

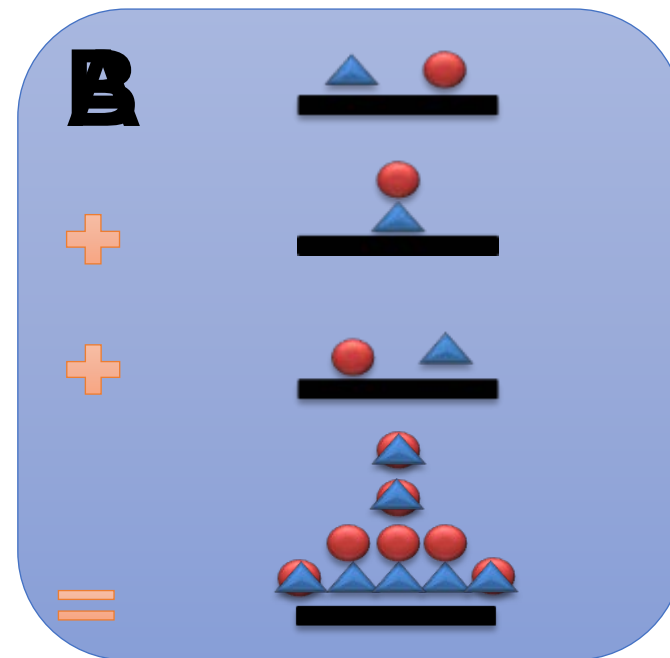
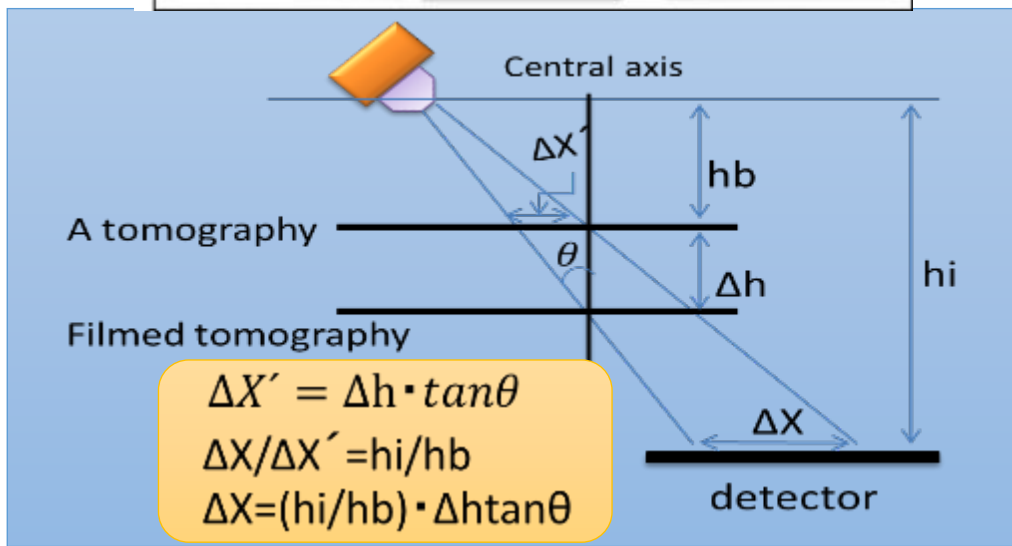
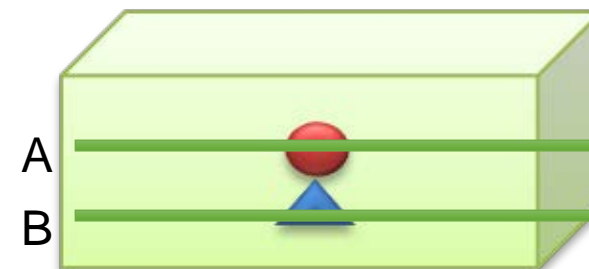
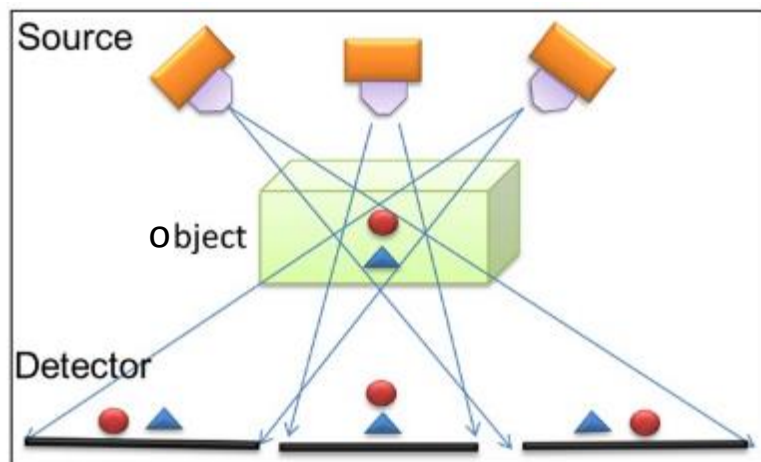
RANS における平板金属中の腐食検出のため のトモシンセシス技法の検討

工学研究科 共同原子力専攻
田中 健太 持木 幸一 河原林 順
2016年1月7日

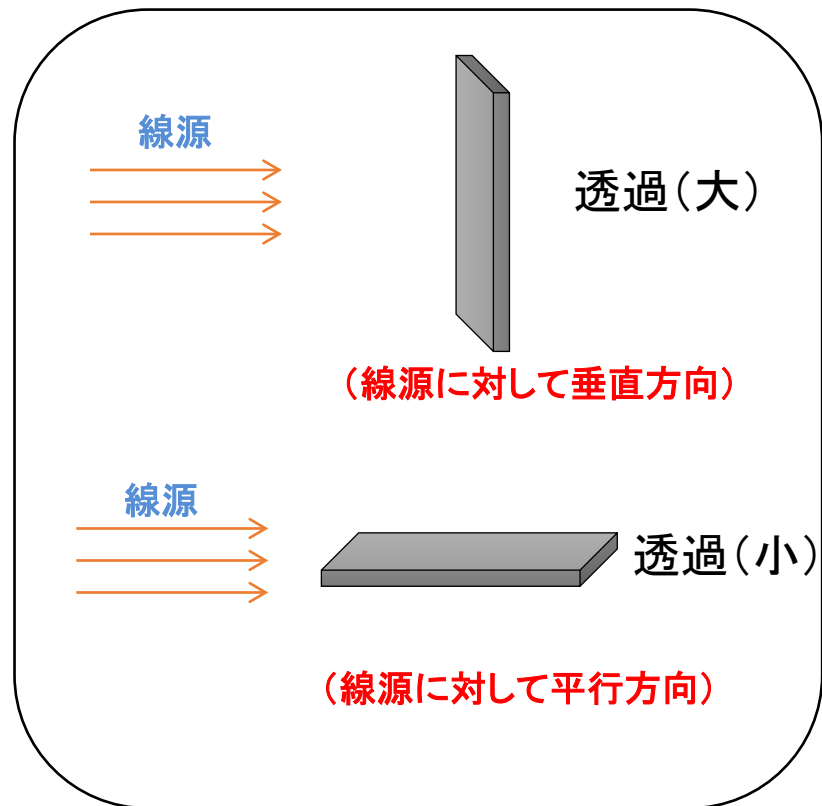
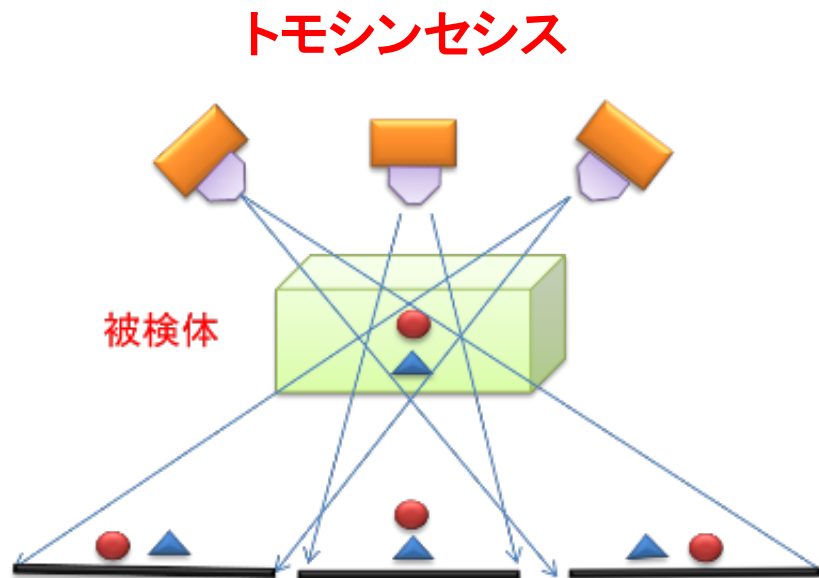
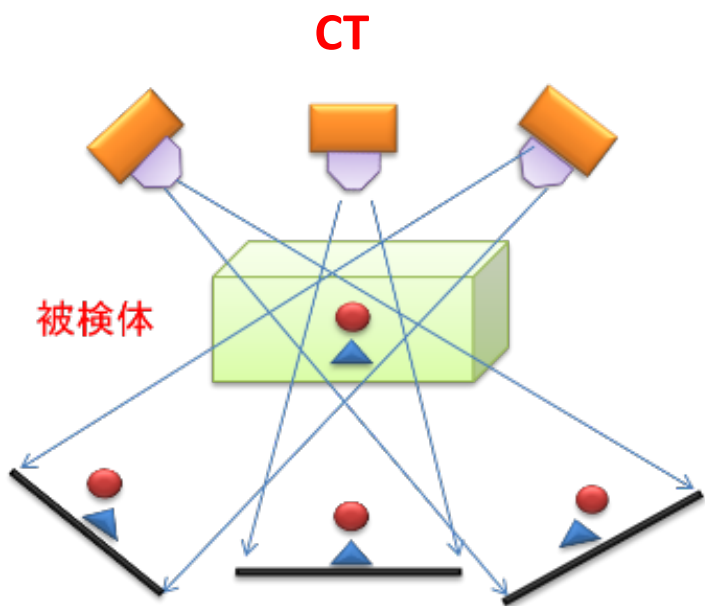


トモシンセシスについて(シフト加算法の原理)

得られた透過像を適切な幅だけシフトすることにより断層図Aなら円が、断層図Bなら三角がコントラストとして強調される、確認することができる。



CTとの相違点

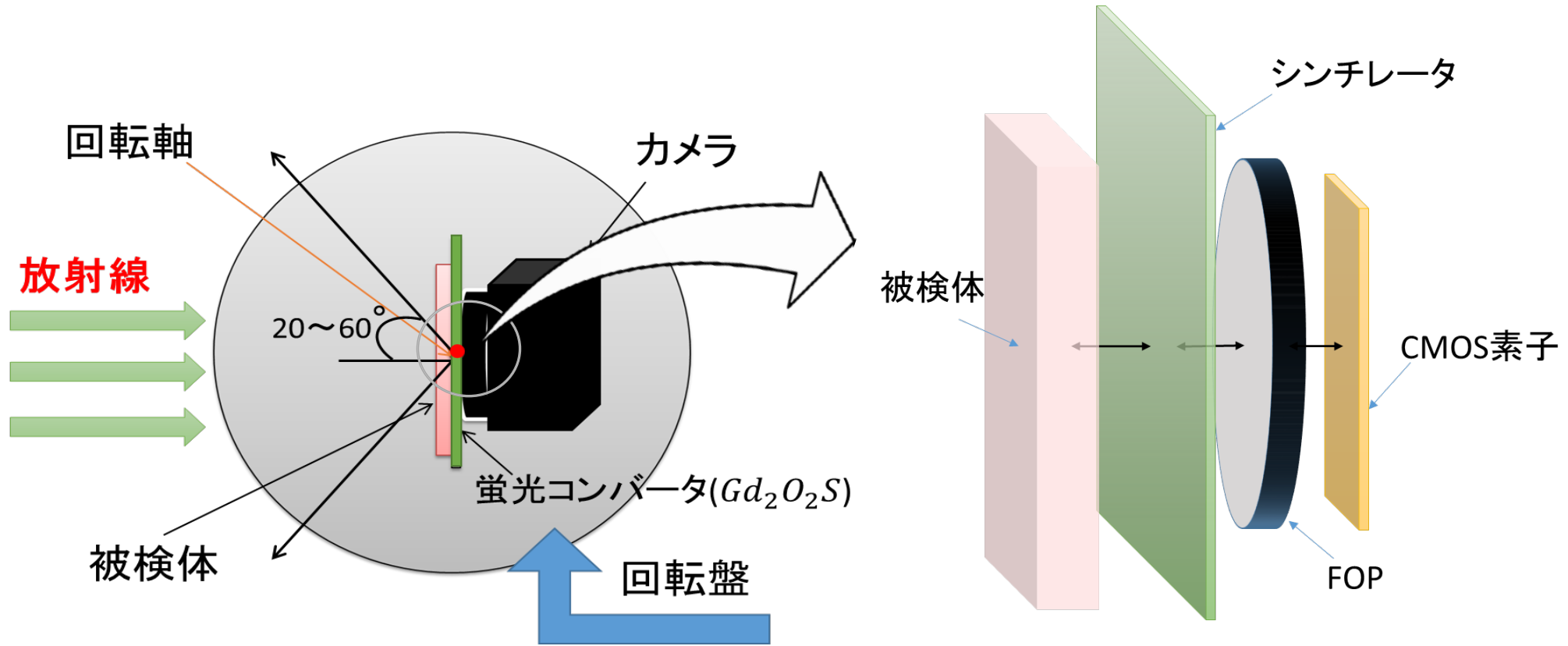


- ・CTと違い、画像として最も情報の少ない 180° (線源に対して水平方向) 付近の画像を使用しないので、板状の物体の測定に適している。
- ・CTに比べ、撮影枚数が少なく($\sim 1/3$ 程度) 済むので測定時間にダイナミック性が求められている物や、低強度の放射線場において有用

他の層の影響を受けやすく、対象物が連続した形状をしているとき、流れ像として偽成分が残ってしまう。

X線を用いた評価実験

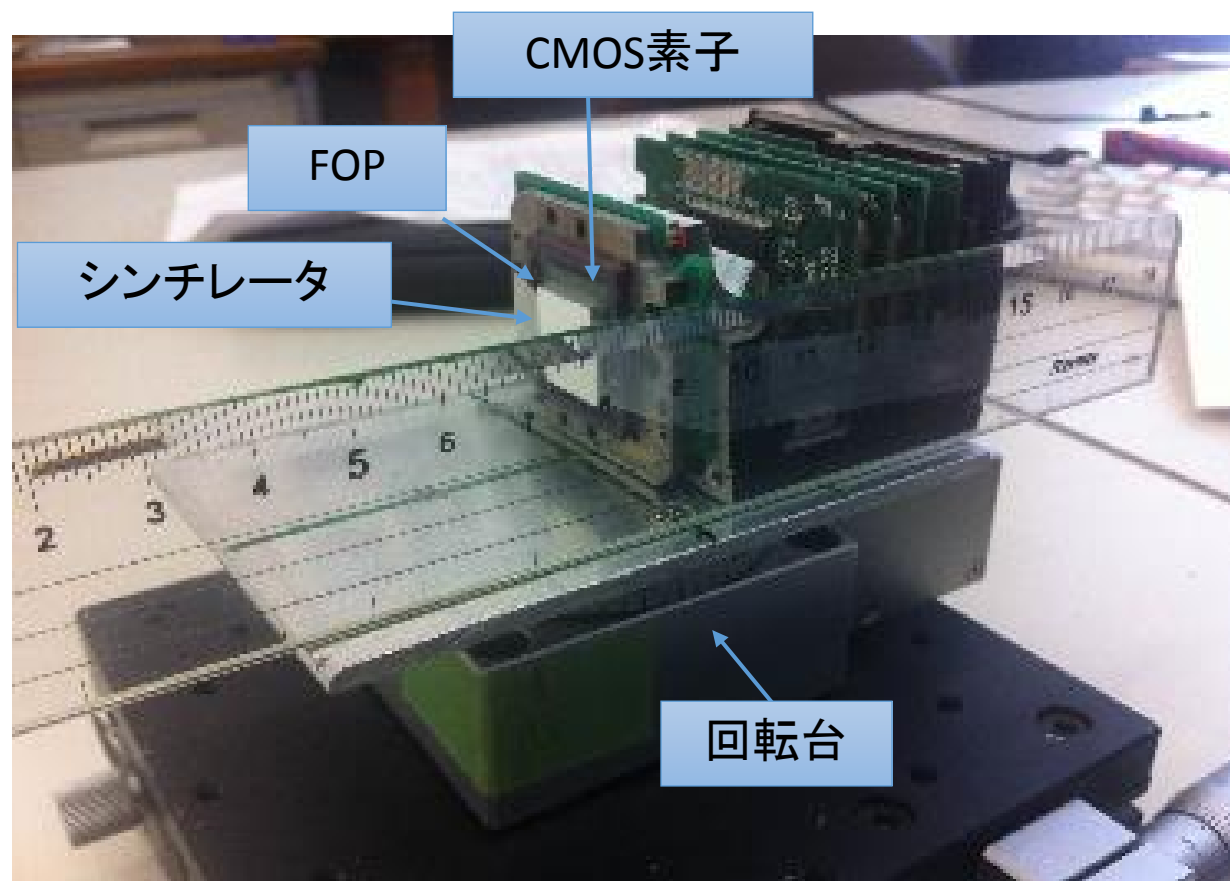
撮像系の構成1



- ・薄膜被検体とコンバータ、ディテクタを密着させ、回転テーブルを用いて全てを回転させる。構造に設計。これにより、固定線源においてもモシセンス用の透過像を取得できるようにした。
- ・全てを密着させている事により、線源が平行ビームでなくてもボケづらくなる。

撮像系の構成(これまでの実験)

- FOP表面に市販のフィルム撮影用増感紙($Gd_2O_2S:Tb$)をコンバータとして接着。



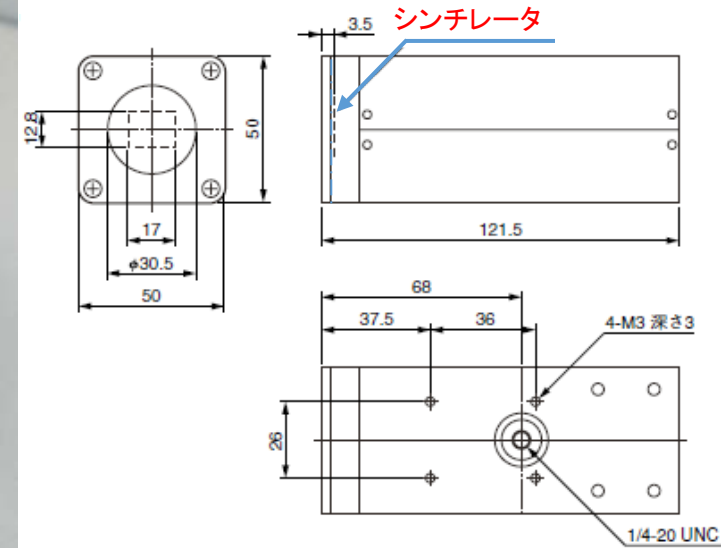
型式 東芝テリー社製
CSB4000CL-10A

画像素子 CMOSイメージセンサ
総画素数 2048(H)×2047(V)
画素サイズ 6.0×6.0 μ m
撮像面積 12.048×12.282mm

改造点 FOPをCMOS素子に直付けし、その上にシンチレータと被検体を密着させている。

市販のX線用CCDカメラを用いた実験

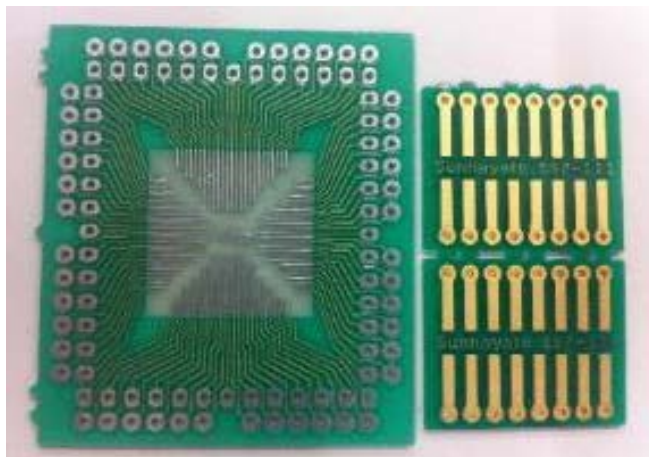
浜ホト社製コンパクトX線CCDカメラXCUBE



外形寸法図(mm)

市販のカメラでも、シンチレータが検出器表面にあるものなら撮影可能。

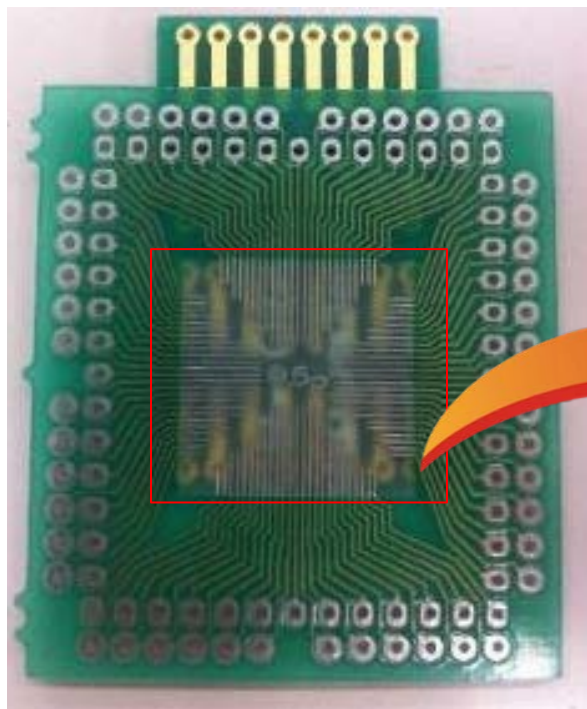
被検体図(二枚のプリント配線基板)



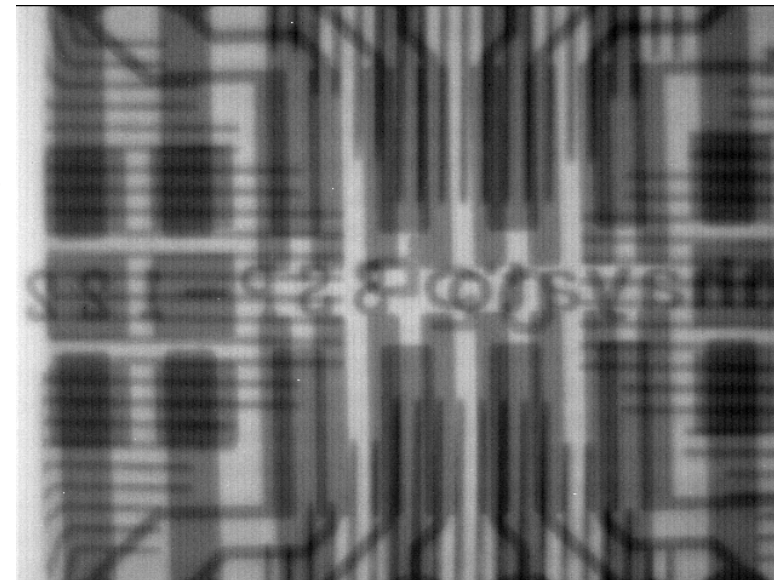
被検体表面



被検体裏面



被検体構成
プリント配線基板
被検体厚さ2mm(各1mm)
銅箔厚さ35 μ m



被検体正面透過像

ふり幅 $\pm 50^\circ$ で角度 0.5° 間隔で撮影
(トータル200枚使用)

トモシンセシスによる再構成イメージ

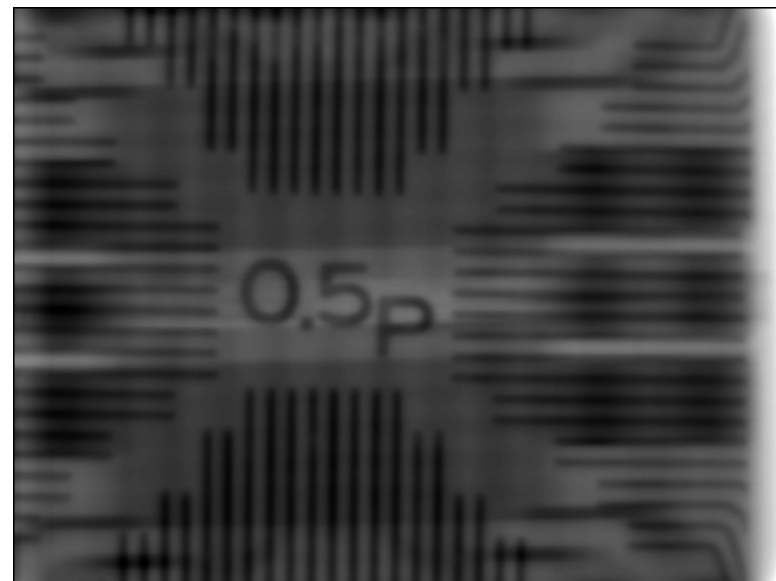
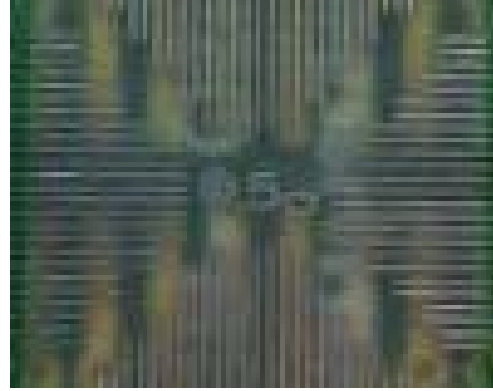
再構成条件

回転角度幅: $\pm 40^\circ$

回転角度間隔: 0.5°

再構成使用枚数160枚

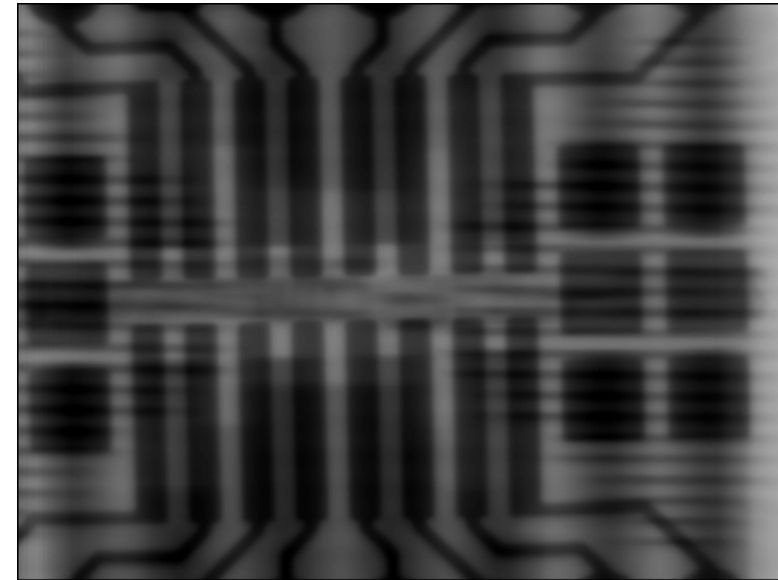
1層0.0125mm(12.5 μ m)の間隔で、トータル300枚(3.75mm分)再構成



a:80枚目(検出器からの距離1mm)



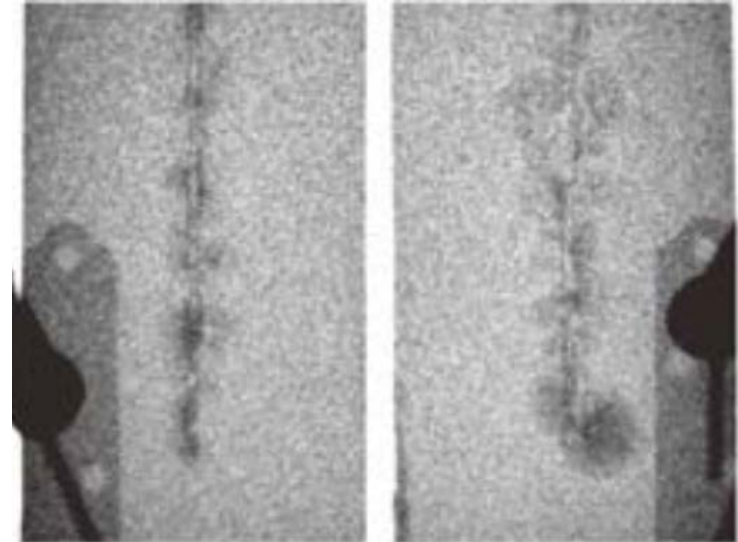
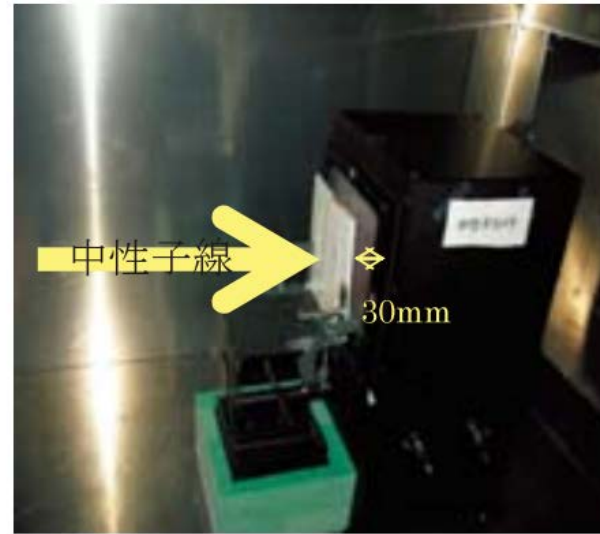
b:165枚目(検出器からの距離2.625mm)



c:245枚目(検出器からの距離3.625mm)

各断層図を分けて可視化することはできたものの、各層の成分が他の層にまで出現し、影響を及ぼしている(流れ像)。

RANSにおけるトモシンセシスの応用テーマ ～腐食生成物の検出～

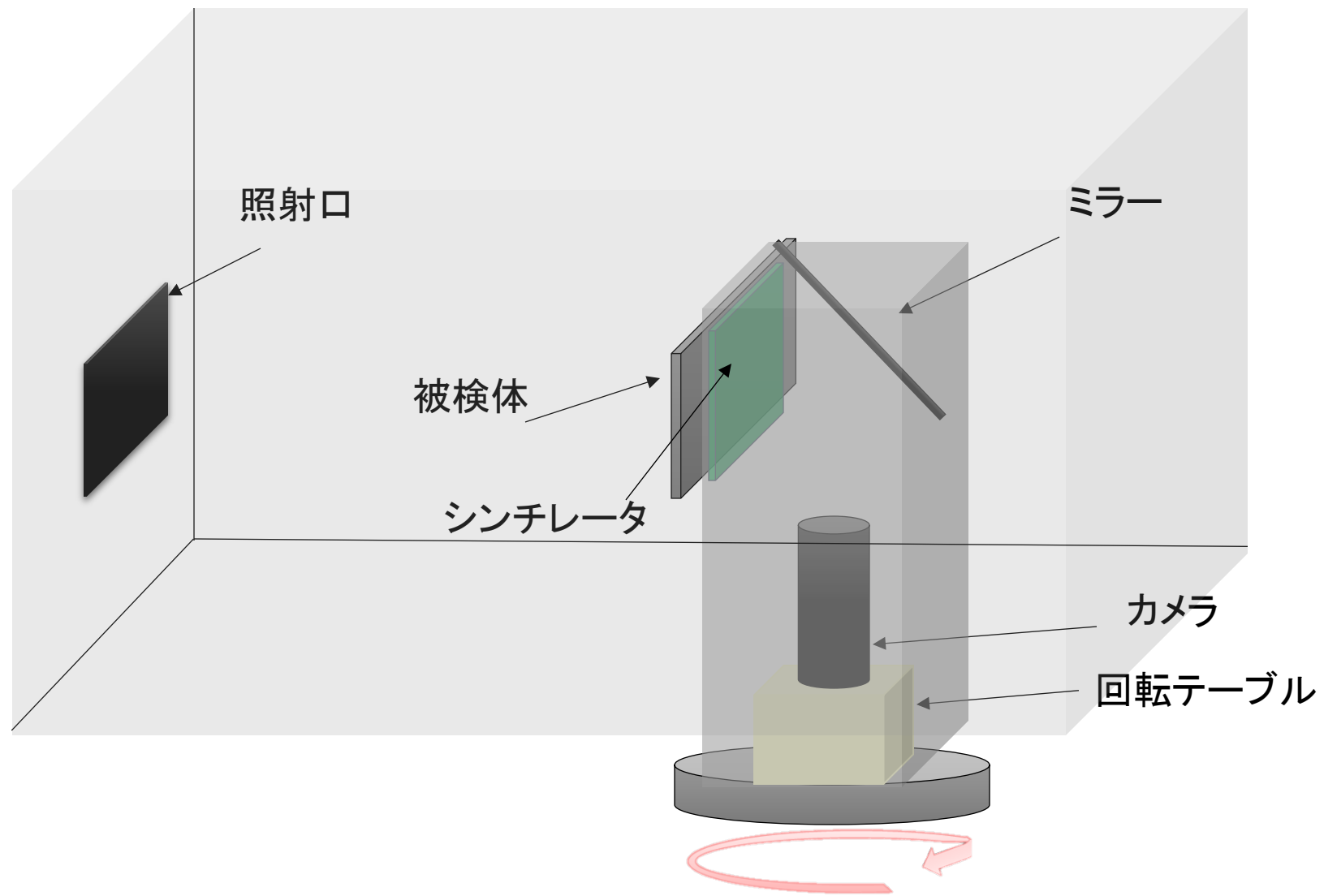


理研HPより引用

実際の中性子線を考慮した上での撮影システム

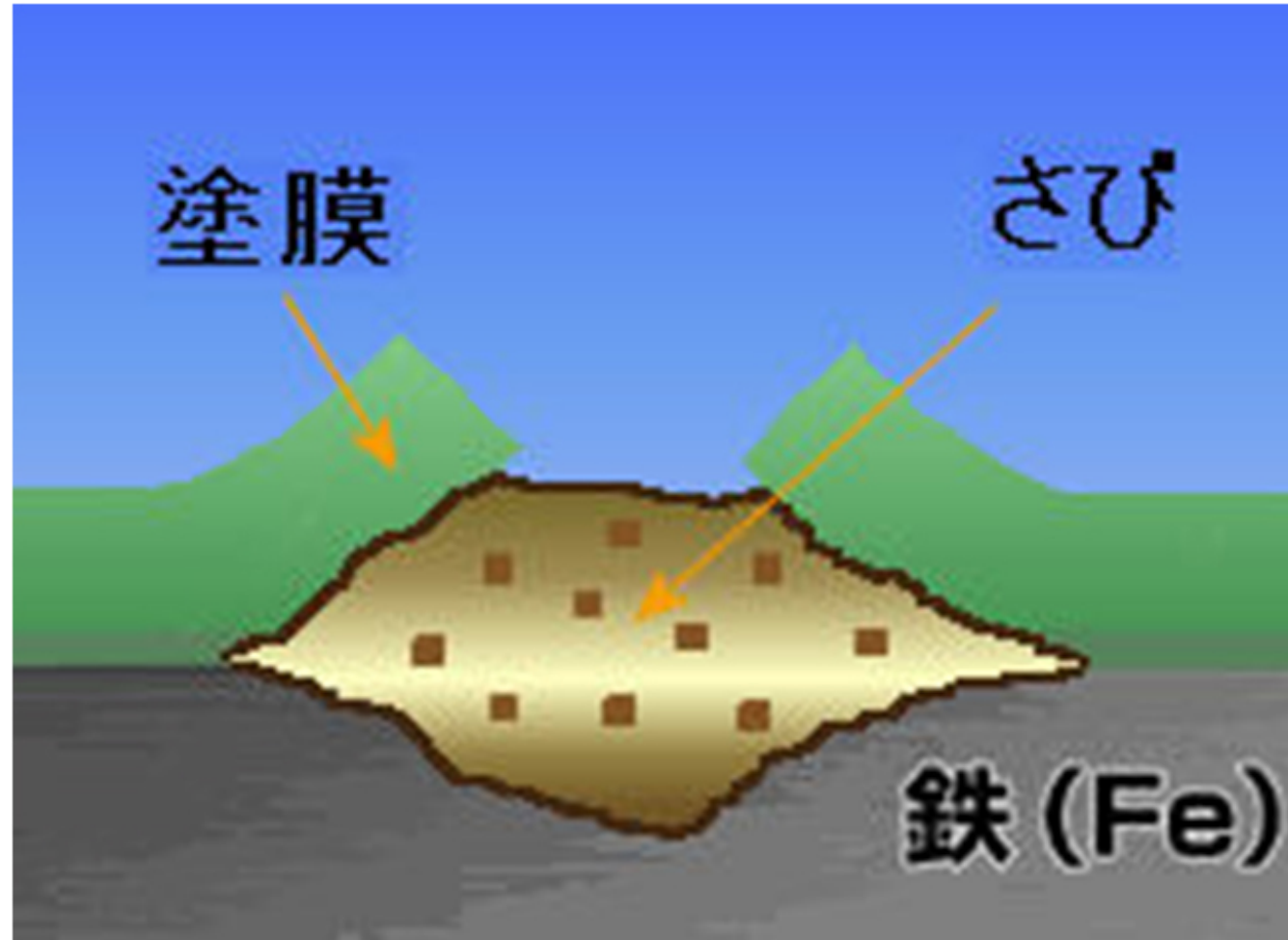


RANS



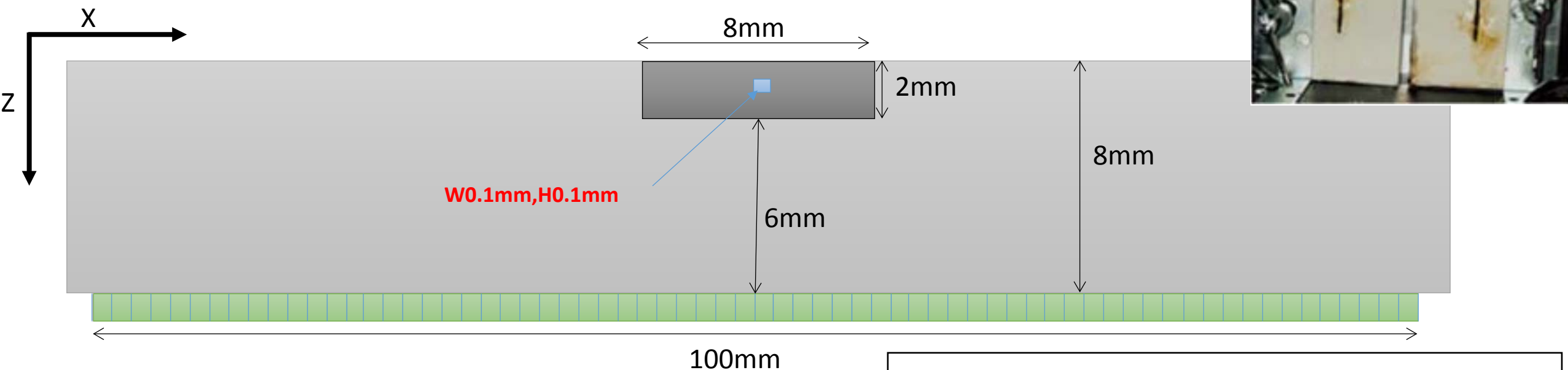
シミュレーションによるトモシンセシス再構成

実際の腐食モデルより、トモシンセシスの妥当性を検討



四国オーエム株式会社HPより引用
<http://shikoku-galva.com/qa.html>

シミュレーションによる模擬透過像の作成

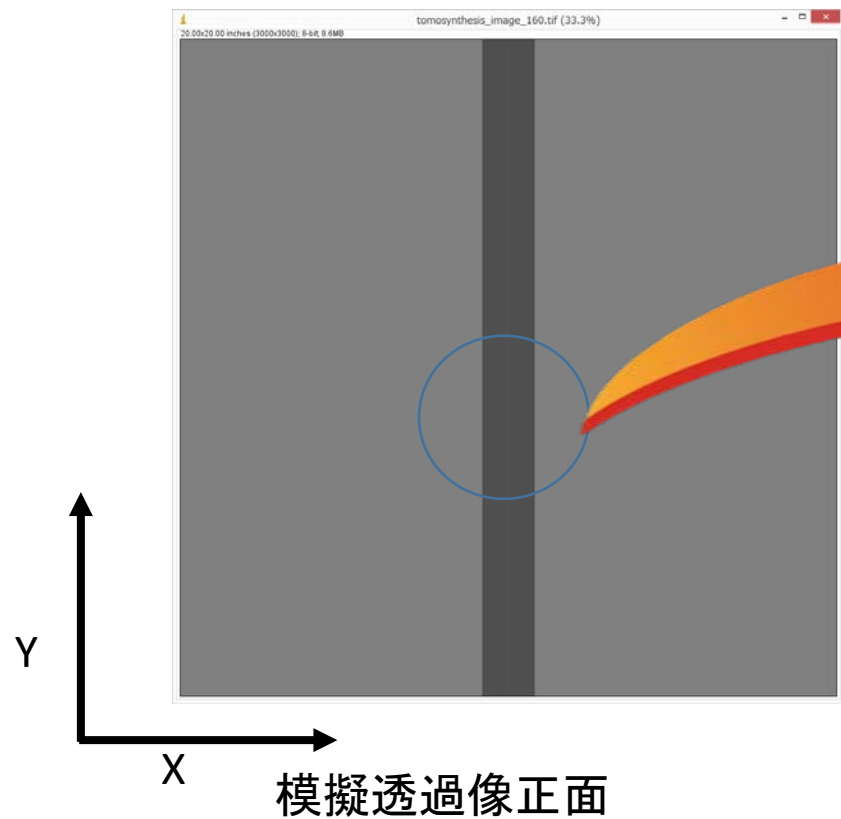


シミュレーション用検出器スペック
撮像視野100×100mm
画素数3000×3000
pixelサイズ 0.333mm

被検体情報	部位	構成物質	線減弱計数 <small>※熱中性子による</small>
		金属A	0.86
		水酸化金属A'	2.4
		空孔	0

上図の用な被検体を想定し、本取得システムで得られる透過像についてシミュレーションを行った。
なお、線源は完全な平行ビームとして計算した。

模擬透過像1

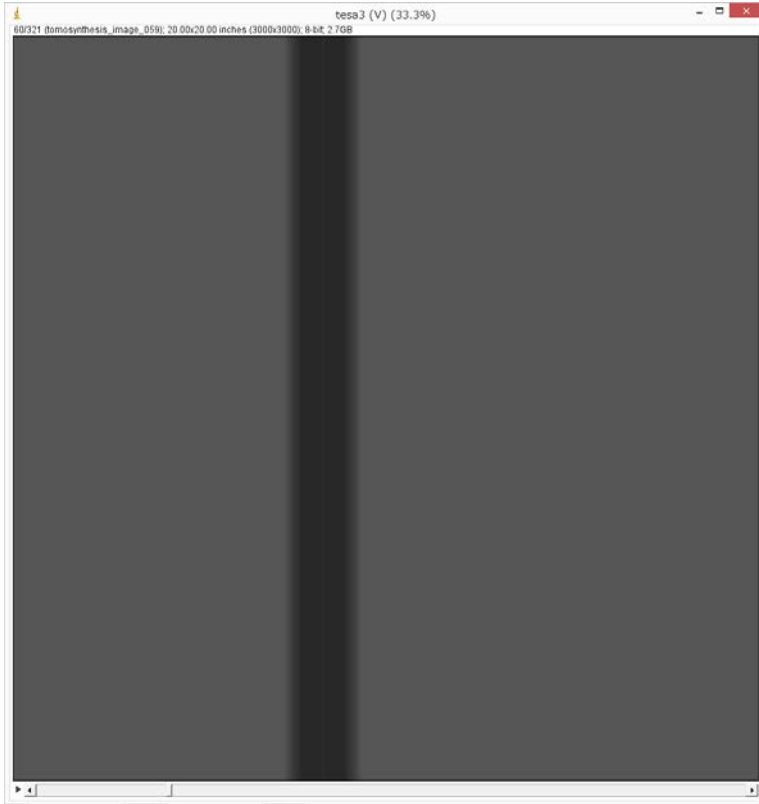


拡大

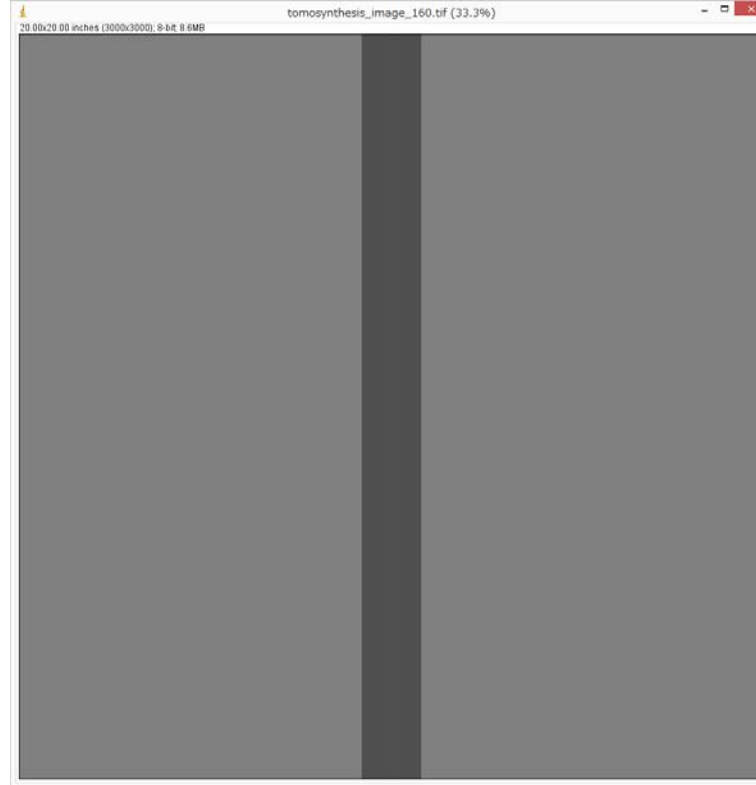


中心部にうっすらと空孔が確認できる。

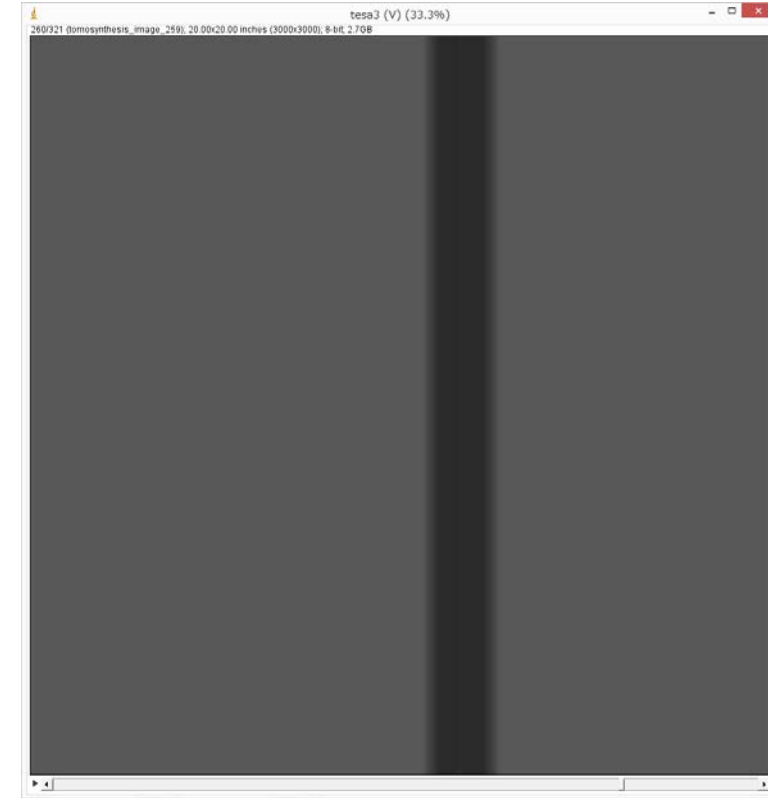
模擬透過像2



検出器 +50° 回転



正面

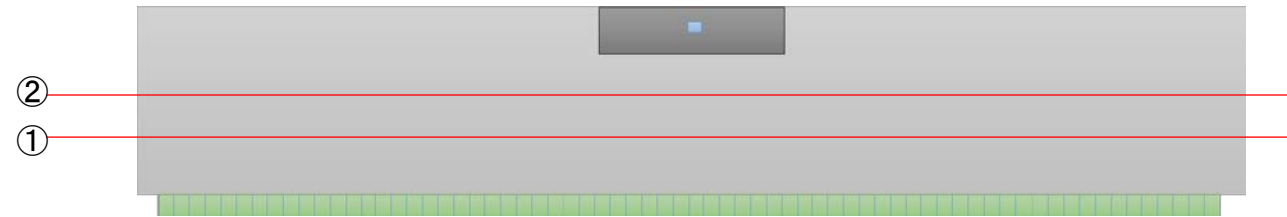


検出器 -50° 回転

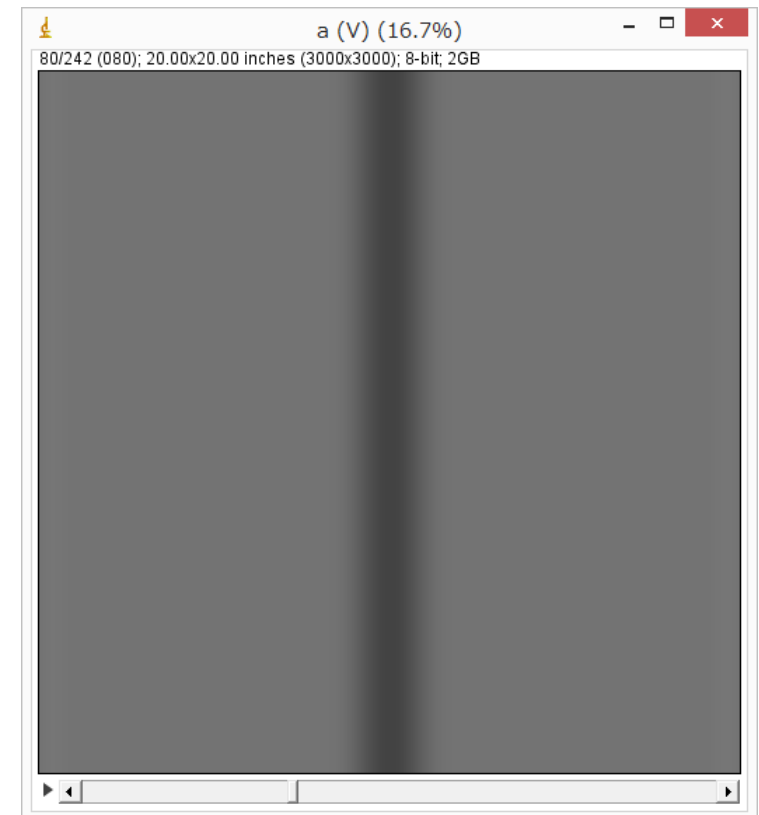
被検体(撮像系)を回転させると、被検体に対し線源が広い範囲で入射するようになるので、厚みの分だけぼやけた透過像となる。ここで、透過像の(中心からの)移動距離は検出器からの距離に依存する。

再構成結果1

再構成条件
回転角度幅: $\pm 50^\circ$
回転角度間隔: 0.5°
1層0.05mm(50 μ m)の間隔で、
トータル240枚(12mm分)再構成

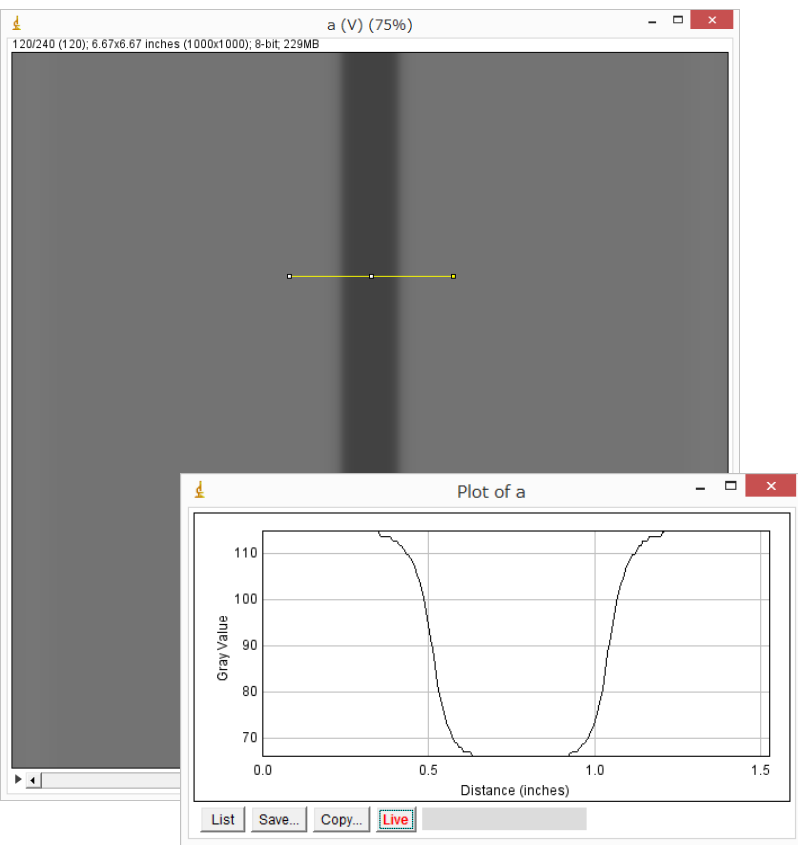
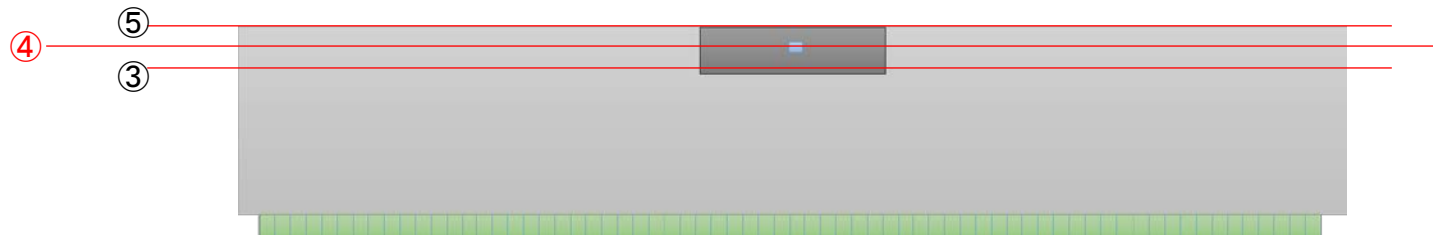


①再構成結果40枚目
(検出器からの距離2mm)

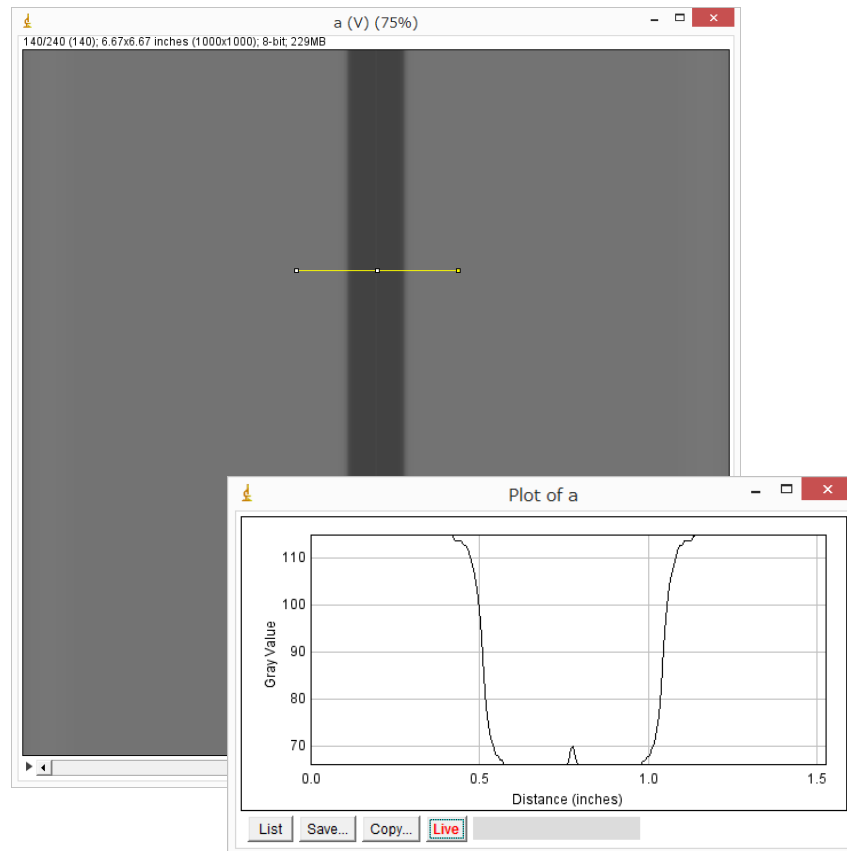


②再構成結果80枚目
(検出器からの距離4mm)

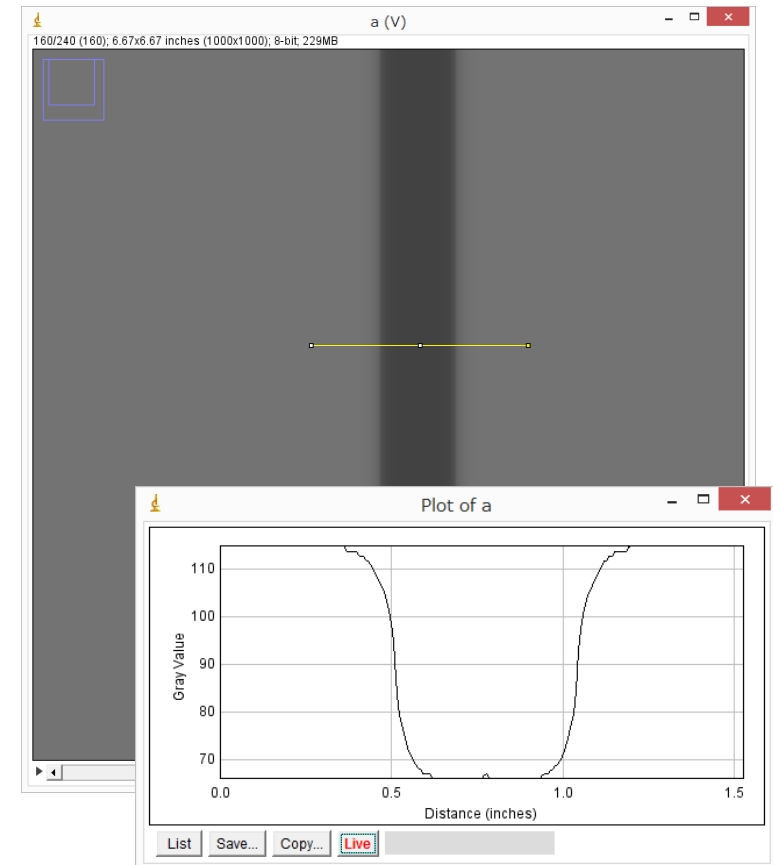
再構成結果2



③再構成結果120枚目
(検出器からの距離6mm)

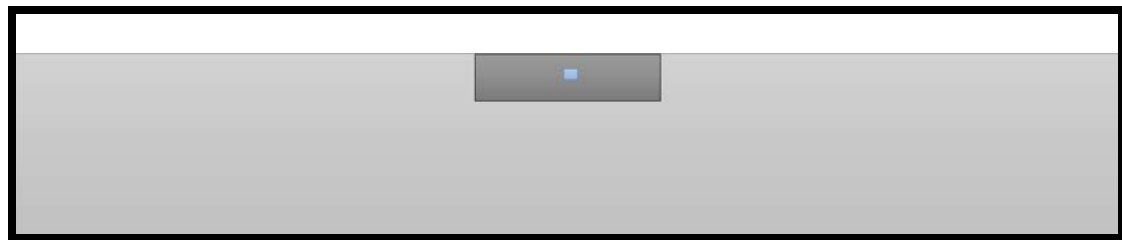


④再構成結果140枚目
(検出器からの距離7mm)



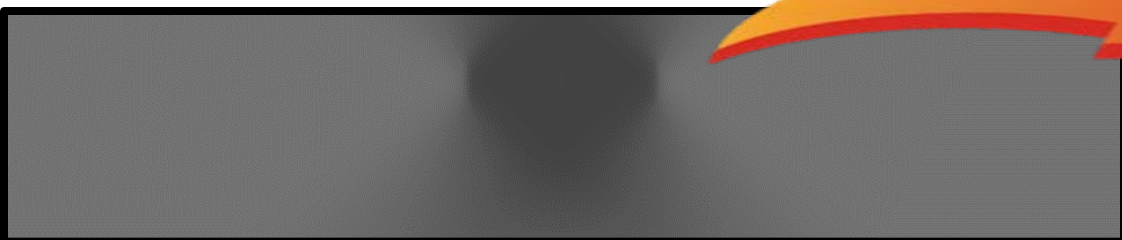
⑤再構成結果160枚目
(検出器からの距離8mm)

再構成結果3 (XZ軸方向の断面)

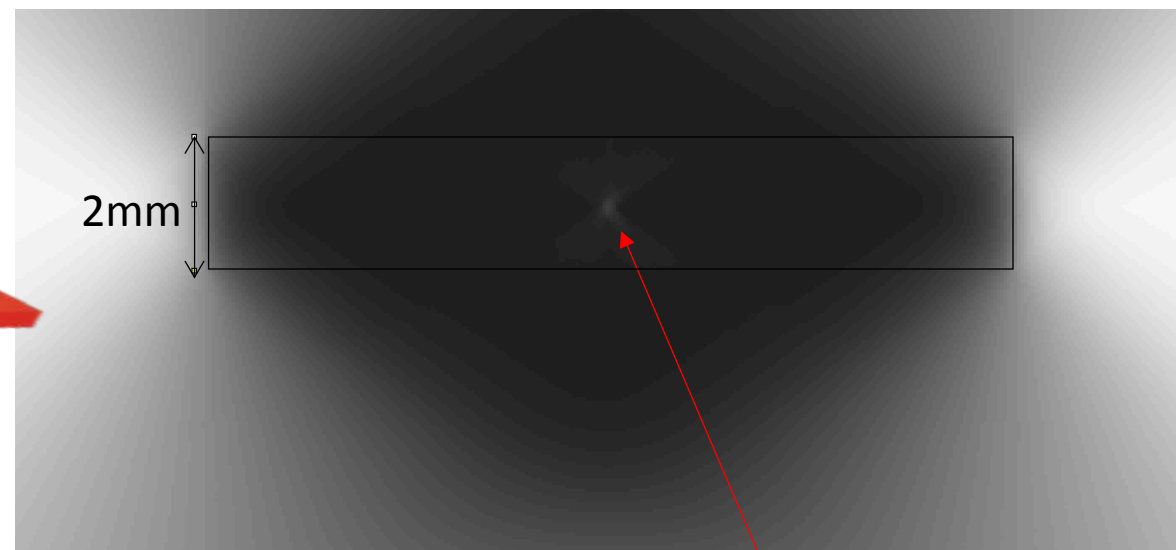


作成した被検体像

拡大、コントラスト調整

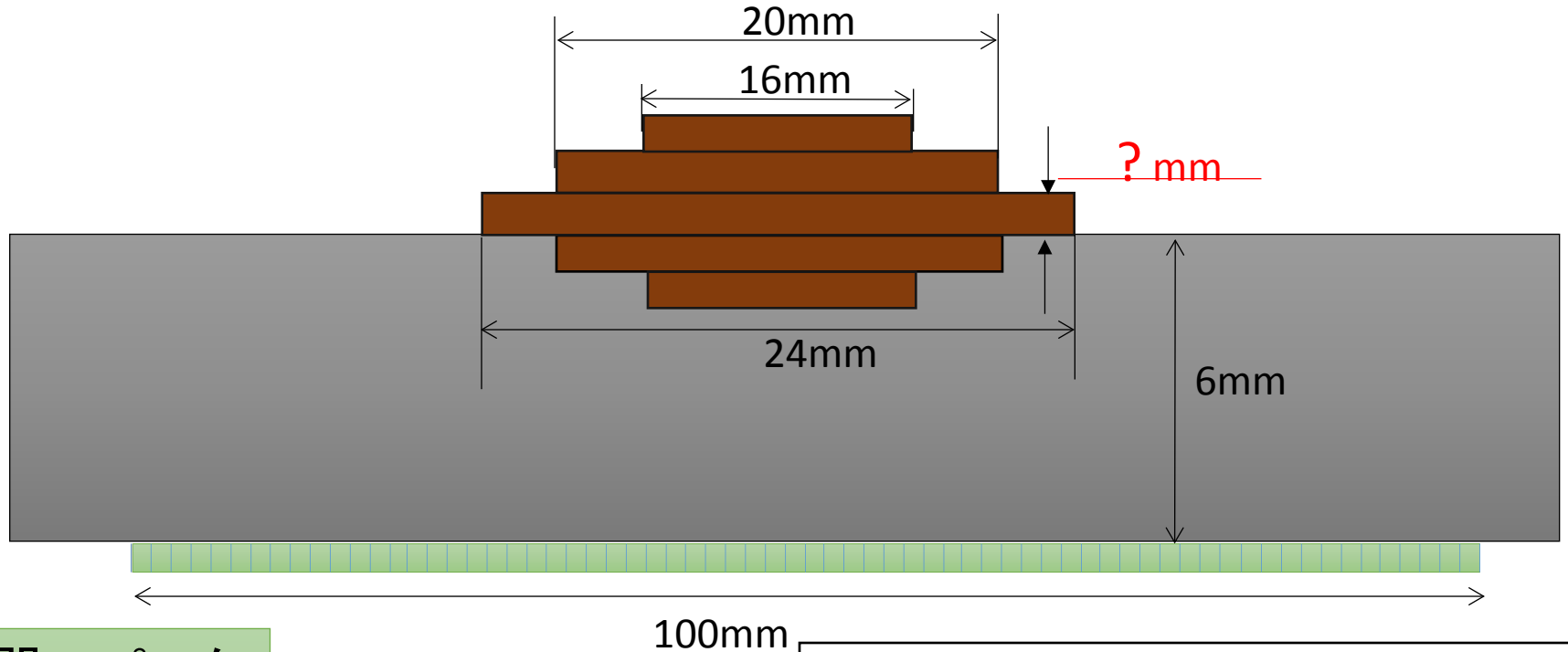
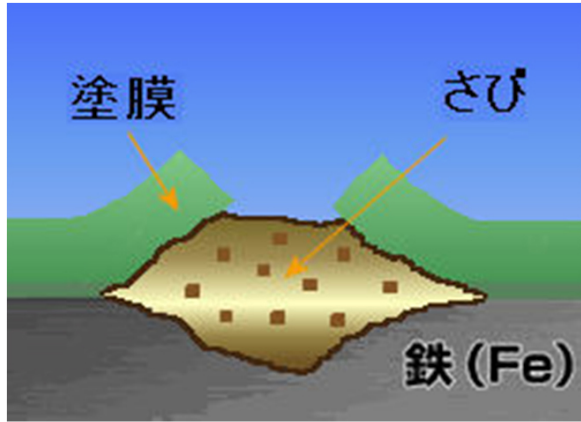


再構成結果





空孔の確認

どこまで形状分解能があるか検証(鉄の腐食モデル)

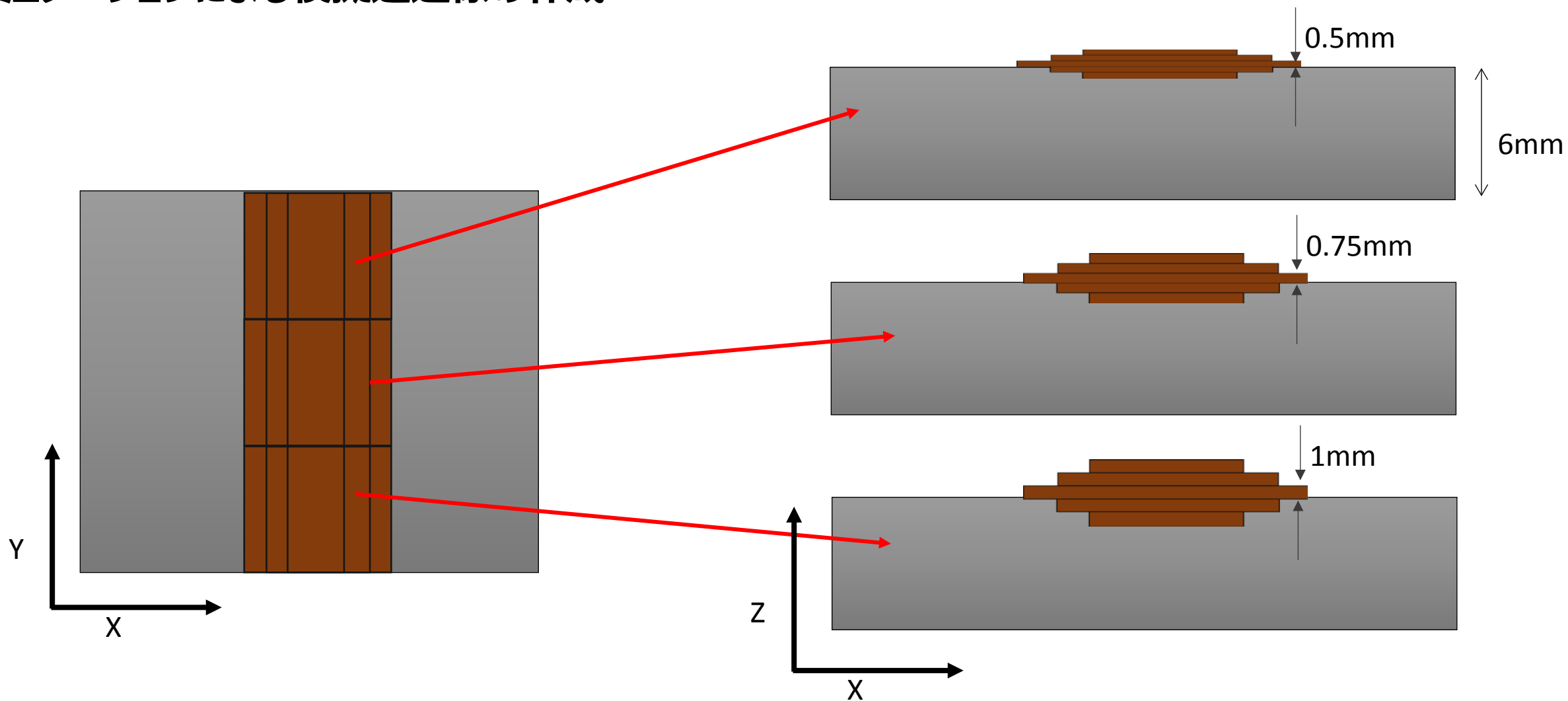


シミュレーション用検出器スペック
 撮像視野 100 × 100 mm
 画素数 2048 × 2048
 pixelサイズ 48.8 μm

線源は完全な平行ビームとして計算した。

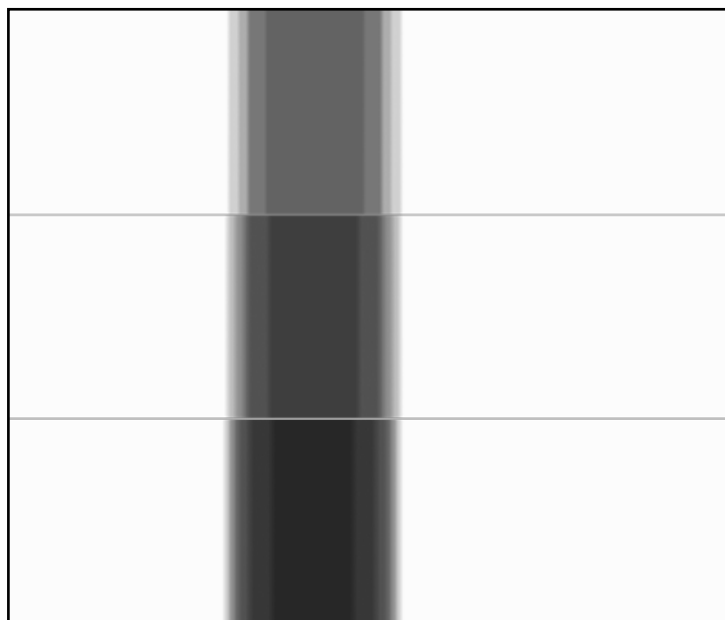
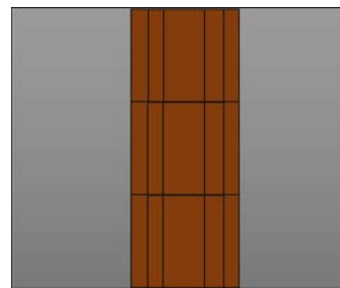
被検体情報		
部位	部材	線減弱計数 (熱中性子による)
	<u>AlOH(OH)</u>	<u>2.4</u>
	<u>Al</u>	<u>0.0086</u>

シミュレーションによる模擬透過像の作成

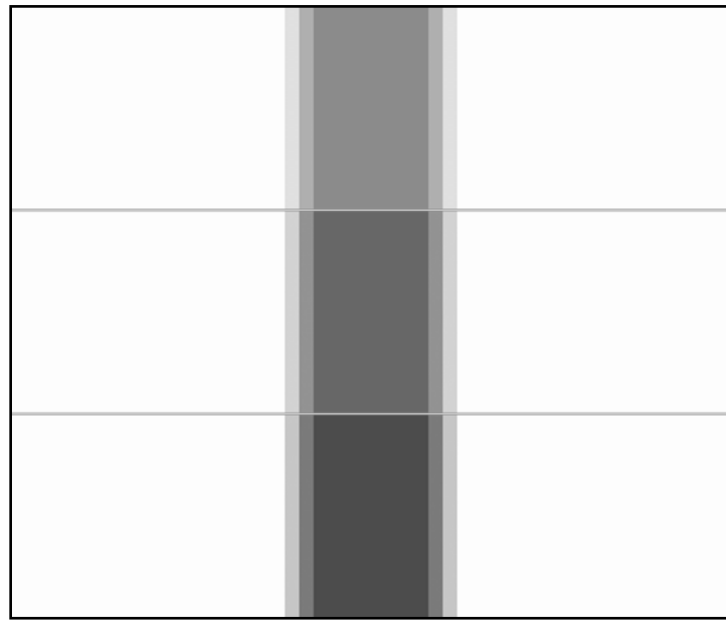


画像上部に一層が0.5mm間隔の被検体、中部に0.75mm、下部に1mm間隔のものを作成した。

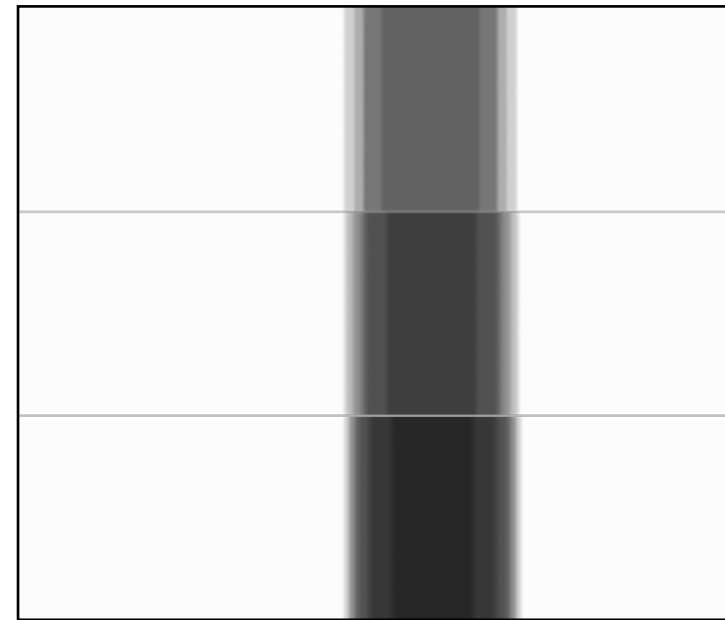
模擬透過像1



検出器 +50° 回転



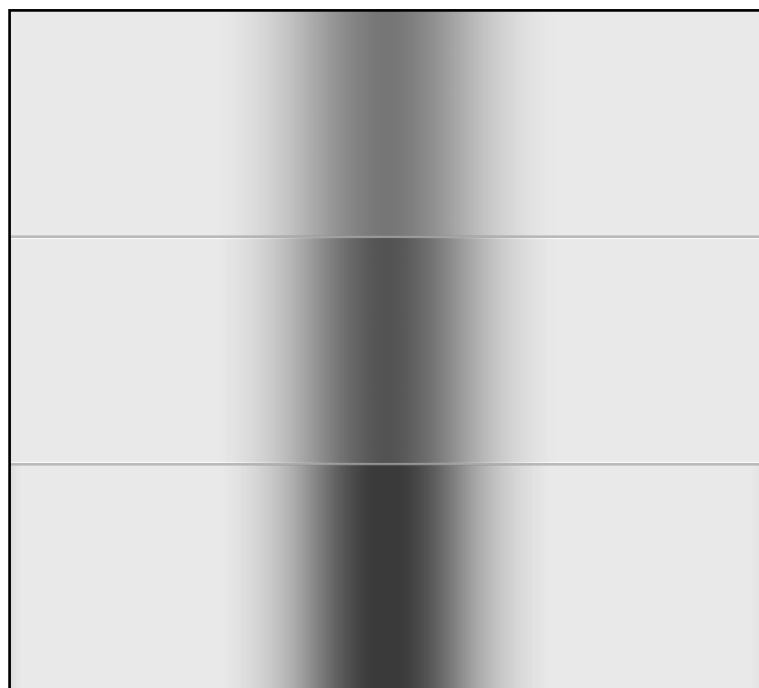
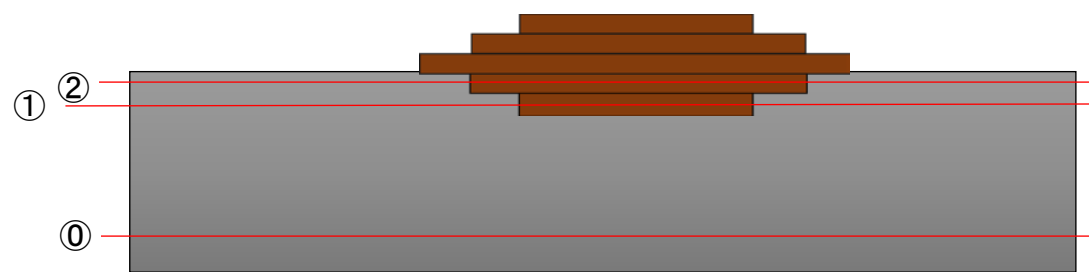
正面



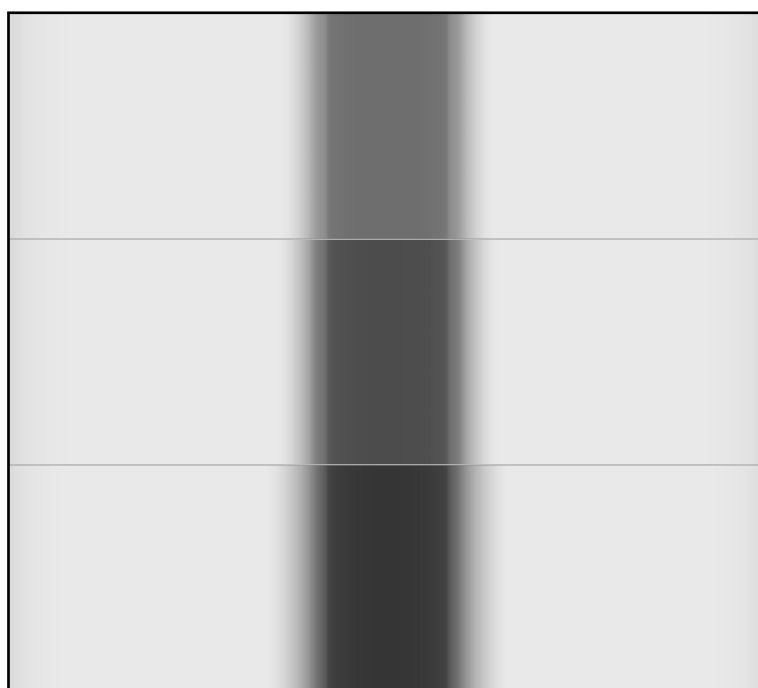
検出器 -50° 回転

先ほど同様、被検体(撮像系)を回転させると、被検体の厚みの分だけぼやけた透過像となる。

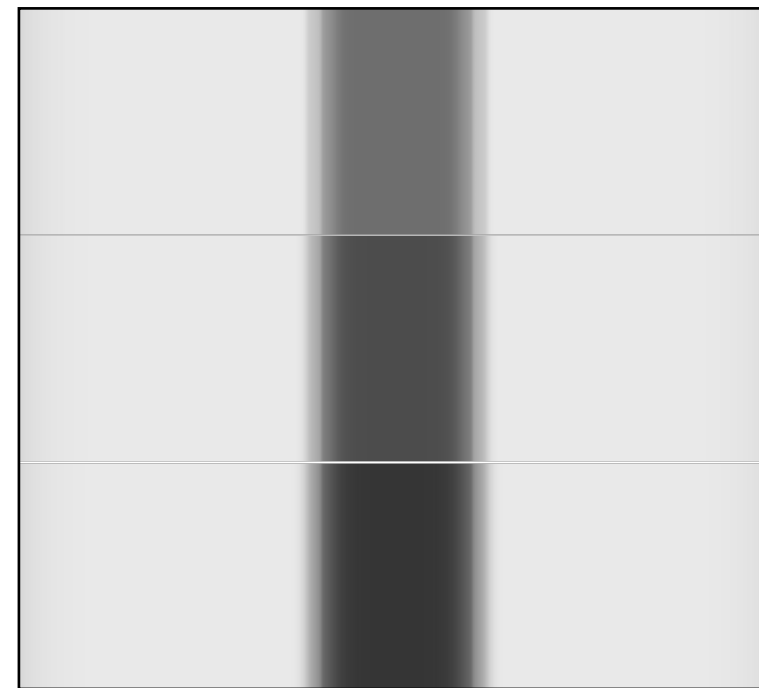
再構成結果1(XY方向の断層)



①:検出器からの距離1mm

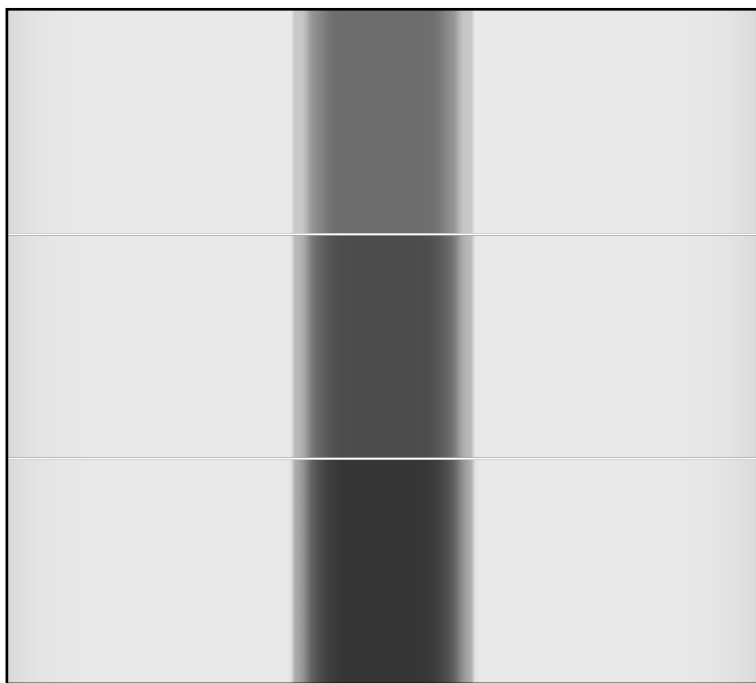
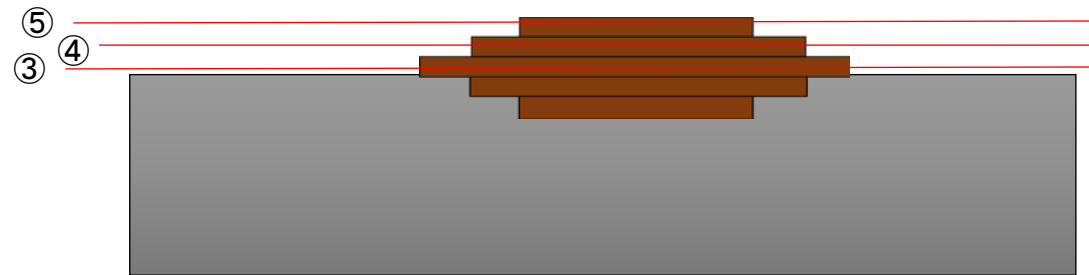


①:一層目

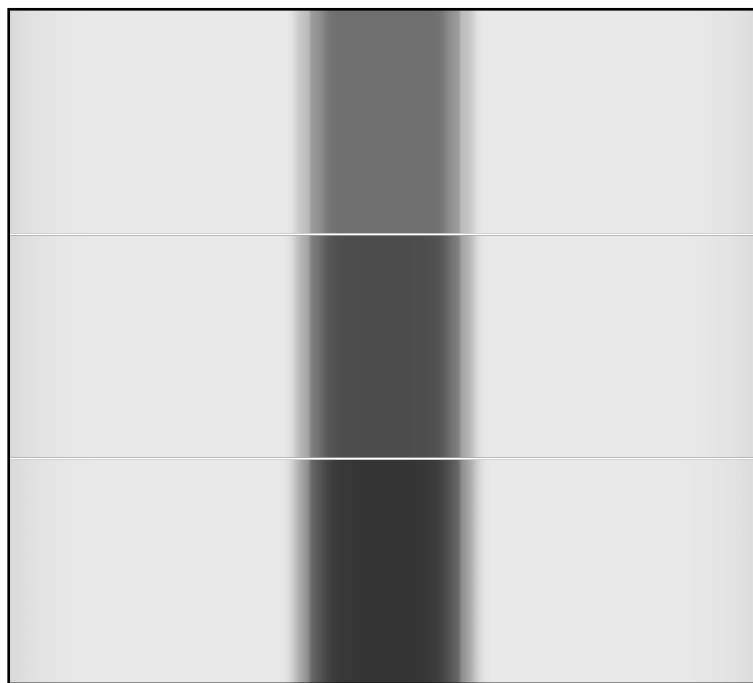


②:二層目

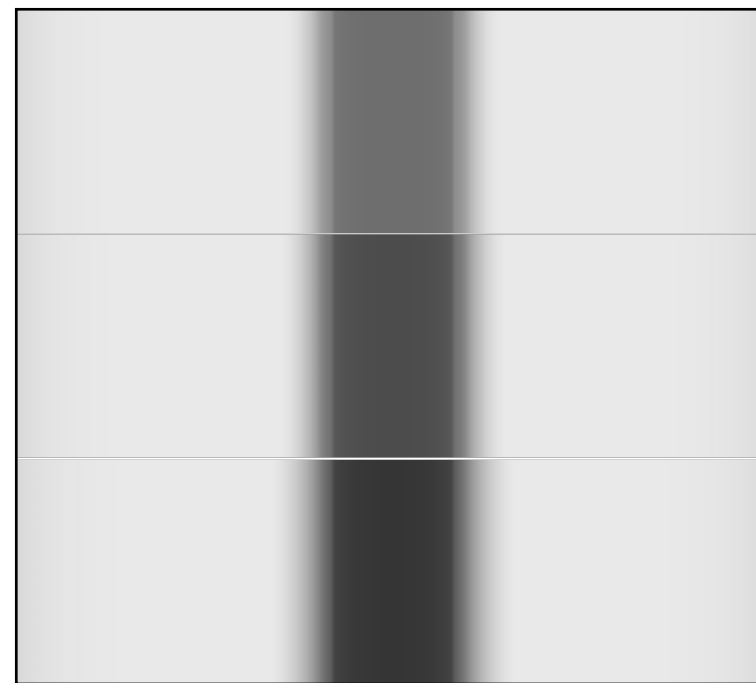
再構成結果2(XY方向の断層)



③:三層目

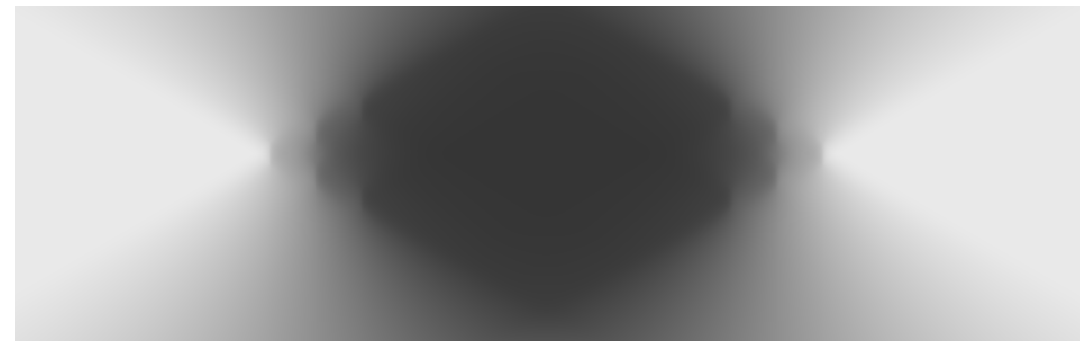
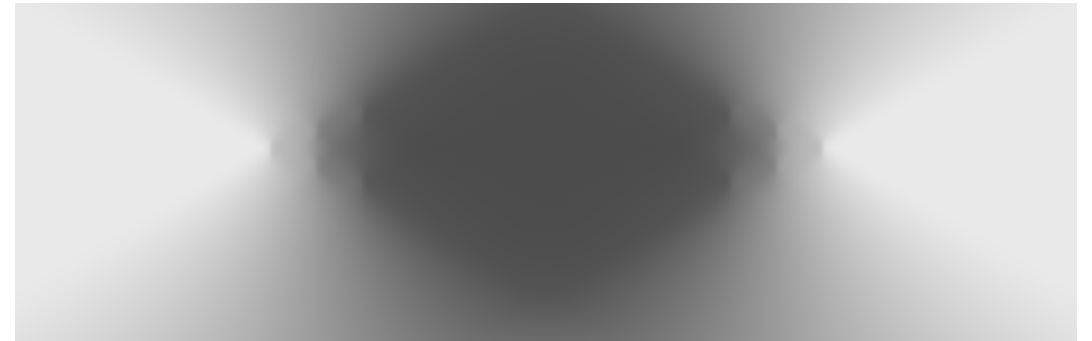
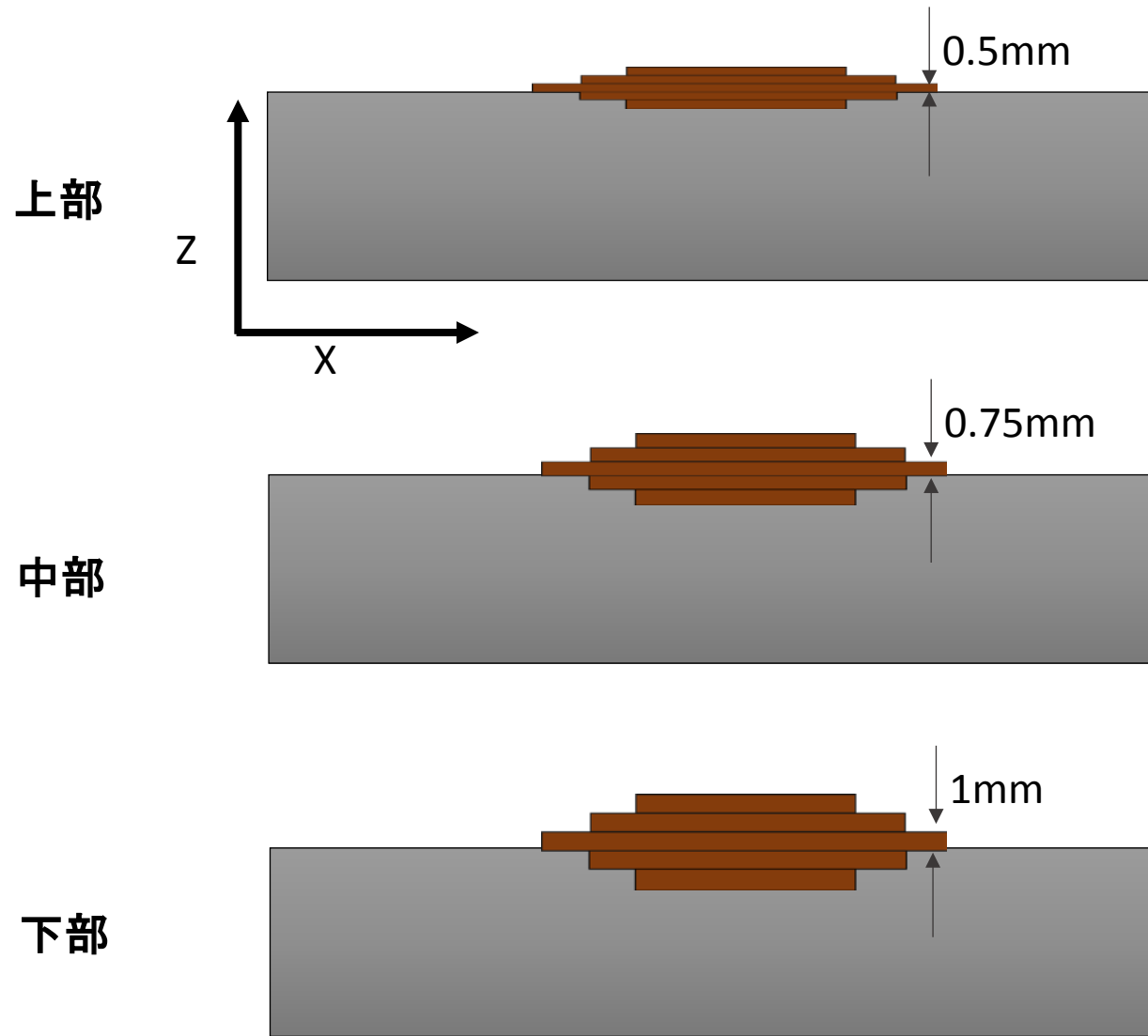


④:四層目



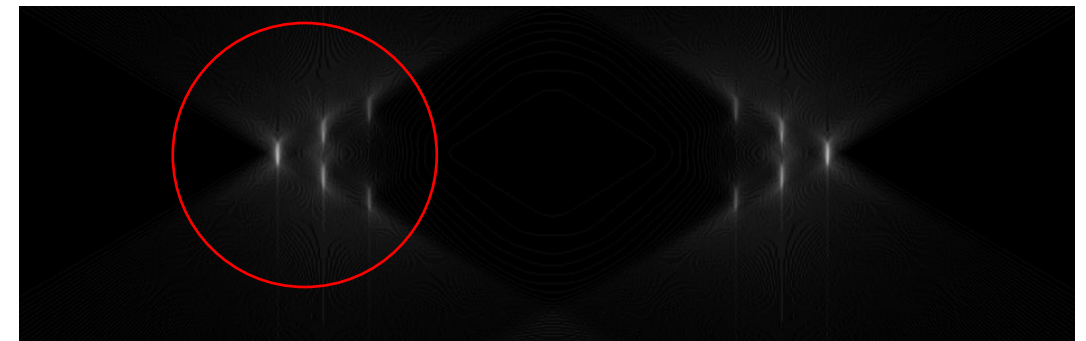
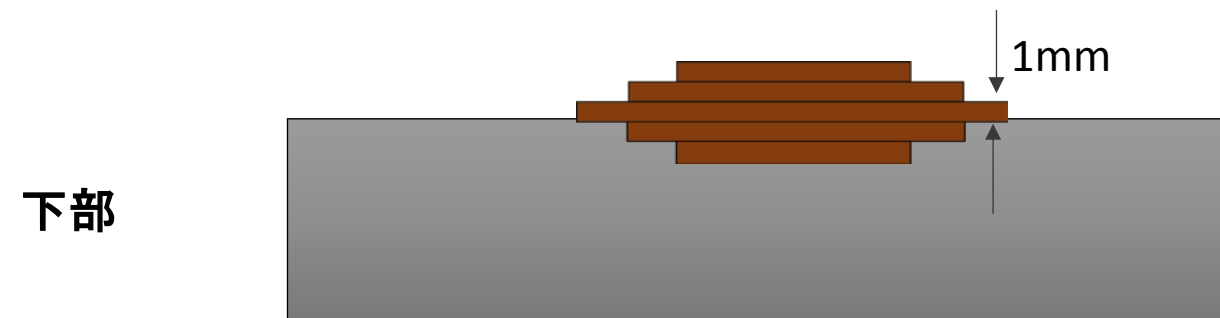
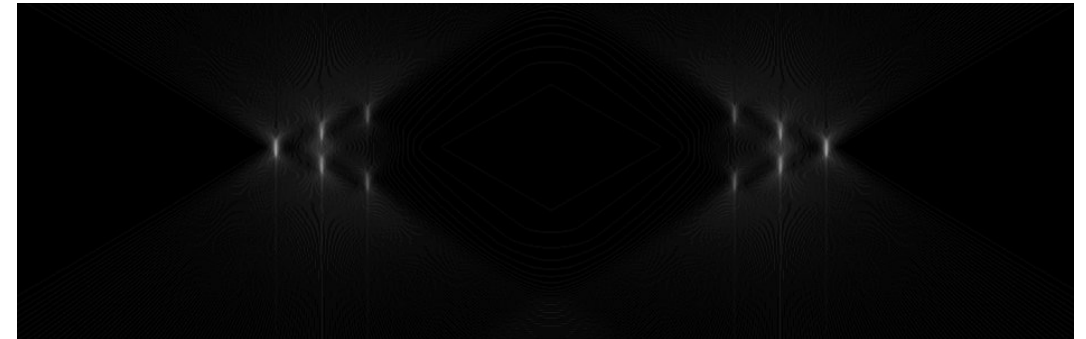
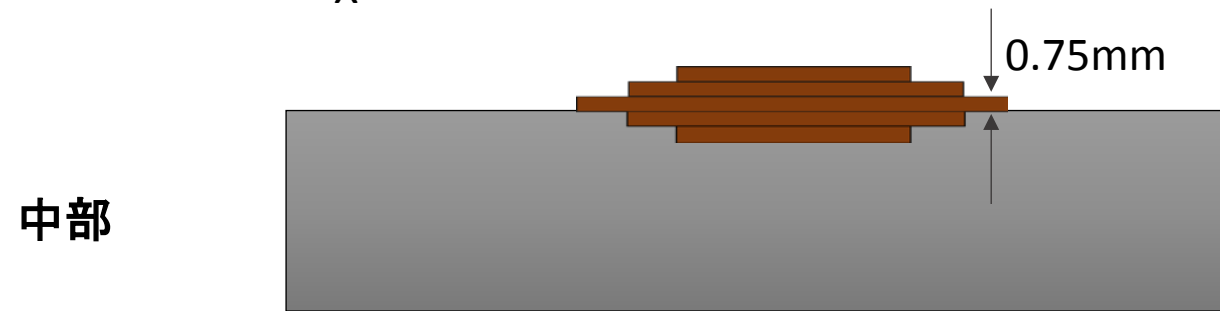
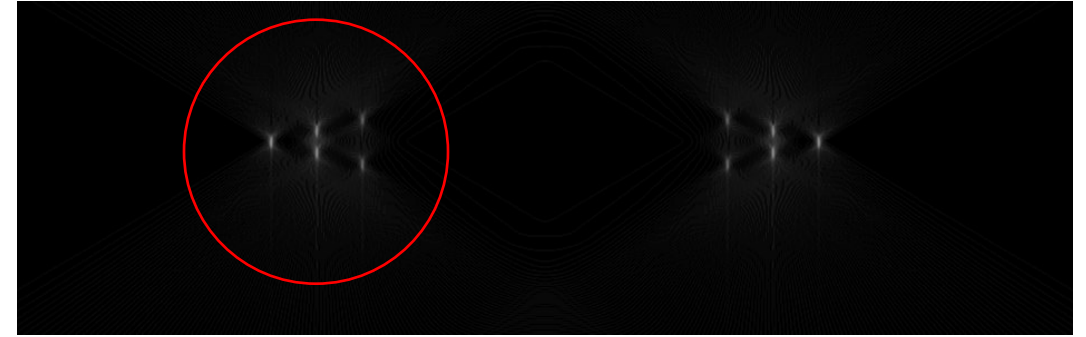
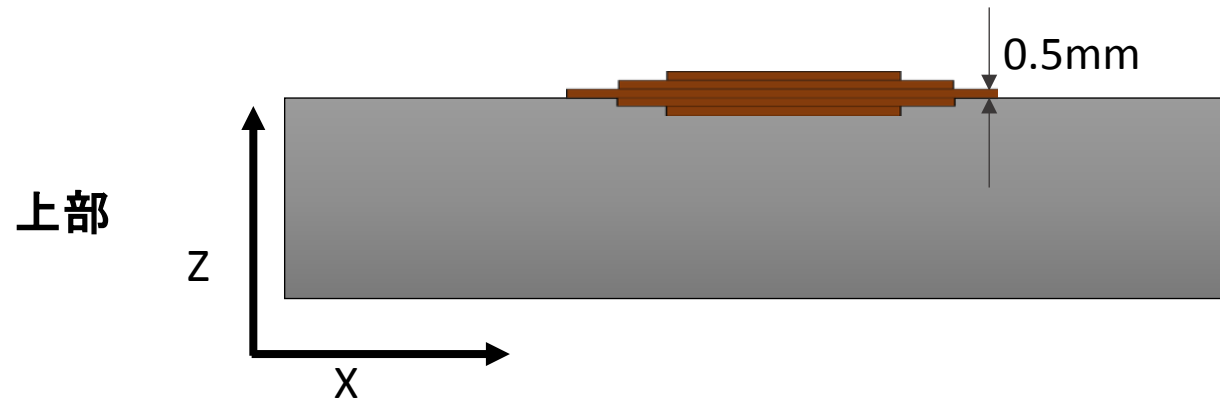
⑤:五層目

再構成結果3(XZ方向の断層図)



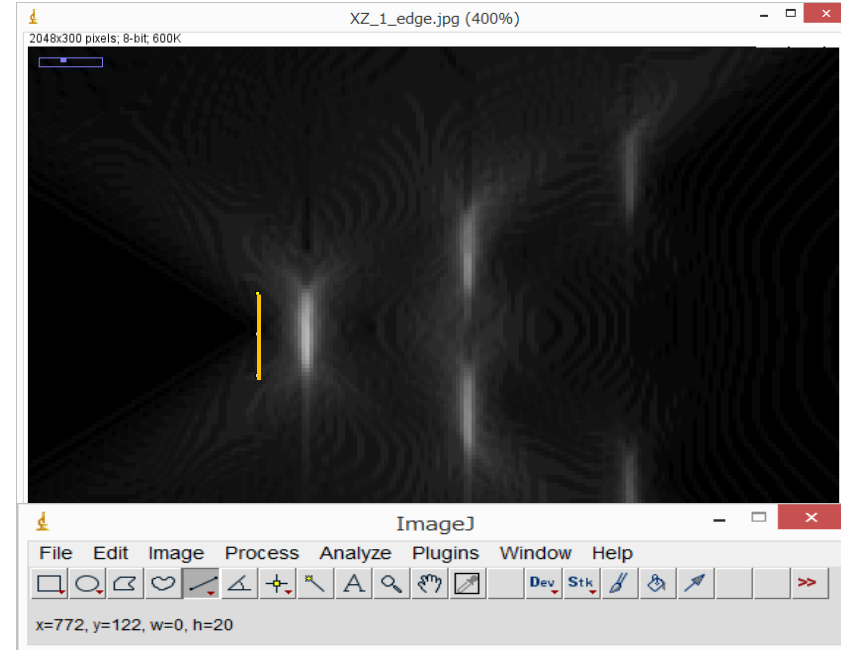
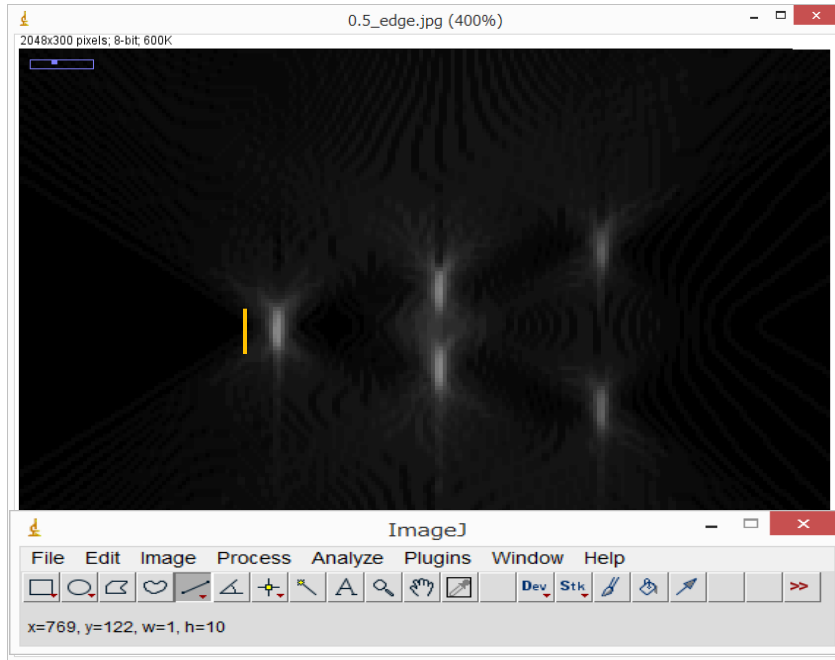
先ほどまでの結果を今度はXZ方向の断層図として再構成し直したものである。
このままでは、シフト加算法によって発生する「流れ像」が支配的であり、対象物の大きさは判断しづらい。

再構成結果4(XZ方向の断層)



それらの断層図に、sobelフィルタ処理(縦横2方向の同時空間1次微分)を加える事で、エッジ部を強調させ、被検体の輪郭のみを抽出することができる。

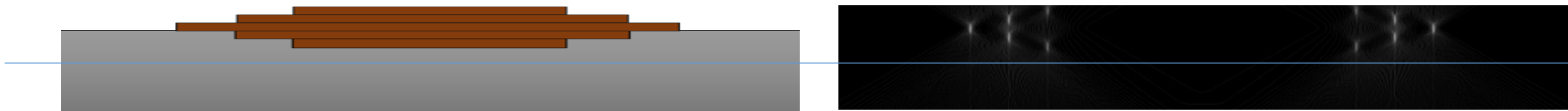
再構成結果5(XZ方向の断層 (拡大))



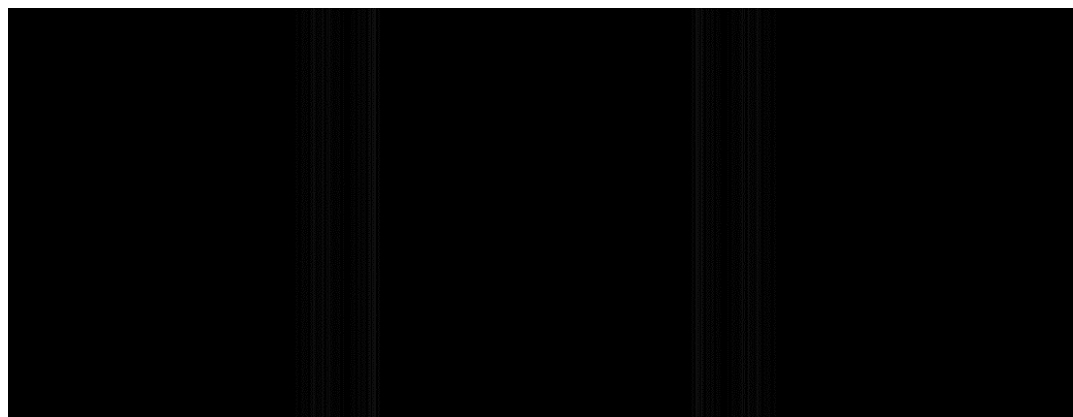
左が0.5mm間隔の層をもつ被検体、右が1.0mm間隔の層をもつ被検体
(黄色の補助線は10pixel分(0.5mm)と20pixel分(1.0mm)を示している。)

→定量性の確認

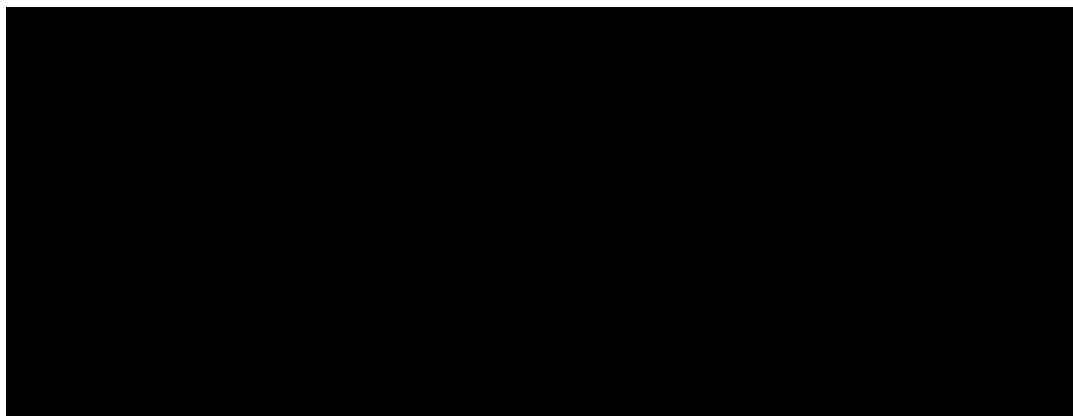
再再構成結果(上部 (0.5mm間隔の層をもつオブジェクト))



XZ方向の断面図(左が作成オブジェクト。右が再構成結果)



再再構成結果A
(画像のコントラストを調整したもの。)



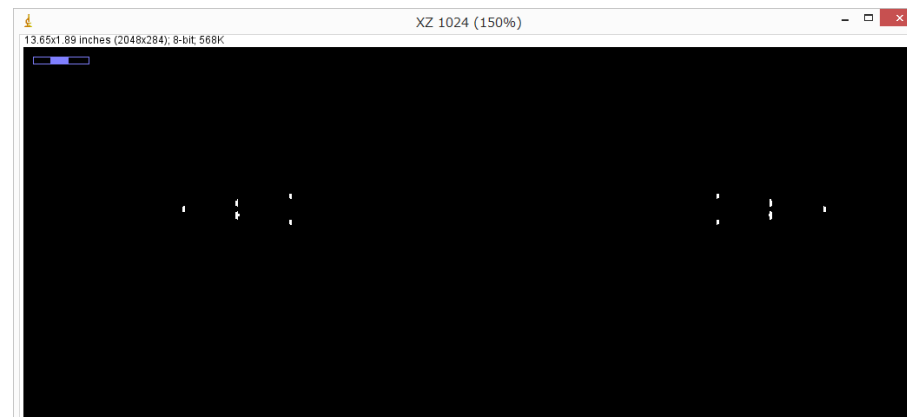
再再構成結果B
(二値化処理をしたもの。)

まとめ

トモシンセシスの再構成において、視野10cm × 10cm画素数2048 × 2048の撮像系において、本実験では0.5mmの厚さ方向に対する形状分解能を確認することができた。

- ・X線を用いた実験の結果とシミュレーションによる結果を踏まえ、この手法は、中性子場における薄膜(板状)物質の断層撮影において有用であると考えられる。
- ・また、撮影枚数が少なく、断層画像を取得する事ができる為、特に低強度の放射線場においてその効力を発揮すると考えている。

- ・密度分布が一様でない被検体などの場合、測定することが困難であると考えられる。



0.25mm間隔の層も確認