

# ブレークスルーを創出する、 エキシラムの最高性能X線源技術

Excillum X-ray tube technology

Dr. Björn Hansson, CTO

JIMA

2022-09-16

The logo for Excillum, featuring the word "excillum" in a bold, lowercase, sans-serif font. The background of the slide features a stylized sunburst or starburst pattern in the upper right corner, consisting of numerous thin lines radiating from a central point.

# ストックホルム、Excillum本社へぜひお越しください！

Stockholm ☺



Office



R&D



Production





# The source for X-ray innovation

- 独自技術をベースにX線源を開発製造しています。
  - 液体金属ジェットを陽極に使用したMetalJet 技術
  - 高精度な電子ビーム制御技術
- 製品ラインナップ
  - **MetalJet**  
世界で最も明るいホームラボ用X線源
  - **NanoTube**  
世界最小のX線スポット
- 設立2007年
- 本社：スウェーデン、ストックホルム  
研究開発、製造
- 拠点：USA (Excillum Inc.)、イギリス、スイス
- 従業員 70 名以上  
研究開発スタッフ 37名以上  
国籍 10か国以上



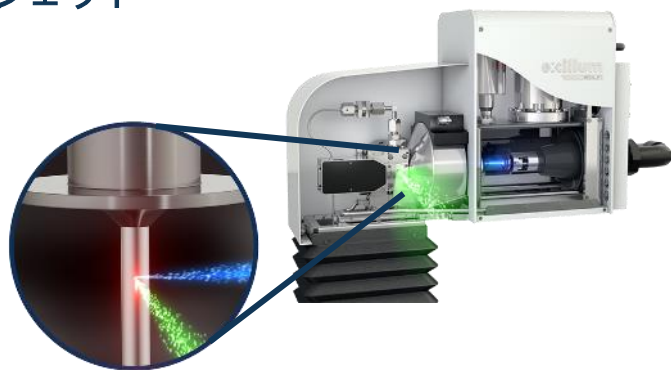
# Excillum のX線源

Excillum's X-ray sources

## 世界で最も明るいマイクロフォーカスX線源

### MetalJet メタルジェット

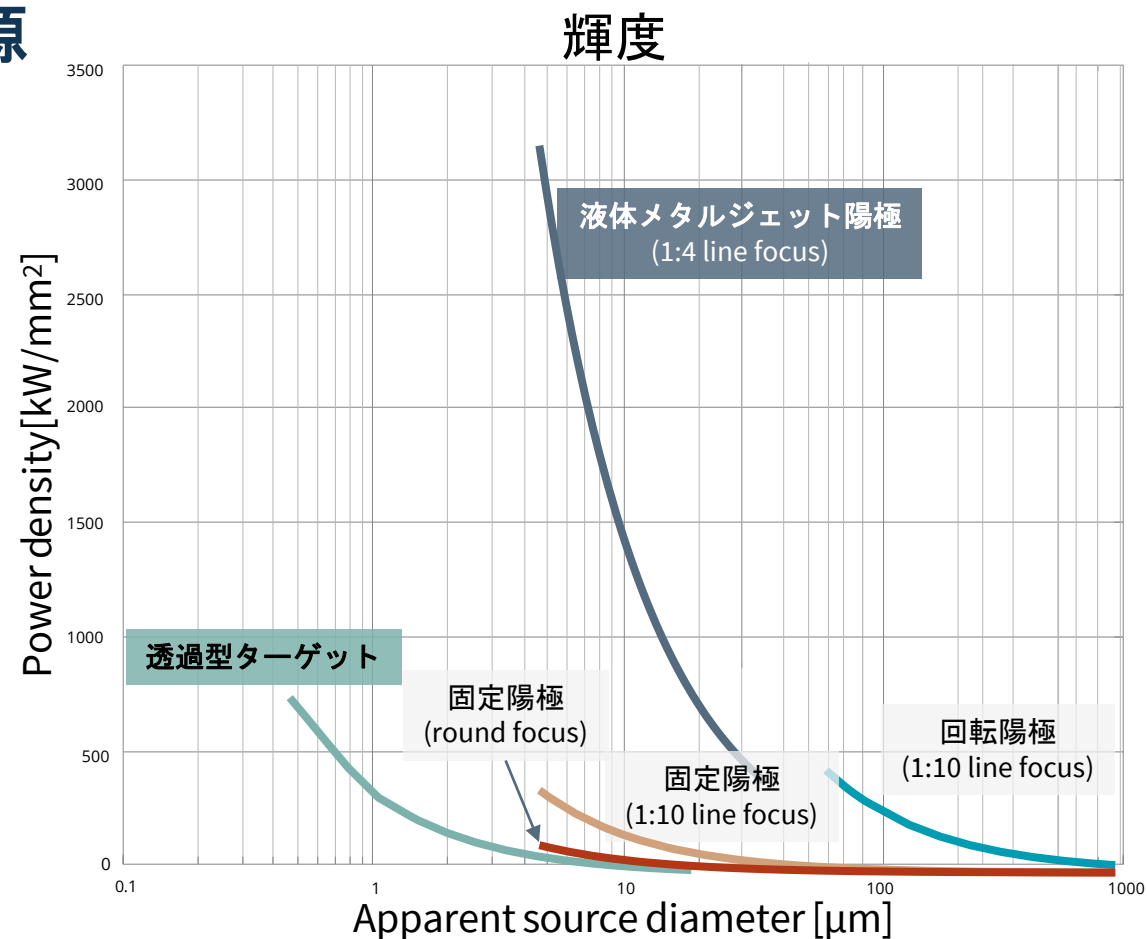
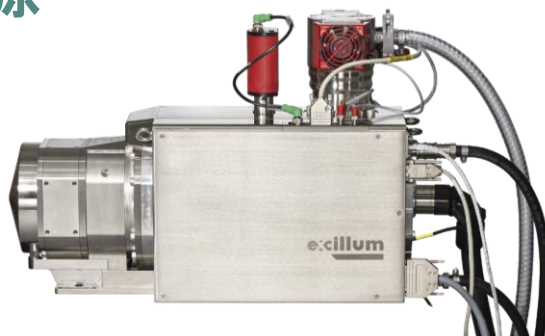
液体金属陽極  
高精度な  
電子ビーム  
制御技術



## 世界最小のX線スポットの ナノフォーカスX線源

### NanoTube ナノチューブ

先進的な  
電子ビーム制御技術





# 主なOEM：ラボ用分析機器

2011からの主要なビジネス

OEMパートナー各社の最先端のシステムに導入

単結晶X線回折（SCD）、小角X線散乱（SAXS）、硬X線光電子分光法（HAXPES）など  
生物学、化学、材料科学、薬学およびハイテク製造業における品質保証 などに利用



# 主なOEM：ラボ用イメージング機器

2020から拡大しているビジネス

OEMパートナー各社の最先端のシステム製品に導入  
コンピューター断層撮影（CT）、位相コントラストイメージングシステム  
基礎科学研究（生物学）および製造における品質保証に使用（電子機器、バッテリー、添加剤など）

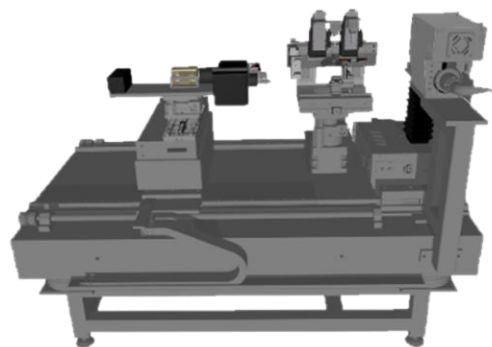




# 特別仕様の実験機器

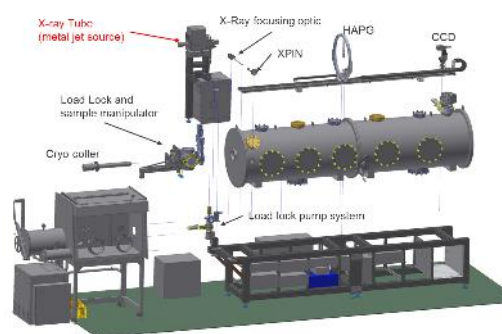
– 弊社設立からの基本ビジネス, 最先端機器

X線源を用いた実験システムを独自に構築する大学や企業の研究者をサポート  
カスタムシステムの設計と構築に支援が必要な場合は, OEMパートナーと協力します



X線顕微鏡

Multi-modal microscope  
Würzburg University /  
Fraunhofer Institute  
Germany



X線発光分光装置

X-ray emission  
spectroscopy system  
Max Planck Institute  
Germany



SAXSシステム

SAXS system  
National Institute of Standards  
(NIST)  
USA



X線位相コントラスト  
イメージングシステム

Phase-contrast imaging  
system  
Custom system by Proto  
Johns Hopkins university  
USA



# 市場へのExcillum X線源販売形態

Our two go-to market models

直接販売/代理店 (分析, イメージング)

**excillum**

Custom experimental systems  
- our original business, and the most advanced users

We support researchers who build their own experimental systems based on our X-ray source, and work with partners if they require help to design and build custom systems.

SEM model microscope  
WZL/Zeiss/University  
Forschungszentrum  
Germany

X-ray diffractometer  
Max Planck Institute  
Germany

SMD system  
National Institute of  
Standards and Technology  
USA

Phase-contrast imaging  
system  
Custom system by Heide  
Ulmer/Zeiss/University  
USA

Excillum本社、  
もしくは代理店  
が販売

OEM (分析, イメージング, 製造業)

**excillum**

X-ray imaging OEM partners  
- a growing business since 2020

X-ray sources  
systems for u

**excillum**

Analytical X-ray OEM partners  
- our main business since 2011

X-ray sources for our partners' state-of-the-art analytical systems typically using SCD, SAXS or HAXPES methods in biology, chemistry & material sciences - and high-tech manufacturing quality assurance.

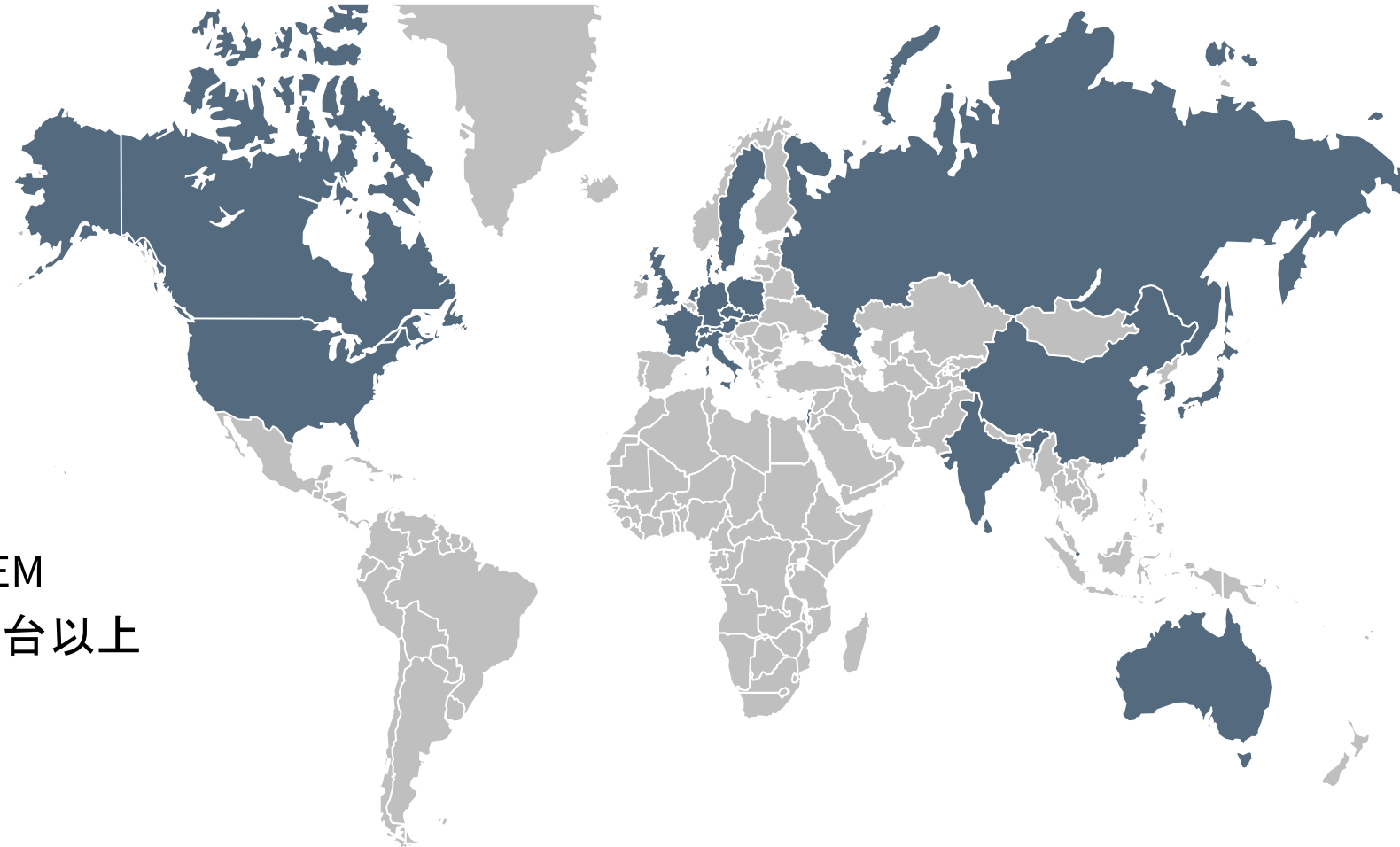
OEMパートナーが  
X線源を組込んだ  
機器を製品販売

日本国内における保守サービスと保守部品の供給でシエントオミクロン株式会社と提携しています。

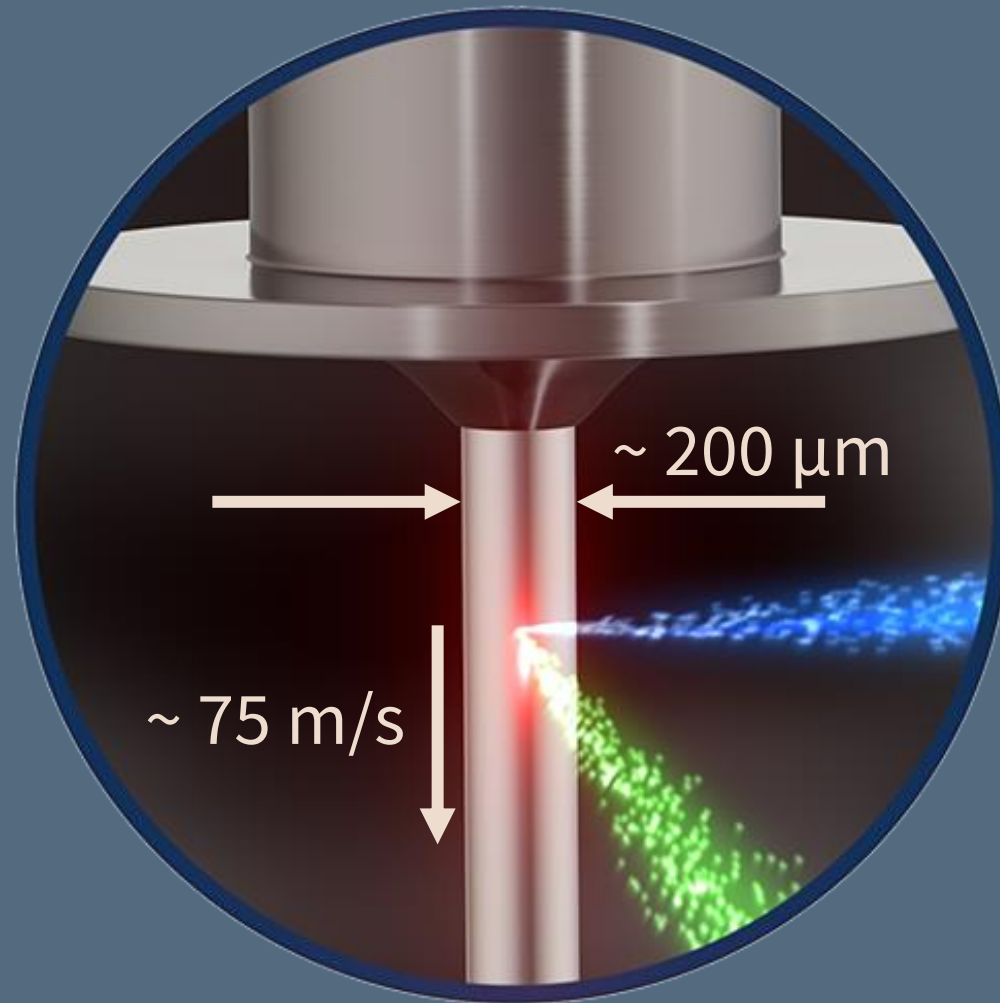


150台以上のExcillumのX線源が世界で活躍しています。

- 20カ国以上
- 10を超えるOEM
- 日本：現在6台以上



# MetalJet テクノロジー





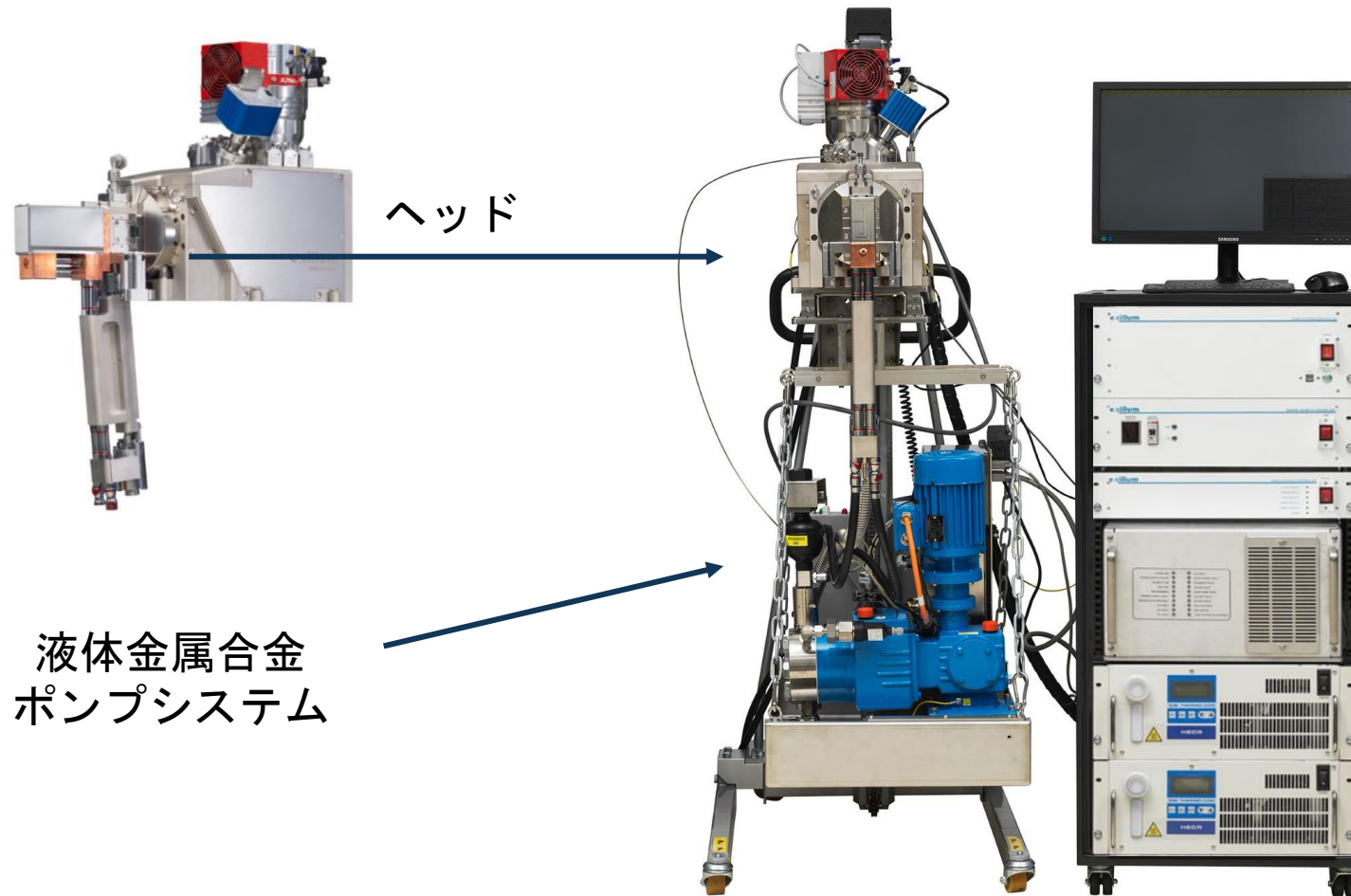
動画 [https://www.youtube.com/watch?v=T\\_A5D7dgHYM](https://www.youtube.com/watch?v=T_A5D7dgHYM)

**excillum**



# MetalJet E1+ システム外観

MetalJet E1+ system overview



ヘッド

液体金属合金  
ポンプシステム

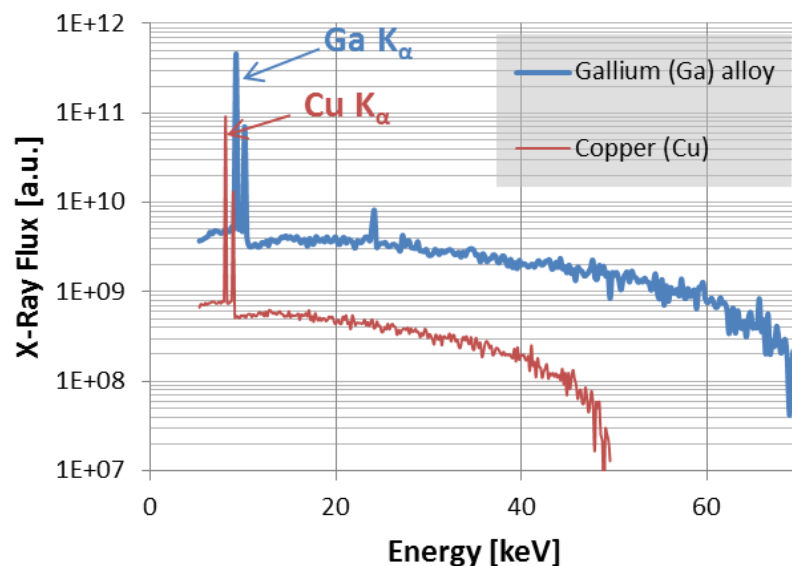
- 電子制御機器
- 高圧電源
- 冷却装置

# 利用可能な陽極用液体合金

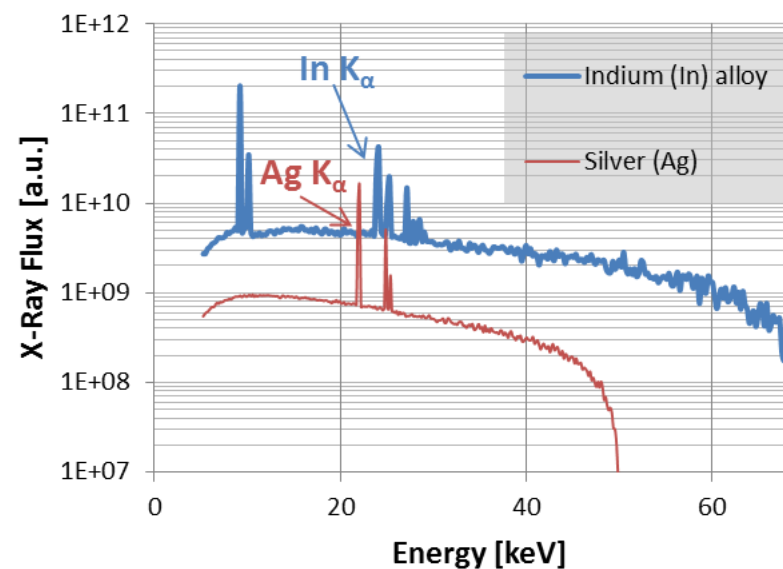
室温、またはそれに近い温度で溶融した無毒の液体金属合金

- ガリウム(Ga) 主成分合金  
9.2 keV(1.3Å) K $\alpha$ 線 — 銅(Cu)K $\alpha$ 線を近似
- インジウム(In)主成分合金  
24 keV(0.51Å)K $\alpha$ 線 — 銀(Ag)K $\alpha$ 線を近似

Spectra of gallium alloy and copper

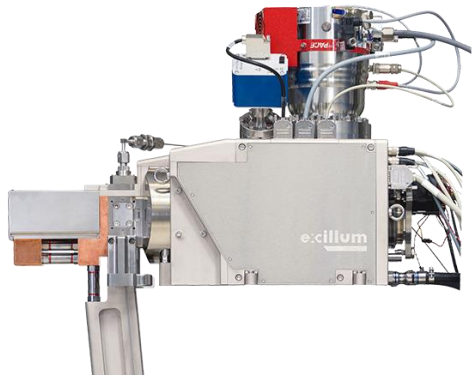


Spectra of indium alloy and silver





# MetalJet products



MetalJet E1+ 160 kV  
up to 1000 W (30  $\mu\text{m}$ )



MetalJet D2+ 70 kV  
up to 250 W (20  $\mu\text{m}$ )



MetalJet D2+ 160 kV  
up to 250 W (20  $\mu\text{m}$ )



MetalJet C2  
up to 200 W (80  $\mu\text{m}$ )

# Excillum MetalJet

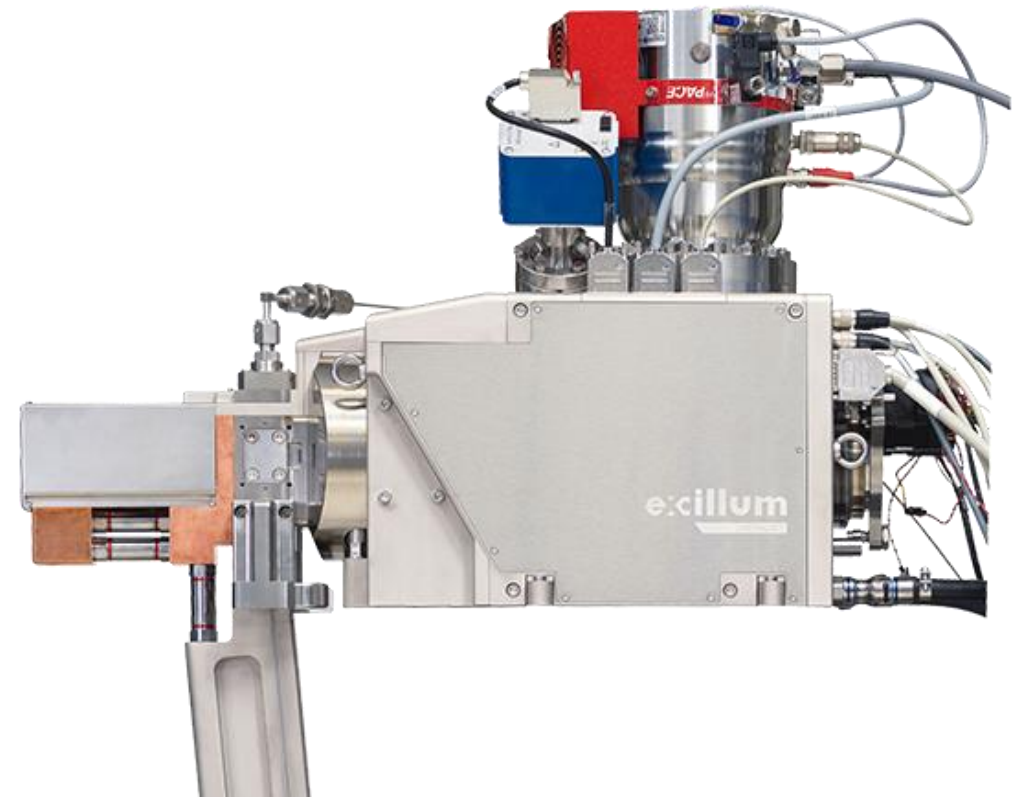
世界で最も明るい  
マイクロフォーカスX線源



# MetalJet E1+ 160 kV

## 限界を超えて

- 30  $\mu\text{m}$  X線スポットで1000W
- サブミクロンの焦点位置安定性
- 24時間週7日連続稼働  
    予防保全 点検サイクル  
    使用条件により完全制御
- 高スループット産業向けの設計





# MetalJet E1 と従来型マイクロフォーカス線源との比較

Comparison with conventional x-ray source

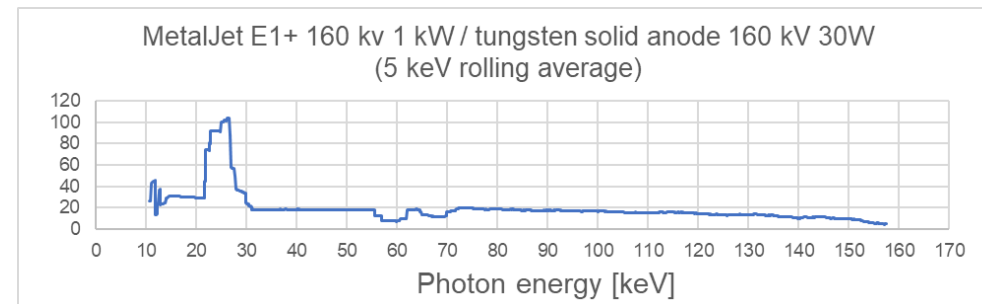
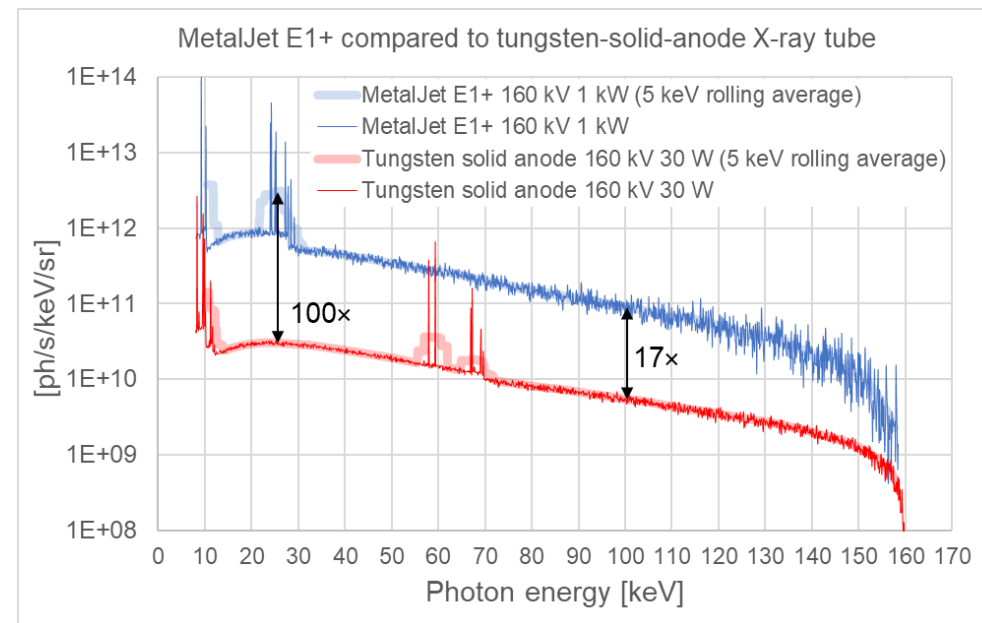
MetalJet E1+  
1000 W,  
30  $\mu\text{m}$  焦点サイズ

VS

従来型 X線源  
30 W,  
30  $\mu\text{m}$  焦点サイズ

## イメージング用途での優位性

- 全スペクトル範囲にわたって  
17倍以上のX線フラックス強度
- 高エネルギー(24-29 keV) 範囲で  
100倍以上のX線フラックス強度



# X-ray photon flux available

We are happy to share data on X-ray flux (e.g. spectra) and spot shape depending on source settings. Basic data is available already on [www.excillum.com](http://www.excillum.com)

Performance examples<sup>5</sup>

8-15 keV    Ga Ka 9.22-9.25 keV    15-30 keV    **In Ka 24.0-24.2 keV**    30-60 keV    30-160 keV

Jet material	Acceleration voltage [kV]	Nominal X-ray spot size <sup>6</sup> [μm]	E-beam power [W]	Peak brightness [photons/(s mm <sup>2</sup> mrad <sup>2</sup> )]	Radiant flux [photons/(s mrad <sup>2</sup> )]
ExAlloy-I2	160	30	1000	4.9×10 <sup>9</sup>	<b>5.7×10<sup>6</sup></b>
	160	30	700	4.5×10 <sup>9</sup>	4.7×10 <sup>6</sup>
	160	25	570	<b>6.5×10<sup>9</sup></b>	4.1×10 <sup>6</sup>
	120	20	380	5.9×10 <sup>9</sup>	2.3×10 <sup>6</sup>
	70	20	250	2.3×10 <sup>9</sup>	7.9×10 <sup>5</sup>
	70	10	150	150	3.8×10 <sup>9</sup>

[www.excillum.com/our-products/metaljet/metaljet-e1-160-kv](http://www.excillum.com/our-products/metaljet/metaljet-e1-160-kv)

# 完全自動運転、24時間週7日連続稼働

全てのExcillumMetalJetX線源と同様に、MetalJet E1+は完全に自動化されたX線スポット制御を備えています。

電子ビームスポット寸法  
電子ビーム照射位置

ご希望の値を入力するだけで、  
自動で確認と調整を行います。

The screenshot displays the 'E-beam setpoints' section of a control interface. It features several input fields with numerical values and units, each accompanied by up and down arrow icons for adjustment. The fields are: Current (6.2500 mA), Power (1000.0 W), High voltage (160 kV), E-beam spot width (120.0 um), E-beam spot height (20.0 um), Height fine tune (0.0), Spot position x (20.0 um), and Spot position y (0.0 um). At the bottom, there is a 'Max power at current settings' field set to 1000.0 W and a green 'Ready' button.

Parameter	Value	Unit
Current	6.2500	mA
Power	1000.0	W
High voltage	160	kV
E-beam spot width	120.0	um
E-beam spot height	20.0	um
Height fine tune	0.0	
Spot position x	20.0	um
Spot position y	0.0	um

Max power at current settings: 1000.0 W

Ready



# メンテナンスサイクル

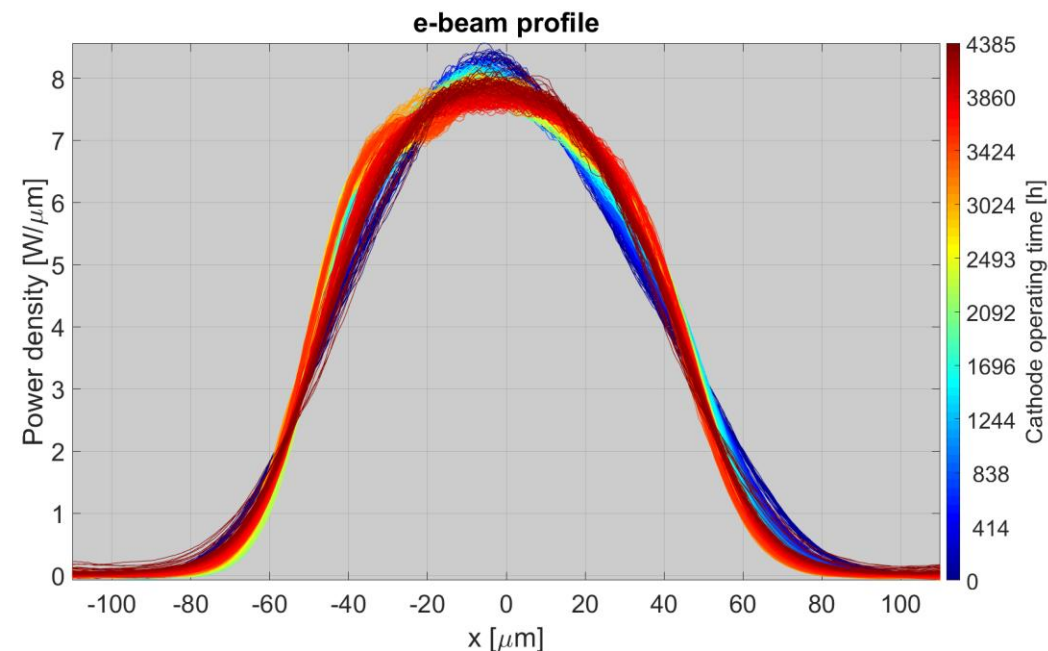
MetalJet E1 +は、高出力で24時間週7日連続稼働、100%のデューティサイクルで動作するように設計されています。

## メンテナンスサイクル

- 通常、カソードの経年劣化による交換に依存。
- カソードの劣化状況を追跡して、計画された最適なメンテナンスタイミングを得ることができる。

## 典型的なカソード交換間隔：

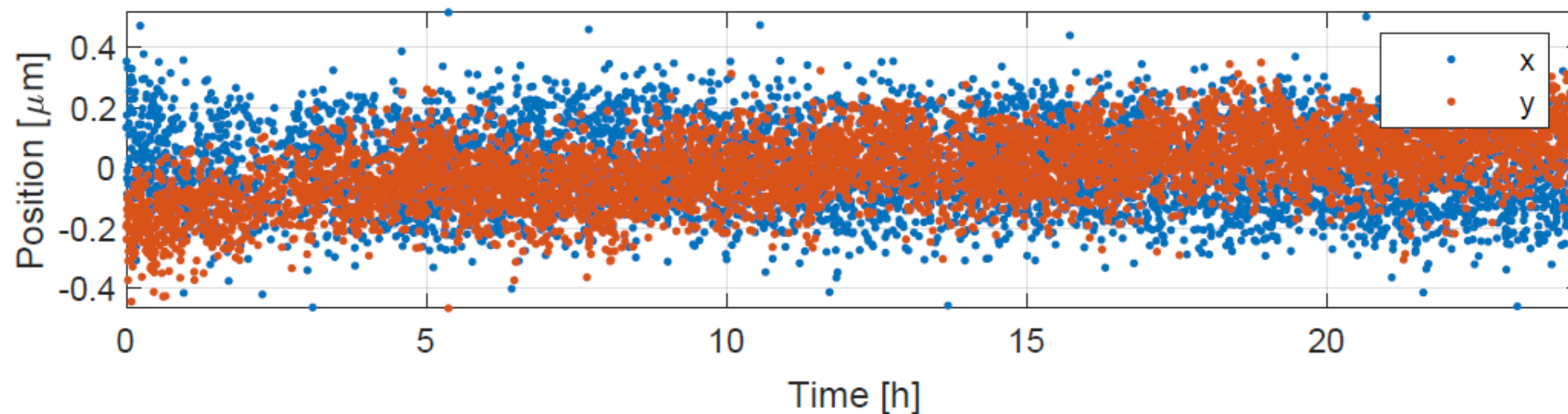
- 1000 W, 30  $\mu\text{m}$  スポットサイズ: 3-4 months
- 700 W, 30  $\mu\text{m}$  スポットサイズ: 9-12 months



700Wでの6か月の連続動作中の電子ビーム焦点形状の変化の例。

# サブ $\mu\text{m}$ のX線スポット位置安定性

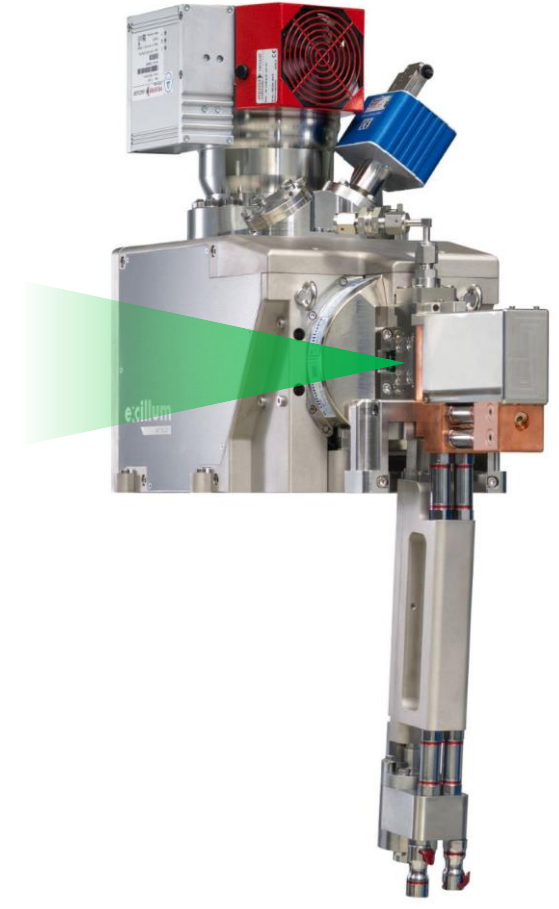
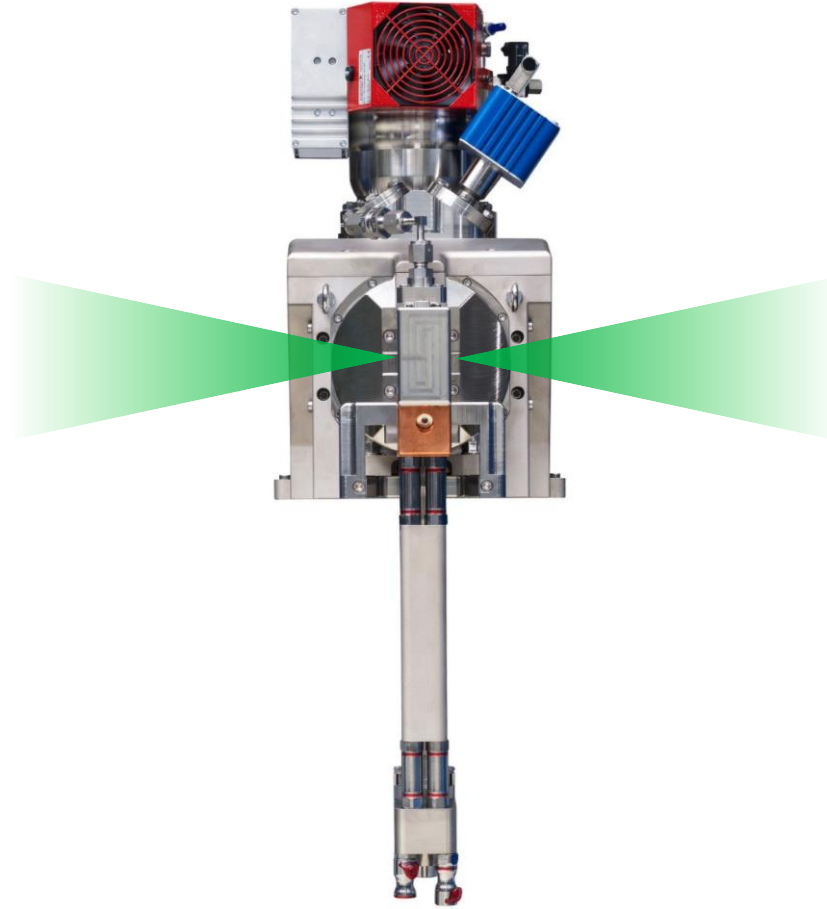
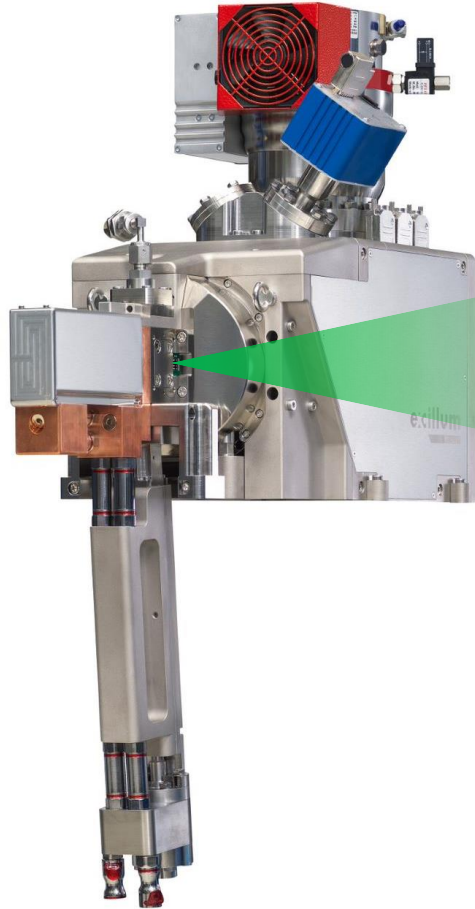
フルパワー稼働時でも、MetalJet E1 +はサブ $\mu\text{m}$ のX線スポット位置安定性を継続的に維持します。



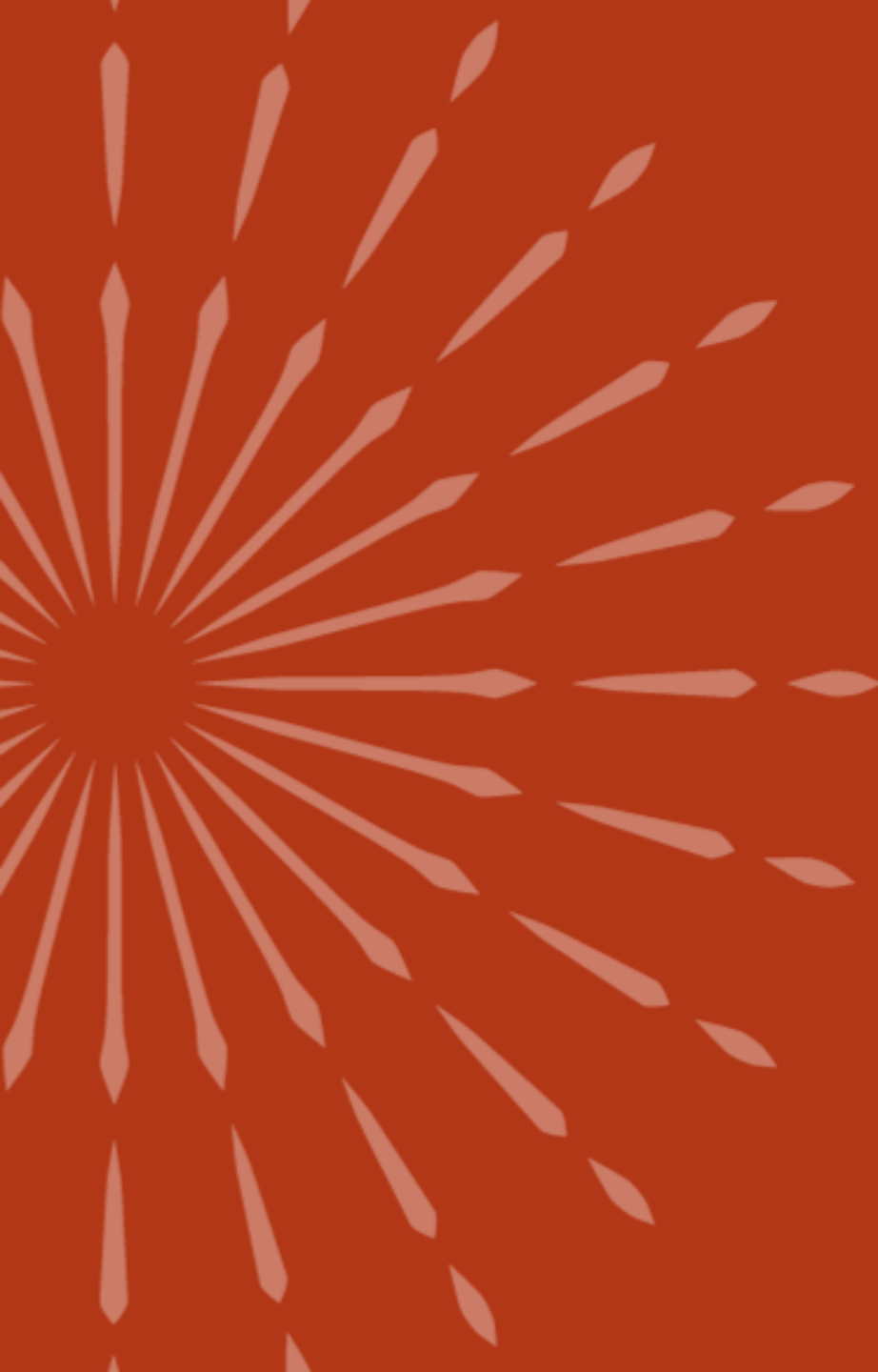
# シングルまたは、デュアルX線ウィンドウ

Single or dual x-ray windows

(左右どちらでもお選びいただけます。)





A decorative sunburst graphic on the left side of the slide, consisting of numerous thin, light-colored rays radiating from a central point.

# MetalJet E1+ による 高速CT

High speed CT

# 1秒CTスキャン

1s CT scanning

## 使用機器

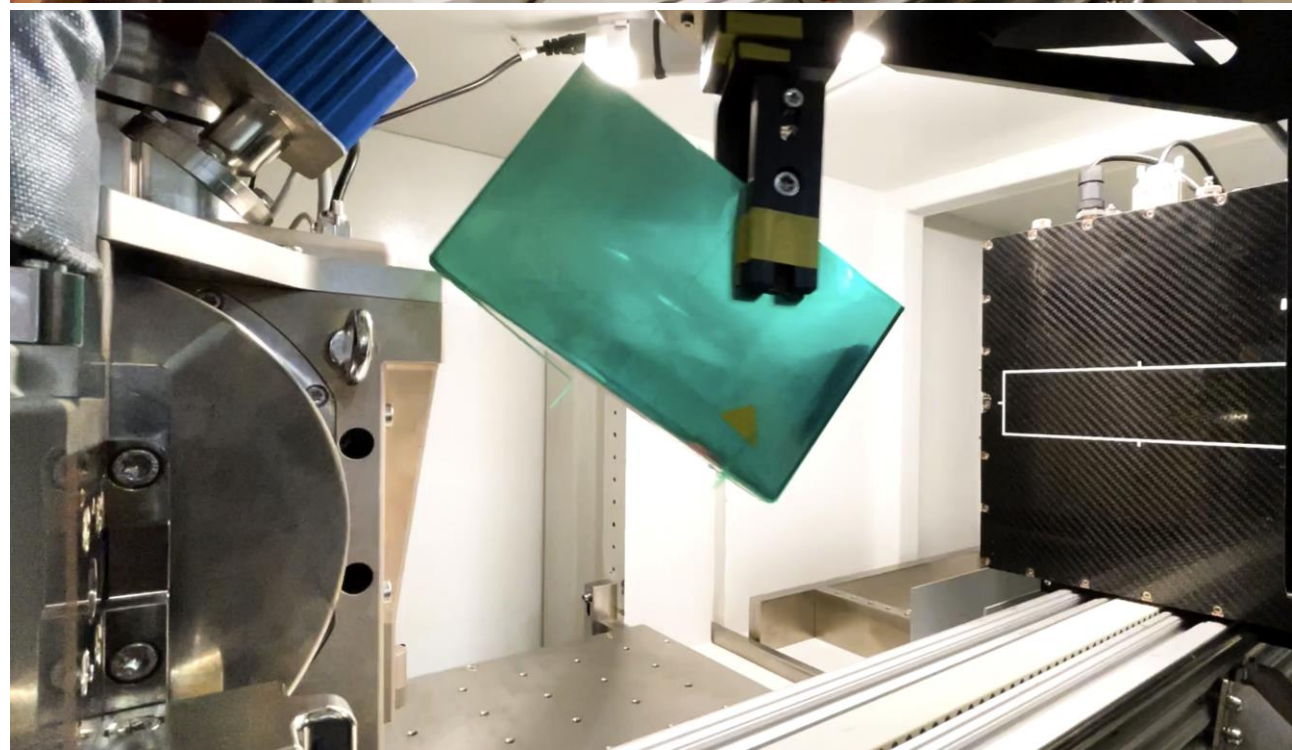
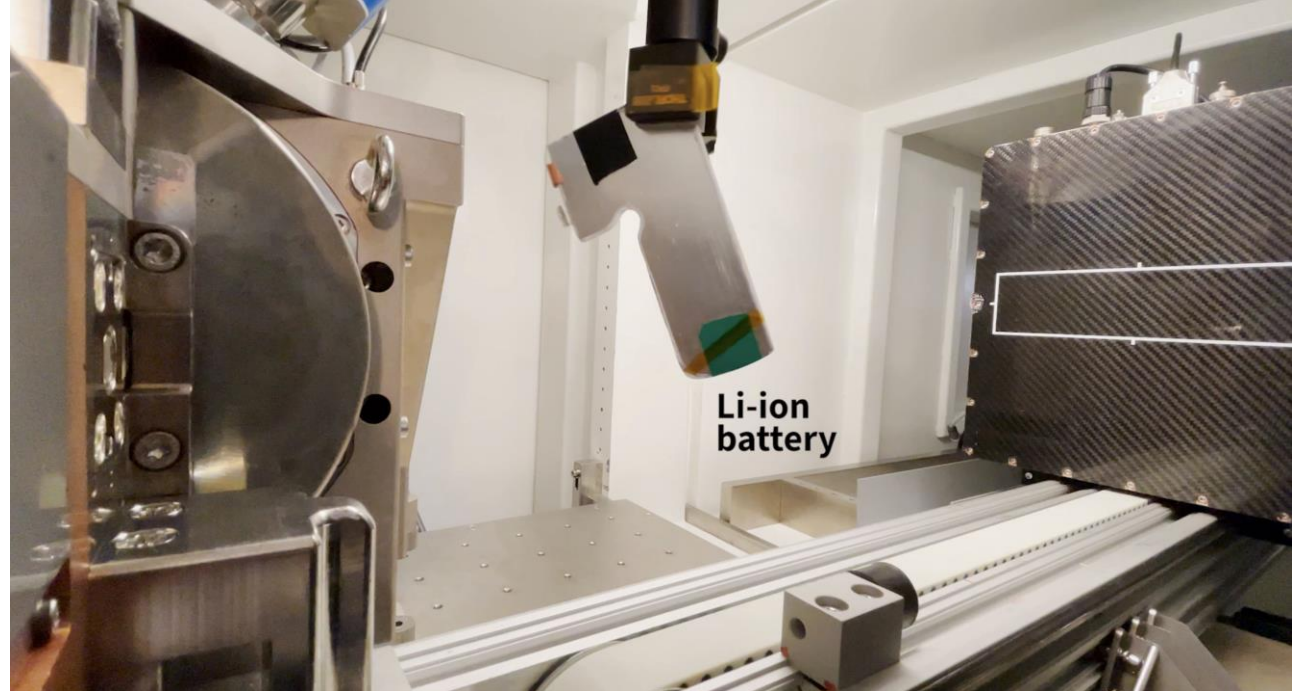
- MetalJet E1+
- Direct Conversion DualThor  
フォトンカウンティングディテクター

- 電圧: 160 kV
- スポットサイズ: 30  $\mu\text{m}$
- 出力 1 kW
- 2000 fps
  
- X線源-検出器間距離 60 cm
- ボクセルサイズ 20-30  $\mu\text{m}$

## 動画

[https://www.youtube.com/watch?v=1\\_HNV1AWhFk](https://www.youtube.com/watch?v=1_HNV1AWhFk)

<https://www.youtube.com/watch?v=pagg9oxkzsU>





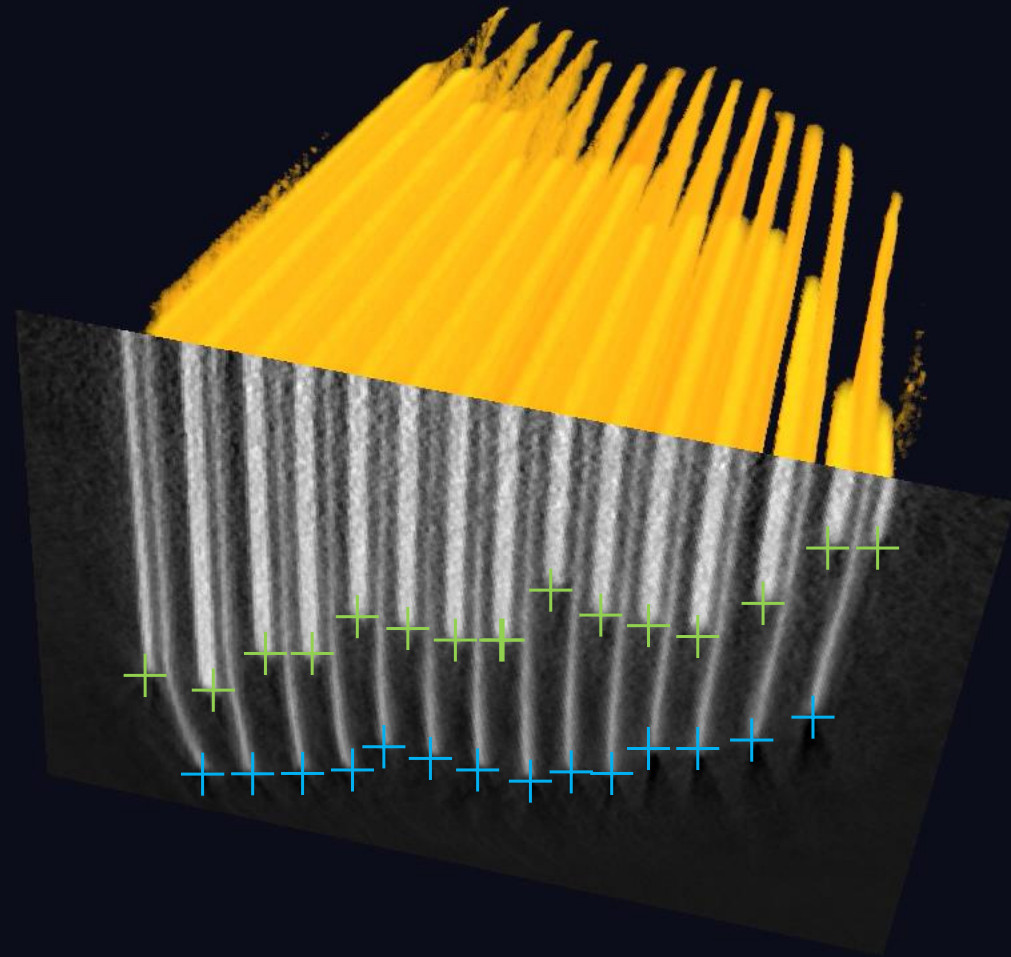


360° / 1s rotation

Excillum MetalJet E1+  
160 kV, 700 W  
30  $\mu\text{m}$  spot diameter

Direct Conversion Thor FX20.256  
CdTe photon counting detector  
2048  $\times$  256 pixels, 100  $\mu\text{m}$  pixel size  
10 Gbit readout

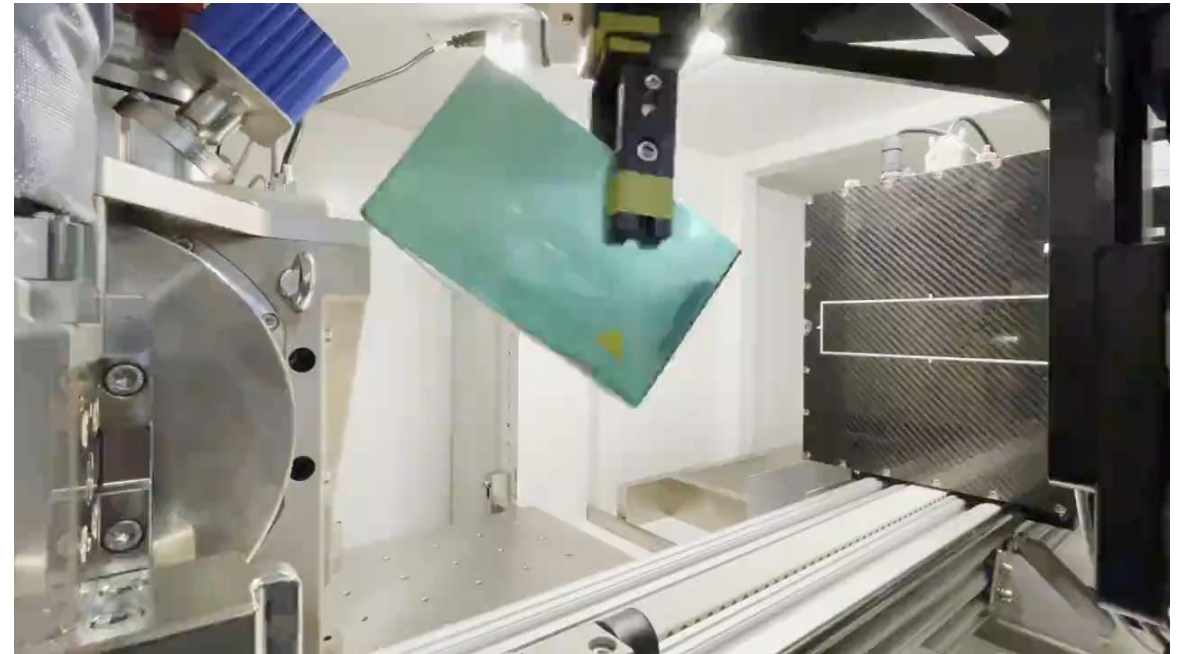




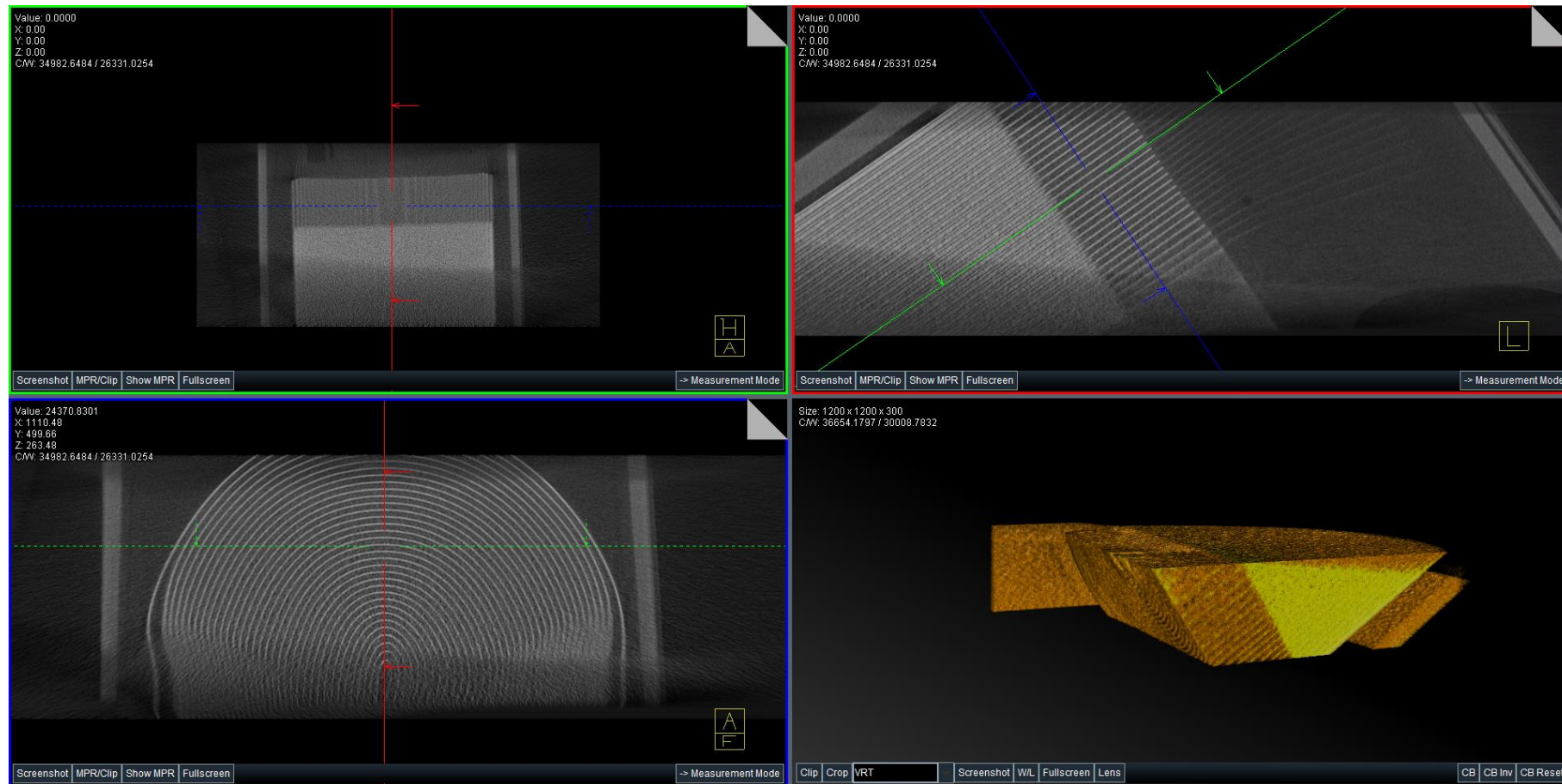


# First results from EV-cell

- Focusing on corner to study overhang
- Same experimental setup
- EV-cell from Golf GTE
  - 148mm x 95mm x 26mm
  - Panasonic prismatic lithium cell 25ah



# Results





# MetalJet E1+による 位相差イメージング

Phase contrast imaging

MetalJet 応用例 :

# X線位相差顕微鏡 x-ray phase contrast microscope

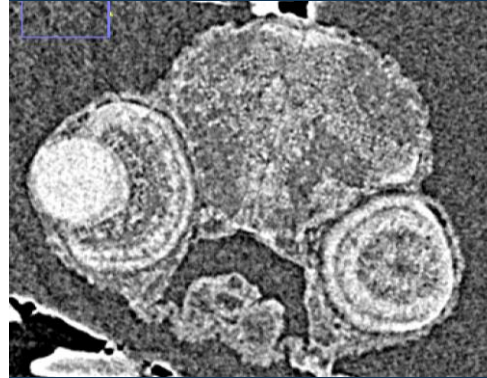
excillum



 EXCISCOPE

Exciscopeが提供するイメージングシステム  
MetalJet X線源により、妥当な露光時間で  
高解像度の位相差イメージングが可能になり  
ます

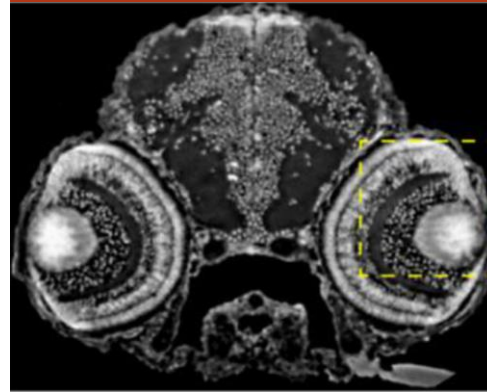
## Exciscopeシステムによる位相差画像



0.6  $\mu\text{m}$  voxel size  
1.0  $\mu\text{m}$  system resolution  
(determined by phantom)  
6 h scan time

Sample courtesy: University of Basel

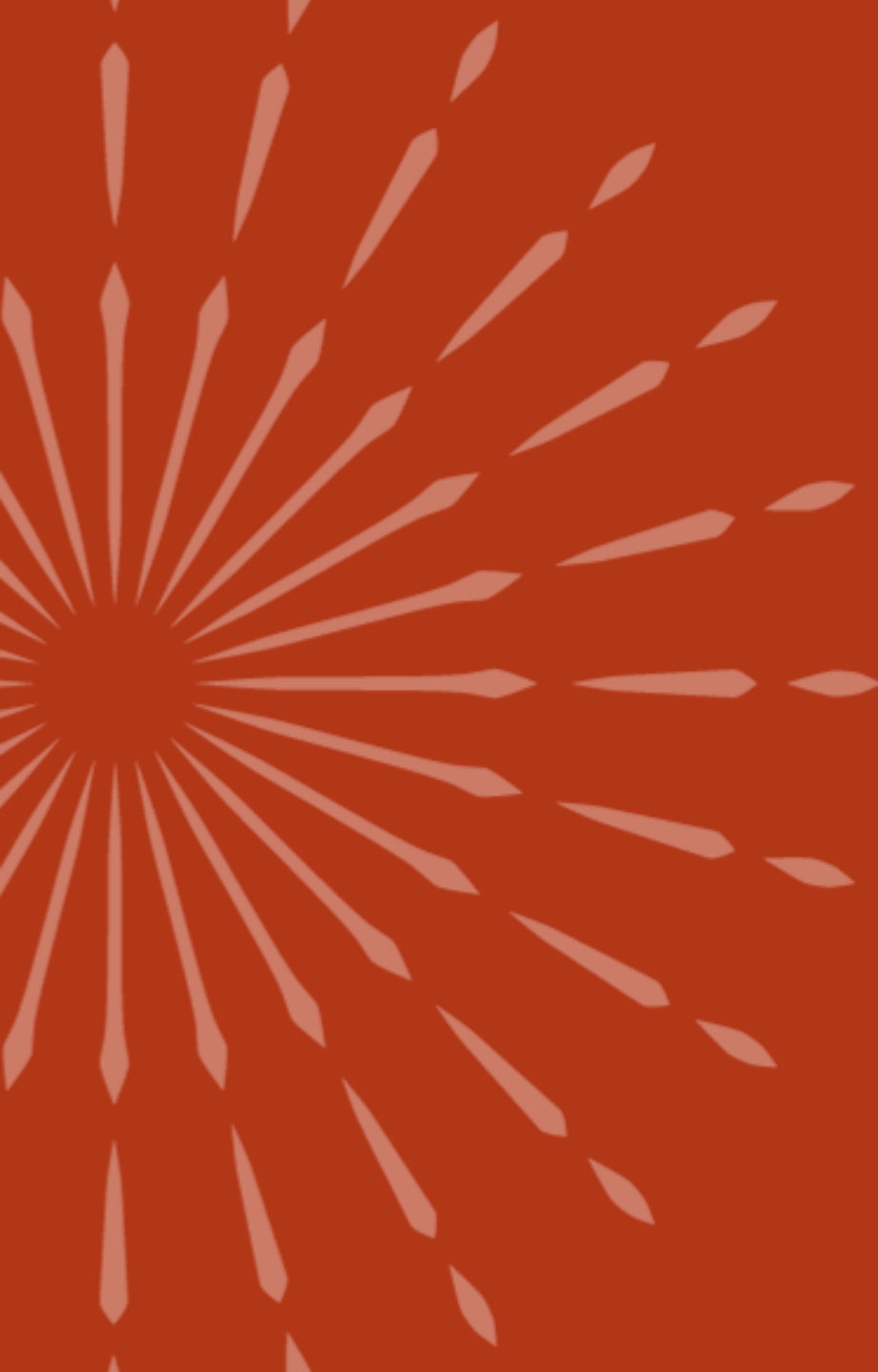
## TOMCATビームライン (PSI) による位相差画像



0.325  $\mu\text{m}$  voxel size  
1.8  $\mu\text{m}$  image resolution  
(fourier domain estimation)  
0.15 h scan time

A. Migga, et. al. Proc. SPIE 11840

ゼブラフィッシュは、一般的に広く使用されている脊  
椎動物の重要なモデル生物です



# High energy diffraction microscopy

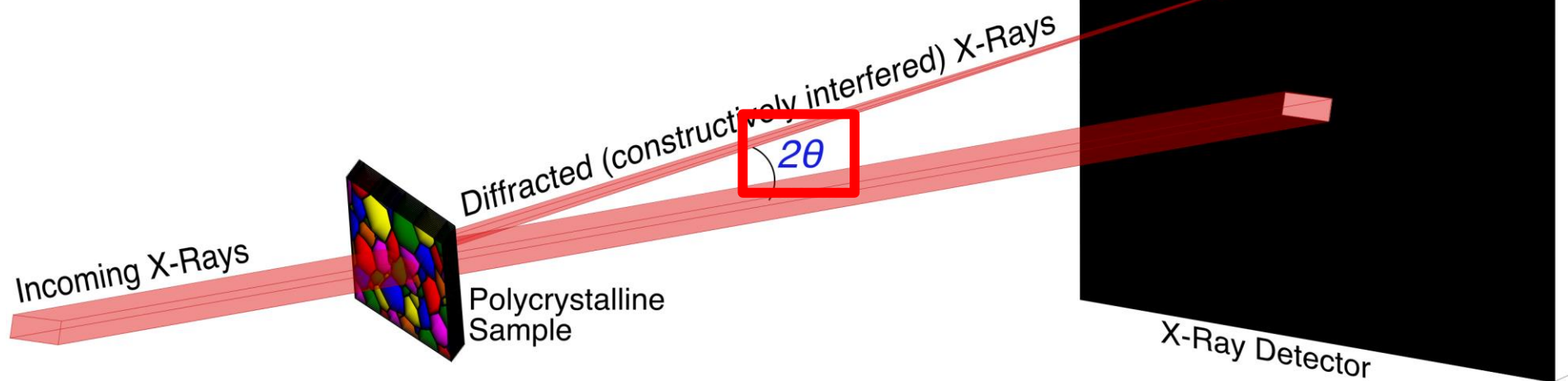
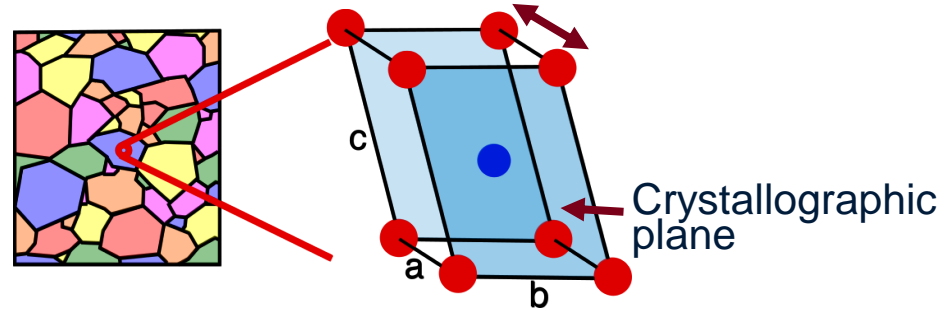


HEDM is a diffraction technique → Specific planes meet the Bragg condition

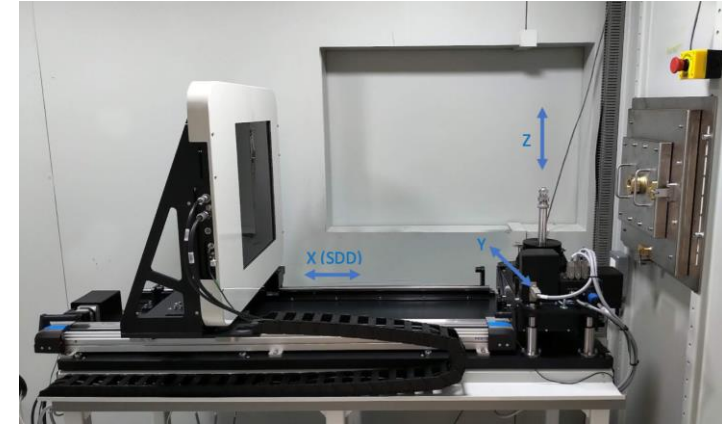
X-ray wavelength

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Interplanar distance  
(d-spacing)



# Lab based HEDM microscope

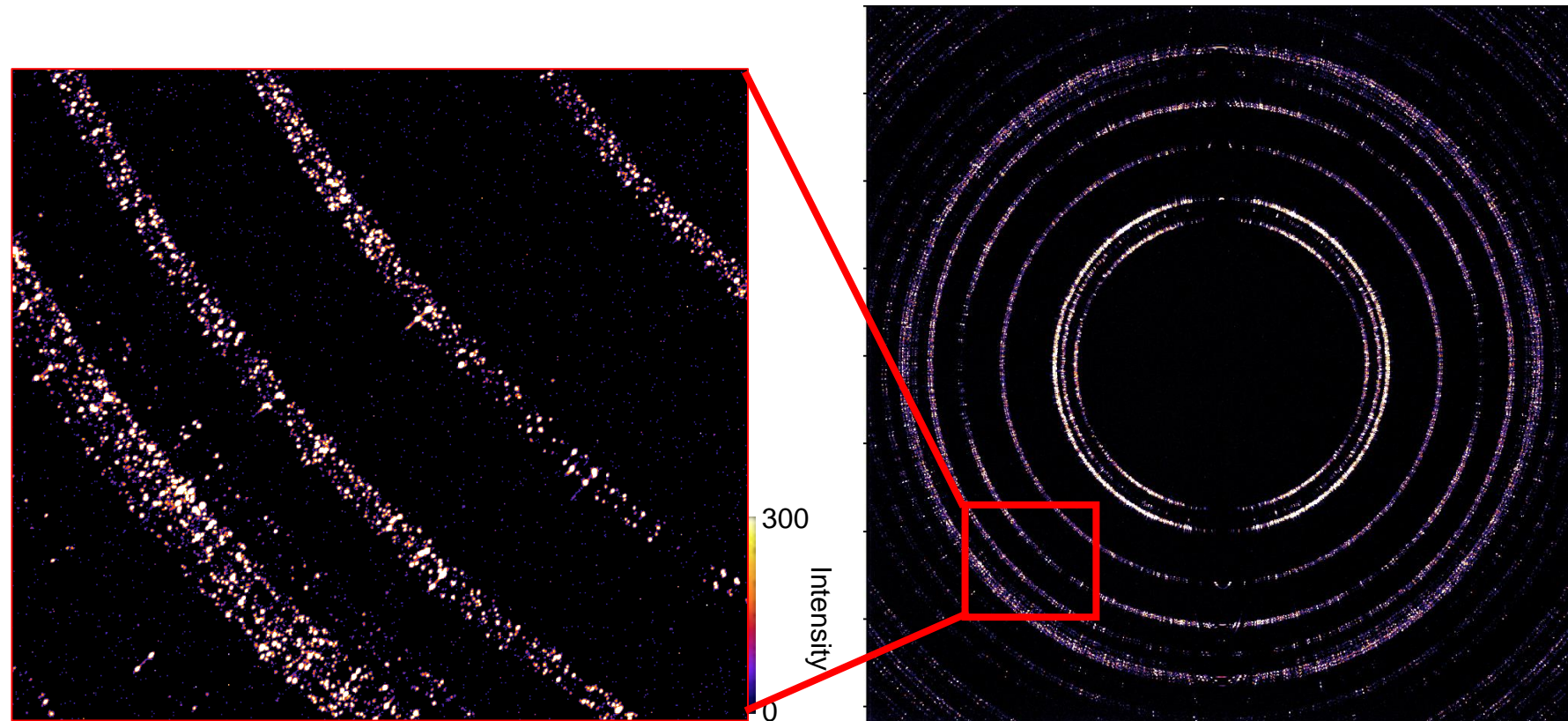


Current setup includes Deben stage to study samples under tension

24 keV, 1-mm samples → Suitable for low-Z materials (Mg, Ti, Al, Li)

### Ti7Al

- 2 second exposure
- $\Delta\omega = 0.25^\circ$
- 400 mm detector distance
- Gain setting of 32
- Max-over all after median subtraction + thresholding

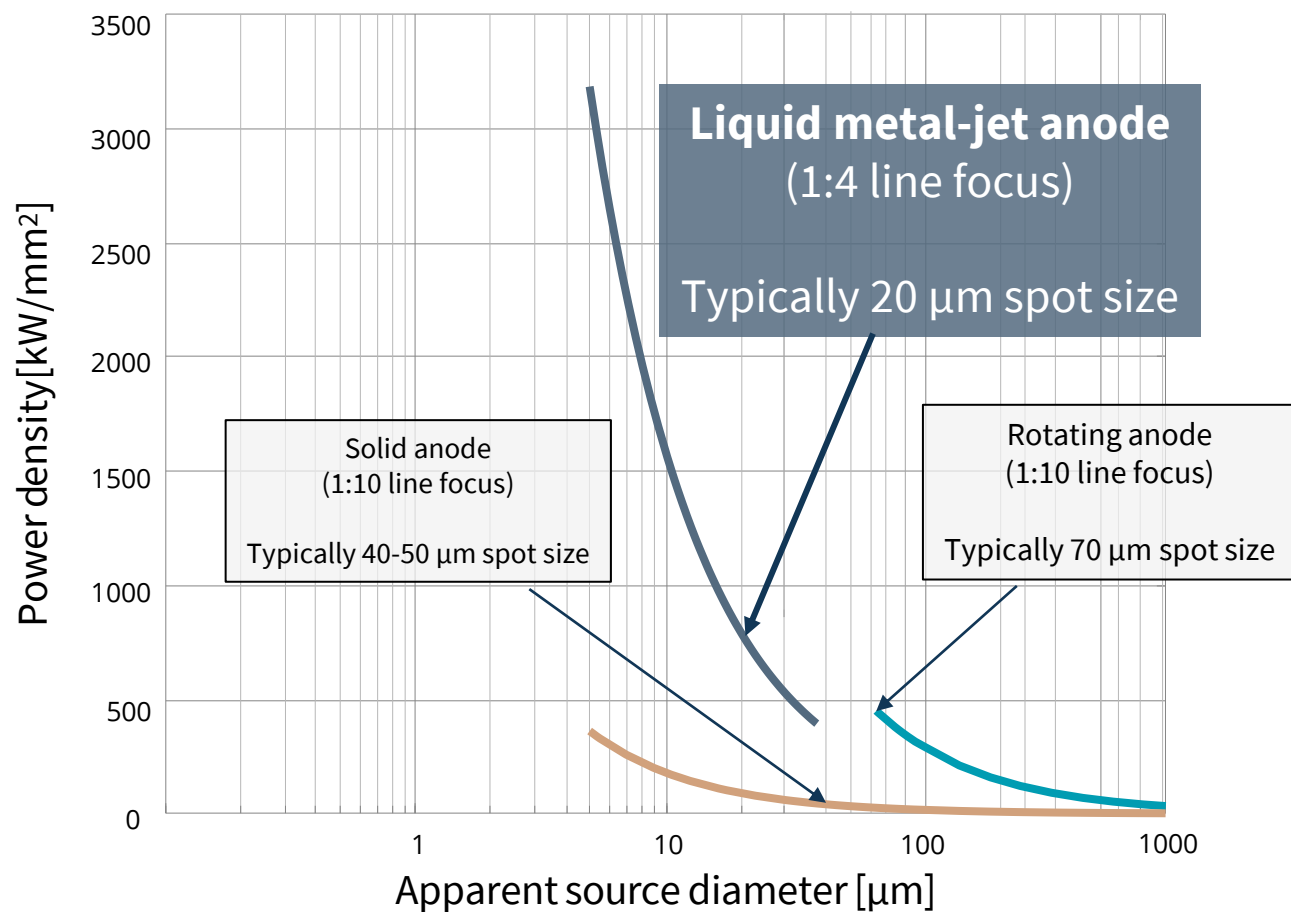




# Scattering and diffraction MetalJet applications

# MetalJet, a smaller and brighter X-ray spot for analytical applications

## Brightness

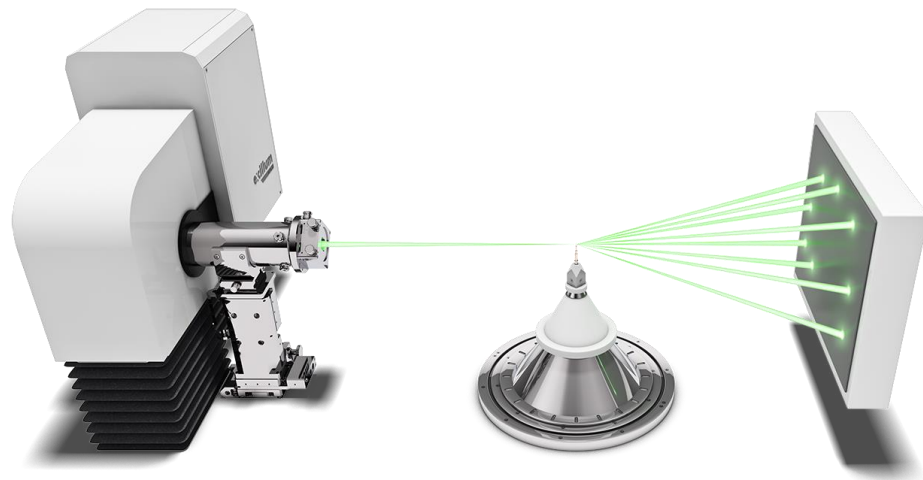




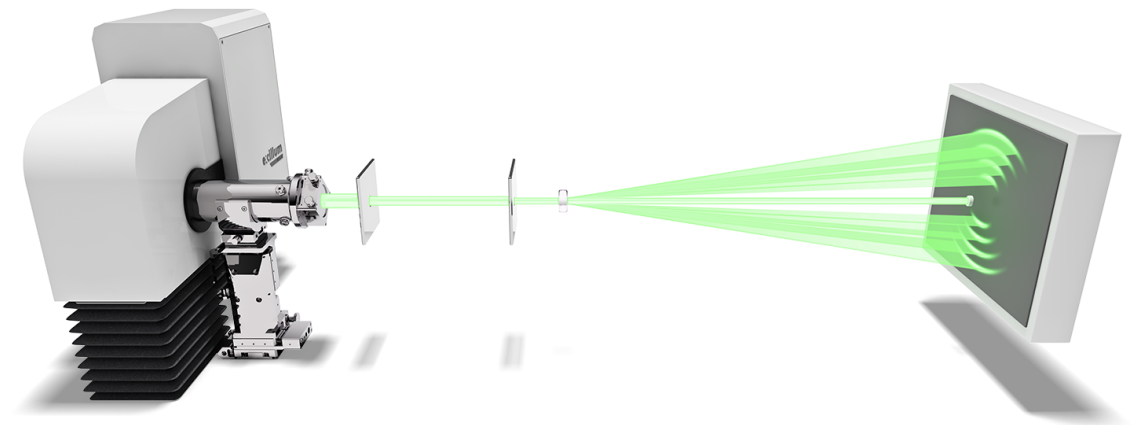
# MetalJet for Single Crystal Diffraction and SAXS

With its small high-brightness X-ray spot of typically 20  $\mu\text{m}$  diameter the MetalJet X-ray sources are ideally suited for...

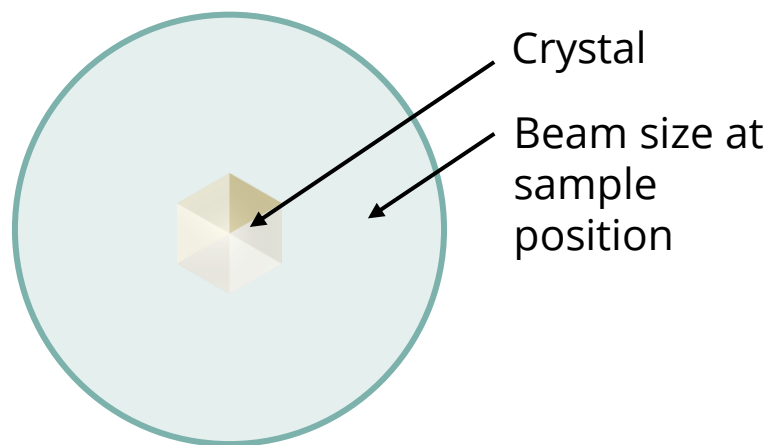
... single crystal X-ray diffraction where peak brightness of  $6 \times 10^{11}$  photons/s/ $\text{mm}^2$  can be focused into 80  $\mu\text{m}$  spot diameter



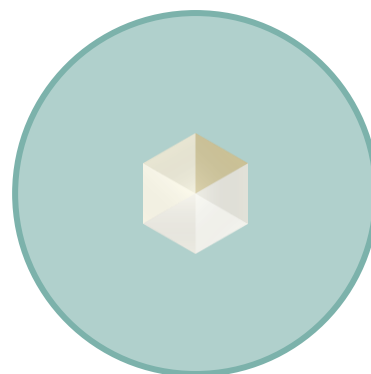
... small angle X-ray diffraction (SAXS) where the small initial spot achieves a very low divergence beam



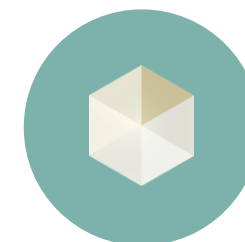
# Details on the X-ray beam for single crystal diffraction



Standard tube



Microfocus tube



MetalJet x-ray beam

Brighter and smaller beam



More photons on the crystal and less parasitic scattering



Better signal to noise and higher throughput

# Create the beam of your dream with E1+

## Possibility for customized X-ray beams

Due to the combination of extreme brightness *and* Flux of E1+ we can now achieve unprecedented beam characteristics previously only possible at synchrotrons

Highlights of a customized setup:

- Monochromatic 24keV X-rays
- Down to  $\sim 10 \mu\text{m}$  X-ray spot size
- 2-15 mRad convergence angle (Slit controlled)
- Measured flux of  $\sim 1\text{e}7$  ph/sec for  $\sim 10 \mu\text{m}$  beam

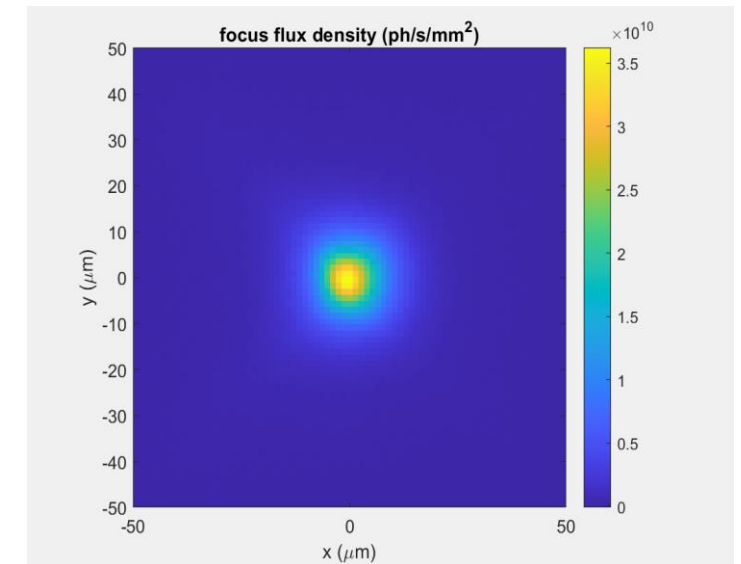
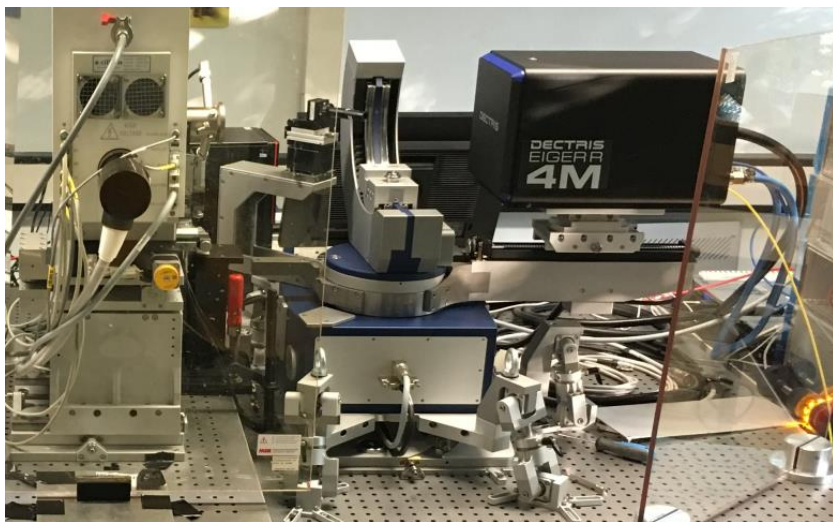


Illustration of X-ray spot in focus

# Accelerating structure determination and research output with MetalJet

The STOE scientists carried out a comparative study using a metal organic compound -  $C_{78}H_{86}Sm_2Fe_6N_4O_{18}$



STOE Stadivari with MetalJet D2+ and Eiger 4M

Application example kindly provided by Stoe&CIE

- Measurement conditions, *microfocus Cu X-ray source*:

- 1308 Frames  $1^\circ / 360s$

- ~ **120 h**

$$R_1 = \mathbf{4.43\%}$$

$$wR_2 = \mathbf{13.13\%}$$

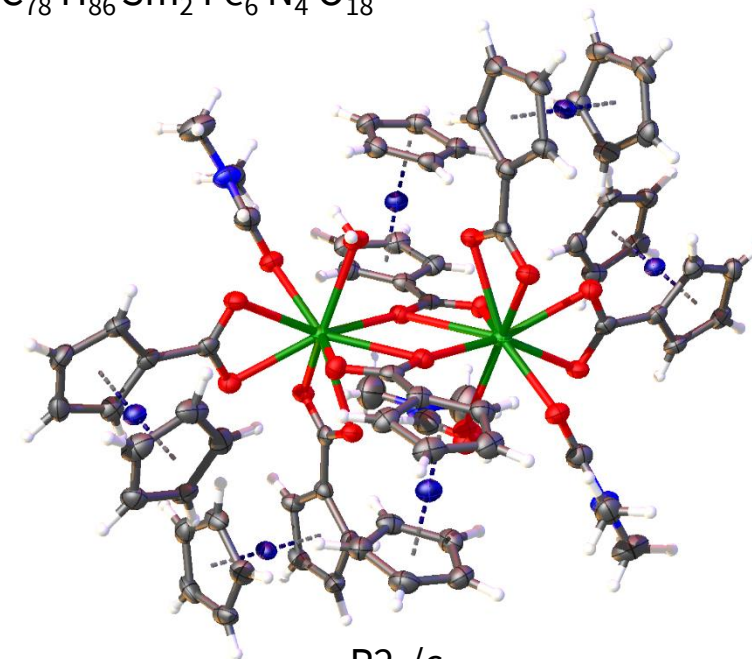
- Measurement conditions, *Metaljet STADIVARI*:

- 2294 Frames  $0.5^\circ / 1s$

- ~ **40 min**

$$R_1 = \mathbf{2.64\%}$$

$$wR_2 = \mathbf{5.16\%}$$

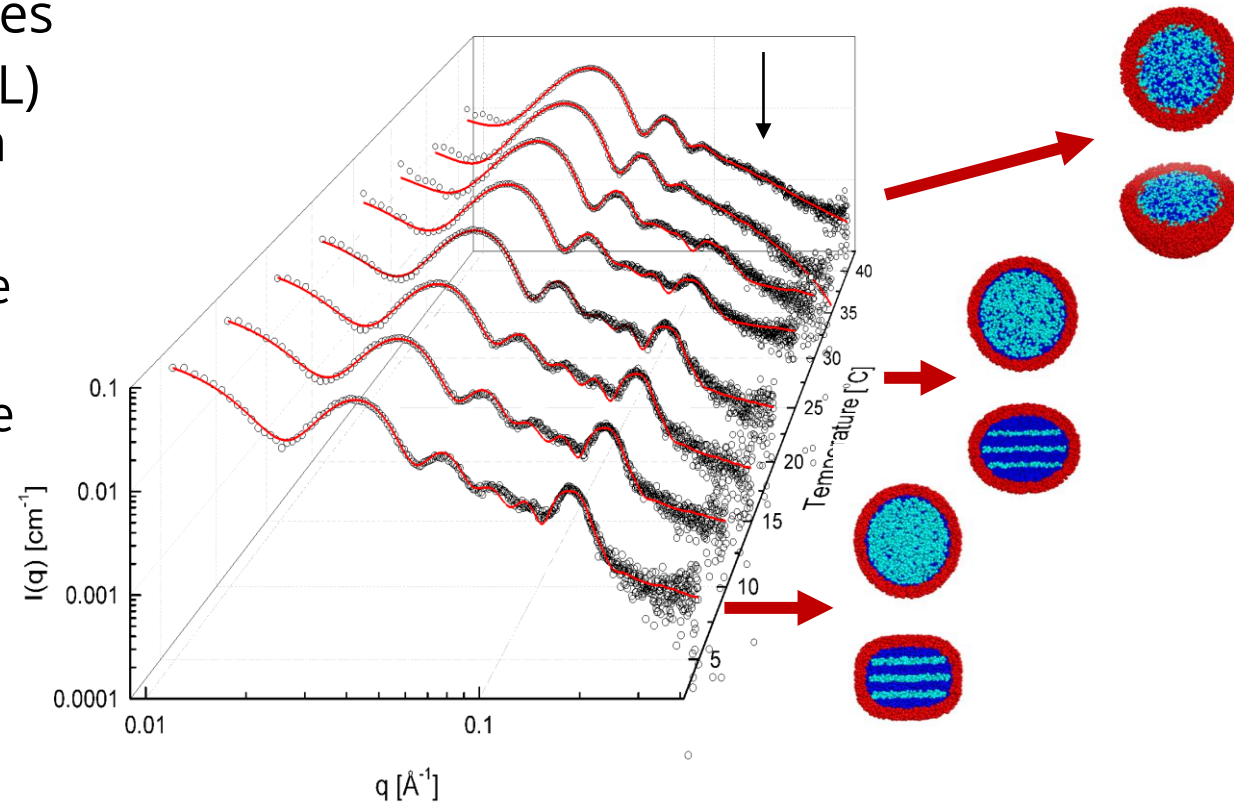


$P2_1/c$

$$\begin{array}{ll} a = 14.720 \text{ \AA} & \alpha = 90.0^\circ \\ b = 11.919 \text{ \AA} & \beta = 105.7^\circ \\ c = 22.414 \text{ \AA} & \gamma = 90.0^\circ \end{array}$$

# Non-ambient Bio-SAXS at low concentrations

- Non-ambient data collection needs enough intensity in limited time to detect transitions and subtle changes
- SAXS intensity profiles for different lipoprotein (LDL) preparations after SEC at **0.4 mg/ml** concentration
- Model provides info on:
  - the particle-specific melting temperature of the core lipids,
  - the structural organization of the core fats inside the LDL,
  - the overall shape of the particle
  - the flexibility and overall conformation of the outer protein/hydrophilic layer at a given temperature as governed by the organization of the core.



Application data kindly provided by Jan Skov Pedersen of Aarhus University

Maric, Selma; Lind, Tania Kjellerup; Lyngsø, Jeppe; Cárdenas, Marité; Pedersen, Jan Skov. ACS nano, Vol. 11, No. 1, 03.01.2017, p. 1080-1090.



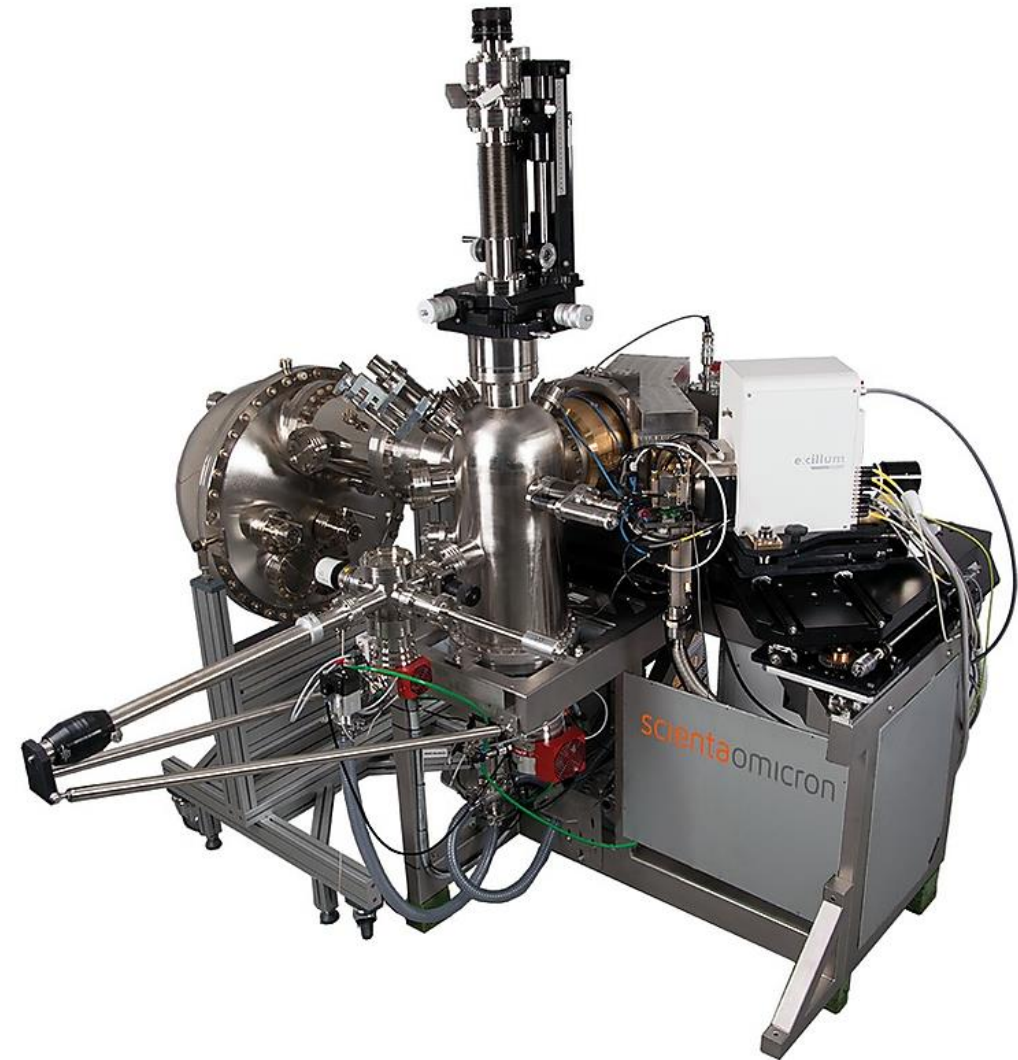


# Spectroscopic MetalJet applications

# HAXPES-lab

- HAXPES-lab from ScientaOmicron
  - Turnkey system with:
    - Gallium MetalJet
    - Monochromator 9.25 keV (Ga kalfa)
    - Easy sample introduction
    - Motorized sample manipulation and sample changer options
    - EW4000 Electron analyzer
    - Part of the ScientaOmicron Material Innovation Platform (MIP)

Probes bulk sample properties and accesses deep core level electrons via photoelectron spectroscopy (XPS) without the need for a synchrotron.



# Example: Buried material

The sample:

30 nm SiO<sub>2</sub>

Si substrate

The measurement shows a clear signal originating from the Si-Si chemical state even though it is buried under 30 nm of SiO<sub>2</sub>

In addition, it is noted that the results from SPring-8 and HAXPES-Lab are almost identical..

Using a standard XPS tool with an Al or Mg source it would have been virtually impossible to detect the Si-Si peak.

Comparison of SPring-8 and home-lab measurement of a SiO<sub>2</sub>/Si structure.

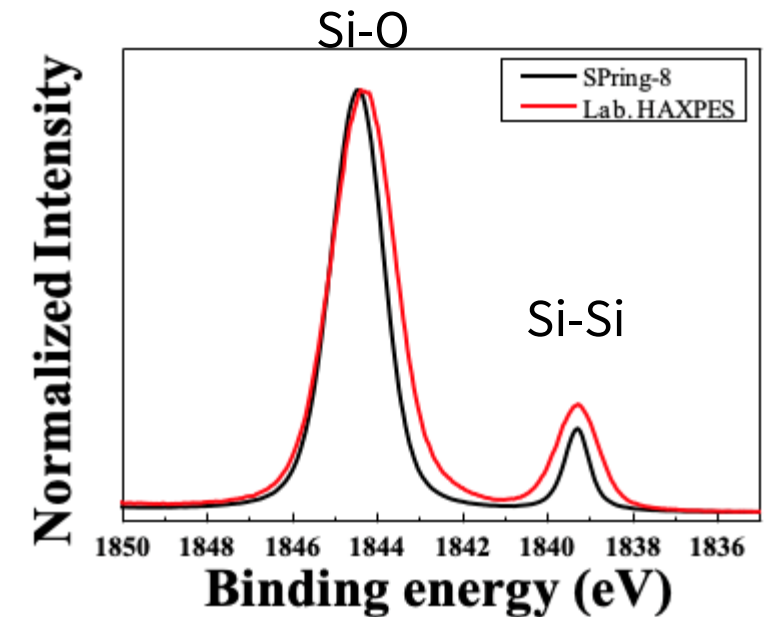
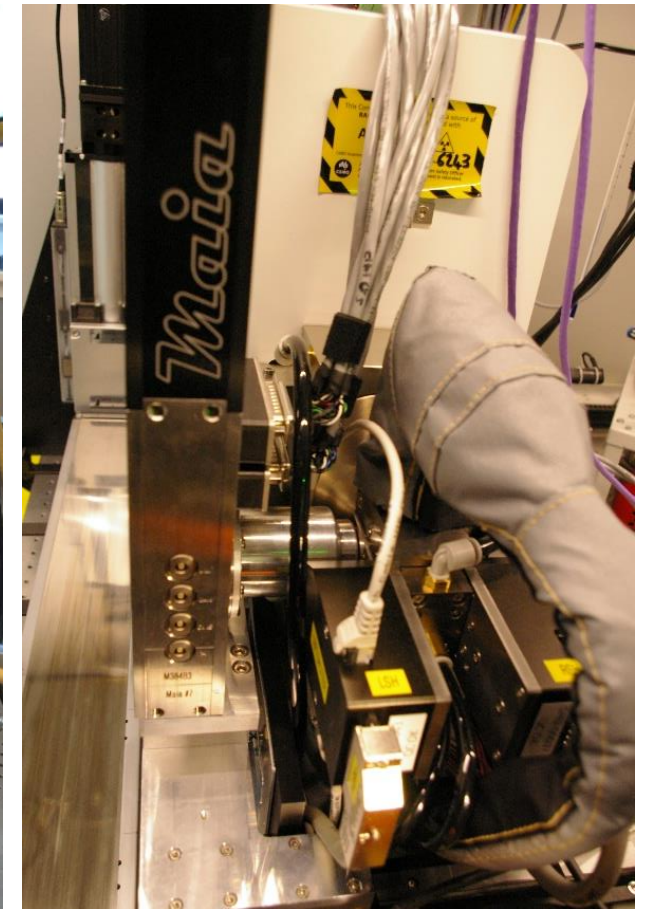
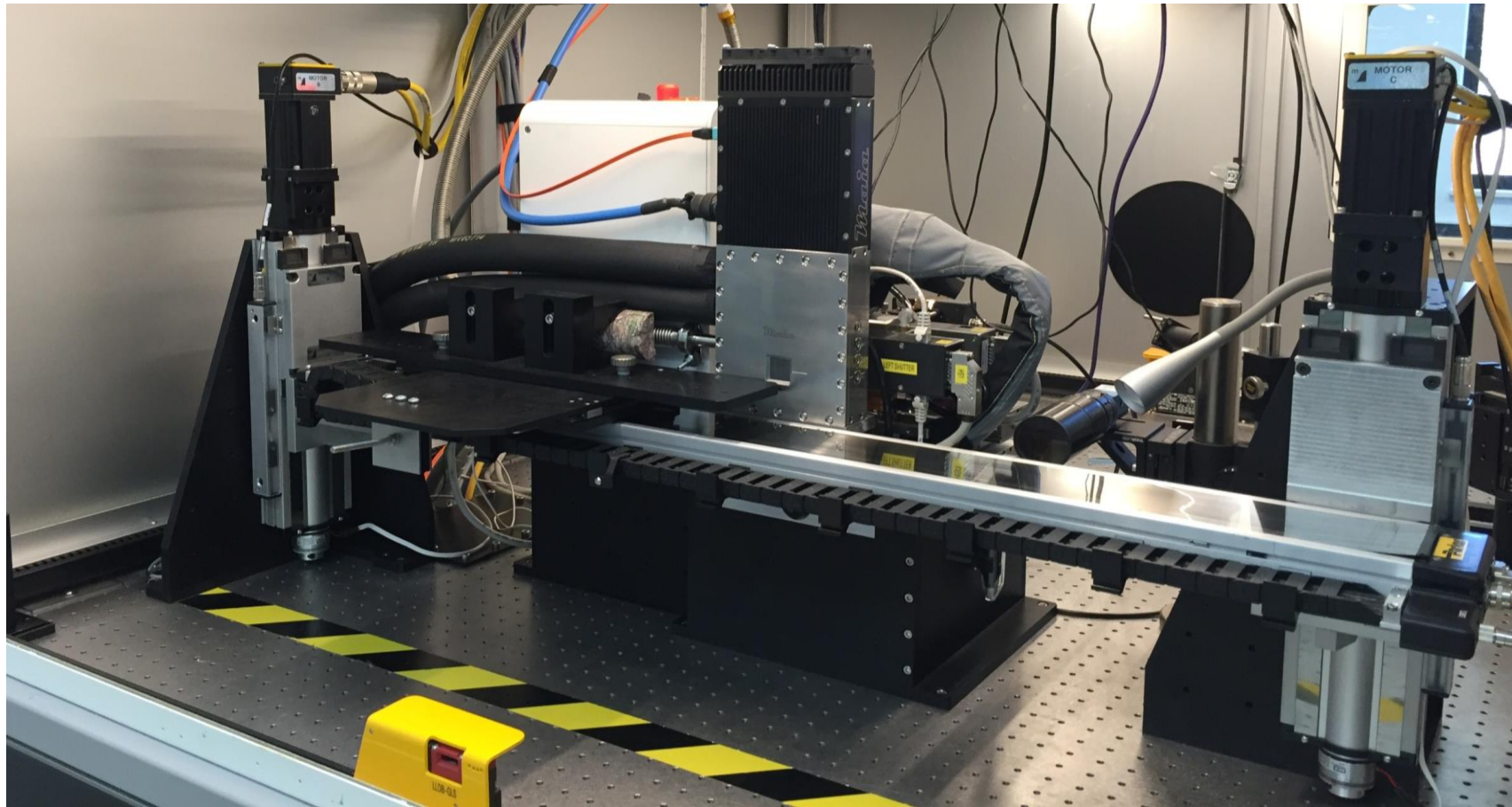


Figure.1 Si 1s spectra of SiO<sub>2</sub>/Si sample

# XRF Application with MetalJet + Polycap + Maia Detector

## Maia Mapper images – Rock slab

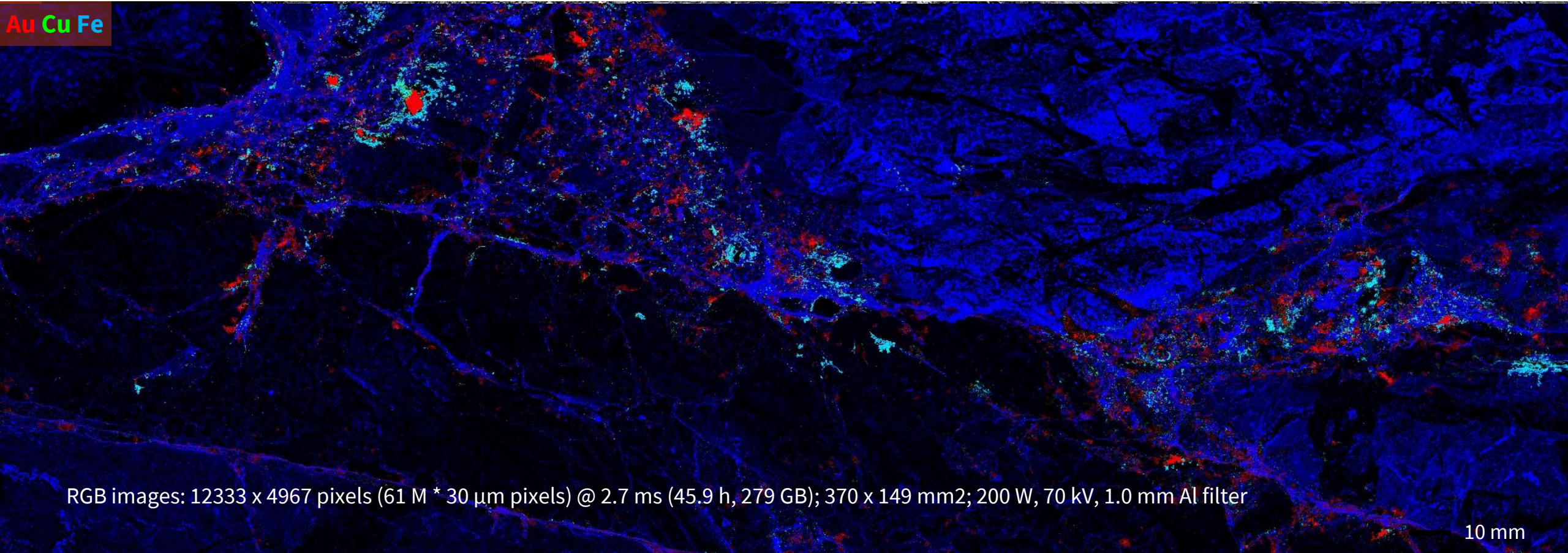


Pictures kindly provided by Chris Ryan and Robin Kirkham



# XRF Application MetalJet + Polycap + Maia Detector

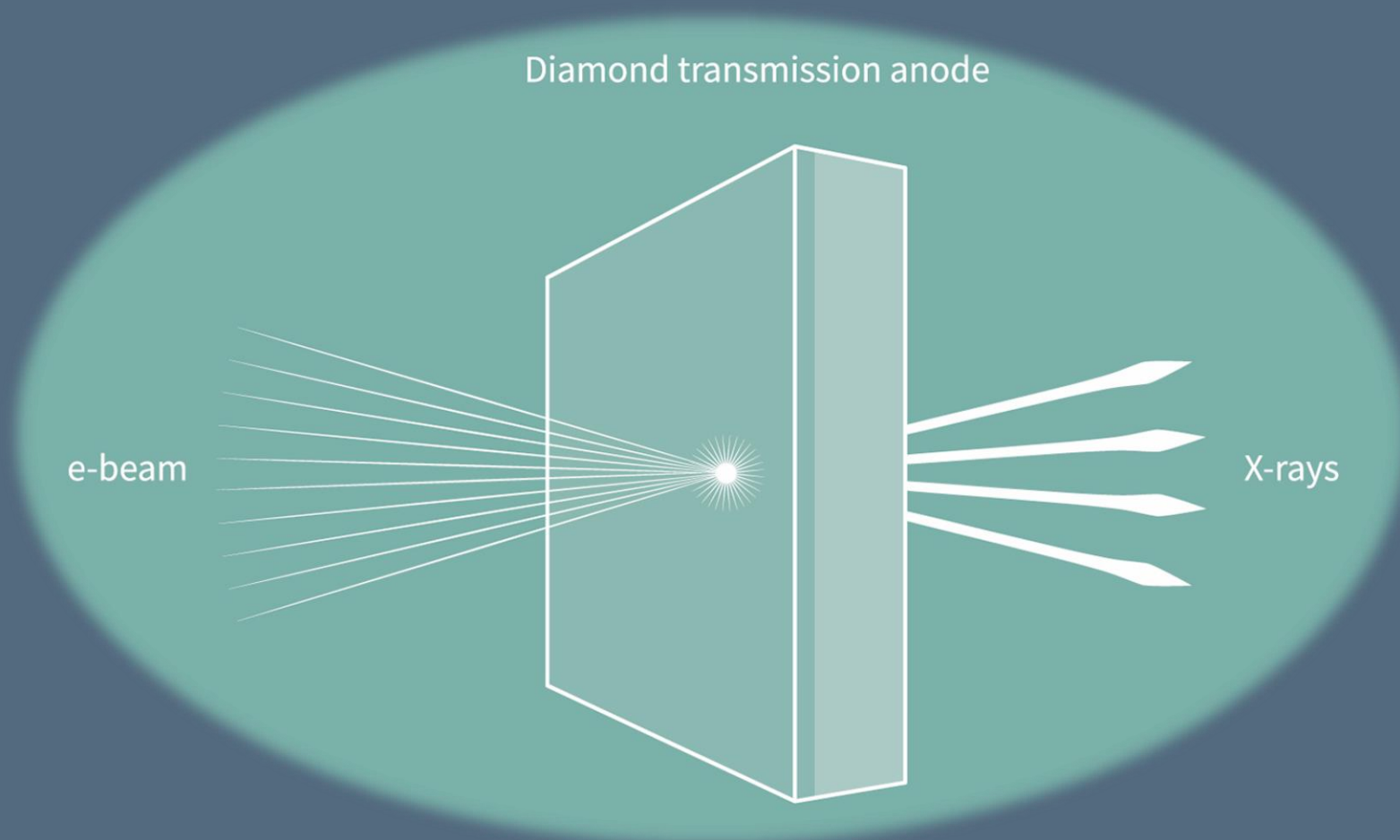
## Maia Mapper images – Rock slab



RGB images: 12333 x 4967 pixels (61 M \* 30  $\mu$ m pixels) @ 2.7 ms (45.9 h, 279 GB); 370 x 149 mm<sup>2</sup>; 200 W, 70 kV, 1.0 mm Al filter

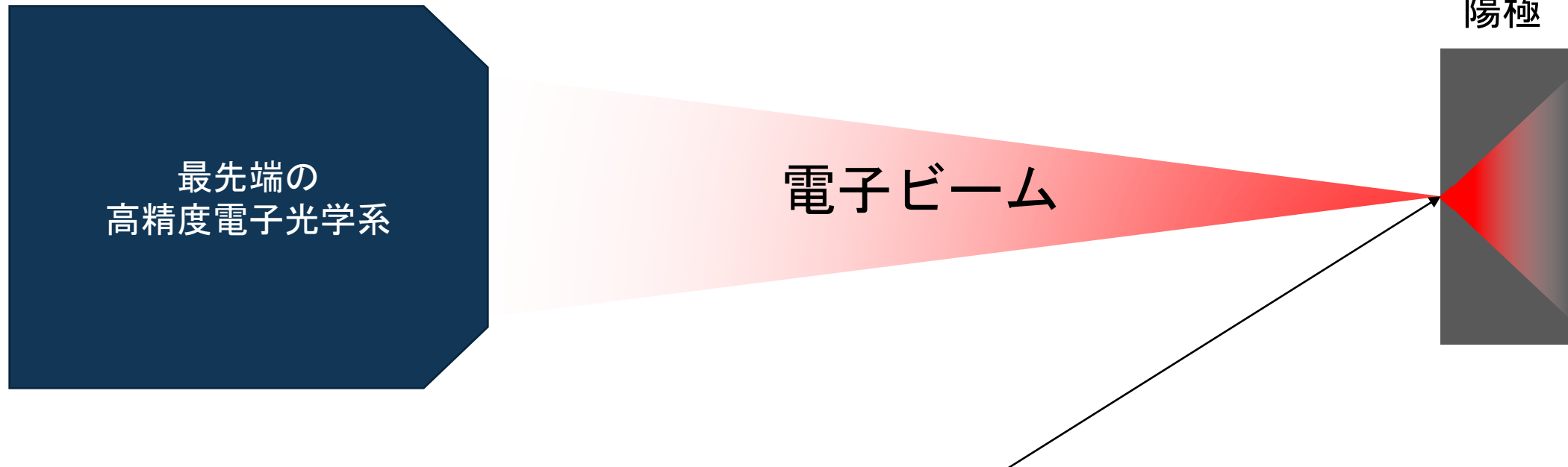


# NanoTube Technology



## NanoTubeテクノロジー

~300 nm のX線スポットサイズ

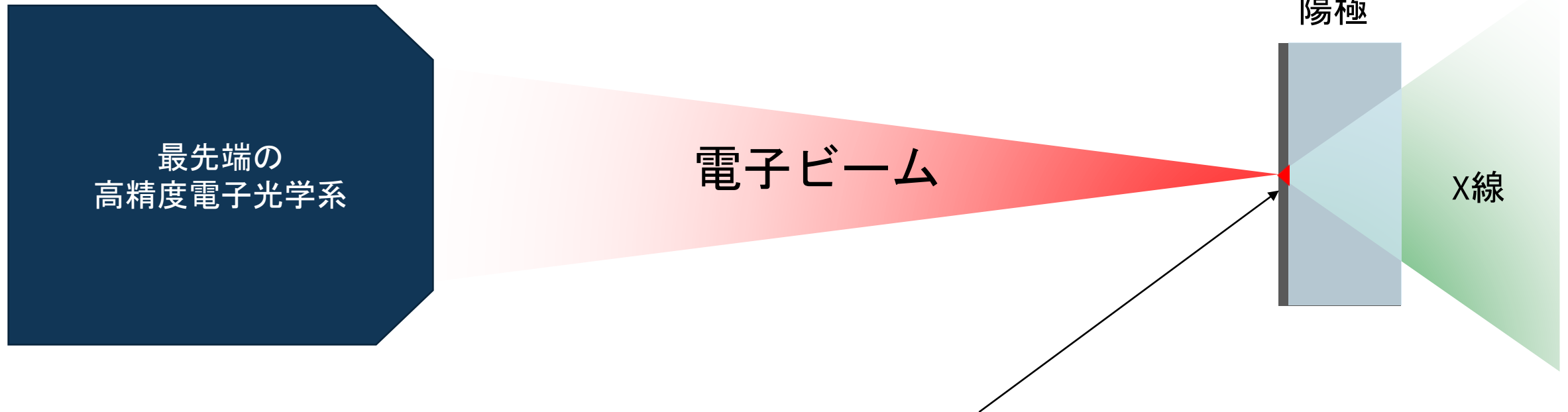


バルクW陽極上に、微小焦点の電子ビームを照射  
問題点

- バルク陽極内での電子拡散によりX線スポットが大きくなってしまふ。
- 熱による陽極の損傷

## NanoTubeテクノロジー

~300 nm のX線スポットサイズ



ダイヤモンド上にW薄膜をパターン形成し陽極として使用  
利点

- 電子拡散を防ぎ、微小X線スポットサイズを可能にする
- ダイヤモンドの高い熱伝導率により、W陽極のダメージを抑制する

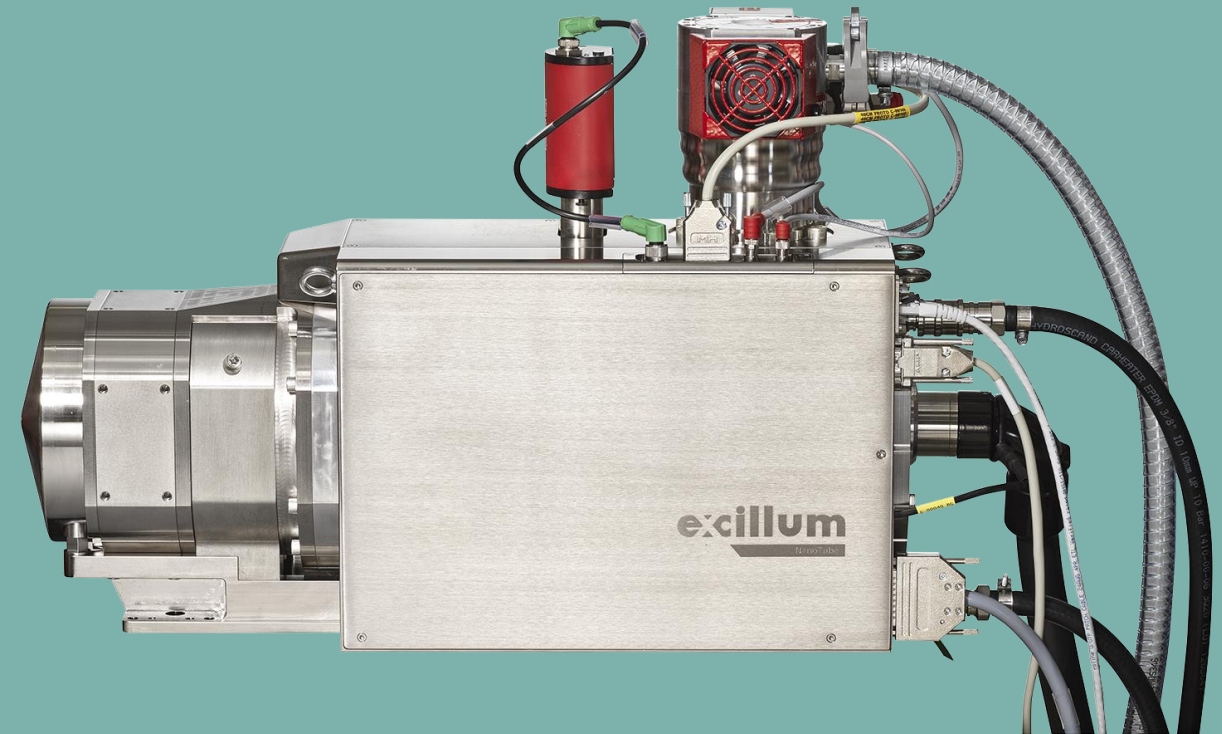
## Excillum NanoTube N3 160 kV

# NanoTube N3

世界最小X線スポットの  
ナノフォーカスX線源

160 kVの印加電圧

24時間週7日連続稼働

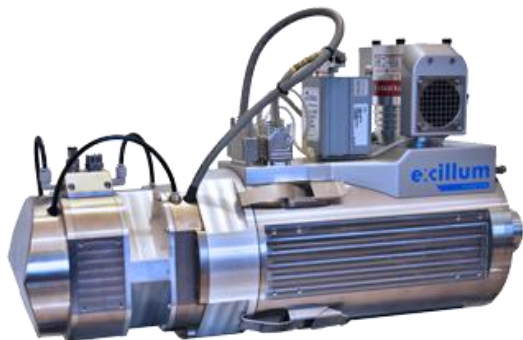


# NanoTube N1 から NanoTube N3へ

excillum

## NanoTube N1

- ❑ 2016年8月発売
- ❑ **60 kV**
- ❑ 半自動アライメント



## NanoTube N2

- ❑ 2020年2月発売
- ❑ 60 kV & **110 kV**
- ❑ パワーの増加
- ❑ 自動アライメント



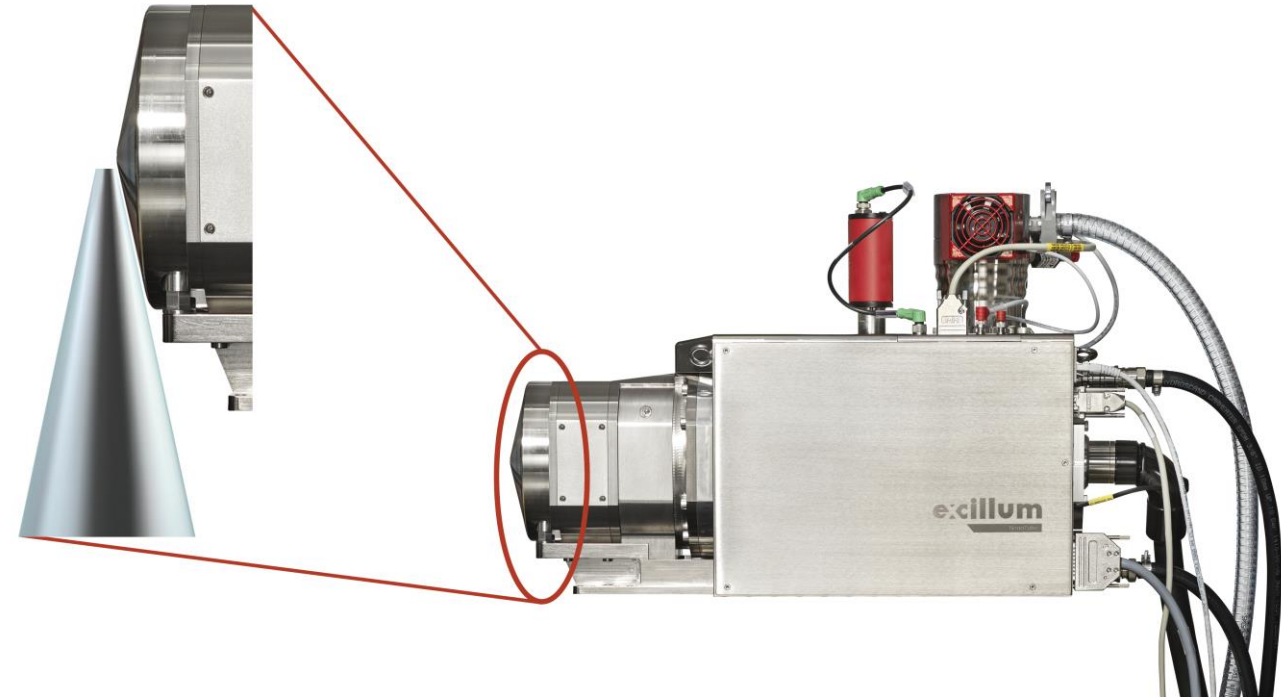
## NanoTube N3

- ❑ 2021年12月発売
- ❑ 60 kV, 110 kV & **160 kV**
- ❑ カソード交換後完全自動アライメント
- ❑ 24/7連続稼働のインライン検査および計測用に最適化



# Physical features

- Tungsten (W) on diamond transmission anode technology
- 150  $\mu\text{m}$  min. spot to sample distance
- Excellent geometrical access thanks to cone shaped front
- Build in water cooling for ultimate stability



# NanoTube N3 は3種類の仕様から選択頂けます

最小分解能は全て150nm  
最大印加電圧/電力で選択可能



## (1) NanoTube N3 60 kV

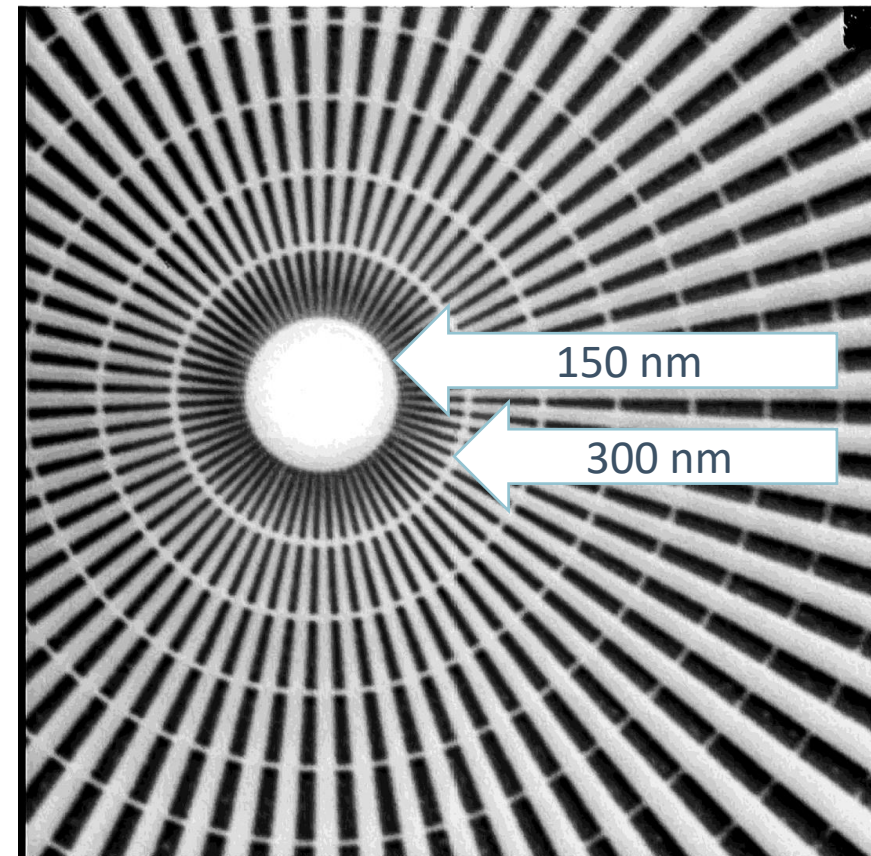
印加電圧 40-60 kV  
ターゲット印加電力 2.4 W

## (2) NanoTube N3 110 kV

印加電圧 40-110 kV  
ターゲット印加電力 6.1 W

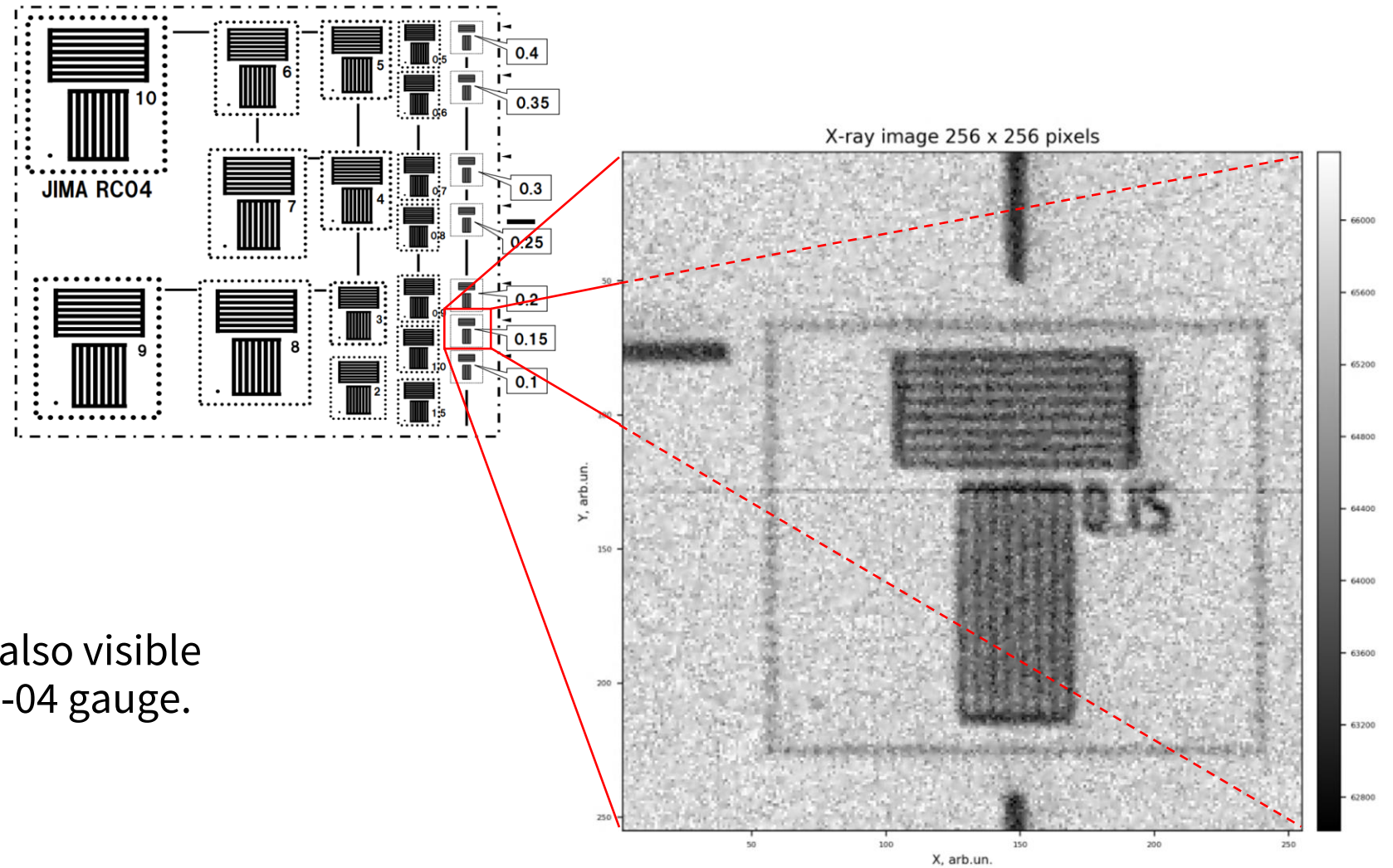
## (3) NanoTube N3 160 kV

印加電圧 40-160 kV  
ターゲット印加電力 11 W



シーメンススターチャート

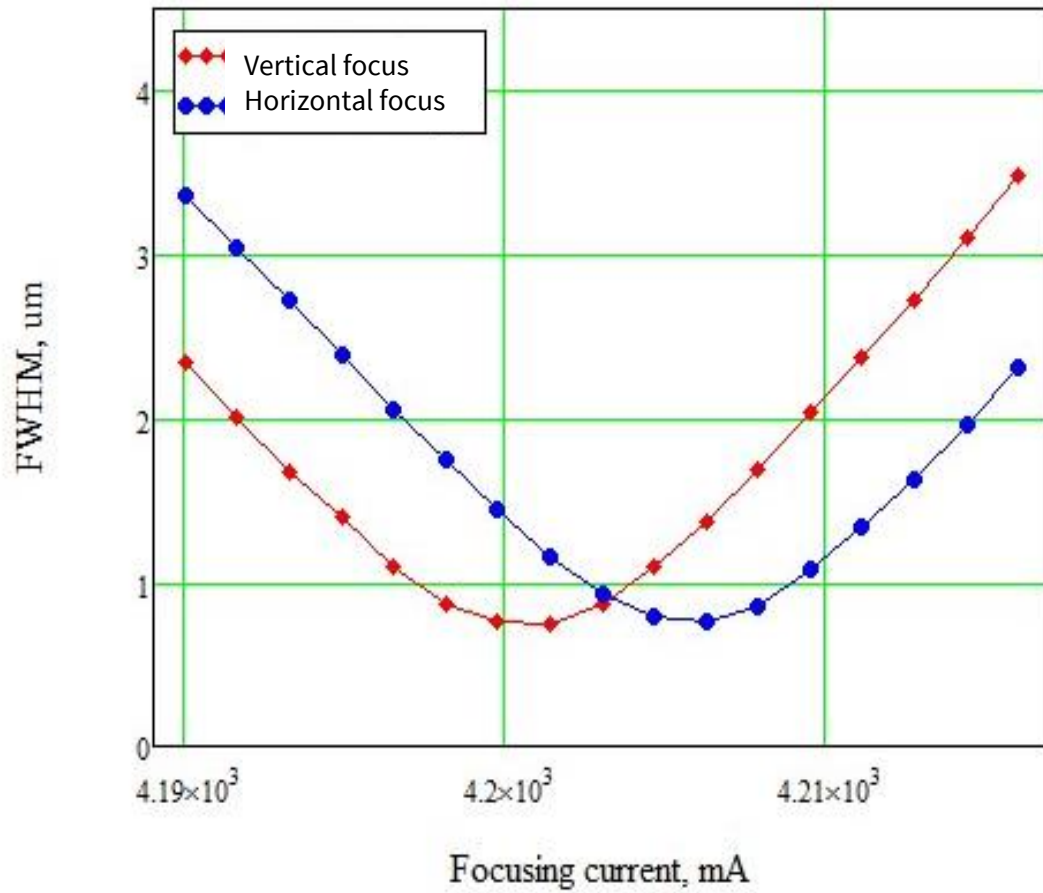
# JIMA resolution



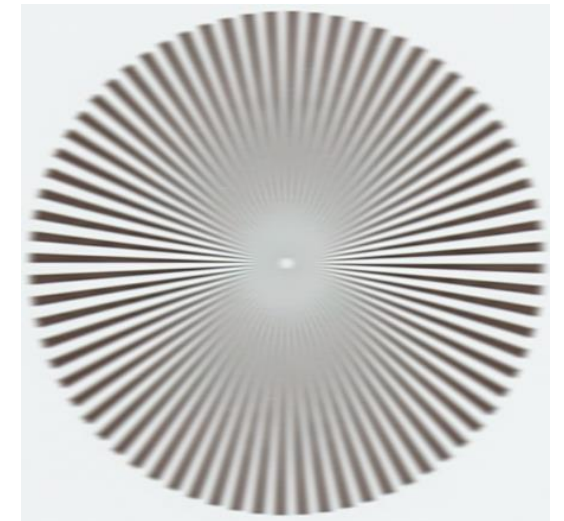
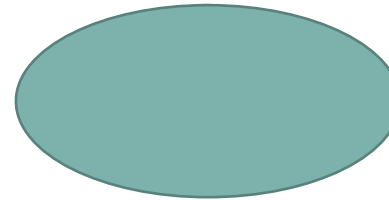
150 nm resolution is also visible using the JIMA RT RC-04 gauge.

# Symmetric resolution thanks to astigmatism correction

Before astigmatism correction



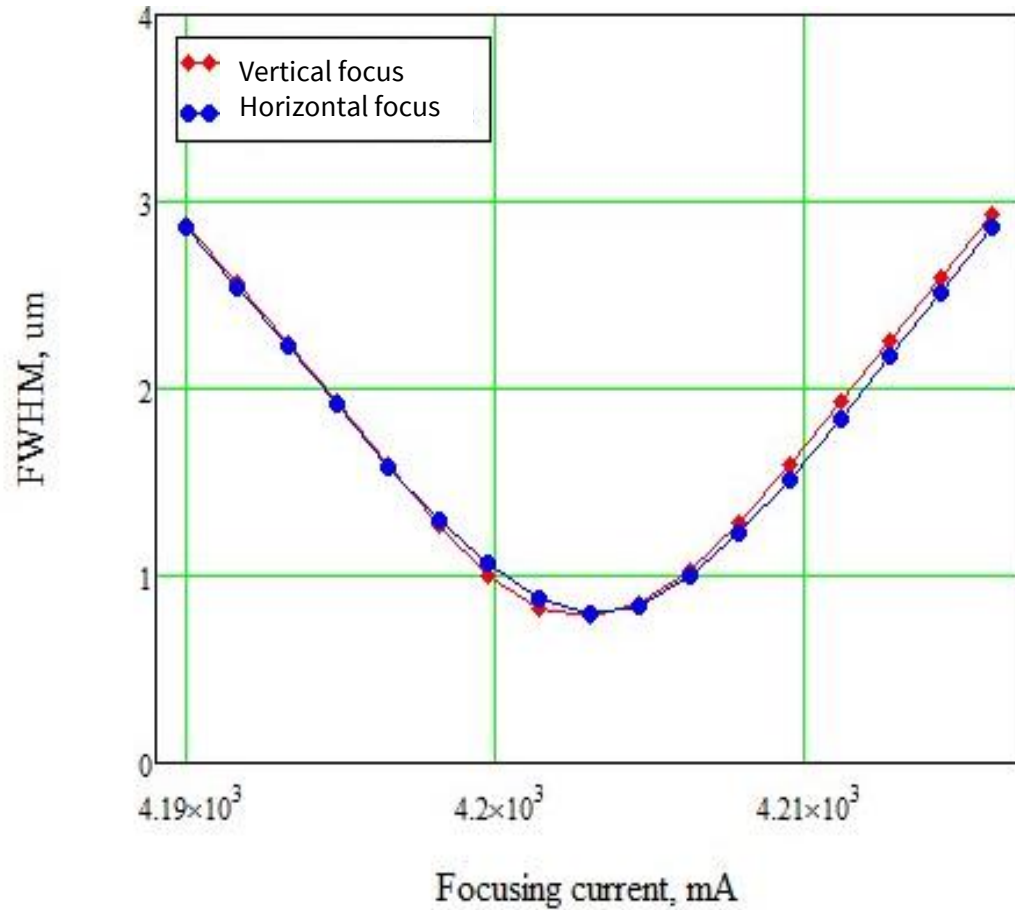
Elliptical spot



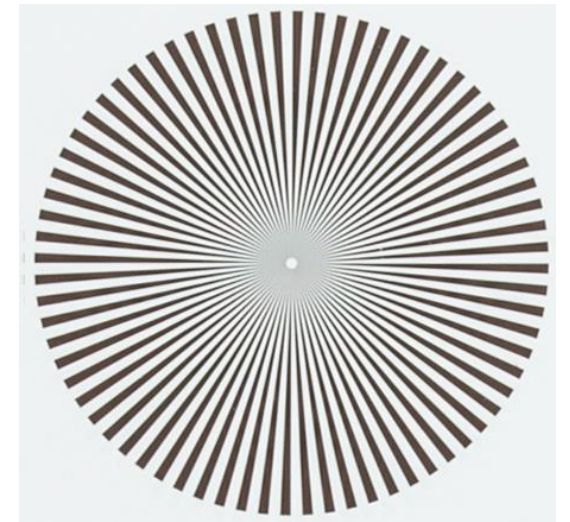
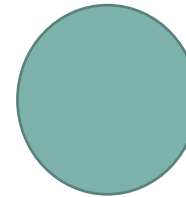


# Symmetric resolution thanks to astigmatism correction

After astigmatism correction



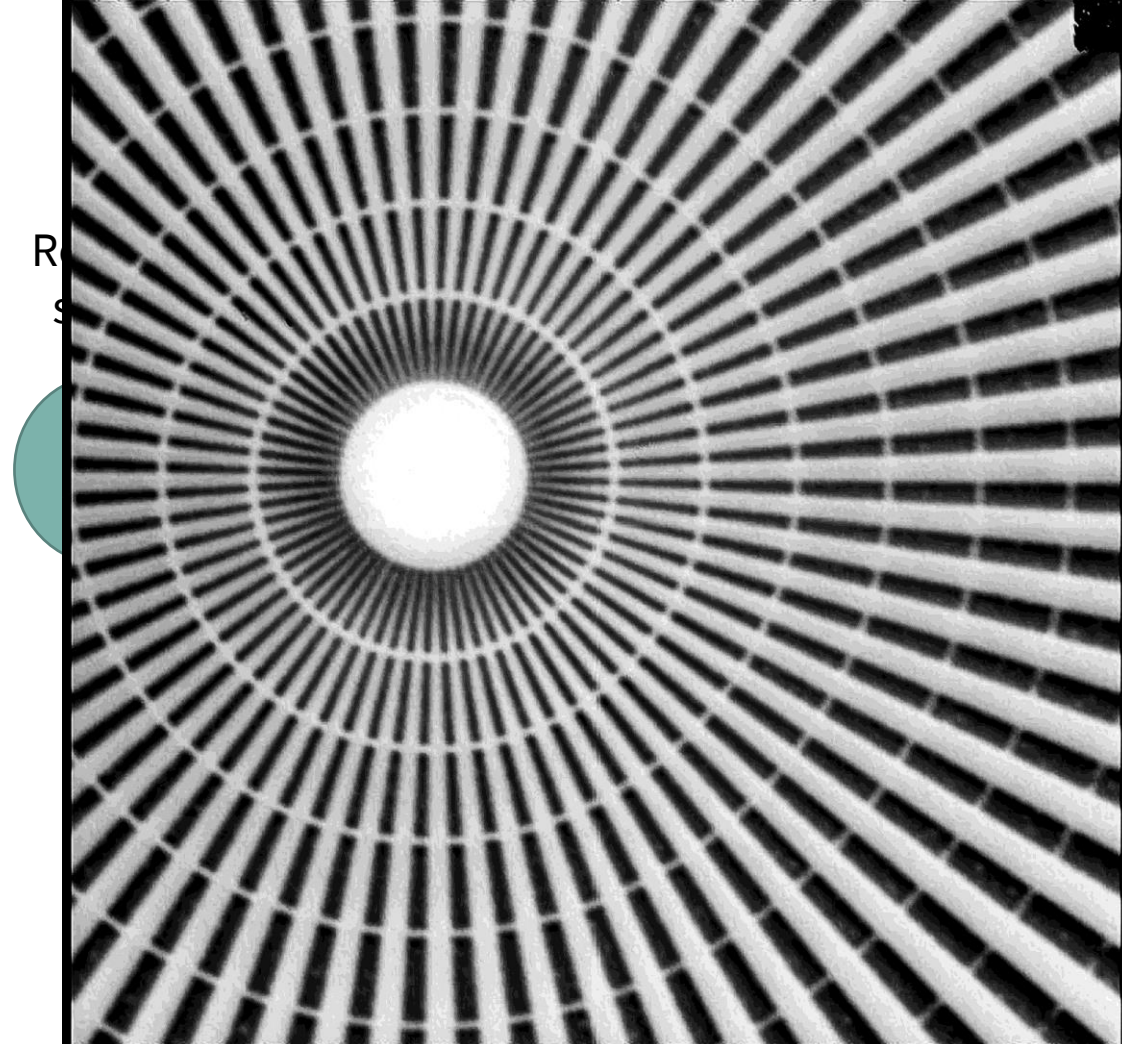
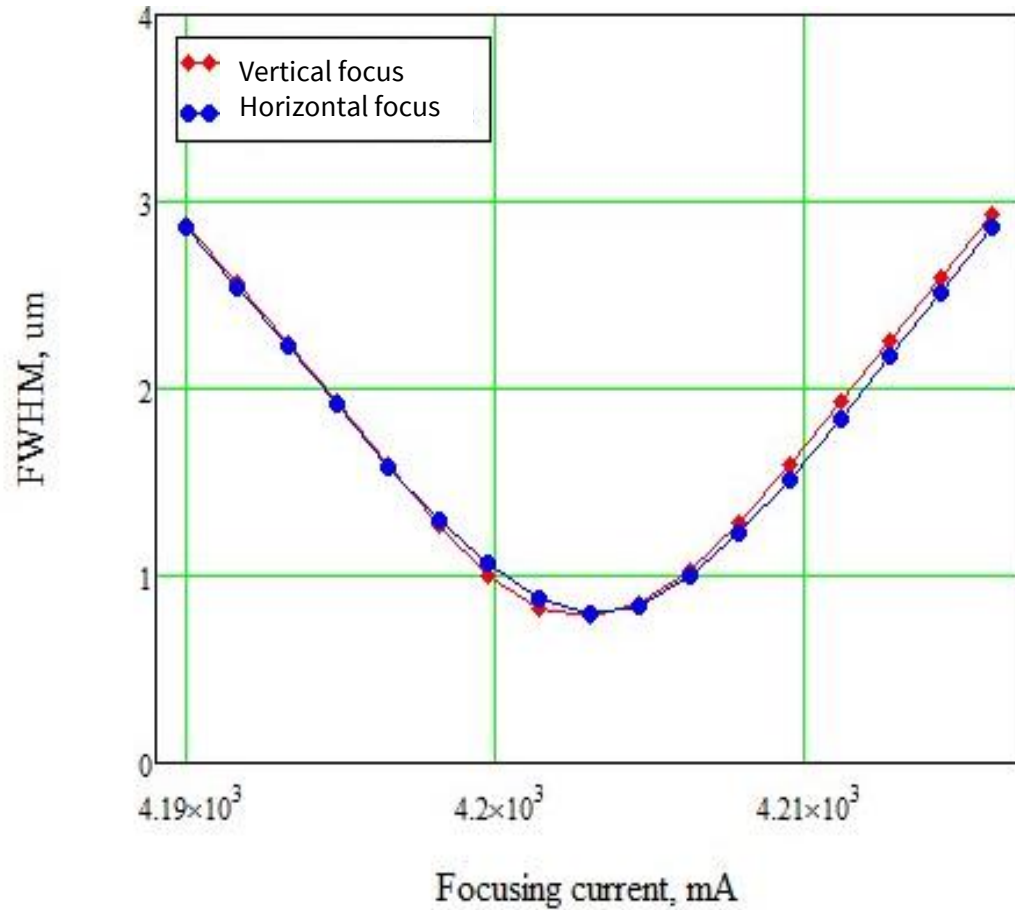
Round spot





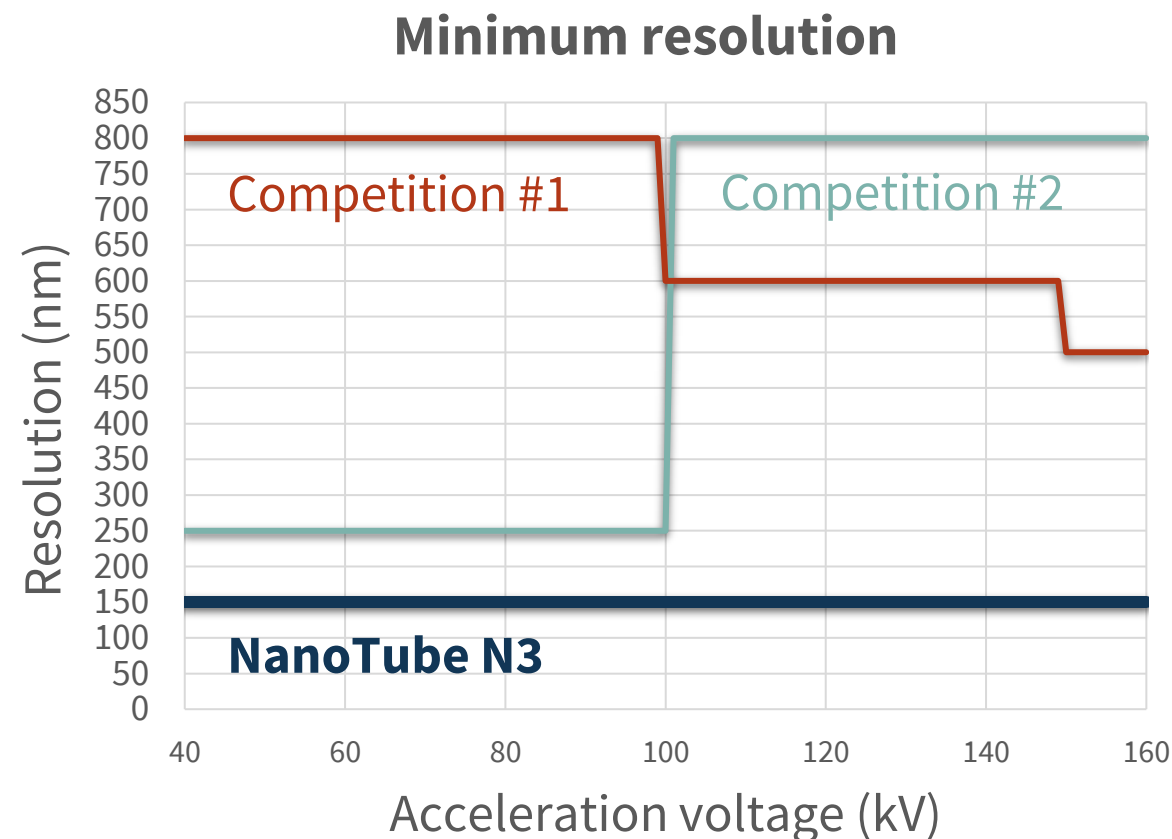
# Symmetric resolution thanks to astigmatism correction

After astigmatism correction



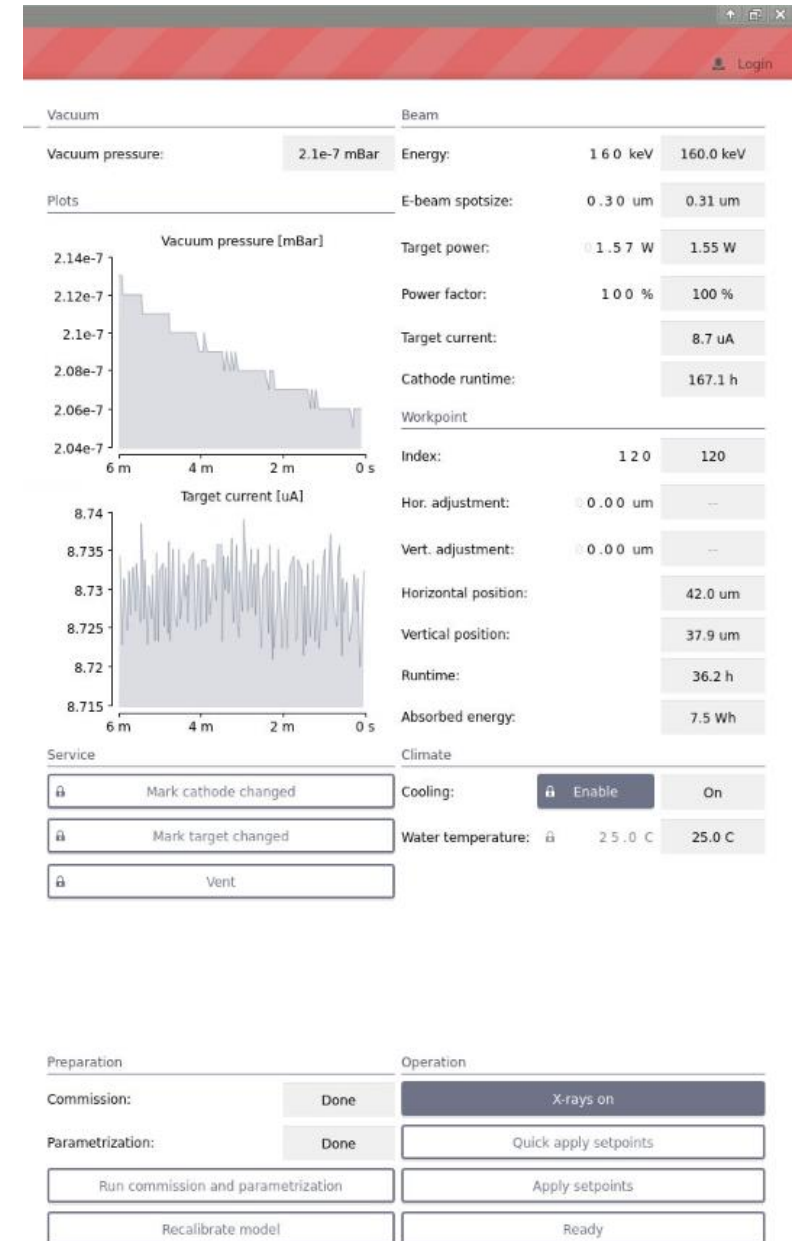
# 適正解像度と印加電力がいつでも設定可能

- NanoTube N3は、全ての印加電圧範囲で150nmの最小解像度を達成することができます
- 解像度と印加電圧により決まる印加電力は同一カソードに対して一定となります



# 制御と自動化

- X線源の動作制御は、GUI、またはAPI上でテキストコマンドを使用して実行します
- NanoTube N3 の制御可能項目:
  - 加速電圧
  - スポットサイズ
  - ターゲット印加電力
  - ターゲット上のスポット位置
- パラメータの自動的設定および検証
  - 手動による微調整の必要なし
  - カソード寿命を通して一定性能  
(パフォーマンスが徐々に低下することはありません)



# 制御と自動化

- X線源の動作制御は、GUI、またはAPI上でテキストコマンドを使用して実行します
- NanoTube N3 の制御可能項目:
  - 加速電圧
  - スポットサイズ
  - ターゲット印加電力
  - ターゲット上のスポット位置
- パラメータの自動的設定および検証
  - 手動による微調整の必要なし
  - カソード寿命を通して一定性能  
(パフォーマンスが徐々に低下することはありません)

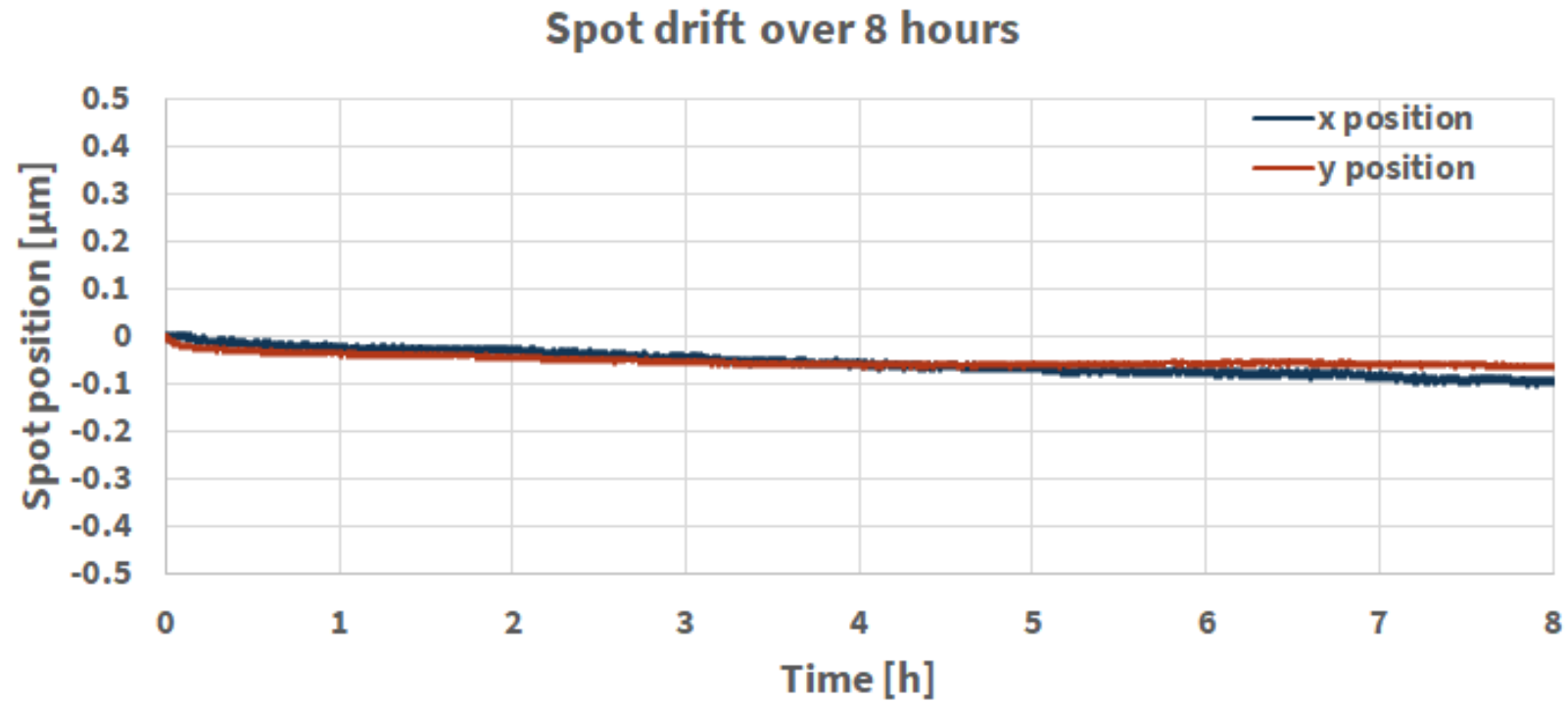
The screenshot displays the excillum control interface. At the top right, there is a 'Login' button. The main area is divided into several sections:

- Vacuum:** Shows 'Vacuum pressure:' and a 'Plots' section with two graphs. The top graph shows vacuum pressure over time, and the bottom graph shows a signal over time.
- Beam:** A table of parameters with input fields and buttons:
 

Energy:	1 6 0 keV	160.0 keV
E-beam spotsize:	0 .3 0 um	0.31 um
Target power:	0 1 .5 7 W	1.55 W
Power factor:	1 0 0 %	100 %
Target current:		8.7 uA
Cathode runtime:		167.1 h
- Absorbed energy:** Shows a value of 7.5 Wh.
- Service:** A list of events: 'Mark cathode changed', 'Mark target changed', and 'Vent'.
- Climate:** Shows 'Cooling:' set to 'Enable' (On) and 'Water temperature:' set to 25.0 C.
- Preparation:** A table of status indicators:
 

Commission:	Done	X-rays on
Parametrization:	Done	Quick apply setpoints
	Run commission and parametrization	Apply setpoints
	Recalibrate model	Ready

# スポット安定性





# 社内デモ機 #1- 電子基板/半導体イメージング

Demo system 1: Electronics/Semiconductor imaging

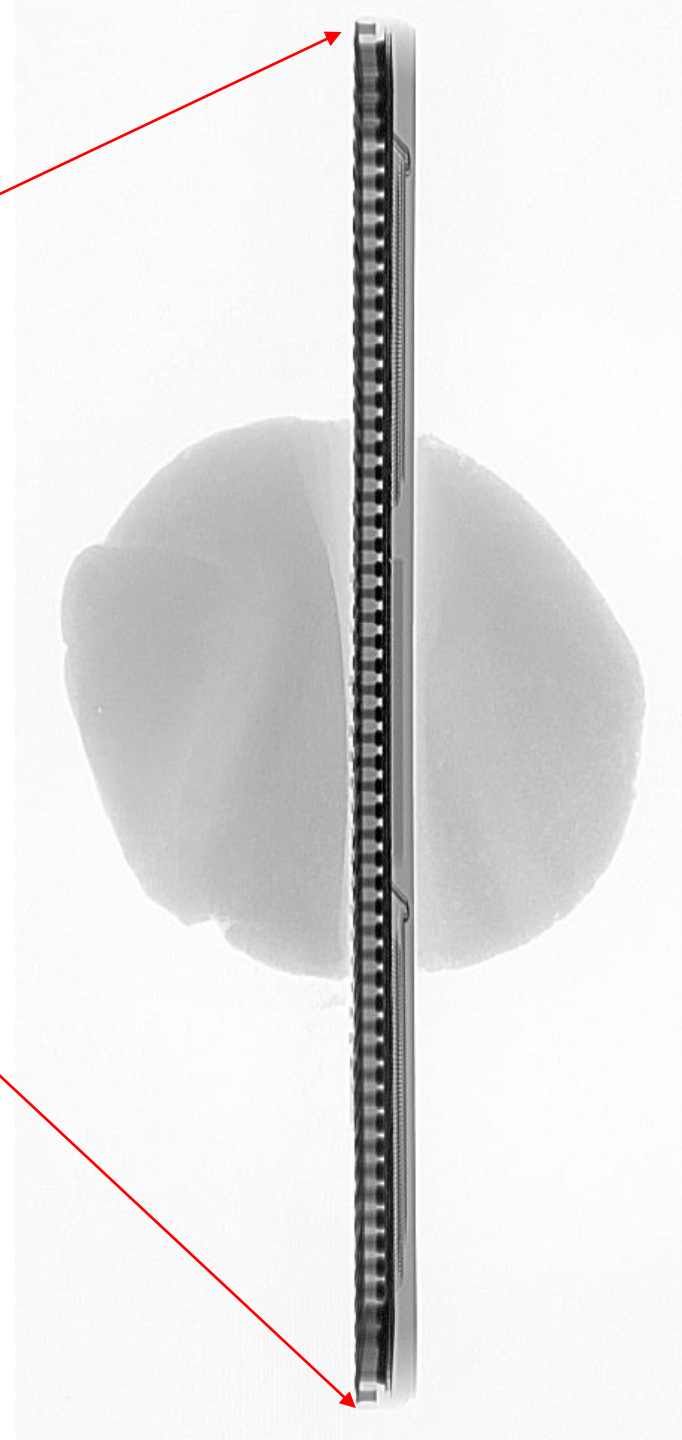


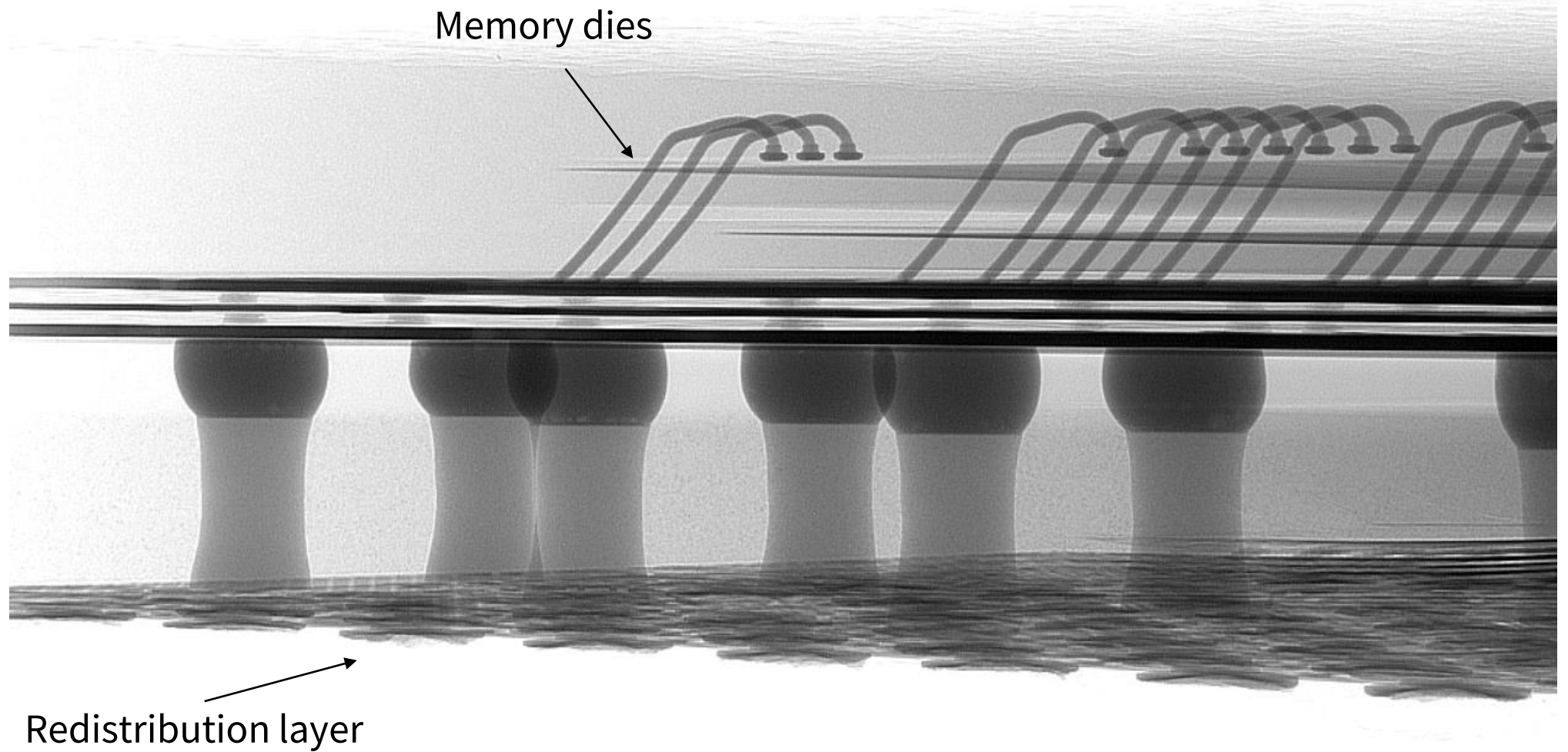
市販の、電子機器/半導体検査システムに内蔵されていたX線源を、NanoTubeN3に置き換えた装置です。

2Dおよび場合によっては3Dラミノグラフィイメージングをご利用いただけます。

# Apple A15 side view

Sample placed standing up using sticky tack.





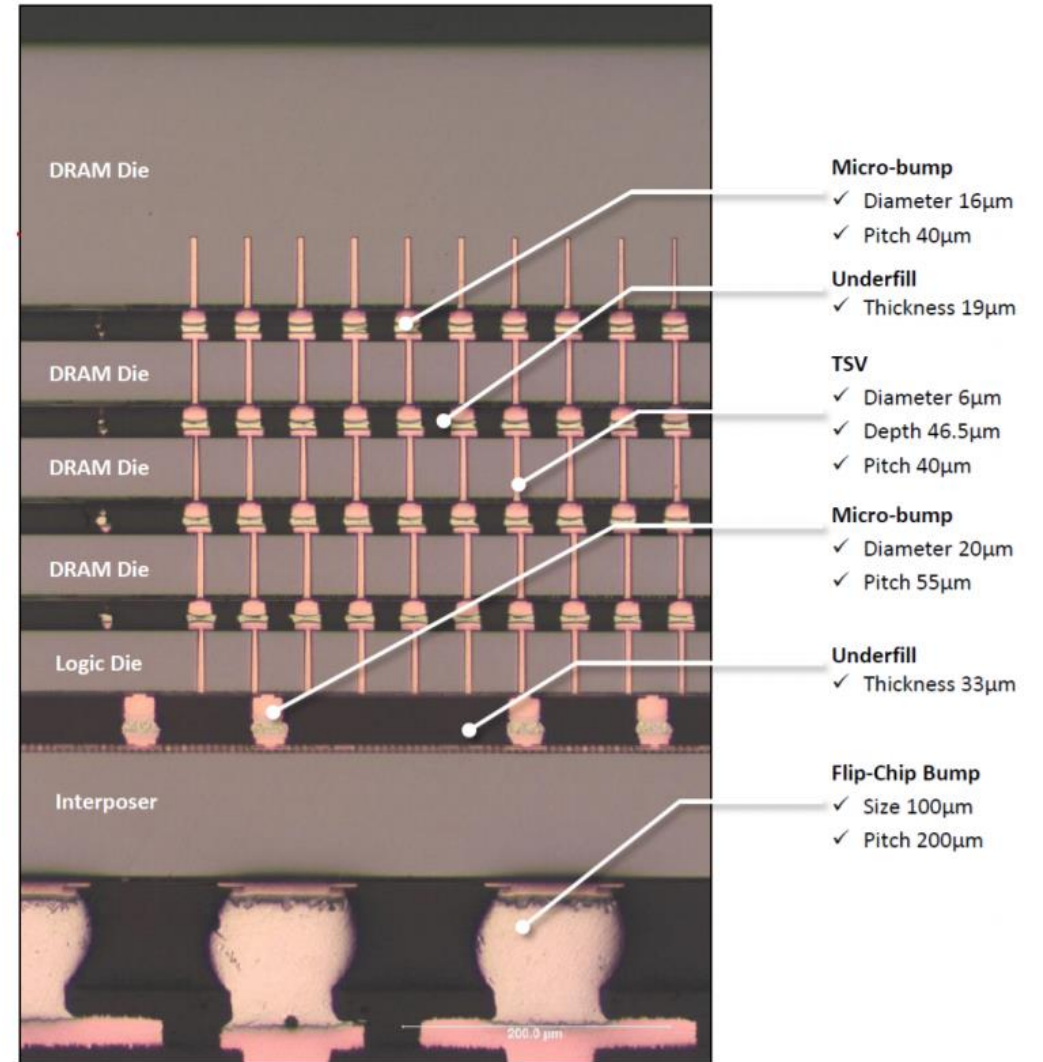


# HBM memory on Nvidia GV100

**NanoTube**, 60 kV 0.6  $\mu\text{m}$  1.45 W, 30 s exposure



Cross section of older HBM from Hynix with only 4 layers

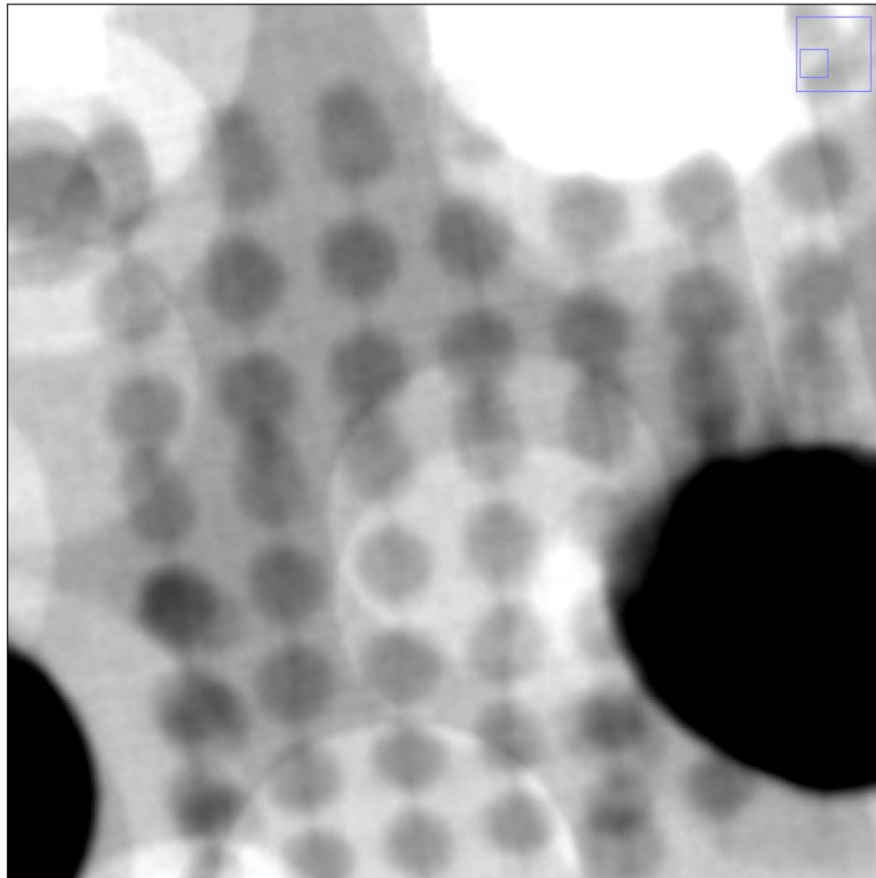


HBM Stack Cross-Section – Optical View

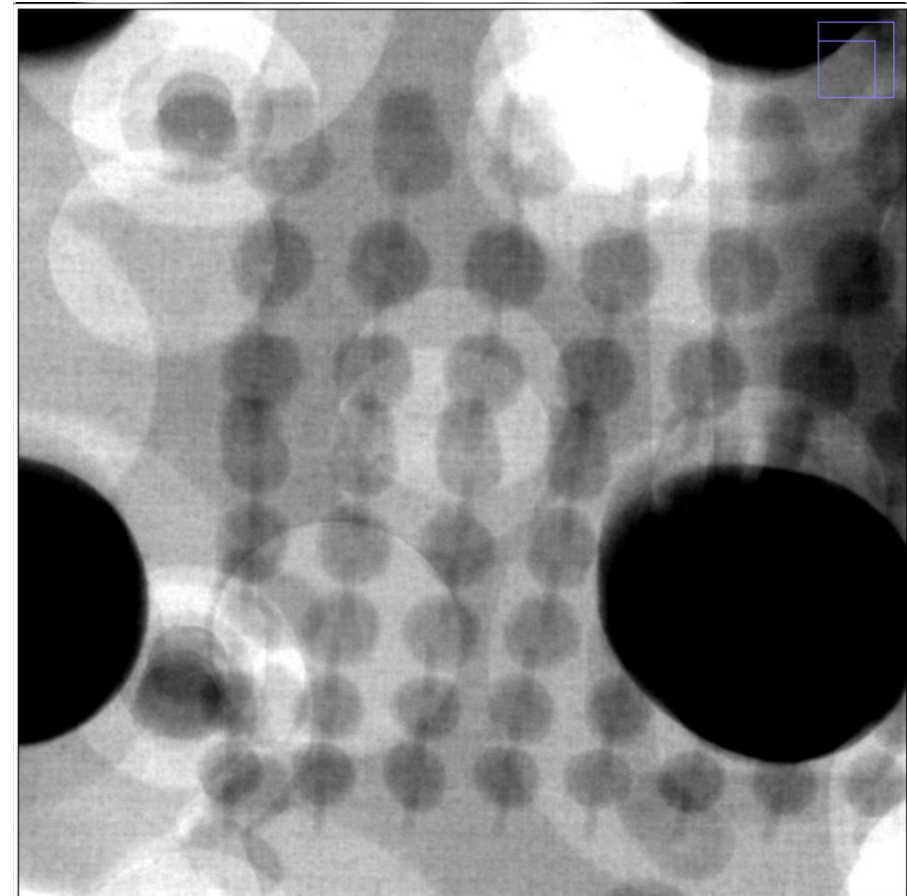
Fig. 6: AMD/SK Hynix HBM Cross-section

# HBM memory on Nvidia GV100

**Competitor Transmission Tube** 80 kV



**NanoTube** 60 kV





# 社内デモ機 #2 – Nano CT システム

Demo system 2: Nano-CT



Excillum (Sweden) のラボでは NanoTube N3 と高精度な回転ステージを備えた高解像度の Nano CT システムがデモンストレーション利用可能です。

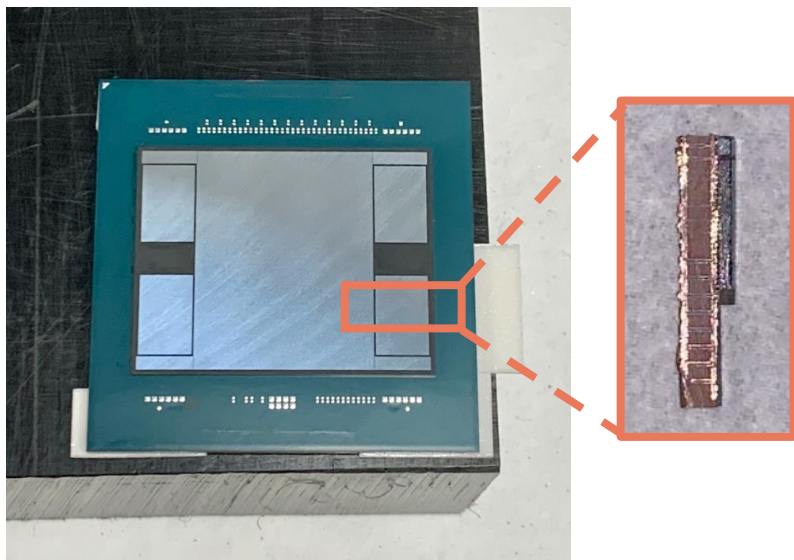
いくつか検出器を用意しておりますが、お客様持ち込みの検出器を使用してもご利用も可能です。

# 電子機器のイメージング

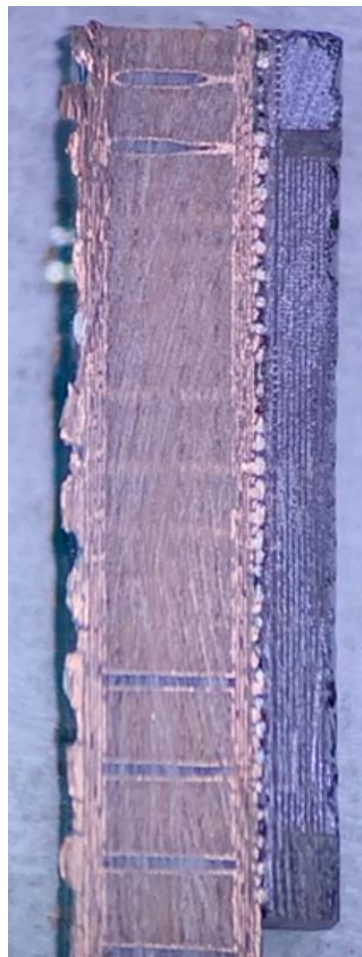
Electronics Imaging

excillum

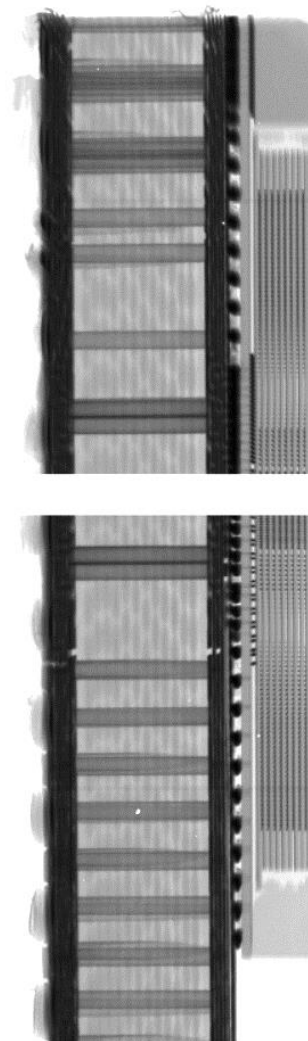
- Nvidia GV100のHBM2 メモリ



顕微鏡画像



X線画像



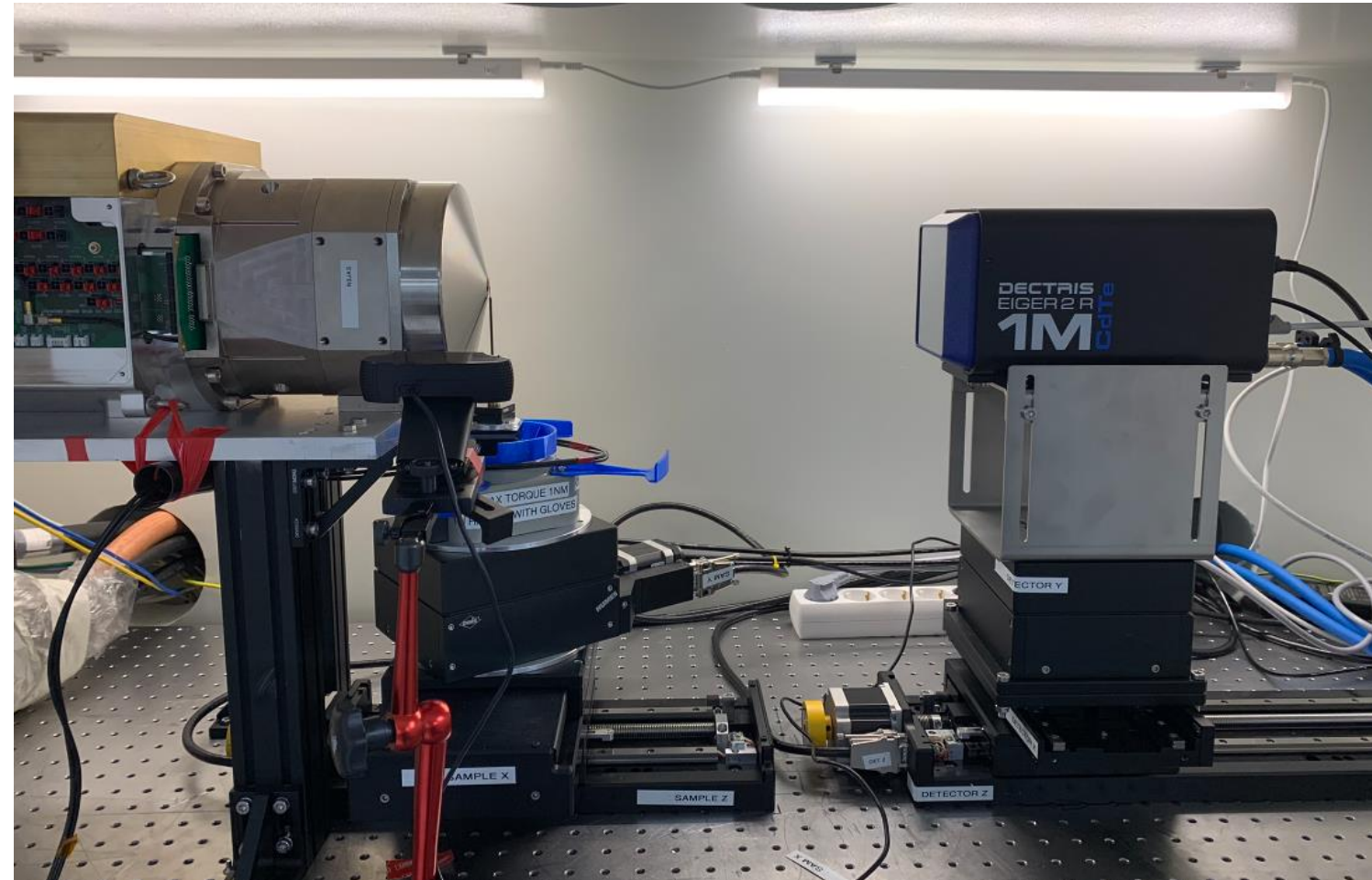
メモリの一部をサンプルホルダーに装着  
(black carbon rod has 2 mm diameter)





# Experimental arrangement

- Source: NanoTube N3
- Detector: Dectris Eiger 1M CdTe, 75  $\mu\text{m}$ , 1028 x 1063
- LAB RT100-S rotation stage
- Source-to-Detector: 343 mm
- Source-to-Sample: between 16.6 mm and 1.9 mm.



# 電子機器のイメージング

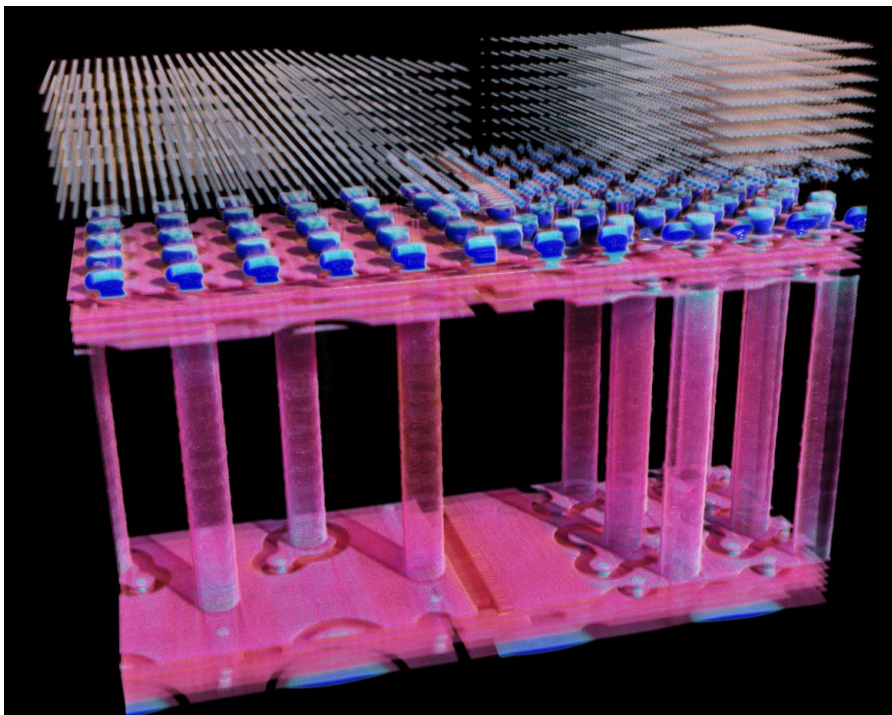
## Electronics Imaging

### Overview Scan

- 線源-サンプル間距離 : 16.6 mm, **HBM2 memory**
- スポットサイズ : 1.2  $\mu\text{m}$
- 解像度 3.5  $\mu\text{m}$  voxels

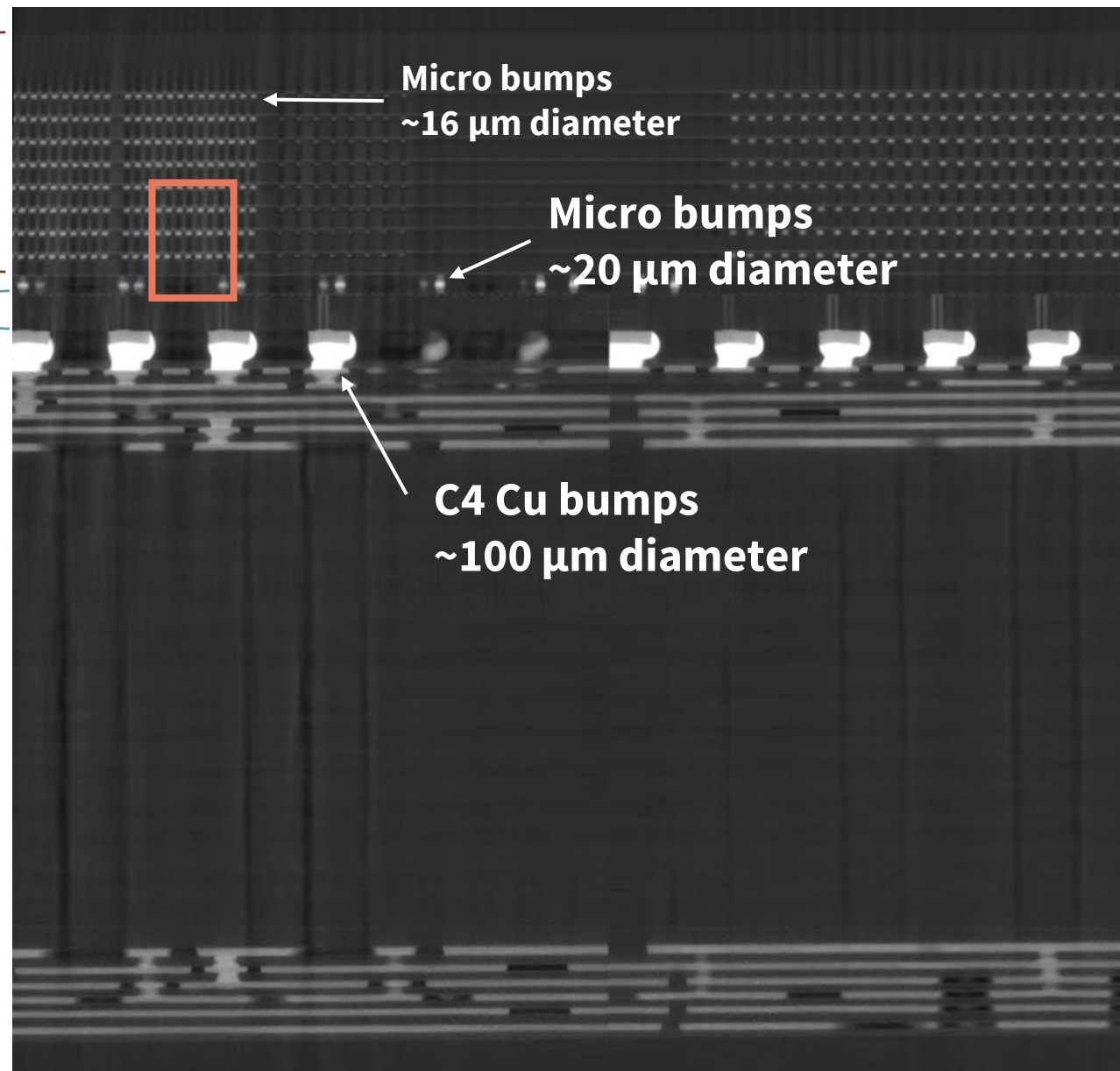
Silicon Interposer

3D render of reconstructed volume



Substrate

Slice through volume showing all layers



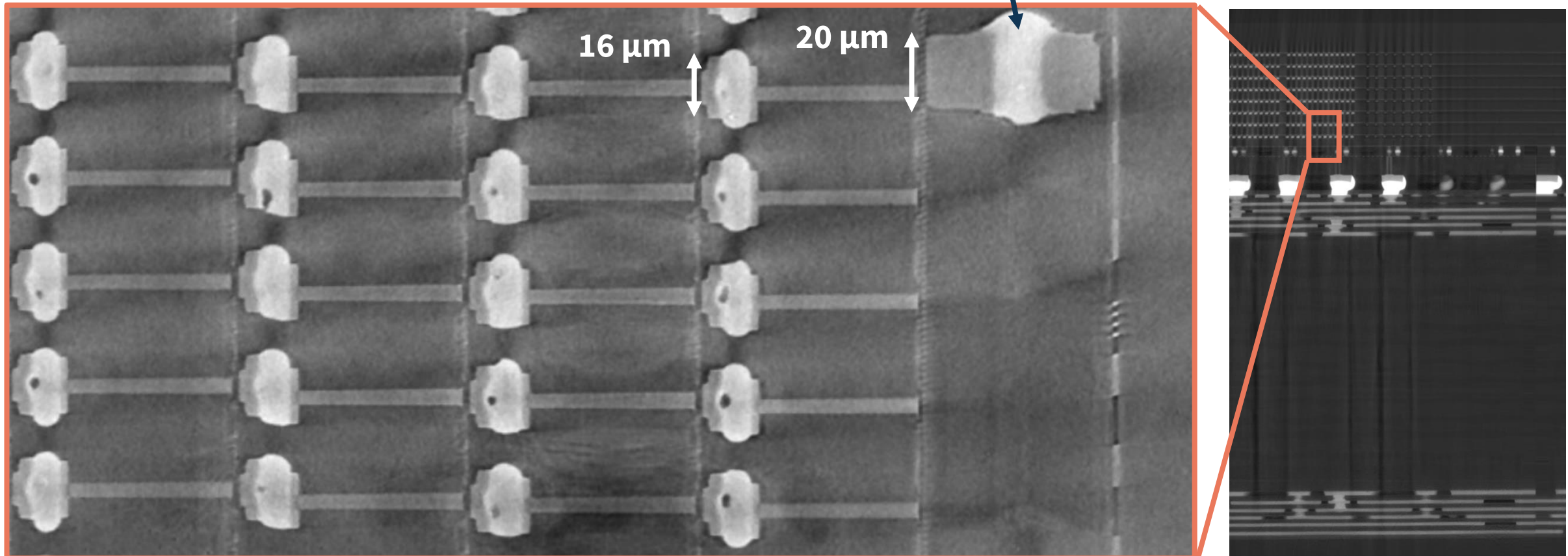
# 電子機器のイメージング

Electronics Imaging

## ROI scan

- 線源-サンプル距離 ; 1.9 mm, X線スポットサイズ ; 500 nm
- HBM2 メモリ内部の、4層のmicro bumps と TSV

Connection  
to interposer

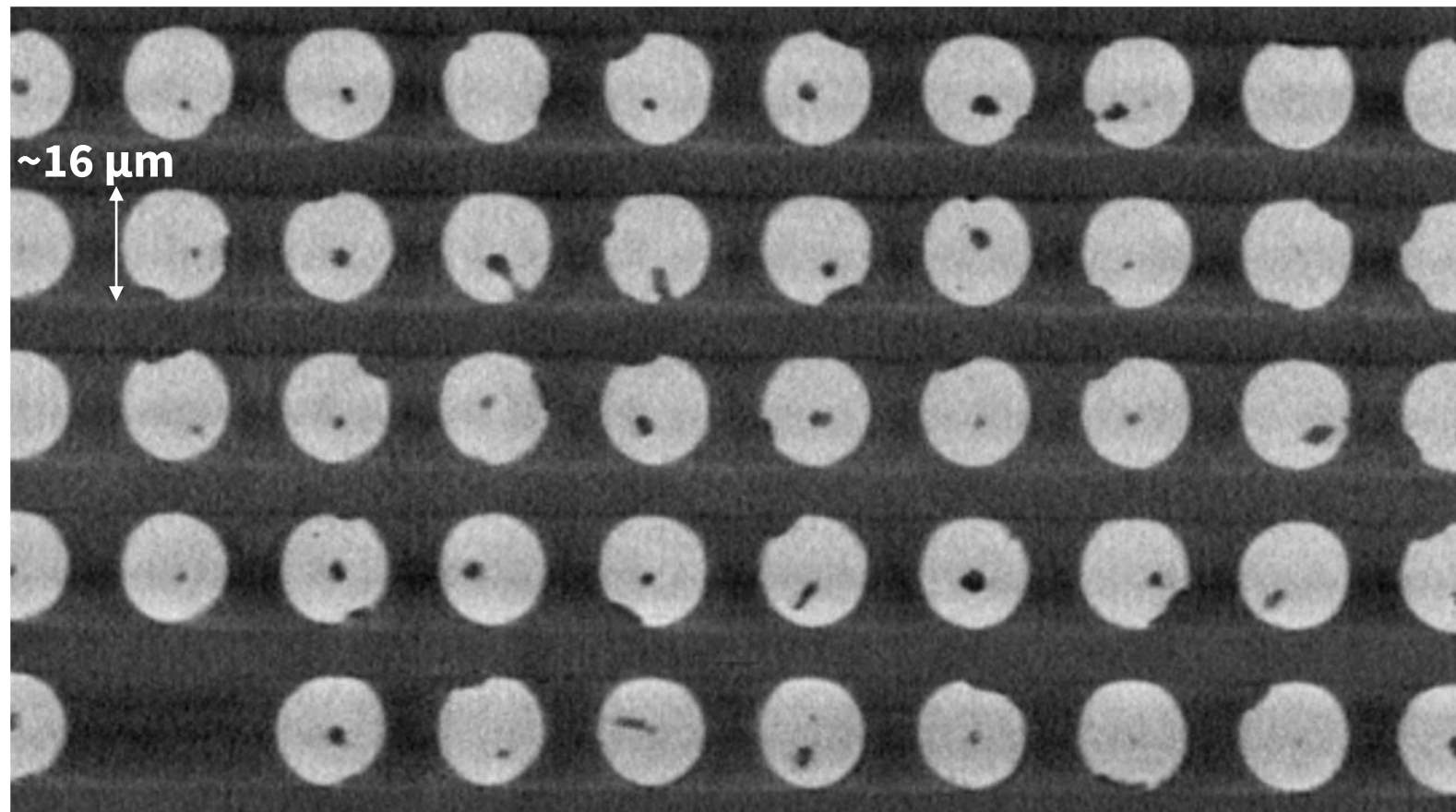
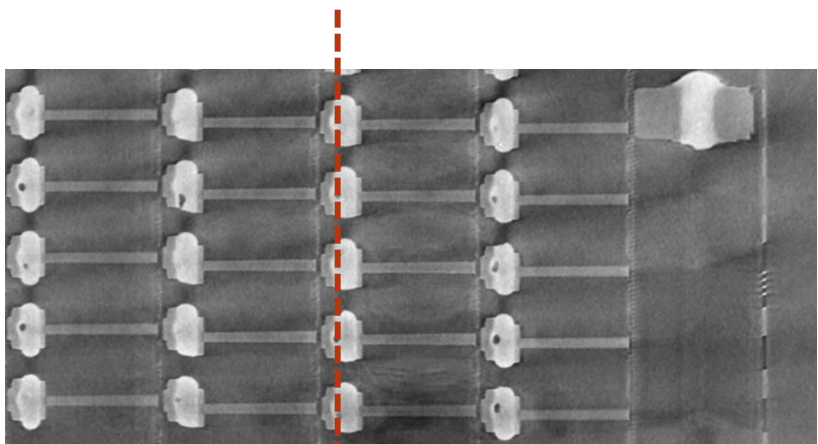




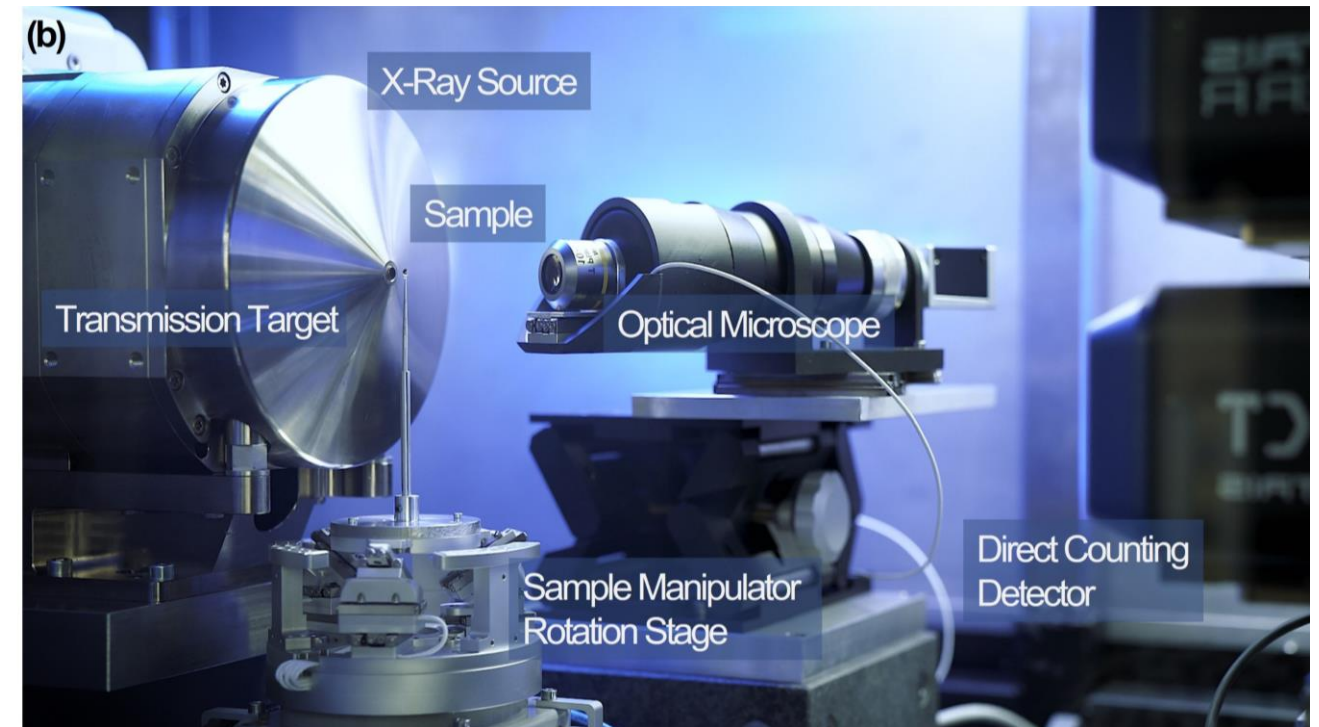
# 電子機器のイメージング

Electronics Imaging

excillum



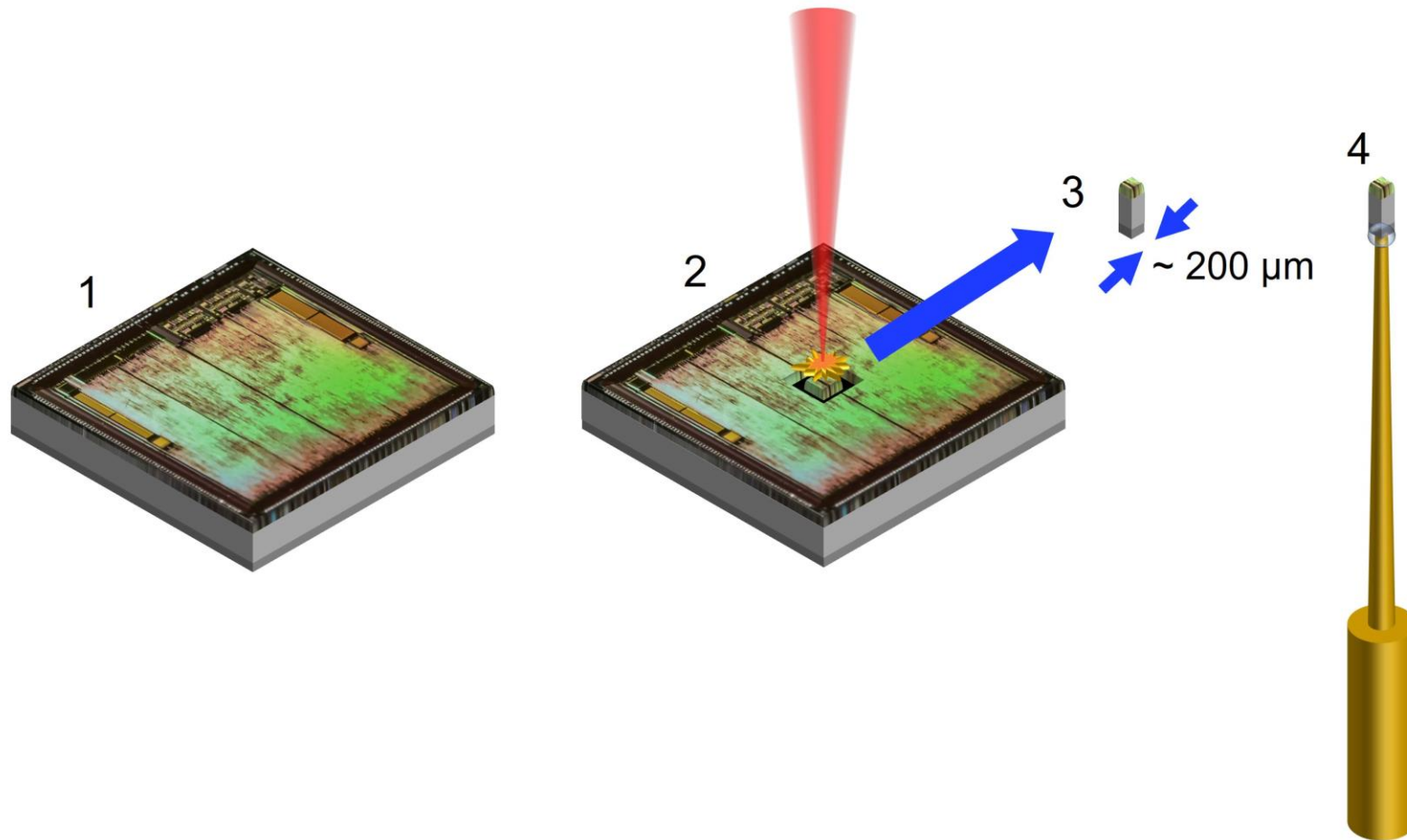
# ntCT: フラウンホーファー EZRT (Würzburg) ProCon X-ray GmbH により販売中



# More serious sample preparation

NAND memory in SanDisk 32 GB micro SDHC UHS-I

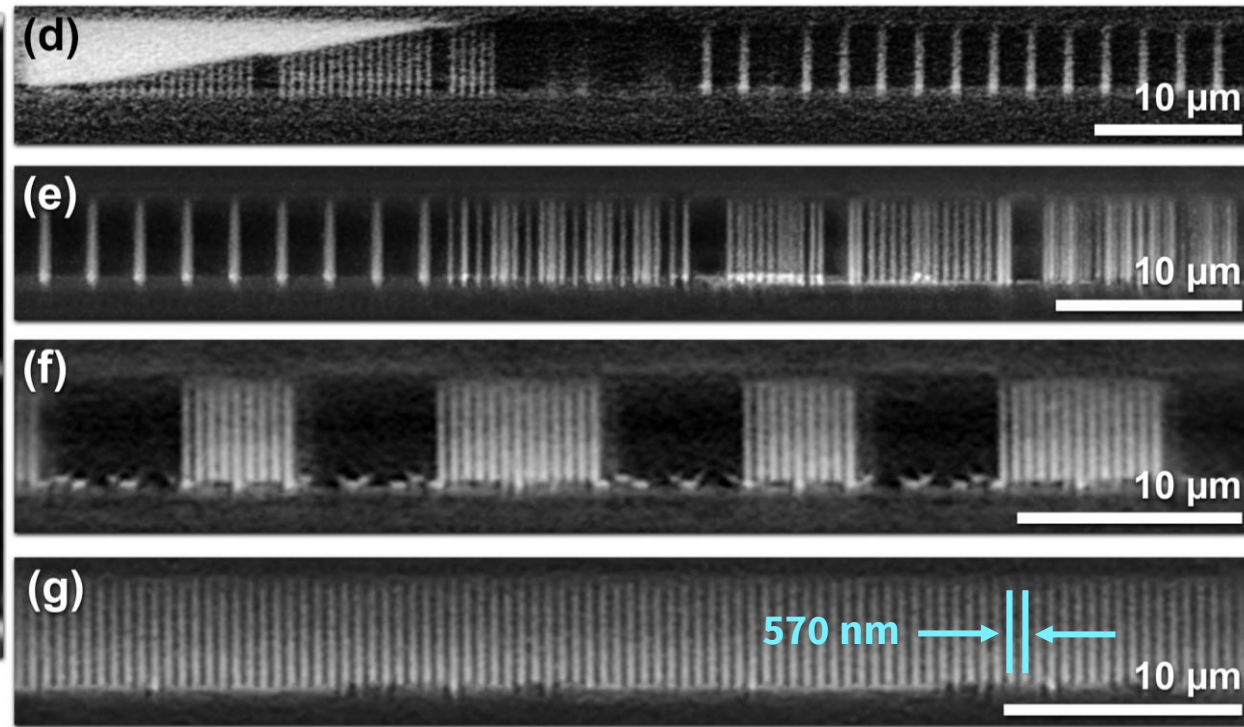
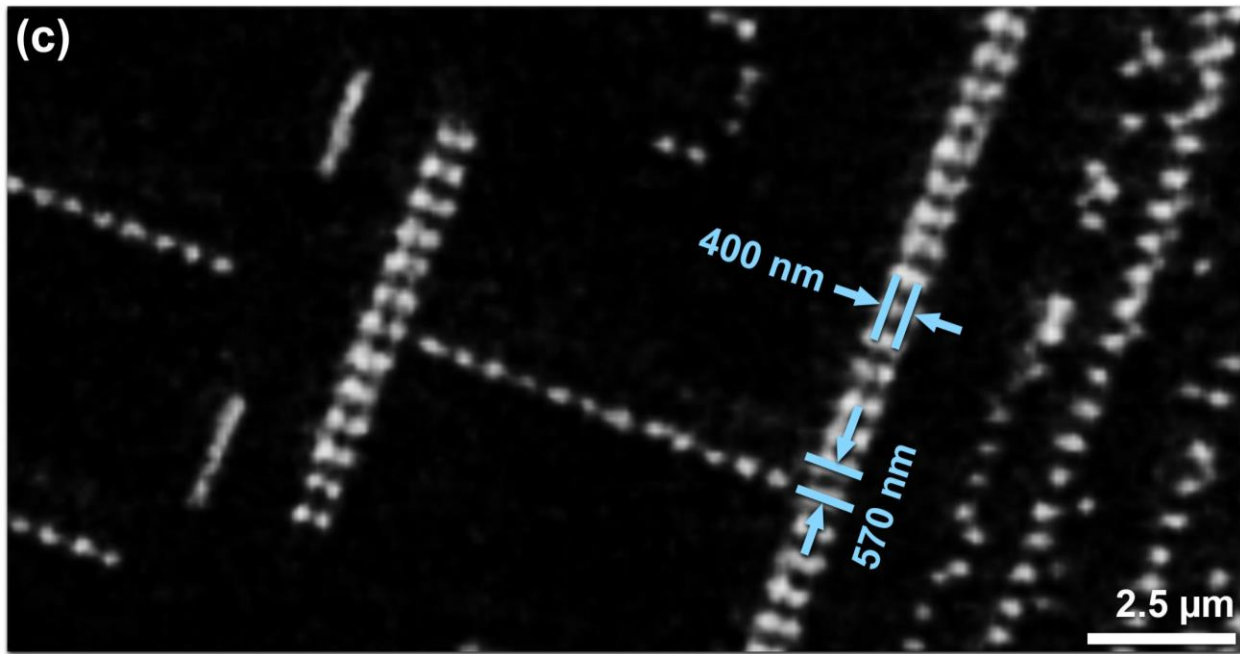
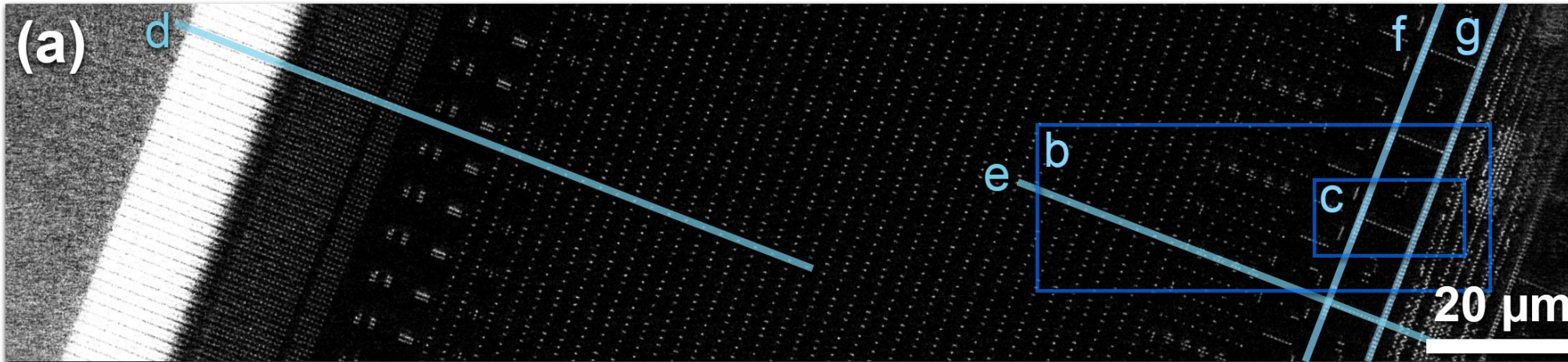
(a)



(b)



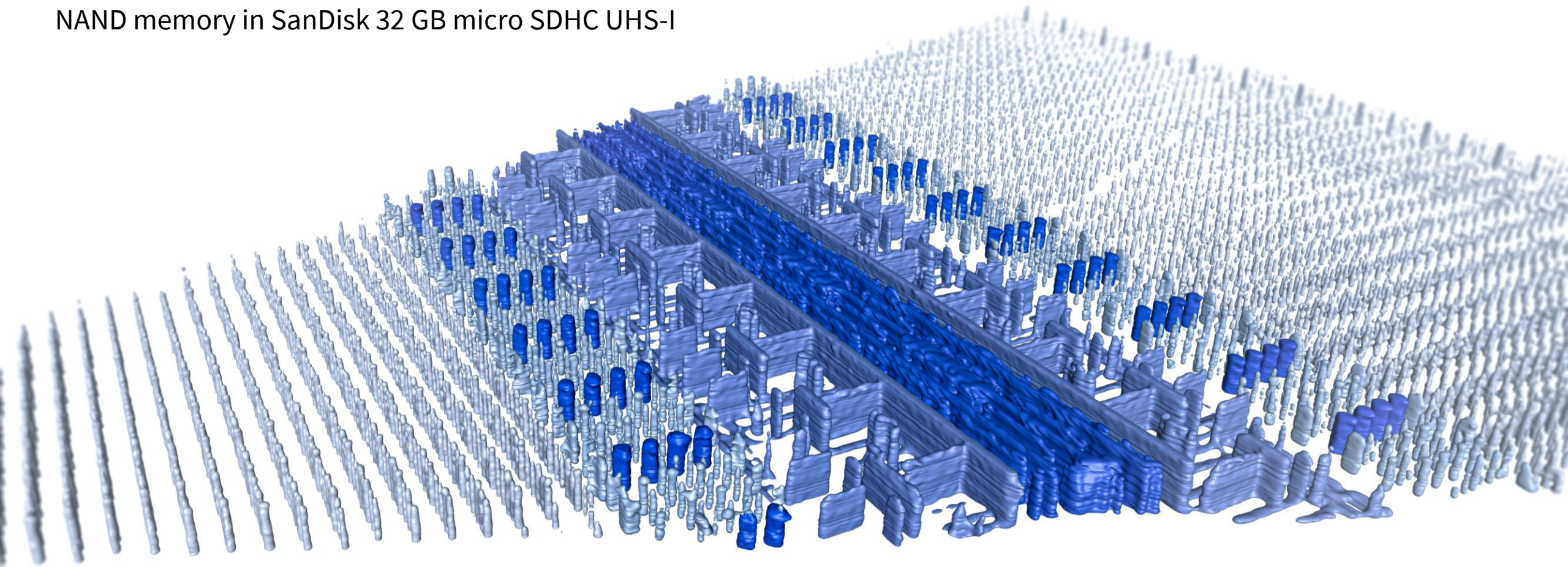




Dominik Müller et. al., *Crystals* **2021**, *11*, 677  
NAND memory in SanDisk 32 GB micro SDHC UHS-I



NAND memory in SanDisk 32 GB micro SDHC UHS-I

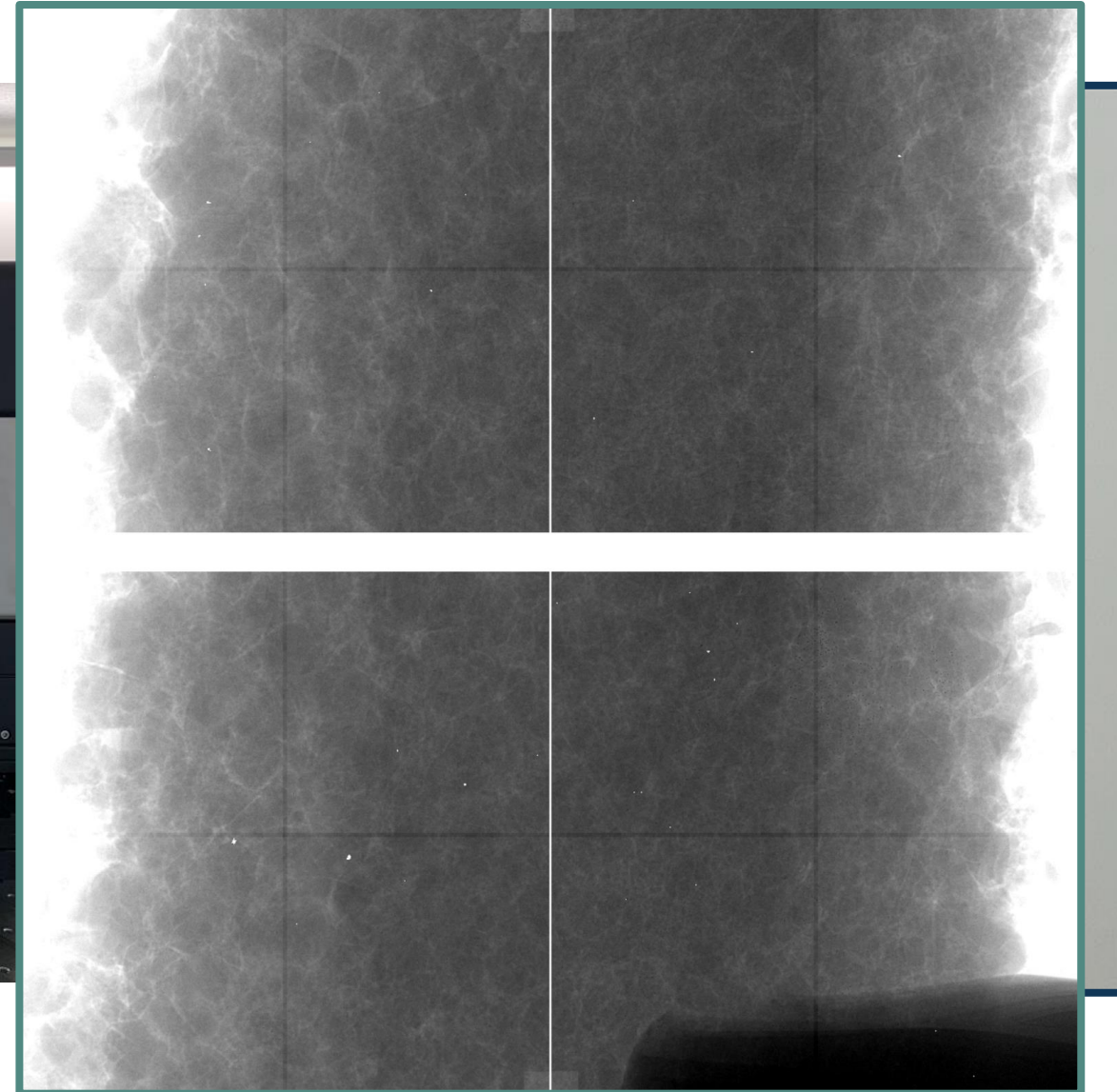
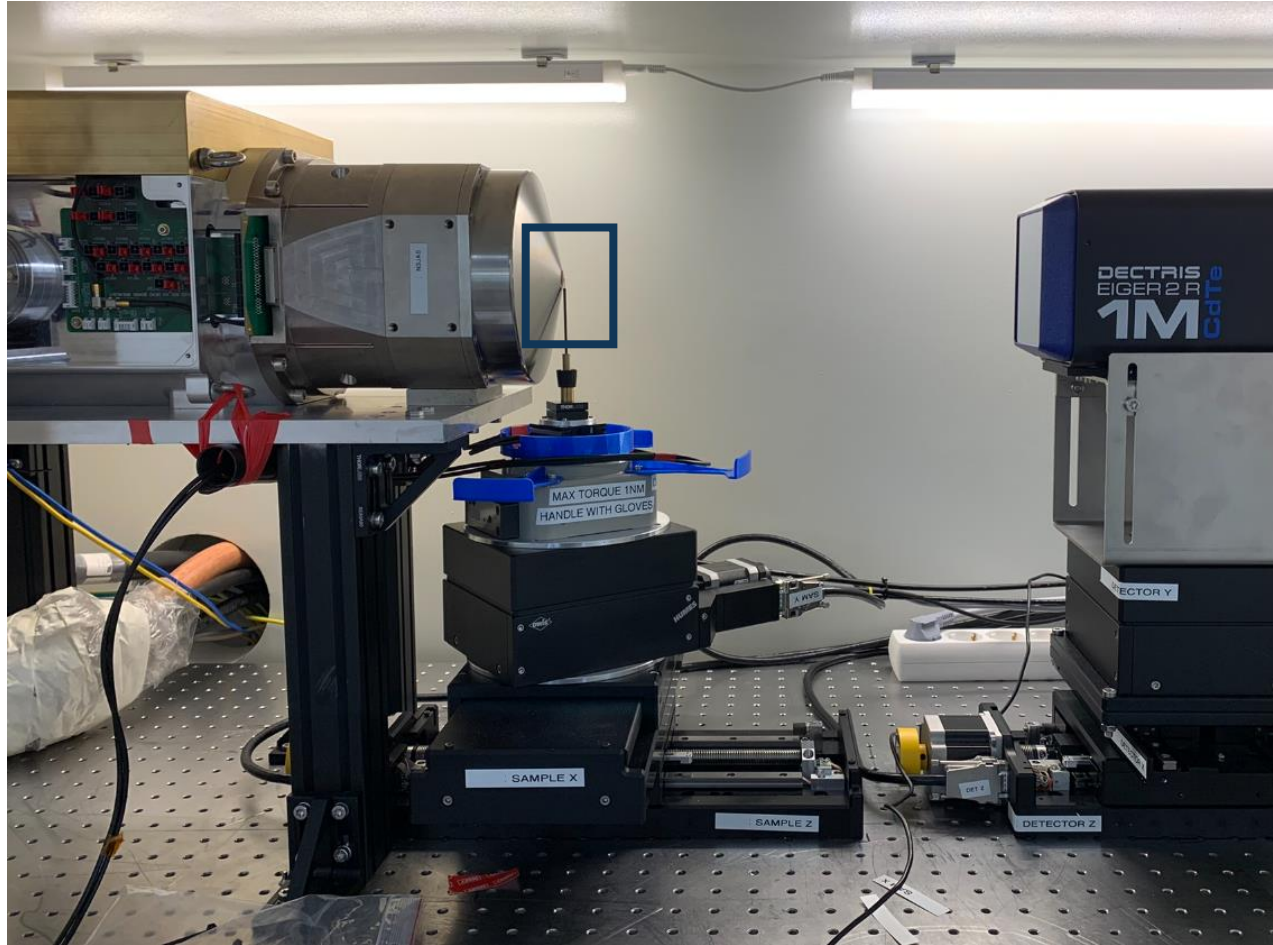


Dominik Müller et. al., *Crystals* **2021**, 11, 677



# バッテリーイメージング

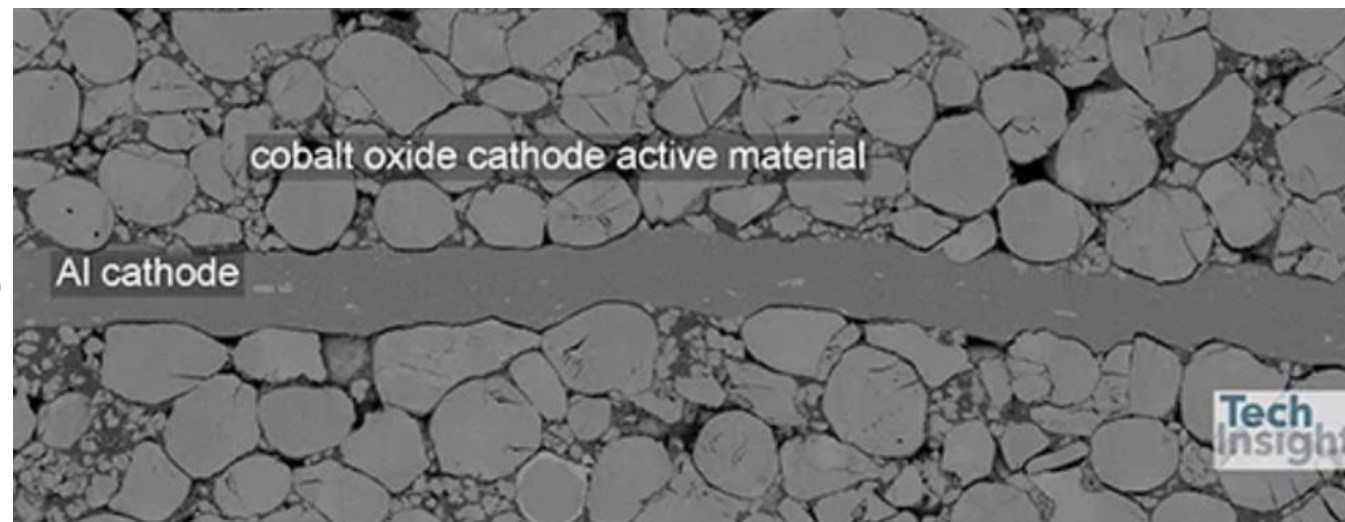
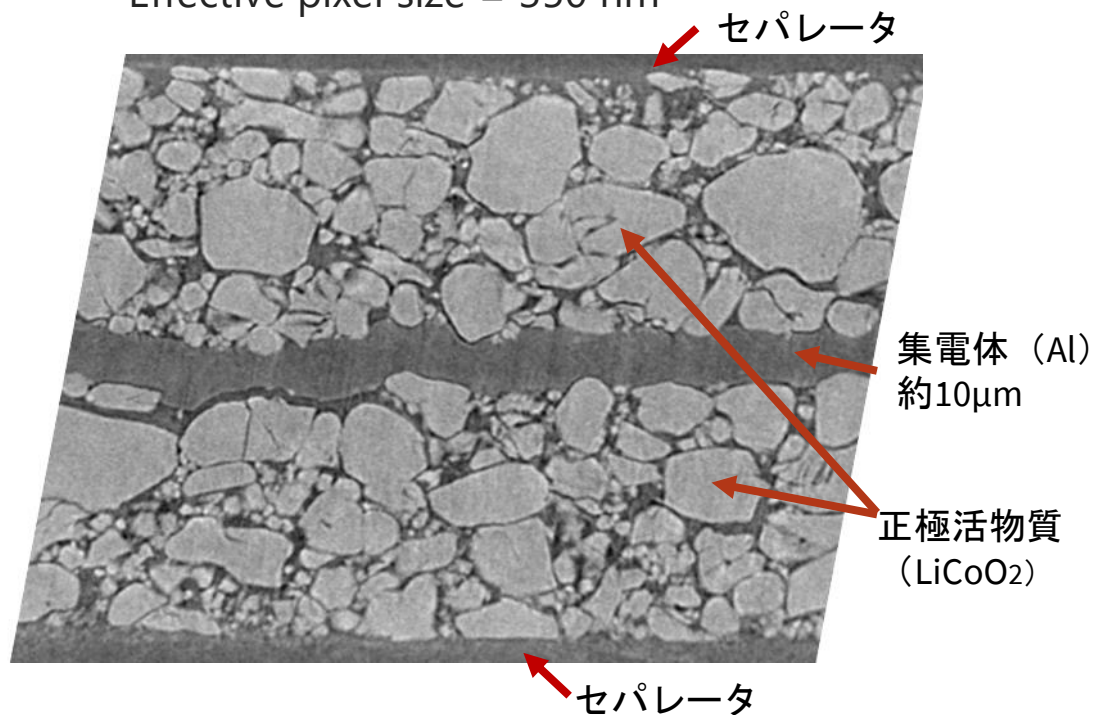
Battery Imaging



# バッテリーカソード（正極）の内部構造

## Battery cathode imaging

- 80 kV, スポットサイズ : 500 nm, 1.8 W
- スキャン時間 : 5 秒 x 6000 projections = 8.33 時間
- 線源-サンプル間距離 $\sim$  1.6 mm.
- 線源-検出器間距離 = 341 mm
- Magnification = 213
- Effective pixel size = 350 nm



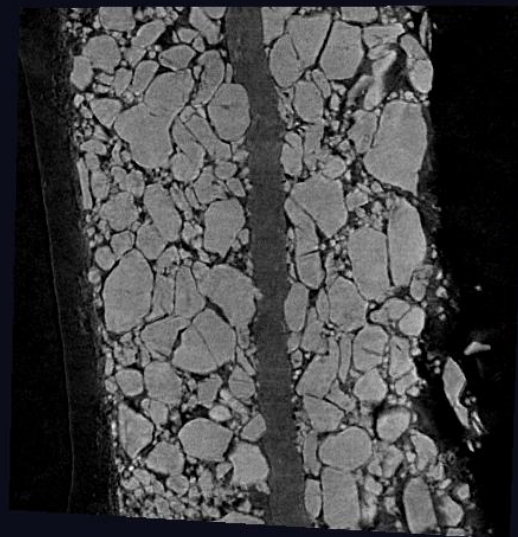
Excillum社内デモ機 #1による結果  
X線Nano-CTの画像再構成からの任意のスライス面

電子顕微鏡画像による結果

Image copyright – Tech Insights: <https://www.techinsights.com>

動画をご希望の場合はご連絡ください

excillum



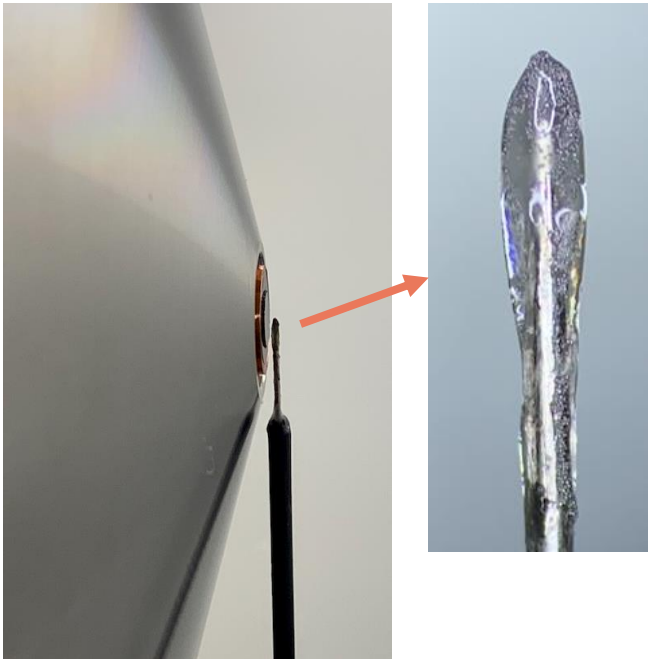


# アディティブマニュファクチャリング（付加製造）

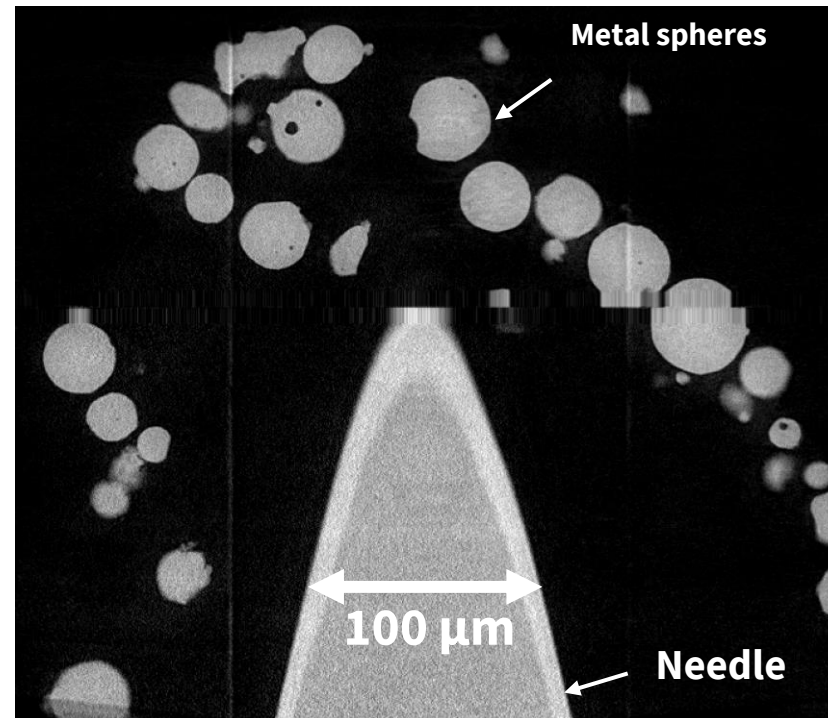
Additive manufacturing

- 針の先端に付着された付加製造により製造されたステンレス粉末
- Acquired at 80 kV with 1  $\mu\text{m}$  スポットサイズ
- スキャンタイム 17分
- ボクセルサイズ 600 nm

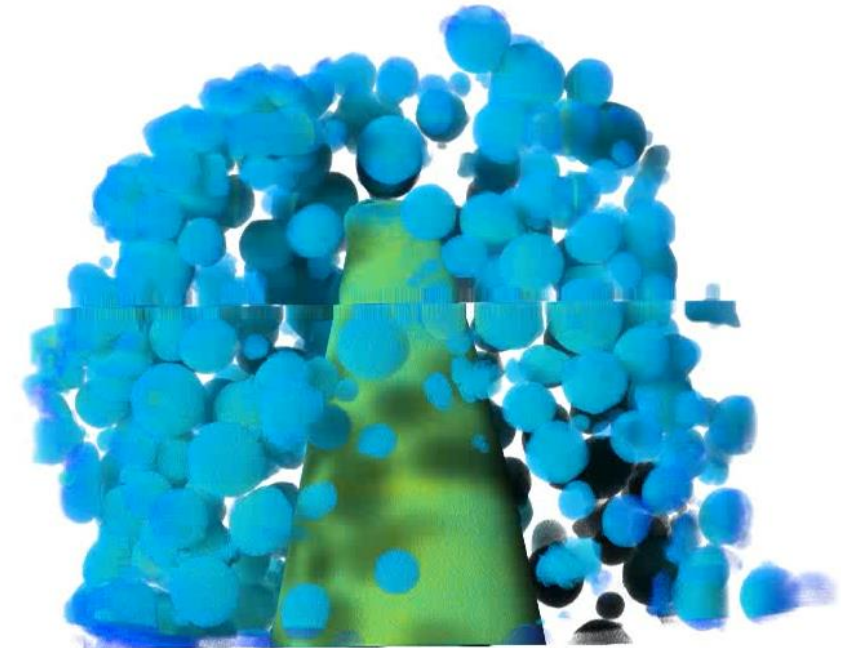
Sample in front of the source    Zoom on sample



Reconstructed orthogonal slice



3D render

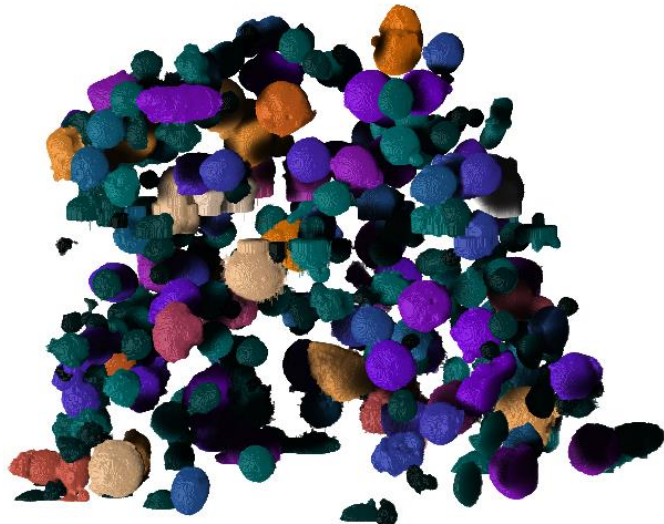




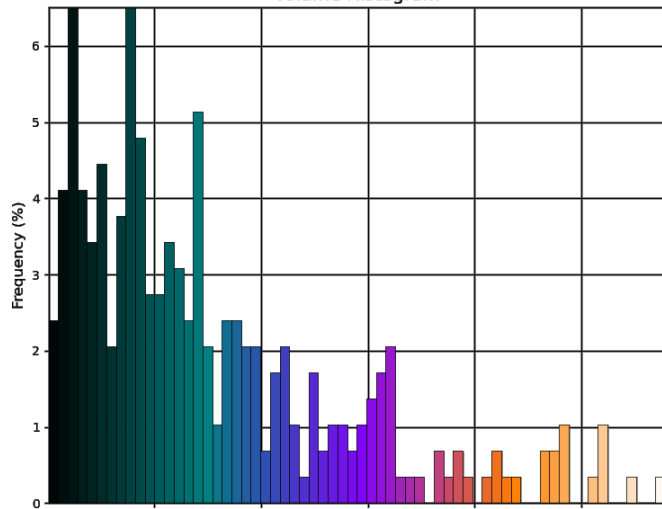
# アディティブマニュファクチャリング（付加製造）

Additive manufacturing

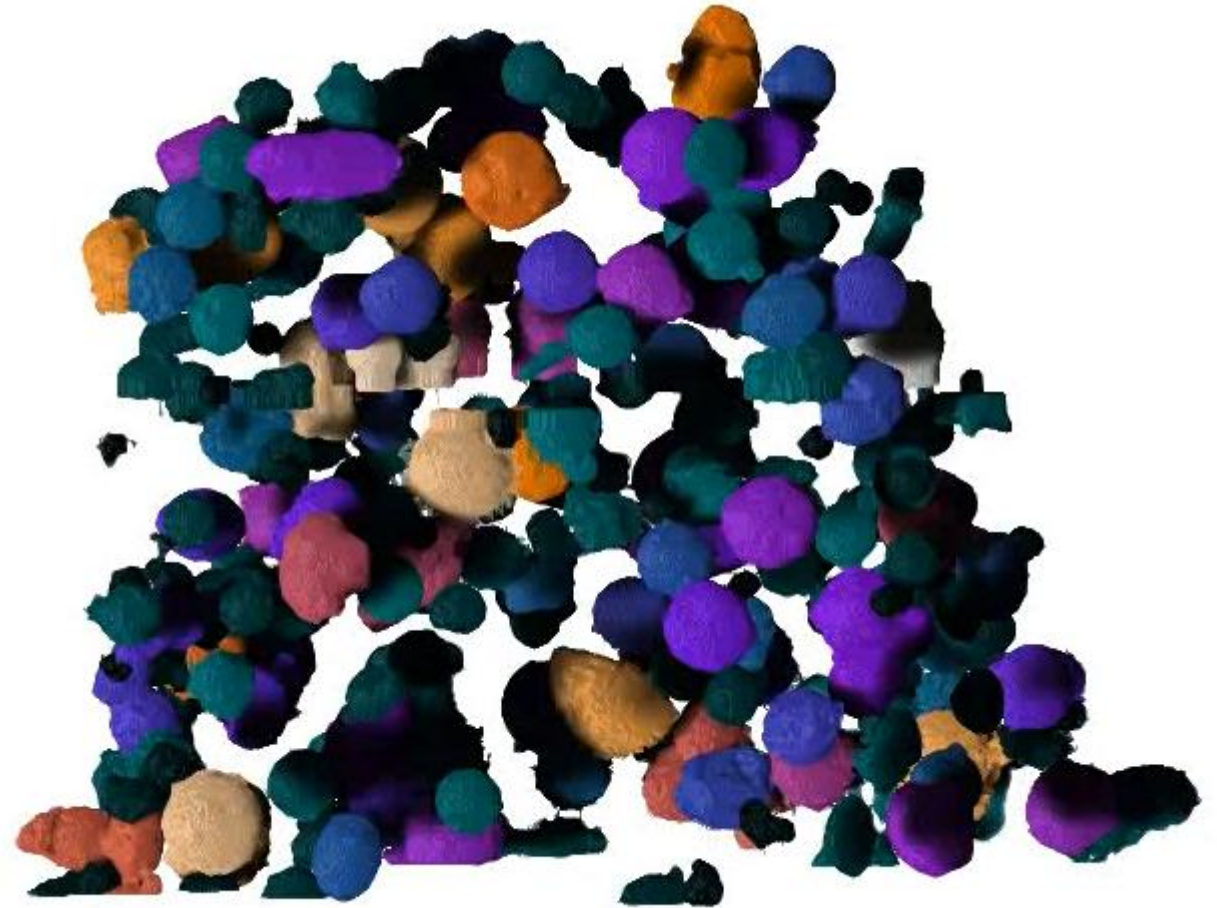
Metal grains  
colored by  
volume (blue  
to red)



Volume Histogram



Volume  
Histogram

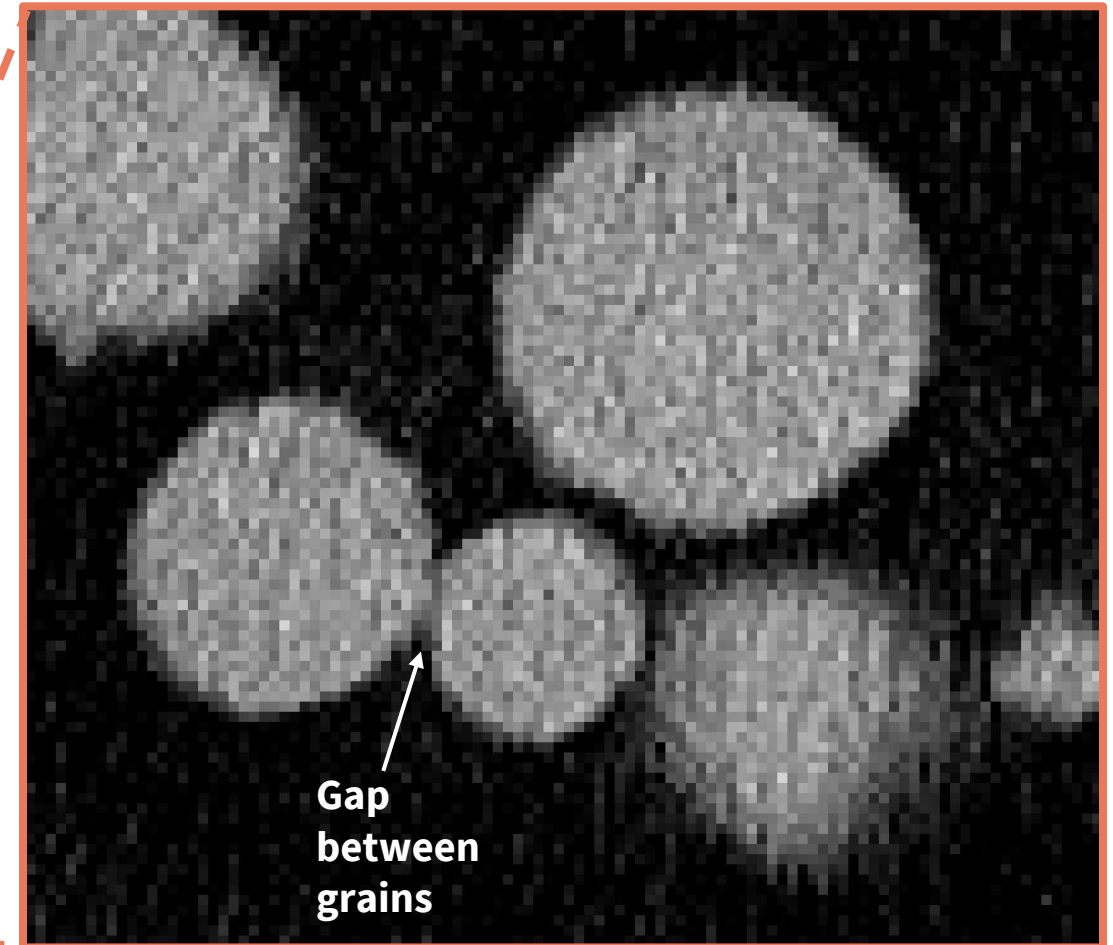
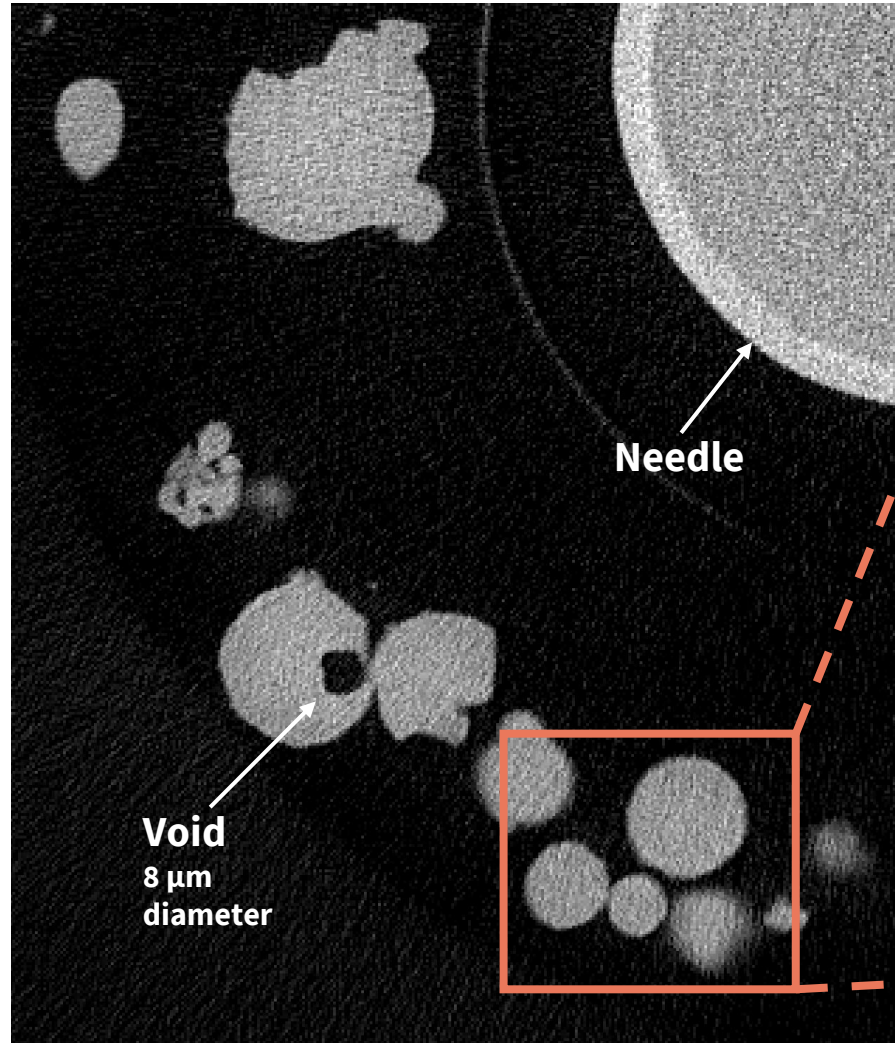


Data processed with ORS Dragonfly.

# アディティブマニュファクチャリング（付加製造）

Additive manufacturing

High resolution to separate the grains

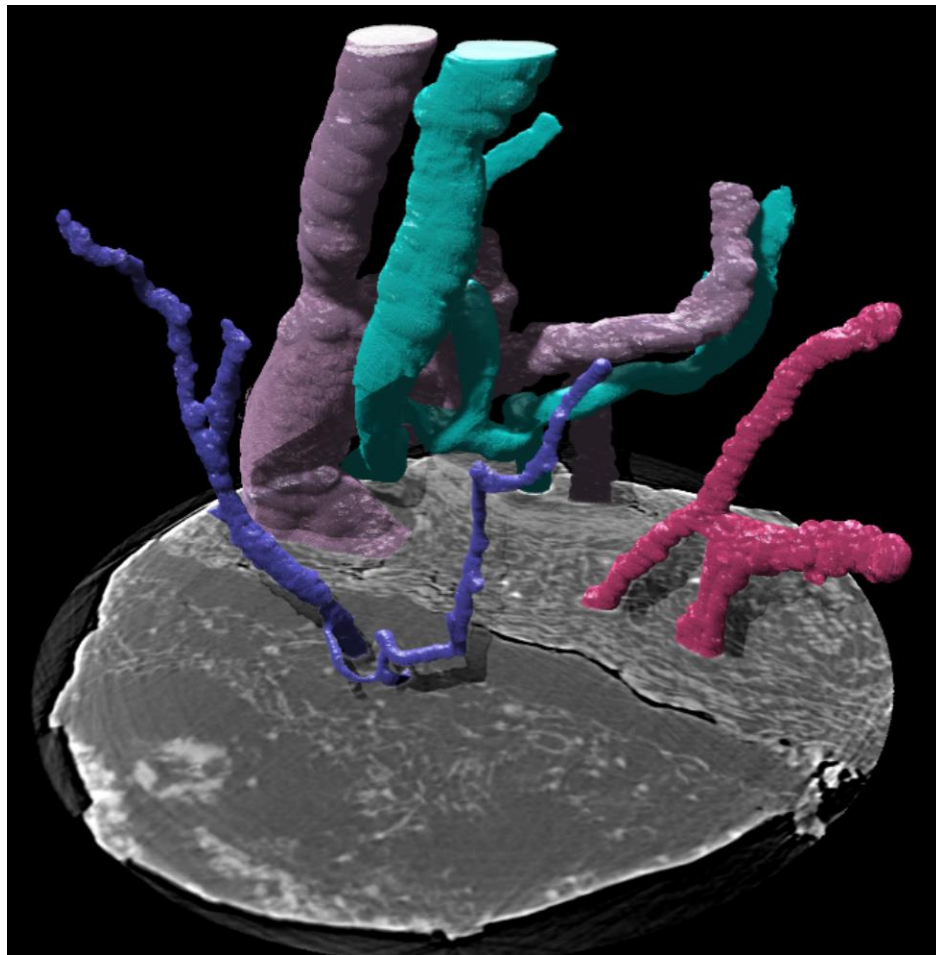
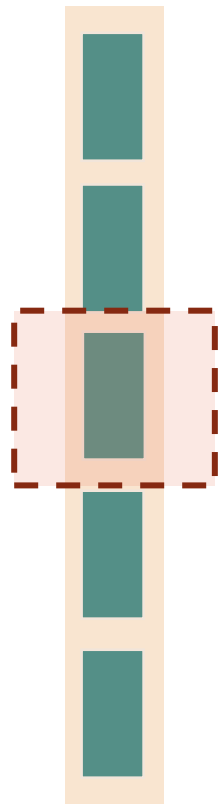




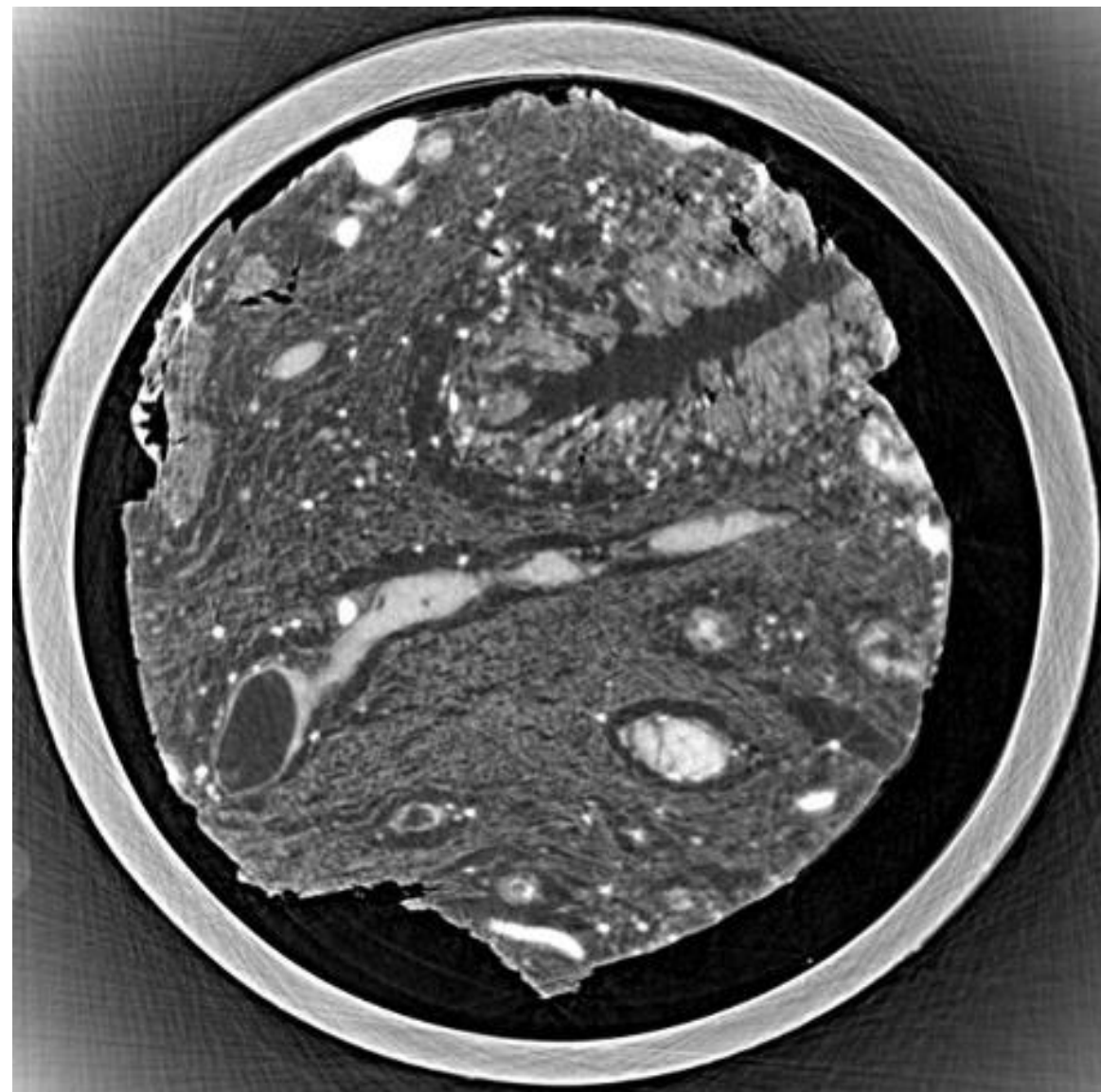
# バイオイメーjing

## Bio-Imaging

- 0.5 mm biopsy punch from a paraffin embedded cow lung
- 640 nm voxel size
- 18 h scan time
- Phase-contrast reconstruction



excillum



# Success is built on collaborative partnerships





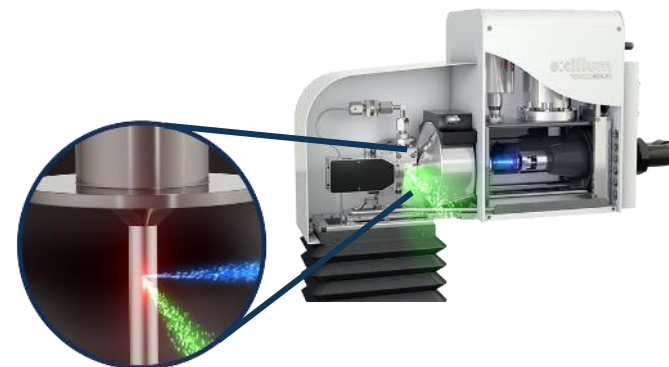
# Excillum のX線源 まとめ

## MetalJet メタルジェット

世界で最も明るいマイクロフォーカスX線源

応用例：

- 高速CT
- 様々なアナリティカルアプリケーション



## NanoTube ナノチューブ

世界最小のX線スポットのナノフォーカスX線源

応用例：

- 高解像度 (150nm) イメージング



# デモをご利用いただけます！

Contact us for a demo!

- (1) サンプルをお送りください。  
弊社で測定して結果をお送りいたします。
- (2) 弊社へお越しください。  
サンプルや普段お使いの検査機などをお持ちください。測定をお手伝いいたします。

お問い合わせはこちらへ  
[shiho.tanaka@excillum.com](mailto:shiho.tanaka@excillum.com)

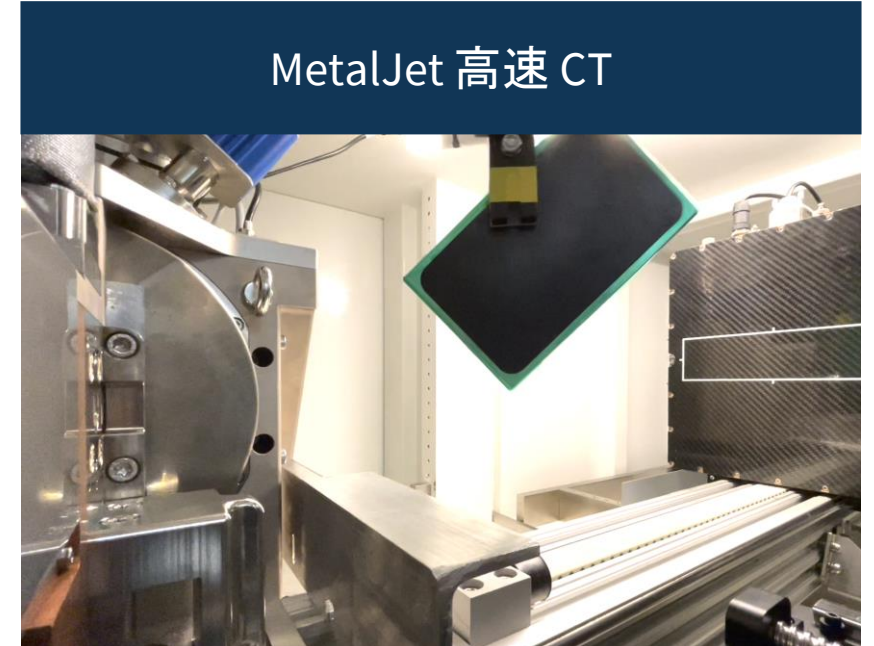
ナノ CT



2D ナノ測定



MetalJet 高速 CT



# WebExpo 2022

## 新技術説明会

The screenshot shows the JASIS WebExpo 2022 website interface for the "New Technology Presentation" (新技術説明会場). The header includes the JASIS WebExpo logo and navigation options for "Target Materials/Industrial Categories" (対象物質・産業カテゴリ), "Analysis/Technology Categories" (対分析・技術カテゴリ), and "Free Words" (フリーワード).

The main content area features a sidebar on the left with navigation links: "Live Broadcast Room" (ライブ配信会場), "Entrance" (エントランス), "JASIS Conference / Topic Seminar" (JASISコンファレンス / トピックスセミナー), "New Technology Presentation" (新技術説明会場), "Virtual Exhibition Room" (バーチャル展示会場), "Related Group Sessions" (関連団体セッション +), "International Contents" (INTERNATIONAL CONTENTS), "Attendee My Page" (来場者マイページ), and "Venue Map" (会場マップ).

The main content area is divided into three columns representing different material categories: "Iron and Non-ferrous Metals" (鉄鋼・非鉄金属), "Electronic Materials and Semiconductors" (電子材料・半導体), and "Ceramics, Superconductors, and Liquid Crystals" (セラミックス・誘導体・液晶). Below these are two featured presentations:

- Excillum MetalJet:** World's brightest microfocus X-ray source [810]. The image shows a man speaking at a podium.
- Excillum NanoTube:** World's smallest X-ray spot nano-focus X-ray source [809]. The image shows two men in a laboratory setting.

Each featured presentation includes a "View" (視聴) button.

excillum





Excillum AB

J-62  
エキシラム

世界で最も明るい  
マイクロフォーカスX線源  
**MetalJet**  
メタルジェット

世界最小のX線スポットの  
ナノフォーカスX線源  
**NanoTube**

The source  
for X-ray  
innovation

ご清聴ありがとうございました。

Thank you for your attention

Excillumブース: J-62

excillum



As pioneers of the world's brightest microfocus X-ray sources, Excillum is relentlessly pushing the limits of X-ray source technologies to enable new breakthroughs in manufacturing, science and medicine.



**excillum**