

我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方 (今後の検討の方向性(素案))

令和2年 月 日
量子ビーム利用推進小委員会

0. はじめに

我が国では、軟 X 線向け高輝度 3GeV 級放射光源(次世代放射光施設)の本格的な整備が開始、2023 年度からの運転が予定。2012 年の X 線自由電子レーザー施設(SACLA)の供用開始から約 10 年ぶりに、量子ビームの大型研究基盤が整備されることから、各施設の役割や、施設利用者(産学官の研究者等)の分布・ニーズにも大きな変化が起これと見込まれる。

欧米・アジアでは、量子ビームの大型研究基盤の整備・高度化が急速に進展。我が国の研究力・産業競争力を維持・向上するためには、最先端の加速器技術や量子ビーム利用技術等により、諸外国と比肩する高性能な研究基盤を整備・運用する必要。

本小委員会では、我が国の既存の量子ビーム施設を俯瞰的に捉え、

- (1) 産学連携を含む利用者の確保や利用者への支援
- (2) 施設の役割分担や施設相互の連携
- (3) 海外施設・海外研究者との連携
- (4) オープンデータ・オープンアクセスの取組
- (5) 人材育成

等の論点について検討を実施。

1. 国内外の諸情勢の変化

(1) 我が国の動向

放射光や中性子、レーザーといった量子ビームについては、物質の構造解析や機能解明・理解など、最先端の科学技術を推進する上で不可欠な研究開発手段・ツール。近年、その重要性が加速。

我が国では、高い加速器開発技術と量子ビーム利用技術に長年の蓄積あり。

こうした量子ビームを扱う先端施設として、我が国では、国の大型放射光施設である SPring-8(平成9年～運用中)の整備・運用から20年が経過したが、依然、数多くの画期的な研究成果を創出するとともに、世界最先端施設として産学官の幅広い分野での利活用を推進。世界で2番目に建設された X 線自由電子レーザー施設(SACLA)(平成24年～運用中)も同様に、最先端の研究開発基盤として競争力を発揮。さらに、軟 X 線向け高輝度 3GeV 級放射光源として、官民地域パートナーシップの枠組みの下、「次世代放射光施設」の整備を開始(整備期間:平成31年度～令和5年度)。

また、国が整備した大強度陽子加速器施設(J-PARC)(平成20年～運用中)は、世界最高レベルのビーム強度を有する我が国初の大型陽子加速器施設として、多様な二次粒子線を用いた新たな研究開発手段を提供し、素粒子・原子核物理等の基礎科学

から大強度核破砕中性子源・ミュオン源を利用した物質・生命科学実験施設 (J-PARC MLF) における産業応用に至る幅広い研究開発を展開。

上記の国の大型研究施設に加えて、我が国では、大学・研究機関、地方自治体等が有する量子ビーム関連施設が様々存在。

たとえば、放射光施設では、世界的に放射光専用加速器 (第二世代光源) の建設が進むなか 1980 年代に建設された PF、PF-AR、UVSOR をはじめ、各利用目的に応じた施設が存在。中性子線施設としては、核破砕パルス中性子や原子炉定常中性子による中性子ビーム利用実験のみならず、RI 生成や BNCT 技術開発、可搬型の小型中性子源システム等の多様な形式の施設・計画が存在。イオンビーム施設は、様々なイオン種を利用し、原子核物理から材料・医療等応用研究に活用。レーザー施設としては、高エネルギー密度科学研究や産業・医療応用等、幅広い用途に応じた施設等が存在。(参考 1)

(2) 諸外国の動向

放射光や中性子等のアカデミアや産業界での利活用が進む中、欧米各国のみならず、中国をはじめとするアジアの新興国など、諸外国においても量子ビームに関する大型研究基盤の整備・高度化が急速に進展。

放射光施設については、2000 年代から欧米・アジアをはじめとする諸外国において、アンジュレータ光源を中心にした低エミッタンスの 3GeV 級放射光施設が相次いで建設。また、既存の大型放射光施設については、MBA ラティスの採用によるアップグレード計画が欧米で推進。

中性子線・ミュオン施設については、ILL などの研究用原子炉による定常中性子源に加えて、1990 年代以降、米で加速器による大強度核破砕中性子源の建設が始まり、2010 年代に入り、中国でも加速器による核破砕中性子源が建設されるなど、相次いで加速器による大強度の核破砕中性子源を建設。

レーザー施設については、光源の先鋭化や新たな光機能の発現・制御への応用等の進展により、レーザーの極短パルス化や高強度化、小型化に向けた研究開発や施設・設備の整備等が急速に進展。特に経済・産業上の重要技術として各国間の競争が激化。(参考 2)

(参考1) 我が国の主な量子ビーム施設

施設種 / 運営 主体	国	地方自治体	国立研究 開発法人	共同利用・共同 研究拠点、大学 共同利用機関	大学
放射光施設	SPring-8	・AichiSR ・SAGA-LS		・KEK PF、PF-AR ・分子研 UVSOR ・広大 HiSOR	・立命館大 SR センター ・兵庫県立大 NewSUBARU
中性子 ・ミュオン施設	J-PARC MLF	・青森県量子科学センター ・いばらき iBNCT	・JAEA JRR-3 ・理研 RANS	・京大複合原子力科学研究所 ・J-PARC・MLF(KEK IMSS)	・北大 HUNS ・名大 NUANS ・京大 KUANS ・東北大高速中性子実験室
レーザー施設	SACLA		QST J-KAREN	・京大化学研究所 T6-Laser ・京大 KU-FEL ・阪大レーザー科学研究所	・理科大 FEL-TUS
イオンビーム 施設		福井県 W-MAST	・JAEA 20MV タンデム加速器 ・QST TIARA ・理研 RIBF ・QST HIMAC	・阪大 RCNP 加速器施設	・東北大 CYRIC ・筑波大附属病院陽子線医学利用研究センター ・筑波大研究基盤総合センター応用加速器部門 ・東大重照射研究設備 HIT ・東大 MALT ・東工大ペレットロン ・神戸大加速器・粒子線実験施設
その他電子線 施設				・東北大電子光理学研究センター ・KEK 低速陽電子実験施設 ・阪大産業科学研究所附属量子ビーム科学研究施設	・東大原子力専攻電子ライナック ・日大 LEBRA

(参考2) 諸外国で近年整備・高度化されている主な量子ビーム施設

施設種	トレンド	欧州	米国	アジア・その他
放射光	3GeV 級施設の建設 (2000年代～)	SLS(スイス)、SOLEIL(仏)、Diamond(英)、ALBA(スペイン)、MAX IV(スウェーデン)、	NSLS-II	SSRF(中)、PLS-II(韓)、TPS(台)、SIRIUS(ブラジル、建設中)
	第三世代大型施設の建設、アップグレード	ESRF-EBS(欧)	APS-U(アップグレード中)	HEPS(中、建設中)
	XFEL 施設の建設	European XFEL(欧)、Swiss FEL(スイス)	LCLS-II	PAL-XFEL(韓)、SINAP-SHINE(中)
中性子・ミュオン	大強度中性子発生施設の建設ラッシュ	ISIS(英)、ESS(スウェーデン、2020稼働予定)	SNS-ORNL	CSNS(中)、KOMAC(韓)
レーザー	極短パルス化や高強度化、小型化	ELI-Beamlines(チェコ)、ELI-ALPS(ハンガリー)、ELI-NP(ルーマニア)、CLF(英)、LULI(仏)	NIF、BELLA	神光 II、III(中)、CAEP(中)、北京物理研究(中)、APRI.GIST(韓)

2. 研究施設等をめぐる現状と課題

(1) 大型研究施設の整備等

我が国では、これまで国・大学・研究機関・地方自治体等が、それぞれ独自に量子ビームの施設・設備等の整備を推進。一方、近年、国や自治体における厳しい財政的制約等もあり、必ずしも計画的な施設・設備の整備・改修等が行われているとは言えない状況。

また、放射光や中性子等の量子ビームの施設・設備種毎に、それぞれ個別に整備・改修等が検討・実施されており、施設種をまたいだ横断的な検討がなされていない現状。欧米では、施設種等を越えて、大型研究施設・設備の整備や連携協力等を戦略的に推進する中、このままでは我が国の研究施設・設備や関連する研究開発等においても国際競争力を失いかねない状況。国として、施設種や運営主体の違いを勘案した上で、総合的、かつ戦略的・計画的に、大型研究施設の整備を進めていくことが重要。

一方、大型研究施設の整備・改修等を検討するに当たっては、国・大学・研究機関・地方自治体等が有する施設・設備との間で、それぞれの位置づけや役割、さらには利用者(産学の研究者等)のニーズの変化等についても十分に踏まえることが必要。

さらに、放射光等の研究施設・設備を有する大学・研究機関等では、施設種ごとに

機関等間の連携・ネットワーク化など、相補的な利用は進みつつあるが、人材育成を含め先端技術を継続的に開発し、その成果を広く他機関等に展開していく取組が不十分。各施設等において個別に有するプラットフォームやコンソーシアム、さらには学会等も活用し、我が国全体として、機関等間の連携・協力を強化することが不可欠。

なお、2020年の年明けから世界的に感染が広がった新型コロナウイルス感染症（COVID-19）により、我が国量子ビーム施設においても、施設への来所が制限され研究活動が停滞するなど大きな影響が出ている。世界的にも研究活動のデジタル・トランスフォーメーション（DX）が注目されているなかで、各施設におけるDXに対応した施設・設備等の整備（遠隔化・自動化・AI的手法導入等を含む）の推進が喫緊の課題。

（2）研究施設の利用の促進等

国の大型研究施設をはじめ、放射光や中性子等の研究施設・設備の利用拡大を図るとともに、これらを利用した産学連携の研究開発等を一層促進するためには、ユーザー（利用者）支援を充実・強化していくことが重要。例えば、ユーザーのニーズに対応した課題設定や十分な利用枠の確保、利用申請にかかる窓口整備や対応する人員（サイエンスコーディネーター）確保等が課題。

各施設等の利用を促進するとともに、その成果を広く展開していくためには、施設運転や研究開発等で生み出される各種のデータを幅広く共有し、有効利用を促進していくことが極めて重要。こうしたデータの積極的公開（オープンデータ）や、データへのアクセス自由化（オープンアクセス）等が必要であり、各施設間のデータ仕様の統一やデータの公開・利用方法等の指針策定、さらには各施設におけるデータベースの整備等が課題。

また、物質の構造・機能解明など最先端の科学技術を推進するとともに、いち早く産業・イノベーションに結び付けていくためには、放射光と中性子、放射光とレーザーなど、複数の量子ビームに関する施設・設備等を利用した横断的・融合的な研究開発等を推進することが重要かつ有益と認識。しかしながら、施設種等をまたぐことのできる施設スタッフがいない中では、有効性が認知されている限られた研究分野の研究者等の利用にとどまっている状況。

（3）研究施設を支える環境・基盤等

研究施設・設備や、それらを利用した研究開発等の国際競争力の強化を図る上で、海外の関連施設等との連携・協力の拡大は極めて重要。現在、各施設等において個別に（カウンターパートとなる）海外の関連施設等との連携・協力が行われているものの、海外施設等の動向を把握し、国全体で共有して連携・協力の効果を高める取組や海外からの利用を促進する体制整備等に課題。

研究施設等の計画的・戦略的な整備・改修等を行うとともに、その利用を促進していく上で、研究施設に適した優れた研究者・技術者の育成・確保は必要不可欠。こうした人材については、近年、関連する分野の研究者や、研究施設の運用を支える技術者等が減少傾向。特に、各施設において職種（施設研究者、技術者、研究支援員等）

の明確化や職種毎の人材育成・確保、次世代への技術継承等が必ずしも体系的に行われておらず、かつこうした人材の流動性（特に施設種等をまたぐ人事交流）が低いことも課題。

3. 今後の量子ビーム施設の在り方に関する基本方針

上述のように、近年、放射光や中性子、さらにはレーザー等の量子ビームは、最先端の科学技術を支える重要かつ不可欠な研究開発基盤・ツールとして、その重要性は一層増加。国として、こうした量子ビームに関する大型研究施設・設備と、その競争力の保持は、国全体の研究開発力や産業競争力を左右するといっても過言ではなく、それゆえ各国間の研究開発競争等が加速している状況。

このため、国として、量子ビームに関する大型研究施設・設備の整備及び利用促進を図ることはもとより、施設種を越えて、さらには大学・研究機関、地方自治体等が有する関連施設も広く含め、量子ビーム施設等全体を俯瞰した総合的かつ戦略的な推進方策を検討することが極めて重要。

こうした観点に立ち、1.及び2.を踏まえ、本小委員会は、以下3点を基本方針として設定。また、4.において、本基本方針を踏まえた各論点について今後の検討の方向性を提示（なお、各論点には相互に関連する内容を含むことに留意）。

量子ビーム施設等全体の国際競争力の確保

国の大型研究施設・設備をはじめ、我が国の量子ビーム施設等の国際的な競争力を確保し、最先端の科学技術を推進していくためには、研究施設・設備の確実な維持管理・運用等を実施するとともに、これらの施設等の定期的な改修・更新（アップデート）や新たなビーム源の施設等の整備を推進していくことが必要。

このため、国として、大学・研究機関・地方自治体等が保有する施設等も広く念頭に置いた上で、量子ビーム施設等全体の国際競争力の確保や強化等を図る観点から、中長期的な観点に立った戦略的かつ計画的な施設整備等を推進。（論点（1）量子ビーム施設等の整備計画の策定（各施設の役割分担、施設間相互の連携、関連する施設・設備整備（DXに対応した遠隔化・自動化・AI的手法導入等を含む）等）

量子ビーム施設を利用した研究開発成果の最大化

国や大学・研究機関・地方自治体等が保有する量子ビーム施設等について、適切な役割分担の下、相互連携・協力を図りつつ、これらを利用した産学官の幅広い分野の研究開発等を推進し、産業・イノベーションへの発展も含めて、研究開発成果の最大化を図っていくことが極めて重要。

このため、各施設等において、アカデミアのみならず、産業界の利用の促進を図る観点から、幅広いユーザーに対する支援の充実・強化や、異なる複数の量子ビーム施設等間の連携、その利用促進等を通じて、我が国全体の研究開発力を一層強化。

また、各施設におけるビームラインを最大限有効活用するような枠組みを検討。（論点（2）ユーザー支援の強化（利用者の確保、ポータル等による利用者支援、オー

プンデータ・オープンアクセス、関連する研究開発・施設整備（DX に対応した遠隔化・自動化・AI 的手法導入等を含む）等の在り方等）

（ 論点（ 3 ）複数の量子ビーム施設の連携及び利活用の促進）

量子ビーム施設を支える環境・基盤の強化

量子ビーム施設等自体の国際競争力の確保や、それらを利用した研究開発成果の最大化を図るためには、それらを支える環境整備や基盤強化が不可欠。

各施設等の位置付け・役割等を踏まえた上で、各施設等間の研究協力や人材交流等を確立することに加え、海外の関連施設等との研究協力や人材交流等の拡大は、施設等の高度化や有効利用を図る上で極めて重要。また、施設等の適切な運用や維持管理、新たな施設等の整備・改修・更新、さらには施設を利用した研究開発等の推進・支援等を行うためには、研究施設の中長期的な視野に立った研究者や技術者等の人材層の厚みを増していくことが必要。

（ 論点（ 4 ）量子ビーム施設等に関する国際的な連携・協力拡大）

（ 論点（ 5 ）量子ビーム施設等を支える優れた人材の育成・確保）

4 . 各論点に関する検討の方向性

（ 1 ）量子ビーム施設等の整備計画の策定

共用法に基づく特定先端大型研究施設をはじめとする国の大型研究施設については、新たな施設・設備等の整備や、既存施設・設備の高度化に向けた改修・更新（アップデート）等について、中長期的な観点に立った戦略的・計画的な取組が不可欠。また、こうした施設等の研究開発成果（新たな測定手法開発やビームライン等の研究基盤の整備等）や運用方針を、他の研究施設に展開していくことが極めて重要。

なお、after コロナ / with コロナを踏まえた DX に対応した施設・設備の遠隔化・自動化・AI 的手法導入や研究基盤整備（データインフラ等）についても、各施設の整備計画と連動した検討が必要。

こうした大型研究施設から、大学・研究機関等が保有する研究施設まで、各施設を相補的かつ最大限有効に活用していくためには、国が量子ビーム施設等全体を俯瞰した上で、各施設間における有機的な連携・協力を促進していくことが重要。一方、量子ビーム施設等の種類や運営主体の異なる全ての施設を、一括して同等に取り扱うことは合理的ではなく、各施設の役割・設置目的や規模等に留意しつつ、人材育成の観点、利用研究の観点、技術開発の観点等からそれぞれ適切な連携・協力の在り方や、各施設等の運営主体に応じた国の支援方策を検討することが必要。

同時に、各施設において学術・産業ニーズや国際競争力の観点で将来計画を適時見直すとともに、一定の役割を終えた既存施設については、運営主体において改廃を含めた検討を進めることも必要。

さらに、こうした施設間の連携や、各施設で共通する設備等の整備に当たっては、これまでの取組（学会活動等を含む）を踏まえつつ、新たな枠組みの構築（プラットフォーム整備）について検討することが重要。

< 具体的方策例 >

- ・ 国は、特定先端大型研究施設をはじめ、大学・研究機関・地方自治体等が有する各施設の位置づけを明確化した上で、中長期的観点に立った量子ビーム施設全体の連携・協力の在り方を検討（DXに対応した施設・設備等の遠隔化・自動化・AI的手法導入等の取組を含む）
（量子ビーム施設の整備・改修等については、海外施設の戦略も参考にしつつ、当面、国の大型施設である SPring-8、SACLA、J-PARC、次世代放射光施設等を中心に、今後20年程度を見越した大型研究施設等における効果的・効率的な整備計画案を検討。特に次世代放射光施設については、共用法における位置づけも含め議論をする必要）
- ・ 国は、大学・研究機関・地方自治体等の各運営主体に応じて、研究施設・設備の開発・整備・改修等に係る具体的な支援方策の在り方について検討・推進（例：事業・プロジェクトベースでの財政的支援、人的協力をはじめとするノウハウの提供等の側面的支援等）
- ・ 国は、放射光等の施設種毎に、国・大学・研究機関・地方自治体等が有する施設等間の有機的な連携・協力を促進するための新たな枠組みの構築（プラットフォーム整備）について検討・推進
- ・ 国は、放射光等の各施設種に対応した研究施設・設備等の共通化・標準化の在り方について検討

< 良好事例 >

- ・ 理研において、現行の SPring-8 の100倍以上の輝度を実現する次世代放射光施設「SPring-8-II」の概念設計書（CDR）を策定するとともに、国内外の放射光施設の情勢と SPring-8 の課題を整理した「調査報告書」を取りまとめ、それぞれ HP に公開。HP に公開することで、国内外の放射光コミュニティの意見も踏まえた設計に改善していくことを想定。【SPring-8】
- ・ 次世代放射光施設整備においては、SPring-8 で進めてきた多数の加速器開発の技術や経験が投入されることで、効率的な整備が進行中。【SPring-8、QST】
- ・ 世界的な加速器の研究機関の放射光施設である特長を活かし、極短パルス・超低エミッタンスの放射光と第三世代の放射光の同時利用（試料への同時照射）を可能とする Hybrid リングの概念設計を推進。【PF】
- ・ 新規観測手法、新規集光技術・計測技術等の開発研究専用ビームラインを整備し、外部にも開放することで、その成果技術を他施設へ展開することを計画。【PF】
- ・ J-PARC において、現行の20倍の輝度の中性子源と50~100倍の強度のミュオン源を実現する第2ターゲットステーションの概念設計書（CDR）を、日本中性子科学会及び日本中間子科学会とともに策定し、日本学術会議のマスタープラン2020区分Iで採択。CDRはHPに公開しており、今後も関連コミュニティの意見も踏まえて検討を継続する。【J-PARC MLF】
- ・ 国際アドバイザー委員会が施設・設備の高度化・整備に関して助言。【J-PARC MLF、SPring-8・SACLA】

- ・ 日本学術会議「大型研究計画に関するマスタープラン」を活用し、広く科学者コミュニティ及び一般に対して整備計画の理解を得るべく積極的な活動を実施。【大阪大学レーザー科学研究所、QST 関西光科学研究所】

(2) ユーザー支援の強化(産学官連携の在り方を含む)

アカデミアのみならず産業利用を促進し、イノベーションを創出する観点から、各施設・設備等の利用に当たっての共通化・差別化等を図っていくことが必要。具体的には、各施設において、初めてのユーザーに対する支援窓口の整備や申請様式等の統一化・標準化等を検討する一方、高度な産業利用を促進するため、各施設等の特徴や他施設との役割分担を考慮した施設運営、民間企業の研究者の受入れ等も含めた制度設計等が重要。なお、産業利用促進に当たっては、既に先端研究を行うユーザー、利用を検討している段階のユーザー、未だ検討していない潜在的ユーザー等を区別して対応していくことが必要。

また、(1)と同様、利用者の利便性向上と支援充実の観点から、DXに対応した各施設・設備の遠隔化・自動化・AI的手法導入等を推進していくことが極めて重要。今後、特に施設等に来所することなく、測定・解析結果を依頼・受領するユーザーの拡大が見込まれるため、こうした広義の「ユーザー」への支援の在り方について検討が必要。

研究施設等で得られるデータの利活用を促進する観点から、オープンデータ・オープンアクセスの推進は極めて重要。このため、特定先端大型研究施設や海外の関連施設におけるデータポリシーの状況や費用対効果の見積り、人材確保等も含め、国及び各施設における検討を加速していくことが必要。今後、各施設で保有するデータ量が飛躍的に増加することが見込まれることから、各施設におけるデータ整備・管理に係るインフラ整備の検討が不可欠。

量子ビーム施設等を利用した産学官連携の研究開発等を一層促進していくためには、連携目的(例：科学的知見の希求、自社の課題解決、共通技術開発等)に鑑み、各施設の支援窓口の一元化、利用課題や利用枠の設定、受入体制の整備等について、組織的な対応を推進することが必要。既存の学会・コンソーシアムや共用ネットワーク等を有効に活用し、こうした組織的取組を支援する枠組み(オープンプラットフォーム)を整備することが重要。

なお、特定先端大型研究施設のようにアカデミアや産業界に幅広く利用促進を図る施設や、共同利用・共同研究拠点の施設のように学術研究を主体とする施設、必ずしも外部利用を前提としていない施設等で、産業利用を含む利用促進等に関する位置づけや体制等が異なることに留意が必要。

< 具体的方策例 >

- ・ 国は、各施設の運転状況、施設利用申請の窓口・方法、研究課題募集・人材募集の状況等の関連情報を一元的に閲覧可能とするなど、ユーザーの利便性向上に向けて、各機関等が連携・協力して、量子ビーム施設等に関するポータルサイトの整備・運用等を行う取組の支援を検討・推進

- ・ 特定先端大型研究施設等は、他の研究施設等と連携・協力しつつ、上記のポータルサイトの整備・運用において主体的な役割を担うことを検討
- ・ 国は、量子ビーム施設等に関する施設種に対応した統一的なデータポリシーの策定や、データ整備・管理のためのインフラ整備など、特定先端大型研究施設や大学・研究機関・自治体等が有する研究施設等におけるオープンデータ・オープンアクセスの在り方や、その支援策について検討・推進
- ・ 国は、既存の枠組みを有効に活用しつつ、産学官連携を促進するためのコンソーシアムの形成や次世代放射光施設において検討が進むコウリション・コンセプトなど、量子ビーム施設等を中核とした新たな産学官の組織的な連携・協力体制の構築（オープンプラットフォーム整備）について検討・推進

< 良好事例 >

- ・ 産業界のユーザー拡大を目的としたトライアルユースを実施。【各施設】
- ・ 国プロが迅速に行われるための優先利用枠や大学院生が主体となって研究を進めるための利用枠など、ニーズに応じた利用枠の設定。【各放射光施設】
- ・ 光ビームプラットフォームに基づく施設間連携により、ラウンドロビンを通じた技術・試料条件等の標準化や成果事例等のデータベース化等を実施。さらに、民間企業ユーザーの支援を施設横断的に一貫して担う支援研究員を配置。【PF、AichiSR、立命館SRセンター、SPring-8、ニュースバル、SAGA-LS】
- ・ 産官学の間のリサーチ・リンケージの形成による、「最高の相談相手」と巡り合う確率の向上。【SPring-8】
- ・ 専用ビームラインを施設のビームラインに転換することにより、共用に供出可能なリソースを拡大。一方で、大口利用のニーズに対しては、利用料を払ってもらうことでビームタイムを確保するというスキームを導入。【SPring-8、AichiSR】
- ・ 産学官連携によるコンソーシアム・共同研究等により次世代半導体微細加工技術(極端紫外線リソグラフィ技術)の研究開発に取組み、実用化を実現。【ニュースバル】
- ・ 産業連携・産業応用をより活性化するための産学連携の相談窓口の一元化(J-PARC-JOIN)。【J-PARC MLF】
- ・ 産学連携実践の場として、1棟全体を「レーザーオープンイノベーションプラットフォーム」として整備。【大阪大学レーザー科学研究所】
- ・ 量子ビームの難治性がん医療やソフトエラー対策への応用を組織対組織の産学連携によって推進する「安心・安全・スマートな長寿社会実現のための高度な量子アプリケーションの創出」を実施。【阪大 RCNP、理研 RIBF 等】

(3) 複数の量子ビーム施設等の連携及び利活用の促進

これまで、量子ビームに関する施設・設備等の整備や、その利用促進は、放射光や中性子など、専ら単一の量子ビームを念頭に置いた研究開発等に重点が置かれており、アカデミアや産業界においても、放射光学会や中性子科学会など、それぞれ(縦割りの)分野での活動が中心で、複数の量子ビーム横断的な検討・推進等は必ずしも進展していない状況。一方、先端的な科学技術を追求する上で、多角的・多面的・重層的

な分析・評価は極めて重要であり、かつ、新たな産業・イノベーションを創出する上で、分野間の連携・融合を推進することは必要かつ不可欠。

こうした観点から、本小委員会では、放射光や中性子等の単一の量子ビームの利活用にとどまらず、これらを「量子ビーム」として相補的に捉え、異なる複数の量子ビームにまたがった研究施設・設備の整備や、その利用促進を図る必要性や重要性等を提起。例えば、物質の詳細な構造解析や機能解明など、最先端研究開発を推進する上で、研究内容・テーマに応じて、放射光・中性子・レーザー等の複数の量子ビームを利用した研究開発を推進することは極めて有益かつ重要と認識。

こうした複数の異なる量子ビーム施設等にまたがる横断的な研究開発に係る利用促進や、それぞれの施設の相補的な利用等を促進するためには、複数の異なる量子ビーム施設等を利活用する研究開発テーマを適切に設定し、各施設のサイエンスコーディネーターや技術支援員等の連携・協力の下、研究内容等に応じて、適切な施設・設備等の選定や、複数の施設をまたがったユーザー支援の充実・強化など、これまでの単一の量子ビーム利用の枠にとらわれない柔軟な仕組みを、国、各施設等で検討していくことが極めて重要。

< 具体的方策例 >

- ・ 国は、複数の異なる量子ビーム施設等を利用した研究開発等を推進するための支援方策を検討・推進（例：異なる量子ビーム施設の利活用に精通した人材（サイエンスコーディネーターや技術支援員等）の育成・確保、複数の量子ビーム施設の利活用を一括して申請可能な仕組みの整備、課題解決型の連携プロジェクト設定、研究分野・テーマ毎の適切なポートフォリオ設計等）
- ・ 国は、国・大学・研究機関・地方自治体が有する、施設種を越えた量子ビーム施設等間の横断的かつ有機的な連携・協力を促進するための新たな枠組み（それぞれの組織をまたがるプラットフォーム・コンソーシアム形成等）について検討・推進

< 良好事例 >

- ・ 学術研究を推進している大学共同利用機関や大学附置の共々拠点に設置された放射光施設の高度化と連携によって育成される若手人材や開発される新技術を我が国全体に技術移転・人材輩出するための「放射光学術基盤ネットワーク」をマスタープラン2020に選出。【PF、UVSOR、HiSOR】
- ・ J-PARC MLF と JRR-3 を軸とした大型から中型、小型までの中性子資源の効率的・効果的利用による我が国の中性子利用体系の確立を目指す「中性子施設ネットワーク」をマスタープラン2020に選出。【J-PARC MLF、JRR-3】
- ・ 低燃費性能・グリップ性能に加え高い耐摩耗性を兼ね備えたタイヤ開発において、SPring-8 においてゴムの詳細な構造解析、J-PARC においてゴムの運動解析を実施した上で、スパコン「京」におけるゴムの分子レベルの破壊現象をシミュレーションで解析、実用化に貢献。【SPring-8、J-PARC MLF】
- ・ 放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子の4施設を有する利点を活かすため、異なる量子ビームを併用したマルチプローブ研究を推進する量子ビーム連携研究センター

を設置。【KEK 物質構造科学研究所】

- ・ J-PARC MLF の中性子反射率法と SPring-8 の HAXPES 装置を用いて、リチウムイオン 2 次電池の電極表面の状態をナノレベルで解析。【J-PARC MLF、SPring-8】
- ・ 放射光と中性子の利用者のための合同研修会、放射光、中性子、スパコン連携利用シンポジウム（CROSSroads Workshop）を開催。【J-PARC MLF】
- ・ 大阪大学レーザー科学研究所が主導する HERMES プロジェクトの下、SACLA の相互利用実験施設にハイパワーレーザーを設置。ハイパワーレーザーで数 100 万気圧の超高圧極限状態を作り出し、SACLA でプローブすることにより幅広い研究開発を実施。【SACLA、大阪大学レーザー科学研究所】
- ・ 将来のレーザー生成量子ビーム（電子線、イオン線、THz 波など）の複合利用を念頭に、複数のレーザー照射装置を整備。【京大化学研究所】
- ・ 光ビームから重イオンビームまで特徴ある加速器施設が連携して「短寿命 RI 供給プラットフォーム」を形成。PET 用プローブの開発、RI 治療薬の開発、生体微量元素の代謝研究など幅広い分野の基礎研究用として、短寿命 RI の安定供給およびその安全な取り扱いに資する技術的な支援を実施。【阪大 RCNP、理研 RIBF、東北大 CYRIC、東北大 ELPH、QST 放医研、QST 高崎研】

（４）量子ビーム施設等に関する国際的な連携・協力拡大

我が国は、放射光をはじめ、多様な量子ビーム施設等が存在し、運営主体についても、国のみならず、大学・研究機関・地方自治体が主体的に整備・運用するなど裾野が広いと認識。一方、諸外国と比べて、こうした量子ビーム施設等を国又は地域における産学連携等の中核拠点として位置づけ、利用拡大等を図る取組は必ずしも十分とは言えない状況。

それぞれの量子ビーム施設等の位置づけ・役割を踏まえ、施設等の高度化や利用の拡大を図る観点から、各施設等間の連携・協力を確立することに加え、海外の関連施設との連携・協力を推進することは極めて重要。こうした観点から、国として、国際的な連携・協力を促進するため、量子ビーム施設等の施設種毎に中核拠点を形成し、諸外国のカウンターパートとなる中核拠点との連携・協力の拡大を図るとともに、得られた最新の知見や情報（例：運転期間、申請・利用方法、新装置技術等）を中核拠点以外の施設間で共有する仕組みの整備が重要。

< 具体的方策例 >

- ・ 国は、これまでの海外の関連施設等との連携・協力の状況を踏まえ、量子ビーム施設等の施設種毎に、国際的な連携・協力を推進するための中核拠点（特定先端大型研究施設を念頭）を検討・調整するとともに、必要な支援方策を検討・推進（海外の関連施設からの調査・視察希望への協力含む）
- ・ 国は、量子ビーム施設等の施設種毎の中核拠点を中心に、海外の関連施設との連携・協力協定の締結や、国際共同研究（共同ファンディング、施設共同利用等）の推進、双方向の人材交流、シンポジウムやワークショップ等の開催等の拡大について検討・推進

- ・ 国は、海外の関連施設との連携・協力の状況や当該施設の動向について、本小委員会等で定期的に報告・共有を行うとともに、(2)の量子ビーム施設に関するポータルサイトの活用等を通じて、幅広い機関・ユーザー等に対する情報提供を促進

< 良好事例 >

- ・ パワーレーザーと高エネルギー密度科学に関する日米科学技術協定を締結。2020年度には合同委員会を設置し活動開始予定。【各施設】
- ・ 海外の放射光施設との研究協力協定・覚書等に基づく連携（共同研究、相互施設利用、人材交流、セミナーの開催等）、国際ワークショップの開催等を実施。【各放射光施設】
- ・ SLAC との国際サマースクールにおける施設スタッフ教育の実施。【SPring-8】
- ・ 定期的・恒常的な海外施設との情報交換の場として「3 way SR workshop/5 way XFEL workshop」を実施。【SPring-8、SACLA】
- ・ 日本とスウェーデンの大学間学術交流プロジェクトの一環として、博士課程後期学生と若手博士研究員を対象とし、量子ビームを用いた物質科学研究に関するショートコース（MIRAI PhD school 2019）を実施。【HiSOR、J-PARC MLF】
- ・ アジア・オセアニア諸国の放射光施設及び関連学協会が加盟する「アジア・オセアニア放射光科学フォーラム（AOFSSR）」のスクールの実施や運営への協力。【各放射光施設、日本放射光学会】
- ・ アジア・オセアニア諸国の中性子科学関連学協会が加盟する「アジア・オセアニア中性子散乱協会（AONSA）」のスクールの実施や運営への協力。さらに、AONSA と連携した、FDM（Facility Director Meeting）によるアジア・オセアニア諸国の中性子施設の情報や課題共有。【J-PARC MLF 等】
- ・ 海外の中性子源施設との研究協力取決めに基づく連携（共同研究、人材交流、ワークショップ等の開催）を実施。【J-PARC MLF】
- ・ スウェーデンの政府研究資金助成機関の出資による、日スウェーデン両国の研究者を ESS と J-PARC の各施設に派遣する人材交流プログラム（ESS-J-PARC Mobility Programme 2020 "SAKURA"）を開始。【J-PARC MLF】
- ・ 日米科学技術協定等を活用した国内の原子炉中性子施設と米国原子炉中性子施設の相補的利活用の促進。【研究用原子炉 JRR-3】
- ・ 海外のレーザー施設等との研究協力協定等に基づく連携（共同研究、人材交流等）を実施。【各レーザー施設、その他施設】
- ・ トルコやタイ、中国の中赤外自由電子レーザー施設の建設に協力。【京大 KU-FEL】
- ・ 「アジアレーザー宇宙物理学国際研究教育拠点」形成の準備活動を開始。中国、インド、台湾等 4 カ国 28 機関からなる研究・教育ネットワークを構築予定。【大阪大学レーザー科学研究所】

(5) 量子ビーム施設等を支える優れた量子ビーム人材の育成・確保

量子ビーム施設等の定期的・継続的な整備・改修や、量子ビームを利用した幅広い研究開発等を推進するためには、それを支える優れた研究者・技術者等の育成・確保

が必要不可欠。各施設等においては、独自に利用者拡大に向けた教育活動や、効率的利用に向けた研究支援者・技術者の養成等を行っているものの、それぞれ個別にとどまり、複数施設等を横断した取組や DX の新しい流れへの対応等は必ずしも十分行われていない状況。

このため、職種毎（研究者、技術者、運転・保守員等）の役割やキャリアパスの明確化など、各施設等が組織として継続的な人材育成に取り組むとともに、施設種を越えて、複数施設等が連携・協力した取組を推進していくことが重要かつ有益。また、次世代を担う研究者・技術者の育成・確保に向けて、学会やコンソーシアムの主導の下、大学等における体系的な教育内容・体制の充実が不可欠。

さらに、中長期的観点から、量子ビーム施設等を支える基盤的な研究開発（ビーム源、ビームライン、実験手法等の開発）を担う研究者等を育成するための拠点的形成し、こうした拠点から他施設や産業界に人材を供出するなど、必要な人材を適切に確保しつつ、同時に人材の流動性を高めることが重要。

< 具体的方策例 >

- ・ 国は、量子ビームに関連する大学・大学院の学部・学科・専攻等や、これらに所属する学生数の現状、中長期的に大学・研究機関・産業界で必要とされる研究者・技術者等の規模等を把握するため、学会やコンソーシアム等の協力を得て調査等を実施
- ・ 国は、上記の調査等を踏まえ、量子ビーム施設の維持管理・運営や整備・更新、ユーザー支援等に携わる人材の職種毎の役割、キャリアパスの明確化、量子ビームと物質との相互作用の物理に関する教育プログラムなど、施設種等をまたぐことのできる、今後の体系的・計画的な人材育成・確保に向けた方策を検討
- ・ 国は、量子ビーム施設・設備等の研究開発を担う研究者等の育成を担う拠点の形成や、これらを中心とした複数の施設間での人材供出・交流も含めた連携・協力の在り方（プラットフォーム形成等を含む）を検討・推進
- ・ 研究施設等は、外部資金やクロスアポイントメント等を活用し、複数の施設等間あるいは大学と施設等間で連携・協力しつつ、優れた人材を育成・確保するための取組を検討・推進（例：共用施設の研究者が大学のクロスアポイントメントで基盤的研究を実施、大学の研究者がクロスアポイントメントで共用施設等における大型研究開発に従事等）。

< 良好事例 >

- ・ 各関連学会による講習会・実習等への協力。【各施設】
- ・ 施設の研究者がクロスアポイントメント制度や連携大学院制度により大学の教育を実施。【SPring-8、UVSOR、PF、J-PARC MLF】
- ・ 学部・大学院の授業カリキュラムにおける教育（放射光利用実習、加速器科学講座など）を実施。【立命館 SR、ニュースバル、HiSOR、SPring-8、阪大 RCNP】
- ・ 総合研究大学院大学の大学院教育への参画。【PF、UVSOR、J-PARC MLF】
- ・ 国内外の大学・大学院生および産業界の企業研究者に向けた技術習得を目的とした放射光利用実習を伴う講習会を開催。【SPring-8】

- ・ 企業からの外部資金により研究員を雇用。【SPring-8、J-PARC MLF】
- ・ 国内の複数大学の技術職員を対象にして、技術習得を目的とした放射光利用実習を伴う講習会を開催。【AichiSR 他】
- ・ 加速器科学分野の人材育成のため、KEK 加速器研究施設の教員をクロスアポイントメントで任用、学生の研究指導に参画。【HiSOR】
- ・ 放射光科学の人材育成を目的に大学院工学研究科に「材料・放射光工学専攻科」を設置、放射光分析や加工技術を用いた先端材料開発を促進に貢献。【ニュースバル】
- ・ 中性子・ミュオンスクールの開催（年1回）。【J-PARC MLF】
- ・ SACLA に滞在しつつ研究者としての資質を涵養する「SACLA 大学院生研究支援プログラム」を実施。本プログラムの受講者がのちに SACLA スタッフとして採用される実績もあり。【SACLA】
- ・ 若手研究者や学生が独自に自主的に運転、実験を行える環境（利用者自身が運転できるマニュアルと講習など）を整備し実施。【京大化学研究所】
- ・ 近隣大学等の学生や留学生の受け入れを実施。また、若手研究者（企業、海外研究機関）のクロスアポイントメントを実施。【大阪大学レーザー科学研究所、UVSOR、J-PARC MLF】
- ・ 国内外の加速器施設、大学、企業と連携して、量子ビーム応用技術を社会実装できる人材を5年一貫の博士課程教育プログラムで育成する「先導的量子ビーム応用卓越大学院プログラム」を実施。【阪大 RCNP】