

(様式：各年評価)

## 評価報告書

平成 28 年 2 月 24 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2016S01

課題名：高分解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： $\beta = 60\%$

評価結果：A

コメント：本課題は、A.通常のエネルギー運動量空間における高分解能実験、B.中性子ブリリアン散乱、C.eV 中性子分光の三領域でサイエンスの開拓を目指している。A.通常のエネルギー運動量空間における高分解能実験では、手堅く着実に研究成果が挙げられている。例えば、マルチフェロイック物質である  $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$  のスピン波分散を決定し、線形スピン・ハミルトニアン解析により、Nd の結晶場がマルチフェロイックの起源であると提案している。B.中性子ブリリアン散乱は、世界的に見ても特徴的なエネルギー運動量空間であり、独創的な研究成果が期待できる。昨年度に続き、強磁性体粉末のスピン波の決定を行っている。また、強磁性体  $\text{SrRuO}_3$  のスピンマ波分散の温度依存性を詳細に測定し、 $\mathbf{E}_g$  の温度異常を観測した。デラックコーンによるモノポールを原因として提案している。挑戦的なテーマである C.eV 中性子分光に関しては、いくつかの試行を行っている。 $\beta$  は建設時に比べ大きく低下しているものの、まだ 53%と高い。しかしながら、今後、(1)中性子強度の増大、(2)検出器の増設、(3)バックグラウンドの低下、等によりデーターの質・量を低下させずに  $\beta$  を大幅に下げ、一般課題の割合が増えることが期待される。特に、B.中性子ブリリアン散乱は、粉末・液体試料から有益な物理情報を引き出すことが出来る。したがって、新しい研究分野の研究者（産業界の研究者）を多く取り込むことが期待される。

(様式：各年評価)

## 評価報告書

平成28年2月24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：A

コメント：

BL05では、実験代表者のグループが開発を主導してきた先進的中性子光学系の実験技術を基盤に、高品質のパルス冷中性子を用いた低エネルギー精密素粒子物理学を開拓するビームラインの開発・高度化が推進されている。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、中性子崩壊、中性子散乱、中性子回折・干渉等の各実験装置の開発・高度化が並行して組織立って進められている。

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。中性子寿命は、初期宇宙の元素合成や、強い相互作用におけるクォーク混合行列のユニタリティーに関わる重要な物理量であるが、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、既存の手法における系統誤差を排除し、1秒の精度を実現することが可能である。特に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)により、TPCより短い中性子バンチの実現に成功しており、さらにTPCの開発も終え、2015年度には統計精度20秒のデータ取得を行い、系統誤差の詳細解析を進め精度1秒を着実に実現するための改良・高度化の課題をあきらかにしたのは、大きな進展である。特にMCによるバックグラウンドの要因と評価・除去方法を確立しつつあり、本装置のハード・ソフトの両輪が有機的に進んでいるのは高く評価される。系統誤差の主な要因である $^3\text{He}$ 数密度に関しても、 $^3\text{He}$ 分圧測定に伴う問題点を明らかにしており、

(様式：各年評価)

着実な系統誤差抑制が期待できる。所定精度実現のため、SFC 増強による中性子フラックス・集光の改善・増強、そして TPC のサイズの最適化とバックグラウンドを解析で抑制するための TPC 内壁の有感化等、2016 年度に向けた開発課題とその計画は、これまでの詳細なデータ解析に裏打ちされた現実的なものであり、国際的な競争のもとで推進する本装置の速やかな成果達成と、さらなる共同利用への展開を拡充するために、施設側の強いサポートが重要と思われる。

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マイ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の開発が開発され、 $^3\text{He}$  PSD による中性子検出器、解析シミュレーションの構築等、こちらもハード・ソフトともに着実に進展していることは高く評価される。特に、異なる実験手法である冷却分子を用いた量子光学実験は、原子間の相互作用による不定性が大きく、本実験の重要性は国際的にも注目されており、競合する韓国の計画を凌駕するためにも、標的ガス放射化等に対する諸手続き等、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。

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。中性子光学系の増強等により UCN 密度の増強にも成功しており、PTEP への成果公表も進んでいる。研究グループが開発してきた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、この装置のさらなる高度化へ向けた開発は重要と考えられる。

さらに、先進的な中性子光学技術の開拓を目指し、スピフィルターや偏極ターゲットとして用いる偏極ヘリウム 3 源、新しい動的核偏極の技術開発、複合核共鳴反応を用いた時間反転対称性の破れの検出を目指した基礎研究と開発、革新的な結晶 EDM 実験の開発研究等、広い視野で中性子基礎物理を開拓する様々な次世代を見据えた開発研究が着実に進められ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ことは高く評価される。同時に、所定の性能を実現するためには、ベンダー下流の中性子フラックスが予想より少ない原因を解明し、所定の性能を早期に実現することが強く望まれる。また、安全面でも、偏極ベンダーで観測された大きな放射化をどのように解決・改善していくか、施設側との強力な連携のもと、具体的な作業計画の策定が必要と思われる。国際的な競争のもと、BL05 の特徴ある高品質パルス中性子による基礎物理の研究を加速し、同時に開発された先進的中性子光学技術が広く普及され、共同利用に資するためにも、施設との有機的な連携、組織だった共同研究の拡充が望まれる。

(様式：各年評価)

## 評価報告書

平成 28 年 2 月 24 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：新規 or 継続

ビームタイム配分： $\beta = 59\%$

評価結果：A

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。

世界最高の分解能を持つとは言え、予算の制限から旧 Sirius から真空槽や検出器を流用して建設されたため、これまではいわば片肺運転での運用であった。しかしながら、2014 年度には背面バンクの検出器が 8mmPSD に更新され、 $\Delta d/d$  が 0.08% を切るという、一層の超高分解能化を果たしている。さらに 2015 年度には、震災でダメージを受けた長尺部ガイド管のメンテナンスを行い、歪みの解消と真空度の向上により、当初の目標であった粉末試料で  $\Delta d/d \sim 0.03\%$  を果たしている。また、超高分解能測定に特化した新マグネットの 14T 発生が確認され、建屋に納品されるなど、試料周辺環境の整備も進んだ。Z-Code の開発も順調に進行しており、間もなくノンコリニア磁気構造解析実装される。いよいよ SuperHRPD の能力が発揮される環境が整いつつある。

順調な装置開発の一方で、度重なるシャットダウンのため、一年間でわずか 30 日というビームタイムで研究成果を求めるのは酷である。しかしながら、限られたビームタイムでも S 型課題の強みを活かし、緊急課題に柔軟に対処するなど、優先順位をつけたメリハリのある運用がなされている。

分解能が向上した 2014 年度に測定したデータの解析が進み、SuperHRPD ならではの研究成果が出始めている。量子常誘電体  $\text{SrTi}^{18}\text{O}_3$  の強誘電転移に伴う微小な結晶構造歪みが検出されたほか、酸素欠損層状ダブルペロブスカイト  $\text{PrBaCoO}_{5.5+x}$  の絶縁体磁気秩序相の磁気構造解析を行い、4 つある Co サイトそれぞれの磁気モーメントの評価から、スピン状態転移を議論し、さらに電荷・

(様式：各年評価)

軌道秩序による金属絶縁体転移のメカニズム解明を行った。また、 $\text{CoO} \cdot \text{NiO}$  と言った比較的単純な遷移金属酸化物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、スピンの方向を決定すると共に、磁歪のメカニズムを解明している。

微小歪み検出・エネルギー関連物質・有機・無機ハイブリッド材料、超分子・元素戦略などの新しい学術的利用分野の開拓を、先導的プロジェクト課題として掲げている。これらはいずれも重要な問題で、優先的に推進すべきである。特に、高い分解能が威力を発揮するソフトマター研究や巨大分子の粉末構造回折は、ビームライン建設時のターゲットだったこともあり、結果が望まれる。

縄文土器やエリンバー合金の研究など、新規ユーザーを積極的に開拓している姿勢は高く評価できる一方で、必ずしも超高分解能が必要ではないこうした測定に貴重な **SuperHRPD** ビームタイムが費やされているのは問題である。高フラックスのビームライン、**iMATERIA** や **SPICA** などへの橋渡しができないものか。産業利用受入でビームタイムに余裕のない **iMATERIA** だけでなく、**SPICA** が一般公募課題に供されることを希望する。

(様式：各年評価)

## 評価報告書

平成 27 年 12 月 14 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： $\beta = 55\%$

評価結果：※A～E を記載

A

コメント：

NOVA の極めて広い分野をカバーする特徴を反映し、液体、生体分子から固体構造解析まで幅広い分野を網羅している。これまでの重点領域である水素関連研究に加え、特に、磁気構造の pdf 解析など、新しい試みも始まっている。さらに、試料環境の充実にも研究者とマシンタイムを確保しており、バランスの良い計画と言え、必要なマシンタイムも妥当と考えられる。また、元素戦略プロジェクトとのリンクも進んでおり、物質・材料研究における NOVA のビジビリティの更なる向上が期待できる。

研究グループの規模、研究資金の規模と比較して、研究成果の推移も順調であり、継続すべきテーマと結論できる。

今後の計画に関しては以下の点に留意いただき進めていただきたい。

1. ワイドレンジに渡った計画を同程度の重み付けで進めているように読めるがトラブル等によるマシンタイムの減少等の事態も想定し、水素以外にもいくつか重点テーマを設定しておくことも必要かと思われる。それらの重点テーマにマンパワーとマシンタイムを集約し、一気に短期的に成果を挙げ、NOVA の看板成果が複数欲しいところである。
2. 物質・材料応用においては新材料での成果が強調されがちであるが、いずれの分光器においても類似した研究が進みがちである点に留意されたい。今回の研究会でも話題になった、「水」の構造解析のように基本的物質で NOVA の特徴を証明する方向も進めていただきたい。
3. 試料環境についても 1 と同様に、様々なオプションを並べるだけでなく、吟

(様式：各年評価)

味したものから重点化し、特徴を先鋭化する方法も検討していただきたい。

4. データレダクションを行い  $S(q)$ を得るまでのプロセスとその後の解析部分を装置側とユーザーグループ側である程度、責任を分担して進めたほうがマンパワーとの関係から効率的と思われる。検討をお願いしたい。

5. 成果については **regular journal** と **proceedings** を分類した数値も示していただく方が、研究 **activity** の順調な推移を示し易い (**proceeding** が出た年の突出が無い) と思われる。色分け等でもかまわないが検討いただきたい。

(様式：各年評価)

## 評価報告書

平成 27 年 12 月 14 日 中性子共同利用実験審査委員会

課題番号：2014S07

課題名：中性子スピネコー分光器群(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：A

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ネコー装置は、JRR3 に設置されている iNSE および PONTA-TASSE のみであり、J-PARC に設置される VIN-ROSE は日本における第 3 のスピネ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。2014 年 4 月に初めてビームの取り出しに成功し、その後、着々と装置の建設を進めている。実験グループは、中性子スピネ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。

全体計画と当該年度の実施状況：KUR グループが実証した TOF-MIEZE 分光法の確立と、回転楕円体集光ミラーを備えた高分解能 MRSE の実現。

これまでに、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 で初めてスピネコーシグナルの検出に成功した。2015 年 6 月に起こった J-PARC の事故により実験ができない状況が続いているが、2016 年 3 月には MIEZE の共用実験を開始し、かつスピネコーシグナルの解析法を確立する予

(様式：各年評価)

定である。

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おり、2017 年から共用実験を開始する予定である。

コメント： 独創的な中性子光学理論と実証に基づく、TOF-MIEZE 分光器および NRSE 分光器の建設は J-PARC にとっても、物質のダイナミクスに関心をもつ多くの研究者にとっても大きな期待となっている。その意味で、VIN-ROSE の建設が順調に進展していることは非常に喜ばしい。磁場中のダイナミクス、低分子ダイナミクス、生体高分子ダイナミクス、産業応用といった利用グループからの期待も大きい。MIEZE では 2015 年 3 月に始めてスピネコーシグナルの検出に成功しており、分光器は順調に立ち上がっている。J-PARC が復活次第、まずは標準試料の測定により、MIEZE の性能評価をするのが望ましい。また、並行して磁場測定や広い温度領域の測定などの試料環境の整備も進めていただきたい。また、一般ユーザーを取り込むためにも、ユーザーフレンドリーのソフトウェアの開発は必須である。来年度には、磁場環境でのスピネコー測定ができる装置の特徴を生かして、ランダム磁性体、フラストレート磁性体のスローダイナミクスの観測や、イオン液体や生体分子の水和などの低分子のダイナミクス研究が行われることを期待したい。NRSE 分光器については、大型回転楕円体集光ミラーの作成に成功することが最大の目標である。その実現に全力を尽くしてもらいたい。研究グループのロードマップにあるように、2016 年 3 月に NRSE でスピネコーシグナルの検出、2016 年 4 月からマルチ検出器の製作、2017 年 4 月からの共用実験を開始できることを希望する。

(様式2)

## 評価報告書

平成 28 年 2 月 24 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： $\beta = 40\%$

評価結果：A

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昨年から発足した課題である。学産のメンバー総勢 19 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 27 年 10 月 1 日に行われた研究会では、2014S08 課題初年度の成果報告があり、本課題の 3 大テーマ：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、と 1 次元集光ミラーの開発についての報告があり、多くの特筆すべき成果が報告され、活発な意見交換が行われた。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、是非実施すべき課題であると考ええる。

優れた課題であり、特段、批判的なコメントはないが、中性子反射率計を用いた研究をさらに発展させ、世界一の装置を目指すために以下の 3 点に期待したい。

1. 1 次元集光ミラーの開発と  $^{10}\text{B}$  コンバーターの最適化が今後の SOFIA の発展の鍵となる。平成 28 年度内での完成と、実装に期待したい。
2. 高分子系やミセル系といったソフトマター科学に関しては、これまでに十分な成果を挙げている。一方、海外の諸施設では、生物系や固体物性の分野においても、水平反射率計が精力的に使われている。SOFIA の今後の更なる有効利用のため、ソフトマター科学の周辺領域まで視野に入れた研究の展開を期待する。
3. SOFIA は、産業界のニーズが高い装置であり、S 型課題メンバー 19 名のうち、7 名が産業界のメンバーである。これらの研究者が、一般課題を PI として申請できる環境の構築を期待する。これにより、申請書の研究概要にある「工業材料への応用を念頭に産業界からも研究者も共同して行っていく」をさらに発展させることができると考える。

## 評価報告書

平成28年2月24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:ビームを用いたコミッションングを平成28年度内に開始予定

評価結果: A

POLANO は KEK と東北大学が連携して、J-PARC の BL23 に建設を進める大強度の中性子チョッパー型分光器である。研究代表者らは、この分光器で 100meV までの偏極解析実験の実現を目指すことで、J-PARC 内を含む世界の他の分光器との明確な差別化を図ろうとしている。初期においては、Bender スーパーミラー( $m=5.5$ )を偏極アナライザーとして  $E_i < 40\text{meV}$  にターゲットを絞り、この領域での分光実験を行い、また、その実績を踏まえ、第2段階で立体角 SEOP アナライザーの導入によりエネルギー領域を  $E_i < 100\text{meV}$  に拡張、さらに KEK が長年に渡り開発を進めている動的陽子偏極法(DNP)の活用も視野に入れている。偏極後の中性子フラックスは J-PARC に設置されている BL01 四季に比べ 1/10 程度を見込み、建設後は、スピン・格子・軌道・電荷の織りなす複合物性領域で機能性材料の研究を行う。現段階では、大型の工事が終了、装置制御系の整備もほぼ整っており、平成28年度夏に最近発覚した生体遮蔽内ガイドの真空漏れに対する中規模の工事を行ったのち、同年度中に初ビーム受け入れ、可能な範囲でコミッションングを開始する予定である。

研究会においては、本プロジェクトの実施体制の紹介、各専門部門での進捗・成果状況、および、完成後に実施する学術研究領域の紹介がなされ、建設に関しては、各担当部門が協力して着実な成果を上げていた。また、段階を踏んだ開発ビジョン、および、最終的な目標設定・それに向けた事業計画が明確化されており、確実な発展性を予見することができた。最終的には 100meV 領域までの偏極解析実験の実現を目指すという世界的に類を見ない計画であることから、これが J-PARC の特色の1つとなることが期待される。現段階では、最終工事と初期コミッションングの段階ではあるが、まさに S 型課題ふさわしく、最優先で取り組むべきものと判断する。

なお、継続的かつ円滑な事業推進・運営体制の確保のための課題として、本プロジェクトに高エフォート率で取り組む人員の確保が必要であること、また、将来的なビジョンとして強相関電子系・物性基礎実験の枠を超えた新しい研究対象領域の開拓によりこの装置をさらに活用するという方向性を持つことが重要であることを主査の総括コメントとしたことを申し添える。これによりこの装置の存在意義がより強化されるためである。

(様式：各年評価)

## 評価報告書

平成 28 年 2 月 24 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学的研究

実験代表者：米村雅雄

種別：新規 or 継続

ビームタイム配分： $\beta = 100\%$

評価結果： A

コメント：

SPICA は電池材料を念頭に入れ、充放電過程の *in situ*、*in operando* 実験など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。Li 電池のグラファイト電極に関して、放電過程で Li がグラファイト層間から抜けていく段階的な反応を初めて観測し、その過程で膨張の傾向が見えたり、放電レートの違いにより共存相の現れ方が異なるなど、これまでブラックボックスであった電池内部の反応の様子をつぶさに捉えることに成功した。回折ピークの時分割観測にとどまらず、材料構造科学的にも、電解質や電極での反応過程での生成物を多相 Rietveld 解析で解明しようとする試みなど、今後成果が期待できる解析技術の開発も進み始めた。

また Li 電池内部のマクロな反応過程として、 $\mu$  PIC 検出器を用いたイメージングでは、波長分解できる TOF イメージングの強みを活かして、予期していなかった電解液の移動の様子を捉えるなど、今後利用方法によっては、産業利用に直結する可能性を秘めた手法開発が進んできている。これらは電池のパフォーマンスを上げるパッケージングの工夫などにつながる可能性も高い。一方で、現在とにかく電池そのものを測定してみるという *first trial* の段階であり、どの程度の定量性が得られるかなど要素分解的に一步一步進めなければならない知見の積み上げが不足しているように思われる。予期せぬビーム停止の影響が感じられる。

こうした要素技術の知見の積み上げや測定技術の開発、解析技術の開発など、開発要素は多いこと、RISING の継続的な次期プロジェクトが立ちあがる可能性があることから、S 型のビームタイム配分を A 期 100%、B 期 90%とした。中性子のビームポートを 23 本しか持たないユーザー共同利用施設の MLF にあ

(様式：各年評価)

って、課題の一般公募をしない装置が運用されていることは、J-PARCの公共性という一側面から見たときに不満を感じる研究者も多い。また、これだけのパフォーマンスを有するSPICAであればこそ、自由な発想に基づく一般公募課題を導入し、研究者の底辺を拡げていくこと、さらに研究の競争性を高めていくことは、研究の発展という観点から必ず正のフィードバックをもたらすと確信している。まずはH28年度に一般課題への門戸を開くとともに、その後徐々にその比率を拡大していくべきである。一般課題への公開を前提に、本S1型課題は最優先で行う課題と評価する。