

帯放電に伴うノイズ伝搬とその影響

木之田博¹, 二木康徳¹, 佐々木雄一¹, 中本藤之¹,
趙孟佑², 豊田和弘²

¹ 三菱電機株式会社, ² 九州工業大学

三菱電機株式会社

© Mitsubishi Electric Corporation

1. 目的及び背景

軌道上で、RF用スイッチが切替わる異常事象が発生(切替えコマンド未発行時)。

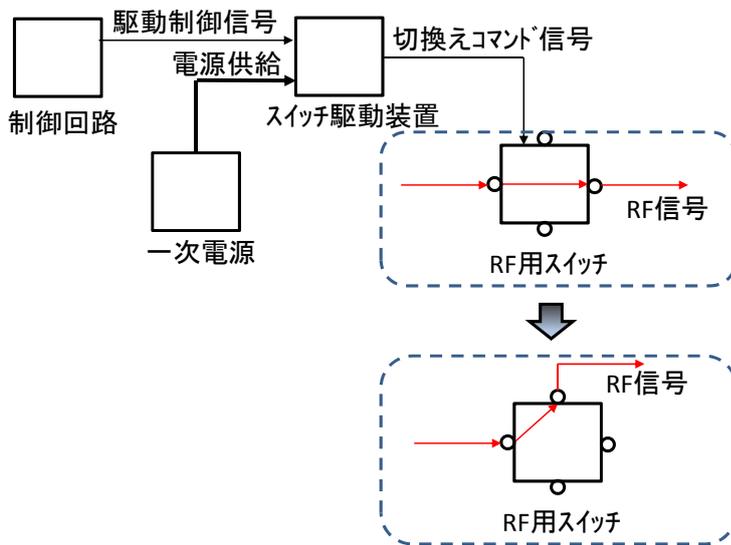
本事象発生原因を調査した結果、RF用スイッチに切替えコマンドを送付する機器の一次電源RTNラインにノイズが乗り、RF用スイッチが切替ったことが判明。

機器一次電源RTNライン(ハーネス)のノイズ重畳要因として、帯放電の可能性が挙げられた。帯放電によるノイズ重畳の可能性(メカニズム)について、実験を基に確認した結果について述べる。



2.異常事象

意図しないRF用スイッチのポジション切換えが発生。
RF信号の経路が変わった。



© Mitsubishi Electric Corporation



3.原因調査

<RF用スイッチが誤動作する原因>

誤動作原因	調査結果
RFスイッチ自体の誤動作	× メカニカルスイッチ構造であり、ノイズ等で誤動作しない
スイッチ駆動装置の誤動作	○ 一次電源RTNラインにノイズが乗ると誤動作する
制御回路の誤動作	× 2つのICが正常動作しないと制御コマンドは発行されない

(注)誤動作することに関しては、機器側で別途検証済み

<一次電源RTNライン(ハーネス)にノイズが乗る原因>

原因	調査結果
一次電源の変動	× 他機器では誤動作や異常動作していない
ハーネスにノイズが乗る	○ 宇宙環境(帯放電)によるノイズ重畳の可能性はある

© Mitsubishi Electric Corporation

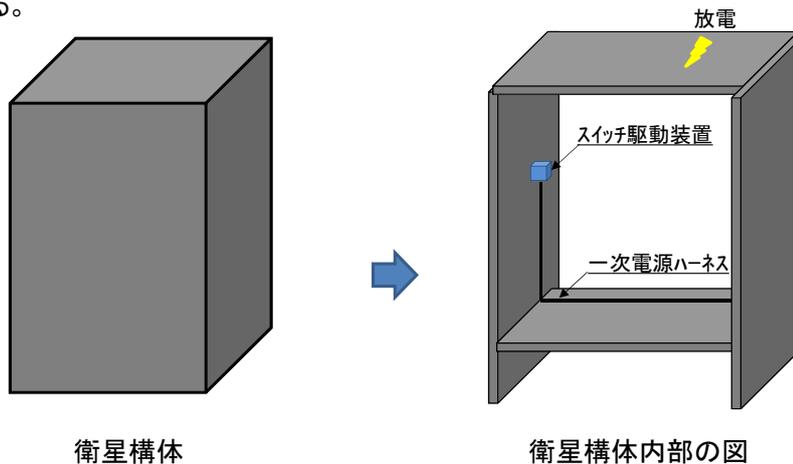
4. 帯電・放電部位とスイッチ駆動装置用一次電源ハーネスへの実装位置

●帯電・放電部位の調査

GOES電子線モニタによる電子線被曝量と帯電特性より、衛星構体外(MLIで覆われた部位)に実装した部材と推定

●スイッチ駆動装置に供給する一次電源ライン(ハーネス)の実装位置

スイッチ駆動装置及び一次電源ハーネスは構体内にある。また、実装位置が放電部(パネル)と異なる。



5. 検証

放電箇所(パネル)は、誤動作したスイッチ駆動装置の搭載位置(パネル)とは異なる。

- ・放電した時の電荷が、直接スイッチ駆動装置には入らない
- ・放電位置とスイッチ駆動装置搭載位置間は離れており、ノイズの伝搬によるものと推定



実験

次の3実験を行い、放電ノイズの伝搬や特性、ハーネスへのノイズ重畳状況を確認した。

実験1: 放電ノイズがパネル間を伝搬することを検証

実験2: 放電ノイズ特性の確認

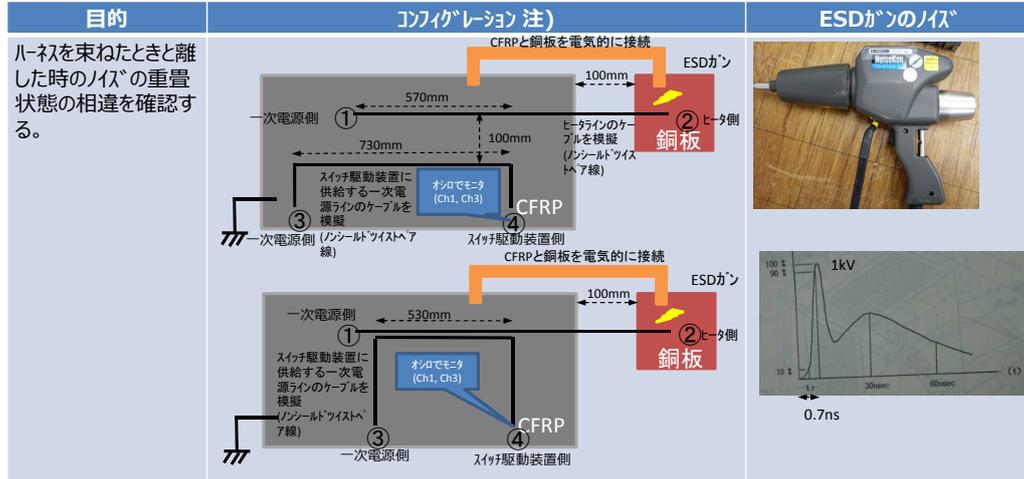
放電部位近くに接地点(GND)があっても放電ノイズが周囲に伝搬するかを検証
(「高周波ノイズの伝搬」もあるならば、近くにGNDがあってもパネル上を伝搬すると想定)

実験3: 放電位置により、ハーネスへのノイズ重畳レベルに差異があるかを確認



実験1:放電ノイズがパネル間を伝搬することを検証

パネル間のノイズ伝搬状況を、CFRPと銅板を用いて確認した。あわせて、ハーネスを束ねたときの影響も確認した。



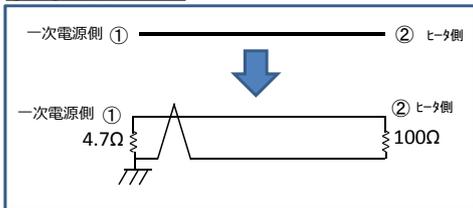
ESDガンの条件: 1kV, 150pF, 330Ω



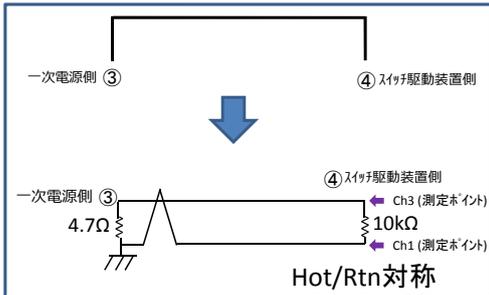
注)

- ①と②の間のハーネス、及び③と④の間のハーネスは、ノンシールドのツイストペア線を指す。
- ①,②,③,④の各々のハーネス端(Hot/Rtn間)に挿入した抵抗は、機器の負荷を想定している。
- ①,③: 一次電源装置の負荷抵抗を想定, ②: ヒータを想定, ④: スイッチ駆動装置の負荷抵抗を想定

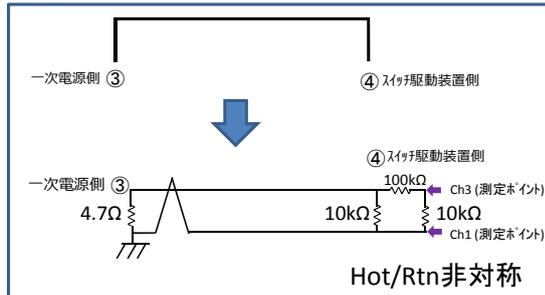
①と②の間のハーネス



③と④の間のハーネス



③と④の間のハーネス



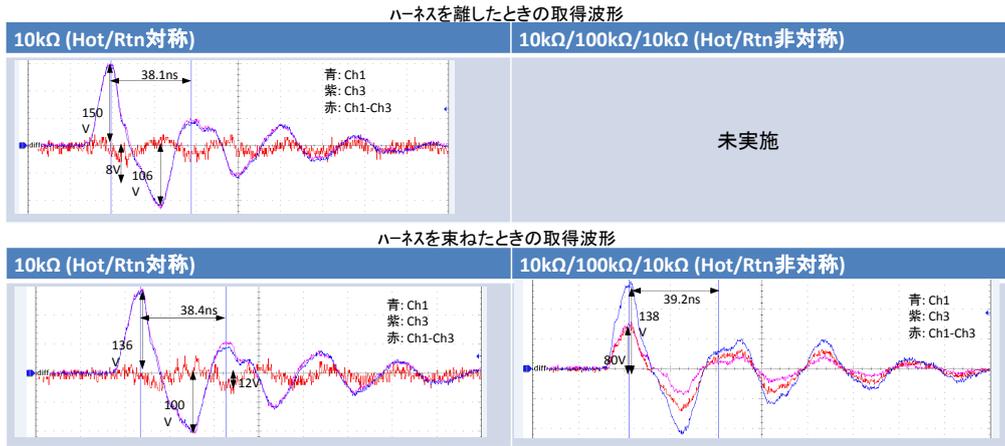


実験1: パネル間の伝搬評価試験

結果

- ・パネル上にESDノイズが発生すると、ハーネス(ノンシールドツイストペアケーブル)にノイズが重畳する。第一波で大きなノイズ(電位)が重畳し、徐々にノイズ(電位)は減衰する。
- ・ESDノイズは、パネル上及びパネル間で伝搬する可能性が十分考えられる。
- ・ハーネスを束ねた時と離れた時のノイズ伝搬に大きな差異はない
- ・負荷側のインピーダンスがHot/Rtn対称の場合Hot/Rtn間で電位差は発生せず、Hot/Rtn非対称の場合電位差が発生する。

以上の試験結果より、放電ノイズはパネル間を伝搬すると共に、パネル上に引き回されたハーネスはノイズ重畳すると言える。

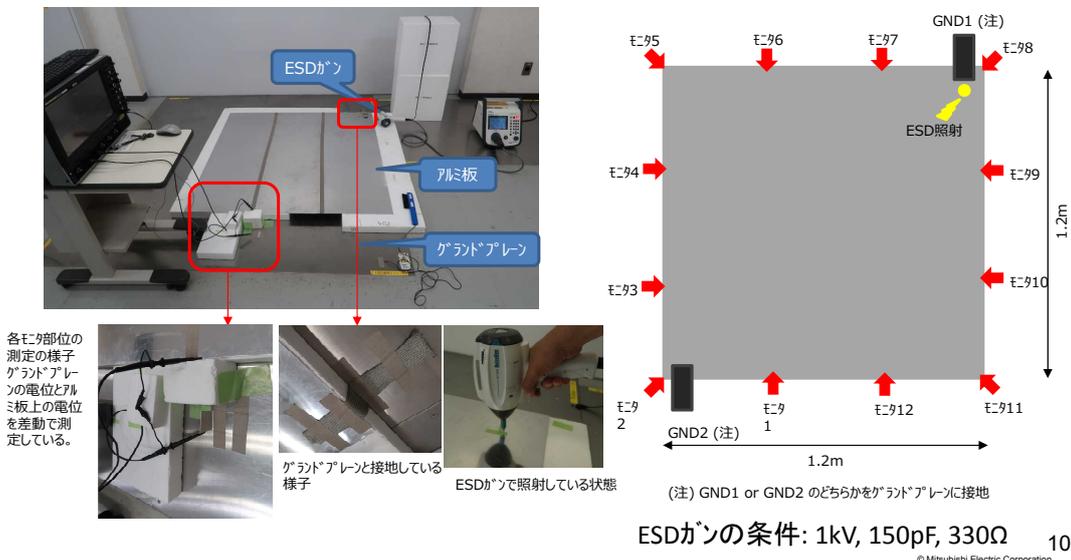


9



実験2: 放電ノイズ特性の確認 ~ 放電部位近くに接地点(GND)があっても放電ノイズが周囲に伝搬するかを検証~

アルミ板上に、放電ノイズが伝搬する状況を確認するため、アルミ板上に12か所のモニタ点を取り、放電ノイズの分布を試験により確認した。各モニタ点で測定した放電ノイズ(電位)はグラウンドプレーンからの電位差である。



10



実験2:パネル間の伝搬評価試験

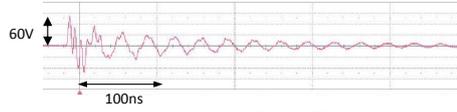
試験結果

GND1のケース

モータケース	モータ電圧 (p-p)
モータ1	102V
モータ2	93.2V
モータ3	95.1V
モータ4	57.1V
モータ5	67.5V
モータ6	81.7V
モータ7	66.2V
モータ8	61.3V
モータ9	80.3V
モータ10	63.9V
モータ11	69.9V
モータ12	76.8V

GND2のケース

モータケース	モータ電圧 (p-p)
モータ1	139.5V
モータ2	53.7V
モータ3	140.3V
モータ4	159.9V
モータ5	138.7V
モータ6	119.5V
モータ7	182.8V
モータ8	211V
モータ9	149V
モータ10	100.9V
モータ11	150.1V
モータ12	160.7V



GND1/モータ1の測定結果

- ・ESDノイズは、直流若しくは低周波ノイズはグラウンドに落ちるものの、高周波ノイズはパルスを伝搬する。
- ・ESD発生部位から1m程度離れていてもノイズが伝搬する。

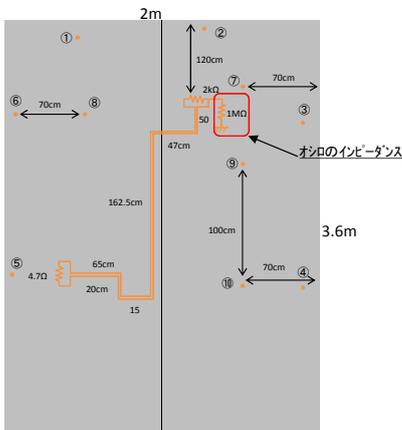
以上より、放電ノイズは高周波成分のノイズがパルスを伝搬すると言える。



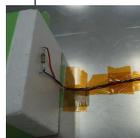
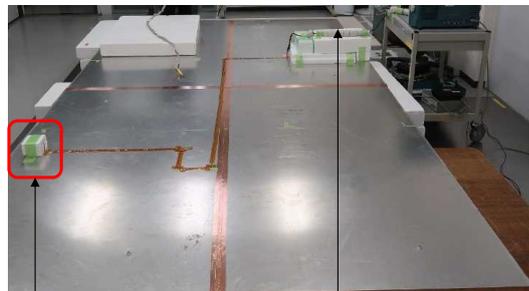
実験3:放電位置により、ハーネスへのノイズ重畳レベルに差異があるかを確認

パネル上にハーネスを引き回し、ハーネスへのノイズ重畳状態を放電位置毎に確認した。

試験コンフィグレーション



①～⑩ アルミ板上にESDガンが直接照射したポイント



一次電源の負荷を模擬

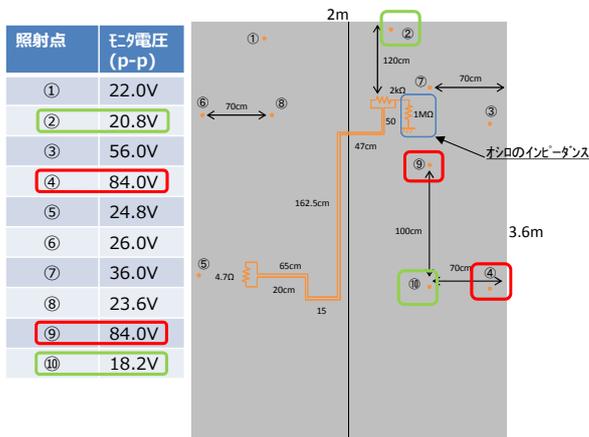


以下2点をモータ
・スイッチ駆動装置の一次電源RTNライン
・アルミ板上(構体パル)

ESDガンの条件: 1kV, 150pF, 330Ω

実験3:放電位置により、ハーネスへのノイズ重畳レベルに差異があるかを確認

試験結果



- ・放電位置により、ハーネスへのノイズ重畳レベルに差異有り。
- ・放電位置近くにモニタ点があると、ノイズ重畳レベルが高くなるわけではない。
- ・放電位置近くにハーネスがあると、ノイズ重畳レベルが高くなるわけではない。

以上より、放電位置によりハーネスへのノイズ重畳が異なり、必ずしも放電近くにハーネスやモニタ点が無くても放電ノイズ(電位)が高くなる。

①～⑩ アルミ板上にESDガンで直接照射したポイント

6. 実験を基に確認した結果(まとめ)

パネル上に放電したノイズが、異なるパネルに実装されている機器に影響するかについて確認した。ESDガンを用いて実験した結果、次のことが言える。

- パネル間で放電ノイズは伝搬する
- 伝搬する放電ノイズは高周波ノイズである
- パネル上の伝搬距離が1mあっても、ノイズ伝搬する

なお、放電からの伝搬距離により、放電ノイズ(電位)は異なる。放電位置から離れていても、ノイズ(電位)が高い場合がある

- パネル上にハーネスが引き回されていると、ハーネスに放電ノイズが重畳する

なお、放電位置により、ハーネスに重畳するノイズ(電位)は異なる。ハーネス近くで放電しなくてもノイズ(電位)が高い場合がある

7.まとめ

パネル上に放電すると、放電時のノイズがパネル上を伝搬する。また、パネル上に引き回される一次電源RTNハーネスにノイズ重畳する。

本結果より、放電が起きることで、離れたパネル上に搭載された機器の一次電源RTNラインにノイズが混入する可能性はあると言える。

ただし、パネル上の伝搬特性やハーネスのノイズ重畳が、機器の入ラインピーダンス、パネル表皮の素材(CFRP or アルミ)、パネル端部とハーネスの位置関係(反射の影響)、ケーブル長による共振周波数の変化等で影響する可能性は考えられ、本ノイズ重畳状況(メカニズム)は確認できていない。

今後、ノイズ伝搬特性やハーネスへのノイズ重畳特性について確認していく。