

UDC 621.315.61 : 614.896 : 678.01

高圧用ゴム手袋の実使用環境下での劣化

市川 健二*

Degradation of Rubber Insulating Gloves used in High Voltage Electrical Working.

by Kenji ICHIKAWA*

The previous reports^{1),2)} described the results of degradation of electrical and mechanical properties of rubber insulating gloves for use in high voltage electrical working, when they were degraded artificially by the application of voltage stress or ultraviolet radiation. This report presents the insulation performance and mechanical strength of them, after their actual use in high voltage electrical working on site for a certain length of time. Actual tests were conducted on high voltage distribution lines in cooperation with an electrical contractor, because the frequency of use is large and the environment is most severe.

Principal conclusions obtained are as follows :

(1) Allowable life of rubber gloves is considerably shorter than expected because of their mechanical damages, that is, the average length of life is about 265 days, i.e. 9 months.

(2) It seems that degradation of rubber gloves with the elapse of time is not so important as considered in the above result. There are however cases where a few gloves within one and a half years of use do not pass the voltage proof test of 10 kV. Therefore, it can be said that rubber insulating materials of gloves may contain degradation contents to the extent of some degrees.

(3) It was found that there is a close relation between the period of use within one year and the service day, and also between the service day and the total hours of wearing.

(4) The period of wearing per day is from 30 minutes to one hour at most, and about 75% of those periods are within about 2 hours.

(5) Electrical and mechanical properties of degraded gloves scattered on a wide range, but they showed the degradation tendencies fairly well.

(6) It was clearly demonstrated that the longer the period of use was, the lower the breakdown voltage became.

(7) Points which caused electrical breakdown are located on not only the trunk of glove, but also finger parts that are additionally covered by a protective glove for mechanical protection.

Keywords : Electrical working, Rubber insulating gloves, Degradation, Electrical breakdown

1. まえがき

高圧用ゴム手袋（以下、「手袋」と記す。）の絶縁性能や機械的強度について、今まで課電作用や紫外線照射作用による劣化傾向を調べて報告してきた¹⁾²⁾。ゴム絶縁材料の劣化が過電圧や日光といった要素に大きく影響されることは事実であるが、手袋は、電気機器や電力ケーブルのように静止した状態で常時課電や直射日光を受けるような環境でなく、高圧活線作業時に作業者の手に着用されて諸々の電気工事の作業に使われる過程で破損や劣化がなされる。そのため、手袋の劣化要素には、課電や紫外線だけでなく、使用中に起こる曲げや引張り、引掻き傷やよごれ、また、保管や運搬時の環境なども重要であり、実際には、これらの要素が重畳して劣化を促進している。

手袋の実使用環境下での経年劣化傾向を把握しておくことは、手袋の劣化診断、廃棄時期の目安及び手袋の改良などの資料を得るために、また、人工加速劣化試験で得られる劣化が、実使用環境下での程度の使用期間に相当するかを推測するために必要である。そこで、電気工事会社の協力を得て、手袋の実使用環境及びその環境下での手袋の絶縁性能や機械的強度の経年劣化傾向を調べた。

その結果、ゴム絶縁材料の経年劣化によって使用不能になるより使用中の破損によって使用不能になるケースが多く、手袋の使用寿命は非常に短いことがわかった。また、絶縁性能や機械的強度は、確率論的に考えると使用期間の増加に対して劣化傾向が認められること、ゴム絶縁材料の性質のうち、体積抵抗率、引張強さ及び伸び率などの低下割合は、先に報告した紫外線照射劣化の場合とはほぼ同じであるが、実使用環境下では誘電正接は一般に大きく、絶縁破壊電圧は低いこと、などが明らかになった。

2. 実験

2.1 試料（使用された手袋）の集収

手袋は高圧活線作業時に作業者の手に着用して使用されるものであり、実使用環境下での手袋は、単に使用開始日からの時間的経過を考慮して集収しただけでは必ずしも充分ではない。その主な理由は、使用頻度や作業内容等によって手袋の劣化度合が非常に異なること、また、

使用現場から経過時間の異なる使用中の手袋を集収しても、点検時の耐電圧不良や使用中の破損によって使用不能になったものが除かれ、真の劣化傾向や寿命を把握することができないためである。

使用頻度や作業内容の最も厳しい現場は、電気工事会社で架空配電線の保守や改修等の外線工事に従事する作業者が着用する場合である。そこで、某電気工事会社の協力を得て、24双の新品の手袋を24名の作業者に提供し、使用日時を記録しながら日常の業務に使用してもらい、3ヶ月ごとに2双（すなわち4個の試料）を回収（途中で使用不能になったものは、その都度回収）するモニター実験を3年間にわたり実施する計画で、手袋を集収することにした。

モニター実験で対象とした作業者の条件、実験の実施方法は次のとおりである。

(1) 作業者の条件

電気工事会社における外線工事は、責任者（班長）、第一線で高圧活線作業を行う者、補助的作業を行う者など数名の作業員から成る班単位で実行される。そこで、外線作業班の作業員であっても手袋の使用頻度や傷み具合は大いに異なるため、対象とした作業員は、使用頻度や作業内容が最も厳しい環境にある作業員、すなわち上記のうちで第一線で高圧活線作業に従事する者とした。

(2) モニター実験の実施方法

対象とした作業員は各作業班に1、2名であり、24双の手袋を得るためには、実験の実施範囲が2つの営業所の複数の作業班に及び、実施方法がかなり複雑になった。そこで、各営業所に実験担当の責任者を1名指名し、更に2つの営業所を総括した責任者を1名指名し、総括責任者の指示のもとに各営業所の責任者が各モニター対象の作業員と連絡をとり実施していくことにした。手袋の使用開始から回収までの方法をフローチャートで示すとFig. 1のとおりである。すなわち、20kV、1分間の耐電圧試験に合格した新品の手袋を24名の作業員に支給する。使用開始日は昭和56年12月1日である。作業員は規則に従って使用前の日常点検を行ったのち、異常がなければ活線作業に使用する。作業後に手袋の使用時間を記録用紙に記入し、使用中の破損がなければ他の手袋と同様に保管して、次の使用に備える。3ヶ月経過するごとに、前もって決められた回収予定の手袋を担当責任者が作業員から回収する。また、6ヶ月経過するごとに、他の手袋と一緒に定期自主検査を受ける。この検査は専門の検査員による外観検査と10kV、1分間の耐電圧試験であ

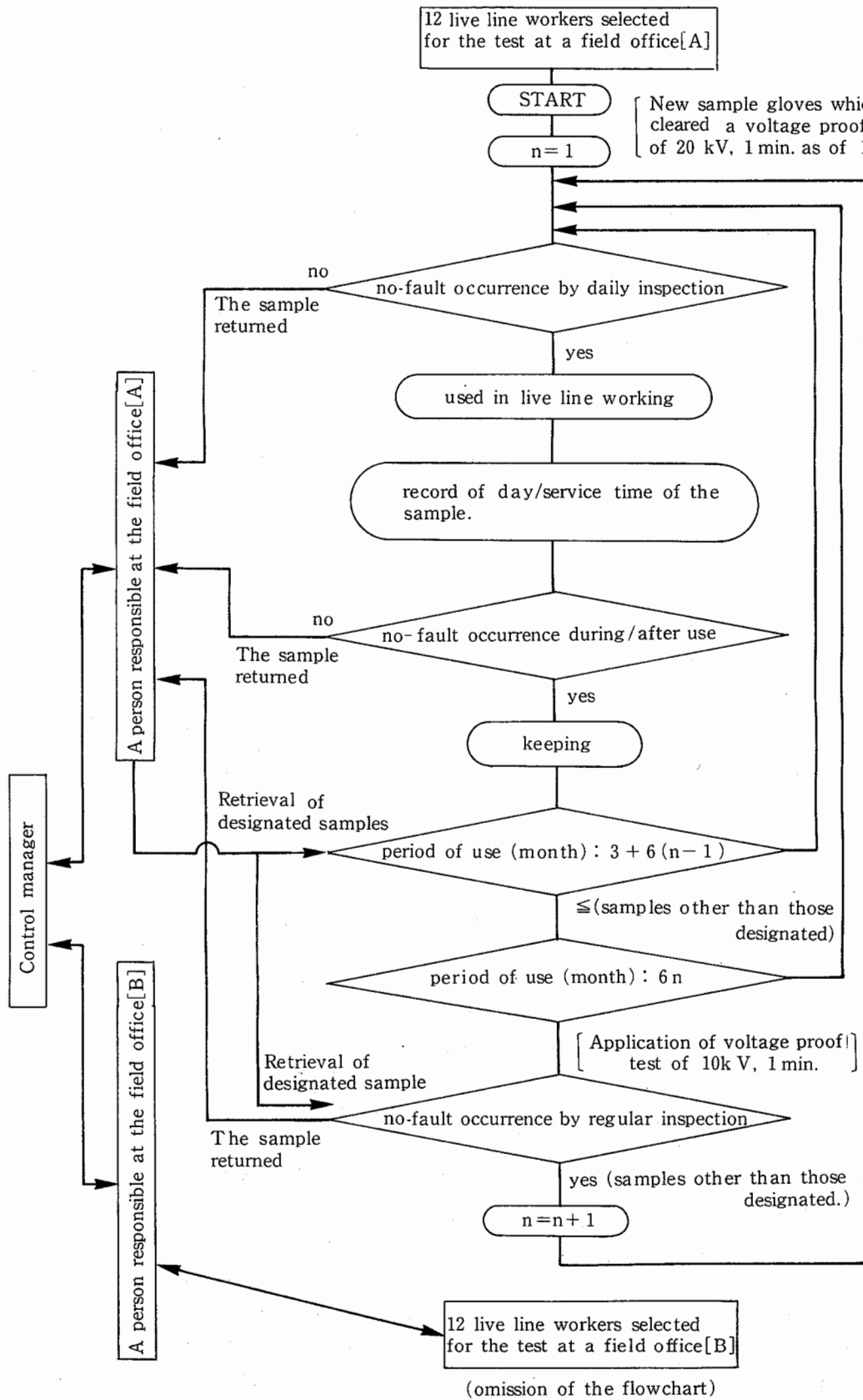


Fig. 1 Flow chart of monitoring the use of sample gloves
モニター実験の実施方法

る。このようにして、途中で使用不能になって返還された手袋や指定によって回収された手袋が、3ヶ月ごとに担当責任者、総括責任者を経て研究所に集められた。

なお、この実験に用いられた手袋は、当該電気工事会社が以前から採用している手袋とメーカー、形状とも全く同じのものであり、かつ、筆者が先に課電や紫外線照射による劣化傾向を調べた手袋とも同一のものである。また、実験に当っては、作業者に当研究所が調査に関与していることを伏せて、従来通りの使い方をしてもらえようように心掛けてもらった。

2.2 実験方法

回収された手袋は、まず水洗いして表面に付着したほこりや汚れを落したのち、1日以上陰干し、実験当日まで各専用の保管箱に入れて保管した。実験は、回収した手袋のうち水中試験法³⁾による測定が可能である手袋について、50Hzの交流電圧で手袋の状態での誘電正接や静電容量、及び抵抗成分の漏れ電流を測定したのち、絶縁破壊電圧を求めた。ここで、“水中試験法による測定が可能である手袋”とは、①回収指定日に良品として回収された手袋、②使用中又は点検時に破損又は耐電圧不良として回収された手袋であっても、手袋には右手と左手があり、このうち使用不能になっていない方の手袋、③大きな引掻き傷や袖縁の箇所の破損で回収されたものであっても、水中試験法が実施できる手袋のことである。なお、水中試験法による手袋と水電極との相対的な配置、誘電正接や静電容量、絶縁破壊電圧の測定方法は、先に報告した紫外線照射手袋の場合と同じである²⁾。抵抗成分の漏れ電流の測定は、誘電正接の測定と同様に、手袋に並列にSF₆ガス入りのコンデンサ（抵抗成分の漏れ電流が無視できるコンデンサ）を接続して、電圧印加時に手袋に流れる漏れ電流とコンデンサに流れる漏れ電流を差動増幅器を有する電流測定器（日本計測器製造所：LCD-3）に導いて行った。

次に、破損などの理由で使用不能として回収された手袋も含めて、手袋の胴部分（引掻き傷などのなるべく少ない箇所を選ぶ。）より、一辺が12cmの正方形の試料片を切り取り、体積抵抗率を測定した。続いて、この試料片からダンベル3号形の試験片を打抜いて、引張強さ、伸び率などの機械的強度を求めた。これらの測定方法も先の紫外線照射手袋の実験で用いた方法と同じである。

3. 実験結果及び検討

3.1 実使用環境下の手袋の使用状況と寿命

モニター実験の結果は、Table 1に示すとおりである。これによると、24双の手袋のうち使用可能な良品として指定日に回収された数は6双（試料No. 1, 2, 4, 7, 17及び21）であり、その他は短期間のうちに破損によって、また外観検査や耐電圧試験の結果として、使用不能になり寿命を終えている。これは、特に使用開始1年以内で著しく、14双もの手袋が使用不能になっており、この間の廃棄率は約67%に達している（この値は、最初の1年以内に3双の手袋を良品として回収しているため、この3双を24双から除いて算出した）。

以上のような実状から、第一線で高圧活線作業に従事する外線工事作業員にとって、手袋の使用寿命は短かく、手袋材料であるゴムの経年劣化はあまり考慮する必要がないように思われる。しかし、新品時20kV 1分間の耐電圧試験に合格した手袋が、最初の6ヶ月目の定期自主検査による10kV 1分間の耐電圧試験で1個破壊し、次の定期自主検査で2個、さらに次の定期自主検査で2個と、1年半の間に5双もの手袋が10kVの耐電圧値すら失っている。このことから、手袋に使われているゴム材料には、短期間のうちに絶縁耐力を低下させるような経年劣化があるとも考えられる。

また、Table 1で、使用期間とは、手袋を作業員に手渡した日（使用開始日：昭和56年12月1日）から回収した日までの経過日数を示し、使用日数とは、その経過日数の中で実際に手袋が使用された日数を示し、さらに着用時間とは、その使用日数の中で実際に手袋が作業員の手に着用された時間を示している。これらの結果から、手袋の使用状況や寿命について、次のようなことが明らかになった。

(1) 一日あたりの着用時間

Fig. 2は、第一線で高圧活線作業に従事する外線工事作業員が一日あたりに手袋を着用する時間のヒストグラムである。手袋の使用頻度が最も多い彼等ですら、一日の着用時間は30分から1時間以内が最も多く、全体の約75%以上は2時間以内で終了している。そのため、手袋の経年劣化に及ばず自然環境は使用時より保管・運搬時の条件が大きく影響してくると思われ、保管・運搬時の管理が大切である。

(2) 使用期間と使用日数の関係

Table 1 . Results of monitoring the use of sample gloves.
モニター実験の結果

Field office	Sample No.	Designated date of retrieval of the sample	Actual date of retrieval of the sample	Reasons of retrieval	Period of use (days)	Service day (days)	Total hours of wear (hours)
[A]	1	Feb. 28, '82	Feb. 28, '82	Retrieval on the designated day	100	26	38° 40'
	2	May 31, '82	May 31, '82	"	192	49	83° 30'
	3	Aug. 31, '82	May 8, '82	Breakdown by voltage proof test	168	43	70° 30'
	4	Nov. 30, '82	Nov. 30, '82	Retrieval on the designated day	375	53	80° 50'
	5	Feb. 28, '83	Dec. 9, '81	Failure occurrence during the use	19	5	14° 10'
	6	May 31, '83	Sep. 17, '82	Found fault by daily external check with eyes before use	301	40	67° 10'
	7	Aug. 31, '83	Aug. 31, '83	Retrieval on the designated day	649	54	100° 10'
	8	Nov. 30, '83	May 14, '83	Breakdown by voltage proof test	540	111	179° 20'
	9	Feb. 28, '84	Nov. 14, '82	"	359	50	94° 30'
	10	May 31, '84	May 14, '83	"	540	90	157°
	11	Aug. 31, '84	Sep. 26, '83	Found fault by regular external check with eyes	675	81	137° 20'
	12	Nov. 30, '84	Sep. 20, '82	"	304	80	164° 40'
[B]	13	Feb. 28, '82	Jan. 18, '82	Failure occurrence during the use	59	16	30° 45'
	14	May 31, '82	May 6, '82	"	167	57	102° 45'
	15	Aug. 31, '82	Apr. 14, '82	"	145	52	92° 05'
	16	Nov. 30, '82	Feb. 19, '82	"	91	35	65° 45'
	17	Feb. 28, '83	Feb. 28, '83	Retrieval on the designated day	465	82	89° 45'
	18	May 31, '83	Jan. 29, '82	Failure occurrence during the use	68	28	62° 30'
	19	Aug. 31, '83	Jun. 11, '82	"	203	70	139° 30'
	20	Nov. 30, '83	Nov. 16, '82	Breakdown by voltage proof test	361	120	181° 35'
	21	Feb. 28, '84	Feb. 28, '84	Retrieval on the designated day	830	136	166° 05'
	22	May 31, '84	Sep. 21, '82	Failure occurrence during the use	305	70	113° 30'
	23	Aug. 31, '84	Feb. 19, '82	"	91	34	56° 15'
	24	Nov. 30, '84	Nov. 16, '82	Found fault by regular external check with eyes	361	99	145° 50'

高圧用ゴム手袋の実使用環境下での劣化

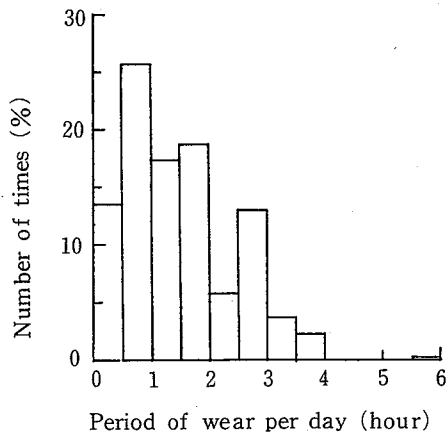


Fig. 2 Histogram of period of wear per day
一日あたりの着用時間のヒストグラム

Fig. 3は、使用期間と使用日数との関係を示したものである。これより、使用期間が1年以内であれば（使用期間300日以降の手袋に使用日数の多少少ないものがあるが）、使用期間と使用日数との間に良い相関関係が認められる。使用期間が300~365日で使用日数の極端に少ない値（約50日付近の3つ）を除いて、使用期間X（日）と使用日数Y（日）との間の回帰直線を求めると、次式のようになる。

$$Y = 0.27X + 4.86 \dots\dots\dots(1)$$

しかし、使用期間が1年以上経過した手袋の使用日数は(1)式のような傾向で増加せず、使用期間が300日から1年の間に回収された手袋とほぼ同じ使用日数である。これより、使用期間が1年以上経過した手袋であっても、作業時に受けた損傷や劣化の程度は、使用期間が1年程度のもとのほぼ同じであると推定される。また逆に、使用期間が1年以上ある手袋は、日頃の使用頻度があまり高くなく、その分だけ破損や劣化を受ける機会が少なく、使用期間が伸びたとも考えられる。

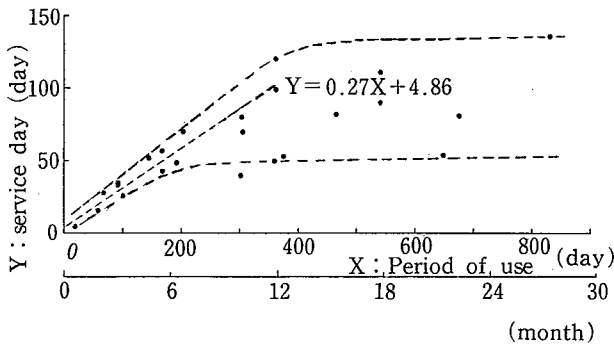


Fig. 3 Relation between period of use and service day
使用期間と使用日数の関係

(3) 使用日数と着用時間の関係

Fig. 4は、使用日数と着用時間との関係を示したものである。これらには良い相関関係が成り立ち、使用日数をY（日）、着用時間をZ（時間）として、その回帰直線を求めると、次式のようになる。

$$Z = 1.56Y + 9.64 \dots\dots\dots(2)$$

これら(1)及び(2)式を用いれば、使用期間の既知な手袋であれば、その手袋が実際に使用された日数や着用時間を推定することができる。例えば、使用期間が6ヶ月の手袋の使用日数は約54日、着用時間は約93時間となり、使用期間が1年以上の手袋の使用日数は約104日、着用時間は約171時間となる。

(4) 手袋の寿命

Fig. 5は、24双の手袋のうち指定日に良品として回収された6双を除いた18双について、手袋が破損や耐電圧

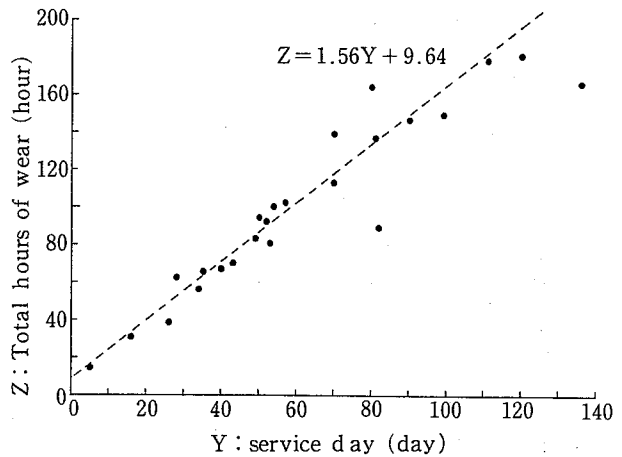


Fig. 4 Relation between service day and total hours of wear
使用日数と着用時間の関係

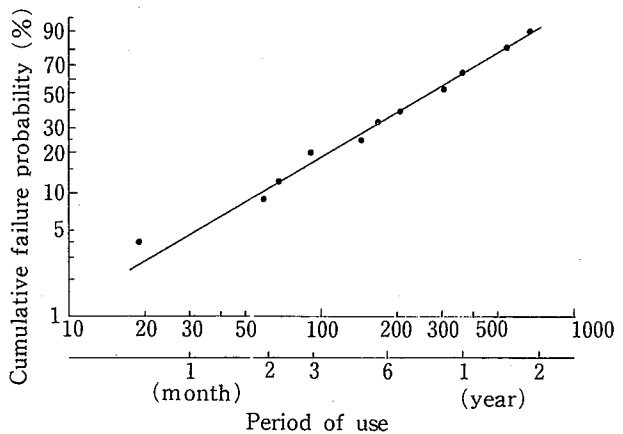


Fig. 5 Cumulative distribution of period of use until the gloves have been broken.
手袋が使用不可能になるまでの使用期間の累積頻度分布

不良などの理由で使用不能になるまでの日数(使用期間)をワイブル確率紙上にプロットしたものである。これは手袋の実使用環境下での寿命分布であり、その分布関数を求めると次式のようにになる。

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{350} \right)^{1.23} \right] \dots\dots(3)$$

ただし、t: 使用期間 (日)

これより、手袋の平均寿命は約265日(約9ヶ月)と推定される。

3.2 絶縁性能

(1) 誘電正接及び静電容量

水中試験法による測定が可能である手袋(2.2節参照)24個について、50Hzの交流電圧を0~10kVまで印加したときの誘電正接と静電容量を測定した。その結果は、どちらも紫外線照射手袋で測定された傾向と同様に、10kVまでの間に急激な変化はみられなかった。そこで、6kVにおける誘電正接を使用期間に対して示したものがFig. 6であり、同じく静電容量を示したものがFig. 7である。なお、Fig. 6及びFig. 7の中で示した使用期間0, すなわち新品時の値は、モニター実験に用いた手袋の使用前の値ではなく、この手袋と同一メーカーの同一製品で測定した新品時の値(平均値を示す白丸と最大と最小

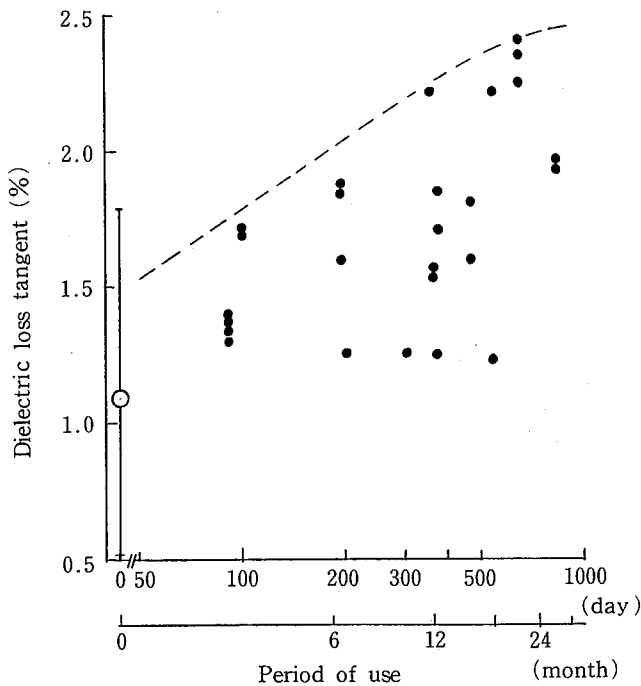


Fig. 6 Dielectric loss tangent vs. period of use. 使用期間に対する誘電正接

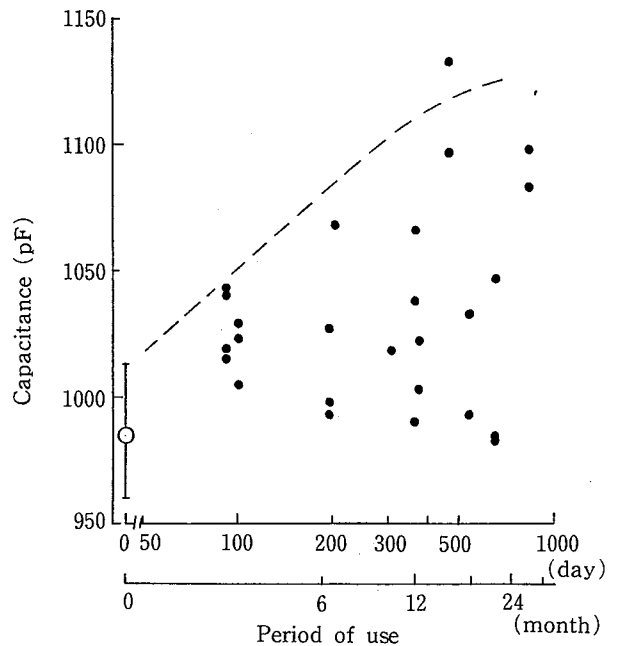


Fig. 7 Capacitance vs. period of use 使用期間に対する静電容量

を示す線で表わす)であるが、これをモニター実験に用いた手袋の新品時の値とみなしても大過ないと思われる。

これより、実使用の手袋の誘電正接や静電容量は、どちらも未使用の新品の場合に比べて増加し、劣化傾向がみられるが、使用期間の違いに対しては使用期間が長くても使用初期と変わらないものがあり、バラツキが大きくなる。そのバラツキの上限(劣化が最もよく現われているもの)は使用期間2年ぐらまで増加傾向を示し、2年目付近の誘電正接は約2.4%、静電容量は約1120pFであった。なお、紫外線照射手袋で測定された誘電正接は、紫外線1000時間以上でほぼ一定になる傾向を示し、その値の上限が約1.8%以下であったことと比べると、実使用の手袋では大分大きくなる。また、静電容量のバラツキの上限が約1120pFになる紫外線照射時間は約1500時間程度である。

(2) 抵抗成分の漏れ電流曲線

紫外線照射手袋の場合は印加電圧に対する部分放電の発生状況を観察したが、今回は、その代りに印加電圧に対する抵抗成分の漏れ電流を観察することにした。その理由は、手袋材料のように内部に気泡などをほとんど含まない材料の絶縁破壊が一般に部分放電より熱的要素に依存すると考えられるためである。

実験は、各手袋について50Hzの交流電圧を0~20kVまで徐々に上昇させ、続いて20~0kVへ徐々に降下させて、印加電圧に対する抵抗成分の漏れ電流(最大値)

曲線を得た。その結果は、この実験のあとで行った絶縁破壊試験で破壊電圧が22kV以上である手袋で記録された抵抗成分の漏れ電流曲線が、ほぼ同じ位置であった。そこで、この測定中に絶縁破壊を起こした3つの手袋と、このあとの絶縁破壊試験で28.1kVで絶縁破壊した手袋の計4個の手袋について、その抵抗成分の漏れ電流曲線を代表例として示したものがFig. 8である。図中、28.1kVで絶縁破壊した場合の曲線で、点線の箇所は、20~0 kVへ印加電圧を徐々に降下させた場合の曲線である。また、印加電圧8 kV以上の漏れ電流曲線に振動がみられるのは、水電極と水面から出た手袋との間で発生したコロナにより、コロナ電流が重畳されているためと思われる。

絶縁破壊電圧が13.8kVのように小さい場合は、抵抗成分の漏れ電流が大きく、その増加勾配も高いこと、破壊電圧が17.5kVの場合と、28.1kVの場合における抵抗成分の漏れ電流には、それ程の差がないことがわかる。また、20kV以前に絶縁破壊した3つの漏れ電流曲線において、破壊直前まで破壊の前駆現象がみられない。これより、抵抗成分の漏れ電流曲線から絶縁破壊電圧を正確に推定することは難しいが、15kV以下か、あるいは20kV以上か、といった凡その見当はできそうである。

(3) 体積抵抗率

Fig. 9は、手袋の胴部分より切取った試料片を用いて直流1 kV印加時の体積抵抗率(1分値)を測定した結果

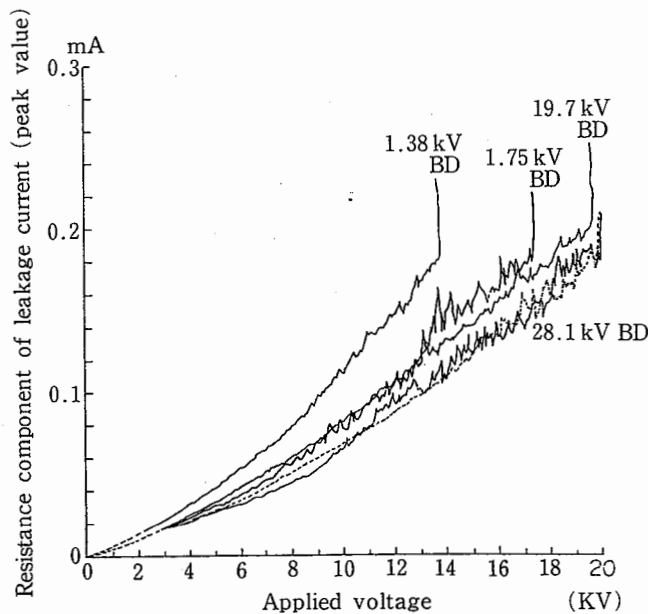


Fig. 8 Resistance components of leakage current when voltages are applied to glove. 印加電圧に対する抵抗成分の漏れ電流曲線

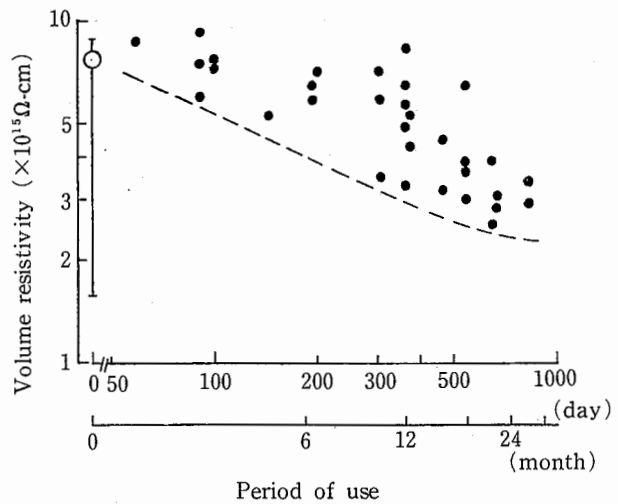


Fig. 9 Volume resistivities vs. period of use. 使用期間に対する体積抵抗率

である。試料片の収集に当っては破壊箇所や大きな傷のある箇所は避けたが、使用期間の長い手袋では胴の部分に無数の小さな傷があり、また変色しているものもある。

これより、体積抵抗率は使用期間が長いもので $2.5 \times 10^{15} \Omega \text{cm}$ 程度であり、紫外線照射試料で得られた体積抵抗率に近い値である。また、測定された体積抵抗率の傾向としては、誘電正接や静電容量の場合と同様に、使用期間が長くなる程より低い値を示すものが現われるが、使用初期の値とあまり変わらないものもある。

(4) 絶縁破壊電圧

Fig.10の黒丸(●)は、水中試験法による測定が可能な手袋(2.2節参照)について、絶縁破壊電圧を求めた結果である。図中、絶縁破壊電圧が10kVの位置に示された白丸(○)は、モニター実験の現場で6ヶ月以内ごとに行った定期自主検査の際の耐電圧試験(試験値:10kV,1分間)で破壊したデータを記入したものである。この結果から、実使用下での手袋の絶縁破壊電圧は新品時の絶縁破壊電圧より低下しているようであるが、バラツキが大きく、この図から明確な傾向を知ることはできない。そこで、データの数を増す目的で、モニター実験で回収した手袋以外に、同じ電気工事会社から同一メーカーの同一製品の使用中手袋を収集し(使用期間はほぼ明らかであるが、使用場所、使用状況は不明)、その手袋について絶縁破壊電圧を求めた。その結果をFig.10の中に黒塗りの三角印(▲)で示す。そして、更にこれらのデータを使用日数に対してプロットし直してFig.11を得た(黒塗りの三角印のものは(1)式を用いて使用日数を算出)。

これより、手袋の使用日数を、図中に点線で囲んだよ

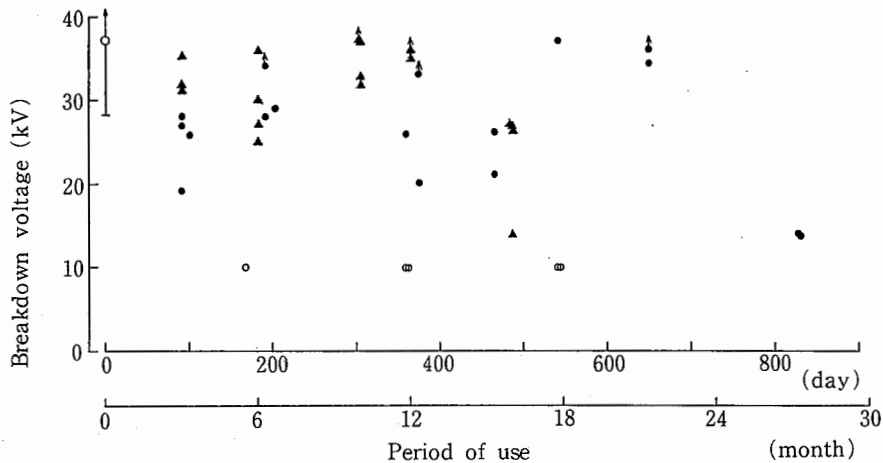


Fig. 10 Breakdown voltages vs. period of use.
使用期間に対する絶縁破壊電圧

うに、凡そ4つのグループ——26~34日、43~54日、82~90日、105~120日——に分けて、各グループの手袋について、絶縁破壊電圧の累積頻度分布を求めた。その結果が Fig. 12である。Fig. 12で白丸(○)で点線で示した直線は新品の手袋の累積破壊分布を示すが、実使用された手袋の累積破壊分布が新品のそれより左側に位置し、かつ、使用日数の多いグループの分布ほど、破壊確率の小さいところで、さらに左にあることがわかる。これを確率論的に考えれば、高い破壊確率を選べば使用日数が増した手袋でも絶縁破壊電圧が高く使用日数の少ない手袋のそれとほとんど変わらないが、低い破壊確率を選べば使用日数の増した手袋ほど絶縁破壊電圧が低下することを表わしている。このことは、Fig. 12より破壊確率20、30及び50%における破壊電圧を使用日数に対して示した Fig. 13で一層明白になる。これから破壊確率50%では使用日数が増しても破壊電圧はほとんど低下しないが、破壊確率20%では使用日数が増すにつれて破壊電圧が低下

し、例えば、使用日数105~120日、すなわち使用期間が約1年の手袋では、絶縁破壊電圧が10kVになると推定される。

(4) 破壊箇所

Fig. 14は、Fig. 10で示された手袋の絶縁破壊箇所を示したものである。同図の中でMの記号の付いたものは Fig. 10の黒丸(●)、すなわち、モニター実験で回収した手袋であり、Kの記号の付いたものは Fig. 10の三角印(▲)の手袋である。これらの手袋はすべて現場で使用されたものであるため、手首から先の指先の部分は保護手袋で覆われており、ほとんど傷はなく、また、よごれも

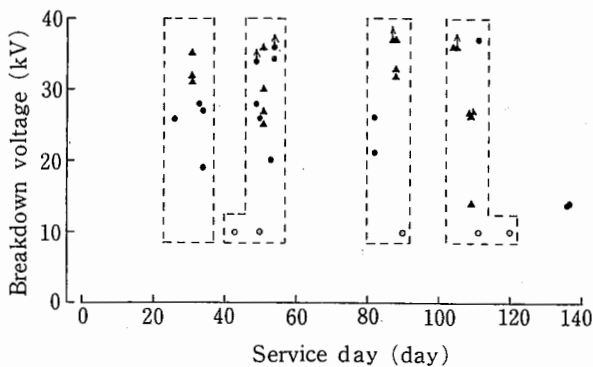


Fig. 11 Breakdown voltages vs. service day.
使用日数に対する絶縁破壊電圧

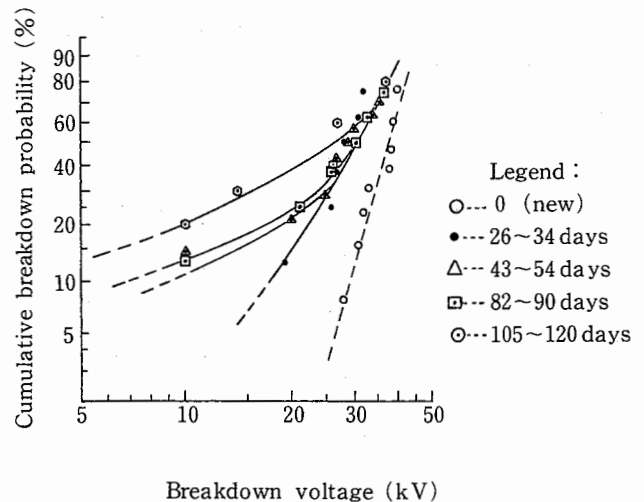


Fig. 12 Cumulative distributions of breakdown voltage of gloves classified by service day.
使用日数で分類された手袋の絶縁破壊電圧の累積頻度分布

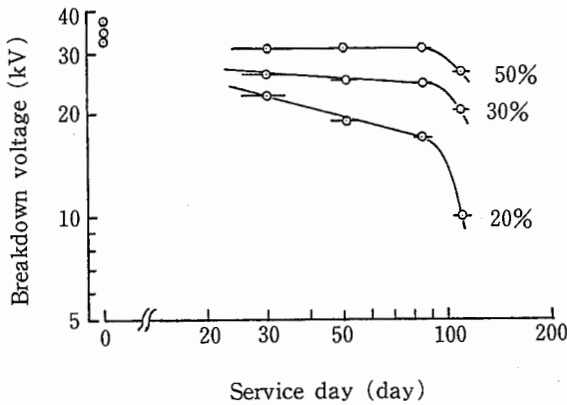


Fig.13 Breakdown voltage in consideration of breakdown probability.
破壊確率を考慮した場合の絶縁破壊電圧

少なく色も新品時の色に近いが、保護手袋で覆われていない胴部分においては、小さな引掻き傷が各所にみられ、また表面のよごれも著しく、使用期間の長いものは色もかなり黒っぽくなっている。

絶縁破壊は、モニター実験で回収した手袋（試料）24個のうち6個が、また、モニター実験以外の現場から回収した手袋（試料）20個のうち2個が傷のある箇所破壊した。傷のある箇所破壊する割合は、全数（絶縁破壊試験で破壊しないものを除いた40個）からみて20%で

あり、保護手袋で覆われない胴部分で破壊した試料（17個）からみても約35%（左手の試料 No. M-20と M-24は保護手袋で覆われた部分での傷のため除外）であった。また、保護手袋で覆われる手首から先の部分で破壊した試料は23個で、全数の約58%であり、特に指の部分で破壊した試料は15個と、手首から先の部分で破壊した試料の約65%を占めていた。以上のようなことから、手袋の絶縁破壊箇所を決める要素には、引掻き傷が一つの要素になるが、それが浅くて小さな傷であれば別の要素の方が大きいことがわかる。この別の要素として、ゴム絶縁材料内に含まれる添加剤やその分布状況などが考えられるが、これが破壊箇所を決定する要素であるならば、手袋が製造された新品の段階で破壊箇所が決まっていることになる。

(5) 漏れ電流値と絶縁破壊電圧の関係

手袋の絶縁破壊は、前に述べたようにゴム絶縁材料内部の部分放電が原因で破壊したと考えるより、電圧印加時の漏れ電流によって生じる熱的要素が大きいと考えられる。そこで、先の誘電正接 ($\tan \delta$) と静電容量 (C) の測定結果から、6 kV の電圧印加時に手袋に流れる容量成分の漏れ電流 (I_c) と抵抗成分 (損失成分) の漏れ電流 (I_r) を次式によって計算し、X軸に I_r 、Y軸に I_c 、Z軸に絶縁破壊電圧 (V_B) をとって、これら3つ間の関

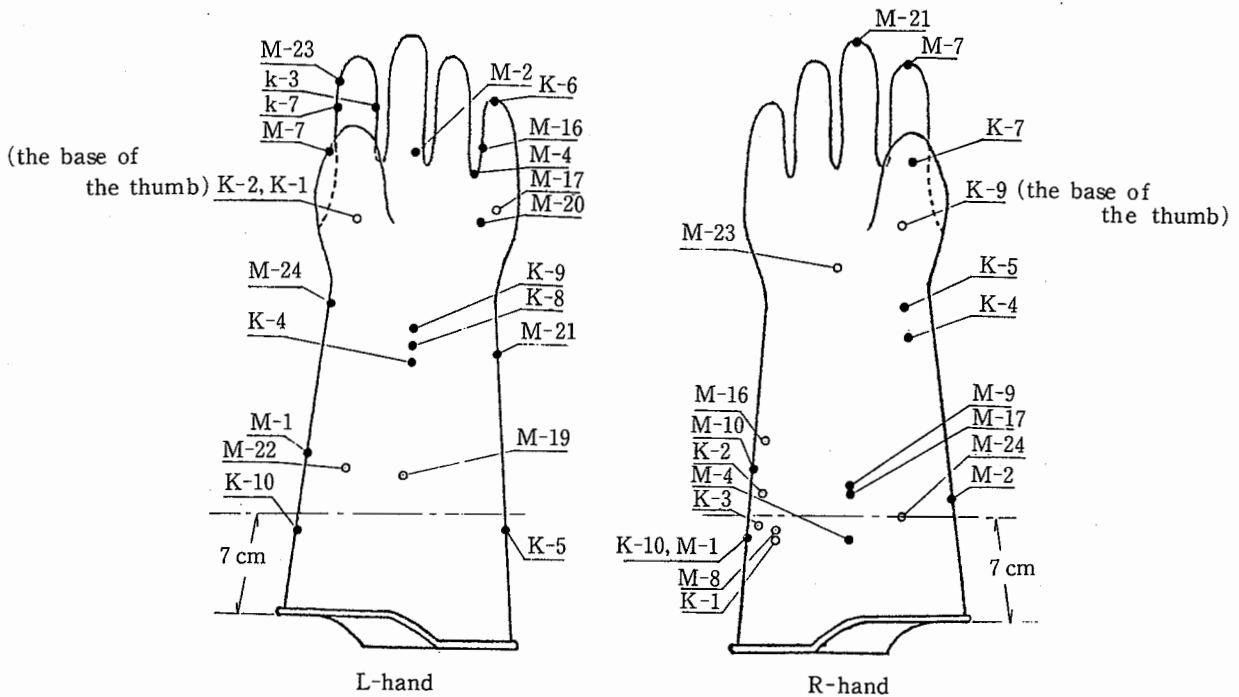


Fig.14 Points caused electrical breakdowns on samples.
(●...front, ○...back)
絶縁破壊箇所

係を示すと Fig.15のとおりである。なお、図にはモニター実験で得られた手袋(試料) 24個以外に、新品の手袋(試料) 12個の結果も示してあり、また、容量成分の漏れ電流と抵抗成分の漏れ電流の関係を X-Y 平面上に白丸で示した。

$$I_c = \omega CV \dots\dots\dots(4)$$

$$I_r = I_c \cdot \tan\delta = \omega CV \cdot \tan\delta \dots\dots\dots(5)$$

ただし、 $\omega = 2\pi f$: 角周波数

$V = 6,000$ (V) : 印加電圧

この結果より、新品の手袋においては、抵抗成分の漏れ電流が $10.9 \sim 25.3 \mu A$ 、誘電正接が $0.5 \sim 1.39\%$ 、絶縁破壊電圧が $31 \sim 40 kV$ 以上であるが、現場で使用された手袋では、漏れ電流が新品の手袋のそれより大きくなり、絶縁破壊電圧の下限も低下する。また、漏れ電流は単に抵抗成分だけでなく容量成分の漏れ電流も増加する傾向がある。そこで、これらの関係を使用期間が短い場合と

長い場合に分けて眺めると、使用期間が $91 \sim 465$ 日までの比較的短い場合は、抵抗成分の漏れ電流が $24 \sim 35.6 \mu A$ 、誘電正接が $1.25 \sim 1.88\%$ 、絶縁破壊電圧の下限が $17.5 kV$ であったが、使用期間が $540 \sim 830$ 日までの比較的長い場合は、抵抗成分の漏れ電流が $38.6 \sim 47.3 \mu A$ 、誘電正接が $1.81 \sim 2.35\%$ 、絶縁破壊電圧の下限が $14 kV$ になっている。このことから、現場で長く使用された手袋ほど絶縁耐力が低下し、その傾向が抵抗成分の漏れ電流や誘電正接の増加として表わされるといえる。

3.3 機械的強度

(1) 引張強さ、伸び率および硬さ

Fig.16は引張強さを測定した結果を、Fig.17は伸び率を測定した結果を示したものである。測定は一つの試料片から3個の試験片を得て行ったため、各点は3つの平均値(●)と最大と最小を示す線で表わされている。これ

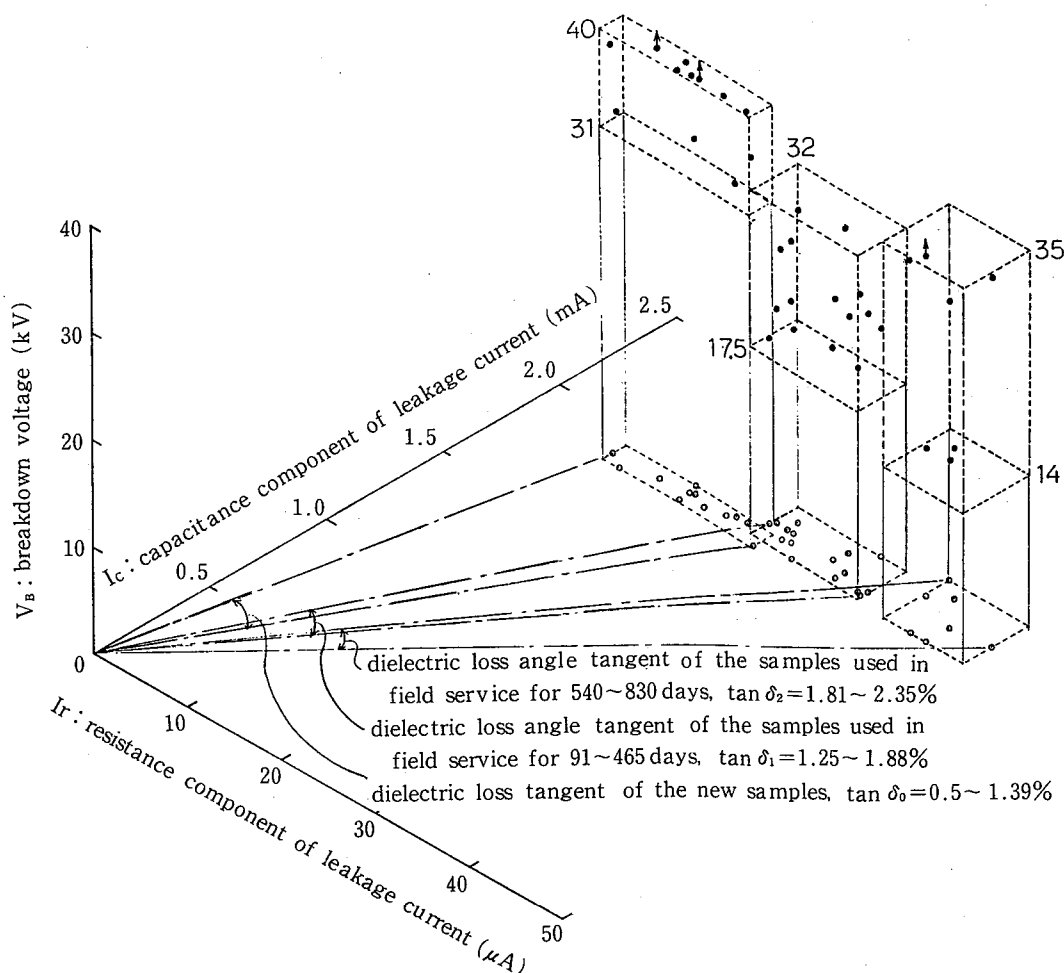


Fig.15 Relation between resistance component, capacitance component of leakage current and breakdown voltage.
 抵抗成分及び容量成分漏れ電流と絶縁破壊電圧の関係

らの性質は未使用の新品に比べて全体的に低下しているが、使用期間の違いに対しては、誘電正接や静電容量の場合と同じく、使用期間が長くても使用初期と変わらないものがあり、バラツキが大きい。特に、引張強さに関して、そのバラツキの下限(劣化が最も現れているもの)をとれば、使用期間1年ぐらいまでは使用期間の増加と共に低下し、その後はあまり低下せず、約130kg/cm²であった。なお、この値を紫外線照射試料で測定された引張強さの下限と比べると、紫外線1,000時間以上照射した試料で現われる。また、伸び率に関しては、そのバラツキの下限をとっても使用期間の違いによる変化が明確に現われず、約620%付近であった。この値を紫外線照射試料で測定された伸び率の下限と比べると、紫外線1,000時間

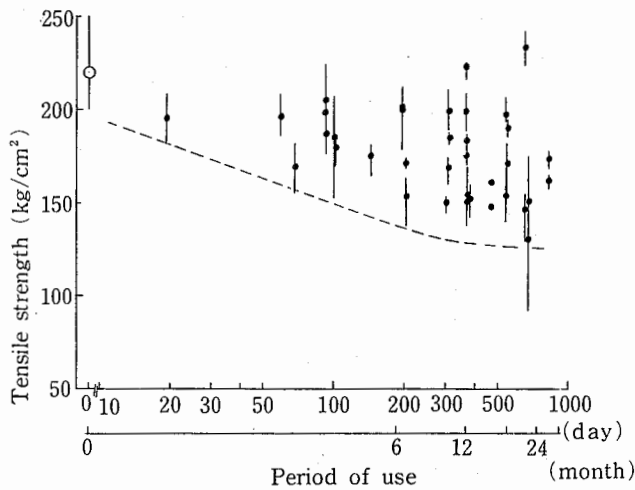


Fig. 16 Tensile strength vs. period of use.
使用期間に対する引張強さ

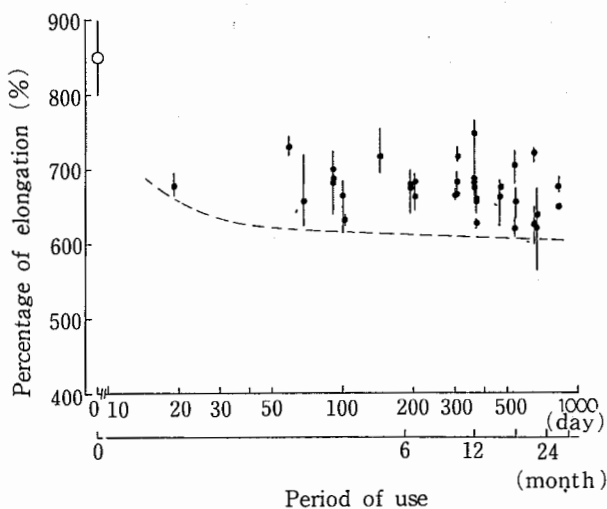


Fig. 17 Percentage of elongation vs. period of use.
使用期間に対する伸び率

以上照射した試料で現われる。

Fig.18は硬さを測定した結果である。硬さは、未使用の新品に比べて一般に硬化しているが、使用期間の違いに対しては、引張強さや伸び率などの性質と同じく、使用期間が長くても使用初期と変わらないものがあり、バラツキが大きい。そのバラツキの上限(硬化が大きく劣化の現れているもの)は、使用期間が約1年以上のもので34~35である。この値を紫外線照射試料で測定された硬さの上限と比べると、紫外線2,000時間以上の試料で現われる。

(2) 引張強さと伸び率の関係

Fig.19は引張強さと伸び率の関係を示したものである。これより引張強さと伸び率の間には相関性がみられ、引張強さが低下すれば伸び率も低下する。また、この関係は紫外線照射試料で得られた引張強さと伸び率の関係とほぼ同じであった。

(3) 機械的強度と電気的性質の関係

引張強さや伸び率の測定は、材料から試験片を打抜いて、それを引張試験装置によって破断させなくては測定できない。そこで、手袋のままで測定できる誘電正接や静電容量などの電気的性質から、これら機械的強度を推定できれば、手袋の安全管理の上から好都合である。その結果は、Fig.20に示すように、静電容量と引張強さの間に多少の相関性があることが認められた。この相関性は静電容量が小さいほど引張強さが大きくなる負の相関関係である。紫外線照射試料においては漏れ電流と引張強さの間に、これと同様な負の相関性がみられた⁽²⁾。漏れ電流は先に述べたように容量成分と抵抗成分があるが(3.2節の(5)参照)、漏れ電流量の大きさからみれば大部分が容量成分であり、その容量成分の漏れ電流は(4)式から静

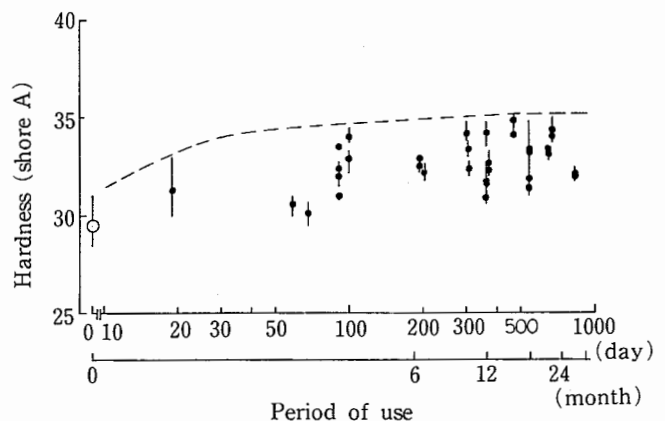


Fig. 18 Hardness vs. period of use.
使用期間に対する硬さ

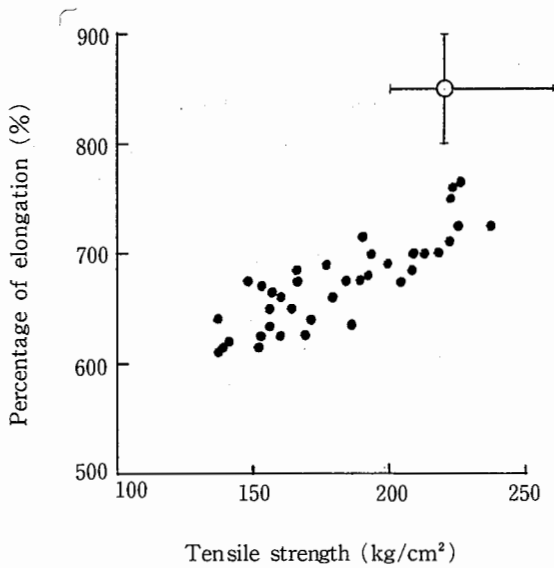


Fig.19 Relation between tensile strength and percentage of elongation.
引張強さと伸び率の関係

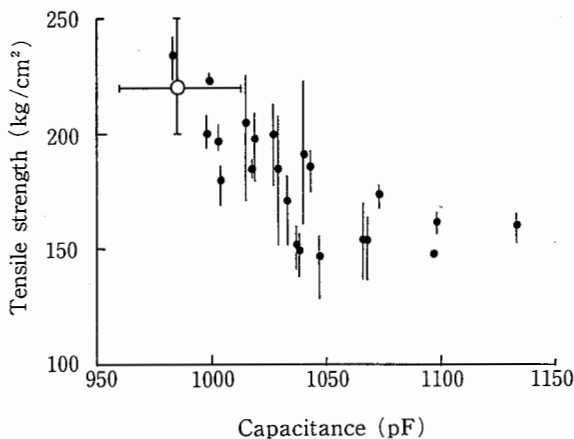


Fig.20 Relation between capacitance and tensile strength.
静電容量と引張強さの関係

電容量の大きさに比例する。そのため手袋に使用されているゴム絶縁材料には、機械的強度を示す引張強さと非破壊試験で測定できる静電容量や漏れ電流といった電気的性質の間に相関性があることが認められる。

4. ま と め

高压用ゴム手袋の使用頻度が最も高く、使用環境が最も厳しい環境は、外線工事で、その第一線で高压活線作業に従事する作業者が着用する場合である。そこで、某電気工事会社の協力を得て、そのような作業者を対象に

使用中の手袋を回収するモニター実験を行い、実使用環境下での手袋の使用状況、破損状況及び絶縁性能や機械的強度の劣化傾向を調べた。

調査・研究の結果を整理すると、次のとおりである。

(1) 手袋は使用中の破損などで1年以内に約67%が使用不能になり、手袋の使用寿命は一般に短い。モニター実験の結果から使用寿命の平均値を求めると約265日(約9ヶ月)であった。

(2) 使用寿命が短いためゴム絶縁材料の経年劣化はあまり重要でないように思われるが、1年半の間に23双中5双もの手袋が10kVの耐電圧試験で不良になっており、手袋に使われているゴム絶縁材料には、短期間のうち絶縁耐力を低下させるような経年劣化があるとも考えられる。

(3) 手袋の使用状況は、使用期間が1年以内であれば、使用期間と使用日数(使用期間中に実際に使用された日数)との間に良い相関関係が認められるが、使用期間が1年以上経過しても(この実験では約2年まで)、使用日数はほとんど増加しない。そのため、1年以上経過した手袋でも、作業時に受けた損傷や劣化の程度は使用期間が1年程度のものと同じであるとみなせる。

(4) 使用頻度の最も高い作業者でも、1日当りの着用時間は30分～1時間以内が最も多く、大部分は2時間以内で終了する。そのため、ゴム絶縁材料の経年劣化には保管・運搬時の環境も大きいと思われる。また、使用日数と全着用時間との間には良い相関関係がある。

(5) 現場で使用された手袋の誘電正接や静電容量は使用期間が長くても使用初期と変わらないものがあり、バラツキが大きい。しかし、そのバラツキの上限(劣化が最もよく現われているもの)をとれば、使用期間2年ぐらまでは増加し、劣化傾向を示す。

(6) 印加電圧に対する抵抗成分の漏れ電流から、絶縁破壊電圧が非常に大きいか、小さいかの推定は可能である。

(7) 体積抵抗率も使用期間の違いに対してバラツキが大きい。劣化が最もよく現われている値をとれば、使用期間が長くなると共に低下する。その値は2年程度使用されたもので約 $2.5 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ である。

(8) 絶縁破壊電圧も使用期間の違いに対してバラツキが大きい。使用日数で4グループに分け、その中で確率的に処理して傾向を調べると、明らかに、使用日数が増すほど、絶縁破壊電圧の低い手袋が現われる確率が高くなる。この確率曲線から、使用日数105～120日、すなわち使用期間約1年の手袋では、絶縁破壊電圧が10kV

になるものが20%の確率で発生すると推定される。

(9) 絶縁破壊試験による破壊箇所は、小さな引掻き傷やよごれのひどい胴部分とは限らず、半数以上が保護手袋で覆われた手首から先の部分であった。これより、絶縁破壊試験で破壊する箇所、すなわち絶縁材料の中での最弱箇所は、少々の小さな傷程度であれば、これ以外の要素——材料が新品の段階で有している要素——で決定される。

(10) 抵抗成分漏れ電流、容量成分漏れ電流及び絶縁破壊電圧の関係を3次的に眺めると、現場で長く使用された手袋ほど絶縁耐力が低下し、その傾向が抵抗成分の漏れ電流や誘電正接の増加として表われる。

(11) 引張強さ、伸び率および硬さは、新品のものより一般に劣化した性質を示すが、使用期間の違いに対しては、誘電正接や静電容量などの電気的性質と同じくバラツキが大きく、使用期間の長いものでも使用初期のものと同じ性質を示すものがある。劣化が最も現われているもので、引張強さは130kg/cm²、伸び率は620%、硬さは約34であった。

(12) 引張強さと静電容量の間には相関性がみられ、静電容量が増加すると引張強さが低下する傾向がある。これより、非破壊の状態での材料の機械的強度を推定できそうである。

謝 辞

本研究は、東京電力(株)安全部、(株)関電工の方々の過大な協力を得て行ったものである。ここで関係各位に深く謝意を表します。(昭和61年2月5日受理)

参考文献

- (1) 市川：産業安全研究所研究報告，RR-31-2，1983.
- (2) 市川：産業安全研究所技術資料，TN-84-2，1984.
- (3) 日本規格協会：JIS T 8010.