

## 線形加速器型光源の展望

宮島 司

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

放射光源として利用されている加速器は、貯蔵リング型光源と線形加速器型光源の 2 つに大別することができる。KEK の 2.5 GeV PF-ring や PF-AR、SPring-8 は貯蔵リング型光源であり、X 線自由電子レーザーである SACLA は線形加速器型光源である。貯蔵リング型光源の利点は、大平均電流（数百 mA から A クラス）、多数のユーザーの同時利用、高い安定性である。貯蔵リング型光源の原理的な限界は、放射光生成に伴う放射励起と放射減衰の釣り合いで制限されてしまうが、最近の電子ビーム輸送光学系研究の進展によって、10 年前には実現が厳しいと思われていた小さいエミッタンスも現実のものとなってきている。

貯蔵リング型光源と線形加速器型光源で最も異なる特徴は、貯蔵リング型光源では電子ビームが周回し続けるのに対して、線形加速器では常に新しい電子ビームを生成し続け、利用（放射光発生）後に捨てられるということである。この特徴は長所にもなりまた短所にもなる。長所は、周期境界条件による電子ビーム性能の制限に縛られないこと、電子ビームは利用後に捨てられるため、一度の放射光発生でその性能を使い切っても問題がないということであり、電子ビームに大きな摂動を与える自由電子レーザー（FEL）との相性も良く、すでに SACLA や LCLS などの X 線自由電子レーザーもユーザーマシンとして稼働している。短所としては、常に電子ビームをゼロから加速し続ける必要があり、大平均電流（高繰り返し運転）を実現するには高い電力と、電子にエネルギーを与え続けられる加速空洞、捨てられる出力に耐えうるビームダンプが必要となり、今のところ繰り返し周波数は 100 Hz 程度に制限されている。また、同時利用ユーザー数が貯蔵リング型光源と比べて限られるということも短所となる。

これを打破する方策の一つが、超伝導加速器を利用した線形加速器型光源であり、繰り返し周波数は MHz から GHz 程度まで可能となる。この方向性で開発が進められているのが、LCLS-II や European-XFEL であり、European-XFEL ではすでに FEL 発振が観測されており、また LCLS-II は現在建設段階である。高繰り返し化によって、電子ビームをパルス毎に異なるビームラインに振り分けることで同時利用数を増加させることが可能となる。この方向は、既存の技術を用いた加速器の高出力化・大規模化であり、実現性は極めて高く、数年から 5 年程度で標準的なツールになってくるのではと思われる。ただし、超伝導加速器を使うことになるため、施設の規模が非常に大きくなるため、多くの地域に多数建設するというのが難しくなってくる。日本において高繰り返し FEL 光源が必要かどうかについて、研究所の枠に囚われずに検討をしていく必要があるのではと感じている。

もう一つの方向性は、レーザープラズマ加速などの従来のマイクロ波加速以外を用いた新しい加速方式による小型線形加速器光源の方向性である。小型化するという事はそれだけ加速部分のエネルギー密度が上がることになり、実際にどれくらいの平均出力が可能かということと、それを活かすための利用法について検討することが必要となるが、加速器の小型化はやはり夢の技術であり、完成したときにはそのインパクトは計り知れない。