

次世代放射光施設検討ワーキンググループ  
報告書

平成 27 年 4 月

## 目 次

はじめに.....	1
1. 国内外の放射光施設に係る現状分析.....	2
a. 我が国における放射光施設の運用経緯及び政策的位置付け	
b. 世界の動向	
2. 今後の放射光利用に関する基本的な考え方.....	4
a. 国際優位性の観点	
b. 分野固有の観点	
c. 分野共通・横断的な観点	
d. 次世代放射光源に期待される技術的性能	
3. 次世代放射光利用環境への期待と課題.....	9
a. 分散型放射光プラットフォームの考え方	
b. 運営面の課題	
4. まとめ.....	13
参考資料 1-1 「我が国の主な放射光施設の概要について」 (第1回ワーキンググループ資料)	
参考資料 1-2 「KEK・物構研・Photon Factory これまでの取組について」 (第1回ワーキンググループ資料)	
参考資料 1-3 「SPring-8 これまでの取組について」 (第1回ワーキンググループ資料)	
参考資料 1-4 「『次世代放射光施設に関するニーズ調査』の概要について」 (第7回ワーキンググループ資料)	
参考資料 1-5 「世界の放射光施設の現状と up-grade の動向および我が国の放射光施設の現状」 (第7回ワーキンググループ資料)	
参考資料 2 次世代放射光施設検討ワーキンググループの設置について	
参考資料 3 次世代放射光施設検討ワーキンググループ委員名簿	
参考資料 4 次世代放射光施設検討ワーキンググループにおける検討経過	

## はじめに

科学技術イノベーション立国を標榜する我が国において、次世代の放射光施設利用環境を整備し、その積極的な利活用を促進することで引き続き世界の学術・産業界をリードし、国際的な競争優位性を維持・強化していくことは喫緊の課題である。こうした課題に着実に対応していくため、文部科学省科学技術・学術政策局では、2014年6月に次世代放射光施設検討ワーキンググループ（以下「ワーキンググループ」という。）を設置し、以降2015年3月までの間、計8回にわたって開催する中で、施設の技術的性能から運用面に至るまで広範な見地から観点の整理を行ってきた。具体的には、物性科学、化学、構造材料科学、地球科学等の基礎科学、ナノテクノロジー等の基礎工学から、製薬・創薬、新材料開発（自動車・タイヤ、破壊・劣化の科学等）、新エネルギー・省エネルギー、文化財、考古学、そして福島第一原子力発電所における事故収束に資する技術開発に至るまで様々な分野における放射光の活用事例や研究開発動向について、ワーキンググループの各委員からの現状分析並びに問題提起をもとに、分野ごとの技術的課題や今後の展望等に関して活発な意見交換が行われた。他方で、分野によらない共通的な課題についても多岐にわたる論点が示され、今後の我が国における放射光利用体制について俯瞰的視座から幅広い検討がなされた。

本報告書は、ワーキンググループにおけるこれらの議論を踏まえ、主要な観点について整理することで、今後の施策検討や幅広いユーザーコミュニティにおける議論等に資することを目的としたものである。

## 1. 国内外の放射光施設に係る現状分析

次世代放射光施設の在り方を検討するに当たり、まず我が国の放射光利用環境を取り巻く現状と課題について、これまでの経緯も含めて概観する。

### a. 我が国における放射光施設の運用経緯及び政策的位置付け

我が国の放射光利用環境の整備は1974年の放射光専用蓄積リング（SORリング：放射光専用機として建設された世界初の装置）の建設に始まったと見ることができる。放射光施設に技術革新をもたらした挿入光源の技術が初めて利用されたのは1983年に共同利用の開始されたフォトン・ファクトリー（PF）であった。1987年には大強度パルス放射光専用光源としてのフォトン・ファクトリー-アキュムレート・リング（PF-AR）の利用が開始され、1990年には世界で初めて真空封止型アンジュレータが挿入光源に導入されている。その後、1997年には足かけ7年の建設期間を経て完成した大型放射光施設 SPring-8 の利用が開始された（同年に SOR リングの利用が終了）。その間、1994年には「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」が施行され、これは2006年に「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」へと改正された後、数次の改正を経て現在に至る。

これらの施設以外にも、1984年にUVSOR（極端紫外光研究施設）の利用が開始されたほか、1990年代後半以降には広島大学 HiSOR（1997年）、立命館大学 SR センター（1996年）、兵庫県立大学 NewSUBARU（2000年）、SAGA-LS（2006年）、AichiSR（2013年）の利用がそれぞれ開始されることで、国内の放射光利用環境の整備が着実に進められてきた。2012年には世界で2番目の整備例となるX線自由電子レーザー施設「SACLA」の利用も開始され、播磨科学公園都市では放射光施設とX線自由電子レーザー施設が併設された世界でも類を見ない放射光利用環境が実現されている。

第4期科学技術基本計画期間までの間に継続的に整備されてきたこれらの放射光施設の総数は2015年3月現在で9を数える。これらの放射光施設は、これまで物質科学、生命科学、地球科学分野等の幅広い分野で数々の高インパクトな学術成果を生み出すとともに、創薬から新材料開発等の広範な産業利用や応用展開を通じて幅広く社会に還元され、様々な科学的・社会的課題の解決に資するイノベーションの源泉としての役割を果たしてきた。加えて、PF-ARにおいて開発され、SPring-8において短周期化・規格化等の技術開発が進められた真空封止アンジュレータの技術や知見が、その後の世界各地の

いわゆる第三世代放射光源<sup>1</sup>において標準装備されてきた事実にも象徴されるとおり、我が国はこれまで世界の放射光利用環境を技術的な面から牽引する役割を担ってきた。

## b. 世界の動向

いわゆる第三世代の大型放射光施設としては、1990年代に入ってから欧州の ESRF (European Synchrotron Radiation Facility: 1994年)、米国の APS (Advanced Photon Source: 1996年) が相次いで建設されており、これらと SPring-8 (1997年) からなる三極体制が現在に至るまで続く中で世界の放射光利用をリードしてきた。しかしながら、近年の急激な産業利用ニーズの高まりや技術的な進展(低エミッタンスリング、真空封止アンジュレータの高度化等)を背景に、従来型の放射光施設とは一線を画した、軟X線の波長領域に強みを持つ回折限界性能の中型高輝度光源の開発・整備が世界各地で進められつつある。例えば、ナノメートルラジアン[nmrad]級のエミッタンス性能を備えた施設としては、現状、スイスの SLS (Swiss Light Source)、フランスの SOLEIL 等の中型高輝度光源施設が稼働中であり、これらの施設では現在、サブ-ナノメートルラジアン級へのアップグレード計画が進行中である。こうした低エミッタンス化の流れの中にあって、ESRF や APS でもさらに先鋭的な光源の開発やアップグレード計画が相次いで進められている。

これに対し、我が国では SPring-8 や PF などこれまで我が国の放射光科学を支えてきた施設も建設から年月が経ち老朽化が進んでいる中、上述の欧米施設と比較して、硬X線・軟X線光源施設ともに更新・高度化計画の遅れが見られ、放射光利用に係る側面支援環境の整備、人材確保等を含む施設運営の面でも課題が浮き彫りになっている。こうした現状に鑑みたとき、今後も我が国の放射光利用環境、ひいては世界をリードする学術的成果や産業利用成果の創出体制が従来の国際優位性を維持していけるかは自明な問題ではなくなってきた。

---

<sup>1</sup> 第一世代は高エネルギー物理学研究のための加速器に共生した形で放射光利用を行った時代のもの(放射光利用のための専用施設ではない)、第二世代と第三世代は放射光利用のための専用施設であるが、第二世代が偏向磁石を用いて取り出した放射光の利用を主とするのに対し、第三世代は放射光専用施設の加速器にアンジュレータ主体の挿入光源を多数設置できるよう設計されたものを指す。

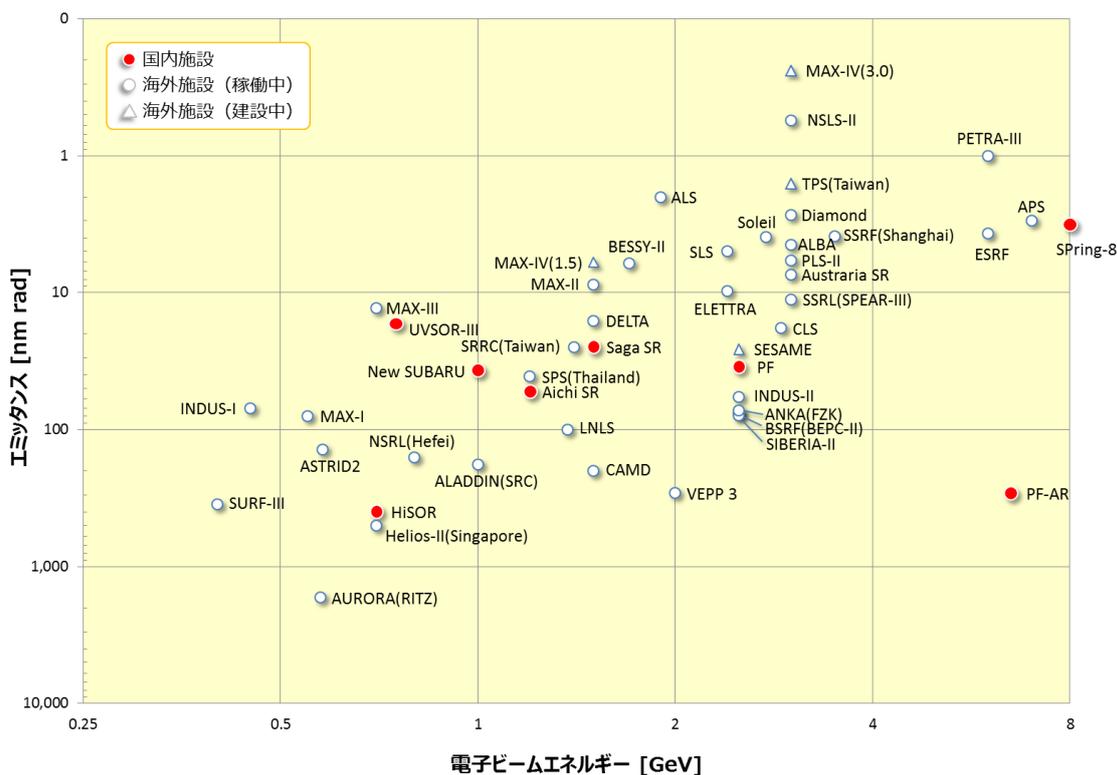
## 2. 今後の放射光利用に関する基本的な考え方

前節の議論を踏まえ、ワーキンググループでは、今後我が国において整備を進めていくべき次世代の放射光施設について、そのコンセプト設計に必要な観点の整理が行われた。あわせて、施設の技術的性能や分野特性について固有の役割期待をどの程度考慮すべきかについての検討もなされた。

### a. 国際優位性の観点

放射光科学の黎明期に世界各地の施設に技術的革新をもたらした真空封止型アンジュレータの開発・高度化をはじめ、我が国は世界の放射光科学を技術開発の面から牽引する役割を担ってきた。そうした我が国の技術的優位性は、第三世代放射光施設の世界三極の一つとして国内外の学術・産業利用を支えてきた SPring-8 やその他の特色ある先端放射光施設など個々の施設の技術性能レベルにおいては依然として国際的に高い評価とプレゼンスを維持していると言える。しかしながら、特に軟X線利用環境の面で我が国の出遅れを指摘する声は年々高まってきており、利用環境の面では国際的な競争優位性を次第に失いつつあることも指摘されている。現状、我が国には、計画中的のものも含め、軟X線領域に強みを持つ中型高輝度光源の放射光施設が存在せず、この波長領域を重点的に利用する産業分野の研究開発等において世界と互角に競争していくための環境が整っているとは言えない状況にある。

図1は縦軸にエミッタンス、横軸に電子ビームエネルギーをとり、世界各地で運転中あるいは建設・構想中の放射光施設をマップしたものである。この図からは、欧米で3 GeV級光源の領域に相次いで新たな放射光施設の建設・アップグレード計画が進行している中、我が国ではこれに相当する光源性能がカバーされていないことがわかる。放射光施設等の大型研究施設の整備については、財政的観点や時間的制約、立地も含めた環境要因等の制約を抜きに議論することはできないが、他方で、激化する国際競争の中、利用環境の面で相対的優位性の後退が懸念される現状を受け止めた上で、早期の体制見直しを図ることは喫緊の課題と言える。ワーキンググループにおいても、PF や SPring-8 の軟X線挿入光源（アンジュレータ）は、その輝度において、スウェーデンの MAX-IV（2016年にアップグレード予定）や米国の NSLS-II と比較して数十分の一から数千分の一にとどまっている点など、中型高輝度光源の不在が招く先端研究の遅れや潜在的な研究開発の機会逸失・海外流出、利便性の欠如等について強い懸念が示されており、特に産業利用に向けた軟X線の放射光利用環境の面で国際的に出遅れている点が指摘された。



【図 1】世界の放射光施設

### b. 分野固有の観点

ワーキンググループでは、物性科学、化学、構造材料科学、地球科学等の基礎科学、ナノテクノロジー等の基礎工学から、製薬・創薬、新材料開発（自動車・タイヤ、破壊・劣化の科学等）、新エネルギー・省エネルギー、文化財、考古学、そして福島第一原子力発電所における事故収束に資する技術開発に至るまで、様々な分野における放射光の活用事例や研究開発動向に関して、各委員からのプレゼンテーションを通じて様々な現状分析や問題提起がなされるとともに、各分野における技術的課題や今後の展望等に関する論点整理が行われた。これに加え、平成 26 年度文部科学省委託調査「次世代放射光施設に関するニーズ調査」の結果についても報告がなされ、環境・エネルギー、健康・医療、材料、情報通信、基礎科学、産業利用等の各分野における潜在的な利用ニーズや次世代放射光への期待等について最新の国内動向が共有された。

これらのプレゼンテーションや調査結果の報告からは、放射光の利用ニーズに関しては分野特性を反映した一定の差異が認められ、そのため次世代放射光施設を含む国内の放射光利用環境の今後の在り方の検討に当たっては施設群の性能・機能に関する分野固有のニーズを適切に考慮する必要があること等が論点として示された。例えば、ライフサイエンス分野の放射光ユーザーからは、必要以上に高輝度の光源は生体試料の侵襲・破壊等につながることから必ずしも求められていない点等について指摘があった。また、試料のサンプリングや加工に制約のある文化財の診断・分析のために放射光を利用する際には、その試料特性に配慮した測定法や利用環境の整備が必要となる点等についても指摘があった。

このように、次世代放射光施設において新たに開拓されることが想定されるユーザー層や新たに実施可能となる潜在的な研究課題等の検討に当たっては、これら分野固有の光源ニーズを十分に踏まえる必要がある。その上で、光源設計と併せてエンドステーションにおいても特色あるビームラインを一体的にデザイン・整備していくことが重要である。

### c. 分野共通・横断的な観点

ワーキンググループでは、上述のような分野固有の利用ニーズも示された一方で、研究分野や観察対象によらず多くの分野が共通して抱える課題や次世代放射光源に向けた期待についても多くの論点が挙げられ、関連する観点の整理が行われた。

総論としては、近年の学術研究の進展や産業利用ニーズの高まり等を背景に、研究対象物に関しては理想化・単純化されたモデル系から非平衡・非周期・不均質・ランダム系・アモルファス系への拡張が近年特に重要性を増していること、また、研究様式としては in situ/オペランド観測手段の高度化が分野横断的な観点から強く求められていること等について現状認識の共有がなされた。具体的な課題としては、デバイス動作中（実環境）のオペランド分析（触媒、電池、腐食等）、環境制御型解析（有機 FET 動作中の電位分布のオペランドナノ分析、燃料電池発電中のオペランド発光分光等）、特殊環境下（高温/低温、高圧、強磁場、ガス等）での観察、材料や構造体の破壊プロセス（動的応答）の解明と制御等が挙げられた。

これらの課題に対応していくための研究手段として、物質機能を支配する電子状態（時間、エネルギー、運動量、位置、スピン等の関数）の直接観測を可能とする高時間分解能・高空間分解能・高エネルギー分解能や、より高

輝度、コヒーレントな放射光が有効であり、そのための技術開発と利用環境整備に大きな期待が寄せられている。また、これらの光源開発要素に加えて、検出器の高度化（高感度、大面積、高精細、低ノイズ、高速）やイメージング技術の高度化（3次元電子状態イメージング、生体内分子イメージング）、スーパーコンピューターシミュレーション技術との連携等も同時に進めていくことが必要である。その上で、挿入光源により最適化された高輝度安定コヒーレント光源（高い時間分解能、空間分解能、エネルギー分解能、運動量分解能）、高性能検出器、そしてオブジェクト指向でユーザーフレンドリーな装置の三要素について、その高度化を一体的に進めていくことが重要である。

これらの観点は多くの分野に共通して当てはまるものと言える（図2）。例えば、物質科学応用を例にとれば、高温超伝導機構の解明や強相関物質の示す特殊な物性応答の起源解明といった未解決問題群から示唆されるように、今後の研究の流れは大域的な領域からより局所的な領域へ、また静的な領域からより動的な領域へと重点を移していくことが見込まれる。その結果、局所ナノ領域でのダイナミクス研究が今後の重要な研究分野の一つとなることが想定されるため、研究手法としてはナノ空間領域で不均一かつダイナミックな構造の観察、物質内素励起と光の微小相互作用の観察、時間分解・空間分解の複合実験やデバイス動作中のオペランド観察等が必要となる。加えて、非ピーク状の散乱の測定を可能とする測定精度の向上、微小な相互作用の測定を可能とする検出限界の向上が必要となる。

こうした観点は、物質科学に限らず、高効率創薬を目指す医薬品メーカーのユーザーや、高圧下における流体の物性や動的挙動解明を目指す地球科学分野のユーザーなど広範な分野のユーザーからも共通的な課題として挙げられた。こうした課題に着実に対応していく上で、先述の「光源」、「検出器」、「装置」について三位一体となった研究開発を進めていくことが今後の我が国の放射光利用環境を考える上で重要な観点となる。



【図2】放射光を利用した先端研究開発の広がり

#### d. 次世代放射光源に期待される技術的性能

これまでに見てきたとおり、引き続き我が国が放射光科学の推進を通じてイノベーション創出に向けた学術界及び産業界の研究開発を支えていくためには、幅広い波長領域（硬X線～軟X線）において高輝度安定コヒーレント光源の利用環境を整備していくことが必要不可欠と言える。他方で、こうした放射光の利用環境を整備していくために検討の必要な次世代放射光源設計に係る具体的な論点として以下の三点が挙げられた。

- (1) 特定の波長領域（硬X線、軟X線）における観察・観測対象・手法に特化した施設性能とすべきか、あるいは全ての領域について同程度に対応可能な設計とすべきか。
- (2) 電子ビームのエミッタンスはどの程度まで下げることを目指すべきか。特に、回折限界性能レベルを実現するエミッタンスは必要か。
- (3) ビーム供給に係る安定性を多少犠牲にすることがあっても、先鋭的な光源（“瞬間最高性能”）を目指すべきか。

これらの論点については、いずれも分野共通の課題として捉えるべき点もあれば、分野固有の観点からユーザーニーズを十分に踏まえた議論の必要な面もあり、一律の方針を示すことは適切性や現実性を欠くものと言える。例えば論点(1)については、ワーキンググループにおいて、広範な産業利用分野において軟X線放射光の利用環境整備が強く求められた一方で、創薬（製薬業界）の研究開発の場面では軟X線に対するニーズはそれほど高くなく、軟X線に特化した施設は使い勝手が良くないためユーザー離れにつながる可能性がある点について指摘がなされた。また、論点(2)については、多くの分野で低エミッタンス化及び高輝度化が求められている中、余りに輝度の高い光源の使用は生体試料の侵襲・破壊等につながることから、一部の生命科学分野にとっては望ましくないとの指摘もあった。論点(3)についても、光源性能については安定性を求める声、先鋭性を求める声、それらの両立ないしベストミックスを求める声があった。

以上から結論づけられることとして、(1)～(3)のいずれの論点についても、特定の観点のみに立脚した一律の方針に基づくことは適切でなく、上述の分野固有の観点や分野共通の観点をバランスよく踏まえた上で、国・地方自治体・民間等の主体を問わず我が国総体として、次世代放射光利用環境の検討を進めていくことが重要である。

### 3. 次世代放射光利用環境への期待と課題

前節までに議論した国内外の政策・技術開発動向や次世代放射光施設の役割に関する基本的な考え方を十分に踏まえていくことが、今後我が国において放射光利用体制の構築及びその積極的利活用に向けた環境整備を進めていく上で重要であることを見てきた。特に、幅広い波長領域における高輝度安定コヒーレント光源に対するニーズに的確に答えていくことは、中長期視点に立った国家戦略上も重要である。しかしながら、種々の放射光施設性能の指標（表1）には相互に関連付いたものが多く、その全てに最高水準・最先端性能を求めることは要素間に内在する技術仕様のトレードオフや物理的限界から現実的でなく、しばしば矛盾した要請ともなることに留意が必要である。加えて、先の議論のとおり、次世代放射光利用環境の検討に当たっては各研究分野の特性や固有ニーズを十分に考慮するとともに、分野共通・横断的な技術課題等についても、時間的・財政的な制約と併せて勘案した上で検討を進めていく必要がある。

以上の観点や留意点を踏まえ、本節では、ワーキンググループにおいて検討・提案された次世代放射光利用環境の整備の在り方について整理する。

#### a. 分散型放射光プラットフォームの考え方

これまでの議論を踏まえたとき、個々の施設レベルで先鋭的な性能（幅広い波長領域、高輝度、短パルス幅、高時間分解能・高空間分解能等）を全て備えることは、そもそも施設内外の技術的・物理的制約等の要因から現実的でないことに加え、研究リソースの戦略的活用の観点からも必ずしも最適なオプションとは言えない。この観測から導き出される結論の一つは、単一の施設において全ての先鋭的な性能を持たせることを目指すのではなく、むしろ個々の施設の特徴を際立たせた上で、複数施設間で光源性能・施設運営に関して効果的なアライアンス形成につなげていくことにより戦略的な放射光利用環境の整備を目指すことである。

その際、物質の原子配列や結晶構造の解明等のように主に硬X線光源を利用して行う研究開発と、物質中の電子の動的挙動や材料物性の解明等のように主に軟X線光源を利用して進めていく研究開発とを科学的・政策的観点か

【表1】光源特性の指標例

観 点	説 明	備 考
(1) 波長/周波数	<ul style="list-style-type: none"> <li>硬X線：<math>\lambda &lt; 0.2 \text{ nm}</math> *</li> <li>軟X線：<math>\lambda &gt; 0.2 \text{ nm}</math> *</li> </ul> ※ 波長はおおよその目安	波長が短い/周波数が高いほど、エネルギーが高い。
(2) ピーク輝度	単位面積当たりのビーム強度の最大値	輝度一定の場合、パルス幅が小さいほど、ピーク輝度が大きい。
(3) パルス幅	1パルスあたりの時間幅（ビームの継続時間）	
(4) 可干渉性 (コヒーレンス)	光の位相（山や谷といった波の状態）のそろい具合	可干渉性が高いほど、非結晶性試料の測定にも強い。
(5) 時間分解能	観測する画像に識別可能な変化を生じさせる最小の時間幅	時間分解能が高いほど、高速度で変化する画像の識別が可能。
(6) エミッタンス	電子ビームサイズと角度広がり積	エミッタンスが小さいほど電子ビームが絞られ効率良く放射光が発生し輝度が高くなる。

らも一定度区別した上で、我が国総体として中長期的な視座から放射光施設群のグランドデザインを検討すべきである。例えば、必ずしも先端大型放射光施設レベルの性能を求める必要のない研究課題については、精査の上でその他の放射光施設群において実施することを基本とするなど、戦略的に階層化された分散型の次世代放射光プラットフォーム構築を図ることで、国全体として幅広い波長領域・利用者層・利用形態をカバーする運用形態を確立すべきである。

今後新たな整備対象として検討されるべき次世代放射光施設については、SPring-8 や PF をはじめとする既存の放射光施設群との役割・機能の分担を十分に踏まえた上で、国全体の放射光ポートフォリオが最適化されるようコンセプト設計を進めていく必要がある。検討に当たっては、施設側及び利用者側の共通ビジョンのもと、施設性能や建設・運用に係るロードマップ、その実施主体等についての現実的かつ具体的な構想が求められる。

そのような役割・機能分担を考える上で、現状我が国の放射光ポートフォリオから欠落しており、かつ今後の整備が強く求められる次世代光源としては、先端大型放射光施設の高度化計画で想定されている硬 X 線領域の先鋭的な光源や、比較的低エネルギー領域までを広くカバーする軟 X 線領域の中型高輝度光源がその有力な候補となり得る。中型高輝度光源の利用環境を新たに整備し、これを先端大型放射光施設と組み合わせることで特に利用者層の厚い中間の X 線領域を両側からカバーしていく体制を構築することは、戦略的観点から検討に値すると考えられる。ワーキンググループでは、そのような新規の中型高輝度光源施設と先端大型研究施設との関係は、欧州における SOLEIL と ESRF の関係、あるいは米国における NSLS(-II) と APS の関係に相似するものと見ることができると、また、そのような国内体制を早期に構築することが、失われつつある我が国の放射光科学及び産業利用の優位性を再び取り戻す上で有効であることが指摘された。

また、施設レベルの議論にとどまらず、各施設のビームラインについても、その科学的・政策的位置付けや利用に係る学術利用と産業利用との棲み分け・役割分担を明確化することで、よりユーザーフレンドリーかつ円滑な放射光プラットフォームの運営につながるほか、プラットフォームを構成する施設間のアライアンス強化につながるものと期待される。加えて、インターフェース、ハード/ソフト面、マニュアルの共通化等によりユーザーの流動化を促すことで、従来のユーザー層を中心としたある種硬直的な施設・ビームラインの利用形態から、新規ユーザーにとっても参入しやすい、高いモビリ

ティの担保された利用形態へと、対象とする材料・研究目的・手段等に応じた最適なユーザー層の（再）分配が促されるものと期待される。

さらに、こうした放射光プラットフォームには、中性子ビームやレーザー等の多彩な量子ビームとの相補的利用により新たな科学技術・産業フロンティアの開拓に貢献していく量子科学技術基盤の中核としての役割も期待される。

## b. 運営面の課題

光源やエンドステーションといったハードウェアの側面に加え、施設（群）の運用や利用全般に係る利便性・効率性等のソフト面の在り方についても併せて検討していくことが重要である。これらの観点は、施設設計の段階から将来のアップグレード等にも柔軟に対応可能な形で視野に入れて考慮されることが望ましい。ワーキンググループでは、特に利用環境の面で、放射光が常時利用可能な環境の整備、遠隔・自動測定システムなどユーザー支援メニューの充実等の必要性が指摘された。また、特に産業界から、通年運転時間の確保に関する強い要望が寄せられていることも考慮する必要がある。施設間で運転休止時期をずらすことで、放射光プラットフォーム全体としての通年利用環境を整備していくことは一つの考え方であるが、その際にも、施設間で利用可能な光源性能やエンドステーション仕様が異なる場合、それらの運転休止時期を単純にずらす方策では通年運転環境の整備に向けた根本的な解決策とはなり得ない点について留意が必要である。この観点からも先述の次世代放射光プラットフォームの考え方は重要であり、構成施設間のアライアンス強化や既存・新規ユーザーの流動性担保は実質的な通年運転時間確保に向けた有効な打開策の一つになるものと期待される。

加えて、次世代放射光プラットフォームの整備に当たっては、分野融合・学際性の観点も重要である。交通の利便性、企業や大学等の研究環境との隣接性、地勢的観点といった立地の面や分野を超えて一流の研究者・技術者が集まる頭脳循環の拠点としての機能も期待される。その上で、コストパフォーマンス、省エネルギー・省力化、将来性、ユーザビリティ等の観点を十分に踏まえつつ、光源から検出器、そして運用面までバランスのとれた高度化が進められるべきである。

ワーキンググループでは、放射光利用環境の整備や放射光科学の推進に係る人材養成の在り方についても論点が整理された。特に、ビームラインサイエンティストや技術支援者、コーディネータ、アドミニストレータ等の専門

人材について、その柔軟な活躍を可能とする場やキャリア構築の観点まで含めたマネジメント体制の構築が重要である。さらに、教育的観点からは、大学院との継続的な連携体制の構築等を通じて、旧型施設を含む我が国の放射光施設やそのネットワークを学生教育等の人材育成のために利用する仕組みを検討することも考えられる。

## 4. まとめ

我が国が技術的に世界を牽引した放射光利用の黎明期から 40 余年が経過し、放射光を取り巻く環境は技術的にも利用ニーズの観点からも大きく変化してきた。その間、放射光科学に期待されるイノベーションの源泉としての役割や先端研究開発基盤としての科学的・社会的意義も急速に重要性を増してきた。他方で、分野特性等を反映した利用ニーズの多様化に機動的かつ的確に対応していくための体制整備に関して我が国の出遅れが指摘されており、国際競争力の維持・強化に向けた次世代の放射光利用環境の整備が喫緊の課題となっている。また、その検討に当たっては、利用ニーズに基づいた必要性や意義について広く社会の理解が得られることが重要である。

本ワーキンググループでは、今後新たに整備・高度化される放射光施設がその一翼をなすべき次世代の放射光プラットフォームについて、カバーされるべき技術的性能の観点のみならず、その運用形態や利用支援体制についても多くの観点から議論され、以下のとおり論点の整理がなされた。

- 各利用分野の特性・固有ニーズや分野共通の課題を踏まえ、今後の我が国の放射光利用環境には幅広い波長領域における高輝度安定コヒーレント光源が必要。ただし、これを単一の施設において実現することは困難。
- そのため、各放射光施設の特色を活かした機能分散型の施設間アライアンスを形成し、幅広い光源性能・利用者層・利用形態をカバーすることで、運営面の課題も含めて柔軟かつ機動的に対応していくことが重要。
- 次世代の放射光利用環境の整備に必要となる光源性能としては、既存の先端大型放射光施設のアップグレード版における最先端の硬 X 線光源や、軟 X 線領域に強みを持つ中型高輝度光源が有力な候補。

- 運営面でのアライアンス強化に向けては、多様化するユーザーニーズを的確に踏まえた施設利便性の向上やビームラインサイエンティスト等の専門人材の養成・支援強化にも併せて取り組んでいくことが重要。

政府においても現在、第五期科学技術基本計画の策定に向けた検討が進められている中、本報告書に整理されたこれらの観点、次世代放射光の利用環境整備に向けて今後産学官が密な協働体制を築いていく上での基礎的知見・ビジョンとして共有され、今後の幅広いユーザーコミュニティにおける議論や政策検討等に時機を逸することなく活かされていくことで、再び世界の放射光利用をリードする力強い日本の再興に向けたドライバーとなることを期待する。