

UDC 621.315.616.96.015.533:621.317.333.6
621.3.014.81:535.247.4.083.722

論文

59-A6

有機絶縁材料表面のトラッキング劣化過程 で発生する放電の光パルス計測

正員 西田 眞 (秋田大)
正員 吉村 昇 (秋田大)
正員 能登文 敏 (秋田大)

1. まえがき

有機絶縁材料の多くは、湿潤、汚損された場合にその表面における放電の発生により部分的に炭化劣化を生じ、最終的にはトラッキング破壊に至る⁽¹⁾。著者らは、材料表面でのトラッキング破壊過程を、(1)放電開始過程、(2)炭化開始過程、(3)炭化進展過程の三つの過程に分類し、検討した結果の一部を既に報告した⁽²⁾。一方、中村氏はシンチレーション発生後、材料表面での放電の発生状態が表面の劣化に伴い急激に変化することを報告している⁽³⁾。この結果は、炭化開始後トラッキング破壊に至るまでの過程で、炭化路は必ずしも均一に進展しておらず、放電の発生状態の変化に伴って炭化路の進展状態も急激に変化していることを示唆している。

しかしながら、上記各過程やシンチレーション発生後にその発生数が急増し、炭化路が急激な進展を開始する状態に移移する境界を分類するのに、目視あるいは電流波形の変化に頼っているのが現状である⁽²⁾⁽³⁾。このため各過程の境界の定義があいまいであり、また定量的な判定も困難であることから、試験者によって各過程の規定が異なること、個人差による結果のばらつきが生じるなどの問題を有している。そのため、トラッキング破壊に至る各過程の境界を分類し、表面の劣化状態を把握する方法を確立することはトラッキング劣化現象を明らかにするうえで重要な課題である。

Measurement of Light Pulses Emitted in Deterioration Process of Tracking Breakdown on Surface of Organic Insulating Materials. By Makoto Nishida, Member, Noboru Yoshimura, Member & Fumitoshi Noto, Member (Mining College, Akita University).

西田 眞: 正員, 秋田大学鉱山学部電気工学科
吉村 昇: 正員, 秋田大学鉱山学部電気工学科
能登文敏: 正員, 秋田大学鉱山学部電気工学科

本論文では、放電の種類によりその波長成分が異なる⁽⁴⁾ことに着目して、放電光を紫外領域、可視領域および赤外領域の3種波長領域に分割し、各波長領域での光パルスの発生数の時間変化をそれぞれ計測することより、主に次の二つの項目について検討を加えた。

(i) トラッキング劣化の各過程の境界を判定する方法の確立

(ii) トラッキング劣化状態と各測定波長における光パルスの発生数の変化との対応について

その結果、放電開始および炭化開始は特定の発光波長の光パルスを計測することによって測定者の個人差を含まず、容易に判定することが可能なこと、光パルスの計数率の変化から炭化路発生後、炭化路が急激な進展状態に移移する境界、すなわち炭化劣化を促進する炭化進展の起点の発生を把握することが可能であるなどの知見が得られたので報告する。

2. 実験装置および試料

〈2.1〉 実験装置 試験方法は IEC 112 試験法の規定⁽⁵⁾に準じており、電源回路、電極配置は既報⁽²⁾と同様である。電極には白金刃形電極を用いた。電極間に滴下する電解液は 0.1 重量% NH₄Cl 水溶液で、その抵抗率は 23°C で 396 Ω·cm である。電解液は試料表面より約 3.5cm の高さから 30s 間隔で滴下した。トラッキング破壊は 0.5A の電流が 2s 以上継続して流れた場合をもって判定した。また、トラッキング破壊に至らない場合には、100 滴滴下後試験を終了した。印加電圧は 200V、300V および 400V である。

〈2.2〉 試料 試料としては、エポキシ樹脂、ポリスチレン、紙基材フェノール樹脂積層板(以下、EX, PS, PL と記す)の3種類を用いた。試料の大きさは 2×2cm²で、厚さは 1.5~3mm である。試料は

エチルアルコールを含ませたガーゼで表面をぬぐった後乾布で拭き、48時間以上シリカゲル入りデシケータ中に保存乾燥したものを実験に用いた。なおPLには難燃剤が含まれている。

3. 光パルス計数装置

〈3.1〉 測定波長 トラッキング劣化の進展に伴い発生する放電光の光パルス発生状態を検討するため赤外領域、可視領域および紫外領域（以下、赤外、可視、紫外と略記）の3種波長領域の光パルスを計測する装置を試作した。試作回路の構成図を図1に示す。赤外と可視測定用光センサには、シリコンホトダイオード (SPD) を、紫外測定には U. V. tron を用いた。SPD は赤外用として S1223-02 を、可視用として G115 を、U. V. tron は R1490（いずれも浜松テレビ製）をそれぞれ用いた（以下、 S_R, S_V, S_U と略記）。

各センサの分光感度特性（カタログ値⁽⁶⁾⁽⁷⁾）を図2に示す。 S_V は紫外にも感度を有するため、ロングパスカラーフィルタ (CFG: V-Y 42, 10% 透過率約 405

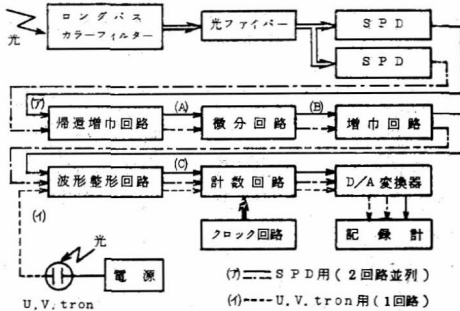


図1 光パルス計数回路の構成図

Fig. 1. Block diagram for the measurement system of light pulse.

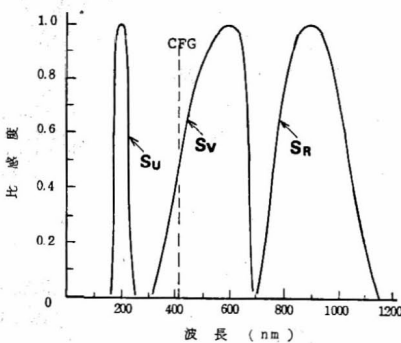


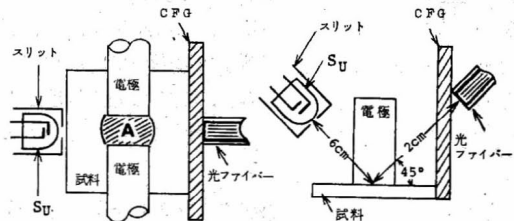
図2 光センサの分光感度特性

Fig. 2. Relative spectral sensitivity for light sensors.

nm, 東芝製) を用い紫外をしゃ断した。このため、各センサの測定波長は短波長および長波長側のカットオフを5%とした場合、 S_R で700~1,140nm, S_V で405~680nm, S_U で185~260nmとなる。また、センサの入射光量 (W) と光電流 (A) の比、すなわち放射感度は S_R で約 0.5 A/W, S_V で約 0.3 A/W (いずれもピーク波長) である。

〈3.2〉 光の測定位置 光ファイバ (OF) および S_U の配置を図3に示す。OF の試料側の断面および S_U と電極間中央部からの距離は、それぞれ約 2cm, 6cm である。OF の透過スペクトルは 0.4~2.1nm⁽⁸⁾ であり、 S_R と S_V の測定波長に影響しない。また、試料側の断面は一つでセンサ側の断面が二分割されており、ガラス繊維の配列はランダム形である。従って、 S_R および S_V で測定した光パルスは、ほぼ同一位置で発生したものと考えられることができる。なお、 S_R, S_V の測定可能面積は図3中斜線部 A (電極中央部) であり、 S_U の場合スリットにより S_R, S_V とほぼ同じ面積の光パルスを測定するよう調整した。

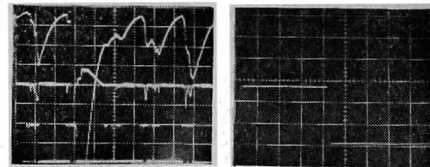
〈3.3〉 試作回路の特性 図4(a)に S_R, S_V を用いたときの帯域増幅回路、微分回路および波形整形回路後 (図1 A, B, C 点) における出力波形を、同図



(a) 上から見た場合 (b) 電極の裏側から見た場合

図3 光センサの配置図

Fig. 3. Schematic diagram of light pulse measurement.



上: 帯域増幅回路の出力: 1V/div 2V/div, 2μs/div
中: 微分回路の出力: 1V/div
下: 波形整形回路の出力: 2V/div

5ms/div

(a) SPD の出力波形 ($S_R, S_V, 400V, 30μs$) (b) S_U の出力波形

図4 SPD および U.V. tron の出力波形

Fig. 4. Waveforms of SPD and U.V. tron.

(b)に S_V の波形整形後の出力波形をそれぞれ示す。回路には最大で約 50mV (約 3×10^{-10} A の光電流に対応) の外部雑音が生じたため、50mV 以下の信号は波形整形しないように回路を設定した。また、帰還増幅回路の増幅率 (光電流と電圧出力の比) は 1.7×10^8 で、シャ断周波数は約 6kHz、増幅回路の最大利得は 60dB で、そのシャ断周波数は 200 kHz 以上である。なお、 S_V の波形整形後のパルス幅は $8 \mu s$ 一定で、出力パルス間隔 (不感時間) は約 $250 \mu s$ である。

S_R, S_V を用いて光パルスを計数する場合には、図 1 のライン(A)で、 S_V を用いる場合はライン(I)で計測した。光パルスは、

- (i) 1 秒間あたりの光パルス計数率 (CPS)
- (ii) 30 秒間の積算計数 (APN)
- (iii) トラッキング破壊あるいは 100 滴下までの光パルス計数総数 (累積数)

について測定した。各測定項目とも図 1 の回路を用い各波長領域の光パルスを同時に計測した。なお、本法で用いた D/A 変換器は $16^{n-1} \sim 16^{n+1}$ ($n: 1$ 以上の整数) 個のデジタル信号をアナログ信号 (0~10V) に変換可能である。一方、測定した光パルス数は CPS で 20~約 1,500 個、APN で 250~40,000 個の範囲であった。このため、CPS 測定の場合は 16 個以上、APN 測定では 256 個以上の光パルスを計数した場合に、記録計へ出力するよう回路を設定した。

4. 実験結果および検討

〈4.1〉 1 秒間あたりの光パルス計数率 (CPS) の測定結果 CPS の測定結果を PL 400V の場合を図 5 に、EX 400V の場合を図 6 に示す。また、比較のため

各印加電圧におけるトラッキング破壊滴下数を表 1 に示す。同表中 E の記号は破壊に至らないこと (侵食) を示し、EX は各電圧とも侵食となったので、最大侵食深さを求めた。各試料の CPS はトラッキング破壊に至る場合は図 5 の場合に、破壊に至らない場合には図 6 の場合の結果と類似した時間変化を示す。破壊に至る場合の CPS は滴下数の増加に伴い連続的に計数し、放電発生数の多くなる傾向が認められる。一方、破壊に至らない場合には 100 滴に近づくにつれて放電の発生は電解液滴下直後のみに集中し、しかも断続的に発生する傾向が認められる。また、電解液を滴下してから光パルスの計数を開始する滴下数 (ND) は、各試料、各印加電圧とも紫外<赤外<可視となり

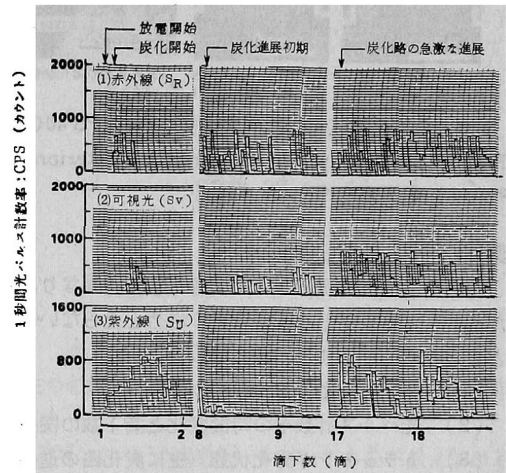


図 5 1 秒間光パルス計数率の測定結果 (PL 400V)
Fig. 5. Relation between droplet numbers and count rate of light pulse (PL 400V).

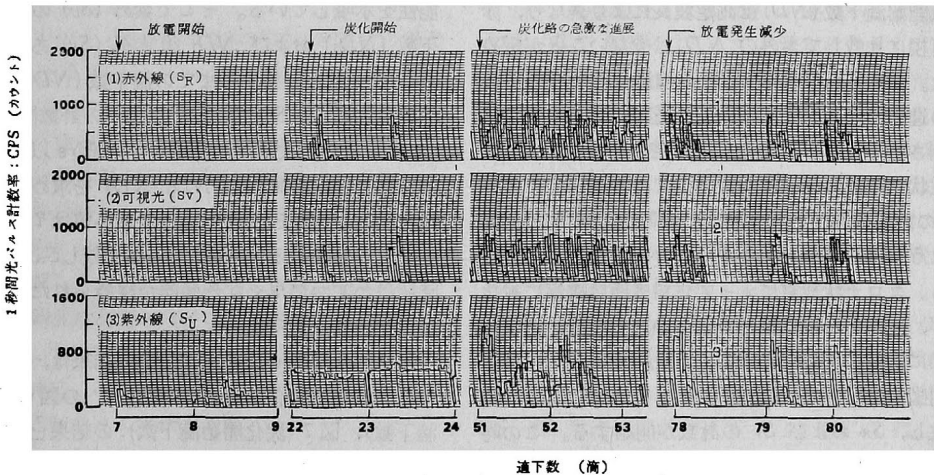


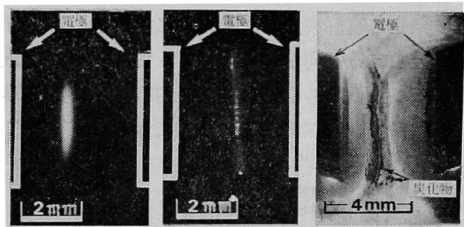
図 6 1 秒間光パルス計数率の測定結果 (EX 400V)

Fig. 6. Relation between droplet numbers and count rate of light pulse (EX 400V).

表 1 トラッキング破壊滴下数の測定結果
Table 1. Droplet number to tracking.

試料	トラッキング破壊滴下数(滴)		
	200V	300V	400V
EX	E (0.5 mm)	E (0.8 mm)	E (1.0 mm)
PS	E	E	35
PL	E	75	24

E: 侵食の場合で () 内は侵食深さ



(a) コロナ状放電 (5滴, 露光10秒) (b) シンチレーションの発生 (11滴, 露光10秒) (c) 試料表面の劣化状態 (23滴)

図 7 放電発生状態と試料表面劣化状態(PS 400V)
Fig. 7. Photographs of discharge and deteriorated surface of specimen (PS 400V).

紫外の ND が最も少ない。

以上のように、測定波長により ND は異なり、また CPS の時間変化は破壊に至る場合と至らない場合とでその傾向が異なる。そこで以後、

- (1) 測定波長による ND の相連
- (2) 光パルス計数率の時間変化と滴下数の関係
- (3) トラッキング劣化状態(主に炭化路の進展状態)と光パルス計数総数との対応

について検討する。

〈4.2〉 光パルス計数開始滴下数(ND) 光パルスの計数開始滴下数(ND)は測定波長により異なり、紫外や可視に比較して紫外の ND は少ないことが認められた。測定波長による ND の相連は、試料表面の劣化の進行に伴い発生する放電の種類に関連することが推測される。本方法による炭化発生直後までの放電の発生状態の観察結果は次のようである。

S_u の計数が開始された直後の放電は、図 7(a) に示すような電解液間で発生するコロナ状の放電(紫色)である。コロナ状放電によって試料表面は次第に劣化するが、炭化析出物は確認されない。その後、滴下数の増加により図 7(b) に示すシンチレーション(黄赤色: 同図中の白色点状の箇所) がコロナ状放電と同時に発生し、 S_R および S_v の計数が開始する。この時点で同図(c) に示す黒色の炭化析出物が試料表面に認められる。このように S_u のみが計数される場合と、 S_R, S_v の計数が開始した後では放電の発生状態および

表 2 ND_1 の測定結果

Table 2. Measurement results of ND_1 .

試料	ND_1 (滴)		
	200V	300V	400V
EX	13	9	7
PS	6	4	3
PL	3	2	1

表 3 ND_2 の測定結果

Table 3. Measurement results of ND_2 .

試料	ND_2 (滴)		
	200V	300V	400V
EX	4	7	15
PS	1	2	6
PL	6	4	1

試料の表面状態は異なっている。

放電光の波長分布は炭化開始前後で異なり、炭化開始前に発生する放電(コロナ状放電)は主に紫外を、炭化開始後に発生する放電(シンチレーション)は可視および赤外の波長成分を含むことが特徴であることは前報⁽⁴⁾で既に報告した。従って、紫外や可視に比較して紫外の ND は少なくなるものと考えられ、 S_u による計数開始直後の紫外はコロナ状放電によるものと推察される。一方、 S_R や S_v によって計数された紫外や可視は、試料表面の炭化の発生および進展に關与するシンチレーションによるものと推察される。

以上の結果は、紫外、可視あるいは紫外を検出することにより、試料表面の劣化状態の進展を判定する可能性を示唆している。そこで紫外(S_u)の計数開始滴下数(ND_1)および ND_1 後紫外(S_R)あるいは可視(S_v)の計数が開始するまでの滴下数(ND_2)を求め、検討を加える。 S_u, S_R および S_v の計数開始滴下数(各センサを最大感度に設定し、16個/s以上計数したとき)より、各試料の ND_1, ND_2 を求めた結果を表 2, 表 3 にそれぞれ示す。表中の各値は 7 個の試料の相加平均値である。なお、 S_v に比較し S_R の計数開始時間はわずかに早くなる傾向が認められたが、ND はほぼ同一滴下数であった。

各試料の ND_1 および ND_2 の結果は、目視あるいは電流波形の変化から求めた既報⁽²⁾の図 6(放電開始滴下数)、図 7(炭化開始滴下数)の結果とほぼ一致している。このため、本方法で用いた S_u の計数開始滴下数 ND_1 は試料表面の放電開始滴下数と、 S_R, S_v による ND_2 は炭化開始滴下数にそれぞれ対応するもの

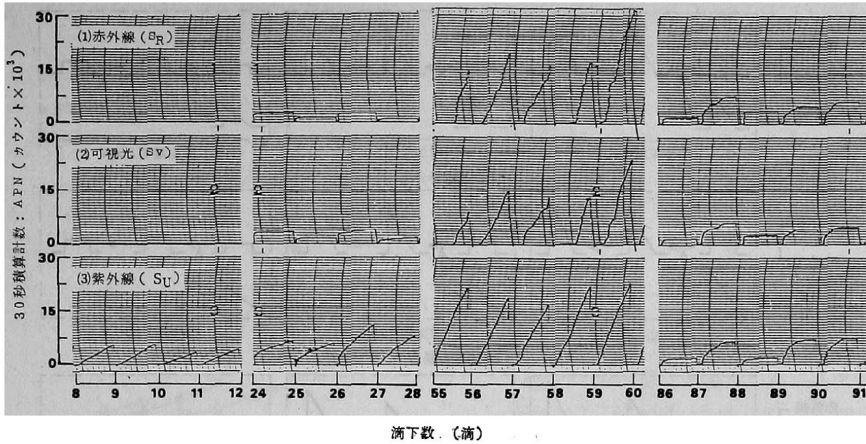


図 8 30s 積算計数 (APN) の測定結果 (EX 400V)

Fig. 8. Relation between droplet number and accumulated number of light pulses.

と考えられる。従って、放電開始滴下数を求める場合には紫外を、炭化開始滴下数を求める場合には赤外あるいは可視を検出することにより判定可能になるものと考えられる。なお、本方法は目視あるいは電流波形を用いた場合に比較し測定者の個人差が生じにくいことや、各過程の境界を容易に判定できるなどの利点を有している。

〈4.3〉 光パルス計数率と滴下数の関係 各滴下数における放電発生状態の相違を明確にするため、光パルスを 30s 間積算 (滴下間隔と同一の時間) し、30s 積算計数 (APN) を測定した。APN の測定結果の一例として、EX 400V の場合を図 8 に示す。同図中 APN が 0 となったり、一定値を示す箇所は放電が発生していないか、あるいは発生しても積算計数が 256 個以下の場合である。

各波長における APN の測定結果は、滴下数の増加に伴い変化するが、いずれの試料を用いた場合でも図 9 に示す三つのタイプのいずれかとなる。タイプ a は電解液滴下直後に放電の発生が集中し、その後時間の経過と共に発生数が著しく減少するか、あるいは停止することを表わしている。タイプ b は放電が滴下間隔内で連続的に発生していることを、タイプ c は a と b の中間を示し、電解液滴下直後に放電の発生数は比較的多く、時間の経過と共に次第に減少する場合を表わしている。また、光パルス総数 (図 9 の h) はタイプ a, c に比較し、タイプ b のほうが多い。

次に、APN のタイプの変化を

- (1) 炭化開始直後
- (2) 炭化進展過程
- (3) トラッキング破壊直前 (破壊前 3~5 滴、ト

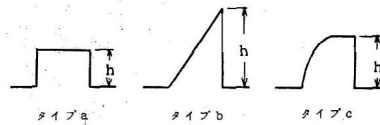


図 9 APN の形状モデル

Fig. 9. Model of APN shape.

ラッキング破壊に至らない場合には 80 滴近傍) の三つの領域に大別した場合の測定結果を図 10 に示す。

APN のタイプの変化、すなわち各滴下数における放電の発生状態は、(i) 印加電圧、(ii) 試料の種類、(iii) 測定波長により異なるので、以下にそれぞれについて検討する。

(i) 印加電圧による相違 各試料とも印加電圧が高いほど APN はタイプ b になりやすく、放電は持続的に発生していることが認められる。また、表 1 に示したように本試験に用いた電圧範囲内では、印加電圧が高いほど破壊に至りやすく、この結果は APN のタイプの変化に対応するようである。すなわち、印加電圧が高いほどシンチレーションは連続的に発生しやすいため、APN はタイプ b となり、この状態で炭化劣化は促進されていることを示唆している。

(ii) 試料の相違 同一電圧課電下では PL が EX や PS に比較して少ない滴下数でタイプ b に変化する。一方、各試料の耐トラッキング性は、EX > PS > PL となり、タイプ b となりやすい PL が破壊に至りやすいようである。

(iii) 測定波長による相違 炭化開始直後の紫外の APN が赤外や可視と異なるのは、図 7 (b) に示し

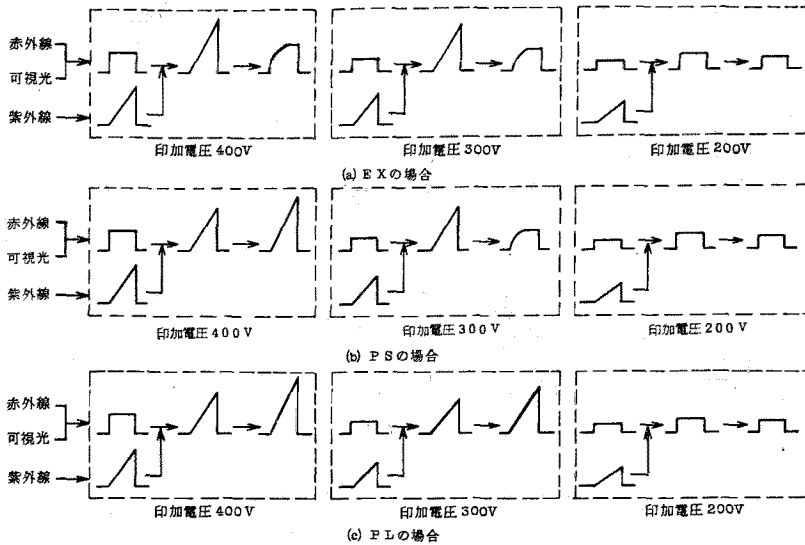


図 10 APN のタイプ変化

Fig. 10. Transformation of APN types.

たように炭化開始直後ではコロナ状放電とシンチレーションが混在して発生するためと考えられる。すなわち、コロナ状放電は紫外を多く含み⁽⁴⁾、持続的に発生する⁽²⁾ため、炭化開始直後の紫外の APN はタイプ *b* となる。一方、炭化の進展に伴いコロナ状放電の発生は減少し、逆にシンチレーションの発生数が増加するため、紫外の APN は赤外や可視に近づくものと考えられる。従って、炭化路の進展状態を検討する場合には、赤外あるいは可視の測定が有効と考えられる。

〈4.4〉炭化進展状態と光パルス計数総数との対応

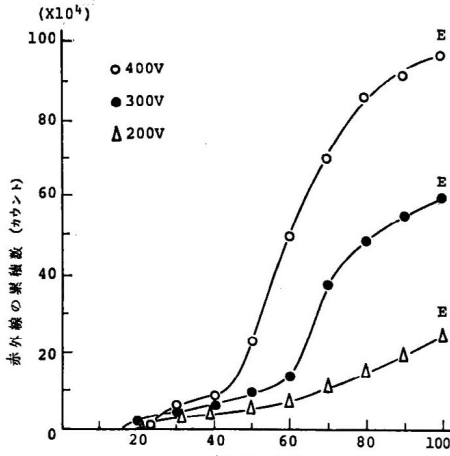
前節までに、炭化開始後の炭化進展状態を検討する場合、赤外あるいは可視を測定することが有効であることを明らかにした。そこで、炭化進展状態と光パルス発生数との対応をより明確にするため、赤外および可視に着目し光パルス計数総数(累積数)を求め検討を加える。累積数の測定結果を図 11 に示す。なお、可視の滴下数 - 累積数の関係は赤外の場合と同じであったので、図 11 には赤外の場合のみを示した。図中、*B* の記号はトラッキング破壊に至った場合を、*E* は侵食の場合を示し () 内に破壊滴下数を記した。

印加電圧 400V および 300V における滴下数 - 累積数の関係は、各試料とも図 12 に示すように炭化開始後所定の滴下数 (N_s) に達すると、累積数が急増する傾向が認められる。このことは、 N_s を境にして放電の発生状態および炭化路の進展状態が変化することを示唆している。そこで N_s 以前を領域 I、 N_s 以後を領域 II に分け、炭化路の進展状態について PL およ

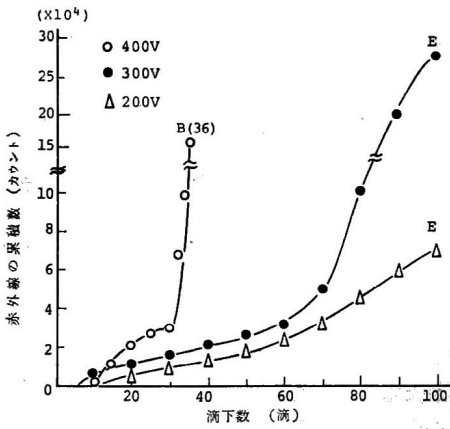
び EX を例に検討する。

図 13 (PL 400V) と図 14 (EX 400V) に放電の発生状態と試料表面の劣化状態を写真で示す。領域 I においては、EX, PL ともシンチレーションは電極面と平行に発生しやすいことが認められ、この場合の APN はタイプ *a* となる。また、炭化路はシンチレーションとはほぼ同位置に発生するものの進展しにくい。領域 II に達すると、シンチレーションは電極方向に向けて急激に進展し、この場合の APN はタイプ *b* となる。また、炭化路はシンチレーションの発生位置に沿って急激に進展し、PL ではこの時点で発生した炭化路が起点となり破壊に至る。EX では破壊に至らなかったものの、 N_s 後領域 II に達すると炭化面積は急激に増加し、試料表面全体が炭化析出物で覆われる。このように領域 I と II ではシンチレーションの発生状態や炭化路の進展状態は著しく異なり、 N_s 後領域 II では炭化劣化が著しく促進される。従って、領域 II で発生する炭化路は炭化劣化を促進する起点(炭化進展の起点)となることが考えられ、 N_s は炭化進展の起点が発生する滴下数を表わすものと推察される。

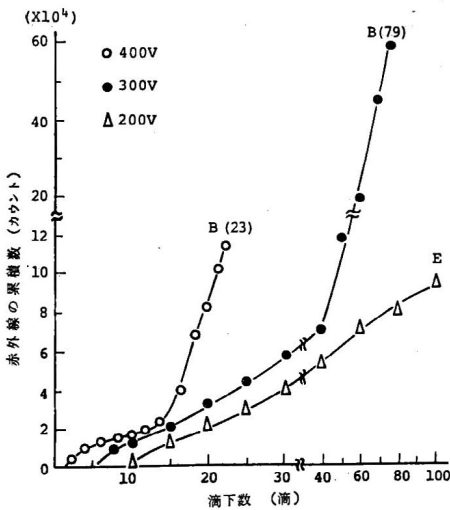
なお、破壊に至らない場合には滴下数が 100 滴に近づくにつれて累積数の増加率は減少する。この原因としては、析出炭化物が電解液の滴下によって飛散遊離し、炭化路が分断されるためと推測される。また、印加電圧 200V の場合、滴下数 100 滴まで上記炭化進展の起点の発生は確認されなかった。このため、印加電圧 200V の炭化進展状態は図 12 の領域 I に対応す



(a) EX の結果



(b) PS の結果



(c) PL の結果

図 11 光パルス計数総数 (累積数) の測定結果
Fig. 11. Total number of light pulses.

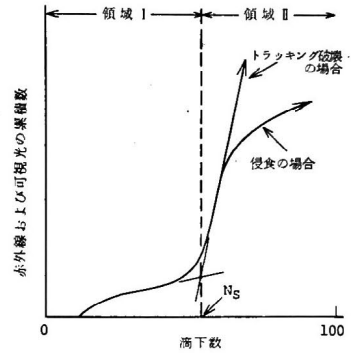
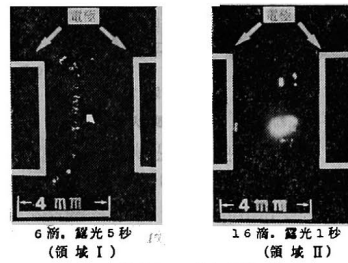
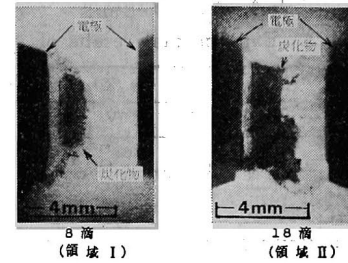


図 12 滴下数と累積数の関係のモデル
Fig. 12. Model of rising rate curves.



(a) 放電の発生状態



(b) 炭化路の進展状態

図 13 放電の発生状態と炭化路の進展状態 (PL 400V)

Fig. 13. Photographs of discharge and carbon path (PL 400V).

るものと考えられる。

以上のことより、試料表面の炭化開始後、所定の滴下数 (N_s) を滴下すると、炭化劣化を著しく促進する炭化進展の起点の発生することが認められる。また、 N_s の前後で赤外や可視の APN および累積数の増加率には著しい変化が生ずることが明らかとなり、炭化進展の起点の発生を判定する規準となりうるものと考えられる。参考として、APN のタイプの変化ならびに累積数の増加率の変化から、各試料の N_s を求めた結果を表 4 に示す。印加電圧が高くなるにつれて N_s は低下し、耐トラッキング性に劣る PL の N_s が少なくなることが認められる。従って、炭化進展の起点発生

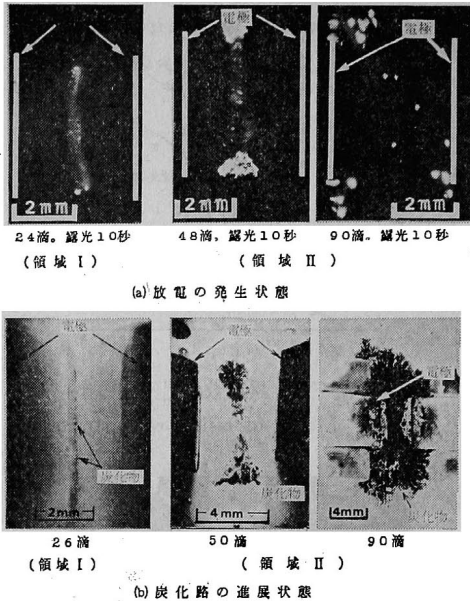


図 14 放電の発生状態と炭化路の進展状態 (EX 400V)

Fig. 14. Photographs of discharge and carbon path (EX 400V).

表 4 N_s の測定結果

Table 4. Experimental results of N_s .

試料	印加電圧	N_s (滴)		
	200V	300V	400V	
EX	—	62	45	
PS	—	65	30	
PL	—	40	13	

— : 不明

難易がトラッキング劣化の進展に関連するものと示唆されるが、その詳細については検討中である。

5. あとがき

IEC 112 試験法を用いた場合の有機絶縁材料表面で発生する放電光を紫外、可視、赤外の 3 種類の波長領域に分割し、それぞれの光パルスの発生数の時間変化を測定し、トラッキング劣化状態との対応について検討を加えた。得られた結果をまとめると次のようになる。

(1) 光パルスの計数開始滴下数 (ND) は測定波長により異なり、紫外や可視に比較して紫外の ND が少なくなる。また、紫外の計数開始滴下数 (ND_1) は放電開始滴下数と、可視および赤外の計数開始滴下数 (ND_2) は炭化開始滴下数と対応する。すなわち、放電開始滴下数を判定する場合には紫外を、炭化開始滴

下数を判定する場合には紫外あるいは可視の光パルスを検出することが有効である。また、本方法は測定者の個人差を生じにくく、上記過程の境界を容易に判定できる利点をも有している。

(2) 各滴下数におけるシンチレーションの発生状態について、光パルスを 30s 間積算した 30s 積算計数 (APN) を求め検討した。その結果、印加電圧の高いほど、更にトラッキング破壊に至りやすい試料ほどシンチレーションは連続的に発生していることが認められた。また、炭化進展状態を検討する場合には、紫外あるいは可視の光パルス数を計測することが有効であることも明らかとなった。

(3) 炭化開始後、所定の滴下数 (N_s) を滴下すると、炭化路が急激な進展状態に移る境界、すなわち炭化劣化を著しく促進する炭化進展の起点が発生することが認められた。また N_s の前後では、紫外や可視の APN および光パルス計数総数 (累積数) の増加率には著しい変化の生じることが明らかとなり、 N_s が炭化進展の起点発生を判定する規準となりうる。

(4) 各試料の N_s を APN および累積数の増加率の変化から求めると、印加電圧が高く、耐トラッキング性に劣る試料ほど N_s が少なくなることが認められた。このため、炭化進展の起点発生の際がトラッキング劣化の進展に関連することが示唆された。

終りに、本研究を進めるにあたり有益な御助言をいただいた名古屋大学教授 家田正之博士、実験に協力くださった本学電気工学科 高橋重雄技官、卒業生 浅利成人の両氏に深く感謝いたします。また、紫外線センサを提供くださった、浜松ホトニクス (株) 関係各位、OHT 技術士事務所 所長 大森豊明博士、試料を提供くださった東芝ケミカル (株)、帝人化成 (株)、三菱電機 (株) の関係各位に厚くお礼申し上げます。なお、本研究は文部省科学研究費 (試験研究) の援助の下に行なったことを付記し、感謝の意を表す。

(昭和 58 年 4 月 25 日受付)

文 献

- (1) 例えば、能登：「最近の絶縁材料試験法」、電学誌, 88, 802 (昭 43-5)
- (2) 吉村・西田・能登：電学論 A, 101, 429 (昭 56-8)
- (3) 中村・川井・沢・家田：同上 A, 102, 287 (昭 57-5)
- (4) 西田・吉村・能登：同上 A, 102, 195 (昭 57-4)
- (5) IEC Publication 112, Third Edition (1971)
- (6) 浜松テレビ (株) フォトダイオードカタログ, p. 13~15
- (7) 浜松テレビ (株) R 1490 U. V. tron カタログ
- (8) (株) 光洋 レーザー及びレーザーコンポーネントカタログ, p. 24