

株式会社三重ティーエルオー  
専門家人材バンクサービス

# 自己紹介

## 相談対応専門分野紹介

元三重大学工学研究科電気電子工学専攻教授

株式会社三重ティーエルオー

飯田和生

# 私の経歴：飯田和生

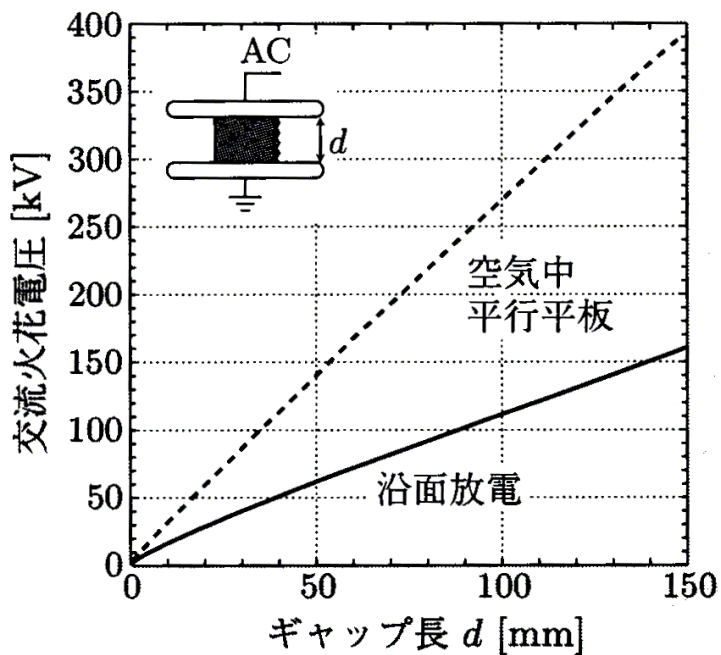
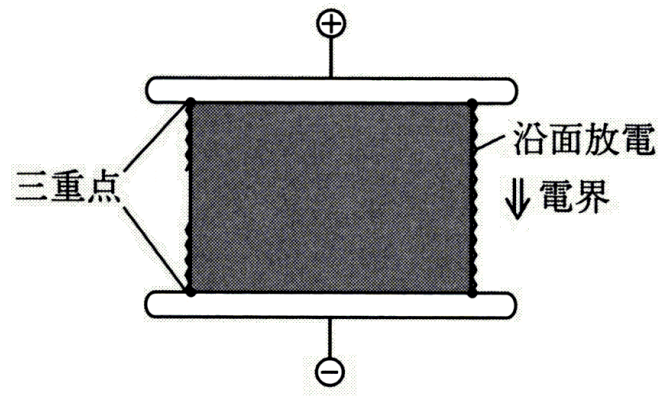
- 1980年3月  
三重大学大学院工学研究科電気工学専攻修了
- 三重大学工学部電気電子工学科助手・助教授・教授
- 高分子材料の電気絶縁特性に関する研究に従事
- 静止接点の特性評価、劣化現象に関する研究に従事
- 2021年3月定年退職

# 高分子材料の絶縁破壊メカニズムの理解と劣化対策

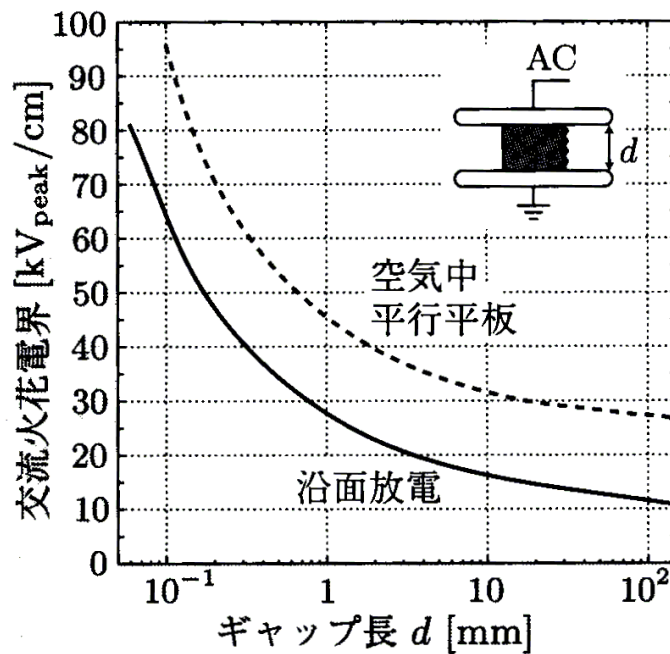
1. はじめに
  - 1.1 気体の絶縁破壊理論は  
固体を考える時にも大切
  - 1.2 液体・固体中への電荷の供給
  - 1.3 絶縁での弱点
2. 高分子材料の誘電特性
  - 2.1 誘電率及び誘電損率の周波数特性
  - 2.2 電子分極と原子分極
  - 2.3 配向分極
  - 2.4 緩和時間の分布
  - 2.5 高分子の分子構造と誘電特性
  - 2.6 複合体の誘電特性
3. 高分子絶縁材料の電気伝導特性
  - 3.1 イオン伝導
  - 3.2 電子性伝導
4. 高分子絶縁材料の短時間破壊のメカニズム
  - 4.1 高分子の絶縁破壊
  - 4.2 電子的破壊
  - 4.3 熱破壊
  - 4.4 機械的破壊
5. 高い電圧を用いるところでの高分子材料
  - 5.1 電力ケーブル
  - 5.2 電力機器
  - 5.3 EV/HEV
6. 高分子絶縁材料の劣化とフィラーの効果
  - 6.1 高分子材料の劣化現象
  - 6.2 部分放電とトリー
  - 6.3 部分放電特性の評価
  - 6.4 V-t特性
  - 6.5 フィラーの効果
  - 6.6 フィラー／高分子界面の影響
  - 6.7 フィラーによるトリー劣化抑制

# 絶縁破壊の強さ

固体: 数MV/cm  
 液体: 数100kV/cm  
 気体: 数10kV/cm

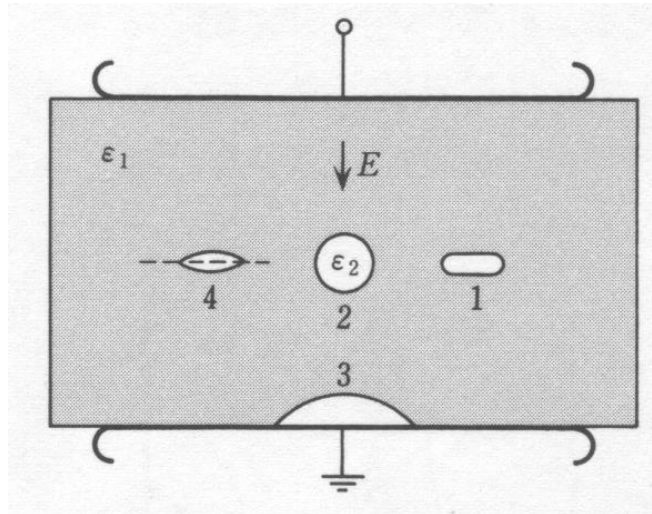


沿面フラッシュオーバー電圧



沿面フラッシュオーバー電界

沿面フラッシュオーバー電圧と電界 (電界平行型)



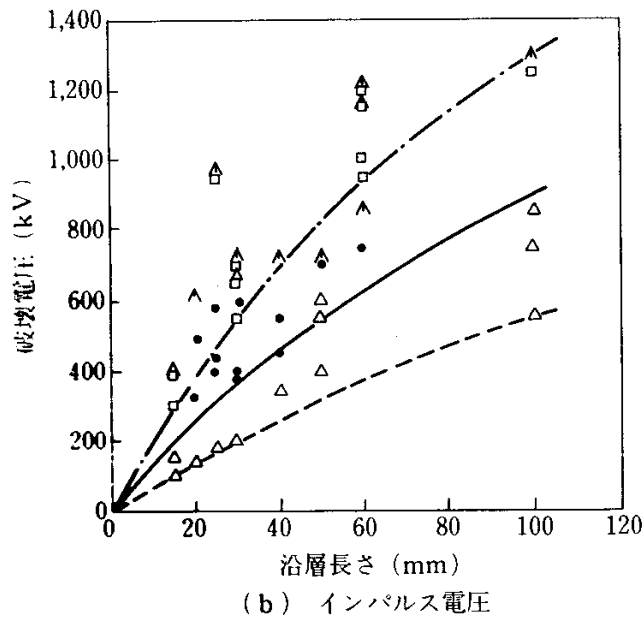
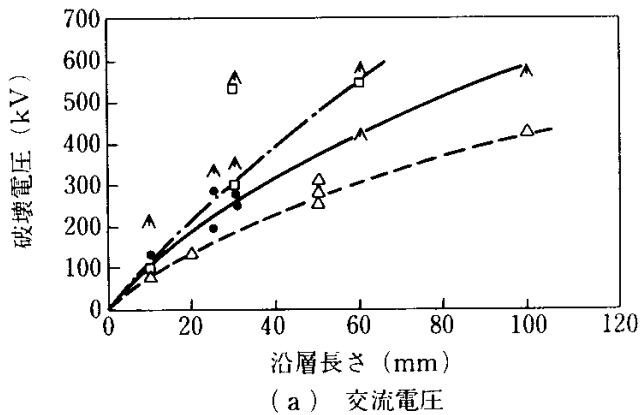
1 :  $(\epsilon_1 / \epsilon_2) E$

2 :  $\{3 \epsilon_1 / (2 \epsilon_1 + \epsilon_2)\} E$

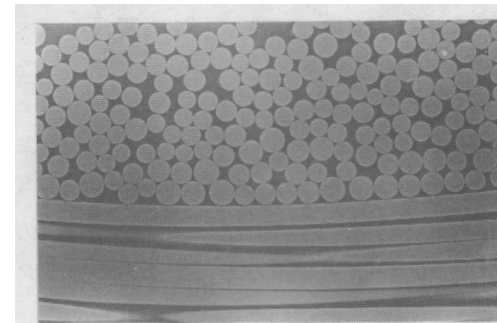
3 : 三重点で無限大

4 : 尖った端と波線の位置に等電位面があれば無限大

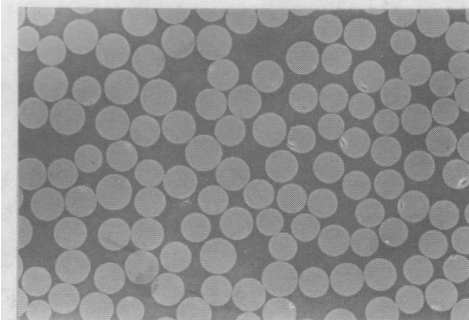
## 固体中のボイドとボイド内での電界



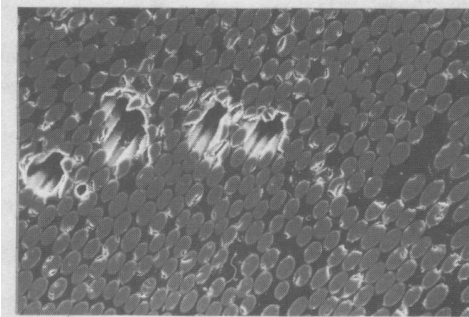
▲: FOまたは未破壊, □: ボイドレスFRP  
 ●: 一方向性引抜FRP, △: FWFRP



(a) ボイドレスに作った積層FRP



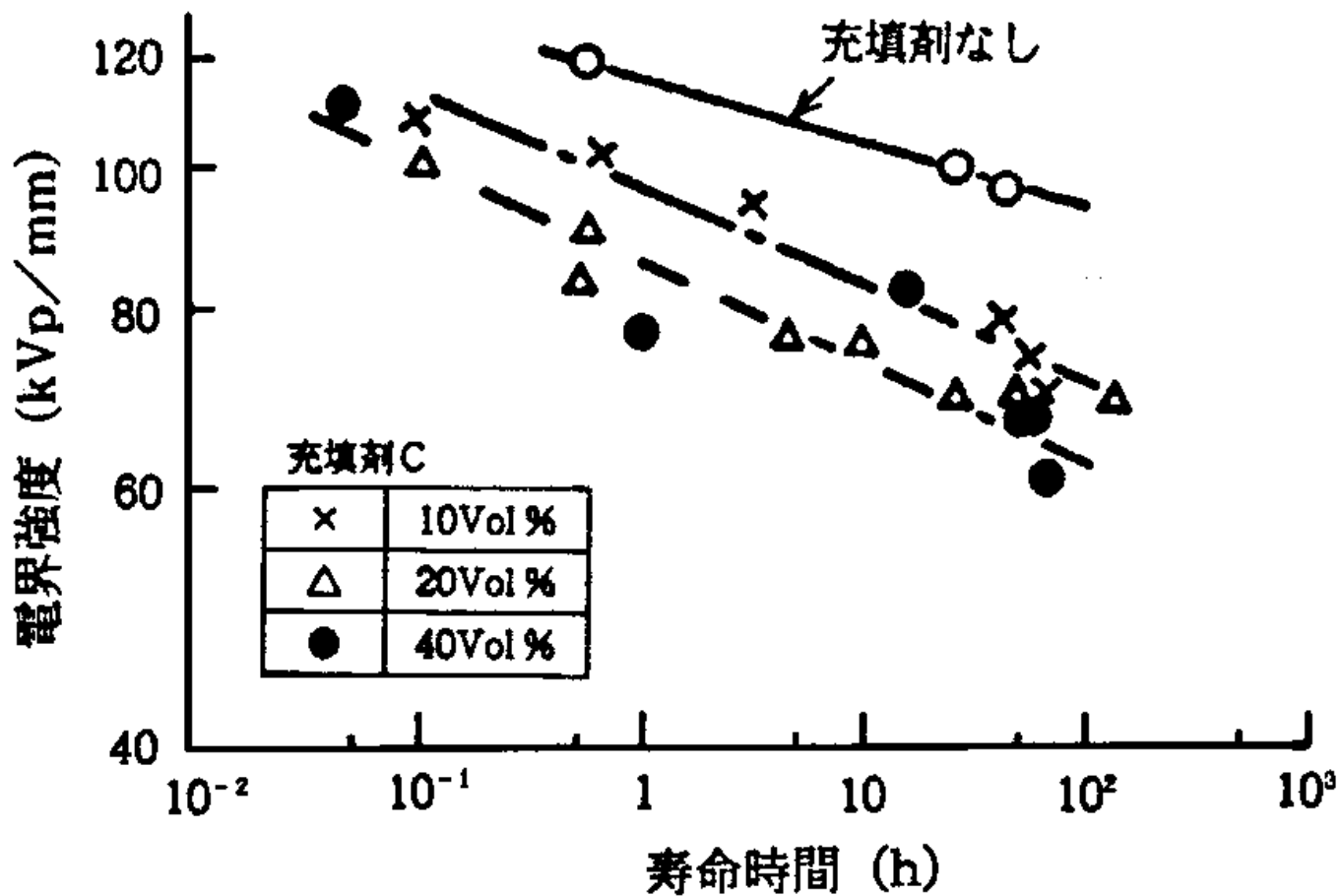
(b) 一方向性引抜-GFRP



(c) FW-GFRP

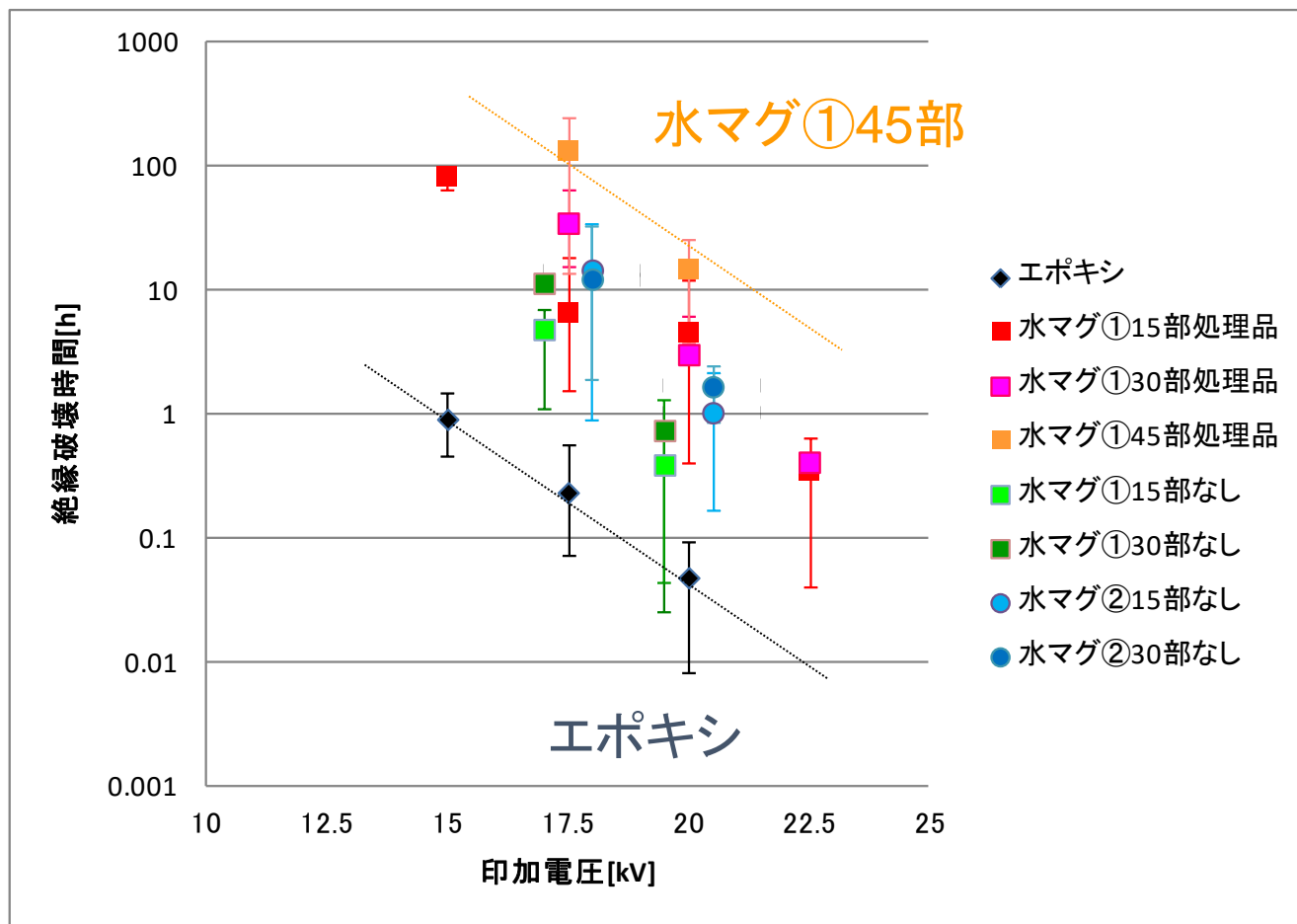
GFRPの沿層方向絶縁破壊電圧及び各種GFRPの断面写真

中西：電気電子材料技術セミナー'92講演予稿集(電気機能材料工業会), p.103 (1992)



シリカ充填エポキシ樹脂の V-t 特性に及ぼす充填量の影響

# 水酸化マグネシウム充填エポキシの耐電圧寿命



## 充填量の影響



# 電気接点の接触抵抗特性

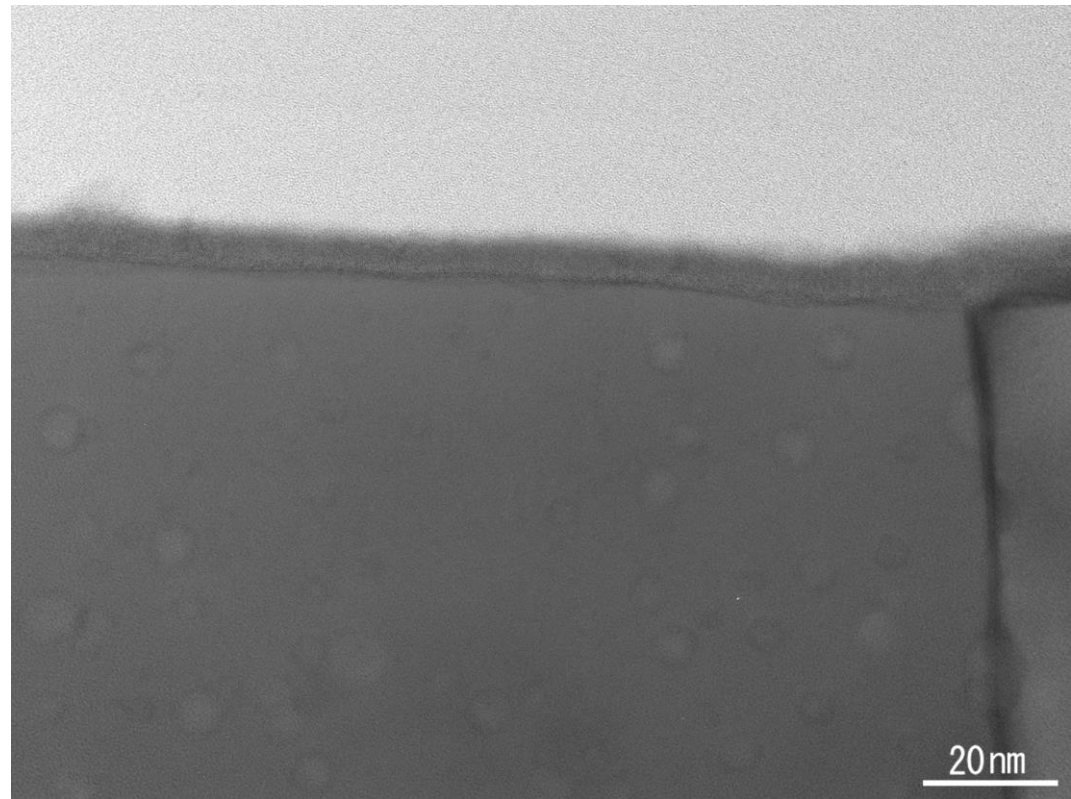
- スズめっきの利点
- 荷重による接触抵抗の変化
- スズめっきの微摺動摩擦による接触抵抗の変化
- 通電・課電による接触抵抗の変化

# スズめっきの利点

- 緻密な酸化スズが成長して、10nm程度で酸化スズの厚さが飽和する。
- 柔らかいスズの上に硬い酸化スズが成長するので、荷重によって酸化スズが壊れて、スズ同士の間が接触しやすい。



電子部品のリード線にはスズめっき導線が使われている。

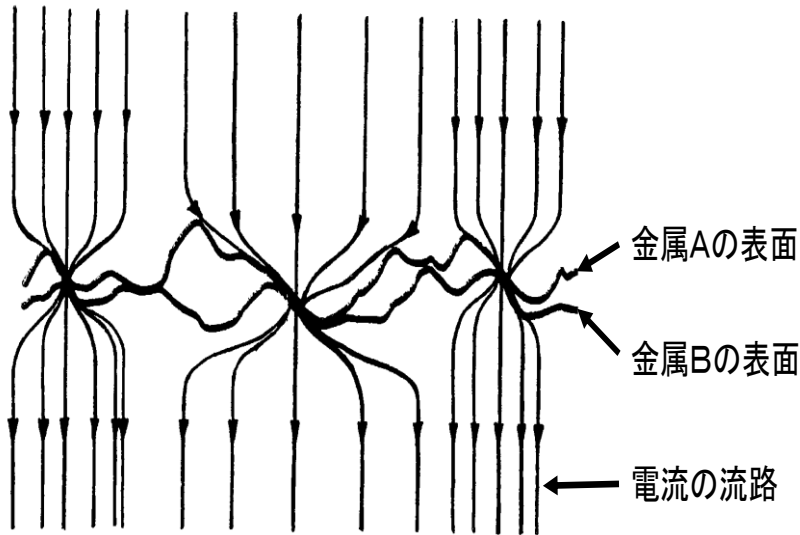


スズめっき 1  $\mu$ m のめっき表面の断面

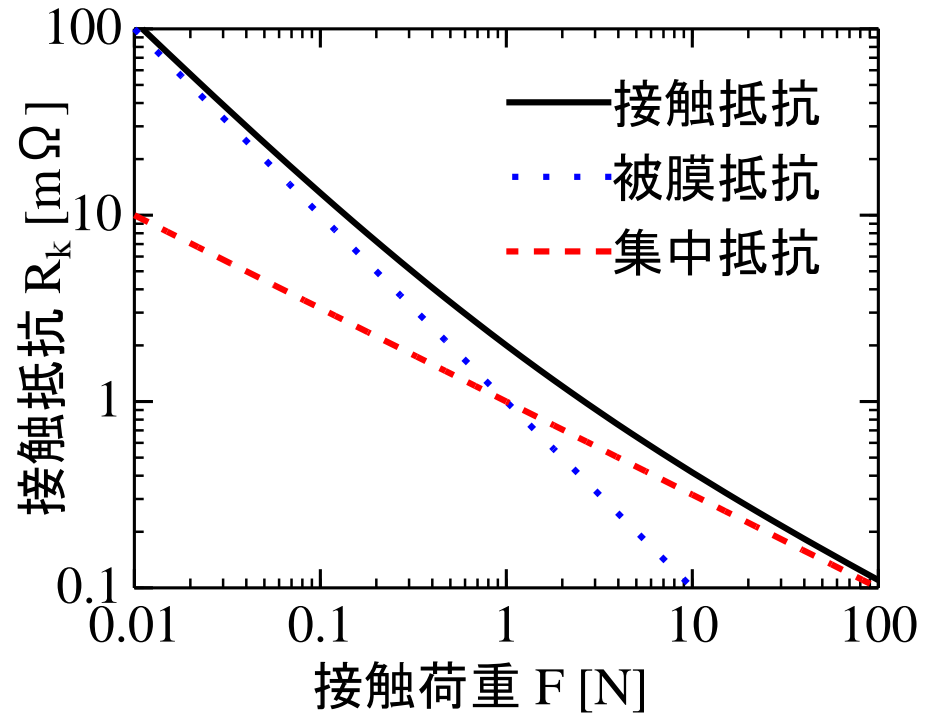
# 静止接点の接触抵抗

接触抵抗 = 被膜抵抗 + 集中抵抗

$$R_k = R_f + R_c$$

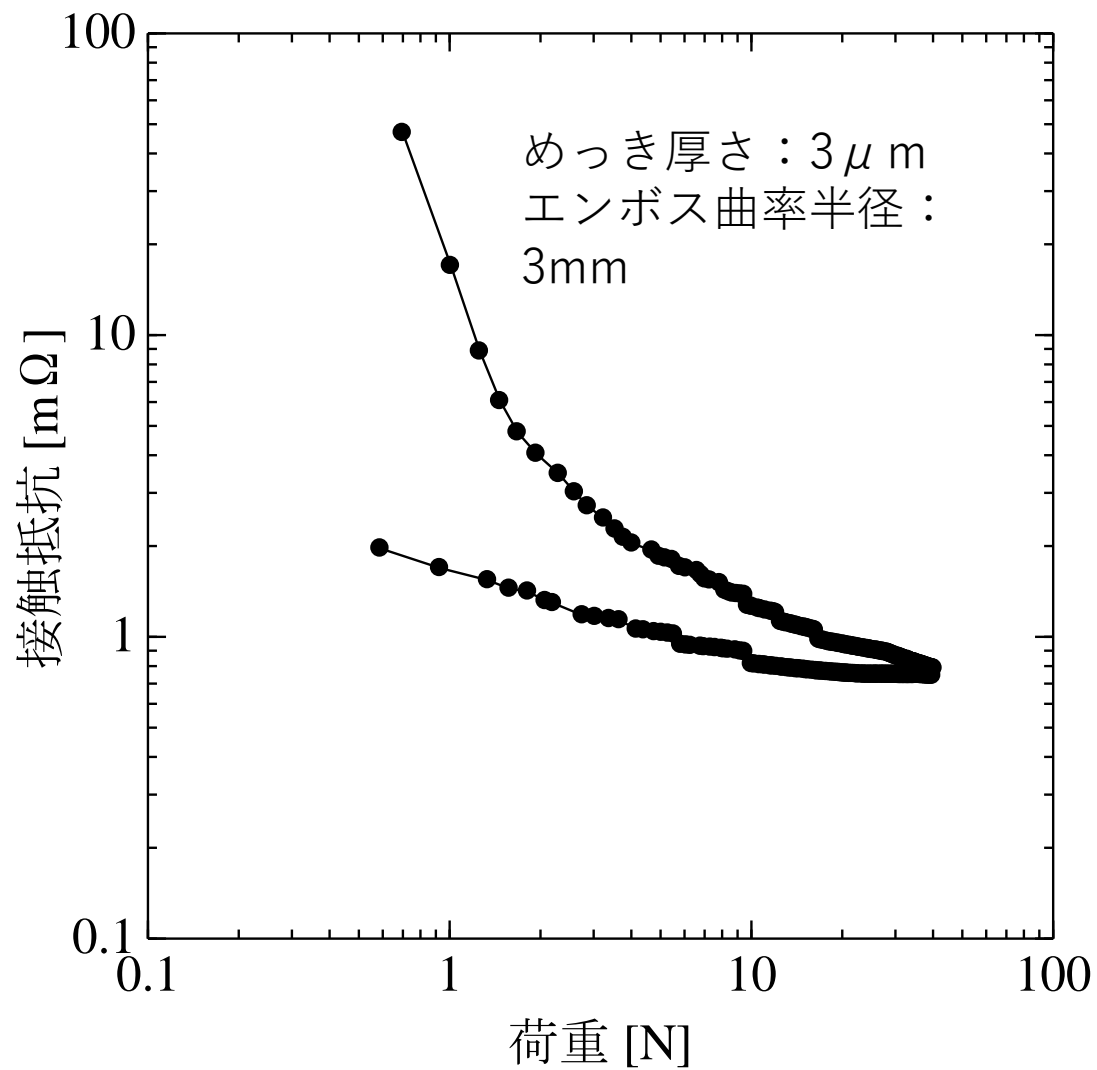


接続部分の断面模式図



接触抵抗の接触荷重依存性

# 錫めっき接点の接触荷重－接触抵抗特性

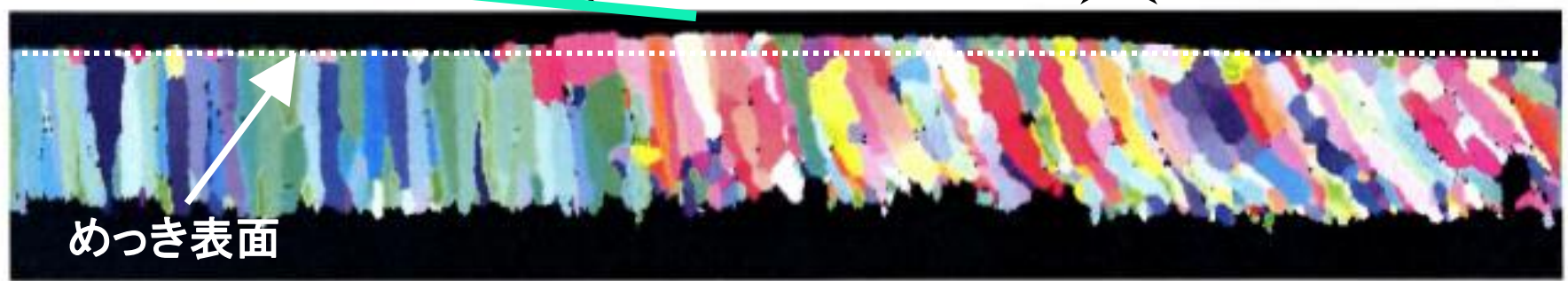


# ◆EBSDを用いた断面の変化 (Electron Backscattering Diffraction pattern)

排除された体積分だけ  
周辺部が押し出される

押し出され部

接触痕



IPF Map : Transverse Direction

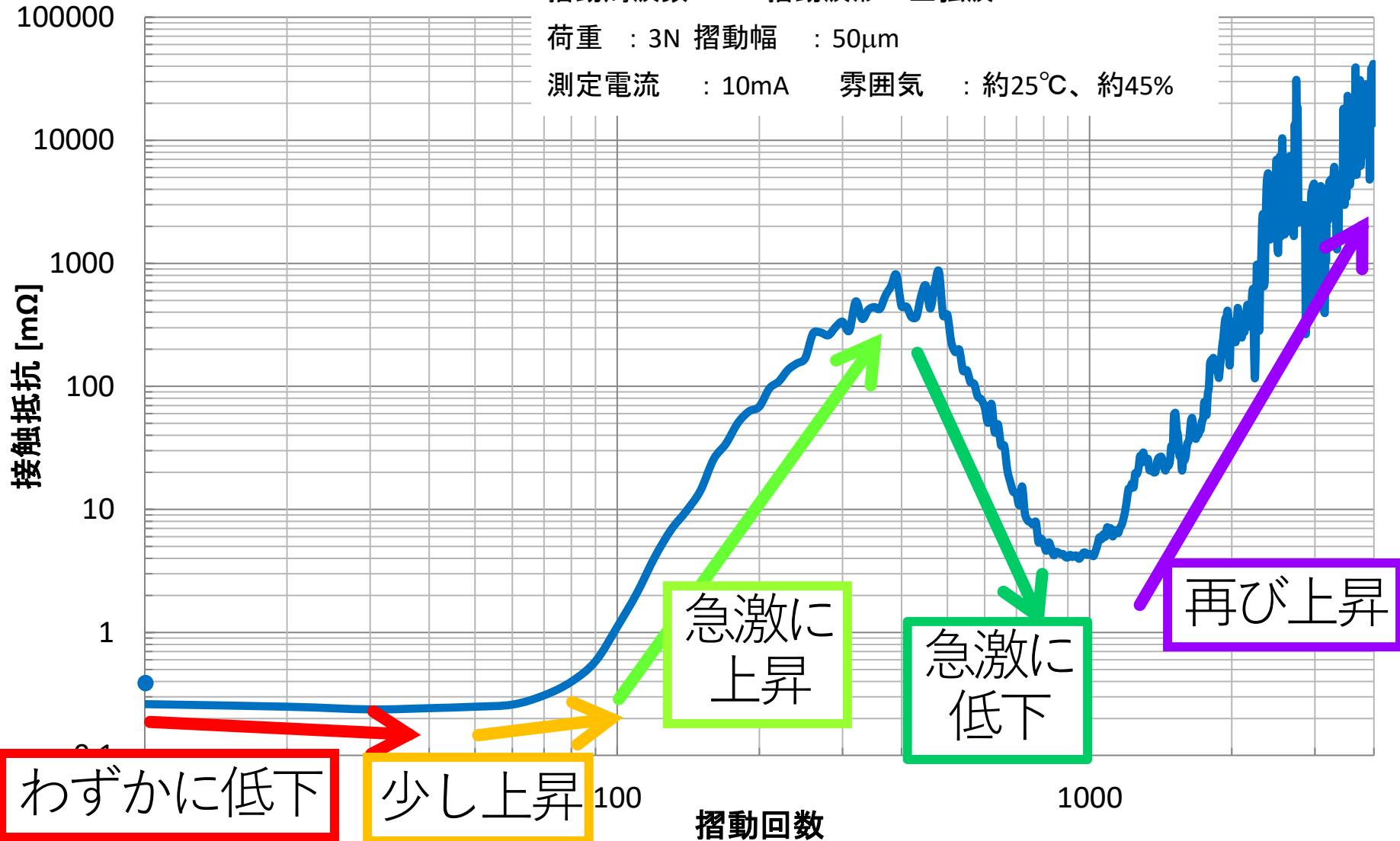
結晶粒は上から押されて  
斜めに倒れ込んでいる

# スズめつき接点の微摺動に伴う接触抵抗

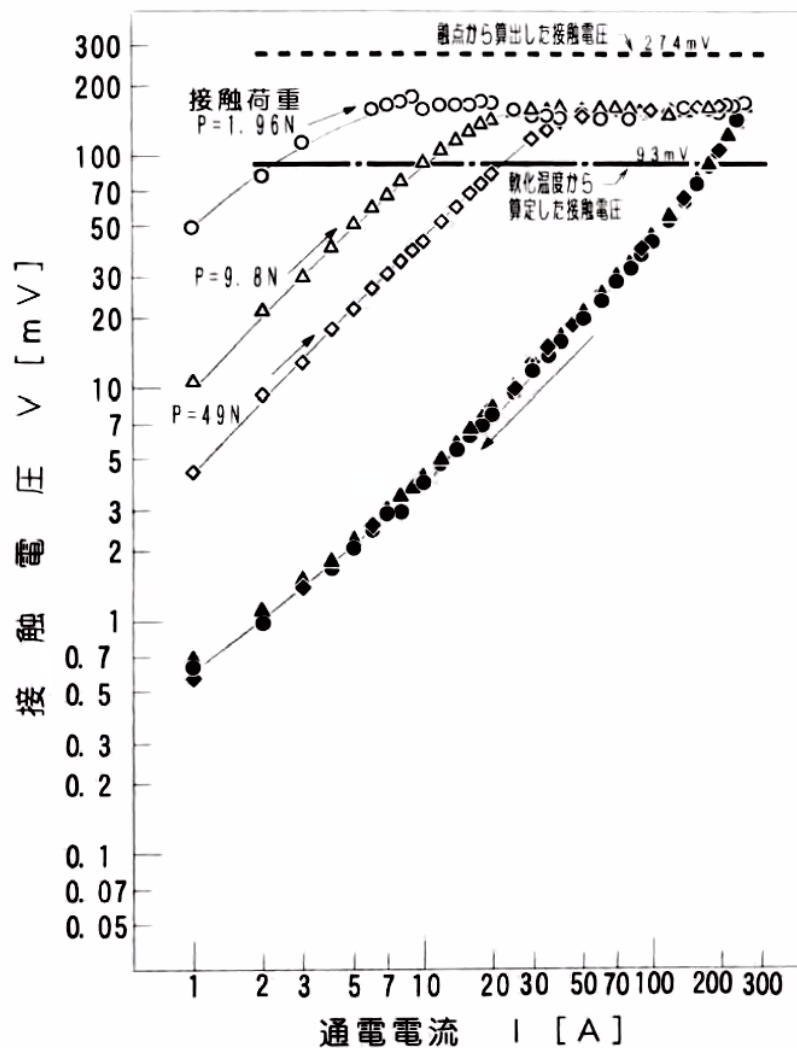
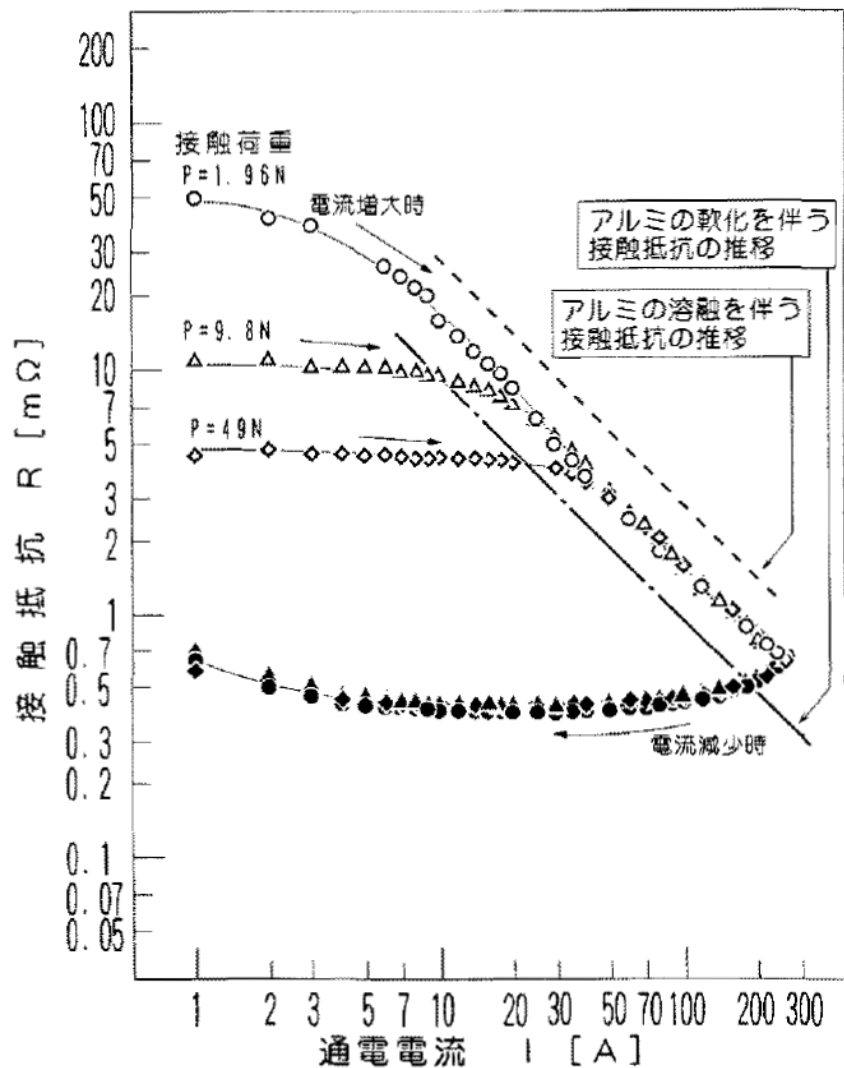
摺動周波数 : 1Hz 摺動波形 : 正弦波

荷重 : 3N 摺動幅 : 50 $\mu$ m

測定電流 : 10mA 雰囲気 : 約25 $^{\circ}$ C、約45%



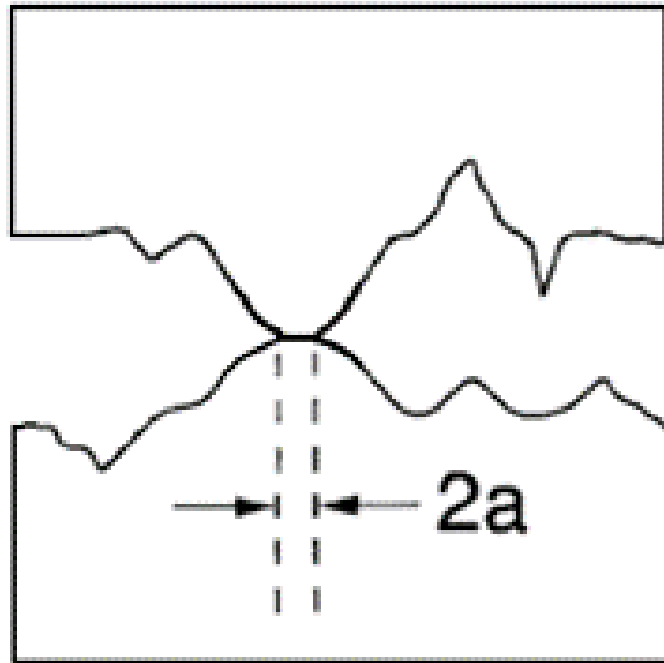
# 接触抵抗の電流による変化



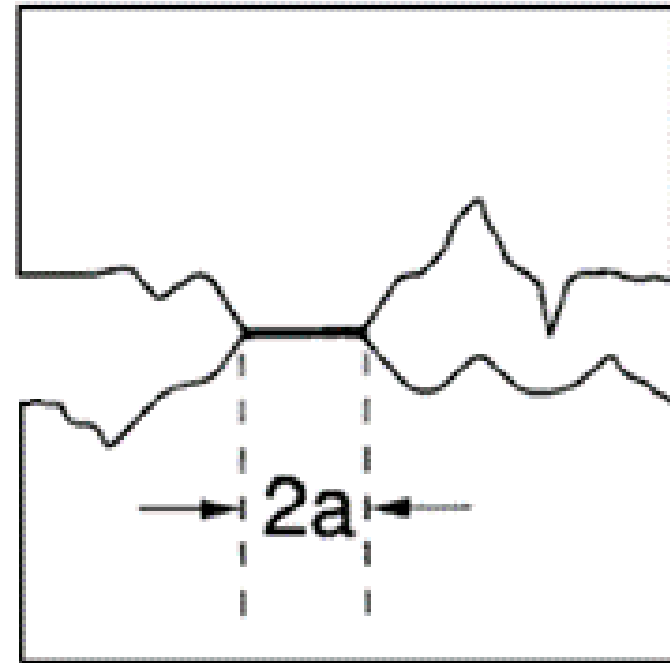
愛知, 他: 「銀, 銅およびアルミ点接触子の直流300A通電時における接触抵抗特性」, 電気学会論文誌 B, Vol. 118, pp. 825-830 (1998)

愛知久史: 「電気接触子の接触抵抗特性に関する実験的研究」, 名古屋大学博士学位論文, p. 153 (1999)

# 真実接触点での軟化現象と集中抵抗



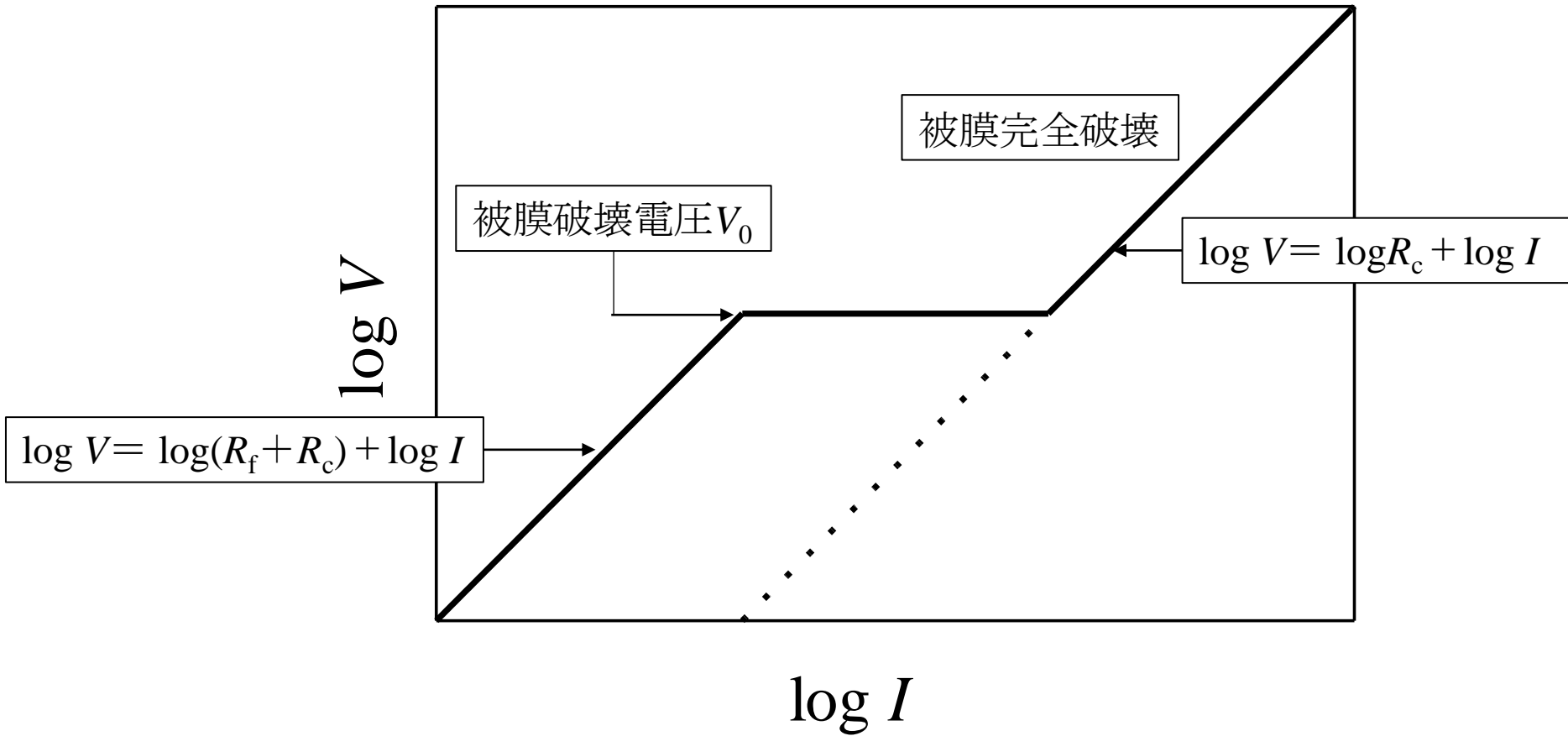
軟化電圧以下



軟化電圧以上



# 接触電圧の電流による変化の模式図

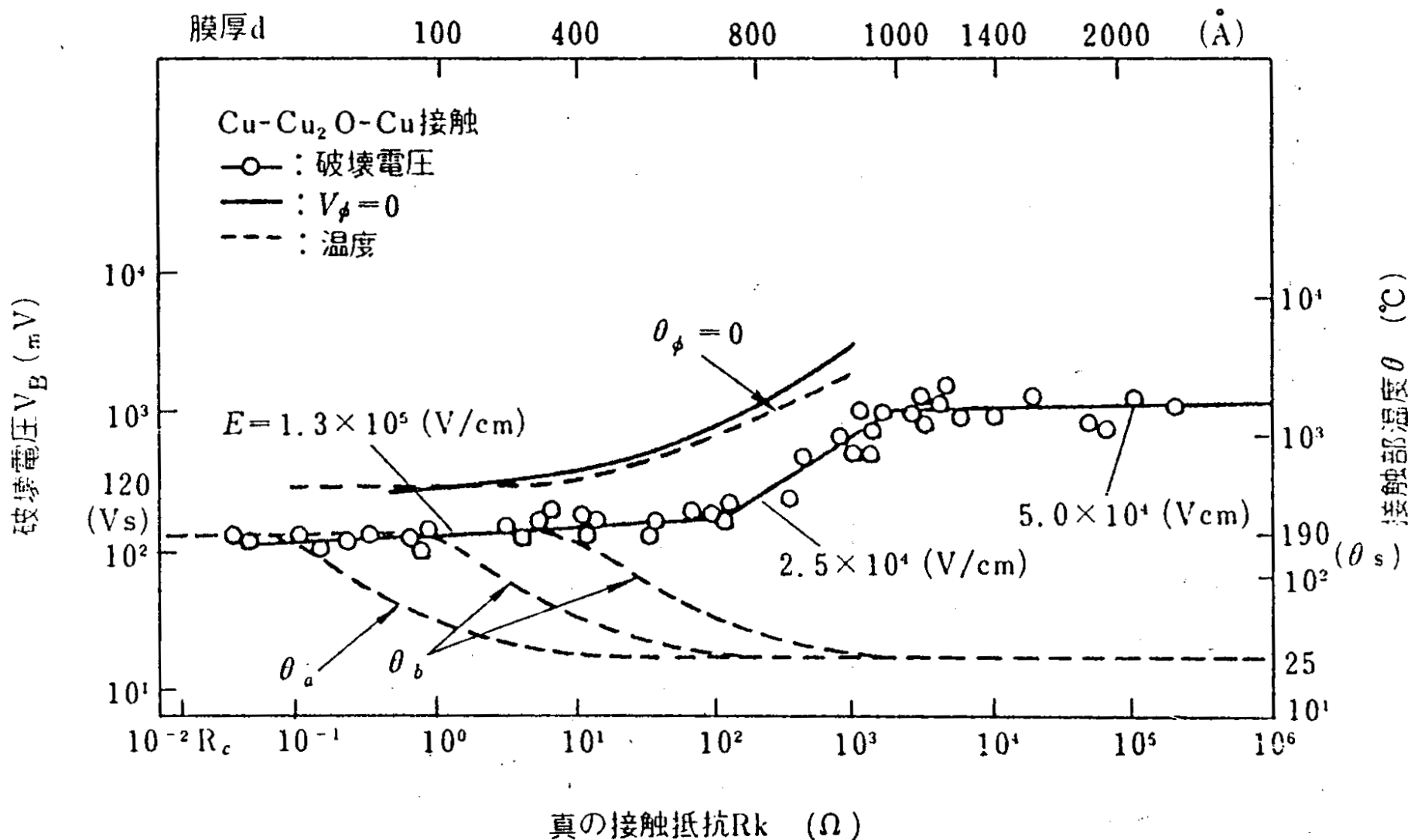


$$R_k = R_f + R_c$$

$$V = R_k \cdot I$$

$$\log V = \log(R_f + R_c) + \log I$$

# 被膜破壊電圧の接触抵抗(膜厚)による変化



ご清聴ありがとうございました。