

超伝導検出器を用いたX線吸収分光装置の高度化 Development of fluorescence yield X-ray absorption spectroscopy utilizing superconducting detector

志岐成友¹, 藤井剛¹, 浮辺雅宏¹, 北島義典², 大久保雅隆¹ (1.産総研, 2.KEK)

我々は、微量軽元素の局所構造解析を実現することを目的として、超伝導検出器を用いた蛍光収量法によるX線吸収分光装置を開発し、既に運用を開始している。上記分光装置で使用する100素子超伝導トンネル接合アレイ検出器では、有感面積 1mm^2 、エネルギー分解能 $12\text{ eV FWHM @ } 392\text{ eV}$ 、計数率 $500\text{ kcps @ 分解能 } 20\text{ eV}$ を実現している[1]。また、利用可能なビームラインは BL-11A, 11B, 13A, 16A である。これまでに、微量成分の吸収スペクトル測定としては、SiC 中の窒素ドーパント (300ppm) の分析を実施した [2]。

本年度は、次の3つのテーマ (1) 検出器のエネルギー分解能評価、(2) 微量軽元素を含む複数の試料の蛍光収量XAFS測定、(3) 素子面積を 4 倍とした検出素子の評価、を行った。ポスターでは主に(2)、(3)について報告する。

検出器のエネルギー分解能評価は、超伝導検出器に放射光を直接照射して実施した[3]。エネルギー分解能は 400 eV のエックス線に対し最良の検出素子で 6 eV FWHM である。アレイ全体で分解能の分布は $6.7 \pm 1.0\text{ eV FWHM}$ である。これまでエネルギー分解能は 12 eV FWHM と報告してきたが、これは、使用した特性X線の線幅の広がりによる影響と考えられる。

微量軽元素を含む試料のX線吸収分光実験は、産業利用課題で、GaN 中の Mg ドーパントの XANES 測定を実現し、さらに耐熱鋼中の微量窒素 (80-300ppm)、微量ホウ素 (140ppm) の吸収スペクトル測定にも成功した。

素子面積を 4 倍とした検出器は、素子作製は産総研 CRAVITY (Clean Room for Analog & digital superconductiVITY) に於いて実施した。1素子サイズを 200 ミクロン角で、従来の 100 ミクロン角に比べ 4 倍とした。検出器評価は、PF 準備棟で実施した。歩留まりはおおよそ半分、エネルギー分解能は C-K 線に対して $15\text{--}20\text{ eV FWHM}$ であった。エネルギー分解能は100ミクロン角の素子と比べてやや悪いが、半導体検出器と比べ十分高い。今後、製造歩留まりの改善、及び素子数増大により、100ppm 以下の微量系元素の分析を実現する。

[1] S. Shiki et. al, J. Low Temp. Phys. 167, pp 748-753 (2012)

[2] M. Ohkubo et. al, Scientific reports 2, 831 (2012)

[3] G. Fujii et. al., "X-ray energy resolution improvement of superconducting tunnel junctions by new layer structures", Journal of Low Temperature Physics, accepted.

J-PARC/MLF BL06 “VIN ROSE” における TOF-MIEZE 型 スピンエコー分光法の諸特性の実証実験 Experimental Study on Characteristics of TOF-MIEZE type Spin Echo Spectroscopy

小田達郎¹、日野正裕²、遠藤仁³、山田悟史³、川端祐司²、瀬戸秀紀³

1 京大工、2 京大原子炉、3 KEK-物構研

J-PARC/MLF BL06 中性子共鳴スピンエコー分光器群 “VIN ROSE” (Village of neutron spin echo spectrometers) は NRSE (Neutron resonance spin echo) および MIEZE (Modulated intensity by zero effort) と呼ばれる 2 種類の共鳴型中性子スピンエコー分光器からなる。そのうち MIEZE 型スピンエコー装置では、スピン解析や試料環境の自由度を活かした、これまでになかったスピンエコー法による非弾性散乱測定の実現が期待されている。

パルス源においては飛行時間 (TOF) 法によって、定常源からの準単色ビームを用いたスピンエコー装置よりはるかに高い波長分解能でデータが得られる。このため飛行時間法と組み合わせた MIEZE 型スピンエコー法 (TOF-MIEZE 法) のエコーシグナルのコントラストは、機器配置に起因するエコー条件 (MIEZE 条件) のずれに対してロバストとなる。そして MIEZE 法のエコーシグナルは時間に対して振動するため、同じく時間を変数として波長弁別する TOF 法と組み合わせたとき、MIEZE 条件のずれの影響はシグナルの実効振動数のシフトとして現れる。これらの事実は装置調整上非常に便利であるだけでなく、長期の本格的な物性測定においても利点となり得る TOF-MIEZE 分光法の特徴である。今回 MLF BL06 の MIEZE ポートにおいてこれらの特徴を定量的に検証する実験を行ったので、その結果を紹介する。

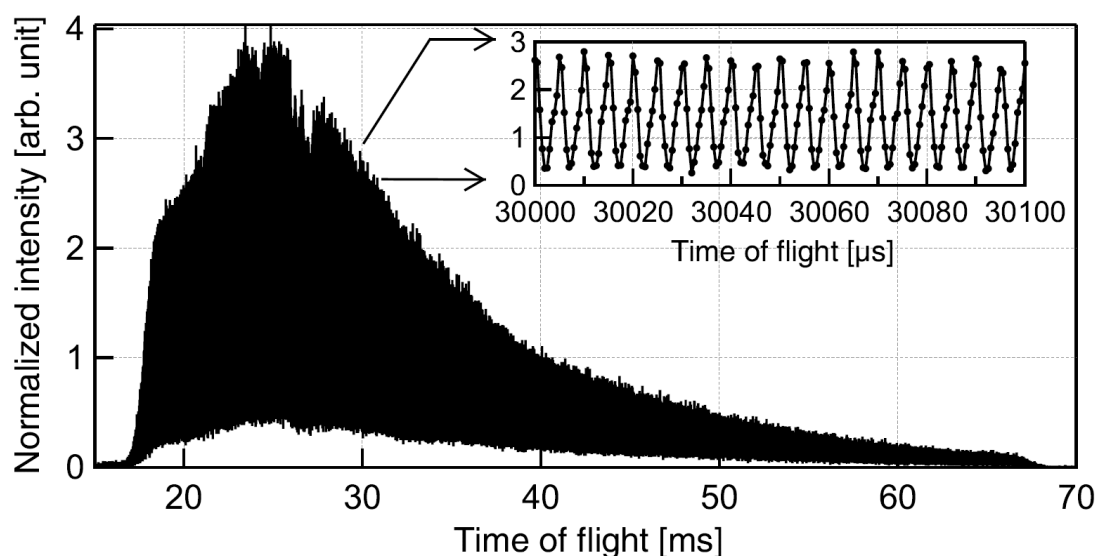


Fig 1: 実効振動数 200 kHz の TOF-MIEZE シグナル全体と一部の拡大図

偏極中性子散乱装置 POLANO の建設状況 その3

Recent Progress on Polarized Neutron Spectrometer POLANO 3

横尾哲也^{1,2}、南部雄亮³、伊藤晋一^{1,2}、藤田全基³、金子直勝^{1,2}、菅井征二^{1,2}、
大河原学³

1KEK-物構研、2J-PARC センター、3 東北大-金研

KEK と東北大との大学連携の枠組みを最大限活用し推進している POLANO プロジェクトは J-PARC の大強度パルス中性子源に、偏極中性子散乱研究に特化した非弾性散乱装置を建設し、偏極度解析を利用した物性研究を行うことを目的としている。H24 年度より開始された建設は H26 年度に入って本格化し、今年度の工事で主要部分の製作・設置工事は終了した。今後、初ビーム受け入れを目指し残工事を完了させ、コミッショニングを経て学術研究に向けたビーム利用を進めてゆく。一方で、パルス(TOF)における偏極中性子技術は世界的に見ても現在発展途上にあり、多くの重要な技術開発が必要である。我々はそれら技術開発にも注力し、特にチョッパ技術、SEOP や DNP といったスピン偏極技術、スピントリッパなど磁場環境技術を中心に開発を推進し、国際競争に対抗できる装置を目指している。講演ではビーム受け入れを目前に控えて、これまでの建設状況や機器・技術開発の現状と進捗状況を報告し、これからの予定と目指すサイエンスについて議論する。

波動関数二乗測定のための技術開発

Technical study for observing squared wave function

坂倉輝俊¹、木村宏之¹、野田幸男^{1,4}、田中清明²、竹中康之³、岸本俊二⁴

1 東北大多元研、2 名産研、3 北教大函館、4 KEK

X線回折法は電子の存在確率、即ち波動関数二乗の空間分布を捉える測定技術である。しかしながら、X線回折法がこの目的のために利用される事は殆どない。これは測定及び解析の両面において厳密な理論を利用していない事による精度不足が原因である。光源、検出器、更には煩雑な理論を扱うための計算機とプログラミング言語が発達した今日、波動関数二乗の実測法確立の研究開発を行う下地は整っている。故に、我々はX線回折技術の本質的な底上げに取り組んでいる。

取り組んでいる課題は二つである。一つは旧来の回折技術では主要なコンタミの原因であった多重散乱を考慮に入れた測定技術の開発であり、もう一つは旧来の解析ソフトウェアが採用する粗い疑原子モデル近似を見直し、波動関数を用いたモデリングを実現した解析ソフトウェアを開発である。図1に前者の取り組みとして、Avalanche Photodiode 検出器を搭載した PF-BL14A の4軸回折計を用いて、 YTiO_3 の $\text{Ti-}3d^1$ の軌道秩序観測を行った結果を示す。(a)は多重散乱回避測定法、(b)は従来の測定法、(c)は比較のための理論モデルである。多重散乱回避を行わない場合はノイズレベルが高く、軌道秩序観測に失敗している。図

2には後者の取り組みとして、 $(t_2)^2$ の電子配置を取る d 軌道の O_h 場における基底関数系の電子密度を示す。図は開発中の解析ソフトウェアで計算した軌道乱因子をフーリエ逆変換して描いたもので、多電子系においても軌道散乱因子を正しく計算できている。講演では PF-BL14A の特性を活かした、波動関数二乗測定技術開発について紹介する。

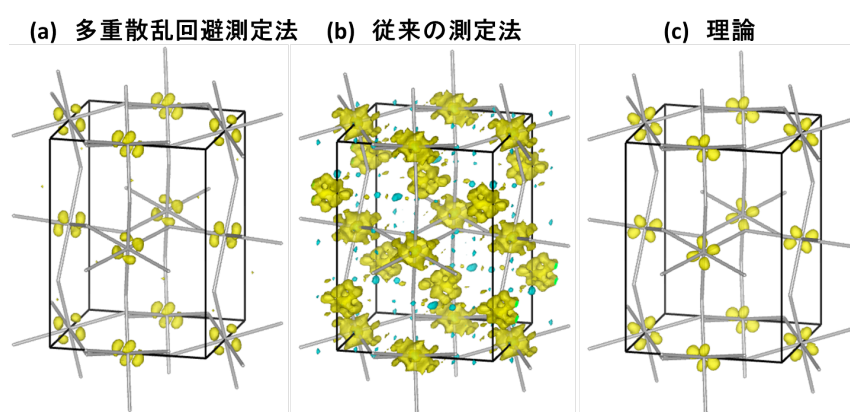


図1: 多重散乱回避の有無による YTiO_3 の $\text{Ti-}3d^1$ の軌道秩序観測結果

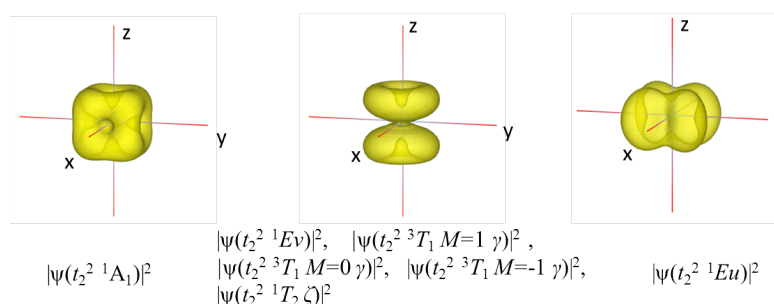


図2: O_h 場に置かれた $(t_2)^2$ の d 軌道基底関数系の電子密度

J-PARC/MLF 広帯域 μeV 分解能 TOF 型 Si 結晶アナライザー-Backscattering 分光器 DNA の性能向上

Performance improvements of the broadband μeV high energy resolution TOF type Si crystal analyzer backscattering spectrometer DNA at J-PARC/MLF

柴田 薫¹, 高橋伸明², 川北至信¹, 松浦直人³, 富永大輝³, 山田 武³, 神原理¹, 稲村泰弘¹, 中谷 健¹, 小林 誠³, 笠井 聡³

¹原子力機構 J-PARC, ²京大化研,

³総合科学研究機構 CROSS 東海

J-PARC センター, 物質・生命科学実験施設に設置され $1.6\mu\text{eV}$ 以下の高エネルギー分解能を実現した Si 結晶アナライザー背面反射 TOF 型高エネルギー分解能分光器 DNA は以下の 2 点について開発を行い他施設の同型の分光器にない性能を発揮して新たな研究成果を上げている。

第 1 番目として, 広帯域に亘る μeV 分解の非弾性散乱測定のためパルス整形チョッパーの複数スリットを利用した同時多重入射バンドを用いる測定方法の開発を行った。結合型線源から DNA 分光器へ中性子を輸送するビームラインの最上流部に設置されている No.1 パルス整形チョッパーで入射パルス幅を狭くすること($210\mu\text{sec} \rightarrow 12\mu\text{sec}$)で高エネルギー分解能を達成している。一方, 一回のパルス整形により入射するエネルギー幅は限定される。そのため No.1 チョッパーのスリット開口時間のタイミングを調整して複数回の測定により入射エネルギー幅を広げることで広帯域エネルギースペクトル測定が可能になる。複数回の測定結果を 1 つの広帯域に亘るスペクトルに取りまとめる解析ソフトを開発してコミッショニング測定および共用実験で使用されている。

第 2 番目として, 現在 Si111 反射結晶アナライザー結晶を設置して共用実験 ($Q_{\text{max}} \sim 1.93 [\text{\AA}^{-1}]$) に供されているが更に高い運動量移行量 $Q_{\text{max}} \sim 3.8 [\text{\AA}^{-1}]$ まで μeV 分解能で測定を可能にするため, Si311 反射結晶アナライザーの開発・テスト・増設作業を実施している。DNA 分光器内部の Si アナライザーの配置は, Si111 アナライザーは設置予定散乱角 $\Phi = +150^\circ \sim -30^\circ$ をすべてカバーして運動量移行量 $Q = 0.08 \sim 1.93 [\text{\AA}^{-1}]$ の実験に供されている。一方, Si311 アナライザーは現在散乱角 $\Phi = -90^\circ \sim -78^\circ$ の $\Delta\Phi = 12^\circ$ をカバーしてテスト実験を実施している。テスト実験から当初の計画通りエネルギー分解能 $\Delta E = 12\mu\text{eV}$, 測定範囲: $-150\mu\text{eV} < E < +300\mu\text{eV}$ の高エネルギー分解能, 広帯域エネルギースペクトル測定が実現していることが明らかになった。現在 Si311 アナライザーを増設中で今年 H28 年度秋には散乱角 $\Phi = -114^\circ \sim -66^\circ$ の $\Delta\Phi = 48^\circ$ をカバーする予定である。更に次年度以降も増設を計画している。

MLF 中性子小角・広角散乱装置 BL15(大観)の 実験環境整備

Development of the experimental environment for the small and wide angle neutron scattering instrument BL15 (TAIKAN)

森川利明¹、高田慎一²、大石一城¹、岩瀬裕希¹、河村幸彦¹、
佐原雅恵¹、鈴木淳市¹

¹ CROSS 東海、² J-PARC Center

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。BL15 では、その要望に応えるべく実験環境の整備を行ってきている。

(1) 試料環境機器の拡充

BL15 では、金属、磁性体、超伝導体等のハードマター試料用に 0.2 T 空芯マグネット、10 T 超伝導マグネットを有しており、また、他 BL と共用の 1 T マグネット、7 T 超伝導マグネットも使用できる。更にこれらのマグネットは、BL15 の 4 K 冷凍機やレーザー加熱装置と組み合わせることにより、低温、もしくは高温での磁場中測定にも使用できる。現在、4 T 横磁場超伝導マグネットも導入し、立上げ・整備中である。

また、ソフトマター、生体高分子試料用に、試料交換機、引張試験機を有するが、今後、レオメーター、高精度ガス/蒸気吸着量測定装置の導入も計画しており、更なる試料環境機器の拡充を行う予定である。

(2) ビーム光学機器の整備

集光ビームを用いたより小さい q 領域での測定に向け、中性子ビームの偏極・集光用に四極磁石と六極磁石をビームライン上流に導入した。現在、これらの磁石と一緒に使用するガイドコイル、スピンプリッパーの調整、整備を進めている。

(3) 検出器の増設

BL15 には、³He 検出器を備えた小角、中角、高角、背面の 4 つの検出器バンクがあるが、これらの検出器バンクへの検出器の増設を継続して行っている。小角バンクへの検出器の増設はほぼ完了したので、今後は中角バンクの検出器の増設を行っていく。また、超小角検出器(2 次元ホトマルとシンチレーターで構成)を導入し、検出特性の評価実験も行っている。

X線磁気回折実験への 二次元多素子検出器 PILATUS の応用 Application of a two-dimensional multi-element detector PILATUS to X-ray Magnetic Diffraction Experiments

加藤康平¹、高嶋雅仁¹、大沢冬樹子¹、下山秀文¹、
平野馨一²、永谷康子²、小菅隆²、
亀沢知夏³、Wolfgang Voegeli³、荒川悦雄³、
鈴木宏輔¹、桜井浩¹、伊藤正久¹

1:群馬大大学院理工学府、2:物質構造科学研究所、3:東京学芸大学

当グループは強磁性体を対象とするX線磁気回折(XMD)実験を行なっている。従来はX線検出に Ge 半導体検出器を用いていたが、今回、多層膜への適用を目指し、より検出面積の広い二次元多素子検出器 PILATUS を用いた XMD 実験を行なえるようにすることを目的とした。

XMD 実験を行うためには、回折計、電磁石電源、検出器の三要素を制御する必要がある。コンピュータから機器を制御するにあたり、「STARS インターフェース」を採用した。これにより TCP/IP 経由で機器を制御できるようになった。なおプログラムは C++ 言語で作成した。

PILATUS からは、測定結果を二次元の数値データ(TIFF 画像)として得られる。サイズは 487×195 ピクセル(375KB)であり、従来の Ge 半導体検出器(1024ch、14KB)と比較してそのデータ量は膨大である。1 回のビームタイムで得られる画像ファイルは数千～数万となり、Excel 等の汎用プログラムでの解析は極めて困難であることから、専用の解析プログラムも併せて作成した。

新しい XMD 実験システムを用いて先ず鉄単結晶試料にて実験を行なった。試料位置を電子軌道面上下の±0.8mm の範囲で変えながら、磁場反転に伴う 220 回折強度の相対変化(flipping ratio)を測定した。その結果を Fig. 1 に示す。軌道面上下で flipping ratio の符号の反転が確認でき、PILATUS を用いる XMD 実験が可能となったことが示された。

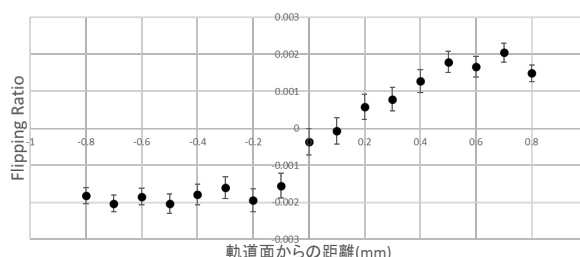


Fig. 1 Fe220 回折強度の Flipping Ratio の測定結果

偏極中性子散乱装置 POLANO における SEOP 型 ^3He 核偏極中性子フィルターの開発 Development of SEOP type polarized ^3He filter for the polarized neutron spectrometer POLANO

大河原学¹、猪野隆²、南部雄亮¹、横尾哲也²、藤田全基¹、伊藤晋一²、
大山研司³、吉良弘⁴、林田洋寿⁴、奥隆之⁵、酒井健二⁵、加倉井和久⁵

1 東北大学金属材料研究所、2 高エネルギー加速器研究機構、
3 茨城大学、4 総合科学研究機構、5 日本原子力研究開発機構

J-PARC、物質生命科学実験施設(MLF)の BL23 で建設が進められている偏極中性子散乱装置 POLANO では、入射部の偏極子に Spin Exchange Optical Pumping (SEOP) 型の ^3He 核偏極中性子フィルターが採用されている。これは他の偏極デバイスと比較して、発散角の大きなビームに対応可能であり、広いエネルギー範囲の中性子の偏極が可能であることが理由である。

この SEOP 型中性子偏極スピンフィルターは、 ^3He とアルカリ金属が封入されたガラスセル、セル内の ^3He の核スピンの偏極に用いられる高出力のレーザー、レーザーの成形に用いられるレンズ等の光学系、セルの温度制御に用いられるオーブンとヒーター、セル内の磁場を均一に保つためのコイルと磁気シールドで構成されている。

POLANO では小型化、高性能化を目的に装置を構成する各コンポーネントの開発を行ってきた。特にフィルター用のガラスセルについては、 ^3He 、Rb、K を封入したハイブリットセルについて開発を行っている。SEOP ではレーザー照射によりセル内のアルカリ金属の電子スピンを偏極し、そのスピンの ^3He の核スピンの移行することで ^3He の偏極を行う。従来の ^3He 、Rb を封入したセルの場合、Rb-Rb 散乱による偏極ロスが大きいため、レーザーパワーのほとんどは Rb の偏極を補うために費やされているが、K を加えたハイブリッドセルでは K-K 散乱による偏極ロスは Rb に比べ極めて小さいため、偏極効率が飛躍的に向上する。現在ハイブリットセルの試作品を複数作製し(図1 ハイブリットセル試作品)、性能の評価を進めている段階で、今後は POLANO への最適化を行い、実機への導入を目指している。

発表ではこれらの技術開発を含めた POLANO における SEOP 型偏極中性子フィルターの開発状況について報告を行う。



図1 ハイブリットセル試作品

^3He 中性子スピンフィルター開発の現状と今後の計画

Current status and future plan of a ^3He spin filter development

奥隆之¹、酒井健二¹、廣井孝介¹、渡辺真朗¹、篠原武尚¹、相澤一也¹、加倉井和久¹、吉良弘²、林田洋寿²、桐山孝治²、鈴木淳市²、猪野隆³、大河原学⁴、能田洋平⁵、大山研司⁵、奥平琢也⁶、岡田晏珠⁶、北口雅暁⁶、清水裕彦⁶、
W.T. Hal Lee⁶、T.X. Tong⁷

1 原子力機構、2 CROSS 東海、3 高エネ研、4 東北大、5 茨城大、6 名大、
7 ANSTO、8 ORNL

我々はパルス中性子散乱実験への応用を目的として、 ^3He 中性子偏極フィルターの実用化研究を行っている。 ^3He 中性子偏極フィルターは、広いエネルギー範囲の中性子に有効である他、発散度の大きな中性子ビームの偏極も可能であるなど、優れた特徴を兼ね備えている。これまでに我々は、Volume Holographic Grating (VHG) 素子を用いて、スピン交換光ポンピング (SEOP) 用の小型レーザー光学系を開発し、シンプルで使い易いオンビーム SEOP 型 ^3He 偏極フィルターシステムを構築した。そして、そのシステムを用いて、J-PARC のパルス中性子ビームを用いて、小角散乱装置や反射率計における偏極度解析実験、偏極中性子イメージング試験などを行ってきた。現在、このシステムの適用範囲を拡張するため、 ^3He フィルターセルの短波長中性子対応やセルサイズ的大型化、レーザー光学系他周辺技術の改良、施設整備などを進めている。学会では、開発の現状と今後の開発・整備計画について発表する予定である。

単結晶中性子回折計 SENJU における in situ 光照射冷凍機 の開発

Development of a Cryostat for in situ Photo Crystallography on a Single Crystal Diffractometer SENJU

大原高志¹、花島隆泰²、宗像孝司²、茂吉武人²、鬼柳亮嗣¹、
中尾朗子²、黒田哲也²

1 原子力機構 J-PARC センター、2 総合科学研究機構

光照射によって誘起される発光や磁化といった固体物性は、様々な光学デバイスの開発に直結することから、これまで数多くの研究が行われてきた。近年、光機能性有機材料開発の進展に伴い、より複雑な構造を持つ物質の光誘起現象が研究対象となりつつある。このような光誘起現象に対し、試料に in situ で光照射を行いながらの単結晶中性子構造解析が実現できれば、分子中の水素原子の観察による光誘起化学種の特定や結晶中の磁気秩序の観察による光磁気現象の解明が可能となる。従来の中性子施設では必要となる試料結晶のサイズが大きく、試料内部まで光が届かないため、このような光誘起化学種の単結晶中性子構造解析はほとんど不可能であったが、J-PARC・MLF の BL18 に設置された単結晶中性子回折計 SENJU では 0.1mm³ 以下の試料結晶での構造解析が可能なることから、in situ 光照射を用いた構造解析の実用化が期待される。

そこで本研究では、SENJU において in situ 光照射下での構造解析を低温環境下で実現するためのクローズドサイクル冷凍機を開発を行った。この冷凍機ではキセノン光源(朝日分光製 MAX-303)からの光は真空フィードスルー付きライトガイドを通して真空槽内の試料に照射される。試料はピエゾ回転子によって 2 軸で回転できるため、構造解析に必要な回折点のほとんどを測定することが可能である。また、試料近傍のライトガイド先端部はスーパーインシュレーターで断熱し、ライトガイドを介した熱の流入を抑えた。試料位置の温度は光源 OFF で 8K なのに対し、400nm のバンドパスフィルター付きでの光照射で 11K、420nm のロングカットフィルター付きで 18K、フィルターなしでの光照射で 66K となった。本冷凍機を用いることで、光照射によるプロトン移動で生じた準安定化学種のクライオトラップによる構造解析や、低温下で起こる光誘起スピン転移に伴う磁気構造の変化の追跡が可能になると期待される。

J-PARC MLF におけるパルス強磁場システムの開発

Development of Pulse Magnet System in J-PARC

MLF

渡辺真朗¹、野尻浩之²

1 日本原子力研究開発機構 J-PARC 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、磁場誘起超伝導体などにおける強磁場中磁気相関の研究やマルチフェロイック物質などの新しい凝縮系の研究などが挙げられる。

J-PARC MLF において、強磁場を利用した中性子実験を行うユーザーの要望に応えるために、強磁場パルスマグネットシステムの開発をおこなっている。17テスラ以下程度では超伝導装置があるため、本装置は 30 テスラを目標としている。一方で、一般的に数 10 テスラ以上の強磁場装置は規模が大きいイメージがあるが、本装置は MLF の既存のビームラインに対して設置可能な小型な装置でなければならない。そこで数ミリ秒程度磁場を発生させるパルスマグネットシステムとすることとした。パルス磁場にすることで、強磁場を達成しつつエネルギー・パワーを抑えることで装置の小型化が可能である。

30 テスラを発生可能なパルスマグネットシステムを実現するためには、高電圧・大電流パルス電源および、強磁場に耐えられるコイルと試料スティックが必要である。本発表では、開発したコイルおよび小型・可搬型電源(2kV、8kA、パルス幅数ミリ秒)の通電試験結果と試料スティックの製作等について報告する。

J-PARC チョッパ一分光器四季におけるフェルミチョッパの高度化

Upgraded Fermi Chopper of the chopper spectrometer 4SEASONS at J-PARC

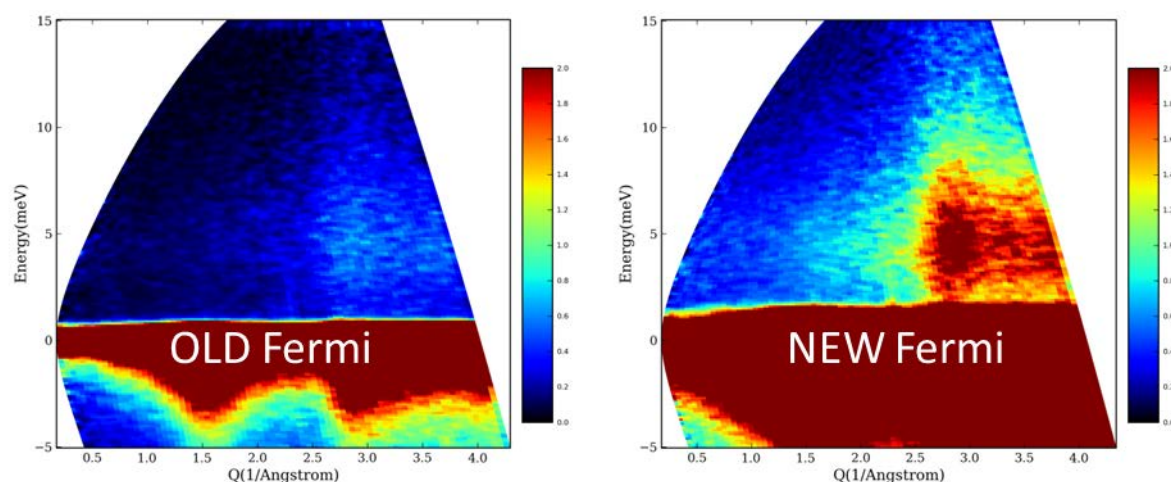
中村充孝¹、梶本亮一¹、稲村泰弘¹、青山和弘¹、神原理¹、川上一弘¹、
久保直也¹、蒲沢和也²、池内和彦²、飯田一樹²、石角元志²

1 JAEA J-PARC センター、2 CROSS

J-PARC 物質・生命科学実験施設では、複数台のチョッパ一分光器がユーザー実験に供されており、多岐に亘る研究分野において中性子非弾性散乱実験が行われている。なかでも、BL01 四季は大強度型の減速材(カップルドモデレータ)を見込み、ビームの単色化にフェルミチョッパを採用した分光器であり、熱中性子領域における性能を最大化するように設計されている[1]。

四季では 2008 年から 2014 年まで米国 SNS から借用したフェルミチョッパを使用していたが、このたび、スリット部の設計を見直した新しいフェルミチョッパを製作し、2015 年 3 月から運用を開始した。同一条件下で旧型のフェルミチョッパと強度を比較すると、低エネルギー領域において数十倍にも及ぶ強度ゲインを達成することに成功した。本発表では、新型フェルミチョッパの仕様や設計に関する詳細や測定例について報告する。

[1] R. Kajimoto et al., J. Phys. Soc. Jpn. 80, SB028 (2011).



図：四季で測定された石英ガラスの動的構造因子スペクトル。両者の測定条件は同一である。

偏極中性子散乱装置 POLANO での磁場接続評価 Estimations of magnetic fields for polarized neutron spectrometer POLANO

大山研司¹、坂口将尊^{2,3}、横尾哲也^{2,3}、南部雄亮⁴、伊藤晋一^{2,3}、
猪野隆^{2,3}、大河原学⁴、藤田全基⁴

1 茨城大院理工学、2KEK-物構研、3J-PARC センター、4 東北大金研

現在建設中の偏極中性子散乱装置 POLANO は、将来的には 100meV 程度までの広いエネルギー領域での偏極度解析を目指す分光器である。そのため、広いエネルギー領域で偏極を維持する磁場環境が必須である。三軸分光器とは異なり、実験中に磁場を最適化することが困難であることから、我々は計算による磁場分布評価と、テストベンチでの磁場測定を進めている。

POLANO は、磁場デバイスとして SEOP 型 ³He スピン偏極子用ソレノイドコイル、縦磁場ガイドマグネット、ヘルムホルツコイル、試料下流の扇形ガイドマグネット、偏極スーパーミラーアナライザー用のマグネットハウジングを配置する。有限要素法ソフト ANSYS でのシミュレーションにより、100meV 以下の領域でアナライザー入口で計算上 99%程度の偏極率を維持できるデバイス配置を見いだしている。ただし偏極子で 100%偏極していると仮定している。今回、その磁場計算の信頼性を評価するため、縦磁場ガイドマグネット、ヘルムホルツコイル、試料下流の扇形ガイドマグネットを計算で得た最適位置に配置したテストベンチを構築し、3D ガウスメーターを用いて磁場測定を行った。図 1 は測定した各点の磁場の大きさ（青）である。赤線は同じ配置での計算結果で、おおよそ一致している。下流側で大きくずれるのは、テストベンチではアナライザーハウジング（中心磁場：約 400 G）を配置していないためである。また、多くのシミュレーション結果から、この POLANO の配置では、磁場の大きさが 20G 程度あれば 100meV までは depolarization を押さえられることがわかっているが、図 1 で各部での実測値が 20G を下回らないことから、このデバイス配置でビーム中心で 99%程度の偏極率を維持すると期待できる。

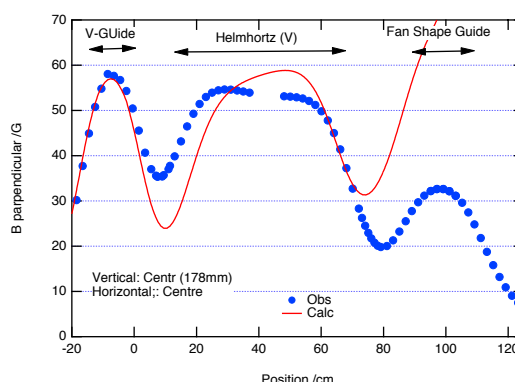


図 1 テストベンチでの磁場分布計測結果（青点）と有限要素法での計算結果（赤線）。ビームは左から右二征、計算ではアナライザーも含まれているため、下流側で計算値が大きくなっている。

特殊環境中性子単結晶構造解析装置 SENJU の性能 Performance of single-crystal neutron diffractometer, SENJU, at J-PARC

鬼柳亮嗣¹、大原高志¹、中尾朗子²、花島隆泰²、宗像孝司²、茂吉武人²、
黒田哲也²、田村格良¹、及川健一¹、金子耕士¹、川崎卓郎¹

1 日本原子力研究開発機構 J-PARC センター

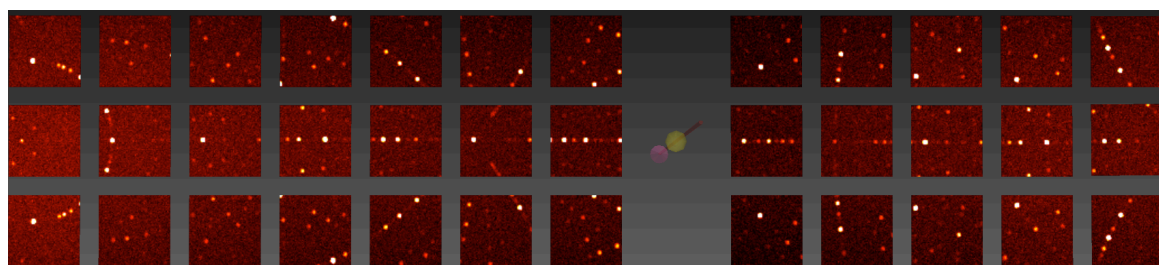
2 総合科学研究機構(CROSS 東海)

J-PARC・MLF の BL18 に設置された TOF-Laue 型単結晶中性子回折装置 SENJU は、2012 年にビームを受け入れ始め、現在共用装置としてユーザー実験が行なわれている。本装置は、無機物や低分子性物質、磁性体等を主な対象とし、特殊環境下(低温、磁場、圧力等)での精密な構造解析(結晶・磁気)を目的として開発された。特に、MLF の特徴である大強度の中性子を利用した微小単結晶(0.1mm^3)での測定や(1MW 時)、白色中性子と多数の2次元検出器を活かした、広い逆空間の効率的な測定を行うことが可能である。

主要な試料環境装置である4K 冷凍機は、コールドヘッド下部に低温で駆動可能な2軸ゴニオメータを持っており、冷凍機本体を動かすことなく、また試料を取り出すことなく、低温下で試料を回転し方位を変更することができる。最大7T の磁場を発生することのできる超電導マグネットでは、磁気散乱の測定に重要となる低波数領域(長波長領域: $4.6\text{\AA} \sim 8.8\text{\AA}$)にマグネット由来となるブラッグ反射が存在せず、また希釈冷凍機との組み合わせにより約 40mK までの冷却も可能である。

測定されたデータに対しては、独自に開発された解析ソフトウェア STARGazer を用いて可視化(実空間、逆空間)、方位決定、積分強度計算を行い、得られる指数と構造因子から外部ソフトを用いて構造解析を行っている。

発表では、現在開発やコミッショニングを行っているその他の試料環境装置や実際のデータを用いて解析の現状を紹介する。



SENJU で観測される単結晶 TOF-Laue パターン(試料: $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$)

チョッパー型中性子非弾性散乱装置「四季」の現状について Current status of the chopper-type neutron spectrometer 4SEASONS

梶本亮一¹、中村充孝¹、稲村泰弘¹、蒲沢和也²、池内和彦²、飯田一樹²、
石角元志²、中島健次¹、河村聖子¹、中谷健¹、神原理¹、久保直也¹、
青山和弘¹、川上一弘¹、山内康弘¹、細谷倫紀¹、相澤一也¹、桐山幸治²
1 J-PARC センター、2 CROSS 東海

四季は J-PARC・MLF に設置されている 4 台のチョッパー分光器の 1 つである[1]。そのカバーするエネルギー領域と運動領域はそれぞれおよそ $10^{-1} \sim 10^2$ meV, $10^{-1} \sim 10^1$ Å⁻¹ であり MLF の非弾性中性子散乱装置がカバーするエネルギー・運動量領域の中でも中程の領域を占める[2]。共用ビームラインの 1 台としてユーザー利用に供され、超伝導体、磁性体、誘電体、触媒、熱電材料等さまざまな物質の研究に用いられているが、性能および操作性・安全性のさらなる向上を目指して装置の高度化が続けられている。本発表では、新しい単色化チョッパーの導入、検出器増設、データ収集・解析環境の更新、分解能計算の試み等、最近四季で行われたアップデートの状況について報告する。

[1] R. Kajimoto et al., J. Phys. Soc. Jpn. **80**, SB028 (2011).

[2] H. Seto et al., BBA – General Subjects, submitted.

MLF の中性子データ処理環境「空蟬」の高度化と現状

The current status of the data reduction software 'Utsusemi' in MLF, J-PARC

稲村泰弘¹, 伊藤崇芳², 中谷健¹, 鈴木次郎³

1. J-PARC センター, 2. CROSS 東海, 3. KEK

「空蟬」とは、J-PARC, MLF における非弾性散乱装置の装置制御・および解析環境として整備が始まったソフトウェアである。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をいち早く実用化し、非弾性散乱装置の解析環境として成果を上げてきた。例えば今や世界のスタンダードな測定として広まった Multi-Ei 手法の実現や、単結晶試料の多次元データ測定・可視化手法の実現などに貢献してきた。

一方、MLF におけるイベント記録方式のシステムは多くの装置で共通化されているものの、装置ごとに様々な検出器が使用され、生み出されるデータも細部で異なっている。現在、「空蟬」のイベントデータ処理機能をそれぞれの検出器に合わせて拡張し、多くの装置への導入を進めている。「空蟬」から装置制御ソフトウェアを分離しデータ処理環境として独立させたこともあって、結果として MLF の解析環境の基盤としての役割も持つようになっている。

しかしビームラインでの動作には問題が少ないものの、ユーザーの環境で動作させる場合の対応環境の少なさや、定期的なアップデートの配布手段やドキュメントが少ないなどいくつも問題を抱えているのも事実である。そこで本発表では、現在進めている「空蟬」のビームラインへの導入状況、Windows や MacOS 版の開発(Fig.1)や、新たな可視化など、高度化の状況と問題点を報告し、今後の展開について示す予定である。

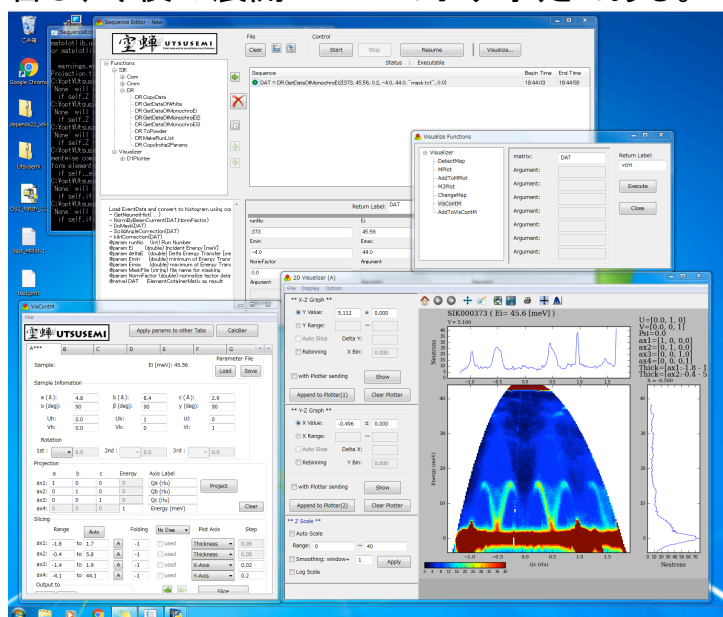


Fig.1 Windows 版空蟬のスクリーンショット

軽元素の蛍光X線ホログラフィー X-ray fluorescence holography for Light elements

八方直久¹、波田拓馬¹、戎佳宏²、細川伸也³、木村耕治⁴、林好一⁴

1 広島市大院情報、2 広島工大院工、3 熊本大院自然、4 名工大院工

蛍光X線ホログラフィー(XFH)では、特定元素からの蛍光X線強度の放出角度分布を測定する [1]。その特定の蛍光X線を分光するために、通常の測定ではグラファイト結晶分光器を用いている。集光の機能を持つ円筒型(曲率半径 25 mm)を用いた場合、試料一分光器間(分光器一検出器間)の距離を変えることで任意の蛍光を分光して計測できる。軽元素を測る場合、試料一分光器間距離が極めて短くなり(例えば Ca-K α では 43 mm)、分光器の筐体が入射X線に対する影となる。そこで本研究では軽元素の XFH 測定を目的として、入射X線を通すための「C字型」の新型結晶分光器を設計・製作し、試験測定を行った。

作製したC字型分光器を図1に示す。曲率半径 20 mm のグラファイト結晶を使用しており、切り欠きの部分に入射X線を通すことができるようになっている。この分光器を使って測定した Ca-K α ホログラムを図2に示す。試料は CaF₂ (001)単結晶で、入射X線のエネルギーは 9.0 keV で、検出器にはアバランシェフォトダイオード(APD)を使用した。大気吸収による減衰などの影響で蛍光X線強度は弱かったものの、定在波線が見られるホログラムを得ることができた。講演では、検出器にシリコンドリフト検出器(SDD)を使用した場合との比較などについても報告する。

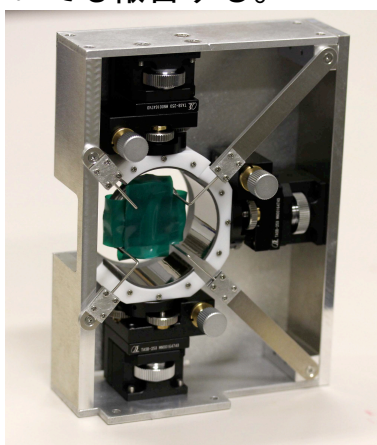


図1 C字型結晶分光器

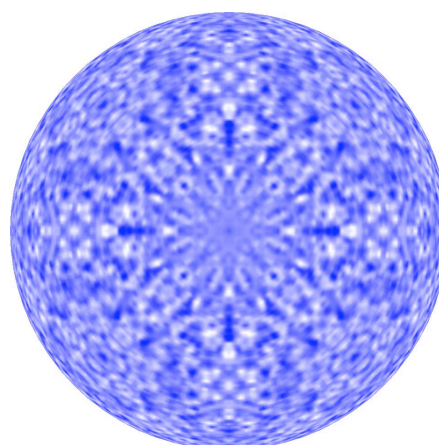


図2 入射X線エネルギー9.0 keV で測定した CaF₂ の Ca-K α ホログラム

[1] K.Hayashi, *et al.*, J.Phys.:Condens.Matter, 24, 093201 (2012).

MLF の装置制御ソフトウェアフレームワーク IROHA2 の 現状

The present status of the instrument control software framework 'IROHA2' in MLF, J-PARC

中谷健¹、稲村泰弘¹、森山健太郎¹

¹ J-PARC センター

J-PARC, MLF の標準実験装置制御ソフトウェアフレームワーク(IROHA2)は以下に示す機能ごとに分かれた複数のソフトウェアコンポーネントから構成されている。

- ・ デバイス制御サーバー 機器を個別制御、監視
- ・ 装置管理サーバー 測定・装置構成の管理、認証
- ・ シーケンス管理サーバー 自動測定
- ・ 統合制御サーバー 装置を統括、監視

IROHA2 は今年度表 1 に示す装置に導入され、実際の装置での運用が開始されている。装置への導入にあたって新しいデバイス制御モジュールの開発も進み、50 種類近いデバイスへの対応を実現しようとしている。また、今年度は高度化によりユーザーインターフェースの改良や外部システム(MLF 統合認証システム、MLF 連携データベース)との情報連携も開始される予定である。

本報告では IROHA2 の現状と高度化の状況について示す。

BL	装置名	導入状況
01	四季	デバイス制御、装置管理、シーケンス管理、統合制御
02	DNA	準備中
09	SPICA	デバイス制御
12	HRC	デバイス制御
14	AMATERAS	デバイス制御、装置管理、シーケンス管理、統合制御
18	千手	デバイス制御、装置管理、シーケンス管理、統合制御
19	匠	デバイス制御、装置管理
21	NOVA	作成中
22	螺鈿	作成中
D1		デバイス制御

表 1 MLF における IROHA2 導入状況

KEK-PF ハイブリット運転用の光パルスセクターの開発 4

Development of pulse selector for Hybrid mode of KEK-PF 4

田中宏和、小菅隆、足立純一
KEK PF

以前より開発している動の実験用の KEK-PF ハイブリット運転用の光パルスセクターについて、安定に運用を続けている 1 号機、2 号機に加え、課題である広開口、高真空をめざした磁気軸受型の 3 号機を開発している。KEK-PF では、時分割実験に適

したパルス特性を有したまま、時間平均光量を増やすハイブリット運転(HB モード)が試行されてきている。HB モードは、PF リングのフィリングパターンを 50mA の孤立バンチと比較的高密度なバンチトレインとで合計 450mA のリングカレントとするものである(図 1)。孤立バンチ部ではシングルバンチと同じパルス幅約 100ps の光が得られる。

この運転モードでは時分割実験を行うためには、孤立バンチによる事象のみを取り出す必要がある。TOF 実験などでは、高速な信号処理系による事象の弁別は原理的に難しい。機械的に光を選択するパルスセクターは、そのよう

な実験に汎用的に使える。

1 号機 2 号機で採用されている精密空気軸受と比較して、3 号機で採用した磁気軸受は、負荷容量は大きいが剛性が小さいことや真空中に完全に浮いていることなど、いくつか違いがあり、それによる問題点を解決すべく開発を続けており、その経過について報告する。

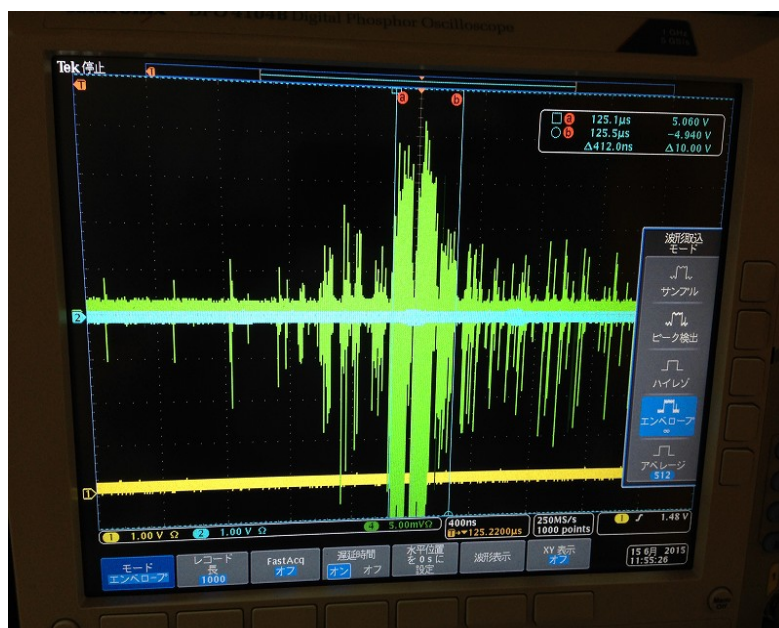
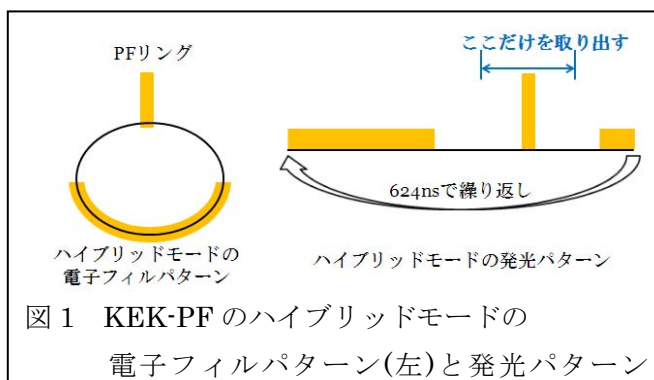


図 2 調整中の 3 号機の光の選択

冷中性子ディスクチョッパー型分光器 AMATERAS の 2015 年度

A Cold-Neutron Disk-Chopper Spectrometer AMATERA in JFY2015

中島健次、河村聖子、菊地龍弥、稲村泰弘、川北至信、梶本亮一、中村充孝、
青山和弘、岩橋孝明、神原理、山内康弘、久保直也、若井大介

J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン

J-PARC 物質・生命科学実験施設に設置された冷中性子ディスクチョッパー型分光器 AMATERAS(図 1)は、パルス整形チョッパーと J-PARC の結合型減速材の高ピーク強度の組み合わせにより、大強度、高分解能を両立する非弾性・準弾性散乱装置であり¹⁾、2009 年の稼働開始以来これまで、装置の高度化を進めながら、磁性や液体、非晶質、生体物質内のダイナミクスから産業

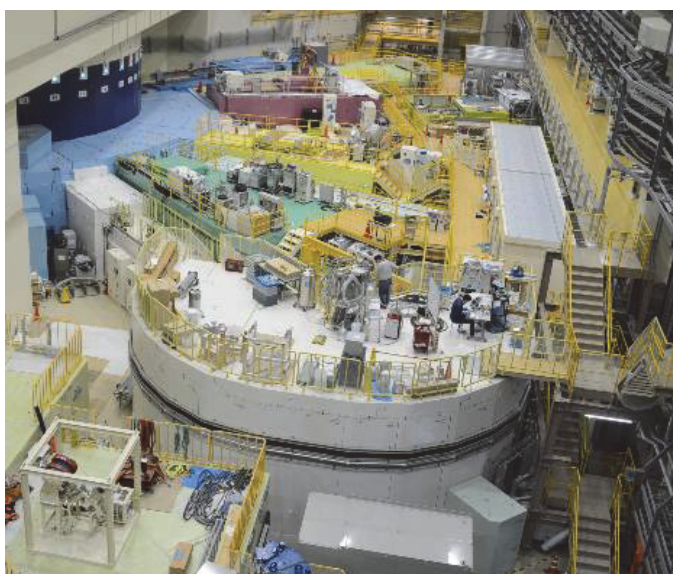


図 1 AMATERAS

利用に至るまで広い研究分野での利用に供されてきている。2015 年度においては装置課題の他、2016 年 2 月現在、2014B、2015A 期の一般課題 6 件、JAEA プロジェクト課題 2 件、元素戦略課題 1 件を実施している。また、これまで行われてきた AMATERAS の利用の成果として、2015 年には、1 件のプレス発表、7 件の学術論文、多数の学術的会合での発表等がなされている。一方で、装置の整備としては、検出器バンク間の仕切り(ベーン)の不具合の改修、様々な試料環境装置の利用の利便性を上げるための冷却水等ユーティリティ設備の拡張、実験データの質を向上させるためのバックグラウンド低減の作業等を進めてきている。

当日は、最近の成果例と合わせて、これら AMATERAS の近況を報告する。

Reference

- [1] K. Nakajima et al., J. Phys. Soc. Jpn. 80 (2011) SB028

偏極中性子散乱装置 POLANO における偏極 *Polarization in* the polarized neutron spectrometer POLANO

南部雄亮¹、横尾哲也^{2,3}、藤田全基¹、伊藤晋一^{2,3}、
猪野隆^{2,3}、大河原学¹、大山研司⁴

1 東北大金研、2 KEK-物構研、3 J-PARC センター、4 茨城大院理工学

偏極中性子を用いた非弾性散乱実験に特化した装置として、東北大学と高エネルギー加速器研究機構の共同でBL23 POLANOを建設している。2012年度より開始された建設工事は大詰めを迎えており、今年度は夏季停止期間に各種大型工事を行い、中性子ビームライン上の様々な機器の設置、配線・配管、調整を完了した。加えて、POLANOでの偏極中性子散乱に必要な磁場環境試験を行うためモックアップ装置を整備し、spin exchange optical pumping (SEOP) 型偏極中性子フィルターなどの開発を進めている。今後、J-PARCの放射線変更申請を経て、2016年度に初ビームの受け入れを目指している。

偏極中性子生成技術に目を向けると、定常炉での偏極技術は確立されているものの、核破碎中性子源における偏極技術はいまだ発展途上であり、多くの困難が伴っている。我々は、装置本体の建設と並行して、SEOP、Dynamic Nuclear Polarization (DNP) の偏極フィルター、スーパーミラーアナライザー、スピントリッパーなど各種偏極中性子生成に必要な技術の開発にも尽力している。本講演ではPOLANOにおける上述の中性子偏極デバイスを概観し、これからの偏極中性子生成方法の可能性、目指すサイエンスなどについて議論する。

超高速ダイナミクスワーキンググループ 2015 年度活動報告 Ultrafast dynamics WG 2015Fy

足立純一・山本樹・足立伸一・雨宮健太・岸本俊二・中尾裕則・野澤俊介・
小菅隆・豊島章雄・菊地貴司・丹羽尉博・田中宏和・
一柳光平・深谷亮・春木理恵・福本恵紀
KEK PF

超高速ダイナミクスワーキンググループは、次世代光源で実現されるフェムト秒領域での超高速ダイナミクス実験のための技術基盤を整備することを目指している。そして、超高速実験に要求される技術要素の開発途上の過程で、PF リングおよび PF-AR において、放射光のパルス性を活用した実証実験を推進している。

具体的には、ワーキンググループにて、レーザー-pump - 放射光 probe 実験のための基盤整備、パルスセクター開発、極短周期アンジュレータ開発、ハイブリッドモード運転活用のための検出システム開発に取り組んでいる。今年度の基盤整備の進捗状況と PF での時間分解実験の取り組みについて報告する。特に、BL-19B において取り組んでいる時間分解実験について紹介する。また、運用を開始した PF リングハイブリッドモード運転用のパルスセクター 1, 2 号機について、現状での詳細な仕様と利用例を示す。

WG では時間分解実験を活用していただくため、他大学・他機関との共同研究を積極的に進める方針である。ポスターでは、時間分解実験で準備している装置 { ピコ秒 Nd:YAG レーザー・時間ゲート機能付き軟 X 線 SDD・高繰返し高電圧パルス電源 } について仕様を紹介する。実現可能な実験について議論し、WG との共同研究を検討いただきたい。

高強度中性子全散乱装置 NOVA における その場測定環境 In situ Environment at High Intensity Neutron Total Diffractometer NOVA

池田一貴¹、大友季哉^{1,2}、大下英敏¹、金子直勝¹、瀬谷智洋¹、
鈴谷賢太郎³、藤崎布美佳²

1 KEK 中性子、2 総研大 高エネ、3 JAEA J-PARC センター

J-PARC MLF BL21 高強度中性子全散乱装置 NOVA は結晶の構造解析に十分適用できる分解能($\Delta Q/Q \sim 0.35\%$)と広い Q 測定領域($Q = 0.01 \sim 100 \text{ \AA}^{-1}$)を有しており、結晶、アモルファス、液体など多様な物質の構造を解析できるため、水素貯蔵材料関連物質の平均・局所構造が調べられてきた[1-4]。また、バックグラウンドを低減して NOVA の高強度を活かすことにより、短時間(40 msec)や少量試料(1.4 mg)の測定にも挑戦してきた[5]。一方、NOVAでは最高圧力10 MPaの(重)水素ガス環境下によるその場中性子散乱測定が可能であり、単結晶サファイア製耐圧容器により Pd 粉末の重水素吸蔵過程などを調べてきた。さらに、その場測定の時間および構造解析に関する精度を向上させるため、V 製耐圧試料容器に封入した $\text{LaNi}_{4.5}\text{Al}_{0.5}$ 粉末の室温における水素吸蔵過程の中性子散乱曲線を測定して、10 sec 程度の時間間隔における $S(Q)$ および $G(r)$ から準安定相の生成を調べた。また、V 製耐圧試料容器の径と肉厚を調整して二重構造容器を設計することにより、試料の水素吸蔵反応における最大数 10 %の体積膨張による容器内部応力を緩和するとともに、水素透過性が低い酸化物を容器表面に修飾することにより安定なその場測定環境を整備した。その他、5 ~ 700 K 程度の温度を制御するその場測定環境についても報告する。

[1] Ikeda et al. *Mater. Trans.*, 52, 598–601 (2011).

[2] Machida et al., *Phys. Rev. Lett.*, 108, 205501 (1)–(5) (2012).

[3] Ikeda et al., *Mater. Trans.*, 55, 1129–1133 (2014).

[4] Takagi et al., *Angew. Chem. Int. Ed.*, 54, 5650–5653 (2015).

[5] 池田ら, 波紋, 25, 161–165 (2015).

AMATERAS のバックグラウンドの現状と対策 Current Status and Reduction Measures of Background on AMATERAS

菊地龍弥, 中島健次, 河村聖子, 川北至信, 稲村泰弘, 沢辺正樹, 若井大介
J-PARC センター

AMATERAS は MLF の BL14 に設置された低エネルギーチョッパ型分光器である。我々は装置グループとして、AMATERAS の高度化に取り組んでいる。チョッパ型分光器で測定する中性子非弾性散乱は、シグナルが非常に弱いためバックグラウンドとの S/N が非常に重要である。バックグラウンドの低減は装置の性能に係わる重要な課題である。AMATERAS は、これまでに行った種々の対策によりバックグラウンドレベルの低い装置として高い評価を受けている。その中でさらなる低減を目指して、これまでの対策から逃れたバックグラウンドについて、その原因を特定し対策を行っている。本発表では、試料環境装置由来を除いたバックグラウンドについて報告を行う。具体的には、ビームに依存しないバックグラウンドおよびビーム輸送系由来のバックグラウンドについて取り上げ、現状と対策および一部について対策の結果を報告する。

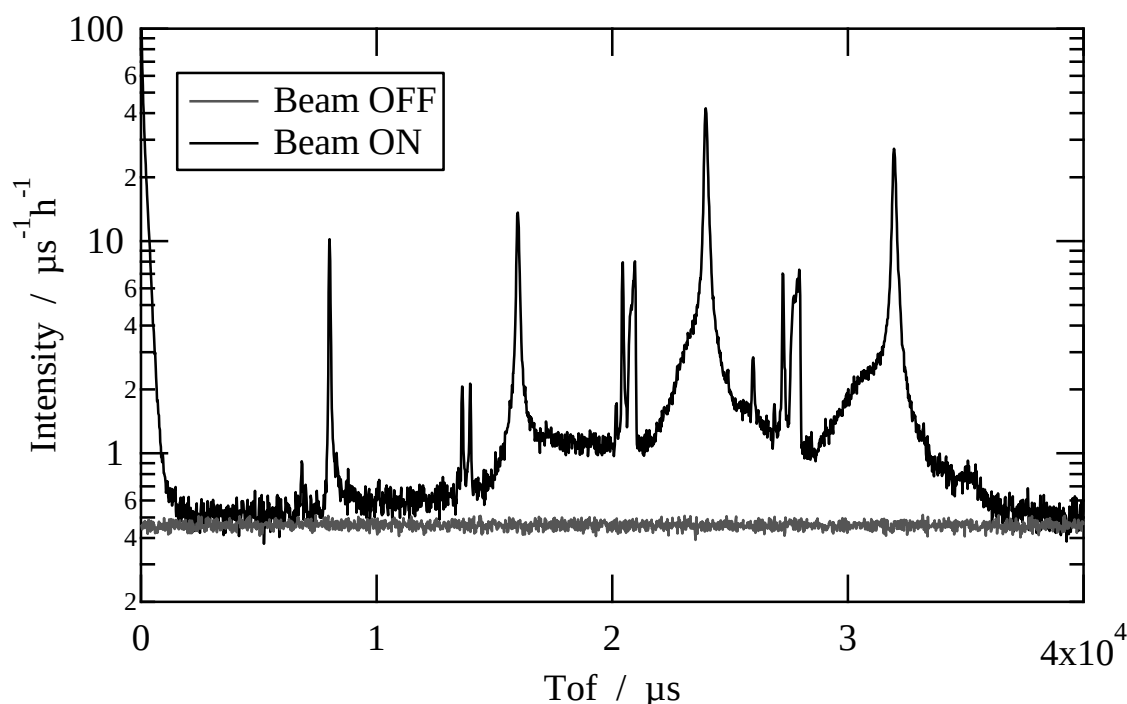


図 バックグラウンドの Tof シグナル。試料からの強度はピークトップで3桁以上大きい。