

既存リング型光源の限界と次世代リング型光源に求められる性能

田中 均 (SPring-8/JASRI)

既存のリング型光源のフロントロウに位置するのは、第3世代放射光光源である。これらの光源では、

- (1) 高輝度
- (2) 広帯域の波長選択性
- (3) 準単色から白色の放射スペクトル
- (4) パルス特性
- (5) 偏向特性の選択性と可変性
- (6) 安定性

が極限まで追求され、その結果として、様々な精密構造物性研究、実時間測定に基づく化学反応の動力的研究、タンパク質の構造解析、極限環境下での物質の構造相転移の研究、微量元素局所分析、磁性や偏光分光研究、分子や微小構造のイメージング等が実現、サイエンスの開拓に貢献してきた。上記の特性において、電子ビームの質が本質的であるのは、(1) 高輝度、(4) パルス特性、(6) 安定性である。次世代リング光源では第3世代光源と同程度の施設規模において、(2)、(3)、(5)の性能を維持しつつ、輝度、パルス特性、及び安定性を飛躍的に高めることが要求されるであろう。逆に言えば、次世代リング型光源を、質的に異なるXFELのような干渉光源として位置づけるのではなく、現状の第3世代光源の極限として考えるべきである。必要となる実験技術も、現状からの滑らかな発展で到達可能と位置づけたい。

次世代リング型光源の性能をどのくらいに設定すべきだろうか？

先ず、輝度の目標値であるが、第3世代光源では自然エミッタンスが数 $\text{nm}\cdot\text{rad}$ 、エミッタンス結合比0.1%が達成され、平均輝度で 10^{20} を超える性能が実現されている。しかし、現状のエミッタンスは、X線領域、たとえば 1\AA の波長の回折限界から決まるエミッタンス約 $0.01\text{nm}\cdot\text{rad}$ に比べかなり大きく、大強度の2次元空間可干渉 X 線の利用が難しい。ナノスケールの試料に多数の光子を集光する事ができず、微小スケールでの物質の状態変化をポンプ・プローブ法や時間分割法により測定することは困難である。既存の第3世代光源のエミッタンス

スのさらなる低減を考慮しつつ、放射光科学のさらなる展開を可能とするために、1 Åの X 線でほぼ回折限界となる、自然エミッタンス数十 pm · rad、平均輝度 10^{22} を目標としたい。

パルス特性としては、やはり短パルス化が最重要課題である。SPring-8 のユーザーからも、X 線短パルス化の要求はたびたび耳にする。現状の第3世代光源では数 10~100 ps (FWHM) のパルス長で、1パルス当たりの平均輝度は 10^{21} 程度が通常の限界である。垂直方向へのバンチローテーションが実現できれば、輝度は3~4桁落ちるが、サブ ps の短パルス X 線の利用が可能になる。このような状況を踏まえ、超高速の緩和現象、構造変化等の新たな研究の可能性を開拓していくには、(多少輝度を犠牲(数桁)にしても) 100fs 程度の極短パルス X 線の生成を目標として掲げたい。

最後に安定性の目標であるが、リング光源と言うからには、XFEL とはかけ離れた安定性を実現すべきである。リング光源の最大の特徴は、そのたぐいまれな X 線パルスの安定性にある。この安定性は積分型の精密実験を行う上で極めて重要になり、エミッタンスやバンチ長の低減に見合った安定化が不可欠である。今以上に厳しい安定性への要求とはなるが、ビームサイズの 1/3 以下の軌道安定性、バンチ長の 1/3 以下の時間ジッターを実現することを目標としたい。