

波長分解CTによる ブラッグエッジイメージング

渡辺 賢一

名古屋大学工学研究科



NAGOYA UNIVERSITY

Acknowledgements

本研究の一部は、日本学術振興会 頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム「結晶科学の国際拠点形成ーバンドデザインによる機能融合ー(代表:名古屋大学 生田博志)」による助成を受けた。



ISIS, RAL, STFC, UK

W. Kockelmann, T. Minniti, G. Burca,
R. Dalgliesh



University of California at Berkeley, US

A.S. Tremsin

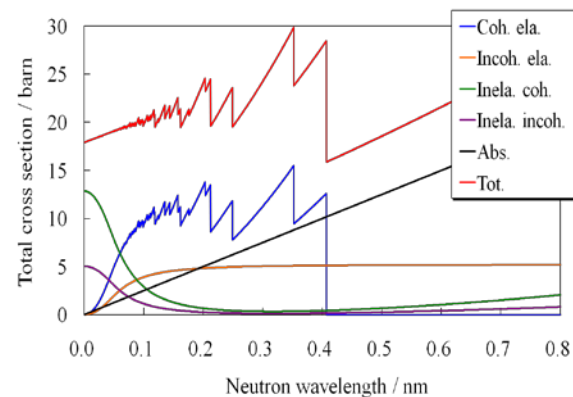
名古屋大学 鬼柳善明 特任教授、北海道大学 佐藤博隆 助教、、、

波長(エネルギー)分解イメージング

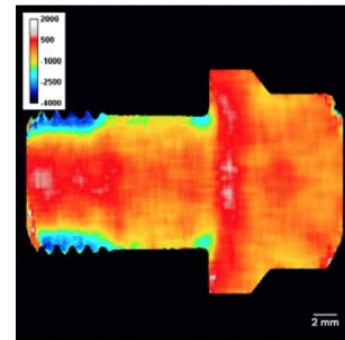
ブラッグ エッジ分析

中性子回折に基づき結晶組織情報を抽出可能
(結晶構造、ひずみ、結晶子サイズ、結晶配向)

$$\sigma_{\text{tot}}(\lambda) = \sigma_{\text{coh}}^{\text{ela}}(\lambda) + \sigma_{\text{incoh}}^{\text{ela}}(\lambda) + \sigma_{\text{coh}}^{\text{inela}}(\lambda) + \sigma_{\text{incoh}}^{\text{inela}}(\lambda) + \sigma_{\text{abs}}(\lambda)$$



Strain 4.16A edge



ブラッグエッジイメージング: 比較的厚いサンプルの2次元透過像から結晶組織情報を抽出可能

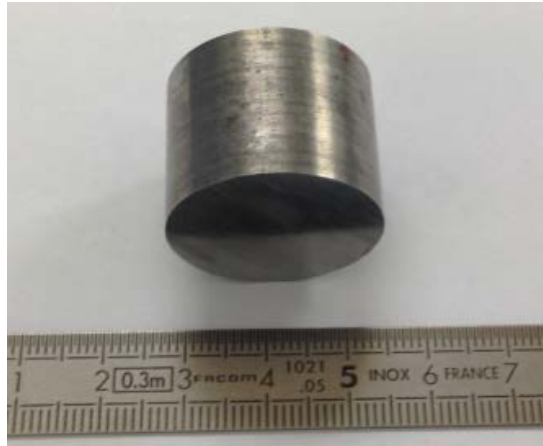
→ただし、中性子通過パスに沿って積分した情報
どうやって各々の深さにおける情報を抽出するか？

⇒三次元CT再構成

目的: エネルギー分解中性子CTを行い
ブラッグエッジ解析を適用する

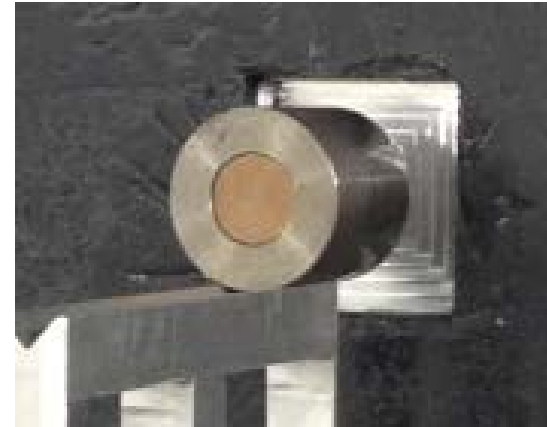
測定試料

1. Quenched steel rod



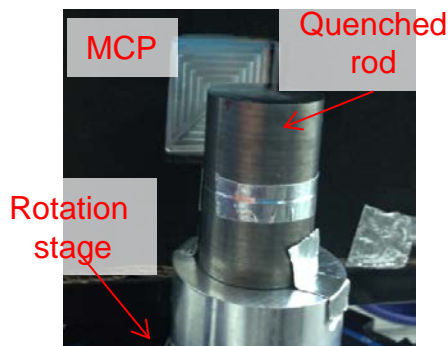
Iron rod
Diameter: 26 mm
Length: 20 mm
Quenched from radially outer surface with induction heating

2. Combined metal rod



Outer region: Copper
Inner region: Iron
Diameter: 24 mm
Length: 25mm
Copper cylinder was inserted into iron hollow cylinder

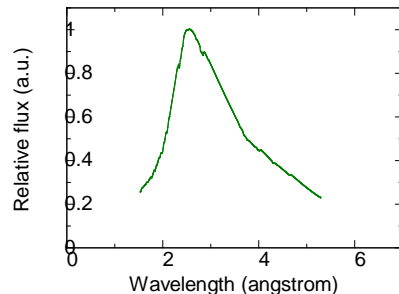
Measurement-1



Obtained radiographic image

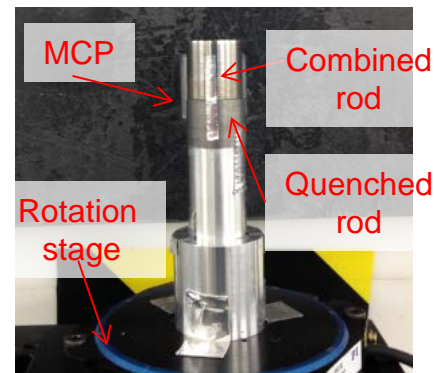


Detector: MCP
Beamline:
Larmor @TS2, ISIS
Flight path: 25.9 m
Flux: 5×10^6 n/cm²/s

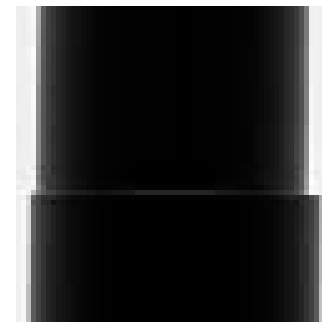


TOF slices: 1205 slices (20.48 us step)
Projection: 75 projections
for 0 – 180 deg. (2.43 deg. step)
Acquisition: 40 min for each

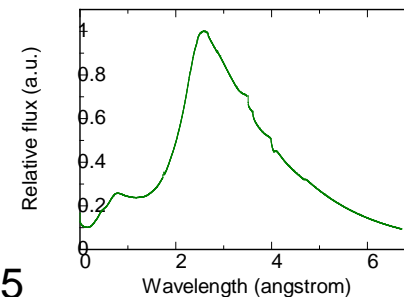
Measurement-2



Obtained radiographic image



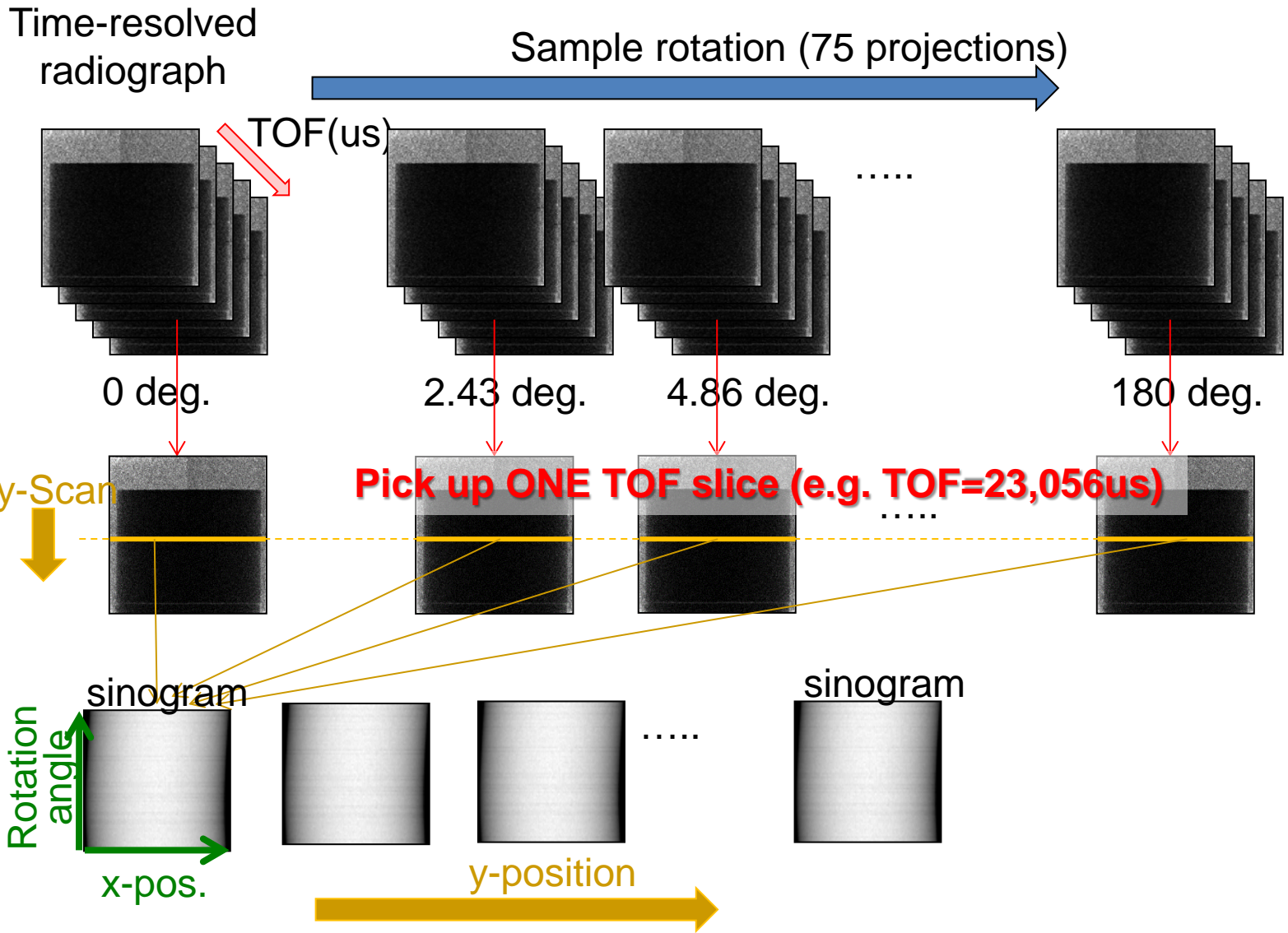
Detector: MCP
Beamline:
IMAT @TS2, ISIS
Flight path: 56.4 m
Flux: 7×10^6 n/cm²/s
@ L/D=125



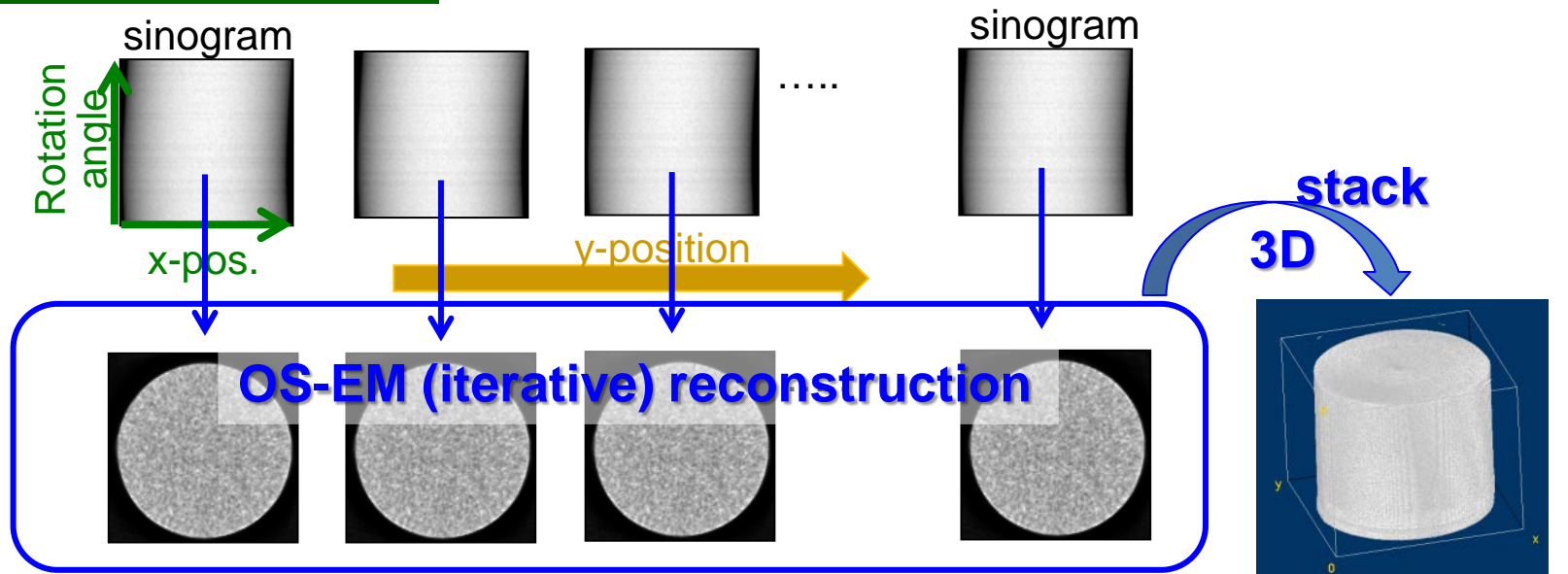
TOF slices: 2321 slices (40.96 us step)
Projection: 40 projections
for 0 – 180 deg. (4.61 deg. step)
Acquisition: 30 min for each

波長分解CT

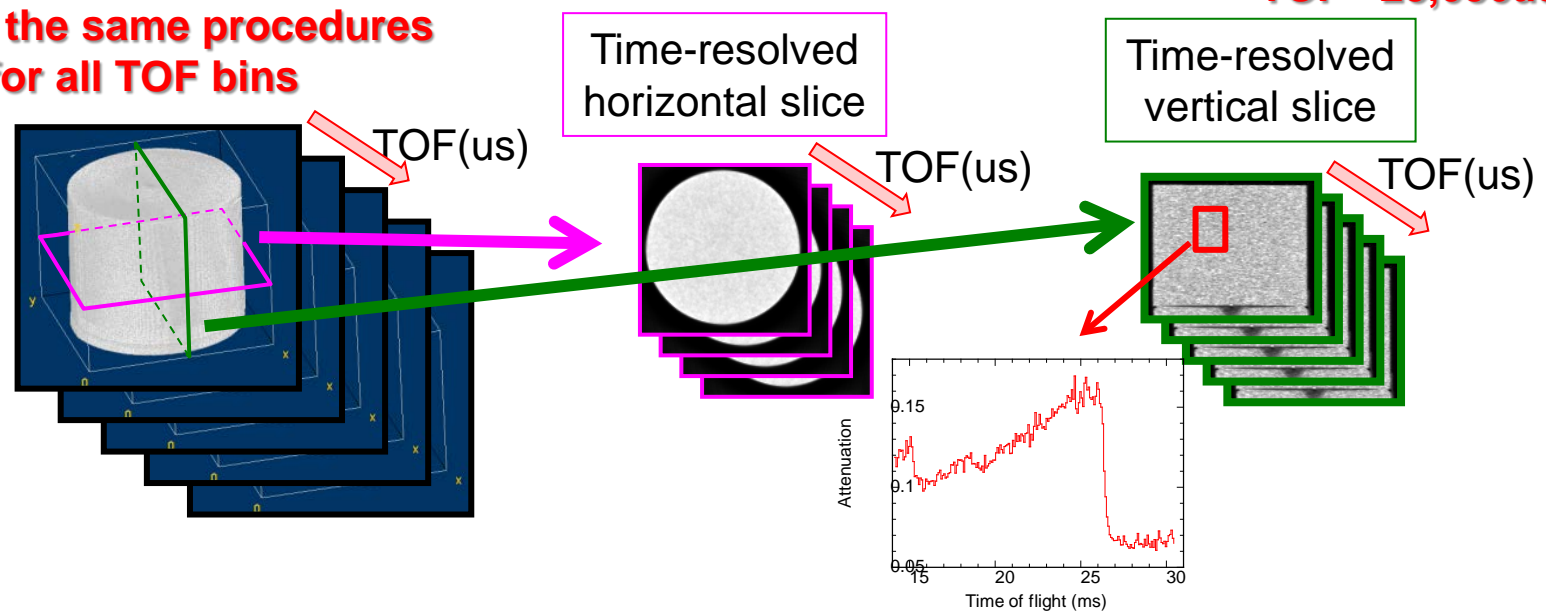
Data acquisition



波長分解CT



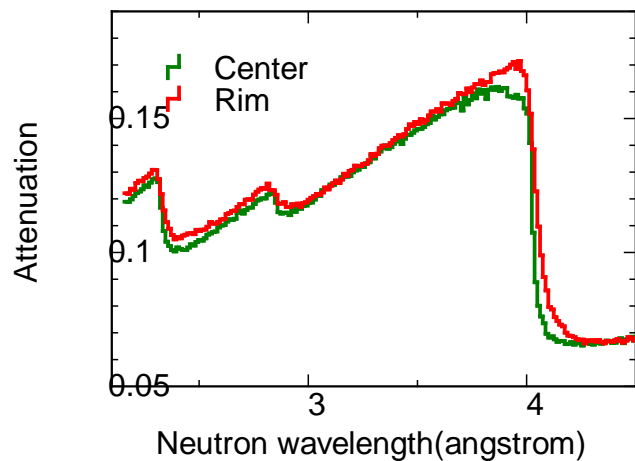
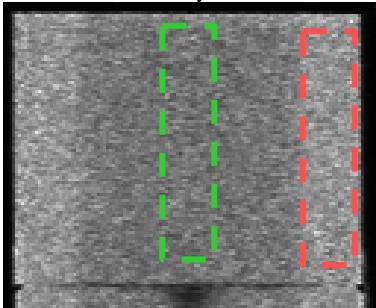
Repeat the same procedures for all TOF bins



波長分解CTにより得られたブラッグエッジ

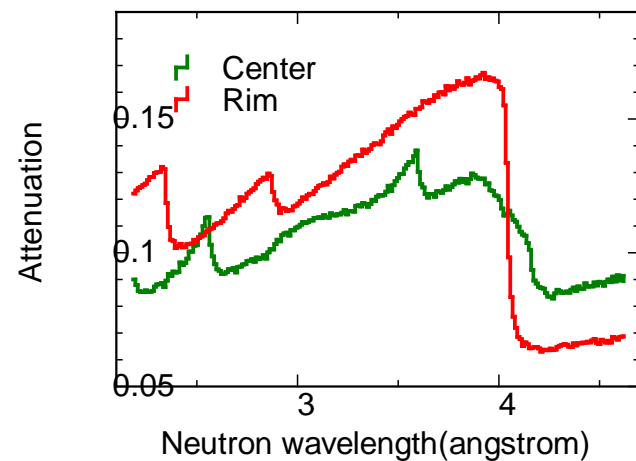
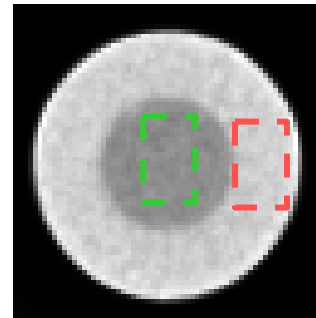
Measurement-1

Vertical, center



Measurement-2

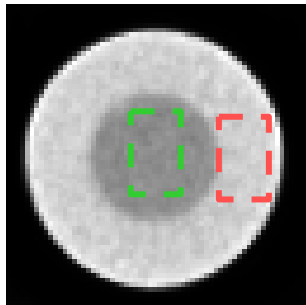
horizontal, Upper



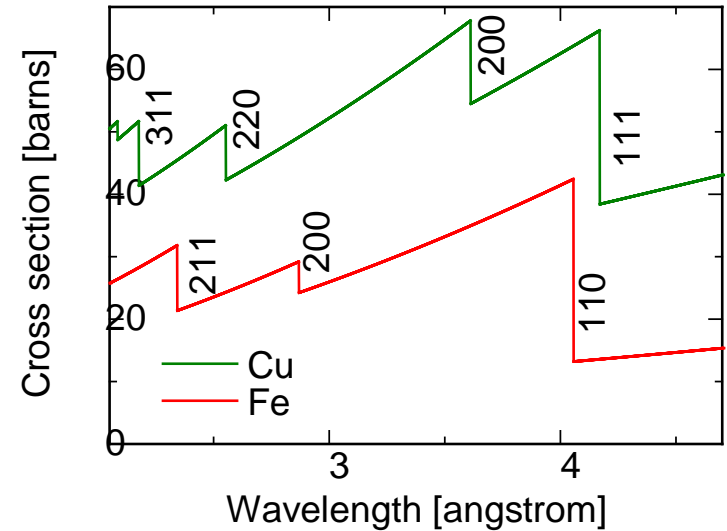
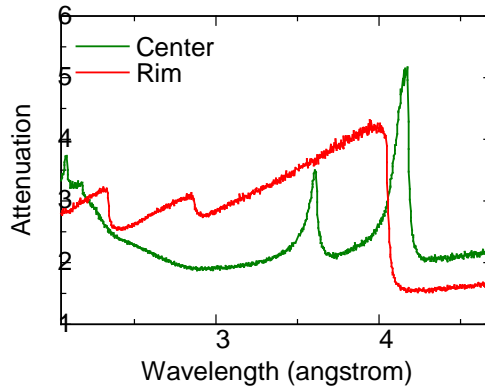
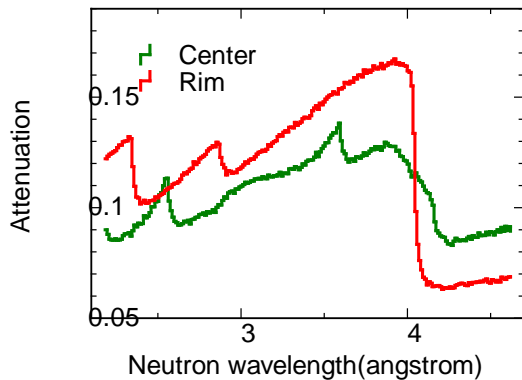
波長分解CTにより得られたブラッグエッジ

Measurement-2

Horizontal slice



Top view (Simple radiography)

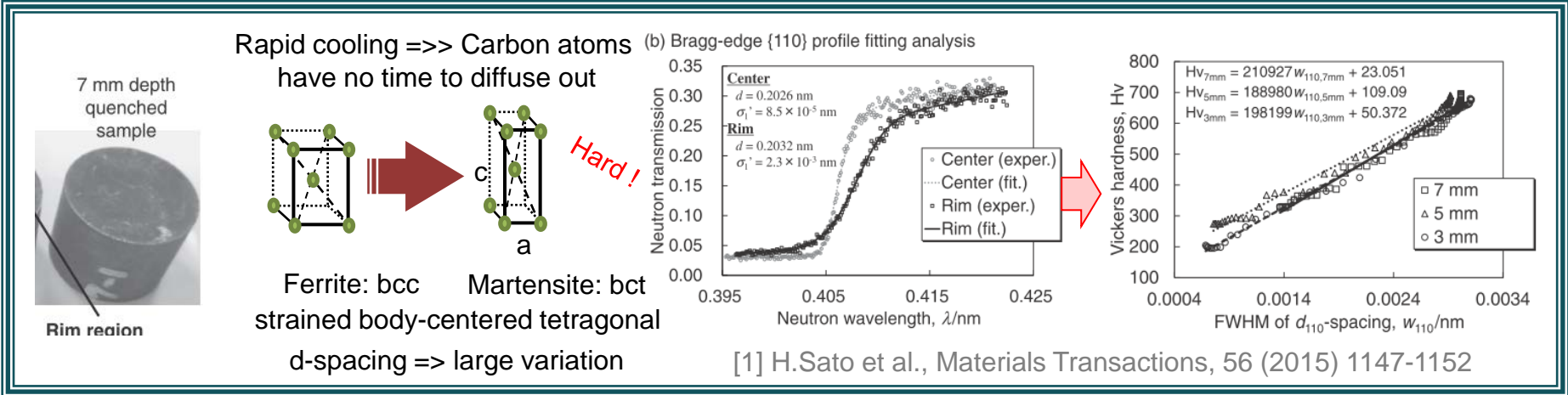


Cu \Rightarrow FCC

Fe \Rightarrow BCC

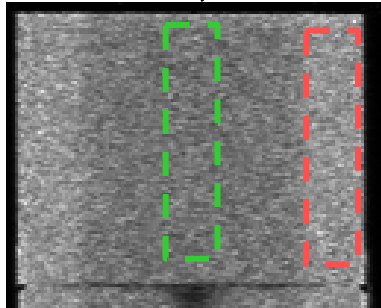
結晶配向の影響を
如何に考慮するか？

ビッカース硬さ vs ブラッグエッジ拡がり

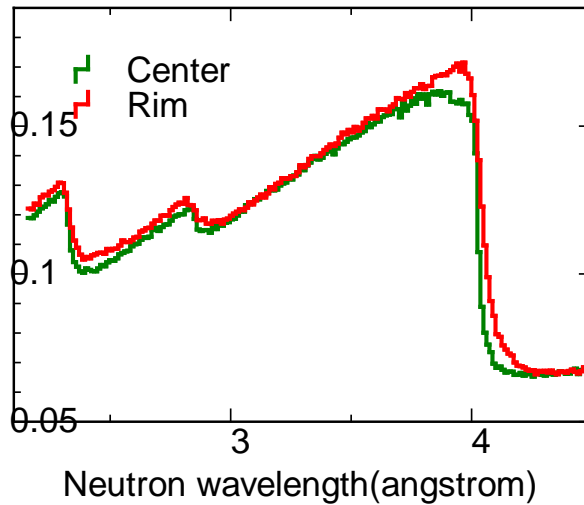


Measurement-1

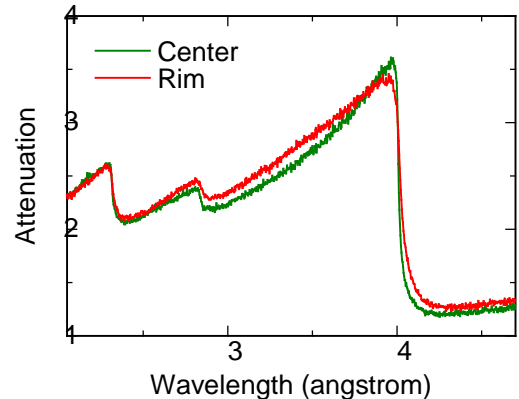
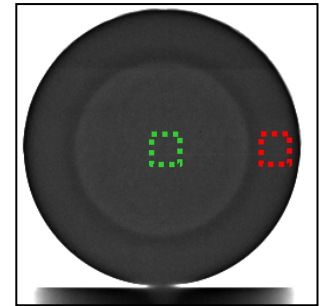
Vertical, center



Attenuation



Top view
(Simple radiography)



ブラッグエッジフィッティングで得られた断層像

フィッティング : RITS (渡辺改造版) シングルエッジフィッティング

Pulse function:

Double decay Jorgensen function

$$R_i(t) = \frac{\operatorname{erfc}(w)}{2} - \frac{\beta_i \exp(u) \operatorname{erfc}(y) - \alpha \exp(v_i) \operatorname{erfc}(z_i)}{2(\alpha + \beta_i)}$$

$$R(t) = (1-r)R_1(t) + rR_2(t)$$

Convolution of exponential
(rise and double decay) and Gaussian

$$t = \lambda - 2d$$

$$u = \frac{\alpha}{2}(\alpha\sigma^2 + 2t)$$

$$v_i = \frac{\beta_i}{2}(\beta_i\sigma^2 - 2t)$$

$$w = \frac{t}{\sqrt{2}\sigma}$$

$$y = \frac{(\alpha\sigma^2 + t)}{\sqrt{2}\sigma}$$

$$z_i = \frac{(\beta_i\sigma^2 - t)}{\sqrt{2}\sigma}$$

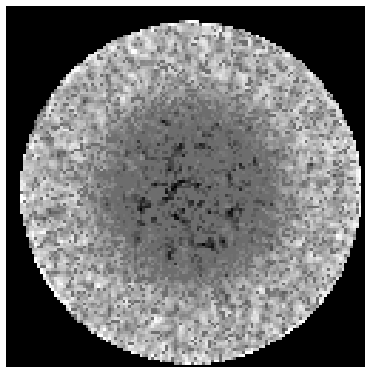
$i=1,2$

d: d spacing
 σ : broadening of the edge

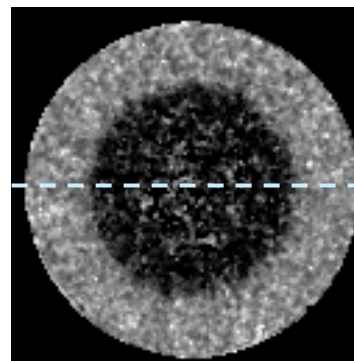
Measurement-1

Horizontal, center for (110) edge

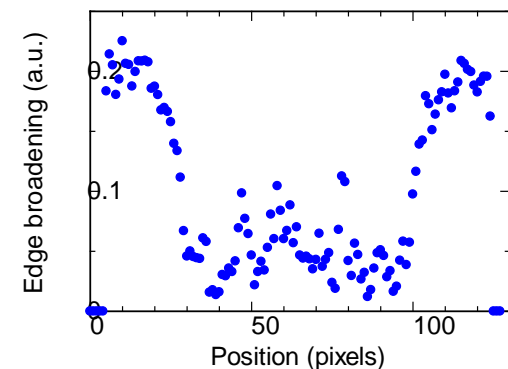
d map



σ map



Line profile of σ



Radially outer region seems to be martensite!

まとめ

1. 波長分解CT再構成により
4D(3D+波長)透過率データを取得
2. 波長(TOF)スペクトルに対し
ブラッグエッジフィッティング
⇒ ブラッグエッジ拡がりの断層像を取得
3. 丸棒内部のマルテンサイト分布を取得可能
4. 結晶配向の強いサンプルに
関しては注意が必要