

## BL15 (中性子小角・広角散乱装置) 評価報告

小・中角散乱分科会 主査 杉山 正明 (京都大学)  
副査 大友 季哉 (KEK)  
大沼 正人 (北海道大学)  
大竹 淑恵 (理化学研究所)  
柴山 充弘 (東京大学)  
平井 光博 (群馬大学)

### § 1 はじめに

J-PARC・MLFのBL15に設置された中性子小角・広角散乱装置(TAIKAN)は、パルス中性子源の特性を生かしこれまでにない広い領域の同時測定を高効率・高精度に可能にする次世代の散乱測定装置である。一方、これまでの小角散乱装置はナノスケールの構造情報を取得することを主眼とし、広い学術分野において利用されている。そこで、TAIKANにおいても一般的な小角散乱装置としても十分な性能を持つことが期待される。したがって、今回のTAIKANの評価においては広角領域の同時測定を可能とする先端性のみならず小角領域の測定を確実にを行う汎用性の2点に考慮しながら行うものとする。

### § 2 装置の建設・維持および技術開発などに関する事項

TAIKANの建設は、ビーム受入直後に東日本大震災が発生し、また、再稼働直後からユーザー受け入れを行う必要があったため、ユーザー対応もしながら装置建設・整備を行うという困難な状況の中で進められた。それにもかかわらず、装置グループは着実に装置の建設・性能向上・維持を行ってきており、このことは称賛に値する。以下、各項目についてコメントを示す。

**【全体設計】**パルス中性子源設置のSANS装置の問題点は、小角・中角・高角等の各バンクの散乱曲線の接続の困難さにあるが、TAIKANではこの問題に対処するためにバンク間において最適なオーバーラッピング領域が得られるように各バンクの見込み角を非対称とする等の工夫した設計を行っている。その結果、標準試料(C60やメゾポーラスシリカ)測定により広い領域においてスムーズに接続した散乱曲線が得られることが確認されており、広角領域の同時測定を標榜する装置として十分な性能を有していると言える。加えて上記のバンクの区分の随所にB<sub>4</sub>Cを用いた遮蔽体パネルを設置し、効率的にバックグラウンドの低減を行っている。また、装置上流にはチョッパーに加え集光・偏極素子が効率よく配置され、必要に応じて集光・偏極ビームを供給が可能としている。これらのパッケージングもTAIKANの特徴であり高く評価できる。

**【検出器1】**上記の広角同時測定を可能にするためには数多くの検出器を運用しなければならないが、そのために行った「検出器・前置増幅器・ADCのユニット化」及び「真空槽内配置対策」は今後の同種装置の建設においても非常に有意義な技術開発である。

装置グループは背面検出器バンクにおける短波長中性子の有効利用のために、<sup>3</sup>Heガス圧が6気圧から20気圧の検出器へ交換を予定している。これは歓迎すべきことであるが、小角バンクも含め残りのバンクの検出器の<sup>3</sup>Heガス圧が6気圧であることは検出効率の点から物足りない。したがって、一般的な小角散乱装置としての性能向上のために他のバンクにおいてもより高いガス圧の検出器の整備を進めるべきであろう。

**【検出器2】**新たに整備を進めている超小角検出器は分解能には問題はないが、検出効率の向上が必要である。このZnS/<sup>6</sup>LiFシンチレータを用いた検出器の開発は本装置グループのみに帰するものでなくJ-PARC・MLF全体で進めるべきと考える。今後の更なる開発を期待したい。

**【ビームモニター】**小角散乱測定では正確な散乱曲線を得るためには精密な透過率補正が必須でありダイレクトビームモニターは重要な機器である。この点において本装置グループが行った低感度・高安定のN<sub>2</sub>ビームモニターの開発は価値が高い。

【試料環境整備】基本的な試料交換器に加え、多くのソフトマター・ハードマターのアクセサリーが整備され、現状でほとんどのユーザーの要望に対応できると思われる。特にハードマター関係のアクセサリーの充実度が高く、ユーザーから見たTAIKANの魅力を高めていると言える。

【データ処理・解析】データ処理系は初期導入のソフトウェアの完成度が非常に低く実用に耐えるものではなかった。その後、装置グループの努力とMLFの支援により新たに開発したデータ処理ソフトは十分に実用に耐えるレベルになっているといえる。

試料の $I(q)$ を導出するまでがデータ処理であるが、その $I(q)$ の解析は対応する系に応じて異なる。今後は、いくつかの分野に対してこの $I(q)$ の解析まで踏み込める専門性を装置グループが持つと装置自身の価値もより一層高めることができる。

### § 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）

パルス中性子源の特性を生かし、広い $q$ 領域の同時測定を高精度に行うという当初計画は十分に達成されていると言える。特に、高角度領域における分解能は使用する波長帯域がほぼ限定される原子炉設置の装置（例示はSANS-J）に比べ高い性能を実現している。また、高角のみでなく小角領域にもう開発の眼を向け、集光ビームを用いることで $q_{\min}$ を $5 \times 10^{-4} \text{ \AA}^{-1}$ まで拡張していることは特筆すべきである。しかしながら、強度に関する性能評価、特に低い散乱強度の試料の測定のfeasibility studyは十分とは言えない。小角散乱において試料からの散乱は低 $q$ 領域では小角に向けて立ち上がってくる漏出ダイレクトビームとの競合となり、かつ、高 $q$ 領域では装置バックグラウンドとの競合となる。試料からの散乱強度が十分に強い場合（例えば標準試料のメソポーラスシリカ等）は装置グループの報告の通り、広い $q$ 領域で十分な統計精度の散乱が得られるが、タンパク質溶液のような希薄溶液＝弱い散乱強度の試料では測定可能範囲が限られてくる。したがって、試料の散乱強度と十分な統計精度の散乱が得られる範囲及びその測定時間を、種々の研究条件を想定し、代表的な試料を用いて検証しておくことを提言したい。

TAKIANは他の原子炉中性子源設置の装置（SANS-J、KWS-2）に対して高い $q$ 分解能を持つことは検証されている。一方、装置グループは強度においても1 MW到達時には現在世界最高強度のSANS装置であるILLのD22と同等であるとしているが、広い $q$ 領域を測定するTAIKANと比較的狭い $q$ 領域を選択的に測定するD22との比較は違う尺度の比較であり本質的な意味はない（ただし、同一 $q$ 領域での比較はユーザーにとって測定可能性や測定時間・濃度または試料厚などの事前評価に有意義である。）。SNSやESSの装置との比較に意義があると思われる。より重要なのは、（全段落の提言と重複するが）TAIKANがカバーする広い学術分野における標準となる試料を選定し、その測定データを充実させることである。

### § 4 利用者支援に関する事項

少人数のグループで、ハードマターからソフトマター・生物といった広い分野の多くのユーザーを受け入れており、十分に高い評価に値する。また企業の利用も1/3におよび活性が高い。ただし、生物分野の利用が全体の8.6%であり、今後より積極的な広報が望まれる。

具体的な支援においては、実験前・実験時のサポートは非常にレベルが高い。また、実験後のデータ処理にも丁寧に対応している。ただし、論文化に関してはもう少し積極的な活動が可能ならば望ましい。相反するようであるが、外国施設に比べて充実したサポートは、装置グループの負担となっていることも事実である。今後1 MW到達時のユーザーの増加を考慮すると、特に現場での試料準備や装置のある部分までの機械的トラブルなどはMLF全体で対応する体制が構築されることが望ましい。

### § 5 得られた成果に関する事項

残念ながらここまでに出版された学術論文の数は少ない。ただし、スキルミオンに関する成果等の質的には高い研究がその中に含まれている。また、発表論文数は増加の傾向にあり、加えて、小角散乱は性能においてビーム強度依存性が高い装置であることも考慮すると、今後、出力が1 MWに上がることで、成果の質・量がともに増加することは十分に期待できる。また、化学・生物分野に関してはMLFが企図している重水素化ラボが稼働した場合、より多くの成果が期待できる。これまで通り連携を推進すべきである。

## § 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

これまででない高性能の装置であるため、1 MW到達時にその設計性能が発揮されるように、装置の運営・管理・高度化していくことの重要性は理解できる。しかし、今後5年間の目標が「設計性能の確認」だけでは物足りない。これまでの5年間で装置の基本性能は確認されているので、学術的な目標も含むより野心的な計画を期待したい。特に、TAIKANの特徴を装置グループ自身が「広い $q$ 領域の同時高効率・高精度測定」を第一に挙げているので、この点を生かした先導的な成果=TAIKANでなければ得られない成果をより多く創出することを目指す必要がある。そのためには、例えば、現状において先端的な成果を上げている固体物理分野では装置グループが中心となったプロジェクトを、また、その他の鉄鋼材料やソフトマター・生物学分野では外部のパワーユーザー等と連携したプロジェクトを立ち上げ、各分野における中性子科学を先導することを期待したい。加えて、日本中性子科学会を超えて関連する学会での講演やワークショップ・シンポジウムの開催し、装置の認知度の向上に務めることも重要である。

## § 7 施設への要望

上述の通りTAIKANは「広い $q$ 領域の同時高効率・高精度測定」が特徴の装置であるが、一方で、国内のSANS装置の現状を考慮すると「汎用的」SANS装置としてのTAIKANへの期待も大きい。その意味において、高角・背面だけでなく小・中角の高感度測定を充実させる装置整備も要望したい。この点においては小・中角バンクの高ガス圧検出器への換装などの援助をMLF首脳部も十分に検討して欲しい。

装置運営においては現状では問題ないがビーム強度が上がりユーザー数が増えた場合、装置グループに過剰な負担がかかることが想定される。共通技術支援部門の設置などを通してMLFとしてのサポートを検討して欲しい。

## § 8 総評

BL15におけるこの5年間は、装置グループにとって装置整備とユーザー対応の両面を高いレベルで要求されてきた時期であった。この厳しい環境の中で「広い $q$ 領域の同時高効率・高精度測定」を可能とした世界的にみても高いレベルの装置を作り上げたことは評価に値する。残念ながら公表に至った学術的成果が十分とは言えないが、いくつかの先端的な成果が上がってきていることもあり、この点に関してはビーム出力が上昇する次の5年間に期待したい。建設フェーズから学術フェーズに移る次期5年間は、過重な要望であるかもしれないが是非とも「TAIKANの特徴である広い $q$ 領域の測定能力を生かした学術的研究を推進すること」と国内の中性子小角散乱装置の稼働状況を考えると「これまでの汎用的な小角散乱領域の学術的研究を充実させる」ことの両面を推進する起点となることを強く要望する。装置グループにおいて、自身が中心となるプロジェクトや外部パワーユーザーとの共同研究を積極的に推進し、TAIKANの性能を真に生かした学術的成果を上げることが期待したい。

以上