

SPring-8での X線イメージング技術の最先端

上杉 健太郎 (JASRI/SPring-8)

Outline

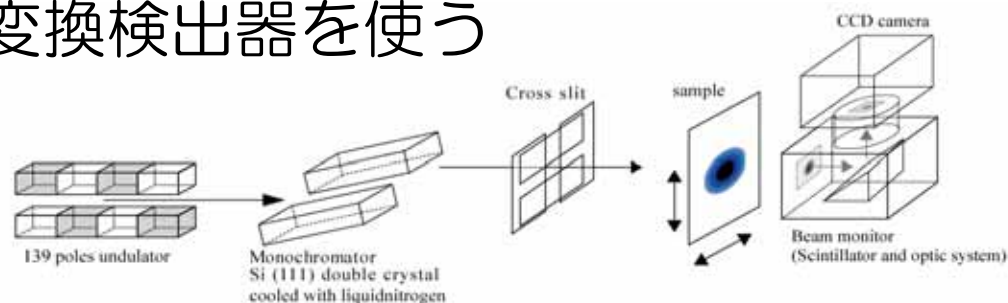
- はじめに
 - 放射光X線を利用したイメージング
- 高空間分解能イメージング
 - 基本構成と分解能
 - 代表的な計測例
 - これからの開発要素
- まとめ

放射光X線を利用したイメージング

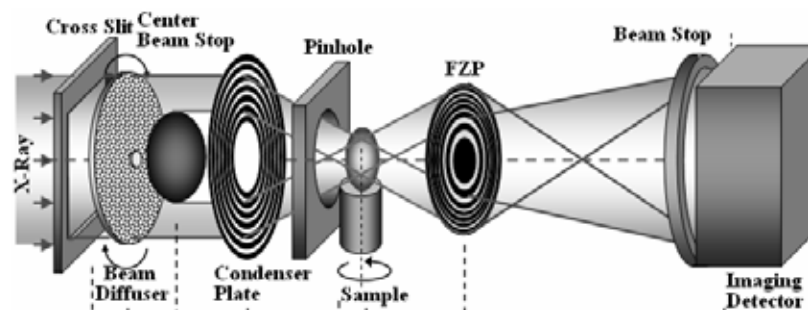
- 放射光X線の特徴
 - 単色($\Delta E/E=10^{-3}$)にしても高い光束密度($10^8 \sim 10^{13}$ ph/mm²/sec @50m)
 - 広いエネルギーレンジ(5~100keV)
 - 平行度が高い
- これらの特徴により可能なこと
 - 定量的な画像情報の取得(吸収係数・屈折率)
 - 高速度撮影(試料の動的観察)
 - 高分解能撮影(可視光顕微鏡を超える分解能)

高分解能撮影、2つの方法

- 投影型光学系
 - 単純な平行照明を用いる
 - 高分解能型可視光変換検出器を使う



- 結像型光学系
 - 試料と検出器の間に、X線光学系を投入
 - 中程度の空間分解能の検出器を使う

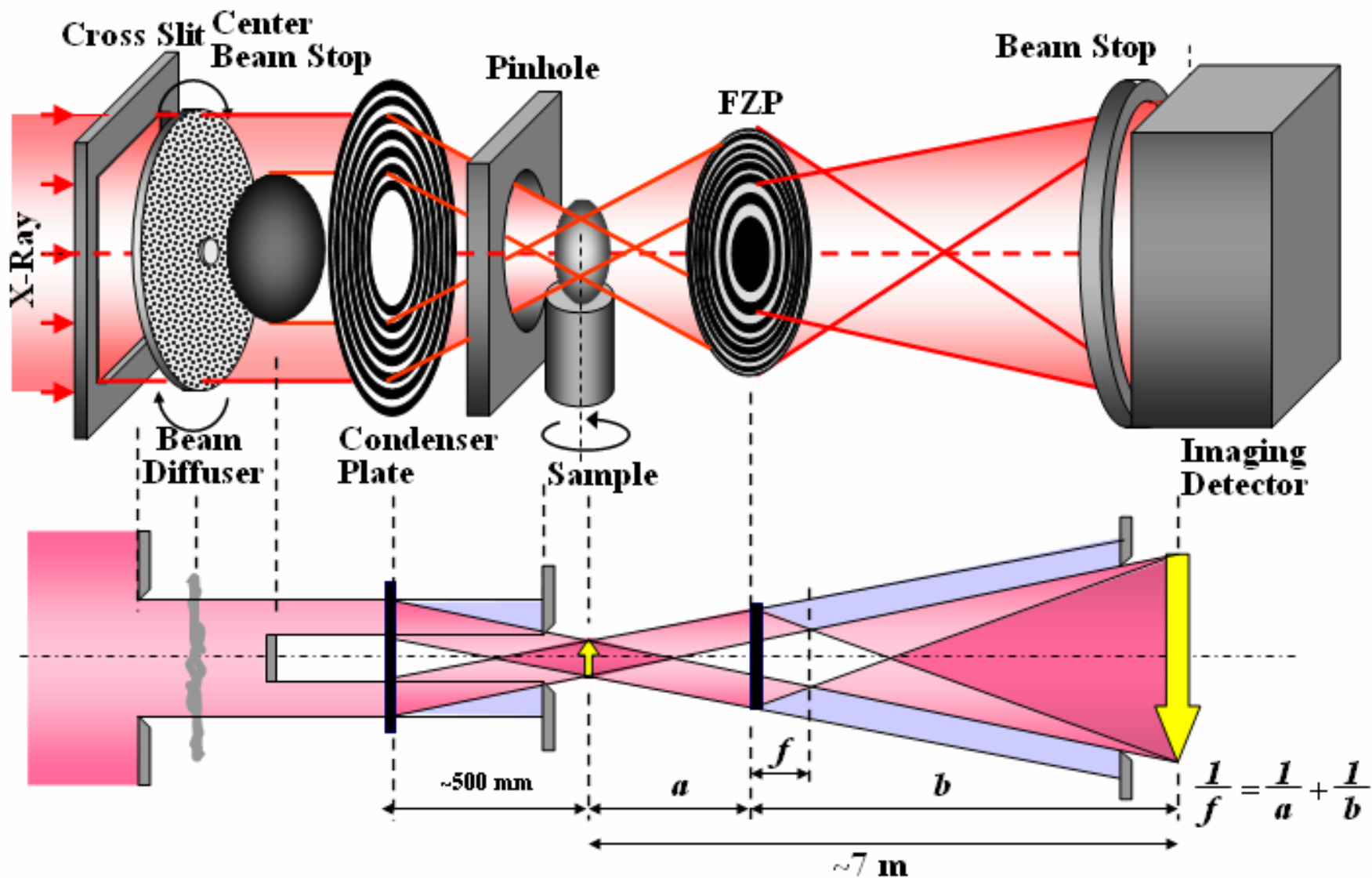


高分解能撮影、結像型の理由

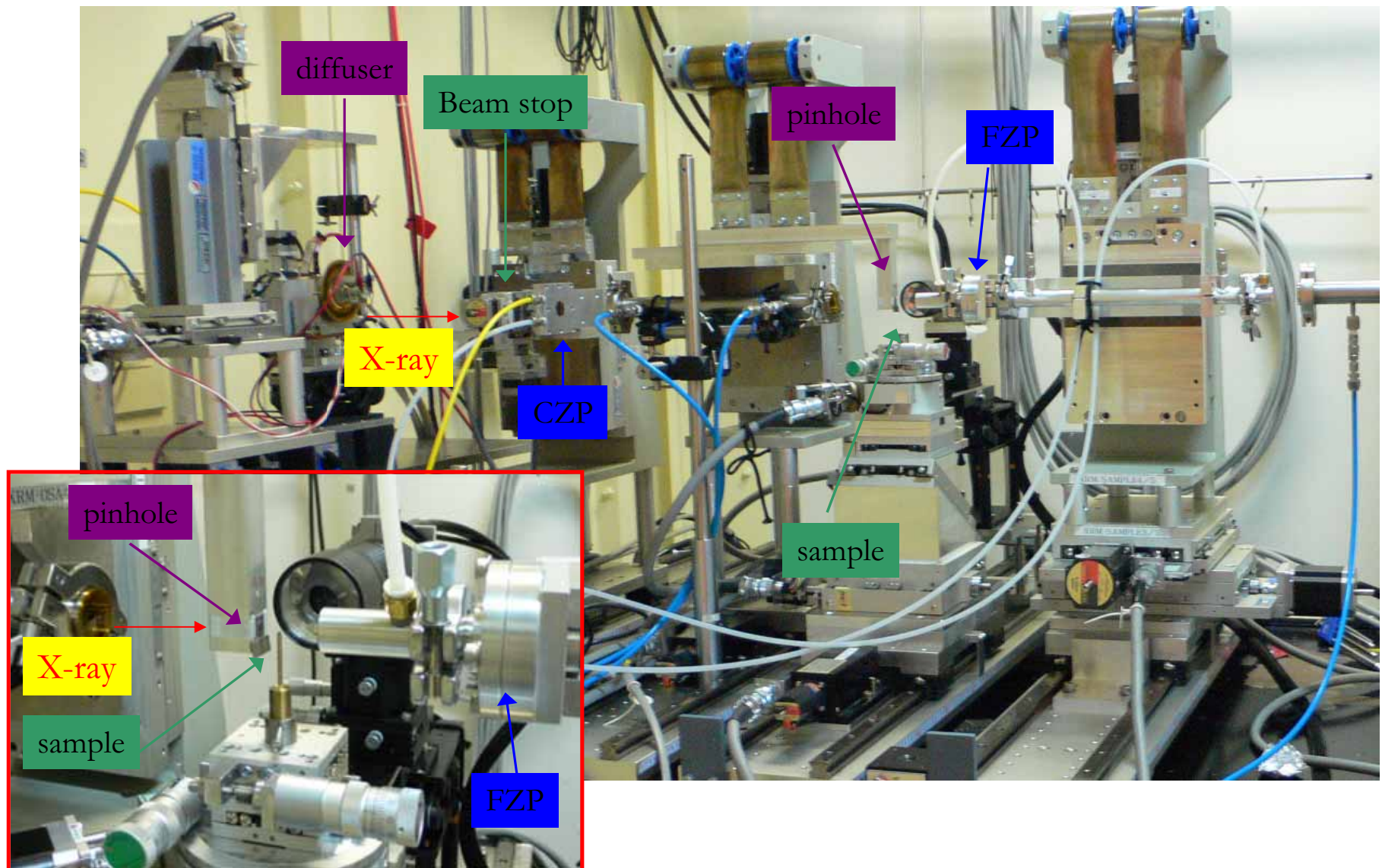
- 投影型イメージングでの空間分解能の制限
 - 検出器に関する問題
 - 可視変換後の光の波長, LSO 420nm.
 - 蛍光面内でののにじみ
 - 可視光用レンズでののにじみ
 - 物体界面でのX線の変化
 - 屈折・回折
 - フレネル回折

X線用の光学系を用いて、X線その物を拡大投影すれば、可視光の限界を超えて分解能を向上させる事が出来る

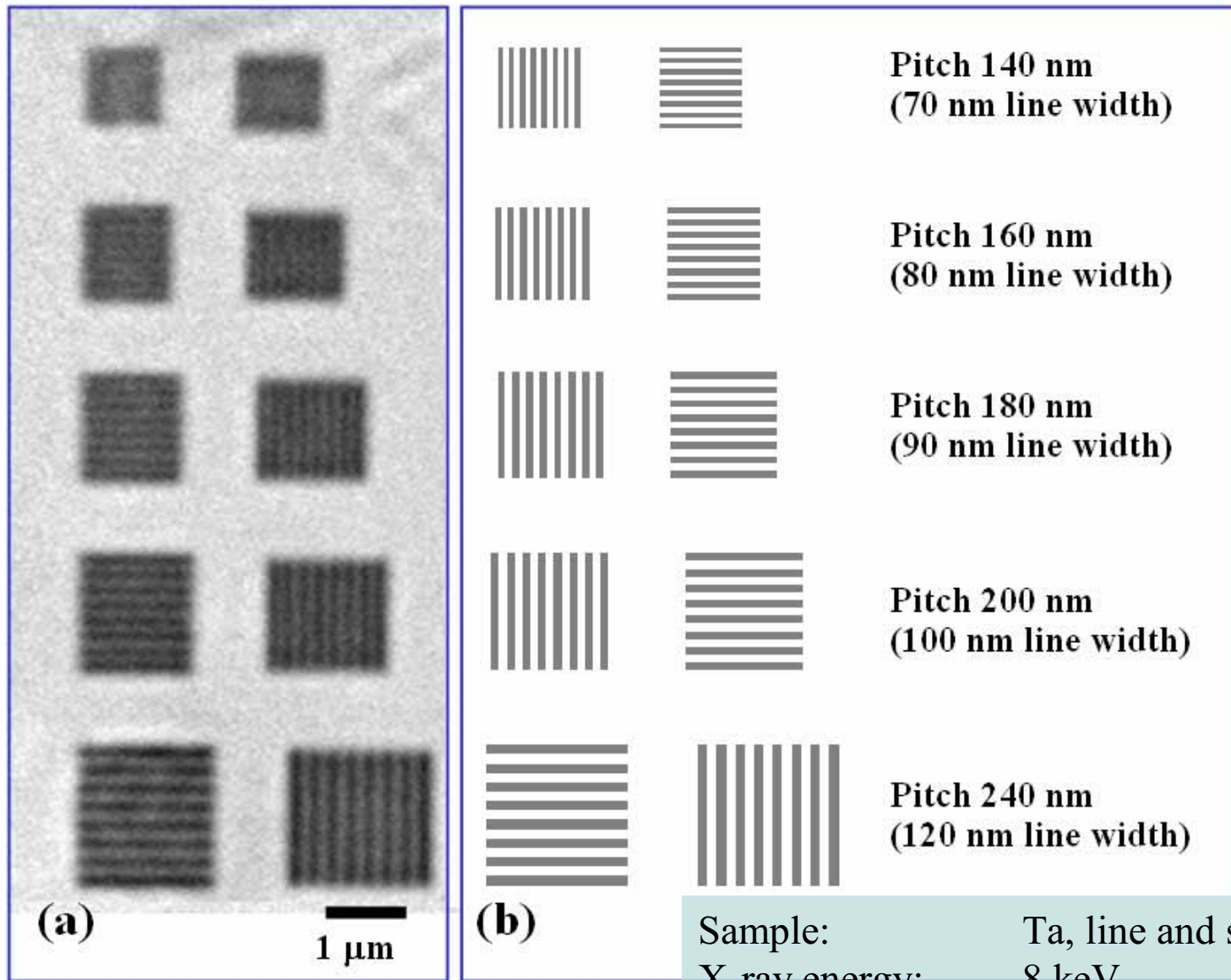
FZPを利用した結像型X線顕微鏡の光学系



FZPを利用した結像型X線顕微鏡の光学系



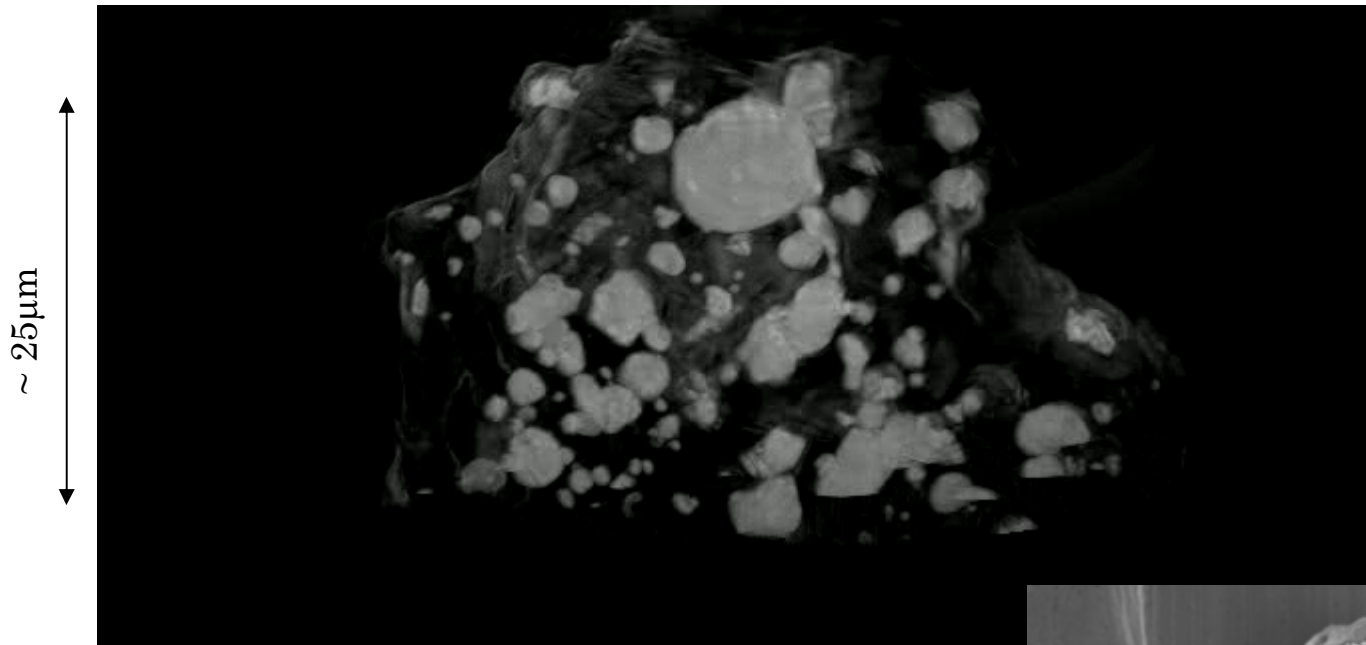
結像顕微鏡の空間分解能



代表的な測定例(1)

Provided by T. Noguchi

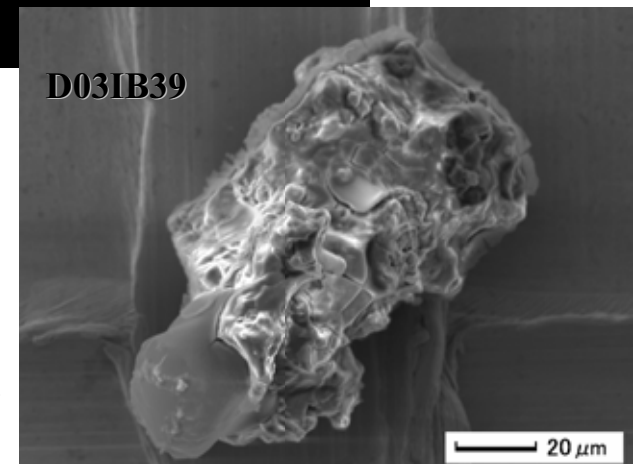
Antarctic Micro Meteorite



Experimental conditions

Sample: AMM (D03IB39)
Beamline: BL47XU
X-ray energy: 9 keV
projection: 1800
Exposure time: 300msec / prj

SEM image.
Picked up from snow.
Plagioclase-bearing



代表的な測定例(2)

Provided by H. Kishimoto

試料の電顕像



単分散シリカ (φ974nm) を
体積分率で20%配合

ゴム中の単分散シリカ

X線CTの実験条件

エネルギー：8keV

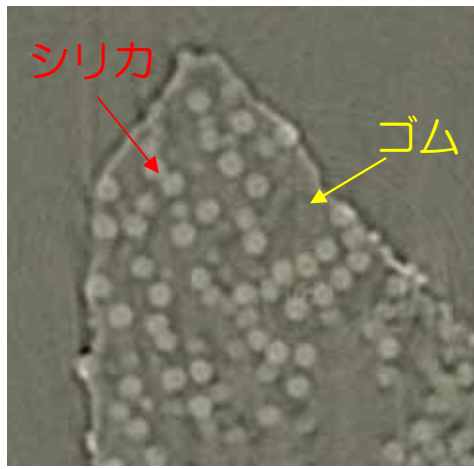
投影数：4500 / 180deg

撮影時間：1hr

ピクセルサイズ：40nm

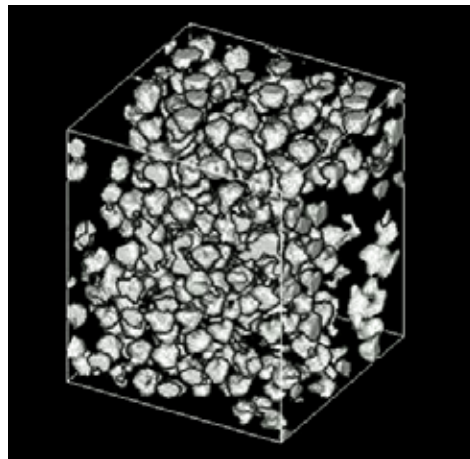
8keVでは、シリカ1μmの透過率は99.2%なので
Defocus して若干の屈折コントラストを利用した

CT データからの volume rendering と各粒子の三軸不等楕円体近似

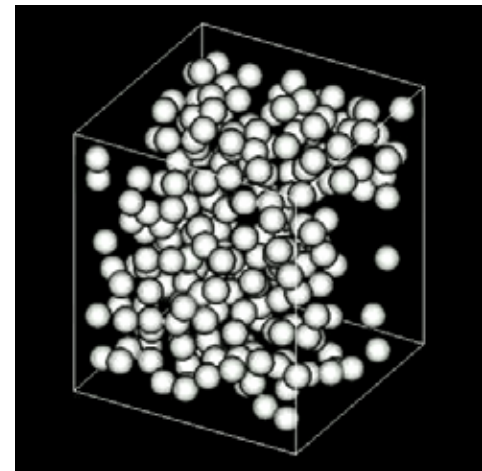


CT image

5μm



stacked CT images



triaxial ellipsoids (TE)

これからの開発要素

- より高い空間分解能
 - 電子線リソグラフィーによるFZPの製作限界は最外線幅50nm程度。(2007年6月時点)
 - 高精度ステージの製作
- 位相計測
 - 試料が小さくなると吸収ではコントラストがつきにくくなる。
 - Talbot型干渉計・Zernike位相板などと組み合わせた手法。
- その他
 - まだまだ様々な問題があるだろう

まとめ

- X線結像光学系を利用することで、可視光顕微鏡の限界を超える空間分解能を達成した。具体的には、160nm程度。対物レンズの性能向上により、より高い分解能を目指すことが出来る。
- CT撮影では300nm程度の空間分解能を達成している。
- 観察だけではなく、解析可能なデータの取得が可能になってきた。

Collaborators

JASRI / SPring-8

竹内 晃久・鈴木 芳生・八木 直人

SRI研究開発

岸本 浩通

大阪大学

土山 明・上梶 真之・安田 秀幸

豊橋技術科学大学

戸田 裕之・小林 正和

産総研 地質情報センター

中野 司