



## 「次世代リング型光源計画特集」の企画にあたって

放射光学会編集委員会

特集号担当：渡部貴宏

(高輝度光科学研究センター)

原田健太郎

(高エネルギー加速器研究機構)

昨今、新たな光源としてXFEL (X-ray Free Electron Laser) が注目を浴びているのに加え、高性能なリング型光源の建設・提案も世界各国で進められている。ここ5年間だけでも、2006年にSOLEIL (2.75 GeV, フランス), Siam Photon Source (1.2 GeV, タイ), およびSAGA Light Source (1.4 GeV, 佐賀), 2007年にDiamond (3 GeV, イギリス), Australian Synchrotron (3 GeV, オーストラリア), 2009年にSSRF (3.5 GeV, 中国) およびPETRA-III (6 GeV, ドイツ) が次々に始動した。更に現在、2011年末に共用開始を目指すALBA (3 GeV, スペイン), 2012年に共用開始を目指す中部シンクロtron光利用施設 (1.2 GeV, 愛知), 2014年の共用開始を目指すTPS (3 GeV, 台湾), 2015年の共用開始を目指すNSLS-II (3 GeV, アメリカ) およびSESAME (2.5 GeV, ヨルダン) が建設中であり、スウェーデンでは1.5 GeV と3 GeV のリングを持つMAX-IV がまさに建設を始める段階に来ている。その他、SPring-8 と共に「三極」を成すESRF (フランス) とAPS (アメリカ) ではビームラインを中心としたアップグレード計画が進行中であり、その他の既存施設でも次のPhaseを視野に入れたプロジェクトの検討が進められるなど、枚挙に暇がない。

上記は全て蓄積リング型の放射光源計画であるが、アメリカのCornell大学や日本のKEK/JAEAを中心にEnergy Recovery Linac (ERL) と呼ばれる新たな光源開発も進んでいる。特に日本では、現在compact ERL (cERL) と呼ばれるERL実証機の開発が精力的に進められ、2011年1月に行われた第24回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム (JSR11) では企画講演も開催された。世界的には、例えば2010年3月アメリカSLACにおいて「48th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Future Light Sources (FLS2010)」という、文字通り将来の光源について議論するワークショップが開催され、XFEL、蓄積リング型光源、ERL型光源を中心とする将来の光源開発計画について広範囲かつ濃密な議論が行われた。もちろん、将来の光源開発計画に関する会合は他にも多数行われ、活発な議論が繰り返されている。

日本放射光学会では、日本学術会議の大型施設計画マスタープラン策定を受けて、2009年に放射光源の将来計画

を策定するための放射光光源計画ワーキンググループが召集、2010年には放射光の利用を中心とした放射光サイエンス将来計画特別委員会が設置され、放射光サイエンスのビジョン・ロードマップの策定が進められている。こうしたロードマップの策定において、放射光科学の分野では、“Diversity” (=多様性) という放射光界特有の事情が存在する。例えば、同じく大型加速器計画である高エネルギーの分野では、その目標をある程度画一的かつ定量的に定めることが出来る傾向があるのに対し、放射光科学の分野では利用研究や利用者自身が多種多様であり、目標の画一的な定義はほぼ不可能と言える。波長1つ取っても100 keV以上の硬X線から赤外線に至るまで幅広いニーズが存在し、大学や研究所が中心の学術利用と企業が主体となる産業利用という形態の違いもある。各国の放射光計画を見渡しても、1つの光源で全ての利用を対象にするのではなく、異なるスペックの光源をいくつか持つことで、多種多様なユーザーの要求に応える形が取られている。更には、今年3月に起きた東日本大震災を踏まえ、リスク分散の視点から、国内における主要研究機関の分散も重要な課題となっていくことが予想される。

こうした背景のもと、本企画「次世代リング型光源計画特集」では、現在国内で計画されている次期リング型光源計画として4つの計画を取り上げ、各計画の概要および進捗状況を掲載することとなった。本企画の趣旨は、まず各計画の概略や特徴を知ることである。記事は、各号に2計画ずつ掲載し、最初の号は「UVSOR-III計画」と「HiSOR-II計画」、次の号で「cERL/ERL計画」と「SPring-8 II計画」を取り上げる。各記事では、それぞれの計画での光源開発の概略と進捗状況を、主に放射光利用者向けに解説することを目的とし、新たな光源で期待されるサイエンスケースについての議論の展開は次の機会に譲る。また現在計画中 (もしくは進行中) の事例として今回取り上げた次期計画以外にも、今後、国内施設で計画される次期光源計画については、放射光学会誌において積極的に取り上げ、広く情報共有を図るべきであろう。

各計画の記事に入る前に、本稿ではまず、主要な光源性能である波長および輝度と光源開発との関係について簡単に言及しておく。

放射光の波長は、電子エネルギーと光源（アンジュレータや偏向電磁石）のパラメータで決まる。電子エネルギーが高いほど光の波長は短くなり（光子エネルギーは高くなり）、アンジュレータの周期長が短いほど、同じ電子エネルギーに対し短波長の光が発生できる。昨今、世界中で中エネルギー（3 GeV 程度）のリング型光源の開発が盛んに行われている背景には、光源開発の進歩（挿入光源のミニギャップ化と短周期化）に伴い、比較的低い電子エネルギーでも短い波長の光、すなわち硬 X 線を発生出来るようになってきていることが挙げられる。

指向性と光源サイズを考慮に入れた光強度の指標である「輝度」は、リングを周回する電子の指向性が良いほど高くなる。すなわち光の指向性が良くなり、光源サイズも小さくなる。電子の指向性は加速器用語でエミッタンスと呼ばれ、周回電子ビームのサイズと発散角の積で表される。光の生来的な指向性を表す回折限界と同じ Dimension である。通常、光の回折限界よりも電子エミッタンスの方が桁で大きいため、光の輝度は電子エミッタンスによって決まっており、Transverse 方向の干渉性についてもほぼインコヒーレント（部分コヒーレント）な状態にある。そのため、電子ビームのエミッタンスを光の回折限界の値に近づけていくことは将来の放射光源のひとつの方向性と言える。電子エミッタンスを極限まで小さくすると、輝度は光の回折限界で決まる値に漸近し、コヒーレンスも大幅に向上するからである。

別の指標である「フラックス」は光源から放射される全光強度を表しており、指向性を考慮しない場合の光源性能の指標である。将来光源計画を議論する際、「フラックスユーザー（トータルの光量が重要な利用研究）」と「輝度ユーザー（集光実験など、光の指向性が重要な利用研究）」という表現が用いられることがある。しかし、前者の場合でも、光学系の有限な開口を通過して試料に届くフラックス、つまり部分フラックスが重要であるため、本質的には光の指向性が重要な場合がある。注意が必要である。

最後に、蓄積リング型の光源と ERL 型の光源の違いを簡単に説明しておく。

蓄積リング型光源は、電子バンチを外部の「入射器」で

生成し、蓄積リングに供給した後、蓄積リングの中で電子が周回し続ける。この周回電子は、蓄積リングのラティス、つまり偏向・収束磁石の配置で決まる平衡状態に到達するため、光源性能は平衡状態に達した電子ビームのエミッタンスやバンチ長で決まる。ユーザーから見た主な長所は、入射器の不安定性に依らず、安定した平衡状態の電子から発せられる光を利用出来ることである。一方、ERL 型光源は、入射器から主リングに電子を供給した直後に発する光をユーザーに供給し、平衡状態に到達する前に電子を廃棄する。ユーザーから見た主な長所は、入射器で最初に生成される電子ビームのエミッタンスや短バンチ特性を良くすればする程、光の輝度や短パルス性能を高く出来ることである。こういった特徴の違いは、時折「蓄積リングは境界条件でビーム性能が決定され、ERL は初期条件でビーム性能が決定される」という様に表現される。

当然、蓄積リング型光源も ERL 型光源も常に改良が進んでおり、蓄積リングは長所である安定度を維持したまま低エミッタンス化が進んでおり、ERL も長所である低エミッタンス・短パルス性を維持したまま安定な光の供給を実現するための研究が進められている。

冒頭でも述べた通り、放射光科学の分野は“Diversity”という特徴があるゆえ、様々な利用ニーズに沿った光源開発が行われる必要があると思われる。その際、考慮されるのは波長や輝度といった所謂“the first figure of merit”のみでなく、安定度、自由度、あるいは立地場所や使い勝手などといった要素まで考慮に入れられるのかもしれない。実際、リングの設計において、例えば輝度重視かフラックス重視かでデザインや設定パラメータが異なる一方、こういった性能の向上に必要とされるデザインを決定することがフィリングパターンなどの自由度に結果的に制限を与えることになったりする。従って、光源開発段階において、利用側と光源開発側が密に連携しながら進めることが肝要であると考えられる。

本特集で取り上げる 4 計画にも各々に特徴がある。本特集を通して各計画の情報が共有され、日本放射光学会員の将来ビジョン、ひいては放射光科学発展の一助となれば幸いである。