

資料2

大型放射光施設(SPring-8)及びX線自由電子レーザー施設(SACLA)中間評価(第6回)
科学技術・学術審議会 量子ビーム利用推進小委員会(第29回)
2019年2月5日

大型放射光施設 (SPring-8) 及び X線自由電子レーザー施設 (SACLA) 中間評価結果 (案)

2019年2月

量子ビーム利用推進小委員会

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
委員名簿

2019年2月5日現在

(臨時委員)

- ◎ 雨宮 慶幸 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 物質系専攻 特任教授
尾嶋 正治 東京大学名誉教授、東京大学大学院 工学系研究科 特任研究員

(専門委員)

- 石坂 香子 東京大学大学院 工学系研究科 教授
石山 達也 東京大学地震研究所 地震予知研究センター 助教
伊地知 寛博 成城大学 社会イノベーション学部 学部長・教授
内海 涉 量子科学技術研究開発機構 次世代放射光施設整備開発センター長
金子 美智代 トヨタ自動車株式会社 未来創生センター T-フロンティア部
センター連携総括室 センター連携総括グループ長
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
北見 俊幸 日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 福島研究開発拠点 施設部長
○ 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
高橋 瑞稀 第一三共 RD ノバーレ株式会社 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 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)

※ 利害関係を有する可能性のある者が評価に加わった場合には、その理由や利害関係の内容を明確に記載すること。

大型放射光施設 (SPring-8) の整備・共用

2019年度予算額(案)	: 8,340百万円
2018年度予算額	: 8,530百万円
2017年度予算額	: 8,445百万円
2016年度予算額	: 8,219百万円
2015年度予算額	: 7,878百万円



※すべて当初予算額、利用促進交付金は含まない

背景・課題

- SPring-8は、微細な物質構造の解析が可能な**世界最高性能の放射光施設**。生命科学、環境・エネルギーから新材料開発まで広範な分野で先進的・革新的な研究開発に貢献。
- 平成9年の共用開始から20年以上が経過し、利用者は着実に増加。毎年約16,000人の産学官の研究者が利用。
- 同等性能の大型放射光施設を有するのは日米欧のみであり(他に米国APS、欧州ESRF)、SPring-8は安定なビーム性能を発揮中。

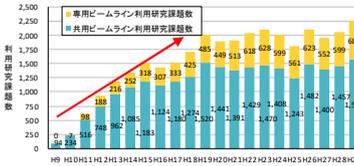
事業概要

【事業の目的・目標】

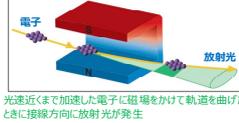
SPring-8について、安定的な運転の確保及び利用環境の充実を行い、産学の広範な分野の研究者等の利用に供することで、世界を先導する利用成果の創出等を促進し、我が国の国際競争力の強化につなげる。

【事業概要・イメージ】

- ① **SPring-8の共用運転の実施** **8,340百万円(8,530百万円)**
 - 5,000時間運転の確保及び維持管理等
- ② **SPring-8・SACLAの利用促進*** **1,381百万円(1,379百万円)**
 - 利用者選定・利用支援業務の着実な実施 ※ SACLAと一体的・効率的に実施。



放射光の発生原理

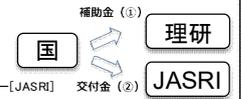


光速近くまで加速した電子に磁場をかけて軌道を曲げたときに接線方向に放射光が発生



【事業スキーム】

- ✓ 施設設置者: (国研)理化学研究所[理研]
- ✓ 登録施設利用促進機関: (公財)高輝度光科学研究センター[JASRI]



【これまでの成果】

論文発表: ネイチャー・サイエンス誌をはじめ、SPring-8を利用した研究論文は累計約**14,000**報。
(例えば、サイエンス誌の2011年の世界の10大成果のうち2件がSPring-8固有の成果。※はやぶさ試料解析、光化学系Ⅱ複合体。)

産業利用: 稼働・整備中の57本のビームラインのうち**4本は産業界が自ら設置**。共用ビームラインにおける**全実施課題に占める産業利用の割合は約2割**。

創業のブレークスルーにつながる膜タンパク質とリン脂質の相互作用を解明

[Nature (2017.5.11) 掲載]
【使用ビームライン】BL41XU 【中心研究機関】 東京大学、高輝度光科学研究センター

- SPring-8において、医学的・生物学的に重要な機能を持つ膜タンパク質の一つであるカルシウムポンプを構造解析し、**膜タンパク質とそれを取り囲む生体膜を構成するリン脂質の相互作用の詳細を世界で初めて解明**。膜タンパク質の機能発現と生体膜とが密接に関わっていることを解明。
- 創業の重要なターゲットである膜タンパク質の機能発現に、生体膜がどのように関わるかが明らかになったことで、今後、**膜タンパク質の機能理解に基づく創業のブレークスルーに高い期待**。

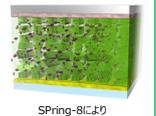


カルシウムポンプとリン脂質の原子モデル

高変換効率な有機薄膜太陽電池の構造を解明

[Nature Photonics (2015.5.25) 掲載]
【使用ビームライン】BL46XU 【中心研究機関】 理化学研究所、北陸先端科学技術大学院大学等

- SPring-8のX線構造解析により、エネルギー変換効率10%を超える有機薄膜太陽電池内の半導体ポリマーの向きや分布等が**エネルギー変換効率の向上の鍵である**ことを解明。
- エネルギー変換効率を向上させる半導体ポリマーの分子構造や分布等の条件が明らかになったため、**太陽電池の実用化の目安であるエネルギー変換効率15%の到達に向けた研究の加速に期待**。



SPring-8により半導体ポリマー分子の分布状態を解明

2019年度予算額(案)	: 5,525百万円
2018年度予算額	: 5,639百万円
2017年度予算額	: 5,600百万円
2016年度予算額	: 5,350百万円
2015年度予算額	: 5,239百万円



※すべて当初予算額、利用促進交付金は含まない

X線自由電子レーザー施設 (SACLA) の整備・共用

背景・課題

- SACLAは、原子レベルの超微細構造や化学反応の超高速動態・変化の瞬時計測・分析が可能な**世界最高性能のX線自由電子レーザー施設**。放射光(波長の短い光)とレーザー(質の高い光)の両方の長所を併せ持った高度な光源。
- 国家基幹技術として平成18年度に整備開始、平成24年3月に共用開始。
- X線自由電子レーザーは**人類が初めて手にした革新的光源**。世界では、これまで、日本、米国(米国LCLSは平成22年に供用開始)が稼働していたが、平成29年から欧州・スイス・韓国が相次いで運転を開始。SACLAは、世界で最もコンパクトな施設で最も短い波長が得られる点で優位性を発揮。

事業概要

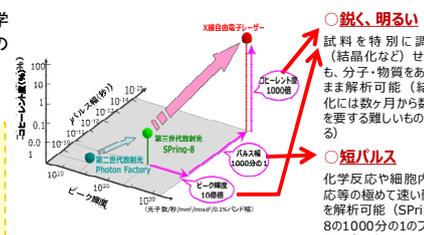
【事業の目的・目標】

SACLAについて、安定的な運転時間の確保及び利用環境の充実を行い、産学の広範な分野の研究者等の利用に供することで、世界を先導する利用成果の創出等を促進し、我が国の国際競争力の強化につなげる。

【事業概要・イメージ】

- ① **SACLAの共用運転の実施** **5,525百万円(5,639百万円)**
 - 5,815時間運転の確保及び維持管理等
- ② **SPring-8・SACLAの利用促進[再掲]*** **1,381百万円(1,379百万円)**
 - 利用者選定・利用支援業務の着実な実施 ※ SPring-8と一体的・効率的に実施。

X線自由電子レーザー(放射光+レーザー)の特長



【事業スキーム】

- ✓ 施設設置者: (国研)理化学研究所[理研]
- ✓ 登録施設利用促進機関: (公財)高輝度光科学研究センター[JASRI]



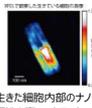
【これまでの成果】

- 共用開始以来、採択課題数は351課題。**ネイチャー誌をはじめとするトップ論文誌に累計44報の論文掲載**。
- 平成29年9月より**3本のビームラインを同時に共用開始**しており、更なる高インパクト成果の創出に期待。

生きた細胞をナノレベルで観察することに成功 (ナノ: 10⁻⁹ = 10億分の1)

[Nature Communications (2014.1.7) 掲載]
【使用ビームライン】BL3 【利用期間】2011年度~2014年度 【中心研究者】 西野吉則 (北海道大学)

- 電子線やX線などを用いた従来の顕微鏡・放射光では、観察に必要な一定のビーム照射や結晶化により細胞は死んでしまっていたが、SACLAのフェムト(10⁻¹⁵)秒オーダーの発光時間を使うことで、**自然な状態の生きている細胞内部のナノ構造を捉えることに成功**。
- **生きた細胞をナノメートルの分解能で定量的に観察できる手法を世界で初めて確立**。未だ解明されていない原核微生物のゲム複製やそれに続く細胞分裂などの重要な細胞内現象の解明に期待。



生きた細胞内部のナノ構造を高コントラストで可視化

光合成を行う正確な3次元原子構造を解明 ~人工光合成開発への糸口~

[Nature (2015.1.1)・Nature (2017.2.21) 掲載]
【使用ビームライン】BL3 【利用開始年】2011年度 【中心研究者】 沈建仁 (岡山大学) 他

- 植物は、光化学系Ⅱ複合体というタンパク質で水分解を行い、生命が必要とする酸素を作り出すことは長く知られていたが、原子構造や機構は未知のままだった。20年間の研究とSACLAで開発した解析法により、**1.95Å分解能で全構造とその触媒中心構造を正確に解明することに世界で初めて成功**。さらに続けて、**触媒中心が水分子を分解する過程を捉え、酸素分子が発生する直前の構造を世界で初めて解明**。
- **自然界の光合成が原子レベルでいかに行われているかの解明につながる重要成果であり、人工光合成開発の実現に向けて前進**。



光化学系Ⅱ複合体の触媒中心の原子構造 (Mn4CaO5クラスター; "蓮んた椅子")

中間評価票

(2019年2月現在)

1. 課題名 大型放射光施設 (SPring-8) 及び X 線自由電子レーザー施設 (SACLA)

2. 評価結果

(1) 課題の進捗状況

大型放射光施設 (SPring-8)、X 線自由電子レーザー施設 (SACLA) それぞれの前回の中間評価等における指摘事項に対しては、概ね着実な取組が行われており、両施設において、安定した共用運転に基づく質の高い研究成果が創出されている。

主な指摘事項への対応状況について、以下に述べる。

<大型放射光施設 SPring-8>

前回の中間評価での主な指摘事項への対応

科学技術・学術審議会先端研究基盤部会にて行われた SPring-8 の中間評価の取りまとめ「大型放射光施設 (SPring-8) に関する中間評価報告書」(平成 25 年 8 月 26 日)において指摘された主な事項への対応状況は下記のとおり。

①世界最先端研究施設としての更なる飛躍

- ・利用者ニーズを施設、設備の高度化に反映するため、ビームライン高性能化検討部会を SPring-8 ユーザー共同体 (以下「SPRUC」という。) に設置し、理化学研究所 (以下「理研」という。)、高輝度光科学研究センター (以下「JASRI」という。)、SPRUC による定期的な会合を実施 (年に数回程度)。
- ・SPring-8 の施設全体の整備、活用方針及び個別のビームラインの改廃等について議論するため、理研に特定放射光施設検討委員会を設置。
- ・SPring-8 のアップグレードへの方向性を探るため、概念設計書を策定。
- ・蓄積リング棟における熱源機器の大規模な改修を行い、老朽化による故障の回避及び保守性を向上するとともに、対前年度比 20%以上の電力使用量の削減を実現。
- ・施設の運転委託や安全管理業務について、業務の切り出しや統合、複数年契約の導入等の見直しを行うことで、競争性を確保し、運営経費を合理化。

②更なる利用促進方策

- ・理研、JASRI、SPRUC の共同主催により毎年開催している SPring-8 シンポジウムや三者による定期的な会合において、意見交換等を通じた利用者リーダーの発掘を実施。
- ・運営効率化により運転時間を 5,099 時間 (平成 26 年度) から 5,282 時間 (平成 29 年度) へ増加。
- ・老朽化施設への高度なメンテナンスを実施。施設運営の効率化や 1%未満の低いダウンタイム率の維持により、運転時間を確保。

③革新的成果創出に向けた戦略的な取組

- ・外部有識者委員会の助言や SPRUC 利用者動向調査の検討結果等を踏まえた利用課題の設定、産業利用課題の募集回数の増加、測定の自動化の推進、遠隔実験の導入など、利用者拡大に向けた取組を実施（SPring-8 の利用者の増加（延べ人数）：平成 25 年度約 1.3 万人、平成 29 年度約 1.8 万人）。
- ・JASRI において、利用に向けたコンサルティング、民間企業の潜在的ニーズの発掘や新規ユーザーの開拓などを行うコーディネーターを増加。
- ・更なる成果創出に向けて TOP1%、TOP10%論文の分析結果を課題選定の際に活用するなど、施設の評価指標を運営等に有効に反映する取組を推進。
- ・博士課程教育リーディングプログラムへの協力（大学院生の受入れ、講座の提供）や、大学院生等を対象とした講習会（講義、実習）の実施、施設のビームライン支援員の海外施設への派遣等により、教育及び研究者育成を実施。

<X 線自由電子レーザー施設 SACLA>

前回の事後評価での主な指摘事項への対応

科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会にて行われた XFEL 計画の取りまとめ「X 線自由電子レーザー（XFEL）計画の事後評価結果」（平成 23 年 9 月）において指摘された主な事項への対応状況は下記のとおり。

①開発について

- ・反射型のシーディングスキームを世界に先駆けて開発し、共用運転に試験導入するなど、最先端の技術開発を実施。
- ・2 本目の硬 X 線 FEL（BL2）の共用開始、及び 2 本の硬 X 線 FEL の振り分け運転により、軟 X 線 FEL（BL1）を含めた 3 本のビームラインの同時運転を実現（利用時間：平成 25 年度 2,955 時間、平成 29 年度 5,232 時間）。
- ・相互利用実験施設の整備や、SACLA と他の最先端大型研究施設との相互利用を実施。

②利用研究について

- ・LCLS（米国）に匹敵する質の高い成果を継続的に創出（SACLA：TOP10%論文割合：35.9%、TOP1%論文割合：6.2%（平成 26 年度～平成 28 年度）、LCLS（米国）：TOP10%論文割合：35.2%、TOP1%論文割合：7.9%（平成 26 年度～平成 28 年度））。
- ・利用技術の開発、標準化と SACLA のシステムとしての統合等を着実に実施するとともに、利用システムの開発、運用、利用支援体制も構築。

③情報発信について

- ・SACLA を利用した研究成果について、ウェブページへの掲載、パンフレットの作成、シンポジウムの開催等により情報発信し、利用者の増加につながった（利用者数（延べ人数）：平成 25 年度 678 人、平成 29 年度 1,219 人）。

④運用等について

- ・産業利用ニーズを把握し、本格的産業利用につなげる「SACLA 産業利用推進プログラム」や、基盤開発テーマを公募、重点的に推進するターゲットを選定する「SACLA 基盤開発プログラム」を実施。

関係機関における評価での主な指摘事項への対応（参考）

総合科学技術会議（現 総合科学技術・イノベーション会議）における評価の取りまとめ「X線自由電子レーザーの開発・共用」の事後評価結果（平成24年6月20日）において指摘された主な事項への対応状況は下記のとおり。

①XFEL 装置の開発・整備

- ・XFEL を用いた新たなタンパク質結晶構造解析法であるシリアルフェムト秒結晶解析（SFX）の測定装置の整備やデータ処理システムの構築、「京」との連携のための所外ネットワークの高速化など、XFEL の特長を生かすための開発・整備を実施。

②国際連携

- ・国内3機関、国外5機関と協定を締結するとともに、SACLA、LCLS（米国）、European-XFEL（欧州）、SwissFEL（スイス）、PAL-XFEL（韓国）、上海XFEL（中国）の6極連携を進め、国際的な研究協力体制を強化。
- ・海外の研究者でも利用できる制度の整備（成果専有利用を除く）により、海外利用が増加（平成25年度11課題、平成29年度32課題）。

③人材育成

- ・次世代の若手研究者を育成しながら大学と施設の連携を強化する「SACLA 大学院生研究支援プログラム」等を実施。

④研究開発マネジメントの実施状況等

- ・JASRI において、利用に向けてのコンサルティング、民間企業の潜在的ニーズ発掘や新規ユーザー開拓などを行うコーディネーターを増加。
- ・幅広いニーズに効率的に対応できるよう、ライフサイエンスを軸とした定型の利用実験を行うBL2と開発要素の多い実験を主として行うBL3とで、BLの役割分担を明確化。

（2）各観点の再評価

<必要性>

SPring-8、SACLA は世界最先端の大型放射光施設、X線自由電子レーザー施設として、産学官の利用者の幅広い利用に供しており、学術研究だけではなく、産業利用においても革新的な成果を継続して生み出していることから、科学的・社会的・経済的意義は大きく、国費を用いた研究開発としての意義も変わるものではない。

また、「第5期科学技術基本計画」（平成28年1月閣議決定）では、「世界最先端の大型研究施設や、産学官が共用可能な研究施設・設備等は、研究開発の進展に貢献するのみならず、その施設・設備等を通じて多種多様な人材が交流することにより、科学技術イノベ

ーションの持続的な創出や加速が期待される」とあり、我が国の科学技術イノベーション政策の着実な推進における SPring-8、SACLA の貢献が期待されている。

<有効性>

SPring-8、SACLA では、施設の特長を生かした最先端の研究開発や利用領域の開拓に向けた取組が行われており、新しい知の創出基盤となっている。また、基礎研究だけでなく、製品開発のツールとしても活用されており、社会実装に向けた利用支援が行われている。

SPring-8、SACLA は、我が国を代表する大型研究施設として、知的基盤の整備や人材養成に大きく貢献しており、今後、軟 X 線向け高輝度 3GeV 級放射光源（以下「次世代放射光施設」という。）を含む国内の他施設に対する更なる貢献や波及効果が期待される。

<効率性>

SPring-8、SACLA の整備・運用主体である理研は、JASRI や SPRUC 等と適切に連携し、SPring-8、SACLA の運営の共通化をはじめ、ユーザーの意見を取り入れた効果的・効率的な施設運営を行っている。また、計画的な経年劣化対策や設備の高度化等により、運営費の効率化及びこれに伴う運転時間、利用時間の確保を実現するなど、費用対効果向上のための有効な取組が行われている。

(3) 今後の研究開発の方向性

本課題は「継続」、「中止」、「方向転換」する（いずれかに丸をつける）。

SPring-8、SACLA は、引き続き、学術・産業の幅広い研究分野において数多くの利用と成果創出が期待され、我が国の科学技術イノベーション政策における重要な研究開発基盤として、引き続き利用を行っていくことが重要である。

<今後の重点的な課題及び推進方策>

SPring-8、SACLA それぞれの前の中間評価等における主な指摘事項への対応状況の確認を踏まえ、両施設が共用法に基づく世界最先端の研究開発基盤として、中長期にわたり学術研究のみならず産業利用においても、科学的、社会的、経済的に高いインパクトを与える研究成果を創出し続けていくことを基本的な考え方とし、これを実現していくための主要課題及び今後の具体的な推進方策について重点的に検討した。

SPring-8、SACLA の政策的位置付けと発展の方向性

【SPring-8 の発展の方向性】

SPring-8 は、供用開始から 20 年を過ぎて成熟期を迎えており、今後も世界最先端の研究開発基盤であり続けるため、我が国の放射光施設の役割分担を踏まえ、SPring-8 の政策的位置付け及び施設・設備の高性能化などの発展の方向性を検討することが重要である。また、諸外国において高輝度の軟 X 線光源と硬 X 線光源を相補的に活用した成果創出が見込まれることから、我が国としても、次世代放射光施設の整備を踏まえ、学術研究だけでなく産業利用の観点でも、高輝度の軟 X 線と硬 X 線を相補的に利用する研究開発を支えていくことが求められる。

【SACLA の発展の方向性】

SACLA は、安定運転が可能な世界最高性能の XFEL 施設としての特長を発展させ、諸外国の XFEL 施設との差別化を図るとともに、利用環境や利用ニーズに応じたユーザー支援等を通じて、世界最先端の成果創出を実現できる研究開発基盤とすべきである。

【SPring-8 及び SACLA の発展の方向性】

我が国を代表する放射光・XFEL 施設が近接して立地しているという特徴を生かし、両施設の相補的・相乗的利用による世界最先端の成果創出に向けた取組を推進すべきである。

【経営基盤の強化】

SPring-8、SACLA が中長期にわたり、科学的、社会的に高いインパクトを与える研究成果を創出し続けるためには、継続的な安定運転により幅広いユーザーに施設を供用することが重要であり、財政的な観点から施設の経営基盤を強化する必要がある。

【施設を最大限に活用したイノベーション・エコシステムの形成】

SPring-8、SACLA に集積された人材や研究成果を最大限有効活用するため、周辺に集積する施設（ニュースバル、兵庫県放射光ナノテク研究所等）を活用した、SPring-8、SACLA を含むイノベーション・エコシステムの形成について検討すべきである。

【国際連携・国際協力】

SPring-8、SACLA が、国際的に開かれた研究開発基盤として高いプレゼンスを保つため、引き続き、海外施設との連携・協力等を行うことが求められる。

研究成果の最大化

【成果指標の検討】

SPring-8、SACLA の研究開発基盤としての位置付けを踏まえ、一般的な研究開発課題のように論文の質・量のみを指標とするのではなく、学術・産業から求められる研究開発基盤となっているかについて、多様な指標を用いて総合的に評価するべきである。

【オープンデータ・オープンアクセス】

産学連携研究の促進や研究成果の最大化を図るため、マテリアルズ・インフォマティクス等のデータサイエンスとの連携も見据えて、研究開発により得られたデータについて、データベース化やオープン化等を推進することが必要である。

【ビームラインの改廃と高度化の実現】

SPring-8 のビームラインは整備が進み、設置可能な本数の限界に達している。今後、ビームラインの固定化を防止し、改廃（新陳代謝）や高度化が自ら起こるような仕組みを導入することが重要である。

【ビームラインの有効利用による研究成果の最大化】

次世代放射光施設の整備・運用等に関する検討も踏まえ、現行のビームラインを更に有

効活用するため、共用・専用・理研ビームラインの枠組を超えた仕組みを検討すべきである。

産学官共用による利用促進

【産学官の共用施設としての利用促進：利用者本位の施設運営】

利用者の増加等に伴い、利用支援のニーズが多様化している状況を踏まえ、産業界が更に参入しやすい利用環境や支援の在り方を検討するなど、共用施設として利用者本位の施設運営を推進すべきである。また、従前、企業の分析部門が中心であった産業利用ユーザーについて、測定対象、分析手法などが多様化している状況に鑑み、企業の課題解決に貢献するため、オープン・イノベーションに関する取組を推進すべきである。

【新たな研究領域の開拓及び利用者の拡大】

新たな科学的・社会的価値の創出に向けて、引き続き SPring-8、SACLA のパワーユーザーを中心に重点的な研究領域を開拓するとともに、潜在的な新規ユーザーの抱える課題解決に向けた支援を行い、研究領域を拡大していくことが必要である。

人材育成及び国民理解の醸成

【人材育成】

大学における放射光科学関連のカリキュラムは年々減少しており、施設を支える人材の育成・確保は喫緊の課題であることから、施設の高度化やビームラインの改廃等の計画とも関連させた、戦略的な人材の育成・確保・交流を進めるべきである。また、利用支援を含む施設運営の質を高めるため、ビームラインスタッフ等の施設を支える研究者・技術者のモチベーションを維持し、アクティビティを向上させることが重要である。

【施設の広報、利用支援のための情報発信】

SPring-8、SACLA のユーザーの裾野を拡大するとともに、納税者への説明責任を果たす観点から、利用制度や利用支援に関するプロモーションの強化に加え、国民理解醸成のための広報活動を行うことが重要である。

(4) その他

本評価書は、「大型放射光施設（SPring-8）に関する中間評価報告書」（平成25年8月26日、科学技術・学術審議会先端研究基盤部会）、「X線自由電子レーザー（XFEL）計画の事後評価結果」（平成23年9月、科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会）、参考として、「X線自由電子レーザーの開発・共用」の事後評価結果」（平成24年6月20日、総合科学技術会議）への対応等について、取りまとめたものである。