

UVSOR 蓄積リングの高度化と原子分子研究を振り返って

繁政英治

分子科学研究所 極端紫外光研究施設

UVSOR 施設は、2015 年度で共同利用開始から 32 年目に入った。UVSOR 光源加速器は、2003 年度から始まった電磁石配列変更による高輝度化と、短直線部の創出によるアンジュレータ増設により、160nm-rad から 27nm-rad の第 3 世代リング相当の性能に高度化された (UVSOR-II)。2012 年の 2 度目の高度化による改造後、UVSOR-III になっており、その光源性能は 1GeV 以下のリングとしては世界トップクラスである。UVSOR-III のエミッタンスは 17nm-rad であり、アンジュレータ 6 台が稼働し、100% トップアップ運転を実現している。アンジュレータビームラインについては、蓄積リングの高度化計画に同調して、BL3U、BL4U、BL6U には真空封止型直線偏光アンジュレータが導入され、軟 X 線分光 (吸収、光電子、発光、顕微等) による特徴ある分子科学研究が行われている。BL5U、BL7U には可変偏光アンジュレータが導入され、VUV から EUV 領域において ARPES による固体物性研究が行われている。タンデムの可変偏光アンジュレータを光源とする BL1U は、FEL やコヒーレント放射光発生、光渦など、主に光源開発に利用されている。

UVSOR の初期の原子分子研究は、PF と同じく、イオン質量分析法による分光研究が主流ではあったが、分子超励起状態からの正・負イオン対生成など、VUV 領域において、独創的な研究も行われていた。第三世代光源が稼働し始めた 1990 年代半ば以降、軟 X 線領域の分光性能は著しく向上したが、当時の UVSOR には世界的レベルの軟 X 線ビームラインが存在しなかった。残念ながら、挿入光源ビームラインを建設する余地が無かったため、偏向磁石ラインとして BL4B を建設し、2001 年頃から原子分子研究を新たに展開することとなった。特に多電子過程をプローブする独自の実験手法の開発を目指して、内殻励起状態の脱励起過程で生成する、VUV や EUV 発光、準安定種、負イオンなどのマイナーな生成物の検出や、しきい電子と解離イオンの同時計測法による実験などを試みたが、どれも大ヒットとはならなかった。その原因の一つは、高分解能測定時における光強度不足である。高分解能での実験データは、SPring-8 の BL27SU で取得することになり、結局のところ、UVSOR におけるアンジュレータを利用した原子分子研究は、BL6U の建設まで実現しなかった。

BL6U の建設にあたり、強度と分解能をできる限り高いレベルで両立することを念頭に、BL7U で実績のあった入射スリットレスの光学系を採用することとした。ビームラインの建設と調整が始まった 2008 年当時、未だトップアップ運転は行われておらず、一日二回入射であり、電子ビームの寿命を延ばすために、カップリングを大きくして運転されていた。BL6U の分光器の調整を行う中で、高エネルギー領域における分解能低下の原因として、鉛直方向の電子ビームサイズが疑われた。それを確認するため、通常運転終了後、公称値の 1% カップリングで運転して貰ったところ、分解能がみるみる向上した。入射スリットレスの分光器では、電子ビームエミッタンスの低減により、分光性能の劇的な向上が期待できるという好例である。一方、入射スリットのある分光器では、同じスリット幅の時のスループットが向上する効果は期待できるものの、その程度は限定的である。例えば、エミッタンスが現在の 1/10 になったとしても、サンプル位置での光強度の増大は 3 倍程度である。勿論、光学系に問題が無ければ、サンプル位置でのビームサイズは小さくなるので、顕微や発光分光にとってはメリットが大きい。低エミッタンス化の最大の御利益は、小さなビームに集光できることである。原子分子研究でも、これを活かした実験を立案する必要がある。何か良いアイデアはないだろうか？