

PF BL-14B における平行ビーム照射型マイクロ X 線 CT の開発 Development of micro-X-ray CT system at BL-14B using parallel beam geometry

米山明男^{1,2}, 長里千香子³, 馬場理香⁴, 亀沢知夏², 平野馨一²

¹九州シンクロトロン光研究センター, ²高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所,

³北海道大学北方生物圏フィールド科学センター, ⁴(株)日立製作所研究開発グループ

¹〒841-0005 鳥栖市弥生ヶ丘 8-7, ²〒305-0801 つくば市大穂 1-1,

³〒051-0013 室蘭市舟見町 1 丁目 133-31, ³〒185-8601 国分寺市東恋ヶ窪 1-280

Akio YONEYAMA^{1,2,*}, Chikako NAGASATO³, Rika BABA⁴, Chika KAMEZAWA², and Keiichi HIRANO²

¹SAGA Light Source, ²PF KEK, ³Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido Univ.,

⁴Research and Development group, Hitachi Ltd.,

¹8-7 Yayoigaoka, Tosu 841-0005, Japan, ²1-1 Oho, Tsukuba 305-0801, Japan, ³1-133-31 Funami-cho, Muroran 051-0013, Japan, ⁴1-280 Higashi-koigakubo, Kokubunji 185-8601, Japan

1 はじめに

各種工業材料から生体サンプルや食品に至る幅広い分野において、ミクロンオーダーで非破壊かつ三次元的に内部構造を計測するため、PF BL-14B に平行ビーム照射型の X 線マイクロ CT システムを新たに構築した。

2 マイクロ X 線 CT システム

本システムは、試料回転ステージ、レンズカップリング型の X 線顕微カメラ (Kenvy 2[1])、制御系から主に構成されている (Fig. 1)。本顕微カメラでは、入射した X 線を蛍光体 (CsI) により可視光に変換し、無限遠補正光学系により後段の sCMOS カメラ (Andor 製 Zyla) に結像して検出している。倍率は対物レンズを交換することにより、5 倍、10 倍、及び 20 倍から選択可能で、計算上の画素サイズはそれぞれ 1.3、0.65、0.325 ミクロン角である。また、観察視野は各倍率のレンズを用いた場合、2.6、1.3、0.65 mm 角である。

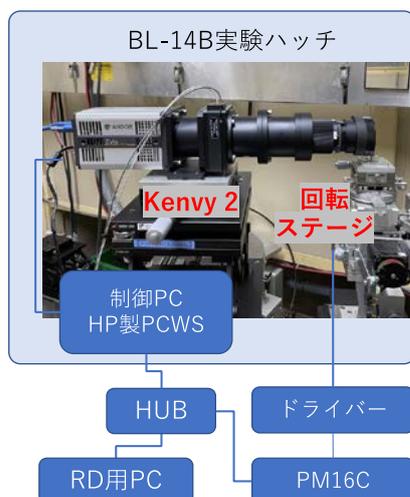


図 1 開発した CT システムの写真と構成

利用可能なエネルギーは 10 ~ 20 keV で、15 keV 以下では高次光の影響を避けるために、一般に 2 結晶分光器をデチューンして計測を行っている。各投影像の露光時間は 1~2 秒で、CT データの取得に必要な計測時間は 1 時間程度である。計測制御及び CT のデータ処理 (再構成) は、九州シンクロトロン光研究センター (SAGA LS) で開発している SAKAS 対応のソフトウェア[2]で行っており、計測後にシームレスに断面像の再構成まで数 10 分の処理で行うことができる。

試料回転ステージは光軸に平行なレール上を移動可能で、試料とカメラの距離 (Working distance : WD) を電動ステージにより最大 120 mm まで広げることができ、従来の吸収コントラスト CT に加えて、位相コントラスト CT (伝搬法) も実施することができる。

3 試用観察結果

エネルギー 20 keV の単色放射光を利用して、微化石を観察した結果を図 2 に示す。対物レンズの倍率は 5 倍、各投影像の露光時間は 2 秒、投影数は 1000

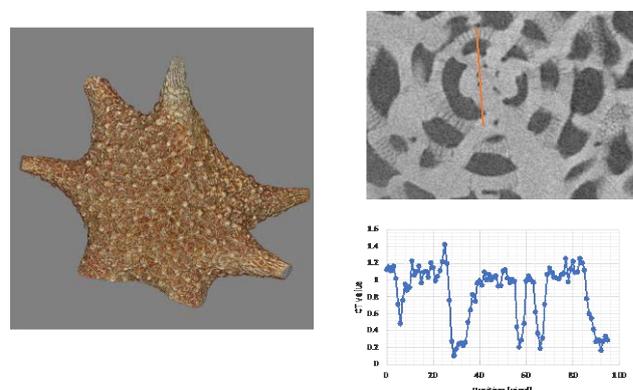


図 2 微化石の観察結果。ラインプロファイル(右下)から空間分解能は 2~3 µm である。

枚/360度、計測時間は約40分である。断面像は、SL関数を用いたフィルードバックプロジェクション法により再構成した。断面像のラインプロファイルから倍率5倍における空間分解能は2~3ミクロンと見積もることができる。

図3には久留米ケイトウ、千日紅、及びアスターの種を観察した結果を示す。使用した放射光のエネルギーは15 keV、各投影像の露光時間は2秒、投影数は1000枚/360度、計測時間は40分である。胚をはじめとする種子内部の詳細な構造が可視化できていることがわかる。

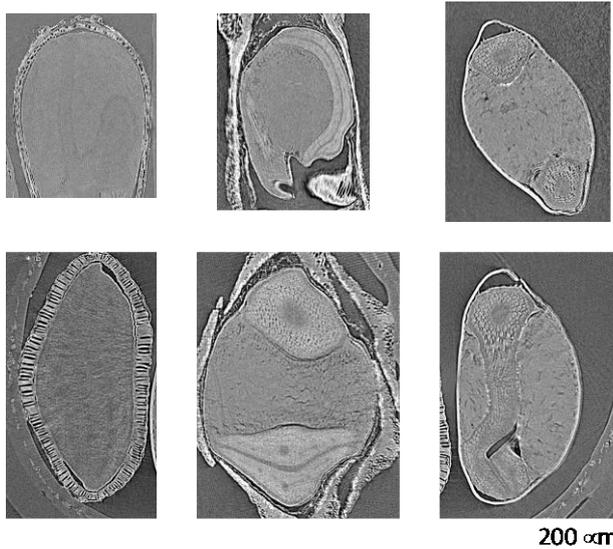


図3 各種植物の種（左から久留米ケイトウ、千日紅、アスター）の観察結果。胚をはじめとする微小構造まで高精細に可視化できている。ラインプロファイル(右下)から空間分解能は2~3 μmである。

図4にはWD~110 mmの位相コントラスト（伝搬法）によりアガロースで包埋した昆布を観察した結果を示す。放射光のエネルギーは10 keV、各投影像の露光時間は2秒、投影数は22500枚/360度、計測時間は1時間20分である。位相の回復にはImage Jのプラグインとして公開されているANKAのソフトウェア[3]を利用した。位相CTの高感度特性により、

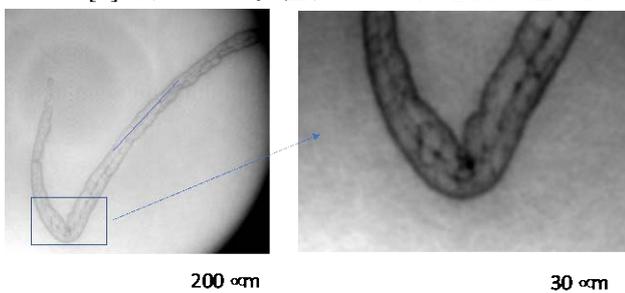


図4 位相コントラスト（伝搬法）によるアガロースに包埋された昆布の観察結果

昆布とアガロースの極僅かな密度差を捉え、昆布を明瞭に可視化できていることが判る。

4 まとめ

PF BL-14B に平行ビーム照射型のマイクロX線CTシステムを構築し、単色放射光を用いた試用実験を行い、以下の結論を得た。

- ・1時間程度の計測時間で、高精細な三次元像を取得できた。
- ・対物レンズ5倍における断面像内の空間分解能は2~3ミクロンであった。
- ・WD~110 mmの伝搬法を用いた位相CTにより、アガロース包埋された昆布を高感度に可視化することができた。

今後は、計測条件等の最適化に加えて、食品等様々な分野への適用を検討する予定である。なお、本システムは2024年度から一般利用に供する予定である。

参考文献

- [1] A. Yoneyama, et al., Optical Materials Express 11, 398–411 (2021).
- [2] <https://github.com/SAGALS-IMG>
- [3] Weitkamp, T., et al. J Synchrotron Radiat 18, 617-629 (2011).

* yoneyama@saga-ls.jp