

量子ビーム分野に関する 研究開発課題の事前評価結果②

令和6年8月

科学技術・学術審議会

研究計画・評価分科会

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 委員等名簿

- 相澤 彰子※ 国立情報学研究所 副所長・教授
- 五十嵐 仁一※ ENEOS 総研株式会社前代表取締役社長
- 菅野 了次 東京工業大学科学技術創成研究院特命教授、全固体電池研究センター長
- 栗原 美津枝 株式会社価値総合研究所代表取締役会長
- 田中 明子 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター
活断層・火山研究部門 マグマ活動研究グループ キャリアリサーチャー
- 原田 尚美 東京大学大気海洋研究所教授、国立研究開発法人海洋研究開発機構地球環境部門招聘上席研究員
- ◎観山 正見 岐阜聖徳学園大学・同短期大学部・学長
- 明和 政子※ 京都大学大学院教育学研究科教授
- 村岡 裕由※ 東海国立大学機構岐阜大学 高等研究院環境社会共生体研究センター
教授・センター長
- 村山 裕三 同志社大学名誉教授
- 出光 一哉 東北大学特任教授
- 上田 良夫※ 追手門学院大学教授
- 大森 賢治 大学共同利用機関法人自然科学研究機構分子科学研究所教授・研究主幹
- 上村 靖司 長岡技術科学大学工学研究科教授
- 佐々木 久美子 株式会社グローブノーツ代表取締役会長
- 高梨 弘毅 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター長、
東北大学名誉教授
- 土屋 武司 東京大学大学院工学系研究科教授
- 長谷山 美紀 北海道大学副学長、大学院情報科学研究科教授
- 原澤 英夫 元国立研究開発法人国立環境研究所理事
- 宮園 浩平※ 国立研究開発法人理化学研究所理事／東京大学大学院医学系研究科卓越
教授

◎：分科会長、○分科会長代理

※本評価には参加していない

量子科学技術委員会 委員名簿

- 青木 隆朗 早稲田大学 理工学術院先進理工学部応用物理学科 教授
- 岩井 伸一郎 東北大学大学院 理学研究科 教授
- ◎ 大森 賢治 自然科学研究機構 分子科学研究所 教授・研究主幹
- 川上 恵里加 理化学研究所 理研白眉チームリーダー
- 小杉 信博 大阪大学核物理研究センター 特任教授
- 小林 研介 東京大学大学院 理学系研究科 教授
- 畑中 美穂 慶應義塾大学 理工学部化学科 准教授
- 早瀬 潤子 慶應義塾大学 理工学部物理情報工学科 教授
- 水落 憲和 京都大学 化学研究所 教授
- 美濃島 薫 電気通信大学 情報理工学研究科 教授
- 向山 敬 東京工業大学 理学院物理学系 教授
- 山田 真治 株式会社日立製作所 研究開発グループ シニアチーフエキスパート
- 山田 真希子 量子科学技術研究開発機構 量子生命科学研究所 チームリーダー

(◎ : 主査、○ : 主査代理敬称略、五十音順)

量子科学技術委員会 量子ビーム利用推進小委員会 委員名簿

- 石坂 香子 東京大学大学院工学系研究科 教授
- 大竹 淑恵 国立研究開発法人理化学研究所光量子工学研究センター中性子ビーム技術開発チーム チームリーダー
- 川北 至信 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・J-PARC センター物質・生命科学ディビジョン 副ディビジョン長
- 岸本 浩通 住友ゴム工業株式会社研究開発本部先進技術・イノベーション研究センター センター長
- ◎ 小杉 信博 大阪大学核物理研究センター 特任教授
- 阪部 周二 京都大学化学研究所 名誉教授
- 高橋 正光 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 NanoTerasu センター センター長
- 高橋 瑞稀 第一三共株式会社研究開発本部研究統括部モダリティ第一研究所第七グループ グループ長
- 高原 淳 九州大学ネガティブエミッションテクノロジー研究センター 特任教授
- 唯 美津木 東海国立大学機構名古屋大学物質科学国際研究センター 教授
- 古川 はづき お茶の水女子大学基幹研究院自然科学系 教授
- 森 初果 東京大学物性研究所 教授
- ※ 矢橋 牧名 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物理・化学系ビームライン基盤グループ グループディレクター
- 山重 寿夫 トヨタ自動車株式会社電動化・環境材料技術部材料基盤開発室 主幹

(◎：主査、○：主査代理、敬称略、五十音順)

※利害関係を有する可能性があるかと判断した矢橋委員は、本評価に加わっていない。

大型放射光施設 SPring-8- II の整備 の概要

1. 課題実施期間及び評価時期

令和7年度～令和10年度（予定）
事後評価 令和11年度を予定

2. 研究開発目的・概要

・ 目的

次世代半導体や GX 社会の実現など産業・社会の大きな転機を見据え、2030 年に向けて、現行の 100 倍の輝度をもつ世界最高峰の放射光施設を目指し、SPring-8- II の整備を実施する。

・ 概要

大型放射光施設 SPring-8 は、1997 年の共用開始以来、第 3 世代の放射光施設として 25 年以上にわたり産学において幅広く活用されてきた。他方、SPring-8 と同様の硬 X 線領域の放射光施設について、諸外国では第 4 世代へのアップグレードや新規建設が進められている。さらに、第 3 世代の施設である SPring-8 の加速器は、第 4 世代加速器に比べて電力効率が悪く、消費電力も大きい。また、老朽化による保守コストは年々増加している。

SPring-8 がこのまま陳腐化すると、我が国の研究者は第 4 世代である海外施設を頼らざるを得ない。その場合、産学の研究者は最先端の研究を行うためにその拠点を海外施設近傍に移してしまうことが考えられるほか、施設利用に際し他国に研究内容や要素技術を開示せざるを得なくなり、経済安全保障の観点から大きな課題が生じる。

また、2030 年頃は、次世代半導体の量産や GX 社会の実現など、国内外において重要な契機となる時期である。Beyond 2nm 世代の半導体構造では 3D 集積に向かうとされており、非破壊による内部構造解析や動作中デバイス観測（オペランド計測）などの技術が必要となる。これらはいずれも硬 X 線放射光計測の高度化なくしては達成困難なものであり、第 4 世代の硬 X 線放射光施設の早期の実現が必要である。

さらに、燃料電池や全固体電池等のエネルギーデバイスの研究開発においては、例えば、電極付近での物質動態の詳細な解析が必須な他、サーキュラーエコノミーの実現やバイオものづくりにおいても放射光技術が必須又は有望視される場面が多数想定されることから、SPring-8- II がその実現に大きく貢献できる市場が次々と成長することが見込まれている。

このような状況を踏まえ、2030 年に向けて、現行の 100 倍の輝度をもつ世界最高峰

の放射光施設を目指し、SPring-8-Ⅱの整備を実施する。

3. 予算（概算要求予定額）の総額

年度	令和7年度 (初年度)	令和8年度	令和9年度	令和10年度	総額
概算要求予定額	調整中	調整中	調整中	調整中	約500億円

4. その他

特になし

事前評価票

(令和6年8月現在)

1. 課題名 大型放射光施設 SPring-8- II の整備	
2. 開発・事業期間 令和7年度 ～ 令和10年度 (予定)	
3. 課題概要	
(1) 関係する分野別研究開発プラン名と上位施策との関係	
プラン名	量子ビーム分野研究開発プラン
プランを推進するにあたっての大目標	オープンサイエンスとデータ駆動型研究開発等の推進 (施策目標 8-3) 概要: 研究の飛躍的な発展と世界に先駆けたイノベーションの創出、研究の効率化による生産性の向上を実現するため、情報科学技術の強化や研究のリモート化・スマート化を含めた大型研究施設などの整備・共用化の推進、次世代情報インフラの整備・運用を通じて、オープンサイエンスとデータ駆動型研究等を促進し、我が国の強みを活かす形で、世界の潮流である研究のデジタルトランスフォーメーション (研究 DX) を推進する。
プログラム名	量子ビーム分野研究開発プログラム 概要: 研究 DX を支える大型研究施設 (SPring-8/SACLA、J-PARC、NanoTerasu) や全国の研究施設・設備・機器の整備・共用を推進し、研究成果の一層の創出・質的向上を図る。
上位施策	第6期科学技術・イノベーション基本計画 (令和3年3月26日閣議決定) 経済財政運営と改革の基本方針 2024 (令和6年6月21日 閣議決定) 新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画 2024 改訂版 (令和6年6月21日 閣議決定) 統合イノベーション戦略 2024 (令和6年6月4日 閣議決定) デジタル社会の実現に向けた重点計画 (令和6年6月21日 閣議決定)
(2) 目的	
次世代半導体や GX 社会の実現など産業・社会の大きな転機を見据え、2030年に向けて、現行の 100 倍の輝度をもつ世界最高峰の放射光施設を目指し、SPring-8- II の整備を実施する。	
(3) 概要	
大型放射光施設 SPring-8 は、1997 年の共用開始以来、第3世代の放射光施設として 25 年以上にわたり産学において幅広く活用されてきた。他方、SPring-8 と同様の硬 X 線領域の放射光施設について、諸外国では第4世代へのアップグレード・新規建設が進められている。さらに、第3世代の施設である SPring-8 の加速器は、第4世代施設の加速器に比べて電力効率が悪く、消費電力も大きい。また、老朽化による保守コストは年々増加してい	

る。

SPring-8 がこのまま陳腐化すると、我が国の研究者は第 4 世代である海外施設を頼らざるを得ない。その場合、産学の研究者は最先端の研究を行うためにその拠点を海外施設近傍に移してしまうことが考えられるほか、施設利用に際し他国に研究内容や要素技術を開示せざるを得なくなり、経済安全保障の観点から大きな課題が生じる。

また、2030 年頃は、次世代半導体の量産や GX 社会の実現など、国内外において重要な契機となる時期である。Beyond 2nm 世代の半導体構造では 3D 集積に向かうとされており、非破壊による内部構造解析や動作中デバイス観測（オペランド計測）などの技術が必要となる。これらはいずれも硬 X 線放射光計測の高度化なくしては達成困難なものであり、第 4 世代の硬 X 線放射光施設の早期の実現が必要である。

さらに、燃料電池や全固体電池等のエネルギーデバイスの研究開発においては、例えば、電極付近での物質動態の詳細な解析が必須な他、サーキュラーエコノミーの実現やバイオものづくりにおいても放射光技術が必須又は有望視される場面が多数想定されることから、SPring-8-II がその実現に大きく貢献できる市場が次々と成長することが見込まれている。

このような状況を踏まえ、2030 年に向けて、現行の 100 倍の輝度をもつ世界最高峰の放射光施設を目指し、SPring-8-II の整備を実施する。

プログラム全体に関連する アウトプット指標	過去 3 年程度の状況		
	令和 3 年	令和 4 年	令和 5 年
SPring-8-II の整備状況	—	—	—

プログラム全体に関連する アウトカム指標	過去 3 年程度の状況		
	令和 3 年	令和 4 年	令和 5 年
SPring-8 における課題実施数の確保	1,485 課題	1,650 課題	1,794 課題
SPring-8 に関係した研究論文の発表	1,207 報	1,137 報	956 報

※「研究論文の発表」については、令和 6 年 3 月時点で申告済みのもののみカウントしており、今後、各年度（特に直近の令和 5 年度）の研究論文数は増える見込みである。

4. 各観点からの評価

(1) 必要性

評価項目	評価基準	
国費を用いた研究開発としての意義	定量的	—
	定性的	国や社会のニーズに適合した事業となっているか。

2030 年頃は、次世代半導体（ゲート長 2nm クラス）の国内量産が見込まれる時期であり、Beyond 2nm 世代の半導体構造では 3D 集積に向かうとされており、非破壊による内部構造解析や動作中デバイス観測（オペランド計測）などの技術が必要となる。これらはいずれも硬 X 線放射光計測の高度化なくしては達成困難なものであり、第 4 世代の硬 X 線放射光施設の適切な時期における実現が必要である。

さらに、燃料電池の更なる高度化や全固体電池の実用化においては、電極付近での物質動態の更なる解析が必須な他、バイオものづくりやサーキュラーエコノミーなどの実現において、再生材の物性・分子構造評価といった放射光技術が必須又は有望視される場面が多数想定され、SPring-8-IIがその実現に大きく貢献する市場が次々と成長することが見込まれている。

このような研究開発は、国家戦略として進めているものであり、SPring-8-IIはこれらを実現していく上で不可欠となる最重要基盤施設の一つである。

さらに、我が国は、国内に9施設10リングの放射光施設を有し、それぞれが特徴を有しているが、SPring-8は特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律における特定放射光施設として、我が国におけるフラッグシップの位置づけである。このようなフラッグシップ施設は、国として推進することが求められるとともに、学術施設における萌芽的成果の発展・定着、世界を牽引する放射光技術のフロンティア開拓と新たな学問領域や新産業の創出、各施設に対する先導的役割やコミュニティ形成等において中心的役割を担うことが、国内の放射光施設から期待されている。

以上により、国費を用いた研究開発としての意義（国や社会のニーズへの適合性）の観点から、本プログラムの必要性は高いと評価する。

（２）有効性

評価項目	評価基準	
新しい知の創出への貢献、研究開発の質の向上への貢献	定量的	—
	定性的	本事業を通じて、革新性、発展性のある研究成果の創出が期待されるか。

現行のSPring-8からSPring-8-IIへアップグレードすることで、最高輝度は約100倍になり、また実用計測における空間分解能1nmの実現が見込まれるため、高精細のデータが短時間で取得可能になる等実験効率の向上が期待される。これにより、アカデミア利用はもちろん、産業利用に供する機会の増加が見込まれる。さらに、国として取り組むべき課題や地球規模課題の解決に貢献し、新たな勝ち筋を創出していくことも期待される。加えて、計測技術の不断の研究開発が新たな計測方法を生み出し、これまでにない科学的知見の獲得につながる。こうした知見が新たな産業利用や社会実装事例の創出につながっていく。

理化学研究所（以下「理研」という。）や高輝度光科学研究センター（JASRI）においては、従来のボトムアップ型の産業利用とアカデミア利用に加えて、トップダウン型の戦略利用を加えた3本柱で利用を推進し、各ニーズに応じて利用制度をアップデートすることとしている。

さらに、SPring-8-IIに係るユーザーアンケートにおいて、新規及び既存利用ユーザーの利用希望日数は、累積で年間約21万日に達しており、これは現在の受け入れ可能日数の約

42 倍に相当している。高度化に伴い高精細なデータが短時間で取得可能となり、施設利用研究の実施効率の向上が可能となり、これまで以上にユーザーによる成果創出に貢献していくことが見込まれる。

以上により、新しい知の創出への貢献、研究開発の質の向上への貢献の観点から、本プログラムの有効性は高いと評価できる。

(3) 効率性

評価項目	評価基準	
研究開発の手段やアプローチの妥当性	定量的	—
	定性的	目的達成に向けた研究開発の手法やアプローチが妥当か。

SPring-8-Ⅱは、現行で採用されているダブルバンドアクロマット (DBA) ラティスについて、電子ビームのエミッタンスを小さくするために、5バンドのマルチバンドアクロマット (MBA) ラティスを採用することとしている。

MBA ラティスを採用するに当たり、理研は、NanoTerasu の整備で得られたコンポーネントの設計や量産、据付時の精密アライメントに関する知見を活かし、運転停止期間を約 1 年間に留めるなど利用者への影響を最低限にしつつ、着実に整備を行うこととしている。

第 3 世代の施設である SPring-8 の加速器は、第 4 世代加速器に比べて電力効率が悪く、消費電力も大きいほか、老朽化による保守コストは年々増加しており、現行の加速器の運転を続ける場合、増加する保守コストに加え老朽化した構成部品の更新費用も必要となるが、電子ビームの加速エネルギーを 8 GeV から 6 GeV に低減するほか、蓄積リングの偏向磁石を電磁石から永久磁石に交換することなども含めて第 4 世代化することで電力効率を改善（現行の加速器の消費電力を 2029 年の共用開始時点で 60% まで削減）し、加速器老朽化に係る保守コストも低減が見込まれる。

以上により、研究開発の手段やアプローチの妥当性の観点から、本プログラムの効率性は高いと評価できる。

5. 総合評価

(1) 評価概要

1997 年に共用が開始された第 3 世代の大型放射光施設 SPring-8 は、25 年以上にわたり硬 X 線領域で世界トップの分析能力を誇ってきたが、上記のような必要性に鑑みれば、SPring-8-Ⅱの整備開始は待ったなしのタイミングであり、現行の 100 倍となる輝度を持つ世界最高峰の放射光施設を目指し、ナショナルプロジェクトとして早期に実現すべきである。また、事後評価については事業終了後 1 年以内を目途に実施することが適当である。

(2) 科学技術・イノベーション基本計画等の上位施策への貢献見込み

「経済財政運営と改革の基本方針 2024」における、研究の質を高める仕組みの構築や、

「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画」における、次世代素材産業において研究開発段階から量産段階に至るまで長期にわたり継続的に成長できる仕組みの構築、「第6期科学技術・イノベーション基本計画」における、研究DXを支えるインフラ整備と高付加価値な研究の加速への貢献が期待される。

(3) 本課題の改善に向けた指摘事項

特になし

(4) その他

<留意事項>

- 省エネルギー技術によりメンテナンス期間の短縮や施設の負担軽減が実現された際には、運転時間の拡大といったユーザーへの還元策についても検討を進めることが必要である。
- 従来のボトムアップ型の産業利用とアカデミア利用に加えて、トップダウン型の戦略利用を加えた3本柱で利用を推進する仕組み、各ニーズに応じた利用制度のアップデートの詳細については、ユーザーにとって使いやすい制度となるよう、理研及びJASRIにおいて今後具体化していくことが必要である。
- 中小企業を含む産業界の利用拡大に向けては、利用環境の向上に加え、アクセスの容易化などのため公設試や近隣自治体との連携を強化する必要がある。
- 利用料金制度をアップデートし、運営費回収分に加え、施設が提供する価値相当分の受益者負担も可能となるよう、その考え方を時代に即したものとする必要がある。
- 一般国民等によく知られた施設とは言い難い状況であり、これまでの取組ではSPRING-8/SACLAの利用実績があるユーザーに対する成果紹介等に留まっており、潜在的ユーザーへの働きかけや、国民への効果的広報が十分に行えていなかった。このため、発信する対象を明確化し、それぞれに対して効果的な広報を進めていく必要がある。
- 放射光利用を推進する人材と基盤を支える人材について、人口減少が進む日本の社会状況を踏まえ、大学・企業・他機関と連携し、どのような取組が最適なのか検討を行う必要がある。また、各者が相互に連携して人材育成・交流の取組を進めていく必要がある。