

UDC 621.315.61.015.533 : 537.523.5 : 535.33

論文

57-A 26

トラッキング破壊における微小放電の 分光特性と炭化進展過程

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

トラッキング破壊は絶縁材料表面上の電位差のある部分に炭化導電路(トラック)を形成し、絶縁性を失う現象と定義されている⁽¹⁾。トラッキング破壊の直接的原因となるのは微小放電の熱であると考えられており⁽²⁾、トラッキング破壊を検討するうえで放電の挙動と、その炭化劣化に及ぼす影響について明らかにすることが重要な問題である。しかしながら、

(1) 電解液間で発生する紫色の放電と黄赤色の放電が混在し、この両者を明確に分離することが困難なこと(一般に後者をシンチレーションと呼ぶ)⁽¹⁾。

(2) 放電の発生により材料の表面状態が時間と共に変化すること。

(3) 放電が場所的、時間的にランダムに発生すること。

など多くの複雑な要因が存在し、材料表面で発生する放電の発生機構および炭化劣化との関連を明らかにすることを困難にしている。

従来、材料表面で発生する放電については、電流波形からの検討が行なわれているが⁽³⁾、この方法では測定した電流パルスと放電との対応性が必ずしも明確でないという問題を有している。一方、最近、材料表面の漏れ電流を分離するため、光学的手法を用いたシンチレーションの検討がなされているが⁽⁴⁾、材料表面で発生する各種微小放電の光学および電気的な分類と定義がなされていないため、放電と炭化劣化との関連

は明らかとなっていない。

材料表面で発生する放電光の目視上の観察によると、発生する放電により色が異なることが知られている⁽⁵⁾。放電の発光波長(スペクトル)は、放電の発生方法、発生状態などに依存し、固有の値を示す⁽⁶⁾。従って、放電の発光波長を測定することは放電の発生機構を検討するうえで多くの情報を得ることが期待される。本論文は、トラッキング破壊に至る過程のうち、炭化開始直後までに発生する各種微小放電の分類、発生機構および炭化劣化との関連を明らかにすることを目的に、材料表面で発生する放電の発光波長に着目し、炭化開始直後までに発生する放電の波長分布を測定し検討したので、結果を報告する。なお、本論文は

① 表面漏れ電流が光出力波形に重畳されないため放電現象のみのはあくができる。

② 異なる波長分布を有する放電をそれぞれ分離測定することが可能である。

③ 放電の発生位置に影響されない。

ことなど多くの利点を有している。

2. 実験装置、方法および試料

〈2.1〉 実験装置 電源回路、電極配置および試験方法は前報⁽⁷⁾と同様、すべて IEC 112 耐トラッキング性試験方法の規定に準じている⁽⁸⁾。電極は白金刃形電極を用いた。印加電圧は 200V と 400V の 2 種類である。電極間に滴下する電解液は、0.1 重量% NH_4Cl の水溶液で、その抵抗率は 23°C で $396\Omega \cdot \text{cm}$ (東亜電波製 CM-8 ET で測定) である。電解液は試料表面より 1cm の高さから約 30s 間隔で滴下した。なお、滴下量は約 21mm^3 であり、滴下直後に放電光の測定の妨げとならない位置に滴下装置を移動した。

〈2.2〉 実験方法 材料表面で発生する放電の波

Color Spectrum of Scintillation and Propagation Process of Carbon Path in Tracking Breakdown. By Makoto Nishida, Member, Noboru Yoshimura, Member & Fumitoshi Noto, Member (Faculty of Mining, 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

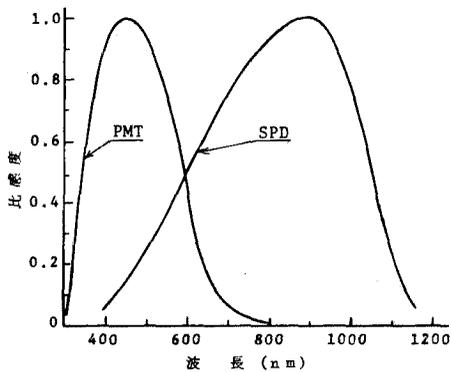


図 1 PMT および SPD の分光感度特性

Fig. 1. Characteristics of spectral sensitivity for PMT and SPD.

長分布が不明なため、放電の波長測定には可視領域から近紫外領域まで測定可能な光電子増倍管(PMT)と、可視領域から近赤外領域まで測定可能なシリコンホトダイオード (SPD) を用いた。PMT は東芝製 PM-50 で、感度波長は 300~800nm, 最大感度波長は 450 nm, 放射感度は約 2 μ A/mW (ピーク波長値) である。SPD は浜松テレビ製 S1190-01 で、感度波長は 430~1,140nm, 最大感度波長は 900nm, 放射感度は約 0.45 A/W (ピーク波長値) である。用いた PMT, SPD の比感度曲線を図 1 に示す。放電光の透過率の測定には、シャープカット色ガラスフィルタ (東芝製) を用い、透過波長として 50% 透過率の波長 (λ) を用いた。

色ガラスフィルタを用いた場合、約 10% 程度の光はガラス中で吸収され、約 90% の光が透過する。従って、放電光の波長が用いた色ガラスフィルタより十分長波長側に存在しても、色ガラスフィルタを用いないときの PMT の出力電圧 V_0 と、色ガラスフィルタを用いたときの出力電圧 V_1 との間には差が生じる。そこで、PMT による放電光の透過率測定の場合には

次のようにした。最初、色ガラスフィルタを用いない場合 (素通し) の PMT の出力をオシロスコープ上に表わし、各々の放電に対する出力電圧をそれぞれ読み取り、その相加平均値を V_0 とした。次に任意の色ガラスフィルタを使用したときの PMT の出力電圧をそれぞれ読み取り、その相加平均値を V_1 とし、 V_0 と V_1 に関する比 ($V_1/0.9V_0$) を比透過率として定めた。PMT 使用時の透過率測定装置を図 2(a) に示す。一方、SPD を用いて放電光の透過率を測定する場合には、同図 (b) に示すように 2 個の SPD を用いた。SPD に直接入射した放電光の出力電圧 V_0 と色ガラスフィルタを通して入射した出力電圧 V_1 を同時にオシロスコープ上に表わし、PMT と同様 ($V_1/0.9V_0$) の比より比透過率を求めた。

〈2.3〉 試料 用いた試料はエポキシ樹脂(CT-200)、紙基材フェノール樹脂積層板 (KPL-2411) の 2 種類である。以下、それぞれ EX, PL と記す。なお、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。

3. 実験結果

〈3.1〉 試料表面で発生する放電について 電解液の滴下開始後、試料表面における放電の発生状態は印加電圧および時間の経過と共に変化する⁽⁷⁾。

一般に、印加電圧が高い場合 (約 300V 以上)、電解液滴下直後には、図 3(a) に示すように電解液間の乾燥帯で比較的電流値が大きく (約 20~100mA 程度)、放電距離の長い紫色のパルス状の放電が発生する。その後、時間の経過と共に同図に示した放電と比較して、電流値が小さく (数 mA 程度)、放電距離の短い紫色のグロー状放電が生じるようになる。この場合を (b) 図に示す。電解液の滴下数が増加すると、これらの放

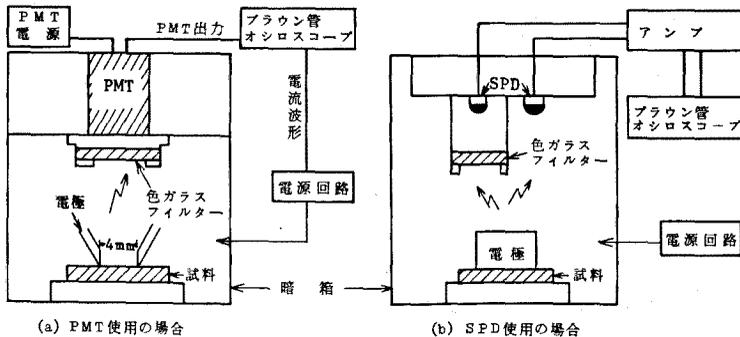


図 2 放電光の測定装置

Fig. 2. Schematic diagram of spectrum measurement.

電により試料表面は劣化し炭化が開始する。その後、(c)図に示す黄赤色の放電(図中、矢印で示した点状に見える部分)が発生し、炭化導回路は電極方向に向け進展し、最終的にトラッキング破壊に至る。このパルス状放電、グロー状放電、黄赤色の放電を、以下それぞれ放電(A),(B),(C)と略記する。一方、印加電圧が低い場合(約300V以下)には、放電(A),(B)は持続せず、短時間発生するのみであるが、この放電が発生すると直ちに材料表面は炭化し、放電(C)に移行する。このように炭化開始直後までに試料表面で発生する放電には、大別して(A),(B),(C)の3種類が存在する。

〈3・2〉炭化開始前に発生する放電の比透過率

炭化開始前に電解液間で発生する放電(A),(B)の比透過率をPMTにより測定した結果を図4に示す。図中プロットした点は、70~120個の放電光によるPMTの出力電圧値をそれぞれ読み取ったものの相対平均値である。放電(A)の波長成分は330~450nm程度、放電(B)で310~450nm程度となり、放電(A),(B)の波長成分に著しい相違は認められない。なお、放電(A),(B)はPLにおいても確認されるが、放電が発生すると直ちに炭化するため、放電(A),(B)をそれぞれ分離して測定することはできなかった。

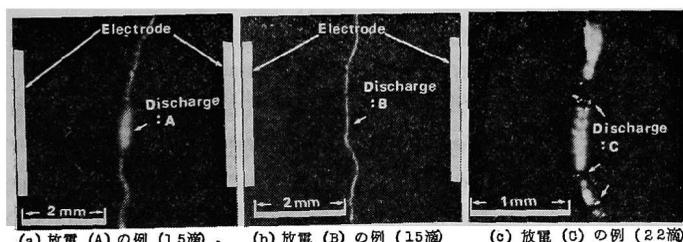


図3 放電発生状態 (EX, 400V)

Fig. 3. Photographs of discharge (EX, 400V).

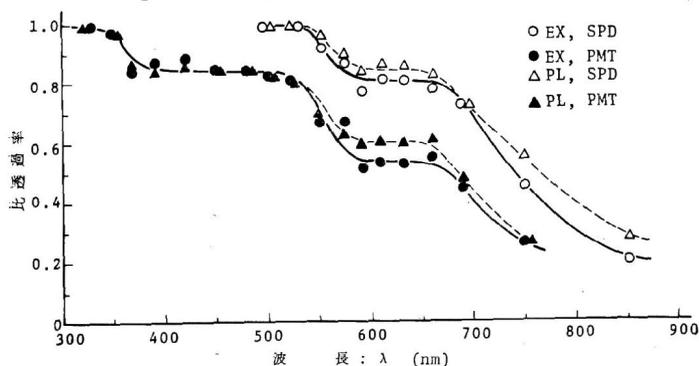


図5 炭化開始後に発生する放電光の比透過率 (印加電圧 400V)

Fig. 5. Transmissivity of discharge spectrum after carbon initiation (400V).

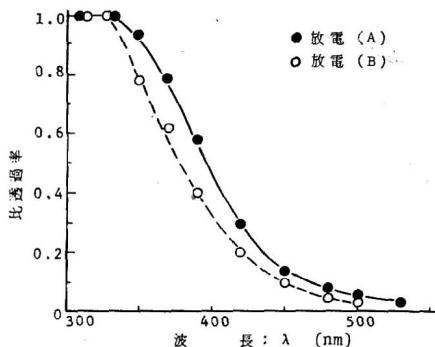


図4 炭化開始前に発生する放電光の比透過率 (EX, 400V)

Fig. 4. Transmissivity of discharge spectrum before carbon initiation (EX, 400V).

〈3・3〉炭化開始後発生する放電の比透過率

炭化開始後放電(C)が発生したときに試料表面で発生する放電光の比透過率の測定結果の一例を図5に、出力波形の一例としてEX, 印加電圧400Vの場合を図6に示す。なお、図6(a)~(c)の上の波形はPMTの出力電圧波形、下は電流波形を示している。(d)図は上下いずれもSPDの出力波形である。また、図(a)~(c)の波形は、図3(a)~(c)の放電発生状態にそれぞれ対応する。図5でプロットした点は、SPDの場合約30個、PMTの場合約100個の光出力の比透過率の相対平均値であり、炭化開始後2滴以内に測定した結果である。炭化開始後、放電の比透過率はEX, PLともPMTでは330~440nm, 480~590nm, 640nm以上の三つの波長領域で、SPDでは500~580nmと620nm以上の二つの波長領域でそれぞれ低下している。従って、炭化開始後試料表面で発生する放電光のスペクトルは、大別して3種類存在することが考えられる。なお、SPDを用いた場合、比透過率の低下する波長領域が2箇所のみとなるのは、放射感度、分光感度特性がPMTと異なるためである。

〈3・4〉試料表面で発生する放電

の波長分布 一般に測定系の分光感度特性が被測定光の波長範囲内で一定の場合には、各波長幅($\Delta\lambda$)内の比透過率曲線の傾きが波長分布を与え、 $\Delta\lambda$ 内に存在するスペクトル

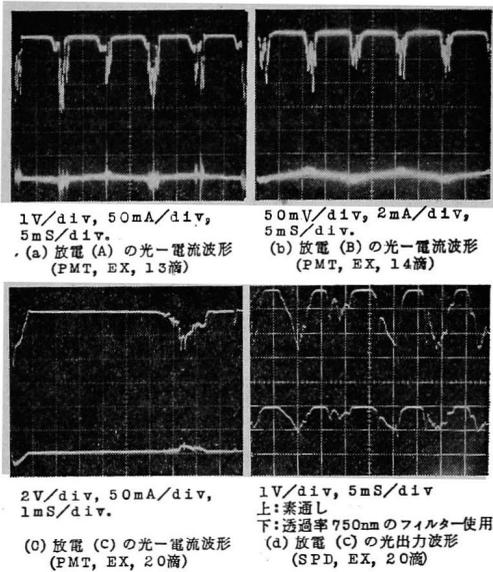


図 6 放電光の出力波形

Fig. 6. Wave forms of light and current.

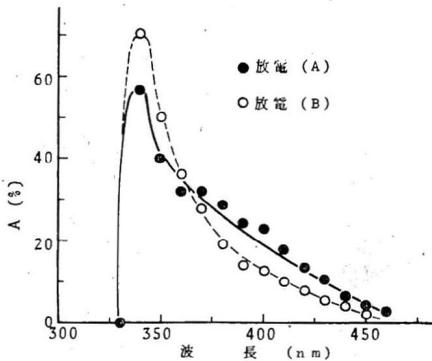


図 7 炭化開始前の放電光の波長分布 (EX, 400V)

Fig. 7. Spectroscopic characteristics of discharge before carbon initiation (EX, 400).

の強さに対応する。しかしながら、本法で用いた PMT の分光感度曲線は 450nm で最大となる曲線であり、スペクトルの発光強度が一定であっても発光波長が異なれば PMT の出力は変化し、450nm の波長に近いスペクトルが多いほど PMT の出力電圧は高くなる。そこで、 $\Delta\lambda$ 内に存在するスペクトルの割合を次式のように補正する (付録参照)。

$$A = \left[\left(\frac{V_1}{0.9V_0} \right) \frac{\alpha}{\beta} - \left(\frac{V_2}{0.9V_0} \right) \frac{\alpha}{\gamma} \right] \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、A: 任意の波長範囲 $\Delta\lambda$ 間に存在するスペクトルの割合、 V_0 : 色ガラスフィルタを用いないときの出力電圧、 V_1, V_2 : 異なる

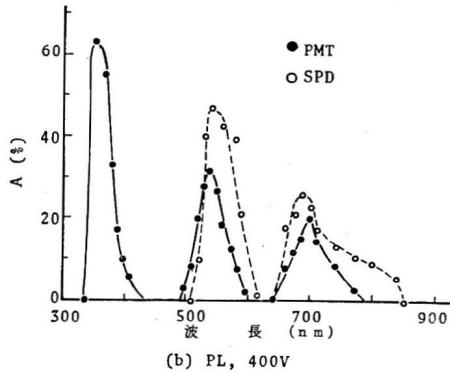
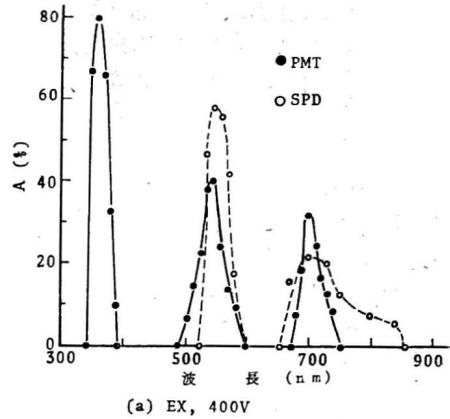


図 8 炭化開始後の放電光の波長分布 (400V)

Fig. 8. Spectroscopic characteristics of discharge after carbon initiation (400V).

色ガラスフィルタを使用したときの出力電圧、 α, β, γ : 用いた受光素子の補正係数

図 7 は EX, 印加電圧 400V における炭化開始前の波長分布を、図 8 は印加電圧 400V の EX, PL における炭化開始後の波長分布を示している。また、印加電圧 200V の場合の結果を図 9 にそれぞれ示す。図 7 の結果より、炭化開始前の条件における放電 (A) および放電 (B) のピーク波長 ($\Delta\lambda$) は、いずれも約 340nm となる。

一方、炭化開始後には図 8 および図 9 の結果より、(I) 約 340nm, (II) 約 550nm, (III) 約 700nm と 3 種類の λ_p が認められる。以下、各々のピークを $\lambda_p(I), \lambda_p(II), \lambda_p(III)$ と記す。 $\lambda_p(I)$ は炭化開始前に発生する放電 (A) あるいは (B) の λ_p とほぼ同じ値を示している。また図 3 に写真で示したように、炭化開始直後でも放電 (A), (B) が混在していることを考慮して、放電 (C) 発生後の $\lambda_p(I)$ は、放電 (A) あるいは (B) によるものと考えられる。従って、炭化開始後のみ発生する放電 (C) は、主に $\lambda_p(II)$ と $\lambda_p(III)$ の 2 種類に関

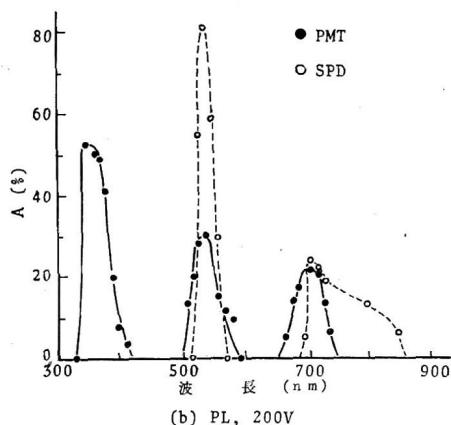
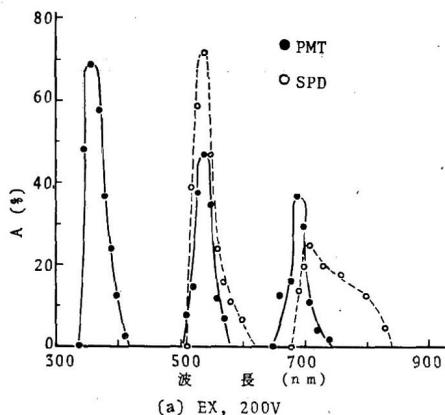


図 9 炭化開始後の放電光の波長分布 (200V)
Fig. 9. Spectroscopic characteristics of discharge after carbon initiation (200V).

連するものと考えられる。

4. 実験結果の検討

〈4.1〉モデル実験による放電の波長分布の検討

炭化開始後に発生する放電(C)の光の色は、目視上では黄赤色であり、試料表面の任意の位置に不定期に発生することより、放電(C)は一般に言われているシンチレーションであると考えられる。そこで、放電(C) (シンチレーション)の発生機構を検討するため次に述べる4種類のモデル実験を考え、発生する光の波長分布を測定した。

- (1) 微小間げきの放電
- (2) 炭化導電路の赤熱による発光
- (3) 炭化導電路から電解液が分離するときの放電
- (4) 炭化導電路と電解液が混在したときの放電

各々の放電発生モデルを図10に、光出力波形の例を図11に、波長分布の測定例を図12に示す。

- (1) 微小間げきの放電 微小間げきは図10(a)

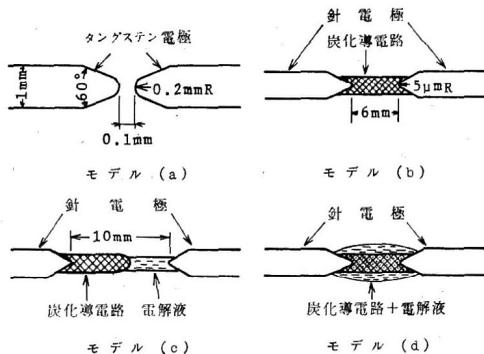


図 10 放電発生モデル
Fig. 10. Model of discharge initiation.

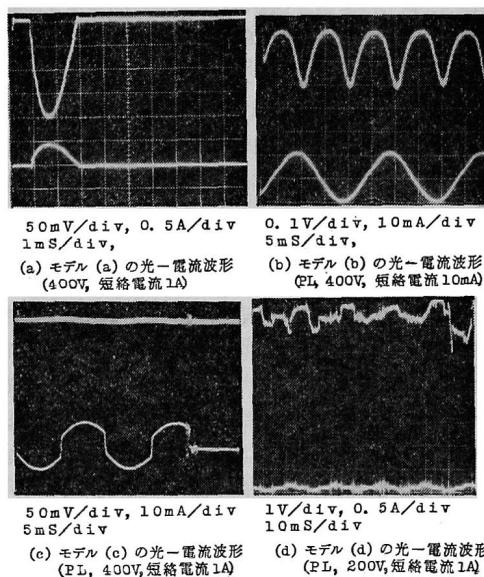


図 11 放電光の出力波形
Fig. 11. Wave forms of light and current.

に示すようにタングステン棒を先端角度 60°, 先端曲率半径を 200 μ m に研磨したものを空气中で約 100 μ m の間げきで対向し設定した。この場合、印加電圧 400V では電極間で放電が生じないため超音波加湿器を用いて発生した霧を電極間に供給し、放電を発生しやすくした。霧の発生用溶液は滴下用溶液と同一であり、電極間の短絡電流は 1A である。微小間げきで発生した放電光の λ_p は約 340nm となり、図7の放電(A), (B)の分布に類似しており、放電(C)の λ_p (II), λ_p (III)とは対応していない。従って、放電(A), (B)は電解液間の微小間げきでの空中絶縁破壊によって発生する放電であるのに対し⁽⁷⁾、放電(C)は微小間げきでの放電とは異なることが推測される。

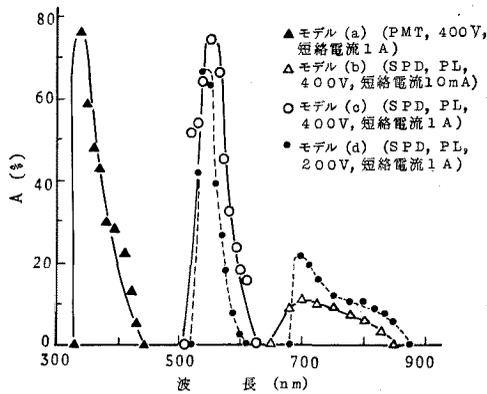


図 12 モデル的に発生した放電光の波長分布

Fig. 12. Spectroscopic characteristics of discharge with model.

(2) 炭化導電路の赤熱による発光 IEC 112 法により生じる炭化導電路は発生位置、形状などが一定とならず、均一な炭化導電路を作製するのは困難である。そこで、比較的均一な炭化導電路を作るため、ASTM-D 495 耐アーク性試験装置⁽⁸⁾を用い、アーク放電により試料表面に炭化導電路をあらかじめ作り、炭化導電路の発光波長を測定した。炭化導電路の発光は電流波形に対応し連続的に発生している。また、 λ_p は約 700nm となり、この λ_p は放電(C)の二つの λ_p のうち λ_p (III) と対応している。更に、この方法では課電時間が長くなるにつれ炭化導電路の幅は広くなり、発光強度が低下する傾向が認められた。従って、炭化開始後発生する放電(C)のうち、 λ_p (III) は炭化導電路の赤熱によるものと推察される。

(3) 炭化導電路と電解液の分離による放電

炭化導電路の作製および波長分布の測定に用いた電極はモデル(b)と同様である。この場合、図 10(c) に示すように炭化導電路の一方に幅 1mm、深さ約 1mm、長さ約 1cm のみぞを作り、このみぞに電解液を加えたものを実験に用いた。炭化導電路と電解液の分離により発生する放電はパルス的であり、 λ_p は約 550nm となる。この λ_p は、放電(C)の二つの λ_p のうち λ_p (II) に対応している。更にこの方法によると、放電は炭化導電路と電解液の接触部分で生じやすく、炭化導電路はみぞに沿って進展しやすい。従って、放電(C)の発生により認められる λ_p (II) は炭化導電路と電解液の分離により発生する放電によるものと推察され、炭化導電路の進展を促進するものと考えられる。

(4) 炭化導電路に電解液を加えた場合の放電

炭化導電路の作製および波長分布の測定に用いた電

表 1 各放電光のピーク波長 (λ_p)

Table 1. Peak wavelength of spectrum.

放電の種類		ピーク値の波長		
		λ_p (I)	λ_p (II)	λ_p (III)
ト ラ ッ ク 放 電	放電(A)	○	—	—
	放電(B)	○	—	—
	放電(C)	—	○	○
モ デ ル の	モデル(a)	○	—	—
	モデル(b)	—	—	○
	モデル(c)	—	○	—

極構成はモデル(b)と同様であり、炭化導電路に約 1 mm³ の電解液を浸透させた後課電した。この場合の λ_p はそれぞれ約 550nm、約 700nm となる。この二つの λ_p は放電(C)の λ_p (II)、 λ_p (III) にそれぞれ対応し、550nm はモデル(c)の結果と、700nm はモデル(b)の結果と対応している。また、光出力は電流波形に対応し連続的波形にパルスが重畳した波形となる。従って、この方法により発生する光は、炭化導電路の赤熱による発光と、電解液の分離により発生する放電光が混在しているものと考えられ、放電(C)はモデル(d)の現象に対応していることが推測される。

放電(A)、(B)、(C)と各モデル実験で発生した λ_p をまとめると表1のようになる。放電(A)、(B)の λ_p は微小間げきの放電の結果と対応し、電解液間の空中絶縁破壊により発生するものと考えられる⁽⁷⁾。一方、放電(C)の λ_p (II)、 λ_p (III)のうち、 λ_p (II)は炭化導電路と電解液の分離により発生する放電(パルス的な発光)の λ_p に対応し、 λ_p (III)は炭化導電路の発光(連続的な発光)の λ_p にそれぞれ対応する。従って、放電(C)(シンチレーション)は炭化導電路の赤熱による発光 [λ_p (III)] と炭化導電路と電解液の分離により発生する放電 [λ_p (II)] が混在していると考えられる。

〈4.2〉 放電光のピーク波長 λ_p の発生機構 本法で得られた波長分布より詳細なスペクトルを求めることはできないが、ピーク波長が最も強いスペクトルと仮定し検討を加える。

(1) λ_p (I) (約 340nm) 空気中でのコロナ放電光は、N₂ 2nd positive の帯系列が現われ 3,372 Å, 3,577 Å のスペクトルが最も強く現われると報告されている⁽⁹⁾。この結果は、本法で得られた λ_p (I) と対応していることから、 λ_p (I) は N₂ 分子の発光遷移の一つである N₂ 2nd positive 帯によるものであろう。

(2) λ_p (II) (約 550nm) この波長範囲を示すものとしては、CN, CO, O₂, N₂, NO などの励起分子の発光遷移で確認されている⁽¹⁰⁾。しかしながら、空気

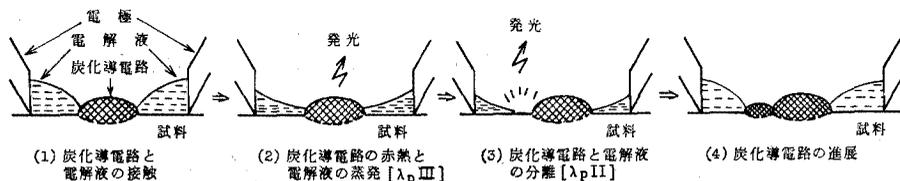


図 13 炭化導電路の進展過程

Fig. 13. Propagation process model of carbon path.

中のコロナ放電のスペクトルの測定では N_2 分子によるものが強く現われること、また O_2 では発光が微弱となることが報告されている⁽⁹⁾。更に発光媒体として N_2 分子が多いことから、 $\lambda_p(II)$ も $\lambda_p(I)$ と同様 N_2 分子の発光遷移による可能性がある。 $\lambda_p(II)$ の発光に必要な遷移エネルギーはおおよそ 2~2.5eV 程度となる。従って、 N_2 分子の遷移ダイアグラムにより⁽¹¹⁾、この近傍のエネルギー差で考えられる遷移としては、(i) $C^3\pi u$ から $B^3\pi g$ 、(ii) $D^3\Sigma^+ u$ から $C^3\pi u$ (ただし、この遷移が許されるならば) が推測される。

(3) $\lambda_p(III)$ (約 700nm) この光は赤外部の波長を多く含んでおり、炭化導電路の赤熱により発生している。従って、 $\lambda_p(I)$ 、 $\lambda_p(II)$ とは異なり、炭化導電路を形成する炭化物のジュール熱による熱振動によって発生しているものと考えられる。

なお、放電の発生による試料表面からの放出ガス、電解液の蒸発気体などが放電スペクトルに与える影響については不明であり、これらの詳細は検討中である。

〈4.3〉炭化進展過程 放電(C) (シンチレーション) 発生時には炭化導電路の発光と炭化導電路から電解液が分離するとき発生する放電が混在することが認められた。図6に示すように、放電(C)発生時の光出力波形は比較的持続時間の長い出力にパルスの重畳した波形が認められる。モデル実験で持続時間が長い光出力となるのは炭化導電路の赤熱による発光の場合であり、パルスの波形となるのは炭化導電路と電解液が分離したとき発生する放電の場合である。従って、比較的持続時間の長い光出力は炭化導電路の赤熱により発生し、パルスの光出力は炭化導電路と電解液の分離により発生しているものと考えられる。

以上のことより、炭化進展過程は次のようなものと考えられる。炭化開始後、電解液と炭化導電路が接触し、電解液および炭化導電路を介し漏れ電流が流れる。この漏れ電流により炭化導電路が赤熱し ($\lambda_p(III)$)、それと同時に炭化導電路近傍の電解液が蒸発する。電解液と炭化導電路が分離するとき放電が発生し ($\lambda_p(II)$)、この放電により炭化は進展するものと推察される。炭化進展モデルを図13に示す。

5. むすび

IEC 112 耐トラッキング性試験法を用い、エポキシ樹脂 (EX)、紙基材フェノール樹脂積層板 (PL) のトラッキング破壊に至る過程のうち、炭化開始直後までに発生する放電の波長分布の測定を行ない、得られた結果に基づいて放電の分類と炭化進展過程について検討した。結果をまとめると次のようになる。

(1) 炭化開始前と後で試料表面で発生する放電の発光波長は異なり、炭化開始前に発生する放電のピーク波長 (λ_p) は約 340nm ($\lambda_p(I)$) となる。一方、炭化開始後発生する放電 (シンチレーション) は約 550nm ($\lambda_p(II)$)、約 700nm ($\lambda_p(III)$) の二つの λ_p を含んでいる。また、EX と PL における波長分布には顕著な差異は認められない。

(2) モデル的に発生した放電の λ_p との対応より、 $\lambda_p(I)$ は電解液間の気中絶縁破壊によって発生する放電、 $\lambda_p(II)$ は炭化導電路と電解液が分離するとき発生する放電、 $\lambda_p(III)$ は炭化導電路の赤熱によって発生する発光波長に対応する。

(3) 電流と光出力波形より、炭化導電路と電解液が分離するとき発生する放電光はパルスのとなる。一方、これに比較し炭化導電路の赤熱による発光は持続時間が長く、シンチレーションは両者が混在した状態で発生している。

(4) 炭化導電路は、炭化導電路と電解液が分離するとき発生する放電により進展し、赤熱により炭化導電路が太くなるものと考えられる。

(5) $\lambda_p(I)$ 、 $\lambda_p(II)$ の発光は主に N_2 分子の発光遷移による可能性があり、 $\lambda_p(III)$ は炭化物の熱振動によって発生しているものと考えられる。

最後に、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、電力中央研究所 新田義孝博士、本学電気工学科 谷口敏幸博士、電子工学科 五十嵐降治助手、実験に協力下された高橋重雄技官、大学院生 工藤英行君に深く感謝する。試料を提供された東芝ケミカル(株)、帝人化成(株)の関係各位に感謝する。なお、本研究の一部は文部省科学研

究費(奨励研究)の援助の下で行なったことを付記し、
謝意を表す。(昭和56年9月7日受付)

文 献

- (1) 「IEC Publication 112 による絶縁材料の耐トラッキング性」, 電気学会技報, (II部)第115号(昭56-6)
- (2) 吉村・西田・能登: 「有機絶縁材料表面のトラッキング破壊における電解液の挙動」, 電気評論, 第173号(昭56-6)
- (3) 例えば, 「トラッキング現象と耐トラッキング性試験法の動向」, 電気学会技報, (I部)第86号(昭43-7)
- (4) 例えば, 平沢・松岡・平林: 「絶縁材料のトラッキング寿命と放電現象との対応」, 電気学会絶材研資 EIM-78-26(昭53)
- (5) 例えば, D.J. Groves & P.H. Kaye: "Tracking Events Within A Dry Band", IEE Conf. Pub., No.177 (1979)
- (6) 浜口・黒田・根岸・佐野: アークスペクトル写真集(昭44)丸善
- (7) 吉村・西田・能登: 「有機絶縁材料のトラッキング破壊における炭化開始過程」, 電学誌, 101, 429(昭56-8)
- (8) ASTM Designation: D 495-61, Standard method of test for high-voltage, Low-Current Arc Resistance of Solid Electrical Insulating Materials (1961)
- (9) 堀井・藤: 「固体絶縁物エアギャップ中におけるコロナ放電の発光スペクトルの測定」, 電学誌, 86, 591(昭41-4)
- (10) 化学便覧(基礎編)(昭54)丸善
- (11) S. Badaloni & I. Gallimberti: "Basic data of air discharge", Universita' di Padova (1972-6)

付 録

本法で用いた PMT, SPD の量子効率 α は波長によって異なるため, 入射光の波長によって光出力電圧は異なる。そこで, 異なる波長の入射光が同一の量子効率となるように補正する。入射光の波長範囲が $\lambda_0 \sim \lambda_n$ に分布するとして, このときの光出力を V_0 とする。付図1のように, 測定系の分光感度が $\lambda_0 \sim \lambda_n$ で直線的に変化すると考えると, 真の光出力は

$$V_0' = V_0/\alpha \dots\dots\dots(付1)$$

ここで, V_0' : 真の光出力電圧, α : 波長 $(\lambda_0 + \lambda_n)/2$ に対応する測定系の比感度(本文,

図1における各波長での比感度)

で表わされる。

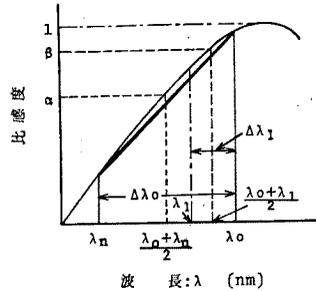
次に, 透過波長 λ_1 の色ガラスフィルタを用いた場合の光出力電圧を V_1 とする。この場合も同様に $\lambda_1 \sim \lambda_0$ 内で測定系の分光感度が直線的に変化していると考えると, 真の出力は

$$V_1' = V_1/\beta \dots\dots\dots(付2)$$

ここで, V_1' : 色ガラスフィルタを用いた場合の真の出力電圧, β : 波長 $(\lambda_1 + \lambda_0)/2$ に対応する測定系の比感度

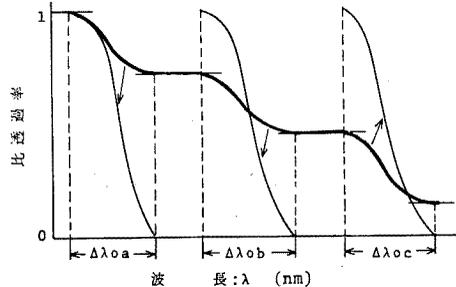
と表わされる。従って, $\lambda_1 \sim \lambda_0$ 間に存在するスペクトルの割合 A_1 は

$$A_1 = V_1'/V_0' = (V_1/V_0)\alpha/\beta \dots\dots\dots(付3)$$



付図1 補正係数と分光感度曲線との関係

app. Fig. 1. Relation between correction coefficient and spectral sensitivity.



付図2 比透過率曲線の補正の考え方

app. Fig. 2. Correction of transmissivity.

と表わされる。同様にして, $\lambda_2 \sim \lambda_0$ 間に存在するスペクトルの割合 A_2 は

$$A_2 = V_2'/V_0' = (V_2/V_0)\alpha/\gamma \dots\dots\dots(付4)$$

ここで, V_2' : 真の光出力電圧, V_2 : 実測値, γ : 波長 $(\lambda_2 + \lambda_0)/2$ に対応する測定系の比感度

と表わされる。従って, 波長 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ の間に含まれるスペクトルの割合 A は, 色ガラスフィルタの透過率(90%)を考慮すると,

$$A = \left[\left(\frac{V_1}{0.9V_0} \right) \frac{\alpha}{\beta} - \left(\frac{V_2}{0.9V_0} \right) \frac{\alpha}{\gamma} \right] \times 100 (\%) \dots\dots\dots(付5)$$

となる。この A が任意の波長幅 $\Delta\lambda$ 内に存在するスペクトルの割合を与える。(付5)式中()内は比透過率曲線より与えられるので, 任意の波長幅($\Delta\lambda$)を定め, 補正係数 α, β, γ を乗じ A を求めると, 本文に示す波長分布となる。なお, 比透過率が付図2のように変化する場合には, 連続的に光スペクトルが現われている波長幅間($\Delta\lambda_0$)で比透過率が0~100%まで変化しているものと仮定して波長分布を求めた。