間接校正によるC Vケーブルの 部分放電測定法の検討

正員 角田 美伯 (三菱電線工業)
正員 諸岡 繁樹 (三菱電線工業)
正員 大高 巖 (三菱電線工業)

Study on Indirect Partial Discharge Calibration for XLPE Cable Lines

Minori Kakuta, Member Shigeki Morooka, Member Iwao Ohtaka, Member

(Mitsubishi Cable Industries, LTD.)

This paper presents a new frequency selection method for the partial discharge detection and calibration of cable lines. By using convergence frequency of cable impedance to surge impedance, indirect calibration at Insulation Joint (IJ) can be done with quantitatively.

For detecting small discharge in cable lines with high sensitivity, IJ detection method and indirect calibration procedure had been proposed and reported data at EHV line. But quantitative calibration condition for the IJ detection is not disclosed.

We have investigated cable impedance characteristics which converge to surge impedance at the high frequency. By selecting the convergence frequency as discharge detection amplification, quantitative insulation characteristics of cable lines can be evaluated by partial discharge detection.

キーワード：部分放電検出、間接校正、検出周波数選択、インピーダンス周波数特性

1. まえがき

部分放電測定は、非破壊試験としての優れた特長を生かし、各種供試体の絶縁試験に用いられている。絶縁体を押出製造する架橋ポリエチレンケーブル（以下C Vケーブルと略）と接続部を現場で施工した線路の竣工試験などでは微小な絶縁欠陥を検出するため、高感度部分放電測定が必要である。電力ケーブルの部分放電測定は、高感度測定の他、分布定数試料固有の反射パルスの重なりで、長手方向の放電発生位置と測定感度変動の問題があり、多くの検討が行われている。ケーブル内の反射パルスの重なりで生じる長手方向の測定感度変動を少なくし、さらに高感度測定のため数100kHz以下の周波数を非共振増幅する方法⁽¹⁾などが報告されている。また、変電所の高信頼度化やコンパクト化のため、線路端末充電部を密閉した方式も多用され電圧無露出状態で部分放電測定が必要である。

この問題に対し、絶縁接続部（以下I Jと略）で、充電部に触らず、部分放電の検出と校正を行う方式⁽²⁾の報告がある。放電電荷の定量評価のため、既知の大きさの模擬電荷を注入し感度校正を行う。I Jでの測定では、電荷を注入し得る場所の関係で、電荷の大きさに関してつぎの問

題が生じる。

線路のI Jで電荷校正を行う場合、放電が生じ得る内部導体としゃへい間に電荷を注入できない。そのため、ケーブル内の放電を十分に模擬できず、I Jで検出する放電電荷測定の定量性が悪化する。またケーブル内の反射パルスの重なりと共振増幅固有の応答が加わり、検出電荷の大きさが変化する。共振増幅と組合せたI Jでの部分放電測定では、放電の発生位置に応じ、電荷応答が顕著に変動することがある。この問題は紙上討論⁽³⁾されたが、すべて解決されたとは言えない。I Jでの検出と校正による定量測定のこの問題の解決は、ケーブル線路の部分放電測定に必須の事項である。

筆者らは、I Jで部分放電を定量測定するには、検出信号の増幅周波数が重要な要因となることに着目した。そこで、部分放電の検出と校正をI Jで行う場合の、高周波共振増幅による定量測定に適した増幅周波数選定方法⁽⁴⁾を検討した。

本論文では、I Jでの測定による定量校正条件を明らかにし、次に、ケーブルインピーダンスの周波数依存性を求める。さらに、ケーブル長さとの関連で、サージインピーダンスに収束する周波数を求める。この収束周波数を用い、

線路スパン長に応じた増幅周波数を定め、校正ののち、共振増幅を用いた部分放電測定を行う。このように、新しい増幅周波数選定方法を用い、I Jでの検出と校正による部分放電測定（I J検出と呼ぶ）が、定量測定となることを報告する。

2. IJにおける部分放電検出と校正

<2.1> 部分放電検出回路

I J外周に金属電極を取付け部分放電を測定する。線路I Jで内部導体は接続されるが、しゃへい間は接続されない。I Jのしゃへい間に接続した検出インピーダンス Z_d に生じる電圧から内部現象を検出できる。 Z_d はしゃへいに直接接続せず、絶縁筒両側の防食層上に取付けた一組の金属電極に接続する。金属電極としゃへい間の静電容量および Z_d で図1に示す検出回路を構成する。

I J検出は従来の部分放電検出と同等の動作をする。金属電極による静電容量の全インピーダンスを Z_c 、ケーブルのサージインピーダンスを Z_0 。とすると、和 $Z_d + Z_c$ がI Jのケーブルしゃへい間に挿入され、I Jに向かう信号は反射（ $Z_d + Z_c \gg Z_0$ では反射係数+1）する。I J両側のケーブルインピーダンスを Z_1 と Z_2 とすると図1(c)に示すように、I J検出は従来の部分放電測定回路を二つ並べた回路と同じになる⁽⁵⁾。この回路で、 Z_1 と Z_2 は結合コンデンサ同等で、充電部に非接触で測定できる。

図1 I J部分放電検出回路

Fig.1 Detection at the Insulation Joint

<2.2> 間接校正回路

検出端注入の模擬電荷で試料の放電を校正する「間接校正」が集中定数試料で可能である。試料と結合コンデンサの静電容量を、 a および k とすると、検出インピーダンス Z_d に並列注入した間接校正の電荷 q_1 と試料に注入した「直接校正」の電荷 q は、 $q = (1 + a/k) q_1$ で表され、図2に示すように、試料の放電を検出端注入の電荷で校正できる。 $a = k$ の場合、 $q = 2 q_1$ で、間接校正電荷は試料に注入した電荷の半分に等しい⁽⁶⁾。

間接校正が、I Jで可能なら有益な校正法である。I J部のケーブル内部導体に、校正電荷は注入できない。しか

図2 部分放電検出回路

Fig.2 Partial Discharge Detection Circuit

し充電部に触らないので、線路が運転中でも校正可能で、間接校正はI Jの試験に適した校正法である。直接校正と間接校正の比率（直間比と略）は、I J両側のケーブルインピーダンス Z_1 と Z_2 の分圧比で定まる。 $Z_1 = Z_2$ の場合、直間比=2で、半分の校正電荷で内部の放電を代用できる。I Jの定量測定には直間比=2の条件がわかればよい。この条件はケーブルのインピーダンス特性から求まる。I Jでの間接校正と直接校正回路を図3に示す。

図3 I J部分放電校正回路

Fig.3 Calibration at Insulation Joint

<2.3> ケーブルのインピーダンス特性

ケーブルインピーダンスは、測定周波数に依って変化する。ケーブル長を l 、伝搬定数 $\gamma = \alpha + j\beta$ とすると、ケーブルインピーダンスは遠端の開放・短絡条件で定義され、表1で表される⁽⁴⁾。

伝搬減衰の小さい低周波ないし短いケーブルでは反射の影響を顕著に受ける。遠端開放のインピーダンス Z_{1r} は、 $0 < \beta l < \pi/2$ では容量性で、 $\pi/2 < \beta l < \pi$ では誘導性である。誘導性と容量性は、波長を λ とすると、 $\lambda/4$ ごとに繰返す。遠端短絡インピーダンス Z_{1s} では誘導性と容量性が逆になる。減衰が小さく $\alpha = 0$ とすると、インピーダンス変化は $\tan$ と $\cot$ で、零ないし無限大は、反射の重なりによる定在波の腹と節が測定端になる時である。

伝搬減衰が大きく反射の影響がない高周波ないし長いケーブルでは、 $\coth \gamma l$, $\tanh \gamma l$ ともに1になり、 Z_{1r} と Z_{1s} は Z_0 に収束する。反射の影響が無く、インピーダンスが Z_0 一定であることは、整合または無限長相当の状態である。

周波数の関数で表したインピーダンスの絶対値（ $f - Z$

表1 ケーブルのインピーダンス特性

Table 1 Impedance of Cables

遠端条件	減衰：小	減衰：大
遠端開放 Z_{1r}	$-jZ_0 \cot \beta l$ (反射大)	$Z_0 \coth \gamma l \rightarrow Z_0^*$ (反射小) (反射なし)
遠端短絡 Z_{1s}	$jZ_0 \tan \beta l$ (反射大)	$Z_0 \tanh \gamma l \rightarrow Z_0^*$ (反射小) (反射なし)
伝搬距離	短い(低周波)	長い(高周波)

* 整合または無限長相当

特性)を図4に示す。低い周波数では $\tan$ と $\cot$ で変化し高周波では Z_0 に収束する。特定長さのケーブルでは、ある周波数を境に、非収束から Z_0 に収束するように変化する。また、 $Z_0 = \sqrt{Z_{1r} \cdot Z_{1s}}$ から、この交点は Z_0 であり、収束値に等しい。ゆえに、IJ両側の Z_1 と Z_2 は、ケーブルの長さに応じて、 $f-Z$ 特性の如く、周波数に対して、非収束から収束状態になる。伝搬速度を v 、角周波数を ω とすると、 $\beta = \omega/v$ から、インピーダンスは周波数の関数となり、周波数とケーブル長さはインピーダンス変化に対して同等の寄与をする。

図4 ケーブルの $f-Z$ 特性

Fig.4 Outline of Impedance Characteristics

<2.4> 間接校正の定量測定条件

ケーブルインピーダンス収束特性から増幅周波数を選択することが間接校正の定量測定要件である。部分放電測定周波数とIJ両側のケーブル長から Z_1 と Z_2 の値が定まり、分圧比で直間比は決まる。 $Z_1 = Z_2$ の時、IJ検出は直間比=2となり、間接校正が可能である。一般にIJ両側のケーブル長さは等しくない。 $Z_1 = Z_2$ を成立させるには、 Z_0 に収束する周波数を増幅に使用すればよい。 Z_0 に収束すると、 $Z_1 = Z_2 = Z_0$ 、直間比=2で間接校正を用いた定量測定が可能である。直間比 $\neq 2$ の場合、間接校正の感度校正は定量性が低下する。また、IJ検出では直接校正は行えない。

3. 実験検討

<3.1> 実験回路と方法

6600V、60mm²CVケーブルとIJ保護管を用い模擬線路を構築した。模擬IJに250mと350mのケーブルを接続し、電荷校正を行うために、IJの内部導体は絶縁処理せず導体としゃへい間に電荷を注入可能状態とした。保護管の絶

縁層上に金属電極を取付け、その間に検出インピーダンス Z_d を接続し、IJ検出回路を模擬した。検出信号は、狭帯域共振増幅回路(スペクトラムアナライザR3261Aとプリアンプの組合せ)で増幅・測定した。増幅周波数を順次変化させ、各周波数ごとに、模擬IJの内部導体としゃへい間の直接校正応答と Z_d に並列注入した間接校正応答から直間比を計算した。十分なS/Nを得るため、2000pCをパルス発生器PGで注入した。実験回路を図5に示す。

図5 IJ校正実験回路

Fig.5 Experimental Circuit for Calibration

<3.2> 実験結果

まず、IJ測定用の周波数を検討した。狭帯域共振増幅の周波数を2MHzから20MHzまで、応答の極大と極小を確認しつつ変化(所用時間：約20分)させ、各周波数ごとに計算で求めた直間比を図6に示す。13MHz以上で直間比は一定の2であり、低い周波数では等差級数の極大を持ち、その間は低下している。この特性は250m側と350m側も $f-Z$ 特性同様の周波数変化⁽⁷⁾である。13MHz以上の直間比=2の状態はインピーダンス収束動作に対応し、IJ部の測定には、反射の影響の無い高周波の利用が適している。

図6 周波数と直間比の実験結果

Fig.6 Calibration Ratio at Insulation Joint

つぎにIJから離れた場所の測定用周波数を検討した。250mと350mのケーブル端末とそれぞれの模擬IJ部に電荷を注入し、共振増幅周波数をパラメータとし、応答を正規化し比較した。IJから注入点までの距離に対する応答率を図7に示す。5MHz以下の周波数では350m離れてもIJ部の応答の差は小さく、端末部(直線接続NJを距離的に模擬)の放電がこの周波数でIJ同等に測定できる。10MHz以上の周波数では応答は小さく、IJから離れた場所の検出感度は低下する。

図7 I Jからの距離と応答
Fig.7 Response along with cable

I JとN Jでは反対の周波数選定要求である。I J部だけの部分放電測定を定量的に高感度で行うには、インピーダンスが収束するよう、増幅周波数を高く選べば良い。これに対し、I Jから離れたN Jなどの部分放電測定には、伝搬減衰を考慮し、低い周波数の選択が必要である。低い周波数では、ケーブルインピーダンスは収束せず、直間比は2にならず表2に示すように定量性は良くない。

表2 測定対象と周波数選択
Table 2 Frequency and specimen

測定対象	測定周波数	インピーダンス	備考
I J	高周波 (減衰: 大)	Z_0 に収束	定量校正可能
N J他	低周波 (減衰: 小)	$ Z_0 \cot \beta l $ に近い変化	定量性に問題 (要検討)

<3.3> 線路の測定感度推定

互いに反対の増幅周波数選択の要求の整合を目的に、直間比と応答率を用い、線路長手方向の各場所の測定感度を計算した。まず、図6の直間比と図7の応答率を4点の周波数について整理した。この値と、(1)式を用いて測定感度を計算した結果を表3と図8に示す⁽⁸⁾。

$$\text{測定感度} = \frac{\text{直間比}}{2 \cdot \text{応答率}} \quad \dots(1)$$

ここでは、実規模線路を想定し計算した。減衰量が1/3のケーブルは長さ3倍のケーブルに相当すると考え、模擬線路の区間長を3倍し図8の実規模線路とした。1pCの測定⁽⁹⁾が可能な程度まで雑音は除去可能とした。20MHzの増幅周波数で、I J部の測定感度は高く、小さい放電が検出可能で、I Jから離れると測定感度は低下する。2.5MHzの周波数では、長手方向の減衰は少ないが、測定感度に幅を持っている。中間の10MHzでは、増幅周波数選択要求をほぼ両立する、長手方向に平坦な感度特性を示す。I Jだけを測定対象とすれば、インピーダンス収束周波数を増幅に用いればよい。想定した線路で、10MHz程度の周波数で

表3 測定感度の推定計算
Table 3 Sensitivity Calculation

周波数 (MHz)	直間比	応答率			測定感度(pC)		
		0m	250m	350m	0m	250m	350m
2.5	4.6~ 16.8	1.0	1.0	1.0	2.3~ 8.4	2.3~ 8.4	2.3~ 8.4
5	2.4~ 8.2	1.0	1.0	0.96	1.2~ 4.1	1.2~ 4.1	1.3~ 4.3
10	1.4~ 2.2	1.0	0.73	0.59	0.7~ 1.1	1.0~ 1.5	1.2~ 1.9
20	2	1.0	0.28	0.13	1.0	3.6	7.7

図8 実規模線路の測定感度推定
Fig.8 Measurement Sensitivity for Cable Lines

定量性と長手方向の双方が両立に近い場合もある。

4. 考察

<4.1> インピーダンスの収束条件

高い周波数は減衰が大きくインピーダンスは収束する。 $f-Z$ 特性は、図4に示すように、低周波ではケーブルの1/4波長の周波数で周期的に変化する。この周波数で、往復反射で定在波が生じる。伝搬速度を v とすると、最低共振周波数 $f_0 = v/4l$ であり、周波数 f_0 の等差級数の極大を持ってインピーダンスは変化する。インピーダンス収束は伝搬距離と関連し、最低共振周波数 f_0 に比例すると考えると、収束周波数 f_c は(2)式で与えられる。 n はケーブルの係数である。

$$f_c = n \cdot f_0 = \frac{n \cdot v}{4 \cdot l} \quad \dots(2)$$

f_c は f_0 に比例し、ケーブル長 l と波長($\lambda = 4l$)に反比例する。特定ケーブルの $f-Z$ 特性の収束から、所定長さの f_c は(2)式の計算で求められる。

<4.2> 超高圧ケーブルの $f-Z$ 特性

抵抗分圧の簡易測定法⁽⁴⁾で、超高圧CVケーブルの $f-Z$ 特性を測定した。トラッキングジェネレータ(TG)

とスペクトラムアナライザ (SA) を組合せ使用した。高周波を扱うためケーブルへの接続は最短距離で行うようアダプタを用い、抵抗箱を組合せた。信号配線には高周波同軸ケーブルを使用した。図9に示す測定回路で、1 mVの検出電圧は44オームになることを付録に示す。

図9 ケーブルの $f-Z$ 測定回路

Fig.9 Experimental Circuit for $f-Z$ of Cables

超高压CVケーブルの $f-Z$ 特性例を図10に示す。周波数は10kHz から20MHz までを掃引 (所用時間70ms) し、その周波数に対する電圧を分圧検出しインピーダンスに換算した。ケーブル長は266mで、金属およびPVCシースを施した後ドラム巻き状態で測定した。15MHz 以上の周波数でインピーダンスは収束している。収束以下の周波数ではインピーダンスの極大と極小が等差級数で生じている。この特性は正弦波信号を用いた測定法で得たもので、低域ではケーブルの反射の影響も含まれ、図6のパルスを用いた特性と同様の結果と考えられる。

本簡易法は、実用的な精度のサージインピーダンス測定法で、 $f-Z$ 特性の収束周波数測定に適している。図10の収束値から、 Z の値として30オームを得た。パルス反射法 (TDR法) で別途測定した結果は31オームであった。ただし、分圧器の抵抗のため、数100 オーム以上で測定誤差は大きくなる。

< 4.3> 定量測定の条件

まず、 $f-Z$ 特性から直間比と収束特性を検討する。ケーブル減衰特性は指数関数で表される。したがって、収束特性も指数関数で近似する。指数関数は、時定数の2倍程度までは直線近似でき、時定数の2.3倍で最終値との差は10%となり、5倍での差は1%に満たない。図6の直間比と比較のため、図10に横軸目盛が同等の $f-Z$ 特性を選んだ。特性は漸近線状に変化し15MHz 程度で収束している。 $f-Z$ 特性は正弦波を用いて、ケーブル内反射の影響としてインピーダンスを測定している。直間比は所定の場所に所定の大きさのパルスを注入し、反射の影響で生じる応答を周波数ごとに読取っている。いずれも周波数ごとにケーブル内の反射の影響が得られる測定である。したがって、図10の $f-Z$ 特性から、測定のバラツキはあるが、図6の直間比が得られることがわかる。

図10 275kケーブルの $f-Z$ 特性 (遠端開放)

Fig.10 $f-Z$ of 275kV XLPE cable

直間比はインピーダンス収束特性と直接関係し、 $f-Z$ 特性の測定は意義がある。指数関数は、初期には直線で近似できる。これが実用的な収束の範囲であり、収束周波数を計算する (2) 式の、距離と減衰の直線比例関係も成立すると考えられる。

低域周波数では Z_c の影響も生じる。図6の直間比の極小が、約7MHz以下で2より大きい。周波数低下によるインピーダンス Z_c の増大で、直接校正の応答が低下し、直間比の下限が2よりも大きくなっている。

つぎに、IJ部のしゃへい大地間のインピーダンスの影響を考える。図1の検出回路ではこれを無視した。IJ部両側のしゃへいの対地インピーダンスを Z_{s1} および Z_{s2} とすると、 $Z_{s1} + Z_{s2}$ は検出インピーダンス Z_d と並列に接続される。 $Z_{s1} + Z_{s2}$ も周波数に対して変化するが、値は100 ~ 数100 オーム程度で、 Z_d の抵抗低下として扱えば、校正で影響を除くことが可能と考えられる。

IJ部の部分放電特性は、インピーダンス収束周波数から増幅周波数を選定し、間接校正を用いて定量測定可能である。この収束特性はIJ両側のケーブルスパンにに応じた増幅周波数を選ぶことが必要である。インピーダンスが非収束の低周波では、間接校正の定量性は低下する。これを補うには直接校正が必要であるが、実線路のIJでは直接校正は不可能である。

< 4.4> 実線路への展開

IJ検出で、NJの部分放電測定も必要とされる。測定周波数の選び方で、長手方向の感度が平坦に近い結果も得ているが、NJの測定は今後の検討課題である。

IJ検出による、端末 (EB) の定量部分放電測定も必要である。機器直結EBでは、1相の絶縁筒を挟んだ検出は、絶縁筒両側の長さやインピーダンスも異なり、直間比は2にならない。2相を用いると、ケーブル長は等しく、インピーダンスが収束しなくても Z_1 と Z_2 が等しい。機器側の相間インピーダンス Z_m が Z_1 と Z_2 に比べ無視できれば直間比は2になる⁽¹⁰⁾。EBでは2相検出が実用的と考えられる。NJとEBの定量部分放電測定は、ケーブ

ル減衰を考慮した詳細検討がさらに必要である。

5. むすび

I J部に設けた金属電極で高周波を狭帯域検出増幅する部分放電測定時の定量校正を検討し、I J部を測定する実用的測定周波数の選択法を以下に明らかにした。

- (1) ケーブルの $f-Z$ 特性を測定し、インピーダンスの収束周波数 f_c を求める。
- (2) 予め測定した $f-Z$ 特性の f_c から、所定ケーブル長の f_c を計算で求める。増幅にこの周波数を用い、間接校正と測定を行い、I Jの定量測定が可能になる。
- (3) 抵抗分圧の簡易 $f-Z$ 特性測定は、実用的測定精度をもち、収束特性測定に適している。
- (4) $f-Z$ 特性を用いた増幅周波数選択で、I JのほかにNJやEBも同等に測定できる場合もある。I J以外のNJやEBの測定は、ケーブル減衰量の評価などから、今後の検討が必要である。

最後に、 $f-Z$ 特性を測定された、三菱電線工業(株)熊谷製作所検査課山口氏を始めとする関係各位に感謝の意を表したい。

(平成7年1月24日受付、同年6月27日再受付)

文 献

- (1) 電気学会技術報告Ⅱ部第4号、「ケーブルの部分放電の測定について」1968
- (2) 勝田、戸谷、遠藤、鈴木、関井、電学論B, 111巻 11号、平成3年
- (3) G. Katsuta, A. Toya, K. Muraoka, T. Endo, Y. Sekii, C. Ikeda, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, July, 1992. P. 1068-1079
- (4) 角田、平成4年電気学会電力・エネルギー部門大会 No. 342
- (5) M. Kakuta, IEE of Japan Power & Energy '93 No. 738
- (6) F. H. Kreuger "Discharge Detection in High Voltage Equipment" 1964, P. 109
- (7) 大高、安藤、角田、久米、中川、平成5年電気学会全国大会 No. 1569
- (8) 諸岡、大高、美納、角田、平成6年電気学会全国大会 No. 1610
- (9) M. Kakuta, T. Minoh, S. Morooka, IEE of Japan Power & Energy '94 No. 123
- (10) 諸岡、美納、吉田、角田、安藤、平成6年電気学会電力・エネルギー部門大会 No. 491

付録 抵抗分圧インピーダンス測定法の電圧換算

1) 測定回路

2) 等価回路と計算式

$$\begin{aligned} & \text{等価回路: } R \text{ (ケーブル)} \text{ と } Z \text{ (負荷)} \text{ の直列回路。} \\ & \text{計算式: } Z / (R + Z) = V_2 / V_1 \\ & \text{から} \\ & Z = V_2 \cdot R / (V_1 - V_2) \\ & V_2 : 1 \text{ mV} = 475/25 \rightarrow 19 \text{ mV} \end{aligned}$$

3) 電圧レベル (SA)

$$\begin{aligned} & 50 \Omega, 1 \text{ mW} \rightarrow 0 \text{ dB} \\ & V_0 = \sqrt{50 \times 0.001} = 0.224 \text{ V} \end{aligned}$$

4) 注入回路 (TG)

5) レベル計算

$$\begin{aligned} & Z (1 \text{ mV}) = 0.019 \times 1000 / (2 \times 0.224 - 0.019) = 44 [\Omega] \\ & (TG : 0 \text{ dB 時}) \end{aligned}$$

角 田 美 伯 (正員) 1943年 1月13日生。1966年 3月電気通信大学電気通信学部電波工学科卒業。1968年三菱電線工業(元、大日本電線)入社、現在に至る。電力ケーブルを主とした保守技術の開発に従事。電力研究開発部勤務。1981年渋沢賞受賞。電子情報通信学会会員。

諸 岡 繁 樹 (正員) 1963年 2月 1日生。1985年 3月九州工業大学工学部Ⅱ部電気工学科卒業。同年4月三菱電線工業(株)入社。電力研究開発部の後、現在電力技術部勤務。電力ケーブルの保守・監視システムおよび電力ケーブルの開発に従事。

大 高 巖 (正員) 1967年 1月20日生。1992年 3月横浜国立大学大学院工学研究科電子情報工学専攻修士課程終了。同年4月三菱電線工業(株)入社。現在に至る。電力研究開発部勤務。電力ケーブルの保守・監視システム、CVケーブルおよび付属品の開発に従事。