新設 275kV 全 GIS 変電所における実規模雷サージ試験結果

正員 波多野 亮介 (中部電力) 正員 石川 靖久 (中部電力) 正員 植田 俊明 (中部電力)

正員 野嶋 健一 (東芝)

正員 本山 英器 (電力中央研究所)

Result of Lightning Impulse Test for 275kV Full GIS Substation

Ryosuke Hatano, Member, Yasuhisa Ishikawa, Member, Toshiaki Ueda, Member (Chubu Electric Power Company)

Kenichi Nojima, Member (Toshiba Corporation)

Hideki Motoyama, Member (Central Research Institute of Electric Power Industry)

Abstract

This paper describes outline and result of the lightning impulse test for 275kV full GIS substation. The behavior of lightning surges is very important for rational design of substations and low voltage and control circuits inside substations. For above reason, we carried out a lightning impulse test for a new 275kV full GIS substation. In this test, we measured induced voltage of low voltage and control circuits, transient characteristics of grounding mesh, injected voltage and current waveforms, and so on.

By investigating these data, we confirmed the behavior of lightning surges inside the substation. We also compared simulated waveform by EMTP analysis with measured waveforms. The simulated results agreed well with the measured results.

キーワード: 雷サージ, 275kV 全 GIS 変電所, 接地抵抗, 制御回路

Keywords: lightning surge, 275kV full GIS substation, grounding resistance, control circuit

1. はじめに

現在, 中部電力(株)では, 275, 500kV 有効接地系の変電所・開閉所に対して,

- ① 制御信号の低電圧化による CT/PT の小型化ならびに主回路周辺機器の電子化
- ② 接地抵抗値評価方法の変更による接地網接地抵抗の高抵抗化

の検討に取り組んでいる。そこで, 制御信号の最小レベルの見直しや変電所内の歩幅電圧などに起因する感電災害を予防のために, 変電所への雷サージ侵入時に制御・計測系へ移行するサージレベルと接地網の電位上昇特性を詳細に把握する必要がある。

しかしながら, これまでに実施された変電所を対象とした雷サージ試験は, 主機器の絶縁レベルの妥当性を検討することが主目的であり, 制御・計測系の雷サージ現象を対象とした場合でも低電圧の雷サージ印加による試験が多い^{(1)~(10)}。したがって, 実際に制御・計測回路の近傍で避雷器が動作した場合や接地網に避雷器の放電電流が流入した場合に, 制御信号線に重畳する移行ノイズや接地網に発生する電位上昇などの詳細な知見は得られていない。

そこで, 新設工事最終段階(運用開始直前)の 275kV 全 GIS 変電所を対象として, 避雷器動作時の制御・計測回路への雷サージ特性を把握する目的で, 電力線に対して約 550

kV の雷サージ電圧を印加し避雷器が動作したときの制御・計測回路の特性および接地網の電位上昇特性の測定を行った。

また, 当該変電所に雷撃があった場合, 雷の侵入箇所と想定される引留鉄構頂部および通信鉄塔頂部に雷撃を模擬した雷サージ電流を印加し, 制御・計測回路および構内接地網の電位上昇特性の測定を行った。

これらの試験結果から, 制御・計測回路に発生する雷サージの特性および接地網の電位上昇特性が明らかとなった。また, EMTP による解析により, 主回路で発生するサージ波形を精度良く再現することができた。本論文は, これらの結果について報告する。

2. 試験の概要

< 2. 1 > 試験対象とした変電所の概要 本試験は 275/77kV 全 GIS 変電所を対象に実施した。図 1 に主たる測定箇所である 275kV ヤードを, 表 1 に変電所全体概要をそれぞれ示す。

< 2. 2 > 雷サージ試験全体概要 図 2 に変電所とインパルス発生装置(以下, IG: Impulse Generator), 零電位線の位置関係を示す。サージ印加点は図 1 に示す 3 箇所とし,

図1 275kVヤードとサージ印加点

Fig. 1 Layout of 275kV Yard and Surge Voltage/Current Injection Points

表1 試験対象変電所の概要

Table 1. Outline of Substation

敷地	275/77kV 全 GIS 変電所 敷地面積：約 10,800m ² (275kV: 約 90×65m, 77kV: 約 25×150m)
接地網	接地抵抗値：0.24Ω (網状接地のみ)
275kV 機器	全三相一括形 GIS, LIWV: 1,050kV 避雷器制限電圧：660kV 以下 (at 10kA)
275kV 送電線	500kV 仕様 2 回線 (架空地線 3 条) 第五鉄塔にて全相接地 (架線作業用)
主要変圧器	275/77kV-250MVA×2 台, 275kV: 直結 (ガス-油 Bg), 77kV: CV ケーブル
77kV 機器	全三相一括形 GIS
77kV 送電線	4 回線 (架空地線 4 条: 第一鉄塔は 2 基) 線路は変電所とジャンパーにて切り離し
本館	鉄骨コンクリート造 (2F 建), 19×19m, 高さ 10.4m
通信鉄塔	本館屋上に設置, 高さ: 66.1m (内本館 10.4m)

図2 全体概要図

Fig. 2 Outline of Test Field

電流印加線と零電位線はおおよそ直交するように配置した。印加点の電圧・電流は、光変換装置を介して測定を行った。また、接地網電位上昇および制御・計測回路の電圧は、オシロスコープを用いて直接測定を行った。表2に測定に使用した代表的試験機材の仕様を示す。

試験回路の概要を図3に示す。図3のIG回路は試験ケースごとに組み替え、電力線印加時にはサージ電圧印加回路(図中、整合抵抗は不使用)、引留鉄構(架空地線)および通信鉄塔印加時にはサージ電流印加回路とした。

表2 主な試験機材の仕様

Table 2 Specification of Testing Equipments

試験機材	仕様
IG	最大充電電圧：1,440kV (720kV×2)可搬型 総合容量：0.0833μF
オシロスコープ	周波数帯域：DC～100MHz 以上 入力インピーダンス：1MΩ 以上 有効ビット長：8bit 以上 時間軸レンジ：0.1μs/div～10μs/div 記録長：20MS/sec 以上, 1kワード以上
光変換器	ソニーエレクトロニクス製 A6904AS
電圧プローブ	ソニーエレクトロニクス社 P5100
CT	ピアソン社 411

図3 試験回路の概要

Fig. 3 Outline of Testing Circuit

<2. 3>測定点とその目的 測定対象は接地網、制御回路などの発生電圧ならびに避雷器の動作電流、架空地線への分流電流などを選択した。そのうち、主たる測定点などを表3に示す。なお、測定点ごとにサージを5回連続して印加し、そのうち1回を観測波形として記録した。

図4 GIS主回路構成(電力線印加)

Fig. 4 Structure of GIS Main Circuit (Power-line Injection Case)

(a) 電力線印加 275kV - GIS 主回路に侵入した雷サージがPT二次などの低圧回路へ移行して生じた電圧および避雷器の動作により接地網に生じた電圧などを把握するため、IG より約 500kV の電圧 (図 19 参照) を線路ブッシング頂部に印加した。印加相は PT を設置している中相とした。

図 4 に電力線印加時の GIS 主回路構成を示す。主回路は変圧器などに影響を与えないように、線路遮断器の開放端までの印加とした。

図 5 に試験を行った GIS の外観を示す。

図 5 275kV GIS 外観

Fig. 5 Appearance of 275kV GIS

IG 発生電圧は、実設備の避雷器を用いた試験のため多数回の印加・動作による避雷器寿命への影響が無視できる電流値 (約 100A) となるように設定した。

(b) 引留鉄構印加 架空地線を経由あるいは引留鉄構への直撃による雷サージ侵入時における、変電所内の低圧回路や接地網での発生電圧を把握するため、0.9/68 μ s 波高値約 390A の雷サージ電流 (図 6) を 275kV 引留鉄構塔頂部に印加した。測定点は電力線印加にほぼ等しい (表 3)。

(c) 通信鉄塔印加 通信鉄塔への直撃雷を想定し、雷撃時の構内および建物内の低圧機器に発生する電圧を把握するため、通信鉄塔頂部への印加も実施した。この試験では

1.0/72 μ s 波高値約 300A (図 7) を印加した。測定点には、通信鉄塔脚などの電流を追加した (表 3)。

図 6 引留鉄構印加電流波形

Fig. 6 Injection Current Waveform to the Dead-end Tower

図 7 通信鉄塔印加電流波形

Fig. 7 Injection Current Waveform to the Telecommunication Tower

3. 試験結果

< 3. 1 > 接地網の電位上昇特性 図 8 と表 4 に示した測定点での接地電位上昇を図 9 以降に示す。なお、印加波形と接地電位を同時トリガーで測定していないので、それらの正確な時間差は不明である。また 1 印加ごとに 1 カ所の接地点しか測定していないので、各接地電位波形の時間軸の 0 は自己トリガーによって決まり厳密には同時刻ではないが、参考値として記した。

表 3 主な測定点と試験条件

Table 3 Measurement Points and Test Conditions

測定項目	測定点	測定箇所	電力線 印加	引留鉄構 印加	通信鉄塔 印加	測定点 詳細
275kV 主回路	電圧	線路ブッシング下部など	○			
275kV 避雷器	放電電流	避雷器接地線	○			
PT 二次回路	電圧	機器端子箱など (屋外)	○	○	○	図 20
		ケーブル処理室 (本館 1 階)	○	○	○	
		制御保護装置 (本館 2 階)	○	○	○	
接地網	電圧	屋外各種機器・設備	○	○	○	図 8
周囲柵	電圧	立ち上がり線-零電位線	○	○	○	
通信鉄塔	分流電流	鉄塔主脚 (4 脚中 2 脚)			○	図 27
		脚部避雷導線 (同上)			○	
		導波管			○

図 8 測定点

Fig.8 Measurement Points

表 4 代表的測定点

Table Measurement Points

測定点番号 (図 8 参照)	測定場所
No.2	避雷器接地点
No.14	77kV 主回路現場アース用接地点 (77kV 引留鉄構下)
No.20	周囲柵

図 9 接地電位振動波形 (電力線印加: 測定点 2)

Fig.9 Ground Potential Rise Waveform
(Power-line Injection Case: No.2)

図 10 接地電位振動波形 (電力線印加: 測定点 14)

Fig.10 Ground Potential Rise Waveform
(Power-line Injection Case: No.14)

表 4 に示した点の電圧波形に注目すると, 次のような接地電位の振動の特徴が見られた。

(a) 電力線印加時

代表的な波形として図 9 に測定点 2, 図 10 に測定点 14 の電位波形を, 図 11 に敷地面上に発生した電位振動のピーク値の分布を示す。図 9～11 において, 縦軸(電位)は印加電圧で規格化した。

図 11 変電所構内の電位分布

Fig.11 Distribution of Ground Potential Rise

図 9 および 10 から接地電位上昇の最大値が発生する時刻は $100\mu\text{s}$ 前後と印加電圧と大幅に異なった。この原因は、変電所接地網の静電容量が考えられるが、今後の検討課題である。図 11 は変電所接地網への電流流入点である避雷器接地端から離れるに従い、発生電位が減衰していることを示している。

図 12 は測定点 14 の周波数スペクトルを示す。

電位[Vrms/MV]

図 12 接地電位振動波形のスペクトル

(電力線印加時: 測定点 14)

Fig.12 Spectrum of Ground Potential Rise:
(Power-line Injection Case: No.14)

図 10 の波形には主として約 8kHz, 25kHz, 50kHz の周波数成分を含んでいることが図 12 から分かる。

約 50kHz の周波数成分は、避雷器の動作電流継続時間(約 $10\mu\text{s}$: 後述)を半サイクルと見なした時の基本周波数と一致することから、避雷器放電電流の波形に関連した周波数成分と考えられる。

(b) 引留鉄構印加時

図 13, 図 14 および図 15 は, 引留鉄構印加時の代表的測定点での接地電位振動波形の測定例を示す。

縦軸の電圧は, 引留鉄構に印加したサージのピーク電流で規格化してある。

図 13 接地電位振動波形 (引留鉄構印加: 測定点 2)
Fig.13 Ground Potential Rise Waveform
(Dead-end Tower Injection Case : No.2)

図 14 接地電位振動波形 (引留鉄構印加: 測定点 14)
Fig.14 Ground Potential Rise Waveform
(Dead-end Tower Injection Case : No.14)

図 15 接地電位振動波形 (引留鉄構印加: 測定点 20)
Fig.15 Ground Potential Rise Waveform
(Dead-end Tower Injection Case : No.20)

接地電位上昇の最大値が発生する時刻は $1 \sim 2 \mu s$ 前後であり, 印加点から離れるほど最大値は減衰しているのが分

かる。また, 卓越周波数は約 $300kHz$ や約 $3.3MHz$ などと電力線印加の場合のそれと比較して高い。この違いは注入電流の峻度や接地網とそれに接続される機器との間で生じる複雑な往復反射に起因していると考えられるが, 詳細は今後の検討課題である。

(c) 通信鉄塔印加時

図 16, 図 17 および図 18 は, 通信鉄塔印加時の代表的測定点での測定波形例である。縦軸の電圧は, 通信鉄塔に印加したサージのピーク電流で規格化してある。

図 16 接地電位振動波形 (通信鉄塔印加: 測定点 2)
Fig.16 Ground Potential Rise Waveform
(Telecommunication Tower Injection Case : No.2)

図 17 接地電位振動波形 (通信鉄塔印加: 測定点 14)
Fig.17 Ground Potential Rise Waveform
(Telecommunication Tower Injection Case : No.14)

図 18 接地電位振動波形 (通信鉄塔印加: 測定点 20)
Fig.18 Ground Potential Rise Waveform
(Telecommunication Tower Injection Case : No.20)

この場合にも、接地電位上昇の最大値が発生する時刻は、 $1\mu\text{s}$ 前後であり、印加点から離れるに従って最大発生電圧は減衰している。図 16 では図 17 などと比べ波頭部分で逆極性となっている。これは印加線から誘導された架空地線電流の影響と考えられるが、引留鉄構印加と同様に観測波形の詳細は今後の検討課題である。

＜3. 2＞避雷器電圧と動作電流 電力線印加により得られた、印加点電圧波形（プッシング頂部）と避雷器放電電流波形の関係を図 19 に示す。避雷器の動作時間は約 $10\mu\text{s}$ である。

図 19 印加点電圧波形と避雷器放電電流波形
Fig.19 Injected Voltage and Arrester Current Waveform

印加点電圧波形と避雷器放電電流の関係は、避雷器の電圧－電流(V-I)特性と良く一致している。また、印加波形には送電線接地端からの負反射が $17\mu\text{s}$ 後に現れている。これは、引留鉄構から第 5 鉄塔間の距離（約 2400m）と電力線の伝搬速度 ($300\text{m}/\mu\text{s}$) から求められる時間によく一致している。

＜3. 3＞低圧制御・計測回路の発生電圧 すべての印加試験で PT 二次ケーブル（屋外 CVVS、屋内 CVV）の心線－シース間電位を測定した。各測定点の概略を図 20 に、各部の長さを表 5 に示す。

図 20 PT 二次ケーブルの測定点
Fig.20 Measurement Points of the PT Secondary Cable

表 5^a PT 二次ケーブル各部の種類と長さ

Table 5 Type and Length of the PT Secondary Cables

区 間	線 種	長さ
PT～中継端子	CVVS - $5.5\text{sq} \times 4\text{C}$	5m
中継端子～現地盤	CVVS - $5.5\text{sq} \times 4\text{C}$	24m
現地盤～ケーブル処理室	CVVS - $8\text{sq} \times 2\text{C}$	84m
ケーブル処理室～継電装置	CVV - $8\text{sq} \times 2\text{C}$	41m

※ 1 : CVVS のシースは両端接地

※ 2 : 継電装置はサージアブソーバを備付

（a）電力線印加時 図 21 に波高値 495kV 電圧印加における PT 二次各点の波形を示す。図 21 中、PT 二次の中継端子台における測定波形のスペクトルを図 22 に示す。これらから、約 200kHz と約 25kHz の 2 つの周波数成分が特徴的に存在することがわかる。25kHz 成分には PT の漏れインダクタンスと対地静電容量によって生じる振動が関連していることが考えられる。また、接地網の電位振動（図 12 参照）にも約 25kHz の成分が含まれることから、接地網の電位振動が PT 二次回路の電位振動に影響していることも考えられる。現在のところ、いずれのメカニズムが支配的であるかは明らかでない。

図 21 PT 二次電圧波形（電力線印加時）
Fig.21 Voltage Waveform at the PT secondary Circuit(Power-line Injection Case)

また、図 21 から、約 200kHz の成分は機器側から盤側へ伝搬するに従って減衰していることが分かる。この周波数成分は、主回路電圧波形および接地網電位上昇波形でも観測されていることから、印加サージから空間伝播および接地網の電位振動が影響していると考えられる。

図 22 電力線印加時の PT 二次中継端子台 (スペクトル)
Fig.22 Voltage Waveform at the Junction Terminal of the PT Secondary Cable (Spectrum : Power-line Injection Case)

(b) 引留鉄構印加時 図 23 に波高値 390A 電流印加時に測定した電位波形を示す。図 24 に PT 二次の中継端子台におけるスペクトルを示す。

図 23 PT 二次電圧波形 (引留鉄構印加時)
Fig.23 Voltage Waveform at the PT Secondary Circuit (Dead-end Tower Injection Case)

図 24 引留鉄構印加時の PT 二次中継端子台 (スペクトル)
Fig.24 Voltage Waveform at the Junction Terminal of the PT Secondary Cable (Spectrum : Dead-end Tower Injection Case)

スペクトルを見ると、電力線印加時に比較して高周波成分が広く分布しているが、卓越周波数の特徴はあまり変わらない

い。中継端子箱の電圧が高いが、これは印加点である引留鉄構に一番近いため、空間伝搬電磁波成分と思われる 200kHz 成分の重畳が最も大きいものと考えられる。また現地盤の波形の後半には接地電位の振動に起因すると思われる比較的低周波の振動が現れている。

(c) 通信鉄塔印加時 図 25 に波高値 300A 電流印加時に測定した電位波形を示す。図 26 に PT 二次の中継端子台に於けるスペクトルを示す。スペクトルを見ると、引留鉄構印加時の特徴と大きな差はない。

図 25 PT 二次電圧波形 (通信鉄塔印加時)
Fig.25 Voltage Waveform at the PT Secondary Circuit (Telecommunication Tower Injection Case)

図 26 通信鉄構印加時の PT 二次中継端子台 (スペクトル)
Fig.26 Voltage Waveform at the Junction Terminal of the PT Secondary Cable (Spectrum : Telecommunication Tower Injection Case)

通信鉄塔印加では、引留鉄構印加と同様に 25kHz 以下の成分において最大約 1V/1kA 程度の誘導電圧が生じている。従って、この周波数域を電圧でアナログ伝送する制御線では、最小信号は例えば 100kA 雷撃を考えるならば、100V 程度を考えねばならず、周波数域を変更するか、その他の方法を用いる必要があることが解る。

通信鉄塔印加を含めたすべての印加において観測した結果を、想定侵入サージ電圧および電流に 1050kV、100kA を用いて換算すると、制御回路に移行する最大電圧は 735V から 1000V となった。従って、JEC-210 の雷インパルス試験電圧値(例えば、対地間 4kV、端子間 3kV)よりも十分小さいことが確認できた。

＜3. 4＞通信鉄塔脚近傍の電流分布 通信鉄塔印加時の塔脚および導波管、建物鉄骨と避雷導線への分流電流を測定した。

通信鉄塔の概要を表 6 に示す。図 27 に電流計測用の CT 取り付け点を示す。電流計測用の CT は 4 脚のうち、対角上にある 2 脚の主脚と脚基礎部分に接続する避雷導線、鉄塔の中心軸に配置した導波管に取り付けた。

各測定点における電流波形を図 28 に示す。各波形は印加電流で規格化した。また各電流波形は同期測定ができなかったので便宜的に時刻 0 が立ち上がり開始となるように重ね合わせた。

表 6 通信鉄塔の概要

Table 6 Outline of Telecommunication Tower	
塔 高	55.7m (66.1m：建物含)
脚 材	主脚，斜材（側脚）とも 267.4φ×7.0
避雷導線	2.0×19 (PF28) ×4 脚 (避雷導線は接地網につなぎ込み)

図 27 通信鉄塔全体図と電流測定点

Fig.27 Appearance of Telecommunication Tower and Current Measurement Points

図 28 各部の電流波形

Fig.28 Current Waveforms at Any Points

印加線に接近している 275kV ヤード側の主脚および避雷導線が 77kV 側に比較して約 2 倍に増加している。275kV ヤード側の脚は印加線に最も近く、誘導による影響を受けていると考えられる。

また、主脚の電流波形に比べ、避雷導線の電流波形の波頭部がなだらかになっている。これは、避雷導線のインダクタ

ンスにより波頭が鈍ると考えられる。

図 28 の結果を基に、印加電流の波高値を 100%とした場合の各部の分流率を表 7 に示す。

表 7 実測した分流率

(100%=injection current at the top of Tower)

Table 7 Measured Distribution Current Ratio

275kV側 主脚	275kV側 避雷導線	77kV側 主脚	77kV側 避雷導線	導波管
12.3 %	2.7 %	6.0 %	1.0 %	1.6 %

通信鉄塔落雷時における避雷導線ならびに導波管への影響を知るために次の仮定のもとで各部の電流を求めると、表 7 から表 8 が得られる。

- 主脚と斜材の電流は等しい
- 275kV 側と 77kV 側主脚の平均値が 4 脚に生じる
- 275kV 側と 77kV 側避雷導線の平均値が 4 脚に取り付けている避雷導線に生じる
- 導波管の電流は不変
- 脚（主脚・斜材）と導波管以外の電流はトラップなど測定外のものに生じる

表 8 各部の分流率

Table 8. Distribution Current Ratio at Any Points

脚	トラップほか	導波管	避雷導線
73.2%	17.8%	1.6%	7.4%

表 8 に示すように、通信鉄塔および建物における雷サージの分流比について、知見が得られた。

4. 解析

測定波形の形成要因をさらに詳しく検討するため、EMTP 解析を行い測定波形との対照を試みた。表 9 に EMTP 解析モデルの概要を示す。

表 9 EMTP 解析に用いたモデル

Table 9. Model of EMTP Analysis

対 象	項 目	定 数 値
GIB	サージインピーダンス (Ω)	CABLE CONSTANTS PROGRAM の出力マトリクス。
	伝搬速度 (m/μs)	
	減衰抵抗 (Ω/m)	
避雷器	形式	RVLRB-250EK
IG 印加線	サージインピーダンス (Ω)	600
	伝搬速度 (m/μs)	300
	減衰抵抗 (Ω/m)	0
その他	「耐雷設計ガイドブック」等の標準値 ・送電線：275kV 送電線第五鉄塔まで模擬 第五鉄塔にて全相塔体へ接地 (作業用アースを模擬) ・鉄 塔：四段鉄塔モデル	

図 29 にブッシング部、図 30 に避雷器動作電流のそれぞれ比較波形を示す。

図 29 において、送電線接地端からの反射の影響がよく一致している。また、図 30 において、3つの鋭いピーク波形などの特徴がよく一致している。EMTP 解析により、この鋭い波形は IG から印加線に沿った往復反射であることが分かった。

図 29 ブッシング部における実測波形と解析結果
Fig.29 Measurement Waveform and Calculation Waveform at the Bushing Point

図 30 避雷器動作電流
Fig.30 Arrester Current

5. まとめ

本論文では、雷サージ侵入時における低圧回路の発生電圧や接地網の電位上昇量の把握を目的とした新設 275kVGIS 変電所における実規模雷サージ試験において、これまでに得られた知見を報告した。

本試験により、雷サージ侵入時において

- 制御ケーブルに重畳するノイズの周波数と電圧
- 通信鉄塔脚および導波管に発生する電流の分流比
- 変電所接地網全域における電位分布

が測定できた。その結果、雷サージ侵入に対して

- 制御信号に必要な最低レベル
- 通信機器に要求する耐サージ性
- 避雷導線の効果
- 現行の接地網設計における電位分布

が判った。また、主回路で発生する波形を精度良くシミュレーションにて再現することができ、これらの結果は今後の変電所設計において有用な指標になると考える。

現在、制御系統ならびに接地網のモデル化を検討中であり、今後報告する予定である。

(平成 14 年 2 月 4 日受付、平成 14 年 4 月 10 日再受付)

参考文献

- (1) 耐雷設計委員会：「発変電所および地中線の耐雷設計ガイド」、電力中央研究所、総合報告、T40、1995
- (2) 電気協同研究：「低圧制御回路絶縁設計」、電気協同研究、第 32 巻第 2 号、1983
- (3) 植田他：「実変電所における低インパルス電圧印加による制御回路への移行サージ測定」、平成 13 年電気学会全国大会、No.7-115
- (4) 電気学会：「ガス絶縁開閉装置における低圧側への誘導現象」：電気学会技術報告(Ⅱ部)第 273 号
- (5) 園田他：「変電所埋設地線から低圧制御回路へのサージ誘導試験」、電気学会研究会資料 HV-01-129、2001
- (6) S.Karaki, T.Yamazaki, K.Nojima, T.Yokota, H.Murase, H.Takahashi, S.Kojima, "Transient Impedance of GIS Grounding Grid", IEEE Trans. on PWRD, Vol.10, No.2, p.p.723-731,1995
- (7) R. Verma and D.Mukhedkar, "Fundamental Considerations and Impulse Impedance of Grounding Grids." IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No.3, March, 1981
- (8) A.P. Meliopoulos and M.G.Moharam, "Transient Analysis of Grounding Systems." IEEE Transactions on Power Apparatus and System, Vol. PAS-102, No.2, February, 1983
- (9) M.Ramamoorthy et al., "Transient Performance of Grounding Grids." IEEE PWRD, WM068-8, 1989
- (10) B.R. Gupta and B.Thapar, "Impulse Impedance of Grounding Grids." IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.7, No.1 January, 1992

波多野 亮介（正員）1969年7月13日生まれ。1994年3月九州

工業大学大学院情報工学研究科修士課程修了。
同年4月中部電力(株)入社。現在、同社基幹系
統建設センターにて主として変電所設計業務に
従事。

石川 靖久（正員）1967年2月14日生まれ。1989年3月法政

大学工学部電気工学科電気電子専攻卒業。同年
4月中部電力(株)入社。現在、同社基幹系統建設
センターにて主として変電所と機器の設計に従
事。

植田 俊明（正員）1962年6月18日生まれ。1987年3月東北

大学大学院工学研究科修士課程修了。同年4月
中部電力(株)入社。現在、同社電力技術研究所に
て 雷サージ解析現象および変電機器に 関する
研究・開発に従事。工学博士。

野嶋 健一（正員）1956年12月6日生まれ。1980年3月大阪

大学卒業。1982年3月大阪大学大学院工学研究
科修士課程修了。同年4月(株)東芝入社。現
在電力・産業システム技術開発センターにて送
変電機器の絶縁技術開発業務に従事。工学博士。
IEEE 会員。

本山 英器（正員）1961年10月8日生まれ。1987年3月同志

社大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程
(前期)修了。同年4月(財)電力中央研究所
に入所、現在に至る。主として、電力系統の過
渡現象解析、各種現象のモデリング、サージ現
象の測定、理論解析に関する研究に従事。博士
(工学)。IEEE 会員。