

論 文

空気中短ギャップ放電光スペクトル強度の定量化処理

宮原一典*, 荒井健次**

(1994年4月18日受理)

Quantitative Processing of Spectrum Intensity
on Short Gap Discharge Light in Air

Ichinori MIYAHARA* and Kenji ARAI**

(Received April 18, 1994)

For the investigation on the optical property of electrostatic discharges, the measuring and processing system was constructed using a spectroscope, a streak camera and the others. The experimental results indicated that the resolutions of wave-length and time are 3.2 nm and 2 ns, and the region of linearity between spectrum power and derived brightness number is 20 dB or more in the case of streak time 100-1,000 ns/15 mm. Using this system, the spectrum distribution and the temporal variation of short gap discharge light in air were measured. For quantitative estimation of these measured and processed results, a halogen standard lamp was used as the calibration light source. The emitted energy of N₂ 2nd positive Band (0-0), (0-1), (0-2) component in 1, 2, 3 mm gap discharge were $0.6 \times 10^{-8} \sim 4.1 \times 10^{-8}$ Joule per single discharge pulse. On the other hand, calculated results based on the multiple electron avalanche model indicated that emitted photons rate wave and current wave shapes of the short gap discharge are similar to the experimental results.

1. まえがき

イメージコンバータカメラやイメージインテンシファイア付カメラなどを用いた放電現象の光学的観測手法は、逆電離ストリーマ、誘電体表面の沿面ストリーマ、PET フィルムの沿面フラッシュオーバ過程など各種の放電光進展過程観測に用いられている¹⁻³⁾。これらの有意義な測定結果に含まれる輝度情報を、定量的に解析できればより有効な現象の解明が可能になると考えられる。

そこで、高速ストリーカカメラと CCD カメラを組み合わせた計測システムを構成し、微小ギャップにおける模擬 ESD 放電光の観測に適用して数ナノ秒のストリーカ光像を捕らえ⁴⁾、また、同軸円筒電極系における直流

正コロナ放電光測定結果と電離領域からの発生光子数計算との対応から、これを測光システム入出力間の定量化校正に使用できる可能性を見出し⁵⁾、ハロゲン分光放射標準光源を用いた定量化測光も試みてきた⁶⁾。

一方、これらの微弱放電進展過程を調べるため、多重電子なだれ機構に基づく正負空間電荷密度分布の経時変化を考慮した計算モデル⁷⁾を用いて電流波形および光子発生率波形の試算を行い、この結果を測定結果と対比して後続なだれを生じる r_p 効果の検討を行った。これらの結果をとりまとめて報告する。

2. 実験方法

実験に用いた電極系および測定システムを図 1 に示す。放電電極は、ステンレス平板 76 mm ϕ 対 1.6 mm ϕ 先端半球状棒電極 (S-rod) より構成し、ギャップ長 1~3 mm の範囲で実験を行った。測定システムは、分光器、電子増倍マルチチャンネルプレート (MCP) を有するストリーカ管、冷却型高感度 CCD カメラなどを組み合わせて構成した。この場合、測定波長幅を広くとるためグレーディング 150 本/mm (測定波長幅 180 nm) の回折格子を用い、270~450 nm の波長範囲について測定を行った。

キーワード：放電光スペクトル、画像処理、短ギャップ放電

* 和歌山工業高等専門学校電気工学科 (644 和歌山県御坊市名田町野島 77)

Department of Electrical Engineering, Wakayama National College of Technology, Noshima 77, Nada, Gobo, 644 Japan

** 神戸大学工学部電気電子工学科 (657 神戸市灘区六甲台町) Department of Electrical & Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Kobe University, Rokkoudai, Nada-ku, Kobe, 657 Japan

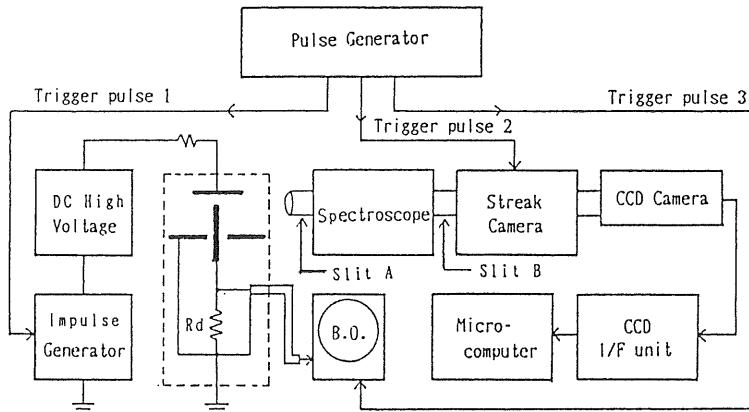


図 1 実験装置

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup.

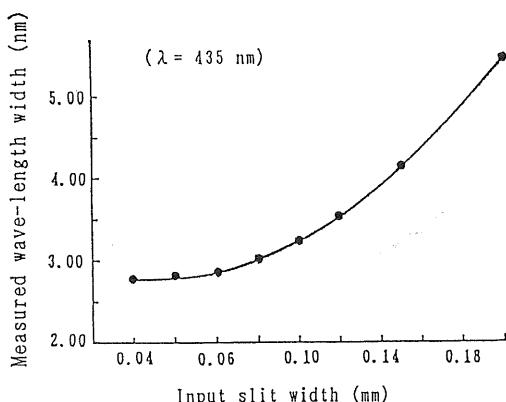


図 2 波長分解能へのスリットAの幅の影響

Fig. 2 Effect of slit A width on the resolving power of wave-length.

放電電極から 12.5 cm 離れた位置に入射スリット A を設置して分光器へ放電光を入射し、そのスペクトル分光出力をスリット B (幅 0.30 mm) を経てストリーカカメラに入射した。このカメラの出力光像は CCD カメラで記録し、そのアナログ出力信号を I/F ユニット部分でデジタル信号 (輝度分解能 256 階調、画素数 510×492 ドット) に変換・記録して、オフラインで暗電流補正、分光感度補正、その他の画像処理を施した。

図 1 に示すように、放電電極には直流高電圧に波高値 2.6 kV のインパルス電圧 ($8 \times 30 \mu\text{s}$) を重ねて印加し、放電を発生させた。このインパルス電圧発生のトリガは、20 秒間隔で生じる多チャンネル遅延パルス発生器の出力パルスにより行った。なおそのトリガパルス 1, 2, 3 の発生時間関係は、インパルス電圧発生瞬時から放電開始までの遅れ時間、カメラシステムの動作遅れ時間などを考慮して設定した。

一方、校正用光源にはハロゲン分光放射照度標準電球 (ウシオ電気 LPD 100-500DS) (以下標準電球と略記) を用い、実験時と同一条件で輝度階調値記録を行い、その値と実験値との比較により定量化処理を試みた。

3. 実験結果と考察

3.1 スペクトル測光システムの特性

3.1.1 波長分解能

分光器入射側スリット A の幅は測定波長分解能に影響する。そこで、水銀ランプ (浜松ホトニック L937-02, 輝線スペクトル 435 nm) を分光器入射スリット面から距離 12.5 cm の光軸上位置に配置し、ストリーカ掃引速度 100 ns/15 mm (管面上振れ幅) における、分光器入射スリット幅と光像測定波長幅 (半値幅) との関係を測定した。その結果を図 2 に示す。この場合のスペクトル分光輝度は微弱であるため、掃引 100 回の重ね撮りにより測光・記録した。この結果はスリット A の幅を 0.10 mm 以下に設定すると波長分解能 3.2 nm 以下でスペクトル分布の測定記録ができる事を示している。なお、この多数回重ね撮り時間における記録装置の動搖に基づいた見かけ上の測定波長広がり効果を考慮すると、重ね撮り回数が少ない場合の波長分解能は図の結果より良くなると推定できる。

次に放電記録時間中に放電路が動搖した場合の波長測定誤差を調べるために、水銀ランプ位置を分光器への入射光路に対して直角方向に移動させて波長測定した。その結果、移動範囲 $\pm 5 \text{ mm}$ における単位変位長当たりの波長測定誤差は、約 0.1 nm/mm であることを見出した。

3.1.2 経時変化測定時の変動特性

分光スペクトル分布の経時変化記録における測定時

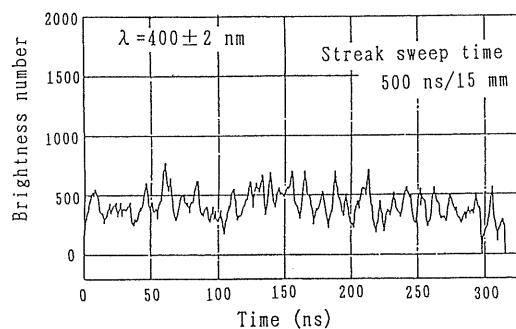


図 3 微弱光スペクトルの経時変化

Fig. 3 Temporal variation of spectrum level in the case of feeble light.

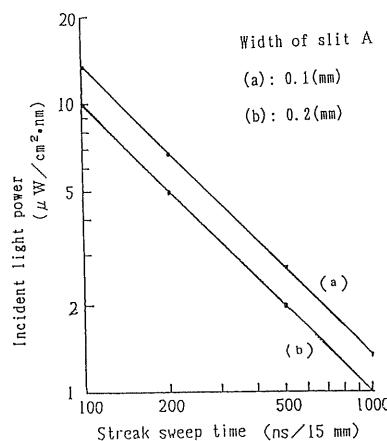


図 4 入射光パワー限界値のストリーカーク掃引速度依存性

Fig. 4 Limit of incident light power due to streak sweep time.

間分解能は、ストリーカカメラの掃引速度とその入射スリット B の幅で決まる。そこで、直流点灯の標準電球光を用いて、1回のストリーカーク（速度 500 ns/15 mm：時間分解能 10 ns）における出力の経時変化を記録し、その波長 $400 \pm 2 \text{ nm}$ における輝度階調の波長幅積分値を抽出してその経時変化を調べた。その結果を図 3 に示す。この場合、安定化電源による直流点灯の光源であるにもかかわらず、出力輝度波形には時間変動成分が顕著に現れており、その出力平均レベルに対する変動成分の相対値は、入射光量が少ないほど大きくなる。したがって入射光量微弱時の経時変化観測においては、この時間変動ノイズ成分が問題となる。そこで、時間分解能を各ストリーカーク掃引時間の 1/50 に設定した場合において、出力平均値に対する変動成分比が 20% 以下になるために必要な分光器入射パワーを求めた。その結果を図 4 に示す。図中の(a)は分光器入射スリット A の幅 0.10 mm (波長分解能 : 3.2 nm) に設定した場合、(b)は 0.20 mm

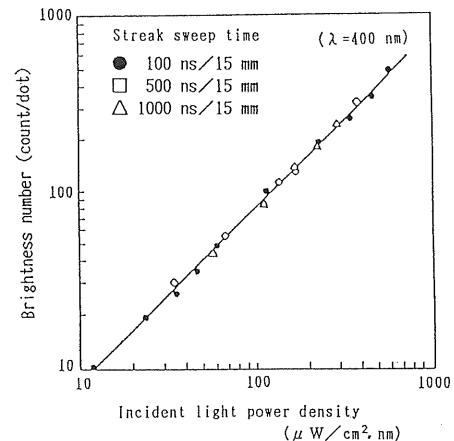


図 5 入射光量対輝度階調特性

Fig. 5 Incident light power vs. brightness number characteristics.

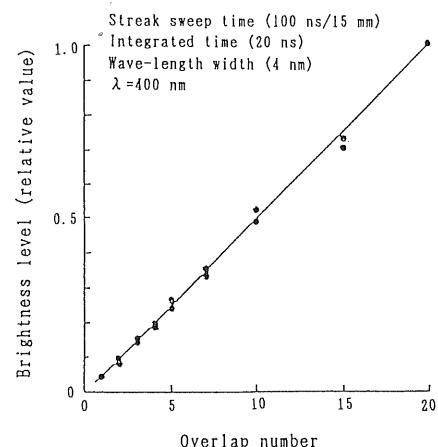


図 6 重ね撮り回数と出力輝度レベル

Fig. 6 Overlap number of feeble light vs. brightness level.

(波長分解能 : 5.5 nm) に設定した場合のパワー限界値である。この値以上の入射光パワーが、放電光の経時変化を 20% 以下の誤差状態で捕らえるために必要であるといえる。

3.1.3 入射光量対輝度階調値の特性

ストリーカーク掃引速度の相違による入射光量対輝度階調値特性の変化を調べるために、ストリーカークカメラの MCP ゲインを一定に保ち、掃引速度を 100, 500, 1,000 ns/15 mm に設定して、標準電球光の波長 400 nm 放射光スペクトル成分の入・出力特性を測定した。この結果を図 5 に示す。これより、入射レベル $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$ 以上においては設定ストリーカーク速度の相違による誤差は少なく、入力レベル 20 dB 以上の範囲で線形性が保持され

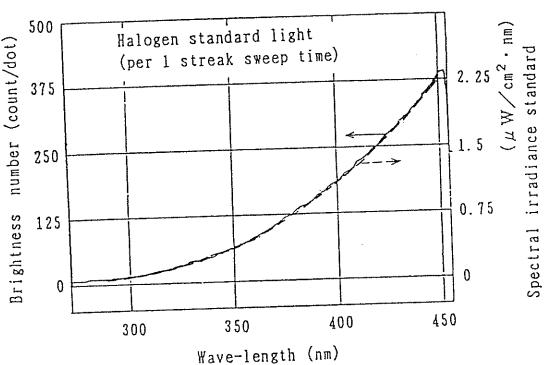


図 7 標準電球光の測定輝度階調値波長分布

Fig. 7 Measured brightness number distribution on the standard lamp.

ているといえる。

次いで、微弱放電光測定時における重ね撮り効果の定量性を調べるために、測定対象とした短ギャップ放電光の強度と同程度のレベルに調光した標準電球光を入射し、ストリーム掃引速度 $100 \text{ ns}/15 \text{ mm}$ (時間分解能: 2 ns) ストリーム掃引速度 $100 \text{ ns}/15 \text{ mm}$ (時間分解能: 2 ns) で $1\sim20$ 回の重ね撮り記録を行った。その場合の記録データを、波長幅 4 nm 、時間幅 20 ns で積分した値と、重ね撮り回数との関係を図 6 に示す。これらの輝度レベルは時間変動成分を含んでいるが、その時間積分平均値は線形性を示していることが見出された。したがって、これらの諸特性を考慮しながら定量化処理することが可能であるといえる。

3.2 スペクトル光輝度レベルの定量化

3.2.1 定量化処理方法

図 1 の測定系を用いて標準電球のスペクトル輝度階調分布測定 (100 回の重ね撮り) 結果を図 7 に示す。この分布測定 (100 回の重ね撮り) 結果は図 7 に示す。この波長分布形は、使用した標準電球の分光放射照度波長分布 (点線) 形に一致しているといえる。したがって実験値と同一測定条件で得られる輝度階調値 $B_S(\lambda)$ とそれに對応したその分光放射照度値 $P_S(\lambda)$ [$\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{nm}$] を用いて、放電光測定時の輝度階調値 $B(\lambda)$ を次式で換算することにより、時間幅 $t_1\sim t_2 [\text{s}]$ 、波長幅 $\lambda_1\sim\lambda_2 [\text{nm}]$ における入射エネルギー $W(\lambda) [\text{J}/\text{cm}^2]$ を求めることができます。

$$W(\lambda_{1-2}) = K \int_{t_1}^{t_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \{(B(\lambda)/B_S(\lambda)) P_S(\lambda)\} d\lambda dt \quad (1)$$

ここで、 K は単位換算係数 (10^{-6})

なお、波長 λ が線スペクトルの場合、入射エネルギー $W(\lambda_1)$ は、測定波長 λ_1 におけるスリット窓関数の広がり $\pm \Delta\lambda$ を考慮して次式より求められる。

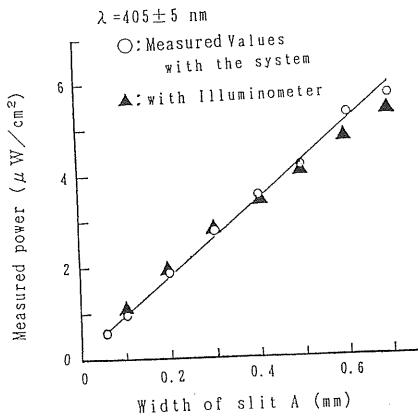


図 8 測定システムと照度計による測定結果

Fig. 8 Measured results of illuminometer and temporal measuring system.

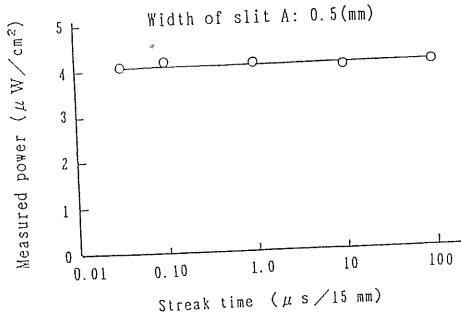


図 9 定量化測光値のストリーム掃引速度による変化

Fig. 9 Variation of quantitative processing values on streak sweep times.

$$W(\lambda_1) = K \int_{t_1}^{t_2} \int_{\lambda_1-\Delta\lambda}^{\lambda_1+\Delta\lambda} \{(B(\lambda)/B_S(\lambda_1)) P_S(\lambda)\} d\lambda dt \quad (2)$$

3.2.2 定量化による測定誤差の検討

直角点灯した標準電球の光を分光器 (NIKON G-250) に入射して、その出射スリット (幅: 0.5 mm) から取り出した $405 \pm 5 \text{ nm}$ 波長成分を測定光源として用い、照度計 (ウシオ電気 UIT-102、受光器 UVD-405 PD: 感度波長域 $330\sim490 \text{ nm}$, 絶対値校正波長 405 nm , 校正精度 $\pm 5\%$) による測光を行って定量化処理結果の検証を行った。この受光器前面にはスリット C を装着し、光源との距離 7 cm として、そのスリット幅変化に対する受光器入射パワー値を測定した。その結果を図 8 中に▲印で示す。次に、受光器を測光システムに置き換え、入射スリット A の幅を変化して測定した出力輝度階調値 (掃引速度 $1 \mu\text{s}/15 \text{ mm}$) を、(1) 式の関係により、 $[\mu\text{W}/\text{cm}^2]$ 値に換算して図中に○印で示した。照度計受光器の波長感度分布特性の相違を考慮すれば、両者の測定結果はよく一致するといえる。

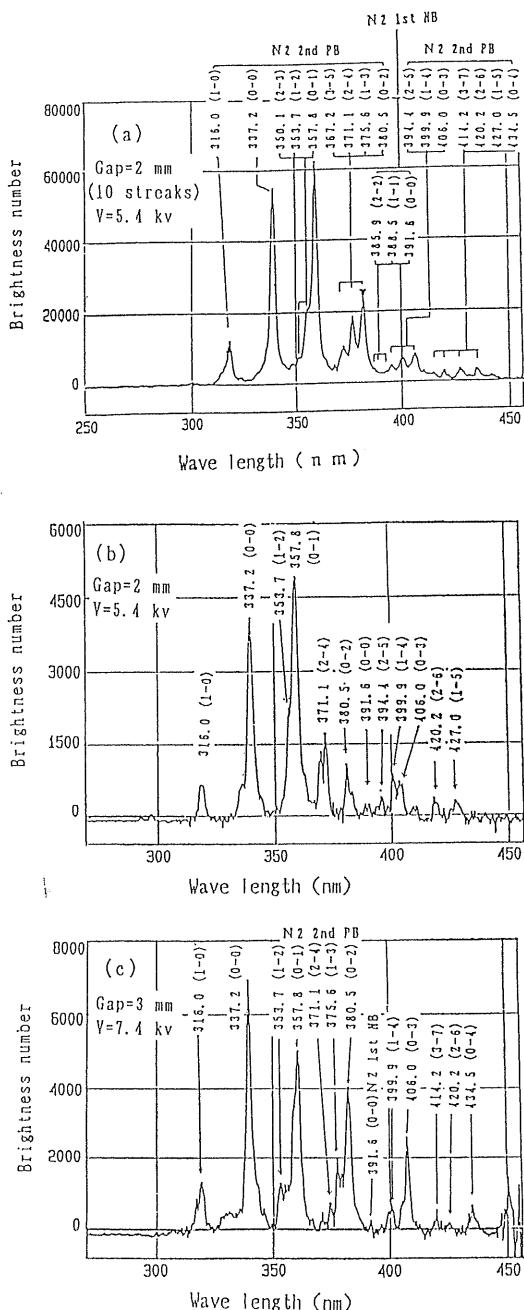


図 10 放電光のスペクトル分布

Fig. 10 Spectral distributions of discharge light.

定結果はほぼ一致しているといえる。

次に、掃引速度変化による定量化処理結果の誤差の程度を調べるために、上記の放射光 (405 ± 5 nm) 入射状態で、ストリーク掃引速度を変化した場合 ($0.05 \sim 100 \mu\text{s}/15 \text{ mm}$) について測定した。その結果を図 9 に示す。この場合、掃引速度 $100 \mu\text{s}/15 \text{ mm}$ においては 5 回の重

表 1 放電光放射パワー

Table 1 Derived radiation powers on discharge light.

波長 (nm)	Gap=1 mm $\times 10^{-8} \text{ J}$ ($V=3.6 \text{ kV}$)	Gap=2 mm $\times 10^{-8} \text{ J}$ ($V=5.4 \text{ kV}$)	Gap=3 mm $\times 10^{-8} \text{ J}$ ($V=7.4 \text{ kV}$)
337.2 (0-0)	1.9	3.3	4.0
357.8 (0-1)	1.4	4.1	3.9
380.5 (0-2)	0.6	0.6	2.6

ね撮りとし、それ以外の掃引速度では全露光時間が同一になるよう重ね撮り回数を設定して測定を行った。この結果、標準偏差は $0.53 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 程度でありストリーク掃引速度変化による誤差は小さいことが判明した。

3.3 放電光スペクトル分布と試算結果

ストリーク掃引速度 $100 \text{ ns}/15 \text{ mm}$ で記録したギャップ長 2 mm および 3 mm における放電光波長域 $270 \sim 450 \text{ nm}$ のスペクトル分布測定結果（時間積分値）を図 10(a)(b)(c) に示す。図(a)はギャップ長 2 mm の場合の放電光を 10 回重ね撮りした結果であり、図(b)(c)は単一放電パルス光測定の結果である。図(b)(c)の測定条件における $\text{N}_2 \text{ 2nd Positive Band}$ (以下 $\text{N}_2 \text{ 2nd PB}$ と略記) スペクトル成分 ($1-0$, $(0-0)$, $(0-1)$, $(0-2)$) の測定輝度階調値のばらつき範囲は、十数回繰り返した測定結果（室温： 22°C 、湿度： 70% ）では $\pm 10\%$ 以下であった。なお、ギャップ長 1 mm における放電光の場合も類似の分布形が測定された。

これらの線スペクトル成分（抽出波長幅： 3.2 nm ）の放射エネルギー $W(\lambda_1) [\text{J}/\text{cm}^2]$ （分光器入射スリット A 面における単位面積当たり入射エネルギー）を(2)式を用いて試算した。

ここで短ギャップ放電光を点光源とみなし（空気中における光子吸収は無視できると仮定）、放電点から分光器までの距離 r （この場合： 12.5 cm ）を考慮すると放電電極部におけるスペクトル放射エネルギー総量 $H_p(\lambda_1) [\text{J}]$ は、この $W(\lambda_1)$ 値を用いて次式により求められる。

$$H_p = 4\pi r^2 W(\lambda_1) \quad (3)$$

ギャップ長 1 , 2 , 3 mm における放電光波長成分の中から $\text{N}_2 \text{ 2nd PB}$ ($0-0$), ($0-1$), ($0-2$) 成分を選んで、定量化処理して求めた単一放電パルスあたりのスペクトル成分放射エネルギー $H_p [\text{J}]$ を表 1 に示す。

4. 短ギャップ放電発光波形

放電光スペクトル分布経時変化波形と比較検討するため、短ギャップ電極における放電進展過程の光子発生率波形および電流波形を多重電子なだれ機構に基づいて試算した。

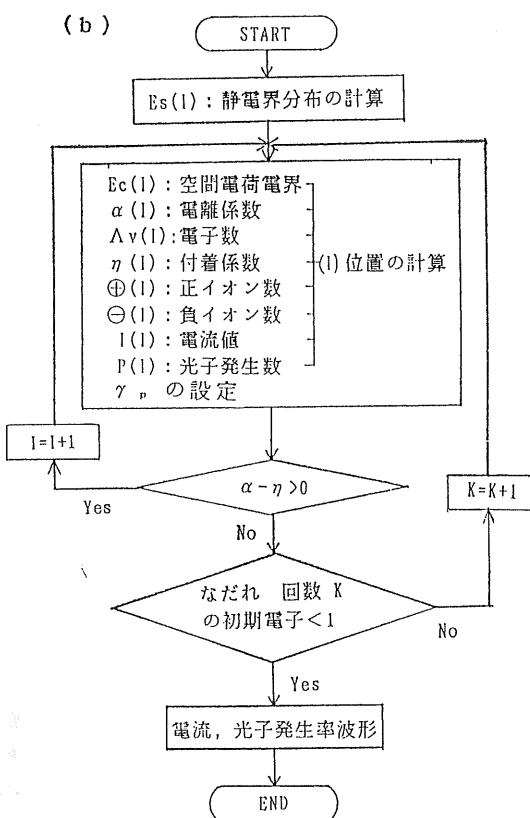
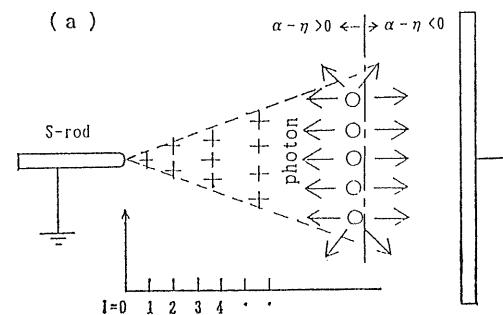
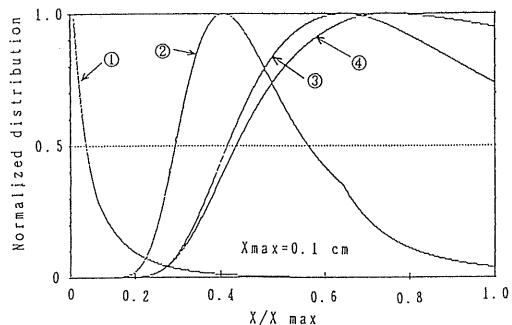


図 11 放電成長計算のフローチャート

Fig. 11 Flow-chart of calculation on discharge development.

4.1 放電機構モデル

ここでは、図 11(a)で示す負極性先端半球状棒電極の先端から飛び出した 1 個の電子が電離領域 ($\alpha - \eta > 0$: α =電子の第 1 電離係数, η =付着係数) 行走中に電子数を増やし、同時に正負イオンを発生して後方へ残しながら、正電極に向かって進んでいくと見なし、電離現象と同時に励起現象も生じて光子が発生すると仮定してい



[縦軸 1.0 の対応値]

①衝突電離係数	9.87	(1/cm)
②正イオン生成率	7.8×10^6	(個/cm)
③負イオン生成率	1.1×10^6	(個/cm)
④成長過程の電子数	1.8×10^5	(個)

図 12 電子なだれ諸量の軸上分布

Fig. 12 Distribution of electron avalanche values along the axial distance of electrode.

る。なお、電子なだれが電離領域を通過し終えた時点で、なだれ進展の途中で発生した光子が γ_p 効果で次世代の電子を新たに生じていると仮定している⁸⁾。この多重なだれ進展により、電流・光子発生が最大値に達した後、空間電荷電界の効果により電極間の電界強度が低下して電子なだれの電子増倍係数が 1 以下になるまで演算を繰り返した。

先端半球状棒対平板電極系の場合、電極中心軸上の静電界 E_s 分布の計算には、加速緩和法による計算結果から導出した次式を用いた。

$$E_s = E_0 \{ (1 + (BX)^C / (X + X_0)^A) \cdot (V_0/G) \} \quad (4)$$

ここで V_0 は印加電圧、 G はギャップ長、 X は棒先端からの軸上距離、 E_0 、 X_0 、 A 、 B 、 C などは (G/R) 値に依存する定数、 R は棒電極半径である⁹⁾。

電子なだれの成長過程に伴って生じる正・負空間電荷分布による電界効果は、各 x 点における電子の拡散効果を考慮した半径 r と微小厚さ Δx の体積中均一電荷密度の等価円板群近似により求めた。ただし、棒電極による空間電荷の影響は、その電極を共焦点放物面で模擬して求めた⁸⁾。これらのなだれ成長過程計算のフローチャートを図 11(b)に示す。

知られている物理定数^{10,11)}を用いて求めた初期なだれ進展過程の、 X 軸上棒先端近傍における電離係数、正イオン発生率 (dn_+/dx)、負イオン発生率 (dn_-/dx)、増倍電子数などの計算結果例を図 12 に示す。なお、この場合の電子なだれ進展による電流⁸⁾ $I[A]$ および光子発生率⁷⁾ P [個/s] の波形は次式より求めた。

$$I = Q \{ (E_s + E_0) / V_0 \} v_e \quad (5)$$

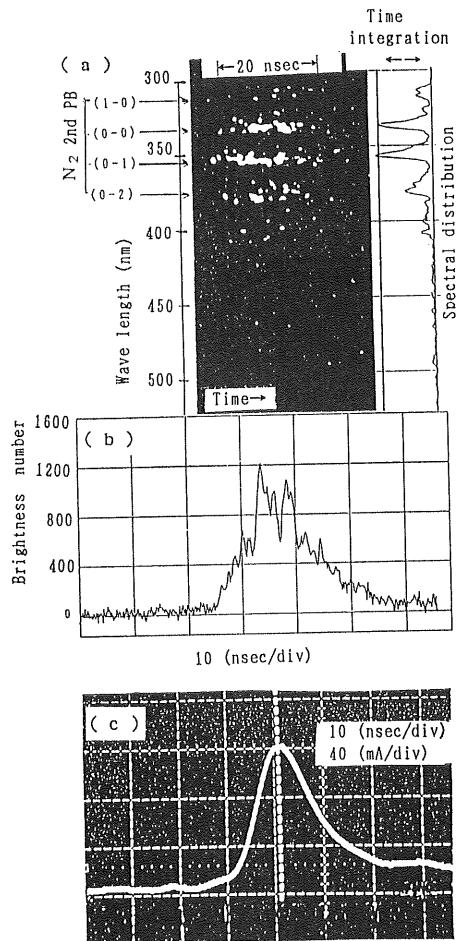


図 13 放電光と電流波形の実測結果

Fig. 13 Experimental results on discharge light and current.

$$P = \left\{ \int \delta dx / dt \right\} \cdot \exp \left\{ \int \alpha dx \right\}$$

ここで、 Q は走行電子群の電荷量、 E_C は空間電荷電界、 v_e は電子の走行速度、 V_0 は電極間印加電圧、 δ は励起係数、 $\int \alpha dx$ は電離指数である。

4.2 実験結果との対比

放電光波形は分光器を通して同時記録したスペクトル分布輝度データを全波長幅にわたり積分した波形に対応する。図 13 にギャップ長 3 mm、印加電圧 7.4 kV、ストリーカー掃引速度 100 ns/15 mm で波長幅 300~550 nm を同時測定したスペクトル光像とその輝度分布(a)、それらの波長方向輝度積分値の経時変化(b)、および放電電流波形(c)を示す。電流波高値 0.2 A 以下では 300~400 nm に発生する N₂ 2nd PB 成分光が顕著であり、この発光

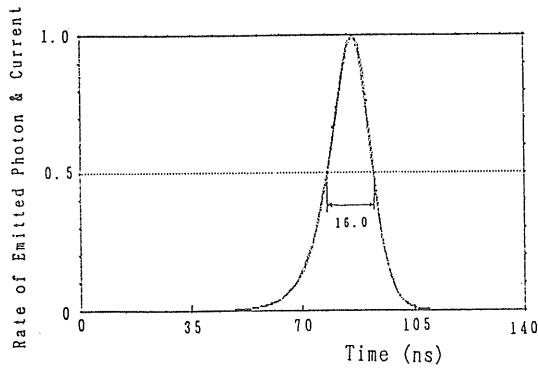


図 14 光子発生率波形と電流波形

Fig. 14 Emitted photons and current wave shapes.

強度に匹敵する放射光はこの波長帯域以外に認められない。したがって、(b)は放電光経時変化波形と見なせる。(b)(c)両波形の半値幅は約 18 ns である。

一方、種々の r_p 仮定値における実験時ギャップ長 3 mm の場合のなだれ成長試算を行った。その結果を表 2 に示す。表には①なだれ繰り返しの継続回数、②最大電流値とその発生時刻 I_{max}/T_1 [A/ns]、③光子発生率の最大値とその時刻 $Photon_{max}/T_p$ [(個/s)/ns]、④なだれ継続時間 T_0 [ns] を示す。この試算電流波形の半値幅は、 r_p 値 0.02~0.03において実験値に近い 10~20 ns を示した。 r_p を 0.023 に選んだ場合の光子発生率波形および電流波形計算結果を図 14 に示す。この場合、両波形はほとんど同じで重なっており、その半値幅は 16 ns である。

ESD 諸現象の解明に役立てるため、今後さらに詳細な放電シミュレーションを行い、実験的に導出した各波長スペクトル成分諸特性の定量化処理結果と比較検討を試みたい。

5. む　す　び

放電光分光スペクトル分布の経時変化測定結果を定量化処理するために必要な諸特性を調べ、また放電シミュレーションを行って短ギャップ放電実験結果と比較し、次の結果を得た。

(1) 実験に使用した分光器の入射スリット幅変化に対する波長分解能および放電光路の動搖に対する波長測定誤差を調べて、スリット幅 0.10 mm における分解能は 3.2 nm、発光位置の ±5 mm 以内の動搖に対する測定波長誤差は 0.1 nm/mm 以下であることを見出し、また、種々のストリーカー掃引速度における入射光量対輝度階調値特性の線形性は、入射光量が 10~1,000 μW/cm²·nm の範囲で保持されていること、輝度階調の時間積分値と入射光量との間に線形性があることなどを見出

表 2 多重電子なだれ諸量
Table 2 Values of multiple electron avalanche.

γ_p	① なだれ 継続回数	② I_{max}/T_i [A/ns]	③ Photon max/ T_p [(個/s)/ns]	④ T_o [ns]
0.20	10	$1.8 \times 10^{-3}/19.4$	$1.3 \times 10^9/19.4$	19.4
0.15	25	$1.4 \times 10^{-3}/21.5$	$1.2 \times 10^9/21.5$	24.0
0.10	26	$9.0 \times 10^{-4}/25.2$	$8.89 \times 10^8/25.3$	28.6
0.080	28	$6.5 \times 10^{-4}/28.4$	$8.03 \times 10^8/28.4$	32.9
0.060	32	$4.7 \times 10^{-4}/33.4$	$5.99 \times 10^8/32.5$	40.8
0.040	40	$2.5 \times 10^{-4}/44.6$	$3.92 \times 10^8/44.6$	59.4
0.030	52	$1.4 \times 10^{-4}/60.2$	$2.42 \times 10^8/58.7$	88.0
0.023	74	$0.63 \times 10^{-4}/87.4$	$1.18 \times 10^8/87.0$	162.6
0.020	96	$0.6 \times 10^{-4}/117$	$0.67 \times 10^8/117$	200.7

した。

(2) 微弱光の経時変化観測の際に、雑音成分と推定できる出力輝度階調値の時間変動を見出した。そこでその変動振幅範囲が平均輝度レベルに対して 20% 以下になるための入射光量限界値を種々の掃引速度について導出した。

(3) 標準電球を校正光源として測定輝度データを定量化処理した値の信頼性を検証するため、照度計との比較測定を行ったところ、ほぼ一致する結果が得られた。

(4) これらの結果を用いて、空気中短ギャップ放電(ギャップ長 1~3 mm)の単一パルス放電光スペクトル分布の測光結果を定量化処理し、種々の波長における放射エネルギーの導出を試みた。その結果、この場合の N_2 2nd PB (0-0), (0-1), (0-2) 成分の放射エネルギーとして $0.6 \sim 4.1 \times 10^{-8} \text{ J}$ が得られた。

(5) 短ギャップ放電の進展過程を、空間電荷効果を考慮した多重電子なだれモデルにより試算し、光子発生率波形および電流波形を導出した。この結果、実効 γ_p 値を 0.02~0.03 と仮定すると実測半値幅に近い半値幅計算結果が得られることを見出した。

今後、さらに詳細な放電シミュレーションを行い、定

量化処理した実験結果との比較検討を進めたいと考えている。最後に、実験・データ処理その他にご協力を頂いた神戸大学工学部電気エネルギー制御講座の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 増田閃一, 水野 彰: 静電気学会誌, 2 (1978) 114
- 2) 遠藤正雄, 高橋雄造, 渡辺真人: 静電気学会誌, 10 (1986) 45
- 3) 嶋崎俊行, 真鍋吉秀: 静電気学会誌, 15 (1991) 299
- 4) 許 国詳, 荒井健次, 福田欣也, 中本 聰: 静電気学会講演論文集 '89, 18a-A (1989)
- 5) 宮原一典, 荒井健次, 藤岡伸宏: 静電気学会誌, 14 (1990) 146
- 6) 宮原一典, 荒井健次: 静電気学会講演論文集 '93, 3pA-1 (1993)
- 7) 荒井健次, 大森敦司, 東狐義憲: 電気学会講演論文集, 126 (1990)
- 8) 角田美弘: 電気学会誌, 80 (1960) 301
- 9) 古家伸一, 荒井健次: 電気学会放電研究会, ED84-61 (1984)
- 10) M.P. Sarma and W. Janischewskyj: Proc. IEE, 116 (1969) 161
- 11) S. Badaloni and I. Gallimberti: Basic Data of Air Discharge. University of Padova Report Upee, 72/05 (1972)