

## 放射光光源計画 WG の報告

委員長 雨宮慶幸

### 1. 本 WG 設置の背景

日本放射光学会では設立以来、我が国における放射光施設のあり方について特別委員会を設けて検討してきた。1989年に設けられた将来計画特別委員会（委員長：菊田惺志）では、まず大型施設計画について検討し、1990年4月に調査報告書<sup>1)</sup>を出し、続いて1991年4月には「中型施設計画に関する調査報告書」<sup>2)</sup>として中型施設7計画についての見解をまとめている。さらに2001年には我が国の放射光施設のグランドデザインを検討するために将来計画検討特別委員会（委員長：上坪宏道）を設置し、特に、極紫外・軟X線計画について詳細に議論を積み重ねてきた。この委員会での検討は、文科省が音頭を取った物性研、東北大、KEK-PF三者の検討会の内容と連携しながらまとめられた<sup>3)</sup>。これらの検討結果は放射光コミュニティーの総意として国の委員会などに提出されたが、残念ながら計画の実現には至っていない。

その後、2005年度には、第3期科学技術基本計画に盛り込まれる予定の「今後10年以内に重点的に開発に取り組む国家基幹技術10項目」が明らかにされ、この中にはX線自由電子レーザー（XFEL）が候補として取り上げられた。そこで、XFELに対する放射光学会の考えをまとめるべく次世代光源検討特別委員会（委員長：雨宮慶幸）を設置し、次世代光源計画についての基本的な考え方を纏めることになった<sup>4)</sup>。この特別委員会では、XFELによる光科学のフロンティアとして「究極を目指す光源計画」と、幅広い研究領域において基盤的に貢献するリング型光源を念頭に置いた「先端的基盤設備としての光源計画」を次世代光源の2つの方向性として位置づけた。前者としてのXFELは第3期科学技術基本計画に国家基幹技術として盛り込まれることが決定し、2006年度にはその建設が開始された。一方、後者の先端的リング型光源に関しては、それが目指すべき性能を明らかにし、先端的リング型光源計画策定の基本的な指針を与えることを目的とした先端的リング型光源計画特別委員会（委員長：雨宮慶幸）を2005年10月に設置し以下の提言を行うに至った<sup>5)</sup>。

「(以下、抜粋)リング型光源は、基礎科学から産業利用にわたる幅広い研究領域において、数多くのユーザーが同時に利用可能な基盤設備であり、アジア、オセアニアでもナノ産業やバイオ産業の基盤設備として放射光施設を建設

する動きが活発化している。(中略)翻って我が国では、SPring-8は依然世界最高性能の競争力を維持しているが、SPring-8だけでは我が国における利用研究の量的・質的变化に完全に対応できるだけのキャパシティはなく、PFはさまざまな高度化を進めているものの、老朽化による競争力の低下は免れない。この現状を放置すれば、たとえXFELでフロンティアに於ける国際競争を互角に戦うことが可能となったとしても、基盤設備で展開される我が国の基礎科学および産業競争力に深刻な影響をもたらすことは必定である。それを回避し、さらに放射光利用の量的・質的イノベーションを我が国が先導していくためには、新たな先端的リング型光源の建設が不可欠である。数年先の建設開始を念頭に置き、完成時点で十分な先端性を有するリング型光源として最有力な候補はエネルギー回収型ライナック（ERL）であり、その実現のための研究開発に早期に着手すべきである。…」そして、この提言の最後には以下のような記述がある。「…(中略)先端的リング型光源計画については、学会として柔軟な議論を今後も継続的に進めていく必要がある。」

2009年10月に尾嶋正治氏（東大・工）が会長に就任し、その時点で、特別委員会の報告書が出てから既に3年近くが経過していた。特別委員会の報告書の意向を受けて、尾嶋会長より放射光光源計画について議論を行うWGの設置が、同月に開催された評議員会で提案された。

### 2. 本 WG の設置・開催経過

上記の結果、放射光光源計画の現状を把握し、放射光科学の推進の視点から学会としての考え方を纏めることを目的として、本WG（委員長：雨宮慶幸）<sup>6)</sup>の設置が承認された。本WGの設置直後の2009年11月には、行政刷新会議事業仕分けが行われ、国費を用いた研究施設に対して国民目線で納得できる説明責任が、これまで以上に求められる状況になった。多くの成果を創出している現在稼働中のSPring-8に対してさえ、予算削減の激震が走る中、新たな放射光光源の建設計画を議論することは憚れる雰囲気もあった。しかし、そのような状況であるからこそ、将来計画に対する議論が必要であるとの認識の元、本WGでの議論が始まった<sup>7)</sup>。

2009年12月には、日本学術会議の「学術の大型研究施設



図1 第1回WGの光景。左から、尾嶋、石川、雨宮、河田、若槻、下村（敬称略）。

設計画検討分科会」から、2010年1月開催のシンポジウム<sup>8)</sup>で「放射光科学の現状と将来計画」について学会としての考え方を示してほしいとの要請があった。同時に、2010年3月を目処に纏める冊子「大型計画マスタープラン」<sup>9)</sup>に「放射光科学の将来計画」についてA4版2枚で学会としての考えを纏めてほしいとの要請があった。

## 2.1 第1回WG

上記の状況下、下記にて第1回WGを開催した(図1)。  
 日時：2009年12月25日 3:00~5:00  
 場所：東京大学工学部5号館  
 出席者：下村、尾嶋、石川、若槻、雨宮  
 オブザーバ：河田

第1回WGでは、日本学術会議に提出する「放射光科学の将来計画」をどのように纏めるかについて、議論を行った。この時点では、100億円規模の将来計画を対象にして取り纏めを行うという日本学術会議の意向があったため、中小規模光源の将来計画には触れず、大型放射光光源計画に関してのみ取り纏めを行い、日本学術会議に提出することとした。日本学術会議が纏めた冊子「大型計画マスタープラン」<sup>9)</sup>には本計画を含めて43の計画が取りまとめられた。その内、基本的な要件が満たされており、一定の優先度が認められる計画として18の計画が選ばれ、本計画はその中の一つとして認められた。さらに18計画のなかで、1)緊急性、2)戦略性、3)社会や国民の理解、の観点での評価がなされ、放射光科学の将来計画は真ん中の評価となった。今後、これまで以上に上記の3観点を強化していく必要がある。

第1回WGでは、日本学術会議シンポジウムで発表する内容に関しての議論も行った。

## 2.2 第2回及び第3回WG

大型光源だけではなく、中小規模光源の将来計画に関しても学会として現状を把握し、学会としての考え方を纏め

る必要がある、との認識のもと、第2回、第3回WGを下記にて開催した。

### 第2回WG

日時：2010年4月10日(土) 16:30~18:00

場所：理研東京事務所

出席者：下村、尾嶋、石川、若槻、小杉、雨宮

オブザーバ：河田

### 第3回WG

日時：2010年6月5日(土) 16:00~18:00

場所：東京大学工学部5号館

出席者：下村、尾嶋、石川、若槻、小杉、雨宮

オブザーバ：河田(PF)、平井(佐賀)、太田(立命)、谷口(広島)、加藤(UVSOR)、宮本(すばる)

第2回WGでは、各放射光施設の現状と将来計画を差別化して位置づけできるように、3つの座標軸(先端性、社会貢献、人材育成)を設定した。また、この3つの座標軸を考慮した各施設の現状と将来計画に関する資料を、各施設に依頼することとなった。

第3回WGでは、中小規模の各施設の責任者から、各計画に関する口頭説明が行われ、それを元に質疑応答を行った。その後、設定した3つの座標軸に沿って、大型と中小規模光源を含めた合計8つの施設の特徴を棲み分ける議論を行った。しかしながら、最終的にどのような括りで8つの施設を纏めるかに関して、合意には至っていない。今後、設定した3つの座標軸の再検討を含めて、8つの施設の位置づけをどのように行うか、継続的に議論を行っていく必要がある。

2010年10月には、日本学術会議から、冊子「大型計画マスタープラン」の小規模な改訂を行うとの連絡があり、その対応に関してメール会議を含めて議論を行った。その結果、「①将来計画の概要」の中に、大型計画に加えて、中小規模の光源計画の放射光科学における重要性に関する記述を、追加することになった。また、2010年4月発足した放射光サイエンス将来計画特別委員会(委員長：水木純一郎)で議論された内容を「②科学的な意義」の中に盛り込むことになった。(資料1を参照)。冊子「大型計画マスタープラン」の大幅な改訂は、1年後に予定されている。放射光科学の将来計画は、ここ1年でより精度の高い計画にしていく必要がある、次回の改訂のタイミングに向けた継続的な議論が必要である。特に、KEKにおける将来計画は、2011年度に入りその内容の改訂及び進展があり、PF懇談会やPFシンポジウムでは将来計画に関する議論の熱が急速に高まってきた。KEKの将来計画の改定を受けて、本学会においても、今後、議論を活発に行う必要がある。

## 3. まとめ

本WGでは、放射光光源計画の現状を把握し、放射光

科学の推進の視点から学会としての考え方を纏めることを目的として議論を行ってきた。各施設の計画を尊重すると同時に、放射光科学推進の視点から各計画への要望・コメントを行い、他分野（行政・国民を含む）から見て整合性と説得力のある全体計画になっているかに注意を払い、取り纏めを行う努力を行った。しかしながら、各光源計画の特徴や時間軸をどのように相補的に整合させるかは、引き続き、議論する必要がある。特に、2011年3月に起きた東日本大震災は、本計画だけでなく冊子「大型計画マスタープラン」に盛り込まれている全てのプランに大きな影響を与える可能性が高い。整合性と説得力のある放射光科学の全体計画を作り、行政や国民からの理解が得られ、かつ、他分野との競争にも耐えられる全体計画にしていく必要がある。そのためにも、上述の特別委員会での議論との摺り合わせを行いながら、継続的に議論を進めていく必要がある。

## 資料 1

### 「放射光科学の将来計画」(改訂版)

#### 放射光科学の将来計画

##### ① 将来計画の概要

日本における放射光科学をさらに発展させるためには、リング型光源と線形型光源の2つが必要である。大型のリング型光源については、現在、KEK・PFとSPring-8の2つが相補的に稼働し、数多くの成果を創出している。今後も物質科学の更なる発展を支え、世界的な競争に打ち勝つためには、それぞれの光源の高度化が必要不可欠である。1) KEK・PFについては、2019年以後の実現に向けたKEK-ERL(エネルギー回収ライナック)のR&Dを継続して行いながら、Super-KEKBと共用する超高輝度軟X線・X線光源を検討する(KEK-X計画)。2) SPring-8については、これを改造して回折限界エミッタンスを持つ輝度1万倍のX線用蓄積リング型放射光光源を実現する。併せて、可能な限りの省エネルギー設計を実施し、CO<sub>2</sub>排出量削減、運転経費削減を目指す(SPring-8II計画)。線形型光源に関しては、2011年6月に発振したXFEL(X線自由電子レーザー;SACLA)を用いて世界最高のフェムト秒、コヒーレントX線を用いた新しいサイエンスを展開する。今後2年程度を目安に改訂することを想定した、今後20年を視野に入れた放射光将来計画ロードマップ(線表)を図1に示す。なお、予算規模は小さいが、VUVを中心とした中小型施設の高度化も不可欠である。UVSORでは世界最高輝度の低エネルギー放射光の利用研究を展開しており、HiSORでは人材養成、特化した利用研究に集中して成果を挙げている。さらに、立命館大学、兵庫県、佐賀県、愛知県(建設中)の施設では産業利用に力を入れている。これらの施設が相補的に放射光科学を推進しているところが世界のトップランナーたる日

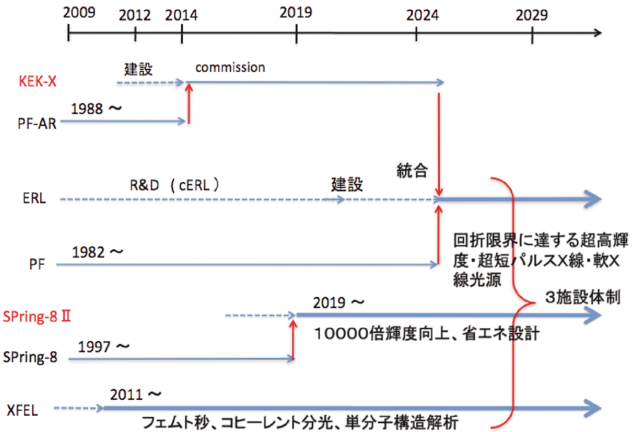


図1 今後20年にわたる大型放射光施設のロードマップ

本の強みであり、日本が世界に誇る層の厚さに繋がっている。

##### ② 科学的な意義

放射光は、広範な科学技術分野に利用されており、今後も国が進める新成長戦略分野であるグリーンイノベーションやライフイノベーションなどに果たす放射光の役割は大きい。放射光は、回折・散乱法と分光法が利用できるために原子構造(原子の並び)、及び電子構造(電子状態)の静的、動的な振舞いを直接観測できることが大きな特長である。

1) グリーンイノベーション: 環境、エネルギー問題は世界的規模で考えていかなければならないグローバルな問題である。これを支えるのは物質科学であり、超伝導体、触媒、熱変換材料、情報通信電子デバイスなどに関する研究開発、その成果である新物質、新機能性材料の発見・創製なくしては安全・安心な持続性可能は社会の実現はない。これらの研究開発の共通のキーワードは、ナノ領域(局所領域)、不均一、ダイナミックであり、将来の放射光光源はこれらの利用に焦点を合わせている。放射光は、物質の主役である電子の属性全て、すなわち電荷、軌道、スピンと直接相互作用するプローブであり、物質の物性や機能は電子が励起されて発現していることを考えると、電荷、軌道、スピンの励起状態をエネルギー・運動量空間、あるいはそれらの時間発展などのダイナミクスを直接観測することによってグリーンイノベーションを強力に推進することが期待できる。さらにXFELやアップグレードリング型SRからの超高輝度光は、ナノ加工や新物質創製のためのポンプ光としての利用も期待される。

2) ライフイノベーション: 生命科学は、生命現象の複雑かつ精緻なメカニズムを解明する基礎科学として重要であるとともに、革新的な医薬品や医療技術の開発、食料・環境問題の解決につながるなど、生活の向上および経済の発展に大きく寄与する。その中でも、生物機能の直接の担い手であるタンパク質の立体構造と機能の相関を解明す

る構造生物学は、生命科学全体の基盤としての役割を果たすと同時に、その研究成果が医薬開発や産業利用につながることから、極めて重要な戦略的研究分野といえる。いうまでもなく放射光施設は構造生物学の基盤的研究ツールであり、今後も生命科学のための最先端研究施設として、その重要性はさらに高まると予想される。特に、従来の結晶試料を対象とした構造生物学に留まらず、次世代 X 線光源の空間コヒーレンスを最大限に有効利用した測定により、非結晶性試料の構造解析（タンパク質の構造揺らぎの解析、タンパク質の離合集散状態や細胞小器官そのものの構造解析など）が実現し、新たな構造生物学分野が切り拓かれるであろう。

### ③ 所要経費

#### 1) KEK-X 計画

建設経費：80億円（運転経費：15億円/年）

#### 2) SPring-8II 計画

建設経費：400億円以内（運転経費：60億円/年）

### ④ 年次計画

#### 1) KEK-X 計画

2012～2014年：建設，2014～：運転・実験

#### 2) SPring-8II 計画

2017～2019：改造，2019～：運転・実験

### ⑤ 提案する中心的実施機関または実施体制

理化学研究所，高輝度光科学研究センター，KEK

### ⑥ 学術コミュニティの合意状況等

ERL 計画と SPring-8 II 計画に関しては、日本放射光学会を中心に議論を重ね、将来計画の重要性が認識されている。ERL 計画に関しては、日本放射光学会の特別委員会において次期リング型光源とすることが確認されている。また、SPring-8 II 計画に関しては、SPring-8 の次期計画として提案され、コミュニティの合意が得られている。

KEK-X に関しては、高エネルギー物理学分野との議論が開始されており、同時に放射光コミュニティ内での議論が開始されたところである。

一方、世界3極（日、米、欧）の一角として XFEL に対する期待が大きい。レーザーコミュニティとの連携も新しく構築されつつあり、全く新しいサイエンスの息吹、期待が強く感じられる。

### ⑦ 国際協力・国際共同

次世代蓄積リング型放射光源は、ドイツの PETRA-III

がこの方向の計画として先頭を走っている。また、米国 SLAC 国立加速器研究所でも PEP-X が検討されている。Super-KEKB との連携を前提として進める KEK-X はこのような国際的な潮流の中に位置づけられ、様々な R&D を分担して行うことによって経費の削減がはかれる可能性が高く、国内外の協調を大切にしていきたい。

SPring-8 II 計画については、米国アルゴンヌ国立研究所、ブルックヘブン国立研究所、ローレンス・バークレー国立研究所、SLAC 国立加速器研究所と連携して共同開発を実施している。また、大幅性能向上と同時に省エネルギー化改造を実施し、CO<sub>2</sub> 排出量削減、運転経費削減を目指す。

ERL 計画は、共振器型 XFEL も含めてリング型放射光としての極限の光源性能をもった放射光施設を開発するものであり、国際的にもさきがけ的な基盤設備となる。既にコーネル大学および APS とは MOU を結んで加速器要素技術開発に関して国際協力体制を構築している。小型実証機コンパクト ERL も平成24年度中に運転開始し、PF 後継機としての ERL 実験施設の早期実現を目指す。

XFEL については、SLAC 国立加速器研究所、EuroXFEL と連携して実施しており、2011年の供用開始に向けて順調に進んでいる。

### 参考文献

- 1) 菊田惺志：「次世代大型高輝度放射光施設計画に関する調査報告書」，放射光 **3**, 205-256 (1990)。
- 2) 放射光 別冊 (1991)。
- 3) 佐藤 繁，福山秀敏，木村嘉孝：「極紫外・軟 X 線放射光源計画」，放射光 **16**, 135-141 (2003)。
- 4) 「次世代放射光源に関する考え方」(2005年9月3日)，学会 HP に掲載。
- 5) 「先端的リング型光源計画に関する報告書」(2007年1月12日)，学会 HP に掲載。
- 6) WG メンバー 雨宮慶幸 (委員長，東大)，下村理 (KEK)，尾嶋正治 (会長，東大)，石川哲也 (理研)，若槻壮市 (KEK)，小杉信博 (UVSOR)。
- 7) 雨宮慶幸：「将来計画と事業仕分け」，放射光 **23**, 67-68 (2010)。
- 8) 日本学術会議シンポジウム「物性物理学・一般物理学分野の大型施設の現状と将来」2010年1月27日，日本学術会議。
- 9) 「学術の大型施設計画・大規模研究計画一企画・推進策の在り方とマスタープラン策定について」2010年3月17日発行 日本学術会議。