

静電気放電に伴う電磁パルスの光変調器型電界センサによる測定

正員 馬杉 正男<sup>†</sup>      正員 小林 隆一<sup>†\*</sup>  
 正員 桑原 伸夫<sup>†</sup>      正員 徳田 正満<sup>†</sup>

Measurement of Electromagnetic Pulses due to Electrostatic Discharges by an Electric Field Sensor Using an Optical Modulator

Masao, MASUGI<sup>†</sup>, Ryuichi KOBAYASHI<sup>†\*</sup>, Nobuo KUWABARA<sup>†</sup>  
 and Masamitsu TOKUDA<sup>†</sup>, *Members*

あらし 本論文では、光変調器を使用した電界センサを用いて静電気放電に伴って空間に放射される電磁パルスの時間領域における測定と解析を行った。バイコンカルアンテナ等による EMI 評価用アンテナでは、パルス波形を振動波形として検出し、時間波形を定量的に扱うことが困難であったが、電気光学効果を用いた電界センサにより、静電気放電に伴う電磁パルスを精度良く測定することが初めて可能となった。相対湿度を 50(±5), 70(±5), 90(±5)% と変化させた条件下で、放電電圧 2, 5, 20 kV に対して放電を発生させた結果、①放電電圧の増加と共に半値幅の広いパルス波形となる、②放電電圧が低下するほど波形の立上り率が上昇する、③相対湿度の上昇に伴って波形の立上り率が低下する、等の特性を明らかにすることができた。また、得られた時間波形から周波数スペクトルを周波数帯域 10 M~1 GHz に関して計算することにより、相対湿度が約 20% 上昇した場合、各帯域にわたって 2~8 dB 程度レベルが低下する現象等を示した。

キーワード 静電気放電, 放電電圧, 電磁パルス, 電気光学効果, 光変調器

1. まえがき

静電気放電 (Electrostatic Discharge; 略して ESD) が発生する際に周囲に放射される電磁パルス (以下、静電気パルス) は、数 GHz 以上もの高い周波数成分を有する場合があります。電子装置にとって大きな障害原因となる<sup>(1)(2)</sup>。LSI をはじめとした各種の半導体素子は、高速化、低電力化の方向にあることから、過電圧に対する電子装置の耐力は今後とも弱くなることが予想され、静電気放電に起因する電磁障害問題はますます重要な課題になってくると考えられる。

静電気パルスにより電磁障害作用が発生する現象は、間接 ESD として知られており<sup>(3)</sup>、放電時に発生する電磁界の測定や解析に関する研究が進められてきた<sup>(4)~(6)</sup>。そして、間接 ESD に伴って空間に放射される

静電気パルスに関しては、その電磁エネルギー量が放電電圧に必ずしも比例しない特性等が知られている<sup>(1),(5),(6)</sup>。

ところで、静電気放電等に伴う電磁パルスを測定する際、ループアンテナ等の EMI 評価用アンテナによる測定では、①周波数特性が限定されている、②電磁パルスを振動波形として検出し、時間波形を再現できない<sup>(1),(7)</sup>、などの理由により、時間領域において測定した波形を定量的に解析するのが困難であるという問題点があった。その結果、時間領域において検出した波形をもとに、静電気パルスの周波数成分を求める場合についても、従来ではアンテナの特性等を考慮して分割した複数の周波数領域ごとにしか計算することができず<sup>(6)</sup>、しかも測定波形は、静電気パルス波形を正確に再現しているわけではなかった。従って、これまでの測定結果は、間接 ESD の特性を十分明らかにするものでなかったと考えられる。静電気放電のような過渡現象に関しては、波形の個々の事象の特性の違いを明らかにしていくことが重要な課題であり、静電気パルスを時間領域において精度良く測定することが従来から望まれてきた。

<sup>†</sup> NTT 通信総合研究所, 武蔵野市  
 NTT Telecommunication Networks Laboratories, Musashino-shi, 180 Japan

<sup>††</sup> 電気通信大学大学院電気通信学研究科, 調布市  
 Faculty of Electro-Communications, University of Electro-Communications, Chofu-shi, 182 Japan

\* 現在, 日本電信電話株式会社

本論文では、電気光学効果を用いた光学結晶型電界センサ(以下、電界センサとする)<sup>(8),(9)</sup>により、静電気パルスの時間領域における測定を行った。この種の電界センサは、単発のパルス波形を時間領域において正確に再現することが特徴であり<sup>(1)</sup>、静電気放電の際に空間に放射される電界がはじめて時間領域において測定可能となった。本論文では、静電気パルスの立上り率や周波数成分等に関して、放電電圧や放電時の相対湿度の違いによる間接 ESD の特性の変化を明らかにした。

## 2. 静電気パルスの測定

広い周波数成分を有する静電気パルスを精度良く測定するためには、広帯域の測定方法を実現する必要がある。ここで、従来の EMI 評価用アンテナによる静電気パルスの測定結果例を図 1 に示す<sup>(1)</sup>。同図は、静電気放電器を用いて放電を発生させたときに、ダブルリッジドガイドアンテナにより測定したときの静電気パルスの波形例であり、アンテナの特性に大きく依存すると考えられる共振現象が生じていることが観測される。従って、図 1 の波形は、静電気パルスの特性を必ずしも明らかにしているわけではなく、測定方法の改善が望まれてきた。以下、電気光学効果を利用した電界センサによる静電気パルスの測定方法および測定結果について述べる。

### 2.1 測定系

静電気パルスの測定系を図 2 に示す。本測定に際しては、測定時の再現性を得るために、静電気パルスの発生源として静電気放電器を使用した。静電気放電器は、直流高電圧電源で、静電容量部を充電しておき、

蓄積した電荷を別の導体に近づけて放電を発生させるものである<sup>(10)</sup>。また、静電気放電器の放電電極は図 3 に示すように長さ 4 cm であり、先端部の直径が 1 cm で半球状になっている。放電発生(極性:正)に際しては、静電気放電器の放電電極を、アース線の接続された金属棒(直径が 1 cm、長さ 1.5 cm で先端が半球)の先端に垂直方向から緩やかに近づける方法をとる。

空間に放射された静電気パルスは、放電電極の先端部から 30 cm 離れた位置に設置された電界センサで検出される。図 2 の測定系では、放電電流が放電電極部を流れる向きと平行な成分、すなわち、静電気パルスのうち垂直偏波成分を測定対象として電界センサを設定した。更に、静電気パルスの波源と仮定できる放電電極部以外の金属物体等の影響を軽減するため、電波吸収体で静電気放電器の放電プローブやケーブル等の周囲を囲んだ。

次に、電界センサの構成を図 4 に示す。電界センサは、光源であるレーザ、偏波面保持ファイバ、グレイデッドインデックスレンズ、偏光板、LiNbO<sub>3</sub> 結晶を使用した光変調器、センサエレメント(3 cm×2本)、

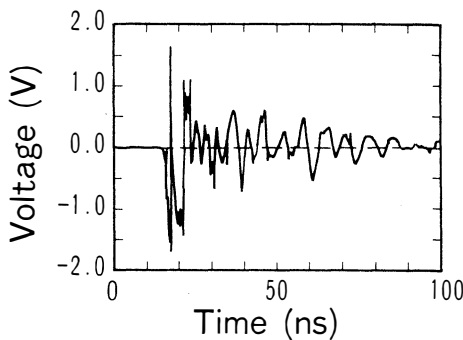


図 1 ダブルリッジドガイドアンテナにより検出された静電気パルスの波形例  
Fig. 1 An Example of an ESD pulse measured by a double ridged guide antenna.

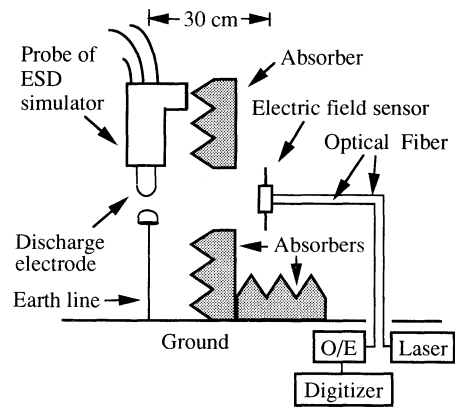


図 2 静電気パルス測定系  
Fig. 2 ESD pulse measurement setup.

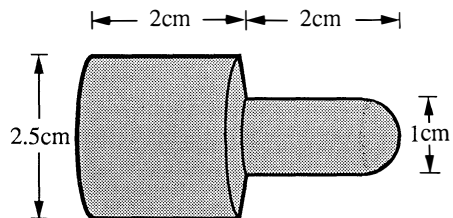


図 3 放電電極の外形  
Fig. 3 Outlook of the discharge electrode.

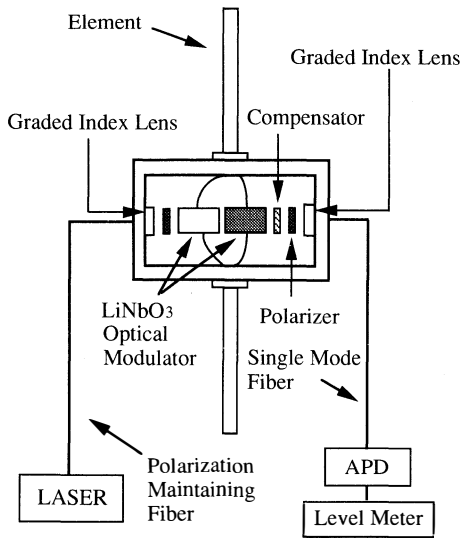


図4 電界センサの構成  
Fig. 4 Construction of electric field sensor.

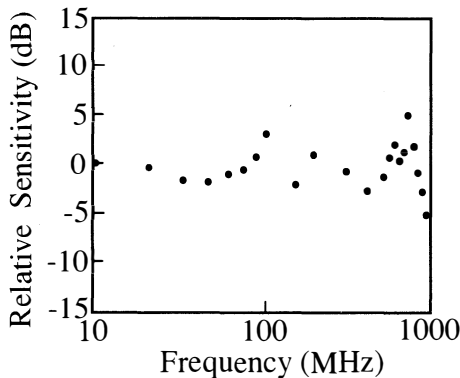


図5 電界センサの相対感度  
Fig. 5 Relative sensitivity of electric field sensor.

ホトダイオード、パビネソレイユ位相補償器、レベルメータで構成される<sup>(9)</sup>。静電気パルスにより電界センサのエレメントに誘導した電圧は、LiNbO<sub>3</sub>結晶の誘電率を変化させる。そして、光源から結晶に入射した直線偏光は円偏光に変化し、その変動分を取り出すことにより、電界強度を測定することが可能となる。ここで、この電界センサの周波数特性を図5に示す。同図において、10 MHzの感度を0 dBとして規格化してある。なお、図5の結果は、電界センサをGTEMセル<sup>(10)</sup>(周波数帯域：DC～10 GHz)中に設定し、信号発信器により電界を印加した際のレベルメータからの出力をサンプリングオシロスコープ(周波数帯域：DC～3 GHz)を用いて測定する手法により求めた。図5よ

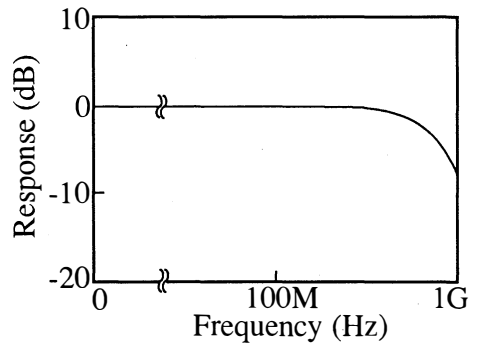


図6 波形ディジタイザの周波数特性  
Fig. 6 Frequency response of digitizer.

り、使用した電界センサは、10 MHzから1 GHzまで、5 dB範囲内の変動幅の感度を有することがわかる。電界センサの特性に変動が生じる要因としては、①GTEMセル等の特性により測定誤差が生じる、②電界センサの光変調器部等の周波数特性が完全に一定ではない、③電界センサのエレメントに共振現象が発生する、などを挙げることができる。

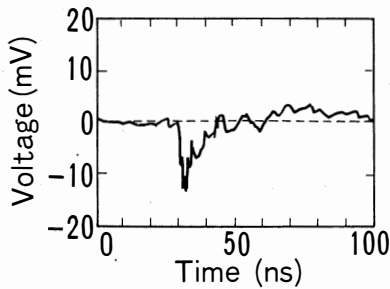
電界センサにより検出された静電気パルスの変動レベルは、波形ディジタイザで測定される。使用した波形ディジタイザは、図6に示すように1 GHz近くまでの広帯域の感度を有するものである。

本論文では、複数の放電電圧に対して、相対湿度50(±5)% (以下、50%として扱う)、70(±5)% (以下、70%として扱う)、90(±5)% (以下、90%として扱う)の各環境条件下において、静電気パルスを実測する。なお、測定時の気温は25(±3)°Cである。

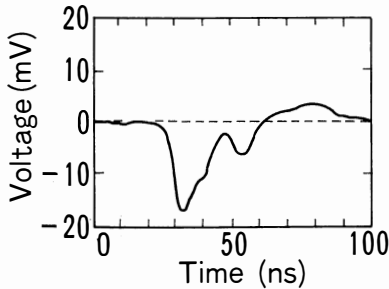
## 2.2 測定結果

まず、相対湿度50%に対して、放電電圧2 kV、5 kV、20 kVの波形例を図7(a)～(c)に示す。同図により、放電電圧が低いほど波形の立ち上がりが速くなり、特に放電電圧2 kVの波形には、激しい振動成分が観測されることがわかる。一方、放電電圧5 kVと20 kVの波形は、それぞれ半値幅10～15 ns、20～25 ns程度のパルス波形となり、波形のピーク値も放電電圧に比例していないことがわかる。

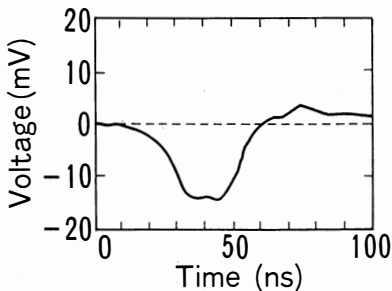
次に、相対湿度70%と90%について、放電電圧2 kV、5 kV、20 kVの各場合に関する波形例を図8(a)～(c)および図9(a)～(c)に示す。図7と図8および図9を比較すると、いずれの放電電圧による静電気パルスについても、相対湿度の増加と共に波形強度が低下し、また、滑らかに変動する傾向にあることが確



(a) Discharge Voltage = 2 (kV)



(b) Discharge Voltage = 5 (kV)



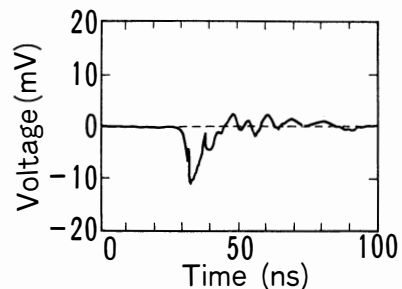
(c) Discharge Voltage = 20 (kV)

図 7 電界センサにより検出された静電気パルス  
(相対湿度 50(±5)%)

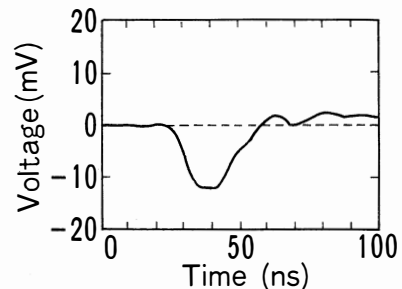
Fig. 7 ESD pulses measured by the electric field sensor  
(relative humidity = 50(±5)%).

認できる。しかも、放電電圧 2 kV については、相対湿度が増加した場合、波形振動成分の減少する割合が顕著となっている。

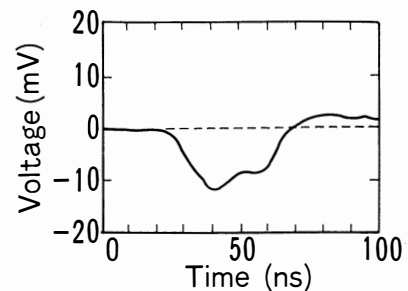
更に、放電電圧 2 kV, 5 kV, 20 kV に対して、放電電圧と波形の立上り率の関係を求めた結果を図 10 に示す。ここで、波形の立上り率は、波形のピーク値を波形の立上り時間で割ることによって定義した。なお、波形の立上り時間は、波形ピーク値の 10% と 90% の値を与える時間の幅で決定することができる<sup>(10)</sup>。但し同図において、ばらつきを考慮する意味から、各放電電圧に対してそれぞれ 5 回ずつ放電を発生させ、実線は



(a) Discharge Voltage = 2 (kV)



(b) Discharge Voltage = 5 (kV)



(c) Discharge Voltage = 20 (kV)

図 8 電界センサにより検出された静電気パルス  
(相対湿度 70(±5)%)

Fig. 8 ESD pulses measured by the electric field sensor  
(relative humidity = 70(±5)%).

相対湿度 50%, 点線は相対湿度 70%, 1 点鎖線は相対湿度 90% に対応している。

図 10 より、放電電圧の増加に伴って、波形の立上り率が減少し、また、いずれの放電電圧に関しても相対湿度が増加した場合にも立上り率が減少していることがわかる。今、放電電圧 5 kV に注目した場合には、相対湿度が 20% 程度増加するごとに、平均値において 30~70% 前後立上り率が減少していることが確認できる。

ところで、静電気放電については、放電電流の立上り率が増加した場合に、放電に伴って空間に放射され

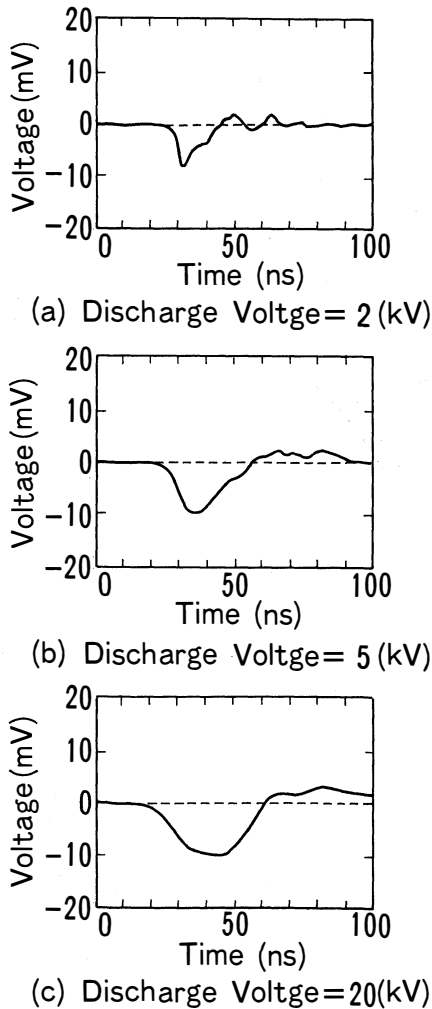


図 9 電界センサにより検出された静電気パルス (相対湿度 90(±5)%)

Fig. 9 ESD pulses measured by the electric field sensor (relative humidity = 90(±5)%).

る静電気パルスの立上り率や強度が増加する作用が生じることが知られている<sup>(6)</sup>。すなわち、図 10 に見られた相対湿度の違いによる静電気パルスの立上り率の変動要因についても、相対湿度の変化が、放電電流の立上り率等の特性に作用したものと推測される。放電間げき部における絶縁破壊の発生過程あるいは絶縁破壊後の電荷の動特性等は、気温、気圧、湿度等の各種の環境条件に影響されることが従来より確認されており<sup>(11)</sup>、本結果についても、相対湿度の変化が静電気パルスの特性に影響を与えたことを示していると考えられる。一般に立上り率の大きい電磁パルスほど、ディ

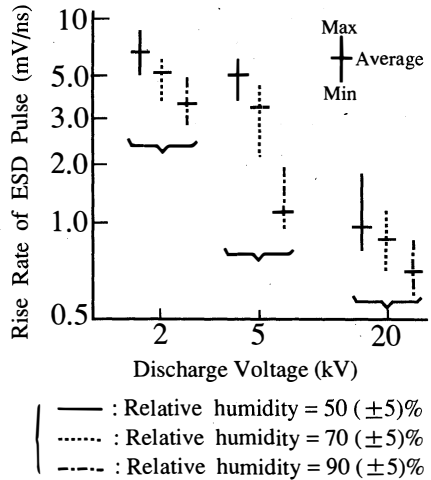


図 10 放電電圧と静電気パルスの立上り率の関係  
Fig. 10 Relation between discharge voltage and rise rate of ESD pulse.

ジタル信号を用いている電子装置などの障害原因となる可能性が高いことがいえる。従って、静電気パルスの立上り率等に関する以上の測定結果は、間接 ESD の電磁干渉作用に関連する特性に深く結びついていると考えられる。

### 3. 静電気パルスの周波数領域における解析

本章では、図 2 の測定系で得られた静電気パルスの周波数領域における解析方法および解析結果について述べる。

#### 3.1 解析方法

以下、測定した静電気パルスの解析方法を示す。測定波形の解析に際しては、まず、得られた時間波形の周波数成分を計算する。ところで、時間波形を周波数領域の値に変換する際、時間領域において測定波形の打ち切りを行うと、鋭い不連続が発生し、周波数領域においてサイドローブが生じる。この打ち切りによる誤差を小さくするため、本論文では窓関数としてハンギング関数<sup>(12)</sup>を使用した。

今、電界センサで検出した電圧波形を  $v(t)$  とし、窓関数  $x(t)$  としてハンギング関数を使用した場合、時間波形の処理時間領域を  $0 \sim T$  とすると、周波数スペクトル  $V(f)$  は次式で与えられる。

$$V(f) = \int_0^T v(t)x(t)\exp(-2\pi jft)dt \quad (1)$$

$$x(t) = 0.5\{1 - \cos(2\pi t/T)\} \quad (2)$$

続いて、静電気パルスを電磁エネルギー量という観点から解析する方法について述べる。今、エネルギースペクトル $P(f)$ は、周波数スペクトル $V(f)$ の関数として次式で定義できる<sup>(13)</sup>。

$$P(f) = |V(f)|^2 \quad (3)$$

本論文では、式(4)に示すようにエネルギースペクトルを周波数 $f_1$ から周波数 $f_2$ の領域にわたって積分した値により電磁エネルギー量を定義し、静電気パルスのエネルギー成分の評価を任意の周波数帯域別に行う。

$$E = \int_{f_1}^{f_2} P(f) df \quad (4)$$

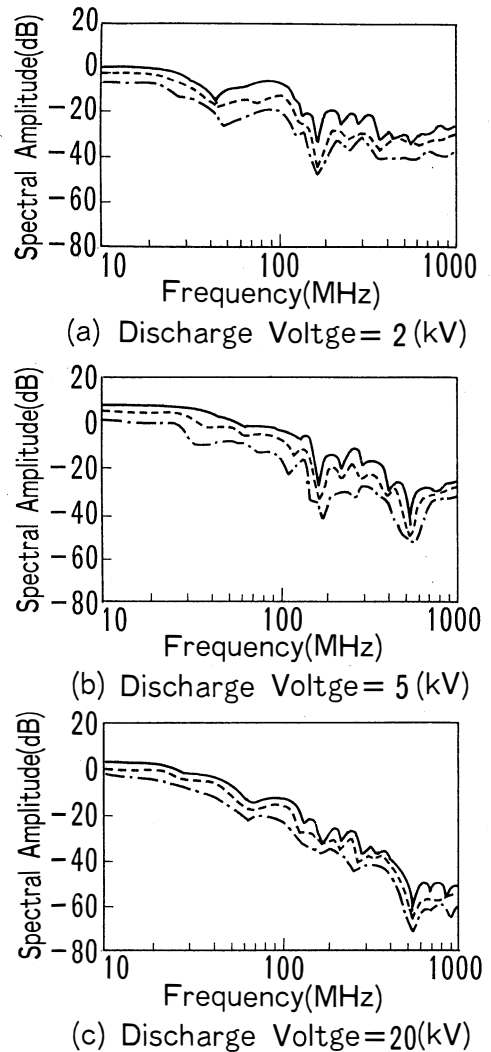
### 3.2 解析結果

まず、式(1)、(2)に基づいて、静電気パルスの周波数スペクトルを求める。計算に際しては、波形の立上り部付近から100 nsの時間幅に窓関数を適用し、対象とする周波数領域は、窓関数の周波数分解能も考慮して10 M~1 GHzとした。このように、10 M~1 GHzという広い周波数領域にわたって連続的に静電気パルスの周波数スペクトルを計算することが電界センサによって初めて可能となった。ここで、時間領域におけるデータ数は1024個である。

図2の系において検出した時間波形より、相対湿度50%、70%、90%の各条件下のもとで、放電電圧2 kV、5 kV、20 kV に対して求めた周波数スペクトルの計算結果例を図11(a)~(c)に示す。但し同図において相対湿度50%による放電電圧2 kVの10 MHzにおける値を0 dBとして規格化してあり、各放電電圧について、実線は相対湿度50%、点線は相対湿度70%、一点鎖線は相対湿度90%の各場合に対応する。

図11より、相対湿度50%、70%、90%のそれぞれの場合について、放電電圧が低い場合ほど、特に100 MHzを越す領域における周波数成分の割合が多くなっていることが確認できる。更に、各放電電圧について、相対湿度が20%程度増加するごとに、それぞれの帯域にわたって2~8 dB程度周波数成分が減少している。すなわち、2.2の観測結果が示しているように、放電電圧や相対湿度が相対的に低い場合ほど、静電気パルスの立上り率が上昇する。このことは放電電圧や相対湿度の減少が、静電気パルスの周波数成分の広帯域化をもたらすことを意味し、図11の結果に対応していると考えられる。

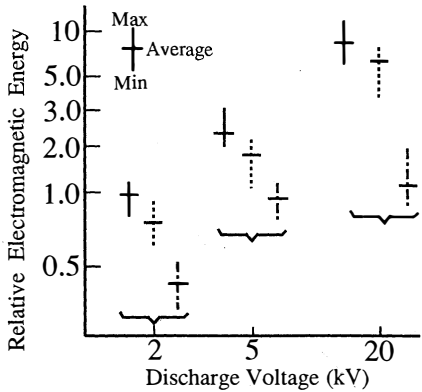
続いて、式(4)に基づいて、相対湿度50%、70%、90%の各場合について、静電気パルスの電磁エネルギー



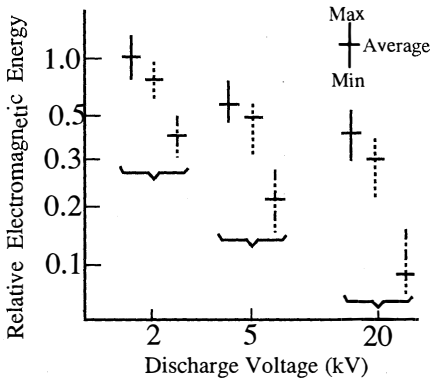
— : Relative humidity = 50 (± 5) %  
 ..... : Relative humidity = 70 (± 5) %  
 - · - · : Relative humidity = 90 (± 5) %

図11 静電気パルスの周波数スペクトル  
 Fig. 11 Spectral amplitude of ESD pulses.

と放電電圧の解析を行う。解析に際しては、対象とする周波数領域の高低によるエネルギー量の変動を調べる目的で、二つに分けた周波数帯域(10~100 MHz, 100 M~1 GHz)別に計算を実行する。相対湿度50%、放電電圧2 kVの場合の平均値を1として電磁エネルギー量を規格化し、各放電電圧の電磁エネルギー量 $E$ の分布を求めた結果を図12(a), (b)に示す。ここで、同図において、実線は相対湿度50%、点線は相対湿度



(a) Frequency range = 10 ~ 100 MHz



(b) Frequency range = 100 M ~ 1 GHz

— : Relative humidity = 50 (± 5) %  
 ..... : Relative humidity = 70 (± 5) %  
 - · - · : Relative humidity = 90 (± 5) %

図 12 放電電圧と静電気パルスのエネルギーの相対値の関係

Fig. 12 Relation between discharge voltage and relative electromagnetic energy of ESD pulse.

70%, 1点鎖線は相対湿度 90% の場合の結果であり、各放電電圧について、5 回ずつ放電を発生させている。

同図より、静電気パルスの電磁エネルギー量  $E$  は、ばらつきが見られるものの、それぞれのエネルギーの最大値を与える放電電圧が、各相対湿度の条件下について、同図(a)においては放電電圧 20 kV が最大、放電電圧 2 kV が最小となり、同図(b)においては放電電圧 2 kV が最大、放電電圧 20 kV が最小となっていることがわかる。また、各放電電圧について、相対湿度が 20% 程度上昇するのに伴って、20~40% 程度の割合でエネルギー量が減少している。

図 12 により、相対湿度の増減が、静電気放電の際に空間に放射される電磁エネルギーに対して大きな変動

要因となることが定量的に明らかになった。電磁エネルギー量  $E$  は、静電気パルス立上り率、強度、振動成分等の各種の特性によって決定されると考えられる。すなわち、波形の立上り率が増加した場合には、高い周波数領域における電磁エネルギーが増加するといった結果をもたらす。また、波形の強度が増加した場合には、電磁エネルギーがあらゆる周波数領域にわたって増加し、静電気パルスの電磁干渉作用が増加することを意味する。以上の解析結果は、2. における静電気パルスの時間領域の測定結果と併せて、間接 ESD の電磁干渉作用に関連する特性を示唆しているものと考えられる。

#### 4. む す び

本論文では、電気光学効果を利用した電界センサを用いて静電気パルスの時間領域における測定と周波数領域における解析を行った。

まず、電界センサによる静電気パルスの測定結果は、半値幅が数~数十 ns のパルス波形となることを示すものであった。そして、放電電圧が低いほど波形の立上りが速くなり、特に放電電圧 2 kV の波形には、激しい振動成分が観測されることがわかった。また、相対湿度を 50(±5)%, 70(±5)%, 90(±5)% と変化させた結果、相対湿度の上昇と共に、各放電電圧いずれについても波形強度が低下し、波形が滑らかに変動する傾向にあることを確認することができた。

そして、放電電圧 2 kV, 5 kV, 20 kV に対して、放電電圧と波形の立上り率の関係を求めた結果、①放電電圧の増加に伴って、波形の立上り率が減少する、②相対湿度が増加するのに伴って、波形の立上り率が減少する、こと等がわかった。

ところで、従来の EMI 評価用のアンテナによる測定では、周波数領域が限定されており、時間領域で測定した静電気パルスからその周波数成分を計算する場合には、いくつかに分割した周波数帯域ごとにしか計算することができなかった。しかし、電界センサにより周波数帯域 10 M~1 GHz に関して周波数スペクトルを連続的に計算することが可能となり、その結果、相対湿度が 20% 程度増加するごとに、各帯域にわたって静電気パルスの周波数成分が 2~8 dB 程度減少することを明らかにすることができた。

また、10~100 MHz および 100 M~1 GHz の二つの周波数帯域別にエネルギースペクトルを積分することにより、電磁エネルギーという観点から静電気パルス

の特性の評価を行った。それにより、各放電電圧について相対湿度が20%前後増加した場合には、20~40%程度エネルギーが減少することがわかった。

本論文の測定および解析結果は、静電気放電現象に対して、電子装置の障害発生メカニズムの解明に役立つものと考えられる。相対湿度の変動等に伴う静電気パルスの特性の変化を明らかにしていくことは、静電気放電による電磁障害対策を進めていく上でも重要な課題でありその意義は大きい。今後は、本論文で得られた測定および解析結果を踏まえて、より理論的な検討も加えながら放電現象に関する研究を行っていく予定である。

**謝辞** 本研究を進めるにあたり、井手口グループリーダーをはじめとするNTT通信網総合研究所通信EMC研究グループの皆様へ感謝致します。

### 文 献

- (1) 馬杉正男, 村川一雄, 桑原伸夫, 雨宮不二雄: “間接ESDに伴う電磁パルスの測定と解析”, 信学論(B-II), **J75-B-II**, 9, pp.647-654(1992-09).
- (2) 川村雄克: “静電気放電による電磁ノイズのOA機器に対する影響とその防止対策”, 静電気学会誌, **13**, 1, pp.31-36(1989).
- (3) 関 康雄: “EOS/ESDハンドブック”, 第4章, トリケップス(1989).
- (4) Wilson P.F. and Ma M.T.: “Fields Radiated by Electrostatic Discharges”, IEEE Trans. on Electromagn. Compat., **33**, 1, pp.10-18(1991-02).
- (5) 馬杉正男: “電気ダイポールモデルによる静電気放電の過渡応答解析”, 信学論(B-II), **J75-B-II**, 12, pp.981-988(1992-12).
- (6) MAsugi M., Murakawa K., Kuwabara N. and Amemiya F.: “Measurement and Analysis of Electromagnetic Pulses Caused by Electrostatic Discharge”, IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat., Anaheim, pp.361-365(1992-08).
- (7) 馬杉正男, 村川一雄, 桑原伸夫, 雨宮不二雄: “EMIアンテナによる電磁パルス測定”, 信学技報, **EMCJ91**-37(1991-09).
- (8) Kuwabara N., Tajima K. and Amemiya F.: “Development of Wide-Band and Highly Sensitive Electric Field Sensor Using LiNbO<sub>3</sub> Optical Modulator”, IEEE Int. Symp. on Electromagn. Compat., New Jersey, pp.267-272(1991-08).
- (9) 桑原伸夫, 井手口健, 菅野 伸, 小林隆一, 芳野起夫: “抵抗装荷エレメントによるLiNbO<sub>3</sub>を用いた電界センサの帯域改善法”, 信学'92春大, B-280.
- (10) 赤尾保男: “環境電磁工学の基礎”, 第4章, 電子情報通信学会(1991).
- (11) 電気学会編: “放電ハンドブック”, 第1編, 電気学会(1978).
- (12) 有本 卓: “信号・画像のデジタル処理”, 第5章, 産業

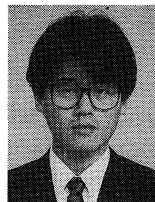
図書(株)(1988).

- (13) 日野幹男: “スペクトル解析”, 第11版, 朝倉書店(1974).  
(平成4年10月2日受付, 11月25日再受付)



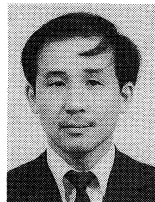
馬杉 正男

昭62慶大・理工・電気卒, 平1同大大学院修士課程了。同年, 日本電信電話(株)通信網総合研究所入所。以来, 電磁パルスの特性解析や電磁環境モニタリング技術等に関する研究・開発に従事。現在, NTT通信網総合研究所に勤務。平3年度電気学会論文発表賞受賞, 電気学会会員。



小林 隆一

平3電通大・電気通信・通信卒, 平5同大大学院電気通信学研究所博士前期課程了。同年, 日本電信電話(株)電気通信研究所入所。これまで, EMCにおける光計測技術の研究に従事。以来, EMCにおける光計測技術の研究に従事。



桑原 伸夫

昭50静岡大・工・電子卒, 昭52同大大学院修士課程了。同年, 日本電信電話公社茨城電気通信研究所入所。以来, 通信システムの雷防護, 光ファイバの信頼性評価, 通信システムのEMI評価, EMCにおける光計測技術などに関する研究・開発に従事。現在, NTT通信網総合研究所主任研究員, IEEE会員, 工博。



徳田 正満

昭42北大・工・電子卒, 昭44同大大学院修士課程了。同年, 日本電信電話公社電気通信研究所入所。以来, 光ケーブルの伝送特性測定法, 通信装置のEMC技術等に関する研究に従事。現在, NTT通信網総合研究所徳田研究グループリーダー。昭61年度業績賞受賞。著書「光通信要覧」の測定法に関する章, 工博。