

X線マイクロビームを用いた電線絶縁材料 の微小部分分析とイメージング

日立電線(株)

高分子材料研究部

山崎孝則

安部淳一

(株)日立製作所

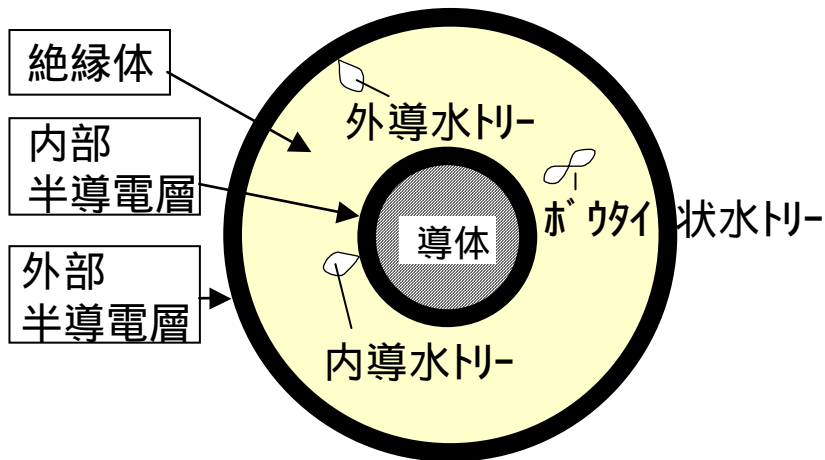
基礎研究所

平井康晴

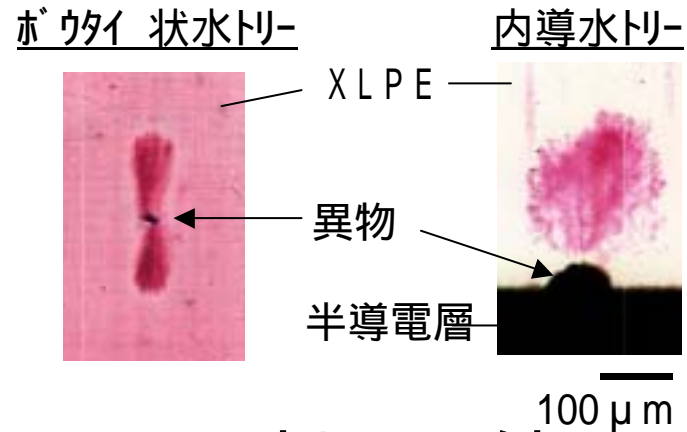
課題 ・水中使用時に、電力ケーブル絶縁体中には電界により【水トリー】と呼ばれる樹枝状の微細なパス、あるいはボイドが進行、絶縁破壊強度が低下



・水トリーの発生・進行メカニズムの解明が必要



電力ケーブル断面例

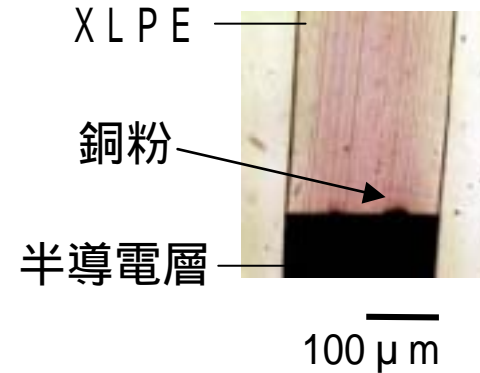
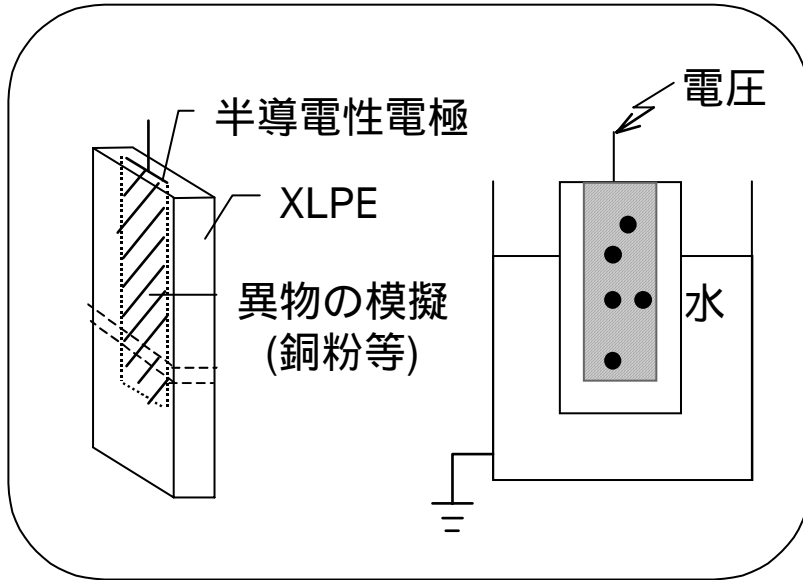


水トリーの例
(メチレンブルーで染色後の光学顕微鏡写真)

絶縁体：架橋ポリエチレン(XLPE)

架橋ポリエチレン：温度上昇に伴う流動防止，架橋構造形成(三次元化)

模擬試料



課電条件:3kV (1.5kV/mm) 常温、800h

方法

水トリ-の構造と組成を分析 (Spring - 8)

- ・ 異物(イオン)の拡散状態 : X線分光顕微法
- ・ 架橋ポリエチレンの結晶状態 : X線回折

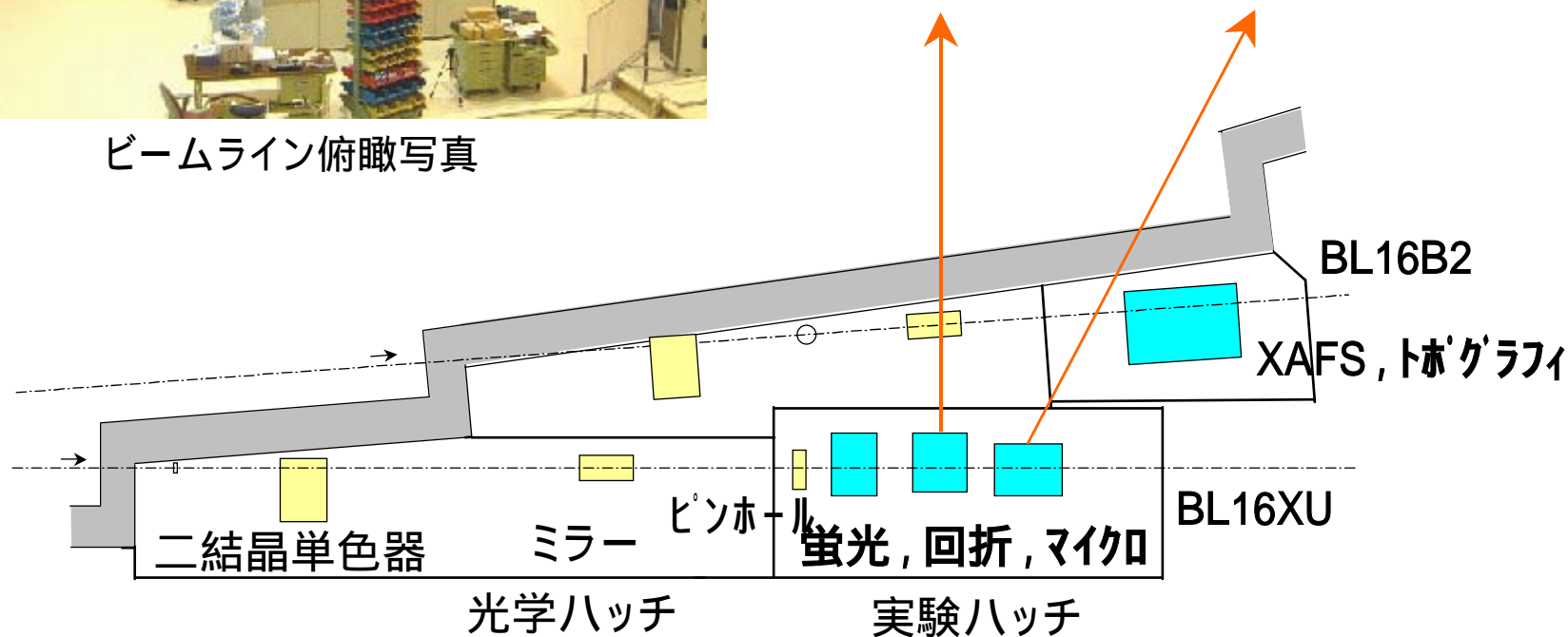


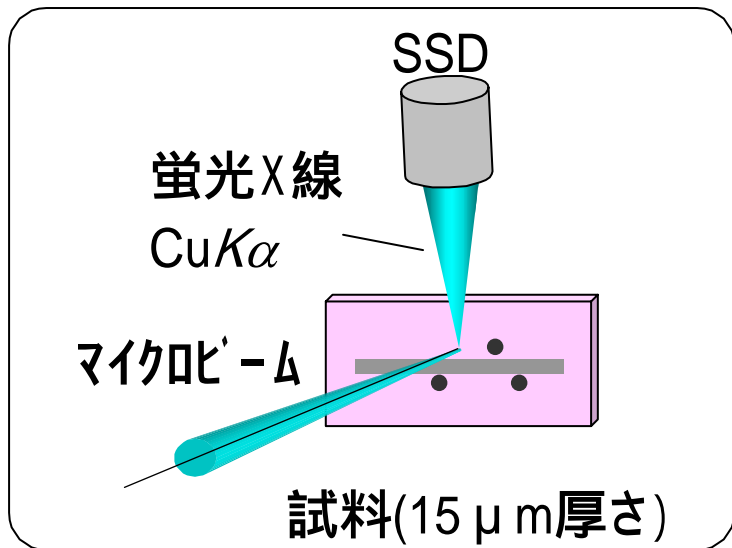
ビームライン俯瞰写真

X線回折

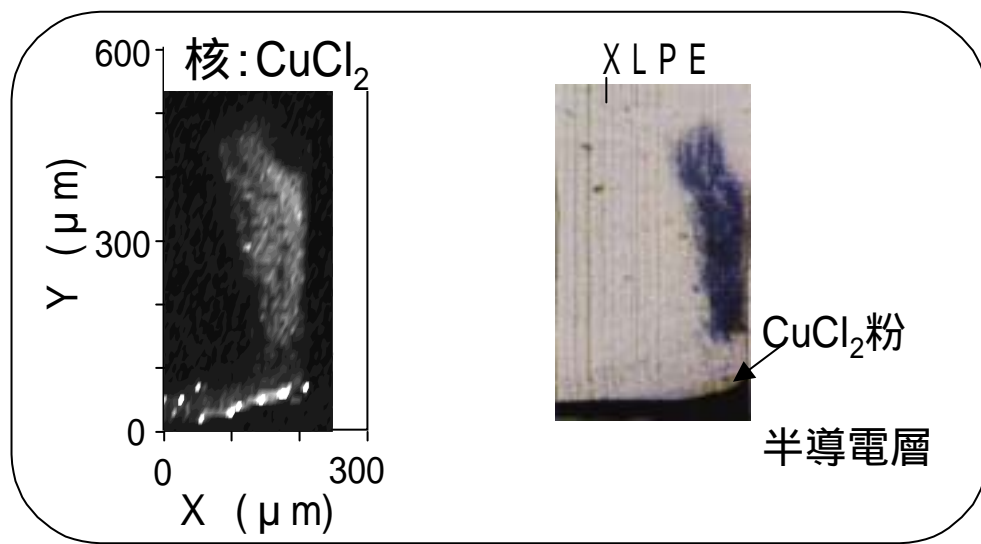
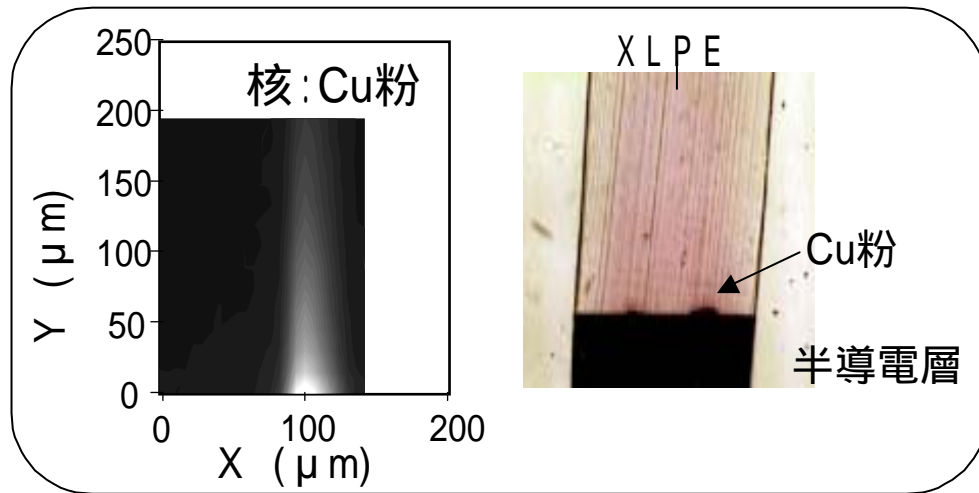


X線顕微法

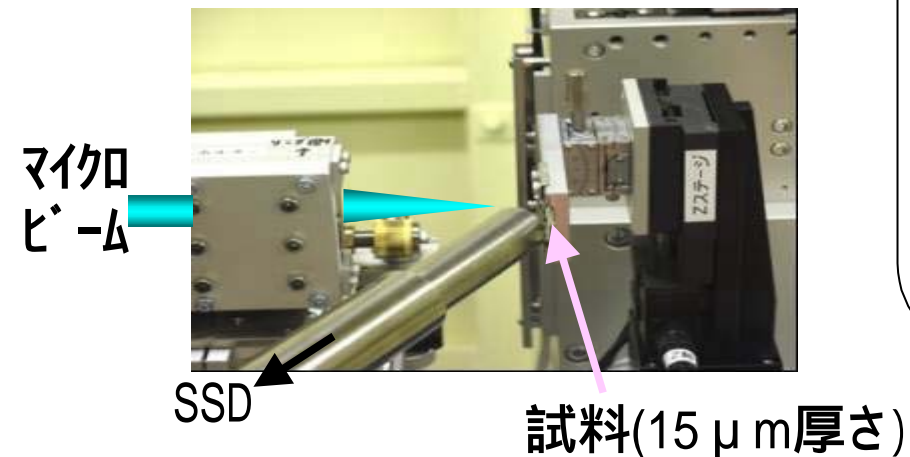




光子エネルギー : 9keV
ビームサイズ : 1 $\mu m \times 1 \mu m$



Cuの拡散





Cu



Fe



Ni

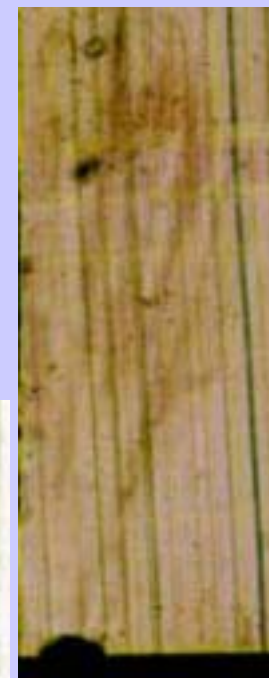
金属



CuCl_2



CaCO_3

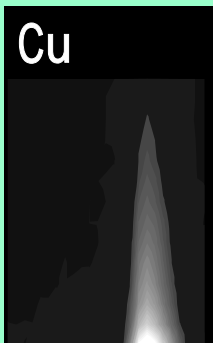


K_2CO_3

電解質

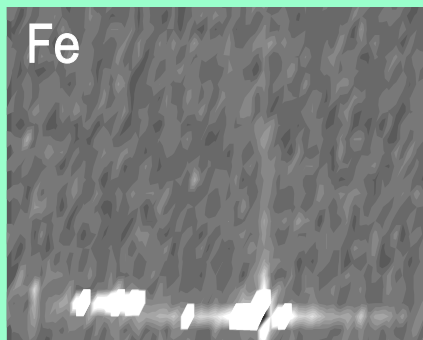
水トリーの光学顕微鏡写真

金属



Cu

異物： Cu粉



Fe

Fe粉

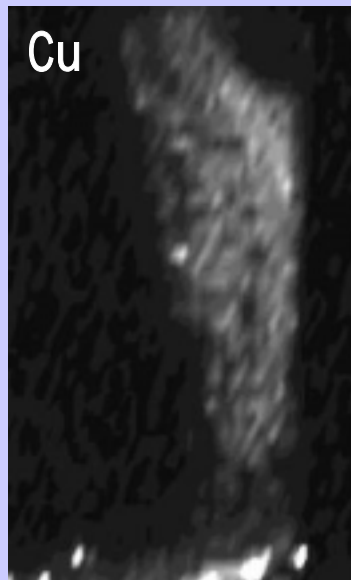


Ni

Ni粉

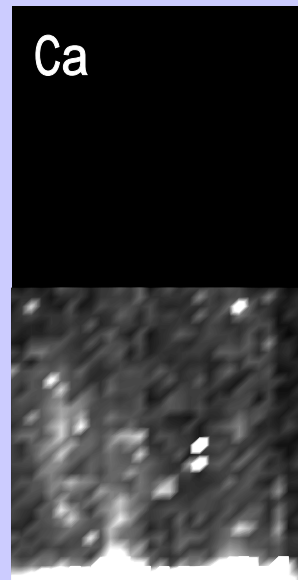
100 μm

電解質



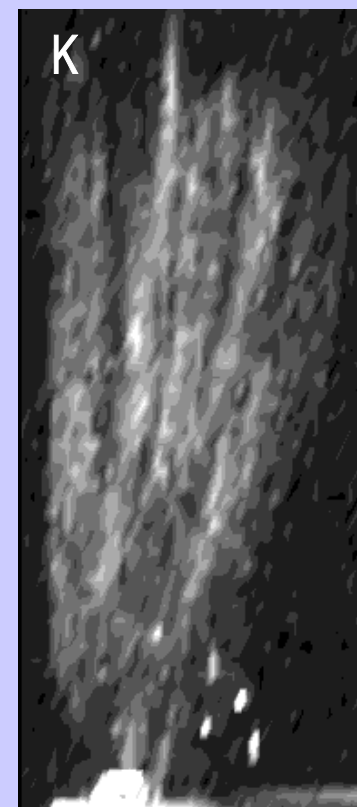
Cu

異物： CuCl₂



Ca

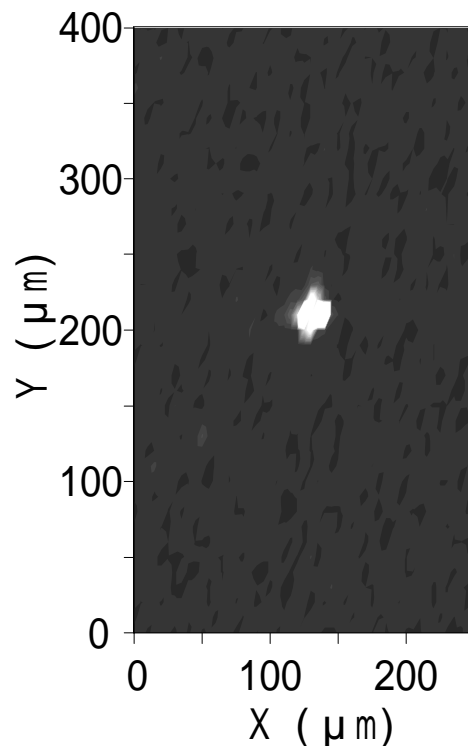
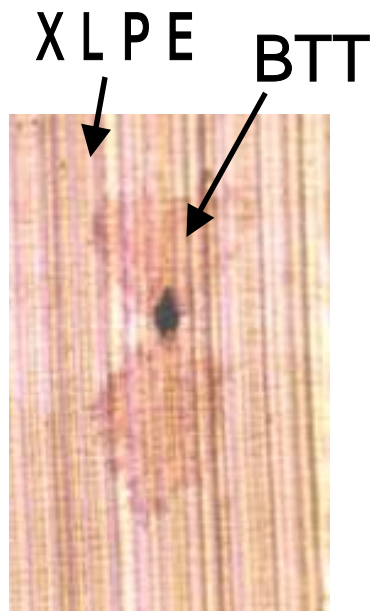
CaCO₃



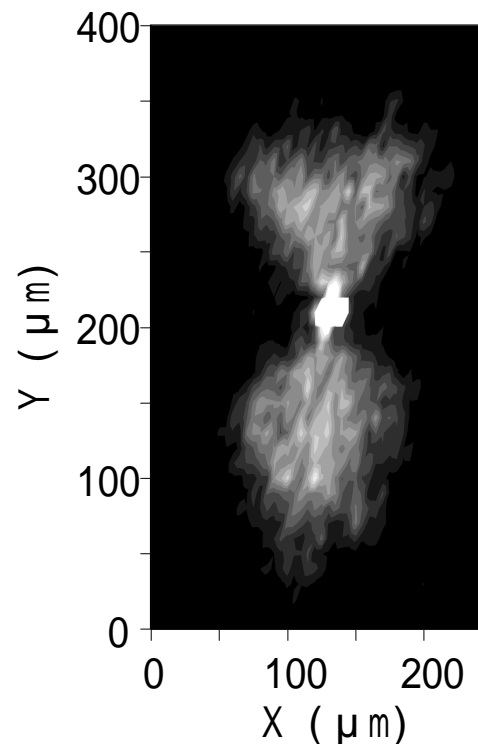
K

K₂CO₃

BTT:ボウタイ状水トリ-

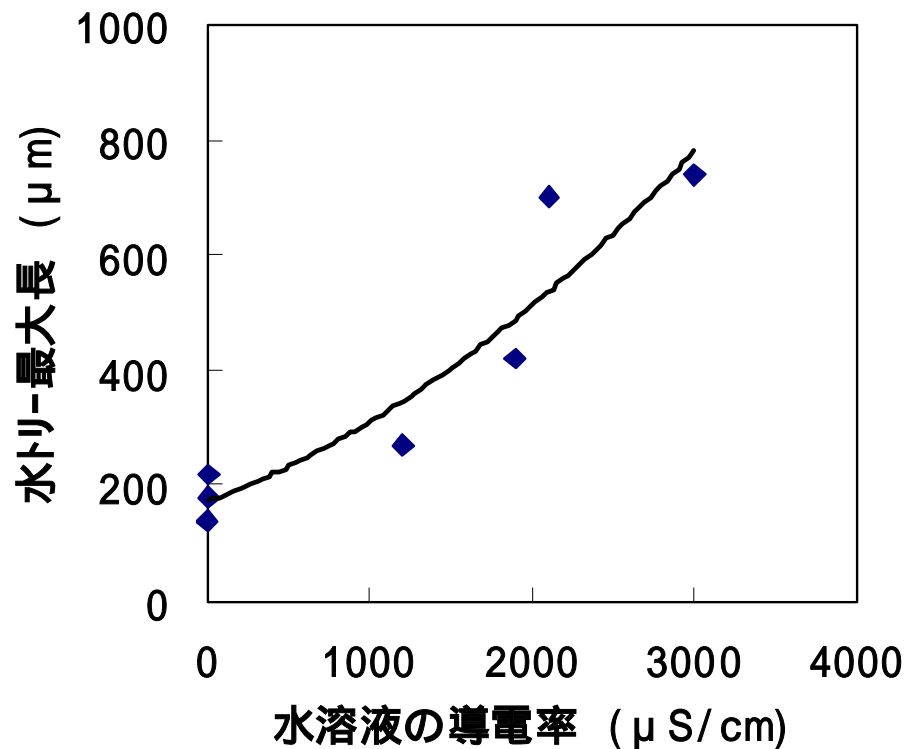
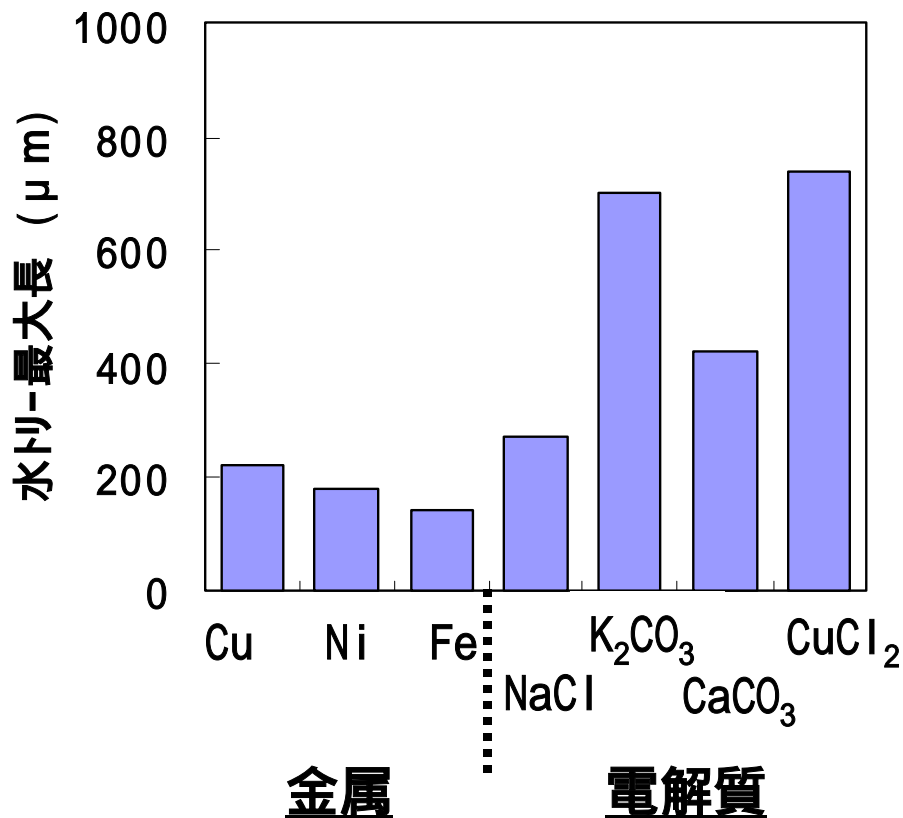


Feの拡散



Caの拡散

FeとCaを含む異物から発生したBTT

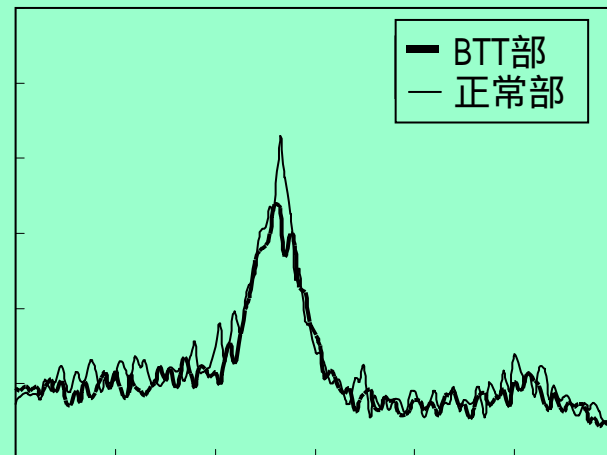
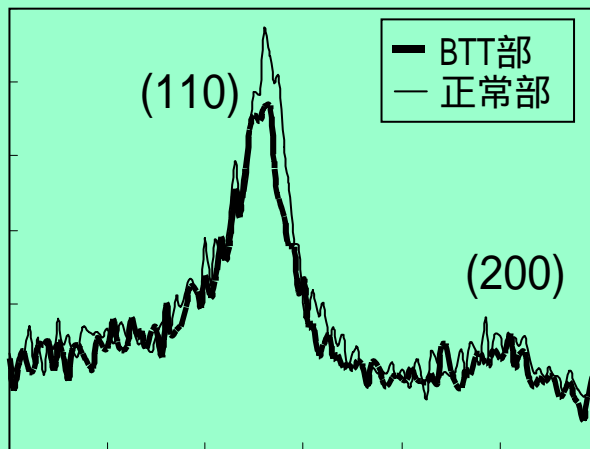


:0.01mol/l水溶液

金属



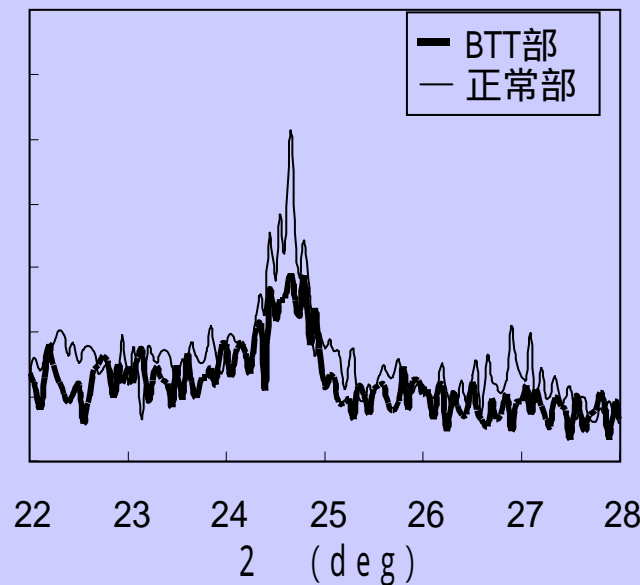
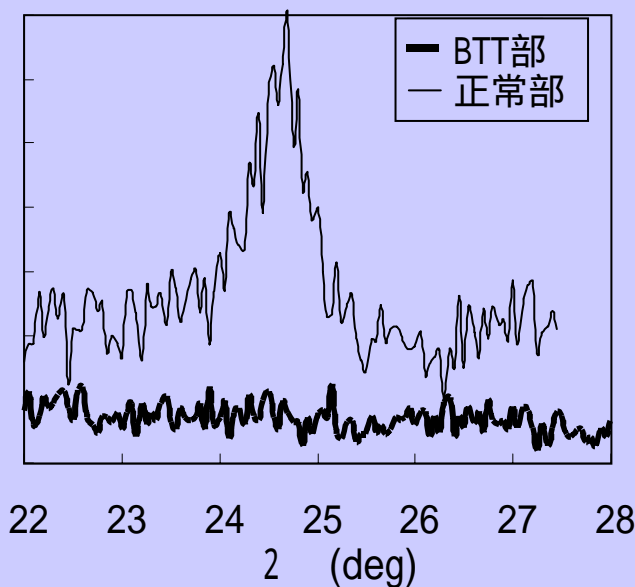
Cu粉



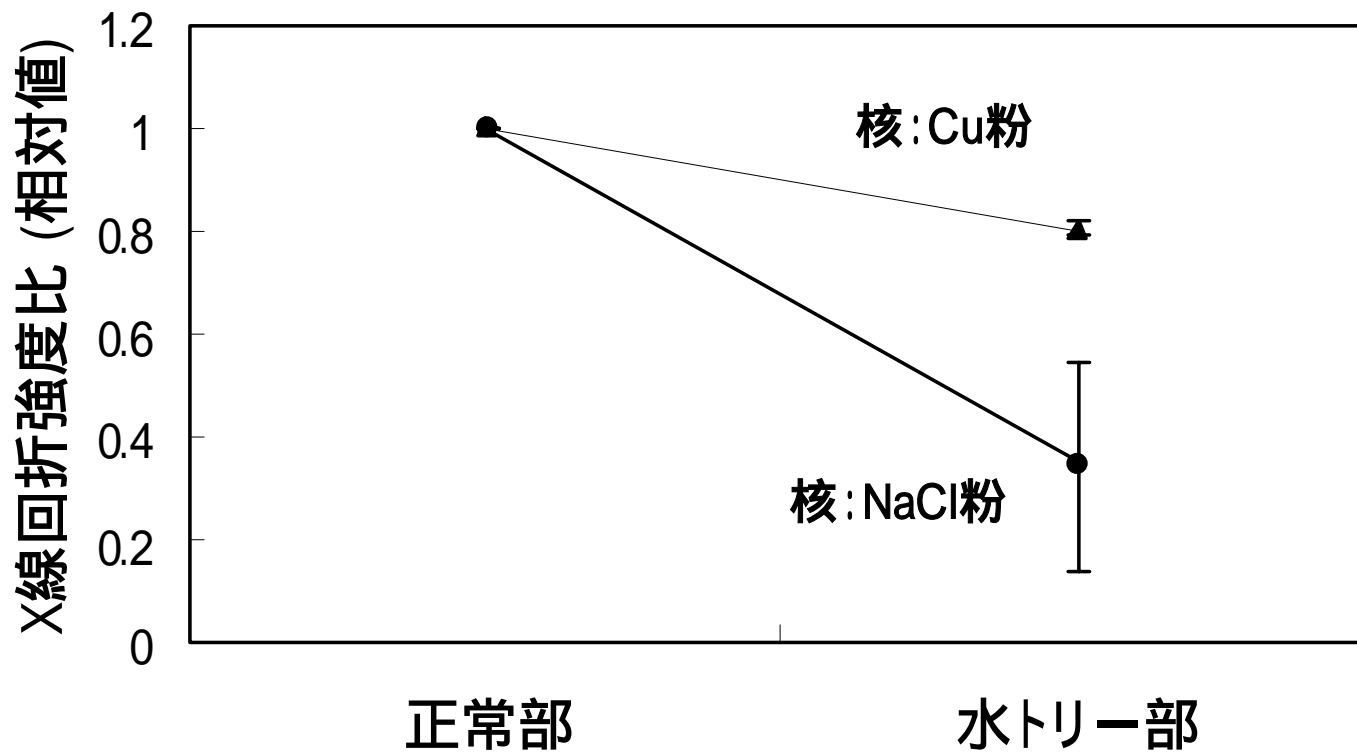
電解質

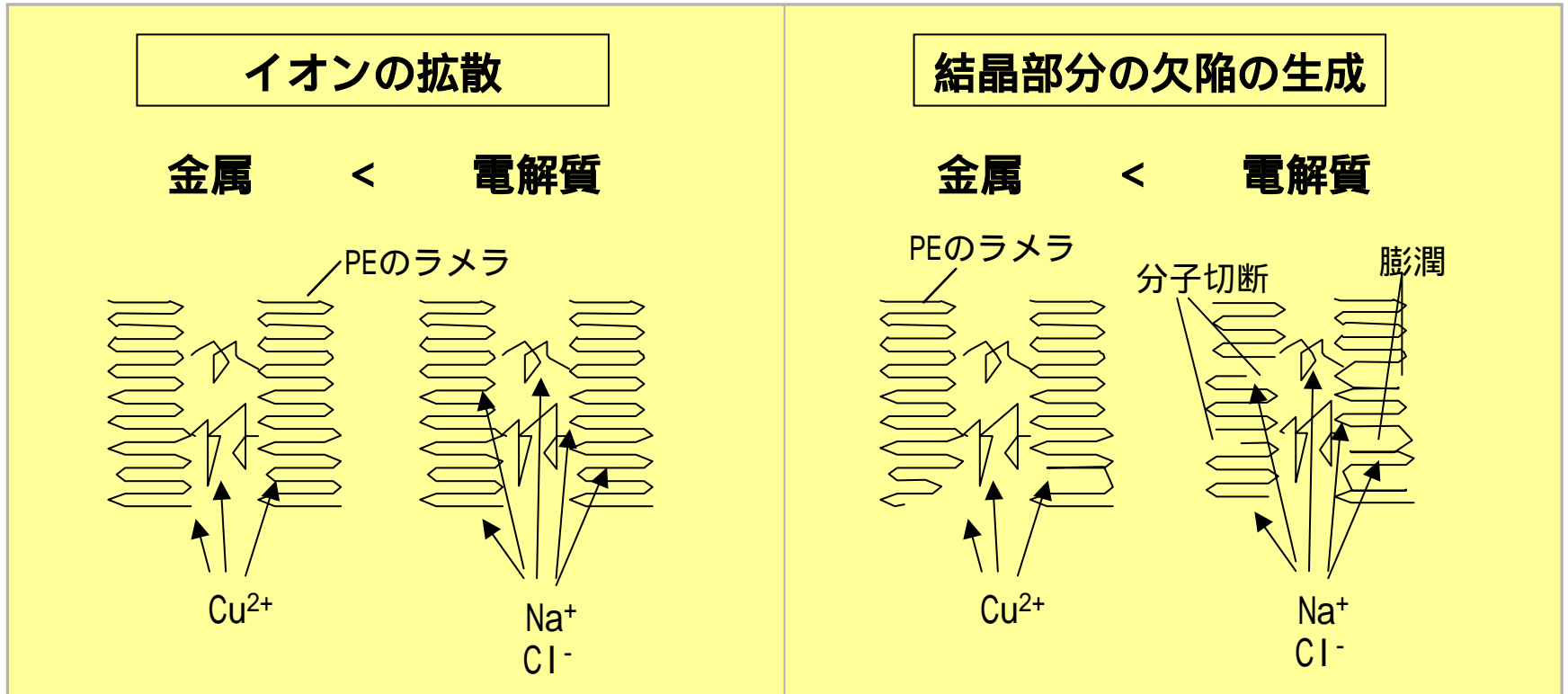


NaCl粉



分析条件：・光子エネルギー：7 keV, ・ビーム形状：100 μm × 100 μm
・0.2° / 40secで2 スキャン





水トリーの進展推定機構



ケーブル絶縁材料中に発生した水トリーを分析し、次の結果を得た。

- (1) 水トリーの羽根の部分は、結晶部分に欠陥ができ、均一性を喪失していることが分かった。
- (2) 水トリーの核を起点に異物成分の拡散状況をイメージングすることができた。
- (3) 金属異物と電解質異物では、元素の拡散状態が異なる。
- (4) イオン化し易い異物ほど拡散が大きく、水トリーへの影響が大きい。