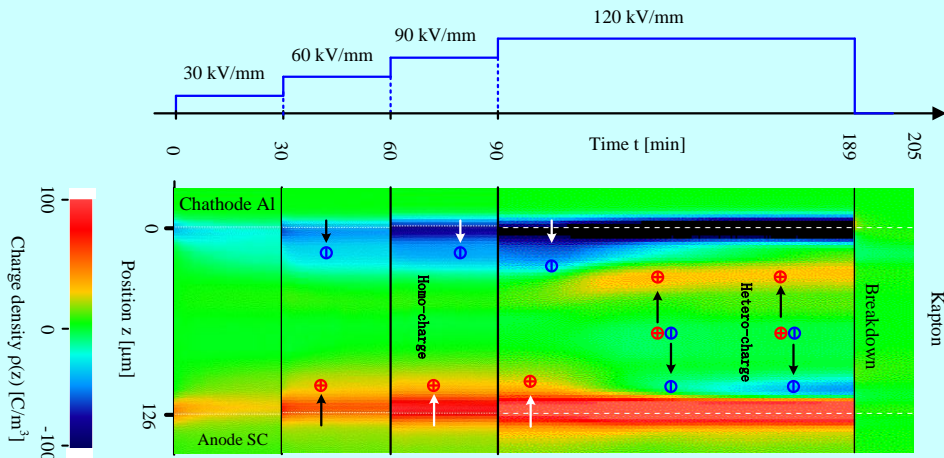
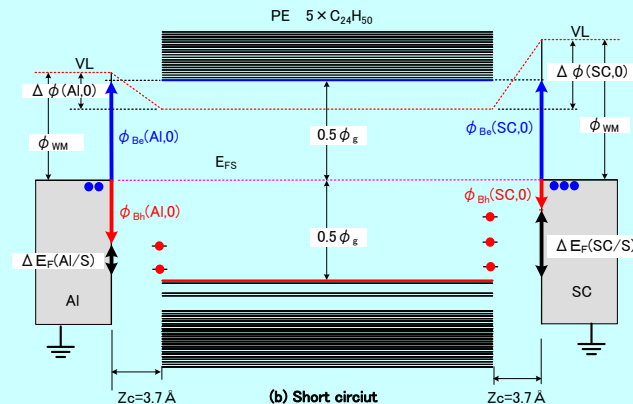


電荷蓄積の計測 と 量子化学計算による解析

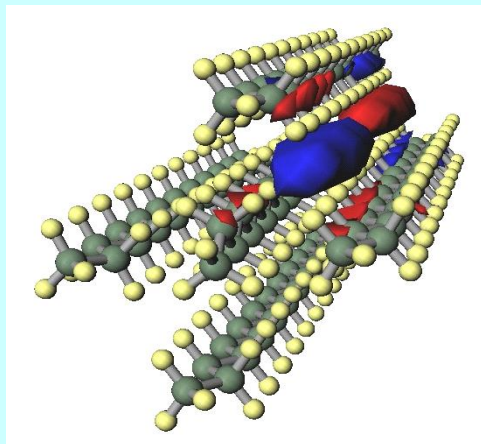
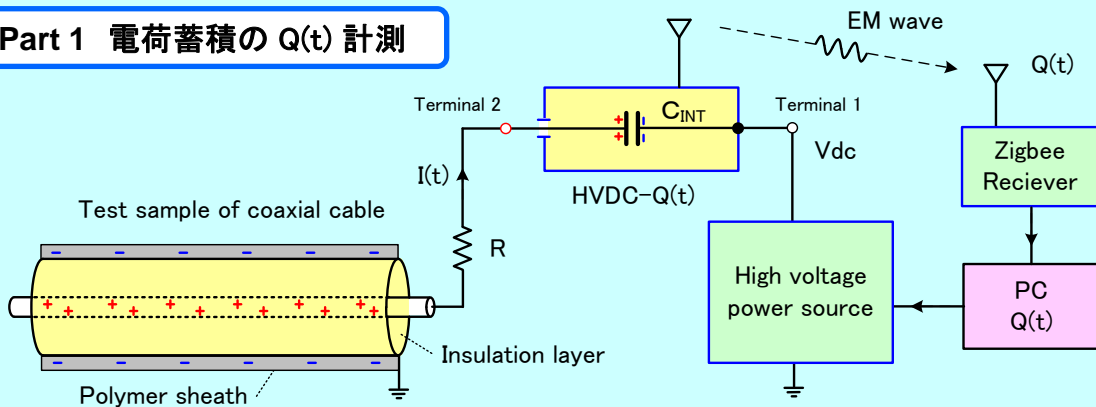


Part 2 電荷蓄積分布の $\rho(t)$ 計測



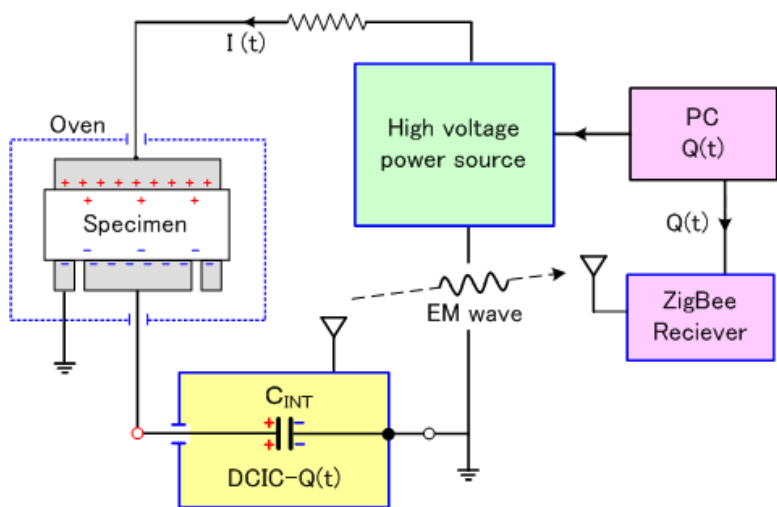
Part 3 蓄積電荷の量子化学計算による解析

Part 1 電荷蓄積の $Q(t)$ 計測

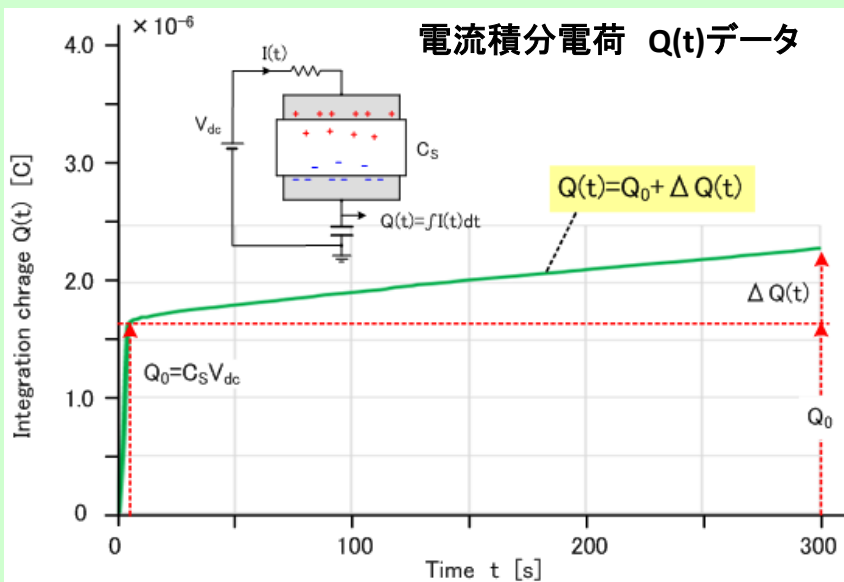
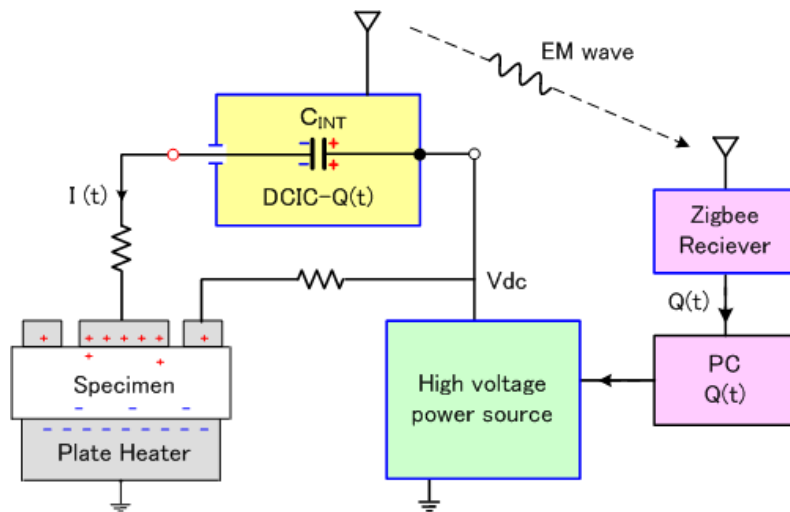


Part 1 電荷蓄積の $Q(t)$ 計測

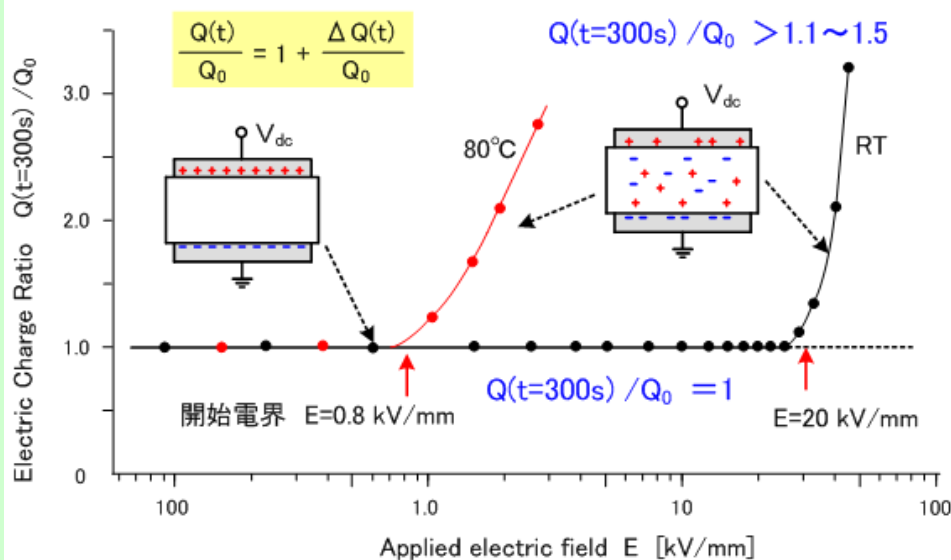
<低電圧側 Q(t)計測システム>



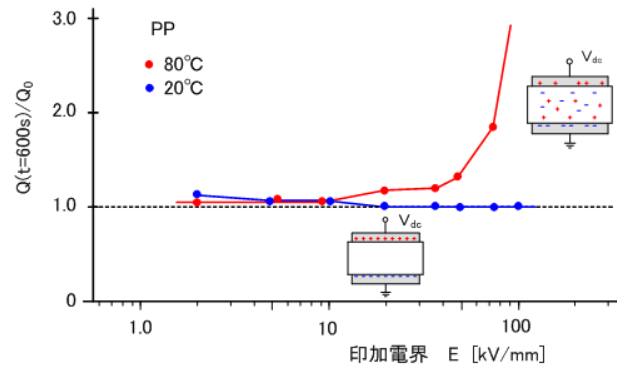
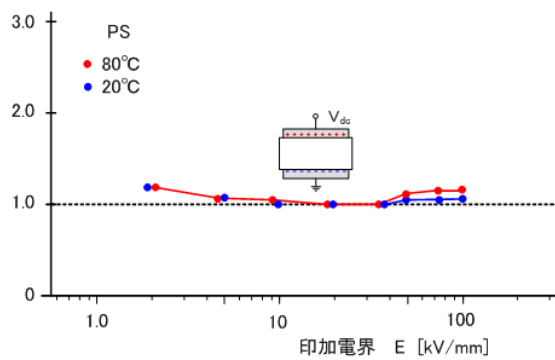
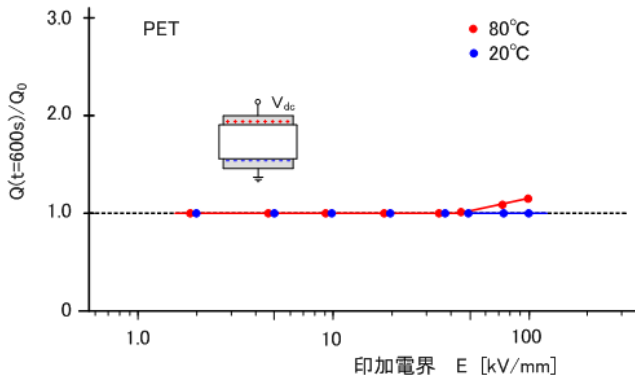
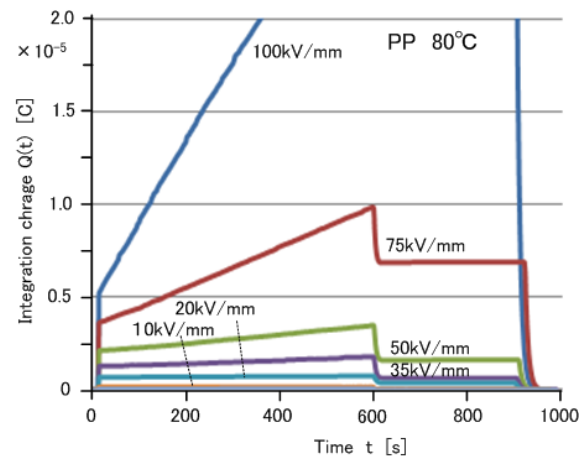
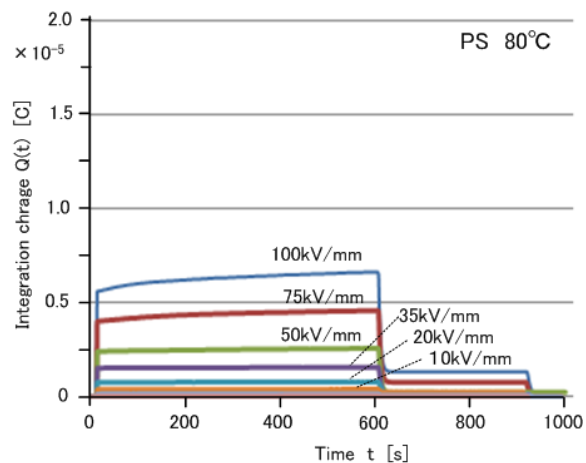
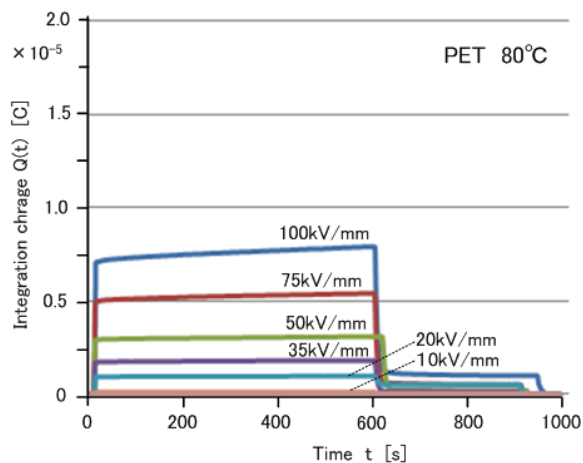
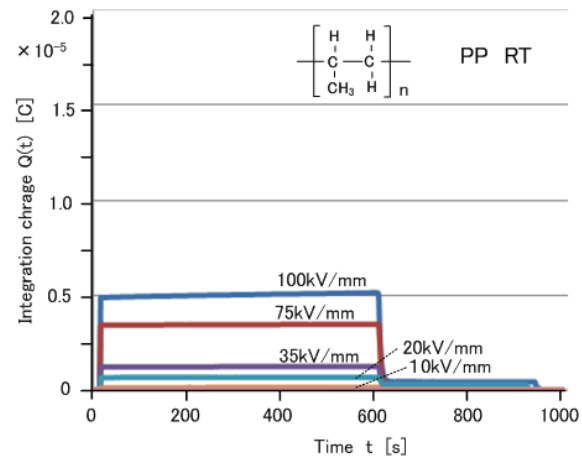
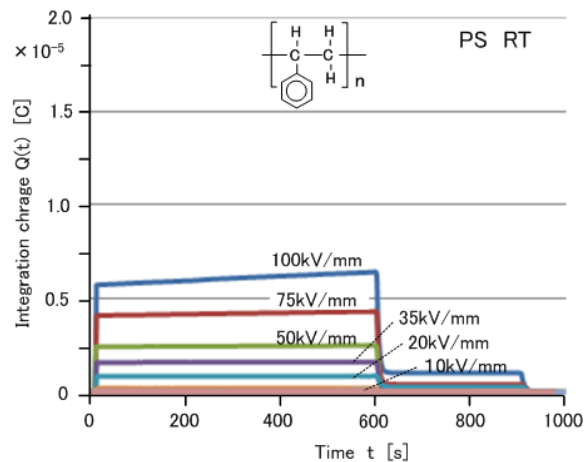
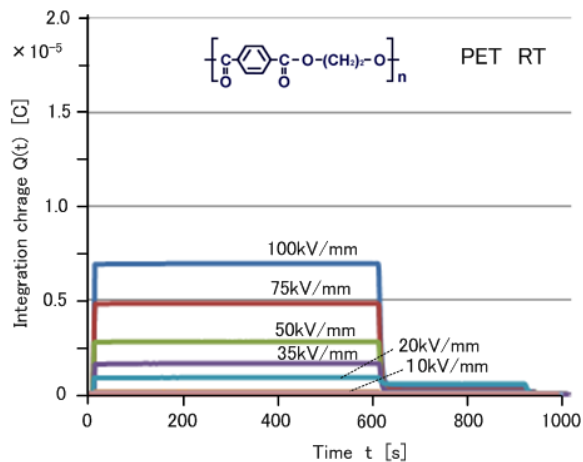
<高電圧側 Q(t)計測システム>



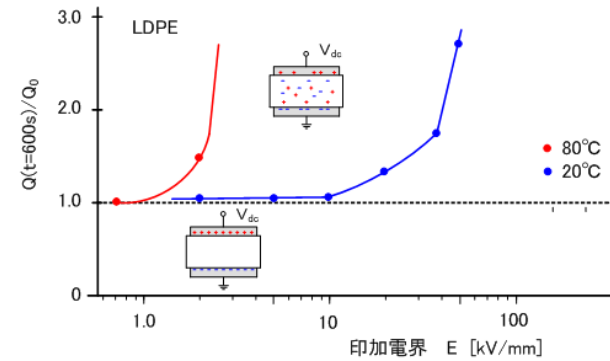
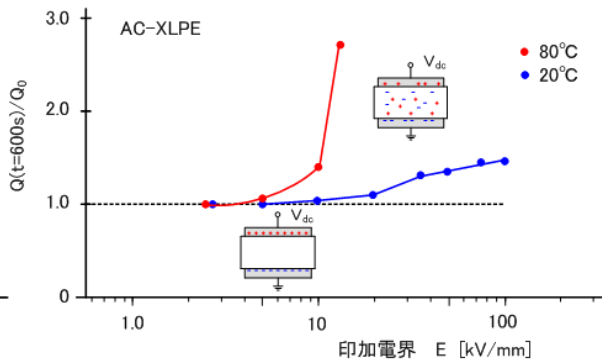
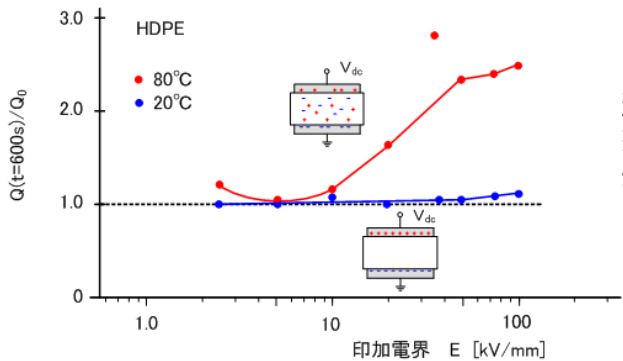
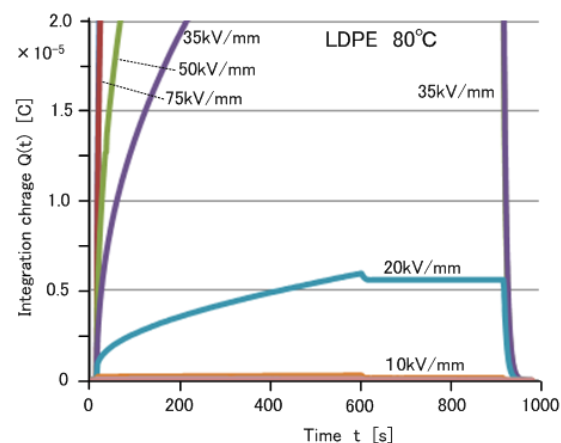
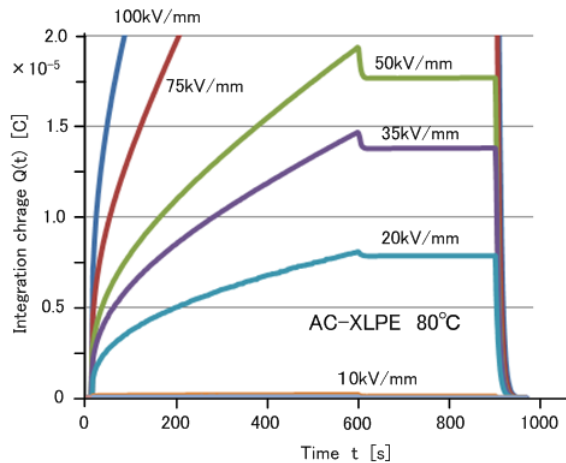
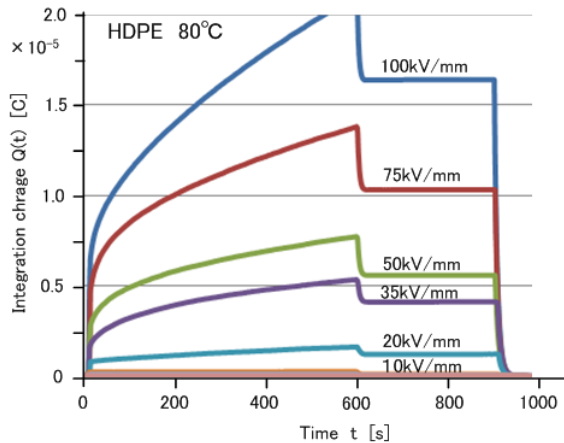
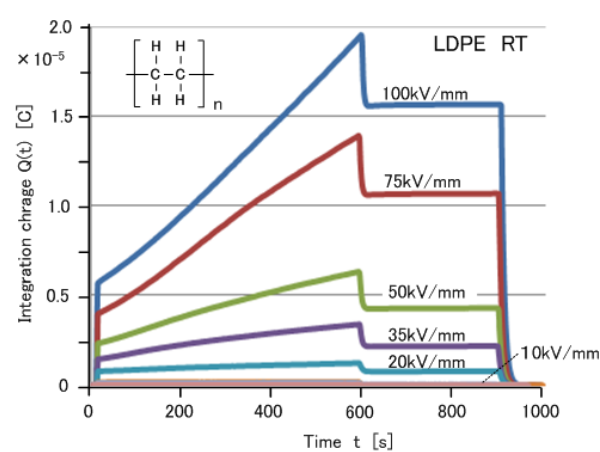
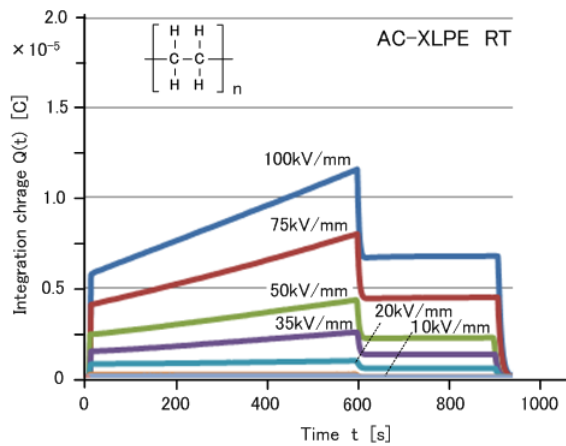
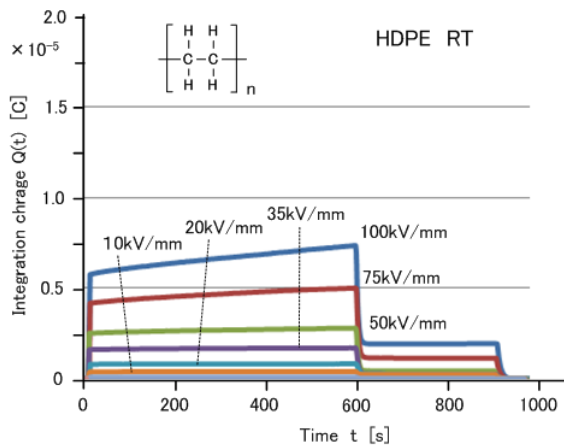
電荷蓄積の開始電界を評価



Q(t) 測定結果 (芳香族高分子は電界印加による電荷蓄積が困難)

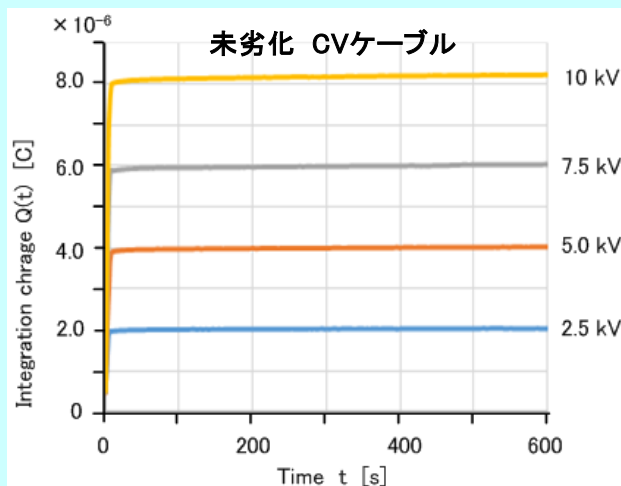
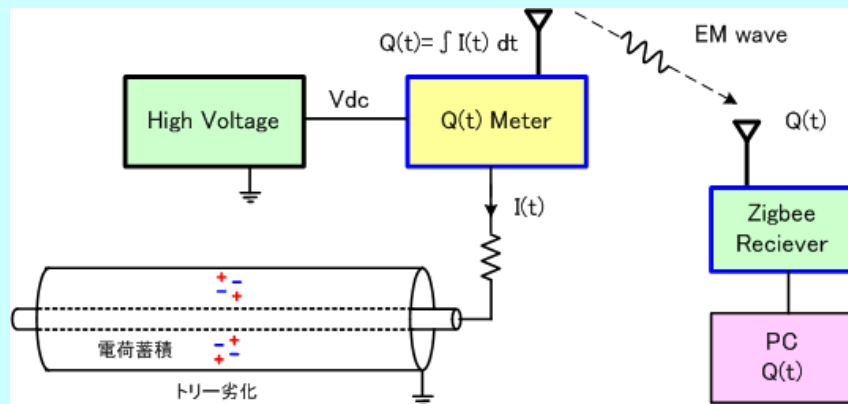


Q(t) 測定結果 (オレフィン系高分子は電界印加による電荷蓄積は容易)



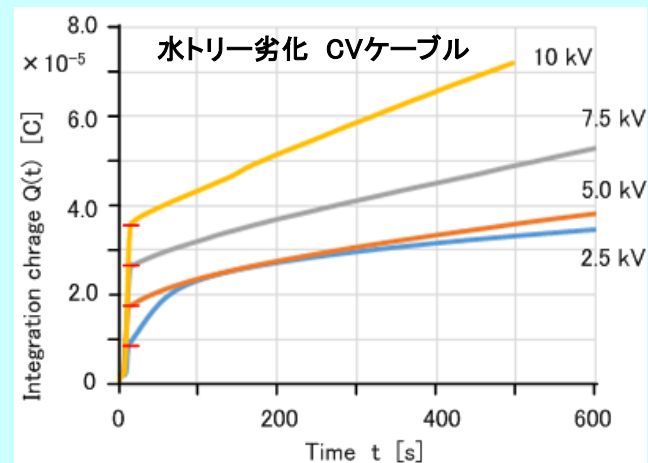
ケーブルの水トリー劣化診断の Q(t) 計測システム

Q(t) Meterを高電圧側に設置

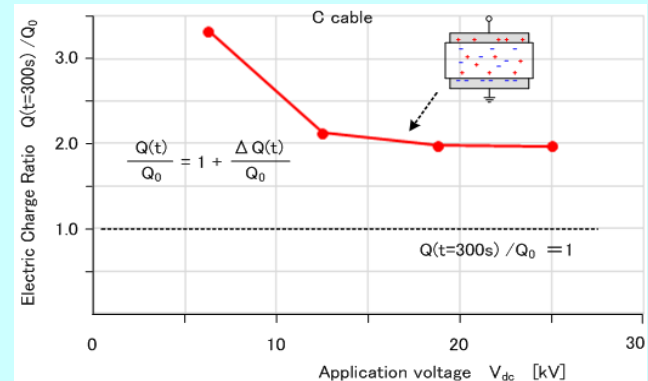
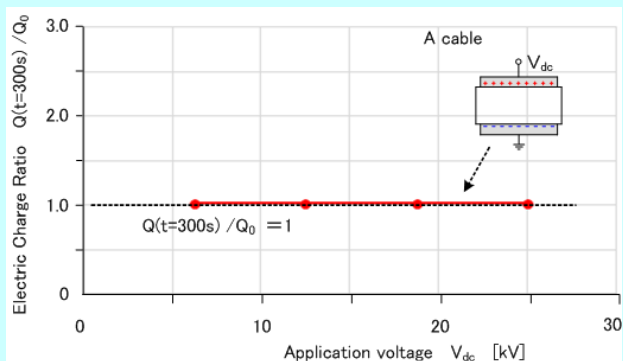


電荷蓄積の評価

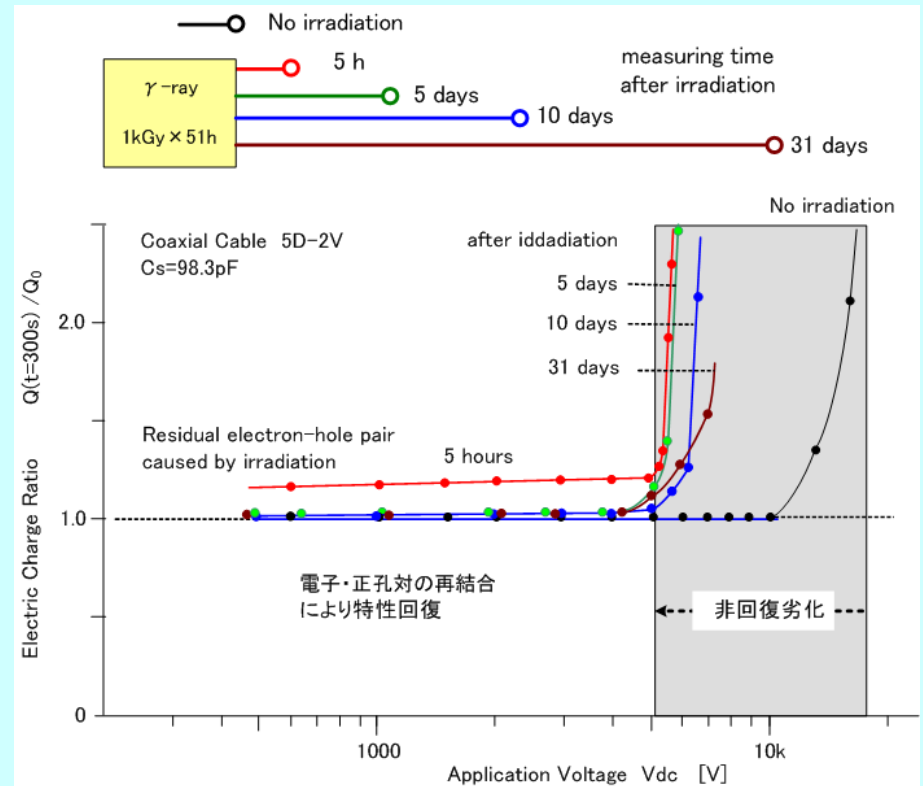
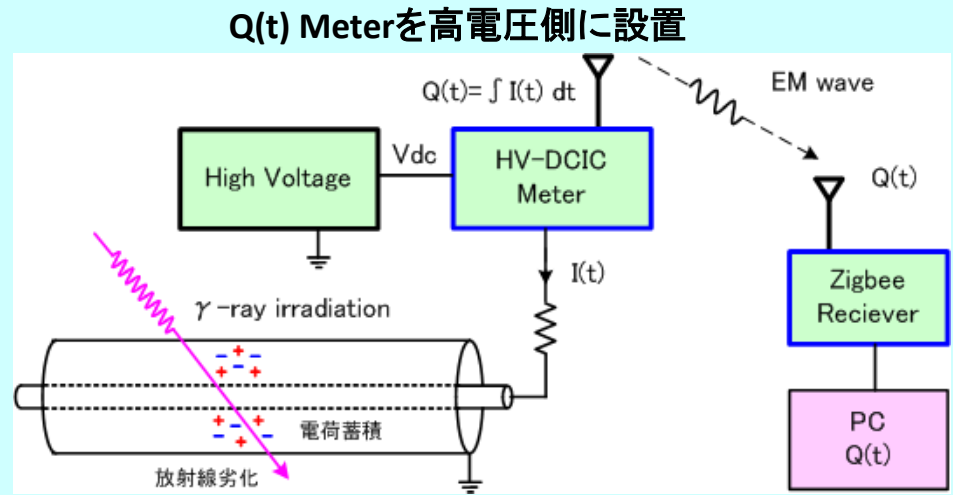
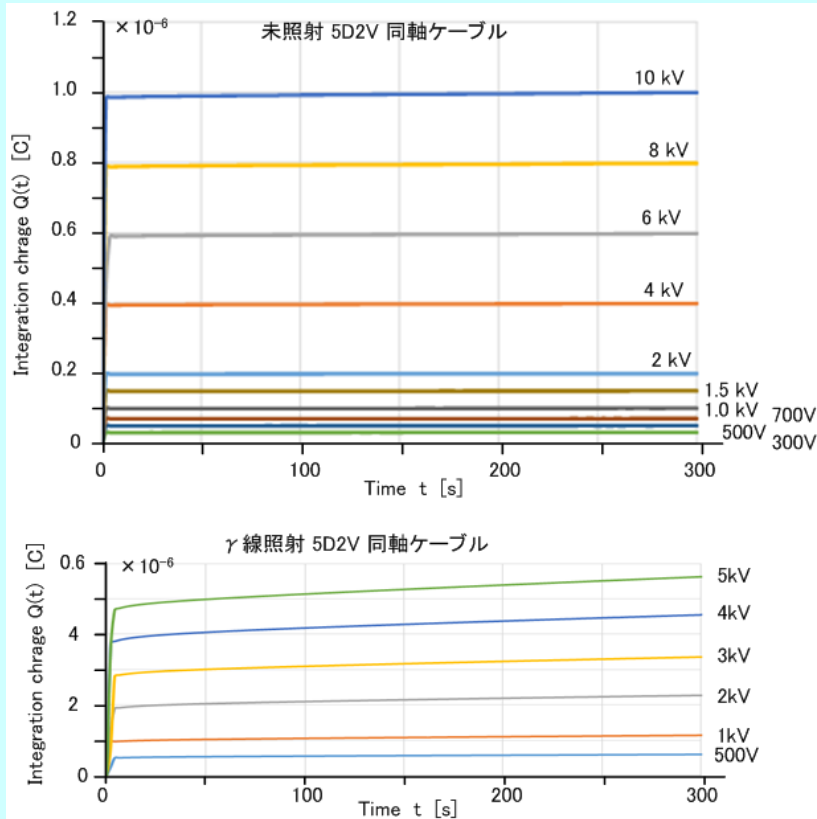
電荷蓄積は認められない → 未劣化と判定



電荷蓄積が認められる → 劣化進行と判定



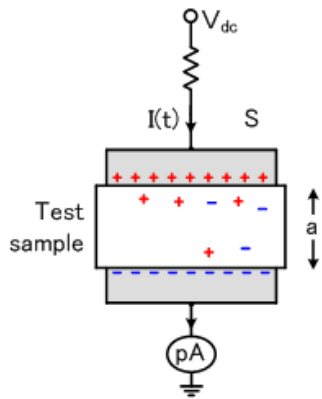
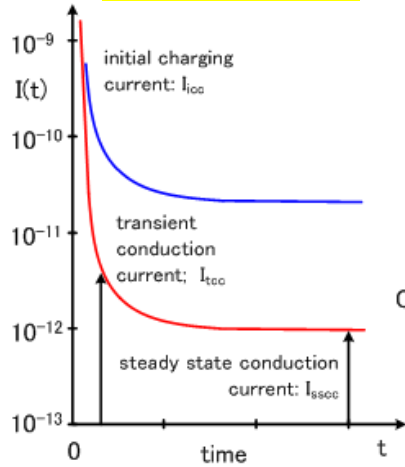
放射線劣化のケーブル診断 Q(t) 計測システム



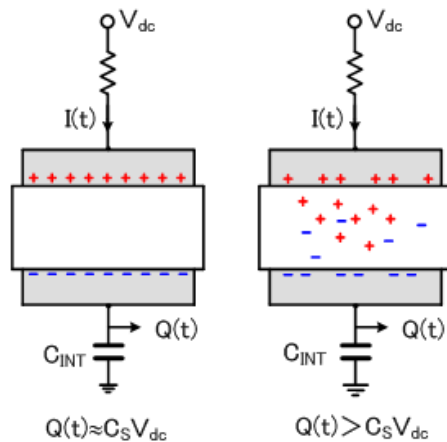
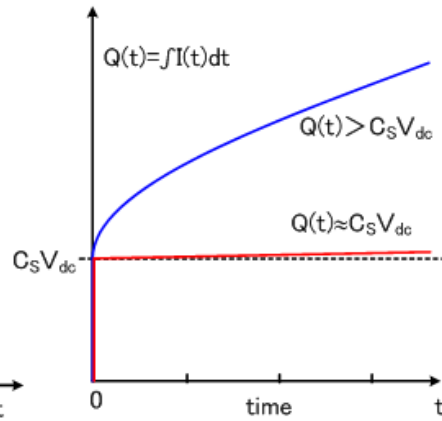
放射線照射により電子・正孔対の生成
 → 電圧印加によりヘテロ電荷を蓄積
 → 時間経過+熱 により電子・正孔対は再結合し、特性は回復

直流絶縁材料の電気特性の評価法の比較

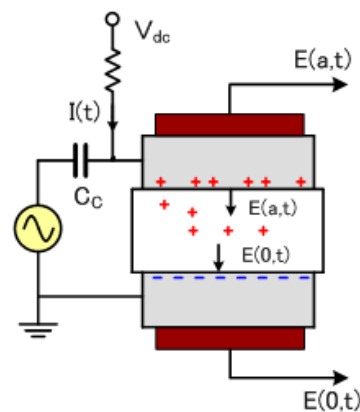
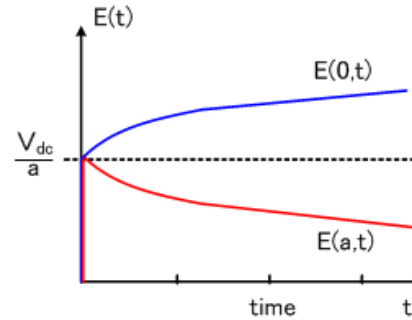
I(t) 測定法



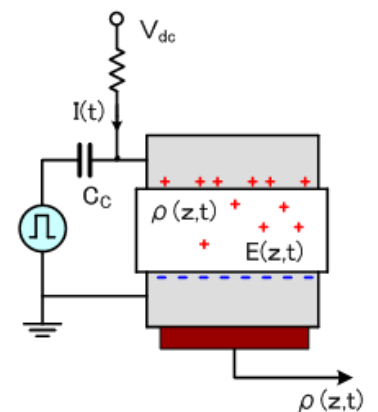
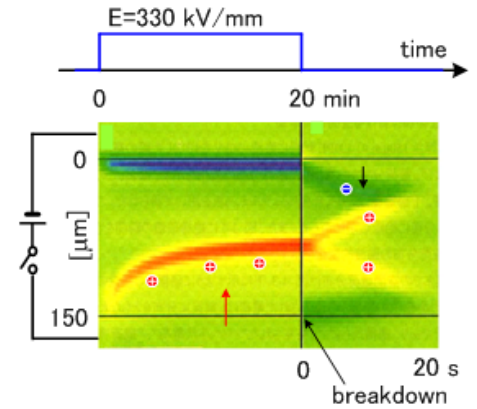
Q(t) 計測法



E(0,t)とE(a,t)計測法



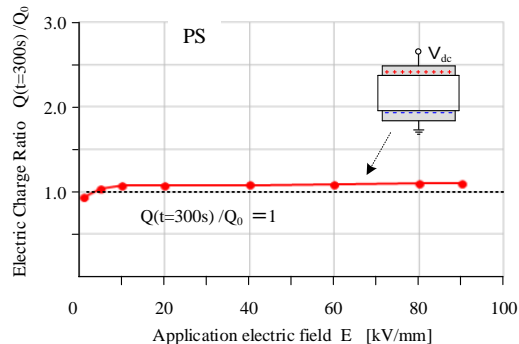
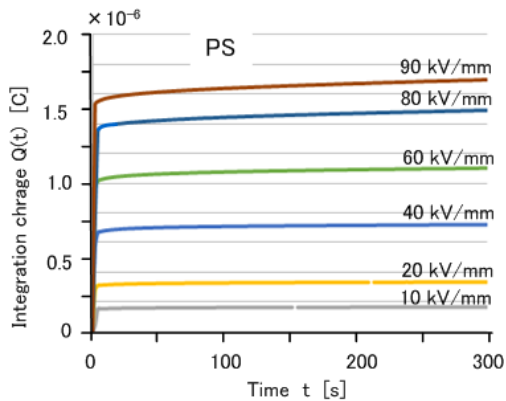
PEA法



<Q(t) 計測>

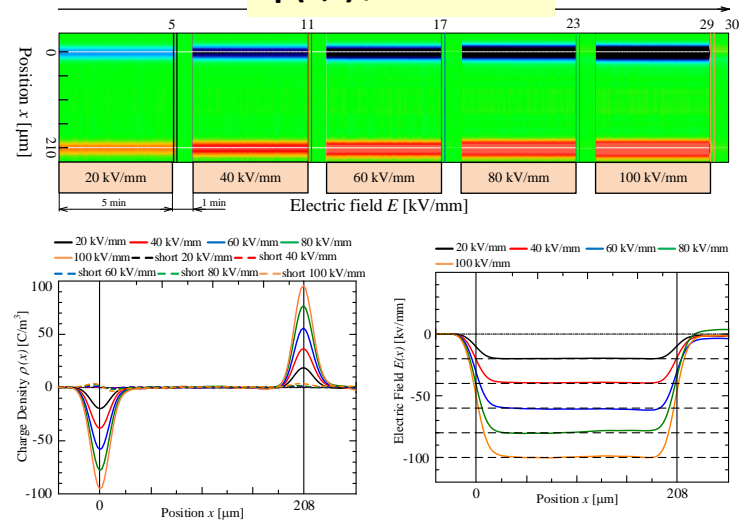
Q(t) 計測・PEA法とも 同じ電荷蓄積特性

<PEA 法>

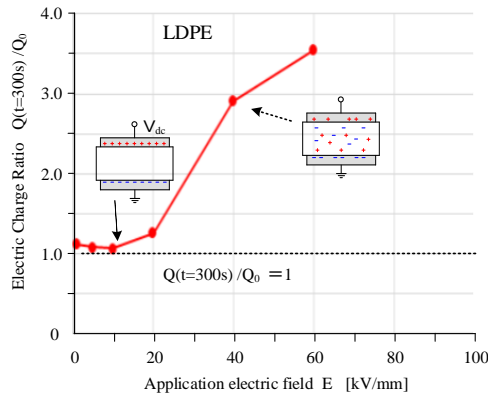
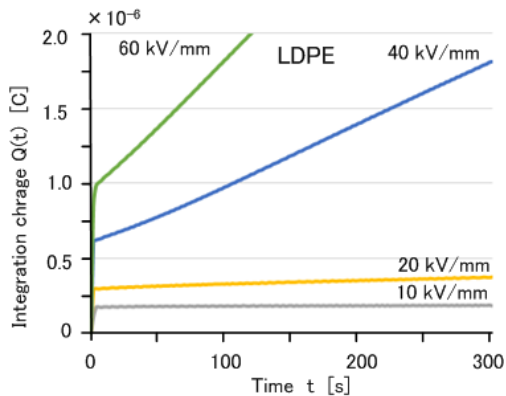


PS (polyethylene) は電界印加による電荷蓄積困難

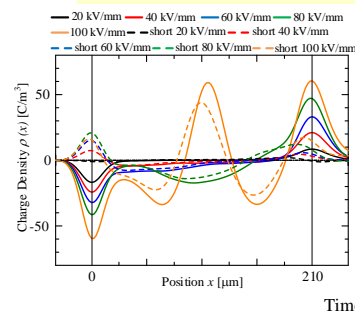
$\rho(x,t)$ / カラー表示



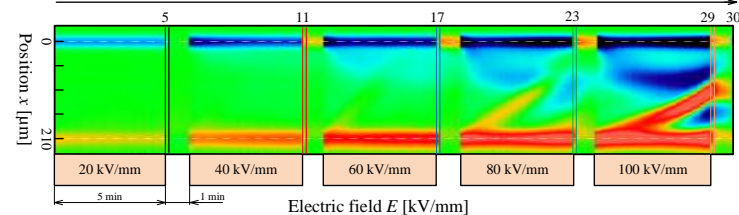
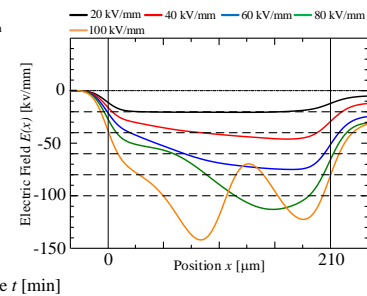
LDPE (低密度ポリエチレン) は電界印加による電荷蓄積容易



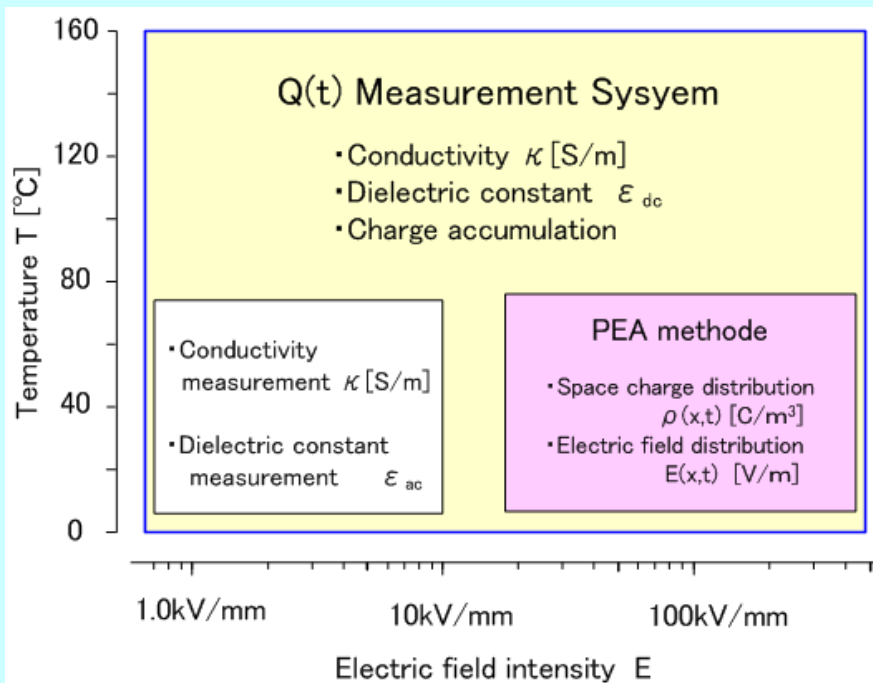
電荷分布 $\rho(x,t)$



電界分布 $E(x,t)$



$\rho(x,t)$ / カラー表示



直流絶縁材料・電気特性の評価法 計測の対象・範囲の比較

Q(t)計測対象の

- 電界範囲: 1.0~500kV/mm
- 温度範囲: 室温~200°C

Q(t)計測法の計測対象

Table Comparison between measurements for electric charge properties[Ⓛ]

[Ⓛ]	I(t) measurement[Ⓛ]	Q(t) method[Ⓛ]	PEA method[Ⓛ]
Measurement Principle[Ⓛ]	Pico-ammeter[Ⓛ]	Current integration[Ⓛ]	Electro-acoustic transducer[Ⓛ]
Space charge distribution[Ⓛ]	× [Ⓛ]	× [Ⓛ]	⊙ [Ⓛ]
Evaluation of charge accumulation[Ⓛ]	× [Ⓛ]	⊙ [Ⓛ]	○ [Ⓛ]
Conductivity κ [S/m][Ⓛ]	⊙ [Ⓛ]	⊙ [Ⓛ]	× [Ⓛ]
Dielectric constant ϵ_r[Ⓛ]	× [Ⓛ]	⊙ [Ⓛ]	× [Ⓛ]

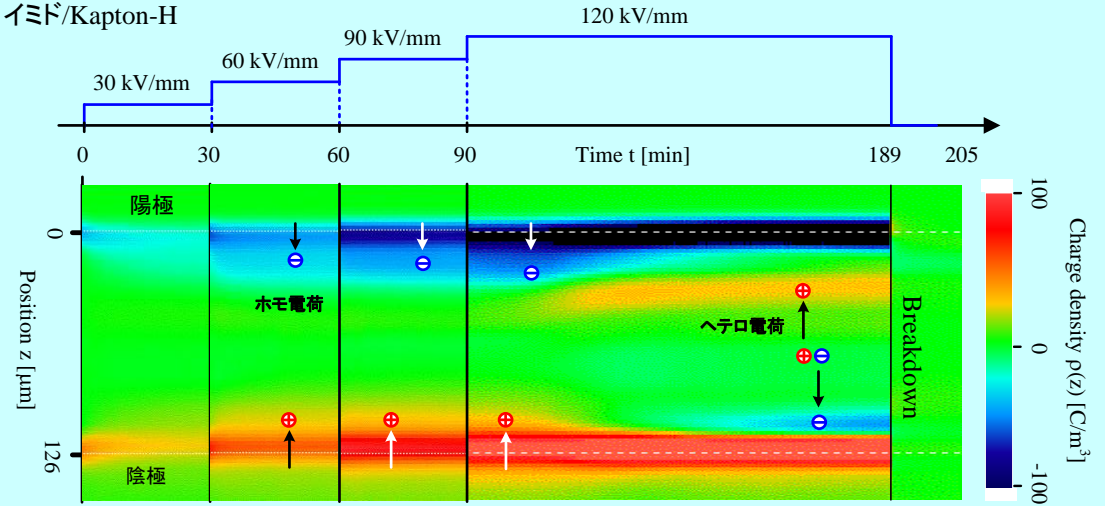
Part 2 電荷蓄積分布の $\rho(t)$ 計測

A 直流絶縁の課題

空間電荷蓄積による
内部電界歪みが
絶縁破壊を誘導

空間電荷蓄積は
複合絶縁劣化を誘発

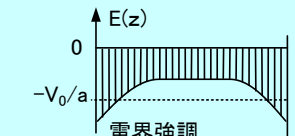
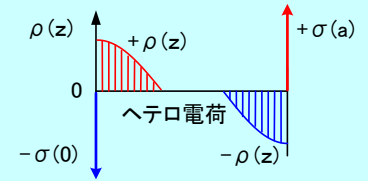
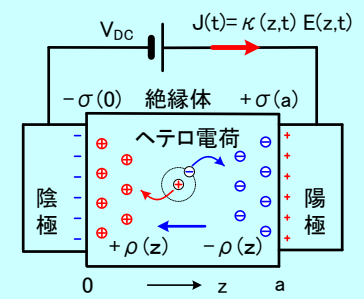
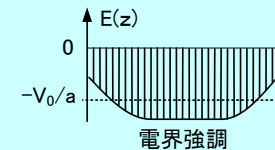
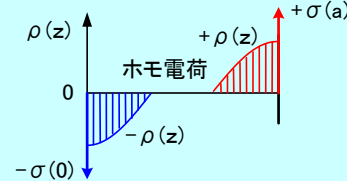
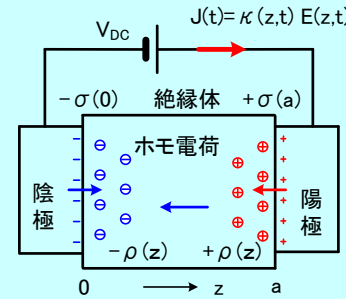
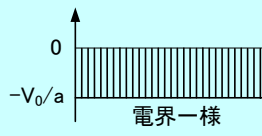
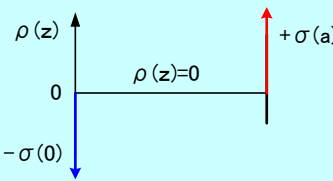
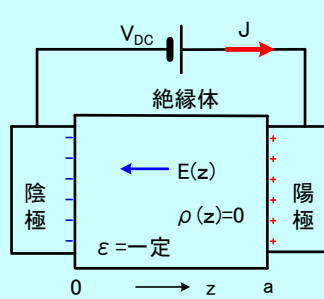
ポリイミド/Kapton-H



(a) 空間電荷の形成前

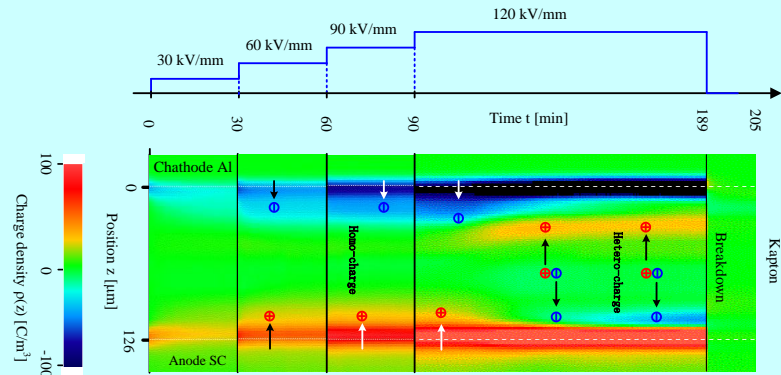
(b) ホモ電荷の形成

(c) ヘテロ電荷の形成

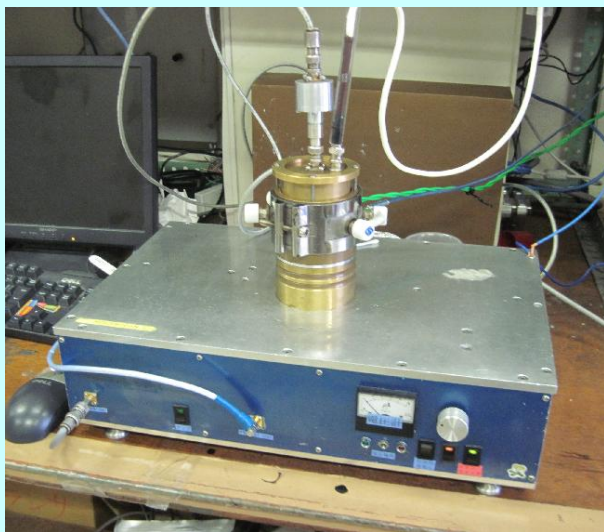


電荷蓄積分布の計測

空間電荷分布測定 PEA法 & PWP法
蓄積電荷分布 $\rho(x,t)$ 電界分布 $E(x,t)$



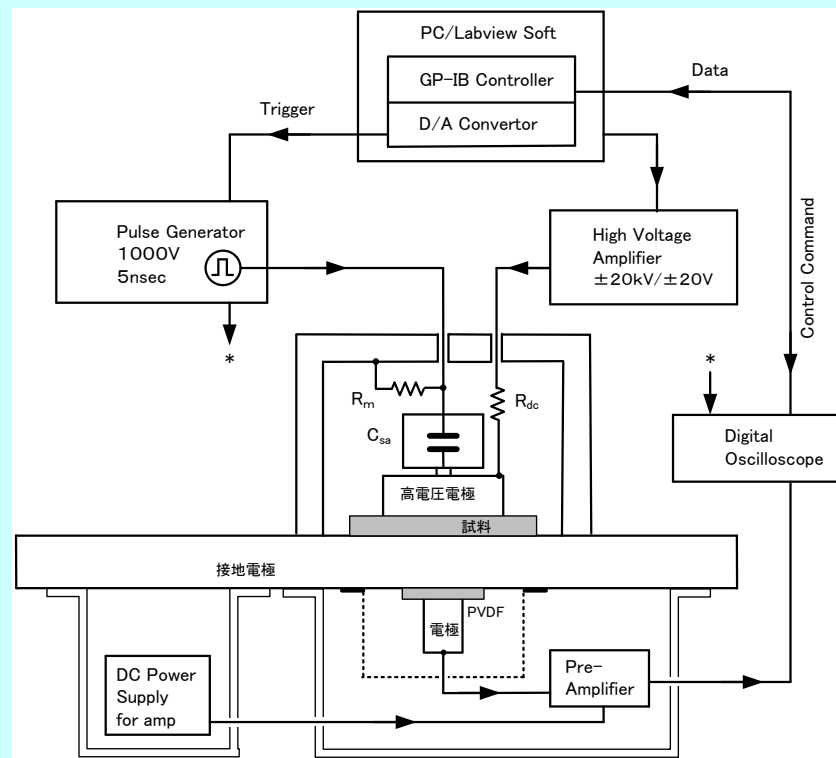
電荷蓄積の空間分布の電界依存性



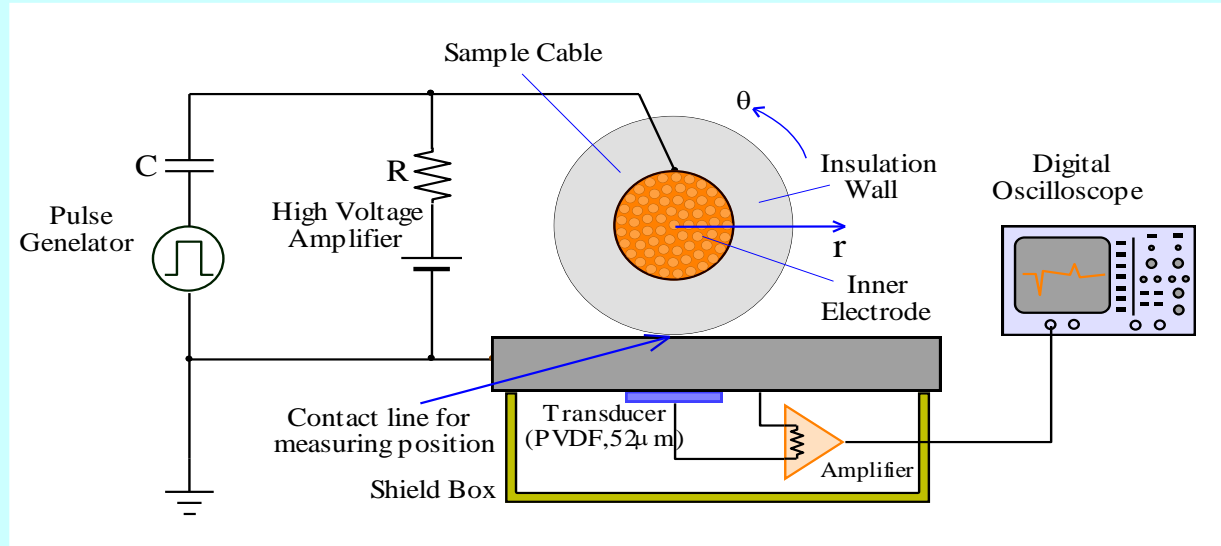
高温PEA装置

PEA: Pulsed Electro-Acoustic method
PWP: Pressure Wave Propagation method

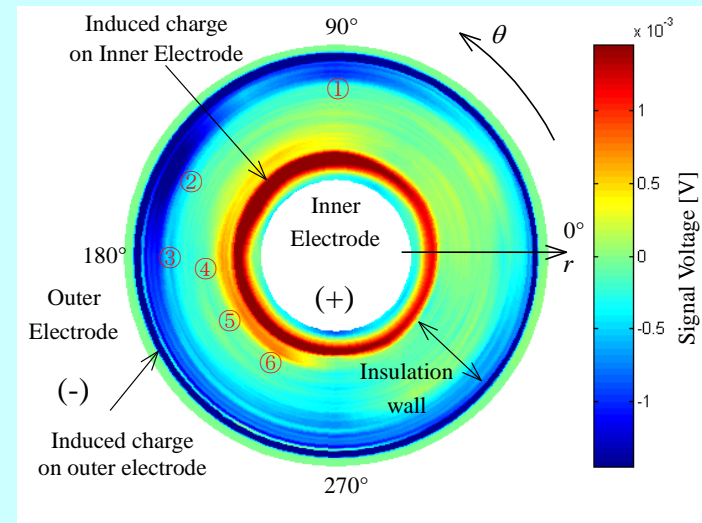
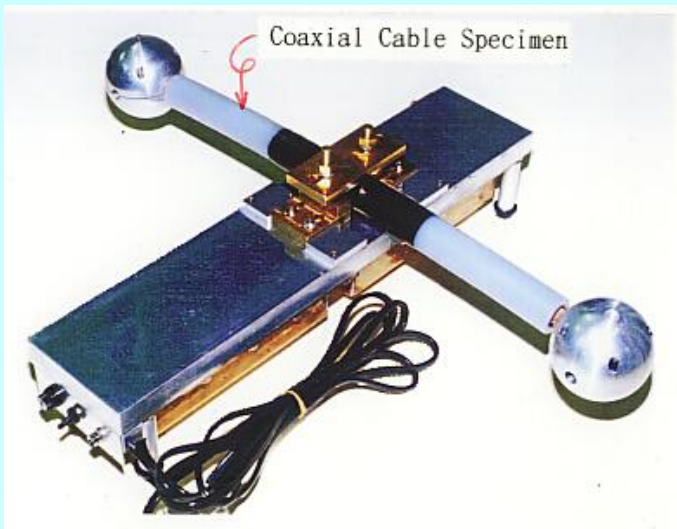
Ying Li and T. Takada, "Progress in Space Charge Measurement of Solid Insulating Materials in Japan," IEEE Electrical Insulating Magazine, Vol.10, No.6, pp.16-28, September/October (1994)



ケーブルの空間電荷分布測定装置 PEA法

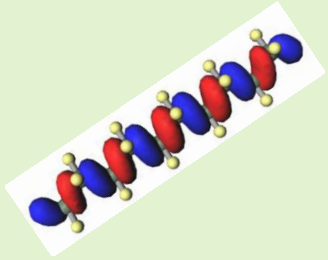
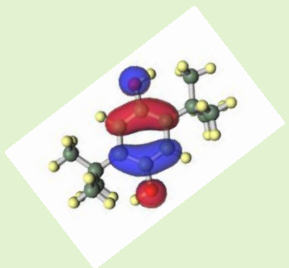


ケーブル断面(r, θ)空間電荷分布の測定装置



空間電荷の断面分布の測定結果

Part 3 蓄積電荷の量子化学計算による解析



<Q(t)特性>

絶縁評価基本量を同時計測

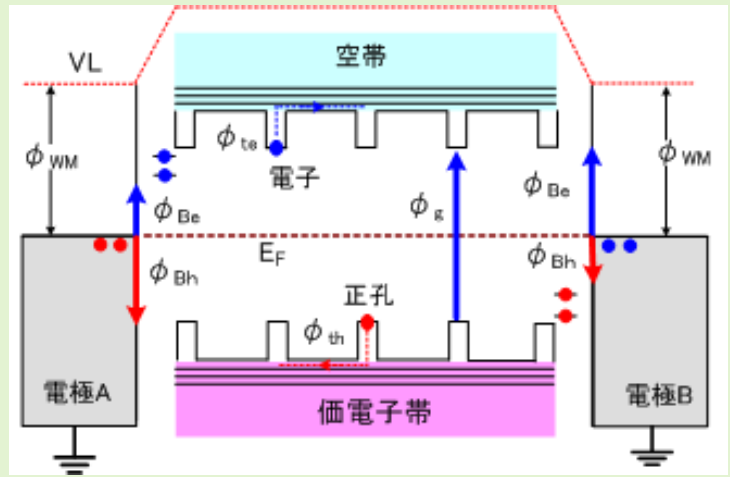
- ・電荷蓄積 $\Delta Q(t)/Q_0$
- ・導電率 κ [S/m]
- ・誘電率 ϵ_r

$Q(t)=Q_0+\Delta Q(t)$ 特性
 $\Delta Q(t)/Q_0$ を評価

- ・電界依存性
- ・温度依存性
- ・時間依存性

<高温・空間電荷分布測定>

- ・高温-PEA計測
- 蓄積電荷密度 $\rho(x,t,T)$ [C/m³]



<量子化学計算>

誘電体絶縁の物性の基本量を計算

- ・エネルギーギャップ ϕ_g
- ・電極電荷注入障壁 ϕ_B
- ・電荷トラップ深さ ϕ_t

<電荷蓄積メカニズムの解析>

- ・電極電荷注入 律則型
- ・バルク電荷移動 律則型
- ・ギャップ間励起電荷生成 律則型

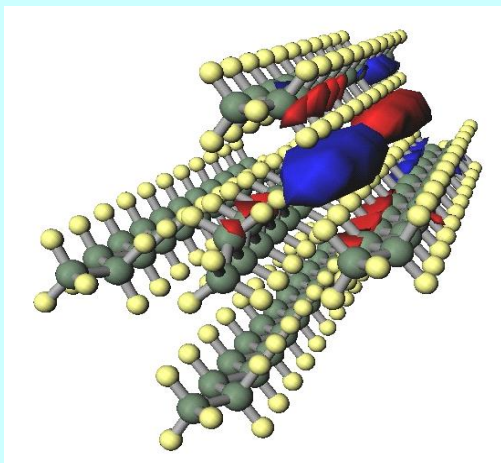
<絶縁劣化メカニズムの解析>

- ・電荷蓄積と分子内エネルギー準位の不整の観察
- ・電荷キャリアの電界加速が分子切断

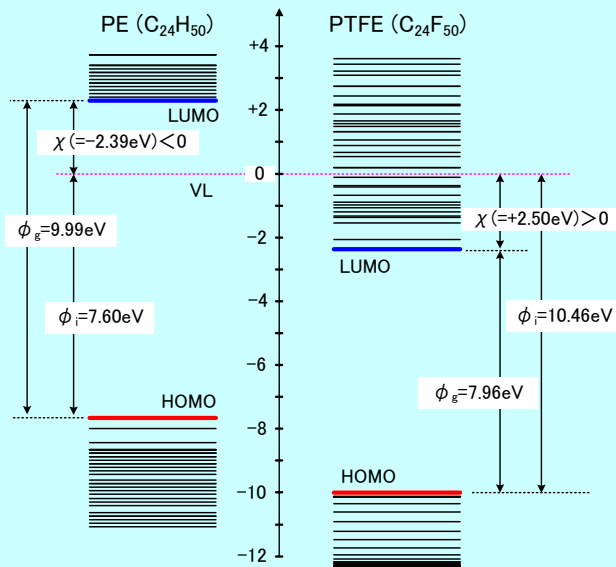
- ・電荷蓄積を評価する「計測技術」
- ・再生可能エネルギー導入に必要な「直流誘電・絶縁材料の評価と解析」
- ・電気自動車の普及を支える「電子デバイスの直流誘電・絶縁材料の評価と解析」
- ・エレクトレット/分極/電荷蓄積の特性評価と解析

量子化学計算から誘電・絶縁材料の基本電子物性を計算

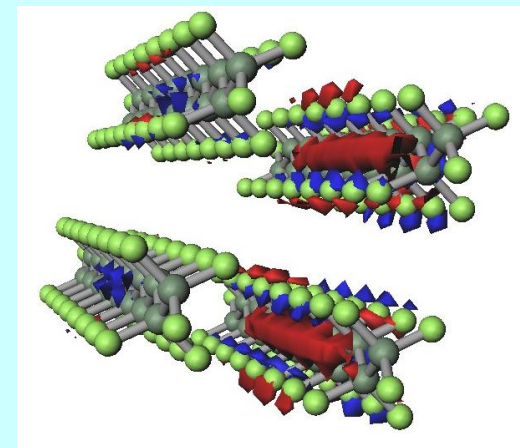
PEの分子軌道



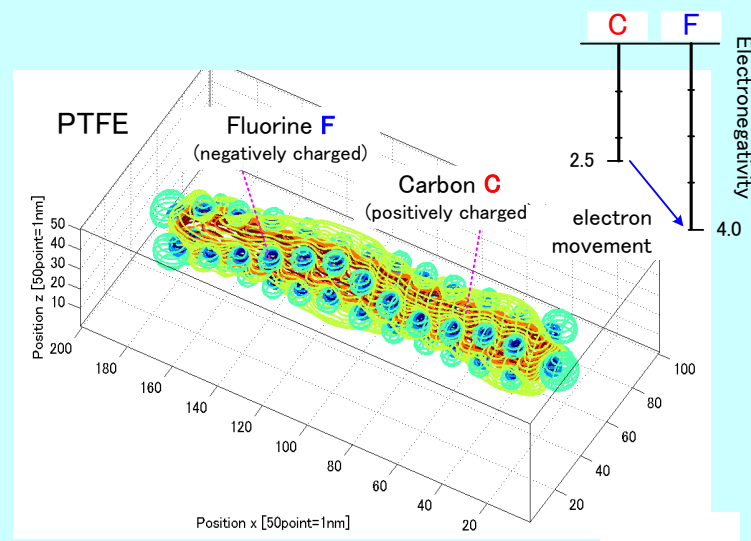
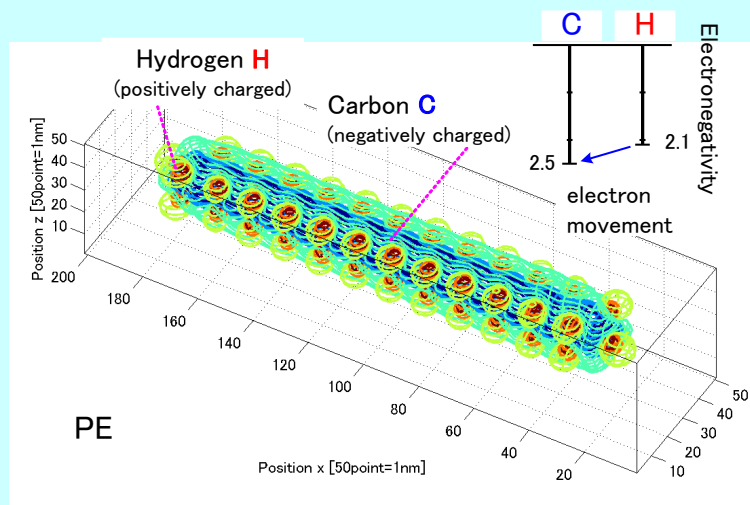
Electron energy [eV]



PTFEの分子軌道



電子エネルギー準位

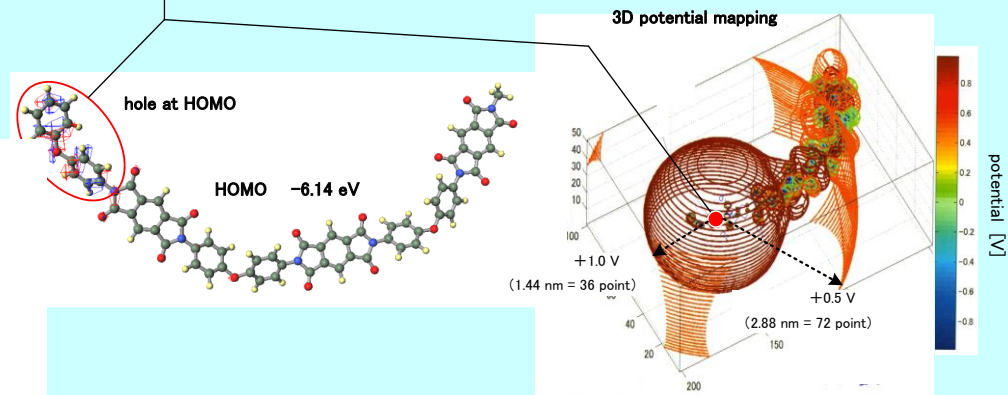
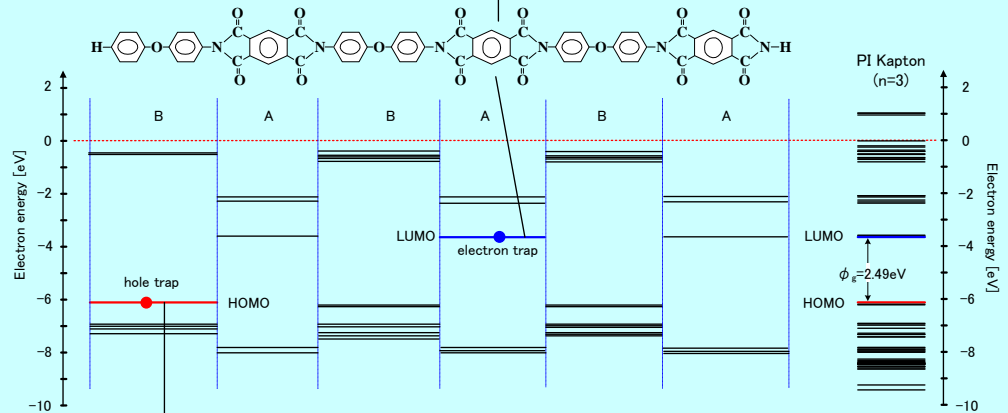
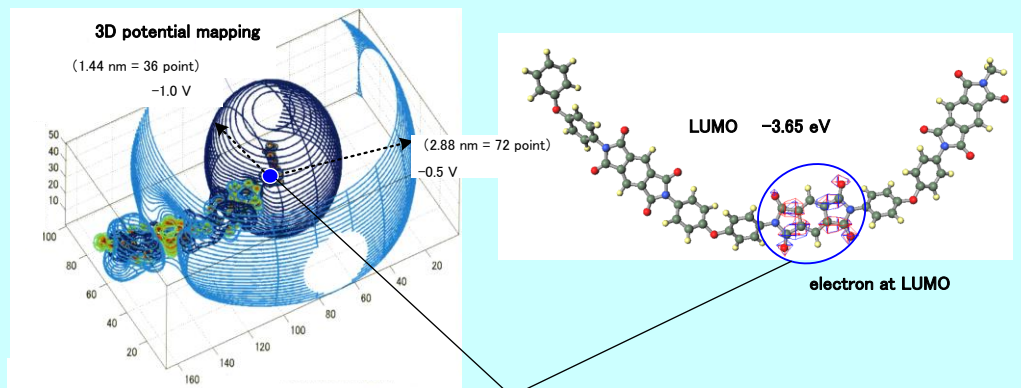


分子鎖の3次元静電気ポテンシャル分布

電荷蓄積の解析

負帯電のトラップと静電気ポテンシャル

- 分子鎖に沿った電子のエネルギー準位分布の解析 →
- 電子と正孔の分子構造のトラップ・サイトを推定 →
- 負帯電/正帯電分子の静電気ポテンシャル分布を量子化学計算より描画 →
- ポテンシャル分布の中心位置と推定トラップ・サイトが一致



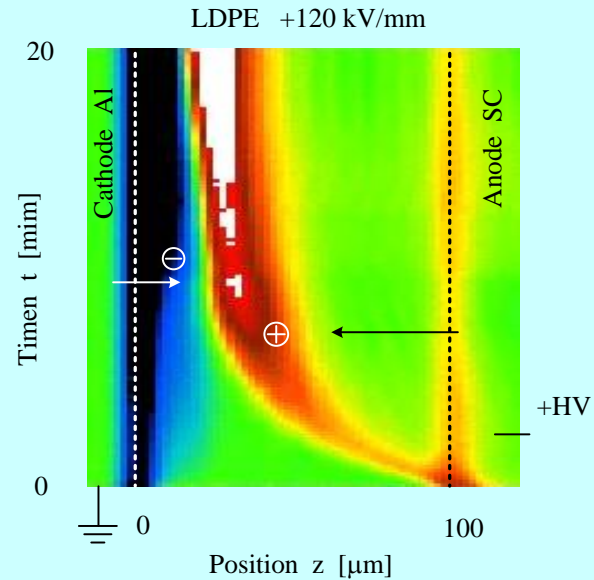
古典論 + 量子論 により
 電荷蓄積の分子内モデルを推定
 電荷蓄積の測定結果を評価できる

量子化学計算は電荷蓄積評価に有用

正帯電のトラップと静電気ポテンシャル

電荷蓄積の解析

- ・ポリエチレンに高電界を印加
電荷蓄積分布を **PEA法で測定** →
- ・なぜ、陽極から正電荷(正孔)が
注入されるか →
- ・量子化学計算よりキャルアの
注入障壁を算出 →
- ・陽極からの正孔注入障壁が低い →
PEA測定結果を説明できる

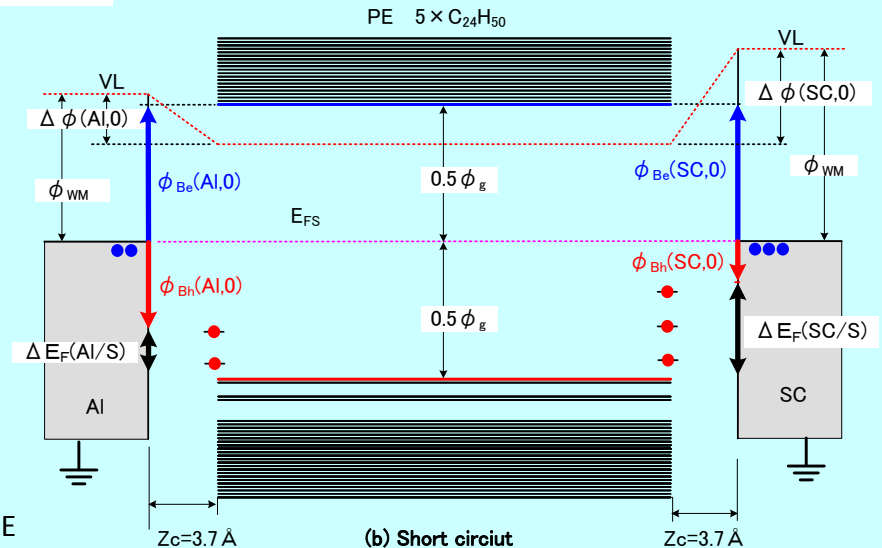


計測技術 + 量子論

を理解し、問題解決と技術開発できる人材育成

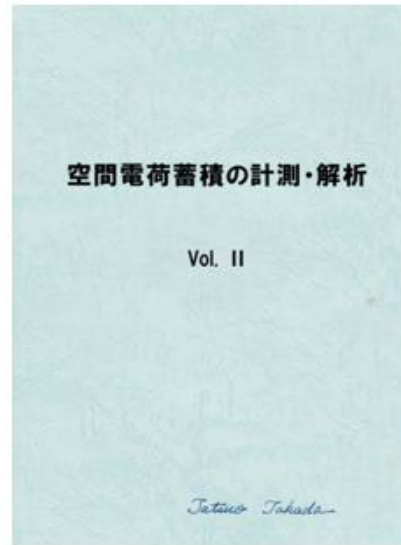


著書の紹介
発行: 電気学会
ISBN978-4-88686-277-8-c3055 ¥1500E



テキスト： 空間電荷蓄積の計測技術、PEA測定データ、 量子化学計算による解析

空間電荷蓄積
の計測技術



液体誘電体
表面沿面放電



固体誘電体/PEAデータと解析

高電圧 & 誘電・絶縁材料の分野の研究者 & 技術者
＜定量的考察ができること＞

古典論 + 計測技術 + 量子論 を理解できる人材育成が重要