

高解像度 X 線イメージング検出器の広視野化

Field of view enhancement of high-resolution X-ray imaging detector

高輝度光セ¹, 理研² ◯亀島 敬^{1,2}, 初井 宇記^{2,1}

JASRI¹, RIKEN², ◯Takashi Kameshima^{1,2}, Takaki Hatsui^{2,1}

E-mail: kameshima@spring8.or.jp

投影型 X 線 CT 等の計測試料からの透過 X 線を計測するシステムにおいて、その受光部である X 線イメージング検出器の解像度は全体の空間分解能を決める重要なパラメーターの一つである。必要とされる空間分解能はミクロン～サブミクロンであり、シンチレーター・顕微鏡光学系・イメージセンサーから構成される間接検出型の X 線イメージング検出器が広く用いられる。X 線がシンチレーター上で可視光に変換後にレンズで結像するため、その空間分解能はシンチレーター光の回折に制限される。故に顕微鏡光学系と同様に、回折限界分解能 δ はシンチレーターの蛍光波長 λ 、対物レンズの開口数 NA で $\delta = 0.61 \lambda / \text{NA}$ で表される。この分解能はフォーカスが合う対物レンズ被写界深度内で X 線を検出して得られる。シンチレーター板が被写界深度よりも厚い場合、X 線は透過性が高いので一部が深度外まで到達しデフォーカス像として検出、像品質を低下させる。これを防ぐためにシンチレーターを被写界深度（数十ミクロン～ミクロン）程度まで薄くしなければならない。シンチレーターの光学品質を維持しつつ薄膜を形成することは困難であり、X 線イメージング検出器の限界は 1 ミクロン前後に留まっていた。

我々は協力企業とともに、高い光学品質を持つ薄膜シンチレーターを搭載した回折限界に近い解像度を持つ X 線イメージング検出器の開発に成功した[1]。この検出器を用いて 200 nm line & space (レーリー基準で 400 nm 分解能) 構造を解像できたが、視野サイズが 133 μm と狭く X 線 CT に適応するには不十分という課題があった。高い空間分解能を維持しつつ広視野化するために、14,192 x 10,656 pixels の高解像度 CMOS カメラの導入と、大きなイメージサークルを持つ光学系を有する検出器の開発を計画している。~200 nm line & space を解像できる空間分解能と~2 mm 角の視野を目標性能としており、高空間分解能 X 線 CT に適応が可能となる。この構成を拡張することでより広視野を持つ検出器も供用していく予定である（表 1）。

表 1 検討しているレンズ結像型 X 線イメージング検出器の性能一覧

		現行機	Lens A1	Lens A2	Lens A3	Lens A4	Lens A5
解像力	[μm]	~ 0.2	~0.20	0.5	1.25	2.5	5.0
視野	[mm ²]	0.13 x 0.13	2.6 x 1.9	6.4 x 4.8	16.2 x 12.2	31.4 x 23.6	66.7 x 50.2
Format		2048 x 2048 65 nm pix.	14192 x 10640 0.18 μm pix.	14192 x 10640 0.45 μm pix.	14192 x 10640 1.1 μm pix.	14192 x 10640 2.2 μm pix.	14192 x 10640 4.7 μm pix.
量子効率	[%]	38 at 10 keV	17 at 10 keV	69 at 10 keV	64 at 20 keV	53 at 30 keV	56 at 70 keV

[1] T. Kameshima *et al.*, Opt. Lett. **44**, 1403 (2019).