

MUSCAT用誘電率測定方法

宇宙航空研究開発機構
研究開発本部 電源グループ
大平 正道

JAXA 奥村 哲平, 高橋 真人
奈良高専 藤井晴久, AES 萩原 洋介



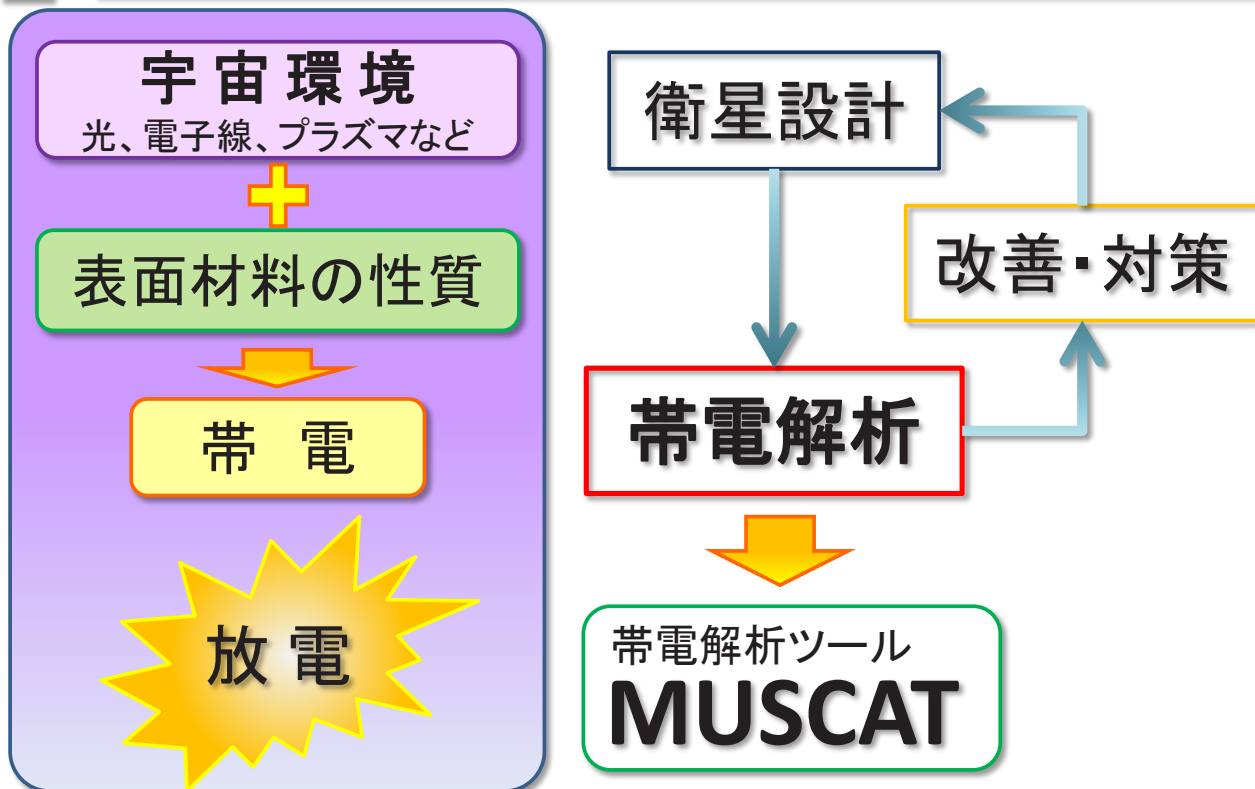
目次



- ・目的・背景
- ・帯電測定法
- ・実験による物性取得
- ・実験設備の紹介



目的・背景

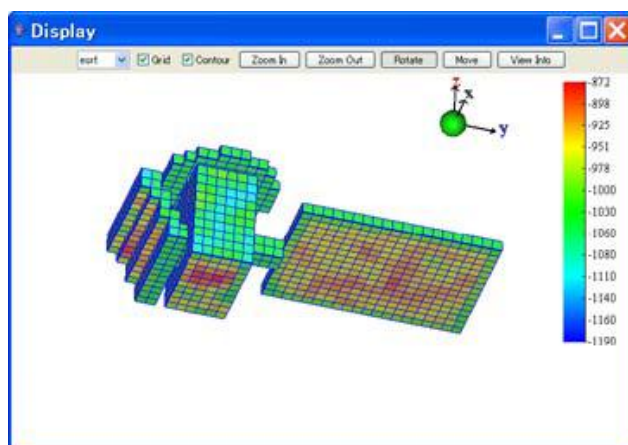


3

目的・背景 —MUSCAT—

MUSCAT 日本が独自開発した汎用衛星帯電解析ツール
(Multi-Utility Spacecraft Charging Analysis Tool)

- ・極軌道衛星、低軌道衛星、静止軌道衛星に対応
- ・3次元衛星モデル作成・計算結果可視化用
- ・扱いやすいユーザフレンドリーな仕様
- ・詳細計算でも半日程度
- ・10分程度の簡易計算



必要な物性パラメータ

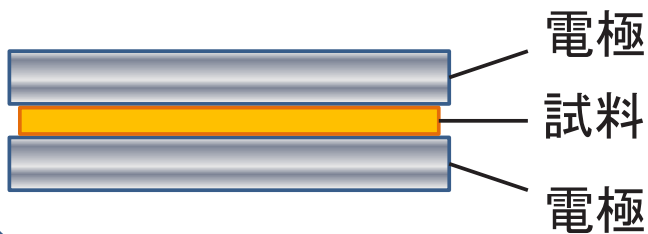
- ・二次電子放出係数
 - ・光電子電流密度
 - ・体積抵抗率
 - ・誘電率
- etc...

4



目的・背景 —計測の必要性—

一般的な誘電率測定方法



周波数を変えながら
信号を印加し、振幅・
位相データ等から算
出する。

帯電解析

宇宙空間における **$Q = CV$** の関係が欲しい



宇宙に近い環境下での測定方法の確立

帯電測定法 —計測方法—



真空チャンバ

$1.0 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 以下

裏面電極

試料

V_s 表面電位

伝導電流 I

電子ビーム
5keV

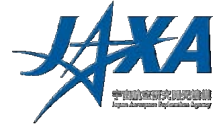
流入電流 I

+Q

-Q

⊖ 電子ビームによる蓄積電荷

⊕ カウンタチャージ



帯電測定法 —計測方法—

裏面に電極を付けた試料を真空チャンバに投入

電子線を照射し、試料を帯電させる

表面電位を計測 = V_s

カウンターチャージによる流入電流を計測

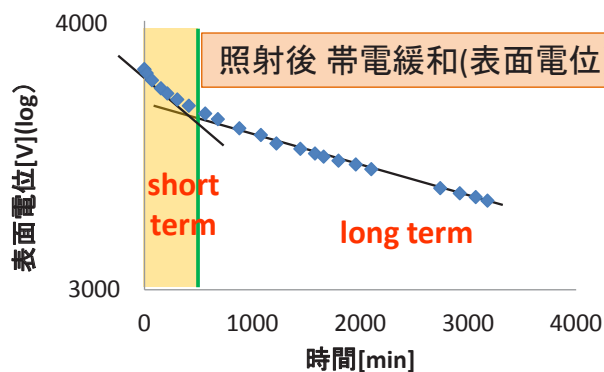
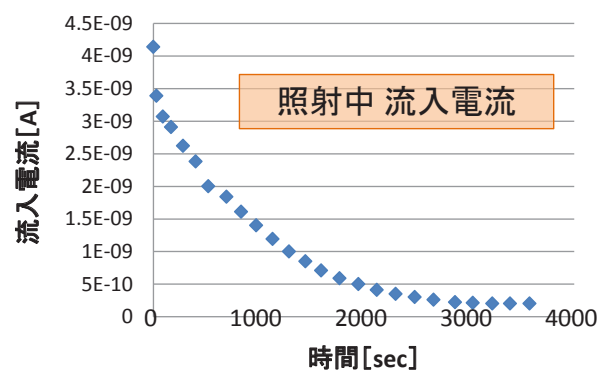
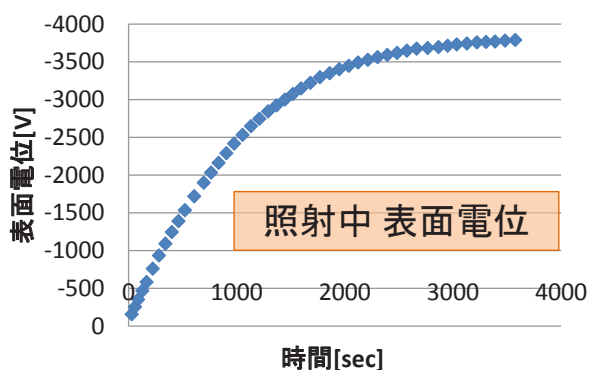
電荷蓄積法で体積抵抗率を求め
伝導電流を算出

(流入電流－伝導電流)を積分 = Q

$$Q = CV$$

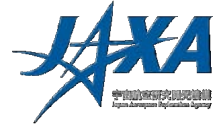
7

帯電測定法 —測定条件・結果—



帯電測定(ビーム照射条件)	
真空度	9.3×10^{-5} [Pa]
ビームエネルギー	5 [keV]
照射時間	3600 [sec] (1時間)
測定パラメータ	表面電位・流入電流
帯電緩和測定(電荷蓄積法)	
真空度	9.3×10^{-5} [Pa]
測定時間	190800 [sec] (53時間)
測定パラメータ	表面電位

8



帯電測定法 — 計算方法 —

比誘電率の算出式

$$\varepsilon_r = \frac{Q_B}{\frac{A\varepsilon_0}{d} \left\{ \Delta V + \frac{1}{\tau_d} \int V_s(t) dt \right\}} \quad \dots (1)$$

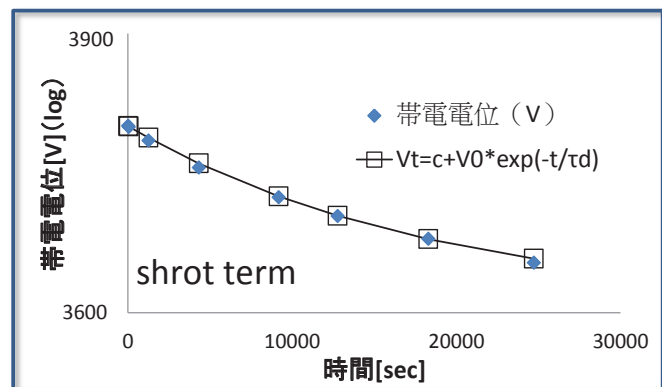
QB: バルク電荷 A: 面積 d: 試料厚 τ_d : 減衰時定数
 $V_s(t)$: 表面電位 ΔV : 照射前後の表面電位差

指数減衰モデルの近似式

$$V(t) = C + V_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_d}\right) \quad \dots (2)$$

体積抵抗率の算出式

$$\rho_v = \frac{\tau_d}{\varepsilon_r \varepsilon_0} \quad \dots (3)$$



帯電測定法 — 計算結果 —

試料	short term	long term	カタログ値
Kap(127um)	τ_d : 18000 ε_r: 3.13 ρ_v : $6.50 \times 10^{14} [\Omega m]$	τ_d : 420000 ε_r: 2.68 ρ_v : $1.77 \times 10^{16} [\Omega m]$	ε_r : 3.4 ρ_v : $1.0 \times 10^{15} [\Omega m]$
Kap(50um)	τ_d : 9000 ε_r: 3.56 ρ_v : $2.86 \times 10^{14} [\Omega m]$	τ_d : 150000 ε_r: 2.62 ρ_v : $6.45 \times 10^{15} [\Omega m]$	ε_r : 3.4 ρ_v : $1.0 \times 10^{15} [\Omega m]$
FEP(127um)	—	τ_d : 425000 ε_r: 1.87 ρ_v : $2.57 \times 10^{16} [\Omega m]$	ε_r : 2.1 ρ_v : $1.0 \times 10^{16} [\Omega m]$

実験による物性取得

表面材料の層構造を考慮した帯電解析は困難

- ・計算機にハイスペックを要求
- ・層構造の入力が非常に手間 etc...

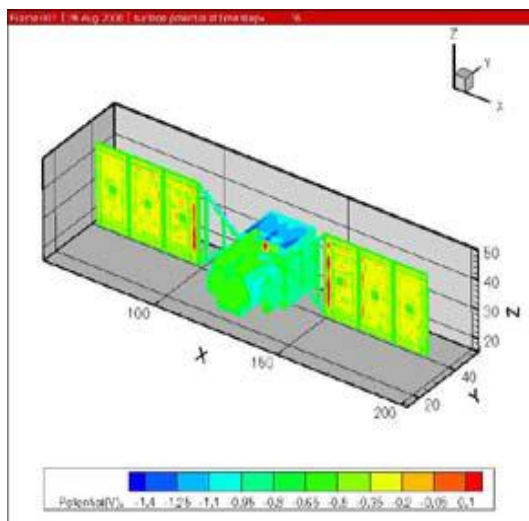


層構造の影響も含めた
パラメータを実験で取得し
データベース化してユーザに提供

- ・計算時間が短縮される
- ・入力が楽でユーザフレンドリー

ただし...

新規材料の測定要求に即応
出来る体制・設備が必要



11

実験設備

- ・シュラウドの直径1m、奥行き1.4m
- ・ 1×10^{-6} Paオーダの真空
- ・-190°C～80°Cまで温度制御可能
- ・50keVの電子銃

小型衛星やコンポーネント単位ならば
熱真空試験も出来る。



試験検証用チャンバ

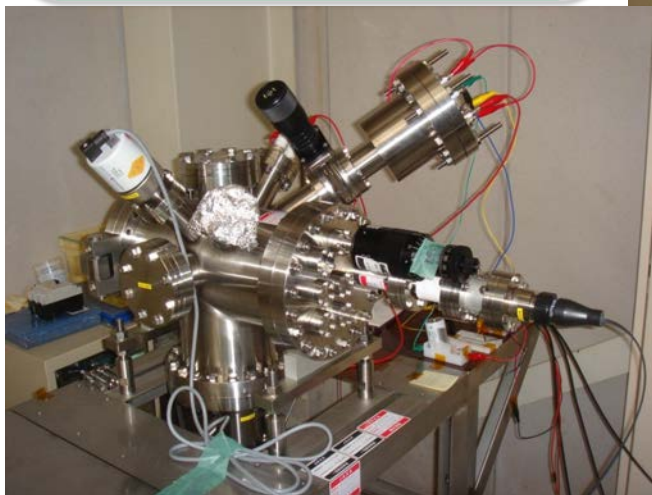
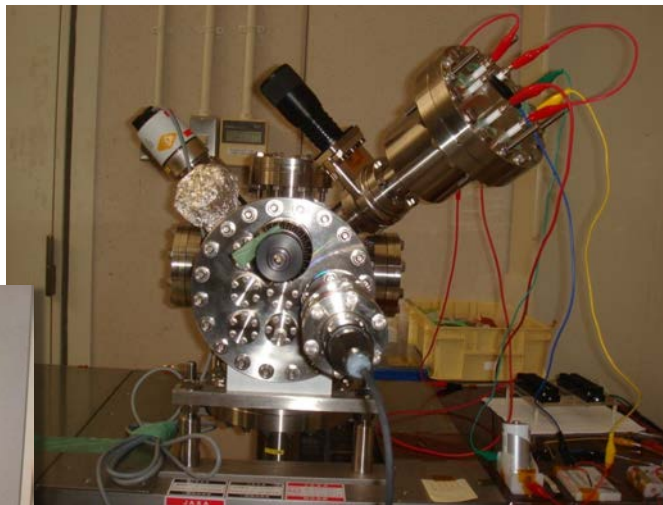
12

実験設備



- ・直径15cm、奥行き30cm
- ・ 1×10^{-5} Paオーダの真空
- ・3keVの電子銃
- ・現在構築中(FY24中に運用開始予定)

帯電物性専用のチャンバで、
測定要求に即応出来る。



帯電物性チャンバ

13

連絡先



大平正道

筑波宇宙センター 研開本部 電源G

tel: 050-3362-3970

e-mail: ohhira.masamichi@jaxa.jp

14