

5-1 極端紫外光実験施設の将来計画

これまで、極端紫外光実験施設(UVSOR)では以下のような4つの将来計画を策定して実現に向けて努力してきた。

- (1) 光源, 分光器, 測定装置の高度化(upgrade)による世界的研究成果の達成
- (2) レザを併用した実験技術の開発と新しい放射光分子科学の展開
- (3) 第3世代高輝度軟X線光源(分子研外)を利用した先端的分子科学の遂行
- (4) UVSOR次期計画としての次世代光源の建設と新研究分野の開拓

この4つの将来計画のうち(1)(2)(4)に関連して加速器分野の光源関係の組織の補強(特に教授を置くこと)が必要である。また、全国の放射光利用研究者の10年来の念願である(3)の高輝度軟X線光源計画の実現が大きく遅れているために、(4)を進める前に(1)で手つかずになっている光源加速器のupgradeの実現の緊急度が増している。

このような状況の中で、平成12年前半には、極端紫外光実験施設(UVSOR)の光源加速器を中心とした高度化計画(2年間~4年間で段階的に実施する)を平成13年度概算要求の重点事項として提案した。また、平成12年後半には施設の外部評価を実施し、上記将来計画(1)の緊急度が高いとの指摘を受けた。これらの報告は「分子研レポート2000」にある。しかし、平成13年度概算要求では高度化計画が認められなかったため、平成13年になって概算要求ばかりに頼らず競争的研究資金を含めて可能性を探った。幸いにして、このような努力に対して文部科学省の理解を得るところとなり、高度化計画を平成14年単年度の概算要求に変更することで一気に実現することになった。すでに平成14年度末に高度化設備が導入される予定で準備が始まっている。また、平成14年度から発足する分子スケールナノサイエンスセンターの中にUVSOR加速器を利用して輝度の高い光源を開発する教授職1名も認められた。以下では平成14年度に実施する高度化計画の概要とUVSOR運営委員会(2001.7.17, 2002.1.31), UVSORワークショップ(2001.11.26-27, 2002.3.5-6), 分子研将来計画委員会(2002.2.19)でその後の展開について議論した結果についてまとめておく。なお、第4章「点検評価と課題」に分子科学研究所外国人評議員A. M. Bradshaw博士によるUVSOR施設の評価レポートを掲載しているので、参照のこと。

5-1-1 光源加速器の高度化の概要

UVSORは1984年の共同利用開始以来、我が国における主要な放射光施設のひとつとして順調に稼動を続けている。多数の利用者に安定に放射光を供給する一方で、自由電子レーザー研究など光源加速器技術の開発研究においても目覚ましい成果を挙げてきた。しかしながらUVSORの放射光源としての基本的な性能は建設以来変わっていない。UVSORは典型的な第2世代の放射光源であり、最新の第3世代光源に比べると、挿入光源数や放射光輝度といった点で大きく劣っている。

UVSOR高度化計画は、

- (イ) 挿入光源設置可能な直線部の増設
- (ロ) 低エミッタンス化による放射光高輝度化
- (ハ) 挿入光源およびビームラインの更新による高性能化
- (ニ) 加速器各部の更新による高性能化, 信頼性向上

を実現することで、UVSORを第3世代光源(エミッタンスが10 nm-rad前後あるいはそれ以下で、挿入光源を中心とするもの)と競争可能な放射光源に転換し、今後10年前後、VUV軟X線領域における最先端の放射光利用実験が行える施設として現在の地位を維持・強化していこうとするものである。

(1) 新ラティス(上記(イ)(ロ)に対応)

UVSOR 高度化の中心となるのはラティス(電磁石配列)の改造による直線部の増設と低エミッタンス化である。現在3台の四極電磁石と2台の六極電磁石が設置されている短直線部で1.5mのフリースペースを設け、その両側に補助コイルにより六極磁場も発生できる四極電磁石を2台ずつ配置するようにする。長直線部に関しても同様にしてフリースペースを現在の3mから4mまで拡大する。直線部数は、現在の3m直線部4本から、4m直線部4本、1.5m直線部4本の合計8本へと倍増される。内2~3本は入射や高周波加速などに使用されるため、残りが挿入光源用となる。

新オプティクスのエミッタンスは現在の160 nm-radから27 nm-radと約1/6まで小さくできる。四極電磁石による収束を強めることに加え、全ての直線部に有限の分散を持たせ、効果的に低エミッタンス化する。

なお、すでに昨年、高度化の事前準備として、電磁石据付精度の精密測量を実施した。また、高速高精度のビーム位置検出システム(BPM)も導入済みである。

(2) 光源性能((ハ)に対応)

低エミッタンス化により放射光輝度は大幅に改善される。既設アンジュレータや偏向電磁石の放射光輝度が概ね一桁高くなる。磁極間隙は、ビーム寿命に影響を与えることなく、最小で10mmまで狭めることができる。さらに、短周期の真空封止型アンジュレータが導入できるようになるので、これまでUVSORでは発生することの出来なかった100 eV超の領域でアンジュレータ光(基本波)を発生することも可能となる。近年、レーザー光の短波長化が進んでいるので、レーザーでは当分不可能な、このようなエネルギー領域でUVSORの特長を出すことができるようになる。

(3) 加速器改造((ニ)に対応)

加速器改造は、直線部の電磁石系、真空系の改造が中心となるが、直線部以外では、低エミッタンス化後のビーム寿命確保のために光源リングの高周波加速空洞の増強を行う。Touschek効果によるビーム寿命の短縮はUVSORのような低エネルギーリングを低エミッタンス化した場合には避けられない問題である。そのため、まず既設の3倍高調波RF空洞を利用しバンチ長を延ばすことでTouschek効果を緩和し、次に主RF加速空洞に投入できる電力を制限している入力ケーブル部を改良し加速電圧を上げてRF bucket heightを高くすることで現在と同程度の寿命を確保するようにする。さらに、入射器も光源リングと同じく製造後20年近くが経過しており、施設の安定な運転のためには入射器の高性能化、信頼性向上を実現する必要がある。今回特に前段入射器である線形加速器の増強を行い、入射効率や信頼性の向上に加え、単バンチ入射のための短パルス発生も可能とする。直接単バンチで入射することで入射時間の短縮、蓄積電流値の向上が実現できる。これは蓄積リング自由電子レーザーなど単バンチを利用する光源開発にとっても重要である。

5-1-2 ビームラインの高度化の概要

平成12年度実施した施設利用ビームラインの外部評価によって、世界的競争力のあるビームラインがある一方、中には性能的にかなり時代遅れのものがあることの指摘を受けた。その結果を踏まえ、高度化後のビームライン再編の検討を開始した。基本的にはビームラインの再構築は学問の進展に従って概算要求や競争的資金によって、順次、やっていく予定である。

(1) 既設ビームラインのスクラップ&ビルドと高度化

光源の高度化によって現ビームラインそのままでも輝度が向上し、また、分光器の仕様によっては分解能向上も狙える。しかし、高度化のメリットは挿入光源（4長直線部、4短直線部の内、5カ所程度が挿入光源で使える）に顕著であり、挿入光源の性能をフルに引き出して初めて世界的な意味での競争力が出てくるので、既設長直線部アンジュレータの見直しや短直線部用アンジュレータの開発によってUVSORの挿入光源ビームラインの競争力を増す必要がある。ただし、現在、すべての放射光取り出し口が既設ビームラインで占められているため、新たにビームラインを建設するには既設ビームラインを撤去する必要がある。

現在、UVSORワークショップ等での検討の結果、方針がある程度固まっているところは以下のとおりである。挿入光源としては、すでに高度化に対応できる真空封止型短周期アンジュレータ（短直線部用に開発）を1台新たに製作してあり、平成13年度中にとりあえず長直線部のBL7Aに設置し、性能評価の後に共同利用に供する。さらにこの経験に立って、高度化計画の中で長直線部用の真空封止型短周期アンジュレータを平成14年度中に長直線部のBL3Aに設置する。

・分光照射ライン

現在、BL6Bで行われている研究はBL7A（建設予定のアンジュレータライン）に移行し、分光照射ラインとして高度化する。

・赤外・遠赤外ライン

放射光を広く集めるため光の取出し口をBL6A1からBL6B側へ移設し、高度化する。

・真空紫外、軟X線（低エネルギー）ライン

BL7B（建設済み）とBL5A（建設済みの円偏光アンジュレータライン）を高度化する。

BL6Aにアンジュレータラインを建設できるようにBL6全体の再構築を検討する。

・軟X線（中・低エネルギー）ライン

現在、BL2B1とBL8B1で行われている研究は数年かけてBL4B（建設済み）とBL3A（建設予定のアンジュレータライン）に移行していく。

・軟X線（高エネルギー、二結晶分光器）ライン

現在、BL7Aで行われている研究はBL1A（集光ライン）に移行する。

(2) 高度化後の成果展開について

高度化が平成14年度で完了し、平成15年度には挿入光源ビームラインの利用が開始される。輝度の高い放射光を利用することで、これまでUVSOR施設では不可能であった顕微分光研究、固体表面等の希薄な系の研究、遷移確率の低い蛍光X線を使った状態分析研究、光学素子の汚れを克服した炭素内殻領域の分光研究などが可能となる。これらの装置を使えば、例えば、ナノサイエンス研究にも対応できるようになる。以下のような概算要求を考えている。

・3000時間の運転時間の確保

平成10年度より運転経費が15%カットされ、運転時間も年3000時間から15%前後、削減されている。高度化により施設のビームラインの競争力が格段に強化されるため、運転時間を元に戻して、競争力のある内に集中的に成果を挙げる必要が出てきた。

・研究分野の拡大

20本のビームラインがあるにも関わらず、認められている実験テーマは6研究分野9実験テーマだけである。高度化によって放射光分子科学に新たな展開が可能になったので、以下のように研究分野を7分野に拡大し、実験テーマを2つ追加する。

従来の研究分野

- ・分光実験
- ・光電子分光実験
- ・光化学実験
- ・化学反応素過程
- ・固体・表面光化学
- ・光誘起新物質合成実験

新たに追加する研究分野

- ・顕微分光実験

5-1-3 国内に於ける UVSOR 施設の今後の位置付け

(1) 日本放射光学会将来計画検討特別委員会での議論

日本放射光学会では国内の放射光科学とそれを担う光源施設の将来計画に関してグランドプランを策定するために将来計画検討特別委員会が発足した。主な検討項目は以下の通り。

1. 既存施設の将来計画
2. 極紫外・軟X線高輝度光源計画
3. 地域型放射光施設計画
4. 放射光利用（国際交流，産業利用，研究環境整備）
5. 将来の放射光源（X線 FEL など）

平成13年4月から平成14年1月までに7回、委員会が開催された。また、2001年8月19日に中間報告として「極紫外・軟X線高輝度放射光施設計画に関する提言」がまとめられた。これは上記検討項目の内、特に世界的に見て遅れの著しい極紫外・軟X線高輝度光源計画の検討の緊急度が高いため、他に優先してまとめたものである。この施設は現在の全国共同利用施設である UVSOR, Photon Factory (PF), SPring-8 の3施設に加わる第4の全国共同利用施設となるもので、東京大学と東北大学が立候補している。まだ、どちらに建設されるかは決まっていないが、この施設のカバーする領域はUVSORとPFのカバーする領域の間に来るので、UVSORとPFの位置づけについても以下のように留意事項が書かれている。

我が国の放射光利用研究者数は増加の一途をたどっており、その大半はSPring-8とPFの利用者である。UVSORの利用者数もPFの約3割程度の規模で増加している。各施設の統計を合わせてみると、国内全体で硬X線領域の放射光利用者が割合が非常に高い。そのため、高輝度の必要な実験の場合をのぞいて、関東・東北地方の硬X線利用研究者

はPFを利用する傾向が強い。一方、極紫外/軟X線領域の利用者は現在、UVSOR、PFおよびSPring-8(軟X線のみ)を利用しているが、新光源完成時には高輝度VUV・軟X線を必要とする実験研究者を中心として多く利用者が新光源施設に移行すると考えられる。そこで、既存の施設をより有効に利用するために、同時にPFでは、ビームラインを補強/再編成して硬X線実験ステーションを増強することが望ましい。また、UVSORでは、光量は必要だが、高輝度性は必要としない研究が多い極紫外光領域の多様な実験や時間のかかる実験に重点的に対応できるように、光源や実験ステーションを増強することが望ましい。

(日本放射光学会「極紫外・軟X線高輝度放射光施設計画に関する提言」2001.8.9より)

(2) UVSORの位置づけの変遷と今後

法人化の問題もあって、国内の放射光施設(特に全国共同利用施設)の位置づけを確立しておく必要があり、日本放射光学会をはじめとして分子研外での議論が進んでいる。以下ではUVSOR施設をどう位置づけるかについて、UVSOR運営委員会、分子研将来計画委員会、UVSOR利用者懇談会、日本放射光学会将来計画検討特別委員会等で意見交換している内容をまとめた。

硬X線、軟X線、極紫外域を広くカバーする大型汎用実験施設として高エネルギー物理学研究所放射光実験施設(Photon Factory)が設立されたのとはほぼ同時期に、大学共同利用機関である分子科学研究所に中型放射光施設の極端紫外光実験施設(UVSOR)が設立された。両施設とも全国共同利用施設であるが、その設立の経緯や目的は異なる。UVSOR施設は、東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設が物性研究に重点を置いたのに対して、分子科学研究所内外の関係者の要望に基づいて放射光利用が遅れていた化学研究のために建設されたもので、分子との相互作用が最も大きな極紫外域に重点が置かれた。そのため、必然的に施設の規模は中型となった。その後、国内では規模の大きなものとしてPhoton FactoryとUVSORの2施設しかない期間が10年以上続き、UVSORは分子科学のみならず汎用的に(特に西日本の研究者を中心に)極紫外域の放射光科学をカバーする施設としても整備されてきた。また、分子研の流動性の高さによって人材の供給源としても大いに貢献してきた。このような放射光科学の進歩とともに最近、6、7年の間にUVSORより西に、全国共同利用の大型汎用実験施設のSPring-8の他、立命館大学、広島大学、姫路工業大学に学内施設が設置され、また、佐賀県のように地方自治体が建設する施設もでてきた。さらに、平成14年度からは広島大学放射光科学研究センター(HiSOR)も全国共同利用施設として位置付けられることとなり、固体物理学を中心とする物質科学研究を強化・発展させるところとなった。放射光科学の研究がいろいろな施設で可能になっている現在、全国共同利用の中小型施設は研究分野を汎用的に広くカバーすることよりもその施設が所属している組織の特徴を最も生かせる分野に重点を置いた施設として整備すべきであろう。すなわち、中小型施設が特定分野のCOEとなっている大学共同利用機関に置かれる場合はその分野の学術研究のための研究者養成の先端設備として位置づけられ、大学に設置される場合は学部・大学院教育や研究者養成の設備として位置づけられる。また、硬X線利用実験に比較して、中小型施設がカバーできる極紫外線～軟X線の利用実験は数倍時間がかかり、測定装置も目的に応じて大きく異なるため、汎用化とは相容れない部分が多い。このように今後は汎用型の大型施設と利用分野に特徴を持たせた中小型施設が相補的に放射光科学を推進していくことが望ましい。