

放射光イメージングの産業利用と今後の展望

米山 明男

(株) 日立製作所研究開発グループ

放射光は平行、単色、大強度という特徴を持った理想的な光源であり、CTを初めとする各種イメージングを理想的な環境下で実施することができる。日立では従来の吸収イメージング及びCTに加え、X線の位相情報を利用した位相イメージング、マイクロビームと組み合わせた顕微蛍光・回折イメージング、偏光を利用した磁気イメージングなど様々な物理量の可視化と、材料や製品の非破壊での評価を進めてきた。

位相イメージング法はX線が被写体を透過する際に生じた位相シフトを可視化する方法で、従来の吸収法に比べて軽元素に対して1000倍以上高感度である(図1)。このため、有機材料や生体軟部組織など主に軽元素で構成された試料を高精細に観察することができる。これまでに薬剤投与効果の可視化やβアミロイドの加齢に伴う変化の解析などバイオメディカルへの適用に加えて、電線の絶縁材料である発泡ポリマーの内部観察、リチウムイオンバッテリー(LIB)電解液の動作環境下における濃度変化の可視化、SiCウェハの高感度かつ定量的な歪検出などを行ってきた。また、透過能に優れた高エネルギーX線(80 keV)を用いて、金属と有機材料から構成された各種複合材料の内部構造の可視化や、空隙の検出なども行ってきた(図2)。さらに、試料温度を制御可能な環境チャンバーと組み合わせることで、資源や輸送手段として注目されている各種ハイドレートの低温下での3次元観察なども外部機関と連携して行っている。

材料の特性や製品の不良を詳細に評価するためには、マイクロからマクロのマルチスケールで密度、結晶構造、構成元素など多様な物理量の計測が不可欠である。このために、吸収と位相を組み合わせたZeffイメージング(平均的な原子番号)に加え、透過・蛍光・回折を同時に計測可能なX線顕微鏡の開発などを現在進めている。

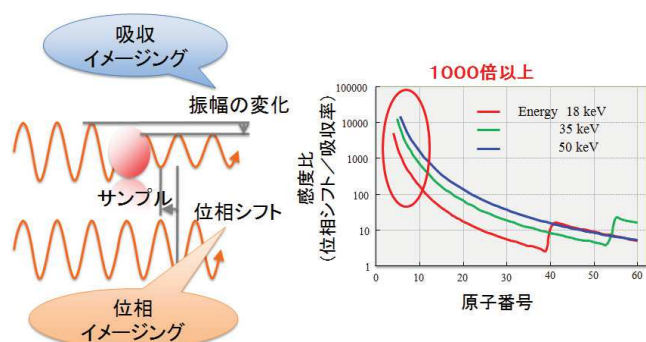


図1 位相イメージングの原理

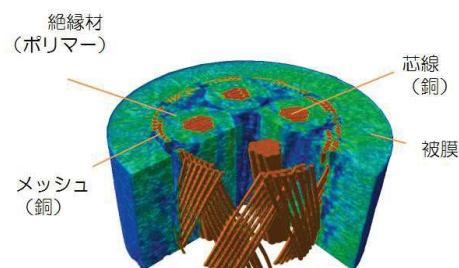


図2 複合材料(ケーブル)の三次元像

日立における

放射光イメージングの産業利用と 今後の展望

位相

(株) 日立製作所 研究開発グループ
米山 明男

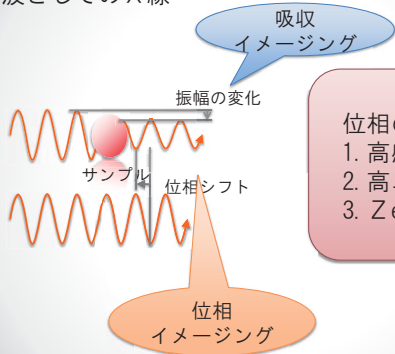
放射光の特徴

実験室系の線源と比較して

- ・エネルギー広がりが小さい (単色)
 $\Delta E/E \sim 10^{-4}$
- ・強度が強い
 10^{10} photons/s/mm²以上
- ・ビームが平行
角度広がりが10 mrad以下

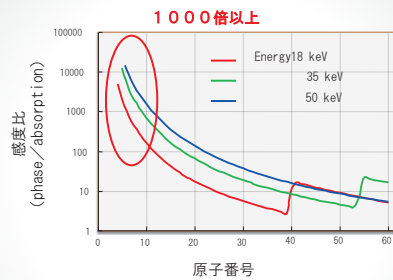
X線イメージングにおいて
理想的な線源
高感度位相イメージングが実現できる！

1. 位相コントラスト原理 —波としてのX線—



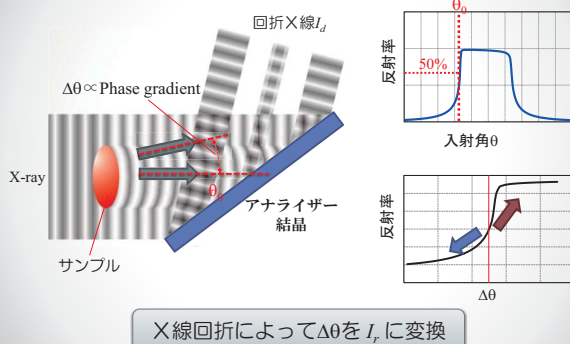
- 位相の3大特徴
1. 高感度
 2. 高エネルギー
 3. Z_{eff} の可視化

2. 高感度特性

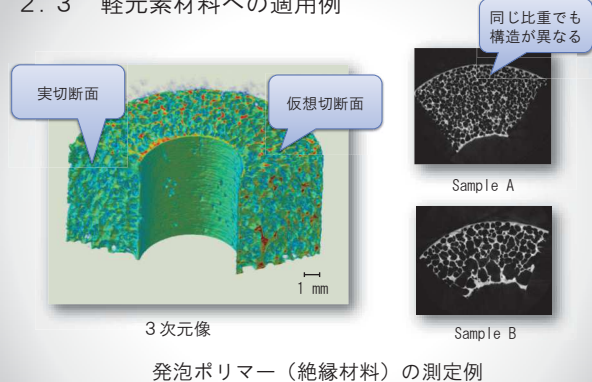


位相イメージングは吸収に比べて感度が**1000倍高い**
→有機材料や生体試料の高精細観察が可能

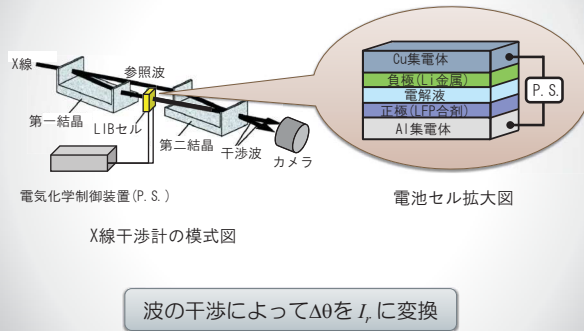
2.1 屈折コントラスト法 (DEI)



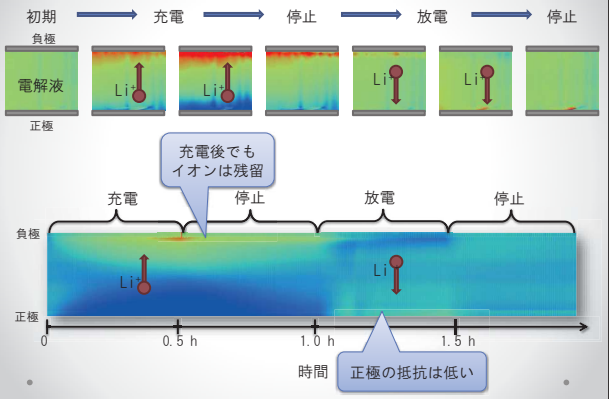
2.3 軽元素材料への適用例



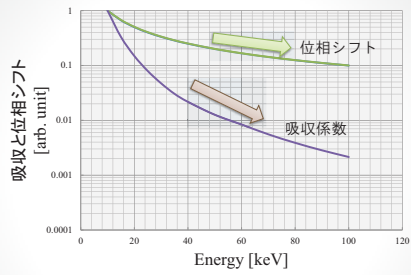
2.4 LIBのオペランド計測例 (イオンの可視化)



2.4 LIBのオペランド計測例 (イオンの可視化)



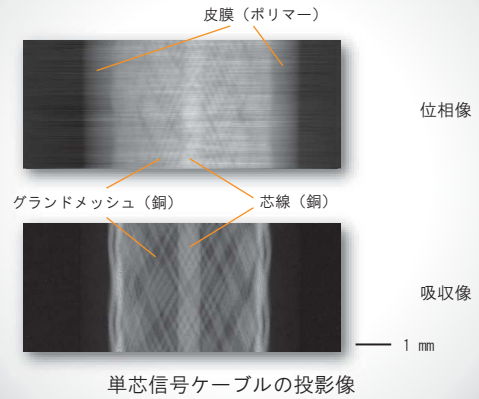
3.1 高エネルギー特性



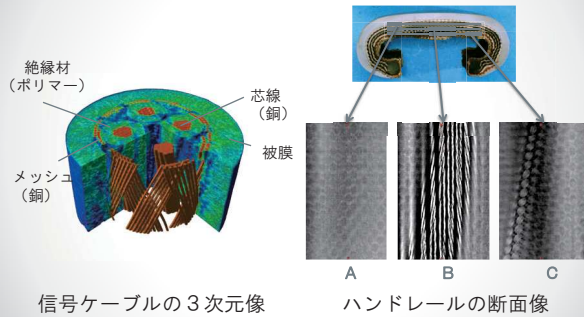
高エネルギーにおいても位相シフトは大きい

軽元素材料と金属材料の同時可視化が可能。

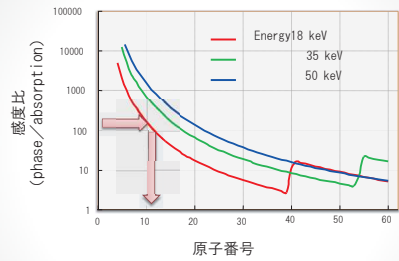
3.2 複合材料の観察結果 I



3.3 複合材料の観察結果 II

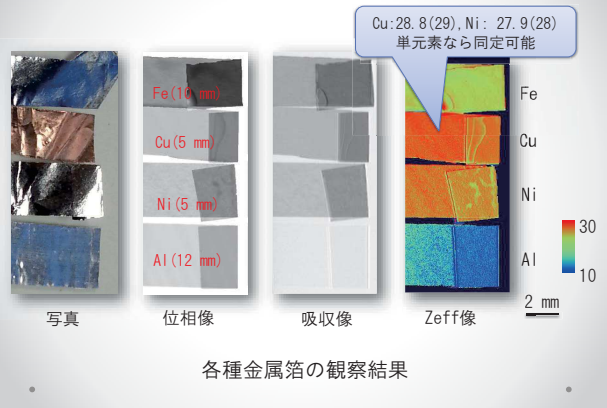


4.1 Zeffイメージング

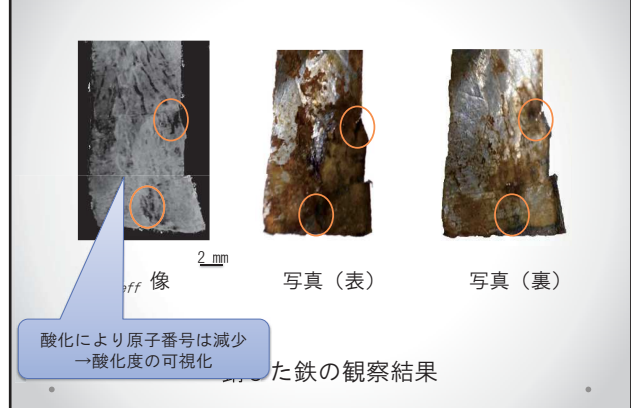


吸収と位相の比は原子番号に1:1に対応
→ 試料の実効原子番号を可視化可能

4.2 金属箔の観察結果



4.3 酸化の可視化結果



4. まとめ

X線位相イメージング法は、サンプルを透過した際に生じた位相の変化を可視化する撮像法であり、従来法に比べて以下の特徴がある。

1. 1000倍以上感度が高く、高精細に軽元素材料や生体試料を観察することができる。
2. 高エネルギーX線に対して感度が高く、複合材料の両材料を同時に可視化することができる。
3. 吸収と位相の比から元素情報を得ることができる。