

2013年6月6日

放射光科学将来ビジョン作業部会

代表 濱広幸（東北大学）

Executive Summary

- SPring-8 サイトは X 線科学の世界的な研究拠点であり、大型放射光施設 SPring-8 と X 線自由電子レーザー施設 SACLA を擁するという他に類を見ない特色をもつ。この拠点の将来にわたる継続的な発展を SPRUC として強く支持する。
- SPring-8 次期計画として提案されている「回折限界蓄積リング¹」（次期 SPring-8 リング）へのアップグレード計画を支持し、その実現に協力する。本アップグレードはナノスケールの物質解析等の先端的 X 線測定効率を 1000 倍に高めるものであり、新規機能材料の創成や人工光合成の実現に有用な情報を提供する研究基盤となる。この新光源の利活用を通じて、未解決の科学的課題の解明に資するとともに、新しい産業分野の創成に向けた貢献を行う。
- 次期 SPring-8 リングと先端的学術研究、産業創成研究、実用産業利用を 3 本の柱とした戦略的かつ相補的な運用を図るために、多数の需要のある中・低エネルギー X 線領域をカバーする 3 GeV クラスの高性能中型蓄積リングの早期建設を提案する。
- 新 3 GeV リングと次期 SPring-8 リングの建設時期に関しては、新 3 GeV リングは可能な限り早期に建設し、2017 年までに共同利用を開始すること、また、次期 SPring-8 リング計画に関しては、3 GeV 施設稼働後の 2019 年から 2020 年を目処に実施し、1 年程度でアップグレードを完了、共同利用を再開することを提言する。
- 今後 20 年先までの放射光科学の展開を見据えて、次期 SPring-8 リングと新 3 GeV リングに加え、赤外から軟 X 線領域をカバーする UVSOR の 3 施設を国内の放射光の中核施設として将来にわたり利活用することを提言する。

1. X 線科学の世界拠点としての SPring-8

大型放射光施設 SPring-8 は 1997 年の供用開始以来、先端科学における数多くの成果や、我々の生活に直結した産業利用などを通じて、X 線科学の世界拠点としての地位を確立してきた。さらに SPring-8 サイトに新世代の X 線源である X 線自由電子レーザー施設 SACLA が国家基幹技術として建設され、2012 年より供用を開始した。現在 SPring-8 サイトは、広範な先端的分析を実現する SPring-8 と、未踏の科学を拓く SACLA という、相補的な役割をもつ 2 つの X 線源を擁する世界唯一の研究拠点として X 線科学を牽引している。

今後数十年を見据え、SPring-8 サイトが世界の X 線科学をさらにリードしていくためには、

¹ 電子ビームのエミッタンスが光（X 線）の回折限界と同程度の領域に達するリングを、ここでは回折限界蓄積リングと呼ぶことにする。厳密な意味では、電子ビームのエミッタンスがゼロになるまで光の回折限界にはならず、光の回折限界も波長に依存するため、注意が必要である。

SPring-8 の次期計画を早急に検討すべきである。X線は広範な科学技術分野で不可欠な分析ツールとなっている。このため、X線科学の世界拠点を日本が有し、科学技術における優位性を将来に渡って維持拡大することは、アジア各国や欧米から広範な分野の優秀な人材を日本に集め、日本の科学技術の強固な基盤を築くことに通じる。また、X線科学での最先端研究は、近い将来、我々の生活に直結した産業利用として結実する。これはSPring-8でのこれまでの実績が証明している。さらに、加速器・ビームラインの建設や先端的測定装置の技術開発を日本に拠点を置いて進められることにより、わが国の技術力向上に資するとともに、絶大な経済効果を生み出すことにつながる。

2. 究極の効率で高品質の X 線を発生する「回折限界リング」

SPring-8 の次期計画においては、X線科学の国際的リーダーとして、新しい光源設計のコンセプトを提示する必要がある。理化学研究所と JASRI は SPring-8 の将来計画として「回折限界蓄積リング」へのアップグレードを世界に先駆けて宣言し、その開発と利用の検討を行っている。既存の SPring-8 では、高品質のコヒーレント X線は発生した X線のおよそ 0.1% に過ぎない。このため、コヒーレント X線を必要とする先端的計測においては、SPring-8 から発生した X線の 99%以上を実験に利用できずに捨てていた。これに対して、SPring-8 の次期計画で提案されている回折限界蓄積リングは、発生した X線の大部分がコヒーレントという究極の光源であり、1000 倍もの効率で高品質のコヒーレント X線を利用できるようになる。それでいて、消費電力や運転コストは現 SPring-8 よりも削減できる設計となっている。したがって、回折限界蓄積リングは環境に配慮した究極の効率をもつ新しいコンセプトの X線源といえる。利用実験の観点からも、これまで長い測定時間を要したナノの世界の局所分析を高速かつハイスループットで行えるようになるなど、回折限界蓄積リングのメリットは非常に大きく、放射光利用研究の革新が期待される。この光源性能の飛躍的向上によって、ナノスケール観測の精度向上、ピコ秒時分割測定、あるいはマルチスケールでの物質/生体試料の観察手法が提供される。これらの観測によって、現在から 2020 年代までに解決すべき科学的課題—物質機能のナノ/メゾスコピックスケールでの起源解明、生体の階層構造と代謝機能の解明、光合成反応の解明—の解決が推進される。

3. 国内施設の現状と利用の動向

SPring-8 のアップグレード計画を効果的なものとするには、国内の他施設との役割分担の中での次期 SPring-8 の位置づけを明確にするべきである。これまでも各所で議論されている通り、国内施設の将来計画を俯瞰し、施設間で相補的かつ相乗的な利用という観点からのランドデザインの策定が必須である。

国内には全国共同利用施設として、UVSOR (小型)、Photon Factory (中型)、SPring-8 (大型) の 3つの施設が存在している。表 1 に、これら 3施設の稼働状況をまとめる。UVSOR は赤外および紫外から軟 X線までの低い光子エネルギーをカバーし、Photon Factory (PF) は中低エネルギーの X線、SPring-8 は中高エネルギーの X線を供給するという棲み分けを行

っている。これら3施設の中で、PFは1982年に運転を開始して以来、大規模な改造を含めアップグレードを繰り返してきたが、これ以上のアップグレードは困難であるため、昨今の高性能中低エネルギーX線施設の新規建設が進む世界の放射光科学界において日本が先端的な立場を維持するためには早急な対応が必要である。その際、SPRUC会員の中にもPFリングを利用する会員も少なからず含まれているので、PFリングを利用した実験をシームレスに継続できるように、3 GeVクラスの高性能中型蓄積リングを新設することを提案する。表に示したように、PFではSPring-8に次ぐ年間3000人以上もの利用がある。このことは中低エネルギーX線領域の光源の必要性和需要の多さを示すものであり、この領域の利用を強化することで、X線計測を基盤とした研究および産業の底上げを図ることができる。

なお、PFは現在ERLを次期光源として検討を進めているが、これについては将来の回折限界光源の候補の1つとして、長期的な視野に基づいた要素開発(R&D)の継続を期待する。

表1 国内の中核放射光施設

	施設規模	電子ビームエネルギー	年間利用者数	ビームライン数	光の波長領域	供用開始年/稼働年数
UVSOR	小型	0.75 GeV	1200人	15	赤外～軟X線	1984/29年
Photon Factory	中型	2.5 GeV	3300人	40	中低エネルギーX線	1982/31年
SPring-8	大型	8 GeV	4500人	55	中高エネルギーX線	1997/16年

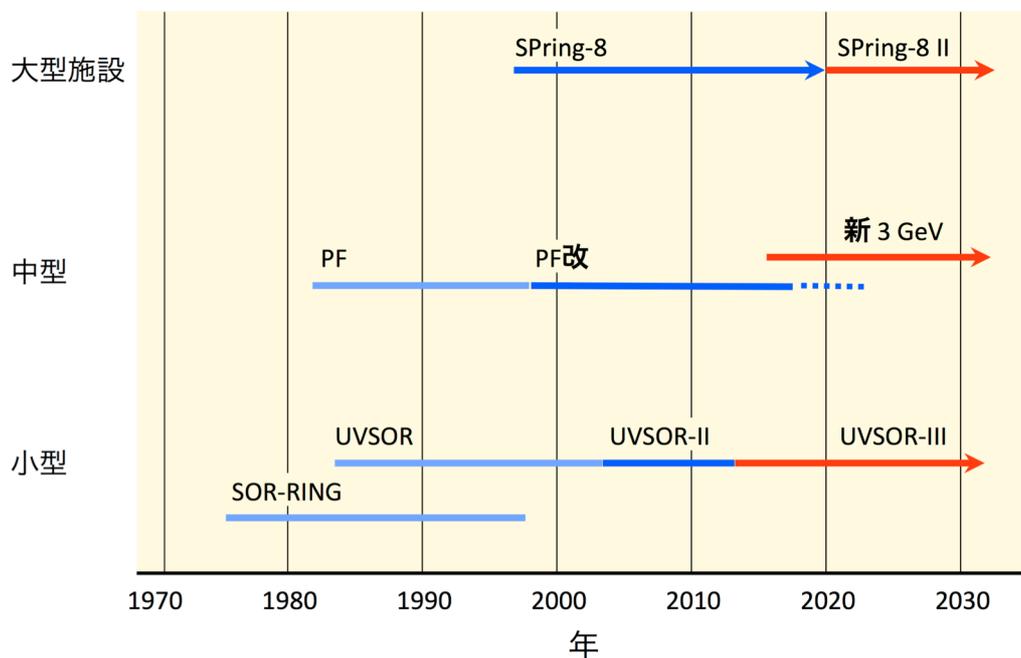


図1 中核放射光施設の変遷、および将来計画案。将来提案を赤い矢印で示す。SOR-RINGとは、世界で最初に放射光専用として建設された電子蓄積リング。

4. 3 GeV 中型リング

上述のグランドデザインを想定するにあたり、新たな中型リング施設の早急な建設を強く要望する。3 GeV クラスの中型蓄積リングは、高い光源性能と汎用性、ユーザーキャパシティを兼ね備えている。放射光利用研究において最も用途が広く利用者の人口が多い、中エネルギーX線の領域をカバーする中核施設となり得る。施設規模は SPring-8 の半分以下であるが、得られる光源性能は現状の SPring-8 と同等かそれ以上である。建設費用、運転費用ともに低く抑えられるため、コストパフォーマンスが非常に高い。このような新たな 3GeV 中型リング²を建設することにより、これまで PF が受け持っていた中低エネルギーX線領域における大幅な光源性能の向上が迅速に行なわれることを望む。

一方で、次期 SPring-8 の性能は上記の新 3 GeV リングを遥かに凌駕するものである。究極の蓄積リング光源による新たな利用研究を開拓することで、X線科学を国際的に牽引する役割を担う。また、供給するX線の波長領域も両者で異なる。したがって、新中型リングと次期 SPring-8 とは相補的であり、利用の棲み分けを以下のように提案する。

次期 SPring-8 では、基礎研究を中心とした先端的な学術利用、および近い将来の産業利用や新産業創成を目指した応用研究を中核とする。新手法や装置の開発とも密接に関連した、挑戦的かつ先端性の高い研究を推進する。また、高エネルギーX線の利用を特色とし、高圧物質科学、地球惑星科学、高エネルギー非弾性散乱による物質科学などを重点化する。さらに、X線自由電子レーザーSACLAとの相互利用実験を展開する。

新 3 GeV リングでは、基礎研究から応用に近い学術利用、産業利用までを幅広くカバーする。SPring-8 で実用化された、放射光の産業利用を継承するに必要な十分な光源性能を有する。汎用性の高い測定手法を安定に供給することを主眼とし、光源性能を活かした高いスループットにより、多数の新規試料の解析の効率化を図ることで成果を創出する。中型リングの特色である軟X線領域での分光測定およびイメージングによる物質および生体研究を推進する。

前述したように新設 3 GeV リングは利用用途が広く、既存の利用者層の大部分をカバーできる。試算では、現在のすべての PF の利用者と、SPring-8 利用者の 65%が新 3GeV 施設に移行可能であり、国内放射光利用の 80%を賄うことができる。このような高い汎用性は、増え続ける放射光利用の需要を満たすために必須であるとともに、異他分野の研究者を取り込むことによる研究領域の裾野拡大に活用される。無論、既存の利用研究をそのまま新施設に移行するだけでは不十分である。高性能で汎用性を重視した中型施設と、放射光源として究極の先端性を追求する次期 SPring-8 との相補的、協奏的利用により、国内の科学技術、産業をより高度な水準で展開することを目標とする。

5. グランドデザイン

今後 20 年後までの放射光科学の展開を見据えて、国内中核施設のグランドデザインを以下のように提言する。

²現在、「東北放射光計画」あるいは「東日本放射光計画」（全て仮称）と呼ばれる 3GeV 中型リングの計画が提案されている。

- (1) UVSOR は引き続き小型の中核施設として、赤外から軟 X 線領域の放射光利用を推進する。
- (2) Photon Factory がこれまで担ってきた中型施設の役割をシームレスに引き継ぐものとして、3 GeV クラスの高輝度蓄積リングの新設を提案する。新 3 GeV 施設では、中・低エネルギーの高輝度 X 線を用いた利用研究を中心とする。基礎研究から応用に近い学術利用、産業利用までを幅広くカバーし、高スループット解析を特色とする。現在の PF ユーザー利用層を受け入れ、また SPring-8 で展開している産業利用を継承する。3GeV 蓄積リングは早急に実現され、そのユーザー利用が 2017 年頃までに開始されることを望む。現在、PF が進めている ERL 計画については、長期的視野に立った R&D の継続を期待する。
- (3) 大型の中核施設として、SPring-8 次期計画で提案された「回折限界蓄積リング」光源への改造を支持する。中・高エネルギーのコヒーレント X 線を用いた先端的研究を展開する。基礎研究を中心とした先端的な学術利用を中核とし、新産業創成を目指した応用研究を並行して推進する。X 線自由電子レーザー施設 SACLA との相互利用によって、新学術領域の創成を視野に入れた研究を展開する。SPring-8 サイトは、SPring-8 と SACLA という 2 つの先端 X 線光源を擁する世界唯一の X 線科学研究拠点である。SPring-8 次期計画を通じて新たな分野の研究者の参入をより活性化し、その優位性を将来にわたって確固たるものにする。改造の時期としては、3 GeV リングの供用開始後の 2019～2020 年頃を目処に速やかに行うことを提案する。これは、既に施設側から Preliminary Report として公開された計画時期と概ね合致する。
- (4) 上述した中核施設のハードウェア整備に加え、放射光施設利用等に関するソフト面においては、課題申請から実験実施までの期間短縮や、緊急利用枠の拡大など、フレキシブルで小回りの効く運用形態の採用を提案する。将来的には、ユーザーが国内中核施設を横断的かつ統合的に利用できる枠組みを見据えた、ALL JAPAN 体制構築の議論を開始したい。

以上

作業部会メンバー（五十音順）

責任者 濱広幸（東北大学）

副責任者 北岡良雄（大阪大）、佐藤衛（横浜市立大）、高尾正敏（大阪大）

部会員 足立伸一（KEK）、有馬孝尚（東京大）、木須孝幸（大阪大）、木村真一（分子研）、篠原佑也（東京大）、唯美津木（名古屋大）、西野吉則（北海道大）、若林裕助（大阪大）

コンタクトパーソン 鈴木基寛（JASRI）、渡部貴宏（JASRI）

オブザーバー 雨宮慶幸（東京大、SPRUC 会長）、高田昌樹（JASRI）、山田和芳（物構研）、横山利彦（分子研）