

# 最先端 3GeV 蓄積リングの設計と光源性能

原田 健太郎、土屋 公央  
KEK-PF

1993年、世界初の第3世代光源といわれる ALS(Advanced Light Source, USA)が稼働、その後、2000年に、真空封止短周期挿入光源を使って約 3GeV で X線領域まで高輝度光を発生させられる新第3世代光源の先駆けといわれる SLS(Swiss Light Source)が稼働した。それから数多くの第3世代、新第3世代光源が世界各地で作られたが、ラティスは DBA(Double Bend Achromat)または TBA(Triple Bend Achromat)、蓄積電流は 100~500mA、電子ビームの水平エミッタンスは数 nm·rad、垂直エミッタンスはその数%の数十 pm·rad 程度なのが一時的である。荒く言えば、蓄積電流値が全光束量を決め、エミッタンスがどこまで光を絞れるかを定める。電子ビームの水平エミッタンス 1nm·rad は光の固有エミッタンス 100eV に対応しており、だいたい数十 eV の光まではそれらの光源で回折限界まで絞ることができると言える。

一般に、低エミッタンス光源には強い4極電磁石が必要だが、強い4極の集束力は強いエネルギー依存性を生じるので、補正の為に強い6極電磁石が必要となる。電子が安定に蓄積リングを周回できる、振幅方向とエネルギー方向の最大のずれの大きさを、ダイナミックアパーチャというが、蓄積リングの入射、蓄積(それなりのビーム寿命)には、ある程度の大きさのダイナミックアパーチャが必要である。強い6極電磁石の非線形力は振幅に依存する大きなチューンシフトを生じる為、低エミッタンスにすればするほど、ダイナミックアパーチャが小さくなって、現実的に運転不可能になるのが一般的であった。

ところが、2010年頃より、エミッタンスを約一桁下げ、数百 pm·rad を可能としたラティスが、ESRFを中心に開発された。HMBA(Hybrid Multi Bend Achromat)というタイプで、その特徴は、低エミッタンス実現の為に、機能結合型偏向電磁石をセルの中に複数用い、さらに、低エミッタンスを維持しつつ6極電磁石の非線形力の影響を抑制する為に、進行方向に曲げ角が変わる長い偏向電磁石を用いて分散関数の大きな領域を作り、セル内の6極電磁石同士のチューンを最適化して非線形力の影響を打ち消すという工夫がなされていることにある。それにより、数百 pm·rad のエミッタンスで現実的に運転可能な蓄積リングの設計が実現できる。現在、HMBAラティスを採用した MAX IV がコミッショニング開始、ESRF II 加速器改造(既存 ESRF リングの全面改造)が始まっている。もうすぐ、世界の数カ所で水平エミッタンス数百 pm·rad、垂直エミッタンス数 pm·rad のリングが、ユーザー実験に供されるようになるのである。

今回の発表では、世界各地の最先端光源の性能や設計の特徴、発生する光の特徴について解説すると共に、具体的に周長約 440m、3GeV、500mA での水平エミッタンス約 400pm·rad、5m 直線部 16本、1m 直線部 16本の例について紹介を行う。400pm·rad は約 250eV の光の固有エミッタンスに相当するが、一般的な 5m クラスの挿入光源で、数 keV の光の輝度が  $10^{21}$ ~ $10^{22}$  に到達し、既存の新第3世代光源の 1~2桁上を狙うことができる。