

# 偏極中性子反射率計写楽における弱磁場試料環境の開発 Development of weak magnetic field sample environment at polarized neutron reflectometer SHARAKU

花島隆泰<sup>1</sup>、吉良弘<sup>1</sup>、阿久津和宏<sup>1</sup>、宮田登<sup>1</sup>  
1 CROSS 中性子科学センター

偏極中性子反射率法は磁界面磁気構造を非破壊で評価できる手法であり、これまでに種々の磁性薄膜の解析に BL17 写楽が利用されてきた。これまで本ビームラインでは全て強い磁場環境 (5~6500 mT) に対応する課題が行われてきたが、近年では、弱磁場条件における磁気構造研究のニーズが高まっており、特に高感度/高速/省電力がトレンドとなっているスピントロニクスデバイス研究では、2 mT 近傍の弱い磁場環境の開発が不可欠である。図 1 に新しく開発された弱磁場試料環境のヘルムホルツコイルと、その他の使用実績のある偏極試料環境を示す。

2021 年度には偏極中性子反射率計と弱磁場試料環境を組み合わせ、偏極オフスペキュラー散乱 (以後偏極 OSS) と Magnetic Contrast Matching Neutron Reflectometry (以後 MCM-NR) という手法を発展させ、実用化のレベルまで進めることで、これらのユーザー供用への道を拓く。偏極 OSS は、磁性膜の埋もれた界面の磁気ドメインを観察できるユニークな手法であり、本手法により磁性膜面内の磁気モーメントとドメインサイズの詳細な評価が可能になる。MCM-NR は、基板に磁性体を用いることで試料/基板のコントラスト差をゼロにする手法であり、重水素化等によるコントラスト変化が乏しい試料や、50 nm 程度のラフネスを有する試料も測定可能であることが大きな特徴である。

当日は、弱磁場条件下の偏極度や偏極中性子反射率データを示す。

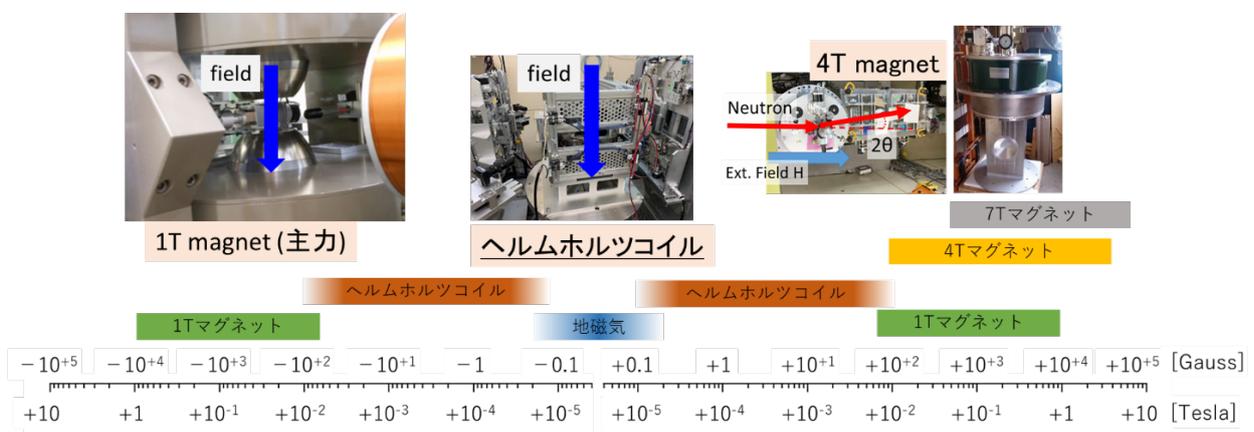


図 1. BL17 で使用できる偏極試料環境

MLF-BL01, BL02, BL03, BL11, BL14, BL15, BL17, BL18, BL22

## MLF 先進計算環境設備の実験装置データ収集システムへの導入

### Installation of MLF advanced computational environment into data acquisition system in instruments

中谷健<sup>1</sup>、稲村泰弘<sup>1</sup>、森山健太郎<sup>2</sup>

1. J-PARC センター、 2. CROSS 中性子科学センター

J-PARC 物質・生命科学実験施設(MLF)では、最先端量子ビーム測定手法と数理学の融合による中性子マテリアルズインフォマティクスの実現のため、MLF 先進計算環境(MLF-ACE)を整備中である。H29~30 年度においては、MLF 各実験装置のデータ収集システムにより取得される実験データを J-PARC 研究棟サーバー室のストレージへ高速に転送・記録する設備を整備した。その仕様は以下の通りである。

#### (1) ネットワーク

- ・ 実験装置~実験ホール集約スイッチ: 10Gbps/BL、BL スイッチ × 27
- ・ 集約スイッチ~J-PARC 研究棟コアスイッチ: 40Gbps × 2
- ・ コアスイッチ~ファイル共有システム: 10Gbps × 4

#### (2) ストレージ

- ・ 容量: 200TB × 2 (ボリューム: 100TB × 4)、FC スイッチ
- ・ ファイル共有システム (アプライアンス型 StorNext)
- ・ ファイル共有システム~ストレージ: 16Gbps × 4 (FC)

#### (3) 監視システム

- ・ トラフィック監視サーバー、可視化ソフトウェア

R1~2 年度において MLF-ACE と MLF 実験ホールのいくつかの装置のデータ収集システムを接続し、データ収集システムが取得したデータをリアルタイムに MLF-ACE ストレージに保存可能にするシステムを構築した。構築にあたっては、既存のデータ収集システムにできる限り影響を与えないようなシステム構成を検討、実装した。MLF のデータ収集システムは基本的には標準化されているが、データ共有システムは各実験装置の状況に合わせたシステムが構築されている。MLF-ACE との接続においてはその状況に合わせたネットワーク構成、DAQ コンポーネント配置を検討し、システムの構築を行った。

本発表では R1~2 年度構築したシステムの詳細について報告する。

## 2020 年の AMATERAS の高度化と利用状況 Upgrades and user program at AMATERAS in 2020

河村聖子<sup>1</sup>、古府麻衣子<sup>1</sup>、村井直樹<sup>1</sup>、中島健次<sup>1</sup>、稲村泰弘<sup>1</sup>、若井大介<sup>2</sup>  
1 J-PARC MLF、2 NAT

冷中性子ディスクチョッパ型分光器 AMATERAS は、MLF において 2009 年に運用を開始した非弾性・準弾性散乱の装置であり、これまで広い研究分野の中性子散乱実験課題が実施されてきた。2020 年は、コロナ禍のため来所できないユーザーが急増したが、1 月から 12 月までに 18 件の一般課題(長期・短期)を実施した。この中で、6 件の課題は装置グループが測定を代行している。

装置グループでは、真空散乱槽の真空排気に使用してきたクライオポンプの老朽化対策も含めた真空排気系の高度化を数年にわたって進めている。2020 年は、クライオポンプを新品に交換し、それに伴う制御システムも改造した。新しいクライオポンプと共にゲートバルブを導入することにより、試料交換に要する時間の短縮を実現し、実験の効率化を図った。2021 年以降には、真空ベント操作をこのシステムに組み込み、システムの自動化を目指す。他にも、GM 冷凍機の性能向上や、ガイドミラー設置など、現在進めている高度化や今後の計画についても報告する。

## KUR CN-3 における中性子検出器の性能評価試験 Performance test for neutron detectors at KUR CN-3

大下英敏<sup>1,2</sup>・遠藤仁<sup>1,2</sup>・瀬谷智洋<sup>1,2</sup>・安芳次<sup>1</sup>・日野正裕<sup>3</sup>・小田達郎<sup>3</sup>

<sup>1</sup>KEK 物構研、<sup>2</sup>J-PARC センター、<sup>3</sup>京大複合研

我々は MLF の KENS ビームラインで使用される中性子検出器システムの運用とメンテナンスおよび新しい中性子検出器の開発をおこなっている。最近では、中性子コンバータとして  ${}^6\text{LiF/ZnS (Ag)}$  シンチレータを使用し、受光素子には Multi-Pixel Photon Counter (MPPC) を使用した Mpix (エムピックス) の性能評価とコミッショニングを進めている。Mpix の性能評価試験は KUR CN-3 において実施された。KUR CN-3 は KUR の冷中性子源を見込む形で設置された冷中性子導管実験室である。また、KUR CN-3 では、中性子スーパーミラーによって輸送された  $1 \text{ \AA} \sim 5 \text{ \AA}$  の波長を持つ中性子による実験が可能である。中性子遮へい体で囲まれたスペースに設置されたディスクチョッパーを回転させ、Time Of Flight (TOF) による波長依存性の測定がおこなえる。KUR CN-3 において期待される中性子強度は導管出口において  $7.6 \times 10^5 \text{ neutrons/s} \cdot \text{cm}^2$  であり、中性子検出器の性能評価をおこなうのに適している。本発表では、KUR CN-3 において実施された中性子検出器の性能評価試験の結果について述べる。なお、本開発研究は京大複合研における共同利用研究「中性子実験のための自動測定システム nDAQ の開発」(採択番号: R2069) の一環として実施されました。

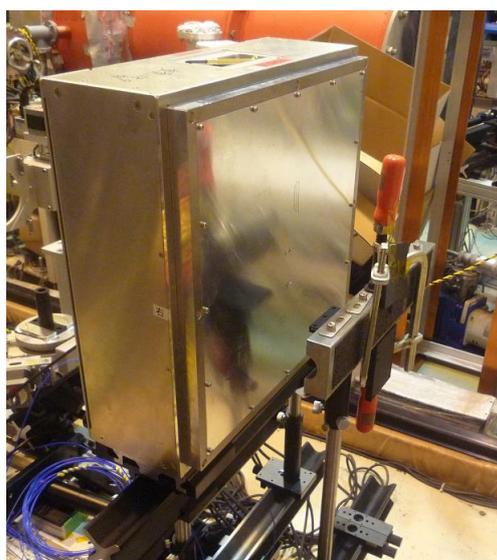


図1 KUR CN-3 における実験風景、(左)Mpix、(右)nGEM.

## 5テスラ $\mu$ SR分光器の開発

### Development of 5 Tesla $\mu$ SR Spectrometer

西村昇一郎<sup>1</sup>、岡部博孝<sup>1</sup>、門野良典<sup>1</sup>、幸田章宏<sup>1</sup>、小嶋健児<sup>2</sup>、  
中村惇平<sup>1</sup>、平石雅俊<sup>1</sup>、宮崎正範<sup>3</sup>

1 KEK物構研、2 TRIUMF、3 室蘭工業大

高磁場中での $\mu$ SR測定は、ミュオンナイトシフトの測定や磁気相図の探索、あるいは、レベル交差共鳴法 (LCR) での測定を可能にし、その重要性を増している。J-PARC MLFミュオン施設では、5 Tまでの高磁場 $\mu$ SRに対応した装置の準備を進めている。分光器は5 T電磁石と、試料位置を対称に上下流に3層、合計3,008チャンネルからなるシンチレーションファイバー検出器から構成される。5 T超伝導磁石と大強度パルスミュオンビーム用に最適化された検出器はすでに製作・実装済である。2021年1月に分光器をSラインに設置してゼロ磁場でのビーム試験を行った(図1)。20 mm角1 mm厚の銅板を標的とし、ミュオン崩壊陽電子の時間スペクトルを測定した。結果としてプロンプト電子の信号とミュオンダブルパルスの信号が観測され、現在、検出器ごとの詳細な解析を進めている。また、将来的にこの分光器を使った $\mu$ SR測定では様々な磁場下で測定を行うが、ミュオンビームの磁場収束効果によって磁場強度に応じて試料以外に停止したミュオンからのバックグラウンドが変化したり、崩壊陽電子が磁場に巻き付く効果によって、検出器ヒットレートや検出器アクセプタンスが変化して上下流の非対称度が変化したりする。これらの影響を見積もるためにGeant4を用いたシミュレーションによる評価も進めている。本講演では、ビーム試験の評価とシミュレーションの評価結果について報告する。

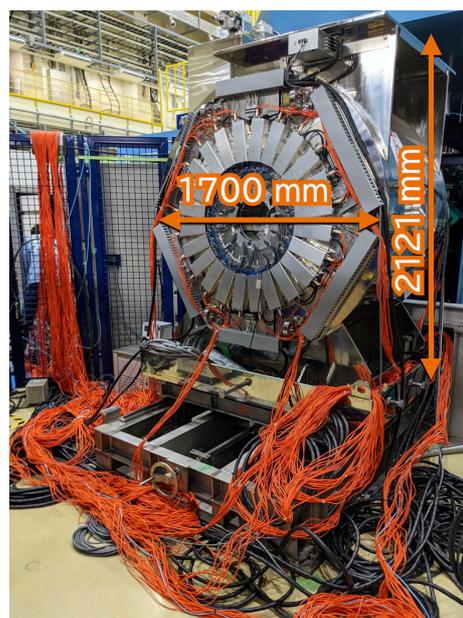


図1 : 5テスラ $\mu$ SR分光器

## 飛行時間法により収集された中性子回折データ処理ソフト STARGazer の現状

### Status of neutron time-of-flight single-crystal diffraction data processing software STARGazer

矢野直峰<sup>1</sup>、山田太郎<sup>1</sup>、細谷孝明<sup>1,2</sup>、大原高志<sup>3</sup>、田中伊知朗<sup>1,2</sup>、日下勝弘<sup>1</sup>

1 茨大フロンティアセンター、2 茨大工、3 原研 J-PARC センター

茨城県生命物質構造解析装置 iBIX は飛行時間法により連続波長中性子を用いて、単結晶の中性子回折データを測定する装置である(図 1)。主にタンパク質中の水素原子やプロトンの位置を決定し、反応機構を解明するために利用される。我々は中性子回折データ処理ソフト STARGazer をより使いやすくするとともに積分強度の精度を向上させるために開発を進めてきた。STARGazer は仮想化ソフト VirtualBox を用いることで、Window, Linux, Mac で使用することが出来る。インストールに必要なファイルとマニュアルはユーザーに配布している。STARGazer はデータ処理パートとデータ可視化パートに分かれている。データ処理パートでは GUI を用いて入出力ファイル名やフォルダ名を指定し、計算を実行出来る。データ可視化パートでは回折データ、ピークサーチの結果、UB 行列から予想したピーク位置を表示出来ると共に積分範囲の決定に用いる。ユーザーに対しては、ヒストグラム化から強度データ出力までの手順をまとめたマニュアルを作成し、ソフトと共に配布している。

データ処理で最も手間な部分は積分範囲を決定するところである。検出器の散乱角  $2\theta$  により積分範囲が異なるので、検出器を散乱角によりグループ分けし、目視で X, Y, TOF 方向の積分範囲を決定する必要がある。そこで、TOF 方向のチャンネル幅を不等幅にしたヒストグラムデータを用いた積分範囲の自動決定法の開発を進めている。あるタンパク質の回折データで、目視で決定した積分範囲よりも広い範囲を用いて、X, Y, TOF 方向毎に 1 次元の強度分布を作成した。 $I/\sigma(I)$  が最大となる位置を指標とする方法と予測したピーク位置の強度に対する各位置の相対強度を指標とする方法を比較した。目視で決定した積分範囲に近い結果が得られたのは相対強度を指標とする方法であった。 $I/\sigma(I)$  が最大となる位置を指標とすると、目視で決定した積分範囲より 2 ピクセル分狭くなった。ポスターでは進捗状況と今後の課題について説明する。

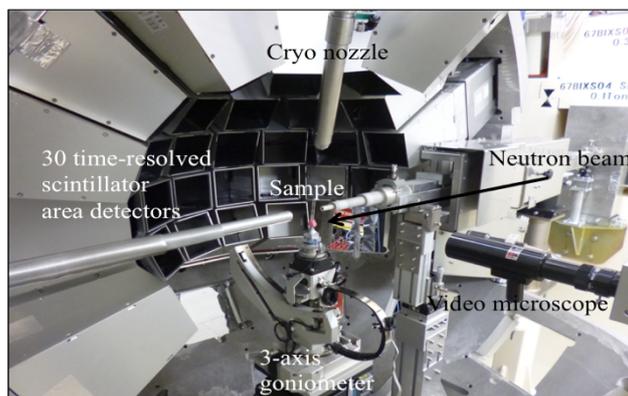


図 1 iBIX の外観

## BL02 の実験自動化・スマート化デバイスの開発 Developments of automation and smart devices for BL02

富永大輝<sup>1</sup>, 山田武<sup>1</sup>, 笠井聡<sup>1</sup>, 松浦直人<sup>1</sup>, 川北至信<sup>2</sup>  
CROSS<sup>1</sup>, J-PARC JAEA<sup>2</sup>

BL02 (DNA)[1]は試料位置に輸送される大強度の中性子束により、世界で稼働するダイナミクス装置の中では、1 条件当たりの測定は非常に短時間(600kW 運転で3~4 時間程度)でデータを取得することが可能であり、試料交換頻度が高い。ダイナミクス測定では多温度点の準弾性散乱データの取得、広温度範囲の温度制御に応えるため、温度制御方法は比較的低温の温度制御で用いられる He ガスによる温度制御と比較的高温の温度制御で用いられる真空断熱下におけるヒータ制御を切替えている。

これまで、ユーザー実験に必要な試料交換時や温度制御法の切替え時には熟練手動操作が必要であったが、J-PARC MLF における中性子強度増大に向けて、ユーザーや装置グループの負担と安全確保を目指して昇降型3連自動試料交換機と、試料セルが設置される Inner vacuum chamber (IVC) のガス制御システムを構築し、この2 つについて完全自動化・スマート化デバイスを開発した[2]。

自動化やスマート化に関わる開発には、通信記録や情報発報の要不要の判断などあらかじめ設計検討する項目が多数ある。また定期的なメンテナンスも必要である。一方、自動化、スマート化は、人為操作ミスの回数低減効果もあり、これら創出される新システムによって、得られたデータそのものの議論に注力できることが期待される。

### References

- [1] “The Performance of TOF near Backscattering Spectrometer DNA in MLF”, J-PARC”, K. Shibata et al., Proceedings of the J-PARC Symposium 2014, JPS Conference Proceedings, 8, 036022 (2015)
- [2] “Position-Encoded Automatic Cell Elevator for BL02, J-PARC MLF”, T. Tominaga et al., Proceedings of The J-PARC Symposium 2019, JPS Conf. Proc. accepted (2020).

## 乱択アルゴリズムによる結晶方位推定プログラムの 開発と課題

### Development of UB matrix determination program based on probabilistic algorithm

石川 喜久・CROSS, 鬼柳 亮嗣・原研 J-PARC, 大原 高志・原研 J-PARC,  
中尾 朗子・CROSS, 宗像 孝司・CROSS, 森山 健太郎・CROSS,  
野田 幸男・東北大多元研

単結晶回折において装置幾何系( $x^*, y^*, z^*$ )と逆格子を紐付ける UB matrix は重要なパラメータのひとつである。UB matrix は試料の設置及びゴニオメータに由来する回転行列 U matrix と格子定数に基づく逆格子を( $x^*, y^*, z^*$ )に変換する基底表現である B matrix の積で定義される。

$$\mathbf{UB} = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a^* & b^* \cos \gamma^* & c^* \cos \beta^* \\ 0 & b^* \sin \gamma^* & -c^* \sin \beta^* \cos \alpha \\ 0 & 0 & 1/c \end{pmatrix}$$

UB matrix を計算するアルゴリズムとして、代数的手法である 2 反射法や Vector minimum 法などが良く知られている[1, 2]。一方, J-PARC や PF など大型実験施設に持ち込む試料は、事前に実験室 X 線装置等による予備実験を通して格子定数が明らかとなっていることが殆どである。そのため、UB matrix の決定については回転行列 U を求める問題に帰結することが多い。このとき、各軸における回転は連続変量であり、組み合わせ数は離散回転量の 3 乗に比例することから、総当たり法は現実的な解法ではない。近年, Noda 等によって回転行列に Monte Carlo 法を適用した UB matrix 計算プログラム *UBmonteCal* が開発された[3,4]。

ここで上述の Monte Carlo 法に着目したとき、広義には乱択アルゴリズムによる大域最適解を推定する手法である。本研究では、乱択アルゴリズムとして(1) Random Walk, (2) Simulated Annealing, (3) Generic Algorithm, (4) Particle Swarm Optimization を新たに導入した UB matrix 推定プログラムを開発し、それぞれの計算の性質とコストについて検討した。発表では、個々のアルゴリズムの詳細と計算結果の比較について報告する。

[1] 桜井敏雄「X 線結晶解析の手引き」第三章, 裳華房, ISBN 978-4-7853-2504-6 (1985). [2] 野田幸男「結晶学と構造物性」第八章, 内田老鶴圃, ISBN: 978-4-7536-2307-5 (2017). [3] 野田幸男 *et.al.*, 「2 次元 PSD の中性子単結晶 4 軸回折装置への応用(2)」日本物理学会概要集 Vol 62 No.1, p.948 (2007). [4] Chang-Hee Lee, *et.al.*, *J.Appl.Cryst.*, **46**, P.697 (2013).

## MLF 光照射試料環境チームの 2020 年度の活動 Activities of the MLF Light Irradiation Sample Environment Team in JFY 2020

坂口佳史<sup>1</sup>、森川利明<sup>1</sup>、笠井聡<sup>1</sup>、大内啓一<sup>1</sup>、岩瀬裕希<sup>1</sup>、高橋竜太<sup>2</sup>。  
<sup>1</sup>CROSS, <sup>2</sup>JAEA

J-PARC 物質・生命科学実験施設(MLF)の特徴のひとつとして強いビーム強度を有することがある(2021年1月現在で陽子ビーム強度616kW)。強いビーム源を用いれば測定時間は短くなる、したがって、これまで観測が困難であった反応系での過渡的測定を行えば、強いビーム強度の特性を活かした新しい学術的成果の創出が期待される。光照射によって生じる光反応はそうした実験対象のひとつである。我々、MLF SE チームの中の光照射環境サブチームでは、MLF で光照射実験を行うための機器、制御環境の整備を進めている[1, 2]。本ポスター発表では2020年度の活動を報告する。

2020年度、BL15において、SANS 用電気炉を用いた高温下での光照射実験(光源:水銀ランプ)を行った。光照射用の電気炉の窓が限られており、試料へ光照射するための光学部品の設置場所が制限されるが、光ファイバー出射口から約45cmの試料位置に集光するようにした新たな集光光学システムをつくり、電気炉内の試料への光照射を可能にした。

また、この集光システムとLED光源を用いて、PF BL27Aにおいて光照射XPS実験を行った。XPSチャンバーの窓を通してXPSチャンバー内の試料に光を照射し、光照射に伴うスペクトルの変化を観測することに成功した。

さらに、中性子散乱-ラマン散乱同時測定を行うためのラマン分光装置の整備も進めている。MLFビームライン上での実験では、レーザー光の安全な取り扱いが実験遂行上のポイントとなるが、BL15, 17に関しては、専用の遮光ボックスが準備できており、実験を行うことが可能となっている。

BL15では光応答性界面活性剤が形成するミセルの構造変化のその場観察実験をこれまで行ってきたが、2020年度もこれを継続し、さらなる研究成果があげられている。

当日のポスター発表ではこれら活動の詳細を報告する。

PF BL27Aでの光照射実験では、馬場祐治博士(JAEA)、宇佐美徳子博士(KEK)のご協力をいただきました。ここに感謝申し上げます。

[1] Y. Sakaguchi et al., J. Neutron Res. 21 (2019) 23.

[2] Y. Sakaguchi et al., JPS Conf. Proc., to be published.

## J-PARC MLF におけるパルスマグネットシステムの開発 Development of Pulsed Magnet System in J-PARC MLF

渡辺真朗<sup>1</sup>、野尻浩之<sup>2</sup>

1 JAEA-JPARC センター、2 東北大学-金属材料研究所

近年、中性子や放射光をプローブとした数 10T 以上の強磁場下で行う実験・研究への要望が増えてきている。強磁場装置を用いた中性子散乱実験は、例えば、磁場誘起相転移において、時間変化するパルス強磁場下での磁気構造の時間発展を測定することが目指されており基礎物理の課題の一つとなっている。

J-PARC MLF において、これまで通称オレンジクライオと呼ばれる高クライオスタットを用いたパルス強磁場発生装置の開発を進めてきたが、昨年度からユーザーへの利便性と実用性を飛躍的に高めるために、GM 冷凍機を利用したパルス強磁場発生装置を開発した。インサート・クライオスタット・GM 冷凍機等からなるパルス強磁場発生装置の全体写真を図1に示す。インサート内に挿入されている30T まで発生可能なソレノイドコイルを図2に示す。

本発表では、開発したパルス強磁場発生装置の特性や MLF の中性子源特性試験装置 (NOBORU) での中性子利用ビーム実験の結果などについて報告する。



図1:パルス強磁場装置

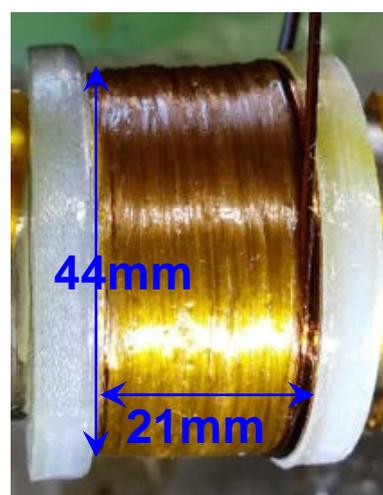


図2:コイル外観写真

## 中性子小角・広角散乱装置 BL15(大観)の活動報告 Activity report on the small and wide angle neutron scattering instrument of BL15(TAIKAN)

森川利明<sup>1</sup>、高田慎一<sup>2</sup>、廣井孝介<sup>2</sup>、大石一城<sup>1</sup>、岩瀬裕希<sup>1</sup>、河村幸彦<sup>1</sup>  
佐原雅恵<sup>1</sup>、鈴木淳市<sup>1</sup>

1 CROSS、2 J-PARC Center、JAEA

J-PARC MLF の中性子小角・広角散乱装置 BL15(大観)は、広い $q$ 領域を測定できることから、ナノからミクロンスケールの特徴的な構造を持つ金属、磁性体、超伝導体、ソフトマター、生体高分子等の様々な試料の測定に利用されており、そのためユーザーが要望する実験環境も多岐に渡っている。

そうしたユーザーからの要望に応えるべく、BL15 では実験環境の整備、高度化を行ってきている。

BL15 の試料環境機器に関しては、長ストロークの引張試験機を導入した。従来の引張試験機のストロークが最大 100mm であったのに対し、新規導入した引張試験機のストロークは最大 500mm と長く、ゴム系素材、樹脂フィルムなどの伸びの大きい試料の測定に利用されている。さらに、これらの引張試験機と調湿装置を組み合わせ、温湿度制御下での引張応力印加測定も可能である。

また、試料ステージと真空散乱槽(検出器)の間に小型の磁気スーパーミラーアナライザー設置機構を導入し、偏極度解析が可能になった。4K 冷凍機+ヘルムホルツコイル、または 4T クライオマグネットと組み合わせた利用が行われている。上流光学系に設置されたスピンドリッパーの設計改良も行われ、1.5~7.5 Å の波長帯の中性子で十分な反転効率を実現できるようになった。

今後も、ペルチェ式試料交換機、新規 1T マグネット、4T クライオマグネット用試料回転式スティックの導入や、SANS+ラマンレーザー同時測定、新型調湿機(重水、軽水混合蒸気可能)を用いた新規試料環境利用実験を計画している。

小角、中角、高角、背面の 4 つの検出器バンクに関しては、<sup>3</sup>He 検出器の増設を継続して行っている。2019 年度には中角、背面バンクの検出器増設、2020 年度には高角バンクの検出器増設を行った。これにより、検出器充填率は、91%に到達した。また、背面バンクおよび小角バンク中央部の検出器には、従来の検出器よりも <sup>3</sup>He ガス圧の高い検出器を導入した。これにより、従来よりも更に信頼性の高いデータを高効率に得られるようになった。

## 茨城県生命物質構造解析装置 iBIX の現状 Current status of IBARAKI biological crystal diffractometer iBIX

日下勝弘<sup>1</sup>、山田太郎<sup>1</sup>、矢野直峰<sup>1</sup>、細谷孝明<sup>1</sup>、大原高志<sup>2</sup>、田中伊知朗<sup>1</sup>  
1 茨城大 iFRC、2 J-PARC センター

中性子回折法は X 線回折法との相補的な利用により水素(重水素)原子を含む全原子の位置情報を得ることができる生体高分子にとって強力な手法である。ハイスループットな中性子構造解析を実現するために、茨城県により J-PARC の物質・生命科学実験施設(MLF)に生体高分子用中性子回折装置(茨城県生命物質構造解析装置:iBIX)が開発、建設された(図1)。2012 年度に検出器の高度化がなされ、検出効率が飛躍的に改善されタンパク質の構造解析の精度が上がり、本格的な供用実験が開始された。2017 年度には、設計目標である測定可能格子長  $135 \times 135 \times 135 \text{ \AA}^3$  のタンパク質試料の構造解析に成功し、その性能が証明された。現状では、J-PARC の加速器出力が安定的に 600kW(最大:1MW)で運転されており、生体高分子の単結晶試料サイズが  $1 \sim 2 \text{ mm}^3$  であれば、標準的な結晶系の場合、約 7 日程度で中性子構造解析が可能なフルデータの測定が可能となっている。本年度までに検出器が 4 台増強され(30 台→34 台)、その調整も終了し、ユーザーへの供用が開始されている。

加速器出力が増強され単位時間あたりに検出される中性子のデータ量が増えることに対応するために、昨年度から本年度にかけてデータ集積システムの更新を行なった。これにより、MLF 先進計算環境の共通ストレージを利用した高速なデータ記録が可能となっており、J-PARC の 1MW フルパワー運転への準備が整った。本発表では、iBIX の基本性能と現状、および中性子の特徴を生かして得られた最近の成果(タンパク質および合成高分子)等について報告する。

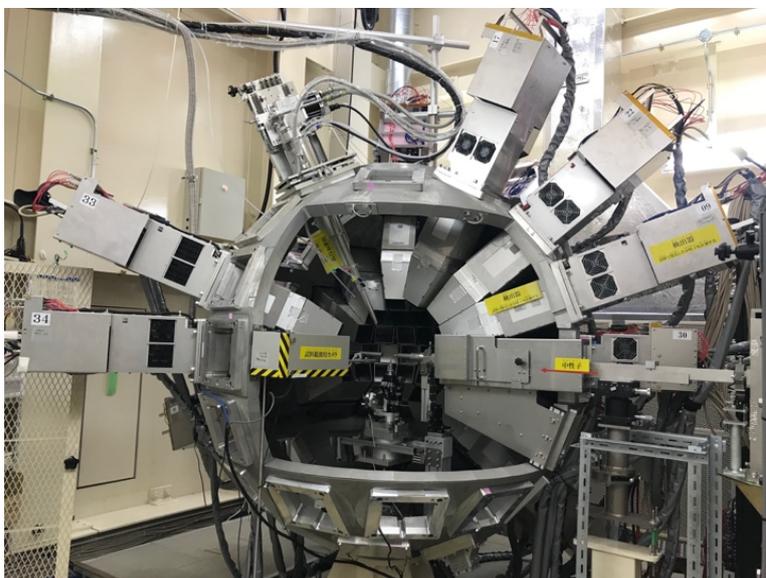


図1 iBIX の回折計(検出器34台設置)

## 偏極中性子散乱装置 POLANO における 磁場環境機器の整備状況

### Development of magnetic field system in polarized neutron spectrometer POLANO

金子直勝<sup>1,2</sup>、横尾哲也<sup>1,2</sup>、伊藤晋一<sup>1,2</sup>、池田陽一<sup>3</sup>、大河原学<sup>3</sup>  
林浩平<sup>1</sup>、藤田全基<sup>3</sup>

1 KEK-物構研、2 J-PARC センター、3 東北大-金研

POLANO では様々な磁場環境機器を用いて偏極実験を実現する。各磁場環境機器はそれぞれの目的があり、SEOP 偏極子に利用されるソレノイドコイル、偏極中性子のスピンの向きを保持するための各種ガイド磁場、試料位置におけるスピン制御のためのヘルムホルツコイル、検極子用のマグネットハウジングなどが使用される。また、スピントリッパーなどの中性子スピン制御のための機器も導入予定である。これらの機器のうちヘルムホルツコイルは試料に任意の磁場を印加するための電磁石であり、真空槽内に設置されるためコイルの冷却が必要となる。我々はヘルムホルツコイルを吊り下げるためのフランジを冷却し、ここからの熱伝導でコイルを冷却するシステムの製作を行った。これにより冷却水システムを真空槽内部に配管せず熱除去することが可能となる。冷却性能試験結果は良好で、制御インタロックシステムと合わせ MLF 内に設置を行うための機器安全審査においても設置の許可を得ることができた。

またヘルムホルツコイル下流に設置され、水平方向の検出器設置角度領域に縦磁場ガイドを発生させるのが扇型マグネットである。上下の扇型形状の鉄板でネオジム磁石による磁極を挟む構造となっている。POLANO でのビームを用いたコミッショニングにおいて、この扇型マグネットが試料から検出器までのビームパス上に死角を作り出していることが判明した。この死角をなくし、さらにφ50mm×L50mm の試料サイズまで対応可能とするための改造型の扇型マグネットの設計を行い現在製作が進行中である。またこの改造に伴い扇型マグネットの取り付け方式についても再設計を行なっている。

当日はこれらの現状についての他、設計時に行った磁場計算シミュレーションのパラメータ見直しなどの報告を行う。

## J-PARC/MLF 中性子単結晶構造解析装置 SENJU における測定効率化への取り組み

### Toward more efficient measurements at SENJU in J-PARC/MLF

鬼柳亮嗣<sup>1</sup>、大原高志<sup>1</sup>、中尾朗子<sup>2</sup>、宗像孝司<sup>2</sup>、石川喜久<sup>2</sup>、森山健太郎<sup>2</sup>、  
坂倉輝俊<sup>3</sup>

1 原子力機構 J-PARC、2 総合科学研究機構、3 東北大多元研

J-PARC/MLF の BL18 に設置されている TOF-Laue 型中性子単結晶構造解析装置 SENJU は、無機物質や小型の分子性結晶の結晶構造解析や磁性体の磁気構造解析などを主なターゲットとした装置である。J-PARC/MLF で発生する大強度の白色中性子と広い立体角をカバーする検出器により効率的に逆空間を測定できることが SENJU の特徴であり、これまで多くのユーザー実験を行うとともに、装置の高度化を進めてきた。

これまでに SENJU で測定した最も小さな試料は約  $\phi 0.1\text{mm}$  の試料である（無機物、立方晶）。この測定では 1 つの結晶方位でのデータを 4 日間かけて積算した。一方、通常 SENJU では、構造解析用のデータを収集するのに 6~8 方位の異なる結晶方位での測定が必要となるため、微小結晶では現実的な時間内で全空間を高統計で測定することは難しい。そこで、より効率的な測定のため、複数の結晶の同時測定を検討した。テストケースとして 3 つのルビー単結晶の同時測定を行い解析したところ、それぞれの結晶の方位決定、強度の抜き出しを行うことができ、構造解析も 1 つの結晶から得られたデータを使った場合と同様な精度で行うことができた。

一方、SENJU では超格子反射の探索が多く行われるが、一般的に超格子反射の強度は弱いため、ノイズに埋もれやすく、効率良く且つ見落としなく反射を探索する方法が求められる。そこで、測定されるデータの強度分布を予測するため、逆空間中の強度分布に対しカーネル密度推定を適用した。ガウスカーネルを用いたカーネル密度推定を適用した結果、微弱な超格子反射の視認性が大幅に向上することがわかった。この方法を測定中のデータ確認に用いることで、迅速な超格子発見、効率的な測定に繋がると期待される。

## 10Gb Ethernet SiTCP ライブラリを用いた SOI ピクセル検出器用データ取得システムの開発 Development of Data acquisition system for SOI pixel detector using 10Gb Ethernet SiTCP library

西村龍太郎・KEK-IMSS、岸本俊二・KEK-IMSS、  
新井康夫・KEK-IPNS、三好敏喜・KEK-IPNS

SOI (Silicon-On-Insulator) ピクセル検出器は、KEK を中心とする SOIPIX グループにおいて開発中のシリコンセンサと LSI 回路を一体のチップに収めた新型撮像デバイスである。本検出器は放射光施設における X 線イメージングや X 線残留応力測定等の分野で実用化に向けた試験・装置開発が進められているが、現在本検出器の読出し用に主に用いられている読出し基板 SEABAS2 (Soi Evaluation BoArd with Sitcp 2) は開発から 10 年弱が経過しており、旧式化が進んでいる。このことにより、読出し速度の不足、搭載 FPGA (Field-Programmable Gate Array) の回路規模の不足による高度な処理実装に対する制約、FPGA の旧式化に伴う部品入手性の悪化により新規製造が不可能となる等の問題が生じている。そこで、これらの問題を解消し、総合的な性能・使い勝手の向上を図るため、新たな FPGA を搭載した読出し基板を開発することとした。この基板においては 10 Gigabit Ethernet 対応の SiTCP (FPGA 上で動作するネットワークプロセッサライブラリ、以下 10 GbE SiTCP) を FPGA 内に搭載し、データ転送性能の大幅な向上を図ることを予定している。新型基板によるデータ収集システムの開発に先駆けて、現在は汎用 FPGA 評価基板 KC705 と新型基板のために開発したアナログーデジタル変換サブ基板を用いたプロトタイプシステムを構築し、10 GbE SiTCP に関する評価を進めている。2020 年 11 月には PF BL-14A および BL-14B において、プロトタイプシステムと SOI ピクセル検出器を接続し、実際の検出器運用条件に近い環境における動作試験を実施した。本試験においては読出し速度の向上によるフレームレート上限の緩和・フレームレート安定性の向上が確認された。本発表においてはこれらの試験の結果について報告する。

## 商用クラウドサービスを利用した MLF 計算環境の拡張 Expansion of MLF computational environment with commercial cloud services

岡崎伸生<sup>1</sup>、稲村泰弘<sup>2</sup>、伊藤崇芳<sup>1</sup>、中谷健<sup>2</sup>、  
鈴木次郎<sup>3</sup>、森山健太郎<sup>1</sup>、大友季哉<sup>4</sup>

<sup>1</sup>CROSS、<sup>2</sup>JAEA J-PARC センター、<sup>3</sup>KEK 計算科学センター、<sup>4</sup>KEK 物構研

Amazon、Google をはじめとする企業によるクラウドサービスの進化は著しく、それらの基盤を使うことにより実現できることは加速度的に増加している。近年、日本政府も、クラウド・バイ・デフォルト原則を打ち出しており、クラウドサービスを用いた開発やシステム運用はもはや必須とも言うべき流れとなっている。一方、機器の高機能化、複雑化に伴い、ハードウェアライフサイクルの短縮化が加速しており、我々J-PARC MLFにおいては、保守に十分なリソースを割けない状況が発生している。そういった点からも、開発内容によってはハードウェアを自組織で調達し、運用を行うよりも、様々な点でメリットが大きくなっているのが現状である。

特に、2020 年から続いているコロナ禍の状況下では情報システムが担う役割は飛躍的に増加しており、従来の計算環境とクラウドを組み合わせたシステムの構築が必要となっている。クラウドサービスの利用は、以前から進めており、リモート解析環境の開発や、データのバックアップや配信等の手法を検討している。その他、MLF 利用者向け Web サイトである Meet@MLF の運用でもクラウドサービスは広く利用しており、本報告では、1) 開発中のリモートデータ解析システムに商用クラウドサービスを組み合わせる計画およびその検証状況、2) ユーザーに向けた公開システムにおけるクラウドサービスの利用状況を紹介する。

## 中性子背面反射型分光器 DNA の現状と整備計画 Current status and upgrade plan of neutron backscattering spectrometer DNA

J-PARC センター<sup>1</sup>, CROSS<sup>2</sup>, JAEA<sup>3</sup> 川北至信<sup>1</sup>, 松浦直人<sup>2</sup>, 富永大輝<sup>2</sup>, 山田武<sup>2</sup>, 玉造博夢<sup>1</sup>, 中川洋<sup>1,3</sup>

DNA 分光器は、生体物質や高分子等のソフトマターの機能解明, 電池材料, 触媒材料等の機能性材料の開発研究, 磁性物質の研究など広い分野で、ピコ秒からナノ秒に亘る原子や分子、スピンなどのダイナミクス測定に利用されている[1-3]。本発表では、DNA の現状と現在進めているアップグレードの計画について報告する。

2020 年夏季停止期間中には Si311 アナライザーを低角側に 2 バンク増設し、Si111 のカバーする Q レンジ  $0.08 < Q < 1.98 [\text{\AA}^{-1}]$  と重なる  $1.79 < Q < 3.39 [\text{\AA}^{-1}]$  の Q 範囲をカバーできるようになった。一方、J-PARC の出力増加に伴い、入射中性子の規格化に用いている窒素モニターの劣化が進んでいることが判明した。ガス交換による窒素モニターのリフレッシュや新たな試料位置  $I(\lambda)$  測定モニターの導入を計画している。

また、幅広い分野に渡る DNA ユーザーの要求に応える為、2K 冷凍機、高温試料環境 ( $\sim 1000^\circ\text{C}$ )、ラジアルコリメーター、自動試料交換機 (3 試料垂直移動タイプ、20 試料輸送タイプ) の開発を進め、DNA でも使えるマグネットの導入も計画している。

### References

- [1] “The Performance of TOF near Backscattering Spectrometer DNA in MLF”, J-PARC”, K. Shibata et al., Proceedings of the J-PARC Symposium 2014, JPS Conference Proceedings, 8, 036022 (2015)
- [2] “Current Status of tBL02 DNA in 2017”, Y. Kawakita et al., J-PARC Annual Report 2017 Vol.2: Materials and Life Science Experimental facility, 74-75 (2017)
- [3] “Status of neutron spectrometers at J-PARC”, R. Kajimoto et al., Physica B, Physica B 562 148-154(2019).

MLF-BL05, MLF-BL06, MLF-BL08, MLF-BL09, MLF-BL21, MLF-BL23

## J-PARC MLF における KENS ストレージシステムの構築 Construction of the KENS storage system at J-PARC MLF

瀬谷 智洋, 大下 英敏, 安 芳次  
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

KENS では安定した中性子実験の遂行、効率的な DAQ 環境の構築、のために各実験装置の DAQ システムを共通化した。現在では 5 本のビームラインが共通化されており、年間で 100TB~180TB 程度のデータを保存している。各装置に概ね 5 年分のデータが保持できるようにストレージを整備してきた。特に BL09,21 の 2 つのビームラインは、それぞれ 600TB を超える大容量のストレージを有し、5 本合わせて 1.4PB 程度の容量を持っている。



図 1. KENS ストレージシステム

今までの運用では、測定されたデータは各実験装置のストレージにのみ存在し、故障やヒューマンエラーによるデータ消失について脆弱であった。

バックアップシステムとして有用なのは KEKCC に設置されたテープストレージであるが、これは 50MB/s 程度と転送速度が遅いため高い頻度でのバックアップには適さない。したがって、HDD で構成された大容量のストレージを構築し週 1 回の頻度でバックアップするストレージシステムを構築した。

容量は 1PB で次年度には倍の 2PB に増強する計画である。このストレージシステムに週 1 回、自動的に 5 本のビームラインからバックアップを実施し、都度 KEKCC のテープストレージへアーカイブを行う。DAQ 中に使う物とは別のストレージから KEKCC へ転送できるので、DAQ 用ストレージの負担軽減になるうえに、高頻度でバックアップを実施できるので、万が一のデータ消失の際にも影響範囲を最小に抑えられる。

なお、全てのストレージ、DAQ システム用計算機はオープンソースの統合監視環境やメーカー提供の管理システムで一元管理されている。これらのシステムを利用することにより故障発生時に迅速に対応するとともに、100 以上のホスト、2.4PB 以上のストレージシステムを 1 人で管理できている。

# 中性子共鳴スピンエコー分光器における 3次元スピン位相補正のための2回集光法 Double-focusing method for three-dimensional phase correction in neutron resonance spin-echo spectrometers

船間史晃<sup>1</sup>, 田崎誠司<sup>1</sup>, 日野正裕<sup>2</sup>, 小田達郎<sup>2</sup>

1 京大院工、2 京大複合研

中性子共鳴スピンエコー分光法(NRSE)は中性子非弾性散乱法の1種であり、試料で起こる準弾性散乱に起因する中性子スピンの位相差を散乱強度の変化として測定し、試料の中間散乱関数を測定する分光法である。NRSEの高分解能化には、歳差空間での中性子経路の広がりを縮小する必要がある。このため、楕円の焦点間距離が等しいという幾何学的な性質を用いた方法が提案された[1]。この手法では焦点が大きさを持つ事による飛行経路分散を最小化するため、共鳴スピンリッパ(RSF)を中性子ビームに対して垂直になるように傾けている(図1)。また、この傾きのコントラストへの影響は計算、実験ともに示されている[2, 3]。しかし、この補正法は1次元적であり3次元的に広がりをもつ中性子ビームの位相を補正することはできない。一方、3次元集光が可能な回転楕円体集光ミラーは実現しており[4]、3次元発散ビームに対する位相補正法の開発が求められてきた。

3次元発散ビームに適用可能な位相補正法として、我々は2つの回転楕円体集光ミラーの組を1つの位相補正装置とする2回集光法(図2)と、これを試料位置上流と下流の2箇所に設置する4回集光NRSE分光法を提案する。2回集光法では1つ目のミラー反射で生じる光路差は2つ目のミラー反射でほぼ打ち消される。また同軸対称であることから、RSFを傾ける必要がなく、3次元的に位相が補正できる。本発表では本手法の詳細と、中性子強度の利得や到達可能なフーリエタイム等の計算結果について発表する。

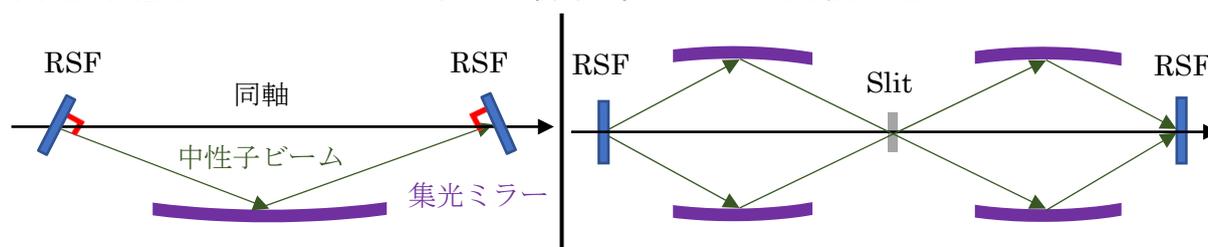


図1. 1回集光法の概念図(従来法)

図2. 2回集光法の概念図

- [1] M. Bleuel, et al., Neutron Spin Echo Spectroscopy (2002) 176-200.
- [2] T. Weber, et al., Nucl. Instrum. Meth. A 713 (2013) 71-75.
- [3] F. Funama, et al., JPS Conf. Proc. (2021) in press.
- [4] T. Hosobata et al., et al., JPS Conf. Proc. 22 (2018) 011010.

## MLF 中性子データ処理環境「空蟬」最新トピック 2021

### The latest topics of 'Utsusemi', data reduction software at MLF, J-PARC in 2021

稲村泰弘<sup>1</sup>、中谷健<sup>1</sup>、安芳次<sup>2</sup>

1. J-PARC センター、 2. KEK

「空蟬」は、J-PARC の物質・生命科学実験施設 MLF における中性子散乱用データ処理・可視化環境の一つであり、複数のビームラインで導入されているソフトウェア群である。特にデータ処理機能の面では、MLF が採用したデータ収集方式であるイベント記録方式の活用をいち早く成功させ、試料環境や装置状態の変化に応じてデータのフィルタリングを行う機能を搭載し、様々な測定手法を可能としてきた。また近年ではリアルタイムデータ処理(Live Data Reduction)の開発などを行ってきたが、この機能をより効果的に使用するために、測定中のデータのモニタリングとしての利用を推進している。特に測定開始と同時に予め準備していたデータ処理スクリプト(Python)を動作させ、測定中のデータをよりリアルタイムに、かつデータ処理の最終結果に近いデータまで処理させるというのが目的である。そこで MLF の装置制御用フレームワークソフトウェアの一つである IROHA2 システムと連携し、測定開始や停止処理と連動し任意の Python スクリプトを動作させるサーバープログラムを開発した(図 1)。このサーバーの Web インターフェース上でスクリプトの編集や指定を行い、かつ処理結果を 2 次元および 3 次元のプロットとして表示する機能を持つ。これらは IROHA2 の統合制御サーバー上でも確認できる(図 2)。本講演では、上記のような空蟬の LiveDataReduction 機能の応用例と、空蟬自体の最新情報について示す予定である。

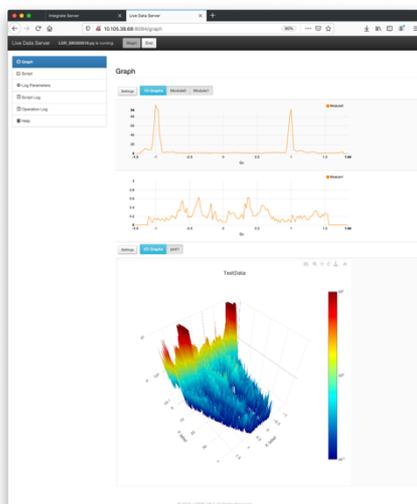


図 1 LDR サーバー

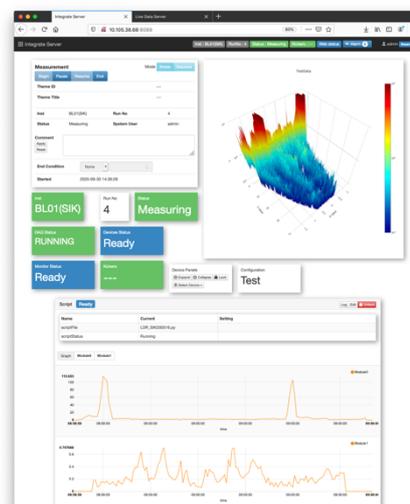


図 2 統合制御サーバー

## iBIX により取得したタンパク質回折データの強度補正 Intensity corrections for protein diffraction data obtained by iBIX

山田太郎、矢野直峰、日下勝弘  
茨城大学

iBIX は34台の検出器を有する飛行時間型中性子回折計である。iBIX の場合、各検出器の検出効率の入射中性子の波長依存性とピクセル位置依存性の補正を直径  $\phi$  4.8 mm の球形バナジウム試料の非干渉性散乱強度により行なっている。今回、iBIX で得られた 1.5 Å 分解能のタンパク質試料の中性子回折データについて、さらに等価反射の一致度が向上するように検出器感度の波長依存性および各検出器の検出感度等の補正をソフトウェアにより行なった。また同時に経験的な吸収補正も試みた。回折強度  $I$  が  $3\sigma$  以上の約 210,000 個の回折データ(等価反射の平均繰り返し測定回数は 6.6)を用いてパラメータの最適化を行なった。波長依存性の補正は 20 個の範囲に区切った  $\lambda$  ビン毎に最適化するか、もしくはチェビシェフ多項式近似の係数を最適化して行なった。現在検討段階であるが、ソフトウェアによる補正を行わない場合に比べ等価反射の一致度  $R_{\text{merge}} (I > 3\sigma(I)) = 15\%$  が 1%ほど低下した。本発表ではこれらの詳細について報告する。

## MLF の単結晶中性子回折計 SENJU の最新状況 Title Current Status of SENJU, a Single-crystal Neutron Diffractometer at MLF

大原高志<sup>1</sup>、鬼柳亮嗣<sup>1</sup>、中尾朗子<sup>2</sup>、宗像孝司<sup>2</sup>、石川喜久<sup>2</sup>、森山健太郎<sup>2</sup>、  
田村格良<sup>1</sup>、金子耕士<sup>1</sup>

1 原子力機構 J-PARC、2 CROSS

J-PARC MLF の BL18 に設置されている TOF 単結晶中性子回折計 SENJU は正式名称を特殊環境微小単結晶中性子構造解析装置といい、様々な特殊環境下における物質の結晶構造、磁気構造を得るための装置である。我々は SENJU においてより幅広い実験をより安定して実現するため、現在も様々な改良を行っている。特に近年、我々は SENJU のハードウェア、ソフトウェアの両面で大きなアップデートを進めており、本発表ではこれらを中心に紹介する。

ハードウェア面での大きなアップデートは検出器の増設である。従来、SENJU では円筒状に配置された 37 台の波長シフトファイバー(WLSF)型 2 次元検出器を用いて回折測定を行っていたが、これらに加えて試料の斜め下方向に新たに開発された薄型の WLSF 型 2 次元検出器を 4 台追加した。これにより、これまでは検出器配置上の死角となっていた試料斜め下方向の回折像を効率的に測定することが可能となり、SENJU の特徴である広い逆空間を同時に測定する能力をより高めることができた。

一方、ソフトウェア面ではデータ処理、可視化ソフトウェアである STARGazer for SENJU のウェブアプリケーション化を進めている。これは、従来は CentOS をインストールした PC が必要であった STARGazer for SENJU をウェブブラウザ上で動作するアプリケーションとして再開発することで、ユーザーが自分の研究室もしくは自宅に居ながら SENJU で測定したデータの処理および可視化を可能とするものである。これまでに STARGazer for SENJU におけるデータ処理および可視化の主要機能のほとんどを実装できており、近日中にユーザーに公開できる見込みである。

## 高磁場・高温中性子実験環境の開発 Development of high magnetic field and high temperature neutron experimental environment

河村幸彦、大石一城、鈴木淳市  
CROSS

鉄鋼材料や磁石材料の機械特性や磁気特性は様々な条件下の処理により改良されてきた。強磁場下での熱処理もその一つで、金属組織の制御により材料特性を向上させることができると考えられる。

磁場・温度条件を変えながら材料の配向、結晶粒の大きさ、析出物などの組織の変化を透過性の高い中性子でその場観察できれば、より特性の高い材料を開発する最適化条件を探る近道となる。そこで我々は MLF BL15 で使用している 10Tesla 超伝導電磁石、1Tesla 電磁石と組み合わせて使用するレーザー加熱装置を開発してきた。2 本のレーザー光(波長: 808nm)を鉛直方向から導入後、レンズで整形し、ミラー(入射角: 15°)で反射させ、試料の両面に照射(面積: 10mm $\phi$ )することにより、約 1,000°Cまで試料を加熱できる。試料は、寸法が 14mm $\times$ 14mm $\times$ 2mm で、高磁場を印加しても動かないように、試料ホルダーでしっかり固定する必要がある。

試料温度の測定・制御は 2 本の熱電対で行う。試料の表面中心部分にはレーザーが直接照射されるが、そこに熱電対を取り付けると実際の温度よりも高い値を示すため、熱電対は試料の端に取り付ける必要がある。この時、試料温度はレーザーが照射されている中心部が最も高く、中心から離れると低くなるため、実際の試料温度と熱電対の位置の温度にはかなりの差が生じる。そのため、何らかの方法で温度校正をする必要がある。一つは BL15 の背面検出器を用いて粉末回折パターンから格子定数を求め、温度を推定する方法、もう一つは試料中心部まで細長い穴を開け、熱電対を差し込み、熱電対にレーザーが直接照射されないように試料内部の温度を測定する方法である。中性子散乱実験前の十分な校正が必要である。なお、試料温度に分布はあるが、試料に照射する中性子ビームのサイズを 8mm $\phi$  以下にすれば、その範囲の試料温度のばらつきは比較的小さいようである。

ユーザーからバルク試料だけでなく、粉末試料を用いた実験の要望もあり、粉末用の石英セルと固定ホルダーを製作し、現在調整中である。石英セルの熱伝導率は低く、バルク試料と比べてさらに試料温度と熱電対位置の温度の差が大きくなるため、粉末試料の場合はさらに注意深い校正が必要である。

## 工学材料回折装置「匠」の現状 Current status of the Engineering Material Diffractometer TAKUMI

川崎 卓郎<sup>1</sup>、ハルヨ ステファヌス<sup>1</sup>、ゴン ウー<sup>1,2</sup>、諸岡 聡<sup>1,3</sup>、相澤 一也<sup>1</sup>  
1 JAEA J-PARC センター, 2 京大 ESISM, 3 JAEA 物質科学研究センター

J-PARC 物質・生命科学実験施設 BL19 に設置された工学材料回折装置「匠」は、材料工学や機械工学に関わる材料研究のための飛行時間型中性子回折装置である。中性子回折パターンに表れる Bragg 反射の位置・強度・プロファイルを詳細に解析することで、材料の内部応力・相比・転位・集合組織など、新材料の設計や構造物の信頼性評価に役立つ様々な情報を得ることができる。

匠では、機械部品内のひずみ・応力マッピング、構造材料または機能材料の低温や高温における変形中の組織（結晶構造、欠陥、内部応力等）変化、材料製造過程（加工熱処理過程）での組織変化、工学材料の集合組織測定など、幅広いニーズに対応した実験を行なっている。また、優れた力学特性が注目され盛んに研究されている高エントロピー合金や、日本国内で開発された材料強化に関する新しい概念を利用したミルフィーユ構造材料に関する研究も行われている。これらの実験を行うために、匠装置グループはユーザーとも協力し、様々な試料環境装置を開発してきた。

発表では、2021 年 3 月における匠の現状、試料環境装置、いくつかの研究例を紹介する。

## iMATERIA における低温での小角散乱環境整備 Improvement of small-angle scattering environment at low temperature in iMATERIA

星川晃範

茨城大学 フロンティア応用原子科学研究センター

茨城県材料構造解析装置(iMATERIA)は、基本設計として粉末回折実験を想定しているため、試料サイズよりも大きなサイズのビームを受け入れている。しかしながら、小角散乱を実施するためには、試料に対して全てのビームが透過するようにビームの光軸を絞る必要があった。今年度、上流側に円形スリット(直径9mm)を導入した。中性子カメラ(図1)を用いて試料位置でのビーム形状を確認した。この際、中性子カメラの中心にカドミウムで縦横の印を表面につけ、そのカメラ中心と光軸中心が一致していることが確認できた(図2)。また、ビームの広がり(図3)は図3に示すようになり、直径は17.6mmであった。結果として、ビームサイズが試料位置で直径20mm以下まで絞ることができた。これにより様々な試料環境下において、背面バンクから小角バンクまでの連続した計測が可能となった(ただし強度は約1/5に減少)。測定時の試料形状に関しては通常の粉末回折実験では直径6mmの円筒セルを使用しているが、直径20mm×2mm程度の平板状にする。

今後、蓄熱材料としても着目されている、イオン分子を内包したセミクラスレートハイドレートに関して、冷凍機を用いた計測を予定しており、その低温における結晶相からその高次構造の変化を捉えることができると期待している。

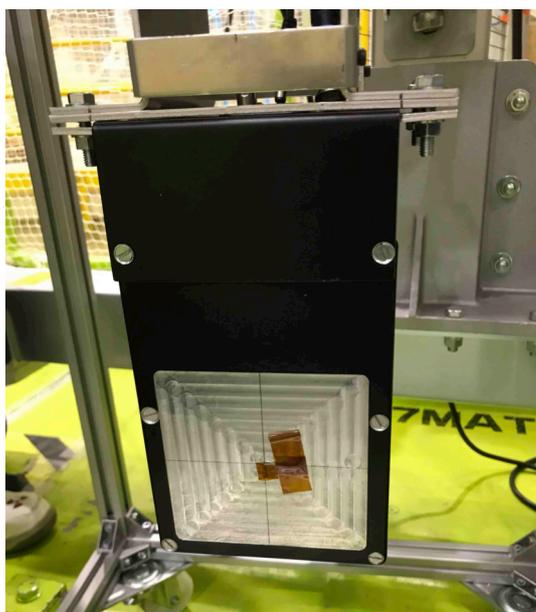


図1. 中性子カメラ  
(検出部 100×100mm<sup>2</sup>)

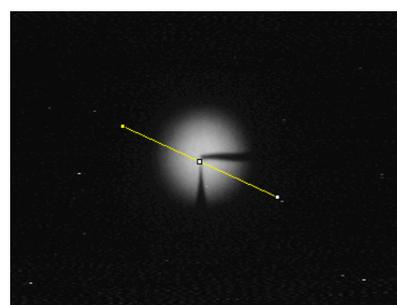


図2. 2次元検出器イメージ

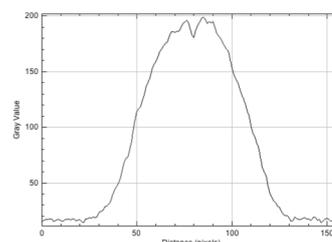


図3. 強度分布(図2線上)

## 負ミュオン寿命法による鉄鋼中サブパーセント炭素の 深さ選択的非破壊定量分析

### Non-destructive and depth-selective quantitative analysis of sub-percent carbon in steel by negative muon lifetime method

久保謙哉<sup>1</sup>、二宮和彦<sup>2</sup>、竹下聡史<sup>3</sup>、Patrick Strasser<sup>3</sup>、反保元伸<sup>3</sup>、河村成  
肇<sup>3</sup>、下村浩一郎<sup>3</sup>、三宅康博<sup>3</sup>、髭本亘<sup>4</sup>、吉田剛<sup>5</sup>、稲垣誠<sup>6</sup>、齋藤努<sup>7</sup>

1 国際基督教大学、2 大阪大学、3 KEK-物構研、4 原子力機構、5 KEK-放射  
線科学センター、6 京大複合研、7 国立歴史民俗博物館

負ミュオン特性 X 線を用いた非破壊元素分析法には様々な特徴があり、分  
析手法が発展を続け分析対象も広がりを見せつつある。負ミュオンを用いて  
元素を識別する方法に、特性 X 線測定とは全く異なり、負ミュオンの物質中の  
寿命を利用する方法がある。

負ミュオンが物質中の原子に捕獲されてミュオン原子を作る。負ミュオンは、  
ミュオン 1s 軌道を運動している間に、原子核に捕獲されて消滅する過程があ  
り、その結果物質中の負ミュオンの寿命は真空中の寿命の 2.2  $\mu\text{s}$  より短くな  
る。原子核による負ミュオン捕獲速度は原子核中の陽子数に依存し、原子番  
号の増加に伴って短くなる。試料に負ミュオンを注入して壊変電子の時間スペ  
クトルを測定し、どのような寿命成分の和となっているかを解析すれば、物質  
の元素組成を知ることができる。

この手法では高いエネルギーを持つ負ミュオン崩壊電子を測定するので、負  
ミュオン特性 X 線分析に必要な自己吸収や検出効率のエネルギー依存性の  
補正等が不要で簡便である。また電子測定は  $\mu\text{SR}$  法とまったく同じ検出器や  
データ収集系を用いることができる。

試料の構成元素数が少なく、それら  
の元素中での負ミュオンの寿命が大  
きく異なれば、負ミュオン特性 X 線測  
定では困難な微量成分の定量分析  
が可能である。今回紹介する初めての  
の適用例は、鉄鋼中の炭素である。  
模造刀中の 0.5% の炭素を非破壊的に  
定量分析できた。照射する負ミュオ  
ンのエネルギーを変えることにより、  
深さ選択的な分析も容易である。

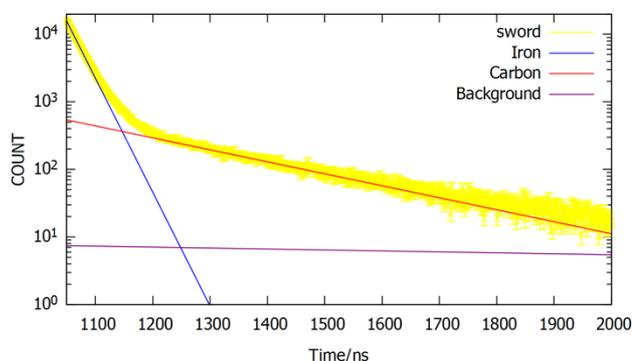


図 1. 模造刀(炭素含有量 0.5%)の負ミュ  
オン寿命測定。負ミュオンの寿命は鉄中  
で 0.2  $\mu\text{s}$ 、炭素中では 2.0  $\mu\text{s}$ 。

## 非弾性中性子散乱実験強度ヒストグラムのビン幅最適化 Bin-widths optimization for experimental neutron inelastic scattering histogram

巽一蔵、稲村泰弘、古府麻衣子、梶本亮一  
J-PARC センター、日本原子力研究開発機構

非弾性中性子散乱(INS)強度分布のヒストグラムに関し、ポアソン統計に基づくビン幅最適化法[1]の適用が近年提案された[2]。異なるカウント数のデータでの最適ビン幅を統計結果の外挿により予測できることが神経科学分野のデータで示されているが[1]、INS には適用されていない。本研究は、ビン幅最適化法・外挿予測法の INS 実験データでの確立を目的とする。

同一の Cu 単結晶試料を用いた 3 種の実験セッションでのデータに、ビン幅最適化・外挿予測法を適用した。4次元(Q,  $\omega$ )空間上の細かなメッシュの各区画内の散乱中性子数の配列を作成し、適当な区間内を解析領域とした。計測開始時からある上限時間までで1つの配列を作成し、異なる総カウント数の配列を作成した。ビン幅最適化・外挿予測法をこれらの配列に適用し、メッシュ間隔の精度でビン幅を最適化・予測した。計測条件により散乱中性子が計数され得ない領域(マスク)を配列は含む。マスクの情報を統計に考慮する方法を考案した。

実験セッション全てで、外挿したビン幅と、その総カウント数の配列で最適化したビン幅は概ね一致しており、未獲得のカウント数のデータのビン幅を予測できることを実証した。

右図上部は、20 個の模擬データセットで求めたヒストグラムと模擬確率密度の積分二乗誤差を総カウント数に対しプロットしたものである。マスク情報考慮有無の二つの手法での誤差は概ね同程度であるが、一部(総カウント数= $10^{5.9}$ ,  $10^{6.8}$ ,  $10^{7.2}$ ,  $10^{7.5}$ )で、マスク情報考慮した手法でわずかに誤差が小さい。両手法の併用は結果の堅牢性を知るうえで有用と考えられる。

[1] H. Shimazaki et al., Neural Computation, 19 1503 (2007).

[2] K. Muto et al., J. Phys. Soc. Jpn. 88 044002 (2019).

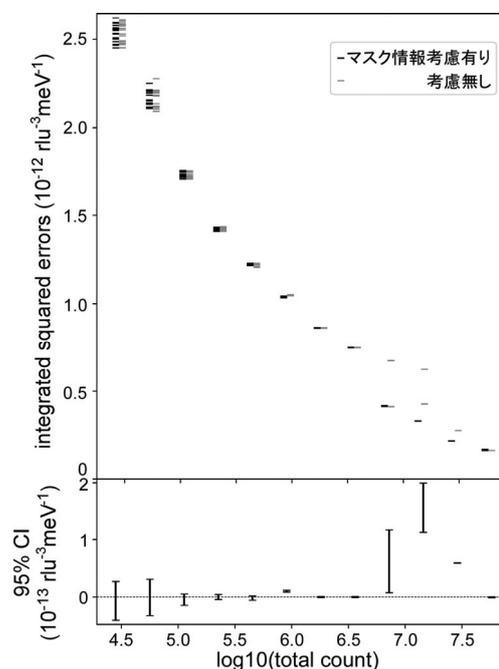


図.最適ビン幅でのヒストグラムと確率密度関数の積分二乗誤差(上)、二つの手法での平均の差の信頼区間(下)

## 無酸素 Ti 蒸着の放射光ビームラインへの応用 Application of oxygen-free Ti deposition for synchrotron radiation beamlines

○菊地貴司<sup>1</sup>, 小野真聖<sup>2</sup>, 佐藤裕太<sup>3</sup>, 増田裕介<sup>4</sup>, 吉岡和夫<sup>2</sup>, 吉川一朗<sup>2</sup>,  
大野真也<sup>3</sup>, 中山泰生<sup>4</sup>, 間瀬一彦<sup>1,5</sup>  
1KEK 物構研, 2 東大新領域, 3 横国大, 4 東理大, 5 総研大

宮澤、菊地、間瀬らは、酸素濃度が 0.05%以下の Ti(無酸素 Ti)を蒸着した真空容器は 185°C、6 時間の加熱で活性化し、残留ガスを排気することを見出した[T. Miyazawa et al.: Vac. Surf. Sci. 61, 227 (2018)]。今回我々は全圧・分圧測定装置(図1)を用いて無酸素 Ti 蒸着した真空容器について、真空排気、185°C、6 時間ベーキングして真空密閉したときの全圧、分圧曲線を測定した。その結果、大気曝露を 30 回繰り返しても、無酸素 Ti が残留ガスを排気し、 $2 \times 10^{-6}$  Pa 以下の超高真空を維持することがわかった(図2)。この無酸素 Ti 蒸着をビームラインや光電子分光装置等に応用した結果についても報告する(図3)。

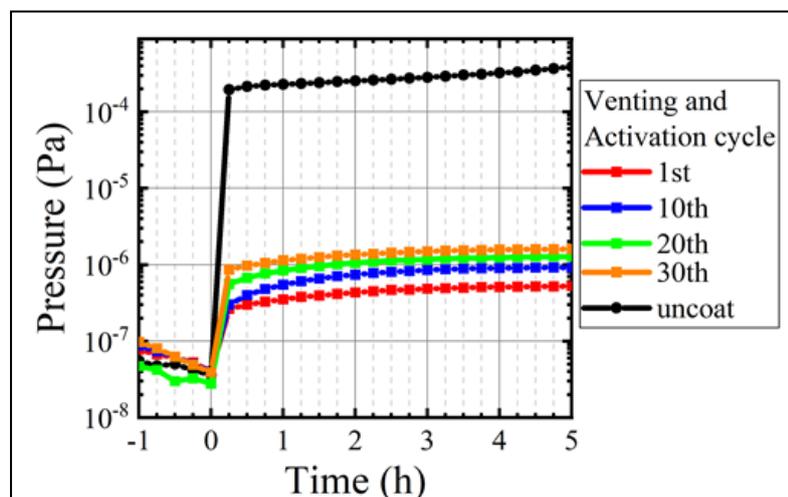
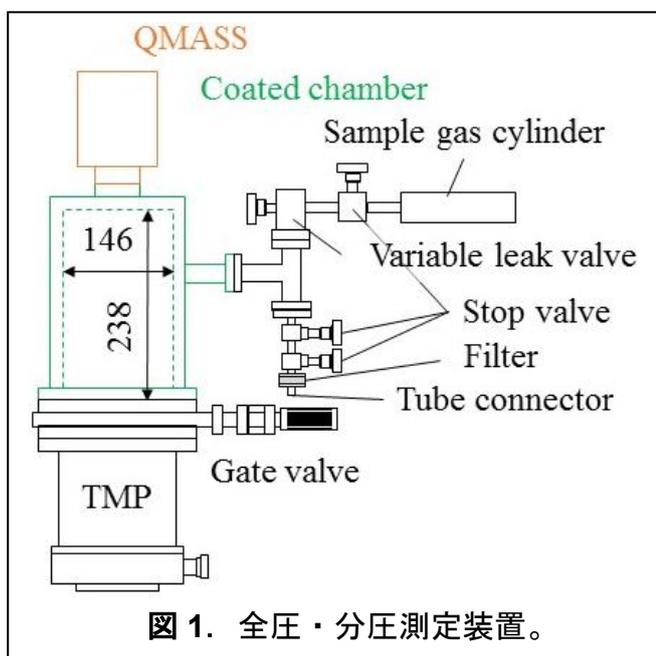
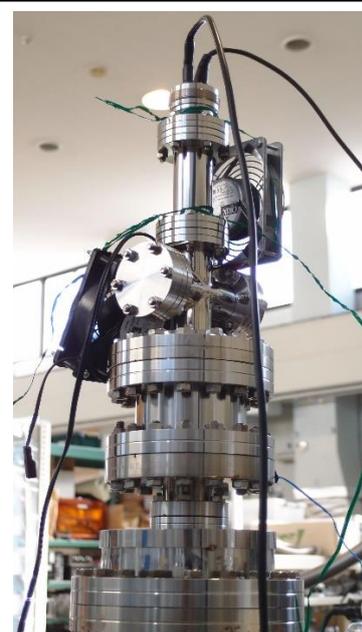


図2. 無酸素 Ti 蒸着真空容器を真空排気、185°C、6 時間ベーキングして真空密閉したときの全圧曲線。



## 非弾性中性子散乱装置「四季」の利用と整備状況 The Direct-Geometry Time-of-Flight Spectrometer BL01-4SEASONS at J-PARC

梶本 亮一<sup>1</sup>、中村 充孝<sup>1</sup>、蒲沢 和也<sup>2</sup>、稲村 泰弘<sup>1</sup>、  
飯田 一樹<sup>2</sup>、池内 和彦<sup>2</sup>、石角 元志<sup>2</sup>

1 JAEA J-PARC センター、2 CROSS 中性子科学センター

四季は数 meV～数 100 meV のエネルギー領域を測定対象とする直接配置型非弾性散乱装置であり、超伝導体、量子スピン系、フラストレート磁性体、熱電物質等のスピン・格子・原子ダイナミクスの研究に用いられている [1]。四季の利用は当初磁性分野が大部分を占めていたが、格子・原子ダイナミクスの研究も増えつつあり、近年では 4 割ほどを占めるまでに至っている。それに呼応する形で進めていた検出器の高角領域への増設も完了し、最大散乱角は 130°に至っている。これにより今後の格子・原子ダイナミクス研究のさらなる拡大が期待される。一方、高温超伝導体等の高エネルギー磁気励起の研究も依然として四季の重要な利用分野であるが、高速中性子抑制のための T0 チョッパーの回転数不足により～100 meV 以上の高エネルギー領域での中性子強度が減損してしまう問題があった。これについても、最近、高速運転可能な T0 チョッパーへ交換することで、高エネルギー領域の強度が大きく改善した。本発表では以上のような装置の高度化、新たに加わった試料環境機器、最近の利用例等について紹介する。

[1] <https://mlfinfo.jp/ja/bl01/>

# ミュオン科学研究系における パルスレーザー堆積法による薄膜作製装置の現状 Pulsed Laser Deposition System for Thin Film Growth at Muon Science Laboratory

中村惇平<sup>1</sup>, 岡部博孝<sup>1</sup>, パクサンウン<sup>2</sup>, 香川陸<sup>2</sup>, 足立匡<sup>2</sup>, 門野良典<sup>1</sup>

1 KEK 物構研 2 上智大理工

J-PARC ミュオン施設の U1A エリアでは、超低速ミュオンによるミュオンスピ  
ン回転( $\mu$ SR)実験が計画されている。私たちは、U1A で調べる試料の候補とす  
るため、パルスレーザー堆積(PLD)装置により薄膜試料を作製している[1,2]。

PLD 法は物理的気相堆積法の一つであり、固体材料ターゲットにパルスレ  
ーザー(本件では Nd:YAG レーザーの第三高調波)を照射してアブレーション蒸  
発させる。蒸発したターゲット成分(原子・分子・イオン・クラスタなど)は柱状プ  
ラズマを形成しながら数十 eV のエネルギーで飛行して基板に堆積し、薄膜を  
形成する。私たちは装置改良としてこれまでに、圧縮空気によるマスクシャッタ  
ー遠隔操作器の導入、除湿器の導入による機器環境の改善、アシスト加熱シ  
ステムによる基板温度の調整試験などを行った。

作製した薄膜のいくつかは、レーザー共焦点顕微鏡により表面の観察や膜  
厚測定を行った。特に、銅氧化物超伝導体  $\text{La}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$  薄膜では、0.4~1.6  
 $\mu\text{m}$  程度の厚みが得られ、最近 PSI ミュオン施設において低エネルギーミュオ  
ンによる  $\mu$ SR 実験が行われた。30K 以下で Cu スピン相関の発達によるミュオ  
ンスピンの速い緩和を観測、薄膜の表面と内部の酸素量の違いによる異なる  
スペクトル形状の観測などの成果を得  
ている[3]。(論文投稿準備中)

また装置改良として、水素敏感型の  
昇温脱離分析装置(HHS-TDS)[4]の増  
設を計画しており、現在設計を行って  
いる。HHS-TDS は放出ガスを抑えた超高  
真空チェンバー中で試料に赤外レーザ  
ーを照射し、 $10^{16}$  atoms/cm<sup>3</sup> オーダーで  
の水素分析を実現する。これにより  
 $\mu$ SR 研究で示唆された微量水素状態の  
検証が期待される。

## 参考文献

- [1] 中村惇平ら KEK 技術研究会報告集 57-60 (2016)
- [2] 足立匡ら 新学術領域「超低速ミュオン」ニュースレター5, 25 (2016)
- [3] パクサンウンら 応用物理学会第 68 回春季学術講演会 (2021)
- [4] T. Hanna *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **88**, 053103 (2017)

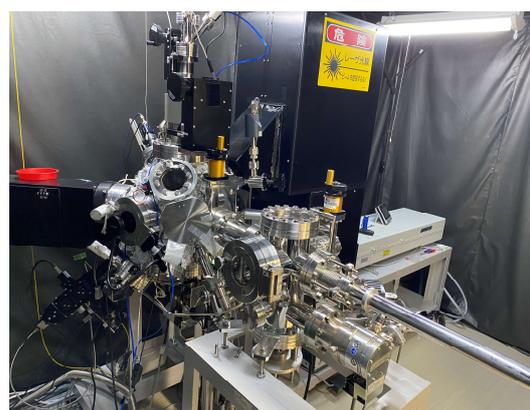


図 1: パルスレーザー堆積法による  
薄膜作製装置

## <sup>3</sup>He-PSD 検出器の放射線ダメージの研究 Study of radiation damage of <sup>3</sup>He-PSD detector

佐藤 節夫<sup>1</sup>, 瀬谷 智洋<sup>1</sup>, 大下 英敏<sup>1</sup>, 疋田 憲之<sup>2</sup>, 石澤 和哉<sup>2</sup>

1 KEK-中性子、2 キヤノン電子管デバイス(株)

現在、J-PARC / MLF で、主力に使用している PSD が、J-PARC の出力増強とともに、性能劣化が報告されるようになってきた。そのため、定量的な PSD の放射線ダメージの研究・測定を行っている。MLF の多くで使用される CF4 ガスを添加した 8mm 径 PSD を基準に測定・評価した。アンプは高計数率用の、帯域フィルター時定数 0.05us を使用した (MLF 標準は 0.5us)。

BL15 と BL10 と BL10 で測定してきている。下記に測定した PSD の条件を示す。

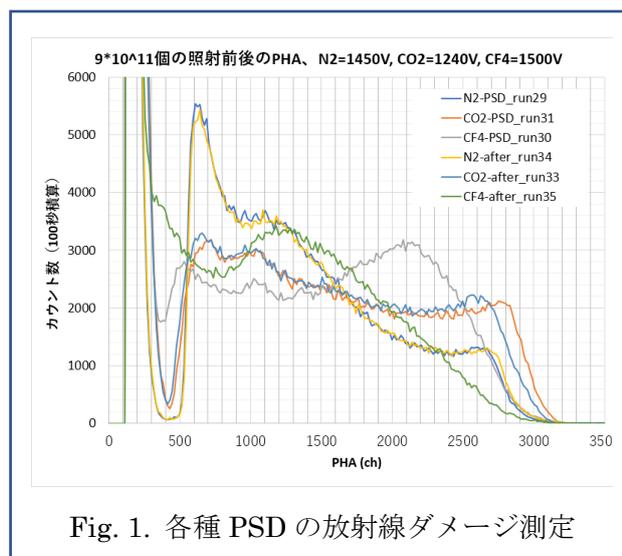
CF4-PSD: <sup>3</sup>He:6atm, CF4:0.82atm, 1500V (BL15 で使用)

Ar+CO2-PSD: <sup>3</sup>He:6atm, Ar:1.4atm, CO2:0.15atm, 1280V

Ar+N2-PSD: <sup>3</sup>He:6atm, Ar:1.4atm, N2:0.15atm, 1450V

Fig.1. に BL15 での測定データを示す。CF4-PSD は  $1 \times 10^{12}$  個の中性子照射で 45% 程度の減衰が起こった。一方、Ar+CO2-PSD での減衰は 5% 程度、Ar+N2-PSD は減衰がほとんどなかった。ただし、高速プリアンプを用いた波高分布の形状から、パルス立下り時間が、CF4-PSD → Ar+CO2-PSD → Ar+N2-PSD の順で長くなることが判明した。この結果から、耐放射線的には Ar+N2-PSD が非常に良い一方、高計数率化には CF4-PSD より不利であることが分かった。ただ、使用環境により適切な添加ガスを選択できる可能性はあると考えられる。

今後、Ar+N2-PSD の特性評価を進め、Ar+N2-PSD の特性改善と、従来の CF4-PSD との置換えの可能性について、評価を進めていく予定である。



## BL06 における MPPC 素子を用いた大型2次元シンチレータ検出器 (Mpix 検出器) の開発状況 Development of the large-size 2D scintillation counters with MPPCs at BL06

遠藤仁<sup>1,2</sup>・大下英敏<sup>1,2</sup>・瀬谷智洋<sup>1,2</sup>・安芳次<sup>1</sup>・小田達郎<sup>3</sup>・日野正裕<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>KEK, <sup>2</sup>J-PARC センター, <sup>3</sup>京大

中性子スピネコー (NSE) 法は、中性子スピンという自由度を用いることで、散乱前後の非弾性散乱過程による中性子のエネルギー変化の精密評価が可能であり、中性子非弾性散乱測定法において最高のエネルギー分解能での測定が可能である。京都大学と KEK は、共同で J-PARC MLF の BL06 に中性子共鳴スピネコー分光器群 “VIN ROSE” を開発し、ビームを分岐することで、共鳴スピフリッパーを用いた2台のタイプの異なる中性子スピネコー分光装置、すなわち NRSE (Neutron Resonance Spin Echo) 型と MIEZE (Modulated Intensity by Zero Effort) 型の設置を進めている。

開発中の Mpix 検出器は、32cm × 32cm の広い検出面を有し(図の写真参照)、LiF/ZnS シンチレータも使い、入射中性子を光に変換して、中性子を検出する。本発表では、実装間近である Mpix 検出器の性能評価の結果について紹介する。

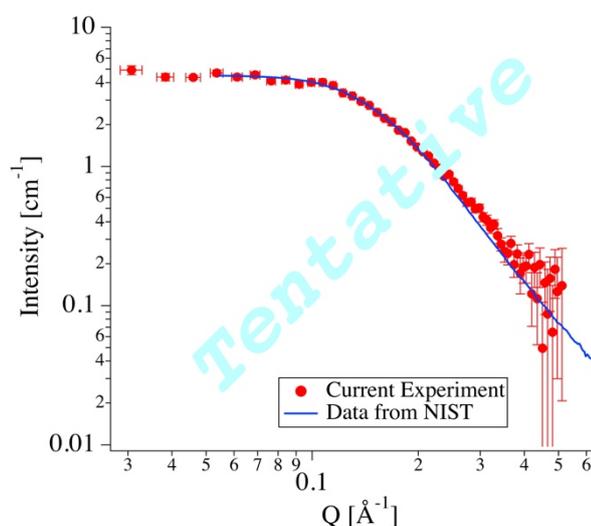
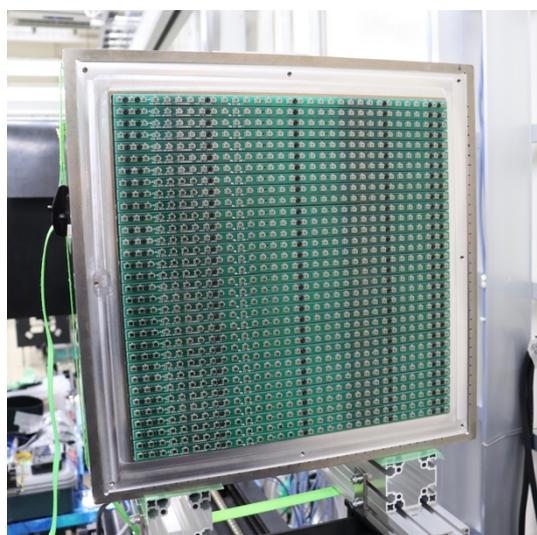


図: Mpix 検出器に取り付けられた MPPC 素子の写真(左)と、Glassy Carbon からの散乱プロファイル(右)。

# 高耐久性 T0 チョッパの IROHA2 による制御システムの構築 Construction of control system of High-Durability T0 Chopper using IROHA2

小峰良太、神原理、中谷健  
JAEA-J-PARC

大強度陽子加速器施設 J-PARC MLF における中性子実験では、中性子源から供給される中性子ビームは非常に幅広いエネルギーを持っており、実験に不必要なエネルギーの中性子も含まれる。これらの中性子はバックグラウンドノイズとして観測され、特に T0 バースト(Time Zero Burst)と呼ばれる中性子源から放出された直後の中性子ビーム成分は実験に大きな影響を与えるため、試料に照射される前に取り除く必要がある。この T0 バーストを取り除くために使用される機器の一つが T0 チョッパである。MLF では、近年メンテナンス期間の延長を目的として高耐久性 T0 チョッパが開発され、平成 31 年度より複数のビームラインで利用されている。

また、MLF では装置制御ソフトウェアフレームワーク IROHA2 が導入されている。IROHA2 は統合制御サーバやデバイス制御サーバといった複数のサーバから構成されており、実験機器をこれらのサーバに接続することにより、機器データの自動的な収集や機器の遠隔操作、多数の機器の総合的な機器制御が可能となる。

今年度高耐久性 T0 チョッパを IROHA2 に接続するための通信プログラムを作成し T0 チョッパを制御する PLC および IROHA2 デバイス制御サーバに導入した。これにより高耐久性 T0 チョッパを常時監視でき、遠隔による制御も可能となるため、機器の安定的な運転や柔軟なトラブル対応が期待できる。本発表では、構築した高耐久性 T0 チョッパ用の制御システムについて、その概要を述べる。

# 高強度中性子全散乱装置へのコリメータ導入による 低バックグラウンド測定の実現

## Background reduction with a radial collimator on the high intensity neutron total diffractometer (NOVA)

角田 茉優<sup>1</sup>、本田 孝志<sup>2,3,4</sup>、大友 季哉<sup>1,2,3,4</sup>、池田 一貴<sup>2,3,4</sup>、  
大下 英敏<sup>2,4</sup>、神原 理<sup>4</sup>

1 茨城大、2 KEK 物構研、3 総研大、4 J-PARC センター

J-PARC MLF で稼働している高強度全散乱装置(NOVA)は、様々な試料環境を用いた実験を行なっている。MLF の高強度中性子を十分に活用するには、試料環境(放射熱シールドや真空窓など)からのバックグラウンドをできるだけ低くする必要がある。そこで、バックグラウンド低減のためのデバイスとして有効なラジアルコリメータ[1, 2]の製作を行い NOVARC として導入した。この NOVARC は、散乱角 70~110 度で 2 度ごとに、サンプル位置から 207.5~387.5 mm に 100  $\mu\text{m}$  厚さのアルミ板に 25  $\mu\text{m}$  厚さのカドミウムメッキを両面に施した遮蔽ブレードを使用する。サンプルから検出器までの距離は約 1.2 m で、NOVARC によって規定された有効ゲージ幅は約 32 mm である。

NOVARC を実装できる試料環境は、バナジウム高温炉、2K 冷凍機、トップローディング型冷凍機、温度制御型試料交換機などである。各試料環境での NOVARC の効果をシリコン粉末、ダイヤモンド粉末、シリカガラスロッドを試料とする測定を行うことで評価した。各試料環境に対する NOVARC のバックグラウンドを評価したところ、カドミウムのカットオフ・エネルギー以下に相当する波長 0.5  $\text{\AA}$  以上で設置前の 4 %以下に低減することができた。さらに標準試料を測定して、静的構造因子  $S(Q)$ と、その Fourier 変換により得られる実空間 2 体分布関数(PDF)への影響を Rietveld 解析と PDF 解析による格子定数と信頼度因子で評価した。その結果、NOVARC を導入した場合にはバックグラウンドが最も低い試料環境である室温試料交換機と同等な精密化結果が得られた。PDF 導出において、カドミウムのカットオフ・エネルギー以上の波長(最短 0.1  $\text{\AA}$ )を有効に利用できていることが確認できた。この研究の一部は、KEK 中性子共同利用実験 S1 型課題(2014S06、2019S06)、文科省 JSPS 科研費(JP18H05518(新学術ハイδροジェノミクス))の助成を受けた。

[1] S. Torii and A. Moriai, JAEA-Technology, 2005-004 (2006).

[2] M. B. Stone, J. L. Niedziela, M. J. Loguillo, M. A. Overbay, D. L. Abernathy, Rev. Sci. Instrum. 85, 085101 (2014)