

評価報告書

2018年12月27日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2019S01

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(KEK) / 益田 隆嗣(物性研)

種別：継続

ビームタイム配分： $\beta = 57.6\%$

評価結果：採択 (評点 5.0)

コメント：

HRCは装置責任者のリーダーシップのもと、明確な戦略にもとづき着実に装置のグレードアップと、装置特性を生かした研究推進に成功している。以下の評価に基づき評点を5.0とし、課題を採択する。

装置のグレードアップでは、チョッパーの最適化、PSDの二重化、コリメーター改良を定量的評価を元にすすめ、S/N比を格段に向上させることに成功し、実質的に8.5倍の増強を実現し、当初目標を達成している。とくに、このグレードアップは第2期で目指したサイエンスに必要な性能とマッチしており、学術的視点で効果的なグレードアップを集中して進めた結果、優れた成果を実現したことは高く評価したい。

また、HRCはKEKと東大が対等のパートナーとして運営するという特色をもつ。役割分担として、東大は圧力、磁場などの極端条件化での誘起新奇物性の研究、KEKはブリルアン散乱に重点を置いた高エネルギー分光での研究、とそれぞれの組織の強みを生かした研究を進めており、両方で成果が上がっている。KEKと東大では様々な側面でルールが異なるにも関わらず、S型課題を効果的に活用し、大学の方針を反映しやすい体制を構築して運営を進めている。この共同運営が学術的にも成功しており、単独ではなしえない有機的連携による成果をあげていると評価できる。具体例として、高圧技術の継承がある。高圧技術は職人技を必要とするので、その技術の継承が常に重要になるが、この点、物性研には高圧を専門とする研究室があり、長期的に継続して技術継承が可能になっている。これは施設だけでは困難なことで、大学の特色が生かされていると言える。

第2期での特筆すべき学術的成果は以下の二つである。

1：ワイルフェルミオンの発見

2：Higgsモードの発見

前者は、高エネルギービームを用いたブリルアン散乱により SrRuO_3 でのワイルフェルミオンの観測に成功し、さらに理論家との連携により、ベリ曲率が中性子で観測可能であることを示した初めての例となった。これにより中性子の対象となる自由度に新たに「位相」が加わる可能性が示された。

後者では、 CsFeCl_3 で 1.5GPa の高圧化での分光実験により、Higgsモードとスピン波の混成モードの観測に成功した。この観測でも理論家との共同研究が効果的に行われている。どちらの成果も HRC の適切なグレードアップにより実現したものといえ、この点も評価したい。

これらの第2期の成果を受け、第3期では高エネルギー分光と外場環境技術を活用し、より高度なサイエンスに挑戦する。戦略的な研究の柱として、これまで注目された複号自由度であるスピン・軌道・格子に加え、第2期の結果から視野に入ってきた位相と電荷の自由度も加えた5重複合自由度でのサイエンスを掲げている。新しい物質科学を切り開くであろう非常に野心的なテーマであると同時に、HRC の特色をよく生かした目標設定といえる。

なお、当日の議論では、全検出器をうめることを優先すべきではないか、という指摘もあった。しかし、理想的にはそうであっても、現状ではまったく現実的ではないこと、適切な計画と認められる第3期計画の研究推進にたいし高角部欠如は障害にならないことを考えれば、高角部導入を他の事項に優先する理由は見当たらず、提案された第3期計画を着実に進めるべきと判断する。

評価報告書

2018年12月27日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2019S03

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：三島賢二

種別：新規

ビームタイム配分： $\beta=31.8\%$

評価結果：採択 5.0

コメント：

BL05では、実験代表者の研究グループが主導してきた先進的中性子光学系の実験技術を駆使した高品質のパルス冷中性子を用いた精密基礎物理研究が推進されている。BL05では、多彩な分岐光学系を有しており、偏極、非偏極、低発散の3種類の冷中性子ビームを供給している。この国際的にも特徴あるビームを利用して、素粒子物理学の重要な課題である「中性子寿命」、そして新物理につながる「短距離重力」の精密測定において、J-PARCでの安定した中性子供給のもと、実験結果が出され、加速度的に成果が出つつある。

中性子寿命の研究では、国際的にも中性子寿命のパズルとして早急な解決が期待されている測定手法による寿命の相違を解決すべく、ビーム手法と蓄積手法とは異なる、第3の新しい方法：TPCを用いた β 崩壊電子を測定する手法を確立し、測定精度4秒を実現した。最終目標の精度1秒を実現するための技術的見通しはたてており、戦略的に進めていることは高く評価される。また、もう一つの物理の軸足である「短距離重力」の研究では、この中性子の散乱による余剰次元の存在から予測される波長 $<0.1\text{nm}$ 領域での重力の逆二乗則の破れに対して、世界最高感度を実現した。論文による成果報告も行われ、注目論文として、国際的にも非常に着目されている。このように、長期の測定器開発、中性子ビームラインの最適化により、impressiveな物理結果が出されてきたBL05の研究活動は高く評価され、これまでの開発をふまえた研究戦略も着実であり、研究の加速が期待され、最優先で進めるべき課題と判断する。

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(UCN)を供給している。電気双極子能率(EDM)探索実験など、中性子を貯蔵する実験では、体積密度が高くコンパクトな中性子源を実現することで、スピン歳差周期を測定する際の外場の非

一様性等、大きな誤差の要因を抑制することができ、極めて重要な次世代技術として、また容易に UCN を用いた検出器テストが行える UCN 源の実現に向けて、重要と考えられる。研究代表者のグループでは、結晶回折を用いた中性子 EDM の独創的な研究開発を着実に進めている。干渉計を用いて候補となっている結晶の内部電場の測定に成功し、今後、結晶の選定をはじめ、EDM 実験へ向けて加速することが期待される。さらに、これらの中性子基礎物理の基盤を支える高偏極ヘリウム 3 源や、次世代中性子検出器を目指したエマルジョン検出器の開発など、視野広く先進的な中性子光学技術を着実に進めているのは高く評価される。

以上、BL05 には、中性子の特徴を活かした多彩な基礎物理が展開できる 3 本のビームブランチが実現され、その性能評価も進み、各々のブランチには特徴ある検出器が開発され、ビーム実験が着実に進められている。基盤装置の開発は目処がたっており、現在、その装置の高度化、最適化が進んでいる。共同研究者の規模も、年々、大きくなり、若手の数も増えており、今後の物理解析も加速すると考えられる。一点、中性子寿命に関して、最終目標である 1 秒の精度を実現するのに、TPC 全体をソレノイド磁石中に配置することでバックグラウンドを抑制する手法の導入が必要かどうか、その具体的な戦略がわかりにくい。超精密測定による基礎物理は、常に次世代を見据えた新しい測定手法の開拓を並行して進めておくことが重要であるので、早期実現を期待したい。新規測定手法は、広く中性子測定技術の高度化を広めることにもなり、S 型課題としての役割も十分果たしていると考えられる。

評価報告書

2018年12月27日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2019S05

課題名：SuperHRPD を活用した機能性物質の構造科学研究

実験代表者：神山 崇

種別：新規

ビームタイム配分： $\beta=48.2\%$

評価結果：※5.0～1.0 を記載 採択(4.5)

コメント：

世界最高の高分解能を達成した中性子回折計 SuperHRPD は、当初の目標を達成しており、非常に評価出来る。しかしながら、実際にこの高分解能を生かした研究をさらに展開するためには、今後とも、実施計画書に記載されているような高度化を継続して行う必要がある。MLF に設置された 6 台の多結晶回折計の中で SuperHRPD でなければ出来ない研究を深掘りし、常に新しいパラダイムを開くことが求められている。本 S 課題が目指している「物質構造の僅かな Symmetry Breaking 検出を通じた機能性物質の構造科学上の新しい知見獲得」は、SuperHRPD の性能を生かしていたトップサイエンスを狙うという意味では、本申請は採択にすべきと考える。様々な分野でトップクラスの研究者が集まっているので、引き続き、上記の命題を如何にしたら効果的に示す事が出来るかを良く議論し、研究計画を建てて、効果的に情報発信して欲しい。これまでは、中性子ターゲットの問題やマンパワー不足等で、満足な環境下での研究ではないものの、論文はコンスタントに出されており、相応の評価はできる。中性子ビーム強度が 1MW に達すれば、計画に挙げられている研究課題から、多くの成果が出ると思われるが、この成果が出たことによる波及効果までを含めた研究計画を立案していただく事を希望する。また、前回もの述べたように、研究概要で挙げられている(1)強相間電子系・マルチフェロイック物質、磁性体のテーマの比率が大きく、(2)エネルギー関連物質、(3)有機・無機ハイブリッド構造、医薬品等の研究テーマが手薄であり、幅広い分野への広がり是非、期待したい。さらに、慢性的なマンパワー不足に加えて、今後メンバーの大幅な入れ替えが予想されるので、是非、KEK 内でのサポートをお願いしたい。

評価報告書

平成 30 年 12 月 27 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2019S06

課題名：高強度中性子全散乱による機能性材料の規則一不規則構造解析

実験代表者：池田一貴

種別：新規

ビームタイム配分： $\beta = 43.8\%$

評価結果：採択 4.8

コメント：30 年度も regular paper 数が昨年度並みを維持しており、NOVA は安定に成果を生んでいると認められる。これまで進めてきた試料環境整備が一段落し、2019 年度からの新規の提案においては、今後は「使いやすさ」と「解析手法」「サポート」などの面に力を入れていくという代表者の認識は、ユーザー側の立場からは極めて健全な方向性である。J-PARC の装置群は世界最高性能を活用するという方向を追求するために、ハイエンドユーザー仕様の追求が多い。これはもちろん正しい方向であるものの、一般ユーザーの希望が置き去りにされているように感じられることもある中で、重要な方向性だと考える。新たな周辺装置についても 3D プリンターを使ったラジアルコリメータの作成という、最新の技術を生かし、ユーザーにわかりやすい（あるいは利益を受けるユーザー数が多い）ゴールである、「小さな試料の測定」が見えている点も高く評価できる。

これまでの 5 年間で構築した、研究の柱である「水素」「磁気 PDF」「液体構造」分野は幅広い研究分野に広がっている。これを装置グループのみで全ての測定対象の研究に積極的に関与することは難しい。しかし、今後、さらにユーザーを広げていく上では「データを読む力」を備えた研究者が初期から積極的に関与することが不可欠である。この点、本提案では各研究項目について明確なグループ構成を有しており、J-PARC 内部に留まらず、大学などに所属するパワーユーザーが存在もしくは生まれてくる環境を整えている。これらの人的資源を積極的に活用し、NOVA チームとして新たなユーザーを取り込む、もしくは新たなユーザーを根付かせるためにも、「その場でデータを概観できるシステムの充実」とともに各分野で「データを読むことに時間を割ける担当者の充実」を進めていくことが重要である。このためにも、引き続きの規模での連携研究を代表者が統括する体制として S 型で研究を進めていくことは重要と考える。

評価報告書

2018年12月27日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2019S07

課題名：中性子スピンエコー分光器群(VIN ROSE)によるスローダイナミクス研究

実験代表者：小田達郎

種別：新規

ビームタイム配分： $\beta=70.6\%$ (120日)

評価結果：採択 (4.8)

コメント：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 $I(Q,t)$ を直接観測し、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 $FT = 0.1 \text{ ns} \sim 100 \text{ ns}$ 、 $Q = 0.02 \sim 0.65 \text{ \AA}^{-1}$ 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。2014S07 課題では、遮蔽体の設置、中性子導管の製作と設置に重点が置かれた。その結果、2014 年 4 月に初めてビームの取り出しに成功し、測定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 月には 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) を用いた実験に成功した。2017 年度には共鳴スピンプリッパー周波数 200 kHz から 400 kHz(RSF1)–800 kHz(RSF2)で発振させシグナルを得ることに成功した。また、電気ノイズの低減により、エコーシグナルの崩れも改善され、非常に質の良いデータが得られている。さらに、検出効率を高めるために、シンチレーターと光センサーを組み合わせた大面積検出器 (MPPC: Multi Pixel Photo Counter) の開発も KEK で進められている。他に、MIEZE 分光器は有限の試料サイズから生じる位相差がエコーシグナルをつぶす原因となってしまうため、経路による位相を補正するデバイスが必要であり、楕円ミラーの開発も進めてきた。2017B 期から MIEZE 分光器は一般公募を行い、4 件の一般課題が

申請された。以上のように、2014S07 課題は当初の目的を達成している。

2019S07 課題では、MIEZE では一般公募を含めて利用結果を出すことを重視している。そのために、第2アナライザの整備、磁場と冷凍機などの試料環境を整備して、skyrmion 格子のダイナミクスを測定することは特筆に価する。さらに、MPPC 検出器を複数配置することにより、大きな立体角の測定により、より高効率な分光器の実現を目指していることも注目される。一方、NRSE では、測定フーリエ時間を 50~100 ns の高分解能化を目指して開発が進められる。また、回転楕円形集光ミラーを複数設置して、大強度化により生体等の微小試料の測定に対応すること、試料による微小な散乱角の変化によるスピンの位相を補正することを目指している。2019 年度後期の一般公募受け入れを目指している。

以上のように、本課題は日本独自に開発された光学デバイスを用いることにより、パルス中性子を用いた 2 台のスピンエコー装置を独自に開発しており、様々の研究分野で物質のダイナミクスを測定するもので更なる発展が期待される。

評価報告書

2018年12月27日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2019S09

課題名：偏極中性子散乱装置 POLANO による交差相関物理の解明

実験代表者：横尾哲也

種別：新規

評価結果：採択 (評点 4.8)

コメント：

本 S1 課題は KEK と東北大が大学連携を通して進めている J-PARC/BL23 POLANO に関するものである。過去の S1 型課題(2009S09, 2014S09)により POLANO は順調に建設が進められてきており、2017年6月にはビーム受け入れを達成している。現在は非偏極実験を中心にコミッショニングが行われている。本 S1 型課題(2019S09)はこのような POLANO 建設を次のステップ、すなわち本来のゴールである偏極中性子非弾性散乱装置へと発展させる重要な課題であると言える。

偏極中性子非弾性散乱実験は極めて重要であると認識されながらもなかなか実現が難しい実験技術である。特に中性子エネルギーが大きくなるほど使用できる偏極技術が高度となり非弾性散乱に組み合わせることが難しくなる。POLANO の今回の S1 課題では、三段階の開発が提案されている。第一段階では入射側に SEOP 偏極子を、検出器側にスーパーミラー検極子を配置する比較的コンベンショナルな方法を用いる。コンベンショナルとは言え高 m のミラーを用いることで $E_f=40\text{meV}$ 程度までの偏極実験が可能となる見込みであり、十分にインパクトのある装置となるであろう。第二段階では検極子も SEOP とし、 100meV までの偏極実験を可能とする。高エネルギーまで使用可能な大立体角 SEOP 検極子は世界的にも開発例がなく極めて挑戦的であるが、開発に成功した暁には J-PARC の大きな特徴となるであろう。第三段階は DNP を使用するとされているが、これはまだまだ今後の開発を待つ必要があるであろう。このような三段階の開発提案は(三段階目を除けば)それぞれよく考えられており、次の 5 年間の開発計画として順当なものと判断する。

偏極中性子非弾性散乱の達成には偏極子、検極子のみならず、多数の技術開発項目があるが、これらに関するもおおよそ思いつくことは記されており、か

つ、十分に検討されていると判断できる。交差相関法に関しても、非弾性散乱に対する有効性は決して確立されたものではないが、これを実機で検証しようという意欲的な計画であり、興味深い装置開発になると期待される。本分光器は本質的に挑戦的な分光器であるため、困難を伴うことは致し方ないが、成功に導くためにも S1 型課題を通して十分な人的および予算的支援がなされることが望ましいと判断する。

申請書は技術的な開発事項だけでなく偏極中性子非弾性散乱実験が可能にするサイエンスにも触れられている。その内容は、軌道波の観測や高温超伝導体におけるスピン励起／フォノン励起分離問題等の喫緊の課題から、逆空間および実空間におけるベリー曲率検出等の挑戦的なものまでよく考えられた提案となっている。この意味でサイエンスも十分に練られていると言えるであろう。本 S1 課題が今後 5 年間の研究課題提案という意味では、サイエンスの面でも 5 年後に花が開くような大きな提案も欲しいところであるが、これは今後 S1 グループが議論を重ねることによって見出していくものと大きく期待している。本装置グループでは Polano Science Café を計画するなど、ユーザーも巻き込んだ議論を計画されているようであり今後が期待される。J-PARC 線源から得られる世界最高強度の中性子線を利用したこれまでとは革命的に異なる偏極中性子散乱利用法の提案を心より期待している。

評価報告書

2018年12月27日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2019S10

課題名：機能性材料の機能性と反応の構造学研究

実験代表者：米村 雅雄

種別：新規

ビームタイム配分： $\beta = 82.9\%$

評価結果：採択

4.5

コメント：

高機能デバイスを構成する機能性材料開発の重要性は今後益々増大すると考えられる。これら材料を用いたデバイスの高性能化を実現するためには、デバイス内で逐次的に進行する、空間・時間的に広範囲にわたる階層反応を理解する必要がある。蓄電デバイスの反応では複数の現象が絡み合っており、なおかつ非平衡状態であるため、従来の解析手法では、デバイスの性能支配因子を的確に把握できない。BL09 SPICAは、外場の変化に応答した組成と構造の変化を *operando* 計測することを目的に設計開発された装置である。これまでに、イオン導電体、混合導電体、誘電体、磁性体等の機能性材料を対象として、物性と構造の関係を明らかにする多くの成果を上げている。

本申請では、さらにこの分野を発展させるために、材料構造解析手法および *operando* 測定技術を高度化することを目的としている。具体的には、材料研究の分野の構造情報を、室温だけでなく低温から高温までの広い温度領域で測定できる計測系を構築するために、Cryo-stat や Cryo-furnace、バナジウム炉等の環境整備を進めるとともに、対象材料を結晶・非晶質・イオン液体等に応じて、広い d 領域も用いることが出来るようにすることを目指している。デバイス中の材料構造の *operando* 測定については、主に電池を対象として電気化学測定関連の環境を拡張する。これらの整備は、BL09 SPICA の特徴を活かし、デバイスおよび機能性材料研究者にとって大変魅力的な解析プラットフォームを提供することにつながるものであると高く評価できる。

一方で、斜入射散乱実験の環境整備など、このビームラインへの導入が適当ではないと思われるものも入っており、採択にあたっては、これらの整備は除外する方向で進めていくのが妥当と判断する。

また、課題運用に関しては、あくまで学問的意義を優先して、実験項目の優先度を判断されるべきであろう。実験項目については、機能性材料研究と応用分野研究に大別されているが、機能性材料分野の実験項目は、本課題申請の測定環境の高度化と連動した、特徴ある機能性材料の構造解析から構成されているのに対して、応用分野については、電池を対象としているが、研究対象が明確でない場合や、水系空気電池における水分分布計測など、この課題の目的である機能性材料の構造研究と異なるものも散見される。採択後には、実験項目を精査し、マシンタイムの配分についても従来のやり方にとらわれず、成果が最大限出るように留意されることが必須であると考ええる。

評価報告書

2018年12月27日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2018S12

課題名：パルス偏極熱外中性子の利用

実験代表者：清水裕彦

種別：継続

評価結果：5.0

コメント：

本計画は、世界最高強度のパルス中性子源を用いた超精密低エネルギー素粒子物理を推進するものである。実験代表者が開拓してきた複合核における空間反転対称性（P対称性）の増幅効果に着目した基本対称性の研究をより根源的な研究へと展開し、離散的対称性のうちで、もう一つ重要な時間反転対称性（T対称性）と、その破れの機構解明を目指す非常に挑戦的な研究であり、J-PARCの高強度パルス中性子源により初めて実現できる計画として最優先で進めるべき課題と評価する。

T対称性の破れは、CPT定理のもとでは、CP対称性（物質・反物質対称性）の破れと同等であり、標準理論では十分には説明できていない反物質消失機構（現在の物質優勢宇宙を説明するために必要な対称性破れの機構）を解明するため、超低エネルギー精密実験が活発に進められている。CERN・LHCにおける世界最高エネルギー実験において、超対称性粒子等の標準理論を超える新粒子が未だ発見されない現状において、量子干渉効果により低エネルギーに量子補正効果として発現する極微な新物理の兆候を精密測定・研究する重要性はより一層増している。このCPの破れの源泉に迫るためには、クォーク、レプトン等、物質を構成する基本粒子固有のCPの破れとともに、これら基本粒子間の相互作用におけるCPの破れを実験的に区別して調べていくことが重要となっている。国際的には、中性子、ミュオン、原子・分子等の複合粒子等を用いた永久電気双極子能率（EDM）の実験が進められているが、これらは、クォーク・レプトン・相互作用におけるCPの破れの寄与が複合したものである。本計画の複合核におけるT対称性の破れ（CP対称性の破れ）は、主にCPを破る相互作用の効果（核子間相互作用におけるCPの破れの寄与）から生じるものであり、様々なEDMと相補的な寄与を調べることができるところが本研究の特徴になっている。これらの複合核におけるCPの破れと、EDM等のCPの破れを、統一的に記述する理論モデルがこれまでなかったため、新物理の理論模型や方向性を、直接比較することが困難であったが、本計画により、米国の第一線の理論研究グループとの共同研究が開始され、これらの理論基盤の構築が進んでいることは、高く評価される。

本実験は、偏極中性子ビーム、偏極標的、中性子スピン解析子、熱外中性子検出器で構成され、高スピン偏極中性子・標的生成と、T対称性破れの増幅度が高く、高偏極が実現可能な標的選択が重要となっている。

- T対称性破れの増幅が高い標的を選定するためには、P対称性破れの増幅効果の理解と、P対称性の破れとT対称性の破れの相関を示すパラメータの決定が必要である。研究グループは、P対称性破れの増幅機構のモデルであるs波-p波混合モデルの検証を(n, γ)測定により進めている。すでに、BL04において、 ^{139}La をはじめ、

複数の標的候補 (^{117}Sn , ^{115}In , ^{131}Xe を始め、合計 13 の原子核) に関して実験データを取得・解析中または取得中であり、P 対称性の増幅機構の理解が進みつつある。さらに、P/T 対称性の破れの相関を示すパラメータの測定も、La をはじめ、Cd、I、Rh 等、急速に進んでいる。現状では、偏極標的開発の実績がある ^{139}La を中心に測定を進め、系統的に T 対称性を調べていくための標的候補を選定する戦略が確立しつつある。

- 本計画では、中性子も標的もスピン偏極技術が要となる。KEK、山形大、理研、UBC 等、各方面での偏極技術を有する研究グループとの緊密な共同研究を加速しており、所定の必要性能を実現するための要素技術開発が進んでいる。偏極中性子を得るためのスピフィルターとして、偏極 ^3He 中性子偏極子の開発が進んでいるが、標的厚は、これまでで最大級のものが要求される。要求性能実現の実現は、セルの大型化に伴う偏極度のさらなる向上、緩和時間の維持等、レーザー光源の高強度化やセルの洗浄方法のノウハウ蓄積により見通しは立っており、今後の性能評価を期待したい。さらに、La の偏極は、これまで実績のある動的核偏極手法を採用し、東北大・金研において、 LaAlO_3 の La の一部を Nd で置換した $\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x\text{AlO}_3$ の単結晶の生成に関する共同開発を進め、阪大・核物理研究センター (RCNP) において低温装置を整備し、RCNP のプロジェクトとして開発を加速している。

このように、各構成要素の開発も国内外の研究機関と緊密に連携して進んでおり、ビームライン全体の設計も開始されており、着実な進捗が期待される。

反物質消失の機構を解明する有力なプローブである中性子吸収反応による複合核形成過程では、T 対称性の破れが 10^6 程度と格段に増幅されることが予測されており、その増幅度の高い標的を選択することが、研究を加速させる鍵となっている。また、国内外で、高エネルギー素粒子実験とは相補的な量子補正効果から新物理を探索する本研究に対して、多くの関心が高まっている。このような背景のもと、J-PARC での安定した中性子ビーム供給により、増幅度の高い標的の探索実験が着実に結果を出し始めるとともに、急速に国内外の共同研究が中心力をもって拡充・推進されている。特に、大学院生の参画が増えてきていることは特筆すべきであり、高く評価する。さらに、J-PARC における中性子ビームの安定供給に伴い、複合核における時間反転対称性の破れの増幅効果を調べる実験が進み、物理学会、ハワイでの日米合同核物理分科会 (2018 年 10 月) での報告も活発に行われ (34 件: 2017 年・2018 年)、また、研究代表者が主催する国際会議、国際 WS、研究会も活発に実施されている。また関連する発表論文も 35 件 (proceedings を含む) に及んでおり、論文による成果報告も着実に行われている。

以上、J-PARC の大強度パルス中性子の特徴を活かした偏極中性子と偏極標的による CP 対称性 (T 対称性) の破れの独創的な研究が進められ、実験の鍵となる偏極技術も共同研究により加速している。複合核における基本対称性の破れの増幅機構に関して、Flambaum 氏等、限られた理論に依存するところが大きい面が現時点では憂慮される。しかしながら、多彩な CP 対称性を破る他の観測量と、本研究の複合核における T 対称性の破れを統合的に記述する理論基盤の構築や解析手法も着実に進んでおり、今後の実験と理論の活動の展開は確実と判断する。現状では、求心力を持って、実験装置の開発も進められており、この偏極技術、検出器技術は、今後、広い範囲で波及していくことが期待され、先導的な実験手法、解析手法の開拓など、S 型課題の役割を十二分に果たしていると判断する。