FRPの絶縁破壊特性に及ぼす内部ミクロ界面の影響

正員 市川 健二 (労働省産業安全研究所)

正員 本山 建雄 (労働省産業安全研究所)

Influence of Internal Microscopic Interface on Electric Breakdown Characteristics of FRP

Kenji Ichikawa, Tatsuo Motoyama (National Institute of Industrial Safety)

Recently, the application of fiber reinforced plastics (FRP) for high-voltage use has rapidly increased. In particular, unidirectionally pultruded FRP rods have become indispensable for composite insulators or handling rods of circuit breakers and so on. Therefore, they are always required of the stable and excellent breakdown properties. As they are comprised of bundles of glass fibers and epoxy resin, and have a lot of internal microscopic interfaces which affect the breakdown properties.

In this paper, two kinds of unidirectionally pultruded FRP rods with voids and no void were prepared, and their electric breakdown characteristics were studied about the differences of the kind of the applied voltage, the interface angles (angle between the direction of glass fibers and that of rod electrode), and about the influence of the moisture ingress to FRP, medium existing around the rod electrode. Furthermore, the photographic observation of breakdown path and other places of FRP by means of Scanning Electron Microscope device and the electric field analysis by means of the computer software were conducted.

キーワード：FRP, 絶縁破壊電圧, 内部ミクロ界面, 界面角, 吸水性, 電界解析, SEM観察, 電極周囲の媒体

1. まえがき

近年, ガラス繊維強化プラスチック (FRP) が絶縁材料としての用途を拡大するにつれて, 高い絶縁破壊特性が要求されるようになった。FRPはガラス繊維の束と樹脂からなり, 成形方法によっては内部にミクロボイドが含まれる。そのため, 高い絶縁耐力はボイドの存在と, ガラス繊維と樹脂の界面の性質に影響される。特に, 内部に比較的多量のミクロボイドがあっても, 絶縁破壊はボイドの有無に関係なく, ガラス繊維と樹脂の界面を進むと言われる⁽¹⁾。実用のFRPでは, 界面の占める面積は大きく⁽²⁾, 絶縁破壊特性には界面のコントロールが非常に重要になる。

また, 吸湿による耐電圧や絶縁特性の低下にも界面が大きく影響すると言われ^{(1), (3)}, FRPの電気耐久性の改善と信頼性の向上のために界面の更なる解明が必要である。

本研究は, ミクロボイドを含んだ通常の一方引抜FRPロッドと加圧引抜によってミクロボイドをほとんど含まないFRPロッドを供試品として, 試験電圧の種類の違い, 界面の方向 (繊維方向) と電界方向 (棒電極の軸方向) のなす角 (以後, 界面角という) の違い, 及び試料の乾湿状態の違いによる絶縁破壊電圧 (BDV) を測定し, 絶縁破壊特性に及ぼす界面の影響を検討した。

2. 試料及び実験方法

<2.1> 試料 供試した2種類のFRPは, 共にエポキシ・Eガラス一方引抜成形ロッドであり, ガラス繊維はエポキシシラン処理されている。試料PU1(直径38mm)は単なる湿式引抜成型品で製法上ボイドを含む。一方, 試料PU2(直径35mm)は湿式引抜・5気圧の気中加圧成型品で製法上ボイドレスである。PU1及びPU2の物性を表1に示す。各ロッドより界面角が0°, 30°, 45°, 60°及び90°になるように切出した厚さ約20mmのFRPを試験片とした。試料への水分の吸収は, ポリマーがいの心材に関する吸水試験条件に従って⁽⁴⁾, 100℃の0.1%食塩水の中で約100時間煮沸することにより実施した。なお, ここでは吸水試料 (Wet sample) に対して, 吸水してない試料を一応乾燥試料 (Dry sample) と呼ぶ。

<2.2> 絶縁破壊試験 BDVを測定する絶縁破壊試験は, 試験片のはば中央に先端を丸めた直径3mmの穴を下面から5mm残してあけ, そこに先端を丸めた直径2.85mmのSUS棒電極を差込み, これを円板電極の上に載せ, 試験片及び電極全体をシリコン油中に置き, 棒-平板電極間に試験電圧を印加した。試料及び電極構成の概略を図1に示す (図中, 試料に引いた斜線は, 界面角を図示するために, 一例として試料中のガラス繊維の方向を示した)。試験電圧は, 交流50Hz, 直流, 及び1.2×50μsのインパルスである。交流電圧による試験は棒電極に昇圧速度5kV/sで, また, 直流電圧による試験は昇圧速度約500V/sで0Vから連続的に増加し, 試料を貫通破壊する電圧をBDVとした。インパルス電圧による試験は, インパルス

電圧を棒電極に加え、破壊しなければ、そのピーク電圧値を5~10kV増加して、試料を貫通破壊するピーク電圧を測定し、その値と直前の非破壊電圧の算術平均値をBDVとした。

2.3>測定データの整理 $\theta = 90^\circ$ のBDVは非常に高く、棒-平板電極間の距離が5mmでは、試料表面で閃絡を生じてBDVを求めることができないため、 $\theta = 90^\circ$ の試料については電極間の距離を2~3mmにして測定した。そのため、各界面角で測定されたBDVを単純に棒-平板電極間の距離で割った値を絶縁破壊の強さ(BDS)として各BDVを整理した。

試料数は各試験条件で3個準備して実施したが、極端な数値が出たものは除き、データはそれらの平均値で表示した。それ故データのバラツキは平均値の±15%以内である。なお、乾燥試料の交流及び直流での破壊試験では、極端な数値が現れた試験に対して試料を1~2個追加した。

表1. 供試FRPの物性等

Table 1. Physical properties of FRP used in experiment.

供 試 品		PU 1	PU 2
エポキシ樹脂		ビスフェノール系	環状脂肪族系
ガラス繊維		E ガラス	
製 法		湿式引抜	湿式引抜・ 気中加圧
ガラス繊維表面		エポキシシラン処理	
比 重		1.89	1.92
ガラス含有率	重 量	67%	70%
	体 積	50%	53%
エポキシ体積含有率		50%	47%
ロッド直径		38mm φ	35mm φ

図1. 試料及び電極構成

Fig. 1. Arrangement of experimental specimen and electrodes.

3. 実験結果及び考察

3.1> 界面角と絶縁破壊の強さ 図2の実線は乾燥試料を交流電圧で破壊させた場合のBDSを、図3の実線は

図2. 界面角に対する交流の絶縁破壊の強さ
Fig. 2. AC breakdown strength of FRP vs. interface angle.

図3. 界面角に対する直流の絶縁破壊電圧の強さ
Fig. 3. DC breakdown strength of FRP vs. interface angle.

図4. 界面角に対するインパルス電圧の絶縁破壊の強さ
Fig. 4. Impulse breakdown strength of FRP vs. interface angle.

図5. 絶縁破壊経路 (試料 PU2)
Fig. 5. Breakdown path (specimen PU2)

直流電圧で破壊させた場合のBDSを、また、図4の実線はインパルス電圧で破壊させた場合のBDSを示す。

これらの結果は、BDSが試験電圧の種類に関係なく、界面角が大きくなるに連れて高くなること、また、ポイドレスに作られた試料PU2の方がポイドありの試料PU1より高くなることを示している。なお、インパルス電圧ではPU1とPU2の試料間の差はバラツキの範囲以内であり、絶縁破壊に及ぼすポイドの影響は明白でないが、平均値から得られた近似曲線には多少の差が認められた。

図5は、ポイドレス試料PU2を棒電極付近で平板電極と垂直に切断して、絶縁破壊経路を観察した写真である。破壊は棒電極の先端周辺から進展している。また、界面角 θ が 0° の試料は電極間の最短距離、すなわち棒電極と平行な鉛直方向に破壊が進んでいるが、 $\theta = 30^\circ \sim 60^\circ$ までの試料では、絶縁破壊経路が電極間の最短距離でなく、界面方向、すなわちガラス繊維に沿って進んでいる。これから、 $\theta = 60^\circ$ の場合の絶縁破壊距離が電極間距離(5mm)に対して2倍の10mm($=5/\cos \theta$)になっても、破壊経路は界面に沿うことがわかる。一方、 $\theta = 90^\circ$ の貫層方向の絶縁破壊は、最初は横方向、すなわち沿層方向に伸びた後、ある所でガラス繊維間を垂直に貫通して破壊が形成されるが、試料によっては、たびたび試験片の切断面(沿層方向の全長:約20mm)まで破壊路が進展し、その後は試験片の表面を通して閃絡破壊を起こす場合がある。ポイドあり試料PU1の絶縁破壊経路を観察した結果も同様であり、エポキシ樹脂中にポイドを含んでいても絶縁破壊は界面に沿って進展することが確認され、FRPの絶縁破壊経路の決定には、ガラス繊維方向がエポキシ樹脂中のポイド以上に支配的である。

PU1及びPU2の試料ともガラス繊維表面はエポキシシラン処理され、繊維と樹脂との接着状態が改善されているが、絶縁破壊は界面に沿って進み、BDSは各試験電圧に対してPU1よりPU2の方が高い結果が得られた。このことから、繊維と樹脂の界面が改良された製品でもFRPの電氣的弱点は界面であり、部分放電によってトリリーが形成され、絶縁破壊が開始すると、破壊経路周囲のガラス繊維がバリアとなって破壊経路の変更が容易でなく、絶縁破壊が繊維に沿って進むものと考えられる。また、BDSの試料間の差は、破壊経路中に含まれる樹脂中のマイクロポイドの程度によって低下したと考えられるし、また、PU2の試料が加圧引抜成形品であり、ガラス繊維と樹脂の密着性がPU1より

更に改善されていることも影響しているであろう。

<3.2> 試料の吸水と絶縁破壊の強さ 図2,図3,図4の点線は、吸水させた試料におけるBDSを示す。水分はFRPのエポキシ樹脂部分に吸収されると考え、各試料の吸水率 M_1 を(1)式を用いて試料の重量変化から算出した結果を表2に示す。なお、FRPの吸水性に関する文献では、FRP全体の重量変化から吸水率を算出しているの^{(1), (3)}、表2に(2)式を用いて求めた吸水率 M_2 も示す。

表2. 吸水試料の吸水率

Table 2. Percentage of water absorption on the wet specimens.

試料 (試料比)	吸水率(%)	
	エポキシ樹脂内 M_1	FRP内 M_2
PU1	0.96 (0.73~1.11)	0.32
PU2	1.32 (1.13~1.48)	0.40
PU2/PU1	1.38	1.25

$$M_1 = \frac{\text{吸水量 } W}{\text{エポキシ樹脂の重量 } V_E} \times 100 (\%) \cdots (1)$$

ただし、

$$W = \text{FRPの浸水後の重量} - \text{FRPの浸水前の重量 (g)}$$

$$V_E = \frac{\text{FRPの浸水前の重量}}{\text{FRPの比重}} \times w \times c \quad (\text{g})$$

ここで、 w = エポキシ樹脂の体積含有率(%)

c = エポキシ樹脂の比重 ($= 1.25 \text{ g/cm}^3$)

$$M_2 = \frac{\text{吸水量 } W}{\text{FRPの浸水前の重量}} \times 100 (\%) \cdots (2)$$

吸水試料においても、BDSは界面角の増加に連れて増加し、PU2試料の方がPU1試料より高く、また、絶縁破壊経路はガラス繊維の界面に沿って進展するなどの特徴は乾燥試料と変わりはない。一方、吸水率 M_1 はPU1試料で平均0.96%、PU2試料で1.32%と、かなりの吸水状態を示すが、BDSの結果は、吸水試料と乾燥試料との間にあまり変化が見られず、 $\theta = 0^\circ$ の試料で直流及びインパルス電圧での破壊にのみ低下が見られただけである。この結果が正しければ、現状のFRPはIEC1109⁽⁴⁾で決められた試験条件を十分に満たしているだけでなく、100℃の食塩水で100時間煮沸してもBDSに何ら変化がないことになる。しかし、吸水している事実からして各界面角に対してもBDSに多少の低下があるのが普通である。そこで、吸水試料のBDSが低下しない原因を、以下簡単に検討する。

一つの推定として、吸水試料の表面は、試験前に0.1%の食塩水から取り出され、常温の水道水に3, 4時間ほど浸漬させたのち、薄紙で軽く拭かれて表面に付着した水分を除いたが、棒電極挿入用の穴(直径3 mm)の内壁は拭かれることなく、穴に入った水分を出すだけである。そのため穴の内壁はかなり濡れており、棒電極(直径2.85mm)と試料間の電氣的な接触状態が良かったと思われる。一方、乾燥試料での試験では、棒電極と試料の隙間にFRPより比誘電率の小さい空気、あるいは試験槽中のシリコン油が介在していたと考えられる。そのため乾燥試料での破壊試験では、印加電圧の増加と共に、まず、この隙間で部分放電が起こり、これがFRPでのトリートの発生を早め、全路破壊へと進展してBDSが低くなったものと考えられる。この様に考えると、吸水試料のBDSが低下してないのではなく、乾燥試料のBDSが試験条件の拙さから材料の真のBDSを測定しておらず、実際より低い値を示したものと考えられる。この仮説を棒電極先端の電界計算と、棒電極と試料の隙間に種々の比誘電率をもつ媒体を介在させたBDVの実験から検証してみた。

〈3.2.1〉棒電極先端の電界 図6は、有限要素法を用いた電界解析ソフトで求めたFRP内部及び棒電極周囲の電位分布である。解析はFRPの比誘電率を4.5、シリコン油の比誘電率を2.7、棒及び平板電極は完全導体として棒電極の電位を10kV、平板電極の電位を0Vとし、かつ、図6(a)では棒電極先端周囲に空気(比誘電率 $\epsilon=1.0$)が存在するとして、図6(b)では水分($\epsilon=80$)が存在するとして行った。棒電極周囲に空気が存在すると、その周辺の電位分布が狭まり電位が集中する傾向が見られるのに対して、水分が存在すると、その周辺の電位分布が丸みを帯び電位勾配が緩和される傾向が見られる。そこで、図6(a),(b)における棒電極先端直下のFRPの電界の強さを求めると図7のようになり、空気のような比誘電率の小さな媒体が棒電極先端周囲に存在すると、棒電極先端の電界が高くなり、部分放電が起こり易いことが認められる。

〈3.2.2〉棒電極周囲の媒体の影響 棒電極と試料の隙間に存在する媒体のBDVへの影響を調べるために、隙間に空気($\epsilon=1.0$)、シリコン油($\epsilon=2.7$)、メチレンクロライドを主成分にした液体($\epsilon=6.7$)、0.1%の食塩水($\epsilon>80$)を入れた状態でBDVを測定した。実験は、界面角 $\theta=0^\circ$ のPU1及びPU2の試料を用い、電極形状は図1に示した棒-平板電極であるが、棒電極は先端が丸められた直径1.0mmのSUS製棒である。試料は先端を丸めた直径1.5mmの穴を下面から5mm残してあけ、棒電極を差し込む前に、各媒体を注射針で注入した。空気の場合は穴に棒電極を挿入したのち、エポキシ系の接着剤で穴の上部を塞ぎ、空気を取り込まれた状態を作った。印加電圧は交流50Hzで昇圧速度は500V/sと、図1の実験よりかなり遅い。試料数は各3個で、データはその平均値である。

図8に、媒体の比誘電率を変数として、各媒体が棒電極周囲に介在した場合のBDSを示す。媒体が空気やシリコ

(a) 棒電極先端周囲に空気が存在する場合

(a) In the case of being air around the rod electrode tip.

(b) 棒電極先端周囲に水分が存在する場合

(b) In the case of being water around the rod electrode tip.

図6. 棒-平板電極におけるFRP内部の電位分布

Fig. 6. Equipotential distribution of internal FRP with rod-plane electrodes.

図7. 棒電極先端直下の垂直方向の電界の強さ

Fig. 7. Electric field intensity of vertical direction just under the rod electrode tip.

ン油ではBDSが低く、試料間の違いが明確でないが、FRPの比誘電率より大きい $\epsilon=6.7$ の液体や食塩水では高くなり、試料間の違いも明確になる。それ故、先の図1による乾燥試料での実験では、棒電極周囲に空気か又はシ

リコン油が介在し、低いBDVが測定されたものと推定される。なお、この実験で、媒体が空気の場合、図1の実験と異なりBDSに試料間の差が現れていないが、棒電極の太さや昇圧速度の違いによるものと思われる。

<3.3> 試験電圧の種類と絶縁破壊電圧 交流絶縁破壊電圧のpeak値に対する直流絶縁破壊電圧、及びインパルス破壊電圧から絶縁耐力比及びインパルス比を求めた結果を図9に示す。

PU1及びPU2試料の絶縁耐力比及びインパルス比は、絶縁破壊距離 ($d = 5, 5.77\text{mm}$) が短いと多少大きく、 d が

ス破壊電圧から絶縁耐力比及びインパルス比を求めた結果を図9に示す。

図9. 絶縁耐力比及びインパルス比

Fig. 9. Dielectric strength ratios and impulse ratios

図8. 棒電極周囲の媒体の比誘電率とBDV

Fig. 8. Relative permittivity of medium around rod electrode vs. BDV

図10. 垂直方向の断面写真 (PU1)

図11. 水平方向の断面写真 (PU1)

図12. 垂直方向の断面の拡大写真 (PU1)

図13. 垂直方向の断面写真 (PU2)

図14. 水平方向の断面写真 (PU2)

図15. 垂直方向の断面の拡大写真 (PU2)

Fig. 13. Crosssection of vertical direction. Fig. 14. Crosssection of horizontal direction. Fig. 15. Enlarged crosssection of vertical direction.

棒電極先端

(a)

(b)

図16. 絶縁破壊経路の拡大写真 (PU1)

Fig. 16. Enlarged crosssectional photograph of electrical breakdown path (PU1).

棒電極先端

(a)

(b)

図17. 絶縁破壊経路の拡大写真 (PU2)

Fig. 17. Enlarged crosssectional photograph of electrical breakdown path (PU2).

長いと ($d=7.07$, 10mm) 小さいが、ほぼ1.30~1.60付近にある。絶縁耐力比及びインパルス比が高くなる原因の一つに電極周辺の影響があると言われるが⁽⁵⁾、図より吸水試料では、絶縁耐力比及びインパルス比が共に低くなっており、棒電極周辺での試料との接触状態が改善されたためと考えられる。

<3.4> 走査電子顕微鏡による試料観察 PU1試料のガラス繊維と垂直方向の断面写真を図10に、ガラス繊維と水平方向の断面写真を図11に示す。これより、PU1の試料には多くのボイドが含まれており、大きいもので直径が約50~60 μm 、長さが約250 μm 程度のものがある。また、図12は、ガラス繊維と垂直方向の断面の拡大写真である。これより、ガラス繊維1本の直径は約12~15 μm であり、繊維同士が接触している箇所もあるが、大部分は周囲にエポキシ樹脂が存在する。

同様に、PU2試料のガラス繊維と垂直方向の断面写真を図13に、ガラス繊維と水平方向の断面写真を図14に示す。PU2の試料にはボイドが観察されないが、PU1試料より繊維の混ざり方に粗密の箇所が多々見られる。また、図15は、

ガラス繊維と垂直方向の断面の拡大写真であるが、ガラス繊維1本の直径はPU1試料と同じく約12~15 μm である。

図16は、PU1試料の交流電圧による絶縁破壊経路での拡大写真である。交流電圧による破壊経路の跡は、周囲のエポキシ樹脂を溶解している。しかし、破壊路中の繊維自体は所々で分断されるが、溶解していないようである。図16(b)は、倍率を少し下げて破壊経路の周囲を見た写真であるが、破壊経路の周囲にかなり大きなボイドが存在しても、破壊経路を変更したり、広げるような傾向は見られない。一方、図17はPU2試料のインパルス電圧による絶縁破壊経路の拡大写真である。インパルス電圧による破壊経路は、交流と異なり進路が明白で、ガラス繊維がバリアのような働きをして、エポキシ樹脂の間を裂くような形で進展している。交流とインパルス電圧による破壊経路跡の違いは、貫通破壊路が形成された後、交流破壊では試験装置の遮断器が開放するまでエネルギーが供給され続けるため、破壊路周辺のエポキシ樹脂がジュール熱で溶解したためと思われる。

4. ま と め

一方向引抜FRPについて、棒-平板電極を用いて絶縁破壊電圧に及ぼす界面角(ガラス繊維の方向と電界方向のなす角)の影響を検討した。その結果、次のようなことが明らかになった。

(1) FRPのBDSは、試験電圧の種類に関係なく、界面角が大きくなるに連れて高く、かつ、ボイドレスに作られた試料PU2の方がボイドありの試料PU1より高い。

(2) 絶縁破壊は、界面角 $\theta=90^\circ$ の試料を除き、ボイドの有無に関係なくガラス繊維に沿って進む。それは、 $\theta=60^\circ$ の試料で電極間距離が5mmであっても、絶縁破壊距離は2倍の10mmのガラス繊維に沿って絶縁破壊する。

(3) $\theta=90^\circ$ 、すなわち貫層方向の絶縁破壊は、沿層方向のそれと比べて非常に高くなり、ガラス繊維をぬって破壊が進み難いことを示した。

(4) 試料の吸水量は、環状脂肪族系エポキシ樹脂を用いた試料PU2の方が、ビスフェノール系エポキシ樹脂を用いた試料PU1より多い。しかし、本実験の試験方法で求めた絶縁破壊電圧は、ほとんどの界面角に対して乾燥試料のそれとほぼ同じ値を示した。

(5) 乾燥試料と吸水試料の絶縁破壊電圧に違いが現れない理由として、棒電極と試料との電気的な接触状態の違いがあると考えられる。すなわち、吸水試料では棒電極と試料との隙間が水分で密着されているのに対して、乾燥試料では空気あるいはシリコン油が存在し放電が起こり易くなり、トリ-の発生が早まり絶縁破壊電圧が低下したと考えられる。

(6) 棒電極と試料との隙間が水分(比誘電率 $\epsilon=80$)、又は空気($\epsilon=1.0$)で満たされたときの棒電極先端の電界を計算した結果は、水分を含んだ場合、電界分布がなめらかな変化で電界が低くなり、トリ-の発生が抑制されることが確認された。

(7) 棒電極と試料との隙間に、比誘電率の異なる媒体を入れて絶縁破壊電圧を測定した結果は、媒体の比誘電率がFRPの比誘電率より小さい場合は低く、大きい場合は高くなることが確認された。

試料にあける穴の直径や先端形状は異なるが、棒-平板電極を用いた高分子材料の絶縁耐力試験法が、現在JISなどで採用され^{(5)・(6)}、絶縁破壊試験にも流用されているが、試料内に棒電極を差し込んで絶縁破壊電圧を測定する場合には、棒電極と試料の隙間でトリ-の発生を早めるような部分放電が起こらないような工夫が必要がある。

(8) 試料PU1に含まれるボイドは、繊維方向に沿って生じており、大きいもので直径約50~60 μm 、長さ250 μm 程度のものがある。また、ガラス繊維はPU1、PU2試料とも12~15 μm である。

(9) インパルス電圧による破壊は、破壊路周囲のエポキシ樹脂が溶解してなく破壊路を観察できる。破壊路は界面を進んでいる箇所もあるが、繊維間のエポキシ樹脂中を

ガラス繊維がバリアとなって進んでいるようにも見える。

終わりに、本研究を行うに当たって日立化成(株)門谷建蔵博士に過大な御指導、助言を頂いた。ここで深く謝意を表します。

(平成 7年12月28日受付, 平成 8年 5月24日再受付)

文 献

- (1) H. C. Karner, A. Lange: Moisture absorption and electrical treeing in glassfibre reinforced castresin, Proc. of Int. Conf. on Elect. Insul., IEEE, pp. 326~359, (1990)
- (2) H. C. Karner, M. Ieda: Technical aspects of interfacial phenomena in solid insulating systems, Proc. of 3rd Int. Conf., pp. 592~597, (1991)
- (3) A. Schutz, H. C. Karner: Moisture absorption of glassfibre reinforced epoxy resin., Proc. of 8th Int. Symp. on High Voltage Eng., pp107~110, (1993)
- (4) IEC1109 : Composite insulators for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000V - Definitions, test methods and acceptance criteria, First edition, 1992
- (5) 電気学会: 放電ハンドブック, pp. 430, (1974)
- (6) 日本工業標準規格: 熱硬化性プラスチック一般試験方法, JIS K6911, (1979)
- (7) IEC243-1: Methods of test for electric strength of solid insulating materials., Part 1: Tests at power frequencies.

市川 健二 (正員) 1943年2月4日生。65年3月武蔵工業大学電気工学科卒業。同年4月労働省産業安全研究所勤務。電気災害の防止の研究に従事。この間、70年3月東京電機大学大学院修士課程卒業。現在、同所主任研究官。電気設備学会会員。

本山 建雄 (正員) 1949年9月16日生。74年3月北海道大学工学部大学院工学研究科(電気工学専攻)修士課程卒業。同年4月労働省産業安全研究所勤務。電気災害の防止の研究に従事。現在、同所主任研究官。安全工学協会会員。