

財団法人 関東電気保安協会

平成 22 年度研究助成に係わる研究報告書

「住宅における電気安全に関する研究」

平成 23 年 3 月 31 日

関東学院大学

大澤記念建築設備工学研究所

研究員 右田 理平

1. 研究の背景と目的

人生の半分の時間を過ごすといわれる住宅は安全に安心して快適に過ごすことができる環境でなければならない。今や、日常生活において電気は不可欠な存在であり、恩恵に浴していることは、老若男女を問わず、誰もが認めることである。

近年の高度情報化社会の進展、高齢化社会の到来に向けて、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。このような状況において、電気設備に対する安全性については大きな関心事であり、多種多様な家電機器の普及に伴い、安全・安心を担保する課題が潜在化している。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（例えば、雷サージ）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つて、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、家電機器にはマイコンが搭載され、それらは過電圧耐性が小さいためノイズによって破壊されたり誤作動などの障害が生じている。

住宅における電気設備が目指す理念は、安全性、利便性、快適性および環境性の向上を高度に実現することである。この理念を長期にわたって実行するためには、電気安全システムを整備する必要がある。電気安全には感電保護、過電流保護、過電圧保護の3つの要素がある。これらの要素のシステム技術を構築するためには接地技術が必要である。

最近では、太陽光発電、燃料電池等の分散型電源が普及し、それと相まって、次世代の住宅内の配電方式として直流配電の研究が行われている。このような動きにおいて、直流配電における電気安全に対する未知の問題が潜在化しているため、早急に検討しなければならない。

そこで、本研究では、住宅において電気安全システムを構築するための接地設備の課題、および直流配電を実現するための課題の抽出について検討することを目的とする。

2. 研究成果

- (1) 戸建住宅における接地設備の課題と対策
関東学院大学大澤記念建築設備工学研究所報 第34号, 2011年3月掲載
- (2) 直流化に伴う次世代住宅の電気安全
電気設備学会誌 2011年3月号掲載
- (3) 接地抵抗測定のための補助接地極の性能
電気設備学会, 2011年6月号掲載予定

戸建住宅における接地設備の課題と対策

Problems and measures of the earthing installation in the individual dwelling house

右田 理平*1

Uda Rihei

高橋 健彦*2

Takahashi Takehiko

1. はじめに

人生の半分の時間を過ごすといわれる住宅は安全に安心して快適に過ごすことができる環境でなければならない。今や、日常生活において電気は不可欠な存在であり、恩恵に浴していることは、老若男女を問わず、誰もが認めることである。

近年の高度情報化社会の進展、高齢化社会の到来に向けて、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。このような状況において、電気設備に対する安全性については大きな関心事であり、多種多様な家電機器の普及に伴う安全・安心を担保する課題が潜在している。例えば、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（例えば、雷サージ）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つて、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、家電機器にはマイコンが搭載され、それらは過電圧耐性が小さいためノイズによって破壊されたり誤作動などの障害が生じている。

住宅における電気設備が目指す理念は、安全性、利便性、快適性および環境性の向上を高度に実現することである。この理念を長期にわたって実行するためには、電気安全システムを整備する必要がある。電気安全には主に感電保護、過電流保護、過電圧保護の3つ

の要素がある。これらの要素のシステム技術を構築するためには接地技術が必要である。

そこで、本稿では、住宅において電気安全システムを構築するための接地設備の課題および対策について述べる。

2. 電気安全システム

(1) 電気安全の3要素

電気設備技術基準（以下、電技）省令第4条に保安原則として「電気設備は感電、火災、その他人体に危害を及ぼし又は物件に損傷を与える恐れがないように施設しなければならない」という条文で電気設備における感電、火災等の防止を規定している。

電気設備の保護の3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保護、過電流保護は電気設備技術基準（以下電技）において体系が構築されているが、残されていた雷過電圧保護が内線規程の改訂（2005年）に伴い、初めて取り入れられた。電気安全を盤石にするためには、電技解釈でも雷過電圧保護を規定する必要がある。

①感電保護

感電保護は人体を通過する電流による感電災害を防止するためのもので、昭和初期までは接地で行われていた。それは低圧電路における、系統接地に対してA種、C種、D種接地工事を行うことで基本的な感電保護対策が講じられてきた。

欧州において発明された漏電遮断器が昭和40年代にわが国に導入されて以来、感電保護対策としての漏電遮断器の有用性が認識され、感電保護に必要不可欠な装置として現在に至っている。

*1 研究員

Researcher

*2 所員 建築学科

Staff, Dept. of Architecture, College of Engineering.

漏電遮断器は感電ばかりでなく火災防止対策にも大きく寄与している。ここで、特に、火災に関しては漏電火災警報器によって防止することもある。

②過電流保護

過電流保護は電線やコード等の短絡による過電流を防止するためのもので、特に火災防止対策として原理的にはヒューズで行われてきた。現在はヒューズに替わるノーヒューズブレーカとして過電流遮断器が開発され、火災防止対策にも大きく寄与している。

③過電圧保護

過電圧保護は、特に雷に起因する雷過電圧による過電圧耐性の小さいエレクトロニクス機器の損傷を防護するためのもので、サージ防護デバイス (SPD) で行われている。現段階では、雷過電圧保護に関して電技では規定されていないが、自主的保安の見地で内線規程で規定されている。

(2) 接地との関わり

感電保護や過電圧保護に密接に関わっているのが接地である。接地は、電気安全保護対策の手段として、漏電遮断器やSPDの機能を十分に発揮させるためのものであり、必要不可欠な技術である。

電気安全保護対策としての感電保護、過電流保護、過電圧保護および接地をシステム化したものが住宅用分電盤である。住宅用分電盤は電気安全の砦と形容されることがあるが、まさにその通りで最近の分電盤は電気安全の3要素を実現している。

(3) 直流の分野における電気安全の必要性

上述の内容は交流の世界であるが、今後、普及が予想される次世代の住宅配電としての直流の世界でも、電気安全の3要素は必要不可欠である。今のところ全く未知の分野であるが、今後、直流に対する電気安全システムを構築しなければならない。

3. 住宅における接地設備

住宅の電気設備のインフラ整備のひとつに、接地設備がある。住宅における接地設備が目指す理念は、安全性及び環境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・設備が多種多様に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、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。

3.1 接地方式の種類

わが国では古くから、配電系統における接地方式として変圧器等の電源の接地と、需要家の負荷機器の接地を分離して個別の接地極を持つ方式、つまりTT接地方式を採用してきている。ところが、ヨーロッパ等においては、負荷機器の接地を保護導体で接続し、電源の接地と共用する方式、つまり、TN接地方式を採用している。これら以外の接地方式もある。

(1) 接地方式の分類の定義

接地方式を分類するに際し、便宜的に次に示す文字を用いている。

第1番目の文字：電源と大地との関係を示す記号で、TとIがある。

T：Terre (フランス語で大地の意味、接地)

大地に1点で直接的に接地する。この接地を系統接地という。

I：Insulation (絶縁)

大地から完全に絶縁するか、あるいはインピーダンスを介して大地に1点で接地する。

第2番目の文字：設備機器の露出導電性部分と大地との関係を示す記号で、TとNがある。

T：Terre (接地)

露出導電性部分を大地に接地する。この接地を機器接地という。

N：Neutral (中性点)

露出導電性部分を電源部の接地に直接的に接続する。通常は中性線を用いる。

(2) 住宅内のTT接地方式

住宅に引き込まれる配電方式には単相2線式、単相3線式がある。住宅街の電柱には柱上変圧器があり、高圧(6600V)から低圧に変圧して住宅の電力量計を介して住宅内に引き込まれ、住宅用分電盤に配線される。

図1に示すように柱上変圧器には高低圧混触の場合に危険な電圧を防止するために系統接地(B種接地工事)が施される。これがIEC規格でいう一番目の文字のTである。

一方、単相3線式の場合、住宅用分電盤の配線用遮断器(分岐ブレーカー)からはコンセント(100Vあるいは200V)を介して家電機器に配電される。

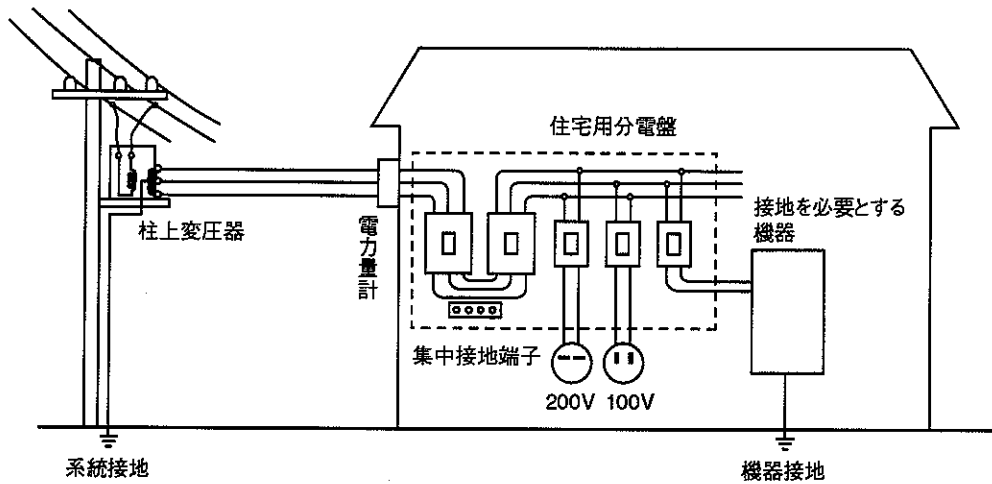


図1 住宅内のTT接地方式

接地を必要とする例えばエアコン、電気温水器、洗濯機等には感電保護のために機器接地（D種接地工事）が施される。これがIECの規格の2番目の文字であるTである。

(3) 住宅内の3Pコンセントシステム

図2に示すように住宅分電盤までの配線は前述と同様である。住宅分電盤の配線用遮断器から接地極付コンセント（100Vあるいは200V）を介して家電機器に配電される。その際、電源線と接地線（IEC規格では保護単体という）が一体として（例えば3芯ケーブル）配線される。

3Pコンセントシステムとして定義されているわけではないが、現状の集合住宅においては、家電機器の個別接地は不可能であるため、接地線を接地端子付コン

セントに配線して接地を施している。

戸建住宅や集合住宅では、新築の場合はこの3Pコンセントシステムを採用することは可能である。

わが国の住宅内では、住宅分電盤の中に装備されている集中接地端子に接地線が接続され、当然のことながらTT接地方式を義務化しているわが国では集中接地端子から接地線を介して接地極に接続される。

この方式はIEC規格でいえば、スター型ボンディングの形態である。

接地を必要とする家電機器の接地をすべて、一点に集中させ、その点を電位の基準点とする方式であり、その概念を図3に示す。従来は、わが国では、この考えを一点接地と呼んでいたが、欧米のボンディング思想によると、それはスター型ボンディングであり、これらは同義である。

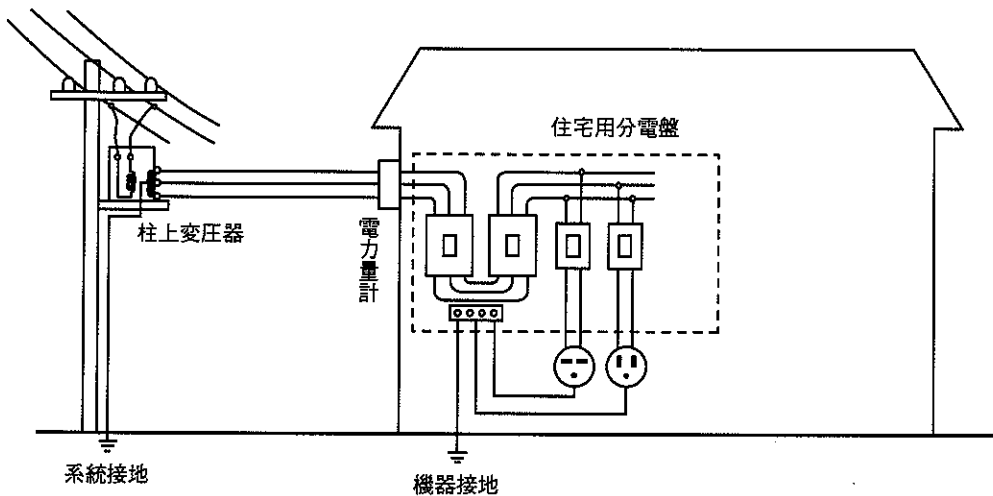


図2 住宅内の3Pコンセントシステム

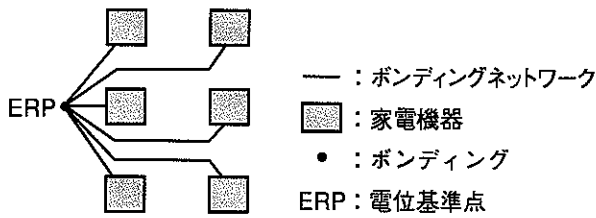


図3 スター型ボンディングの概念

一点に集中させる箇所は等電位ボンディング母線（あるいは集中接地端子）であり，そこには雷サージ防護装置も合わせて設置される。

3.2 接地設備の現状

(1) 住宅内家電機器

エアコン，電気温水器，洗濯機等の家電機器は分電盤を介してコンセントから電源を得ている。一方，電話・ファックス，パソコン等もコンセントから電源を得ているが，外部からの架空通信線に接続されている。テレビ・ビデオはアンテナ線に接続されている。接地を必要とするエアコン室外機，電気温水器，洗濯機等は，個別に接地している。

(2) アンケートにみる接地の認識

わが国の集合住宅の歴史を創り，リーダー的存在である住宅都市整備公団（現UR）では，住宅の電気設備に対する調査研究を実施してきている。集合住宅における住宅の接地設備に関する調査結果の一部を紹介する。

① 接地設備に対する認識

接地に関する住民の意識をみると，図4のように，接地の必要性は十分に認識しているようである。しかしながら，図5に示すように，「コンセントに接地端子がない」という住宅の設備側での問題点が指摘されている。

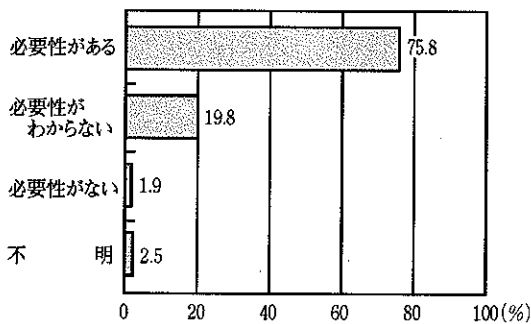


図4 接地の必要性についての認識

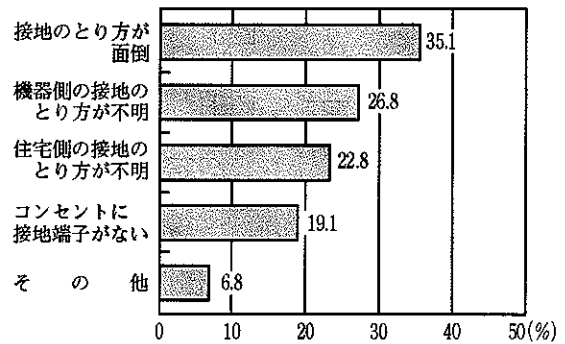


図5 接地のとり方

また，機器および住宅における接地の取り方がわからないという声は50%弱ある。このことは，接地の必要性は認識していても，接地についての啓蒙が不十分であるのが理由ではなかろうか。

② 家電機器の接地の取付けの現状

代表的な家電機器の接地の取付けの実態をみると，洗濯機の86%を筆頭に，エアコン52%，電子レンジ49%，温水洗浄便座51%，食器洗い機31%，衣類乾燥機59%になっているが，「接地を取付けていない」とか「取付けがわからない」という声も目立つ。

以上の調査結果は，比較的に住宅電気設備のグレードが高い住宅を対象としており，一般の戸建住宅，集合住宅と同じように扱うことは無理があろう。つまり，UR住宅では洗面所，台所，居間に接地端子付のコンセントを設置しているが，一般住宅には前述したように洗面所にしか設置していないのが実情である。

(3) エレクトロニクス機器の雷被害の実態

わが国では雷被害の情報は新聞報道や一部の工業会や団体が公表されているにすぎない。マスメディアの報道は落雷による人身事故，火災，交通機関，通信などの大きな被害をとり上げるもので，これらは氷山の一角にすぎない。家電機器の雷被害を体系的に調査研究した論文がある（参考文献(3)）。この文献では，1960年～2006年にかけて全国的に雷被害の調査を実施し，貴重なデータを公表している。本稿ではその一部を紹介する。

実態調査の対象1987年～91年の冬は冬季雷の被害を調べるために秋田県，山形県，石川県，夏は夏季雷の群馬県，1996年～97年は群馬県，2004年～05年，2006年は九州全県の住宅である。主要な被害機器の被害台数の実態を図6～図10に示す。

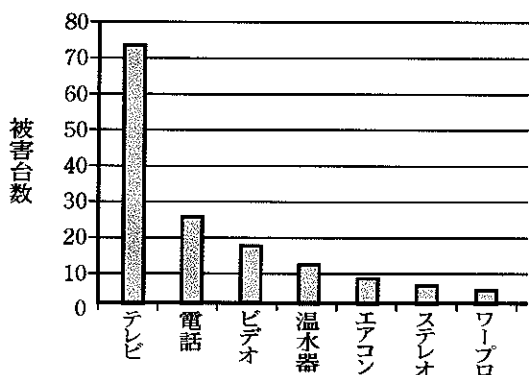


図6 主要な被害機器の実態 (1987~91年 冬季)

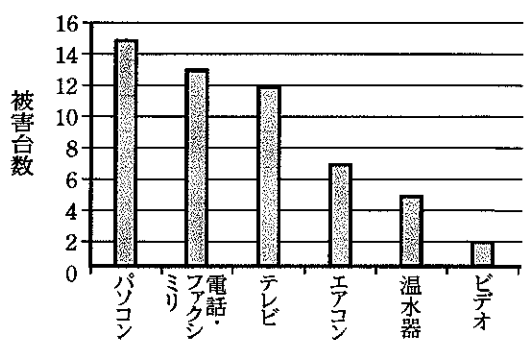


図10 主要な被害機器の実態 (2006年 夏季)

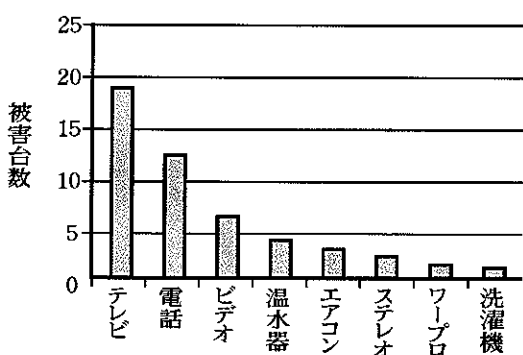


図7 主要な被害機器の実態 (1987~91年 夏季)

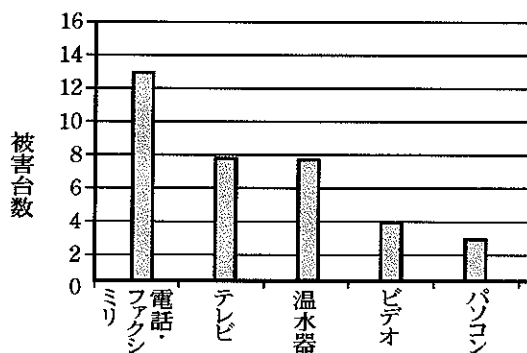


図8 主要な被害機器の実態 (1996~97年 夏季)

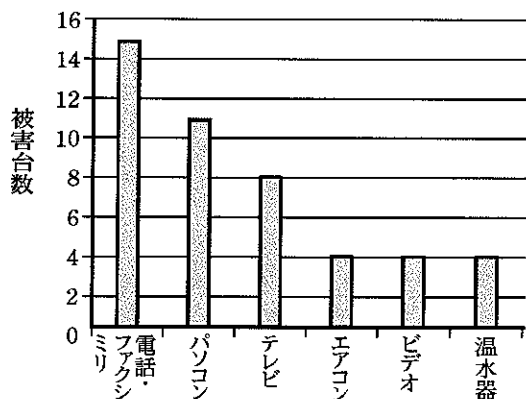


図9 主要な被害機器の実態 (2004~05年 夏季)

これらの一部のデータを引用して分析してみる。
 家電機器のうち、電話・ファックス、テレビ、パソコンの被害の発生率の推移をみると図11のようになる。いずれも、発生率の上昇傾向がみられる。パソコンについては、1987年頃は普及率が小さいために被害データとしては少ないが1996年頃には大きく普及したため、それに伴い、被害データも多くなったと推察される。
 調査年による被害機器の傾向の推移をみると表1のようになる。ここではワースト5の機器を提示している。

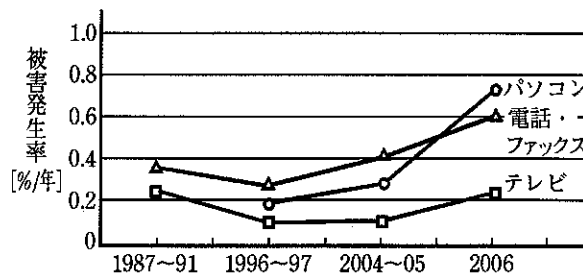


図11 被害発生率の推移

表1 被害機器のワースト5と推移

調査年	1987~91	1996~97	2004~05	2006
1位	テレビ	電話・ファックス	電話・ファックス	パソコン
2位	電話	テレビ	パソコン	電話・ファックス
3位	ビデオ	温水器	テレビ	テレビ
4位	温水器	ビデオ	温水器	エアコン
5位	エアコン	パソコン	エアコン	温水器

3.3 感電保護対策としての接地設備

(1) 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使用されている。その中で、感電防止を目的とした接地を必要とするもの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。

電気用品技術基準省令第1項によると、接地を必要とする家電機器が規定されている。それらをまとめると表2のようになる。ただし、据置き型、200V用の専用機器は除いている。

表2 接地を必要とする機器

部 屋	機 器
台 所	電子レンジ、オーブンレンジ、食器洗い乾燥機、冷凍冷蔵庫、温蔵庫
洗 面 所	全自動洗濯機、2槽式洗濯機、衣類乾燥機、浴室用衣類乾燥機、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

一般住宅における主要耐久消費財等の普及率を内閣府経済社会総合研究所の消費動向調査年表をもとに調査し、特に接地を必要とする主要な家電機器の普及率を図12に示す。ここで、洗濯機については、普及率が100%であるため除外している。

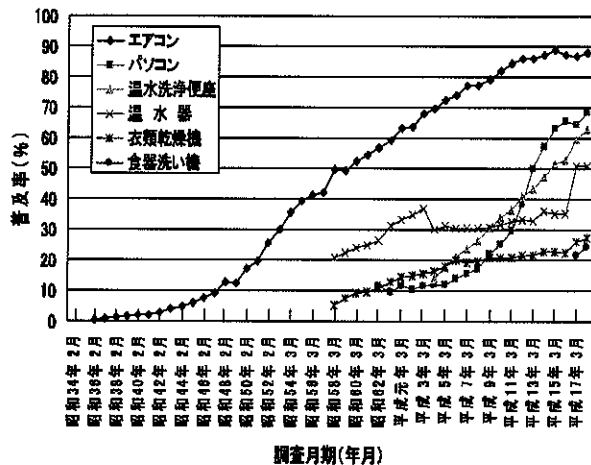


図12 接地の必要な主要耐久消費財の普及率

(2) PL法との関わり

わが国においては、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（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

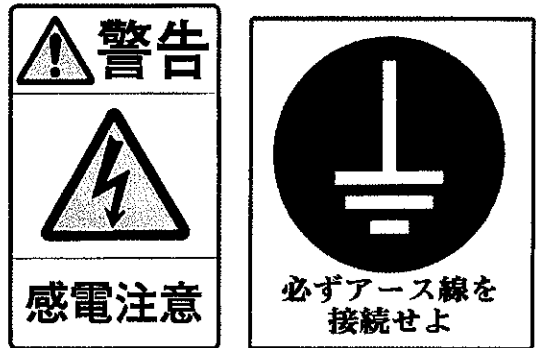


図13 電気的な危険に関するシンボルマーク

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、企業及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13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及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、警告表示のついた製品を我々国民が手にしたとき、戸惑うことがあるのではないだろうか。それは接地の取付けに関してである。

日本電機工業会（JEMA）で取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カタログ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は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、「台所で用いる電子レンジ、食器洗い乾燥機等のアースを確実に取り付けてください」といわれても戸惑うばかりである。「販売店に相談してください」といわれても簡単にアース工事を行うのは困難であろう。

(3) 家電機器の感電防止のためのクラス分類

IEC60335-1（家電機器の安全に関する総則）規格によると感電保護の観点から家電機器を5クラスに分類している。接地を必要とする機器はクラス0I機器とクラスI機器であり、クラス0I機器はわが国で使われている家電機器で電源線と接地線がある。これに対してクラスI機器は、電源線と接地線が一体化した形

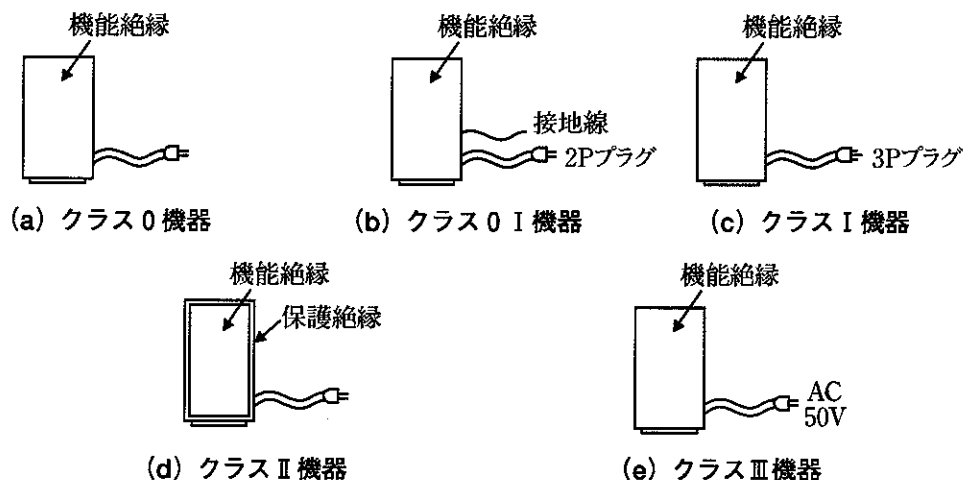


図14 家電機器の接地線の形態

態である。つまり、家電機器のプラグに電源用の2枚の平行刃と接地ピンがあり、これを3Pプラグと称している。この3Pプラグに対応するコンセントが接地極付コンセント（3Pコンセント）であり、3Pコンセントシステムという。クラスの分類を図14に示す。

①クラス0（ゼロ）機器

機能絶縁のみで接地設備のない機器である。

②クラス0I（ゼロワン）機器

クラス0機器と同様に機能絶縁のみであるが、図14 (b) に示すように接地線の設備がある。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。わが国の家電機器は全てこの形態である。

③クラスI機器

クラス0I機器と同様に、接地線の設備がある。ただし、図14 (c) に示すようにこの機器は電源コードと一体になっているので、電源供給と同時に、自動的に接地される。つまり、後述する3Pコンセントシステムに対応した機器である。

④クラスII機器

機能絶縁のほかに保護絶縁を施し、二重の絶縁を施した機器である。

⑤クラスIII機器

安全特別低電圧（SELV：交流50V）方式に用いる機器である。

(4) 望ましい接地設備

—接地極付コンセントシステム—

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。

①3Pコンセントの形状

3Pコンセントは図15 (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、従前から図15 (ハ) に示すように、接地端子付きのコンセントが普及していた（写真2）。どちらも役割は同じであるが、前述した家電機器のクラス分類に関係している。最近パソコン周辺機器（海外製産品）には3Pプラグ付のいわゆるクラスI機器がわが国で市販されてい

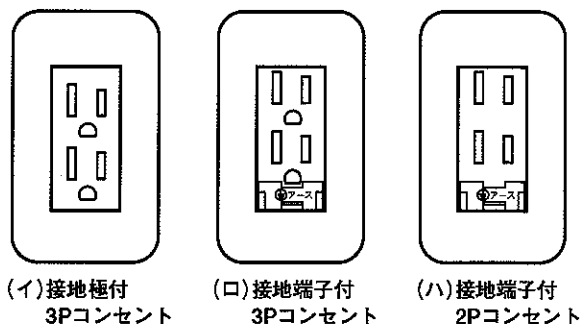
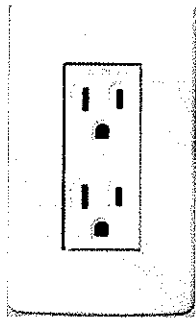
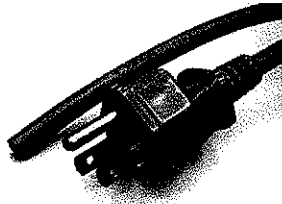


図15 3Pコンセントの形状



(a) 3Pコンセント



(b) 3Pプラグ

写真1 3Pコンセントの形状

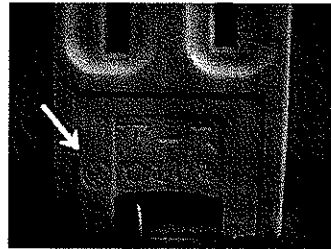


写真2 接地端子付コンセント

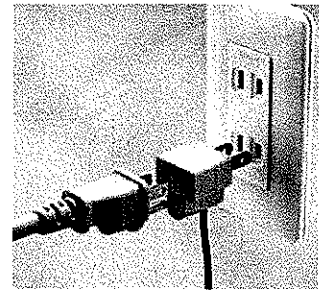


写真3 変換アダプタの使用例

る。その場合、3Pコンセントは使用しないので、やむを得ず変換アダプタ（写真3）に頼っている。

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。

②接地極化率の推移

（社）日本配線器具工業会では平成18年度より「接地極化推進運動」が進められている。その目標値として2010年（平成22年）までに接地化率50%を目指している。

接地極化率の推移を図16に示す。この接地極化率の定義は、国内で販売している125V 15A・20Aの屋内用埋め込みコンセントに占める接地極付コンセントの割合とする。ここで、接地極付とは接地極付、接地極と

接地端子の両方を有するもので、例えば接地極付コンセント、接地端子付接地極付コンセント、抜け止め接地極付コンセント等である。

③内線規程における3Pコンセントシステムの位置付け

平成17年の内線規程（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、規定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。

感電災害を防ぐため、回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、電気用品の国際整合化に伴い、クラスI

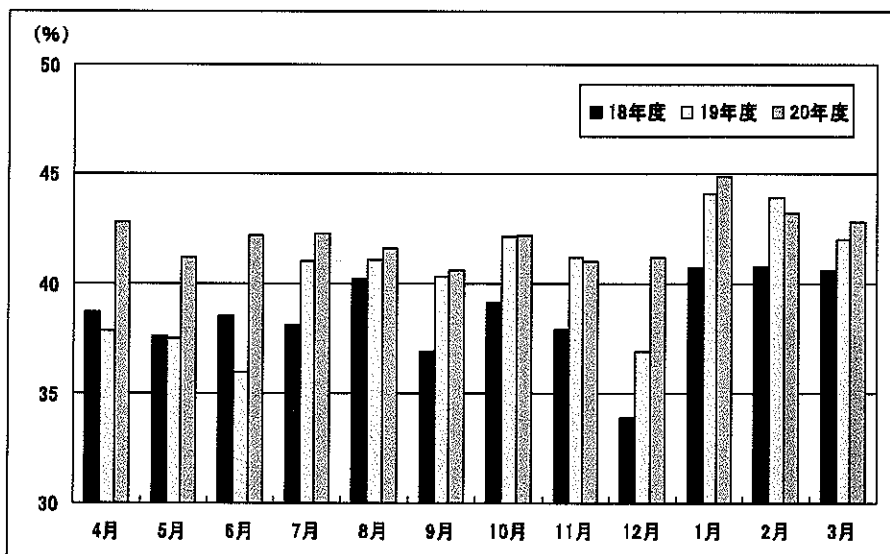


図16 接地極化の推移

表3 接地極付コンセントの施設概要

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コンセント	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	勧告的事項	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

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、推進的事項であったが、今回の改訂では表3に示すような見直しを図った。

3.4 雷保護対策としての接地設備

(1) 雷の恐怖にさらされる住宅

住宅で使われている家庭電気機器（家電機器）にはその制御部にエレクトロニクス、あるいはマイクロコンピュータが使われている場合が多い。IT（情報技術：Information Technology）機器は図17に示すように、外部からの電力線や通信線によってネットワーク化している。さらに、感電保護を必要とする機器には接地が施されている。

住宅に落雷があった場合、つまり直撃雷による被害は雷のエネルギーによる火災を伴う場合が多く、同時に当然ながら、家電機器を破壊し、被害は想像を絶する様相である。一方、住宅街に落雷があった場合、架

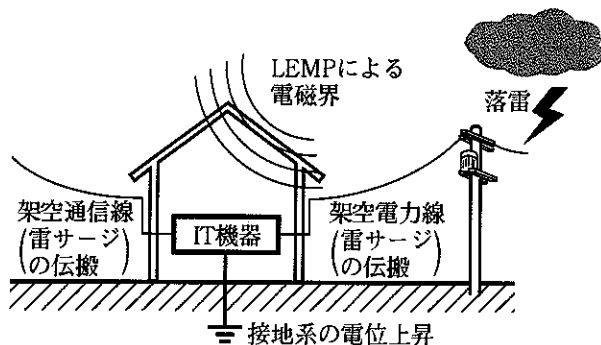


図17 住宅に発生する雷過電圧

空電力線や架空通信線に雷サージ誘導され、伝搬して住宅に雷サージが侵入する。

さらに、LEMP（雷電磁インパルス：Lightning Electro Magnetic Pulse）によって電磁界が生じる場合もある。統計によると、直撃雷ではなく、住宅街における近傍雷の場合、落雷地点から半径2kmの範囲で何らかの被害が生じる可能性があるという。つまり、住宅では雷による電磁的環境におかれるわけで、雷の恐怖にさらされている。

(2) 雷サージに弱いエレクトロニクス機器

1950年代（昭和25年～34年）のラジオ、テレビ等の家電機器、通信機、コンピューター等には真空管が使われていた。その後、トランジスタが発明され、これらの機器はエレクトロニクス化されて今日に至っている。

図18に示すように、真空管の時代には、真空管自体の過電圧に対する耐性が強いため、電磁障害は問題にならなかった。しかし、その後の時代にはトランジスタ、ICやマイクロコンピュータ素子が出現し、それらは過電圧耐性が小さく、電磁障害が多く発生するようになった。

エレクトロニクス万能の時代である現代では、住宅で使われている洗濯機、冷蔵庫、エアコン等の白モノ家電がエレクトロニクス化されている。そのため、過電圧耐性が小さく、雷サージによる被害が多くなってきている。例えば、洗濯機の場合、モータ自体は過電圧耐性が大きいですが、タイマーやシーケンス制御部にマイコンが使われているため、雷サージによって故障するわけである。

テレビ、多機能電話・ファックス、インターホン、パソコン等は言うまでもなくエレクトロニクス化され

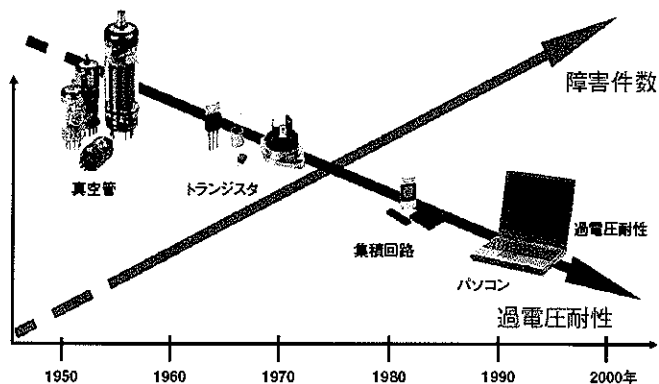


図18 エレクトロニクス化と電磁障害

ており、雷サージによって容易に破壊される。

さらに、接地を必要とするIT機器あるいはエアコンの室外機等には接地極を介して大地に接続されている。このため、落雷あるいは雷サージによって接地系の電位が上昇し、接地されている機器に被害が生じることもある。前述したように、エアコンにもマイコンが搭載されているので当然ながら雷過電圧によるプリント基板等の焼損、破壊の事例が多い。

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・機器はエレクトロニクス化されており、雷サージ等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、電子決済等のネット取り引きに活用される場合、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EMC対策を十分に講じることが重要である。

高齢化社会が進展する中で、在宅医療介護制度が確立されようとしている。その一環として在宅検診、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。これは前述した住宅のマルチメディアサービスに密接に関係するもので、具体化するためには高い信頼性を確保しなければならない。

(3) 住宅における雷電磁環境のカテゴリ

雷サージは架空電力線を伝搬して住宅内に侵入するが、住宅内の位置による雷電磁環境を図19に示すように4つのカテゴリに分類している。

カテゴリⅣは引込口から電力量計を経て、分電盤の電源側で使用する機器である。カテゴリⅢは分電盤の負荷側で使用する分岐遮断器から配線設備に係わる電線、スイッチ、コンセント等である。カテゴリⅡは固定設備から電気を消費する機器であり、全ての家電機器である。一方、カテゴリⅠはコンセントから電気を得る機器で、雷過電圧を適切な低レベルに制限しているコンピューター等の電子機器である。

家電機器を雷過電圧から保護するためにはSPD（雷サージ防護デバイス：Surge Protective Device）を設置して、カテゴリで分類している機器にかかる雷過電圧を機器の耐電圧よりも低くする必要がある。そこで

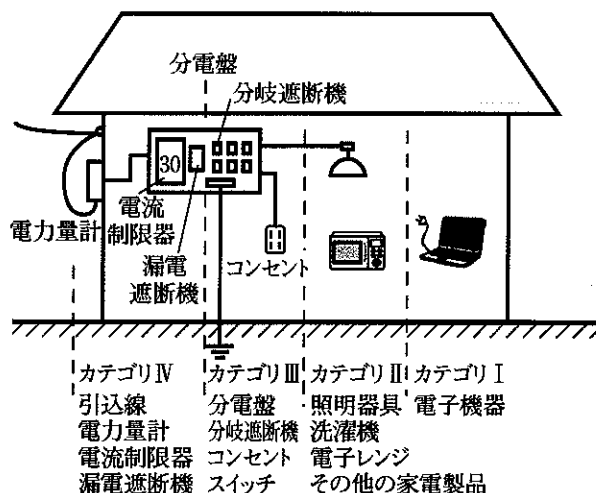


図19 住宅内の過電圧カテゴリの分類

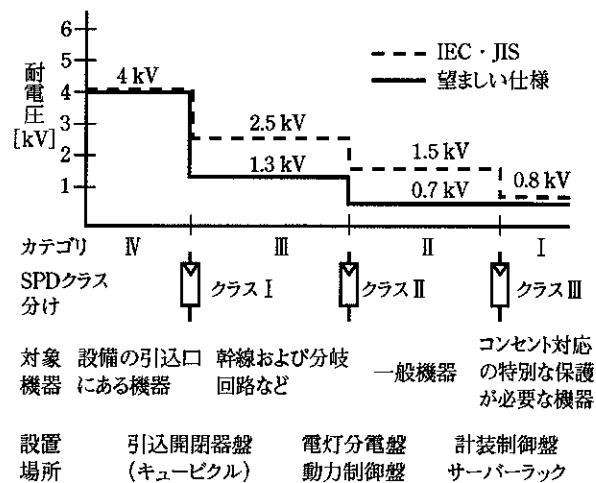


図20 過電圧カテゴリにおける望ましいSPDの仕様

図20に示すような耐電圧が規格化されている。

同図では、各カテゴリにおけるIEC・JIS規格と設計の際に用いる望ましい電圧仕様、それぞれのカテゴリにおいて使用するSPD仕様を示している。ここで、対象機器、SPDの設置場所は一般ビルにおける例である。住宅の場合は図19を参照されたい。

(4) 望ましい接地設備 —分電盤の集中接地端子—

①SPDの利・活用

住宅には電気安全のとりでとして住宅用分電盤が設置されている。この分電盤には感電や火災を防止するためのいろいろな遮断器が組み込まれているが、今までは、雷過電圧を防止するための装置は組み込まれていなかった。

上述したように、エレクトロニクス万能の現代にお

いて家電機器の雷被害は多く発生している実態があり、この雷被害が増大する傾向にある。雷被害のリスクを回避する手段として、欧米ではSPDを積極的に活用している。IEC規格でもSPDの設置を義務付けている。

そこで、(社)日本配線器具工業会ではSPDを組み込んだ新しい機能の住宅分電盤（避雷機能付住宅分電盤）を開発し、市場に出すために工業会規格を策定した。

これと前後して、(社)日本電気協会の内線規程（2005年10月改訂）では、SPDを組み込んだ住宅分電盤に関連して1361節の「雷保護装置」において、SPDの取付け等についての詳細の内容を規定した。

この住宅分電盤の外観を写真4に示し、内部構造を写真5に示す。

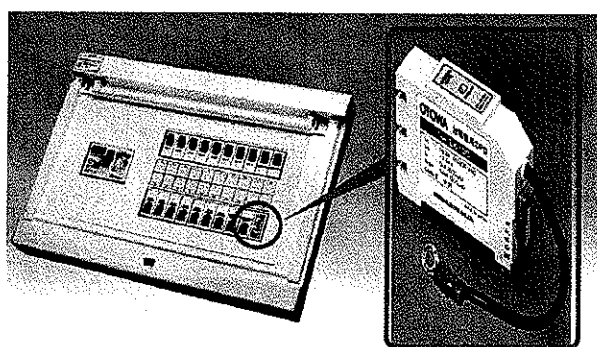


写真4 住宅分電盤に組み込まれているSPD

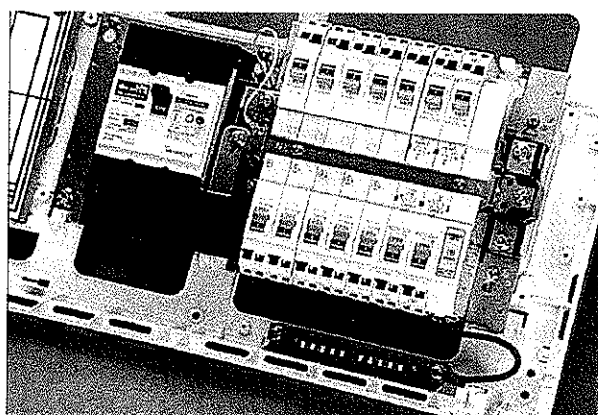


写真5 住宅分電盤の中のSPDと集中接地端子

②内線規程における集中接地端子の位置付け

平成17年の改正により内線規程の1361節に住宅用分電盤に、必要な場合はSPD装備を推奨することが規定された。

電気設備の保護の3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。

SPDの装備の目的は、架空電力線から伝搬される雷サージを防護するもので、これによりエレクトロニクス化された家電機器を過電圧から保護することができる。住宅用分電盤には3Pコンセントシステム用およびSPD用の接地として集中接地端子を設置している（図21）。これはIEC規格で言えば等電位ボンディングバーである。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（100Ω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。

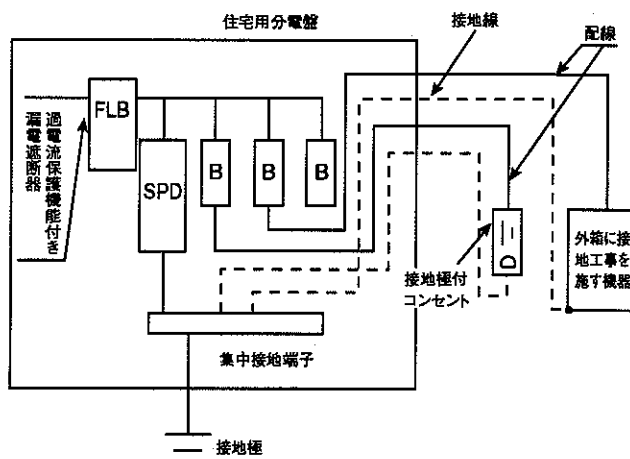


図21 SPD付住宅用分電盤

3.5 住宅内の接地線の配線計画

(1) 接地線の配線形態

住宅の接地線の配線方式は送り配線方式と放射線状配線方式に大別される。送り配線方式（図22）は、接地極からIV線によって、接地端子付コンセントや3Pコンセントへと配線されており、コンセントからコンセントへの送り配線が基本的に用いられている。この方式は、材料及び施工費が安価に抑えられる利点がある。

一方、放射線状配線方式は住宅分電盤からIV線によってコンセントに放射状に配線される場合（図23）と3芯のVVFケーブルによってコンセントに配線される場合（図24）がある。前者の方法は分電盤内における接地線の集中を回避できるが、現実的にはあまり採用されていない。後者の方法は次に述べる3Pコンセントシステムに対応する配線である。

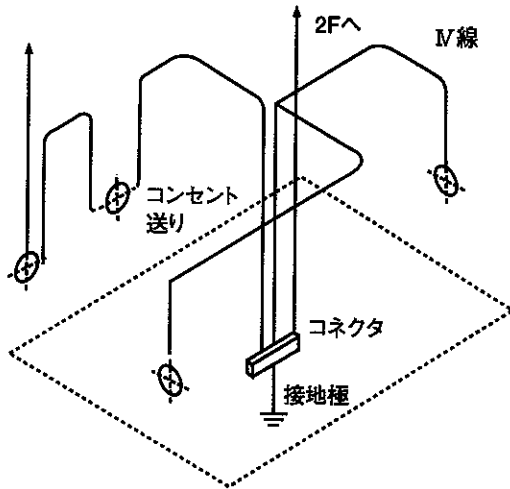


図22 送り配線方式

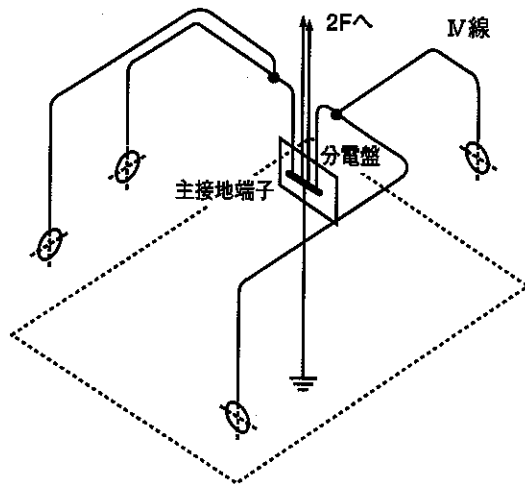


図23 放射状配線方式①

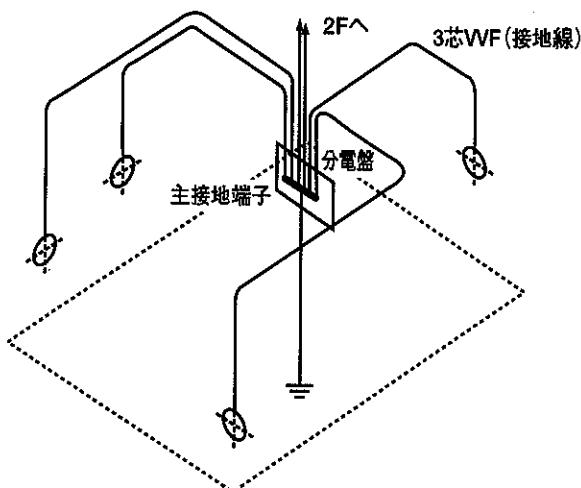


図24 放射状配線方式②

(2) 3Pコンセントシステムの接地線

3Pコンセントシステムを構成する要素には、3Pプラグ、3Pコンセント及び3芯ケーブル（電源線と接地線を一体化したもの）三つである。接地線の配線は3芯のVVFケーブルで配線する。分電盤内における集中接地端子で一括して接地極に接続する。最近は施工効率の向上、工期短縮を目的としたプレハブユニットケーブル工法で採用されている。

3.6 戸建住宅における接地極の施工計画

(1) 新築住宅

新築住宅の場合は設計段階でコンセント設備を3Pコンセントシステムに指定することが可能であり、接地極は鉄筋コンクリート造の布基礎を代用することも考えられる。ドイツでは、帯状接地極を埋め込んだコンクリート基礎を接地極として認めている。わが国ではまだ鉄筋コンクリート造の基礎の代用接地極は認めていないが、実用化に向けた研究が行われてきている。

人工接地極（例えば棒状接地極）の施工に対しても住宅分電盤の設置場所において、3Pコンセントシステムに対応した集中接地端子から直近の場所に接地極の位置を設計図面で指定すれば接地極の施工は容易である。

(2) 既設住宅

既設住宅の場合、通常のコンセントを3Pコンセントシステムに変更することは容易でない。家電機器の接地極としては一般的に棒状接地極が使われており、洗濯機用には洗面所付近に、エアコン室外機用には庭に、個別に接地極を施工している。

住宅用分電盤には、漏電遮断器が装備されているため、電気設備技術基準（以下電技）解釈第19条で規定されているD種接地工事の緩和規定により500Ωを得るだけで法規に満足するため、たやすく接地工事を行っているのが現状である。

(3) 代用接地極としての住宅基礎の利用

住宅基礎の代用接地極の考えは、いつでも、どこでも、容易に接地を得ることができる環境を提供するために検討されたものである。今までの研究によれば、住宅基礎の接地抵抗は含水率や鉄筋の量に影響するものの、比較的小さい接地抵抗が得られることが確認されている。

実用化するに際しては、住宅基礎に接地極導体（例

えば帯状電極)を導入するか、あるいは鉄筋のみを利用するかの方策があるが、建設地の大地抵抗率の大きさによって、それらを選択する必要がある。

住宅基礎の代用接地極の概念を図25に示す。接地極導体あるいは主鉄筋から接地線を取り出し、そこにボンディング母線を設け、これを接地の窓口とする。これでスター型ボンディングが実現できる。住宅基礎は建物全体にあり、接地極導体あるいは鉄筋はループ状になっており、雷サージによる過電圧保護に密接に関与する接地インピーダンスの低減にも寄与する。

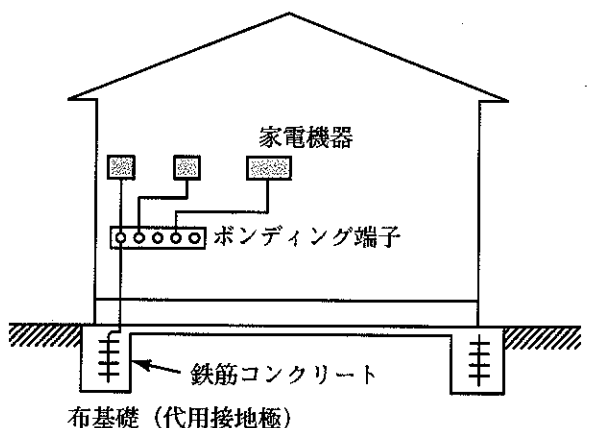


図25 戸建住宅の接地設備の概念

3.7 接地設備の普及のための課題

(1) 3Pコンセントシステム

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16に示したよう

に接地極付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らうか。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、前述したように「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。

一方、3Pコンセントシステムの接地線の配線として理想とする方式は放射状配線である。放射状配線は、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トラブルが生じたことがある。最近はまだ耳にしない。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る。

⑦総括

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」の論をたもととして引き出した。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。

(2) SPDに係わる集中接地端子

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) 化などのうごきによって、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、平成17年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、我慢強い国民性でもあり、ある程度のリスクを許容し、「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。

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24に示したようにカテゴリ、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 μ 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

写真5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 Ω 以下) に準じているが、接地線を短くすること、接地抵抗をすることの条件を満足する接地極の選定が課題である。

⑤総括

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)において、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に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、自主的に取り組みれば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、内線規程がトリガーになってSPDを普及させることが必要であろう。

4. 戸建住宅用としての接地極の提案

(1) 提案の趣旨

家電機器の接地極としては一般的に棒状接地極が使われており、洗濯機用には洗面所付近に、エアコン室外機用には庭に、個所に接地極を施工している。

住宅用分電盤には、漏電遮断機器が装備されているため、電気設備技術基準(以下電技)解釈第19条で規定されているD種接地工事の緩和規定により500Ωを得るだけで法規に満足するため、たやすく接地工事を行っているのが現状である。そこで、本稿では戸建住宅用として最適な接地極を提案する。

(2) 戸建住宅における問題点

①地下埋設物の存在

住宅の敷地内には水道管やガス管が埋設されている。既設住宅において、接地極の施工は住宅敷地内の個所でたやすく接地工事が行われており、このような状況において、棒状接地極を打ち込むことによって、これらを破損する危険性がある。埋設配管の深さについては道路法、同法施工令第12条3項に規定されており、住宅等の敷地内では埋設深さを0.15m以上としている。特にガス管について、全国のガス会社にアンケートを実施した結果、北海道、大阪府、沖縄県では地下0.3m以上、千葉県では0.2~0.3m以上、東京都では0.2~0.6m以上の深さに埋設することになっている。以上をまとめると、戸建住宅の場合のガス管の埋設深さはガスメータより一次側は0.3m、二次側は0.15mである。

②分電盤の設置位置

(社)日本配線器具工業会の分電盤の設置位置に関するアンケート調査結果によると住宅用分電盤の設置位置は洗面所33%、玄関31%、台所26%、その他である。これら設置位置を図26に示すある一軒の戸建住宅の間取り図(一階平面図)を例にみると、住宅用分電盤の設置位置として多い洗面所、台所には多くの地下埋設物(水道管、ガス管等)が存在していることがわかる。このことから、接地極の施工に際しては、住宅用分電盤の集中接地端子から直近の位置に接地極を施工するため、位置の選定に留意する必要がある。

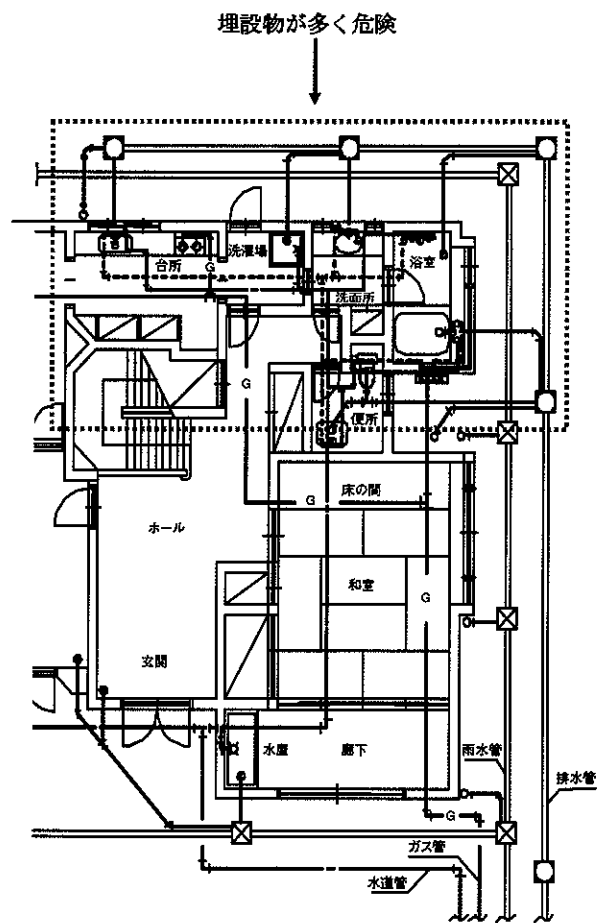


図26 戸建住宅一階平面図の一部

(3) 棒状接地極による接地抵抗の確保

一般的に用いられている従来の人工接地極である棒状接地極(半径0.07m)を用いた場合、どの程度の接地抵抗が得られるかを検討した。その結果を図27に示す。大地抵抗率による所要接地抵抗を棒状接地極の長さをパラメータとして表している。D種接地工事の接地抵抗100Ω、緩和規定の500Ωを得るためには、ある

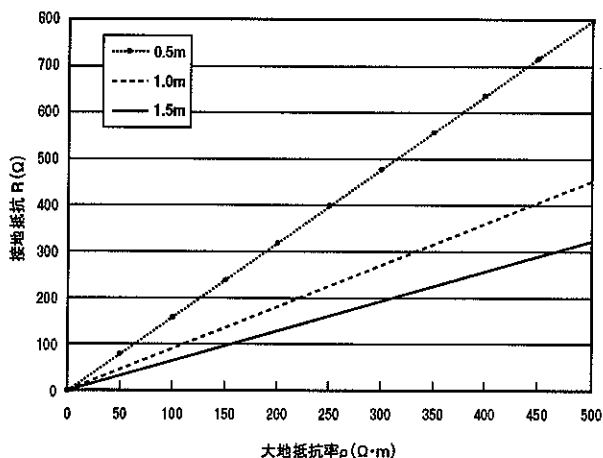


図27 棒状接地極の接地抵抗

程度の長さが必要である。住宅分電盤の集中接地端子のための接地抵抗について、SPDと家電機器が共通の場合、架空電力線や通信線から侵入する雷サージの電圧値は大部分が10kV以下であると仮定した場合、接地抵抗が100Ωであれば機器には1kVしか印加されない。SPD用の接地抵抗値は明文化されていないが、100Ωであれば雷サージの被害を防護できるものと思われる。

また、既設の住宅用分電盤をSPD付住宅用分電盤に取り替えた場合、新たに接地極が必要になってくる。この場合、住宅用分電盤の集中接地端子の直近に接地極を施工しなければならず、分電盤の設置位置には埋設配管が多く、それらの施工位置も特定できない。このことから、従来の接地工事で使用している棒状接地極では、規定の接地抵抗を得るためにある程度の長さを必要とするため、地下埋設物（水道管、ガス管等）に破損等の懸念が生じる。

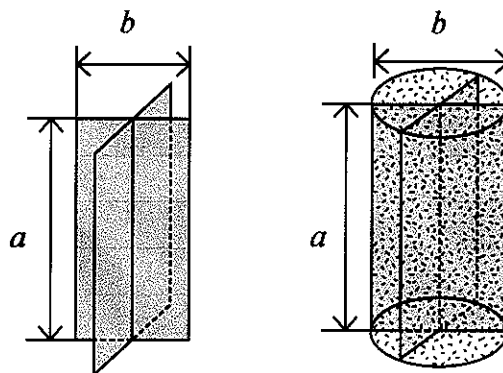
(4) 矢羽根型接地極の開発

①開発の目的

接地極には多種多様な形状が実用化している。しかし、これまで前述してきたように住宅敷地内および市街地で接地極を施工する場合、地下に埋設されているガス管・水道管への損傷等が懸念される。そこで、比較的長さが短い接地極として矢羽根型を考案した。

②矢羽根型接地極の形状

矢羽根型接地極は2枚の板状電極を組み合わせた形状で図28の様な形をしている。矢羽根型接地極のメリットとして、施工に必要な面積を少なくしながら電極自体の表面積を増やすことができること、接地抵抗低



(イ) 矢羽根型接地極 (ロ) 接地抵抗低減剤の施工状態

図28 矢羽根型接地極の形状

減剤を用いたときに接触面積が広くとれることが上げられる。

③形状係数法による接地抵抗の推定

接地極の接地抵抗はその形状によって電位分布が異なり、接地抵抗も違ってくる。一般的に使用されている棒状接地極や板状接地極等は接地抵抗算出式が存在するが、本論文で提案した矢羽根型接地極には接地抵抗算出式は存在しない。

解析解や理論式のない接地極の接地抵抗を推定する方法として接地極の形状を考慮に入れた形状係数法がある。そこで、形状係数法により、矢羽根型接地極の形状係数法を実験で求めどの程度の接地抵抗を得られるかを検討する。

接地シミュレーションで得られた形状係数法および地表下0.05mに埋設した場合の接地抵抗を推定するための式を表4に示す。ここで、a、bは図28に示した寸法である。

表4 矢羽根型接地極の形状係数

接地極の寸法(m)		形状係数	代表的寸法 L(m)	埋設係数 埋設深さ 0.05m	推定接地抵抗R ₀ (Ω)
a(m)	b(m)				
0.2	0.1	0.46	0.2	0.91	R ₀ =2.3・ρ・0.91
0.2	0.15	0.40	0.2	0.91	R ₀ =2.0・ρ・0.91
0.3	0.1	0.57	0.3	0.94	R ₀ =1.9・ρ・0.94
0.3	0.15	0.50	0.3	0.94	R ₀ =1.7・ρ・0.94

表4に示した寸法のうち2パターンの推定接地抵抗計算式(R_0)を用いて、大地抵抗率による接地抵抗を通常埋設時と接地抵抗低減剤使用時のものを図29に示す。

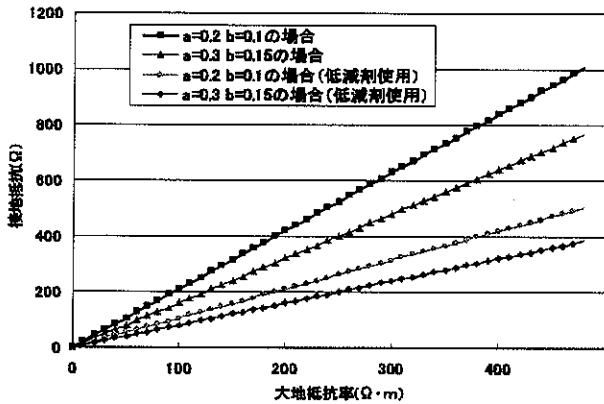


図29 矢羽根型接地極の接地抵抗

住宅地の大地抵抗率によって、矢羽根型接地極の寸法を選定することで所要の接地抵抗値を得ることができる。

④施工の方法

接地極のうち最も施工の容易なものは棒状接地極であるが、矢羽根型も板状等の他の接地極と比べると比較的容易な施工性である。専用のスコップあるいはドリル(地表面がアスファルト、簡易セメント舗装の場合)で円筒形の穴を掘り、そこに接地極を埋設する。フィールド実験の際に経験しているが、深さが0.4m程度であれば容易に施工することが可能である。

⑤接地抵抗低減剤の活用

大地抵抗率が高い場所では、接地抵抗低減剤を使用せざるを得ない場合がある。矢羽根型接地極は棒状や円柱状の接地極に比べて、低減剤との接触面積も大きく、低減効果があることがフィールド実験でも確認できた。接地抵抗低減剤としての具備すべき条件を満足する低減剤であれば腐食の問題も無く、積極的に活用することができる。

5. 接地抵抗測定のための補助接地極の提案

(1) 提案の趣旨

接地抵抗を測定する方法として、小規模な接地極には接地抵抗計(アースメータ)、大規模な接地極には電位降下法による測定がある。いずれの場合にも、電流および電位補助極を必要とする。通常はこれらの補助

極には棒状接地極が用いられる。市街地においては道路は当然のことながら、歩道も舗装され接地抵抗を測定する際に、これらの補助極を打込むことは不可能である。この実態は接地抵抗の測定に対する大きな課題である。

そこで、本稿では補助接地極として歩道の舗装面で有用と推察される編み上げ網状接地極を提案する。

(2) 編み上げ網状接地極の概要

①材質、構造

編み上げ網状接地極とはポリエステル繊維と銀メッキ銅線(直径0.05mm)の素線を34本を束ねて、網状に編み上げた接地極である。構造寸法は50cm×50cmの正方形である(写真6)。強度を確保するために表面(写真7)をポリエステル繊維で編み、裏面(写真8)を導体で編んでいる複合編み上げ構造である。

②電気的性能

電流量をみるために、銀メッキ銅線の素線1本に交流電流を流したとき60mAで素線が溶断した。導体は34本の素線から成り、導体1束では約2Aの電流量を持つことになる。この導体が縦に150束、横に180束の網状を形成して接地極としている。

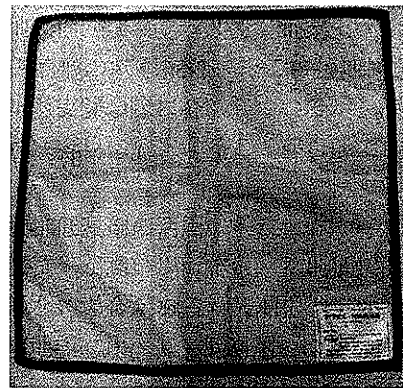


写真6 編み上げ網状接地極(50×50cm)

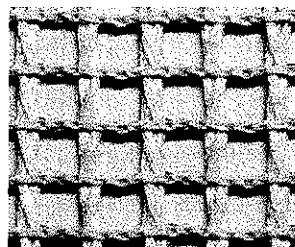


写真7 接地極の表面

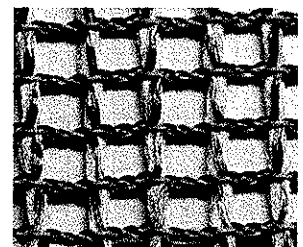


写真8 接地極の裏面

(3) 大地面の現状

大地面を道路と歩道に大別した場合、道路はセメントあるいはアスファルト舗装である。歩道についてもアスファルト舗装が多いものの、一部はコンクリート平板やコンクリートタイル、コンクリートブロック等の舗装が施工されている。車道と歩道の境界には路面排水用の側溝があり、そこにコンクリート製のL型側溝が施工されている。これらは大地の土壌と接触している。以上に示した大地面の加工材料はコンクリート製であり雨水の浸透性がある。

(4) 補助接地極としての性能の検討

① 供用方法

前述した歩道あるいは側溝などの大地面に編み上げ網状接地極を置いた場合、この接地極自体では大地面と接触が悪い。そこで、測定電流を大きくするために、電流補助極として用いる場合は、この接地極にスポンジを乗せ、水を掛けてから測定する。電位補助極の場合は水を含ませたスポンジを接地極に乗せる。

② 浸透性との関係

補助接地極を供用する場合に、スポンジに水を掛けるが、その場合の浸透性と接地抵抗の関係を調べた。この接地抵抗の測定には簡易接地抵抗計を用い、その補助極には付属品の棒状電極を土壌に打込み、電位補助極を10m、電流補助極を20mとした。

実験は関東学院大学キャンパス内のコンクリート平板で行った。編み上げ網状接地極(50×50cm)にスポンジを乗せ、均等に水道水を掛けて、時間経過による接地抵抗を測定した。水がスポンジから溢れる量は最大で1ℓであるため0.5ℓと1ℓの場合を実験した。結果を図30に示す。

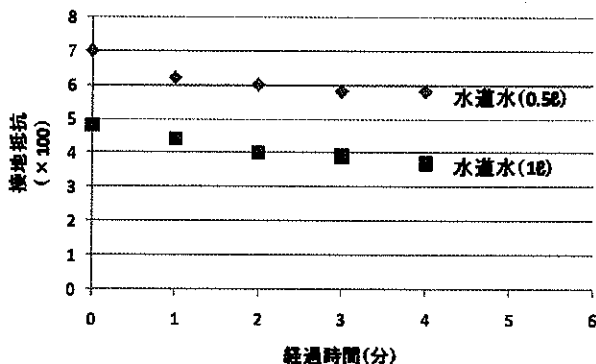


図30 浸透による接地抵抗の変化

コンクリート平板に水が浸透するに従って接地抵抗は漸次減少する。水の量によってその変化の度合は異なるが、電流補助極として供用する場合は1ℓの水を掛け、3分経過後に測定を開始することで有効であることが明らかになった。

③ 得られる接地抵抗

大地面に平板、タイル、ブロック、L型側溝が敷かれた場所において、上記の供用方法で編み上げ網状接地極(50×50cm)の接地抵抗を実測した。ここで、大地面がアスファルト加工の場合、接地抵抗は無限大であった。得られた接地抵抗の分布図を図31に示す。多くは500Ω以下であるがそれ以上の場合もあった。

④ 棒状接地極との測定結果の比較

簡易接地抵抗計による測定は付属品の棒状電極を用いるが、それと、編み上げ網状接地極の場合の接地抵抗測定結果の比較をすると、良好な一致をみた。ここで、被測定電極は棒状電極(半径9mm、長さ30cm)を用いている

(5) 編み上げ網状接地極の性能評価

接地抵抗計のJIS-C-1304(2002年)によると補助電極の接地抵抗は製造業者の示す有効範囲又は5kΩ以下であれば測定に影響しないと規定されている。ちなみに本稿で用いたメーカーの仕様書によると0~5kΩの範囲において許容差は±5%以内である。

図31に示したように、編み上げ網状接地極の接地抵抗は最大で900Ωであった。周知のように、接地抵抗は大地抵抗率に比例する。当核地の大地抵抗率は平均値で240Ω・mである。仮に大地抵抗率が1000Ω・mでも接地抵抗は3.5kΩ以下であり、JISを満足する。

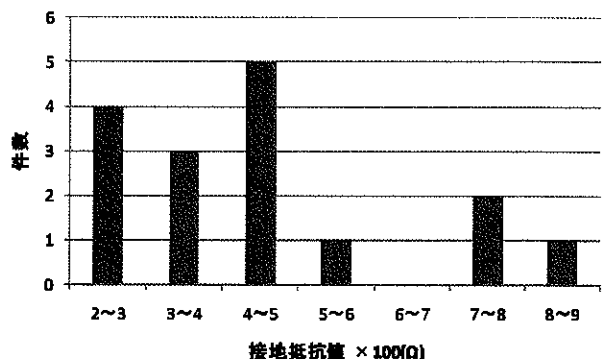


図31 編み上げ網状接地極の接地抵抗の分布

6. あとがき

建築物，例えばオフィスビル，複合用途ビル等，病院等の接地設備に関しては基準，規格等で規定されており，電気安全に大きく寄与している。しかし，住宅においては，まだ不十分である。本稿では感電保護，雷過電圧保護の視点で課題を抽出し，望ましい接地設備のあり方を提起した。さらに，接地極としての矢羽型接地極，市街地において接地抵抗を測定するための補助接地極を提案した。

究極的な接地設備としては，筆者らが提案している戸建住宅基礎を接地極として活用することである。住宅基礎接地極が実現できれば，課題となっている事項は解決できるものと考えるが，そのためには法規等の整備が必要になるであろう。

今後，さらに検討を進めて，住宅の接地に関する体系を構築していくつもりである。

本研究の一部は（財）関東電気保安協会の平成22年度研究助成を受けたことを付記する。

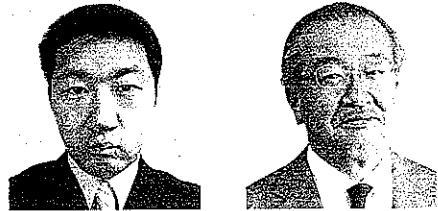
参考資料

- 1) 右田，高橋：「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 vol.24, No.4, pp.296-301, 2004年
- 2) (社)日本配線器具工業会：住宅盤専門委員会資料
- 3) 細川武 他：家電機器の雷被害様相の変遷と今後の課題，電気学会論文誌B, vol.129 No.8 2009
- 4) 高橋 編：IT社会と雷保護システム，NPO雷保護システム普及協会，日刊建設通信新聞社，2005
- 5) (社)日本電気協会：「内線規程」，JEAC8001-2005, pp.104
- 6) 右田，北村，高橋：「戸建住宅基礎の接地抵抗の推定」，電気設備学会誌論文 vol.25, No.5, pp.370-377, 2005年
- 7) 山川，高橋：「形状係数法による接地抵抗の推定」
- 8) 金田，高橋：「矢羽根型接地極の開発」，第25回電気設備学会全国大会，pp.209-210
- 9) 林，森田，右田，高橋：「接地抵抗測定のための補助接地極の性能」，電気設備学会誌論文査読中
- 10) W. Rudolph：「EMV nach VDE100」，VDE-verlag, 1996年

(2011年1月10日受理)

直流化に伴う次世代住宅の 電気安全

Electrical Safety for the Dwelling Houses Using the Direct Current in
the Coming Generation



う だ り へい たか はし たけ ひこ
右 田 理 平¹⁾ 高 橋 健 彦²⁾

キーワード：次世代住宅，直流化，電気安全，接地

1. はじめに

住宅における電気設備が目指す理念は、安全性、利便性、快適性及び環境性の向上を高度に実現することである。この理念を長期にわたって実行するためには、電気安全システムを整備する必要がある。

最近では、太陽光発電、燃料電池等の分散型電源が普及し、それとあいまって、次世代の住宅内配電方式として直流配電の実用化に向けた検討が行われており、更に IEC においてもグローバルスタンダード作成に向けて準備段階に入っている。このような動きにおいて、直流配電における電気安全に対する未知の問題が潜在化しているため、早急に検討しなければならない。

そこで、本稿では、住宅における直流配電を実現するための電気安全についての検討すべき課題を解説する。

2. 直流化の動向

IEC/TC64(低圧電気設備及び感電保護)にLVDC(低圧直流)のアドホックワーキンググループが組織され、いよいよ直流化の世界に向けて動き出した。記念すべき第1回目の作業会は米国ワシントンDCにあるNEMA(米国電機工業会)のエジソンルームで開催された。

1880年代に歴史上の出来事として、エジソンとテスラの交直送電論争があった。結果的には長距離送電としての交流方式が有意であることが実証され、今日に至っている。テスラあつての電気事業とまでいわれている。しかし、今、エジソンの世界が到来しようとしている。

そもそも、今、なぜ直流化なのだろうか？大義は21世紀の環境問題にかかわる省エネルギーであろう。交流から直流に変換する際の電力ロス相当量であり、直流化によって、試算では約20%の省エネ効果を発揮するというデータもある。

住宅において、部屋にはACアダプタが多種多様にあり、それらが蝸足の状態になっている。この光景は我が家ばかりでなく、日本、いや世界中でみられる。直流化が進めば、アダプタは不要になり、使い勝手の改善にも寄与するだろう。

直流でも電圧が低いほど安全であり、電圧が高いほど効率が良いという相反性があるわけで、最適な電圧を検討する必要があるだろうが、低電圧は6V、12V、14V、48V、中電圧は200V～400Vの範囲であると予想する。

住宅においては、分散型電源としては太陽光発電、燃料電池があり、今後は付帯設備として蓄電池が普及するだろう。直流化に対応できる負荷には、低電圧系では現在ACアダプタを用いている機器、照明(LED)、テレビ等、中電圧系ではエアコン、冷蔵庫、洗濯機などがある。厨房機器や採暖機器は直流化のメリットは少なく、現状のままであろう。

電気設備技術基準省令第4条に保安原則として「電気設備は感電、火災、その他人体に危害を及ぼし又は物件に損傷を与える恐れがないように施設しなければならない」という条文で電気設備における感電、火災等の防止を規定している。

電気安全の3要素として、感電保護、過電流保護、過電圧保護がある。これらは交流の世界では体系化が構築されているが、直流の電気安全は未知の分野である。電気安全対策の手段として接地技術がある。住宅の接地設

1) 関東学院大学大沢記念建築設備工学研究所研究員

2) 関東学院大学工学部教授

備として、交流の場合は住宅用分電盤の中に集中接地端子があり、接地極付コンセントシステムやSPDの接地をそれに施しているが、接地極のあり方について検討すべき課題でもあり、住宅基礎を利用することも考えられる。この概念を直流化に対応させるためには、電気安全対策をシステム化する必要がある。

3. 直流における感電電流の影響

3.1 直流における感電の特徴

(1) 用語の定義

交流における感電電流の影響については周知であるが、直流においては、用途が少なかったため、一般的ではなかった。直流にはプラスとマイナスの常時単一方向性の極性が存在するため、直流の感電電流を評価するための独特の用語がある。それらを次に示す。

- ①上向き電流：両足が正極となる人体を通過する電流
- ②下向き電流：両足が負極になる人体を通過する電流
- ③縦方向電流：片手から両足へ流れる電流
- ④横方向電流：手から手へ流れる電流

(2) いき値

人体に直流が流れたとき、感電は接触面積、接触の状態(温度、湿度、圧力)、通電継続時間などのパラメータ及び個人の生理学的特性に依存するが、知覚のいき値のレベルは電流の投入時と遮断時にだけ反応があり、通電中は何の感覚もない。この反応とは針で刺されたような痛みであり、いき値は約2mAである。

それ以上の電流になると、筋肉の痛み、けいれん性の収縮を引き起こし、更に大きくすると心室細動の危険が生じるが、これは一般的に縦方向電流に依存する。電流が大きい場合は横方向電流でも心室細動が起こる。

動物実験によると、下向き電流による細動のいき値は、上向き電流の場合の約2倍高いことを示している。

心臓周期より長い通電継続期間では、直流による細動のいき値は交流の場合より数倍高い。200msより短い継続時間では、心室細動のいき値は、実効値で測定した交流の場合とほとんど同じである。

3.2 感電電流の影響

人間の縦方向に上向き電流が流れた場合の感電電流の安全限界曲線を図-1に示す。

動物実験を基礎としている図-1に示す曲線 c_1 を、人間の心室細動のいき値とする場合は、曲線 c_1 以下での感電死する可能性は小さく、このことは、曲線 c_1 はすべての人間に対しては、おそらく安全側であることを示す。縦方向の下向き電流に対しては、その曲線は、およそ2倍より大きい電流方向に移行される。

図-1において、約100mAを超える場合では、電流が通過している間は手足に暖かい感覚があるが、接触面では、痛い感覚がある。数分間人体を通過する300mA以下の横方向電流は、時間及び電流とともに増加するが、回復可能な心臓の不整鼓動、電流痕、やけど、めまい及び時には意識不明を引き起こす可能性がある。300mAを超えると、しばしば意識不明となる。

曲線 c_1 以上の場合、心臓停止、呼吸停止及びやけど又は他の細胞障害のような病態生理学影響がおきる。心室細動の確率は、電流の大きさ及び時間とともに増加する。一方 c_1-c_2 の場合は心室細動の確率が5%である。 c_2-c_3 の場合は心室細動の確率が50%以下である。曲線 c_3 超過の場合は心室細動の確率が約50%超過する。

3.3 心臓電流係数の適用

心臓電流係数 F は、交流の場合と同じ数値を直流に適用することができる。左手から両足への電流 I_{ref} と心室細動の発生の危険が同じ程度となる I_h の関係は次式となる。

$$I_h = \frac{I_{ref}}{F}$$

表-1 異なる電流経路に対する心臓電流係数

電流経路	心臓電流係数F
左手から左足、右足又は両足へ	1.0
両手から両足へ	1.0
左手から右手へ	0.4
右手から左足、右足又は両足へ	0.8
背中から右手へ	0.3
背中から左手へ	0.7
胸から右手へ	1.3
胸から左手へ	1.5
尻から左手、右手又は両手へ	0.7
左足から右足へ	0.04

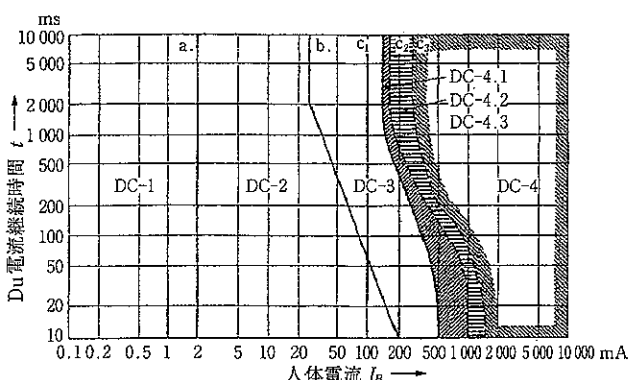


図-1 感電電流の安全限界

ここで、 I_{ref} は図-1に示す人体電流である。異なる電流経路について、次の心臓電流係数を表-1に示す。

4. 屋内配線の接地方式

住宅の直流配線において、2線式の場合は2本の線の極性を合わせる必要がある。一方、3線式の場合は3本の線の極性に留意する必要がある。特徴としては2種類の電圧を得ることができる。2線式と比較すると同じ電力を供給する場合、75%の電線重量で済み、2倍の電圧を得ることができ、電流は1/2で済む。中性線が欠相した場合、負荷に異常電圧がかかる危険があるため、保

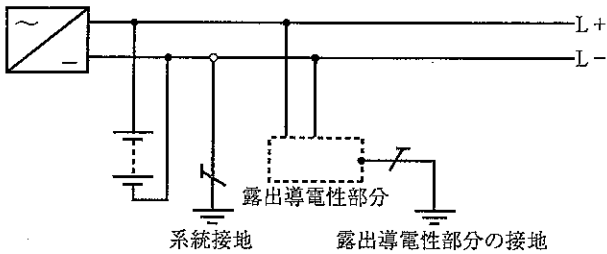


図-2 直流2線式(TT)

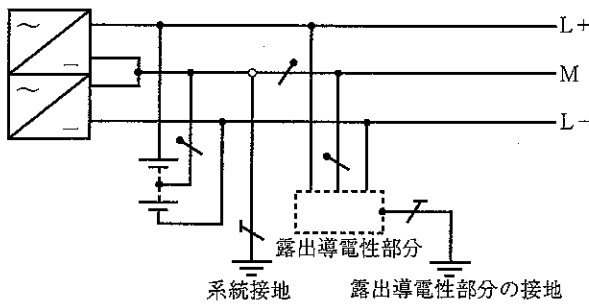


図-3 直流3線式(TT)

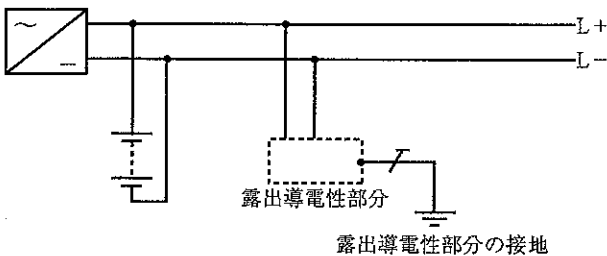


図-4 直流2線式(IT)

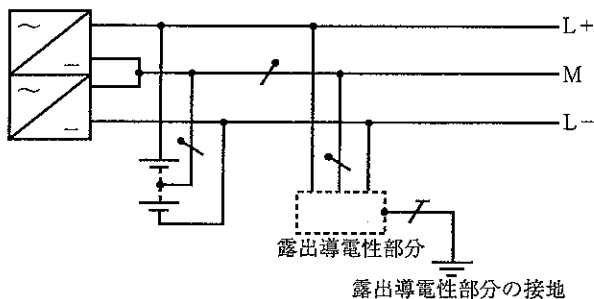


図-5 直流3線式(IT)

護装置が必要になる。

4.1 TT方式

図-2、図-3に示すように電源の接地側導体は、大地へ直接1点接続する。電気機器の露出導電性部分は電源の接地とは無関係に大地へ直接接続する。特徴としては電源と露出導電性部分のその間の電位差が大きくなると機器の破損や異常動作を起こすおそれがある。

4.2 IT方式

図-4、図-5に示すように電源を大地から絶縁するか、インピーダンスを介して1点を大地へ接続する。電気機器の露出導電性部分は大地へ直接接続する。特徴としては1線地絡などの事故が起きただけでは機器破損、誤作動等の重大事故にはならない。

5. 太陽光発電(PV)システムの接地システム

PVシステムにおいては、パワーコンディショナに内蔵されているインバータは変圧器を用いて回路を分離する場合と、用いないフローティングの場合がある。また、インバータは接地されている場合と、接地されていない場合もある。

PVシステムの電気安全は、PVアレイを含むPVシステムの直流回路が、大地とどのような形態をとっているかによって決定される。PVモジュール若しくはパワーコンディショナのメーカーは適切な接地方式を提示する必要がある。そのためのPVシステムの分類を以下に示す。

(1) 分類の定義

PVシステムを分類する場合、便宜的に次に示す文字を用いる。

第1番目の文字：PVアレイと大地との関係

E：電流導体の1点を接地する。

F：大地と絶縁するか、高インピーダンスで接地する。

第2番目の文字：露出導電性部分と大地との関係

T：露出導電性部分を接地する。

U：露出導電性部分を接地しない。

第3番目の文字：関連回路の説明

D：直流負荷、I：変圧器なしのインバータ

X：変圧器ありのインバータ、B：蓄電池内蔵

(2) PVシステムの分類例

分類の定義に基づき、PVシステムを分類すると図-6に示すような形態となる。

6. 直流化に伴う電気安全の課題の抽出

電気安全は、交流の世界では体系化が構築されてお

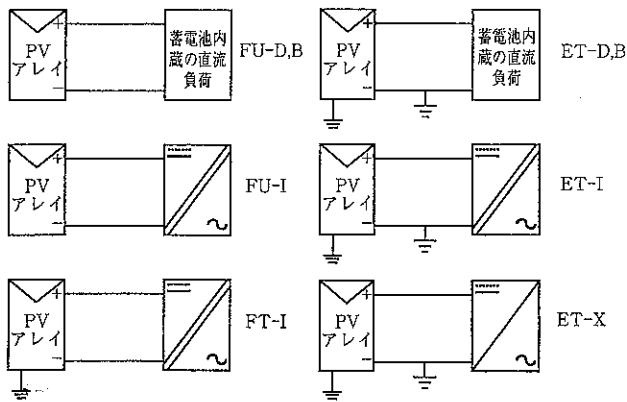


図-6 PVシステムの接地システム例

り、十分に対策が機能している。しかし、直流の世界は、今のところ未知な分野であり、電気安全対策及びその対策に伴う機器、器具、システムの開発等が必要である。

そこで、直流化に伴う電気安全のための課題を抽出してみると以下のような項目が考えられる。

6.1 感電防止

- ①人体の電気的特性は、交流に比べて安全サイドにあるといわれているものの、極性による心室細動の発生の危険がある。
- ②TTシステムにおいて、微小な地絡電流の遮断が困難である。
- ③直流専用の漏電遮断器を開発する必要がある。

6.2 火災防止

- ①接続部における常時アークによる過熱が発生し火災の危険がある。
- ②常時単一方向性であるためトラッキング防止対策を講じる必要がある。

6.3 過電流保護

- ①過負荷、短絡による過電流の遮断が困難である。
- ②遮断器等で、電源を切り離す際に生じる放電アークが継続するため、その消弧装置の工夫が必要である。

6.4 腐食

- ①地絡電流、漏えい電流による接地極の腐食の危険がある。
- ②システムにおける直流循環電流による建築構造体、接地極の腐食の危険がある。

6.5 絶縁

- ①常時単一方向性の電磁界による絶縁物の劣化(老化)の危険がある。

6.6 配線器具

- ①専用のスイッチ、コンセント器具を開発する必要がある。

ある。

- ②直流用と交流用のプラグ・コンセントの誤接続を防止するための形状、施工方法などの工夫が必要である。
- ③直流用のプラグ・コンセントの極性を区別できる工夫(例えばプラグの形状)が必要である。

6.7 電線・コード

- ①極性を区別できる工夫(例えば電線、コードの色別)が必要である。
- ②相導体、線導体、極導体、中性線、中間線、保護導体の識別を規定する必要がある。
- ③許容電流、短絡電流などの電流容量を明確にする必要がある。

7. おわりに

直流化の大義は、二酸化炭素の排出削減に伴う省エネであろうが、インフラ分野における技術革新の目玉としてとらえられることもある。直流屋内配電の実現は世界的にみてもゼロからの出発であり、直流化がもたらす技術革新としてのハード面、ソフト面における経済効果は計り知れない。そのため、メディアはこぞって直流化のメリットを報道している。しかし、電気安全に関しては全く触れられておらず、技術的情報を共有していない状況にある。電気安全は直流化に向けた行動計画の二次的なものかもしれない。しかし、一般市民が日常に接する住宅の電気であり、事は人命・財産にかかわる問題である。直流化は、電気安全対策が十分に満たされて初めて実現されるべきことである。

本稿では、直流化に伴う住宅の接地などのあり方について述べ、電気安全に関する課題を紹介したが、山積する課題に対して、今後、研究を継続し、規格などに反映したいと考えている。

本研究は、(財)関東電気保安協会の2010年度研究助成を受けたことを付記する。

参考文献

- 1) 高橋：EMC, p32, No.9, 2011年
- 2) 右田, 高橋：「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 vol.24, No.4, pp.296～301, 2004
- 3) 右田, 北村, 高橋：「戸建住宅基礎の接地抵抗の推定」, 電気設備学会誌論文 vol.25, No.5, pp.370～377, 2005
- 4) IEC/TR60479-4
- 5) IEC 60364 資料
- 6) IEC 62548 資料
- 7) 日経新聞「社説」：2011年1月4日朝刊

研究速報

接地抵抗測定のための補助接地極の性能

準会員 林達也 (関東学院大学大学院工学研究科) 正会員 森田祐志 (関東学院大学大学院工学研究科/働きんでん)
正会員 右田理平 (関東学院大学大沢記念建築設備工学研究所) 正会員 高橋健彦 (関東学院大学)

Performance of auxiliary electrode for measurement of the earthing resistance

Sub-member Tatsuya Hayashi (Graduate School of Engineering, Kanto-Gakuin),

Member Hiroshi Morita (Graduate School of Engineering, Kanto-Gakuin University/Kinden)

Member Rihei Uda (Osawa Memorial Institute of Architectural Environmental Engineering, Kanto-Gakuin University.)

Member Takehiko Takahashi (Kanto-Gakuin University)

キーワード: 接地抵抗測定, 補助接地極, 接地極, 編み上げ網状接地極, コンクリート平板

In the city area, the street is paved with concrete boards. It is impossible to drive the auxiliary electrode in order to measure the earthing resistance. This paper describes the performance of the knitted string mesh earthing electrode as the auxiliary electrode at the street in the city area.

1. まえがき

接地抵抗を測定する方法として、小規模な接地極には接地抵抗計(アースメータ)、大規模な接地極には電位降下法による測定がある。いずれの場合にも、電流および電位補助極を必要とする。通常はこれらの補助極には棒状接地極が用いられる。市街地においては道路は当然のことながら、歩道も舗装され接地抵抗を測定する際に、これらの補助極を打込むことは不可能である。この実態は接地抵抗の測定に対する大きな課題である。

そこで、本稿では補助接地極として歩道の舗装面で有用と推察される編み上げ網状接地極の性能評価のための検討を行った。

2. 編み上げ網状接地極の概要

(1) 材質、構造

編み上げ網状接地極とはポリエステル繊維と銀メッキ銅線(直径 0.05mm)の素線を 34 本を束ねて、網状に編み上げた接地極である。構造寸法は 50cm×50cm の正方形である(写真1)。強度を確保するために表面(写真2)をポリエステル繊維で編み、裏面(写真3)を導体で編んでいく複合編み上げ構造である。

(2) 電気的性能

電流容量をみるために、銀メッキ銅線の素線1本に交流電流を流したとき 60mA で素線が溶断した。導体は 34 本の素線から成り、導体1束では約 2A の電流容量を持つことになる。この導体が縦に 150 束、横に 180 束の網状を形成して接地極としている。

3. 大地面の現状

大地面を道路と歩道に大別した場合、道路はセメントあるいはアスファルト舗装である。歩道についてもアス

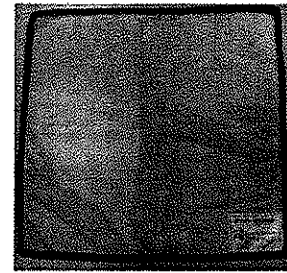


写真1 編み上げ網状接地極 (50×50cm)

Photo.1 The knitted string mesh earthing electrode

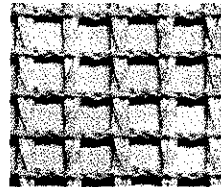


写真2 接地極の表面

Photo.2 Surface

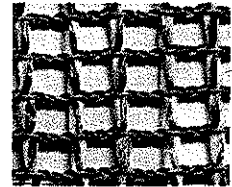


写真3 接地極の裏面

Photo.3 Reverse

ファルト舗装が多いものの、一部はコンクリート平板やコンクリートタイル、コンクリートブロック等の舗装が施工されている。車道と歩道の境界には路面排水用の側溝があり、そこにコンクリート製のL型側溝が施工されている。これらは大地の土壌と接触している。以上に示したように、大地面の加工材料はコンクリート製であり雨水の浸透性がある。

4. 補助接地極としての性能の検討

(1) 供用方法

前述した歩道あるいは側溝などの大地面に編み上げ網状接地極を置いた場合、この接地極自体では大地面と接触が悪い。そこで、測定電流を大きくするために、電流補助極として用いる場合は、この接地極にスポンジを乗せ、水を

掛けてから測定する。電位補助極の場合は水を含ませたスポンジを接地極に乗せる。

(2) 浸透性との関係

補助接地極を供用する場合に、スポンジ(厚さ 8mm のセルローズ素材)に水を掛けるが、その場合の浸透性と接地抵抗の関係を調べた。この接地抵抗の測定には簡易接地抵抗計を用い、その補助極には付属品の棒状電極を土壤に打込み、電位補助極を 10m、電流補助極を 20m とした。

実験は関東学院大学キャンパス内のコンクリート平板で行った。編み上げ網状接地極(50×50cm)にスポンジを乗せ、均等に水道水を掛けて、時間経過による接地抵抗を測定した。水がスポンジから溢れる量は最大で 10 であるため 0.5ℓ と 1ℓ の場合を実験した。結果を図 1 に示す。

コンクリート平板に水が浸透するに従って接地抵抗は漸次減少する。水の量によってその変化の度合は異なるが、電流補助極として供用する場合は 1ℓ の水を掛け、3 分経過後に測定を開始することで有効であることが明らかになった。

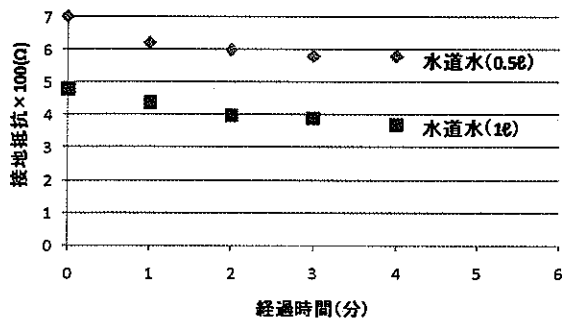


図 1. 浸透による接地抵抗の変化

Fig 1 Change in the earthing resistance depend on penetration

(3) 得られる接地抵抗

大地面に平板、タイル、ブロック、L 型側溝が敷かれた場所において、上記の供用方法で編み上げ網状接地極(50×50cm)の接地抵抗を実測した。ここで、大地面がアスファルト加工の場合、接地抵抗は無窮大であった。得られた接地抵抗の分布図を図 2 に示す。多くは 500Ω 以下であるがそれ以上の場合もあった。

(4) 棒状接地極との測定結果の比較

簡易接地抵抗計による測定は付属品の棒状電極を用いるが、それと、編み上げ網状接地極の場合の接地抵抗測定結果の比較をすると、良好な一致をみた。ここで、被測定電極は棒状電極(半径 9mm、長さ 30cm)を用いている

5. 編み上げ網状接地極の性能評価

接地抵抗計の JIS-C-1304(2002 年)によると補助電極の接地抵抗は製造業者の示す有効範囲又は 5kΩ 以下であれば測定に影響しないと規定されている。ちなみに本稿で

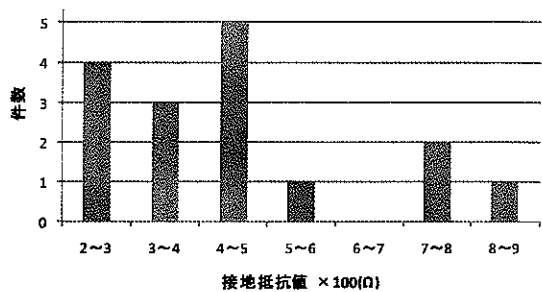


図 2. 編み上げ網状接地極の接地抵抗の分布

Fig.2 Distribution of measured earthing resistance

用いたメーカーの仕様書によると 0~5kΩ の範囲において許容差は±5%以内である。

図 2 に示したように、編み上げ網状接地極の接地抵抗は最大で 900Ω であった。周知のように、接地抵抗は大地抵抗率に比例する。当該地の大地抵抗率は平均値で 240Ω・m である。仮に大地抵抗率が 1000Ω・m でも接地抵抗は 3.75kΩ 以下であり、JIS 規格を満足する。

6. あとがき

編み上げ網状接地極を補助電極として供用する場合の性能について検討した結果、十分に供用することが可能であることを確認した。

本稿で提案する編み上げ網状接地極は電流容量も充分であり、交流電位降下法の補助極としても供用が可能になる。さらに、高圧・低圧配電線の高所作業における安全対策としての接地極にも供用できると考える。今後は、これらの課題を検討するつもりである。

本研究で用いた編み上げ網状接地極はテクニカルアースシステム(株)福嶋茂雄社長から提供していただいた。なお、本研究の一部は(財)関東電気保安協会の平成 22 年度研究助成を受けたことを付記する。

参考文献

- 1) 林 高橋:「編み上げ網状接地極の性能に関する研究(その 1)」平成 22 年電気設備学会全国大会発表論文集, A-11, P23
- 2) 林 森田, 高橋:「Study on performance of knitted string mesh earthing electrode」KIEE Annual Autumn Conference 2010, 2-B-2, P140-144



林達也(準会員) 1987 年 8 月 11 日生。2010 年 3 月関東学院大学工学部建築学科卒業、同年 4 月同大学大学院工学研究科建築学専攻建築設備工学専修、在学中。



右田理平(正会員) 1978 年 9 月 1 日生。2004 年 3 月関東学院大学院工学研究科建築学専攻建築設備工学専修修了、同年 4 月大林組入社、2009 年同社退社、同年関東学院大学大澤記念建築設備工学研究所研究員。