

# 中性子国際諮問委員会（2010年2月24-26日）報告書

Günter Bauer, Stephen Bennington, Kurt Clausen, John Haines,

金谷 利治, 鬼柳 善明, Dan Neumann, Robert Robinson, 山田 和芳

## 概 要

物質の構造と動的挙動を研究する上で、中性子を用いる手法は重要であり、これは中性子のユニークな特性に起因することであると広く認識されている。残念ながら、現代の物質研究に必要とされるだけの多数の中性子を生成するのは難しい。このため、中性子による研究は主として大型の集中型施設において行なわれる。通常これらの施設では、時には他の施設と協力しながら、様々な機器を開発する。そしてそれらの機器は、それぞれ特定の測定を行なうために最適化されている。学界、産業界、そして政府機関からの研究者は、各自の研究課題を推進するためにビームタイムを申請する。このような申請方法の効率性は広く実証されており、そして広く採用されている。

これらの施設建設及び運転には、国家的、時には国際的に大規模な投資が行なわれるため、これらの施設から創生される科学的、技術的成果の質と量を最適化するように設計されることが重要である。J-PARC と物質・生命科学実験施設（MLF）の職員は、この点において賞賛に値する仕事を成し遂げた。ターゲットとモデレータシステムは優れた性能を約束し、実験装置の設計は見事であり、デバイス開発活動も同様に世界に通用するレベルである。

MLF では昨年、設計・開発・建設段階から、中性子実験装置を継続的に改良しつつユーザー支援と優れた研究に専念する科学的な組織体へと移行する道筋において、多くの重要なマイルストーンを達成した。その一例として、MLF 実験装置で得られたデータを報告した初の論文（周波数増倍法の初めての実証）の出版、エネルギー選別型イメージング法の実証、シンチレーション検出器に関する素晴らしい成果に象徴されるデバイス開発における優れた成果の数々、そして2台の新たな実験装置の建設予算獲得（これによって予算化された全装置数は17となる）、などがある。加えて、加速器と線源の多くの課題について、顕著な進捗が見られた。直近の3運転サイクルで達成された120 kWでの定常運転と300 kWの短時間運転が、このことを最もよく例示している。同様に、ターゲット技術に関する成果も重要である。最も重要な事項として、バブラーシステムの目覚ましい進捗とキャビテーションを抑制する流れの役割についての新しいデータが挙げられ、これによって水銀ターゲットの寿命はこれまで懸念していたほど大きな問題ではなくなるであろうことが示唆された。

本レポートは、「運転への移行」、「実験装置とデバイス開発活動へのコメント」、そして「ターゲットとモデレータシステムの課題」に関する節に分かれている。それぞれの領域への推奨事項は、イタリック体で表記した。

## 実験装置と運営

MLF では、新しいビームラインへの実験装置の建設、コミッショニングそしてその運営において大きな進歩があった。利用可能な 23 ビームライン中、17 本について実験装置建設の予算が確保されている。この 17 本のうち 9 本は既に供用中、3 本はコミッショニング中、3 本は建設中、また 2 本は 2010 年度の建設開始に向けて設計の段階である。最近建設が認められた装置の予算は、新たに改正された「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律（共用法）」に基づいて得られたものである。

ユーザー支援環境をさらに整備するためにスタッフを増員するという点である程度の進歩があったが、装置運営のための適切な支援については、予算上の制約から未だ達成すべき課題として残っている。通常、研究スタッフは、それぞれの装置の運営を行うばかりでなく、データ集積、試料環境、検出器開発から安全審査に至るまで、複数の業務に巻き込まれてしまっている。これはシステム統合と意思疎通管理の点で有利ではあるが、こうした主要業務領域には、それぞれの業務に特化したグループにある程度の専任スタッフを一元化して配置する方が、大いに組織全体のためになるであろう。たとえば、この一元化されたグループ群を強化すれば、機器をすべての実験装置間で横断的に共有して使うことが促進されるであろうし、特定の分野での国際的なパートナーとの協力（共同研究・開発）も進むであろう。新しい財源（共用法）は、装置を運営するスタッフを十分に配置する助けになるだろう。これは、ひとつの素晴らしい結果ではあるが、新たな課題も生み出す。これらの財源と関連する組織の運営は、現在の資金提供機関（JAEA、KEK、茨城県）からは独立したものとなり、それによって、さらに J-PARC の組織構造は複雑になる。それでも、スタッフは増員されるべきであり、互いに協力し、データ集積の標準化、試料環境、検出器、安全審査等の業務を行うコアグループを支援する道を見出さなくてはならない。

新たな財源の利用が共用法によって可能になった今、NIAC は、各実験装置の専任スタッフに加え、データ集積、試料環境、検出器などの主要業務領域を支援するグループに必要なスタッフの両方について、支援スタッフ増強に関する詳細かつ時間展開した計画を作成し、これを実行することを推奨する。この計画は、利用可能な予算の増加に伴い採用した人員をどこに割り当てるのかの優先順位

付けに使うべきである。この計画はまた、それぞれの財源によって提供される職務形態とうまく統合されていなければならない。我々はまた、中性子ユーザー施設を運営するにあたり、1台の装置に少なくとも6人のスタッフが配置されている状態が世界的な成功事例であることを注記する。

盤石な供用運転のために十分なスタッフを割り当てるのが難しいという現状により、MLF 経営陣は、「開発のための研究施設」である一方で「ユーザー施設」でもある MLF がどちらにどれくらいの比重を置くべきかについて熟慮することとなる。限られた予算の中で、上記2つの側面を真に両立させることはほとんど不可能である。

2009年には、1サイクル約20日で6サイクルにわたる中性子実験装置の運転が円滑に行われた。2010年度の計画は6サイクルと見積もられているが、これは予算の制限により元の9サイクルから縮小されたものである。2009年の最後の3サイクル（これは120kWの高出力運転サイクルに属する）の施設の信頼度（安定稼働率）は、約90%であった。この信頼度は、この種の（高出力の）施設で、このような稼働の初期段階では、注目に値することである。しかし、おそらく高い信頼度を保つためであろうが、MLF 施設はこの期間の大部分では120kWを大きく下回る出力で運転されていたことに注意すべきである。これは、供用運転を止めることなく連続的に（供用時間を）確保する正しい方法なのであろうが、ユーザーに提供された時間積分中性子数を反映したより適切な「運転の（程度の）指標」の方が、長期的な供用運転の目標達成に向けた進捗状況把握のためにはより有用であろう。施設のそれぞれの部署による機器やシステムの故障に関する統計情報はよく記録されており、それは信頼性向上のための取り組みの重点化にとって有用であると、証明されるはずである。

NIAC は、MLF が施設全体の信頼性、つまり「実績運転時間／予定運転時間」を記録することに加えて、中性子源の運転状況に関する他の指標（例えば、「実績積算出力／予定積算出力 (MWh)」、「計画外停止の平均時間」、等）を作成し、報告することを提案する。これは、運転目標が達成されたかどうかの明確化に役立つ。

NIAC 委員会へのコメント：当分の間、運転時間 (h) と積算出力 (MWh) は良い指標である。- 供用運転に完全に移行した際には、J-PARC は計画に対する運転時間と MWh (ユーザーに約束した実験予定日に提供された (MW) 時間) を測定しなければならないであろう。

J-PARC では、実験（参加）ユーザー数で約 21,000 人日を達成し、その約 30%は MLF 関係者である。さらに、その MLF ユーザー数の 30%が産業界からであるというのは注目すべき事柄である。これは、供用の初期段階であるが故の限られた数の装置、また限られた供用運転日数を考慮すると、非常に素晴らしい成果である。2009 年度の典型的な中性子供用の日程は、2 日間の供用運転とそれに続く 1 日の加速器の RF 調整の組合せであった。この短い供用運転期間（2 日間）は、多くの中性子散乱実験を中断させかねないものであるため、2010 年度には 6 日間の供用運転に続いて 1 日の RF 調整と計画されていることは好ましいことである。

回折計と非弾性散乱装置のバランスは、合理的であると考えられる。現在、予算化した 17 台のうち 10 台が弾性散乱装置で、その内訳は回折計 6 台、全散乱装置 1 台、反射率計 2 台、小角散乱装置 1 台である。このうちの 5 台は一般供用中、1 台はコミッショニング中、2 台は建設中で、残る 2 台は未だ設計段階である。SuperHRPD は高分解能、NOVA は高強度の点で、世界最先端をいく装置である。一方、自動試料交換装置を備えた iMATERIA は高い生産性を誇る。iMATERIA が、その運転時間の 20%を一般供用に残すのみとし、80%を産業界ユーザーのために提供しているのは、特筆すべきことである。上記 3 台の粉末回折装置に加えて、京都大学のグループが KEK との協力によってもう 1 台の粉末回折装置の建設を予定している。この装置は、NOVA が水素貯蔵研究プログラムに特化した装置であるのと同様に、Li 電池の研究に特化した装置である。それゆえ、この装置では、一般ユーザーに配分できるビームタイムは、全体の約 20%に制限されている。

*既存または計画中の粉末回折装置の一般供用としての利用は制限されているため、施設は汎用かつ便利で生産性の高い粉末回折装置を当分の間欠くことになる。そこで委員会は、J-PARC が、残りのビームラインのうちの一つを、一般供用のための粉末回折装置として利用することを推奨する。*

7 台の非弾性散乱装置は、3 台のチョッパー型分光器、1 台の背面散乱型分光器、（診断用）テストポートである NOBORU、核データ用装置である NNRI、そして、基礎物理用装置で構成される。委員会は、フェルミチョッパー型分光器・四季における周波数増倍法（RRM）利用の実証を称賛する。この手法を用いた最初の研究は、MLF で最初の成果論文となった。このことは、イベント記録方式の利用が測定効率向上と測定の柔軟性拡張をもたらしたことを明白に示している。

次期供用運転期間には、120 を越える申請課題が受理された。この課題数は、直近の供用運転期間に受理された課題数と同等であり、運転の初期段階である現時点では十分に満足できる数である。もちろん、研究者に提供される装置が増えるにつれて、また、こうした新しい装置の有用性が潜在的なユーザーに明らかになるにつれて、申請課題数は増加するだろう。要求された実験日数は、利用可能な日数を大きく上回っている。これまでは、ほぼすべての申請課題を採択する代わりに、それぞれの課題に要求日数より少ない日数を割り当てることで、こうした状況を乗り越えてきた。この方法は、ユーザーコミュニティと装置担当者が各装置の潜在能力を学んでいる当面の間は良い方法である。しかし、近い将来、提案された実験の遂行に要する時間をより正確に予測できるようになるであろう。そうなれば、各装置の生産性を最適化するため、採択された実験には科学的価値のある成果創出に必要な十分な時間が与えられるべきである。これは、不採択課題を増やすことにつながる。

## データ収集系とデータ解析ソフトウェア

イベント記録方式と、100Mbps の TCP/IP でのデータ転送速度を利用して、MLF は高速かつ効率的で低消費電力な素晴らしい DAQ システムを開発しており、これにより MLF で発生したデータ量をうまく処理している。イベントモードのデータ収集の利用は非常に柔軟であり、これによってチョッパー分光器 四季では、多重入射エネルギーでのデータ収集が一度の測定で可能になった。DAQ ソフトウェアは利用者が操作するものとして十分なものとなっており、また継続的な開発と維持管理が適切になされており、今後もそうあり続けるであろうと予測できる。このソフトウェアが、分光法や粉末回折といった、同じ手法を用いる複数の装置間で共通であり続けるように維持することは、利用者がある装置から別の装置へ、容易に移行することを可能にする上で重要である。

ここ数年にわたり、装置担当者は精力的にデータ処理やその可視化のためのソフトウェア開発を行ってきた。それによって、MLF は供用開始に向けて良い状況にある。データの基本的操作を行うソフトウェアについては環境が整っているが、現在のソフトウェアは多くの分野で未だ最小限のものであり、今後もデータ処理・可視化機能を完備したソフトウェアパッケージを供給するように留意する必要がある。

データ解析の状況もまた、運転開始段階の MLF としては妥当なものである。しかし、得られたデータからできる限りの科学的知見を抽出するために研究者が必要とするであろう全てのデータ解析ソフトウェアを、一つの施設だけで供給することができ

ないのは明らかである。MLF が運用段階に移行し、必然的に装置担当者が利用者の世話に集中せざるを得なくなり、そしてソフトウェア開発のための時間が少なくなるに従って、ソフトウェア開発に対してどのようにして十分な人員や予算を割り当てるかという問題は深刻になっていくであろう。

MLF の人員の配置の問題を踏まえれば、MLF が他の施設で開発されたデータの可視化や解析のためのソフトウェアを利用することは必須である。利用可能なソフトウェアが MLF の要求を満足しない場合には、MLF は複数施設間でのソフトウェア開発の取り組みに参加するべきである。加えて、主たる業務がソフトウェアの開発や維持管理であるスタッフを増員することが、ほぼ確実に必要となるであろう。

ISIS と SNS で利用されているものと似かよった (Python と C++ を基本とした) フレームワークが MLF で選択されているということは、これらの施設でのソフトウェア開発やその利用における協力について、MLF が上手く役割を果たしていけることを意味している。おそらく、すでに HANARO との間で築き上げられてきた協力関係が、より重要であろう。NIAC はこれらの取り組みを称え、MLF にこのような機会を模索し続けることを推奨する。ソフトウェアについて可能な限り多くの共通点を施設間で保っておくことは重要であり、それは同じ手法を共有する装置グループ内では特に重要である。

## デバイス

我々は、NOBORU と NOP (どちらもデバイス開発とその試験に利用可能) を設置した点において、J-PARC を賞賛する。偏極ビームと偏極アナライザの提供に関しては、J-PARC がユーザーの要求や需要の見積もりに基づき、各装置への偏極・偏極解析デバイスの提供について、施設全体として包括的に議論することを推奨する。この中では、どの実験装置にはどの偏極技術 ( $^3\text{He}$ 、スーパーミラー、偏極空洞 (polarizing cavities) 等) がふさわしいのかを評価し、優先順位を付けるべきである。

偏極  $^3\text{He}$  は (すべてではないが) 多くの応用で良い選択であり、J-PARC がスピン交換光ポンピング法 (SEOP) を選択したことを支持する。単純形状の容器で、60% の  $^3\text{He}$  偏極度、そして 400 時間程度の緩和時間が達成された。しかし、世界の他の研究所では現在、80% 程度の  $^3\text{He}$  偏極度を達成している。

NIACはMLFチームに対して、最先端の技術により早く追いつくために、SEOPの開発を先導している研究所（NISTやJülich）とさらに密に交流することを推奨する。

MLFでは、被膜と幾何形状の点で世界最先端の中性子ガイドが装備されている。数値制御された研磨技術と高い $m$ 値の蒸着能力が、短い集光スーパーミラーデバイスの製造を可能とした。KURRIグループの超高品質偏極ミラーは、スピンプリップチョッパーとして使用可能で、MIEZE型スピネコー実験でも使うことが出来る。残念なことに、2つのガイド管は設置精度が悪く利用可能な中性子束を半分以下に減らしている。

NIACは、設置精度の悪い2つのガイド管を出来る限り修正するよう最大限努力することを推奨する。

多くの装置では、資金不足によりすべての検出器を揃えることができず、最終到達性能以下の状態で稼働している。いくつかの装置では、検出器のカバー範囲が最終的なカバー範囲のごく一部でしかない。我々は現在世界市場で $^3\text{He}$ が不足していることを認識しているが、検出器を追加することが装置性能を向上させるひとつの簡単な方法であると感じている。

NIACは、すべての中性子散乱装置に検出器の全数を購入・設置するための、優先順位付けされた計画を立てることを推奨する。

運転資金不足はまた、MLFにおけるデバイス開発活動全般を困難な状況に陥れている。

従ってNIACは、デバイスの装備と利用に関する長期戦略を立案し、将来計画実現のために必要なデバイスを選択するためにこの戦略を利用すること推奨する。J-PARCはそうすれば、パートナーと協力しながら、他にはないデバイスの開発を成し遂げるだろう。

一般的に中性子散乱分野の長期的な発展にとって、特にMLFにおいては、新しい検出器の技術開発を継続することは重要な領域の一つである。これまでは、飛躍的な進歩は多様な協力関係を通じてなされてきた。開発の対象は、長い直線型 $^3\text{He}$  PSD（東芝と共同開発）、匠用のEngine-X（ISIS）改良版シンチレーション検出器、iBIXの中

性子イメージング検出器、そして新しい高速シンチレーションモニタ（これらすべては現行の装置で広く使われることだろう）から、将来の多数の利用構想にまで及ぶだろう。

## 試料環境

試料環境は、中性子散乱施設の成功の鍵をにぎる要素のひとつである。高いインパクトファクターをもつ雑誌で中性子関係の出版状況を調査すると、およそ 50%は複雑な試料環境で行われている。極限環境や、別の制御パラメータをもつものの同時測定、あるいはその場観察によって、現実世界での使用に近い状態で物質が研究されたりしている。

MLF は、供用開始に必要ないくつかの基本的な試料環境機器を揃え始め、異なるビームラインにまたがった共通の基準を確保するよう、小さな試料環境グループを立ち上げた。これはよいスタートであるが、国際的インパクトがあっても、成功を収め得る多様な科学プログラムを支援するには十分ではないことは明らかである。

予算、人員、実験室およびワークスペースの供給という点で、現状は明らかに不十分であり、劇的に増加しなければならない。

MLF の予算および組織構造は、装置とグループ間の効果的な協力関係を阻害しているように見える。JRR-3 における伝統は、様々な出資者が自らの試料環境を開発し、運営することを許すというものである。そして、MLF はこの構造を引き継いでいるように見える。これでは、限られた資源の効果的使用が困難になるであろう。強力な試料環境支援体制の構築を促進し、施設が先進の試料環境をより広い範囲でカバーできるようにするためのひとつの明白な方法は、MLF と JRR-3 が合同の試料環境グループをもつことであろう。

MLF は、専門技術と成功事例がすべての装置で共有でき、資源が最も効果的に使われるよう、より複雑な試料環境の少なくともいくつかを集中させるよう努力すべきである。JRR-3 との合同の試料環境グループおよび施設の創設は、その 1 例である。

冷凍機のような標準的機器の提供と、より高度な機器の提供は、常にうまく両立されなければならない。より大きく、より確立された中性子源であっても、すべての種



類の試料環境において世界最先端であることは不可能である。したがって、優先度の選択がなされなければならない。優先順位の決定は、施設利用者コミュニティの性質によって異なり、組織内で行われるか、関連産学グループを巻き込んで行われるかという、特定専門分野へのアプローチ方法によっても異なってくる。電池研究のための、その場観察可能な先進の電気化学的機能を有する回折計を建設する提案は、先進試料環境の大変よい例である。これによって、特定研究分野におけるリーダーとしての位置が MLF にもたらされるであろう。加えて、ある大学グループと、適切な形で共同研究を行うこともよいだろう。こうした結びつきは、双方の利益のために奨励され、開拓されるべきである。究極的には、特定のグループだけでなく、ユーザーコミュニティ全体が利益を得られるよう、専門技術と装置のいくつかは、施設の中に組み込まれるべきである。

*MLF は、ユーザーコミュニティと共同で、試料環境装置に関する分かりやすい優先順位リストを作成すべきである。これには、適切な期間内で他施設と同程度の資源配分がなされるように、他施設の成功事例の調査、そしてその結果を反映した長期戦略立案が含まれるべきである。さらに、特定の専門技術を有する他機関と提携する機会を持つことも、その戦略の中に組み込まれるべきである。*

## 安全性と試料の取扱い

現在の紙ベースの試料管理システムは、施設に持ちこまれる試料数が増えるにつれて、その管理の難しさが露呈するだろう。

*MLF は、試料の取扱い、追跡（管理）、返却、廃棄を取扱い可能な電子システムの確立を、早急に検討すべきである。そのシステムは、例えばバーコード、RFID（IC タグ）や他の技術に基づくものである。*

我々は、現在の MLF の試料に関する規制が、JRR-3 でも他の中性子実験施設でも日常的に行われているような多くの粉末回折実験や自由液体表面の反射率測定（の MLF における遂行）を妨げるのではないかと懸念している。この状況を整理できない限り、MLF は国際競争において大きく不利な立場となるであろう。

現在、MLF には、病原体、毒物、遺伝子組換え生物、および遺伝子組換えで作られ出された物質に関する研究、および生きた動物、あるいは（人も含む）生きた動物から生まれた製品にかかわる研究に関して、バイオハザードに関連した危険性を評価す

るための専門技術がない。我々は、バイオハザードの評価、および、それらに関連した規制的な要求事項のための、より強い枠組みが MLF には必要であると考える。

## ユーザー支援と基盤設備

試料環境、試料準備室、ソフトウェアとデータ収集系、重水素室、宿泊や食堂などの日常生活のための施設、そして交通手段は、MLF で優れた研究成果を出すために必要不可欠なものである。昨年、委員会はユーザー支援のための包括した計画を準備することを提言した。優れた施設であるために、必要とされる要素の多くを提供できるような多くの進展があった。特に、MLF は、非管理区域実験室および管理区域実験室を IQBRC および MLF に準備し、MLF 内には談話室と仮眠室を用意した。計画はレストハウスの建設にも発展し、これは MLF の近くに 9 月に完成することになっている。また、J-PARC はユーザーが MLF へアクセスするための支援ソフトウェアシステムと実験課題を申請・評価するための支援ソフトウェアシステムを準備した。加えて、50 部屋を備えたユーザー宿泊施設を IQBRC の近くに建設予定である。これはユーザーが大変心待ちにした優れた進展である。

しかしながら、多くの問題が残っている。特に、ユーザー棟建設のための資金が確保できていない。この施設は、中性子ビームを提供することに加え、世界クラスの科学をリードするような優れた科学実験と中性子実験施設を MLF がユーザーに提供するのに必要不可欠なものである。さらに、放射化物の取扱い施設とその一時保管施設はまだ認可されていない。重水素室はソフトマターを扱うユーザーにとっては最も重要な施設である。我々の質問に対し、MLF は仕様と予算についてユーザーとの議論を継続していると返答した。NIAC は、この件を早急に解決する必要があると感じている。

MLF 施設の近くに食堂の建設が予定されておらず、予定されている宿泊施設もおそらく不十分であることは強調しておかなければならない。加えて、ユーザーズオフィスと宿泊施設から MLF への移動と、JR 東海駅から MLF 施設までの移動手段は不便であり、この状況を改善しなければならない。

委員会は、ユーザー棟を MLF 近傍に建設し、主要なユーザー支援基盤設備、特に重水素室、加えて食堂を含めた日常生活のための施設や移動手段を確保することを推奨する。

さらに我々は、J-PARCでのユーザーの意見が早急に反映され、これがMLF経営陣とユーザー組織の両方に直接提供されるようなシステムを推奨している。これにより、ユーザーにとっての最大の問題点が何であるかが迅速に明らかになり、MLF経営陣が素早く対応できるようになる。

J-PARC/MLFは、JAEAとKEKの共同で建設・運営されており、1つの組織が運営しているものではない。そしてMLFの装置は、JAEA、KEK、茨城県および新しい共用促進法による組織からの資金で建設されており、今後もそうであろう。KEKとJAEAの予算は独立したものである。このことは、MLFでの共用実験に関する深刻な問題をもたらす。課題申請システムでは、両組織は一般課題申請で同じ手続きを踏むため、うまく機能している。しかしながら、いくつかの重要な情報は共有されない。例えば最近のNIACにおいて、JAEAの代表者たちはMLF運転に関わるKEK予算を知らなかった。委員会はJAEAとKEKは別々の組織であると理解しているが、この状況ではMLFはユーザーに共通の環境を提供できない恐れがある。加えて、新しい共用法のもとで新しい組織が設立される予定である。そしてその組織は、MLFの装置を運営するさらにもう1つの組織になる。この組織が財政状況をしっかり支える一方で、一般共用の運営をさらに複雑にするだろう。重要なことは、資金源に関わらずユーザー支援は全ての装置に対して本質的に同じものでなければならず、MLFの実験装置を建設し、運営している全ての組織はこの目的を達成するよう努力しなければならない。

委員会は、実験前、実験中、そして実験後において、すべての実験装置にわたって同等なユーザー支援を保証するシステムを構築するよう、MLFが善処することを推奨する。このためには、MLFの全ての実験装置が調和した運営を行えるシステムを構築する必要があるだろう。

中性子科学における最先端の成果創出、研究領域の拡大と若手研究者の教育には、MLFとJRR-3の相補的な利用もまた不可欠なことである。それゆえに、中性子ビーム利用者にとって両方の施設を容易に利用できることが重要であり、できれば統一された登録方法と教育訓練で利用できることが望ましい。加えて、本当の相補的利用のためには、両施設間の実験の切り替えが容易である必要がある。

例えばオークリッジのHFIRとSNSのように、JRR-3とMLFのどの部分を統合されたシステムのもとで運営できるか、そして運営すべきかを、JAEA経営陣は検討するよう、NIACは推奨する。

少なくとも、ユーザーの施設利用手続き、試料環境装置の利用やその他の事項において、2つの施設間で手続きが完全に統一されれば、ユーザーにとって非常に大きな利益となるだろう。

## 広報活動

茨城県の実験装置群を中心に達成されつつある MLF における高度な産業利用は称賛に値する。しかし、産業界からの利用者の多くは中性子散乱に精通していない。したがって彼らの抱える問題を解決する、あるいは彼らの測定データから有益な情報を引き出すためには実験後の支援が重要である。ある程度の成果を得ることができれば、彼らが行く行くは MLF の“常連”となっていくだろう。

施設公開、テレビでの広報および地域社会における MLF の対応にもまた感銘を受けた。これは一般社会に向けての J-PARC の情報発信の試みが有効であることの証である。この優れた取組みを高めていくには一般社会向けの MLF ニュースレターを定期的に発行し、例えば茨城県内の学校に送付するとよいだろう。

科学分野において成果を出すためには、研究者社会にはたらきかけを行い、MLF で中性子散乱実験を行う研究者を増やすことが必要である。一つの方法として、中性子散乱が成果をあげている分野の傑出した研究者のうち、これまで中性子を研究に用いてこなかった人物を招くことなどが考えられる。ここで素晴らしい結果ができれば、彼らの講演や論文によって多くの研究者が中性子利用研究に引き寄せられることだろう。

委員会は、MLF の組織的な取り組みとして次のような人物をリストアップし、MLF を利用してもらうようはたらきかけることを推奨する。その人物とは、中性子が大きな役割を果たせる分野において影響力をもつが、しかし今のところ自身は中性子散乱を使っていない研究者である。

日本の人口と経済規模を考慮すると、日本中性子科学会 (JSNS) の目標とすべき会員数は 1,000 人以上であると委員会は考える。現状では、JSNS に加えて重複するユーザー組織が数多く存在しており、これらグループ間の連携を強めることが切に望まれる。これら組織が情報交換を推進する機会、例えば合同の年次ユーザーミーティングを MLF が立案することを委員会は推奨する。

世界的に主要な中性子散乱実験施設のひとつになるという MLF の目標を実現するためには、広報活動を日本国外に広げる必要があると委員会は考える。簡単な方法がいくつかある。例えば、海外の中性子コミュニティに MLF の課題申請受付期限をもっとアピールするべきである。世界中の主要な中性子散乱実験施設が行っているのと同様に、インターネットやメーリングリストを活用して MLF の課題募集通知とその締め切りを周知すればよい。

さらに、MLF はアジア地域の他の実験施設（HANARO や Bragg Institute）と協力してアジア地域における中性子散乱の普及に向けて活動するべきである。その際には日本以外の各国の国内学会に加えて、特に全アジアの国際学会（例えば AsCA やシンガポールで開催される MRS など）を媒体にするとよい。中国が 2 つの中性子源を開発中であることは、アジアへの中性子散乱普及の試みにとって絶好の機会であるといえる。

## ターゲット

ターゲットはこれまで、以下の観点から重大な懸案事項であった。すなわち、1) 十分な数のターゲット予備機が準備されていない、2) ターゲット容器が非常に大きいため、使用済み機の保管や処分に困難を伴う恐れがある、3) キャビテーション壊食はターゲット容器の寿命にとって最大の脅威である、4) ターゲット容器の損傷は外側容器が損傷するまで検知できない恐れがある。

委員会は、前回の NTAC-7 から上記全ての懸案事項について、ターゲットチームが良好な進捗を遂げていることに満足している。

- 1) （現在使用中の 1 号機ターゲットに比べて幾分構造が簡素化された）ターゲット予備機が購入済であり、万一の場合はターゲット交換が可能な状態となった。これは、現在行われている施設の供用運転を確実にする重要な事項である。
- 2) 分割型ターゲット容器設計の進捗が良好である。分割型ターゲットは通常交換対象となる前半部と、交換可能であるがよほどのことがない限り再使用を前提とした後半部から成っている。
- 3) パルス状陽子ビーム入射で発生する強力な圧力波により誘起されるキャビテーション壊食を低減させる手法の開発では、ターゲットチーム独自の研究とオークリッジの SNS で初めて取り出されたターゲット容器の試験により、非常に有望な結果を得ている。

- 4) ターゲット容器と保護容器の間のヘリウム層から採取されるヘリウムガスのガンマ線スペクトル分析による水銀漏洩検知システムは、ターゲット壁からのスパッタリングで生じる核破砕生成物を非常に敏感に捉えることが示された。これは水銀の核破砕で生じる揮発性の重い同位元素を検知するように調整可能であり、水銀容器の微小な割れ目も確実に検知可能である。

委員会はこれらの進捗について JSNS チームを称え、遠くない将来に信頼性の高い水銀ターゲットシステム運転を達成できると確信する。残念ながら進捗は非常に厳しい予算と人員不足により制約を受けている。

### キャビテーション壊食

ターゲット容器壁面近傍で生ずる圧力波の消衰過程で形成されるキャビテーション気泡の崩壊によりターゲット容器に生ずる損傷を抑制するうえで、2つの因子が効果を持つことが確認された。

- 1) 成長するキャビテーション気泡がターゲット容器壁に沿った水銀流動により変形し、気泡が崩壊する際に放出される高速のマイクロジェット衝突による衝撃力が低減されることが期待される。この効果は、SNS ターゲット 1 号機で確認されたと思われる。SNS ターゲットでは、水銀が停滞する領域では激しい損傷が形成されているのに対して、水銀が流れている領域では明確な損傷が確認されなかった。これは、ターゲット内の陽子ビームが入射する領域に、水銀が停滞する領域が存在しない MLF にとって重要な発見である。ビーム窓表面全体で流れによる損傷低減効果が期待されるであろう。
- 2) 直径 100 $\mu\text{m}$  以下の少量のマイクロガスバブルは、マイクロバブルが急速圧縮されることによって、圧力の上昇を抑え込むと期待される。この技術を開発するために、MLF チームは、旋回流型バブラーにより有効なサイズの気泡を発生できること、また水を用いたオフライン実験によりマイクロバブルが圧力上昇を抑制することを証明した。課題（決して簡単なことではない）は、このような気泡注入システムを実機ターゲット設計に組み込むことである。

MLF チームは、現在、気泡注入システムを分割型ターゲット設計に組み込み、ターゲット台車後方にヘリウム循環系を設置することを計画している。

NIAC は、放射化機器取扱室で行う必要がある、もしくは、できる可能性があるすべての作業を、ターゲット1号機の交換前に、そして1号機が運転位置にある状態で行うことを推奨する。ターゲット容器の交換には水銀汚染のリスクがあるため、これにより作業員の放射線被ばく量を最も確実に低下させることができる。

また MLF は、バブリング用ヘリウム循環系に第二の囲い (a second enclosure) を設けることを検討すべきである。これは、系からのヘリウム漏洩による汚染を限定された体積内にとどめると共に、検出を容易にする。また MLF は、サージタンクから採取したヘリウムを浄化して、ポンプの汚染と漏洩時の放射能の放出を最小限にするために、バブリング用ヘリウム循環系に吸収装置を設ける潜在的メリットを検討すべきである。

### ターゲットの寿命

現状では、ターゲット1号機の予測寿命には依然として大きな不確かさがある。このため MLF では、1号機の寿命を新型のターゲット容器が用意できるまでに延ばすため、非常に保守的な考え方を持っている。MLF は、ターゲットを監視し、また陽子パルスに伴うターゲット応答に潜む変化を検知するため、いくつかの先進的なシステムを用い、また開発している。陽子パルス入射によってターゲットが発する音の調査や、ターゲット空間（水銀容器と保護容器の間）のヘリウムガス中に放出される水銀の核破砕の結果発生する放射能の調査と共に、ターゲット容器振動の光学的な解析などが、これに該当する。

これら種々の検知システムを実機で確実に利用可能とするためには、しばらくの試行錯誤を経なければならない。しかしながら、これらを組合せることによって、ターゲット寿命の終焉だけでなく、運転期間を通じたパルス負荷に対するターゲット容器応答の変化も検知することができるという、大きな可能性がある。

不幸にも、レーザードップラー振動計に用いる最初の反射ミラーは運転中にひどく腐食してしまった。これは、ヘリウムベッセル中に5%の空気があり、その中で放射化学反応が生じたためである。この汚染の原因は明らかではないが、単なる機器表面からの脱離ガスなのかも知れない。より高い耐腐食性を有する新型ミラーを開発中であるが、放射線分解による腐食はベッセル内の他の機器へも影響を与えるかも知れず、ヘリウム雰囲気連続監視、そしていずれはガスの純化を検討すべきである。

ターゲット振動測定システムの重要性を考慮して、MLF は、レーザードップラー振動計用ミラーの劣化を防止するために（及び他の構成機器の同様な問題を避けるために）、ヘリウムベッセル内のヘリウムガスの連続監視、そしていずれはガスの純化を検討すべきである。

MLF チームは、SNS ターゲット 1 号機の経験とビーム履歴をもとに、JSNS ターゲットの予測される損傷進展を解析した。陽子パルスによる発熱密度が 3 kJ/cc/pulse で、約 9,000 時間運転後に最大の損傷深さが 2.5 mm（ターゲット容器壁の厚さ）に達する結果となった。9,000 時間後とは 2011 年 6 月以降であり、現状の計画によれば分割型ターゲットの 1 号機が用意されている時期である。この結果は、SNS ターゲットで見られた流れによる抑制効果を考慮しておらず、かなり消極的な評価である。それにもかかわらず、チームは安全側の立場から、パルス発熱密度を 2 kJ/cc/pulse に制限することを提案している。評価によれば、この制限下では、10,000 時間運転後に流れの影響を考慮しない場合で最大損傷深さは 0.7mm となる。流れの影響の考慮については、実際に SNS ターゲットで観察されたと思われるものではなく、Los Alamos のモデル実験から得られた結果を考慮した場合であるが、最大損傷深さは 0.3mm となる。

この状況を鑑み、委員会は、近い将来に加速器がより高い出力を達成できるとの仮定のもと、出力密度 2 kJ/cc/pulse という制限は明らかに消極的であり、中性子源性能を不必要に落とすものであると結論する。

この件について、現在 MLF では、加速器（3NBT）チームとの合意の上に設定した設計目標値（120 kW 時でおよそ 1.2 kJ/cc/pulse）よりも遥かに高いピーク電流密度（同およそ 3.5 kJ/cc/pulse）のビームを受け入れていることを考慮すべきである。この条件下で出力密度を 2 kJ/cc/pulse に制限するという事は、すなわちビーム出力をたった 70 kW ほどに抑えるということになる。このような制限は明らかにユーザーに多大な不満を抱かせるものであり、避けなければならない。

現在のビーム出力上昇計画では 300 kW 到達が早くても 2011 年半ばであること、そして壊食に関する予測が過剰に消極的であるという事実を考慮し、委員会は以下のように推奨する。

さしあたり、MLF は加速器が提供可能な最大出力、すなわち 120 kW でターゲットを運転すべきである。さらに、MLF は受け入れ可能な最大許容出力密度を 3 kJ/cc/pulse にまで引き上げ、2011 年半ばの最大 300kW の加速器出力上昇計画に対



応できるよう、出来るだけ早くビームプロファイルを設計時の値にまで平坦化することに最大限の努力を払うべきである。

現在の案によれば、300 kW は現在のターゲットが受けることになる最大出力であり、2011 年半ばに準備が整う新ターゲットへの交換が行われる直前に入射されることになっている。したがって、上記推奨に従ったとしても、ターゲット 1 号機がその時点までに壊れる危険性は低い。最悪の場合でも、現在保有しているターゲット予備機を用いればよい。

ピーク出力密度の重要性を鑑みるに、委員会は、MLF が陽子ビームの強度分布を実測するための信頼性の高い手段を持っていないことがいささか気がかりである。たとえマルチワイヤプロファイルモニター (Multi Wire Profile Monitor, MWPM) が仮設のイメージングプレートによる結果と良好な一致を与えたとはいえ、MWPM はターゲットから離れた位置に置かれているうえ、陽子ビーム窓でのビーム散乱等の要因を考慮していない。また、ビーム広がり補正は計算によるものであり、実験的なものではない。さらに、MWPM はそれぞれのワイヤ方向に積分するシステムであるため、本質的に 1 次元的な情報しか得ることができない。現在開発中の分割型電離プロファイルモニター (Segmented Ionization Profile Monitor, SIMP) は、陽子ビームに対して完全に非侵襲的であり、そのため MWPM よりもずっと長い寿命を持つと期待されるが、やはり同様の制約がある。委員会は、SNS で開発されたものと同様な、真に 2 次元的なシステムをターゲット近傍に設置することを提案したい。

委員会は、望ましくない陽子ビームのピーキングを可能な限り防ぐため、SNS 用に開発されたものと同様なターゲット (ビームプロファイル) 監視システムを導入することを推奨する。

## 新ターゲット

放射性廃棄物低減のための検討作業の中で、チームは、気泡生成システム導入による寿命延伸と、ターゲット交換時に小さな部分 (現ターゲットの約 25% の重量) のみを交換することを目的としたターゲットの再設計を行ってきた。この新しい分割型ターゲットは、一連の概念検討によりその実現可能性が示されたことを受けて、現在、詳細設計の段階に入っている。委員会はこの計画に十分同意するが、この検討作業の進行速度について幾分心配である。現在の計画では、設計作業をすぐに開始して 1 年間となっているが、この作業に 1 年の遅れが生じる可能性も見込んでいる。これでは、

2011 年半ばまでにこの新しいターゲットを準備するという目標を満足しない。この期日に間に合わせることは、出力増強計画を実現させ、そして中性子発生量を最大化するために、極めて重要である。

ターゲット自身の設計の評価に関する詳細内容が不十分なため、委員会は少数の推奨をするにとどめる。

- 1) フランジと金属ガスケットの略図から、保護容器の冷却水は4つの別々の接続部から供給され、これら接続部は（それぞれの相手方と）正確に勘合しなければならないと考へられる。これでは、ほぼ確実にベローズ部が必要で、シール部を合わせる事が難しく、このシール部は常にダメージを受けやすく、漏洩を引き起こしやすい。
- 2) 複数の貫通部を持つフランジは、上下と左右で異なる方向から締め付けられる18本のボルトにより接続される。これは明らかに遠隔操作にとって扱いにくい構造であり、必要とされる圧力をフランジの全領域にわたって均一に付加することを難しくしている。
- 3) 前回のレポート（NTAC-7）において、委員会は、メーカーに分割型ターゲットの設計を渡して詳細化をする前に、その内容を十分にレビューすることを推奨した。その対応において、チームは今回の会議の中で構造や遠隔操作手順を述べたが、レビューの経過について報告がなされなかった。そのような公式なレビューが、実際に行われていなかったのだろう。
- 4) ヘリウムバブラーを組み入れる概念はまだ開発段階にあるように思え、これは上述した計画の不明確さの原因の一つかもしれない。

MLF は、メーカーの代表者（可能ならば）を含めた外部の専門家による分割型ターゲットの設計レビューを至急行い、このレビュー結果を文書化することを、NIAC は推奨する。

最初の分割型ターゲット容器（前段部）の調達を遅らせるようなバブラー概念は許されない。流れの有用な効果はモデル実験から得られる結果より実際の状況の方が良いと思えるので、もし必要ならば、バブラー無しのターゲットで進めるべきである。

委員会としては、ビーム出力が 300kW に達した時点で最初の分割ターゲットが利用可能であるということが、1年遅れを許容してでも完全なものを製作することより

も重要であると考え。これは、ビーム出力を制限したり、現在の予備ターゲットを使用したりするよりも、はるかに望ましい。

委員会で紹介された分割型ターゲット前段部の遠隔交換方法の一般的な概念は、うまくいくように見える。しかしながら委員会は、MLF の放射化機器取扱室は長期間の使用後でさえ、作業員が制限付き入室することがあるという事実について注意喚起したい。SNS の経験では、水銀蒸気汚染が大きナリスク（ターゲット容器前段部の交換中は温度が高い状態にある）であることを示している。

したがって、NIAC は、ターゲット交換時に起こり得る水銀垂れを慎重に評価し、それに対する包括的な対策を準備することを推奨する。適切なフィルターを通しながら空気の流れを確実に制御できるようなシステムにより、水銀蒸気の制御不能な拡散を防ぐ検討を行うべきである。

## モデレータ

高効率な水プレモデレータ付き結合型超臨界水素冷中性子モデレータは、MLF の素晴らしい特徴である。KEK から移設された超高分解能粉末回折計で取得された回折データは、パラ水素の優位性を示している。NTAC-7 での報告以降になされたモデレータシステムの問題解決と改良に向けた継続的な努力により、称賛に値する結果を獲得している。

## 極低温水素システム

前回会合で報告された水素ポンプの過剰振動問題は一過性のものと判明し、解決した。インターロック条件の僅かな調整により、極低温水素システムの信頼性が格段に向上した。

ヘリウム冷凍機運転における不安定性もまた、解決された。これは、空気による He ガスの汚染が原因であり、製作時における系統の壁の汚染に起因すると思われる。このため、冷凍機は 45 日より十分に長い期間、確実に運転できると期待できる。これを確かめるためには、冷凍機性能を監視するだけで良い。He ガスを定期的に清浄化しなければならないと考えられる場合には、冷凍機に簡単な清浄化システムを常設すれば、系統からの汚染物質除去時間を短縮できる。

アキュムレータの問題は、想定外に早期に発生した。ユーザーのためには素早い回復が非常に重要である。我々は示された回復シナリオに同意する。また、原因特定のための調査が重要である。さらに、経験に基づいた新しい方法の検討も、恐らく必要となるだろう。

### モデレータ予備機

熱収縮に起因する大きな変位を緩和するためにインバーを使うというモデレータの変更設計は、設計をより簡略化するものであり、現設計を格段に改善するものである。このため我々は、熱収縮の問題を緩和すると同時に熱遮蔽を削減可能な、提案された設計を支持する。より容易な製作により、高価な材料費を補えるかも知れない。特にモデレータ近傍において、インバー中の Ni の放射化を評価すべきである、ということのみコメントしたい。

モデレータはすべてパラ水素を仮定して最適化されているため、その性能にとってオルソ-パラ比は重要なパラメータである。このため、MLF 冷中性子モデレータ中のオルソ-パラ比を測定することは必須である。さらに MLF は、加速器出力の関数として（パラ水素からオルソ水素への）遷移率についての詳細な情報を提供することができる世界で唯一の施設である。それ故、MLF は、約 20kW から 1MW の広い出力範囲において信頼性の高い（オルソ-パラ比の）測定が可能な手法を開発すべきである。モデレータから測定場所まで長い距離にわたって水素を移送する間に、オルソ-パラ比が変化してしまう可能性があるため、中性子性能による（オルソ-パラ比の）測定もまた、必須である。NIAC は、こうした測定には高々数日しか要さず、供用運転期間ではなく「マシンタイム」中に実施可能であろうと考えている。30 日間を必要とするような、オルソ-パラ比を制御しながらのスペクトル強度変化とパルス形状変化測定は必要ない。

### 低放射化デカップラ

デカップラの放射能低減は、長期的な観点から強く望まれてきた。AuIC 合金は良い候補材料であるが、 $^{198}\text{Au}$  は  $^{198}\text{Hg}$  の親核である。開発を進める前に、AuIC デカップラ中における水銀の冶金学および構造的な効果について、理解すべきである。これは、デカップラの寿命終了時に存在すると予測される量の水銀について行うべきである。仮にその量が無視できない場合、中性子照射実験の実施が推奨される。

## オフガス処理の課題

トリチウム放出は規制上の重大な課題である。このため、系統内の HT について正しく理解することが重要である。しかし、観測されたトリチウム量と予測された量の差は極めて大きい。故に、水銀循環システム中におけるトリチウムの存在場所を特定することは、重要である。

## 結 辞

委員会は、MLF チームに対して、公開性と明確性、そして注意深く準備された発表及び我々の滞在期間中のもてなしに感謝の意を表す。我々は、前回の NTAC 会合での指摘事項に対処し、我々に対して返答してくれた MLF スタッフの取り組み方について、称賛する。中性子源及び中性子実験装置のどちらにとっても、MLF は国際的な競争に太刀打ちできる中性子散乱実験施設になるであろう。われわれは、適切なレベルの支援があれば、世界的に主要な中性子散乱実験施設のひとつとなるという目標がみごとに実現すると確信している。