

# 34.3次元CT測定による シリコーンゴム2層試料中の 電気トリーの観察と解析

電気電子材料学研究室 4年

西尾 怜愛

# バリア効果とは

電気トリーの進展方向の変化  
⇒ 「バリア効果」と命名。

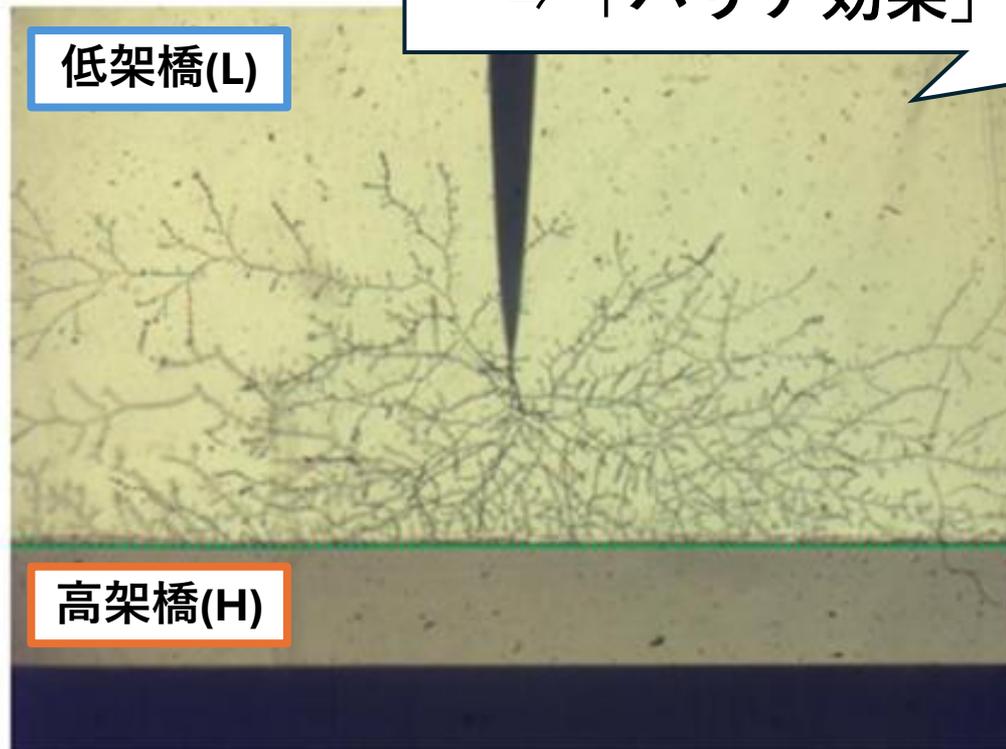


図1 L-H 2層試料における電気トリー進展の様子

# 目的

絶縁材料のもつ絶縁耐力の向上  
⇒ バリア効果の考察



カメラで試料の表面を見る手法では、  
**界面の状態**は分からない。

CT測定でバリア効果発生時の界面の状態を観察し、  
正面から見た様子との違いを比較・検討する。

# 実験方法

## 1. 電圧印加方法

- ・ 20秒毎に2kVずつ昇圧する。
- ・ トリー発生後は、進展が止まるまで一定電圧とする。
- ・ バリア効果の発生をカメラで確認し、電圧印加を停止する。

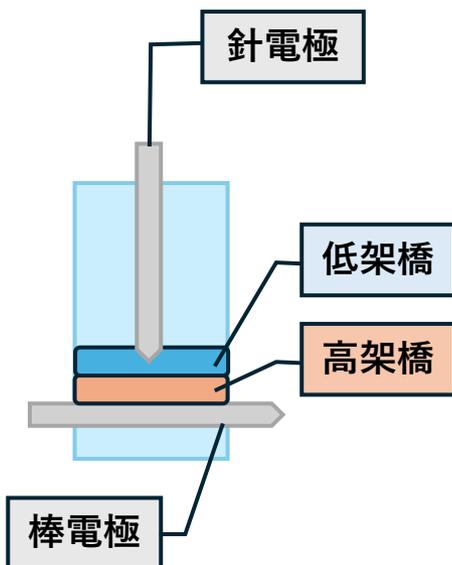


図2 試料

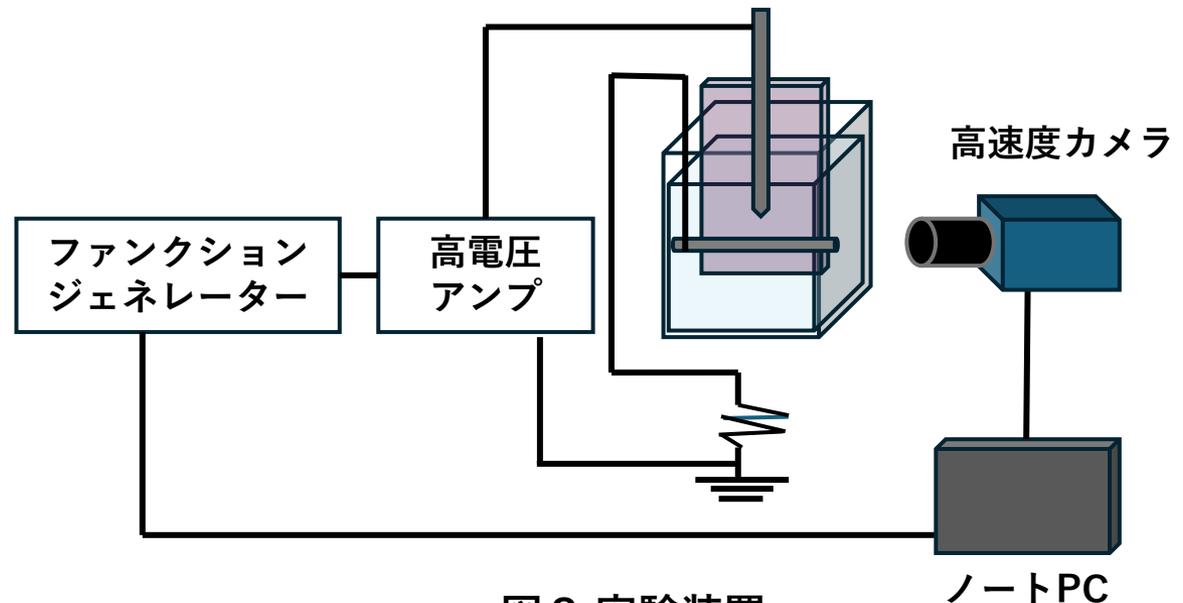


図3 実験装置

# 実験方法

## 2. トリーの3次元CT測定



図4 測定に用いたX線CT装置

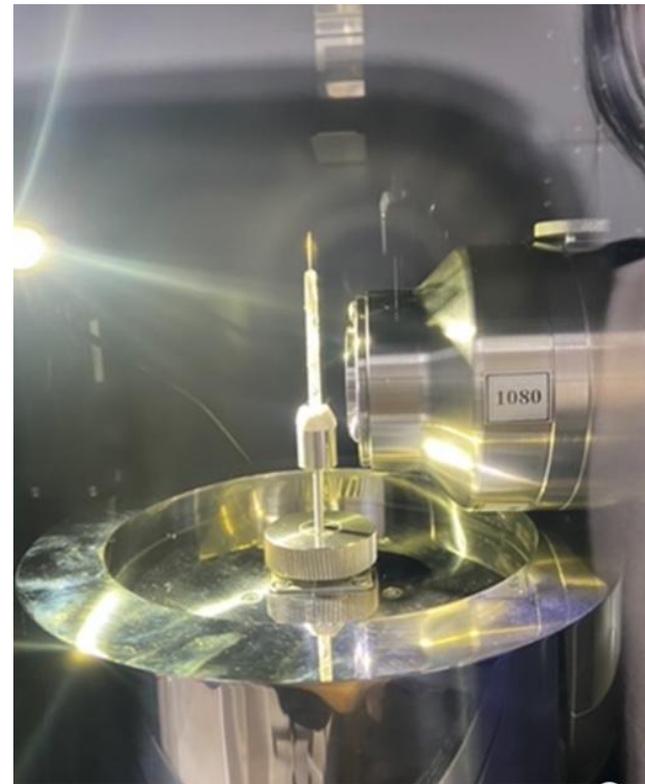


図5 試料のセッティングの様子

(RIGAKU nano 3DX, 徳島県立工業技術センター所有)

# データ解析の流れ (ImageJ)

## (1) 断層画像の取得

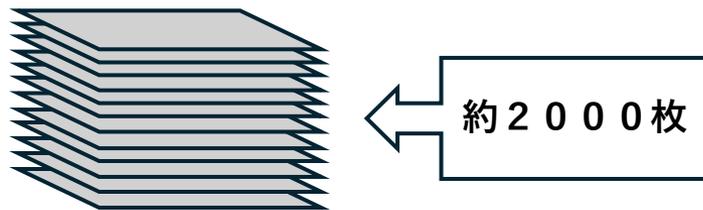


図6 断層画像の取得

## (2) トリーを含む断層画像の抽出、再構成

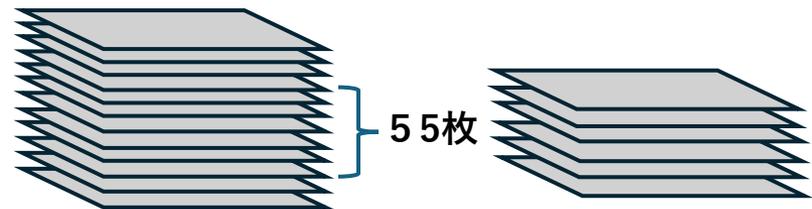


図7 抽出のようす

## (3) ノイズの除去、2値化

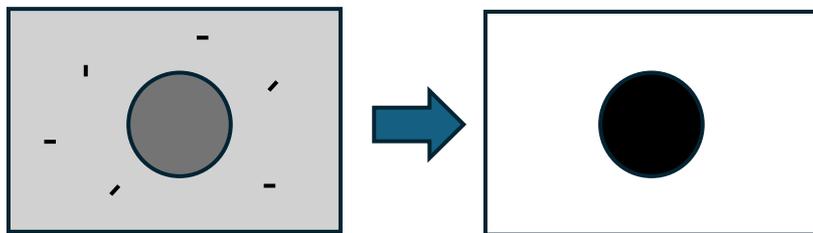


図8 2値化のようす

## (4) 密度・面積の測定、形状分析

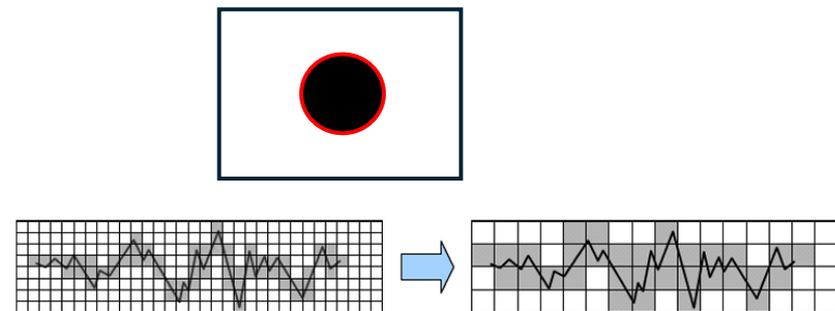


図9 解析のようす

# 結果

## 1. CT測定データのデータ

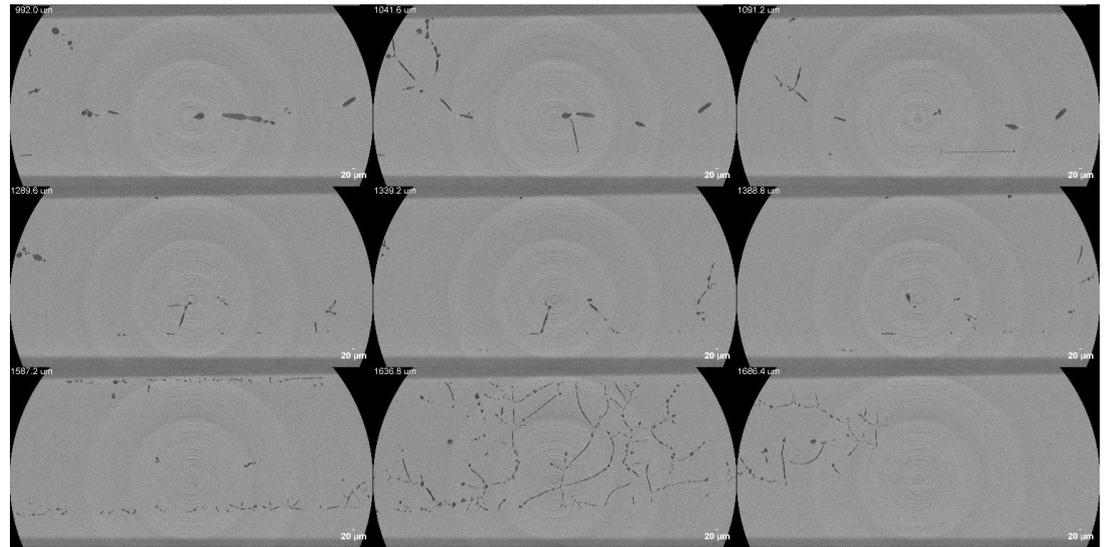
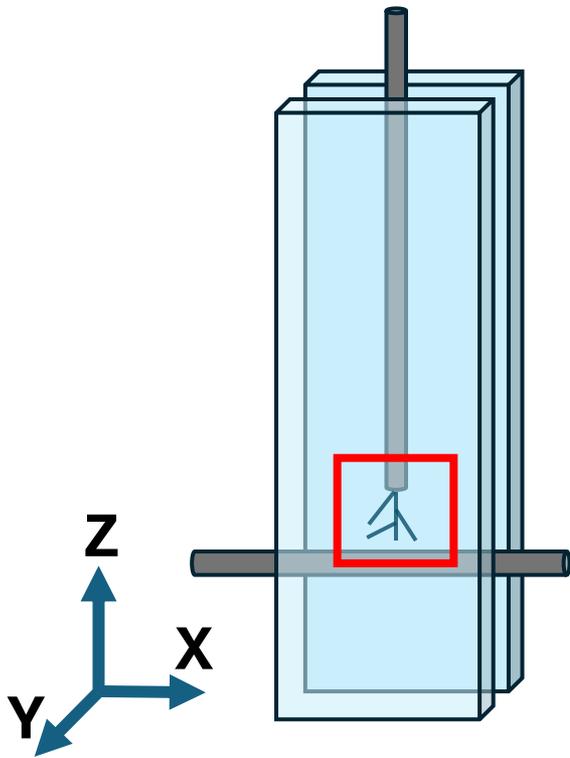


図10 界面(Z軸)方向の断層画像

# 結果

## 2. トリーの密度の測定

### ①密度の測定手順

(1) 断層画像のうち、針先から棒電極までの範囲で、トリーを含むものを測定の対象とした。

(2) ImageJを使って断層画像のトリーの面積を測定し、測定範囲に対する割合(%)を密度とした。

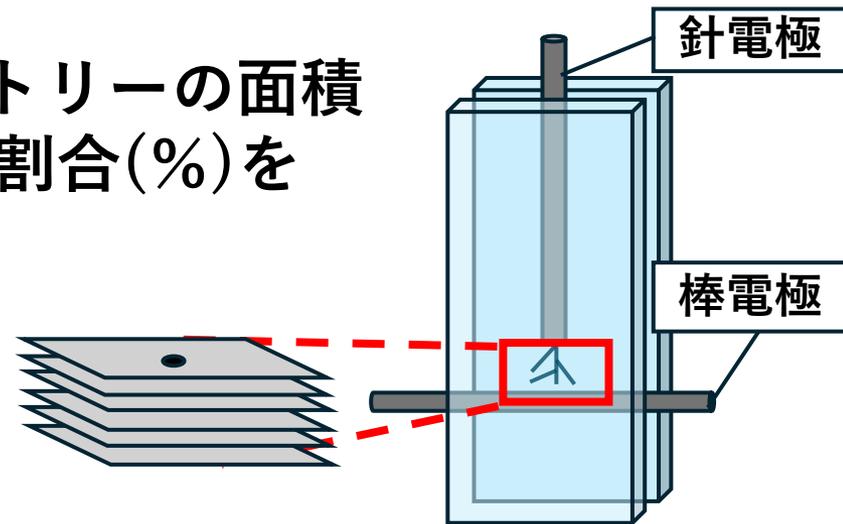


図11 測定の範囲

# 結果

## 2. トリーの密度の測定

### ② z軸方向の密度分布

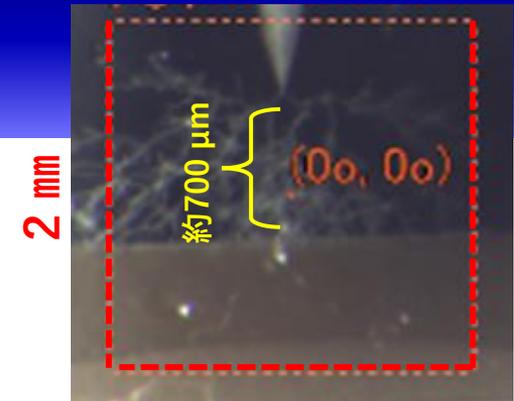


図12 測定範囲

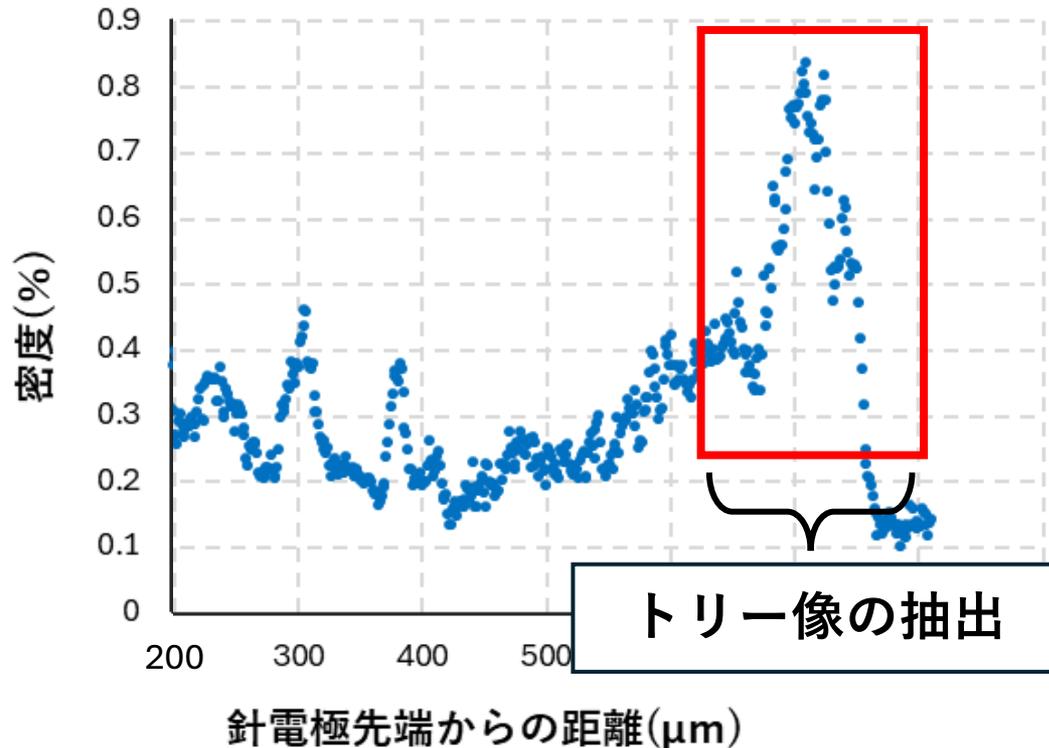


図13 密度と針電極からの距離の関係

# 結果

## 2. トリーの密度の測定

### ③高密度化部分のトリー像抽出 (Z軸投影)

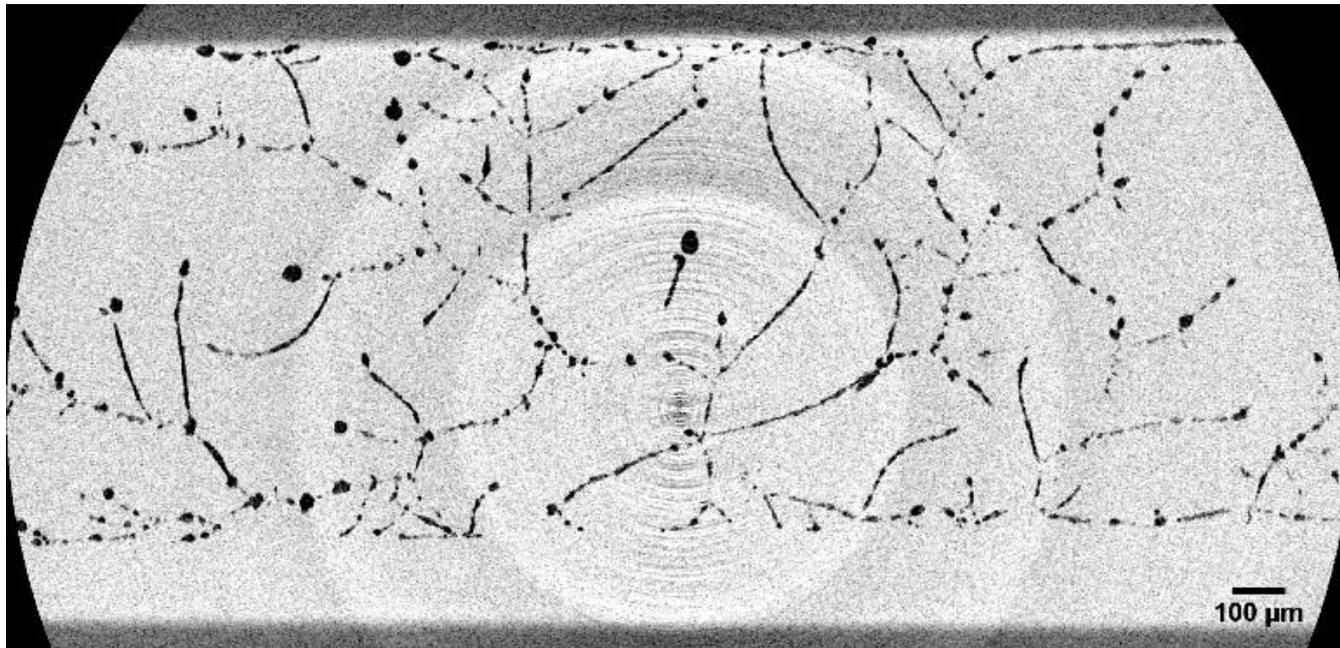


図14 界面トリー像(Z軸投影)

# 結果

## 3. トリーの形状分析

### ① トリーのフラクタル解析 (Box-counting法)

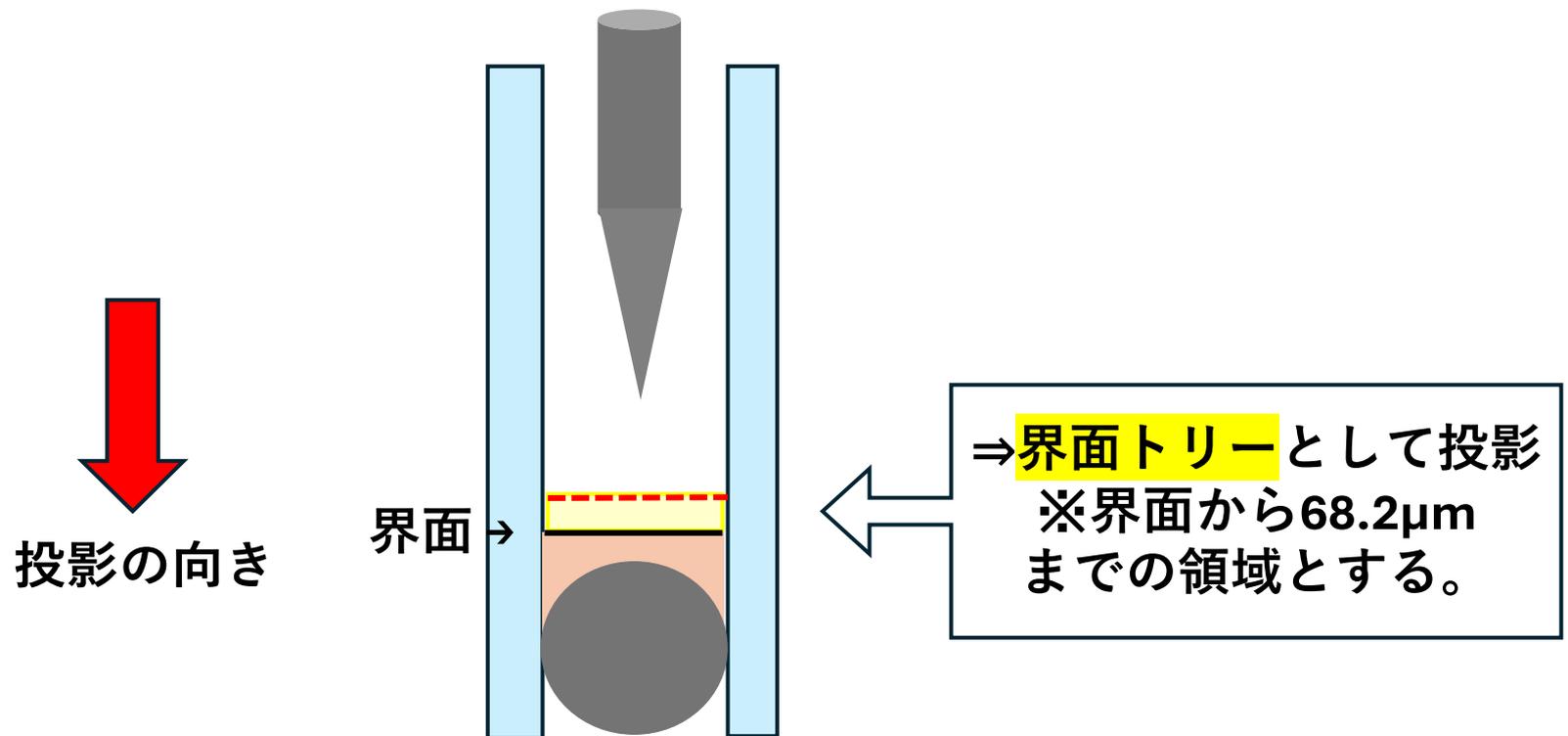


図15 界面トリーの投影の範囲

# 結果

## 3. トリーの形状分析

### ① トリーのフラクタル解析 (Box-counting法)

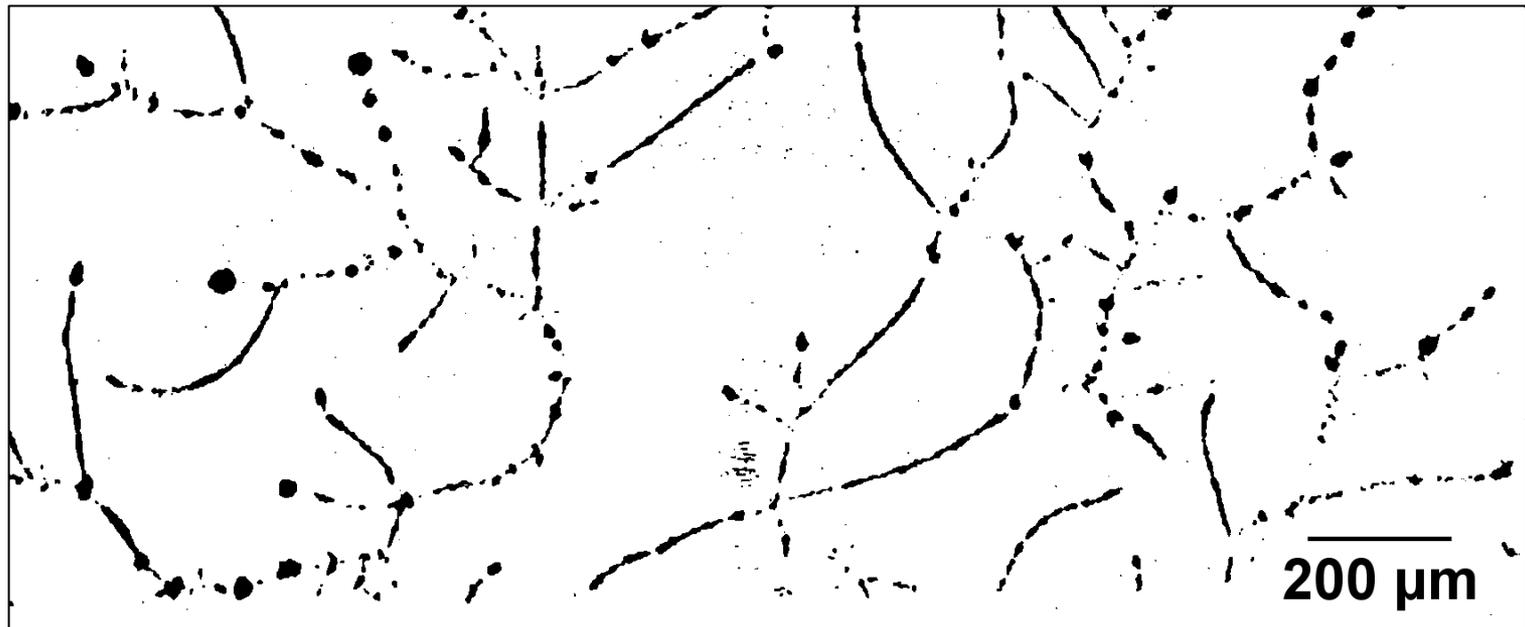


図16 界面トリー像(2値化後)

# 結果

## 3. トリーの形状分析

### ① トリーのフラクタル解析 (Box-counting法)

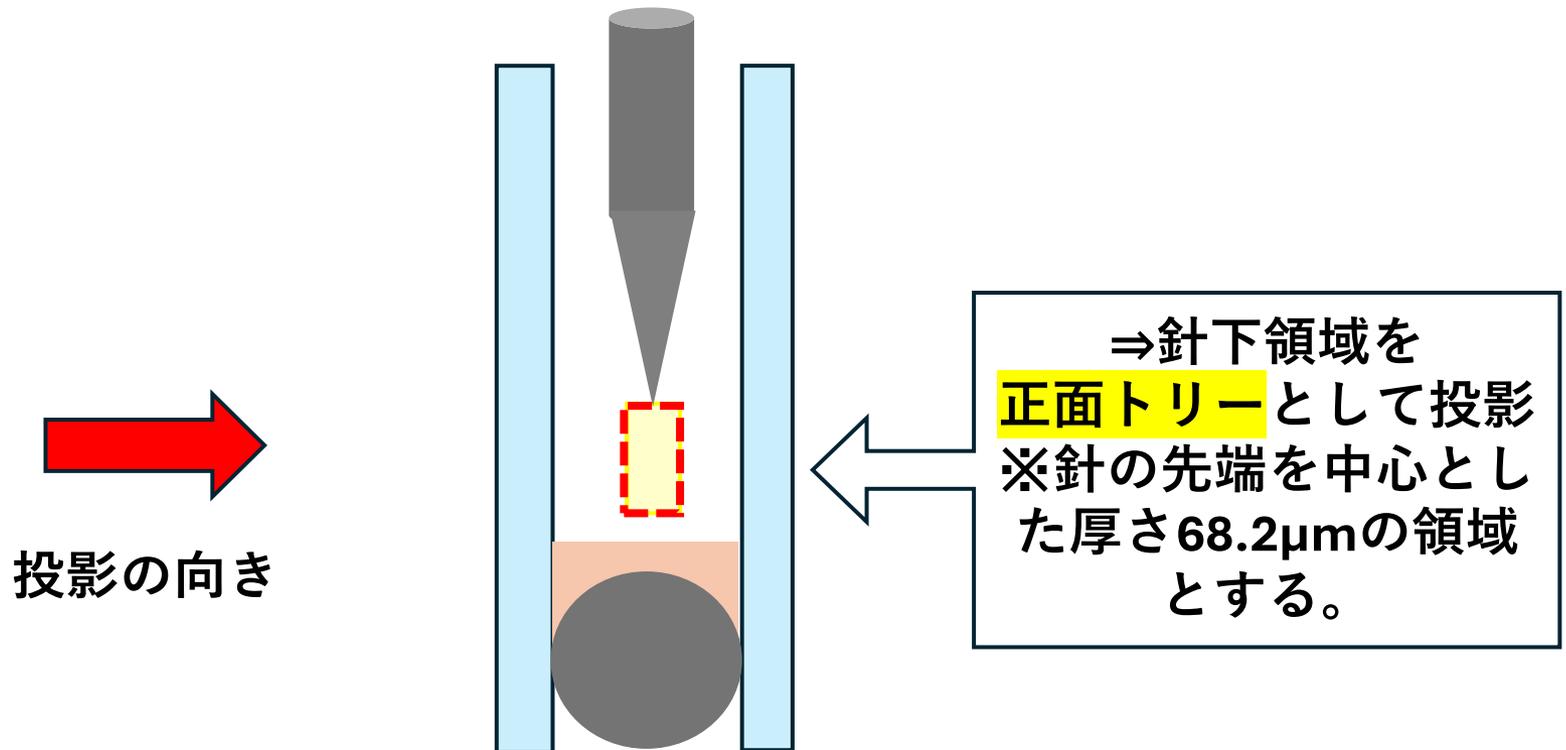


図17 正面トリーの投影の範囲

# 結果

## 3. トリーの形状分析

### ① トリーのフラクタル解析 (Box-counting法)

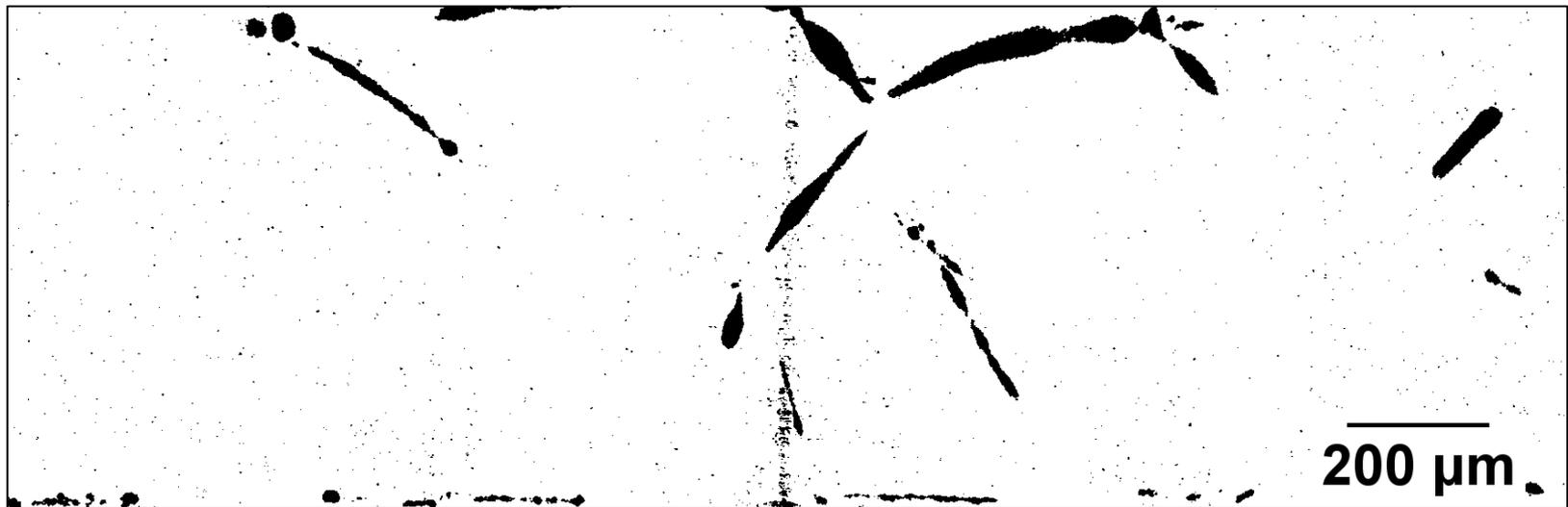
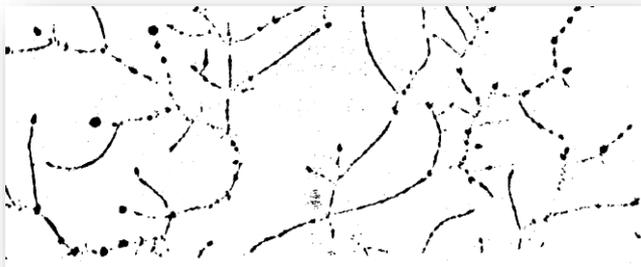


図18 正面トリー像(2値化後)

# 結果

## 3. トリーの形状分析

### ① トリーのフラクタル解析 (Box-counting法)



Box-counting法による  
フラクタル次元Dの測定

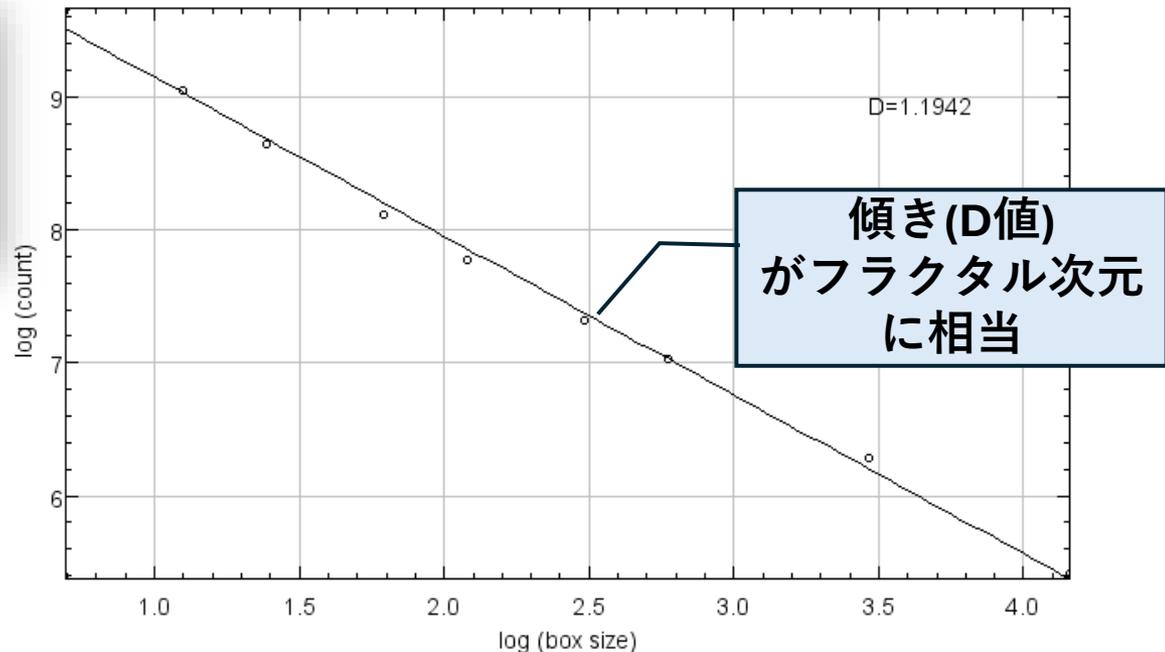


図19 フラクタル解析の結果

# 結果

## 3. トリーの形状分析

### ① トリーのフラクタル解析 (Box-counting法)

表1 解析箇所とフラクタル次元D

解析箇所	D値
正面	1.0012
界面	1.1942

界面トリーは正面トリーよりも高いフラクタル次元を示す。

# 考察

## 1. 界面トリーの形状について

- ・より高いフラクタル次元を持つ

枝分かれが多い

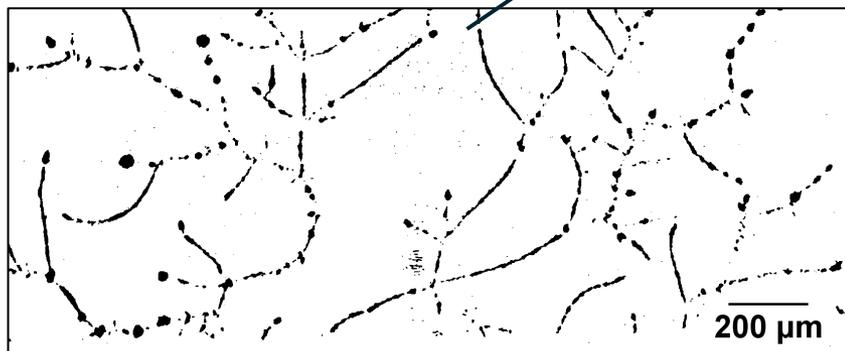


図20 界面トリー

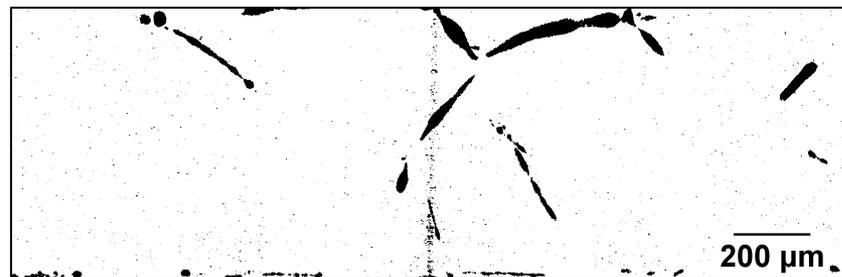


図21 正面トリー

トリーは2層界面上で多くの**枝分かれ**をしており、複雑な形状になっている。

# 考察

## 1. 界面トリーの形状について

- ・多くのバブル部を持つ

界面トリーも、パールチェーン型トリーになっている。

# 考察

## 1. 界面トリリーの形状について

### ・バブルについて

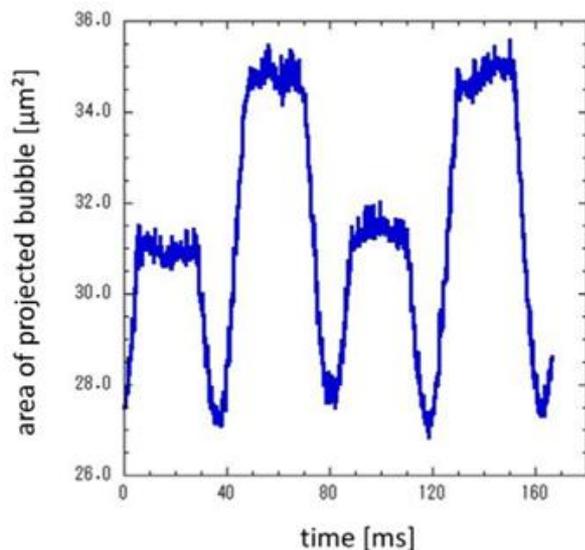


図23 バブル面積の時間変化

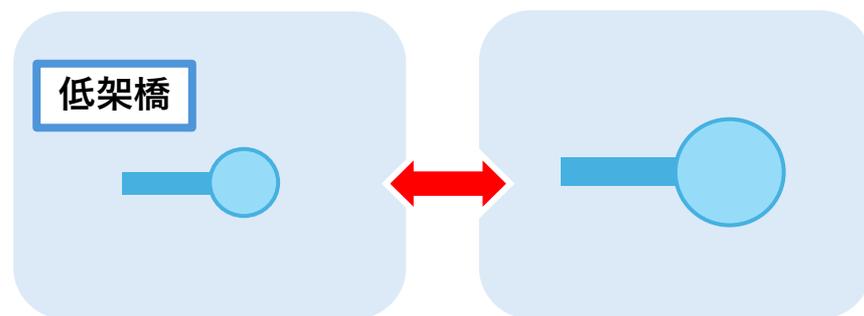


図24 バブルの膨張

バブルは印加電圧(交流)の周期に合わせて膨張をくり返す。

# 考察

## 1. 界面トリリーの形状について

### ・バブルについて

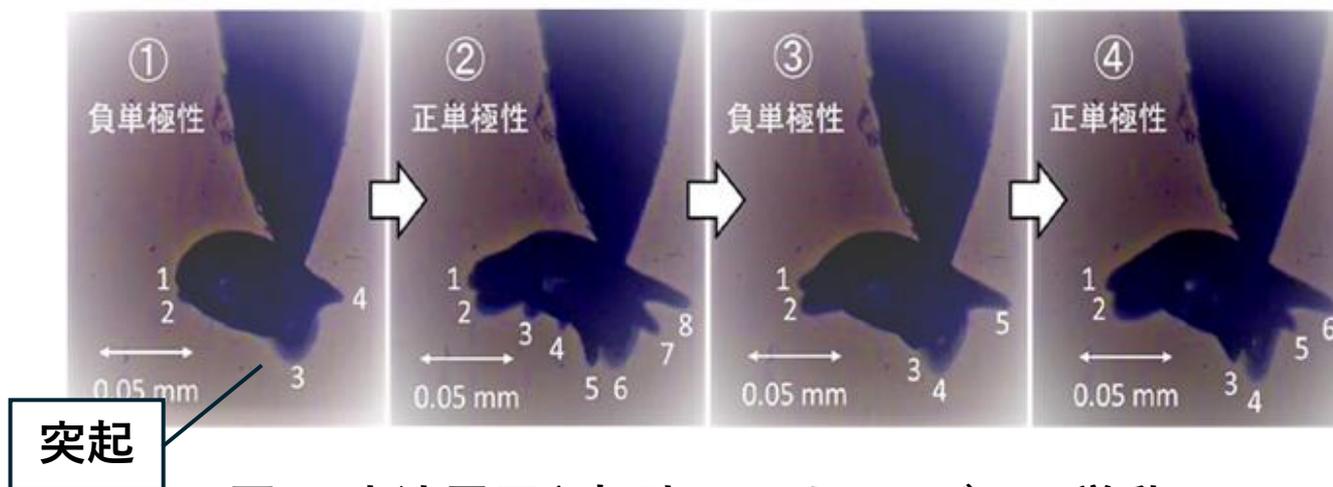


図25 交流電圧印加時におけるバブルの挙動

**突起が生じ、枝分かれの起点となる。**

# 考察

## 1. 界面トリーの形状について

- ・ 2層界面上のバブルについて

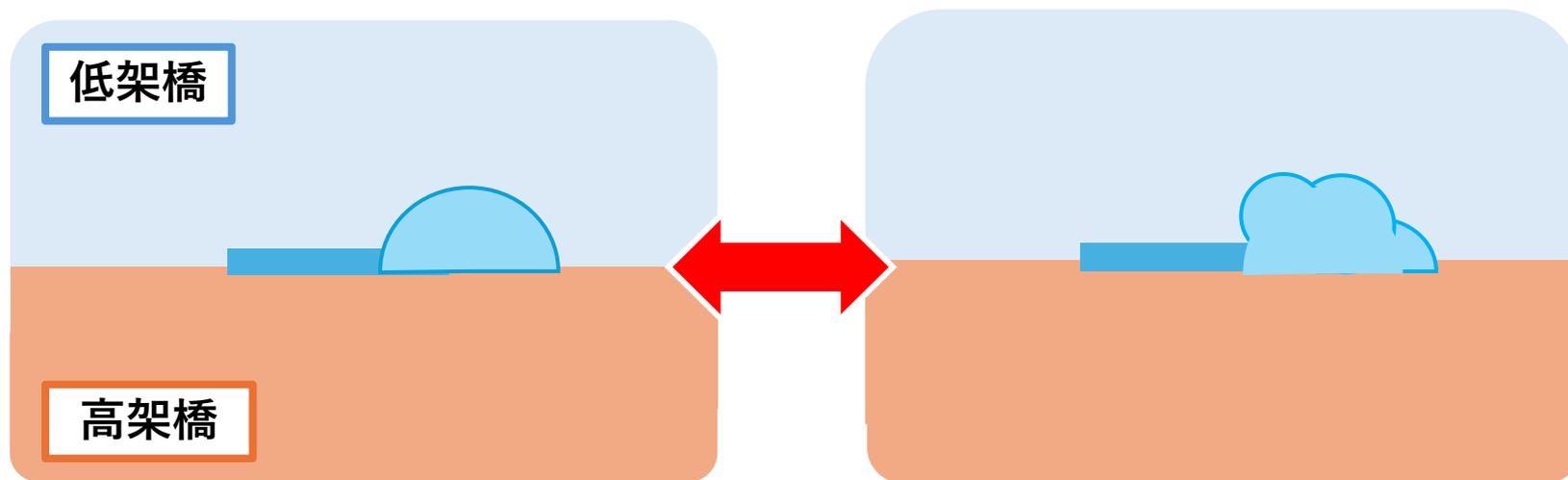


図27 交流電圧印加時におけるバブルの挙動

高架橋層で膨張が妨げられる。

⇒突起(分岐の起点)が形成されやすくなった。

## 2. 枝分かれとトリーの太さの関係

- ・ トリーの直径

表2 解析箇所とトリー、バブルの直径

	平均トリー径( $\mu\text{m}$ )	平均バブル径( $\mu\text{m}$ )
正面トリー	17.85	41.4
界面トリー	10.08	27.2

界面トリーの直径は正面トリーの56%、  
バブル径は66%と細くなっている。

# 考察

## 2. 枝分かれとトリーの太さの関係

- ・ 進展エネルギーの分配

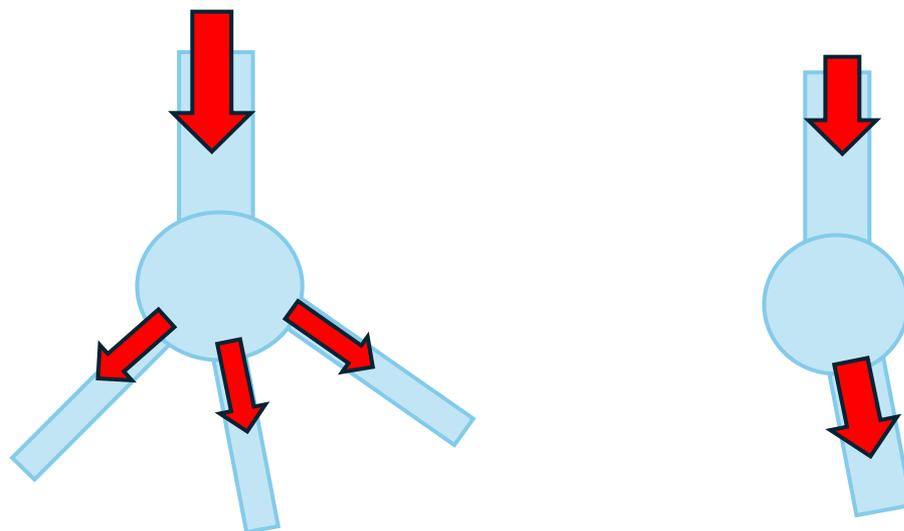


図28 進展エネルギーの伝達の違い

分岐の多い界面トリーのほうが**1本に渡るエネルギーが少ない**ため、細くなる。

# まとめ

- ・バリア効果時、2層界面上でトリーは**バブルを形成**しながら進展し、**枝分かれ**する。

このとき、バブルの膨張は高架橋層で妨げられ、低架橋層のみの時よりも**多くの突起（枝分かれの起点）**が生じている。

- ・枝分かれの多い界面トリーは、正面トリーよりも**細い**。

⇒複数の枝に対して**エネルギーの分配**が起こっている。

**ご清聴ありがとうございました。**