

スマート保安用の電気設備で生じる 静電誘導電圧と防止

Electrostatically Induced Voltage and Its Prevention Generated
in Electrical Installation of Smart Security



いちかわのりみつ
市川紀充*

キーワード：静電気，静電誘導，電気電子機器，誤動作や故障，帯電物体

1. はじめに

放電・静電気の研究^{1)~15)}は、活発に行われており、今後も電子機器の誤動作や故障の防止技術の検討が必要になる。Zoomでオンラインの講義を行うことが多くなり、同時に二つのオンライン会議等に参加するために、2台のノートパソコンを使う場合、帯電した人体がトイレに行くときに椅子から立ち上がると、その帯電した人体は一般的な静電気測定器では測定できないほど相当大きくなり、ノートパソコン等の電子機器の誤動作や故障の原因となる可能性がある。帯電した人体が立ち上がった椅子の座面の表面の静電気の電圧を測定すると、20kVは容易に超えている。

八王子キャンパスにある10号館の電気安全研究室の1階の居室は、このように帯電した人体が椅子から立ち上がる時、その帯電した人体の手が椅子の金属部の近くにあると、強い静電気放電の痛みを感じる。このような帯電した人体が椅子から立ち上がる時に起こる強い静電気は、新宿キャンパスの地下2階にある強電実験室でも頻繁に発生している。このように東京都の八王子市や新宿区にある大学のキャンパス内では、後期にこのような強い静電気が常に発生しており、電子機器にとってはとても過酷な静電気が発生している。

ノートパソコンなどの電子機器内に使用されている電子部品は、数V程度の電圧で動作しており、近くに帯電した人体があると、静電誘導が原因で電子部品につながった導体に相当大きな静電誘導電圧が発生することで、容易に故障や誤動作が起こる可能性が高い。これまでの

研究成果の一部は、参考文献⁹⁾でまとめた。

Zoom等を使ったオンライン会議を同時に三つ行おうとすると、ノートパソコンを3台使うことも考えられ、このような帯電した人体と電子機器内に生じる静電誘導電圧の研究の必要性は、今後ますます高まると思われる。しかし、電子機器を同時に複数台使用したときに、どのような静電誘導電圧が発生するか、それらの電子機器の誤動作や故障を防ぐにはどうしたらよいか等の検討は、これまでに行われていない。

本稿では、これまでに得られた研究成果の一部^{10)~15)}を紹介する。本稿の内容が、今後の電気電子機器の静電気が原因で起こる誤動作や故障の防止に役立つことを期待したい。

2. 静電気の発生と障害

静電気は、室内の相対湿度の低下とともに発生するようになるが、コピー機などに利用されており、今後もその応用が期待されているエネルギーといえる。静電気は、冬に発生すると思われがちだが、夏になるとエアコンを使用する機会が増え、相対湿度が低下した室内でも静電気は発生することになる。冬場に体験する静電気は、電子機器の故障や誤動作の原因になる。プラスチックは、加工しやすく使いやすいが、静電気が発生しやすい。化学繊維のセーターは洗濯しても縮みにくいが、静電気を発生しやすい。量販店で売っている価格の安い洋服のほとんどは、化学繊維で作られている。このように生活に便利なものほど、静電気の発生源になりやすい。

静電気の発生を防止するのは、エアコンを使用した室内では簡単でない。冬の乾燥した時期に部屋の相対湿度を60%以上にするには、加湿器を置いた部屋を締

*工学院大学 工学部 電気電子工学科 准教授(略歴はP.2)

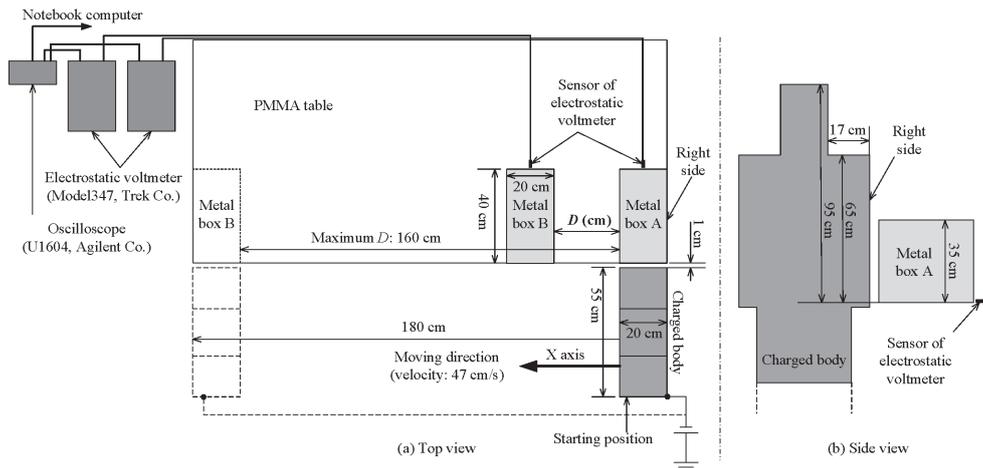


図-1 帯電物体が二つの非接地の金属筐体の前を移動する実験装置の配置図

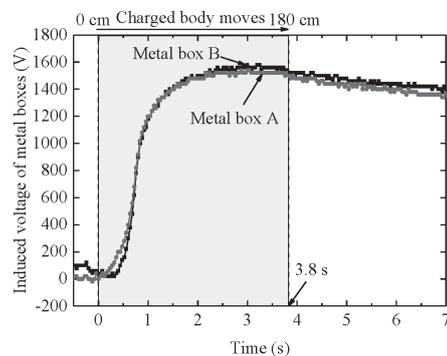
め切ったまま、エアコンをつけておく必要がある。しかし、1月の乾燥した時期に部屋を締め切って、就寝時に加湿器をつけたままエアコンを使用しても、相対湿度は30%~40%程度までしか上がらない。マンションは、24時間換気されているだけでなく、火災防止のために石油ストーブを使用できないことから、超高層マンションの増加に伴い、静電気の発生を防ぐことは、とても難しい。

日本国内では、梅雨の時期があるため相対湿度が高くなり、フランスやアメリカと比べて相対湿度が高いと思われるため、静電気の問題は主に10月頃から3月頃に取り上げられることが多い。筆者の経験では、静電気が発生しやすくなる10月の中旬や下旬頃から、毎年ノートパソコンの動作に支障が生じるようになる。そのパソコンの動作不良の原因は、静電気が原因といえる。

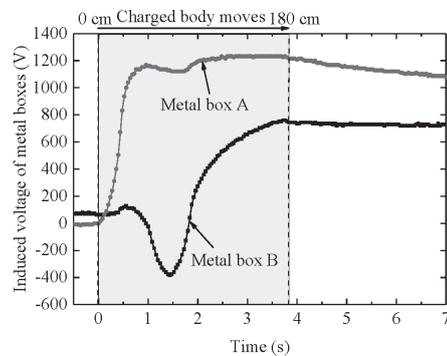
3. 二つの電子機器の非接地の金属^{きょうたい}筐体に生じる静電誘導電圧の現象

電子機器に使われている電子部品は静電気にとっても弱い、水素と酸素が混ざり爆発する条件になると静電気が原因で爆発災害が起こる。パソコンの中にある電子部品は約5Vの電圧が発生するだけでエラーを起こすことが知られており、水素は0.019mJのエネルギーで着火することになる。このように人が感じる静電気で、電子機器の誤動作や水素の爆発が起こる。

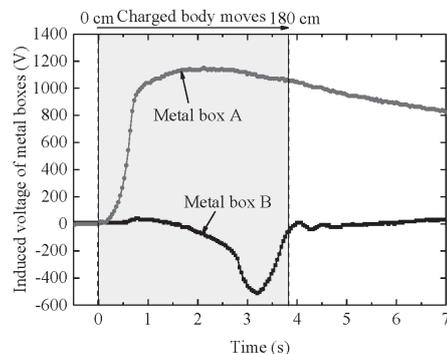
図-1のように、二つの非接地の金属筐体間の距離Dを変えたとき、帯電物体が金属筐体Aから遠ざかり、もう一つの金属筐体Bの前を移動するとき、各金属筐体に生じる静電誘導電圧¹⁰⁾は、次のようになる。これ以降、帯電物体に近い方の金属筐体を金属筐体Aと、



(a) Distance between two metal boxes, $D=1$ cm.



(b) Distance between two metal boxes, $D=50$ cm.



(c) Distance between two metal boxes, $D=130$ cm.

図-2 -700Vの帯電物体の移動と二つの非接地の金属

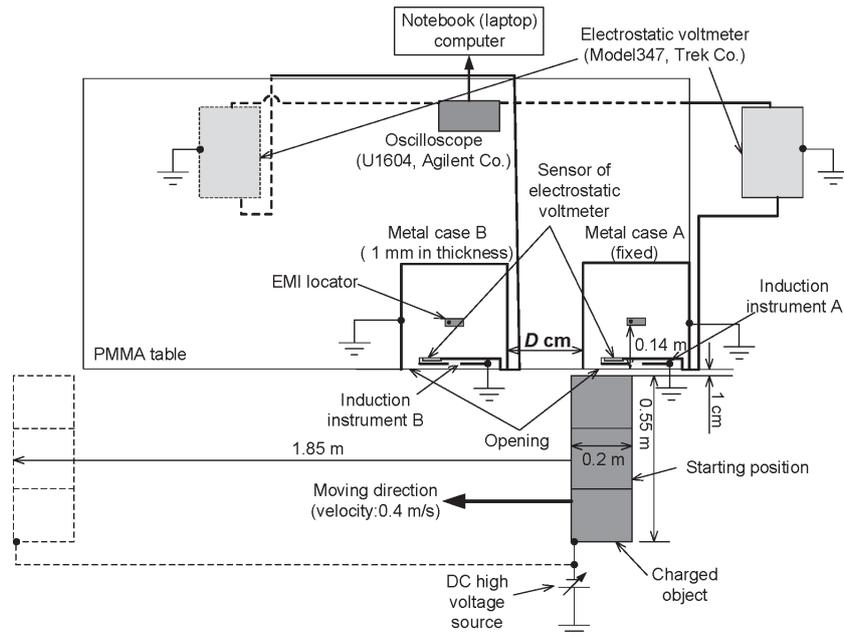


図-3 帯電物体が金属筐体 A から遠ざかり筐体 B の前を移動する実験装置の配置図

帯電物体から遠い方の金属筐体を金属筐体 B と呼ぶ。

- ①二つの金属筐体間の距離 D が 1 cm のとき、帯電物体が金属筐体 A の前から遠ざかると、各金属筐体に生じる静電誘導電圧は、帯電物体の電圧の約 -2.3 倍の大きさになる。
- ②図-2 のように、二つの金属筐体間の距離 D が増加するにつれて、各金属筐体に生じる静電誘導電圧のモードが遷移した。
- ③二つの金属筐体間の距離 D が 130 cm 以上になると、帯電物体がもう一つの金属筐体 B の前を移動するとき、その金属筐体 B に生じる静電誘導電圧は、帯電物体の電圧極性と同極性で、単極性の静電誘導電圧になった。
- ④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 にしたときが最も高くなった。その静電エネルギーは -700 V の帯電物体のときに、 0.039 mJ になる。
- ⑤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。

4. 二つの電子機器の接地した金属筐体内に生じる静電誘導電圧の現象

ノートパソコンのようにバッテリー駆動の電子機器は、その電子機器の外側の金属筐体は接地しないで使用するが、オシロスコープのような電子機器又はデスクトップ型のパソコンの外側の金属筐体は接地して使用する。

このように金属筐体を接地した電子機器内に生じる静電誘導電圧¹¹⁾は、帯電した物体が二つの金属筐体の前を移動すると、次のようになる。ここで帯電物体と各金属筐体の前面間の距離は、1 cm とした。

- ①接地した二つの金属筐体内に生じる静電誘導電圧は、帯電物体を移動させると、式(1)のように帯電物体の電圧の 0.42 倍の大きさになる。

$$V_{in} = 0.42 V_{cv} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 V_{in} は各金属筐体内に生じる静電誘導電圧 (V)、 V_{cv} は帯電物体の電圧 (V) を表す。

- ②二つの金属筐体内に生じる静電誘導電圧は、二つの金属筐体間の距離 D を変えても変わらない。
- ③金属筐体内で放電が起こると、金属筐体内には負極性と正極性の静電誘導電圧が発生する。

図-3 のように、接地された二つの金属筐体がテーブルの上に置いてあるとき、負極性の帯電物体が金属筐体 A の前から遠ざかり、もう一つの金属筐体 B の前を移動するとき、各金属筐体内に生じる静電誘導電圧¹²⁾は次のようになる。ここで二つの金属筐体間の距離 D は、2 cm から 1 m まで変えて実験した。

- ④帯電物体が金属筐体 A の前から遠ざかるとき、その金属筐体 A 内には正極性の静電誘導電圧が発生する。その金属筐体 A 内に生じる静電誘導電圧は、式(2)のように帯電物体の電圧の -0.51 倍の大きさになる。

$$V_{in \text{ box A}} = -0.51 V_{cv} \dots\dots\dots (2)$$

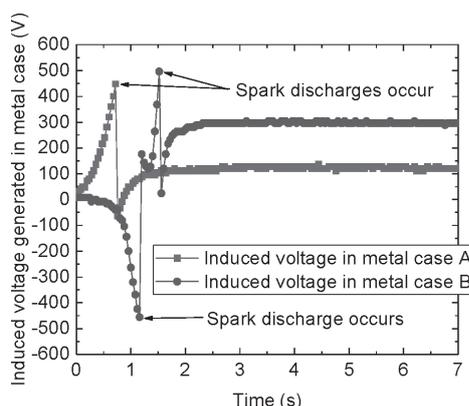


図-4 金属筐体内で放電が起こるときの二つの筐体内の静電誘導電圧

ここで、 $V_{in\ box\ A}$ は金属筐体A内に生じる静電誘導電圧(V)、 V_{cv} は帯電物体の電圧(V)を表す。

- ⑤負極性の帯電物体がもう一つの金属筐体Bの前を移動するとき、その金属筐体B内には負極性(同極性)の静電誘導電圧が発生する。その金属筐体B内で生じる静電誘導電圧は、式(3)のように帯電物体の電圧の0.45倍の大きさになる。

$$V_{in\ box\ B} = 0.45 V_{cv} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $V_{in\ box\ B}$ は金属筐体B内に生じる静電誘導電圧(V)、 V_{cv} は帯電物体の電圧(V)を表す。

- ⑥図-4のように、帯電物体が金属筐体Aの前から遠ざかると、その金属筐体A内に生じる静電誘導電圧が正極性の電圧で増加したときに放電が起こると、負極性の電圧になる。
- ⑦図-4のように、帯電物体がもう一つの金属筐体Bの前を移動したとき、静電誘導電圧はその金属筐体B内で放電が起こると、負極性の電圧から正極性の電圧に変わる。

5. 非接地の金属筐体及び金属筐体内に生じる静電誘導電圧の現象

ノートパソコンなどの電子機器は、今後電子機器の外側の金属筐体を接地しないで使用することが多くなる。洗濯機や電子レンジのコンセント以外に接地端子はないため、パソコンの外側の金属筐体は接地されずに使用される。帯電した人体などが椅子から立ち上がりトイレに行くときや部屋から出るとき、近くにある電子機器内には相当大きな静電誘導電圧が発生し、電子機器の故障や誤動作の原因となる。

帯電物体が非接地の電子機器の金属筐体から遠ざかるとき、その金属筐体内には次のような静電誘導電圧¹³⁾が発生する。

- ①帯電物体と金属筐体間の距離 L が1cmのとき、金属筐体内に生じる静電誘導電圧は、帯電物体の電圧とは逆極性で1.2倍(-1.2倍)の大きさになる。
- ②帯電物体と金属筐体間の距離 L が45cmのとき、金属筐体内に生じる静電誘導電圧は、式(4)のように帯電物体の電圧とは逆極性で0.09倍(-0.09倍)の大きさになる。

$$V_{in} = \left(-1.23e^{-\frac{L}{0.08}} - 0.09 \right) V_{cv} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 V_{in} は非接地の金属筐体内に生じる静電誘導電圧(V)、 V_{cv} は帯電物体の電圧(V)、 L は帯電物体と金属筐体の前面間の距離(m)を表す。

- ③金属筐体に生じる静電誘導電圧は、金属筐体内に生じる静電誘導電圧が減少したときに同時に減少する。その金属筐体に生じる静電誘導電圧は、放電が原因で金属筐体内の静電誘導電圧が正極性の電圧から負極性の電圧に変わったとしても、負極性の電圧までは減少しない。

電子機器の外側の金属筐体は、ノートパソコンのような大きさの筐体からデスクトップ型パソコンのような大きさの金属筐体までである。このように電子機器の金属筐体の大きさは、電子機器ごとに異なっている。しかも上で説明したように、電子機器の金属筐体は接地されずに使用されることが多い。奥行き異なる非接地の金属筐体内に生じる静電誘導電圧¹⁴⁾は、次のようになる。

- ④前面が開いた金属筐体内の接地されていない浮遊電位の導体部分に生じる静電誘導電圧は、その金属筐体に生じる静電誘導電圧よりも約1.4倍大きい。
- ⑤奥行きが20cm~70cmの金属筐体の前から帯電物体が遠ざかると、その金属筐体内に生じる静電誘導電圧は、式(5)のように全体的に見ると帯電物体の電圧の約-0.6倍の大きさになる。このように非接地の金属筐体の奥行きを変えても、金属筐体内にはその位の静電誘導電圧が発生する。金属筐体内の浮遊電位の導体部分の対地静電容量は、非接地の金属筐体の奥行きには依存しない。

$$V_{in} = -0.6 V_{cv} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 V_{in} は非接地の金属筐体内に生じる静電誘導電圧(V)、 V_{cv} は遠ざかる帯電物体の電圧(V)を表す。

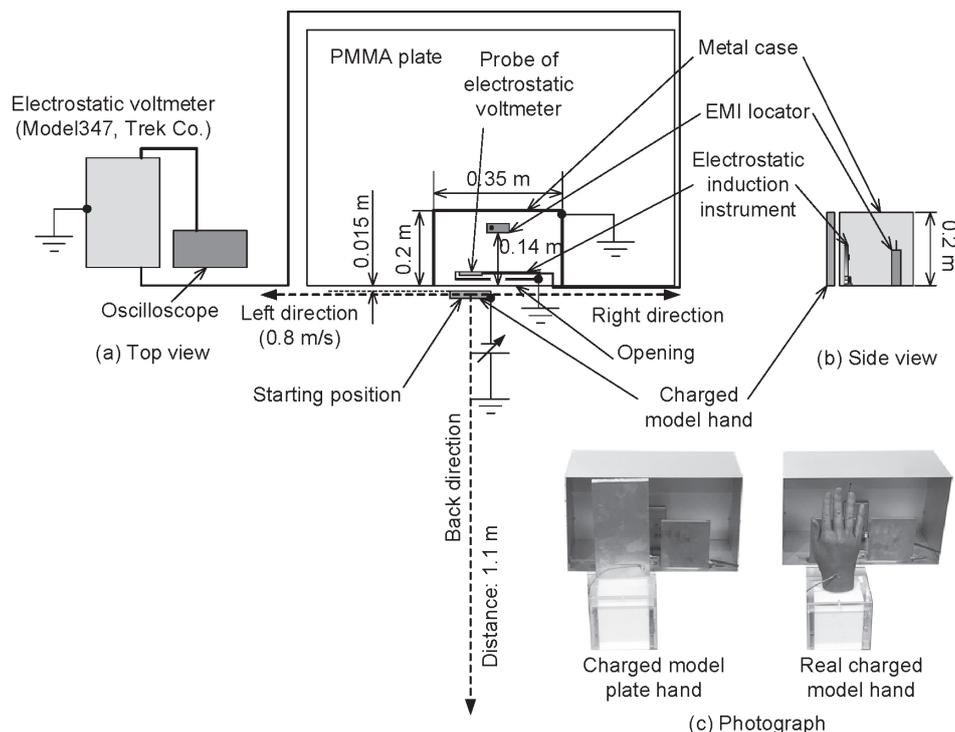


図-5 帯電した手が三方向に遠ざかる実験装置の配置

6. 帯電した手が接地された金属筐体の前から三方向に遠ざかるときの静電誘導電圧の現象

近年の電子機器は、手を近づけて操作することが多く、静電容量型のデバイスが使われていることが多い。帯電した人体は椅子から立ち上がる時に、高電圧になっていることがあり、電子機器の近くで手を動かすだけで、電子機器の金属筐体内には相当大きな静電誘導電圧が発生することになる。図-5のように、帯電した手を電子機器の金属筐体の前から左方向、右方向又は後方の三方向に遠ざけたとき、次のような静電誘導電圧¹⁵⁾が金属筐体内に発生する。実験では、人体の手と同程度の大きさの厚みをもつ表面が金属の板と、人体の左右の手を3Dプリンタで製作した表面が導電性の手のモデルを用いた。

- ①帯電した手と同じ大きさの表面が金属の板を遠ざけたとき、金属筐体内に生じる静電誘導電圧は、式(6)のように帯電物体の電圧の約-0.6倍の大きさになる。
- ②図-6のように、帯電した導電性の手のモデルを金属筐体から遠ざけたとき、金属筐体内に生じる静電誘導電圧は、式(7)のように帯電物体の電圧の約-0.3倍の大きさになる。
- ③帯電した人体の手の電圧を10kVとすると、その手を電子機器の前で動かすと、電子機器の金属筐体内

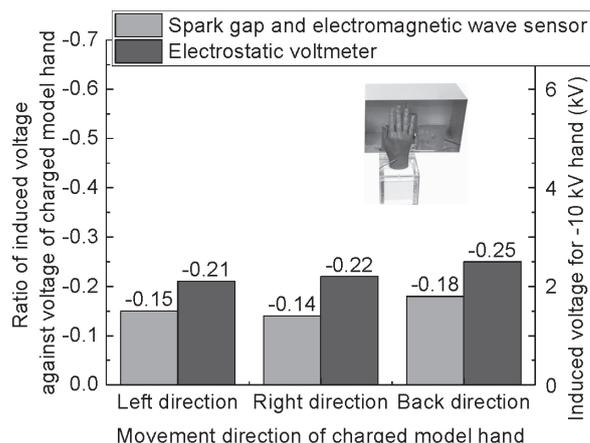


図-6 帯電した手のモデルが遠ざかるときに金属筐体内に生じる静電誘導電圧

には-3kV～-6kVの静電誘導電圧が生じる。このように高電圧に帯電した手を電子機器の前で動かすだけで、電子機器の金属筐体内には電子部品の故障や誤動作の原因となる相当高い静電誘導電圧が発生する。

帯電した表面が金属の板のとき：

$$V_{in} = -0.6V_{cv} \dots \dots \dots (6)$$

帯電した手のモデルのとき： $V_{in} = -0.3V_{cv} \dots \dots \dots (7)$

ここで、 V_{in} は金属筐体内に生じる静電誘導電圧(V)、 V_{cv} は帯電した手を模した導体の電圧(V)を表す。

7. 静電誘導電圧が原因で起こる電子機器の誤動作や故障の防止

静電気が原因で起こる電子機器の誤動作や故障の問題は、今後ますます重要な問題といえる。静電気が原因で起こる電子機器の誤動作や故障の防止を検討するには、実験で得られた成果から防止対策の検討を行うことが必要になる。帯電した人体が椅子から立ち上がり、トイレに入ったり、部屋から出たりするとき、帯電した人体の電圧は相当高くなっている。その帯電した物体が電子機器から遠ざかると、電子機器の金属筐体内には相当大きな静電誘導電圧が発生し、その静電誘導電圧が原因で電子機器が誤動作や故障を引き起こす。帯電した人体の帯電物体が遠ざかるときの電子機器の誤動作や故障を防止するには、次のような防止対策が考えられる。

(1) 非接地の金属筐体のとき

- ①二つの電子機器の非接地の金属筐体を並べて置いたとき、各金属筐体の静電エネルギーは、金属筐体間の距離が1cmのときより、1m程度の間隔にした方が小さくなる。
- ②電子機器の金属筐体の奥行きは、静電誘導電圧の大きさにそれほど影響しないため、任意の長さでよい。
- ③金属筐体内で放電が起こると、金属筐体内に正極性と負極性の静電誘導電圧が生じることを想定して対策を講じる。

(2) 接地した金属筐体のとき

- ①接地した二つの電子機器の金属筐体を並べて置いたとき、金属筐体内に生じる静電誘導電圧を5V以下にするには、その前から遠ざかる人体の帯電電圧は9V以下にする。
- ②二つの電子機器の金属筐体内に生じる静電誘導電圧は、金属筐体間の間隔には依存しない。
- ③二つの電子機器の金属筐体内には、上の非接地の金属筐体のときと同様に、金属筐体内で放電が起こると、正極性と負極性の静電誘導電圧が生じることを想定して対策を講じる。
- ④帯電した手を電子機器に1.5cmまで近づけると、電子機器の金属筐体内に静電誘導電圧が発生するため、人体の電圧を8V以下にしないと、金属筐体内に5V程度の電圧が発生する。

8. おわりに

本研究成果が帯電物体の移動が原因で起こる電子機器

の誤動作や故障の防止に役立つことを期待したい。

参考文献

- 1) Takayoshi Ohtsu, Yuma Nagao, Ryuji Ohsawa. "Analysis of Malfunction of Robot by ESD using Optical Electric Field Sensor." J Biomed Syst Emerg Technol SI(2021) : 001.
- 2) Yasuhiro Tanaka*, Kimio Hijikata and Hiroaki Miyake. "Estimation of Insulating Materials for Semiconductor Power Device using DC Current Integrated Charge Measurement." J Biomed Syst Emerg Technol SI(2021) : 002.
- 3) Shinobu Ishigami, Ken Kawamata. "Measurement Technique and Antenna/Sensor for Transient Electromagnetic Fields Caused by Electrostatic Discharge." J Biomed Syst Emerg Technol SI(2021) : 003.
- 4) Takashi Tsuchida, Keisuke Izumi, Ken Masamune, Ryosaku Kaji, Takaharu Kawase and Yoshinao Ohkawa. "Avoiding Electromagnetic Interference in Advanced Medical and Welfare Facilities." J Biomed Syst Emerg Technol SI (2021) : 004.
- 5) Norimitsu Ichikawa and Satoshi Sakaue. "Epidemiology of Rate of Fatality Due to Electric Shock, 2015-2017." J Biomed Syst Emerg Technol SI(2021) : 005.
- 6) Jaroslav Kristof, Marius Blajan, Ryo Yokoyama, Fariha Mustafa, Ahmad Guji Yahaya and Kazuo Shimizu. "Transdermal Drug Delivery of Adenosine by Microplasma with Iontophoresis and DMSO." J Biomed Syst Emerg Technol SI(2021) : 006.
- 7) Hironobu Yonemori, Natsumi Tsuguta. "Acoustic Noise of IH Cooker Caused by the Power Supply Noise." J Biomed Syst Emerg Technol SI(2021) : 007.
- 8) Takeji Toyoda. "The Network Structure of BEMS and Cyber security." J Biomed Syst Emerg Technol SI(2021) : 008.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) Norimitsu Ichikawa, "Measurement of electrostatically induced voltages in two metal boxes using spark gaps and electromagnetic wave sensors," Journal of Electrostatics, Vol.94(2018), pp.67~72.
- 12) Norimitsu Ichikawa, Kota Usuki and Fumiya Hatanaka, "Electrostatically induced voltage in two metal cases when a charged object moves away from and passes by cases," J Biomed Syst Emerg Technol(2019) :6:1, 1000125, pp.1~8.
- 13) 市川紀充, 茂木優明：「帯電物体が遠ざかるときに非接地金属筐体および筐体内に生じる静電誘導電圧」, 電気学会論文誌D, Vol.140, No.10(2020), pp.724~730.(英訳推薦論文) Norimitsu Ichikawa, Masaaki Mogi, "Electrostatically induced voltage generated in ungrounded metal boxes and on a metal box when a charged body moves away from the box," Electr Eng Jpn., Vol.214, No.2, e23314, pp.1~8.
- 14) 市川紀充, 山下格幸：「帯電物体が体積(奥行き)の異なる非接地の金属筐体から遠ざかるときに生じる静電誘導電圧」, Vol.140, No.10(2020), pp.731~737.
- 15) Norimitsu Ichikawa, Hiroki Kimura, Nicholas G.Paulter and Petru Notingher, "Electrostatically induced voltage in metal box when charged object like hand moves away from the box to three directions," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.57, No.5(2021), pp.5382-5388.