



パルス中性子透過分光法の 日本刀への応用

北海道大学

○長嶋翔大 塩田佳徳 佐藤博隆

加美山隆 大沼正人

名古屋大学

鬼柳善明

発表内容

1. 研究背景・目的
2. パルス中性子透過分光法の原理
3. 研究内容
4. 日本刀一本の結晶組織分布
5. 産地・年代の異なる日本刀結晶組織の違い
6. 結論

研究背景

日本刀

日本刀の種類により、様々な刃長、断面がある。

- 日本刀独自の製法(折返し鍛錬、造込み)
- 折れず、曲がらず、よく切れる
- 材料科学的研究(複合材料、焼入れ、組成制御)
- 考古学的研究(年代・産地特定、製法調査)

一般的な日本刀の断面図

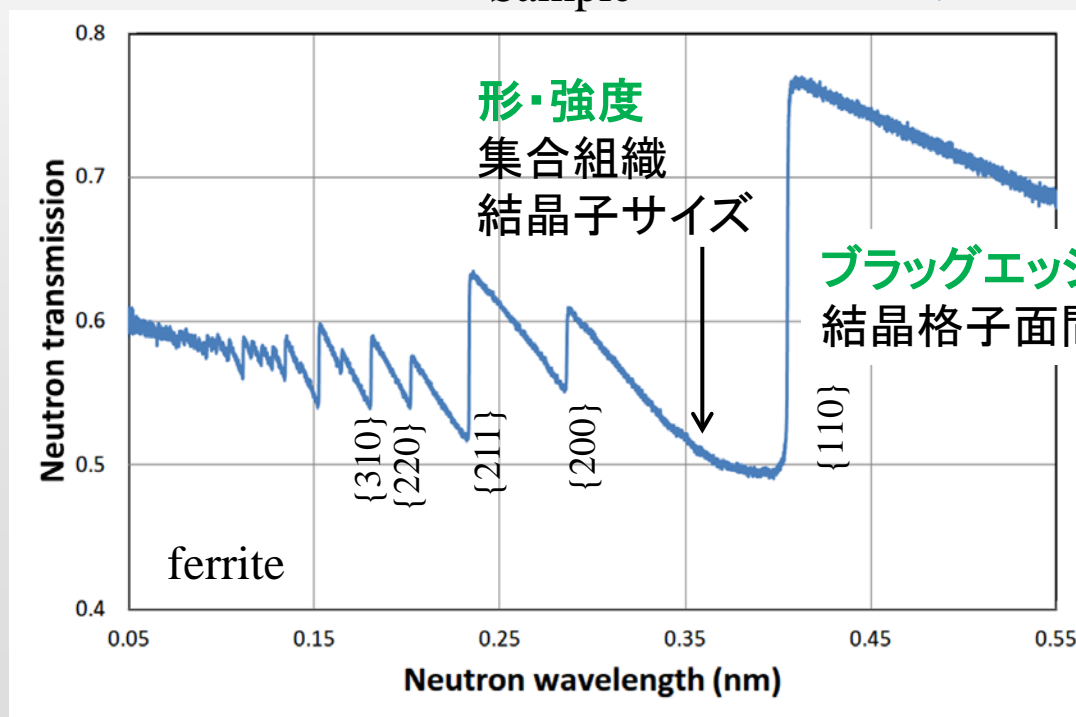
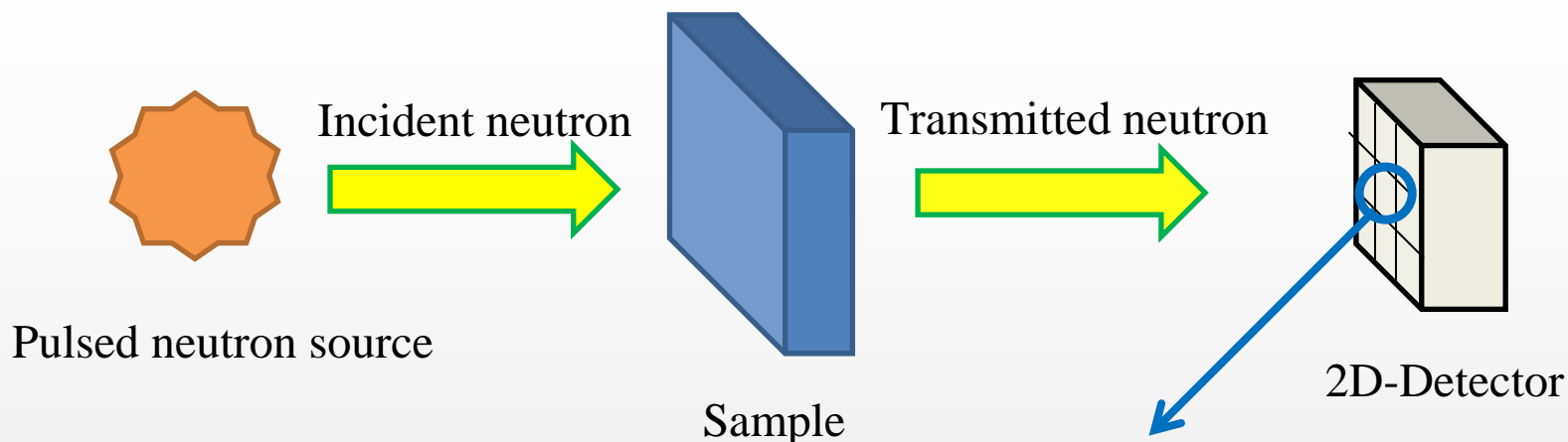


文化財保護のため非破壊測定が望ましい。



パルス中性子透過分光法による結晶組織解析手法を使って調査する。

パルス中性子透過分光法の原理



一度に大領域の結晶組織を非破壊で定量化することが可能

日本刀研究の内容

1. 日本刀一本の結晶組織分布

{ マルテンサイト組織の分布(結晶格子面間隔)
結晶粗粒の分布

日本刀の材質(炭素量、合金元素、複合鋼)
製造法(鍛錬法、焼入れ法)

2. 産地・年代の異なる日本刀結晶組織の違い

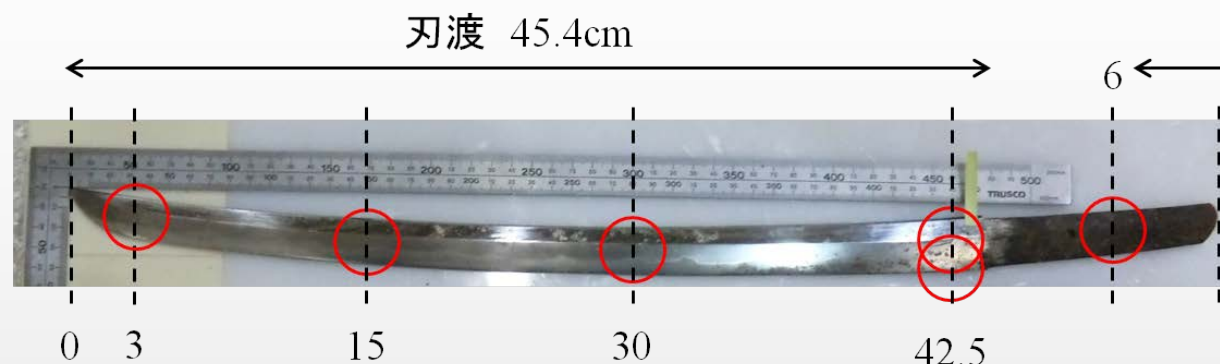
{ 結晶方位異方性の分布
結晶子サイズの分布

日本刀の産地、年代の特定

日本刀一本の結晶組織分布

中性子透過実験

サンプル: 備前長船之住則光 (15世紀頃作刀)



実験施設: J-PARC BL-10 「NOBORU」

測定時間: 5時間

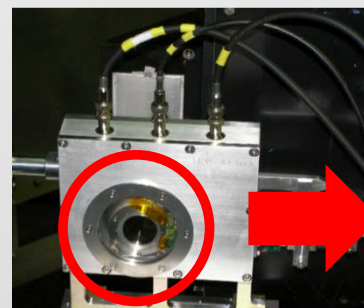
飛行距離: 14.17 m

検出器: MCP検出器

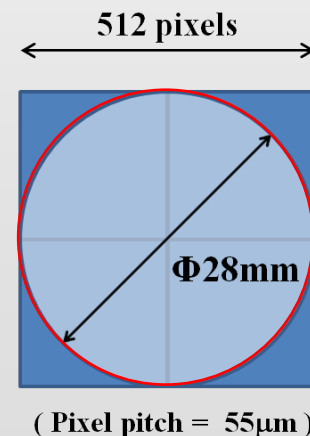
検出面積: 28 mm × 28 mm

位置分解能: 55 μm

測定部位: 切先から3 cm、15 cm、
30 cm、42.5 cm及び基部



MCP検出器



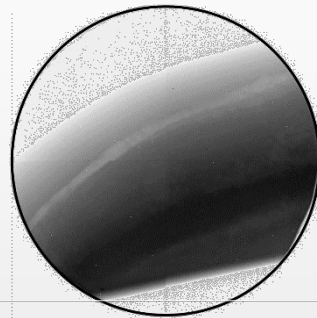
マルテンサイト組織の分布

鉄マルテンサイト変態

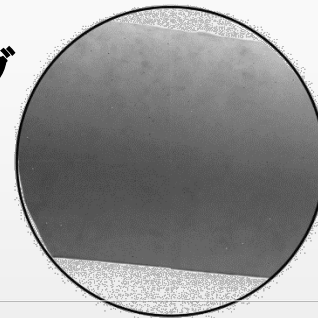


切先

茎

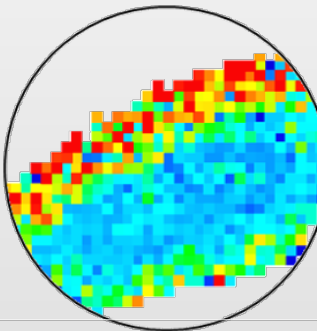


中性子
イメージング

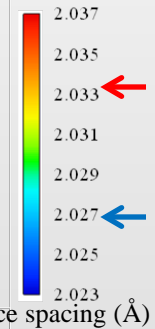
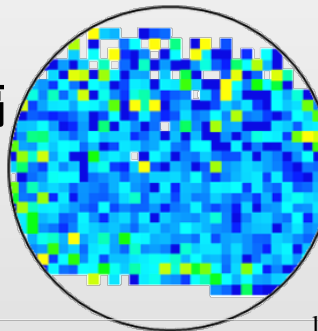


格子定数の増加

- ・変態時の変形
- ・炭素固溶



格子面間隔
bccFe-d₁₁₀

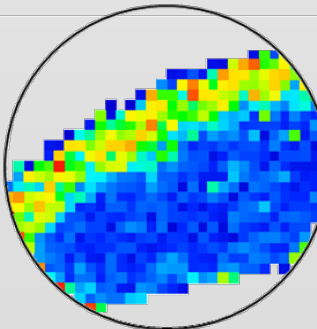


マルテン
サイト
(0.6%C)

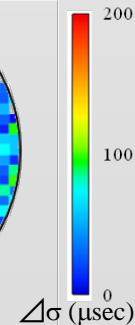
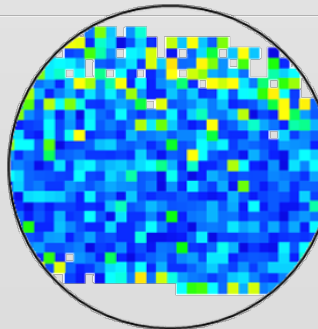
純鉄

マイクロストレインの増加

- ・粒間ひずみ
- ・粒内ひずみ: 高密度転位



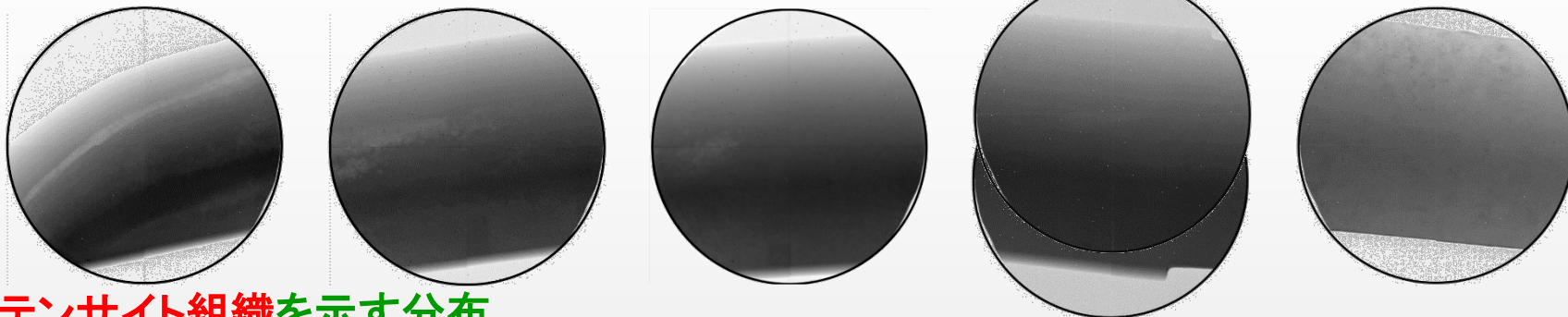
マルテン
サイトによる
広がり



日本刀全体のマルテンサイト組織分布

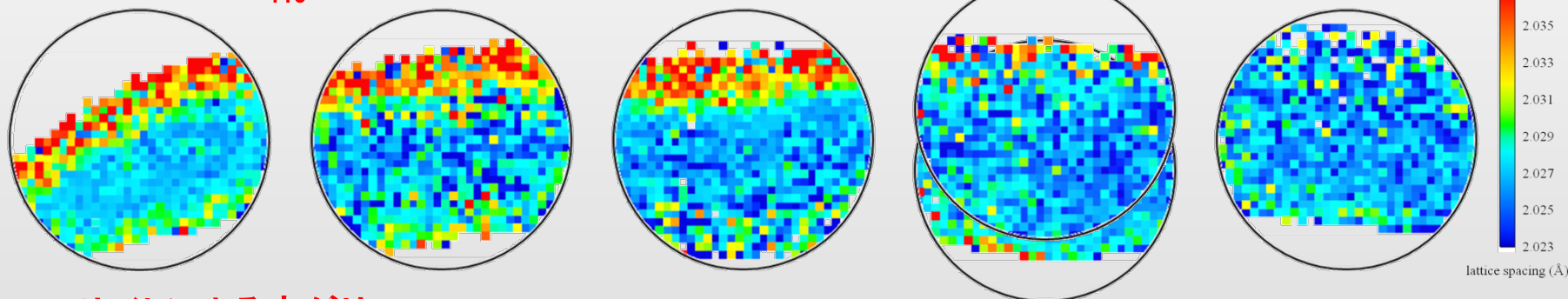


イメージング

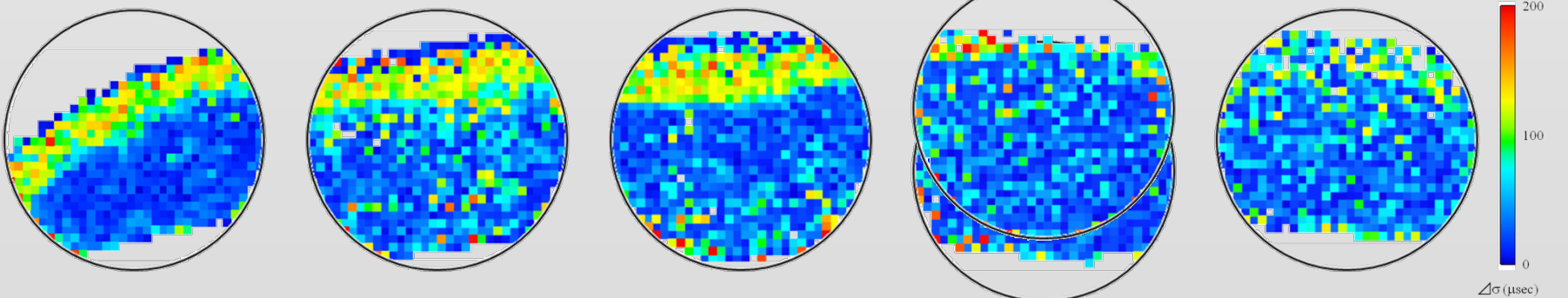


マルテンサイト組織を示す分布

▪ 格子面間隔 bccFe-d_{110}



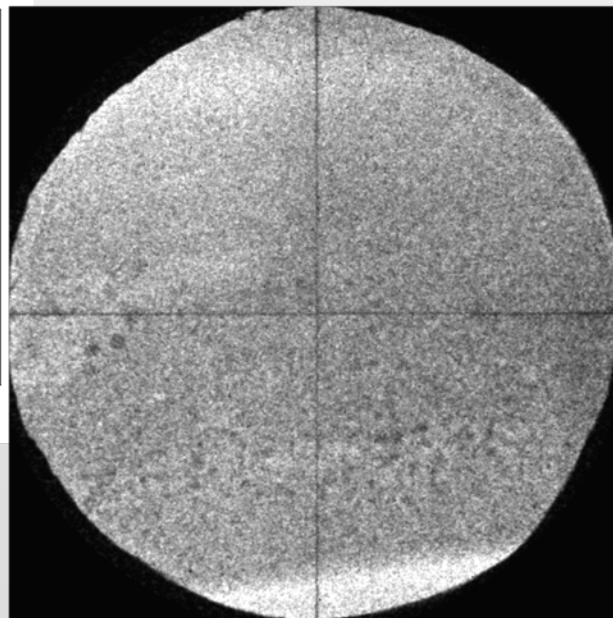
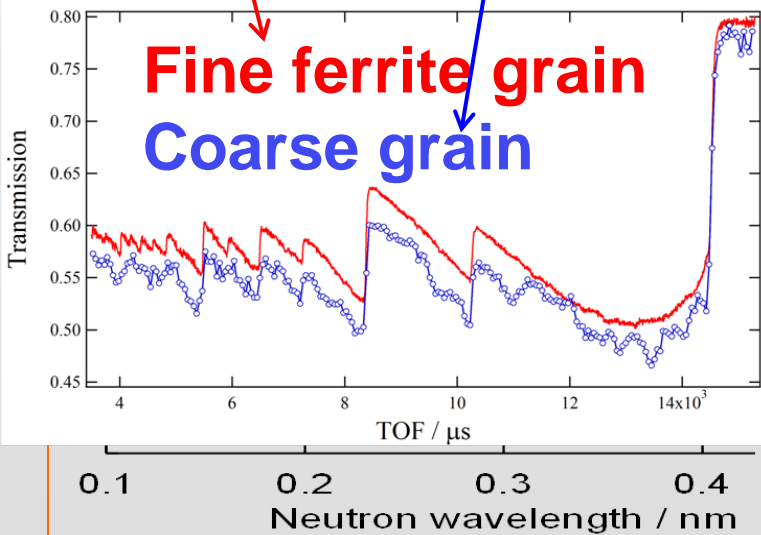
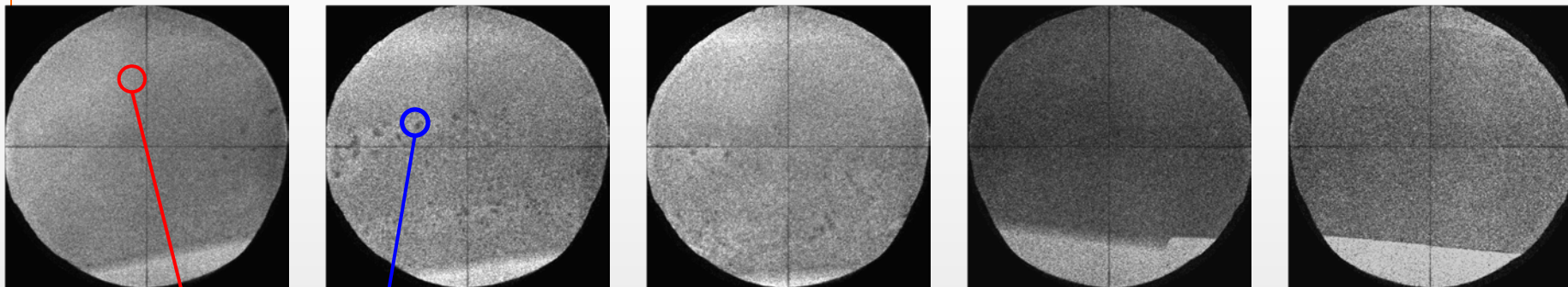
▪ マルテンサイトによる広がり



日本刀の粗粒分布



エネルギー選択イメージング



粗粒結晶の可視化

- ・透過方向からの見た目の大きさ
- ・分布と位置

産地・年代の異なる日本刀結晶組織の違い

測定試料

•備前長船之住則光

種類:脇差

造込み:鎬造→一般的な日本刀の造込み

作刀年代:15世紀頃

作刀場所:備前(現岡山県)

備前断面図



鎬造

•無銘

種類:脇差

造込み:平造→短刀や脇差でよく見られる造込み

作刀年代:不明(備前刀より新しい?)

作刀場所:不明

無銘断面図



平造



(上側:備前 下側:無銘)

実験体系

実験施設：北大Linac冷中性子源

測定時間

サンプル：12時間

ダイレクト：10時間

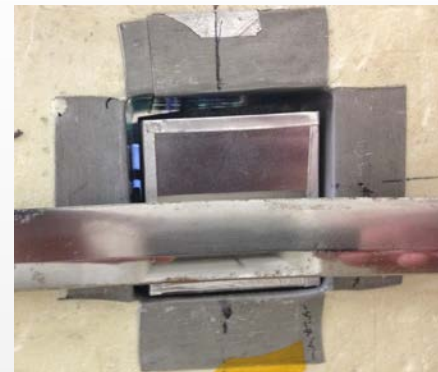
飛行距離：6.01 m

検出器：256ch ^6Li ガラスシンチレータ直読式2次元画像検出器

検出面積：4.8 cm \times 4.8 cm

位置分解能：約3 mm

測定部位：物打（切先から10 cm～15 cm）



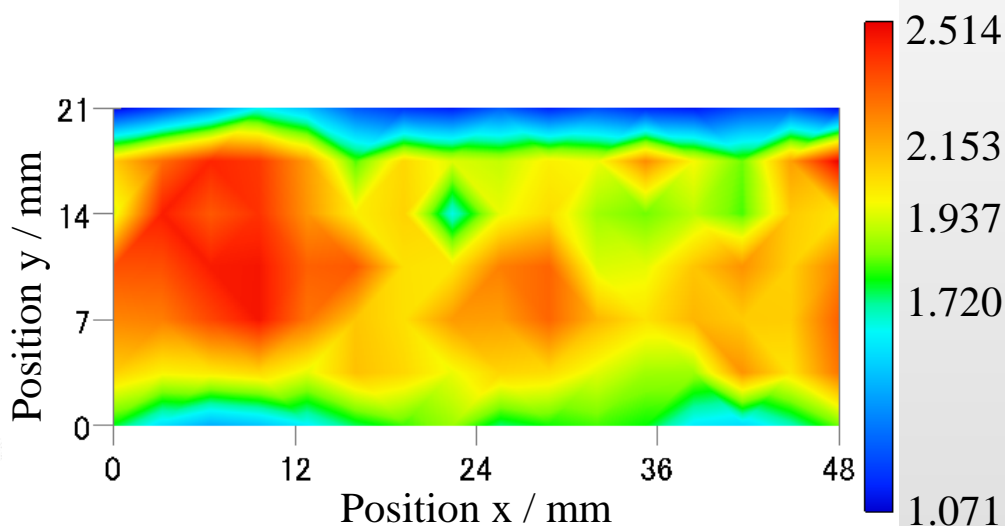
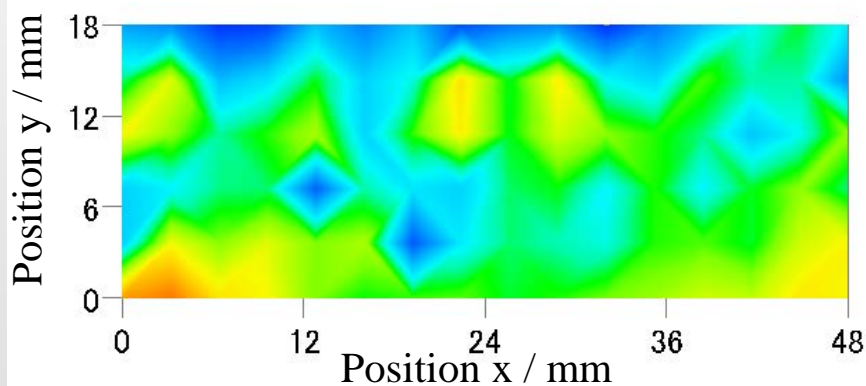
{110}面結晶方位異方性

備前

無銘



等方性パラメータR R=1:等方性



異方的

等方的

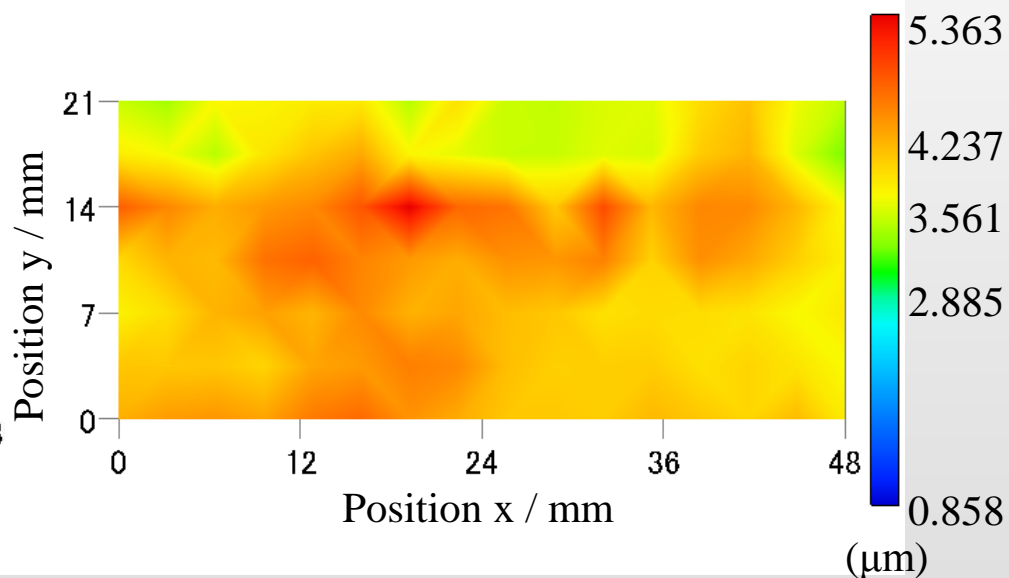
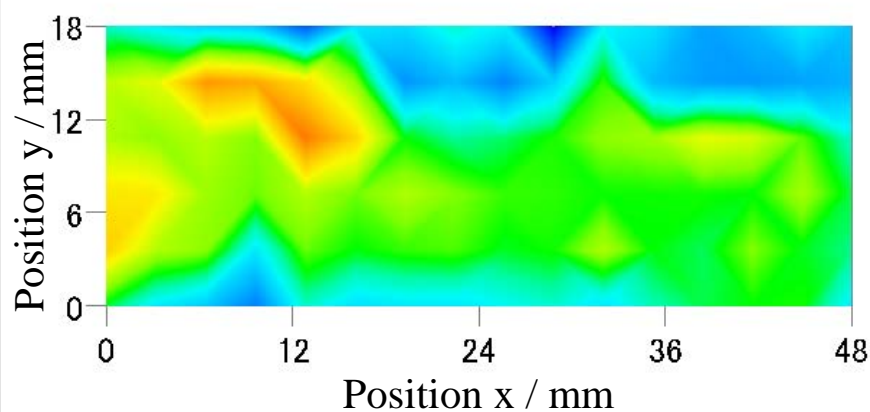
刃側は棟側よりも等方的である。
長手方向に結晶方位異方性の変化はあまり見られない。
備前は無銘よりも全体的により等方的である。

結晶子サイズ

備前



無銘



刃側は棟側よりも結晶子サイズが小さい。
長手方向に結晶子サイズの変化はあまり見られない。
備前は無銘よりも結晶子サイズが小さい。

過去の中性子透過実験

The five Old Traditions' main areas

- Bizen
- Yamashiro
- Yamato
- Mino
- Soshu



測定試料

- S-1: 備州長船祐定→現岡山県、16世紀半ば
- S-2: 備前國住長船七兵衛尉祐定→現岡山県
寛文三年八月吉日→1663年(17世紀後半)
- S-3: 無銘(相州と伝わる)→現神奈川県、16世紀半ば

実験体系

実験施設: 北大Linac冷中性子源

測定時間

サンプル: 約23.3時間

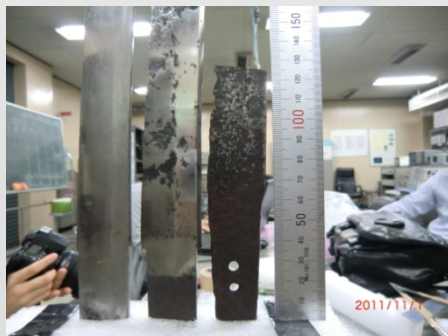
ダイレクト: 約14.6時間

飛行距離: 5.04 m

検出器: GEM検出器

空間分解能: 0.8 mm

検出面積: 9.6 mm × 9.6 mm



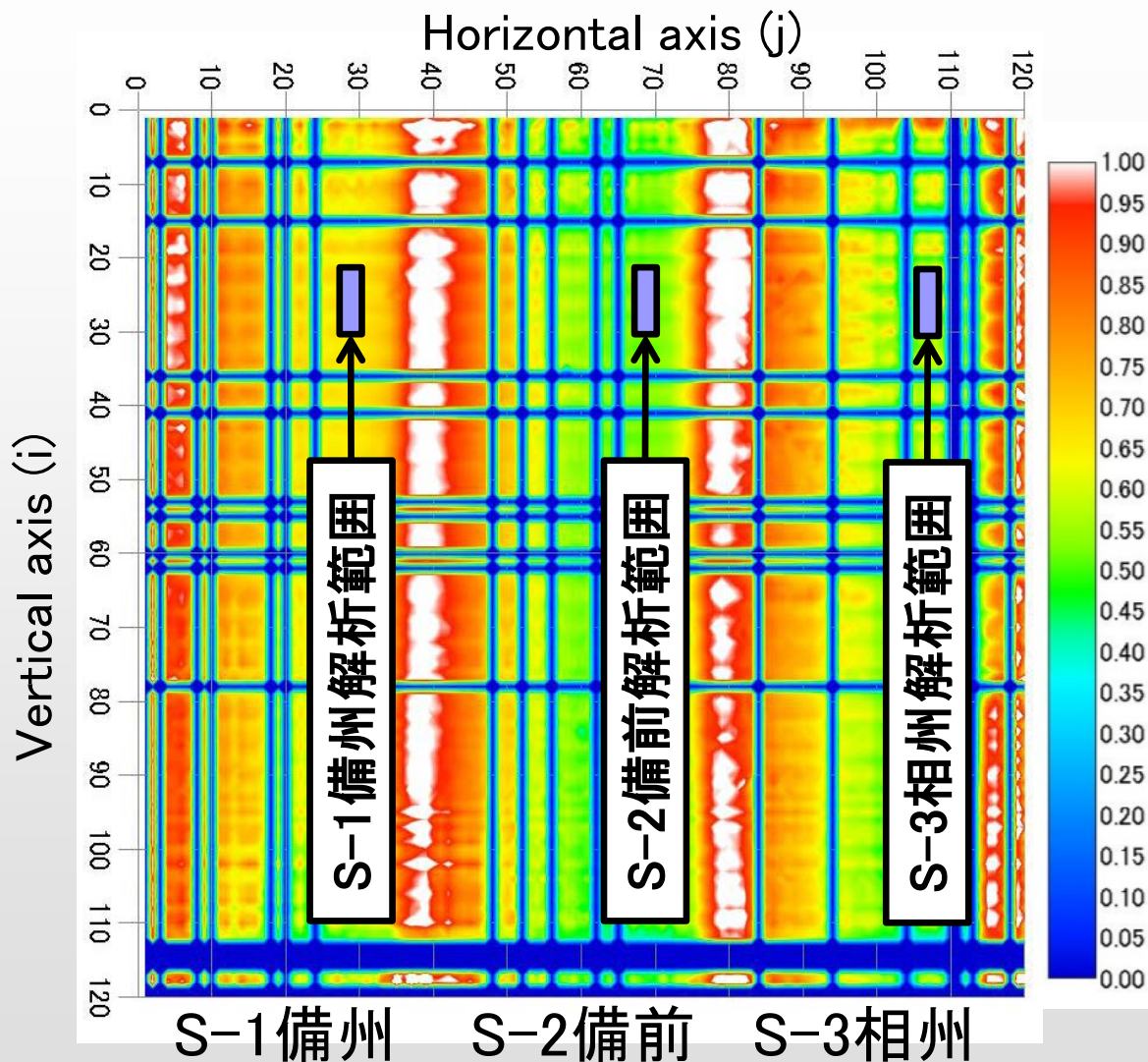
(左より、S-1備州、S-2備前、S-3相州)

中性子透過率



HUNS実験の様子

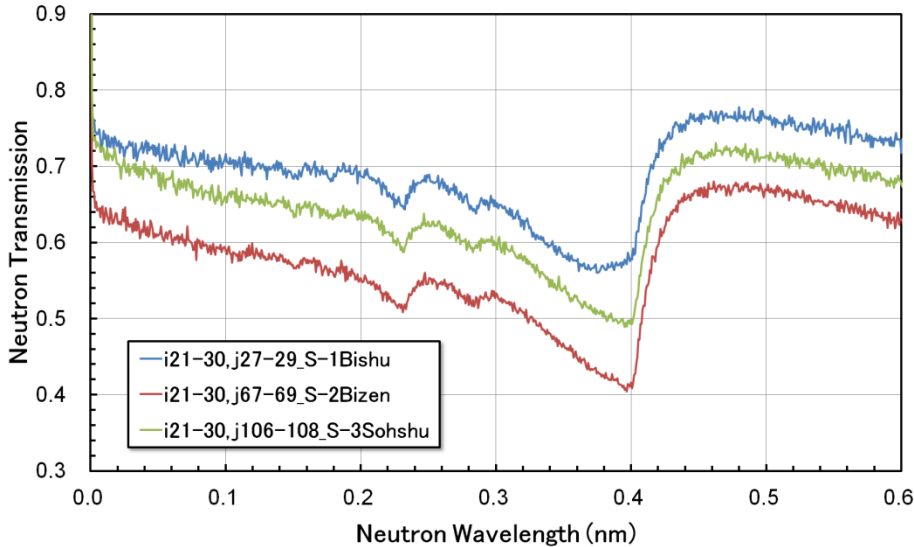
解析範囲はそれぞれ棟に近い30ピクセル分 (約8.0mm × 2.4mm)



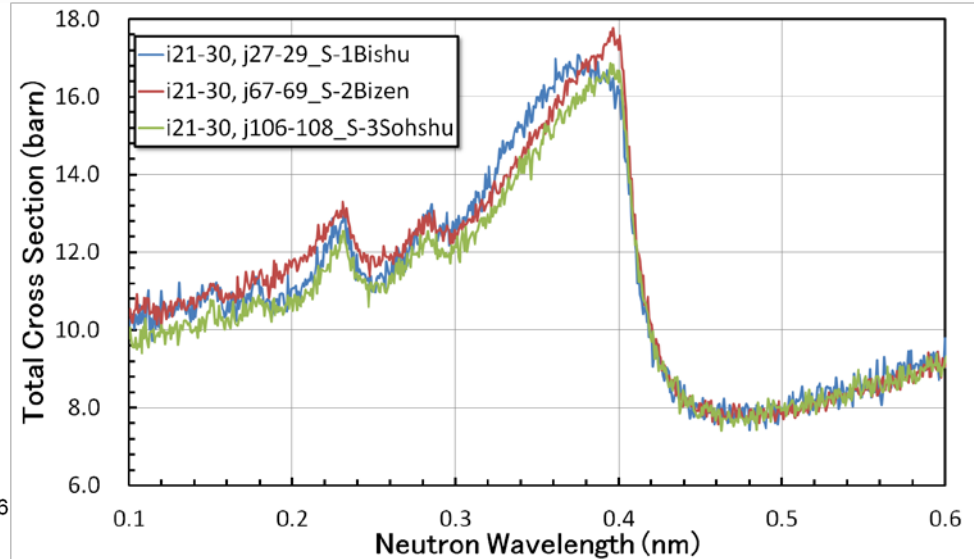
中性子透過率 (0.1nm~0.45nm足し合せ)

解析結果

中性子透過率スペクトル



中性子断面積



解析結果

	S-1備州	S-2備前	S-3相州
結晶子サイズ (μm)	3.10	3.24	3.70
結晶方位異方性	2.26	1.28	1.34

産地・年代により日本刀の結晶組織に違いが表れたと考えられる。

結論

1. 日本刀一本の結晶組織分布

- 刃部はマルテンサイト変態により、格子定数の増加がみられる。
- 日本刀の一部に粗大結晶粒の分布が見られる。

2. 産地・年代の異なる日本刀結晶組織の違い

- 備前は無銘により、等方的であり結晶子サイズが小さい。
- S-1備州、S-2備前で結晶子サイズが近い値となった。また、S-2備前とS-3相州で結晶方位異方性が近い値となった。



産地・年代による違いが現れたと考えられる。



さらに試料数を増やして、産地・年代により結晶組織に傾向があるか調べる。