



躍動

若手研究者・技術者の取り組みと将来の夢

小型中性子源を用いた中性子回折高度化の 多様性と魅力

Variety and Appeal of Development for Neutron Diffraction with
Accelerated-driven Compact Neutron Source

岩本ちひろ
Chihiro Iwamoto

理化学研究所 光量子工学研究センター
中性子ビーム技術開発チーム
研究員

1 はじめに

私は、2019年に理化学研究所の中性子ビーム技術開発チームに所属することになるまで、金属材料工学とは全く無縁の原子核物理基礎研究を行なってきました。加速器により加速された光速の70%という速度を持つイオンビームを原子の中心にある原子核に照射して、原子核内部の運動を調べる研究を行ってきた私が、加速器を用いた放射線発生装置開発や放射線検出器測定開発のつながりで本チームに所属して以来、本チームで開発してきた、加速器型小型中性子源RANS (RIKEN compact Accelerator-driven neutron source) を用いて、今度は原子核を構成する量子の一つである中性子をビームに用いた種々の工学実験に携わらせていただいています。その中でも私は、音速程度の速度を持つ中性子ビームを金属材料に照射して、金属内部の結晶構造を非破壊で測定することが可能な中性子回折計の小型化に取り組んでいます。小型中性子回折計が広く普及すれば、研究室での日常的な材料評価や輸送機器の利用現場での品質評価が可能になります。特に現在の私の目標は、より測定精度が要求される応力の測定を実現することです。中性子はなじみのある電磁気学を使った制御ができないという大きな特徴があり、そのような制約のもと小型中性子回折装置で大型施設に肩を並べる程度の測定精度を得られるようにすることは困難な道のりではありますが、議論を重ねていくと様々なアプローチがあるということが見えてきています。回折測定には、角度分散法、飛行時間法と大きく分けて2種類の測定法がありますが、本稿では、特に飛行時間型中性子回折で応力の測定を実現するにあたっての試行錯誤を紹介したいと思います。

2 中性子回折による応力測定

量子線を用いた回折測定は、金属の内部結晶構造の様々な情報を非破壊で測定することが可能です。式 (1) に、あるミラー指数 $\{hkl\}$ が示す格子面に対するブラッグの回折条件式を示します。

$$\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta_{hkl}, \dots\dots\dots (1)$$

ここで d_{hkl} は対象の格子面間隔、 λ は入射量子線の波長、 θ_{hkl} は中性子の回折角度です。測定する角度を固定して中性子の波長を測定する (飛行時間型中性子回折測定)、または試料に入射する中性子の波長を固定して中性子の回折角度を測定する (角度分散型中性子回折測定) ことにより、金属内部の結晶格子面間隔が同定できます。この法則を利用して、無応力状態及び応力付加状態のそれぞれの金属材料に量子線を照射したときに、回折される量子線の波長や回折角度の変化量、すなわち格子面間距離の変化量から格子ひずみを知ることによって材料内部の応力を得ることができます。照射する量子線の種類によって引き出すことができる情報に特徴があり、X線回折 (X-Ray Diffraction, XRD) や後方散乱電子線回折 (Electron BackScatter Diffraction, EBSD) は、金属材料の表面層 (μm 程度) の測定に適しています。比較的エネルギーの高い放射光X線を用いた回折測定では、表面から10 mm程度の深さまでの応力を測定する技術の開発も進展しています。これらに対し中性子線は、金属に対して透過力が高く、さらに深い数cm程度の厚さの深さ方向に平均的な情報を得ることができます。これらの量子線回折装置により、相補的に金属材料の表面から内部にかけての応力が測定できれば、例えば材料表面での亀裂の発生から材料内部への亀裂の進展

までの一連の流れを詳細に研究できるなど、材料特性評価の研究の幅を広げることができるようになります。そのためには、これらの回折線装置を広く普及させることが不可欠です。X線や電子線を用いた測定装置としては、小型装置が製品としてすでに広く普及しており、研究室単位で装置を持ち利用したり、受託会社に材料評価を依頼したりしている方も多いかと思います。X線回折については、理化学研究所の大型放射光施設Spring8の多くのビームラインでその場測定や高精度測定^{1,3)}が実現しており、またX線自由電子レーザー施設SACLAのビームラインでも 10^{-15} 秒間隔でX線を照射することによるその場観察測定が可能になっています⁴⁾。中性子回折装置については、日本原子力研究開発機構の高強度陽子加速器施設J-PARCや研究用原子炉JRR-3のビームラインで様々な高精度測定が実現されていますが^{5,6)}、一方でいわゆる“皆さんが研究室単位で持ち利用したり受託会社に材料評価を依頼したりする”という感覚で使える小型装置は実現されていません。小型装置を使って中性子回折を日常的に高頻度で実施できるようになり、小型装置での試行錯誤を経た上で大型施設での最先端の材料開発研究を行なうというサイクルが完成すれば、材料開発のスピードアップにつながります。これを実現するために、本チームでは小型加速器中性子源RANSを用いた小型中性子回折計の開発を進めています(図1)。小型の回折装置として利用するためには、中性子発生源と測定システムが同室にある状態での測定を可能にする必要があります。しかしながら、中性子発生源からあらゆる方向に放出される中性子が、中性子発生源の周りに設置している遮蔽体や実験室の床や壁、天井などの様々なものと散乱して検出器にやってくるノイズとなり、本来の回折線に対するシグナルノイズ比が下がってしまう困難さがあります。そのような環境下でも回折測定を可能とするために、測定器周りに

対する遮蔽体を効率的に配置することでノイズを低減しながら回折計自体も小型化が進められてきました。また、試料へ照射される中性子ビームの強度が大型施設に比べて劣る分1測定当たりの測定時間が長くなる問題もあります。そこで、試料への中性子線照射角度を変えるために試料を回転させながら測定を繰り返す実験に対しては、検出器面の解析領域を分割することで、一度に測定できる角度条件を増やす工夫がなされてきました。これにより、測定回数をできる限り少なくして測定時間を短縮することができます。これらの開発の結果、鉄鋼材料の相分率測定や集合組織測定を大型施設と同等の精度かつ現実的な時間で測定することが実現されてきました^{7,8)}。次のステップとして、中性子回折測定による金属材料内部応力を小型中性子回折装置で実現することを目指す中で、応力付加試料に中性子を照射したときの回折線の波長や角度の無応力状態からのずれを精度よく特定するために、より回折線の分解能を向上させることが必要でした。しかし、回折線の分解能は、回折されてくる中性子の強度とトレードオフの関係にあります。小型中性子源は大型施設に比べて試料に照射できる中性子ビーム強度が低く、分解能向上には限界があると考えられてきました。

これに対して私は、そもそも最終的な物理データ(この場合は例えば応力という数値)を導出するために必要な“分解能”とは何か、というところに疑問を持ちました。一般に分解能とは、重なる二つの像が同時並んで見えるときに、それらの二つの像の分布形状や位置が分解できるかどうかの能力を差し、ピーク形状を持つ2つの分布に対する分解能(ピーク分解能)は、そのピークの幅を基準に考えると思います。ピークの幅とは、正規分布の場合は平均値(ピークの位置)からのデータのばらつき(標準偏差)で、平均値に近いデータのみを抽出して(すなわちピーク強度を犠牲にして)データのばらつきを小さくするほどピーク分解能が向上する、これが強度と分解能にはトレードオフがあるといわれるゆえんです。ですが、今必要な分解能とは、応力を精度よく同定するための分解能(ひずみ分解能又は応力値分解能)です。それは無応力状態の時に観測された回折線ピーク位置が、応力を掛けたときにどれだけシフトするかが分かれば良く、そのために必要な分解能とはピークの位置をどれだけ精度よく同定できるかどうかであり、ピークさえ測定できれば、必ずしもピークの幅だけで決まるものではないはずで、そこに強度と分解能のトレードオフに対するブレイクスルーがあるかもしれないと思いました。また、ちょうどこのころ、粉末回折リートベルト解析コードZ-Rietveld⁹⁾の初心者講習会に参加させていただき、この解析コードで回折線ピークのフィッティングを行なうにあたっては、単純な正規分布関数ではなく、複数の関数の畳み込み積分関数を使っていること、その

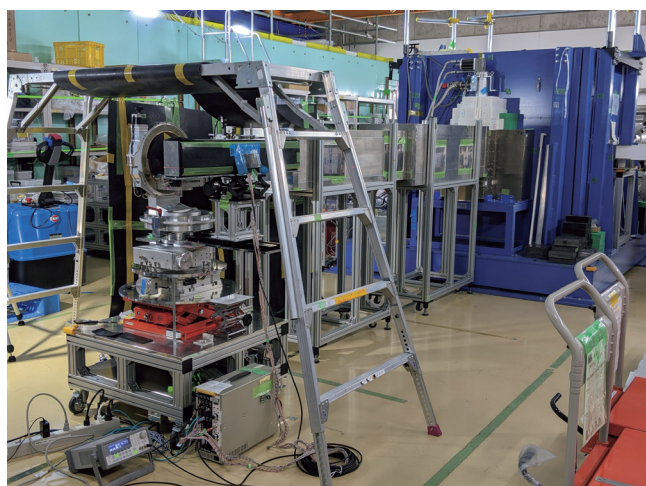


図1 RANSの飛行時間型中性子回折装置の全体写真(Online version in color.)

関数の形を決める各パラメータは装置関数と呼んで装置の特徴に合わせて変えるべきものとして扱って解析しているということを勉強しました。この時、これらのパラメータの物理的な意味を詳細に理解して、それらのパラメータを十分小さくするような開発を装置側で行なうことができれば、小型中性子回折の高度化につながらないか、と思い当たりました。思えば、原子核物理学の実験では、1週間ずっとデータを取りためて、その中に隠れる宝物を見つけ出すように重箱をつつくような解析を行ったり、そのような実験を成功させるための最適化のために数年間実験準備を整えたり、というような感覚で取り組むことも多いです。極端な例で言えば、理化学研究所が中心となって発見された113番元素ニホニウムは、約10年かけて3つのニホニウムと思われるデータを拾い出して特定されたものだそうです¹⁰⁾。そのような実験に慣れていると、強度が弱いから分解能が得られずデータが測定できないなどということは言っていられないという感想を持ちます。おそらくこのような環境で育ったこともあって、ひとつの測定に対する準備にたっぷり時間をかけるということに対するハードルを低く持てたことが幸いしてか、これらのことを踏まえて、この度私は2年ほどかけて、このトレードオフの関係を打開するための2つの開発を行ないました。それが、小型中性子源を用いた飛行時間型中性子回折法において中性子回折現象を精度よく検出するための、「非結合型コリメータシステム」と、「応力決定に寄与する回折成分だけを抽出するデータ解析手法」の二つの技術です。

3 飛行時間型中性子回折測定の高度化開発

飛行時間型中性子回折では、さまざまな波長の中性子線を試料に照射し、試料の結晶構造に応じた特定の波長を持つ中性子だけが回折現象を起こすことを利用して、結晶の状態を測定します。波長の異なる中性子線はそれぞれ異なる速度を持つため、中性子が飛行する距離があらかじめ分かっている場合、中性子が発生してから試料に照射され、検出器に到達するまでの飛行時間を測定することで、検出された中性子の波長を特定できます。この方法で中性子の波長を測定するためには、中性子ビームを周期的に発生させてスタート時刻を決め、回折中性子が検出されたストップ時刻を精度よく測定する必要があります。しかし、様々な要因でこの測定精度は下がります。例えば、中性子発生スタート時刻は、周期的に発生させるパルス中性子ビームのパルス幅が広いと、それだけスタート時刻に幅ができることになり、スタート時刻の測定精度が下がります。また、試料の内部で回折された中性子の回折点が異なることにより、基準としている場

所（例えば試料の中央）で回折された中性子に比べて経路長や回折角度が変わって同じ中性子波長であったとしても検出器に到達する時間にずれが生じ、ストップ時刻の測定精度が下がります。これらの要因の回折線のピーク分解能に対する影響については、すでに研究がなされています¹¹⁾。この次に中性子の飛行時間の測定精度を下げる原因として、中性子発生点から試料にビームが到達するまでのビームの経路に着目しました。図2-(a)に示すように、中性子発生標的から試料までの間に設置されたコリメータなどの内壁と散乱したり、内壁の中に潜り込んで何度か内壁内の物質との散乱を繰り返して経路に戻ってきたりする中性子は、想定よりも遅く試料に到達します。本研究では、このような中性子を「遅延中性子」と呼び、これに対してトレードオフに対するブレイクスルーも意識した対応策を考えました。

非結合型コリメータシステムは、その遅延中性子の寄与そのものを減らすために、装置側の改良として開発したものです。従来は、開口の狭いコリメータを使い、中性子減速材の中央から試料の中央へ真っすぐ到達した理想的な中性子だけを測定していましたが（図2-(b)）、この方法では中性子ビームの強度が弱くなります。しかし、非結合型コリメータシステムの構造は、中性子ビーム取り出し口の開口を大きく保ちながら遅延中性子を減らすことが可能です（図2-(c)）。そのため、ビーム強度を弱めることなく、中性子波長を精度よく特定できます。

一方、たとえ非結合型コリメータシステムを用いたとしても、遅延中性子を完全になくすることは困難です。そこで、遅延中性子を含む中性子回折データから、応力測定に必要な回折線ピーク位置の情報を精度よく抽出する解析手法を導入しました。図3に一般的な中性子回折分布を示します。横軸に中性子の飛行時間、縦軸にその時間で検出器に到達した中性子数を示しています。十字点がある波長で回折された中性子回折線の測定データです。理想的な経路でサンプルに到達した回折中性子の波長に対応する到達時間にピークを持つような分布をしています。遅延中性子は理想よりも到達時間が遅くなるため、図3の右側（飛行時間が長くなる方向）に尾を引くようにピークの幅を広げます。このような非対称な分布のピーク位置を精度よく同定するために、ピーク形状を再現するフィッティング関数として、正規分布 $g(t)$ と減衰指数関数 $f(t)$ との畳み込み積分関数 $F(t)$ を以下の式のように定義しました（図3の赤実線）。

$$F(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t')g(t-t')dt' \\ = A \exp(-\beta t) \operatorname{erfc}\left(\frac{-(t-(t_c + \sigma^2\beta))}{\sqrt{2}\sigma}\right) + C \quad \dots\dots\dots (2)$$

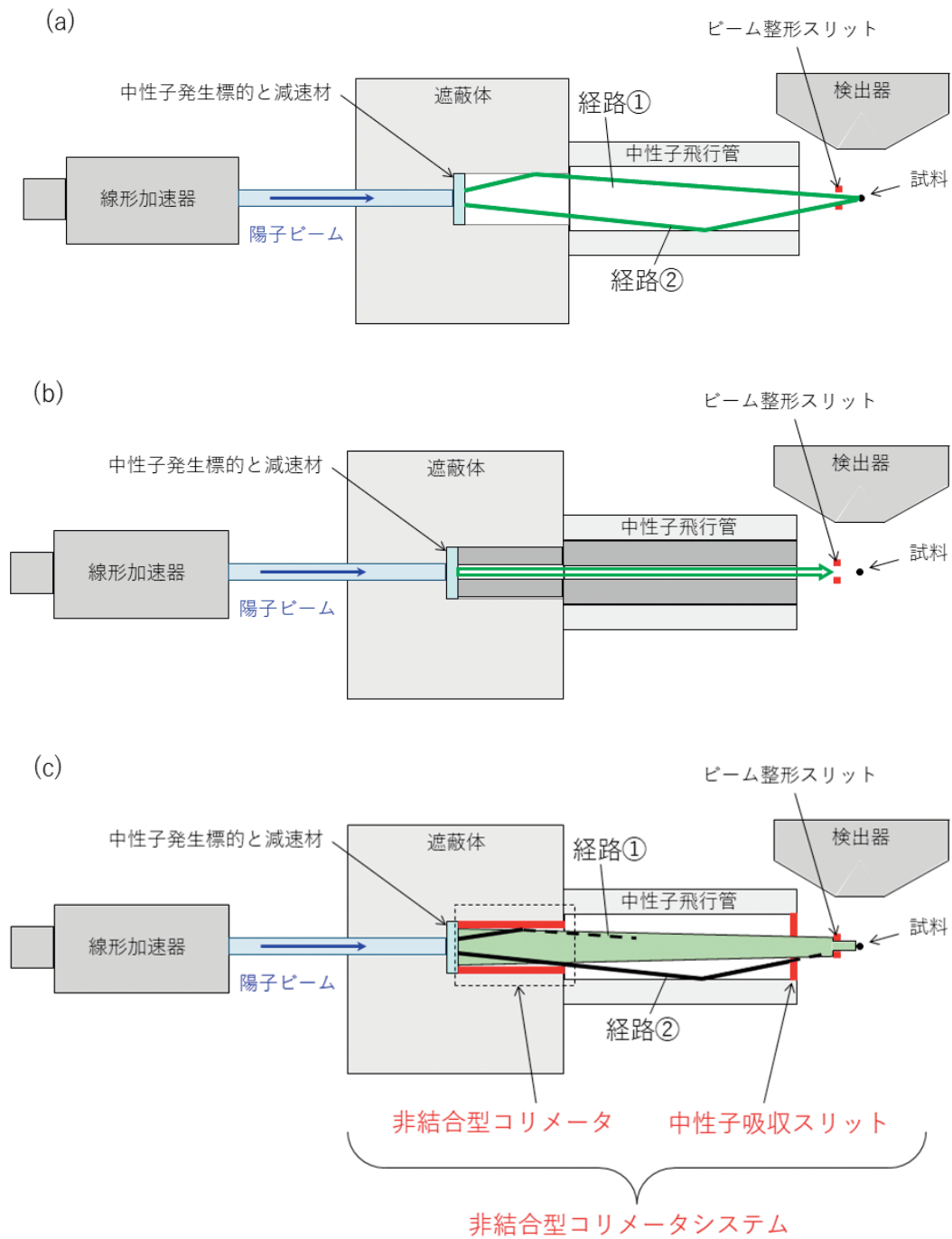


図2 コリメータセットアップの模式図。(a) はコリメータなしの状態、(b) は開口の小さい従来のコリメータの状態、(c) は今回開発した非結合型コリメータシステム (Online version in color.)

$$f(t) = \begin{cases} 0 & : t < 0 \\ \beta \exp(-\beta t) & : t \geq 0 \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

$$g(t) = \frac{I}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(\frac{-(t-t_c)^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots (4)$$

$$A = \frac{I\beta}{2} \exp\left(\frac{\sigma^2\beta^2}{2} + \beta t_c\right) \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 β は減衰指数関数の崩壊定数、 σ は正規分布関数の標準偏差、 t_c が正規分布のピーク位置、 I は正規関数の規格化定数、 C はオフセットパラメータです。非対称的なピーク形状を再現するために、複数の指数関数と対照的な形状を持つ

ピーク関数の畳み込み積分関数を利用するということはZ-Rietveld解析コードでも採用されており、またこれまでの先行研究でも研究がなされています^{12,14)}。特にRANSでは、遅延中性子成分として時間的に遅れてくる側へのピーク幅広がりが見られる形状であるため、一つの減衰指数関数を正規分布に掛け合わせる単純な関数を今回は採用しました。この関数により、遅延中性子が、平均的にどの程度遅延して検出器に到達するかを、減衰の時定数という物理的に意味

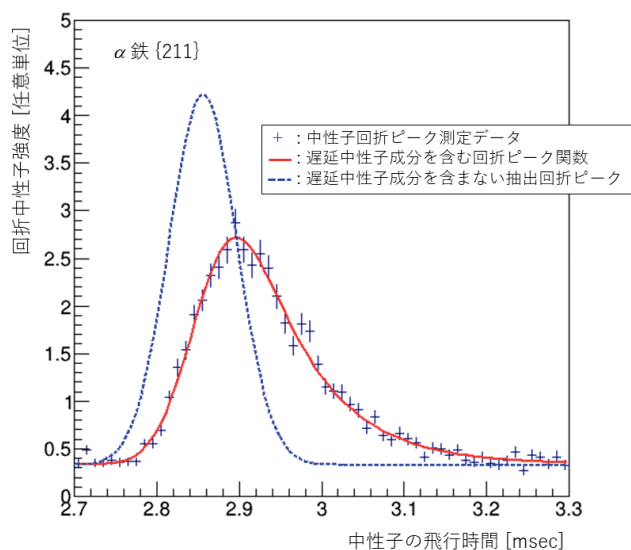


図3 中性子回折ピークフィッティング解析の図。青点(十字)はある波長で回折されてきた中性子の測定データ。赤実線は関数 $F(x)$ により回折線ピークをフィッティングした結果。青点線は定義した関数の中から抽出した遅延中性子成分を含まない正規分布の回折ピークの結果 (Online version in color.)

のある数字として導入しながら、遅延中性子成分を含まない回折ピークとして正規分布成分のみを抽出して(図3の青点線)、ピーク位置を精度よく同定することが可能になります。

4 高度化による現在の応力測定限界値と今後の展開

以上の開発・導入した手法の評価実験を、理研小型中性子源システムRANSを用いて行いました。まず、飛行時間型中性子回折計に α 鉄粉試料を設置して、回折中性子を測定した結果を図4に示します。各結晶格子面からの回折線がピーク構造を持って現れていることがわかります。従来使用してきた開口の小さいコリメータに比べて、非結合型コリメータシステムを使用した方が回折ピークを形成する中性子数が{211}結晶面からの回折線に対して2倍程度増加しました。コリメータの開口を拡大したことにより、試料が臨む面線源の面積が大きくなり、試料に照射される中性子ビーム強度が高くなったためです。また、{211}結晶面からの回折ピークについて、試料に照射された中性子ビームの強度で規格化した回折中性子強度分布を図5に示します。コリメータ無しときよりも非結合型コリメータシステムを入れたときの方が、回折ピーク強度が25%強くなっています。これは、コリメータを使用しないと、規格化に使用する中性子ビームの時間分布に実際には回折に寄与しない遅延中性子成分が多く混ざってくるため、回折線強度を過小評価してしまっていることが原因だと考えられます。さらに、関数フィッティング解析により得られる崩壊定数 β の逆数を取った値のコリメータ依存

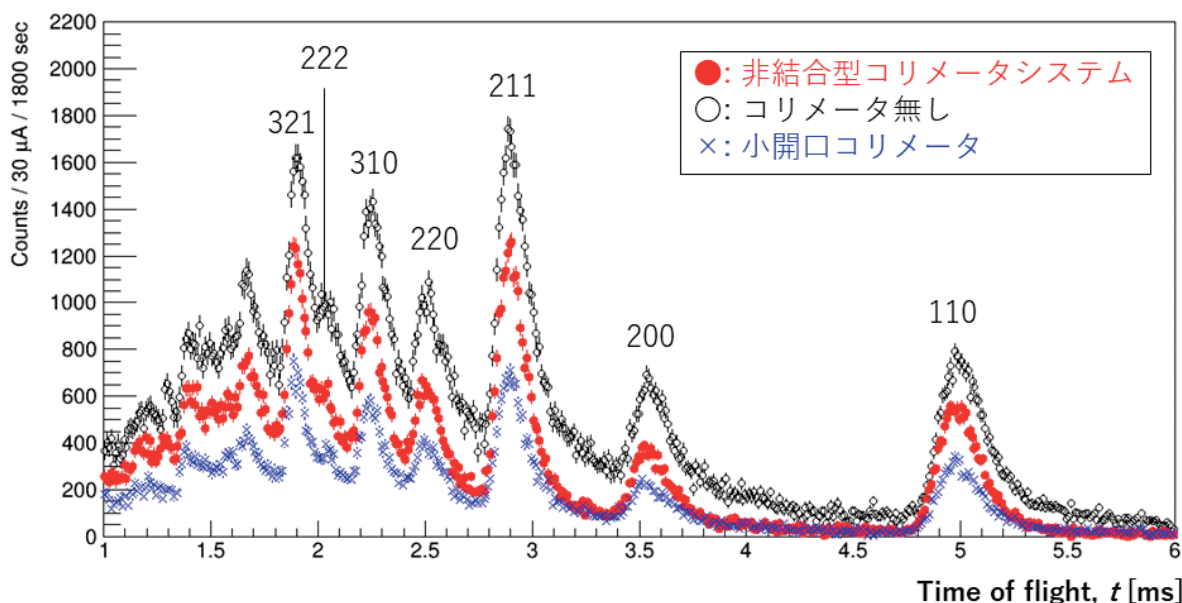


図4 α 鉄粉試料からの中性子回折分布のコリメータ依存性 (Online version in color.)

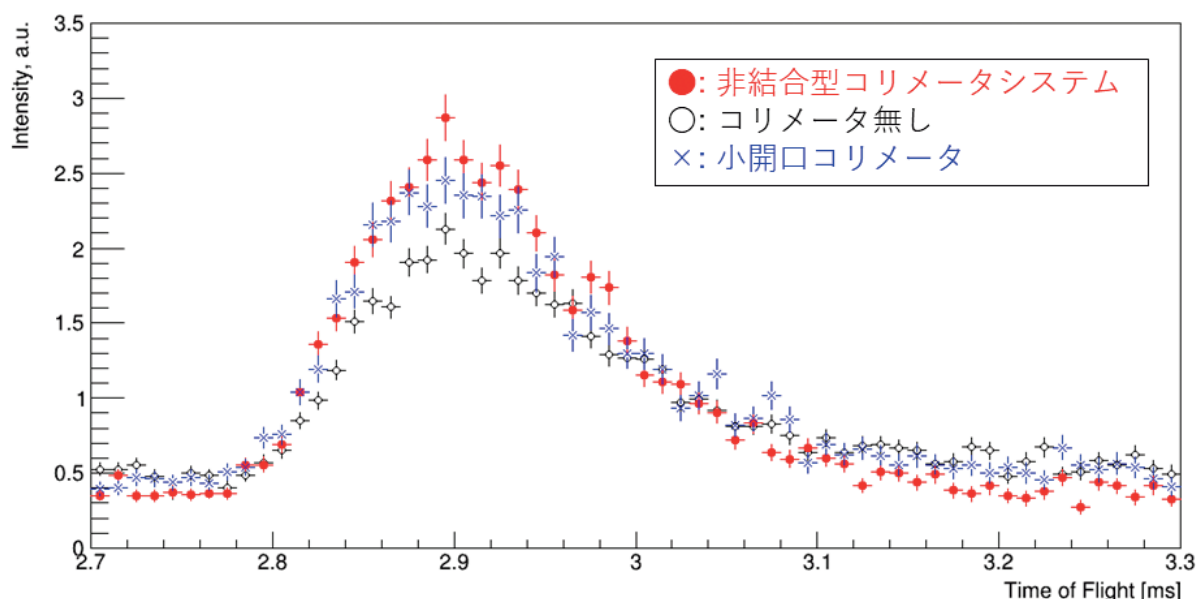


図5 中性子ビーム強度で規格化した α 鉄粉試料の{211}格子面からの中性子回折強度のコリメータ依存性 (Online version in color.)

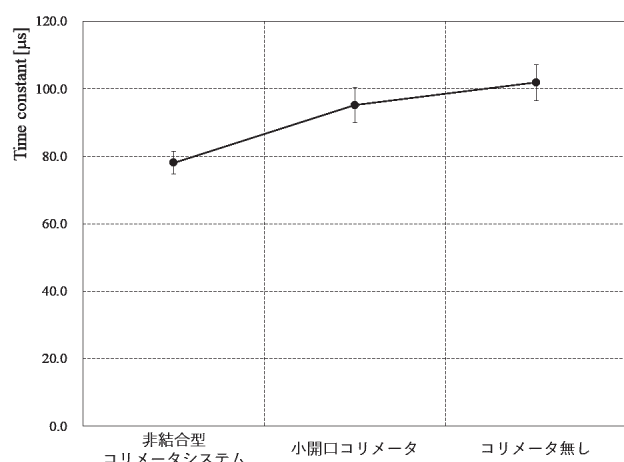


図6 フィッティングパラメータ β の逆数(中性子回折分布の飛行時間が長くなる方向へ尾を引く形状に対する指数関数的時定数)のコリメータ依存性

性を図6に示します。これは、回折ピーク分布の飛行時間が長くなる方向への尾を引いた形状に対する指数関数的減衰の時定数に相当します。非結合型コリメータシステムを使用した場合の時定数は、開口の小さいコリメータに比べて30%程度小さくなりました。つまり、非結合型コリメータシステムは、開口の小さいコリメータに比べて検出中性子数を増やすだけでなく、遅延中性子の成分を減らしながら回折ピークの遅延中性子成分による広がり方を抑えることができ、ピーク位置を高い精度で同定可能となったといえます。第2節でも述べた通り、この回折ピークから格子ひずみ又は応力の情報を引き出すにあたって分解能を評価するときには、

ピークの位置をどれだけ精度よく同定できるかどうかに着目する必要があります。そこで、ピーク位置をフィッティングにより同定したときの推定誤差を応力測定限界値として評価しました。その推定誤差よりも小さなピークのずれは、特定できない、という考え方です。結果としては、非結合型コリメータシステムを用いたときに、最も測定限界値が小さくなりました¹⁵⁾。具体的には、ステンレス鋼材に突き合わせ溶接加工を施した場合などに金属内部に残留する応力に相当するレベルの130MPaまで測定可能であるという結果が得られました。

今後は、これらの開発技術を用いた実際の応力付加測定試験の実施や、大型施設に匹敵するくらいの精度での応力測定を可能とすることを目指した本開発技術の最適化、高性能化を計画しています。例えば、直径8mm、高さ40mmのS45C炭素鋼試験片に200MPaから500MPaの圧縮応力を付加しながら格子ひずみ測定試験を行ないました。この結果は現在解析中です。また、今回開発した非結合型コリメータシステムは、放射線輸送シミュレーションコードを用いて遅延中性子が発生しやすい場所を特定し、かつこの遅延中性子を効率的に遮蔽する遮蔽体の材料の種類や厚さ形状を選定しながら、最適化及び高性能化が可能です。将来的には100MPa以下の誤差の範囲で応力を測定できるようにすることを目指して、本研究を突き詰めたいと思っています。関数フィッティングの考え方は、もともとZ-Rietveld解析コードからアイデアを得たものですが、小型中性子装置に限って適用できるものではないと思っています。フィッティング関数のパラメータが物理的に何を意味しているのかを小型中性子装置という

比較的改造のしやすい装置を利用して明確にしながら、その結果を大型施設の装置にもフィードバックしていき、中性子回折装置技術全体の精度向上にも寄与できればと考えています。

5 おわりに

私の加速器制御や放射線計測の経験を工学分野に活かすということで本チームに所属したものの、中性子というものはこれまで経験してきたものとは全く制御方法や利用方法の幅広さが異なる、ということが、ここ3年の間の研究を進めるうえでの印象です。それらのいろいろな技術を組み合わせ、それに少しでもアイデアを盛り込んで、小型中性子回折計測装置システムを組み上げていくという楽しさは、ものづくりの楽しさにもつながるものなのだろうかと、この原稿を書きながらぼんやりと思いをはせたりしています。

一方で、“金属材料の評価・開発研究”と一口に言っても、金属の種類から加工の方法まで非常に幅広く、論文誌を眺めたりセミナーなどを聴講させていただいたりするたびに圧倒されます。これに追いつくには自分一人の研究では到底不可能です。今後、日本鉄鋼協会会員の皆様から様々な研究を持ち込みたいと思っていただけるような小型中性子回折装置をRANSで展開できるように開発を進めて、持ち込んでいただいた研究から金属の奥深さをさらに教えていただきながら、私だから感じられる小型中性子回折装置の面白さを共有させていただけるような、そのような研究をしていきたいと思っています。これからよろしくお願いいたします。

参考文献

- 1) K. Suzuki and K. Tanaka : Textures and Microstructure, 35 (2003), 207.
- 2) 鈴木賢治, 菖蒲敬久, 城鮎美, 張朔源 : 材料 63 (2014), 527.
- 3) Y. Hayashi, D. Setoyama, Y. Hirose, T. Yoshida and H. Kimura : Science, 366 (2019), 1492.
- 4) 登野健介 : 日本結晶学会誌, 59 (2017), 6.
- 5) 相澤和也, ハルヨ ステファヌス, 川崎卓郎 : 波紋, 25 (2015), 166.
- 6) 鈴木裕士, 勝山仁哉, 飛田徹, 森井幸生 : 溶接学会論文集, 29 (2011), 294.
- 7) 池田義雅, 高村正人, 箱山智之, 大竹淑恵, 熊谷正芳, 鈴木裕士 : 鉄と鋼, 104 (2018), 138.
- 8) P.G. Xu, Y. Ikeda, T. Hakoyama, M. Takamura, Y. Otake and H. Suzuki : J. Appl. Crystallogr., 53 (2020), 444.
- 9) <https://z-code.kek.jp/zrg/>, (accessed 2022-9-28).
- 10) <https://www.nishina.riken.jp/113/approach.html>, (accessed 2022-9-28).
- 11) Y. Ikeda, A. Taketani, M. Takamura, H. Sunaga, M. Kumagai, Y. Oba, Y. Otake and H. Suzuki : Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. A, 833 (2016), 61.
- 12) M.T. Hutchings, P.J. Withers, T.M. Holden and T. Lorentzen : Introduction to the Characterization of Residual Stress by Neutron Diffraction, Taylor and Francis, Boca Raton, (2005), 161.
- 13) R.B. von Dreele, J.D. Jorgensen and C.G. Windsor : J. Appl. Crystallogr., 15 (1982), 581.
- 14) J.M. Carpenter, R.A. Robinson, A.D. Taylor and D.J. Picton : Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. A, 234 (1985), 542.
- 15) C. Iwamoto, M. Takamura, K. Ueno, M. Kataoka, R. Kurihara, P.G. Xu and Y. Otake : ISIJ Int., 62 (2022), 1013.

(2022年7月28日受付)

先輩研究者・技術者からのエール

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 物質科学研究センター 階層構造研究グループ グループリーダー | 菖蒲 敬久

頼りになる仲間が一人この業界に加わった、と大変うれしい気持ちで満たされている筆者がコメントさせていただきました。

私事となりますが、筆者は放射光応力計測を中心に研究開発を行っていますが、昨年度から中性子応力計測を実施するグループリーダーを仰せつかり、JRR-3 (研究用原子炉：中性子) と SPring-8 (大型放射光施設：放射光) の応力計測を一手に束ねる存在となりました。当グループでは筆者が着任する前から理化学研究所と小型中性子源である RANS を利用した研究開発に関する共同研究をすでに展開しており、筆者は其中ですでにリーダー格のごとく、共同研究を引っ張っている岩本さんに出会いました。非常に中性子のことに詳しいことから、この業界に長年関わってきている人と認識しておりましたが、「躍動」の記事を拝見すると全く異分野の人であることを知り、驚きしかありませんでした。

一方で、記事を読んで、「なるほど」と思ったこともありました。記事の中では2つの開発について紹介しております。いずれも結果だけ見れば誰でもできそうなことのように見えますが、先入観を持つと達成は困難です。RANS は当然ですが JRR-3 や J-PARC (大強度陽子加速器施設)、MLF (物質・生命科学実験施設) といった大型施設からの中性子に比べると格段に弱く、特に応力を算出するために実施する回折計測に対しては十分な強度は得られないために、中性子に精通している研究者であれば

計測は無理と考えてしまい、他の比較的計測しやすい方法にシフトします。これに対して岩本さんは、記事にも記載しておりますが、「強度が弱いから分解能が得られずデータが測定できないなど」ということは言っていない」と自らを奮起させ、2つの開発を行い、RANS で初めて応力計測を成功させました。つまり、この2つの開発は岩本さんが異分野にいたこと、その異分野で培われた「精神力の強さ」により達成されたのだと思いました。また、岩本さんはこの応力計測の実現に向けて様々な知識を短時間にどんどん取り入れています。この「食欲さ」も岩本さんの研究開発の原動力であると思いました。

RANS による応力計測はようやくスタートを切ったというところですが、スタートを切るというもっとも過酷なところ (あえて言うならば、0 から 1 を生み出した) を成し遂げた岩本さんですので、あっという間にさらに高品質な応力計測が実現するものと期待してしまいます。そして今はまだ「装置開発」のほうに軸足を置いているのですが、岩本さんは近い将来、「中性子応力」の業界を引っ張っていくリーダーの一人になると確信しています。応力を必要とする業界は非常に広いことから、我々は新たなリーダーの出現を待ち望んでいます。特に RANS は現場での利用が期待されていますので、これからも「精神力の強さ」、「食欲さ」を活かして、研究開発を楽しんでいただきつつ、応力業界に貢献していただくことを期待しています。

(株) エマルションフローテクノロジーズ 代表取締役社長/CEO

| 鈴木 裕士

異分野から果敢に挑戦する岩本さんの姿勢には学ぶべきことが多い、これが躍動の記事を読んで抱いた率直な感想です。

私が RANS における研究開発に関わるようになったのは、日本原子力研究開発機構に在籍中の 2014 年頃です。理化学研究所の大竹チームリーダーの「小型中性子源で「ものづくり分野」に貢献したい」という強い想いに心動かされ、RANS による中性子応力測定の実現に向けて走り出しました。研究開発当初に私たちが注目したのが、オーステナイトの相分率測定や金属材料の集合組織測定です。いずれも回折ピークの強度比が重要であり、小型中性子源であってもビーム強度を確保できれば実現可能と考えたからです。一方で、ピーク分解能の低い小型中性子源では応力測定は難しく、正直なところ手が出ませんでした。

小型中性子源では応力測定は不可能と諦めかけていた頃に、岩本さんに出会いました。岩本さんは原子核物理を専門とするバリバリの物理屋さんで、材料強度や応力評価といった工学分野とは全く異なるバックグラウンドをお持ちの研究者ですが、「もしかすると応力測定を実現してしまうかもしれない」と何となく頭をよぎったことを記憶しています。RANS チームにいらっしゃる研究者の多くが、岩本さんと同じく、原子核物理などの基

礎科学に関わってこられた研究者であり、私たち工学研究者とは異なる視点で、工学的課題をも解決する能力に優れていると感じていたからです。岩本さんももちろん例外ではなく、その期待を裏切ることなく、次から次へと現れる課題を粘り強く解決され、その結果、この 10 年来的悲願であった小型中性子源による応力測定を実現してしまいました。全くの専門外からスタートして、たった 3 年間で実現してしまう、そんな岩本さんの粘り強さと優れた課題解決能力には脱帽です。

この躍動の記事のタイトルにもある「魅力」。全くの異分野からの挑戦で、この応力測定技術の開発に魅力を感じて頂いたのであれば嬉しい限りです。私は諸般の事情から原子力機構を退職して研究を離れ、全く異なる分野でスタートアップ企業を立ち上げました。スタートアップの挑戦には、「粘り強くやり切る」が必要不可欠ですが、これは研究開発にも共通する精神ではないかと思っています。それを体現されている岩本さんの取り組みは、異業種に挑戦する私にとっても大変刺激になっています。小型中性子源による応力測定の実用化にはさらに多くのハードルが待ち受けていると思いますが、岩本さんならやり切れる！これからのご活躍を期待しております。