

(様式：各年評価)

評価報告書

平成 29 年 2 月 23 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2017S01

課題名：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

実験代表者：伊藤晋一、益田隆嗣

種別：新規

ビームタイム配分： $\beta = 59.1\%$

評価結果：4.5

コメント：

HRCは、物質の動的構造を探索するためJ-PARC/MLFのBL12に設置された高分解能チョッパー分光器(High Resolution Chopper Spectrometer, HRC)である。0.1eVから1eV 程度の入射エネルギーを持つ中性子に対し $\delta E/E_i = 1\%$ 程度の高いエネルギー分解能を実現させること、および、 0.5° 程度の超低角前方散乱領域までをカバーすることで(0 0 0)から派生する揺動ブランチの中性子非弾性散乱実験、いわゆる中性子ブリルアン散乱実験を可能とすることでその他の装置と差別化されている。さらに、主に、強相関電子系における相関効果および多自由度効果を統一的に理解することなどを目指しているが、平成29年度は、特に (1)高エネルギー中性子を用いた実験のための検出効率の増強、(2)フェルミチョッパーの開発、(3)試料環境の充実などを行う計画とのことである。

研究会においては、本プロジェクトの実施体制、装置開発の状況、および、研究の進捗・成果状況の説明がなされた。その中で、成果の発信について一般から見えにくい方法での周知にとどまっている点については今後の改善が期待されるが、ブリルアン散乱でHRCの性能を生かした実験など、全体的に着実な成果を上げていることがわかった。また、今後コリメーターの改造やフェルミチョッパーの開発で強度の4倍増強を見込むなど、まだ発達段階ではあるが、これがJ-PARCの特色の1つとなることが期待され、S1型課題として最優先で取り組むべきものと判断する。

(様式：各年評価)

評価報告書

平成 29 年 2 月 23 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2014S03

課題名：パルス冷中性子を用いた中性子基礎物理研究

実験代表者：清水裕彦

種別：継続

ビームタイム配分： $\beta = 30\%$

評価結果：4.8

コメント：

BL05 では、実験代表者を中核とした中性子基礎物理を推進するオールジャパン体制で建設・開発・研究が進んでいる。特に、多彩なスピン偏極技術を蓄積した研究グループにより、国際的にもユニークな偏極熱中性子ビームによる素粒子物理実験が稼働しようとしており、研究活動の独創性は際立っていると思われる。中性子を用いた基礎物理研究では、様々な実験・観測量に応じて要求されるビーム仕様が異なっており、BL05 では、これらの研究・共同利用の要求を満たすよう、分岐光学系によって、偏極、非偏極、低発散の 3 本のビームラインが整備されている。低エネルギー中性子実験は、間接的な探索にはなるものの超精密測定を駆使することで、高エネルギー衝突型大規模実験が探索するエネルギー領域と相補的、あるいはそれを超える領域を探索することが可能であり、素粒子標準理論を超える物理の枠組みを知る上で、非常に重要な観測量の一つである。

偏極ビームブランチでは、世界に先駆けて、独自の手法での飛行中性子を用いた中性子寿命測定実験が開始されている。現在、その測定手法（超冷中性子蓄積法と飛行中性子法）による測定値のばらつきが大きく、従来の方法とは全く異なる系統誤差を抑えた実験が重要となっている。本装置は、TPC を用いて崩壊により生じた電子を測定する手法であり、1 秒の精度を実現することが可能である。すでにデータ収集を行なっており、測定精度を律速している要因は統計であり、研究グループが有するスピン制御技術を駆使した Spin Flip Chopper (SFC) の大型化による中性子フラックス・集光の改善・増強、そして検出器改良による統計精度向上に向けた計画は、これまでのデータ解析に裏打ちされた現実的なものであり、世界に先駆けて成果を出して行くためにも、施設側の強いサポートが重要と思われる。同時に、開発期間が長期に渡ってお

(様式：各年評価)

り、測定精度1秒の実現の見通しを、一層明確にしなが、開発を効率良く進めていくことが必要と思われる。

非偏極ビームブランチでは、中性子のドップラーシフトを用いた超冷中性子発生装置が開発され、パルス超冷中性子を供給している。超冷中性子は素粒子物理における重要なプローブとして常に注目されているものの、装置開発を行うための超冷中性子源が世界でも極めて限られており、共同利用・研究が実施できるビームラインの整備は国内外でも重要視されている。研究グループ独自の手法である中性子加減速器「リバンチャー」の原理実証は確認されており、共同利用を視野に、この装置のさらなる高度化へ向けた開発は重要と思われる。

低発散ビームブランチでは、中性子と希ガスとの散乱により、余剰次元の存在から予測されるサブミクロン領域での重力の逆2乗則の破れの検出を目指した実験装置が順調に開発され、実験データ収集がすでに行われ、バックグラウンドの study が進んでいるのは高く評価される。施設側の強力な連携による早期の本実験開始が期待される。

さらに、複合核共鳴吸収反応による時間反転対称性の破れの探索実験のための開発、実験準備は順調に進んでおり、また外国研究機関も含めて、共同研究者も増えており、このS型課題の中核でもある本計画がさらに加速されることが期待される。特に、この研究は、量子多体系におけるT反転(物質・反物質)対称性の破れを探索する低エネルギー精密実験の中でも、他の観測量(電気双極子能率: EDM等)が素粒子EDMと素粒子間の相互作用におけるCP対称性の破れの複合した効果となって生じるのに対して、この複合核共鳴吸収では、CPを破る核子間相互作用に感度が高く、異なった系統性を持つ観測量として非常に注目されている。偏極中性子ビーム、偏極標的、 γ 線測定システム等、開発要素は非常に多いものの、研究グループの卓説した実験技術蓄積により、課題を解決しつつあるところは、高く評価される。特に偏極技術は、相当な時間と経験を要するものであるが、本研究の重要性や国際競争をふまえて、より他大学・他研究機関との共同研究を緊密にし、標的の選定、偏極ターゲット等の開発を加速し、本実験の準備・開発期間の短縮、および本実験の早期実施を強く期待する。

以上、中性子を用いた精密基礎物理の国際的な拠点として、米国とのコラボレーションも進んで、ビジビリティが非常に高く活動している本計画は、中性子光学、偏極技術等、独創的な開発も順調に進んでおり、早期に、この分野の研究領域を開拓し、広く人材育成に資するためにも、施設との有機的な連携、組織だった共同研究・共同利用の拡充が望まれる。

(様式：各年評価)

評価報告書

平成 29 年 2 月 23 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2014S05

課題名：SuperHRPD の開発と機能性物質の構造科学研究

実験代表者：神山 崇

種別：継続

ビームタイム配分： $\beta = 45\%$

評価結果：4.5

コメント：

J-PARC の粉末回折計の多くが、大強度を活かした特殊環境・in situ・時分割測定などを指向しているのに対し、SuperHRPD は、超高分解能測定による、これまで検出できなかった微細なピーク分離の検出と、それによる正しい結晶構造・磁気構造の決定や、物性発現に伴う構造変化の決定を主眼としている。背面バンクの検出器交換で、当初の目標であった粉末試料での $\Delta d/d \sim 0.03\%$ という分機能を達成したほか、高温炉も整備され、いよいよ SuperHRPD の能力が発揮される環境が整った。

28 年度は強度が弱いながらも 93 日のビームタイムを確保、以下のような多くの成果創出につながった。酸素欠損層状ダブルペロブスカイト $\text{PrBaCoO}_{5.5+x}$ の強磁性、反強磁性の競合による磁気体積効果を明らかにしたほか、Fe-25 Mn-3 Mo 合金のアニールによる相変化を明らかにし、エリンバー特性発現のメカニズムを解明した。超高分解能を活かして MnO, CoO, NiO の微小な単斜晶歪みを正しく取り入れて磁気構造解析を行い、スピン依存磁気弾性効果や構造歪みとスピンモーメントの相関を明らかにした。また、 TiF_3 の F_6 八面体の回転を観察し、負熱膨張のメカニズムを明らかにした。29 年度は 176 日相当のビームタイムを確保、そのうちの 79 日を S1 課題に配分予定である。

14T マグネットの整備や、MOF、水素吸蔵材、触媒などへの展開を目指したガス供給システムの納入など、さらに研究対象を広げるための測定環境整備も進展した。29 年度にはラジアルコリメータ導入による低バックグラウンド化、第 2、第 3 フレームを利用した高分解能+Long-d 領域測定、磁気構造解析のためのソフトウェア整備などが予定されている。

S 型課題での研究、環境整備が順調なのに対し、一般課題にはやや問題があ

(様式：各年評価)

る。不慣れなユーザーが多いことと、超高分解能であるための解析の困難から、実施した課題の 1/3 程度しか論文化されていない。こうした状況を踏まえ、一般的な GSAS や FullProf 形式でのデータ提供を行うと共に、Z-Code の講習会を行い、過去に測定したデータの解析を支援、成果が上がりつつある。また、Project Z-Code ML による支援も行っている。こうした取り組みにもかかわらず課題申請が少なく、ほぼ 100%採択される状況は問題である。今後は経験豊富な海外のユーザーを取り組むべく、SuperHRPD の性能をアピールする広報活動が重要であると考えます。

(様式：各年評価)

評価報告書

平成 29 年 2 月 23 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2014S06

課題名：全散乱法による水素化物の規則-不規則構造解析

実験代表者：大友季哉

種別：継続

ビームタイム配分： $\beta=47\%$ (メンテナンス、元素戦略、マルチプローブを除くと 36%)

評価結果: 4.5

コメント：

28 年度には測定中のオンサイト、リアルタイムで強度- q プロファイルデータとして観測できる環境が整った点は特に注目できる。オンサイトで観測結果を概観できることは各試料間の比較も容易に行え、測定者の解析意欲を高め、装置担当者との意見交換にもつながり、論文のプロダクティビティ向上に大きく貢献することが期待できる。 $S(q)$, $G(r)$ のオンライン解析についても進められている。こちらについては精度を求められる最終的な本解析用のプログラムと切り離して、簡易的な $G(r)$ が得られるプログラム開発も行えると、ユーザー層の拡大に貢献すると思われる。論文数が MLF 平均値と比較してやや少ない現状については課題参加者に共通の認識として浸透している。この点については、研究報告会の報告内容から言えば、論文化直前の状態であるテーマが多く、29 年度中にはかなりの数の論文化が期待できると認識した。

測定特殊環境の整備はハード面では一部トラブルもあったとのことであるが概して順調に進んでいる。若干のトラブルが生じた原因としては設計段階でのディスカッションに使える時間やハードの試験に使える時間のどちらも不足しがちである MLF 装置群の多くに共通の問題が主因の一つであろう。新解析技術開発については、重水素置換をしない物質の構造解析や磁気 pdf 解析等、NOVAらしさを発揮できる技術について昨年度から順調に進んでいる。同じく NOVA の特徴の一つである水素に関しては全散乱断面積などの最も基礎的なテーマから、応用研究に至るまで、戦略的に行われており、今後の NOVA を支える屋台骨が構築されつつあると認識した。

J-PARC 装置群の性能には重なる部分が多いため、難しい課題ではあるものの、29 年度以降に望まれることは NOVA 装置の特徴を最も活かせるテーマにおい

(様式：各年評価)

て確実に論文数を増やしていくことである。NOVA の特徴の一つである pdf 解析については近年 X 線分野でも発展が著しいことから、将来の複合利用を狙った研究会の開催などを通じ、ユーザー層の拡大に向けた情報発信の工夫も必要と感じられた。

なお、チームタイムへの対応、解析ソフトの充実、各種アドミニストレーション、情報発信などを考慮すると、複数プロジェクトを兼務する形でも構わないのでサポート部門のエクゼクティブ技術者を配置する等、研究チームのマンパワー活用を効率的に行える環境整備を S 型課題全体でも検討していただきたい。

(様式：各年評価)

評価報告書

平成 29 年 2 月 23 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2014S07

課題名：中性子スピンエコー分光器群(VIN ROSE)の建設と高度化

実験代表者：日野 正裕

種別：継続

ビームタイム配分： $\beta=100\%$

評価結果：4.8

コメント：

概要：VIN-ROSE (Village of Resonance Spin Echo Spectrometer の意味) は MIEZE 型と NRSE 型の 2 つの分光器から構成され、いずれも中間相関関数 $I(Q, t)$ を観測し、物質のダイナミクスの研究を目的としている。MIEZE 型はフーリエ時間 $FT = 1 \text{ ps} \sim 2 \text{ ns}$ 、 $Q = 0.2 \sim 3.5 \text{ \AA}^{-1}$ で、低分子及び磁性体のダイナミクスを測定する。一方、NRSE 型は $FT = 0.1 \text{ ns} \sim 0.1 \text{ \mu s}$ 、 $Q = 0.02 \sim 0.65 \text{ \AA}^{-1}$ で、生体分子などを高分解能で測定する。日本における現有の中性子スピンエコー装置は、JRR3 に設置されている iNSE のみであり、J-PARC に設置される VIN-ROSE は日本における第 2 のスピンエコー装置として多くの研究者から完成が待ち望まれている装置である。特に、世界最強のパルス中性子源 J-PARC を利用して、高輝度&高分解能を実現し、試料の微小化にも対応することを目指しており、国内外から注目されている装置である。これまで、遮蔽体の設置、中性子導管の製作と設置などを行い、2014 年 4 月に初めてビームの取り出しに成功した。取り出した中性子束は計算値に対して、MIEZE が約 60%、NRSE が約 80%であった。2015 年 3 月に MIEZE で初めてスピンエコーシグナルの検出に成功した。回転楕円体集光ミラーについては、金属ミラー (Al+NiP メッキ) を用いて KUR で予備実験を行っている。実験グループは、中性子スピンエコー測定や関連する技術に関する日本の主なる研究者で構成されている。

2016 年度の実施状況コメント：

現在、2017B 期からの一般課題受付を目指して、MIEZE 分光器の整備・性能評価が優先して進められている。定常原子炉での MIEZE 分光器では、MIEZE (エコー) 条件から外れると Visibility が激減してしまうが、TOF-MIEZE 分光器では検出器位置のズレが生じて、位相がずれるだけでエコーシグナルは本

(様式：各年評価)

質的につぶれないことが解析的に明らかにされた。この性質を利用すると、試料厚さの不均一さの補正や、検出器ピクセル毎の正確な補正が可能になり、更なる高エネルギー分解能の実現が期待される。昨年度に **MIEZE** でスピネコーシグナルが得られているので、標準試料（たとえば水など）を測定して装置のコミッショニングを行い、中間散乱関数などの測定データを示すことにより、潜在ユーザーに装置の情宣をすることが必要である。

NRSE 分光器に必要な大型回転楕円体集光ミラーについては、実機（1m）の約 1/3（30cm）の金属ミラー（Al+NiP メッキ）試作機の性能評価が **BL16** 中性子反射率計を用いて行われ、中性子ビームの集光と 14 倍もの強度増強が確認されている。

磁性体に関する課題では、磁場環境下で中性子スピネコー実験ができる **TOF-MIEZE** 分光器の特徴を生かした skyrmion 格子のダイナミクス研究や、二次元三角格子スピン系 NiGa_2S_4 におけるスピン液体状態、鉄系梯子型物質 BaFe_2Se_3 の散漫な磁気相転移などのスピン系の研究が計画され、共用実験の開始を待っている。これらの実験にはマグネットや冷凍機などの試料環境機器の整備が必要不可欠であるが、**MLF** の共用試料環境機器が使える環境を早期に整備することが望ましい。

(様式：各年評価)

評価報告書

平成 29 年 2 月 23 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2014S08

課題名：中性子反射率法を用いたソフト界面の先進的ナノ構造評価法の開発と工業材料への応用

実験代表者：山田 悟史

種別：継続

ビームタイム配分： $\beta=37.5\%$ (66 日)

評価結果：4.5

コメント：

本課題は 2009S08 課題で設置された中性子反射率計 SOFIA の建設・維持・アップグレードを中心とした課題の発展形として 2014 年度から発足した課題である。学産のメンバー総勢 21 名からなる大きな研究組織で、ソフトマター科学の基礎から応用まで幅広くカバーしている。平成 28 年 9 月 28 日に行われた研究会では、2014S08 課題第 2 年度の成果報告があり、研究代表者 山田悟史 (KEK) による「中性子反射率計 SOFIA について」の報告の後、反射率法の学術成果として、高分子電解質ブラシ界面の水和状態の解析 (九大)、高分子とシクロデキストリンの包摂錯体形成 (東大)、ゴム架橋薄膜の凝集状態 (九大)、無機固体表面上のエラストマーの分子状態 (KEK) の 4 件の発表があった。また、反射率法の産業応用として、接着メカニズムの解明にむけた接着剤/被着体界面の構造解析(CROSS)、リチウム電池のオペランド観察 (豊田中研) の 2 件の発表があった。

研究計画では、研究期間内での研究目標として機能性界面の形成過程、高分子ブラシの評価、動的揺らぎと機能性の 3 つが挙げられているが、そのいずれのテーマにも関係した内容も充実した発表であった。研究の質や件数については、特段コメントすることはないが、やや高分子系の研究が多いように思える。もう少し、他の分野、たとえばトライボロジーからの研究成果も期待したい。また、SOFIA 高度化の大きな鍵となる 1 次元集光ミラーの開発については、集光スポットサイズが目標の 1mm には達しなかったものの、3 倍の強度ゲインが得られたことから、来年度における完成に期待したい。

J-PARC/MLF の装置群の中でも最も活発かつ成果を挙げているビームラインであり、申請メンバーのこれまでの実績から言っても十分に成果が得られる事が期待できることから、是非、継続して実施すべき課題であると考え。ビームタイムに比較的余裕があることもあり、申請通り、66 日を認める。

(様式：各年評価)

評価報告書

平成 29 年 2 月 23 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2014S09

課題名：偏極中性子散乱装置 POLANO による静的・動的スピン構造物性の研究

実験代表者：横尾哲也

種別：継続

ビームタイム配分： $\beta=100\%$ (装置建設中)

評価結果：4.8

コメント：

POLAN は、KEK と東北大学の連携課題として、2009 年に KEKS 型課題に採択されました。その後、KEK より 0.3 億 (2010 年度)、0.8 億 (2011 年度)、1.1 億 (2012 年度) の予算措置があり、2012 年度には東北大学に 7.3 億の補正予算が措置されました。2013 年より本格的な建設が始まり、2016 年には装置建設が終了し、コミッショニングが開始される予定です。この間、KEK と東北大が中心となった、SEOP による偏極中性子の発生技術開発、中性子輸送磁場のシュミレーション、測定環境・データ解析ソフトウェアの整備、を行いました。特に、偏極中性子の発生技術開発では、発生装置の小型化と BL 組み込みを進めました。予算獲得、装置建設、周辺技術開発を精力的に進め、2017 年度には実験開始のめどが立っています。この意味で A 評価です。

また、偏極非弾性中性子散乱によりより詳細な情報が得られると期待できる学術的テーマ (軌道波、励起子絶縁体、等) も議論されました。また、偏極中性子技術開発のロードマップも示されました。このロードマップに従い、パルス偏極中性子が開拓する新しい学術研究の方向性、または、テクノロジーや社会貢献の方向性が議論されると良かったと思います。これらは今後に期待します。

(様式：各年評価)

評価報告書

平成 29 年 2 月 23 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2014S10

課題名：特殊環境中性子回折装置を使った *in situ* 測定による機能性材料の構造的な研究

実験代表者：米村雅雄

種別：新規 or 継続

ビームタイム配分： $\beta = 80\%$

評価結果：※5.0～1.0 を記載 4.8

コメント：

SPICA は、電池材料の *in situ*、*in operando* 特殊試料環境での中性子回折測定を実現した世界的にも類を見ない装置である。SPICA が運用のフェーズに入り、かつ RISING プロジェクトが終了するタイミングで、多くの成果が高いインパクト・ファクターをもつ学術誌に掲載され、プレス発表されてきたことは喜ばしい。とくに、Li 電池のグラファイト電極に関して、放電過程での Li のグラファイト層間からリチウムが抜けていく過程において、放電レートに応じて共存する相が異なることを、回折ピークの時分割データでつぶさに示し、また多相の Rietveld 解析による定量化も可能であることを示したことは、ブラックボックスであった電池内部の複雑な反応に科学のメスを入れた快挙である。時間と費用がかかる 18650 円筒電池セルに拘らず、単セルで中性子回折に都合のよい水素が含まれないラミネートセルの開発、多相 Rietveld 解析を自動化するソフトウェアの開発など、*in operando* の中性子実験をルーチン化する取り組みも進んでおり、電池開発の中での SPICA の位置づけが定まってきた感がある。寒冷地でのバッテリーあがりや燃費の悪化など、動作温度に依存した電池の不具合は、負極グラファイトの特性に依存していることから、グラファイトそのものの改質も視野に入れた研究も始まっていることは興味深い。リチウムイオン二次電池の容量と関係する正極材量の開発においても、従来の LiMO₂ 型の結晶から高容量が期待される Li 過剰系の Li₂MO₃ 型の研究が進みつつあり、ますます進展が期待できる。

さらに将来を見据えた物質探査は、本 S 型研究課題の重要なテーマとなっている。全固体電池を見据えた固体電解質の研究や、全固体電池そのものの作成

(様式：各年評価)

など、リチウム電池のさらなる集積化を可能とする開発が進んでおり興味深い。またナトリウム伝導や、新たなイオン伝導として注目されているヒドリドイオンの伝導体など、リチウム電池のさらに先をとらえた研究も進められている。

RISING-II が立ち上がり、新規試料環境の導入や小角散乱検出器の導入、コリメータの開発など高度化を後押しする枠組みができたこと、その一方で2017年度より一般ユーザーへのビームタイムを開放する英断が下されたことは、歓迎すべき事柄である。競争と協働のうまいバランスを取ることが、研究開発には欠かせないと思われる。このS型課題により、そうした場を与えていくことが重要である。