

量子ビーム研究開発・利用の推進方策について（最終報告）概要

～ 知のフロンティアを拓き、先端産業をイノベートする多彩なビーム利用の可能性 ～

平成 18 年 1 月
文部科学省研究振興局

本検討会では、量子ビーム研究開発・利用の効率的な促進に向け、J-PARC/ MLF 及び RIBF を中心に産業利用の側面に重点を置いて当面取り組むべき課題に加え、今後の中長期的課題について検討を進めてきた。本検討会の主な検討結果及びこれを踏まえた提言・課題は以下の通り。

（なお、基礎科学研究におけるこれらビーム利用のあり方については、関係審議検討組織・法人等での検討に委ね、本報告では産業利用の側面に重点を置いて検討・取りまとめを行った。）

○ビームラインの整備・運営のあり方

- ・ J-PARC/MLF の BL 整備・運営では、ビーム施設設置者（以下「施設者」）の予算による整備や、大学等の第三者研究機関、地方自治体、企業・コンソーシアムによる BL 整備の他、競争的資金を活用した BL 整備も有効。これら BL 設置計画については、コスト回収の観点に留意しつつ、科学技術的観点や産業促進の観点、技術的実現性等に基づく評価・決定が不可欠。
- ・ また、大型研究施設の「国際公共財」としての位置づけを踏まえれば、海外からの BL 利用の受入れ体制の整備も要検討。但し、国内産業振興の観点からは、WTO 等の国際ルールとの整合性等に配慮しつつ、産業界の排他的利用における国際アクセスの制限につき慎重な検討が必要。
- ・ RIBF は、加速器とともに基幹実験設備までを施設者である理研が整備し、付加する測定装置等は各ユーザーが自ら設置するという全体が共用 BL 的なもの。また、理研を含む全ての実験課題の公募・審査・ビームタイム割当等は、外部委員を含めた実験課題採択委員会等により決定されるとともに、共用に係る運営システム検討のための専門委員会組織も設置予定。

○ビーム機器の性能向上・更新のあり方

- ・ J-PARC/MLF における BL 機器の性能向上・更新にあたっては、専用 BL 設置・産業利用促進の実績等で先行する大型放射光施設 SPring-8 の各種制度を参考にしながら対応することが望ましい。一方、競争的資金での機器開発・整備に当たっては、これら BL 機器に係る運転・管理経費の確保に留意が必要。
- ・ RIBF におけるビーム輸送系及び実験設備の性能向上・更新については、施設者が中心となり、最新技術の導入等の高度化を継続的に実施し、施設の先端性維持と利用者ニーズへの即応が必要。

○適切なビーム利用料金のあり方

- ・ビーム施設の共用に当たっては、多くの経験を重ね制度設計・運用が進められてきた SPring-8、及び大学共同利用施設等の国内先行施設や海外施設における利用体系を見極めた上で、効率的・合理的な利用体系の構築が必要。
- ・量子ビーム施設は、大型化やビームの大強度化に伴い、多額の運転経費を要するようになってきている。このため、施設者のみによる運転経費の負担は、独立法人予算の種々の制約の範囲内では困難化。
- ・このため、施設者以外の利用に際し、コスト回収の一環として利用形態に応じた適正な料金の徴収が重要。その際、ビーム施設の共用を効果的に進めるためには、有償利用を先導する成果非専有の利用をまず促進し、施設の有用性を内外に示すべく、当該施設を広く共用に供するための経費の一部を国が法人予算の枠外で直接負担する仕組みの適用についての検討も重要。
- ・こうした料金設定のあり方を検討する際には、施設者が海外の同種施設に対して十分な国際競争力を有するよう留意することが重要。
- ・特に、J-PARC/MLF では、原子力機構や高エネ機構、茨城県等の様々な設置主体間での利用料金体系の整合性の確保が今後の重要な検討課題。同時に、原子力機構内の他の共用施設との利用料金体系の整合性についても考慮が必要。これらを踏まえ、利用者に対し混乱を与えることなく円滑な利用促進を図る上で、透明性ある分かりやすい料金体系の構築が必要。

○専門組織による依頼分析サービスの提供可能性

- ・試料の前処理からデータ取得・解析までの分析サービスを専門機関が全て代行することは、特に産業界にとり馴染みの薄い中性子ビーム等の利用を促進する上で、極めて有効な支援サービス。
- ・こうした分析代行サービスは既に一部で実用化されおり、現状の民間専門機関による依頼分析関連サービスの内容として、①原子核反応を利用するものとして中性子透過試験やポジトロン分析等、②ターゲット試料のイオン化を利用するものとして特性 X 線測定による元素分析 (PIXE)、③ターゲット試料の原子欠損 (格子欠損) を利用するものとして半導体へのイオン照射等。
- ・今後は、例えば、J-PARC/MLF 等での大強度中性子ビームの活用により、中性子透過試験における動的な分析サービスへの事業拡大や、中性子粉末解析測定における新分析・構造解析サービスへの展開の可能性が期待。
- ・一方、当該分析サービスに係る技術については、これまで公的研究機関から移転されてきたものが多く、更なる事業展開を図る上では、今後とも公的研究機関と企業との連携・協力を強化することが重要。
- ・また、「標準物質」作成や分析法標準化への取組みは、ビーム利用による各種測定・分析を精密かつ高信頼度で行う際に必須であり、分析代行サービスを実用ベースで進める上でも重要。今後の産業利用の推進・拡大に当たって、中性子標準を通した中性子計測の信頼性の向上が図られ、標準化への取組みに係る関係専門機関や府省間の連携・協力が一層強化されることを期待。

○対外的プロモーション活動の推進

- ・本検討会の中間とりまとめの成果をベースとして、これまで各般の業界団体や報道機関等を対象に広報・アウトリーチ活動を展開してきたところ、多くの有用な助言や新たな利用開拓の可能性が期待。
- ・今後は種々のメディアや人的ネットワークも活用し、コーディネータ・アドバイザー等による広報・アウトリーチ活動を実施し、これまでビーム利用に係る知識・情報に接する経験の少なかった若年層や女性層他にもアプローチしていくことが重要。その際、多様な人材の参画を得つつ、各ビームの特性や強みをできる限り分かりやすい形で発信、情報提供することも重要。

○量子ビーム産業利用研究会の組織化

- ・これまで原子力機構や理研、高エネ機構等が中心となり、新たな産業利用の促進が期待される課題（ニーズ）を持つ企業ないしは企業団体等との「量子ビーム産業利用研究会」が試行的に開催され相応の成果。
- ・今後は、より包括的かつ具体的に産業利用が期待されるニーズを吸い上げ、これらニーズに的確に応えるためのシステムとして、主要分野毎に施設者、産業界の潜在ユーザー、大学等の専門家の参画を得て、産業利用研究会を効果的に組織化することが有効。その際、複数のビームの相補的利用の有効性に留意するとともに、産業界の関心を効果的に喚起する上で、テーマ・領域絞り込みに当たり、早期の「成功事例」創出を目指すことも重要。
- ・併せて、公的組織による成功事例の「顕彰制度」を創設・活用することにより、成功事例を広く一般に喧伝し、産業界の更なる利用促進のためのインセンティブを付与することも有効。

○今後の利用拡大が期待される産業ユーザー

- ・これまでの本検討会での討議及び上述のアウトリーチ活動・産業利用研究会の実績等を踏まえ、今後主要分野での利用拡大が期待される産業領域を例示すると次の通り。これらについては産業利用研究会等での検討・連携の更なる深化と、これを踏まえた BL 設計・運用システムへの反映等が必要。
- ライフサイエンス・医療分野：医療機器産業（粒子線治療施設の小型化）、製薬産業（構造解析による合理的薬剤設計）、花卉産業（ビーム育種）等
- 環境関連分野：自動車産業等（燃料電池開発）、種苗産業（ビーム育種）等
- 材料・ナノテク分野：情報通信産業（ハードディスクの記憶密度の向上）、建設業・鉄鋼業（大型機器・構造物の残留応力評価）等
- その他の産業分野：石油・資源関連分野（メタンハイドレートの輸送・貯蔵法の開発）、食品関連産業（高機能高分子ポリマーの開発）等
- ・こうした新たな産業分野へのビーム利用拡大に当たっては、上述の産業利用研究会が有効であると同時に、今後導入予定のトライアルユース制度を効果的に活用することを期待。

○各種量子ビームの横断的利用への取組みと具体事例

- ・各種の量子ビームは、固有の物理的特性と物質との相互作用の違いにより、計測・分析・加工等において利用できる分野や範囲が相違。これら特性の違いを有効に生かし、複数の量子ビームを相補的に利用することにより、対象物のより高度な計測・分析・加工等が可能。
- ・これまでの本検討会での討議結果等を踏まえれば、複数のビームの横断的・相補的利用が有効と期待される領域・テーマを例示すると次の通り。これらについては、各々のビームに関わるコーディネータ間の連携等を通じ、組織横断的な利用支援体制の構築や窓口機能の一本化を図ることが必要。
- 中性子ビーム及び放射光の横断的利用：タンパク質の構造解析、酸化物高温超伝導の機構解明、実用機器・製品の内部構造評価、物質中の微量元素分析、構造物等の残留応力評価
- 中性子ビーム及び放射光、イオンビームの横断的利用：燃料電池の開発
- 中性子ビーム及びミュオンビームの横断的利用：超伝導状態における渦糸状態及び特異な磁性の解明
- 定常中性子ビームとパルス中性子ビームの横断的利用：自動車エンジンや燃料電池の開発、熱交換器中の二相流の挙動解析、高温超伝導機構の解明、材料開発（非晶質やガラス材料の構造評価）

○プラットフォームの運営体制と運営機関のあり方

- ・欧米の先行事例を踏まえれば、量子ビーム施設を拠点とした大学・研究機関と産業界との有機的連携による横断的ビーム利用のための「プラットフォーム」形成は極めて重要。我が国では、JRR-3、J-PARC/MLF と KEK-PF がいずれも茨城県内に立地し、これらビーム施設と「つくば」地域の研究機関、県内企業群との面的連携・協力体制構築がプラットフォーム形成を図る上で有効。
- ・つくばでの産学官連携の取組みとして、産学の橋渡しを基軸とする産総研、物材機構、農業生物研等と、学術研究を基盤に置く筑波大学や高エネ機構等の研究現場を直結し、両者の研究活動を加速化させる「つくばスパイラル」構想の提唱。今後、筑波研究学園都市交流協議会等を通じ、本構想が、省庁・官民の壁を越えた賛同を獲得し、複数ビームの横断的利用に係る面的連携強化によるプラットフォームが構築されることを期待。
- ・ネットワークによる量子ビーム施設との接合は、物理的距離を越えたビーム利用の機会を飛躍的に拡大し、「つくばスパイラル-東海連携」の構築を通じ、全国の大学・研究機関によるバーチャル環境での遠隔利用可能性が期待。
- ・茨城県では J-PARC 建設を契機に、つくば、東海、日立地区の連携強化を図りつつ、バイオ・ナノテク・IT 等の先端研究開発と成果の産業波及促進により、一大先端産業地域の形成を目指す「サイエンスフロンティア 21 構想」を推進中。具体的取組みとして、同県が J-PARC/MLF 内に整備する 2 つの中性子ビーム実験装置を県内外企業に広く開放し、産業利用を先導していく方針。

- ・ 同県では、産業界が利用しやすい運営体系として、独自のコーディネータ配置や「県 BL 利用者支援協議会」（仮称）設置が考えられている。中性子・放射光専門家等から構成される同協議会には、企業の課題解決のための技術相談、実験装置の利用相談の窓口としての機能を期待。
- ・ 中性子の産業利用の効果的促進に向け、同県では 2004 年度より「中性子利用促進研究会」を開催し、現在計 10 テーマの研究会を設置。企業からの提供試料による中性子解析を行う「中性子モデル実験」を通じ、有用性を直接感じてもらう他、中性子と放射光との複合的・相乗的活用も検討中。
- ・ こうした茨城県の産学官連携の面的プラットフォーム構築に向けた取組みは、他地域の量子ビーム施設を中核とした利用システム展開にも有用。今後、国・地方自治体及び関係専門機関の効果的連携・協力の下、各地域及びこれを横串に貫く幅広いプラットフォーム構築を目指した取組みの進展を期待。
- ・ 行革の方針を勘案すれば、プラットフォームの運用機関については、既存の公的利用促進機関の機能・体制の拡充及び相互連携の強化が必要不可欠。

○プラットフォームの活用による専門研究者・支援者の育成のあり方

- ・ 量子ビームの更なる利用促進、利用者コミュニティ拡大には、物質・生命科学等ビーム利用に関する専門研究者の育成とともに、主要ビーム供給源である加速器に係る専門研究者・技術者、技術支援者の人材育成が必要。
- ・ 国内の主な加速器施設における人材の充足度等に関するアンケート調査では、全体としてこれら人材についていずれも不足感が見られる。特に不足感の強い人材として、研究者では超伝導技術、ビーム診断技術、真空工学等、技術者では保守・管理技術等、技術支援者では、生物分野、計算機科学等。
- ・ 今後の多様化・高度化するビームの利用拡大には、専門分野別需要を踏まえたきめ細かい人材育成・確保が重要。とりわけ、潜在的な産業ユーザー開拓に当たり重要な支援サービスを担う技術支援者の確保・配置が必須。
- ・ 本分野の人材育成では、実際に加速器を利用した研究・実験を通じ、経験的・実践的に知識・技術を得ることが重要。一方、個別大学毎に多額の経費を必要とする加速器の運転管理を行い、人材育成に供することは益々困難化。
- ・ こうした状況では、前述の「プラットフォーム」を専門研究者・技術者の育成のための共通基盤として活用することは合理的かつ有効。
- ・ 今後の本分野に係る人材育成を効果的・効率的に進める上で、プラットフォームを活用した関係学会等の諸活動の強化・展開が重要。例えば、「日本中性子科学会」と他の量子ビーム関連学協会との横断的連携強化による「学会連合」的アライアンスを形成し、「入口側」たる学部・大学院学生等の若手人材の拡充、更には企業の賛助会員等「出口側」の増加を図ることは、本分野の人材の量的・質的厚みを増していく上で極めて有効。
- ・ こうした人材層強化により、競争研究資金等によるリソース流入増、成果創出を通じた出口側たる産業界へのキャリアパス展開促進、これによる更なる若手人材の流入増というポジティブループの形成が期待。

- ・大型ビーム施設を、アジア諸国等の量子ビーム開発利用研究者・技術者の研究・研修のための共通プラットフォームとして、国際協力・人材育成プログラム等に積極活用することは重要。
- ・IAEA/RCAにおける協力活動として、放射線加工・品種改良等、量子ビーム利用関連プロジェクトが大きなウェイトを占め、これら協力活動の場として、J-PARC等、大型ビーム施設の活用は必須。
- ・こうした研究推進・人材育成の努力の結果、各国のビーム利用を主導する高度人材の活躍の場が拡大。これら諸国による商業ベースでの我が国ビーム施設の本格的利用（専用ビームライン設置等）を先導することも期待。
- ・加速器関連人材の3つのカテゴリ毎に人材育成のあり方を考えると次の通り。
 - 加速器研究者：総合研究大学院大学に2006年度創設予定の加速器科学に係る大学院教育プログラムを活用することにより、今後の技術発展をリードする研究者・技術者の着実な養成・輩出を期待。CERN夏期セミナー等の活用による、国際的競争環境下で広い視野を持った人材の育成も重要。同時に、中小型加速器を用いた加速器教育や客員講座等を活用した人材育成も有効。
 - 加速器技術者：特に工学系人材に不足感が強いことから、最新加速器における先端技術の活用状況等「加速器のフロント」に係る講義・研修等を工学系の人材育成プログラムに「実践」を伴う形で組み込むことが極めて有効。また、特に不足感の強い分野とされる「計測・制御系」人材については、民間研究開発部門で比較的層が厚いことを踏まえ、産学官共通のプラットフォームの構築・活用を通じ、相補的な連携・対応を期待。
 - 技術支援者：「不足感」克服の早道は支援業務を民間役務サービスへ全面的にアウトソースすることだが、これが可能となるのは、十分に加速器利用の採算が取れ、相応の市場規模を有する成熟したビーム利用の場合。
- ・施設者側が支援人材を組織内に抱える際の課題は、支援者の「評価」及び処遇のあり方。例えば「ビーム利用支援による新たな科学的価値・産業面のメリット創出」等を積極的に評価・処遇に反映していくことを期待。
- ・これら3カテゴリの人材の需要・供給の時間的推移を加速器の整備・運用サイクルと重ね合わせると、「研究者」→「技術者」→「技術支援者」という人材面の「ライフサイクル」が見て取れる。この際、機関間連携の確保・強化による人材流動性の向上を通じ、主要加速器の整備・運用サイクルに応じた最適のフェーズで、これら専門人材の全国ベースでの配置・活用を図ることが有効。こうした面からも、複数の施設間の横断的・有機的な連携・協調のための「プラットフォーム」構築・活用は、極めて有用なコンセプト。

○今後引き続き検討・対応すべき課題

- ・上記方策全般については、本検討会での検討結果を踏まえつつ、今後の科学技術・学術審議会等の公的検討組織による更なる検討を期待。更に、これら検討と連携・協調し、日本アイソトープ協会や日本中性子科学会等、より広範なコミュニティによる調査検討、並びに日本電機工業会等の産業界のフォーラムにおいても、量子ビーム施設の運用に係る技術支援者等の専門人材の育成確保等中長期的課題について関連する議論の深化を期待。
- ・今後、本格ビーム供用の段階を迎える J-PARC については、2003 年の中間評価及び、その後の状況変化を踏まえ、ビーム取り出し・実験開始までの間に計画全体の評価を実施し、第 1 期計画以降の具体的施設整備・実験計画を検討・立案することが必要。その際、本検討会で検討した中性子等の産業利用を主眼とした事業の流れとともに、学術研究を主軸とした利用のあり方及び両者のバランスについても、十分に留意した検討を進めることが重要。
- ・他方、RIBF については、今後の基幹実験設備整備の動向を見極めつつ、理研に設置予定の施設共用に係る専門委員会による幅広い検討を期待。その際、外部利用者による施設利用及び成果の帰属の柔軟性・開放性の向上とともに、運用コスト回収の考え方についても相応の検討が加えられることを期待。
- ・2006 年度予算案において創設された「量子ビーム利用促進プログラム」（電源特会）については、予算趣旨に起因する制約を踏まえ、更なる対象施設・地域の拡大に向けた検討を行うことを期待。その際、成果の早期創出及び利用者からの適正な対価徴収の考え方についても配慮が必要。
- ・加速器・量子ビーム専門人材の育成においては、高性能化・多様化する当該技術の進展に合わせ、専門分野等を考慮しつつ加速器研究者・技術者及び技術支援者をバランス良く確保・配置する方策の実施を期待。その際、産学官の共通基盤的プラットフォームを構築・活用し、大学・大学院等の専門教育研究機関における知識ベースの教育研究と、量子ビーム・加速器施設の実利用を通じた経験ベースの教育研究とを併用した教育・訓練が必要かつ有効。
- ・本検討会では中心的トピックとして取り上げる機会のなかったレーザー、テラヘルツ波等、多彩な量子ビームの利用に関しても、今後のこれらビームの大強度化・高品位化等の技術革新に合わせ、産業界及び基礎科学研究における新規利用分野やユーザーの開拓・拡大に向けた方策の検討・構築を期待。
- ・その際、コーディネータの活動等を通じ、本検討会で議論された中性子・イオンビーム等の産業利用促進への取組みと、これら方策との有機的な連携・融合を図ることが、多彩な量子ビーム利用を促進する上で極めて有効。