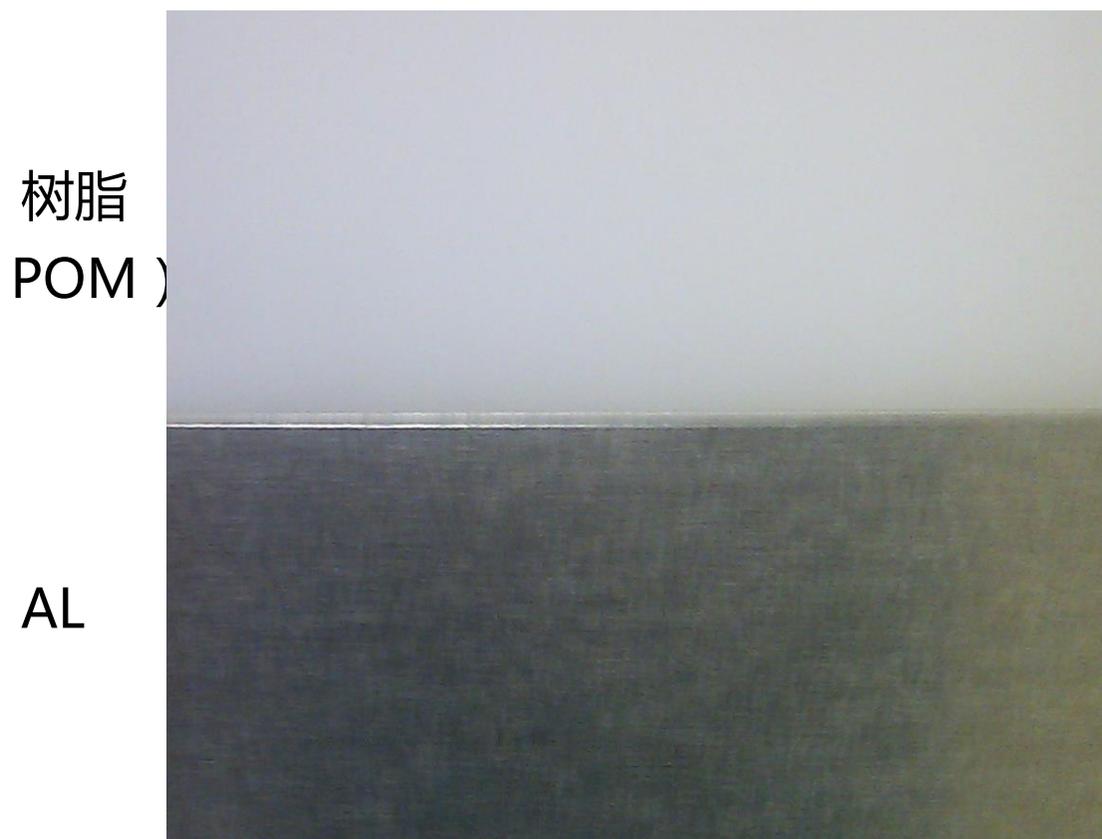


工业用X射线断层扫描技术在 塑料注塑成型中的应用

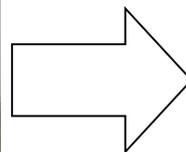
岛津企业管理（中国）有限公司
分析计测市场部
NDI产品负责

北京 李惠
bslh@shimadzu.com.cn

X射线透视图介绍（利用射线的穿透性质）

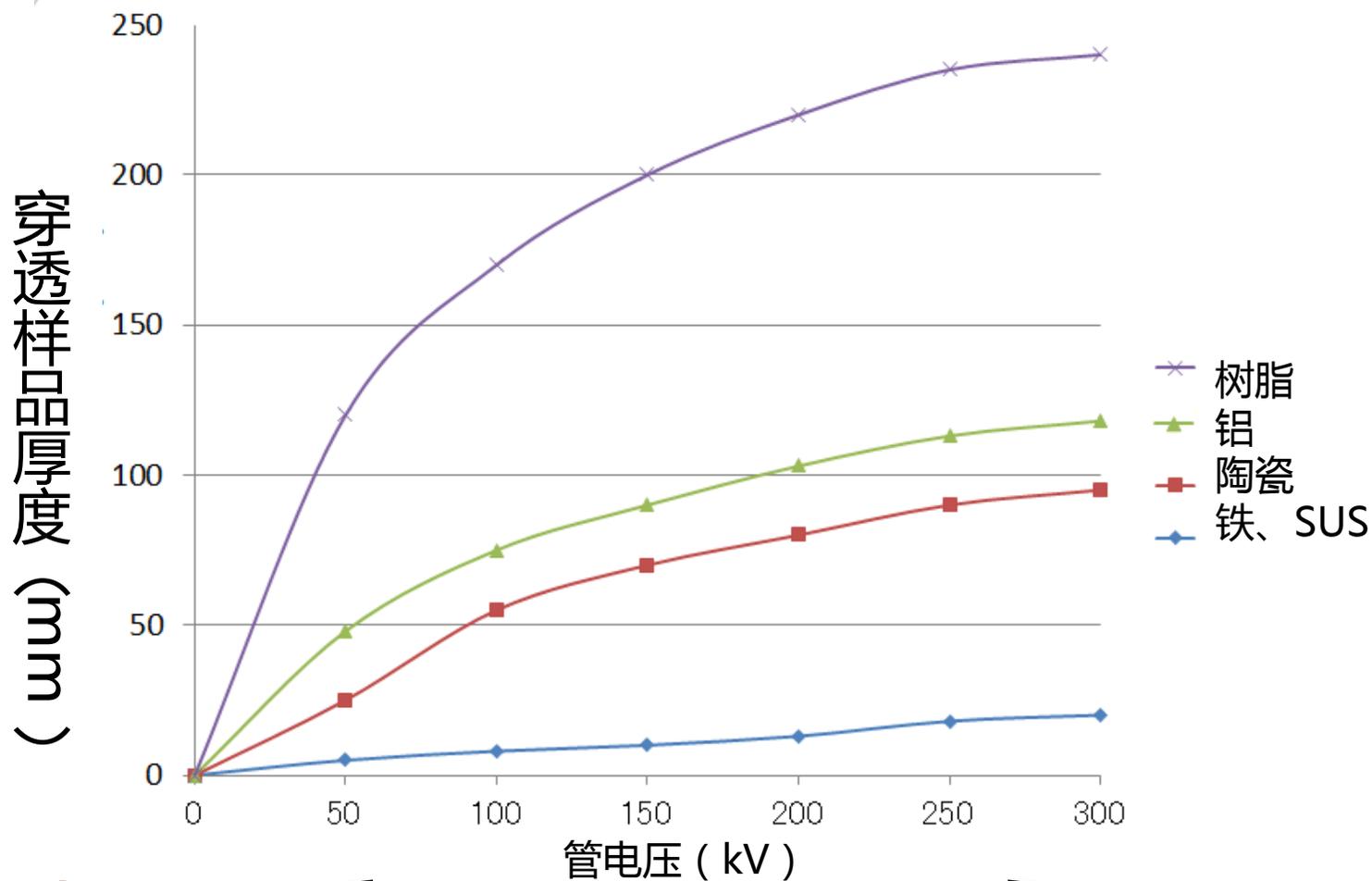


POM + AL



X射线透视图

X射线的性质（穿透能力）



长

短

波长

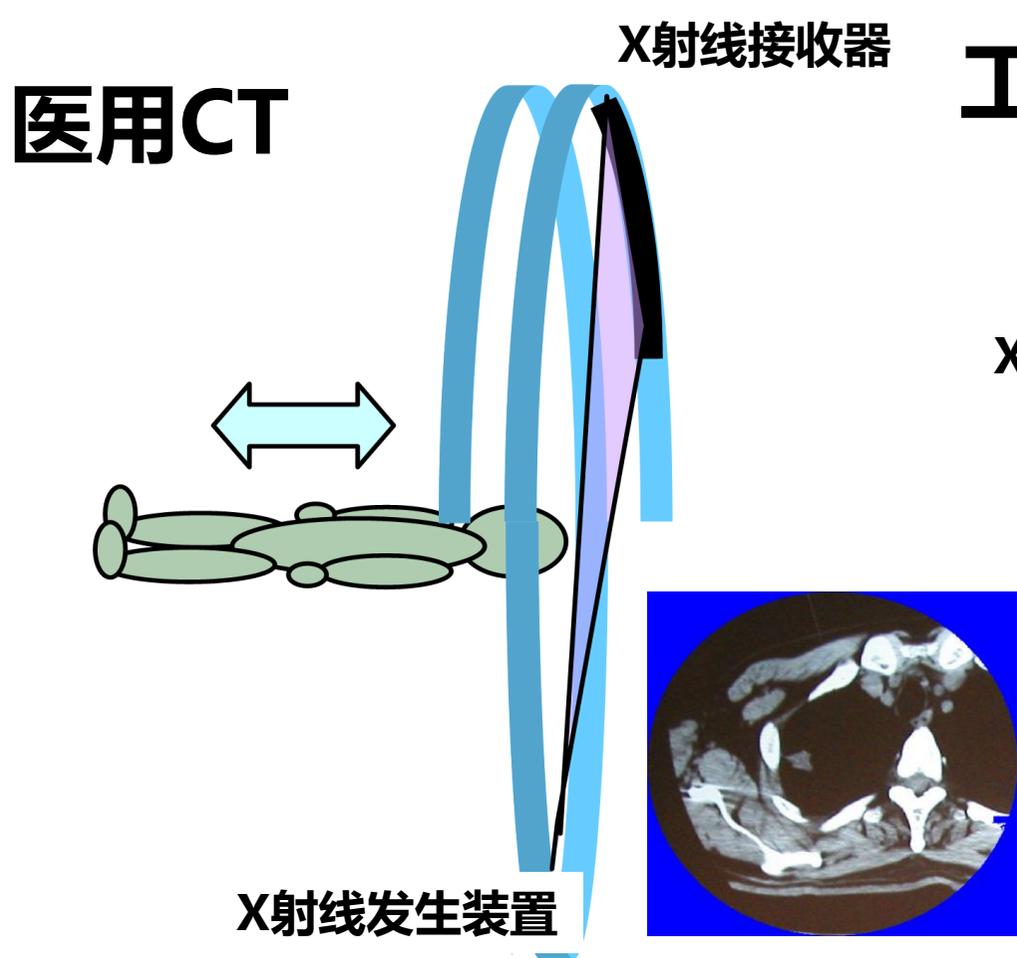
弱

强

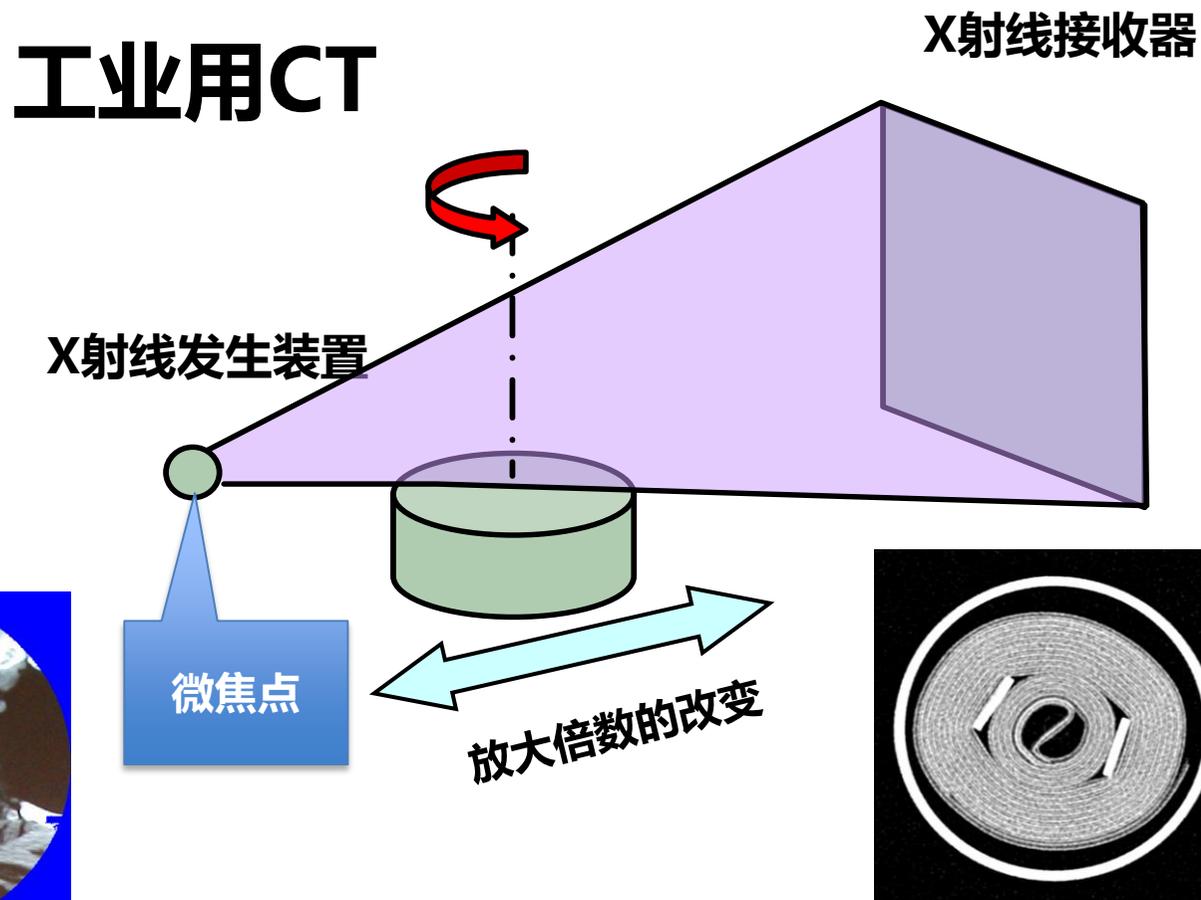
穿透能力

选择射线源，需要根据样品的材质和厚度，选择最适合的射线强度和输出电压。

工业用CT和医用CT的区别



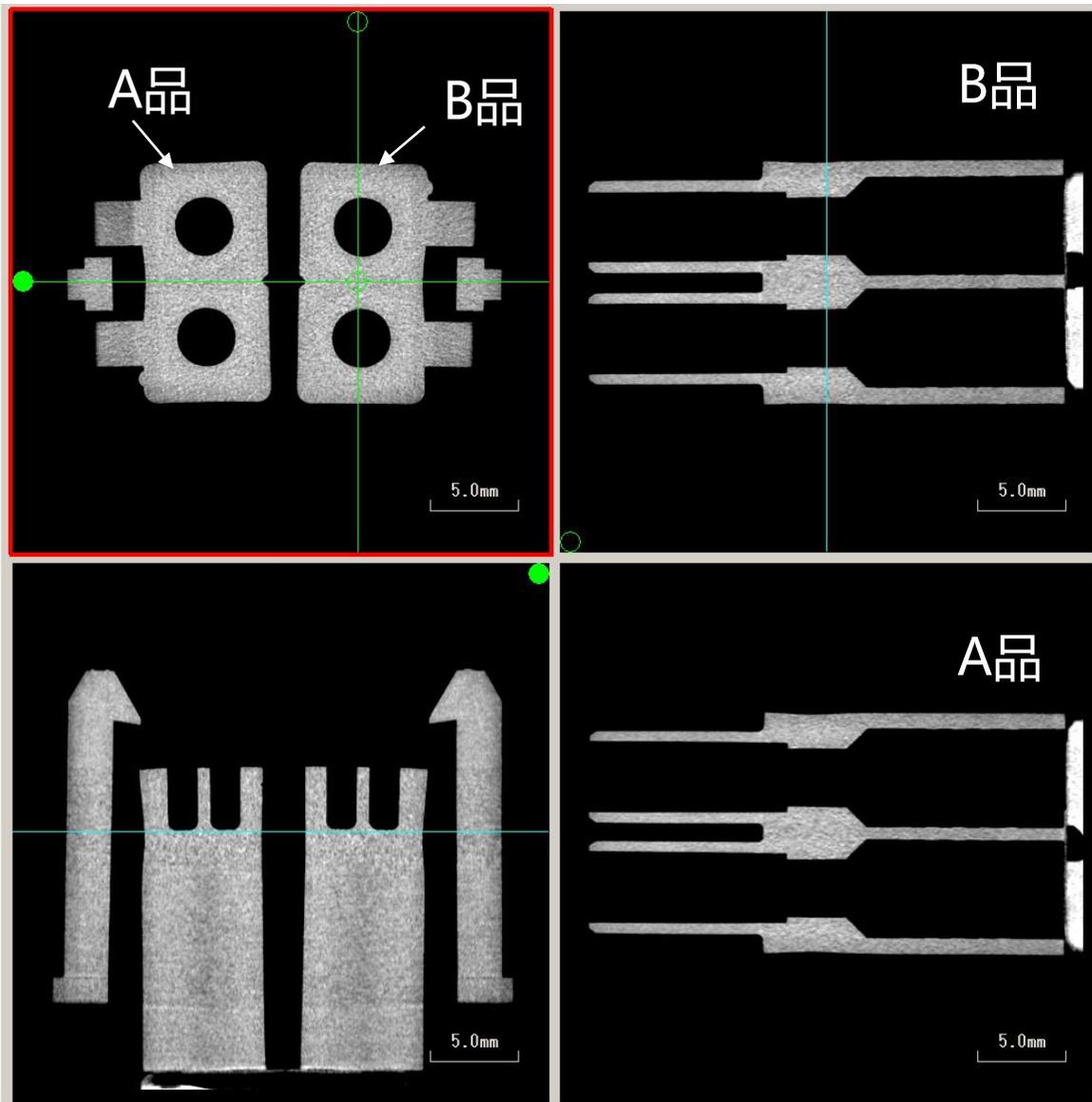
- X射线发生装置和接收器围绕患者旋转



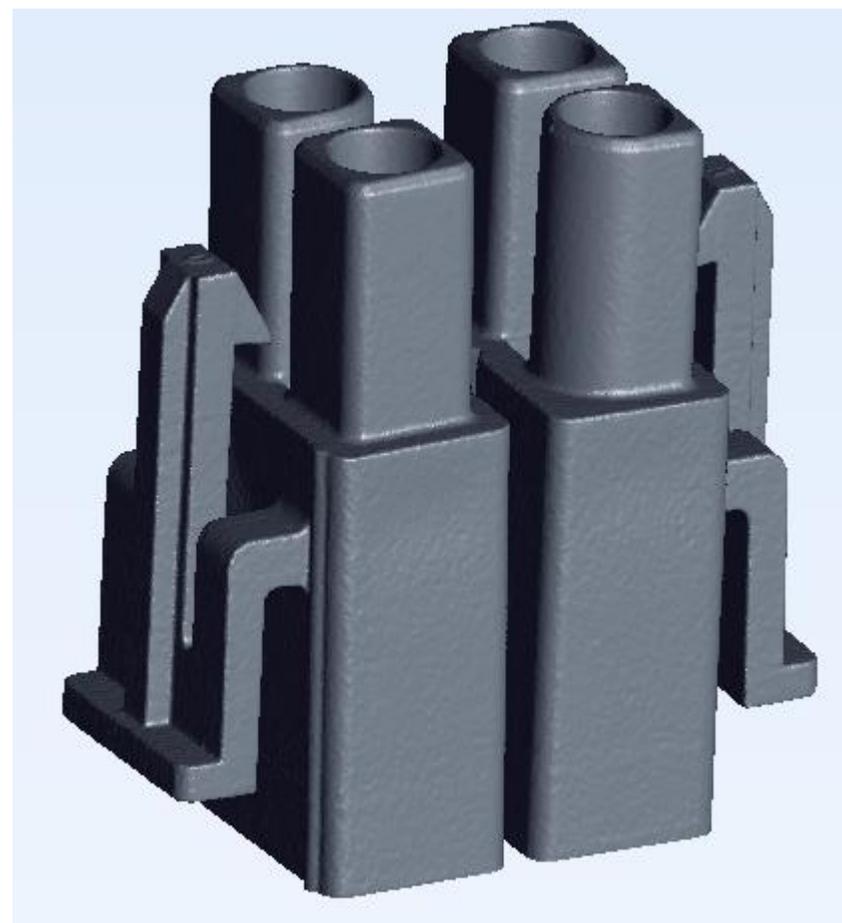
- 样品固定于源和接收器之间，作360度旋转。每经过一个角度采集一幅透视图像，然后用所有采集的图像重建出3维CT图像。
- X射线焦点很小（ $\varphi 4\text{mm} \sim$ ）
- 通过移动载物台可任意调节放大倍数。

树脂接插件CT图像举例

MPR



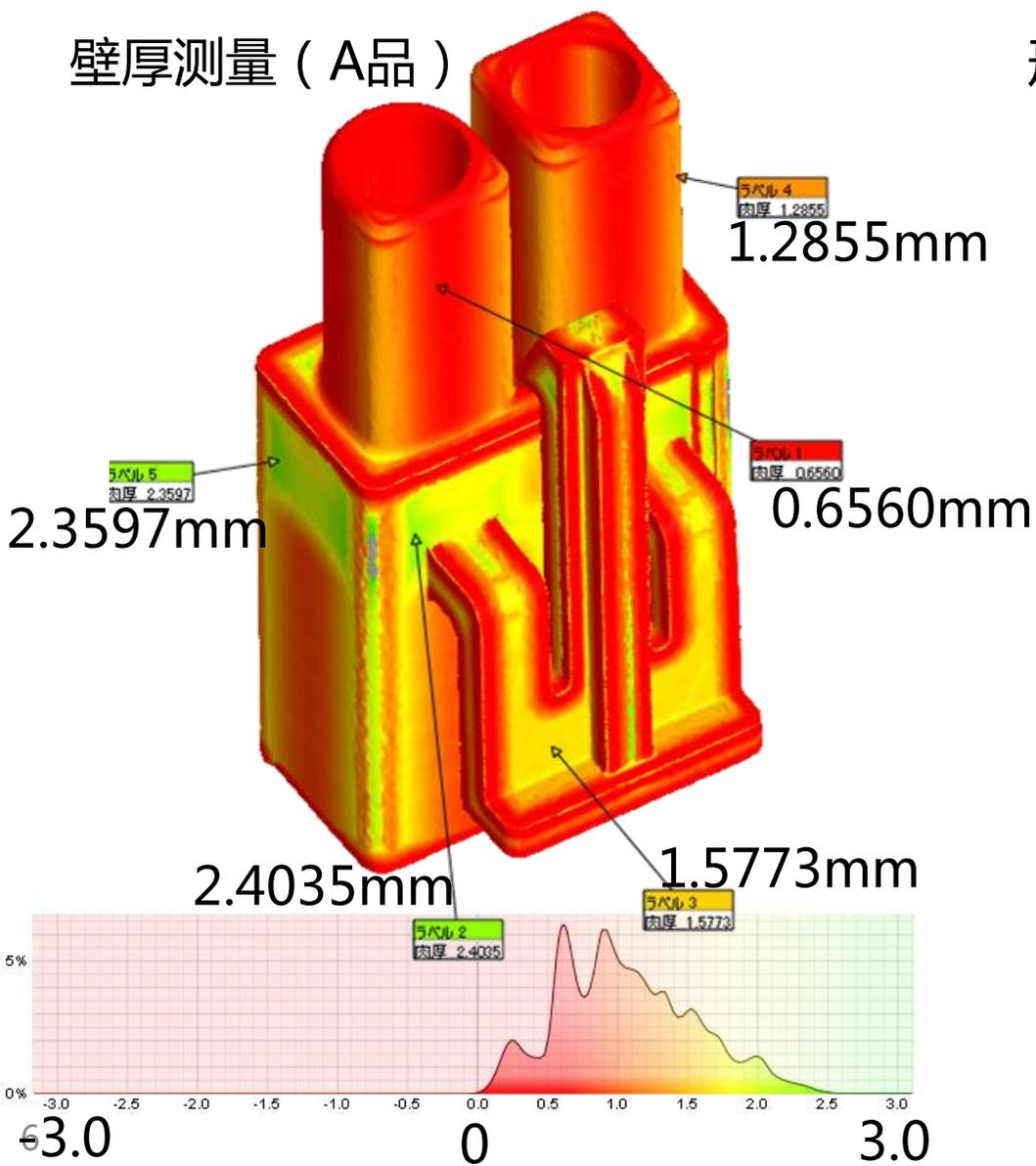
VR



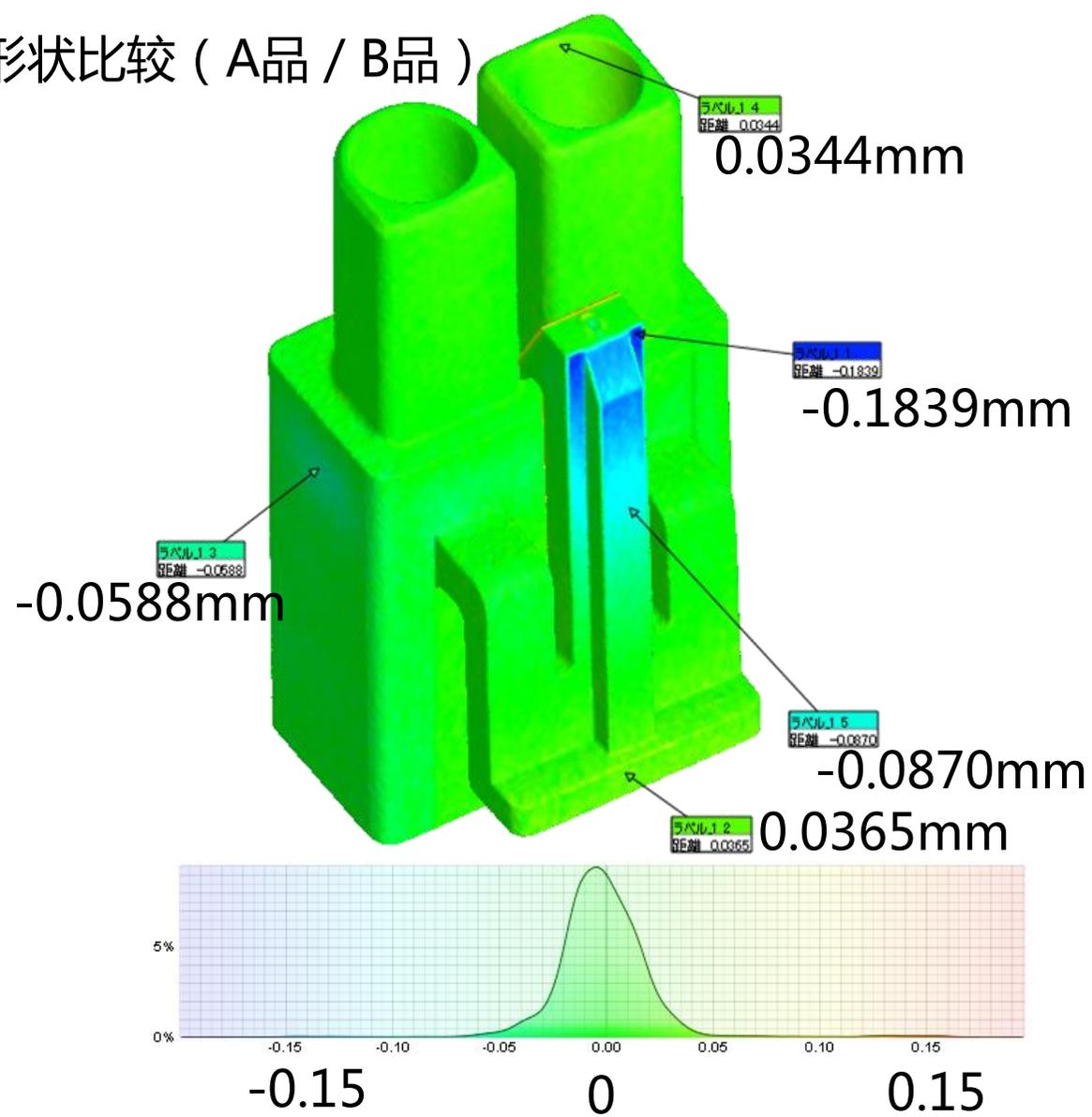
树脂接插件分析举例

使用逆向工程软件Point Master对接插件的CT数据进行分析

壁厚测量 (A品)



形状比较 (A品 / B品)



某用户树脂件的比较案例（样品外观）

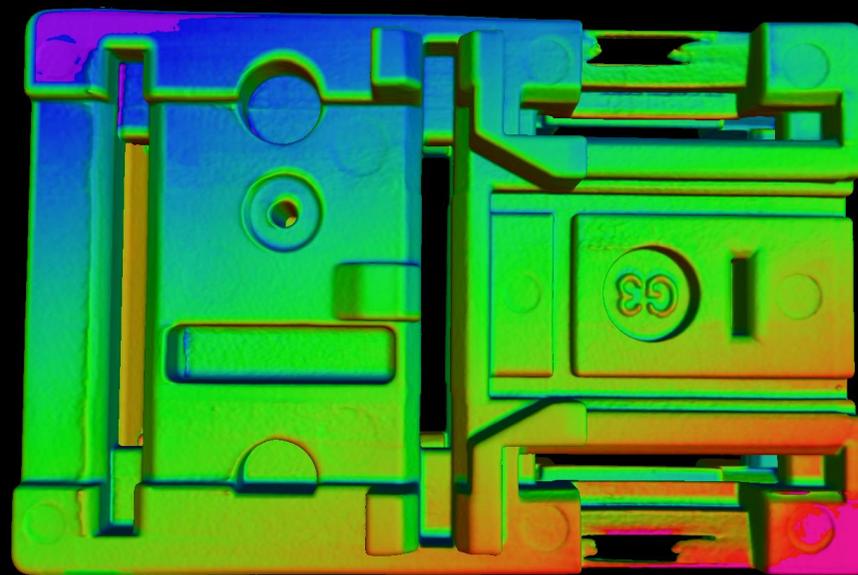
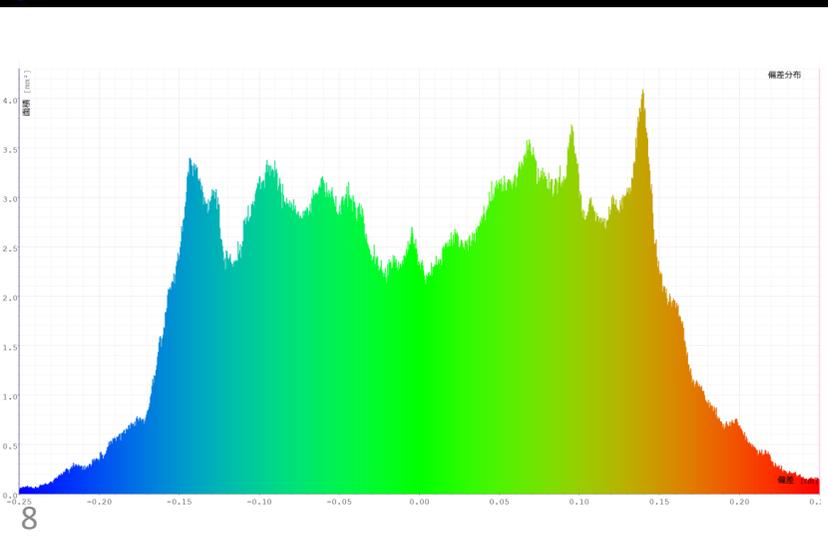
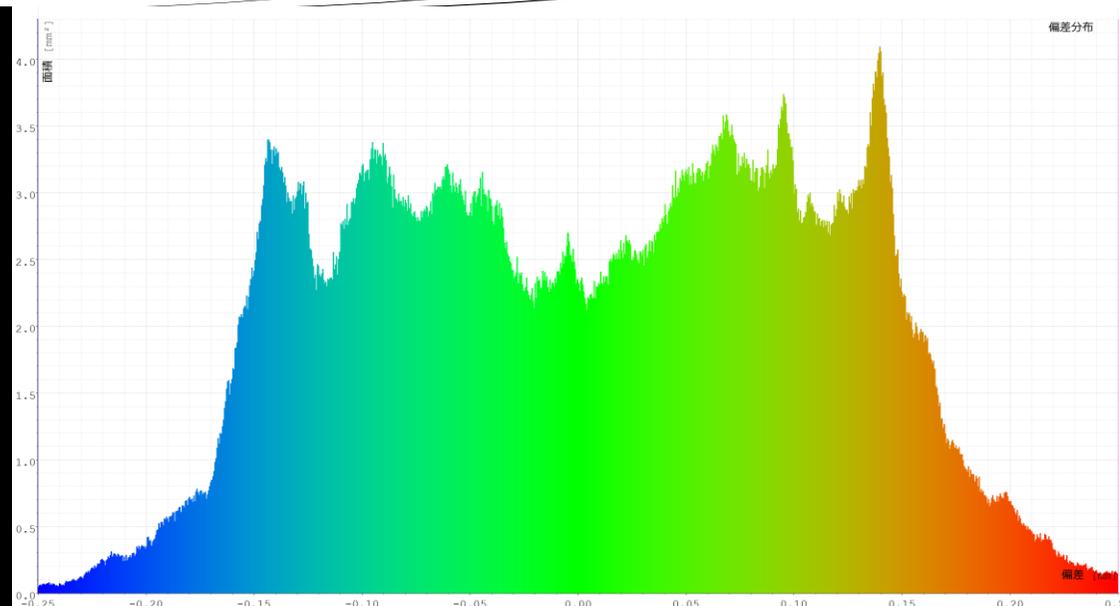
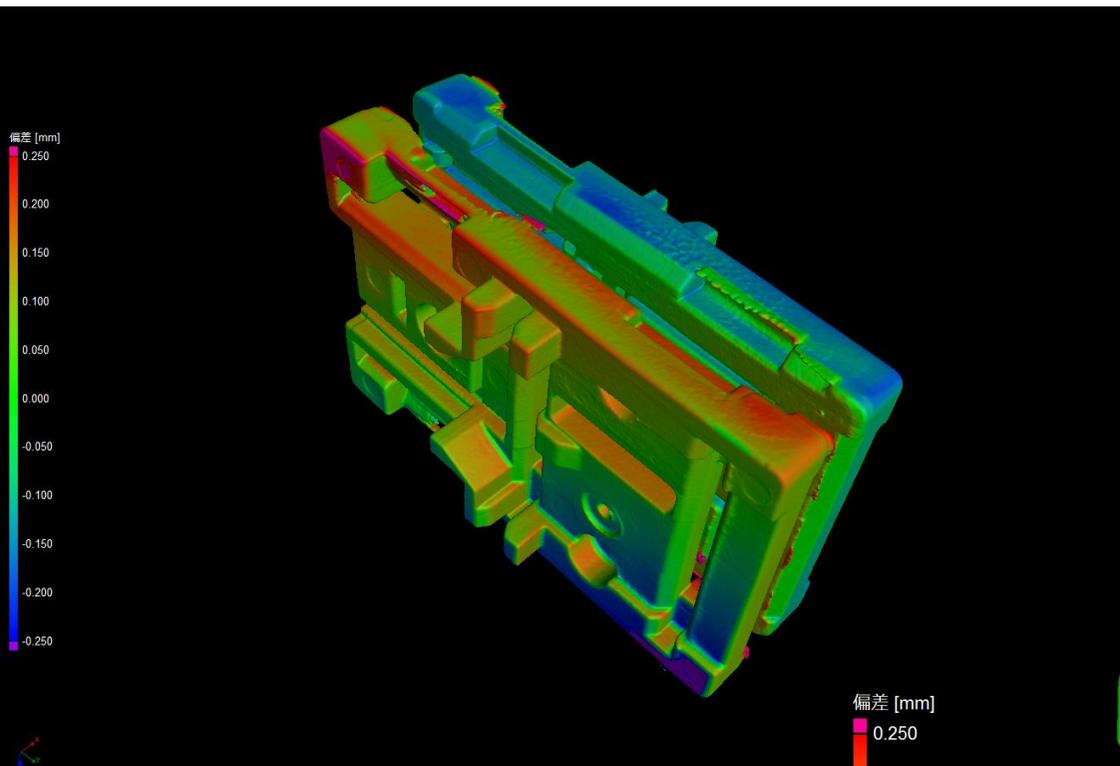


样品正面



两个样品对称固定

某用户树脂件的比较案例（将每组部件的数据进行比较）



使用工业CT对树脂成品进行计测分析举例

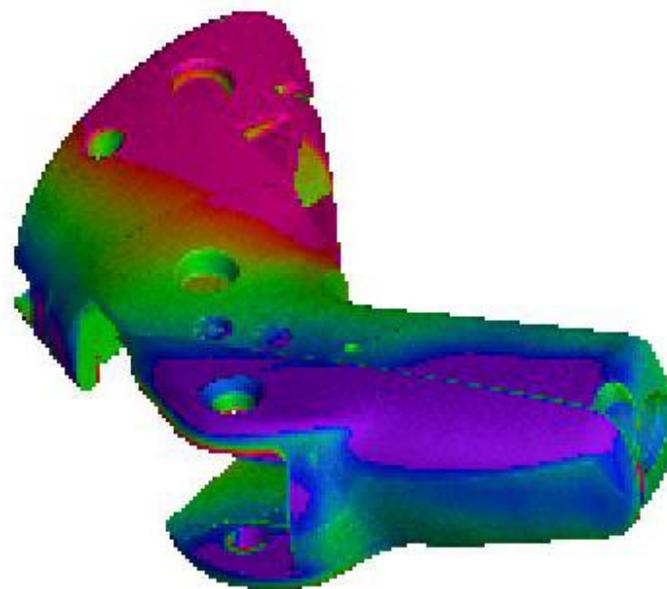
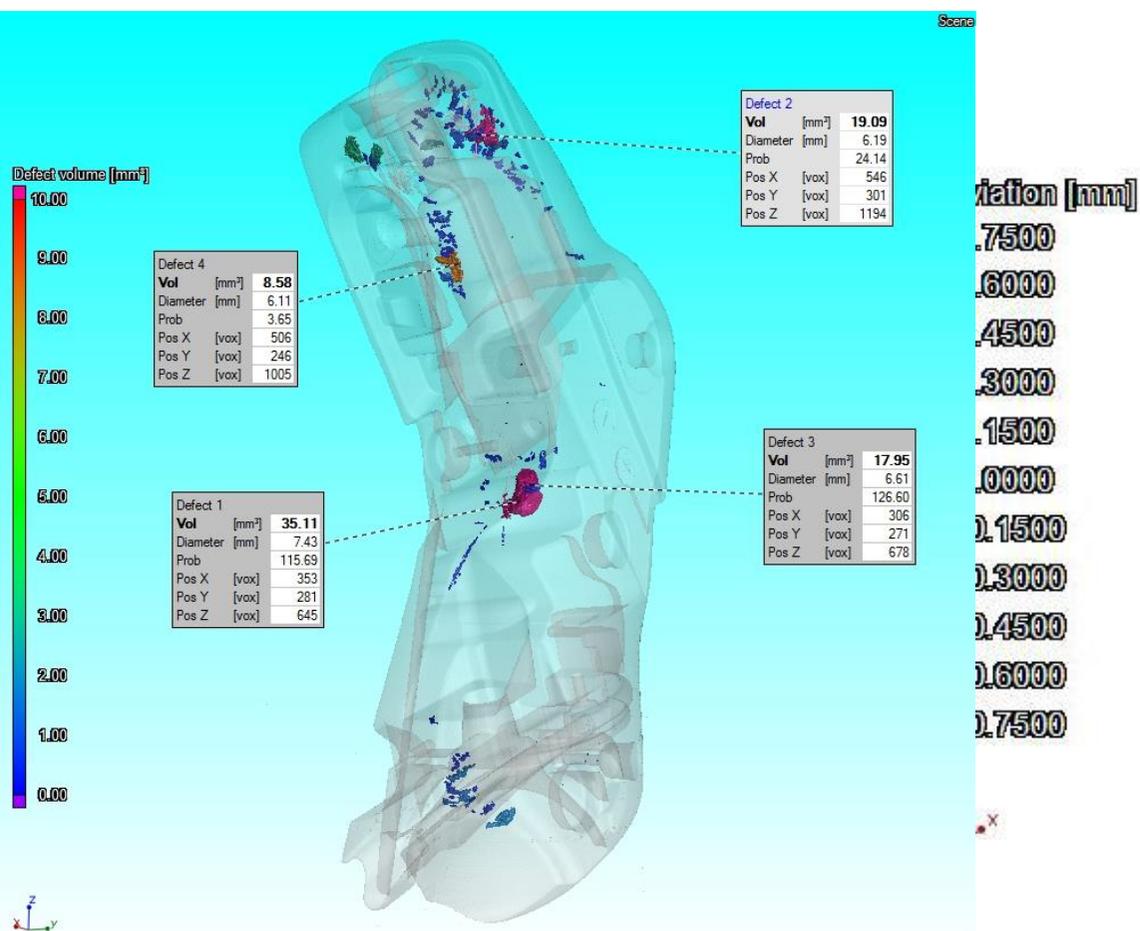


自行车上使用的碳纤维树脂件



CT的VR图像

使用工业CT对树脂成品进行计测分析举例

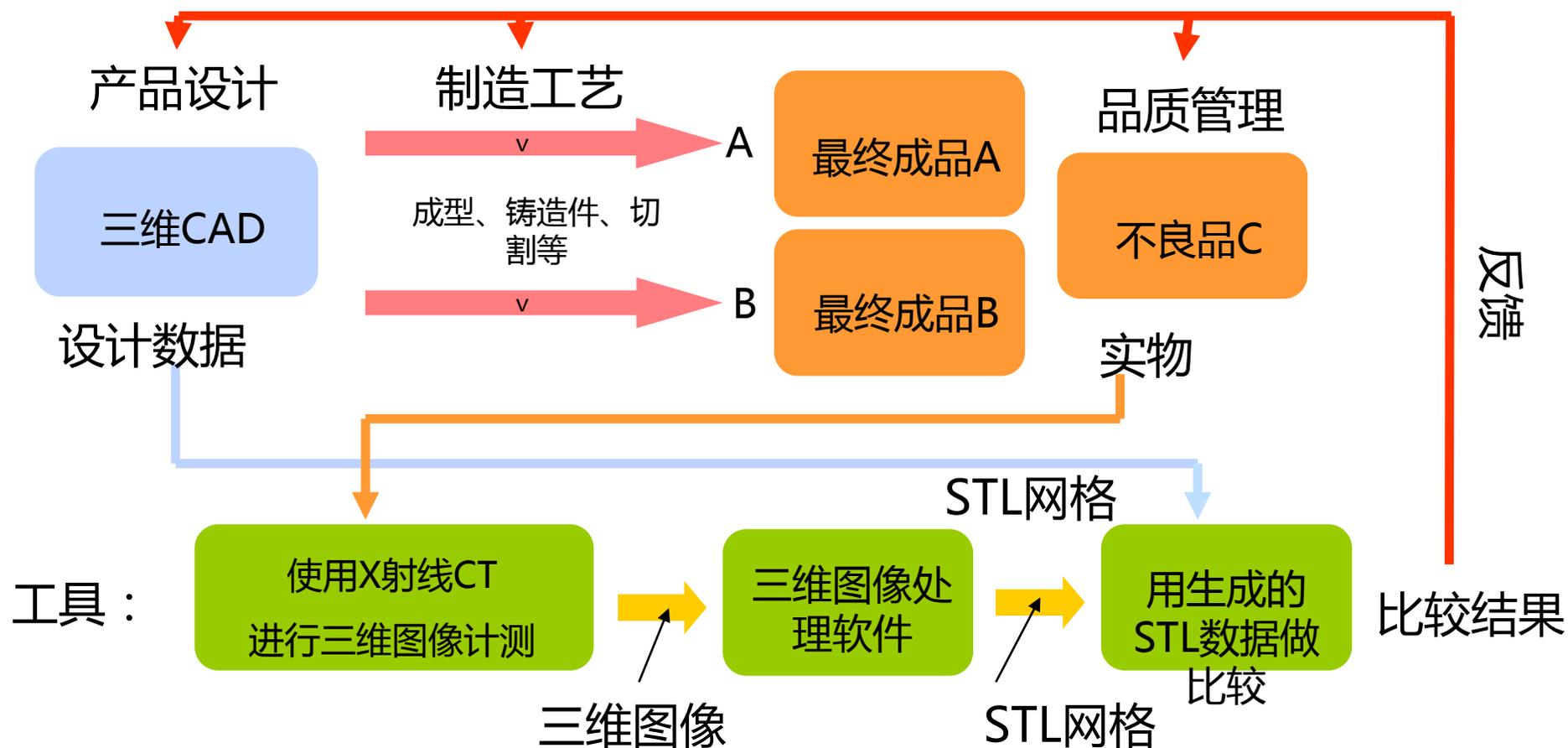


用VG软件对树脂件进行缺陷分析

对树脂件成品进行CAD设计比较

产品检验工艺中X射线CT的应用

工业CT在产品检验中最大特点是能够方便快捷地一次性获得被测样品（试样）由表及里所有三维数据进行分析。利用这个特性，目前已开始尝试在设计制造工艺中对实物样品进行X射线三维测量并反馈到设计改进中。

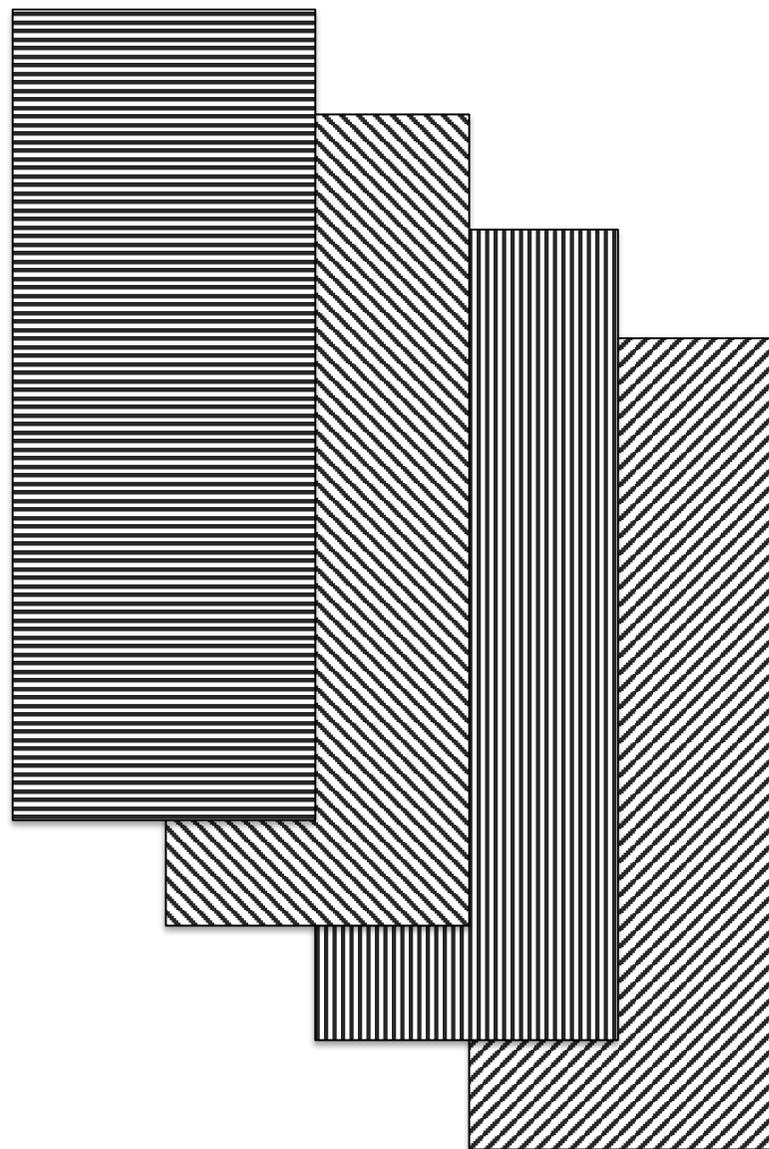


对新型碳纤维强化树脂材料分析 的试验介绍

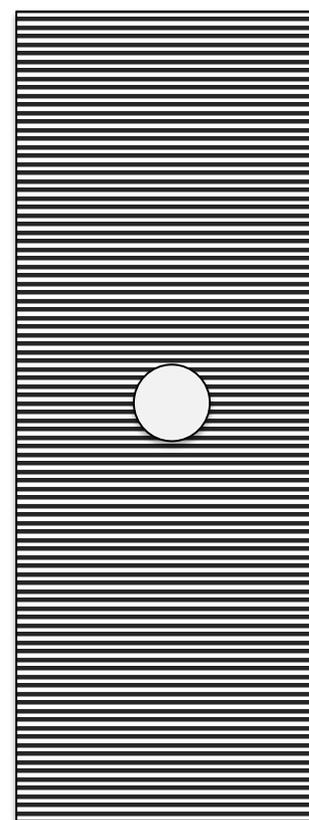
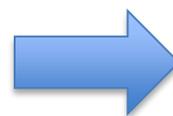
CFRP(拉伸试验后的样品)



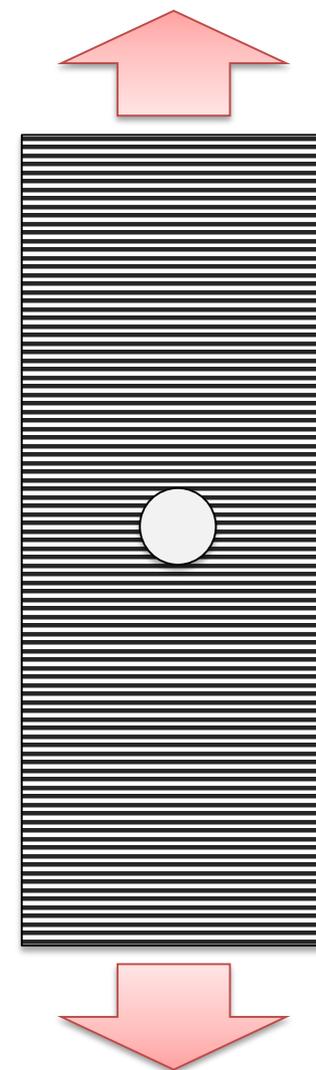
在CFRP多层板的中间打孔



0°纤维配向、45°纤维配向、90°纤维配向、-45°纤维配向...以这种形式压成多层板

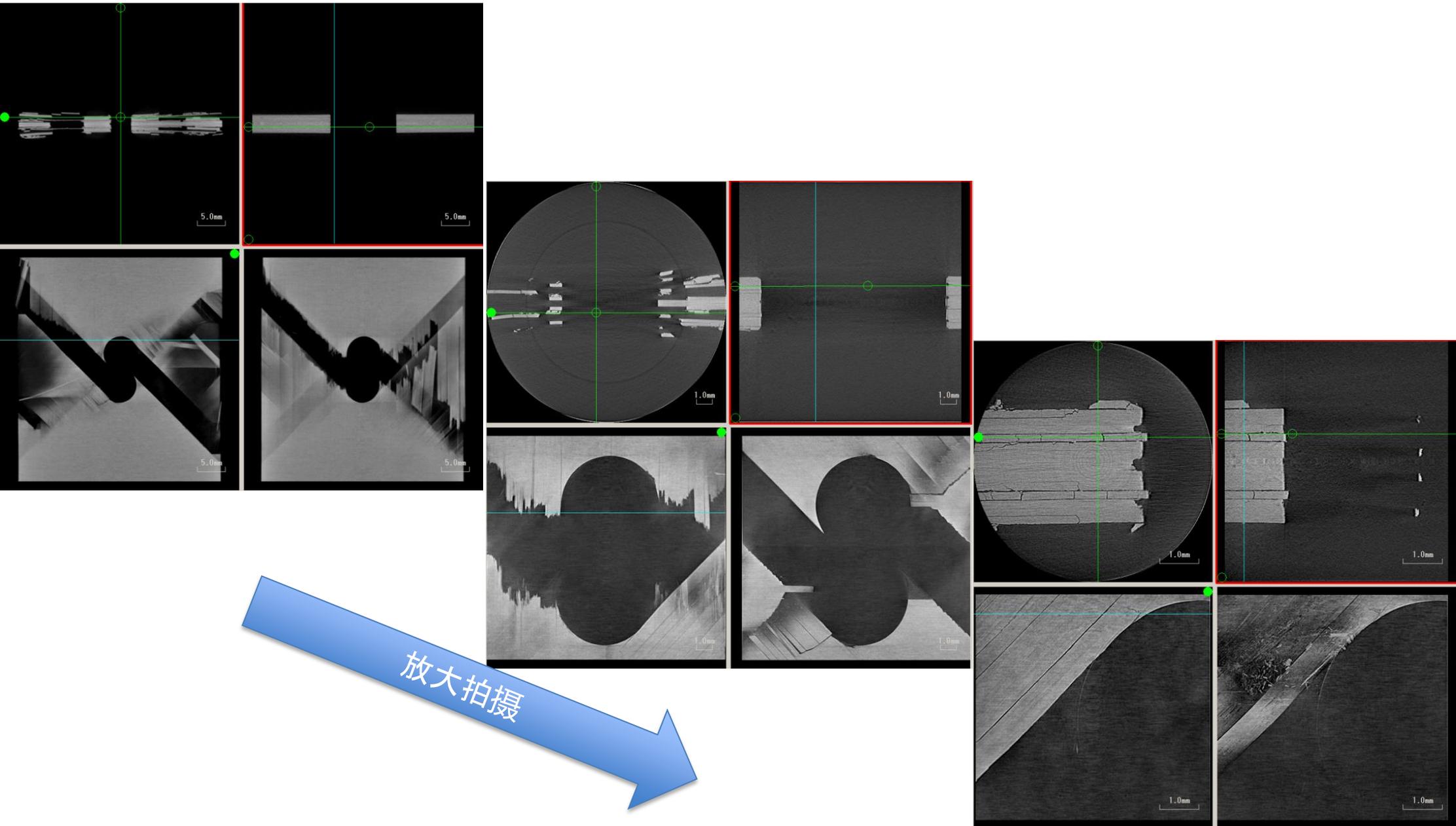


在中央打孔



试验样品

CFRP(拉伸试验后的样品)

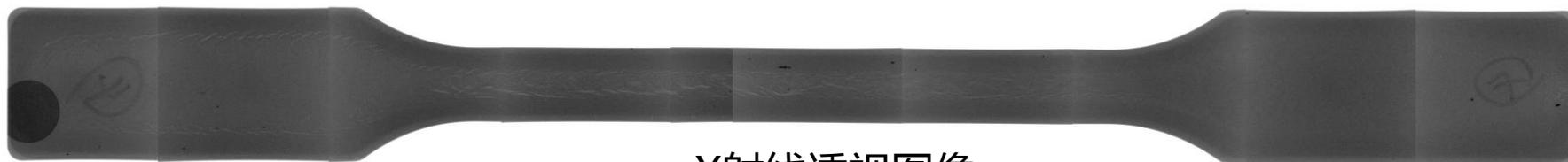


放大拍摄

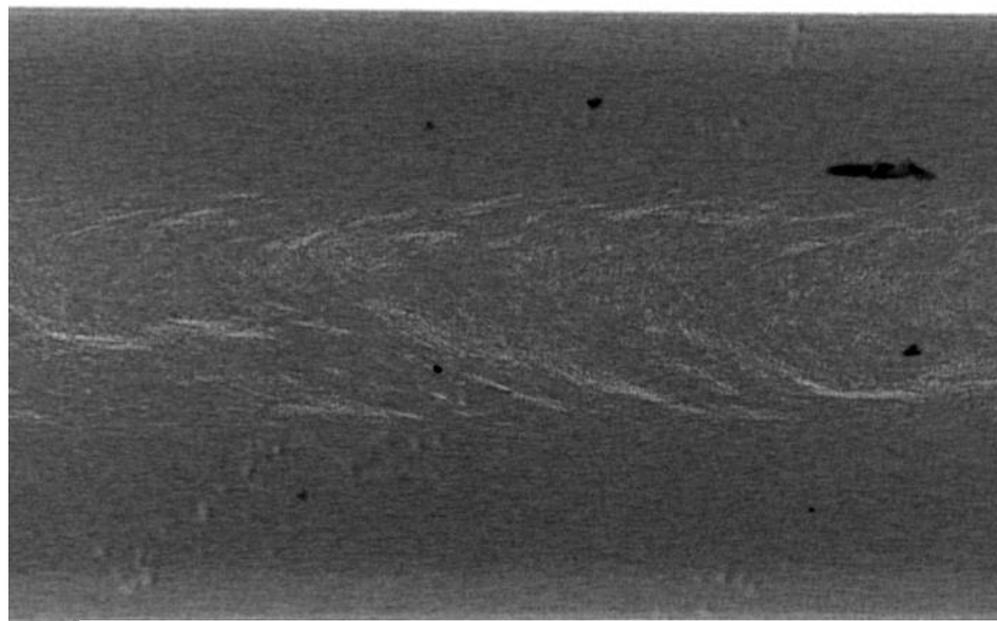
CFRP(岐阜大学提供样品)



样品外观



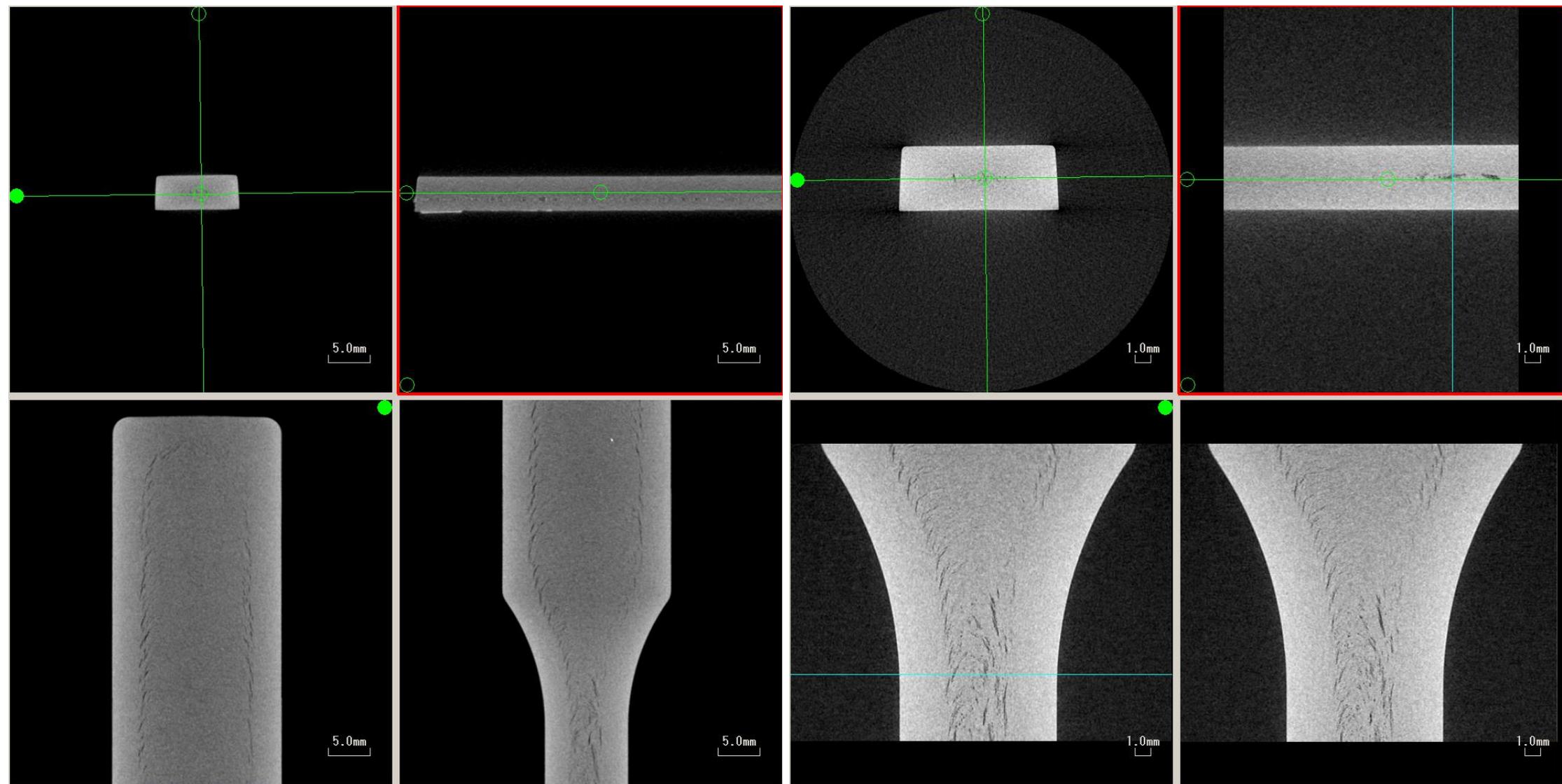
X射线透视图像



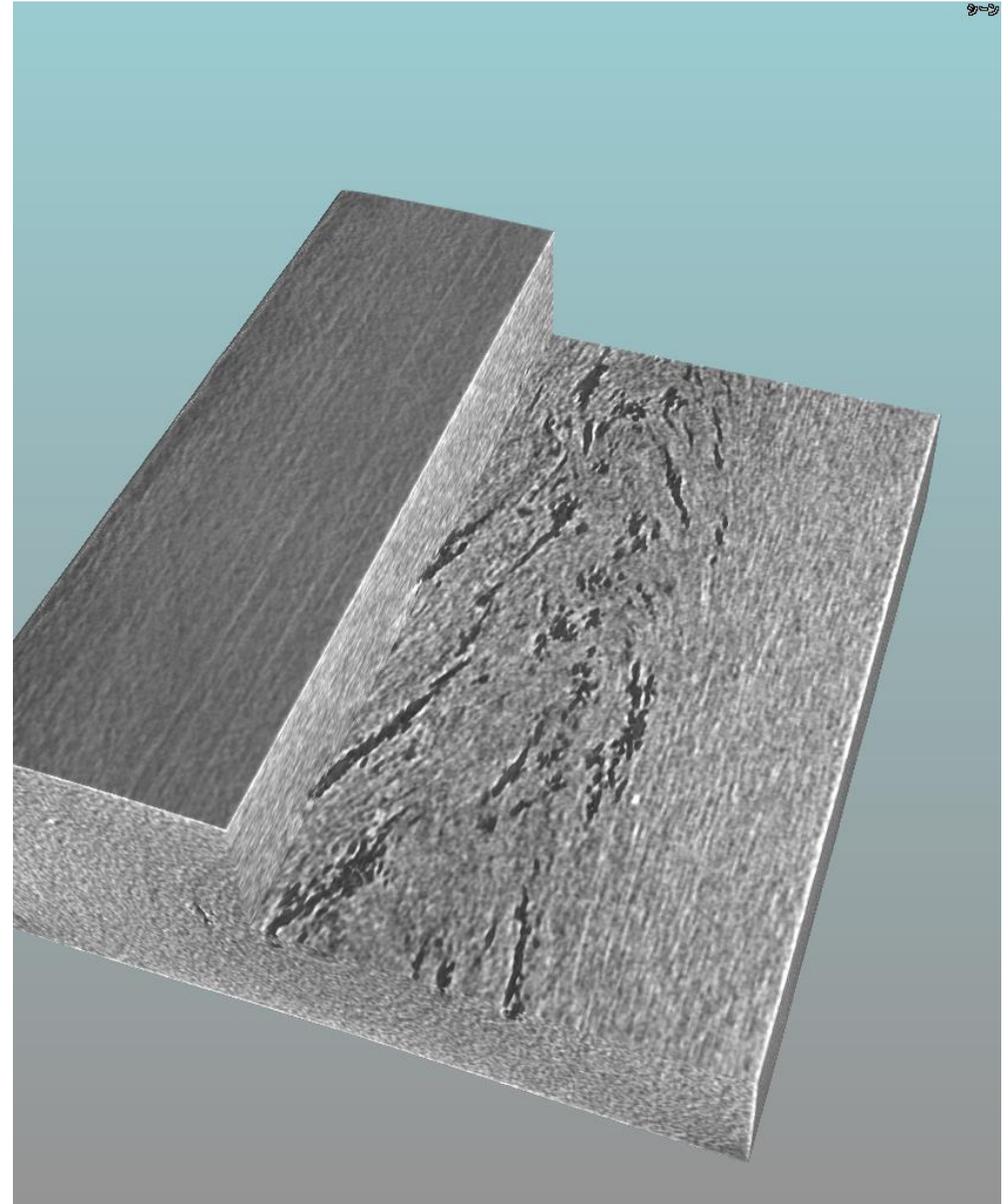
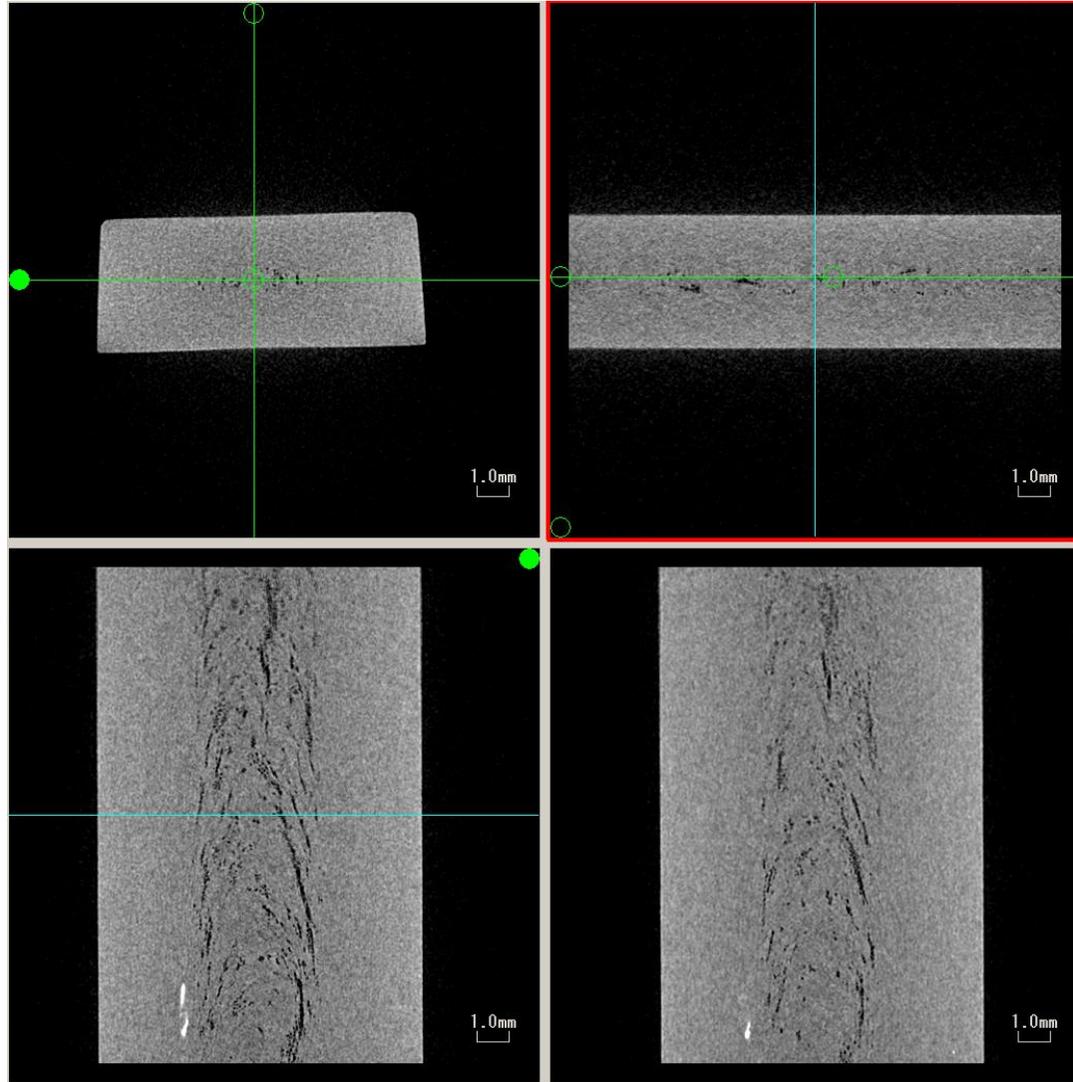
X射线透视图像 (部分放大)

CFRP((岐阜大学提供样品))

CT拍摄的是红色标记一侧

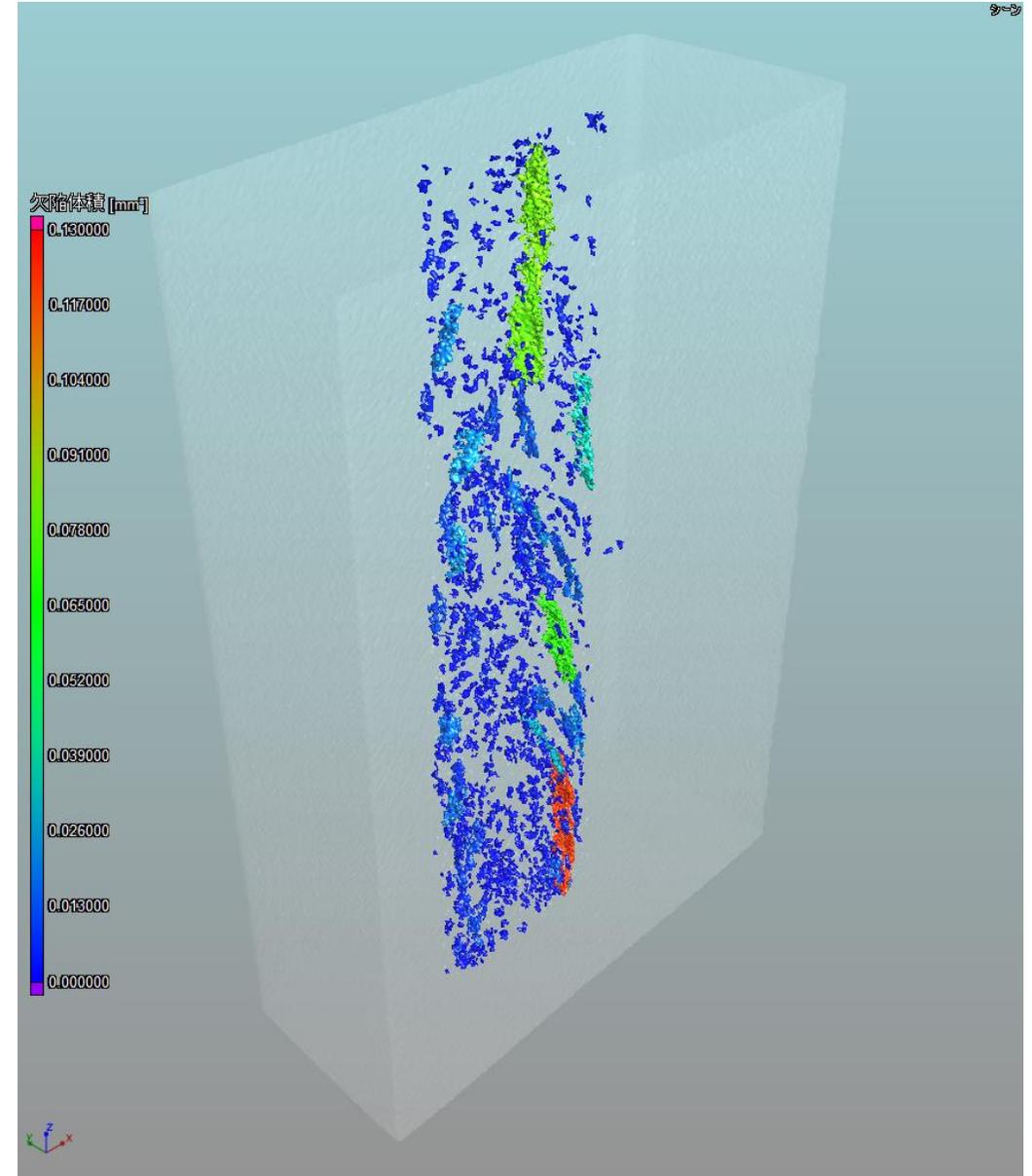
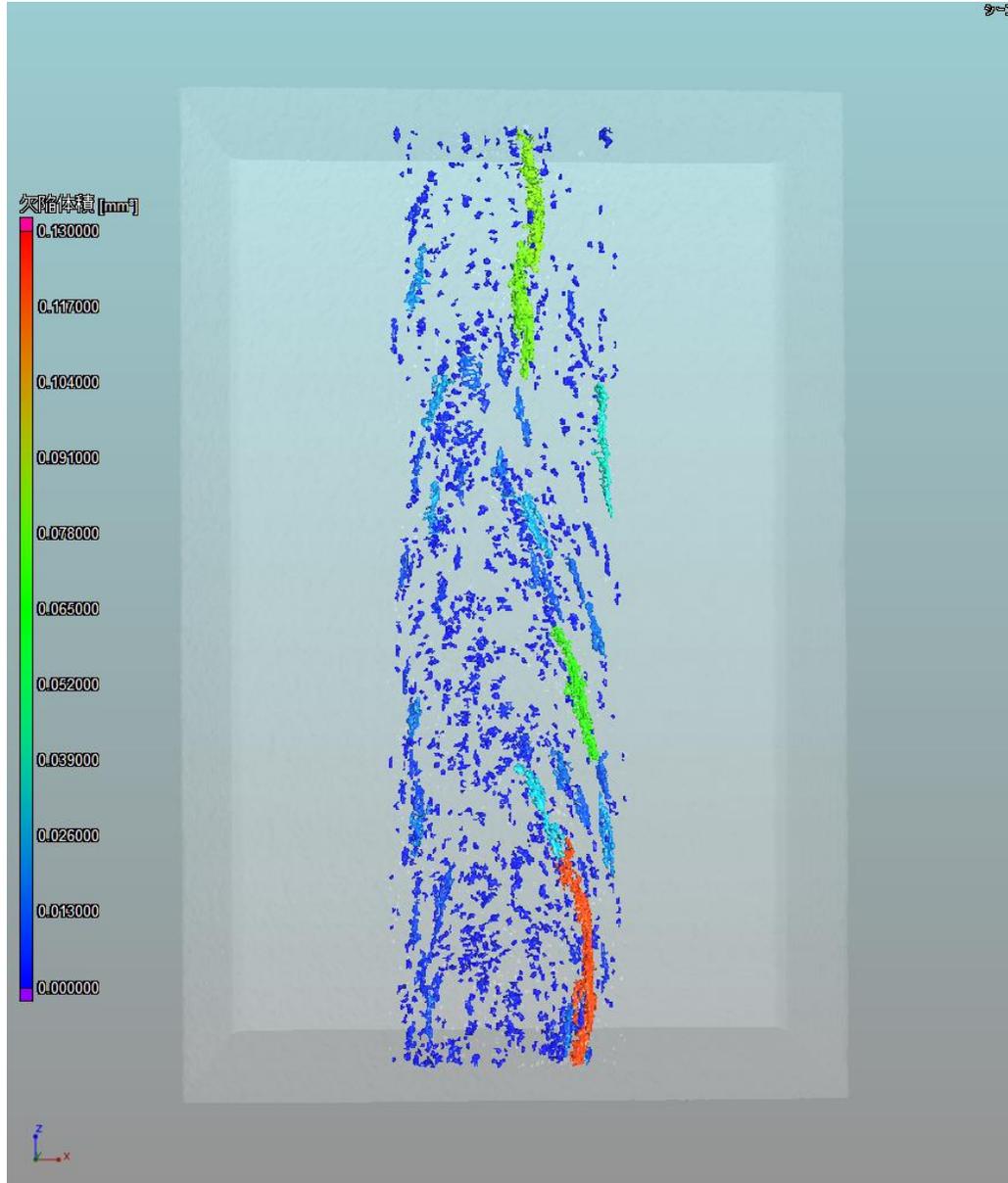


CFRP(岐阜大学提供样品)



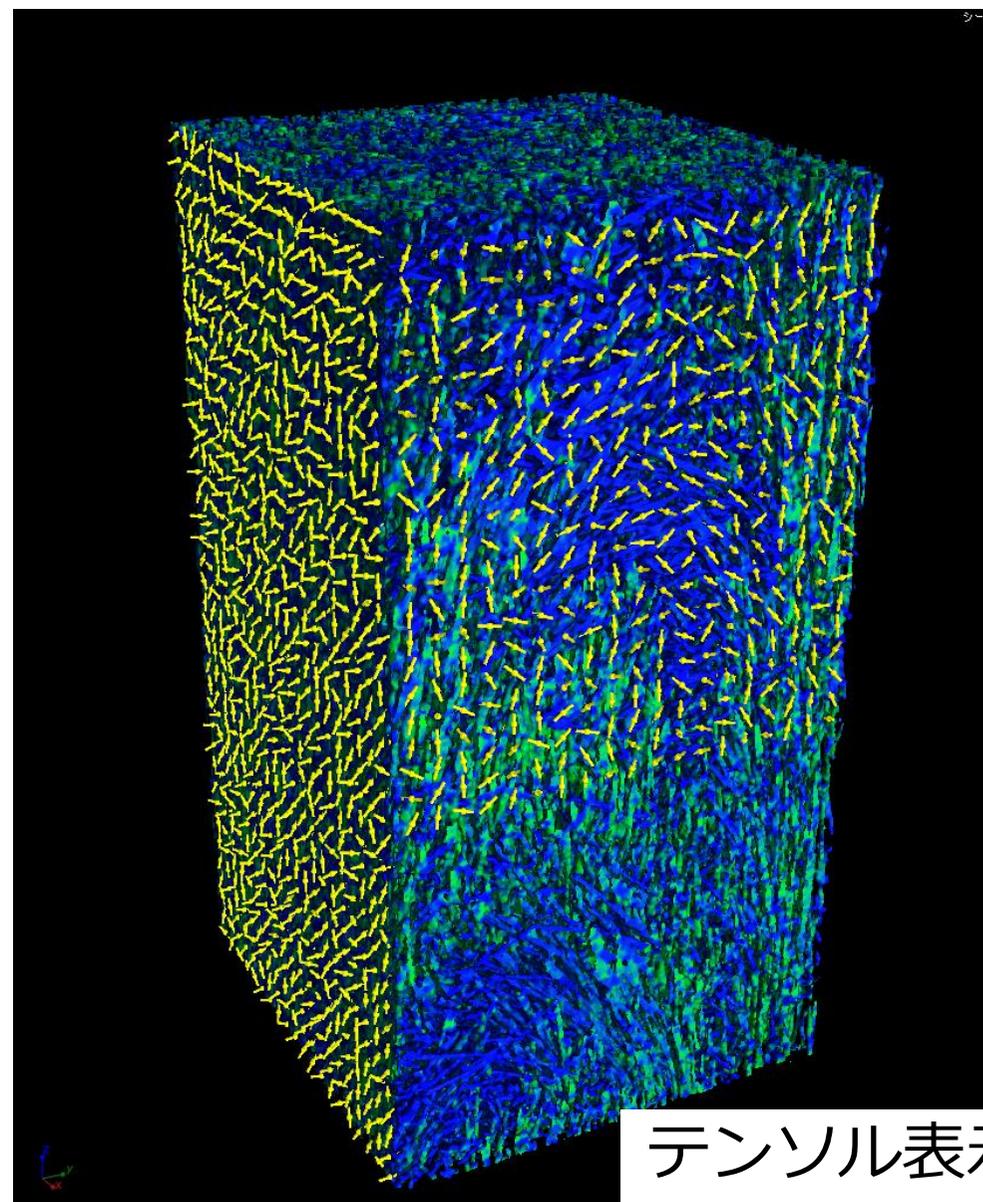
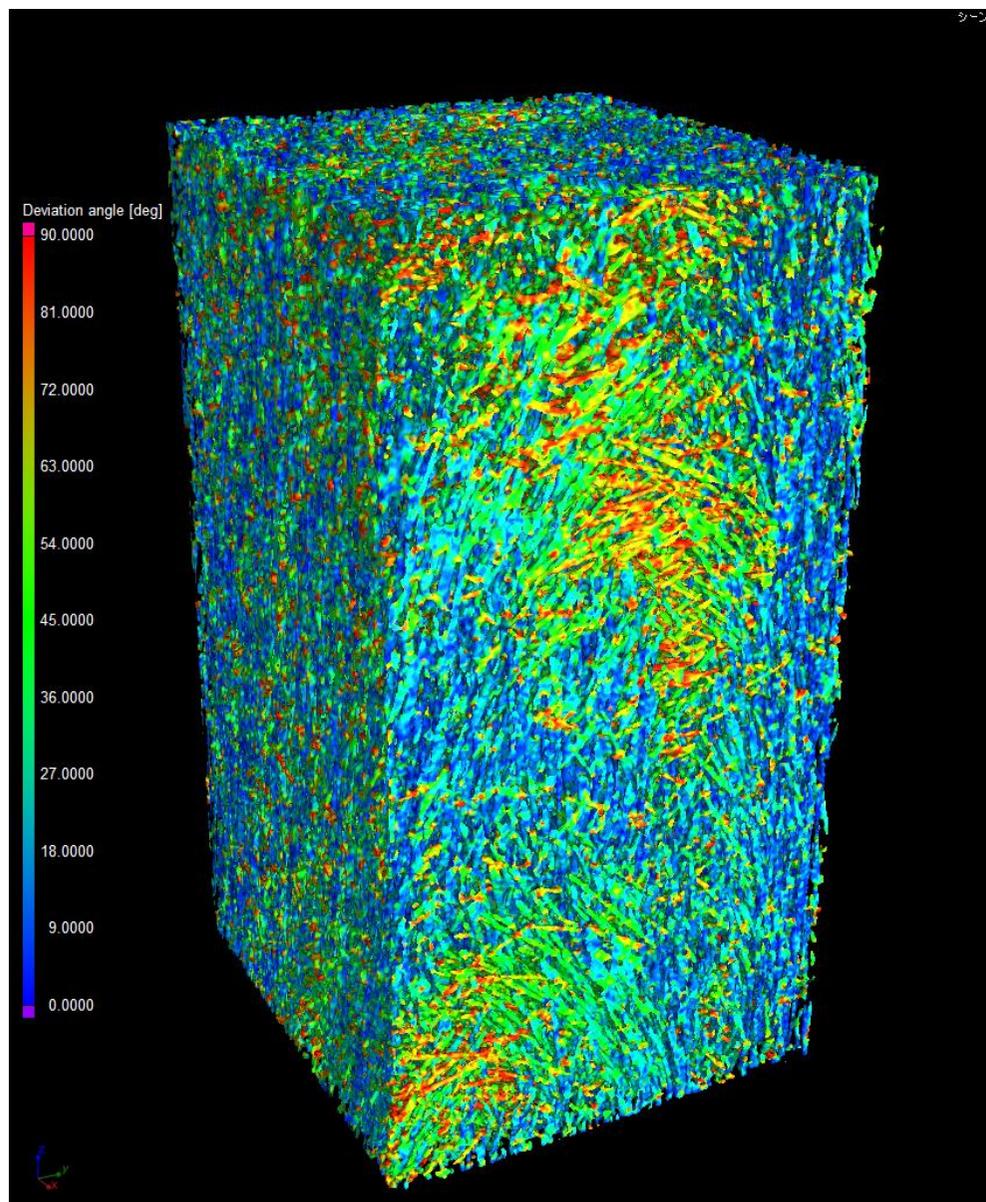
CFRP (岐阜大学提供样品)

用软件 (选购) 分析缺陷



CFRP(岐阜大学提供样品)

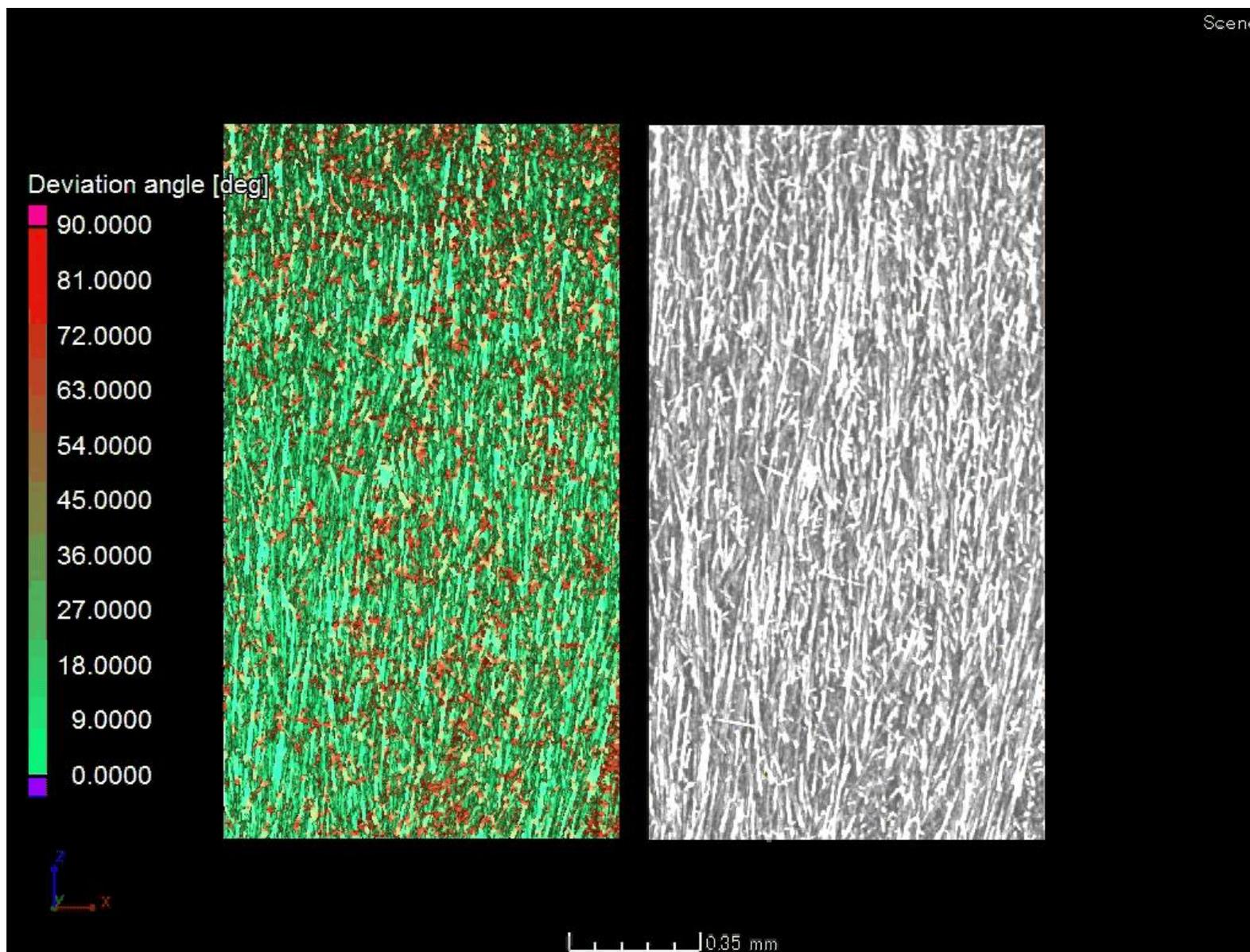
用软件分析纤维配向



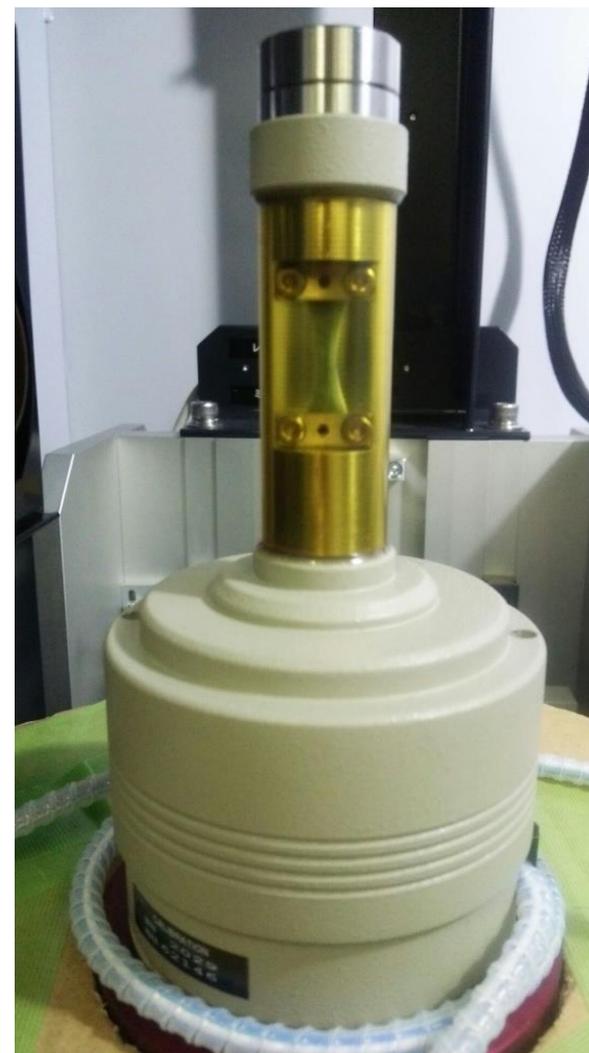
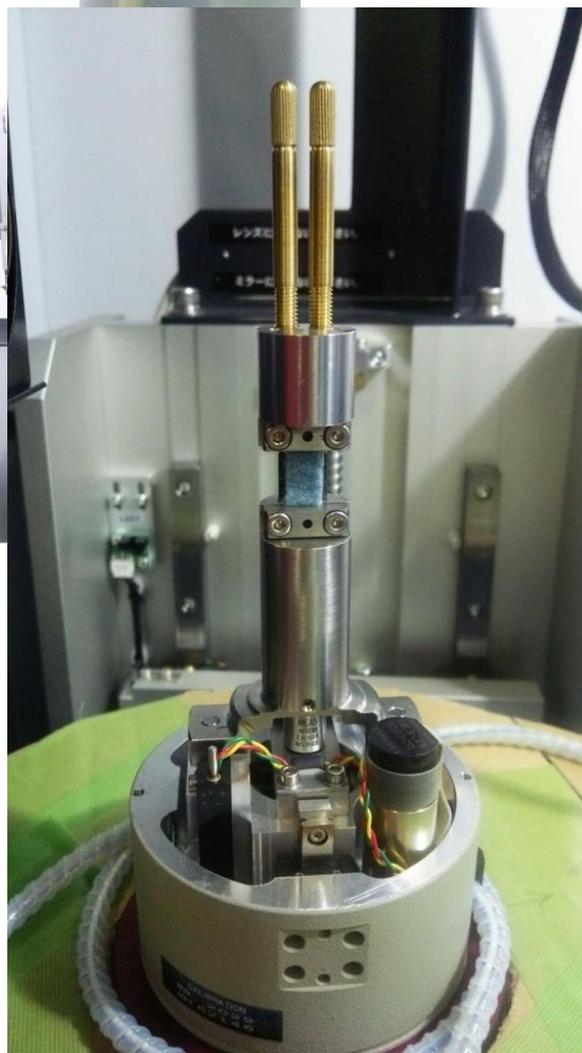
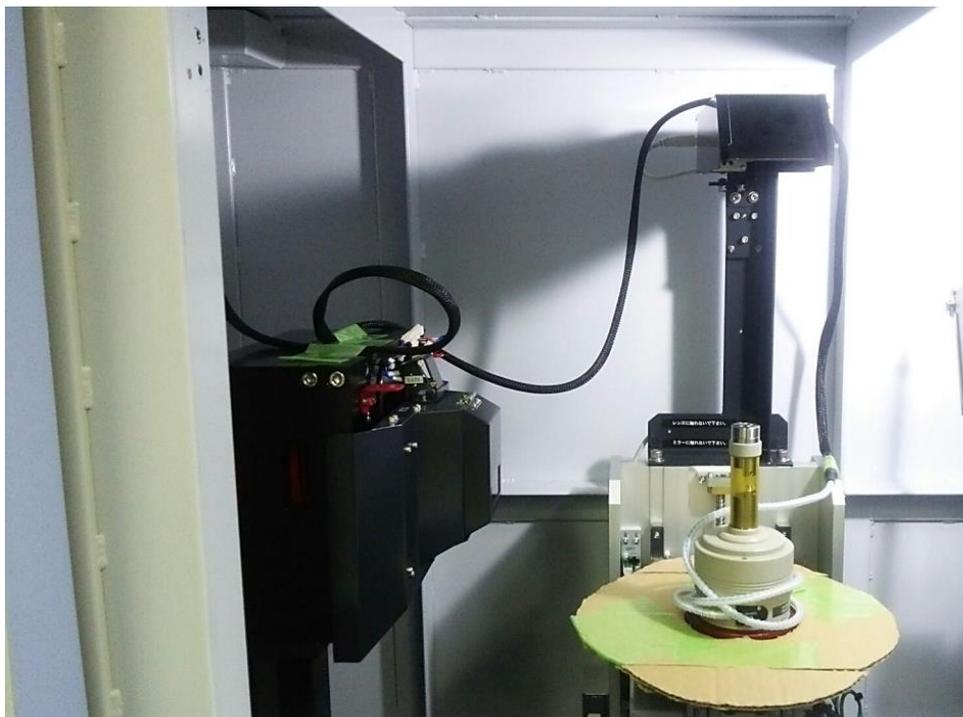
テンソル表示

CFRP(岐阜大学提供样品)

用软件分析纤维配向

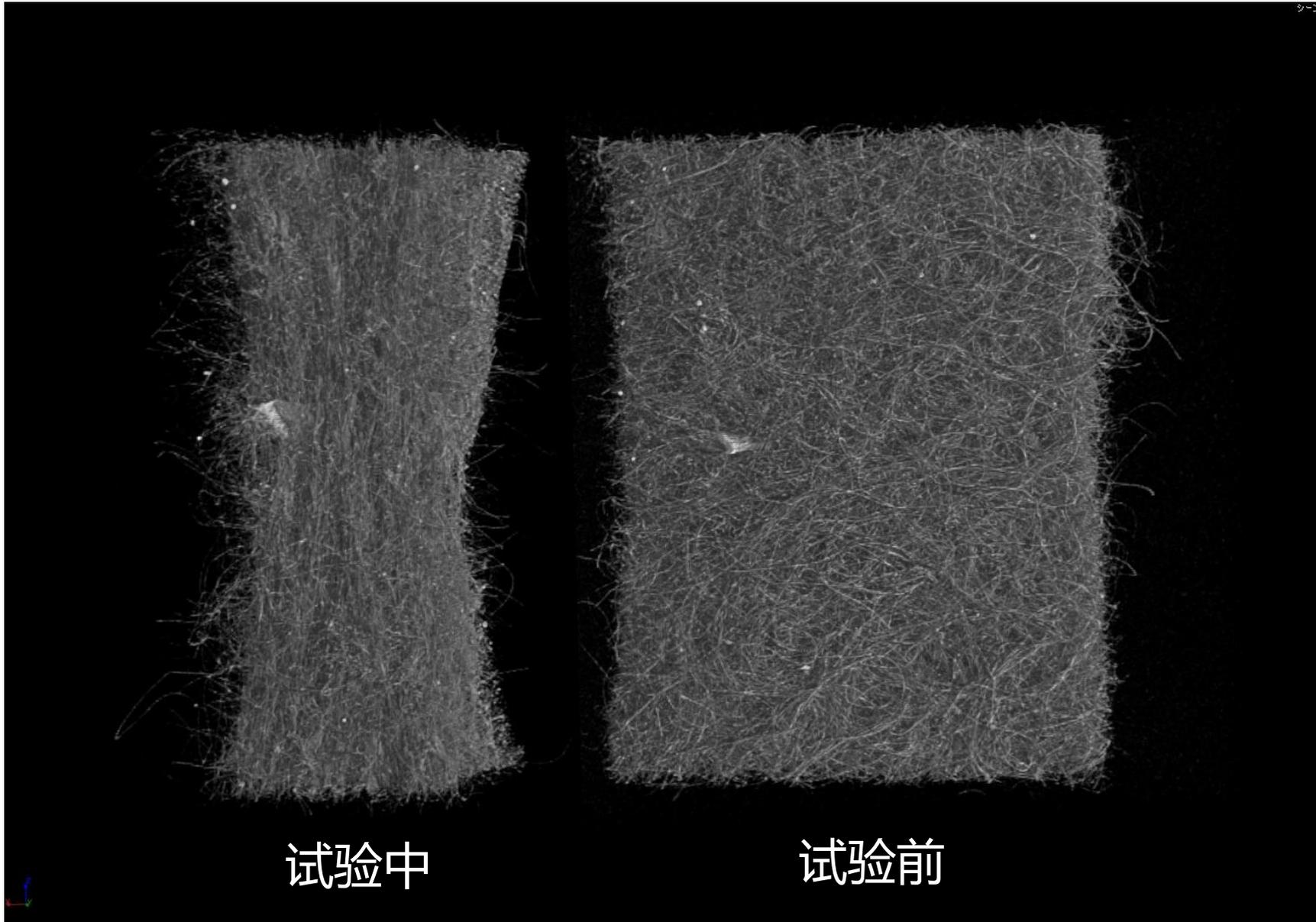


CT+拉伸试验机(in Situ观察)



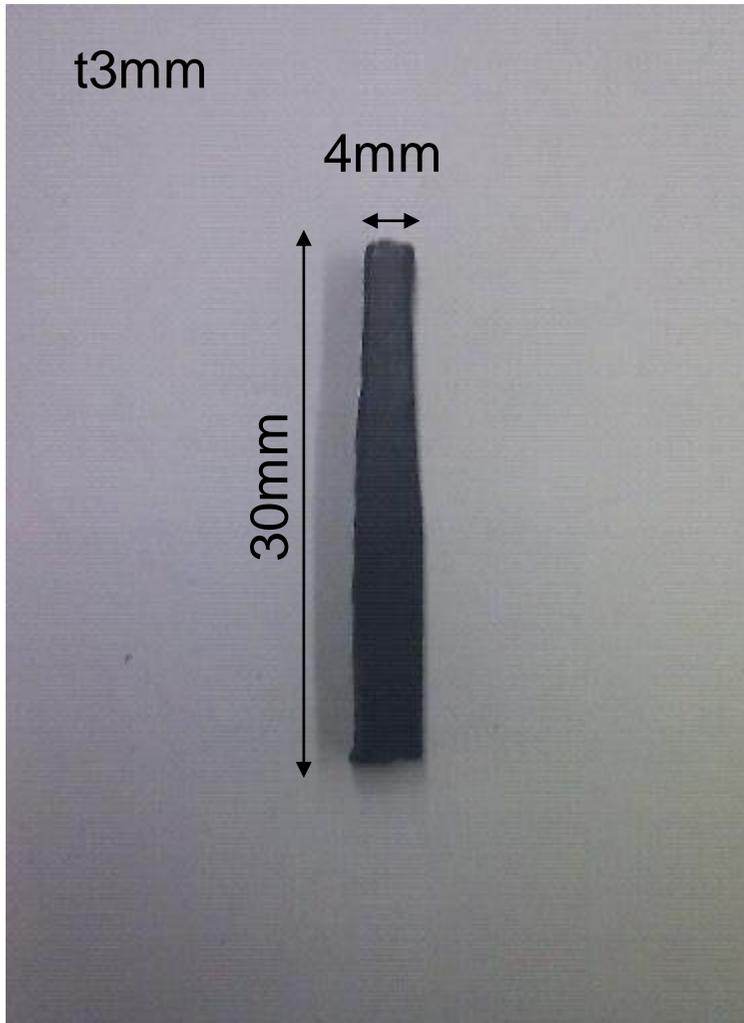
DEBEN公司的试验机的样子

CT+拉伸试验机(in Situ观察)

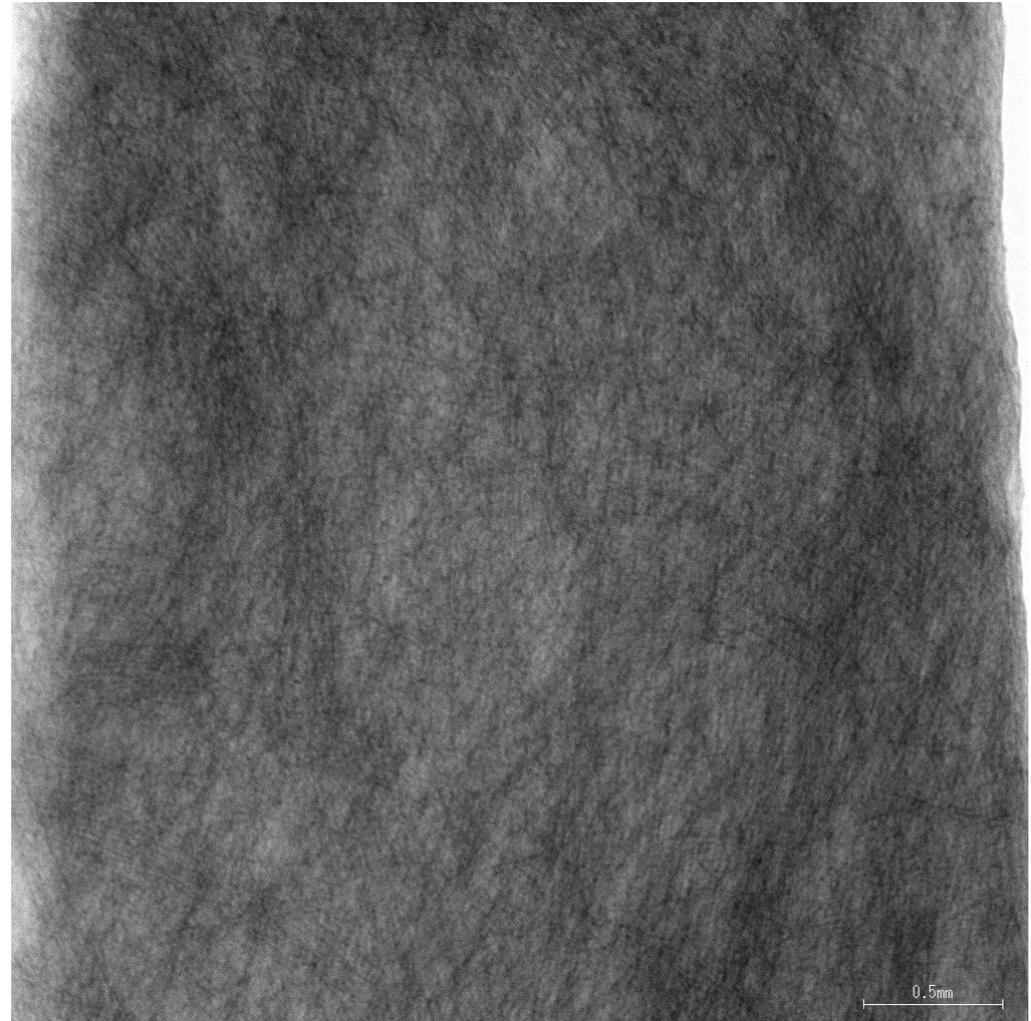


GFRP拍摄例（透视）

样品外观



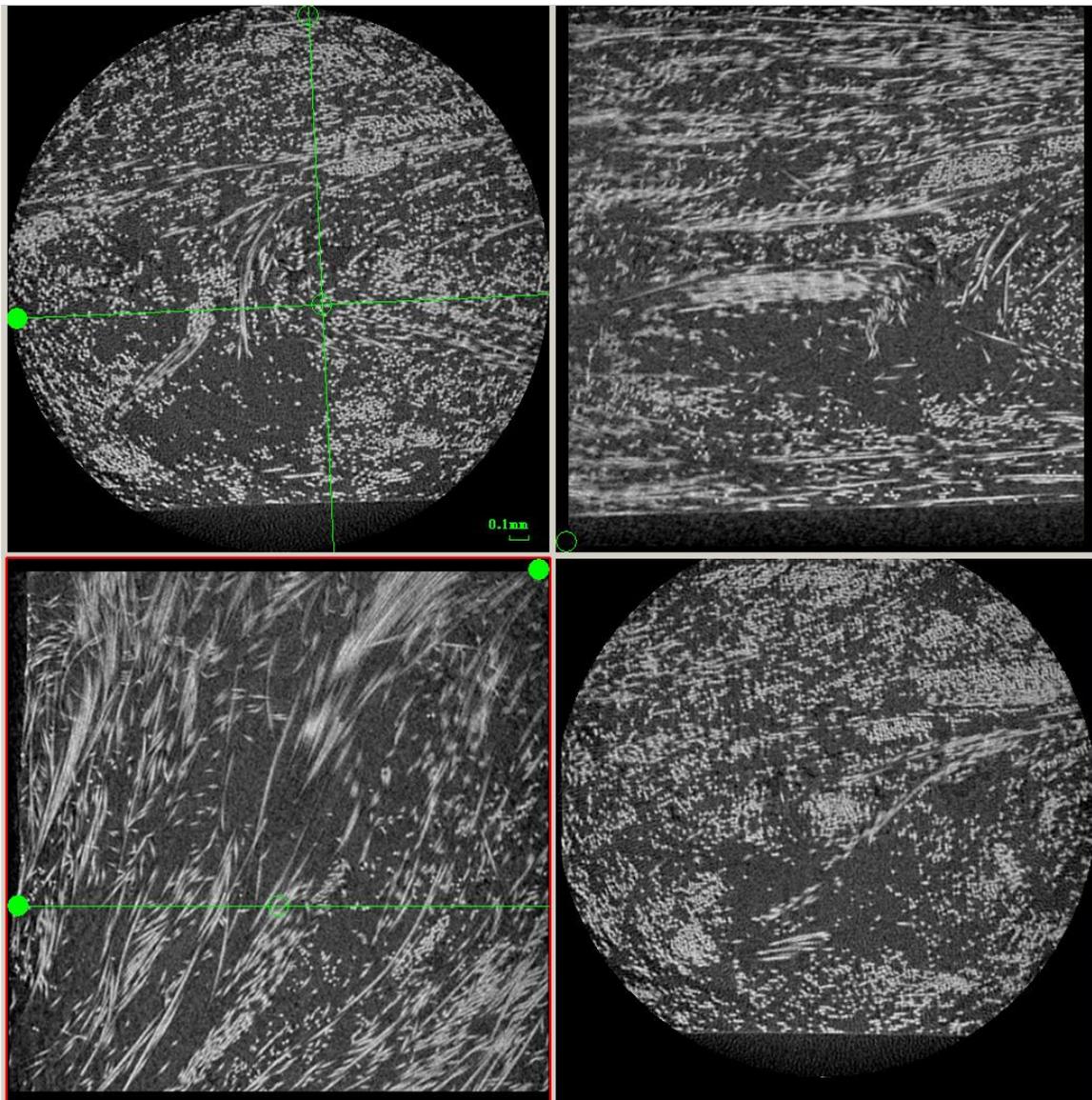
透視（SMX-1000）



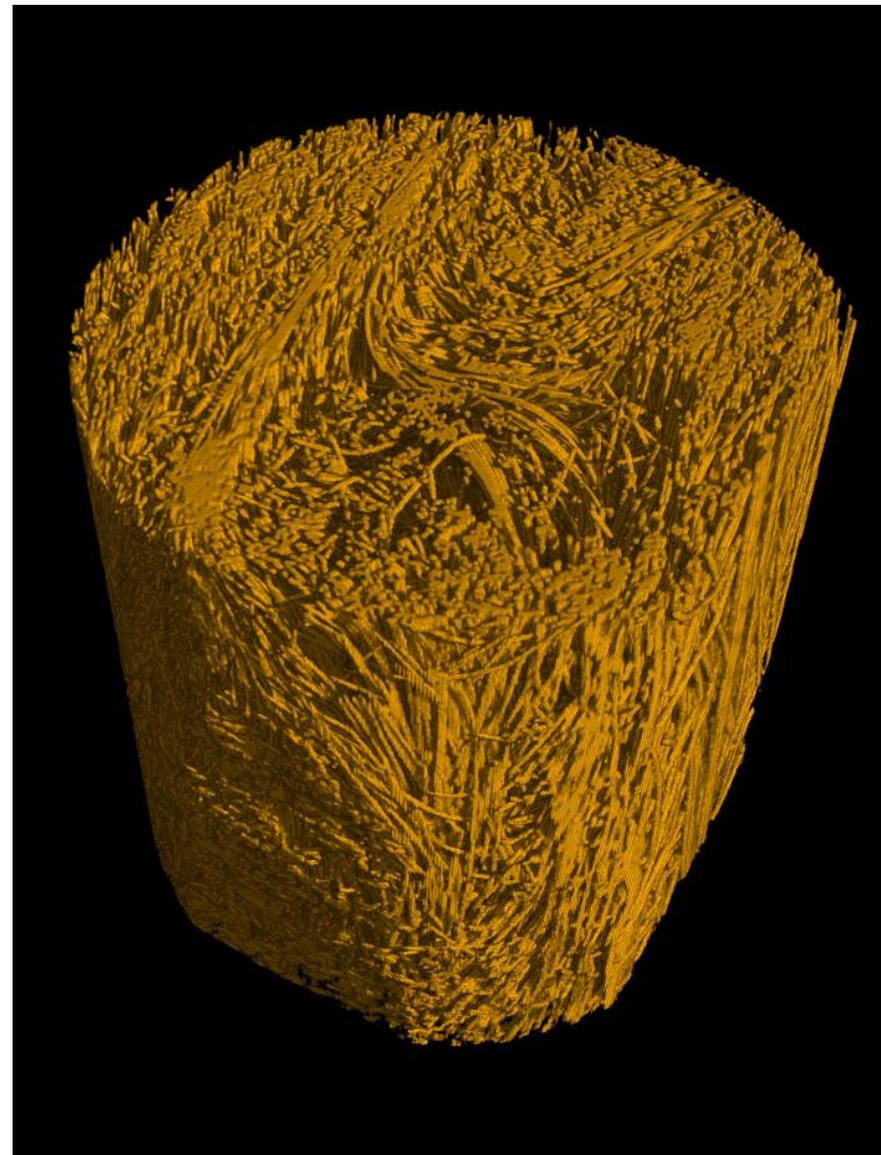
※从GFRP板上切下的样品

GFRP拍摄例 (CT)

MPR



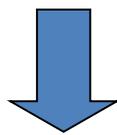
VR



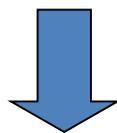
视野尺寸：约2.7mm

工业用CT对纤维分布取向的解析

注射成形纤维强化树脂



纤维分布取向受树脂流动的影响各有所异



不同的分布取向其刚性和收缩也不相同

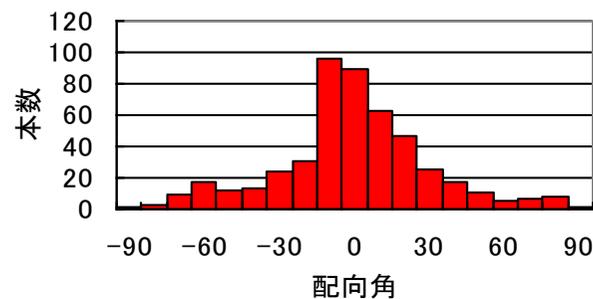
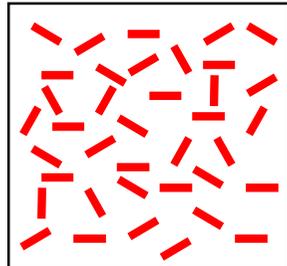
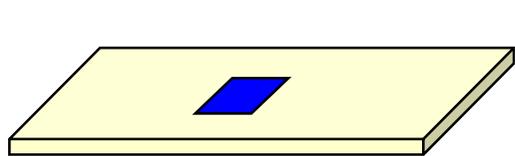


进而影响产品的弯曲度、尺寸精度、强度差等

玻璃纤维分布取向的方法和课题

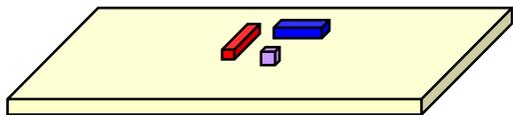
- 直接法

- 从成形品上取薄片，用显微镜观察、测量每一根纤维的取向角度
 - 然后用柱状图计算纤维取向角度，得出主要取向分布方向、角度
- 十分麻烦（很难掌握3维分布取向状态）

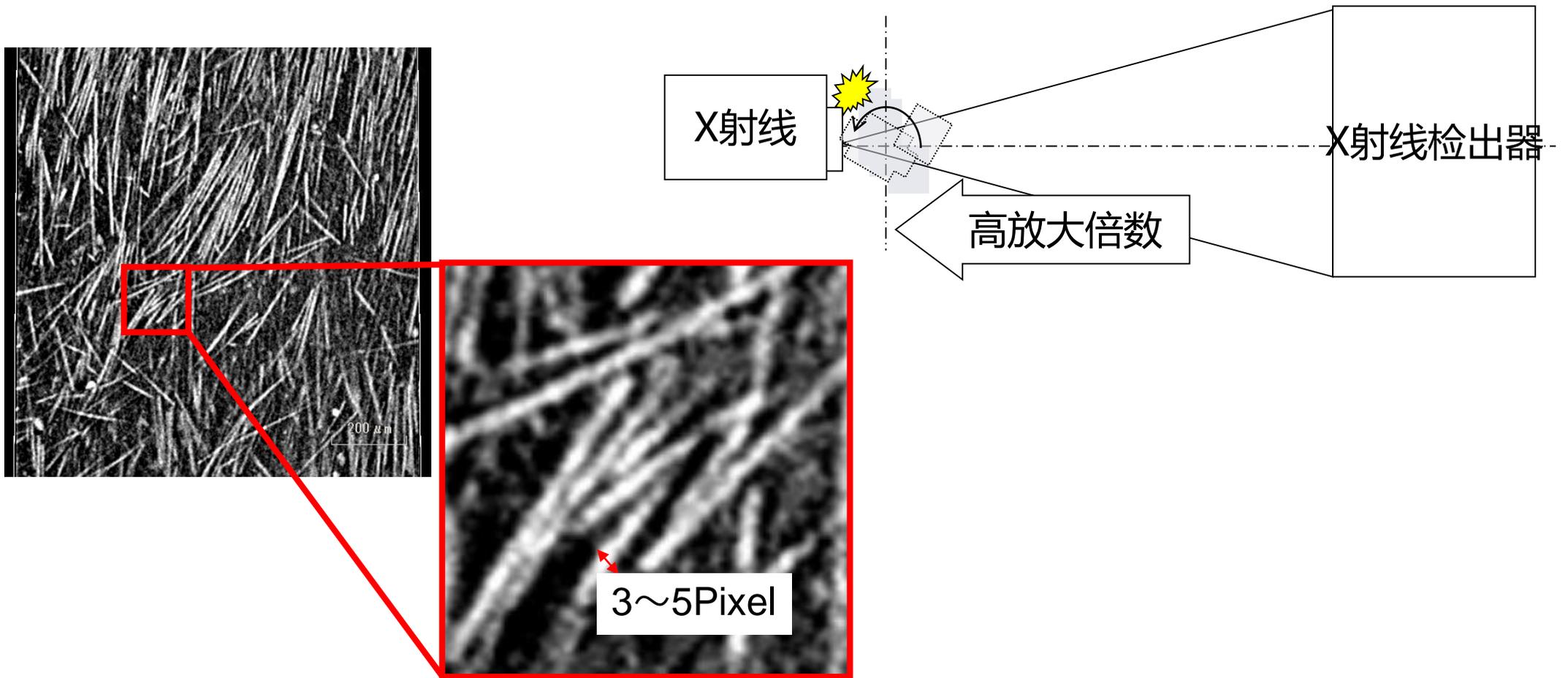


- 间接法

- 从成形品上各个部分取小片，测量这些小片的机械物理值，推测取向度（膨胀系数的测量上精度很高）
- 如果不能假设取向方向就无法从机械物理值求出取向度



用X射线CT拍摄强化树脂的图像



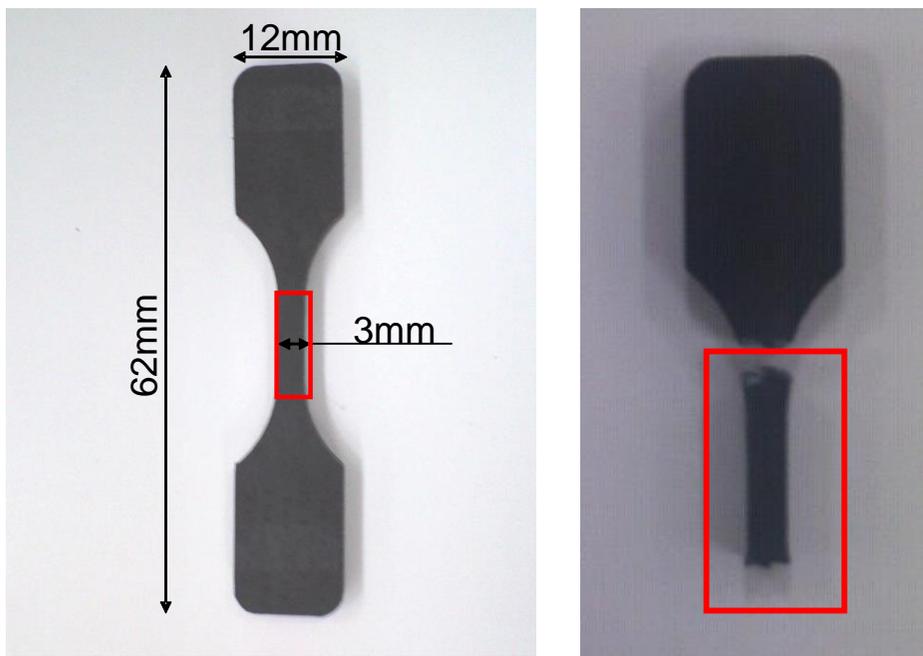
- 为提高纤维分析的分辨率需要使用CT
 - 样品越靠近X射线源分辨率越高
- ⇒ 需要将样品制备得尽量小
(< □ 约5mm、希望 < □ 2mm)

GFRP拍摄例（哑铃型）

SMX-100CT

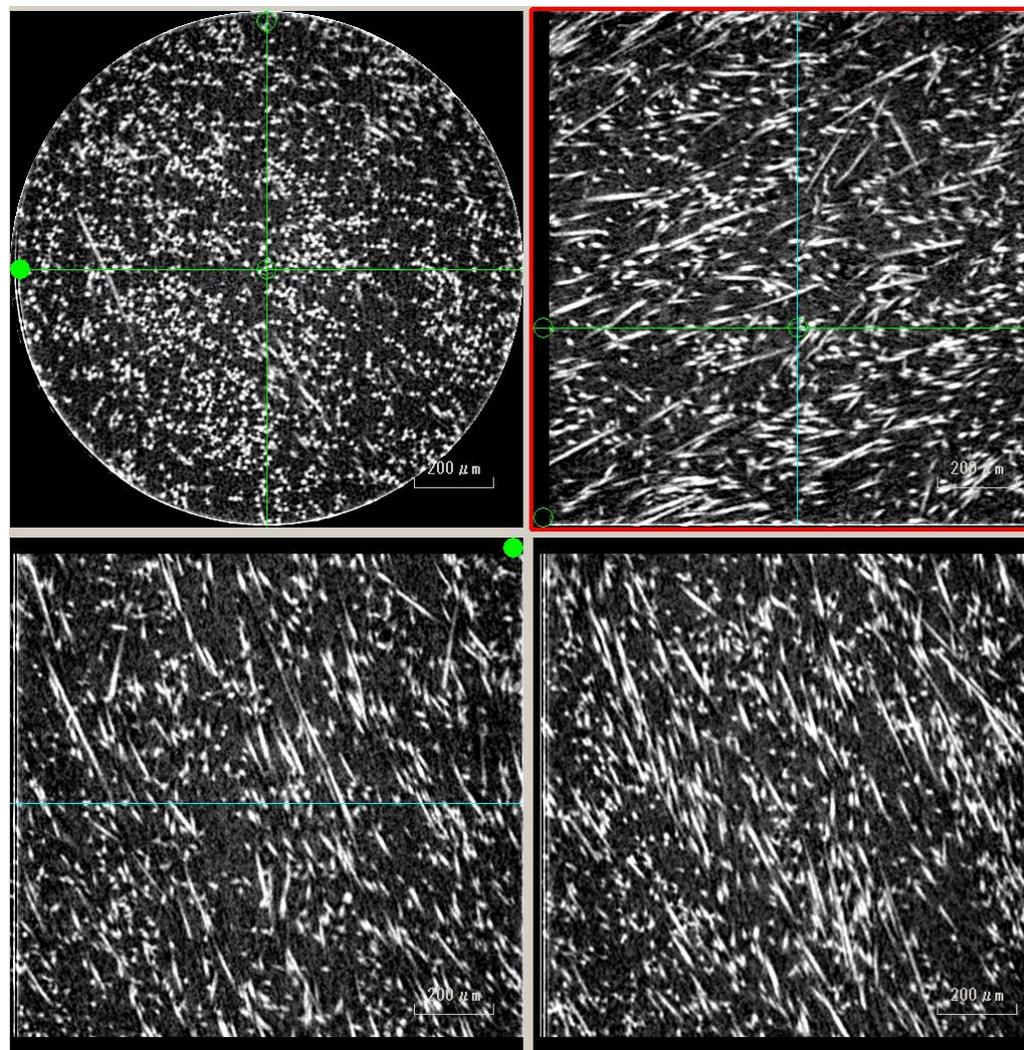


样品外观

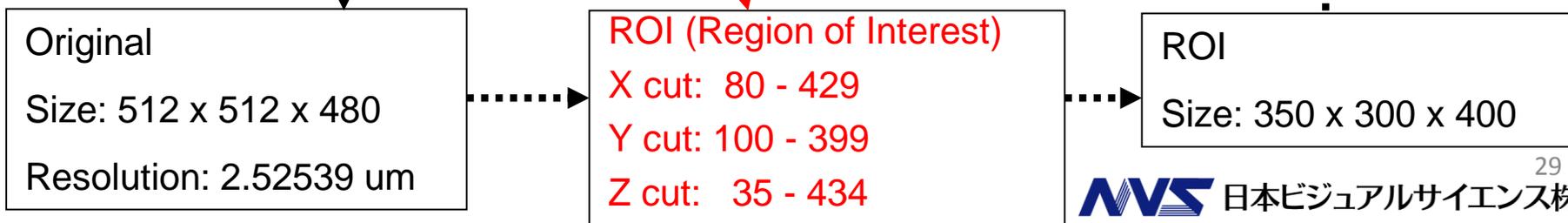
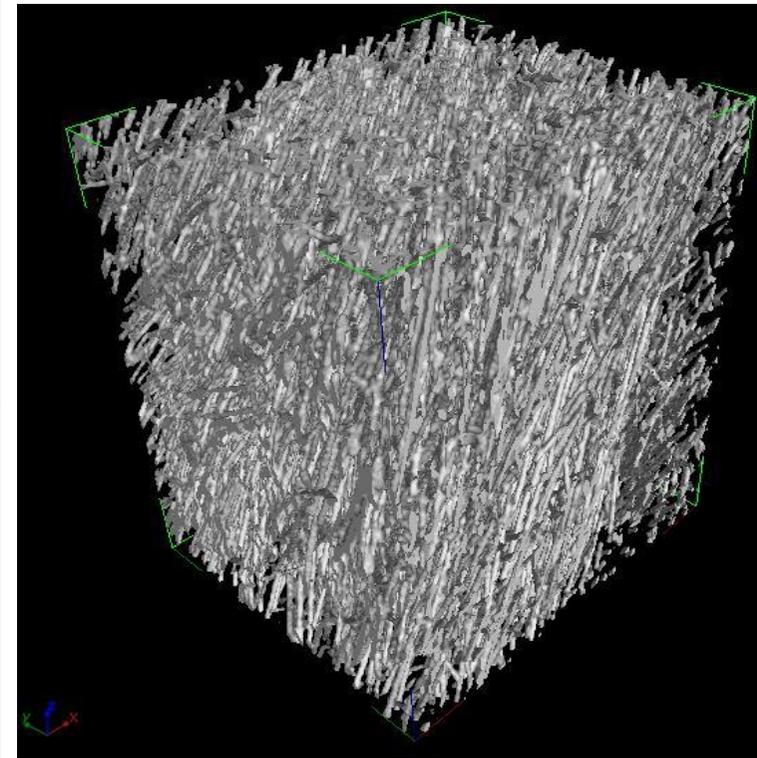
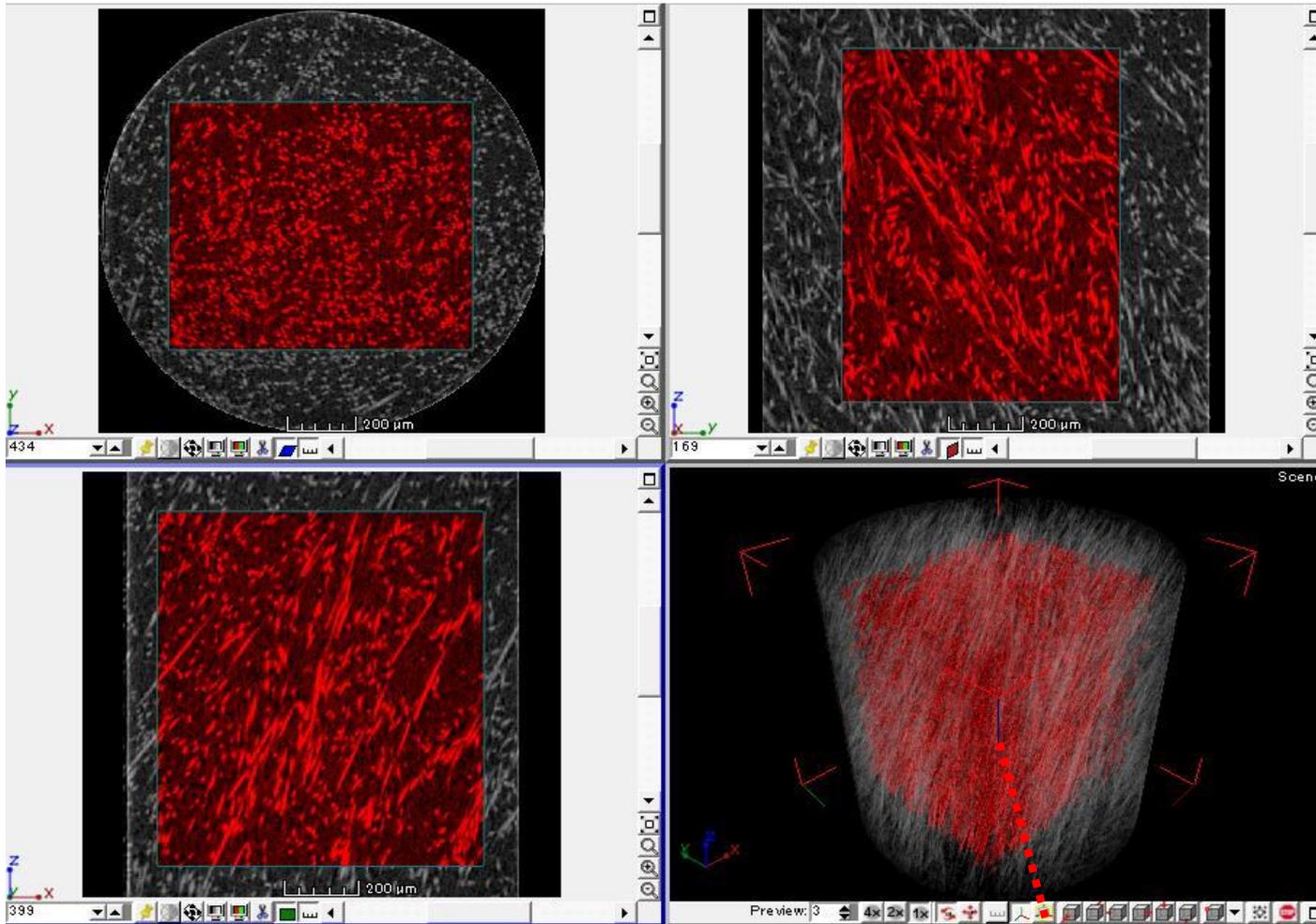


※红色方框部分为扫描部分

MPR



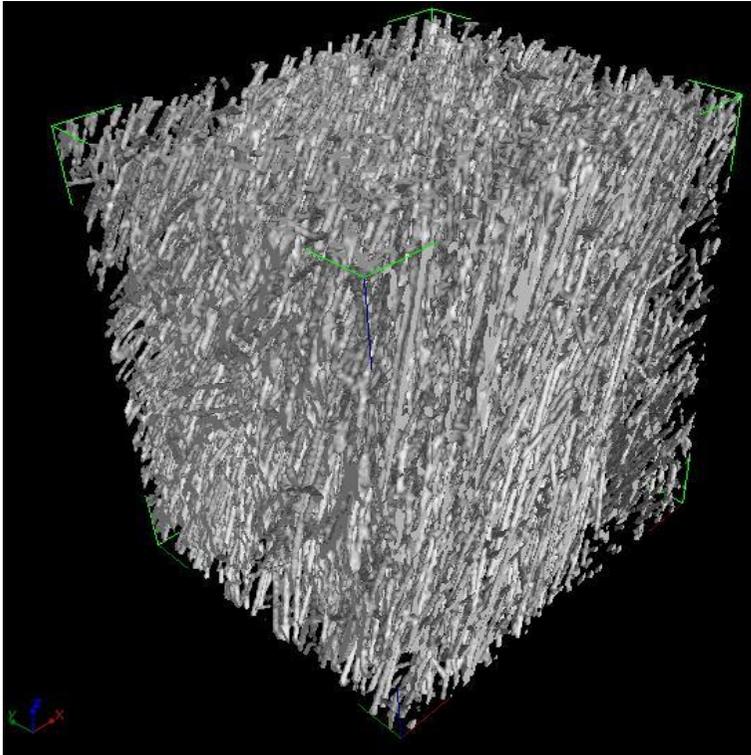
GFRP解析例 (使用VGStudio MAX)



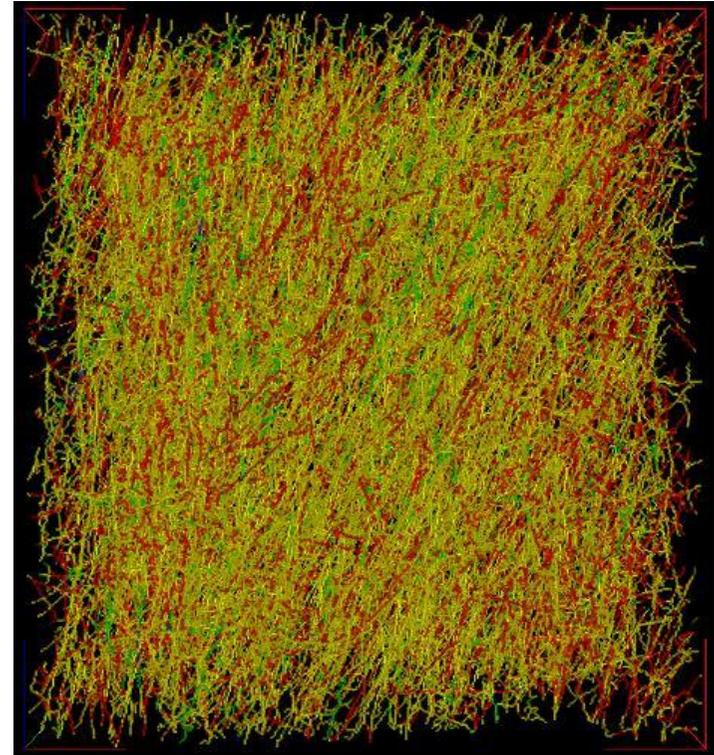
GFRP解析例 (ExFact Analysis for Fiber)

ExFact Analysis for Fiber

对具有复杂结构的多孔体或粒子、纤维等样本进行形态、内部分布状态等统计评价/分析。



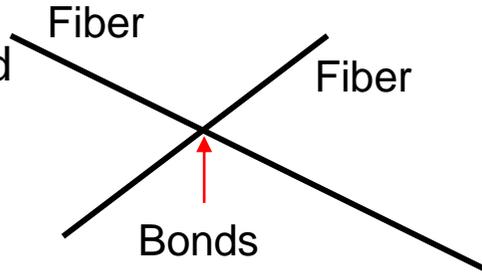
细线化



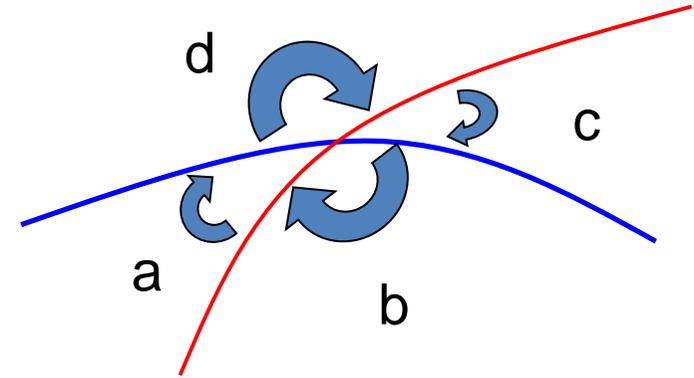
日本视觉科学（株）制作

GFRP解析例 (参数)

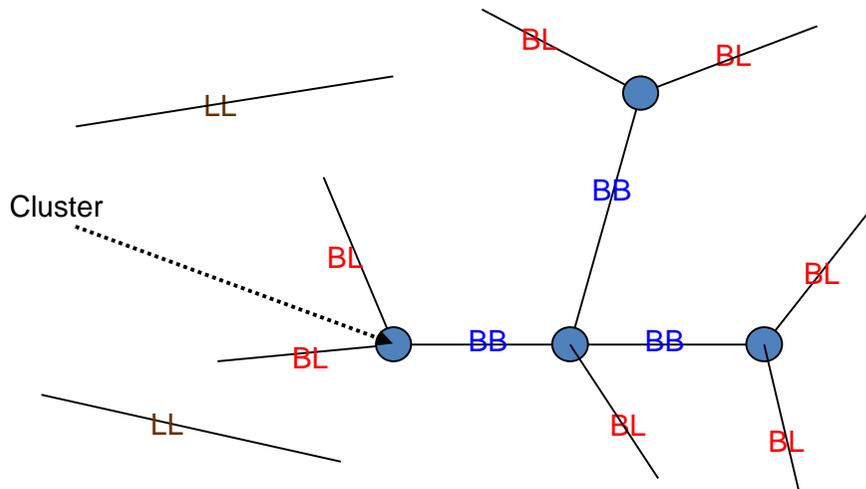
- Bonds是纤维交叉部分
- 横轴为1根纤维上Bond的数量
- 纵轴是出现的频率



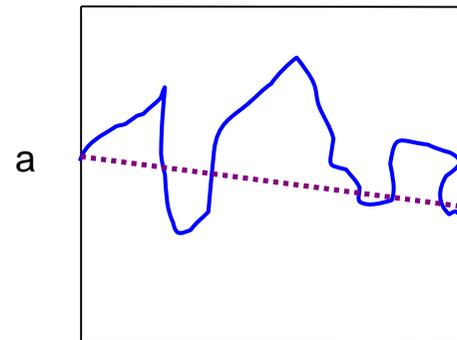
The smallest angle will be the crossing angle in a, b, c, d



- Cluster: Over than 3 coordinate points meet
- LL(leaf-leaf)是交叉的纤维的末端
- BB(branch-branch)是交叉的纤维的Cluster的间隙
- BL(branch-leaf)是One side -末端, the other - cluster



- tortuosity是纤维的空间长度除以A两点间最短距离B的值



..... s: straight line - a and b

— f: fiber length - a and b

$$\text{Tortuosity (T)} = \frac{f}{s}$$

Tortuosity (T) : 表明数值越趋近1纤维走向越趋近于同一轴向。

GFRP解析例 (結果)

Fiber Data Analysis

Fiber: 20.06%

11950 fibers found

Average thickness 7.96974 micron

Total number of fiber bonds 33469

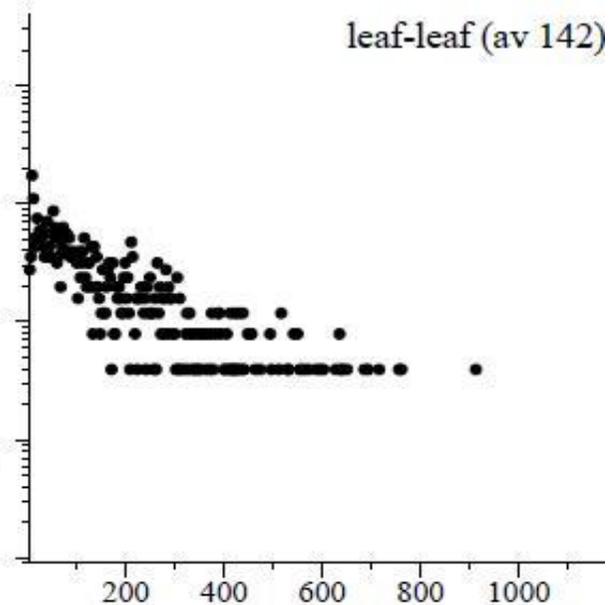
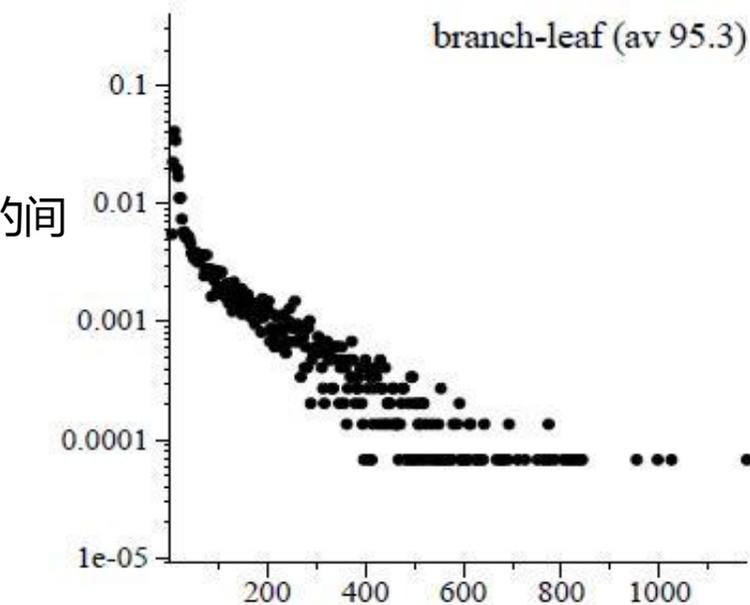
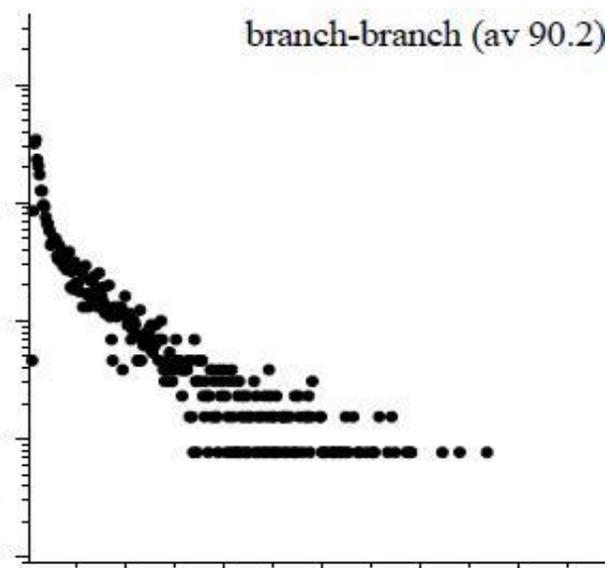
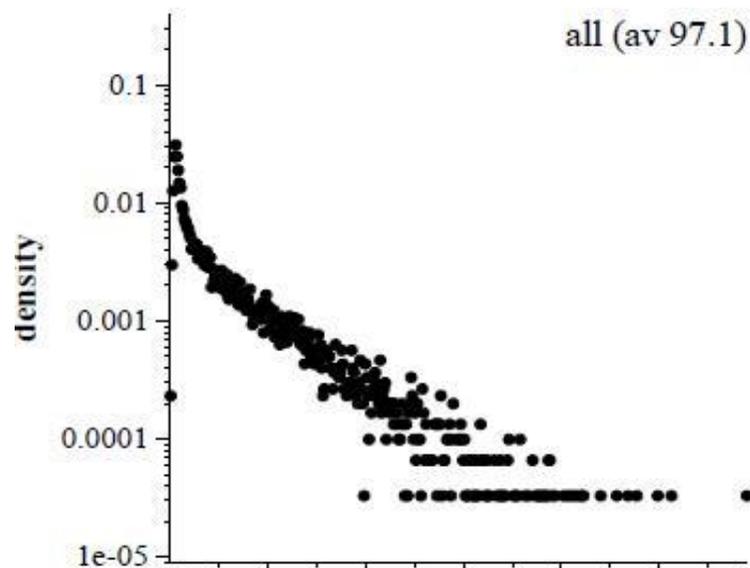
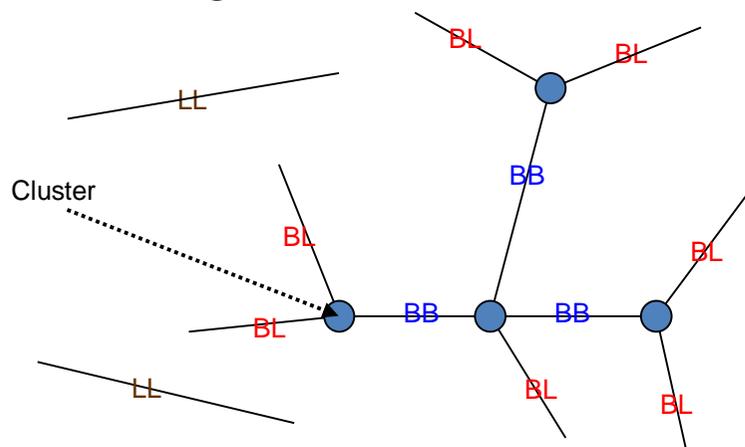
Maximum number of bonds per fiber 26

Average number of bonds per fiber 2.80075

Average number of bonds per fiber length (mm) 0.0719119

GFRP解析例 (纤维长度)

Fiber Length



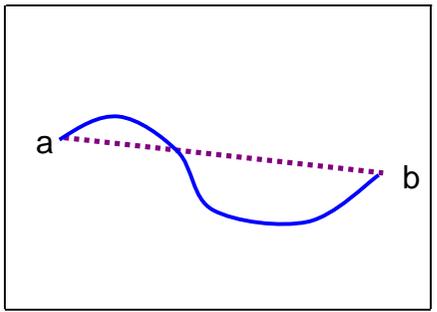
- Cluster : 从3开始的交叉点
- LL(leaf-leaf) : 交叉纤维的末端部分
- BB(branch-branch) : 交叉纤维的Cluster的间隙
- BL(branch-leaf)时末端和cluster的间隙
- 横轴是各种长度
- 纵轴是出现的频率
- All包含所有纤维

fiber length (microns)

GFRP解析例（纤维弯曲度）

— cumulative
• density

Fiber Tortuosity

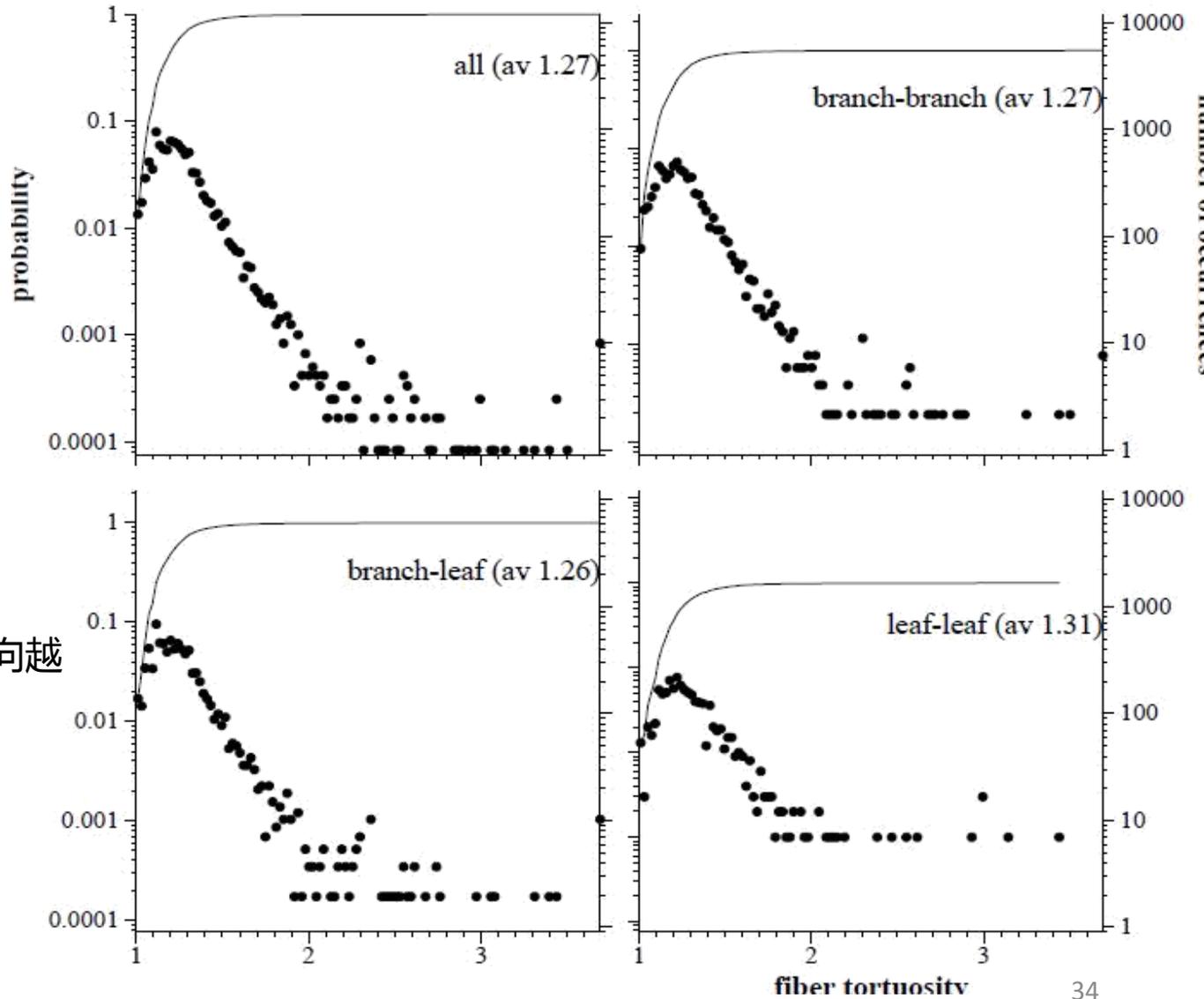


..... s: straight line - a and b
— f: fiber length - a and b

$$\text{Tortuosity (T)} = \frac{f}{s}$$

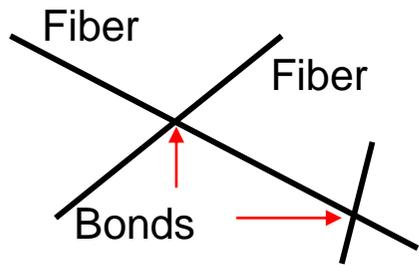
※Tortuosity (T) : 表明数值越趋近1纤维走向越趋近于同一轴向。

- tortuosity : 是纤维的空间长度除以A两点间最短距离B的值
- 横轴表示tortuosity
- 纵轴是出现的频率

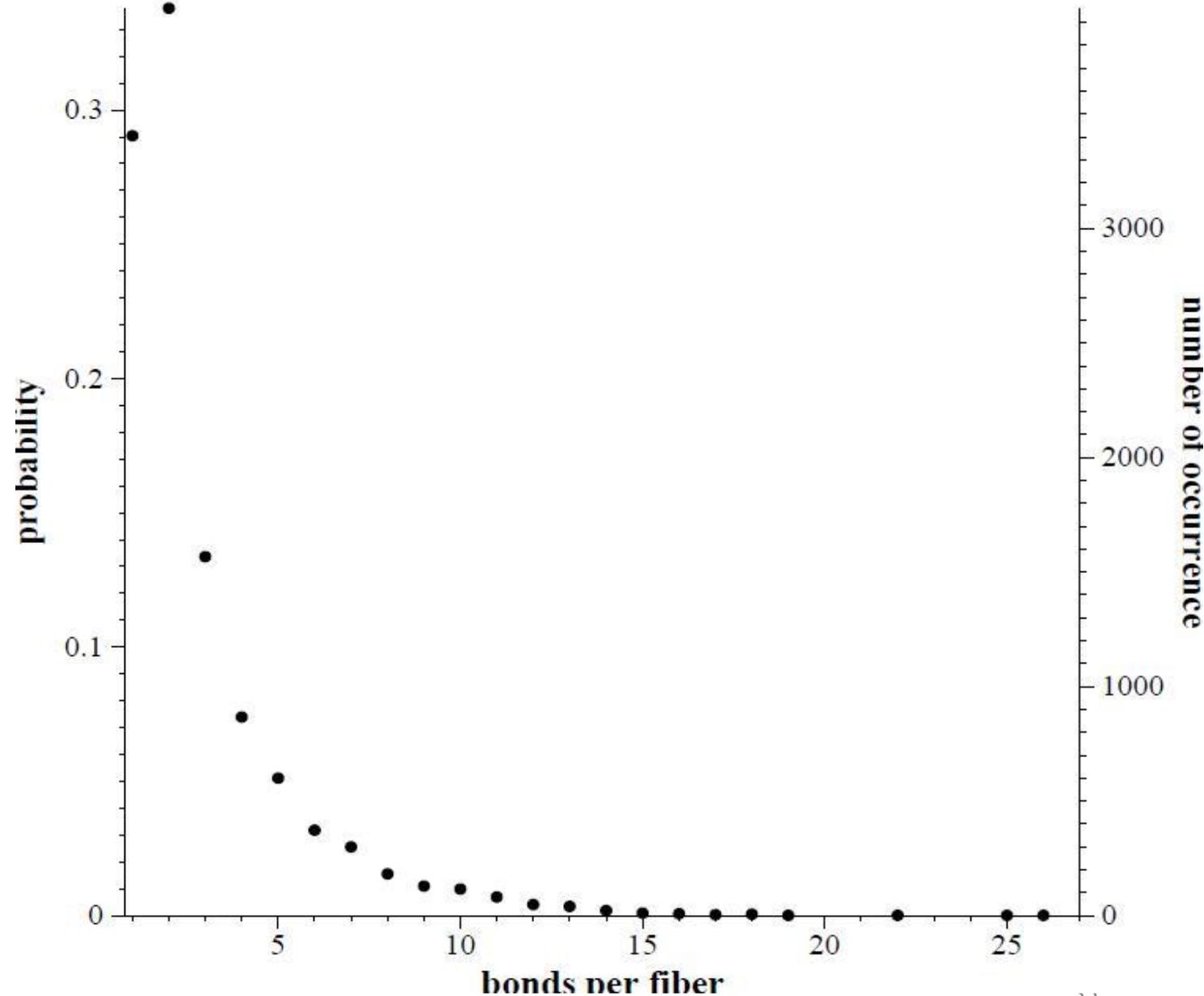


GFRP解析例（纤维交叉点）

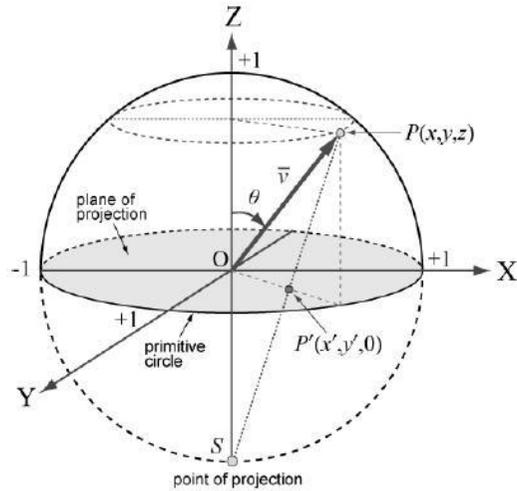
Bonds per fiber



- Bonds是纤维交叉部分
- 横轴为1根纤维上Bond的数量
- 纵轴是出现的频率

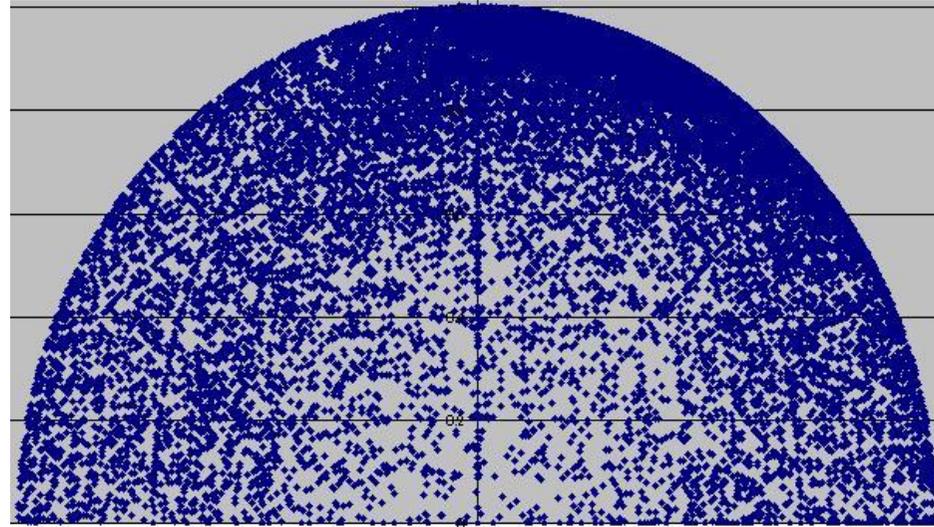


GFRP解析例

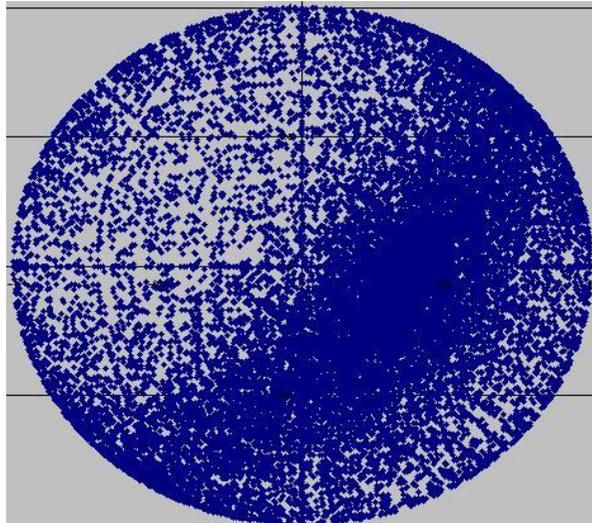


Moment of Inertia

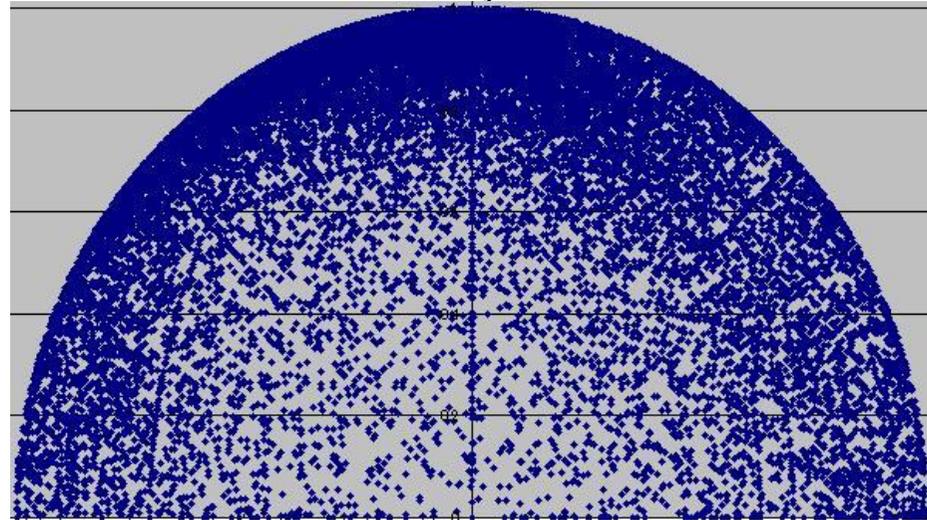
xz



xy

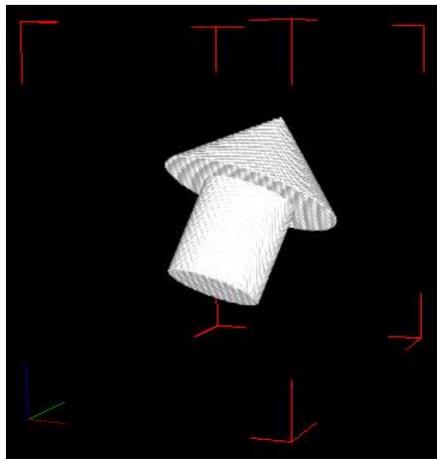


yz



GFRP解析例（3D空间纤维分布取向可视化）

用体素方格将纤维的空间走向可视化

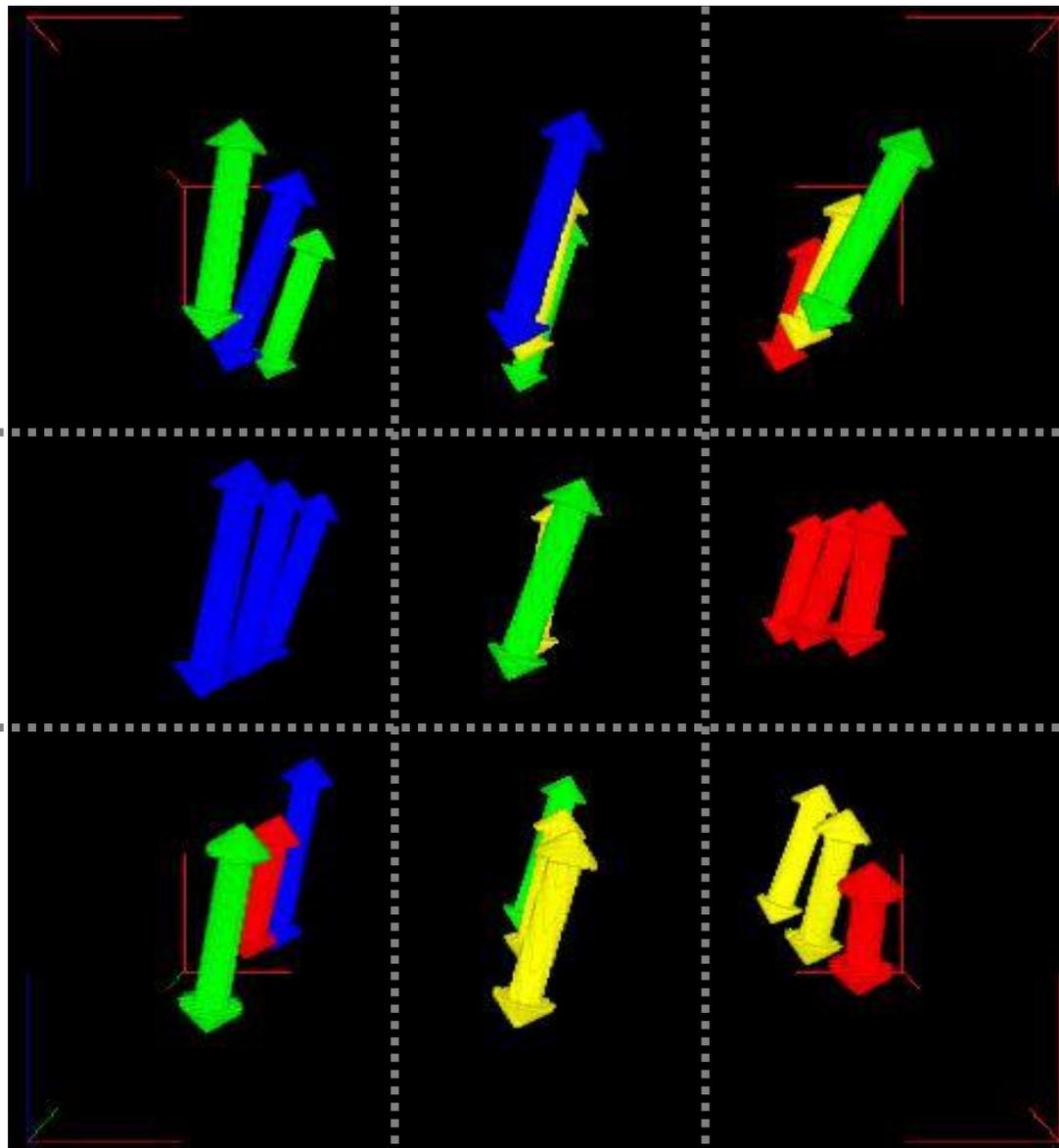


各个矢量的含义

方向：纤维的平均走向

长度：各方向纤维的强度

颜色：纤维的数量



对于立体空间分割出的体素方格

(Data: $350 \times 300 \times 400$ 的体积数值被

$116 \times 100 \times 133$ 除等于 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 平均化箭头)

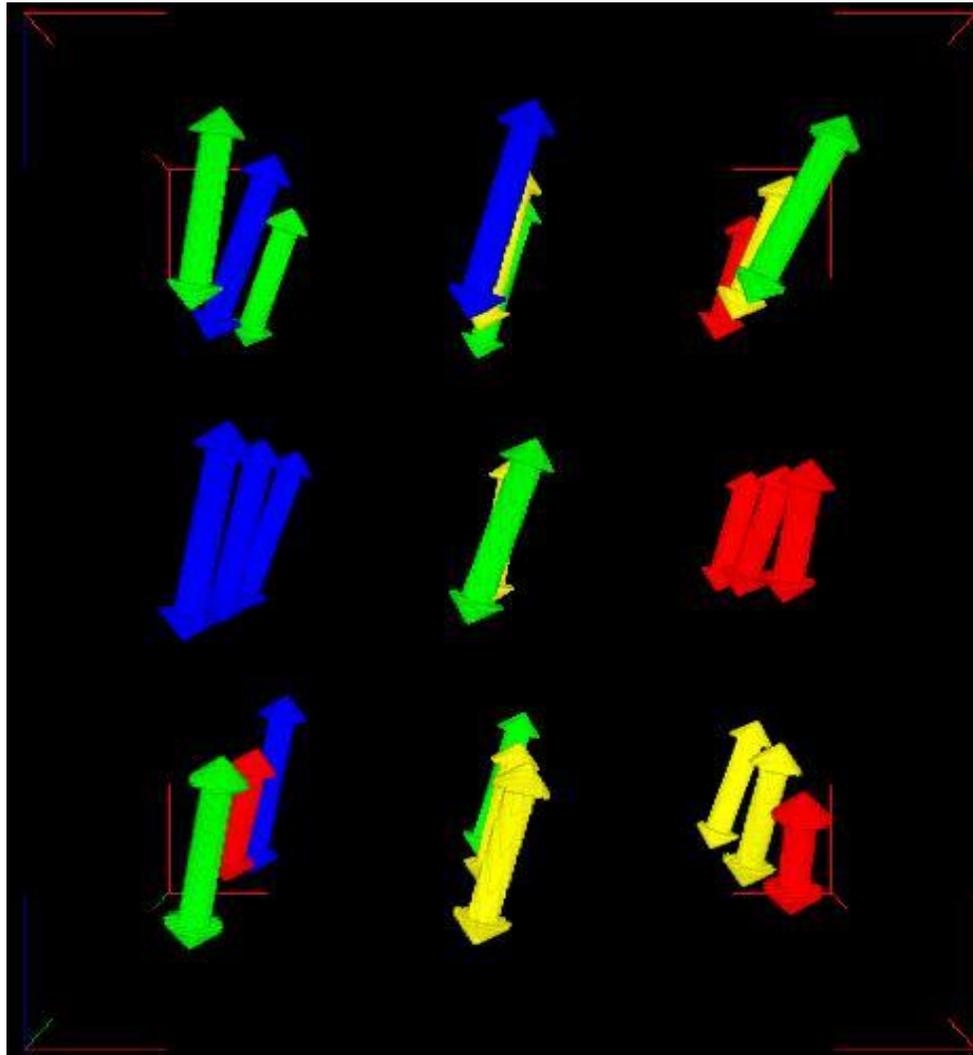
纤维的走向性质用矢量进行3D表示

可以将原有的CT图像半透明化，将矢量与之重合

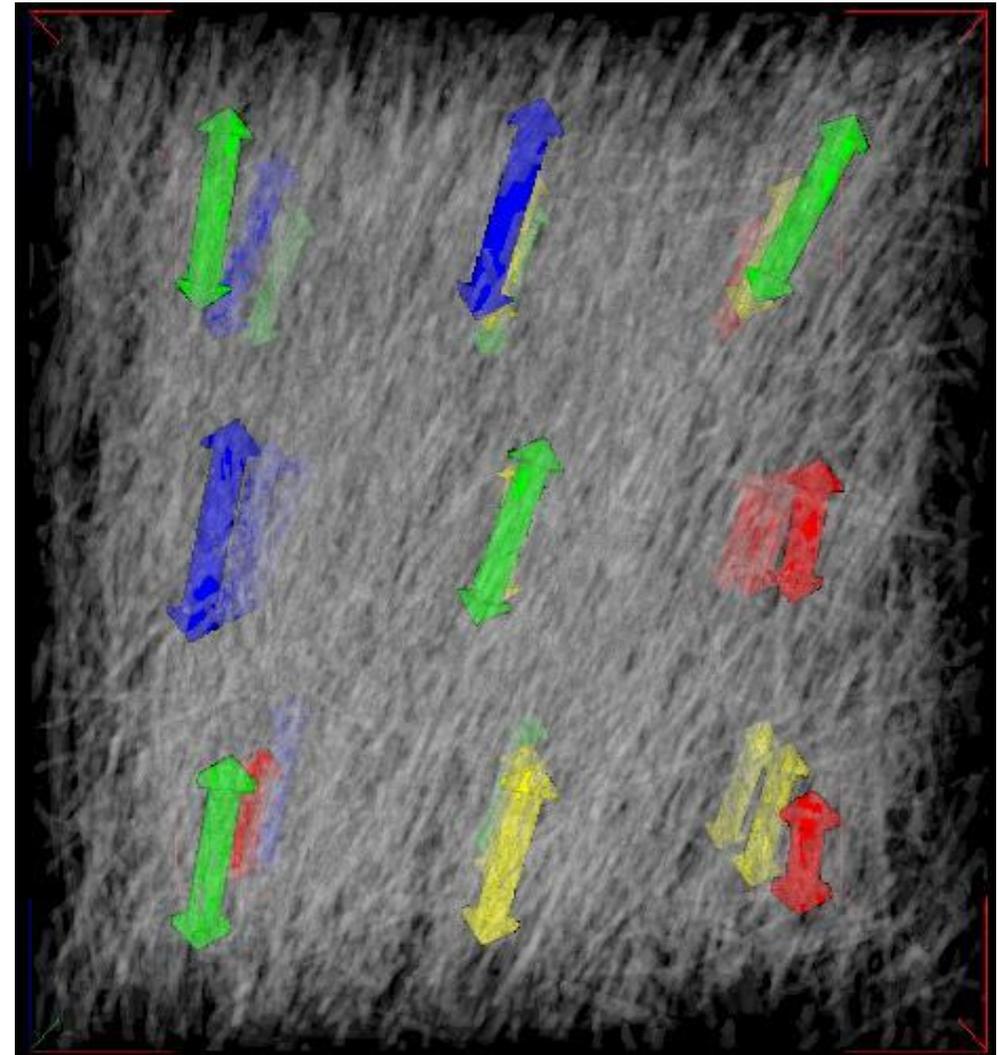
GFRP解析例（3D空間繊維分布取向可視化）

Front View (XZ)

Voxel Mesh



Voxel Mesh + Fiber



岛津企业管理（中国）有限公司 NDI事业部

<http://www.shimadzu.com.cn>



inspeXio SMX-100CT



inspeXio SMX-90CTPlus

数据分析支持：日本visual science（视觉分析）株式会社

<http://www.nvs.co.jp/>

岛津企业管理（中国）有限公司展示中心

上海展示中心

样机机型：InspeXioSMX-225CT、SMX-1000、SMX-2000、SMX-6000、SMX-800



深圳展示室

样机机型：inspeXioSMX-225CT、SMX-1000、SMX-2000、SMX-800



谢谢！