

第12回 宇宙環境シンポジウム 人工衛星のシステム帯放電設計と 材料の帯放電試験

○福田康博、木之田博、松田涼太(三菱電機)
藤井治久(奈良高専)

第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)

三菱電機株式会社

©2015 Mitsubishi Electric Corporation



システム帯放電リスク



- 宇宙は帯放電を起こしやすい環境(主に高エネルギー電子)
- 軌道上で発生する異常事象のうち半数はESDによるとの統計あり
- 実績有る衛星バス(部品、材料選定含む)を使用することが前提だが、競争力強化(高機能化&軽量化)のため絶えず開発が必要。
開発による変更(新規部材採用) ⇒ 帯放電リスク

＜外部帯電・放電＞

- ★SAP発生電力低下
- ★外部センサ故障
- ★内部機器へのノイズ回り込みによる内部機器故障

＜内部帯電・放電＞

- ★機器内部の浮遊金属の放電による故障



オーロラ電子
キラ電子

①帯放電設計指針に基づく衛星システム設計と、②地上における使用材料の十分な評価が必須

【本日の発表】

- ①衛星システム設計方針例
- ②材料評価例(衛星製造メーカーとして)

第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)

©2015 Mitsubishi Electric Corporation

①設計方針例 (衛星システム設計の考え方)

- 放電しても問題ない設計 < 放電しない設計
⇒ 可能な限り放電が発生しない設計がベター
(顧客はサービス断を嫌う。想定環境がワーストとは限らない。)
- 客先要求
⇒ 公的規格(NASA、ESA等)をベースに設定されている場合が多い
- 設計標準化
⇒ 基本的には厳しい要求側に合わせて標準化

これらの要求・指針に基づき、設計方針を決定

①設計方針例 (大方針)

(1) 浮遊導体は接地する

放電の原因となる浮遊金属(導体)は接地する。またコネクタ内の未使用ピンについても放電時の影響が大きいと考えられることから接地する。

(2) 帯電・放電しにくい実績材料を使用する

帯電/放電しにくいもしくは放電時の影響が小さいことが確認されている実績材料(ポリイミド、Spec55線など)を使用する。



①設計方針例 (大方針)



(3) 太陽電池パドルは持続放電を避ける設計とする

太陽電池パドルはカバーガラスのため帯電/放電が発生する。セル配置ルールなど実装方法の工夫によりトリガー放電が発生しても持続放電に繋がらない設計とする。

(4) 外部ハーネスは最小化してシールドする

衛星構体外部(ファラデーケージ外)で使用するハーネスは可能な限り最小化する。また外部の信号線は全てシールドし、構体内への導入口で確実にシールドを接地して放電電磁波の流入を防ぐ。



①設計方針例 (大方針)



(5) 新規材料の採用では帯放電評価を必須とする

帯放電特性(体積抵抗値、2次電子放出等)は材料スペックシートには記載が無い場合、試験による取得が必要。



帯放電特性 材料評価フロー

②材料の帯放電評価例 (衛星製造メーカーとして)

- 公的機関、研究機関などで取得頂いているデータ
 - ・ 衛星外部に使用する「材料単体」の詳細な帯放電特性
 - ・ 観点⇒帯電/放電のリスクの有無

- 衛星製造メーカーが必要とするデータ
 - ・ 上記に加えて・・・適用条件を考慮した評価
 - ・ 適用方法によって帯電/放電リスクを下げる方法の検討
 - ・ 接地用途に使用できる材料の帯放電特性
 - ・ 衛星内部で使用する材料(絶縁材等)の帯放電特性

衛星製造メーカーとして実施した材料評価例を紹介

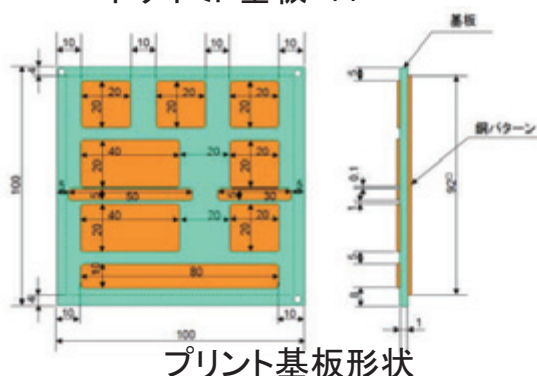
- ②-1: コーティング材料のリーク特性評価(接地用途としての評価)
- ②-2: 熱制御材料の帯放電評価(リスク低減手法の評価)

第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)

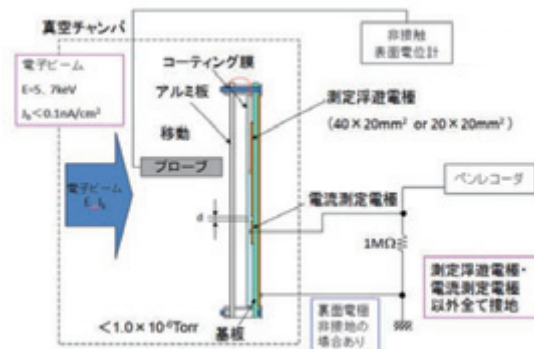
©2015 Mitsubishi Electric Corporation 7

実験試料

- コーティング材料
 - ✓ ポリウレタン系 2種類 (材料A、材料B)
 - ✓ ポリパラキシレン系 1種類 (材料C)
- プリント基板
 - ✓ ガラスエポキシ基板 FR-4
 - ✓ ポリイミド基板 PI



プリント基板形状
(任意の2対の電極間のリークを測定)



試験コンフィギュレーション

第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)

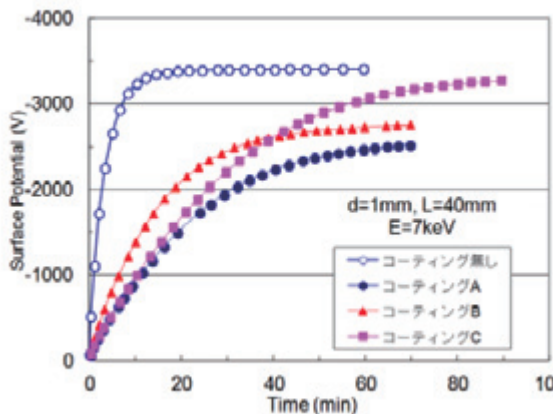
©2015 Mitsubishi Electric Corporation 8



コーティング材塗布の効果

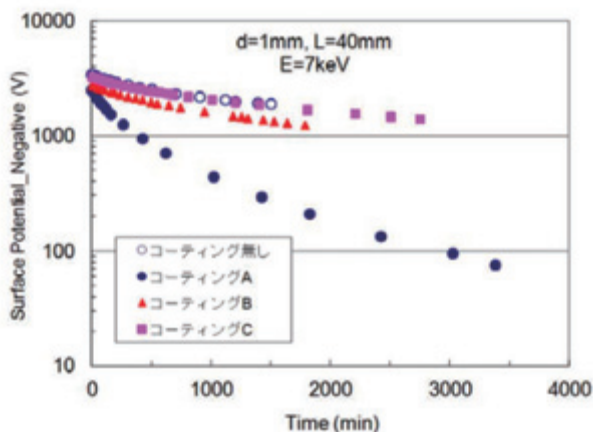


□ ガラスエポキシ基板 (A/B/Cコーティング塗布)



帯電特性

E=7keV、Jb<0.1nA/cm2



電位減衰特性

E=7keV、Jb<0.1nA/cm2

特にコーティングAの場合の電位減衰特性が良い

第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)

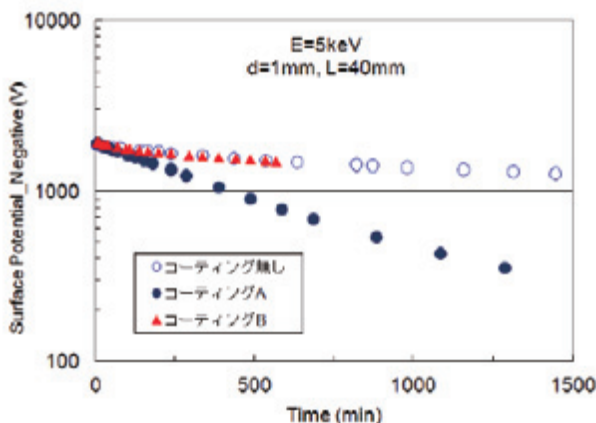


コーティング材塗布の効果



□ ポリイミド基板 (A/Bコーティング塗布)

特にコーティングAの場合の電位減衰特性が良い



電位減衰特性

E=5keV、Jb<0.1nA/cm2

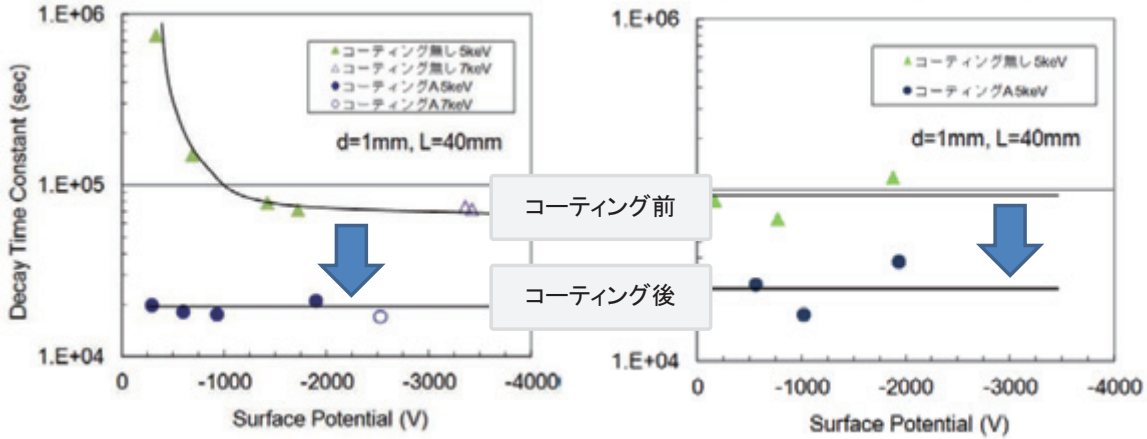
第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)



コーティング材塗布の効果



□ リーク時定数の帯電電位依存性



ガラスエポキシ基板

ポリイミド基板

コーティングの塗布によりリーク時定数が減少
(=リークしやすくなっている)

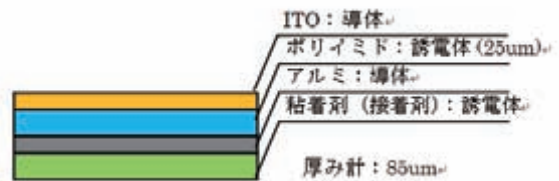
第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)



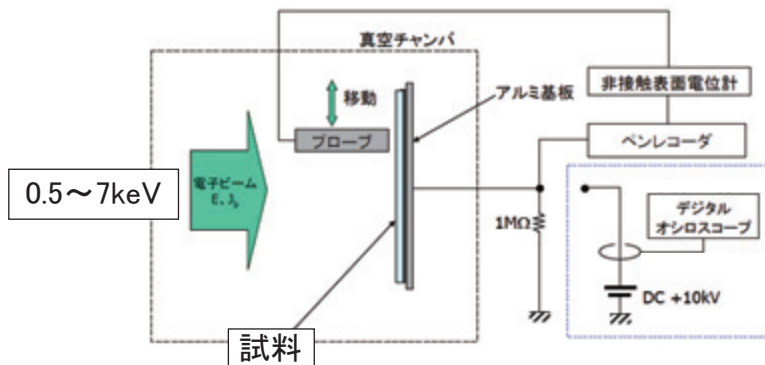
材料評価例 - 熱制御テープ -



- 評価対象: 熱制御テープ(右図)
ポリイミド材料A,B2種類
(体積抵抗値が異なる)
- 用途: 極小部位への実装
(熱光学特性確保)
- 評価目的: 放電リスク(放電しきい値)の確認、及びその低減方法検証



材料断面



実験系概略

第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)

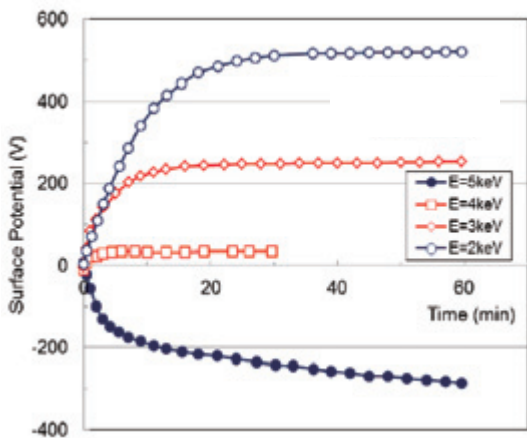


熱制御テープ 帯放電特性

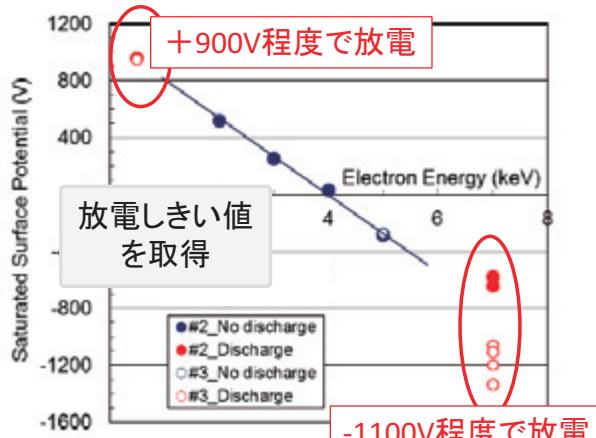


試料A

1枚のみ貼付けの特性



電位時間推移 (E=2~5keV)



飽和電位 (E=0.5~5keV)

第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)

13

©2015 Mitsubishi Electric Corporation



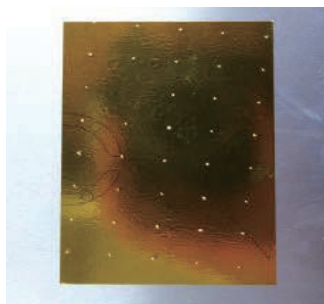
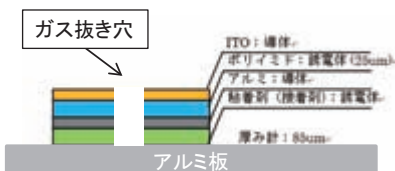
熱制御テープ 帯放電特性



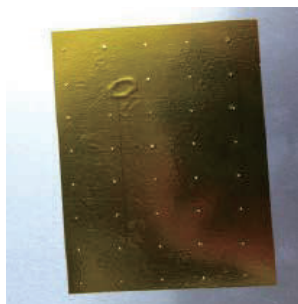
試料B

試料Aとの違い

- ポリイミド材料の体積抵抗値が異なる (層構成は同一)
- 粘着剤のガス抜き穴を追加 (方式1、方式2の2通り)



方式1



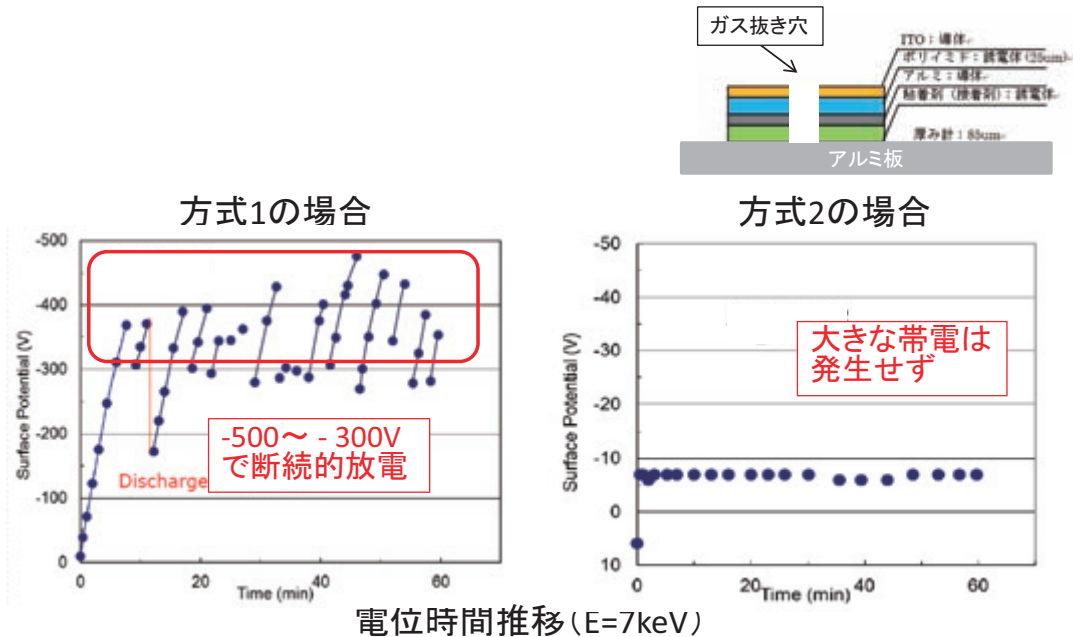
方式2

第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)

14

©2015 Mitsubishi Electric Corporation

熱制御テープ 帯放電特性



方式2に電位抑制効果があることが確認された
⇒ 今後、表面状態等を確認予定。

まとめ

- (1) 高信頼性衛星における衛星システムの帯放電設計の考え方／設計方針例について紹介、提案した。
- (2) 軌道上での帯放電による影響は非常に大きいことから、新規材料の採用のためには、帯放電試験による特性取得は必須。
- (3) 材料評価の例を示した(以下)。衛星メーカーとしては適用を考慮した評価を必要としている。
 - ・熱制御テープの放電しきい値を取得した。適用時に簡易な加工を施すことで放電が抑制できることを確認。
 - ・接地用材料としてのコーティング材(3種)について、適用時を考慮して基板側でのリーク特性を含めた評価を取得した。、うち1種類が接地用途に有効であることを確認。



ご静聴ありがとうございました。

第12回 宇宙環境シンポジウム
2015年11月17日(木)

©2015 Mitsubishi Electric Corporation 17