

# 産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF  
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1974

## 漏洩電流積分形感電防止用漏電しゃ断器の開発

田 島 泰 幸  
山 野 英 記  
寺 沢 正 義

# 漏洩電流積分形感電防止用漏電しゃ断器の開発

田 島 泰 幸

山 野 英 記

寺 沢 正 義

## 1. 緒 言

低圧電気回路における感電事故を防止する目的から、感電防止用漏電しゃ断器（以下単にしゃ断器と記す）が開発され、昭和44年には労働安全衛生規則によって特定の電気回路にこれを設置することが義務づけられた<sup>1)</sup>。また、その後当研究所からしゃ断器に関する技術指針が発表され<sup>2,3)</sup>、しゃ断器は技術的にも大きな発展をとげた。

しかし、現在使用されている大半のしゃ断器は漏洩電流がある値以上流れると回路をしゃ断する電流動作形しゃ断器であって<sup>4)</sup>、このしゃ断特性には問題がないわけではない。したがって、しゃ断特性については我が国のみならず、国際的にも IEC が中心となつていろいろな検討が行なわれている<sup>4,5)</sup>。たとえば、漏洩電流の大きさによってしゃ断時間が増加するしゃ断特性等はその一例である<sup>6)</sup>。しかし、しゃ断時間が漏洩電流の大きさで変化するものの、漏洩電流の大きさによって回路をしゃ断するいわゆる電流動作形しゃ断器であることには変りがない。

これに対し、かねてから、当研究所上月所長は電撃危険に関する Dalziel<sup>7)</sup>、Koeppen<sup>8)</sup>、山野<sup>9)</sup>等の研究データを考察し、従来の電流動作形とは全く異なる漏洩電流積分形のしゃ断器を提案された<sup>10)</sup>。これは電撃危険を生体に流れた漏洩電流の大きさのみでなく、その時間積分値に関係した量とする考えで、この解釈に基づいて漏洩電流の時間積分値が電撃危険相当値に達したとき、回路をしゃ断するしゃ断器を提案されたのである。

Dalziel らの研究結果に対する以上の考察は着眼点

を変えた非常に興味ある解釈であり、これは電撃危険に対する広義の解釈であると同時に安全側の解釈でもある。したがって、ここではこの広義解釈に基づく漏洩電流積分形のしゃ断器をとりあげ、これについて研究した。

その結果、この積分形しゃ断器は従来の電流動作形しゃ断器にない電撃危険性に則した幅広いしゃ断特性をもち、動物実験、現地モニタからも心室細動を防止する誤動作の少ないしゃ断器である見通しが得られた。

本報告はこの積分形しゃ断器の開発研究の結果についてまとめたものである。ただし、本研究の一部分は“災害防止科学に関する研究”として社団法人産業安全研究協会が労働省から研究委託を受けたもので、本報告の中には産業安全研究協会に設置されたこれに関する研究調査委員会（寺沢正義委員長）で実施された内容も一部含まれている。

## 2. 積分形しゃ断器概説

積分形しゃ断器は漏洩電流を  $\dot{I}_l$ 、最小不随電流を  $\dot{I}_0$  とすると、図1に示すように漏洩電流が  $\dot{I}_l \geq \dot{I}_0$  ならば、漏洩電流の時間積分である

$$U = \int_0^{\tau} \dot{I}_l^n dt \quad (n=1 \sim 2) \quad (1)$$

なる積分機能と、この積分値  $U$  が電撃危険相当値  $U_m$  に達したとき、回路をしゃ断するしゃ断機能をもったものである。ここで、(1)式に  $\dot{I}_l \geq \dot{I}_0$  なる条件がついているが、これは時間積分という機能を検討した結果、これが主に不随電流に対して意味をもち、可随電流に対してはこのような機能が必要でないと考えられるからである。また、(1)式の  $\tau$  は漏洩電流を積分する時間であるが、(1)式の積分値  $U$  に電撃危険相当値  $U_m$  を代入して求まる  $\tau_m$  はこのしゃ断器の

\* たとえば、30mA 以上の漏洩電流が流れると、0.1 秒以内に回路をしゃ断する定時しゃ断特性。

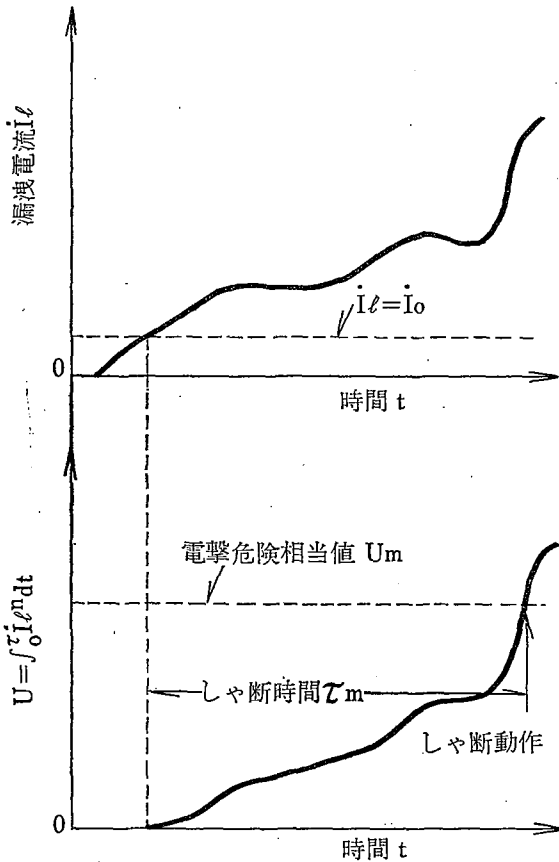


図1 積分形しゃ断器のしゃ断動作

しゃ断時間に相当するものである。

一方、このしゃ断器には以上に述べた2つの機能の他、図2に示すように(1)式の値が電撃危険相当値  $U_m$  に達するまでに漏洩電流が  $i_l < i_0$  となると、(1)式に示す積分機能の終了と、いままでの積分値を零にもどしてしまいリセット機能を有している。

以上のように、積分形しゃ断器は漏洩電流の積分機能、回路のしゃ断機能、積分値のリセット機能を有し、従来の電流動作形しゃ断器とは全く異なるものである。しかし、このしゃ断器のしゃ断特性は  $i_l$  が一定のとき、 $n=1$  とすると(1)式より

$$U = U_m = \int_0^{t_m} i_l dt = i_l \int_0^{t_m} dt = i_l t_m$$

$$\therefore U_m = i_l t_m \quad (2)$$

となるから、しゃ断動作時間が漏洩電流に反比例するKoeppenの研究結果に則したしゃ断特性をもつことになる\*。また、 $n=2$  とすると同様にしてDalzielの研究結果に則したしゃ断特性になることも明らかである。

\*  $U_m = 50 \text{mA} \cdot \text{sec}$  とおくと Koeppen の研究結果に一致したしゃ断特性となる(3.2参照)。

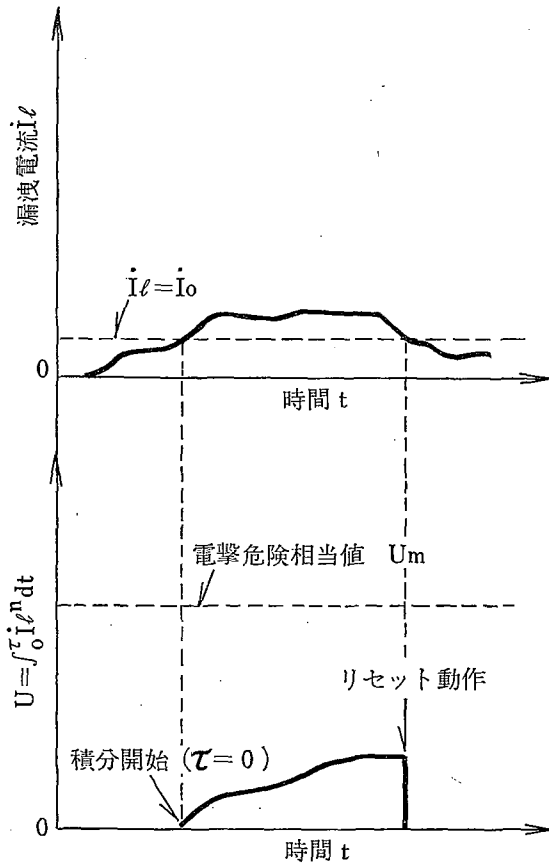


図2 積分形しゃ断器のリセット動作

る。このように積分形しゃ断器は従来のしゃ断器以上に電撃危険の研究結果に準則するしゃ断特性をもったものである。

なお、参考のために以上に述べた動作をする積分形しゃ断器の一例を挙げると、図3に示すような基本構成をもったしゃ断器が考えられる。

### 3. しゃ断器の設計

#### 3.1 設計目標

感電による死亡事故の大半が心室細動に原因していることから<sup>1)</sup>、設計目標としては少なくともこれを防止するしゃ断器を設計しなければならない。

一方、電撃危険に関する Dalziel, Koeppen らの研究データから、従来の電流動作形しゃ断器の性能について検討すると、感度 30mA、しゃ断時間 0.1 秒定格のしゃ断器では心室細動が防止できない場合がある。すなわち、上記定格のしゃ断器を設置して

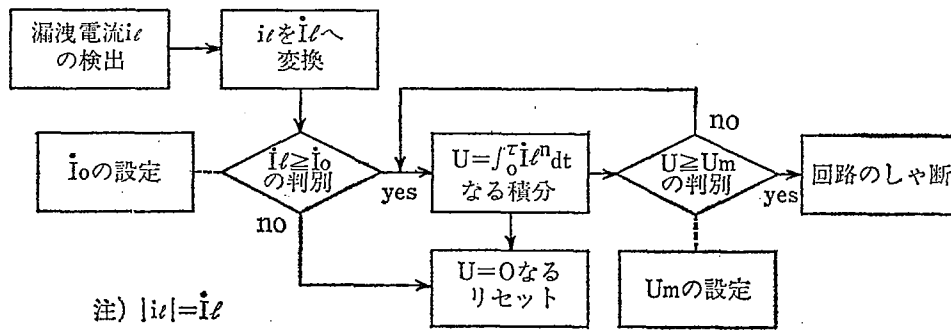


図3 積分形しゃ断器の基本構成

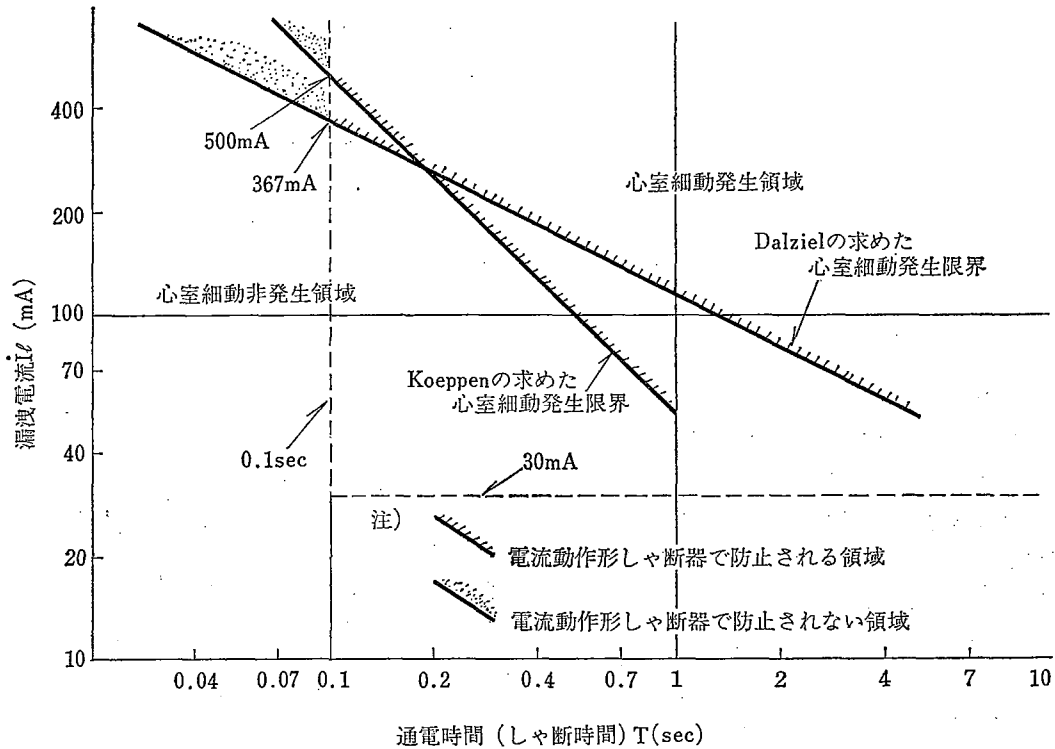


図4 従来のしゃ断器による心室細動の防止領域

も、図4に示すように Dalziel のデータによると生体に 367mA 以上の漏洩電流が流れたとき、Koeppen のデータによると 500mA 以上の漏洩電流が流れたとき心室細動が発生することになる。しかし、心室細動が防止できない場合があるものの、分岐回路の末端に使用してきた従来のしゃ断器はかなりの広範囲に渡って心室細動を防止していることも事実である。(図4参照)。

したがって、ここでは従来のしゃ断器も生かす意味から、これは今まで通り分岐回路の末端に使用し、ここで開発する積分形しゃ断器は分岐回路をもつ主回路

に設置することを原則とした。これは主回路及び分岐回路で発生する、あるいは末端に従来のしゃ断器が設置されていなくて発生する感電事故を防止するためであり、この意味からもここで開発する積分形しゃ断器は心室細動の防止を目的としたしゃ断器を設計することにした。これより、従来のしゃ断器がもつ利点も生かしながら、この積分形しゃ断器を設置することによって、最悪の場合でも心室細動による感電死は防止できることになる。

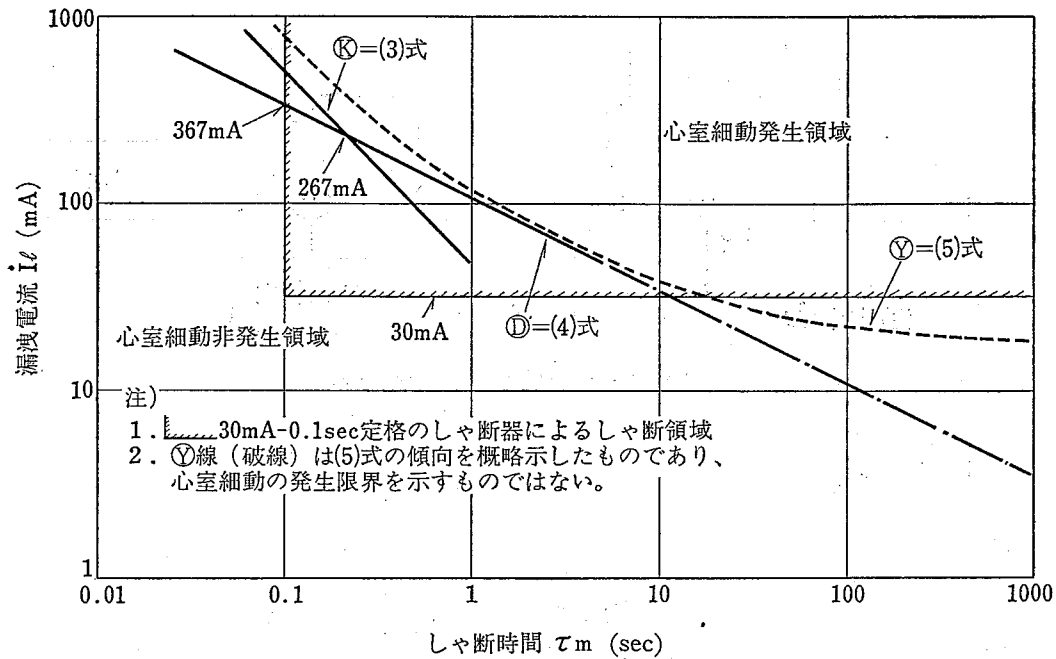


図5 漏洩電流としゃ断時間で表わした心室細動の発生限界

### 3.2 設計資料 (心室細動) の検討

ここで開発する積分形しゃ断器は心室細動の防止が目的であるため、設計するにあたって最も基礎資料となる心室細動に関する研究データを検討する。

心室細動については生体に  $T$  秒間一定の漏洩電流  $\dot{I}_l$  を流すと、心室細動の発生する電流は流した通電時間  $T$  との関係によって Koeppen は

$$\dot{I}_l = \frac{50}{T} \text{ (mA)} \quad T \leq 1 \quad (3)$$

なる実験式を、また Dalziel は

$$\dot{I}_l = \frac{116}{\sqrt{T}} \text{ (mA)} \quad T \leq 5 \quad (4)$$

なる実験式を導いている。これは図示すると図5のⓀ線、Ⓞ線となる。ただし、図5は(3)、(4)式の通電時間  $T$  がしゃ断器側からみるとしゃ断時間  $\tau_m$  に相当するため、 $T$  を  $\tau_m$  に置き換え  $\dot{I}_l$  と  $\tau_m$  との関係で図示してある。

以上の実験式(3)、(4)は心室細動の発生限界を求めた代表的な式である。しかし、この2つの式が示す発生限界にはかなりの相異がある。すなわち、漏洩電流が 267mA 以外の点では発生限界がすべて異なり、しかも  $\dot{I}_l \geq 267\text{mA}$  なる領域では Dalziel の導いた(4)式の方がより短時間で、 $\dot{I}_l \leq 267\text{mA}$  なる領域では Koeppen の導いた(3)式の方がより短時間

で心室細動が発生するとしている。

一方、山野が兎を用いて調べた実験式によると、心室細動の発生限界は以上に述べた(3)、(4)式のような単純な式では表わせず、次の

$$\dot{I}_l = \dot{I}_\infty \frac{T_0}{T_0 + \sum_{i=1}^n T_i e^{-\alpha_i T}}, \quad T_i < 0 \quad (5)$$

なる式を導いている<sup>12)</sup>。ここで、 $\dot{I}_\infty$  は通電時間が十分長い場合における心室細動の発生限界を与える電流である。(5)式は通電時間が十分短いと

$$\dot{I}_l = \dot{I}_\infty \frac{a}{T} \quad (6)$$

となるから\*、(5)式の示す心室細動の発生限界を図示すると、概略的には図5の破線のようになる。これより、山野の導いた(5)式は心室細動の発生限界が通電時間の大きさによって、Koeppen あるいは Dalziel の導いた実験式にも近似されることを論証している。また、(5)式は Koeppen, Dalziel らの導いた(3)、(4)式で表現されていない漏洩電流の小さい領域でも通電時間が長くなると心室細動が発生することを示唆している点で注目しなければならない。

\* Weiss は通電時間が充分長い場合と、この十分短い場合から、筋の電流による刺激作用について

$$\dot{I}_l = \frac{a}{T} + b \quad (7)$$

なる式を導いている<sup>13)</sup>。

したがって、心室細動の防止を目的とした積分形しゃ断器を開発するには、以上の3者、もしくは Weiss の研究も入れて4者の研究結果を考慮しなければならないことになる。特に、山野、Weiss の研究結果から、たとえ漏洩電流が少なくともこの電流値が不随電流の領域であれば、これを考慮して設計しなければならないことになる。しかし、ここでは積分形しゃ断器を3.1でも述べたとおり、従来のしゃ断器が設置されている分岐回路をもつ主回路に設置することを原則としたため、これを含めて検討すると、ここで設計する積分形しゃ断器は漏洩電流が367mA以上と30mA以下の領域で発生する心室細動を防止することが主眼になる(図5参照)。すなわち、漏洩電流367mA以上の領域に対しては Dalziel の提案している、30mA以下の領域に対しては山野の提案している心室細動の発生限界以下で回路をしゃ断する積分形しゃ断器を設計すれば良いことになる。結果的には図5からも明らかのように Dalziel の提案している心室細動の発生限界を一点鎖線のように延長し、この限界以下で回路をしゃ断する積分形しゃ断器を設計すれば、山野の提案している漏洩電流の小さい領域に対しても心室細動は防止できることになる。

以上の検討から、ここでは Dalziel が導いた(4)式を心室細動の発生限界とし、これを基礎として積分形しゃ断器を設計することにした。

### 3.3 主たる設計仕様

積分形しゃ断器を設計するにあたり、最も基本的な仕様について2,3検討する。

まず、(1)式の $n$ と電撃危険相当値 $U_m$ を心室細動の発生限界である Dalziel の導いた(4)式から考察する。すなわち、生体に流れた漏洩電流 $\dot{I}_l$ を一定とすれば(1)式から

$$U_m = \int_0^{\tau_m} \dot{I}_l^n dt = \dot{I}_l^n \int_0^{\tau_m} dt = \dot{I}_l^n \tau_m$$

$$\therefore U_m = \dot{I}_l^n \tau_m \quad (8)$$

を得る。一方、(4)式の $T$ はしゃ断器側からみると $\tau_m$ に等しいため(4)式の $T$ を $\tau_m$ と置き、(4)式を(8)式へ代入して $\dot{I}_l$ を消去すると(8)式は

$$U_m = 116^n \tau_m^{(1-n/2)} \quad (9)$$

となる。ここで $U_m$ が任意のしゃ断時間 $\tau_m$ に対して一定であるためには $n=2$ でなければならないことになる。したがって(1)式の積分演算は

$$U = \int_0^{\tau} \dot{I}_l^2 dt \quad (10)$$

となり、また(9)式から電撃危険相当値は $U_m = 116^2 = 13456 \div 0.013 A^2 \cdot sec$ を得る。

つぎに、このしゃ断器の電流動作域は人体の最小抵抗値を $500\Omega$ とすると<sup>14)</sup>、最大動作電流 $\dot{I}_{max}$ は $\dot{I}_{max} = \dot{V}/0.5mA$ となる。ただし、 $\dot{V}$ はしゃ断器を設置する回路の大地間電圧である。たとえば、このしゃ断器を設置する回路の大地間電圧が200Vであると、 $\dot{I}_{max} = 400mA$ となる。また、最小動作電流 $\dot{I}_{min}$ は先に述べたように、このしゃ断器の場合は最小不随電流とすればよい。しかし、ここではこの $\dot{I}_{min}$ を女子における可随電流の99.5パーセント値とし $\dot{I}_{min} = \dot{I}_0 = 6mA$ で設計することにした<sup>15)</sup>。

一方、 $\dot{I}_l < \dot{I}_0$ となったときの積分値のリセット動作

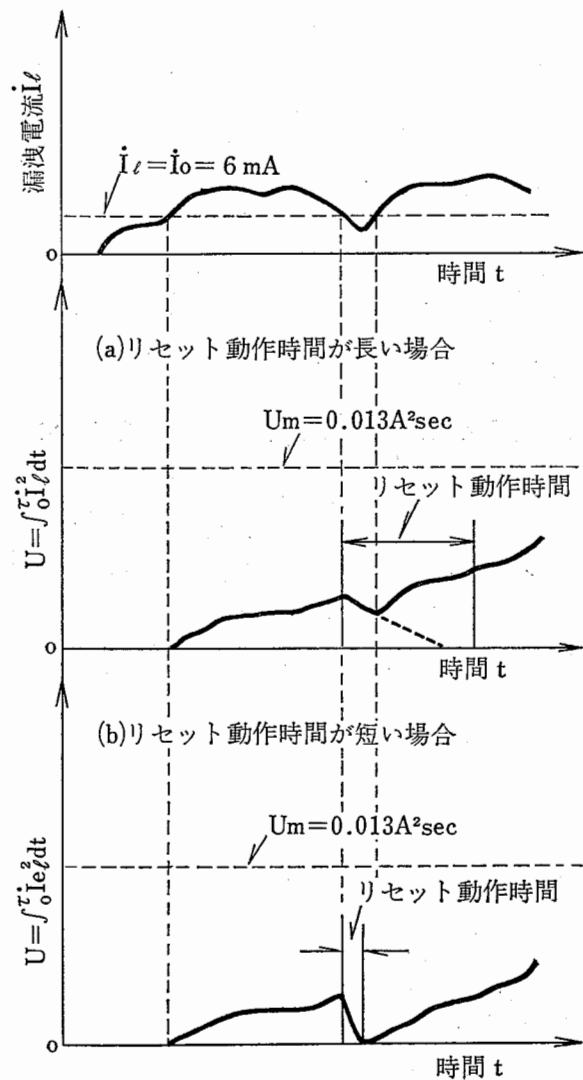


図6 リセット動作時間の違いによる積分機能の相違

時間であるが、これは実際にリセット動作の起こる状態について、2, 3 検討すると簡単には決定できないと考えられる。たとえば、図6に示すような場合を考えてみると、リセット動作時間を長く設計した方が安全側とも推定される。しかし、これについては検討するデータもないため、ここではリセット動作時間について特別な仕様を定めず、できるだけ短時間にリセット動作することにした。そうしてリセット動作時間よりもむしろ積分機能のドリフトを考慮する意味で、 $\dot{I}_i < \dot{I}_0$  ならば常時リセット機能が動作する仕様にした。

以上、積分形しゃ断器の主たる仕様を定めたが、これらの結果をまとめて表1に示す。

表1 積分形しゃ断器の主たる仕様

項目	仕様	備考
積分機能	$U = \int_0^t \dot{I}_i^2 dt$	$n=2$ より定まる
電撃危険相当値 $U_m$	$0.013 A^2 \cdot sec$	(4)式より求める
最大動作電流 $\dot{I}_{max}$	$\dot{V}/0.5 \text{ mA}$	$\dot{V}$ は大地間電圧 (V)
最小動作電流 $\dot{I}_{min} = \dot{I}_0$	6mA	女子における可随電流から求める

### 3.4 しゃ断器の設計

積分形しゃ断器を図3に示す基本構成に基づいて検

討すると、漏洩電流の検出、回路のしゃ断機能については従来の技術が応用できると考えられる。したがって、ここでは積分形しゃ断器の心臓部である(10)式に示す積分機能と、積分値を零にもどすリセット機能に主眼をおいて設計する。

3.3の仕様から推察すると、積分形しゃ断器の動作領域は漏洩電流で6~数100mA、しゃ断時間で数10msecから数100secという非常に広範囲であることが予測される。これは(10)式の積分機能を実現するために、かなりの広い領域に渡って動作する積分器を設計しなければならないことである。たとえば、これを電子技術を用いて設計しようとする、比較的好都合な領域から非常に困難な領域まで含まれており、時間の長い領域に対してはむしろ機械技術を用いて設計した方が良いと考えられる。しかし、機械技術を併用するとそれだけ複雑になり、また機械技術を用するにはトランスデューサの問題がある。特に(10)式のような漏洩電流の2乗積分には広い動作領域をもつ非線形特性のトランスデューサが必要となる。したがって、多少困難な領域もあるが従来の技術との組合せが容易な点から、ここでは電子技術によって積分形しゃ断器を設計することにした。

これより、基本的には上月、田島が1971年に電子回路技術を用いて実現した積分形しゃ断器を参考にし<sup>10)</sup>、3.3の仕様にもとづいたしゃ断器を設計してみた。図7に示す回路がここで設計した200V用の積分

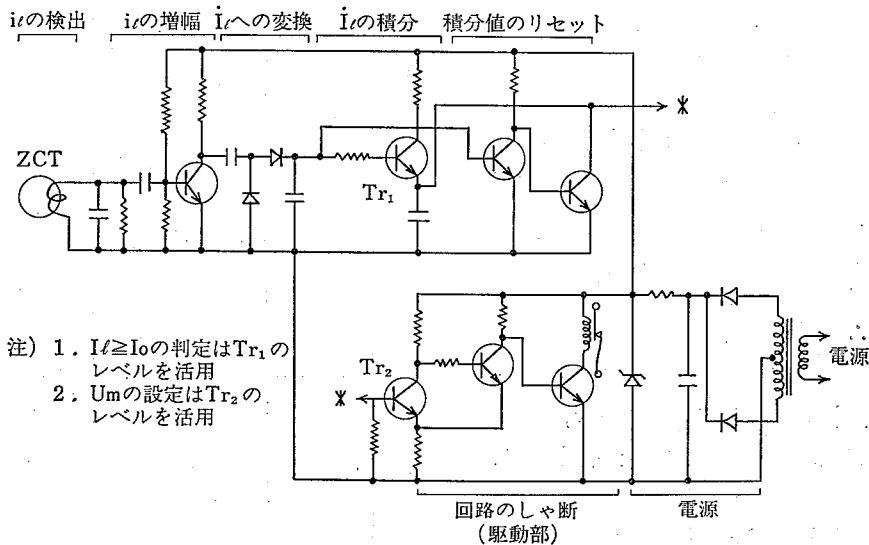


図7 積分形しゃ断器の制御部

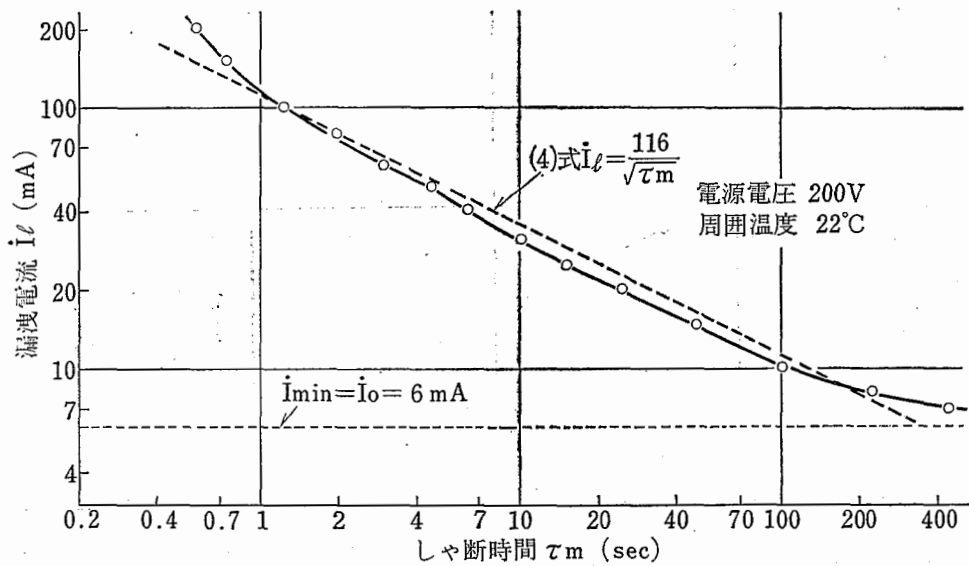


図 8 OR 回路で結合した制御部のしゃ断特性

形しゃ断の制御部であり、いわゆる漏洩電流を検出してしゃ断器を動作させるまでが示してある。この設計例は信頼性の点からできるだけ素子を使用しない方針で設計したものであり、 $i_l \geq i_0$  なる判定はトランジスタのカットオフ特性を利用し、漏洩電流の2乗積分はトランジスタの2乗特性を利用している。また、リセット動作はトランジスタのスイッチング特性を利用して、積分値を零にもどす設計にしている<sup>16)</sup>。ただしこの設計において漏洩電流の検出に零相変流器を、またしゃ断器の動作に電磁コイルを使用しているが、これらは従来のしゃ断器に応用されている技術である。

#### 4. しゃ断器の試作

##### 4.1 制御部の試作

最初は問題点を探索する目的で、3.4 で設計した図7に示す積分形しゃ断器の制御部のみを試作してみた。その結果、積分値のリセット機能は正常に動作するが、漏洩電流の2乗積分機能に問題のあることが明らかになった。すなわち、図7に示す設計では漏洩電流の小さい  $i_l \leq 80\text{mA}$  なる領域に対して目的とするしゃ断特性が得られたに過ぎず、その大きい領域に対しては2乗積分機能を失ってしまうことが判明した。これには種々の要因があるが、なかでもトランジスタの2乗特性に問題があり、これを利用する限りでは  $10^0 \sim 10^{2+1}\text{mA}$  という高々1次の領域が満されるに

過ぎないと判断される<sup>17)</sup>。

したがって、ここでは第2段階として2乗積分の機能を、漏洩電流 6~50mA なる領域の積分機能と、50~400mA なる領域の積分機能の2つに分け、これをOR 回路で結合する方式のものを試作してみた。その結果、この方式を採用するとしゃ断特性が図8に示すようになり、全領域に対してほぼ満足する特性の制御部が試作できた。ただし、目的とするしゃ断特性は図8の破線で示すものである。これより、制御部としては回路が多少複雑になるが、積分形しゃ断器の実現できる見通しを得、本研究目的の一部は達成できた。

しかし、上記の制御部だと回路が複雑であるため、それだけ電子素子も多く使用しており信頼性の点で問題がある<sup>18,19)</sup>。すなわち、安全装置として第一に要求される信頼性が低くなってしまふと実用化する意味もなくなってしまう。したがって、第3段階としては信頼性も考慮に入れ、積分形しゃ断器で最も問題になる

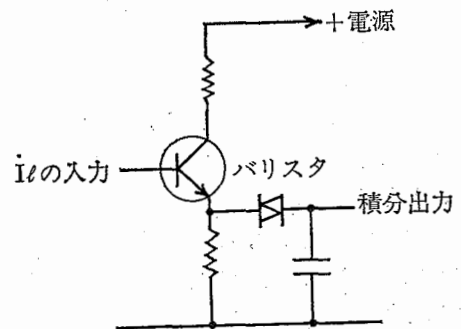


図 9 設計変更した積分回路



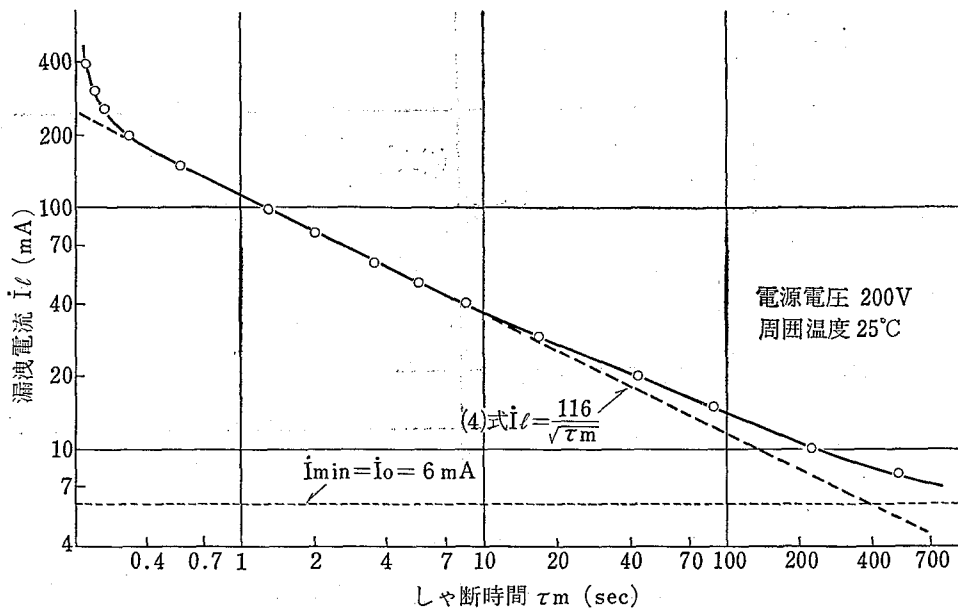


図 10 設計変更した制御部のしゃ断特性

積分機能についてのみ再検討を加えた。すなわち、トランジスタの2乗特性を利用する設計は限界のあることが明らかになったので、漏洩電流の2乗積分について全く設計変更し、図9に示すようにバリスタの2乗特性を利用した積分機能を設計し、これを試作してみた。その結果、この制御部のしゃ断特性は図10に示すようになり、トランジスタの2乗特性を利用したものに比較すると、かなりの広範囲に渡って目的とする特性が得られた。

#### 4.2 シャ断器の試作

積分機能を改良した結果、制御部についてはほぼ目的とする特性が得られたため、これをもとにして実際に積分形しゃ断器を試作してみることにした。ただし、漏洩電流の大きい領域では多少問題があるため、ここではこれを補正する意味で、漏洩電流が100mA以上に対しては高速しゃ断動作をし、6~100mA領域で(10)式の積分機能を有するように設計仕様を変更した。すなわち、漏洩電流が100mA以上に対しては積極的に(10)式の積分機能を殺し、安全側の高速しゃ断動作するしゃ断器を試作することにした。

一方、しゃ断特性がDalzielのデータを基礎にしている図10に示す特性では、いわば人間の心室細動発生限界にほぼ一致したしゃ断動作を行なうことになって、これでは後に述べる兎を用いた生体実験ができない。これより、ここではこの点も考慮に入れてしゃ断

時間の仕様のみを図11に示すように安全側である短時間しゃ断の方に移行したしゃ断器を試作することにした。ただし、しゃ断時間の短時間側への移行については、兎を用いて山野が調べた心室細動の研究を参考にし<sup>20)</sup>、兎で心室細動が発生する0.5パーセントイルの点まで移行することにした。これは電撃危険相当値 $U_m$ で表わすと $U_m=0.0025 A^2 \cdot sec$ に相当する。

以上のように仕様については多少修正を加えたが、以上の修正に基づいた積分形しゃ断器を試作してみた\*。その結果、図12に示すようなしゃ断特性をもつ試作器ができ、ここに目的とする特性の積分形しゃ断器が実現できた。

表 2 試作器の主たる仕様

項目	仕様	備考
定格電圧・電流	200V, 125A	
積分機能	$U = \int_0^{\tau} i_t^2 dt$	
同上動作領域	6~100mA	
電撃危険相当値	0.0025 A <sup>2</sup> ·sec	短時間側へ移行している
高速しゃ断領域	100mA 以上	
同上しゃ断時間	50msec 以下	(4)式から求める

\* シャ断器の試作は研究調査委員会の依頼でテンパール工業株式会社\*が試作した。

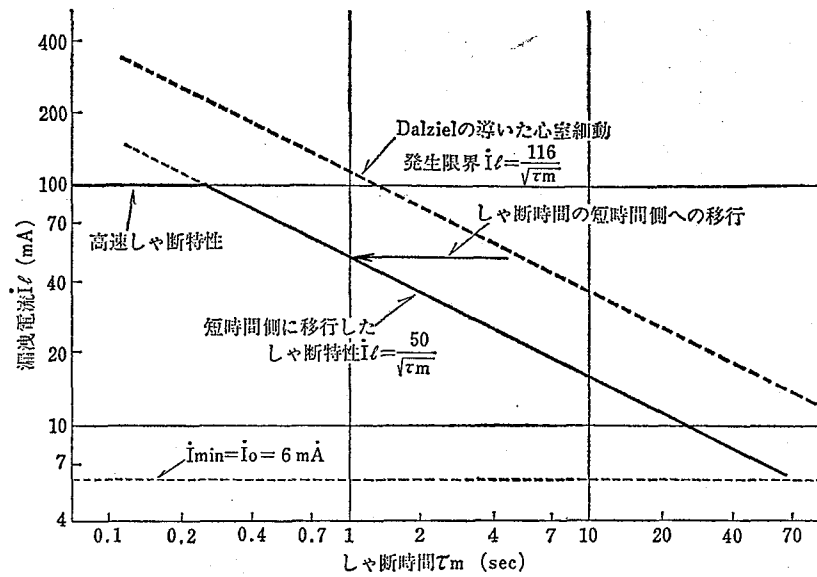


図 11 しゃ断特性の安全側への移行

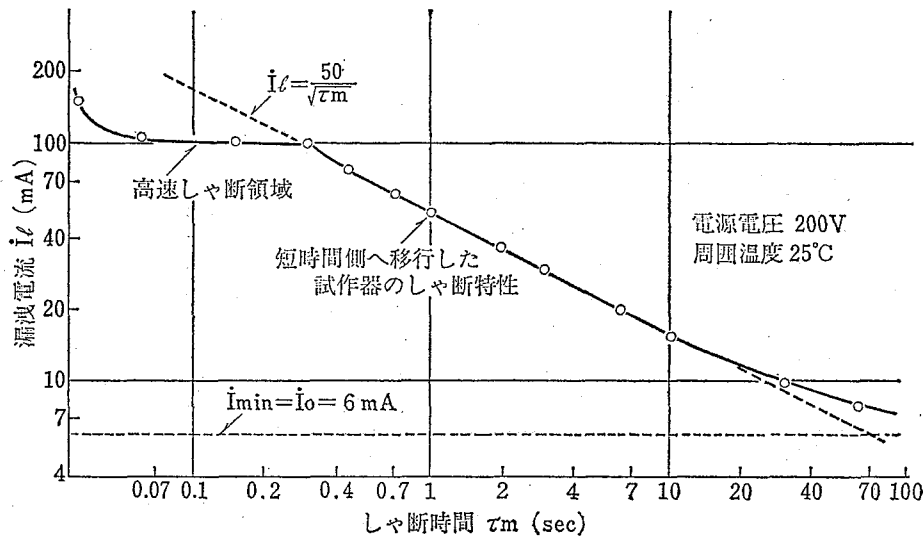


図 12 しゃ断時間を移行した試作器のしゃ断特性



の外観

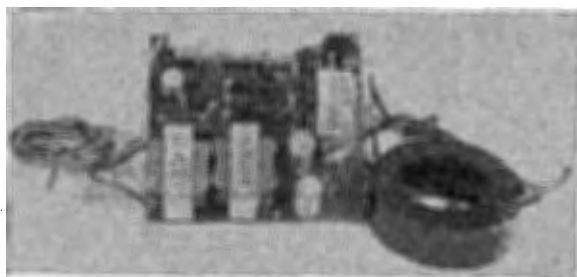


図 14 積分形しゃ断器の制御部

参考までに試作した積分形しゃ断器の外観を図13に、その制御部を図14に示す。また、試作したしゃ断器の仕様を表2に示す。

## 5. 試作器の検討

### 5.1 しゃ断特性の検討

正常な条件のもとでは図12に示すしゃ断特性が得られたが、この積分形しゃ断器は電子回路によって実現したため、しゃ断特性は温度、電源電圧等に依存すると予想される。したがって、ここではこれらの条件に対してしゃ断特性がどう変化するか検討する。

電源電圧の依存性については電圧を160, 200, 220 V,

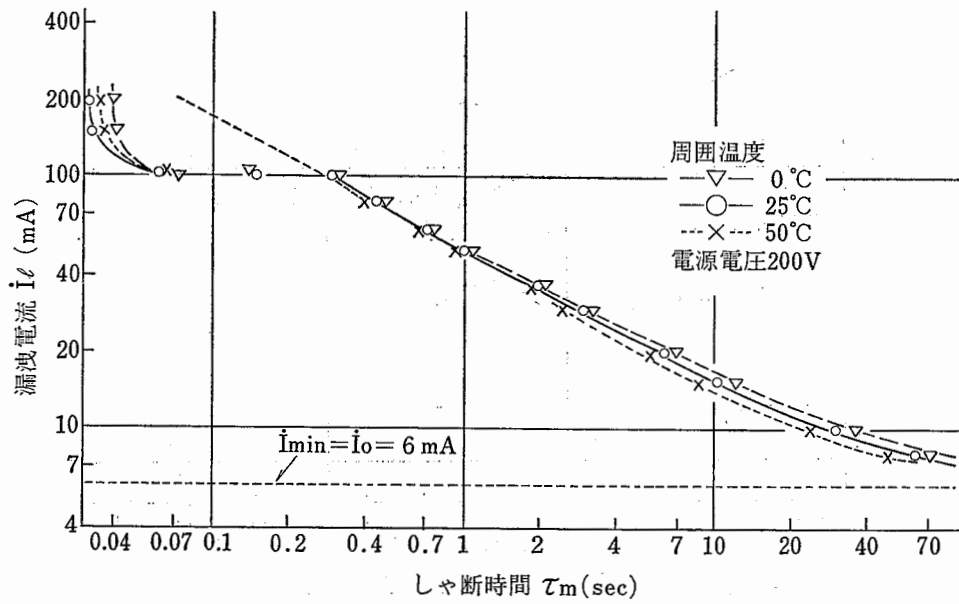


図 15 シャ断時間の温度依存性

表 3 シャ断特性測定結果

初期電流		電撃危険相当値 $U_m'$ mA <sup>2</sup> ·sec			
電流値	時間	20mAに変化	40mAに変化	60mAに変化	80mAに変化
10mA	20msec	2378	2418	2420	2396
	100msec	2429	2415	2406	2451
	200msec	2442	2420	2491	2493
	1000msec	2483	2500	2455	2436
	2000msec	2485	2440	2512	2472
50mA	20msec	2520	2465	2520	2487
	50msec	2509	2511	2479	2490
	100msec	2517	2481	2470	2481
	200msec	2502	2514	2518	2524
	500msec	2564	2497	2486	2523
100mA	20msec	2673	2525	2509	2600
	40msec	2538	2572	2514	2515
	60msec	2543	2531	2519	2559
	80msec	2551	2536	2542	2530
	100msec	2611	2560	2510	2496

と変化させ、それぞれについてのシャ断特性を調べた。その結果、シャ断特性はすべて図12に示すプロット内に入っており、電源電圧の変化に対しては全く問題のないことが判明した。

つぎに、温度依存性については0°, 25°, 50°Cの3点について調べたところ、図15に示す実験結果が得ら

れ、温度が高くなるに従って多少シャ断時間が速くなる傾向であった。しかし、この程度の差異はトランジスタの特性から考察すると当然な結果であり、問題にするほどシャ断特性が変化しているとは判断できない\*。

\* 詳しくは動物実験によって検討した。

一方、積分形しゃ断器の最も特徴とする点は漏洩電流が変化した場合のしゃ断特性であるため、これについて調べてみた。すなわち、一定の漏洩電流を流した場合のしゃ断特性は以上に述べたとおりであるが(図10,12参照)、漏洩電流が変化した場合のしゃ断特性を電撃危険相当値から調べてみた。測定方法は漏洩した電流をメモリスコープに記録し、これから電撃危険相当値を測定した。その結果、理想的には  $U_m=0.0025 A^2 \cdot sec$  であるが、測定結果は表3に示すとおりである。これより、表3に示す電撃危険相当値  $U_m'$  の平均を求めてみると  $\bar{U}_m'=0.002499 A^2 \cdot sec$  となる。したがって、理想的には  $U_m=0.0025 A^2 \cdot sec$  であるが、この試作したしゃ断器は電撃危険相当値が理想値より変動し、上に求めた  $\bar{U}_m'=0.002499 A^2 \cdot sec$  で動作していると判断される。いま、その変動分を次の式

$$\frac{\bar{U}_m' - U_m}{U_m} \times 100 \quad (11)$$

によって求めると、これは約0.04%の変動になる。しかし、実際に問題となるのはプラス変動の最大値であるため、これを次の式

$$\frac{(U_m')_{\max} - U_m}{U_m} \times 100 \quad (12)$$

から求めると、 $(U_m')_{\max}=0.002673 A^2 \cdot sec$  より、プラス変動の最大値は約6.9%となる。仮りにこのプラス変動分が問題になるならば、この点を設計に考慮しなければならない。しかし、これについては明らかでないため、次の動物実験によって検討する。

なお、漏洩電流が変化して  $\dot{I}_l < \dot{I}_0 = 6 \text{ mA}$  となった

場合のリセット動作についてシンクロスコープによって測定したところ、約10msec以内でリセットしており、誤動作のないことも確かめられた。また、このしゃ断器ではリセット機能がドリフトを防止しているため、 $\dot{I}_l < \dot{I}_0$  なる条件での長時間使用に対しても誤動作の発生しないことを確認した。

## 5.2 動物実験による検討

試作した積分形しゃ断器は以上に述べたとおり、各種の試験に対しても良好な結果が得られた。しかし、これらの評価、検討はあくまでもしゃ断特性に注目した研究室での結果であり、これによってこのしゃ断器を評価するのは早計である。また、これは保護装置であるがために特に詳細な検討を加える必要があると考えられる。

これより、ここでは積分形しゃ断器の性能について兎を用いた動物実験を行ない、これより検討してみる。すなわち、兎に漏洩電流を流したとき、このしゃ断器によって兎の心室細動が防止できるかどうか検討してみる。

動物実験は通電部位を兎の左上肢から右下肢とし、積分形しゃ断器が設置してある200V回路で実施した。なお、兎への通電間隔は5分以上置き、心室細動が発生しなかつた場合は同じ兎を用いて10回実験した。実験結果は表4に示すとおりであり、このしゃ断器を設置していると心室細動は発生しなかつた。また、漏洩電流10mAについてはしゃ断特性を短時間

表4 兎を用いて調べた心室細動の実験結果

漏洩電流 $\dot{I}_0$ (mA)	心室細動の発生状況									
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
15	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
30	×	×	×	×	×	×	△	△	×	×
46	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
60	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
80	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
100	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
115	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
10*	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

注) ×は心室細動発生せず、△は心室細動発生後に回復

\* は  $U_m=0.013 A^2 \cdot sec$  のしゃ断器による実験結果

表 5 電流が変化する場合の心室細動の実験結果

初 期 電 流		心 室 細 動 の 発 生 状 況			
電 流 値	時 間	20mA に変化	40mA に変化	60mA に変化	80mA に変化
100 mA	20 msec	×	×	×	×
	40 msec	×	×	×	×
	60 msec	×	×	×	×
	80 msec	×	×	×	×
	100 msec	×	×	×	×
50 mA	100 msec	×	×	×	×
	200 msec	×	×	×	×
	300 msec	×	×	—	—
	400 msec	×	×	—	—
	500 msec	×	×	—	—

注) ×は心室細動発生せず, —は実験を実施せず

側に移行しない, すなわち, Dalziel の提案しているデータから求めた大きな電撃危険相当値  $U_m=0.013 A^2 \cdot sec$  のしゃ断器によっても実験を試みたが, これによっても心室細動が発生しなかった。これにより, 心室細動の発生限界は漏洩電流が小さくなると通電時間が長くなるという山野の導いた(5)式の正しいことが, この実験からも確かめられた。

一方, 5.1 で述べたように試作したしゃ断器には電撃危険相当値  $U_m$  に変動がある。したがって, この影響を検討する意味から漏洩電流が変化した場合についても調べてみた。実験では5.1の検討によって比較的プラス変動の多い漏洩電流の減少する場合について調べたが, 表5に示すように心室細動は発生しなかった。これより, 電撃危険相当値の変動も問題になる程度ではないと推察される。ちなみに電撃危険相当値の+7.0%変動は心室細動の発生でいうと0.5パーセントから0.7パーセントの増加に相当し, 心室細動の発生確率が多少高くなるに過ぎない。

以上の検討から, ここに試作した積分形しゃ断器は心室細動の保護装置として十分な機能を満たすものであると判断される。特に, 後者の動物実験からはこのしゃ断器の特徴である積分機能によって心室細動が防止できることを確認でき, 漏洩電流の積分方式が有益なしゃ断器であることを裏付けた。

### 5.3 現地モニタによる検討

積分形しゃ断器を実用性の面から検討する意味で現



図 16 シャ断器の現地モニタ (負荷旋盤)



図 17 シャ断器の現地モニタ (負荷コンプレッサ)

地モニタを実施し, このしゃ断器の問題点を探索することにした。これは実用面を考慮するとしゃ断器が種々の過酷な条件で使用されるため, 使用上の問題点についても検討しておくためである。



図 18 シャ断器の現地モニタ（負荷溶接機）

まず、抵抗負荷をもつ回路にこの積分形しゃ断器を設置し、定格電流の4倍までの電流を流したときの平衡特性について調べてみた。その結果、誤動作のないことが確かめられた。また、模擬漏電を発生させてしゃ断特性を測定したが、現地のような悪条件のもとでも正常に動作することが確かめられた。

つぎに、図 16、図 17 に示すように、旋盤、コンプレッサを負荷とする回路にしゃ断器を設置し、負荷を変動させたことによって、あるいは開閉器の開閉によって問題が発生しないか調べてみた。具体的には旋盤を正回転から逆回転させて停止させたり、あるいはねじ切り、削り作業等を行なったが、この時に流れる起動電流、開閉器の動作によるチャタリング等の雑音によっても誤動作が発生しなかった。特にコンプレッサを負荷とした場合は開閉器が頻繁に動作したが、このときの雑音によっても誤動作が発生しなかった。これより、従来のしゃ断器を使用すると、雑音、誘導等による誤動作が起って給電の信頼性が低下することもあったが、このような問題も積分形しゃ断器によって解決されると考えられる。また、積分形しゃ断器は電流動作形と違って、仮りに瞬時的な大電流が漏洩しても積分値が小さいとしゃ断動作しないため、この点からも給電の信頼性を下げない利点もっている。

一方、積分形しゃ断器を図 18 のように溶接機を負荷とする回路に設置し、実際の溶接作業時に発生する問題を探索したが、雰囲気の高かったにもかかわらず誤動作は全く発生しなかった。

なお、積分形しゃ断器の長期間モニタを行なうため、これを平均負荷 3kVA の研究室に設置しているが、負荷条件が千差万別の研究室においても昭和49年2月1日に設置して以来、現在（昭和49年4月30日）

までなんの異状も発生していない。

これより、このモニタによってここに開発した積分形しゃ断器は現地のような悪条件のもとでも使用できるしゃ断器であるという見通しが得られた。

## 6. む す び

生体に漏洩した電流の値によって動作するしゃ断器も意味があるが、漏洩した電流の時間積分値によって動作するしゃ断器が考えられる。以上のような着眼から、ここでは心室細動の防止を目的とした漏洩電流積分形のしゃ断器について研究した。また、兎に対する心室細動のデータを基にして積分形しゃ断器を実際に試作し、これについて評価してみた。

その結果、積分形しゃ断器によって兎の心室細動は防止できることを確認し、モニタからもこのしゃ断器に問題の少ないことを確認した。したがって、積分形しゃ断器を使用することによって最悪の場合でも心室細動による感電死は防止できると考えられる。しかし、ここに試作したしゃ断器は漏洩電流の大きい領域を高速しゃ断としたため、この点は積分形しゃ断器の今後の研究課題となる。

また、感電防止用漏電しゃ断器について白紙に戻って考えてみると、しゃ断器は心室細動の防止のみが目的であるとは考えられない。すなわち、しゃ断器本来の目的は心室細動も防止するが、いわゆる生体の電撃危険を防止する保護装置であるべきもので、その点では積分形しゃ断器も十分なものとはいえない。これより、今後はまず生体の電撃危険性について十分考察し、これを防止するようなしゃ断器を研究する計画である。

最後に、本研究を進めるにあたって御指導いただいた本研究所上月三郎所長、御討論いただいた研究調査委員会の委員であられるテンパール工業株式会社木曾武男常務、木本清治室長、都甲正三課長、今本正夫研究員、実験に御協力いただいた東京電機大学大学院内川義則君に深謝の意を表します。

（昭和49年5月18日受付）

## 参 考 文 献

- 1) 労働省安全衛生部編，“労働安全衛生規則の解説” p. 64，中央労働災害防止協会，（1967）

- 2) “産業安全研究所技術指針，感電防止用漏電しゃ断器構造基準・安全指針”，RIIS-TR-69, (1969)
- 3) “産業安全研究所技術指針，感電防止用漏電しゃ断器構造基準・安全指針”，RIIS-TR-72-2, (1972)
- 4) “JIS-C 8371，漏電しゃ断器”，日本工業規格協会，(1974)
- 5) IEC, Technical Committee 23 E (Sec.) 3, “Circuit Breakers and Similar Equipment for Household Use”, (1974)
- 6) 三菱電機株式会社編，“三菱電機技報”，pp. 60～61, Vol. 48, No. 1, (1974)
- 7) C. F. Dalziel “Electrical Engineering”, pp. 579～585, Vol. 65, No. 8, (1946)
- 8) S. Koeppen, “Der Elektrische Unfall Elektromed”, pp. 215～251, Bd. 6, No. 2, (1961)
- 9) 山野，“安全工学”，pp. 28～32, Vol. 11, No. 1 (1972)
- 10) 上月，田島，“特許申請，感電防止用漏電しゃ断器”，(1969)
- 11) C. F. Dalziel, “AIEE Transactions”, pp. 1073～1079, Vol. 60, No. 4, (1941)
- 12) 山野，“第4回安全工学研究発表会予稿集”，pp. 35～38, 安全工学協会，(1971)
- 13) 本川，“電気生理学” pp. 4～6, 岩波書店，(1969)
- 14) H. Feiberger, “Der Elektrische Widerstand des Menschlichen Körpers gegen Technischen Gleich und Wechselstrom, Elektrizitätswirtschaft”, p. 373, Vol. 33, (1933)
- 15) C. F. Dalziel, “IEEE Spectrum”, pp. 41～50, Vol. 60, No. 2, (1972)
- 16) J. A. Walston, “Transistor Circuit Design”, pp. 369～372, McGraw-Hill, (1963)
- 17) S. S. Hakim, “Junction Transistor Circuit Analysis”, pp. 7～24, John Wiley, (1962)
- 18) M. L. Shooman, “Probabilistic Reliability an Engineering Approach”, pp. 203～209, McGraw-Hill, (1968)
- 19) C. G. Peattie, “Proceedings of the IEEE”, pp. 149～168, Vol. 61, No. 2, (1972)
- 20) 山野，金井，“第3回安全工学国内シンポジウム講演予稿集”，pp. 5～6, 安全工学協会，(1972)

産業安全研究所技術資料 RIIS-TN-74-1

---

昭和49年8月1日

発行所 労働省産業安全研究所

〒108 東京都港区芝5丁目35番1号

電話 (03) 453-8441 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

---

郵便番号 108