

(様式：各年評価)

## 評価報告書

2022 年 12 月 28 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2023S01

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： $\beta = 50.3\%$  (159 日に対して)

評価結果: 5.0 点 減点すべき点は見出せなかった。

コメント：

2022 年 12 月 2 日にオンラインで行われた HRC 研究会に参加し、S 型課題の計画の進捗、成果、および今後の計画の説明を拝聴した。その説明と質疑に基づき、以下のように評価した。

HRC は、装置責任者である伊藤教授のリーダーシップのもと、その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、磁性物理学に重点をおいた世界的に見ても独特の地位にあるチョッパー分光器に成長している。かつ、東大物性研との強固で効果的な連携が成熟し、それぞれの強みの相乗効果が顕著に現れており、単独ではなし得ない、また他施設のチョッパー分光器とは明確に差別化された戦略により、分野拡大を進めている。その結果として、多数の特徴ある学術的成果を上げている。論文としては 3 編が出版済み、4 編が投稿中であり、その内容も理論との精緻な比較に基づく高度な結果である。さらに、3 編が執筆中との説明があった。磁性分野での非弾性散乱実験は、理論家との精緻な共同研究が必要であり、高レベルな論文化には時間がかかることは理解できるので、その視点で見れば、S 型課題計画は、継続して高い Activity を維持していると評価できる。一方、S 型課題での学会発表は 25 件であり、S 型課題メンバーの積極的な発信が行われていることも評価できる一方、一般ユーザーの発表は 2 件に留まっている。一流雑誌での論文化には時間がかかるのは当然としても、ユーザーが積極的に中間報告をしてきていない現状は、HRC の持つ個性を固体物理コミュニティに対してアピールしていく上で損失と考える。装置グループからの一般ユーザーへの働きかけに期待したい。

(様式：各年評価)

サイエンスでの成果については、Zheyuan Liu 氏、Seno Aji 氏、植田氏、益田氏により特徴ある、かつ美しい研究結果を報告いただいた。

S 型課題の主たる成果の一つとして、Mn(SiGe)でのトポロジカルオーダーの観測と評価に挑戦しており、スピン揺らぎを 1 MeV 以下の領域で観測することに成功した。HRC の強みの一つは高エネルギー励起の観測ではあるが、その高い分解能とブリルアン散乱も可能にする Low-Q、Low- $\omega$  での精度の高さから、低エネルギー磁気励起でもその精度の高さを証明している。さらに Seno Aji 氏は、より低エネルギーへの挑戦としてスピンエコー測定にも挑戦し、HRC 結果と組み合わせることで、これまでは見られなかった非常に低エネルギーのスピン揺らぎの理解の道筋をつけたものとして、印象深く感じた。

また、Van der Waals 化合物である CeRe<sub>2</sub>S での結晶場測定を HRC で行い、その詳細の分裂を明らかにし、Se ドープで結晶場パラメータの符号の反転がおきることを定量的に示した。結晶場分裂はスピン波分散測定に比べれば研究としては地味と言わざるをえないが、希土類磁性体においての重要性は明らかであり、それを定量的に追い込んだ結果は個人的には高く評価したい。

三角格子をもつ RbFeCl<sub>3</sub> での成果は特に強い印象を受けた。5T までの磁場中での磁気励起分散関係を見事に観測し美しい分散関係が得られている。かつ、拡張線形スピン波モデルによる理論計算と見事な一致を示すことを明らかにし、そのスピンドYNAMIXの起源を疑う余地なく示しているのは感銘を受けた。この RbFeCl<sub>3</sub>に限らず、S 型課題でのスピンドYNAMIX研究では理論計算との美しい一致が見られる例が多い。スピンドYNAMIXのデータ解析の一般的な難しさを考えれば、スピンドYNAMIX研究として S 型課題が有効にかつ高度に進められていることが理解できた。

また、毎回 HRC 研究会を拝聴して繰り返し感じていることではあるが、学術成果だけでなく、運営体制の成功も高く評価したい。物性研と KEK の連携はいよいよ成熟しており、それぞれの強みを有効に結合させ相乗効果がおきている。特に物性研の得意とする高圧、高磁場の極端条件下測定では特筆すべき多くの成果が上がっている。また、今回の研究会では、物性研の川名氏より、長期的戦略に基づき、YUI-HANA サーバーの整備について説明があったが、装置のスリム化を進め、メンテナンスの負担、リスク、予算、マンパワーの軽減に成功している。これらの長期的な視野に基づく対応で、継続的維持についてこれまで説明いただいた懸念が概ね解消されつつあると理解した。こういったことは外から見えにくい地味な仕事ではあるけれど、装置を長期に渡って維持、管理し、同時に高度化を進める上で、物性研—KEK 連携は欠かせないものであり、それが有効

(様式：各年評価)

に機能している上に今後もさらに成熟していくことが期待できる。サイエンスとは別な重要な S 型課題の成果として高く評価する。

以上のことから、S 型課題は当初の目的を十分に超えた特筆すべき美しい成果を上げており、かつ装置の高度化、管理も困難を乗り越えつつ戦略的に進められていると評価できる。特段の減点すべき問題は見出せず、満点の評価としたい。また、マシンタイム計画の内訳も、これまでの実績と経験に基づいた定量的なものであり、妥当かつ必要不可欠な日数になっていると判断できる。したがって、ビームタイム配分も要求どおり 50.3%を認めるのが妥当と評価する。

(様式：各年評価)

## 評価報告書

2022 年 12 月 28 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 (KEK 物質構造科学研究所 特別准教授)

種別：継続

ビームタイム配分： $B = 40.3\%$

評価結果: 5.0 ※ 5.0～1.0 の範囲から、0.2 点毎で評点を記載

コメント：

- 総括

本課題は、先進的な中性子光学系の開発研究を基盤に、BL05において多彩な中性子基礎物理を展開する研究課題である。J-PARC での高強度パルス冷中性子の特徴を活かして中性子寿命や短距離重力などの素粒子物理学の研究や、中性子干渉計、エマルジョンを応用したイメージング等の技術に関する先端的な成果が得られている。2022 年度は計画通りにビームラインの運転が行われた。主に 10 の研究テーマについての研究が行われた。本年度は査読付き論文が 2 報 (加えて 2 報投稿中)、会議録が 4 報、出版されており、順調に成果が発表されている。BL05 の 3 本の特徴ある中性子ビームラインの運転によって、定常的に成果がでていることは高く評価できる。

以下、それぞれの研究テーマについての所見を述べる。

- J-PARC/BL05 での中性子寿命測定の実状

中性子寿命は、Cabibbo-Kobayashi-Maskawa 行列のユニタリ性の検証やビッグバン元素合成のインプットとして重要な測定量であるが、ビーム法と貯蔵法でそれぞれ測定された寿命が  $4\sigma$  以上乖離していることが問題となっている。BL05 では、 $4\text{He}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $3\text{He}$  混合ガスを用いた TPC を用いて中性子ビームの崩壊に起因する電子を計数することで、1 秒の精度を目標とした実験が行われている。ガスによって散乱された中性子による背景事象と中性子 B 崩壊の信号事象の比が、モンテカルロシミュレーションと比べて 4.6 倍と大きく系統誤差の主要因となっている。その原因として、TPC 内壁に取り付けた LiF で作られる低エネルギー  $\gamma$  線が考えられ、定量的に評価するために LiF への照射実験が行われた。現時点では 4.6 倍のズレを完全に説明するには至っていないがさらなる調査が計画されている。また TPC を従来の 100kPa ではなく 50kPa で動作させることにも成功しており、それにより上述の背景事象が減ることで系統誤差を 60%に減らすことができる。100kPa, 50kPa の測定は順調に行われており、全てのデータを

(様式：各年評価)

用いれば統計誤差 2 秒が達成され、さらに 110 日の測定を行うことで統計誤差を 1 秒に出来る見込みである。このように中性子寿命問題の解決を目指した、統計誤差、系統誤差を抑制するための努力が継続的に行われており、今後更なる進展が期待される。

- 磁場を用いた中性子寿命測定

これまでの中性子寿命測定により明らかになった中性子-ガス散乱によるバックグラウンドを抑制した新しい測定を行う研究である。この目的のためソレノイド磁場中に測定装置 (TPC) を設置し、当該バックグラウンドを劇的に抑制することを目指す。今年度は、TPC 内壁に(n,γ)反応の断面積が小さい LiF 板を貼り付けを行い、TPC の動作試験を実施した。TPC 上層での放電対策を施した改良を行った。2023 年度のデータ取得開始を目指して着実に準備が進んでいる。

- ナノ粒子を用いた未知短距離力探索

自然界の 4 つの基本相互作用のうち重力相互作用のみが極めて弱いことから、余剰次元理論において短距離では重力の逆二乗則から外れる可能性が指摘されている。それを検証するために、ナノ粒子の中性子小角散乱を用いることで、ナノ粒子中の原子の個数分だけ散乱強度を増大させることができる。ただし核力散乱も同時に増大してしまうため、核散乱長をなるべく小さくすることが望ましく、そのために V-Ni 合金ナノ粒子を採用することとした。ナノ粒子の作成方法として、ジェットミル法と RF 熱プラズマ法の 2 通りが試され、前者は Zr のコンタミや粒径が大きいことの影響が生じた一方、後者は直径 80nm のナノ粒子が作成できコンタミも生じなかった。一方、RF 熱プラズマ法で作成したナノ粒子による散乱中性子と直接中性子の比は、V ナノ粒子の散乱長が天然 V よりも小さいことを示唆しており、その原因を調査するために今後元素分析や粒度分布の測定が予定されている。また縦長 BS の導入により干渉性散乱の背景事象を 1/50 までに減らすことができた。今後、背景事象をさらに 2 桁下げのためのセットアップの構築を進める必要がある。このように、本研究は着実に進展しており、重力の湯川型ポテンシャルのパラメータに制限をつけられる成果を期待したい。

- 多層膜パルス中性子干渉計を用いた物理実験の現状

多層膜中性子ミラーを用いて中性子を 2 つの経路に分け、その片側に測定試料を挿入し位相差を測定することで、中性子と物質の間の相互作用を調べることができる。測定感度は中性子の波長と相互作用の距離に比例し、測定感度の向上が重要な課題となる。BL05 で実証された干渉計を用いて各種物質の核散乱長の測定を実施し、バナジウムを除いて文献値と一致する結果を得た。バナジウムは散乱長が 4 割程度大きいという結果が得られた。この結果の理解のため、試料の元素分析を行い不純物の混入の可能性を棄却した。過去の実験において不純物の混入があった可能性を議論した。今

(様式：各年評価)

後さらなる感度向上を目指してスーパーハーフミラーの開発が進んでいる。将来は核散乱長の精密測定に加えて、カメレオン場などの未知相互作用の探索を実施予定である。

- **J-PARC パルス中性子源の波長-飛行時間相関の詳細な測定**  
パルス中性子源では中性子の飛行距離と TOF から波長を求めることができるが、モデレータの減速時間などの理由により真の波長とは一致しない。 $^3\text{He}$  吸収断面積の測定や干渉計を用いた精密な測定を行うためには、TOF から求めた波長と真の波長の相関を精密に知る必要がある。そこで TOF 法と Bragg 散乱法により求めた波長の相関を調べる実験が BL05 ならびに BL10 で行われた。その結果、両者のズレは BL05 で 0.8%、BL10 で 0.5%であった。PHITS 計算との比較もなされ、波長の比や TOF 分布の幅がある程度再現することも判明した。これらの結果を踏まえ、中性子寿命測定に必要となる  $^3\text{He}$  吸収断面積の測定の計画が進められている。
- **中性子 whispering gallery 状態を用いた未知短距離力探索**  
中性子に働く遠心力を利用して 100 nm スケールの未知短距離力の探索を行う研究の準備が進んでいる。先行実験ではシリコンミラーを用いていたが、本研究では  $\text{SiO}_2$  のミラーにすることでミラー表面の酸化の影響を受けない。また、J-PARC では ILL より 40 倍のビーム強度であることもメリットである。テスト実験にて中性子の干渉縞が確認され、シミュレーションの予想と概ね一致することを確認した。これに基づき実験感度の見積を行った。約 10 倍のエネルギー分解能の改善が達成されれば、未知の領域を探索することができると示された。
- **高分解能原子核乾板を用いた重力場中の超冷中性子の量子状態の測定**  
ミラーと吸収体兼散乱体の間の狭い空間を通過する超冷中性子は重力ポテンシャルにより量子状態を作るが、位置分布を精密に測定することで既知の重力による位置分布からのズレを検証することができる。高分解能を達成するために、 $^{10}\text{B}_4\text{C}$  と原子核乾板を組み合わせた中性子検出器が開発された。ILL で 2019 年と 2021 年にテスト実験が行われ、2019 年のデータではシリコン基材の表面粗さに起因する分解能の悪化が見られたが、それを改善した 2021 年の測定では検出器本来の分解能が達成できていることが確認された。今後は実験系の改良により未知相互作用の探索実験が想定されている。
- **エマルジョンおよび蛍光飛跡検出器を用いた中性子イメージング法の開発**  
中性子イメージングにエマルジョンや蛍光飛跡検出器を用いる手法の開発を行った。イメージング性能の評価のためにスリットが入った Gd シートを用いたデータの取得を行った。エマルジョンを用いた測定では 1  $\mu\text{m}$  弱の分解能が得られた。これはシミュレーションで予想される結果と矛盾しない。さらに、再利用性や即時性を有する検出器として蛍光飛跡検出器の開

(様式：各年評価)

発を進めている。アルミナに **C** と **Mg** をドーブした蛍光体を用いた実証実験を行った。7回以上の再利用が可能であることが示され、中性子イメージングの実用性を示した。今後は測定器としての寿命や位置分解能の評価などを行う予定である。

- 冷中性子ビームによる中性子干渉実験～加速器科学インターンシップ～  
京都大学の学部生が中性子の干渉を見たいという研究動機のもと、加速器科学インターンシップの枠組みで **BL05** で冷中性子を用いた学生実験を行った。4枚の多層膜中性子ミラーを用いた干渉計を構築し、経路差を変えることによる位相差を測定した。想定していたスピンの逆向きになってしまっていたことが判明したが、それでも干渉らしき構造は観測された。子今後に向けて、本来のスピンの向きのセットアップを、より短時間で構築したいというコメントがあり、次年度以降も **BL05** で学生実験が行われる見込みである。学部生が自分達で考えながら実験を行う舞台としても **BL05** の環境は適していると思われる。
- 中性子電気双極子モーメント探索 TUCAN 実験に向けた装置開発  
カナダ・TRIUMF 研究所では UCN を用いた中性子電気双極子モーメント探索実験の準備が進んでいる。電気双極子モーメントは時間反転対称性と空間反転対称性を同時に破る物理量である。素粒子標準理論では極めて小さい値を持つと予想されており、もしそれより大きな値が測定されれば、標準理論を超える新しい素粒子物理現象の発見となる。**BL05** においてこの実験に用いる UCN ガイド管と UCN 貯蔵容器内の電極、スピナナライザーの評価を行った。NiP 合金をコーティングした UCN ガイド管の輸送試験を実施し、シミュレーションとよく一致しており、要求を満たすことが示された。電極の試験では dPS (deuterated polystyrene) をコーティングしたものが最も長い時間 (80 秒) 貯蔵できることが示された。100 秒以上の貯蔵時間の達成を目指して、2023 年も改善と試験を継続する。スピナナライザーの試験では、シリコン基板の上に 90 nm の鉄を成膜したフィルターの試験を行い、先行研究の 1/6 の磁場である 12 mT で 90% の偏極率を達成することができた。

(様式：各年評価)

## 評価報告書

2022 年 12 月 28 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：森 一広 (KEK 物質構造科学研究所 教授)

種別：継続

ビームタイム配分:β=49.1 %

評価結果: ※5.0～1.0 の範囲から、0.2 点毎で評点を記載

4.6 最優先で行うべき課題である.

コメント：

SuperHRPD は、世界最高の超高分解能と実用的な強度・S/N 比を誇る粉末中性子回折装置であり、その特性を活かして他の装置では観測できないような微細な変化から Symmetry Breaking (対称性の変化) を発見し新しい科学的知見につなげる事ができる。これまでも、分解能向上・バックグラウンド低減・試料環境場の開発整備を重ね、幅広い研究に活用され多くの研究成果を挙げている。近年は、新型コロナのさなかに、スタッフが大半に入れ替わるという困難な状況にも関わらず、装置の維持管理・改善を続け、先導的プロジェクト研究においても優れた成果を挙げている。

2022 年 11 月 17 日に開催された研究会においては、本課題の概要と SuperHRPD の現状説明に続いて、リチウム電池材料、フッ化物固体電解質、Z-Code 開発の進捗、磁気冷凍材料、磁性材料、フェロアキシシャル物質などについての成果と課題報告がなされた。その後、2024 年度以降の将来計画に関係して、Super-HRPD の単結晶への活用について、単結晶解析の専門家から実情と可能性に関する報告があり、それを踏まえた議論が行われた。以下では、主に申請書の 2023 年度の研究計画に沿ってコメントする。

### 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

#### ① SuperHRPDを用いた超高分解能単結晶中性子回折実験システムの開発

今回新たに提案された課題である。2024年度以降を見据えて、Super-HRPDの新たな活用法を開拓するため、単結晶の構造解析にSuper-HRPDの高分解能を利用する実験システムを開発する計画である。研究会においても、その可能性と期待が紹介され、確かに千手・匠・JRR-3などで分解能が不足する場合に、問題解決の一助としてSuper-HRPDを利用できる事は理解できる。また、従来は交流の少なかった単結晶グループと粉末グループとの連携をJ-PARCとJRRも含めて探る事も意義がある。一方で、SuperHRPDは動径方向のみの情報しか得られず、単結晶構造解析においては、



(様式：各年評価)

あくまで補助的な情報にしかならないので、本来のSuperHRPDの性能向上や成果最大化に向けた取組がおろそかにならないように留意すべきだろう。

## ② 試料環境場の整備・開発

装置の老朽化対策として、2022年度に計画されていた真空散乱槽の真空窓の交換が順調に進んだ旨、及び温度制御関係の問題も解決し順調に運転されているとの報告が研究会にてあった。順調な運転がされているのは喜ばしいが、2023年度の計画書には、この項目の記載がほとんど無いのは気になる。試料環境場の整備・開発には常に留意いただきたい。また、海外の動向等も踏まえて、更なる高分解能化や感度(空間分解能)向上などの将来計画等も検討すべきである。

## ③ 解析ソフトウェアZ-Codeの高度化

これまでに開発されてきたZ-Codeによる粉末回折データの解析手法は、極めて強力なシステムとして整備され、SuperHRPDのみならずSPICA等でも用いられてきた。2023年度には、これまでオペランド実験等で連続測定されたデータを自動解析する際に、相転移領域で複数相が現れ格子定数に不自然な飛びが出る問題を解決し、マルチヒストグラム自動解析を改良する計画である。着実に自動化と操作性向上が進んでおり、高く評価できる。

## 2. 先導的プロジェクト研究

これまでに、多くの先導的プロジェクトが計画・推進され、基礎研究のみならずエネルギーや環境応用につながる成果も得られている。とりわけ、SuperHRPDの超高分解能を活かして、他の手法では検出不可能な回折線の微妙な変化を見だし、詳細な解析技術を用いて、全く新しい知見を得た研究がなされている。2022年度においても、リチウム電池の正極材料において、精密な構造解析から酸素欠損の量や位置を決定し、フッ素置換の効果を明確にするなど、SuperHRPDの特長を活かした成果が報告された。

2023年度の計画としては、磁性体(フラストレーション系、Sawtooth chain、BiPbFeO<sub>3</sub>、Pt-Mn)、応力発光、磁気冷凍材料、高温超伝導体、蓄電池材料(フッ化物、硫化物、LNMO、BaF<sub>2</sub>-SnF<sub>2</sub>)、新規フェロアキシシャル物質、バイオミネラルなど、多様な物質に対する精密結晶構造解析や磁気構造解析が計画されている。また、産総研にて、二次電池・触媒・炭素・超伝導などの材料研究者を対象に、これまで中性子を使った事の無い新規ユーザーを開拓するためのマシンタイムも設定している。結果に期待したい。

全体的に、基礎と応用を含めた良い研究課題設定であるが、申請書の各テーマの計画欄の記載に差が大きく、研究の意義・方法・予想が明示されてなく、SuperHRPDを用いる意味が分からない記述も散見した。中性子実験は人も金も莫大な資源を使う研究であり、良く練られて優れた成果が期待できる課題を優遇すべきである。

(様式：各年評価)

## 評価報告書

2022 年 12 月 28 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：本田 孝志 (2022/9/1より池田一貴から交代)

種別：継続

ビームタイム配分:8=45%

評価結果: 4.4

コメント：

BL21 NOVA は、中性子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、本 S 型課題申請は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で実施されている。中性子全散乱法はピコ秒以下の時間窓での原子間相関(瞬間構造)を観測でき、液体・非晶質や結晶における不規則構造の解析が可能であることから、NOVA を使った水素化物を中心とする機能性材料の構造解析により多彩な物質の物性・機能の構造的な起源を解明することが目標である。物質・材料研究の基礎領域をカバーしている NOVA の維持改良を含めた利用推進研究を実施する本課題は、中性子利用の枠組の中で確実かつ持続的に維持発展されるべきものと言える。

本課題では、1MW が視野に入る J-PARC/MLF の大強度を活かす全散乱測定を目指す具体的なキーワードとして「微小試料」、「短時間測定」、「精密解析」を掲げており、大強度施設の全散乱装置として納得できる方向性である。2022 年度の課題推進においても、グループ内のサブテーマをこのキーワードに関連付けられている。NOVA グループのサブテーマは大きく 4 つに分かれており、1.水素化物構造解析、2.非晶質・液体構造解析、3.磁気構造解析、4.装置・測定手法の高度化とされている。

1. 水素化物構造解析については、SUS 性耐圧容器の採用による安全な水素ガス導入のその場実験環境を整備、秒単位で進行する Pd や LaNi 系合金の重水素化過程について、水素導入/放出の水素吸蔵特性と水素吸蔵サイトの関係の解明や準安定相の検出に成功した。このような高圧水素のその場実験は SPring-8 の BL22XU とも連携して測定を行っており、時分割 XRD で同定した非平衡相を経由する反応経路の確認に繋がった。ただし 10 秒の積算データではまだ水素各サイトの占有率の解析は難しいとのことで、今後適切な測定条件の検討が望まれる。しかしながら、本課題が掲げるキーワードの大強度を活かした「短時間

(様式：各年評価)

測定」が成果として現れた好例と考えられる。

2. 非晶質・液体構造解析については 2022 年度も引き続き多くのテーマが実施されており、全散乱装置の特性をよく活かした成果が得られていた。特に、非弾性散乱が影響して見かけ上原子間距離が短くなるという効果の検証については散乱角度による効果の指摘や IR スペクトルとの比較による検討を進めており、「精密解析」を目指す展開に沿っている。その他、偏極中性子を利用する水素供給材の構造解析や超濃厚電解質の伝導機構研究、同位体置換法と X 線異常散乱を組み合わせた元素選択的構造解析など新しい試料や手法の導入が進められており、今後の展開に興味を持たれる。

3. 磁気構造解析については研究会では発表が無かったが、磁気構造の PDF 解析は NOVA の利用法としてユニークなものであり、年度後半での実験実施を期待する。全散乱分光器の新分野開拓につながるので、引き続き研究を継続していただきたい。

4. 装置・測定手法の高度化について、2022 年度は水素ガスのその場導入環境、偏極ビームの実用と上記テーマに関係する高度化が進んでいる。改良でもう一つ注目すべきは 3D ラジアルコリメータの試作成功についてで、B4C を使ってきちんと開孔したコリメータが完成し、2023 年 1 月に導入試験を実施することである。これにより微小試料の測定と偏極デバイスの活用が見込まれるため、大強度を利用できる NOVA の有効性が大きく高まると期待される。この他にも、10GPa 級の低温高圧セルや中性子共鳴ラマン分光法の開発など、ハードウェア面における高度化は着実に進んでいると評価できる。解析についても HERMES と連携させた分解能関数の導出と定量的  $S(Q)$  評価や、放射光や NMR と組み合わせた元素選択的なデータ駆動型モデリングといった他施設・ビームを組み合わせたデータ解析が進められており、NOVA が様々な施設を横断的に活用する拠点の一つとなることが期待される。

NOVA の運用を担う S1 グループでは 2022 年 9 月 1 日から代表者が池田氏から本田氏に交代した。S1 グループはこの二人を中心に他機関からの多くのヘビーユーザーで構成されており、そのメンバー全員が係わって一般課題ユーザー対応を実施している。人的な負担と将来的な運営の観点からユーザー層の拡充と S1 グループへの新世代の参加が懸案となっていたが、コロナ禍の影響も懸念されていたところである。しかし、2023 年度には新しいメンバーが S1 グループに参加することになった。また、NOVA への proposal も新規ユーザーが 3 割強、Fast track で新規 7 割と、新しいユーザー層が増えつつあるものと考えられる。引き続き NOVA グループコミュニティの拡大と新しい視点からの研究展開を期待したい。

(様式：各年評価)

## 評価報告書

2022 年 12 月 28 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：遠藤 仁

種別：継続

ビームタイム配分:  $\beta=50.3\%$

評価結果: 4.6 ※5.0～1.0 の範囲から、0.2 点毎で評点を記載

コメント：

中性子共鳴スピンエコー分光器群 (VIN ROSE) では、昨年度に引き続き、**Modulated intensity by zero effort (MIEZE)** 分光器による装置開発、研究を軸に、限られたマンパワーと予算ながら、概ね予定通りに、S1 型実験課題が遂行されていることを確認した。展開する研究についても、ターゲットを絞り、着実にデータが蓄積されてきていて、今後、成果の創出とともに、新しいサイエンスの開拓につながることを期待される。これらのことより、**2023 年度**についても継続して実施すべきと評価できる。ビームタイムについては、開発要素が多いことから、装置の開発・調整に時間が割かれることを妥当と判断する。

J-PARC MLF の BL06 に設置された中性子共鳴スピンエコー分光器群 (VIN ROSE) は、パルス中性子源における本格的な共鳴型スピンエコー分光器として世界初の装置であり、**Modulated intensity by zero effort (MIEZE)** と **Neutron resonance spin echo (NRSE)** の二種類の分光器で構成される。いずれも物質のダイナミクスを観測する装置で、パルス中性子の特長を活かした広い時空間領域の効率的な測定の実現に向け、本邦の独創性の高い技術を結集し、集光ミラー、検出器、共鳴スピンプリッパなどの開発が進められている。

本 S1 型実験課題に関わる研究会は、2022 年 12 月 6 日 (火) に、対面／オンラインのハイブリッドで開催された。課題責任者の遠藤仁氏 (KEK) より、VIN ROSE 全体の現状と今後の予定について説明がなされた。2020 年に実施された中間評価において、今後の装置運営・管理・高度化について優先順位をつけて行うことを強く推奨されたことを受け、昨年度に引き続き、**MIEZE** 分光器の高度化および同分光器による研究が優

(様式：各年評価)

先して実施された。MIEZE 分光器では、その特長が活かされる低分子や磁性体のダイナミクス観測をターゲットとして、とくに炭素薄膜、ポリブタジエン薄膜について得られたデータが示され、鏡面反射条件での準弾性・非弾性散乱の報告例はこれまでなく、特定の  $Q$  領域に中間相関関数  $S(Q,t)$  の振動が共鳴的に見られたことから複数の振動モードの存在が示唆されたとともに、さらなる定量的な解釈に向けた解析が鋭意、進行中であることが説明された。今後、行われる装置開発としては、MIEZE 分光器の検出器増強およびバックグラウンドの軽減、NRSE 分光器の回転楕円体中性子集光ミラーの開発に注力することが示された。また、試料位置下流の偏極解析環境の整備の一環として、スピナナライザー用の長尺の偏極スーパーミラーが丸山龍治氏 (JAEA) より提供されたことが報告された。

日野正裕氏 (京大) からは、NRSE 分光器に設置される回転楕円体中性子集光ミラーに関連して、現在、取り組まれている超高性能スーパーミラーについての紹介と NRSE 分光器の中性子集光ミラーとして  $6Qc$  ミラーを量産する準備が進められていることが報告された。ただ、気がかりな点として、日野氏がミラー製作に用いているスパッタリング装置の故障が頻発していることも紹介された。また、大下英敏氏 (KEK) からは、BL06 で実施された、MIEZE 分光器で使用されている位置敏感型光電子増倍管 (RPMT) と、異なるシンチレータを用いたフラットパネル型マルチアノード光電子増倍管 (MA-PMT) の比較実験の結果が報告された。

丸山氏からは磁気層間結合存在下での自発磁化発現メカニズムの探索として非鏡面反射による Fe/Ge 薄膜の磁気散乱の観測が MIEZE 分光器で行われ、散乱強度を稼ぐために試料を積層するホルダーを準備して測定されたが、それでもシグナルが微弱なためバックグラウンドのさらなる軽減が要望された。中島多朗氏 (東大) は、組成が異なる  $MnSi_{1-x}Ge_x$  について、臨界温度前後でスピンの揺らぎを小角散乱測定により評価した。現状では、RPMT の位置を変えて必要な  $Q$  領域をカバーしているが、測定の効率化のため一度に広い  $Q$  領域をカバーできるように検出器の増強が要望された。いずれも MIEZE の特長が存分に活かされる研究であり、レベルの高い同分光器における代表的な成果となることが期待される。

小田達郎氏 (東大) は、MIEZE 分光器の特徴と海外の同種装置についての紹介とともに、現在、担当している JRR-3 の iNSE のコミッショニング状況として 11 年ぶりにエコーシグナルを観測できたことが報告された。また、川北至信氏 (JAEA) は、J-PARC において担当する DNA (BL02) の測定性能を紹介し、同分光器で展開されている多くのソフトマター研究が VIN ROSE との相補利用によって発展する潜在的な可能性が示された。

以上より、VIN ROSE では、昨年度に引き続き、MIEZE 分光器による装置開発、研究を軸として、限られたマンパワー、予算ながら、概ね予定通りに、S1 型実験課題が遂行されていることが確かめられた。MIEZE で展開する研究については、着実にデー

(様式：各年評価)

タが蓄積されてきていて、成果の創出とともに、今後の新しいサイエンスの開拓につながることを期待される。実験組織としては、少ないメンバーながら、研究ターゲットを絞り、かつ中性子プロパーな研究者と連携することで、測定者目線での装置に対する要望を汲み上げながら装置をアップグレードしていく体制がうまく出来ていると感じた。これらのことより、本 S1 型実験課題は 2023 年度についても継続して実施すべきと評価できる。ビームタイムについては、開発要素が多く残されていることから、昨年度同様に、MIEZE 分光器に 35 日、NRSE 分光器に 45 日で、またそれぞれの開発状況に応じて前者は研究に、後者は開発・調整に優先的にビームタイムが使われることも妥当と判断した。

(様式：各年評価)

## 評価報告書

2022 年 12 月 28 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:8=70%

評価結果: 4.8 ※5.0～1.0 の範囲から、0.2 点毎で評点を記載

コメント：

フェルミチョッパーのトラブルへの対応で大変な中、ガイドマグネットが検出器に影を作る問題を解決し、強度的問題を乗り越えて幅広い観測領域を確保し、その設置が完了した。また、真空槽での加熱が問題になっていたヘルムホルツコイルを、熱伝導を工夫することで実装され、丁寧な磁場計測に基づき今年度新たに遠隔操作で制御ができるようになるなど、着実に進展している。

また、トップロード式の冷凍機を新たに導入したが、単なる導入ではなく、測定試料の温度コントロールを離れた温度センサーから設定値から 0.5K 以内で正確にコントロールする手法を確立した点は素晴らしい。今後、MLF 全体にも技術展開して、MLF 全体として技術力のある施設にしていきたい。

偏極ミラーが 5.5Qc という高い性能を持つことを利用して、42meV という世界的にも最も高い出射エネルギーでの測定を目指している一方、入射エネルギーも 100meV 以上が可能とのことで、今後さらに上げられる可能性も検討している。

大立体角の検出器をカバーする大型偏極子セルの開発は、世界的にも難しい技術課題であるが、その技術開発にも果敢に取り組んでいる。展開するサイエンスについても、昨年度のコメントに対応して最新の偏極中性子非弾性散乱で初めて観測されたスピン流のサイエンスについても述べられており、よく検討されたものとなっている。

さらに、一般課題を受け入れたことで、データ解析環境などの非偏極実験に必要な整備も行われ、国内外から魅力的な研究成果を期待できるようになった。これで偏極実験が開始されれば、すぐにでも素晴らしい研究成果を期待できるようになった。まだ開発項目があり、偏極実験を実現できていない点は残念だが、今回の報告は、少ないメンバーだが、たゆまない技術開発により、今後、

(様式：各年評価)

素晴らしい装置になることを実感させるものであり、これからが非常に楽しみなものであった。



(様式：各年評価)

## 評価報告書

2022 年 12 月 28 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科学研究

実験代表者：森 一広

種別：継続

ビームタイム配分:8=66%

評価結果: 4.6

コメント：

本課題の評価は 2022 年 12 月 16 日に開催された令和 4 年度「2019S10」S1 型実験課題研究会での発表およびその後に提出された研究計画書に基づいて行なった。SPICA は様々な特殊環境に対応可能な高分解能・高強度中性子回折装置として、蓄電池の実用化を目指した国家プロジェクト RISNG(平成 21～27 年度)、RISNG2(平成 28～令和 2 年度)、そして現在の RISNG3(令和 3～令和 7 年度)に参加し、革新型蓄電池を構成する物質を中心とした機能性材料について、operando 測定をはじめとした構造科学的研究に積極的に取り組んでいる。蓄電池材料としては、フッ化物イオン導電体、リチウムイオン導電体、及びヒドリドイオン導電体について全固体電池の材料探索を展開すると同時に、イオン導電機構の解明につながる詳細な結晶構造解析や相転移現象の観測などを進めてきており、様々な興味深い研究結果が報告されている。オペランド測定や MEM 解析などの解析手法の開発などにも SPICA の特性を生かした成果が得られてきている。来年は装置グループメンバーに若手スタッフ 2 名の参加が予定されており、装置の運営・管理及びユーザー支援のさらなる充実化も期待される。このような観点から評価を 4.6 とした。

以下に 1)装置関係の研究体制および技術開発、2)装置性能を生かした先導研究、3)来年度以降の研究計画について評価内容を説明する。

1)研究体制では装置の開発・支援を目的ごとに 5 項目に区分し、さらに各項目でそれぞれの役割を具体的に細分化した新たな体制がとられている。各役割とも計画が立てやすく効率的な開発が推進できるように分類されており、担当者は幅広い人材からその分野に専門性の高い研究者が選ばれている。また、新規に 2

(様式：各年評価)

名の若手スタッフが装置運用の担当者として装置グループに加わる予定となっている。これらの多彩なメンバーにより、従来より懸念されていた人員不足が解消され研究体制が一層強化されることが期待される。

これまでリチウム二次電池の充放電における反応・劣化の観測などで大きな成果をあげているオペランド測定は **SPICA** の高いビーム強度および高い時間分解能を活かした測定技術である。この技術のさらなる高度化に向けて、180 °Cまでの高温に対応した全固体フッ化物イオン電池のオペランド測定用標準セルが開発されている。大面積の検出器を利用した中性子ブラッグエッジイメージング技術の開発、および測定操作の自動化・遠隔化に向けた環境整備も進められており、これら一連の技術開発によって革新型蓄電池の構造学的研究における **SPICA** の役割がより高まると予想される。また、オペランド測定とともに高度化が進められているマルチスケール構造解析は **SPICA** に設置された水平面内の広い散乱角を網羅する 1 次元検出器と低 **Q** 領域を網羅する小角バンクが活用される手法である。固体物性や放射性廃棄物処理の評価など **SPICA** での新たな研究分野の開拓につながる手法であり、さらなる開発への取り組みとこれを用いた研究の展開に注目したい。

2)蓄電池材料であるフッ化物、リチウムおよびヒドリドイオン導電体の構造研究については、精密構造解析、**MEM** 解析を行いイオンの空間分布や欠損情報および伝導経路を求める手法がほぼルーチン的に実施されており、イオン導電機構の解明につながる結果が定常的にかつ迅速に得られていると評価される。先の **S** 型課題研究会では、**SPICA** による原子欠損およびヒドリド(**H-**)と酸化物イオンの配列が 2 段階で秩序化する逐次的な相転移挙動の解明と、この事実に基づいたデバイス開発への道筋が紹介された。**SPICA** の測定が材料開発のみならず物理現象の解明にも有益であることを示した興味深い研究である。

3)**S1** 型課題のうちの開発・調整等のための 41 日をのぞいた 64 日に対して先導的プロジェクト研究 14 テーマが申請されている。テーマの内訳は、蓄電池材料に関係した 12 テーマが 9 割(58 日)を占めており、**NEDO** 事業による **RISING3** プロジェクトへの参加が反映されている。多くが **Rietveld** 解析や **MEM** 解析を用いて結晶構造やイオン拡散経路の解明を行うことを目的としている一方で、このようなブラッグ散乱強度による平均構造の観測と同時に、**PDF** 解析を用いた置換種や欠陥の分布といった局所構造の観測を試みる提案もいくつかなされている。局所構造の観測は、蓄電池材料以外の提案テーマである「応力発光材料の格子欠陥の測定」や「地層処分環境下における放射性核種の固相状態の変遷の解明」においても重要である。今後、**PDF** 解析や **RMC** 解析を含め局所構造に対する解析手段を充実化させることで、**SPICA** における構造研究の多様化が進むことを望んでいる。

## 評価報告書

2022 年 12 月 28 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2023S12

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（名古屋大学）

種別：新規

ビームタイム配分：—

評価結果：不採択

### コメント：

申請書では、大半のスペースを割いて原子核反応における時間反転対称性の破れの検出のためのビームライン建設とその研究推進について述べられており、素粒子原子核分野でのビームライン建設の提案であると判断された。ビームライン建設で導入する中性子光学技術については、物質科学への応用の可能性はあるものの、通常の物質構造科学分野における S 型課題で審議されるような具体的な研究内容についての記述はなかった。

以上のように、ヒアリングをする前の中性子 PAC の議論では、素核課題（素核研で審査）として扱うのが適当と考えられたため、ヒアリングでは当該課題を素核課題として扱うことについての確認を行うことにした。

ヒアリングで確認したところ、当該課題は素粒子原子核研究と物質科学研究の両方にまたがる提案であり、建設するビームラインは素粒子原子核研究のみならず物質科学研究としても重要なビームラインになるとの判断に基づき、素核課題ではなく物質科学研究としての審査を選択するとの回答であった。ヒアリングでの課題内容説明も、建設するビームラインの目的として、偏極  $^3\text{He}$  スピンフィルターを用いた物質科学研究も含む種々の応用研究例を示し、原子核反応における時間反転対称性の破れの検出はその一つであるとの説明であった。その際、物質科学における応用研究の意義を示すため、これまでの実績として、KEK ビームラインである BL06 と BL21 を含む MLF の種々のビームラインにおいて偏極  $^3\text{He}$  スピンフィルターを用いた実験を示し、ビームラインを建設することによって、物質科学研究を MLF で広く普及できるとの説明であった。

ヒアリング後、PAC で審議を行なった。その結果、

（１）物質科学研究として提案されたものは、必ずしも新たなビームラインを必要とするものではなく、実際、現存の種々のビームラインで既に進められている。

(2) 偏極  $^3\text{He}$  スピンフィルターの利用を物質科学研究の手段として提案するのみであり、それだけでは S 型課題の要件である物質科学の一分野を牽引する先導的研究とは認められない。

(3) ビームライン建設費の獲得に向けては、物質科学分野を目的とした科研費ではなく、素核分野で原子核反応における時間反転対称性の破れの検出を目的として申請しており、予算獲得に成功した際には、そのテーマを推進することが必要と考えられる。

以上、(1) (2) (3) の判断により、物質構造科学分野として S1 型課題の基準を満たしていないものと判断し、当該課題は不採択とした。