

芝浦工業大学  
アーバンエコモビリティ研究センター  
パワーエレクトロニクス研究領域

# インバータサージによるモータ巻線 の絶縁破壊現象解明とフレキシブル 過電圧抑制シートの提案

松本 聡 (電気工学科)

# パワーエレクトロニクス研究領域

- “小型・高効率・高出力”モータシステム開発(下村)
- 移動電源車:個人用途の小型モビリティ(高見)
- モータおよび駆動用インバータの一体化による小型化、軽量化、大トルク化(赤津)
- インバータサージによるモータ巻線の絶縁破壊現象  
解明とフレキシブル過電圧抑制シートの提案(松本)

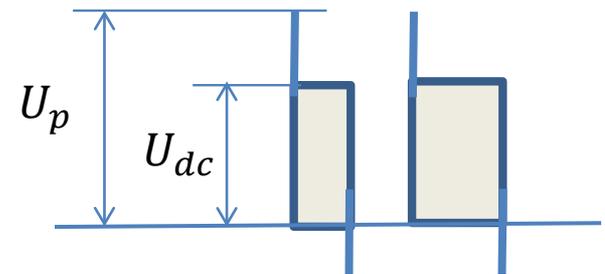
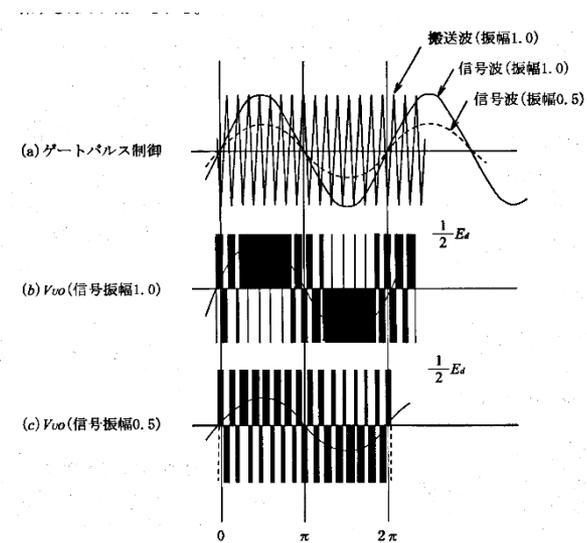
# IVICの区分 [ $\max U_p / U_{dc}$ ] (Impulse Voltage Insulation Class)

- Type I (IEC60034-18-41): PD-free

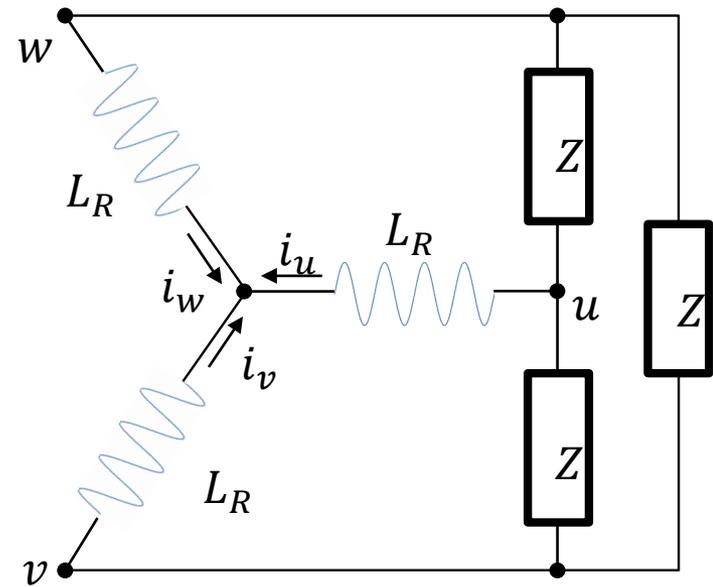
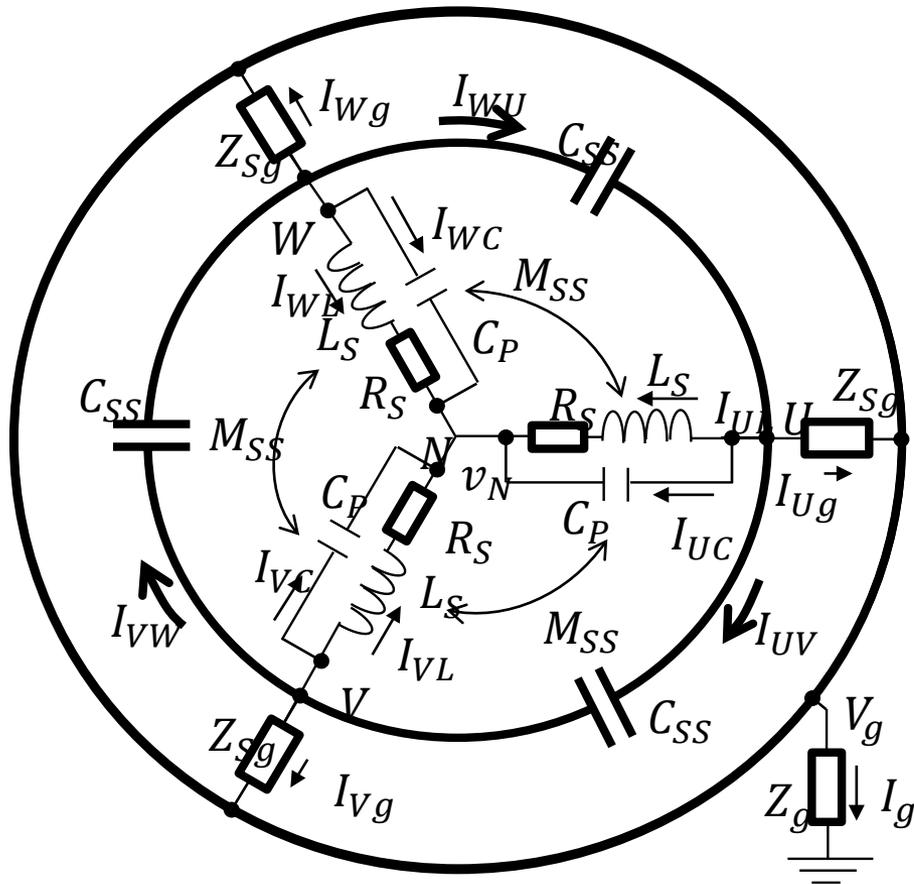
A Benign	1.1
B Moderate	1.5
C Severe	2.0
D Extreme	2.5

- Type II (IEC60034-18-42): PD-resistant

1	1.1
2	1.3
3	1.5
4	1.7
5	2.0
6	2.3
7	2.6
S	to be chosen by the manufacturer

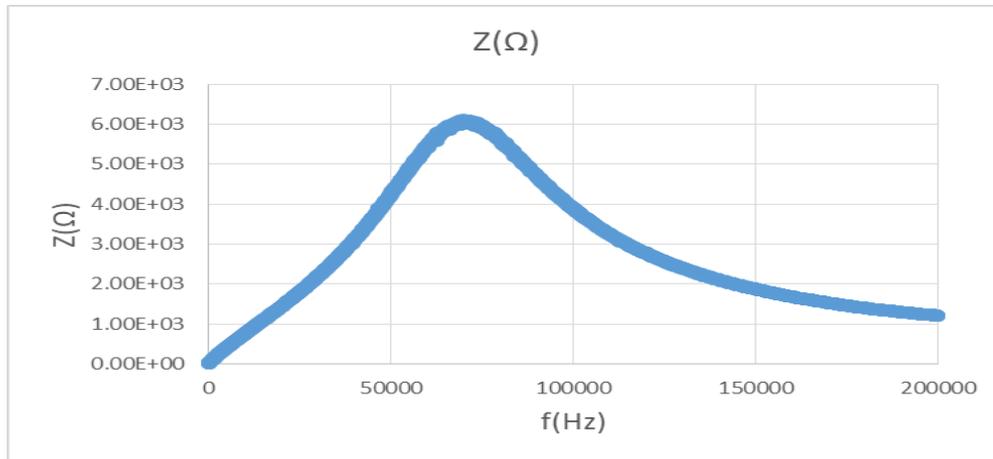


# 高周波等価回路と枝電流

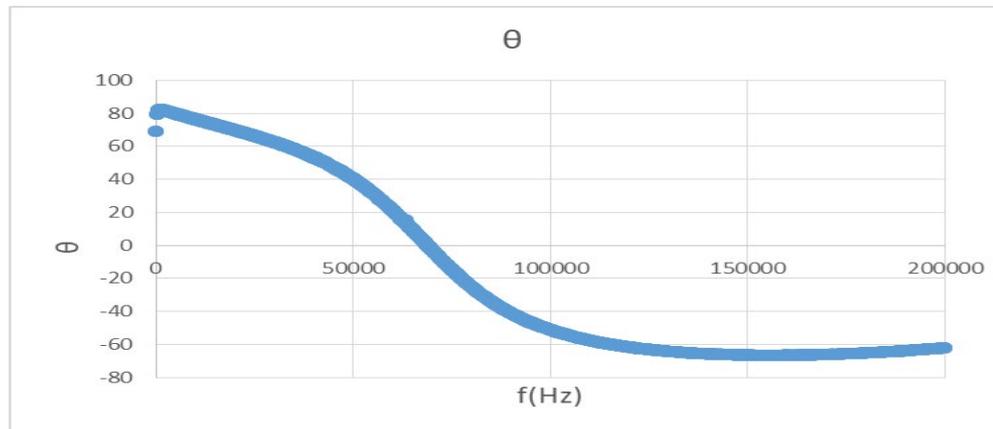


$$M_{SS} = k_{SS}L_s, M_{SR} = k_{SR}L_s, M_{Sj} = k_{Sj}L_s$$

# インピーダンスと位相角の周波数特性の測定例(ボーンデ線図)



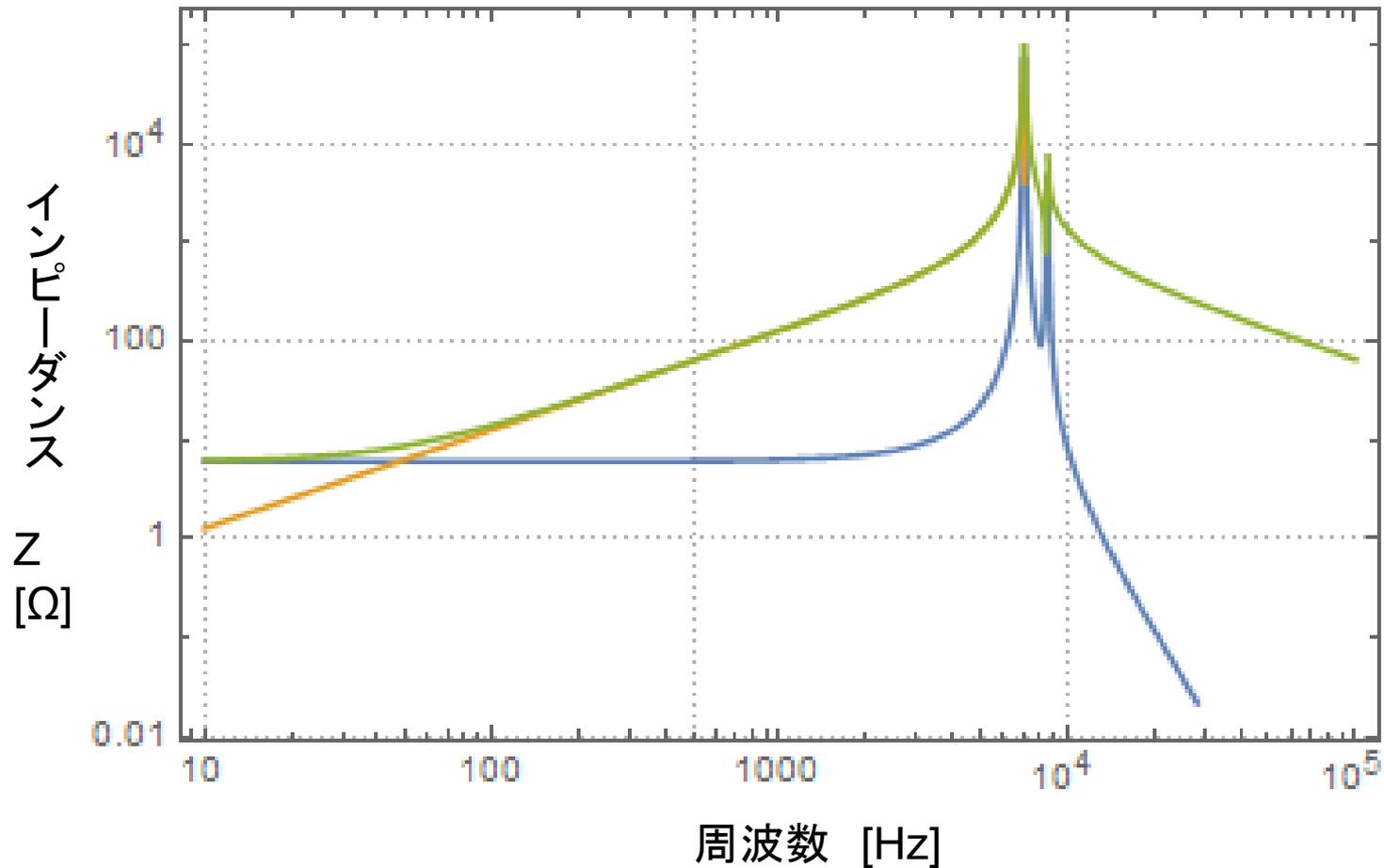
インピーダンスは極値を有し  
共振状態が存在することが判明した。



位相角  
進み位相から遅れ位相に変化する

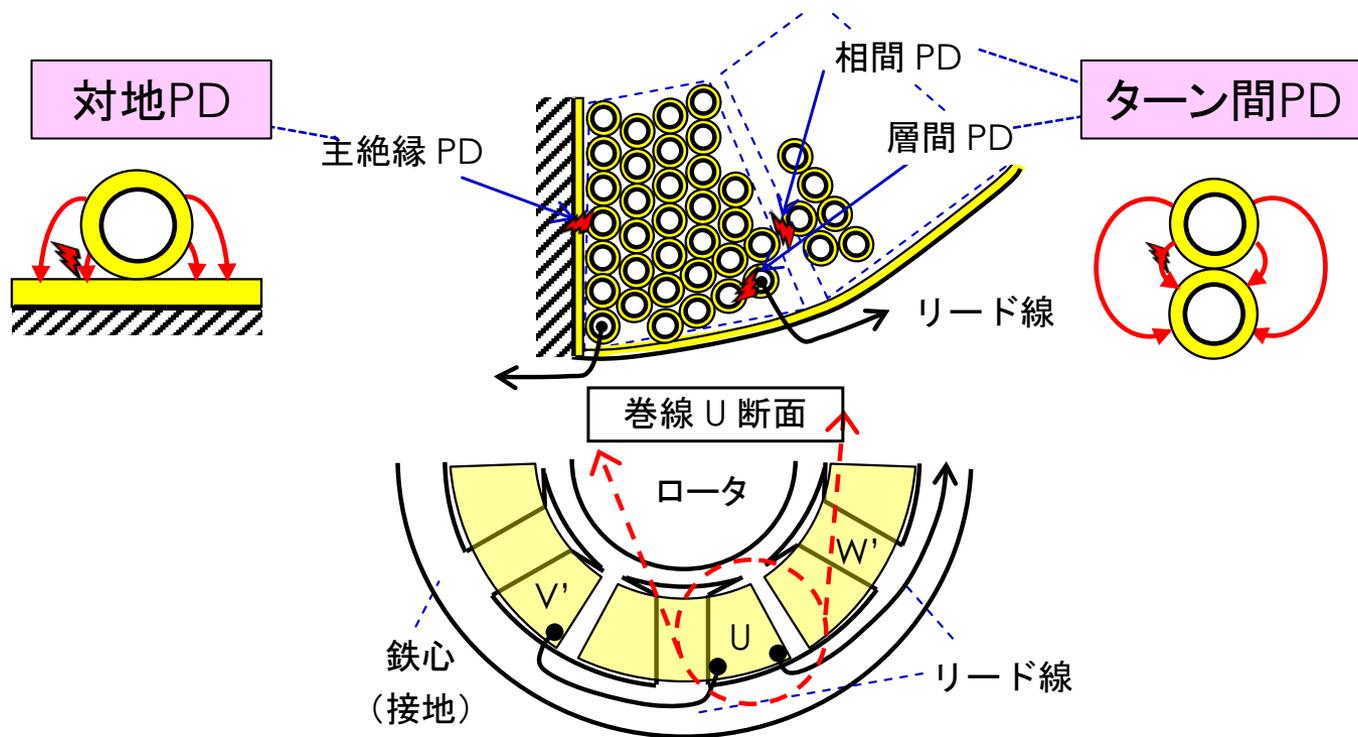
測定回路1222

# MATHEMATICAによる解析例



インピーダンスの周波数特性

# モータ巻線における部分放電



## 参考文献

1. 電気学会技術報告 第1218号「繰返しインパルスにおける部分放電計測とインバータサージ絶縁」
2. 電気学会技術報告 第1407号「実用的インバータ駆動モータ絶縁評価法」

# マクスウェル方程式による 部分放電パルスの検出原理

$$\text{rot}H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

電導電流

→主に電気回路(電線)を流れる電流  
検出用インピーダンスで検出

$$\text{rot}E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

変位電流

→主に空間を流れる電磁波  
アンテナで検出可能

$$\text{div}D = \rho$$

$$\text{div}B = 0$$

$H$ :磁界

$E$ :電界

$D$ :電束密度

$B$ :磁束密度

$\rho$ :体積電荷密度

# ヘルツベクトルと超ポテンシャル による部分放電パルスの伝搬解析

電気分極  $\mathbf{P}(\mathbf{r}', t) = \mathbf{p}(t)\delta(\mathbf{r})$

磁化ベクトル  $\mathbf{M}(\mathbf{r}', t) = \mathbf{m}(t)\delta(\mathbf{r})$

$$\Pi_e(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_V \frac{\mathbf{P}(\mathbf{r}', t - |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|/\sqrt{\epsilon\mu})}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} dv$$

$$\Pi_m(\mathbf{r}, t) = \frac{\mu}{4\pi} \int_V \frac{\mathbf{M}(\mathbf{r}', t - |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|/\sqrt{\epsilon\mu})}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|} dv$$

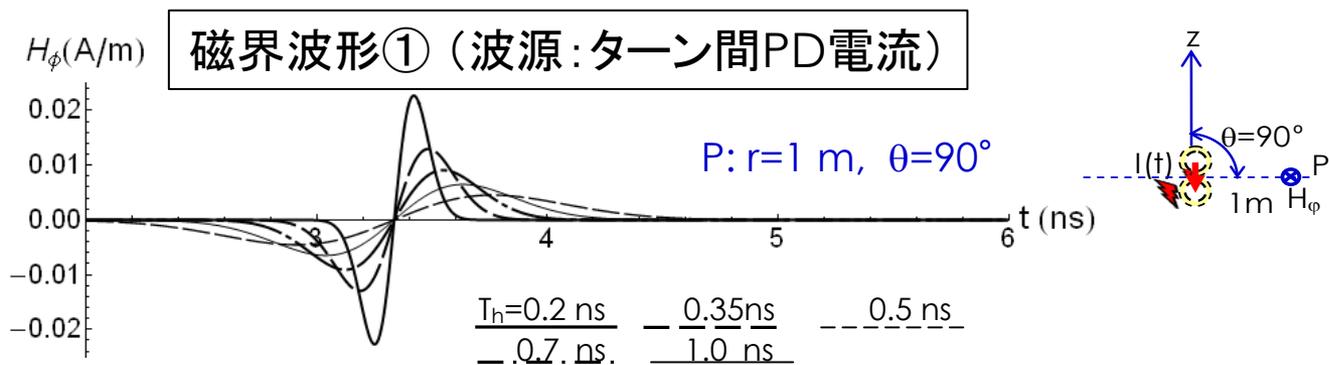
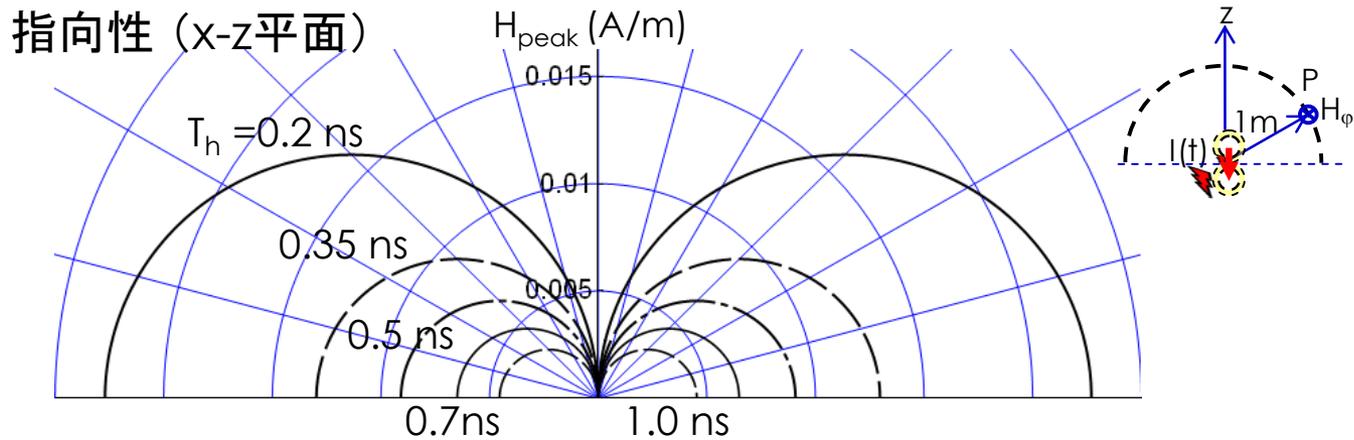
$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \text{rot}(\text{rot}\Pi_e) - \text{rot}\frac{\partial\Pi_m}{\partial t}$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = \epsilon_0\mu_0\text{rot}\frac{\partial\Pi_e}{\partial t} + \text{rot}(\text{rot}\Pi_m)$$

$$\phi(\mathbf{r}, t) = -\text{div}\Pi$$

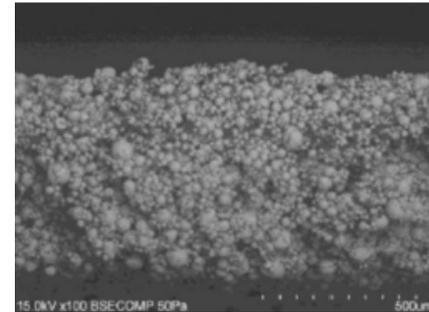
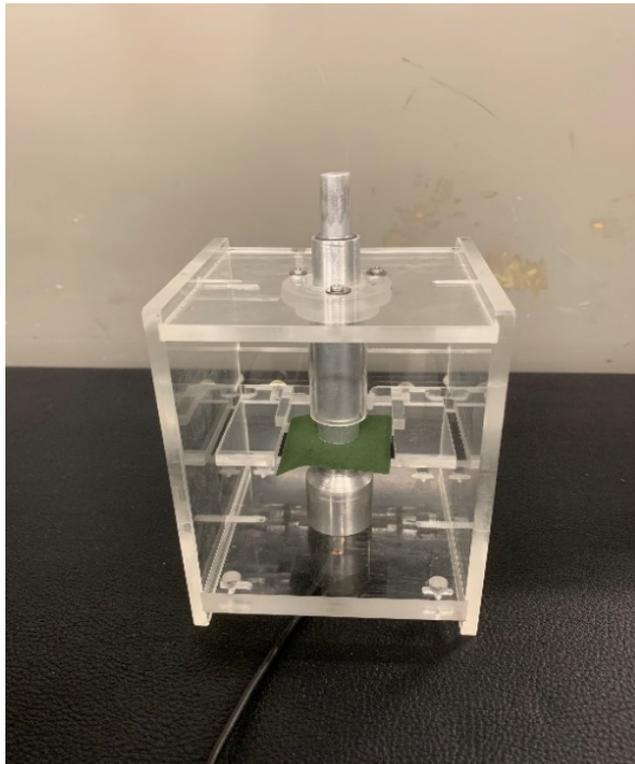
$$\mathbf{A}(\mathbf{r}, t) = \kappa\mu_0\Pi + \epsilon_0\mu_0\text{rot}\frac{\partial\Pi}{\partial t}$$

# ターン間PD電流による電磁波の計算例

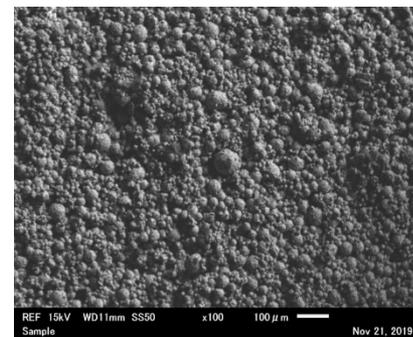


# Flexible ZnO Powder Sheet

特願2018-069007

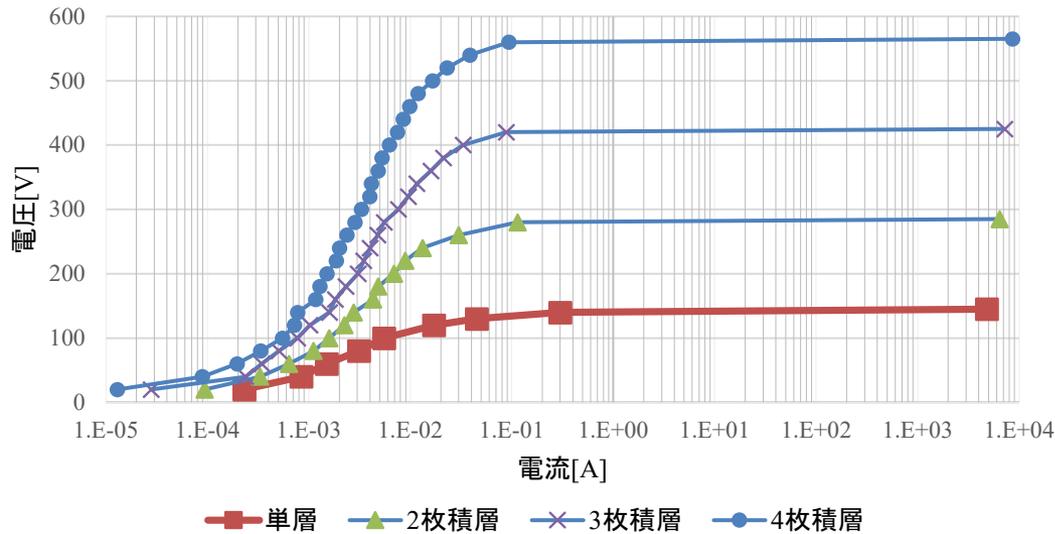


(a) Cutting plane (0.5mm/scale)  
(Sample E4: 1600V/mm)

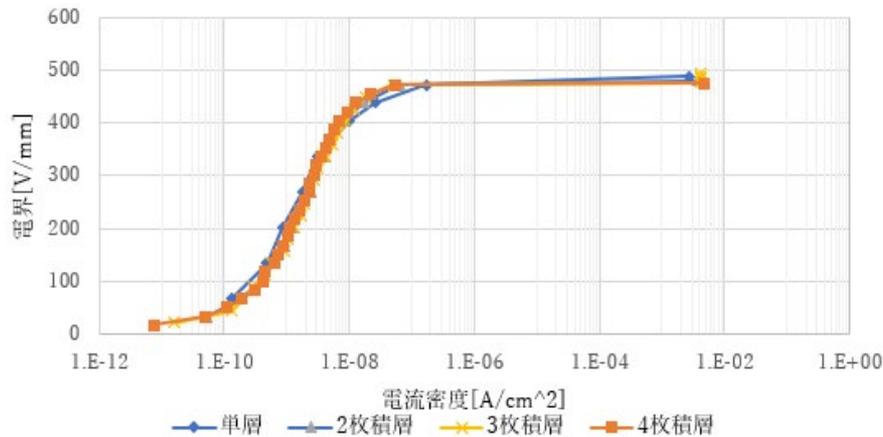


(b) Surface (0.1mm /scale)  
(Sample H2: 400~470V/mm)

# 積層による電圧-時間特性



直流試験装置



インパルス試験器

# フレキブル過電圧抑制シートの最適配合粒子シミュレーション

