

## 感電危険のある火災防御の研究(第1報)

—消防用個人装備の耐電圧試験—

大 熊 順 三\*  
池 辺 昇 一\*

## 1. はじめに

電気工作物または同工作物のある建築物の火災防御で、最も注意しなければならないことの一つは感電事故であろう。特に地下鉄および屋内変電設備などの火災の場合は、濃煙の充満によって見通しが悪く、接触感電あるいは放水および高膨張泡の充泡等による間接感電の危険が大きい。

また、火災は一種のプラズマ状態とも考えられるので、これを介しての漏洩の危険性もあるはずである。

現在、消防的には放水状態別漏洩電流値についての一応のデータとして火災防御論板本正著があり、火災防御上の目標となっているが、その後個人装備、機械装備および消火剤等の開発により、新たに研究実験をおこなう必要を生じてきている。

加えて、電気設備の増加は目を見張るものがあり、また高膨張泡等による新たな消火技術の開発による関連的な研究が要求されている。

そこで当研究はこれらの一連の問題に着手し、火災防御上の資料に供することを目的としたものである。

なお、第1報として防火服等を中心とした消防用個人装備の耐電圧性について報告する。

## 2. 試験項目

当試験において実施した試験項目は次のとおりである。

- (ア) 状態別防火服(地)の耐電圧試験
- (イ) 状態別ゴム長靴、防火帽(帽体)、呼吸器並びに耐熱服用面体および手袋等の耐電圧試験
- (ウ) 状態別とび口(柄)、ロープおよび腰綱等の耐電圧試験

## 3. 試験の方法

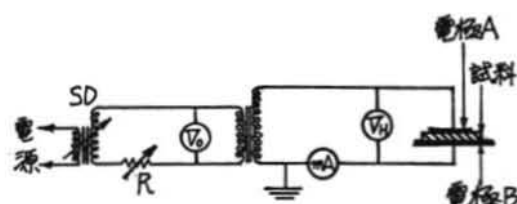
## (1) 加電圧方法

## ア 状態別防火服(地)の耐電圧試験

試験電圧の印加方法は次のとおりである。

## (イ) 高圧発生装置

第1図



## ◎ 説明

電源：AC100(V)、正弦波50ヘルツ

SD：スライダック

R：補償用抵抗

V<sub>0</sub>：AC電圧計(0~150V)

T<sub>r</sub>：昇圧トランス(0~20kV)、2kVA

V：静電型電圧計(0~20kV)

mA：AC電流計(0~100mA)

## (イ) 電極の構造

電極(A)：電極面→1cm×5cm、重量→2.5g

電極(B)：電極面→20cm×20cm

## (ウ) 昇圧速度

昇圧速度は10kV/分程度である。

イ 状態別ゴム長靴、防火帽(帽体)、呼吸器並びに耐熱服用面体および手袋等の耐電圧試験

## (イ) 高圧発生装置

第1図に同じ

## (イ) 電極の構造

電極A、Bの大きさは前試験3-(1)-ア-(イ)に同じであるが、各極の供試物に平面接触するようにそれぞれの形に変形し、接触が平均するような構造にする。

## (ウ) 昇圧速度

前試験3-(1)-ア-(ウ)に同じ。

ウ 状態別とび口(柄)およびロープ等の耐電圧試験

\* 第一研究室

(7) 高圧発生装置

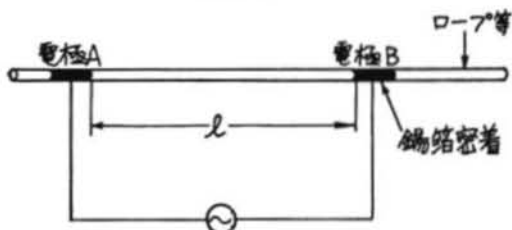
第1図に同じ

(1) 電極の構造

電極は第2図に示す如く、供試物に錫箔を巻き付ける。

この場合の両電極は同一構造である。

第2図



(2) 昇圧速度

前試験3—(1)—ア—(7)に同じである。

(2) 供試物の説明

ア 防火服地

(7) 種類

A アルミックス防火服地(現用新品)

B ネオブレン防火服地(現用新品)

(1) 大きさ

A 破壊試験の場合 10cm×10cm

B 漏洩試験の場合 10cm×10cm, 1cm×10cm

(2) 状態

A 乾燥時(平常状態)

第1表

| 試料(10cm×10cm) | 乾燥時の重さ(g)                     | 厚み(cm)                        |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|
| アルミックス防火服地    | 6.75                          | 0.067                         |
| ネオブレン防火服地     | 7.50                          | 0.061                         |
| 耐熱服(地)        | A 17.19<br>B 17.13<br>C 17.12 | A 0.316<br>B 0.251<br>C 0.245 |

B 淡水濡時

水道水中に1時間浸し、適当に水をきる。この場合の浸水状態はおおむね次のとおりである。(ただし耐熱服地は乾燥時のみ)

第2表

| 試料(10cm×10cm) | 乾燥時の重さ(g) | 浸水時の重さ(g) | 浸水量(g) |
|---------------|-----------|-----------|--------|
| アルミックス防火服地    | 6.75      | 9.50      | 2.75   |
| ネオブレン防火服地     | 7.50      | 9.60      | 2.10   |

C 海水濡時(使用海水は東京湾10号埋立地で採取)

淡水濡時の場合とほぼ同じである。

イ ゴム長靴、防火帽(帽体)、呼吸器並びに耐熱服用面体および手袋

(7) 種類

A ゴム長靴(現用新品)

B 防火帽の帽体(現用新品)

C 呼吸器並びに耐熱服用面体(現用新品)

◎ アクリル

◎ ポリカーボネート

◎ ポリガラス

D 手袋(現用新品)

◎ 軍手

◎ 片面ゴム軍手

◎ 耐電圧用ゴム手袋

(1) 大きさ

A ゴム長靴および防火帽の帽体については製品時の大きさ

B 呼吸器並びに耐熱服用面体および手袋については、防火服地に同じである。

(2) 状態

A 乾燥時(平常状態)

第3表

| 試料           | 重量(g)  | 厚み(cm) |
|--------------|--------|--------|
| 一般防火服用<br>長靴 | 本体     | 700    |
|              | 防水カバー  | 309    |
| 防火帽の帽体       | 500    | 0.240  |
| 面体アクリル       | 350    | 0.370  |
| 面体ポリカーボネート   | 66.3   | 0.152  |
| 面体ポリガラス      |        | 0.400  |
| 軍手(全面綿)      | 29.6   | 0.115  |
| 軍手(片面ゴム)     | 49.7   | 0.153  |
| 耐電圧用ゴム<br>手袋 | 3.5kV用 | 281.9  |
|              | 1.5kV用 | 279.2  |

B 淡水濡時

乾燥時と同種の試料で水道水中に1時間浸し適当に水をきる。このときの浸水状態は第4表のとおりである。

C 海水濡時

淡水濡時の場合とほぼ同じである。

ウ とび口(柄)およびロープ等

(7) 7種類および大きさ

A とび口(柄): 現用新品, 徑, 108mmφ

B 救助ロープ: 現用新品, ナイロン12mmφ

C 腰綱: 現用新品, クレモナクロスロープ, ナイロン, 麻8mmφ

第4表

| 試料         | 浸水時の重さ (g)    | 浸水量 (g)                |
|------------|---------------|------------------------|
| 一般防火服用 本体  | 800           | 100                    |
| 長靴 防火カバー   | 354           | 55                     |
| 防火帽の帽体     | 500+ $\alpha$ | 表面に水滴着                 |
| 面体 アクリル    | 300+ $\alpha$ | "                      |
| 面体ポリカーボネート | 69.5          | 3.2                    |
| 面体ポリガラス    | —             | —                      |
| 軍手 (全面綿)   | —             | —                      |
| 軍手 (片面ゴム)  | 99.8          | 50.1                   |
| 耐電圧用ゴム     | 3.5kV用        | 281.9+ $\alpha$ 表面に水滴着 |
| 手袋         | 1.5kV用        | 279.2+ $\alpha$ "      |

(イ) 状態

A 乾燥時 (平常状態) および淡水海水濡時の重さ

第5表

| 試料      | 単位センチメートル当りの重さ (g/cm) |       |       |       |       |
|---------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
|         | 乾燥時                   | 淡水濡時  | 海水濡時  | 淡水濡時  | 海水濡時  |
| とび口 (柄) | 0.019                 | 0.022 | 0.021 | 0.003 | 0.002 |
| 救助ロープ   | 0.877                 | 1.184 | 1.184 | 0.307 | 0.307 |
| 腰綱      | 0.555                 | 1.000 | 1.000 | 0.445 | 0.445 |

## 4. 耐電圧特性

各グラフの中のイロハは供試物の状態を示すもので次による。

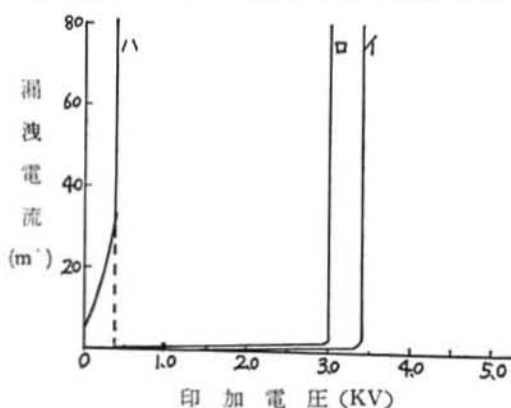
イ 乾燥状態 (平常時)

ロ 淡水濡時

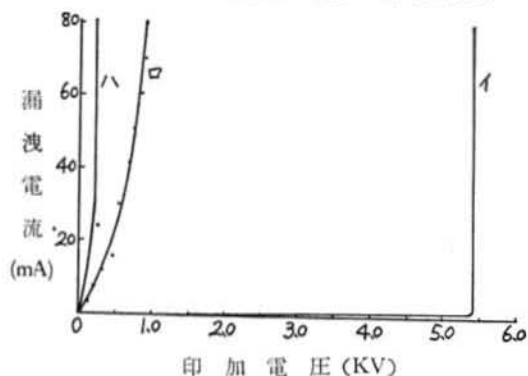
ハ 海水濡時

(1) 状態別防火服 (地) の耐電圧試験 (破壊試験)

第3図 アルミックス防火服 (地) の耐電圧特性

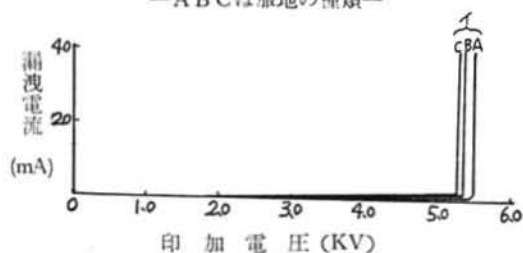


第4図 ネオプレン防火服 (地) の耐電圧特性



第5図 耐熱服 (地) の耐電圧特性

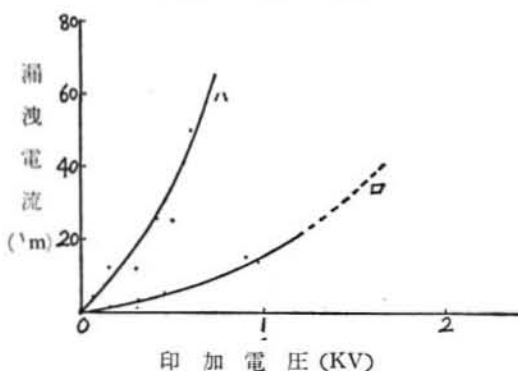
—ABCは服地の種類—



(2) 状態別防火服 (地) の耐電圧試験 (表面漏洩試験)

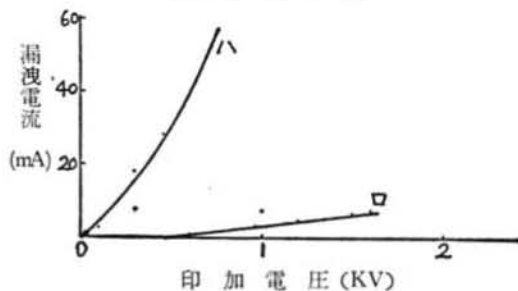
第6図 アルミックス防火服 (地) の耐電圧特性

—試料10cm×10cmの場合—

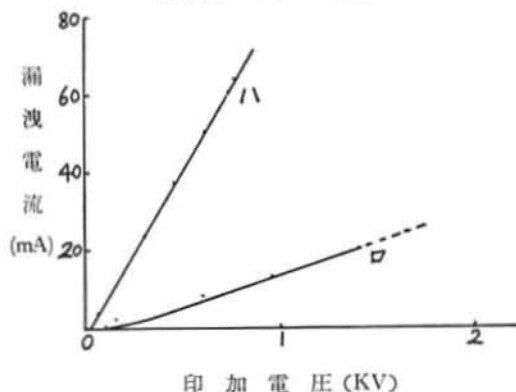


第7図 アルミックス防火服 (地) の耐電圧特性

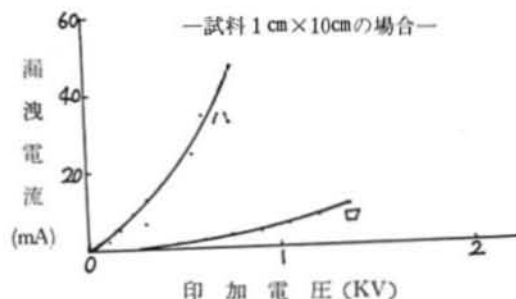
—試料1cm×10cmの場合—



第8図 ネオプレン防火服(地)の耐電圧特性  
—試料10cm×10cmの場合—



第9図 ネオプレン防火服(地)の耐電圧特性  
—試料1cm×10cmの場合—

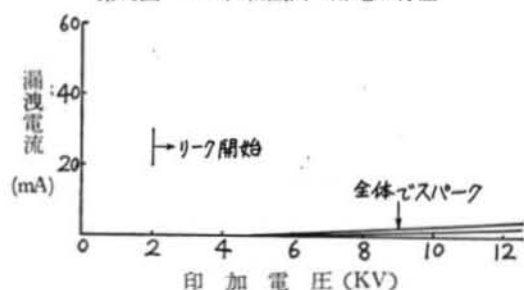


(3) 状態別ゴム長靴, 防火帽(帽体)呼吸器ならびに耐熱用面体および手袋等の耐電圧試験

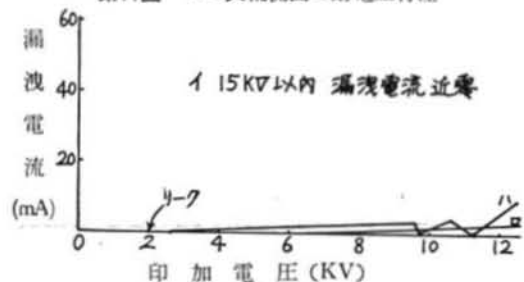
#### ア ゴム長靴の耐電圧特性

乾燥時(平常状態)においては底面および側面とも1.5kV以下で漏洩電流は測定に足らない状態(零に近い)である。

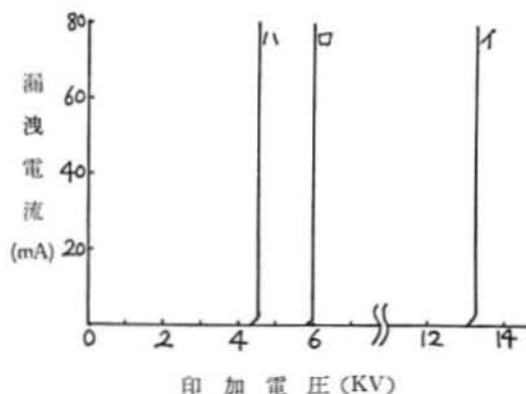
第10図 ゴム長靴底面の耐電圧特性



第11図 ゴム長靴側面の耐電圧特性

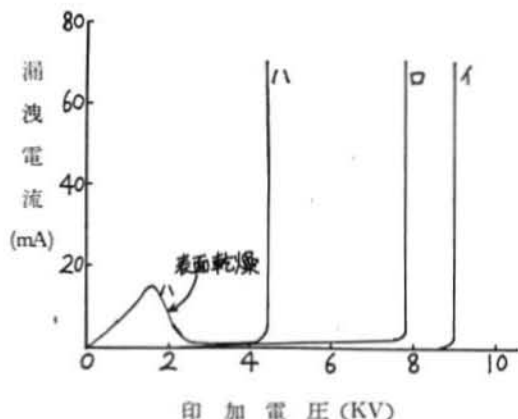


第12図 ゴム長靴防水カバーの耐電圧特性



#### イ 防火帽の耐電圧特性

第13図 防火帽(帽体)の耐電圧特性



#### ウ 面体アクリルの耐電圧特性

乾燥時, 淡水濡時および海水濡時において15kV以下で破壊しない。乾燥時において漏洩電流はなく, 淡水および海水時においても印加電圧の初期段階に若干(1mA以内)の漏洩電流を認めるだけで, 試験後期では乾燥するため電流はほとんど認められない。

ただ, この場合各状態とも4.5kV程度からリーク(音)を認め, 淡水濡時では表面の水滴間で火花を認めた。このことは海水濡時が最も顕著である。しかし漏洩電流はほとんどない。

#### エ 面体ポリカーボネート耐電圧特性

乾燥時においては15kV以内では破壊はなく漏洩電流もほとんどない。ただリーク音は3kV程度から発生する。

淡水濡時では表面の水滴による表面漏洩が6kVで1mA程度, 7.5kVで表面の水滴間で全体的にスパークとなる。

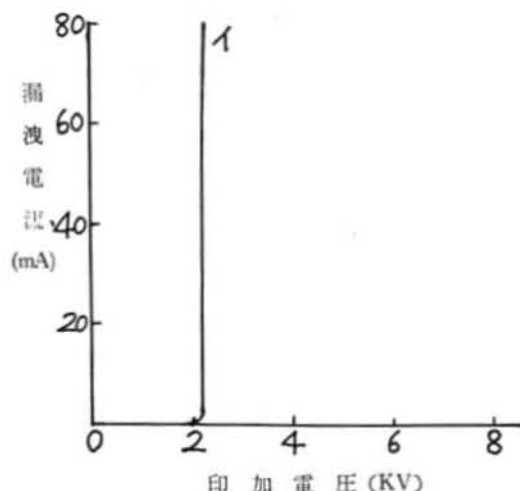
海水濡時では1.5kVで表面漏洩電流が35mAとなりスパークが飛び3kVで全面的に激しくスパークがとぶ。この場合15kVでは全体が炎となる。

#### オ 面体ポリガラス

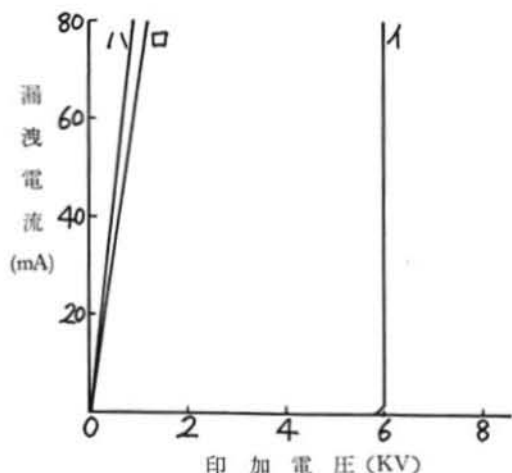
ポリガラスはアクリルの場合とほぼ同じである。ただポリガラスで表面に金またはアルミニウムが蒸着してある場合は完全な導体となり、0.1kV程度でジュール熱により瞬間的に発熱発火する。

#### カ 軍手

第14図 軍手（全面綿）の耐電圧特性



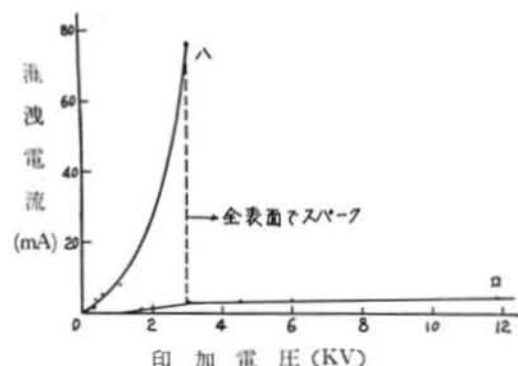
第15図 軍手（片面ゴム）の耐電圧特性



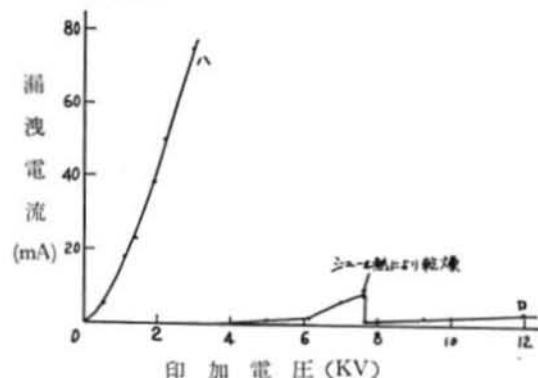
#### キ 耐電圧用ゴム手袋

乾燥時において1.5kVおよび3.5kV用耐電圧用ゴム手袋とも印加電圧15kV以内では破壊しない。しかし3kV程度からリーク音を発生する。また淡水濡時および海水濡時においては第16—17図に示すとおりである。

第16図 1.5kV耐電圧用ゴム手袋の海水濡時における耐電圧特性



第17図 3.5kV耐電圧用ゴム手袋の海水濡時における耐電圧特性



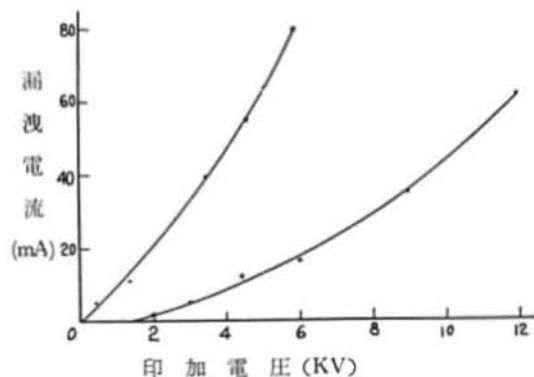
#### (4) 状態別とび口（柄）およびロープ等の耐電圧試験

乾燥時ではとび口（柄）、救助用ロープおよび腰綱等いずれの場合でも15kV以内で2.5cm以上の距離では破壊および漏洩電流が認められない。

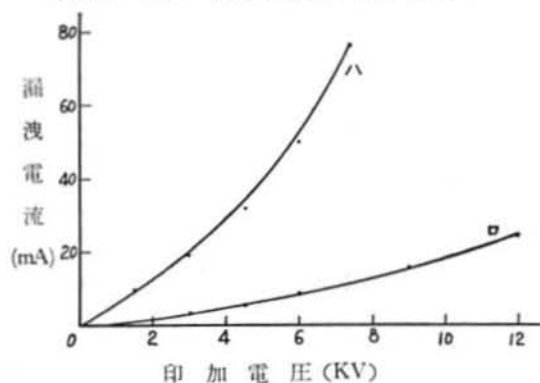
##### ア とび口（柄）

乾燥時では印加電圧15kV、電極間10cmの場合漏洩電流は零である。

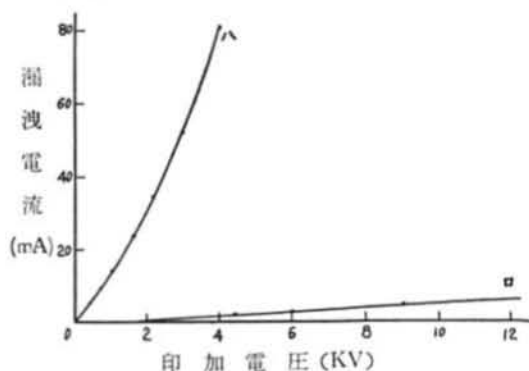
第18図 とび口（柄）の耐電圧特性（100cm）



第19図 とび口（柄）の耐電圧特性（150cm）



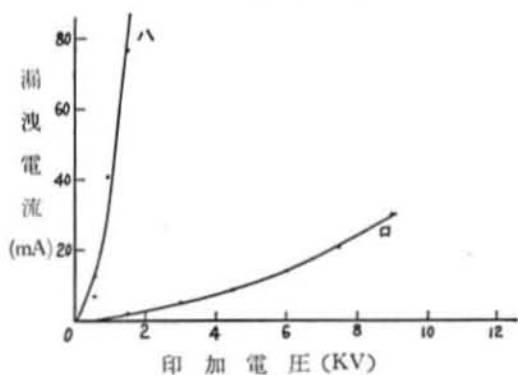
第22図 救助用ロープの耐電圧特性（200cm）



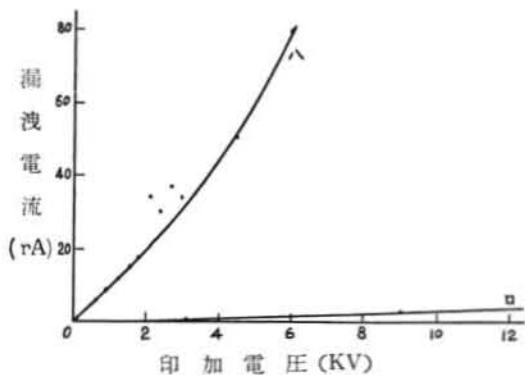
### イ 救助用ロープ

乾燥時では印加電圧 15kV、電極間10cmの場合漏洩電流は零である。

第20図 救助用ロープの耐電圧特性（50cm）

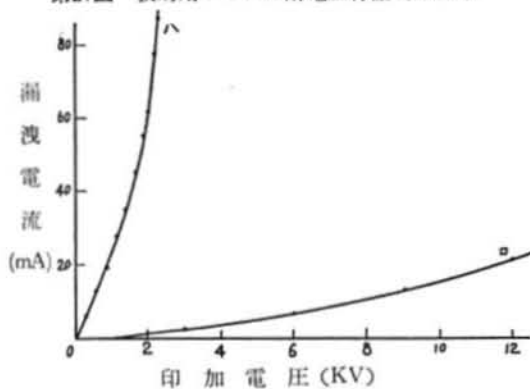


第23図 救助用ロープの耐電圧特性（300cm）

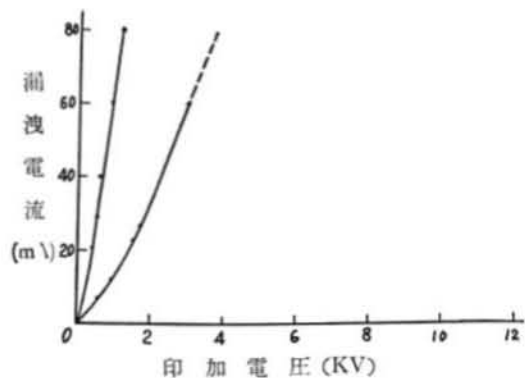


### ウ 腰綱

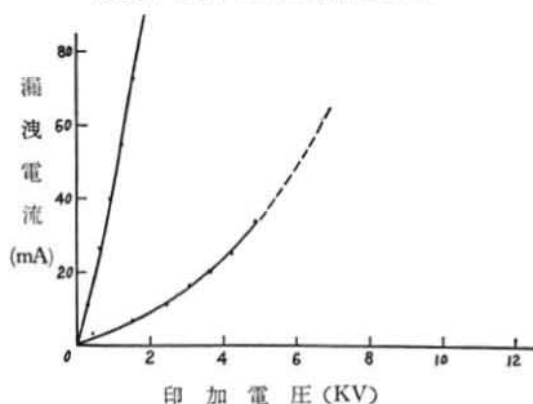
第21図 救助用ロープの耐電圧特性（100cm）



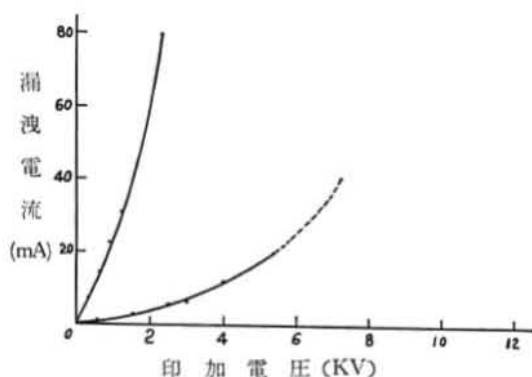
第24図 腰綱の耐電圧特性（50cm）



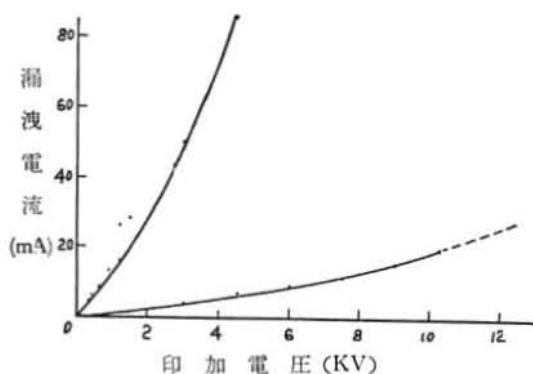
第25図 腰綱の耐電圧特性 (100cm)



第26図 腰綱の耐電圧特性 (200cm)



第27図 腰綱の耐電圧特性 (300cm)



## 5. 考 察

### (1) 状態別防火服(地)の耐電圧性

まず防火服の耐電圧性を考える場合、消防隊員が防火服を着用し行動中に電線等に接触したときの状態に着眼しなければならない。

この場合の危険度が電圧の程度、防火服の種類、水濡れの状況等により、どのように変わるか。ここでは夏期等比較的薄着時を想定し防火服の表面に充電物が

接触ししかも防火服裏面に皮膚が接し、身体の抵抗を零とした最悪の条件をあたえての試験である。

第3図はアルミックス防火服(地)の耐電圧特性であるが、乾燥時では3.3kV程度以下でその漏洩電流もほとんどなく、したがって感電による危険はないといえる。しかしこの電圧を越えると防火服地は破壊され強い電撃を受け極めて危険となる。また淡水(水道水)によって全体が濡れている場合は服地の破壊電圧は3.0kVと危険度を増すが各電圧毎の漏洩電流は極めて小さい。しかしこれはアルミックス防火服の表面の水分が初期の段階でジュール熱により蒸発したものととも考えられるので表面が濡れたアルミックス防火服にいきなり高電圧が印加された場合は過剰の電流が比較的多く流れることが予想され一応危険としなければならない。

さらに海水濡時では0.5kVで破壊しそれ以下でも漏洩電流は大きく0.1kV程度でも極めて危険であるといえる。

第4図に示すネオプレン防火服(地)の特性においては乾燥時にその破壊電圧が5.4kVでこれ以下の電圧では漏洩電流はほとんどなく一応安全であるといえる。

しかしこの服地は表面が綿の布地であるため吸水性がよく防火服が濡れているような場合には相当危険度は高い。

このことは第4図でも明らかなように淡水濡時で0.3kVで15mA、これを越えた電圧では急激に電流の増大をみる。勿論海水濡時はさらに危険で0.1kV程度でも接触を許されない。

第5図に示す耐熱服地の特性においては服地そのものの表面が金属であるため水濡時等の試験は行なわず布地の種類(A B C)に対する乾燥時の耐電圧試験のみとした。

この結果は図に示すごとくその破壊電圧が5.3~5.5kVとほぼ同じであった。しかしだからといってこの場合は安全性が大きいということとはできない。製作時における布地のぬい合わせで金属部分が服地の内部にある場合もあり、また袖口等末端の折返し部分にあっては表面金属の部分が直接皮膚に接していることが多い。このことから耐熱服着用時には、いかに低電圧といえども接触のないよう最も注意を払わなければならない。

また第6.7.8.9図でも明らかなように破壊のみならず水濡時には表面漏洩が大きいため充電部の接触には極めて注意を要する。特に海水濡時には注意する必要がある。

さてこれらのことから総合するとアルミックス防火

服およびネオブレン防火服において、その防火服が乾燥状態であれば前者が3.3kV、後者で5.4kV程度まで安全でこの防火服が水濡れの状態の場合、特に海水濡時の場合には0.1kV程度以下においても相当危険を有するといえる。勿論、耐熱服の場合は乾燥時といえども危険である。

しかし乾燥時におけるアルミックスおよびネオブレン防火服においても実際には前者の破壊電圧3.3kV、後者の破壊電圧5.4kVの3分の1程度の安全率をみこむべきであろう。

## (2) 状態別ゴム長靴、防火帽(帽体)呼吸器並びに耐熱服の面体および手袋等の耐電圧性

### ア ゴム長靴

ゴム長靴の耐電圧性はそのゴムの種類および厚み等により変わるものであるが本試験では昭和43年11月～12月に支給したものをを用いた。

その結果は第10.11.12図に示すごとくである。これによると乾燥時には本体では底部、側部とも15kV以下では破壊せず漏洩電流も測定するに足らない程度で一応安全といえるが、防水カバーにあっては乾燥時にあっても12.5kV程度で破壊している。

また淡水、海水等水濡時にあっては、底部および側部とも破壊はないが2kV程度からリーク音が始まり9kV程度では水滴間で激しく放電し、ぶきみな音を発すると同時に光を発する。しかし漏洩電流は比較的小さく6kV程度までは一応安全のように思われる。ただこの場合は新品であるので老朽した長靴の場合はこれによることはできない。防水カバーにあっては淡水濡時で6kV、海水濡時では4.3kV程度で破壊している。

### イ 防火帽(帽体)

帽体の中央部分に加電し内側を全部電極とした場合の特性は第13図に示すごとくである。すなわち乾燥時にはその破壊電圧が8.9kVでそれ以下の電圧においては漏洩電流はほとんどない。また淡水濡時にはその破壊電圧が7.8kVと若干下がるがその漏洩電流はあまり増加せず危険電流値に達しない。

海水濡時には漏洩電流が極めて大きく0.5kV程度で5mA程度となりその後急上昇する。

しかし当試験ではジュール熱により表面が乾燥したため1.8kV程度から漏洩電流が減少した。この場合の破壊電圧は4.2kV程度となり減少している。

しかしながら当庁使用の防火帽(帽体)は、内部の衝撃防止用ゴム等を固定するための金属性リベットおよび金属性帽章などを使用しているため、この部分で接触すれば極めて危険である。なお安全帽のJIS規格によれば、清水濡時の帽体は試験電圧1.5kV(50～60c/s)でその漏洩電流が3mA以下であることが規定されて

いる。

### ウ 各種面体

#### (ア) アクリル

15kV以内で破壊のないことは材質そのものの絶縁度が高いほかに試物が厚いからである。また水濡時において、初期の段階でわずか1mA程度の漏洩電流を認めるだけで、試験後期には電圧が高くなるにもかかわらず、電流がさらに小さくなることは表面の水滴がジュール熱により乾燥するからである。したがって水濡時にいっきに高電圧を印加すれば過渡的に大きな電流が流れるものと思われる。すなわち水濡時にはやはり危険である。またリーク音は4.5kV程度で始まり、水濡時には表面の水滴間でスパークを認め、特に海水の場合は5kV程度で激しく表面の水滴の放電がみられた。

#### (イ) ポリカーボネート

乾燥時および淡水濡時にはアクリルの場合とほぼ同じであるが、海水濡時の漏洩電流が1.5kVで35mA、3kVで激しい水滴間のスパークをみたことは海水濡が多く、ジュール熱による乾きが遅れたためと思われる。

このことは前者の考察で水濡時の過渡的電流が大きいためであろうとしたことに合致する。

#### (ウ) ポリガラス

ポリガラスの場合はアクリルの場合とほぼ同じ特性であったが最近の耐熱服用面体には表面に金が蒸着してあるため、この場合は電氣的導体となり0.1kV程度で瞬間的に発火発炎する。したがってこの場合は絶縁体とは考えられないが耐熱服そのものが表面全体に導体であるのでこの部分だけ問題にするのは意味がない。

#### (エ) 軍手(全面綿)

軍手(全面綿)の場合でも乾燥時にはその破壊電圧が第14図に示すごとく2kVと案外よい特性を示している。しかしこの場合は布地そのものよりも電極間の距離(軍手の厚み)による影響の方が大きいと思われるので、高い圧力で接する場合は大きく特性が変わるものと思われる。しかし0.1～0.3kV程度ならば軍手ひとつ使用すればほぼ安全であろう。ただこの場合は新品の手袋を使用しているため汚れたものを使用した場合は安全度はより低下する。

また布地が綿であるので水濡時にあっては全く使用できない。

#### (オ) 軍手(片面ゴム)

一般の軍手に耐久性をもたせることを目的として片面にゴムを付着したもので、この試験はこの面の耐電圧特性である。第15図でも明らかなように一般の軍手に比べて耐電圧は6kVと3倍もよい。しかし水濡れの



場合は淡水、海水の場合とも0.1kV程度でもほとんど効果がない。これはゴム面が小さいことと、内側が布で吸水性が大きいことなどが理由である。しかし乾燥時には相当効果がある。安全率をみるならば3分の1程度とすべきである。

#### (カ) 耐電圧用ゴム手袋

1.5kV用および3.5kV用耐電圧用ゴム手袋の耐電圧特性は15kV以内では乾燥、水濡時とも破壊しない。

漏洩電流は乾燥時にはほとんど認められないが、水濡時には3kVで淡水の場合5mA、海水の場合では30mAにもなり電圧の上昇とともに大きくなる。

すなわち耐電圧用ゴム手袋といえども水濡状態では危険であり、特に海水の場合は注意しなければならない。

1.5kV、3.5kV用ともほぼ同特性である。

(第16、17図参照)

#### (3) 状態別とび口(柄)およびロープ等の耐電圧性

##### (ア) とび口(柄)

感電している者および燃焼している電気工作物を救助または取り除く場合、とび口を使用することは多いであろう。このようなことを想定し試験してみた結果が第18、19図に示す特性であるが、この柄は乾燥時には極めて絶縁度が良く電極間(柄)10cmで印加電圧15kVの場合でも破壊は勿論、漏洩電流も零である。このことは前記の目的で15kV以内ならば十分に使用できることを意味する。しかし特性からも明らかなように水濡時にはたとえ低電圧でも危険であり、特に海水濡時には絶対危険である。

##### (イ) 救助用ロープ

乾燥時には15kV以内では10cm以上の隔たりを保てば(10cmは極限值ではない)一応安全である。すなわちロープが15kV程度(極限值ではない)の配電線等に触れても適当な間隔を保てば人が触れても危険ではないということになる。

しかしこの場合も水濡時には相当危険を増し、海水濡時にはたとえ低圧でも絶対危険である。

淡水の場合は濡れ方にもよるが、海水時ほどではないが一応危険としなければならない。(第20、21、22、23図参照)

##### (ウ) 腰綱(ロープ)

乾燥状態では問題ないが水濡時には救助用ロープより危険である。腰綱ロープの径の方が小さいにもかかわらず危険であるということはロープの性質上含水率が高いことに理由があると思われる。(第24、25、26、27図参照)

#### (4) 小 括

当試験の結果をまとめると次のようなことがいえ

る。

◎ 一般防火服は乾燥時において電氣的に絶縁体で、その破壊の限界は3分の1程度の安全率をみるとアルミックス防火服で1kV、ネオブレン防火服で2kV程度といえる。これらが水濡れした場合は過渡的現象を考慮すると一応導体と考えるべきである。このことは特に海水濡時に顕著である。

◎ 耐熱服は導体と考えられ低電圧といえども危険である。

◎ ゴム長靴本体は乾燥時において電氣的に絶縁体でその破壊電圧は最もゴム厚の薄い部分で15kV以上であった。しかしこれは現用の新品でありすべてがこれによるとはいえない。したがって、安全率等を考慮し新品のしかも試験をし安全を確かめたものに限り、5kV以下で使用可能としなければならない。

また水濡時における特性でも相当耐電圧特性は良好であるが、これもジュール熱等による乾燥によるものと思われるので、過渡的現象を考えるとやはり危険であると考えざるを得ない。このことは特に海水濡時に顕著である。

また防水カバーは乾燥時の破壊電圧が13kV程度であり、安全を考慮すると新品のものでしかも試験し、安全を確かめたもののみ3kV程度を上限とすべきである。この場合も水濡時には過渡的現象を考え0.1kV程度でも一応危険とすべきである。

◎ 防火帽(帽体)は金属性リベットを使用しその部分が帽体内外を電氣的に導体とするため乾湿および電圧を問わず危険である。

◎ 面体用アクリル、ポリカーボネートおよびポリガラスとも同様、乾燥時にあって完全に近い絶縁体であるが水濡時には一応導体と考えるべきである。勿論淡水濡時には電圧に相応した電流が流れるが、表面のジュール熱等による乾燥を考慮し、さらに過渡的現象を考えると水濡時にあっては一応表面的に導体であると考えべきである。勿論このことは海水濡時に顕著で3～5kVでは表面の水濡間でスパークし危険感を伴う。

◎ 軍手は乾燥時において全面綿のものでその耐電圧の上限が2kV片面ゴムのもので6kVであるが、全面綿のものは単独で使用する場合は絶縁体と考えるべきではない。ただ片面ゴムのものでは低電圧では一応絶縁体と考えてもよいと思う。

◎ 耐電圧用ゴム手袋では仕様にもとづいた電圧は勿論、1.5kVおよび3.5kV用には15kV以下では破壊がなく、かなり安全度は高い。

しかしリーク音は3～5kV程で発生する。実験結果によれば淡水濡時にあっては比較的安全のように思われるが、過渡的現象等を考えると危険であると思わ

れるので、このような状態では耐電圧用ゴム手袋として使用することは避けなければならない。勿論海水濡時にあっては絶対に使用を避けなければならない。

◎ とび口の柄は乾燥時に極めてすぐれた絶縁物であり、15kV 程度以内であればこれを介して充電物に触れても支障ない。この場合の充電物の接触部と内体(手)に触れる部分の距離はできるだけ大とし、安全をみて 15kV 程で 50cm 以上とすべきである。水濡時にあっては導体と考えるべきであろう。特に海水濡時では危険である。

◎ 救助用ロープは乾燥時には極めてすぐれた絶縁物で、とび口の柄と同様に考えてよいと思われる。ただロープは吸水性がとび口の柄より大きい、ナイロンという特質性からその導電性は小さい。すなわち淡水濡時にあっても比較的安全性が大きく、3m の距離で 10kV で 3mA 程度である。しかし水濡時では一応導電性と考えるべきである。勿論海水濡時では危険度が高く、絶対に接触を避けるべきである。

◎ 腰綱の場合は、乾燥時にあっては救助用ロープと同じように考えてさしつかえないが水濡時には救助用ロープより特性ははるかに悪く、淡水水濡時とも極めて危険な状態となる。

## 6. 参考として

### (1) 物体の導電性

固体に電流が流れ易いか否かを示す目安として導電率の概念が用いられている。そして導電率の逆数は抵抗率ないし固有抵抗と呼ばれている。

導電率は金属に属する銅の約  $6 \times 10^5 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$  半導体のゲルマニウムで  $10 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$  として絶縁体のテフロンで  $10^{-20} (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$  と広範囲にわたる数値を示す。

また代表的なものの導電率をあげると次のとおりとなる。

|                    |                                                  |
|--------------------|--------------------------------------------------|
| アルミニウム(20℃).....   | $3.65 \times 10^5 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ |
| 金 (18℃).....       | $4.54 \times 10^5$ *                             |
| 真水 (18℃).....      | $4.15 \times 10^{-8}$ *                          |
| 水道水 (20℃).....     | $10^{-4}$ *                                      |
| 海水 (20℃).....      | $3.3 \times 10^{-2}$ *                           |
| 木材 (乾燥).....       | $10^{-12} \sim 10^{-10}$ *                       |
| 木綿.....            | $10^{-12} \sim 10^{-8}$ *                        |
| 生ゴム.....           | $10^{-16} \sim 10^{-14}$ *                       |
| 加硫ゴム.....          | $10^{-14} \sim 10^{-7}$ *                        |
| ネオプレン.....         | $10^{-13} \sim 10^{-9}$ *                        |
| ナイロン(ポリアミド樹脂)..... | $10^{-13} \sim 10^{-12}$ *                       |

### (2) 個体表面における吸湿時の導電性

アルミックス防火服、ネオプレン防火服、軍手(綿手袋)、ゴム長靴、とび口(柄)、救助用ロープおよび

腰綱などは絶縁物に属するがこれらが吸湿するとその導電率が大きくなり導体に近づく。そしてそれは吸湿(水分)の不純度およびその量により変わるものである。

ここでは軍手(綿手袋)および木材等の吸湿(水分)の大きいものは当然導電率が大きくなるものであるから論ずるに足らないものとしてアルミックス、ゴム長靴等のような固体表面吸湿時の導電性について極めて簡単に述べておく。

一般に高分子材料等の水分吸着と電気伝導との関係について考えるとき、水分吸着による材料の形の変化、水分の体積的吸着(吸水)などを考慮しなければならない。すなわち水分が固体内部に拡散されていくことを考えにいれなければならない。しかしこれらをガラスの表面の吸湿などと等価的に考えることができる。この場合吸湿による皮膜方向にそっての伝導電流の変化は一般に次式により表わされる。

$$\log i/i_0 = \beta \cdot m$$

ここで

$i_0$  : 吸湿のない場合の伝導電流

$i$  : 吸湿時の伝導電流

$\beta$  : 比例定数

$m$  : 吸湿率

さらに吸湿量が多くなると前式にあてはまらず単に次の関係になる。

$$i/i_0 \propto m$$

すなわち吸湿量が大きくなれば伝導電流も大きくなるという極めて常識的なこととなる。

ここで述べたことは一応イオンの伝導とみなされるが、これらに不純物が多くとも前関係式理論は成立するはずである。

しかし実際にこのような実験はかなりむづかしい。当試験においても試験中のジュール熱および一般的な水分の蒸発、水分の相互作用による吸引現象等により一定の条件の試験はできなかった。

特に防火服表面の吸湿時における漏洩電流をみる場合に、ジュール熱による水分の蒸発の変化が試験後期にあってはあたかも高電圧印加時にあっても安全であるかのような値を示したが、この値を直接信頼することはできない。

今後の試験において表面水分の蒸発を時定数的にとらえて電流の変化を過渡現象的にみる必要がある。

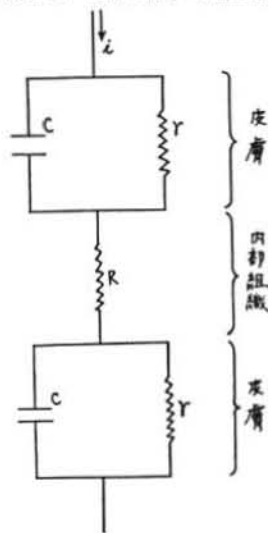
### (3) 電気の人体に対する作用

電気による直接の危害については電撃をうけた場合のショック、電気火傷、電撃死などがあげられるが、いずれの場合も電圧値でなく人体を流れる電流値により危険の限界が定まることが知られている。

人体が電源に触れた場合、危険度を左右する大きな因子は人体の接触抵抗である。すなわち乾燥した防火服の上から電源に接触した場合は、防火服の高抵抗により安全度は高いが防火服が濡れた場合、あるいは直接皮膚により接触した場合は接触抵抗が小さいため、危険度が大きいということである。

人体そのものの接触抵抗は種々の条件により変化する。すなわち皮膚の抵抗は乾湿の状態によって著しく値が異なり、発汗によっても  $1/10$  くらいに低下する。また電圧が高くなると皮膚（接触抵抗）が絶縁破壊

第28図 人体抵抗の等価回路

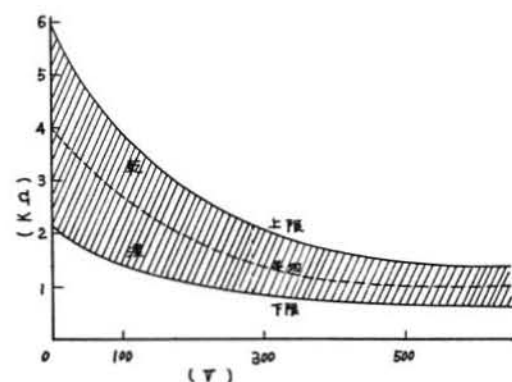


し、短絡状態となり危険度は急激に増す。

今人体の電気的等価回路を考えると第28図のごとくとなる。

ここで皮膚の乾燥時におけるインピーダンスは  $10^4 \sim 10^5 \Omega/\text{cm}^2(r)$  と  $0.01 \sim 0.05 \mu\text{F}/\text{cm}^2(c)$  の並列回路で表わされる。また内部組織のインピーダンスは  $100 \Omega/\text{cm}(R)$  程度である。また人体抵抗の電圧別および皮膚の乾湿別は一般に第29図に示すごとくとなる。しかしこれはあくまでも一般的な値であって特殊な電源、高周波電源とかインパルス電流などによる場合あるいは個人差により若干異なる。

第29図 人体の抵抗



ここで体内の抵抗に比べて接触抵抗が極めて大きいことから特に体のどの部分とどの部分というように考

第6表 電流の人体に対する作用

(高分子学会編、静電気ハンドブックより)

|                                      | D. C.            |       | A. C. (r.m.s) |       |           |      |
|--------------------------------------|------------------|-------|---------------|-------|-----------|------|
|                                      |                  |       | 60c/s         |       | 10,000c/s |      |
|                                      | 男                | 子     | 男             | 子     | 男         | 子    |
| 最小感知電流、少しちくちくする                      | 5.2mA            | 3.5mA | 1.1mA         | 0.7mA | 12mA      | 8mA  |
| 苦痛を伴わないショック、筋肉の自由がきく                 | 9                | 6     | 1.8           | 1.2   | 17        | 14   |
| 苦痛を伴うショックただし筋肉の自由がきく                 | 62               | 41    | 9             | 6     | 55        | 37   |
| 離脱の限界                                | 76               | 51    | 16            | 10    | 25        | 50   |
| 苦痛を伴う激しいショック筋肉強直、呼吸困難                | 90               | 60    | 23            | 15    | 94        | 63   |
| 心室細動の可能性あり 電撃時間0.03sec               | 1300             | 1300  | 1000          | 1100  | 1100      | 1100 |
| 3.0 "                                | 500              | 500   | 100           | 100   | 500       | 500  |
| 心室細動が確実に発生                           | 上記の値の 2.5倍       |       |               |       |           |      |
| インパルス電撃による心室細動<br>直流の短時間電撃およびインパルス放電 | 27.0 Watt-second |       |               |       |           |      |
| 商用周波の短時間電撃および低周波振動電流                 | 13.5 "           |       |               |       |           |      |

える必要はない。

今、仮に湿った体で 100V 電源に感電したとすると次の電流が体内を流れることになる。(第29図より人体抵抗を  $1,500\Omega$  とする)

$$i = V/R = 100/1500 = 1/15 = 0.07(A)$$

すなわち、70(mA)の電流が体内を流れる。

次に男女別、電源別、電流による生理現象について述べると一般に第6表のごとくとなる。勿論これは平均の人間を対象としたものであり、子供、老人、病人等はより危険度が高くなる。

特に電流が心臓部を流れると(手から手、手から足の電流通路の場合等)心筋が痙攣を起こし、ある範囲の電流値では電源から離脱しても心臓が正常の拍動を回復せずに心室細動を起こしてポンプ作用がなくなる。この心室細動は直ちに手当をしないと自然には回復せず短時間で死亡する。電撃死の大部分はこの心室細動によるもので、致死電流として最も重要な値である。

50c/s 交流に対して0.05%の確率で心室細動を発生する電流値(実効値)は C.F. Dalziel が次の式を与えている。

$$i = (2.18W + 12.8) / \sqrt{T} \quad (mA)$$

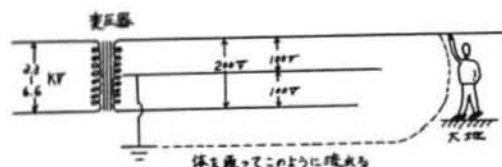
ここで

W: 体重(kg)

T: 電撃時間(sec)

次に人体にどのような経路で電流が流れるかふれておく。ここでは一般に家庭で使用されている電灯線について考えることにする。我々が日常使用している電灯用電気に接触した場合は第30図のような回路で感電する。

第30図 感電回路



第30図で1線に触れても同じであり、2線に触れた場合はどの場合でも感電する。乾いた畳の上やゴム長

靴をはいた場合などで、電灯線の一線に触れても感電しないのは、畳とかゴム長靴によって電氣的に回路が断れているからである。

## 7. 感電者の救助

感電者の処置としては、まず自分自身の力で電源からの接触を絶つことである。手などが痙攣を起こし、電線から離脱できないときは自ら転倒と体重を利用して離脱することである。しかし高所などでは二次的な災害も考慮しなければならない。

自力で電源から離脱できない場合は他力によらねばならない。この場合、要救助者が感電中である場合は、素手等で直接この者に触れた場合は、救助行動者まで被害を被ることになる。

このような場合においては、救助行動者は電源の切断またはゴム手袋およびゴム長靴等を使用し、自らの感電を防止しなければならない。さらに消防用及び口(柄)などは乾燥時においては絶縁体であるから利用することも一つの方法である。

また比較的軽傷であっても、被救助者の感電した部分(特に電流が流れ出た部分)は後になって化膿することがあり、医師の治療を受けることが必要である。

## 8. む す び

火災時の行動、あるいは感電者の救助行動等の場合には隊員自身の感電に注意しなければならない。

特に水濡時にあっては、試験結果等からも明らかに、危険度が高いので細心の注意を払うことが必要である。

またこのような状況下の行動では、単にゴム長靴とかゴム手袋の単独使用でなく、これらの併用が賢明である。このことは最も当然のことであるが、守られずちょっとした不注意で取り返しのつかない災害を招いている例が多い。行動にあたっては、充電の確認、ゴム長靴、ゴム手袋等の使用等基本的なことに常に留意しなければならない。

なお以後各種消火方法ごとの感電危険度等について研究を進める予定である。