

(様式：各年評価)

評価報告書

2019年12月25日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2020S01

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

種別：新規

ビームタイム配分： $\beta = 60.1\%$

評価結果：5.0

コメント：

2019年12月16日に開催された HRC 研究会での説明に基づき、評価を行った。

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第1期、第2期において着実なグレードアップと、装置特性を生かした研究推進、テーマ開拓に成功している。その結果として、多数の特徴ある学術的成果を上げた。さらに、第2期までに重点的に進めたブリルアン散乱観測の高精度化により、第3期での先鋭的な研究テーマの呼び込みに成功しており、世界的にみても HRC でしかできないユニークな研究を第3期において推進できる。これらを鑑み、評点を 5.0 とし、課題を採択する。

以下に第1期、第2期の成果と、第3期への将来計画についての評価を説明する。

第1期、第2期を通じ、サイエンスへの必要性を明確に認識した的を射たグレードアップを継続しており、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た。このグレードアップは第2期で掲げたサイエンスとマッチしており、学術的視点から必要なグレードアップを集中して進めた結果、優れた成果を継続してあげることになったことは高く評価したい。

第2期での特筆すべき学術的成果は以下の二つであろう。

- 1：ワイルフェルミオンの発見
- 2：Higgs モードの発見

(様式：各年評価)

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 **SrRuO₃** 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、ベリー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、**CsFeCl₃** 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る。また、論文数の推移、発表件数などの統計データから、第2期は量的にも質的にも十分な成果をあげたものと評価できる。

これらの成果を導いたポイントは、極端条件下での測定の実現へむけ集中的な努力がなされたこと、および装置グループが建設期からこだわり続けてきたブリルアン散乱の高精度化に成功したこと、があげられる。前者において重要なことは、東大物性研との連携が理想的な形で成立していることであろう。すなわち、**KEK** と物性研のそれぞれの得意とする分野において協力することで、物性研のもつ極端条件測定技術の蓄積を **HRC** でのサイエンスに生かすことに成功した。さらに東京大学と連携することで、多くの学生が **HRC** での最先端の研究に参加できたことも、コミュニティーにとって重要といえる。またブリルアン散乱の高精度化により、世界的にも **HRC** でしかできないダイナミクス観測が可能になった。このことは第3期への大きな期待につながっている。

第3期の将来計画において、装置としては2つのテーマに集中する戦略が示された。すなわち、極端条件としての外場の拡大、および高エネルギー領域の分光実験の拡大、である。前者はとくに高磁場下でのスピンダイナミクス研究を可能にする。第2期でのマグネットの深刻なトラブルは概ね解消し、第3期では **5T** の磁場での分光実験が安定して公開的に実施できる見込みが示された。やはり量子相転移に重要なパラメータである圧力においても、物性研の高い技術により **1.5GPa** での分光実験が可能であり、物性研と **KEK** との共同研究の範囲で先鋭的な量子臨界現象の観測が期待できる。また、第2の目標である高エネルギーへの拡大により、スピンチャンネルを介しての電子励起観測など、新たな自由度への挑戦が可能になりつつある。電子励起測定は **ISIS** で試みられたものの、長期にわたり停滞していた分野であり、第3期において **HRC** での実現が期待される。これは **HRC** のみが手がとどく方向性であり、世界的にも特徴的といえる。以上のように、**HRC** の特徴と戦略に整合した実現性のある研究計画が建てられており、その点を評価したい。

(様式：各年評価)

第3期計画で印象的であったのは、ブリルアン散乱の高精度化の成功により、これまでにない先鋭的なサイエンスの提案が複数あったことである。ブリルアン散乱での最初のデータは、応用上の重要性をもつ強磁性粉末材料でのスピン波分散観測であったと記憶している。一方、今回の研究会では、**Low-Q** 領域での比較的広いエネルギー領域での測定が可能になったことから、例えば佐藤教授（東北大学）から **BiTeI** などでのランダウレベルの観測といった、学術的に野心的な提案がなされた。これは、装置性能の向上が新しいサイエンスを切り開く突破口を提供する好例として、非常に印象深いものであった。装置責任者の言葉を借りれば「**HRC** はマニアックな物理」を目指す装置であるべきで、その装置グループの哲学と装置性能向上の戦略がマッチしていること、物性研との連携が健全に進んでいることから、第3期においても世界的に **KEK** の特色となるようなサイエンスの進展が期待できる。

以上の評価から、減点すべき点は特段みあたらず、評点を5とした。

一方で、チョッパーなど主要装置の老朽化が進んでいることの報告もあった。上述のように **HRC** が **KEK** のサイエンスを世界に特徴づける装置であることから、老朽化対策も **KEK** にとっての優先事項として扱っていただくことを期待する。

(様式：各年評価)

評価報告書

2019年12月25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：継続

ビームタイム配分： $\beta=32.3\%$

評価結果：4.8

コメント：

本課題は、先進的な中性子光学系の開発研究を基盤に、衝突型高エネルギー素粒子実験と相補的に、BL05において低エネルギー精密素粒子実験を展開する計画である。中性子寿命や短距離重力など、J-PARCでの高強度パルス冷中性子の特徴を活かした素粒子物理研究とともに、中性子干渉計等、測定器開発においても、世界初となる成果が創出されており、本分野を国際的に牽引していくためにも、重要課題として推進していくことが肝要と思われる。また、論文成果報告（査読付き論文：3、proceedings：2）も着実に行われ、博士論文も1件まとめられており、人材育成も進んでいる。

中性子寿命の実験では、ビーム法とトラップ法による寿命の乖離問題を解決するとともに、さらなる精度向上を目指して、全く系統性の異なるパルス中性子とTPCを用いた第3の実験手法を提案している。すでに、10秒の測定精度を実現して、測定手法を確立したことは高く評価される（論文成果報告あり）。測定精度向上に向けて、実験グループは、系統誤差の主要な成分であるTPC動作ガス中の ^3He 含有率の測定・解析手法を確立するとともに、系統誤差の抑制に一定の見通しを立てつつある。また、中性子フラックスの増強により統計誤差を向上させるため、スピンドリッパチョッパー等の中性子光学系の改良を考案し、有限要素法による詳細な磁場シミュレーションによるフリッパーコイルの設計を完了し、光学系の大型化を実現しつつある。さらに、次世代の寿命測定を視野に、TPC動作ガスに起因する背景事象抑制を行うため、ソレノイド磁石を用いた新しい検出器系を九州大学において自前で組み立て・開発し、J-PARCに搬送して性能評価を進めており、着実な進展が期待される。

(様式：各年評価)

短距離重力の研究では、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、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。この成果を踏まえ、感度向上を実現するために、ターゲット標的として、ガスではなく、ナノ粒子標的を用いた干渉散乱の実験開発が進行中である。今年度、応答特性実験が行われ、干渉散乱の効果を確認するとともに、散乱体の大きさを評価し、ナノ粒子標的の開発が着実に進んでおり、世界をリードする研究が維持されると思われる。

さらに、超冷中性子 (UCN) デバイスの開発も、多岐にわたって進められている。特に、UCN ガイドの性能評価の設備を構築し、UCN の透過効率を測定することで、KEK/RCNP/TRIUMF の国際共同プロジェクトとして進められている UCN-EDM の重要な構成要素の開発に大きく役立っており、中性子光学デバイス開発拠点の役割を果たしていると評価される。また、この実験では、本研究グループが独自で開発を進めている中性子ドップラーシフトを用いた UCN 源が用いられており、国際的にも稀有な存在である UCN のテスト実験コースとして、機能を発揮しつつある。さらに、国際的にも初めての実現となる多層膜を用いたパルス中性子対応干渉計や、中性子エマルジョンの開発等、広い視野で、中性子デバイスの開発が進められており、S 型課題としての役割を果たしていると高く評価する。

限られたマンパワーで、広い範囲での中性子光学の技術開発を進めており、プロジェクトが発散しないような工夫が必要と思われるが、実験代表者のコラボレーションのマネージメント力により、共同研究者の規模も年々増強されている。若手育成との相乗効果により今後の一層の進展が見込まれる。開発装置も多岐にわたるので、財源の工夫も必要と思われるが、OPERA 等、産学連携による事業推進も高く評価される。また、基礎物理から、工学、BNCT も含めたライフサイエンスにも研究開発の領域が広がっているので、学術変革領域等への提案も含めた財源獲得も期待される。

(様式：各年評価)

評価報告書

2019年12月25日 中性子共同利用実験審査委員会

木村宏之

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： $\beta = 49.4\%$

評価結果：※5.0～1.0 を記載

4.6: 最優先で行うべき課題である。

コメント：

2019 年度に設定した目標を概ね達成していると評価できる。2020 年度以降についても、2019 年度に未達成の分も含め、課題設定と研究計画が詳細に立てられている。引き続き最優先で課題を推進していただきたい。

以下では、中性子 S1 型課題定義に則り、以下 3 点について評価する。

1. 装置の性能を最大限に引き出す先導的実験手法・解析手法の開拓及び機器開発

加速器運転の出力が順調に向上してきたことによりビーム強度が増加し、高角バンクの一部を用いた $\Delta d/d \sim 0.0365\%$ の超高分解能における実用的な測定に成功した。2020 年度以降の更なる出力向上により、高分解能を活かした様々な測定が可能になると予想される。

2019 年度に行われたハードウェア面での高度化・開発は、14 T マグネット及び 1 K 冷凍機のオフライン運転とテスト中性子回折測定、 $4\text{ K} \leq T \leq 800\text{ K}$ のシームレス測定・解析のためのクライオファーンズ導入などが挙げられる。マグネット及び 1 K 冷凍機については、順調に立ち上がり、前者については $H = 14\text{ T}$ 、後者については $T = 0.8\text{ K}$ を達成した。実際の中性子回折実験では良質な粉末回折データが得られており、試料を選べば構造解析が行えるレベルに達している。試料以外に由来するバックグラウンドは、通常環境におけるそれよりも 2 倍程度高いようだが、2020 年度以降にラジアルコリメータの開発・導入が計画されており、それによる S/N の向上が期待できる。

一方ソフトウェア面については、多点測定データの全自動解析法の開発とリチウムイオンバッテリーの時分割実験への適用、Z-Code WINDOWS 版の開発、14 T マグネットの磁場制御の自動化など、インターフェイスの高度化が進んでおり、ユーザーフレンドリーな測定環境が着々と実現している。

(様式：各年評価)

2020年以降の計画として、14 T マグネットの本格導入、クライオファーンエスの立ち上げ、バックグラウンド低減のためのラジアルコリメータの開発、低温ガス吸蔵・吸着システムの整備と高度化、高温炉におけるガス雰囲気下熱処理実現などが挙げられている。いずれも今後の SuperHRPD の試料環境高度化には欠かせないものであり、積極的に推進されるべき計画である。特にクライオファーンエスについては、試料封入セルや輻射シールドなど、他のビームラインでも克服すべき課題が数多くあると認識されている。装置間の横の連携をより密にして、MLF 全体で改善を進めるべき課題であろう。また、14 T マグネットは、特に磁性体研究においては重要な外場環境装置である。一般課題への提供を見据え、装置のセットアップ（マグネット予冷、回折計への設置など）の効率化についても検討を始めて欲しい。

2. 先導的プロジェクト研究

磁性体から熱電材料、電池材料、触媒材料、有機物など、非常に多岐にわたる研究プロジェクトが計画・推進されている。ユーザーとの共同研究により、いずれも概ね順調に進んでいる評価できる。例えば Co 化物においては、**Ferromagnetic cluster** と **Antiferromagnetic matrix** の体積分率変化のクロスオーバー現象を発見し、これが本系の負の熱膨張の微視的機構に関わっていることが明らかにされた。また、クロムスピネル酸化物におけるフェリ磁性転移に伴う超微小格子歪みの検出など、SuperHRPD の超高分解能測定により初めて実現した研究成果が得られている。今後も超高分解能測定を活かせるサイエンスの開拓を継続していただきたい。

3. その他

近年、中性子粉末回折装置のハード・ソフト面の充実により、ユーザーが着実に増加し、定着してきている。その一方で装置を支え、運営しているスタッフの減少が進んでいる。特に 2020 年度からは本課題の代表者の交代や新しいリーダー赴任などが予定されている。S05 課題が有効な今後 4 年間の間に人材が完全に入れ替わる可能性もあり、人材の確保、育成が喫緊の課題である。この状況下で、KEK グループとして育成に積極的に取り組んでいることは高く評価できる。今後も継続的な活動と、そのための予算獲得に取り組んでいただきたい。人的リソースには限りがあるので、組織横断的、分野横断的に連携を強化していく必要がある。

成果創出に向けた取り組みも充実している。iMateria, SPICA, SuperHRPD などの横断的連携によるサポートが進められている。Z-Code の高度化・利便化による解析支援や講習会も継続的に実施されており、これらの取り組みは高く評価できる。

(様式：各年評価)

評価報告書

2019年12月25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法による機能性材料の規則－不規則構造解析

実験代表者：池田一貴

種別：継続

ビームタイム配分： $\beta = 46.8\%$

評価結果：4.6

コメント：

BL21 NOVA は、全散乱装置として世界トップクラスの性能を有しており、その能力を活用し、さらに発展させていく研究を総合的に推進する目的の本 S 型課題申請は、機能性材料研究の活発化とともに J-PARC 成果の一層の向上のためにも積極的に採択すべき課題と考えられる。

1MW が視野に入った J-PARC の利点および NOVA の能力を最大限活用するために本申請で掲げているキーワードは、「微小試料測定」、「短時間測定」、「精密測定」の 3 つであり、申請グループ内テーマの方向性は各々これらのキーワードに沿っていると見ることができる。高強度の中性子を確実に活かすには堅実な方針であり、一般ユーザーにとっても試料準備の軽減や多数回の測定等、利点の大きい目標である。また、施設側としても効率良く信頼性の高い精密測定がこなせることは、実施課題数の増加や新規ユーザーの開拓など、これまた利点が多い。一方で、装置グループにデータ解析の負担が増加するのではないかという危惧も感じられる。装置グループメンバーを中心に本申請グループ内では、解析上適切な測定時間の評価や解析技術の伝承といった議論も成されつつあるため、測定データ量の増加に対応できる方策の検討を期待したい。

本申請には、大きく 3 種類のマテリアルの構造解析(「1.水素化物構造解析」、「2.液体・非晶質物質構造解析」、「3.磁気構造解析」と、「4.装置および手法の高度化」が含まれている。水素含有物質の構造解析は中性子利用上重要なテーマであり、科学的にも産業的にも重要な分野である。そこでは微小試料測定や実時間測定で成果が生まれつつあり、新しい 3D ラジアルコリメータの導入等で精密測定についても進展が期待できる。液体や非晶質の構造解析では、X 線等と組み合わせたマルチプローブ解析や同位体置換で精密な液体中分子間/分子内電子密度分布の決定に成功しており、基礎化学の分野にとって重要な成果とな

(様式：各年評価)

っている。また、理論計算と構造モデリング、さらにトポロジカル解析を活用する酸化物ガラス・アモルファス材料の機能性発現研究も材料特性と構造の相関に関する新しい成果が期待される。磁気 PDF 法では、全散乱装置の新しい利用法として、短距離（局所）磁気構造解析手法が確立され、局所領域で特異な磁気相関をもつ材料の磁気構造決定、単結晶を用いた 3 次元での磁気構造決定など、今後新しい分野で非常に有効な成果が生まれている。さらに装置グループは、偏極デバイスの導入による非干渉性散乱の除去について検討を開始しており、実用に至れば解析の精密化が可能となるため、当該新デバイスの早期運用開始が望まれる。

上述のように、本申請ではマテリアル関係の成果創出と NOVA の高度化が連携して進められている。課題の目的に沿った 3D ラジアルコリメータや偏極デバイスの導入は特に期待が大きいと、早期のテストと本格運用に至ることが望まれる。一方、より深刻な問題として取り上げられるのが He-3 検出器の劣化である。NOVA ではストッピングガスの劣化が原因とみられるガス増幅率の減少が発見され、これへの応急的な対処が行われている。このような発見と対処が申請グループ内で行われたことは同グループの能力が十分に高いことを示すものとして評価したい。

以上のように、BL21 NOVA は現在の申請グループが軸になり、物質研究と装置運営の両輪がうまく回っている状態にある。したがって引き続き現申請グループが S 型として研究を継続するのが適切と考えられる。その中で、将来的なデータ解析体制に関する最初の議論と新規デバイスの運用を始めていただきたい。

(様式：各年評価)

評価報告書

2019年12月25日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2019S07

課題名：中性子共鳴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：継続

ビームタイム配分:115日 $\beta=72.8\%$

評価結果: 4.6

コメント：中性子スピンエコー法は、中間散乱関数 $I(Q, t)$ を直接測定し、時間領域でピコ秒からサブマイクロ秒までの高いエネルギー分解能を測定可能な中性子散乱分光法である。J-PARC MLF BL06に建設された中性子共鳴スピンエコー分光器群VIN ROSEはMIEZEとNRSEと呼ばれる2台の分光器からなり、MIEZEでは1nsオーダーの低分子や磁性体のダイナミクス、NRSEでは高分子等の100nsオーダーのダイナミクスをターゲットとしている。どちらの装置も日本独自の中性子光学技術をフルに用いたオリジナリティーの高い装置であり、開発要素が多い装置でもある。

本課題のS1型課題研究会は2019年11月29日に開催された。研究会前半では、実験代表者の小田達郎氏（京大複合研）、船間史晃氏（京大工）、大下英敏氏（KEK）から装置の開発状況に関する講演があった。MIEZEはほぼ完成しており、今後は散乱後の偏極解析のための第2アナライザーの設置し、今年度中にテストを行う計画であることが示された。NRSEはまだ建設中で、フーリエ時間100nsを目指すためには、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必要があることが説明された。今年度から2020年度にかけて、位相補正デバイスである回転楕円集光ミラーやスピNFLリッパーの高度化を進めていくという計画が示された。データ収集・解析環境は、スピンエコー法の特性のため、IROHA・空蟬をベースにしたMLFの標準的な環境にこだわらず、ユーザーフレンドリーな環境を目指すという方針が示された。

研究会の後半は中島多朗氏（東大物性研）、青木裕之氏（JAEA/KEK）、丸山龍治氏（JAEA）による分光器の利用に関する発表がされた。中島氏の磁気スキルミオンのダイナミクスの研究は非常にレベルの高いものであった。MEZEI型スピンエコーに比べて試料に磁場をかけやすいというMIEZEの特長を活かした

(様式：各年評価)

研究で、MnSiのスキルミオン相と常磁性相の境界のスピン揺らぎ（1nsオーダー）を見事に観測できていた。今年度から2020年度にかけては、このスキルミオン研究をはじめ磁性研究を進めるため、冷凍機（購入済み）の立ち上げ、磁場可変マグネット（現在は永久磁石を使用）などを整備していくという計画が示された。

以上のように、NRSEが本格的に動き出すにはまだ時間がかかるが、MIEZEはすでにハイレベルな論文が出るレベルの研究が可能な状態にあることが示された。装置の開発要素の多さを考えると、S1課題の研究は順調に進んでいると評価できる。最初のサイエンスのターゲットとしてスキルミオンに注力している方針も間違っていない。この調子で、MIEZEではスキルミオン研究の続行、新しい研究対象の発掘（1nsオーダーの磁気緩和を示すもの）、試料環境の整備を進めることが必要であろう。またNRSEでは、回転楕円集光ミラーやスピンプリッパーの開発を進め、できるだけ早い装置の完成を目指して欲しい。そのためのビームタイムとして、MIEZE45日、NRSE70日（合計115日）は妥当な日数である。

(様式：各年評価)

評価報告書

2019年12月25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：継続

ビームタイム配分： $\beta=96.8\%$

評価結果：4.6

コメント：

世界的に偏極技術の開発が進む中で、POLANO はタイムリーな装置になっている。偏極中性子散乱研究の歴史は長く、すでに世界に多くの研究がある中でも、高エネルギーという観点では、これまで ILL で 30-40meV 程度が限界であった。これを 100meV ほどまで拡大するという意味で、世界でも唯一の特徴のある非常に野心的な装置となっている。近年の磁性体研究でもスピカイラリティーから生じる新しい現象が次々に見つかっており、この装置がこの分野で果たす役割は大きい。

まず非偏極実験ではあるものの、一般課題に公開できた点は高く評価される。来年度、SEOP の設置により、入射中性子の偏極が実現し、検出器前には 40 数 meV まで偏極性能のアナライザーミラーがあるので、ガイド磁場が設置されれば、いよいよ偏極非弾性散乱実験が可能になる。高エネルギーでの偏極実験の成功だけでも、新聞発表の価値があり、非常に楽しみである。

開発の中で、ここまでの主要なコンポーネントの開発が優先されてきた点は重要で、DNP 開発を休止したことは高く評価される。DNP との偏極方法の比較で FOM による評価には曖昧な点が残るかと思うが、それもその見積もり方法を積極的に公開して外部からの評価・批判を受けることで改善していただきたい。

申請書からは、SEOP アナライザーの早期実現を目指しているようだが、ディテクターの ^3He のガス圧も 10 気圧で、アナライザーミラーにも適していること、また現状の装置でもサイエンスの早期展開が期待されていること、人的余裕は感じられないことから、アナライザーミラーでの測定システムをまずは完成させることに集中していただきたい。

3) 研究目的の「研究期間に何をどこまで明らかにするのか」という項目では、

(様式：各年評価)

固体物理分野でのひとつの重要な案件として、銅酸化物高温超伝導体のレゾナンスモードと高エネルギーフォノン異常などを挙げていただくと、より申請書にインパクトが出てよかったと思う。

装置責任者の横尾氏自身が **HRC** の副装置責任者であり、**POLANO** の副装置責任者の伊藤氏は **HRC** の装置責任者である。**S** 型課題のメンバーには多くの名前が並んでいるが、実質的な装置担当のメンバーがどれだけエフォートをこの装置に割けているか心配になる。また比較的高齢であることから、エフォートを十分に割ける若い研究者の採用または参加がぜひ必要であろう。

最後に、**POLANO** で使われる偏極技術と装置は、中性子散乱に共通で利用できる重要な試料環境装置となるものである。今後、**MLF** での研究を先導するようにその利用を他の装置に拡大することも重要で、固体物理だけでなく、中性子研究を代表する軽水素の関連研究でも多くが偏極中性子を必要としている。そこでも多くの発見が期待されることから、今後、益々、一般の研究者が使いやすい偏極装置を目指して、ソフトウェア開発などにも漏れがないように注力して、新しい高エネルギー偏極中性子の世界を切り開いていただきたい。

(様式：各年評価)

評価報告書

2019年12月25日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2019S10 SPICA

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：神山 崇

種別：継続

ビームタイム配分： $\beta = 85.4\%$

評価結果：4.5

コメント

本課題は、SPICAを用いて、高強度かつ高分解能、マルチスケール構造解析技術、operando測定技術を高度化し、革新電池材料などの機能性物質の構造学的研究を推進するものである。

SPICAは、2009年からNEDOのRISING, RISING2プロジェクトの利用を中心に建設・開発され、電池材料用に専用の化学実験室を備え、車載用の実電池をも直接operando測定することのできる、世界で唯一の高分解能・高強度中性子回折装置である。これまでも炭素負極へのリチウム挿入脱離の相変化測定や実用型リチウムイオン電池のoperando正負極同時測定、更には全固体電池用の超リチウムイオン伝導体の構造決定など、数多くの成果を挙げてきた。そのために大量なデータに対する自動解析法の開発、ブラッグエッジイメージング法の開発、ラジアルコリメータを用いた3次元分布測定技術開発などをも進めてきた。また、より長距離構造を測定できる小角散乱バンクの整備も進めている。

実験・解析手法・機器開発に関しては、2019年度には、オペランド実験での安全性の向上と解析技術の高度化・高速化を行った。また、試料環境の開発・整備としてcryofurnace, cryostatの温度制御技術の改善を行ない、5K~600Kで温度可変測定が可能となった。これらの技術を基に、2020年度には、最高温度700までの温度制御を目指す。また、低温域でのバックグラウンドを低減し、正確な試料温度評価を行えるようCryostatを調整する。更に、1000°Cまでの測定を目指しVanadium炉を完成させる。

一方、先導的プロジェクト研究に関しては、RISING2プロジェクトにおいて解析

(様式：各年評価)

技術開発から革新型蓄電池材料の評価・解析に重点が移ったことにより、これまでのリチウムイオン電池の研究は縮小し、フッ化物シャトル電池・ナノ界面制御電池、硫化物電池、水系空気電池などの革新型蓄電池への適用が増加した。2020年度はプロジェクト最終年度でもあり、これらの研究を着実に成果に結びつける必要がある。また、S型課題としては、新規なリチウムイオン導電体、ヒドリドイオン導電体、ナトリウムインサージョン材料、強誘電性シリケート化合物などの構造解析とPDF解析による欠陥を含んだ結晶の構造解析などが予定されており、妥当な課題選定である。

2018年度以降、研究者の大きな入れ替わりがあり、これまで開発してきた技術の継承・発展には多くの努力と支援が必要となる。今後もグループ構成が変わる可能性が高く、現状でも装置グループのマンパワーが不足しており、パワーユーザーの導入など何らかの支援手立てが必要である。その意味では、SuperHRPDとSPICAの一体的運営やiMateriaを含めた粉末回折装置グループ間の連携も大きな助けになるだろう。全体的に、SPICAの持つ優れた性能を活すかには、装置グループもユーザー側も人手を増やす工夫が必要だろう。

研究経費は、ほとんどが旅費と消耗品費で妥当である。また、蓄電池棟入退室管理記録システムは、安全管理上も早急に実施すべきと考える。なお、2023年度に要求されている、汎用型マグネットの整備(8000万円)は、何らかの理由説明が必要と考える。

(様式：各年評価)

評価報告書

2019年12月25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: 4.8

コメント：

本課題は、世界最高強度のパルス熱外スピン偏極中性子を用いた素粒子物理を基軸に、広く偏極中性子ビームを利用するサイエンスの展開を図る最先端中性子光学の基盤を開拓するものである。中性子の共鳴吸収における複合核状態において、実験代表者を中心に見出してきたパリティ対称性の破れの増幅現象に着想を得て、特定の原子核において時間反転対称性の破れ（＝物質・反物質：CP対称性の破れ）も格段に増幅される事を用いて、CP対称性破れの源泉を明らかにし新物理を探索する挑戦的な研究である。本計画は、J-PARCで供給される高強度パルス中性子ビームと、実験代表者らの中性子偏極技術の連携により初めて実現できる研究であり、極めて独創性が高く、論文成果も着実に進んでおり（査読論文：3、proceedings：9）、最優先で進めるべき課題と評価する。

CP対称性破れの源泉を理解するためには、物質を構成するクォーク、レプトン、およびそれらの相互作用におけるCP対称性の破れを探索し、粒子の種類ごとに内在するCPの破れを示す永久電気双極子能率（EDM）や、核力に生じるCPの破れを分解しながら測定していくことが喫緊の課題となっている。原子核、原子、分子等の量子多体系におけるEDMは、基本粒子のEDMと相互作用におけるCPの破れが複合した形となっているが、実験代表者の提案する複合核状態におけるCPの破れは、相互作用におけるCPの破れが支配的であると考えられ、EDM実験とは、完全に相補的かつクリーンなプローブとなっているところが、独創的である。

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

(様式：各年評価)

混合モデルの検証を (n, γ) 測定により精力的に推進し、BL04において、 ^{139}La をはじめ、複数の標的候補に関して実験データを取得・解析が進んでいる。 ^{81}Br , ^{117}Sn に関して核偏極を考える候補として、また ^{131}Xe , ^{111}Cd , ^{115}In に関して、候補として詳細検討を行ない、 Ag , ^{127}I , ^{103}Rh 等は、候補として困難であることを明らかにしてきている。多くの原子核から、 T 対称性の破れの増幅が高い候補を確実に選定して、戦略的に実験計画を進めており、着実な進展が期待される。

本計画では、中性子偏極、スピン偏極標的、検出器の開発が重要であり、これらのスピン制御技術には、高度な技術蓄積が必須となるが、実験グループでは、 ^3He スピンフィルター (スピン交換 ^3He 偏極) 技術をはじめ、各技術のエキスパートが共同研究者として参画しており、すべての構成要素において、所定の性能を実現しつつある。特に、核偏極開発においては、阪大 RCNP のプロジェクトとして採択され、RCNPにおける偏極技術 (SPring-8におけるハドロン実験用) との有機的な連携・技術交流も行いながら、開発を加速させている。中性子検出器開発も、必要な仕様を明らかにして、ピクセル型の CsI シンチレータによる位置検出型中性子検出器の開発も順調に進んでおり、高く評価される。

全体をとおして、 CP 対称性の破れの解明を目標に、戦略的に様々な装置開発を計画的に進めており、今後のさらなる進展が期待される。本計画は、中間子交換による核力レベルでの CP 対称性の破れのメカニズムを実験的に探ることを目的としているが、最終目標の一つでもあるクォークレベルでの理解を深化させるため、理論的なフォーマリズム (中間子との結合パラメータから、クォークレベルでのパラメータの抽出等) の研究も、外国人研究者との共同研究により進んでいる。ぜひ、この理論研究の進展も期待したい。また、中性子検出器は、KEK 測定器開発室を中心に、GEM (ガス電子増幅検出器) にボロン・コーティングを行なった熱中性子位置検出器の開発を進めてきた経緯があると思われる。現状では、検出効率により GEM の利用は慎重に考えている状況であるものの、S型課題として、広く中性子基礎物理の基盤を開拓していくという視点から、マンパワーとの兼ね合いではあるが、中性子検出器開発拠点として、GEM利用の検討も継続できるのが望ましいと考える。一方で、BL04における実験が増えていることから、今後の系統的な実験実施に向けて、何らかの工夫が必要になってくるとと思われる。最後に、国内における中性子物理の拠点として、名古屋大学、九州大学、大阪大学を中心として修士課程、博士課程の活発な人材が育成・輩出されつつある事は、特筆すべきである。