



産業用CMOSカメラを用いた パルス中性子イメージングによる 元素識別型CT

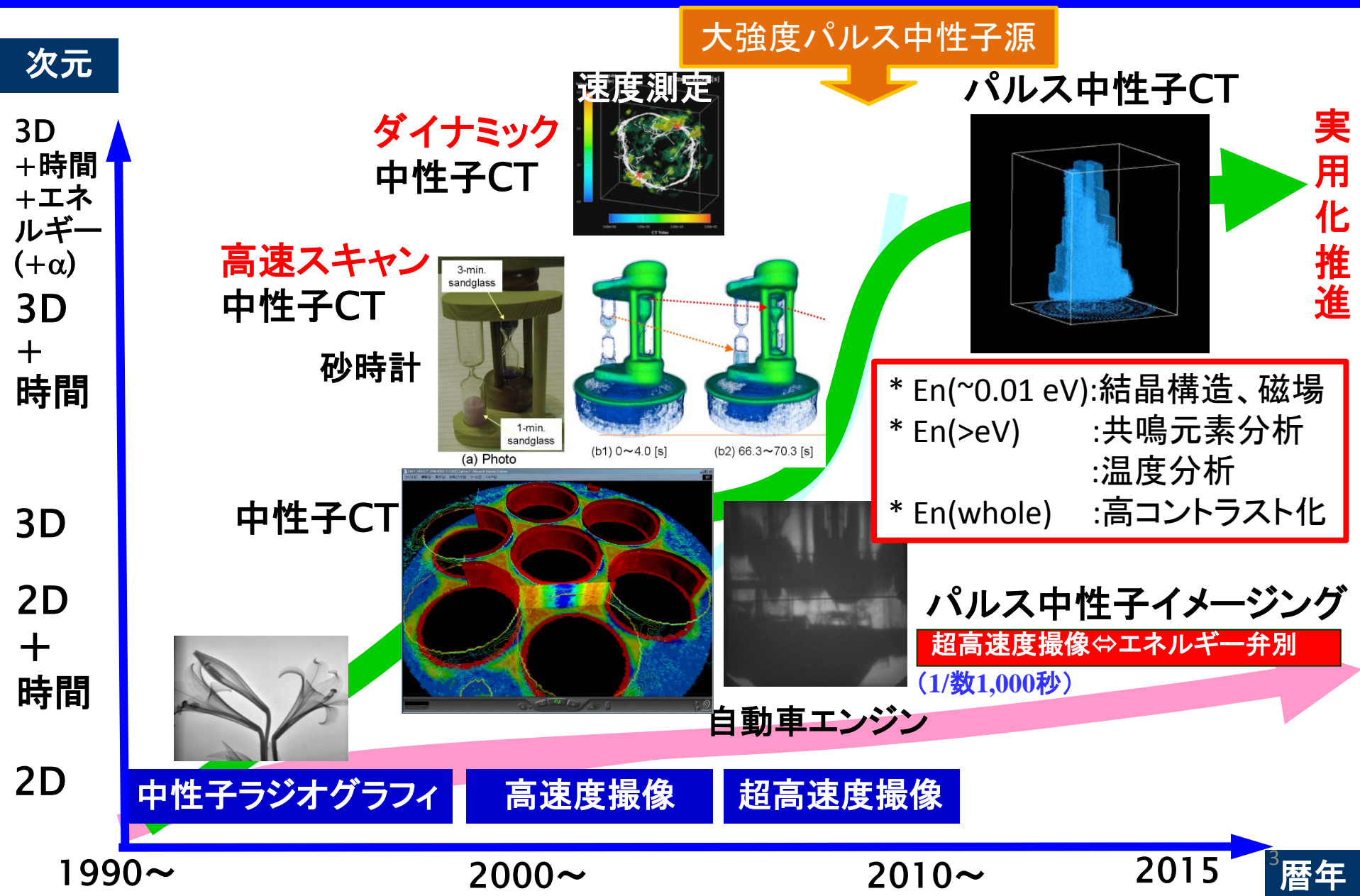
日本原子力研究開発機構

瀬川麻里子, 大井元貴, 甲斐哲也,
篠原武尚, 呉田昌俊, 坂本健, 伊巻正

内容

- 1) 現在までの取り組み
- 2) 動機
- 3) 実験システム
- 4) 実験結果
 - エネルギー依存性を利用した3次元画像
- 5) まとめ

中性子可視化・計測技術開発の流れ



動機

目的

パルス中性子を用いたエネルギー識別型3次元可視化技術開発
→観測対象が持つ物理量の定量化とその実空間分布の取得・画像化
→ 材料工学、原子力工学、などに展開する。

高感度・高速度カメラを用いた撮像システムの開発が不可欠

課題

- 1) 定量性の評価
- 2) 大容量データ(e.g.: 15GByte/1run)
- 3) 一度に撮像可能なデータの制限
- 4) 高速撮像時の低解像度

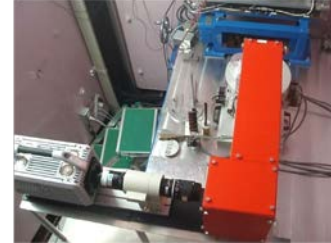
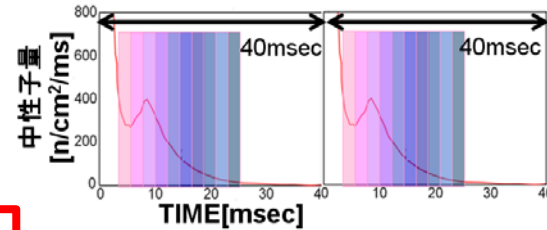
アプローチ

1. 中性子エネルギー依存性を利用した可視化
2. 実用的な測定システムの構築 → 測定の効率化
 - ・制御・撮像の自動化
 - ・高感度化
 - ・大容量データの高速転送

開発

- エネルギー連続CMOS高速度カメラ ~serial~

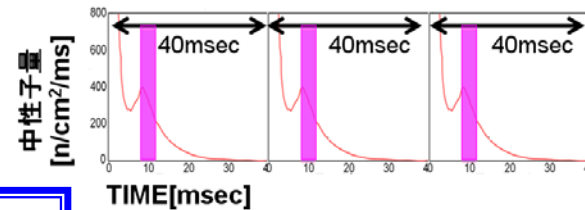
* 連続撮像
→ 分析



- 産業用カメラシステム

* One TOF image per pulse
→ 高解像、リアルタイム、
任意積算時間

~single~



開発項目

- 1) 高感度撮像+CT連動システム
- 2) 高速データ転送・処理
- 3) 画像処理・分析用ソフトウェア
- 4) CT演算ソフトウェア開発

M. Segawa et al., Nuclear Instr. and Method. A, 769, 97 (2015)

M. Segawa et al., Nuclear Instr. and Method. A, 697, 77 (2013)

M. Segawa et al., NSS/MIC, IEEE Conference Record (2011)

M. Ooi et al., Physics Procedia, 43, 337 (2013)

T. Kai et al., Nuclear Instr. and Method. A, 651, 126(2013)

元素識別型3次元イメージング技術の開発



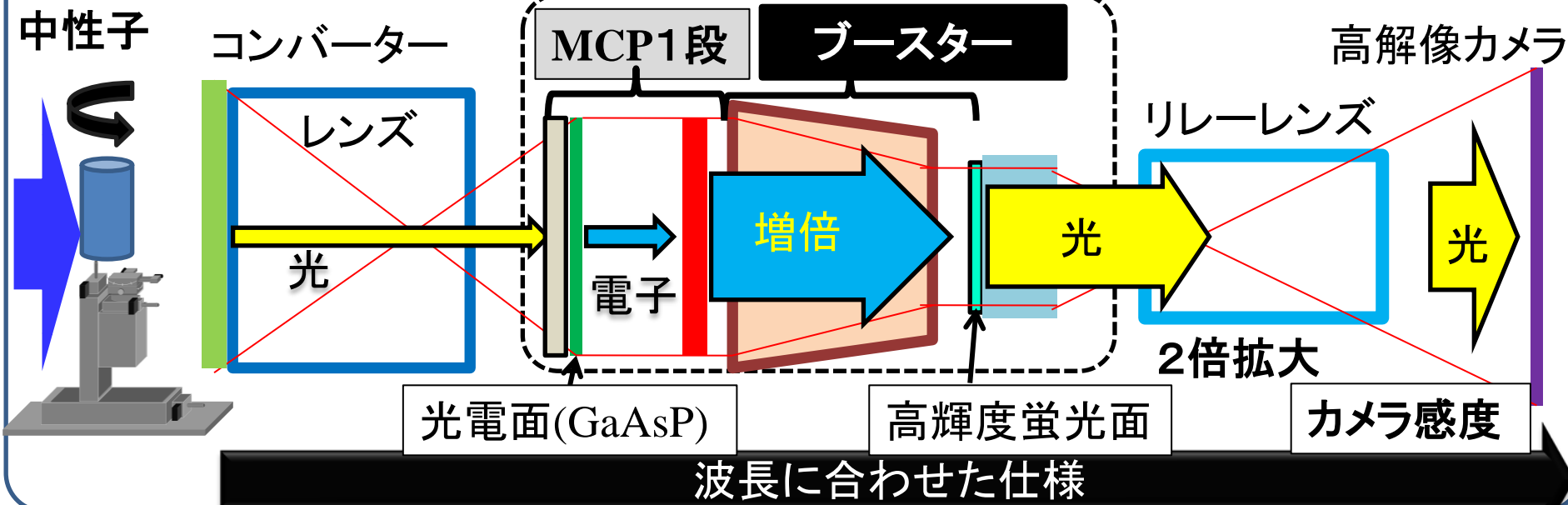
アプローチ

光電子増倍管 開発 (仕様を指示)

MCP+ブースター **特注+拡大リレーレンズ**

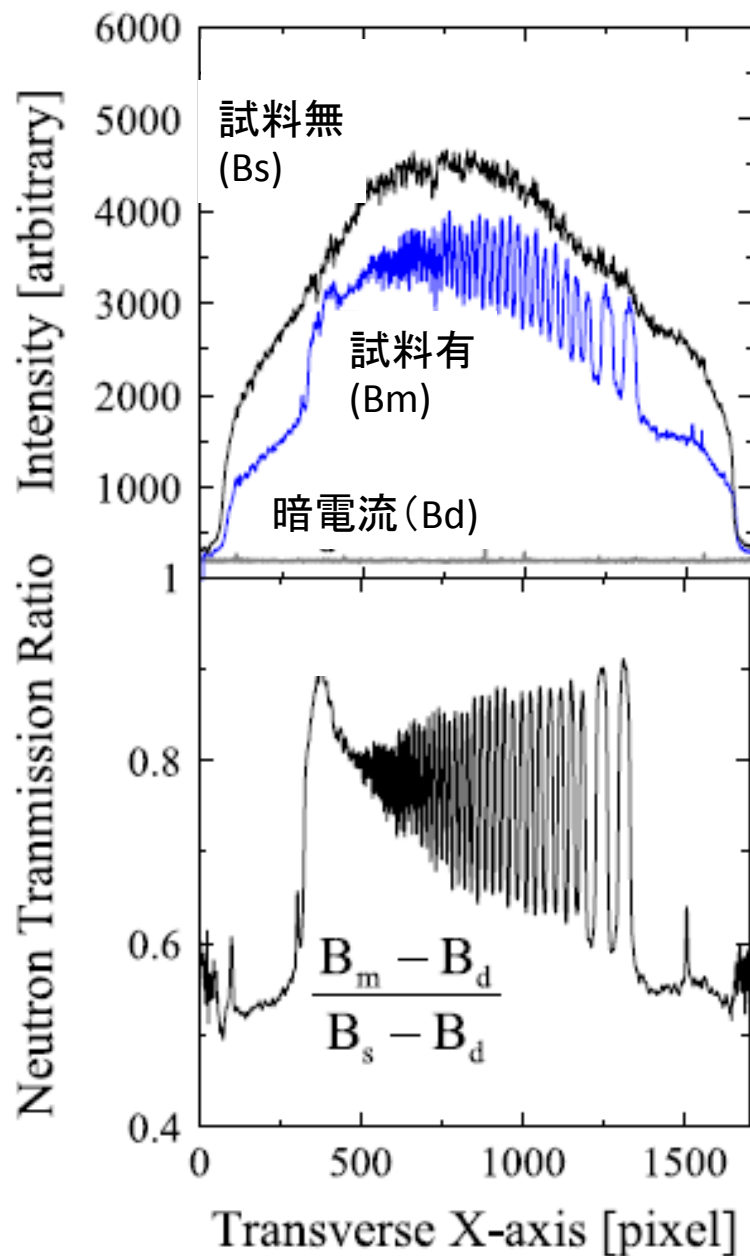
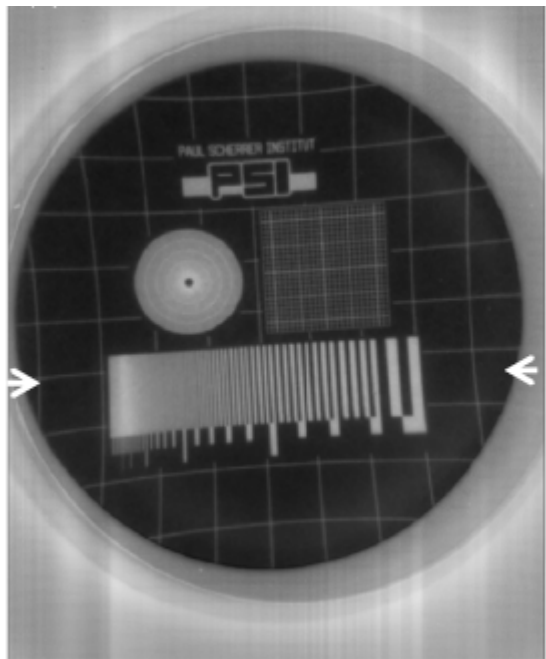
高感度・高解像度化

光電子増倍管 (増倍率 4×10^6)



2次元での空間解像度の評価

PSIインジケータ(Gd製)
中性子透過率画像



MTF @0.1
=2.3
linepairs/mm

実験結果



NeutrOn Beam-line for **Observation** and **Research** Use (NOBORU)

A primal mission of NOBORU is to study neutronic performance of JSNS. The experiments aim at contribution for stable operation, design validation and integrity check of JSNS.

NOBORU is also expected as a test port to accommodate R&D activities and trial users to bring out new research activities.

Contact person: F. Maekawa (maekawa.fujio@jaea.go.jp)
K. Oikawa (oikawa.kenichi@jaea.go.jp)

JSNS

Bandwidth Chopper

Hatch 1 m x 1 m

Beam Stop

Jib Crane 0.2 ton

Pre-Shield

Beam Duck

Sample Position

Experimental Table

Entrance & Corridor

Remote-Controlled Slit 1,2

BL 10

Beam-line Number : BL 10 (decoupled moderator)	Cold Neutron Flux at Sample Position : 4.8×10^7 [n/s.cm ²]
L1 (moderator-sample distance) : 14.0 m	Neutron Peak Intensity at 10 meV : 1.5×10^{12} [n/eV.s.cm ²]
Maximum Beam Size : 100 mm x 100 mm	Neutron Pulse Width at 10 meV : 33 [μs]
Experimental Cave : 2.5 m(W) x 3.5 m(L) x 3.0 m(H)	Available Bandwidth : 9 Å (possible to shift)

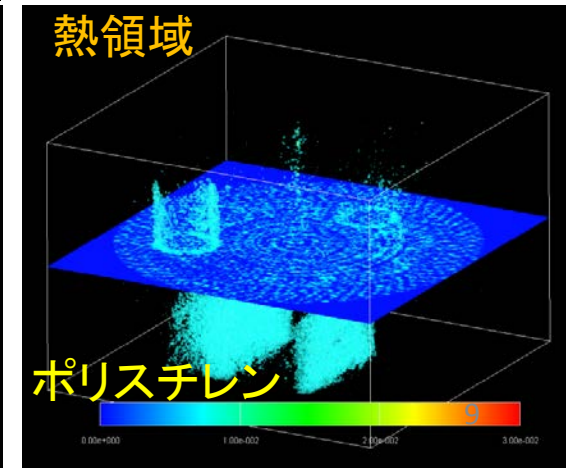
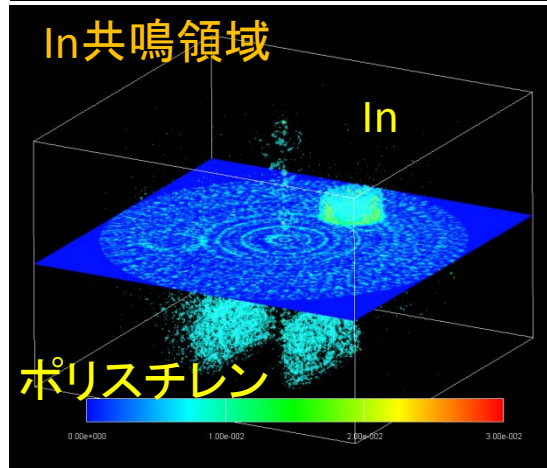
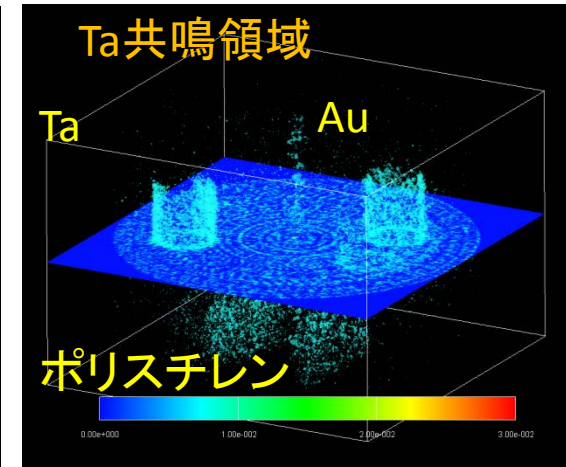
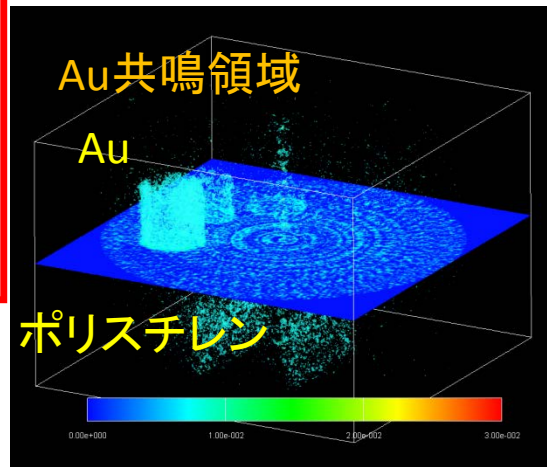
ビームパワー : 200kW(~2012)
ビームサイズ : □100x100 mm
加速周期 : 25 Hz (DT=40 ms)

共鳴領域3次元イメージング

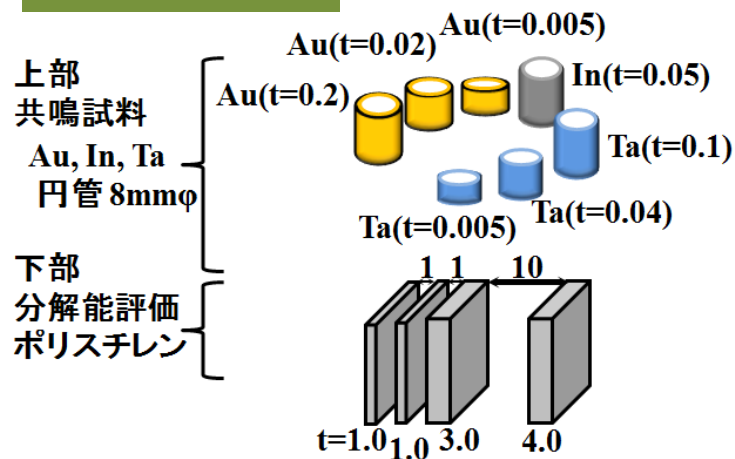
条件

- 125k frame/s $\Delta T = 8\mu\text{s}$
- 2300×1700 pixel,
- 5度刻み、36ステップ撮像、400枚積算
- $E_n = 4.7\text{-}5.1$ eV (Au共鳴領域)
- $E_n = 4.2\text{-}3.9$ eV (Ta共鳴領域)
- $E_n = 1.25\text{-}1.35$ eV (In共鳴領域)
- $E_n = 5\text{-}10$ meV

MLEM法による3次元再構成結果



試料



共鳴領域のCT化に成功

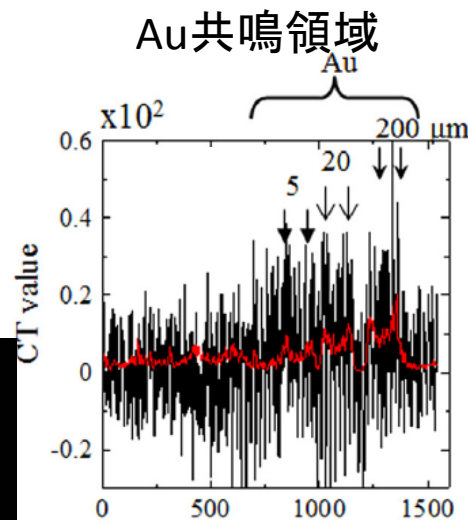
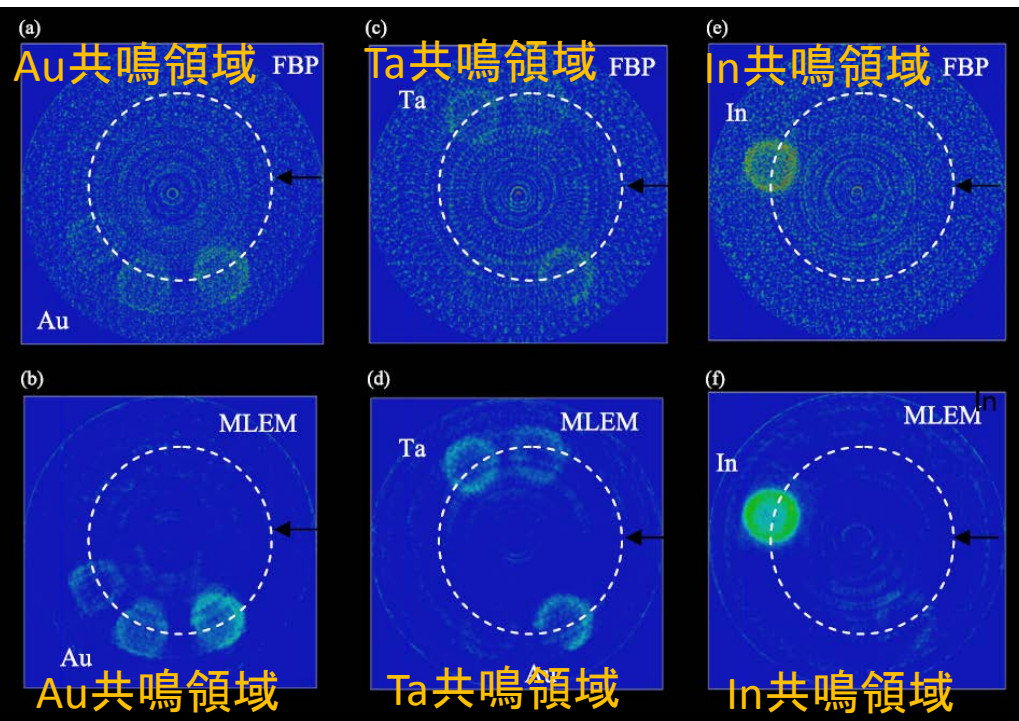
再構成法による画像の比較

FBP法 (Filtered Back Projection法)

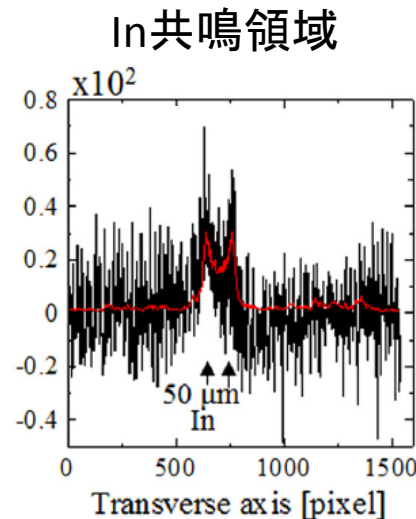
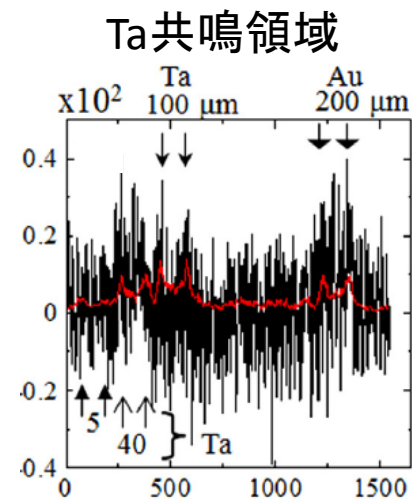
: 解析的手法

MLEM法 (Maximum likelihood expectation maximization):

確率的手法



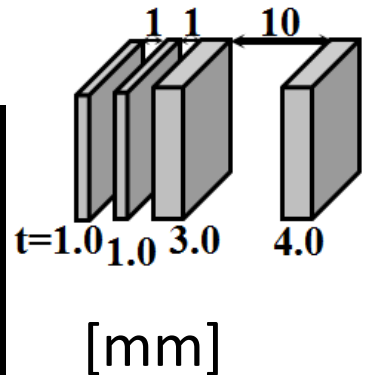
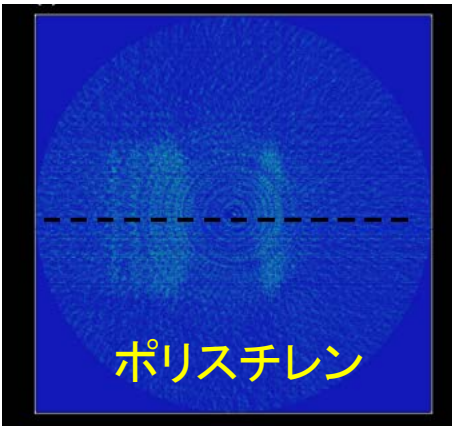
黒: FBP法
赤: MLEM法



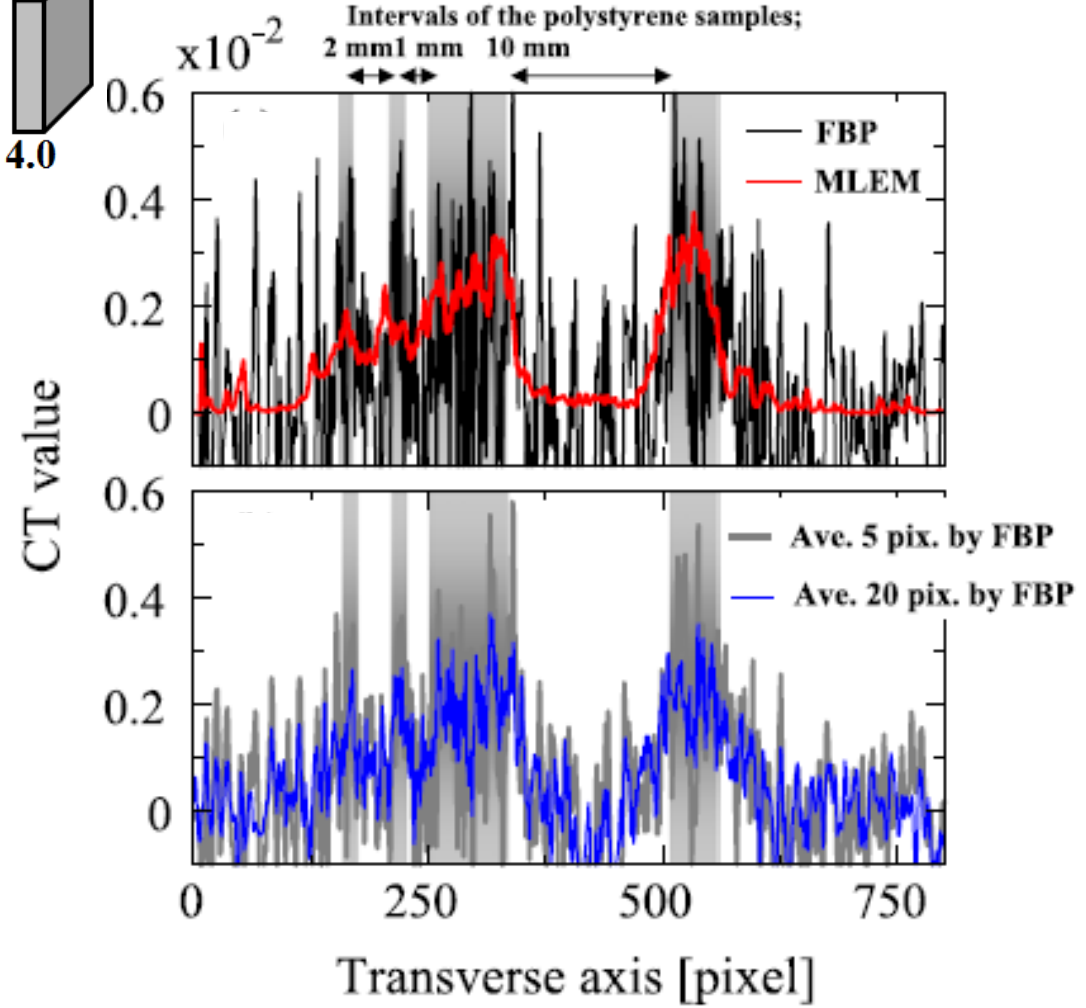
MLEM法による
分解能の向上を確認

再構成法による3次元での空間分解能

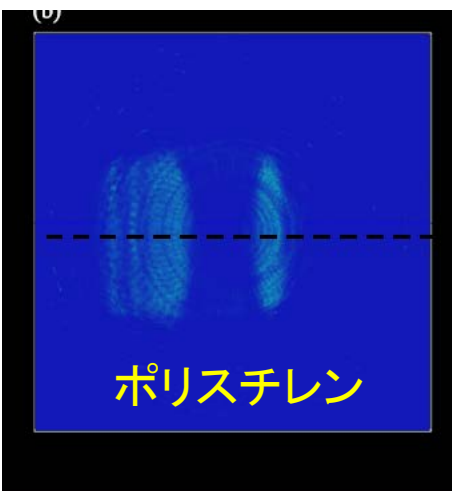
FBP法



ラインプロファイル



MLEM法



MLEM法により3次元空間分解能1mmを確認

まとめ

- J-PARCパルス中性子と高感度化した産業用カメラ等を使用し、有効なビームタイム内でエネルギー識別型CTが取得可能な撮像システムを構築した。
- FBP法、MLEM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。
- MLEM法による3次元空間分解能1mmを確認
→ 実験条件によってはFBP法でも分解能の向上が可能であることを示した。