

産総研のレーザーコンプトン線源を用いた イメージング研究

○池浦広美、黒田隆之助、安本正人、豊川弘之、小池正記
産業技術総合研究所

丸山耕一
秋田工業高等専門学校

森浩一
茨城県立医療大学

岡寛
聖マリアンナ医科大学

はじめに

- 産総研LCS-X光源利用実験の概要
- PF BL14C光源との比較
- 解像度の光源形状依存性
- 医療用X線源との比較
- ラット腰椎の屈折コントラストイメージング
- イメージング測定例
- 今後の予定

LCS-X光源

生成X線

Collision angle (ϕ)	photon energy	Pulse width (rms)	Number of Photons
90	20 keV	150 fs	$\sim 10^6$ /s (max) @10Hz
165	10 keV ~ 40 keV	3 ps	$\sim 10^7$ /s (max) @10Hz

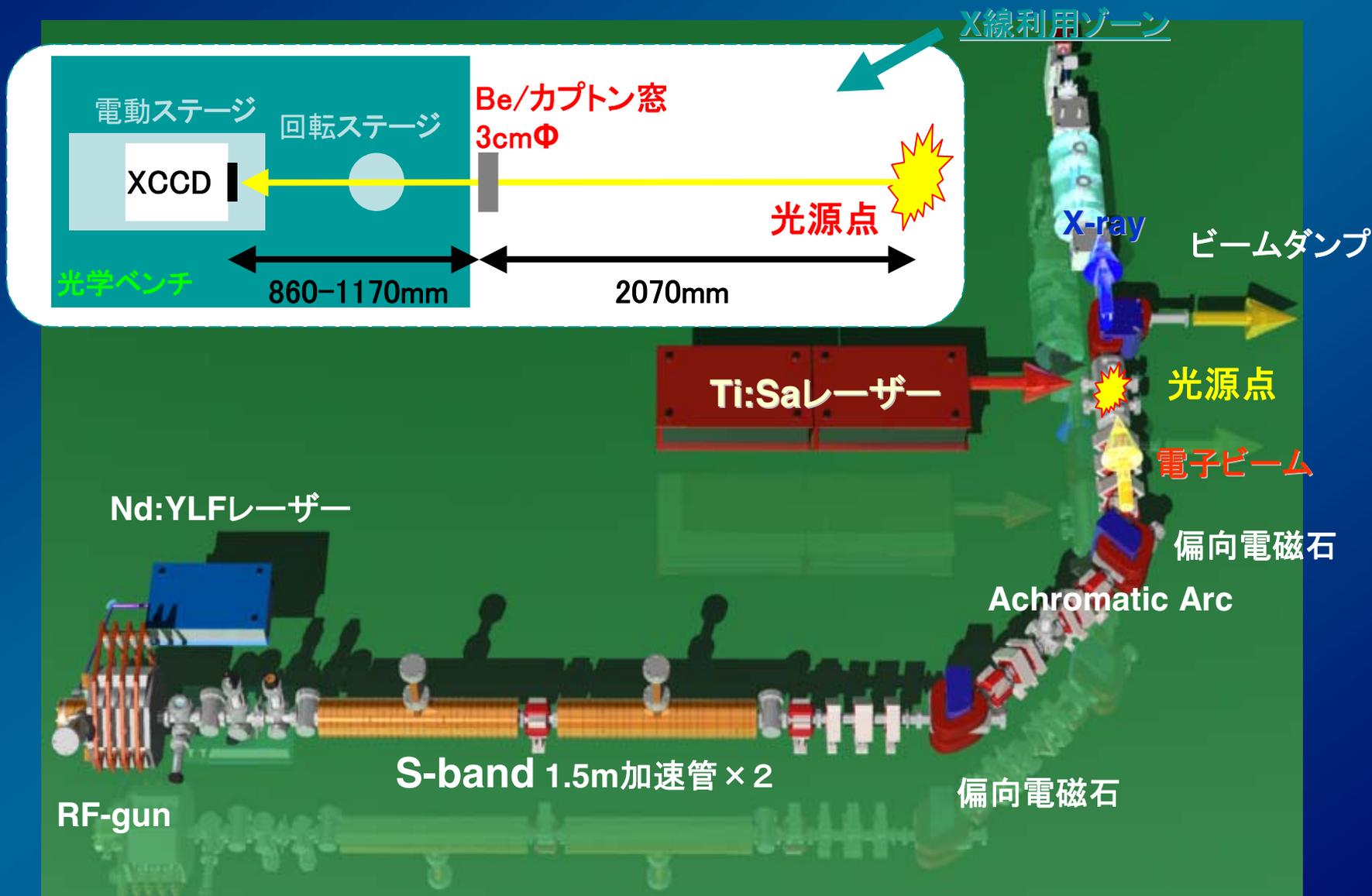
電子ビーム

Electron energy	20 ~ 40 MeV
Energy spread	0.2%
Bunch charge/bunch	0.8 nC
Bunch length (rms)	3 ps
Beam size (σ_x/σ_y)	40/30 μ m

Ti:Sa レーザー (CPA)

Wave length	800 nm
Energy/pulse	140 mJ
Pulse length (rms)	100 fs
Beam size (σ_x/σ_y)	30 μ m

LCS-X線装置の概要



LCS-X線の特長と利用

AISTのスペック

エネルギー	10 ~ 40 keV
単色性	~ 5% (dE/E)
フラックス (@165deg)	10 ⁷ (*10 ⁵) photons/s
フラックス (@90deg)	10 ⁶ photons/s
時間幅	150 fs ~ 3 ps
取り出し角	15 mrad
光源サイズ	40×40 μm (σ)
繰り返し	10pps
安定性	~ 6% (15min)

特長

- ⇒ エネルギー可変
- ⇒ 準単色
- ⇒ 高輝度
- ⇒ 極短パルス
- ⇒ 広視野
- ⇒ 微小光源
- ⇒ 偏光特性

利用

- ⇒ 吸収端コントラスト
- ⇒ イメージング
- ⇒ 動的現象(非平衡状態)の追跡
- ⇒ 医療診断
- ⇒ 屈折コントラスト

*実際に使用するフラックス

吸収端イメージング

10~40keVにある吸収端

K1s L₁ 2s

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 <u>Ca</u>	21 <u>Sc</u>	22 <u>Ti</u>	23 <u>V</u>	24 <u>Cr</u>	25 <u>Mn</u>	26 <u>Fe</u>	27 <u>Co</u>	28 <u>Ni</u>	29 <u>Cu</u>	30 <u>Zn</u>	31 <u>Ga</u>	32 <u>Ge</u>	33 <u>As</u>	34 <u>Se</u>	35 <u>Br</u>	36 Kr
37 <u>Rb</u>	38 <u>Sr</u>	39 <u>Y</u>	40 <u>Zr</u>	41 <u>Nb</u>	42 <u>Mo</u>	43 Tc	44 <u>Ru</u>	45 <u>Rh</u>	46 <u>Pd</u>	47 <u>Ag</u>	48 <u>Cd</u>	49 <u>In</u>	50 <u>Sn</u>	51 <u>Sb</u>	52 <u>Te</u>	53 <u>I</u>	54 <u>Xe</u>
55 <u>Cs</u>	56 <u>Ba</u>	*	72 <u>Hf</u>	73 <u>Ta</u>	74 <u>W</u>	75 <u>Re</u>	76 <u>Os</u>	77 <u>Ir</u>	78 <u>Pt</u>	79 <u>Au</u>	80 <u>Hg</u>	81 <u>Tl</u>	82 <u>Pb</u>	83 <u>Bi</u>	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Ha	106 Sg	107 Ns	108 Hs	109 Mt									

*	57 <u>La</u>	58 <u>Ce</u>	59 <u>Pr</u>	60 <u>Nd</u>	61 Pm	62 <u>Sm</u>	63 <u>Eu</u>	64 <u>Gd</u>	65 <u>Tb</u>	66 <u>Dy</u>	67 <u>Ho</u>	68 <u>Er</u>	69 <u>Tm</u>	70 <u>Yb</u>	71 <u>Lu</u>
**	89 Ac	90 <u>Th</u>	91 Pa	92 <u>U</u>	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

X線イメージング検出器



PI-SCX: 1300-2.5



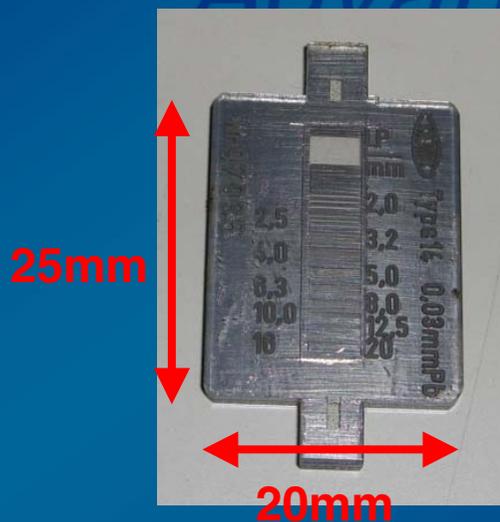
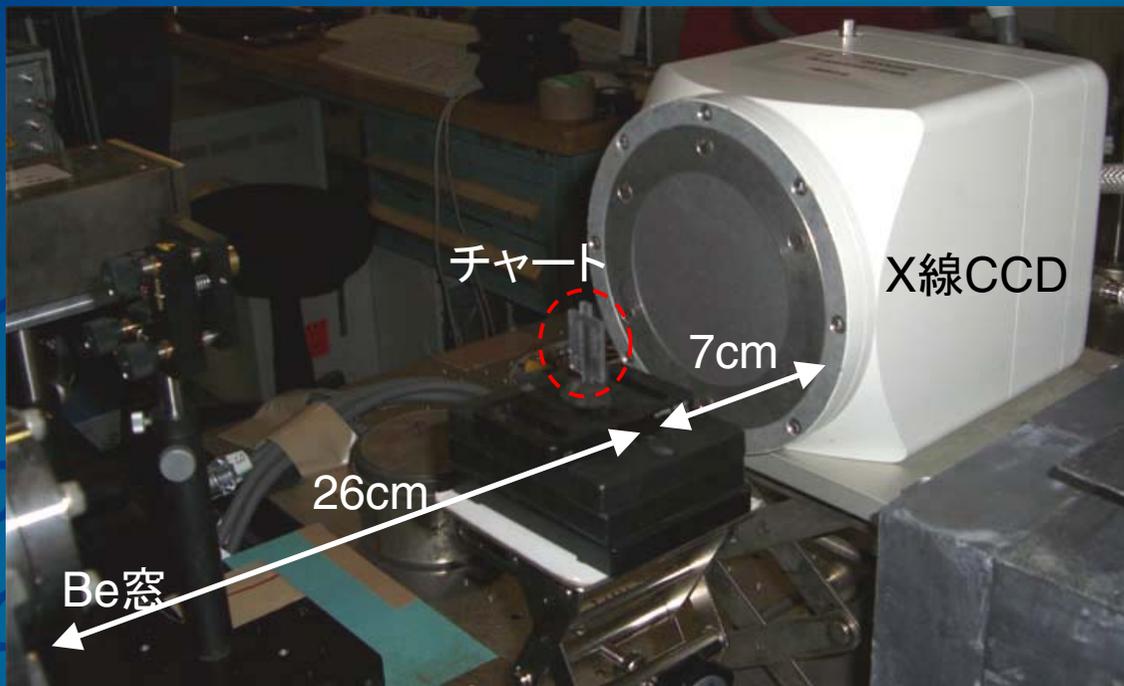
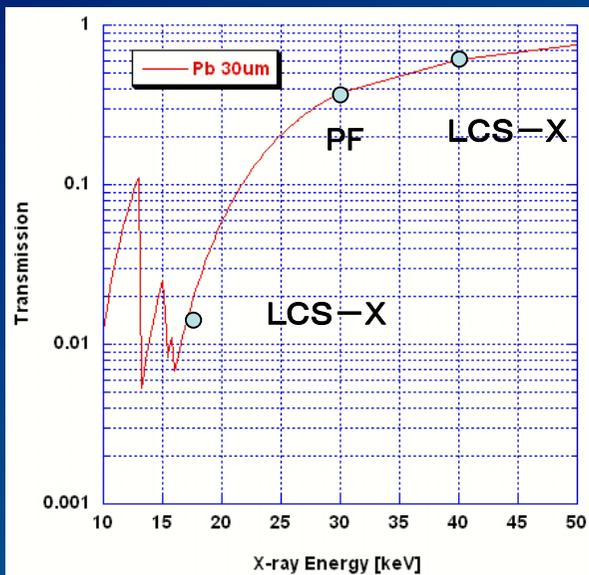
BAS-MS 2025



S8985-02

	視野	画素数 画素サイズ	ダイナミック レンジ	分解能	解像度	エネルギー 範囲	シンチレーター
PI-SCX: 1300-2.5 (PI)	65×65 mm	1340×1300 20×20 μm	16bit 65536	60-80 μm	<10 line pairs/mm	8-17keV Be窓0.5mm	Gd ₂ O ₂ S:Tb ~550nm
IP(FUJI) BAS- MS 2025	200×250 mm		16bit 65536	50 μm	10 line pairs/mm		BaFBr:Eu ²⁺ ~390nm
S8985-02 (HAMMATSU)	34×24 mm	1700×1200 20×20 μm	12bit 4096	25 μm	20 line pairs/mm	25-80keV	CsI (FOP) ~ 550nm

X線チャートの実験



PF 30keV

産総研 LCS-X線 40keV、17keV

X線テストチャート Type 14 (極光)

チャート厚さ 30 μ m

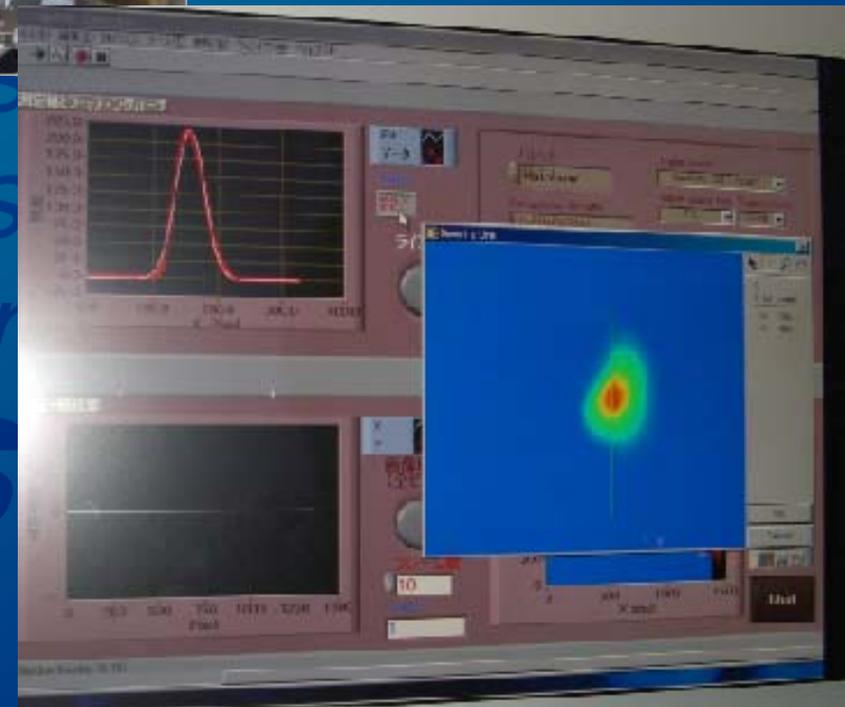
最高解像度 20 line pairs/mm (25 μ m)

解像度の光源形状依存性の実験

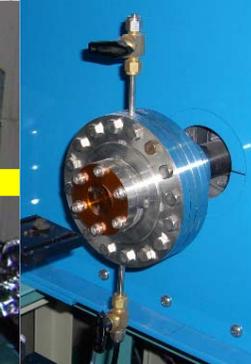


スリット 6(横)x6(縦)mm
拡大率 1

ビーム形状 114(横)x85(縦)ミクロン
縦横比1.34



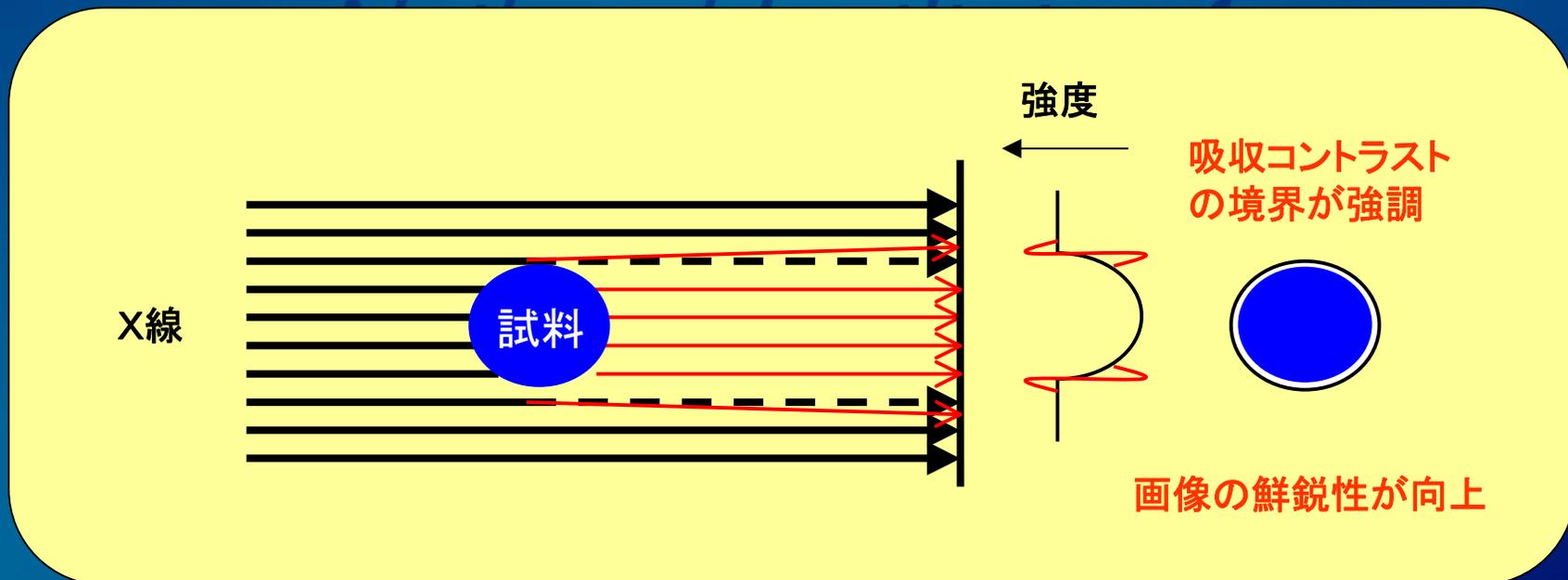
LCS-X 実験配置



X線ポート

屈折コントラストの原理

- 試料中の境界における微小な密度差による屈折を検出して画像化。
- 吸収がほとんどない場合でも鮮鋭な画像が得られ、生体組織においては、特に組織と空気や骨との境界を明確に可視化。



LCS-Xトモシンセシス

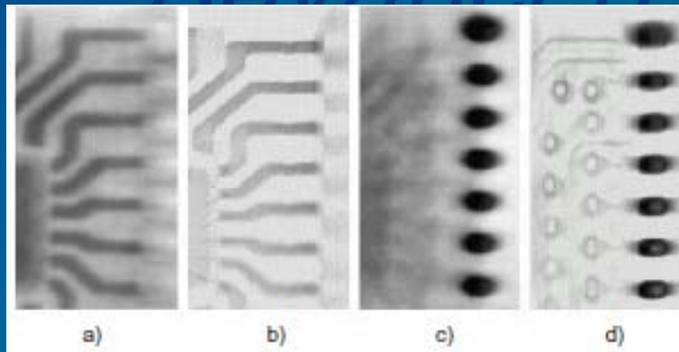
- 標準的なX線イメージング

撮像物全体を単一画像としてとらえるため、あらゆるものが一つの二次元画像へ重なる。

- トモシンセシス

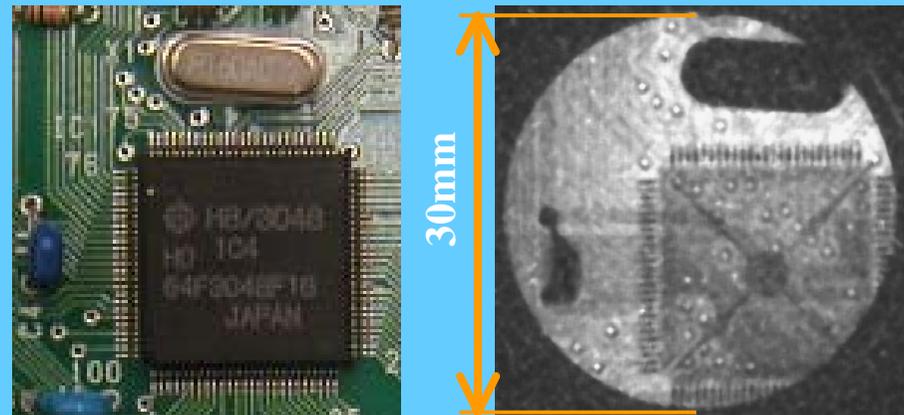
一回の断層走査において、対象物をX線の照射角度を変えながら撮影し、任意の断層面を再構成する。低被曝で、障害陰影の無い画像が得られる。

ドイツのグループの
トモシンセシスの例



From DGZfP Proceedings BB-67CD

ICチップ 33keV LCS-X @住重



今後トモシンセシスを行う予定。

実験準備施設

- X線管を用いてトモシンセシスやパルスイメージングの立ち上げを行っている。
- 屈折コントラストイメージング実験が可能。



理学のX線管



パルスイメージング用検出器
(中性子標準グループの好意により借りています)



全長3mのハッチ

まとめ

- X線チャートの測定から、ウィグラーX線より約3桁光子数/ $70 \mu\text{m}^2/\text{s}$ が小さい。X線管との比較から10min照射で1~2mAs相当。
 - 光源強度は2~3桁上がる予定。
- XCCDを用いて、 $60 \sim 80 \mu\text{m}$ の解像度の画像を取得。
 - $25 \mu\text{m}$ の解像度かつ高感度測定が可能になる予定。

“14Cレベル”の光源が実現可能！！

- ラット腰椎の屈折コントラストイメージを測定。
 - 屈折効果から光源の高い干渉性を示唆。
- 今後、屈折コントラストを利用したトモシンセシスやパルスイメージングを行っていく。