位置の標定を高精度に行うためには、SF₆ガス中での減衰特性およびタンク壁中での速度分散特性の十分な検討が必要であることが示された。本章では、それらの伝搬特性を理論的に検討すると共に、その特性を考慮して、精度の高いPD発生位置の標定手法を検討する。

<4.1> SF₆ガス中での減衰特性 音波の振幅が、伝搬距離の増加によって減少する原因は、空間的な減衰およびガス媒体による音波の吸収が考えられる⁽¹²⁾。気体中の放電のように一点の放射源から発生した音波は、球面波として拡がるので、音波の強度は、伝搬距離の2乗に逆比例する。ここで述べる音波の強度とは、媒体を伝搬する音波のエネルギーの時間平均のことである。検出される音波の振幅 A は、音波の強度の平方根に比例しているので、式(1)のように示される。

図9 SF₆ガスにおける超音波の吸収係数の周波数依存性

Fig.9. Frequency dependence of absorption coefficient of the acoustic waves in SF₆ gas ($P = 0.4$ MPa).

$$A(r) = \frac{A_0}{r} \exp(-\alpha r) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 A_0 は定数、 r は伝搬距離、 α は伝搬媒質による音波の吸収係数である。なお、 α は一般に、周波数の2乗に比例する⁽¹²⁾。

音波の吸収は、伝搬媒質における粘性および熱伝導が大きく起因する⁽¹²⁾。数m以下の空間における金属やほとんどの気体中では、 α が非常に小さいため、音波の吸収はほとんど無視でき、空間的な減衰が支配的である。一方、SF₆やCO₂などの多原子分子の気体中では、 α が他の気体に比べて大きいために音波吸収が無視できない⁽¹⁰⁾。図4(a)および(b)中の点線は、実験結果に対して式(1)に基づく近似曲線である。図9に、図4(b)中の近似曲線から求めたSF₆ガス(0.4 MPa)中の音波の吸収係数 α の周波数特性を示す。同図中の点線は、実験結果に対して $\alpha = Bf^2$ (B は定数)を用いて得られた近似曲線である。この結果から、SF₆ガス中を伝搬する音波は、その吸収係数 α は周波数の2乗に比例して増加し、そのために高周波成分はより大きく減衰することがわかった。

<4.2> ラム波の分散特性 ラム波とは、薄い板状の固体において板の長さ方向に沿って伝搬する弾性波である。ラム波の振動モードには、対称(s)および非対称(a)モードがあり、それぞれに高次のモードが存在する。各モードの位相速度はそれぞれ異なり、その材質中での縦波と横波の速度、および周波数と板厚によって決まる^(11,12)。本実験条件では、板厚 w (5.8 mm)と周波数 f (200 kHz)の積が1.16 mmMHzとなるので、基本モードである零次の対称 s_0 および非対称 a_0 モードの出現が考えられる⁽¹⁰⁾。図6中の実線は、鉄の場合の a_0 モードの理論値^(11,12)を示している。 a_0 モードの理論値は、式(2)より求めた位相速度 v を数値解析して求め、その結果の v を用いて、式(3)から計算した群速度 v_p である。

$$4L S \tanh\left(\frac{\pi f w S}{v}\right) - (1 + S^2)^2 \tanh\left(\frac{\pi f w L}{v}\right) = 0 \quad \dots (2)$$

$$v_p = \frac{d\omega}{dk} \quad \dots (3)$$

ここで $v = \frac{\omega}{k}$, $L = \sqrt{1 - (v/v_L)^2}$, $S = \sqrt{1 - (v/v_T)^2}$ で, ω は角周波数, k は波数, v_L と v_T は縦波および横波の速度である。鉄の場合, v_L は 5,950 m/s, v_T は 3,240 m/s である⁽¹²⁾。図6の測定結果は, a_0 モードの理論値を示す実線とほぼ一致しており, 本実験条件におけるタンク壁中のラム波の伝搬は a_0 モードであることが示された。なお, s_0 モードが観測されていない理由は, s_0 モードの強度が a_0 モードに比べて非常に小さい⁽¹⁰⁾ ためである。

< 4.3 > 部分放電発生位置の標定 以上の結果に基づき, GIS タンクにおける超音波信号の伝搬特性をまとめると, 次のようになる。SF₆ ガス中で発生したPDによる超音波信号の高周波成分は, 低周波成分に比べてガス中での減衰が大きく, また, タンク壁中での伝搬速度は速い。そのため, ガス中で発生した超音波が, ガス中とタンク壁を伝搬した後に, タンク壁面のAEセンサで検出されるときには, 振幅の小さな高周波成分が先に現れ, 次第に振幅の大きな低周波成分が現れることになる。このことは, タンク径の大きなGIS中の高電圧導体近傍でPDが発生する場合のように超音波信号がガス中を長距離伝搬する場合には, 次のことを示唆する。すなわち, 高周波成分が大きく減衰して(図4(b)), その伝搬速度は横波速度より小さなものとなるため(図6), 通常用いられる横波速度で位置標定を行うとPD発生位置を誤って推定することになる。

< 4.4 > 速度分散を考慮した新しい標定手法の検討

以下では, ラム波の速度分散特性に着目して新しいPD発生位置の標定手法を提案する。GIS内でPDが発生した時間からその超音波信号がAEセンサに到達するまでの伝搬時間 T は, 式(4)で表される。

$$T = \frac{h}{v_g} + \frac{d}{v_p} \quad \dots (4)$$

ここで, h はPD源からタンク壁面までのガス空間中の伝搬距離, d はPD源直下からAEセンサまでのタンク壁中の伝搬距離, v_g と v_p はガス中およびタンク壁中の超音波の伝搬速度である。PD発生位置は, 式(4)で示される二つの未知数 h と d を, 二つ以上のセンサを用いて T を測定することで求めることができる。ラム波の速度分散特性を用いれば, 周波数が異なる信号成分のAEセンサへの到達時間 T は異なるので, 一つのAEセンサからでも h と d を求めることができる。ただし, 速度差が大きく, かつ信号の大きな周波数成分を選択することが重要である。今回, 図6と8から, 30 kHz および 90 kHz に着目し, 10kHzの帯域幅を持ったデジタルバンドパスフィルタを用いて二つの周波数成分を抽出した⁽¹³⁾。

図10(a)および(b)に, 図7(a)および(d)の電流パルスおよび

超音波信号の波形を再び示す。図中の時間差 T は式(4)で与えられる。図10(c)および(d)に, 図10(b)の超音波波形をデジタルバンドパスフィルタを用いて 30 および 90 kHz の周波数成分を抽出した結果を示す。タンク壁中の伝搬距離 d は, 図10(c)および(d)における各到達時間 t_L と t_H の時間差 Δt および式(5)を用いて導出した。同様に, ガス中の伝搬距離 h は式(6)を用いた。

$$d = \frac{v_{pH} \cdot v_{pL}}{v_{pH} - v_{pL}} \cdot \Delta t \quad \dots (5)$$

$$h = \left(t_H - \frac{d}{v_{pH}} \right) \cdot v_g \quad \dots (6)$$

ここで, v_{pH} および v_{pL} はタンク中を伝搬する a_0 モードのラム波の高周波成分および低周波成分の伝搬速度で, それぞれ 3,100 m/s および 2,200 m/s である。また, v_g は 135 m/s である。図10(c)および(d)における各到達時間 t_L , t_H は, 以下のようにして決定した。まず, 図10(d)の高周波成分が, 図10(b)の源波形の波面を形成しているため, 到達時間 T と t_H は同じであると考えられる。そこで, 図10(b)の最初の微小な波の立ち上がり時間と同時間にある図10(d)のピークの時間を t_H とした。低周波成分は高周波成分よりも遅れるため, t_H よりも後で振幅がある程度大きなピークの時間を t_L とした。この際, t_L が 30 kHz の 1 周期 (33.3 μ s) だけ異なることによる式(5)から評価した標定誤差は 25 cm となるので, t_L の立ち上がり時間は十分な考慮を要する。

このようにして位置標定を行うと, $d = 416$ mm, $h = 12$ mm となる。これらの値は, 実験条件である $d = 400$ mm, h

図10 PDによる電流パルスと超音波信号およびフィルタリング結果

Fig.10. Waveforms of PD current pulse, the acoustic signals emitted by PD ($h = 12$ mm) and filtering results.

(a) current pulse ($q = 20$ pC), (b) acoustic signal ($d = 400$ mm), (c) 30 kHz component, (d) 90 kHz component.

= 12 mm とほぼ一致した。他のセンサ配置によるPD発生位置の標定は、タンク長さが1 mの本実験条件下で、最適な信号到達時間が決定できた場合、タンク中の伝搬距離の誤差が約3 cm以内であった。このように、一つの電氣的検出センサと一つのAEセンサを用いて、ラム波の速度分散特性を考慮することで、検出に用いたAEセンサからPD源までの距離が評価できることが実証された。

5. むすび

二つのAEセンサを用いてGISにおける超音波信号の伝搬特性を調べた。その結果、SF₆ガス中を伝搬する超音波信号の振幅は、空間的な減衰により伝搬距離に逆比例し小さくなり、かつ音波の吸収により高周波成分ほど大きく減衰することがわかった。また、GISタンク壁中の超音波信号の伝搬速度は、分散特性を有することを実験により確認した。

以上の明らかにした超音波の伝搬特性から、特にラム波の速度分散特性を考慮した新しいPD発生位置の標定手法を提案した。一つの電氣的検出センサおよびAEセンサを用いて、検出された超音波信号から30 kHzおよび90 kHzの二つの周波数成分を、デジタルバンドパスフィルタを適用して抽出し、AEセンサからPD源までの距離を高精度に評価できることを示した。

(平成12年10月3日受付、平成12年12月26日再受付)

文 献

- (1) 大久保仁：「電力機器の診断技術の現状と今後の課題」，電学論B, pp.434-437 (1999)
- (2) L. E. Lundgaard: "Partial Discharge - Part XIV: Acoustic Partial Discharge Detection - Practical Application", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No.5, pp. 34-43 (1992)
- (3) 大塚信也，堀内智哉，匹田政幸：「モデルGIS内における模擬部分放電放射電磁波の伝搬特性」，平成11年電気学会電力・エネルギー部門大会，Vol.400, pp.266-267 (1999)
- (4) 小迫雅裕，田志海，大塚信也，柴田信之，匹田政幸：「デジタルフィルタを用いた部分放電放射電磁波からの連続周期的ノイズの除去」，電学論B, Vol.120, No.7, pp.975-981 (2000)
- (5) 小迫雅裕，向国芬，田志海，柴田信之，匹田政幸：「SF₆ガス中部分放電によるAE波の基礎的特性の検討」，平成10年電気学会放電研究会，ED-98-167, pp.13-18 (1998)
- (6) L. E. Lundgaard: "Partial Discharge - Part XIII: Acoustic Partial Discharge Detection - Fundamental Considerations", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No. 4, pp. 25-31 (1992)
- (7) 佐々木恵一，佐藤純一，根本英樹，澤田彰，広井克之，渡部剛士：「部分放電AE信号からの放電電荷量推定と絶縁異常診断」，2000年電気学会基礎・材料・共通部門大会，pp.102-107 (2000)
- (8) L. E. Lundgaard, R. S. Sigmond: "Discussion of an approach based on an energy model for assessment of particles in GIS based on their Acoustic signature", Proceedings of International Symposium on HV Engineering, Vol. 2, pp. 13-18 (1997)
- (9) R. Harrold: "Acoustical technology applications in electrical insulation and dielectrics", IEEE Transactions on Electrical Insulation,

Vol. EI-20 No. 1, pp. 3-19 (1985)

- (10) L. Lundgaard, M. Runde, B. Skyberg: "Acoustical Diagnosis of Gas Insulated Substations; A Theoretical and Experimental Basis", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, pp.1751-1758 (1990)
- (11) 尾上守夫：「固体振動論の基礎」，オーム社(1982)
- (12) 「超音波便覧」，丸善株式会社 (1999)
- (13) M. Kozako, Z. H. Tian, N. Shibata and M. Hikita: "Reduction of Continuous and Pulse-shape Noise by Digital Signal Processing for Reliable PD Detection in HV Substations", Proceedings of International Symposium on HV Engineering, Vol. 5, pp. 168-171 (1999)

小迫 雅裕

文発表賞B受賞。

(学生員) 1974年8月13日生。97年3月九州工業大学工学部電気工学科卒業。99年3月九州工業大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年4月同大学院博士後期課程進学，現在に至る。主として，部分放電測定によるGISの絶縁異常診断技術の確立に関する研究に従事。平成11年度電気学会論

大塚 信也

博士(工学)。低温工学協会，放電研究グループ会員。

(正員) 1971年1月16日生。94年3月九州大学工学部電気工学科卒業。96年3月九州大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。98年12月九州大学大学院システム情報科学研究科電気電子システム工学専攻博士課程修了。96年4月～98年12月日本学術振興会特別研究員。99年1月日本学

澤井 浩司

匹田 政幸

文賞，96年電気学会進歩賞。応用物理学会会員，IEEE会員。

(正員) 1970年1月15日生。95年3月静岡大学工学部電気工学科卒業。97年静岡大学大学院工学研究科終了。同年4月高岳製作所入社，現在に至る。主にガス絶縁開閉器の開発設計に従事。

(正員) 1953年10月23日生。82年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程修了。同年4月同大学助手，89年同講師，92年同助教授を経て，96年4月より九州工業大学工学部電気工学科教授，現在に至る。工学博士。主として，エネルギー機器の高性能化に関する研究に従事。85年8月～87年7月MIT高圧研究所客員研究員。95年電気学会論