非標準雷インパルス波形に対する油入変圧器の絶縁特性

(急峻短波尾インパルス電圧に対する油入変圧器絶縁モデルの絶縁特性)

正員 岡部 成光 正員 向當 政典

(東京電力株式会社)

正員 井上 保 正員 寺西 常治 非会員 長岡 聡

(株式会社 東芝)

Dielectric Characteristics of Oil filled Transformer under Non-standard Lightning Surge Waveforms
(Dielectric Characteristics of Oil filled Transformer Insulation Models under Fast Front Short Duration Impulse Voltages)

Shigemitsu Okabe, Member Masanori Koutou, Member
(Tokyo Electric Power Company)

Tamotsu Inoue, Member Tsuneharu Teranishi, Member Satoshi Nagaoka, Non Member
(Toshiba Corporation)

This paper deals with the breakdown voltage characteristics of oil filled transformer insulation models under fast front short duration impulse voltages (FFSDV). Types of tested insulation models are an oil gap, a turn-to-turn insulation model and a section-to-section insulation model. Breakdown voltages of three kind models have been measured with standard lightning impulse voltages and FFSDV. As the results, the breakdown voltages of three kind models under FFSDV are 1.3~1.5 times higher than those under standard lightning impulse voltages.

キーワード 急峻短波尾インパルス電圧 油入変圧器 油ギャップ ターン間絶縁 セクション間絶縁

1. まえがき

変圧器などの変電機器の合理的な絶縁設計を実施する際や現地で運転中の機器の絶縁信頼性を検討する場合、実際に機器に加わるサージ波形での絶縁評価が重要である。変電所のサージ波形の解析によると、変圧器端子に加わる電圧は、変電所内でのサージの透過、反射等により、インパルス波形に高周波の振動成分が重畳した波形が一般的である。さらに、変圧器端子に標準波形のインパルス電圧を印加しても、巻線内部には電位振動によって巻線固有の周波数を持つ振動性電圧が発生する。

これらのインパルス波形に高周波の振動成分が重畳した電圧波形や振動性波形は、標準波形より立上りが急峻で波尾長の短い急峻短波尾インパルス電圧が連続して繰り返して印加された電圧波形とみなすことができる。また、避雷器からの距離に応じて1波のみ急峻短波尾インパルスが加わり、その後に避雷器保護レベル相当のフラットな波形も良く遭遇する。従って、急峻な立上りを持つ短波尾電圧の絶縁特性を調査することは、非標準波インパルス電圧に

おける絶縁特性を調査する上では基本特性と考えられる。

しかしながら、従来その様な電圧での調査は少なく、例えば波頭時間を標準雷インパルス電圧と同じにし、波尾長のみを変えた電圧での絶縁特性の調査⁽¹⁾や、急峻な立上がりを持つ台形波形での調査⁽²⁾があるのにすぎない。

今回、油入変圧器の基本的な絶縁構成である油ギャップ、ターン間絶縁、セクション間絶縁の各絶縁モデルを使用して、立上りが急峻で立上がり時間の約2倍の波尾長を持つ波形(以後、急峻短波尾波電圧)を中心として絶縁特性を調査したのでその結果について述べる。

2. 試験方法

<2-1> 供試モデル 試験したモデルは、油ギャップ、ターン間絶縁モデル、セクション間絶縁モデルの3種類である。

油ギャップの電極構成は直径110mm(平板部直径80mm)、SUS304製の平板電極を2個対向させた平板-平板電極構成であり、電極間は4mmである。電極表面はJIS0.8Sの仕上

げを実施した。油ギャップの試験時は電極表面より約 400 mm 離して油攪拌ポンプを取り付けている。そして油ギャップが破壊後に約 1 分間油攪拌ポンプで電極間の油を攪拌し、絶縁破壊時に生じるカーボン、気泡等を電極間から吹き流した。その後攪拌機を止め 1 分間静置した後、次の試験を行った。

図 1 にターン間絶縁モデルを示す。モデルは 2.2×10 (mm) の平角銅線上に厚さ $76 \mu\text{m}$ 、ガーレイ法によって測定した気密度 800 (秒/100cc) のクラフト紙を片側 0.76mm 厚さまで巻回した絶縁平角線を、図のように 3 本組み合わせて変圧器巻線のターン間を模擬している。

図 2 にセクション間絶縁モデルを示す。ターン間絶縁モデルに用いたものと同じ絶縁平角線(絶縁被覆厚: 0.76mm)を片側 4 本を一括し、それをスペーサ(プレスボード: PB)を介して対向させ、変圧器巻線のセクション間を模擬している。スペーサの厚さがセクション間の油道寸法を与える。その厚さを 4mm とした。

図 1 ターン間絶縁モデル

Fig. 1. Structure of turn-to-turn insulation model

図 2 セクション間絶縁モデル

Fig. 2 Structure of section-to-section insulation model

<2-2>モデルの処理 ターン間絶縁モデル、セクション間絶縁モデルは、 100°C にて約 96 時間乾燥を実施した。

油ギャップモデルも含めてモデルは全て試験用タンクにセット後 10Pa 以下に真空引きをし、変圧器絶縁油を真空脱気注油した。そして、約 48 時間大気圧で放置後試験を開始した。試験時の油中水分は 10ppm 以下、JIS 法による油の耐圧は 60kV 以上である。

<2-3>印加電圧波形 急峻短波尾波電圧、標準雷インパルス電圧 (以後、標準波電圧) および後述の中間的波尾長を持つ波形で実施した。表 1 に試験した急峻短波尾波電

圧の波形定数を示す。また、図 3 に急峻短波尾波電圧の波形例を示す。なお、表に示す実波頭長は電圧の零点から波高値までの時間で、波尾長は波形の波尾部分において、波高値の 50% になるまでの電圧零点からの時間で定義し、それぞれ示している。表に示すように、3 種類のモデルとも標準波電圧、急峻短波尾波電圧とは別に標準波と急峻短波尾波電圧の中間的波尾長を持つ電圧でも試験した。今後これらの波形を (実波頭長/波尾長) で示すことにする。

<2-4>試験方法 油ギャップモデルでは、片側の電極に電圧を加え他方は接地した。ターン間絶縁モデルでは、3 本組みの中央の銅線に電圧を加え、両側の 2 本は接地した。セクション間絶縁モデルは片側 4 本の銅線に一括して電圧

表 1 急峻短波尾波電圧の波形定数

Fig. 1. Waveform parameters of steep front short duration impulses voltage.

絶縁モデル	実波頭長 (μs)	波尾長 (μs)
油ギャップ	0.52	0.89
	0.56	1.16
	0.72	1.46
	0.84	1.56
	1.10	2.35
	1.50	2.52
	1.20	12.3
ターン間絶縁	0.56	1.30
	0.63	1.08
	0.84	1.90
	1.33	2.85
	1.56	3.10
	2.10	4.62
	1.28	11.50
セクション間絶縁	0.55	1.10
	0.92	1.97
	1.22	2.73
	1.60	4.04
	1.22	9.80

$0.25 \mu\text{s}/\text{div}$

図 3 急峻短波尾波電圧波形の例

Fig. 3. Example waveform of steep front short duration impulse voltage

を加え、スペーサを介した他の4本を接地した。

ターン間絶縁モデル、セクション間絶縁モデルでは、インパルス部分放電を高周波 CT(立上がり応答時間 10ns)にモデルの接地線をそれぞれ逆極性になるように接続し、電圧印加時の充電電流を差分するバランス法を用いて測定した。インパルス部分放電はパルス状に現れる。その波形を時間積分して求め部分放電電荷を求めた。その結果、最小パルスにおいても 200 pC の測定が出来ることを確認した。ターン間絶縁におけるインパルス部分放電は発光を伴って生じることが多く⁽⁴⁾、その放電電荷は 200pC に対して充分大きく 200pC 以上の測定で十分な感度と考えている。

油ギャップではインパルス部分放電は測定せず、破壊電圧のみを求めた。

試験は、ステップアップ法で実施し、油ギャップでは予想 BDV の約 50%より 10kV ステップで各 1 回、電圧を印加した。電圧印加インターバルは約 1 分である。油ギャップが破壊した場合は前述のように、油ポンプによる攪拌、1 分間の静置を実施した。

ターン間絶縁モデル、セクション間絶縁モデルでは、部分放電開始電圧(PDIV)までは 5~10kV ステップで各 1 回電圧を印加した。そして、部分放電発生後は 10kV ステップで各 1 回電圧を印加し、破壊電圧(BDV)を求めた。各ステップの電圧印加のインターバルは PDIV までは約 1 分、それ以上の電圧では約 2 分である。

油ギャップの破壊試験は各試験条件最低 15 回実施した。そして、最初の 5 回の試験結果はコンデショニングとして試験結果から除外し、6 回目以降の BDV を試験結果として採用した。

ターン間絶縁モデル、セクション間絶縁モデルの試験個数は、各試験条件 10 個である。

電圧は標準波電圧では抵抗分圧器で、急峻短波尾波電圧では 1GHz 級サージセンサ⁽³⁾で測定した。

3. 試験結果

<3-1>油ギャップの結果 結果を表 2 に示す。表には、標準波電圧の平均 BDV 値を 1.0 とした時の相対値も示している。また、図 4 に一例として、(0.56/1.16) μ s での結

図 4 油ギャップの試験結果 (0.56/1.16) μ s

Fig.4. Test results of oil gap (0.56/1.16) μ s

果を示す。図には、破壊が電圧のどの時点で生じたか分かるように、電圧波形も示した。横軸は破壊までの時間である。

試験結果より次のことがわかる。

- (1) 急峻短波尾波電圧の BDV は、いずれも標準波電圧の BDV より高い。総じて立ち上がりが急峻で、波尾長が短いほど、破壊電圧は高くなっている。
- (2) 急峻短波尾波電圧では、図 4 に示すように、波高値付近から波尾部分で破壊した。そのうち、波尾長の長い電圧では、波高値付近よりむしろ波尾部分で破壊する傾向があった。
- (3) 標準波電圧の平均 BDV は 196 kV であり、3~11 μ s の範囲で破壊した。
- (4) ほぼ同一波頭長を有する波形 (1.1/2.35) μ s および (1.2/12.3) μ s においては、波尾長が長い方が BDV が低い。

<3-2>ターン間絶縁モデルの結果 表 3 に試験結果および標準波電圧に対する BDV、PDIV の比を示す。なお、0.56/1.3 μ s の波形では部分放電は測定せず、破壊電圧のみを求めた。

図 5 に結果の一例として、(0.63/1.08) μ s における BDV および PDIV を示す。横軸は破壊または PDIV の発生までの時間である。図および表に示す結果より次のことがわかる。

表 2 油ギャップの試験結果

Table2 Test results of oil gap

波形(実波頭長/波尾長) μ s	標準波	0.52/0.89	0.56/1.16	0.72/1.46	0.84/1.56	1.1/2.35	1.5/2.52	1.2/12.3
破壊電圧 平均値(kV)	196	298	293	272	270	275	264	213
標準波に対する比	1.0	1.52	1.49	1.39	1.38	1.40	1.35	1.09

表 3 ターン間絶縁モデルの試験結果

Table3 Test results of turn-to-turn insulation model

波形(実波頭長/波尾長) μ s	標準波	0.56/1.3	0.63/1.08	0.84/1.9	1.33/2.85	1.56/3.1	2.1/4.62	1.28/11.5
破壊電圧	平均値(kV)	147	192	180	175	160	148	157
	標準波に対する比	1.0	1.31	1.22	1.19	1.09	1.01	1.07
部分放電 開始電圧	平均値(kV)	80	—	143	135	134	123	117
	標準波に対する比	1.0	—	1.79	1.69	1.68	1.54	1.47

図5 ターン間絶縁モデルの試験結果 (0.63/1.08) μ s

Fig.5. Test results of turn-to-turn insulation model (0.63/1.08) μ s

図6 セクション間絶縁モデルの試験結果(1.6/4.04) μ s

Fig.6. Test results of section-to-section insulation model. (1.6/4.04) μ s

- (1) 急峻短波尾波電圧の平均 BDV および PDIV は、いずれの波形に対しても標準波電圧のそれらより高くなっている。
- (2) 同一波形での標準波電圧に対する上昇割合は、BDV に比べて PDIV の方が高い。そのため、BDV と PDIV の比は、標準波電圧より急峻短波尾波電圧の方が小さくなっている。
- (3) 破壊は電圧の波高値近傍で生じるものが多く、部分放電は波高値付近から波尾部分にわたって生じている。この傾向は波形が変化しても同じであった。なお、標準波電圧での平均 BDV は 147kV であり、破壊までの時間は $2\mu\text{s} \sim 10\mu\text{s}$ の範囲にあった。同様に、平均 PDIV は 80kV であり、部分放電開始電圧における部分放電発生までの時間は $1.2 \sim 7\mu\text{s}$ であった。
- (4) ほぼ同じ波頭長を有する波形 (1.33/2.85) μs 、(1.28/11.5) μs の平均 BDV はほぼ等しい。一方、PDIV は BDV と異なり、ほぼ同じ波頭長の波形でも波尾長が短い電圧波形の方が高くなっている。
- (5) 急峻短波尾波電圧での破壊箇所は標準波電圧のそれと変わらず、対向する 2 本の被覆平角線の角部(図 1、A-A 断面における角部)で生じた。

<3-3>セクション間絶縁モデルの結果 表 4 に結果とともに標準波電圧に対する BDV の比を示した。なお、破壊は部分放電を経由せず生じた場合もあった。その場合、その電圧を部分放電開始および BDV として表に示している。表中に示す部分放電が発生したサンプルの数は、部分放電が発生しその電圧に耐え、それ以上の電圧で破壊したもので

ある。表中---と記されている波形については部分放電測定を実施せず、破壊電圧のみを求めた。図 6 に一例として、(1.6/4.04) μs 電圧での結果を示す。

試験結果から次のことがわかる。

- (1)急峻短波尾波電圧による平均 BDV、PDIV は、標準波電圧のそれより高くなっている。
- (2)急峻短波尾波電圧の破壊は、電圧の波高値部分から波尾部分で生じている。波尾長が長くなると、油ギャップと同様、波高値付近よりはむしろ波尾部分で破壊する傾向があった。部分放電は波尾部分で生じるものが多かった。
- (3)標準波電圧での平均 BDV は 231kV であり、その破壊は $4.5 \sim 14\mu\text{s}$ の範囲で生じた。また、部分放電は、10 サンプル中 2 個のサンプルで検出された。
- (4)破壊はスペーサ端面を介しての破壊と、スペーサを介しない油ギャップ部分の破壊に分けられた。その破壊割合は急峻短波尾波電圧を印加したとき、および標準波印加の場合とあまり変らなかった。

4.考察

3 章に示したように、いずれのモデルも急峻短波尾波電圧での平均 BDV は、標準波電圧と比較して高くなった。今回の試験では、波形の影響を調査するため波頭長と波尾長の影響を種々変えて破壊電圧を求めた。以下に波頭長と波尾長の影響を検討するため実波頭長および電圧継続時間をパラメータにとって絶縁特性との関係を調べた。

<4-1>実波頭長と破壊電圧 油ギャップ、セクション間絶縁モデルの実波頭長と破壊電圧の関係を示したのが図 7

表 4 セクション間絶縁モデルの試験結果

Table4 Test results of section-to-section insulation model

波形(実波頭長／波尾長) μ s		標準波	0.55／1.13	0.92／1.97	1.22／2.73	1.6／4.04	1.22/9.8
破壊電圧	平均値(kV)	231	345	320	340	282	277
	標準波に対する比	1.00	1.49	1.39	1.47	1.22	1.20
部分放電	平均値(kV)	224	---	---	317	275	261
開始電圧	標準波に対する比	1.00	---	---	1.41	1.22	1.17
	PDが発生した個数	2/10	---	---	8/10	6/10	6/10

である。縦軸に電圧を横軸に何らかの時間で絶縁特性を表した場合、一種の V-t 特性と見ることができる。ここでは、V-t 特性の一般的な表し方として用いられている、log-log 平面上で結果を示した。図の縦軸は、それぞれのモデルにおける標準波の BDV を 100% に基準化して示している。また、横軸は標準波の実波頭長を $2\mu\text{s}$ としている。

図 7 では、実波頭を横軸にとった BDV は 2 種類の波形の結果が油ギャップ、セクション間絶縁モデルとも単一の特性線からずれている。単一特性からずれている電圧波形は標準波電圧および急峻短波尾波電圧と標準波電圧の中間の波尾長を持つ電圧である。

このように、急峻波領域から標準波までの全波形の破壊電圧は、波頭長のみでは統一的に整理できない。

図 7 実波頭長と破壊電圧の関係
(油ギャップ、セクション間絶縁モデル)

Fig.7. Relation of real front time and BDV
(Oil gap and section-to-section insulation models.)

<4-2> 電圧波形の継続時間からの検討 3-1、3-2 節にも示したように、油ギャップ、セクション間絶縁モデルの破壊は、各電圧波形の波高値から波尾部分で生じるケースが多い。それに対し、ターン間絶縁モデルの破壊は電圧の波高値付近に集中している。

また各印加波形について破壊までの時間を見ると、油ギャップ、セクション間絶縁モデルでは、各電圧波高値の 80% を超える電圧の継続時間とほぼ等しい時間幅で生じているケースが多く、ターン間絶縁モデルでは、波高値の 90% を超える電圧の継続時間とほぼ等しい時間幅で生じているケースが多かった。これより、絶縁モデルの破壊電圧はある電圧レベル以上の継続時間に依存していることが考えられる。

そこで、各電圧に対する波高値のある割合の継続時間で、急峻短波尾波から標準波までの破壊電圧との関係を求めた。そして、破壊電圧と電圧継続時間の関係の直線性を、相関係数から検討した。その結果、油ギャップ、セクション間絶縁モデルでは、各電圧波形の 80% 以上を継続する時間で表すのが良いものであった。例えば油ギャップの急峻短波尾波電圧における相関係数 r は、継続時間を 80% 以上とした

場合に最も高く、 $r=0.986$ であり、他の継続時間で相関係数を表した場合はそれ以下であった。この 80% という値は、前述の破壊時間の分布からの考察にも合致する。

図 8 に油ギャップ、セクション間絶縁モデルに対し、横軸に電圧のピーク値 80% 以上の継続時間で、縦軸にそれぞれのモデルにおける標準波の BDV を 100% で表したときの関係を示す。図 8 は実波頭時間でまとめた図 7 と異なり、油ギャップ、セクション間の破壊特性は、急峻短波尾波から標準波まで log-log 平面上で良い直線関係が得られる。即ち、油ギャップ、セクション間絶縁モデルでは、今回の波形に対しては各電圧波形の 80% 以上の継続時間で、時間を評価するのが良いとの結果を得た。

同様の考え方で、破壊電圧と電圧継続時間の関係の直線性の相関係数および破壊時間の分布から検討し、ターン間絶縁モデルに対しては 90% 以上の継続する時間で表すのが良いとの結果を得た。図 9 にターン間絶縁モデルに対し、横軸に電圧のピーク値 90% 以上の継続時間で、縦軸にそれぞれのモデルにおける標準波の BDV を 100% で表したときの関係を示す。図 9 のターン間絶縁モデルの破壊特性は図 8 と異なり、2 本の折れ線で表される。すなわち、ターン間絶縁の破壊電圧は時間領域によって V-t 特性の傾きが異なる二つの式を用いれば、印加電圧の 90% 以上の電圧が継続する時間で整理する考え方を適用できる。

ターン間絶縁モデルの BDV と他のモデルの絶縁特性は様相を異にしているのは、以下のようにモデルの破壊機構が異なっているためと考えられる。

セクション間絶縁モデルの絶縁構成は油ギャップと絶縁紙の組み合わせとして、見ることが出来る。従って、その絶縁破壊は、絶縁紙と油の誘電率の違い、絶縁強度の違いを考慮すると、まずセクション間の油ギャップが破壊し、次いで絶縁紙が破壊すると考えられる。今回のセクション間絶縁モデルの場合、セクション間の油道が 4mm と絶縁紙の厚さに比べ長い。そのため、標準波電圧の試験結果で見ら

図 8 破壊電圧と電圧継続時間の関係
(油ギャップ、セクション間絶縁モデル)

Fig.8. Relation of voltage duration and BDV.
(Oil gap and section-to-section insulation models.)

図9 破壊電圧と電圧継続時間の関係
(ターン間絶縁モデル)

Fig.9 Relation of voltage duration and BDV.
(Turn-to-turn insulation models)

れたように、油ギャップの破壊を意味する PDIV で絶縁紙も破壊し全路破壊することが多く、部分放電で留まっているサンプルが少なくなったものと考えられる。同様に、BDV と PDIV の比も小さくなったものと考えられる。急峻短波尾波電圧においてもセクション間絶縁モデルの破壊は標準波と同じ破壊形態と考えられ、一種の油ギャップによる破壊とみなすことが出来る。

一方、ターン間絶縁モデルの破壊は、絶縁紙の貫通強度で決定される。ターン間絶縁モデルの破壊電界は標準波電圧においても既に油ギャップの2倍近くあり、真性破壊領域に近いと考えられる。そして、そのばらつきも小さい。このことから、図9でターン間絶縁モデルの絶縁特性が2本の折れ線であるのは、それ以下では破壊しない閾値と実験での測定破壊値が近く、長時間側でその閾値が顕在化するためと考えられる。同様の特性は、閾値に測定値が近く交流の長時間破壊 V-t 特性では、一般に出現する。

<4-3> 急峻短波尾波の標準波に対する破壊電圧 油ギャップ、ターン間、セクション間絶縁モデルの標準波電圧に対する破壊電圧特性は、図8、9よりそれぞれ次式で示される。

a. 油ギャップ、セクション間絶縁モデル

$$V=137t^{-0.11} \quad (0.3 < t \leq 20) \quad --(1)$$

t: 80%を超える継続時間(μs)

V: 標準波に対する比(%)

b. ターン間絶縁モデル

$$V=106t^{-0.15} \quad (0.25 \leq t \leq 1.05) \quad --(2)$$

$$V=105t^{-0.021} \quad (1.05 < t \leq 12) \quad --(3)$$

t: 90%を超える継続時間(μs)

V: 標準波に対する比(%)

(1),(2)式から同じ継続時間である1μsで標準波電圧に対する破壊電圧の相対値を求めると、油ギャップ、セクション間絶縁モデルが137%であるのに対して、ターン間絶縁モデルは106%である。破壊電圧の上昇割合は、油ギャップ、セクション間絶縁モデルの方が、ターン間絶縁モデルのそ

れより大きい。このような特性を示すのは、前述した破壊機構の違いによるものと考えられる。

電圧継続時間が短くなるほど破壊電圧が上昇するのは、一般の V-t 特性と同様に次のように考えられる⁽⁵⁾。急峻短波尾波電圧の場合、波形の高電圧部分の印加継続時間が標準波電圧と比較して短い。例えば標準波電圧の油ギャップの破壊で最も時間遅れの長い11μsの電圧は波高値の約90%である。一方、同じ油ギャップで(0.56/1.16μs)における波高値の90%以上を継続する時間は約0.4μsである。このような継続時間の違いで、BDVが上昇するものと考えられる。

5.まとめ

非標準雷インパルス電圧波形に対する油入変圧器の各部絶縁構成の絶縁特性を明らかにするため、油ギャップ、ターン間絶縁モデル、セクション間絶縁モデルを使用して、波尾長が実波頭長の約2倍となる急峻短波尾波電圧を中心として調査を実施し、次のことが明らかになった。

- (1) 3種類のモデルとも、急峻短波尾波電圧における平均 BDV は標準波電圧の平均 BDV より高くなった。油ギャップおよびセクション間絶縁モデルの破壊は波高値から波尾部分で生じ、立上がり時間が約0.5μsの急峻短波尾波電圧の平均 BDV は標準波電圧の約1.5倍となる。ターン間絶縁モデルの破壊は電圧の波高値付近で生じるものが多く、その平均 BDV は標準波電圧の約1.2~1.3倍となる。
- (2) 3種類のモデルとも、絶縁破壊は電圧のある割合以上の継続時間に依存した。油ギャップおよびセクション間絶縁モデルの場合、電圧波形の80%以上を用いて、ターン間絶縁モデルの場合、電圧継続時間を電圧波形の90%以上の時間でまとめると、一特性線で表現できた。
- (3) 油ギャップの破壊が原因となる油ギャップおよびセクション間絶縁モデルの破壊は、電圧継続時間を横軸にとった絶縁特性で、1本の直線としてまとめることが出来る。一方、絶縁紙の貫通強度で決定されるターン間絶縁モデルの破壊特性は、2本の折れ線の直線となる。これは、破壊電圧のばらつきが小さく閾値が顕在化している可能性が考えられる。

今後、減衰振動波形、パルス波の後部が平坦な波形など、フィールドで変圧器に実際に加わる波形の絶縁特性を調査し、今回の解析法を応用して評価していきたい。

(平成12年8月4日受付、平成13年2月16日再受付)

参考文献

- (1) 寺西・矢成・本多・井上:「振動性インパルス電圧に対する変圧器絶縁モデルの絶縁強度」電学論 B, 104, 1(昭59-1)
- (2) 井上・寺西・谷口・海老沢・池田:「油入変圧器絶縁モデルの急峻波電圧領域の絶縁特性」電学論 B, 118, 11(平10-11)

- (3) 村瀬・大久保・青柳・柳父:「GIS 用 1GHz 急しゅん波サージセンサの開発」電学論 B, 109, 1(平元)
- (4) 井上・本多・大久保・小倉:「交流電圧に繰り返しインパルス電圧が重畳したときの変圧器モデルの絶縁強度」電学論 B, 106, 2(昭 61-2)
- (5) 試験電圧の合理化共同研究会編 「試験電圧と機器の絶縁に関する諸特性」電気学会技術報告 第 518 号 (1994)

長岡 聡 (非会員) 1954年9月20日生。1974年3月加治木高校卒業。同年4月(株)東芝入社。現在、電力システム社 電力変電技術部にて変電機器のシステムエンジニアリングに従事。

岡部 成光 (正員) 1958年9月18日生。1986年3月東京大学大学院博士課程終了。同年4月東京電力(株)入社。1992年ミュンヘン工科大学客員研究員。現在、電力技術研究所雷・絶縁解析グループ。主として、変電機器の絶縁協調および診断技術の研究に従事。工学博士。IEEE 会員。1993年電気学会論文賞受賞。

向當 政典 (正員) 1965年3月1日生。1989年3月金沢大学大学院修士課程終了。同年4月東京電力(株)入社。電力技術研究所勤務時に、変電機器の絶縁協調および診断技術の研究に従事。現在、山梨支店工務部発変電グループ。

井上 保 (正員) 1949年7月3日生。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、電力・産業システム技術開発センターにおいて主として油入り変圧器およびガス絶縁変圧器の絶縁に関する研究に従事。

寺西 常治 (正員) 1946年2月10日生。1973年3月名古屋大学電気工学専攻博士課程終了。同年4月(株)東芝入社。変圧器開発設計に従事。1979年より主として変圧器絶縁に関する研究に従事。工学博士。IEEE 会員。