

中性子とミュオンによる日本刀研究 —備前長船則光の測定—

鬼柳善明

北海道大学名誉教授

西安交通大学名誉教授

日本中性子工学(株)顧問

共同研究者

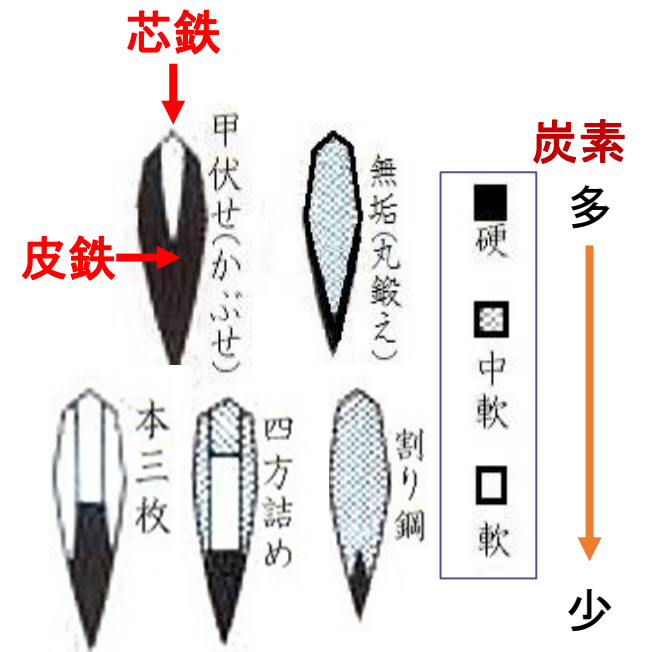
中性子:名古屋大学 塩田佳徳氏(現在, 金属技研株式会社),
北海道大学 長谷美宏幸氏(現在、JAEA)
JAEA 及川健一氏
CROSS 松本吉弘氏

ミュオン:大阪大学 二宮和彦氏
名古屋大学 渡辺賢一氏(現在, 九州大学), 西浦真介氏,
国際基督教大学 久保謙哉氏,
JAEA 及川健一氏,
KEK 三宅康博氏, 反保元伸氏,
元島根大学特任教授 伊藤正和氏

なお、中性子実験は, J-PARC/MLFの実験課題2014P0601,
ミュオン実験は2020B0330の中で実施されたものです.

背景

- 日本刀は美術品としての価値が高いばかりでなく、折れず曲らず良く切れるという武器としても優れた特徴を持っており、世界的にも知られている。
- その製造方法については、口伝であったためもあり、まだ、よく分らないところがある。
- 刀の金属工学的特性を調べるには結晶組織構造に関する情報が重要であり、また、それは製造過程の考察にも役立つと思われる。
- 鉄の硬さと炭素濃度の間には、炭素量が増えると硬さが増すという関係がある。この特徴を利用して、内側に炭素濃度の低い柔らかい鉄を、外側に炭素濃度の高い硬い鉄を使うという構造で、強さと硬さを併せ持たせるという作り方も行われている。
(例えば、芯鉄:0.02%、皮鉄:0.69%)



刀の構造の例

非破壊で、結晶組織構造や炭素濃度などを調べることによって、刀剣の特徴や構造さらには作刀方法などを明らかにしていきたい。

http://blogimg.goo.ne.jp/user_image/7e/73/fdfdaaea857dcb741671daf9873eb076.jpg

内容

室町期の日本刀「備前長船則光」について中性子とミュオンを使った研究について報告する。

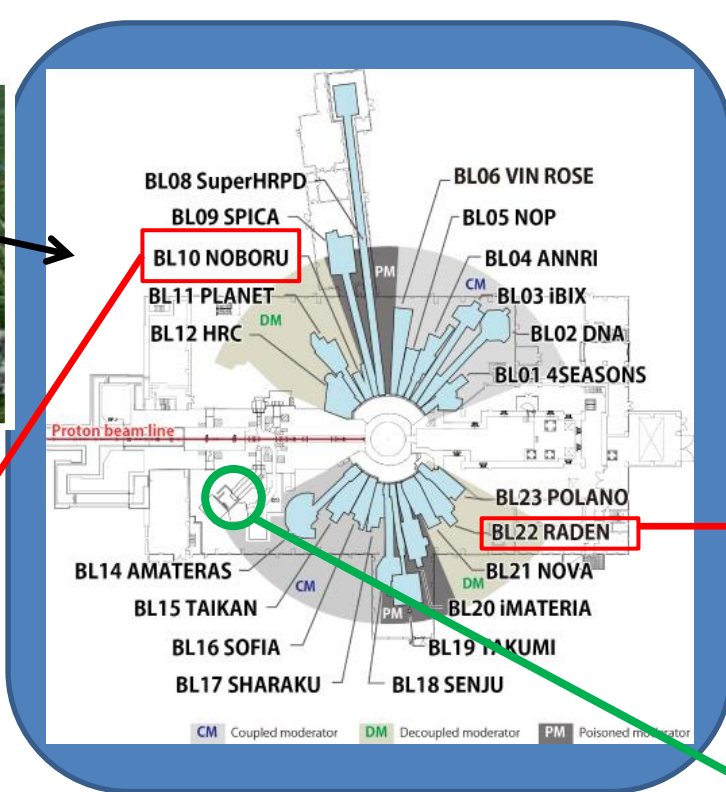
- 1) 中性子ブラッグエッジイメージング→結晶組織構造
- 2) 中性子CT→空隙・粗粒(介在物)などの透視
- 3) 負ミュオン寿命測定法→鉄中の炭素濃度



備前長船之住則光(研師藤代氏撮影)



物質・生命科学実験施設

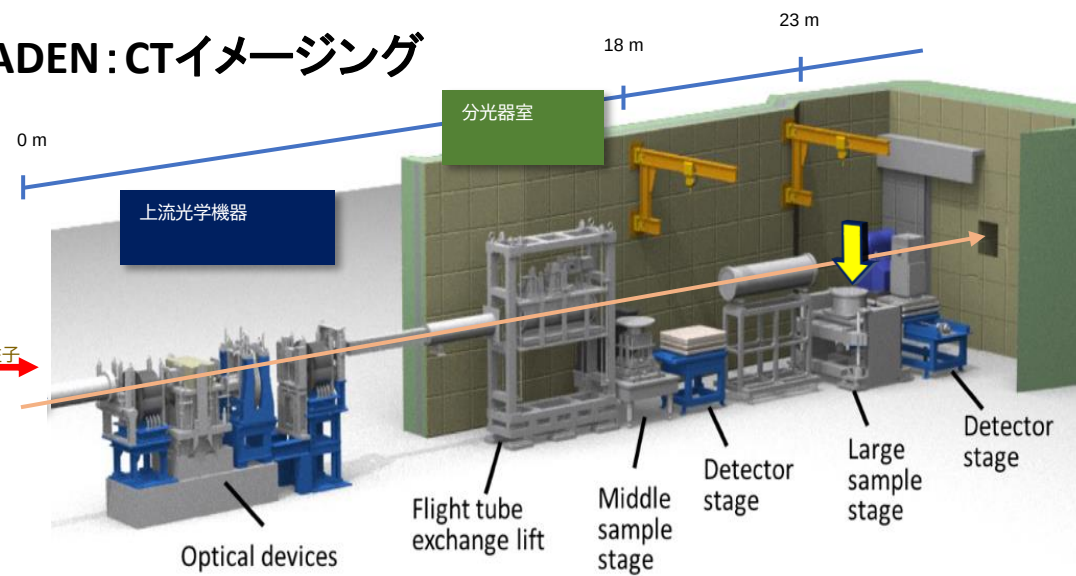


NOBORU: ブラッグエッジイメージング



J-PARC実験施設

RADEN: CTイメージング

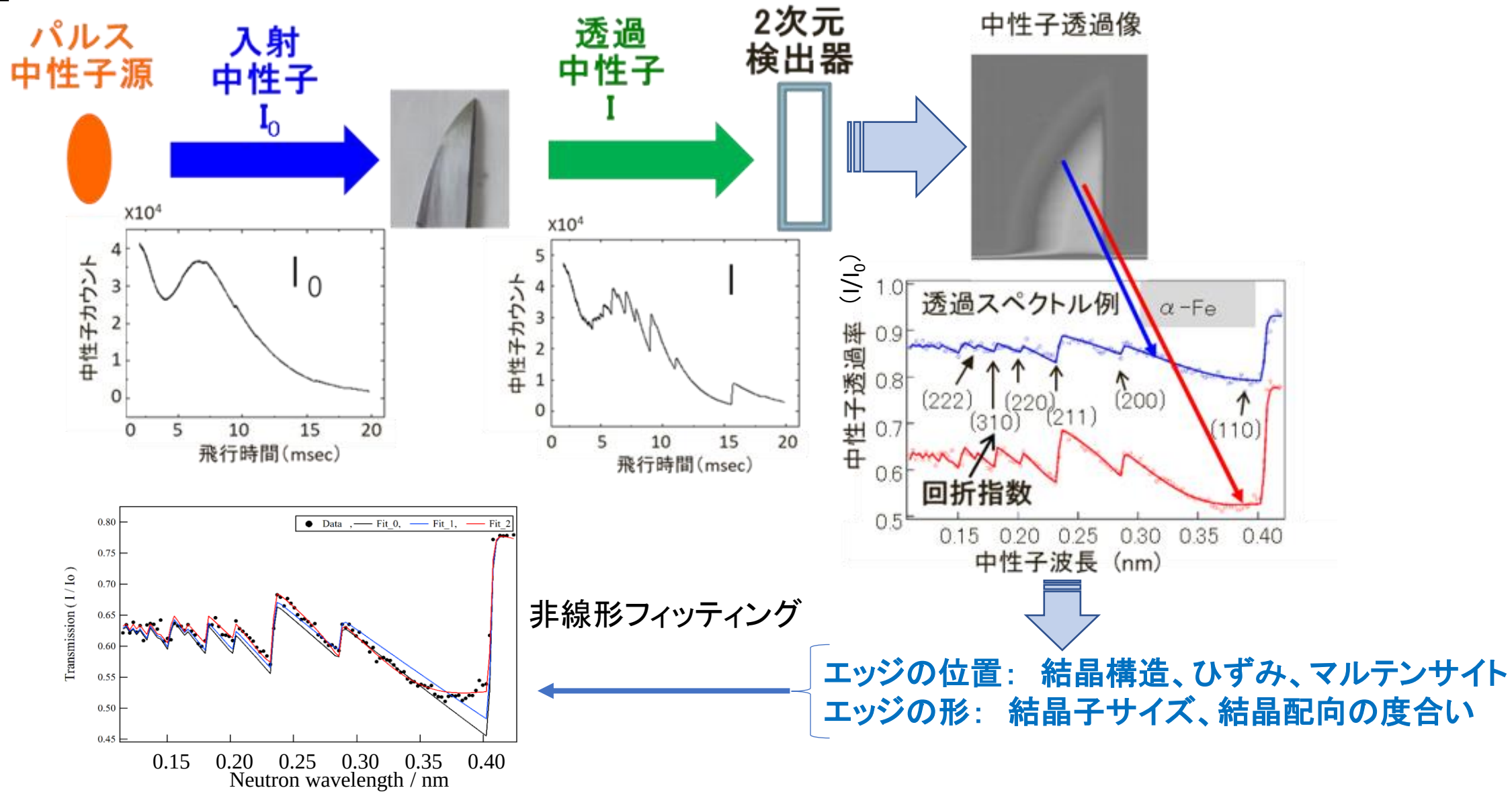


D1: ミュオン寿命測定

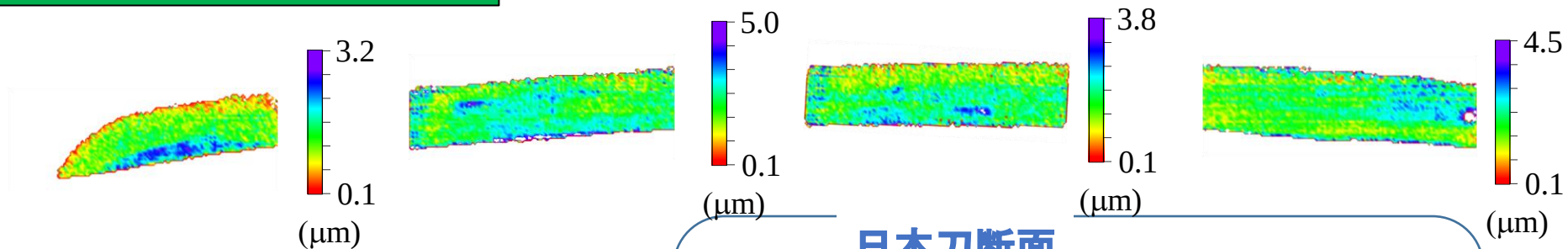


中性子ブラッグエッジイメージングによる結晶組織構造解析

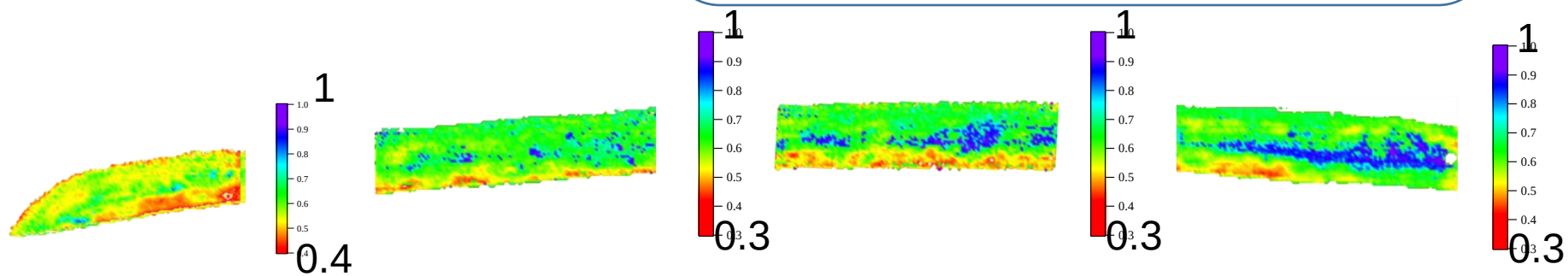
【原理】



結晶子サイズの分布



結晶方位異方性 (R111)



(青) 等方的な結晶、(緑) 強い(111) 集合組織、(赤) 非常に強い(111)集合組織

中性子で見ている方向

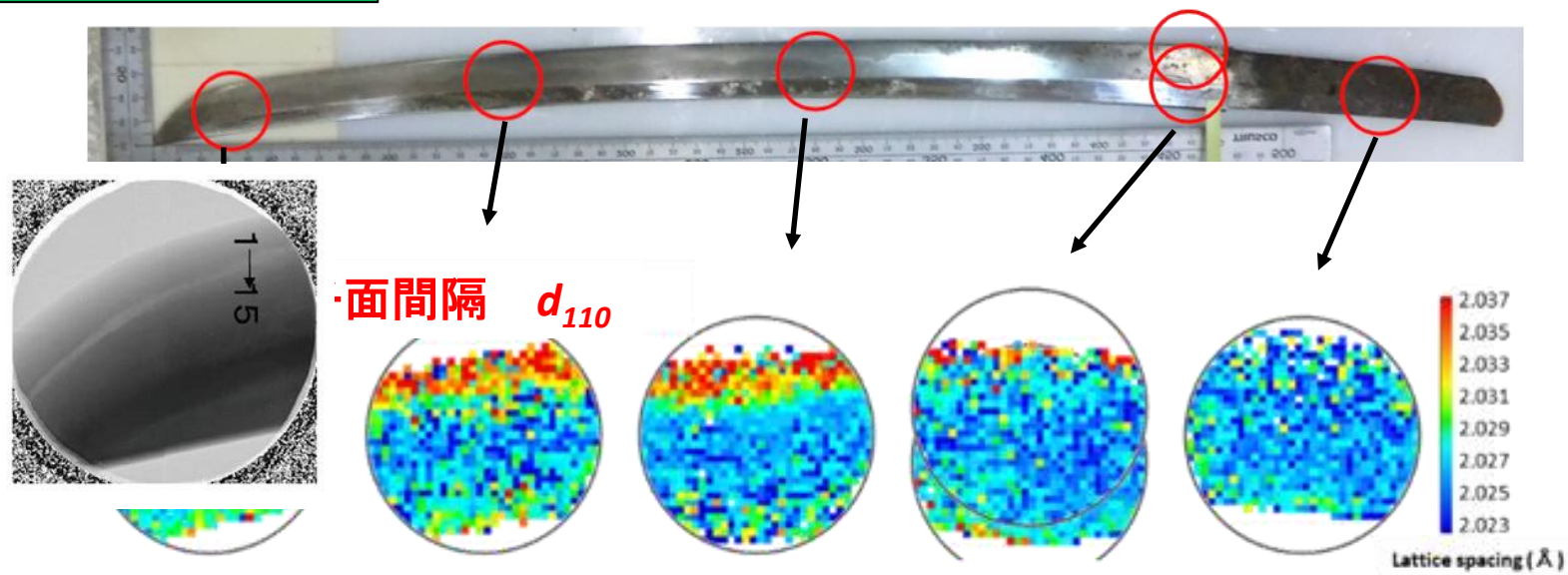
日本刀断面

?

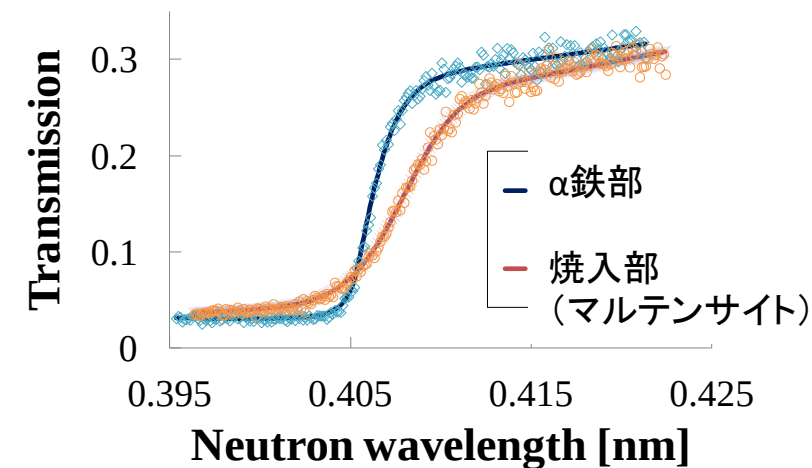
加工方向に結晶が薄く
結晶が配向

棟の加熱処理(赤かまし)

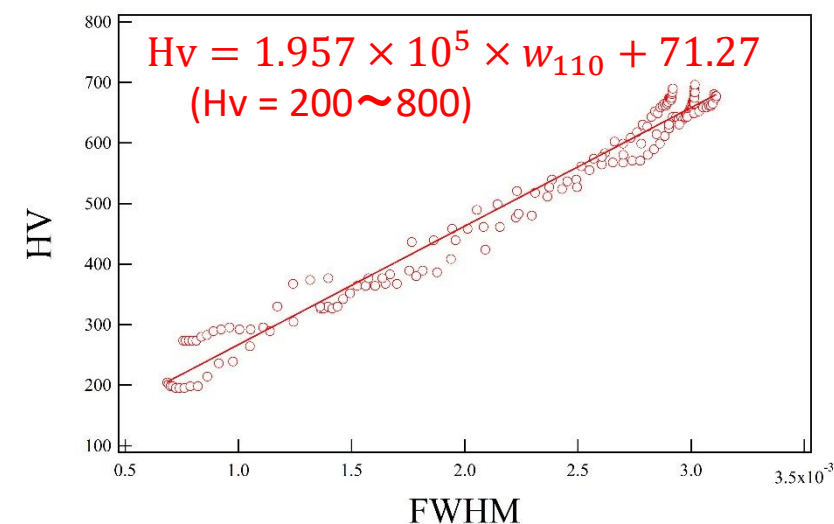
焼入部と硬さ



焼入による格子面間隔の増加とエッジ幅の広がり

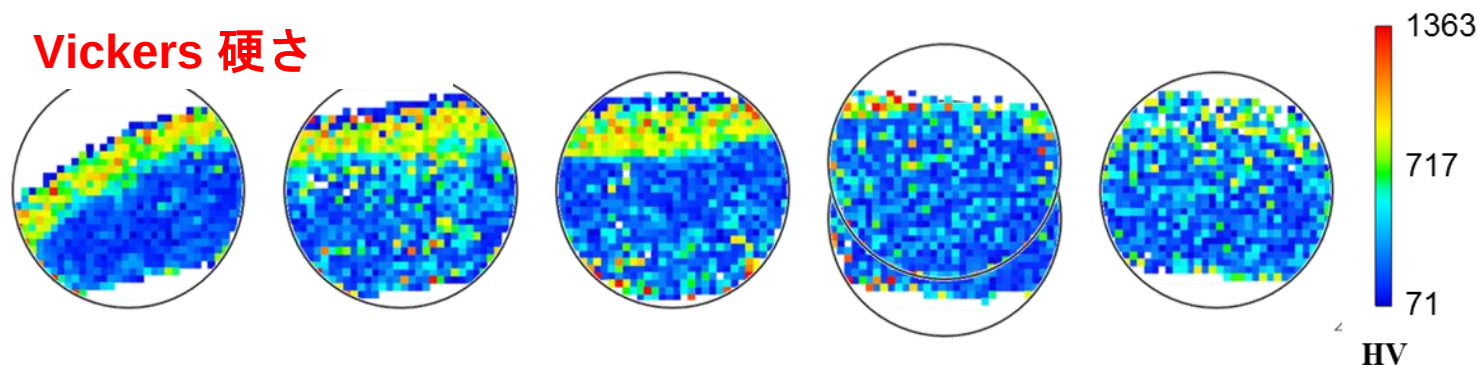


ビッカース硬さ



エッジの広がり (FWHM) と H_v の関係

Vickers 硬さ



刃部は焼入がきちんと入っている。
硬さも $H_v \sim 700$ 程度で日本刀の硬さとして妥当な値であった。

ミュオン寿命測定法による炭素濃度の測定

炭素濃度非破壊測定としては以下の方法が考えられる。

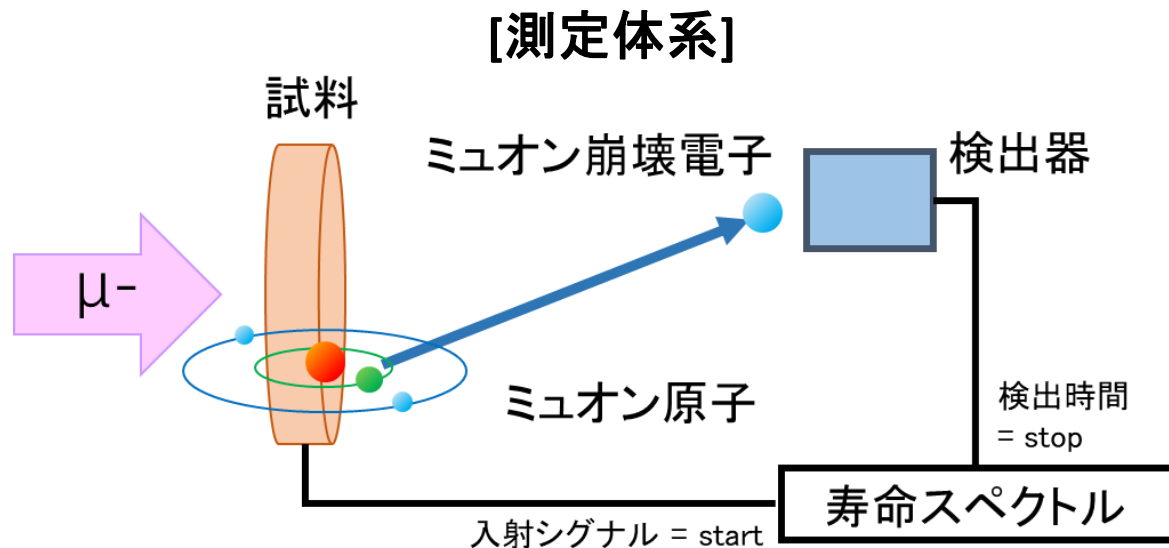
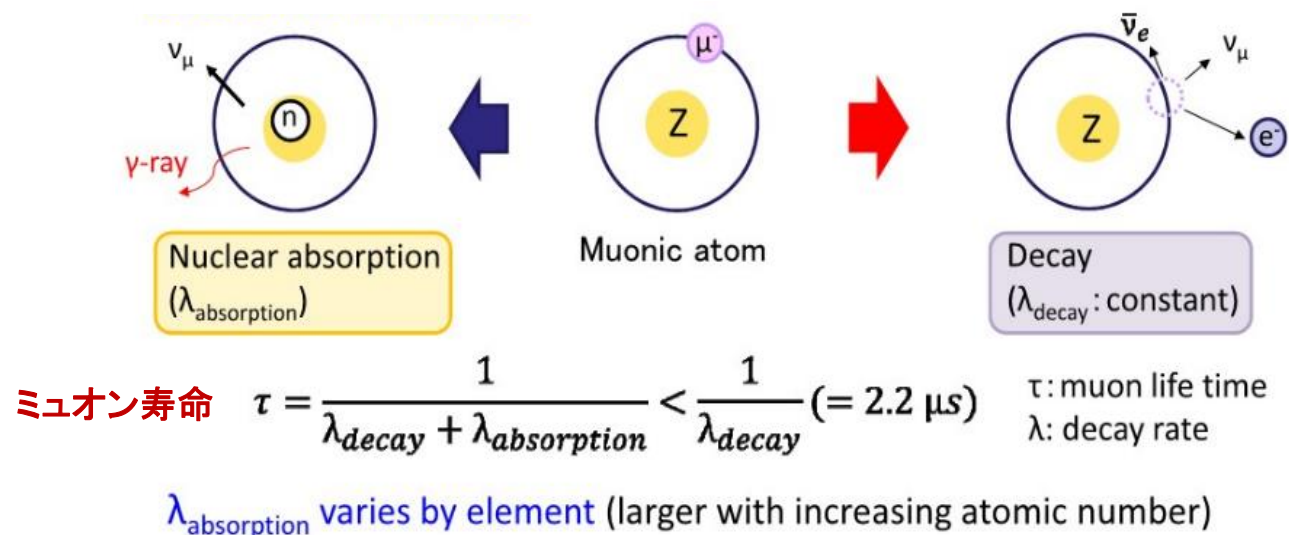
中性子回折: セメントait(Fe₃C)形状のものは結晶構造解析から定量分析できる。2mm立方位の大きさでデータ取得可能。

ミュオン寿命測定法: 鉄原子にトラップされたミュオンと炭素原子にトラップされたミュオンの寿命が違ふことを利用して炭素濃度を定量測定できる。厚さ方向の分布をとることができるという利点がある。

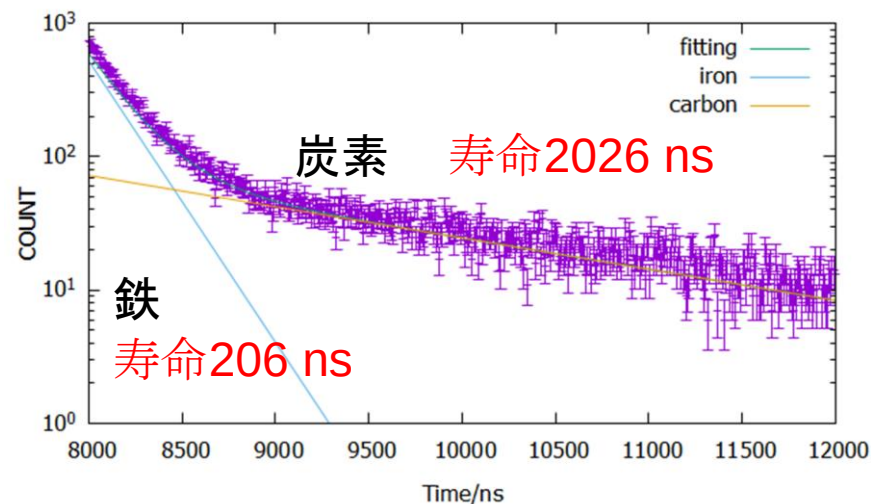
ミュオン: 厚さ方向の元素量マッピング

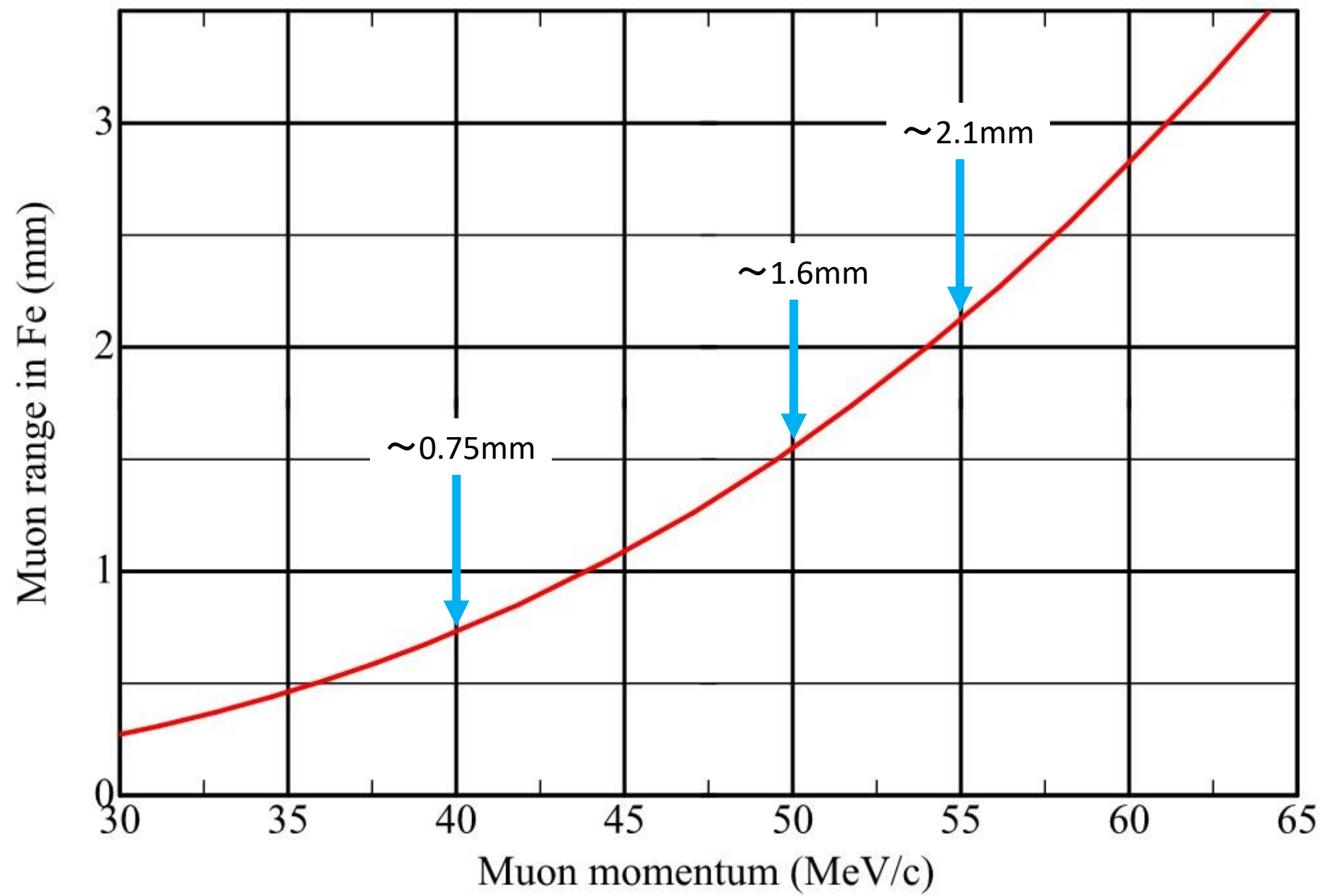
ミュオン寿命測定原理

資料提供: 阪大 二宮先生



炭素4.5%の標準鉄のスペクトル

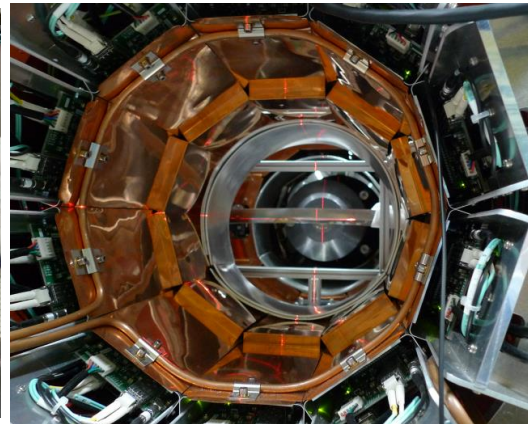




日本刀 則光の測定（刀の鎧の辺りを中心に測定）



架台に設置した状況



刀だけを設置した状況

運動量 (MeV/c)	深さ (mm)	Intensity Ratio: (Air+Carbon) /Iron	炭素量 % 運動量ごとの検量線 を利用	炭素量 % 全データを使った検 量線を利用
40	0.75	0.0023 (1)	0.13 (2)	0.101 (8)
50	1.6	0.0019 (1)	0.045 (5)	0.057 (5)

内部の方が炭素量が少なくなっているが、芯鉄相当の炭素量である。
測定を行った領域では表面から内部まで炭素量の少ない鉄できていると考えられる。
柔らかい鉄の外側に刃側に近い所に炭素量の多い鉄を被せて焼入をしているのか？

まとめ

- ブラッグエッジ法によって得られた結晶組織構造からは作刀工程との関係を示唆するような結果が得られている。それを正しく関連付けるためには、さらにデータの蓄積が必要である。
- 中性子CTによって、空隙や介在物の存在、また刀の構造についての情報が得られた。
- 炭素量が少なく芯鉄のものに近かった。炭素量のすくない鉄だけで棟まで作られていて、刃側に炭素量が多い鉄が被せられて、焼入を行っている可能性が示唆された。
- 中性子とミュオンを使うことによって、日本刀の結晶組織構造と炭素濃度を測定できるようになり、より詳細に日本刀の議論ができるようになった。

今後の課題

- 多くの日本刀について系統的測定を行いデータを蓄積し、作成法との関係や生産地による特徴などを明らかにして行きたい。
- 中性子のセメントイト測定と炭素量とミュオン測定の炭素量の比較によってセメントイト以外の存在状態があるかを明らかにしてみたい。

ご静聴有り難うございました。