

蛍光X線イメージング技術

大阪市立大学 大学院工学研究科
教授 辻 幸一

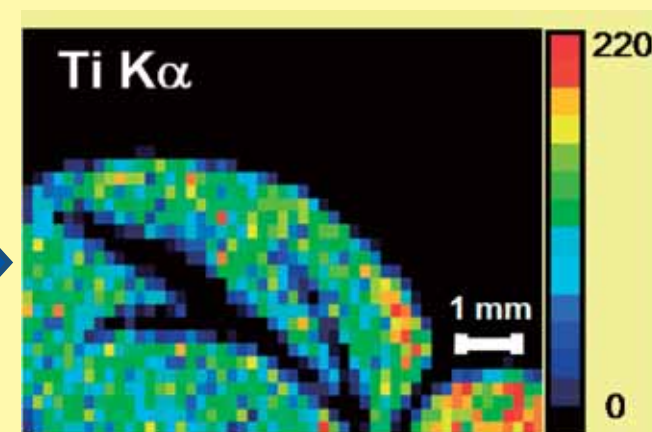
蛍光X線分析法 (XRF) の特徴

迅速かつ簡便な元素の定性・定量分析法（非破壊的、大気圧下）

工業製品の検査、科学捜査、環境分析、考古史料分析、生体試料分析 ,etc...

微小部蛍光X線分析 (μ -XRF)

ポリキャピラリーX線レンズなどのX線集光光学素子の発達により、実験室レベルでの微小部分析が実現



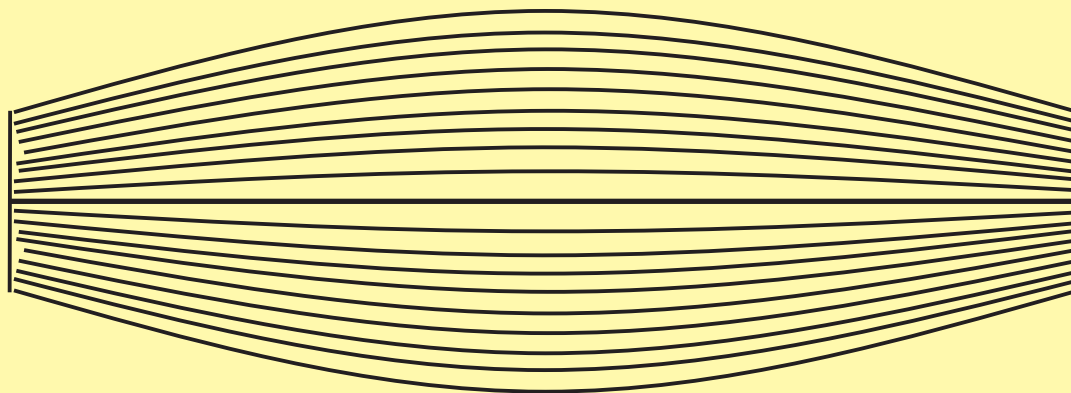
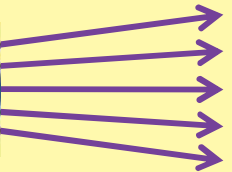
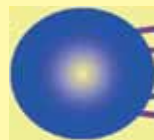
蛍光X線による化学イメージングが可能となった

課題； 小型化・携帯化、イメージングの迅速化など

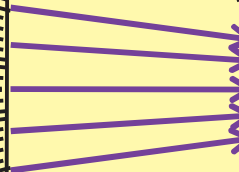
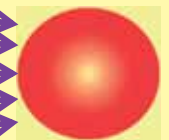
ポリキャピラリーX線集光光学素子

- **微細なガラス管**を数十万本束ねた構造
- ガラス管内壁面で**X線を全反射**させ、伝播
- 全反射の際、徐々に**X線の向きを曲げ**、**1点に集光**

X線源



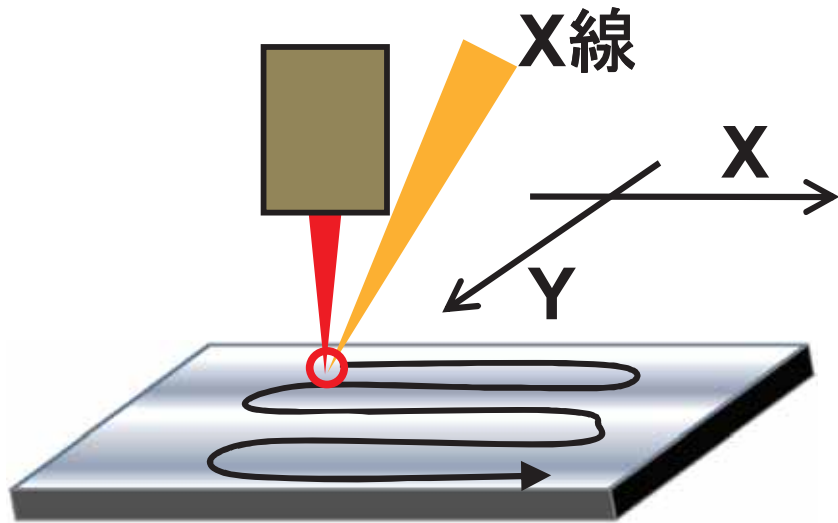
集光点



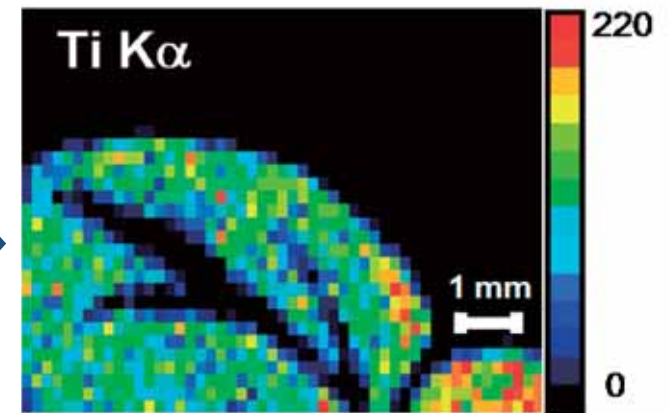
ポリキャピラリーX線レンズ

走査型画像取得法

X線検出器



チタン元素分布図



微小部分分析の発展 ⇒ 元素分布図
微細ビームの開発 ⇒ 高画素化

画像取得に長時間を要する



**投影型 (projection mode) の
画像取得法が必要**

例えば、

Area : 5 × 5 mm

Step : 50 μ m

Pixel : 100 × 100

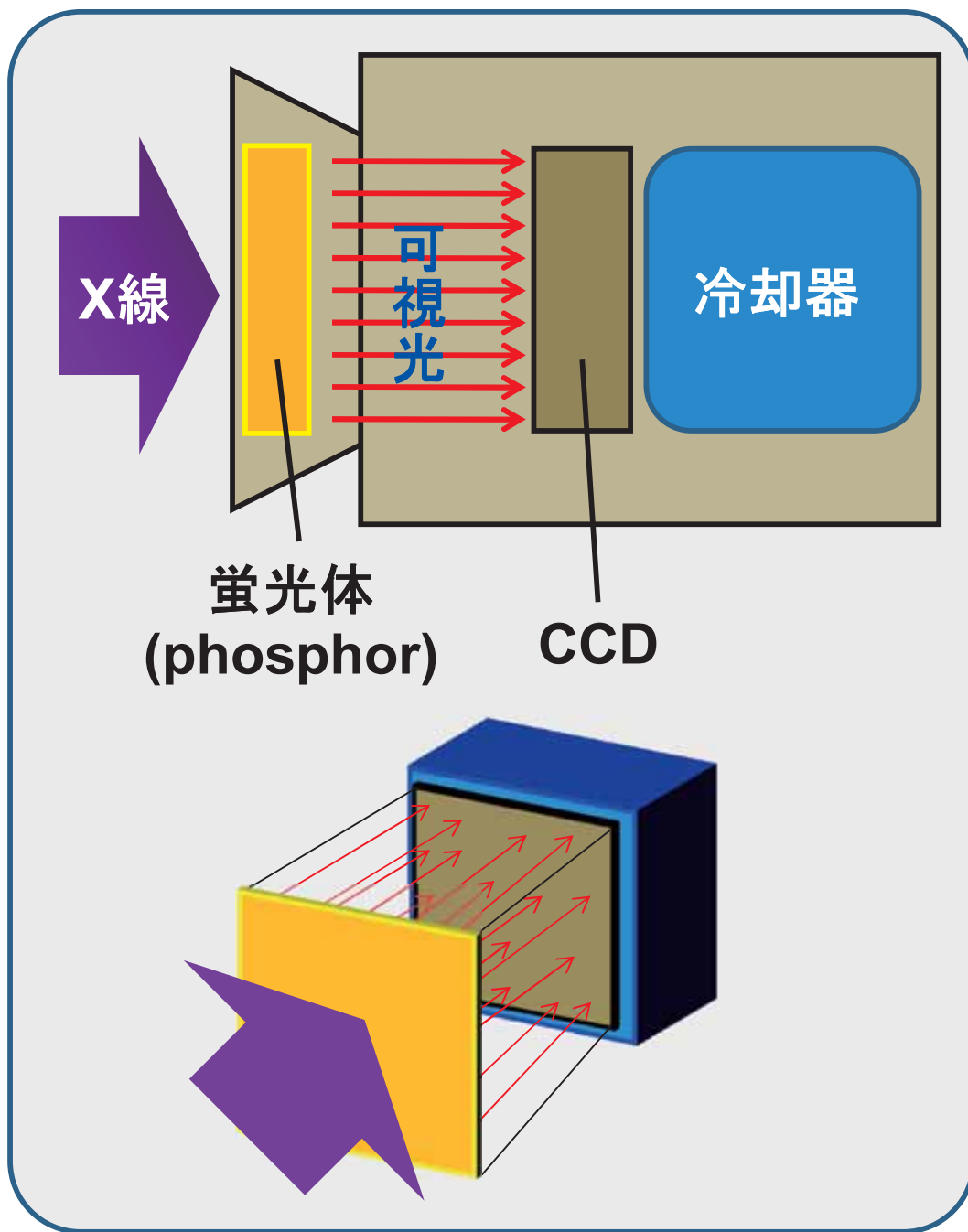
Time : 20 s



56 h \doteq 2.3 days

X-ray CCD camera

X線CCDカメラ



Phosphor	Gd ₂ O ₂ S:Tb
Pixel size	13 × 13 μm
Pixel format	1024 × 1024

位置分解能: 有

エネルギー分解能: 無

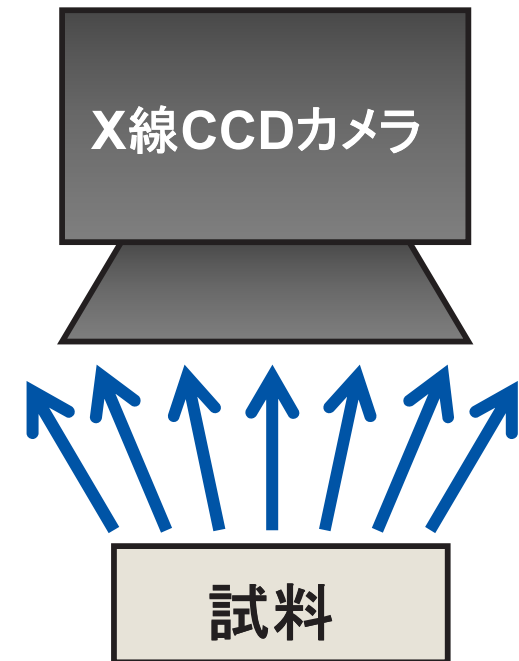


元素分析 (XRF) への応用が困難

Straight type poly-capillary

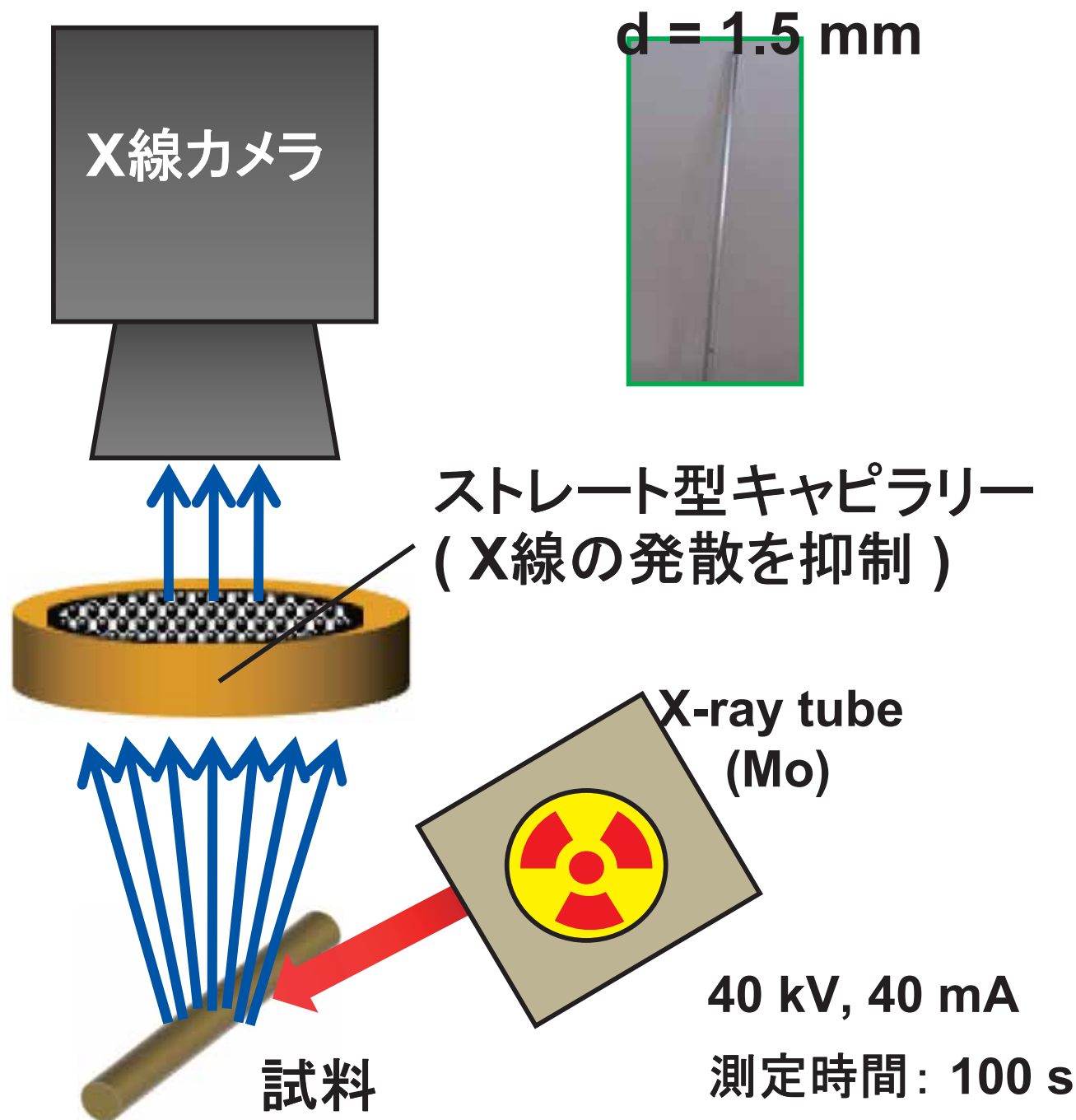
X線CCDカメラは、X線像を瞬時に取得できる

- 問題点1：発散により像が鮮明でない
- 問題点2：エネルギー分解能がない

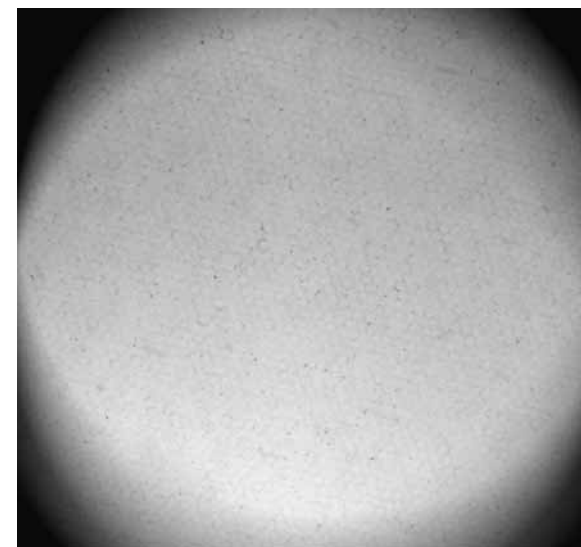


コリメーター機能とエネルギーフィルター機能を
合わせ持つ光学素子がないか？

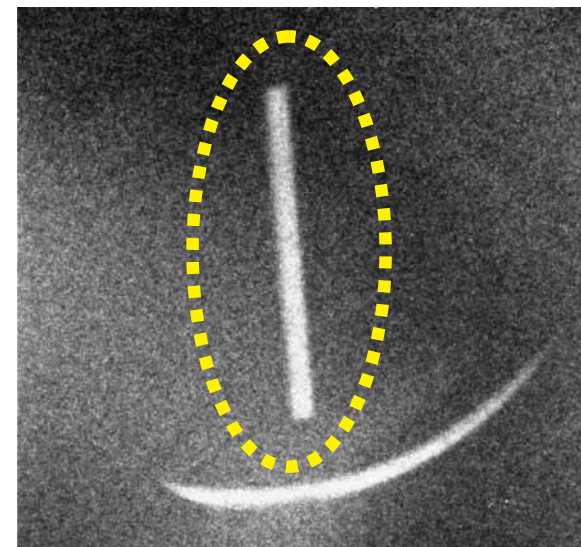
Straight type poly-capillary



キャピラリー 無



キャピラリー 有



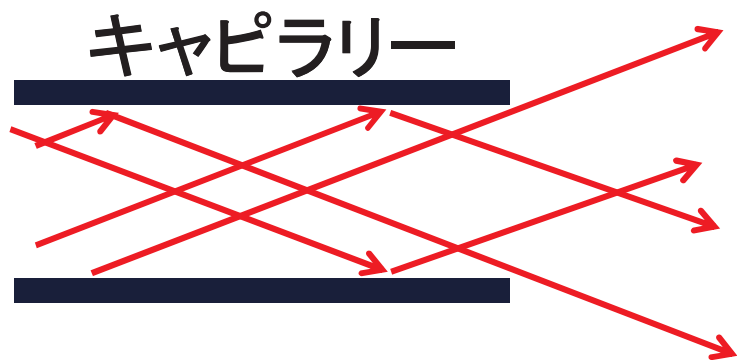
Total reflection of x-rays

全反射臨界角 (θ_c)

$$\theta_c[\text{deg.}] \approx \frac{1.17 \sqrt{\rho[\text{g/cm}^3]}}{E[\text{keV}]}$$

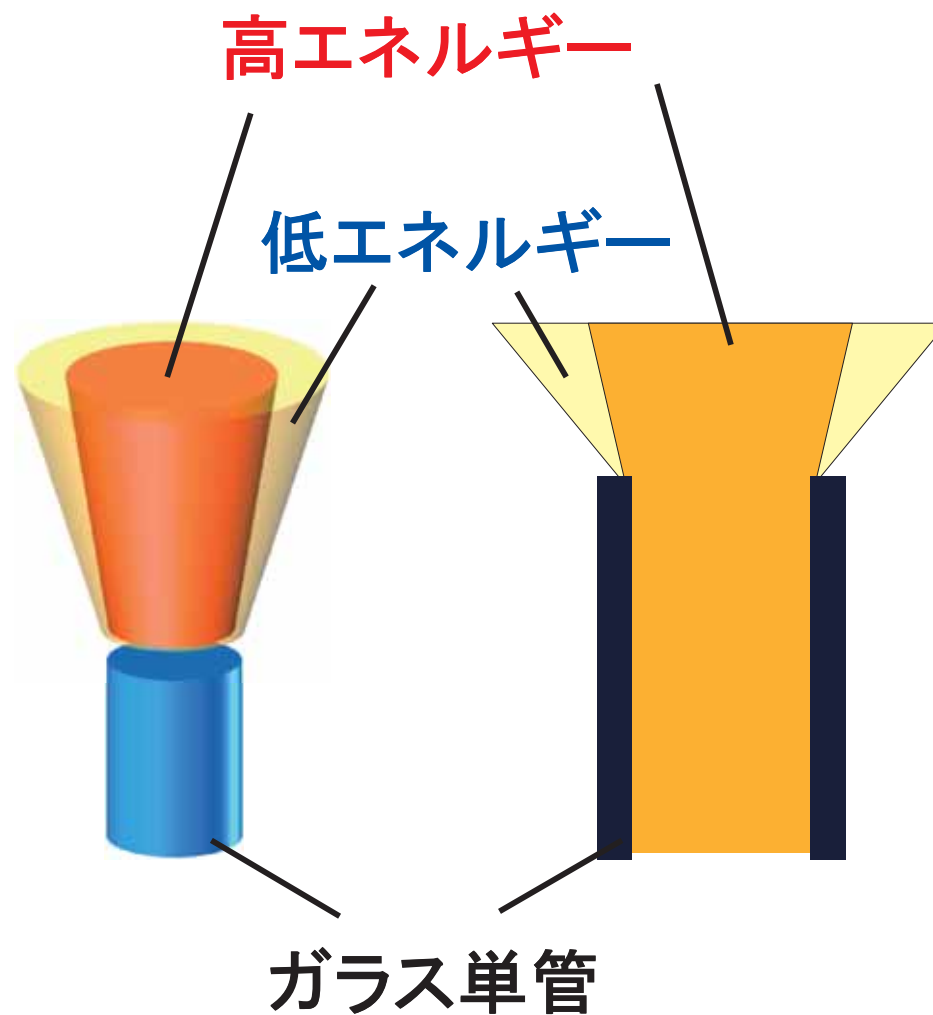


全反射臨界角 (θ_c) は
X線エネルギーに反比例

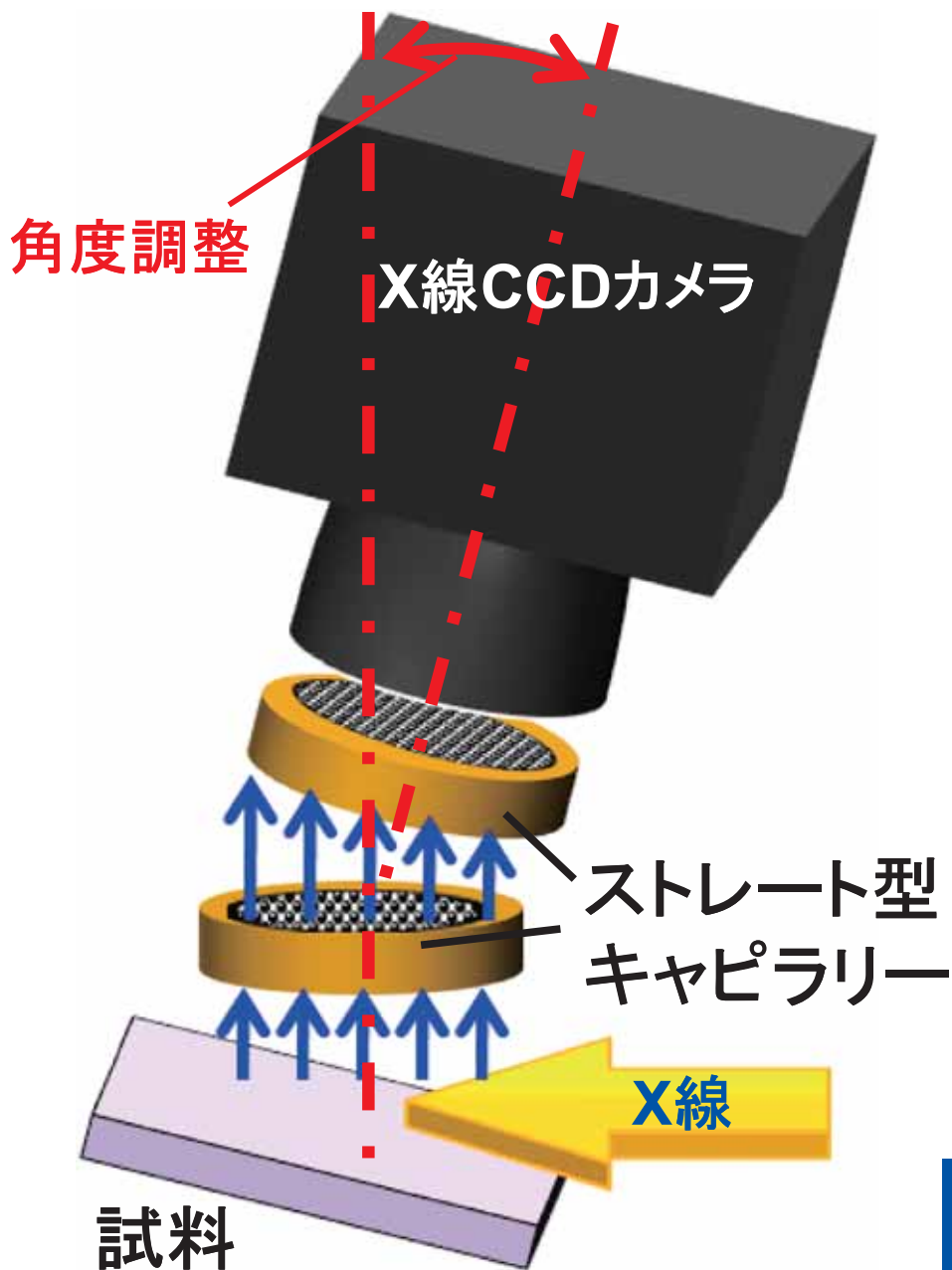


キャピラリー出口で
X線は発散

X線ビーム発散の様子

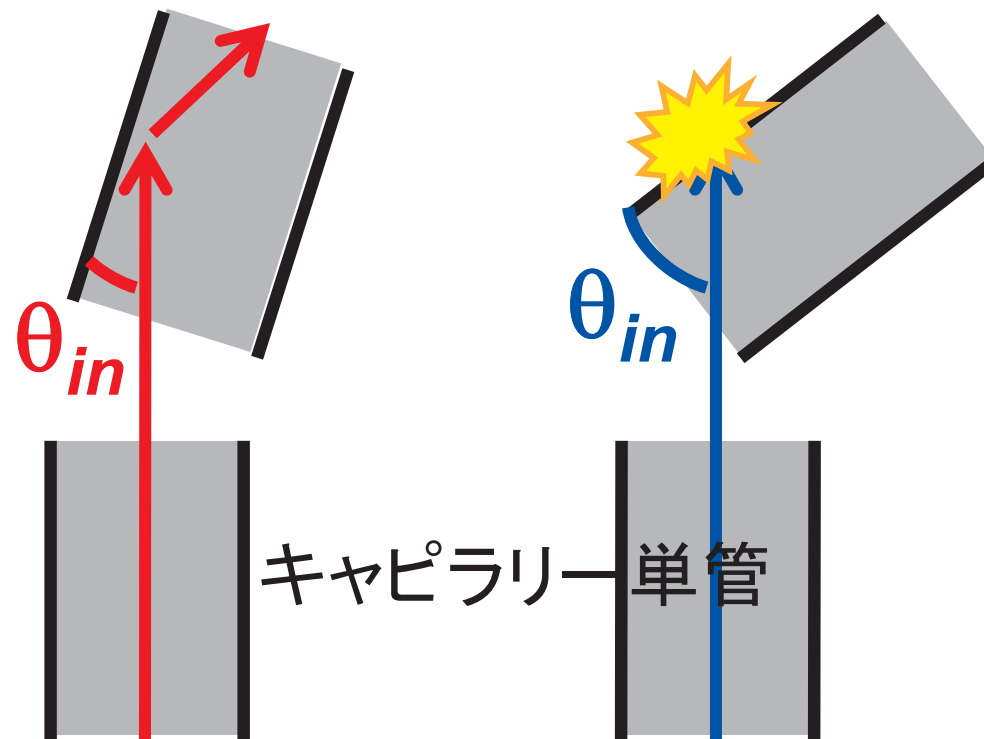


Design concept



傾斜角：小

傾斜角：大

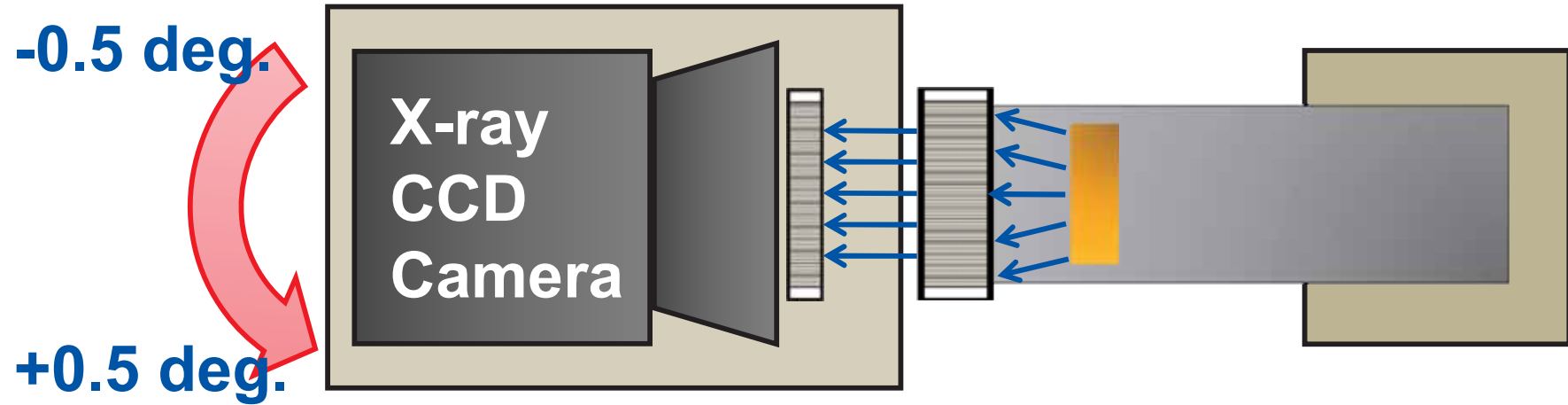


$\theta_c > \theta_{in}$... 検出可

$\theta_c < \theta_{in}$... 検出不可

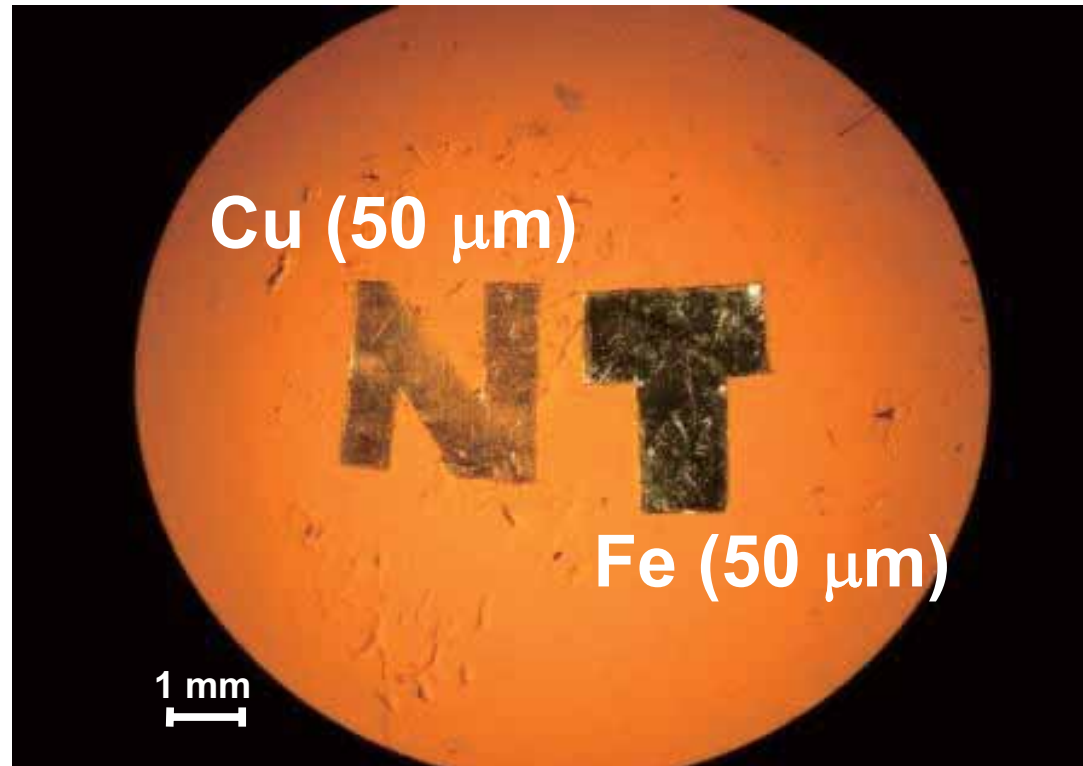
角度調整 ⇒ エネルギー選別

XRF images by X-ray CCD camera



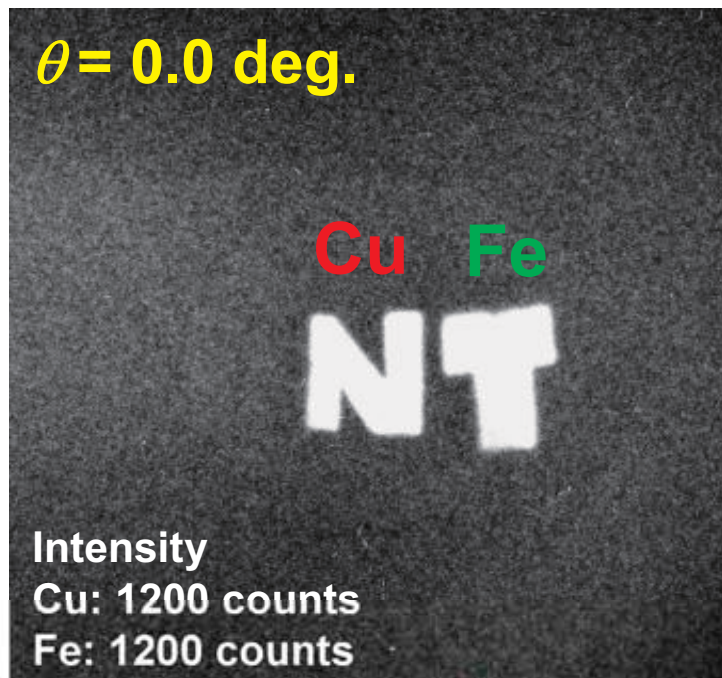
Sample
Cu, Fe foil ($50\ \mu\text{m}$)

Condition:
40 kV, 40 mA
Exposure time:
5 min.

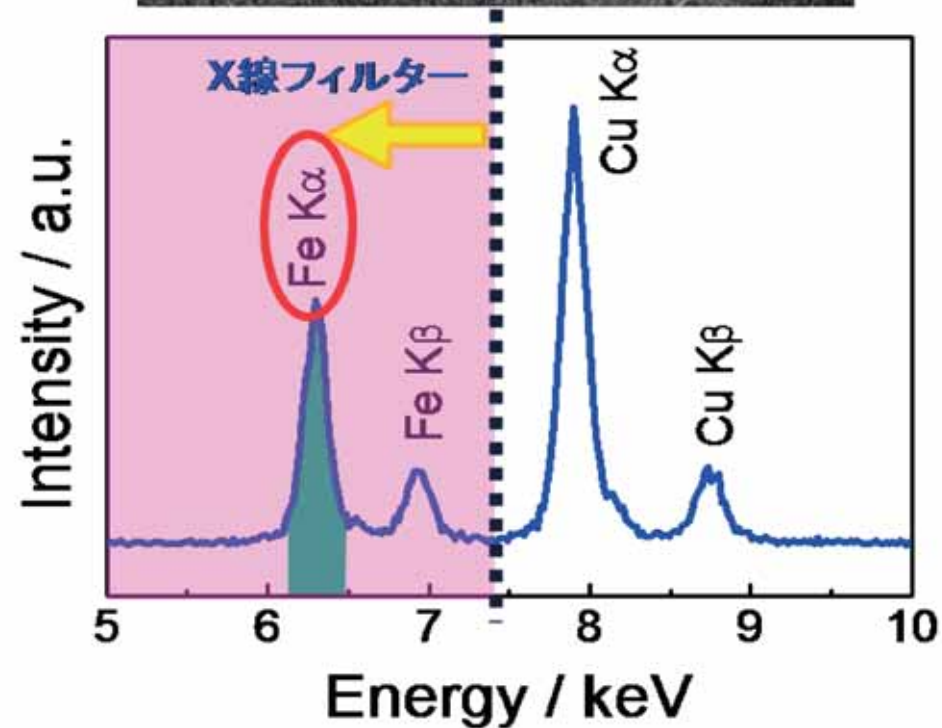
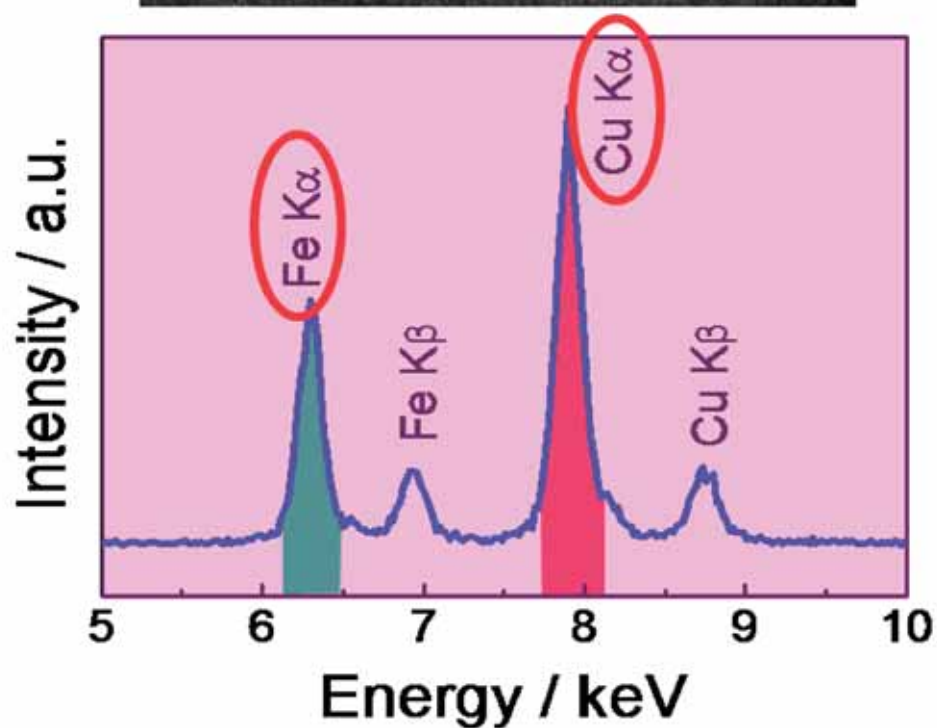
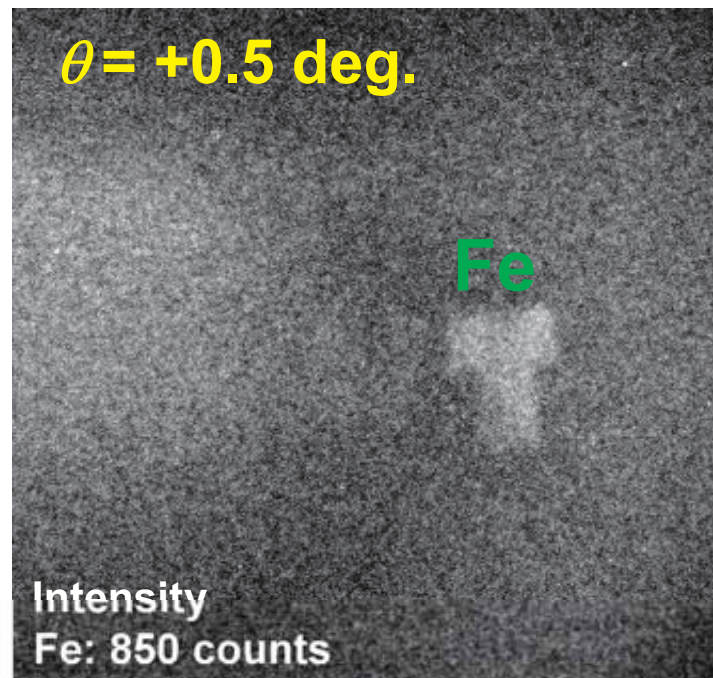


Energy-selective XRF images

$\theta = 0.0$ deg.



$\theta = +0.5$ deg.



想定される用途

- X線による迅速な元素分布情報の取得。
- 大気圧下でX線画像が取得できることから水を含むようなウェットな試料にも適用できる。
- また、ポリキャピラリー光学素子をエネルギー分散素子と利用すれば、X線イメージングシステムが構築できる。

想定される業界

- X線分析装置製造メーカー、X線要素技術開発メーカー、
大学・研究所での基盤研究技術

実用化に向けた課題

- X線画像取得時間が5分程度かかっている。
この点については、検出器の高感度化、バックグラウンドとしてのX線を減少させること、高輝度X線源の利用により短縮できる。
- エネルギー分解能のさらなる向上が必要である。さらに、X線を特定するには別途、簡易型エネルギー分散型X線検出器を使用する。

企業への期待

- X線エネルギーフィルター機能におけるエネルギー分解能の向上にはポリキャピラリー内壁の金属コーティングも重要な課題となる。
- キャピラリー内壁に金属コーティングできる技術を持つ、企業との共同研究を希望します。
- また、この技術をX線分析システムとして実用化を検討される企業との共同研究を希望します。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 2次元分布を測定する方法および装置
- 出願番号 : 特願2009-075788
- 出願人 : 公立大学法人大阪市立大学
- 発明者 : 辻 幸一

本技術に関する関連論文

K. Tsuji, K. Nakano, M. Yamaguchi, T. Yonehara, “Micro and imaging x-ray analysis by using polycapillary x-ray optics”, *Proc. SPIE*, **7077** (2008) 70770W-1~8.

お問い合わせ先

大阪市立大学 新産業創生研究センター
コーディネーター 渡辺 敏郎

TEL 06-6605-3469

FAX 06-6605-3552

e-mail watanabt@ado.osaka-cu.ac.jp