

BL05（中性子光学基礎物理実験装置）中間評価報告書

基礎物理・中性子光学分科会

主査 旭 耕一郎（東京工業大学）

副査 鈴木 淳市（総合科学研究機構）

永井 泰樹（日本原子力研究開発機構）

鬼柳 善明（名古屋大学）

齊藤 直人（高エネルギー加速器研究機構）

村田 次郎（立教大学）

§1 はじめに

BL05（中性子光学基礎物理実験装置）は放射線申請が認可され装置が稼働を開始してから約5年が経過した。本中間評価委員会は、これを機に本装置について、改めて装置の撤去あるいは継続の可否の審議を行なうとともに、継続する場合には今後のさらなる有効活用に向けた助言を行うことを目的として中間評価を行うものである。評価にあたっては、当該装置グループによって作成され本評価委員会に提出された「中性子実験装置中間評価調書」及び他の関係資料に基づいて、あらかじめ各委員が書面審査を行い個別意見書としてまとめた。続いて平成26年12月8日に開催した評価委員会において、装置グループの担当者より装置の現状と課題、利用者支援、成果及び今後の計画について詳細の説明を受け、質疑・応答、意見交換を行った。以下の評価報告は、これらの審査に基づいて取りまとめたものである。

§2 装置の建設・維持および技術開発などに関する事項

当該グループがこれまで開発してきたスーパーミラーベンダー等中性子光学素子・技術を生かして一本のビームラインを分岐し、当初の計画通り、(1) 偏極ビーム、(2) 非偏極（強度重視）ビーム、(3) 低発散ビームの供給というそれぞれ異なった特徴・機能を有する3つの分岐ビームライン（ブランチ）を建設することに成功している。各ブランチはシミュレーションに基づく予測と同程度のビーム強度を達成、偏極ブランチの偏極度も予想に近い値を達成している。また実験に特化した測定器として、(1) 偏極ブランチには中性子 β 崩壊寿命測定成功の鍵を握るスピンフリップチョッパー（SFC）およびタイムプロジェクションチェンバー（TPC）が設置され実験に供されている。(2) 非偏極ブランチには超冷中性子（UCN）用光学素子の開発に向けて高反射率・広帯域中性子ミラーを後退させてパルス型のUCNを発生させるドップラー・シフターを建設、(3) 低発散ブランチには未知短距離力探索のための中性子小角散乱実験装置が設置されている。

§3 当初計画に対する装置性能の達成度（世界の類似装置を含めた位置づけを含む）

各ブランチのビーム強度、偏極度及びビームエミッタンスはいずれも概ね当初目的に沿った性能を実現している。ただしいずれの達成値もシミュレーションに基づく予測値よりやや低いので、実施・計画中の物理実験からの要請を踏まえたうえでビームライン整備に関する目標設定と現在の達成度の明確化、及び未達成部分に対する対処方針の策定について検討が必要である。偏極ブランチの特徴とSFCを生かした新しい手法による中性子 β 崩壊寿命測定は、従来の飛行中崩壊型と蓄積崩壊型の2種の実験間に見られるくい違いの膠着状態を打破する優れた方式として国際的に認知されるに至っている。一方低発散ブランチで計画されている未知短距離力探索の実験はやや進行が遅れている。具体的なマイルストーンと時間軸を入れた実施計画を明らかにして進めることが望まれる。非偏極ブランチに設置されたドップラーシフターは、世界最強UCN強度を誇るフランスILLのUCN源に比して、時間平均強度は劣るものの、JSNSのビームの持つパルス構造を生かしたパルス状高密度UCN

発生が可能な点で世界でもユニークな装置となっている。

§4 利用者支援に関する事項

本ビームラインの利用者は現在5大学・3研究所にわたっており、実験に参加する大学院生の数も増加傾向にある。但し、基礎物理実験はビームラインの機能に直接リンクしているためにビームライン開発と物理実験は不可分である場合が多く、その結果、本ビームラインの運用は利用者とビーム供給者が一体となったものとなっている。基礎物理学分野に固有の実験実施形態に起因する必然的な面もあるものの、この方式が新たな利用者の参入に対するハードルを高くしている可能性も考えられる。現在取り組んでいる物理をより強力に推進するために、またこのビームラインの特徴を生かした新たな物理実験の提案が現れるために、外国からを含め新しいユーザーの開拓は重要である。そのためにはビームラインに未習熟の利用グループが現れた場合の支援体制について検討することと、その結果に基づいて利用者支援に対する考え方を外部に示す用意のあることが必要である。

§5 得られた成果に関する事項

ビームラインの建設・性能評価、および計画されている物理実験を実施するためのデバイス開発について、既に十分な数の成果が口頭発表及び出版されており、高く評価される。中性子 β 崩壊寿命測定実験については、新方式の有効性を占う i) SFCを用いたビーム長制御と ii) ^3He を共存させた気体検出器による中性子数・ベータ崩壊数の同時決定のいずれも原理検証実験がなされた。ただし当初計画した精度に達するためには、同じ中性子エネルギーにおける $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ 反応断面積の0.1%の精度での決定、 ^3He 分圧が測定法によって値がずれる問題の解決、その他さまざまな系統誤差の評価とその対処法の検討など、いまだ課題が残っている。未知短距離力の探索実験については、窓材における散乱で生じるバックグラウンドの評価を行なって、実現への一歩を踏み出している。ただし実験に進むにあたっては、種々の系統誤差を考慮に入れた感度の再評価、さらには反陽子ヘリウム、水素原子の系や核半径を通じた方法、との感度比較などを改めて行う必要がある。今回の中間評価調書ではこの実験を含め、 β 崩壊寿命実験以外の当初計画に掲げられた物理実験について、最終目的の成果に至るまでの定量的な実現性評価の結果や具体的な工程表、スケジュールが明確に示されていない。

UCN光学素子の開発・研究においては、パルス型UCN発生用ドップラーシフターによって速度7 m/s以下のUCNに対しパルス幅0.5 msで瞬間強度 10^4 cps、平均強度44 cpsが実現しており、勾配磁場中でのRF周波数掃引によるスピン反転を利用した中性子時間収束技術（リバンチャー）の実証実験が進行中である。また超高性能中性子ミラー、磁気ミラー、 ^3He スピンフィルター等、これまでに開発した中性子光学素子の実利用がこのビームラインで進められたことも成果の一つとして挙げることができる。

本ビームラインで ^3He 偏極装置の開発実験が実施され、その成果はBL23 POLANOにおける ^3He スピンフィルター装置の基盤となった。MIEZE型スピンエコー法の世界初の実証実験が実施され、その成果はBL06 VIN ROSEに引き継がれた。

§6 今後の装置運営・管理・高度化および学術研究テーマに関する事項

本ビームラインの運営には、基礎物理学分野の実験実施形態の性格に鑑み、物質構造・生命科学の研究を主眼とする他のビームラインとは異なった考え方が必要である。§4項に記したように、実験の成否・到達度がビームラインの特定の性能によって直接決定づけられることから、物理実験の実施者とビームライン・装置の管理・高度化推進者との分離は实际的でない。基礎物理の実験は装置の限界に迫る性能を追求した長期にわたるデータ取得が鍵となるため、多くの研究者の知恵と検討作業の成果を結集し、幅広い候補の中から選択した少数の研究課題に集中して実施することが重要である。実際 BL05 の装置運営は物理実験実施と一体となって行なわれており、比較的少人数であるにもかかわらず精力的に進められている点は高く評価される。しかし同時に今後は、計画されている物理実験の強力かつ高度な遂行のために現在以上に幅広く外部研究者の新規参加を可能とする仕組み、及び定

期的に外部からの課題提案を受け付けて装置グループ内部からの提案とともに学術的意義と実現性の検討を行い優れた課題が選択される仕組みを構築することが望まれる。

これら選択・集中して実施する基礎物理実験課題と並行して、デバイス開発、応用研究等の一般課題研究の実施が考えられるが、前者と後者の実施割合をどのように設定するかについて、各ブランチの使用可能時間・効率・人的パワーの実情と前者課題の緊急性等を踏まえた検討を行う必要がある。

なお、当初の計画書で掲げられた実験課題及び現在計画されている実験課題については、ビームライン・装置の性能とその今後の見通しが明らかになった現在、その実現性をより定量的に検討し、今後の目標達成までの具体的なスケジュールを明らかにすることが求められる。

§7 施設への要望

BL05 ではこれまでの5ヶ年の間に中心的メンバーであった1名のスタッフが転出したがその補充はなされておらず、外部からの実験者と施設側装置担当者が一体となって維持・管理・高度化の任務を遂行しているのが現状である。今後外部からの利用者が増大する場合に備え、またこのビームラインがMLF中性子の他ビームラインで用いる中性子光学素子・基盤技術の開発の役割を果たしていくことに留意し、BL05への施設側の人員配置が十分であるかについて常時注意を向けて頂くことをお願いしたい。

§8 総評

BL05 中性子光学基礎物理実験装置は、当初計画の通りベンダーを用いた分岐によりそれぞれ異なる機能を持った3つのビームライン（ブランチ）の建設が行なわれ、いずれも概ね目的に沿った性能が実現されている。それぞれのブランチでは世界でもユニークな特徴・方法による基礎物理学実験が既に着手されており、中でも偏極ブランチにおける中性子寿命測定実験は成否の鍵を握る2つの新手法の原理検証を終え本格的なデータ取得に向けた収量・精度改良段階にはいつている。このようにBL05はJSNSの高強度パルス中性子の特徴と本装置グループが独自に開拓してきた中性子光学素子・中性子制御技術を生かし、世界的にユニークな中性子基礎物理実験が実施可能な施設となっている。また他ビームラインを含む中性子実験装置で有用となる中性子光学素子・技術の開発基地としての役割も期待できる装置となっている。以上から本評価委員会はBL05中性子光学基礎物理実験装置は今後も継続して研究開発を進めていくことが適当と判断する。なお今後進めるにあたっては、以下の各項目について検討されることが望まれる。

- 1) 現在進行中の実験について、ビームライン・装置の性能とその今後の見通しを踏まえた今後の目標達成までの具体的な手順とスケジュールが明らかになることが望ましい。また計画書に掲げられている物理実験について、具体的な方法とその実現性が定量的に検討され、今後実施するか否かについても明らかになることが望ましい。
- 2) 本装置の運用が利用者・施設側担当者一体で行われ新たな利用者が参入しにくくなっている可能性があるためこれを解消されるよう、およびこの特徴あるビームラインでの実験が幅広い研究者の知恵と意欲を結集して推進されるために、装置の目的・性能・使用法等を外部に公開するとともに、外部から幅広く実験提案を受け付け、グループ内からの提案とともに評価・選抜のうえで実施されるための仕組みが整備されることが望まれる。
- 3) 本ビームラインにおける実験として、上記のような基礎物理分野の先端課題を狙う長期実験に加え、デバイス開発・応用研究等を目指す一般課題実験が挙げられるが、両タイプの実験をどのような割合で実施すべきかについては、前者の緊急度やビームライン利用可能日数等を踏まえて今後の方針が策定されることが望まれる。

以上