静電気学会誌，13，4（1989）314-321

論　　文

# 電界フォギング写真の基礎特性

中　村　　賢*，赤　崎　正　則**

（1989年3月4日受理）

# Basic Characteristics of the Fogging Photography Showing Electric Field

M. NAKAMURA,* M. AKAZAKI**

(Received March 4, 1989)

The authors have proposed the fogging photography showing electric field, as a new recording method of applied electric field distribution to a photographic film. If a photographic film has been exposed to a light flash synchronized with application of electric field, the optical density of the developed film is decreased correspondingly to the applied field distribution. This density decrease is based on the desensitizing action of applied electric field on the process of latent image formation. The density decrease is measured as a function of applied electric field. Their relationship may be written approximately $-Y=-(0.75/1000)X+0.1$ with the provisoes that the amount of density decrease is $-Y$, the intensity of applid field is $X$ (V/mm), $X$ is inside of 180～750 for uniform field, and $X$ is inside of 100～430 for radial field. By using uniform or radial field distribution it is measured respectively how the variation of leading or lagging time of the fogging affects the film response. The decay rate of Dember photovoltage is also observed for comparison with the characteristic curves.

## 1. まえがき

写真フイルムや印画紙の全面を均一に感光させることをフォギングと呼び，増感撮影[1]や反転現像等に広く利用されている．そこで，フォギングによって撮影された電界の写真を，電界のフォギング写真または電界フォギング写真と呼ぶことにする．これを撮影するには，写真フイルムにインパルス電界を印加し，それと同時にストロボフラッシュでフォギングを行なう．その後，取り出したフイルムを写真現像すれば，印加された電界の大きさに対応して減感された，電界のフォギング写真が得られる．すなわち，現像処理後の黒化フイルムの濃度は，電界を印加せずフォギングだけで感光している場合が最も黒い．そして，より大きな電界を印加するほど，濃度は減退し，白っぽく見える．

つぎに，本研究の背景について，歴史的な経過を述べる．1777年，Lichtenberg によって，彼の名前で呼ばれている沿面放電図形が発見された[2]．そして，1838年，Daguerre によって，現在の写真技術の基礎となったダゲレオタイプが発明された[3]．ちょうど150年前のことである．それから45年後，これらが組み合わされ，1884年，Ducrefét によってリヒテンベルク写真像が発表された[4]．さらに33年後の1917年，吉田によってリヒテンベルク写真像にフォギングが適用され，マージン付リヒテンベルク写真像が報告された[5]．これをうけて，1920年，Toepler は印加電圧に対するリヒテンベルク像の大きさを表わす実験式を，マージンを含めた大きさの式に修正した[6]．このマージン部は，現在では，沿面ストリーマ上の電荷が作った不平等電界のフォギング写真であると考えられ，この成因の追究が本研究の出発点となった．そして，1987年，中村らは，2枚の透明な板電極で写真フイルムを挟み，金属電極間に形成された平等電界のフォギング写真を撮影し，電圧特性等を測定した[7]．さらに，波尾裁断した方形インパルス電圧による同期特性を測定し，電界フォギング写真のメカニズ

キーワード：写真，フォギング写真，静電界，静電界分布，電界フォギング写真

* 立命館大学理工学部電気工学科（603 京都市北区等持院北町）
Department of Electrical Engineering, Faculty of Science & Engineering, Ritsumeikan University, Kitamachi, Tojiin, Kita-ku, Kyoto, 603 Japan
** 九州大学大学院総合理工学研究科（816 春日市春日公園6-1）
Graduate School of Engineering Science, Kyushu University, 6-1, Kasuga-Koen, Kasuga, 816 Japan

ムに，界面分極[8]が関与していることを指摘した[9]．

こうした経過から，本研究目標の一つに，電界のフォギング写真を解析し，沿面ストリーマの電界分布や線電荷密度を求めることが挙げられる．しかし，そのためには，前段階として，電界計算の容易な金属電極間で形成された電界のフォギング写真について，その解析根拠を明確にし，基礎特性を整理しておく必要がある．そこで，本論文において，写真乳剤層に垂直な平等電界に対する電界特性を求め，それと，乳剤層に平行な2次元放射状電界（同心円筒間電界）に対する電界特性とが，ほぼ一致することを示した．そして，それによって，平等電界の計算に用いた仮定が許容されることを示した．また，平等電界に対するフォギングの進み時間特性や，フォギングの遅れ時間特性に関する，平等電界と放射状電界との比較にも言及した．ただし，印加電界の正負によって，実験結果に差異が認められなかったので，極性表示は，これを省略した．

## 2. 平等電界に対する諸特性

### 2.1 実験方法

#### 2.1.1 電極，試料等の配置

図1に示すように，7 cm×15 cm の大きさで，ITO 膜を上向けた透明板電極A′を接地し，その上へ10 cm×10 cm の大きさで，感光乳剤面を下向けたX線間接撮影用フイルム（以下フイルムと呼ぶ）Bを置く．Bの上へ10 cm×15 cm の大きさで ITO 膜を下向けた透明板電極Aを積み重ねる．上下2枚の ITO 膜と写真フイルムとの両面が良く接触するように，Aの上に 10 cm×10 cm の大きさで重量 700 g の板ガラスを載せる．こうして，少なくともフイルムの中央部 5 cm×5 cm の面積に，平等電界を印加できるように配置する．

#### 2.1.2 フォギング，印加電圧，同期設定

図1のCはフォギング光を示し，その光源には発光期間の短いキセノン放電管（菅原 FX-6S）を使用した．その光波形のパルス幅は 0.6 μs であった．ただし，この数値は，受光素子として光電子増倍管（東芝 MS-9S）を用い，その出力を，入力抵抗 50Ω のストレージスコープ（岩崎通信機 TS-8121）で観測して得られた値である．

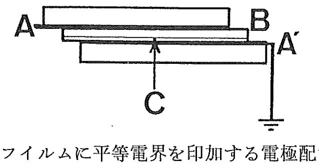


図1　写真フイルムに平等電界を印加する電極配置
A, A′：透明板電極，B：写真フイルム，C：フォギングフラッシュ光

Fig. 1　Arrangement of electrodes for application of uniform electric field to a photographic film.
A, A′: a transparent plate electrode, B: a photographic film, C: fogging light flash.

図1のAに印加するインパルス電圧はサイリスタ（東芝 SF300HX22）によって発生させた．それは，1 μs の間に零から最大値に到達し，その後減衰して，発生から 40 μs 後には，最大値の半分に低下する波形であった．これを，ここでは標準波形と呼ぶ．

インパルス電圧を発生させるサイリスタへの駆動トリガと，フォギング光を発生させるキセノン放電管への駆動トリガとは，それぞれ独立にデュアルビームオシロスコープ（ソニーテクトロ 7844）から供給した．したがって，フォギングを電圧印加よりも先行させたり，逆に電圧印加をフォギングより先行させることも，任意に設定できる．ただし，印加電圧波形と光波形との同期状況は，スプリットビームオシロスコープ（岩崎通信機 DS-8211）で常時観測した．

#### 2.1.3 現像処理，濃度測定

撮影ずみのフイルム 12 枚を，それぞれ 1 cm ずつ隔てて収容できるステンレス製の取枠につるし，15 cm×17 cm×20 cm の現像タンクに入れ，約 4 l の指定現像液レンドールにより 20℃ で 240 s 間，静止浴現像した．そして，フジフィックスで 10 min 間定着した．

現像処理後のフイルムの濃度分布は，濃度範囲 0～4 の光電式走査形平行光濃度計（サクラミクロホトメータ PDS15）で測定し，そのスリットは幅 50 μm，高さ 500 μm とした．フイルムには平等電界を印加しているので，その中央部 5 cm×5 cm の面積に対応する濃度分布は，ほぼ均一の濃度になっている．そこで，その中心点の位置の濃度測定値を，その濃度の数値とした．

#### 2.1.4 Dember シグナル

接地されたシールドケース内に，図1のようにフイルムや電極等を配置する．このケースの受光窓の金網を通して，外部からフォギング光を一度だけフイルム全面に照射すると，パルス Dember 効果[10]といわれる光起電力信号が透明板電極Aに誘起される．これを Dember シグナルと略称する．この信号波形を入力抵抗 1 MΩ のストレージスコープによって観測した．

### 2.2 結果と考察

試料に電界を印加せず，フォギング光だけを均一に照射すると，現像処理後の黒化フイルムの濃度分布は，ほぼ均一で，濃度は約 1.5 であった．以下に述べる実験結果は，このような条件のもとで得られたものである．

#### 2.2.1 電界特性

平均厚さ 250 $\mu$m の写真フイルムを，厚さ 234 $\mu$m のベース層と厚さ 16 $\mu$m の乳剤層との2層誘電体とみなし，ベース層の比誘電率を 2.85，乳剤層を 13.1 とする．すると，乳剤層中の電界の大きさ（単位 V/mm）は，フイルム全体に印加された電圧（単位V）の 0.925 倍で表わせる[11]．この電界を横軸にとり，縦軸に黒化フイルムの濃度減退量をとって，図2に電界特性を示す．ただし，フォギングは電圧印加と同時に行なった．すなわち，印加電圧が最大値に到達する時点と，フォギングの光パルスがピークに達する時点とを，毎回一致させている．

図2に見られるように，特性曲線は印加電界約 700 V/mm まで，ほぼ直線的に増加し，印加電界約 1200 V/mm 付近で飽和することがわかる．

#### 2.2.2 Dember シグナル

インパルス電圧を印加せず，フォギング光だけを照射し，それによる写真フイルムの Dember シグナルを観測した．フォギング光が乳剤層に入射すると，乳剤粒子の後面で光吸収量が最も多くなる．それが前面より後面で多くなる理由は，後面における入射光波と反射光波との干渉効果等で説明されている[10]．ただし，後面とは，乳剤粒子の面のうち，入射光源から遠い方の面を指す．さて，光吸収が起こると，光電子と光正孔とが発生する．ところが，光正孔は発生場所からほとんど動かないうちにトラップされ，格子間銀イオンを生成するのに対し，光電子は後面から前面に向かって急速に拡散する．その結果，図1のA電極にはフォギングしてから約 0.7 $\mu$s 後に約 4 mV のピーク電位が誘起される．このピーク値以後の Dember シグナルの波尾部分を，負極性に反転して図3に破線曲線で示す．ただし，ピーク値を縦軸 100% とし，横軸の左方向を波尾時間の正方向とみなしている．この波尾の減衰状況は，拡散しトラップされた光電子が，格子間銀イオンのドリフトによって中和されていく過程に対応する．換言すれば，潜像核や亜潜像核等[12]が形成されていく状況を表わし，乳剤固有の中和速度に支配されていると考えられる．

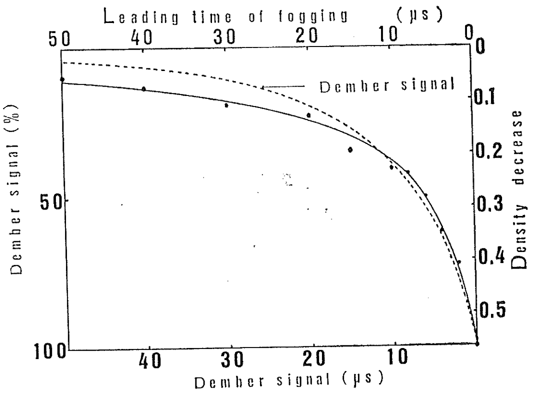


図 3 減退濃度の進み時間特性（実線）

Fig. 3 Dependence (solid line) of density decrease on leading time.

#### 2.2.3 フォギングの進み時間特性

フォギングが電圧の印加より先行する場合について，フイルムの濃度減退量とフォギングの進み時間との関係を図3の実線で示す．ただし，印加電圧の最大値は 1.2 kV である．また，進み時間とは，フォギングの光パルスがピークに達した時点から，印加電圧が最大値に達するまでの時間をいう．図3に見られるように，減退濃度が最大値の半分になるような進み時間は数 $\mu$s である．そして，進み時間特性曲線の形状は，Dember シグナルのピーク以後の減衰部分の波形に，非常によく似ている．

図4は進み時間特性の Dember シグナルによる説明図である．横軸上の零時点でインパルス電圧がフイルムに印加されるものとし，これ以後の電圧印加領域に斜線を施こす．零より左方向を進み時間，零より右を遅れ時間とする．いま，進み時間 60 $\mu$s の時点でフイルムをフォギングしたとする．フイルムには Dember シグナルが誘起され急速にピーク値まで上昇する．その後，フイルム乳剤中に潜像核等が形成されるにつれ，シグナルの瞬時値は小さくなり，やがて 50 ないし 60 $\mu$s の後，零レベルに復帰する．この間，インパルス電圧は印加されないから，フイルムの濃度は減退せず，約 1.5 のままである．ただし，いったん形成された潜像核は，それ以後に電界が印加されても破壊されないものと仮定しての表現である．しかし，この仮定は，本実験のように大きな電界（約 1110 V/mm）を印加した場合には，必ずし

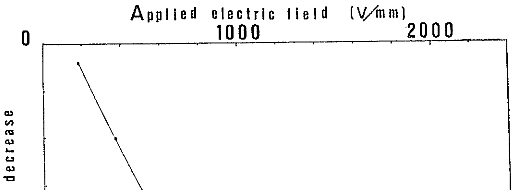


図 2 減退濃度の電界特性

Fig. 2 Dependence of density decrease on electric field.

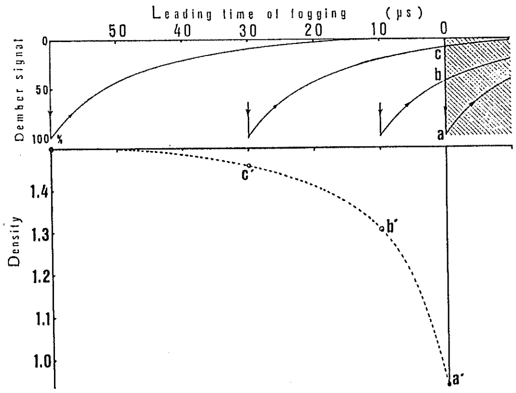


図 4　Dember シグナル（実線群）による点線（減退濃度の進み時間特性）の説明

Fig. 4　Illustration by Dember signals (solid lines) of the dotted line (dependence of density decrease on leading time).

も満足されていないようである．すなわち，実測にもとづく図3の実線は，Dember シグナルを表わす点線よりも，濃度がわずかながら減少している．これは，いったん形成された潜像核が，それ以後に印加された電界によって破壊されたものと考えられる．

つぎに，インパルス電界が印加される零時点でフォギングしたとすると，フイルムに誘起された Dember シグナルは，ピーク値 a を経由して，零レベルに復帰するまでの全期間にわたって印加電界の影響を受ける．この影響には，潜像核の形成を阻害する傾向と促進する傾向とが考えられる．たとえば，光電子のトラップ効率や格子間銀イオンの中和効率の低下は阻害因子と考えられる．しかし，電子と正孔との再結合効率の低下は，むしろ潜像核の形成には有利な作用と考えられる．いずれにしても，実験結果によると，潜像核の形成効率は低下し，濃度は約 37.6% 減退して 0.94 になっている．これが図の a′ である．これを要約すると，斜線領域の電界によって a が a′ に対応させられたことになる．

さらに，進み時間 10 μs でフォギングした場合を考察する．フォギングによる Dember シグナルは，ピークを経由して図の b 点に達した時点から斜線領域に入り，やがて零レベルに復帰する．このうち，斜線領域に入っている部分の波形は，ピーク値が b であるような Dember シグナルに等しい．したがって，遅れ時間が零でフォギングした場合に，a が a′ に対応させられたように，図の b 点は図の b′ 点に対応させられる．b はピーク値の 36.3% であり，その 37.6% に対応させられるから，合算して約 13.6% だけ濃度は減退することになる．

同様に，進み時間 30 μs でフォギングすると，電圧印加時点における Dember シグナルの瞬時値 c は，そのピーク値の 10.3% に減衰しており，10.3% の 37.6% である約 3.8% だけ濃度は減退することになり，図の c′ 点で示される．

これら，a′，b′，c′ 点を通る点線曲線を作ると，これは Dember シグナルとピーク値の異なった同一波形であることがわかる．

### 2.2.4　フォギングの遅れ時間特性

進み時間特性と逆に，電圧印加がフォギングに先行する場合の，フイルム濃度減退量とフォギング遅れ時間との関係を，図5の実線曲線で示す．ただし，遅れ時間とは，印加電圧が 1.2 kV の最大値に達した時点から，フォギングの光パルスがピークに達するまでの時間をいう．図5の破線曲線は Dember シグナルを示す．両曲線の比較から，遅れ時間特性曲線は，単純な形状ではなく，その成因に2種以上の要素が存在するものと考えられる．

## 3.　放射状電界に対する諸特性

### 3.1　実 験 方 法

写真フイルムの乳剤層面に，できるだけ平行な2次元放射状電界を印加する．そのために，同一寸法の同心円筒電極系を2組製作し，それらの間へ図6のようにフイルムを挟み込む．フイルム中央には，あらかじめ 2 mmφ の円孔をあけておく．A は 4 mmφ，長さ 30 cm の黄銅丸棒，B，B′ は内径 91 mmφ，長さ 20 cm のアルミ円筒，A′ は長さ 10 cm の A と同じ電極である．A′，B′ 上にフイルム C を置き，それらの上へ A，B を載せる．B，B′ を接地し，A，A′ にインパルス電圧を印加し，任意に設定した遅れ時間の後，フイルムにフォギング光 D を照射する．その後，取出したフイルムを写真現像処理する．黒化フイルムの濃度分布は，スポット 1 mmφ，濃度範囲 0～3 の透過式濃度計（さくら光電濃度計 PDA-11）により，1 mm ステップで測定した．

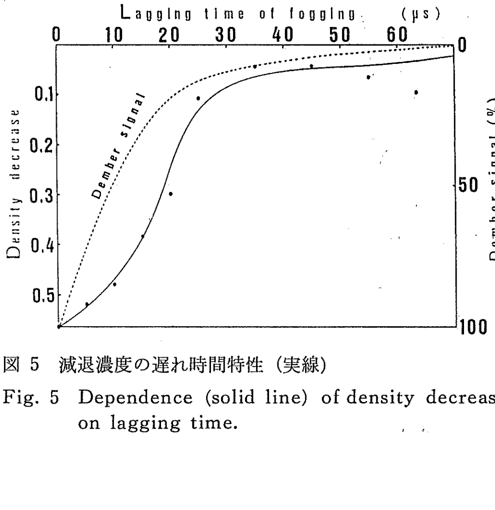


図 5　減退濃度の遅れ時間特性（実線）

Fig. 5　Dependence (solid line) of density decrease on lagging time.

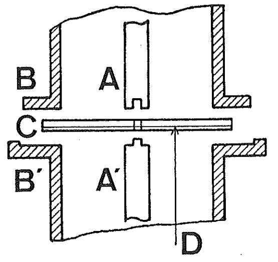


図 6　写真フイルムに放射状電界を印加する電極配置

Fig. 6　Arrangement of electrodes for application of radial electric field to a photographic film.

### 3.2　結果と考察

#### 3.2.1　電圧特性

図7は印加電圧をパラメータとして，横軸に中心から半径方向の距離をとり，右縦軸に放射状電界の大きさ，左縦軸にフイルムの濃度をとって，それぞれの分布状況を対照表示している．すなわち，A～Dの実線曲線群は，それぞれ最大値 7, 14, 21, 31 kV のインパルス電圧を印加した場合の，同心円筒電極間の，いわゆる静電界分布[13]を表わし，破線曲線群は，それらに対応する濃度分布を表わす．ただし，フォギングの遅れ時間を7 μs とした．図7に見られるように，左の縦軸の減退濃度 0.05～0.3 の範囲内では，かなり良い相関を示すことがわかる．

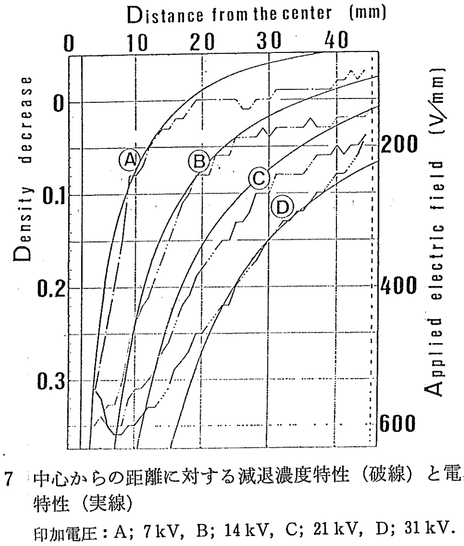


図 7　中心からの距離に対する減退濃度特性（破線）と電界特性（実線）
印加電圧：A; 7 kV, B; 14 kV, C; 21 kV, D; 31 kV.

Fig. 7　Dependences (broken lines) of density decrease and dependences (solid lines) of electric field on the distance from the center.
applied volt : A; 7 kV, B; 14 kV, C; 21 kV, D; 31 kV.

#### 3.2.2　電界特性

図7の右縦軸を新たに横軸にとり，左縦軸との関係を示すと，図8の電界特性が求められる．曲線 A, B, C, D は，それぞれ印加電圧が 7, 14, 21, 31 kV における，電界に対するフイルムの減退濃度特性を示し，それぞれの近似直線 a, b, c, d は，すべて同じ一次方程式 $-Y=-(0.75/1000)X+0.075$ によって表わされる．ただし，$-Y$は減退濃度，$X$ (V/mm) は電界の大きさである．

ところが，曲線Dに限り，その近似直線 e は，それ以外の近似直線とは異なり，$-Y=-(0.75/1000)X+0.1$ によって表わされる．

図8の放射状電界に対する電界特性曲線A～Dを一括すると，部分的に重なって図示しにくいので，近似直線 a～d と e とで表わし，これらと平等電界に対する電界特性曲線Fとの比較を図9に示す．ただし，曲線Fの導出に用いた感光乳剤層の平均厚さは，以下のようにして決定した．すなわち，まず，ゼラチンを含む感光乳剤層の比誘電率を，臭化銀結晶の比誘電率 13.1 に等しいと仮定する．つぎに，フイルムベースだけの平均厚さと比誘電率，フイルム全体の平均厚さと比誘電率等を，それぞれ実測する．そして，計算によって[11]乳剤層の平均厚さ 16 μm を求めた．この数値は，X線マイクロアナライザによる実測値約20 μm に近似している．このように乳剤層中の電界計算には，平等電界が乳剤層に垂直であるため，比誘電率と平均厚さとが必要になる．しかし，これらの実測は，必ずしも容易でない．そこで，上記のような仮定と計算を行なった．

ところが，放射状の電界計算[13]では，電界が乳剤層と平行であるとすれば，このような数値を必要としない．このように，F曲線の導出過程と近似直線のそれとは，基本的に異なっている．にもかかわらず，図8，9に見られるように，減退濃度約0.3以下において，F曲線と近似直線とは，ほぼ一致する．これは，F曲線の導出に限って，このような仮定と計算との妥当性を示すものと考えられる．

図9の近似直線 a～d を表わす一次方程式を用いて，図7を書換えると図 10 になる．すなわち，図 10 の左縦軸の減退濃度を $-Y$，右縦軸の電界の大きさを $X$ (V/mm) とすると，$-Y=-(0.75/1000)X+0.075$ で表わされる．同様に，図7が図9の近似直線 e によって表現されていたことがわかる．

一方，図7～10に見られるように，電界特性の飽和現象については，平等電界と放射状電界とでは異なっている．放射状電界では，図8のように，減退濃度約0.25，電界の大きさにして約 450 V/mm で急激に飽和する．

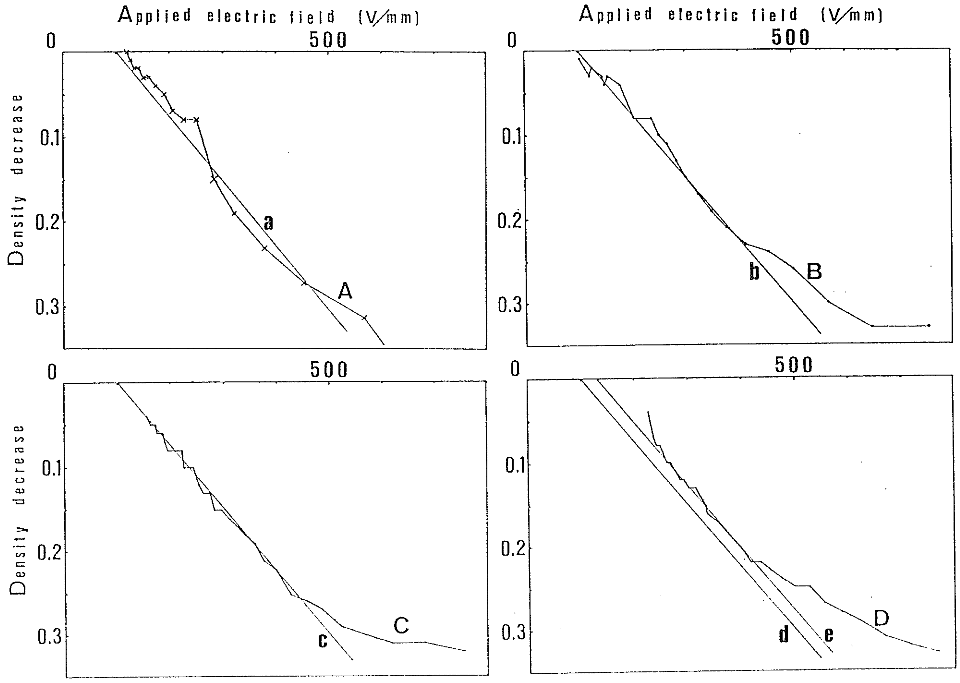


図 8 減退濃度の電界特性

印加電圧：A; 7 kV, B; 14 kV, C; 21 kV, D; 31 kV.
a, b, c, d, e：近似直線

Fig. 8 Dependences of density decrease on electric field.

applied volt：A; 7 kV, B; 14 kV, C; 21 kV, D; 31 kV.
a, b, c, d, e：approximated straight line.

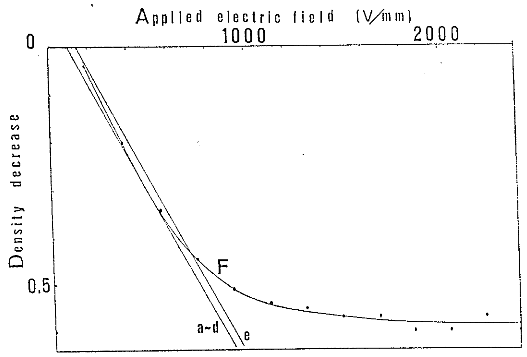


図 9 減退濃度の電界特性

F：平等電界に対する特性曲線
a～d, e：放射状電界に対する近似直線

Fig. 9 Dependences of density decrease on electric field.

F：characteristic curve for uniform field.
a～d, e：approximated straight line for radial electric field.

これは，放射状電界では，電圧印加電極とアース電極との間に，それらに接触して乳剤層が存在するので，印加電界が大きくなると，非線形な電気伝導が顕著になるこ

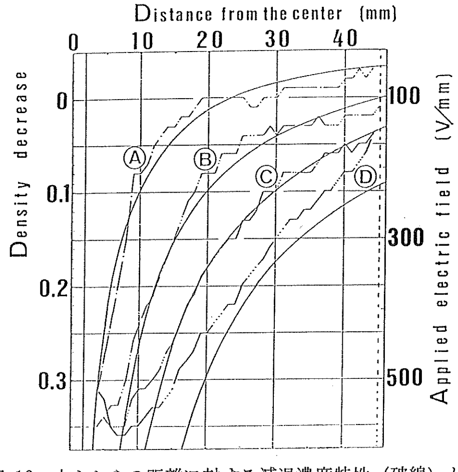


図 10 中心からの距離に対する減退濃度特性（破線）と電界特性（実線）

印加電圧：A; 7 kV, B; 14 kV, C; 21 kV, D; 31 kV.

Fig. 10 Dependences (broken lines) of density decrease and dependences (solid lines) of electric field on the distance from the center.

applied volt：A; 7 kV, B; 14 kV, C; 21 kV, D; 31 kV.

とによるものと考えられる．詳細なメカニズムの解明は今後の研究にまつ．

### 3.2.3　フォギングの遅れ時間特性

フォギングの遅れ時間特性は，沿面ストリーマの先端電界のフォギング遅れ時間特性のモデルとして，応用的にも重要な特性である．先に述べたように，フォギングの遅れ時間とは，印加電圧が最大値に達した時点から，フォギングの光パルスがピークに達するまでの時間をいう．図 11 は最大値 14 kV のインパルス電圧を印加した場合について，遅れ時間をパラメータとし，横軸に中心から半径方向の距離をとり，縦軸にフイルムの減退濃度をとって，その分布を示している．B, E, F, G, H, J のパラメータは，それぞれ順に 7, 15, 25, 35, 45, 55 $\mu$s である．図 11 の横軸 6 mm における B～J 曲線の値を縦軸にとり，横軸にフォギングの遅れ時間をとって，破線曲線で図示したものが図 12 である．

図 12 の実線曲線は平等電界に対するフォギングの遅れ時間特性を表わす．ただし，縦軸目盛は，平等電界については，図 2 の横軸 1200 に対する減退濃度 0.56 を 100% とし，放射状電界については，図 11B 曲線の横軸 6 mm に対する減退濃度 0.36 を 100% として表示した．図に見られるように，平等電界の場合よりも，放射状電界の場合の方が，大きな遅れ時間まで，濃度減退が認められる．これは，以下のような実験結果とも一致する．すなわち，写真フイルム面上に発生させた沿面ストリーマのフォギング写真において，フォギングの遅れ時間が小さい範囲では，ストリーマの先端とステムとに同程度の濃度減退が認められる．ところが，遅れ時間が大きくなると，沿面ストリーマのステム部分の濃度は減退しなくなり，先端部分だけに濃度減退が認められるようになる．そして，先端部分の電界分布は放射状電界に似ており，ステム部分の電界分布は平等電界に似ていると考えられる．

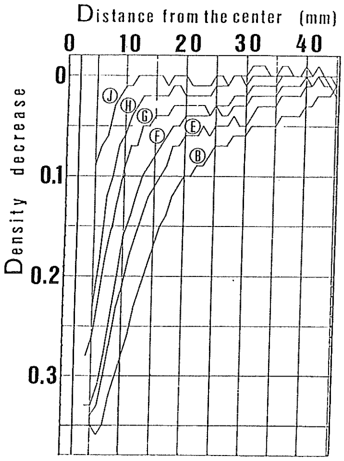


図 11　中心からの距離に対する減退濃度特性
フォギング遅れ時間：B; 7 $\mu$s, E; 15 $\mu$s, F; 25 $\mu$s, G; 35 $\mu$s, H; 45 $\mu$s, J; 55 $\mu$s.

Fig. 11　Dependences of density decrease on the distance from the center.
lagging time of fogging : B; 7 $\mu$s, E; 15 $\mu$s, F; 25 $\mu$s, G; 35 $\mu$s, H; 45 $\mu$s, J; 55 $\mu$s.

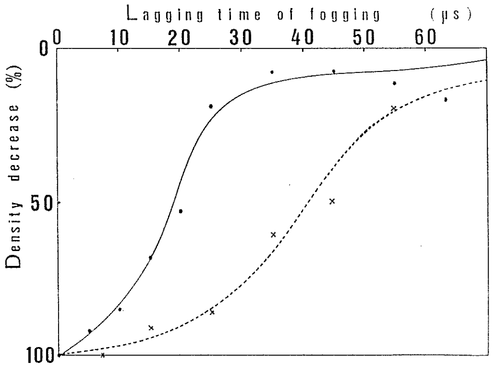


図 12　減退濃度の遅れ時間特性
実線：平等電界，破線：放射状電界

Fig. 12　Dependences of density decrease on lagging time.
solid line : for uniform field, broken line : for radial field.

図 12 の両曲線の差異は，以下のような差異に起因するものと考えられる．すなわち，平等電界では，感光乳剤層が，絶縁性の良いフイルムベースを隔てて金属電極の間に存在している．一方，放射状電界では，電圧印加用の丸棒電極とアース用円筒電極との間に直接接触して存在している．この差異が感光乳剤層に及ぼす影響のメカニズムはまだ不明である．

## 4.　む　す　び

電界のフォギング写真を，沿面ストリーマの電界検出へ応用するにあたり，その前提として，標準波形インパルス電圧を印加したときの電界特性を明らかにしておく必要があった．本論文では，フイルムの乳剤層に垂直な平等電界と，乳剤層に平行な放射状電界とに対して，電界特性を含む諸特性を求め，それらを比較検討した．主な結果や結論は以下のようにまとめられる．

(1)　印加電界の大きさに対する，フイルム濃度の減退特性（電界特性）は，乳剤層に垂直な平等電界であっても，それに平行な放射状電界であっても，ほぼ同一の特性になる．すなわち，乳剤中の電界の大きさを $X$ (V/mm)，減退濃度を $-Y$ とすると，$-Y=-(0.75/1000)X+0.1$ なる直線で近似できる．ただし，平等電

界ではXは約 180～750，放射状電界ではXは約 100～430 とする．そしてYの最大値は約 0.6 以下である．

(2) 乳剤層に垂直な平等電界を印加する場合，等価的に，乳剤層の比誘電率は 13.1 と仮定でき，平均厚さは 16 μm とみなせる．したがって，乳剤中の電界の大きさ (V/mm) は，印加電圧 (V) の 0.925 倍となる．

(3) 乳剤層に垂直な平等電界に対する，フォギングの進み時間特性曲線の形状は，基本的には，Dember シグナルの減衰部の波形にほぼ一致する．したがって，今回測定した Dember シグナルと全く異なるような形状の Dember シグナルを持つ写真フイルムを使用すれば，進み時間特性曲線の形状も，それに応じて変化するものと考えられる．

(4) 乳剤層に垂直な平等電界に対する，フォギングの遅れ時間特性は，遅れ時間約 30 μs 程度で，零レベルに接近する．一方，乳剤層に平行な放射状電界に対する，特性は，約 60 μs 程度で零レベルに接近する．この差異のメカニズムは，まだ明らかでない．

写真フイルムの乳剤層の厚さや比誘電率等を測定してくださったタツタ電線株式会社のグループリーダー相良憲次総括エンジニアと種々御援助くださった名古屋工業大学名誉教授三好保憲先生に深く感謝いたします．なお，慶応義塾大学理工学部玉河 元 教授主宰の本多記念放電談話会において発表した際，同教授並びに真壁利明助教授および日本工業大学御所康七教授より貴重な御助言をいただいた．併せて深く感謝いたします．

## 参 考 文 献


1) 岡田清隆：オシロスコープのすべて，p.196，共立出版 (1983)
2) Y. Takahashi : J. Electrostat., **6** (1979) 1
3) 富田 仁：舶来事物起原事典，p.160，名著普及会 (1987)
4) 鳥山四男，稲田金次郎，堺 孝夫，室岡義廣：高電圧工学，p.167，コロナ社 (1968)
5) U. Yoshida : Memoirs Kyoto Univ., **II** (1917) 315
6) M. Toepler : Physik. Zeitschr., **21** (1920) 706
7) 中村 賢，川崎三津夫，羽田 宏：日本写真学会誌，**50** (1987) 465
8) 山口修広：物性論演習，p.204，産業図書 (1964)
9) 中村 賢，川崎三津夫，羽田 宏：日本写真学会誌，**51** (1988) 381
10) 川崎三津夫：日本写真学会誌，**49** (1986) 421
11) 二村忠元：電気磁気学，p.70，朝倉書店 (1965)
12) 菊池眞一，浜野裕司：光化学，p.182，コロナ社 (1967)
13) 赤崎正則：基礎 高電圧工学，p.69，昭晃堂 (1980)