

D-17

## シリコン加工砂利の抵抗率

○ 坂間 博樹 (関東学院大学大学院工学研究科), 鈴木 幸治((株)グラスノン)

高橋 健彦 (関東学院大学)

Resistivity of Silicon Coated Gravel

Sakama Hiroki

Suzuki kouzi

(Graduate School of Engineering, kanto-gakuin University) (grassnon Co.,Ltd.)

Takahashi Takehiko(kanto-gakuin University)

キーワード:シリコン加工砂利, 抵抗率

## 1. まえがき

液体や粘土のような物体の抵抗率を測定するのは容易であるが、固体の抵抗率の測定は困難である。そこで、体積比濃度の原理でシリコン加工砂利(玉砂利)等の抵抗率測定を試みたので以下に報告する。ここで、物理系では固有抵抗, 比抵抗という表現もあるが、本稿では抵抗率と表現する。

## 2. 抵抗率測定の原理

測定装置を図1に示す。アクリル製水槽の両端に銅製の電極板(100×100mm)を置き、商用電源を印加し、回路電流と電極板の両端の電圧により抵抗を測定する。この抵抗(R)は次式で表される。

$$R = \rho L / A \dots (1)$$

ここで、 $\rho$ : 水槽の媒質の抵抗率

L: 水槽の長さ

A: 電極板の面積

図1に示した測定装置の寸法を(1)式に代入し、抵抗率を逆算すると次式になる。

$$\rho = RA / L = 0.05 \cdot R \dots (2)$$

液体や粘土であれば、媒質を水槽の中に入れ、抵抗を測定することで抵抗率が容易に推定できる。しかし、砂利の場合は隙間が生じるため、直接的な測定が不可能である。

そこで、水槽の中に入れる媒質の量を体積比濃度で換算する。体積比濃度( $\gamma$ )の定義は次式による。

$$\gamma = (V_s / V_o) \cdot 100(\%)$$

ここで、 $V_s$ : 媒質の体積

$V_o$ : 水槽の体積

媒質である砂利の体積比濃度が100%になることはあり得ないため、外挿法によって100%とみなしたときの抵抗率を推定する。

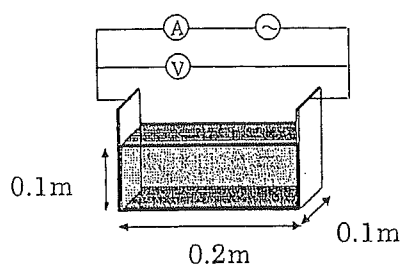


図1 測定装置

## 3. 実験手法の有効性の確認

前述した抵抗率測定の原理の有効性を確認するために媒質として、砂を用いて実験を行った。

図1に示す測定装置に商用電源(10V)を加え、水槽に水道水を満たし、砂を入れた。その際、水槽からあふれる水(つまり砂の体積)を測定し、あわせて電流を測定し抵抗を求め、(2)式の逆算式により抵抗率を求めた。その結果を図2に示す。ここで、水槽に乾燥した砂を満たした場合、つまり、体積比濃度( $\gamma$ )100%の抵抗率を測定した結果、7000  $\Omega \cdot m$  となった。

図2に示した実験結果より、Mathcad(2001)を用いて指数回帰によるデータ解析を行った。解析を行う際、砂の抵抗率( $y$ )と体積比濃度( $x$ )の関係は次式のように仮定した。

$$y = ae^{bx} + c \dots (3)$$

解析した結果、次の定数となった。

$$a = 4.36 \times 10^{-3}, \quad b = 0.14, \quad c = 58$$

ちなみに、体積比濃度  $x=0$  の場合は、 $y = c = 58$  となり、水槽の水の抵抗率となる。また、体積比濃度  $x=100$  の場合は、 $y = 7000$  となり、砂の抵抗率となる。

#### 4. 測定結果

シリコン加工砂利とはシリコン溶剤を普通の砂利に焼付けたもので、撥水性、非保水性に優れた砂利である。

前述したように、実験方法の有効性を確認し、砂の場合の抵抗率と体積比濃度の関係式を見出した。そこで、3と同様な方法で砂利とシリコン加工砂利の抵抗率を推定する実験を行った。測定結果を図2に示す。

砂利やシリコン加工砂利の場合は隙間が生じるため、体積比濃度が60%程度である。そこで、砂の場合の実験式を参考にして、指数回帰曲線の定数aを推定した。ここで、(3)式のb, cは一定とした。

まず、砂利の場合の体積比濃度60%のときの抵抗率  $111 \Omega \cdot m$  をもとにaを求めると  $a=0.010$  となった。同様にシリコン加工の場合の体積比濃度60%のときの抵抗率  $137 \Omega \cdot m$  をもとにaを求めると  $a=0.015$  となった。

これらの作業によって砂利とシリコン加工砂利の実験式の定数を求めることができた。まとめて表1に表す。

#### 5. 抵抗率の推定

砂利やシリコン加工砂利の場合は、体積比濃度100%にはなりえない。そこで(3)式に示した、実験式を用い、外挿法によって体積比濃度100%、つまりそれ自体の抵抗率を推定することにした。

(3)式において、 $x=100$  として表1に示した定数を代入すると、砂利は  $16000 \Omega \cdot m$  となり、シリコン加工砂利は  $24000 \Omega \cdot m$  となった。つまり、これらの値が抵抗率である。

#### 6. 砂利、シリコン加工砂利の含水特性

図1に示した測定装置に水道水を満たし、抵抗率の経時変化、つまり含水特性をみた。結果を図3に示す。

砂利の場合は、水を含み抵抗率が減少する傾向を示したが、シリコン加工砂利は水を含まず、抵抗率が一定である。

#### 7. あとがき

本稿で述べた実験によって、以下の知見が得られた。

1) 普通の砂利の初期抵抗率は  $16000 \Omega \cdot m$  であるが水分を含むことによって、約20%の抵抗率の減少がみられた。

2) シリコン加工砂利の初期抵抗率は  $24000 \Omega \cdot m$  であり、撥水性があるため、抵抗率の減少はみられない。

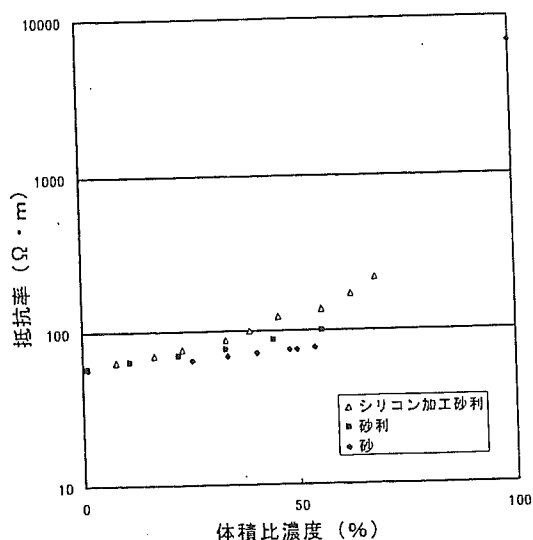


図2 シリコン加工砂利、砂利、砂の抵抗率比較

表1 実験式の定数

	a	b	c
砂利	0.010	0.143	58
シリコン加工砂利	0.015	0.143	58

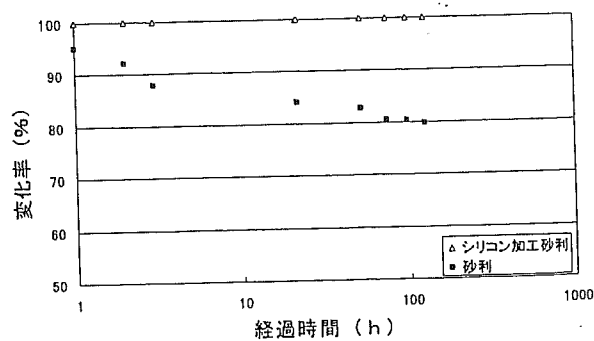


図3 砂利、シリコン加工砂利の含水特性

#### 8. 今後の課題

変電所等では人体に印加される歩幅、接触電圧を低減するため砂利を敷くことがある。今後、砂、砂利等を用いた歩幅・接触電圧低減についてのモデル実験を行うつもりである。

本研究は、平成17年度厚生労働科学研究費補助を受けていることを付記する。

#### 参考文献

1) 右田理平, 高橋健彦: 「戸建住宅基礎の代用接地極に関する基礎的検討」, 電気設備学会誌 論文号 Vol24, No.4, pp.296~301, 2004年

# シリコン加工砂利の抵抗率

准会員 坂間博樹 (関東学院大学) 正会員 高橋健彦 (関東学院大学)

Resistivity of Silicon Coated Gravel  
Sakama Hiroki (Graduate School of Engineering, Kanto-Gakuin University)  
Takahashi Takehiko (Kanto-Gakuin University)

キーワード：抵抗率，体積比濃度，シリコン加工砂利，

In the substation, high resistivity material, such as gravel is spread on the earth's surface above the earthing grid to increase the contact resistance between the soil and the feet of persons. This paper investigates the resistivity measurement method of gravel and the resistivity of silicon coated gravel.

## 1. まえがき

変電所等の構内では感電保護のために歩幅電圧や接触電圧の低減対策が行われている。この対策のひとつに砂利を敷く手法がある。IEEE の変電所接地設計指針においてもこの手法が<sup>1)</sup>提案されているが、指針の中で感電保護対策として砂利の抵抗率の具体的な指標は見当たらない。より抵抗率を高くするためにシリコン溶剤を数ミクロンの厚さで砂利（玉砂利）に焼付けた砂利（以下シリコン加工砂利という）が考案された。これは撥水性、非保水性に優れた特徴をもつ砂利である。そこで、砂利の抵抗率の実力を知るために抵抗率測定を試みたので以下に報告する<sup>2)</sup>。

## 2. 抵抗率の推定手法

### 2.1 推定の考え方

流体や粘土のような物体の抵抗率を測定するのは容易であるが固体の抵抗率を測定することは容易でない。しかもシリコン加工砂利を非破壊で測定する方法は見当たらない。

そこで、体積比濃度の考え方をを用いてシリコン加工砂利等の抵抗率を測定するために以下の方法で行った。

ここで、物体の体積抵抗率 ( $\Omega m$ ) を物理系では固有抵抗、比抵抗という表現もあるが、本稿では抵抗率と表現する。

### 2.2 抵抗率測定の原理

アクリル製水槽（長さ 200×高さ 100×幅 100 mm）の両端に銅製の電極板（100×100×2 mm）を置いた測定装置に商用電源を印加し、回路電流と電極板の両端の電圧により抵抗を測定する。媒質の抵抗率を  $\rho$  としたときこの抵抗  $R$  は次式で表される。

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \text{----- (1)}$$

ここで、 $\rho$ ：水槽の媒質の抵抗率、 $L$ ：水槽の長さ、 $A$ ：電極板の面積

被測定媒質が液体や粘土であれば、媒質を水槽の中に入れ、抵抗を測定することで抵抗率が容易に推定できる。しかし、砂利の場合は隙間が生じるため、直接的な測定が不可能である。

そこで、水槽の中に入れる媒質の量を体積比濃度で換算する。体積比濃度  $\gamma$  の定義は次式による<sup>3)</sup>。

$$\gamma = \frac{V_s}{V_0} \cdot 100(\%) \text{----- (2)}$$

ここで、 $V_s$ ：媒質の体積、 $V_0$ ：水槽の体積  
媒質である砂利の体積比濃度が 100% になることはあり得ないため、外挿法によって 100% とみなしたときの抵抗率を推定する。

## 3. 抵抗率測定原理に基づく砂の抵抗率の測定

測定装置の水槽に水道水を満たし、砂を入れた。その際、水槽からあふれる水（つまり砂の体積）を測定し、あわせて電流を測定し抵抗を求め、抵抗率を求めた。

その結果、体積比濃度 58% で抵抗率  $78 \Omega m$  であった。次に、水槽に乾燥した砂を満した場合、つまり、体積比濃度 100% の抵抗率を測定した結果、 $7000 \Omega m$  となった。これらの結果を図 1 に示す。

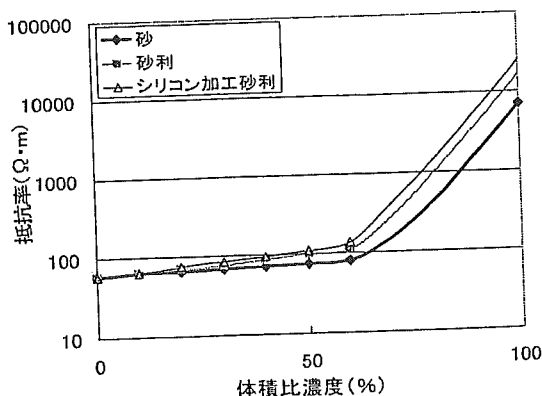


図 1 砂，砂利，シリコン加工砂利の抵抗率  
Fig1. Resistivity of silicon coated gravel, gravel and sand

前述した砂の測定結果より砂の体積比濃度と抵抗

率の関係式を算出する。Mathcad (2001) を用いて指数回帰によるデータ解析を行った。解析を行う際、砂の抵抗率  $y$  と体積比濃度  $x$  の関係は次式のように仮定した。

$$y = a \cdot e^{b \cdot x} + c \text{-----} (3)$$

解析した結果、次の定数となった。

$$a = 4.36 \times 10^{-3}, b = 0.143, c = 58$$

ちなみに、体積比濃度  $x=0$  の場合は、 $y=c=58$  となり、水槽の水の抵抗率となる。また、体積比濃度  $x=100$  の場合は、 $y=7000$  となり、砂の抵抗率となる。

#### 4. 砂利, シリコン加工砂利の抵抗率の測定

##### 4.1 測定手法

測定装置の水槽に水道水を満たし、砂利を1つずつ投入し、溢れた水の量を測定し、あわせて電流を測定し抵抗率を求めた。砂利が投入できなくなるまでこの行為を繰り返し、体積比濃度と抵抗率の関係を調べた。

##### 4.2 測定結果と抵抗率の推定

砂利やシリコン加工砂利の場合は隙間が生じるため、体積比濃度が60%程度までの実験データしか得られなかった。そこで図1に示したデータを用いて、砂の場合の実験式を参考にして、指数回帰曲線の定数  $a$  を推定した。ここで、(3) 式の  $b, c$  は一定とした。

まず、砂利の場合の体積比濃度60%のときの抵抗率  $111 \Omega m$  をもとに  $a$  を求めると  $a=0.010$  となった。同様にシリコン加工砂利の場合の体積比濃度60%のときの抵抗率  $137 \Omega m$  をもとに  $a$  を求めると  $a=0.015$  となった。

これらの作業によって砂利とシリコン加工砂利の実験式のパラメータを求めることができた。まとめて表1に表す。

表1 実験式のパラメータ

Table1. Parameters of experimental formula (3)

	$a$	$b$	$c$
砂利	0.010	0.143	58
シリコン加工砂利	0.015	0.143	58

##### 4.3 砂利の抵抗率の推定

砂利やシリコン加工砂利の場合は、体積比濃度100%にはなりえない。そこで(3)式に示した実験式を用い、外挿法によって体積比濃度100%、つまりそれ自体の抵抗率を推定することにした。

(3)式において、 $x=100$ として表1に示した定数を代入すると、砂利は  $16000 \Omega m$  となり、シリコン加工砂利は  $24000 \Omega m$  となった。これらを図1に示す。

#### 5. 砂利, シリコン加工砂利の含水特性

砂利は水分を含むが、シリコン加工砂利はシリコン溶剤を焼付けているため撥水性、非保水性がある。この特徴をみるため含水特性の実験を行った。

測定装置に水道水を満たし、抵抗率の経時変化をみた。ここで、変化率とは初期の抵抗率に対する変化の割合である。結果を図2に示す。

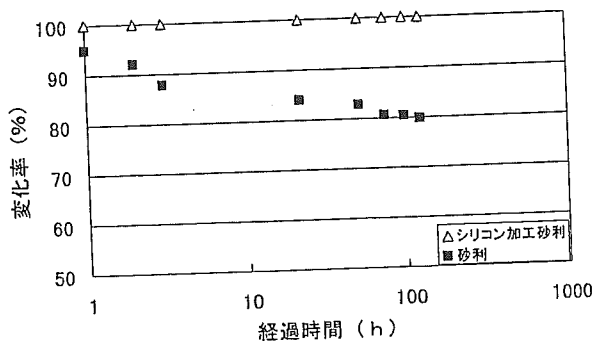


図2 砂利, シリコン加工砂利の含水特性

Fig2. Contained water characteristic of gravel and silicone coated gravel

砂利の場合、推定した初期抵抗率は  $16000 \Omega m$  であるが、水を含み抵抗率が減少する傾向を示し図に示すように約20%の減少の傾向がある。シリコン加工砂利は撥水性があるため水を含まず、推定した抵抗率が初期の  $24000 \Omega m$  から減少しない。

#### 6. あとがき

非破壊によって砂利等の抵抗率を推定する手法を提案し、シリコン加工砂利の具体的な抵抗率を知ることができた。また、含水特性により、シリコン加工砂利の抵抗率が変化しないことを確認した。

これらの知見をもとに、シリコン加工砂利による接触電圧、歩幅電圧の低減対策の有効性について検討する予定である。

本研究は、平成17年度厚生労働科学研究費補助を受けていることを付記する。

(受付 2005年12月19日)

#### 参考文献

- 1) IEEE std 80-2000, IEEE Guide for safety in AC substation Grounding, pp20-23
- 2) 坂間 博樹, 鈴木 幸治, 高橋 健彦:「シリコン加工砂利の抵抗率」, 電気設備学会全国大会, pp.165-166, 2005.
- 3) 右田理平, 高橋健彦:「戸建住宅基礎の代用接地極に関する基礎的検討」, 電気設備学会誌 Vol24, No.4, pp.296-301, 2004

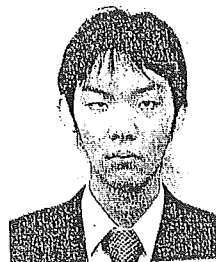
坂間 博樹 (准会員)

1981年生まれ。

2005年4月関東学院大学大学院工学研究科建築学専攻博士前期課程入学  
現在在学中

高橋 健彦 (正会員)

関東学院大学工学部建築設備工学科教授, 工学博士 (東京大学)





## 建築電気設備における接地技術

これだけ電気に依存している現代にあって、安全・安心を確保するための何らかの手段が必要です。ここでは、その基盤技術である接地について説明します。

**Q** そもそも接地とは何ですか

接地とは電気関連機器を大地と電気的に接続することであり、接続するためのターミナルが接地極です。ここで、電気関連機器とは、電力機器、電子機器、通信機器、情報技術機器などが含まれます。

この接地極が大地との間に電気的抵抗、いわゆる接地抵抗を持つため、接地電流によって電位上昇が生じ、いろいろな障害を起こすこととなります。理想的には接地抵抗が0Ωであれば、何ら障害は生じません。しかし、現実にはあり得ません。

電位上昇に伴う障害には、最悪の場合は人体の感電であり、機器に対しては誤作動やノイズ発生などがあります。これらの障害を防ぐための接地を「保安用接地」と言います。

一方、特に、電子、通信、情報技術機器などのエレクトロニクス機器に対しては、接地極による電位上昇ばかりでなく、地上空間における接地系の電位の変動がこれらの機器に障害を及ぼすこともあります。これらの障害を防ぐために、電位の基準点を与える接地を「機能用接地」と言います。

接地のことを、一般に「アース」と言っています。IEC\*1の用語を見ると、英語圏では“earthing”、米語圏では“grounding”と定義しています。

わが国では、電力(強電)分野では「アース」、情報・通信(弱電)分野では「グラウンド」と言っているようですが、用語の使い方を分析してみると、保安用接地をアース、機能用接地をグラウンドと言っているような気がします。つまり、接地を得る行為の対象が大地である場合と筐体(シャーシ)である場合の違いのようです。

IEC規格あるいはJIS\*2では接地の図記号を5種類に定義しています。この問題はIEEE\*3機関誌の“Spectrum”でも話題になりました。

わが国ではどうでしょうか。強電、弱電分野の両分野で用語、図記号の標準化を図る必要があります。

**Q** ビルにおける接地の考え方を教えてください

保安用接地とは人間および電気関連設備機器の安全の確保を目的に施工されるものであり、系統接地、機器接地、雷保護接地などがあります。

一方、1985年ごろからの高度情報化の進展に伴い、多種多様なエレクトロニクス機器がビルに導入され、これらの機器の安定な稼働を保障するための機能用接地が要求されるようになってきました。機能用接地に関しては雷保護、EMC\*4と密接に関係するもので、体系化には技術的課題が保安用接地に比して多く山積しており、今後の重要な研究分野です。

このように、接地技術は保安用と機能用という、まったく異なる技術をシステム化して体系化を図る必要があります。

保安用接地と機能用接地の形態を考えると、保安用接地は主として接地極による大地の電位上昇にかかわりがあります。一方、機能用接地も一部は大地を対象にしていますが、エレクトロニクス化された機器・設備に対しての電位変動をなく

すために建築空間を対象にしています。

つまり、大地を対象にしている接地と建築空間を対象にしている接地とがあり、これら両者の良好な共生関係を構築するのが接地システムです。

これからのビル接地は、機能用接地を主体とした接地システムの構築が必要不可欠であります。それには、従来からの接地の考え方から脱却して、等電位ボンディング、EMCの思想を取り入れた新しいシステムを導入することが肝要です。

たとえとして引き合いに出されるのが航空機の接地です。図1に示すように、接地抵抗は無限大ですが、安全に飛行しています。つまり、航空機の中の人間、エレクトロニクス機器などに支障をきたすことなく、すべての電気・通信設備機器が稼働しているわけで、接地システムが接地抵抗には無関係であることを示唆しています。

接地システムを構築する手掛かりとして、1978年代に構造体接地の考え方を取り入れ、その後、1992年には構造体接地を発展させた統合接地システムを提唱しました。

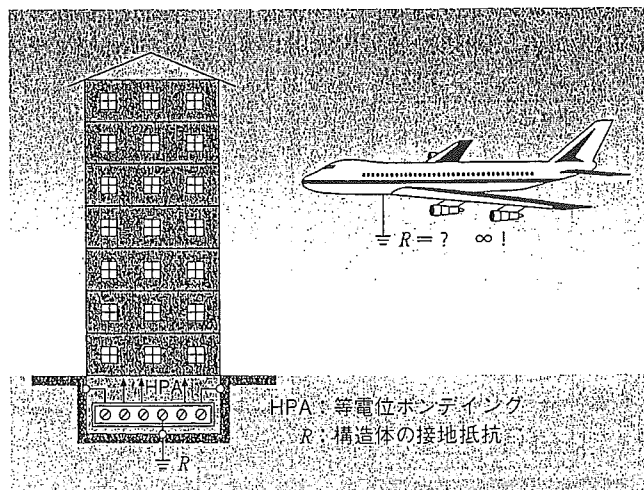


図1 接地システムの概念



## 接地システムの今後の課題と展望

接地システムに関して解決すべき技術的課題はまだ山積みの状態です。これらの課題を一つずつ解決することで、望ましい接地技術が進展しビルにおける接地システムの理念が実現します。構築に際して解決すべき課題を抽出してみましょう。

### ① 統合接地システムの構築

このシステムを採用したビルも建設されています。普及に際し、接地幹線のあり方、内部雷保護システムおよびEMC技術の導入、等電位ボンディング技術の導入、B種接地工事との共用の問題などの課題はあるものの、着実にシステム構築が果たされてきており、より望ましいビル接地が構築されそうです。

### ② 雷保護における接地

雷保護には、建築物を守る外部雷保護と、建築物内のエレクトロニクス機器を守る内部雷保護があります。外部雷保護については接地極の設計が接地技術に係ります。一方、内部雷保護はEMC、接地システムに関係するものです。

内部雷保護システムは電子・通信機器などのいわゆる弱電機器の過電圧防止のために、建築物内における等電位ボンディング、SPDの適用、遮へい、

接地などの対策、つまり雷電磁パルス対策で対応しなければなりません。そのためには、雷保護ゾーン(LPZ)を考慮したうえで等電位化母線とSPDによって構築しなければなりません。

わが国において、内部雷保護システムは現時点では、まだ体系化されておらず、今後、標準化する必要があります。

### ③ EMC接地

建築電気設備におけるEMCは、低圧配電系統の接地方式に密接に関係します。わが国ではTT方式です。欧米において一般的な接地方式であるTN方式の場合、EMC対策のための接地方式は図2に示すようにTN-S方式が望ましいとされています。

IEC規格が電技解釈第272条に導入された現在、施工に際しての位置づけについての考察が必要です。

### ④ 等電位ボンディング技術

ボンディングと接地を同義語のように扱うことがありますが、これは厳密には異なります。接地は大地を対象にしており、ボンディングは建築空間を対象にしています。

ボンディングの対象は大別して、次の3種類です。低圧電路設備においては、保安を目的とした保護等電位ボンディングがあり、これは接触電圧の低減のために施されます。

情報通信設備においては機能を目的

とした機能等電位ボンディングがありこれは過電圧の保護、電位の基準点を確保するために施されます。

さらに、雷保護設備においては雷保護等電位ボンディングがあり、これも過電圧保護に密接に関係するものです。

わが国では、ボンディングの思想が明確になっているとは思えません。欧米諸国で常識になっているボンディングの考え方は、特にビルにおける内部雷保護、EMC接地の分野においても重要な概念です。したがって、今後、わが国の基準・規格などに積極的にボンディングの思想を盛り込む必要があります。

### ⑤ IEC規格の運用

IEC60364(建築電気設備)規格では、低圧配電系統における接地方式として、TN方式、TT方式、IT方式の3種類のメニューを提示しています。これらの方式には長所短所があり、どれが最適かを判断するためには、各国の配電の歴史を考慮すべきであり、現実の一つの国でも複数の方式を採用している国が多くあります。

電技解釈第272条を適用する際、いろいろな制限はあるものの、IEC60364規格でビル設計・施工することが可能になったわけで、各方面で大きな関心事になっています。

#### ◆参考文献◆

- (1) W.Rudolph: EMV nach VDE 0100, VDE-Verlag GMBH, Berlin, 1995
- (2) 高橋健彦: (社)電気設備学会誌(巻頭言), Vol25, No.2, 2005年
- (3) 高橋健彦: 「図解接地システム入門」, (株)オーム社, 2001年
- (4) 高橋健彦: 「接地・等電位ボンディング設計の実務知識」, (株)オーム社, 2003年

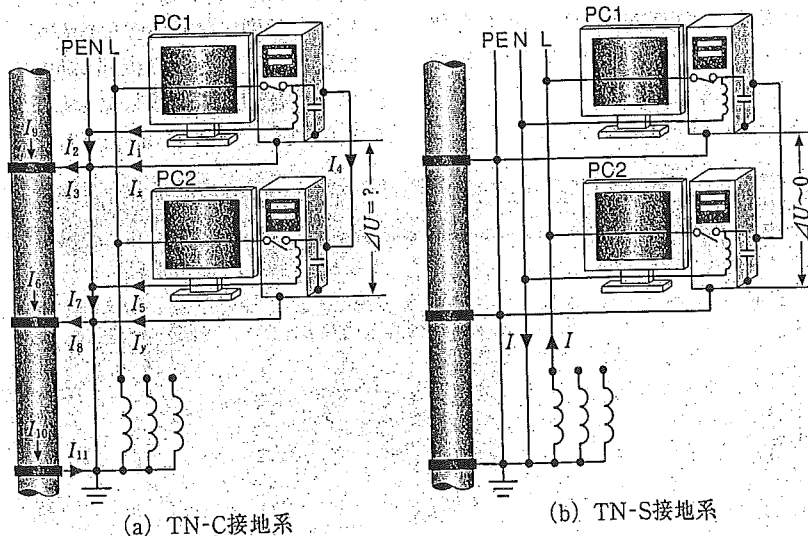


図2 TN接地方式の特徴

- \*1 International Electrotechnical Commission、国際電気標準会議
- \*2 Japan Industrial Standard、日本工業規格
- \*3 Institute of Electrical and Electronic Engineers、米国電気電子学会
- \*4 Electro-Magnetic Compatibility、電磁両立性



# 内線規程の改訂に伴う これからの住宅電気設備

前編

高橋 健彦 (たかはし たけひこ)

関東学院大学工学部 教授、大沢記念建築設備工学研究所 所長  
IEC-TC64(感電保護と電気設備)国内委員会 委員長

2005年10月に内線規程が改訂された。この改訂では、「接地極付コンセントの設置が義務化された」とこと、「住宅分電盤の雷保護装置の装備が推奨された」ことが注目すべき点としてあげられる。ここでは、内線規程の改訂の概要について2回にわたり解説する。今号では、内線規程および前述の二つのトピックスに関する技術的知識について述べ、また次号では、住宅基礎の代用接地極の実用化について解説する。

近年の高度情報化および家庭電化社会の進展、高齢化社会の到来に向け、住宅の電気設備はインテリジェント化、オートメーション化され、ますます高機能化されようとしている。

住宅の電気設備のインフラ整備の一つに、接地設備がある。住宅における接地設備が目ざす理念は、環境性および安全性の向上を高度に実現することである。特に、エレクトロニクス化された機器、設備が多様な住宅に導入されてきている現状にあって、この理念を長期にわたって実行していくためには、住宅における感電災害および電磁障害をなくし、接地設備が高い信頼性を持つ必要がある。

2005年10月に内線規程が改訂された。注目すべきトピックスは、接地極付コンセントの設置が義務化されたこと、および住宅分電盤の雷保護装置の装備が推奨されたことである。これらのトピックスの共通点は接地である。従来から、ややもすると住宅の接地技術は置き去りにされてきた感がある。今回の改訂に伴い、これからの住宅の接地設備のあり方については大きな関心事であろう。

そこで、今号では、内線規程について紹介するほか、これからの住宅電気設備に必要とされる二つのトピックスに関する技術的知識について述べ、次号では、住宅基礎の代用接地極の実用化について解説する。

## 内線規程とは

### (1) 内線規程の位置づけ

(社)日本電気協会(JEA: Japan Electric Association)は、昭和43年(1968年)に電気設備技術基準(以下、電技)に基づいた需要場所における電気設備の保安の確保を実行するために、電気工作物の設計・施工・維持・検査の規範として「内線規程」が民間自主規程として制定された。

それ以来、電技などの改正、電気技術の進歩や社会ニーズの変化に対応するために、改訂されてきた。平成9年(1997年)には、電技の「省令」(電気設備に関する技術基準を定める省令)の全面改正と「解釈」(電気設備の技術基準の解釈)が制定された。周知のように、この解釈は省令で定める技術的要件を満たすための審査基準として位置づけられている。

内線規程は、電技の省令および解釈に定められている抽象的な表現事項について具体的に解説し、さらに電気保安に基づく電気使用の利便性を考慮した項目についても規定している。

そのため、非常にわかりやすい内容であり、電気設備の分野に従事している技術者の「座右の書」的な規程である。

電技が全面改正された平成9年に、日本電気協会内に日本電気技術規格委員会が発足し、民間規格の評価機関として各団体が自主的に制定する民間規格、基準の承認

などを行っている。この委員会で承認された規格はJESC規格(Japan Electro-technical Standards and Code Committee)と呼ばれている。なお、同委員会には、各分野ごとに専門部会があり、電気技術規程(JEAC: Japan Electric Association Code)、電気技術指針(JEAG: Japan Electric Association Guide)の制定・改訂を行っている。内線規程は、JESC E0005(2005)であり、需要設備専門部会で審議した電気技術規程JEAC8001-2005の番号が付記されている。

## (2) 改訂の概要

今回の内線規程(第11版)の改訂は、平成12年に実施された改訂以降に発生した電気設備の技術基準の解釈(以下、電技解釈)の改正、各団体からの提案および要望に応えるため、規程内容の見直しや明確化を行ったものである。ここで、電技解釈は第1条から第272条で構成されているが、内線規程において、第272条(IEC60364規格の適用)は適用除外とされている。

改訂の主な事項を以下に示す。詳細は文献(1)を参照されたい。

### ① 接地付コンセント施設に関する改訂

感電災害を防ぐため、電路には漏電遮断器を施設し、漏電遮断器の確実な動作を確保するために接地を必要とする。そのためには、接地極コンセントが有用である。さらに、電気用品の国際統合に伴い、クラスI機器の移行の動きもある。

このような状況において、わが国でも接地極付コンセントの普及を進める必要がある。改訂前では勧告的、推

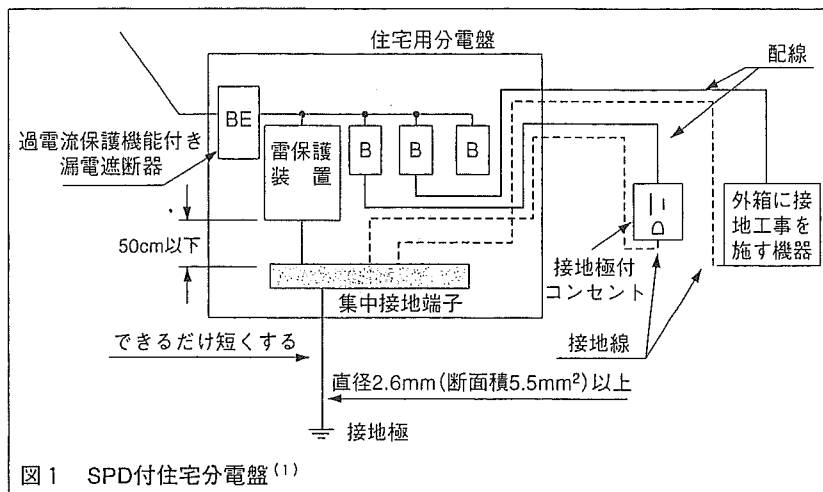


図1 SPD付住宅分電盤<sup>(1)</sup>

進の事項であったが、今回の改訂では表1に示すような見直しを図った。接地付コンセントについては、次の「接地極付コンセント」の項目で詳述する。

### ② 雷保護装置の設置に関する規定の追加

住宅内のエレクトロニクス機器が雷サージによって被害を受ける事例が多くなってきている。雷サージは電力線に伝導する形態で住宅内に侵入する。そこで、雷保護装置(以下、SPD: Surge Protective Devices、雷サージ防護デバイス)を住宅分電盤(図1)に装備することが有用である。そこで、頭記の規定を策定した。これについては、「雷保護機能付住宅分電盤」の項目で詳述する。

### ③ 屋内灯の施設に関する改訂

引掛けシーリングローゼットを用いて照明器具を施設する場合の施設方法について、照明器具の荷重および照明器具からの熱的影響について見直した。

### ④ 電技解釈改正に伴う規定の追加

- ・第162条(屋内電路の対地電圧の制限):  
太陽光発電設備の太陽電池モジュールの負荷側の電路の対地電圧150Vを超え450V以下と規定している
- ・第171条(分岐回路の施設):  
片寄せ配線を行った単相3線式分岐回路を不平衡負荷の制限から除外することについて規定している
- ・第186条(平形保護層工事):  
コンクリート直天井面、壁面に施設する平形保護について規定している
- ・第196条(興行場の低压工事):  
300Vを超える低压の舞台機構設備の配線条件、フライダクトの材料について規定している
- ・第208条(屋内のネオン放電灯工事):  
1,000V以下のネオン放電灯回路を看板の枠内に施設する方法について規定している

表1 接地極付コンセントの施設概要<sup>(1)</sup>

項	コンセントの種類	従前	改訂後
1	特定機器用コンセント	勧告的事項	義務的事項
2	住宅に施設する200Vコンセント	勧告的事項	義務的事項
3	住宅以外に施設する200V	勧告的事項	勧告的事項
4	屋外や台所などに施設するコンセント	勧告/推奨的事項	勧告的事項
5	医療用電気機械器具用コンセント	推奨的事項	勧告的事項
6	単相3線式分岐配線に用いる100V/200V併用コンセント	—	推奨的事項
7	住宅に施設するコンセント	—	推奨的事項



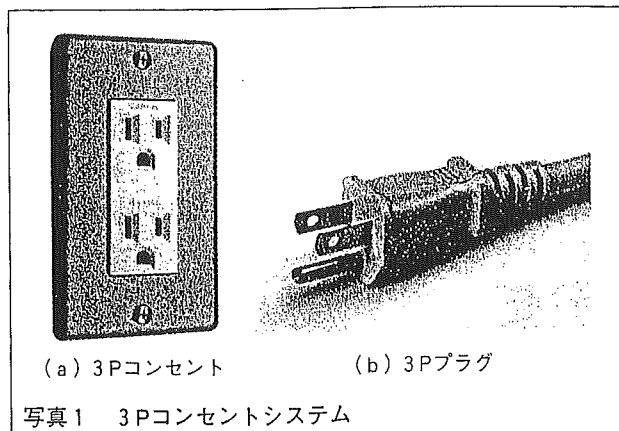
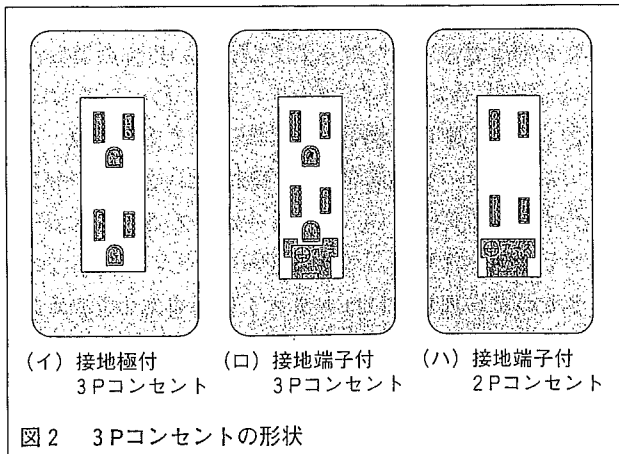
## 接地極付コンセント

接地極付コンセント(以下、3Pコンセント)は電源と接地(アース)を同時に得ることができるコンセントである。欧米では電気設備の常識になっている。わが国でもオフィスビルや病院などで普及しつつあるが、住宅でも、今回の内線規程の改訂に伴い、普及が促進されようとしている。

### (1) 3Pコンセントの形状

3Pコンセントは図2(イ)に示すように、接地極の付いたコンセントであり、対応するプラグを3Pプラグという。コンセントとプラグの組み合わせを3Pコンセントシステムという(写真1)。わが国では、従前から同図(ハ)に示すように、接地端子付のコンセントが普及していた。どちらも役割は同じであるが、後述する家電機器のクラス分類に関係している。

3Pコンセントシステムの特徴は、手でプラグの抜き差しを行うとき、プラグのアースピンが電源用の平刃よりも長いため、つねにプラグが接地されている状態になる。つまり、家電機器の接地が完全な形で実現されている。



という利点がある。

### (2) 接地を必要とする家電機器

近年は住宅においても、多種多様な家電機器が普及されている。その中で、感電防止を目的とした接地を必要とする機器も多く含まれている。それらは商用電源の電気エネルギーを利用する機器である。さらに、IT機器関連の情報・制御信号として利用する機器も接地を必要とする。住宅における機器をまとめて表2に示す。

### (3) 3Pコンセントシステムの必要性

#### ① PL(製造物責任)法

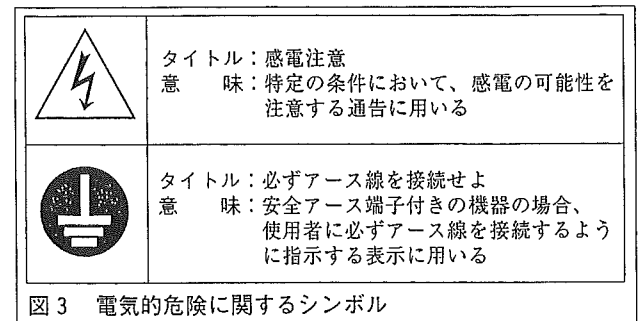
わが国において、従前から住宅においては感電防止のための保安用の接地設備、例えば、電気洗濯機の接地が主体であった。しかし、PL(Product Liability、製造物責任)法が平成7年7月1日に施行されて以来、接地設備のあり方が大きな課題になってきている。このPL法は、わが国では画期的な法律であり、企業および国民にとっては大きな関心事になっている。

PL法に対するメーカーのアクションの一つに、製品の危険に関する告示がある。電気的危険に関するシンボルマークを図3に示す。いずれも感電・接地(アース)に関するもので、タイトルおよび意味は図中に示すとおりである。

さて、PL法が施行されたわが国で、警告表示の付いた製品をわれわれ国民が手にしたとき、とまどうことがあるのではないだろうか。それは接地の取り付けに関してである。

表2 接地を必要とする家電機器

部 屋	機 器
居間・リビング	パソコン等情報・通信機器
台 所	電子レンジ、オープンレンジ、食器洗い乾燥機、冷凍冷蔵庫、温蔵庫
洗 面 所	洗濯機、衣類乾燥機、スチーム・サウナバス
ト イ レ	温水洗浄暖房便座
屋 外	エアコン室外機、電気温水器



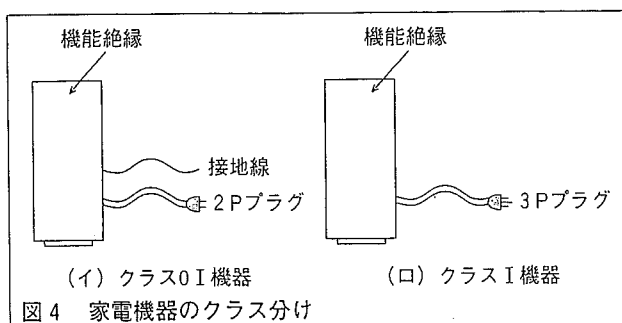
(社)日本電機工業会(JEMA: The Japan Electrical Manufacturers' Association)でとりまとめた家電製品の「警告表示実施要領」によると、表示する製品には「アースを確実に取り付けてください。故障や漏電のときに感電する恐れがあります。アースの取り付けは販売店にご相談ください。」という旨の注意書きを記した印刷物を添付することになっている。

わが国の普通の住宅においては、アース端子付コンセントが洗面所に設置されている程度であり、台所に設置されていることはめずらしい状況ではなかろうか。それなのに、「アースを確実に取り付けて下さい」、「販売店に相談してください」という表示はとまどうばかりである。また、「販売店に相談してください」といわれても戸建住宅でも、特に集合住宅では簡単にアース工事を行うのは困難であろう。

## ② 家電機器のクラス分類

IEC(International Electrotechnical Commission、国際電気標準会議)規格の「家庭用電気機器の安全に関する総則」(IEC 60335)において、家電機器を感電防止の観点から、次の五つのクラスに分類している。

- (イ) クラス0(ゼロ)機器：機能絶縁だけで接地のない機器である
- (ロ) クラス0I(ゼロワン)機器：クラス0機器と同様に機能絶縁だけであるが、図4(イ)に示すように接地線がある。したがって、機能絶縁が劣化しても接地されているので、感電防止には寄与している
- (ハ) クラスI機器：クラス0I機器と同様に、接地がある。ただし、図4(ロ)に示すように、この機器は電源コードと一体(3Pプラグ)になっているので、電源供給と同時に、自動的に接地される。つまり、これは3Pコンセントシステムに対応した機器である
- (ニ) クラスII機器：機能絶縁のほか保護絶縁を施し、二重の絶縁を施した機器である



- (ホ) クラスIII機器：安全特別低電圧(SELV(Safety Extra Low Voltage)：交流50V)方式に用いる機器である

わが国はWTO(World Trade Organization、世界貿易機関)加盟国であり、TBT協定(Agreement on Technical Barriers to Trade、貿易の技術的障害に関する協定)を締結している。国際整合化に伴い、IEC規格を取り入れることになっているが、特にクラス0I機器は例外としている。欧米諸国では常識となっているクラスI機器を普及する必要がある。

## (4) 3Pコンセントシステムの普及のための課題

3Pコンセントシステムの普及に際して、よく言われることが「にわとり」と「たまご」のたとえである。「3Pプラグが先なのか」、「3Pコンセントが先なのか」の問題である。3Pコンセントシステムを普及する意志があるか否かが重要である。ここでは、いろいろな視点で普及のための課題について述べる。

### ① ユーザーの視点

今まで述べてきたように、接地は住宅においても重要であり必要不可欠である。ユーザーの多くは、接地の必要性を十分に認識しており、「いつでも」、「どこでも」、「かんたん」に接地を得ることができれば、安心できる環境で生活できる。ただし、工事費用の負担の問題はある。

### ② 配線器具メーカーの視点

ユーザーニーズを満足するためには、3Pコンセントを生産する必要がある。メーカーは図2に示したようなコンセントを普及し、クラス0I、クラスI機器に対応させている。理想的にはクラスI機器対応の3Pコンセントの普及である。価格の問題も大量生産になれば解消するはずである。

### ③ 家電機器メーカーの視点

PL法の施行で、メーカーは前述したように家電機器に接地を要求している。わが国の住宅電気設備の現状を踏まえたうえで、このような要求をユーザーに課していることは、少々無理なことではなかろうか。IEC規格の整合化が必須課題になっている現在、クラスI機器の使用を理想とするならば、3Pプラグ付の家電機器にすべきであろう。

### ④ 電線メーカーの視点

3Pコンセントシステムに対応した専用のケーブルの開発は容易なことであろう。その際、電圧側、接地側電線と接地極電線の色別を規格化しておく必要がある。

わが国では従前から、例えば、関東と関西では、これらの電線の色別が異なっている。まさに国内整合化を図ることが先決である。

⑤ 設計者の視点

住宅の接地設備として望ましい形態は、「感電や雷サージによる過電圧を防止するための保安用接地」、「エレクトロニクス機器の安定な動作を確保するための機能用接地」という異なる2種類の接地を一つにまとめる、つまり、共用して施工することである。もちろん、それには大地に施す接地極だけでは不十分であり、例えば、SPD、等電位ボンディングが必要である。

近年の住宅は大型化し、家電機器も大容量化し、全電化住宅が多く建設されている。住宅の接地線の配線方式は、「送り配線(ループ状)方式」と「放射状(スター状)配線方式」とに大別される。

「送り配線方式」とは、コンセントからコンセントへわたって配線される方式で、材料および施工費が安価に抑えられる利点がある。

一方、「放射状配線」とは、住宅用分電盤から系統ごとに放射状に配線される方法である。これは、接地を必要とする家電機器をすべて、一点に集中させ、その点を電位の基準点とする考えである。従前から、わが国では、この考えを「一点接地」と呼んでいたが、IEC規格の思想では「スター型ボンディング」であり、これは同義である。

一点に集中させる箇所は、分電盤の等電位ボンディングバー(あるいは集中接地端子)であり、そこには、SPDが装備されることもある。3Pコンセントの普及を具現化するためには、設計者が十分にシステムニーズを認識する必要がある。

⑥ 施工者の視点

古い話であるが、病院において3Pコンセントの誤結線でトラブルが生じたことがある。最近ではまったく耳にしない。施工する際に留意することは誤結線であるが、これも3芯ケーブルの色別を明確にすることで安心して施工できるはずであろう。

⑦ 筆者の視点

3Pコンセントシステムの普及するための問題点として「にわとり」と「たまご」の論をたとえとして引き出した。考えてみれば、3Pコンセントであれば、クラス0I機器は可能であるが、2Pコンセントであれば対応できない。便宜上、アダプタの使用も考えられるが信頼性に課題が残る。やはり、電気設備の視点から、3Pコンセントシステムを普及し、その後でクラスI機器を生産す

るのが「筋」なのかもしれない。いずれにしても、関連業界が一丸となって3Pコンセントシステムを推進する気持ちが必要であろう。

## 雷保護機能付住宅分電盤

電気設備の保護の三要素として、「感電保護」、「過電流保護」、「過電圧保護」がある。従前から住宅においても感電、過電流保護は体系化が構築されているが、最後に残された過電圧保護が、今回の内線規程の改訂に伴い、ようやく緒についた段階である。

(1) 住宅における雷電磁環境

戸建住宅あるいは低層集合住宅では図5のように電力線や通信線は架空線で引き込まれ、屋上にテレビアンテナが設置され、家庭機器が接地されている状況にある。

近くで落雷があった場合、雷サージは架空線を伝搬して過電圧が侵入し、接地線には電位差が発生し、周囲には磁界結合や静電容量結合による過電圧が誘起される。テレビアンテナに落雷する可能性もある。このように、住宅などは雷に起因する電磁環境にさらされる。

IECでは建築物の雷電磁環境を図6に示すような四つのカテゴリーに分類し、カテゴリーにおける設備機器に要求されるインパルス耐電圧を規格化している。これは、過電圧カテゴリーをSPDを適用するための基準としていることである。その一例を図7に示す。同図は、建築物内の電気設備機器における過電圧に対してSPDの望ましい仕様の考え方を提示している。

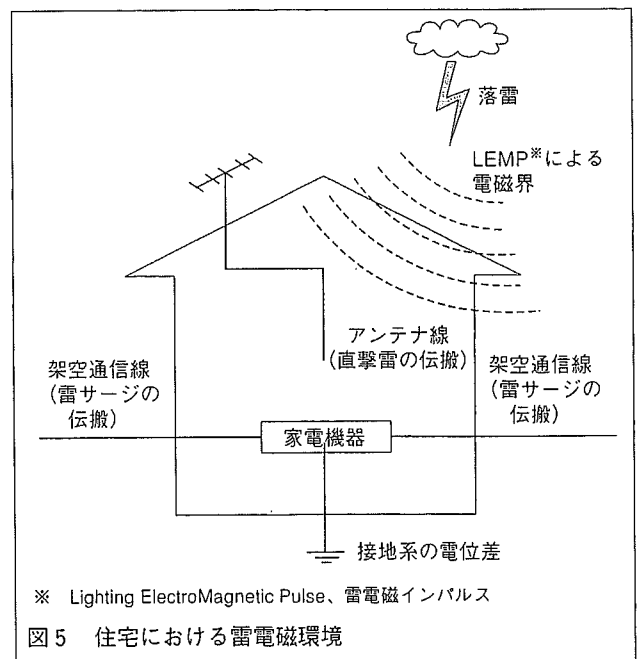


図5 住宅における雷電磁環境

(2) 雷による家電機器の被害

図8に示すように、1950年ごろはテレビなどの情報技術機器に真空管が用いられていたため、雷による電磁的障害はさほど問題にはならなかった。その後、トランジスタ、集積回路のようにエレクトロニクス化された家電機器の過電圧耐性が小さくなり、電磁的障害が多く発生するようになった。このことは、テレビに限らず、家電機器の制御部にマイコンなどの集積回路が用いられるようになったことが最大の要因である。

雷による災害は当然ながら落雷の頻度に関係する。落雷回数の把握には一般に年間雷雨日数が使用され、年間雷雨日数分布図(IKL(Iso-Keraunic Level)マップ)で数

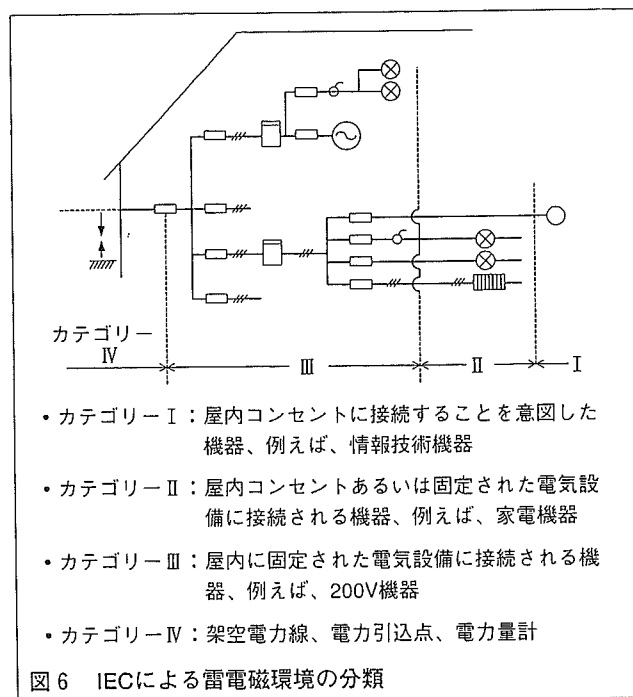
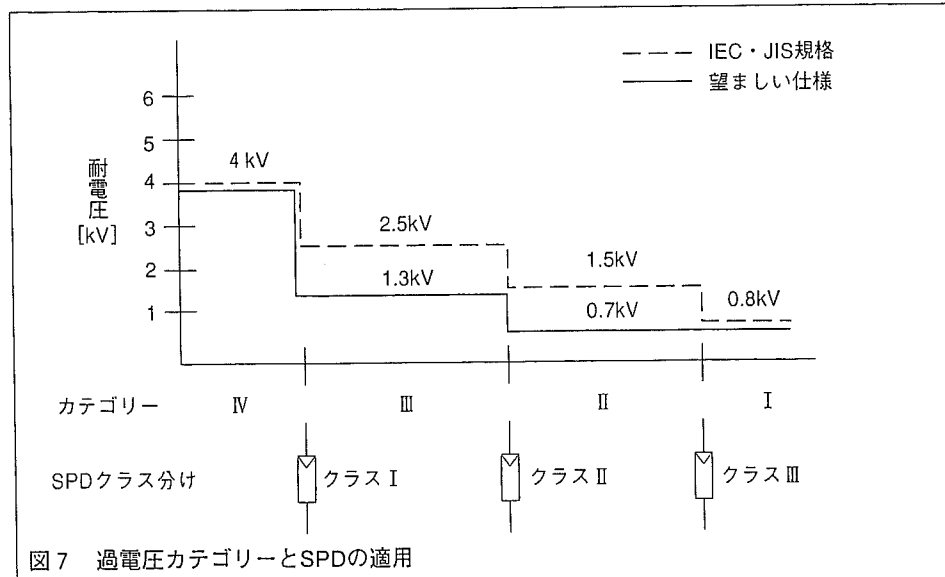


図6 IECによる雷電磁環境の分類



値化されている。IKL指標で多い代表的なエリアは、夏季には群馬県エリア、冬季には日本海エリアである。

(社)日本電子材料工業会(EMAJ: Electronic Materials Manufacturers Association of Japan)は、アンケートよりこれら二つのエリアにおける家電機器の被害事例を1992年に調査し、貴重なデータを公表した。データは、1987~1991年の5年間の被害事例である。被害を受けた家電機器と被害件数を図9に示す。いずれも情報技術機器が多く、白モノ家電といわれるエアコン・洗濯機・給湯器・風呂などは制御部のマイコンの故障である。ただし、この当時、パソコンの普及はそれほどでもなかったために、パソコンの被害が顕著に現れていない。

(3) 雷保護の必要性

雷保護には、「建築物本体の損傷、火災を防止するための外部雷保護」と「建築物内で使われている情報技術機器を過電圧から守るための内部雷保護」とに分類される。ここでは、住宅における内部雷保護について述べる。

住宅内で使われる家電機器は多種多様であるが、白モノ家電といわれる機器であっても、制御部分には家電が用いられている。昔の洗濯機のタイマ、黒電話等のベルなどは過電圧に強かった。しかし、現代のエレクトロニクス万能の時代にあつて、家電機器は過電圧耐性が低く、マイクロコンピュータ素子の動作電圧・電流が小さいため、機器の破壊、誤作動、雑音発生などの障害が生じる。また、情報技術関連機器は建築物内部、外部を有線によってネットワーク化しており、大部分の機器の電源は商用電源から供給されている。このように金属導体で外部とつながりがある場合には、周辺の落雷に起因して生じる雷サージの影響により、さまざまな障害が生じる。つまり、内部雷保護は電磁環境、EMC (Electro Magnetic Compatibility、電磁両立性)に密接に関係する。

内部雷保護システムは、電子・情報技術機器などのいわゆる弱電機器の過電圧防止のために、住宅内における等電位ボンディング、遮へい、隔離、SPD、接地などの対策で対応しなければならない。

住宅内にあるすべての機器および電力線、通信線、水道管などの金属製設備の等電位化を図

る。

るためには、等電位ボンディングバーを設置し、前述のあらゆる機器および設備の接地をそれに施す。さらに、建築物内に入っている金属製の設備や電力線、通信線に対しては入り口のところで各種のSPDを設置する。このように、内部雷保護システムの設計には雷電磁環境のカテゴリーを考慮したうえで、主として等電位ボンディングとSPDによって構築する必要がある。

雷に起因して発生する電圧は、瞬間的ではあるが非常に大きく、サージ電圧を制限するためにSPDが用いられる。このSPDは過電圧が侵入したときだけに短絡状態になるため、それによって等電位化を図ることができる。

等電位ボンディングには、「ボンディング導体を用いて、直接的に施工する方法」と、「SPDを介して等電位化を図る方法」とがある。電力線や通信線を直接的にボンディングすると短絡してしまうため危険である。このよ

うな場合は、前述したようにSPDを用いなければならない。当然ではあるが、等電位ボンディングバー(図1の集中接地端子)は接地線を用いて接地極に接続しなければならない。

(4) 雷保護システム普及のための課題

JIS-A-4201(雷保護)の改正、国際整合化に伴うIEC規格のJIS(Japanese Industrial Standards、日本工業規格)化などの動きによって、住宅を除く建築物には、自主的にSPDによる雷保護システムを導入することが加速度的に広まっている。

住宅においても、今回の内線規程の改訂に伴い、電力系の雷保護が実現しようとしている。ここでは、いろいろな視点で普及のための課題について述べる。

① ユーザーの視点

住宅内に雷サージが侵入すると、高価なデジタル家電

電が一瞬にして破壊されてしまう。農耕民族であるわれわれは、がまん強い国民性でもあり、ある程度リスクを許容し、「雷は天災だからしかたない」という風潮があった。しかし、内部雷保護に関しては人災の範疇であり、現代の技術で防ぐことができる。住宅分電盤にSPDを装備することで安全、安心を得ることができる。ただし、費用の負担の問題がある。しかし、住宅寿命の30年間余を考えたら、費用の負担は解決できるのではなかろうか、さらに、次の二つの社会背景がある。

(イ) 住宅の情報化

21世紀の住宅では、情報・通信機器、情報家電が普及し、これらはネットワーク化されマルチメディアサービスが実現されようとしている。これらの設備・機器はエレク

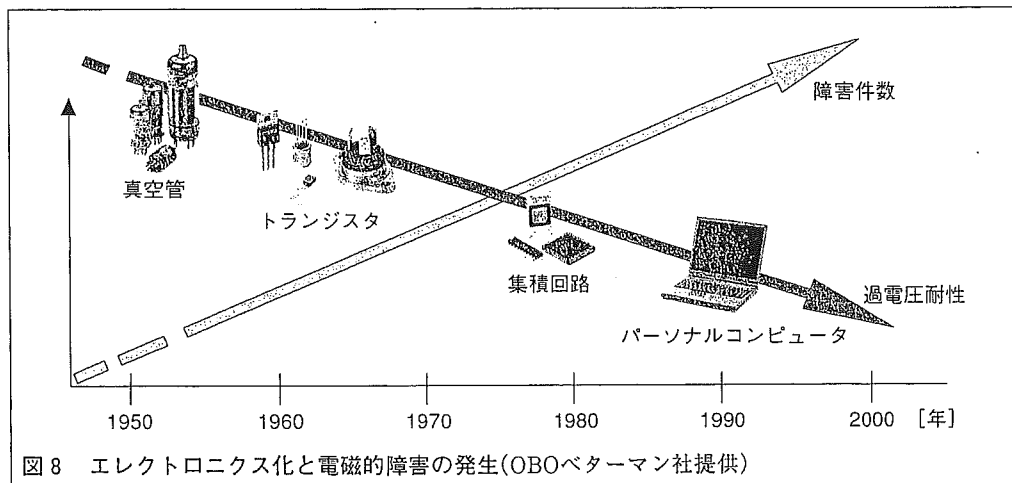


図8 エレクトロニクス化と電磁的障害の発生(OBOベターマン社提供)

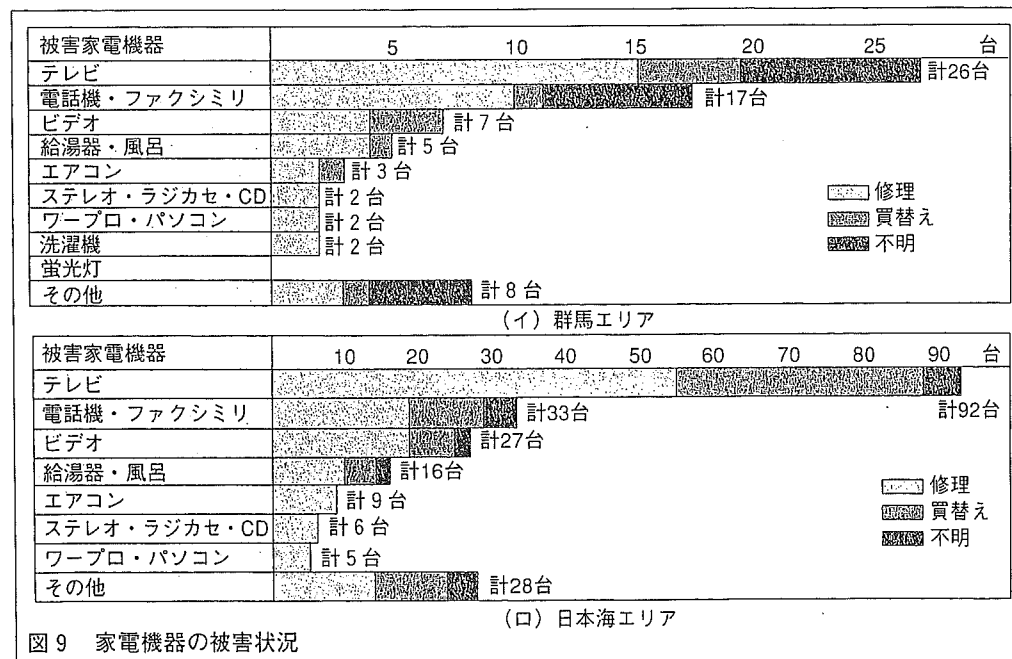


図9 家電機器の被害状況

トロニクス化されており、雷サージなどに起因する過電圧の保護対策を講じる必要がある。

特に、インターネットがオンラインショッピング、電子マネー、電子決済などのネット取引に活用される場合、住宅のネットワーク設備機器の信頼性、セキュリティは重大な関心事である。

住宅におけるインフラ整備としての情報化配線設備が高い信頼性を確保するためには、雷に関連するEMC対策を十分に講じることが重要である。

#### (ロ) 高齢化社会

高齢化社会が進展する中で、在宅医療制度が確立されようとしている。その一環として、住宅検診、遠隔医療、ホームケアサービスや緊急通報システムなどのインターネットを活用したサービスが具体化しつつある。

これは、マルチメディアサービスに密接に関係するもので、老人の在宅をモニタするモニタリングサービスの信頼性の確保、高度医療機器(ME(Medical Electronics)機器)の稼働の信頼性が必要になる。

そのためには、雷サージに起因するモニタおよびME機器の過電圧保護対策を講じる必要がある。

#### ② 分電盤メーカーの視点

(社)日本配線器具工業会(JEWA: Japan Electrical Wiring Devices and Equipment Industries Association)では、住宅分電盤のHP(ホームパネル)ラベルによる認定を行っている。住宅分電盤には過電流遮断器、漏電遮断器の他に、電気安全の砦としてコード短絡保護機能、高遮断機能、感震機能などの安全性を高める機能を付加した分電盤を開発し、さらにSPDを装備した雷保護機能も商品化している。

今回の内線規程の改訂に伴い、雷保護機能付分電盤の生産が加速されるであろうが、問題は価格である。メーカー側は大量生産ができればと言う。普及させるためにはこの問題を解決しなければならない。SPDを装備することで、従前にも増して接地の重要性を認識する必要がある。前節で述べた3Pコンセントシステムと合わせて、トータル的なシステム技術が要求される。

#### ③ 設計者の視点

SPDの仕様は図7に示したようにカテゴリー、クラス分けを考慮して選定しなければならない。内線規程で規定しているSPDの性能はクラスIIである公称放電電流2.5kA(8/20 $\mu$ s)以上とし、エネルギーの大きい冬季雷エリアではこれ以上の適用を推奨することも注記している。住宅において直撃雷はまれであろうが、引込口の近く

の電柱に落雷することは考えられる。いずれも確率論の問題ではあるが、データを収集してわが国に合った適切なSPDの仕様を決定する必要がある。

#### ④ 施工者の視点

図1に示したようにSPD装備の住宅分電盤には、集中接地端子が設置している。これはIEC規格で言えば等電位ボンディングバーである。IEC規格では、住宅内にある金属製設備の等電位化は必須である。日本古来の木造住宅であれば問題はないが、簡易鉄骨造の住宅では等電位化の思想を導入することが必要である。

集中接地端子からの接地線は、サージインピーダンスを小さくするため、できるだけ短くする必要がある。さらに、接地抵抗も小さくすることが望ましい。内線規程では、D種接地工事(100 $\Omega$ 以下)に準じているが、接地線を短くすること、接地抵抗を小さくすることの条件を満足する接地極の選定が課題である(次号の「住宅基礎の代用接地極の実用化」の項目を参照されたい)。

#### ⑤ 筆者の視点

NHKの番組「クローズアップ現代: 落雷パニック」(平成7年9月20日放送)のお手伝いをしたことがある。われわれが日常使用している多機能電話、テレビ、インターホンなどが雷サージによって破壊されたり、障害を被る事例を紹介した番組である。わが国で初めて内部雷保護の必要性を知らせたもので、市民、設計事務所、建設会社、電気工事会社などの技術者に非常なインパクトを与えた。

その当時、シナリオではヨーロッパに比べ10年遅れている旨のことだったが、それからもう10年経過している。保護技術は十分に確立しているわけで、自主的に取り組み普及するはずなのだが、なかなか進まない。やはり、強制的な法規がなければ実現しないのか。とはいえ、今回の内線規程がトリガーになって欲しいものである。

#### ◆参考文献◆

- (1) 「内線規程」, JEAC 8001-2005
- (2) 電気工事の友, vol.58, No.699, 701, 平成17年
- (3) 高橋健彦: 「図解接地システム入門」, (株)オーム社, 2001年
- (4) 高橋健彦: 「接地・等電位ボンディング設計の実務知識」, (株)オーム社, 2001年
- (5) 高橋健彦: 「住宅における接地設備の課題」, 電気設備学会誌, Vol.23, No.2, pp.116~120, 2003年
- (6) 右田理平, 高橋健彦: 「戸建住宅基礎の代用接地極に関する基礎的検討」, 電気設備学会誌論文号, Vol.24, No.4, pp.296~301, 2004年
- (7) 右田理平, 北村健司, 高橋健彦: 「戸建住宅基礎の接地抵抗の推定」, 電気設備学会論文号, Vol.25, No.5, 2005年
- (8) 「木造住宅工事共通仕様書」, (財)住宅金融普及協会



# 内線規程の改訂に伴う これからの住宅電気設備

後編

高橋 健彦 (たかはし たけひこ)

関東学院大学工学部 教授、大沢記念建築設備工学研究所 所長  
IEC/TC64(感電保護と電気設備)国内委員会 委員長

先月号では、内線規程の改訂について、その概要と、これからの住宅電気設備に必要とされる二つのトピックス、「接地極付コンセント」および「雷保護機能付住宅分電盤」について、技術的解説をした。

今号では、住宅基礎の代用接地極の実用化について解説する。

## 住宅基礎の代用接地極の実用化

鉄筋コンクリート造などの建築物の躯体は構造的に一体化され、その電気抵抗も低い。それらの基礎(地下部分)は大きな表面積で自然に大地と接触しており、建築構造体そのものを接地極に代用する、いわゆる「構造体接地」という考え方は、わが国において電気設備技術基準解釈(以下、電技解釈)およびJIS-A-4201(1993)で定義されており、各方面で実用化されている。

住宅基礎も鉄筋コンクリート造であり、代用接地極としての条件は満足している。ドイツにおいては、住宅基礎に専用の帯状電極を挿入して代用接地極として実用化している。そこで、わが国においても、住宅基礎を代用接地極として利用するための研究を行い、多くの知見を

得ている。

今回の内線規程の改訂で、従前にも増して、接地の重要性が問われている。それに応えるためにも信頼性のある接地極が必要である。ここでは、住宅基礎を代用接地極として利用する考え方を提案したい。

### (1) 住宅における接地設備の必要性

近年の高度情報化社会および家庭電化の進展に伴い、住宅で使われている家電機器は、単相3線式の200Vを電源とする機器の大容量化、情報技術機器などのインターネット化が進んでいる。これらの家電機器には、感電防止のための保安用接地、エレクトロニクス機器の稼働を保証するための機能用接地が必要である。さらに、電力線からの雷サージを防止するための分電盤のSPD(Surge Protective Devices、雷サージ防護デバイス)にも接地が必要不可欠である。

従前から住宅では、保安用接地を主体に電技解釈第19条に規定しているD種接地工事が施工されている。

今後の全電化住宅、情報化住宅の普及を考えたとき、住宅の接地設備を整備する必要がある。現在はD種接地工事として、多くの場合、棒状接地極を用いている。高周波数領域であれば問題はないが、雷サージを防止するためのSPDの接地を考えると、インピーダンス低減のためには、環状接地極のような広がりを持つ接地極が理想である。さらに、住宅分電盤の集中接地端子からの接地線を短くす

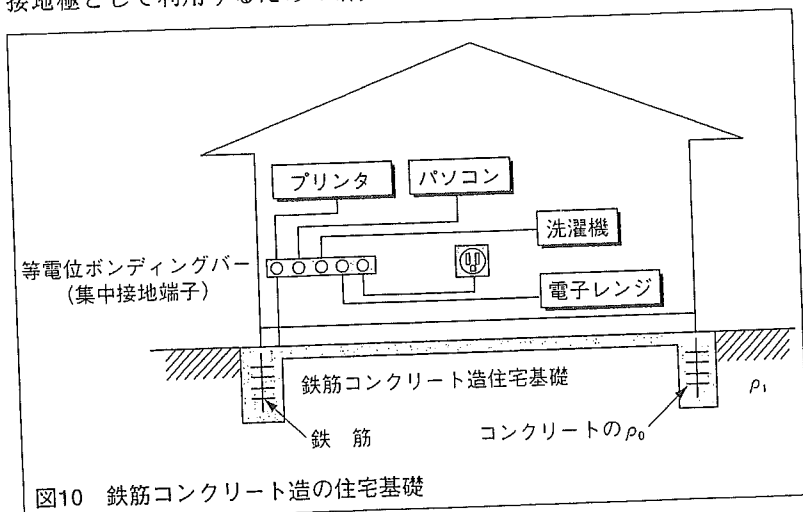


図10 鉄筋コンクリート造の住宅基礎

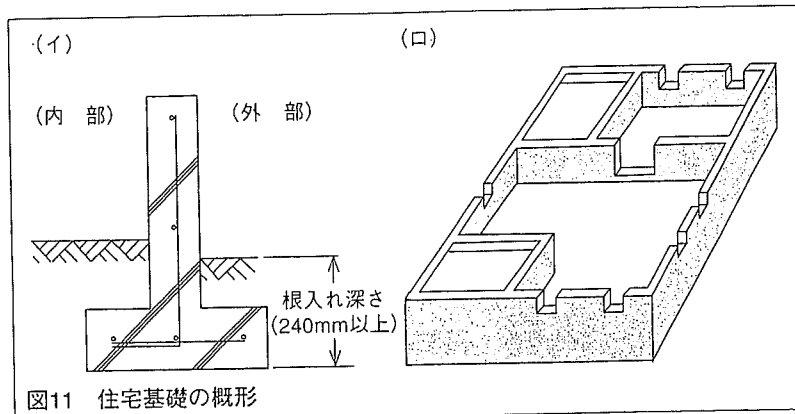


図11 住宅基礎の概形

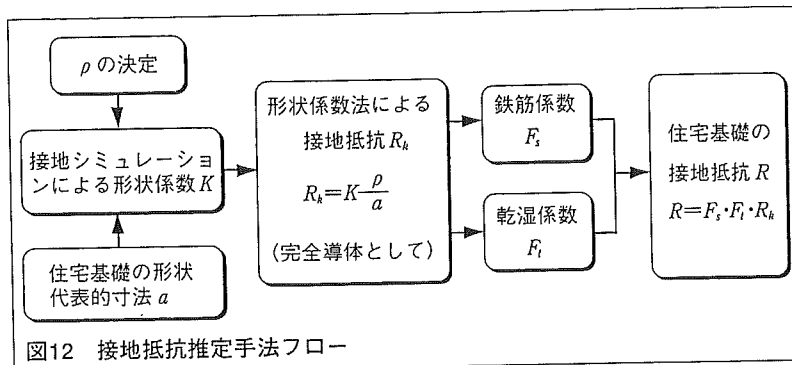


図12 接地抵抗推定手法フロー

るといふ条件を考えると、住宅基礎を接地極に代用することが有意性を持つ。一方、電位分布および電位傾度を考えても広がりを持つ接地極が有利である。

住宅におけるすべての接地を集中接地端子(等電位ボンディングバー)に集中させ、つまり、共用接地とすることが最適な接地工法であり、それを実現するためには住宅基礎を代用接地極として利用することが考えられる(図10)。

### (2) 住宅基礎の概要

木造住宅工事共通仕様書(住宅金融公庫基準適合)によると、戸建住宅の基礎には、布基礎、べた基礎などがありいずれも鉄筋コンクリート造である。ここでの参考文献である文献<sup>(6),(7)</sup>では布基礎を主体としている。図11に布基礎と住宅基礎の概形を示す。

布基礎の根入れ深さは最低でも240mm以上とし、鉄筋は上下主筋、補助筋の寸法および間隔を規定している。布基礎の底部には割栗および捨てコンクリート施工される。

住宅基礎の接地効果を検討した結果、地中に存在する鉄筋コンクリート基礎の場合、布基礎の底部および内側部(図11(イ))の接地効果は少なく、基礎全体(同図(ロ))では外周部分の基礎だけに接地効果があると仮定した。このことは、接地抵抗を推定する場合、相当の安全率を見ていることを意味している。

### (3) 接地抵抗の推定手法

推定手法のフローを図12に示す。

#### ① 形状係数法による接地抵抗の推定

住宅基礎のような形状の電極の接地抵抗計算式は存在しない。そこで、形状係数法を用いた接地シミュレーションによる方法を用いる。この形状係数を用いることで接地抵抗は算定できる。ただし、これは電極が完全導体とみなした場合である。

#### ② 鉄筋係数

鉄筋コンクリート造は地上にある場合は絶縁物に近い状態であるが、地中にある場合は導体とみなせることはすでに確認されている。しかし、完全導体ではない。そこで、コンクリート内に挿入されている鉄筋量を考慮した場合の接地抵抗の変化の程度を見る必要がある。

完全導体の接地抵抗を $R_0$ 、鉄筋コンクリート造の接地抵抗を $R$ としたとき、鉄筋量 $\beta$ [%]

に対する $R/R_0$ を鉄筋係数 $F_s$ と定義する。この関係を図13に示す。同図より、鉄筋量 $\beta$ が増加するほど鉄筋係数( $R/R_0$ )は完全導体(鉄筋量100%)の1に近づいていき、減少すれば鉄筋0%の $F_s$ に近づいていく。

木造住宅工事共通仕様書を参考にして、住宅基礎の一般的な鉄筋量を0.54%とした場合、鉄筋係数は約2.32である。つまり、鉄筋量を考慮する際には形状係数法で得られた接地抵抗推定値を $F_s$ 倍する必要がある。

#### ③ コンクリートの湿乾係数

地中にある鉄筋コンクリート造の湿潤、乾燥状態の見極めが重要である。そこで、図10に示したように、大地抵抗率を $\rho_1$ 、コンクリートの抵抗率を $\rho_0$ とした場合、 $\rho_0/\rho_1 < 1$ の場合は、大地の $\rho_1$ に比べてコンクリートの $\rho_0$ が小さい場合であり、つまり、コンクリートが湿潤状

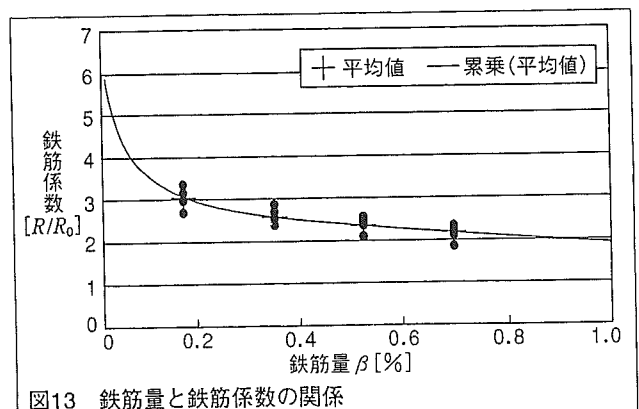


図13 鉄筋量と鉄筋係数の関係

態である。それに対して、 $\rho_0/\rho_1 > 1$  の場合は、コンクリートの  $\rho_0$  が大きい場合で、いわゆる乾燥状態である。

$\rho_0/\rho_1 = 1$  の接地抵抗を 1 とした場合、 $\rho_0/\rho_1 < 1$ 、 $\rho_0/\rho_1 > 1$  に対する接地抵抗の比を湿乾係数  $F_1$  と定義する。 $\rho_0/\rho_1$  と湿乾係数の関係を図14に示す。文献<sup>(6)</sup>において、コンクリートの電気特性についての検討を行っている。それによると、湿潤状態のコンクリートの抵抗率は、乾燥状態の約1/4倍の値で一定になっている。

このことは、乾燥状態のコンクリートの抵抗率は、最大で湿潤状態の約4倍になることを示している。よって同図により、乾燥状態  $\rho_0/\rho_1 = 4$  の場合における  $F_1$  の値が、住宅基礎の湿乾係数の最大値と考えることができる。つまり、湿乾係数を考慮した場合は、形状係数法で得られた接地抵抗値を  $F_1$  倍する必要がある。

④ 住宅基礎の接地抵抗の推定

形状係数法で求めた完全導体の接地抵抗  $P_b$ 、鉄筋コンクリート造の鉄筋係数  $F_s$ 、湿乾係数  $F_1$  により住宅基礎の接地抵抗は図12のフローに示した算定式で推定できる。

(4) 全電化住宅基礎の接地抵抗の推定例

現在、建設されている代表的なメーカーの全電化住宅を例にして住宅基礎の形状(外周だけ)から形状係数を推定し、図12に示したフローによって接地抵抗を推定してみた。結果を表3に示す。ここで、大地抵抗率は100 [ $\Omega \cdot m$ ]とした。前述したように、住宅基礎の接地効果面を布基礎の外側だけとし、さらに、接地極とみなせる部分を外周だけと仮定しているため、接地抵抗推定としては担当の安全サイドである。このような仮定の下でも同表に示したように、良好な接地抵抗を得られることがわかった。



近年、住宅内においても多種多様な情報技術機器が導

入されている。このような状況において、例えば、総務省(旧郵政省)が進めている情報家電インターネット開発計画は、住宅の電気設備に新たな課題を投げかけている。

住宅内に導入されている電子・通信機器などのエレクトロニクス機器は過電圧耐性が小さく、雷サージなどによって、機器の破壊、誤動作などの障害が生じる。電気が電力機器、いわゆるシロモノを対象としてエネルギーとして利用されていた時代には、電磁的なノイズはさほど問題視されなかった。

しかし、近年のエレクトロニクス万能の時代にあって、電気はエネルギー以外に、情報・制御信号として利用されることが多くなり、電磁環境問題がクローズアップされるようになってきた。一方、インターネットの機能面ばかりが脚光を浴び、肝心のインフラ整備の一つである接地設備は十分であるとは言い難い。

情報・制御信号は、いわゆる通信線によって外部とア

表3 全電化住宅基礎の接地抵抗の推定値

モデル	基礎の形状 (形状係数)	1階床面積[m <sup>2</sup> ]	推定接地抵抗 (最大値)[ $\Omega$ ]
		代表的寸法[m]	
①	0.87	111.45	56.4
		12.60	
②	0.92	124.00	54.7
		13.62	
③	0.94	123.98	53.9
		14.18	
④	1.17	164.97	53.4
		17.80	
⑤	1.02	98.35	58.3
		14.18	
⑥	1.11	79.64	57.0
		15.75	
⑦	1.22	158.36	54.2
		18.23	
⑧	0.76	68.30	60.3
		10.26	
⑨	0.56	152.9	49.6
		9.23	
⑩	0.66	81.03	58.5
		9.18	

※ ←→ : 代表的寸法

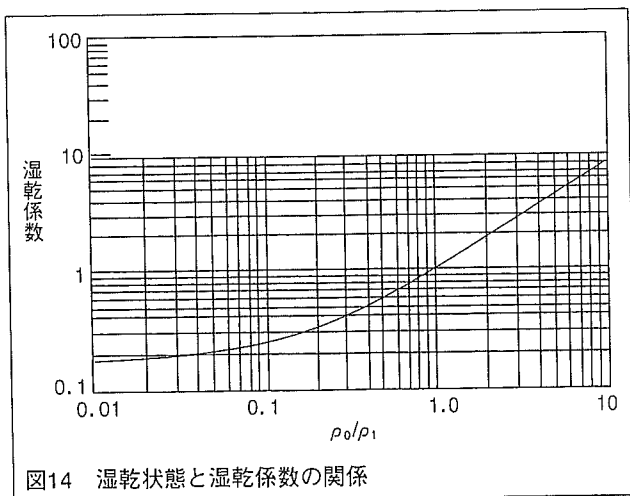


図14 湿乾状態と湿乾係数の関係

クセスしている。電力線を介した雷サージなどは、住宅分電盤で防護することはできるが、通信線の雷サージを防護する手段は、今のところ、よりどころとしての基準・規程がなく個人の責任で対策を施しているにすぎない。今後の大きな課題であろう。

内線規程を作成する(社)日本電気協会 需要設備専門部会内の低圧分科会のまとめ役として参画した者として、需要場所の電気設備の設計・施工・維持・検査の業務に従事している技術者諸兄は、今回の改正の主旨を理解され、電気的安全確保の業務に役立てていただきたいと願う次第である。

◆参考文献◆

- (1) 「内線規程」, JEAC8001-2005
- (2) 電気工事の友, vol.58, No.699, 701, 平成17年
- (3) 高橋健彦:「図解接地システム入門」, (株)オーム社, 2001年
- (4) 高橋健彦:「接地・等電位ボンディング設計の実務知識」, (株)オーム社, 2001年
- (5) 高橋健彦:「住宅における接地設備の課題」, 電気設備学会誌, Vol.23, No.2, pp116~120, 2003年
- (6) 右田理平, 高橋健彦:「戸建住宅基礎の代用接地極に関する基礎的検討」, 電気設備学会誌論文号, Vol.24, No.4, pp.296~301, 2004年
- (7) 右田理平, 北村健司, 高橋健彦:「戸建住宅基礎の接地抵抗の推定」, 電気設備学会論文号, Vol.25, No.5, 2005年
- (8) 「木造住宅工事共通仕様書」, (財)住宅金融普及協会

## 1.はじめに

電気火災および感電事故について、100Vが主流である日本と、従来の単相100Vから三相4線式(220V/380V)昇圧化がすでに完了し、現在220Vが主流となった韓国との比較を行い、昇圧化した場合の電気安全について考察した。

## 2.電気火災

日本:  
-推移: 80年代の5000件台から近年では7000件台に増加(図1)。  
-原因: 使用電力量の増加(図2)や人口の増加など。  
韓国:  
-推移: 80年代の2000件台から近年では10000件台を超えており、約5倍に増加。  
-原因: 昇圧率の増加(図1)、使用電力量の増加(図2)、家電機器の大型化、老朽設備の継続使用。

日韓の比較:  
-日本の電気火災増加率は韓国と比べると低く、電気火災件数はほぼ横ばい。  
-韓国の増加率は高く、91年以降は日本の件数を超え、人口に対する割合も高い。

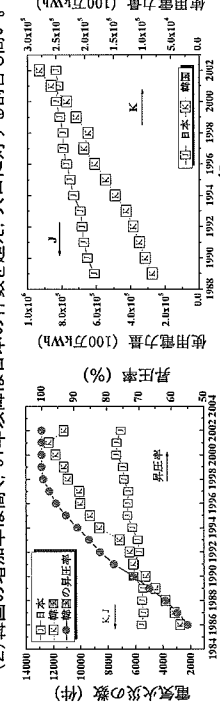


図1 日韓の電気火災発生推移と韓国昇圧率

## 2.1 電気火災の推移

日本:  
-推移: 1995年～2002年合計  
-原因: 冬季と夏季に電気火災が増加。  
-冬季: 移動電熱器を発火源とする電気火災が多い。  
-夏季: 重電装置を発火源とする電気火災が多い。

図4 日韓の月別電気火災発生推移

## 3.感電事故

日本:  
-推移: 80年代前半死亡者数は、100人を超えていたが、2002年には21人に減少(図5)。  
-原因: (1)漏電遮断器の普及、(2)絶縁用保護器具の普及、(3)安全教育等の効果。  
韓国:  
-推移: 死亡者数は、年々減少(図5)。  
-原因: (1)漏電遮断器設置義務化、(2)漏電遮断器の普及。

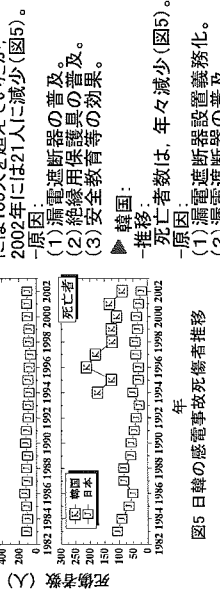


図5 日韓の感電事故死者推移

## 2.3 電気火災の月別発生原因

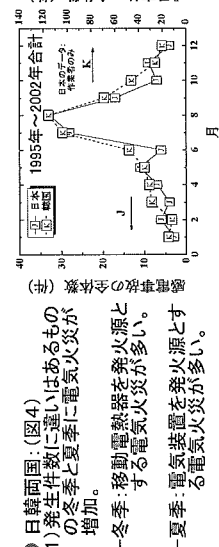


図7 日韓の月別感電事故推移

## 3.3 感電事故の月別発生原因

日韓国間:  
-両国の発生件数に違いはあるものの夏季に感電事故が増加(図7)。  
-原因:  
(1)高温多湿の雰囲気により配線・電気機器の絶縁が低下。  
(2)発汗により人体のインピーダンスが低下。  
(3)軽装によって肌が露出。  
(4)暑さから絶縁保護具の使用を怠りやすい。  
(5)作業時に集中力が低下。

## 3.1 感電事故の推移

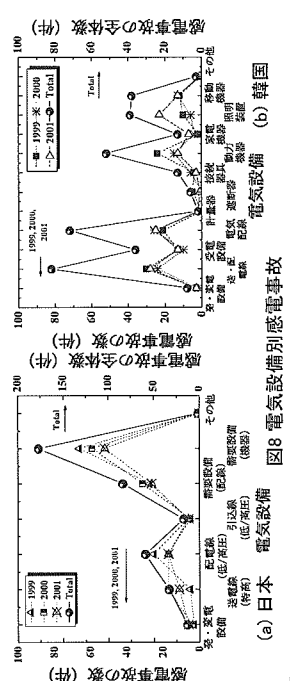


図8 電気設備別感電事故

## 2.2 電気火災の主な原因

日本:  
-推移: 1992～2002年合計  
-原因: 短絡不良、過電圧、配線劣化、その他。  
韓国:  
-推移: 1992～2002年合計  
-原因: 短絡不良、過電圧、配線劣化、その他。

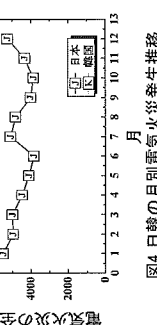


図3 日韓の原因別電気火災発生推移(1992年～2002年)

## 3.2 感電事故の電圧別発生原因

日本:  
-推移: 1995年～2002年合計  
-原因: 110V、220V、380V、400V、高圧、特高圧。  
韓国:  
-推移: 1995年～2002年合計  
-原因: 110V、220V、380V、400V、高圧、特高圧。

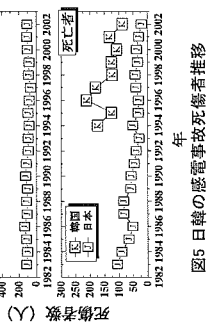


図6 日韓の電圧区分別感電事故

## 3.4 感電事故の電気設備別発生原因

日本:  
-推移: 1995年～2002年合計  
-原因: 配線、電気設備、その他。  
韓国:  
-推移: 1995年～2002年合計  
-原因: 配線、電気設備、その他。

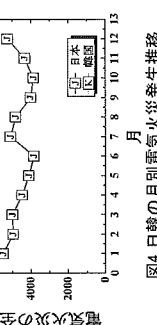


図7 日韓の電気設備別感電事故

## 4.まとめ

1) 韓国: 配電電圧の昇圧の進展と感電による死傷者数には相関性が見られない。これは、漏電遮断器の普及が影響したと考えられるが、配電電圧を昇圧した影響がどの程度あるかを検討する必要がある。  
2) 日韓のいずれにおいても、200Vあるいは220Vにおける感電死傷者数が多いことから死亡に至るケースが多い。  
3) 移動機器は、屋外で接地を怠りがちになることから死亡に至るケースが多い。

## 4.まとめ

1) 分譲項目は多少異なるものの、日本と同様に需要設備における感電事故が多い。  
2) 需要設備の配線及び機器における感電事故が多い(図8)。  
3) その他の設備は、一般に公衆が近づきにくい可能性は少ないが、作業者の感電がほとんどであるため感電事故件数は少ないが、電圧が必要設備の場合に比べて高いため、死亡に至るケースが多い。

図9 日韓の電圧区分別感電事故

## 4.まとめ

1) 韓国: 配電電圧の昇圧の進展と感電による死傷者数には相関性が見られない。これは、漏電遮断器の普及が影響したと考えられるが、配電電圧を昇圧した影響がどの程度あるかを検討する必要がある。  
2) 日韓のいずれにおいても、200Vあるいは220Vにおける感電死傷者数が多いことから死亡に至るケースが多い。  
3) 移動機器は、屋外で接地を怠りがちになることから死亡に至るケースが多い。

## 4.まとめ

1) 分譲項目は多少異なるものの、日本と同様に需要設備における感電事故が多い。  
2) 需要設備の配線及び機器における感電事故が多い(図8)。  
3) その他の設備は、一般に公衆が近づきにくい可能性は少ないが、作業者の感電がほとんどであるため感電事故件数は少ないが、電圧が必要設備の場合に比べて高いため、死亡に至るケースが多い。

## 4.まとめ

1) 韓国: 配電電圧の昇圧の進展と感電による死傷者数には相関性が見られない。これは、漏電遮断器の普及が影響したと考えられるが、配電電圧を昇圧した影響がどの程度あるかを検討する必要がある。  
2) 日韓のいずれにおいても、200Vあるいは220Vにおける感電死傷者数が多いことから死亡に至るケースが多い。  
3) 移動機器は、屋外で接地を怠りがちになることから死亡に至るケースが多い。

## 4.まとめ

1) 分譲項目は多少異なるものの、日本と同様に需要設備における感電事故が多い。  
2) 需要設備の配線及び機器における感電事故が多い(図8)。  
3) その他の設備は、一般に公衆が近づきにくい可能性は少ないが、作業者の感電がほとんどであるため感電事故件数は少ないが、電圧が必要設備の場合に比べて高いため、死亡に至るケースが多い。

## 4.まとめ

1) 韓国: 配電電圧の昇圧の進展と感電による死傷者数には相関性が見られない。これは、漏電遮断器の普及が影響したと考えられるが、配電電圧を昇圧した影響がどの程度あるかを検討する必要がある。  
2) 日韓のいずれにおいても、200Vあるいは220Vにおける感電死傷者数が多いことから死亡に至るケースが多い。  
3) 移動機器は、屋外で接地を怠りがちになることから死亡に至るケースが多い。

# 日韓の電気事故に関する一考察

独立行政法人産業安全研究所

○ 崔 光石, 富田 一, 本山建雄

テンパール工業

中田健司

## Comparative Studies in Electric Accidents between JAPAN and KOREA

Kwang-Seok CHOI, Hajime TOMITA, Tatsuo MOTOYAMA

National Institute of Industrial Safety

Kenji NAKATA

Tempearl Industrial Co.,Ltd.

キーワード：電気事故，電気火災，感電，日本，韓国

Keywords: Electric Accidents, Electric Fires, Electric Shock, Japan, Korea

### 1. はじめに

地球温暖化を防止するためには、エネルギーを効率的に使用して二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量を削減することが必要である。将来、我が国において 20kV 級/400V 配電方式を採用し、低圧電路を三相 4 線式 (230V/400V) に昇圧することは、配電時のエネルギー損出を低減し、設備・資材を削減できることから注目されているが<sup>1)</sup>、昇圧化にあたっては、電気安全について十分に検証しておかなければならない。そこで筆者らは、昇圧化した場合の電気火災および感電事故について、100V が主流である日本と、単相 100V から三相 4 線式 (220V/380V) に昇圧化し、現在 220V が主流となった韓国を比較し報告を行ってきた<sup>2)</sup>。今回は、さらに詳細なデータや新項目を追加して考察を行った。

### 2. 電気火災

#### 2.1 電気火災の推移

日韓の電気火災発生数の推移を図 1 に示す<sup>3-5)</sup>。

図に示す電気火災データは、建物、林野、車両、船舶、航空機、その他で発生した件数の合計である。日本における電気火災は、1980 年代の 5000 件台から近年では 7000 件台に増加している。電気火災が増加した原因は、使用電力量の増加 (図 2)、老朽設備の使用などが考えられる。一方、韓国における電気火災は、1980 年代の 2000 件台から近年では 10000 件台を超えており、約 5 倍に増加している。

韓国の電力需要戸数、昇圧戸数、昇圧率の推移を図 3 に示す<sup>4, 5)</sup>。三相 4 線式 (220V/380V) への昇圧化は、1973 年に開始され<sup>6)</sup>、1980 年代に 50% を超え、1999 年にほぼ 100% に達し、2005 年 10 月に完了した。ただし、昇圧化開始当初の需要戸数は少なかったため、電灯の普及も昇圧化と同時に進められてきた。電気火災が増加した原因は、使用電力量の増加 (図 2)、需要戸数および昇圧率の増加 (図 3)、家電機器の大型化、老朽設備の使用などが考えられる。特に昇圧前の老朽化した電路を昇圧後も継続して使用する場合が多く見られ、これも電気火災の発生に影響を与えたと考えられる。日本の電気火災の増加率は韓国と比べると低く、電気火災件数は微増であるのに対し、韓国の電気火災の増加率は高く、1991 年以降は日本の件数を上回っている他、

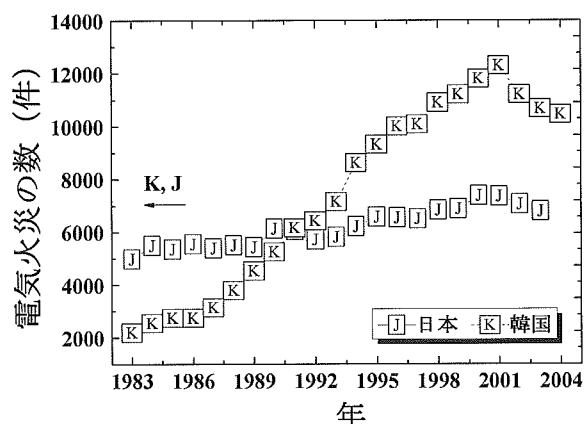


図 1 日韓の電気火災発生推移