

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05952

研究課題名(和文) 静電誘導電圧が原因で起こる電子機器の誤動作防止の研究

研究課題名(英文) Study on prevention of malfunction of electronic equipment occurred by electrostatically induced voltage

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)： マイクロエレクトロニクス化により、放電・静電気が原因で起こる電子機器の故障や誤動作の問題が無視できない大きな問題となる。パソコン等の金属筐体内の電子部品は5 V以下の電圧で故障や誤動作が起こり、人体は歩行動作等で10 kVに帯電する。しかし人体等の帯電した物体の移動と電子機器の金属筐体および筐体内に生じる誘導電圧の関係は明らかにされていない。本研究では帯電した物体が金属筐体から遠ざかるときの、二つの金属筐体および筐体内に生じる誘導電圧を明らかにした。本研究成果は、予見可能な電子機器の故障や誤動作を防止できる信頼性の高い電子機器の設計に役立つだけでなく、電子機器の試験法として役立つと思われる。

研究成果の概要(英文)： The important problem of an electronic equipment failure and a malfunction caused by electric discharge and electrostatics cannot be ignored. The failure and malfunction of electronic parts in a metal box of a personal computer etc. occur by the occurrence of the voltage less than 5 V. A human body is electrified up to 10 kV during a walking motion etc. However, the relation between the movement of a charged body of a human body etc. and the induced voltage in a metal box and the induced voltage of the metal box is not cleared. In this study, the induced voltage in two metal boxes and the induced voltage of metal boxes are cleared experimentally and theoretically. The fruits of this study will be helpful not only to design a high reliability electronic equipment capable of preventing a forecastable malfunction and failure and but also to establish a test method of the electronic equipment.

研究分野：放電・静電気、EMI/EMC、電気安全、ビル電気システム

キーワード：放電・静電気 帯電物体の移動 静電誘導 誘導電圧 電子機器の故障や誤動作 金属筐体 球ギャップと電磁波センサ パッシブ電圧

1. 研究開始当初の背景

マイクロエレクトロニクス化により、放電・静電気が原因で起こる電子機器の故障や誤動作の問題が無視できない大きな問題となる。この種の障害に関する多くの研究（例えば1970年頃の児玉氏らの人体の動作と帯電電圧の関係や、1985年の本田氏らの接触放電と電磁ノイズの研究）が行われた。例えば、パソコンのハードディスク内の磁気センサ（GMRヘッド）は5V以下の電圧でも故障や誤動作が起こる。人体等は、室内を歩行すると10kV程度に帯電する。しかし、人体等の帯電した物体の移動と電子機器内に生じる誘導電圧を明らかにすることは容易ではなく、この種の研究はほとんど行われていなかった。その理由として、帯電した人体等の移動により電子機器（金属筐体）内の電子回路基板（導体）に生じる誘導電圧を測定・計算することは、それほど簡単ではないことが挙げられる。

2. 研究の目的

帯電した人体等がパソコンなどの電子機器から遠ざかると、電子機器に大きな誘導電圧が発生し、電子機器の故障や誤動作を引き起こす可能性が高い（図1）。本研究では、帯電した物体が電子機器の金属筐体から遠ざかったとき、筐体内に生じる誘導電圧を明らかにする。申請者は予見可能な電子機器の障害や災害を防止するための電子機器の設計に指針を与え、新しい試験法を提案し、社会へ貢献することを目的として実施する。

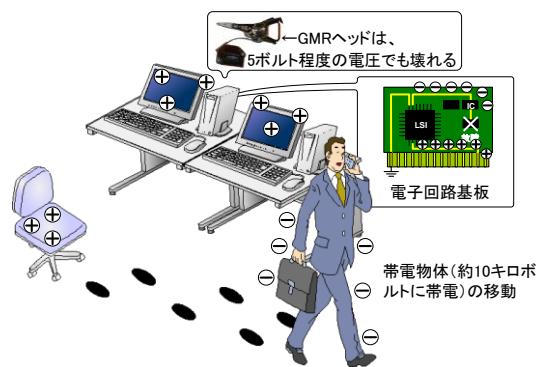


図1 帯電物体が遠ざかったときに生じる誘導電圧

3. 研究の方法

本研究では、帯電した物体がパソコンなどの電子機器の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明らかにする。本研究は、申請者が製作した実験装置を用いて研究を行い、目的を達成するために研究計画・方法を基礎（平成27年度）と応用（平成28、29年度）に分けて次の内容を実践通りに実施した。

【平成27年度】同じ大きさの対向面積を持つ浮遊電位の金属筐体に生じる誘導電圧

本研究は、帯電した物体と対向する金属筐体の前面の面積を一定とし、帯電した物体が遠ざかったときに奥行き異なる浮遊電位の金属筐体に生じる誘導電圧を明らかにした。

【平成28年度】二つの金属筐体から帯電した物体を遠ざけたときに生じる誘導電圧

本研究は、同じ大きさの金属筐体を二つ用意し、帯電した物体が二つの金属筐体から遠ざかったとき、各金属筐体に生じる誘導電圧を明らかにした。

【平成29年度】二つの金属筐体内に生じる誘導電圧

本研究は、帯電した物体を遠ざけたとき、二つの金属筐体内にそれぞれ配置した二つの導体間（電子回路基板を想定）に生じる誘導電圧を明らかにした。二つの金属筐体内に生じる誘導電圧の測定には本研究の特色・独創的な点といえる球ギャップと電磁波センサを用いた。

4. 研究成果

平成27年度の研究では、次の研究成果を得られた。帯電した物体と平行に向き合う金属筐体の前面の面積（対向面積）を変えず、金属筐体の奥行きを変えて金属筐体の体積を変えたとき、人体を模した帯電した物体が金属筐体の前面を移動することで金属筐体内に生じる誘導電圧を実験と数値計算の両面から明らかにした。その結果、次のことが明らかになった。

- 1) 帯電した物体が立てた金属筐体から遠ざかるときに金属筐体に生じる誘導電圧は、金属筐体の奥行きが減少するとともに増加する。
- 2) 帯電した物体が金属筐体から遠ざかったとき、A4サイズの立てたノートパソコン程度の大きさの金属筐体に生じる誘導電圧は、帯電した物体の電圧の-3.73倍の大きさになる（図2参照）。これは例えば-700Vに帯電した物体がA4サイズの立てたノートパソコン程度の金属筐体から遠ざかったとき、2610Vの誘導電圧が金属筐体に生じることを意味する。
- 3) 帯電した物体が金属筐体から遠ざかっ

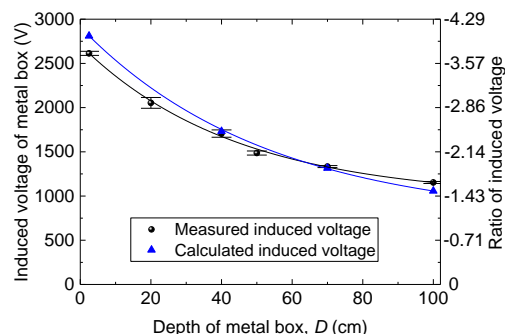


図2 帯電物体が筐体から遠ざかるときの誘導電圧

たときに金属筐体に生じる誘導電圧は、帯電した物体が金属筐体に近づいたときに金属筐体に生じる誘導電圧とは逆極性で 4.22 倍 (−4.22 倍) の大きくなる。

- 4) 帯電した物体が金属筐体から遠ざかったときに金属筐体に生じる電荷量は、帯電した物体が金属筐体に近づいたときに金属筐体に生じる電荷量とは極性は異なるが、同程度の大きくなる。

平成 28 年度の研究では、次の研究成果を得られた。二つの金属筐体 (デスクトップ型パソコン程度の大きさを想定) の近くを帯電した人体等を模擬した帯電した物体が移動したとき、二つの金属筐体に生じる誘導電圧を明らかにすることを目的として、主として実験研究を行った。本実験研究を行った結果、次のことが明らかになった。

- 5) 二つの金属筐体間の距離 D が 1 cm のとき、帯電した物体が金属筐体の前を移動する (遠ざかる) と、各金属筐体に生じる誘導電圧の大きさは、帯電物体の電圧の約 −2.2 倍から −2.3 倍の大きさにな

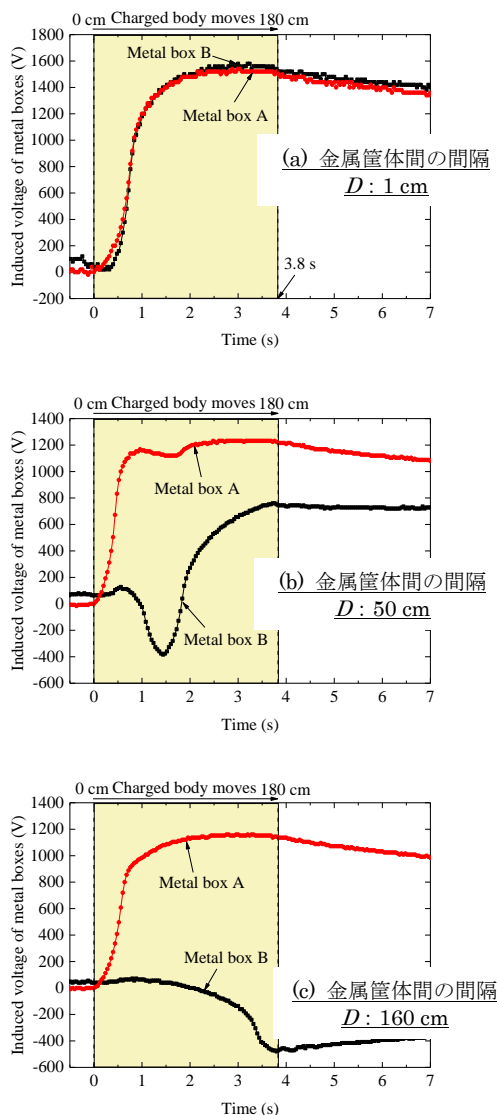
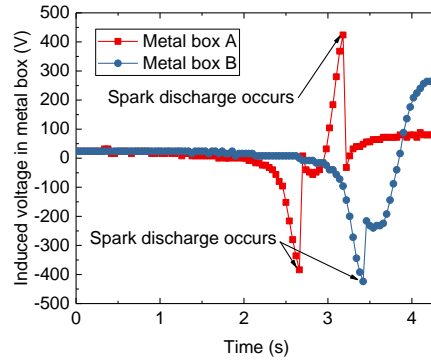
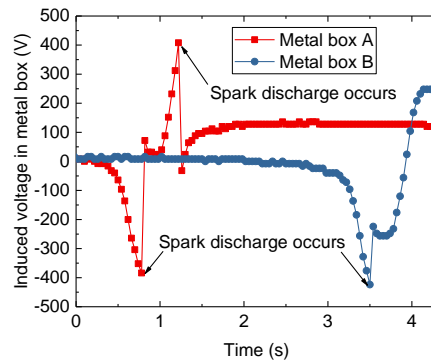


図 3 帯電物体の移動と各金属筐体の誘導電圧



(a) 金属筐体間の間隔 $D: 1\text{ cm}$



(b) 金属筐体間の間隔 $D: 1\text{ cm}$

図 4 二つの金属筐体内で生じる二度の放電

った。

- 6) 二つの金属筐体間の距離 D が増加するにつれて、帯電した物体が金属筐体の前を移動したときに各金属筐体に生じる誘導電圧のモードが遷移した (図 3 参照)。
- 7) 二つの金属筐体間の距離 D が増加すると、帯電物体が移動したときに金属筐体 B に生じる誘導電圧は両極性になった。
- 8) 二つの金属筐体間の距離 D が 130 cm 以上のとき、帯電物体が移動すると、金属筐体 B に生じる誘導電圧は単極性 (帯電物体の電圧とは同極性) になった。
- 9) 各金属筐体の静電エネルギーは、二つの金属筐体間の距離 D を 1 cm にしたときに最も高くなった。
- 10) −700 V に帯電した物体を移動させたとき、金属筐体間の距離 D が 1 cm における各筐体の静電エネルギーは 0.039 mJ になった。
- 11) 各金属筐体の静電エネルギーは、二つの金属筐体間の距離 D を増加させると、その距離 D が 1 cm のときと比べて 1/2 以下に低減できた。

平成 29 年度の研究では、次の研究成果を得られた。帯電した物体が前面の開口した二つの金属筐体の前を移動したとき、各金属筐体内に生じる誘導電圧を明らかにすることを目的として、主として実験研究を行った。

本実験研究の結果、次のことが明らかになった。

- 12) 帯電した物体が二つの金属筐体の前を移動したとき、各金属筐体内に生じる誘導電圧は、二つの金属筐体間の距離には依存しない。
- 13) 帯電した物体が二つの金属筐体の前を移動するとき、各金属筐体内には帯電した物体の電圧の42%の大きさの誘導電圧が発生する。これは例えば10 kVの人体等の帯電した物体が金属筐体の前を移動したとき、各金属筐体内には4.2 kVの誘導電圧が発生することを意味する。
- 14) 帯電した物体が二つの金属筐体の前を移動するとき、各金属筐体内には二度の放電（ダブルピーク）が発生する。このとき各金属筐体内には正極性と負極性の両極性の誘導電圧が発生する。
- 15) 帯電した物体が前面の開口した金属筐体から遠ざかるときに金属筐体内に生じる誘導電圧は、帯電した物体が金属筐体に近づくとともに金属筐体内に生じる誘導電圧とは電圧極性が異なるだけでなく、112%の大きさになる。

本研究で得られる成果は、予見可能な電子機器の障害を防止できる信頼性の高い電子機器の設計に役立つだけでなく、国際的に貢献が可能な電子機器の試験法として役立つと思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計15件）

- 1) 市川 紀充：「ビル内の帯電した人体等の移動で生じる電子機器内の静電誘導電圧と放電」, 電気学会誌, Vol. 138, No. 6 (2018), pp. 352~356. 【査読無】
- 2) 市川 紀充：「静電誘導電圧を用いた帯電した人体の高さ（姿勢）の判別」, 電気学会論文誌 D, Vol. 138, No. 3 (2018), pp. 193-198. 【査読有】
- 3) 市川 紀充：「帯電物体の移動により二つの金属筐体に生じる静電誘導電圧」, 電気学会論文誌 D, Vol. 138, No. 3 (2018), pp. 186-192. 【査読有】
- 4) Paulter N, Jenkins D and Ichikawa N, "Electroshock weapon measurements: instrumentation requirements and limitations," *Journal of Biomedical Systems & Emerging Technologies*, Vol. 3, No. 2 (2017), 1000113, pp. 1-5. 【査読有】
- 5) Norimitsu Ichikawa, "Experimental consideration of the electrostatically induced voltage generated when a charged body approaches a metal box and moves away from the box," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 24, No. 2 (2017), pp. 1203-1209. 【査読有】

- 6) Norimitsu Ichikawa, "Epidemiology of fatal electrocutions in Japan 1992 to 1996", *Journal of Biomedical Systems & Emerging Technologies*, Vol. 3, No. 2 (2016), 1000111, pp. 1-7. 【査読有】
- 7) Norimitsu Ichikawa, "Investigation of human body potential measured by non-contact measuring system", *Industrial Health*, Vol. 54 (2016), pp. 542-549. 【査読有】
- 8) Norimitsu Ichikawa, "Three hundred forty-nine case studies and their consideration of electrical accidents in Japan," *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 52, No. 6 (2016), pp. 5248-5254. 【査読有】
- 9) Nicholas Paulter, David Jenkins, Norimitsu Ichikawa, Michael Leonasio, "Test methods for measuring the electrical output of electroshock weapons," *Journal of Biomedical Systems & Emerging Technologies*, Vol. 3, No. 2 (2016), 1000110, pp. 1-12. 【査読有】
- 10) Norimitsu Ichikawa, "Electrostatically induced voltage on conductive objects contained in metal box when charged body moves away from the box", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 23, No. 2 (2016), pp. 658-664. 【査読有】
- 11) 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」, 電気学会論文誌 D, Vol. 136, No. 2 (2016), pp. 162-168. 【査読有】
- 12) 市川 紀充, 谷口 和彦：「感電災害の防止に役立つ新しい AC 絶縁用防具の基礎的検討」, 労働安全衛生研究, Vol. 9, No. 1 (2016), pp. 3-8. 【査読有】
- 13) Norimitsu Ichikawa, "Electrical fatality rates in Japan, 2002-2011: new preventive measures for electrical accidents," *IEEE Industry Application Magazine*, Vol. 22, No. 3 (2016), pp. 21-26. 【査読有】
- 14) 市川 紀充：「感電災害の現状とその特徴」, 安全と健康, Vol. 67, No. 7 (2016), pp. 17~19. 【査読無】
- 15) 市川 紀充：「特集に当たって」, 電気設備学会誌, Vol. 36, No. 3 (2016), pp. 160. 【査読無】

〔学会発表〕（計18件）

- 1) Norimitsu Ichikawa, "Electrical fatality rate and epidemiology of electrocution in Japan, 2012-2014," IEEE IAS Electrical Safety Workshop, Fort Worth (2018), pp. 176-183.
- 2) Norimitsu Ichikawa, "Electro-

- statically induced voltage in two metal boxes when charged body moves away from the boxes,” Asia Pacific Symposium on Safety, 2017, Kitakyushu (2017), No. SC4-01, pp. 1-8.
- 3) Norimitsu Ichikawa, “Measurement of electrostatically induced voltages in two metal boxes by using spark gap and electromagnetic wave sensor,” 2017 Meeting of the Electrostatic Society of America, Ottawa (2017), No. E5, pp. 1-10.
 - 4) Norimitsu Ichikawa, “Epidemiology of fatal electrocutions including lightning accidents in Japan 1992 to 1996,” The 10th Asia-Pacific International Conference on Lightning, Krabi (2017), No. PID_146, pp. 628-633.
 - 5) 市川 紀充:「電気設備の品質向上のための感電防止技術」, 電気学会全国大会シンポジウム, 富山市, pp. S18(11)~S18(12) (2017).
 - 6) Norimitsu Ichikawa, Ryo Matsuhisa, “Study on discrimination of charged human body using electrostatic induced voltage”, 10th Conference of the French Society of Electrostatics, Poitiers (2016), No. 05-1, pp. 1-5.
 - 7) Norimitsu Ichikawa, “Three hundred forty-nine case studies and their consideration of electrical accidents in Japan”, 2016 IEEE IAS Electrical Safety Workshop, Florida (2016), pp. 157-164.
 - 8) 市川 紀充, 工藤 誠真, 佐藤 晴英:「静電誘導電圧を用いた帯電した人体の高さ(姿勢)の判別」, 電気学会スマートファシリティ研究会, 千代田区, SMF-16-052 (2016), pp. 91~96.
 - 9) 市川 紀充:「感電災害防止のための安全・安心技術」, 電気学会産業応用フォーラム「次世代ビル設備における最新の安全・安心と BACS 技術」, 千代田区 (2016)
 - 10) 市川 紀充:「電気設備の静電気による障害と対策」, 安全工学シンポジウム 2016, 港区 (2016), pp. 278~279.
 - 11) 市川 紀充, 豊田 武二:「スマートグリッドと需要家間のサービス要件」, 電気学会全国大会シンポジウム, 仙台市, pp. S16(1)~S16(2) (2016).
 - 12) 市川 紀充:「電気安全の立場から見た感電災害の防止対策のあり方」, 電気学会全国大会シンポジウム, 仙台市, p. S17(3) (2016).
 - 13) 市川 紀充, 増渕 崇純, 矢沢 直也:「帯電物体の移動により近接する二つの金属筐体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, 八王子市, SMF-16-002 (2016), pp. 7~8.
 - 14) 市川 紀充:「ビルや工場で発生した感電災害の検討 (1992 年~1996 年)」, 電気学会スマートファシリティ研究会, 八王子市, SMF-16-003 (2016), pp. 9~10.
 - 15) Norimitsu Ichikawa, “Experimental consideration of electrostatically induced voltage generated by approach and isolation of charged body”, IECON2015-Yokohama 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Yokohama (2015), pp. 2439-2444.
 - 16) Norimitsu Ichikawa, Terumasa Morita, “Investigation of human body potential measured by non-contact measuring system”, 3rd ISNPEDADM, Saint Gilles Les Bains (2015), pp. 1-6.
 - 17) 市川 紀充, 豊田 武二:「スマートグリッドの研究開発動向と SGTEC の取り組み」, 電気学会 D 部門大会シンポジウム, 大分市 (2015), pp. V-91~V-92.
 - 18) 市川 紀充:「電気設備の充電部との接近・接触で起きた感電災害事例の検討」, 安全工学シンポジウム 2015, 港区 (2015), pp. 200~201.
- 〔図書〕 (計 8 件)
- 1) 電気学会 電気システムセキュリティ特別技術委員会スマートグリッドにおける電磁的セキュリティ特別調査専門委員会編 (委員: 市川 紀充):『IoT 時代の電磁波セキュリティ~21 世紀の社会インフラを電磁波攻撃から守るには~』, 科学情報出版 (2018), pp. 1~346.
 - 2) 需要設備の品質向上と保全高度化に向けた安全安心技術調査専門委員会編 (幹事: 市川 紀充):『需要設備の品質向上と保全高度化に向けた安全安心技術』, 電気学会技術報告第 1412 号 (2018), pp. 1~61.
 - 3) BACS/BEMS におけるオープンなインターオペラビリティの構築協同研究委員会編 (委員: 市川 紀充):『BACS インターオペラビリティの構築』, 電気学会技術報告 1390 号 (2017), pp. 1~31.
 - 4) 電気学会 スマートグリッドに関する電気事業者・需要家間サービス基盤技術調査専門委員会編 (委員: 市川 紀充):『国際標準に基づく エネルギーサービス構築の必須知識-電気事業者・需要家のための-』, オーム社 (2016), pp. 1-488.
 - 5) 市川 紀充 (分担執筆, 第 III 編応用例, 第 2 章需要家向け適用事例, 2 スマートビル):『再生可能エネルギーにおけるコンバータ原理と設計法』, 科学技術出版 (2016), pp. 242-251.
 - 6) 次世代ビル電気設備の安全・安心テクノロジー調査専門委員会編 (幹事: 市川 紀充):『次世代ビル電気設備の安全・安心

- テクノロジー』, 電気学会技術報告 1363号 (2016), pp. 1~62.
- 7) 市川 紀充 (分担執筆, 第4章工場, 研究所における事故・災害の発生要因, 対策技術, 第3節静電気発生メカニズムと生産現場における安全対策): 『化学工場・研究所の事故・災害対策とリスク管理』, 技術情報協会 (2015), pp. 257-263.
 - 8) 建築施設監視制御工学の確立協同研究委員会編 (委員: 市川 紀充): 『建築施設監視制御工学における基本構成技術』, 電気学会技術報告第1345号 (2015), pp. 1~55.

[その他]

<https://er-web.sc.kogakuin.ac.jp/Profiles/8/0000791/profile.html>

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・准教授

研究者番号: 60415833