

RIIS-TN-84-2

UDC 615.477.8 : 621.315.61 : 614.896 : 535-31 : 620.169

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1984

高圧用ゴム手袋の紫外線照射による劣化

市川 健二

労働省産業安全研究所
MINISTRY OF LABOUR
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

高圧用ゴム手袋の紫外線照射による劣化

市 川 健 二

Ultraviolet Degradation of Rubber Insulating Gloves for Use in High Voltage Electrical Working

by Kenji Ichikawa*

Rubber gloves for use in high voltage electrical working are degraded with various degradation factors in service. As the various degradation factors, voltage, sunshine (ultraviolet), heat, air, injury, tensile force, bending etc. are well known. It is also said that rubber materials are degraded with oxidization resulting from the absorption of ultraviolet ray or from ozone generated by ultraviolet and oxygen in air. This report describes the results of degradation of electrical and mechanical properties of rubber gloves or rubber materials, when ultraviolet is irradiated on them.

Summaries of the experimental results are as follows :

- (1) Partial discharges or sudden increase of current (a phenomenon that the leakage current increases suddenly at a certain applied voltage) was not observed on these rubber gloves. Furthermore, it was found that the rubber material of gloves has no defects such as voids in it.
- (2) The dielectric loss tangent of rubber gloves was about 1.0~1.2%, showing that it is larger than that of natural rubber material. This is caused by the fact that water electrodes have been used in this measurement. On the other hand, capacitance of rubber gloves is usually about 1000 pF, and it increases as the irradiated volume of ultraviolet increases.
- (3) Properties such as leakage current, surface resistivity, tensile strength, elongation and contact angle showed the degradation in the range of about 2000 hours of irradiation of ultraviolet, but the degradation halts over the duration. Properties such as volume resistivity and electrical breakdown voltage did not affect the degradation irrespective of the amount of ultraviolet. As the result, the degradation due to ultraviolet occurred only on the surface of rubber material, and not developed inside of it.
- (4) The correlative relations exist between electrical and mechanical properties. Thus, the measurement of electrical properties makes the estimation of the degradation of mechanical properties possible to some extent.
- (5) The degradation due to ozone causes the numerous cracks on the surface. These cracks become wider and deeper as the irradiated times of ultraviolet are increased.
- (6) Electrical breakdown paths on rubber gloves do not develop straight forward between the water electrodes, and carbonized particles adhere to the inside wall of the paths.
- (7) In this experiment, much more ultraviolet was irradiated on rubber gloves from short distance than that irradiated in service, but the gloves were not degraded greatly. Actually the degradation will be influence not only by ultraviolet, but also by other factors such as injury, tensile force, bending etc., leading to faster degradation.

* 電気研究部 (Electrical safety reseach division)

1. ま え が き

高圧用ゴム手袋（以下、ゴム手袋と記す）は、高圧活線作業などにおいて、作業者の手・前腕部分を感電から保護するために着用される絶縁用保護具であり、製造時は勿論のこと、使用期間中においても絶縁性能が常に良好な状態に維持されなければならない。しかし、ゴム手袋はすべてがゴム材料で作られた肉厚が約 2 mm の絶縁物であり、材料の経年劣化や使用中の損傷によって使用と共に絶縁性能は低下してくる。そこで、ゴム手袋の絶縁性能が失われる前に、その劣化程度を予測し、廃棄時期を予測することが大切になる。そのためには、使用期間中に受ける各種要因によるゴム手袋の電氣的及び機械的性質等の劣化傾向を把握しておく必要がある。

劣化を起こす要因としては、外傷、電圧、空気中の酸素、日光（特に紫外線）、熱などがある。これらのうち電圧ストレスによるゴム手袋の寿命については前報⁽¹⁾で報告した。今回は紫外線照射によるゴム手袋及びゴム手袋材料の劣化傾向を調べた。その結果、表面的には紫外線光による酸化劣化、オゾンによる亀裂などが起り、引張強さや伸び率などの低下、漏れ電流の増加や表面抵抗率の低下などが認められたが、紫外線のみではゴム材料内部まで劣化が浸透せず、肉厚が約 2 mm 以上あるゴム手袋では、多量の紫外線を照射しても、これらの性質の低下度合は少ないことが明らかになった。

2. 実験方法及び試料

2.1 紫外線照射方法

東芝製殺菌ランプ GL-15 (100 V, 15 W) を図 1 に示すように配置した紫外線照射装置を作り、同図に示すようにこれにゴム手袋を吊して紫外線を照射した。同ランプの紫外線の波長は約 254 nm であり、ランプからの距離と紫外線放射照度との関係は図 2 のとおりである⁽²⁾。紫外線照射量は紫外線放射照度と照射時間の積として算出できるので、ゴム手袋への紫外線照射量の変化は、照射時間を 500, 1000, 2000, 3000 及び 5000 時間と変えることによって行った。本装置ではランプからゴム手袋までの距離が約 2~6 cm と短距離であるため、ゴム手袋表面への紫外線放射照度を付近の 3 光源からの放射照度の合計として計算すると、ゴム手袋表面への 1 時間当りの紫外線照射量は約 0.57~0.28 W/cm² となる。そ

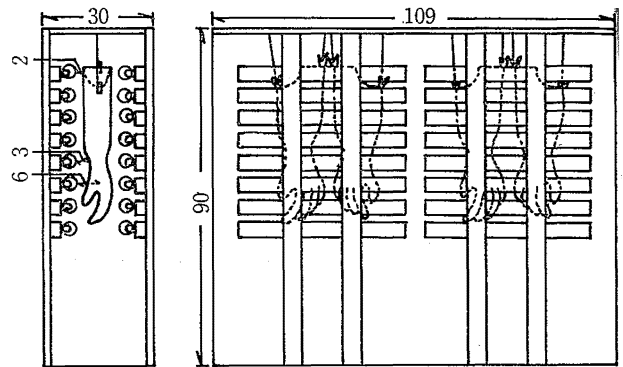


図 1 紫外線照射装置（単位：cm）

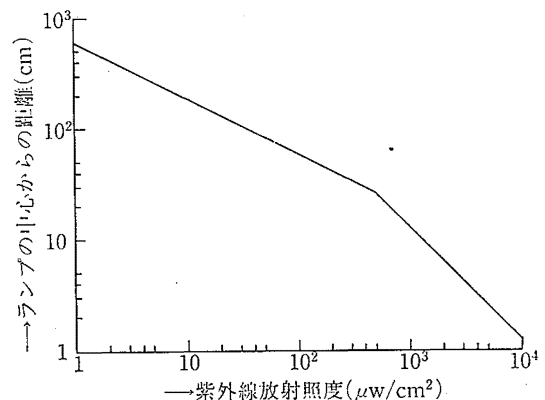


図 2 ランプ GL-15 の紫外線放射照度

れ故、紫外線が 500, 1000, 2000, 3000 及び 5000 時間照射されたときの照射量は表 1 に示すような値になる。

また、太陽光から放出される紫外線の中で地球表面上に到達するものは大部分が 300~400 nm の波長のものであり、それより短い波長のものは地表に至る途中で大部分吸収消滅する。そのため本実験で用いた紫外線はこの点で現実と異なるが、短波長の方が光量子の持つエネルギーが高く、ゴム物質に与える劣化が大きい⁽³⁾ことなどを考慮して、人工加速劣化試験の光源として用いた。それ故、この照射量がどのぐらいの暴露日数になるかは重要な意味を持たない（また、ゴム手袋自身も一日中屋

表 1 照射量と推定暴露日数

照射時間 (時間)	照射量 (W/cm ²)	推定暴露日数 (月)
500	285~140	6.5~3.2
1000	570~280	13.0~6.4
2000	1140~560	26.0~12.7
3000	1710~840	38.9~19.1
5000	2850~1400	64.8~31.8

外に晒されていることはない)が、一つの目安として、この照射量を太陽光からの紫外線照射量に換算したときの暴露日数を推定すると、同じく表1に示すような日数になる。これは、千葉県銚子における日本ウェザリングセンターによる太陽光からの紫外線照射量の観測データ⁽⁴⁾や日本気象協会による全天日射量マップ⁽⁵⁾から、月平均の紫外線照射量を約 44 W/cm^2 として計算した値である。

2.2 電圧印加方法

誘電正接、漏れ電流、絶縁破壊電圧の測定や部分放電の観測のためにゴム手袋に電圧を印加する方法は、JIS T 8010「絶縁用保護具・防具類の耐電圧試験方法」に規定された水中試験法によった。ゴム手袋と水電極の配置状況を図3に示す。水電極には水道水(導電率 0.24 mS/cm)を用い、ステンレス製の水槽を接地し、ゴム手袋内の水電極に入れたリード線に耐電圧試験装置より交流 50 Hz の高電圧を印加した。なお、水面の位置は、絶縁破壊試験の際に閃絡による測定不能を極力少なくするため、ゴム手袋の縁から 7 cm (沿面距離 14 cm) とした。またゴム手袋が水槽内でふらつかないように、ゴ

ム手袋の手首のくびれた部分にホルダーをはめて固定した。水槽は塩化ビニル製の容器と蓋で外周を絶縁し、更に厚さ 1 cm の絶縁板と高圧がいしで大地から絶縁した。

2.3 試料(ゴム手袋)

誘電正接、漏れ電流、絶縁破壊電圧の測定や部分放電の観測にはゴム手袋を試料とし、体積抵抗率や表面抵抗率の測定はゴム手袋の胴部分から一辺が 12 cm の正方形の試料片を切取って、それを試料とした。引張強さ、伸び率の測定は、この正方形の試料片よりダンベル3号形の試験片⁽⁶⁾を打抜き、それを試料とした。またこの他、接触角の測定、トラッキング試験に用いた試料は、正方形の試料片からダンベル3号形の試験片を打抜いた残りの部分より採取した。

なお、ゴム手袋は、JIS T 8112「電気用ゴム手袋」の種類分けによれば、C種(3500Vをこえ、7000V以下の作業に使用するもの)で、その外形寸法が 405 mm のものである。その外観を写真1に示す。また、ゴム手袋の材料は90%以上が天然ゴムで、残りが加硫剤、加硫助剤、老化防止剤、充填剤、顔料などから成り、その製造方法は、これら原料を揮発油で溶かしてゴム糊にし、この中に手型を数回浸漬して所定の厚さの膜を作り、それを乾燥して製作される。C種電気用ゴム手袋の肉厚は、JIS T 8112によれば、手のひら・甲・指の部分で $1.3 \sim 2.4 \text{ mm}$ 、その他胴・指の先端部分で $1.3 \sim 2.7 \text{ mm}$ と規定されているが、この実験に用いたゴム手袋は、胴部分の厚さが $2.0 \sim 2.3 \text{ mm}$ であった。

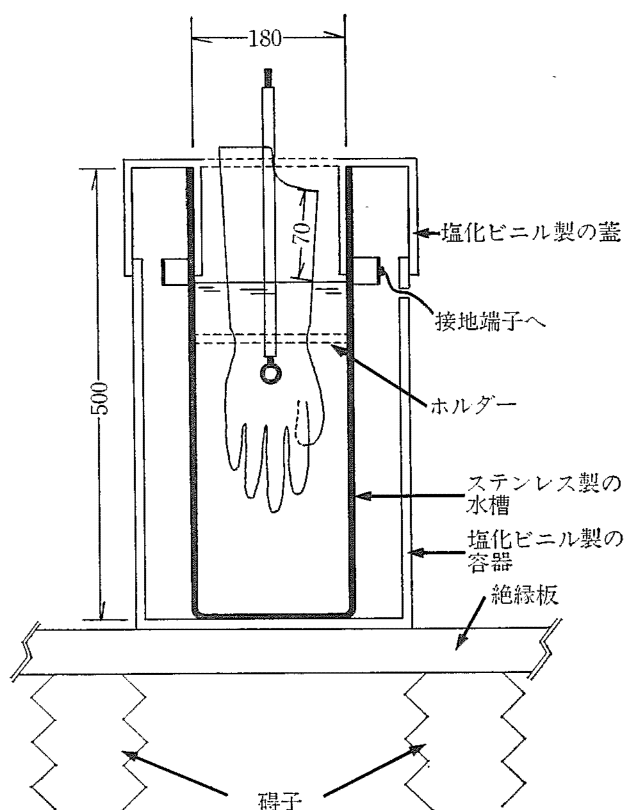


図3 水槽と高圧用ゴム手袋の配置 (単位: mm)

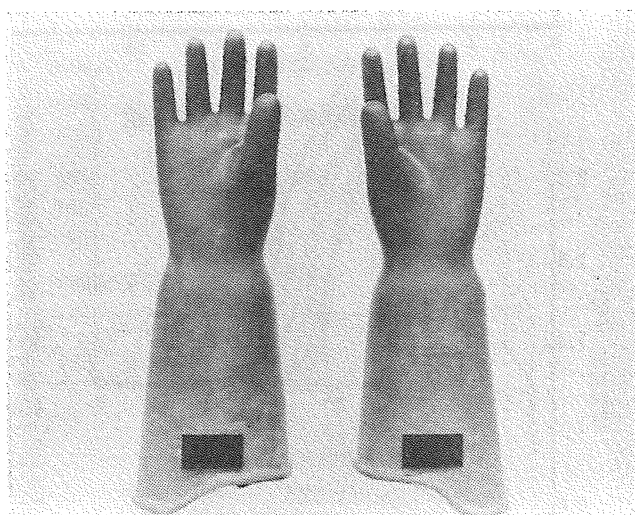


写真1 高圧用ゴム手袋の外観

3. 実験結果及び考察

3.1 電気的性質

(1) 誘電正接及び静電容量

絶縁物に交流電圧を印加したとき絶縁物に流れる漏れ電流は、一般に充電電流成分と損失電流成分から成る。誘電正接 $\tan \delta$ とは、漏れ電流ベクトルと充電電流のベクトルのなす角（誘電損角）の正接のことであり、その値は絶縁物の原子、分子の結合状態、不純物の残留あるいは浸入、劣化生成物（例えば酸化物、水分など）の種類や量などによって、その固有の値からずれてくる⁽⁷⁾。

紫外線照射ゴム手袋（照射時間 0 のゴム手袋とは未照射の新品をさし、文中では以下未劣化ゴム手袋と記す）について、印加電圧 12 kV までの誘電正接を測定した。その結果は、印加電圧に対して一般に 6 kV 付近まであ

まり変化せず、それ以上の電圧で少しずつ増加する傾向を示す（一例として印加電圧に対する誘電正接の関係を図 4 に示す）。そこで、印加電圧 6 kV と 10 kV において紫外線照射の影響を調べた。その結果、誘電正接は、図 5 に示すように、500 時間照射した時点で未劣化ゴム手袋のそれより多少大きくなるが、それ以上の照射時間に対しては更に増加する傾向がなく、ほぼ一定であった。なお、天然ゴムの誘電正接は一般に 0.3~0.5% であると言われる⁽¹⁴⁾が、その値より大きい。これはゴム手袋が天然ゴムの他に充填剤や顔料等の添加物を含んでいることのほか、ゴム手袋の誘電正接の測定に水電極を使用するため、水分を吸収した影響も多分にあると考えられる。また、誘電正接と同時に測定された静電容量は、

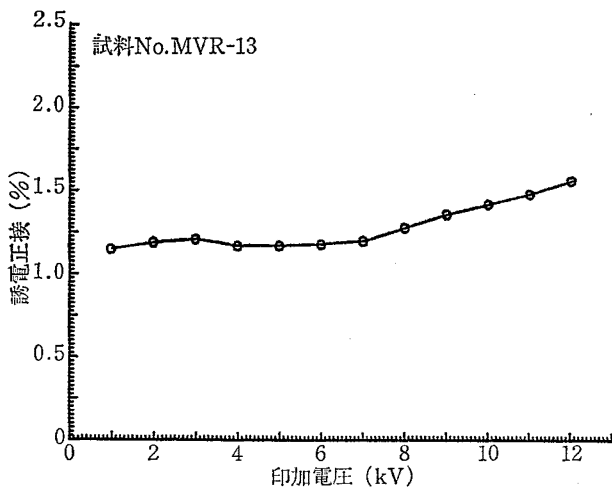


図 4 印加電圧に対する誘電正接

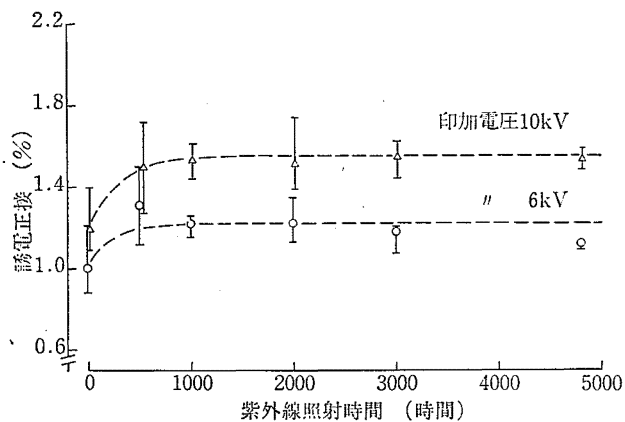


図 5 紫外線劣化ゴム手袋の誘電正接

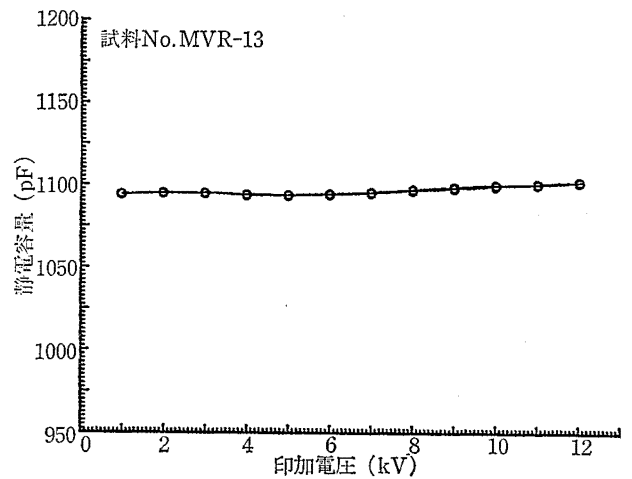


図 6 印加電圧に対する静電容量

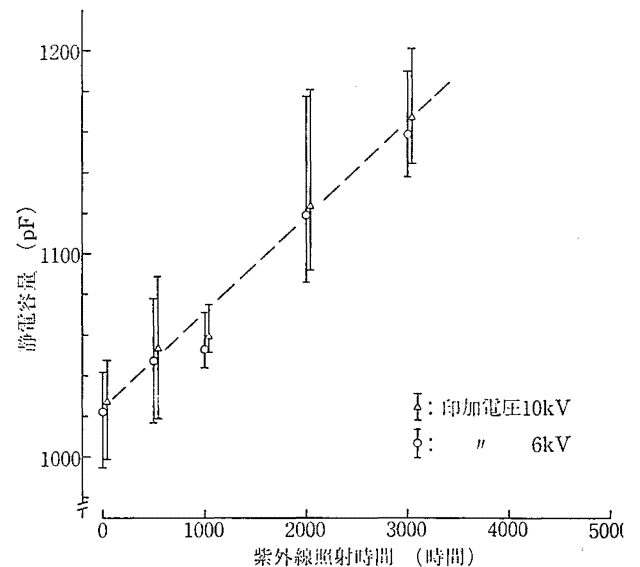


図 7 紫外線劣化ゴム手袋の静電容量

高圧用ゴム手袋の紫外線照射による劣化

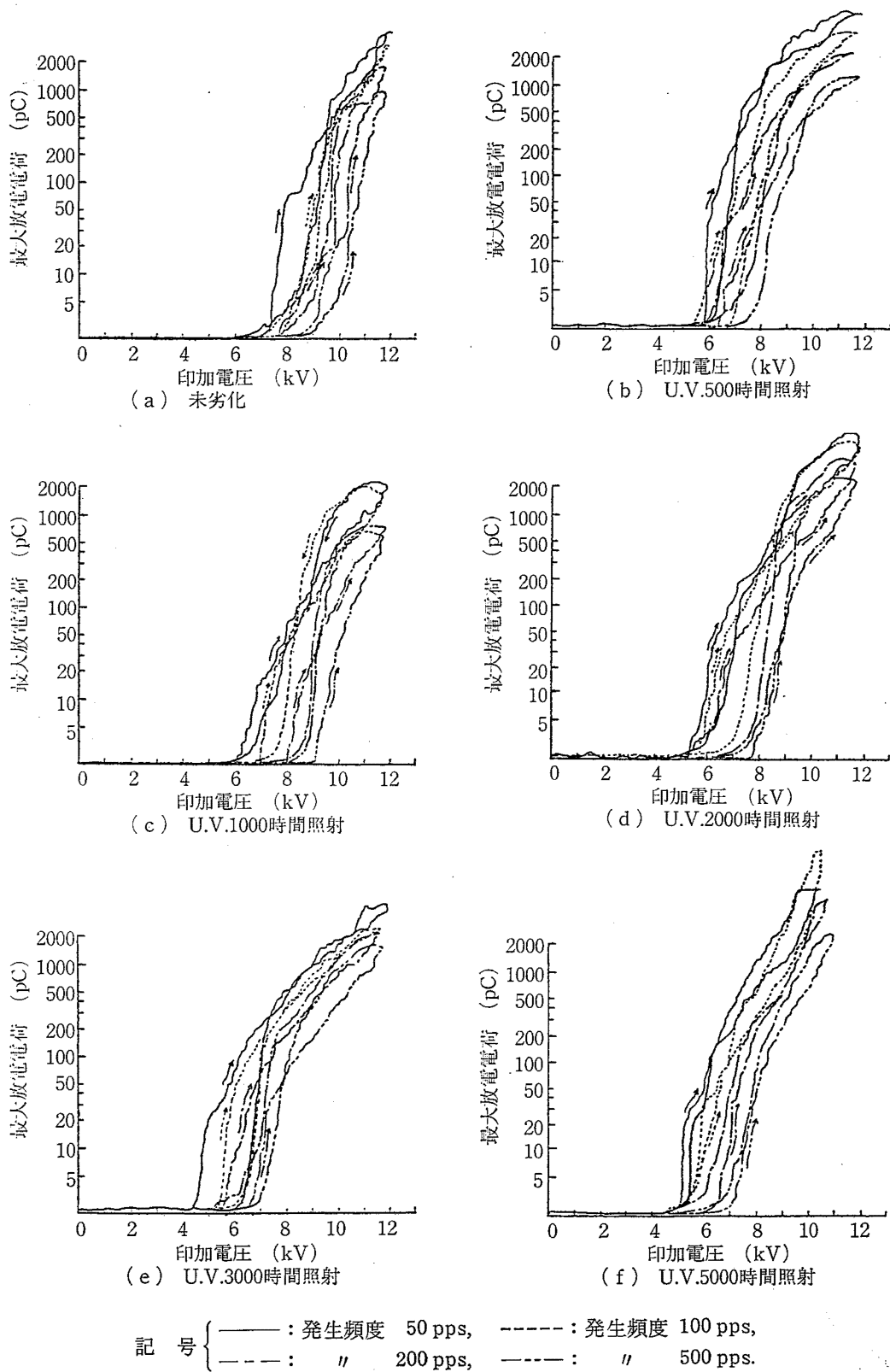


図 8 部分放電の発生状況

印加電圧に対してはあまり変化しないが（一例として印加電圧に対する静電容量の変化を図 6 に示す）、紫外線照射に対しては図 7 に示すように、照射時間が長くなるにつれて増加する傾向を示した。これは紫外線照射によりゴム材料が水分を吸収し易くなり、照射時間の長いもの程、水分を多く吸収したためと考えられる。

（２） 部分放電の発生状況

紫外線照射ゴム手袋について部分放電の発生状況を観察した。各照射時間における代表的なものを一例として図 8 に示す。他のゴム手袋についてもほぼ同様であった。図は部分放電の発生頻度をパラメータにして、ゴム手袋に加えた電圧を徐々に増加させた場合の最大放電電荷を計測したものである。

部分放電の発生状況は、紫外線の照射時間を長くしても未劣化ゴム手袋における発生状況とほとんど同じであり、また、各図における発生頻度に対する部分放電の開始電圧も 6～8 kV ではほぼ一定であった。このことから、ゴム手袋は未劣化のものは勿論、紫外線劣化させたものも印加電圧 6 kV までは部分放電を発生しないことがわかる。また、6～8 kV 以降でみられる部分放電もゴム手

袋材料内部のボイド等の欠陥で発生したと考えるより、それ以外のところ（例えば、ゴム手袋が水面から露出している箇所あるいは水電極とゴム手袋との接触面にできた気泡）で現われたものと考えた方が妥当である。

（３） 漏れ電流

印加電圧 6 kV と 10 kV における 紫外線照射ゴム手

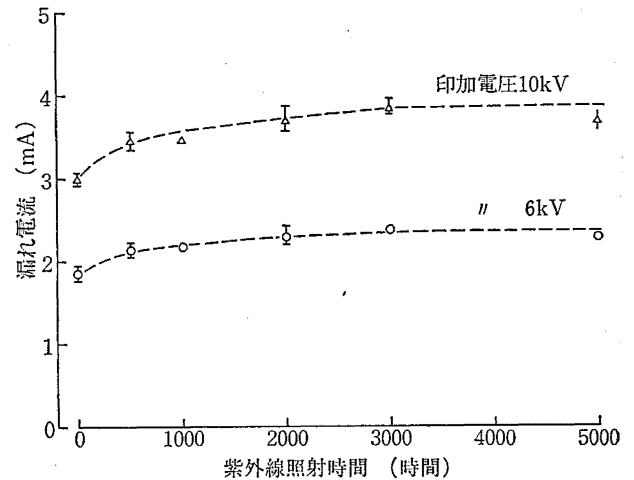


図 9 紫外線劣化ゴム手袋の漏れ電流

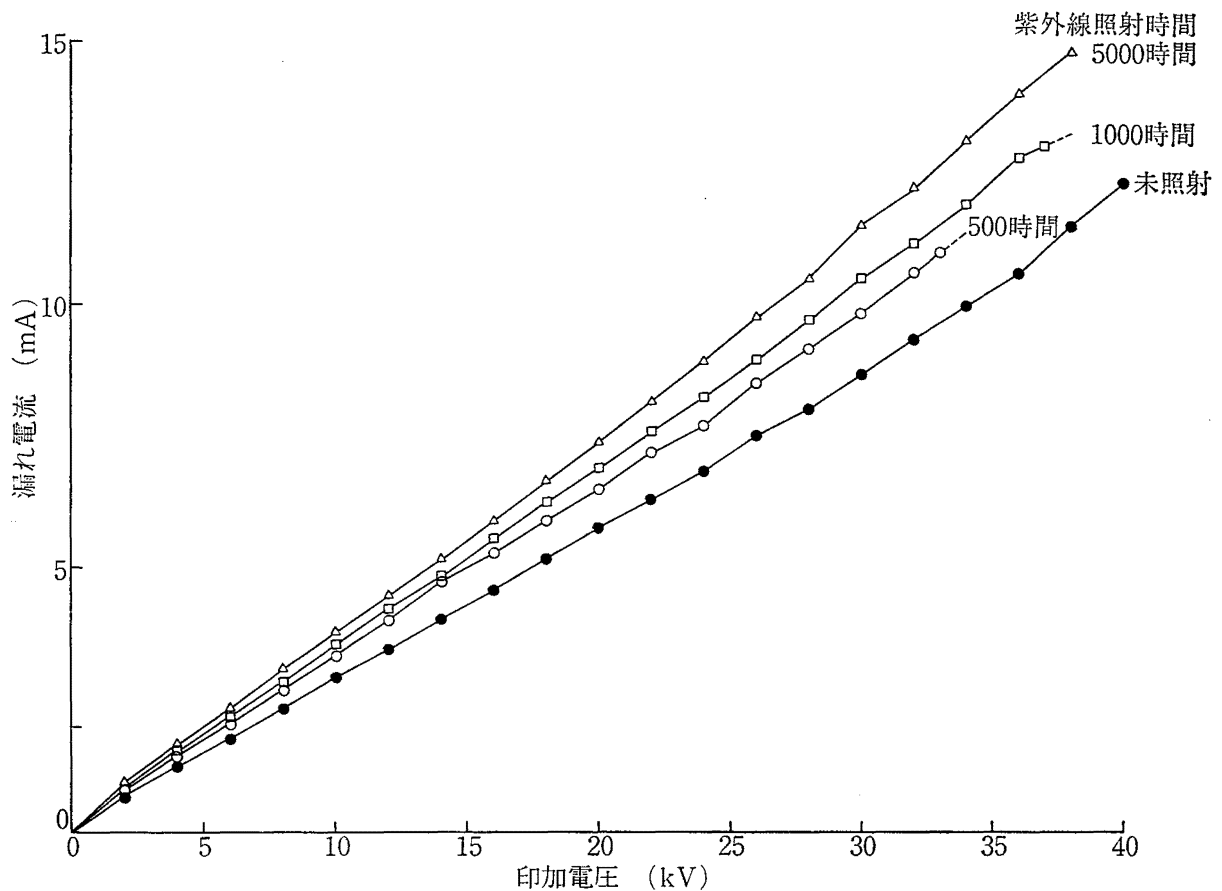


図 10 印加電圧に対する漏れ電流

袋の漏れ電流を図9に示す。紫外線照射に対して漏れ電流はわずかながら増加するが、照射時間の増加に対して飽和する傾向がみられる。また、図10は漏れ電流を印加電圧に対してプロットした一例であるが、どのゴム手袋についても絶縁破壊時点まではほぼ直線的に増加し、途中で電流急増点は現われない。発電機巻線の絶縁物のように、内部に微小な気泡を多く含む絶縁物は、印加電圧の増加に対して絶縁破壊前に電流急増点が現われると言われる⁽⁸⁾。このことと先の部分放電の観察結果から、ゴム手袋材料の中には、発電機巻線の絶縁物のように微小な気泡がなく、絶縁物としてはきわめて優れた状態にあると言える。

(4) 絶縁破壊電圧

紫外線照射ゴム手袋の絶縁破壊電圧を図11に示す。絶縁破壊電圧は照射時間を500～5000時間まで増加させても低下傾向が明白に現われず、未劣化ゴム手袋のバラツキ範囲内であった。しかし、未劣化ゴム手袋のみの絶縁破壊電圧と、500～5000時間までの紫外線照射ゴム手袋の絶縁破壊電圧をワイブル確率紙に示すと図12のようになり、未劣化ゴム手袋の絶縁破壊電圧の平均値は約37.5kVであるのに対して、紫外線照射ゴム手袋のそれは約34.0kVであった。それ故、全般的な傾向としては、ゴム手袋は紫外線照射によって劣化し、絶縁破壊電圧も多少低下すると言える。

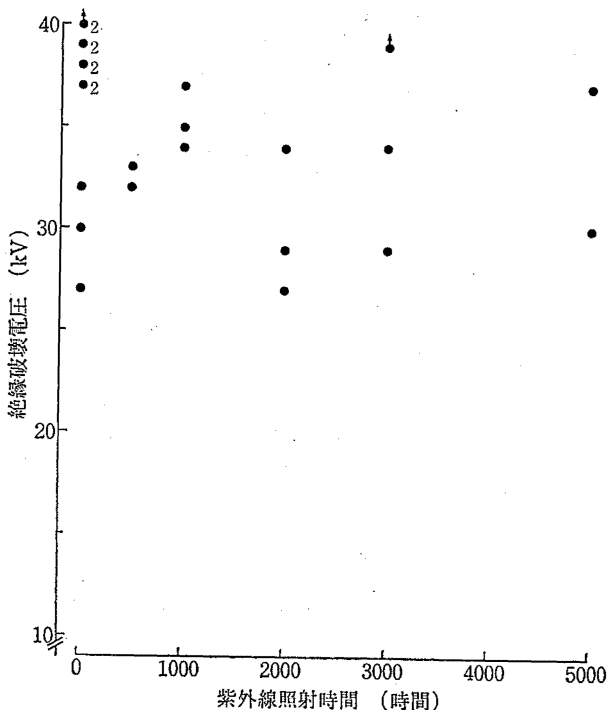


図11 紫外線劣化ゴム手袋の絶縁破壊電圧

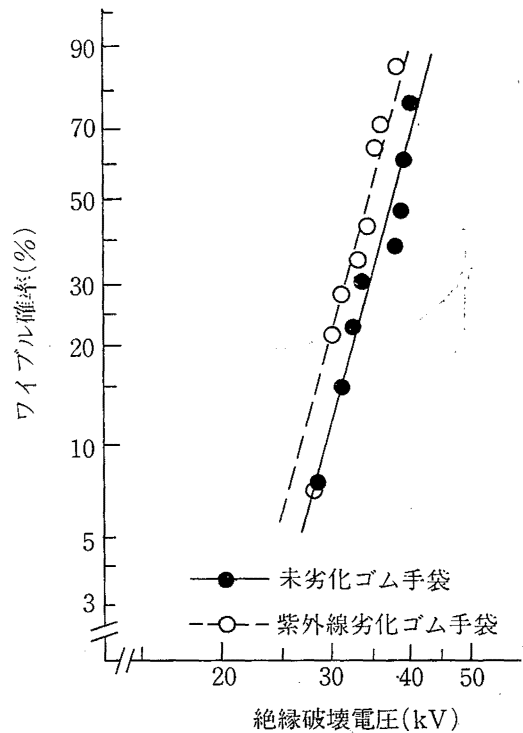


図12 未劣化ゴム手袋と紫外線劣化ゴム手袋における絶縁破壊電圧の累積頻度分布

(5) 抵抗率

ゴム手袋の胴の平らな部分より切取った試料片について、直流1000Vを印加して1分後の体積抵抗率を測定した結果を図13に、表面抵抗率の結果を図14に示す。体積抵抗率は紫外線を5000時間まで照射しても未劣化ゴム手袋のそれと大差なく、約 $(2\sim10)\times10^{15}\Omega\cdot\text{cm}$ であった。また、表面抵抗率は1000時間照射までは多少の低下傾向を示すが、それ以降5000時間照射しても低下せず、約 $5\times10^{15}\Omega$ であった。この結果から、ゴム手袋に紫外線を照射すると、ゴム材料表面のごく浅い層で

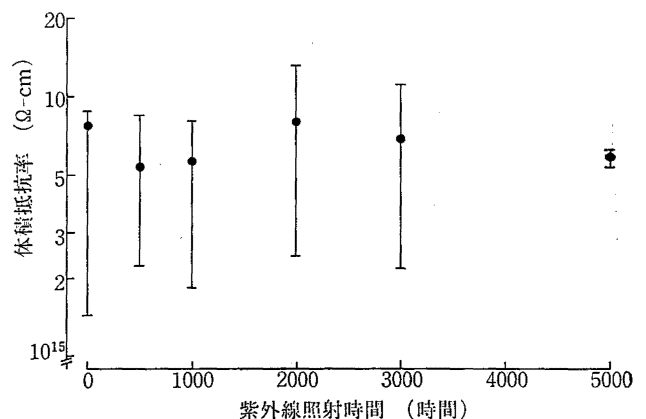


図13 紫外線劣化ゴム手袋材料の体積抵抗率

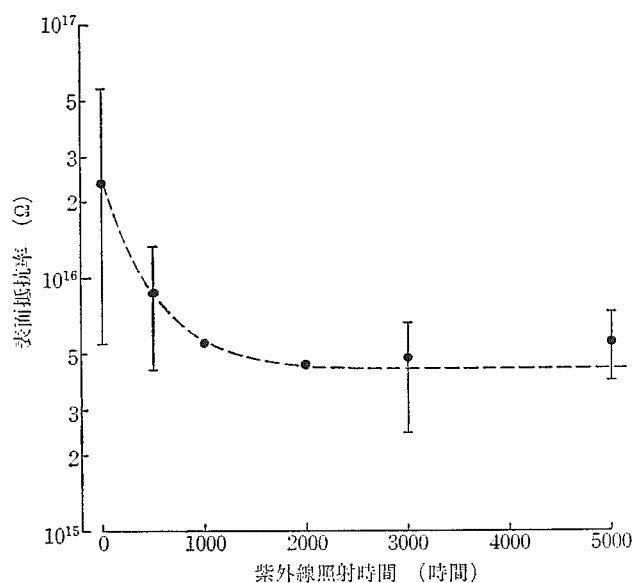


図 14 紫外線劣化ゴム手袋材料の表面抵抗率

のみ劣化が進展し、ゴム材料内部には劣化が進展しなく未劣化の状態であると思われる。

(5) 耐トラッキング性

絶縁物の表面が湿潤あるいは汚染し、かつ、絶縁物表面に電位差があれば、表面に沿って電流が流れてジュール熱を発生する。この熱によって絶縁物の一部が分解されて炭化生成物を生成し、さらにこれが電極間に伸び、ついには短絡して全路破壊に至る。これをトラッキングといい、それに対する抵抗性を耐トラッキング性という。また、この場合トラッキングとならないまでも、絶縁物表面が放電熱によって侵食される材料もある⁽⁹⁾。

紫外線照射及び未照射ゴム手袋材料について、IEC 推奨法によるトラッキング試験装置⁽¹⁰⁾を用いて耐トラッキング性を検査した。その結果は、各試料とも電極間に加える電圧を高くしても、また滴下回数を増してもトラッキング破壊を生じなかった。そこで電極間に加える電

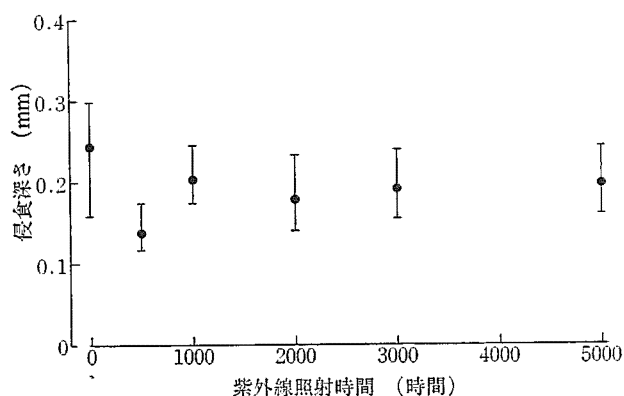
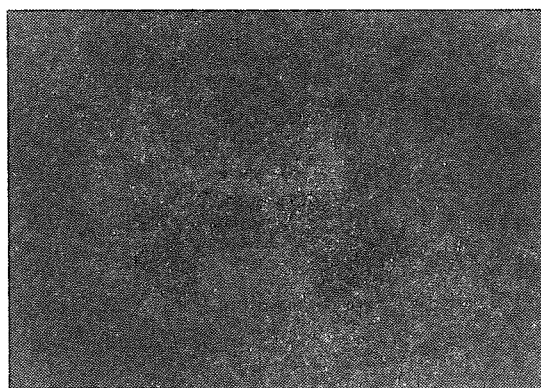


図 15 紫外線劣化ゴム手袋材料の耐トラッキング性

圧を 380 V とし、101 滴落下後における侵食深さを測定する簡易法⁽⁹⁾を用いた。その結果は図 15 に示すように、あまり変化がないが、未照射の試料が最も侵食が大きく、最大で約 0.3 mm、平均で約 0.25 mm であった。また、写真 2 はトラッキング試験後の試料が乾燥した跡にみられる試料表面の状況である。未照射の試料はトラッキング試験によって電極間の試料が侵食を受けているだけであるが、紫外線を照射された試料は、侵食を受け



(a) 未劣化試料



(b) 紫外線劣化試料

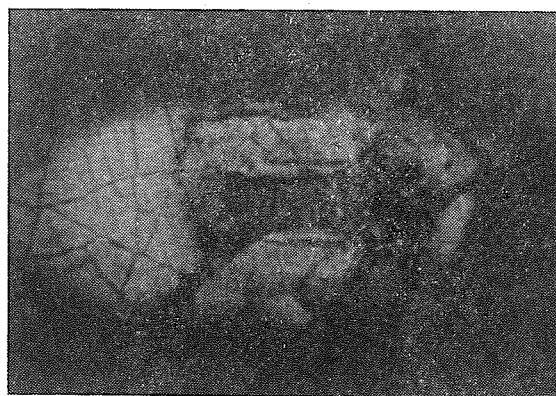
(c) 紫外線劣化試料
(一部に炭化生成物が観察される)

写真 2 トラッキング試験後の試料表面の状況

た周囲が試料内部から何かが遊離して噴出したかのように薄黄色に変色している。更に、長時間照射された試料には、所々に黒く炭化した部分もみられる。ゴム手袋のゴム材料は天然ゴムを加硫したものであり、イソプレンの長鎖状分子が硫黄によって、所々結合され(架橋)、安定した網状構造になっているが、紫外線照射によって表面の酸化が進み、イソプレンの長鎖状分子が切断されると言われる^{(11),(12)}。このことから薄黄色に変色した部分は、これら切断・遊離したものがトラッキング試験の放電熱によって炭化生成物となったものと思われる。

3.2 その他の物理的性質

(1) 引張強さ、伸び率及び硬さ

紫外線照射後のゴム手袋材料の機械的性質として引張強さ、伸び率及び表面硬さを測定した結果を図16～18に示す。未照射の試料における引張強さは20～25 MPa、伸び率は800～900%で、JIS T 8112 (電気用ゴム手袋)で規定された数値(図中の点線)以上の値を有しているが、紫外線を照射することにより低下する。その低下傾向は照射時間が2000時間付近まで現われ、それ以上照

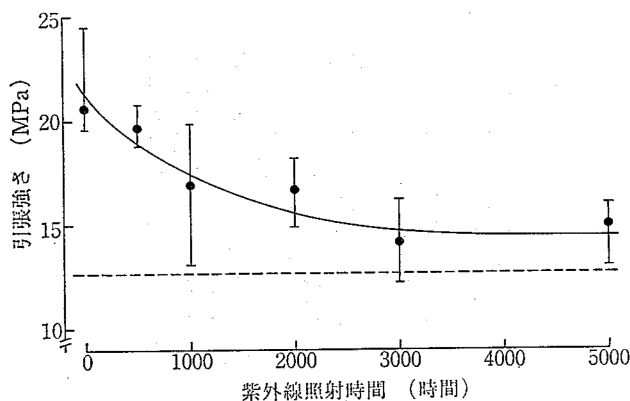


図16 紫外線劣化ゴム手袋材料の引張強さ

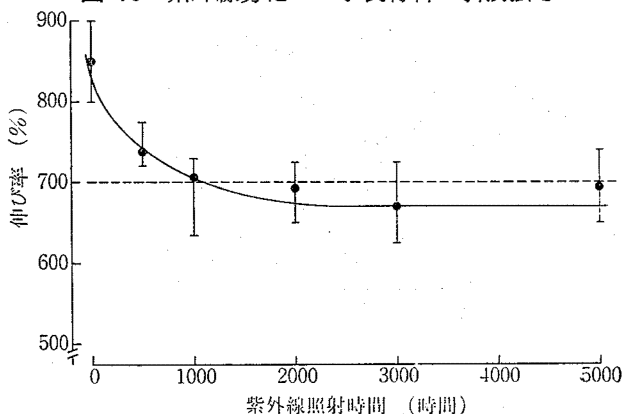


図17 紫外線劣化ゴム手袋材料の伸び率

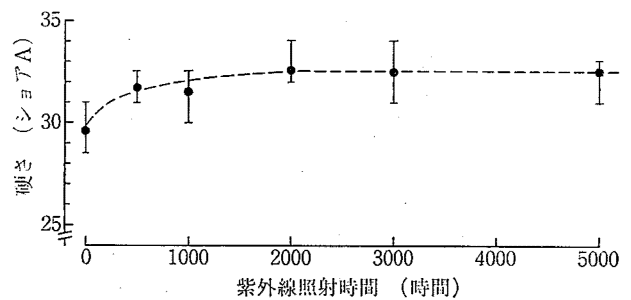


図18 紫外線劣化ゴム手袋材料の硬さ

射しても変化がない。また、表面硬さは未照射のもので約29であるが、紫外線を2000時間ぐらい照射すると約32と硬化する傾向を示すが、それ以上照射してもほとんど変化しない。すなわち、肉厚2mm以上あるゴム手袋材料において、紫外線照射による機械的性質は、表面抵抗率などの電気的性質と同様、ある時間以上照射してもそれ以上の促進劣化の影響を現わさない。

(2) 接触角

絶縁物は一般に水分を吸収すると絶縁性能が低下すると言われる。絶縁物表面の濡れ易さを表わす尺度に接触角がある。図19の図中に示すように、固層(ここではゴム表面)上に液滴を落とすと界面張力によって液滴ができるが、接触角とは、この液滴に固層との接点で引いた接線と固層とのなす角 θ のことである。この角度が大きい程、固層が液体をはじき液体を吸収しにくいことを、逆に、この液滴が平べたくなり接触角が小さくなると、固層が液体を吸収あるいは拡散し濡れ易くなることを意味する。

紫外線照射後のゴム手袋材料について、液体として水道水を用いたときの接触角を測定した。その結果を図19に示す。接触角は紫外線を照射するほど低下するが、その傾向は照射約1000時間まで急激に低下し、それ以上

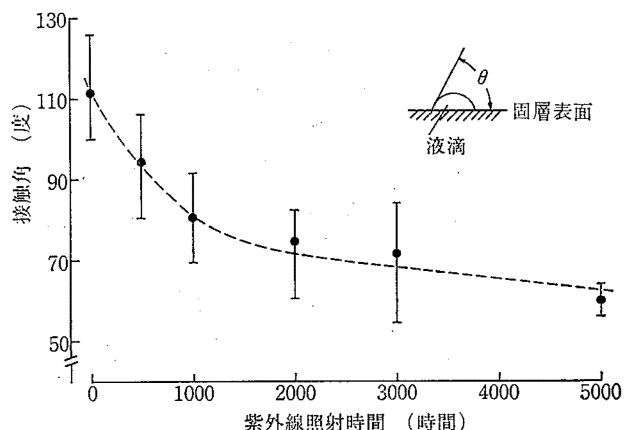
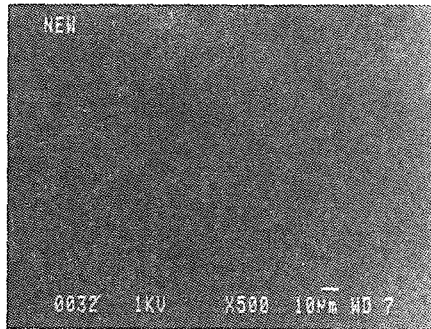
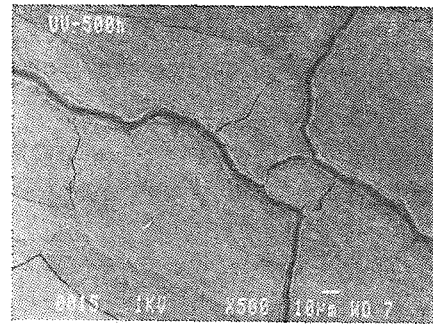


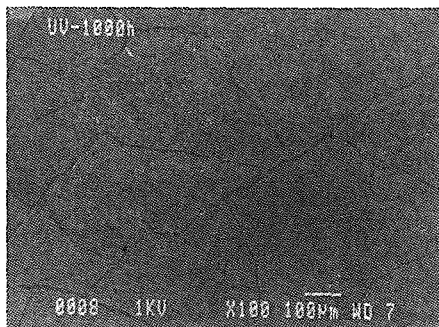
図19 紫外線劣化ゴム手袋材料の接触角



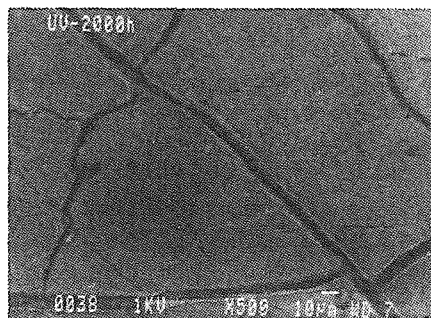
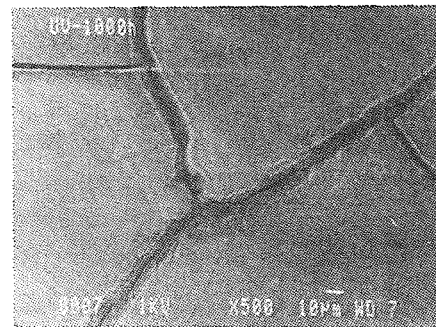
(a) 未劣化



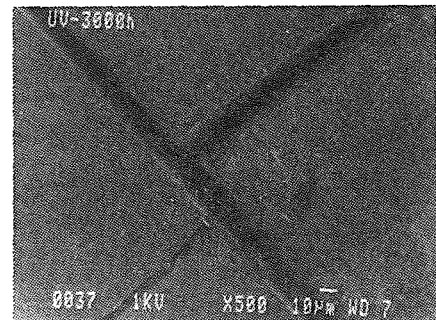
(b) 500 時間照射



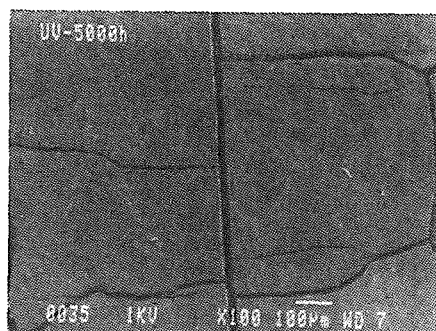
(c) 1000 時間照射



(d) 2000 時間照射



(e) 3000 時間照射



(f) 5000 時間照射

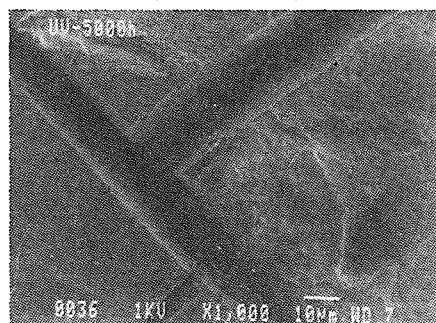


写真 3 未劣化及び紫外線劣化ゴム手袋材料の表面状態

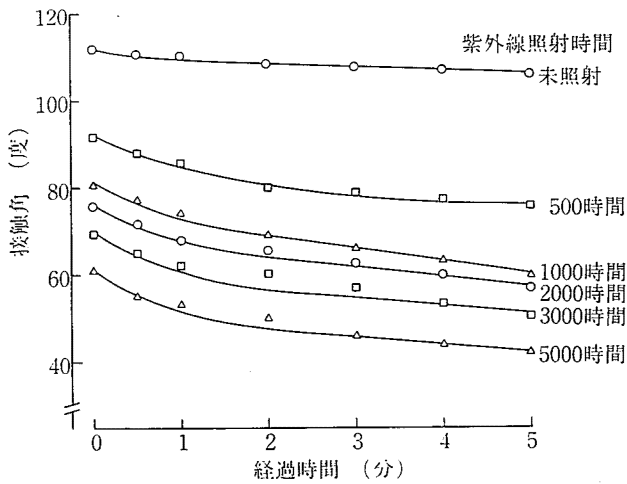


図 20 水滴の経過時間による接触角の変化

の照射には低下割合が鈍る。接触角が低下する理由は紫外線照射によってゴム表面が多孔質化し、水分が吸収・拡散し易くなったためと思われる。また、図 20 は接触角の時間経過による変化を調べた結果である。先の図 19 は水滴をゴム表面にたらし直後の接触角であるが、図 20 はそれが 5 分間にどのように変化するかを示す。未照射試料については 5 分間経過してもそれ程の低下はないが、500 時間、更には 1000~5000 時間となると時間経過に従って接触角の低下が大きく、水分の吸収・拡散が進み易いことがわかる。

3.3 顕微鏡によるゴム表面の観察

写真 3 は、紫外線照射及び未照射ゴム手袋の表面状態を走査形電子顕微鏡で観察した結果である。紫外線 500 時間で、すでに細い無数の亀裂が生じ、照射時間が長くなるにつれて亀裂の太さが広く深くなっている状況が観察される。紫外線は空気中の酸素からオゾンを生成し、オゾンは天然ゴムの二重結合に反応して少量のオゾンで容易に亀裂を生じ易いと言われる^{(12),(13)}。そのため紫外線照射によるゴム手袋の劣化促進試験は、ゴム材料表面でオゾン亀裂を進行させているものと想像される。また、オゾンは非常に活性な分解し易い気体であって、ゴム材料表面で分解して内部に浸透しにくいと言われる⁽⁹⁾。そのため、これによる劣化も主に表面劣化であり、内部のゴム材料には及んでいないものと思われる。

4. 検 討

4.1 各性質間の相関性

図 21 は、図 16 と図 17 より機械的性質としての引張強さと伸び率の関係を求めたものである。これより引張強さと伸び率の間には正の相関性がみられ、紫外線照射により伸び率が低下すれば引張強さも低下する傾向がある。

図 22 は、図 16 と図 14 より、機械的性質としての

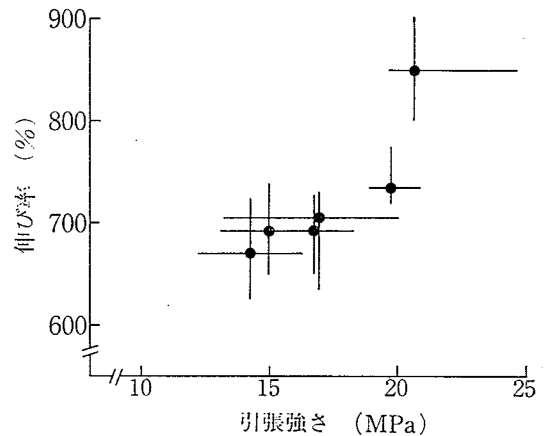


図 21 引張強さと伸び率の相関性

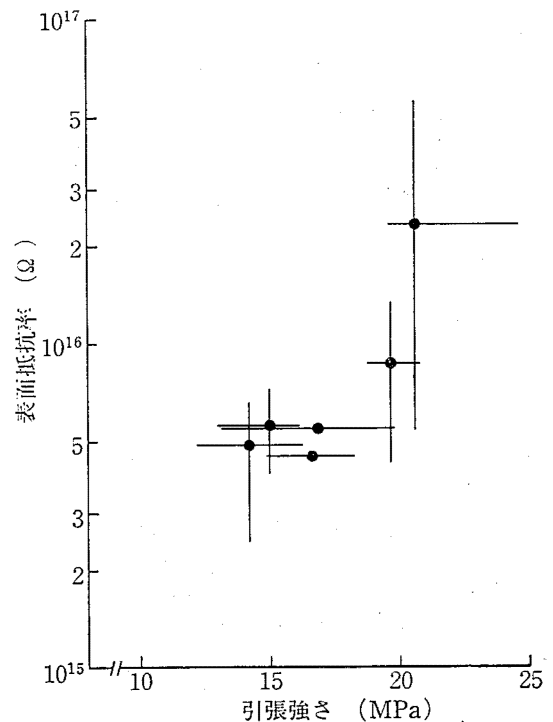


図 22 引張強さと表面抵抗率の相関性

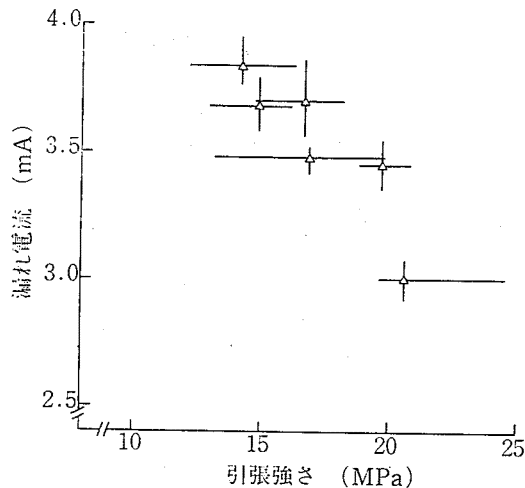


図 23 引張強さと漏れ電流（印加電圧 10 kV の値）の相関性

引張強さと電気的性質としての表面抵抗率の関係を求めたものである。また、図 23 は、図 16 と図 9 より、機械的性質としての引張強さと電気的性質としての漏れ電流（印加電圧 10 kV の値）の関係を求めたものである。これらから引張強さと表面抵抗率の間には正の相関性がみられ、また、引張強さと漏れ電流の間には負の相関性がみられる。すなわち、紫外線照射により機械的性質としての引張強さや伸び率が低下すれば、電気的性質としての表面抵抗率が減少し、あるいは漏れ電流が増加する傾向があり、機械的性質と電気的性質との間にも相関性が認められる。このことから、ゴム手袋の電気的性質を調べることによりゴム手袋の機械的性質をも推定できそうである。また、図 24 は、図 9 と図 11 より漏れ電流

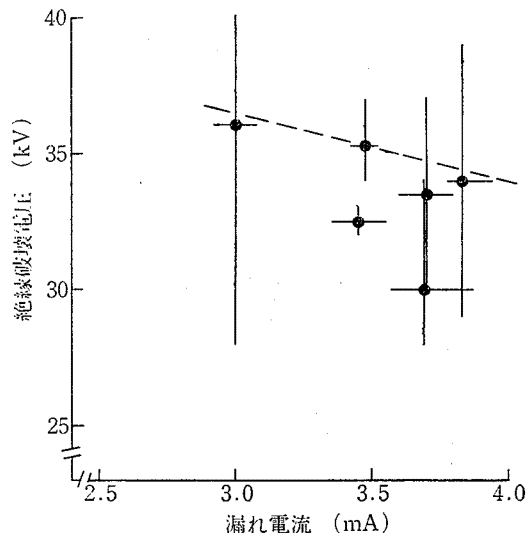


図 24 漏れ電流（印加電圧 10 kV の値）と絶縁破壊電圧の関係

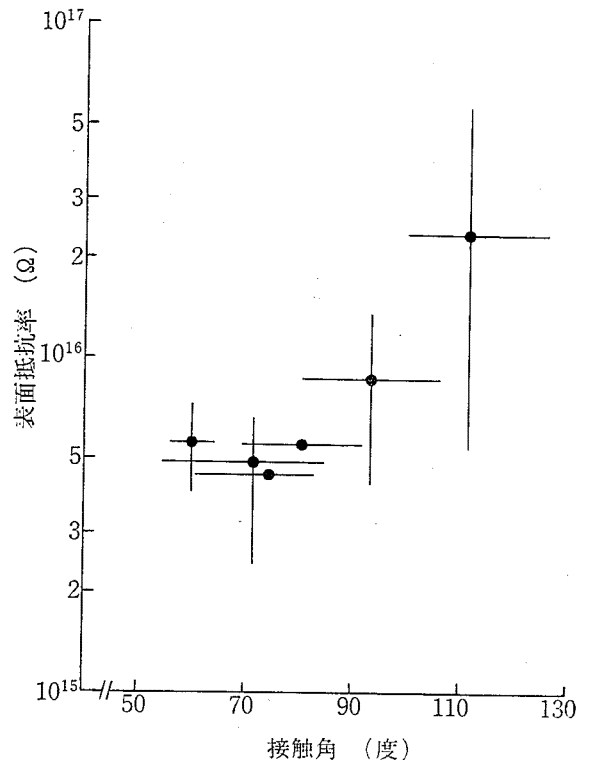


図 25 接触角と表面抵抗率の相関性

（印加電圧 10 kV の値）と絶縁破壊電圧の関係を求めたものであるが、これら 2 つの性質の間には明確な相関性がみられない。しかし、未劣化ゴム手袋の絶縁破壊電圧の算術平均値に比べ、紫外線照射ゴム手袋のそれはどれも小さいことから、図中に点線で示すような右下がりの傾向があるとも言える。これは未劣化ゴム手袋と紫外線照射ゴム手袋に分けて、絶縁破壊電圧をワイブル確率紙上から検討した図 12 の結果からも認められる。そこで、紫外線照射により電気的性質としての漏れ電流が増加すれば、耐電圧性能としての絶縁破壊電圧も多少減少すると言えそうである。

図 25 は、図 14 と図 19 より電気的性質としての表面抵抗率とゴム材料表面の物理的性質（濡れ易さ）としての接触角との関係を求めたものである。これについても正の相関性がみられ、ゴム表面が濡れ易くなれば表面抵抗率も低下する傾向がある。

4.2 紫外線照射とゴム材料の劣化

絶縁破壊電圧は図 24 に示したように多少の相関性がありそうであるが、他の性質ほど明確でない。また、図 26 は引張強さと体積抵抗率の関係を求めたものであるが、これら 2 つの性質の間にも相関性が認められない。

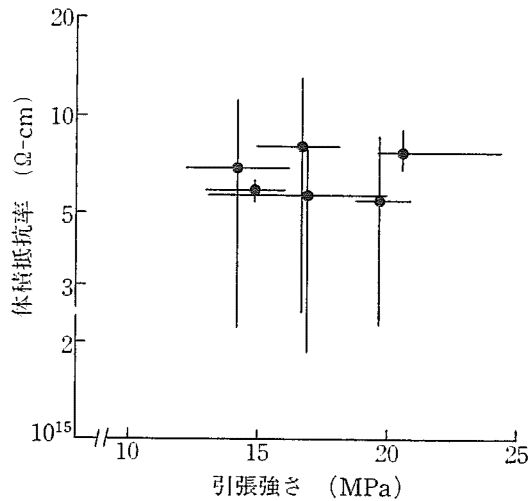
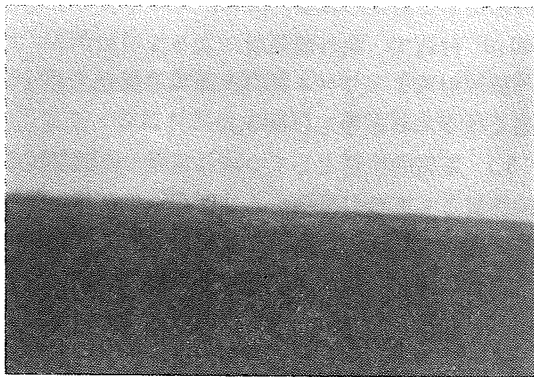


図 26 引張強さと体積抵抗率の関係

これは絶縁破壊電圧や体積抵抗率が図 11, 図 13 に示したように, 紫外線を照射しても未劣化のものとあまり変化がないことによるが, このことと, 引張強さや伸び率などの機械的性質, 漏れ電流や表面抵抗率の電氣的性質

において紫外線 2000 時間以上のものに, ほとんど変化がないことをも含めて, これらは次の様な理由によって考えられる。すなわち, 紫外線照射によって引き起こされるゴムの劣化は, 紫外線光の吸収による酸化劣化とオゾン生成によるオゾン劣化であり, これらはゴム表面の劣化に留まり内部に浸透しにくいと言われるため, ゴム材料内部は未劣化の状態にあると考えられる。これに対して, 絶縁破壊電圧や体積抵抗率の性質はゴム材料の体積方向の性質に依存する要素が大きいため, 紫外線を照射しても未劣化状態のゴムの性質が現われたものと思われる。また, 表面抵抗率, 引張強さなどの性質も, 照射時間を長くした割には劣化深度が増さないため, ある照射量以上では変化がないものと思われる。

写真 4 はゴム材料断面の顕微鏡写真である。紫外線を照射した面は亀裂等によって侵食され, 凸凹になっている。この程度は 500 時間のものより 3000, 5000 時間のものの方が深くなっているが, 3000, 5000 時間のものでも約 0.133~0.144 mm であり, これは試料の肉厚を約



(a) 1000 時間照射



(b) 2000 時間照射



(c) 3000 時間照射



(d) 5000 時間照射

倍率:  0.1 mm

写真 4 紫外線劣化ゴム手袋材料の断面



写真 5 絶縁破壊箇所におけるゴム材料の断面

2 mm とすれば、約 5% 程度にすぎない。また、写真 5 は絶縁破壊箇所の断面であるが、破壊径路は絶縁物の最短距離を直進するのではなく、ほとんどのものがこの写真のように迂回しており、破壊径路の周辺に黒く炭化したものが付着しているのが観察される。

4.3 ゴム手袋の劣化

ゴム手袋は、高圧活線作業などを行うときのみ着用され、それ以外は収納箱に入れて直射日光が当たらないように保管され、毎日一日中直射日光に当たっているものではない。そのため、この実験で照射された紫外線照射量(表 1)は、実際の使用期間中に日光から受ける紫外線照射量以上のものを受けていると考えられ、また、この紫外線照射を連続して一日中受けたとして推定した暴露日数も、実際の使用条件から推定すればもっと長い暴露日数になる。

このように多量の紫外線を照射されたゴム手袋でも、以上の実験結果から、その電気的性質や機械的性質に極端な劣化は認められない。しかし、実際の使用環境では日光からの紫外線の他に、使用中に受ける傷や引張り、曲げなどの要素が加味されるため、この実験で行った紫外線のみ劣化よりゴム材料内部に劣化が浸透すると考えられる。そのため、実際の使用環境では紫外線照射は劣化に最も厳しく影響してくれるものと考えられる。また、ゴム手袋の作業性向上を考え、ゴム手袋の肉厚を薄くする場合、紫外線による表面劣化がゴム材料の性質に、どの程度影響してくるかを検討しておく必要がある。

5. ま と め

高圧用ゴム手袋に波長 254 mμ の紫外線を近距離から照射して、ゴム手袋としての性能又はゴム手袋材料の各種性質を調べ、ゴム手袋の劣化傾向を検討した。なお、実験に用いた紫外線は地上で日光から受ける紫外線より波長が短く、材料に作用するエネルギーは強い。また、紫外線によるゴム絶縁材料の劣化は、材料が紫外線光を吸収することによって起こる光酸化劣化と、紫外線によって空気中の酸素からオゾンを生成し、そのオゾンによって起こるオゾン劣化とから成る。

研究の結果を整理すると、次のとおりである。

(1) ゴム手袋からは部分放電や電流急増点が観察されず、ゴム材料内部にはボイド等の欠陥がほとんどなく、絶縁材料としてはきわめて優れた状態である。

(2) ゴム手袋の誘電正接は約 1.0~1.2% (印加電圧 6 kV) で、天然ゴムのそれより大きい。これは測定方法に水電極を使用するため、ゴムが水分を吸収した影響も多分にあると考えられる。また、ゴム手袋の静電容量は 1000 pF 付近で、紫外線照射によって増加する。これは紫外線照射によってゴム材料表面が劣化し、水分を吸収し易くなるためと考えられる。

(3) 電気的性質としての漏れ電流や表面抵抗率、機械的性質としての引張強さ、伸び率、及び材料表面の濡れ易さを示す接触角は、一般に照射 2000 時間まで、明白な劣化傾向を示すが、それ以上の照射時間に対してはほとんど変化しないか、あるいは少しの劣化を示すのみである。一方、体積抵抗率や絶縁破壊電圧は紫外線を照射しても、ほとんど変化がない。これらのことから、ゴム材料への紫外線照射による劣化は、材料表面に留まり、内部にはほとんど進展しないものと考えられる。

(4) 劣化傾向を示した電気的及び機械的性質の間には相関性が認められる。そこで、ゴム手袋の電気的性質を測定することにより、ゴム手袋の機械的性質の低下程度をも推定できると考えられる。

(5) オゾン劣化はゴム材料表面に無数の亀裂を生じる。本実験では紫外線を近距離から照射したことにもよるが、照射 500 時間ですでに亀裂を生じ、照射時間が長くなる程、亀裂が太く深くなる。

(6) ゴム手袋の絶縁破壊径路は、ゴム材料内部で水電極間の最短距離を直進せず迂回しており、かつ、破壊径路の内壁には黒く炭化した物質が付着している。その

ため、絶縁破壊電圧はゴム材料の厚さのみでは一概に決定できず、添加物の種類及びその分布状況が重要な要素になるように思われる。

(7) 本実験では実使用環境で考えられる以上の紫外線を多量に近距離から照射して行ったが、ゴム手袋及びゴム手袋材料の各種性質に極端な劣化がみられなかった。これは本実験が紫外線のみを照射して促進劣化実験を行ったためと考えられる。実際の使用環境では日光からの紫外線の他に、使用中に受ける傷や引張り、曲げなどの要素が加味されるため、紫外線による表面劣化もゴム材料内部に浸透し、ゴム手袋の劣化に対しさらに大きく影響を及ぼすものと考えられる。

謝 辞

本研究を行なうにあたり、東京電力(株)安全部から多大の御協力を得ました。ここで深く謝意を表します。

(昭和 59 年 11 月 2 日受付)

参 考 文 献

- (1) 市川：産業安全研究所研究報告，RR-31-2，1983
- (2) 東芝殺菌灯器具・装置 Catalog No. 施設-5
- (3) 松田：有機材料劣化問題，電気学会雑誌，Vol. 77，No. 827，1957

- (4) (財)日本ウェザリングテストセンター：銚子暴露試験場環境因子測定表，1980～1983
- (5) (財)日本気象協会：日本における全天日射量マップ作成に関する研究，サンシャイン計画委託調査研究成果報告書，昭和 52 年 3 月
- (6) 日本工業規格：JIS K 6301「加硫ゴム物理試験法」
- (7) 電気学会絶縁試験法ハンドブック改訂委員会編：高電圧試験ハンドブック
- (8) 寺瀬：絶縁構造の交流電流試験法における第 2 電流急増点の考察，電気学会雑誌，Vol. 82，No. 890，1962
- (9) 電気学会：放電ハンドブック，p. 459～472
- (10) IEC，Pub. 112：Recommended method for determining the comparative tracking index of solid insulating materials moist conditions.
- (11) 建林：ゴムの劣化機構について，電気学会雑誌，Vol. 73，No. 779，1953
- (12) 谷岡：電線絶縁材料としてのゴム及びプラスチックについて，Vol. 74，No. 792，1954
- (13) 建林，川井，高橋：ゴム系絶縁材料の最近の進歩，電気学会雑誌，Vol. 73，No. 772，1953
- (14) 電気学会：電気工学ハンドブック，p. 429

産業安全研究所技術資料

RIIS-TN-84-2

昭和59年12月27日 発行

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) 453-8411 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

UDC 615.477.8 : 621.315.61 : 614.896 : 535-31 : 620.169

高圧用ゴム手袋の紫外線照射による劣化

市 川 健 二

産業安全研究所技術資料, RIIS-TN-84-2, 1~15 (1984)

高圧用ゴム手袋は、使用期間中に受ける種々の要因によって劣化する。その劣化要因の1つに紫外線がある。本報は新品の高圧用ゴム手袋に紫外線を照射して、電氣的及び機械的性質の劣化傾向を調べた。

(表 1, 図 26, 写真 5)

UDC 615.477.8 : 621.315.61 : 614.896 : 535-31 : 620.169

Ultraviolet degradation of rubber insulating gloves

for use in high voltage electrical working

by **Kenji Ichikawa**

Technical Note of the Research Institute of Industrial Safety,

RIIS-TN-84-2, 1~15 (1984)

Rubber insulating gloves for use in high voltage electrical working are degraded with various factors received during their use, among which there is an ultraviolet. This report describes the results about degradation tendency of electrical and mechanical properties of rubber gloves or rubber material, when ultraviolet was irradiated on them.

(1 table, 26 figures, 5 photos)