

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：32613

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820107

研究課題名(和文)帯電した人体等を遠ざけたときに起こる電子機器の誤動作の解明

研究課題名(英文)Study on malfunction of electronic equipment when charged human body etc. move away from the equipment

研究代表者

市川 紀充 (Ichikawa, Norimitsu)

工学院大学・工学部・准教授

研究者番号：60415833

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：静電気や放電は、産業分野で応用されているが、電子機器の誤動作の原因となる。この種の問題は、エアコンの使用による室内の低湿度化、マイクロエレクトロニクス化により、今後ますます無視できない問題となり、早急に解決することが求められている。本研究では、帯電した人体がパソコンなどの電子機器から遠ざかることで起こる電子機器の誤動作の問題を解決し、誤動作の起こりにくい信頼性の高い電子機器の設計に指針を与えることを目的として実施した。本研究の結果、金属筐体に生じる誘導電圧は、帯電物体の電圧よりも相当大きくなる可能性があることを明らかにした。本研究結果は、信頼性の高い電子機器の設計に役立つと思われる。

研究成果の概要(英文)：Static electricity and electrical discharge are used to the industry application and become the cause of a malfunction and failure of electronic equipment. A solution of the electrostatic problem for the microelectronics is required in a room of low relative humidity with the use of air conditioner. This study are carried out with next purposes. The purposes are a solution of the problem of malfunction and failure of the electronic equipment, and a proposal of a guide line of the electronic equipment design of high reliability when a charged human body etc. move away from a metal box of the equipment. The result shows that the induced voltage of the metal box is higher than that of a charged object. The result will be useful to design the electronic equipment of high reliability.

研究分野：放電・静電気、EMC

キーワード：帯電物体の移動 金属筐体 誘導電圧 電子機器の誤動作・故障 静電誘導

1. 研究開始当初の背景

帯電した人体等（帯電した物体）が電子機器（金属筐体）から遠ざかったときに、金属筐体内に生じる誘導電圧が原因で起こる電子機器の誤動作の問題は、解決されていない。国内外ではこの種の電子機器の誤動作の問題を解決することが求められている。人体は10キロボルトの電圧に帯電し、ハードディスクに使われるGMRヘッドは5ボルト程度の電圧で壊れる。静電気や放電が原因で起こる電子機器の誤動作の問題は、例えば本田氏ら（1985年）が指摘し、多くの研究者によって研究されてきた。特に1970年頃に児玉氏らによって人体の動作と帯電する電圧の関係などが明らかにされた。しかし、帯電した物体が電子機器に近づいたとき、その電子機器の金属筐体内に生じる誘導電圧が原因で起こる電子機器の誤動作の問題は解決されていなかった。申請者らは、これまでの研究で、帯電した物体の移動により金属筐体内に生じる誘導電圧を明らかにし、電子機器の設計の基礎指針を提案してきた。

2. 研究の目的

本研究は、帯電した人体等がパソコンなどの電子機器（金属筐体）から遠ざかったときに、金属筐体に生じる誘導電圧を実験と数値計算から明らかにし、誘導電圧による電子機器の誤動作を防止するための電子機器設計に指針を与えることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために研究計画・方法を基礎（平成25年）と応用（平成26年）に分けて以下の通りに実施した。

〔平成25年度〕

これまでの研究では、帯電物体が金属筐体に接近・通過するとき生じる誘導電圧の問題を取り上げていた。しかし例えばパソコン（電子機器）のキーボードを操作していた人体が、椅子から立ち上がり、そのパソコンから遠ざかるときに生じる誘導電圧の問題もある。

特にノートパソコン等のバッテリー駆動の電子機器は、常に電氣的に絶縁された（浮遊電位）非接地の金属筐体になり、この種の誘導電圧の問題が発生している可能性が高い。仮に帯電した金属筐体の近くにコイン等の導体が置いてあり、その導体間の間隔が数マイクロメートルになると、導体間での火花放電が起こる。金属同士の接近で生じる火花放電は広帯域の電磁パルスの発生源になることが知られている。金属同士の接近で生じる電磁パルスは、人体がドアノブに触れる瞬間に生じる放電の電磁パルスよりも、電子機器にとっては大変脅威となる。

このようなトピックに関する研究報告は少しあるが、本実験装置（図1参照）のように実際のモデルに近い大きさの装置を用いて、一般性のある実験研究を行った報告は著者の知る限りでは報告されていない。

平成25年度の研究では、人体等の帯電物体が電子機器の金属筐体（浮遊電位）から遠

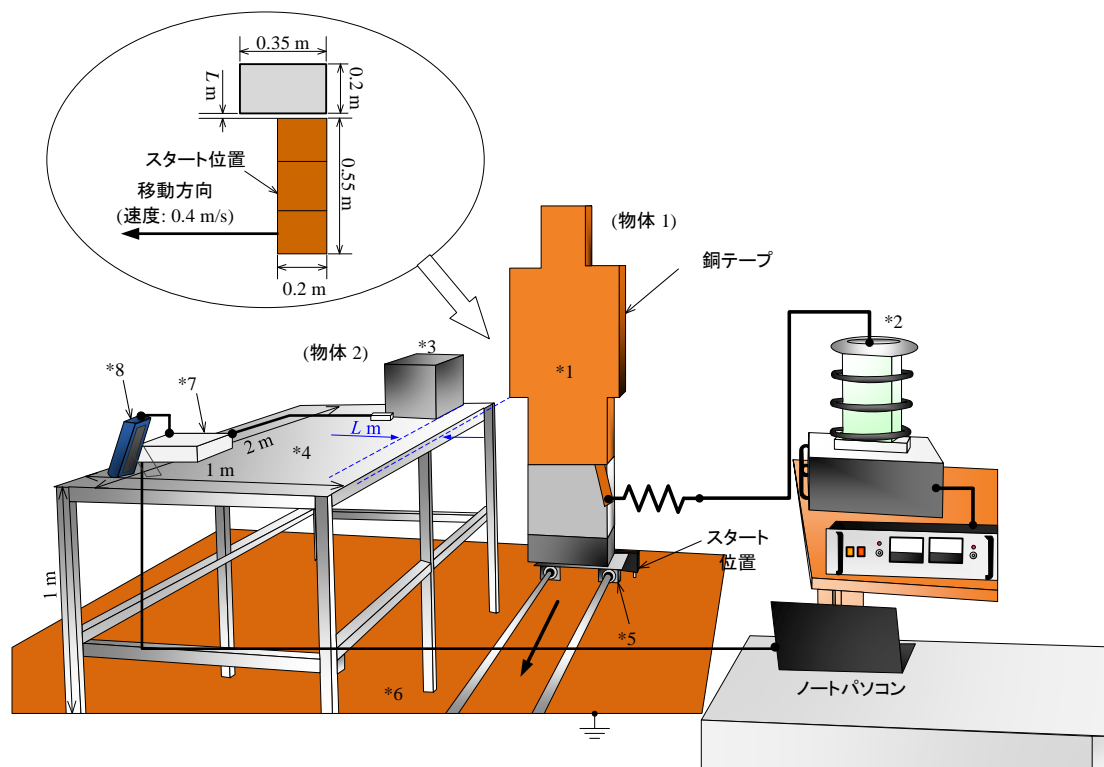


図1 実験装置の配置、*1：帯電物体、*2：直流高電圧電源、*3：金属筐体、*4：アクリルテーブル、*5：移動ステージ、*6：接地された銅板、*7：表面電位計、*8：オシロスコープ

ざかったとき、開口部の無い金属筐体に生じる誘導電圧の問題に関して検討を行った。

〔平成 26 年度〕

人体等の帯電物体が電子機器の金属筐体から遠ざかったときに生じる誘導電圧の問題は、非接地の金属筐体だけでなく、接地された金属筐体内でも発生する。H26 年度の研究では、一般的な電子機器の金属筐体（縦 0.2 m、横 0.35 m、奥行き 0.2 m）から帯電物体が遠ざかったとき、開口部のある接地された金属筐体内に生じる誘導電圧の問題を検討した。

本研究では、帯電物体が金属筐体から遠ざかったとき、金属筐体内に生じる誘導電圧を誘導電極と電磁波センサを用いた非接触測定で明らかにした。また非接触測定で得られた誘導電圧の結果は、静電気の電圧を測定で

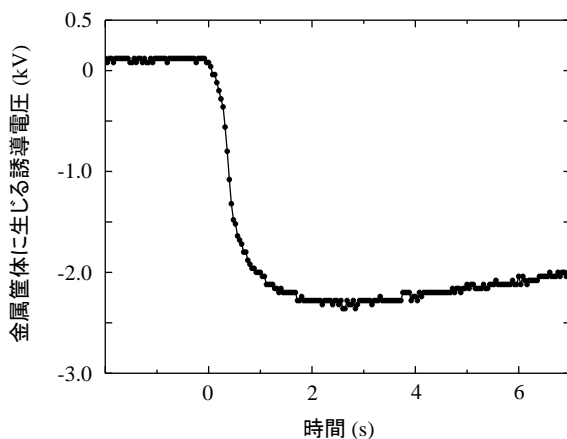


図 2 帯電物体を金属筐体から遠ざけたときに筐体に生じる誘導電圧（帯電物体と筐体間の距離 L : 10 mm）

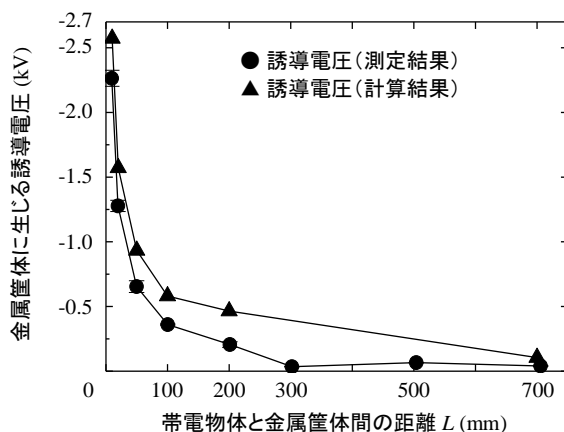


図 3 帯電物体 (0.7 kV) を金属筐体から遠ざけたときに筐体に生じる誘導電圧の最大値

きる表面電位計で測定した結果、さらに測定した電荷量から計算で求めた結果と比較検討を行った。

4. 研究成果

〔平成 25 年度〕

図 2 は、帯電物体 (0.7 kV) が非接地の金属筐体から遠ざかったとき、金属筐体に生じる誘導電圧 (最大 -2.3 kV) の測定結果を表している。このように帯電物体が金属筐体から遠ざかると、金属筐体には帯電物体の電圧の -3.3 倍の誘導電圧が生じることを明らかにした。一般に導体に生じる誘導電圧は、各導体間の静電容量で構成されるキャパシタンスモデルを用いて計算する。このようなモデルでは、各導体間の静電容量の比から、浮遊電位の導体に生じる誘導電圧を計算する。しかし本研究のように帯電物体が浮遊電位の導体から遠ざかるときは、ボルテージ Divider (分圧器) の原理で誘導電圧の理論計算等を行うと、実験結果とは電圧極性も異なる結果が得られる。このように誘導電圧の問題を検討するには、(a)帯電物体の接近で生じる誘導電圧、(b)帯電物体の孤立で生じる誘導電圧、(c)帯電物体の通過で生じる誘導電圧の三つに分けて考えることが必要になる。

帯電物体が金属筐体 (浮遊電位) から遠ざかったときに生じる誘導電圧は、金属筐体に生じる電荷量が明らかにならないと、計算から求めることはできない。実験で得られた逆極性の誘導電圧の結果を検討するために電荷量を測定し、誘導電圧を計算した結果を実験結果と比較した。

図 3 は、帯電物体 (0.7 kV) を金属筐体から遠ざけたとき、金属筐体に生じる誘導電圧の最大値を測定と計算で比較した結果を表している。測定で得られた金属筐体に生じる誘導電圧は、帯電物体と金属筐体間の距離 L の増加にともなって、計算で得られた結果と同様の傾向になることがわかる。

〔平成 26 年度〕

図 4 は、帯電物体が開口部のある接地された金属筐体から遠ざかったとき、金属筐体内に生じる誘導電圧を測定と計算から検討した結果を表している。平成 25 年度の研究で得られた結果と同様、金属筐体内に生じる誘導電圧は、帯電物体の電圧とは逆極性になる。スパークギャップと電磁波センサを用いた誘導電圧測定法の結果は、表面電位計で測定した結果と比べると 72%の大きさになるが、帯電物体と金属筐体間の距離 L が増加すると、表面電位計で測定した結果に近づくことがわかる。このように三通りの方法で測定した誘導電圧は、同様の傾向になる。

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)

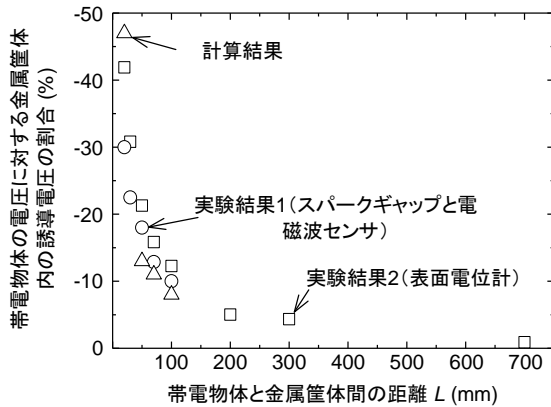


図4 帯電物体を金属筐体から遠ざけたときに筐体内に生じる誘導電圧の割合

[雑誌論文] (計 13 件)

- (1) Norimitsu Ichikawa, "Measurement and calculation of electrostatically induced voltage of ungrounded metal box generated by moving charged body," *Journal of Electrostatics*, 査読有, Vol. 75 (2015), pp. 14-18. doi:10.1016/j.elstat.2015.02.001
- (2) 市川紀充, 牧田幸太:「帯電した物体を金属筐体から遠ざけたときに生じる静電誘導電圧」, 電気学会論文誌 D, 査読有, Vol. 134, No. 10 (2014), pp. 870-875. <http://doi.org/10.1541/ieejias.134.870>
- (3) 渡辺 政宏, 市川紀充, 坂本 哲夫:「帯電した人体の動きによって発生する誘導電圧を利用した動作判別」, 静電気学会誌, 査読有, Vol. 38, No. 4 (2014), pp. 183-188. http://www.iesj.org/html/journal/article_s/papers/38/38-4-183.pdf
- (4) Norimitsu Ichikawa, "Electrical fatality rate by industry in Japan, 1974-2003", *IEEE Transactions on Industrial Applications*, 査読有, Vol. 50, No. 3 (2014), pp. 1604-1609. DOI:10.1109/TIA.2013.2283240
- (5) Norimitsu Ichikawa, Kazuhiko Taniguchi, "Study on an insulating safeguard based upon DC breakdown voltages of insulating materials", *Automatic Control of Physiological State and Function*, 査読有, Vol. 2, No. 1 (2013), 1000105 (4 pages). <http://dx.doi.org/10.4172/2090-5092.1000105>
- (6) Atsushi Ohsawa, Norimitsu Ichikawa, "ESD detection by transient earth voltage," *Journal of Physics: Conference Series*, 査読有, Vol. 418 (2013), 012054, pp. 1-6.

doi:10.1088/1742-6596/418/1/012054

- (7) 引地 順, 市川紀充:「防災設備にもとめられるもの」, 電気設備学会誌, 査読無, Vol. 34, No. 3 (2014), pp. 159~163. <http://doi.org/10.14936/ieiej.34.159>
 - (8) 市川紀充:「特集に当たって」, 電気設備学会誌, 査読無, Vol. 33, No. 4 (2013), pp. 228~229. <http://doi.org/10.14936/ieiej.33.228>
 - (9) 市川紀充:「電気安全の大切さ」, 電気設備学会誌, 査読無, Vol. 33, No. 4 (2013), pp. 239~243. <http://doi.org/10.14936/ieiej.33.239>
 - (10) 市川紀充, 大澤 敦, 富田 一:「密閉された金属容器内で発生する災害予兆放電の外部検出の研究」, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告, 査読有, JNIOSSH-SRR-NO. 43 (2013), pp. 7-11. <https://www.jniosh.go.jp/publication/doc/srr/SRR-No43-1-1.pdf>
 - (11) 大澤 敦, 市川紀充:「過渡接地電圧による静電気放電の検出」, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告, 査読有, JNIOSSH-SRR-NO. 43 (2013), pp. 13-17. <https://www.jniosh.go.jp/publication/doc/srr/SRR-No43-1-2.pdf>
 - (12) 富田 一, 山隈 瑞樹, 大澤 敦, 崔 光石, 市川紀充, 最上 智史, 鈴木 輝夫:「初期放電の検出による静電気火災・爆発災害の予防技術の開発に関する研究」, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告, 査読有, JNIOSSH-SRR-NO. 43 (2013), pp. 1-3. <https://www.jniosh.go.jp/publication/doc/srr/SRR-No43-1-0.pdf>
 - (13) Norimitsu Ichikawa, "Statistical accident analysis and electrical fatality rate in Japan, 2002-2011 -causes and preventive measures of fatal electrical accidents-", *IEEE Industry Application Magazine*, 査読有 (2016). (掲載決定)
- [学会発表] (計 18 件)
- (1) Norimitsu Ichikawa, "Statistical accident analysis and electrical fatality rate in Japan, 2011-2002, -causes and preventive measures of electrical fatal accidents-", *2015 IEEE IAS Electrical Safety Workshop*, Louisville (2015. 1), pp. 234-238.
 - (2) Norimitsu Ichikawa, "Electrostatically induced voltage on conductive objects contained in metal box when charged body moves away from the box", *9th Conference of the French Society of Electrostatics*, Toulouse (2014. 8), pp. 225-230.
 - (3) Norimitsu Ichikawa, "Safety design of insulating safeguard based on AC

- breakdown voltage", *2013 IEEE International Conference on Solid Dielectrics*, Bologna (2013. 6), pp. 341-344.
- (4) Norimitsu Ichikawa, Kazuhiro Nishiyama, "Study on transient grounding resistance with rod-plane electrode in soil by lightning impulse -Influence of moisture content of soil, applied voltage, and gap length of rod-plane electrode on grounding resistance-", *8th 2013 Asia-Pacific International Conference on Lightning*, Seoul (2013. 6), pp. 355-358.
- (5) Norimitsu Ichikawa, Isaku Yamakawa, "Validity of measurement and calculation on electrostatically induced voltage of ungrounded metal box generated by moving charged body", *2013 Annual Meeting of the Electrostatic Society of America*, Florida (2013. 6), No. H3, pp. 1-9.
- (6) Shota Yuyama, Norimitsu Ichikawa, Tetsuo Sakamoto, "Comparison of short circuit current by difference of gap length between electrical outlet and tracking resistance plug", *2013 Annual Meeting of the Electrostatics Society of America*, Florida (2013. 6), No. J5, No. 1-7.
- (7) Masahiro Watanabe, Norimitsu Ichikawa, Tetsuo Sakamoto, "Determination in operation by the frequency analyzing induced voltage generated by the movement of the charged human body", *2013 Annual Meeting of the Electrostatics Society of America*, Florida, No. D4 (2013. 6), pp. 1-6.
- (8) 市川紀充:「ビルや工場で発生した感電災害事例の統計的な分析(1997年~2001年)」, 電気学会全国大会シンポジウム, 世田谷区(2015), pp. S18(3)~S18(4).
- (9) 市川紀充、豊田武二:「スマートグリッドと需要家ファシリティ間のシステムインフラのあり方について」, 電気学会全国大会シンポジウム, 世田谷区(2015), pp. S17(1)~S17(2).
- (10) 市川紀充:「対向面積の異なる金属筐体から帯電物体を遠ざけたときに生じる静電誘導電圧」, 電気学会スマートファシリティ研究会, 千代田区, SMF-14-042(2014), pp. 7~12.
- (11) 市川紀充:「ビルや工場で発生した感電死亡災害の検討(2002年~2011年)」, 電気学会スマートファシリティ研究会, 千代田区, SMF-14-041(2014), pp. 1~6.
- (12) 市川紀充、豊田武二:「スマートグリッドと需要家ファシリティ間のサービス・インフラの検討とその成果」, 電気学会 D 部門大会シンポジウム, 足立区, 5-S12-1(2014), pp. V-51~V-54.
- (13) 市川紀充:「「電気安全の大切さ」ー感電災害の現状と今後の課題ー」, 講習会「ビル電気設備の安心安全技術」(主催:電気設備学会), pp. 1-16, 2014年2月7日.
- (14) 市川紀充、豊田武二:「スマートグリッドと需要家ファシリティ間のサービス・インフラの概要」, 電気学会スマートファシリティ研究会, 京都(2014), SMF-14-31(2014), pp. 23-27.
- (15) 渡邊政宏, 市川紀充, 坂本哲夫:「帯電した人体の動きによって発生する誘導電圧を利用した動作判別」, 電気学会生産設備管理研究会, 新宿区, PFC-14-017(2014), pp. 29~34.
- (16) 市川紀充, 牧田幸太:「帯電した物体を金属筐体から遠ざけたときに生じる静電誘導電圧」, 電気学会生産設備管理研究会, 新宿区, PFC-14-014(2014), pp. 11~16.
- (17) 湯山翔太, 市川紀充, 坂本哲夫:「コンセントとプラグ間で発生するシンチレーション時の表面温度・電流特性」, 電気学会生産設備管理研究会, 新宿区, PFC-14-011(2014), pp. 5~10.
- (18) 市川紀充:「電気設備への雷災害で生じる大地電位の上昇に関する研究」, 安全工学シンポジウム 2013, 港区(2013. 7), OS-J(電気設備への雷災害と安全対策), pp. 170~171.
- [図書](計7件)
- (1) 市川紀充(分担執筆、6章絶縁体(誘電体)、7章磁性体):『基本からわかる電磁気学講義ノート』, オーム社(2014. 4), pp. 157-207, 219-221.
- (2) ビル・工場電気設備の安全・安心環境構築調査専門委員会編(委員長:市川紀充):『ビル・工場電気設備の安全・安心環境構築』, 電気学会技術報告第1314号(2014), pp. 1~53.
- (3) スマートグリッドにおける需要家施設サービス・インフラ調査専門委員会(委員:市川紀充):『スマートグリッドにおける需要家施設のサービス・インフラ』, 電気学会技術報告第1332号(2015), pp. 1~92.
- (4) 市川紀充:『電気工学ハンドブック 第7版』(45編 静電気・医用電子・一般、1章 静電気), 電気学会(オーム社)(2013. 9), pp. 2335-2340.
- (5) 市川紀充(分担執筆、第2部5編2章第1節総説、第2節感電災害の防止技術):『電気学会125年史1888-2013』, 電気学会(2013. 10), pp. 663-665.
- (6) 需要設備向けスマートグリッド実用化技術調査専門委員会編(委員:市川紀充):

『需要設備向けスマートグリッド実用化技術』, 電気学会技術報告第 1283 号 (2013), pp. 1~115.

- (7) 市川紀充: 日本大百科全書『ニッポニカ』 (Web 公開版)、アンペア契約やインターホンなど計 22 項目、小学館クリエイティブ (2013).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市川 紀充 (ICHIKAWA NORIMITSU)

工学院大学・工学部電気システム工学科
准教授

研究者番号 : 60415833