

2013年1月8日

中性子イメージング専門研究会@京大原子炉実験所

高速度カメラを用いた パルス中性子3次元イメージング

日本原子力研究開発機構

瀬川麻里子

大井元貴 甲斐哲也 篠原武尚
呉田昌俊 佐藤博隆

1. 動機

原子力・基礎科学において定常・非定常状態
物質毎の3次元可視化する技術開発

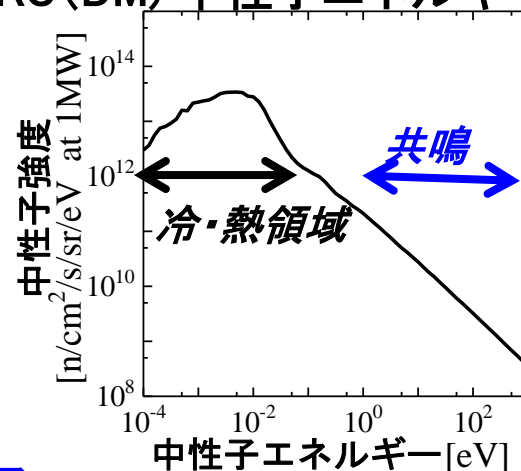
工業製品・鉱物内での元素別3次元可視化と計測技術開発

必要とされる基盤要素

- 1) 元素識別
- 2) 高コントラスト
- 3) 視野・解像度可変な撮像
- 4) 定常的・瞬間的な現象の撮像

→ 広いエネルギーを持つ **大強度パルス中性子**
冷・熱 meV (ブラッグエッジ領域): 結晶構造
共鳴: $eV \sim$ 元素情報

J-PARC (DM) 中性子エネルギー分布



カメラを用いたTOF中性子イメージング技術に注目

2. 課題とアプローチ

課題

高速度カメラから得られた中性子透過率画像から
如何に物質情報を得るか？

アプローチ

- ➡ Step-1 * システムの性能評価➡
線形性、空間分解能、誤差

- ➡ Step-2 * 2次元画像からの物質情報の取得➡
シミュレーションコードとの比較

- ➡ Step-3 * 3次元画像からCT値 導出

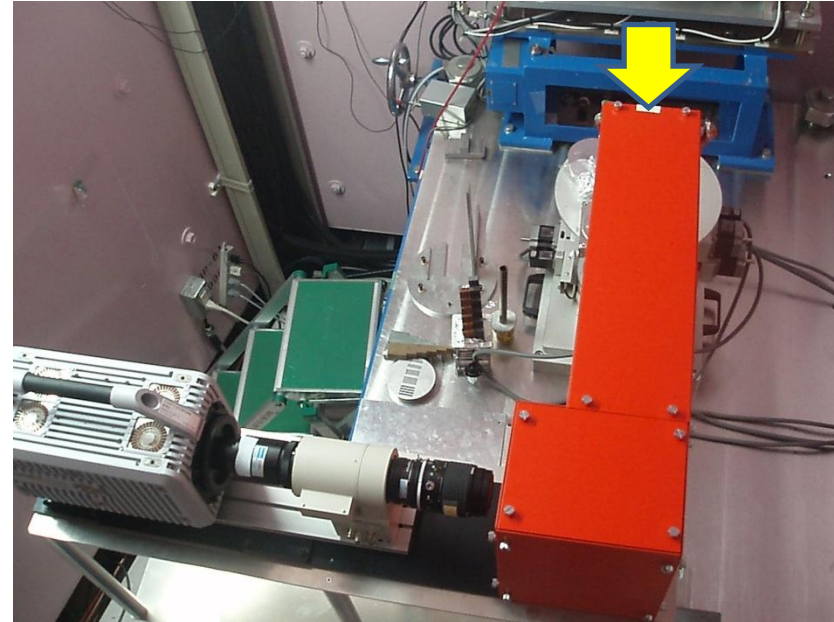
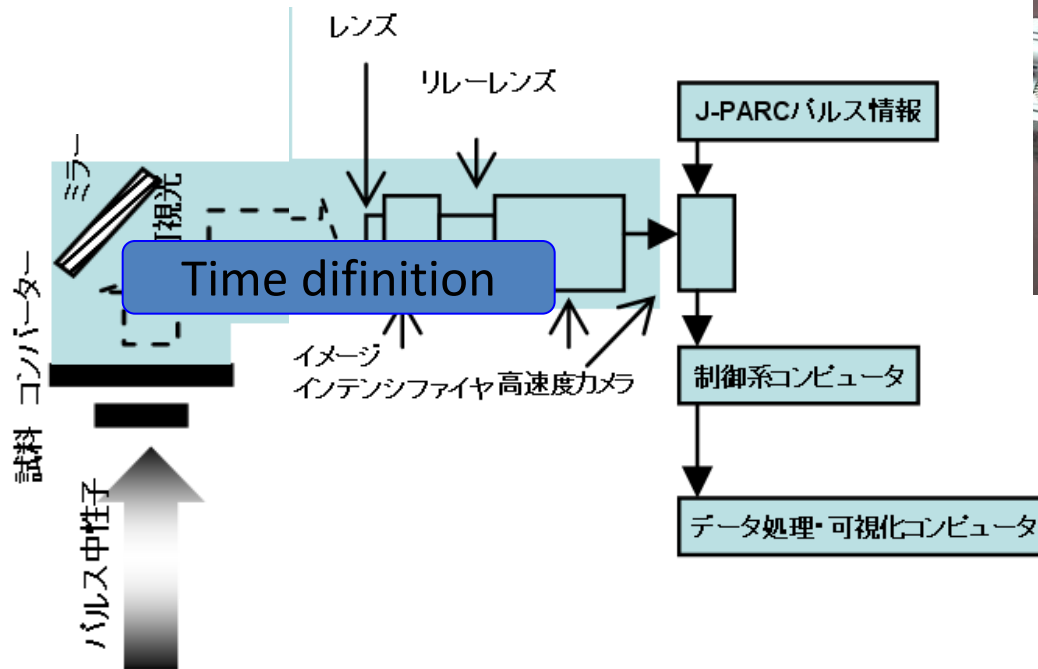
- Step-4 * 3次元画像から物質情報の導出

3. 実験装置

(1) システム

測定条件

- ・施設 : J-PARC BL10
- ・TOF距離: 13.7m
- ・ビームサイズ: 100mmx100mm
- ・高速度カメラ: Photron SA-X

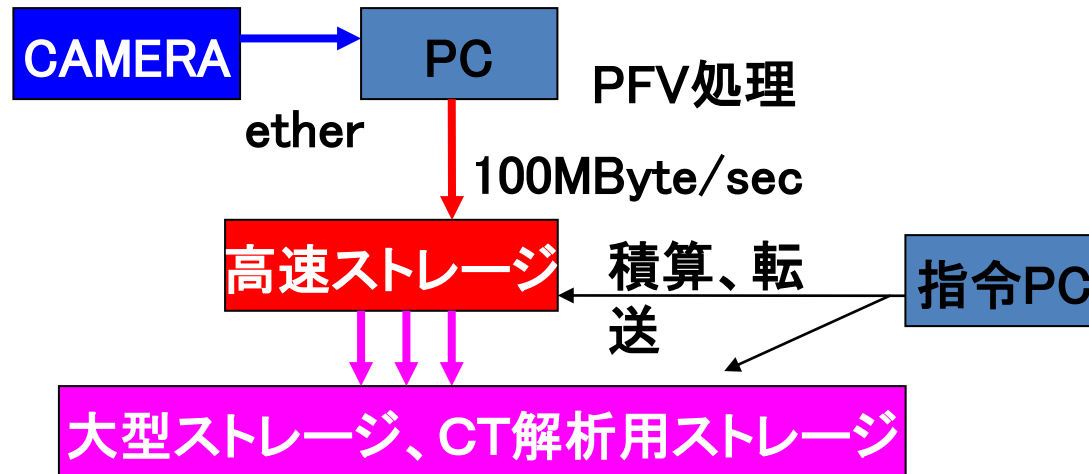


画素数	空間解像度 [$\mu\text{m}/\text{pixel}$]
256 x 256	391
512 x 512	195

(2) データ処理

データの流れ

大容量のデータ



アプローチ

- 1) カメラ: カメラデータのフォーマット改良
- 2) 大容量メモリー(12GByte[~])と高速ストレージ(500MByte/sec R/W)
- 3) データ並列転送・解析

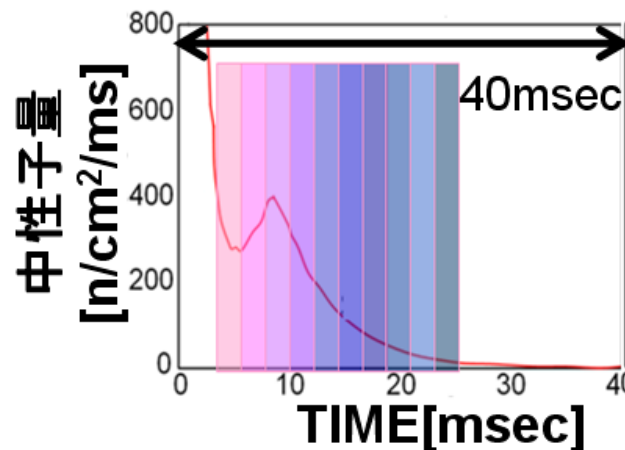
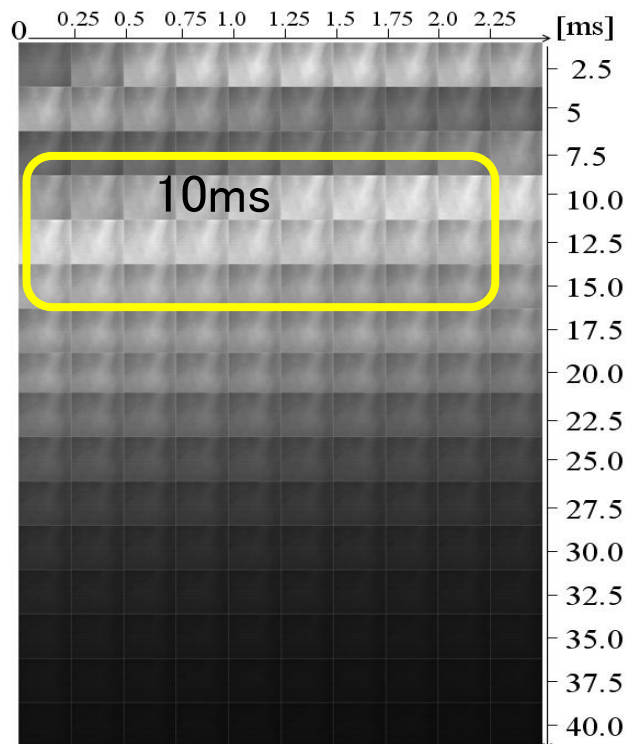
20万ファイル(20Gbyte) データ処理 従来60分→1分以下まで短縮

(3) 中性子量評価

測定条件

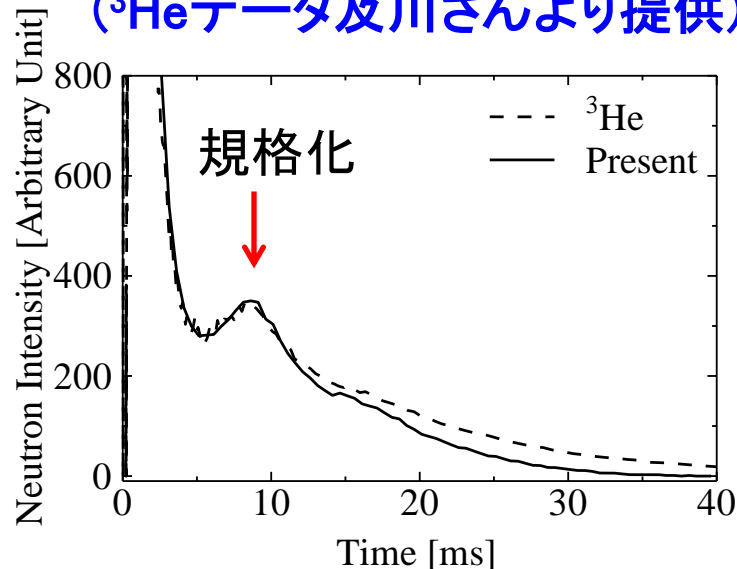
- 4k frame/s
(4k Hz, $\Delta T=250 \mu\text{s}$)
- 512 × 512 pixel,
 - 204 frame積算
- 試料無し

中性子透過画像



³Heモニターとの比較

(³Heデータ及川さんより提供)



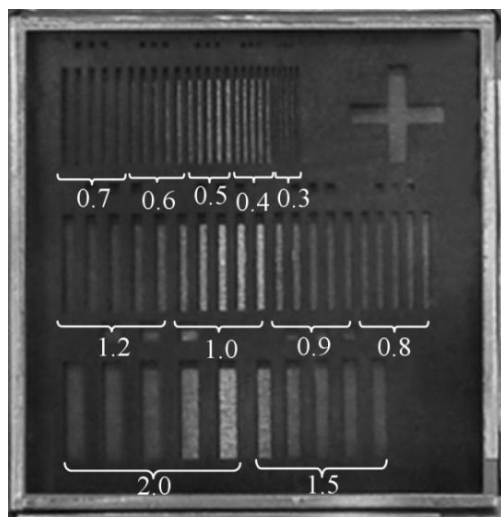
実験システムの線形成を確認

(3) 空間解像度評価

測定試料

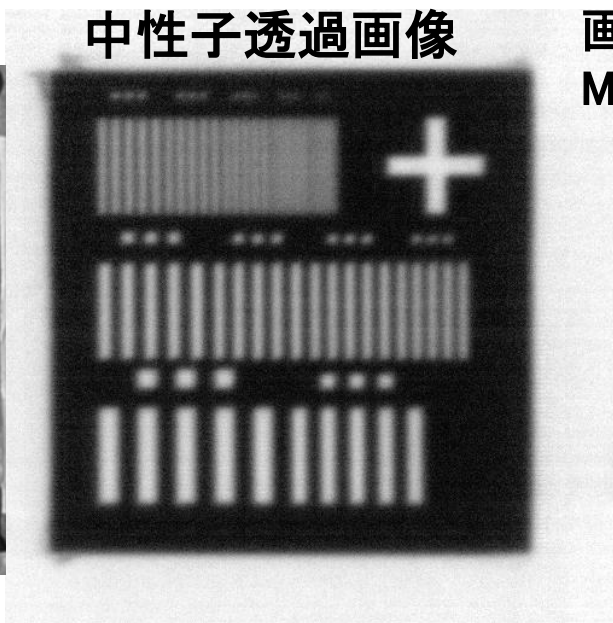
Gdラインペア

*JAEA量子ビーム・基礎工製作



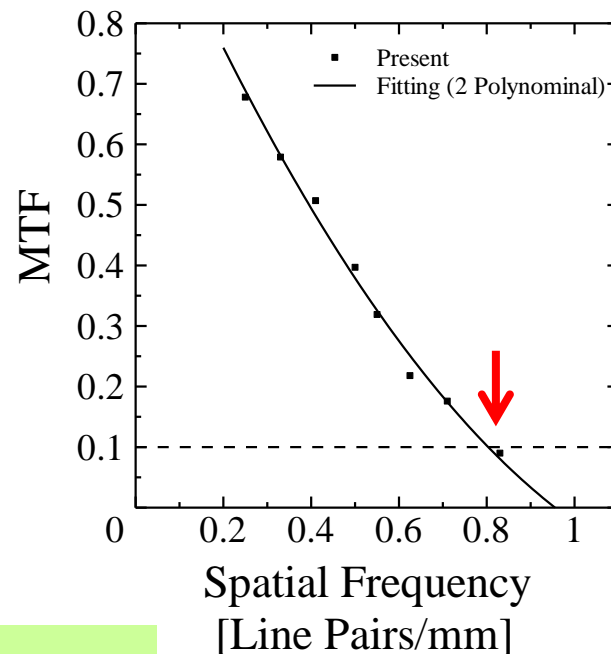
50mm

中性子透過画像



MTF評価
512x512画素(195μ m/pixel)

画像の鮮明度を定量的に評価する指標
MTF=0.1 空間分解能と定義する



空間分解能 0.8 (600μ m) @ MTF=0.1 と評価

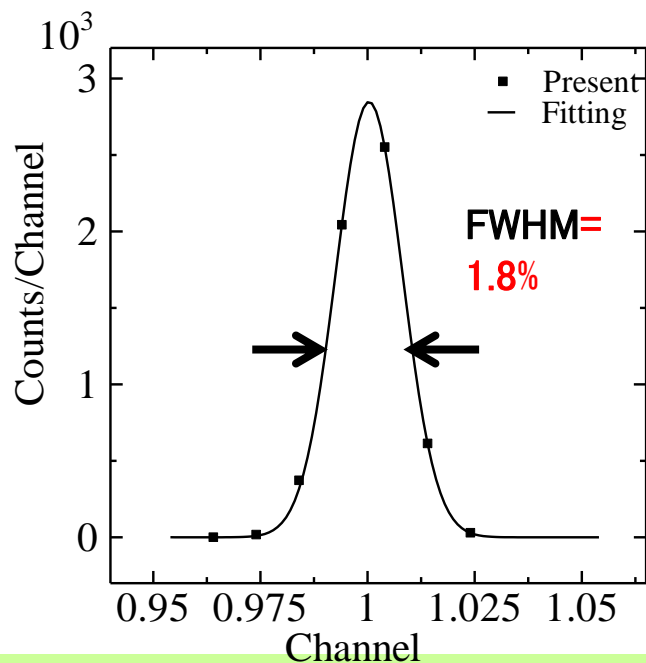
(4) 系統誤差

粒状度

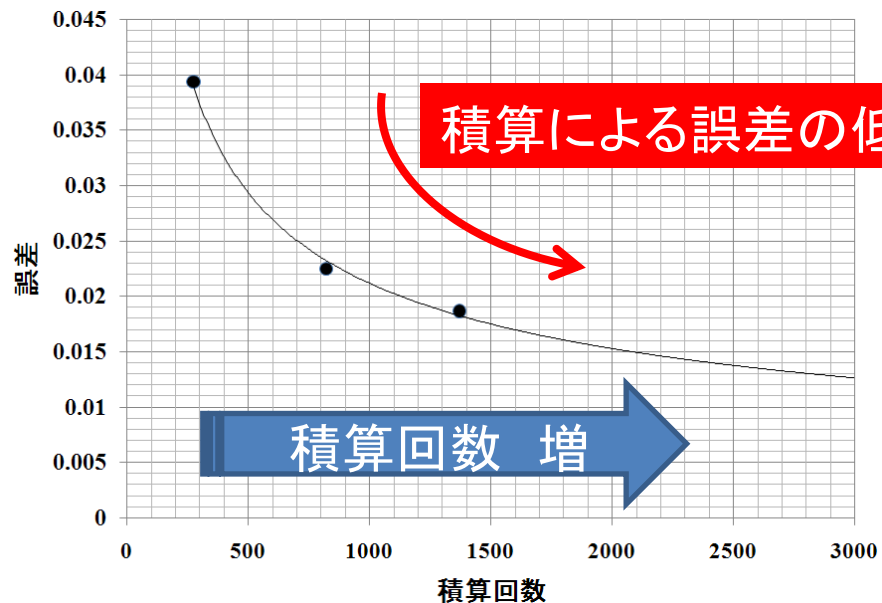


$$\frac{\text{試料無し画像a 輝度値}(x,y)}{\text{試料無し画像b 輝度値}(x,y)}$$

分散(積算枚数: 1300枚)



積算効果の評価



システムの系統誤差 1.8%、積算による誤差の低減を確認

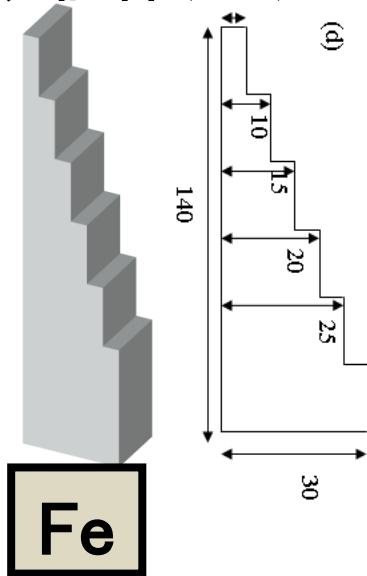
4. 実験結果

(1) 2次元画像解析

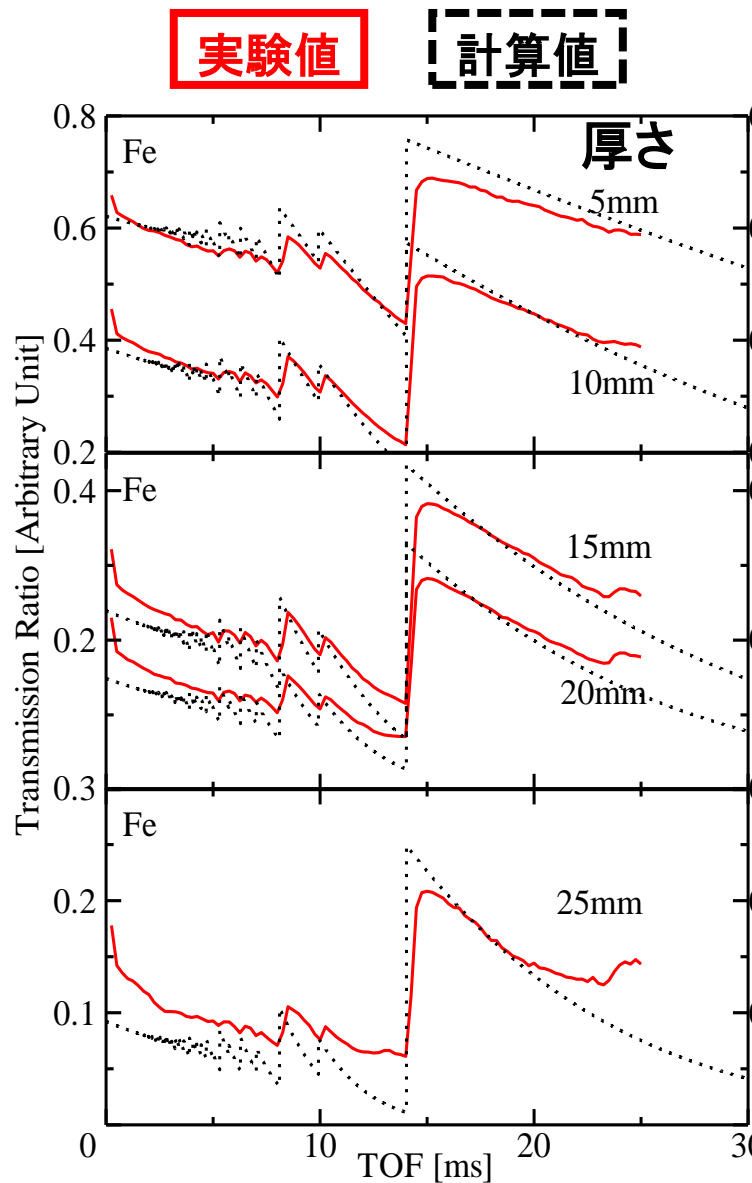
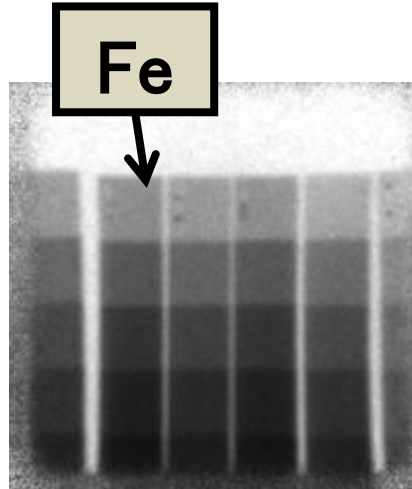
測定条件

- 4k frame/s ($\Delta T=250 \mu\text{s}$)
- 512×512 pixel,
- 2720 frame積算
- 試料 Fe
- 計算値 RITSコード
北大 佐藤博隆先生 開発

測定試料 (mm)



中性子透過画像



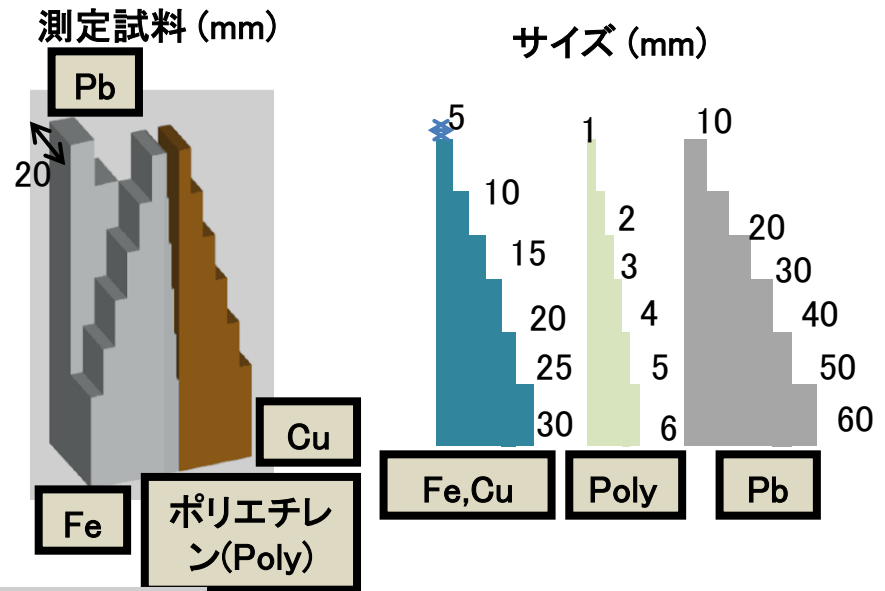
- 厚さ < 10mm 計算値と一致
- 厚さ > 10mm 散乱成分補正が必要

(2) 3次元画像

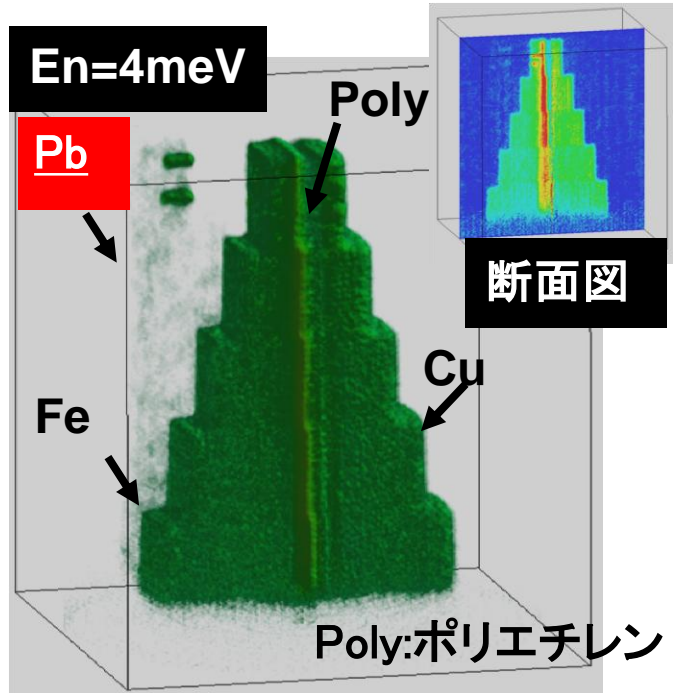
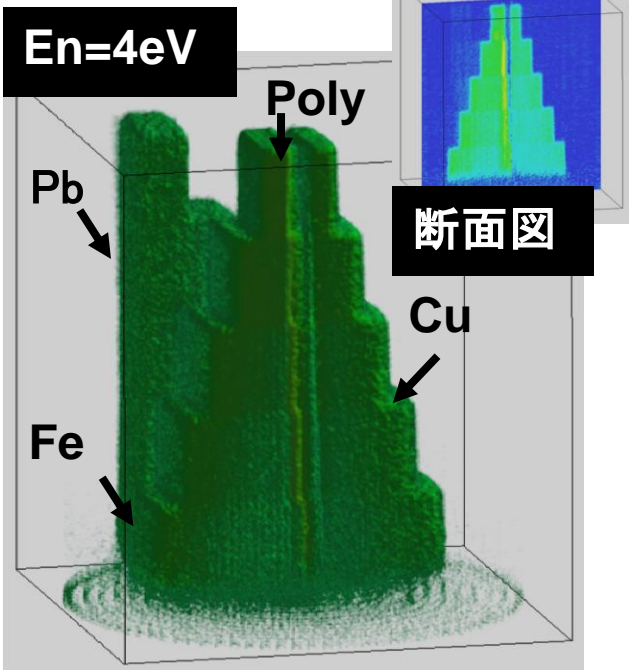
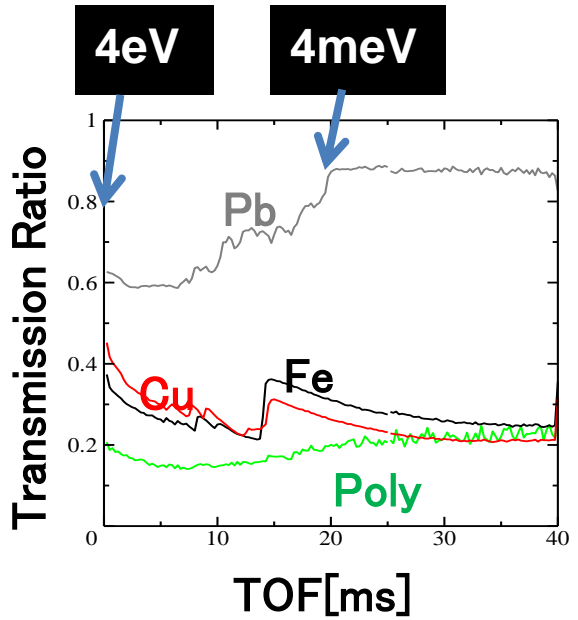
測定条件 (J-PARC;200kW)

- 4k frame/s (4k Hz, $\Delta T=250 \mu s$)
- 512×512 pixel,
- 546 frame積算

FBP法による3次元再構成画像



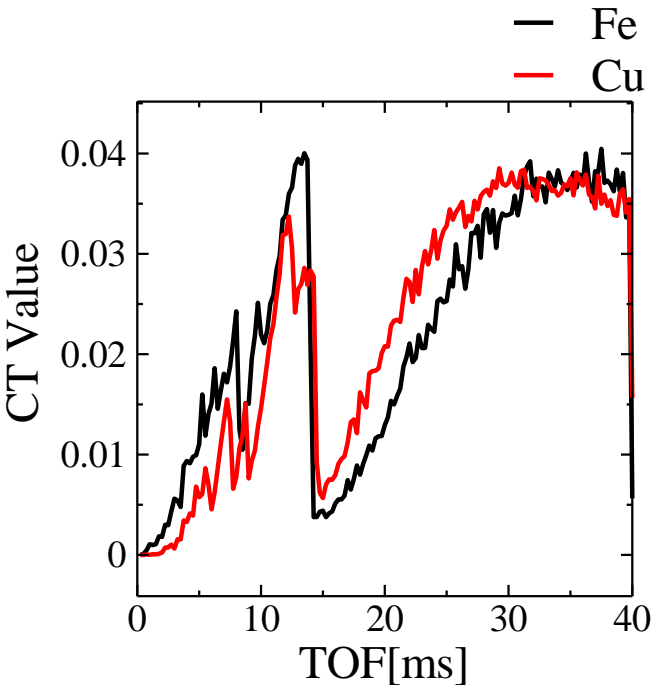
物質ごとの透過率



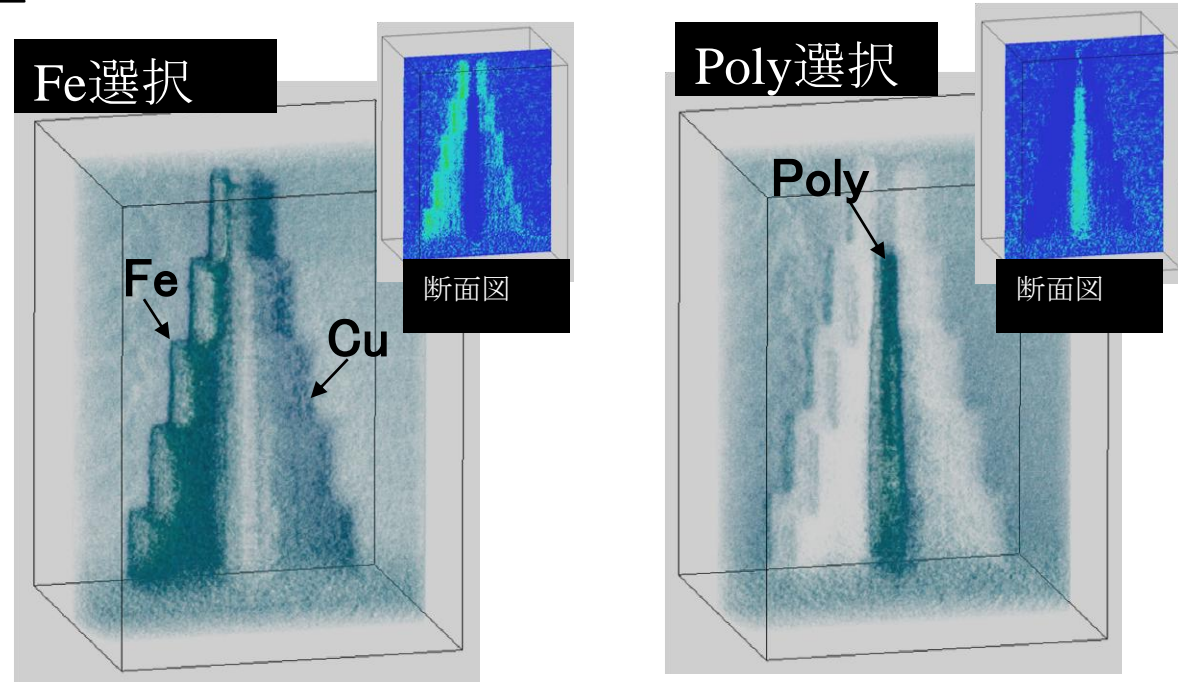
(3) CT値のエネルギー依存性を利用した物質選択

3次元画像における

CT値の中性子飛行時間依存性



物質を選択した3次元再構成画像



物質のエネルギー依存性を利用し、試料を任意に選択し強調したCT画像の取得が可能であることを実証

5. 新高速度カメラの開発

ISAS: Image Signal Accumulation Sensor

高速度カメラ

長所: 連続撮像

短所: 高速撮像時の低画素化

産業用カメラ

長所: 高画素

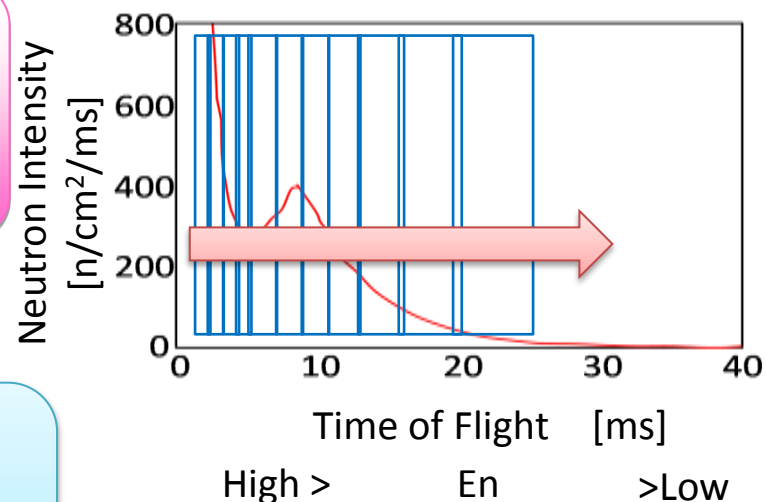
短所: 1画像/パルス

ISAS-TOF (CMOS process CCD)

- ✓ 高速撮像時の高解像度化
- ✓ メモリー内での電荷積算

Consecutive recording

Signal Accumulation Mode



ISASの特長

(1) 高速撮像 $< 1/10^6\text{sec}$

(2) 高画素 independent of frame rate

(3) 低読み出しノイズ

(4) CCD上での電荷積算 (ISAS Mode)

(5) 電荷積算モードと連続読み出しモード選択

(6) 露光時間の任意設定 可能

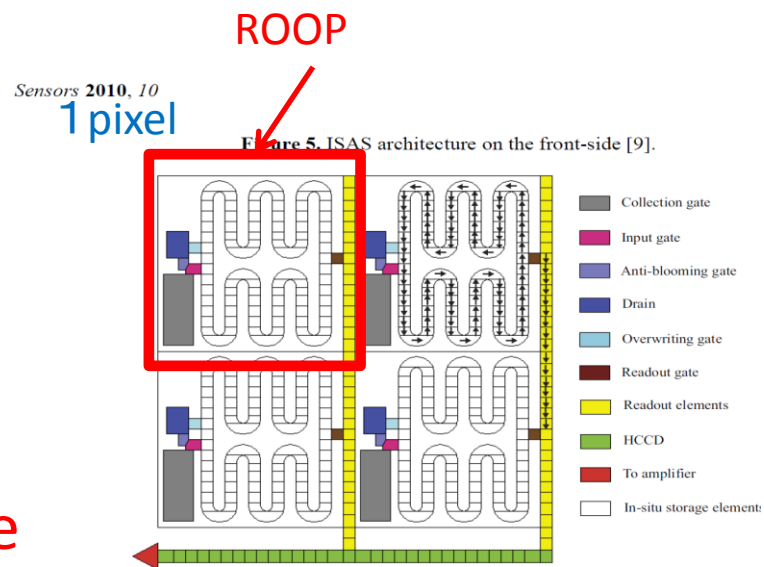


Figure 6. Scheme for direction change for two-phase transfer: (a) Configur electrodes and barriers; (b) Transfer scheme.

Patent: Kinki Univ., JAEA and Photron

6. まとめ

- **J-PARC**パルス中性子と高感度高速度カメラを使用し得られた2次元画像から、**Fe**の透過率をシミュレーションと比較し、10mmまで精度よく一致することを確認した。
- **FBP**法を用いてエネルギー毎に**CT**再構成を行い、**CT**値の中性子エネルギー依存性を利用して物質ごとの3次元可視化が可能なことを示した。