100 kV 級雷インパルス電圧による分圧器の 国内持ち回り比較試験

正員 石 井 勝 (東京大)
正員 小 山 博 (東 芝)

100 kV Class Intercomparison of Impulse Voltage Dividers in Japan

Masaru Ishii, Member (University of Tokyo) , Hiroshi Koyama, Member (Toshiba)

Intercomparison tests of dividers for lightning impulse measurement were carried out Japan participated by 12 laboratories. Two resistive dividers, one with 300 kV rating and the other with 1 MV rating, were circulated among the laboratories. The comparison test is one of the methods for checking the uncertainty of a high voltage measuring system, and is proposed in the course of the revision of an IEC standard to incorporate a new idea, that is, the traceability of the uncertainty in high voltage measuring systems.

This paper reports on the determination of the scale factor, evaluation of the unit step response parameters and the comparison tests with lightning impulse voltages at about 100 kV. It is demonstrated that the participating 12 laboratories are all capable of realizing the idea in the revision of the IEC standard, that is, to establish traceability. On the other hand, a few problems to be solved in the testing procedures are found, to reduce the scatter in the measured parameters in these tests.

キーワード：分圧器，雷インパルス，スケールファクタ，直角波応答，比較試験

1. ま え が き

高電圧測定における精度は，インパルス電圧分圧器の直角波応答試験法とともに，これまで IEC Pub. 60 で規定されていた。近年，これまで規定になかったトレーサビリティという考え方が国際的に重視されるようになり，それを実現するための測定系の比較校正に関する研究が，ヨーロッパを中心として精力的に行われている⁽¹⁾⁽²⁾。トレーサビリティとは，電圧，電流などの標準と，測定系の精度をなるべく直接的な手段で関係づけようという考え方である。また，インパルス電圧分圧器の研究の進展に伴って，直角波応答パラメータも，より詳細に規定する必要性が論じられている。これらの点を積極的に盛り込んだ IEC 規格の改訂案の審議が繰り返され，現在最終段階にある⁽³⁾。改訂案における技術的な問題点は，雷インパルス電圧の測定にほとんど集中しており，国際的な比較試験の研究も，雷インパルス電圧の測定系を中心に行われている。

1990 年 4 月，電気学会において第 2 種の委員会として，インパルス測定精度向上協同研究委員会が組織された⁽⁴⁾。1991 年 7 月～9 月にかけて委員の所属する 4 機関が，ドイツ，オーストラリア，日本，中国の間で実施された，ドイツ連邦物理工学研究所 (PTB) 所有の 2 台の抵抗分圧

器による，100 kV 級の雷インパルス電圧における国際持ち回り試験に参加した。この国際持ち回り比較試験では，測定系の分圧比の測定，直角波応答測定および比較試験が，IEC 規格改訂案を念頭において実施された⁽⁵⁾。その後すぐに，委員の所属している日本国内の 12 機関において，1991 年 9 月から約 1 年間かけて同様の持ち回り比較試験が実施された。この持ち回り比較試験では，同一の項目について，各機関で測定を実施し結果を比較する。その目的は，各機関の技術レベルに関する知見，および試験項目，実施にあたっての細目の妥当性を検討するところにある。後者については，ヨーロッパで実施された持ち回り比較試験⁽²⁾のものを基本とした。その結果，日本のこの分野における技術レベル，IEC 規格改訂案における問題点などが明らかになったので報告する。

2. 分圧器の詳細

2 台の異なる特性のシールド付き抵抗分圧器を持ち回りして測定が実施された。共通に持ち回った部品は 2 台の分圧器，高電圧リード線，測定ケーブル，整合抵抗である。その他の球ギャップ，減衰器，計測器，記録装置などは，各機関所有のものをを用いている。

〈2・1〉 分圧器 A 国内比較試験において基準分圧器

図 1 分圧器 A の測定系構成
Fig. 1. Structure of impulse voltage divider A.

とした分圧器 A は、PTB から購入したものである。分圧器はヨーロッパや 4 箇国間で既に実施された 100 kV 級国際持ち回り比較試験に使われたうちの 1 台（定格 300 kV）とほぼ同じ特性をもつ。図 1 に分圧器 A の構成を示す。分圧器本体の高さは約 1 m で、高電圧部の構成は、高電圧側に小型のシールド電極が取り付けられており、約 8 kΩ の折返し巻きの抵抗体で構成されている。低電圧部は、分圧器 A に専用の同軸ケーブル（25 m）のインピーダンスに合わせて、並列接続した抵抗体（合成抵抗値 75 Ω）で整合がとられている。また、高電圧側の回路に、制動抵抗を接続しないで測定したときの応答時間が 0 になるように調整されている（PTB での測定）。高電圧リード線は、次に述べる供試分圧器 B の高さに合わせ、かつ測定系の幾何学的形状が共通となるよう、水平方向の長さが約 3.3 m、垂直方向の長さが約 2.3 m で直径 2 cm のステンレス鋼製パイプを作製し、分圧器に付属させた。更に、高電圧リード線の入力部に挿入できる構造の 200 Ω の制動抵抗を用意した。

制動抵抗は、元来、ステップ応答波形の振動を抑える目的で使用されていたが、裁断波の波高値と測定誤差を問題にする場合には、整定時間 T_s が許容範囲内にあれば、オーバーシュートが大きくても差し支えないため、近年は用いられなくなってゆく傾向にある。今後、制動抵抗は、整定時間、オーバーシュートの調整のために用いられるようになると思われる。分圧器 A も制動抵抗無しが標準の状態であり、制動抵抗はオプションとして PTB が用意したものである。

〈2・2〉 分圧器 B 供試器としての分圧器 B は、シールド付き抵抗分圧器である。高電圧部は、長さが 1 m で抵抗値が約 3 kΩ の抵抗体を 3 本直列に接続して構成した。低圧部は 80 Ω の巻線抵抗体を 8 本放射状に並列配置し、合成抵抗値は 10 Ω とした。測定用同軸ケーブルのインピーダンス 75 Ω と整合をとるために、低圧部と同じタイプの巻線抵抗体 65 Ω を、高圧部と低圧部の結合点と測定ケーブル接続用端子との間に接続した。図 2 に分圧器 B の構成を示す。高電圧部にはリング状シールド電極

図 2 分圧器 B の測定系構成
Fig. 2. Structure of impulse voltage divider B.

（リング直径 1.5 m）が取り付けられている。シールド電極は分圧器 B の高電圧側の抵抗体の電位分布の改善と、抵抗体の漂遊容量の補償をして応答特性を改善するために設けた。分圧器 B には水平方向に長さ 3.3 m の高電圧リード線と測定ケーブルを付属させ、制動抵抗は用意しなかった。

3. 分圧比の決定

ほとんどの機関では分圧器と一緒に供給された整合抵抗 75 Ω を付けた構成で、分圧器の各構成要素の抵抗値を直流電圧で測定し、分圧比を計算した。持ち回り比較試験中にこの整合抵抗が破損したため、すべての機関が同一条件のもとで分圧比を測定することができなかった。このため、各抵抗体の測定値のばらつきから、分圧比の測定誤差を検定する。

分圧器 A および分圧器 B の高電圧側、低電圧側の各々の抵抗値の測定結果は 0.15% 以内の差で一致した。これは抵抗値測定器の誤差に相当する値である。また、幾つかの機関では交流電圧でも分圧比を測定し、0.1% 以内の誤差で一致することが確かめられている。従って、抵抗値測定器の校正が十分に行われていれば、抵抗値を基に計算される分圧比は測定器誤差に近い値で決定できることが確かめられた。

4. 直角波応答波形の測定

1 機関を除いて図 3 に示す IEC 規格案の推奨する回路構成により、後述する比較試験時と同じ測定系の構成で直角波応答の測定を実施した。多くの機関が用いた直角波発生器は、主に数百 V の直流電圧電源と水銀リレーで構成され、分圧器と等しい高さに配置されている。測定系にはあらかじめ直流電圧を印加しておき、水銀リレーにより短絡接地することで急峻な立下りの直角波電圧を測定系に印加する。二つの機関においては、市販の直角波発生器を用いて測定を実施した。また、分圧器から直角波発生器までの接地系には幅 1 m 以上の銅板を使用している。

図 4 に測定波形例を示す。ほとんどの機関では図 4 に近

図 3 直角波応答測定回路
Fig. 3. Measuring circuit for unit step response.

(a) 分圧器 A ($R_d=0\Omega$)

(b) 分圧器 A ($R_d=200\Omega$)

(c) 分圧器 B (高圧シールド有)

(d) 分圧器 B (高圧シールド無)

図 4 直角波応答波形例
Fig. 4. Examples of unit step response waveforms.

い波形が得られている。測定波形を正規化した波形から、図 5 に示される定義⁽³⁾に従って応答パラメータを各機関で求めた。分圧器 A と分圧器 B に関する五つの応答パラメータについて、12 の機関による測定値の平均値および標準偏差をまとめたものを表 1 に示す。各機関で算出された応答パラメータは、手計算あるいはコンピュータによる計算で決定された。

コンピュータによる計算で評価されたパラメータのなかには、他の数値とかけ離れた値が報告されたため、誤りが発見できた例があった。波形パラメータの計算をコンピュータで行う際には、細心の注意が必要である。

分圧器 A に制動抵抗を挿入しない場合は、図 4 (a) に示すように大きく振動する測定波形が得られた。応答時間 T および整定時間 T_s については標準偏差が大きい。部分応答時間 T_a やオーバーシュート率 β については、応答時間

T 、整定時間 T_s に比べると標準偏差が小さく各機関間の一致度は高かったといえるだろう。

分圧器 A は制動抵抗を挿入した場合は、(b) 図に示すように測定波形の振動はかなり小さくなり、応答時間 T および部分応答時間 T_a は制動抵抗がない場合より増加した。オーバーシュート率 β および整定時間 T_s については値も標準偏差も小さくなった。制動抵抗を挿入することで応答特性が劣ってくると、測定系に及ぼす各実験室固有の未知の要素の影響が小さくなり、各機関での測定波形は似てくるようである。

分圧器 B に高電圧シールドが有る場合は、(c) 図に示すような振動の大きい測定波形が得られた。この場合も、整定時間 T_s のばらつきが大きい。応答時間 T については分圧器 A に比べると劣っているが、部分応答時間 T_a やオーバーシュート率 β については、分圧器 A に制動抵抗を挿

応答時間
 $T = T_\alpha + T_\beta + T_\gamma \dots$
 部分応答時間: T_α
 初期ひずみ: T_0
 オーバシュート率: β
 整定時間: T_s
 $\int_{T_s}^{\infty} \{1 - g(t)\} dt < 0.02 T_s$

図 5 直角波応答パラメータの定義⁽³⁾
 Fig. 5. Definition of unit step response parameters.

表 1 直角波応答パラメータ
 Table 1. Unit step response parameters.

分圧器 A		T (ns)	T_{α} (ns)	T_0 (ns)	β (%)	T_s (ns)
R_d	平 均 値	3.1	9.7	0.4	58.2	346.9
	標準偏差	6.5	1.8	0.2	10.1	189.4
0 Ω	平 均 値	10.7	15.3	0.4	29.1	186.3
	標準偏差	5.0	2.2	0.3	7.8	133.2

分圧器 B		T (ns)	T_{α} (ns)	T_0 (ns)	β (%)	T_s (ns)
高圧 シールド 有	平 均 値	17.8	16.6	0.4	39.1	427.1
	標準偏差	5.3	2.1	0.4	5.4	337.4
高圧 シールド 無	平 均 値	46.7	41.2	0.1	5.0	263.6
	標準偏差	7.0	2.9	0.1	2.1	149.8

R_d: 制動抵抗を示す (分圧器 B: 制動抵抗無)

入した場合に近い値であった。また約半数の機関では、分圧器 B の高電圧シールドを外した場合についても測定し、(d)図に示すような振動の小さい測定波形が得られた。応答時間などの値は倍以上になり、応答特性はかなり劣ってしまうため、応答特性に及ぼす高電圧シールドの影響が強い分圧器といえる。

全体を通じ、整定時間 T_s には、異なる測定環境が大きく影響している。例えば、同じ機関でも測定室のみを代えた場合に、影響があったという報告があった。また使用した記録装置の周波数特性による応答特性への影響を調べた例 (200 MHz と 25 MHz) では、帯域幅が狭い場合はオーバーシュート率 β を減少させる傾向にあることなどが観測されている。

5. 比較試験

〈5・1〉 方法 雷インパルス電圧波形での比較試験は、分圧器 A と分圧器 B を、対称な Y 形に配置し、図 6 の回路で実施した。高電圧リード線の接合点には

$\phi 250$ mm の球ギャップを垂直に配置して (幾つかの機関ではこれより小さい球ギャップを用いた) 裁断波を発生できる構成をとっている。印加電圧波形としては、標準雷インパルス電圧波形 (1.2/50 μ s) と裁断波電圧波形 (裁断時間 T_c の目標値 1.5, 1.0, 0.5 μ s) で、印加電圧の波高値は約 100 kV (幾つかの機関では約 120 kV で実施) を標準とした。

分圧器からの出力電圧は、各機関で手持ちの整合抵抗をかねた減衰器を接続して、1 台のデジタル計測器の 2 チャンネルを使用して同時に記録している。1 機関においてのみ、2 台のデジタル計測器を各々の測定系に接続して同時に測定している。多くの機関では、計測器のチャンネル間誤差を最小限にするために、測定途中にチャンネルを交換したり、ステップ電圧などを用いて計測器の校正を実施し、測定データに補正を施している。測定は 10 回以上繰り返し、その平均値を各機関での測定値として算出した。

比較試験の実施に先立ち、IEC 規格改訂案に従って、測定系への誘導障害のチェックを行った。比較試験時の実回路と幾何学的配置を変えないまま、一方の分圧器からの測定ケーブルの分圧器側を短絡接地し、比較試験時の電圧を印加して測定系への誘導電圧を測定した。3 機関ではその誘導電圧は、測定信号電圧に対して 1% の IEC 規格改訂案における許容値を若干超えたが、他の機関は 1% 以下の値であったことを確認している。最大入力電圧の小さいデジタル計測器を用いても、今回の比較試験のような条件のもとでは、特別な対策を施さなくとも誘導は十分小さく抑えられることがわかった。

〈5・2〉 結果 図 7 には、分圧器 A に制動抵抗を挿入しない場合の裁断時間 T_c に対する、分圧器 A を基準とした分圧器 B の波高値差 δU および波頭長時間差 δT について、各機関の測定値およびその平均値を示す。標準雷インパルス波形での測定結果は、2.5 μ s のところに記してある。図中のハッチング部分は IEC 規格案⁽⁹⁾ の許容限界を示している。各機関の算出値は、白抜きの丸印で重なら

図 6 比較試験回路
Fig. 6. Comparison test circuit.

図 7 分圧器 A, B の比較試験結果 (制動抵抗なしの分圧器 A が基準)

Fig. 7. Result of comparison test between dividers A and B (peak voltage difference δU and front time difference δT of divider B compared with divider A without R_d).

ないようにすべてプロットし、各機関の平均値は塗りつぶしのひし形印でプロットしてある。(a)図に示す波高値差 δU については、標準雷インパルス波形では、すべての機関において δU が $\pm 1\%$ 以内の値であった。その平均値は約 0.1% であり、標準偏差は約 0.5% と小さな値で、各機関間のばらつきはほとんどなかった。裁断波形については、 $T_c = 1.5 \mu s$ では、標準雷インパルス波形の場合と同

じように、ほとんどの機関で δU が $\pm 1\%$ 以内であった。 $T_c = 1.0 \mu s$ では、 δU が -1% を超える機関が増え標準偏差も大きくなる。 $T_c = 0.5 \mu s$ では、 δU の平均値は約 -2.8% であり、標準偏差は 1% を超えてかなり大きかったが、すべての機関で IEC 規格案の許容限界である -5% 以内の値であった。

(b)図に示す波頭長時間差 δT については、標準雷インパルス波形では δT の平均値は約 0.2% で小さいが、標準偏差は 1% を超えてばらつきが大きかった。各裁断波形については、裁断時間が短くなるに従ってばらつきは大きくなるが、 δT の平均値は -2% 以内で標準偏差も 3% 以内であった。

このように裁断時間 T_c が短くなるに従い、波高値差 δU 、波頭長時間差 δT および各機関間のばらつきが大きくなる。この傾向は、以下で述べるように、比較試験における分圧器の組合せが異なっても変わらない。

図 8 には、分圧器 A に制動抵抗を挿入した場合の裁断時間 T_c に対する、分圧器 A を基準とした分圧器 B の波高値差 δU および波頭長時間差 δT について、各機関の測定値およびその平均値を示す。制動抵抗を入れることで分圧器 A の応答特性が悪くなり、分圧器 B との特性の差が小さくなるため、図 7 の場合よりも差が減少している。図 8 (a)に示す波高値差 δU については、標準雷インパルス波形および裁断波形の $T_c = 1.5 \mu s, 1.0 \mu s$ で δU が -1% を超える機関が幾つかあり若干ばらついているが、その平均値は分圧器 A に制動抵抗がない場合とほとんど同じで小さな値であった。 $T_c = 0.5 \mu s$ では、 δU の平均値は約 -1% であり、値としては小さいが、標準偏差は 1% を超えてばらつきが少し大きかった。(b)図に示す波頭長時間差 δT については、標準雷インパルス波形および裁断波形の $T_c = 1.5 \sim 0.5 \mu s$ で δT の平均値は $\pm 0.2\%$ 以内でかなり小さい値であった。標準偏差については $T_c = 0.5 \mu s$ で 1% を超えたが、他の場合は 1% 以内の値で、各機関間のばらつきは小さかった。

2 機関においては、分圧器 B の高電圧シールドを外し、

図 8 分圧器 A, B の比較試験結果 (制動抵抗ありの分圧器 A が基準)

Fig. 8. Result of comparison test between dividers A and B (peak voltage difference δU and front time difference δT of divider B compared with divider A with R_d).

分圧器 A に制動抵抗を挿入しない場合の比較試験を実施している。この場合、分圧器 B の応答特性が悪くなるため、両者の差は被測定波形の裁断時間が短いほど増大する。標準雷インパルス波形については、波高値差 δU は $\pm 0.3\%$ 以内の値であった。裁断波形については、裁断時間 T_c が小さくなるに従って δU は大きく増加する。 $T_c = 0.5 \mu s$ では 2 機関とも IEC 規格案の許容限界である -5% を超える値であった。波頭長時間差 δT については、標準雷インパルス波形および裁断波形 ($T_c = 1.5 \sim 0.5 \mu s$) において、 T_c が小さくなるにつれて δT は増加するが、2 機関とも IEC 規格案の許容限界である -10% 以内の値であった。

6. 検 討

〈6・1〉 単独の測定システムの試験 今回持ち回りの抵抗分圧器のように、直流電圧あるいは交流電圧による抵抗値の測定から分圧比が計算できる測定系においては、抵抗値測定器のもつ誤差に近い誤差で分圧比の決定を行うことが十分可能である。

直角波応答形の測定条件をかなり詳細に規定したにもかかわらず、特に整定時間 T_s のばらつきが大きかった。こ

れには技術的な問題だけでなく、実験室の条件が影響している可能性がある。その場合の同一の分圧器を使用して、同じ試験回路を IEC 規格改訂案に沿って構成しても、実験室が異なると、測定システムとしての特性は異なることになる。IEC 規格改訂案は「測定システム」を対象としているため、このことによって不都合は生じないが、同じ分圧器を購入しても、同じ特性の測定系が構成できるとは限らないことに注意しなければならない。

整定時間 T_s が過大な場合には、制動抵抗を入れることによって対処できるが、システムの応答速度は遅くなる。 T_s 以外のパラメータのばらつきはそれほど大きくはない。このばらつきは、応答速度が遅くなると、一般に減少する傾向にある。また各応答パラメータの算出方法はコンピュータを用いて計算した場合や、手計算した場合など各機関で異なるため、これもばらつきの生じる要因の一つになっている。例えばコンピュータによる計算では、正規化した規約点の微小な変化が大きく計算結果に影響するという報告があった。

分圧器 A は制動抵抗を入れない場合の応答時間がほぼ 0 のため、比較対象の分圧器の実力を測定するうえでは適切であったといえる。ただし、IEC 規格案の要求する基準測定系 (RMS)⁽³⁾ として T_s を規定値内に抑えるためには、多くの機関で制動抵抗を挿入する必要があった。このように適当な対策を施す事により、分圧器 A を用いて基準測定系を構成する事が可能であった。

〈6・2〉 比較試験 比較試験において、二つの測定系の応答時間の差の平均値から理論的に予想される波高値差は、 $0.5 \mu s$ の裁断波の測定に際しては、図 7 の場合で 3% 、図 8 の場合で約 1.5% 程度であり、それぞれの比較試験における差の平均値とほぼ一致している。従って、平均値を見る限りでは、直角波応答と比較試験の間には対応が見られるが、 2% 以上に及ぶばらつきが見られるのは問題である。同じ $0.5 \mu s$ の裁断波については、裁断時間の測定値の差のばらつきも大きい、これはデジタル測定に際してのサンプル時間間隔 $20 ns$ の場合、データの間隔は被測定時間 $0.5 \mu s$ の 4% にもなる。

波高値差にばらつきが生じた原因は幾つか考えられる。デジタル波形記録装置のチャンネル間の特性差が影響するため、各機関で独自に校正を実施した。チャンネル間の特性差は、応答特性の面にはあまり影響しないと思われるため、この要因による波高値差は裁断時間にはほとんど関係しないであろう。従って、この要因による波高値差は、今回の持ち回り比較試験では、 $\pm 1\%$ に収まっており、あまり問題はない。しかしながら、より高い精度を要求する場合には、デジタル計測器の校正方法や、雑音除去のための波形処理方法などについて、今後更に検討する必要がある。

今回の比較試験実施上の困難な点として、インパルス電圧発生器の負荷が、2 台の抵抗分圧器により重くなるために、出力波形の調整がやっかいなことがあった。このた

め、各機関のインパルス電圧波形には、若干の差があっても不思議ではない。裁断条件の差による裁断時間のばらつきもあったと思われる。これらが比較試験結果のばらつきの要因の一つとなっていることも考えられるが、比較試験という試験法自体が、これらの影響を軽減するように働くので、これらが主要な原因とは考えにくい。

波高値差のばらつきにかなり影響しているかも知れないのは、測定ケーブルとデジタル計測器の間に挿入される減衰器の応答時間である。測定システムの直角波応答性は、これを含まないで測定されているが、比較試験に際しては、分圧器出力と、デジタル計測器の入力レベルを合わせるため、減衰器が挿入されているのが普通である。今回の持ち回り試験では、ヨーロッパで実施された持ち回り試験と同じく、その応答特性を確認することを義務づけていないが、今後は測定項目に加える必要がありそうである。

最後に、実験室自体が測定系の直角波応答特性、特に測定時間に影響することがわかったが、これと比較試験結果との関係は、今のところ不明である。持ち回りに供した分圧器は2台ともそう大きくなかったため、測定への近接障害物の及ぼす影響は小さかったと考えられる。しかし、大形の汎用分圧器を含む測定系を対象とする場合に備えて、近接障害物の影響も今後検討していく必要がある。

7. む す び

日本国内の12の機関が参加して、2台の抵抗分圧器を供試器として、100 kV レベルでの雷インパルス電圧測定に関する持ち回り試験を行った。その結果、雷インパルス電圧測定技術における日本の平均的なレベルは、ヨーロッパ各国と同程度の水準にあることがわかった。トレーサビリティを確立しようとする IEC 規格改訂案の意図は、このレベルの機関においては一応実現されるとみてよい。しかし、各機関それぞれの測定器、測定環境の差による測定結果のばらつきをいっそう減少させるため、直角波応答試験、比較試験の手順をより厳密に規定する必要がある。これらの点に留意しつつ、より実用的な高い電圧における測定システムの校正方法を検討していきたい。

日本国内の12機関が参加して分圧器2台を含む測定系を持ち回り、直角波応答測定や比較試験が実施された。1機関1箇月という短い期間で準備も十分でなかったにもかかわらず、価値のあるデータが得られた。これらのデ

ータは、次のステップの実用電圧レベルである数 MV 級の比較試験への有効な情報となった。今回の国内持ち回り比較試験に協力して下さった、インパルス測定精度向上協同研究委員会に参加している日本工業大学、(株)日立製作所、三菱電機(株)、財団法人電力中央研究所、富士電機(株)、日本ガイシ(株)、(株)明電舎、古河電気工業(株)、工学院大学、日新電機(株)、(株)フジクラの各委員に深く感謝いたします。(平成5年6月1日受付)

文 献

- (1) T. R. Mc Comb, R. C. Hughes, H. A. Lightfoot, K. Schon, R. Schulte, R. McKnight & Y. X. Zhang: "International comparison of HV Impulse measuring systems", *IEEE Trans. Power Delivery*, 4, No. 2 (1989-4)
- (2) A. Boamy, G. Rizzi, A. W. van, R. C. Hughes, A. Vaz, F. Garnaho & K. Schon: "International Comparison of HV Impulse Dividers", 7th ISH, Dresden, 61.07(1991)
- (3) IC Committee Draft: "High Voltage Test Techniques Part 2: Measuring Systems", TC 42 (S) 82(1992)
- (4) 調査研究委員会レポート:「インパルス測定精度向上協同研究委員会」, 電学論 B, 112, 1160 (平4-12)
- (5) J. Rungis, M. Ishii, Y. Cunyi & K. Schon: "Intercomparison of impulse dividers from PTB in Australia, Japan and China", 8th ISH, Yokohama

石 井 勝 (正員) 1949年3月11日生。1976年3月東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年4月同大助教授、生産技術研究所勤務、1992年7月同教授、現在に至る。工学博士。主として、系統絶縁、自然雷、高電圧現象の測定に関する研究に従事。1988年度日本大気電気学会学術研究賞受賞。1989、90年度電気学会東京支部評議員。電気設備学会、日本大気電気学会、日本気象学会、静電気学会、IEEE Senior Member。

小 山 博 (正員) 1962年8月9日生。1986年3月法政大学工学部電気工学科卒業。同年4月(株)東芝入社。高電圧絶縁技術に関する研究に従事。