

我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方 (とりまとめ(案))

令和3年 月 日
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
量子科学技術委員会
量子ビーム利用推進小委員会

0. はじめに

- 我が国には、国が整備する大型放射光施設(SPring-8)、X線自由電子レーザー施設(SACLA)、大強度陽子加速器施設(J-PARC)をはじめ、地方自治体、国立研究開発法人、大学等のさまざまな主体が運用する量子ビーム¹施設が数多く存在し、各施設がそれぞれの特徴を生かし、学界や産業界をはじめ幅広い研究者等の利用に供している。さらに、2019年度より軟X線向け高輝度3GeV²級放射光源(次世代放射光施設)の本格的な整備が開始され、2012年のSACLAの共用開始から約10年ぶりとなる2023年度の稼働が予定されることから、各施設の役割や、施設利用者(産学官の研究者等；以下、「ユーザー」という。)の分布・ニーズにも大きな変化が起こると見込まれる。
- 一方で、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しているところ、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・運用する必要がある。
- 量子ビーム利用推進小委員会(以下、「小委員会」という。)では、我が国全体の量子ビーム施設を俯瞰的に捉え、
 - ◆産学連携を含むユーザーの確保やユーザーへの支援
 - ◆施設の役割分担や施設相互の連携
 - ◆海外施設・海外研究者との連携
 - ◆オープンデータ・オープンアクセスの取組
 - ◆ユーザー側及び施設側の人材育成等の論点について、各量子ビーム施設への書面調査や、小委員会における各施設およびユーザーからのヒアリング等をもとに、検討を行ってきた。
- 本報告書は、これまでの小委員会での議論を踏まえ、我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について、とりまとめたものである。

(注) 量子ビーム施設略称については参考5を参照

¹ 量子ビーム：光子、イオン、電子、中性子、中間子、ニュートリノ等のビームの一般的総称であり、加速器や高出力レーザー装置、原子炉等の施設から供給される種々の広範なビームを含む概念(「量子ビーム研究開発・利用の推進方策について 最終報告」(量子ビーム研究開発・利用推進検討会、2006年))

² GeV (giga electron volt)：1 eV、1電子ボルト (electron volt) とは、真空中で1ボルトの電位差で加速された電子が得るエネルギーのことをいう。1 GeV とは、真空中で10億電子ボルトの電位差で加速されたとき電子が得るエネルギーのこと。

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・ツールであり、近年、その重要性が加速。
 - 我が国では、加速器開発技術と量子ビーム利用技術に長年の蓄積がある。
 - 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 (1997 年～運用中) の整備・運用開始から 20 年が経過したが、依然、数多くの画期的な研究成果が創出されるとともに、世界最先端の施設として産学官の幅広い分野での利活用が推進。世界で 2 番目に建設された X 線自由電子レーザー施設である SACLA (2012 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が開始 (整備期間：2019 年度～2023 年度)。
 - また、国の大強度陽子加速器施設である J-PARC (2008 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、大強度核破砕パルス中性子源・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が展開。
 - 上述の国の大型研究施設に加えて、我が国では、地方自治体、国立研究開発法人、大学等有する量子ビーム関連施設も様々存在。
 - 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、定置型中小型加速器中性子源ビーム利用、可搬型の小型中性子源システムの開発、RI³生成や BNCT⁴技術開発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 我が国の主な量子ビーム施設)

(2) 諸外国の動向

- 欧米各国のみならず、中国・韓国をはじめとするアジアの国々など諸外国においても、素粒子・原子核物理研究に加え、物質科学、材料科学、生命科学など産業応用できる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とした低エミッタンス (高輝度) 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⁵の採用

³ RI (Radioisotope) : 放射性同位元素

⁴ BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) : ホウ素中性子捕捉療法

⁵ MBA (multi bend achromatic) ラティス : エミッタンスを小さく抑える (=放射光を高輝度にする) た

によるアップグレード計画が欧米で推進。また、中国・韓国では MBA ラティスを採用した新規大型放射光施設の建設が進行中。

- 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、米国において加速器による大強度核破砕パルス中性子源の建設が開始され、2010 年代以降は中国・欧州（スウェーデン）においても相次いで同様の施設の建設が進行。さらに、欧米・中国において、新しい中性子源として中小型加速器を用いた中性子源の建設および計画が推進。
 - 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・制御への応用等が進み、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 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）

（3）我が国大型研究施設の世界における立ち位置

- 大型放射光施設については、欧州（ESRF）、米国（APS）など世界の硬 X 線向けの施設において、低エミッタンスで回折限界を目指した施設の高度化が進んでおり（ESRF-EBS：2020 年利用開始、APS-U：2023 年利用開始予定）、また、中韓でも 2020 年代後半の運用開始を目指した大型放射光施設の新規建設が推進。今後、Spring-8 の国際競争力の低下が懸念され、その位置づけや発展の方向性について検討する必要。低エミッタンスの軟 X 線向け 3GeV 級放射光施設については、MBA ラティスを採用した次世代放射光施設の運用開始により、世界トップクラスの性能を確保できる見込み。
- XFEL 施設については、SACLA はパルス幅やピークパワー等において世界最高性能を維持しており、引き続きその特徴を発展させながら、世界最先端の成果創出が期待。
- 核破砕パルス中性子源施設については、J-PARC MLF は欧州（ISIS）、米国（SNS）に並ぶ世界 3 極の一つとして位置づけられ、パルスあたりの中性子強度では J-PARC が世界最高性能を誇る。引き続き、安定運転を第一としつつ、1MW⁶出力を着実に目指していく必要。
- なお、米国は、DOE-BES⁷傘下の大型研究施設（放射光施設、XFEL 施設、中性子線施設）について、毎年度の支出額（建設・高度化経費（運転経費は除く））を平準化（年間 200M\$程度）し、長期にわたり各施設のアップグレードを切れ目なく実施。我が国の大型施設においても、戦略的な整備計画の策定が必須。
- 新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の拡大により、米国においては DOE が主導して量子ビーム施設等の連携を加速、欧州においては放射光連携組織 LEAPS⁸が共

め、偏向電磁石を繰り返し（=複数）設置した加速器の構造のこと

⁶ MW（megawatt）：W は単位時間当たりのエネルギーに相当し、ここではビームパワーの大きさを表す。1MW は 100 万 W。

⁷ DOE-BES（Department of Energy・Basic Energy Sciences）：米国エネルギー省科学部基礎エネルギー科学部門

⁸ LEAPS（League of European Accelerator-based Photon Sources）：欧州の放射光施設を中心として発足したコンソーシアム

同研究や情報共有を強化するなどの動きがあるなかで、我が国においても施設間の連携強化が必要。

⇒（参考 3 我が国の大型研究施設の国際比較）

⇒（参考 4 米国 DOE-BES による大型施設の建設・高度化経費の年次推移）

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、地方自治体、国立研究開発法人、大学等の様々な運営主体がそれぞれ独自に量子ビームの施設・設備の整備を推進。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施設種をまたいだ横断的な検討も不足。欧米では、量子ビーム施設種を越えて、施設・設備の整備計画等を戦略的に推進するなか、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、各運営主体が有する施設・設備を含めて、それぞれの位置づけや役割、さらにはユーザー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、放射光等の施設・設備を有する研究機関等では、量子ビーム施設種ごとに機関間の連携・ネットワーク化など、相補的な利用は進みつつあるが、施設側の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に展開していく取組が不十分。各施設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、各施設間の連携・協力を強化することが不可欠。
- 新型コロナウイルス感染症の拡大により、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・設備の整備（遠隔化・自動化・AI 的手法の導入等を含む）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、我が国量子ビーム施設の利用拡大を図るとともに、これらを利用した産学官連携の研究開発等を一層促進するためには、ユーザー支援を充実・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、利用相談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等）の確保等が課題。
- 各施設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、各施設におけるデータベースの整備等が課題。さらに今後、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インフラ（人材を含む）の整備が不可欠。また、スーパーコンピュータを利用したデータ科学と量子ビーム施設の連携強化の重要性も今後ますます増加。

- 量子ビーム施設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、連携目的（例：科学的知見の希求、産業界における課題解決、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。
- 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、いち早くイノベーション創出に結び付けていくためには、放射光や中性子等の単一の量子ビームの利活用に留まらず、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施設を利用した横断的・融合的な研究開発等を推進することが重要。一方、現在は、複数の量子ビーム施設種をまたぐことのできる研究者・技術者・サイエンスコーディネーター等の人材が養成されておらず、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、海外の関連施設との連携・協力の拡大は極めて重要。現在、各施設において個別に（カウンターパートとなる）海外の関連施設との連携・協力が行われているものの、海外施設の動向を把握し、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。
- 各施設の計画的・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、各施設に適した優れた研究者・技術者・サイエンスコーディネーター等の育成・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、各施設の運用を支える技術者等が減少傾向。特に、量子ビーム施設種を越えた、共通の職種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、量子ビームは最先端の科学技術・イノベーションを支える重要かつ不可欠な研究開発基盤・ツールとして、近年、その重要性は一層増加。こうした量子ビームに関する施設・設備の整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が加速している状況。
- このため、国として、量子ビームの施設・設備の整備及び利用促進を図ることはもとより、量子ビーム施設種を越えて、さらには地方自治体、国立研究開発法人、大学

等が有する関連施設も広く含め、量子ビーム施設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不可欠。

- こうした観点に立ち、1. 及び2. を踏まえ、小委員会では、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推進方策を提示（なお、各論点には相互に関連する内容を含むことに留意）。

① 量子ビーム施設全体の国際競争力の確保

- 国の施設・設備をはじめ、我が国の量子ビーム施設の国際的な競争力を確保し、最先端の科学技術・イノベーションを推進していくためには、施設・設備の着実な運用・維持管理等を実施するとともに、各施設の定期的な改修・更新（アップデート）や新たなビーム源を利用した施設・設備の整備を推進していくことが必要。
- このため、国として、地方自治体、国立研究開発法人、大学等が保有する施設も広く念頭に置いた上で、量子ビーム施設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およびDXの推進）

② 量子ビーム施設を利用した研究開発成果の最大化

- 国や地方自治体、国立研究開発法人、大学等が保有する量子ビーム施設について、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を推進し、イノベーション創出への発展も含めて、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、各施設において、学界のみならず、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、各研究機関の施設・設備を最大限有効活用するような枠組みを推進。
（→論点（2） ユーザー支援の強化）
（→論点（3） 複数の量子ビーム施設の連携及び利活用の促進）

③ 量子ビーム施設を支える環境・基盤の強化

- 量子ビーム施設自体の国際競争力の確保や研究開発成果の最大化を図るためには、これらを支える環境整備や基盤強化が不可欠。
- 各施設の位置づけ・役割等を踏まえた上で、各施設間の研究協力や人材交流等を確立することに加え、海外の関連施設との研究協力・人材交流等の拡大は、各施設の高度化や有効利用を図る上で極めて重要。また、各施設の着実な運用・維持管理、新たな施設・設備の整備・改修・更新、さらには各施設を利用した研究開発の推進・支援等を行うためには、量子ビーム施設全体の中長期的な視野に立った研究者・技術者・サイエンスコーディネーター等の育成等により、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. 各論点に対する今後の推進方策

(1) 量子ビーム施設の整備計画の策定および DX の推進

- 国は、国、地方自治体、国立研究開発法人、大学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するとともに、連携・協力を促進するための新たな枠組み（プラットフォーム等）の構築について検討。なお、量子ビーム施設種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、利用研究・技術開発等の各観点からそれぞれ適切な連携・協力の在り方や役割分担を考慮して、各施設の運営主体に応じた支援方策を検討する必要があることに留意。
- 国は、量子ビーム施設の整備・改修等について、米国 DOE-BES 傘下の大型研究施設等、海外施設の戦略も参考にしつつ、当面、国の大型研究施設である SPring-8、SACLA、J-PARC、次世代放射光施設を中心に、今後 20 年程度を見据えた効果的・効率的な整備計画案を検討。なお、次世代放射光施設については、共用の在り方や運用体制について別途検討。
- 整備計画案の策定に当たっては、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 的手法導入等やデータインフラ等の研究基盤の整備と連動した検討を推進。また、当該 DX 対応により得られた成果を他の量子ビーム施設に展開していくとともに、各施設におけるシステムの共通化・標準化等、ユーザーフレンドリーとなるような仕組みについても検討。DX の推進に伴い、今後、施設に来所することなく測定・解析を依頼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も留意。
- なお、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。
⇒（別紙 1 量子ビーム施設におけるデジタル・トランスフォーメーション（DX）の取組の方向性）
⇒（別紙 2 新たな量子ビーム連携プラットフォームの構築に向けて）

<良好事例>

大型研究施設の事例

- ・ 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】

- ・ 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】
- ・ 国際アドバイザリ委員会が施設・設備の高度化・整備に関して助言。【J-PARC MLF、SPring-8・SACLA】

大型研究施設以外の事例

- ・ 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】
- ・ 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

- 国は、ユーザーの利便性向上に向けて、各施設が連携・協力して量子ビーム施設に関するポータルサイト(各施設の運転状況、施設利用の対応窓口や方法、研究課題や人材募集の状況、各種法規制への対応方法等の関連情報を一元的に閲覧可能とする等)の整備・運用等を行う取組の支援を検討。
 - 国は、量子ビーム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、各施設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。
 - 国は、産学官連携を促進するため、学会や既存のプラットフォーム、コンソーシアム等も有効に活用し、量子ビーム施設を中核とした組織的な連携・協力体制を実現する新たな枠組み(プラットフォーム等)の構築について検討(次世代放射光施設において検討が進むコアリション・コンセプト(coalition concept)等も参考)。なお、検討に当たっては、国の大型研究施設のように学界や産業界に幅広く利用促進を図る施設や、大学共同利用機関や共同利用・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ない施設等で、産業利用を含む共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。
- ⇒(別紙2 新たな量子ビーム連携プラットフォームの構築に向けて)

<良好事例>

施設間連携、複数施設共通の事例

- ・ 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を設定。【各放射光施設】
- ・ 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、共用に提供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】

大型研究施設の事例

- ・ 産学官の間のリサーチ・リンケージの形成により、「最高の相談相手」と巡り合う確率を向上。【SPring-8】
- ・ 産学連携・産業応用をより活性化するため、産学連携の相談窓口を一元化(J-PARC-JOIN)。【J-PARC MLF】
- ・ 産業界のパワーユーザー養成を目的に、産学施設連携による「機能性高分子コンソーシアム」を設立。1年半の活動でコンソーシアム参加企業のうち、2社が新たにパワーユーザーとなった。コンソーシアムで共同開発した実験技術を使う一般利用者数も大幅に増加。【J-PARC MLF】

大型研究施設以外の事例

- ・ 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）の研究開発に取り組み、実用化を実現。【ニュースバル】
- ・ 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の連携及び利活用の促進

- 国は、異なる量子ビーム施設の利活用に精通した施設人材（研究者・技術者・サイエンスコーディネーター等）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や課題解決型の連携プロジェクトの設定等、複数の異なる量子ビーム施設を利用した研究開発を推進するための支援方策を検討。
 - 国は、量子ビーム施設種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等）の構築について検討。
- ⇒（別紙2 新たな量子ビーム連携プラットフォームの構築に向けて）

<良好事例>

施設間連携、複数施設共通の事例

- ・ 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】
- ・ J-PARC MLF の中性子反射率法と SPring-8 の HAXPES⁹装置を用いて、リチウムイオン二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を開催。【J-PARC MLF、SPring-8】
 - ・ 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】
 - ・ 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¹⁰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 万気圧の超高压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】
 - ・ 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同利用・共同研究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」について、マスタープラン 2020 に選出。【PF、UVSOR、HiSOR】
 - ・ 光ビームから重イオンビームまでの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 の安定供給及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】

大型研究施設以外の事例

- ・ 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】
- ・ 将来のレーザー生成量子ビーム（電子線、イオン線、テラヘルツ波など）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】

(4) 量子ビーム施設に関する国際的な連携・協力拡大

- 国は、これまでの海外の関連施設との連携・協力の状況を踏まえ、量子ビーム施設種毎に、国際的な連携・協力を推進するための中核拠点の設定を検討するとともに、必要な支援方策を検討（海外の関連施設からの調査・視察希望への協力含む）。
- 国は、当該中核拠点を中心に、国内施設の連携も進めつつ、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の開催等、様々なレイヤーでの連携・協力の拡大について検討。

⁹ HAXPES (Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy) : 硬 X 線光電子分光法。HX-PES とも略記される。試料に硬 X 線を照射し、放出される光電子の運動エネルギーを測定する計測法。試料内の電子のエネルギー状態を知ることができ、電子物性などの理解に有用。軟 X 線ではなく、硬 X 線を使うことでより検出深度が深く、測定対象とできるエネルギー準位の範囲を深くとれる。

¹⁰ HERMES (High Energy density Revolution of Matter in Extreme States) プロジェクト : 高出力レーザーで作られる極限状態 (高エネルギー密度状態) 下の物性等に係る研究プロジェクト。国内外の研究機関・企業が参画。

○ 国は、国内施設の連携に加え、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、小委員会等で定期的に報告・共有を行うとともに、(2)において検討することとしている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について検討。

⇒ (別紙2 新たな量子ビーム連携プラットフォームの構築に向けて)

<良好事例>

施設間連携、複数施設共通の事例

- ・ 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】
- ・ 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を実施。【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を実施。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を実施。【J-PARC MLF等】
- ・ 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】

大型研究施設の事例

- ・ 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】
- ・ 海外の中性子線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】

大型研究施設以外の事例

- ・ 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】
- ・ 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か国・地域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) 量子ビーム施設を支える優れた人材の育成・確保

- 国は、学会や既存のプラットフォーム、コンソーシアム等の協力を得て、量子ビームに関連する大学・大学院の学部・学科・研究科・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・サイエンスコーディネーター等の規模等を把握するための調査の実施について検討。
 - 国は、上述の調査を踏まえ、量子ビーム施設の運用・維持管理や整備・改修・更新、ユーザー支援等に携わる研究者・技術者・サイエンスコーディネーター等の人材の職種毎の役割・キャリアパスの明確化、施設利用に資する教育プログラムの策定など、量子ビーム施設種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、量子ビーム施設の研究開発を担う研究者・技術者・サイエンスコーディネーター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給・交流も含めた連携・協力の在り方（プラットフォーム等の構築を含む）を検討。
 - 各施設は、外部資金やクロスアポイントメント等を活用し、複数の施設間又は大学と施設間で連携・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。
- ⇒（別紙2 新たな量子ビーム連携プラットフォームの構築に向けて）

<良好事例>

複数施設共通の事例

- ・ 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】
- ・ 大学・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】
- ・ 大学・大学院の授業カリキュラムにおける中性子教育（中性子科学・量子ビーム科学、加速器科学、中性子実習など）を実施。【茨城大、京大、北大、東北大、名大、東大】
- ・ 総合研究大学院大学の大学院教育に参画。【PF、UVSOR、J-PARC MLF】
- ・ 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、海外研究機関を含む）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】

大型研究施設の事例

- ・ 国内外の大学・大学院生及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】
- ・ 中性子・ミュオンスクールを開催（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】

大型研究施設以外の事例

- ・ 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」を設置、放射光分析や加工技術を用いた先端材料開発の促進に貢献。【ニュースバル】
- ・ 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】
- ・ 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】

量子ビーム施設におけるデジタル・トランスフォーメーション（DX）の取組の方向性

- 2020年の年明けからの新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的な感染拡大により、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・設備等の整備の推進が喫緊の課題。
- 量子ビーム施設においてDXを推進することにより、以下のメリットがある。
 - 感染症拡大等により人の往来が制限された場合にも、研究開発を止めない仕組みを確立し、イノベーション創出を推進し続けることが可能。
 - 試料調製や試料交換、測定条件調整等を自動化することで、実験時間の効率化が期待（量的向上）されるとともに、実験の精度・再現性・安定性等の向上（質的向上）が期待。
 - 施設スタッフおよびユーザーをルーチン作業から解放し、よりアクティビティの高い活動にシフトすることが可能。
 - 打合せや実験で施設に出向く頻度が下がり、旅費や時間の効率化が図られるなど、新規ユーザーの参入障壁を下げることで、ユーザーのすそ野拡大が期待。
- 一方で、以下の観点に留意が必要。
 - 国の大型研究施設を中心にDXの取組を進めるとともに、当該DX対応により得られた成果を他の量子ビーム施設にも展開していくことが必要。また、各施設におけるDXシステムの共通化等についても、ユーザーフレンドリーの観点も踏まえつつ検討することが必要。
 - DXは、過渡的には施設スタッフの負担増につながる可能性があることに留意することが必要。また、DXにより増加する業務については、施設スタッフ（研究職・事務職含む）内の役割分担にも留意が必要。
 - 遠隔化は完全遠隔化と部分遠隔化に分けられるが、部分遠隔化については、データ取得・評価・解析の部分についての遠隔化や、施設内の実験をライブ中継・オンライン参加）する手法等、いくつかの類型が想定される。特にバーチャル参加の活用により、学生の人材育成への貢献が期待。
 - 新規性の高い実験等については依然として手動で行う必要があり、すべての実験が完全自動化・遠隔化できるわけではないことに留意が必要。
 - 遠隔化に伴う情報セキュリティの確保に留意が必要。
 - DXの推進にあたり、放射線管理の法解釈等についても改めて検討することが必要。

新たな量子ビーム連携プラットフォームの構築に向けて

- 今後、新たな量子ビーム連携プラットフォームの構築を推進するにあたり、本とりまとめを踏まえ、当該プラットフォームで検討すべき内容を以下の通り提案する。
 - 量子ビーム施設における DX に対応した施設・設備の整備（遠隔化・自動化・AI 的手法の導入等を含む）の推進
 - ・ DX の共通基盤技術開発（標準化）や共通化の推進
 - ※遠隔化に伴う情報セキュリティの確保に留意が必要
 - 量子ビーム施設全体を俯瞰できるポータルサイトの整備
 - ・ 各施設の運転状況、施設利用の対応窓口・方法、研究課題募集・施設人材募集の状況、各種法規制への対応方法、海外関連施設との連携・協力状況等の関連情報を一元的に閲覧可能なポータルサイトの整備・運用
 - データ戦略の策定の検討
 - ・ オープンデータ・オープンアクセスの在り方やデータポリシー等の検討
 - ※国における今後の議論の方針に留意が必要
 - 複数の量子ビーム施設種の連携の推進
 - ・ 複数の量子ビーム施設種の共同利用や連携プロジェクトの検討
 - 量子ビーム施設を支える優れた人材の育成・確保
 - ・ 量子ビームに関連する大学・大学院の学部・学科・研究科・専攻及び学生数、産学官における中長期的な研究者・技術者・サイエンスコーディネーター（複数の量子ビーム施設に精通した人材を含む）等のニーズ等の調査の実施
 - ・ 研究者・技術者・サイエンスコーディネーター等の役割分担、キャリアパスの明確化、教育プログラム等の検討
 - ※DX を担う人材の育成・確保や活用についても留意が必要。
- なお、プラットフォームの構築にあたっては、既存の学会やプラットフォーム、コンソーシアム等を有効に活用していくことが必要。

参考 1

我が国の主な量子ビーム施設

| 量子ビーム種 ／運営主体 | 国 | 地方自治体 | 国立研究 開発法人 | 大学共同利用機 関、共同利用・ 共同研究拠点等 | 大学 |
|-----------------|------------------|-------------------------------|--|---|---|
| 放射光施設 | ・ SPring-8/SACLA | ・ 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 ・ 産総研 AISTANS | ・ J-PARC MLF(KEK IMSS) ・ 京大 KUR | ・ 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 | | | ・ QST J-KAREN | ・ 京大 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 ・ QST HIMAC ・ 理研 RIBF | ・ 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 UTTAC ・ 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 | | | | ・ KEK 低速陽電子実験施設 ・ 東北大電子光理学研究センター ・ 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 |

(令和3年2月現在。*国際共同利用・共同研究拠点)

(注) 外部利用を受け入れている施設を中心に、量子ビーム利用推進小委員会にて抽出
複数の量子ビーム種を提供する施設は、主として提供する量子ビーム種の欄に記載

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) |
| | 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)、SINQ(スイス)、ESS(スウェーデン、2023 年稼働予定) | SNS | 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)、SULF(中)、APRI.GIST(韓) |

参考 3

我が国の大型研究施設の国際比較

○大型放射光施設

| 施設 | SPring-8 | ESRF | | APS | |
|------------------|--------------------|--------------------------|----------|----------------------------|-------|
| 国 | 日本 | フランス | | アメリカ | |
| 高度化プロジェクト | | | ESRF-EBS | | APS-U |
| 利用開始年 | 1997 | 1994 | 2020 | 1996 | 2023 |
| 電子ビームエネルギー [GeV] | 8 | 6 | 6 | 7 | 6 |
| 蓄積電流値 [mA] | 100 | 200 | 200 | 100 | 200 |
| エミッタンス [nm.rad] | 2.4 | 4 | ~0.2 | 2.5 | <0.1 |
| 蓄積リング周長 | 1,436m | 844m | | 1,104m | |
| 最大ビームライン数 | 62 | 56 | | 68 | |
| 運転時間 | 5,280 時間 | 6,840 時間(推定) | | 6,936 時間(推定) | |
| 利用時間 | 4,584 時間 | 5,407 時間 | | 4,909 時間 | |
| ユニークユーザー数 | 4,957 人 | 6,573 人 | | 約 5,500 人 | |
| 実施課題数 | 2,201 課題 | 1,747 セッション | | 約 6,000 実験 | |
| 運営予算 (注) | 91 億円 (2019 年度) | 約 143 億円 (2017 年度) | | 約 146 億円 (2019 年度) | |
| 運転時間/億円 | 57.6 時間 | 47.8 時間(推定) | | 50.3 時間(推定) | |
| 利用時間/億円 | 50.3 時間 | 37.8 時間 | | 33.6 時間 | |
| 有償利用の割合 | 約 14% (2019 年度) | 5%以下 (2009 年 MEXT 調査) | | 0.5%以下 (2009 年 MEXT 調査) | |

(注) 1 ドル=106 円、1 ユーロ=124 円換算

○硬 X 線自由電子レーザー施設

| 施設 | SACLA | LCLS | LCLS-II ※建設中 | European XFEL | SwissFEL | PAL- XFEL |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| 国 | 日本 | 米国 | 米国 | ドイツ | スイス | 韓国 |
| 利用開始年 | 2012 | 2009 | 2020 | 2017 | 2017 | 2017 |
| 加速器方式 | 常伝導 C バンド | 常伝導 S バンド | 超伝導 L バンド | 超伝導 L バンド | 常伝導 C バンド | 常伝導 S バンド |
| 繰り返しレート [1/s] | 60 | 120 | 1,000,000 | 10 x 2,700 | 100 | 60 |
| 最短波長 [nm] | ~0.06 | ~0.1 | 0.25 | ~0.06 | 0.1 | ~0.08 |
| ビームエネルギー [GeV] | 8.5 | 14.3 | 5 | 17.5 | 5.8 | 10 |
| 全長 [km] | 0.7 | 3 | 3 | 3.4 | 0.7 | 1.1 |
| ビームライン数 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| パルス幅 [フェ ムト秒] | 7 | ~100 | ~100 | ~100 | 70 | 25 |
| ピークパワー [GW] | 100 | 50 | | 30 | 10 | 40 |
| 運転時間 | 6,135 時間 (2019 年 度) | 約 5,880 時 間(2018 年 度) | | 6,480 時間 (2019 年 度) | 6,736 時間 (2019 年) | 5,334 時間 (2019 年) |
| ユーザー数 | 1,214 人 (2019 年 度) | 累 計 13,000 人 以上 | | 891 人 (2019 年 度) | 非公開 | 非公開 |
| 実施課題数 | 112 (2019 年 度) | 71 (Run17:20 18 年 8~ 12 月) | | 56 (2019 年 度) | 非公開 | 非公開 |

○パルス中性子源施設

| 施設 | J-PARC / MLF | SNS | ISIS TS1 | ISIS TS2 |
|------------------------------|--|----------------------|----------|----------------------|
| 国 | 日本 | 米国 | 英国 | 英国 |
| 利用開始年 | 2008年 | 2006年 | 1986年 | 2009年 |
| 陽子エネルギー [GeV] | 3.0 | 1.0 | 0.8 | 0.8 |
| 陽子ビーム出力 [MW] | 1.0 | 1.4 | 0.16 | 0.048 |
| 繰り返し周波数 [Hz] | 25 | 60 | 40 | 10 |
| 時間平均中性子強度 [n/sr] | 4.3×10^{14} | 3.5×10^{14} | 不明 | 4.0×10^{13} |
| パルス毎の中性子強度 [n/(sr・pulse)] | 9.0×10^{12} (18.0×10^{12}) (注1) | 5.9×10^{12} | 不明 | 4.0×10^{12} |
| ビームポート数 | 23 | 24 | 18 | 18 |
| 稼働装置台数 (2019年) | 21 | 18 | 29 | |
| 運転時間 (2018年) | 176日 (注2) | 125日 (注3) | 188日 | |
| ユーザー数 (2018年) | 965人 | 644人 | 1,771人 | |
| 実施課題数 (2018年) | 454 | 257 | 963 | |
| 産業利用課題の割合 (2018年) | 23% | 3% | 10% | |

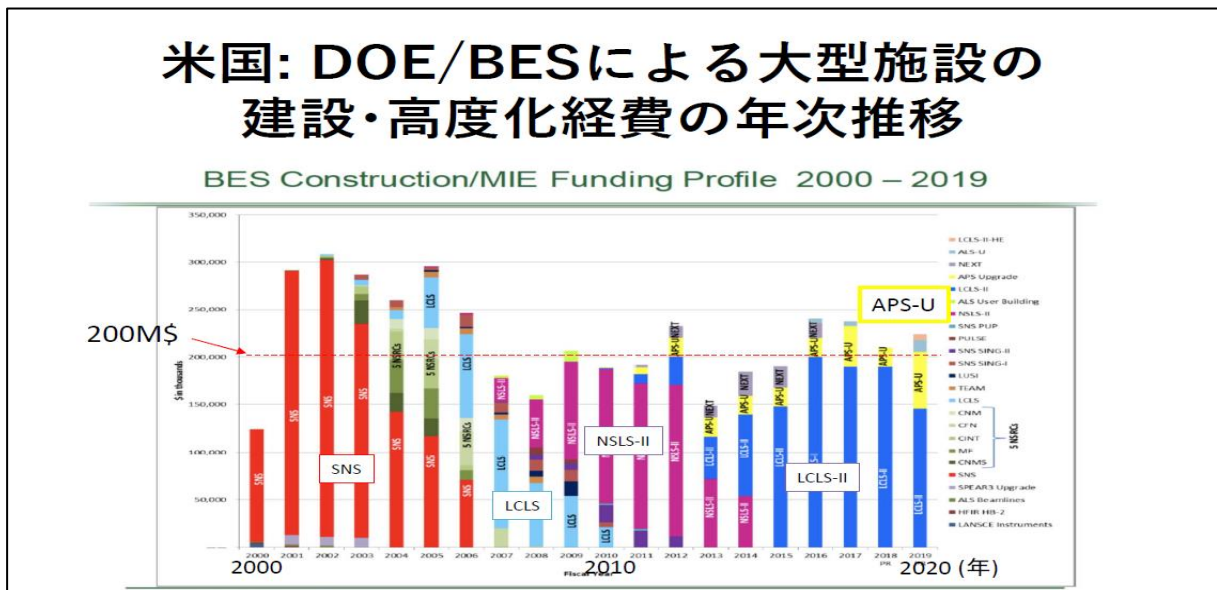
(注1) 現在 500 kW 運転時の値。() 内は定格 1 MW 運転時の強度

(注2) 8 サイクル運転

(注3) 長期保守作業のため運転日数は前年(200日)の62%

参考 4

米国 DOE-BES による大型施設の建設・高度化経費の年次推移



出典: <https://science.osti.gov/bes/besac/Meetings/Meeting-Presentations/201803#201803>

| 施設 | 概要 | 利用開始年 | アップグレード | 日本で相当する施設 |
|------|-------------|-------|--------------------------|-----------|
| APS | 放射光（硬 X 線） | 1996 | 2023（APS-U） | SPring-8 |
| NSLS | 放射光（軟 X 線） | 1982 | 2014（NSLS-II） | 次世代放射光施設 |
| LCLS | X 線自由電子レーザー | 2009 | 2020（LCLS-II） | SACLA |
| SNS | 中性子線 | 2006 | 2024（加速器出力を 2 倍にアップグレード） | J-PARC |

参考5 量子ビーム施設略称一覧

(国内施設)

| | |
|--------------|---|
| 立命館大 SR センター | 立命館大学 SR (synchrotron radiation light) センター：立命館大学の放射光施設（滋賀県草津市） |
| AichiSR | あいちシンクロトロン光センター：公益財団法人科学技術交流財団の放射光施設（愛知県瀬戸市） |
| AISTANS | 産総研中性子解析施設 (Analytical facility for Industrial Science and Technology using Accelerator-based Neutron Source)：産業技術総合研究所の中性子線施設（茨城県つくば市） |
| CYRIC | 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター (Cyclotron and Radioisotope Center)：東北大学のイオンビーム施設（宮城県仙台市） |
| ELPH | 東北大学電子光物理学研究センター (Research Center for Electron Photon Science)：東北大学の電子加速器施設（宮城県仙台市） |
| FEL-TUS | 赤外自由電子レーザー研究センター (Free Electron Laser at Tokyo University of Science)：東京理科大学のレーザー施設（千葉県野田市） |
| HIMAC | 重粒子線がん治療装置 (Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba)：量子科学技術研究開発機構 (QST) のイオンビーム施設（千葉県千葉市） |
| HiSOR | 広島大学放射光科学研究センター (Hiroshima Synchrotron Radiation Center)：広島大学の放射光施設（共同利用・共同研究拠点）（広島県東広島市） |
| HIT | 重照射研究設備 (High Fluence Irradiation Facility, the University of Tokyo)：東京大学のイオンビーム施設（茨城県東海村） |
| HUNS | 北海道大学中性子源 (Hokkaido University Neutron Source)：北海道大学の中性子線施設（北海道札幌市） |
| iBNCT | 筑波大学、高エネルギー加速器研究機構 (KEK)、日本原子力研究開発機構 (JAEA) 等の研究機関、企業並びに自治体（茨城県及びつくば市）が共同実施するホウ素中性子補足療法 (BNCT) に係る研究開発及びその中性子線施設（茨城県東海村） |
| IMSS | 物質構造科学研究所 (Institute of Materials Structure Science) |
| JAEA | 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (Japan Atomic Energy Agency) |
| J-KAREN | 量子科学技術研究開発機構 (QST) のレーザー施設（京都府木津川市） |
| J-PARC | Japan Proton Accelerator Research Complex：日本原子力研究開発機構 (JAEA) 及び高エネルギー加速器研究機構 (KEK) が共同で運営する実験施設群（茨城県東海村） |
| JRR-3 | Japan Research Reactor No.3：日本原子力研究開発機構 (JAEA) の研究用原子炉施設（茨城県東海村） |
| KEK | 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 (Kou Enerugii Kasokuki Kenkyu Kiko) |
| KUANS | 京都大学加速器中性子源 (Kyoto University Accelerator-driven Neutron Source)：京都大学の中性子線施設（京都府京都市） |
| KU-FEL | Kyoto University - Free Electron Laser：京都大学のレーザー施設（京都府宇治市） |
| KUR | 京都大学研究用原子炉 (Kyoto University Research Reactor)：京都大学複合原子力科学研究所の研究用原子炉施設（大阪府熊取町） |

| | |
|-----------|---|
| LEBRA | 電子線利用研究施設 (Laboratory for Electron Beam Research and Application) : 日本大学の電子線形加速器光源施設 (千葉県船橋市) |
| MALT | タンデム加速器研究施設 (Micro Analysis Laboratory, Tandem accelerator) : 東京大学のイオンビーム施設 (東京都文京区) |
| MLF | 物質・生命科学実験施設 (Materials and Life Science Experimental Facility) : J-PARCにおける中性子及びミュオン施設 (茨城県東海村) |
| NewSUBARU | 兵庫県立大学ニュースバル放射光施設 : 兵庫県の放射光施設 (兵庫県立大学高度産業技術研究所が運営) (兵庫県上郡町) |
| NUANS | 名古屋大学加速器駆動中性子源 (Nagoya University Accelerator-driven Neutron Source) : 名古屋大学の中性子線施設 (愛知県名古屋市) |
| PF | Photon Factory : 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の放射光施設 (茨城県つくば市) |
| PF-AR | PF-Advanced Ring : 高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の放射光施設 (茨城県つくば市) |
| QST | 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 (National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology) |
| RANS | 理研小型中性子源システム (RIKEN Accelerator-driven compact neutron source) : 理化学研究所の中性子線施設 (埼玉県和光市) |
| RCNP | 大阪大学核物理研究センター (Research Center for Nuclear Physics) : 大阪大学のイオンビーム施設 (大阪府茨木市) |
| RIBF | RI ビームファクトリー (Radioactive Isotope Beam Factory) : 理化学研究所のイオンビーム施設 (埼玉県和光市) |
| SACLA | SPring-8 Angstrom Compact Free Electron Laser : 理化学研究所の X 線自由電子レーザー施設 (兵庫県佐用町) |
| SAGA-LS | 九州シンクロトロン光研究センター : 佐賀県の放射光施設 (公益財団法人佐賀県地域産業支援センターが運営) (佐賀県鳥栖市) |
| SPring-8 | Super Photon ring-8 GeV : 理化学研究所の大型放射光施設 (兵庫県佐用町) |
| TIARA | イオン照射研究施設 (Takasaki Ion Accelerators for Advanced Radiation Application) : 量子科学技術研究開発機構 (QST) のイオンビーム施設 (群馬県高崎市) |
| T6-Laser | 京都大学化学研究所のレーザー施設 (京都府宇治市) |
| UTTAC | 筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門 (University of Tsukuba, Tandem Accelerator Complex) : 筑波大学のイオンビーム施設 (茨城県つくば市) |
| UVSOR | 極端紫外光研究施設 : 自然科学研究機構分子科学研究所の放射光施設 (愛知県岡崎市) |
| W-MAST | 若狭湾エネルギー研究センター多目的シンクロトロン・タンデム加速器システム (Wakasawan Energy Research Center Multipurpose Accelerator System with Synchrotron and Tandem) : 福井県のイオンビーム施設 (福井県敦賀市) |

(海外施設)

| | |
|---------------|---|
| ALBA | スペイン政府及びカタルーニャ州政府が共同出資し、シンクロトロン光利用コンソーシアムが運営する放射光施設（スペイン） |
| APRI.GIST | Advanced Photonics Research Institute - Gwangju Institute of Science and Technology : 光州科学技術院のレーザー施設（韓国） |
| APS | Advanced Photon Source : アルゴンヌ国立研究所の放射光施設（米国） |
| APS-U | APS - Upgrade : APS の高度化計画（事業規模：8.15 億ドル）。 |
| BELLA | Berkeley Lab Laser Accelerator : ローレンス・バークレー国立研究所のレーザー施設（米国） |
| CAEP | 中国工程物理研究院（China Academy of Engineering Physics） |
| CLF | Central Laser Facility : ラザフォード・アップルトン研究所のレーザー施設（英国） |
| CSNS | 中国核破砕中性子源（China Spallation Neutron Source）: 中国科学院高エネルギー物理研究所が運営する中性子線施設（中国） |
| Diamond | Diamond Light Source Ltd（英国政府・Wellcome Trust 基金共同出資の会社）が運営する放射光施設（英国） |
| ELI | 極端光インフラストラクチャー（Extreme Light Infrastructure）計画：欧州委員会が資金拠出するビーム施設の建設計画。 |
| ELI-ALPS | 極端光インフラストラクチャー計画（ELI）により建設されたレーザー施設（ハンガリー） |
| ELI-Beamlines | 極端光インフラストラクチャー計画（ELI）により建設されたレーザー施設（チェコ） |
| ELI-NP | 極端光インフラストラクチャー計画（ELI）により建設されたレーザー施設（ルーマニア） |
| ESRF | European Synchrotron Radiation Facility : 22 か国が共同運営する放射光施設（フランス） |
| ESRF-EBS | ESRF - Extremely Brilliant Source : ESRF の光源高度化計画（事業規模：1.5 億ユーロ）。 |
| ESS | 欧州核破砕中性子源（European Spallation Source）: 欧州 13 か国が建設・運営する中性子線施設（スウェーデン） |
| European XFEL | 欧州 XFEL : 欧州 12 か国が参画して運営する X 線自由電子レーザー施設（ドイツ） |
| HEPS | 高能同步輻射光源（High Energy Photon Source）: 中国科学院高エネルギー物理研究所が建設する放射光施設（中国） |
| ILL | ラウエ・ランジュヴァン研究所（Institut Laue-Langevin）: フランス、ドイツ及び英国が共同運営する中性子線施設（その他 11 か国がパートナー国）（フランス）。 |
| ISIS | ISIS Neutron and Muon Source : ラザフォード・アップルトン研究所の中性子線施設（英国） |
| KOMAC | 韓国多目的加速器施設（Korea Multi-purpose Accelerator Complex）: 韓国原子力研究所のビーム施設（韓国） |
| LCLS-II | Linac Coherent Light Source : スラック国立加速器研究所の X 線自由電子レーザー施設（米国） |
| LULI | Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses : フランス国立科学研究センター、エコー・ポリテクニク、原子力・代替エネルギー庁及びソルボンヌ大学が共同運営するレーザー施設（フランス） |
| MAX IV | ルンド大学が運営する放射光施設（スウェーデン） |
| NIF | 国立点火施設（National Ignition Facility）: ローレンス・リバモア国立研究所のレーザー施設（米国） |

| | |
|-----------|--|
| NSLS-II | 国立放射光源 (National Synchrotron Light Source) : ブルックヘブン国立研究所の放射光施設 (米国) |
| PAL-XFEL | Pohang Accelerator Laboratory - XFEL : 浦項加速器研究所の X 線自由電子レーザー施設 (韓国) |
| PLS-II | 浦項ライトソース (Pohang Light Source) : 浦項工科大学校が運営する放射光施設 (韓国) |
| SHINE | 上海硬 X 線自由電子レーザー装置 : 中国科学院上海応用物理研究所 (SINAP) が建設する X 線自由電子レーザー施設 (中国) |
| SINAP | 中国科学院上海応用物理研究所 (Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences) |
| SINQ | Swiss Spallation Neutron Source : ポール・シェラー研究所の中性子線施設 (スイス) |
| SIRIUS | 国立シンクロトロン光研究所が建設・運営する放射光施設 (ブラジル) |
| SLS | スイス放射光施設 (Swiss Light Source) : ポール・シェラー研究所の放射光施設 (スイス) |
| SNS | Spallation Neutron Source : オークリッジ国立研究所の中性子線施設 (米国) |
| SOLEIL | Source optimisée de lumière d' énergie intermédiaire du LURE : フランス国立科学研究センター及び原子力・代替エネルギー庁が共同運営する放射光施設 (フランス) |
| SSRF | 上海同步輻射光源 (Shanghai Synchrotron Radiation Facility) : 中国科学院上海応用物理研究所 (SINAP) の放射光施設 (中国) |
| SULF | 上海超強超短激光実験装置 (Superintense Ultrafast Laser Facility) : 中国科学院上海光学精密機械研究所のレーザー施設 (中国) |
| Swiss FEL | ポール・シェラー研究所の X 線自由電子レーザー施設 (スイス) |
| TPS | 台湾光子源 (Taiwan Photon Source) : 台湾放射光研究センターが運営する放射光施設 (台湾) |

参考 6

第 10 期 量子ビーム利用推進小委員会 委員名簿

令和元年 7 月 11 日現在

(臨時委員)

- 雨宮 慶幸 公益財団法人高輝度光科学研究センター 理事長
伊地知 寛博 成城大学社会イノベーション学部 教授

(専門委員)

- 石坂 香子 東京大学大学院工学系研究科 教授
内海 涉 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構量子ビーム科学部門 次世代放射光施設整備開発センター長
岸本 浩通 住友ゴム工業株式会社研究開発本部 分析センター長
鬼柳 善明 名古屋大学大学院工学研究科 特任教授
◎ 小杉 信博 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 所長
近藤 寛 慶應義塾大学理工学部 教授
阪部 周二 京都大学化学研究所 教授
佐野 雄二 自然科学研究機構分子科学研究所社会連携研究部門 プログラム・マネージャー
高橋 瑞稀 第一三共 RD ノバーレ株式会社合成化学研究部 主任研究員
高原 淳 九州大学先導物質化学研究所 主幹教授
田中 均 国立研究開発法人理化学研究所放射光科学研究センター 副センター長
宮内 忍 宮内公認会計士事務所 所長
山重 寿夫 トヨタ自動車株式会社第 2 材料技術部材料創生・解析室先端解析グループ 主幹
山田 和芳 高エネルギー加速器研究機構 名誉教授

(◎：主査、○：主査代理、敬称略、五十音順)

参考 7

量子ビーム利用推進小委員会における審議検討経過

○第 30 回 2019 年 7 月 11 日

- ・量子ビーム利用推進小委員会における調査検討について（検討のたたき台提示）

○第 31 回 2019 年 8 月 23 日

- ・我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について（調査事項の整理）
- ・有識者ヒアリング
 - ① 「小型集積レーザー（TILA）の開発と TILA コンソーシアムの取組み」
（分子科学研究所社会連携研究部門プログラム・マネージャー 佐野雄二）
 - ② 「関西光科学研究所（木津地区）の概要」
（QST 関西光科学研究所河内所長）

○第 32 回 2019 年 11 月 11 日

- ・我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について（調査結果まとめ）
- ・有識者ヒアリング
 - ③ 「京都大学化学研究所附属先端ビームナノ科学センター 高強度レーザー施設」
（京都大学化学研究所レーザー物質科学研究領域 阪部周二）

○第 33 回 2019 年 12 月 24 日

- ・我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について（産学連携、施設連携等）
- ・有識者ヒアリング
 - ④ 「大型から小型までの日本の中性子施設利用」
（名古屋大学工学研究科特任教授 鬼柳善明）
 - ⑤ 「理研小型中性子源システム RANS プロジェクト」
（理化学研究所光量子工学研究センター（RAP）中性子ビーム技術開発チーム 大竹淑恵）

○第 34 回 2020 年 1 月 28 日

- ・我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について（海外連携等）
- ・有識者ヒアリング
 - ⑥ 「フォトンファクトリーの現状～使命と役割～」
（KEK 物質構造科学研究所放射光実験施設長 船守展正）
 - ⑦ 産業視点での量子ビーム活用に向けて
（住友ゴム工業株式会社 岸本浩通）

○第 35 回 2020 年 2 月 25 日

- ・我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について（オープンデータ・オープンアクセス等）

○第 36 回 2020 年 5 月 28 日

- ・我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について（議論まとめ）

○第 37 回 2020 年 6 月 30 日

- ・我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について（人材育成等）

○第 38 回 2020 年 9 月 28 日

- ・我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について（今後の検討の方向性（素案））
- ・大型施設におけるデジタル・トランスフォーメーションの取組について（SPring-8/J-PARC）

○第 39 回 2020 年 11 月 26 日

- ・我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について（とりまとめに向けた素案）
- ・量子ビーム連携プラットフォームの良好事例について（光ビームプラットフォーム/GROSS）

○第 40 回 2021 年 2 月 4 日

- ・我が国全体を俯瞰した量子ビーム施設の在り方について（とりまとめ）