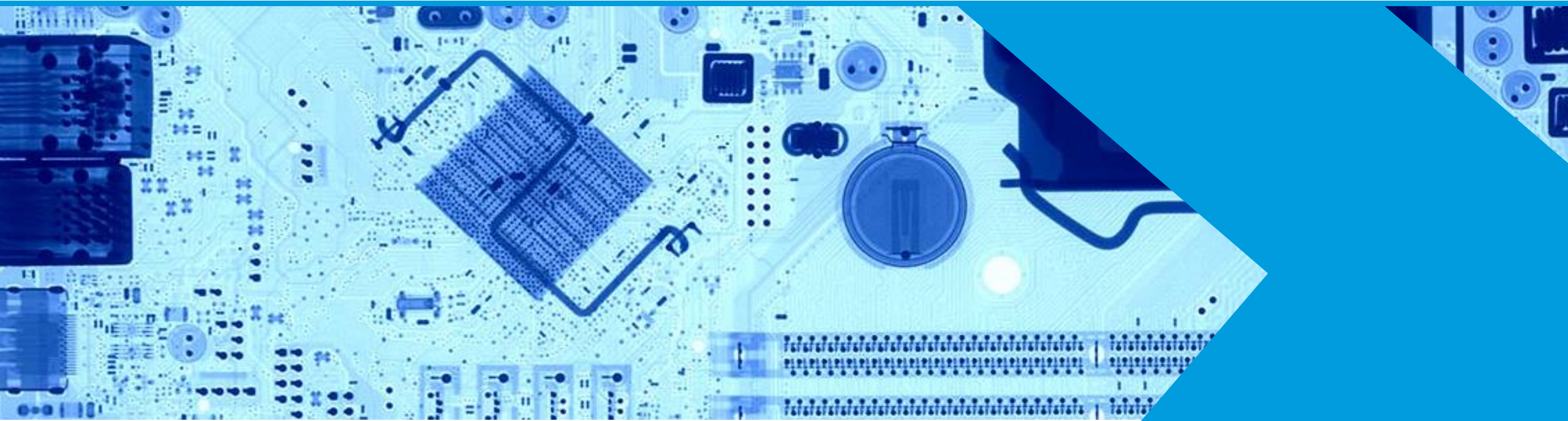




高分解能3D X線顕微鏡 nano3DXの進化 ～さらなる広視野高分解能化とその最新撮影事例～

2025年9月5日

株式会社リガク プロダクト本部 X線イメージング

前山 正孝



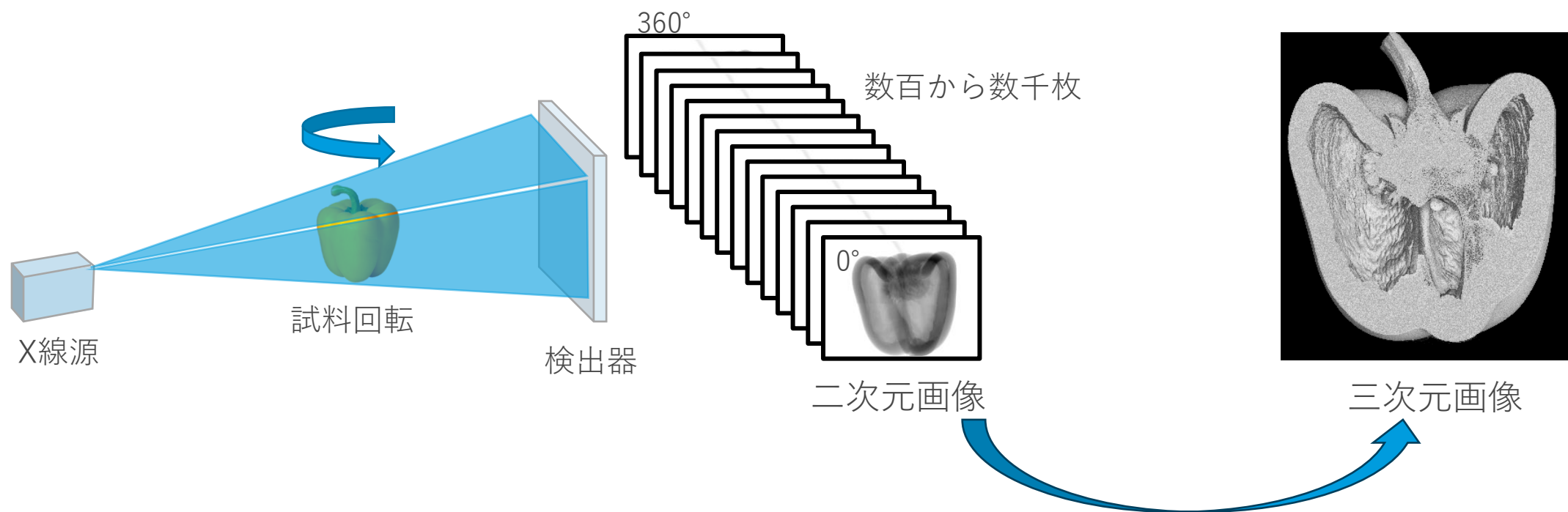
- 本日のアウトライン
 - X線顕微鏡とは
 - 疑似平行ビーム法 (nano3DX)
 - X線レンズの性能向上
 - 検出器の性能向上
 - 本日のまとめ

X線顕微鏡とは

X線CTとは

CTはComputed Tomographyの略でコンピュータ断層撮影のこと

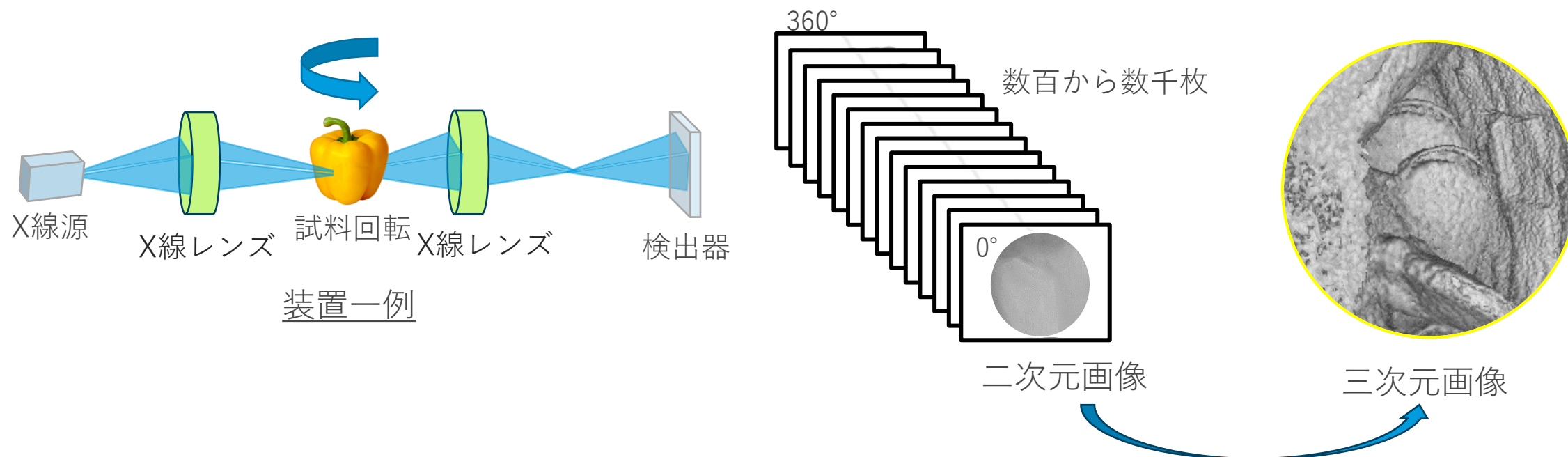
試料を一軸に対して回転しながら二次元画像を撮影し、
再構成することで三次元情報を取得する方法



X線顕微鏡とは

X線を使って微細構造を高解像度で観察する顕微鏡

X線レンズを配置することでナノオーダーの画像を取得
試料を一軸に対して回転しながら二次元画像を撮影し、
再構成することで三次元情報を取得する方法



X線顕微鏡と一般的なX線CTの比較

項目	X線顕微鏡	一般的なX線CT
解像度	高（ナノ～サブミクロン）	中（ミクロン～サブミリ）
X線の透過力	低い	高い
対象サイズ	小型試料	大型試料も可能
主な用途	微細構造の観察	断層構造の3D解析
使用分野	生物・製薬・軽量材料	医療・工業・考古学

X線顕微鏡が求められる理由

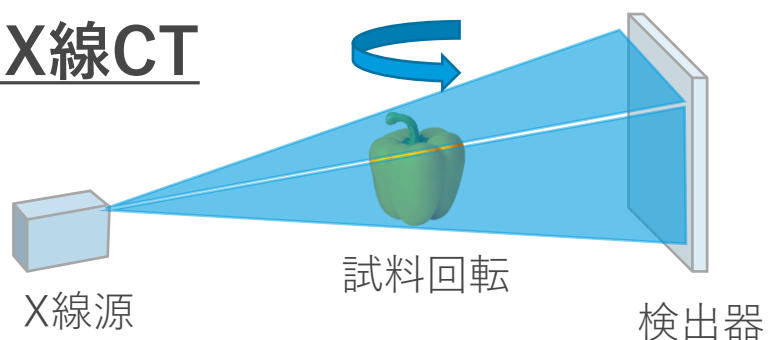
項目	X線顕微鏡（XRM）	走査型電子顕微鏡（SEM）	原子間力顕微鏡（AFM）	光学顕微鏡
空間分解能	数十～数百nm	数nm～	原子レベル	数十nm～数十μm
目的	表面、内部構造観察	表面観察	表面粗さ、電気・機械特性	表面観察
試料サイズ	小～中（～数cm）	小（数十mm）	小～中（mm～cm）	中～大（mm～cm）
測定範囲	～mm	～数μm	～100μm	～cm
サンプル調整	少ない	測定面加工・導電処理・真空対応	平滑な表面が必要	少ない
利点	非破壊	高分解能、元素分析可能	表面形状、力学特性測定	安価、簡便
ターゲット材料	生体、製剤、ポリマー	金属、半導体	ポリマー、生体	生体、組織、細胞
価格帯	高（数千万円～）	中～高（数百～数千万円）	中（数百万円～）	低～高（数十万～数千万円）

X線顕微鏡の性能向上のために

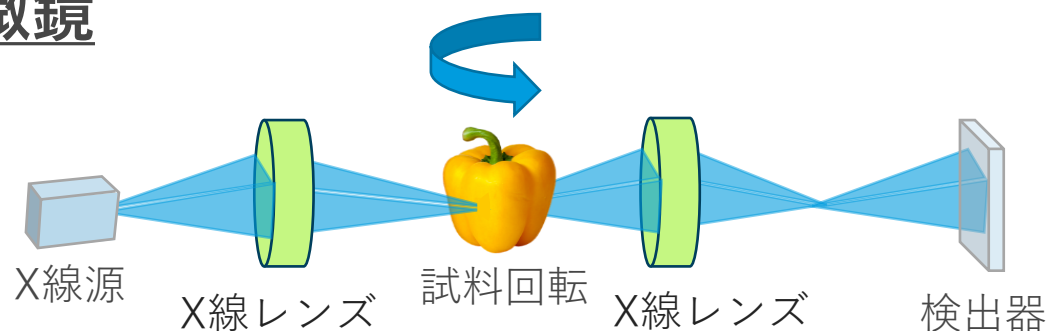
CT画像の分解能

- X線源の焦点サイズ、形状
- 検出器の分解能とS/N
- 拡大率（試料位置と検出器位置）

一般的なX線CT



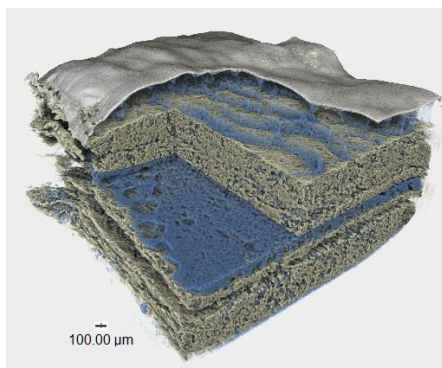
X線顕微鏡



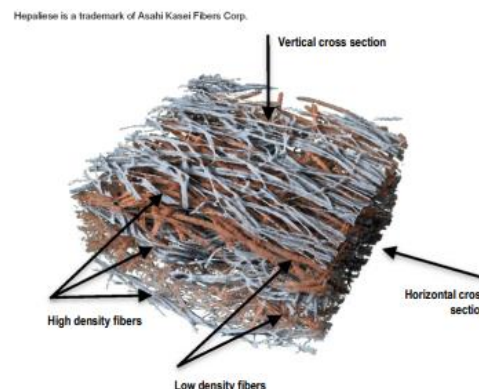
- X線源の焦点サイズ、形状
- X線レンズ
- 検出器の分解能とS/N

X線顕微鏡 nano3DXの特長

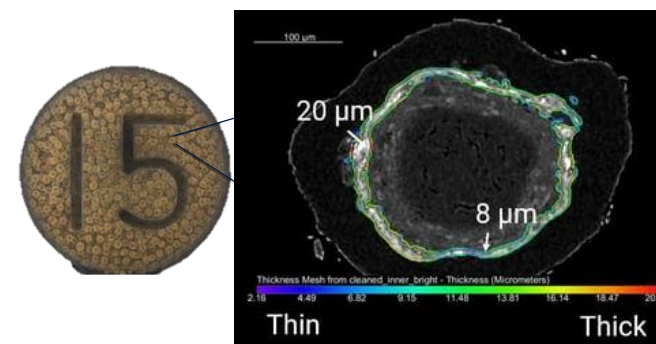
- 擬似平行ビーム法により歪みの少ないシャープな画像
- 高輝度な特性X線源で有機物、軽元素材料も高コントラスト観察



食品包装



ヘパリーゼマスク



錠剤
マイクロカプセル

複合樹脂材料・繊維・薬剤などの内部構造を高空間分解能・高密度分解能で観察が可能

擬似平行ビーム法

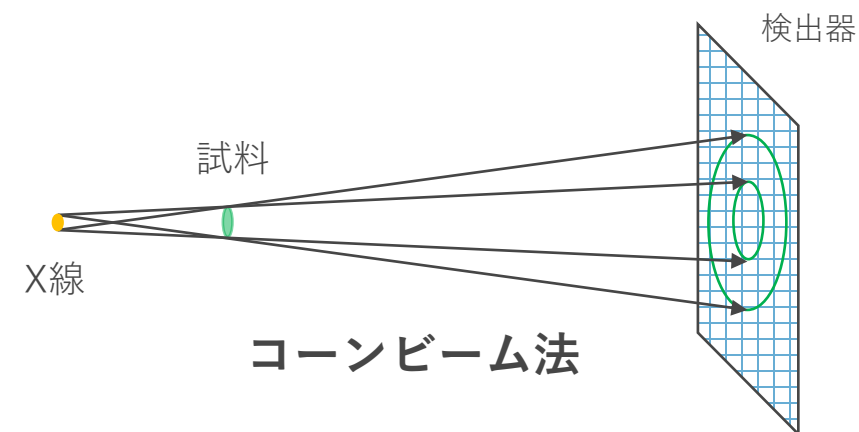
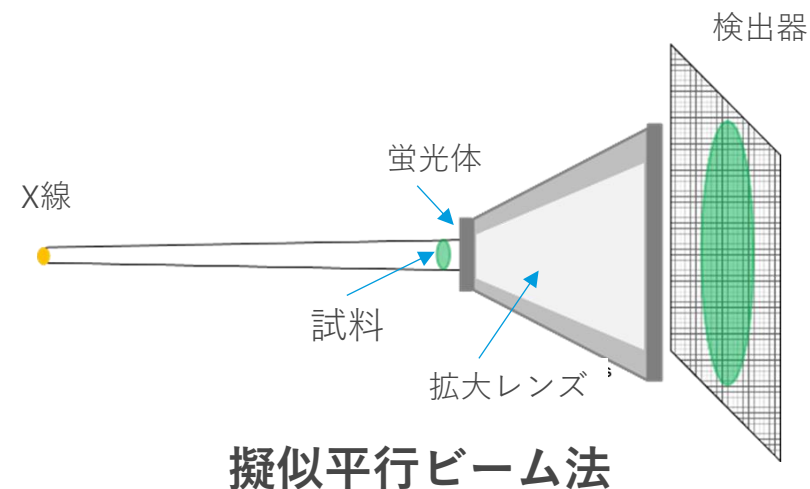
疑似平行ビーム法

- 装置構成

- ✓ μ フォーカス + 高出力X線
- ✓ 拡大レンズと高分解能検出器

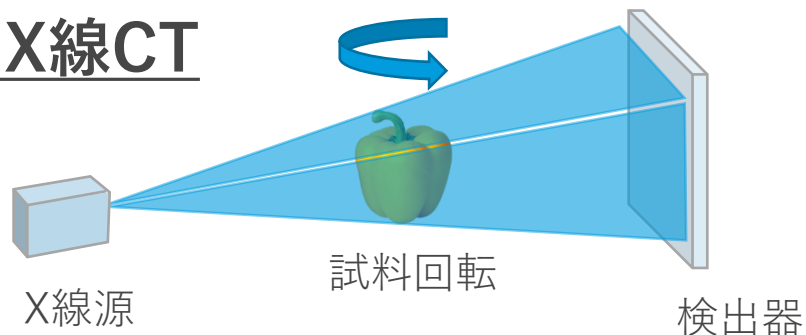
- 利点

- ✓ 拡大レンズによる広範囲、高分解能測定
- ✓ 画像ボケの抑制

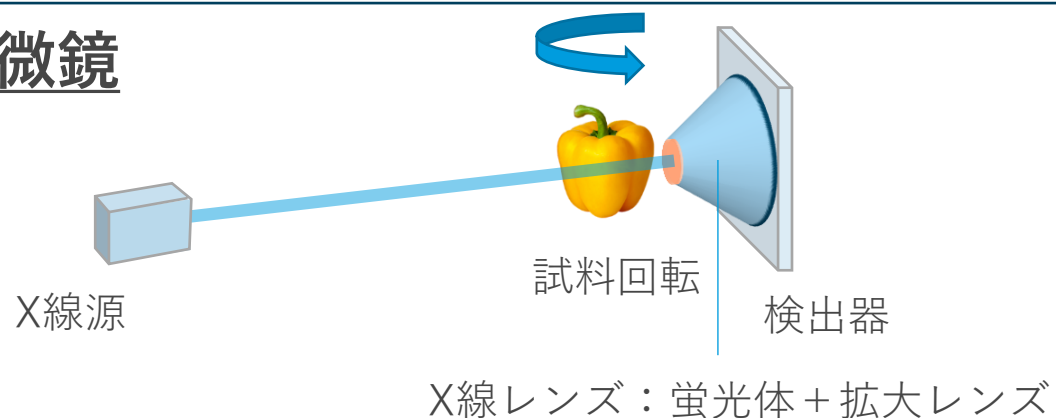


X線顕微鏡の性能向上のために

一般的なX線CT



X線顕微鏡



性能向上の要件

- X線源のフォーカスサイズ
- 検出器の分解能とS/N
- 拡大率（試料位置と検出器位置）

- X線源の輝度
- X線レンズ（蛍光体 + 拡大レンズ）
- 検出器の分解能とS/N

X線レンズの性能向上 蛍光体

X線レンズの改良：蛍光体（現行）

ルテチウム・アルミニウムガーネット

LuAG結晶- $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$

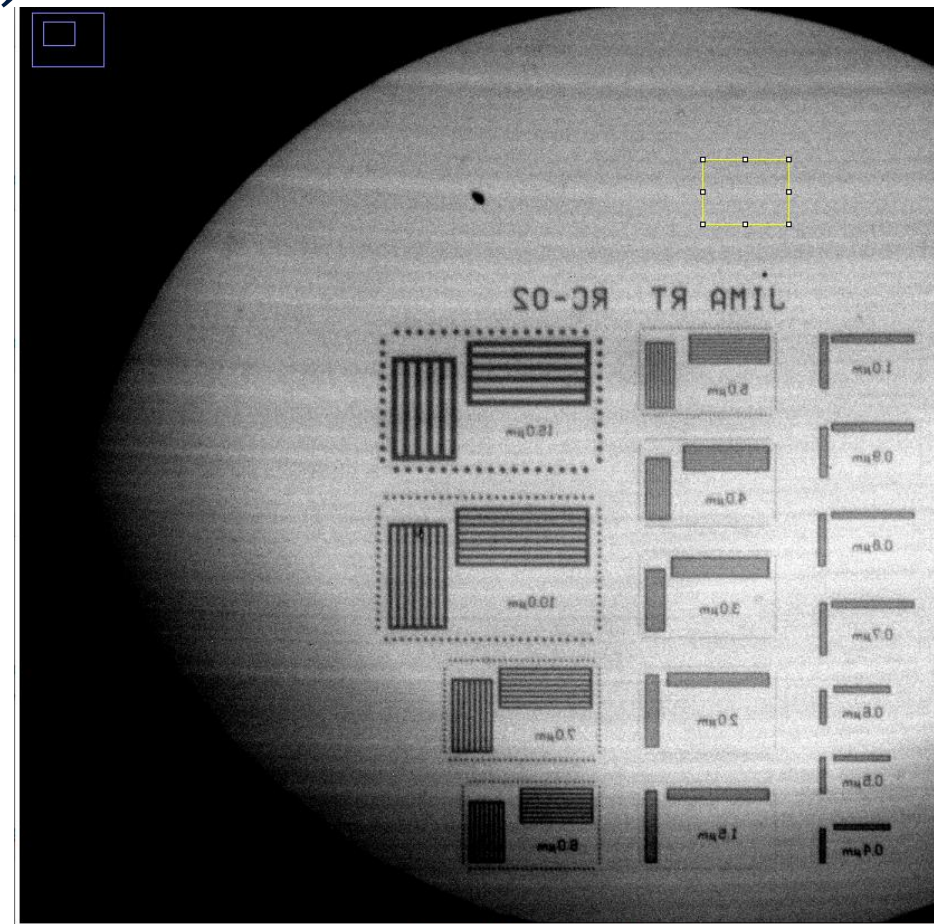


特徴

- ✓ 発光量が多い
- ✓ 非吸湿性
- ✓ 速い減衰時間
- ✓ 機械的、化学的、温度に安定

問題点

- ✓ 結晶性由来のノイズ



JIMA Chart RC-02を30秒にて撮影

X線レンズの改良：蛍光体（次世代）

ガドリニウム・アルミニウム・ガリウム・ガーネット

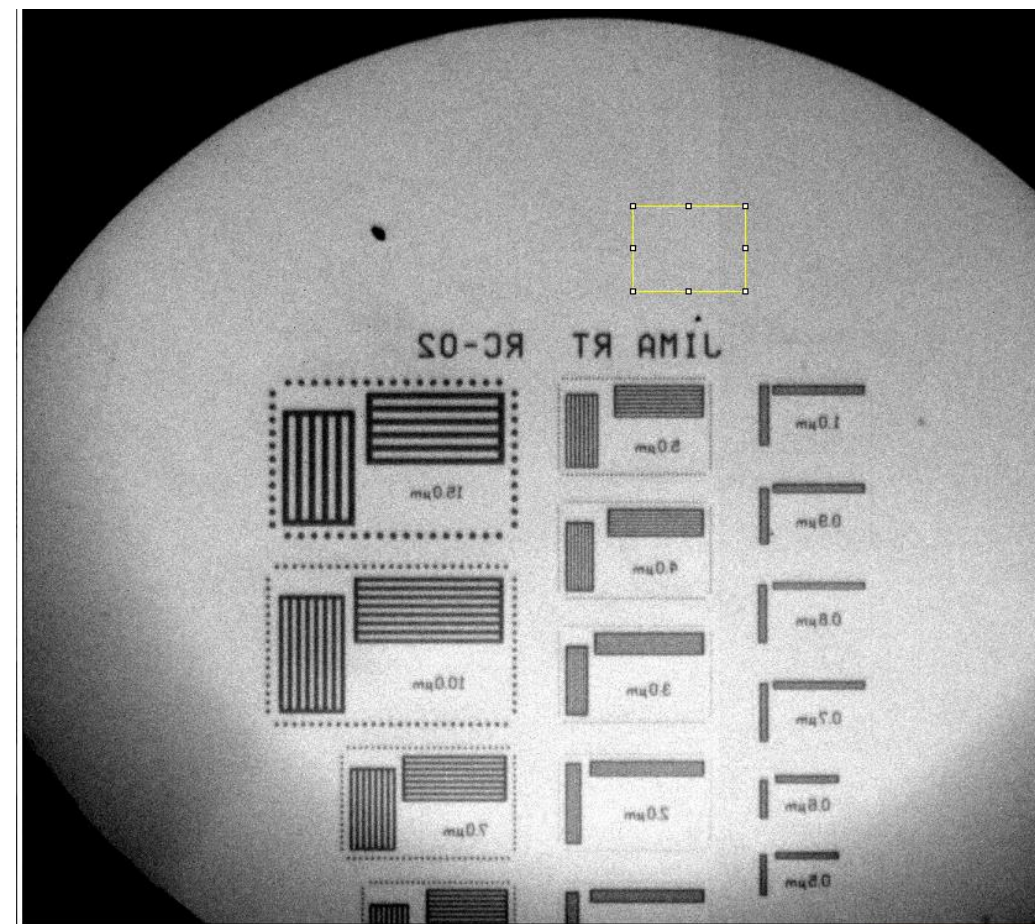
GAGG結晶-Gd₃Al₂Ga₃O₁₂

特徴

- ✓ 発光量が多い
- ✓ 非吸湿性
- ✓ 速い減衰時間
- ✓ 機械的、化学的、温度に安定



	GAGG	LuAG
熱・機械安定性	✓ ✓	✓ ✓
非吸湿性	✓	✓
発光量	✓ ✓	✓
結晶の均一性	✓ ✓	✓



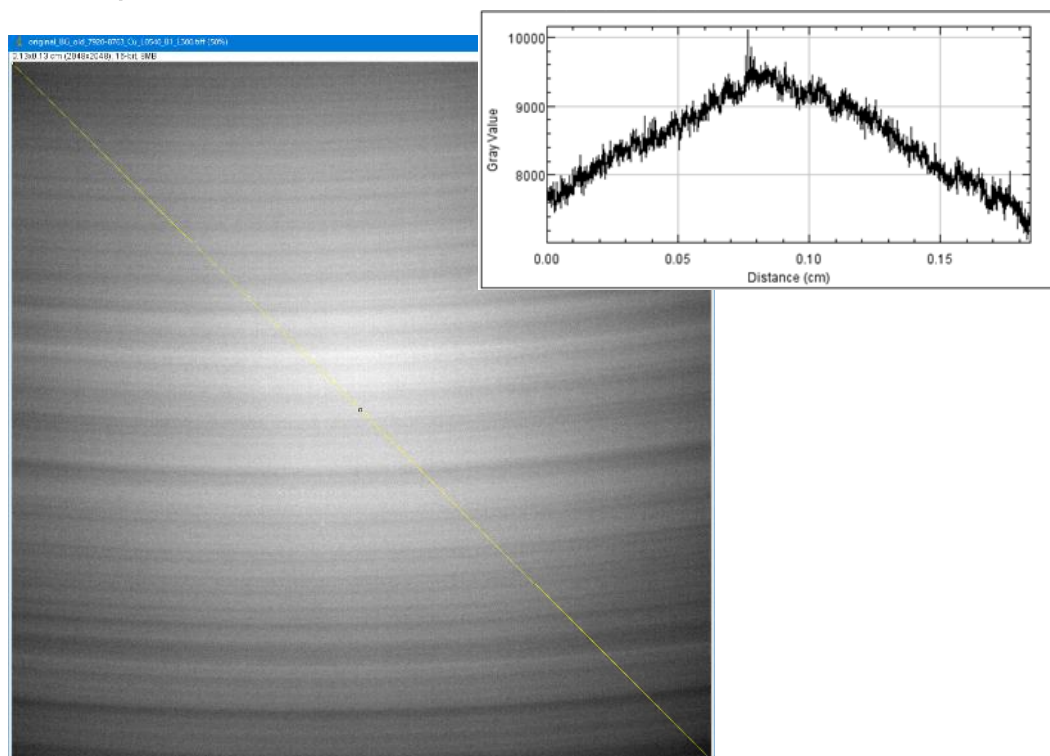
JIMA Chart RC-02を30秒にて撮影



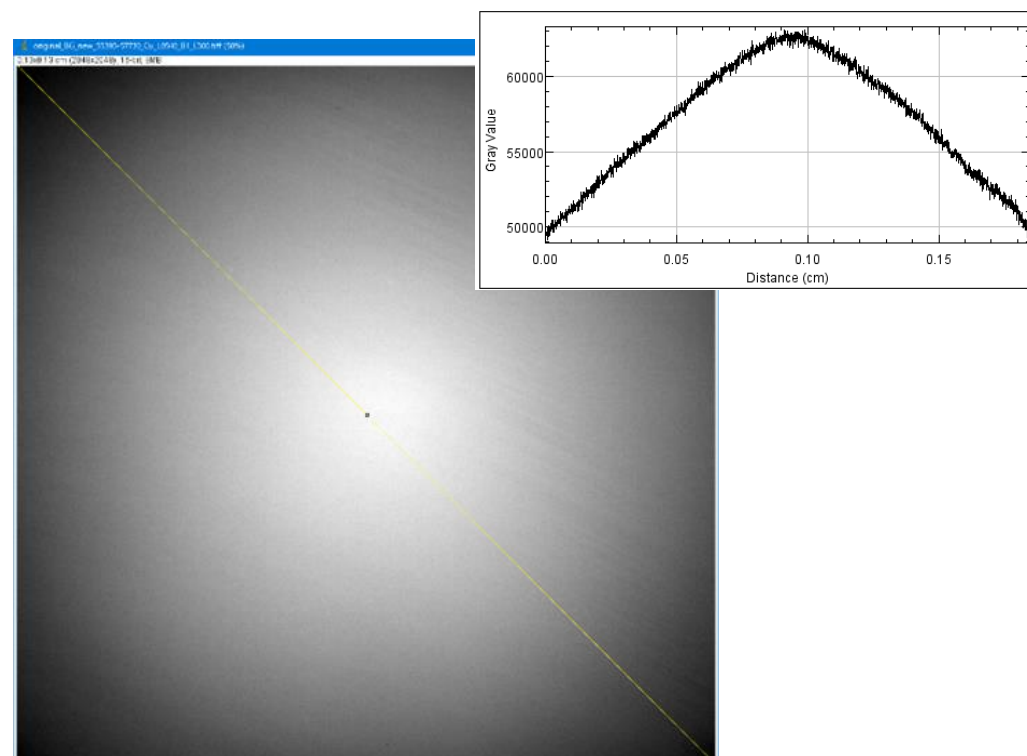
バックグラウンド（空気）

現行 vs. 次世代：透視画像（2D）

現行：LuAG

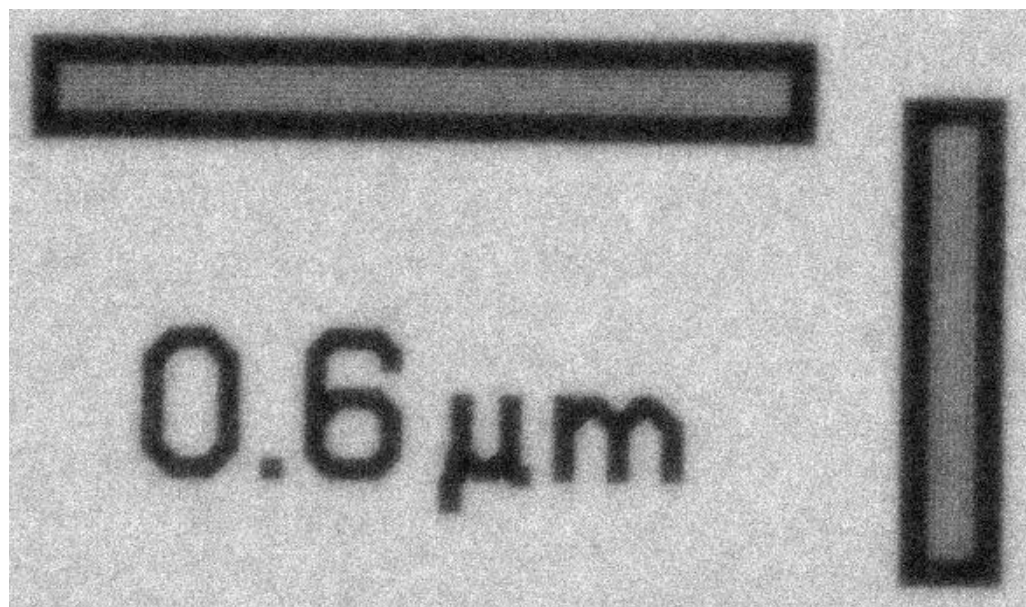


次世代：GAGG

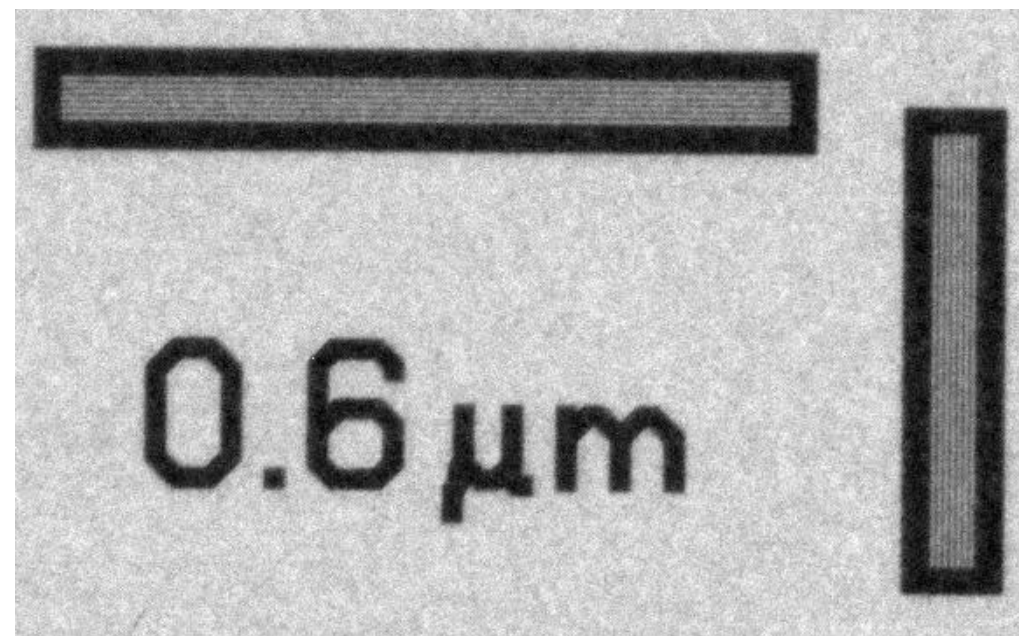


現行 vs. 次世代 : 透視画像 (2D)

現行 : LuAG



次世代 : GAGG

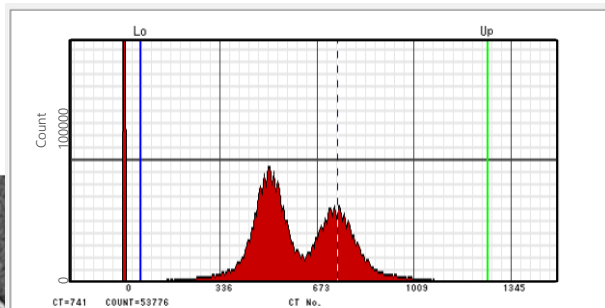
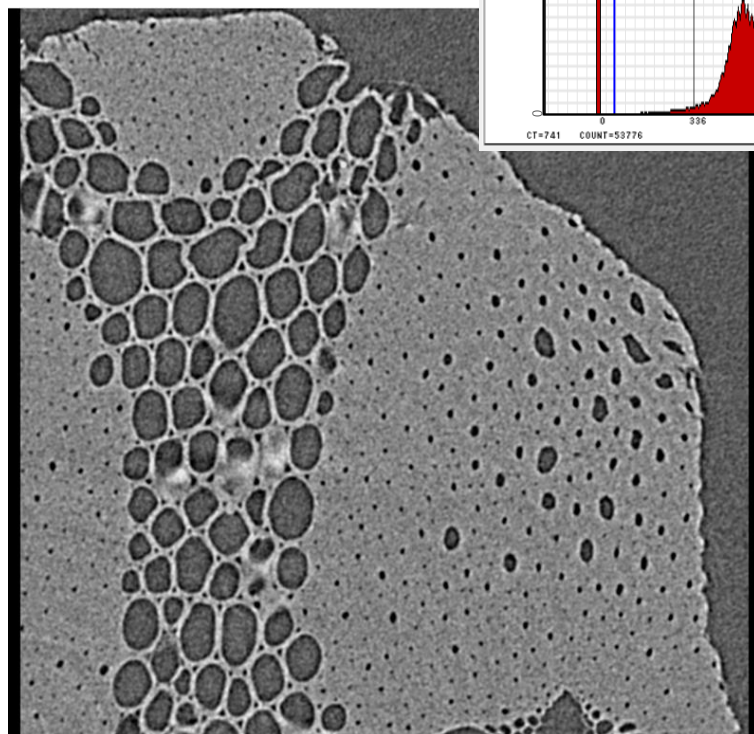




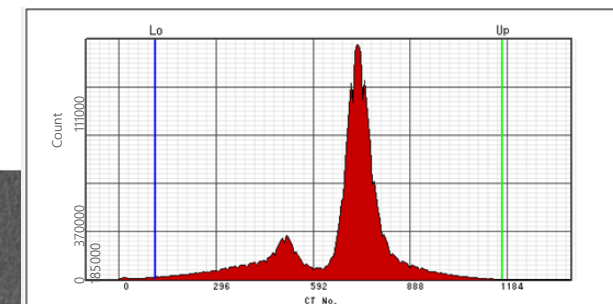
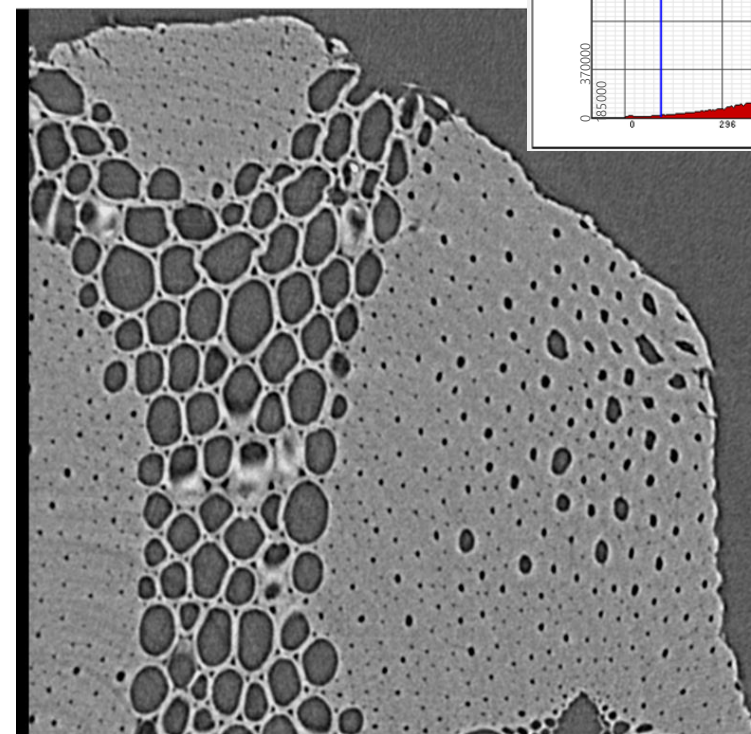
竹串

現行 vs. 次世代 : CT画像 (3D)

現行 : LuAG



次世代 : GAGG



検出器の性能向上 高分解能、高S/N

検出器 仕様比較

仕様

	現行	次世代
検出器タイプ	sCMOS	sCMOS
ピクセルサイズ (μm)	6.5 ^{*1}	3.76 ^{*1}
ピクセル数	2048 x 2048 ^{*1}	4800 x 4000 ^{*1}
検出面積 (mm ²)	13.00 x 13.00 ^{*1}	23.51 x 15.70 ^{*2}
ADC分解能 (bit)	16	16

*1: ビニング 1 x 1

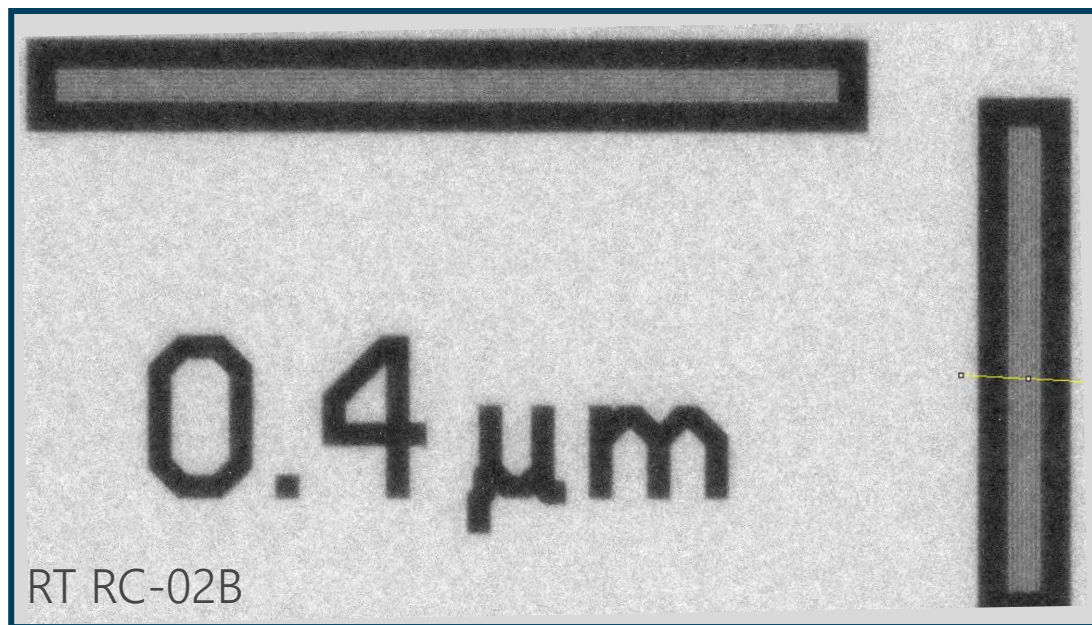
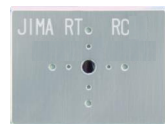
*2: ビニング 2 x 2

ボクセルサイズ

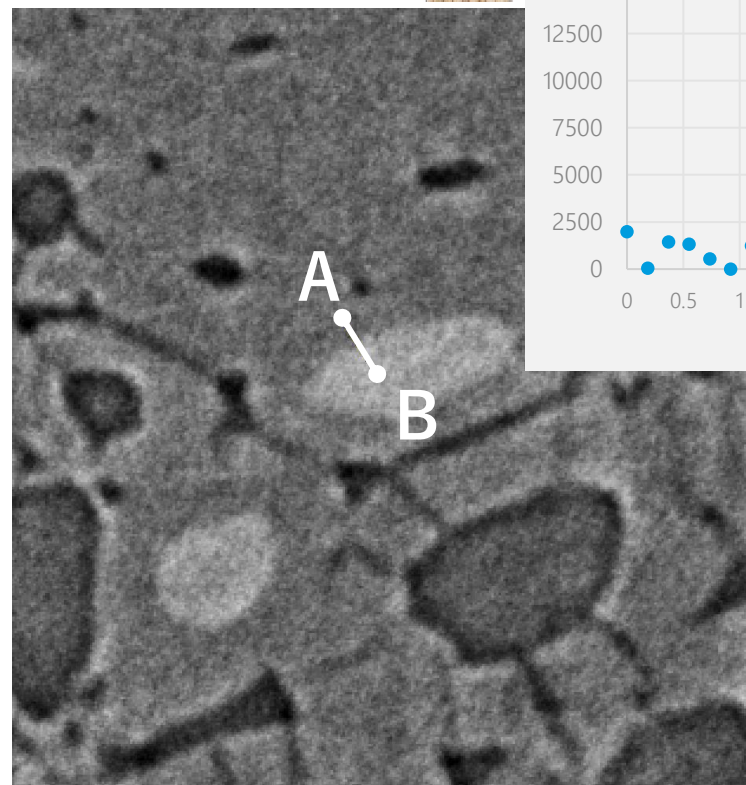
拡大率	レンズ レンズ名	ボクセルサイズ (μm)		
		現行	次世代 ^{*1}	次世代 ^{*2}
20	L0270	0.325	0.188	0.376
10	L0540	0.65	0.376	0.752
5	L1080	1.3	0.752	1.504
2.5	L2160	2.6	1.504	3.008
1.25	L4320	5.2	3.008	6.016

次世代検出器の分解能

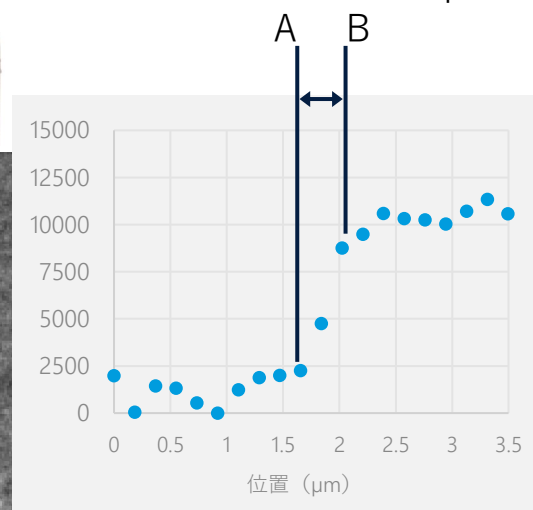
JIMA Chart 透視画像



竹串 CT画像



境界部のボケ 0.5 μm

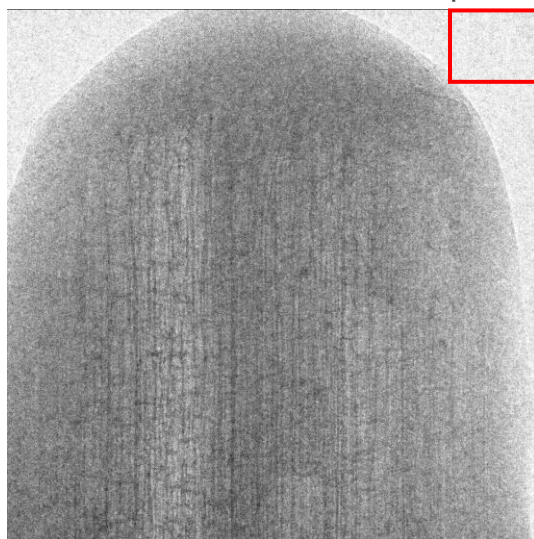




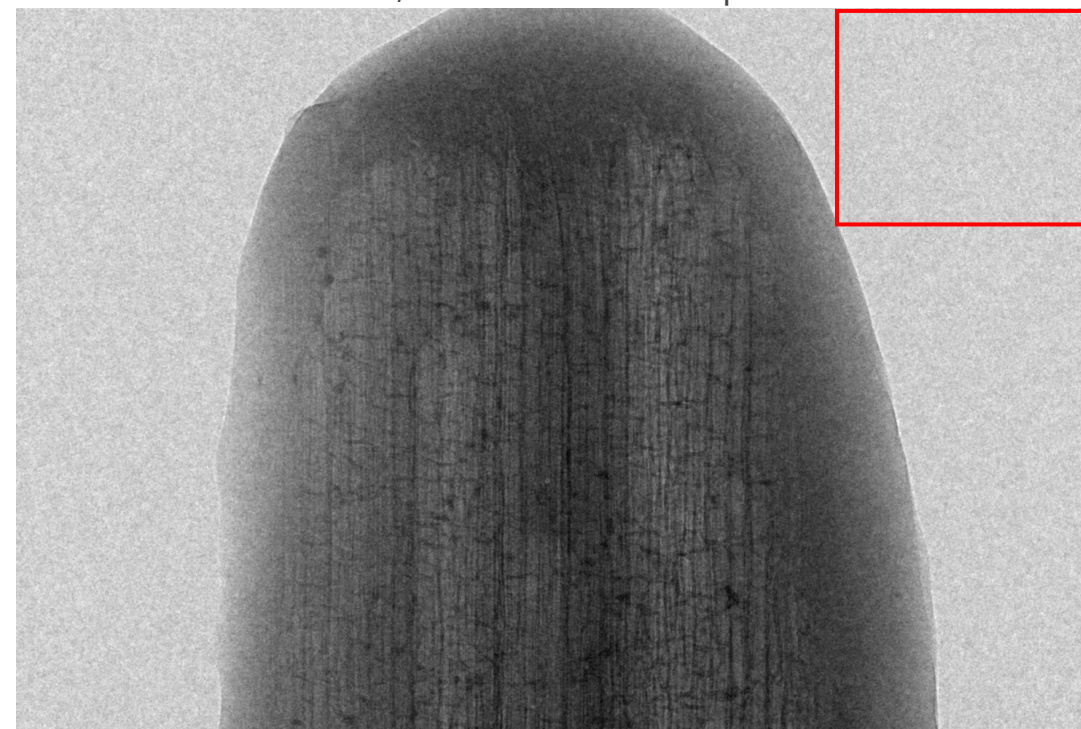
竹串

現行 vs. 次世代：透視画像（2D）

現行, ボクセル: 0.32 μ m



次世代, ボクセル: 0.37 μ m

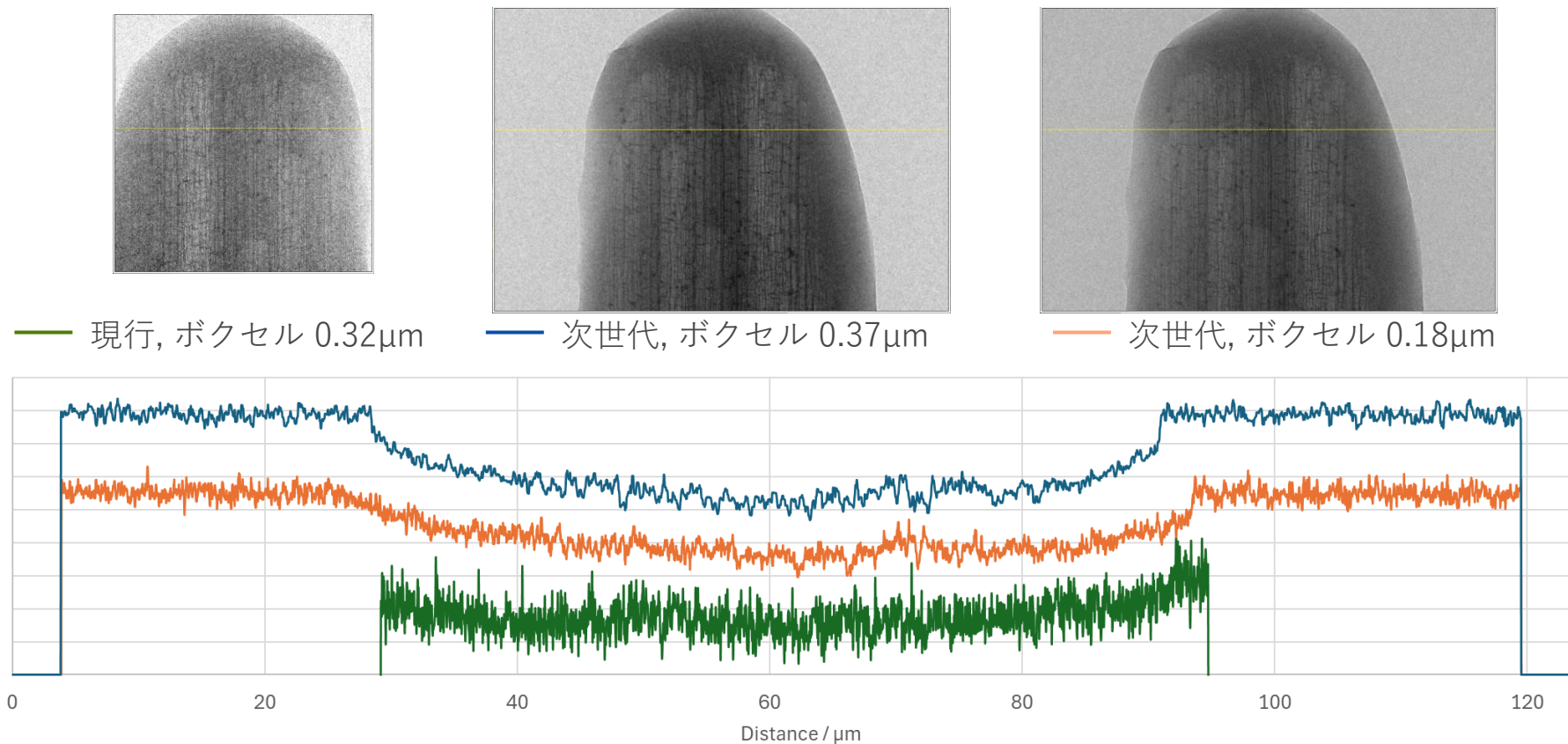


	平均値	偏差	S/N
現行	246.0	25.2	9.8
次世代	394.4	8.0	49.3



竹串

現行 vs. 次世代：透視画像（2D）



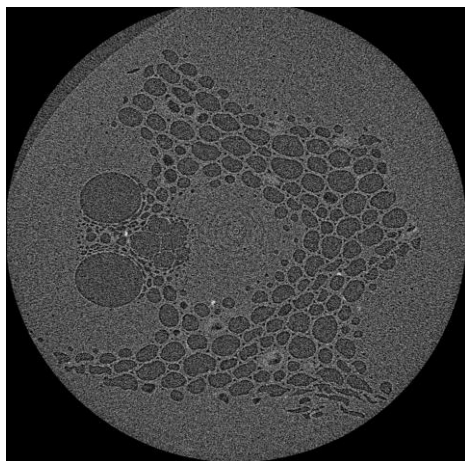


竹串

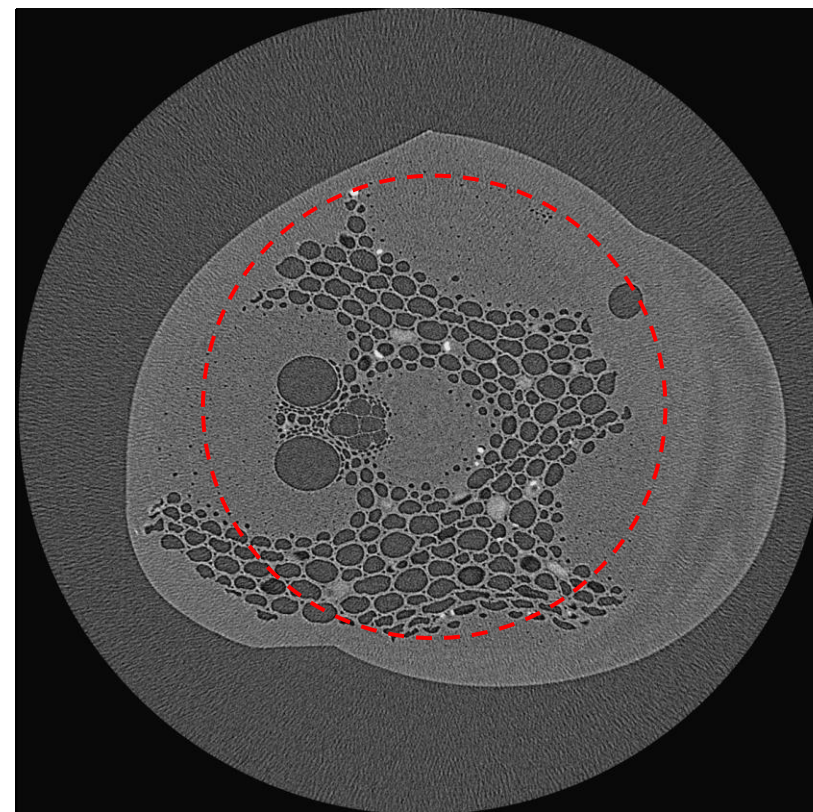
現行 vs. 次世代：CT画像（3D）

次世代, ボクセル: 0.37 μ m

現行, ボクセル: 0.32 μ m



検出面積
約3倍

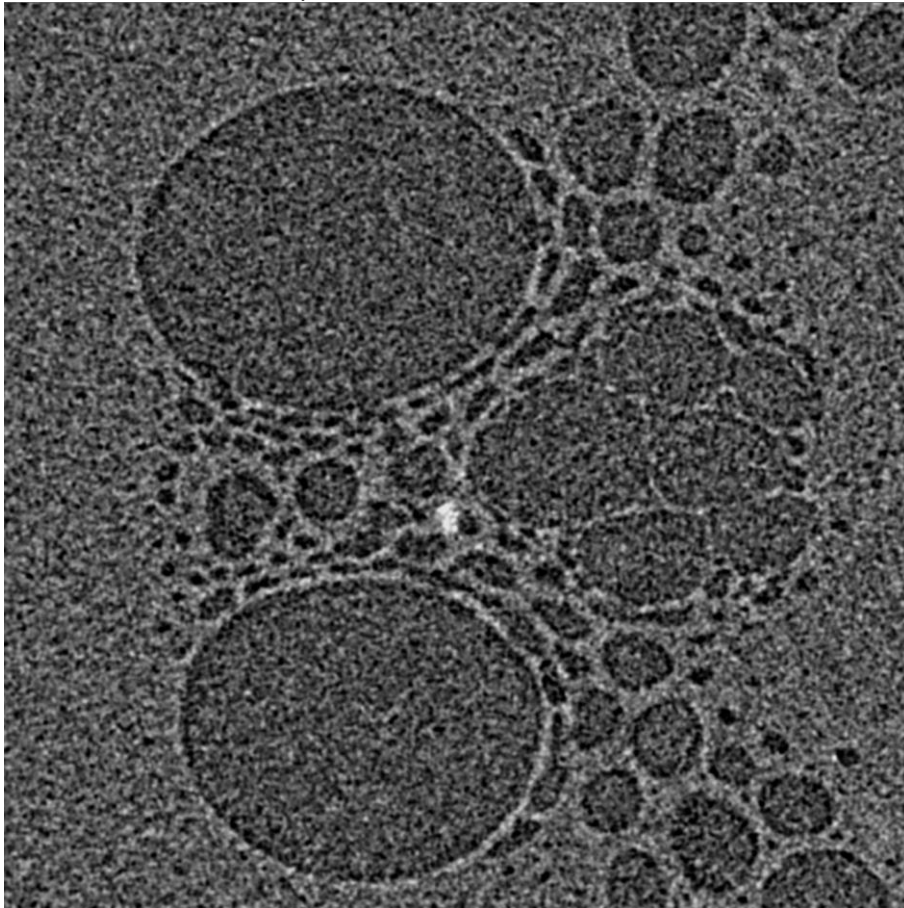




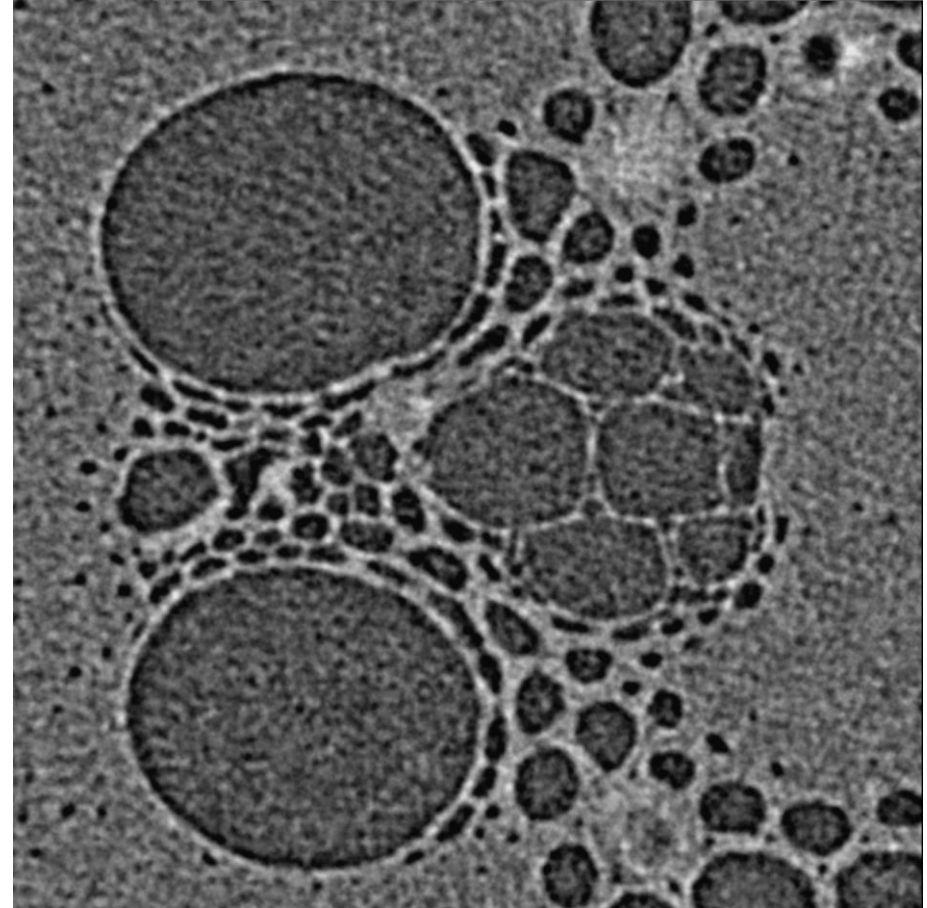
竹串

現行 vs. 次世代：CT画像（3D）

現行, 300%拡大



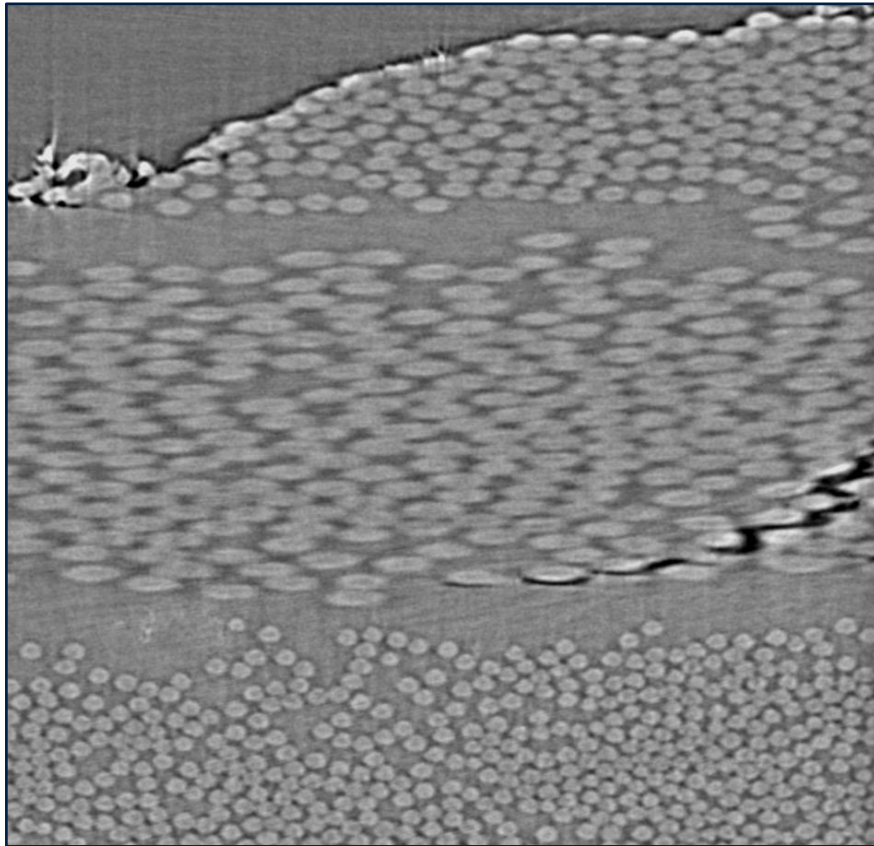
次世代, 520%拡大



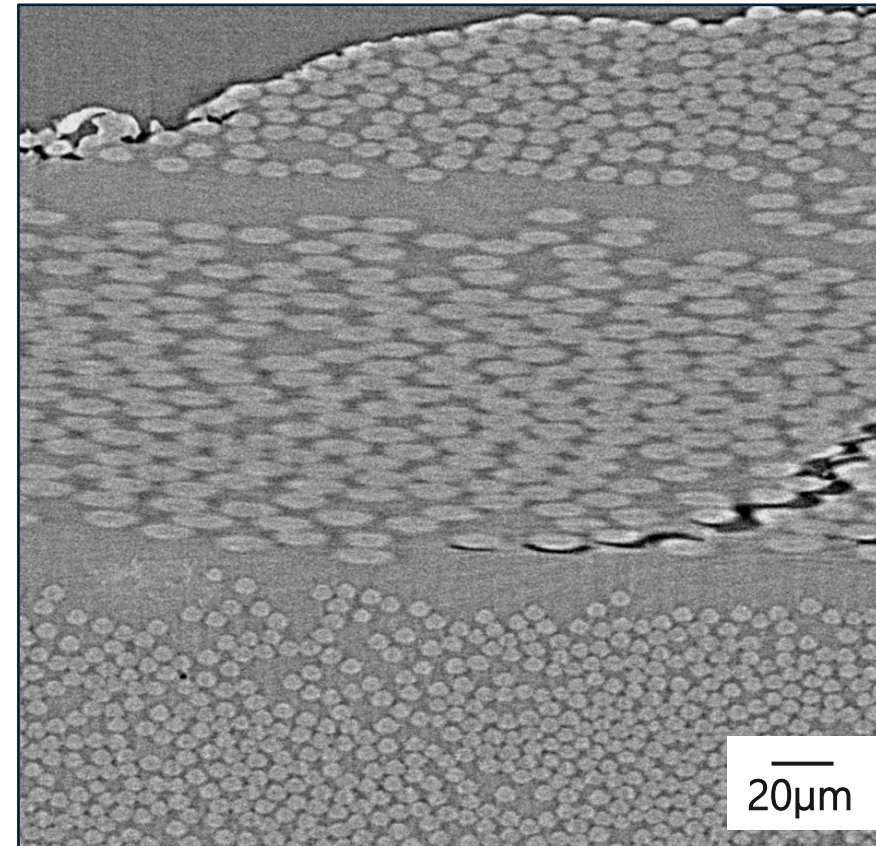
30μm

現行 vs. 次世代：CT画像（3D）

現行, Voxel 0.32 μ m



次世代, Voxel 0.18 μ m



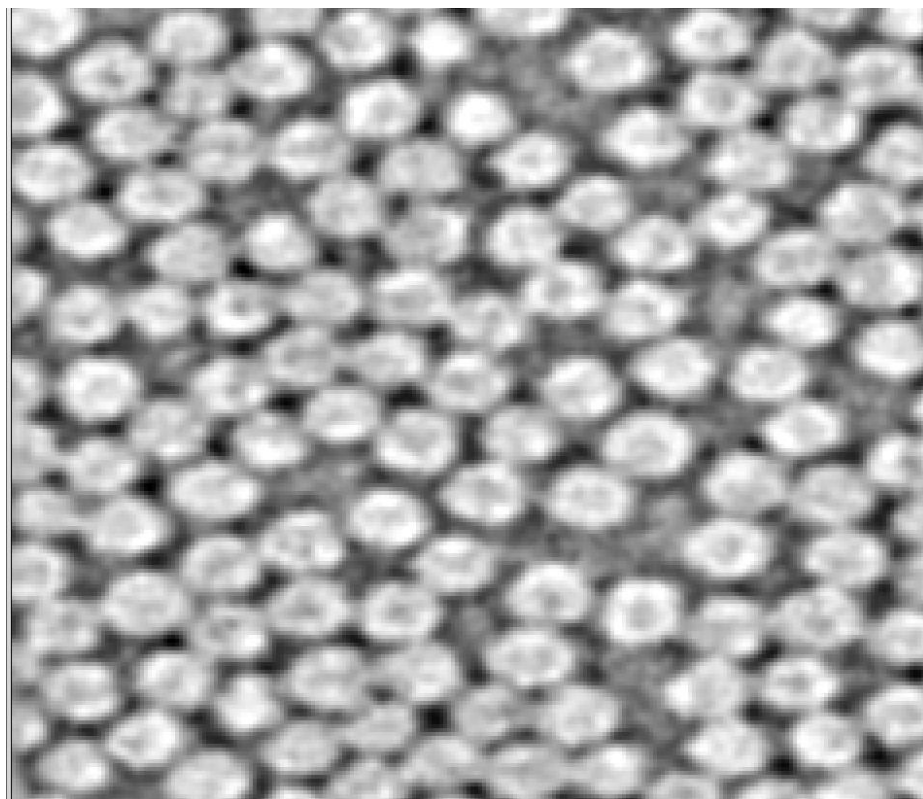
CFRP



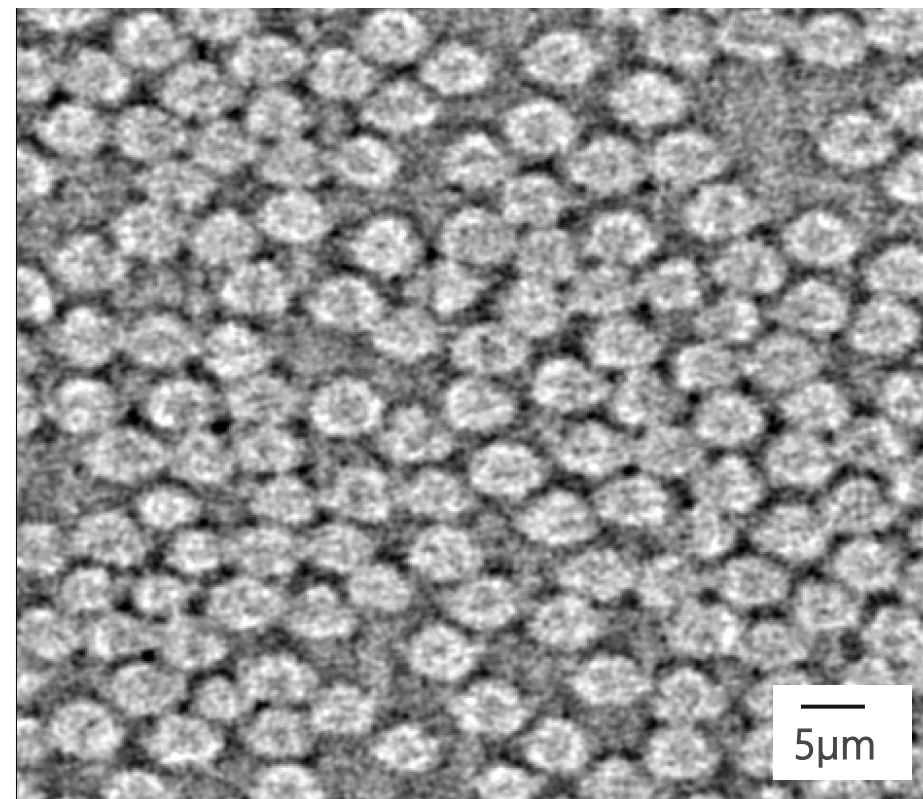
CFRP

現行 vs. 次世代：CT画像（3D）

現行, Voxel $0.32\mu\text{m}$ (ビニング 1x1)



次世代, Voxel $0.18\mu\text{m}$ (ビニング 1x1)

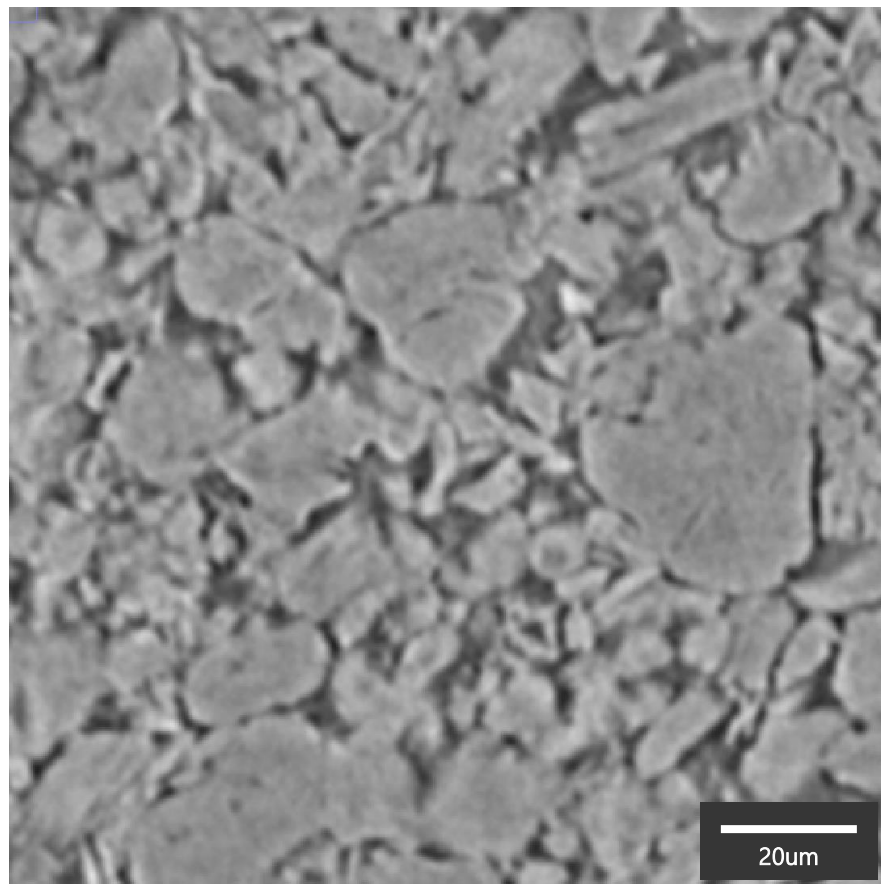




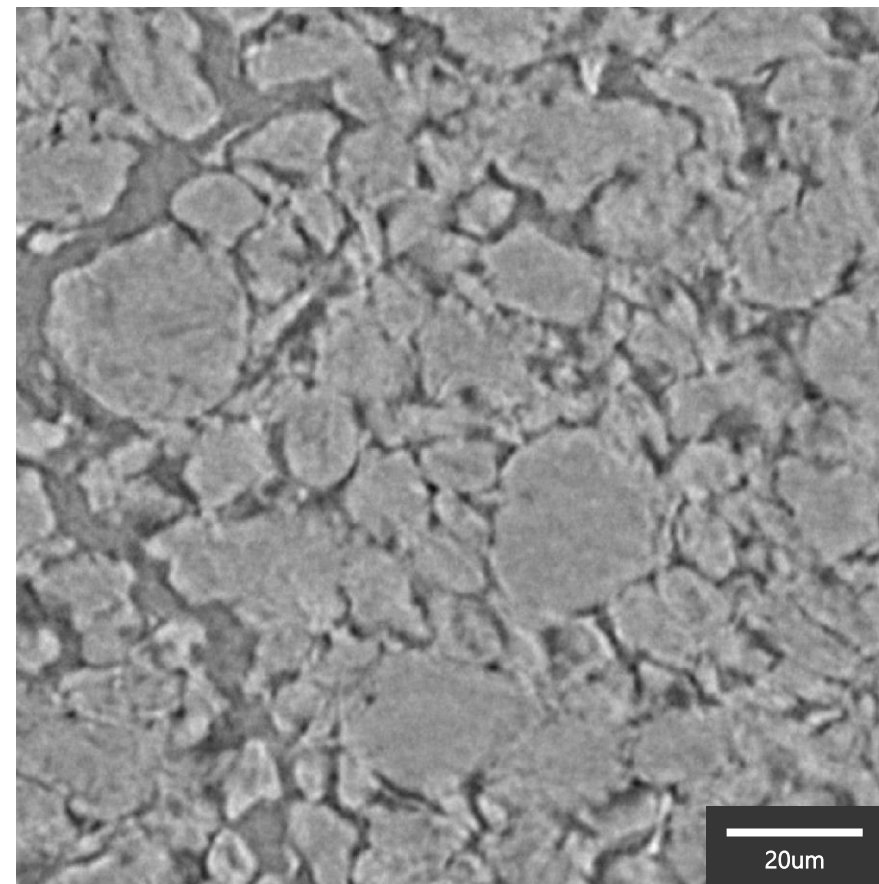
電池：負極材

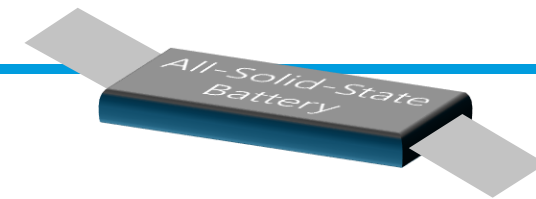
現行 vs. 次世代：CT画像（3D）

現行, Voxel $0.32\mu\text{m}$ (ビニング 1x1)



次世代, Voxel $0.18\mu\text{m}$ (ビニング 1x1)

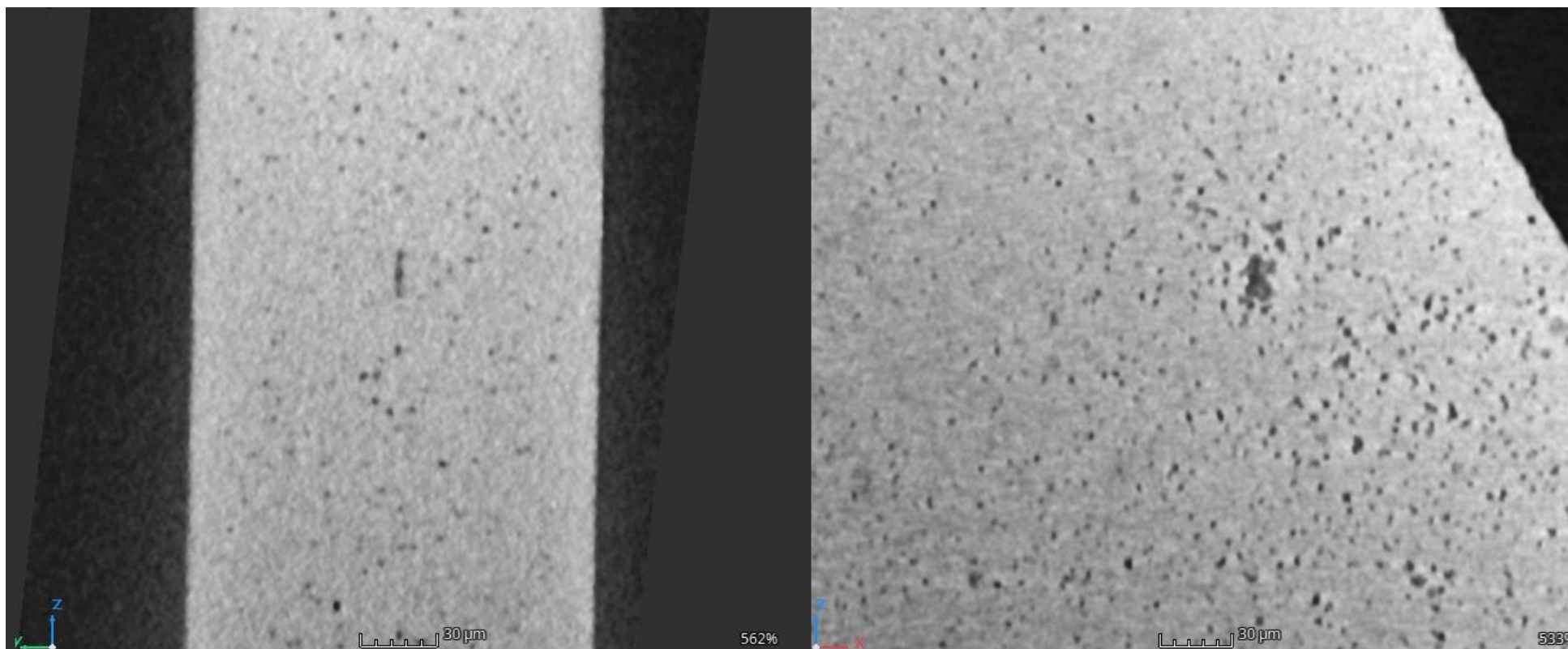




全固体電池：電解質

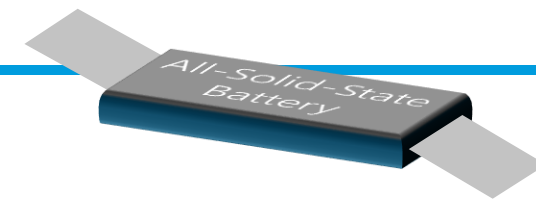
次世代：CT画像（3D）

拡大率300 %

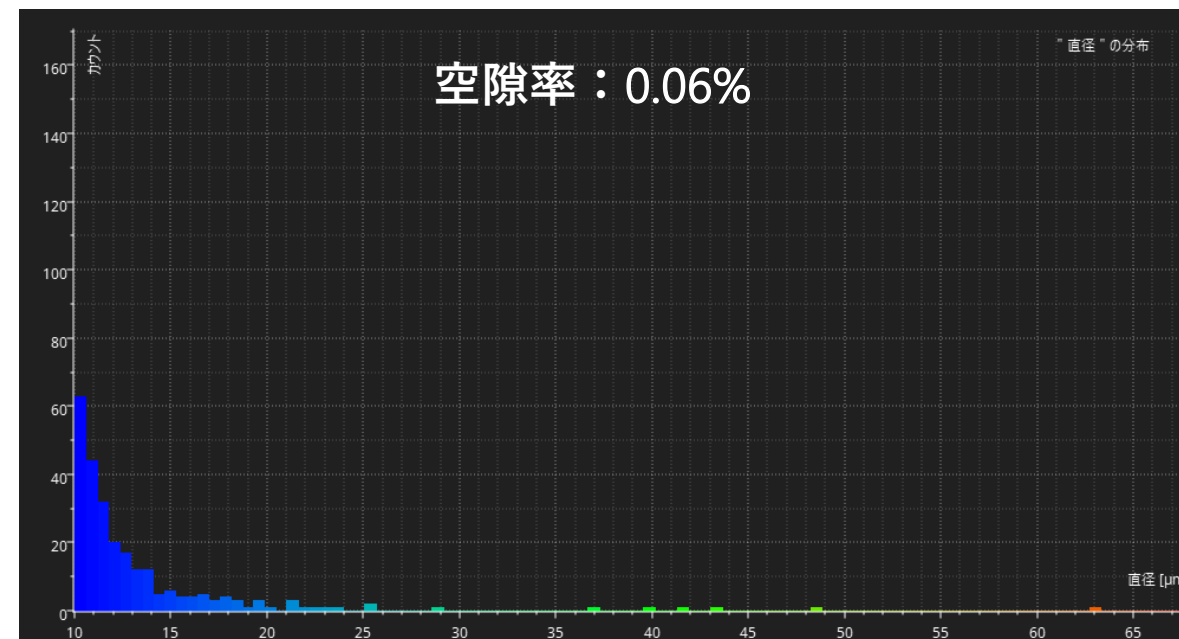
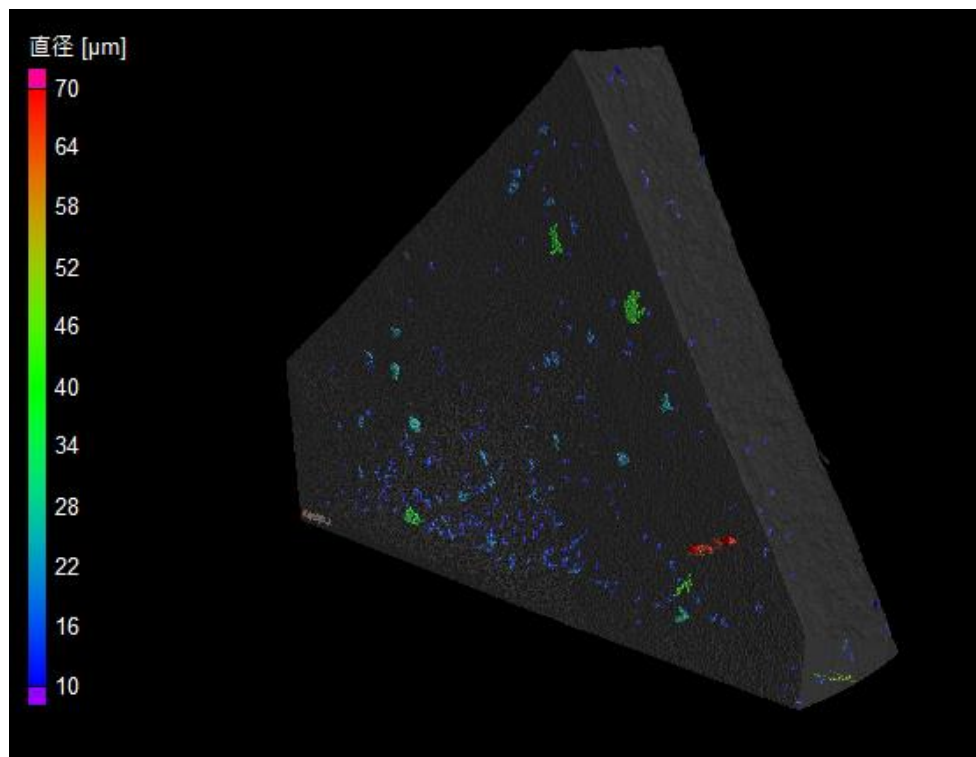


欠陥/介在物解析

10 μm 以上の空隙分布

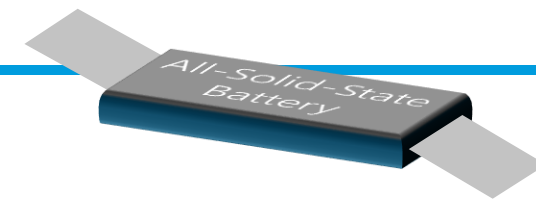


全固体電池：電解質

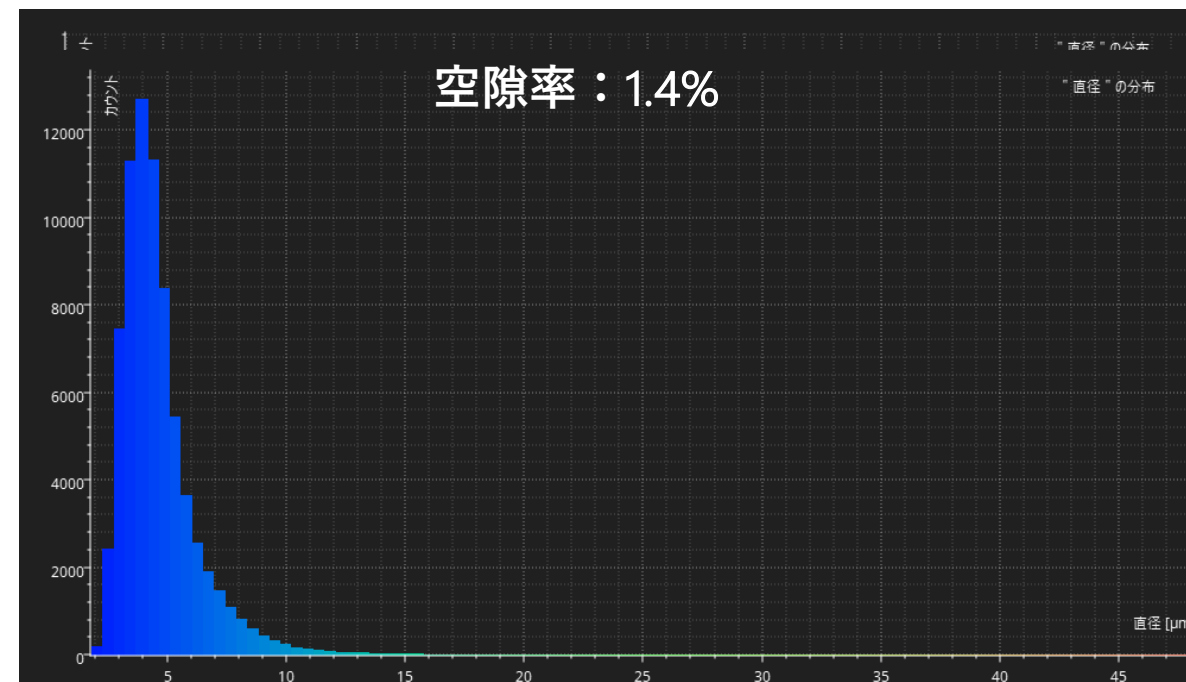
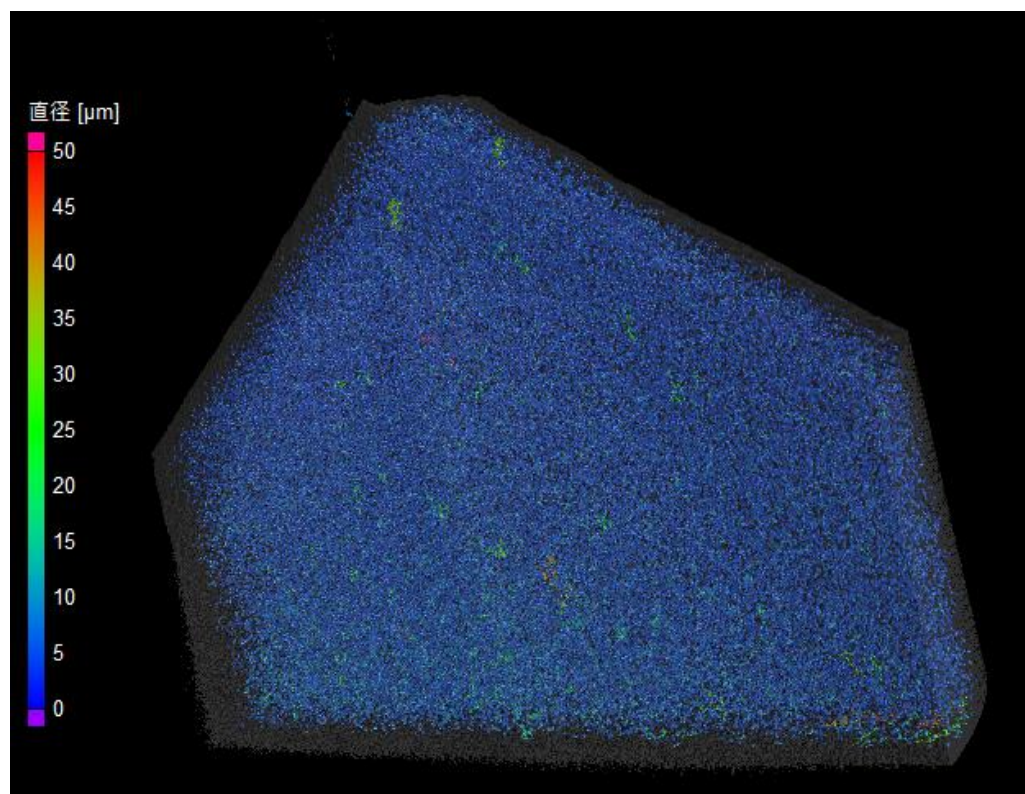


欠陥/介在物解析

1 μm 以上の空隙分布



全固体電池：電解質



BRIGHT FUTURE

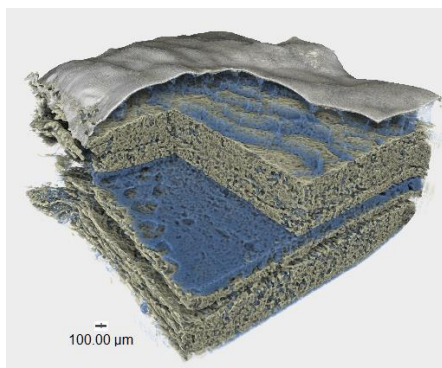


本日のまとめ

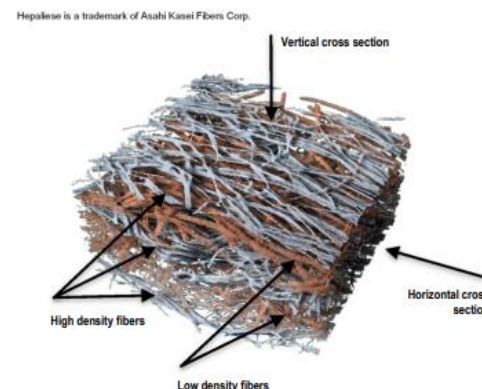
- **X線顕微鏡はナノオーダーの分解能を実現**
nano3DX・疑似平行ビームで可能に
- **CT像のコントラストが大幅に向上**
X線レンズ、次世代検出器の高感度/低ノイズによりS/Nを改善
- **一度に広範囲の評価が可能**
次世代検出器により視野が3倍に
- **μm オーダーの評価、解析が可能**
解像度とS/Nが向上し、分解能が大幅に改善

X線顕微鏡 nano3DXの特長

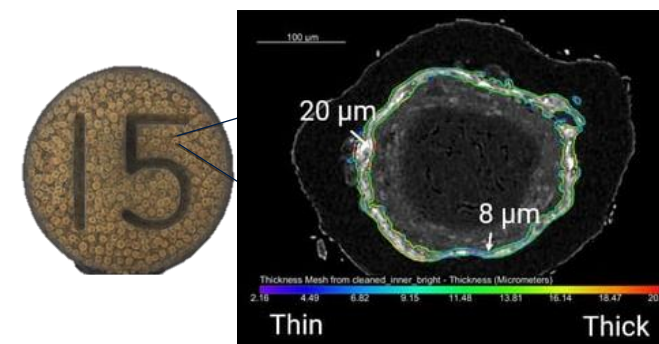
- 擬似平行ビーム法により歪みの少ないシャープな画像
- 高輝度な特性X線源で有機物、軽元素材料も高コントラスト観察



食品包装



ヘパリーゼマスク

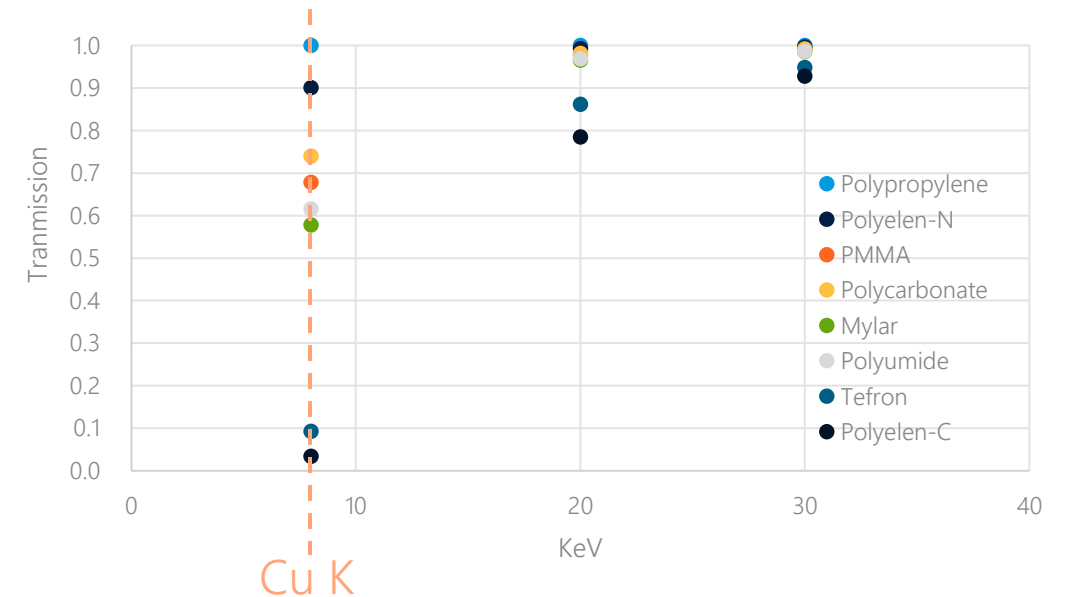
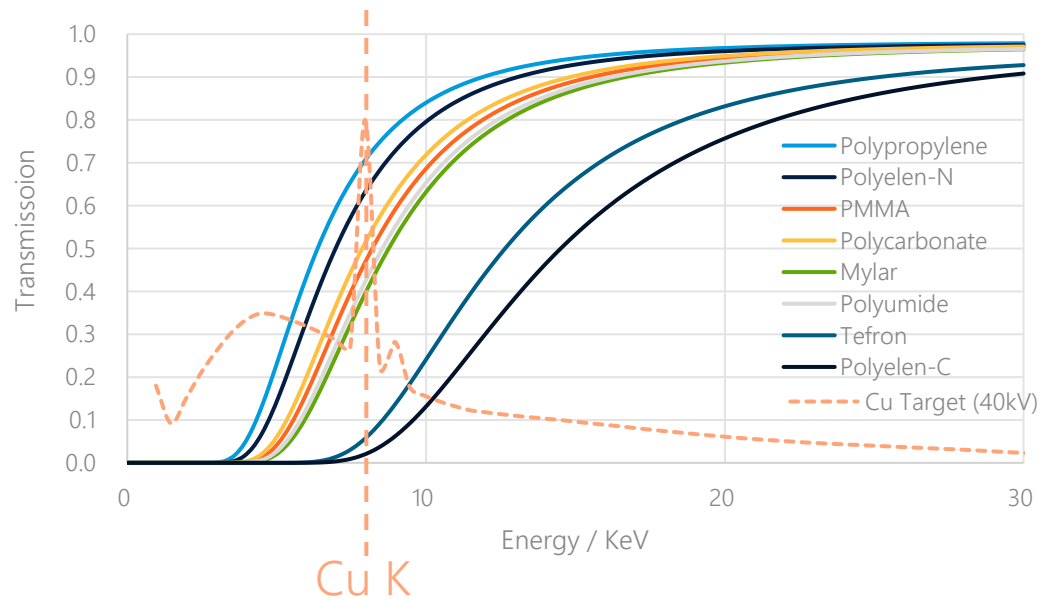


錠剤
マイクロカプセル

複合樹脂材料・繊維・薬剤などの内部構造を高空間分解能・高密度分解能で観察が可能

なぜ、有機物、軽元素材料も高コントラスト観察可能なのか

X線エネルギーとX線透過率



https://henke.lbl.gov/optical_constants/filter2.html

リガクX線CTラインナップ

nano3DX[®]

- ✓ 疑似平行ビーム
- ✓ 特性X線による
ハイコントラスト
- ✓ 高輝度X線源搭載



管電圧：～60kV

ナノオーダー
超高分解能機

CT Lab[®] HX

- ✓ デスクトップ型
- ✓ ASC*搭載可能



管電圧：～130kV

汎用性高い
万能機

CT Lab[®] GX

- ✓ 試料水平保持
- ✓ 簡便操作

多用途対応の高性能機



CT Lab[®] HV

- ✓ 高電圧高出力機
(～300kV)
- ✓ ASC*搭載可能
- ✓ 大型試料対応
- ✓ 多目的

*ASC: 自動サンプルチェンジャ (Auto Sample Changer)

分解能
High

0.5 μ m

2 μ m

Low

8keV

40kV

130 kV

160 kV

200 kV

High

300 kV

管電圧 (kV)

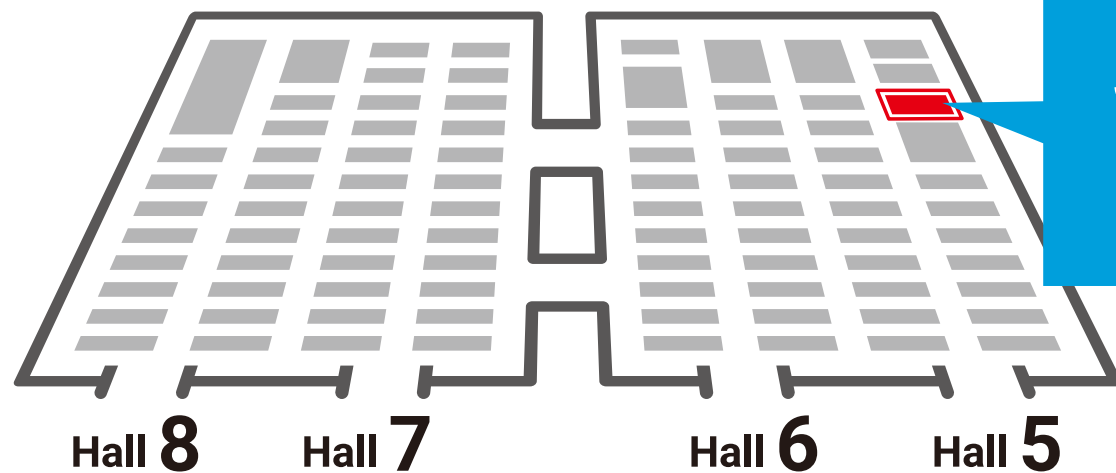
Low



リガクウェブサイトの右上のボタン
「**専門家に相談する**」より
お問い合わせください



ぜひ、リガクブースへ
お立ち寄りください！



 Rigaku

5 ホール 入って直進！

5A-801



