ナノスケールX線顕微鏡
CT Lab HR160

—高分解能化で拓くX線顕微鏡の可能性—



CT Lab HR160は，X線CTの高分解能化によって，微細な内部構造の非破壊三次元観察を可能にしたX線顕微鏡です．ナノフォーカスX線発生装置，高解像度検出器，高精度ステージを統合することで，従来のマイクロフォーカスX線CTでは観察が困難であった微細構造を観察できます．

1. はじめに

X線CTは，試料を回転させながら取得した透視像から三次元像を再構成し，内部構造を非破壊で観察できる手法です．従来のマイクロフォーカスX線CTは広く利用されてきましたが，分解能の制約からサブミクロン領域の観察には限界がありました．電子顕微鏡による高分解能観察も可能ですが，内部構造の評価には試料加工を伴う場合があります．リガクはX線源技術に強みを持つExcillum社[1]と協業し，リガクのCT技術と組み合わせることでナノスケールX線顕微鏡CT Lab HR160を開発しました．本稿では，本装置の特長と撮影事例について紹介します．

2. CT Lab HR160の特長

装置仕様を表1にまとめます．装置の特長について，以下に述べていきます．

2.1. 透過力と高分解能を両立するX線発生装置

X線の焦点サイズは0.3～2.0 μmの間で選択でき，高分解能撮影から高出力を利用した短時間撮影まで，目的に応じた撮影が可能です．管電圧は40～160 kVと広範囲であり，微小焦点と組み合わせることで，金属を含む電子部品や電池材料，先端複合材料など，透過力と分解能の両方が求められる試料の観察に対応します．

2.2. 高分解能観察を支える検出器とステージ

CT Lab HR160は，大面積・高解像度検出器と高精度ステージを組み合わせています．検出器は49.5 μmの画素サイズと広い受光面積を備え，高分解能撮影から広視野撮影まで幅広く対応します．また，高精度7軸ステージにより，試料の位置や視野，分解能の調

表1. CT Lab HR160の主な仕様.

項目	仕様
管電圧	40～160 kV
最大出力	16.6 W
X線焦点サイズ	0.3～2.0 μmから選択
ターゲットタイプ	透過型
検出器受光サイズ	116 mm × 145 mm
検出器画素サイズ	49.5 μm
ステージ	高精度7軸
ステージの回転振れ	0.1 μm以下
光学系	コーンビーム法
最小Voxel size	62 nm

© 2026 Rigaku Corporation.

整を高い精度で容易に行うことができます．

2.3.　柔軟な観察条件を実現するコーンビーム光学系

光学系にはコーンビーム方式を採用しています．そのため，X線発生装置や検出器など交換することなく，試料と検出器の位置をソフトウェアから変更するだけで，目的に応じた分解能や視野範囲を容易に設定できます．

3.　撮影事例

3.1.　分解能評価

空間分解能を評価するために，日本検査機器工業会が提供するマイクロフォーカスX線用試験片を用い透視像を，QRM GmbHが提供するMicro-CT Bar Pattern Phantom, NANOを用いCT断層面を観察しました．透視像を図1に，CT断層面を図2に示します．透視像では250 nm，CT断層面では1 μmのチャートを識別可能であることを確認しました．これらの結果から，CT Lab HR160はサブミクロン領域の構造評価能力を有することが示されました．

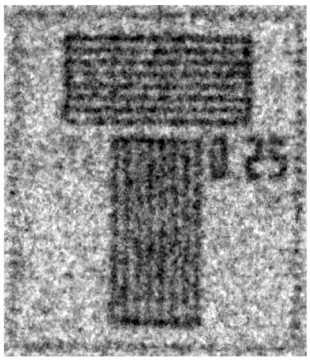


図1.　250 nmチャートの透視像（試料：JIMA Chart RC-04B）．

3.2.　インダクタの高分解能観察

撮影結果を図3に示します．拡大した断層面を見ると，数μmサイズの空隙がいくつも確認できており，1.5 μmの空隙も観察できています．さらに，内部電極形状も把握でき，CT画像を解析することで電極厚さ分布も評価することができました．

3.3.　積層セラミックコンデンサー（MLCC）の三次元観察

MLCCは，小型化と高密度化が進む代表的な電子部品です．今回は1005サイズのMLCCを撮影しました．その結果を図4に示します．内部電極の配置，層構造，空隙などを三次元的に確認できます．拡大像では約3 μmピッチで電極が並んでいることが分かります．さらに，電極領域を取り出し解析することで，図4右下に示すように，電極部の空隙サイズと分布を評価することができました．

3.4.　全固体電池正極材と固体電解質

電極材料や全固体電池材料では，微細構造を非破壊

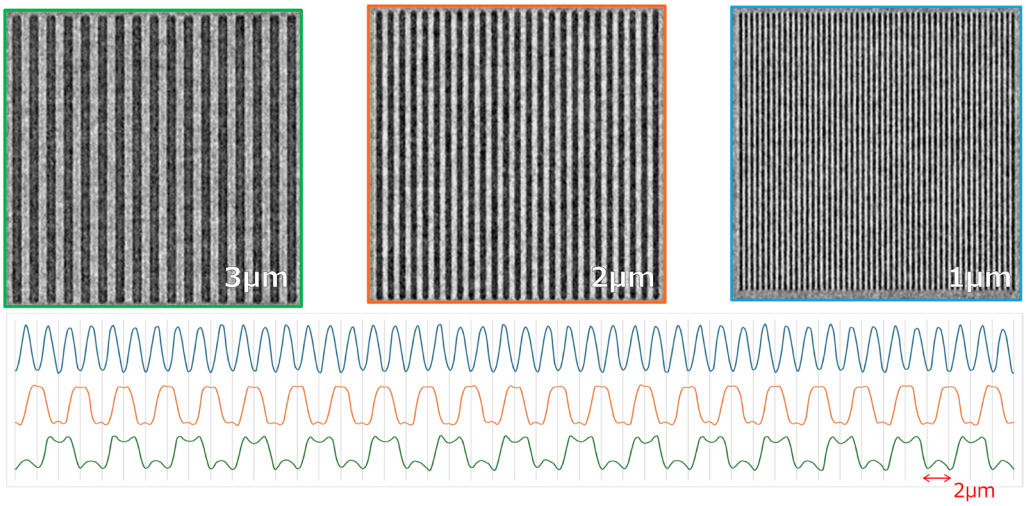


図2.　Micro-CT Bar Pattern Phantom, NANOのCT断層面．

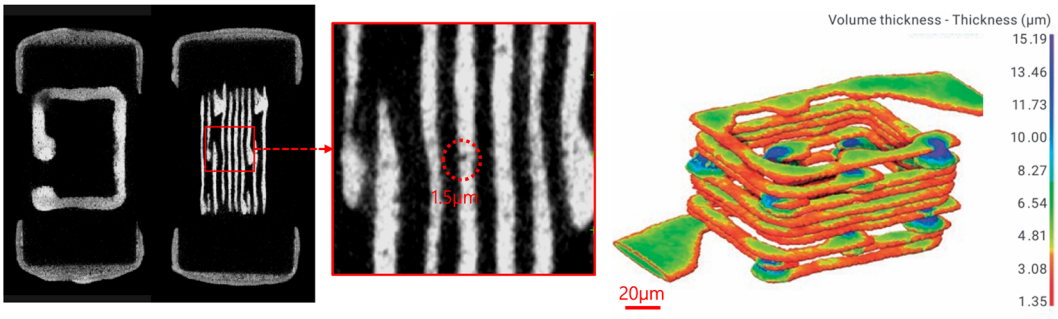


図3.　インダクタのCT断層面（左：全体と拡大，右：電極厚さ分布）．

© 2026 Rigaku Corporation.

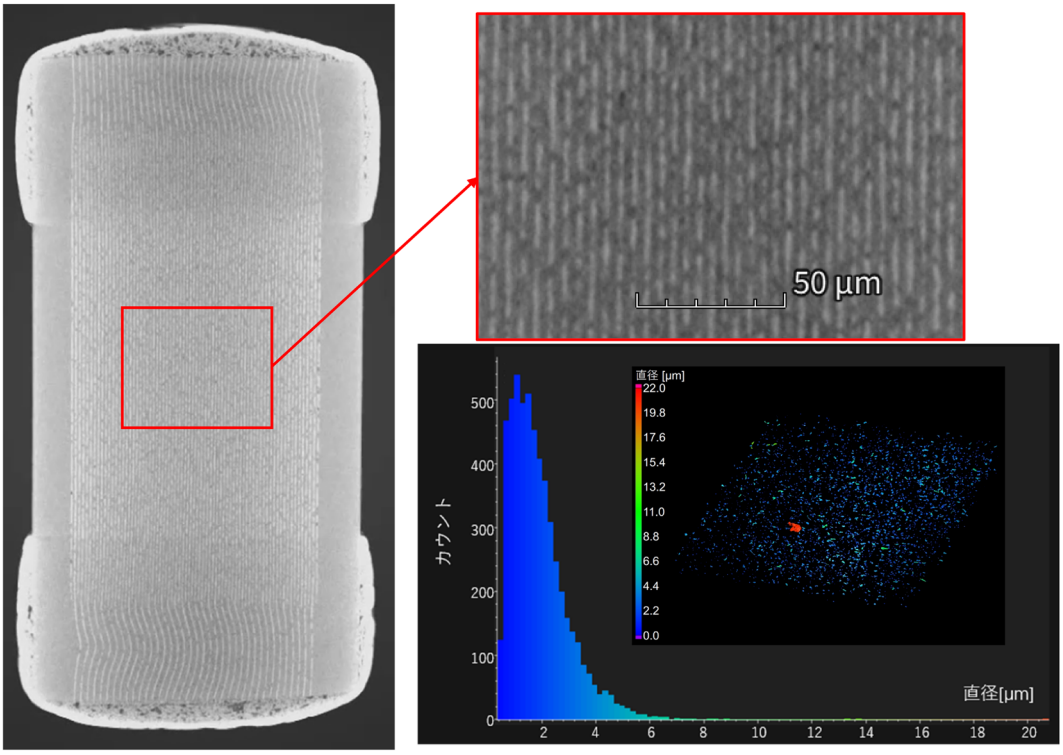


図4.　MLCC（左：全体撮影の断層面，右上：拡大撮影の断層面，右下：ボイド解析）．

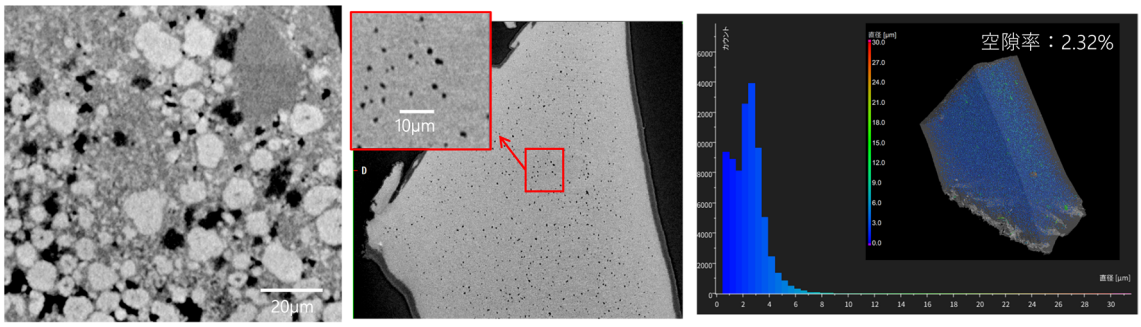


図5.　全固体電池のCT断層面（左：正極材，中：固体電解質，右：固体電解質の空隙分布）．

で可視化できるX線CTが有効です．今回は，兵庫県立大学の中村龍哉名誉教授からご提供いただいた正極材と固体電解質を撮影しました[2]．正極材では，粒子内部および粒子間に存在する微細な空隙や亀裂，材料の不均一性を高分解能で観察できました．固体電解質では約1 µmの空隙を確認し，空隙分布と空隙率を算出することができました．

4.　おわりに

ナノスケールX線顕微鏡CT Lab HR160は，従来のマイクロフォーカスX線CTでは観察が困難であったサブミクロンレベルでの非破壊三次元評価を可能にしました．電子部品や電池材料に加え，先端複合材料をはじめとする幅広い試料の研究開発および品質評価への活用が期待されます．

参考文献

（1）　Excillum AB（https://www.excillum.com/）
（2）　T. Nakamura, T. Kakibe and S. Takahashi: *Solid State Ionics*, **417**（2024）116685.

© 2026 Rigaku Corporation.