



電 流 動 作 型 漏 電 遮 断 器 に つ い て

1. 法的根拠

1-1 電気設備技術基準第11条、15条

1-2 内線規程1350-13[接地線及び接地極の共用の制限]

漏電遮断器で保護されている電路と保護されていない電路に施設される機器などの接地線及び接地極は、共用しないこと。ただし、 2Ω 以下の低抵抗の接地極を使用する場合は、この限りでない。(勧告)

2. 専用接地

漏電遮断器は、省令第15条（旧電技第40条）に規程されているとおり、地絡電流による電線、電気機械器具の損傷、感電または火災の予防の目的で設置するが、漏電警報器では感電事故を完全に防止できないことから、漏電遮断器の設置主目的は、感電防止にある。内線規程の接地線及び接地極の共用の制限とは、漏電遮断器で保護されていない回路の地絡電流による接地線にかかる上昇電位が、漏電遮断回路の機器フレームに印加されることを防止するためにある。

3. 地絡事故時の地絡事故電流値(I_g)と対地上昇電位(E_g)

[Fig.-1] で地絡事故電流値(I_g)と対地上昇電位(E_g)は、電圧側完全地絡事故の場合には、地絡事故電流値(I_g)

[電灯 一般回路] $I_{g1} = 105 / (16 + 1.7) = 5.93$ [A]

[電灯 ELCB回路] $I_{g2} = 105 / (16 + 8.5) = 4.29$ [A]

[動力 一般回路] $I_{g3} = 220 / (16 + 1.7) = 12.43$ [A]

[動力 ELCB回路] $I_{g4} = 220 / (16 + 8.5) = 8.98$ [A]

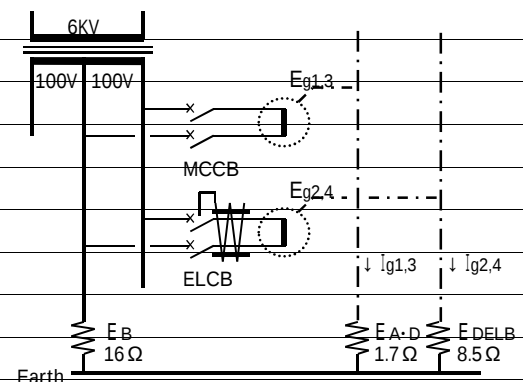
対地上昇電位(E_g)

[電灯 一般回路] $E_{g1} = I_{g1} \times 1.7 = 10.08$ [V]

[電灯 ELCB回路] $E_{g2} = I_{g2} \times 8.5 = 36.43$ [V]

[動力 一般回路] $E_{g3} = I_{g3} \times 1.7 = 21.13$ [V]

[動力 ELCB回路] $E_{g4} = I_{g4} \times 8.5 = 76.33$ [V]



[Fig.-1]

となり、専用接地線を施設しない場合($E_{A \cdot D} = 8.5[\Omega]$ のみと仮定)、一般回路の地絡事故時、 E_{g2} 、 E_{g4} の電位が共用接地線より漏電遮断器回路の機器フレームに印加されるが、漏電遮断器は作動しない。感電事故防止の観点から、危険とされる24~30[V]を上回る電位が印加される可能性があるので漏電遮断器専用接地線が必要になる。

上記は、ある工場でEA、EB、EDの各接地極があり、EDELB専用接地極がなかったためEAをEA・Dとし、旧EDをEDELB専用接地とする改善提案をした事例である。

旧電技解釈条項19条(省令第10条、11条)で、D種接地工事の接地抵抗値は、「100 Ω (低圧電路において、当該電路に地絡を生じた場合に0.5秒以内に自動的に電路を遮断する装置を施設するときは、500 Ω)」となっているが、特に400V回路においては、対地上昇電位を考慮すると同時にB種接地の接地抵抗値をできるだけ大きくして(抵抗接地等)D種接地の接地抵抗値を決めるべきでる。



4. ダルジールの致死電流曲線

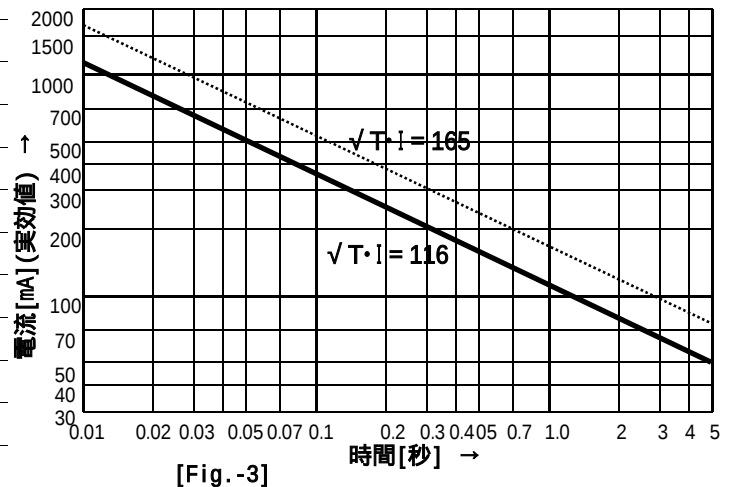
1965年に米国カリフォルニア大学のダル
ジール(Dalziel)教授が、人の致死電流
(心室細動を起こす最小電流)の安全
限界に関する、通電時間と通電電流の
関係式を世界に発表した。

$$\sqrt{T \cdot I} = 165$$

T : 通電時間[sec]

(適用範囲 : 0.01秒 ~ 5.0秒)

I : 感電電流[mA] (実効値)



翌年、より安全性を高めるために、

165 を 116 に修正した、修正ダル

ジール値 116 が現在、人の致死電

流の上限値(安全限界)として認知されている。[Fig.-3]参照。

5. 電流動作型漏電遮断器のダルジール値($\sqrt{T \cdot I}$)と安全性

分岐回路用(定格感度電流 : 15[mA], 30[mA]、動作時間 : 0.1[sec])

$$\sqrt{T \cdot I} = \sqrt{0.1 \cdot (15 / 2)} = 2.37 \quad \sqrt{0.1 \cdot (30 / 2)} = 4.74$$

分岐回路の安全性 : ダルジール値は、116 を大きく下回っているが、後述、6(2)可隋電流の平均値
10 ~ 15 [mA] を考慮すると、感度電流 30[mA]は、人命尊重の観点からは、やや危険性がある。EU
では、定格感度電流が可隋電流 10[mA]の 1/2である 5[mA]を採用している国もあり、わが国でも、
定格感度電流 15[mA](実質 7.5[mA])を採用すべきであろう。

主幹回路用(定格感度電流 : 100, 200, 500[mA]、動作時間 : 0.1, 0.3, 0.8, 1.6[sec])

$$\sqrt{T \cdot I} = \sqrt{0.1 \cdot (100 / 2)} = 15.8 \quad \sqrt{0.1 \cdot (200 / 2)} = 31.6 \quad \sqrt{0.1 \cdot (500 / 2)} = 79.1$$

$$\sqrt{T \cdot I} = \sqrt{0.3 \cdot (100 / 2)} = 27.4 \quad \sqrt{0.3 \cdot (200 / 2)} = 54.8 \quad \sqrt{0.3 \cdot (500 / 2)} = 136.9$$

$$\sqrt{T \cdot I} = \sqrt{0.8 \cdot (100 / 2)} = 44.7 \quad \sqrt{0.8 \cdot (200 / 2)} = 89.4 \quad \sqrt{0.8 \cdot (500 / 2)} = 223.6$$

$$\sqrt{T \cdot I} = \sqrt{1.6 \cdot (100 / 2)} = 63.2 \quad \sqrt{1.6 \cdot (200 / 2)} = 126.5 \quad \sqrt{1.6 \cdot (500 / 2)} = 316.2$$

主幹回路の安全性 : 主幹回路における感電事故は、皆無ではなく、ダルジール値が 116を上まわる
設定で重大人身事故が発生した場合、施設所有者が刑事責任を問われる可能性は、否定できないで
あろう。また、漏電遮断器の製造者もこの危険性を周知徹底する義務がある。

6. 感電に関する用語(抜粋)

(1) 最小感知電流(Perception Current)

人体に流れる電流で、通電を感じることでできる最小の電流値を言う。

(a) 60Hz正弦波交流による最小感知電流

Dalzielの実験結果 : 男子平均値は1.086[mA]、女子平均値は約0.8[mA] (通電は、直径3.66mm、
3.25mmの銅線を握らせる方法で実験)

Gorton, Thompsonの実験結果 : 4種類の接触条件で実験を行い、男女平均値を出した。

0.675[mA] (軽くたたく), 0.678[mA] (挟む), 0.703[mA] (握る), 0.633[mA] (水につける)



1

2

人体で最も電流に対して敏感なのは、眼球で20[μ A]、次に舌端で45[μ A]であるが、このような部分を除けば、商用周波数程度の正弦波交流の場合には1[mA]程度で電撃を感ずることができる。

5

6

(b)最小感知電流におよぼす周波数の影響 (Dalziel, Mansfieldの実験結果)

7

40 ~ 300[Hz]の範囲で1 ~ 2[mA]、5000[Hz]で10[mA]、20000[Hz]で35[mA]、100000[Hz]で200[mA]

8

程度となり、周波数が増していくと最小感知電流も増大し、電流による刺激は、"ちくちく"

9

から"熱い"という感覚に近くなり100 ~ 200[KHz]以上になると、殆んど熱的感覚のみとなる。

10

11

(c)直流による最小感知電流 (Dalzielの実験結果)

12

直径3.66mmの銅線の上に手を軽くのせる方法で測定し、男子平均値で 5.2[mA]の結果を得て

13

いる。この値は、商用周波数交流の最小感知電流の約5倍にあたる。

14

15

(d)衝撃電圧による最小感知電流 (笠井氏の報告)

16

電圧波形7 × 100[μ sec]で電流波高値40[mA]以下、同5 × 65で60[mA]以下、同2 × 30で90[mA]

17

以下と波尾長が長くなるほど、電流値が小さくなる傾向を示している。

18

19

(e)我慢しうる電流(苦痛電流) (米国火災保険協会試験所の報告)

20

電流値を最小感知電流からさらに大きくして人体に通電すると、苦痛が増大しこれ以上耐え

21

られなくなる。この限界の電流を苦痛電流と呼び、ベンチを握る方法で男子13名に実験し

22

た結果、最大10[mA]、最小6[mA]、平均7.8[mA]であった。

23

24

25

(2) 可隋電流(Let-go Current)

26

人体に通電された状態で、自分の意思で筋肉を動かして通電部分から離脱できる最大の電流値をいう。

27

28

(a)60Hz正弦波交流における可隋電流 (Dalzielの実験結果)

29

男子134名、女子28名に実験し、男子平均値 15.87[mA]、女子平均値 10.5[mA]の結果を

30

得ている。この他にも結果報告があり、可隋電流の平均値は、10 ~ 15[mA]である。

31

32

(b)直流に対する解放電流 (Dalzielの実験結果)

33

ダルジール等は、可隋電流におよぼす周波数の影響実験と同時に28名の男子について直流

34

の離脱実験を行い、平均値 73.7[mA] の結果を得ている。直流についての実験の場合には、

35

電極を離れた瞬間の不快感が強く、離脱できる限界に近づくと、それ以上の実験を嫌う傾向

36

があるため、交流の場合とは区別して可隋電流と言わずに、解放電流(Release Current)と称

37

している。

38

39

(c)可隋電流に対する脱出時間 (Dalzielの実験結果)

40

ダルジールは、18才から50才までの男子32名について、それぞれの可隋電流よりわずかに

41

多い(2 ~ 4[mA])電流が遮断されてから直径3.25mmの銅線を離すまでの時間を測定し、平均値

42

0.2[sec]という結果を得た。これは、電流が遮断されても腕の筋肉が一時的に凍結した症状

43

を呈し、瞬間的には脱出できないことを示している。

44

45

**(3) 不随電流 (Freezing Current)**

可随電流をさらに増していくと、通電経路の筋肉のけいれんが激しくなり、神経がまひして運動の自由がきかなくなると、電撃を感じながらも自分でその電源から離脱できなくなる。この状態が長時間続くと、遂には意識を失ったり、呼吸困難による窒息死を招くことになる。このように運動の自由がきかなくなる電流を不随電流と言う。

(4) 心室細動電流 (Ventricular Fibrillating Current)

通電経路により、電流の一部が心臓部にも流れ、その電流がある値以上に流れると心臓は、けいれんを起こし正常な拍動が打てない状態になる。これは心臓の刺激伝導系（右心房にある洞結節で発生した電気信号が心房、少し遅れて心室の順に伝わり心筋を収縮させる伝導系で特殊な筋肉網で形成されている）が外部から流入した電流によって阻害されて起こる症状で、この刺激伝導系が機能を失うと心臓は細動（細かいけいれん）を起こす。

ダルジールは、多くの動物実験(犬、豚、羊、子牛等)から心室細動を起こす心室細動電流を測定し、統計学の手法を取り次式（途中の式は省略）を導き出した。

$$I (1/2\%) = (2.18W + 12.8) / \sqrt{T} \quad [\text{mA}]$$

$$I (1/2\%) : 0.5\% \text{の確立で心室細動が起こる電流値} [\text{mA}]$$

$$W : \text{動物または人の体重} [\text{Kg}]$$

$$T : \text{電撃時間} [\text{sec}]$$

ダルジールは、米国人の平均体重 70 [Kg] を上式に代入して $2.18 \times 70 + 12.8 = 165$ の値を得て、人に対する理論的な最小心室細動電流値とした。

参考文献 [6. 感電に関する用語(抜粋)] : 電設工業(1965年8月号)「電撃危険について」(Electric Shock Hazards) 労働省産業安全研究所 電気課 上月 三郎、田中 隆二、大関 親 共著
刺激伝導系 : 国立循環器病センター URL