

KURにおける中性子イメージング 装置の現状

京都大学複合原子力科学研究所
大平 直也

KURの概要

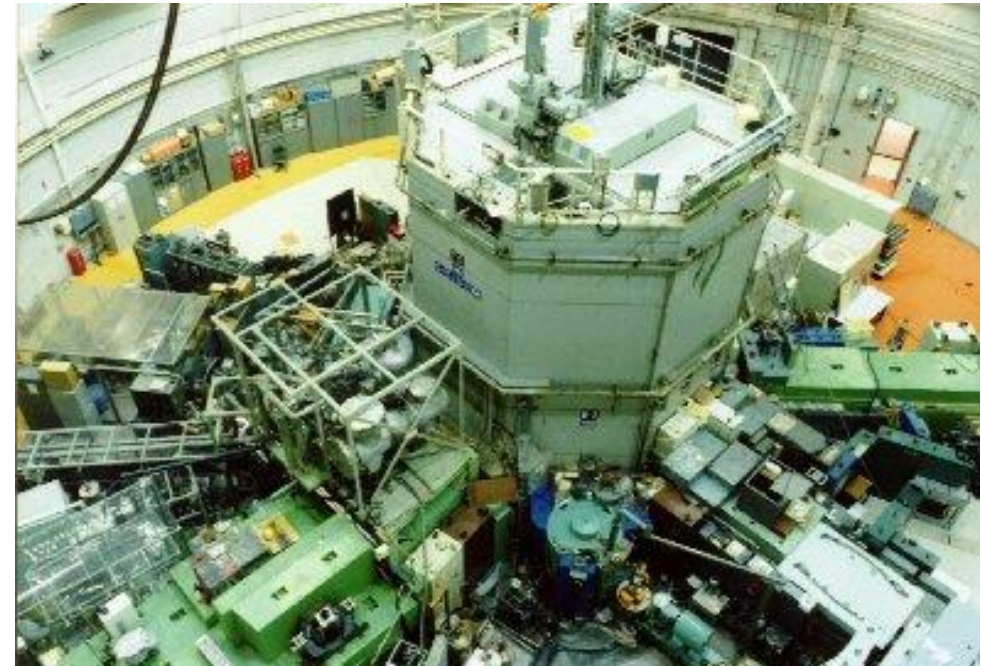
- 熱出力5,000 kW
- スイミングプールタンク型
- 実験孔（4本）、照射孔（4本）、熱中性子設備（重水、黒鉛）、圧気輸送管（3基）、水压輸送管、傾斜照射孔、貫通孔および精密制御照射管、長期照射設備

基本運転スケジュール：
火水木運転（1MW47H+5MW6H）

2022年度計画：11/15から運転再開
基本運転 13週、5MW29H 1週

2023年度は通常通りの利用運転を予定

1964	初臨界
2004-07	燃料低濃縮化のため停止
2011.3.11	東電福島第一原子力発電所の事故
2014.5	新規制対応のため停止
2017.8	定検合格&共同利用運転再開
2026.5	燃料を返送するため停止予定



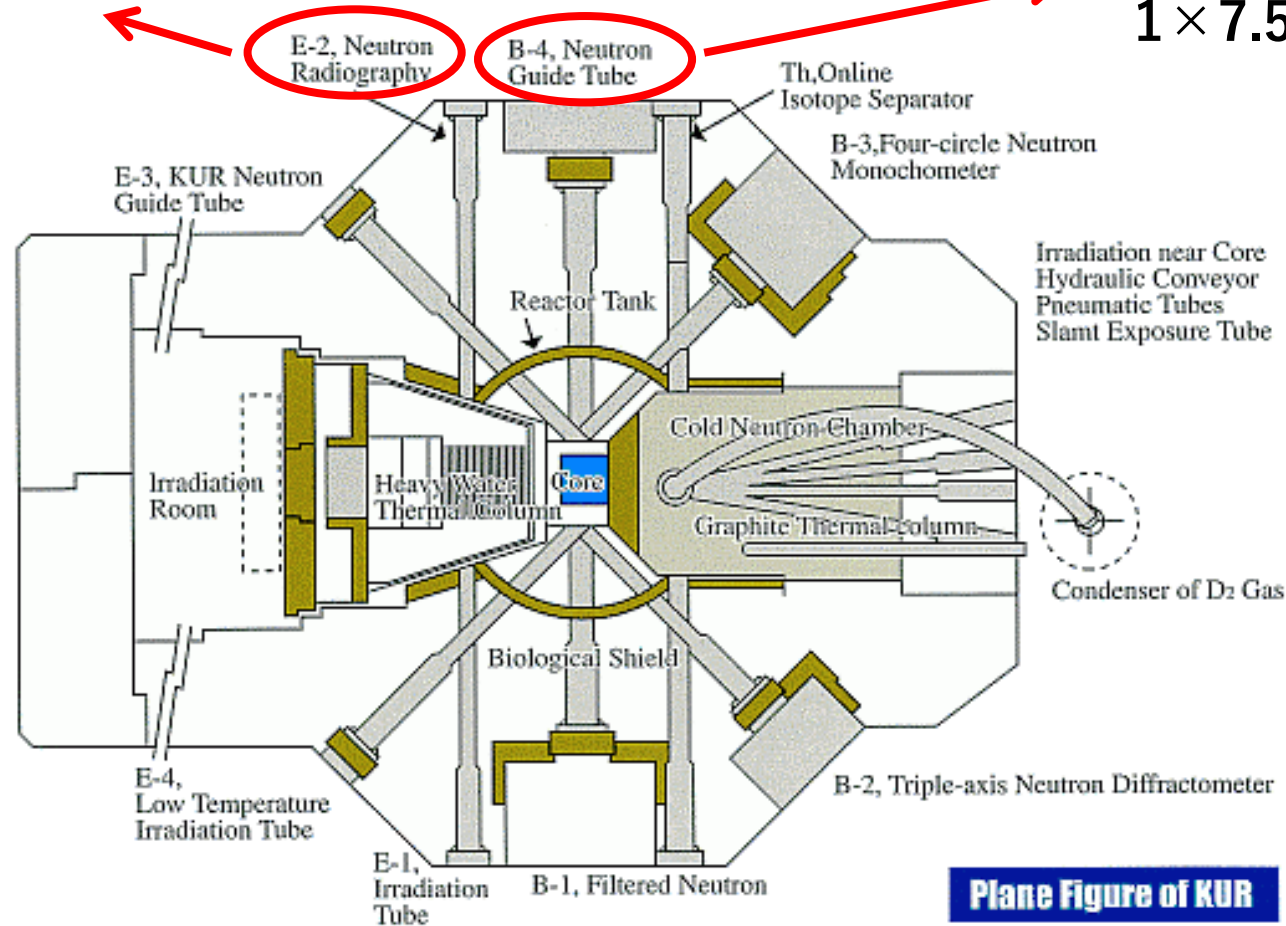
KURのイメージングポート

炉室内のポート
静止画撮影およびCT撮影
 $\Phi 15\text{cm}$, approx. $10^5\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$

E-2

主な用途

1. 静止画の撮像
(5 MW) 30 s 程度
(1 MW) 2 min 程度
2. CTの撮像
(5MW) 4h 程度
(1MW) 一晩程度



スーパーミラー中性子導管
炉室外の実験室
静止画撮影および動画撮影
 $1 \times 7.5\text{cm}^2$, $10^7\text{n/cm}^2\cdot\text{s}$

B-4

主な用途

1. 静止画像の撮像
(1 MW) 数秒～
2. 高速度撮像
～10,000 fps

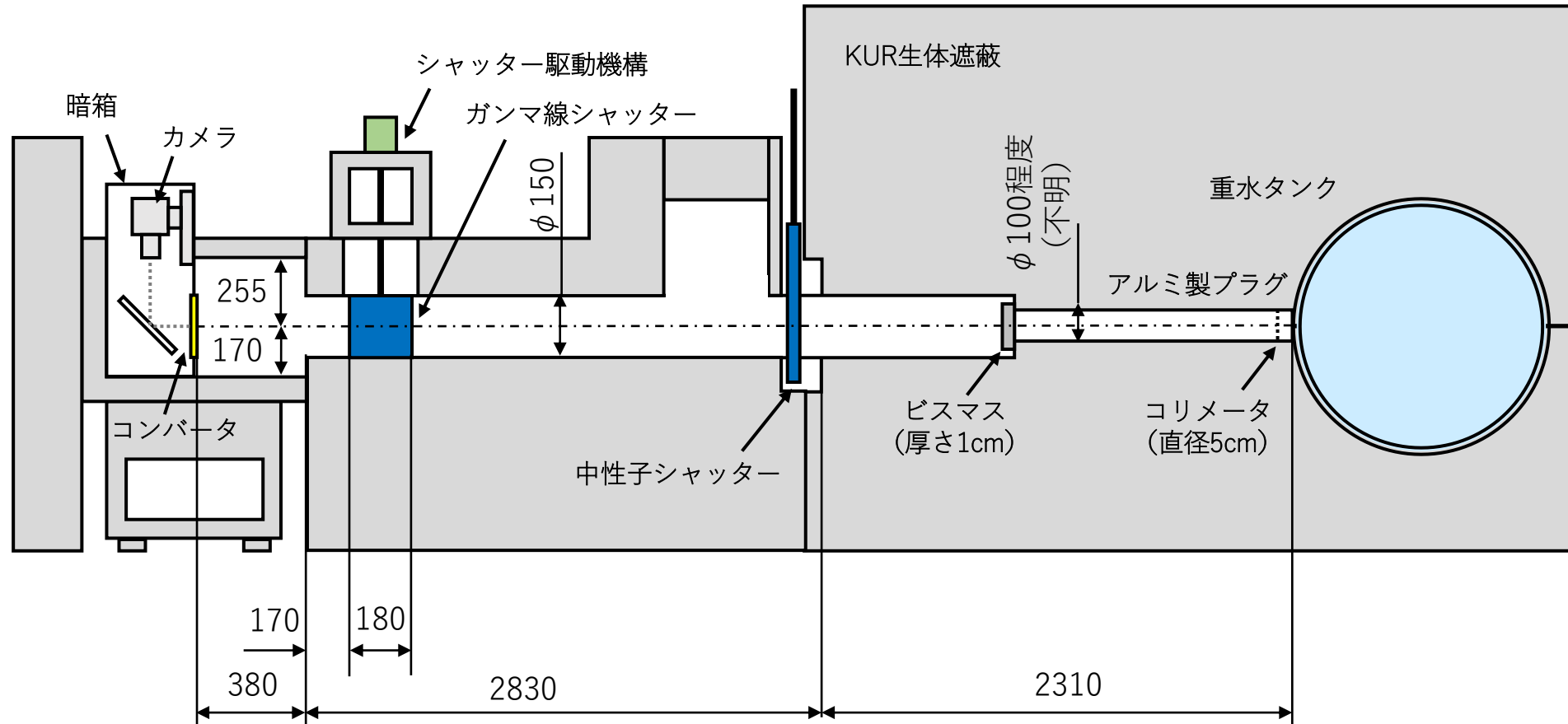
Plane Figure of KUR

E-2ポートの様子



E-2 ポートの様子

E-2ポートの全体図



E-2 ポートの概略図および寸法

E-2ポート照射室の概要

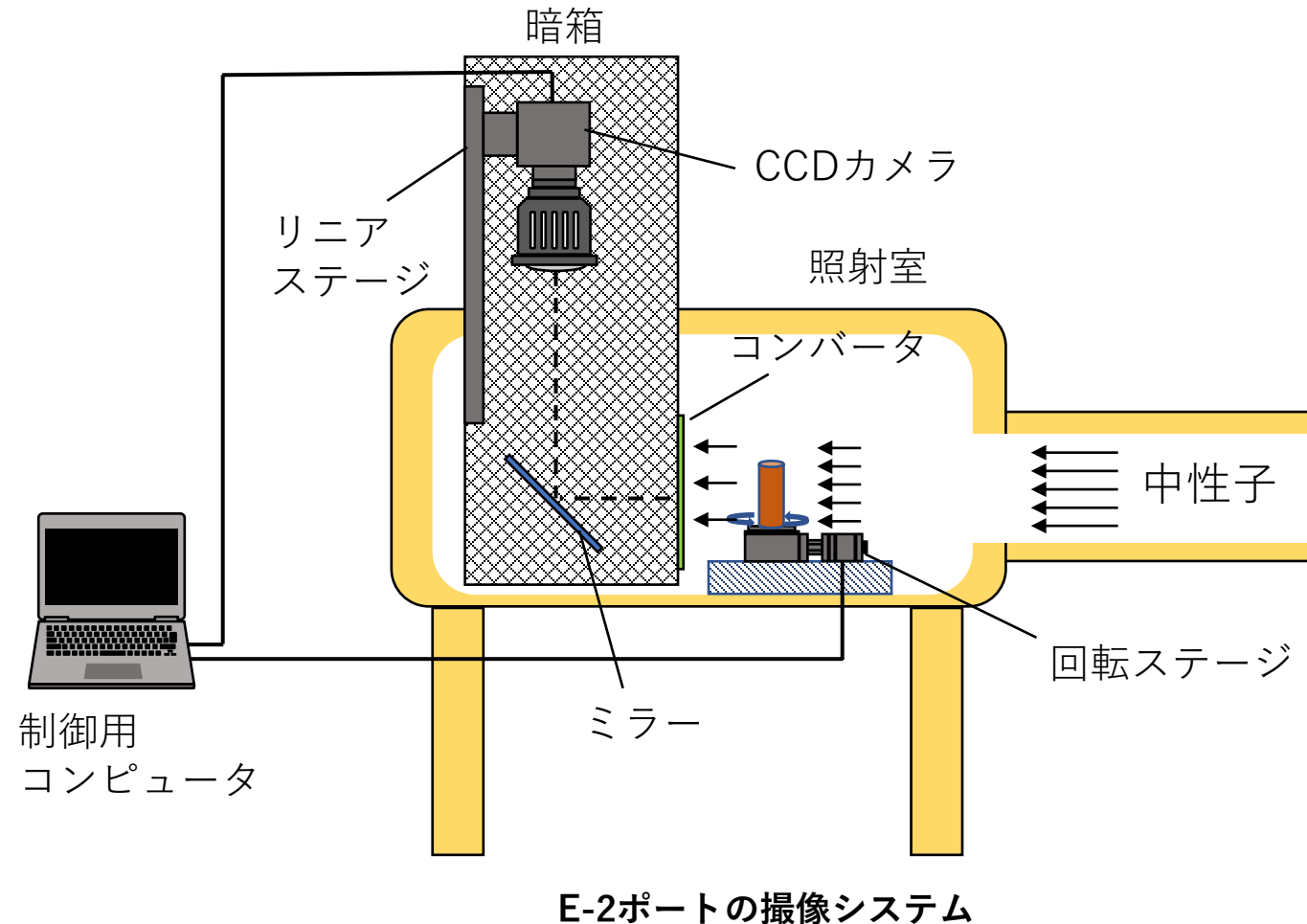
E-2ポートの特性

中性子束	$3.2 \times 10^5 \text{ n/cm}^2\text{s}$
ビームサイズ	$\Phi \text{ 15 cm}$
L/D	100程度
カメラ	BITRAN BU53-LN
コンバータ	LiF/ZnS $200 \mu\text{m}$

撮像時間は1枚2分以上
CT撮像の場合は一晩以上

CTのプラン例:

(1枚3分) x 300枚 (0.6度刻み) = 15 時間
18時開始 ⇒ 翌朝9時終了



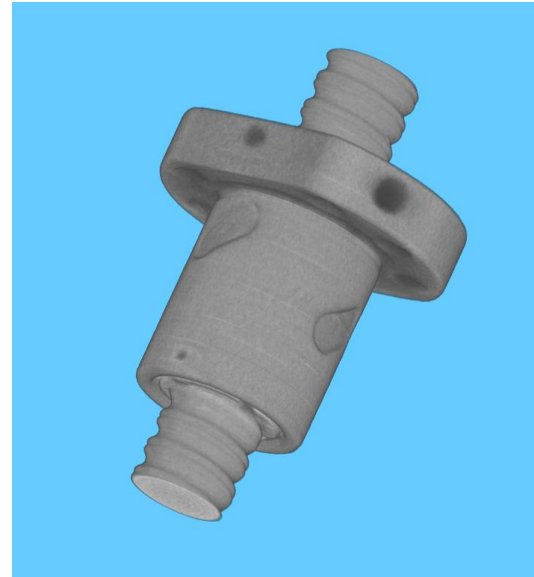
E-2 ポートでの中性子CT



透過率画像

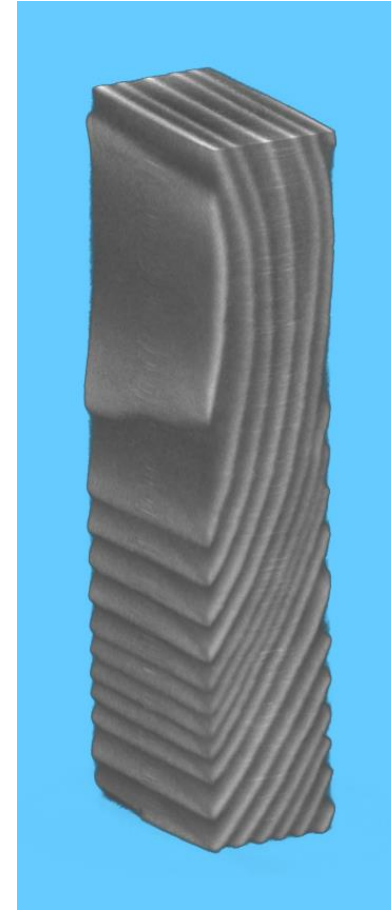


変換、
再構成



ボールねじの再構成結果

露光時間を短くすると再構成結果も粗い結果
露光時間を稼げれば精細な画像を得られる。



木材の CT 再構成結果



ボルト・ナットの CT 再構成結果

露光時間 150 s

露光時間 60 s

1MW運転時

システムの改善

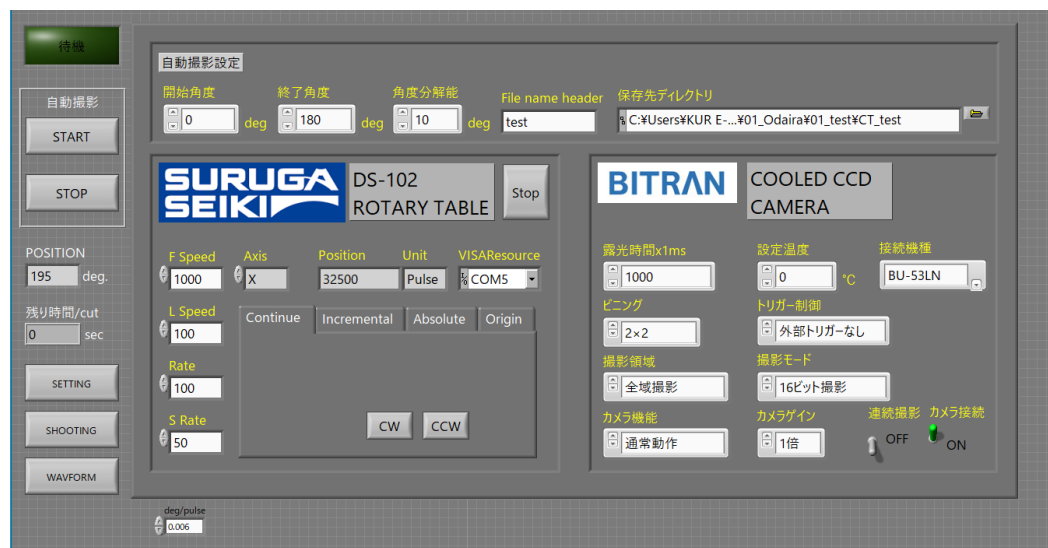
E-2 での CT 撮像は、これまで理研が作成したシステムで実施⇒ 操作がやや難しく、不安定

LabVIEWを用いた新システムへの切り替えを実施

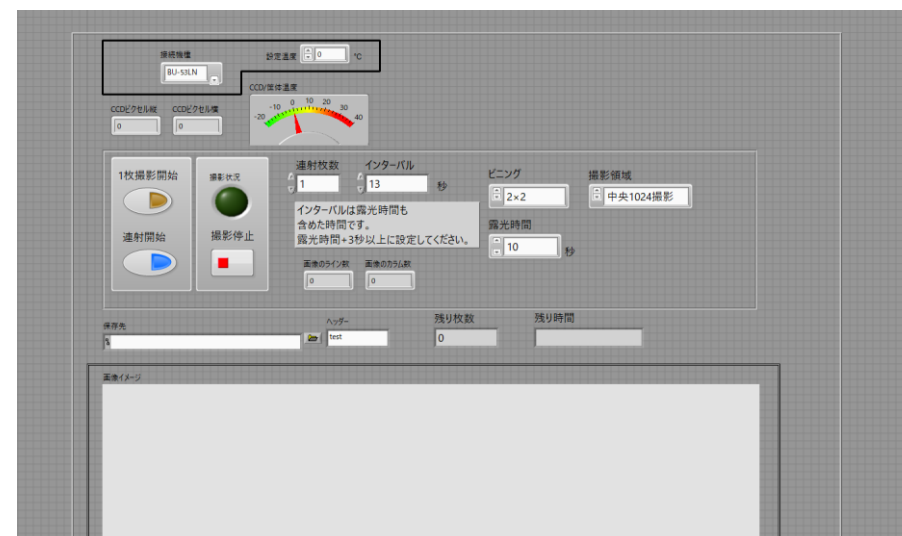
⇒ 回転ステージとカメラの制御を一元化し、使いやすく安定なシステムに変更

これに加えて連続撮影プログラムを作成

⇒ 決められたインターバルで規定の枚数を撮影することが可能に。時系列変化を撮影しやすくなった。



E-2ポートのCTプログラム

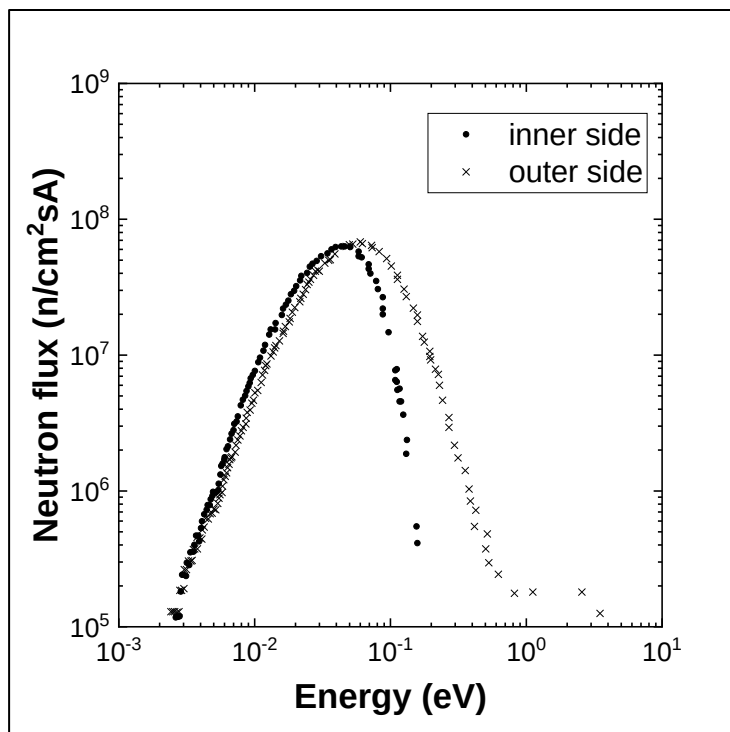


E-2ポートの連続撮影プログラム

B-4 ポートの概要

B-4 ポートのビーム特性

中性子エネルギー領域	熱中性子
中性子束 (5MW)	$8.5 \times 10^7 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$
ビームサイズ	W10mm, H75mm



B-4ポートの中性子エネルギー分布



B-4 ポートの利用可能装置

- 直流電源 (20 V・1200 A、10V・300A)
- 冷却水循環装置 (冷却能力 3 kW)
- 小型コンプレッサー
- 加熱ループ
- X線・中性子イメージング装置 (静止画、動画、CT)
- PGAシステム

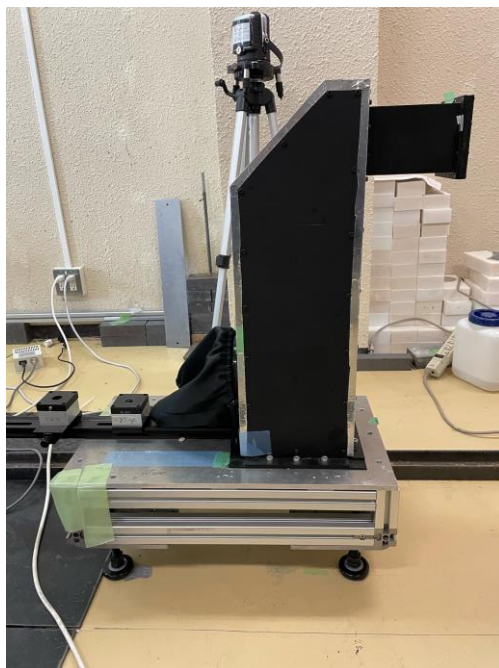
他の設備でできないような特徴的な研究に利用

- | | | |
|--------|---|-------------|
| • 火気 | → | コンクリートの爆裂実験 |
| • 大電流 | → | 通電加熱沸騰実験 |
| • 高温高圧 | → | 超臨界水、熔融ガラス |

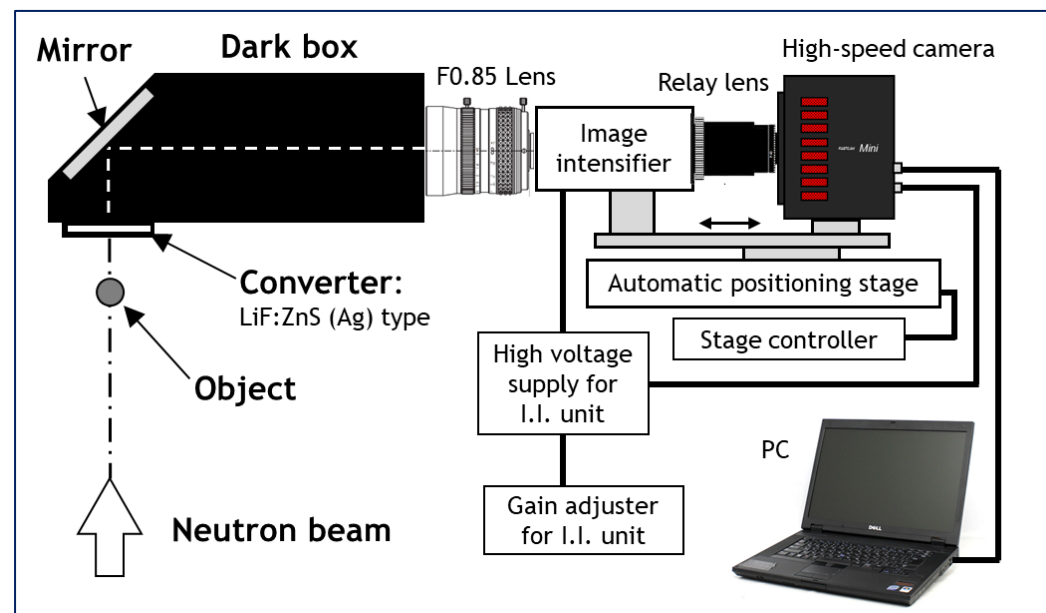
B-4 ポートの撮像システム

	露光時間	空間分解能
シンチレータ撮像システム	~ 30 s	> 20 μm
高速度カメラシステム	~ 17 ms	0.5 ~ 1 mm

輝度が小さい場合は画像を重ね合わせる。

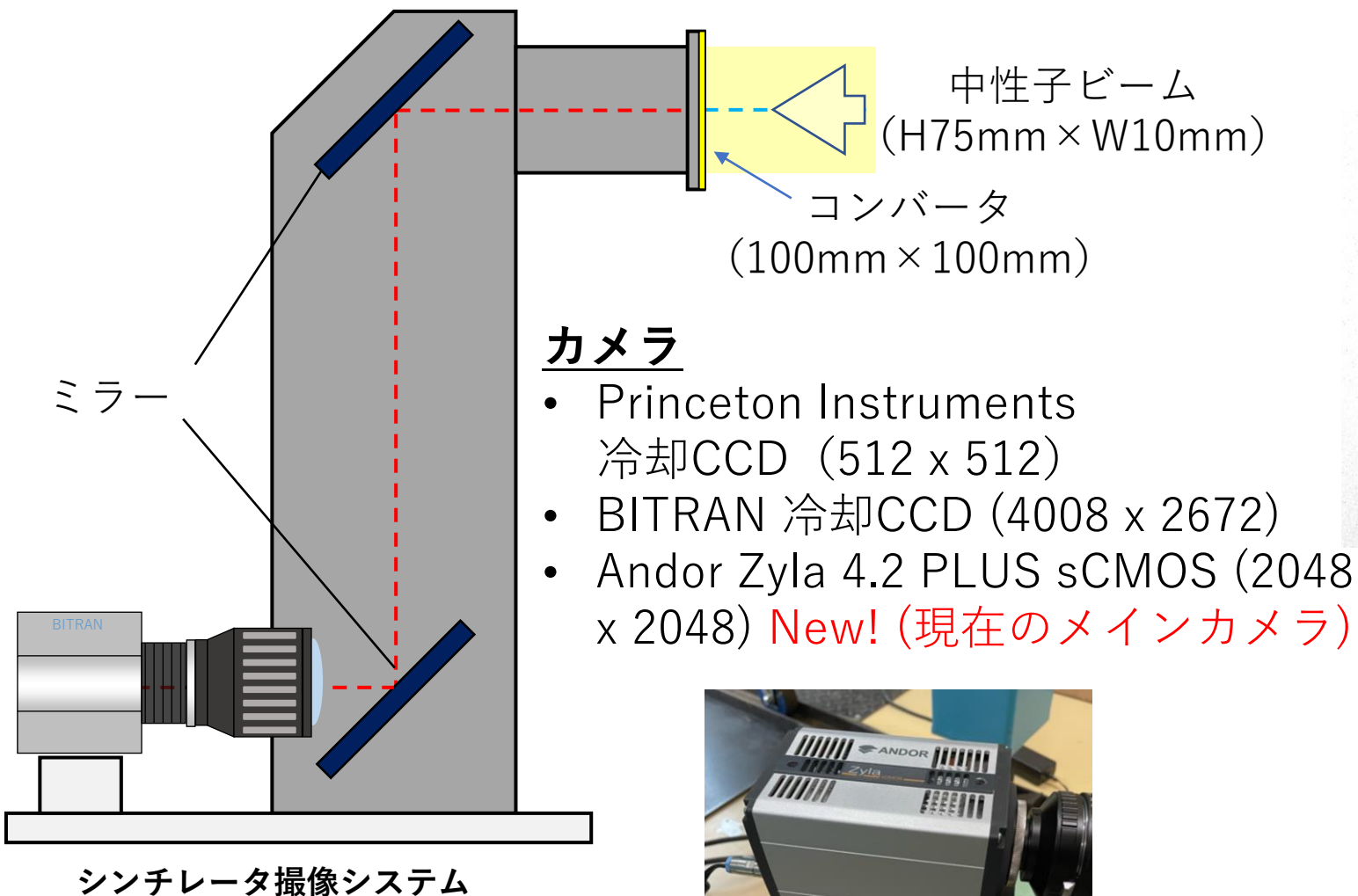


シンチレータ撮像システム

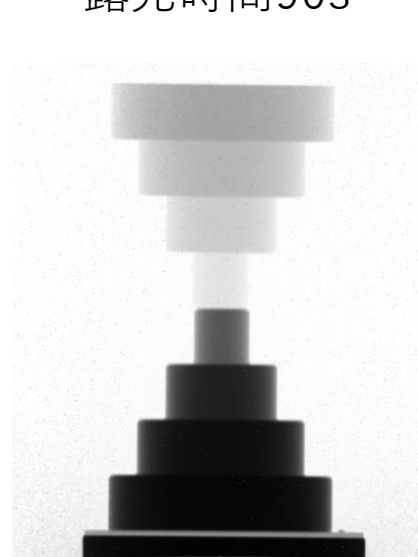


高速度カメラシステム

シンチレータ撮像システム



露光時間90s



CT撮像結果



CT再構成結果

B-4でのCT撮像も可能

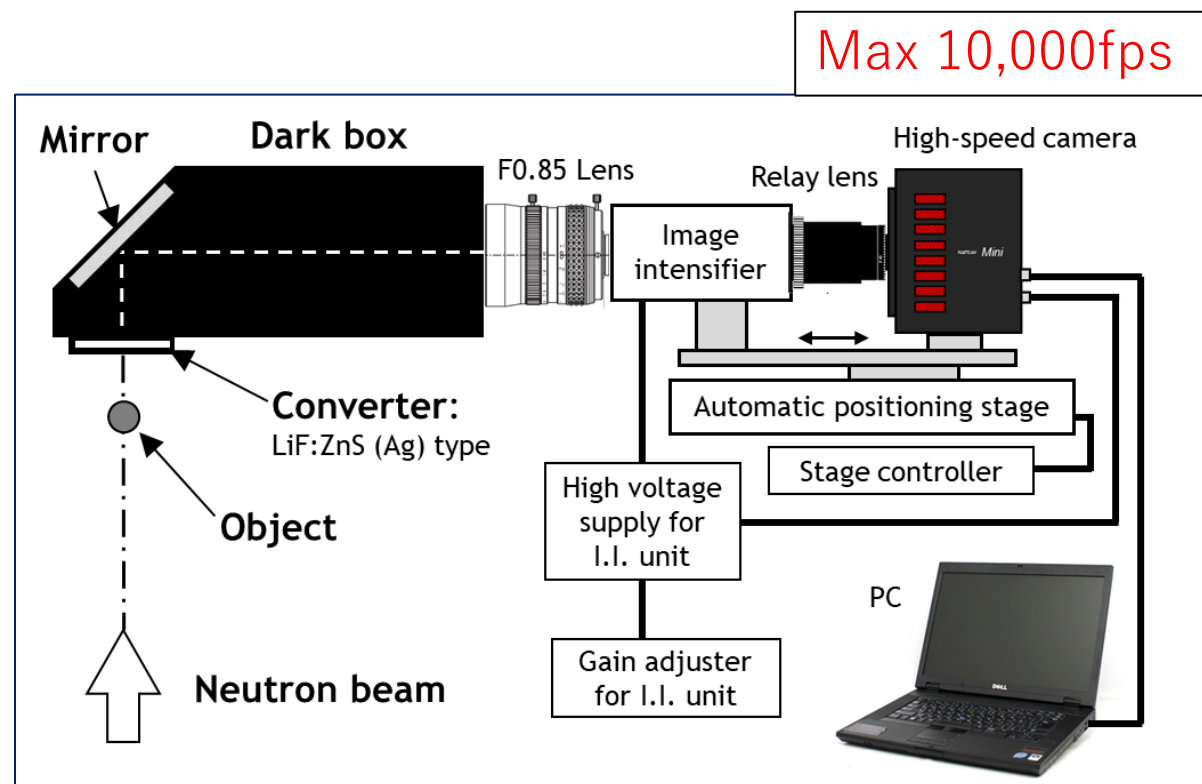
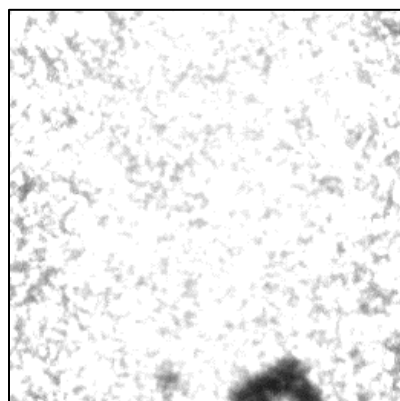
1 MW運転で5時間程度

視野は限定的になるが、CT撮像は
E-2ポートより早い。

※現段階では、カメラがBITRANに限定される。

高速度撮像システム

回転Gd片
250fps
0.4m/s程度



- コンバータ + 光イメージインテンシファイア
(浜ホト)(1 MCP & buster)
- 高速度カメラ: AX-50 (フォトロン)
- 高輝度レンズ: 50mm f0.85, 85mm f1.4, 105mm f1.4

用意されている撮像製品

単焦点 50 mm
単焦点 85 mm
単焦点 105 mm
単焦点 180 mm
接写リング PK-11, 12, 13
テレコン 2x 3個
クローズアップレンズ

用意されているシンチレータ

$^6\text{LiF/ZnS } 50 \mu\text{m}$
$^6\text{LiF/ZnS } 100 \mu\text{m}$
$^6\text{LiF/ZnS } 200 \mu\text{m}$
$^6\text{LiF/ZnS } 400 \mu\text{m}$
$\text{Gd}_2\text{O}_3\text{S/ZnS } 20 \mu\text{m}$

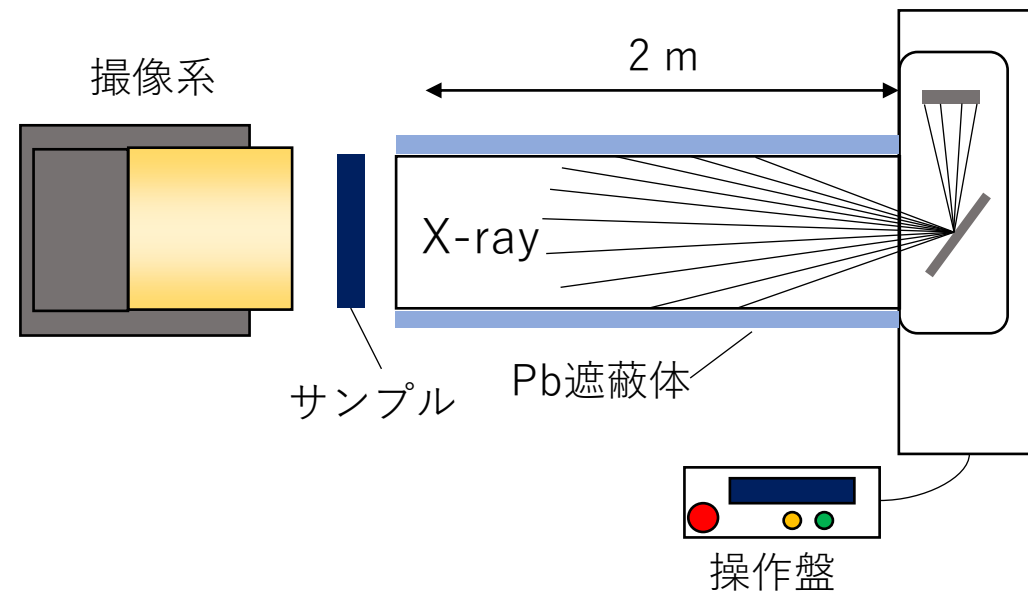
X線発生装置の概略



X線発生装置本体



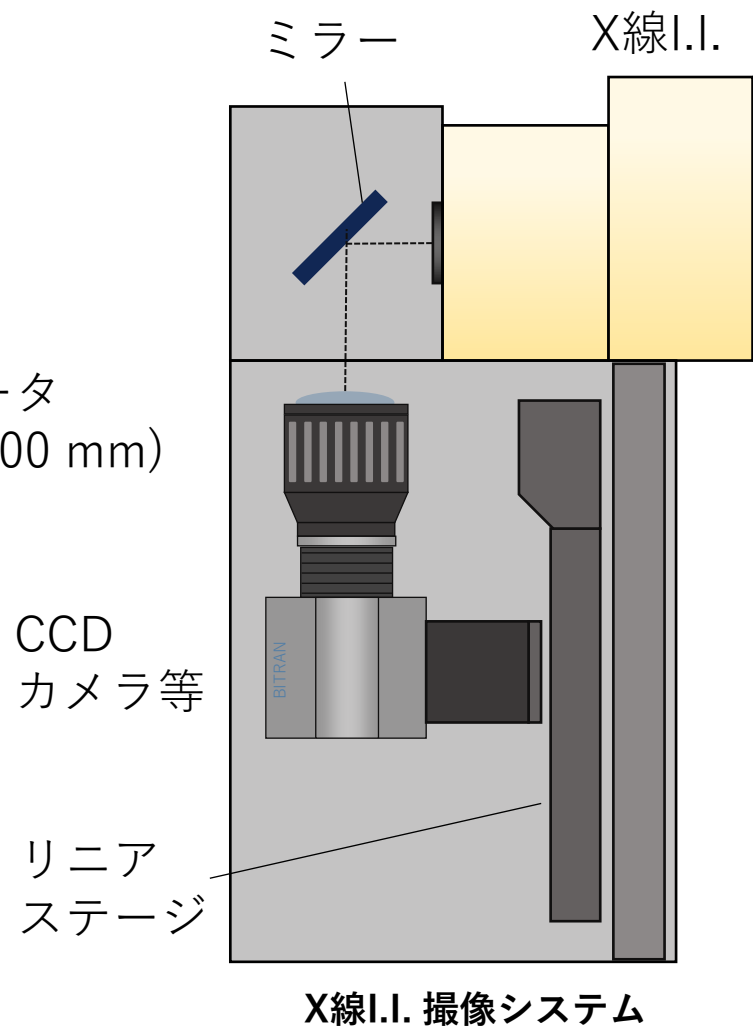
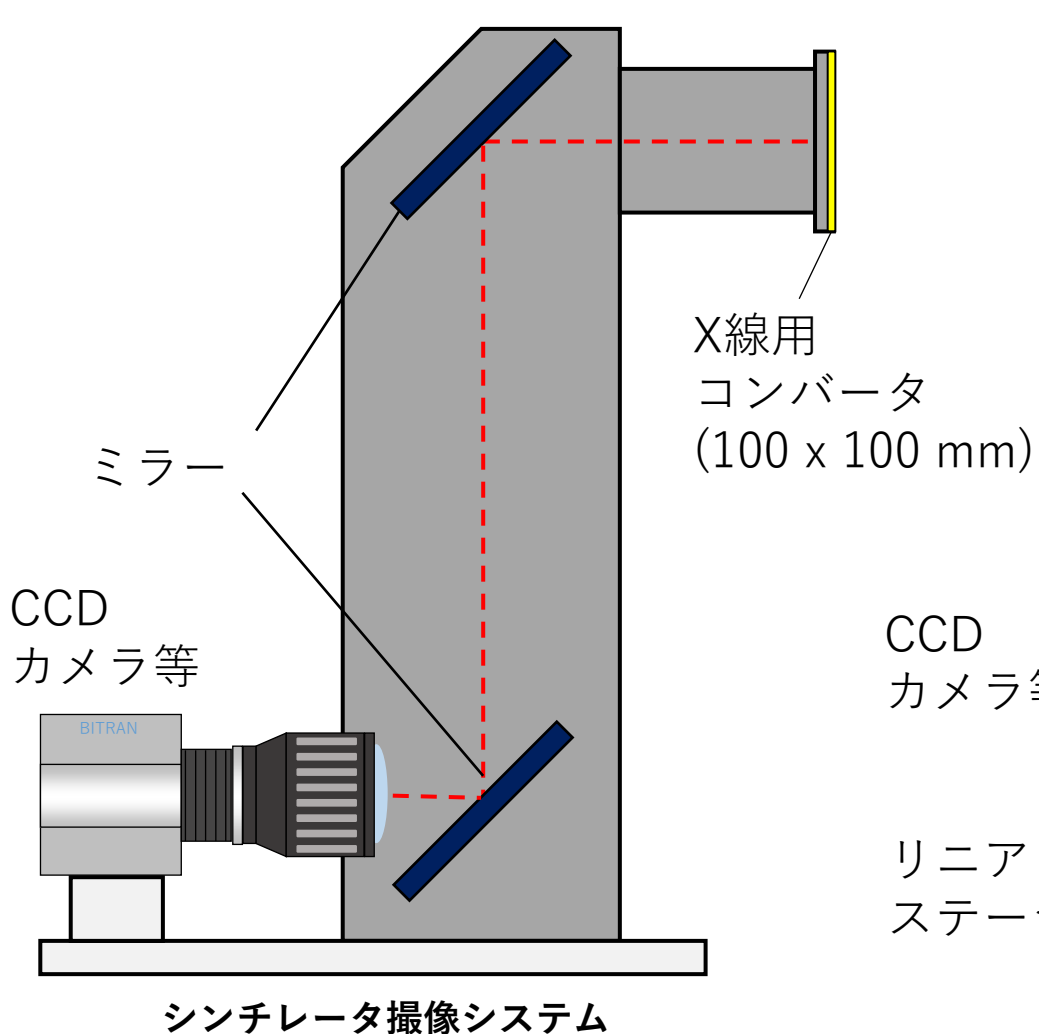
操作盤



X線撮像システム

モデル	TRIX-150WE-OC
管電圧	30 ~ 150 kV
管電流	0.5 ~ 7.0mA (管電圧、焦点サイズに依存)
焦点サイズ	0.3 mm、0.6 mm (スイッチで切り替え)

X線の撮像装置



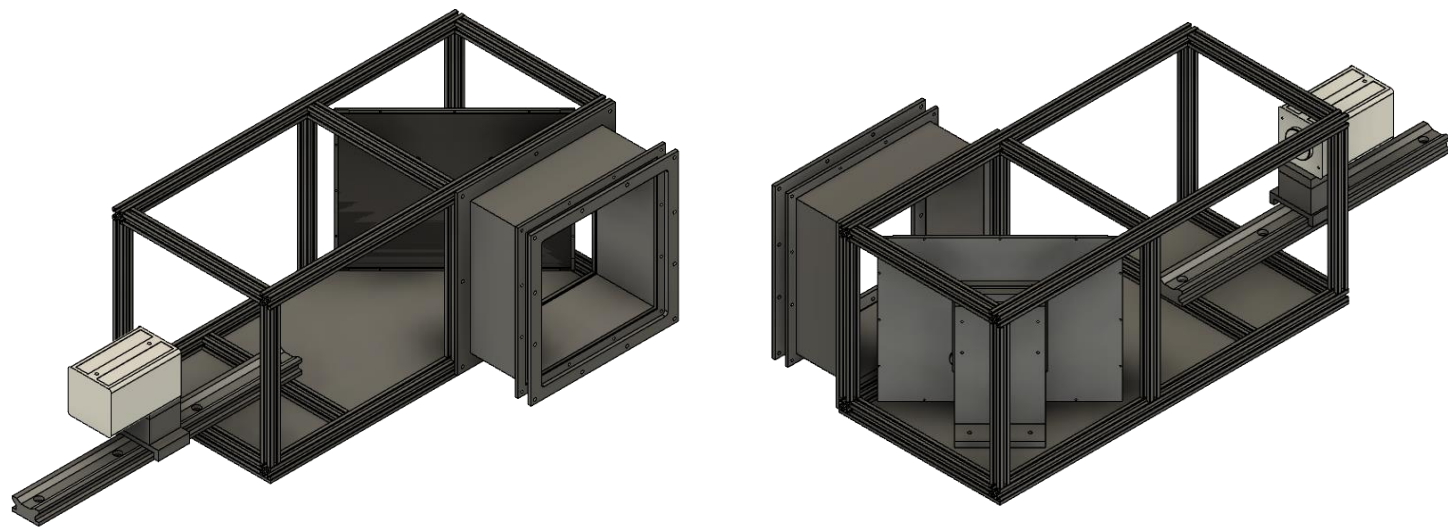
シンチレータ撮像システムと
X線I.I.撮像システムを用意

CCDシステムではX線シンチレータ
(東芝マテリアル)を取り付けて
撮像。サイズは100 x 100 mm

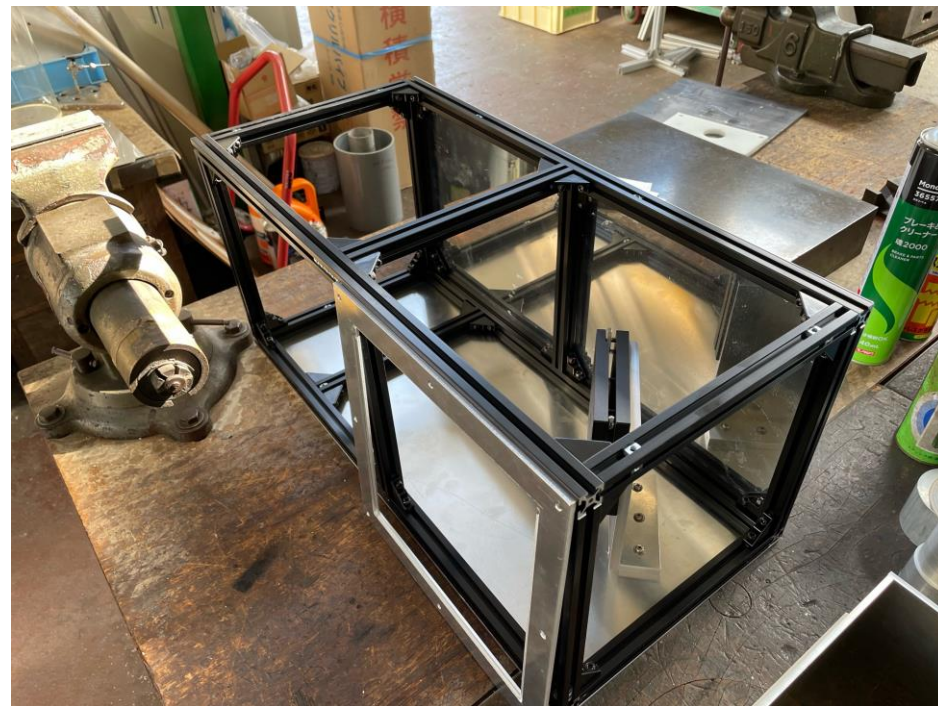
X線I.I.の視野は
Φ4インチまたはΦ2インチ選択可
歪み補正が必要

新しい撮像システムの構築

X線での撮像も中性子と同様に、100 x 100 mmに限定してきた。
⇒ 視野をさらに広げて撮像できる暗箱を製作中 (250 x 250 mm)

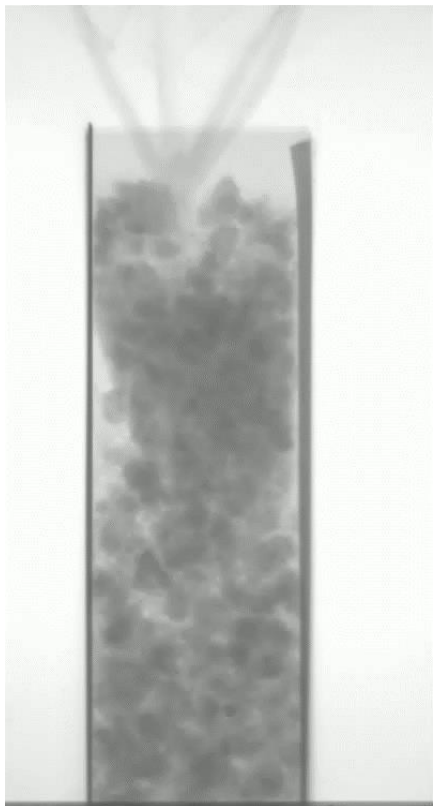


大視野暗箱の図面

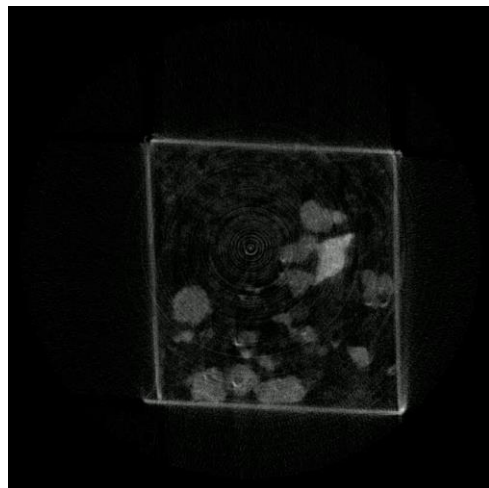


大視野暗箱の製作状況

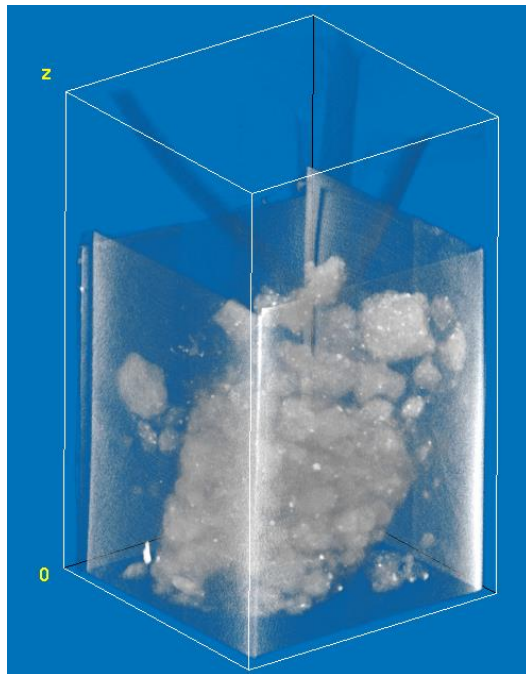
X線撮像の利用例



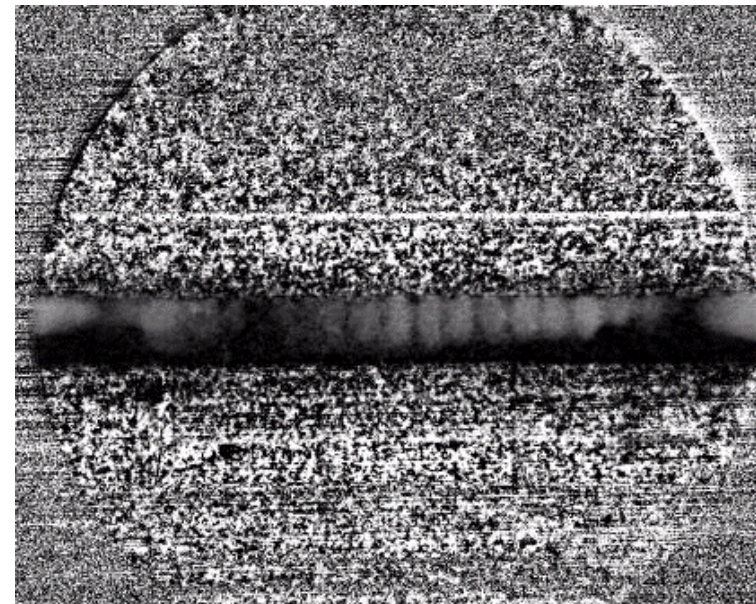
撮像結果



植物への応用例



再構成の結果



水-空気二相流

正方格子ピンフィン内の水-空気二相流ボイド率分布

所要時間は 30 分～1時間
露光時間は数秒
高画質なCT再構成画像を得られる。

高速度カメラとX線I.I.による
高速度撮像も可能

まとめ

- KUR B-4 と E-2 の設備の現状について紹介
- E-2 の特徴 → 静止画と中性子CT
- B-4 の特徴 → 露光時間が短い撮像と動画の撮像、X線での撮像あるいは併用
X線との併用は非常に有用。（コンクリート、着霜、植物の研究など）
- B-4 の今後：
撮像システムの高度化、画像処理手法の開発を進める。
- E-2 の今後：
照射室を改良して、より使いやすくする。