

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^{たこ}にあり，それらが蛸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，現状のままである。

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。

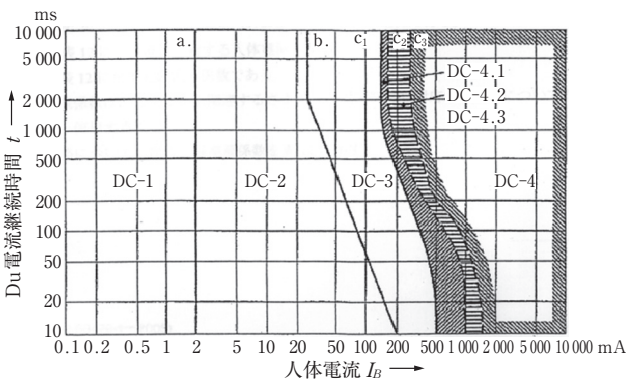


図-1 感電電流の安全限界

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c₁を、人間の心室細動のいき値とする場合は、曲線c₁以下での感電死する可能性は小さく、このことは、曲線c₁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c₁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c₁-c₂の場合は心室細動の確率が5%である。c₂-c₃の場合は心室細動の確率が50%以下である。曲線c₃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

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

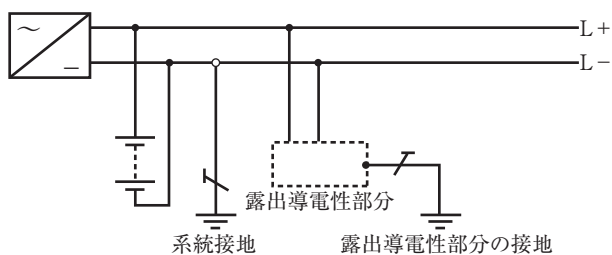


図-2 直流2線式(TT)

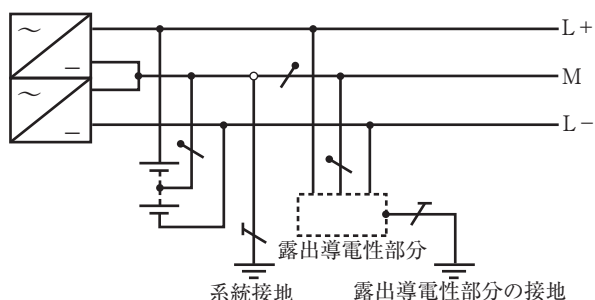


図-3 直流3線式(TT)

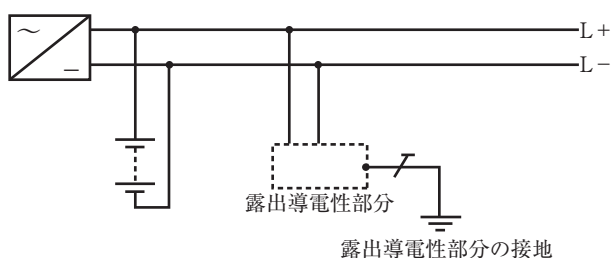


図-4 直流2線式(IT)

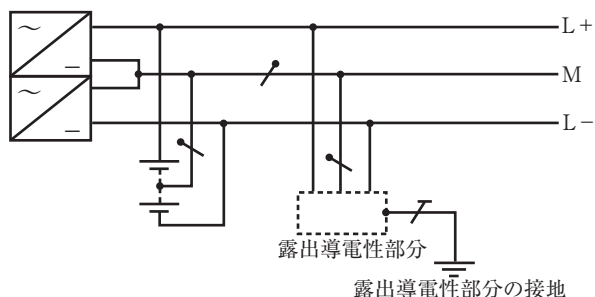


図-5 直流3線式(IT)

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

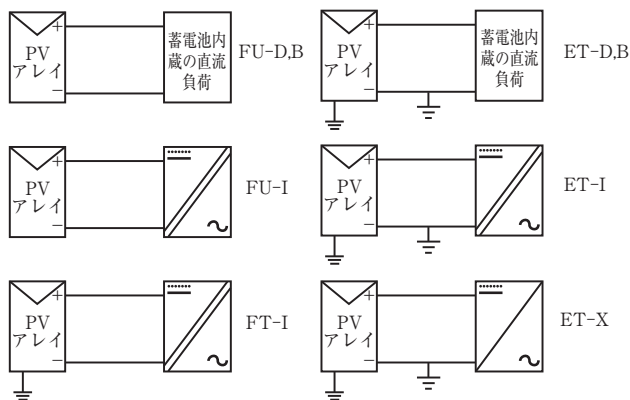


図-6 PVシステムの接地システム例

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の次なのかもしれない。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