

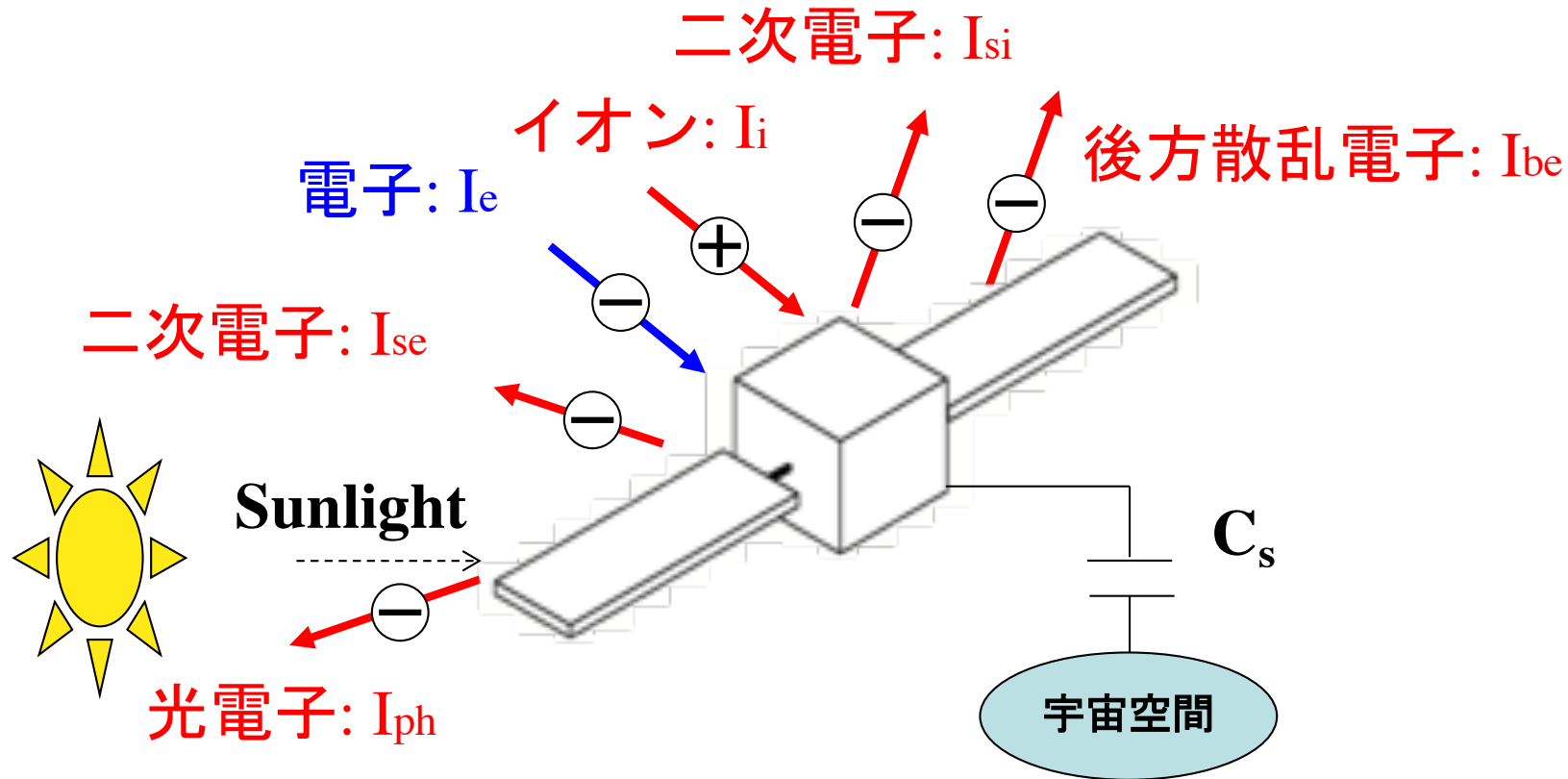
宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会

宇宙機の帯電放電：影響と対策

九州工業大学 大学院工学研究院 宇宙システム工学研究系

豊田和弘

宇宙機の流出入電流



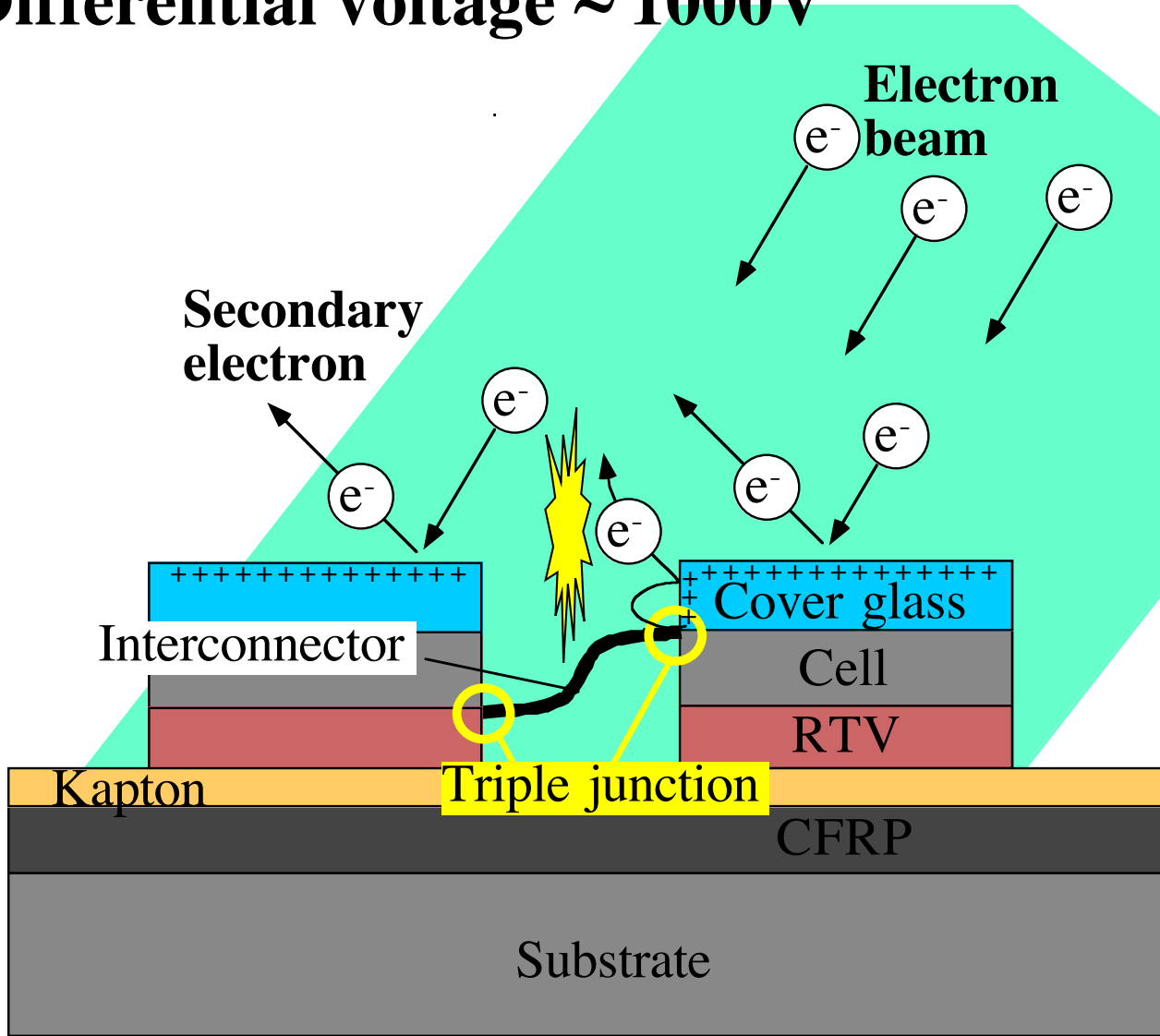
$$I_{net} = I_i + I_{se} + I_{si} + I_{be} + I_{ph} - I_e$$

宇宙空間では衛星は必ず帯電する

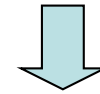
局所的に電位差が生じることで放電が発生

帯電放電原理

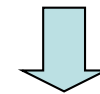
Differential voltage ~ 1000V



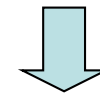
カバーガラス帯電



トリプルジャンクション
から電界電子放出

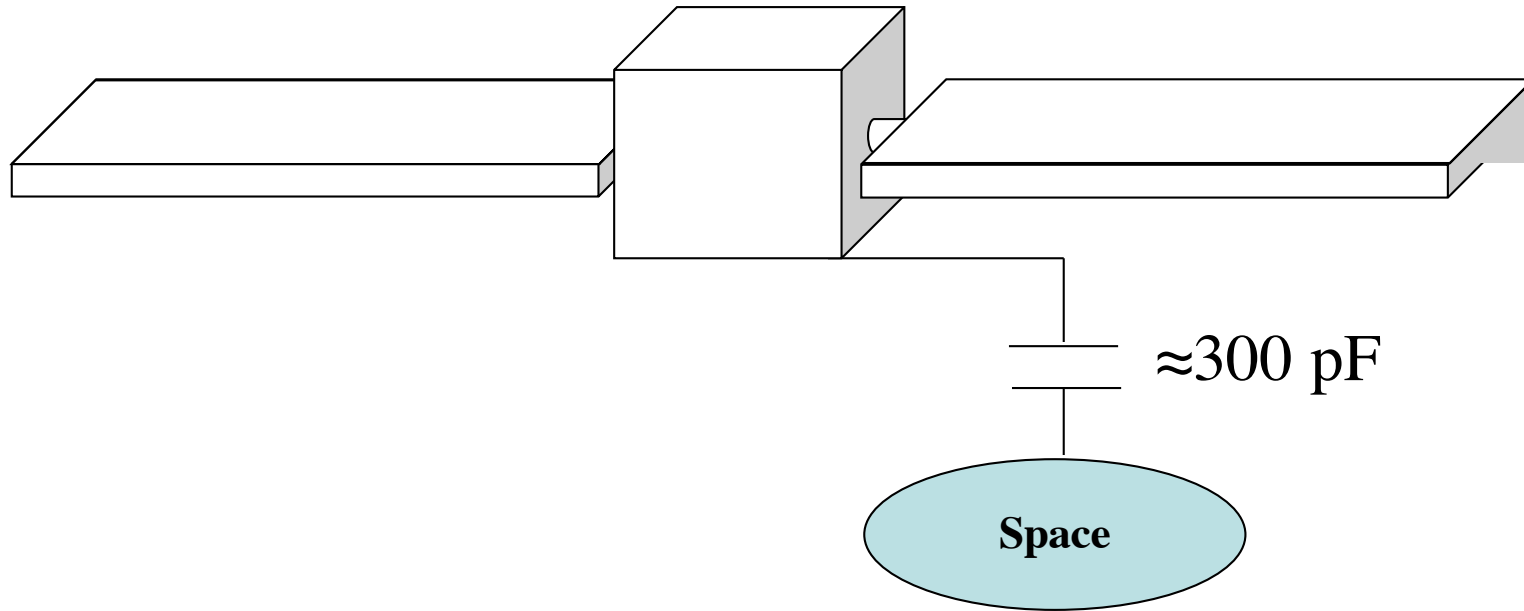


カバーガラス端面帯電

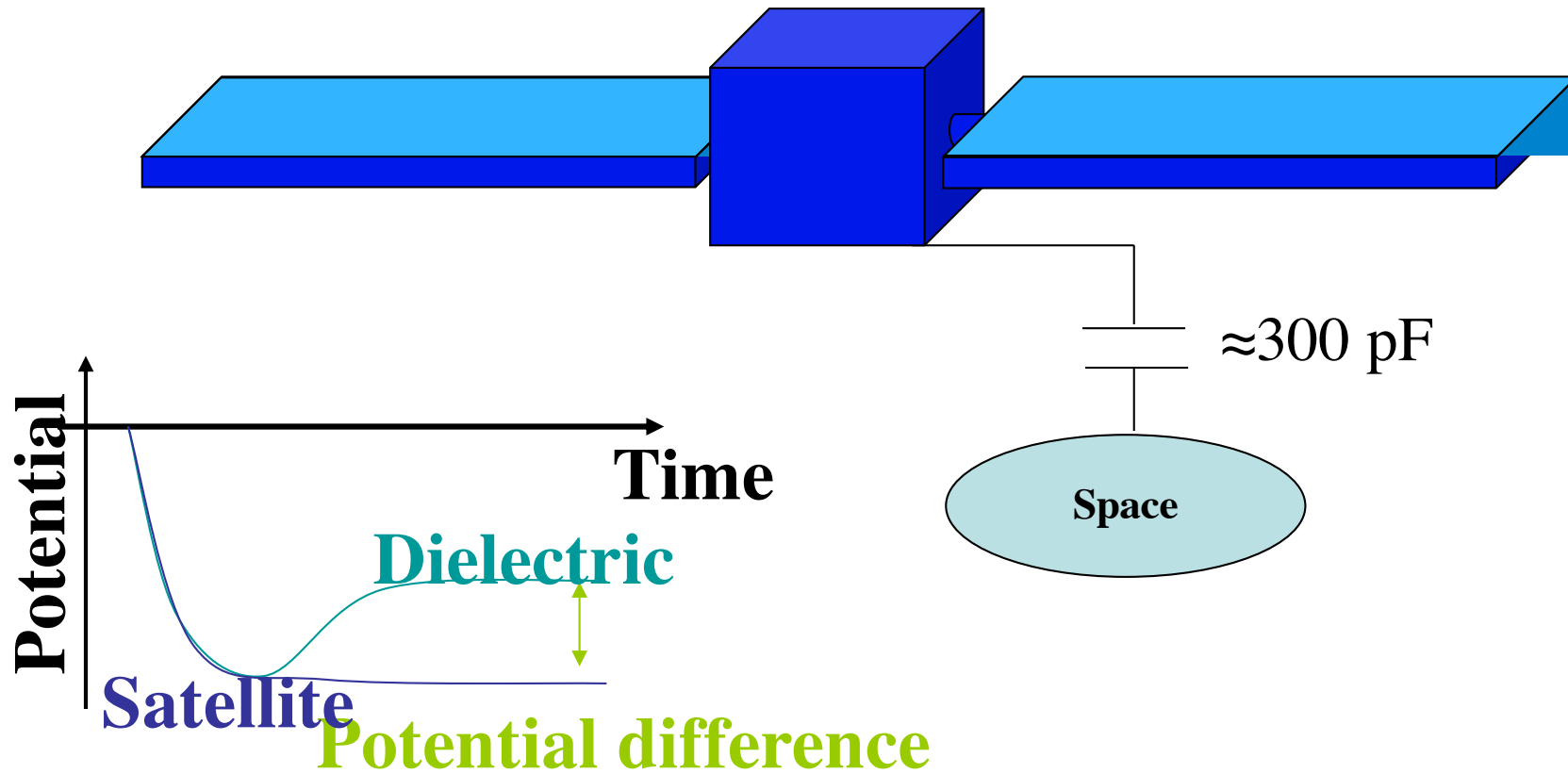


放電

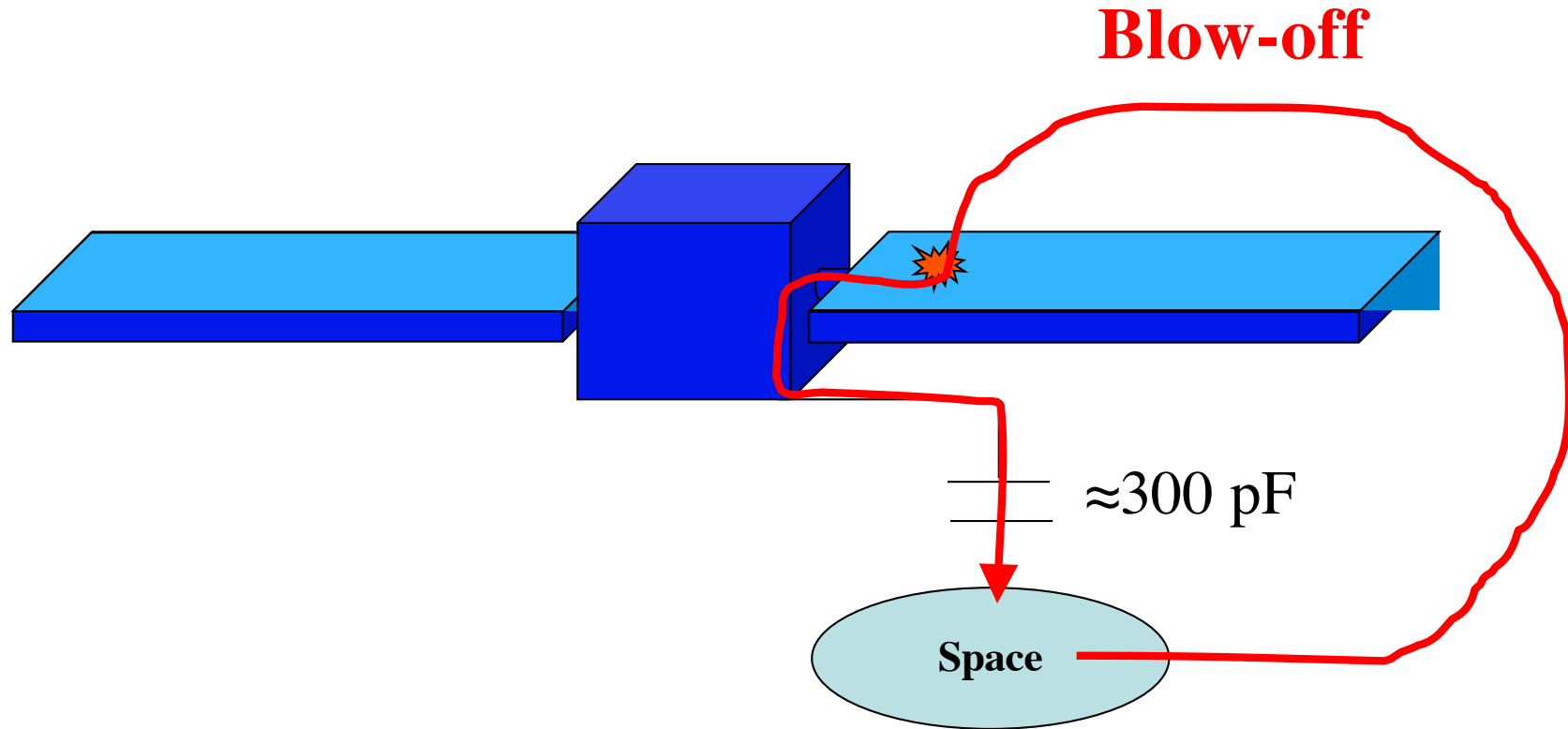
帯電前



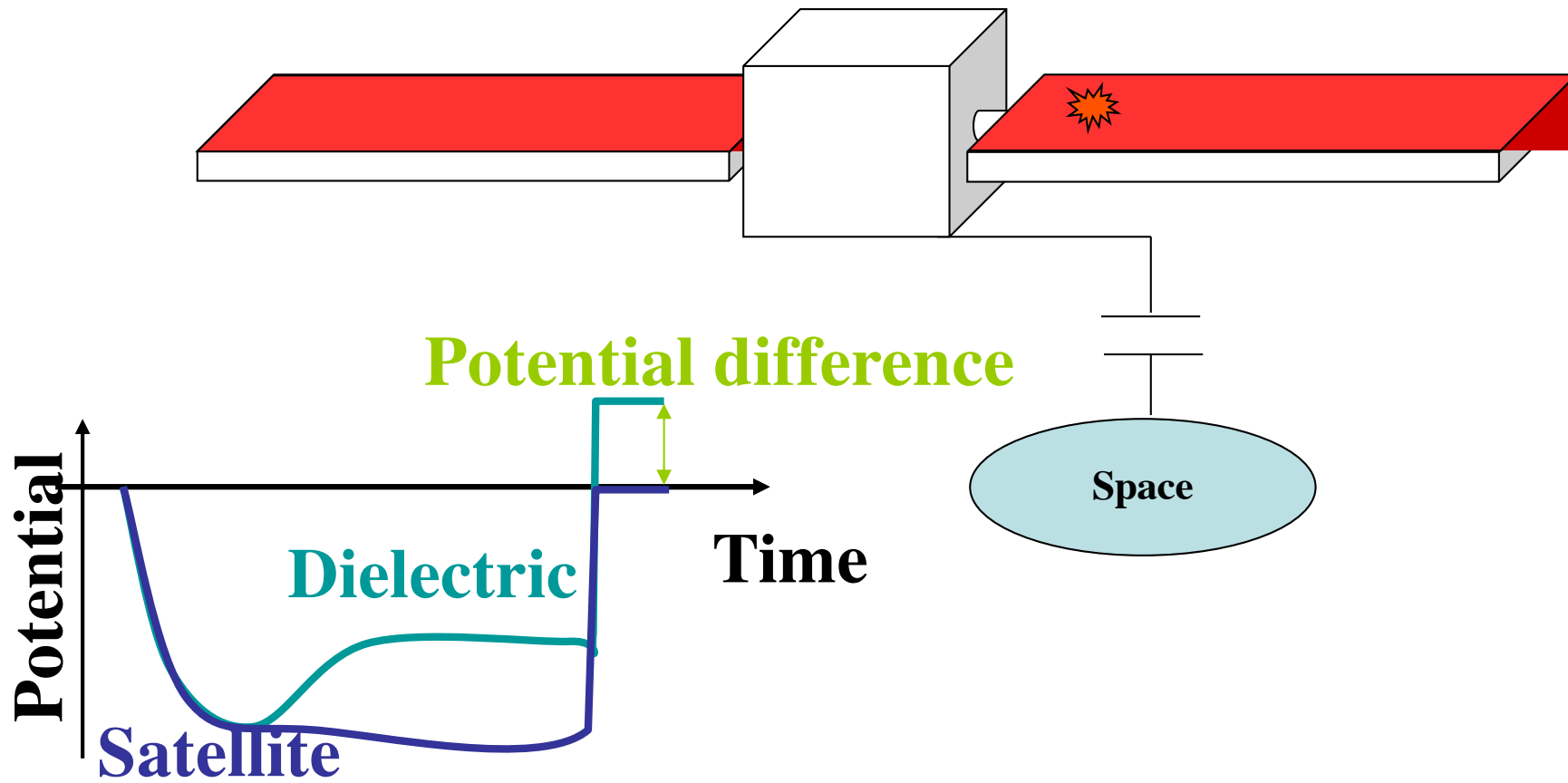
帯電後



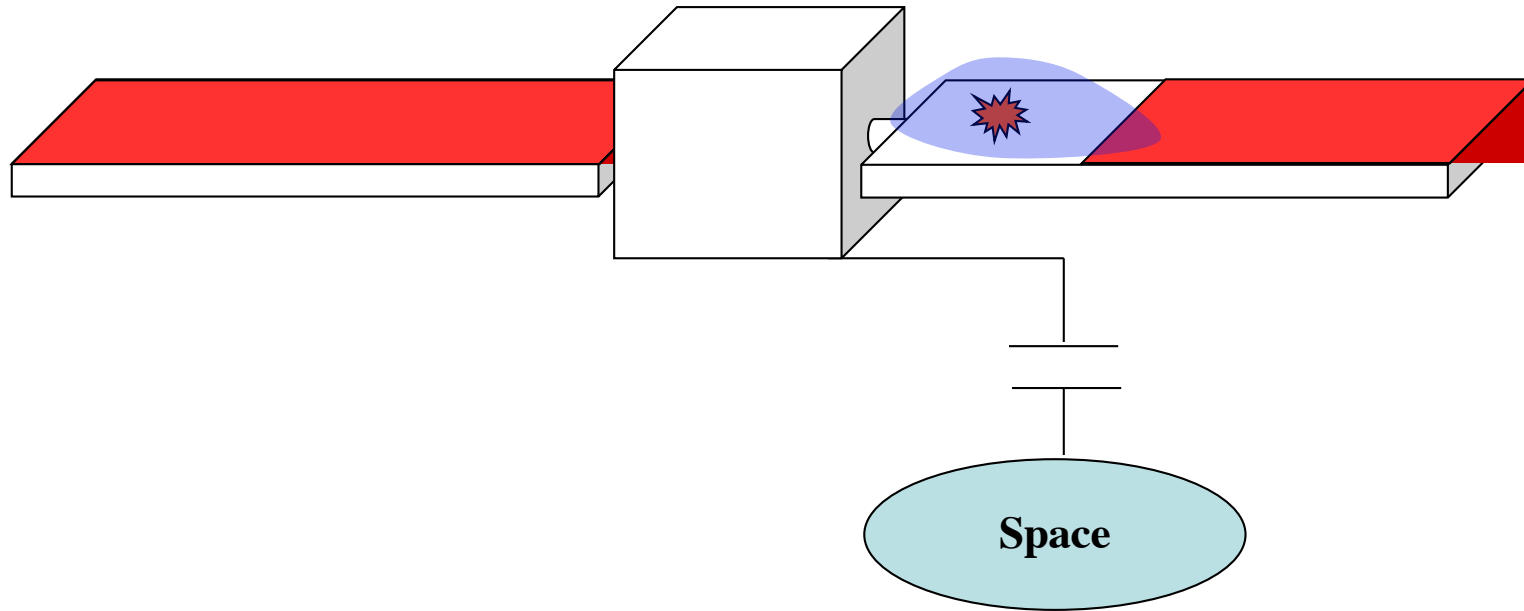
静電放電



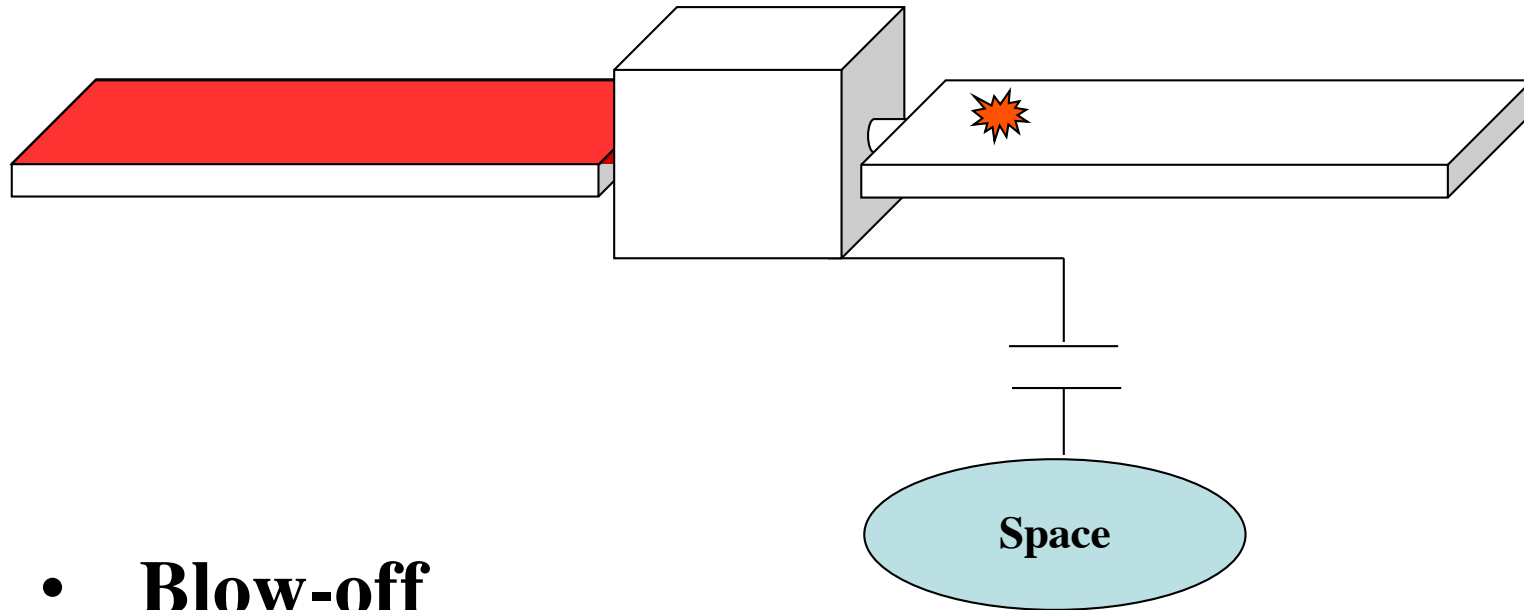
沿面放電



沿面放電

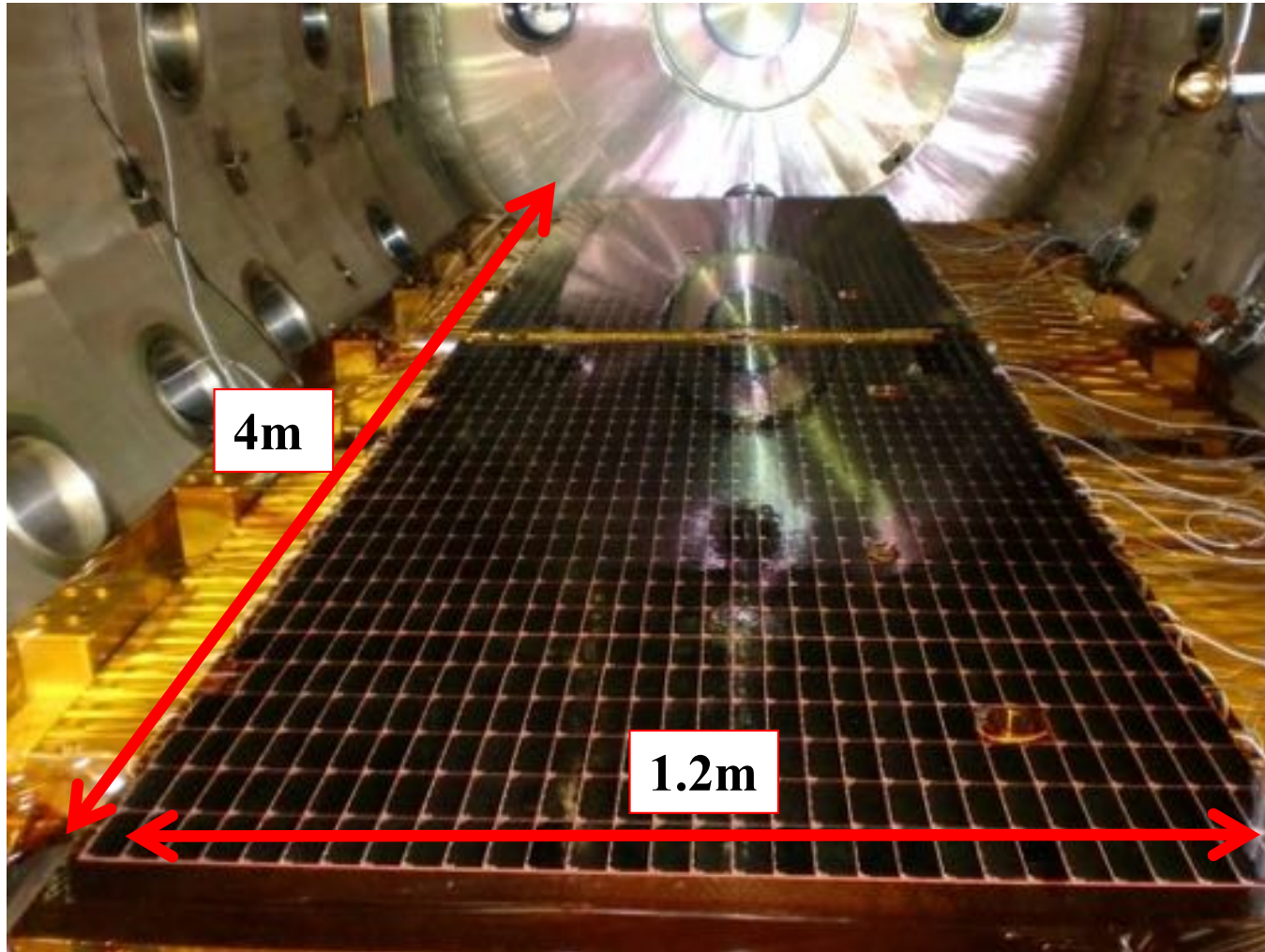


沿面放電



- **Blow-off**
- **Flashover**

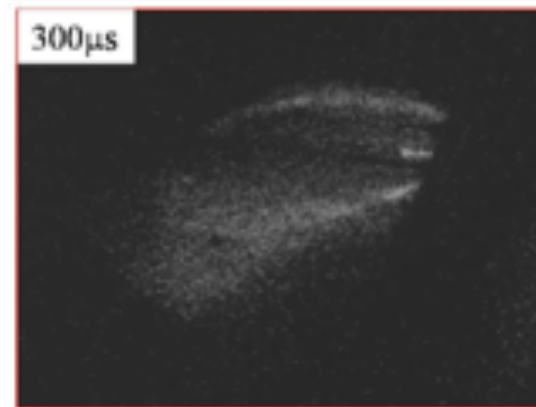
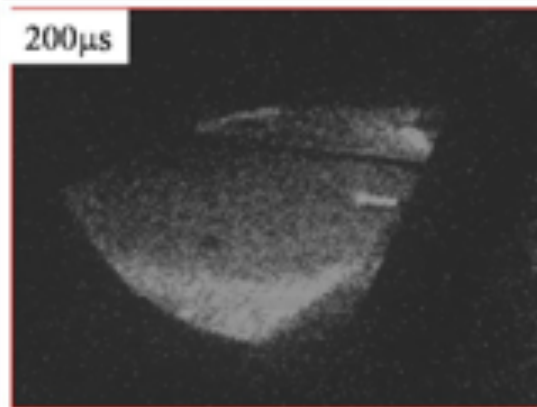
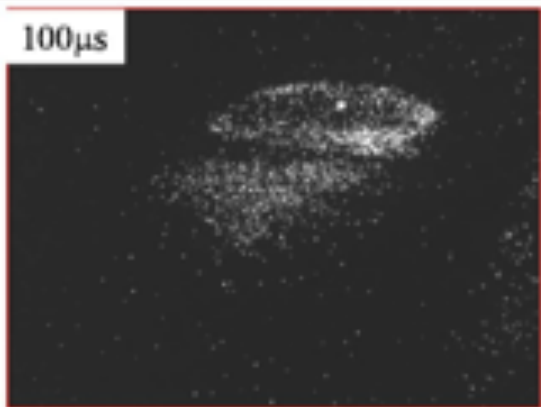
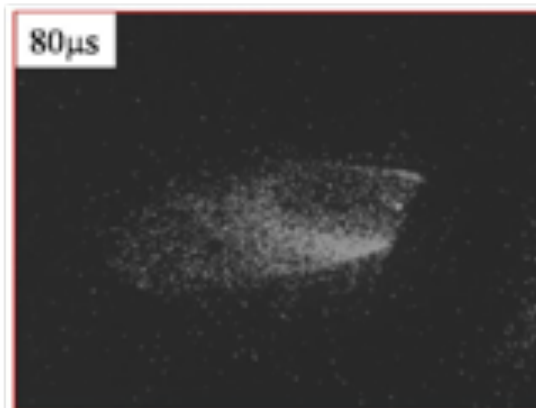
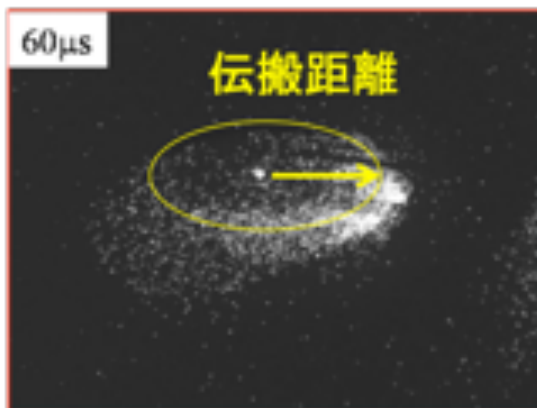
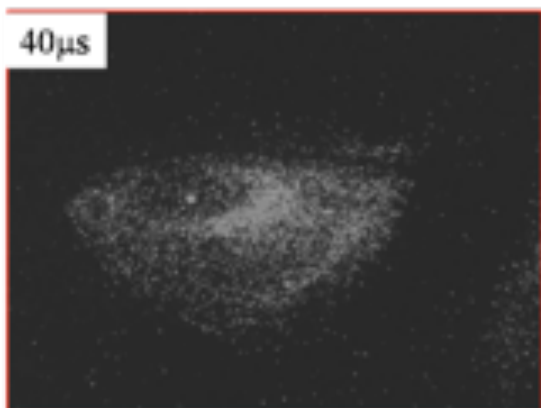
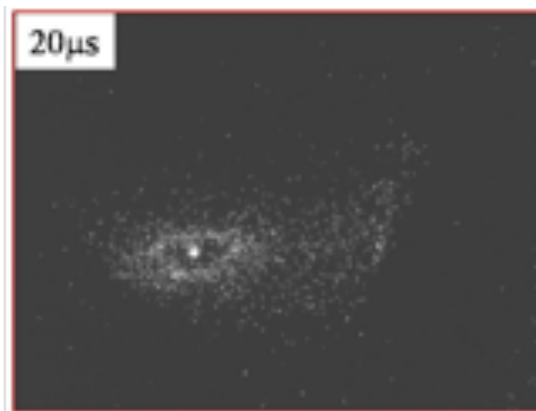
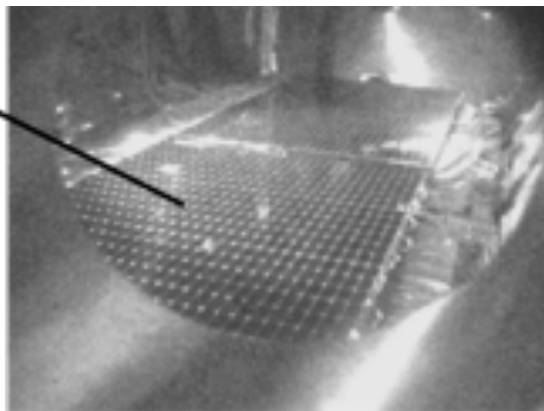
沿面放電進展速度計測



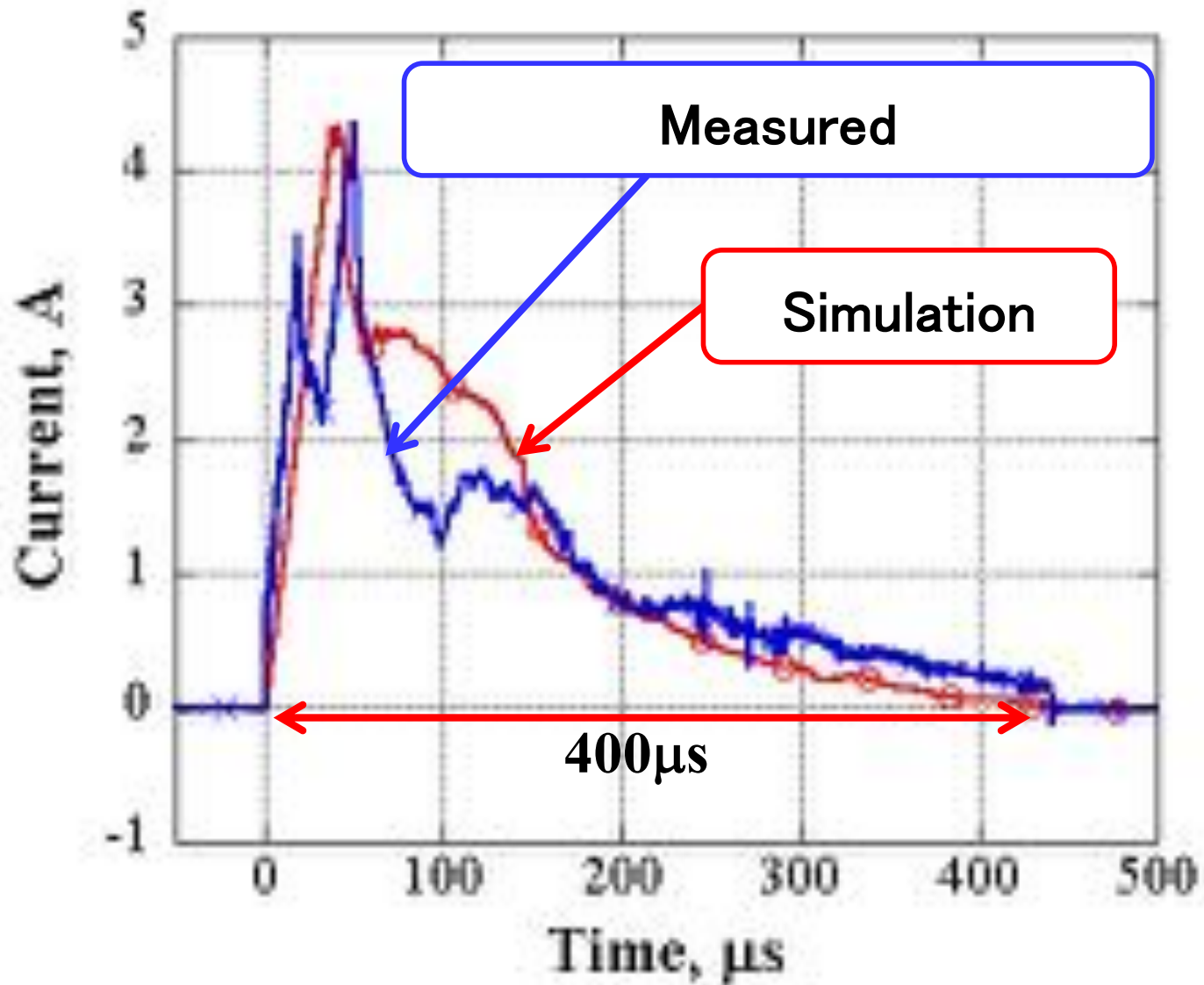
JAXA相模原

10km/sで進展
3mまで進展

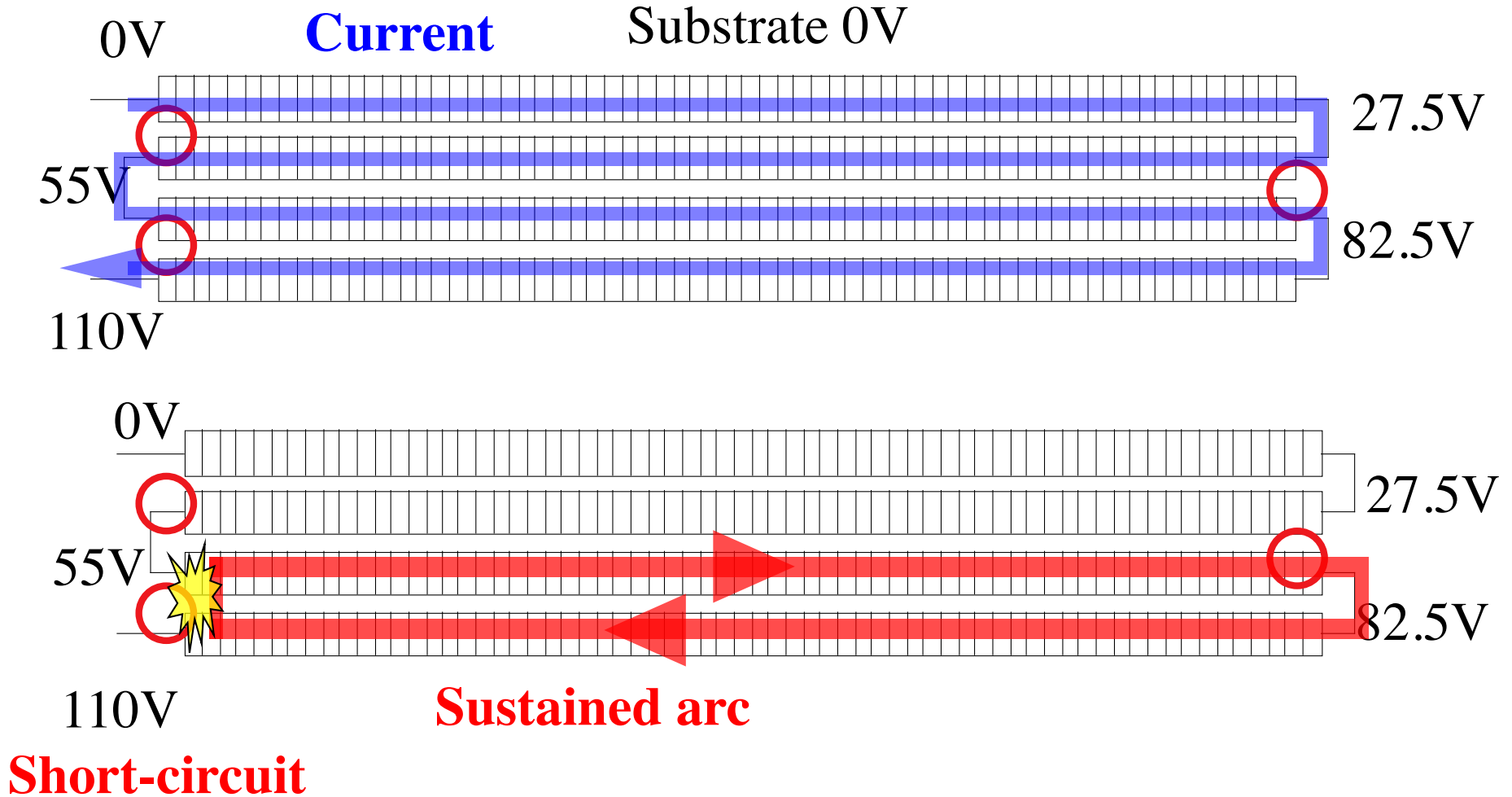
太陽電池パネル



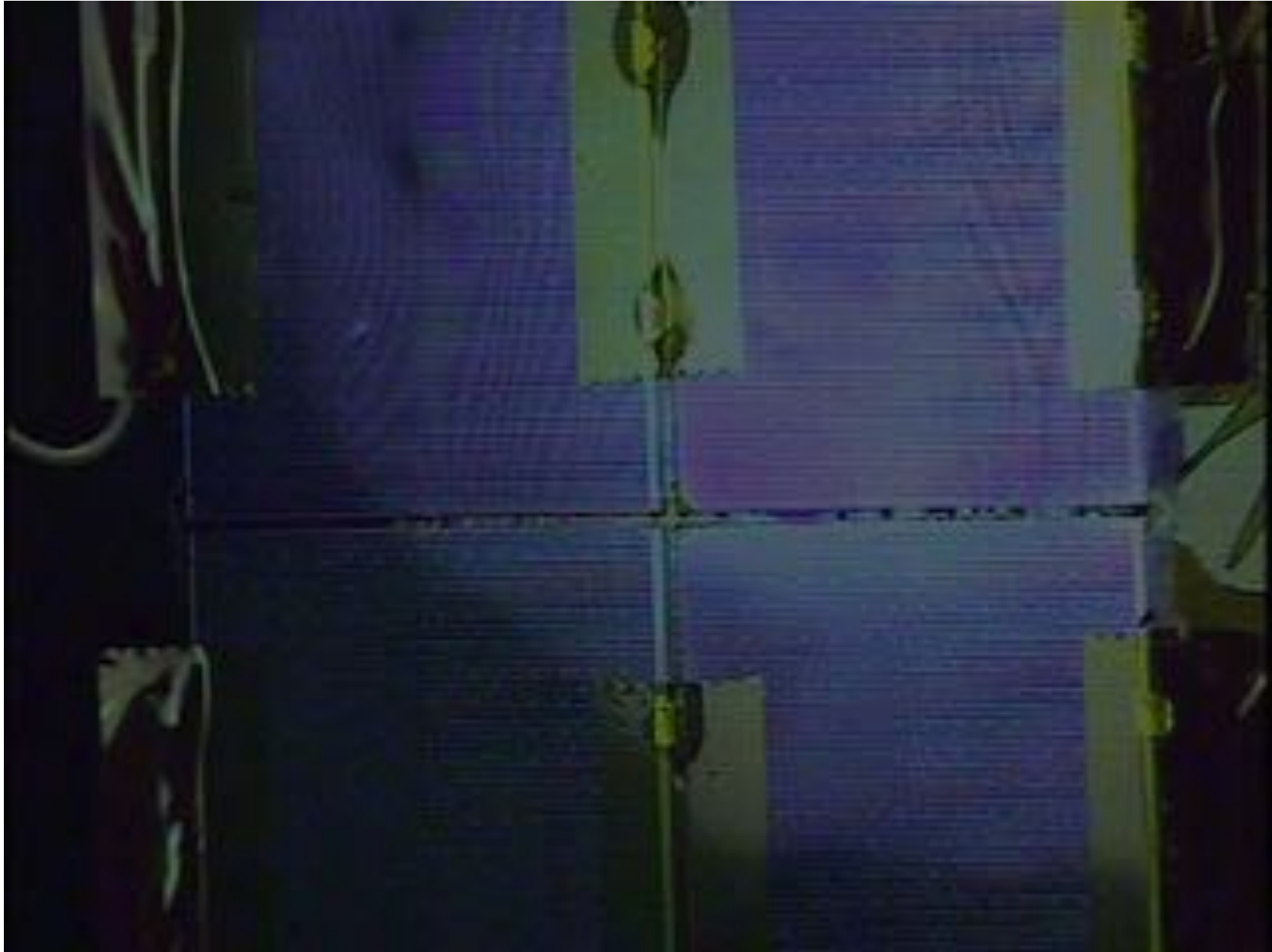
沿面放電電流波形



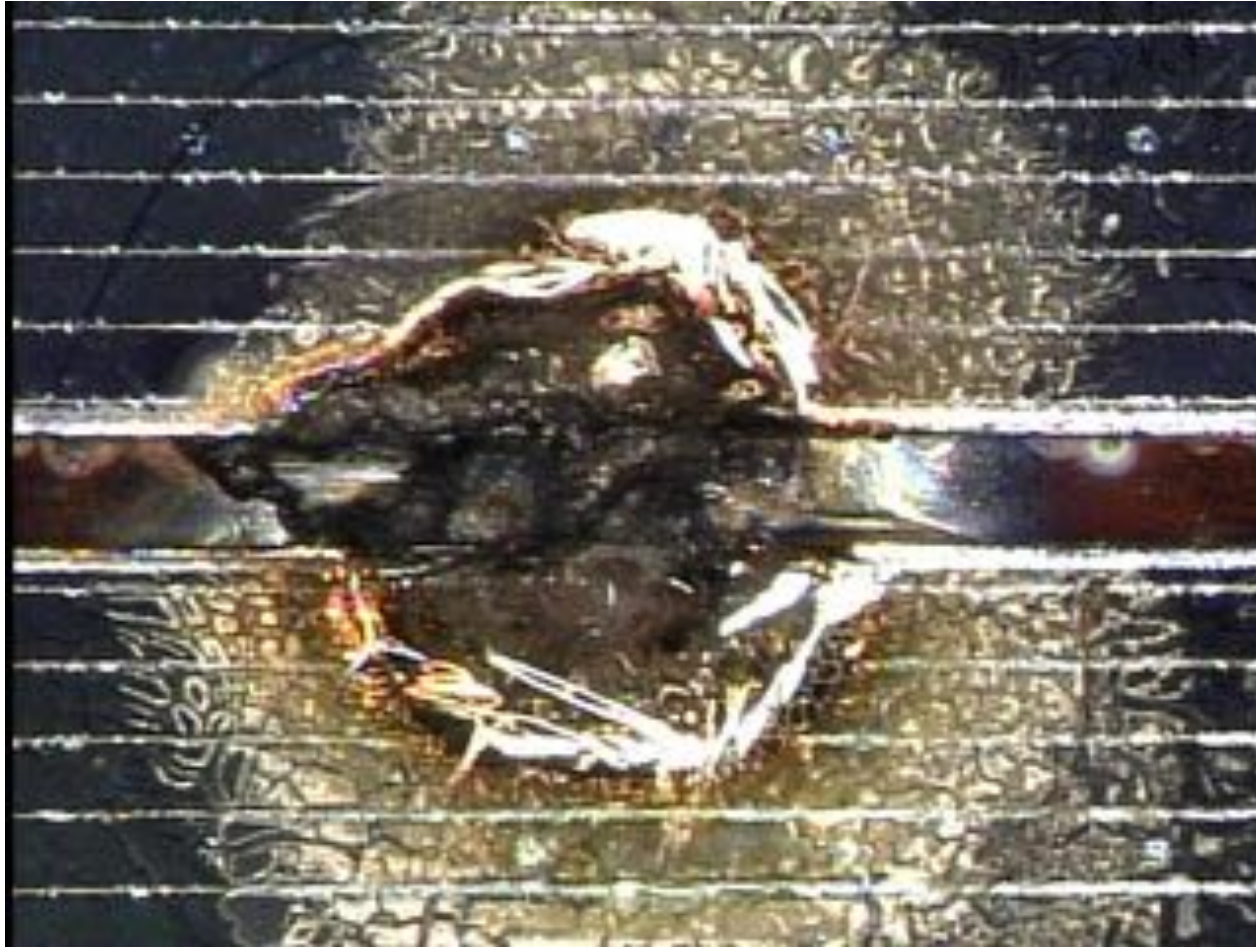
持續放電



持続放電



持續放電後



宇宙機帯電放電事故

Tempo-2

1997年 静止軌道衛星Tempo-2

発電電力の15%が低下



世界中の研究機関が調査を開始



太陽電池アレイと宇宙プラズマとの相互作用により放電が発生

アレイ回路の短絡 → 電力損失

→ **帯電放電試験法の開発**

放電事故

- みどり2号
極軌道衛星

2003年10月
発電電力が6kWから1kW
に低下

熱制御材の帯電



ケーブルと放電

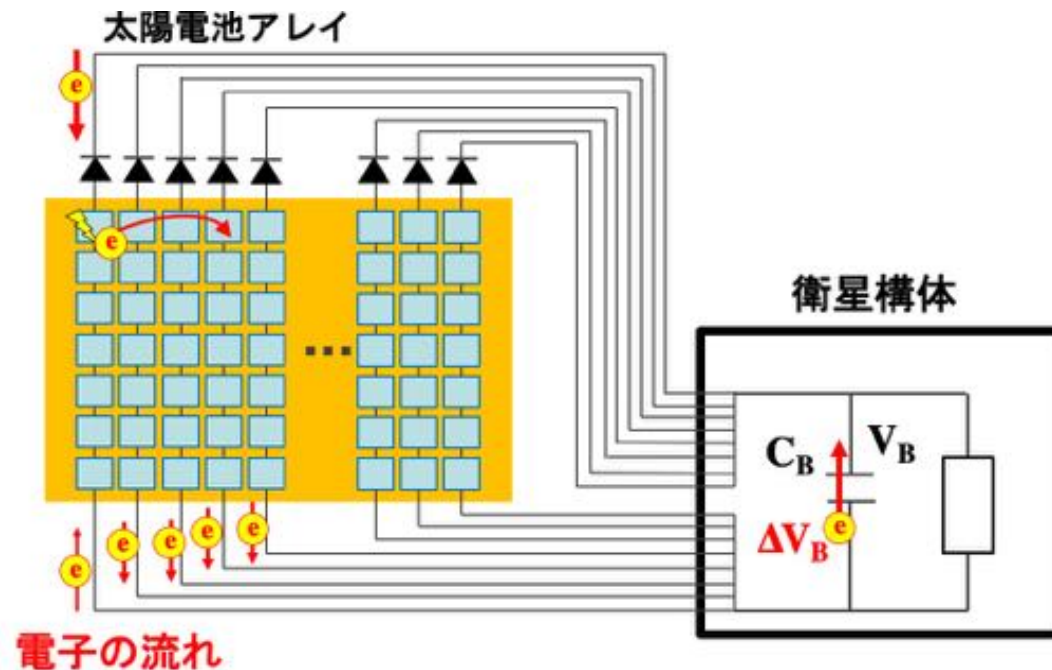


持続放電



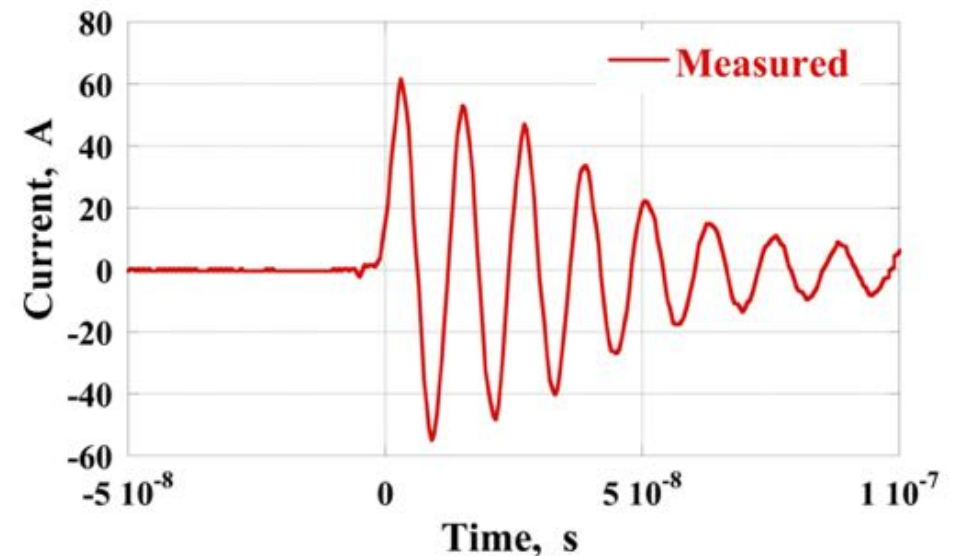
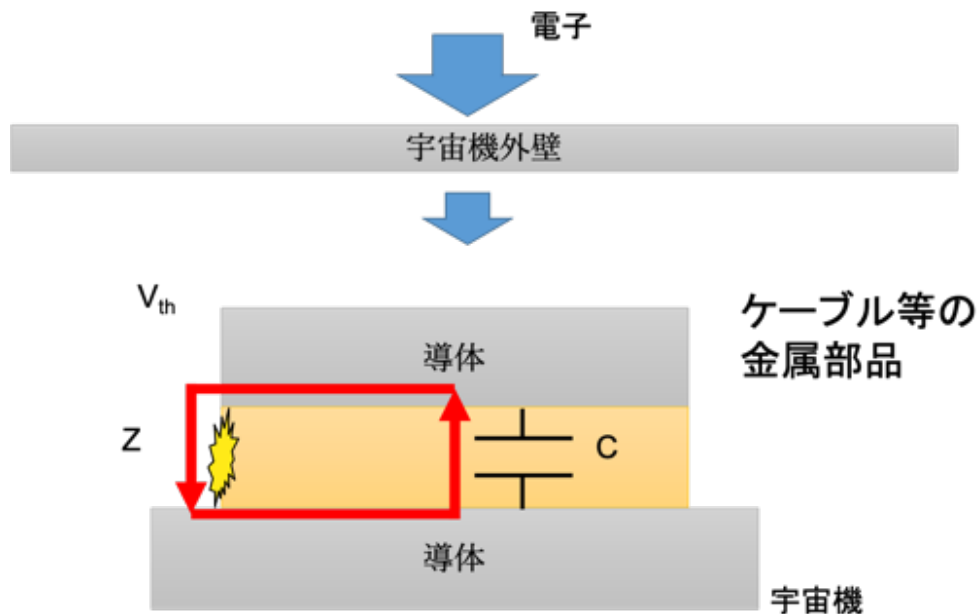
帯電放電の電源バスへの影響

- 沿面放電によるバス電圧上昇
 - 沿面放電電流が電源バスに流れ込みバス電圧を瞬間的に上昇させる危険性を提唱
 - バス容量の小さい超小型衛星は特に注意する必要がある



帯電放電の電源バスへの影響

- 内部帯電放電によるバス機器への影響
 - 衛星の事故
 - 放電電流によりバス機器に突入電圧
 - 超小型衛星でも発生する可能性



持続放電対策

- 打ち上げ前に地上試験
- 衛星の耐放電性能試験
- 地上帯電放電試験法の開発

静止軌道

極軌道

低地球軌道



九州工業大学

地上試験法の国際標準を策定

ISO-11221,

“Space systems -- Space solar panels -- Spacecraft charging induced electrostatic discharge test methods”

- 持続放電が発生しないことを試験で検証
- 放電閾値を計測
- 放電による太陽電池の劣化を見積もる

JERG-2-211A 帯電・放電設計標準の策定

- 電氣的に浮いた導体を無くす
- 持続放電が発生する条件では設計しない

取得データを取得

衛星帯電設計標準策定ワーキンググループへ反映

帯電最悪環境の国際標準を策定

ISO-19923,

“Space environment (natural and artificial) —
Plasma environments for generation of worst case
electrical potential differences for spacecraft”

- 観測された静止軌道プラズマ環境から最悪帯電環境を提供

放電事故を防ぐには

- 打ち上げ前に国際標準に沿った放電試験をする
- 宇宙機表面に絶縁体を貼付けない
- **金属は必ず宇宙機構体に接地する**
- 宇宙環境を理解する

必要な情報

- **表面帯電**
 - 静止軌道の50keV以下の陽子、電子
 - 極軌道のオーロラ電子
 - 電離圏プラズマ密度も必要
- **内部帯電(構体を貫通した衛星内部の帯電)**
 - 高エネルギー電子のフラックス
 - アルミ厚さ1mmで約600keV以上が貫通