

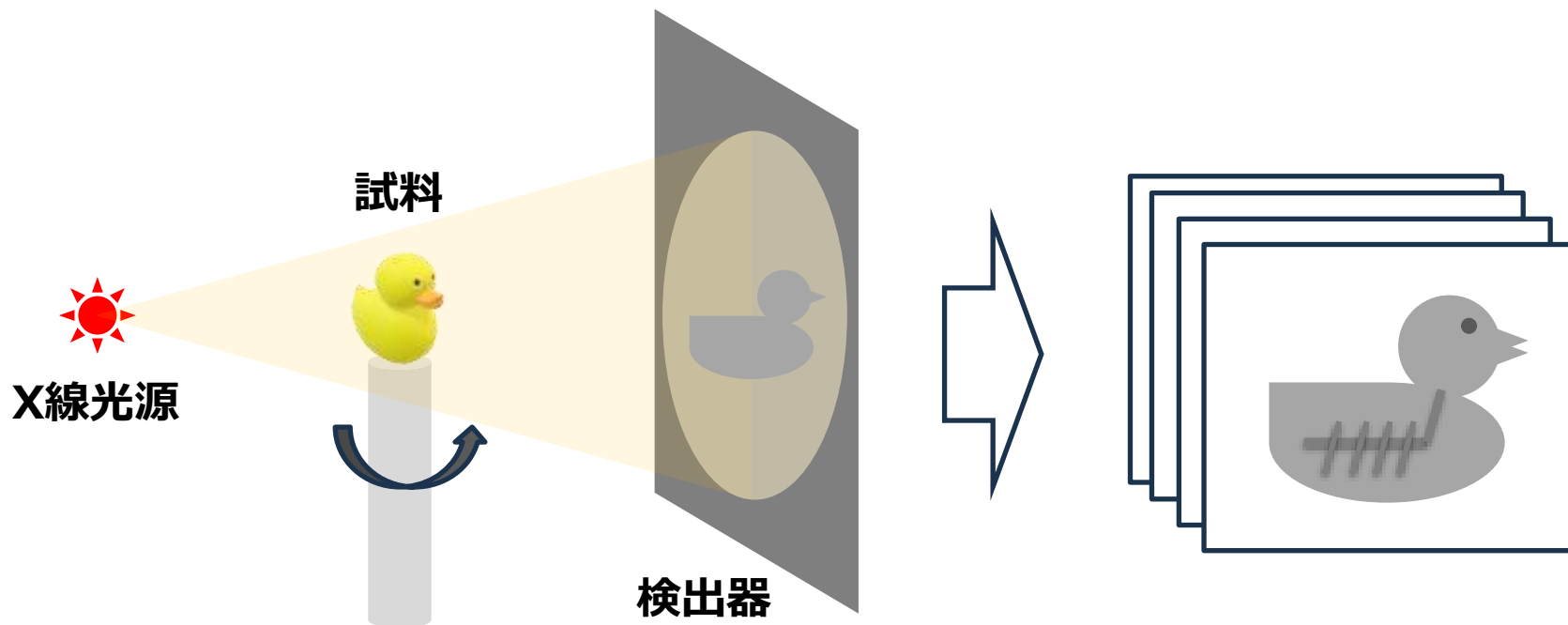
# 放射光の特性を生かした 三次元物性イメージングの研究

材料開発・分析技術部

伊藤 桂介、内海宏和、曾根宏

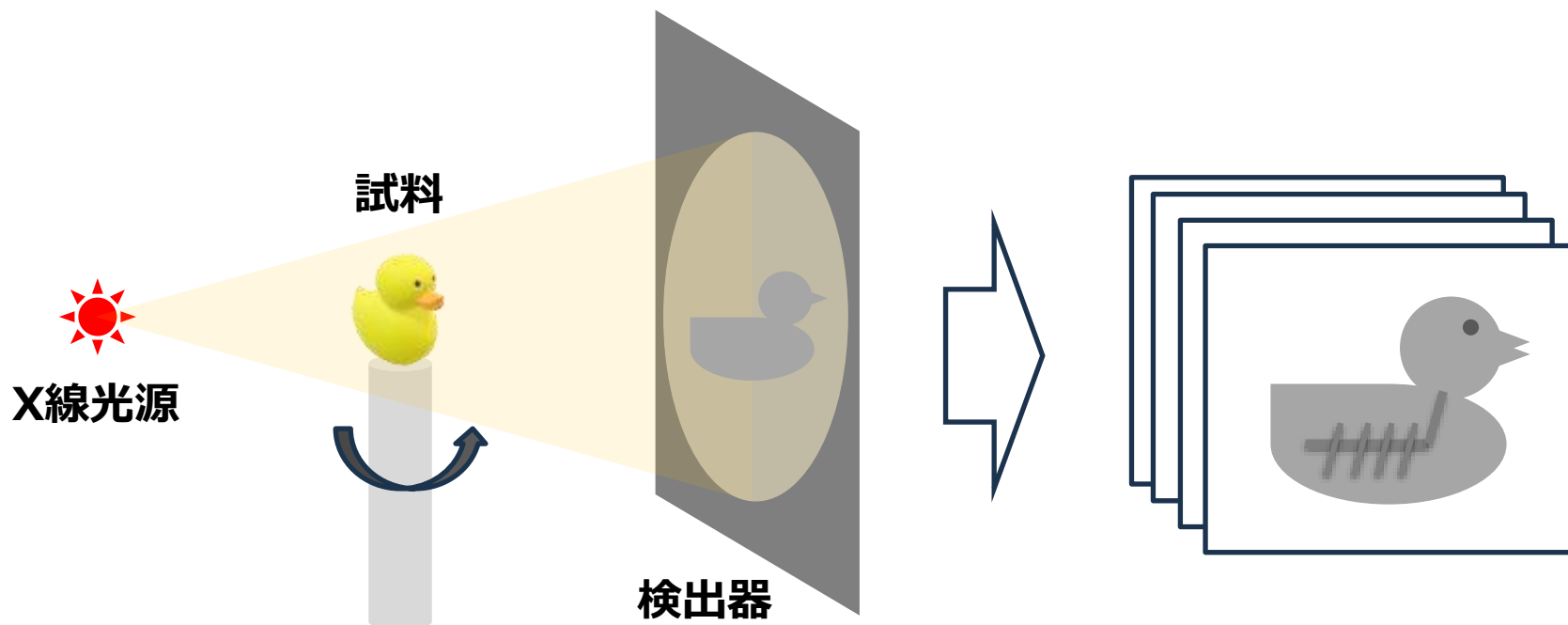
# X-ray Computed Tomography (X線CT)

X線を用いて、物体の内部を非破壊かつ三次元で観察する手法。  
産業のあらゆる分野で活用されている分析技術。



# X-ray Computed Tomography (X線CT)

X線を用いて、物体の内部を非破壊かつ三次元で観察する手法。  
産業のあらゆる分野で活用されている分析技術。



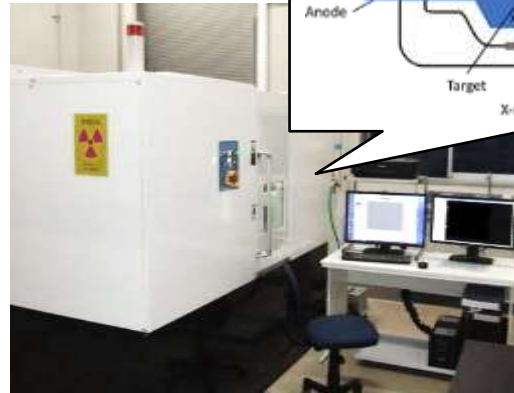
実験室でも放射光施設でも、同じ測定原理で実施可能。  
ただし、得意なこと・できることに違いがある。

# 実験室光源と放射光のちがい

## 実験室光源（X線管球）

電子線を金属に当てたときに発生するX線を利用

- ・ 指向性が低い
- ・ 基本的に白色光
- ・ 硬X線が出しやすい



## 放射光

電子の軌道が磁場により曲げられたときに放射されるX線を利用

- ・ 輝度が非常に高い
- ・ 単色化しやすい
- ・ 光の性質（偏光、コヒーレンス等）を最大限に活用できる



※特徴はあくまでもごく一般論です

# 実験室光源と放射光のちがい

## 実験室光源 (X線管球)

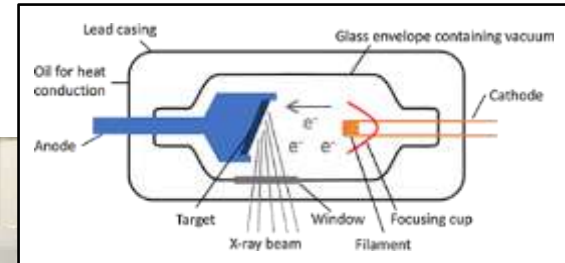
電子線を金属に当てたときに発生するX線を利用

- ・ 指向性が低い
- ・ 基本的に白色光
- ・ 硬X線が出しやすい

## 放射光

電子の軌道が磁場により曲げられたときに放射されるX線を利用

- ・ 輝度が非常に高い
- ・ 単色化しやすい
- ・ 光の性質（偏光、コヒーレンス等）を最大限に活用できる



## X線CT実験を行う上で、とても大雑把な使い分けとしては…

- ・ 広い視野（cm以上）が必要なときや金属材料は、ラボ機が便利
- ・ 高解像度が欲しいとき、高S/Nが必要なとき、高速測定等の特殊測定がしたいときには放射光実験が有利



※特徴はあくまでもごく一般論です

# 昨年度の取り組み（すずめっき銅線）

+ TITLE ▶

耐食性向上・防食性向上・装飾性付与など、あらゆる産業分野で広範に活用



すずめっき層の厚さ・界面状態を調べるとき通常・・・

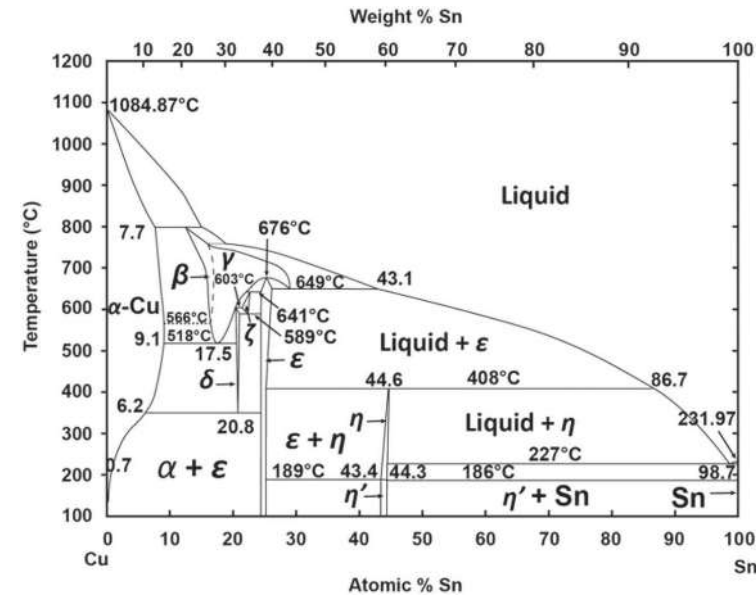
切断 → 研磨 → 電子顕微鏡で観察

ものすごく大変…かつ試料は破壊される。



非破壊・三次元での観察ができれば非常に有用

放射光施設SPring-8を利用して調査



# 本年度の取り組み

## ナノテラスでのすずめっき銅線の撮影

- ・すずめっき銅線を対象として、ナノテラスのX線CTの活用可能性を探る。
- ・当該ビームラインに関する職員の経験・知識力の向上を目指す。

## 県内製造業の活用支援に向けた技術調査

- ・放射光X線CT実験に取り組むための前さばき・フォローアップ・相補的実験としてどのような分析が可能か/提案できるのかを調査・実践。

# 銅食われの観察

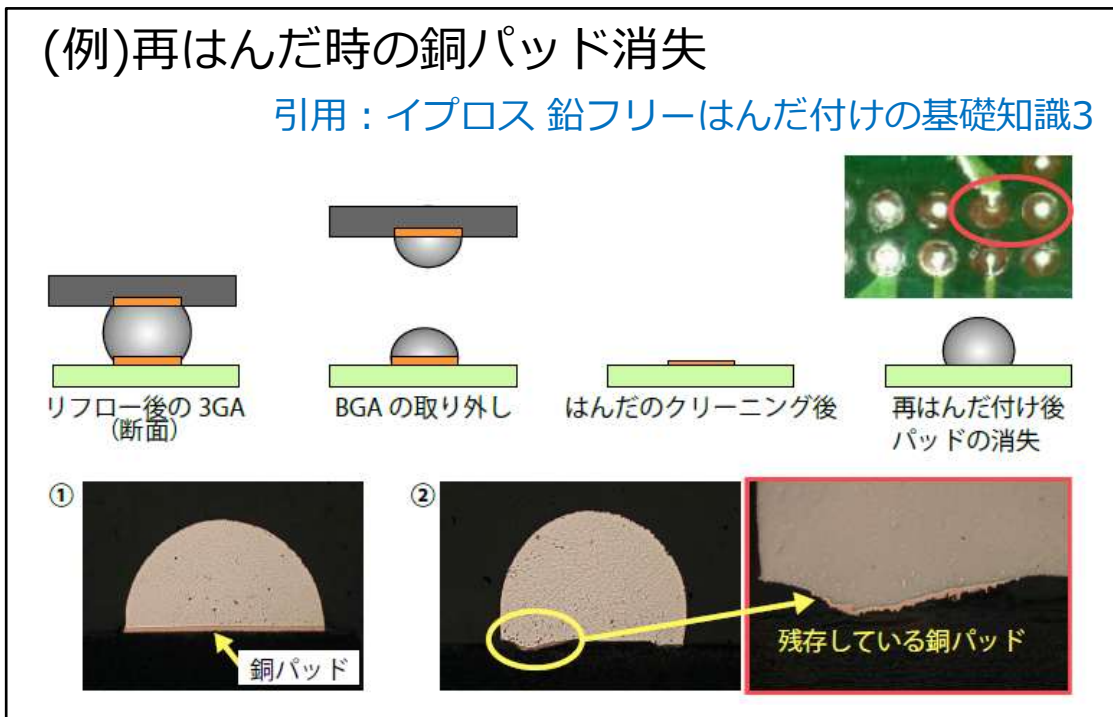
+ TITLE ▶

銅食われ：銅がすずに溶けて減肉する現象。

鉛フリーはんだの大敵

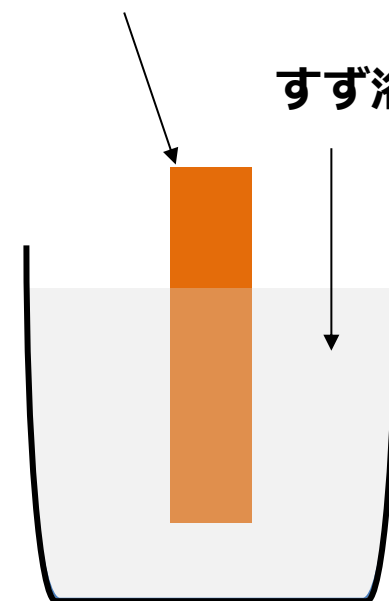
(例)再はんだ時の銅パッド消失

引用：イプロス 鉛フリーはんだ付けの基礎知識3



銅線

すず浴



# 銅食われの観察

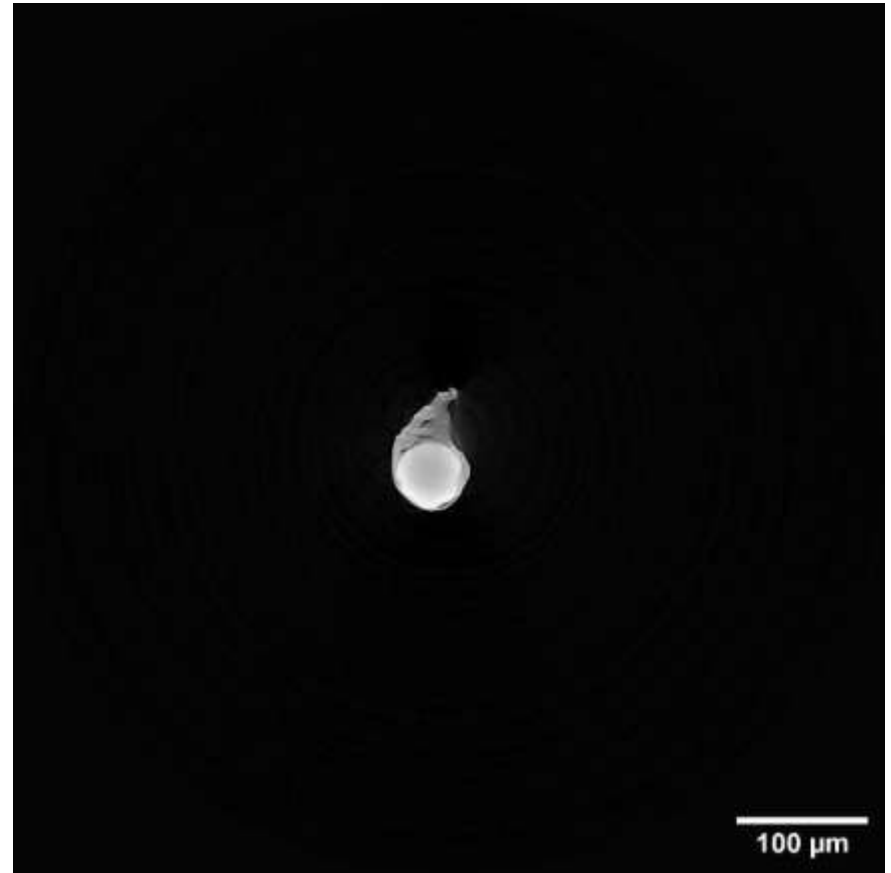


ナノテラス BL09W

X線エネルギー 4~30keV (白色)

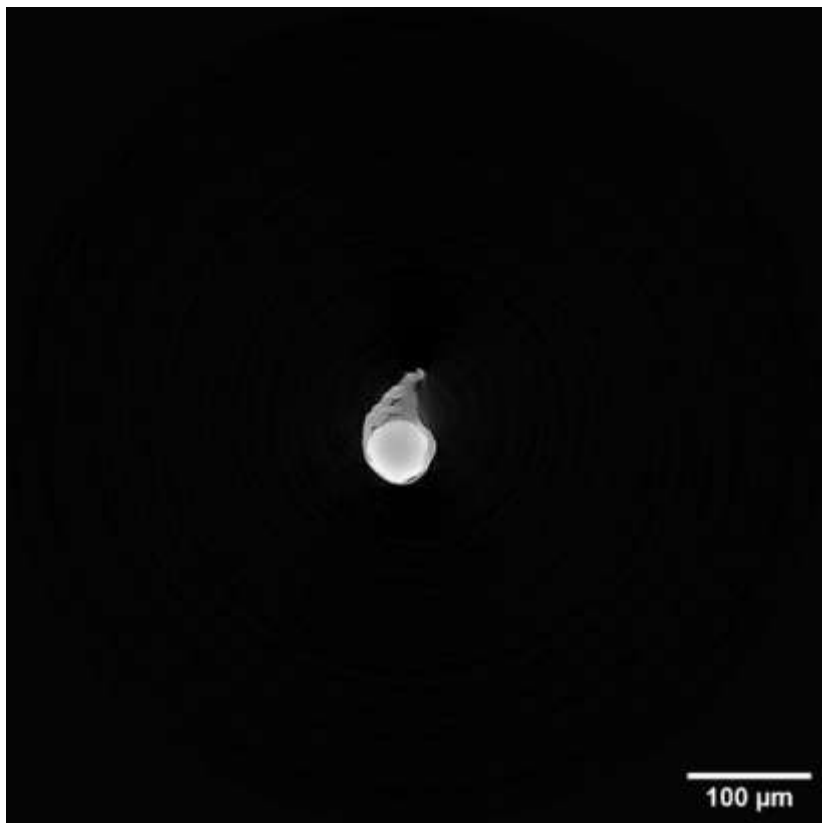
視野サイズ 700  $\mu\text{m}$

解像度 0.35  $\mu\text{m}/\text{pix}$



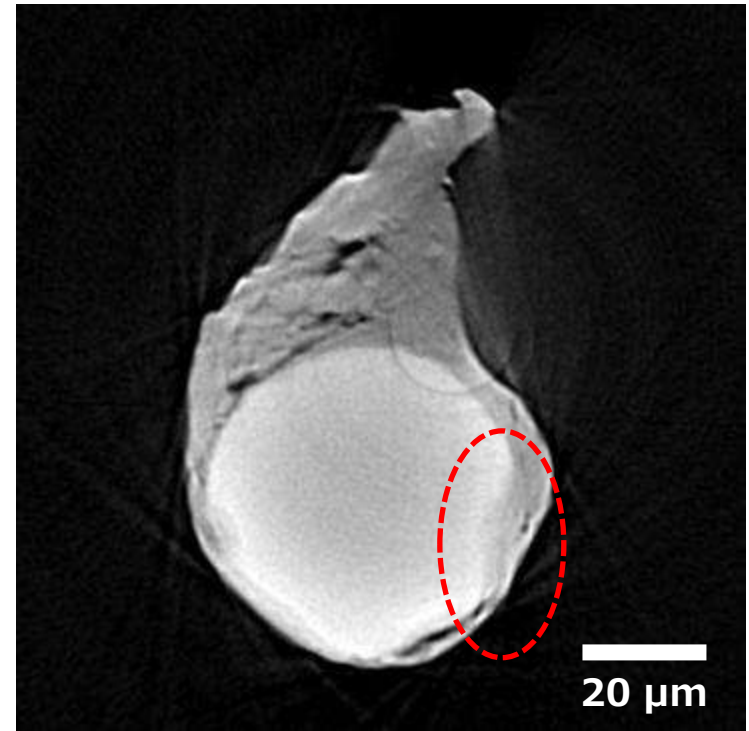
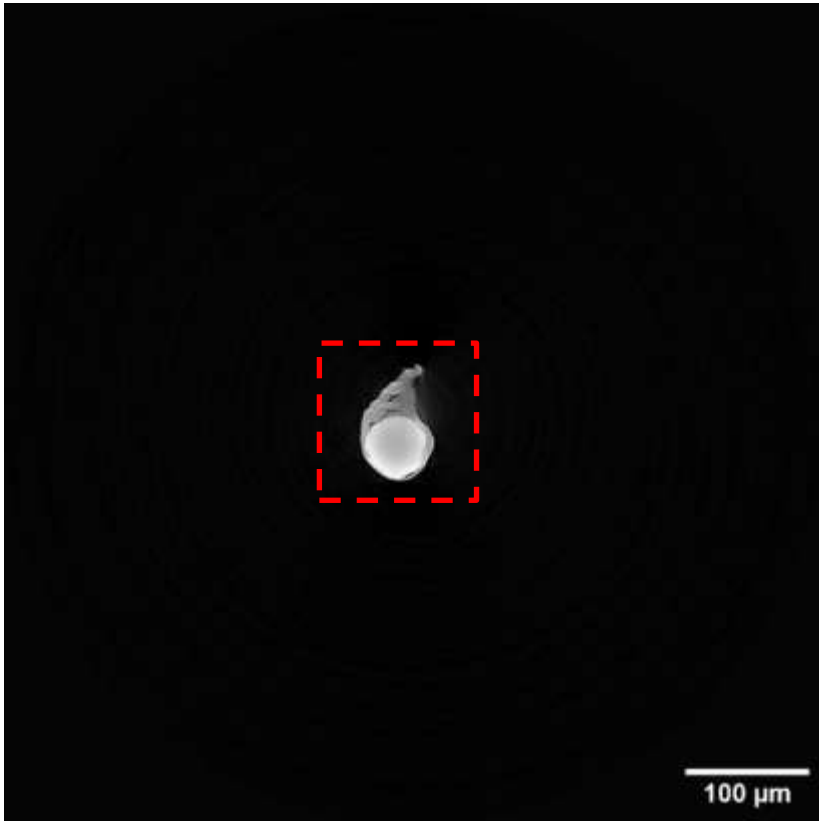
# 銅食われの観察

+ TITLE ▶



# 銅食われの観察

+ TITLE ▶



- 放射光ならではのキレイの良い画像  
(高コントラスト・高解像度)
- 銅が侵食されている様子がよく観察できた

# 本年度の取り組み

## ナノテラスでのすずめっき銅線の撮影

- ・すずめっき銅線を対象として、ナノテラスのX線CTの活用可能性を探る。
- ・当該ビームラインに関する職員の経験・知識力の向上を目指す。

## 県内製造業の活用支援に向けた技術調査

- ・放射光X線CT実験に取り組むための前さばき・フォローアップ・相補的実験としてどのようなことが可能か/提案できるのかを調査・実践。

# 県内製造業の活用支援に向けた技術調査

- ・放射光CTの活用により高解像度・高コントラストの測定が実現できる。
- ・日々アップグレードされており、今後もますますの性能向上が期待。

→ **県内製造業にとって取り組むメリットは多大。**

しかし、留意すべき点も・・・

- ・放射光実験のターゲットは、基本的に微小試料（mm～ $\mu$ mオーダー）。  
**「製品を持ってきてそのまま」**は、ほとんどの場合困難。
- ・弊所へ放射光利用に関してご興味・ご相談を寄せていただくなかでも、このことを説明すると見送ってしまうケースは多い。  
**（製品の分解にかかる費用や現場の負担は想像以上に大きい）**

**まずはスクリーニング（内部のおおまかな構造を把握、分析個所の特定）を非破壊で実施することが非常に重要。**

# 県内製造業の活用支援に向けた技術調査

- 一般的にはラボX線CT装置でスクリーニング。
- しかし、サイズの大きな製品や、金属が多用されている製品は良好な撮影ができず、スクリーニング用途に適さない。
- **限界を探るため、超高出力（9MV）X線CT装置の調査を行った**

# 超高エネルギーX線CT

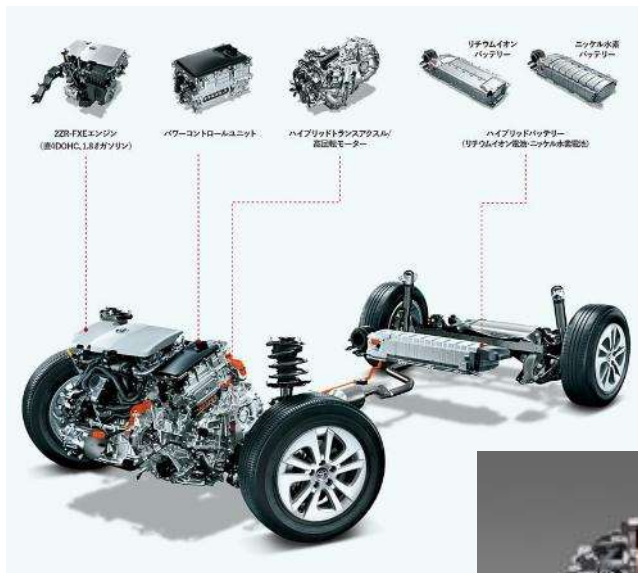
- ・リニア加速器を線源としたX線CT。現状では、9MVが世界最高出力。現状では**日立製作所（勝田）**、**フラウンホーファー研究所（ドイツ）**で産業利用可能（それぞれ独自開発）。
- ・**30cm以上の厚みの鉄でも撮影が可能。**



※フラウンホーファー研究所HPより引用

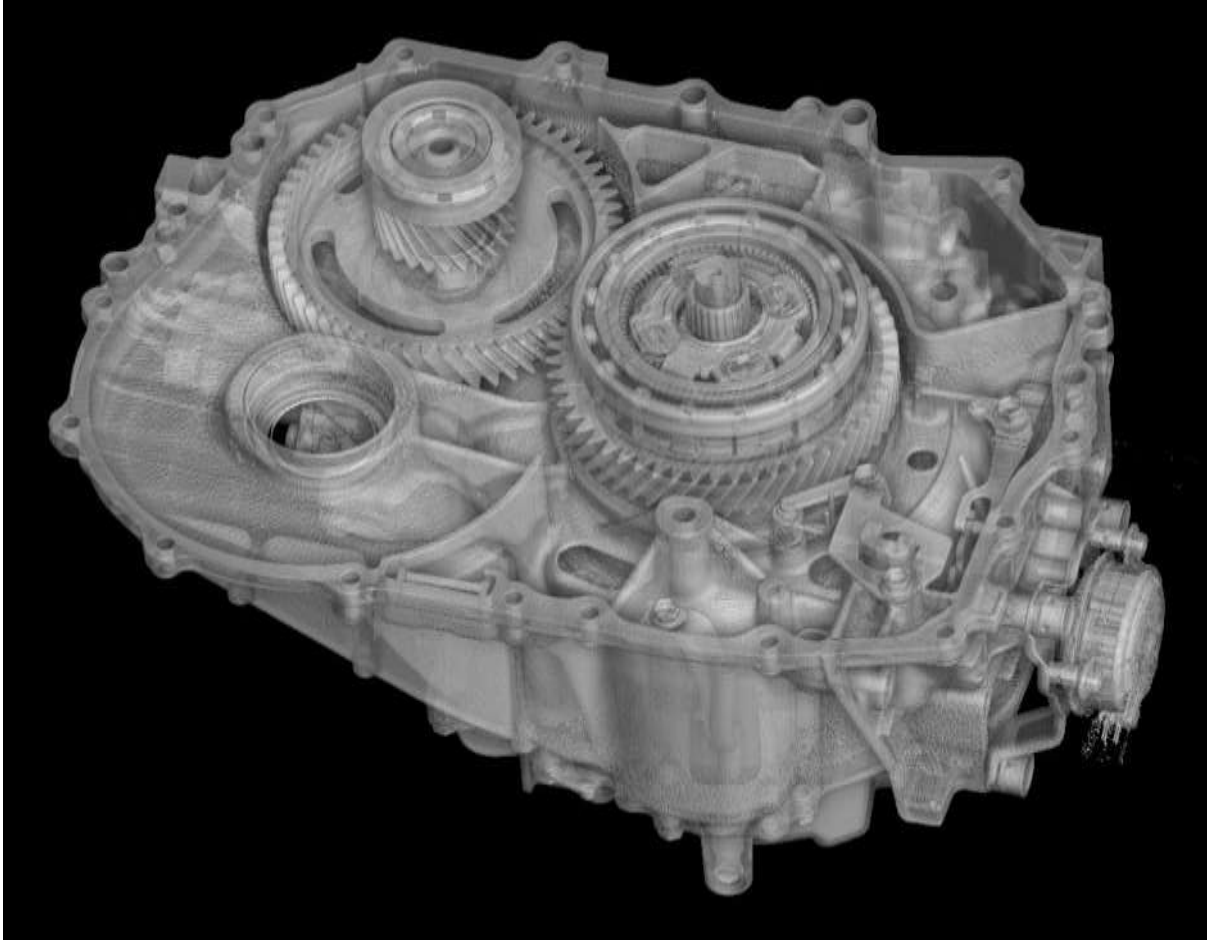
# トランスアクスル

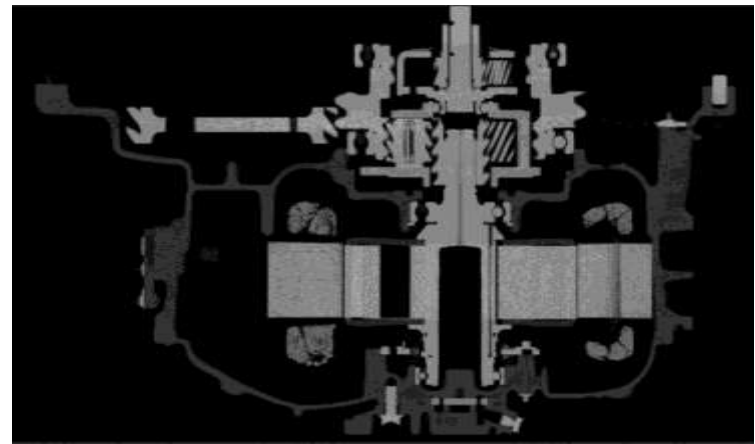
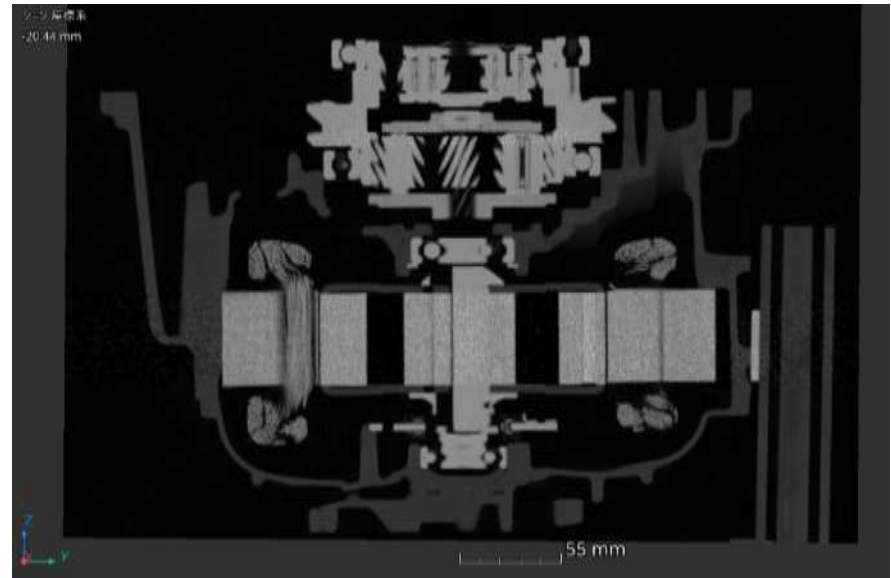
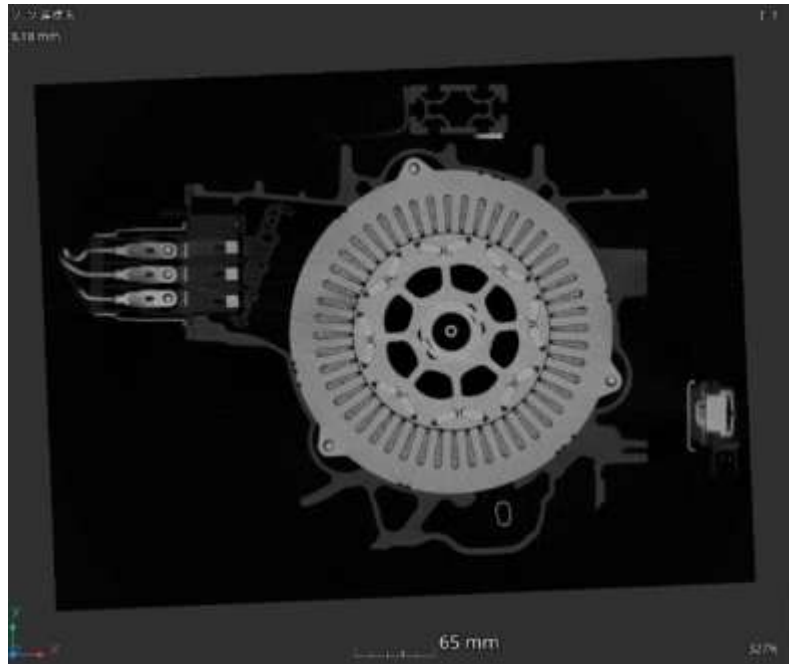
トランスミッションとディファレンシャルギアを一体化した装置

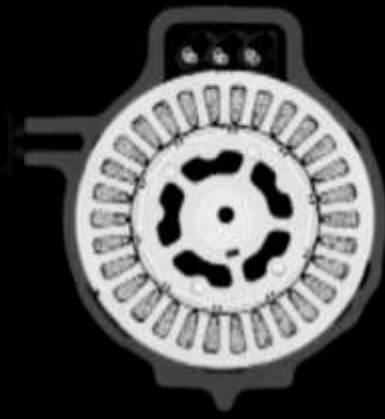


※トヨタ自動車HPより引用

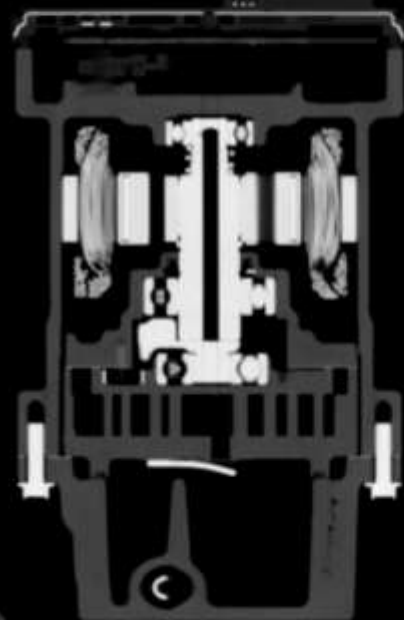




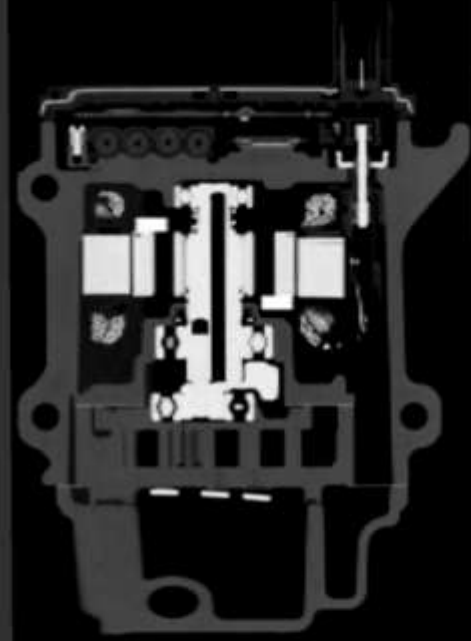




25 mm

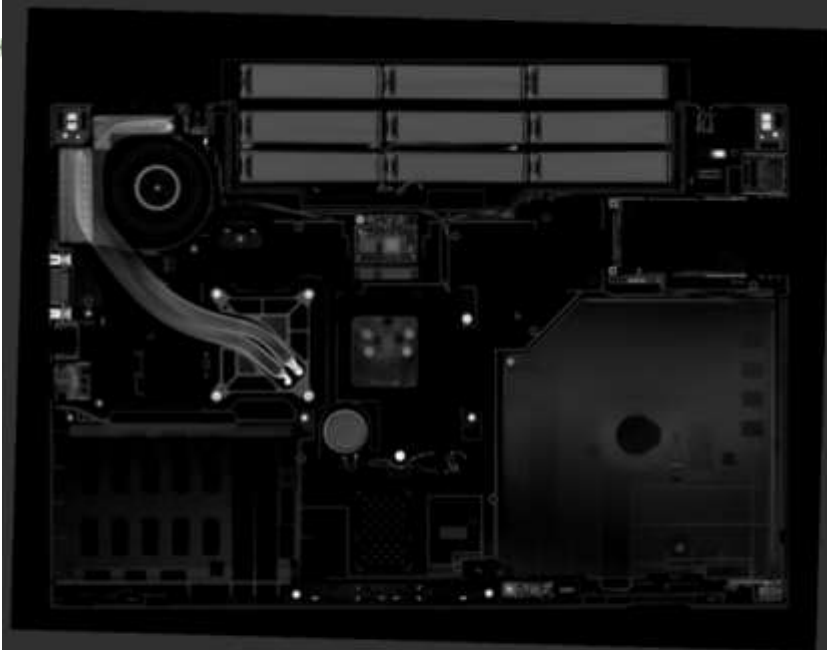


25 mm



35 mm





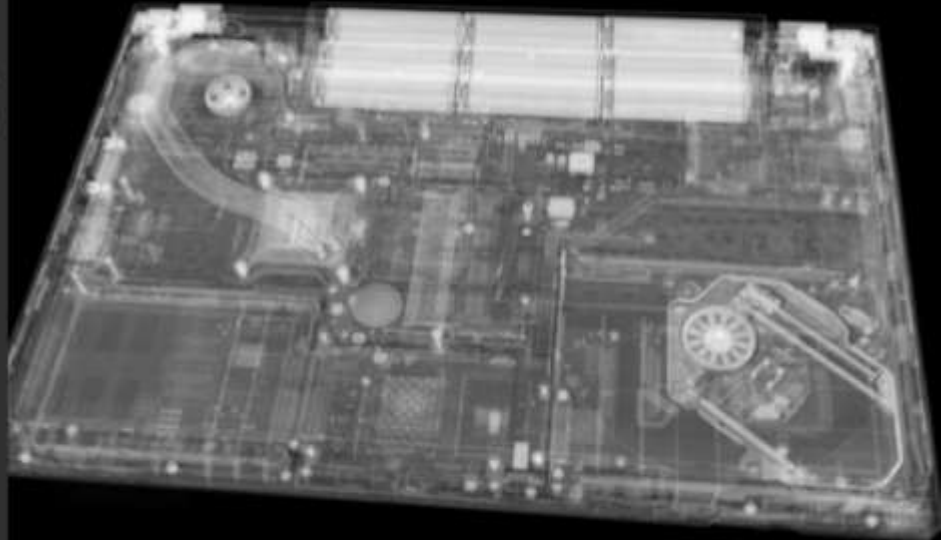
40 mm



40 mm



25 mm



# まとめ

## ナノテラスでのすずめっき銅線の撮影

- ・すずめっき銅線を対象として、ナノテラスのX線CTの活用可能性を探った。
- ・高解像度・高コントラストで銅食われの様子を可視化することに成功した。

## 県内製造業の活用支援に向けた技術調査

- ・放射光X線CT実験に取り組みたい県内企業にアドバイスできるよう、前さばき・フォローアップ・相補的実験としてどのようなことが可能か/提案できるのかを調査した。
- ・超高エネルギーX線CTによる分析を行い、非破壊内部観察によるスクリーニングの限界を調査した。



# 宮城県産業技術総合センター

INDUSTRIAL TECHNOLOGY INSTITUTE. MIYAGI PREFECTURAL GOVERNMENT



〒981-3206

宮城県仙台市泉区明通 2 丁目 2 番地

TEL 022-377-8700 FAX 022-377-8712

Web [www.mit.pref.miyagi.jp](http://www.mit.pref.miyagi.jp)



・仙台駅より車で40分 / 東北自動車道 泉 I.C. より15分

・地下鉄泉中央駅より路線バスで約25分

3番乗り場 ▶ 「宮城大学前経由 泉パークタウン車庫」行き  
「宮城大学・仙台保健福祉専門学校前」下車徒歩3分

・仙台駅より路線バスで約40分

バスプール 2番乗り場 ▶ 「宮城大学・仙台保健福祉専門学校前」行き  
「宮城大学・仙台保健福祉専門学校前」下車徒歩3分