

機関番号：54101
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21760301
 研究課題名（和文） 2.4GHz帯 RFID タグの静電気放電耐性向上を目的とした伝送特性の基礎的研究
 研究課題名（英文） Fundamental study on transfer characteristics aim to improve electrostatic immunity of 2.4GHz-band RFID tag
 研究代表者
 森 育子 (MORI IKUKO)
 鈴鹿工業高等専門学校・電子情報工学科・助教
 研究者番号：20455140

研究成果の概要（和文）：ESDガンの低電圧気中放電の放電電流の特性把握に関し、数百ボルトの低電圧ESDの放電電流波形の立ち上がり時間は15ps程度と非常に高速であることがわかった。また、火花抵抗則を用いた放電電流予測のための等価回路モデルを提案し、Rome-Weizelの火花抵抗則では放電電流の立ち上がり部分を精度よく模擬できること、それに対しToeplerのそれでは放電電流波形の尾の部分を精度よく模擬できることがわかった。今後の課題として、実際の情報通信端末などの電子機器に低電圧のESDガンの気中放電で放電した際の放電電流、絶縁破壊電界などの特性把握を行うことが挙げられる。

研究成果の概要（英文）：Regarding to grasping characteristics of discharge currents for air discharges of an ESD-gun with low charge voltages, it is found that the fastest rise time of discharge current waveforms for several hundred volts is 15 ps. An equivalent circuit modeling for air discharges of ESD-guns to predict discharge current waveforms using spark-resistance formulae is proposed. It is found that the calculated discharge current waveforms derived from both spark resistance formulae approximately agree with the measured ones, and that Rompe-Weuzel's and Toepler's formulae can better predict their rising slopes and tails, respectively. Our future task is to grasp characteristics of discharge currents for low charge voltages of an ESD-gun injected onto real communication equipment, such as discharge currents and breakdown fields.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，通信・ネットワーク工学

キーワード：GHz帯，静電気放電，過渡電磁雑音，機器耐性，マイクロギャップ放電

1. 研究開始当初の背景

ユビキタス (Ubiquitous) 社会といわれる現在，非接触型自動読み取り装置のひとつ

である RFID タグは身の回りの至るところで使われている。この技術がどこまで発展するかは，限りある資源といわれる電波をどこま

で効率よく利用できるかにかかっている。電波を用いて送受信を行う方式の RFID タグ（電磁誘導式のタグもある）のよりいっそうの普及は、タグの小型化・低消費電力化に大きく依存するが、その実現は実装技術が微細化にどこまで対応可能なかに拠る。

しかしながら、小さくなればなるほど、静電気放電 (Electrostatic Discharge) で生ずる広帯域の過渡電磁雑音に起因する機器耐性の劣化が無視できない問題となっている。以前から、帯電人体からの静電気放電はハイテク情報通信機器にとって脅威であり、特に電子機器が小型・低電力駆動化が進むと、機器耐性が劣化することが 1970 年代から知られている。

申請者は、以前に、低電圧の静電気放電は放電電流波形の立ち上がりが急峻で、放電電流の立ち上がりの最大勾配が大きく、数 kV のものよりも電磁雑音の発生源としては脅威になりえることを明らかにした。参考として、このような低電圧静電気放電は、GHz 帯にも及ぶ過渡電磁雑音を伴い、本研究のターゲットであるマイクロ波帯 RFID タグに対しても対処すべき妨害源となる。

2. 研究の目的

非接触型自動認識技術のひとつであり、将来的に爆発的に普及することが予想される RFID タグを想定して、静電気放電に対する機器耐性向上を目的とした静電気放電で生ずる放電電流の特性把握や等価回路モデルを用いたモデル化を行う。これにより、静電気放電によって生ずる放電電流や、それに伴って発生する GHz 以上の周波数成分を持つ広帯域な過渡電磁雑音に起因する情報端末機器の誤動作抑制に役立つ。具体的には、次の 2 点の解明・確立を本研究の目的と位置付ける。

(1) 広帯域測定に基づく静電気放電で生ずる放電電流の特性把握：

IEC 規定の静電気試験器では火花を伴わない接触放電と、火花を伴う気中放電の 2 種の試験法を定めている。筆者は以前に、放電電流の厳しさ (severity) の評価指標として、放電電流の時間微分の最大勾配 ($di/dt|_{\max}$) を用いることを提案した。これは、静電気放電によって電子機器が誤動作する一因が、定性的には、放電電流に伴って生ずる過渡電磁界が機器と電磁的に結合することによりあり、その電磁界は放電電流の時間微分に比例するからであるとされることに拠る。

以上から、放電電流のピーク電流と立ち上がり時間を測定することにより、 $i_p/t_r \approx di/dt|_{\max}$ とすることにより、放電電流の厳しさが評価できる。

(2) 放電電流予測を目的とした等価回路モデルの構築： ESD ガンの気中放電では、充電したガンを通試機器へ近づけていき放電させる。ESD ガンの放電電極の先端部と通試機器との間の電界が絶縁破壊電界へ達したとき、火花放電が生ずる。鍵などの金属を持った帯電人体からの放電の場合も同じで、帯電物体が移動している最中の放電現象である。この現象では、火花を伴うことが最大の特徴であるが、火花ギャップを介しているため、放電時の放電電圧などは通常の測定配置では測定することができない。そのため、火花ギャップを含めた等価回路モデルによる放電電流予測が有益である。

本研究で培われる技術・知識は、RFID タグがより高周波化した際にも役立つだけでなく、高周波基板・電子機器に対する静電気放電に伴って発生する過渡電磁雑音に起因する電子機器の誤動作の解決に役立つことができる。

3. 研究の方法

上述の研究目的を実現するため、次の示すような研究方法を考案した、

(1) 静電気放電で生ずる放電電流の時間領域における広帯域測定：

12GHz および 18GHz の広帯域リアルタイム・デジタルオシロスコープによる気中放電の放電電流の測定を行った。その際に、ESD ガンの充電電圧は、IEC 規定の試験レベルである 2kV~15kV のみではなく、2kV 以下の場合にも測定を行った。

その際に、使用したデジタルオシロスコープの垂直増幅器の周波数特性を考慮して実際にオシロスコープへ入力される放電電流波形の再構築を行い、放電電流の立ち上がり時間の下限の推定を行った。

(2) 火花を模擬できる等価回路モデルにより、放電電流の予測および放電時の諸特性の把握：

ESD ガンの放電電極先端部からガンを見たインピーダンスをネットワークアナライザによって測定した。これと、火花部分を代表的な 2 種の火花抵抗則 (Rompe-Weizel および Toepler) を導入した、放電電流予測を目的とした等価回路モデリングを提案した。

その際に、放電対象（以後、ターゲットと呼ぶ）としてその伝達周波数特性が測定可能でありかつ付属のアダプターにより校正が可能な市販の電流検出変換器（Schaffner 社製、MD103（および 102）ターゲット）を用いた。このターゲットの伝達周波数特性は、等価回路モデルに反映した。

4. 研究成果

「3. 研究の方法」で示した方法により、ESD ガンの放電電流の広帯域測定を行った。同時に、放電電流波形の予測を目的とした火花のモデル化を含む等価回路モデリングを示した。

(1) 静電気放電で生ずる放電電流の時間領域における広帯域測定：

低充電電圧 ESD ガンのターゲットへの気中放電を行い、放電電流波形を 12GHz および 18GHz のリアルタイム・デジタルオシロスコープで観測した。測定した放電電流波形からピーク電流および立ち上がり時間を読み取った。その結果、数百ボルト以下では、立ち上がり時間は使用したオシロスコープの帯域制限に起因する測定限界に達していることがわかった。

そのため、オシロスコープの垂直増幅器の周波数特性を考慮してオシロスコープへの入力波形を推定した。12GHz のオシロスコープのそれは 2 次のローパスフィルタと仮定し、18GHz のオシロスコープのそれは 4 次のローパスフィルタと仮定し、それぞれ放電電流波形のオシロスコープへの入力波形を再構築した。この波形から、立ち上がり時間を改めて読み取った。

その結果、放電電流のもっとも速い立ち上がり時間は、充電電圧 200V において 15ps と推定された。

(2) 火花を模擬できる等価回路モデルにより、放電電流の予測および放電時の諸特性の把握：

Rompe-Weizel および Toppler の火花抵抗則を火花ギャップ部分に適用した、ESD ガンの気中放電の放電電流予測のための等価回路モデルを図 1 に示す。同図(a)は ESD ガンからの気中放電の模式図を、同図(b)は気中放電の放電電流予測のための等価回路をそれぞれ示す。図中で、 $Z_g(j\omega)$ および $Z_t(j\omega)$ はそれぞれ ESD ガンのインピーダンスとターゲットのインピーダンスを、 $i(t)$ と $v_s(t)$ はそれぞれ放電によってターゲットへ注入される放電電流および放電時のギャップ電圧を表す。 $v_s(t)$ には Rompe-Weizel あるいは Toepler の火花抵抗則から計算した放電電圧を用いた。

図 2 に、Rompe-Weizel あるいは Toepler

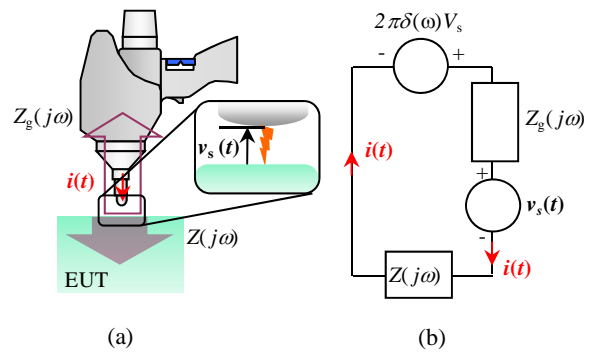


図 1. ESDガンの気中放電の模式図(a)と放電電流予測のための等価回路モデル(b).

の火花抵抗則を図 1 の等価化回路モデルに適用して計算した放電電流波形の一例を測定結果と比較して示す。同図(a)は Rompe-Weizel の火花抵抗則を、同図(b)は Toepler のそれを用いて計算した結果をそれぞれ示している。図中の太い実線は測定波形を示す。使用した測定配置では、放電時のギャップ長を測定することが難しいことから、計算波形が測定波形と一致するようにギャップ長を振った。

図から、どちらの火花抵抗則を用いた場合にも計算波形は測定波形と概ね一致すること、その際に火花ギャップは 100 μm 以下と非常に小さいことがわかった。同時に、Rompe-Weizel の火花抵抗則では放電電流の立ち上がり部分を精度よく模擬できること、それに対し Toepler のそれでは放電電流波形の尾の部分を精度よく模擬できることがわかった。

今後の課題として、実際の情報通信端末などの電子機器に低電圧の ESD ガンの気中放電で放電した際の放電電流、絶縁破壊電界などの特性把握を行うことが挙げられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Ikuko Mori, Osamu Fujwiara, “A new circuit approach to predict discharge current for air discharges using spark resistance formulae” (仮題), the Measurement Science Review (掲載決定).

[学会発表] (計 4 件)

① Ikuko Mori, Osamu Fujwiara, “Characteristics of spark gap voltage waveforms for air discharges of ESD-gun”, XXI International conference on electromagnetic disturbances (EMC

2011), 2011/09/28-30, Bialystok, Poland (採択済み)。

② Ikuko Mori, Osamu Fujiwara, “Equivalent circuit modeling to calculate discharge currents for air discharges of ESD-Guns”, EMC Europe 2011 (International symposium on Electromagnetic Compatibility), 2011/09/28 (採択決定済み), ヨーク, イギリス。

③ Ikuko Mori, Osamu Fujiwara, “Wideband measurement of discharge currents below 2kV for air discharges of an ESD-gun”, 2011 Asia Pacific EMC Symposium (APEMC 2011), 2011/05/18, 濟州島, 大韓民国。

④ Ikuko Mori, Osamu Fujiwara, “A new circuit approach to predict discharge currents for air discharges of ESD generators”, 8th International Conference

on Measurement (Measurement 2011), 2011/04/29, Smolenice, スロバキア。

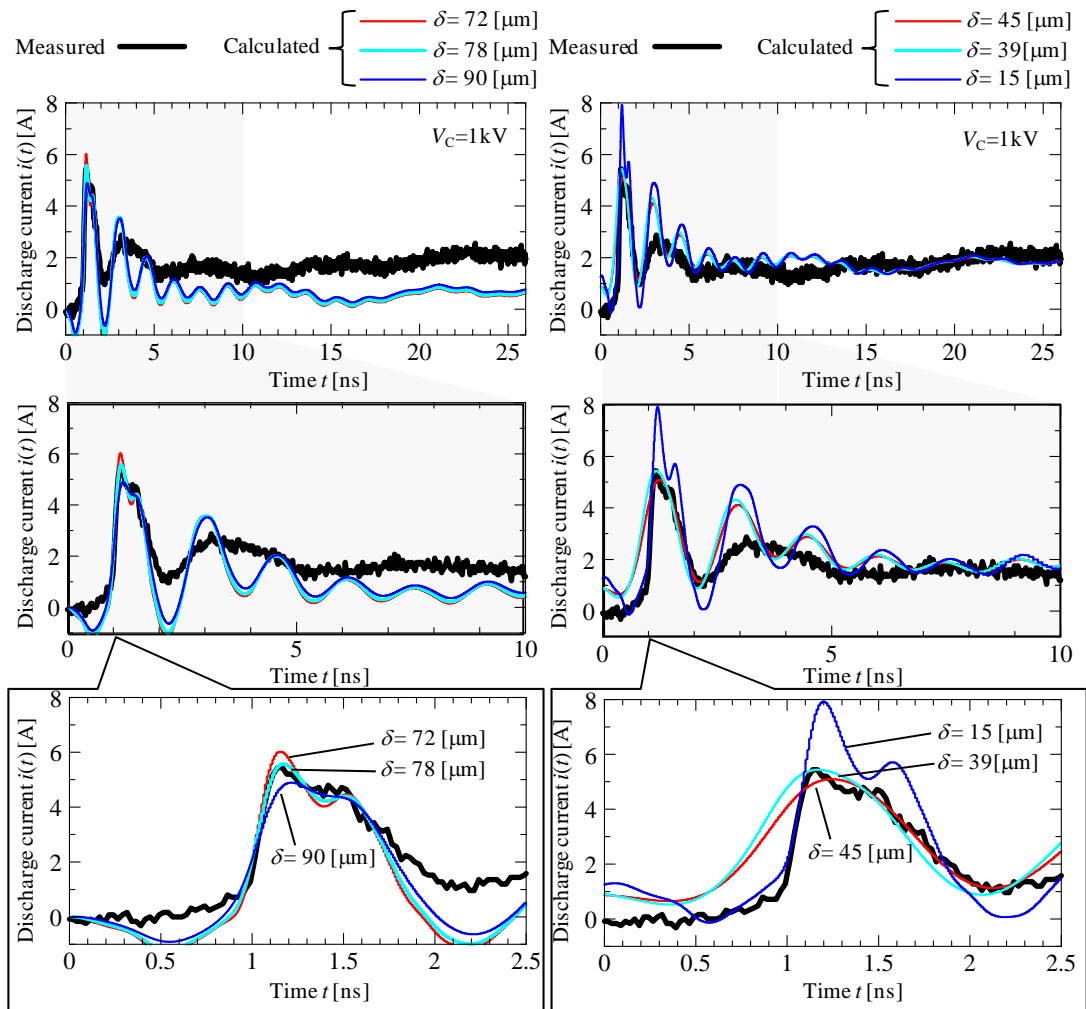
6. 研究組織

(1) 研究代表者

森 育子 (MORI IKUKO)

鈴鹿工業高等専門学校・電子情報工学科・助教

研究者番号：20455140



(a) by Rompe and Weizel's formula

(b) by Toepler's formula

図2. Rompe and Weizel(a) および Toepler(b)の火花抵抗則を適用した等価回路モデルにより計算した放電電流波形の例。