

# SPring-8における X線イメージング技術

梶原 堅太郎

高輝度光科学研究センター  
産業利用・産学連携推進室

kajiwara@spring8.or.jp

# 発表内容

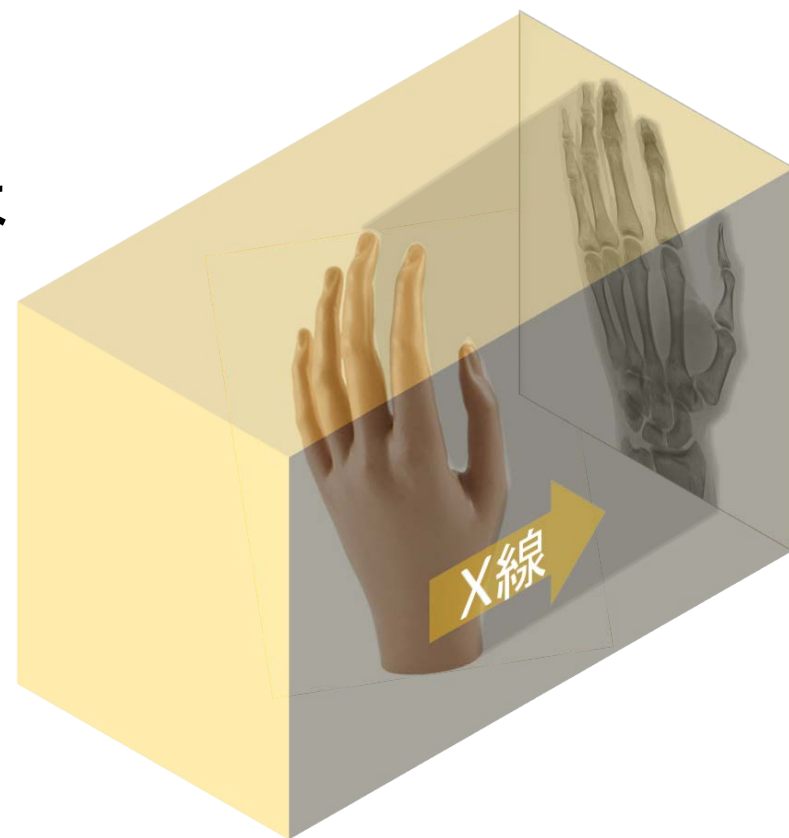
- X線イメージング技術の基礎
  - X線イメージングとは
  - 装置について
- 事例紹介 時分割測定
  - オペランドラジオグラフィ
  - 高速回転CT
  - マルチビーム無回転CT

# X線イメージングとは

- X線をプローブとして、観察対象とX線の**相互作用**による信号の強さとその**位置情報**により観察対象の構造を画像化する手法

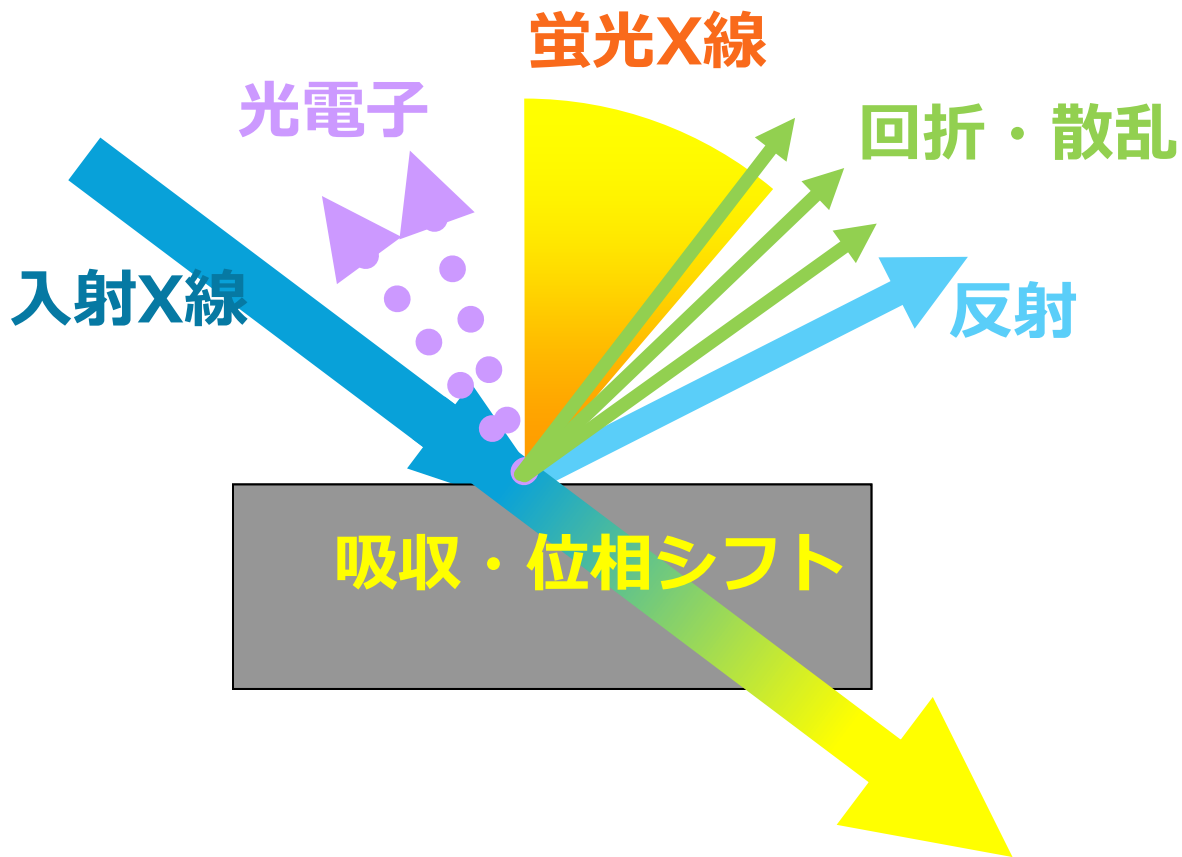


- 特徴: 試料の内部構造を非破壊で画像化できる



レントゲン写真  
相互作用: X線の吸収

# X線と物体の相互作用



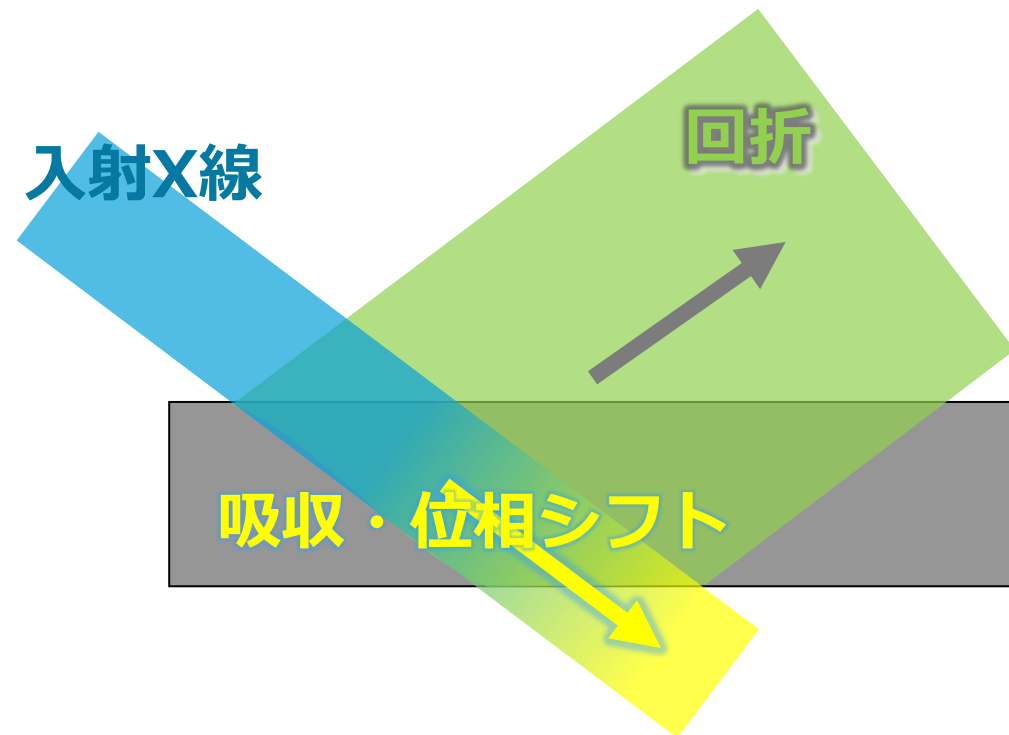
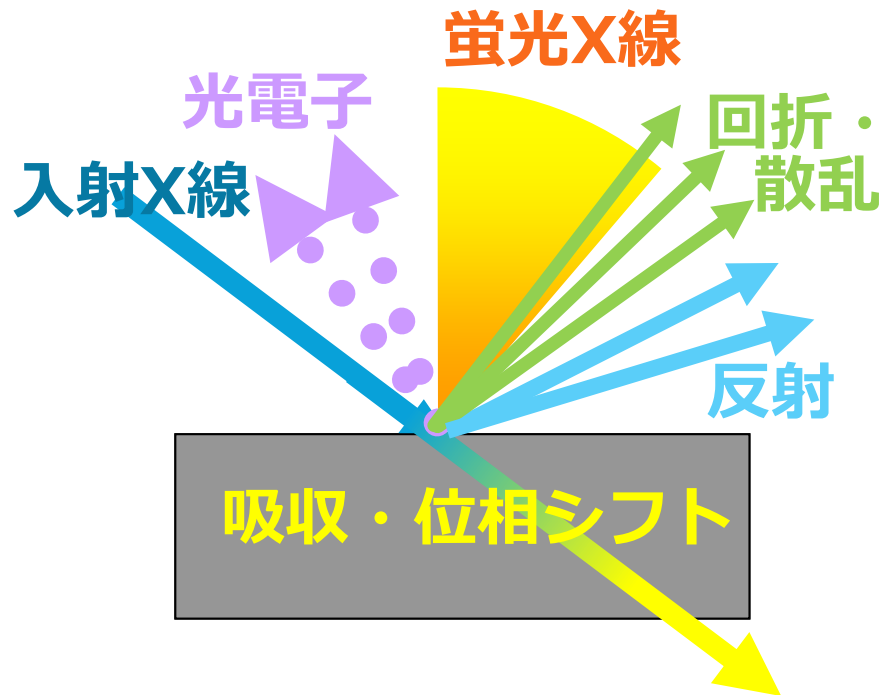
# X線イメージングの種類と相互作用

## • 走査型

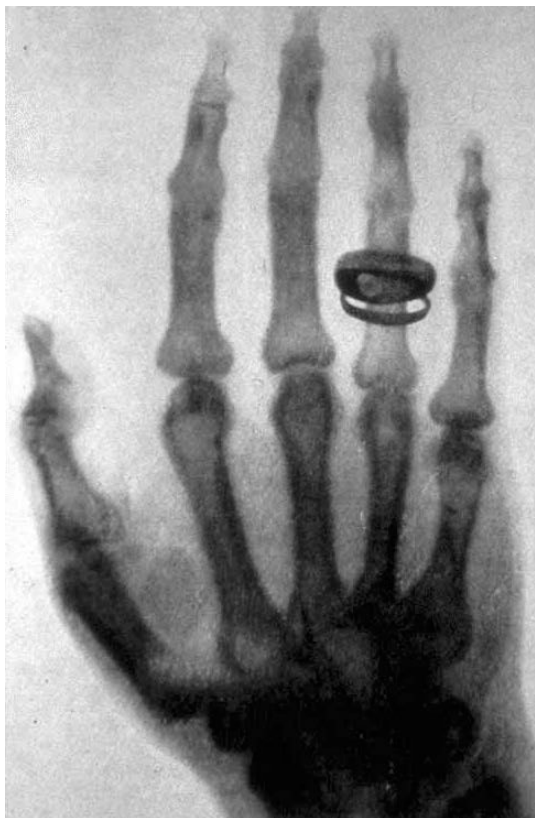
- 入射X線サイズを小さくし信号の発生源を限定する。試料または入射X線を走査し信号強度の分布を測定。
- メリット: 様々な信号を画像化できる。
- デメリット: 測定時間が長い。

## • 非走査型

- 広い入射X線を試料に照射。
- メリット: 測定時間が短い。
- デメリット: 特定の信号しか画像化できない。



# 非走査型



吸収

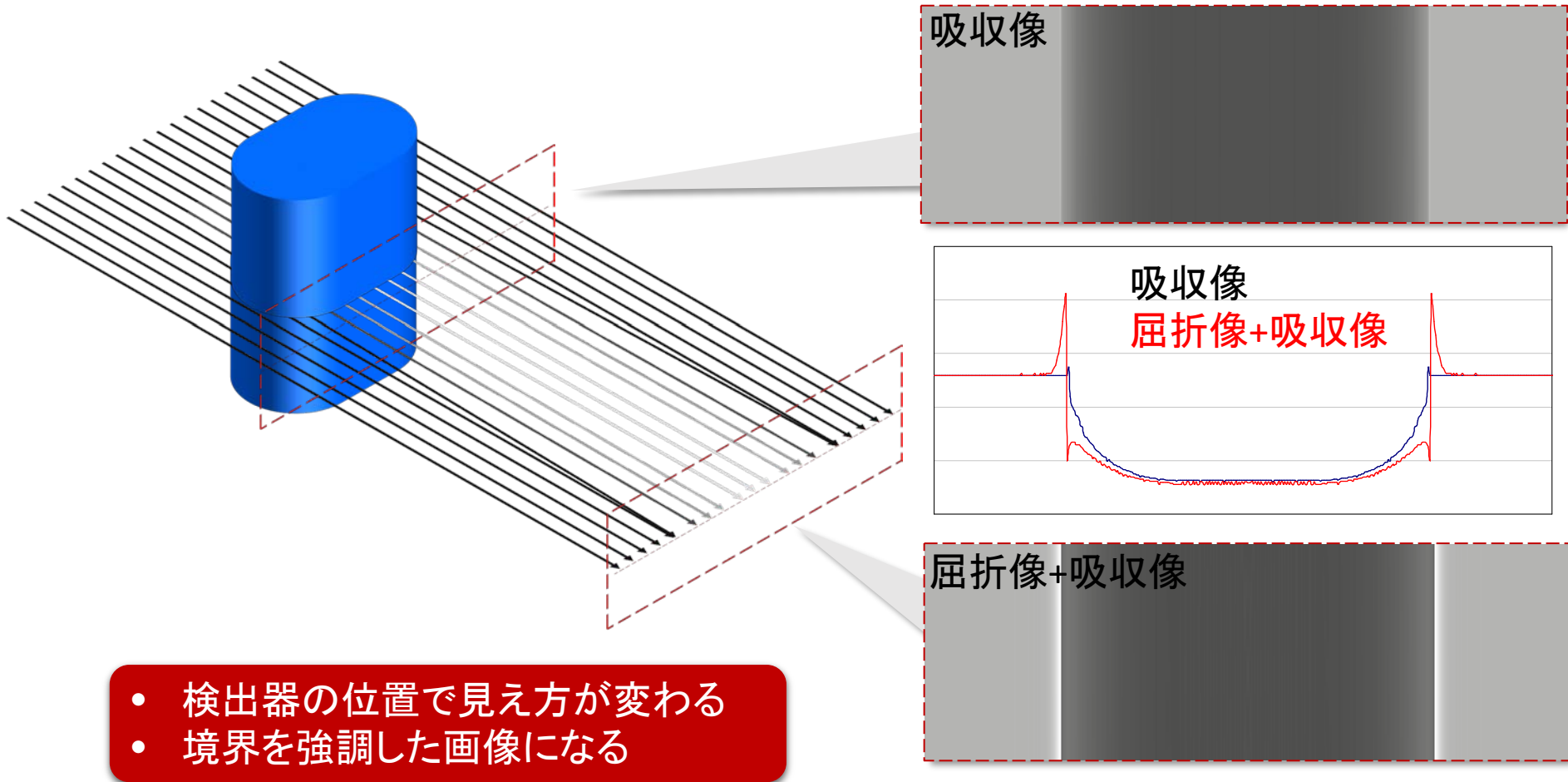
各部の吸収率の差が大きい試料の観察



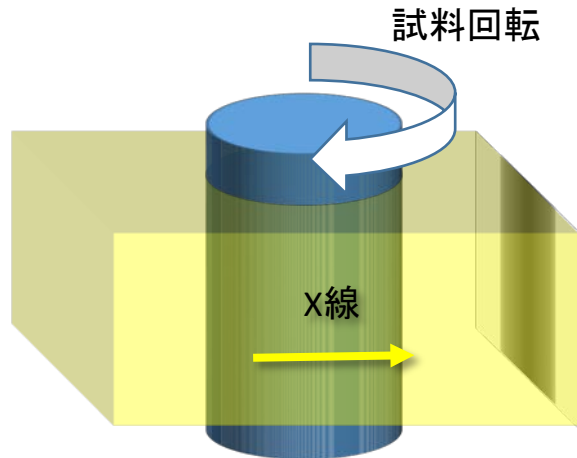
位相

各部の吸収率の差が小さい生体試料などの観察

# 光の伝播に基づく手法(屈折コントラスト)



# CT測定



- 様々な角度から試料の透過像を測定
- 一連の透過像から断面像を再構成
- 複数の断面像の積み重ね → 三次元像
- 試料を回転するため測定に時間がかかる

図. CT測定の様式図

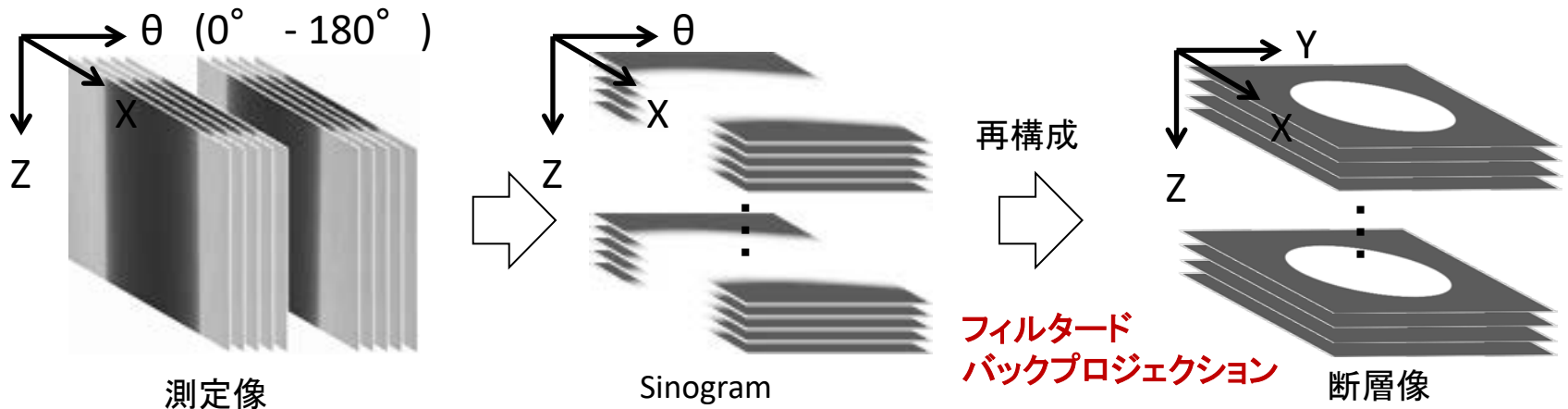


図. 測定像から断面再構成までの様式図



# 実験装置

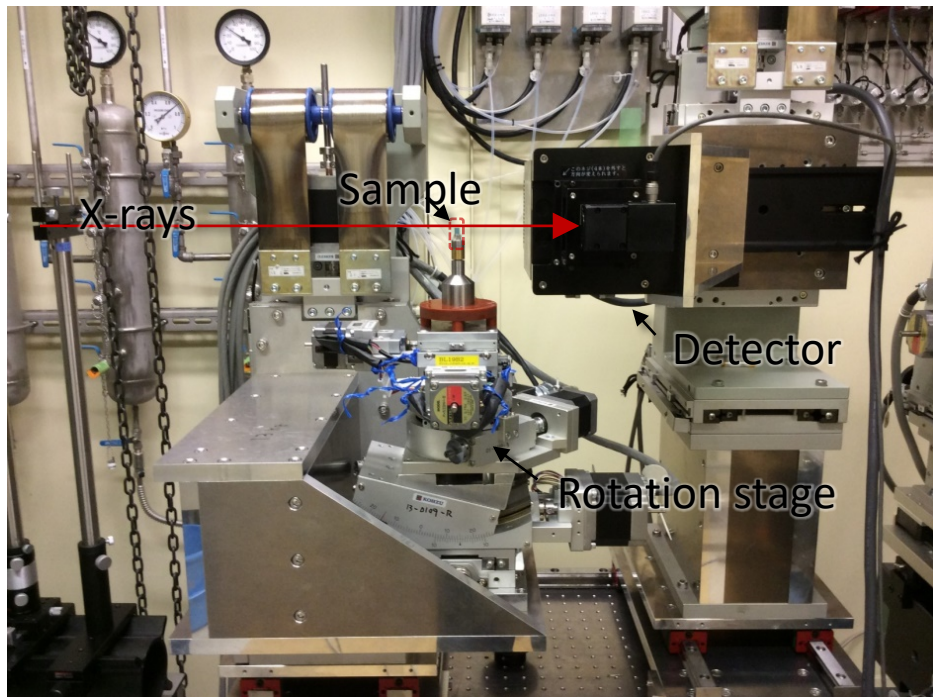


図. X線イメージング装置の写真

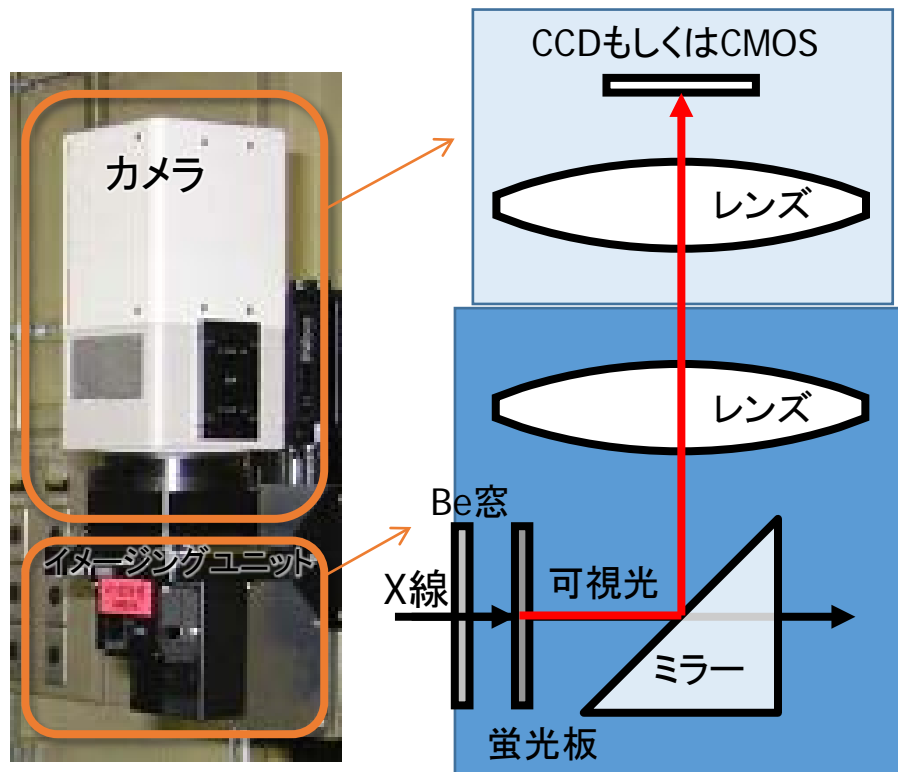


図. 標準的な検出器の写真と概略図

- X線像を可視光像に変換する
- レンズの組み合わせで画像の拡大縮小が可能

# 事例紹介

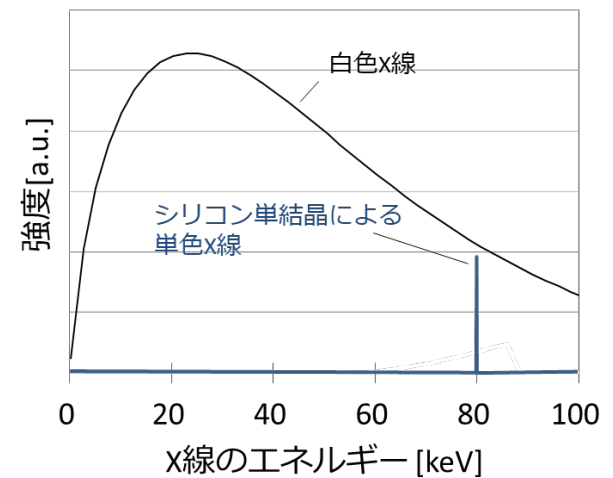
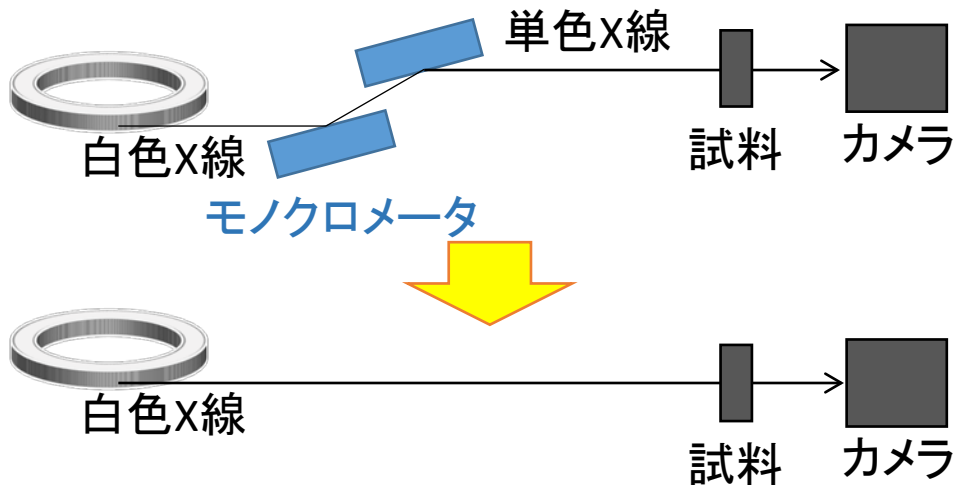
## 白色・準単色X線を利用した時分割測定

従来のX線イメージング実験: 単色X線を使用

単色X線は積分強度が弱く、時分割測定には不向き



白色・準単色X線を使った高速時分割イメージング技術の開発



単色X線は積分強度が弱い

# 例1. オペランドラジオグラフィ

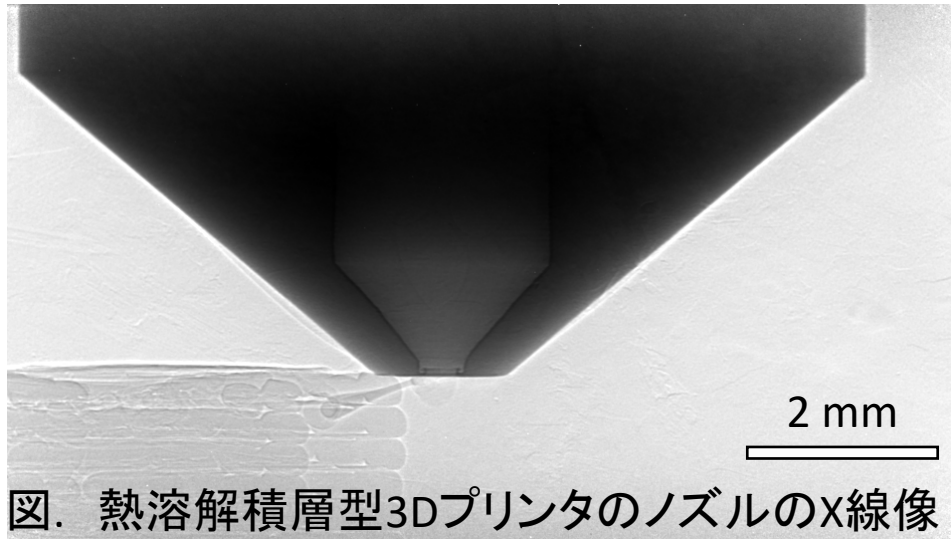
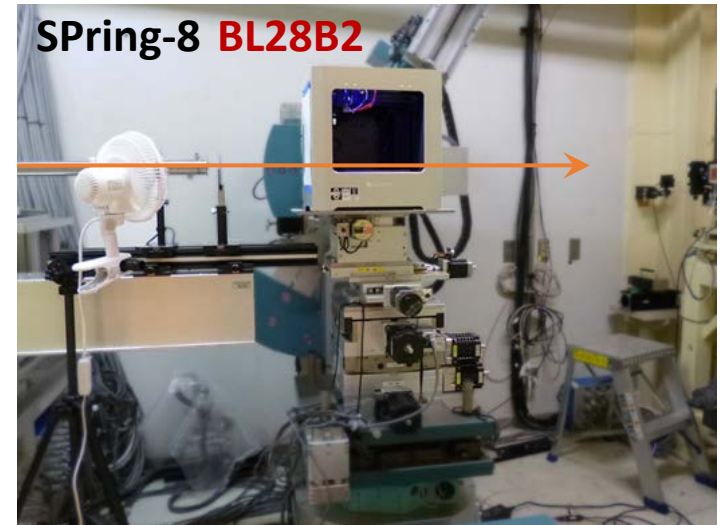
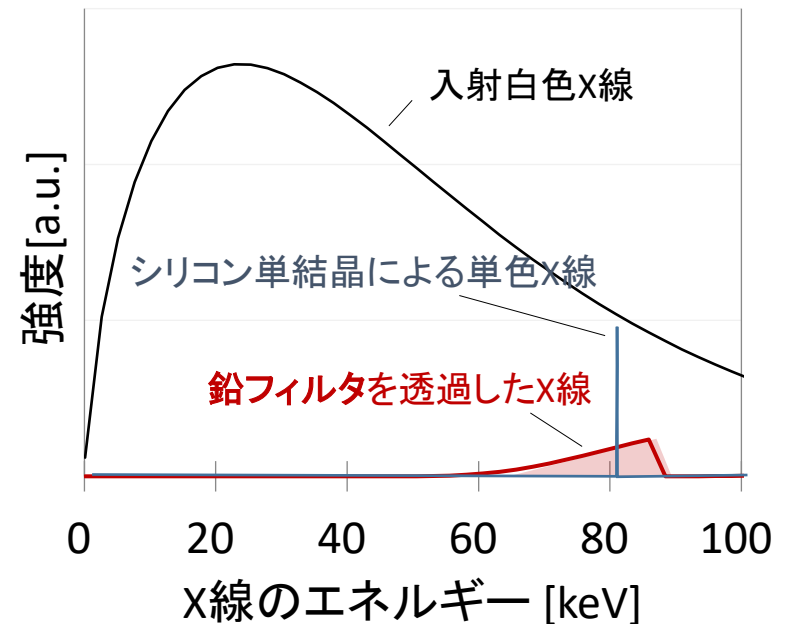


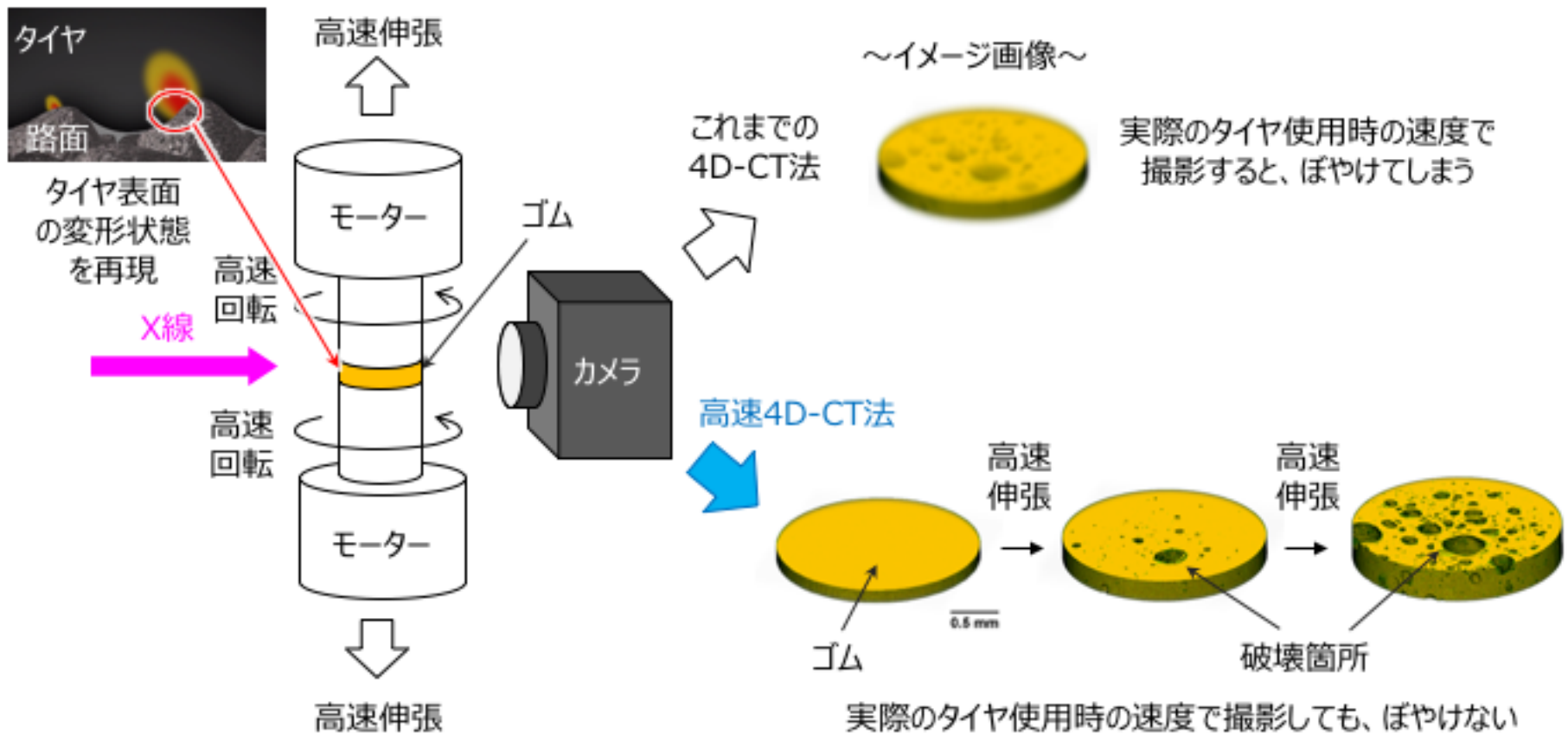
図. 熱溶解積層型3DプリンタのノズルのX線像



- 装置をそのまま持ち込むことができる  
広いスペースと高耐荷重の位置調整ステージ
- 数mmの金属材料を透過観察できる  
高エネルギーX線
- 樹脂を観察できる  
屈折コントラスト
- 1 msの短い露光時間(画素 5.2  $\mu\text{m}$ )  
エネルギー幅の広いX線



# 例2. 高速回転CT 住友ゴム、東北大学



高速4D-CT装置の概略図および3次元的に捉えたゴム破壊が進行する様子

住友ゴムと東北大学がゴム破壊のX線CT撮影の約1,000倍速化に成功  
～住友ゴムの新材料開発技術『ADVANCED 4D NANO DESIGN』がさらに進化～  
(プレスリリース)公開日 2021年03月08日

[http://www.spring8.or.jp/ja/news\\_publications/press\\_release/2021/210308/](http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/press_release/2021/210308/)

# 例3. マルチビーム無回転CT 東北大学

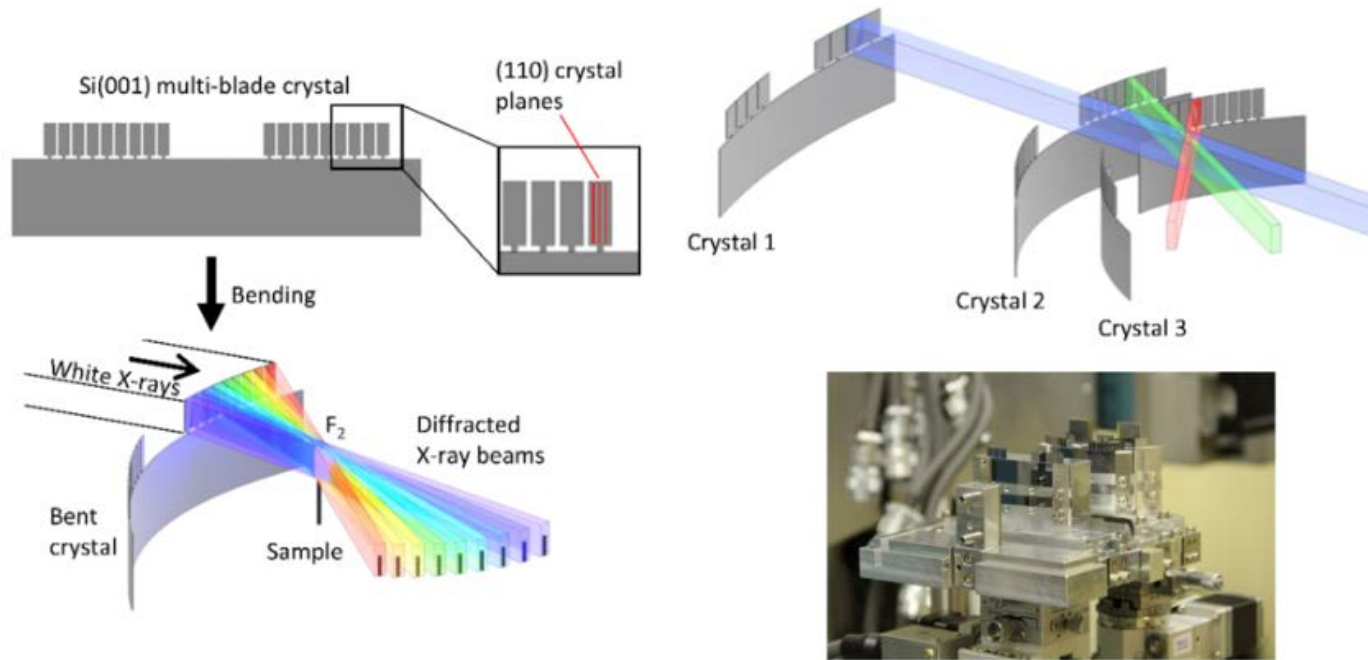


図1. 本研究で開発された放射光マルチビーム光学系。

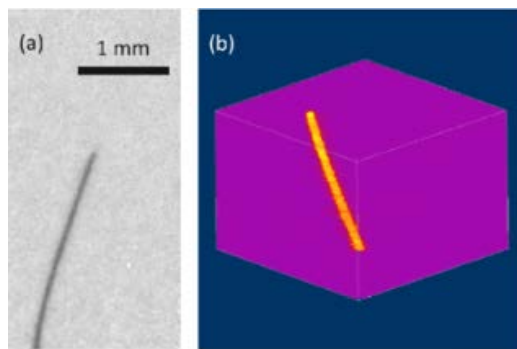


図2. 放射光マルチビーム光学系を用いて1 msで撮影された投影像の例 (左) および32投影像から圧縮センシングにより求められた試料の三次元再構成像 (右) (試料: 直径50  $\mu\text{m}$  のタングステンワイヤー)。

ミリ秒X線CTのための放射光マルチビーム化に成功

～試料の回転要らず動的3D観察を可能に～(プレスリリース)公開日 2020年05月13日

[http://www.spring8.or.jp/ja/news\\_publications/press\\_release/2020/200513\\_1/](http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/press_release/2020/200513_1/)

# 実験において注意すべきこと

- 散乱X線による電子機器の故障
- X線吸収による試料や実験装置の温度上昇



不要なX線は試料や実験装置に照射したくない

(不要なX線: X線イメージングのコントラスト形成に寄与が小さいX線)

$\mu t = 1$ となるエネルギーのX線を使うのが目安

それより極端に低いエネルギーや高いエネルギーのX線はX線イメージングへの寄与が小さい

- 低いエネルギーのX線: 試料を透過できない、試料の内部情報を与えない。試料に吸収され熱源や散乱源となる。
- 高いエネルギーのX線: 試料で吸収されない。画像のコントラストに寄与せずバックグラウンドを上げる。散乱源にもなる。

- 白色X線を使うことによるデメリット(試料や装置のダメージ)もある
- 白色X線のフルスペクトルの大強度の恩恵を得られるわけではない

# まとめ

- 放射光イメージングの活用例として「放射光白色・準単色X線を使った時分割測定」を紹介した
  - オペランドラジオグラフィ
  - 高速回転CT
  - マルチビーム無回転CT
  - 上記以外にも、BL40XUのモノクロなしのアンジュレータ光やBL20B2の多層膜モノクロメータなどがある
- 圧縮センシング
  - インテリアCT、角度欠損CT、スパースビューCT