



HOKKAIDO
UNIVERSITY

中性子カラーI.I.と 高速度カメラを用いた 飛行時間分析 イメージャーの開発

北大院工 量子理工学部門
上野広樹

共同研究者：
北大院工 加美山 隆, 鬼柳 善明

目標

広領域・高空間分解能の
二次元中性子TOFディテクターの開発

開発

**中性子カラーイメージンシ
ファイア(I.I.)と
高速度カメラ**を用いた
パルス中性子の飛行時間法による
中性子時分割測定の実現

中性子カラーI.I.東芝 Ultimage™_{nγ-04}

Gd₂O₃蒸着膜にて Gd(n,γ) 反応

内部転換電子発生

CsI蛍光体を発光

光電変換膜で電子に変換

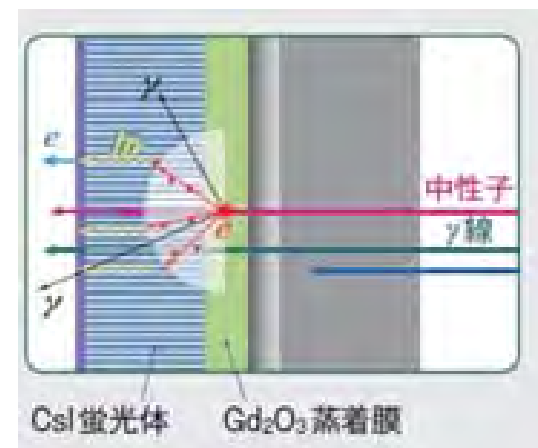
電子レンズにより増幅、集束

出力蛍光面(カラーシンチレータ)で出力

中性子透過像を可視光の像に増幅・変換



図1. カラーI.I.の断面構造—放射線と反応する入力蛍光面, 電子レンズ, 出力蛍光面, 光学系(ミラー, レンズ), カラーカメラ, 及びハウベ(容器)で構成されています。



開発内容

**中性子カラーイメージインテンシ
ファイア(I.I.)と
高速度カメラ**を用いた
パルス中性子の飛行時間法による
中性子時分割測定の実現

パルス発生から一定時間経過した
透過像を連続撮影

課題：画像のサイズ

1ピクセルごとに

8bit(輝度値0-255)のデータ

250×250ピクセル →61KB

1000×1000ピクセル →977KB

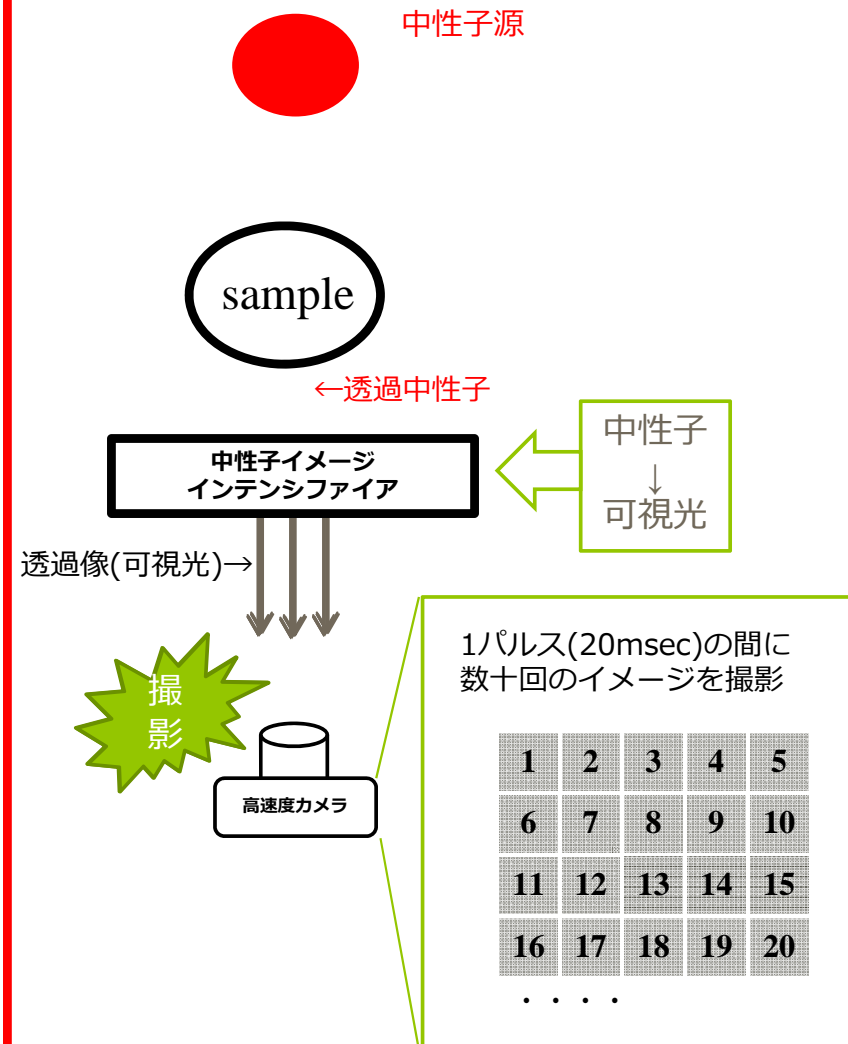
そのままでは

データ転送・保存が難しい

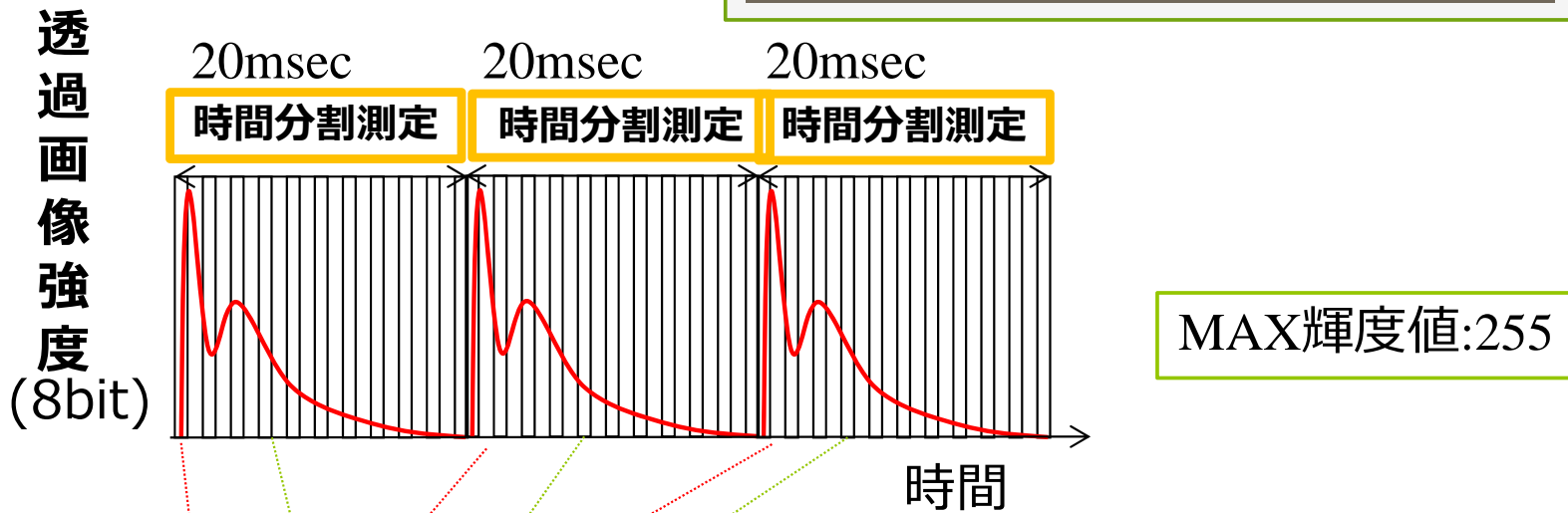
パルス発生からの同時間チャンネルの
画像を積算することにより長時間連続
撮影が可能に

実験システム概略

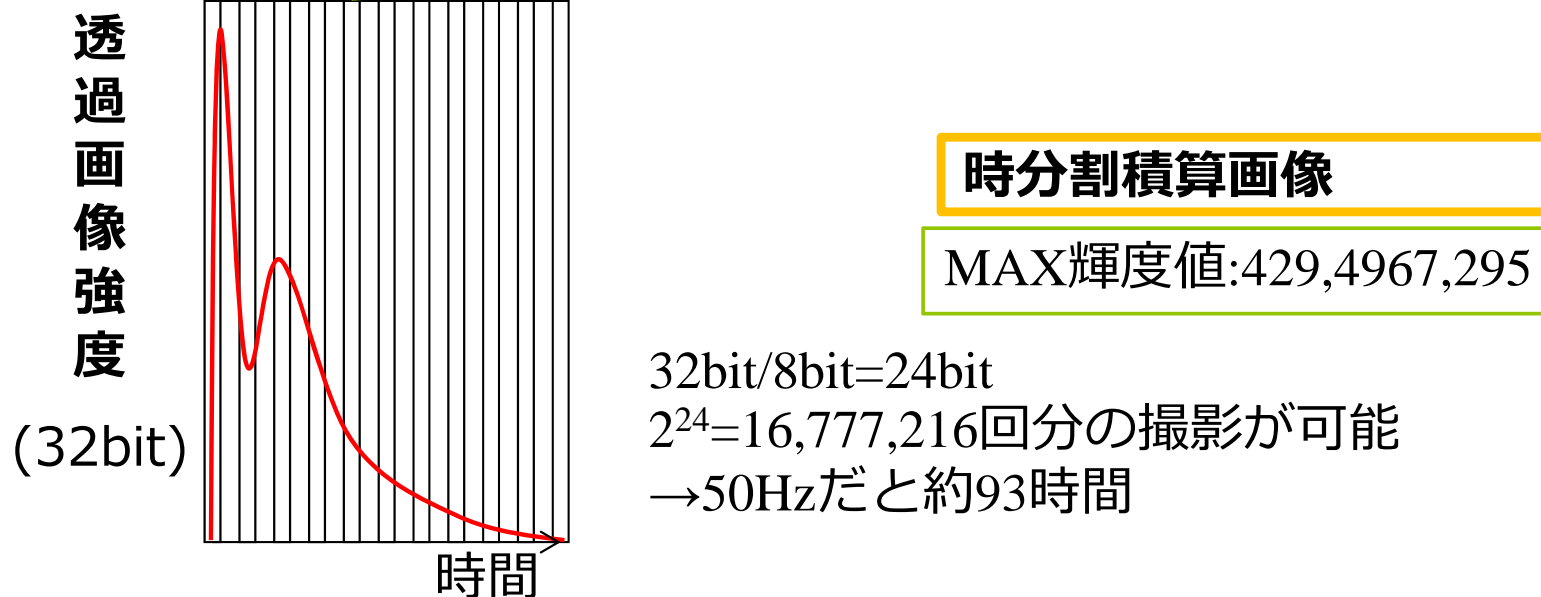
パルス中性子 50Hz@北大

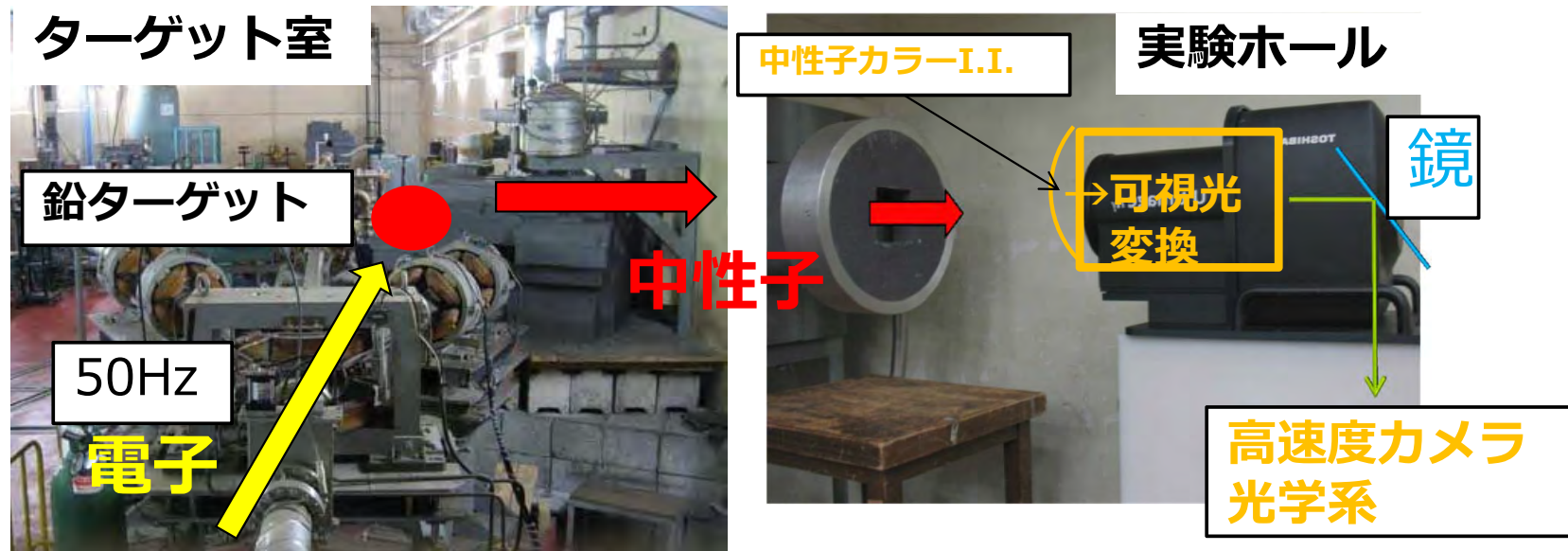


北大LINACにおける実験



データ積算





Cold Neutron Source

- Conversion Target : Pb
- Moderator : Solid Methane
(~ 20 K)
- Flight Path Length : 5.15 m

高速度カメラ光学系

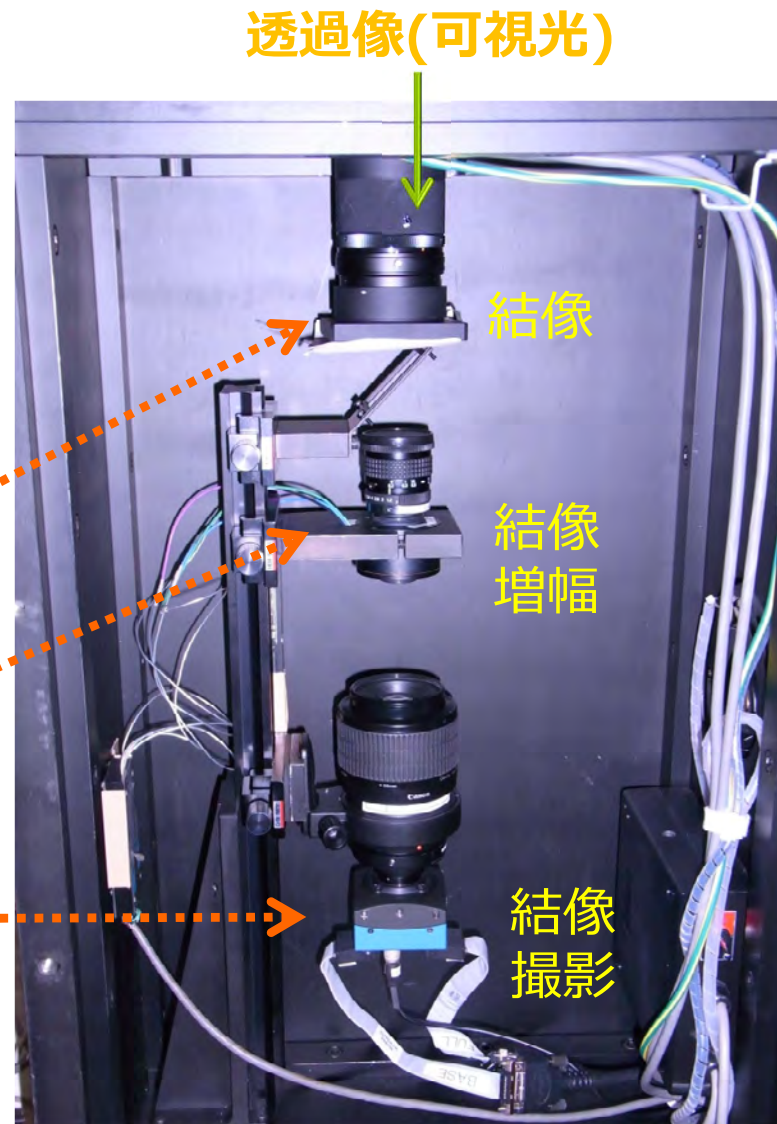


FOP(ファイバーオプティクプレート):
片面から来た光を結像させ、もう一面に映し出す→光学系を位置を合わせやすく

MCP(光I.I.):
可視光を増幅する

高速度カメラ

ミラー-高速度カメラのピント調節が難しく、時間がかかっていたが、FOPの導入により数分で調整ができるようになった



光学ベンチ上をスライドさせることでズームイン・アウトを容易に行うことができ、250×250～1000×1000のピント合わせが数分程度で可能

Experimental condition:

Time channel:45

Exposure time:190 μ s

Exposure delay:10 μ s

Image size:250 \times 250pixel

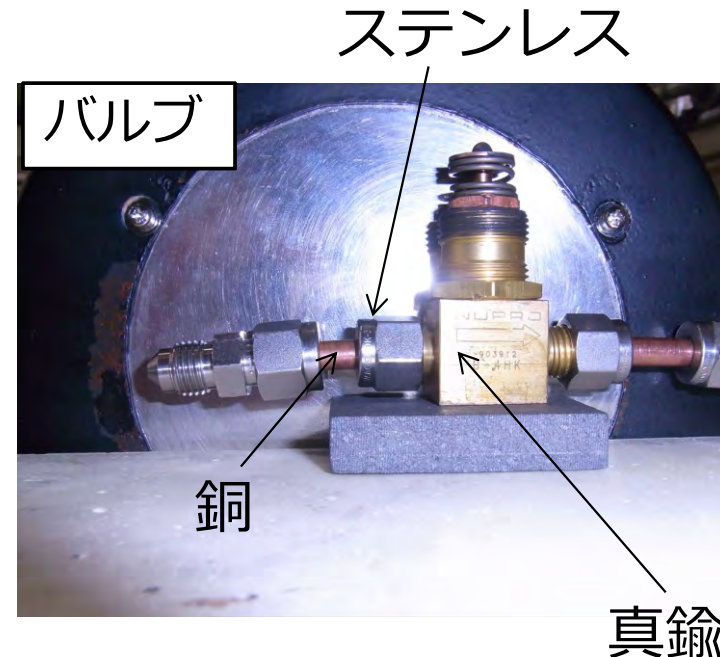
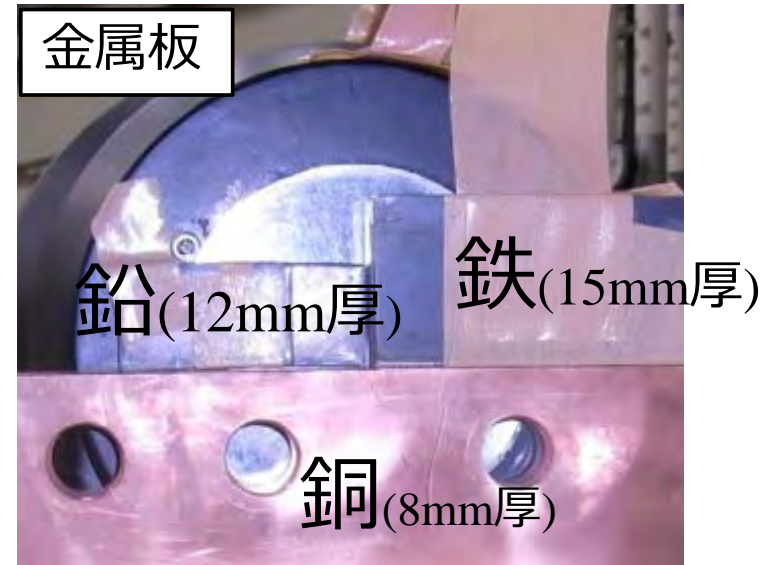
積算回数:

金属板: 547,350回

バルブ: 909,080回

Direct(サンプル無し):
733,711回

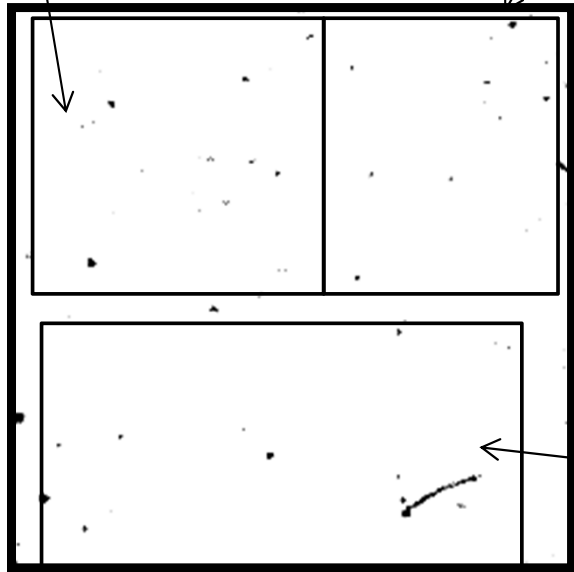
Fright path5.15m



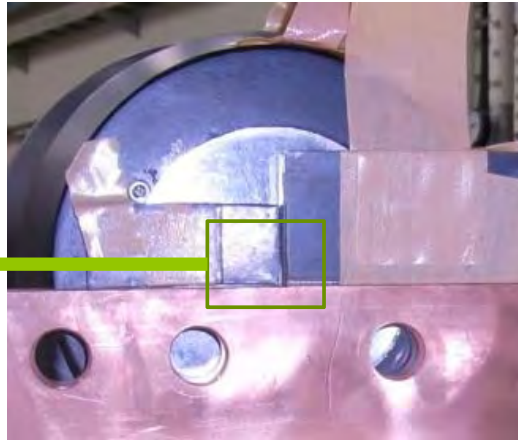
1-45th time channel

鉛

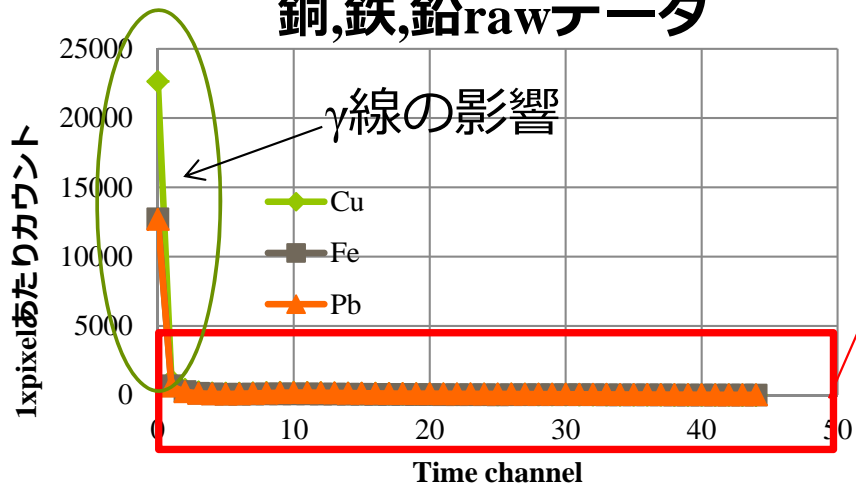
鉄



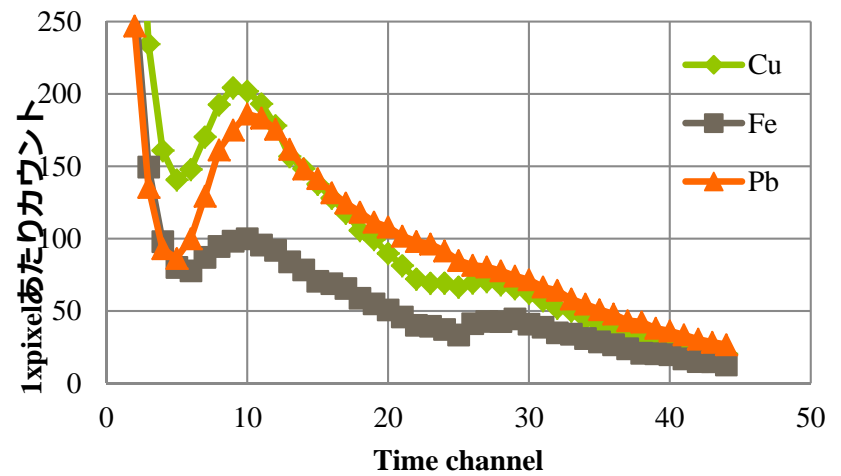
銅



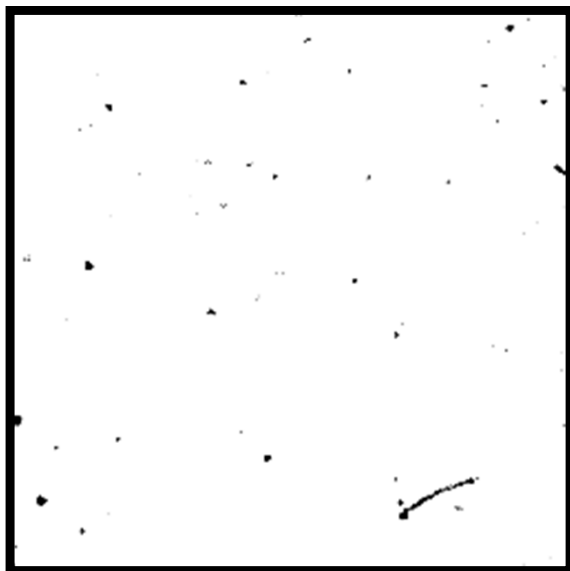
銅,鉄,鉛rawデータ



銅,鉄,鉛rawデータ

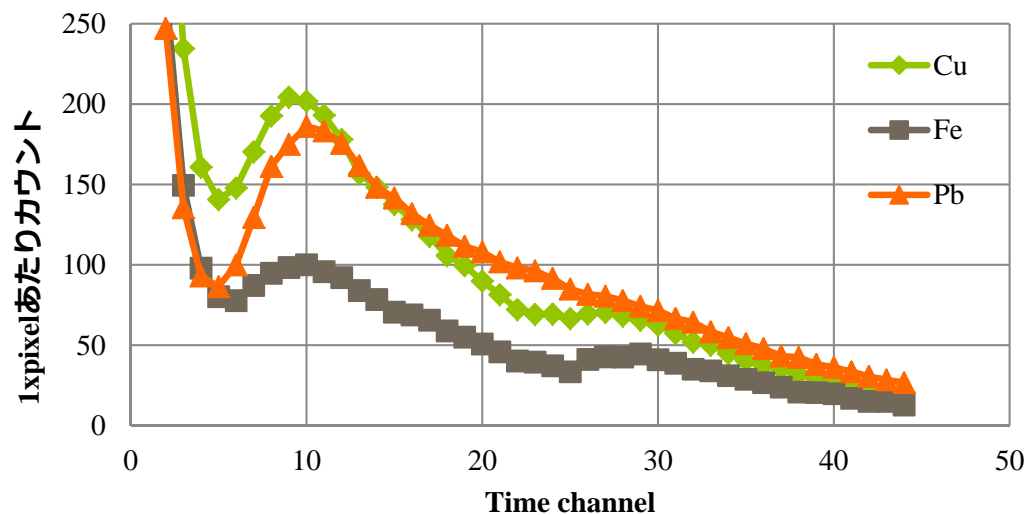


銅・鉄・鉛

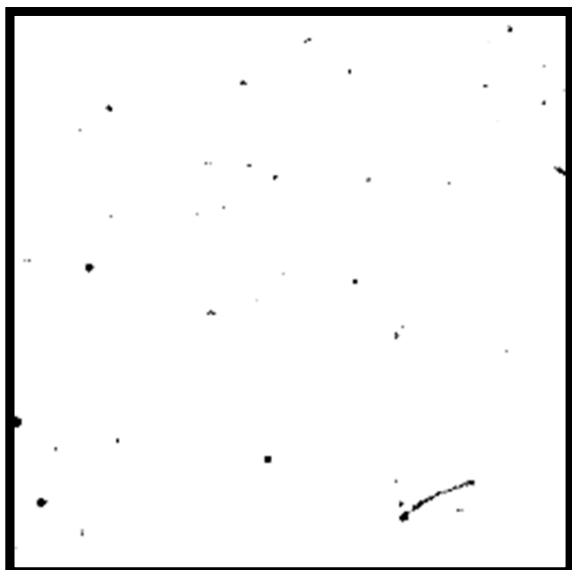


1-45th time channel

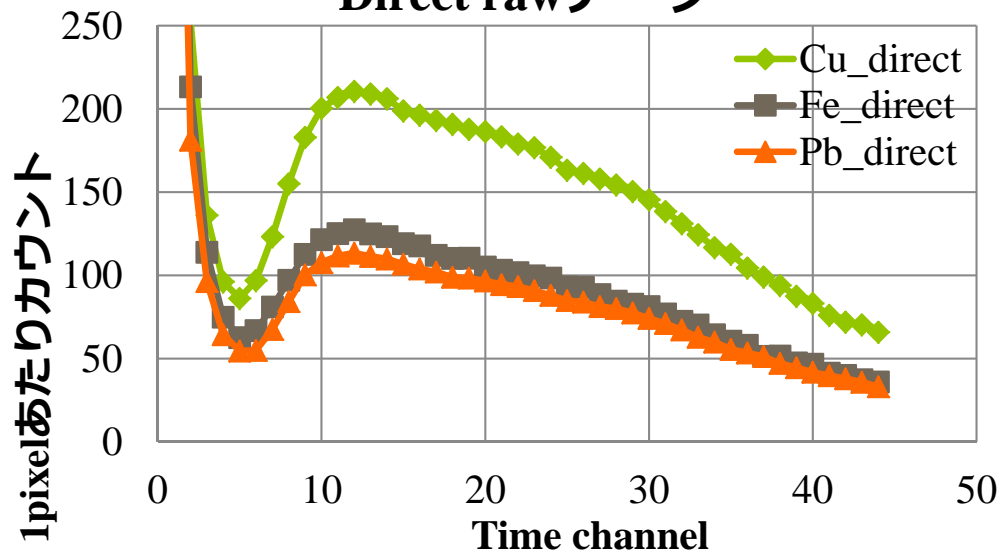
銅,鉄,鉛rawデータ



Direct

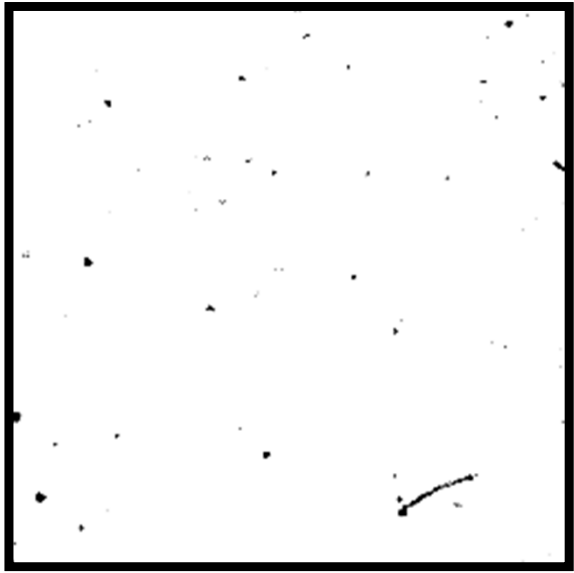


Direct rawデータ

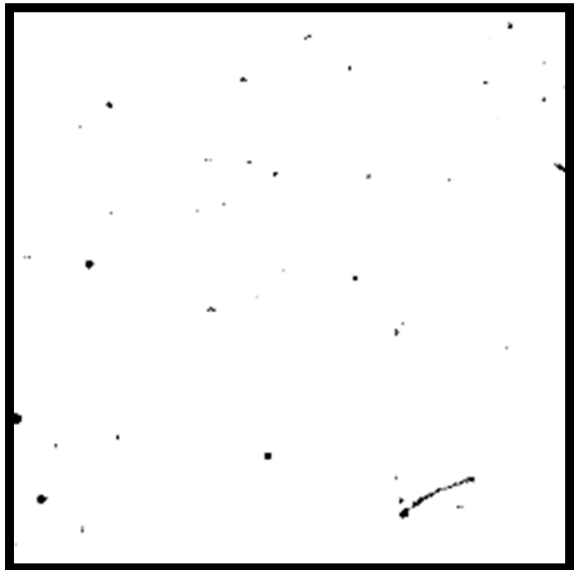


Directでも場所によってカウントが違った

銅・鉛・鉄



Direct

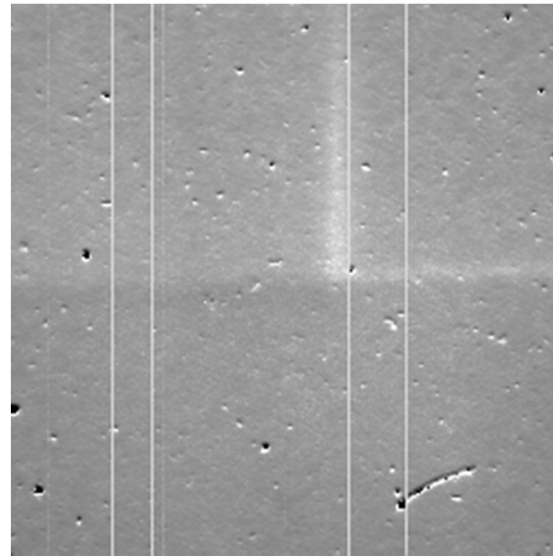


1-45th time channel

割り算

1st time channel

鉛

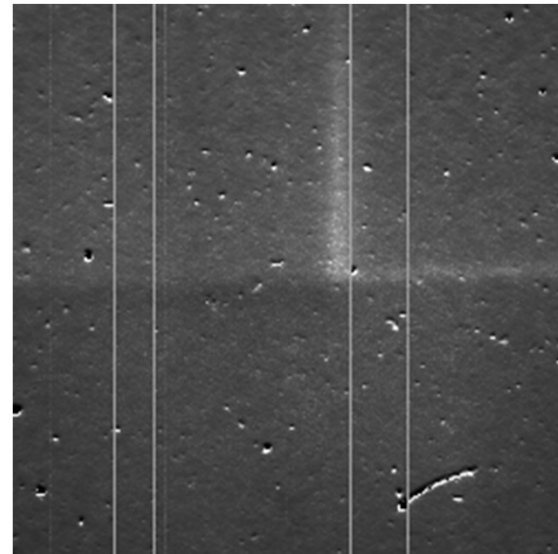


鉄

銅

1-45th time channel

鉛



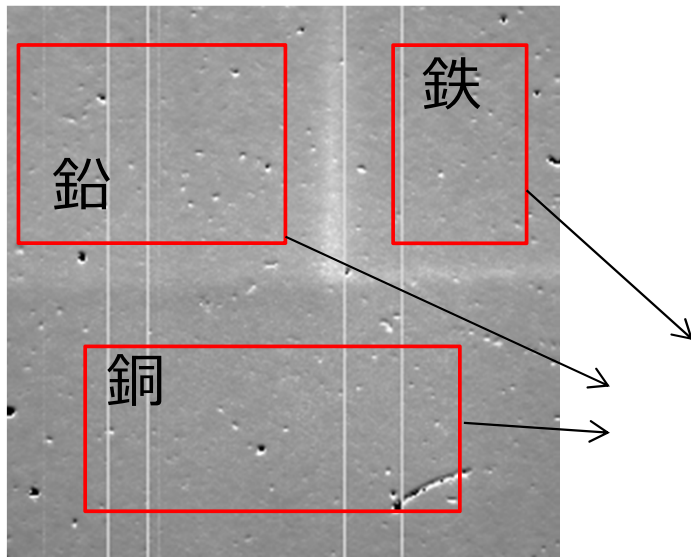
鉄

銅

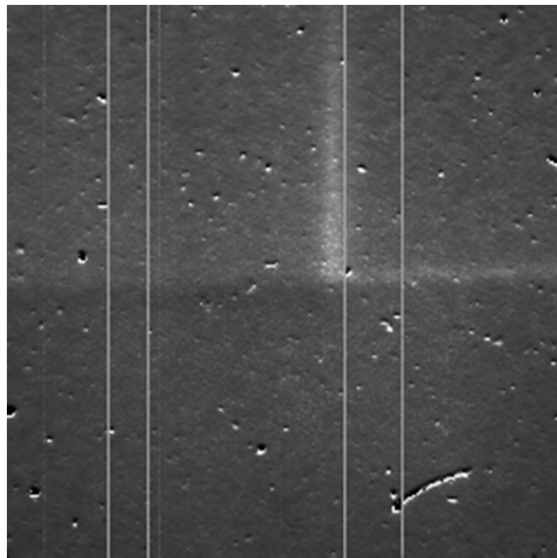
250×250pixel , 45time channel

北大LINACにおける実験
(金属板/Direct)TOF

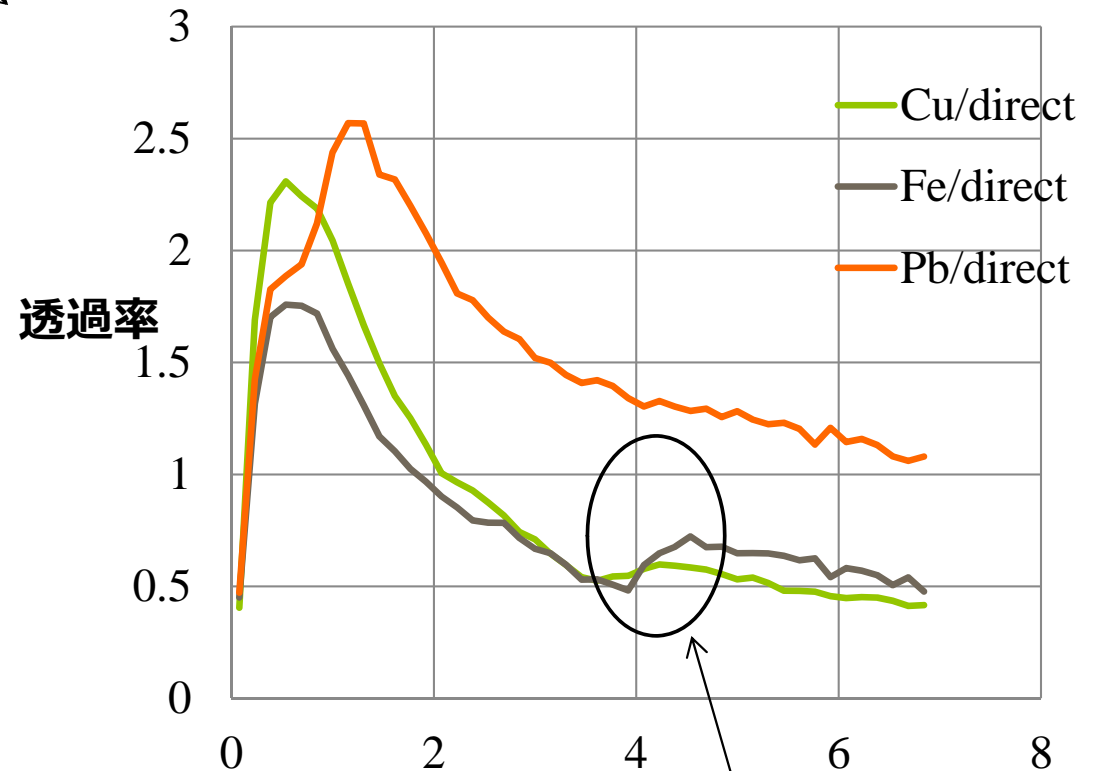
1st time channel



1-45th time channel

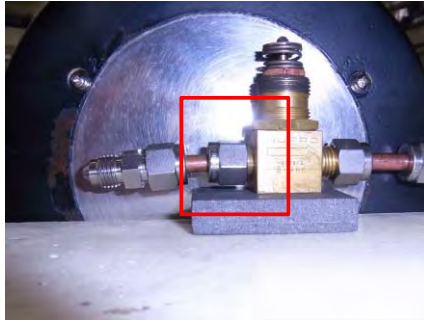
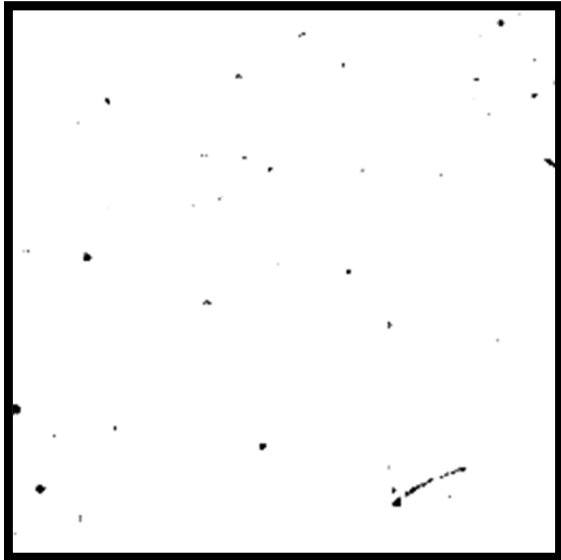


銅,鉄,鉛の透過率の中性子波長依存性

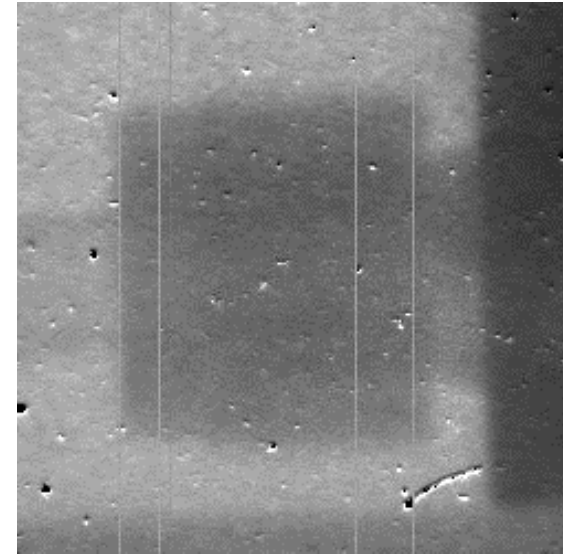


中性子波長(Å)
ブラッグエッジ?

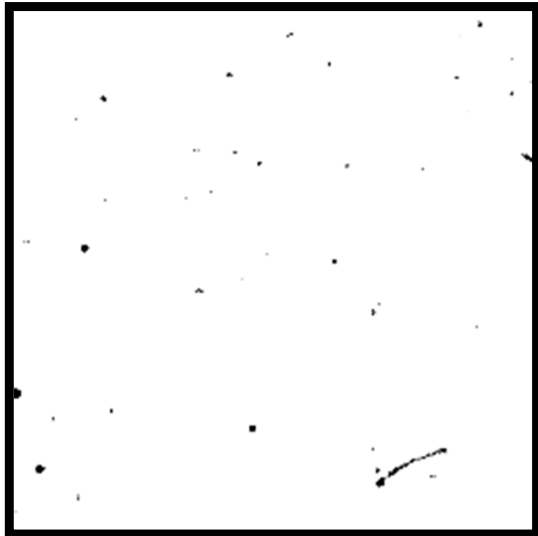
バルブ



1st time channel

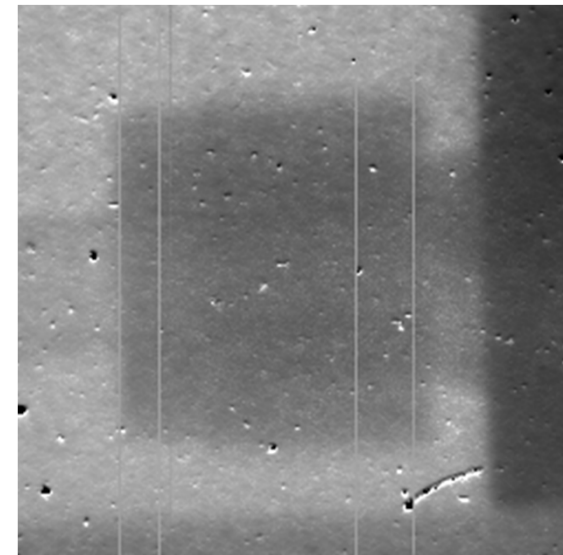


Direct

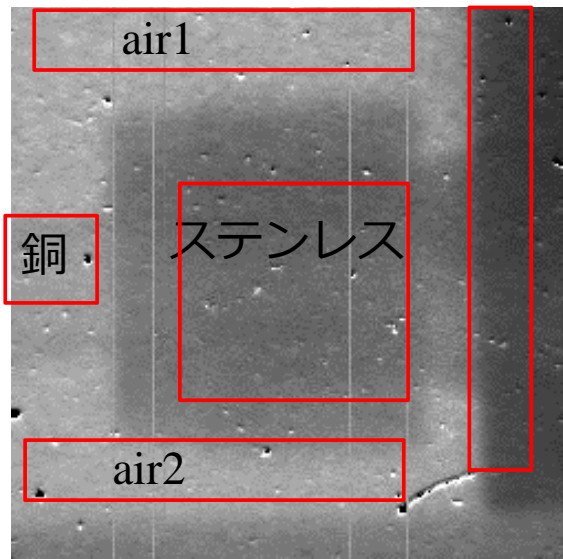


割り算

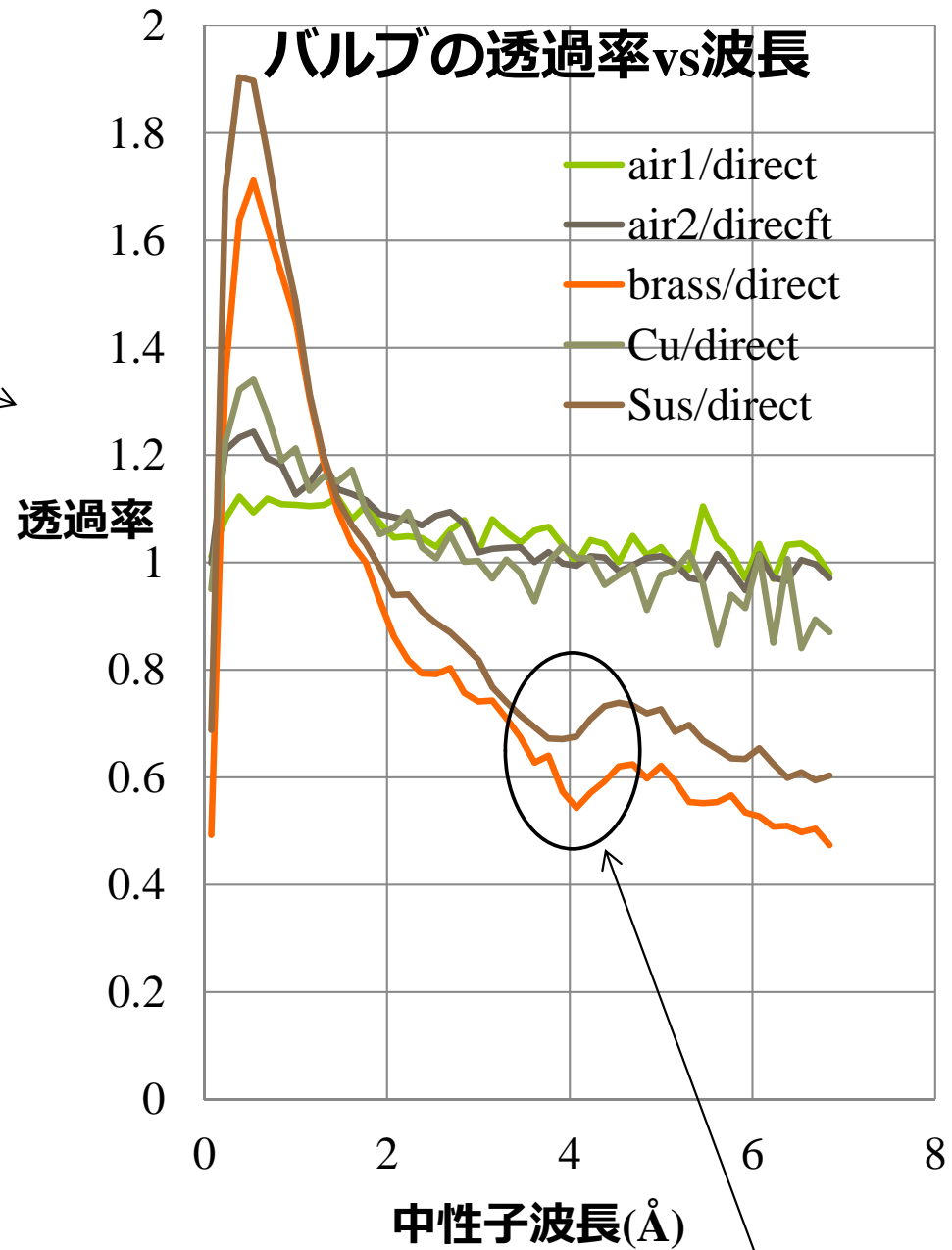
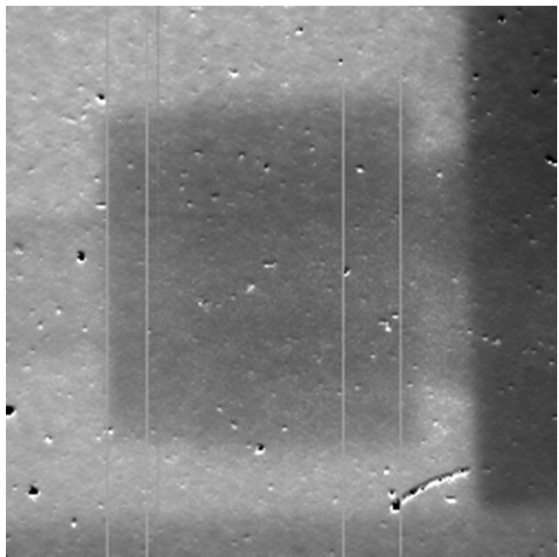
1-45th time channel



1st time channel



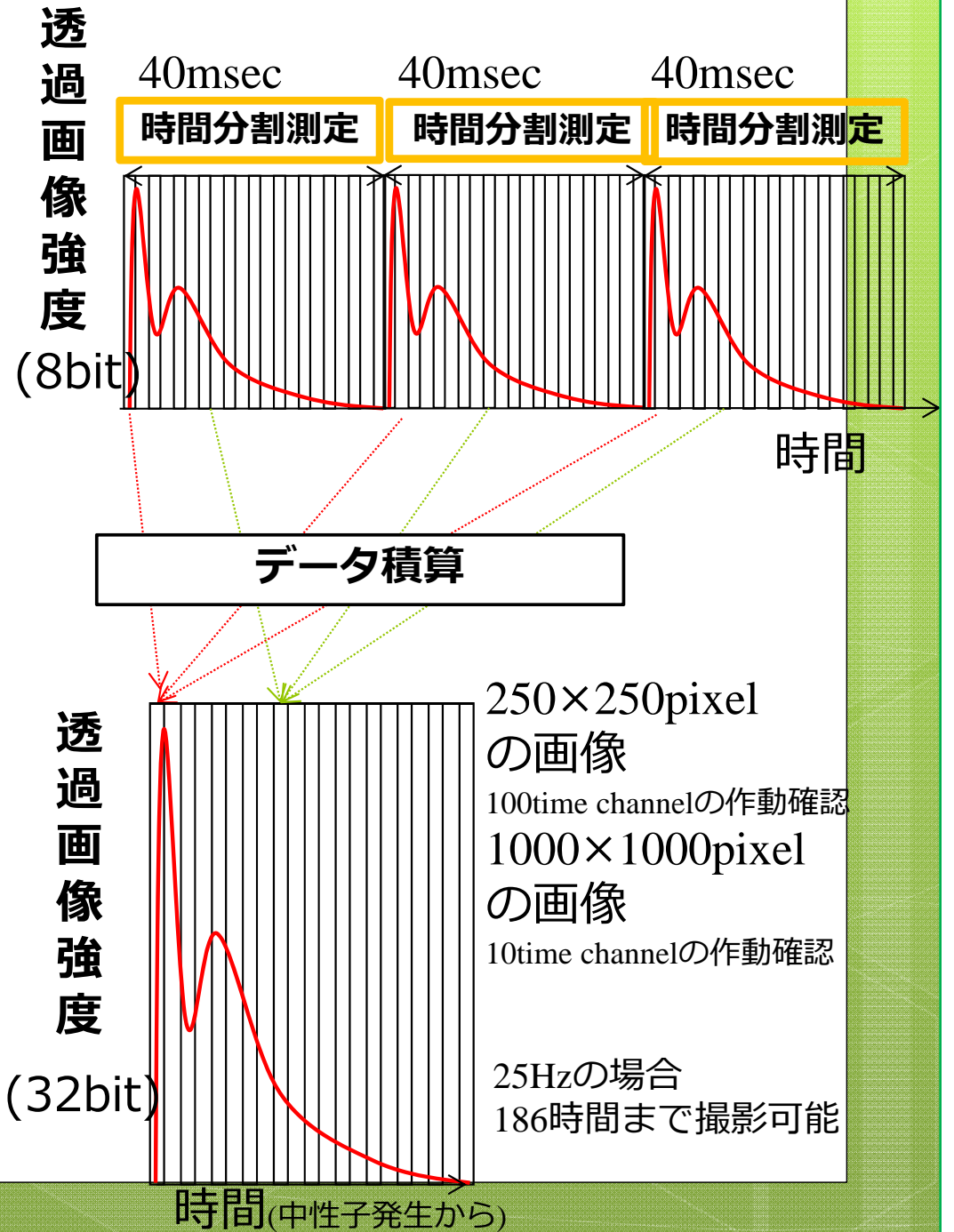
1-45th time channel



ブラッグエッジ?

中性子カラーI.I.

中性子→(ガンマ線,内部転換電子)→
可視光へ変換

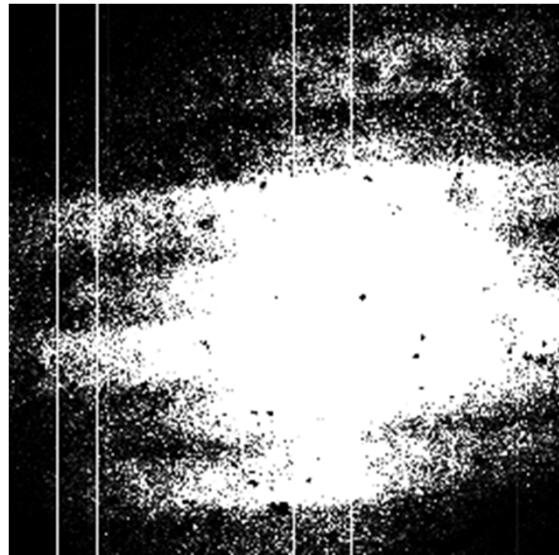


250×250pixel, 10time channel

BL10/J-PARCにおけるカラー-I.I.実験
実験結果

1st ~ 10th time channel

1 time channel 2000μsec

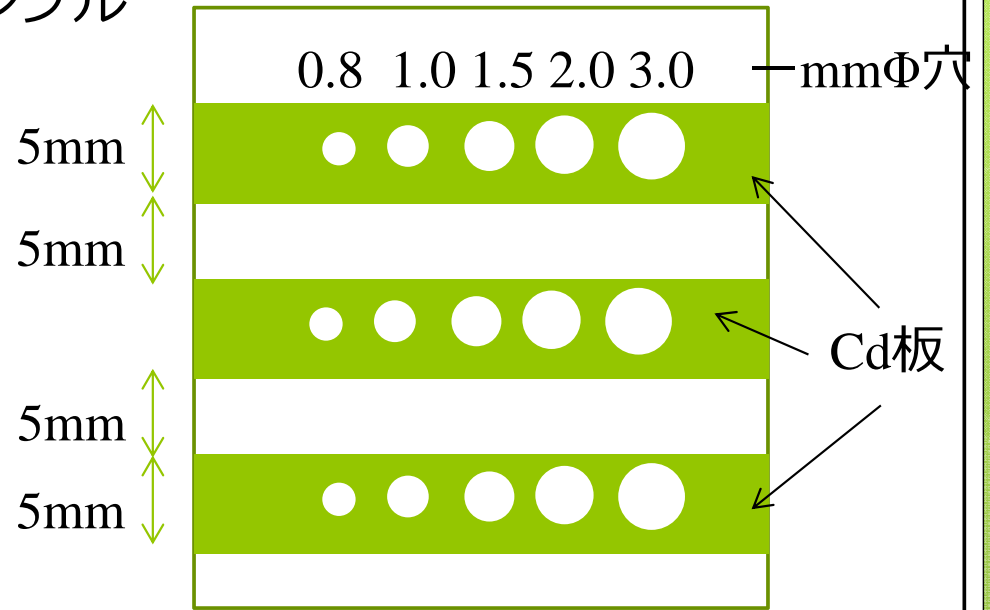


250pixel

250pixel

1st time channel

サンプル



250pixel

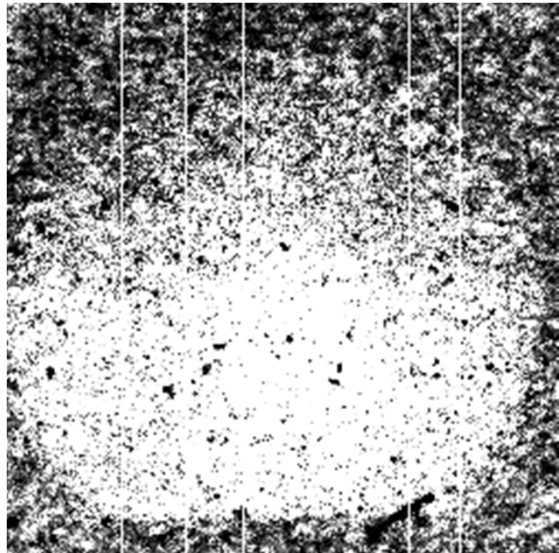
250pixel

4th time channel

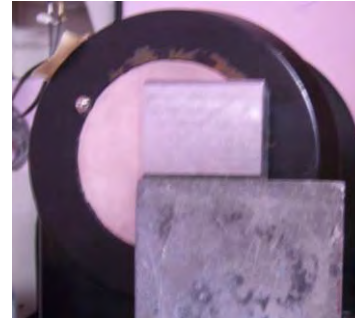
3.0mmΦの穴

↓
直径約20pixel

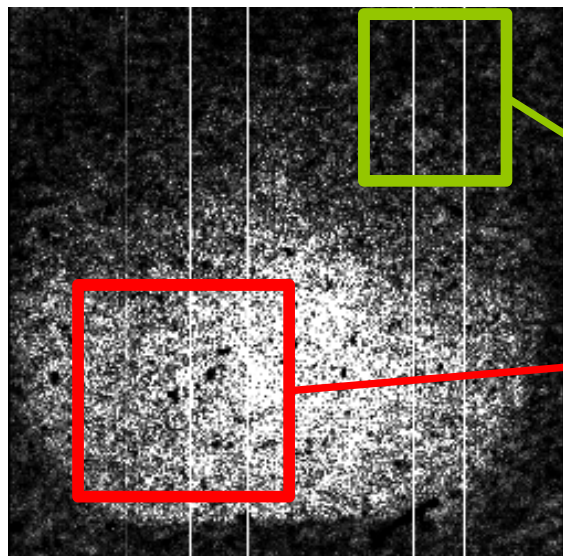
1~100th time channel, 200μsec



鉄サンプル

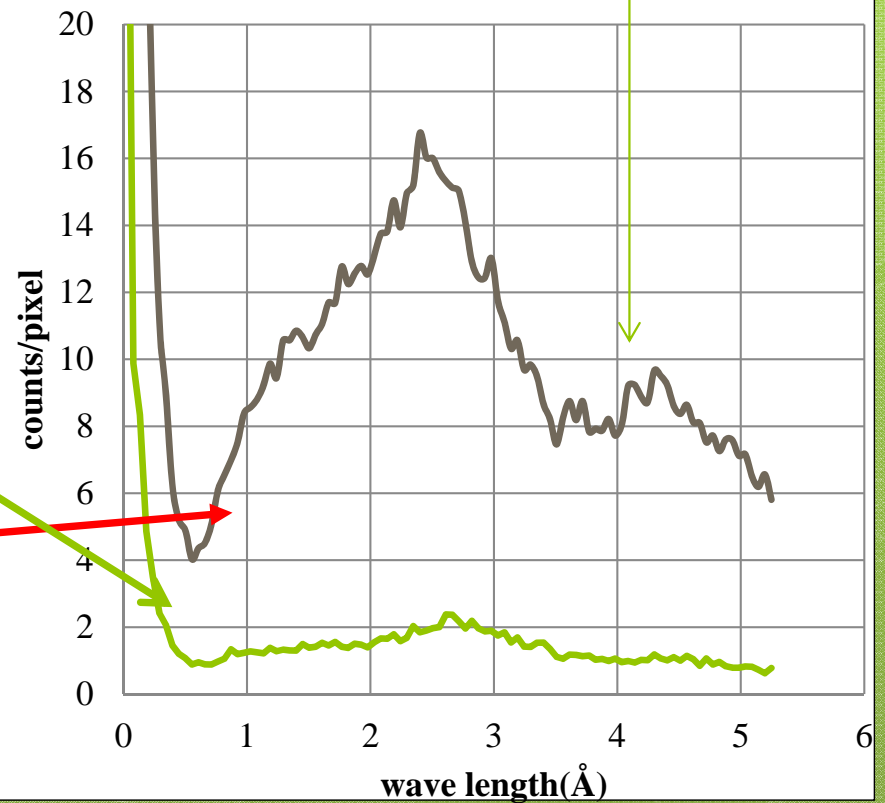


ブラッグエッジ



暗部

鉄



北大LINACで

250×250ピクセル、45時間チャンネル(1時間チャンネル=200 μ sec)で
中性子TOF透過像を撮影した

同一時間チャンネルの

サンプル有・無の状態での輝度値の比により導出した
透過率からブラッグエッジがわかる

今後の課題

- ・ J-PARCでの高精度測定(ブラッグエッジ形状がわかるまで鮮明なTOF動画を期待)
- ・ 同一時間チャンネルの画像ピクセルの輝度値を
ダイクロイックミラーの有無によるTOF測定への影響
(時間分解能の向上を期待)

Acknowledgement

本研究は、文部科学省の平成24年度科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立大学法人北海道大学が実施した平成24年度「中性子ビーム利用高度化技術の開発」(中性子イメージング・集光技術の開発と応用に関する研究)の成果です。

高速度カメラ光学系



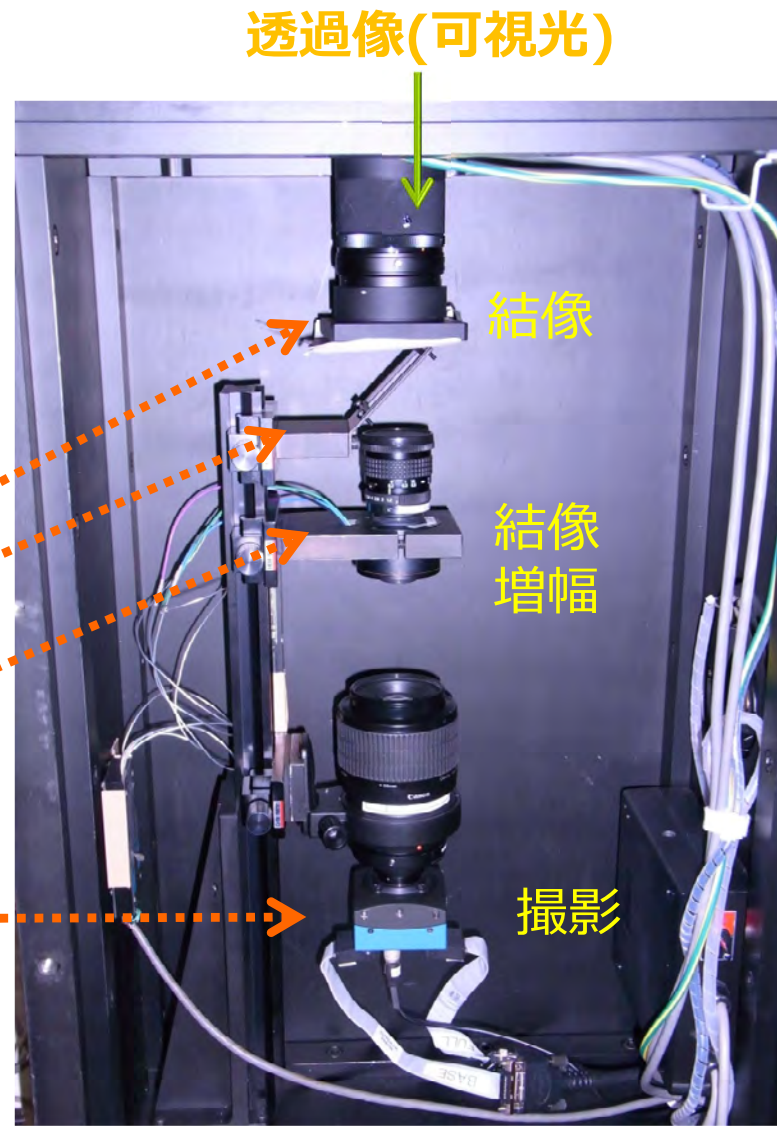
FOP(ファイバーオプティクプレート) :
片面から来た光を結像させ、もう一面に映し出す→光学系を位置を合わせやすく

ダイクロイックミラー :
残光のある波長の光を選択的に反射→
時間分解能の向上

MCP(光I.I.):
可視光を増幅する

高速度カメラ

ミラー-高速度カメラのピント調節が難しく、時間がかかっていたが、FOPの導入により数分で調整ができるようになった



光学ベンチ上をスライドさせることでズームイン・アウトを容易に行うことができ、250×250～1000×1000のピント合わせが数分程度で可能

Data Taking

中性子TOF
スペクトル

1st frame

2nd frame

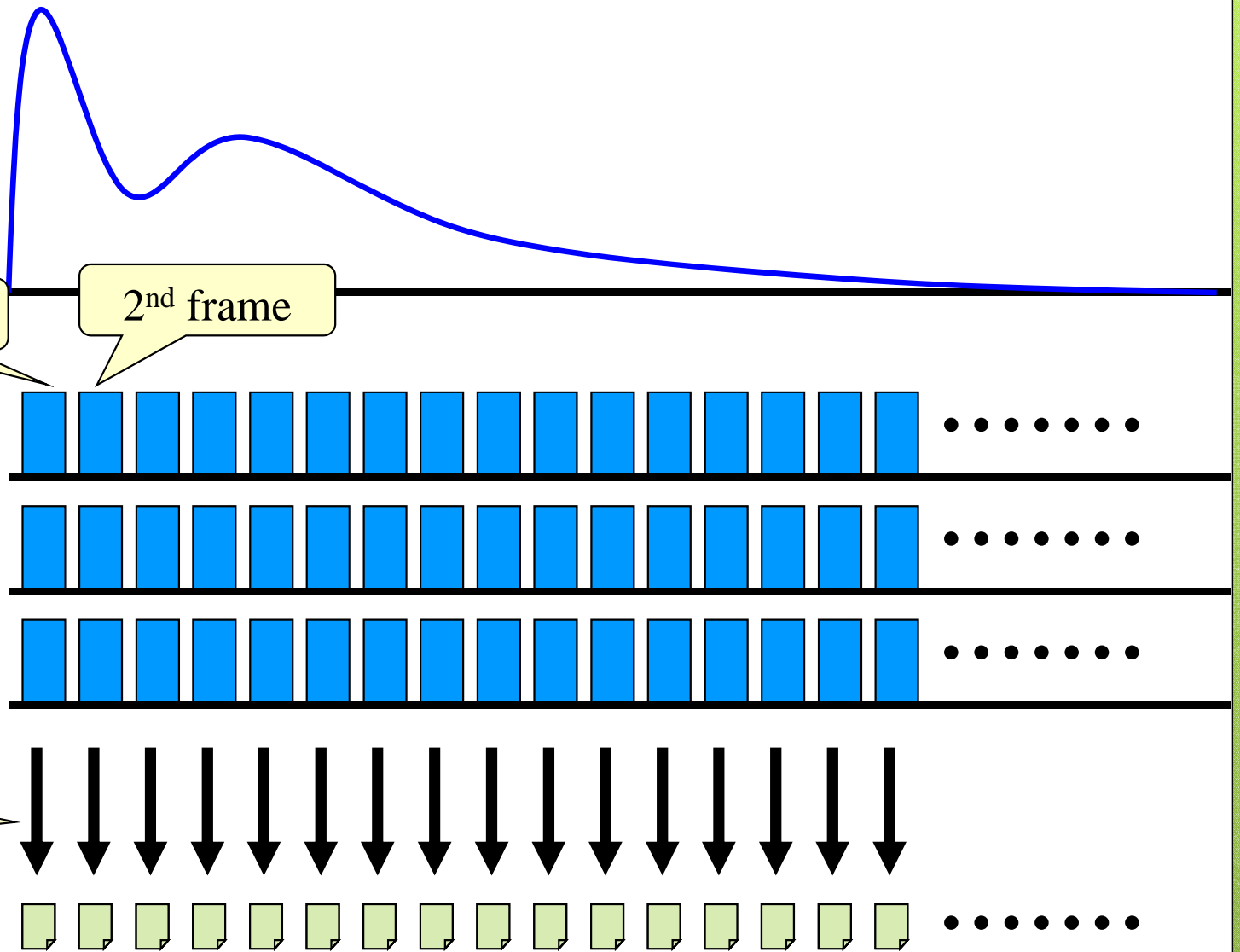
加速器 1stトリガー

加速器 2ndトリガー

加速器 3rdトリガー

自動積算

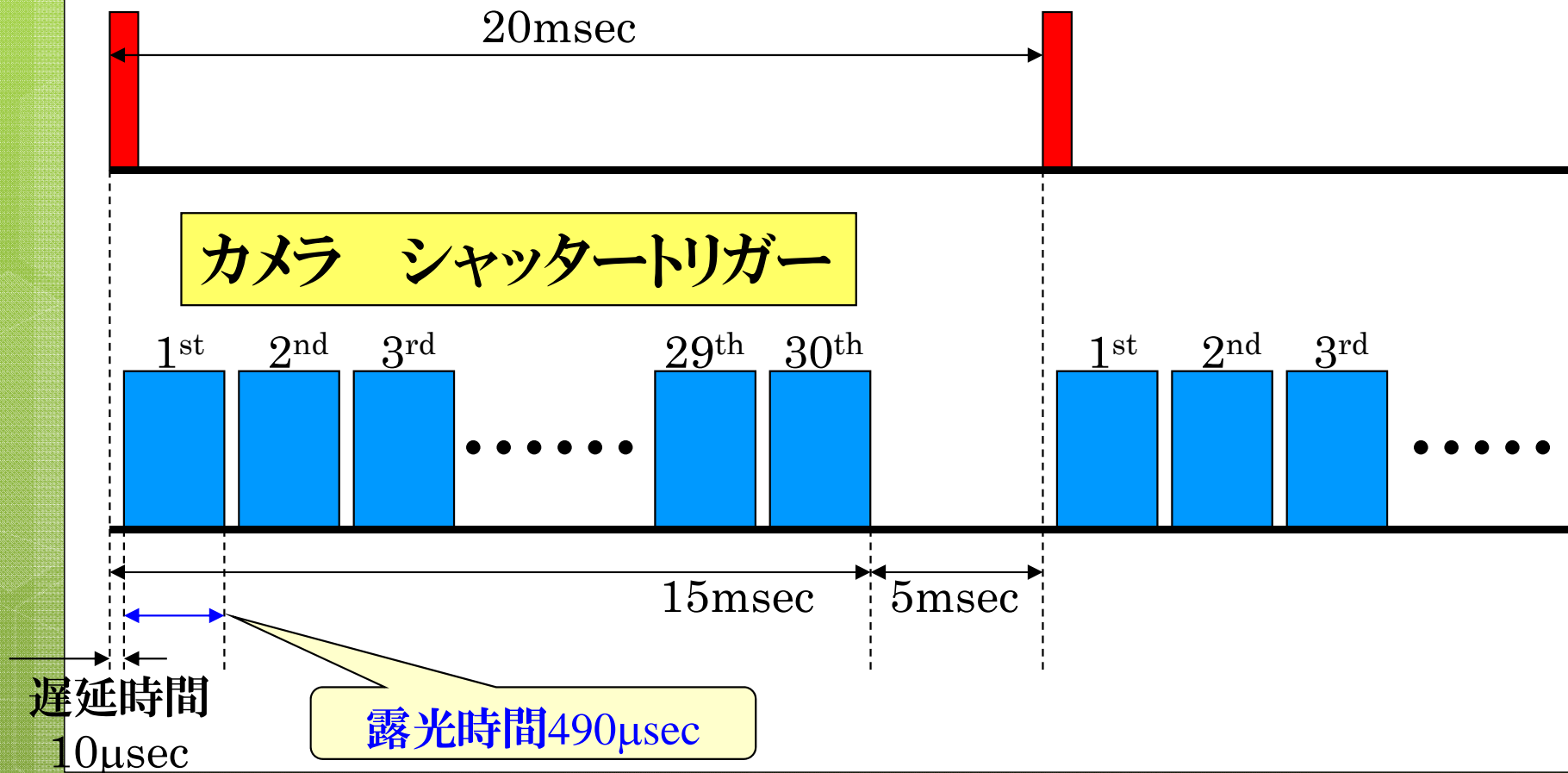
透過画像
出力ファイル

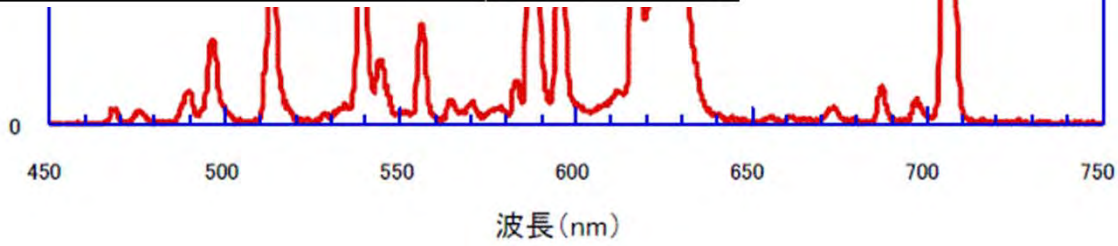
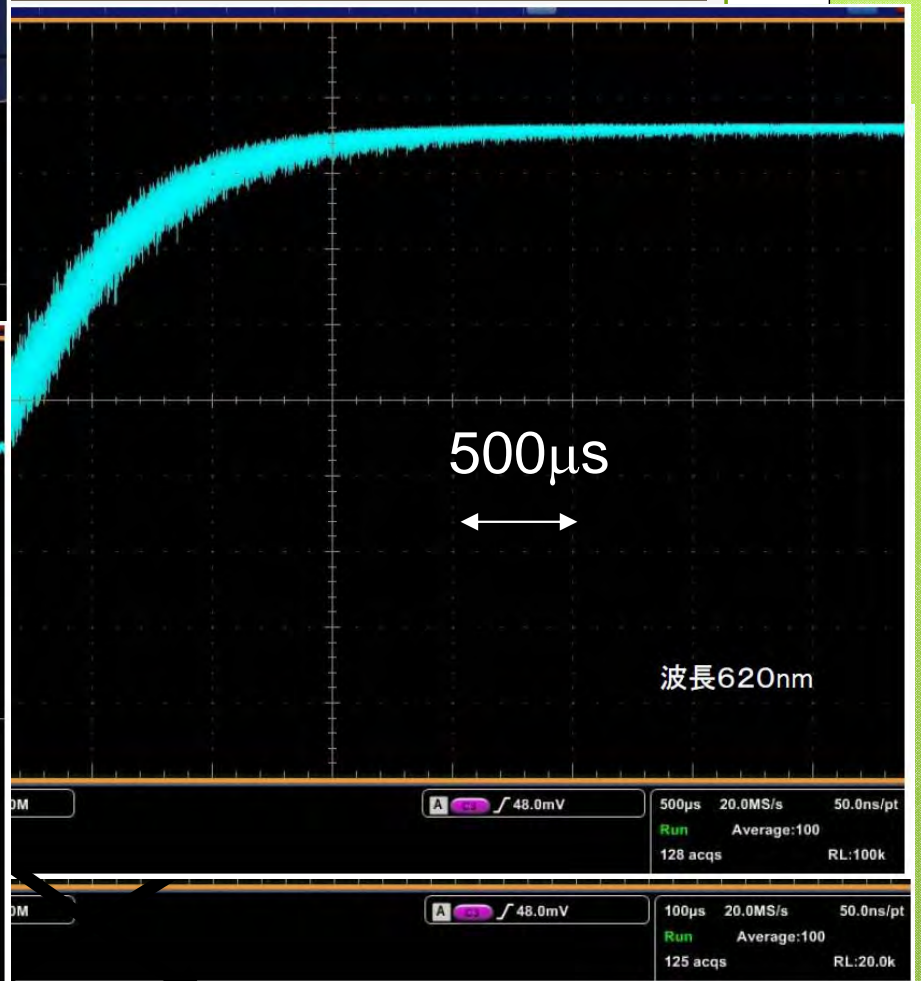
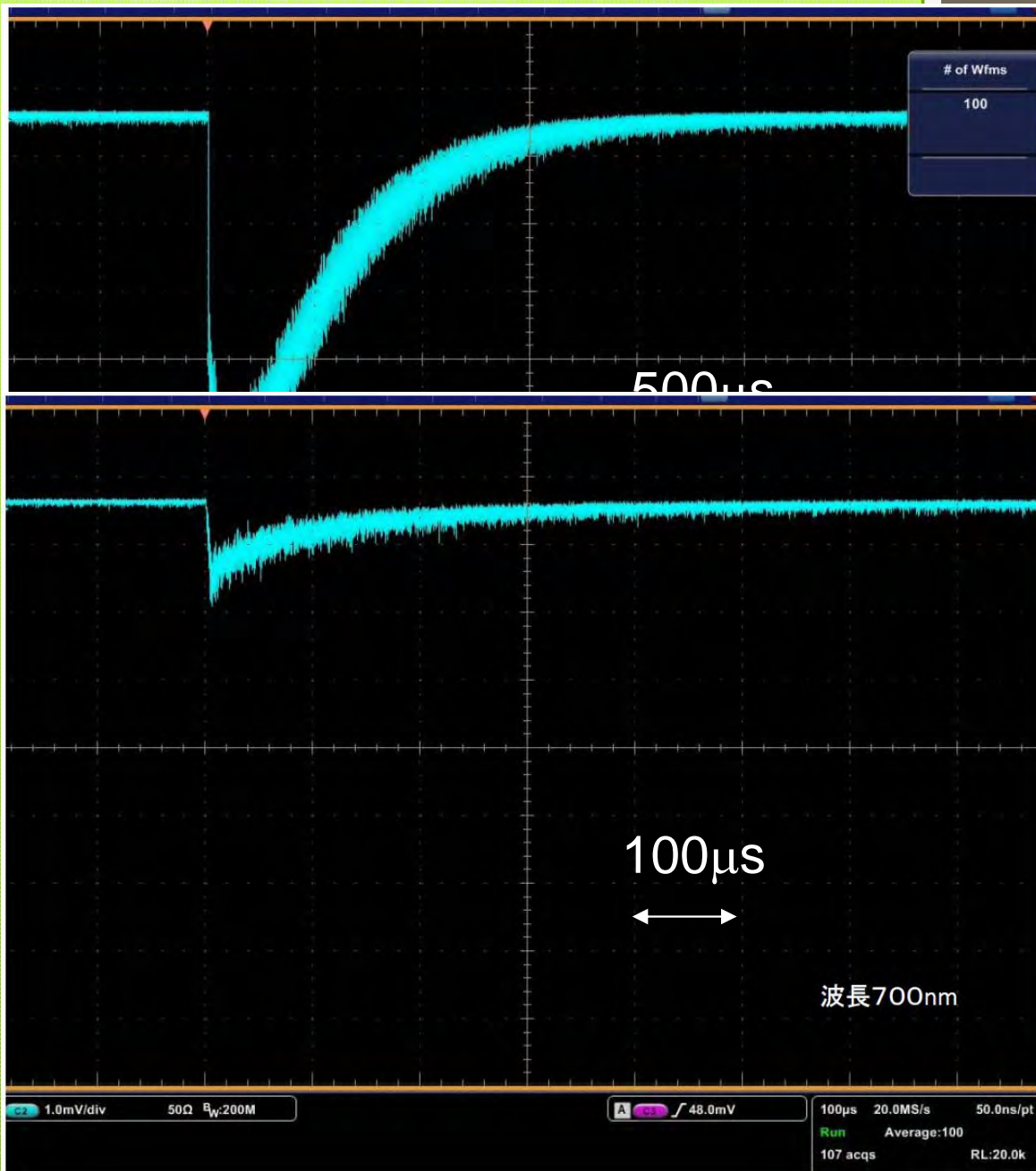


トリガー タイミング

- トリガータイミングの例 ; $(10\mu\text{sec delay} + 490\mu\text{sec exposure}) \times 30\text{frames}$

加速器トリガー (50pps)



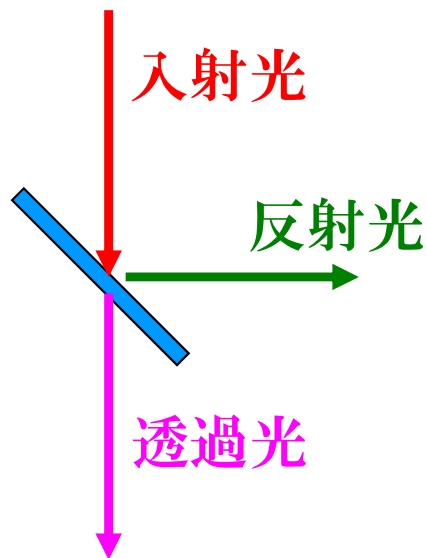


時間分解能の改善

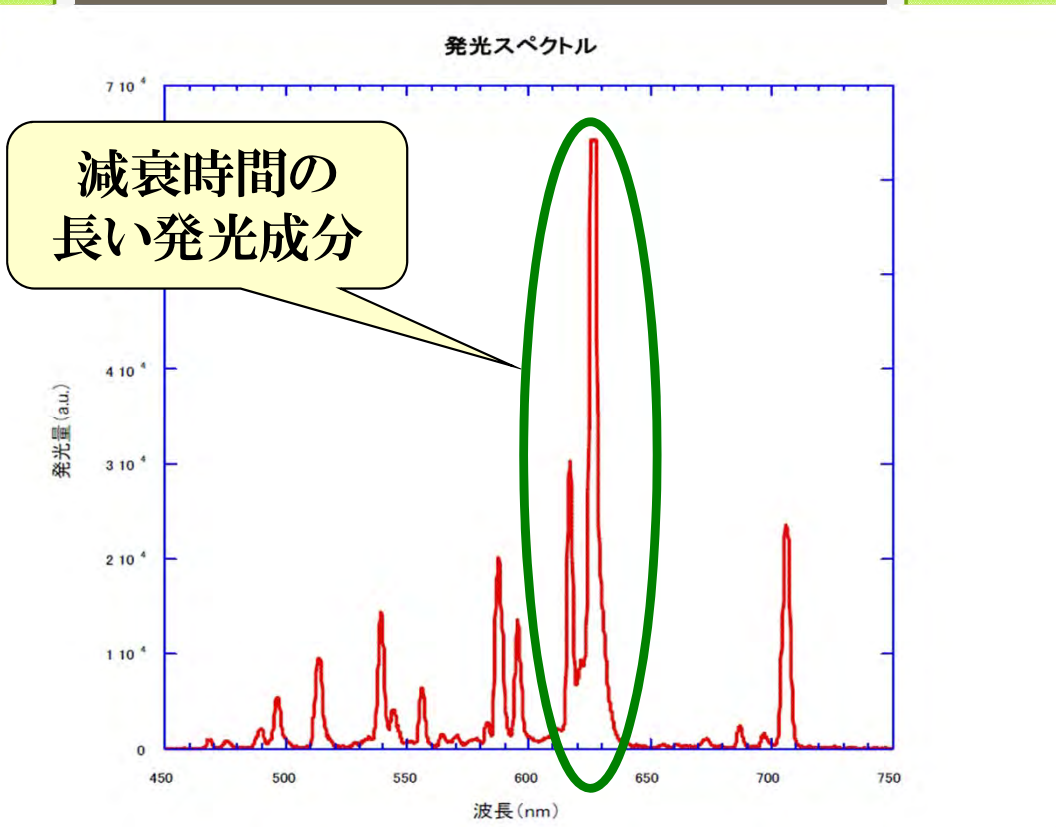
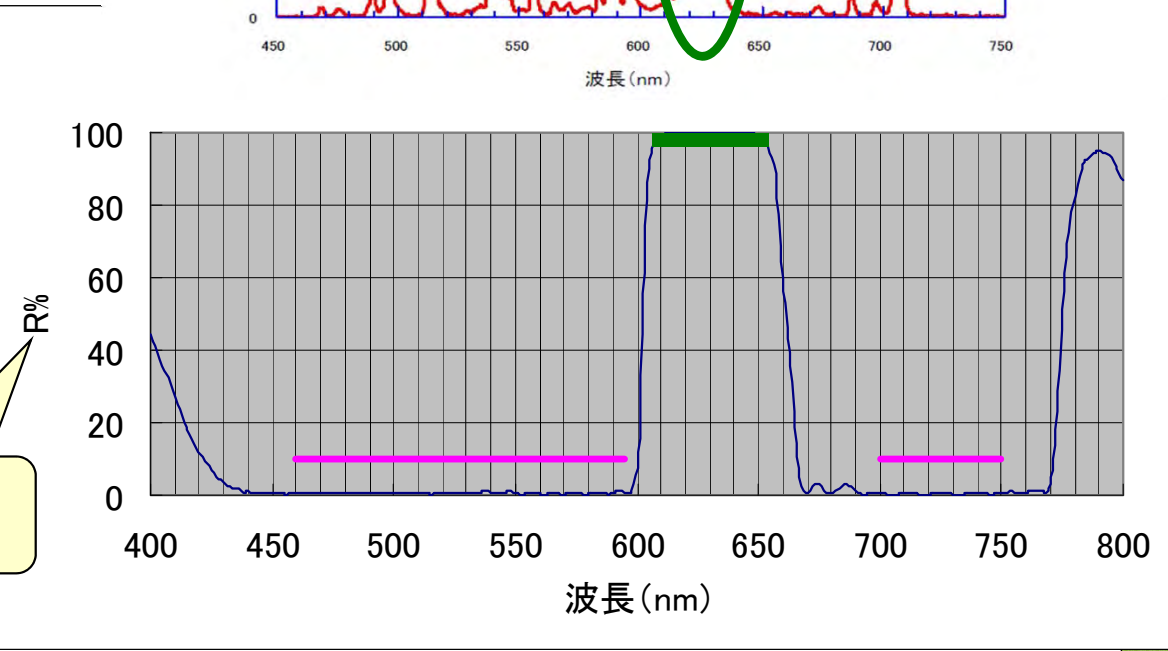
ダイクロイック・フィルターの導入

特定波長の光のみを反射し、
その他の波長の光を透過する
光学素子。

これにより、減衰時間の長い発
光成分を除去し、検出系時間
分解能の向上を図る。

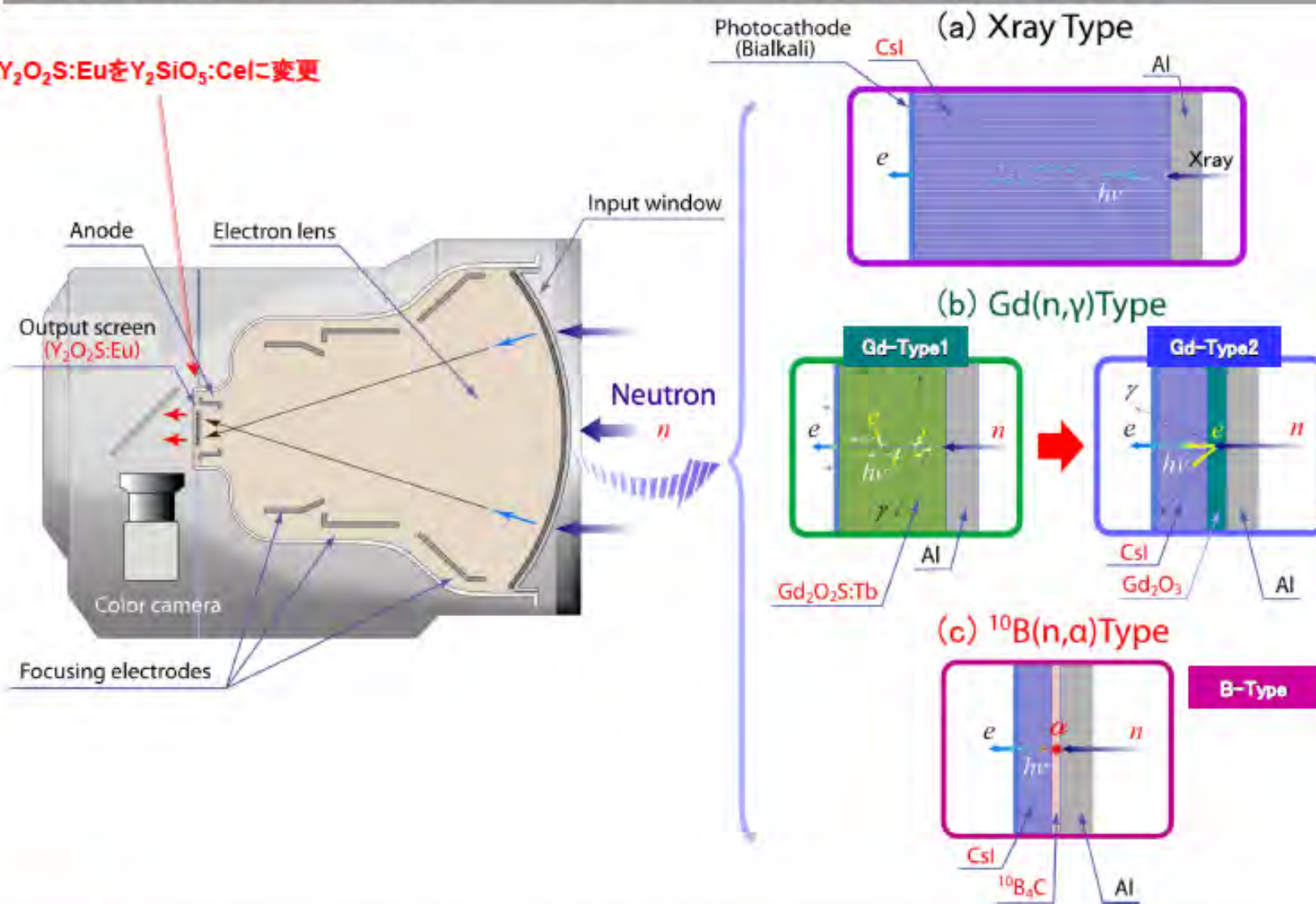


反射率



高精細・広い中性子エネルギー対応タイプ開発

Y₂O₂S:EuをY₂SiO₅:Ceに変更



TOSHIBA

Leading Innovation >>> Copyright 2012, Toshiba Power System Inspection Service Co.,Ltd.

OT12KS139 Rev.0

2 / 総

Experimental set up I ; Accelerator & Neutron Source

- Hokkaido University 45MeV Electron LINAC

- Beam Current : 31 μA
- Pulse width : 3 μs
- Repetition rate : 1.9 Hz

- Cold Neutron Source

- Conversion Target : Pb
- Moderator : Solid Methane
(~ 20 K)
- Flight Path Length : 3.8 m

