

Oct. 19, 2011

第8回 宇宙環境シンポジウム

内部帯電計測技術

東京都市大学

田中 康寛

帯電の問題点

宇宙機外部にはさまざまな絶縁材料が、使用されていて、宇宙環境と直接接している。

電子、プロトンなどの高エネルギー粒子の存在により、材料内部に帯電が発生。

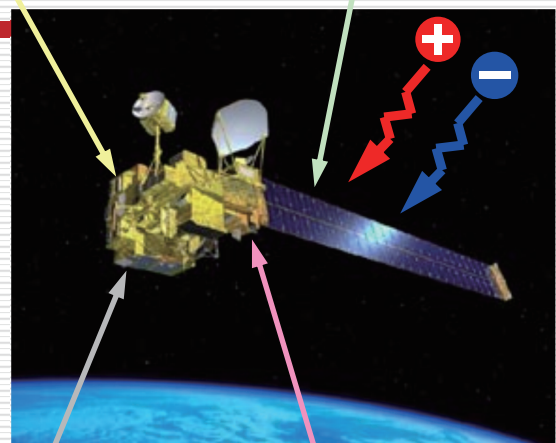
問題点

- ・ 絶縁性劣化
 - ・ 放電
- 事故発生の可能性

・ 事故につながることも問題であるが、これらの材料の宇宙環境における特性の評価が困難なため、設計段階での信頼性が評価できないことが問題。

MLI (PI)

Cover grass (SiO₂)



OSR (FEP)

Covering of wire harness (ETFE)

内部帯電の計測

研究のターゲット

- ・ 電荷分布 どの程度進入してどのように蓄積するのか？

シミュレーションによりある程度進入深さは予想できる。
計算結果は信頼できるのか？
また、シミュレーションでは、算出できない現象はあるか？

- ・ 電荷蓄積の過程 どの程度の電荷が蓄積するのか？

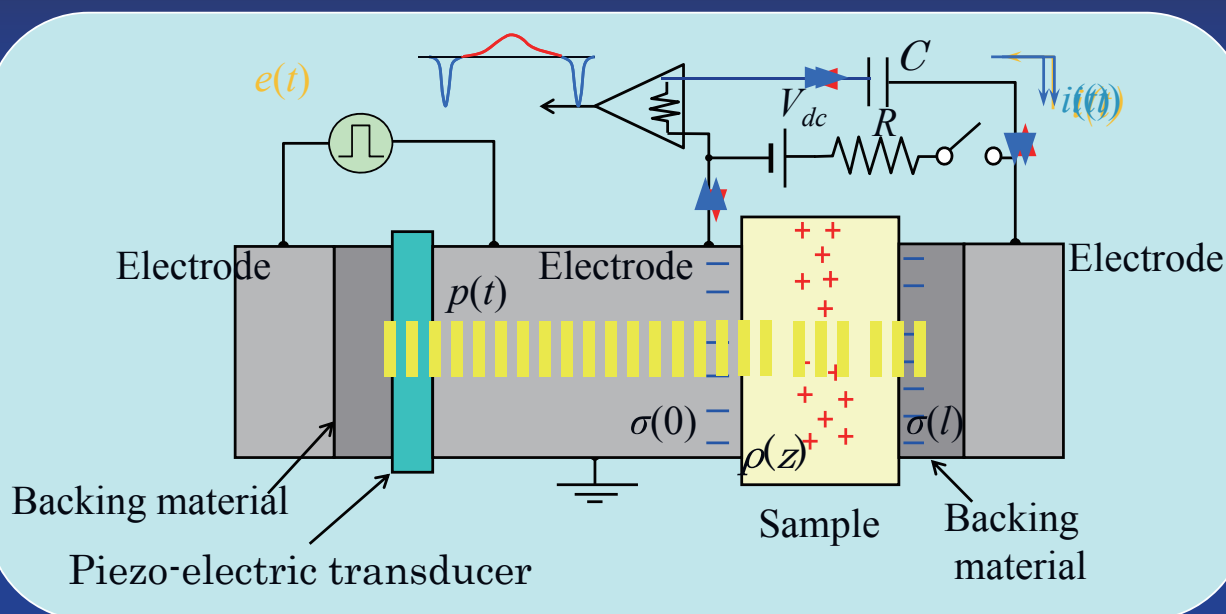
本当に放電にいたるほどの電荷が蓄積するのか？

- ・ 放射線放射後の特性 電氣的特性はどのように変化するのか？

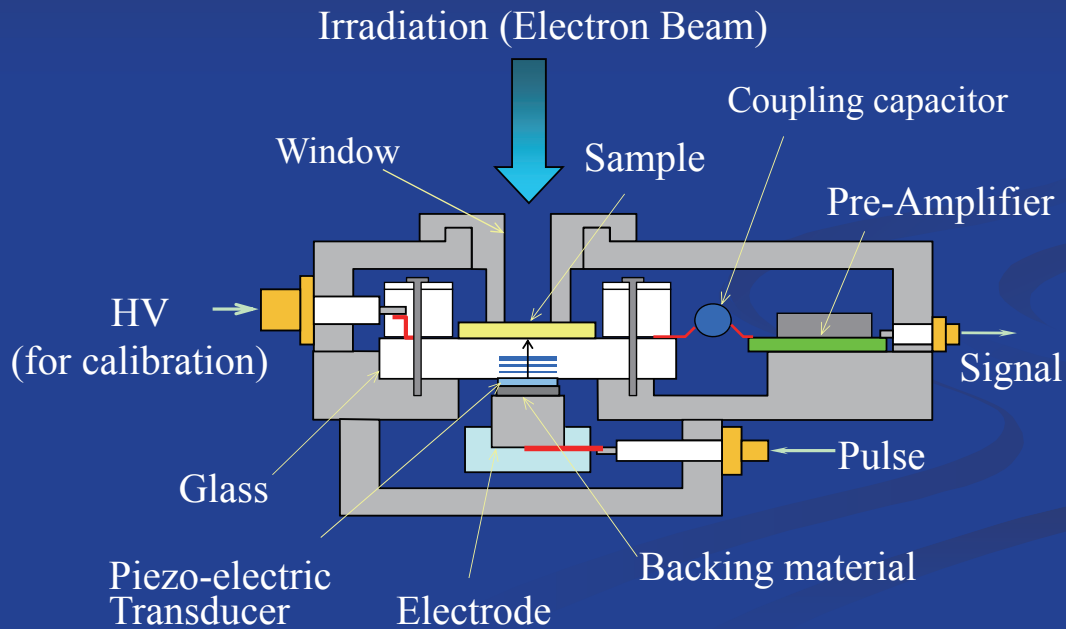
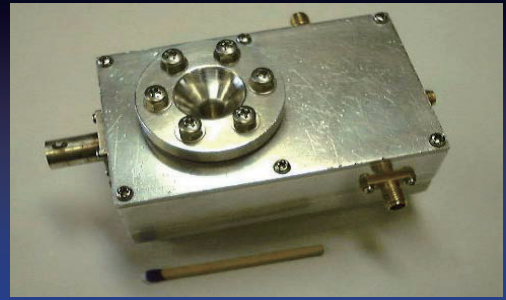
放射線が照射された材料の導電率はどの程度変化するのか？
また、その特性は経時変化するのか？

内部帯電の計測

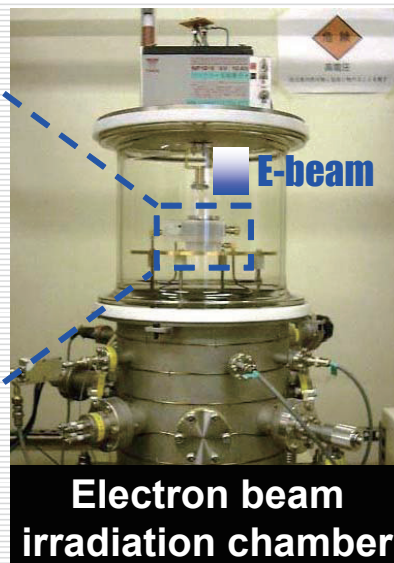
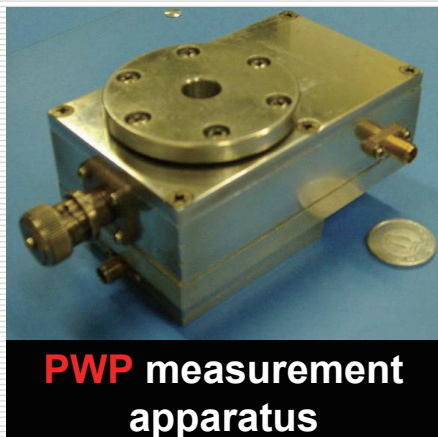
Principle of PIPWP method



MEASUREMENT SYSTEM (Main Apparatus)



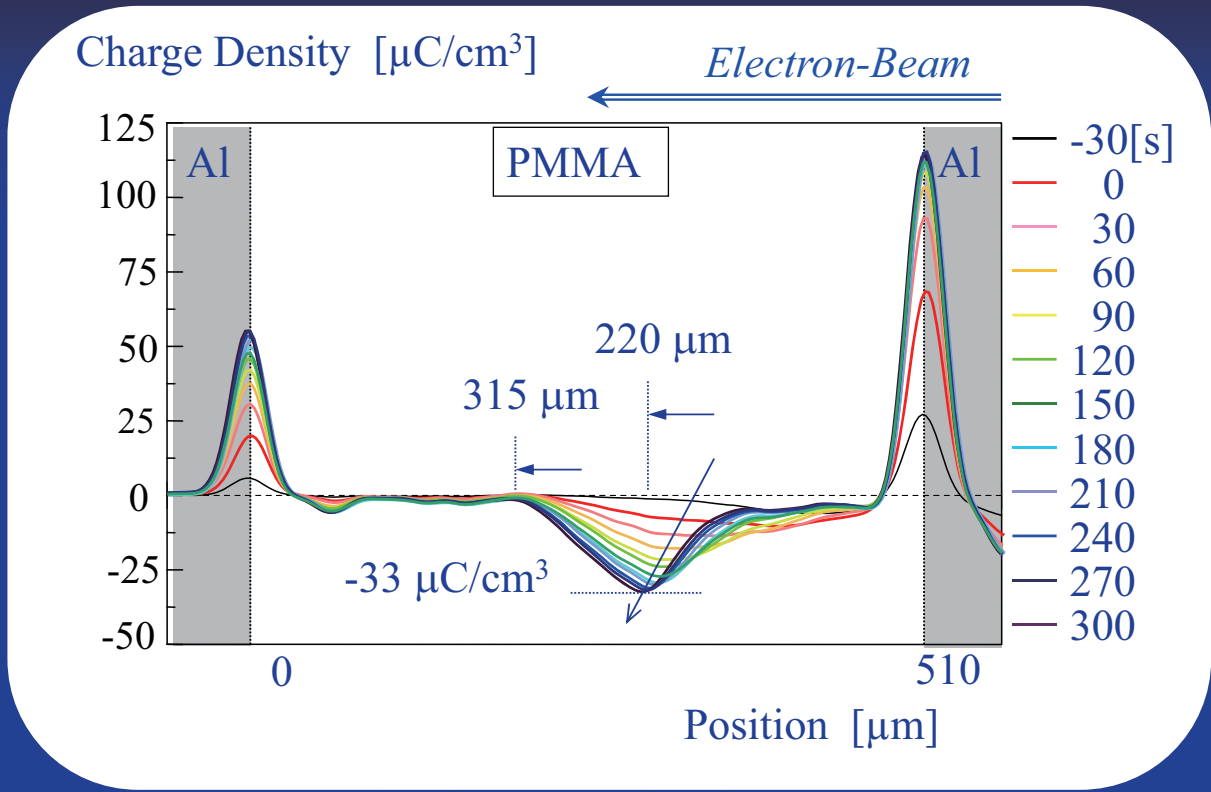
Apparatus in e-beam Chamber



<p>Acceleration energy 1~100 keV</p> <p>Current Density 5~500 nA/cm²</p> <p>Degree of vacuum ~10⁻⁵ Pa</p>

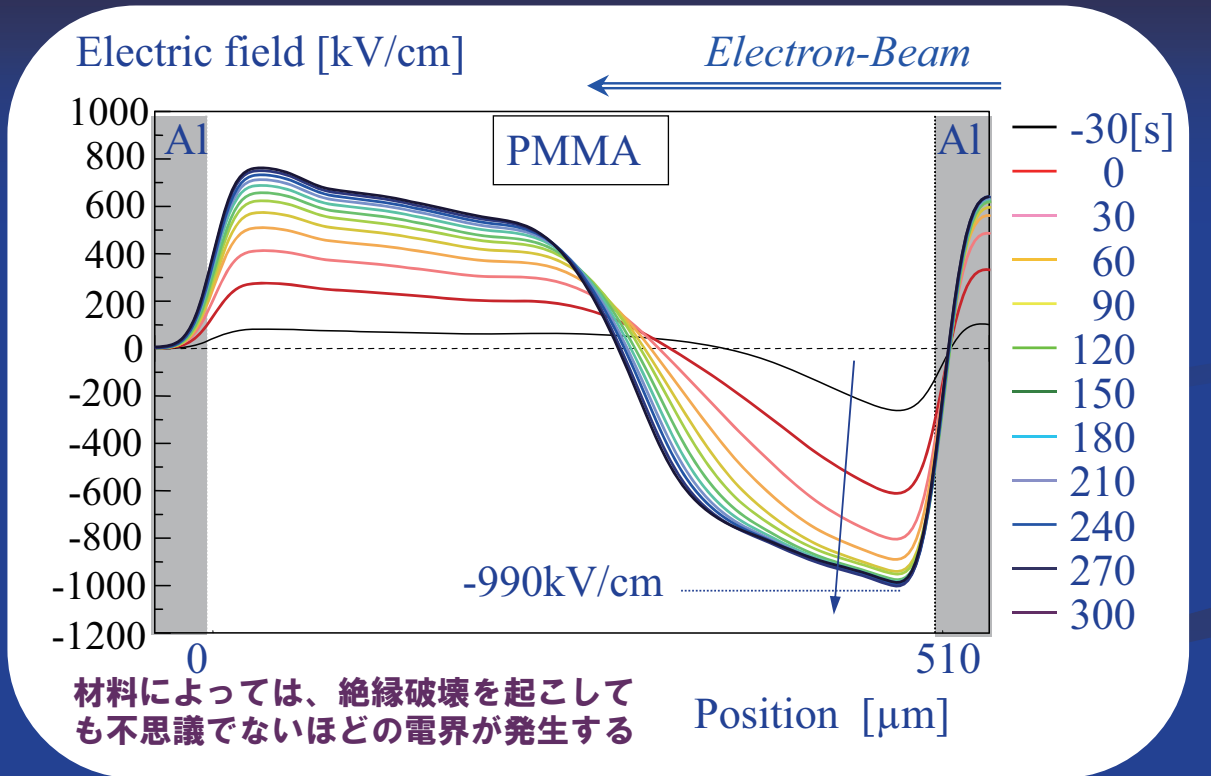
Typical results - What kind of results are obtained? -

Charge distribution PMMA under e-beam irradiation



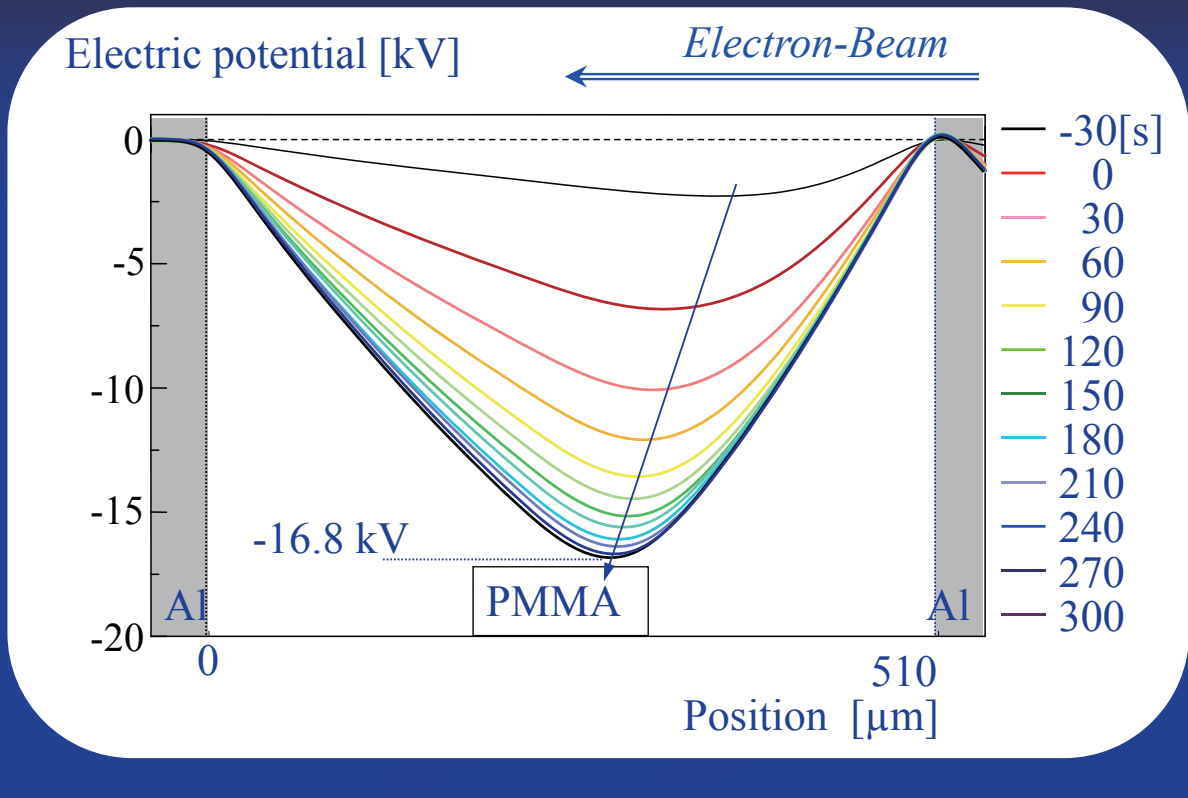
Electric field distribution is easily calculated using charge distribution profile.

Electric field distribution



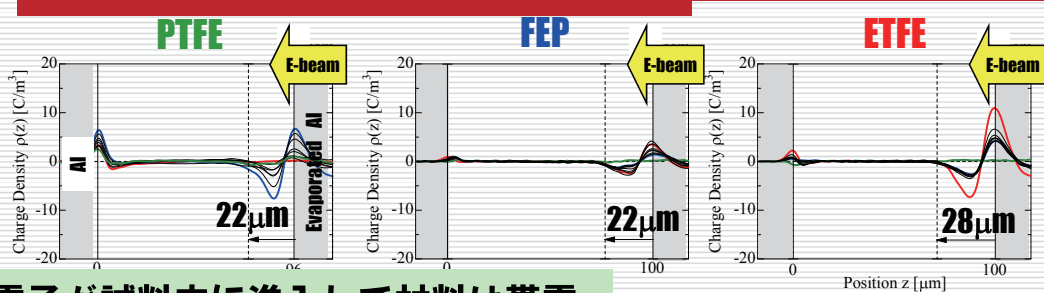
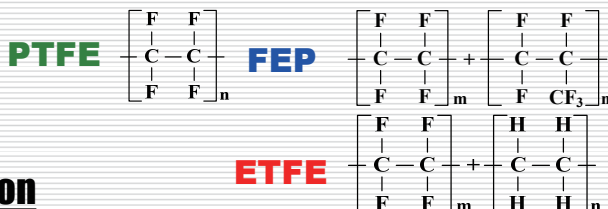
Electric potential distribution in bulk of sample is also easily calculated.

Electric field distribution



Space charge distribution

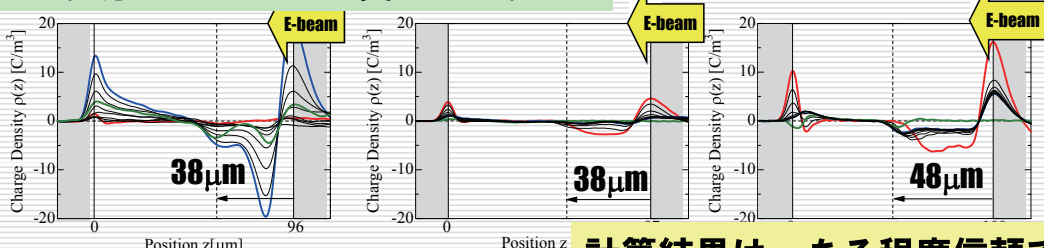
In polymers under e-beam irradiation



電子が試料内に進入して材料は帯電する。厚さによっては貫通する。

Acceleration energy: 40keV

"Ranges" are calculated.

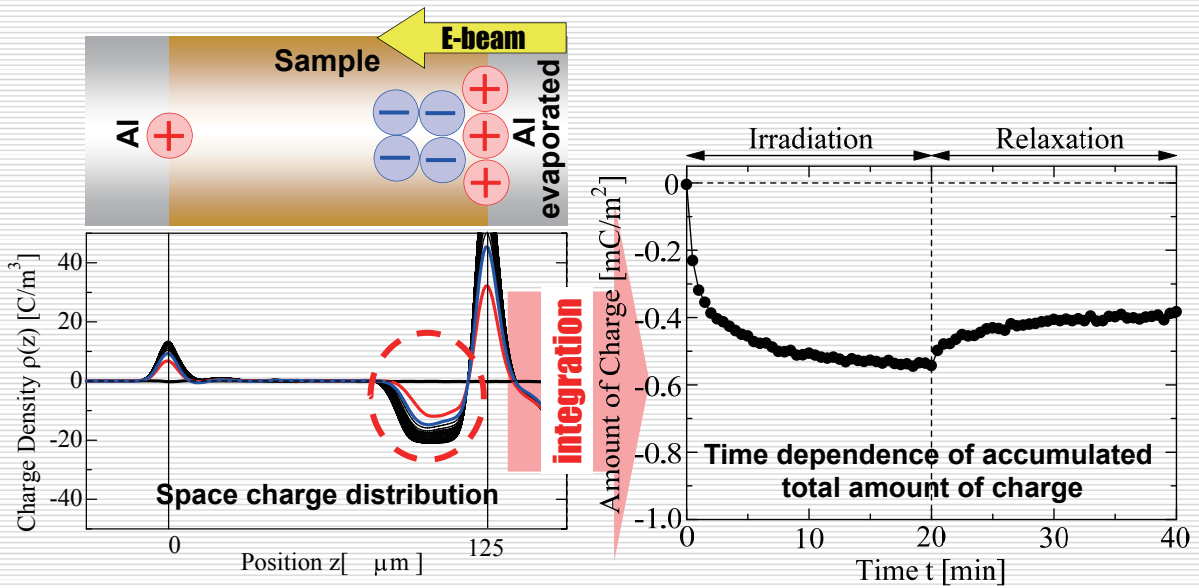


計算結果は、ある程度信頼できるが、予測できない分布も生じる。

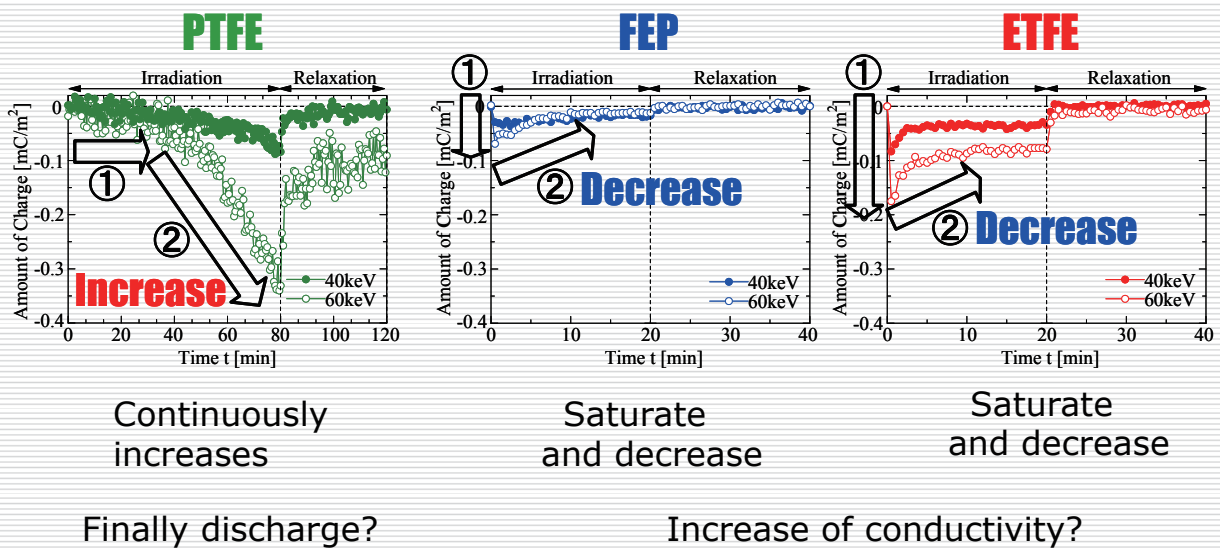
Current density: 40 nA/cm²
Atmosphere: 2 × 10⁻⁴ Pa

30s (red) 20min (blue) 40min (green)
(PTFE: 80min) (PTFE: 120min)

蓄積する電荷量の時間変化の算出



Charge Accumulation Process in various polymers



電荷量が増加し続ける材料もあるが、蓄積量が減衰する材料もある。

蓄積量が減衰する場合は、照射領域で導電率が増加している可能性がある。

電子線照射後に 直流電圧印加

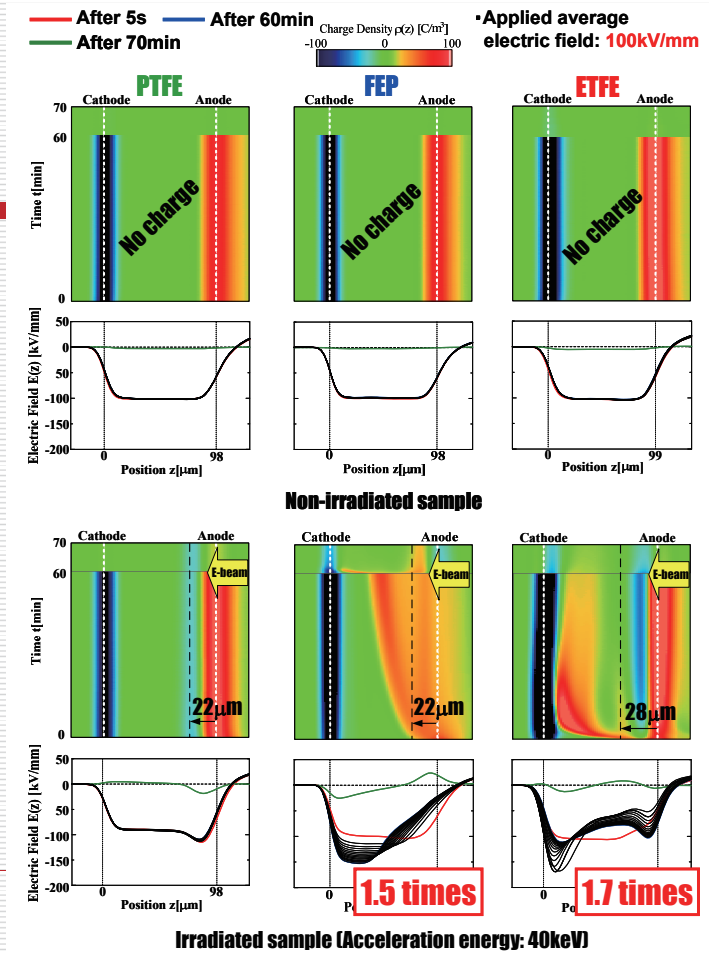
電子線照射前と明らかに電荷蓄積挙動が異なる材料がある。

FEPと**ETFE**では、電荷が注入しやすくなっているもしくは、電荷の移動が容易になっている。

見かけの導電率の向上

RIC (Radiation Induced Conductivity)

健全部（未照射部分）と劣化部（照射部）の複合 → 複雑？



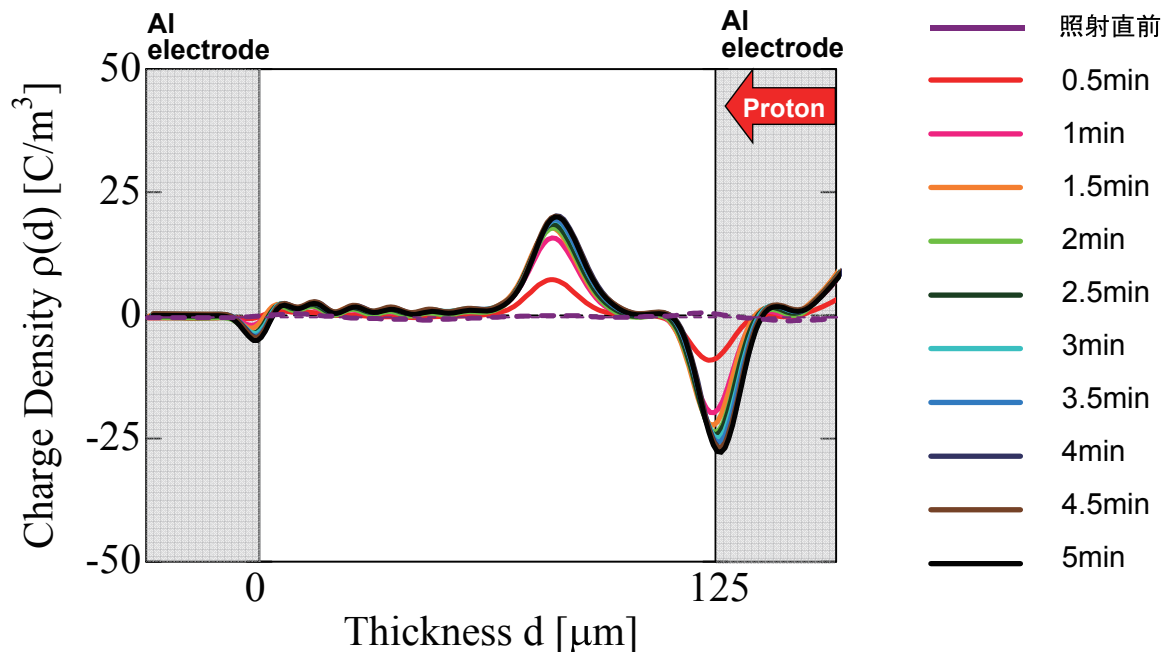
プロトン照射でも帯電する(正帯電)。

Proton 照射実験

シミュレーションはある程度信頼できる。

PMMA 厚さ125 μ m

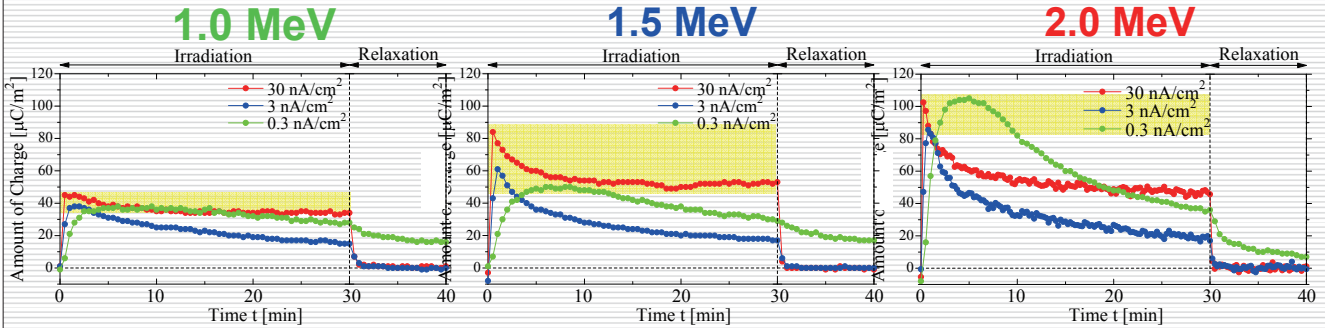
・加速エネルギー 1.5MeV ・電流密度 3nA/cm²



最大蓄積電荷量と加速エネルギー

加速エネルギー依存性

Kaptonの場合

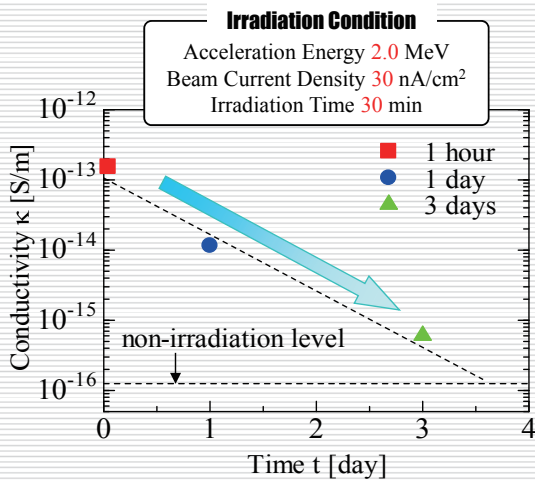


蓄積量が一旦上昇し、減衰する。

RICの発生

Proton照射でも、RICが問題になる。

照射試料における導電率の時間減衰



照射後の導電率

1 hour	1.54×10^{-13} [S/m]
1 day	1.16×10^{-14} [S/m]
3 days	6.07×10^{-16} [S/m]
未照射	1.25×10^{-16} [S/m]

1200倍 (1 hour vs 1 day)
 93倍 (1 day vs 3 days)
 5倍 (3 days vs 未照射)

照射後、時間が経過するにつれて、導電率は回復する？

どの程度回復するかは、どの程度照射されたかによる？

内部帯電評価の問題点

問題は、おそらくある。

材料によっては、電荷が蓄積し、内部の電界が上昇し、絶縁破壊や放電を引き起こしかねない状態になる。

照射により、材料の導電率が激しく変化する。

ただし、今のところ解決は難しい。

材料、照射エネルギー、照射電流密度 (**Flux**) に強く依存する。
また、照射後の時間経過も影響する。

解決の糸口は？

実際の環境に近い状況で計測？ → 計測器を宇宙機に搭載？

影響の少ない材料の開発？ → 問題点を絞り込み、片っ端から評価
