

## BL23（偏極中性子散乱装置）評価報告

分光分科会 主査 中島 健次 (JAEA)  
副査 佐藤 卓 (東北大学)  
中島 多朗 (東京大学)  
加倉井 和久 (CROSS)  
梶本 亮一 (JAEA)  
日野 正裕 (京都大学)

### § 1 はじめに

本中間評価報告書はJ-PARC、MLFのBL23ポートに設置された「偏極中性子散乱装置」（以下POLANO）に関するものである。POLANOは、2011年にMLFでの装置建設が認められ、その後2016年6月にビームを受け入れ、2019A期より共同利用が開始された。本評価は同装置がビーム受け入れからほぼ5年（実際には6年強）を経たことにより、MLFが設置装置に対して定めた中間評価として実施されたものである。

本装置の審査分科会では、まず事務局より提供された審査資料に基づき、事務局提案の6項目に関して各委員が事前に評価を行った。その事前の評価の過程でさらにいくつかの事項について詳細に理解する必要が生じたため、装置担当者への質問リストを提示し、ヒアリング審査時に回答することを求めた。その後、2022年12月26日に装置担当者に対するヒアリング審査をオンラインにて実施し、それに連続して分科会による審議を行った。審査においては上述の6項目を中心に、幅広い観点からPOLANOの現状と今後を議論した。本報告書はその審議結果を簡潔にまとめたものである。

POLANOは、最高100meVまでの偏極非弾性散乱を測定可能にするという非常にユニークかつ野心的な装置である。POLANOが完全に稼働した暁には磁性研究のみならず広い学術研究分野へ大きな波及効果が期待できるだけでなく、ツールとしての中性子散乱のプレゼンスを革新的に高める可能性をも持つものである。建設開始から10年、ビーム受け入れから6年を経て、装置は建設、開発を進めながら、非偏極部分についてはコミッショニングと共に開始しており、2023年から偏極部分のコミッショニングも開始するとのことである。広い学術分野に対して強力な研究ツールとなる可能性のある本装置は、今後も完成を目指して建設、整備、コミッショニングを進めていくべきものであることは間違いない。一方で、本審査分科会は、偏極部分の整備が遅れていることを憂慮しており、本装置が掲げる偏極非弾性による学術研究の革新的な成果創出を可能とするために必要な装置性能を一定期間内に実現するためには装置グループの枠を超えた組織大で考慮すべき事項もあると考えている。

### § 2 装置の建設・維持および技術開発などに関する事項

POLANOは、最高100meVまでの偏極非弾性散乱測定を実現するという前例のない挑戦的な装置である。そのため、当初から装置設計から建設、必要となる機器の開発などに困難が予想されていた。その中で、詳細計画書に書かれた概念設計の段階から先行する類似装置等を参考にしつつも手探りで誠実な検討を進め、建設決定以降は、幾分のきわどさを持つ分光器本体の当初の設計案を、真空試料槽や大面積検出器バンクを持つ比較的スタンダードな中分解能チヨッパー型分光器へと変更し、現実的な設計として既存技術も流用可能とすることで、分光器本体（非偏極部分）は、当初要求される性能を満たす装置として一定の完成に至らせた。このことは評価される。

一方で、未だ本装置は偏極中性子を発生させるには至っていない。当初掲げられた100meV偏極非弾性散乱実験実現の計画は維持されたまま、全体が先送りとなっている。関連する3次元ポラリメトリーの技術開発などもまだほとんど手つかずである。一方で、近く偏極ビームコミッショニングを計画し、コンポーネント開発や関連する磁場計算などの基礎的検討は一定程度行われている。MLFで参考にできる他の装置が少ない中、POLANOグループ独自で導入・開発を進めているものが多く（特にPOLANOの環境に合わせて設計した磁場環境）、その中でSEOP開発や偏極スーパーミラーアナライザーバンクの導入で40meVを超えるパルス中性子偏極実験の利用準備までこぎつけた点等と合わせ

て、その努力を評価したい。しかしながら、偏極専用非弾性散乱装置を謳う以上、中間評価時点でのこの遅れは懸念事項として指摘せざるを得ない。

現状の装置の完成度を鑑みて、様々な技術的課題が残る相関チョッパーの完成を後回しにしたことは妥当である。相関チョッパーは偏極非弾性散乱の強度を補填するための手段として導入されており、まず、偏極非弾性散乱を実現することが優先されるのは合理的である。しかしながら、偏極非弾性散乱の実施で予想される強度不足を補う手段として当初計画に組み込まれたものであり、最終的にはこの相関チョッパーかそれに代わる強度増強の手段に着手する必要がある。

### § 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）

分解能、強度などの基本的な評価について、分科会委員からの質問に対する装置担当者の回答としては、当初の設計目標を達成しているとのことである。強度についての測定結果以外、計画で想定されていた目標値と実際のコミッショニングで得られたデータを具体的に比較したものが示されなかったので定量的な確認はできなかつたが、これまでの実験例として提示された非偏極非弾性散乱のデータからは標準的なチョッパー型分光器としての性能は得られていると推測される。一方で、偏極中性子の発生はこれからであり、装置の肝となる最も重要な部分はまだ完成していない。

偏極中性子非弾性散乱装置であるという点がこの装置の最も重要な部分であり、非偏極部分は一般的な中分解能チョッパー型分光器であるので、成果の類似装置内での位置づけ、評価は、この時点では時期尚早であるため判断を差し控えたい。海外の類似装置よりも高いエネルギー領域までの偏極度解析が可能となるポテンシャルは示されているが、近年量子スピン系などで海外他施設での偏極非弾性散乱において多くの注目される成果が次々と生み出されている状況等を考えると、内外他装置の技術交流等の手段も検討するなど、偏極非弾性性能の完成を急ぐ工夫をすべきである。

### § 4 利用者支援に関する事項

装置グループは、リソースの限られた困難な状況で、装置の建設も進めながら、完成した部分を用いて限定的な性能の中でも一定の共用を実施している。

特に、装置グループはヒアリングにおいて人的体制に困難があることを訴えており、未完成の部分のある装置において、共用が装置整備の進捗に影響を与えることが懸念される。一般課題はそれほどの採択件数はなく、これら共用実験からの論文成果も未だないことを考えると、この装置における一般利用者の共用については検討の余地がある。装置整備には、一定の実際の実験も必要であり、一般の課題、一般的の利用者を受け入れる通常の共用ではなく、例えば、装置整備に結びつく課題、利用者に限定するような方法もあるのではないか。もし、それでも現段階で共用を広げていこうとする場合は、利用支援体制について、グループ内を含む大学等や施設（KEKやMLF等）全体からの支援といったことを広く検討する必要があるのではないか。

### § 5 得られた成果に関する事項

現状、本装置から生み出されている成果については限定的である。

装置に関する報告論文は既にいくつか出ている。POLANOに向けた偏極技術の開発の状況についても複数のプロシーディングスの出版が認められる。ただし、その成果を他の装置、他の施設でも利用できるような新たな技術的知見、新たな技術的成果がPOLANOでもたらされたとはこれらの論文からは言いがたい。POLANO特有の開発、例えば磁場環境の開発などがあると思われるが、それらの成果を新たな知見、技術としてアピールして行く方向も検討するのが良いと考える。

学術的な成果については本装置からの論文発表はまだない。一般課題受け入れから既に3年という期間を考えると成果が多いとは言えない。また、評価調書などからもグループメンバーの研究が見えないのが気がかりである。装置の完全稼働を待っているというところもあるのかもしれないが、装置調整を行ななされるインハウスの実験は、装置の開発にも大きく資するものであり、グループメンバーの積極的な研究活動を期待したい。

アウトリーチ活動に寄与している点は一定の評価ができる。

### § 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

今後の装置の建設、整備、そして、運営にあたって装置責任者が訴える人的リソースの不足は深刻に捉えるべきである。装置コミッショニングに当たって些細な事柄に忙殺される、予想外の事態に直面し進捗が滞ること等は常識であり、他装置の経験を柔軟に取り入れる、コミッショニング経験の（特に偏極中性子非弾性散乱装置の）ある人材を投入するなどの対策を取るべきである。また、ヒアリングで装置責任者が述べた発言などから、調書に記載された研究グループがきちんと機能しているのかについては点検が必要であると考える。さらに、現在担当している研究者等の年齢なども考えて技術継承の点についても懸念される。これらについては、一装置グループの枠を超える問題であり、MLF、KEK等、装置の枠を超えて、組織レベルでの積極的対応が必要である。

本装置のユニークさから、装置が完成した場合は、磁性に限らず広く多くの学術テーマに需要があり、装置やその運用組織が適切に機能すれば、学術研究における中性子プローブの位置づけを変えるほどのインパクトのある成果も期待される。そのためには、それに向けて、装置グループ、組織等が連携してコヒーレントにアウトリーチ活動を開始していくべきである。

## § 7 施設への要望

以下、総評に述べるように、装置の建設、コミッショニング、運営、将来の研究実施、技術継承などについて、組織大での検討が必要である。

## § 8 総評

POLANO の建設は、様々な最新の技術を集結して最高 100meV までの偏極非弾性散乱専用測定装置という世界にも類例のない装置を実現するという野心的なプロジェクトであり、本装置が完全に稼働した暁には磁性・強相関系の電子物性物理学はもちろん、広い分野の研究に大きな波及効果を起し、学術研究におけるツールとしての中性子散乱のプレゼンスを革新的に高める可能性を持つ。それゆえ、本装置の計画は実現を目指して継続すべきであることは間違いない。2022 年 12 月時点の装置は、非偏極部分が一定の完成を見て、完成した部分を用いて限定的ながら一般課題の受け入れも開始している。将来の偏極中性子非弾性散乱実施に繋がる新たな技術的達成もある。

一方で、建設開始から 10 年以上、ビーム受入から 6 年以上が経つ本評価の時点で、未だ肝となる偏極中性子ビームを装置上で発生させることができていない。装置グループは努力しているが、偏極非弾性散乱専用装置という点が評価される本装置で、この偏極部分の遅れは憂慮される。現状のペースでは早期に装置が本来の力を発揮することは難しいと言わざるを得ない。偏極中性子非弾性散乱でめざましい成果を生み出すまでに時間がかかりすぎれば、装置本体の老朽化、装置全体の陳腐化、建設チームの技術継承の問題などによるさらなる建設遅延などを招き、これまでの努力さえ無駄になる可能性も杞憂ではない。そのため、本分科会としては、ユニークかつ強力な潜在能力を持つ本装置の完全稼働を目指す本プロジェクトの継続の推奨を前提に、いくつかの提言を述べる。問題は根本的であり、この提言は、装置グループに対するものであると同時に装置グループの枠を超えた組織大に対するものであることに留意されたい。

1. 他施設ではなかなか実現できない 100meV までの偏極非弾性散乱（提出された中間評価調書内で新たに設定されたフェーズ 3）が行える偏極特化の専用非弾性散乱装置というのが本装置の生命線であるので、偏極非弾性散乱の実現を何よりも最優先とすべきである。100meV 領域の偏極非弾性散乱に想定される極度の困難を考えると、今回中間評価調書内で新たに設定しているフェーズ 2、すなわち、40meV までの偏極非弾性散乱を早期に実現することが望ましい。
2. 上記フェーズ 2、さらにはフェーズ 3 の実現に向けては、技術開発項目のみならず、完成しつつある偏極関連機器を稼働させるためのコミッショニング項目についても膨大であり、また、現在視野に入っている項目だけでなく、予想されない、また、考慮から漏れている様々な課題、項目に対する対応も必要になることが予想される。そこで、今後の開発に関して以下を提言する。
  - 2-1. 目標達成を裏付けるための人的リソースやより具体性を持った作業計画を再検討すること。特に、人的リソースについては、装置や偏極中性子等のコミッショニングに経験を持つ人材の投入が必要である。また、プロジェクトが長期にわたり軌道に乗っていない状況で、主要メンバーの高齢化も心配される。技術継承にかかる人材育成についても考慮すること。また、作業計画については、装置

までの偏極中性子の評価、偏極中性子散乱による実験の実施というように、設定しているフェーズも考慮しながら、達成すべき段階を分けて、それぞれの段階で対外的に発表可能で定量的なデータを蓄積しながらプロジェクトを確実に前進させることが望まれる。

2-2. 特に難しい偏極技術の開発を MLF や物構研など組織全体でバックアップする体制を構築すること。完成後には、継続的な偏極実験の実施のために施設としてその偏極の運用支援を行う必要があり、この枠組みはその支援体制の構築に繋がる。

2-3. 上記は、組織全体のロードマップに組み込むこと。

3. 本装置を用いた共用の実施については、組織全体による再検討を行うこと。共用実施に装置側の負担が重いということだが、共用は優先しなくとも良いのではないかというのが分科会の意見である。装置としての完成を優先して、性能確認や問題点の洗い出しなど、装置コミッショニングに資する課題についてのみ、装置側が負担にならないフレンドリーユーザーのみが実施するなど、本装置の共用のあり方を再検討するべきである。

4. 人的リソースが乏しい中で、利用可能な人的リソースがプロジェクトのリーダーがコントロール可能な形で十分に活用できるような状況を作ることが必要である。上記「2」と関連して検討するべきである。組織内のグループ連携、組織間の連携について、装置側と共に組織もまた表に立ってプロジェクトのリーダーを勇気づける取り組みが必要である。

5. 実施されるサイエンスの項目について、詳細計画書時点から大きく変わらず、その陳腐化も懸念される。高性能偏極専用非弾性散乱装置として装置整備の段階からコミュニティ全体からのさらなる後押しを受けられるように、そして、偏極非弾性散乱が稼働した際にめざましい成果がすぐさま上がるよう、時事刻々最新のリーディングサイエンスを発掘し続けるべきである。2-1で提言したように、整備状況の定量的データを適宜積極的に公表していくことでその時点での装置の性能に合わせたサイエンスのテーマを呼び込むことができれば、装置としても経験を積みながらプロジェクトを確実に前進させることも期待できる。その際、グループメンバーに含まれる大学グループ等とのタイトな連携なども怠らないようにするべきである。

本装置はそのユニークさ、中性子偏極解析における利用可能なエネルギー領域拡大の重要さからその建設は常に支持してきた。一方で、完全稼働開始の遅れは、その実現の困難さも示している。本装置には、汎用チヨッパー型分光器として機器と人的体制を充実し、容易に偏極オプションが取り付けられるという偏極を従とする道もありえる。その方が、少ないリソースで一定の成果を生み出すことも可能である。しかしながら、ヒアリングにおいて本装置の進むべき道は偏極非弾性散乱専用装置であるべきだという強い覚悟が示された。そうであるならば、この中間評価を期に、その実現を裏付ける計画、体制全体についての組織大での再検討を行うべきである。困難はあっても、本装置がもうろみ通りに完成した暁には、MLF が世界に誇れるピークサイエンスを支えるツールを手に入れることは間違いない、必ずその労苦は報われる。我々もその日を期待している。

以上