

弱い中性子強度での 画像評価の取り組み

名古屋大理学研究科
広田克也

本研究はJST ASTEP「コンパクト中性子源とその産業応用に向けた基盤技術の構築」
OPERA QiSS「安心・安全・スマートな長寿社会実現のための高度な
量子アプリケーション技術の創出」の支援を受けて行われたものです。

Introduction

透過像を撮るという観点からは
なるべく綺麗な画像を撮りたいとの要求がある。

← 中性子強度が強い程よい

その一方で、

- ・ 小型中性子源による「そこそこ」の強度での計測
- ・ 時分割測定などで、なるべく短時間間隔での計測
- ・ 高位置分解能検出器（ピクセルが小さくなる）
- ・ 低検出効率検出器での計測

などを行うと、どうしても中性子強度は少なくなる。

Introduction

透過像を撮るという観点からは
なるべく綺麗な画像を撮りたいとの要求がある。

綺麗な画像を撮ることは理想ではあるが、
必要な情報を得るのにその統計量は本当に必要か？
という視点で考えてみる

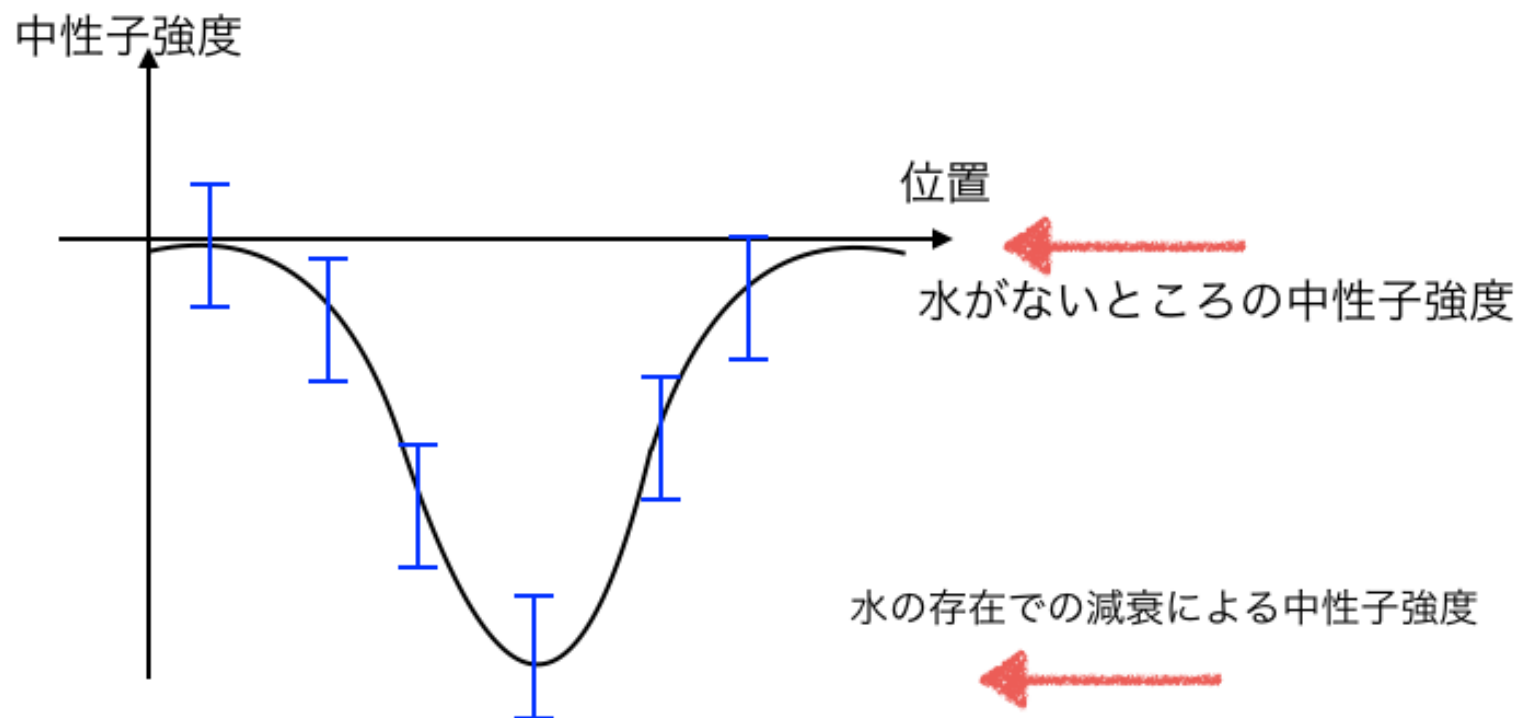
- ・ 僅かな透過率の違いを区別する
- ・ 物質があるかどうかの認識（薄いもの、動きもの）
- ・ 何が見えたら「見えた」ことになるのか

統計的に有意かどうか重要（エラーバーとの兼ね合い）
透過画像としてのコントラストの問題ではない

弱い中性子強度での画像評価

通常、透過像計測では大強度ビームを利用した鮮明な透過像取得を得るようにする。
小型中性子源では、こうした要求に耐えられるような大強度ビームは難しい。
また動画測定、高分解能測定を試みると鮮明な画像は必ず限界がくる。

得られた画像を定量的に評価することで、見た目の綺麗さによる直感判断ではなく、
数量的に評価することを考える



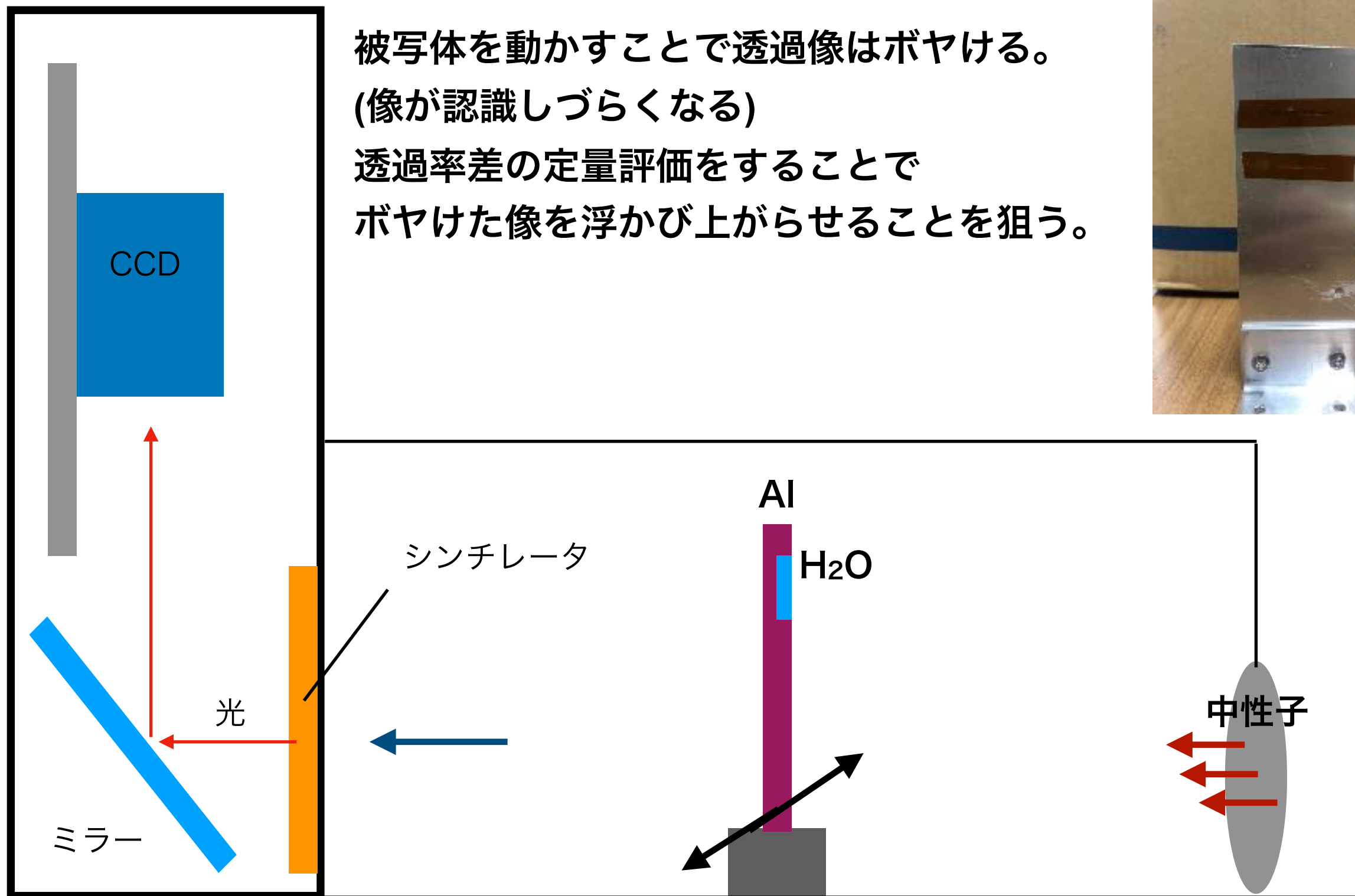
一例として

物体の透過像に対して、**ビーム強度の変動が誤差棒に対してどの程度優位か？**
という基準で評価する。

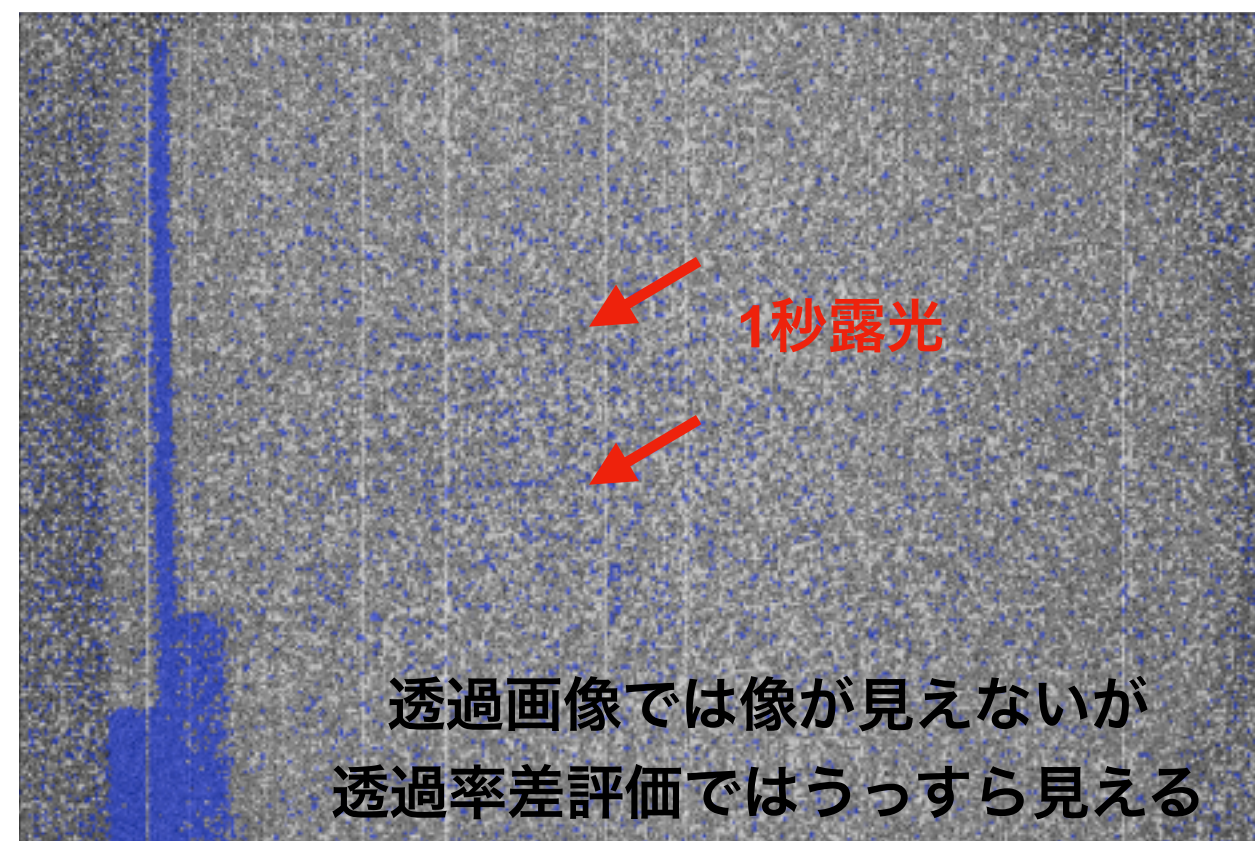
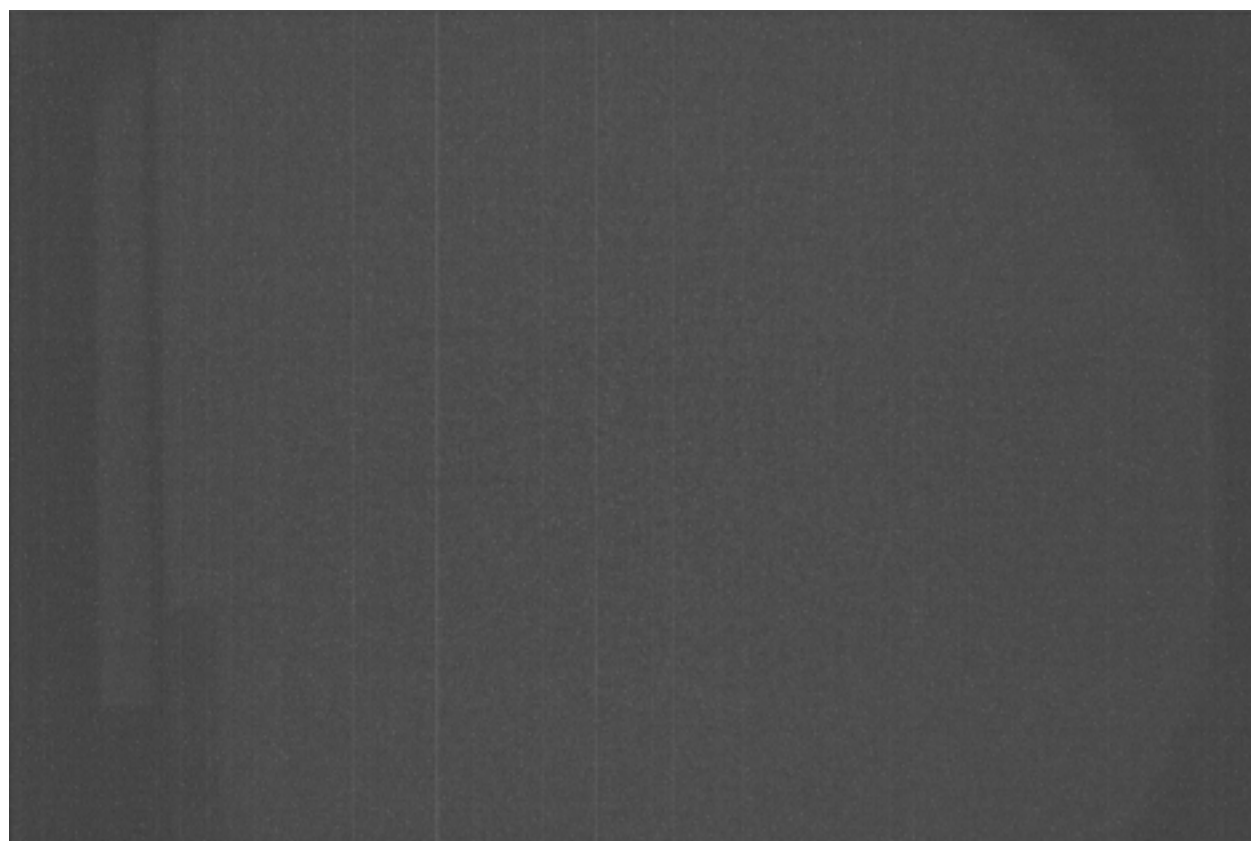
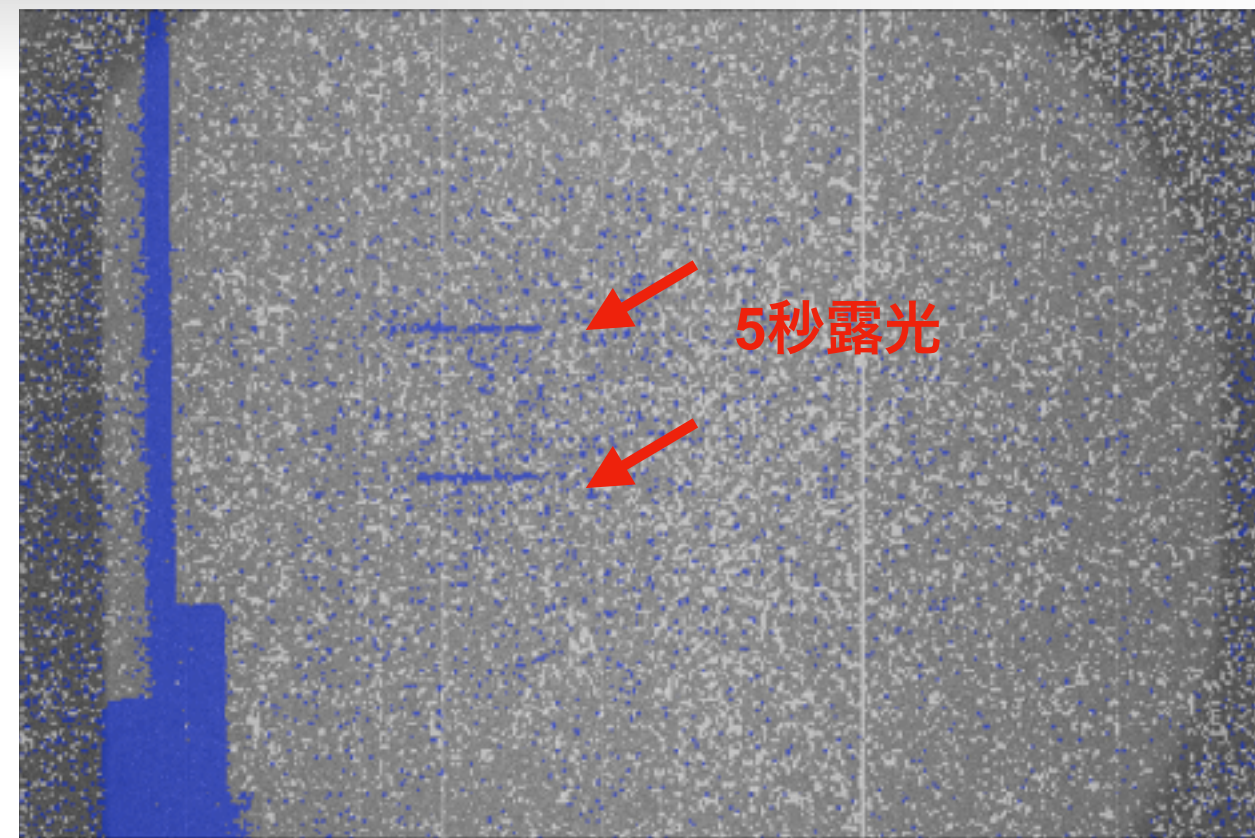
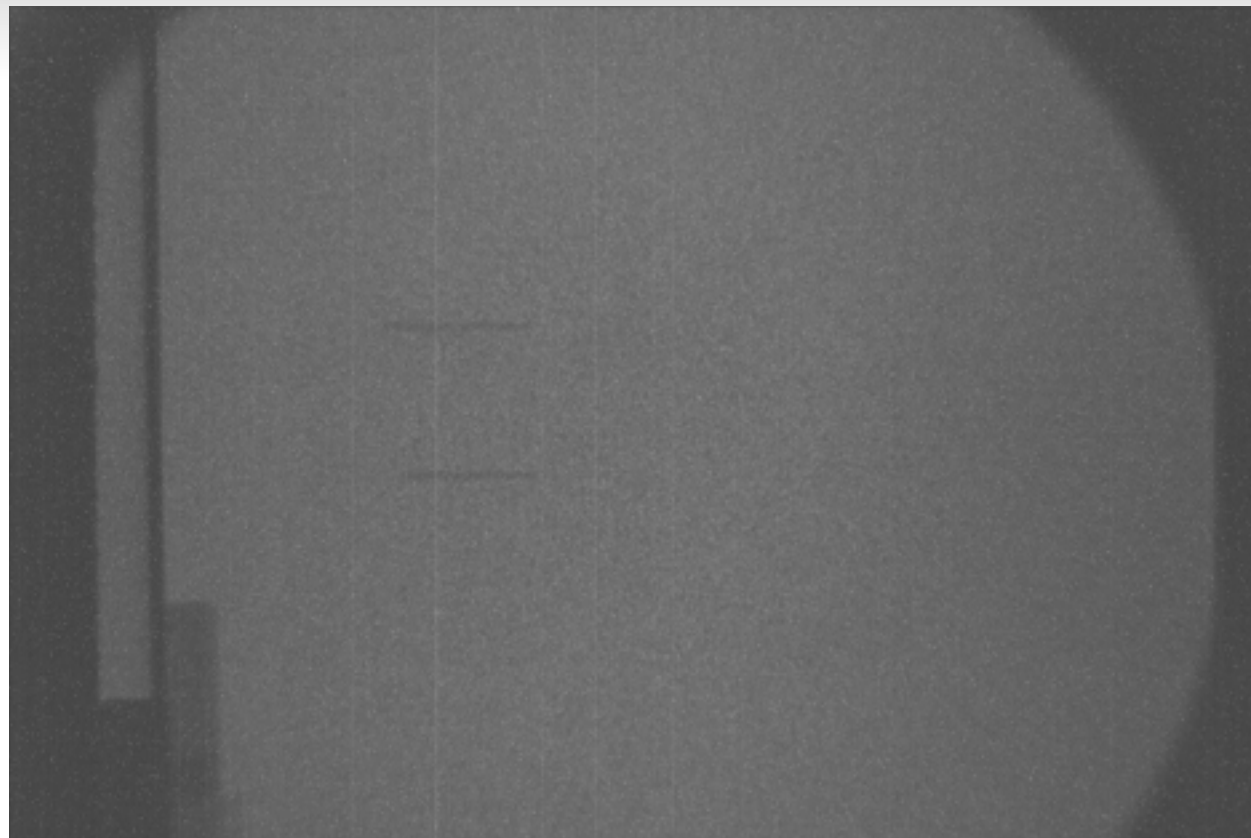
CCDの輝度値から入射中性子数を
換算し、統計誤差をつける。

透過中性子が元の強度より何 σ 変化したか
(強度減少が有意なものであるのか?) を
評価する

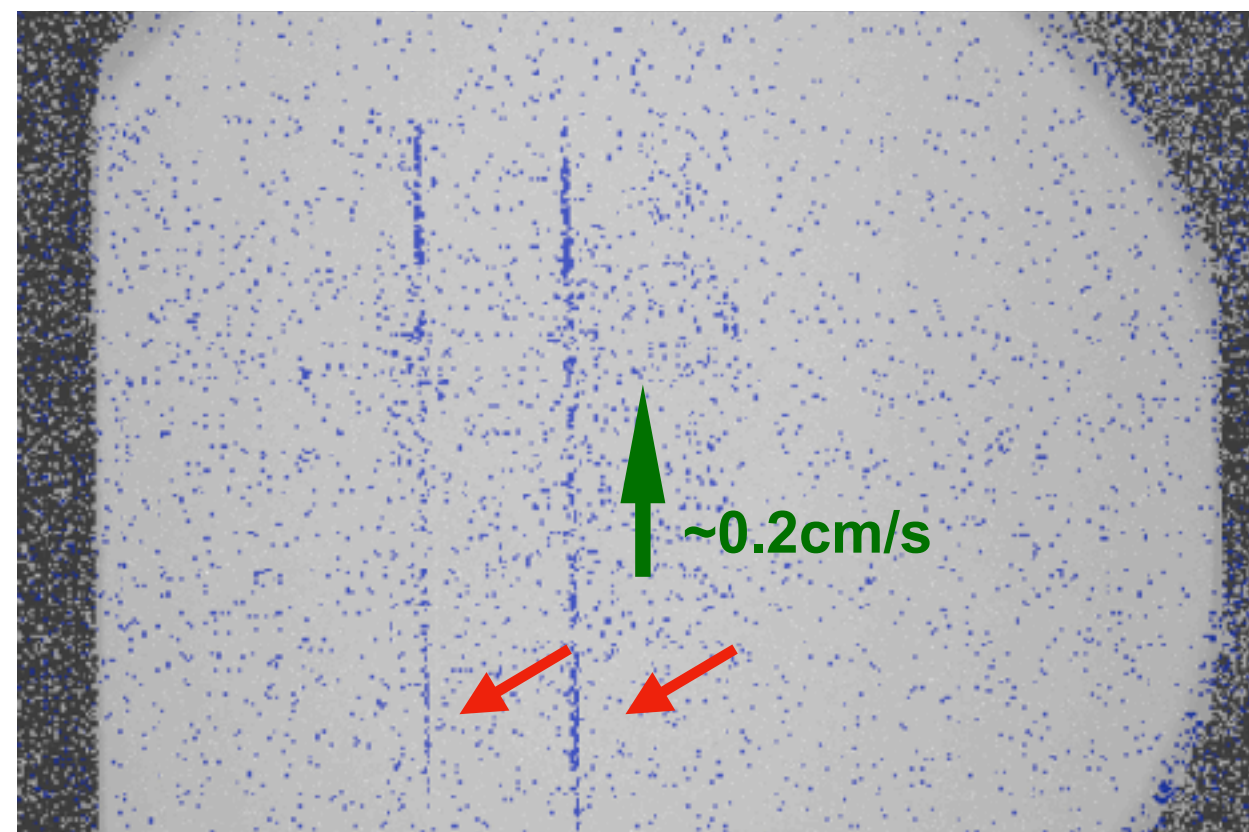
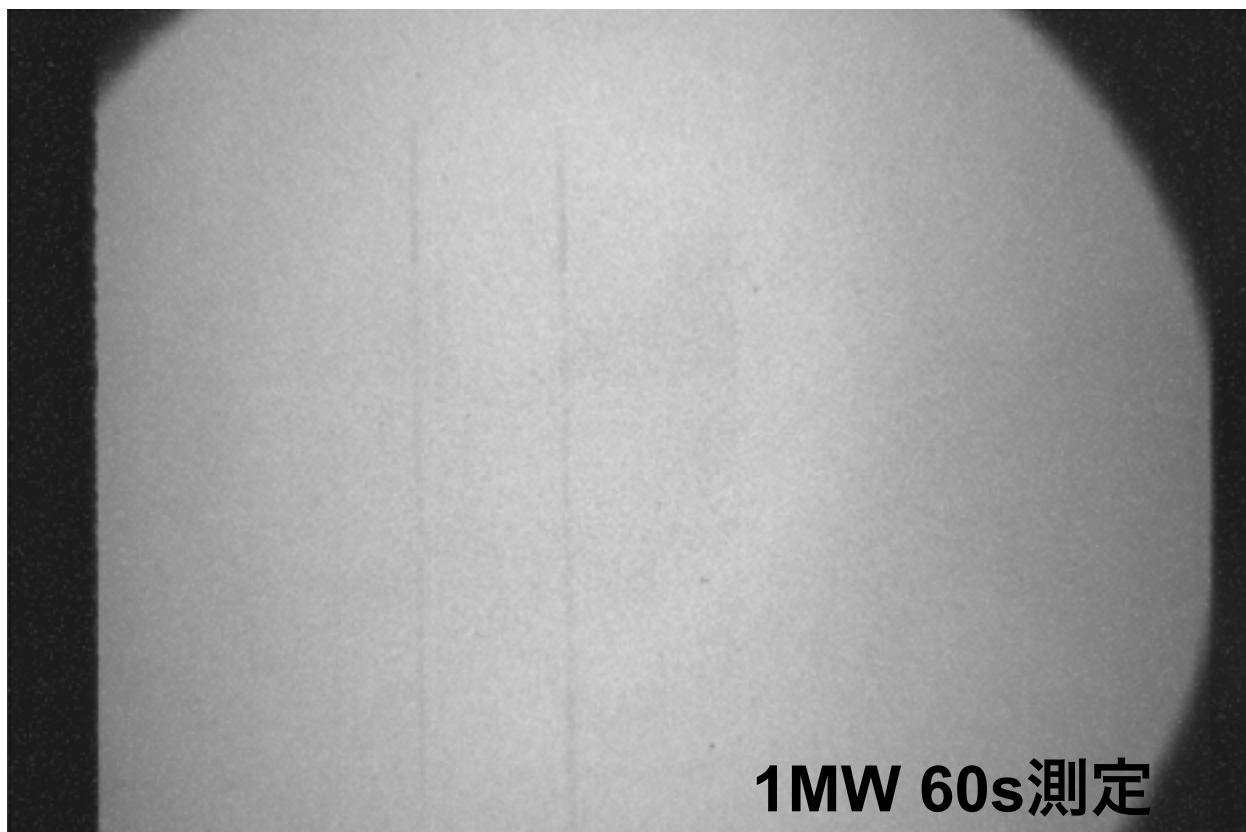
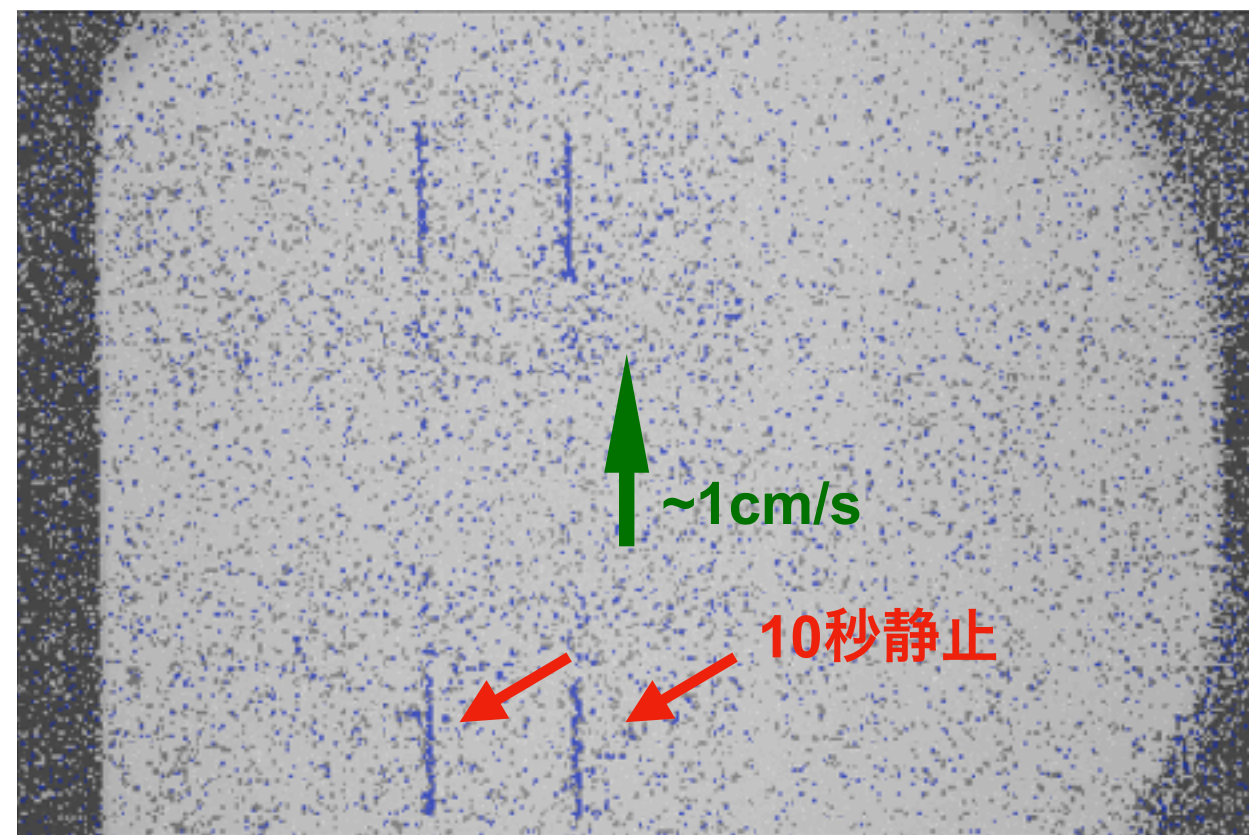
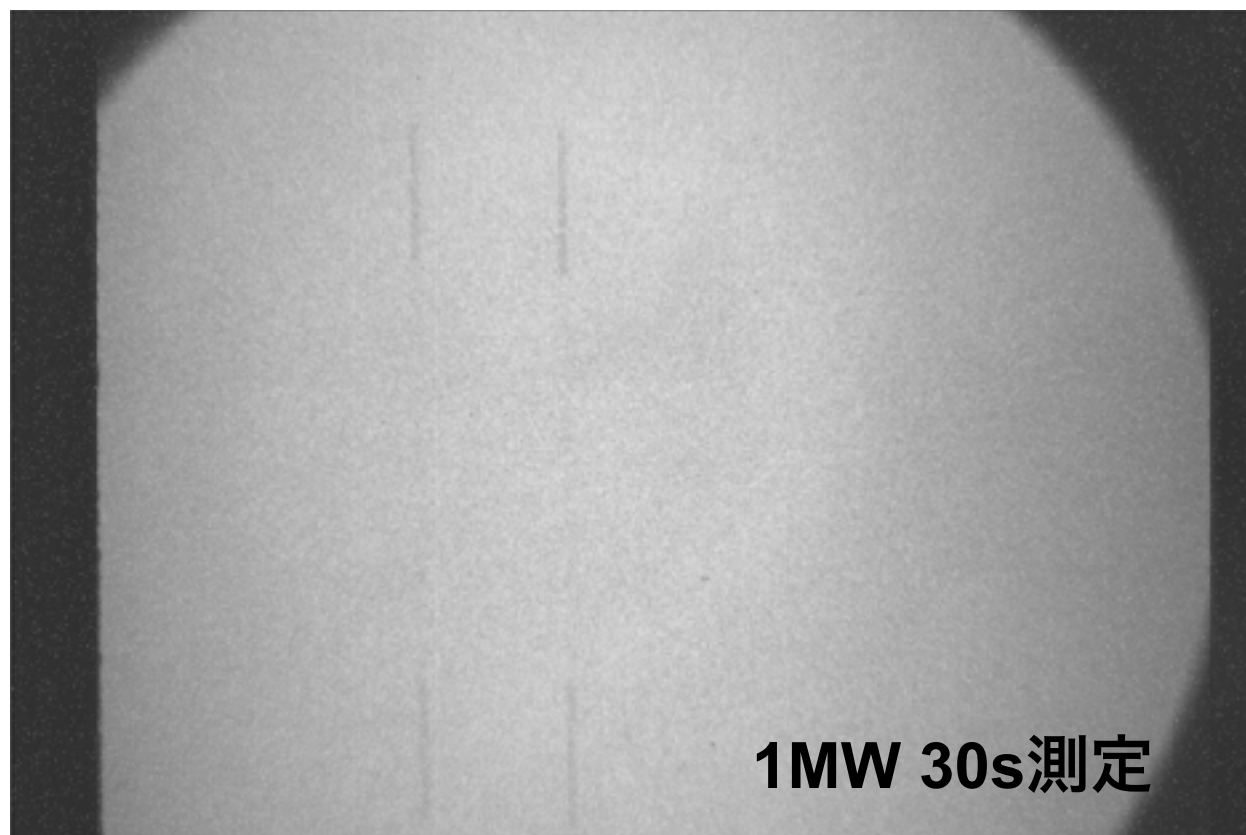
セットアップ



撮影画像&評価結果



撮影画像&評価結果



撮影画像&評価結果

5MW 30s測定

↑ ~1cm/s

10秒停止

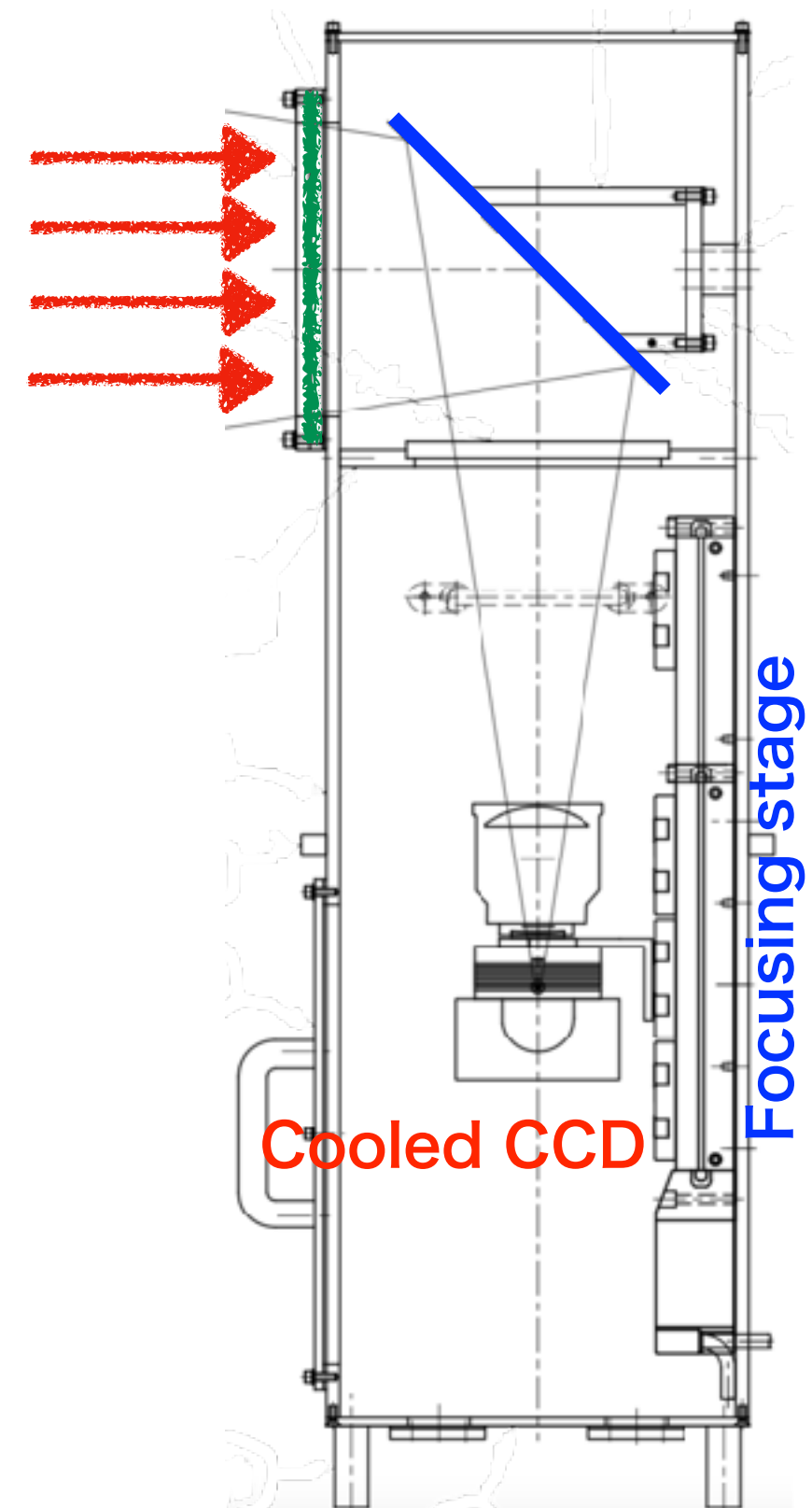
5MW 60s測定

↑ ~0.2cm/s

定量評価することで便利になることをうまく訴えたい

例題) イメージング用CCDカメラのピント調整に関して

- ・ イメージング用のシンチ+CCDの組み合わせは
同じタイプのものをよく使っている
KUR E2, RANS, NUANSではほぼ同型のものが稼働
(KUR B4やJ-PARC BL22は別タイプ)
- ・ ピント調整は、チャート図などを使って可視光で
調整した上で、中性子で再度確認とする場合が多い
(頻繁に行う必要はないが、カメラ、レンズ交換時に再調整)
- ・ 中性子強度が弱いと調整に時間がかかる、
人間の目で判断するのでバラツキが出る
- ・ 定量的に評価する基準を作って、
誰でも同じように調整できるようにしてみる



KUR 1MWで C CCDカメラの焦点距離を変えながら撮影 (ノイズフィルター利用後)
数字はカメラの位置(絶対値にはあまり意味がない)

34.0mm

38.5mm

40.5mm

41.5mm

42.5mm

44.5mm

KUR 1MWで C CCDカメラの焦点距離を変えながら撮影 (ノイズフィルター利用後)

数字はカメラの位置(絶対値にはあまり意味がない)

拡大する

34.0mm

38.5mm

40.5mm

41.5mm

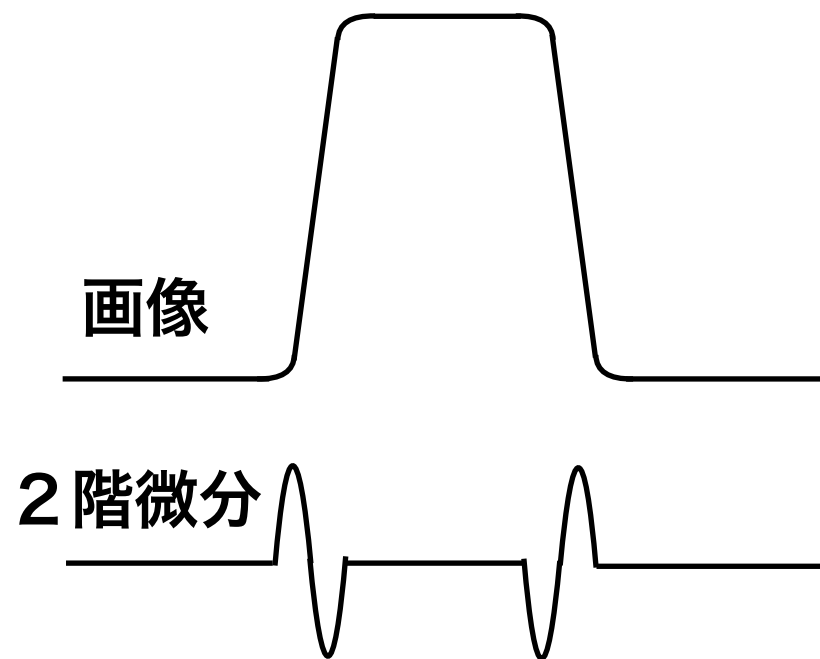
42.5mm

44.5mm

イメージング用CCDカメラのピント調整に関して

一眼レフなどのデジタルカメラの世界ではこの手の技術は結構進んできているので、そうしたテクニックを利用する

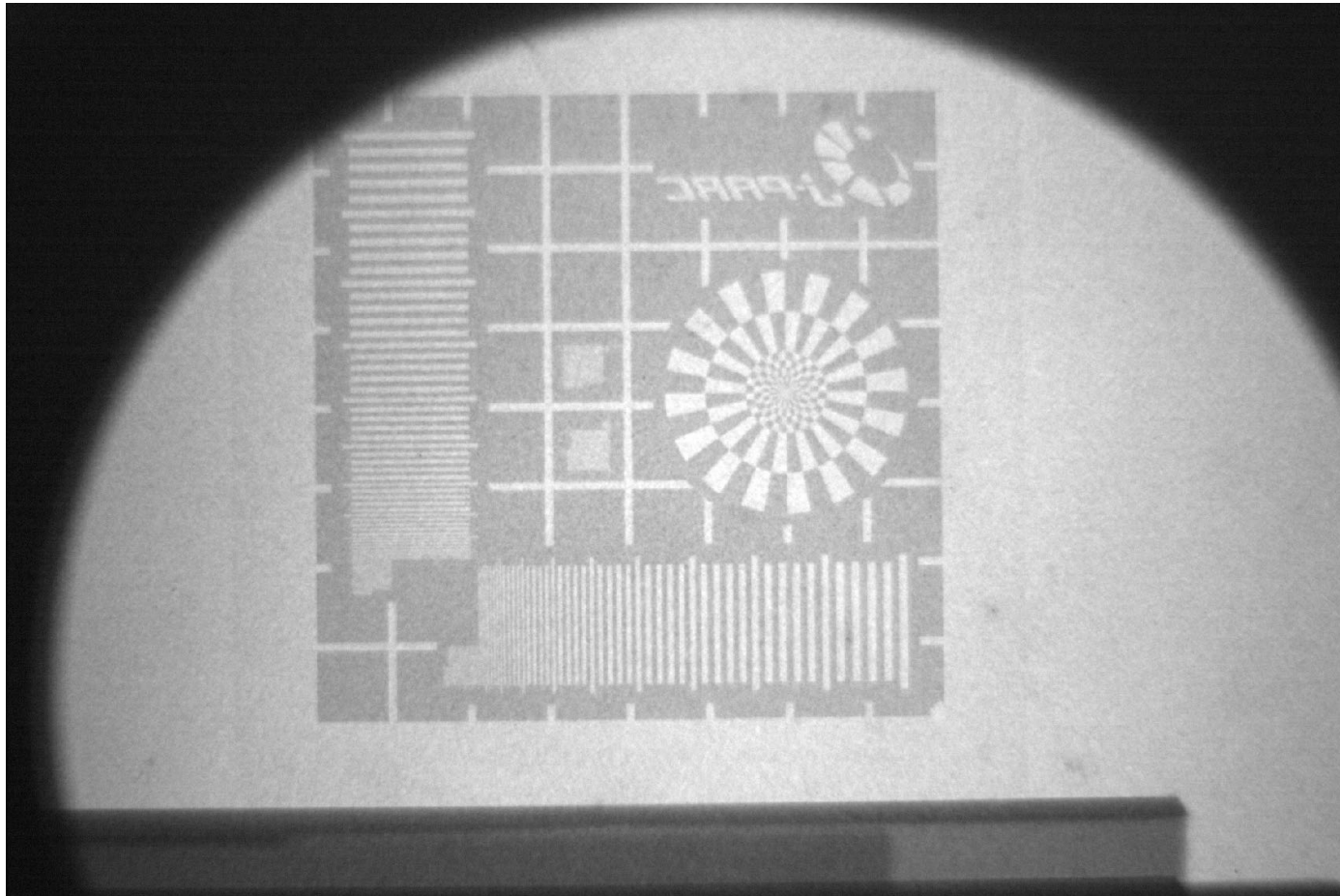
画像のエッジ抽出技法を用いて画像のピントのあい具合を評価する
Laplacian(空間2階微分)フィルターを利用したエッジ抽出



この分散値を記録
(pythonではLaplacian関数の戻り値)

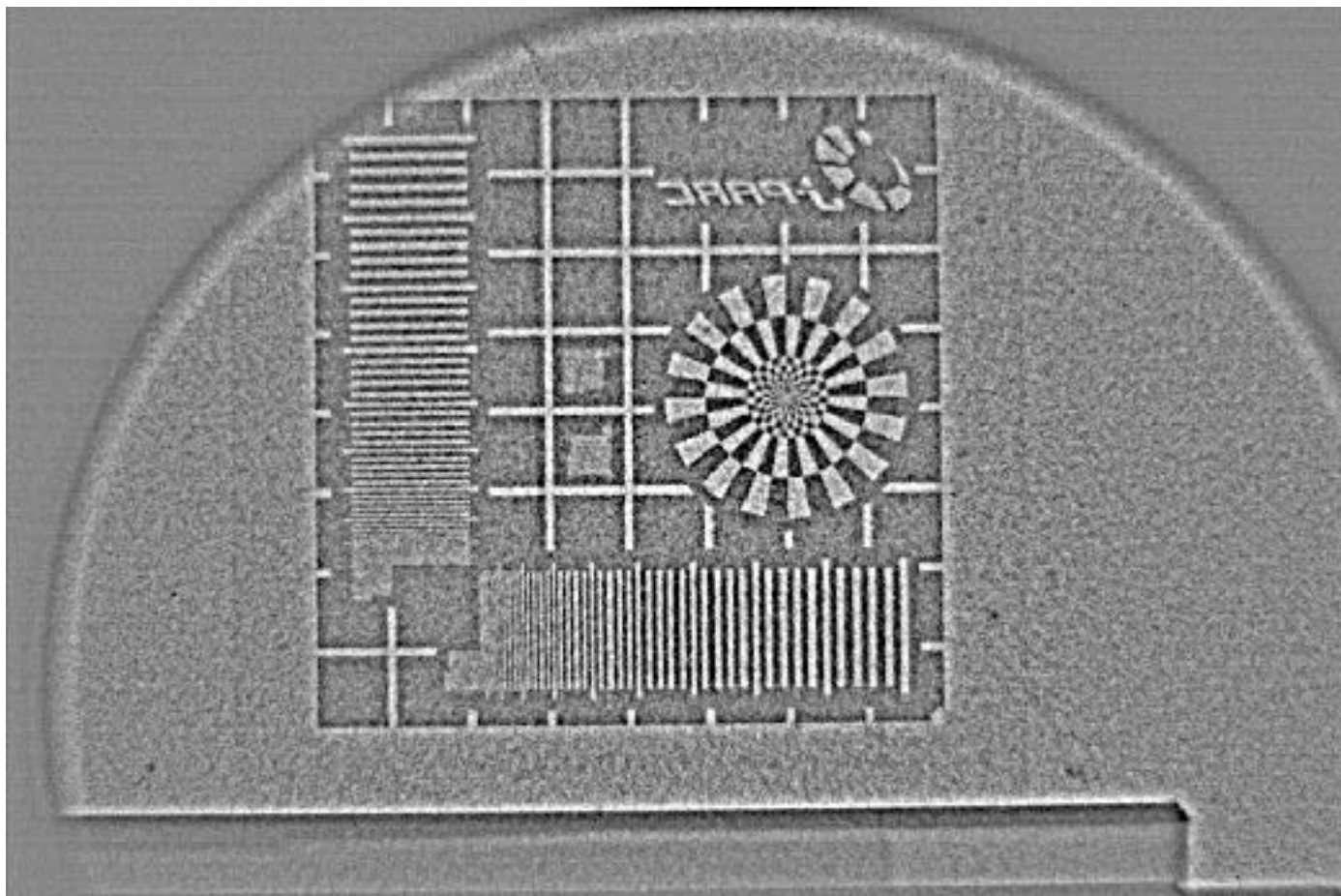
Laplacianフィルターを用いたエッジ抽出は
ノイズに弱いので、事前にノイズフィルターを
しっかりかけておくのが良い

ピント評価作業



元画像

←noise filter



元画像

←noise filter

←FFT bandpass filter

空間のフーリエ変換

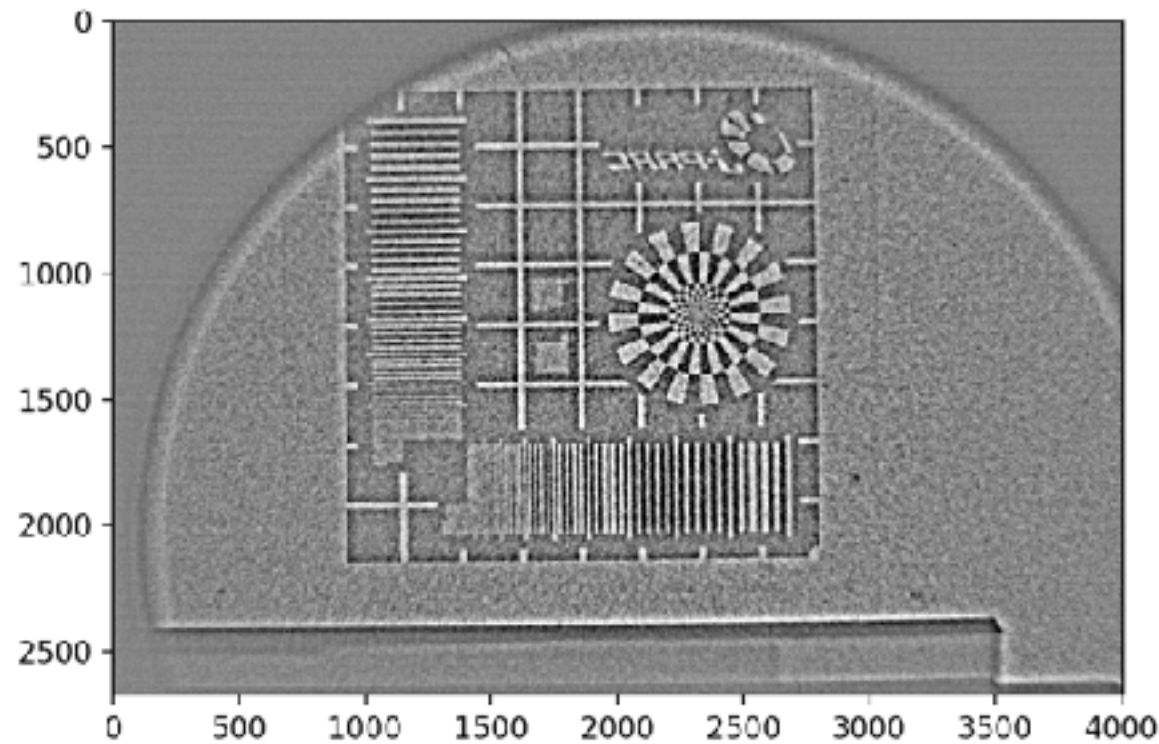
高周波：ピクセルノイズ

低周波：ビーム強度分布

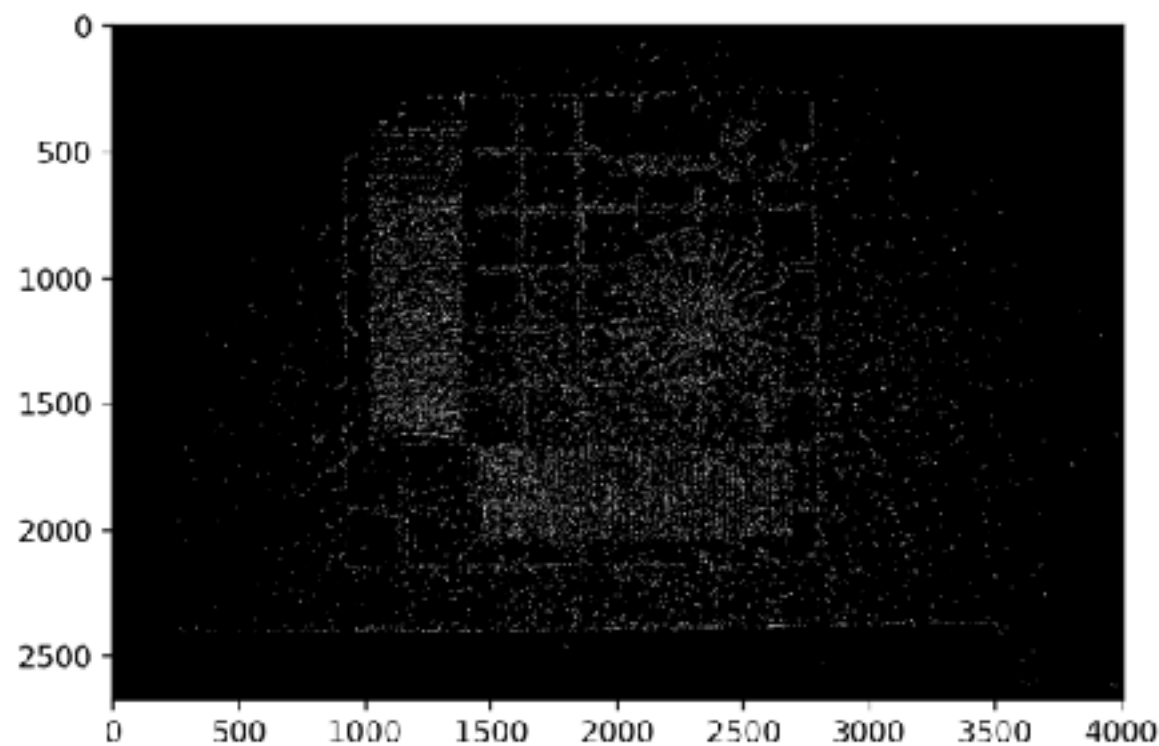
ここまでImageJで処理可能

エッジ抽出

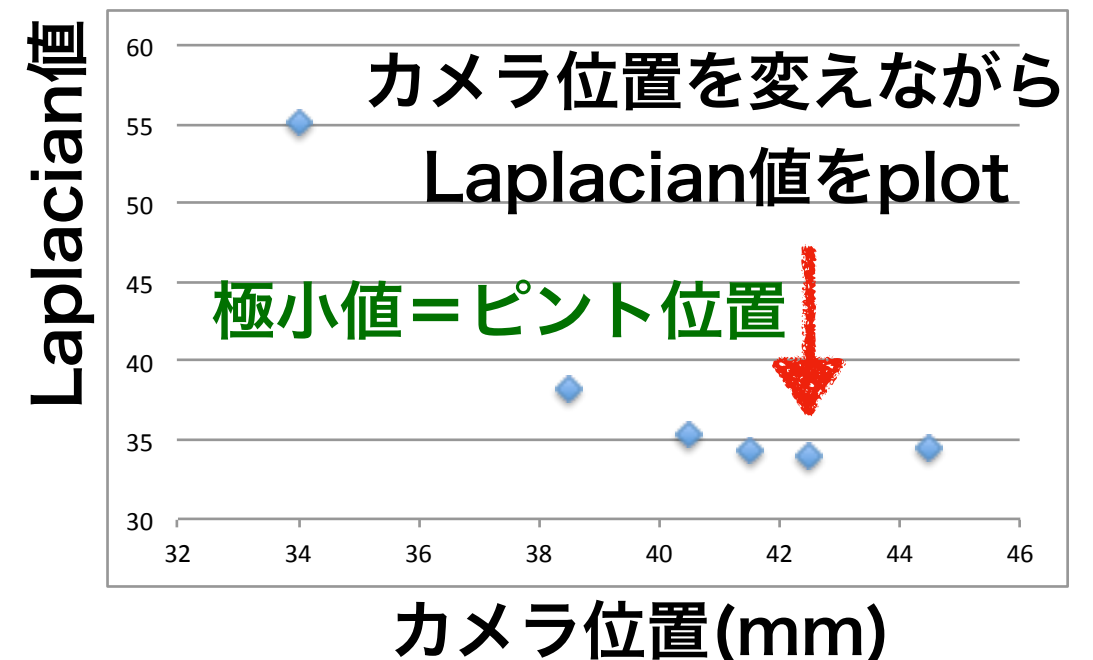
pythonのLaplacian関数を利用



入力画像（ノイズフィルター+bandpass filter）

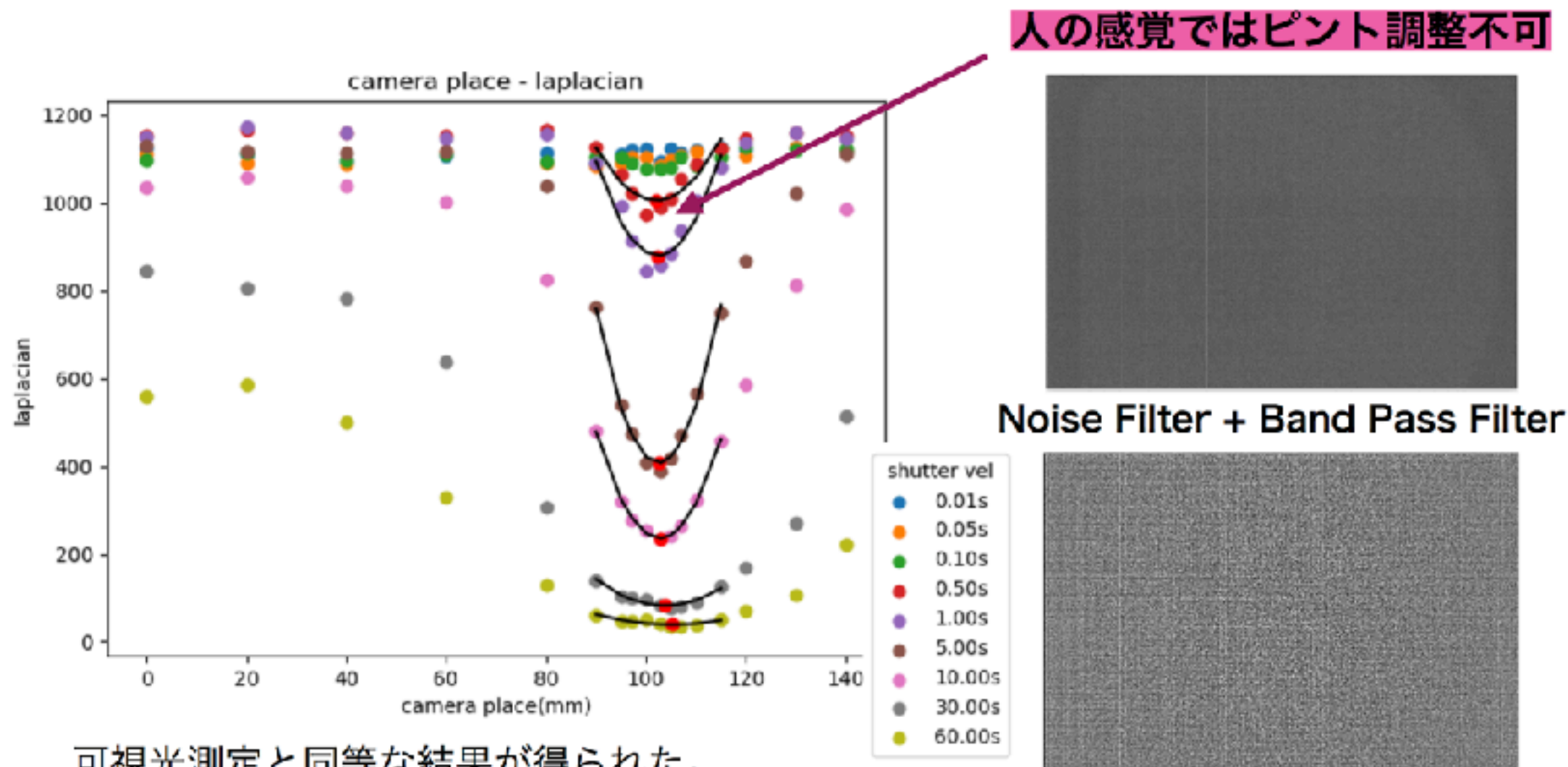


出力画像（Laplacianフィルター）



KUR E2で露光時間を変えてテスト

CCDカメラボックスにインジケータ,シンチレータを設置し、
中性子ビームを照射したときに出る光をCCDカメラで撮影する。

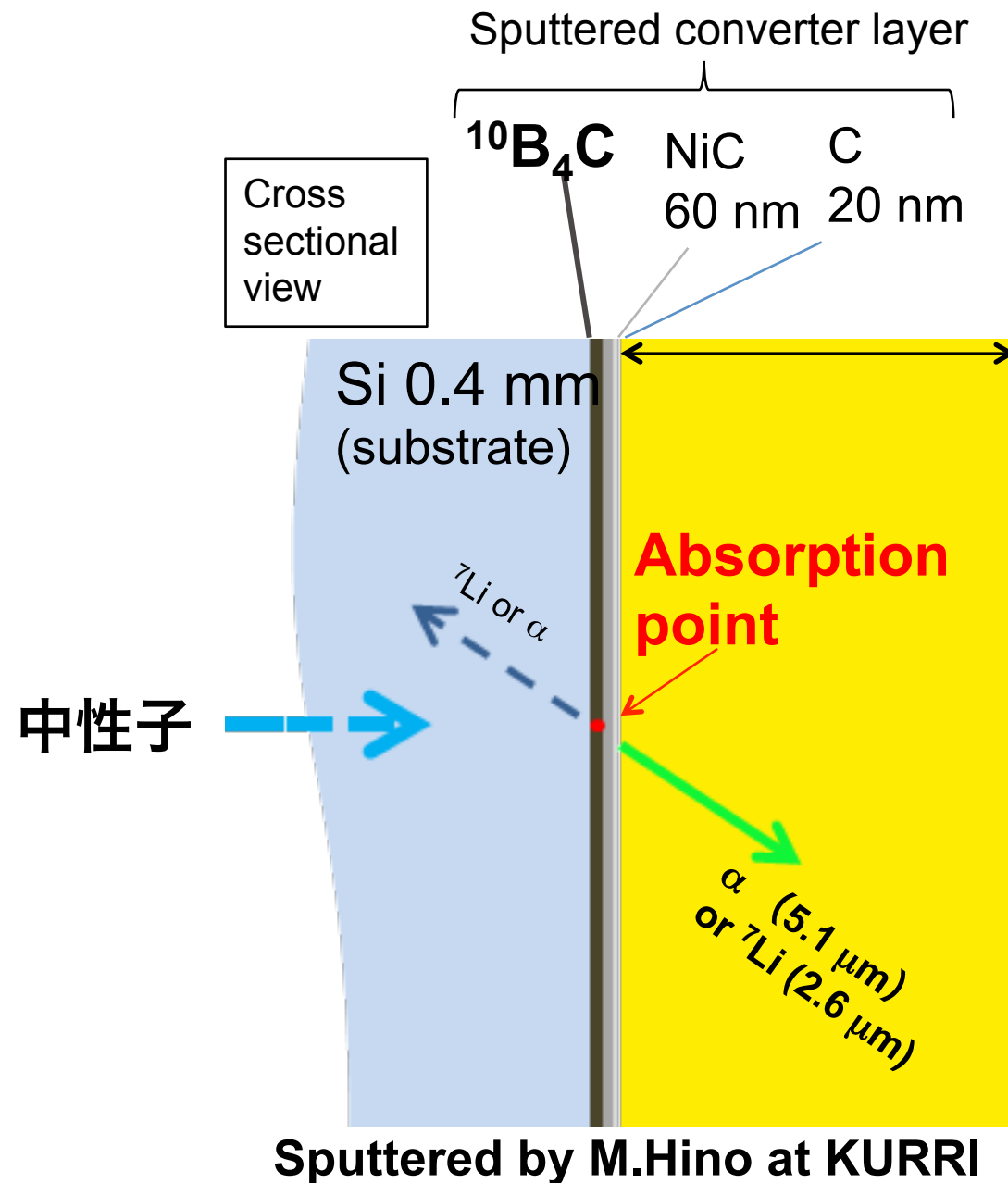


可視光測定と同等な結果が得られた。

中性子イメージング画像のピント調整には最速で5s程度必要だが、
0.5sでのピント調整が可能であることが分かった。

エマルジョン検出器を用いた中性子イメージング

名古屋大物理F研長縄さん、武藤さん
J-PARC KEK 三島さんなどと活動
B膜蒸着：KUR日野

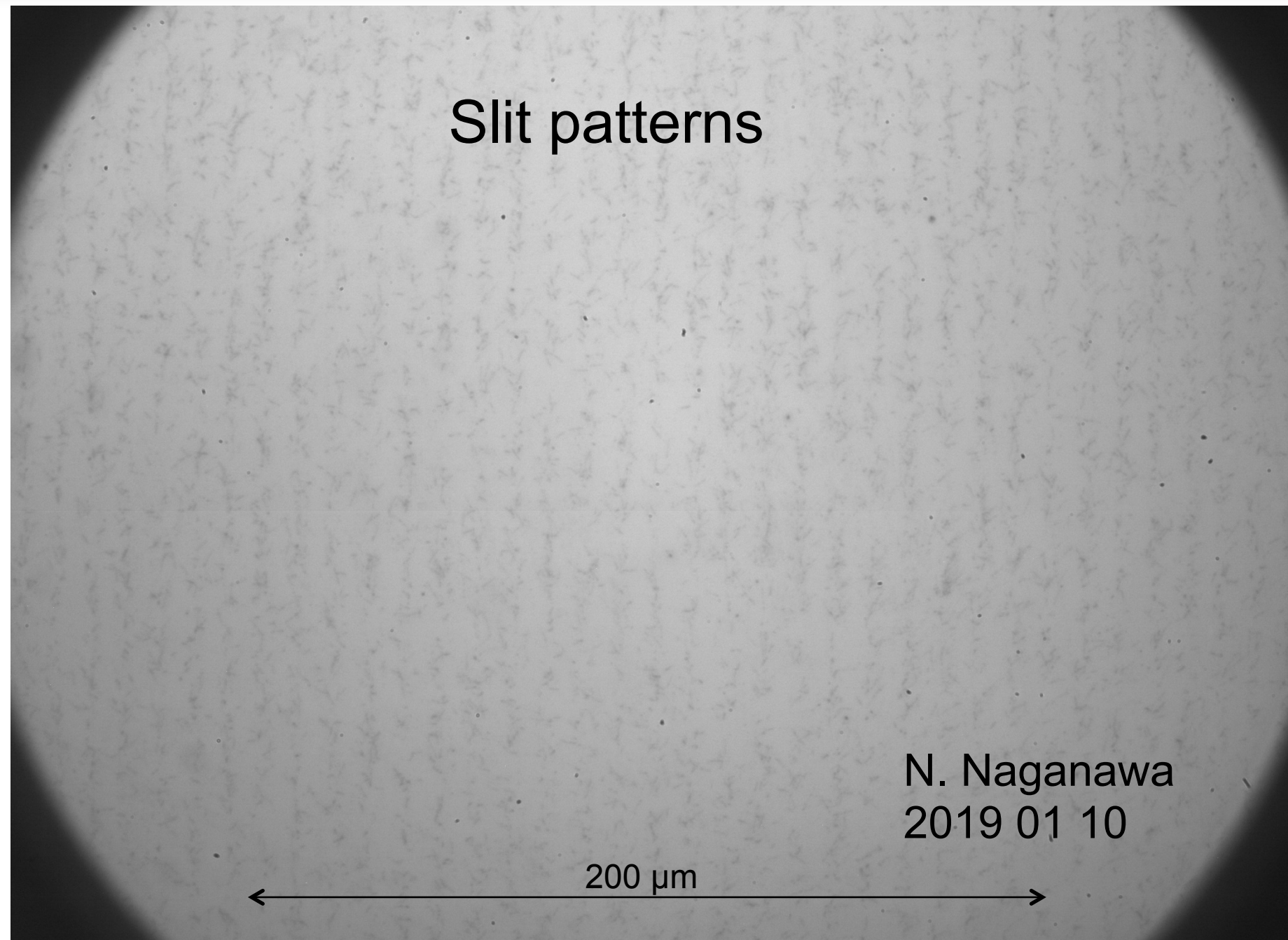


Si基板上に蒸着させた ^{10}B で中性子を吸収させ
反応で生成されるアルファ粒子or ^7Li を計測する

飛跡から反応点を確認するので位置分解能が
非常に良くなる。

現状では $^{10}\text{B}_4\text{C}$ を蒸着しており、放出粒子が
エマルジョンに入るようにあまり厚くできず
検出効率が低い。エマルジョンの中にBを分散
できれば検出効率の向上が期待できる。

中性子用Gratingsを用いて作ったスリットパターンを計測してみた



J-PARC BL05

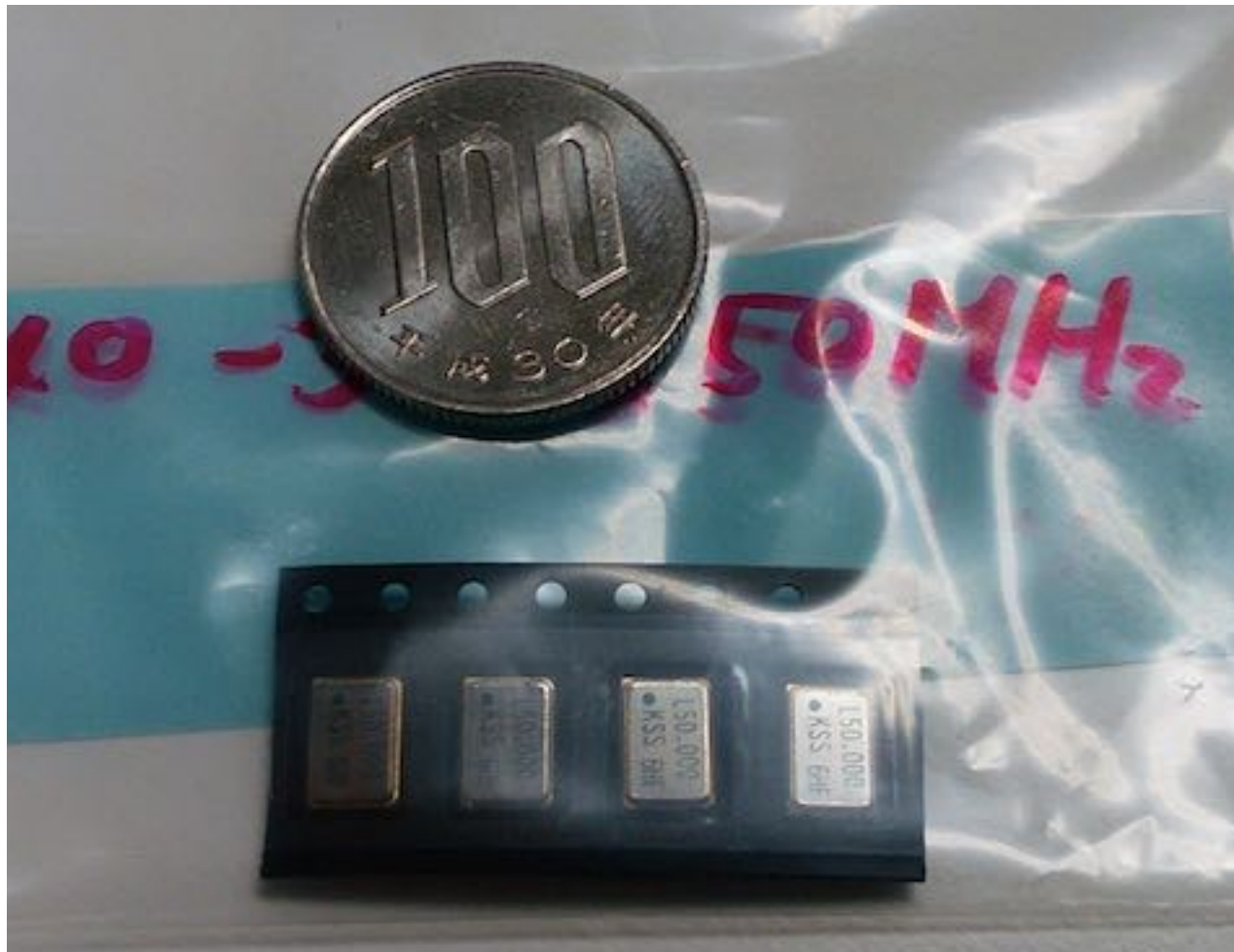
flux 7.6×10^4 n/cm²/s

Beam divergence $\Delta \theta \sim \pm 0.056$ mrad

エマルジョンは飛跡解析することで高位置分解能が実現できる
ただし解析は大変

- ・ 解析を簡単にするツールの開発
- ・ 飛跡を解析せずにそのまま低解像度画像としてみる

低解像度から高解像度まで利用できる検出器にする

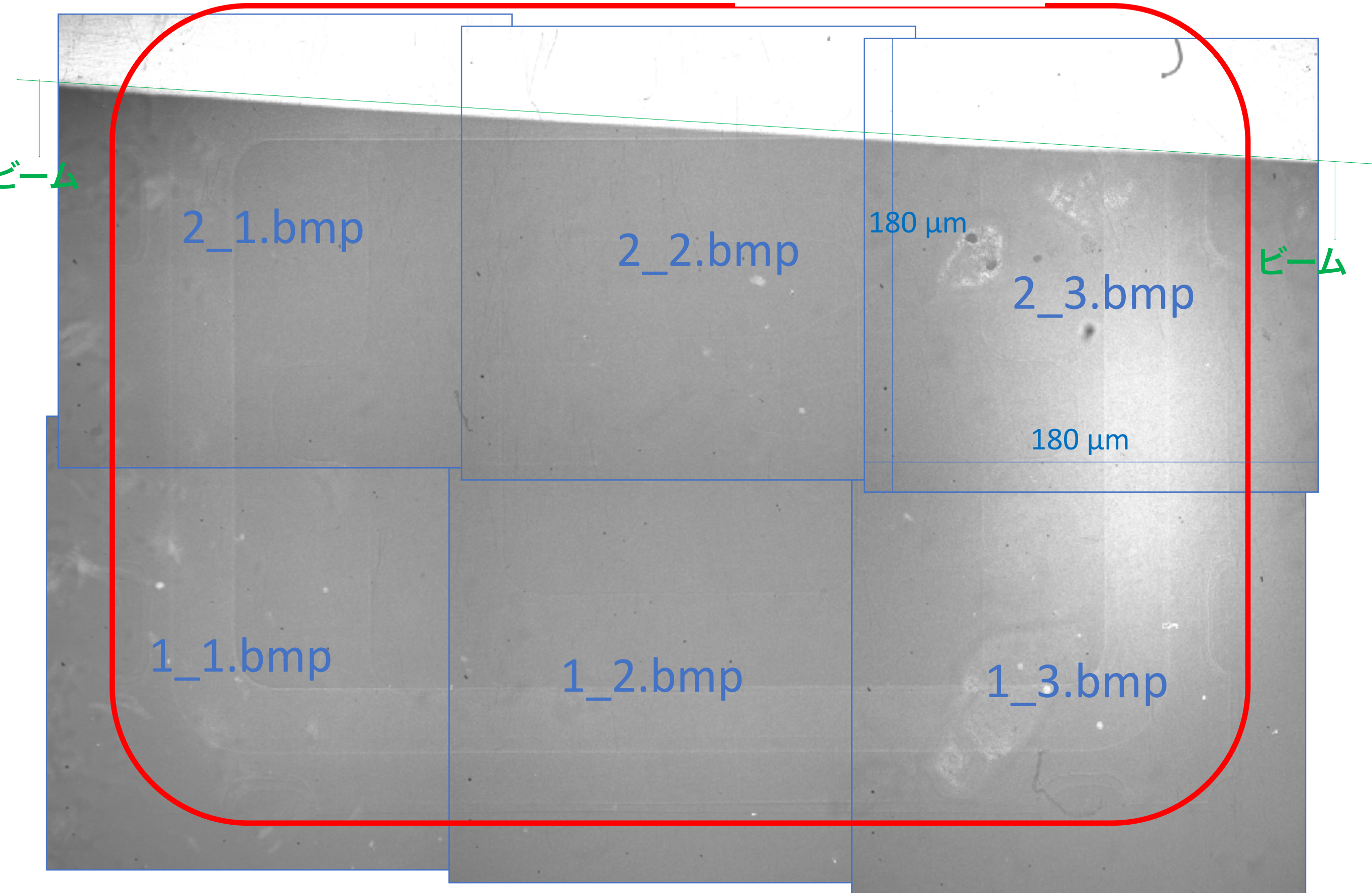


市販の水晶振動子チップを計測してみた

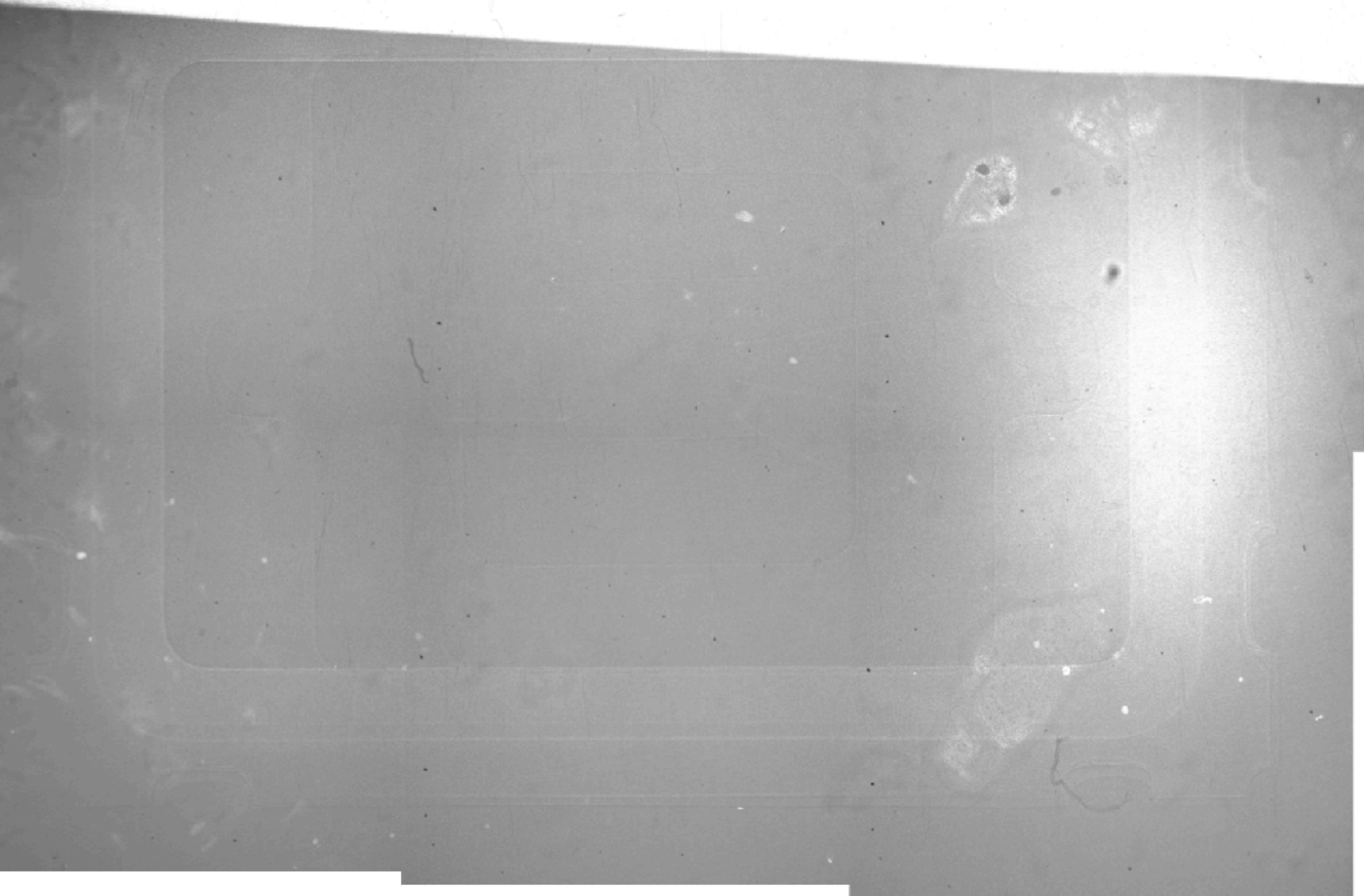
J-PARC BL05で
 10^8 n/cm²/s 照射 3時間

位置関係

水晶振動子



貼り合わせ画像をImageJでフィルター加工してみる

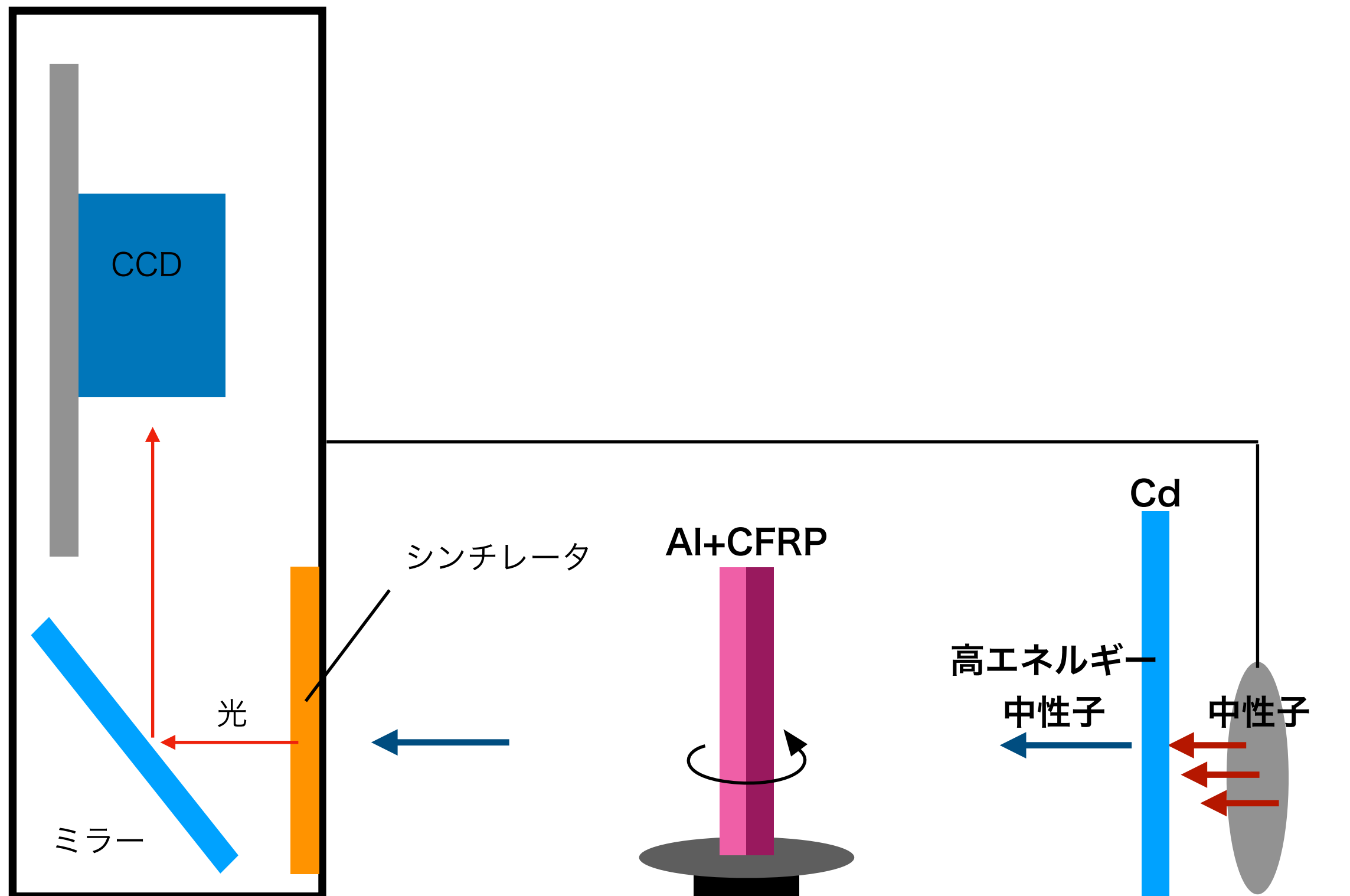


CFRP+Al板

CFRP(3mm厚)とアルミ板 (3mm厚) が接合されていて、途中で剥離されている
この剥離の部分を観察したい。剥離に伴うCFRP部分の亀裂の様子などの
情報を取得したい。

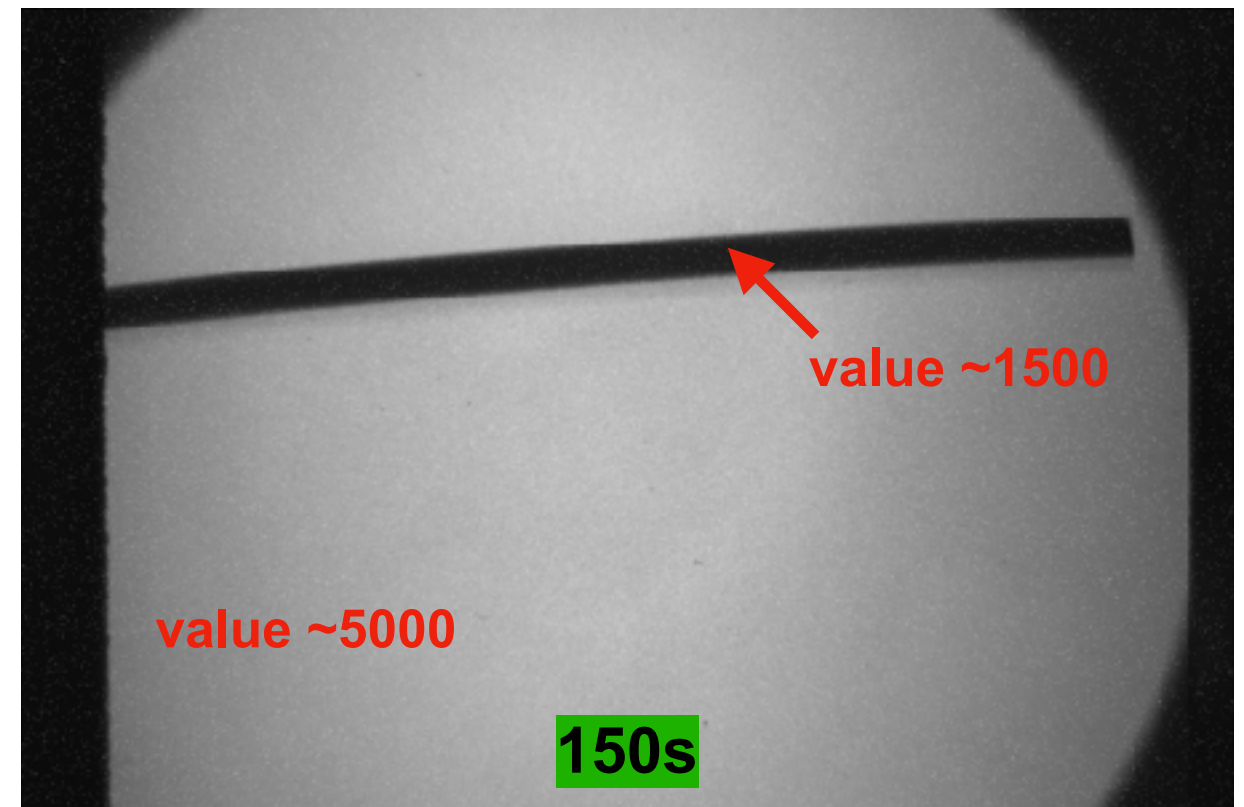
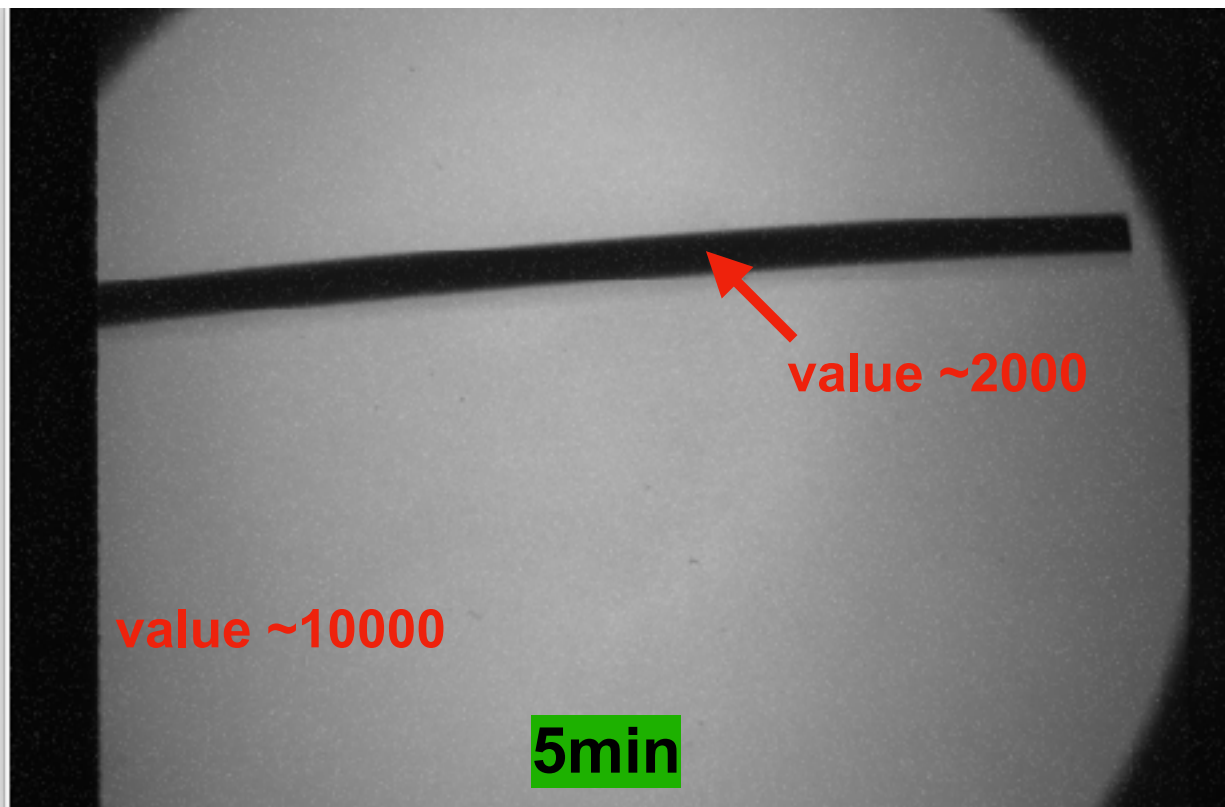
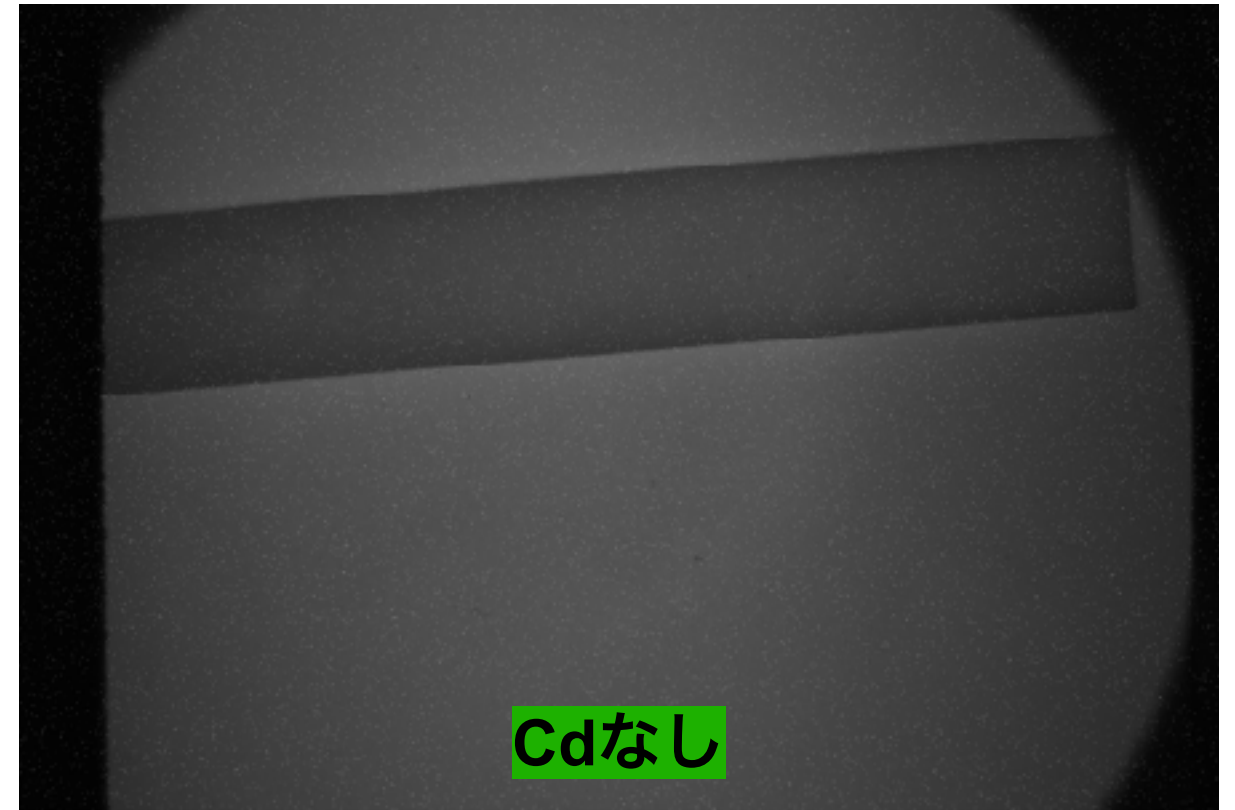
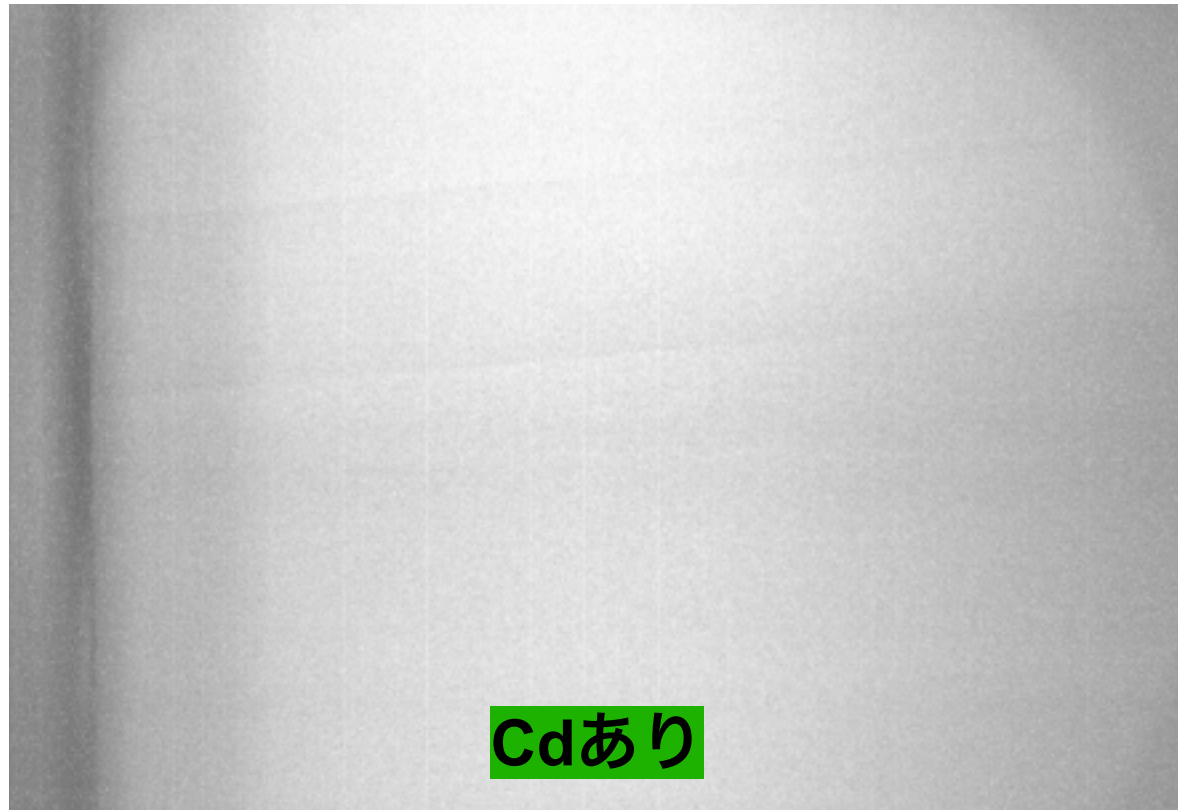


セットアップ



Cdを置いた撮影画像

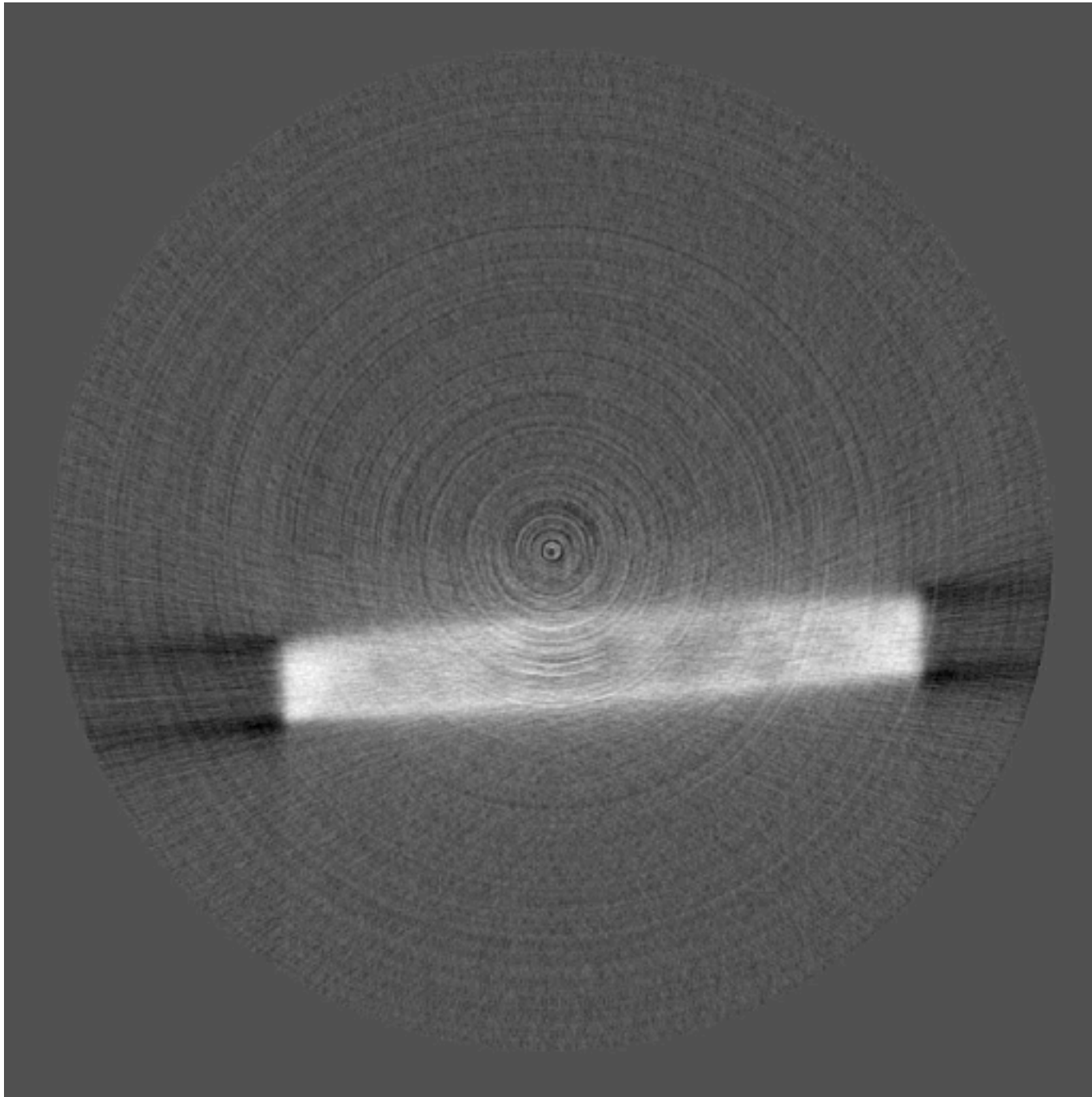
シャッター速度を5分(前回は150秒)にしても、画像はうっすらとしか見えない。
高エネルギー中性子の絶対数が少ない。Cdを置いてのイメージングは厳しそう。



CT撮影

撮像時間を以前の150秒から210秒に伸ばしてCT測定。(S/Nを稼ぐ→統計誤差を減らす に変更)

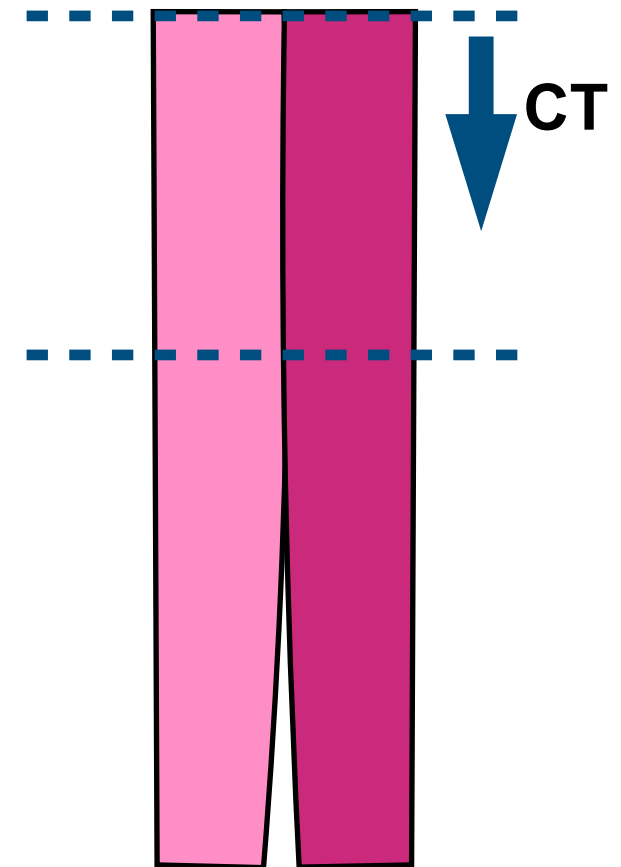
・シャッター速度210s ・0.6°ずつ回転 →300枚撮影



断面

AI CFRP

側面



若干CFRPの内部構造が見えるようになった。(以前は真っ白だった)

下部のAIとCFRPが割けている様子(動画終盤)はよく見えないことから分解能は悪い

まとめ

中性子イメージングにおいて画像の定量評価を進めている。

この技術は中性子数の少ない画像に対して威力を発揮できると考えている。

- ・ 小型中性子源
- ・ 大強度中性子源における時分割画像
- ・ 低検出効率検出器

高位置分解能を持つエマルジョン検出器の開発

飛跡解析しない画像としての利用

今後、高検出効率化を目指す

CFRPのCT撮影

内部構造が若干見えているがはっきりとは見えない

CT再構築のパラメーター調整が必要