

小型中性子源を用いた中性子回折による 中性子減速器のエネルギー分解能評価

日大生産工(院) ○角田龍之介 理研 高村正人 JAEA XuPingguang 理研 岩本ちひろ
理研 高梨宇宙 理研 大竹淑恵 日大生産工 高橋進 日大(学部) 栗原諒 JAEA 鈴木裕士

1. まえがき

現在，地球温暖化対策の為に，高エネルギー消費関連の自動車，電車，その他の機械・インフラは，高強度鋼板等の幅広い用途で軽量化されている．より良い寸法精度と長寿命のために，これらの構造部品は製造中に発生する残留応力を，制御する必要がある．そこで，金属部品内部の結晶情報を計測可能な中性子回折は，部品内の残留応力の評価への活用期待できる．

しかし，部品内の残留応力を測定可能な装置は大型施設に限られる為製造現場での測定が難しく，これを可能とするオンサイト型小型装置が求められる．そこで小型中性子源による応力測定実用化を目指しパルス中性子のエネルギー分解能向上を目的と，中性子減速器の特性評価を行ったので報告する．

2. 実験方法

2.1 実験試料

試料は，構造材料として多く用いられ，他の実用金属よりも大きな回折パターンを得ることが容易な BCC 鉄粉とした．容器は $\phi 8 \times 45[\text{mm}]$ の Vanadium の筒とした．

2.2 小型中性子源

RANS (Riken Accelerator-driven compact Neutron Source) と呼ばれる小型中性子源は陽子線加速器，ターゲットステーション，検出器により構成されている．本実験では，パルス幅 $20 \mu\text{s}$ ，周波数 100 Hz の陽子ビームを用いた．加速された陽子はターゲットステーションの中心部に設置された厚さ 0.3 mm のベリリウムターゲットに照射され，一部は非弾性核反応を起こし，最大運動エネルギー 5 MeV の中性子が生成される．その中性子は下流側にある厚さ 20 mm のポリエチレンの中性子減速器を通過し減速され，回折による鉄鋼材料の組織分析に適した $0.05 \sim 0.35 \text{ nm}$ (エネルギー $10 \sim 300 \text{ meV}$) の波長を含むエネルギースペクトルとなる．

2.2 回折計のセットアップ

実験装置の最下流にある回折測定系は，Fig.1 に示すように，上流から中性子ビーム管， B_4C スリット，オイラークレードル，および中性子を検出する PSD (Position Sensitive Detector) によって構成される．本実験で用いた PSD は，約 10 mm の位置分解能と数マイクロ秒の時間分解能を有する．中性子減速器表面からサンプルまでの距離 (L_1)，サンプルから検出器有感領域中央までの距離 (L_2) とした．検出器で検出される個々の中性子に対して，中性子減速表面中心から試料中心を経て検出器上の検出位置 (x, y) に至る線の長さ ($L_1 + L_2^2 + x^2 + y^2$) を飛程距離 l とする．この飛程距離と検出時間 t から求まる飛行時間 (TOF) から中性子の運動エネルギーが算出され，これに式(1)のドブロイの式を適用することにより中性子の波長 λ が求まる．検出位置から幾何学的に求まる回折角 2θ と 上述の λ に式(2)の Bragg 則を適用することにより格子面間隔 d が求まり，各結晶構造固有の d に対応した回折ピークが現れる．

$$\lambda = \frac{ht}{ml} \quad (1) \quad d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (2)$$

ここで， h はプランク定数， m は中性子質量である．

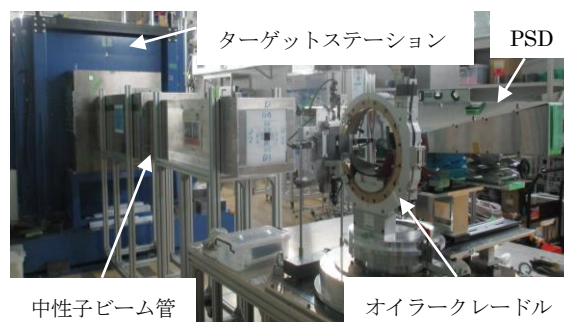


Fig.1 回折計の写真

Energy Resolution Evaluation of Neutron Moderator for Via Neutron Diffraction
with Compact Neutron Source.

Ryunosuke KAKUTA, Masato TAKAMURA, Pingguang XU, Chihiro IWAMOTO,
Takaoki TAKANASHI, Yoshie OTAKE, Susumu TAKAHASHI, Ryo KRIHARA, Hiroshi SUZUKI

2.3 中性子減速器

中性子減速器の改良によるエネルギー分解能の向上を行った。作製した中性子減速器は、従来使用していた厚さ 20mm のポリエチレンの側面と beam 照射側に新しい B₄C ゴムを被せたものである。当該減速器は、減速器周囲から入射して TOF 精度を悪化させる中性子の遮断が可能となり、従来の結合型中性子減速器よりエネルギー分解能の高い beam が取り出せると考えられる。非結合型中性子減速器を Fig.2 に示す。

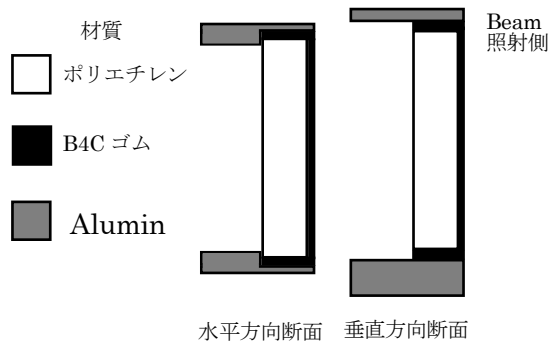


Fig.2 非結合型中性子減速器

3. 回折ピーク強度補正

小型中性子源の特徴として大型施設に対してビーム強度が低いことである。具体的には、小型中性子源の RANS は 4.6×10^4 [n/s · cm²] であり、大型施設は $2.4 \sim 4.8 \times 10^7$ [n/s · cm²] である。そのため、良好な統計精度による回折ピークが得られない。

そこで、式(3)の移動平均を行うことで回折ピーク強度の補正を行った。

$$x_i = \frac{\sum_{j=M}^{j+M} x_j}{2M+1} \quad (3)$$

ここで M は平均する範囲である。補正の有無に対する結果を Fig.3 および Fig.4 に示す。補正により、統計誤差が低減でき良好なピーク形状が得られた。

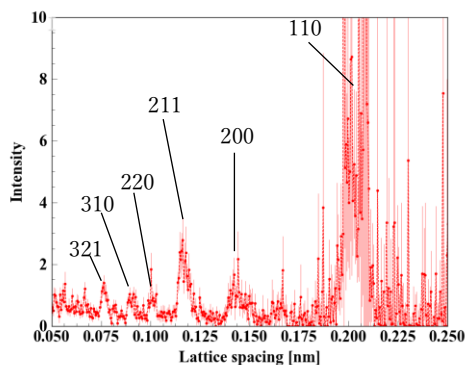


Fig.3 強度補正をしていない回折ピーク

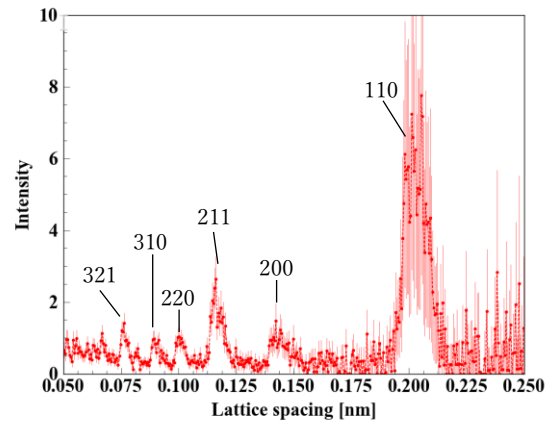


Fig.4 強度補正をした回折ピーク

4. 結果

Gaussian 関数を用いてフィッティングを行い、結合型(Coupled)と非結合型(Decoupled)を Resolution(回折ピークの位置分解能)で比較を行った。Resolution は式(4)で求めた。

$$Resolution = 1.665 \times \frac{FWHM}{X_0} \quad (3)$$

ここで FWHM はピーク幅、 X_0 はピーク中心位置である。Fig.5 に減速器の比較を示す。非結合型中性子減速器は、結合型減速器よりも Resolution が 1.7% 削減できている。

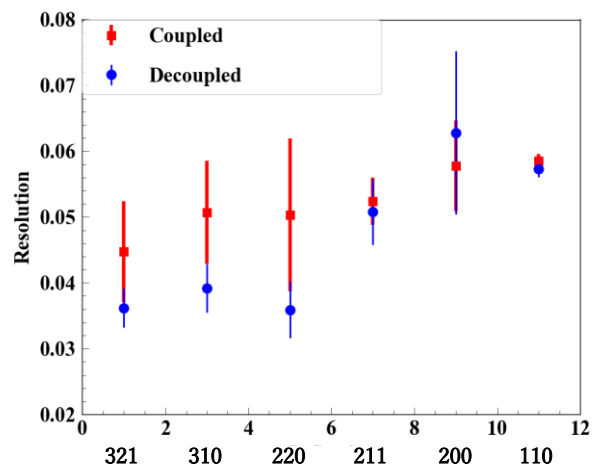


Fig.5 減速器の比較結果

5. 結言

- ・非結合型中性子減速器はエネルギー分解能の向上が確認できた。
- ・さらなる Resolution の向上のために B₄C ゴムの厚さを増やすことを考えている。