油浸絶縁の直流極性反転時の過渡電界と絶縁強度の検討

池田 正巳*, 坂口 寿美子**, 小山 光敏**, 井上 保**, 匹田 政幸*

(*:正員, 九州工業大学, **:正員, 東芝)

Study on Transient Field Intensity and Dielectric Strength
for DC Polarity Reversal Voltage in Oil-Immersed InsulationMasami Ikeda*, Sumiko Sakaguchi**, Mitsutoshi Oyama**, Tamotsu Inoue**, Masayuki Hikita*
(*:Kyushu Institute of Technology, **:Toshiba Corporation)

In the DC system, the DC converter transformer is subjected to the polarity reversal voltage, which induces the transient field intensity in the oil portion of the oil-immersed insulation system.

In the paper, the transient field intensity is discussed during the DC polarity reversal in the oil-immersed insulation system. The authors describe a calculation method of the transient field intensity, using the surface charge method. The estimation method of the dielectric breakdown field intensity is proposed for the DC polarity reversal voltage. The estimated breakdown field intensity is compared with measured one.

Based on the calculation method of the transient field intensity, authors also investigate the effects of temperature and polarity reversal time on the transient field intensity during the polarity reversal.

キーワード：油浸絶縁、直流、極性反転、過渡電界、極性反転時間、強度特性

1. まえがき

四国橋湾火力発電所の発生電力を関西方面に送電する紀伊水道直流連系プロジェクトの機器開発、製品化が 2000 年の運転開始を目指して、鋭意進められている⁽¹⁾。当初は 250kV で運転されるが、将来的には 500kV に昇圧される計画のもとに、一部機器は直流 500kV 設計になっている⁽²⁾。また、中国を始めとして世界各所で高電圧直流送電の計画が進められている⁽³⁾。

交直変換所の変圧器や直流リアクトルなど直流機器は、通常、油とプレスボードなどの油浸紙との複合構成で絶縁される。

直流（以下 DC と略す）機器には、直流電圧、交流電圧、インパルス電圧の他に DC 系統特有の極性反転電圧が加わる。油と油浸紙からなる複合絶縁部に極性反転電圧が加わると油に過渡的に高い電界が生じ、部分放電ないしは絶縁破壊が起こることが知られている。

この極性反転電圧が直流絶縁機器の設計の鍵をにぎっており、機器の体格はこの絶縁評価により決まると言っても過言ではない。この過渡極性反転電圧を実測した長谷川らの研究があり⁽⁴⁾、どのような過渡電圧であるかはイメージ図で示されている。それを電気光学カー効果をもとに実測した研究がある⁽⁵⁾。筆者の知るかぎり、DC 極性反転電圧

の過渡電界を実測した世界でも初めての貴重な研究である。

しかし、これまで油入絶縁の DC 極性反転時の過渡電界を数値解析した例はなく、未知の分野であった。筆者らは本論文でこれらの背景にもとづき油入絶縁の DC 極性反転時の過渡電界を表面電荷法を用いて数値解析し、その結果との妥当性を検証するとともに、典型的な絶縁モデルについて、計算と実測のつき合わせを行う。

また、開発した解析法を用いて、DC 油入絶縁における極性反転試験の問題点や絶縁上の厳しさを数値的に検討し、その絶縁設計法を提案する。

2. 過渡電界計算法^{(6), (7)}

過渡電界計算ではその計算過程に容量場と抵抗場が同時に存在する。ここでは表面電荷法による容量・抵抗混合場の過渡電界を求める計算法と、その適用例について述べる。

〈2.1〉基本式 誘電率(ϵ)と導電率(κ)を考慮する媒質の境界面では境界面電荷密度を $\sigma_s(t)$ とすれば(1)、(2)式が同時に成立する。

$$\nabla D = \nabla (\epsilon E) = \sigma_s \dots\dots\dots (1)$$

$$\nabla J = \nabla (\kappa E) = - \frac{\partial \sigma_s(t)}{\partial t} \dots\dots\dots (2)$$

図 1 に示すように媒質 1, 2 を流れる電流を J_1 , J_2 とすれば(2)式は(3)式のように表される。

$$J_{1n} - J_{2n} = -\frac{\partial \sigma_s(t)}{\partial t} \dots\dots\dots (3)$$

J_{1n}, J_{2n} : 法線方向電流密度

図1 媒質境界面

Fig.1. Boundary of materials

(2)式より(3)式はある時刻 t にて(4)式ようになる。

$$\kappa_1 E_{1n}(t) - \kappa_2 E_{2n}(t) = -\frac{\partial \sigma_s(t)}{\partial t} \dots\dots\dots (4)$$

$E_{1n}(t), E_{2n}(t)$: 媒質1、2における時刻 t の法線方向電界

ここで t を Δt ずつ増えて行く離散的な値とし、ある時刻が $m\Delta t$ (m :整数)と表せるならば、(4)式の電荷密度の時間変化量の $t = t_m$ における値は t_{m-1} の電荷密度とその時間微分を用いた差分表式にて(5)式のように表される。

$$\sigma_s(t_m) \doteq \sigma_s(t_{m-1}) + \Delta t \frac{\partial \sigma_s(t_{m-1})}{\partial t} \dots\dots\dots (5)$$

(4)、(5)式より $\sigma_s(t_m)$ は

$$\sigma_s(t_m) \doteq \sigma_s(t_{m-1}) - \Delta t (\kappa_1 E_{1n}(t_{m-1}) - \kappa_2 E_{2n}(t_{m-1})) \dots\dots\dots (6)$$

(6)式より時刻 t_m の電荷密度 $\sigma_s(t_m)$ は、時刻 t_{m-1} の電荷密度と境界面の電界の垂直成分 $E_{1n}(t_{m-1}), E_{2n}(t_{m-1})$ が分かれば求められる。

従って、初期電荷密度が既知(通常ゼロ)であれば(1)式を用いて電界計算を行い、その電界を基に(6)式を用いて境界面電荷密度を逐次求めれば過渡的な電界計算を行うことが可能となる。

<2・2>モデル計算による検討 上記の定式化の妥当性を確かめるため、図2(a)に示す同軸円筒モデルに図2(c)に示す立ち上がり1msのステップ電圧が印加された時の媒質境界面Aの過渡電位を計算し、回路解析(EMTP)の結果と比較する。媒質1、2の体積抵抗率 ρ は同じとし、 ρ を表1のように変化させて検討を行なう。回路計算に用いる同軸円筒モデルの等価回路の単位長さ(1m)当りの抵抗・容量の値も表1に示す。図3は本手法と回路解析(EMTP)の計算結果である。両者の差はいずれも1%以内であった。又、本結果は名古屋大学での実測した結果ともおおむね一致している⁽⁵⁾。従って本解析は妥当と考えられる。

(c)ステップ電圧

図2 計算モデルとステップ電圧

Fig.2. Calculation model and step voltage

表1 媒質の体積抵抗率 ρ と容量・抵抗値

Table 1. Volume resistivity ρ , capacity and resistance of materials

条件	ρ [$\Omega \cdot \text{cm}$]	媒質1		媒質2	
		R_1 [Ω]	C_1 [F]	R_2 [Ω]	C_2 [F]
1	1.0E+20	1.7E+17	3.0E-10	8.1E+16	1.1E-10
2	1.0E+14	1.7E+11	3.0E-10	8.1E+10	1.1E-10
3	1.0E+13	1.7E+10	3.0E-10	8.1E+9	1.1E-10
4	1.0E+12	1.7E+9	3.0E-10	8.1E+8	1.1E-10

(1[m]当り)

図3 過渡電位解析結果

Fig.3. Calculation results of transient voltage

3. 実験方法

<3・1>試料 試料は、JIS 2号規格変圧器絶縁油とプレスボードとを組み合わせた図4の構造の複合絶縁とした。500mm Φ の2枚の平板電極を45mm離して対向させ、その間に3枚の5mm厚のプレスボードをギャップ長が10, 10, 5, 5mmとなるように配置させた。電極の一方をブッシングを介して、極性反転可能な直流発生装置に接続し、他方の電極を部分放電検出インピーダンスを介して接地した。これらの試料のプレスボードは72時間の熱風乾燥した後、試験用タンク内にセットした。その後4時間真空引きした後、真空脱気した変圧器油を注油した。油は、脱気処理することで10ppm以下の水分量に抑えた。

図4 試料と実験装置
Fig.4. Test specimen and set-up

DC 油浸絶縁における、プレスボードと油の体積抵抗率の比は高温に比べ室温の方が高くなる。体積抵抗率の比が大きくなるほど片寄った電位分布になり、そのため室温のほうが高温より極性反転試験では放電電圧が低くなる⁽¹⁾。従って、試験はすべて室温 4~6℃、気圧 99~100kPa の雰囲気で行った。試料は 1 回の絶縁破壊ごとに新しいものに交換した。

＜3-2＞試験回路および電圧印加方法 2MV 直流 (DC) 発生装置を用いた。この発生器は 750kV までの極性反転が負荷を切り離すことなく、200ms で切換可能である。図 5 に試験回路と電圧印加法を示す。正および負の直流単極性試験は所定の印加電圧を t_d 時間 (10 分間と 30 分間) 耐え

(a) 試驗回路

(b) 電圧印加法

図5 試験回路と電圧印加法

たら、*印点で急激に接地した。極性反転試験は極性反転時間 200ms で正負同じ試験電圧をそれぞれ t_d 時間印加し、耐えたら電源を切り、10 分間無電圧とし、次のステップの電圧 (20kV ステップ) に上昇させた。ここで t_d を 10 分と 30 分とつけたが、これはこの程度の時間をとれば直流分布になると考えたためである⁽⁴⁾。実験温度が 4 ~ 6℃であることと、実験後実施した解析 (後述する<5.3>節) を考えると直流分布になるには 30 分あれば十分であるが、10 分間ではやや短いがおおむね直流分布になっていると考えている。

試験のサンプル数は同一条件当たり2であるので、総サンプル数は14である。

＜3・3＞放電の確認方法 極性反転時にはバリヤ間の油ギャップが放電しても全路破壊に至らない。従って試料の放電はタンクの側面窓からのテレビカメラでの観測、電圧波形の観測、部分放電電流の計測、それに放電音によって検出された。ここで部分放電電流は図 5 (a) の検出インピーダンスで $50 \text{ k}\Omega$ として検出し、その検出パルスをペン書きオシロスコープで記録した。直流極性反転電圧の場合部分放電が発生すると 10000 pC 以上の大きなパルスが検出されるので感度は問題なく検出できた。

4. 実験結果

＜4・1＞直流および極性反転試験結果 試験結果を表2に示す。この表中で(+)、(-)とはそれぞれ直流単独の試験の極性を示し、(+) $\rightarrow$ (-)あるいは(-) $\rightarrow$ (+)は極性反転試験の極性反転前後の極性を示す。放電電圧は絶縁破壊電圧ないしは部分放電開始電圧を示す。極性反転試験ではほとんど全て、油ギャップで破壊し、 10^{-8} ～ 10^{-7} C オーダーの大きな部分放電の発生をみた。テレビカメラでの観察、部分放電パルスでの検出、もれ電流レコーダ、放電音とも確実に検出できる程の大きな部分放電の発生であった。

部分放電の開始時間は発生した場合の極性反転完了後500~1000msで発生することが多かったが、30秒間に5回も放電するケースも1度あった。

表2 直流および極性反転試験結果

Table 2. Test results for DC and polarity reversal voltages

No.	印加時間 Td (分)	印加極性	放電電壓 (kV)	平均 (kV)	極性比 基 準	同一極性 時間 比	極性反転 極 性 比
1	10	(+)	440	450	100.0%	100.0%	—
2	10	(+)	460				
3	10	(-)	520				
4	10	(-)	540	530	117.8%	100.0%	—
5	10	(+)→(-)	260				
6	10	(+)→(-)	300				
7	30	(+)	400	400	100.0%	88.9%	—
8	30	(+)	400				
9	30	(-)	460				
10	30	(-)	440	450	112.5%	84.9%	—
11	30	(+)→(-)	300				
12	30	(+)→(-)	300				
13	30	(-)→(+)	260	280	70.0%	—	93.3%
14	30	(-)→(+)	300				

<4・2>結果の考察 表2の結果から次の事が言える。

- (1) DC 破壊電圧は(+)極性の方が12.5~17.8%低い。極性反転電圧では62~75%に低下する。
- (2) DC 10分と30分の放電電圧の差は(+)11%, (-)で15.1%であったが、30分間と1時間の差は他の実験データではその差は少なくなる⁽⁵⁾。10分と30分で放電電圧に差があるのは、10分では直流分布に若干なりきらなかった点と電圧印加時間の依存性が重なったためと考えられる。
- (3) (+)→(-)より(-)→(+)の方が約7%放電電圧は低い。

5. 検討

<5・1>油入絶縁モデルの過渡電界解析 上記実験に用いた試料について過渡電界解析を行う。図6にその計算モデルと印加電圧を示す。室温は6°Cの場合を想定し、モデルの体積抵抗率は油が $1.9E+14 \Omega \cdot \text{cm}$ 、プレスボードが $3.6E+16 \Omega \cdot \text{cm}$ ⁽⁵⁾とした。印加電圧は±100V、極性反転時間は200msとし、油道寸法が大きく最弱点と考えられる油部×印のP点の過渡電界解析を行う。図7にその結果を示し、最高電界は5.29V/mmである。

図6 計算モデルと印加電圧

Fig.6. Calculation model and application Voltage

図7 P点電界解析結果

Fig.7. Calculation results of electric field at point P

<5・2>極性反転電圧に対する破壊ストレスの検討 極性反転の極性と印加時間の違いはあるが、破壊電圧は、260,300,300,300,260,300kV でこれらを平均すると 287kV

である。この極性反転電圧に対する室温での極性反転電界は図7から(7)式で与えられる。

$$5.29 (\text{V/mm}) \times \frac{287000\text{V}}{100\text{V}} = 15.2 \times 10^3 (\text{V/mm}) \cdots (7)$$

これを時間に対する関数 E_r で表わすと(8)式のようになる。

$$E_r (\text{kV/mm}) = 15.2 \exp\left(-\frac{t}{166}\right) \cdots (8)$$

波形はただか数10秒の指数関数で漸減する波形であり、直流絶縁というより、交流短時間と類似の破壊特性を示すものと考えられる。

従って、交流の既知の破壊特性から極性反転の破壊電界を推定してみる。指数関数で漸減する波形の等価印加時間をここでは90%以上の電界が加わった時間(90% Stressing Time、 t_{90})と仮定してみると図7の Stressing Time、 t_{90} は17.5秒と算出できる。ここで90%にしたのは油浸絶縁の破壊のパラツキを考えてみると、ほとんどの破壊が90%以上で起こり、90%以下では破壊することはまれである⁽¹⁾ことを根拠にしている。<4.1>で述べたように、500~1000msで発生することが多い事は、これを裏付けている。しかし、17.5~30秒間に5回も放電する例外のケースが1度あった。このように Stressing Time が例え約2倍になっても後述するV-t特性のn乗則の傾き(時間依存性)は大きくないので、数値面では大差ない。従って本論文では90% Stressing Timeをとることにした。

一般に油道の交流部分放電開始電界は(9)式で表わせる⁽¹⁰⁾。

$$E = k \cdot d^{-a} \cdots (9)$$

ここに、 $E (\text{kV/mm})$: 1分間電圧に対する交流破壊電界(kV/mm、rms値)、 $d (\text{mm})$: 油道寸法

$$k=20 \sim 23, a=0.30 \sim 0.33$$

ここで中央値として $k=21.5$ 、 $a=0.315$ として、(9)式に油道 $d=10\text{mm}$ を代入すると

$$E = 21.5 d^{-0.315} = 10.4 (\text{kV/mm}) \cdots (10)$$

この時間領域におけるバリヤ絶縁のv-t特性のn乗則のnは27.5と求まっている⁽¹⁾。このnを用いて17.5秒の交流波高値に換算すると

$$E = 10.4 \times \left(\frac{60}{17.5}\right)^{1/27.5} \times \sqrt{2} = 15.4 (\text{kV/mm}) \cdots (11)$$

この15.4kV/mmという値は実測で求めた極性反転時の過渡電界15.2kV/mm((7)式)とよく一致している。すなわち直流極性反転時の破壊電界は交流の破壊電界(波高値)と一致するという事である。

<5・3>極性反転電界の温度依存性 油入絶縁機器を構成する油やプレスボードは温度によって体積抵抗率が変化する。従って電界も温度により異なる。そこで図6に示すモデルのP点における極性反転時の電界値を80°C、20°C、-20°Cについて検討する。印加電圧は+100Vから-100Vに200msで極性反転する直流電圧である。表3に今回の解析に用い

た温度による体積抵抗率を示す。

表 3 温度と体積抵抗率

Table 3. Temperature and volume resistivity

温度(°C)	油 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	プレスボード($\Omega \cdot \text{cm}$)
80	1.0E+13	1.0E+14
20	1.0E+14	1.0E+16
-20	4.7E+14	2.2E+17

図 7 に過渡電界解析結果と温度による最大値を示す。この結果から室温の方が 80°C より 11% 電界が高いことが分かる。それより低温での電界の上昇は無視できる程度である。

(a) 過渡電界解析結果

(b) 温度と最高電界値の関係

図 8 過渡電界計算結果

Fig.8. Calculation results of transient electric field

〈5.4〉極性反転試験法による影響 極性反転試験を行う場合、設備の関係上、極性を変える時に時間がかかったり、印加電圧を直線的に変化できない場合がある。ここでは幾つかの極性反転試験法を想定し、その解析を行う。

はじめに極性反転時間と極性反転電界の関係について調べる。20°C の図 6 (b) の切換モードで反転時間 t_1 は 0.1~100s の範囲とした。図 9 に t_1 と最大電界の関係を示す。電界は極性反転時間 t_1 が 200ms の時の値を 1 p.u. とした時の値 E_{r1} である。

図 9 より反転時間が長いと最大電界が小さくなることがわかる。これは界面の電荷が緩やかに変化していることを裏付ける結果である。図 9 のグラフは(12)式のように近似できる。

$$E_{r1} = 1 - 5.0 \times 10^{-3} \times (t_1) + 1.2 \times 10^{-5} \times (t_1)^2 \dots (12)$$

(12)式より、切換時間が 30s で約 13.9%、1 分で約 25.7% 電界が小さくなる。

次に同じく 20°C の図 6 のモデルに切換モードが図 10 のように途中で無電圧になる電圧を印加した。図 11(a) は切換時間 $t_2=30s$ の解析結果であるが、電界は 2 段階で上昇している。図 11(b) は $t_2=200ms$ (無電圧時間 0s) のピー

ク電界値を 1 p.u. とした時の、 t_2 が 0.2~100s の範囲の電界比である。図 11(b) のグラフは(13)式のように近似できる。

$$E_{r2} = 1 - 5.0 \times 10^{-3} \times (t_2) + 1.8 \times 10^{-5} \times (t_2)^2 \dots (13)$$

(13)式より、切換時間が 30s で約 13.7%、1 分で約 23.5% 電界が小さくなる。この結果は図 9 の結果と大差はない。

図 9 極性反転時間と最大電界の関係

Fig.9. Relation between polarity reversal time and maximum electric field values

図 10 印加電圧

Fig.10. Applied DC voltage

(a) $t_2=30s$ の計算結果

(b) 極性反転時間と最大電界の関係

図 11 解析結果

Fig.11. Calculation results

6. 極性反転電圧に対する絶縁設計法の提案

<6.1> 極性反転時の過渡電界の求め方 今回は開発した過渡電界プログラムで求めたが、相当に複雑な計算法で図7の例の計算するのにCPU300MHzのEWSを用いて十数時間の計算時間を要する。このように実用面でこのプログラムを広く利用するのは現実的でない。ここで印加電圧を極性反転時の変化分 $2 \times 100V$ として電界を求めてみると油道に加わる電界 E_{pi} は(14)式のように求まる。

$$E_{pi} = \frac{\text{極性反転の変化分電圧}}{\text{等価油中距離}} \\ = \frac{100 \times 2}{5 + 5 + 10 + 10 + \frac{\epsilon_{oil}}{\epsilon_{ps}}(5 + 5 + 5)} = 5.33(V/mm) \quad (14)$$

ここで、等価油中距離：平等電界で油と固体が直列構成の場合、油の電界に着目しての等価な油中距離、 $\epsilon_{oil}=2.2$, $\epsilon_{ps}=4.4$

この電界は過渡電界プログラムで算出した図7の5.29V/mmとほぼ一致する。

この計算は平等電界についてであるがこの事が一般的に言えるかを確認するため次の不平等電界の2例についても過渡電界計算法と簡易法で求め、比較をした。表4にその結果を示したが、両者はほぼ一致している。従って極性反転電界は印加電圧を極性反転時の変化分とし、通常の定常電界計算で求められることがわかる。

表4 簡易法による極性反転電界

Table 4. Electric field for polarity reversal by simplistic method

電極形状	過渡電界算出値	簡易法算出値	(a)/(b)
図6	5.29	5.33	0.99
3.14	3.19	0.99
3.06	3.10	0.99

*比誘電率 媒質1:2.2 媒質2:4.4

体積抵抗率 媒質1:1.0E+14 Ω·cm

媒質2:1.0E+16 Ω·cm

<6.2> 極性反転の許容電界の設定法 図8(a),(b)のグラフから t_{90} は温度との関数で(15)式のように表される。

$$t_{90} = 10^{1.34 - 0.0165 \times T} \quad (15)$$

$T(^{\circ}C)$: 温度

又、図8(b)の最大電界の温度依存性は25℃の電界値5.21[V/mm]を基準にすると(16)式で表される。

$$E_{max} = (10^{-(7.84E-4) \times T + 0.737}) / 5.21 \quad (16)$$

(15)、(16)式を用いると、<4.2>で述べた極性反転時の過渡電圧に対する破壊電界は交流の波高値に印加時間効果と最高電界の温度依存特性を考慮した(17)式で求まる。

$$E = 215 \times E_{max} \times d^{-0.315} \times \sqrt{2} \times \left(\frac{60}{10^{1.34 - 0.0165 \times T}} \right)^{1/275} \quad (17)$$

7. むすび

直流油浸機器の極性反転電圧に対する絶縁現象を解明するため、過渡電界計算システムを開発し、典型的な絶縁モデルについて極性反転電圧に対する放電特性を数値計算した。並行してその放電特性を実測し、数値計算結果と比較した。その結果、極性反転電圧に対する破壊電界を明らかにし、その放電電界は交流電圧の破壊電界とほとんど一致する事を明らかにした。

開発した過渡電界計算システムを用いて、極性反転電圧による電界の温度依存特性、極性反転時間依存特性、極性反転法による影響などを定量的に明らかにした。

更に、本研究のまとめとして、油浸絶縁について簡易な、極性反転電圧の絶縁設計法を提案した。

本研究の実験にご協力いただいた(株)東芝 浜川崎工場 茂木茂主査に感謝します。

(平成11年05月20日受付、平成11年10月04日再受付)

文 献

- (1) 例えば、長谷川、山地、酒井:「紀伊水道直流連系設備の計画」電気評論、P61-65、H8-5
- (2) 例えば、大植、中越、畑野:「紀伊水道直流連系プロジェクト」、OHM、P22-30、H9年2月
- (3) 林 敏之:「海外プロジェクト」、OHM、P43-48、H9年2月
- (4) T. Hasegawa, K. Yamaji, et al: "Dielectric Strength of Transformer Insulation at DC Polarity Reversal." IEEE. Trans. P.D.Vol.12, No.4. Oct.1997
- (5) 澤田 敦、匹田 政幸、大久保 仁 他:「光学的電界測定による変圧器/プレスボード複合系電界分布の温度特性に対する検討」、電学誌、B. Vol.118-B, No.9. 1998
- (6) U. Kumar, G.R. Nagabhushana: "Solution of Capacitive-Resistive Transient Fields" 9th ISH. Trans. P.D.Vol.12, No.4. Oct.1997
- (7) 坂口 寿美子、小山 光敏 他:「表面電荷法による

過渡電界解析」、平 11 電気学会全大、No.1198

- (8) 池田 正巳、茂木 茂 他：「油浸絶縁物沿面の直流と極性反転電圧の絶縁特性」、電学誌、B. Vol.119-B, No.3. 1999
- (9) 池田 正巳、井上 保、矢成 敏行 他：「変圧器複合絶縁強度の確率分布と V-t 特性」、電学誌、Vol.101, No10, 56-B68 (昭和 56-10)
- (10) 池田 正巳、井上 保 他：「変圧器油中浮遊粒子数の測定結果と絶縁破壊への影響」、電学誌、B. Vol.118-B, No.11. 1998

池田 正巳

(正員) 1943 年 9 月 14 日生まれ。

1962 年 3 月神奈川工業高校電気科卒業。同年 4 月(株)東芝入社。同社重電技術研究所において高電圧技術開発、1982 年 10 月から同社浜川崎工場変圧器部にて、電力用変圧器の開発設計などの業務に従事。1999 年 5 月以来九州工業大学客員教授として、電力技術に関する研究中。電気学会論文賞、進歩賞、工学博士(慶応義塾大学)。IEEE、電気設備学会会員

坂口 寿美子

(正員) 1972 年 1 月 24 日生まれ。

1994 年 3 月お茶の水女子大学理学部物理科卒業。同年 4 月(株)東芝入社。重電技術研究所において電界解析のコンピュータ応用技術開発に従事。

小山 光敏

(正員) 1952 年 3 月 11 日生まれ。

1972 年 3 月一関工業高等専門学校電気工学科卒業。同年 4 月(株)東芝入社。カラーブラウン管の開発・製造技術に従事。1977 年 11 月より重電技術研究所において酸化亜鉛形避雷器・絶縁診断・電界解析をはじめとする高電圧技術開発に従事。

井上 保

(正員) 1949 年 7 月 3 日生まれ。

1968 年 3 月宮崎工業高校電気科卒業。同年 4 月(株)東芝入社。以来重電技術研究所において主として油入変圧器及びガス絶縁変圧器の研究に従事。

匹田 政幸

(正員) 1953 年 10 月 23 日生まれ。

1982 年 3 月名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程終了。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 高電圧研究所客員研究員。応用物理学会会員。