

J-PARC BL05 における基礎物理研究の展開

Fundamental physics activities with pulsed neutron at J-PARC(BL05)

Kenji Mishima, Shogo Awano, Tomoko Ariga, Yasuhiro Fuwa, Fumiya Goto, Christopher C. Haddock, Masahiro Hino, Katsuya Hirota, Sei Ieki, Sohei Imajo, Takashi Ino, Yoshihisa Iwashita, Ryo Katayama, Hiroaki Kawahara, Masaaki Kitaguchi, Ryunosuke Kitahara, Jun Koga, Aya Morishita, Naoki Nagakura, Naotaka Naganawa, Noriko Oi, Hideyuki Oide, Hidetoshi Otono, Yoshichika Seki, Daiichiro Sekiba, Tatsushi Shima, Hirohiko M. Shimizu, William M. Snow, Naoyuki Sumi, Hirochika Sumino, Satomi Tada, Kaoru Taketani, Seiji Tasaki, Tatsuhiko Tomita, Atsuhiko Umemoto, Takahito Yamada, Satoru Yamashita, Mami Yokohashi, Tamaki Yoshioka

"Neutron Optics and Physics (NOP/ BL05)" at MLF in J-PARC is a beamline for studies of fundamental physics. The beamline is divided at upstream into three branches to use different experiments in a parallel way. The three branches are follows: Polarized beam branch, Unpolarized beam branch, and Low-divergence beam branch. In this talk, we review achievement and on-going activities at this beamline.

We are promoting an experimental project to measure the neutron lifetime with total uncertainty of 1 sec. The neutron lifetime is an important parameter for elemental particle and astro physics. So far, the neutron lifetime was measured by several groups, however the values are different by the measurement methods. Thus, we are using the other method at J-PARC. Pulsed ultra-cold neutrons (UCNs) by a Doppler shifter are available at Unpolarized beam branch. We are developing a time focusing device for UCNs, so called "Rebuncher", which can increase UCN density from a pulsed UCN source. At Low divergence beam branch, an experiment to search an unknown intermediate force in nm range by measuring angler dependence of neutron scattering by rare gas. The beamline is also used for R&D of optical elements and detectors. Position sensitive neutron detector using emulsion whose resolution can achieve to several tens of nanometer is under development. We have succeeded to demonstrate detection of cold and ultra-cold neutrons by the emulsion detector.

SuperHRPD の現状 Status report on SuperHRPD

鳥居周輝¹、Lee SangHyun¹、萩原雅人¹、PUSPITA Widya Rika²、
TAN Zhijian²、Nur Ika Puji Ayu²、Song Seungyub²、Wu Peng¹、神山崇^{1,2}
1 KEK 物構研、2 総研大

Super High Resolution Powder Diffractometer (SuperHRPD)は、2008 年の 1st ビーム受け入れからほぼ 10 年が経ち、装置開発が一段落したところであり、装置開発の Phase からサイエンスを中心とした Phase へ移行しつつある。現在は、14T マグネットのコミッショニングやガス供給システムの導入等、試料周辺環境の整備を行いながら、一般課題と解析のサポート、S 型課題での新しいサイエンスの展開を進めている。

本報告では、SuperHRPD の現状と S 型課題でのサイエンスのトピックスを紹介する。

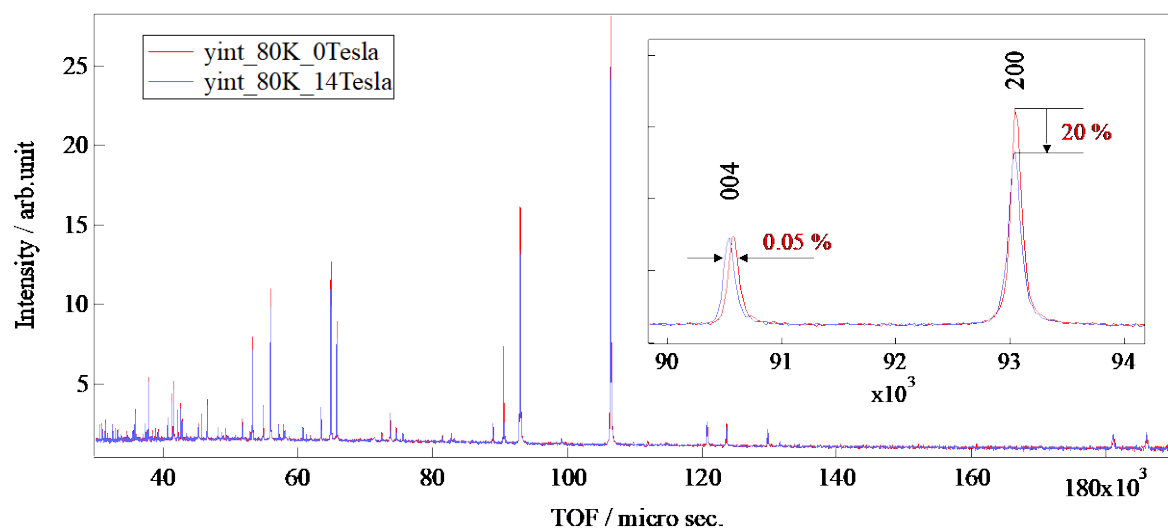


図1 14Tマグネットを用いたCo酸化物の回折パターン

全散乱法による水素化物の規則-不規則構造解析

Analysis of ordered/disordered structure in hydrides with total scattering technique

大友季哉^{1,2,3}、池田一貴¹、本田孝志¹、大下英敏¹、鈴谷賢太郎⁴、川北至信⁴、社本真一⁵、樹神克明⁵、福永俊晴⁶、森一広⁶、小野寺陽平⁶、亀田恭男⁷、山口敏男⁸、吉田亨次⁸、丸山健二⁹、榑浩司¹⁰、Hyunjeong Kim¹⁰、中村優美子¹⁰、町田晃彦¹¹、服部高典⁴、伊藤恵司¹²

1 KEK 物構研中性子、2 総研大高工、3 茨城大理工、4 JAEA J-PARC センター、5 JAEA 量子ビーム、6 京大原子炉、7 山形大、8 福岡大、9 新潟大、10 産総研、11 量研機構、12 岡山大

物質中の水素は、生命活動から新規材料まで、様々な物性や機能を誘起する元素である。中性子は水素(プロトン)を高精度で観測しうる量子ビームであり、とくに物質中の水素-水素相関の観測においては唯一のプローブと言える。中性子全散乱法により、液体、非晶質を始めとして結晶における不規則構造の解析が可能である。本研究は、J-PARC 物質・生命科学実験施設・高強度全散乱装置(NOVA)の高度化を行いながら、全散乱法を用いて規則-不規則構造の観測により、水素貯蔵材料における水素貯蔵メカニズムの基盤研究を行うとともに、多彩な物質の物性・機能の構造的な起源を全散乱法により解明することを目指すものである。本研究における NOVA の高度化として、測定基盤技術の高度化、PDF 解析法による物質中水素の構造解析、結晶 PDF 解析の高度化、構造モデリング高度化等を進めている。

平成 29 年の主な成果

- 測定基盤技術の高度化
 - バックグラウンド低減のためのラジアルコリメーターの製作
 - Live Data Reduction
- 構造解析手法の開発
 - 磁気 PDF 解析法の開発
- 2 体分布関数を用いた物質の構造解析
 - ゼオライト鑄型炭素の 3 次元グラフェン構造の解析
 - バナジウム系合金の劣化メカニズムの解明
 - ⁶Li/⁷Li 同位体置換試料を用いた Li イオン二次電池の電解質溶液中における Li⁺の溶媒和構造と接触イオン対の構造

本研究の一部は、中性子共同利用 S 型実験課題(2014S06)、NEDO 水素利用技術研究開発事業、JST 光・量子融合連携研究開発プログラムの助成のもとで進められた。

J-PARC/MLF BL06 中性子共鳴スピンエコー分光器群 (VIN ROSE)のための回転楕円体集光ミラー開発 2 Development of ellipsoidal neutron focusing supermirror for neutron resonance spin echo spectrometers (VIN ROSE) at BL06 at J-PARC/MLF2

日野正裕¹、細畠拓也²、小田達郎¹、遠藤仁³、吉永尚生¹、武田晋²、
山田悟史³、堀耕一郎³、瀬戸秀紀³、山形豊²、川端祐司¹

¹京大, ²理研, ³KEK

中性子はナノ構造の時間—空間領域の両方をプローブ出来る希有な粒子であるが、中性子強度によって測定が制限されている。中性子スピンエコー法は中性子スピンという自由度を導入し、スピンの位相を精密制御することで、入射中性子のエネルギー分解能によって測定可能なエネルギー分解能が制限されることなく、高エネルギー分解能かつ高中性子強度を同時に実現する。J-PARC/MLF BL06 で開発中の中性子共鳴スピンエコー装置群:VIN ROSE(The Village of Neutron ResOnance Spin Echo spectrometers)は MIEZE 型と集光型 NRSE 型の 2 台のスピンエコー分光器からなる[1]。

MIEZE は 2017B より一般公募を開始した。強磁場等、従来のスピンエコー装置では難しい試料環境での測定を可能とする。しかし高エネルギー分解能測定には原理的に限界がある。そのため、高分解能測定は NRSE で行うが、その達成には、試料による微少な散乱角の変化によるスピンの位相を補正するための位相補正デバイスを確立する必要がある。ここで位相補正デバイスに回転楕円体スーパーミラーを用いることで試料での集光も行える。しかし曲率が大きく長さ 90cm と巨大な回転楕円体集光スーパーミラーの成功例は未だ無い。我々は金属母材を用いてこの問題に挑戦し、ほぼ完成したのでその現状を報告する。

金属を母材することで、機械加工用の NC 加工機での製作が可能となり、劇的な製作期間短縮とコスト削減が可能となる。また耐放射線にも優れ、分割して組み合わせ、構造材、例えばミラー自体を遮蔽等構造材としても利用でき、今までの低速中性子輸送を根本的に変えられる可能性がある。金属は結晶粒界があり平滑な表面を得ることが難しかったが、我々は無電解ニッケルメッキを用いることで高性能中性子スーパーミラーに必要な表面粗さ 0.2nm を量産可能な製作工程で実現した。当日は、集光ミラー開発を中心に NRSE の現状を述べる。

[1] M.Hino, T.Oda, et al., J. Nucl. Sci. Tech. 54(2017), 1223.

中性子反射率計 SOFIA における集光ミラー・検出器開発 3 Development of Focusing Mirror and Detector for Neutron Reflectometer SOFIA (3)

山田悟史¹, 細畠拓也², 日野正裕³, 藤原健⁴,
堀耕一郎¹, 根本文也¹, 佐藤節夫¹, 山形豊²

¹KEK, ²理研, ³京大, ⁴産総研

中性子反射率法は物質の界面で反射された中性子を計測し、その干渉から数 nm～数百 nm スケールにおける深さ方向に対する散乱振幅密度の分布を観察する手法である。中性子は物質透過性が高く、物質に内在する「埋もれた界面」を容易に評価することが可能な上、重水素化ラベル法を用いることによって特定の部位にコントラストを付けて観測できるというメリットがある。

J-PARC MLF の BL16 に設置された試料水平型中性子反射率計 SOFIA は大強度パルス中性子ビームを生かした短時間測定と低いバックグラウンドを特徴とする装置である。また、2 次元検出器を利用した入射角分布の補正や非鏡面反射測定やダブルフレームモードを利用した時分割測定における wide-Q 領域測定、測定プログラムにおける入射ビーム強度に対する最適化や試料アライメントの自動化などを実装しており、高いスループットと利便性を兼ね備えている。一方、光学系や検出器についてはそれぞれダブルスリットコリメーションと ⁶LiF/ZnS シンチレーターを採用したコンサバティブなもので、改良の余地が残されている。これに対し、我々は現在集光ミラーによる光学系、および ¹⁰B コンバーターと GEM を組み合わせた検出器の開発を行っている。

集光ミラーによる光学系は一次元楕円ミラーを用いて試料集光を行うことにより、小さな面積の試料に対して大きな発散のビームを利用することを目的とする。これは、ビームサイズと同時にビーム発散も同時に小さくする必要があるダブルスリットコリメーションに対する大きなアドバンテージで、固液界面など試料の一部にしかビームを照射できないような測定において測定効率の向上が期待できる。我々は、集光ミラーの素材として NiP めっきを施したアルミ材を採用し、半値全幅 0.17 mm のビームサイズを達成することに成功している。検出器については ¹⁰B が中性子をキャプチャーする際に生じる荷電粒子を GEM で検出する、ピクセル読み出し型の 1 次元検出器を開発中である。この際、中性子の吸収率を上げるためにコンバーターの厚みを増やしすぎると、荷電粒子が自己吸収されてしまうという問題が生じる。これに対し我々は、ピュアな B 薄膜に Ti をコートしたコンバーターに中性子を斜入射することで B 密度と実効的な厚みを増やし、検出効率を向上させることに成功した。

当日の講演では、最新版の集光ミラー、および検出器の開発状況と実験結果について発表する予定である。

偏極中性子散乱装置 POLANO のコミッショニング Polarized Neutron Spectrometer POLANO

横尾哲也^{1,2}、池田陽一³、伊藤晋一^{1,2}、藤田全基³、金子直勝^{1,2}、大河原学³、
菅井征二^{1,2}、猪野隆^{1,2}

1KEK-物構研、2J-PARC センター、3 東北大-金研

POLANO プロジェクトは KEK 大学連携のもと東北大学と実施されているプロジェクトであり、物構研 S1 型課題 2014S09 の枠組みで推進されている。本プロジェクトは J-PARC・MLF に偏極中性子散乱装置の新規建設とそれを用いたパルス中性子における偏極中性子散乱法の確立、および偏極度解析を利用した物性研究を目的としている。平成 24 年度より開始された建設は平成 26 年度に入って本格化し、平成 28 年度の工事で主要部分の製作・設置工事を終了した。そしていよいよ今年度中性子ビームの受け入れを果たし、分光器のコミッショニングを開始した。各機器の稼働試験をおこない、その健全性を確認した後、中性子ビーム輸送の試験、ビームプロファイルによる強度と分布、TOF 構造を測定。さらに、大型真空槽の真空パージシステムの試験やアナライザーミラーの通信・駆動試験、位置敏感検出器の健全性確認と調整、位置校正などをおこなっている。また、チョッパー類の駆動試験と調整もおこなっている。チョッパーは高回転、高ペイロード、そして高い制御精度が求められる大変難しい機器であるにも関わらず、これまでの HRC での開発研究のおかげで非常に順調な運用を開始することができた。同様に HRC を主軸にして開発をおこなってきたデータ制御およびデータ解析ソフトウェア (YUI および HANA) の移植もおこない、コミッショニング開始時においても取得データの可視化をスムーズに実施することが可能であった。

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、特にチョッパー技術、SEOP や DNP といったスピン偏極技術、スピンプリッパーなど磁場環境技術を中心にして開発を推進し、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後の POLANO におけるコミッショニングの状況と機器・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。

SPICA の開発状況 Status Report on SPICA

米村雅雄^{1,2,3}, 石川喜久¹, 塩家正広^{1,4}, 南波薫^{1,5}, 鳥居周輝^{1,2}, SangHyun Lee¹, 萩原雅人¹, Nur Ika Puji Ayu³, Puspita Widya Rika³, Zhijian Tan³,
Seungyub Song³, Wu Peng¹, 神山崇^{1,2,3}
¹KEK-中性子, ²J-PARC センター, ³総研大, ⁴BBT, ⁵WDB エウレカ

BL09 SPICA(MLF J-PARC)は、高い分解能を維持したまま、大強度の中性子回折実験が行えるように設計・開発された。現在、機能性材料を中心とした材料研究に加え、非破壊かつ動作環境下で行う *operando* 測定により、充放電条件を変化させた場合に起こる電池反応の違いを、電極材料の構造変化として観測する研究を進めている。また電極材料の構造を定性定量に分析する技術開発を行い、ハードとソフトの両面でこの分野の研究を支援している。

本発表では、最近行った装置のアップデートをまとめて報告する。

謝辞: 本研究の一部は、立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業の支援により実施した。また中性子散乱実験は、中性子課題番号:2014S10により実施した。

高分解能チョッパー分光器による物質のダイナミクスの研究 - 2017 年度成果 -

Studies on Dynamics in Condensed Matters by using the High Resolution Chopper Spectrometer - Results in FY2017 -

伊藤晋一¹、横尾哲也¹、益田隆嗣²、吉沢英樹²、羽合孝文¹、吉田雅洋²、
浅井晋一郎²、川名大地²、杉浦良介²、浅見俊夫²、井畑良明³・

¹KEK-中性子、²東大物性研、³J-PARC センター

高分解能かつ高エネルギーの中性子を用いて物質のダイナミクスの研究をすすめるために、MLF の BL12 に高分解能チョッパー分光器(HRC)を設置し、性能向上のための様々な整備を行うとともに、これを用いて強相関電子系の研究をすすめている。

2017 年度は次のような装置整備を行った。フェルミチョッパーでは、同期性能向上のための制御アルゴリズムの改良、停電時の無停電電源の強化、スリット挿入方法の改善による性能向上を行った。これにコリメーターの改造と検出器の二重化を加え、中性子ブリルアン散乱では、中性子強度が増大した。制御ソフト YUI の改良を行い、実験に応じて試料環境機器を変更・選択して計算機との通信が容易になるように改良するとともに、オシレーティングコリメーターの制御、入射コリメーターの選択を実装した。特に、フェルミチョッパーの改造により、中性子ブリルアン散乱実験において、 $\Delta E/E_i$ で 1% 台の高分解能を達成した。解析ソフト HANA では、検出器数の増加に対応するとともに、動作上の諸問題を解決した。検出器の再配置を行い、不良検出器を減少させて、良好な検出器を連続的に配置した。多くの修理作業を実施した。外場環境下の中性子非弾性散乱実験では、圧力下の非弾性散乱実験に成功するとともに、超伝導磁石の励磁条件の検討を行なっている。

今年度は特に、基底一重項磁性体 CsFeCl_3 の圧力誘起量子相転移の研究 [1] や遍歴反強磁性体 $\gamma\text{-FeMn}$ の高エネルギー磁気励起の研究 [2] に成果があった。

[1] 林田翔平、萩原雅人、松本正茂、栗田伸之、田中秀数、上床美也、伊藤晋一、左右田稔、Tao Hong、Oksana Zaharko、益田隆嗣、2017 年度量子ビームサイエンスフェスタ。

[2] S. Ibuka, S. Itoh, T. Yokoo, and Y. Endoh, Phys. Rev. B 95 (2017) 224406.