

8-1 極端紫外光研究施設 (UVSOR)

8-1-1 はじめに

UVSOR 施設は 1983 年 11 月 10 日に「初点」を発してから 36 年が経過した。その間、2003 年度の第一期高度化（低エミッタンス化，直線部増強 4 → 8 か所），2012 年度の第二期高度化（TOPUP 運転，挿入光源追加，エミッタンス 27 → 17 nm rad）を実施した。2 度の光源加速器高度化に成功したことにより，1 GeV 以下の低エネルギー放射光施設としては，世界最高性能を達成し（電子ビーム低エミッタンス），真空紫外光から軟 X 線領域をカバーする国際競争力をもつ放射光施設として運用している。世界的に見て技術革新の折に旧施設は廃止され，新施設が新地に建設されていくことが常であるが，当時のいわゆる第二世代の面影を残している施設は唯一無二と言える。2 度の高度化で生まれ変わった現在の UVSOR-III は，別の見方をすれば国内で最も若い放射光施設であり，国際的にみても特に 10 eV 付近をカバーする真空紫外光領域では希少な第三世代放射光施設で，今後の国際連携の発展が期待されている。また中型放射光施設として建設が決定した東北リング（仮）と大型放射光施設 SPring-8 とともに 3 機関で国際的な先端放射光施設としての研究主導が求められる。一方，国際研究力の維持には高い光源性能に見合う実験設備の整備が不可欠であるが，UVSOR-III として 8 年目を迎え，6 種の先端的な挿入光源ビームライン設備（全ビームライン数：14 ライン）が成熟し，主として材料科学，光化学，環境エネルギー分野の先端の実験成果の収穫期に入った。また UVSOR の高い光源性能とコンパクトな運転体制の特徴を活かした，独自性の高い特徴的な研究開発が行われており，新規量子ビーム源の開発や回折限界光源の特性を利用した放射光コヒーレンスの科学も推進している。その他の汎用性ビームライン（8 種）においても，国際的に唯一無二の可視光から真空紫外光まで連続した波長可変な分光システムが稼働しており，材料開発研究にて貴重な成果が発信されている。

先端研究の活動力の維持と同時に，今後の放射光利用においてユーザーコミュニティの拡張と増強が重要であり，特に歴史的に放射光利用が普及していない化学・バイオ系への分野展開が国際的な命題である。こうした潜在的放射光利用者となりうる同分野を長年にわたり支えてきた分子科学研究所への期待は高い。分子科学研究所は 2018 年度から新たな試みとして，主任研究員制度とクロスアポイントメント制度の 2 つの新しい人事システムを始めた。UVSOR ではビームライン設備の先端高度化を担う人材として主任研究員制度を活用し，光電子関連分野の増強を行った。一方，ケミカルマシンへ向けた分野開拓を担う人材としてクロスアポイントメント制度を活用し，分子科学分野において独創的な研究を行なっている大学教員を招聘した。今後，先端放射光設備を使った化学研究に集中的に取り組む時間を提供する。また加速器部門は専任スタッフが転出したが，引き続きクロスアポイントメントで UVSOR 施設の運営にご協力いただいている。

さらに 30 余年来にわたり積み重ねられた貴重な学術資産と，共同利用環境の継続的支援を視野に入れると，次期施設計画（UVSOR-IV）を算段する時期にある。本施設規模（小型放射光施設）の光源加速器性能は既に概ね極限化されており，さらなる光源性能の向上を含めた加速器設備の抜本的な改修が必要であるか否かの判断には，既存技術の成熟度に応じた導入の是非，あるいは根本的な技術革新など次世代技術の登場が待たれる。そのため現時点で検討しうる次期施設の形態について，方向性としては大きく 2 つに分かれる。①現状のリング型光源加速器性能を基本構造とし，ビームライン実験設備の高度利用に特化することで未踏の学術を広く開拓する先端施設，②低エネルギー光領域の光源性能を究極的に極限化し，未踏の光源を利用して選択と集中により学術を開拓する先端施設。前者は爆発的にコミュニティ拡大に繋がるようなロールモデルが第一段階として不可欠であり，後者は光源加速器技術の開発とその利用法の斬新な提案が求められる。いずれにせよ，現状の UVSOR-III は次施設建設までへの研究活動の持続性を担保することが責務で，現有の先端光源性能および最適化光源性能を少なくとも今後 7 ～ 10 年程度維持することに

よる、先端量子ビーム実験環境・設備の継続的な提供とその高度化・汎用化による計測分野開拓が最重要課題である。
UVSOR の国際的なコア・コンピタンスをまとめる。

- 1) 国際的に希少な低エネルギー領域をカバーする世界最高水準の高輝度 VUV 光源とその学術利用
- 2) 易放射線損傷試料に最適化された放射光源と先端分析システムを提供する国際的に希少な実験施設
- 3) 国際的に唯一無二の可視光から真空紫外光への低エネルギー帯の波長可変分光システムの提供

8-1-2 現状と将来計画

将来計画の基本的な考え方は前記ポート 2018 もご参照いただきたい。次年度は具体的な次期施設の形態を具現化する作業を中心に、次期施設建設計画の検討を開始すべきと考える。

光源加速器については、従来の 15 ～ 20 年の設備更新サイクルを鑑みると、耐久性から数年以内に更新時期を迎える基本設備の更新はもちろんであるが、特に当初建設期 1983 年来、未更新の基本設備の更新が緊迫した課題である。設備トラブルによる不測の停止をさけ、国際的にも希少かつ競争力のある貴重な真空紫外放射光源を安定供給し続けることで、多彩な分野の学術発展に資する大学共同利用機関の使命を果たす責務がある。過去の履歴から判断可能な老朽設備の更新は所長裁量経費により、今後 10 年間を目安にその約 6 割について更新完了させる。当面の設備トラブルへの対処として緊急性の観点では、この更新作業ではほぼ十分と判断する。付帯する空調設備、冷却設備や放射線管理設備は、UVSOR 施設棟の改修工事のタイミングも併せて検討する。また新規光源探索にかかる研究は、今や UVSOR の独創性「オンリーワン」の代名詞とも呼べるもので、多彩な学術利用あるいは産業利用の展開が期待できるため、今後も精力的に推進する。次年度には光源探索を強化すべく准教授 1 名の着任を予定している。

ビームライン実験設備については、10 年程度の国際的な先端研究の開発サイクルに後れを取らぬように、各ビームラインの利用状況と国際動向を踏まえ、順次設備の高度化が必要である。現在、ビームラインは 14 本が稼働しており、海外からの第一線の研究者が利用に来るような競争力のあるアンジュレータビームライン 6 本を中心に実験設備の重点整備を進めている。特に真空紫外分光、光電子分光、軟 X 線吸収分光は世界的競争力がある。今後は国際利用率の増加が求められる（昨年度実績：年間 220 件申請、のべ 1,300 名弱来所のうち、国際利用約 9% @ 先端アンジュレータライン、60 名強、民間利用約 6% @ 先端アンジュレータライン）。また汎用設備であるベンディングラインにおいても、国際的に唯一無二の波長帯をカバーする光反射・吸収測定設備を提供しており、貴重な材料物性評価の成果が発信され続けている。ベンディングラインは設備の希少性と稼働率を鑑みて将来計画を立て、以下の先端ビームラインとのバランスを取りつつ運用を継続していく。

ここで、UVSOR-III の後継となる次期施設建設を算段するにあたっては、本施設のオンリーワン要素の強化が最重要課題である。設立当初に萌芽的に掲げられた「ケミカルマシン」の旗印を確固たるものとし、長年蓄積された計測ノウハウを元に、独創的に放射光の化学利用を推進する研究施設として「ケミカルマシン」の完成を目指したい。そのためには高度研究者支援パッケージングとして、分子科学研究所の全面的な協力が不可欠である。UVSOR-III 光源は THz、赤外、真空紫外線から軟 X 線領域をカバーするため、物性・機能研究に最適化されている。BL3U では、溶液の軟 X 線分光による電子状態測定を通じた化学反応の追跡が可能であり、新規ユーザーを巻き込みつつ精力的に行われている。クロアポ制度のポストを活用し、効果的な共同研究展開と人材育成を推進する。BL4U は軟 X 線分光の顕微イメージングが可能であり、産業界の要望が強く、多彩な利用展開を見せている。昨年度はリチウム端の X 線吸収イメージングに世界で初めて成功している。BL5U、BL6U、BL7U では光電子分光法を基軸とした先端装置開発と、多彩な新規物質群の（スピン）電子状態・電子構造研究が推進されている。光電子分光法を軸に物性研究に注力して

いる HiSOR 施設との機関間連携が重要である。UVSOR の中期計画として、光電子分光ビームラインの重点整備計画があり、2019 年度より主任研究員を軸として次世代型の光電子運動量顕微鏡 (photoelectron momentum microscope) の開発を推進している。2020 年 2 月にテスト測定を開始し、2021 年度にはスピン検出機構の増設を予定している。パワーユーザーにより設備評価と最適化を実施し、2022 年度にはビームライン整備を完了し、その後速やかに一般ユーザー利用開始を目指している。冒頭にも述べたが、ビームライン BL1U では光源加速器の研究者らにより、コンパクトな高性能 UVSOR-III 光源を用いて、アト秒コヒーレンス制御や短パルスガンマ線発生など、極めて独創的な研究が進められている。国際レベルで本施設でしか実施できない種類の研究であり、今後は開発された量子ビームの各種計測への応用展開が待たれる。UVSOR の施設としての特徴は、小型で小回りの効く運用体制にある。今後もスピード感のある光源開発研究や、先端装置の開発研究の展開を維持する。

本施設の利用者動向や将来建設計画に関連する外因として、2018 年度に国内の第三世代放射光施設計画 (3 GeV リング東北計画) が具現化し、連鎖する如く国内における量子ビーム関連施設の将来計画が大きく動き始めた点がある。そんな中、日本放射光学会が中心となり、学術機関が運用する 3 つの放射光施設間 (UVSOR, PF, HiSOR) で連携ネットワークを強化していくことが同意された。日本学術会議にて「第 24 期学術の大型研究計画に関するマスタープラン」が承認され、本プログラム「放射光学術基盤ネットワーク」が「学術大型研究計画」の内定を得ている。要点は、これまでの我が国における放射光施設の稼働状況をふまえ、今後のコミュニティの活性化に資する計画である。学術系 3 施設は多様な共同利用・共同研究により、優れた研究成果の創出と人材育成・輩出を 40 年近くにわたり担うことで、世界一の放射光超大国を作り上げ、海外からの協力要請にも積極的に対応してきた。国内のその他の共用放射光施設は利用者に課金するが、学術系 3 施設は昨今の資金的に厳しい状況に置かれている大学研究者に対して高度な研究機会を有効に与えている。この学術系 3 施設の果たす学術基盤としての役割は今後も欠かせず、3 施設の基盤強化とネットワーク化を進めながら、技術革新や人材育成・輩出の中核的役割を果たす必要がある。共有する諸課題を連携により解決し、国内各施設へ還元することで、放射光超大国として放射光科学の継続的発展に貢献し、新たな科学技術の創出につなげることが提案の趣旨である。連携活動の実態としては、各施設の研究会に相互参加し、各種情報 (ユーザー、装置開発、人材育成、国際連携状況など) を共有する段階にある。いずれの施設も各設備の老朽化による次期計画が緊迫した課題であることが見えている。一方で、施設間のユーザーの重複が少なく、これらのユーザーの共有によるコミュニティの活性化を模索する案が議論された。あるいは複数施設を利用し成果につなげることができる放射光パワーユーザーへの支援も検討され、複施設を相互に利用可能な新申請形態の議論が始まった。このような連携活動について、多くの放射光ユーザーが集うタイミングで合同研究会を開催するなどしてユーザーへ周知し、協力を求める方針である。その他に、技術職員の研修や研究者の相互乗り入れなど、人材育成の仕組みづくりが重要な課題である。分子科学研究所としては、回折限界光源を供給する施設として国際競争力のある本施設の国際的な位置付けを明確にしつつ、次期施設建設へ向けた戦略への支援が求められる。

本報告書は、UVSOR 施設運営委員会 (2018 年 7 月, 2019 年 2 月, 同 7 月), UVSOR 将来検討ワーキング・小委員会 (2018 年 10 月以降逐次), UVSOR 利用者懇談会 (2018 年 11 月, 2019 年 11 月), 国際諮問委員会 (2019 年 12 月) における意見交換を元に改訂してきたものである (本リポート参照)。また継続して外国人運営顧問により意見聴取も行われている (分子研リポート 2016, 2017, 2018 参照)。