

電子顕微鏡によるケーブル絶縁紙のコロナ放電劣化現象の究明

Research of Deterioration Resulting from Corona Discharge of Insulating Paper
for Power Cable by Electron Microscope

下山田 富保* 阿部 康一*
Tomiyasu Shimoyamada Kōichi Abe

内 容 梗 概

電気絶縁材料の放電劣化の研究は、最近きわめて注目される重要な研究の一つである。紙絶縁ケーブルにおいても高電圧ケーブルの長時間絶縁破壊は、ボイド放電または沿面コロナ放電による場合が多いので、絶縁紙の耐コロナ特性の向上をはかろうとする研究は、電力ケーブルの超高圧化の要請に応えるためにも特に重要である。

本報告はコロナ放電劣化による表面状態の変化を、電子顕微鏡的研究によって、劣化現象を基礎的に解明しようと試みた報告である。すなわち絶縁紙のコロナ放電劣化現象は表面温度が局部的瞬間的にかなり高温になる高温酸化反応であることが、電子顕微鏡による特長ある「ひぶくれ状」となる表面状態から確められた。

絶縁紙の耐コロナ性改善の一例に、高温酸化反応に耐える Pb イオン交換紙の効果について行った実験の結果についてあわせて報告した。

1. 緒 言

高電圧ケーブル用絶縁紙は、絶対乾燥状態の機械的強度⁽¹⁾の大きいこと、高温部における誘電正接⁽²⁾⁽³⁾が安定であることなどの条件を具備しなければならないが、本報では以下に述べる理由からコロナ放電劣化現象と耐コロナ特性改善の一方策として行った実験の結果を報告する。

最近絶縁物の放電劣化が電気絶縁材料の研究にとって、きわめて重要なことが特に認められている。高電圧ケーブルにおいても長時間絶縁破壊は、ボイド放電または沿面コロナ放電による場合が多い。このようなケーブル用絶縁紙の交流長時間破壊特性の基礎的研究と、この研究の上に立って耐コロナ特性の向上をはかることは、最近の電力ケーブルがますます超高圧化を必要とされる要請に応えるために、きわめて重要なことである。

本報ではこの目的のため、コロナ放電によってどのような過程を経て劣化が進行するのか、まず電子顕微鏡的に劣化現象の研究を行った。まだ完全なものは得られないが、従来のコロナ放電劣化について説明されている現象⁽⁴⁾を、電子顕微鏡的に劣化の初期から破壊に近づくまでの変化過程を、補足説明することができたと考えられるので、ここに報告する。

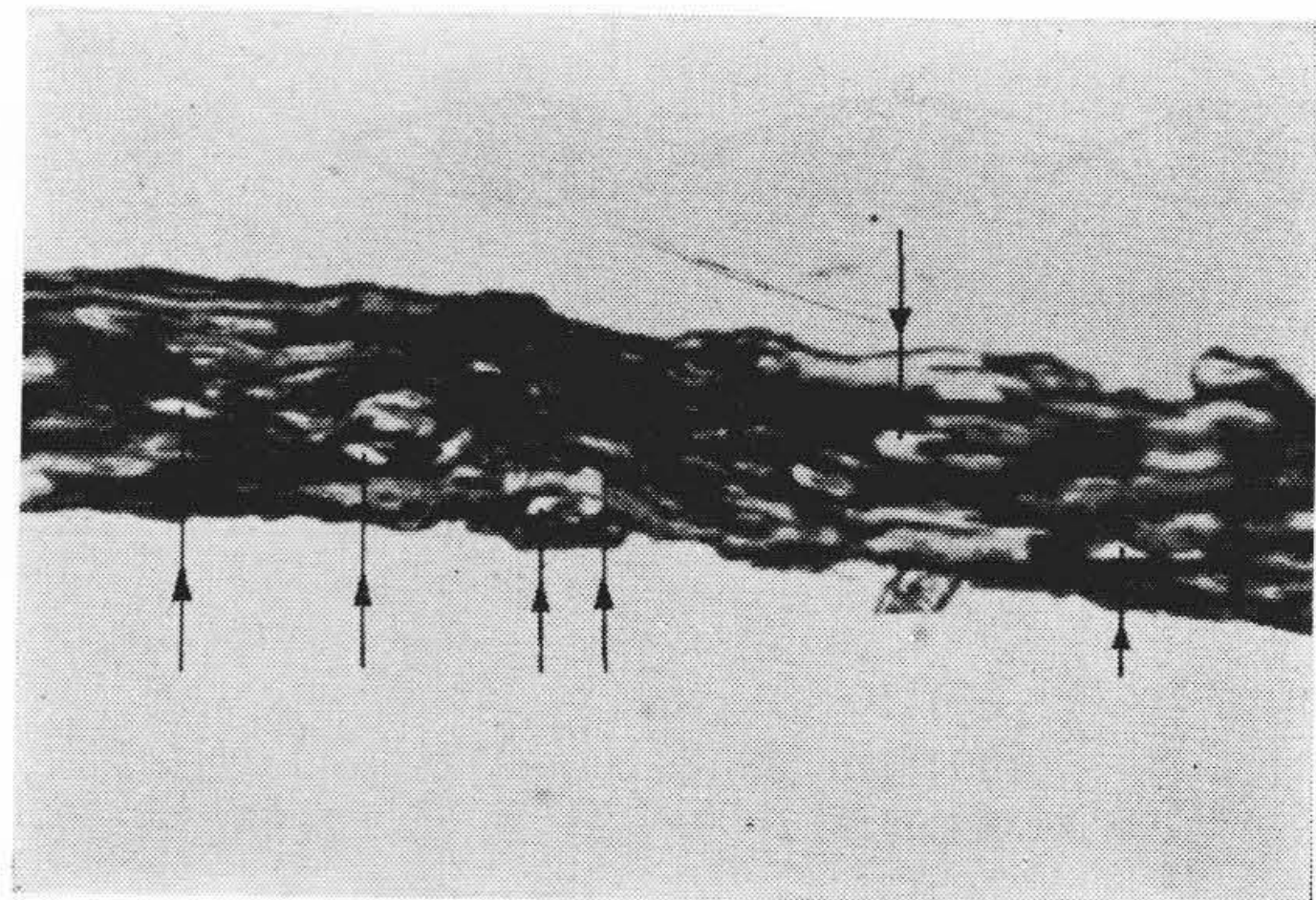
2. 絶縁紙の耐コロナ性

本研究の目的は絶縁紙のコロナ放電による劣化現象の研究から、耐コロナ性の改善をはかる方法を見出すことにあるので、以下において現状の絶縁紙の耐コロナ性が、どんな点に問題があるかを述べる。

2.1 絶縁紙の多孔質構造

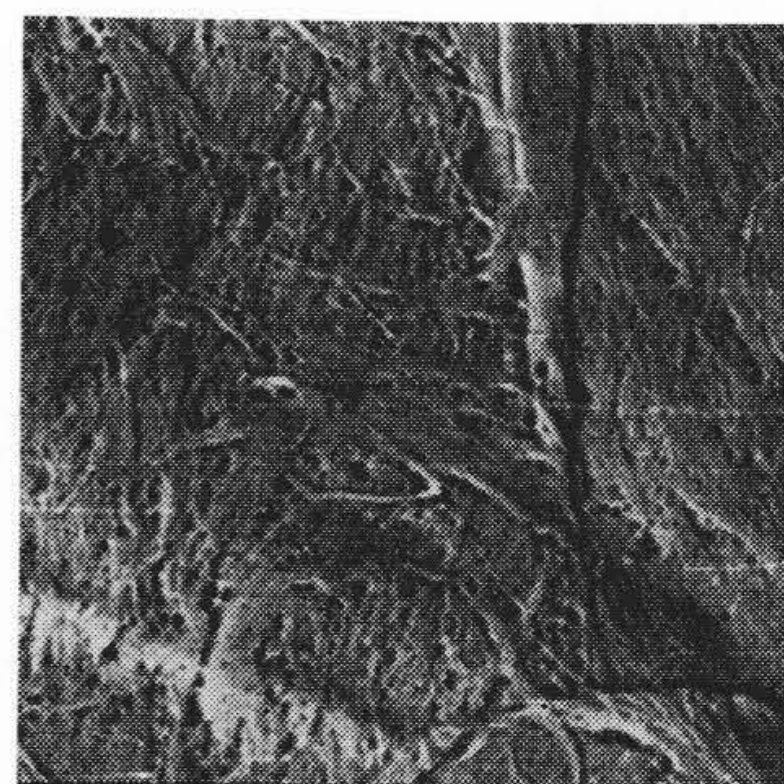
絶縁紙はポリエチレン、マイラなどのように均質な薄いシートではなく、セルローズ繊維のからみ合いと繊維間の結合（この状態についてはいまだ十分に示されていないが、それが主として水素結合によることは、かなり明らかなことである⁽⁵⁾）からできているマットである。したがって完全な繊維間結合は非常に困難なことで、隣接繊維間に接触していない点や面積が存在し空隙（ボイド）を含んでいる。

すなわちマット状の紙には、形状、大きさ、その分布状態のさまざまな光学顕微鏡的マクロな空げき（ボイド）が第1図に示す一例



（内部の繊維間結合状態の一例を示す）×140

第1図 高電圧ケーブル紙縦方向の断面
注：↑……ボイドの箇所を示す



（フィブリルの接触点における微小孔に注意）

第2図 絶縁紙表面の繊維間結合状態（×14,000）

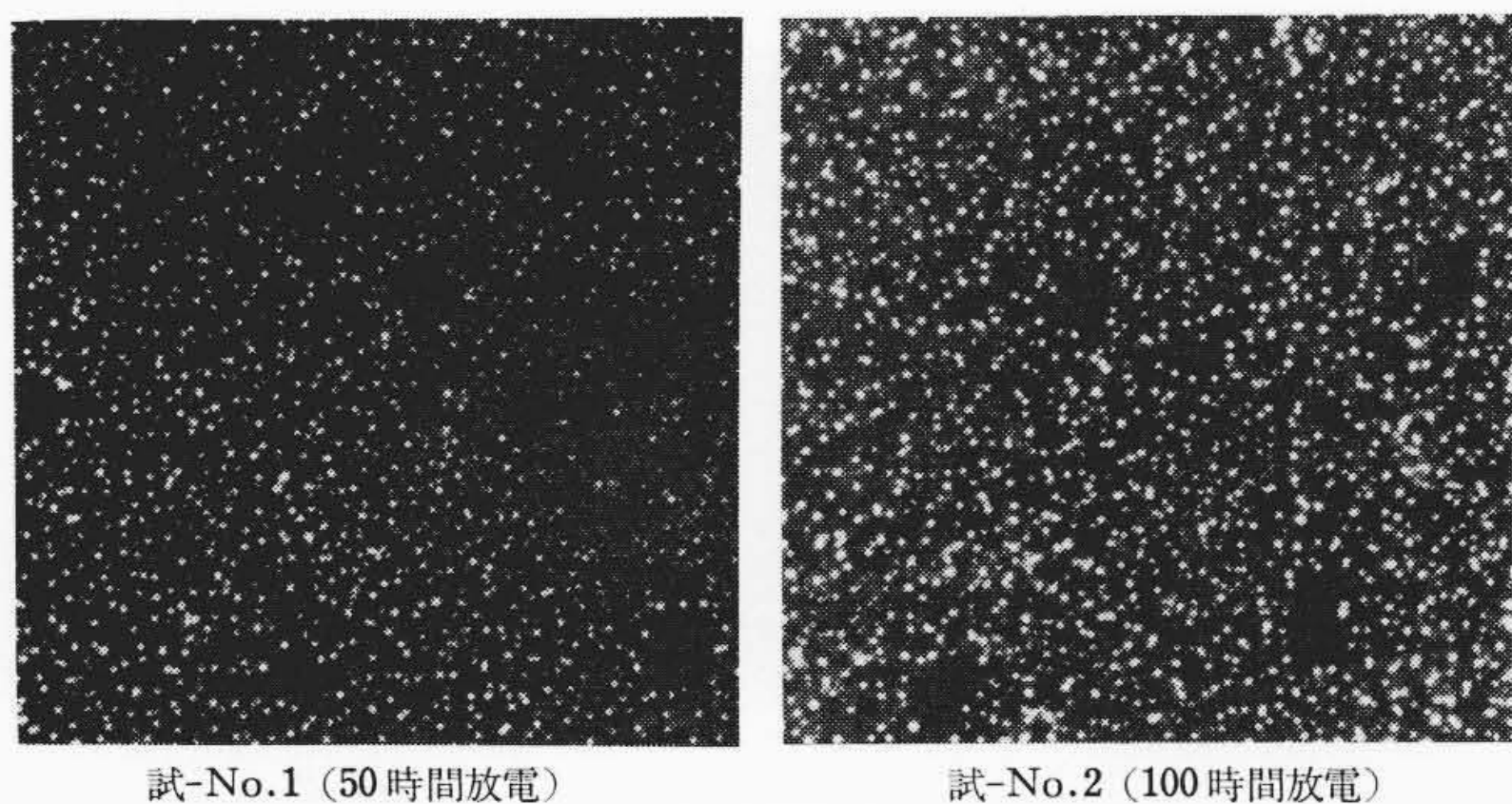
のように存在することを、絶縁紙のコロナ劣化現象の研究にあたって、特に注意して観察することが重要なことである。

2.2 絶縁紙表面のミクロ的構造

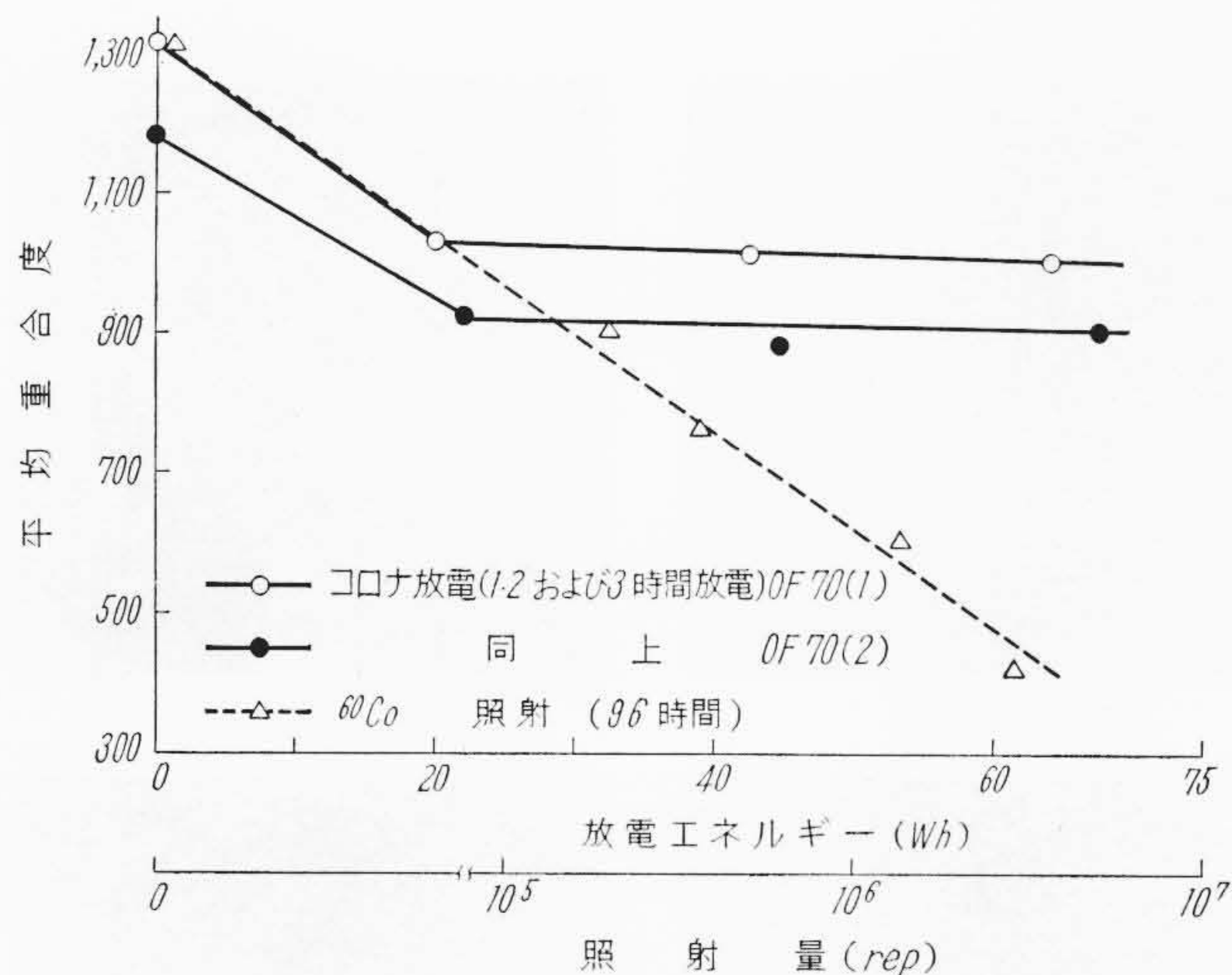
2.1の光学顕微鏡的マクロな空げきから、さらに微小な電子顕微鏡的ミクロな空げきに対しても考慮する必要がある。このため電子顕微鏡で表面における繊維間結合の状態を観察すると、第2図のように直径 $2,000\text{\AA}$ に近い微小孔がフィブリル間の結合線上に沿って無数に存在する絶縁紙が見受けられる。

このような表面状態の絶縁紙が、電極に接して課電される場合、この部分にコロナ放電が集中しやすく、漏れ電流、誘電正接の局部

* 日立電線株式会社電線工場



第3図 乾紙のコロナ放電劣化による表面状態の変化 (×1)
注: 写真の白斑点は貫通孔を示す



第4図 コロナ放電エネルギーおよび γ 線照射量と平均重合度の関係

的增加となって局部加熱にかわり、紙層内のボイドが表面層に近接していれば、さらにこの局部的加熱が累増して、第3図に示すように無数の微小孔が貫通して破壊する。ただし破壊口は炭化のあととは認められない。

2.3 絶縁紙の不純物

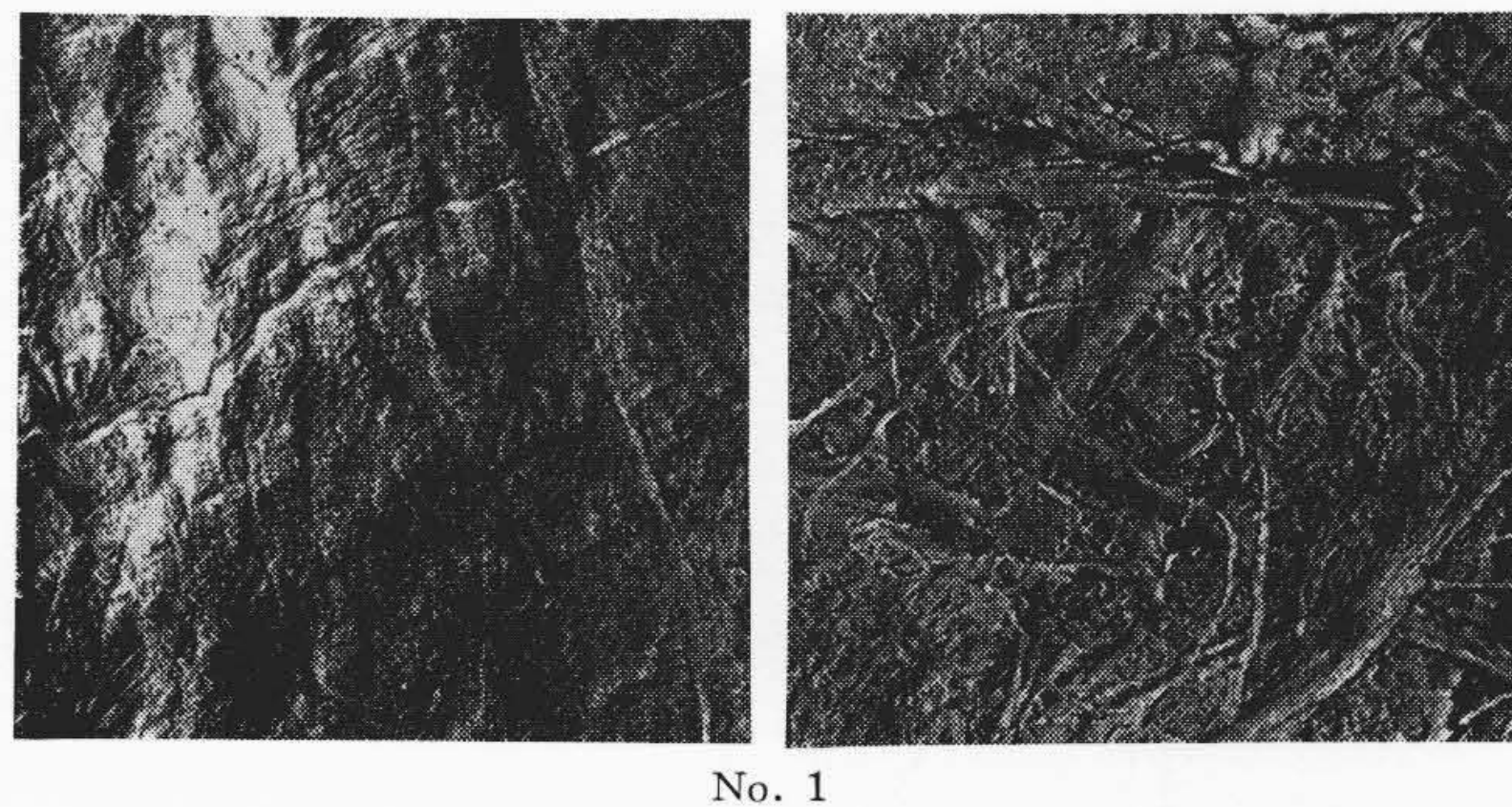
紙はポリエチレン、マイラなどのように、完全に近い状態の純粋なモノマからなる重合体と異なり、非繊維素および金属成分を灰分として含有し、不純物の含有量がかなり多いことである。ことに灰分はコロナ暴露面における放電により発生した活性化ガスとの反応、あるいは空気中のコロナ放電により、局部的発熱にともなっておこるセルローズの酸化反応を促進させる接触作用(灰分の成分によって異なる)を盛んにする。したがってこの点の影響の程度を十分に検討しておくことが必要であろう。

2.4 コロナ放電劣化の特異性

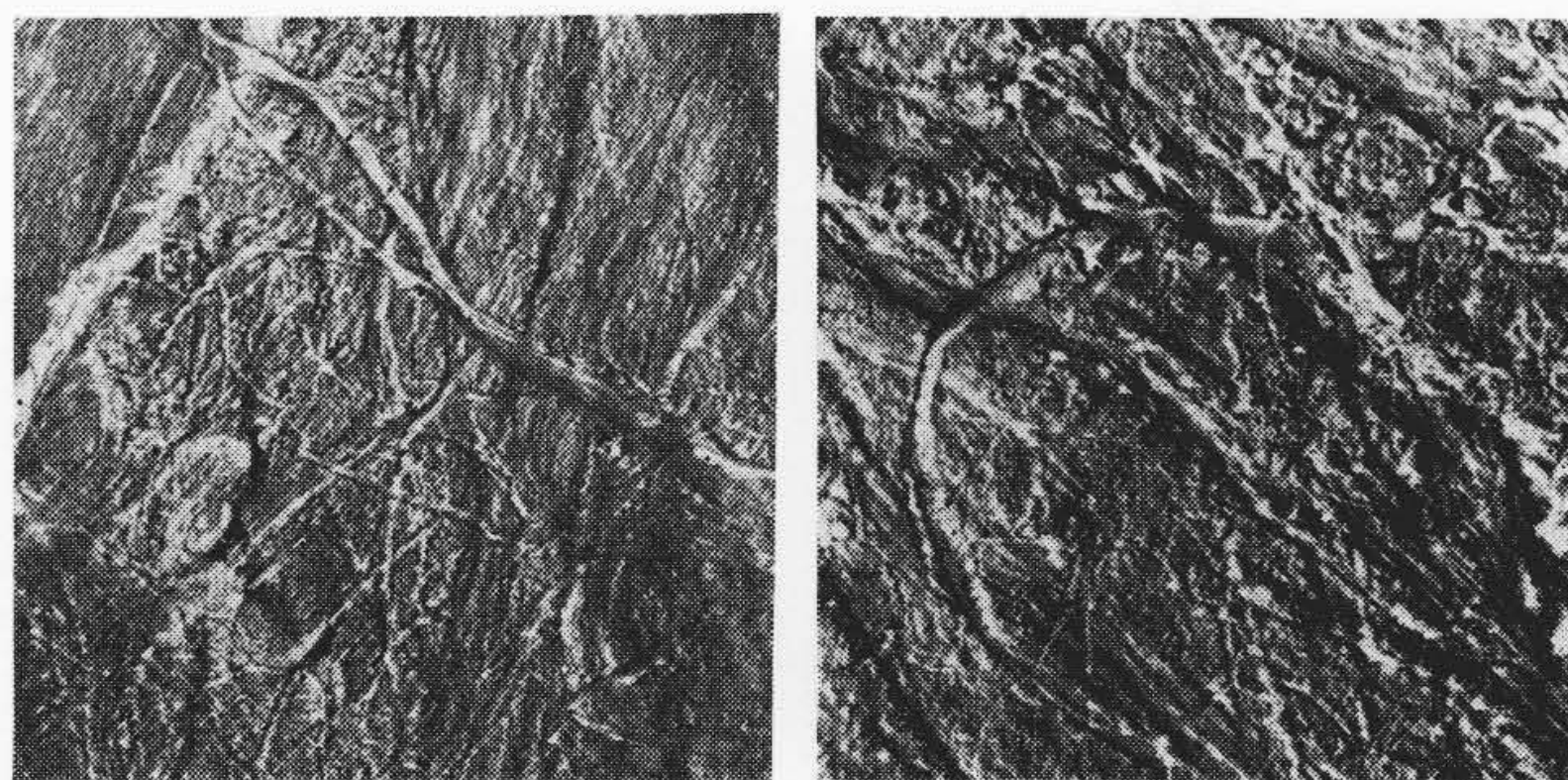
コロナ放電劣化が、 γ 線のように透過力が強ければ、前述のように紙の繊維間の結合をいかに図っても、それはむだな努力に終る心配がある。しかしコロナ放電が繊維に対する透過力が弱いものであれば、ち密に繊維間の結合をはかり、表面を平滑にすれば当然紙シートはコロナ放電に対する障壁作用としての効果をいっそう高めることができるはずである。

したがってこの点を確かめるため ^{60}Co で照射した場合と、コロナ放電を行った試料(OF70 μ 紙)について平均重合度を測定し、この変化から絶縁紙に対する透過力の比較を行った。結果は第4図に示すとおりである。

第4図から明瞭に γ 線照射は照射量によってセルローズ平均重合度が急速に低下し、セルローズ分子鎖を切断することがわかる。一



No. 1



No. 2

第5図 試料(OF-70 μ)の電子顕微鏡による表面状態
注: No.1 OF 70(1) 微細構造不良の例(×5,000)
No.2 OF 70(2) 微細構造稍やや良の例

方コロナ放電では初期にわずかに平均重合度を低下しただけで、それ以降の減少は見られなかった。ただし厚さの変化は別に示さなかったが、次第に減少することが認められた。

このことはコロナ放電による劣化現象は、紙の表面を劣化するが、内部にまで透過しないことを示している。したがって表面に初めからピットや内部に空けきがあったり、また厚さ不均一による凹凸があれば、おそらくこの部分はコロナの集中を受けやすく、ほかの正常な部分における破壊よりも低下すると思われる。同様のことがほかの実験例⁽⁶⁾からも証明されているところである。

3. 実験方法

3.1 試料

試料には70 μ の高電圧ケーブル用紙を用いた。試料の電子顕微鏡による表面状態を第5図に示す。紙シートの内部構造(繊維間の結合状態)は第1図に示すようにかなりボイドの存在が認められる。

油浸紙の交流長時間破壊特性から求めた耐コロナ特性(10²サイクルの破壊電圧と10⁶サイクルの破壊電圧との比を百分率で示す)は試-No. 1は52.8%, 試-No. 2は60.1%で上位の値ではない。

3.2 電極

実験に用いた電極は、加子、井上両氏⁽⁷⁾らが、IECの方法を、さらにコロナ放電劣化を定量化するため、温度、湿度および圧力が一定条件に保たれるように改良した電極で、その構造は第6図に示すとおりである。

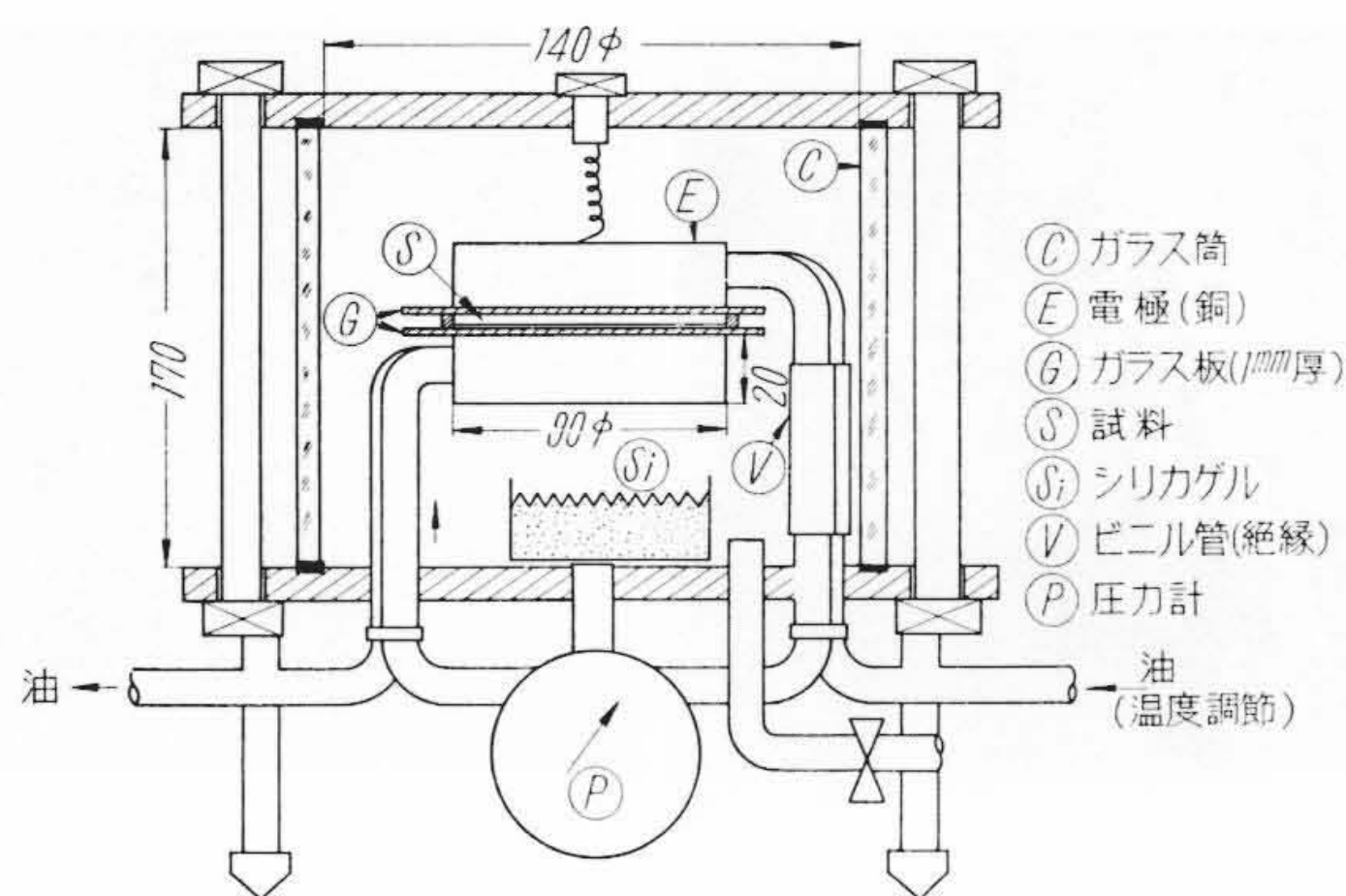
放電には電源周波数 1.5 kc, 課電圧 7,000V を選び、温度を80°Cに保って、乾燥空気中で行った。

4. 実験結果

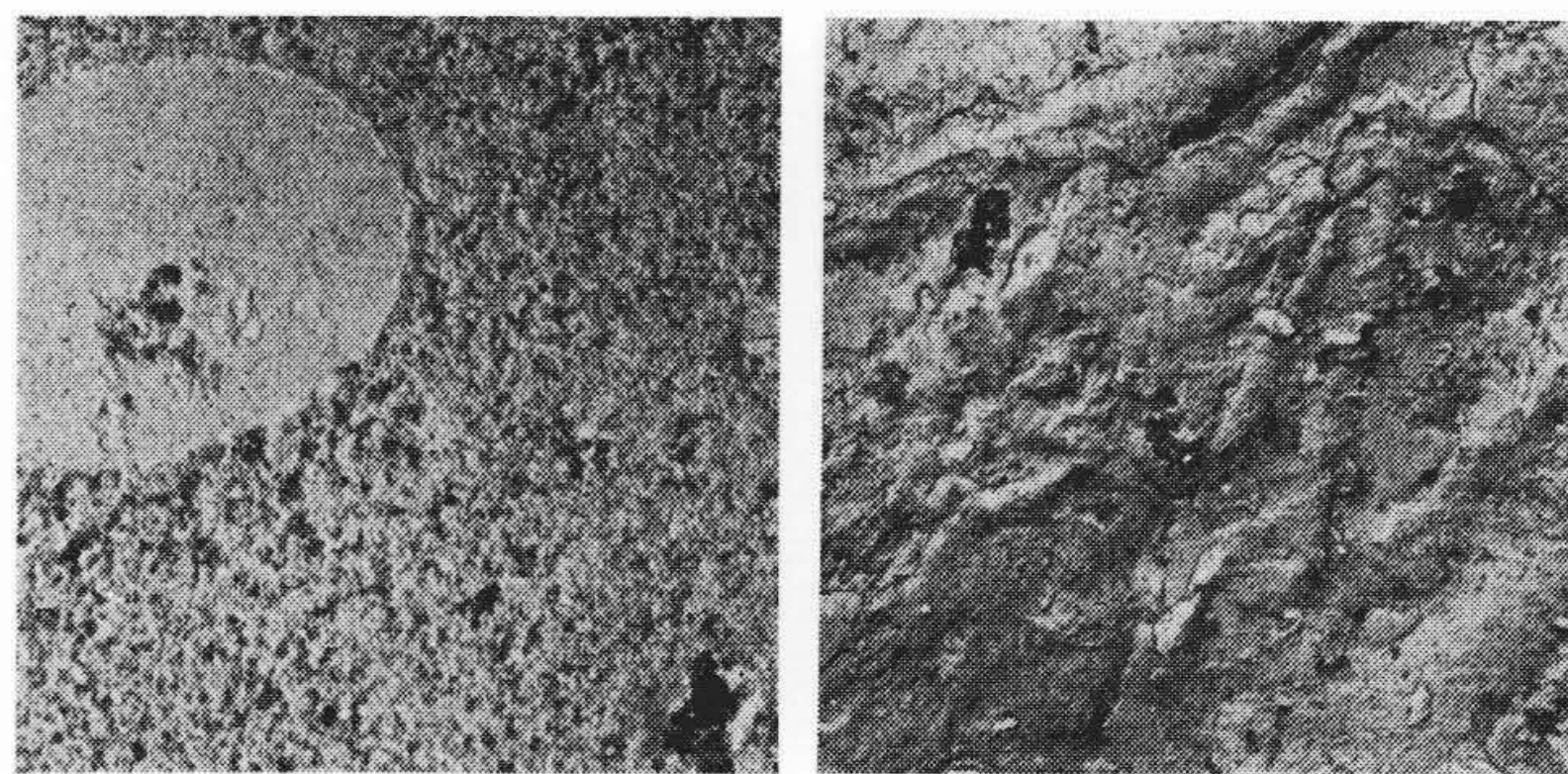
4.1 乾紙のコロナ放電劣化による表面状態の変化

放電時間1, 2, 3時間および100時間後の試料の電子顕微鏡による表面状態の変化を第7図に示す。

第7図を通覧すると、紙シートのコロナ暴露面は、紙シート自身が前述のようにミクロ的に不均一なためもあるが、まったく同一状



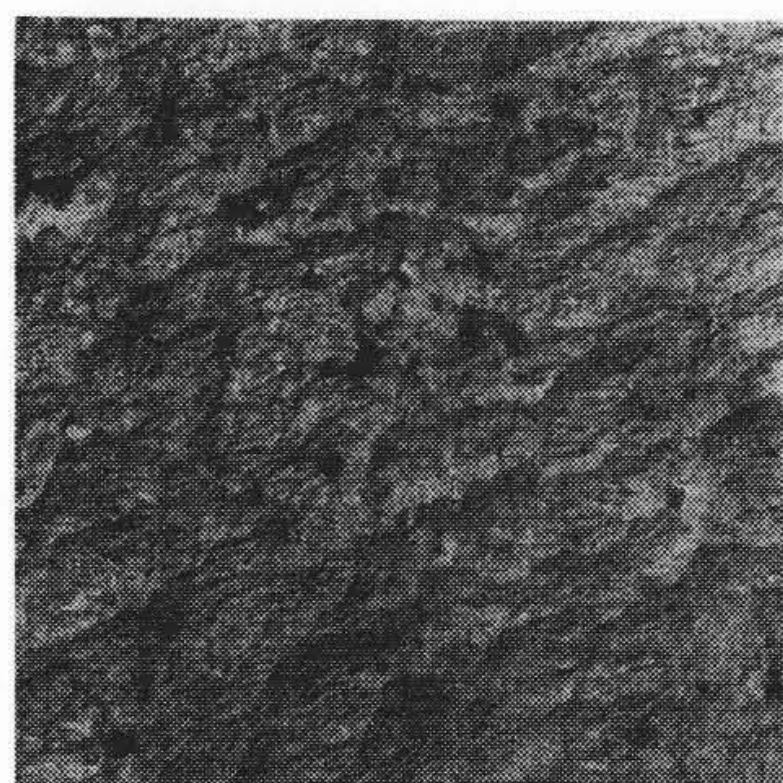
第 6 図 放 電 劣 化 試 験 装 置⁽⁷⁾



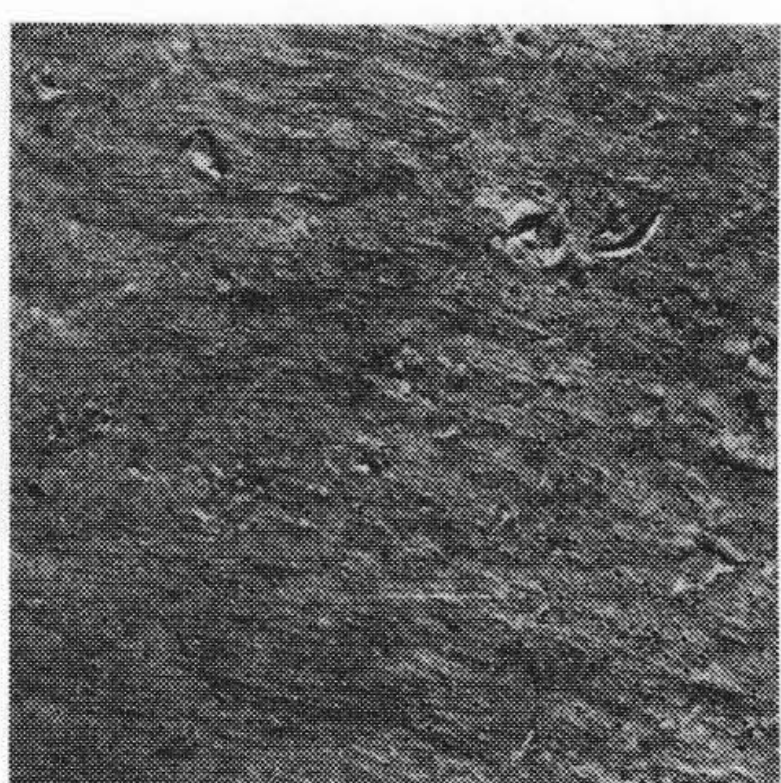
No. 1

No. 2

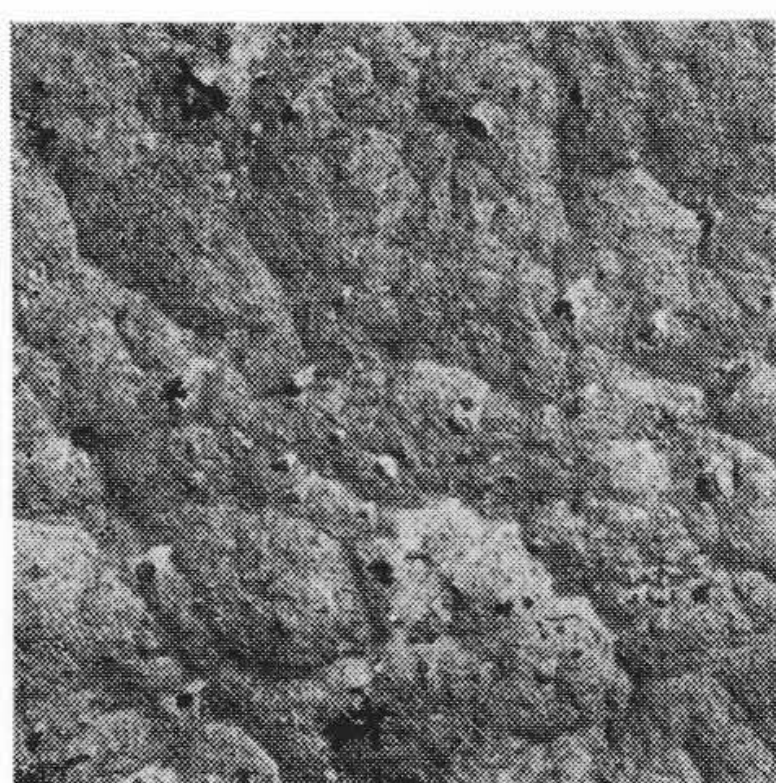
第 8 図 乾紙の交流短時間破壊した表面状態 (×5,000)
注: 破壊口以外はほとんど変色しない



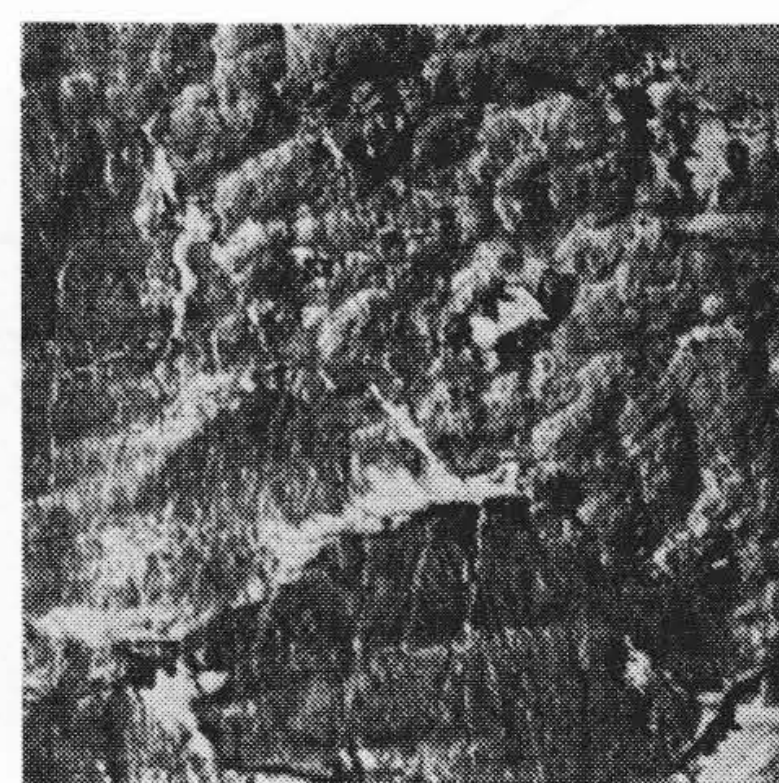
No. 1



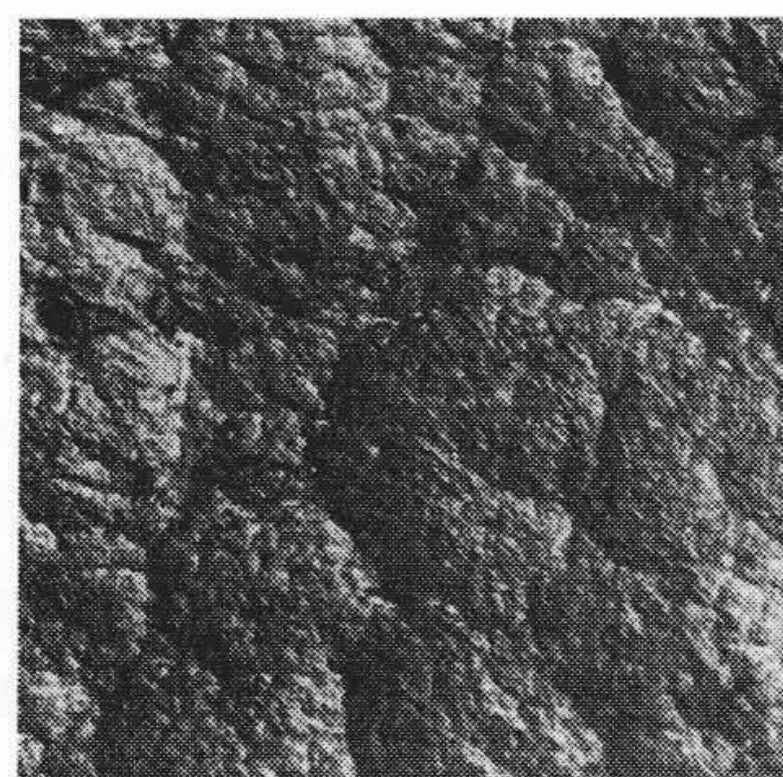
No. 2



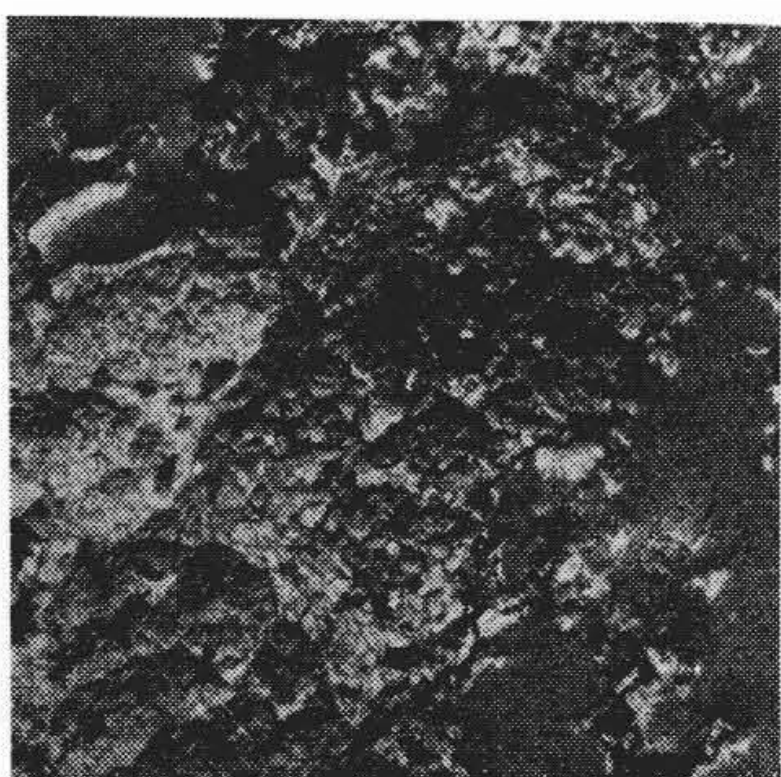
No. 3



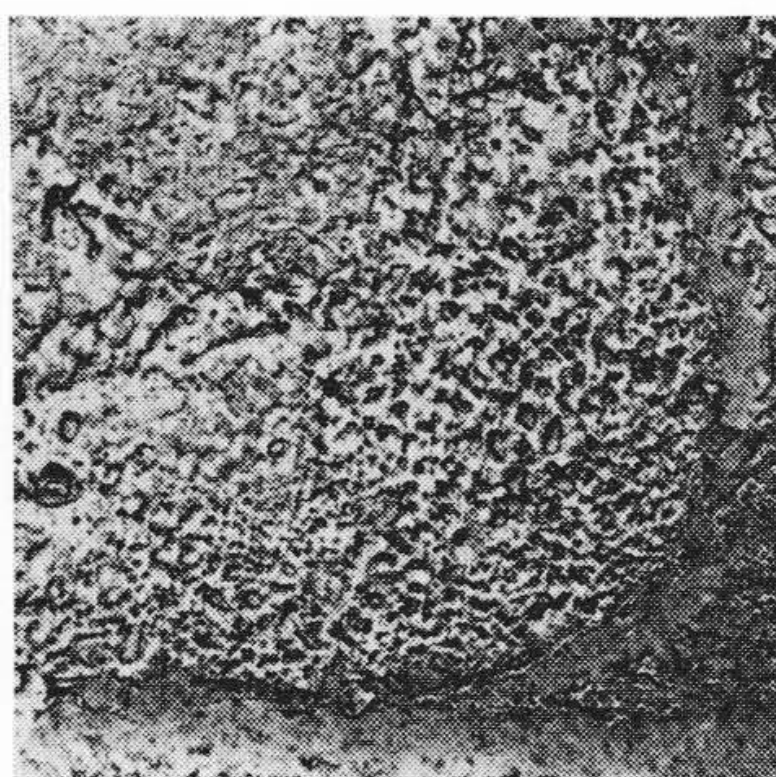
No. 4



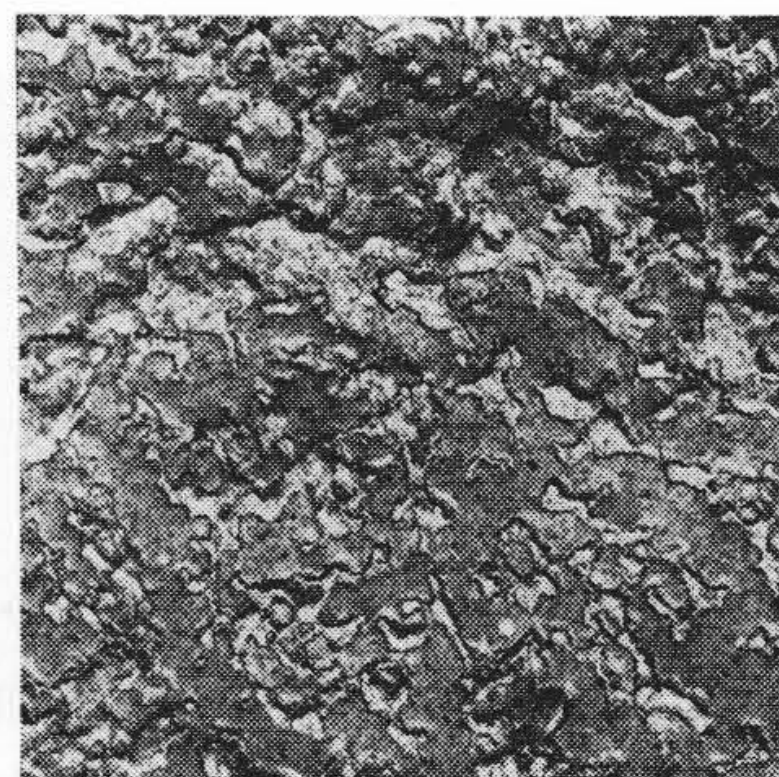
No. 5



No. 6



No. 7



No. 8



No. 9

No. 1~3	放電時間	1時間
No. 4	放電時間	2時間
No. 5~6	放電時間	3時間
No. 7~9	放電時間	100時間

第 7 図 乾紙のコロナ放電劣化による表面状態の変化 (×5,000)

注: コロナ暴露面は原色より漂白された

態で劣化は進行しないことが現われている。特に No. 4 は非常にミクロな面積内においても、約 $\frac{1}{2}$ はミクロフィブリル（微小枝状化繊維 $0.4 \times 0.4 \times 0.5 \mu$ ）の原形を保っているが、ほかの半部は No. 3 と同様な「ひぶくれ」状態になっていることが見られる。このことは J. H. Mason 氏⁽⁸⁾および橋本氏⁽⁹⁾らの広いギャップの場合に放電点は点々と分布し、必ずしも全面が放電にあずからないとしていることと同様のことを示していると思われる。

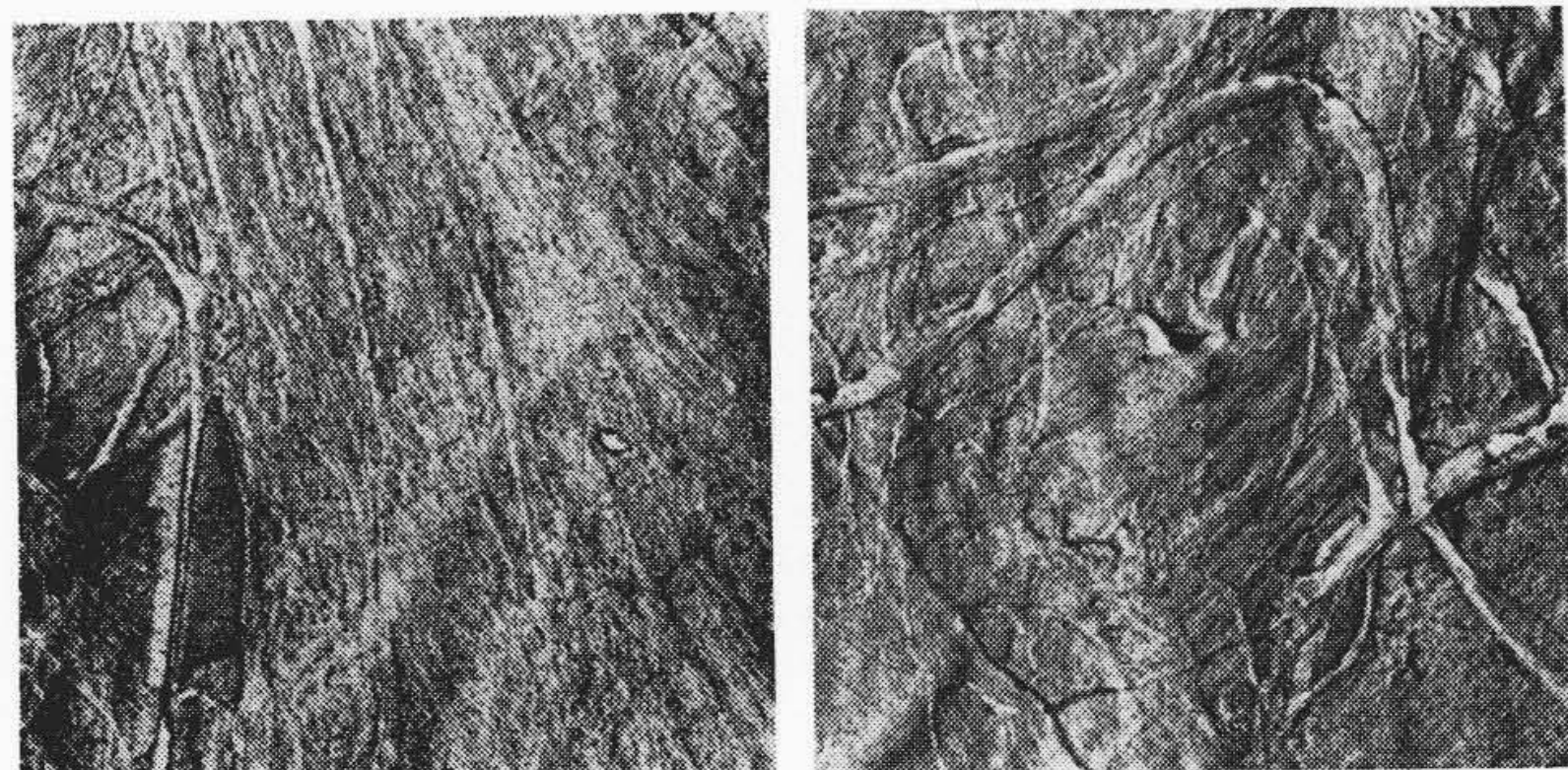
No. 1~3 は 1 時間の放電劣化により、表面は円形（約 $1 \sim 30 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$ ）に近い状態で初めは凹状に、次第に凸状にふくれ上った状態を示す。

No. 5~6 は No. 1~3 よりもさらに多くの放電エネルギーを受け

て劣化の進んだ表面状態を示す。ここで顕著な変化のちがいは、No. 1~3 にくらべて「ひぶくれ」状が大きく発達し（No. 5）一部分は崩壊し始めた（No. 6）ことを示している。

さらにコロナ放電が進行すると No. 7~9（放電時間 100 時間）のように、前述の「ひぶくれ」状はいっそう崩壊*が進み、No. 8, 9 はほとんど「ひぶくれ状」の原形を留めない状態となる。このようにして第 8 図の乾紙の短時間破壊を行った破壊口および OF ケーブルの破壊口付近の表面状態（第 11 図）に似た状態となり、間もなく破壊のおこる状態に近づいたことを暗示している。

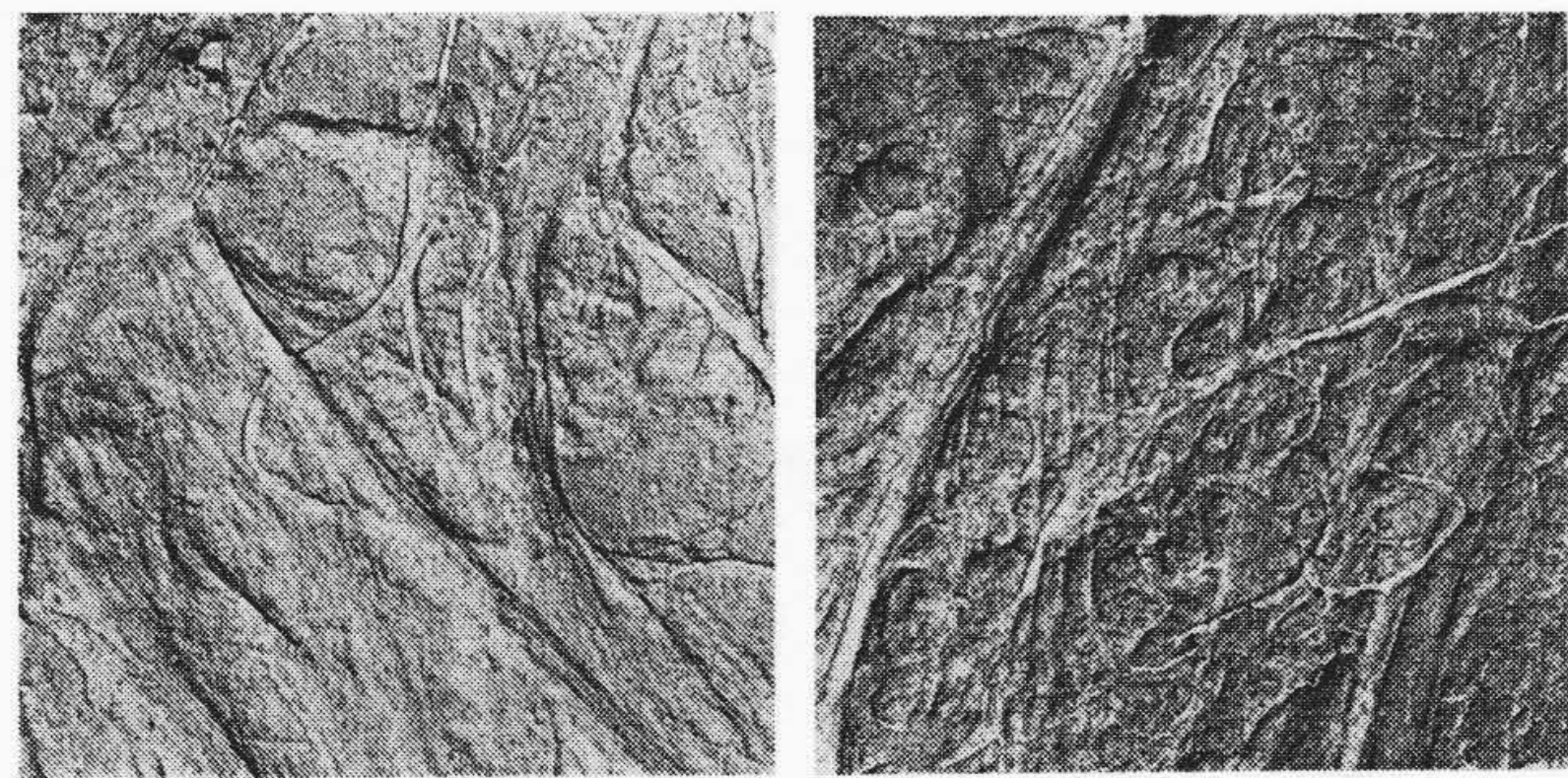
* 崩壊の厚さは、電子顕微鏡写真（第 9 図 No. 8）より 0.1μ と概算される。



No. 1

No. 2

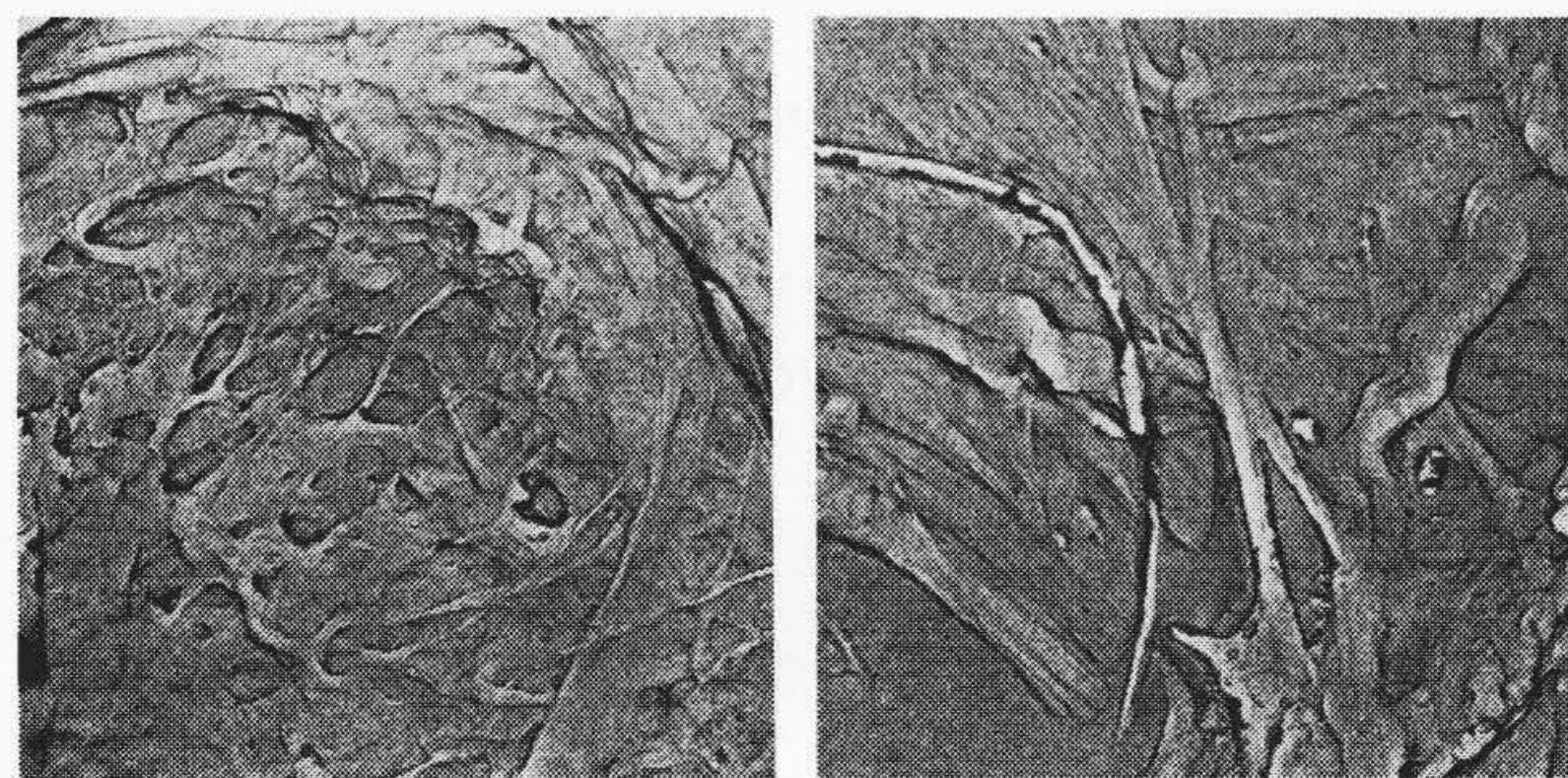
0.3秒 104.5 kV/mm 破壊



No. 3

No. 4

906秒 59.7 kV/mm 破壊



No. 5

No. 6

15.5時間 62.8 kV/mm 破壊

第9図 油浸紙のコロナ放電劣化による表面状態の変化 (×5,000)
注: 破壊口近くのみ焦げ茶色に変化した以外ほとんど変色しない

木材繊維には一定の溶融状態を示す温度はないが、このような表面状態は溶融状態に見られるから、偽溶融状態といってもよいであろう。しかしコロナ放電を受けて劣化した試料表面には、単に加熱によって熱破壊したときのような炭化のあとを残さない貫通孔が無数にできる。

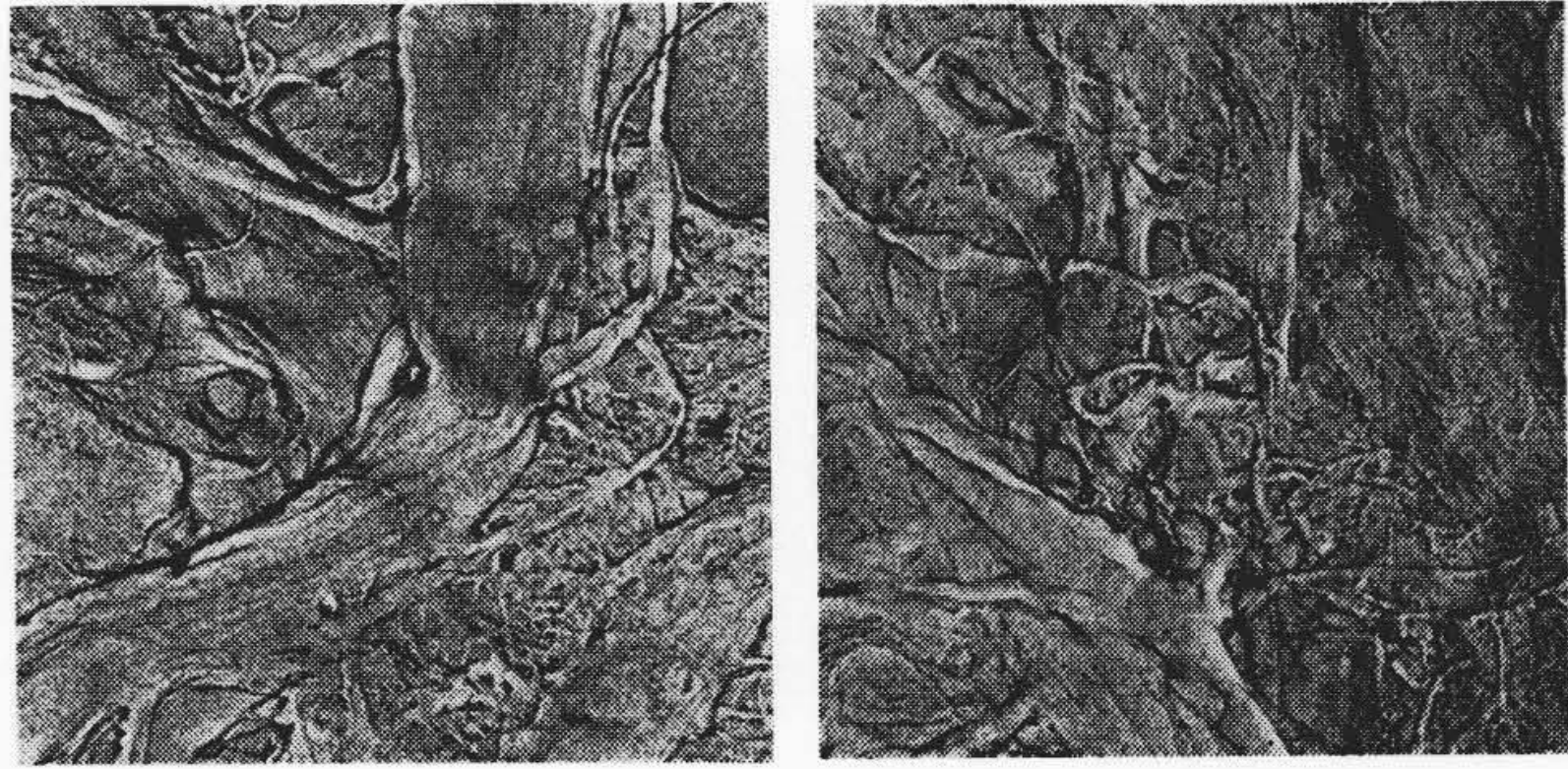
またコロナ放電後の試料は、劣化前の未漂白クラフト紙特有の色相とくらべて、放電を受けた全表面は明瞭に漂白される。これは空気中で行ったコロナ放電のためオゾンが発生して漂白した結果で、空気中のコロナ放電劣化にはオゾンによる酸化反応も同様に起こることの証明である。

4.2 油浸紙のコロナ放電劣化による表面状態の変化

油浸紙がコロナ放電により劣化した表面状態の変化を第9図に示す。すなわち交流長時間破壊後の試料から、含浸油をベンゾール蒸気洗浄により脱油して、絶縁破壊口を中心に直径 10 mm 以内のところを電子顕微鏡により観察した結果を示してある。

乾紙の場合にくらべて著しく表面状態の変化の様相が異なるのは、放電条件が異なることと、油が直接コロナ放電を受けるため、紙シートは放電劣化から保護されるようになるから、劣化反応は乾紙のみの場合にくらべて著しく緩和されることが考えられる。

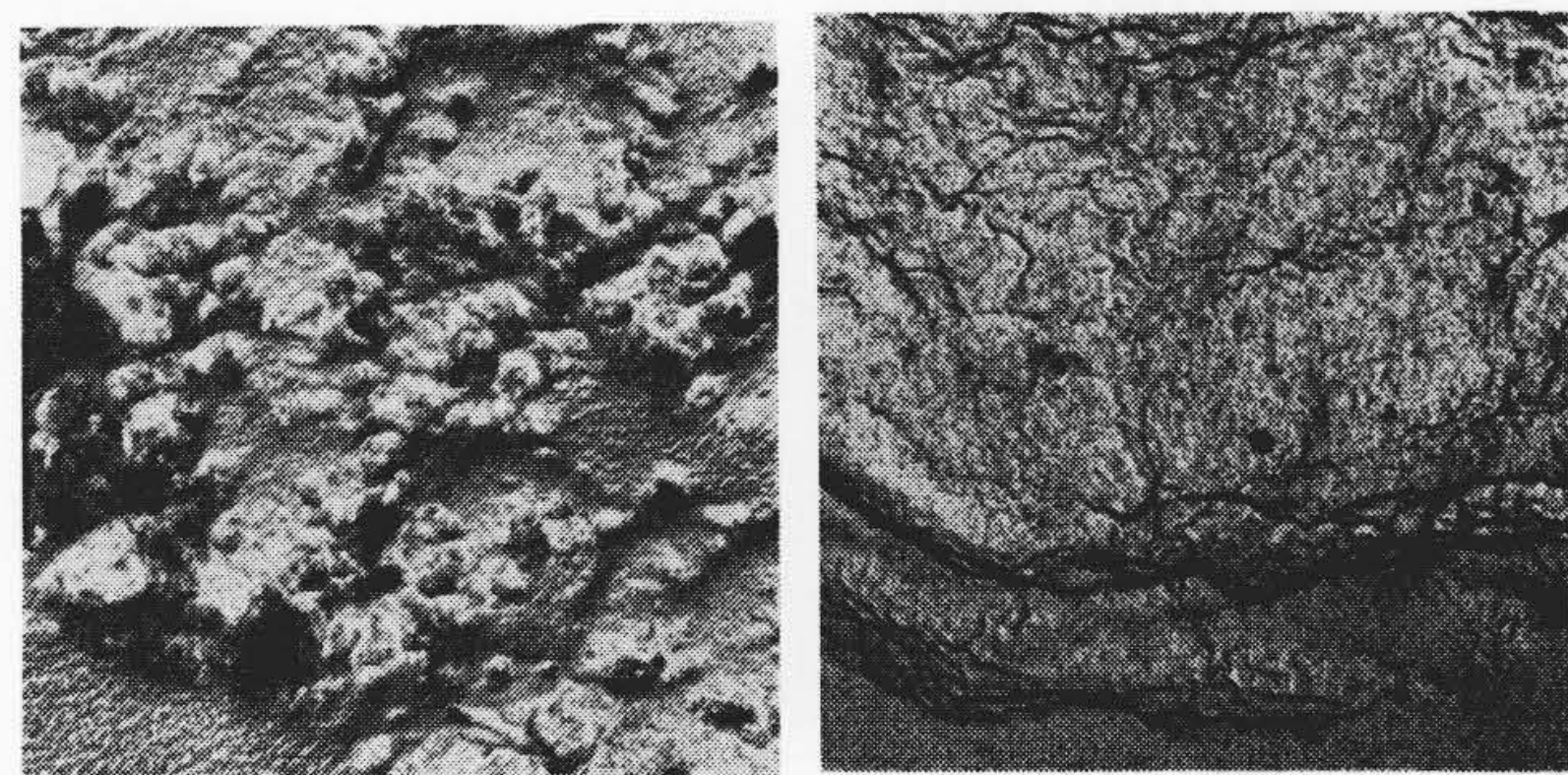
特に第9図 No. 1, 2は電氣的短時間破壊であるから、長時間のコロナ放電劣化の状態とはもちろん異なると考えられ、むしろ第12図



No. 1

No. 2

第10図 空气中 140°C×120時間加熱した表面状態 (×5,000)
注: 表面はいわゆる焦げ茶色に変色



No. 1

No. 2

第11図 60 kV OF ケーブルのコロナ放電により破壊した絶縁紙の表面状態 (×5,000)

注: 表面は原色よりいくぶん漂白され破壊口近くではセミカーボナイズされた

の 340°C の空気が遮断された鉛浴中に 30 秒～5 分間浸漬して加熱したときの表面状態 (特に No. 2, 3, 4) にかかなり近い状態の変化を示している。

第9図 No. 3, 4 図 (課電 15 分後, 59.7 kV/mm で破壊) もほとんど同様の変化と考えてよいが、この場合のほうが No. 1, 2 にくらべてコロナ強度の弱い放電劣化と熱劣化からなる劣化の状態を示していると思われる。すなわちマイクロフィブリルの一部が退化し始めていることが前者よりはいくぶんよく認められる。

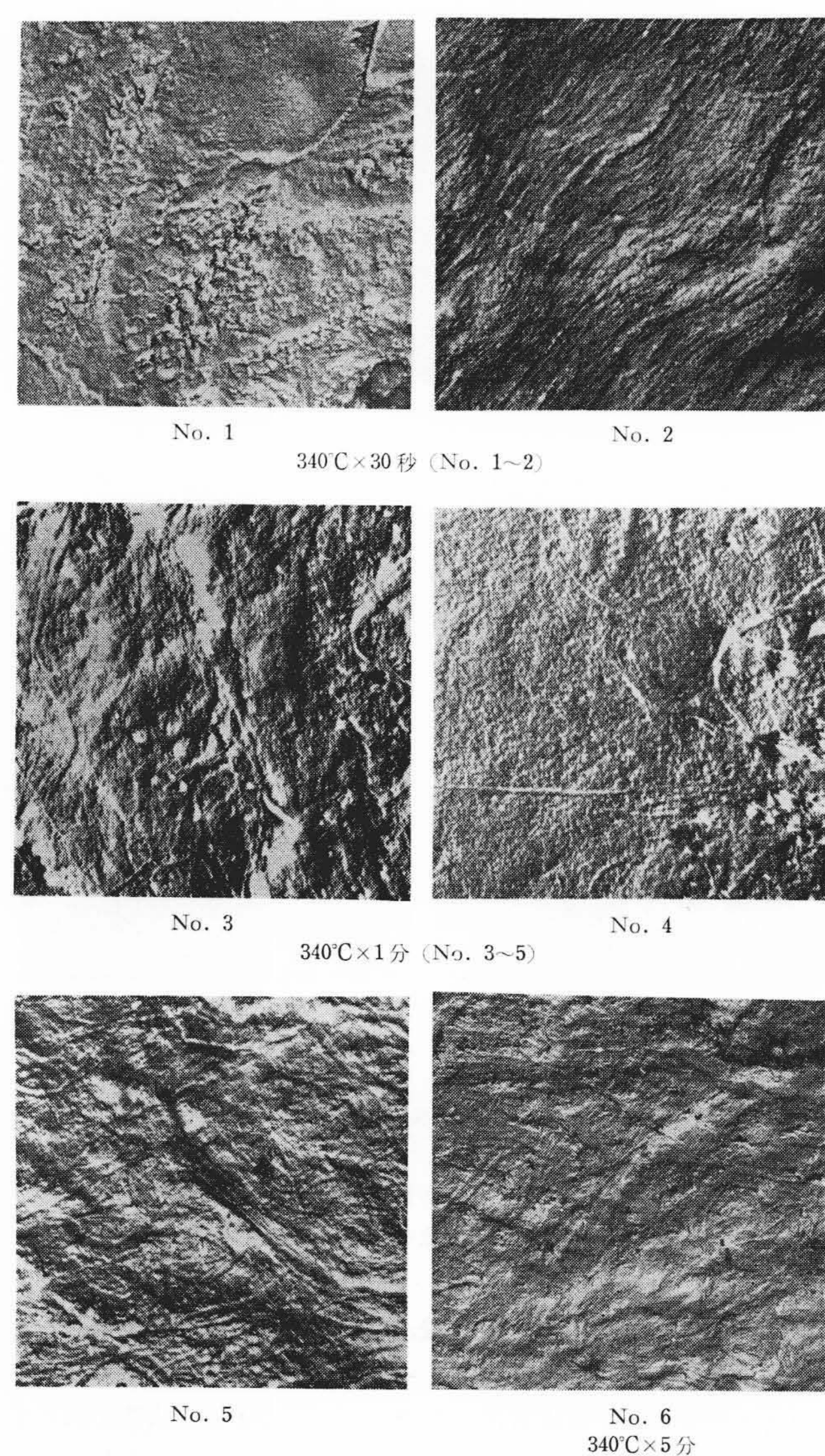
以上の二例は 340°C の鉛浴中に浸漬して熱劣化させた第12図 (特に No. 2, 3, 4) に近い状態の変化を示し、乾紙のコロナ放電 (第7図) による「ひぶくれ現象」と同一現象は認められない。ひぶくれ現象をおこすには、さらに空気中の高い温度に不連続的に長い時間さらされなければならないことが考えられる。

第12図 (No. 3, 6) にはごく一部に「ひぶくれ」状に発展すると思われる状態も認められている。しかしこれを再現するため 5 分以上 340°C に保つことが必要と思われるが、こうすると電子顕微鏡のレブリカが不可能になるので、ひぶくれ現象の再現は単に加熱だけではできなかった。

このことを換言すれば、コロナ放電による絶縁紙の「ひぶくれ現象」は、鉛浴中で加熱するような熱劣化から区別される著しい特長がある。

第9図 No. 5, 6 はかなり長時間で破壊した場合の表面状態で、No. 1～4 にくらべてフィブリルの退化ははなはだしい。すなわちこの状態は表面をおった絶縁油のため、コロナ放電による衝撃作用を直接受けにくいので、かなりの高温にさらされても「ひぶくれ状」とならず、まずマイクロフィブリルを著しく退化させる劣化であることが認められる。

この劣化の状態は、また乾紙を空気中で 140°C×120 時間、または 150°C×100 時間加熱した場合に、はじめてフィブリルを退化する表面状態の変化が認められることから、この状態の変化は温度が



第 12 図 340°C 鉛浴中に浸漬 (30 S ~ 5 分) して高温加熱した表面状態 (×5,000)

- 注：(1) No.1~6 のすべては表面いわゆる焦げ茶色に変色
 (2) No.1,2,4 ミクロフィブリルの崩壊が認められる
 (3) No.3,5 には微小「ひぶくれ状」らしいものが発生している
 (4) No.6 は特に明瞭に微小ひぶくれらしいものの発生が認められる

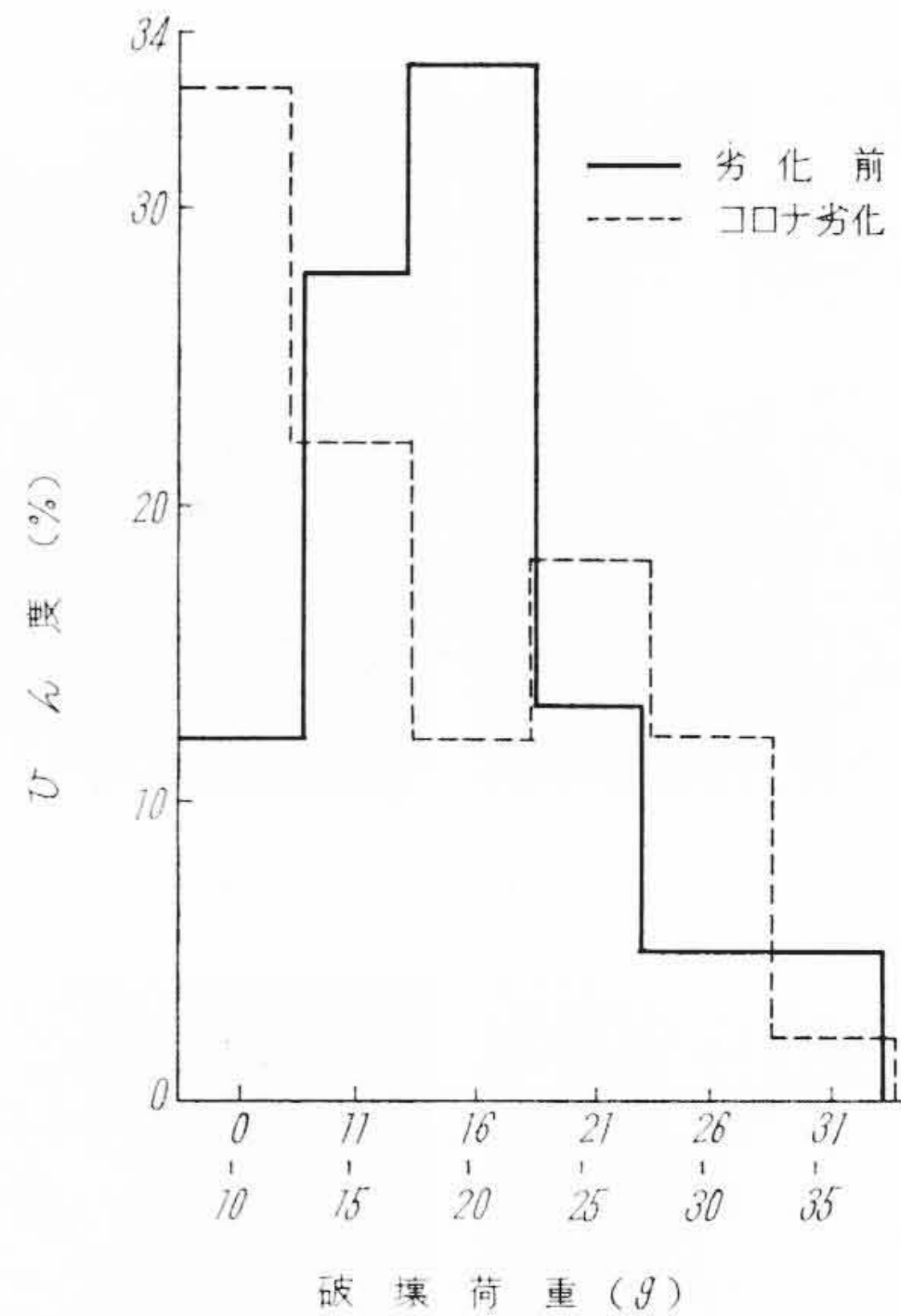
140°C 付近に達する熱劣化による変化がおもであると思われる。
 しかしこの状態から劣化はさらに進み、破壊に近づく場合は「ひぶくれ現象」をおこし、ついに偽溶融状になることが予想される。
 すなわち第 11 図は 60 kV OF ケーブルが、かなり強烈な鉛被下のコロナ放電により破壊した破壊口付近 (油浸紙の毛ばだった箇所を電子顕微鏡でとらえた) の劣化状態で、油浸紙の破壊直前の状態は、すべてこれとおなじ状態になると考えられるからである。

5. 結果 の 検 討

以上の電子顕微鏡による表面状態の変化の様相から、コロナ放電劣化現象の機構が、つぎのように推測できる。

(1) コロナ暴露面はガスの電離により発生した電子、イオンが電界によって加速されて、表面のミクロフィブリルや細胞膜破片などに衝突して機械的衝撃を与え、これをもろくしついに微粉化する。

G. L. Clark 氏⁽¹⁰⁾ はこれをコロイド化繊維紙 (Colloidal paper fiber) と呼び、破壊ケーブルの心線付近にできることを認めている。このことはまたコロナ放電劣化前後の紙を離解し、単繊維強度を 100 本ずつ測定して、第 13 図のように単繊維切断荷重のひん度曲線



第 13 図 コロナ劣化した単繊維切断荷重ひん度曲線

を比較して見ても脆弱化されていることがわかる。
 (2) (1)のように電子、イオンの衝撃作用の結果、ミクロフィブリルは微粉化されるとともに、第 4 図から認められたように、ごく表面層に近いセルローズ分子層は 1.4 グルコシッド結合で切断され、還元性 -CHO 基をつくる酸化、また酸化されやすい C₆ の第一アルコール基の酸化がおこり、酸化セルローズがますます増加するようになる。
 同時に初めから酸化セルローズとして含まれていた -COOH 基、-CO、-CHO 基などからは CO₂ と CO ガスを発生する反応が起るようになると思われる。

これらの化学反応のうち CO₂ と CO ガスの発生は高温 (約 130°C 以上) になるほど盛んになることが知られている⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。これに必要な熱エネルギーの補給は、一度ガス発生が盛んになると、コロナ放電が強まってますます集中化する電子、イオンの衝撃作用により行われる。またセルローズ誘電体の酸化にともなって、電導性物質の蓄積が進行⁽¹³⁾して、局部的に漏れ電流、誘電正接を増加する結果発熱する。この発熱はセルローズの酸化反応とガス放出反応とを繰返えし促進することになり、活発な酸化反応を進行させる。

(3) コロナ放電劣化反応中の温度上昇を測定することが困難なため、コロナ放電劣化の反応機構は、加速された電子、イオンなどが、誘電体分子の化学結合を直接打ち切る反応がおもであろうとする考え方がある。もちろん電子のエネルギーが直接このエネルギーに変換されているにちがいない。

しかしコロナ放電による表面状態が 1 時間以内に「ひぶくれ現象」をおこすことから、瞬間的にはかなり高温になることが予想される。たとえば第 9 図 (No. 5, 6) のように、フィブリルの退化は約 140°C × 120 時間の加熱に相当する条件のもとでおこっていると考えられること、また CO₂、CO ガスの発生が認められるようになるためには 130°C 以上の温度を必要とすることが、文献(11)(12)などから明らかであり、また第 3 図の炭化しない貫通孔の生成に似た重量減少をとまなう現象は、空気中の高温における酸化反応による現象であるとした報告もある⁽⁷⁾⁽¹⁴⁾。

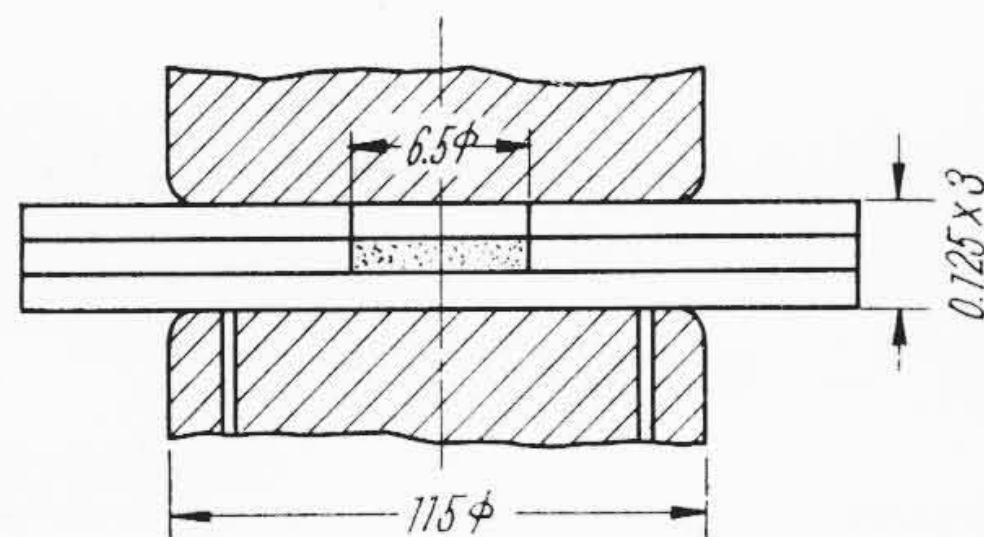
すなわち高分子は高温で加熱されると一般に揮発性酸化生成物ができて次第に目方が減少* してゆき、重量の減少度が酸化劣化の一

* 小鉄片をグラインダに擦りつけると微粒子鉄粉は火花状になって飛散するが、手にふれてもやけどをすることがないのを知っている。コロナ放電劣化現象はこれによく似た現象の蓄積の結果と思われる。

第1表 金属イオンのセルローズ分子分裂速度および平均重合度に及ぼす影響

試料	分子分裂速度 $K \cdot 10^7 h^{-1}$	P600 となるまでの時間 (h)
原料 (P 1,150)	0.5	83
酸処理 (pH3)	2.2	15
Li ⁺	0.6	43
Na ⁺	0.6	43
Mg ⁺⁺	1.4	23
Al ⁺⁺⁺	3.1	11
K ⁺	0.7	35
Ca ⁺⁺	0.9	35
Mn ⁺⁺	1.2	28
Fe ⁺⁺	4.4	8
Ni ⁺⁺	1.2	28
Cu ⁺⁺	6.7	6
Ag ⁺	1.0	36
Ba ⁺⁺	1.0	35
Pb ⁺⁺	0.4	83

* 130°C 空気中加熱における値



第14図 耐コロナ特性試験片

尺度と考えられている。ただし重量減少の様相は化学構造と関連性がある⁽¹⁵⁾。

つぎにコロナ発生時の瞬間的な温度は何度に達するであろうかとの間に対しては本研究だけでは正確に決定することはできない。しかし H. Demus 氏⁽¹⁶⁾ によってセルローズ(パルプ)の最低の発火温度は 290°C, ビスコースプの発煙開始は約 250°C, 発火温度は 290~305°C と測定されている。ただし空気を十分に送入しないと炭化は起るが、発火はしない。

H. Demus 氏⁽¹⁶⁾ の実験結果と本研究の電子顕微鏡による表面状態の変化(第7図 No.9 と第8図および第11図の近似性)から、コロナ放電劣化現象は不連続的に 300°C に近い温度にも達する高温酸化反応である、と考えられる。J. H. Mason 氏⁽⁸⁾ はポリエチレンのボイド放電の研究で、560~1,700°C になることのある場合を計算で示している。

以上の検討からコロナ放電劣化現象は高温酸化反応で、絶縁紙の最上層に近いセルローズ分子層から逐次酸化して浸食する反応であるが、ミクロ的にはかなり劣化の進捗が異なっていることが電子顕微鏡により明らかに認められる。

6. 高電圧ケーブル紙の耐コロナ特性改善の一実験

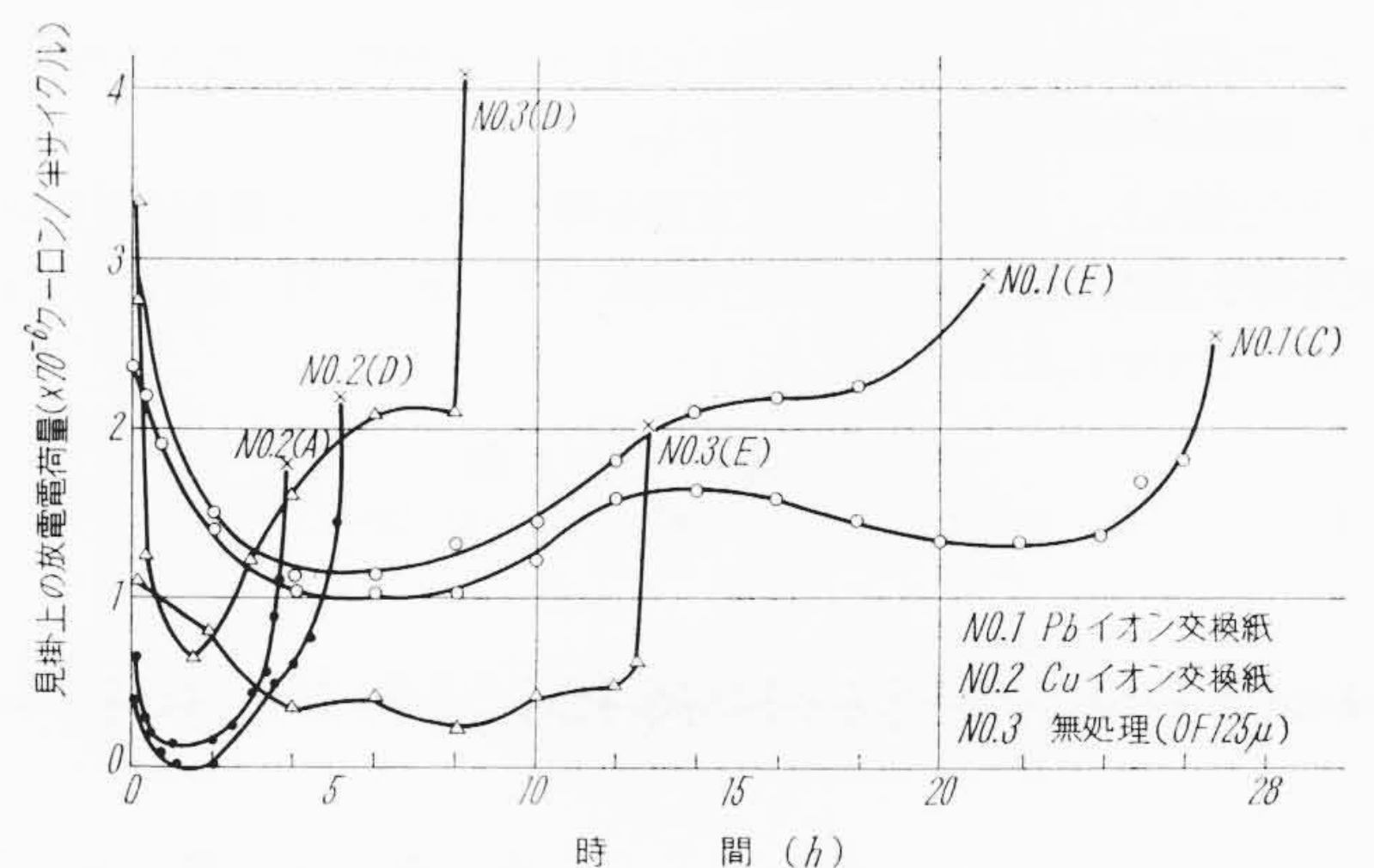
前述で明らかなようにコロナ放電劣化現象は高温酸化反応であるから、セルローズ分子の高温酸化反応を抑制できれば、耐コロナ特性を改善できるはずである。

さきにセルローズ繊維の高温酸化(100~140°C)に対する金属イオンの影響について実験した結果、Pb イオン交換紙は加水分解、酸化劣化⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾ および油浸紙の高温部における誘電正接の上昇を抑制する効果が認められた⁽¹⁹⁾。

第1表⁽¹⁷⁾ は 130°C 空気中における金属イオンのセルローズ分子分裂速度および平均重合度が 600 になるまでの時間を示したもので、以下に述べる方法によって Pb イオン交換紙の耐コロナ特性を

第2表 Pb および Cu イオン交換紙の耐コロナ性

種 別		コロナ開始 電圧 (V)	印加電圧	破壊までの 時間 (h)	ボイド破壊点
			コロナ開始電圧		
Pb イオン 交 換	No.1 (C)	1,550	1.4	26.6	ボイド中央
	No.1 (E)	1,550	1.4	21.1	ボイド中央
Cu イオン 交 換	No.2 (A)	1,550	1.4	3.6	ボイド中央
	No.2 (D)	1,480	1.4	5.1	ボイド中央
無 処 理	No.3 (D)	1,010	1.4	8.1	ボイド中央
	No.3 (E)	1,050	1.4	12.6	ボイド中央



第15図 Pb および Cu イオン交換紙の耐コロナ特性

測定した結果、効果を確かめることができた。

6.1 試験法

第14図のように厚さ 125 μ 紙の Pb, Cu イオンで処理したクラフト絶縁紙3枚を重ね、中央の1枚は 6.5 mm φ の円形に打抜いて空隙をつくり、これをモデルボイドとしてコロナ放電の対象とした。

コロナパルスの測定はボイド試験用測定装置⁽⁹⁾ を使用し、放電量はあらかじめパルスゼネレータ装置全体の目盛定めを行い、装置の入力端における見掛け上の放電量を示した。印加電圧はまず徐々に電圧を上昇させてコロナ開始電圧を測定し、これに任意倍数(ここでは 1.4 倍とした)の電圧を印加した。一方コロナ放電量の時間による変化をとらえるため、破壊するまで連続記録した。

電極は乾燥用デシケータ内に装置し、測定は室温(10°C付近)で行った。

6.2 結果

結果は第2表と第15図に示したように、印加電圧をコロナ開始電圧の 1.4 倍としたとき、Pb イオン交換紙の破壊までの時間は 20~26 時間、Cu イオン交換紙は 3~5 時間、無処理のそれは 2.5~12.5 時間で、範囲がいくぶん広いが、Pb イオン交換紙の耐コロナ性はほかの試料にくらべて効果あることが認められた。反対に Cu イオンはきわめて耐コロナ特性に有害であることが認められたが、後の機会にこの点を詳細報告する考えである。

7. 結 言

絶縁紙のコロナ放電劣化現象について、表面状態の変化を電子顕微鏡的に研究を行った。この結果を要約すると

(1) コロナ放電による電子、イオンの機械的衝撃作用により、紙シートの構成繊維は脆弱化される。これとともに瞬間的に、局部的温度上昇して繊維表面のマイクロフィブリルは退化する。また単に熱劣化では見られない特異なコロナ放電劣化現象の特長である「ひぶくれ状」に表面が変化する。

(2) 局部的発熱はセルローズの高温酸化反応を促進してひぶくれ状態となるが、これは次第に崩壊し始め、最終的には熱破壊した

あとに似かよった表面状態となる。

ただし絶縁紙表面は焦げ茶色に変色することなく、また炭化しないで貫通孔ができる。これは高温におけるオゾンも共存するような酸化雰囲気中の揮発性酸化生成物をつくる酸化反応のためであると考えられる。

(3) (2) のような酸化反応は瞬間的局所的な温度上昇が、300°C に近い高温になることが推定される。

(4) 絶縁紙の耐コロナ性を改善する一方法として、Pb イオン交換紙について実験し、十分効果が認められた。

終りに臨みご指導を賜った東京工業大学斎藤教授、ご助言をいただいた武蔵工業大学鳥山教授、ならびに日立電線株式会社久本部長、水上副部長に深く感謝の意を表する。

また実験上、ご援助と有益な討論を寄せられた日立製作所日立研究所加子主任、日立電線株式会社橋本主任、依田主任、佐藤(新)氏に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

(1) 下山田，斎藤：日立評論 41，819 (昭 34-6)

- (2) 下山田：電気四学会連合大会 306 (昭 34-4)
- (3) 下山田：日立評論 41，(12) 投稿中
- (4) 池田，堀井：電学誌 78，1213 (昭 33-9)
- (5) たとえば H. Corte, H. Schashek: Papier 9, 516 (1955)
- (6) Sugita, Nagao, Toriyama: Brit. J. A. Phys., 7, 38(1956)
- (7) 加子，井上：電気学会東京支部大会 70 (昭 33-11)
- (8) J. H. Mason: P. I. E. E. 98, Pt. 1, 44 (1951)
- (9) 橋本：電学誌 77，1359 (昭 32)
- (10) G. L. Clark: Elec. World 103, 284 (1934)
- (11) F. M. Clark: Elec. Chem. Soc., 83, 143 (1943)
- (12) 斎藤，山中，日野：電学誌 77，1610 (昭 32-12)
- (13) たとえば下山田，常松：日立評論 36，1825 (昭 29-12)
- (14) 井関，松下：電気学会東京支部大会 71 (昭 33-11)
- (15) C. Reimer: Kunststoffe 46, 149 (1956)
- 河合：電気学会材料部門委員会劣化問題委員会資料 (昭32)
- (16) H. Demus: Faserforsch. u. Textiltech. 7, 357 (1956)
- (17) 下山田，常松：日立評論 37，1567 (昭 30-11)
- (18) 下山田，常松：日立評論別冊第 13 号 45 (昭 31-3)
- (19) 下山田，電気学会東京支部大会 131 (昭 34-11)
- 下山田，常松：特許第 252443 号 (昭 34-6)

日 立 製 作 所 社 員 社 外 寄 稿 一 覧 表

(その2)

(第36頁より続く)

(昭和34年 8 月受付分)

寄稿先	題 名	所 属	寄 稿 者
日本原子力学会	原子炉内の中性子スペクトル (1) —プルトニウム蓄積の影響—	中央研究所	北川 光 幸 長谷川 敏 雄 倉持 義 和 木下 敏 徳 渡辺 一 朗 村田 寿 典 村田 寿 典 森 泉 袈 弥 石 松 健 二
計測学会	日立電子式プロセス制御装置	多賀工場 中央研究所	
日本電気協会 電気化学協会関西支部 電気化学協会関西支部 関東電気協会 日本放射性同位元素協会 港湾荷役機械化協会	製鉄工業におけるデータ処理装置の応用 ウラニールイオンによる硝酸イオンの接触波 ポーログラフ法による炭酸アンモン溶液中のウランの分析 「オートメーションと電力合理化」「合理化をこう進めた」 イオン槽による大線量測定 荷役機械の電気設備について	本社 日立研究所 日立研究所 亀戸工場 中央研究所	
テレビ教育協会 強化プラスチック協会	工場と動力 FRP関係ポリセツト樹脂	日立工場 本社 絶縁物工場	平川 克 巳 吉岡 孝 幸 細谷 栄 次郎 宮 入 真 亀男
日本冷凍協会 オーム社 オーム社 電気書院	パッケージ形エアコンディショナーの取扱法 将来の大形蒸気タービンを推測する 日立 R M B 形中性子水分計 6.3. 制御方式, 6.3.4. 交流発電所の制御, 6.3.5. 直流変電所の 制御, 6.3.6. 工場受電変電所の制御	本社 日立工場 本社 国分工場	栗本 正 雄 桑野 幸 三 相原 二 郎 川 井 晴 雄
電気商品聯盟 特殊鋼倶楽部 工業調査会 日刊工業新聞社 日刊工業新聞社 プラスチックM.R社 東京通産局技術課 東京通産局技術課	殺菌灯, 健康灯 高抗張力鋼と鋁山運搬設備 フ ラ ン シ ュ 樹 脂 電気絶縁材料としての合成絶縁油の性能, 用途, 使い方 結晶性高分子の動力学的性質とその放射線効果 メラミンプラスチック化粧板 電気抵抗式熱処理炉の改善 大物鋼塊加熱炉の操業実績	日立ランプ 亀有工場 本社 日立研究所 中央研究所 本社 水戸工場 水戸工場	河喜多 能 明 亀井 茂 樹 城 常 雄 紫 藤 延 彦 中 田 修 本 常 雄 安 達 恒 夫 水戸工場 深井達 清 恒 夫 安 北 見 喜 次 安 達 恒 夫 伊 藤 幸 雄 城 常 雄 三 木 正 一 高 田 昇 平 館 下 忠 夫 河 原 誠 二 小 倉 正 美 倉 持 義 徳 寺 田 進
東京通産局技術課	再循環式鋳型乾燥炉の操業実績	水戸工場	
東京通産局技術課 東京通産局技術課 交通問題研究所 経営書房 コロナ社 日本産業機械工業会 原子力経済研究所 自動制御研究会 中部自動制御研究会 荷役研究所	重油検量方式の改善について 電気弧光炉の鋼浴温度分布について 車輛用アルミニウムコアラミンプラスチック化粧板 わが社の電子計算機の現状と将来 日立製作所における電子計算機(単行本) 水中モートルポンプ 液体金属の研究 サ ー ボ 計 算 機 電子式 P. I. D. 調節器 水力による固形物の輸送について	水戸工場 水戸工場 本社 本社 中央研究所 亀有工場 日立研究所 戸塚工場 多賀工場 亀有工場	