

電子線トモグラフィ法における再構成法の現状と今後の展望

¹東北大多元研、²Centrum Wiskunde & Informatica

○樋口 剛志¹、Xiaodong Zhuge²、Kees Joost Batenburg²、陣内 浩司¹

【緒言】

透過型電子顕微鏡 (Transmission electron microscopy: TEM) を用いた電子線トモグラフィ法 (Electron tomography: ET) は、ナノメートルの分解能で3次元構造を取得することができる強力なイメージング手法として多くの成果を挙げている。ETの原理は医療分野におけるX線CT法や核磁気共鳴画像法 (MRI) 等による断面撮影法と基本的に同じである。得られた一連の傾斜透過像から試料の3次元構造を再構成することで、ナノメートルの分解能で試料の3次元構造を取得することができる。再構成手法は、解析的手法と代数的手法の2つの手法に大別される。解析的手法の代表例としてFiltered back-projection (FBP)法が挙げられ、短時間の計算で高精度な画像が得られることから広く用いられている。一方、代数的手法は解析的手法と比較して大量の計算が必要ではあるが、少ない傾斜像からでも高コントラストの再構成像を得られることから、近年注目を集めている。本報告では、高分子材料に対して、代数的再構成手法の一つであるDiscrete algebraic reconstruction technique (DART)法 [1] とFBP法により得られた再構成像を比較することで、現状の再構成法の問題点と今後の展開について議論する。

【実験】

再構成に必要な幾何学的条件の検討を行うため、構造モデルとして六法細密シリンドー構造を作成し、FBP法およびDART法を用いて、異なる3つの回転軸に対して $\pm 60^\circ$ における投影像から再構成を行った。一方、実際の高分子材料としてジルコニア粒子を含有するコ

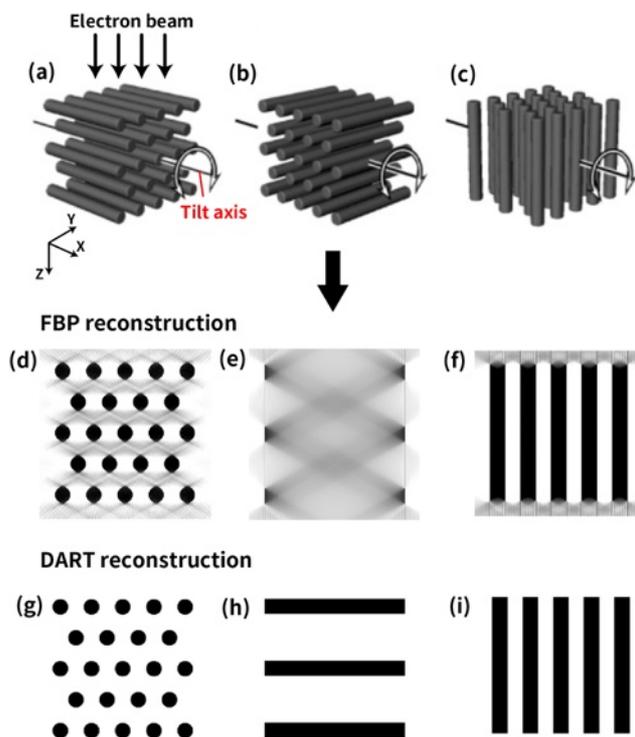


Figure 1. The effect of geometrical relationship between direction of tilt axis and orientation of cylindrical structures on 3D reconstruction. (a)~(c) Models of cylindrical structures with three different geometries. The cross-section images reconstructed with (d)~(f) filtered back-projection (FBP) method and (g)~(i) discrete algebraic reconstruction technique (DART).

Current status and future prospects of reconstruction algorithm in electron tomography

Takeshi HIGUCHI¹, Xiaodong ZHUGE², Kees Joost BATENBURG², Hiroshi JINNAI¹ (¹Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, ²Centrum Wiskunde & Informatica)

¹Tel : +81-22-217-5825, Fax : +81-22-217-5824, E-mail: higuchi@tagen.tohoku.ac.jp

Key Word: Electron tomography / Reconstruction algorithm / 3D structural observation / Discrete tomography

Abstract: In electron tomography, three-dimensional datasets are reconstructed with various reconstruction algorithms. The accuracy and requirements on the projection geometry depend on kind of algorithms used for reconstruction. In this report, we discuss the comparison between the filtered back-projection (FBP) technique, most commonly used algorithm, and recently developed algorithm such as discrete algebraic reconstruction technique (DART). A hexagonally packed cylindrical structure was used as a model for such comparison. DART successfully reproduced the model even at the geometry where the model was poorly reconstructed by FBP. The influence of the maximum tilt angle to the quality of reconstructed image was also investigated. Reasonable quality of reconstruction has been obtained in a limited angular range by DART, while FBP generate only qualitative images.

ンポジット材料を収束イオンビーム (FIB) を用いてロッド状に加工した試料を準備し、透過型電子顕微鏡 (JEM-2200FS, JEOL Ltd.) を用いて試料を $\pm 90^\circ$ 傾斜させTEM像を取得した [2]。得られた傾斜TEM像を用いて再構成に使用する角度範囲を $\pm 40^\circ \sim \pm 90^\circ$ に変化させFBP法およびDART法による再構成結果を比較した。

【結果・考察】

Figure 1に六法細密シリンダー構造モデルから異なる3つの回転軸に対して再構成を行った結果を示す。FBP法を用いた場合、Figure 1(a), (c)の回転軸ではシリンダー構造が再構成されたが、Figure 1(b)の回転軸ではシリンダー構造が再構成されなかった (Figure 1(e))。一方、DART法を用いた場合は、全ての回転軸に対してシリンダー構造が再構成された。

Figure 2にロッド状コンポジット試料に対してFBP法およびDART法を用いて再構成を行った結果を示す。再構成像中の白色領域がジルコニア粒子、灰色の領域がポリマーマトリックスである。再構成に用いる傾斜TEM像の角度範囲が $\pm 90^\circ$ に近い時はFBP法、DART法ともにジルコニア粒子の変形も少なく、ポリマーマトリックスと真空領域との界面コントラストも高く、良質な再構成像を得ることができている。再構成に用いる角度範囲が減少するにつれて、FBP法ではジルコニア粒子の変形とポリマーマトリックスと真空領域との界面コントラストの低下が顕著に表れてくるのに対して、DART法では角度範囲が $\pm 40^\circ$ であっても像質の低下が非常に抑えられていることがわかった。

当日はSimultaneous Iterative Reconstruction Technique (SIRT) 法による再構成結果も含めた詳細な比較と今後の展開について発表する。

【参考文献】

- [1] K. J. Batenburg, J. Sijbers, *IEEE Transactions on Image Processing*, **2011**, 20, 2542.
- [2] N. Kawase, M. Kato, H. Nishioka, H. Jinnai, *Ultramicroscopy* **2007**, 107, 8.

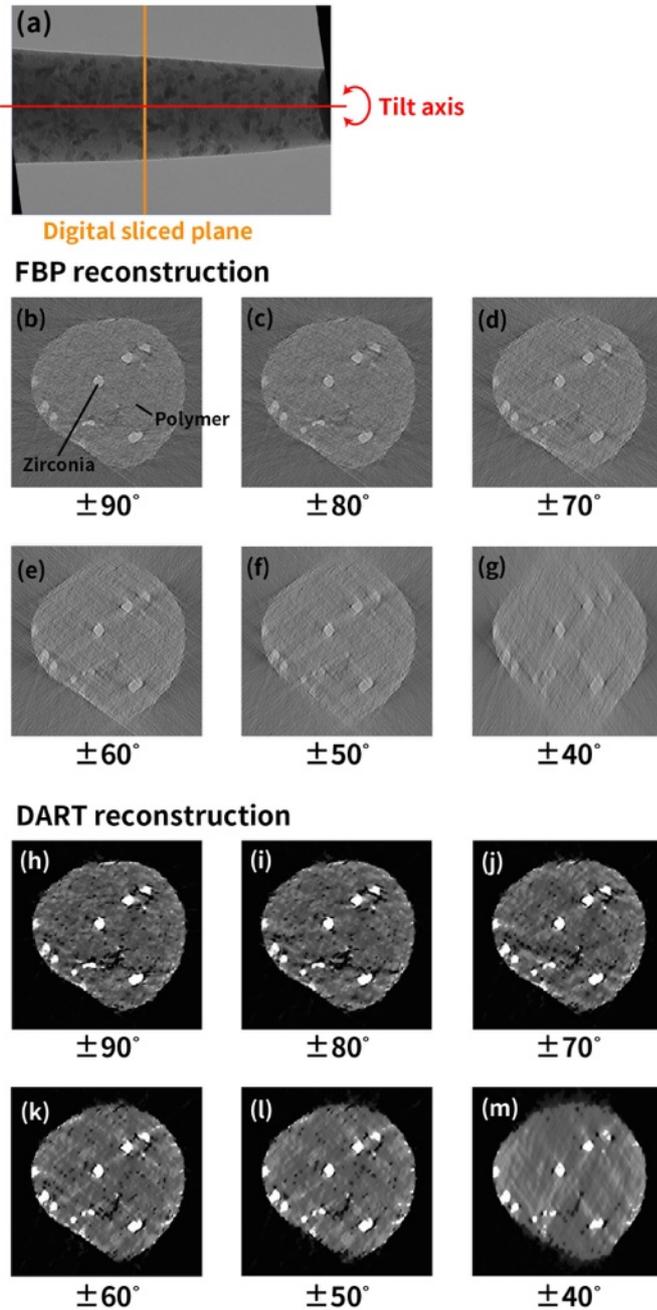


Figure 2. (a) TEM image of the rod-shaped specimen of a zirconia/polymer nanocomposite. The cross-section images reconstructed by (b)~(g) filtered back-projection (FBP) method and (h)~(m) discrete algebraic reconstruction technique (DART) with various maximum tilt angles.