

40周年記念出版

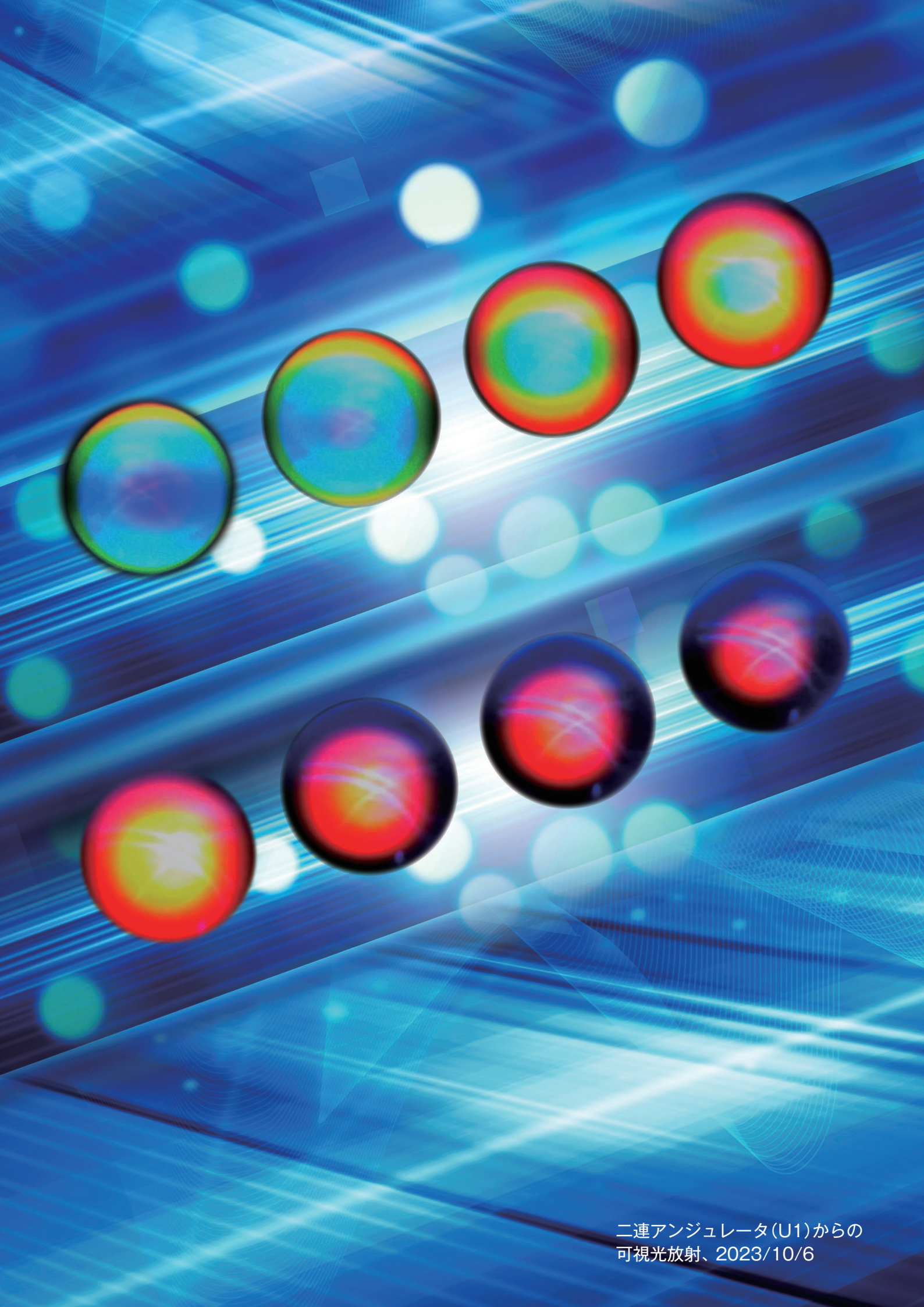
自然科学研究機構分子科学研究所  
極端紫外光研究施設

**UVSOR**

40年の冒険・これからの挑戦

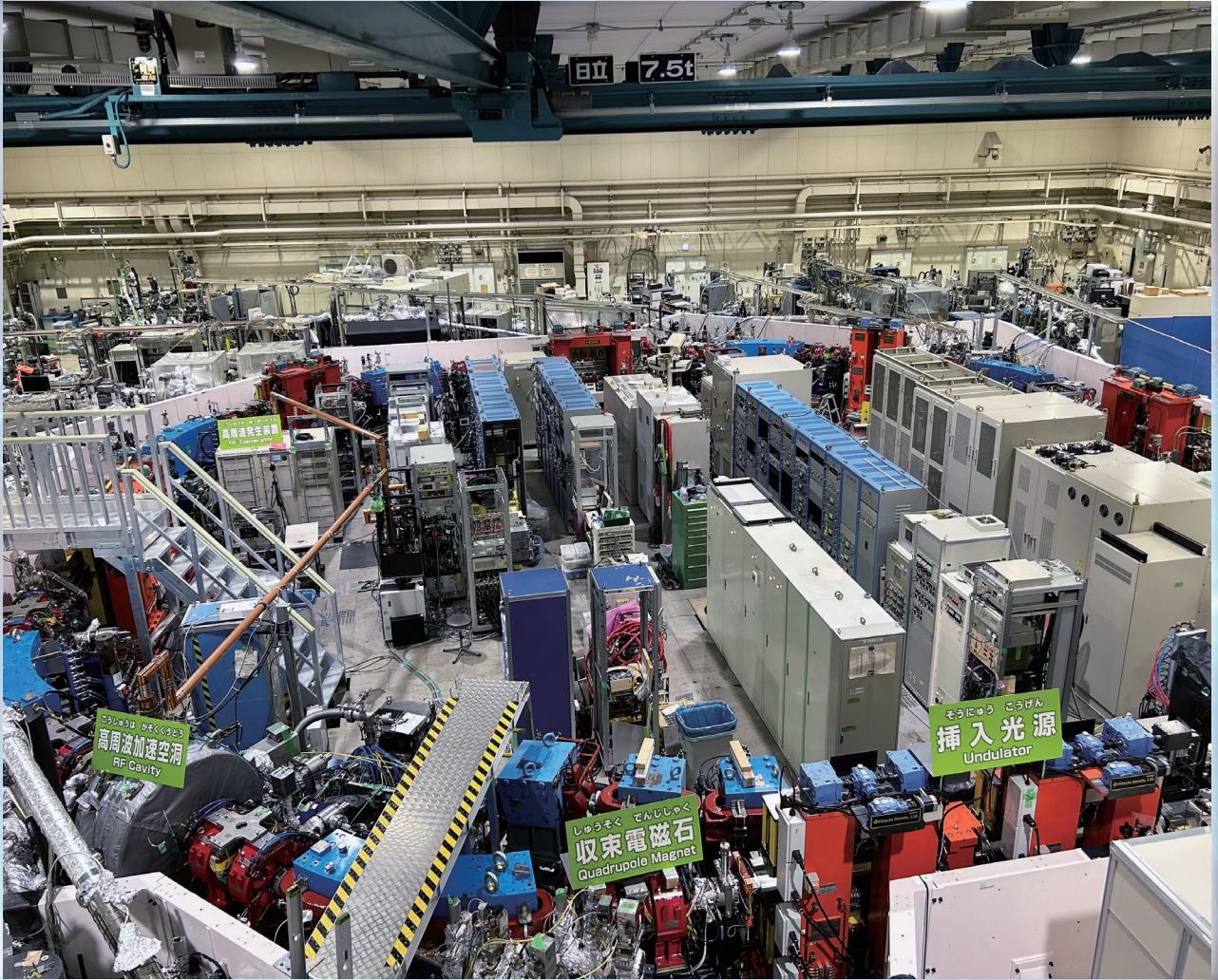






二連アンジュレータ(U1)からの  
可視光放射、2023/10/6





UVSOR-III 実験ホール、2023/10/20



# 40 years of UVSOR



## ご挨拶



分子科学研究所長

渡辺 芳人

このたび分子科学研究所極端紫外光研究施設(UVSOR)は、40周年記念を迎えることになりました。本施設は、分子科学研究所が発足して8年後の1983年に放射光の発光に成功し、分子研の基幹施設として活動してまいりました。法人化後は大学共同利用機関のミッションのもと、年間のべ5,000名の研究者と学生に利用されています。UVSORはその名の通り、極端紫外線帯域をはじめとした低エネルギー(低周波数・長波長帯)の光を高輝度かつ高安定性をもって提供しており、ケミカルマシンの視点で分子科学のコミュニティを中心に、柔らかな物質、分子集団、固体等の機能や物性の研究、そして小型施設の特徴を活かした新たな光源開発の研究を進めるための手段として活用されてきました。

40年前の要素技術で競争力を維持できるわけではなく、2003年、2012年の2度の高度化に成功し今日に至ります。一部に設置当初の基本設備は残っていないながらも、スペクトルのエネルギー分解能だけでなく空間分解能も向上し、現在は第三世代放射光源として国際的な競争力を示せています。時代と共に研究対象や手法は移り変わりますが、最近では、易損傷物質に最適化されたナノスケールのX線透過顕微鏡、スピン分解光電子運動量顕微鏡など、イメージングデータ取得のできる先端手法の開発に注力しております。また、溶液試料のX線吸収分光法による化学状態の評価や、生体高分子などの複雑系の計測へ向けた装置開発も進めております。

しかし、40年の長期運転の結果である設備老朽化の影響は深刻で、これからの10年間あるいはその先の持続性を鑑みると、放射光の安定的な提供が困難となることはもちろんのこと、現環境では更なる性能向上や技術開発は非常に難しく、次期施設の建設が不可欠な時期にきていると言えます。数年前よりユーザーを交えて次期施設のあり方を議論し、ニーズプルとシーズプッシュの両面から検討を重ねてきました。

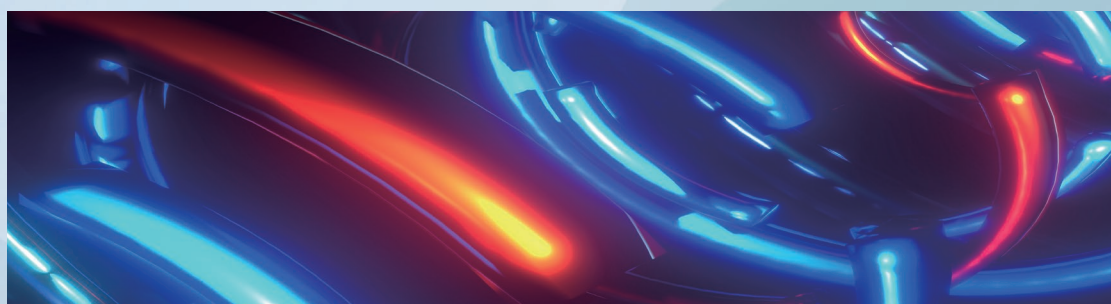
また、異分野融合による学際領域の開拓が叫ばれる中、岡崎三機関の研究者間の議論が深まり、新たなニーズが見えてきました。かねてより、複雑系や不均一系の光計測のニーズがあり各施設で課題解決が試みられてきましたが、依然としてその克服には多くの壁が立ちはだかり、一部の個人的な研究成功例が散見されるに留まります。一方で、ライフサイエンス分野は、いまだに放射光を使いこなす研究者は限定的で、ユーザー開拓すべき分野の一つとして認識しております。複雑な階層性を示す生体分子は、挑戦的課題の宝庫であり、世界に先駆けて国際トレンドを先導するために、光計測の新たな手法開拓や装置開発を強力に推進すべきタイミングであるという結論に至りました。現在進行形で、高輝度放射光を用いたタンパク質などの巨大で複雑な物質の構造学研究は進展すると期待されますが、その先に待ち受ける「生命の理」へと誘う自然現象の移ろいゆく姿を可視化するためには、計測技術の飛躍的な深化が求められます。階層横断的な計測を通じて各構造間の知見をつなぐことが重要で、時々刻々とうつろう「ゆらぎ現象」を露わにすることが求められています。こうした新たな機能生物学の時代に向けては、今から光計測関連技術への集中投資と異分野融合による共同研究スタイルによる困難な課題解決による研究推進が欠かせません。

次期施設コンセプトについては本冊子本文の中で紹介していますので、ご高覧いただきたいと思います。省エネ小型高輝度放射光源に加え、コンパクトレーザーや自由電子レーザー光源など、あらゆる光をユーザーの要望に合わせてテーラーメイドに提供することができる設計になっています。さらに大型設備だけでなく、試料準備環境や事前事後の補完分析のための機器がワンストップ環境として新センターに集約され、高度支援体制による人材育成の環境も整備します。これにより、イメージング法のオペランド計測を強化し、生物学や複雑量子マテリアルなどの動的過程やその機能発現メカニズムを探るための光科学拠点を構築します。次世代の共同利用・共同研究環境に向けて強力に前進して参る所存です。更なるご支援をよろしくごお願い申し上げます。



# Contents

1	放射光はじめましてのみなさまへ	1
	<i>Introduction to the UVSOR Synchrotron Facility</i>	
2	40年の冒険	5
	<i>Overviewing Footsteps of UVSOR</i>	
3	岡崎の太陽 化学を輝かす	7
	<i>The Underground Sun for Chemical Analyses</i>	
4	UVSOR-III 発の新しい科学	9
	<i>Hot Topics from UVSOR-III Beamlines</i>	
5	これからの挑戦	19
	<i>Voyage for Autonomy Science</i>	
6	想いを寄せていただきました	25
	<i>Messages for Our Project</i>	
7	年表	41
	<i>From Episode-1 to Episode-4</i>	
8	光源とビームラインのタペストリー	45
	<i>Timelines of Light Sources and Beamlines</i>	
9	UVSOR-III 主要論文リスト	47
	<i>Publications 2012-2023</i>	





# 1

# 放射光はじめましてのみなさまへ

## Introduction to the UVSOR Synchrotron Facility



UVSOR40周年記念冊子をお手に取っていただき、ありがとうございます！  
 私たち、分子科学研究所UVSORは、小型、低エネルギーのシンクロトロン放射光施設として、独自の研究はもちろん、全国の大学、研究機関、企業などからのユーザーの方々にご利用いただいています。放射光は、既に特定の分野の科学研究では欠かせないインフラ施設となっていますが、加えて、その力を生かしていただける、新しい分野の方々への参入を期待しております。そこで、40周年の記念としまして、UVSORとユーザーの皆様と、そして、これからUVSORをお使いいただけるかもしれない皆様とをつなぐ、本冊子を制作いたしました。是非ご一読いただければ幸いです。

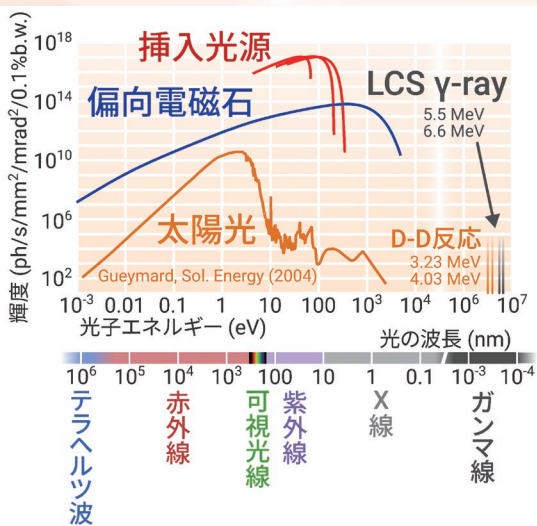
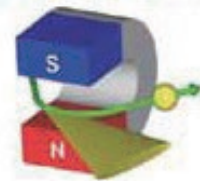
シンクロトロン、放射光、  
 いったい  
 何のことですか？



放射光とは、名前の通り「光」の一種です。可視光を中心にとみると、高エネルギー側は紫外、極紫外、X線、低エネルギー側は赤外、さらに電波に近いテラヘルツ領域まで、きわめて広いエネルギー範囲で、連続した強力な、そして指向性や位相の揃った質の良い光として多くの研究者に使われています。結晶構造解析や電子状態分析などの様々な計測法に利用され、基礎研究から産業利用まで、多くの成果をあげてきました。

この光を発生させるには、電子を数億ボルトまで加速する、シンクロトロンと呼ばれる加速器が必要です。光速近くまで加速された電子の性質として、曲げられる時に強い電磁波(放射光)を発生するので、その能力を使います。

UVSORの作り出す放射光は太陽光の波長域を完全にカバーし、その明るさは紫外線帯で太陽の約1億倍以上です。



UVSORは40周年  
 とのことですが、  
 40年間同じ設備を  
 使っていたのでしょうか？

UVSORは敷地こそ40年前と同じ場所ですが、これまでに2回、大規模な加速器の高度化を行っています。詳細は本冊子第3章でご紹介しますが、高度化の結果、現在でも、低エネルギー放射光源としては、世界トップレベルの性能を維持しています。ただし、加速器を構成する機器類の中には40年間使用し続けているものもあり、高度化の裏側では、老朽化対策も着実に進める必要があります。

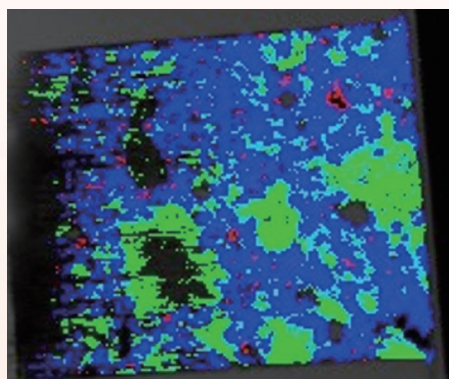
この40年間、毎年平均で、研究課題数にして約220件、年間延べ5000名ぐらいの研究者や学生さんたちが実験で来所しています。

UVSORは掘りおこした地下に建設されており非常に安定な条件で実験を行えます。



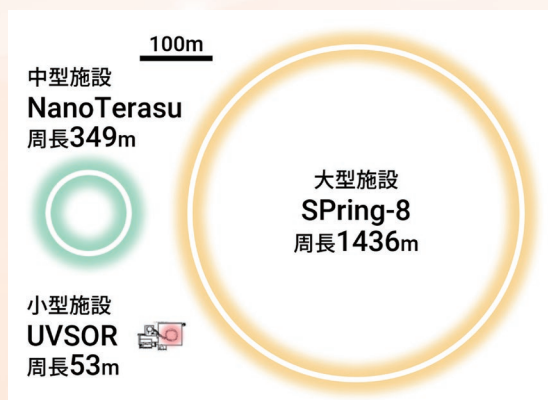


X線で結晶構造が  
分析できることは  
聞いたことがあります、  
UVSORでもそのような研究が  
行われているのでしょうか？



実はUVSORでは回折による結晶構造解析は行われていません。UVSORは低エネルギー（長い波長）の放射光を特に強く発生させる施設です。そのため原子スケールの結晶構造の解析には最適ではなく、他の施設に委ねています。また、UVSORが得意とする極紫外から軟X線領域の光は、物質に吸収されやすいため、大気中の実験や、厚みのある試料には不向きです。そのため使いこなしが多少難しく、まだ十分に活用されているとはいえないかもしれません。しかしこのエネルギー領域の光には大きな可能性があります。物質に吸収されやすいということは、物質に対して何らかの作用を引き起こすのが得意であるということです。UVSORは当初から、物質の構造から一歩進んで、物質の反応や機能を解明することを目標として設立された施設です。初期の頃には光反応の研究などが精力的に行われ、多くの成果を挙げました。最近では、はやぶさ2の持ち帰った微粒子中の有機物の分析が話題になりましたね。このような物質の中の電子の姿や化学状態を調べることを得意とする施設なんです。

なるほど、低エネルギーの  
利点はわかりました。  
では小型施設である利点は？



もちろんいろいろありますよ。なかでも小型施設の利点を生かして、加速器全体を利用した、新しいタイプの光源開発を行ってきたことは大きな特徴です。このような前人未踏の技術開発のような研究は大型放射光施設では、ちょっと難しくなります。同時に、数十もの研究グループが施設を使いますが、その基本となる加速器は共有の設備です。特定のユーザーの要望に合わせて加速器パラメータを調整運転するようなことは、かなり贅沢な作業です。もちろん、極めて意義の高い研究テーマに対して投資する選択は紙の上では可能ですが、現実的な視点ではコスト的に見合わず機能しないことは、ご想像いただけるかと思えます。過去には自由電子レーザー（FEL）に関する先駆的研究、最近では光渦やベクトルビーム、パルスガンマ線のような新奇量子ビームの発生や、それをういた計測技術の開発なども行われました。

小型であることに  
大きな意味があるんですね。  
そういえば以前、  
日本は放射光大国だと  
聞いたことを  
思い出したんですが、  
今の話と関係がありますか？

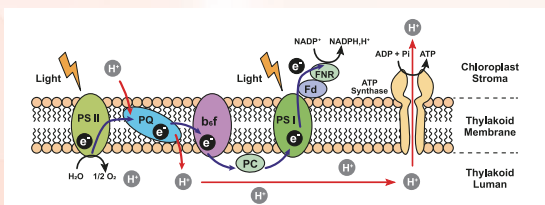
ええ。40年前は、東日本と西日本にそれぞれ1つ建設する地域性が目的にありました。そのため当時のUVSORは若干無理をして今よりも幅広い波長の光を出す運転をしています。その後、各所に新しい施設が建設されるにつれ、光源性能や利用方法の特化・専門化の流れがあり、各施設が需要を役割分担することで、多彩な研究分野を支えることができています。地域性を含めた施設の多様性は、教育や技術伝承の視点でも極めて効果的です。SPring-8やNanoTerasuの共用施設が出口の明確な先端研究を推進する施設であるのに対して、私たちUVSORは、長期的な基盤学術を支えるために共同研究を推進し、学問の種をまき続ける使命を担う施設です。



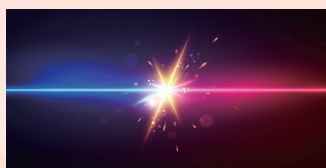
へえ、複数の施設で役割分担しているのが日本の特徴なんですね。では、UVSORの次の10年はどうのような計画ですか？



え？何センターですか？それは具体的には何を指すのでしょうか？



そのセンターでは、今のUVSORと違う何ができるようになるのでしょうか？



私たちは、次の10年だけでなく、その先の50年を持続的に発展させるための将来計画をユーザーの皆さんと共に議論してきました。そして、新しい加速器UVSOR-IVの建設を含む「極限光オートノミー探究センター」への大規模な改革を計画しています。この計画は新たな放射光施設建設を軸にするものですが、単なる設備の高度化・高性能化を目指した施設計画ではなく、新たな分野融合型の挑戦的な研究計画になります。特にまだ光を使いこなせていない生物学の研究者のニーズに耳を傾け、複雑系ターゲットの前輪と、光技術の後輪が上手く噛み合うことで初めて実現する未来の科学へ向けた壮大な計画です。

「極限光オートノミー探究センター」です！「オートノミー」とは「自律性」という意味です。物質には周囲のエネルギーや材料を使って、自ら高次の秩序を作り出す力が秘められており、これらの機能は自律性と呼ばれます。私たち生き物はその機能をうまく活用する能力を持ちますね。このような物質の賑やかな側面の観測は容易ではなく、計算シミュレーションが精一杯で、その能力を十分に理解しているとはいえません。90年代に「複雑系」という言葉が流行して、その後忘れられてしまった歴史をご存じですか？しかしこの30年で、観測技術、特に様々な光を用いた計測手法は目覚ましい発展を遂げ、今まさに機は熟そうとしています。そこで私たちの新しいセンターでは、光による観測の力を結集し、さらに発展させて、生命を中心とする、賑やかで複雑な物質の宴に光を当てて、その現場を実験で捉えます。目標の詳細は第5章「これからの挑戦」で解説していますので、そちらも是非ご覧ください。

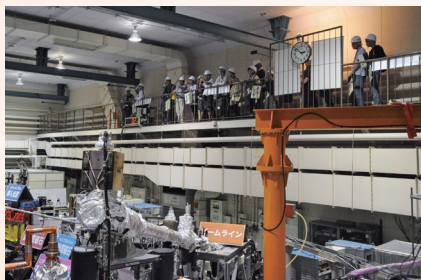
次期計画では小型放射光施設の特徴を生かす試みとして「分野やユーザーの要望に応じてテーラーメイドに光を提供する」光科学研究拠点に生まれ変わります。見かたによっては贅沢なことですが、光の条件を自在に設定できるテーラーメイドの実験環境がポイントです。加速器も具体的な科学目標に適するように新しく設計され、低エネルギー帯では今の世界最高性能をさらに向上させる予定です。さらに放射光に加えて、レーザー光源も自由に使える実験環境を提供し、それぞれのメリットを生かした研究はもちろんのこと、新たに両者を融合させる新たな研究展開の推進を支援します。



なるほど、  
施設ミッションも  
進化するのですね！



ところで、これから  
UVSOR、将来的には  
そのセンターを  
使いたくなったらどうすれば  
良いのでしょうか？  
私でも使えるのですか？



そうですか。確かに  
今まで放射光を  
使ったことがない分野の私でも、  
これからは活用できそうな  
気がしてきました。

あ、はい！  
でもあの、その前に、  
UVSORを  
見せていただく  
ことって、できますか？



はい、それだけではなくバイオ系の実験では試料の鮮度も大事です。試料準備や光計測以外の分析も一か所でスムーズに行えるように新センターでワンルーフ集約します。このコンセプトは「分子科学の研究者のための放射光施設」を建設するというUVSORの設置理念を継承したもので、その第二弾という見方もできます。

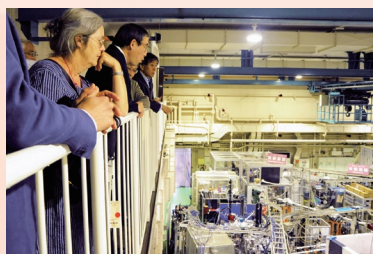
さらに新しいセンターを人材交流と育成の接着剤としてとらえ、今まで互いのことをよく知らなかっただけで、相互に必要とされていた分野を結び付けます。センター構想そのものに「オートノミー」の発想が生かされていますよね。この構想は、いろいろな分野の方々からのご期待・ご要望をいただきながら進んでいます。第6章に、皆様からお寄せいただいたメッセージを掲載していますので、是非お読みください。

はい。まず、研究室に所属している学生さんであれば、研究室の先生に相談してください。UVSORは学術研究目的の利用は無料なので、研究室側の負担はありません。UVSORでできることや、利用申請の方法などはホームページに説明してあります。利用についてご興味を持ったら、UVSORまでメール等で連絡してください。UVSOR職員と相談して研究計画を立案した方が、よりよいものになると思います。申請のタイミングは年に2回あります。採択されたら、利用時間が割り振られます。利用開始日までに、試料の準備や、担当者との相談を十分行ってください。先にも触れましたが、低エネルギー放射光はちょっと特殊な光で、取り扱いにクセがありますので、相談は重要です。段取り八割って言いますよね。滞在には研究所の宿泊施設を利用できますし、旅費支援もありますので、経済的負担は最小限で済むはずですよ。実験を実施したら、UVSOR Activity Reportのご執筆をお願いします。いきなり成果が出なくても、実施された試みを書いていただければ大丈夫です。

ありがとうございます！ぜひ私たちと一緒に、新しい科学のパラダイムを開拓していきましょう！



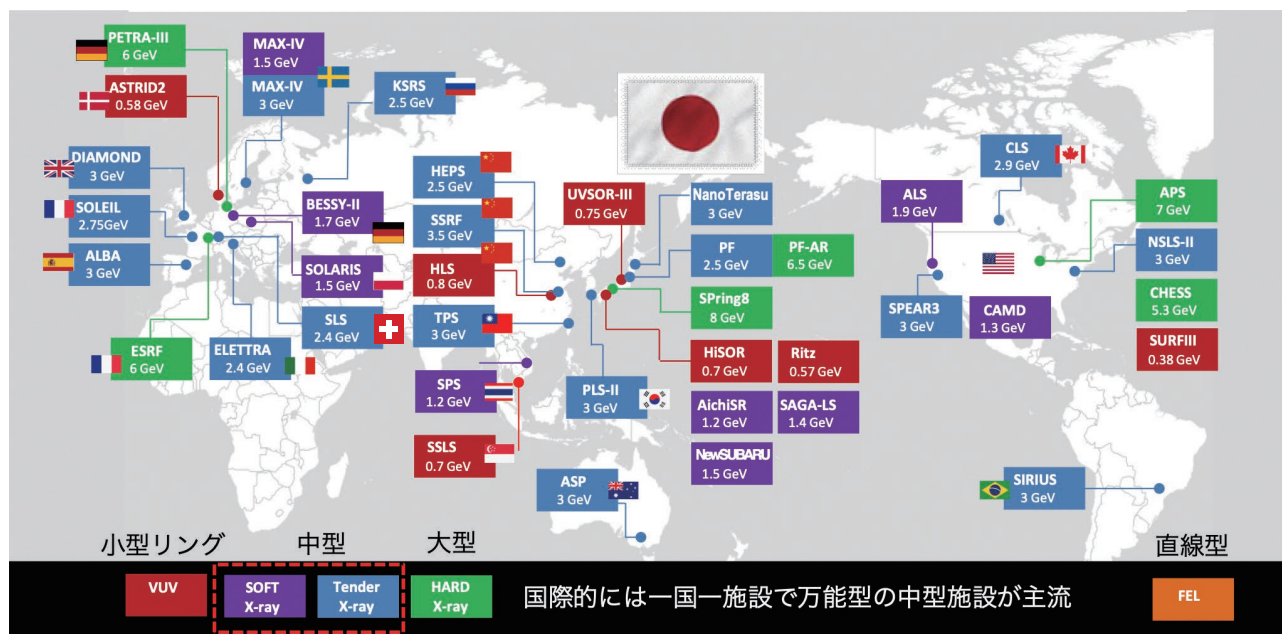
ええもちろん！グループ単位での見学に対応しています。詳しくはホームページをご覧ください。また3年に1度研究所の一般公開が開催され、市民の皆様にも広く設備を公開しています。そうした機会に、是非お気軽にいらしてくださいね！





## 放射光大国日本

2023年は放射光にとって節目の年となります。放射光利用研究は60年前に高エネルギー物理学の加速器(東京大学原子核研究所の電子シンクロトロン)に間借りして始まりました。10年後には世界初の放射光研究専用施設SOR-RINGが利用者らの手によって建設され、続く世界各地での放射光光源建設ラッシュやSPRING-8を頂点とする大型放射光施設の登場の源流となりました。KEKフォトンファクトリーに次いで分子科学研究所UVSORが誕生した1983年は高温超伝導体発見や原子分解能の走査型トンネル顕微鏡によるナノサイエンス展開の前夜という時代でした。当時、放射光は半導体微細加工(リソグラフィ)用の光源として期待され、国内でも実に5基の産業用蓄積リングが運用を開始しています。こうした中、物理化学者が明大寺の丘に建設したのが基礎科学の基盤となる光源UVSORです。まもなく、我が国10基目の放射光施設であるNanoTerasuが東北大学で今まさに稼働しようとしています。多くの国ではバランスの良い中型施設を建設することが多いですが、我が国では大中小の先端放射光施設を有することで、全ての波長帯でもれなく国際主導できる夢の研究環境が整うことになります。



世界の主要な放射光施設

## UVSORの強みと立ち位置

放射光は、テラヘルツからガンマ線に至る超広帯域の光を安定に供給できる理想的な光源です。フォトンファクトリーやSPRING-8が得意とするX線領域は波長が原子間距離のサイズ(Å)でデバイスや生体材料の原子構造を解明する強力な手段となっています。他方、UVSORは地上に届く太陽光とほぼ重なる赤外から極端紫外線領域を中心とする波長帯をカバーし、分子の励起状態<sup>1)</sup>や超伝導体<sup>2,4)</sup>、磁性体<sup>5)</sup>などの物性や機能を司る電子の振舞いを解明する有力な手段となっています。またこれまでにない実験装置を開発<sup>6,8)</sup>し、新たな切り口で物性科学を推進するのもUVSORの重要なミッションであり、伝統となっています。特に有機半導体<sup>9,10)</sup>や生体材料<sup>11,12)</sup>は放射線に対し損傷しやすいため、高感度・低侵襲・低ノイズでの測定技術が磨かれてきました。こうした技術の集積は「はやぶさ2」帰還試料の脂肪族炭化水素分子の顕微検出の成果<sup>13)</sup>や軟X線吸収分光法を液体試料に適用し錯体分子の振舞いを解明する研究につながりました<sup>14)</sup>。単バンチによる光励起ダイナミクス<sup>15)</sup>の研究が展開される一方、新しい光を創製するのもUVSORのお家芸です。小型施設の運営自由度の高さを最大限に活用し、自由電子レーザー光<sup>16)</sup>、光渦<sup>17)</sup>、偏光可変ガンマ線<sup>18)</sup>をはじめとする種々の光を作り出し<sup>19)</sup>、未来への利用法を提案しています。



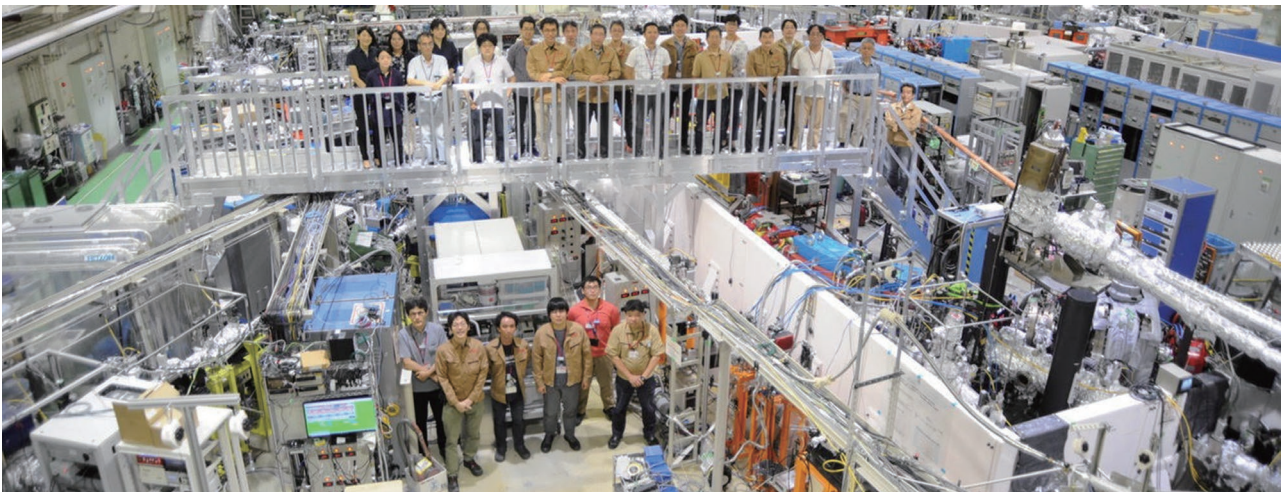
2012年、UVSOR-IIIへの高度化に成功し、トップアップモード運転による共同利用を開始して10年ほどたちました。安定な高性能光源は新たな装置開発に不可欠ですが、国際競争に打ち勝つために、その都度、中期目標を掲げ、イメージング法やオペランド法(動作環境下の計測)の実験装置の開発を進めてきました。こうした装置は専門家らによる技術開発の期間を経たのちにユーザーに解放され、施設利用申請の審査で承認された年間200件を超える研究課題が実施されています。まさに今、まかれた種が芽を結び収穫時期にあると言え、日々先端成果が世界へと発信されています。その成果の一端は第4章でご覧いただけます。

- 1) 窒素分子の多重電子励起状態の解明 E. Shigemasa, et al. Phys. Rev. A 66, 022508 (2002).
- 2) 高温超伝導体の電子状態の解明 T. Takahashi, et al. Nature 334, 691 (1988).
- 3) 新しい二次元トポロジカル絶縁体の発見 A. A. Taksjin, et al. Phys. Rev. Lett. 107, 168801 (2011).
- 4) 新奇カゴメ格子超伝導体の電子状態の解明 T. Kato, et al. Phys. Rev. Lett. 129, 206402 (2022).
- 5) 巨大保磁力を有する新規磁性薄膜の機構解明 T. Nakagawa, et al. Phys. Rev. B 86, 144418 (2012).
- 6) 電子-イオンコインシデンス分光装置 K. Mase, et al. Rev. Sci. Instrum. 68, 1703 (1997).
- 7) 走査型透過軟X線顕微鏡 T. Ohigashi, et al. J. Phys.: Conf. Ser. 463, 12006 (2013).
- 8) 軟X線光電子運動量顕微鏡 F. Matsui et al., Jpn. J. Appl. Phys. 59, 067001 (2020).
- 9) 有機分子薄膜からの光電放出強度の定量解析 S. Hasegawa, et al. Phys. Rev. B 48, 2596 (1993).
- 10) 有機結晶中の局所分子間相互作用の精密観測 H. Yamane, et al. Phys. Rev. Lett. 111, 086602 (2013).
- 11) DNA分子の電子構造と電荷移動機構 H. S. Kato, et al., Phys. Rev. Lett. 93, 086403 (2004).
- 12) 円偏光で迫る生体物質の非対称性の起源 J. Takahashi, et al. Int. J. Mol. Sci. 10, 3044 (2009).
- 13) リュウグウ帰還試料:ゆりかごに守られた生命起源の有機分子 M. Ito et al. Nature Astronomy 6, 1163 (2022).
- 14) SX-XASによる電気化学反応のその場観測 M. Nagasaka, et al. J. Phys. Chem. C 117, 16343 (2013).
- 15) レーザーポンプ・放射光プローブ光電子分光 S. Tanaka, et al. Phys. Rev. B 64, 155308 (2001).
- 16) 共振器型自由電子レーザー研究 C. Evain, et al. Phys. Rev. Lett. 102, 134501 (2009).
- 17) 光渦の発生 M. Kato, et al. Sci. Rep. 7, 6130(2017).
- 18) ガンマ線の生成・偏光制御 Y. Taira, et al. Phys. Rev. A 107, 063503 (2023).
- 19) アンジュレータ放射の時間コヒーレンスによるアト秒精度実験 T. Kaneyasu, et al. Sci. Rep. 12, 9682 (2022).



## UVSORの目指す未来

放射光による多角的・複合的な精密解析・イメージング技術は今日の学術・科学技術・産業を支える社会的基盤となっています。理学・工学・農学・薬学・医学などの自然科学分野のみならず、考古学・文化財検証などの人文科学分野においても放射光の利用が進み、放射光は我々人類の文化的生活のために不可欠なインフラストラクチャーに成長しました。UVSORは40年の間、その一端を担い、放射光蓄積リングや制御機器群の改良を行い極端真空紫外領域の放射光光源として世界の先端を走り続けてきました。この絶え間ない技術開発と応用展開のサイクルの中で次の新しいサイエンスの展開のために飛躍力を温めています。本冊子ではそうした近年の成果の紹介とともに、一緒に推進してきたユーザーのネットワークの皆さんのメッセージを取りまとめました。ぜひご覧いただき、応援いただければ幸いです。

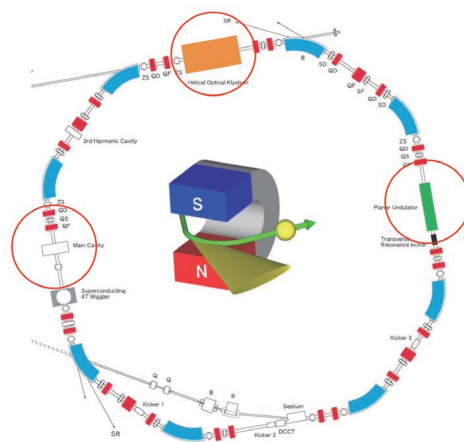




## これまでの歩み

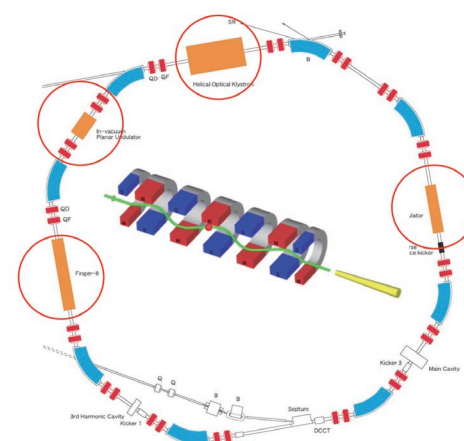
## UVSOR-I

UVSORは典型的な第2世代放射光源として誕生しました(1983年初点)。偏向放射の利用を中心として、超伝導ウイグラやアンジュレータにより、幅広い利用者の要求に応える設計です。建設当初から2000年代初めまでは、光源性能に直結するような大規模な改造は行われませんでした。制御系の更新、三倍高調波空洞の導入など、より安定な運転の実現を目指した改良が行われました。また、自由電子レーザー発振や低アルファ運転といった新しい光源技術開発で大きな成果を挙げました。その一方で、ハードウェアの老朽化や新しい第3世代光源の建設ラッシュによる競争力の低下が徐々に深刻な問題となってきました。



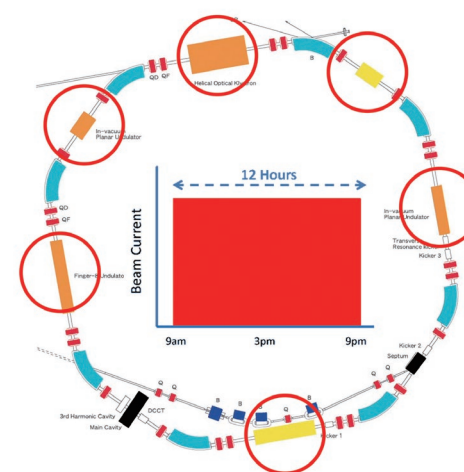
## UVSOR-II

2000年代になり、電子ビームの高輝度化と直線部の倍増によるアンジュレータの増設を目指す高度化計画が立案されました。電磁石配列(ラティス)の改造を含む大がかりな計画でしたが、まもなく予算化され、2002年から2003年にかけて加速器の改造が行われました。第3世代の光源に引けを取らない高輝度光源UVSOR-II(2003年9月改称)として生まれ変わりました。アンジュレータの増設やビームラインの建設も進められました。高周波加速空洞の更新も行われました。



## UVSOR-III

2000年代後半から2010年代にかけて、いくつかの高度化が行われました。まず、トップアップ運転と呼ばれる新しい運転方式を導入しました。時間とともに光強度の減衰する従来の運転方式に対し、ビーム強度を長時間安定に保つことができ、利用者は中断なく安定な強度の光を利用できます。このために、ブースターシンクロトロン電源増強、電子蓄積リングの放射線遮蔽増強などを行いました。次に、入射点を移設することで、4mの直線部を新たに作り出すことができました。コヒーレント放射光発生装置が設置されました。さらに、偏向磁石の更新により更なるビーム高輝度化とアンジュレータの増設が行われました。これら一連の高度化の結果、1GeV以下の低エネルギーリングでは世界最高水準の高輝度光源UVSOR-III(2012年8月改称)へと生まれ変わりました。



蓄積リング高度化の変遷



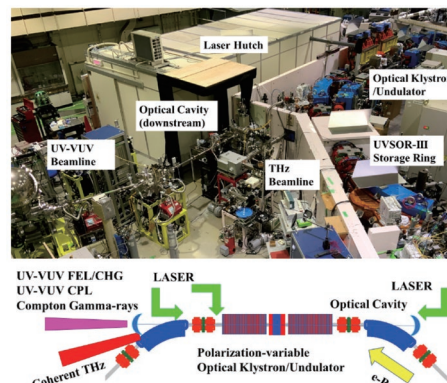
## 世界を牽引する光源開発の歴史

1980年代の建設当初より、小型・低エネルギー施設の利便性・柔軟性・俊敏性を活かして、様々な新しい放射光の発生法・利用法の開拓に取り組んできました。電子蓄積リングを用いた共振器型自由電子レーザーの開発は加速器の設計段階から盛り込まれており、1990年代を中心に世界最短波長域での発振や光共振器内での逆コンプトン散乱による高強度ガンマ線発生原理検証など、世界を先導する成果が挙げられました。赤外線領域での放射光利用や放射光とレーザーを併用した実験、また、蓄積リングの低アルファ運転による超短パルス生成も、小型で小回りの利くUVSORの特性を活かして、1990年代に世界に先駆けて行われた研究の一つです。

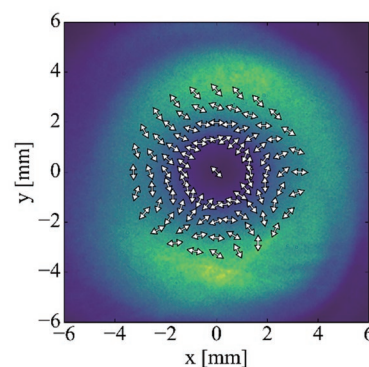
2000年以降、UVSOR-IIの時代になっても、世界的に希少な研究環境を活かし、フランスのグループとの国際共同研究などにより自由電子レーザー発振の基礎研究で成果が挙げられたほか、自由電子レーザー光を用いた応用研究も展開されました<sup>[1,2,3]</sup>。その後、2000年代半ばに加速器同期超短パルスレーザー装置が導入されたことで、偏光可変コヒーレント高調波発生<sup>[4]</sup>、レーザーバンチスライスによるコヒーレント放射光生成<sup>[5,6]</sup>、など数々の目覚ましい成果を挙げました。これらの成果をもとに大型の外部資金を獲得し、それまで光電子分光ビームラインBL5Uに寄生する形で行われていた光源開発研究を専用のビームラインBL1Uで行えるようになりました。

2010年代のUVSOR-IIIの時代に入り、BL1Uでは上述した研究をさらに発展させる一方で、光渦やベクトルビームといった特異な空間構造を有する光の発生で世界を先導する成果を挙げました<sup>[7,8,9]</sup>。さらに、タンデムアンジュレータからの放射の特異なアト秒精度の時間構造を利用した量子状態制御や超高速分光の原理実証に世界で初めて成功し<sup>[10,11,12]</sup>、放射光の全く新しい利用法の可能性を世界に示しました。また、超短パルスガンマ線の発生とそれを用いた非破壊分析も開始されています<sup>[13]</sup>。

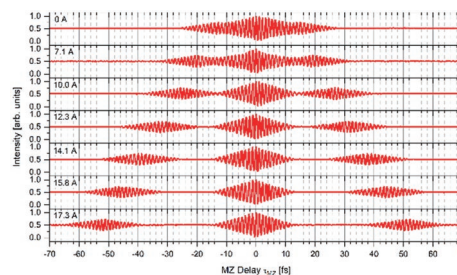
UVSOR40年の歴史の中で、継続的に新しい光源開発研究とその利用法の開拓に取り組み、世界を先導する成果を生み出し続けてきました。これを可能にしたのは、UVSORが小型低エネルギー放射光施設であるからです。特殊な実験を行うための実験装置の製作やその加速器への組み込みは大型高エネルギー加速器では熱負荷や放射線対策のため技術的に難しく、また格段に高価となります。大規模施設での意思決定に要する時間や、予算規模の大型化によって研究遂行が現実的に難しくなるのです。これらは特に全く新しい技術開発への挑戦において決定的に不利であることは明らかです。UVSORでは小型であることの強みを最大限活かし光源開発を継続的に行ってきました。その将来計画においても小型低エネルギー且つ高性能という特質を活かして放射光科学の最先端を切り拓き続けます。



蓄積リングを用いた自由電子レーザー発振



タンデムアンジュレータによるベクトルビーム生成



放射光波束のフェムト-アト秒位相制御

[1] S. Takano et al., Nucl. Instr. Meth. A 331 20-26 (1993).  
 [2] M. Hosaka et al., Nucl. Instr. Meth. A 483 146-151 (2002).  
 [3] C. Evain et al., Phys. Rev. Lett. 102, 134501 (2009).  
 [4] M. Labat et al., Phys. Rev. Lett. 101, 164803 (2008).  
 [5] S. Bielawski et al., Nat. Phys. 4, 390-393 (2008).  
 [6] M. Shimada et al., Phys. Rev. Lett. 103, 144802 (2009).  
 [7] M. Katoh et al., Sci. Rep. 7, 6130 (2017).

[8] M. Katoh et al., Phys. Rev. Lett. 118 094801 (2017).  
 [9] S. Matsuba et al., Appl. Phys. Lett. 113, 021106 (2018).  
 [10] Y. Hikosaka et al., Nat. Commun. 10 4988 (2019).  
 [11] T. Kaneyasu et al., Phys. Rev. Lett. 123, 233401 (2019).  
 [12] T. Kaneyasu et al., Phys. Rev. Lett. 126, 113202 (2021).  
 [13] Y. Taira et al., Rev. Sci. Instr. 93, 113304 (2022).

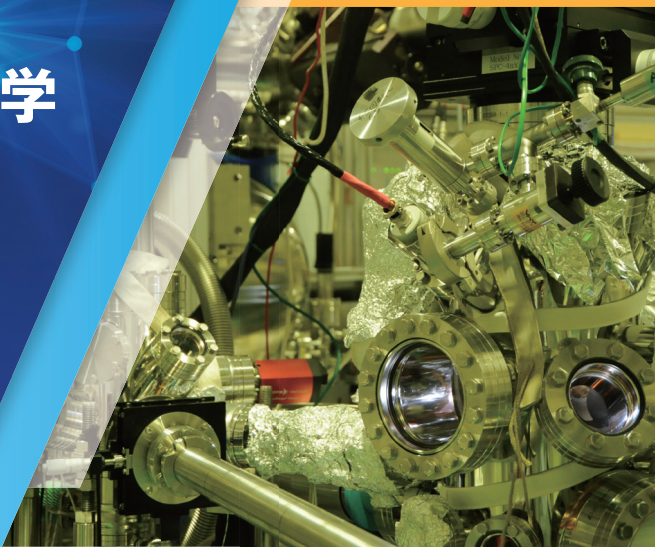


# 4 UVSOR-III 発の新しい科学

Hot Topics from UVSOR-III Beamlines

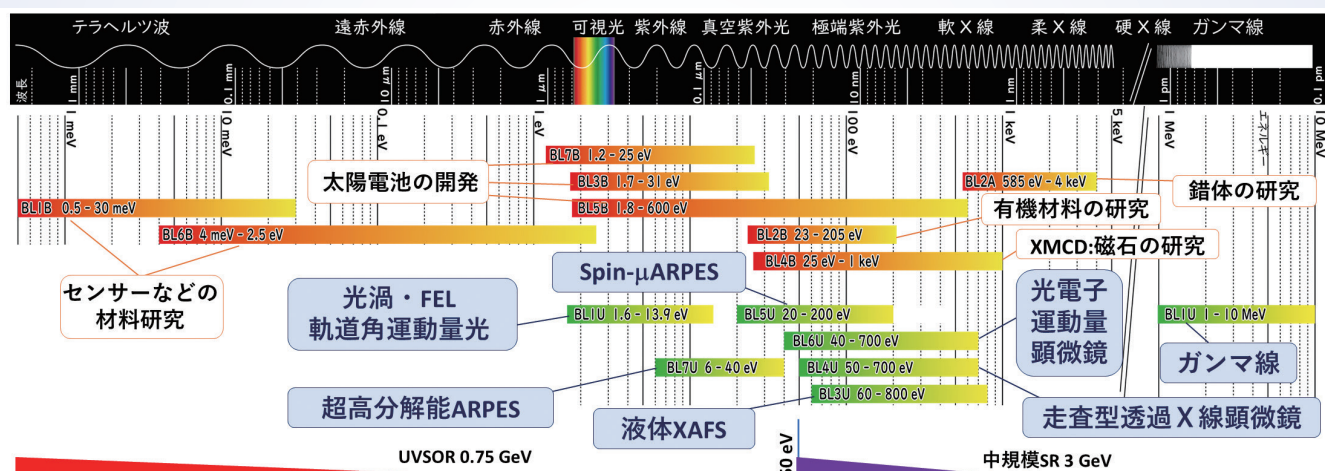
## ビームライン(BL)とは？

シンクロトロン(電子蓄積リング)から放射光を取り出して、希望するエネルギーの光を選んで実験装置(エンドステーション)に導くための設備をビームラインと呼びます。



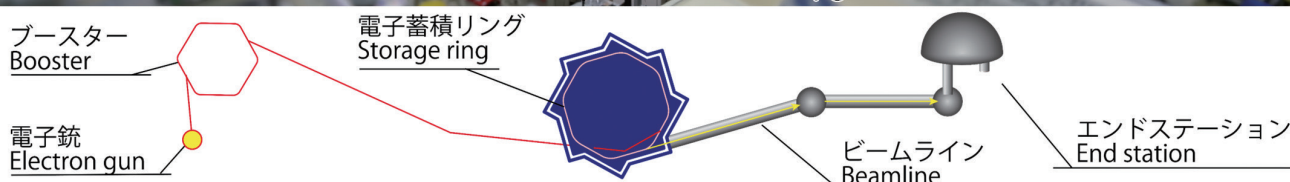
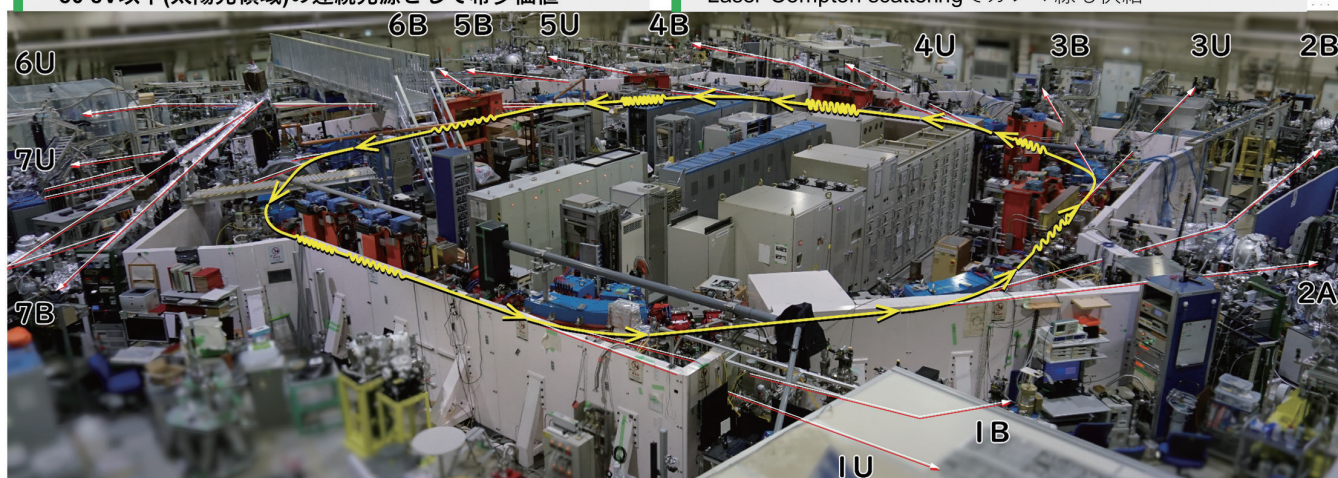
## 世界最高性能を誇る低エネルギー放射光源 超広帯域の光源開発

平義隆・加藤政博・Elham Salehi  
林憲志・山崎潤一郎・清水康平・太田紘志



Bending BL 汎用計測装置：THz～柔X線  
50 eV以下(太陽光領域)の連続光源として希少価値

Undulator BL 先端計測装置：真空紫外光～軟X線  
Laser Compton scatteringでガンマ線も供給





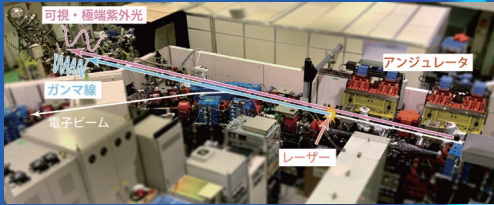
# 新規光源開発と利用開拓

## 小型施設ならではのフットワークの軽さを活かし新しい研究に挑戦

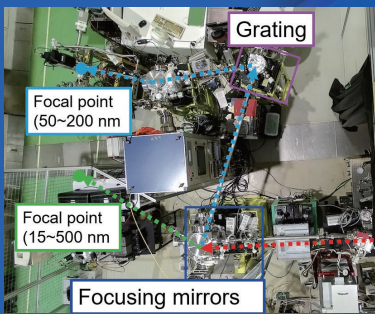
平義隆・太田紘志・岡野泰彬

### BL1U ガンマ線・真空紫外光照射装置

ガンマ線 6.6 MeV  
偏光可変 2.5 - 82 eV



BL1Uにおける光発生概要



偏光可変真空紫外光照射・分光装置

このビームラインでは、新しい特徴をもつ光源の開発とその利用方法の開拓に関する研究を行っています。周期磁場を発生するアンジュレータを用いることで、可視から極端紫外に至る幅広い波長領域で様々な偏光の光を発生でき、また、超短パルスレーザーを用いることでエネルギーMeV領域の超短パルスガンマ線の発生が可能です。これまでに、紫外及び真空紫外領域での自由電子レーザー、テラヘルツ領域でのコヒーレント放射光<sup>1)</sup>、特異な光であるらせん波面光やベクトルビームの発生<sup>2,3)</sup>やその利用法に関する研究開発が行われています。また、超短ダブルパルスの極端紫外光を用いた原子の量子状態制御<sup>4)</sup>、ガンマ線を用いた同位体の非破壊イメージング<sup>5)</sup>、超短パルスガンマ線を用いた材料中の原子スケール欠陥の非破壊分析<sup>6,7)</sup>など世界を先導する成果も得られています。今後は、新規光源の開発をさらに進めると共にこれまで開発してきた光源の応用研究を推進します。

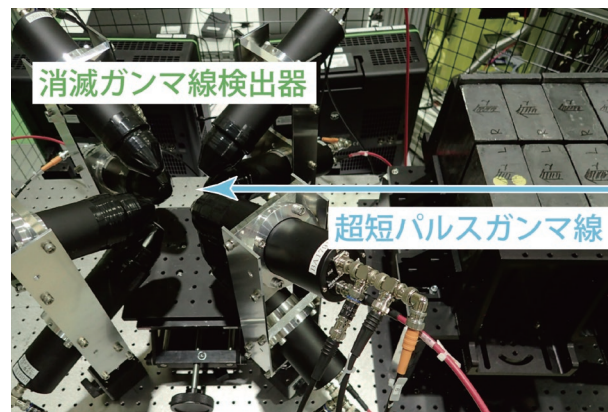
偏光可変真空紫外光の利用では、用途に応じて、偏光の種類、分光器や集光の有無を選ぶことができます。分光器を利用する場合は50~200 nm、分光器を通さない場合は15~500 nmの準単色光が利用できます。固定の測定装置はなく、ユーザーの持ち込みやUVSOR施設の装置を設置することで、光電子分光から準単色光の照射実験まで幅広い用途に対応しています。

## HOT TOPICS

### ガンマ線を作り固体中の原子スケール欠陥を計測する

電子蓄積リングを周回する電子ビームに直角に超短パルスレーザーを入射して発生させた超短パルスガンマ線を鉛コリメータを通すことで、準単色ガンマ線(6.6 MeV)を取り出します。ガンマ線照射で材料内部で発生する陽電子の寿命測定を通じて材料中の原子スケール欠陥を非破壊で分析します。ガンマ線は大気中照射が可能であり、応力負荷や高温高圧など従来では困難であった様々な試料環境での実験が可能になりました。円偏光ガンマ線照射によるスピン偏極陽電子の測定技術も開発中です。また、偏光ガンマ線に対する検出器の応答評価も本ビームラインで行われています。

ユーザーがレーザーを持ち込んでガンマ線発生を行うことも可能です。1950 nmのレーザーにより発生する5.5 MeVの連続ガンマ線を用いた原子核物理実験も行われています。



1) S. Bielawski et al., Nat. Phys. 4 (2008) 390.

2) M. Katoh et al., Sci. Rep. 7 (2017) 6130.

3) S. Matsuba et al., Appl. Phys. Lett. 113 (2018) 021106.

4) Y. Hikosaka et al., Nat. Comm. 10 (2019) 4988.

5) K. Ali et al., Appl. Sci. 11 (2021) 3415.

6) M. Ktiaura et al., Opt. Mat. X 14 (2022) 100156.

7) Y. Taira et al., Rev. Sci. Instr. 93 (2022) 113304.



# 高分解能で電子のわずかな変化をとらえる

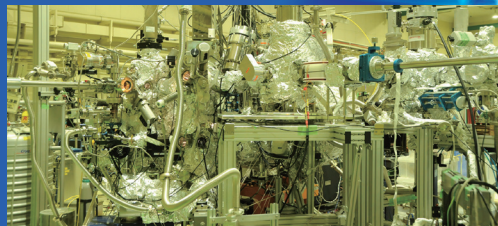
マイクロ集光・スピン分解/低エネルギー励起光・高エネルギー分解能角度分解光電子分光

**BL5U** 可変偏角斜入射分光器

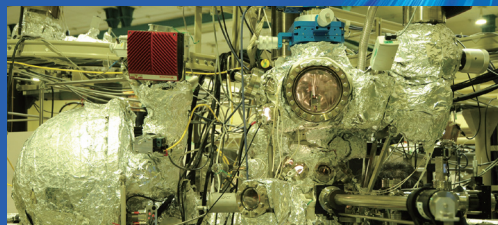
直線偏光, 20 - 220 eV

**BL7U** 直入射分光器

可変偏光, 6 - 40 eV



BL5U マイクロ・スピン分解ARPES



BL7U 低エネルギー励起ARPES

田中清尚・牧田誠二

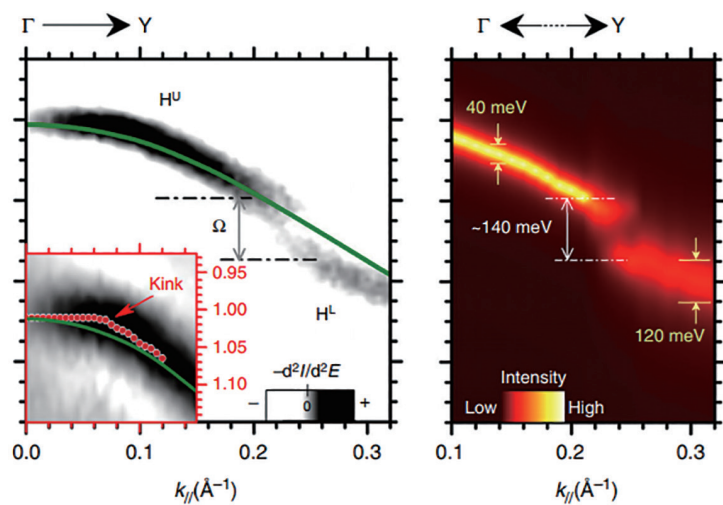
BL5Uでは固体表面や薄膜界面の角度分解光電子分光(ARPES)による研究を行っています。試料のごく近傍に最終ミラーを配置することで約30  $\mu\text{m}$ に集光されたマイクロビームを利用して、微小な試料や空間的に不均一な試料を測定することができます。試料加熱やArスパッタといった表面処理の自動化が導入されており、内殻準位の光電子測定により表面評価をすることで、表面処理条件を最適化した上で電子状態の測定が可能です。またBL5Uでは現在試料面内方向の高効率スピン分解測定が可能です。スピンマニピュレータと呼ばれるスピンの向きをあらゆる方向に変化させることができる最新装置で試料の面直方向のスピン情報を得ることができるよう整備しています。

BL7Uは、固体材料の高エネルギー分解能ARPES測定が可能です。このビームラインは世界的にもユニークな極端紫外光を利用した光電子分光ビームラインです。UVSORで開発した6軸低温マニピュレータを利用することで試料を極低温の4Kまで冷却可能となっており、超高エネルギー分解能実験により、他のビームラインでは観測できない電子状態の変化を観測できます。得られたその新しい知見は次の材料開発に役立てることが出来ます。

## HOT TOPICS

### 高エネルギー分解能角度分解光電子分光で明らかになった伝導電子と分子振動との相互作用

柔らかな有機分子材料の特徴を利用した有機ELディスプレイや、薄くて軽い太陽電池などに代表される有機エレクトロニクスは低コスト・省エネルギーな社会の実現に期待されていますが、有機分子が電気を流すメカニズムはまだ解明されていません。この研究では、有機分子材料の一つである有機半導体ルブレン分子の単結晶において、伝導電子が分子振動の影響に加え、分子全体が寄与する結晶振動の影響を受けていることを世界で初めて実験で捉えることに成功しました。この成果は、今後の有機半導体材料の開発に新しい指針を提供することが期待されます。



A gap opening and kink-like features in the rubrene electronic band dispersion

- 1) F. Bussolotti et al., Nature Communications 8 (2017) 173
- 2) Y. Ohtsubo et al., Nature Communications 10 (2020) 2298
- 3) T. Hirahara et al., Nature Communications 11 (2020) 4821
- 4) S. Ideta, et al., Phys. Rev. Lett. 127 (2021) 217004

- 5) S. Nakata, et al., npj Quantum Mater. 6 (2021) 86
- 6) K. Takane et al., Scientific Reports 11, (2021) 21937
- 7) S. Ichinokura et al., Appl. Phys. Lett. 122 (2023) 071601



# 反応ダイナミクスとメゾスケールの構造可視化

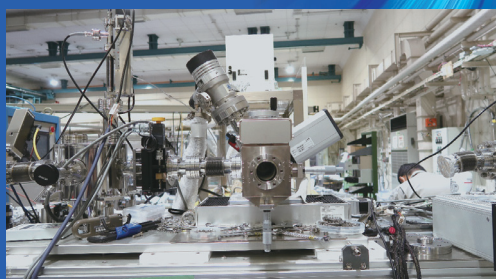
## オペランド軟X線分光・共鳴軟X線散乱

**BL3U** 高エネルギー分解能  
軟X線分光器

直線偏光, 60 - 800eV



溶液の軟X線吸収分光装置



共鳴軟X線散乱測定器

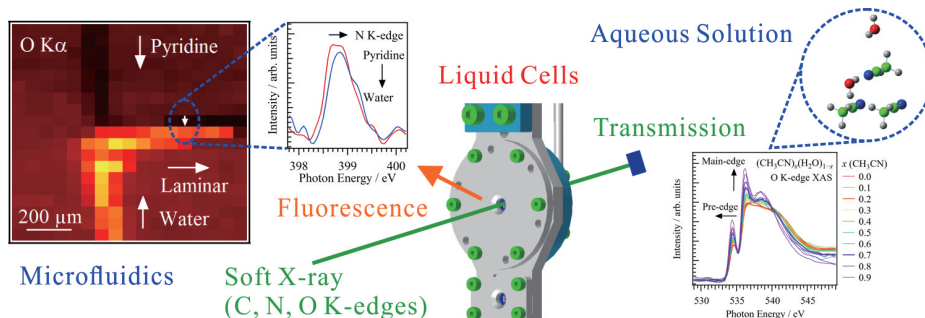
長坂将成・岩山洋士・枚本泰伸

BL3Uは、真空封止型アンジュレータと不等間隔回折格子を組み合わせた高エネルギー分解能の軟X線ビームラインで、60~800 eVの軟X線領域をカバーします。我々は、液体層の精密厚さ制御(20~2000 nm)を実現することで、これまで困難であった透過法による液体の軟X線分光測定に成功しました。これにより、様々な液体試料の軟X線分光測定から、液体試料の元素選択的な局所電子状態解析を行いました。また、開発した液体セルが実環境下にあることに着目して、触媒反応、電気化学反応などの溶液の化学現象のオペランド計測を推進してきました。また、様々な化学操作を行えるマイクロ流路の顕微軟X線分光測定法も開発しました。近年では、新しく共鳴軟X線散乱法を開発し生体試料や高分子材料などのソフトマターの構造解析にも取り組んでいます。ソフトマターは、主に炭素や窒素、酸素などの軽元素で構成されており、またその特徴的な空間構造は数nmから数100nmのメゾスコピック領域にあります。従来のX線(波長0.1nm以下)では結晶の原子レベルでの構造解析を得意としていますが、共鳴軟X線散乱法は特定の軽元素を選択的に観測することができ、また軟X線は波長が数nm程度と長いので、比較的大きなメゾスコピック構造を効率的に観測することができます。そのため、多様な構造・階層をもつ複雑系であるソフトマターにおいて、今後有力な解析手法になると期待されています。

## HOT TOPICS

### 溶液の化学現象のオペランド軟X線吸収分光法の開発

軟X線領域には、炭素、窒素、酸素のK吸収端と遷移金属のL吸収端があるため、溶液の化学現象の解明に有利です。しかしながら、軟X線は大気や水に強く吸収されるため、液体層の厚さを1 μm以下にする必要があり、液体の軟X線吸収分光(XAS)測定は困難でした。我々は、液体層を2枚の窒化ケイ素膜(100 nm厚)で挟んで、周りのヘリウムを制御する、液体層の精密厚さ制御法(20~2000 nm)を考案して、透過法による液体のXAS測定に成功しました<sup>1,2)</sup>。これにより、XAS測定からセロビオース水溶液<sup>3)</sup>などの様々な水溶液やナノ粒子<sup>4)</sup>の局所構造を解析しました。更に、触媒反応、電気化学反応<sup>5,6)</sup>などの溶液の化学現象のオペランドXAS測定法を開発すると共に、様々な化学操作が可能なマイクロ流路の顕微XAS測定法<sup>7)</sup>を開発しました。



Operando soft X-ray absorption spectroscopy  
for chemical processes in solutions

1) M. Nagasaka and N. Kosugi Chem. Lett. 50 (2021) 956  
2) M. Nagasaka, et al. Anal. Sci. 36 (2020) 95  
3) D. Akazawa, et al. J. Chem. Phys. 156 (2022) 044202  
4) T. Petit, et al. J. Phys. Chem. Lett. 6 (2015) 2909

5) M. Nagasaka, et al. J. Phys. Chem. C 117 (2013) 16343  
6) M. Yoshida, et al. J. Phys. Chem. C 119 (2015) 19279  
7) M. Nagasaka, et al. J. Chem. Phys. 151 (2019) 114201



# 化学状態をナノメートルで二次元可視化

## 走査型透過軟X線顕微鏡

**BL4U** 不等間隔平面回折格子分光器

直線偏光, 55 - 770 eV  
空間分解能: 30 nm



BL4Uキャビン内に設置された  
走査型透過軟X線顕微鏡 (STXM)

荒木 暢・湯澤 勇人

BL4Uでは55~770 eVのリチウムからフッ素のK吸収端、ケイ素からコバルトのL吸収端を含んだ軟X線エネルギー領域をカバーしています。X線用レンズであるフレネルゾーンプレートにより試料上に数十nmからサブミクロンサイズに入射X線を集光し、試料を二次元走査しながら透過X線を検出することでX線吸収コントラスト像を得ます。(STXM: Scanning Transmission X-ray Microscopy)。得られた試料の3次元データセット (二次元像×入射X線エネルギー)を解析することで、化学状態マッピングを行うことができます。Photon-in, Photon-outの手法のため、軟X線の透過する窓材で構成した薄いセルを使い水溶液中試料の測定も可能です。グローブボックスから顕微鏡チェンバーへの大気非曝露での試料移送を備え、「はやぶさ2」によって回収された貴重な微量試料中の非汚染有機物の化学状態分析も行われてきました。今後は、より広く生命科学への貢献を念頭ににした試料環境と検出手法の開発を進め、その利用研究を推進します。

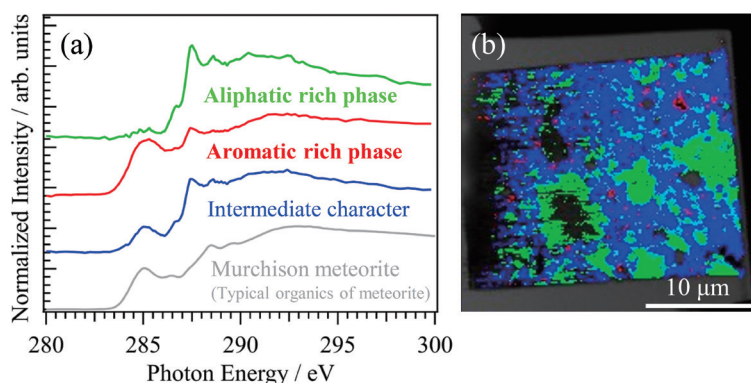
### HOT TOPICS

#### Phase2高知チームによるはやぶさ2帰還試料中の有機物の分布観察

小惑星探査機はやぶさ2がリュウグウの表層から持ち帰った試料を切片化し大気非曝露でSTXM分析を行った結果、脂肪族炭化水素が濃集しているスペクトル(a)の領域が多数観察されました(b)<sup>1)</sup>。さらに、TEM観察の結果と合わせると、脂肪族炭化水素は特定の形態・組成の鉱物中で生成していることが示唆されました。この鉱物-有機物の相関関係は従来の隕石で観察されたことがなく、地球上の物質による汚染が極めて少ないサンプルリターンの重要性が示されました。

また、施設間の連携分析によってSTXMを最大限に生かした成果を上げました。

他にも皮膚への薬剤の浸透深さ分布観察<sup>2)</sup>や、電池材料<sup>3), 4)</sup>および光触媒<sup>5)</sup>の化学状態分布観察など様々な分野の分析に利用されています。



(a) Three characteristic spectra extracted from the Ryugu sample  
(b) Mapping of the C0068 sample thin section based on the spectra in (a)

**Spectral mapping of Ryugu  
thin section by C K-Edge STXM**

1) M. Ito, et al. Nat. Astronomy 6 (2022) 1163.

2) G. Germer et al. J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., 266 (2023) 147343.

3) D. Asakura, et al. Chem. Asian J. 8 (2022) e202201047.

4) T. Ohigashi, H. Yuzawa and N. Kosugi Rev. Sci. Instrum., 91, (2020), 103110.

5) Y.-C. Huang, et al. ACS Sustainable Chem.Eng. 11 (2023) 5390.



# 電子スピンの素性を顕微で解き明かす

## 二刀流光電子運動量顕微鏡

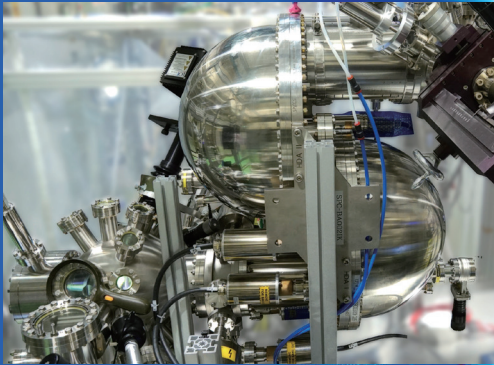
松井文彦・松田博之・解良聡

**BL6U** 可変偏角斜入射分光器

直線偏光, 40 - 700 eV

**BL7U** 直入射分光器

可変偏光, 6 - 40 eV



恒温ブース内に設置された  
PMM二重半球アナライザー

光電子運動量顕微鏡(PMM)は光電子顕微鏡と投影型電子エネルギー分析器を組み合わせた装置です。不均一な試料の微小領域を元素選択的に拡大観察する顕微鏡機能(実空間の分解能50 nm)と、その選択した領域の価電子帯分散を可視化する顕微ARPES機能(運動量空間の視野径 $6 \text{ \AA}^{-1}$ )を同一装置で実現します。さらに最新の2次元スピン検出器を装備し、電子スピンの実・運動量空間での分布を可視化します。試料温度は9 K (-264°C)から400 K (127°C)まで自在に制御でき、材料の相転移などその場観察を通じて、組成、構造、電子状態が電子物性と機能にどのように結びつくかという研究が展開されています。

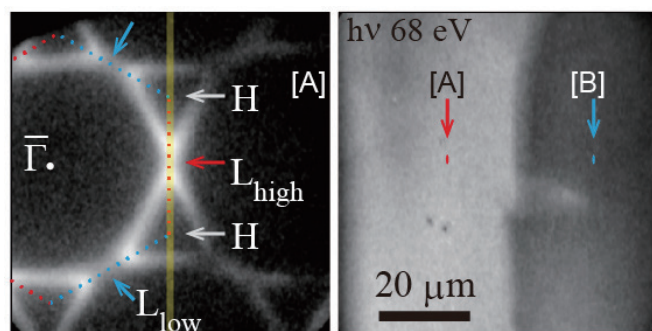
このエンドステーションは種々の元素の浅い内殻準位の励起に最適な光エネルギー帯の軟X線ビームラインBL6Uに設置されました。また物性を決定づける価電子を詳細に調べるため、真空紫外ビームラインBL7Uを分岐し、2ビームライン二刀流の配置としました。

最先端の興味深い材料や有用なデバイスは、 $\mu\text{m}$ スケールの多結晶あるいは高度に集積された構造を持ちます。局所領域の電子スピンの振舞いを解き明かし、新しいスピン科学を切り拓いていきます。

## HOT TOPICS

### 光電子運動量顕微鏡で明らかにしたグラファイト原子1層のステップ構造

本来グラファイトの表面には3回対称の構造が現れるはずなのですが、従来の測定では、6回対称であることが「常識」とされてきました。そこで光電子運動量顕微鏡<sup>1)</sup>の出番です。今まで気付かれていなかった微視的な電子状態を発見し、この知見を基に原子1層のステップの可視化にも成功しました<sup>2)</sup>。これまでよく研究されてきた物質でも、微視的な測定を行うことで、表面や端部の特徴的な構造が観測できるようになり、物性の正確な理解が飛躍的に進みます。有機半導体<sup>3)</sup>、カゴメ格子超伝導体<sup>4)</sup>の物性に関与する分子・原子軌道の解明やキラル相転移の顕微観測<sup>5)</sup>など独自の研究を展開しています。



Graphite surface state from mono-atomic step terrace region

1) F. Matsui, et al. Jpn. J. Appl. Phys. 59 (2020) 67001

2) F. Matsui and S. Suga Phys. Rev. B 105 (2022) 235126

3) M. Iwasawa, et al. J. Phys. Chem. Lett. 13 (2022) 1512

4) T. Kato, et al. Phys. Rev. Lett. 129 (2022) 206402

5) F. Matsui, et al. Rev. Sci. Instrum. 94 (2023) 083701



# 超長波長光で明らかになる分子の振動

## テラヘルツ・遠赤外分光法

**BL1B** Martin-Puplett interferometer

4 - 240  $\text{cm}^{-1}$

**BL6B** Michelson interferometer

30 - 20,000  $\text{cm}^{-1}$



BL1B テラヘルツ分光



BL6B フーリエ変換赤外顕微分光

田中清尚・手島史綱

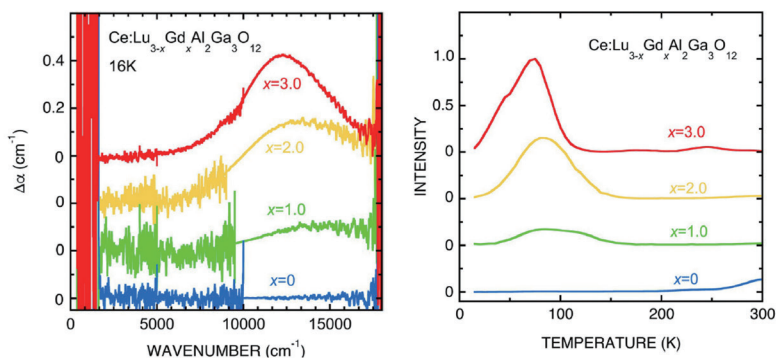
テラヘルツ波は光と電波の間の波長の電磁波で、これまで研究でも応用でもほとんど利用されてこなかった最後の未踏領域と呼ばれていました。BL1BではUVSORで最も長波長の光を利用できるビームラインとして、テラヘルツ波を利用した反射・透過・吸収などの分光実験ができます。これまで、物性に大きく影響する電子のごく近傍に存在するエネルギー準位の存在を明らかにしたり、レーザー励起による物性の変化の様子を直接観測したりしてきました。最近ではマイクロ波照射による、劇的な化学反応促進現象の起源を明らかにするための研究開発を進めています。

赤外分光測定は、化学、物理学、材料科学、地球科学、生物学、医学などのさまざまな分野で広く使用されている重要な実験手法です。放射光を用いた赤外分光ビームラインであるBL6Bでは、高輝度、集光性、偏光性、パルス性といった特徴を生かした利用が展開されています。ユーザーはビームサイズが200  $\mu\text{m}$ 程度のマクロ測定と、30  $\mu\text{m}$ 程度に集光した顕微測定を切り替えることが可能です。これまでにマイクロ波照射中の測定、紫外光照射中の測定、圧力セルを用いた高圧測定、レーザーを用いたトモグラフィ測定、偏光測定用治具の開発、巨大持ち込み装置に対応した光学ミラーの設計・製作などユーザーの要望に応じて装置の開発をしてきました。最近では顕微測定用のクライオスタットも整備し、マクロ、顕微測定ともに5~300 Kでの測定が可能となっています。

## HOT TOPICS

### 紫外線照射下での赤外吸収分光

セリウムイオンをドーブしたガーネット結晶は優れたシンチレータとして知られています。これまで放射線を照射すると性能が低下してしまうことが知られていましたが、その原因は明らかではありませんでした。この研究では結晶に紫外線を照射しながら赤外分光実験を実施し、光誘起電子捕獲中心の吸収を赤外領域ではじめて観測することに成功しました。この実験結果から得られた浅い電子捕獲中心の情報は、シンチレータの性能低下を抑制する方法の手掛かりとなると考えられます。



UV-induced IR absorption spectra

- 1) M. Kitaura et al. Appl. Phys. Lett. 113 (2018) 41906
- 2) Y. Nakajima et al. Phys. Rev. B 100 (2019) 125151
- 3) T. Kanomata et al. Solid State Commun. 340 (2021) 114525

- 4) M. Kitaura et al. Journal of JSSRR 34 (2021) 37
- 5) T. Kawasaki et al. Biomolecules 12 (2022) 1326



# 光機能材料評価ビームライン

## 可視紫外の吸収・発光分光で光学特性評価

松井文彦・矢野隆行・中村永研・近藤直範

**BL3B** 2.5m直入射分光器

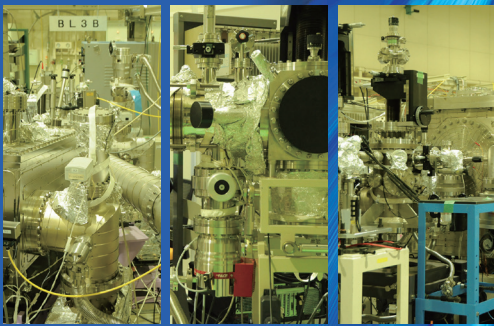
直線偏光, 1.7 - 31 eV

**BL7B** 3m直入射分光器

直線偏光, 1.2 - 25 eV

**BL5B** 平面回折格子分光器

直線偏光, 6 - 600 eV



BL3B

BL7B

BL5B

可視から真空紫外の光は物質の性質を決定づける価電子と強く相互作用します。BL3BとBL7Bはこのエネルギー領域をカバーする偏光磁石ビームラインです。固体の吸収・反射・発光測定を通じて太陽電池・シンチレータ・センサなどの特性評価やシングルバンチモードを活用した光機能ダイナミクスの研究が活発に行われています。また光電子・光イオン同時計測法による気体分子の光解離反応の計測は脱フロンガスの研究につながっています。

BL3Bは全国各地の大学からの利用<sup>1,2)</sup>があり、年中混んでいますが、コロナ禍を契機にリモート測定・DX化に向け、試料ステージの自動化および励起光依存発光多次元データ計測の整備を開始しました。

BL7Bは以前は測定部が中二階に置かれ、偏光特性計測を重視した設計となっていたのですが、光源のトップアップ導入に併せ、測定部をフロアに下す現在の形となりました。自由度の大きい測定部を利用した持ち込み装置による実験が行われています<sup>3,4)</sup>。

BL5BはUVSORの建設初期から運用されているビームラインです。約1mの立方体というUVSORで最も大きな測定真空槽を有し、他の施設では扱うことができないような巨大なミラーや回折格子などの光学素子の評価ができます。高次光を除いた光で正確な光学素子の評価ができるように、種々のフィルターを装備しています。光学素子の方位や検出器の位置をあらゆる方向に設定可能で、光学素子の完全な光エネルギー・角度依存性を観測できます。近年はユーザーが大きな装置を持ち込める利点を利用して、宇宙の観測技術の開発や物性研究<sup>5)</sup>などにも広く利用されています。

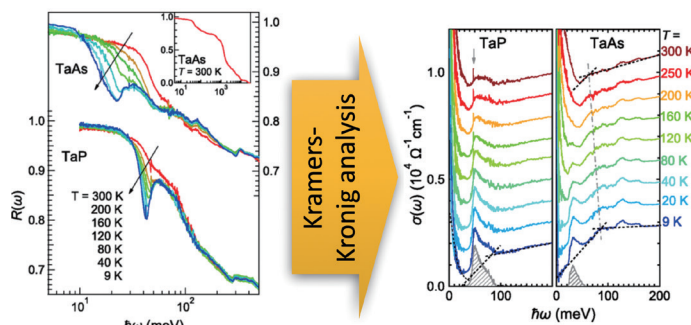
位置をあらゆる方向に設定可能で、光学素子の完全な光エネルギー・角度依存性を観測できます。近年はユーザーが大きな装置を持ち込める利点を利用して、宇宙の観測技術の開発や物性研究<sup>5)</sup>などにも広く利用されています。

## HOT TOPICS

### 固体中の「ワイル粒子」を動的伝導度で探る

この10年間物性科学の世界をにぎわせているのがトポロジカル物質です。トポロジカル物質の1つに、運動量空間で磁気モノポールが出現する「ワイル半導体」があります。ワイル半導体では、ワイル粒子と呼ばれる質量がないカイラルフェルミオンであり、その動的性質が注目されています。

動的性質の1つである動的伝導度は、光反射率スペクトルから導かれる光学伝導度スペクトルに対応します。図は、典型的なワイル半金属TaAsとTaPの光反射スペクトルと光学伝導度スペクトルであり、低エネルギーに現れるドルーデ応答の温度変化から、ワイル粒子の存在が明確になりました<sup>3)</sup>。



Comparison of photoconductivity by reflectivity measurements of Weyl semimetals

1) T. Hirai, et al. Jpn. J. Appl. Phys. 60 (2021) 75501 BL3B  
2) O. Yagi, et al. J. Lumin. 226 (2019) 117359 BL3B  
3) S. Kimura, et al. Phys. Rev. B 96 (2017) 075119 BL7B

4) M. Kitaura, et al. J. Appl. Phys. 115 (2014) 83517 BL7B  
5) Y. Hikosaka, et al. J.Synchro.Rad. 27 (2020) 675 BL5B

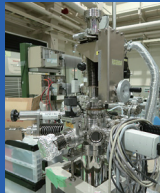


# 様々なニーズに応える自由空間を提供 変幻自在な軟X線エンドステーション

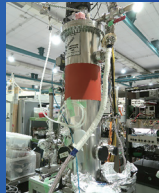
岩山洋士・横山利彦・石山修

## BL4B 不等間隔平面回折格子分光器

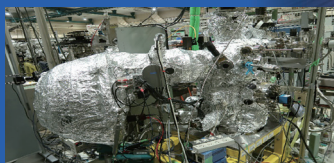
直線偏光・円偏光, 40 - 1000 eV



X線吸収微細構造測定器



X線磁気円二色性測定器



角度分解光電子分光器



磁気ボトル型多電子・イオン同期計測器

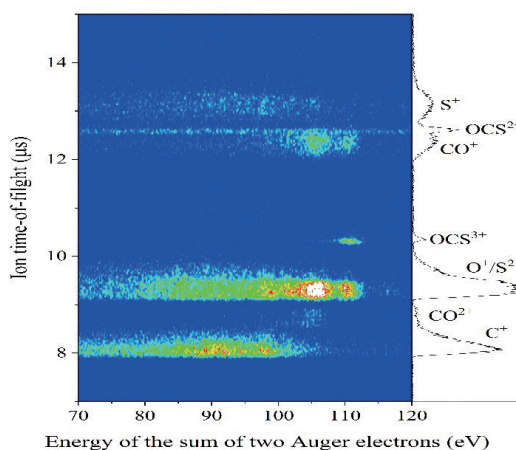
BL4Bでは光エネルギー40~1000 eVの軟X線が利用可能です。最大の特徴は、エンドステーションの実験装置が固定されておらず、装置を切り替えることでさまざまな実験がなされている点です。現在、X線吸収微細構造測定器、X線磁気円二色性測定器、角度分解光電子分光器などを切り替えながら、実験が行われております。また磁気ボトル型多電子・イオン同期計測器などユーザーの装置も受け入れ可能です。放射光は通常連続光源として扱われますが、特殊な加速器運転モードではパルス的な光源として利用することができます。パルス光源では、放射光が照射された瞬間がわかるため、時間分解測定や生成荷電粒子の飛行時間型分析法を用いることができます。特にBL4Bでは、このパルス性を利用して、磁気ボトル型多電子・イオン同期計測器を用い、1つのパルス光で生じた電子やイオンを同時計測し、その電子状態やイオン状態の相関を明らかにすることで、精密な化学反応を観測することができます。その他にも、様々な装置を取り付けられるため、とりあえず放射光を使ってみたいという方の試験の場としても活用可能です。偏向電磁石からの放射光であるため、アンジュレーター光と比較すると、光強度が強くはありませんが、ノイズレベルが非常に低く、全電子収量法などのピコアンペア測定でのノイズはわずか2フェムトアンペア程度で計測することが可能です。将来的にも、このような低ノイズ環境を生かした低放射線損傷実験も推進していきたいと思っております。

## HOT TOPICS

### 電子・イオン同期計測による準安定3価イオンの観測

分子に軟X線を照射すると、複数の電子が放出され、その結果分子は多価イオンになります。プラスとプラスの電荷はクーロン反発力が働いたため、1つの分子のなかに複数のプラス電荷がある多価イオン分子は不安定ですぐに壊れてしまいます。たとえばOCS分子の場合、 $S^+$ イオンや $OC^+$ イオンなどに解離します。しかしながら、いくつかの分子ではしばらく安定に2価イオン状態を維持できることが知られていました。富山大学の彦坂教授は、複数の電子とイオンを同時に観測することができる磁気ボトル型電子・イオン分析器をBL4Bに持ち込み研究を進めることで、非常に珍しい準安定な3価イオンの電子状態を発見しました<sup>1)</sup>。

他にも、装置を切り替えながら磁性体<sup>2)</sup>や触媒<sup>3)</sup>の電子状態の研究や検出器の開発<sup>4)</sup>などが行われています。



電子状態(横軸)と生成イオン質量(縦軸)の相関図

1) Y. Hikosaka J.Chem. Phys. 158 (2023) 214306.  
2) K. Kawaguchi, et al. J. J. App. Phys. 61 (2022) SL1001

3) T. Tsukamoto, et al. J. Am. Chem. Soc. 142 (2020) 19078  
4) M. Nagasaka, et al. Rev. Sci. Instrum. 91 (2020) 083103

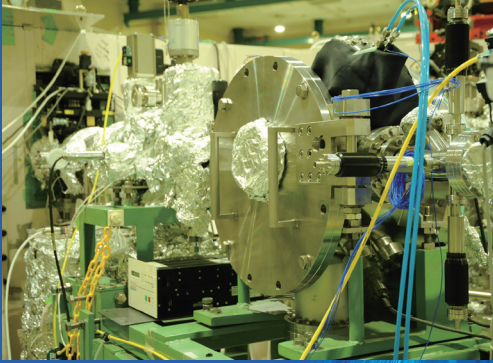


# テンダーな柔X線吸収分光計測

## 低ノイズで測定するX線吸収スペクトル

**BL2A** 二結晶分光器

直線偏光, 800 - 4000 eV



UVSORで最も短いビームライン

近藤直範・松井文彦

90年代からBL1Aで活用されてきた二結晶分光器をUVSOR-IIIのアップグレードを機に2Aに移設しました。現在UVSORで最も高いエネルギーのtender X-ray(柔X線)を利用できるビームラインです。主に軟X線吸収測定が行われています。光源がカバーするエネルギー域上端を利用するため光量は小さいのですが、バックグラウンドレベルも低いため、十分なダイナミックレンジを確保でき、結果として放射線低照射量の条件でノイズの小さいスペクトルを得ることができます。無機化合物や有機金属錯体など幅広い材料の評価研究が行われています<sup>1-3)</sup>。有名なGrignard反応の機構を当ビームラインでのMg吸収端X線吸収分光を活用して解明につなげた論文<sup>3)</sup>は2021年科学・材料科学分野ダウンロード数第1位になりました。

光電子分光(XPS)測定用に半球分析器を常設しています。光電子回折領域(運動エネルギー1 keV)で全光電子を取り込む分析器の開発も進んでいます<sup>4)</sup>。

また太陽観測ロケットに搭載するX線検出器の校正・評価としての光源利用もこのビームラインでの特徴的な実績<sup>5)</sup>です。

## HOT TOPICS

### 太陽観測用ロケット実験の視力検査

太陽はいまだ謎に満ちています。例えば、太陽を取り巻くコロナは太陽表面よりも数百万度も高温な状態で安定して存在しています。つまり定常的な加熱が必要なのですが、その詳細なメカニズムは謎です。また太陽フレアは粒子を効率よく加速することができる優秀な加速器としての一面を持ちますが、その加速メカニズムは未解明です。

これらの謎を解明するためのカギを握るのがX線の撮像分光観測です。しかしX線は地球の大気に吸収され地上に届きません。そこで国立天文台の成影グループ<sup>5)</sup>はX線カメラをロケットに積んで打ち上げ宇宙空間から観測する国際共同プロジェクトFOXSIに参画しています。2024年春打ち上げを目指すFOXSI-4計画では太陽フレアからのX線光子を一つずつ分析し撮像するという世界初の観測に挑戦します。

この観測を支えるキー技術の一つが、高速度・低ノイズCMOSイメージセンサー<sup>5)</sup>で、BL2Aがカバーする800~4000 eVのX線を用いて開発・較正が行われました。

\* Focusing Optics X-ray Solar Imager



CMOS X-ray imaging sensor evaluated at BL2A

1) H. Matsushashi, et al. J. Jpn. Petrol. Inst., 64 (2021) 103  
 2) Y. Kzaka, et al. Cryst. Growth., 24 (2022) 747  
 3) R. Takahashi, et al. Nature Commun., 12 (2021) 6691

4) H. Matsuda, F. Matsui, Jpn. J. Appl. Phys. 59 (2020) 046503  
 5) N. Narukage, et al. Nuc. Ins. Method. A 950 (2020) 162974

## 複雑系・不均一系の理解へ

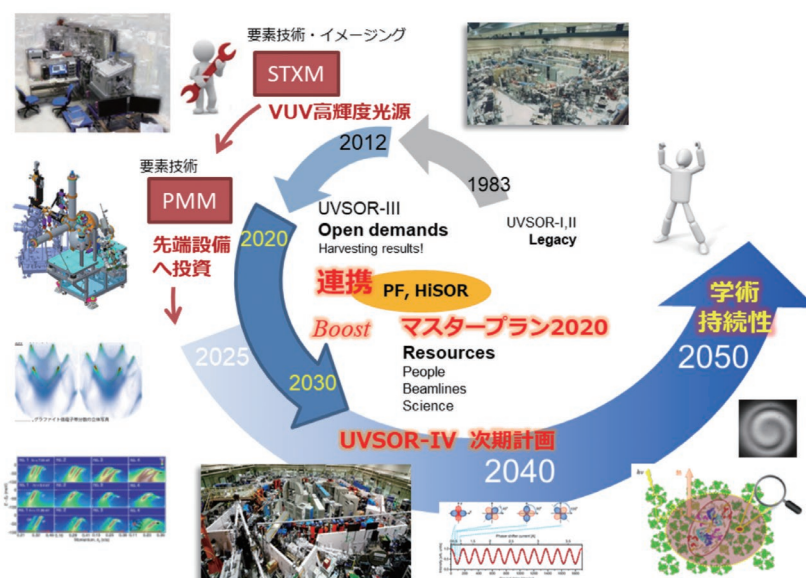
極端紫外光研究施設UVSORは1983年の初点から数え、40周年を迎えました。次世代への持続的な科学技術の発展に向けて、ニーズを基に光源施設の在り方を再構築しつつ、適切なインフラストラクチャーの構築により共同利用・共同研究による学術推進の歩みを継続する必要があります。詳細はコンセプトデザインレポートとしてまとめたものをご覧ください。



1900年代から続く量子力学の発展に伴う光計測技術は、結晶系の原子レベルでの精密な解析と緻密な議論を目指し、多くの技術革新と共に発展してきました。今やナノテクノロジーに表現されるように、我々の生活に欠かせない技術となっています。その後、人類の好奇心は留まることを知らず、より複雑で不均一な標的をいかにして理解し制御するかに移りつつあります。1993年、Ilya Prigogineの著書「複雑性の探究」により、「複雑系」という言葉が流行語になりました。この複雑系は、エネルギーや物質の出入りによって新しい構造や機能が生まれ、物理法則から予測が難しい「散逸構造」と呼ばれる現象を指しており、生命活動にも強く関連します。しかし、理論予測に先行ないしは並行して実験するのが理想でしたが、当時の技術では叶いませんでした。時を経て30年後の今、複雑系研究が再び注目されています。計算能力の向上と観測技術の発展がその要因です。第一次ブーム時にはなしえなかった「複雑なものをありのまま観測する研究」が現実なものとなってきました。

生物学分野は、複雑系事例の宝庫です。例えば生物学の大いなる謎である、「物質がなぜ情報を持つように見えるか」を理解するためには、これまでの精密な構造解析法だけでは全く不十分であり、光科学による新しい機能解析法の開拓が求められています。代表的な機能である「自律性」は、ゆらぎ・動的平衡物理として生命科学の多くの分野で発現するだけでなく、ミクロの物理・化学の分野では「秩序・相互作用」、マクロの環境・社会の分野では「持続性・共生・復元力」につながる学際的なキーワードです。次世代量子マテリアル開発や環境化学分析における研究指針にヒントとなりうる学際的な共通項です。

そこで次期計画では、生命科学の重要課題であるロバスト(堅牢さ)と柔らかさが基礎となる自己修復能や環境応答性、エネルギー変換機能等をモデル標的とし、先端技術を駆使した挑戦的な光科学による量子計測によって、困難な研究課題を克服します。現在、研究の主流は、時間・空間の各階層の構造学的な知見と、それらの相関情報を理論シミュレーションなどで繋げたマクロな機能の推察による展開です。この戦略で得られる知見には限界があることが危惧され、複雑系・不均一系の機能の因果律の理解に向けた抜本的な戦略転換が求められます。挑戦的な目標で、実現に向けては各分野の専門家がワンループで結束し大きな目標に向かって取り組む仕組みづくりが重要です。物理・物理化学と生命科学の連携はまさに超異分野融合とでも言うべきもので、協働作業のための人と技術の循環システムを担う新センター「極限光オートノミー探究センター」を構築し、世界に先駆けて新学際領域の開拓を誘います。生命の理の深淵に踏み込むのももちろんですが、生命は自然そのものが私たちに示している応用科学と言えます。新奇物性の解明や物質開発にも、生き物たちから得た知見は役立ってくれるはずで、生命科学の自律性を課題として開発される技術は、その他の物質系の計測技術として還元され新たな循環系を創出します。生体模倣によって未来の材料開発に新たな価値観を生み出したいと考えます。



3世代に渡り進化し続けてきたUVSOR



## 新センターにおけるUVSORの役割

研究推進に不可欠なハードウェアとして、最適化された次世代の省エネ・高輝度小型放射光の建設だけでなく、小型レーザー光源による実験ステーションや生命科学研究で必須な各種分析機器群を集中配備し、複雑系の理解に不可欠な設備群を拠点集約します。技術的にまだ十分に利用されていない波長帯の光や、新たに開発される超広帯域光の多元的複合利用によって新たな分子の表情を獲得し、自律性の光計測による新しい基盤学理を構築できます。また、放射光大国である我が国において、低エネルギー帯をカバーする小型施設は中型・大型施設では難しい研究課題を担うことができるため、相補的役割も持ちます。UVSORの強みである、新規量子ビームの開発や易損傷物質であるソフトマテリアルへの計測発展の成功事例をもとに、蓄積された知的資産を発展的に継承し、複雑系に挑戦的に展開することが有効です。具体的には、光の複合利用(マルチモーダル、マルチビーム、ビームアシストなど)により時空間階層を分離結合するクロススケール計測、あるいは階層横断的なトランススケール計測をはじめとした新規手法を開拓します。新たな手法と視点の導入で初めて時間と空間の複合的現象である自律型機能を可視化でき、複雑な現象の量子論的な理解に導くことができます。

一方、こうした手法や装置の開発能力をもつ若手研究者の育成は待ったなしの時期に来ています。マスタープラン2020で進められている施設間ネットワークを軸に、希少な技術情報や人材育成機会を国内共有し、コミュニティの連携を持続的に強化します。超異分野融合には、共同利用支援システムの運営体制の発展も不可欠で、効果的な研究活動を促進するために、生命科学で不可欠な専用試料調製準備室、汎用計測実験環境、倫理審査管理体制等を整えます。集約された研究設備環境と研究機会を共有できる場を最大限に生かすために、新センターは「光道場」と名付ける育成プログラムの枠組みを構築します。階層のトップでプログラムを牽引するオペレータは学界のマイスター「匠」です。大学共同利用機関が技術開発や人材育成の中心となり、超異分野連携を通じて困難な課題を打破するために大型設備の効果的な運営を行うことができます。まだ光を知らない、光を使いこなせていないコミュニティがあり、多くの研究者と学生が存在します。こうした人々への研究支援や教育活動は自動的に、我が国の先端研究を担う人材問題の解決策へ誘います。国内コミュニティの活性化はもちろんですが、将来的にアジア近隣諸国に新たな人材供給源を開拓し、国際連携を通じた新たな課題解決に取り組むことが可能となり、ひいては多くの国際社会課題の解決に向けた次世代の産業応用基盤創発に資することができます。このように、UVSOR次期計画は新たな放射光施設建設を軸にするものですが、単なる設備の高度化・高性能化を目指した施設計画では無く、新たな分野融合型の挑戦的な研究計画になります。時代背景の生物学利用・複雑系計測というニーズ牽引力と、これまでのUVSORの強みである光源開発力・分子科学利用のシーズ押出型が4輪駆動でドライブすることで初めて困難な科学目標を達成できると確信します。化学分野強化の基盤を担ってきたUVSORの装置開発の伝統と、光計測科学の技術と利用ノウハウの資産継承は我々の強みです。また、岡崎三機関の有する生命分子科学系の計測・分析基盤技術を効果的・発展的にワンルーフで一元集約できる地の利があります。次期計画の実施体制としては、大学共同利用機関の機能を生かし、光のヘビーユーザーを抱える連携機関を拠点ハブとして、ライトユーザーあるいはビギナーの利用障壁を排除し、未来へ向かって共同利用・共同研究を強力に推進します。

### 分野融合ニーズプル型の施設

#### 1 分野融合型研究が必要とする大型設備開発

: バイオイメージングのニーズの高まり

#### 2 研究ニーズ視点で光のテラーメイド利用へ

: 緊急性の高い複雑系/不均一系の科学

#### 3 ゼロをイチにするトライ&エラーの学術研究

: 大型施設の多様性と相補的な小型施設の自由度と機動力

#### 4 技術伝承・人材育成のワンルーフ研究環境

: 若手とシニアが切磋琢磨する「光道場」育成プログラム

## 4つの壁を打破する研究拠点の構築へ

### 1 未踏の手法開拓で先端的な光計測を国際主導

:光源のマルチ利用に挑戦し、光とバイオ専門家の協働による超異分野融合を目指す(トライ&エラーの研究環境パッケージが前提)、光科学以外の周辺研究環境の総合性が不可欠(試料作製・分析・解析・コーディネーション)

### 2 地域性と研究資産(人と装置)による課題突破

:バイオ分野と放射光分野のオールジャパン体制と、UVSORの歴史的資産である真空紫外線と軟X線の技術・計測ノウハウの蓄積を活用

### 3 光源ファシリティの新しいあり方を具現化するセンター

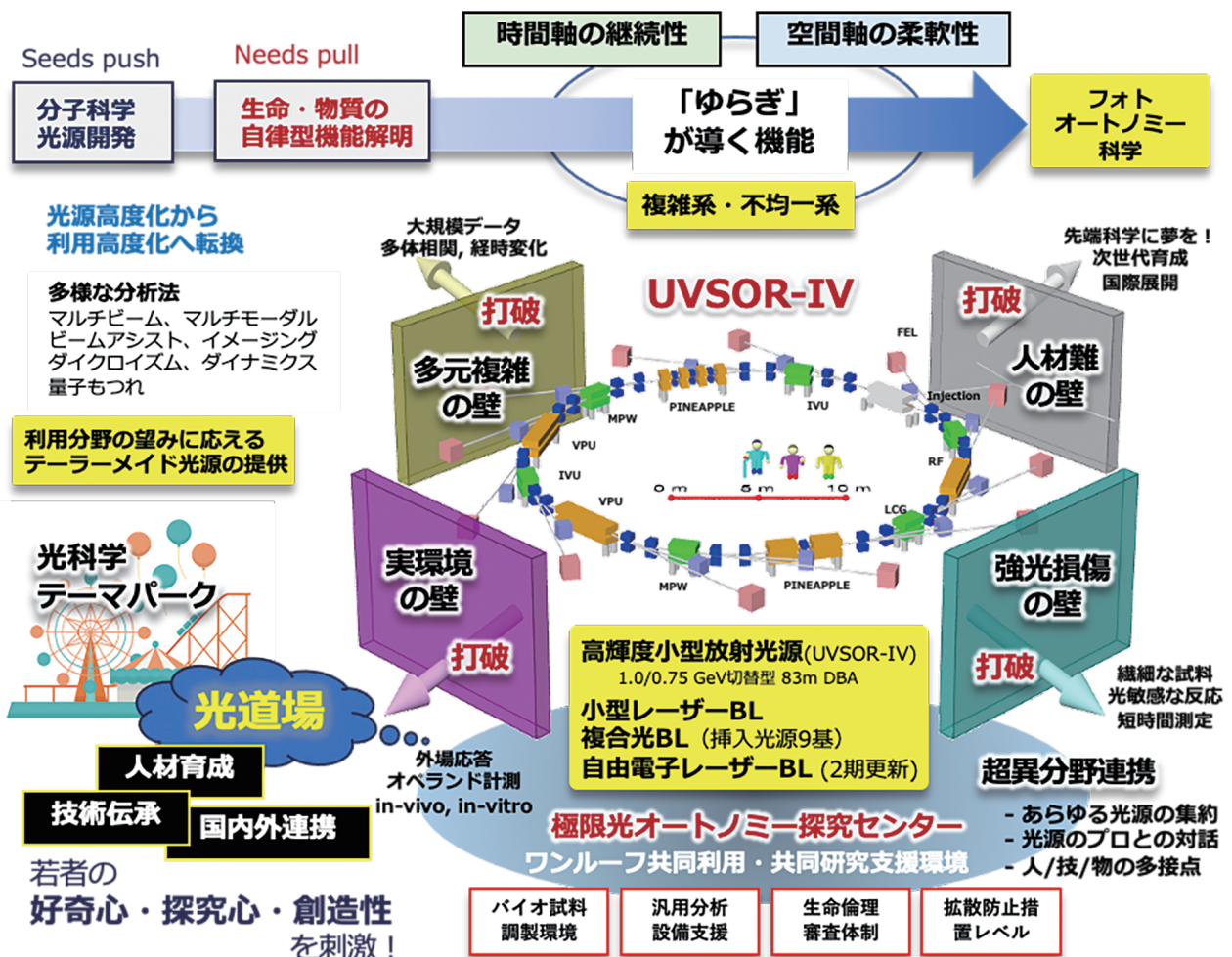
:時代毎にミッション定義し学術創発する仕組みを完成、ユーザー要望に即したテーラーメイドな光を提供(光利用の高度化、最適化、戦略特化型)、光源施設と複合設備のワンルーフ環境により課題克服(放射光とレーザー光の共生融合)、放射光利用実験で築かれた共同利用・共同研究スタイルの拡張(レーザー設備の共同利用でコミュニティ拡大)

### 4 長波長帯域の光源の希少性と成熟期にある技術開発

:高輝度化の光源性能追及の時代から、よりデータ出力に注視する時代へ、データの量と質、効率性と安定性(目的特化のスピード感で新分野開拓を主導)

### 5 多彩な学術分野の持続性を確保

:かつての日本の強みであった緻密な研究に基づいた手法開拓や装置開発のできる人材育成とそのための技術伝承が途絶えようとしている、ワンルーフ研究環境の構築が有効で緊急性が高い。生物学の光計測を軸に国際トレンド創発へ



多彩な光源をワンルーフ集約し、テーラーメイドな高度支援環境で挑戦的な計測を実現し、分野連携による総合力で各壁を打破し、新たな学際領域を新センターが切り拓く



# 光源加速器UVSOR-IVコンセプト

新センターはレーザー光源等も含めた、多彩な光源設備を提供する計画ですが、その中でも核となる大型設備が、省エネ型小型高輝度シンクロトン放射光源UVSOR-IVです。UVSOR-IV加速器の設計においては以下の4点を基本理念とし準備を進めています。

- SPring-8II、NanoTerasuを補完する真空紫外領域での回折限界光源の実現
- 建設及び運転コストの低減による持続可能性の実現
- 安定性と柔軟性の両立による多彩な利用の実現
- 小型施設の機動力を活かした新技術開拓の場の実現

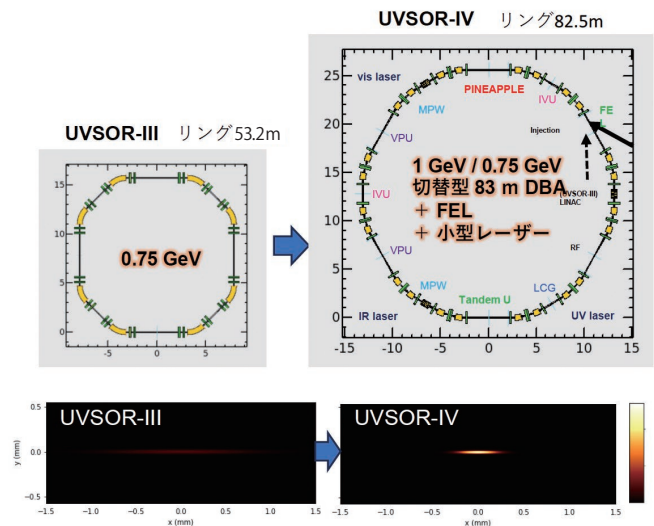
UVSOR施設は、建設当初より、小型・低エネルギー施設の利便性・柔軟性・俊敏性を活かして、様々な新しい放射光の発生法・利用法の開拓に取り組んできました。小規模放射光施設の利点であり、標準的なユーザー運転とは別に、特定の研究テーマやユーザーの要望に応じた特殊な加速器運転にも柔軟に対応できることで迅速に研究を進めることができたのです。この歴史的背景を強みととらえ、今後も発展的かつ持続的に次世代へと継承したいと思えます。

具体的には、UVSOR-IVの設計目標を以下に設定しました。

- 電子エネルギー1 GeV以下(0.75 GeV切替運転)
- エミッタンス数nm以下
- 周長100m以下
- 10本程度の挿入光源用直線部
- 300mA以上のトップアップ運転
- エネルギーやオプティクス柔軟な可変性の確保

UVSOR-IVの特徴とする真空紫外領域では数nm程度の電子ビームエミッタンスで概ね回折限界に到達できるため、極限的な加速器技術を要求するX線領域とは異なり、基本セル構造はDBAセルで技術的な困難はありません。また、限られた周長でできるだけ多数の直線部を確保し、多彩な利用に合わせた各種挿入光源を実装することを目指しており、DBAセルが最も適していると言えます。成熟した技術による安定定常運転へスムーズに移行でき、多彩な挿入光源と柔軟な運転モードを組み合わせる新しい光源技術やその利用法の開拓に繋がることで、開発スピードの速い国際競争に打ち勝つことができます。建設コスト抑制は重要な指標であり、電磁石の小型化・ハイブリッド化による省エネ運転、UVSOR-IIIからの機器転用を計画しています。具体的な仕様や挿入光源の利用については、別紙デザインレポートをご覧ください。長さ4.2mの直線部が6本、1.6mの直線部が6本であり、10本が挿入光源として実験使用可能です。短い直線部には、磁場強度2~3 T程度の多極ウィグラー(MPW)を挿入でき、放射減衰が強まることによりエミッタンスが更に低減することに加え、ビームの安定性の向上も期待できます。さらに現状と同じ0.75 GeV低エネルギー蓄積モードでは、これまでのユーザーのニーズを維持することはもちろんのこと、SPring-8の高度化により実験環境が枯渇する赤外線ユーザーの受け皿となります。また高エネルギー1 GeV運転下でのMPWからはテンドーX線領域まで伸びる高フラックスX線が生成されます。今後の重要なユーザー開拓と生物学関連の強いニーズの高まりに応えるためにも、硫黄やリンのK殻励起に対応するため重要な波長帯といえます。また、磁場を適切に選ぶことによりその基本波長を近赤外・可視領域に持ってくることで、外部レーザーと電子ビームの相互作用を利用する様々な光発生、レーザーパルススライス法やEcho-enabled高調波発生なども実現可能となります。

UVSOR-IVのフルエネルギー入射器として利用可能な加速器としては、ブースターシンクロトンと常伝導直線加速器の2つがありますが、将来的には、近年技術開発の著しいレーザー加速器、すなわち、高強度レーザーによりプラズマ中に生成されるレーザー航跡場による電子加速も視野に入れています。レーザー加速入射器の場合、蓄積リングへの入射以外に、自由電子レーザーの発振に利用できる可能性があるため、長期にわたり持続可能な施設の高度利用が実現します。



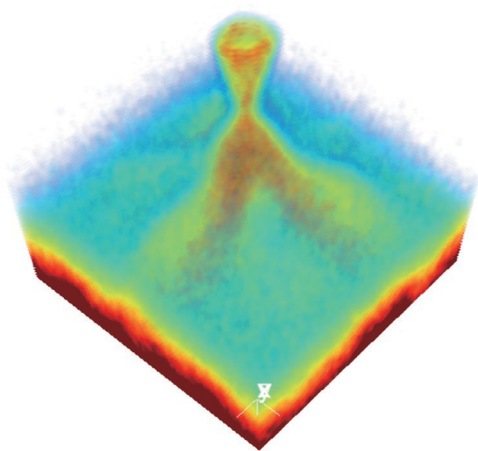
UVSOR-IIIとUVSOR-IVリングの比較  
DBA: double bend achromatic

# UVSORの目指す科学目標例

## 量子・物質系について

20世紀は、量子力学が古典物理学から芽を出して現代科学の基礎科学の根幹となる大樹に成長し、その過程で全人類の生活様式さえも変革していった100年でした。その後、放射光やレーザーが実用化され、分析・微細加工技術の発展の恩恵を受け、半導体エレクトロニクスが花開き、光触媒や高温超伝導体の登場で物質科学はますます深淵・多彩な世界となっています。20世紀後半は「界面を制する者はデバイスを制す」を合言葉に、低次元系物質に閉じ込められた電子の量子効果が織りなす様々な物理現象を有用な機能に昇華させる物性物理分野が隆盛を極める時代となりました。UVSORが誕生した1980年代はまさに高温超伝導や有機半導体の機能発現機構の解明で物性計測法が革新的に成長し、物性物理学を牽引していった時代です。それとは並行して量子力学誕生時から謎に包まれた「量子もつれ」が実証され、この現象に基づいた量子コンピュータや量子暗号が国策の研究分野の一つとなり、21世紀は再び量子革命の時代と謳われるに至りました。ここでの主役は電子の第四の量子数であるスピンです。量子技術が実体を得たデバイスに組み込まれるためには、実用材料における物性研究に新たにスピンという視点で切り込んでいく必要があります。21世紀初頭に、原子一層からなる究極の低次元結晶が登場し、その中を「相対論」で記述される方程式に従って運動するディラック電子が発見されました。また新たに登場した「トポロジカル物質」では、位相幾何学という数学で分類される対称性の異なる者同士の界面(トポロジカル物質の表面)での「量子もつれ」によりスピンが電流の実態となる金属状態の発現という、これまでの物性物理にはなかった新しい現象が見つかりました。UVSORでの光電子顕微分光や複素誘電率計測はこうした物性解明の一端を担っています。

これまで物性物理研究は、「構造解析から機能解明へ」を合言葉に微細化によるマクロからのアプローチと理想的なモデル単結晶を用いたミクロからのアプローチを組み合わせた要素還元的な研究によって推し進められてきました。近年は原子層物質の制御されたヘテロ・ねじれ積層や多極子を生む複合化合物、磁気渦(スキルミオン)や光渦(軌道角運動量光)、さらには強光子場で作り出された時間軸上の励起状態の結晶構造の創出(フロック・エンジニアリング)など、スピン同士が相互作用しながら特異な振舞いを示す舞台を用意し、物性・機能の新たな可能性を探求する研究が展開され「機能探求から構造の逆設計」がキーワードになります。UVSORは「機能発現領域」の光エネルギー帯をカバーします。UVSORはこれからの研究展開のキープレーヤーとなることを目指します。



## 化学系について

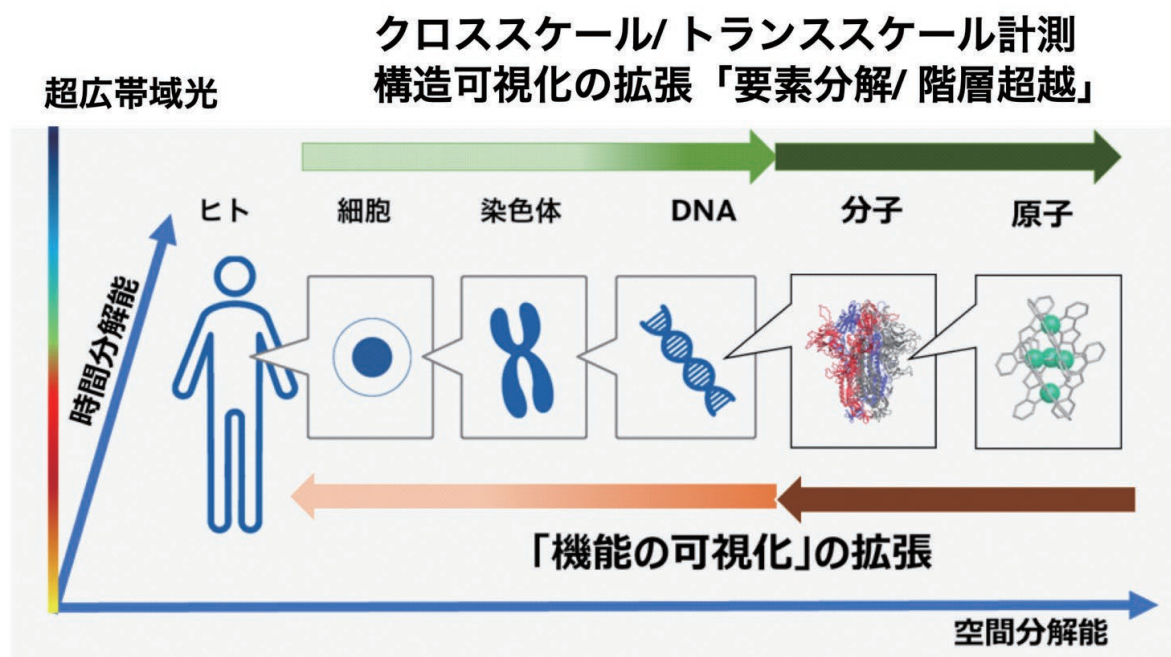
1980年代、放射光利用が主に原子物理や半導体リソグラフィに集中していた中で、化学の原子レベルの理解を深める強力な道具としてUVSOR施設は分子科学分野への放射光科学の波及を意識して「ケミカルマシン」のミッションポリシーの下に建設され今日まで利用されてきました。事例をあげれば枚挙にいとまがありませんが、一例として有機エレクトロニクス分野の展開があります。関一彦(名古屋大)、上野信雄(千葉大)らは、放射光科学を先行研究していたドイツへ留学し、有機分子固体の光計測技術ノウハウを取得し日本へ持ち帰りました。有機化合物の基礎学術的な成果が次々とUVSORから発信され、我が国が当該分野の基礎学術分野を牽引することに成功し、その後2010年代以降の応用分野の急速な発展に呼応しました。石井久夫らによ



る、有機無機界面のエネルギー準位接合モデルの総説は、分野のバイブルとして認知され極めて高い引用数を誇ります。またこうした技術と経験の蓄積は、光学素子の炭素汚染対策法や、易光損傷試料への対処法の研究ノウハウの蓄積に繋がっています。新たな物質を生み出す使命だけでなく、最近では創出した物質の機能や物性評価も精力的に検討される時代となってきました。特に化学反応の可視化や、反応ダイナミクスの追跡が最近のトレンドになりつつあり、化学系における光科学計測の展開は、ポテンシャルユーザーを多く抱えるといえます。次期UVSORでもこれまでに培われてきた光学素子の炭素汚染対策や、易損傷物質系の光計測ノウハウを最大限に活用し、日々生み出される有機化合物に対する物性・機能評価にタイムリーに応え持続的な科学技術の発展に貢献します。

## ▶ 生物系について

バイオ系は自律性機能をはじめとした複雑系計測のターゲット宝庫です。例えば、光合成のエネルギー変換と輸送について考えてみましょう。最先端の放射光施設を用いた精密な構造解析によって、各タンパク質の詳細な構造は解明され、光エネルギー変換に重要な金属イオン周辺の化学情報も得られ、その謎は解けたかのように見えます。しかし例えば植物の葉が示す、太陽光の強さに応じて発電環境を変え、エネルギーを効率的に利用する生物の自律性は不明なままです。絶え間ない揺らぎの中にありながら、光によって得たエネルギーはどのようにして細胞中の反応中心への方向や道筋を知るのでしょうか？外界の変動に晒されながら必然的に生じるエラーを織り込み済みの動的なシステムが、いかにして選択的な機能を創発しているのか、理論シミュレーションに頼らない、挑戦的な光計測による実験事実に基づいた物理化学的な原理の模索が求められます。同様の事例が、エネルギー生産と代謝(硫黄呼吸、光合成)、自己修復メカニズム(物質交換、記憶)、環境応答(生体リズム)、シグナル伝達(相互作用、液液相分離)など多岐にわたります。これらの理解には、既存の計測法の高度化に止まらず、機能生物学に繋がる全く新しい技術による斬新な計測手法の開拓が必要不可欠です。今後も精密な構造解析にもとづく研究が進むと思われませんが、その先に来るべき複雑系の光科学の研究展開を予測し、ワンループ集約された研究拠点によって国際的に新たなトレンドを創発します。テーラーメイド光源群と生物学に不可欠な実験準備環境を整え、岡崎三機関の生物学の研究者集団がコアとなることで極めて効果的にこの目的を遂行できます。極めて挑戦的な科学目標に対して、UVSORで培われてきた分子系の光計測ノウハウをもとに、超異分野融合の実現へ向けてUVSORが横串を刺すことで、その突破口を開きたいと思えます。



階層横断的な現象をひもとき機能の源を知る

# 6 想いを寄せていただきました

## Messages for Our Project

私たちが計画をはじめた

UVSOR-IV(極限光オートノミー探究センター)について、現UVSOR関係者、ユーザーの方々、および日頃ご指導いただいている先生方にご寄稿いただきました。

Users: UVSOR利用者懇談会長

北浦 守

KITAURA, Mamoru / 山形大学

### つなぐことの難しさ

この度、UVSOR施設が初点から40周年を迎えられたことを心よりお祝い申し上げます。学生の頃から足掛け30年間にわたってUVSOR施設を利用させていただいて、気づいた頃には年長の部類になっていました。一利用者でありながら固体分光のビームライン建設や観測系の高度化など他では味わえない貴重な経験をさせていただきだけでなく、授業日程等にも配慮してビームタイムを割り振っていただくなど関係者の方々には本当に感謝してもしきれません。

さて、UVSOR施設は40年の間にUVSOR-IIIへと進化して小型の放射光リングでは世界最高性能を上げるまでに至りました。自然科学に潜む謎や科学技術が抱える課題を赤外線・真空紫外線・軟X線領域の最先端光源と分光技術によって解決して数多く優れた研究成果を世界に向けて発信してきました。最近では、ガンマ線領域の超短パルス光を発生させて独自の実験が展開されており、常に世界をリードしようとする気概に満ち溢れています。当然、その研究過程では多くの人が集うわけですから、いつの間にか分野を超えた交流も自発的に生じてどこか一体感が醸し出されるとともに、決して意図したわけではありませんが武家社会における塾や道場のような人材育成の場としての役割も長年にわたって果たしてきたように思います。こうしたある種のオートマティズムは時間経過とともに施設スタッフや利用者が入れ代わって失われつつあり、これまでUVSOR施設で培われてきた知識や技術、当たり前と思っていた慣習などをつないでいくことが年々難しくなってきたように感じます。

私たちは東日本大震災を経験して先人の教えをつないでいくことの大切さを身をもって知りました。再び起こりうる自然の脅威を決して忘れないようにと伝承されてきたはずなのに、都市化が進み人口流入が起こった結果、多くの人に共有されず被害がでてしまいました。人間の寿命をはるかに超える地球活動周期で起こった事象ですので、その記録をつなげるのは中々難しかったのかもしれない。それでも先人は口碑伝承によって後世の私たちにその歴史的事実をつなげようとしてくれました。若かりし頃、UVSORに実験で来所するたびに多くの先生方や職員の方からたくさんのことを教わりました。また、学生同士でも一緒に学び合う機会がありました。その知識や技術をつなぐためには後進となる学生としっかりと向き合う必要があるのですが、利用者の皆様はいかがでしょう？

有形無形を問わずUVSORのコミュニティが未来へと何をつないでいくのか、つなぐための最良の方策は何か、など40周年を迎える今、“つなぐこと”の大切さを改めて考えることが自然科学や科学技術の持続的な発展に貢献するだけでなくしっかりと社会文化の礎を築くためには必要なのではないでしょうかと思います。きっとその先に次期光源計画にむけて誰もが納得できる解答を見出せるのではないかと思います。

岡崎は、徳川家康生誕の地であることは誰もが知るところです。UVSOR施設がその岡崎の地にしっかりと根付いて世界中を照らし続ける光科学の研究開発拠点としてより一層輝きを増すことを願っています。





荒木 暢 ARAKI, Tohru / 分子科学研究所 UVSOR施設

## Photon Science Initiative: Transforming Life Sciences

PF, UVSOR, Advanced Light Source, SPring-8, Diamond ...と大学の研究室に入ってから30数年間ずっと様々な立場で放射光に関わってきました。初のPF放射光実験から、常にX-ray Absorption Spectroscopyが私のベースで、Spectro-Microscopy、Spectro-Scatteringと展開して、次はSpectro-Coherent Imagingとっていました。そこに、今年40周年となるUVSORの話があり、頭に浮かんだのは「学生時代に思い描いたLife Sciences through Physics」、基生研・生理研の存在がそう思わせました。着任してみると、UVSORからはまだ遠い存在に感じられました。今やるべきは、生命科学に関わる研究者の方々と共に現場で手法の開発から始めることです。真の相互理解からしか階層を跨いだ不均一・複雑系の生命科学研究においてブレークスルーは生まれません。Bio-imagingのトレンドであるCorrelative Imagingのような必要な複数手法の組み合わせが重要です。その際には、ユーザー、更には未だ放射光を使っていない研究者の声(ニーズ)が大切になります。放射光は、先端手法のショーケースとも言われますが、超異分野融合が可能な場と捉えることは出来ないでしょうか？新しい光の使い方・新しい光そのものを一緒に模索しましょう。

"I am, of course, most ignorant about all things biological, but I imagine most X-ray people start that way." (Rosalind Franklin)

この言葉が自分の現在地かもしれないませんが、この挑戦の先には新しいUVSORと日本の放射光の未来があると信じます。



岩山 洋士 IWAYAMA, Hiroshi / 分子科学研究所 UVSOR施設

## ソフトな光でソフトな物質を！

今後、生体分子を含めた高分子・液晶・コロイドなどのソフトマターが研究対象としてますます重要になってくると思われます。ソフトマター(soft matter)は一般に、炭素、窒素、酸素などの軽元素で構成されており、それら元素の共鳴エネルギーを含む軟X線(soft x-ray)領域の重要性が高まると期待できます。一方で、これら物質は、放射線損傷に弱いので、必ずしも高輝度光源と相性が良い訳では無く、むしろいかに低光強度で測定できるかが実情として重要です。そのためには、高品質なシグナル・ノイズ比のスペクトルを得るためには、低いノイズ環境が必須です。大型施設になればなるほど、同じ実験ホールに多くの実験機器が稼働するため、ノイズが増す傾向があり、次世代のUVSORでは小型な実験施設ならではの、低ノイズ環境による低放射線損傷計測を用いたソフトマター領域での活躍を期待します。



太田 紘志 OTA, Hiroshi / 分子科学研究所 技術推進部 光技術ユニット

## 技術職員から見たUVSORの利点

それぞれの放射光施設が光源性能や測定装置などで差別化を行う中で、UVSORの特色は低エネルギーで回折限界に到達した光源という点である。しかし、着任からの4年間でUVSORの利点は光源性能では語れない部分が多くあると考えている。その利点とは、外部ユーザーと施設職員との距離の近さ、フットワークの軽さである。特にUVSORでは、ビームライン担当の職員に限らず、加速器グループ職員の顔もユーザーから見えている。稀ではあるが、加速器の運転状況の悪化により、実験に影響が出ていることもある。この際、ユーザーからのフィードバックをもらい、運転調整のヒントとすることがある。これはお互いの距離の近さとフットワークの軽さであり、少人数で運営している小型施設ならではの利点である。また、この利点は、ビームライン間での職員の連携にも繋がっており、既存ユーザーが他のビームラインでの実験を検討する際にも、相談しやすい環境となっている。将来計画では施設や組織自体の拡充、実験の利便性向上などが予定されているが、施設のフットワークの軽さを維持し、ユーザーとの連携がしやすい環境が維持されることもUVSORの良さであり、支持される施設の要件ではないかと考える。



加藤 政博 KATO, Masahiro / 広島大学・分子科学研究所

## 小型・低エネルギー放射光源への期待

電子蓄積リングは同じビームを使いまわすことでエネルギーを浪費することなく安全に大電流ビームを供給でき、また、リングの多数の場所から放射光を同時に生成できるなど、光源加速器として非常に優れています。高エネルギー自由電子からの電磁放射は、電波からガンマ線まであらゆる波長域の光を生み出すことができます。未踏の光源技術はまだあると思います。私は、Photon Factory、UVSORそしてHiSORと3つの放射光源で加速器担当職員を務めてきました。その中で、UVSORは、光源技術の開発研究を進めるのに、大きすぎず小さすぎず、適正な規模であったと実感しております。建設期以来、新しい技術開発に積極的に取り組む雰囲気が持続的に保たれてきたこともあり、研究者・技術者合わせて数名の小さな光源グループでしたが、スピード感を持って多彩な研究開発を行うことができました。小型・低エネルギーであるため、放射線や熱負荷の取り扱いが技術的に楽で、比較的小規模の予算で研究が遂行できます。UVSOR-IVは少し大型になりますが、新しい技術への挑戦、という良き伝統が受け継がれていくことを心より願っております。



木村 真一 KIMURA, Shin-ichi / 大阪大学・分子科学研究所

## 生物系試料と時間分解測定

将来計画として、生物系試料の分光実験がメインに挙げられている。UVSORのカバーする紫外線や真空紫外線で生物系試料を測定することは、試料ダメージを考えるとかなりチャレンジングなものであるため、まずは測定が可能で有効な結果が得られる証拠を示す必要があると思われる。試料へのダメージが無視できないものとする、ダメージを受けるより短時間で測定が完了するシステムの構築が必要になるであろう。その場合、VUV-FELやSX-FEL、またはストレージリングでレーザーパルスを用いて発生させたパルス光が有効になり、STXMと組み合わせたフェムト秒での分光計測が主流になるものと思われる。一方で、現在の主流である光電子分光でも、時間領域への拡張が進んでいくものと思われる。具体的には、VUV-FELやSX-FELを光源としてフェムト秒レーザーと同期させたpump-probe分光は、物性発現を司る電子状態の時間変化を追う、極めて有効な実験手法になるものと思われるため、このような時分割測定が可能になることに期待する。



平 義隆 TAIRA, Yoshitaka / 分子科学研究所 UVSOR施設

## 電子加速器を使った研究に魅せられて

私がUVSOR加速器を初めて見たのは2007年の修士1年の頃で、世の中にこんな凄い装置があるんだと純粋に感動しました。その後、高エネルギーの電子ビームにレーザーを当てただけでMeVガンマ線が発生できる事を知ることによってその現象に大きな興味を持ち、博士課程では超短パルスガンマ線源の開発に関する研究を行いました。その研究は現在も続けていて、陽電子消滅分光法による材料中の原子スケール欠陥の非破壊分析などユーザー利用を展開しています。UVSOR-IVではガンマ線実験専用のビームラインが出来る事を期待し、その概念設計を進めています。MeVのエネルギー領域には、原子核物理学にとって重要な相互作用が存在しますし、対生成によって陽電子を発生することもできます。また、偏光ガンマ線を用いた検出器の応答測定もPET検出器やガンマ線天文学の分野において潜在的な需要が存在するでしょう。光源開発としては、特殊な偏光状態やらせん波面を形成するガンマ線源の開発を追求する事も面白いと思います。私のように、UVSORに来たことを端緒として研究の世界に足を踏み入れた方もおられると思います。次期施設も来る人にとって魅力ある施設で在ることを願っています。




**高谷 光** TAKAYA, Hikaru / 帝京科学大学・分子科学研究所

**溶液軟X線XAFSを基盤とする未知な有機反応機構の解明**

現在、有機化学や有機金属化学の論文や教科書に記載されている反応機構の多くは、反応中間体や触媒活性種が正確に同定・決定されていない。そのほとんどは、系統的な基質探索における収率・選択性の変化、副反応物、溶媒効果などの間接的な状況証拠をもとにして推論されたものか、量子化学計算によって導かれたものであり、分光学的な直接証拠によって解明された反応機構は驚くほど少ない。軟X線XAFSは、機能性有機分子の電子状態解析ツールとして広く利用されてきたが、有機反応機構解析のためのツールとしての利用例は数えるほどである。UVSORでは軟X線XAFSを基盤とした様々な分光学測定をone-stopに行える環境が整備されており、特に溶媒を含むウェットな有機反応基質のXAFS測定環境に合成化学者自身がアクセスし、実験を行える数少ない放射光施設である。さらに、計算科学研究センターの連携利用が容易であり、最近になって著しい進歩が見られる軟X線XAFSスペクトルシミュレーションにも強みがある。この様なUVSORの強みを活かした包括的な軟X線XAFS研究の推進によって、論文・教科書に記載された未確認・未解明の反応機構の解明に取り組みたい。


**田中 清尚** TANAKA, Kiyohisa / 分子科学研究所 UVSOR施設

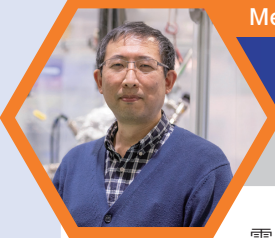
**ビームラインセーフティ**

光電子分光のビームライン(BL5U、BL7U)では様々なセーフティ機構を導入しています。ビームラインのエンドステーションで想定される一番大きなトラブルは、低温マニピュレータをアナライザーやバルブ等に衝突させて壊してしまうことです。実際に、前職にて米国放射光施設(ALS)のビームライン管理をしていた時に、マニピュレータの先端を全損してしまう衝突事故が起きました。この時はビームラインを数か月停止して復旧することになりました。施設側も辛かったのですが、事故を起こしてしまったユーザーさんも居心地が悪くなってしまったのか、それ以降ビームタイムの申請をしにくくなってしまいました。この経験を元に、UVSORではマニピュレータの絶対位置、ウオブルスティックの位置、バルブの開閉などを監視するハードウェア、ソフトウェア両方のセーフティ機構を開発・導入しています。今でもソフトウェアの誤作動など、小さな問題が発生することはありますが、複数のセーフティ機構により、マニピュレータが壊れるような大事故はこれまで発生していないことがBL5UとBL7Uでの大きな自慢です。今後もトラブルなく運用できるように必要なセーフティ機構を導入しますので、ユーザーの皆様のご協力をお願いいたします。


**林 憲志** HAYASHI, Kenji / 分子科学研究所 技術推進部 光技術ユニット

**次期計画への期待**

UVSORは、2003年、2012年と2度の高度化を経験してきました。そのたびにUVSORの技術職員は、困難や苦勞を味わいながらも、たしかな経験を積んできました。いま、UVSOR-IVとして全く新たな加速器施設の建設が行われれば、その立ち上げ調整その他において技術職員の果たすべき役割はたいへん大きなものがあると考えます。運転時間の増加も含めた運転規模の拡大のために新規職員の大規模な採用も行われることとなれば、40年前の施設建設当初にあったような、全ての職員が融合して活躍する活気あふれる施設の再来となるものと期待しています。一方で、施設の安定運用や運転関連の技術のみならず、新規技術開発や技能の習得など、先を見据えた努力と研鑽がこれまで以上に必要になってきていると感じています。光技術ユニットは、技術推進部において新施設の運用を直接担うユニットとして、期待と覚悟を新たに体勢を整えているところです。



松井 文彦

MATSUI, Fumihiko

分子科学研究所 UVSOR施設

## 角運動量を軸に

電子のスピンから銀河系の渦まであらゆる階層に角運動量は存在する。人は電磁波を介してその角運動量を科学することができる。自分にとってのライフワークとは「角運動量を通して原子の世界を覗くこと」。奈良先端大に就職し表示型分析器DIANAに出会い、立命館SRセンターで銅のFermi面の原子軌道配列を決めた。SPring-8では円偏光原子立体写真法を応用し、表面磁性の研究で原子層ごとのスピンと軌道の磁気モーメントを計測した。原子軌道やスピンの角運動量を研究するには偏光と2次元分析器が強力な道具立てとなる。研究人生も折り返しに差し掛かった時分に光電子運動量顕微鏡の新規導入計画を知り、一も二もなくその担当として手を挙げUVSORにやってきた。いま数年かけ、2つのアンジュレータ光源を駆使する世界無二の実験ステーションが出来上がりつつある。スクリーンに逐次映し出される結晶表面の原子軌道とスピンの織りなす美しい光電子模様には必ず未知の現象が潜んでいる。それを発掘し次の論文を構想するのが至福の時である。こうした仕事ができるのはやはり先達が素晴らしい光源施設を建設してくださったおかげだと実感する。いまの仕事が次期施設実現に幾許かながれば、と願う。



Elham Salehi

UVSOR Synchrotron Facility, IMS

## UVSOR-IV: Advancing the Future of Synchrotron Radiation Research

I am proud to be part of the team that designs the storage ring for UVSOR-IV. I'm confident it will be a cutting-edge research facility supporting the synchrotron radiation field for the next 30 years. Our focus is on creating a new storage ring that can produce diffraction-limited light in the vacuum ultraviolet range. It's like upgrading our technology to see things more clearly. We aim to push the envelope of scientific knowledge across diverse fields, including materials science, biotechnology, and environmental research. This ring can work at a powerful 1 GeV electron energy, but it's adaptable to 750 MeV if needed. This adaptability demonstrates UVSOR-IV's forward-thinking approach. The efficient and compact design of the magnetic system, featuring 12 double-bend achromat cells in an 83-meter circumference, will deliver low emittance radiation. We're even considering using a laser-based accelerator as an injector, which is a smart move given advancements in accelerator technology, other than a backup plan with a traditional injector. So, we have planned everything carefully and strategically for UVSOR-IV. My experience in designing the storage ring has been great, and I'm confident that UVSOR-IV will lead to innovation, discoveries, and collaboration in the synchrotron radiation field for the next three decades, making the world smarter and brighter. It's an honor to be part of this journey.



繁政 英治

SHIGEMASA, Eiji

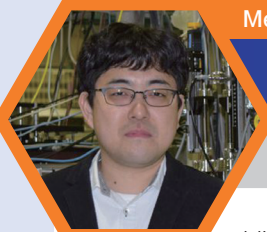
分子科学研究所 技術推進部長

## UVSOR-IVの実現に期待する

化学専用の放射光施設として分子科学研究所に建設されたUVSORが、最初のシンクロトロン光の観測、いわゆる「初点」から無事に40周年を迎えられた事、心より祝福申し上げます。

放射光を利用する研究職を辞し、UVSORを離れてから早いもので6年の歳月が過ぎました。仙台の地では新第3世代光源「ナノテラス」が2024年度の本格稼働を控え、また、「SPring-8-II」の建設計画が進みつつある中で、単に既存設備の更新としてUVSOR-IV建設計画を打ち出したところで予算措置される可能性は低いでしょう。今回の「ロードマップ2023」申請にあたり、研究対象を生命科学に広げると共に、「テーラーメイド光科学研究拠点の構築」という放射光以外の光源や光計測技術を集約する拠点形成として纏められた次期計画は、従来のものとは一線を画す、斬新な見せ方との印象を持ちました。生命科学の研究者を惹き付けるためにも、高次高調波を用いた投影型の高分解能軟X線顕微鏡を先行開発するのが得策かもしれません。表立ったUVSOR-IVの建設計画という形ではありませんが、その実現を大いに期待しています。





長坂 将成 NAGASAKA, Masanari

分子科学研究所 光分子科学研究領域

## UVSORの将来計画への期待

UVSORが40周年を迎えることをとても嬉しく思います。私は、2007年に分子研に着任して以来、BL3Uでの実験を中心に、16年間UVSORに関わってきました。その間に、トップアップ運転の開始や、UVSOR-IIIへの高度化など、UVSORの光源性能は飛躍的に向上したと思います。また、UVSORは長い時間が必要となる基礎的な研究開発を推奨する方針であるため、短期間での研究成果が求められる大型の放射光施設では不可能な研究開発を実現できてきたと思います。私も2008年より透過法による液体の軟X線分光測定法の開発を続けて、触媒反応、電気化学反応、生化学反応などの溶液中の様々な化学現象のオペランド計測法の開発を行うことができました。これらの技術開発は十数年後の現在、BL3Uを中心に多くの共同研究につながっています。UVSORの将来計画でも、光源性能を向上すると共に、赤外光、可視紫外光、軟X線を含む低エネルギーの光源領域での、革新的な技術開発が達成されるように、組織運営を継続されることを期待します。



熊谷 崇 KUMAGAI, Takashi

分子科学研究所 メゾスコピック計測研究センター

## 赤外放射光を利用した超解像赤外顕微分光の可能性

近年のナノ物質科学の進展によって、物質を回折限界以下のナノ空間で調べることのできる計測手法の需要が高まっており、赤外顕微鏡においても超解像が求められている。我々のグループは中赤外領域の散乱型近接場光顕微分光の超高感度化に取り組んでおり、生体分子や強相関酸化物など様々なナノ物質への応用を進めている。この技術は実験室レベルの赤外レーザー光源を用いて行っているが、これを赤外放射光と組み合わせることができれば、テラヘルツ領域も含む超広帯域の赤外スペクトルの取得が可能となり、ナノ赤外顕微鏡として新たな応用を生み出すことが期待できる。加えて、赤外放射光はパルス光源であるため、例えば、可視・近赤外領域のパルス光源や高強度のテラヘルツ光源と組み合わせた時間分解分光も原理的には可能である。このような超広帯域の時間分解分光は物質中の様々な内部自由度(量子力学的状態)の間の相互作用を調べる上で非常に有用なアプローチとなる。UVSORは赤外専用のビームラインを世界で初めて導入した施設である。若輩者の私には当時の状況を知ることは難しいが、分子科学における赤外分光の重要性と将来性を見据えた議論が行われたのではないかと想像している。赤外放射光は「主役」となることは難しいが、次期建設計画においても、赤外放射光による分子科学へのユニークな応用の可能性について議論が行われることを期待している。



出田 真一郎 IDETA, Shinichiro

広島大学放射光科学研究センター

## 放射光科学への期待と課題

世界的に稀有な小型放射光施設として世界トップレベルの性能を誇るUVSORは、今もなお分子科学をはじめ、各分野のサイエンスへ多大に貢献している。しかし、これまでの放射光科学の研究に対し、電気代高騰によるビーム供給時間の削減、新技術創出の激減、人材不足及び人材育成の機会減少などが今、逆風となっている。現在及び今後予想される世界情勢、研究情勢のニーズとシーズに先手を打つべく、革新的・抜本的なアイデアが求められる。UVSORの次期計画である極限光オートノミー探究センターには、これまで蓄積された技術やノウハウの強みがあり、それを活かした放射光分野の新展開が期待される。一方、放射光分野の抱える問題の一つとして、その魅力が他分野の研究や産業界に余り理解されていないことが挙げられる。幅広い研究分野において、放射光の魅力・可能性を理解してもらい、横方向の連携を強化することが重要になるはずだ。「光道場」のように、異分野融合により新しい人材を開拓し育成することで、技術継承、更には新技術の創出が期待できる。世界の動向と比較し、本国においてこれ以上の遅れは許されず、オールジャパンで取り組むべき緊急課題である。



伊藤 孝寛 ITO, Takahiro / 名古屋大学シンクロトン光研究センター

## UVSOR施設40周年と今後への期待

私が、BL5UおよびBL7Uのビームライン担当助教として施設のユーザー共同利用、ビームライン建設、立ち上げなどに関わらせていただいたのは、UVSORが20周年の節目を迎え、UVSOR-IIへとアップデートする2003年度から6年間でした。その後、現在ユーザー利用開始から10年の節目を今年度を迎えたあいちシンクロトン光センターの創設時から、名古屋大学シンクロトン光研究センターの准教授として現場に近い立場関わって来ました。その間にもUVSOR施設はUVSOR-IIIへとアップデートが進められ、今年度は40周年を迎える、ということですので、私自身にとっての20周年の節目にもあたるのか、と感慨を新たにしているところです。ユーザーとビームラインおよび加速器スタッフの距離感が近く、様々なユーザーニーズに対する親身な対応が特徴的なUVSOR施設ですが、テラレーメイド型の光利用を実現する施設としてさらなる発展をめざす将来計画を打ち出しているとのことで、今後さらに拡大するユーザー利用を担い、領域を横断した研究者を繋いでいくリングとなっていくことを期待しております。



上野 信雄 UENO, Nobuo / 千葉大学 名誉教授 学術研究アドバイザー

## ケミカルマシンの源流を生んだ分子研への期待

有機材料は超高真空を汚染するという理由で放射光施設では嫌われ者で、その結果として放射光を利用させてもらえない時代があった。分子研の努力によりその様な壁を打ち破る“ケミカルマシン”UVSORの建設が決定され、40年前に完成した。BL8B2(有機固体ARUPS)には色々な背景の若手が集まりお互いが反応した結果、有機固体の電子状態研究は世界をリードするに至った。時間のかかる冒険的研究の成果も多かったのである。

並行して放射光やレーザーなどの新規光源や計測装置の開発、そして解析法や複雑な生命系分子の研究等が行われ、研究の深化と広がりには予想を遙かに越えているが、これらの研究間の相互融合・反応によって可能となる新天地の探検に乗り出せていない現状がある。予算上の問題もあるが、最大の理由は、新しい人材を確保できず、また時間のかかる研究に安心して没頭できる生活態勢が悪化したためである。

ケミカルマシンを実現した分子研の次期計画として“新光源計画”が策定されつつある。革新的な成果が期待できそうであるが、研究し結果を生み出すのは人である。その確保と育成に何が必要か、みんなで真摯に考える時期が来ている。

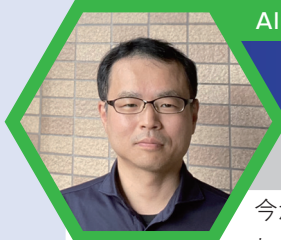


大東 琢治 OHIGASHI, Takuji / 物質構造科学研究所 フォトンファクトリー

## 顕微分光の宿題

UVSOR-IIIの高度化計画の支柱であった、不均一系試料に対応するための顕微分光技術を実現すべく、2013年より約10年間、STXMに関わってきました。その中で、他施設の羨むような高性能な光源での成果と比較しても、案外UVSORの成果は遜色ないという印象がありました。そのような成果を評価されたからこそ、施設長のネットワークからの支援もあり、常時3割超の国際ユーザー利用があったのだと思います。低エネルギーの蓄積リングでそれだけのことが達成できたのは誇るべきこととは思いますが、これは裏を返せば、我々に“STXMは次世代光源の恩恵の受け皿にはなり得ない”ことを明示しています。次世代光源の性能を遺憾なく活用する手法の提案は、顕微鏡屋にとって大きな宿題で、その提出期限は迫りつつあります。そのような中、次期UVSORが提唱するテラレーメイドの光源は、単に高いフラックスとコヒーレンスのみならず、更なる可能性を拓けるコンセプトになるだろうと期待しています。何が見えてくるのか、或いはどのようにものを見るのか。成就を祈念しつつ、注目していきたいと思っています。




**金安 達夫** KANEYASU, Tatsuo / 九州シンクロトロン光研究センター

### 小型放射光施設の恩恵

今から10年近く前のことです。とある学会での雑談中に加藤教授(現広島大・分子研特任教授)からアンジュレータ放射で光の渦を作ってみないかと誘われました。光の渦とは何だろうかと戸惑いながらも、とにかく面白いことが出来そうだと感じて誘いを受け、UVSORで新規光源の探査と新たな放射光利用の開拓を目指した共同研究がスタートしました。その後、光渦の実証実験から二連のアンジュレータによるアト秒干渉という思いがけない方向へ研究が発展し、放射光では世界初となる成果もいくつか得ることが出来ました。そこに至るにはUVSORの研究環境が極めて重要でした。じつはこれらの研究では特殊な光を作るために実験は加速器を占有して行い、また研究テーマに応じてビームラインや実験装置を構成する必要があります。このような自由度の高い研究環境は小回りの利く小型放射光施設でなければ得難いものでしょう。次期計画ではUVSOR-IVを中核とした多彩な光源のテーラーメイド利用が構想されていますが、新施設ではこれまでの放射光施設に比べて使える光の選択肢が格段に増えることから、光源探査や新たな計測手法の開発研究の重要性もさらに増すと思います。新施設においても小型放射光施設ならではの柔軟な研究開発の場が実現されることを願っています。


**高嶋 圭史** TAKASHIMA, Yoshifumi / 名古屋大学シンクロトロン光研究センター長

### UVSORへの感謝と期待

私が名大に着任したのは1998年4月ですが、その翌年から4年間ほど、流動研究員として分子研にお世話になりました。この当時からUVSOR、特に加速器グループには大変お世話になり、現在もUVSORを利用した共同研究やあいちSRの光源加速器の運転・整備では多大なご支援、ご協力をいただき大変感謝しております。共同研究では、研究室の多数の学生を特別共同利用研究員として受け入れて頂き、加速器や放射光を利用した研究の中で学生が加速器等の最先端の装置に触れる貴重な機会を頂きました。加速器や電子ビームに関する研究はもとより、FELや光渦、コンプトン散乱ガンマ線など、特異な光を用いた研究に多くの学生が関わることができたのはUVSORが大学共同利用機関であればこそだと考えています。UVSORの将来計画では加速器も大きく変わっていくことになるようですが、これまでと同様に、最先端の装置を用いた研究に多くの学生や若手教職員が触れる機会が得られ、次世代の加速器、放射光科学の発展につながっていくことを期待しております。


**彦坂 泰正** HIKOSAKA, Yasumasa / 富山大学

### UVSORの将来計画への期待

私がUVSORを初めて利用したのは30年くらい前なので、UVSORの歴史のかなりの部分を実際に体感してきたこととなります。その間、何度もものの加速器のアップグレードと様々なビームラインの更新を間近に見てきました。UVSORが共同利用を開始したとき、その先40年も極端紫外域の放射光源として国際的競争力が維持されると思った人はいないでしょう。歴代の施設長やスタッフがやってきた施設運営の戦略が適切であったことを実証しています。ただ、現在の施設の概形を基にしたアップグレードはさすがに限界であり、施設全体の刷新が求められる段階に来ているのは間違いありません。その状況を踏まえ、現施設の40周年に合わせて次期施設のデザインコンセプトが提示されることは時機を得ているものと思います。これからの40年においても世界をリードし続けるような新しい極端紫外域の放射光施設が建設されることを期待しています。


**小杉 信博** KOSUGI, Nobuhiro / 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所長

### 新たな分子科学の目玉

研究所創設にあわせて新たな分子科学の目玉となる実験施設についての白熱した議論を経て、放射光施設が選ばれた。分子研の建物が次々姿を見せるようになった頃に、高エネルギー物理学研究所(KEK)の放射光実験施設Photon Factoryに続いて、分子研の極端紫外光実験施設UVSORの建設がついに認められた。放射光実験施設は、分野に依らず国内外に広く放射光利用研究を推進する独立研究所構想が出発点になっており、最終的にKEKに属することになったものの自己完結した組織、つまり単独の研究所として独立できる組織であった。それに対して極端紫外光実験施設は、主に分子集団研究系における有機分子の分子間相互作用系や固体状態の分子科学を推進する実験施設として位置づけられた。それから40年、国内放射光施設も増えている中、研究系の増強・改組による分子研の変革にあわせて目玉となるUVSORの高度化計画が進められたが、そろそろ大規模改修あるいは全面更新を考える時期となった。時、まさに研究所創設半世紀が目の前である。新たな半世紀を視野に入れた分子研の大変革にあわせて新たな分子科学の目玉となる斬新な計画が期待される。



池本 夕佳 IKEMOTO, Yuka / 高輝度光科学研究センター

## UVSOR40周年に際して

「挑戦」。UVSORについて考える時、この言葉が思い浮かびます。私は赤外分光が専門ですが、その立場から言えば、UVSORが1980年代に、世界に先駆けて、赤外線領域の放射光を共用実験に使うためのビームラインを稼働させた施設で、まさに挑戦的だと映ります。赤外ビームラインは、開設以来、可視からテラヘルツに至る広帯域赤外顕微分光や、蓄積リングを利用しレーザーバンチスライスによるサブテラヘルツ領域のコヒーレントシンクロトロン光放射など、さまざまな先端利用成果を創出してきました。UVSORの将来計画に関するコンセプトデザインレポートには、光源性能や利用研究の記載に、何度も挑戦の文字が登場します。これらを見るにつけ、やはり挑戦を続けていくのだなとワクワクします。挑戦が可能であることは小型施設の最大の強みだと思いますが、それだけではなく、施設の運営に関わる皆様の技術と経験の裏付けがあってこそだと思います。多くの挑戦が実を結び、世界をリードする施設であり続けることを期待します。

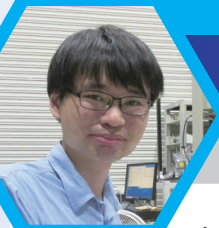


岡林 潤 OKABAYASHI, Jun / 東京大学

## UVSORに期待すること

UVSORの利用を始めてから10年くらい経ちました。まずは、スタッフの皆様に感謝申し上げます。運営委員会の委員を仰せつかった期間もあり、施設の運営に多大な努力をされていることが判りました。特に、将来計画については、UVSORの規模だからこそ迅速にできるプロジェクトがうまく運用されていることを実感しています。BL1Uでの光渦の生成、BL4Uの走査型透過X線顕微鏡、BL5Uのスピ角度分解光電子分光、BL6Uの光電子運動量顕微鏡など世界屈指の装置の導入を積極的に進めている戦略が素晴らしいと思います。また、UVSORのビームタイム中は、じっくり考えながら実験できるのが教育的でもあり、他の施設と異なる良い点だと思います。

UVSORに期待したいのは、これからも最新鋭の装置を導入して世界を先導していく先端性と、既存の装置を用いた高効率な汎用的な利用を両輪として進めていただきたいことです。良い実験、納得のいく結果を出すまでには、何度か実験を行っていくことで進められます。こだわり派の研究者を育てる施設として、これからもUVSORに期待しております。

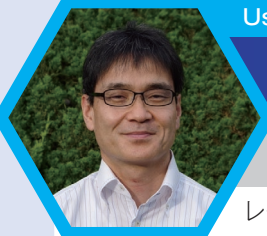


黒澤 俊介 KUROSAWA, Shunsuke / 東北大学・大阪大学

## シンチレータと放射光実験

シンチレータは放射線によって励起して発光する機能性材料であり、素粒子実験などの基礎科学実験、非破壊検査、および核医学などの医療へ応用されている。近年、素粒子実験、月面探査や宇宙観測、原子力発電所の廃炉作業などにおいて、既存材料では対応が難しい場合に直面している。具体的には、目的の放射線以外のノイズとなる放射線が多い状況下で、より感度のよい計測が求められており、そのための新規材料の開発が急務である。特に、既存のシンチレータの典型的な発光波長域である300-550 nmよりも長い発光波長を持つ材料が高感度化の鍵である。われわれは、これまでにCs<sub>2</sub>HfI<sub>6</sub>などの新しい材料を開発してきたが、その過程ではUVSORで得られたデータが非常に役立っている。0.5から数十eV程度の高輝度な励起源が利用可能な点、かつ、ある程度の測定セットアップも自由に組ませていただける点は、教育的見地からみても非常に魅力的である。今後は、発光に寄与するバンド内のサイト探索などがスムーズになることから、もう少し近赤外線寄りまで高輝度な励起源があること、複数の波長を同時に励起源として使えるような設備などを切望し、必要なら立ち上げにも携わりたい。




**高口 博志** KOHGUCHI, Hiroshi / 広島大学

## 放射光実験を始めたレーザー反応研究者から

レーザー分光法と散乱法を使って、化学反応ダイナミクスの研究をしています。UVSORの方々との現場以外でのお付き合いは長いですが、2020年になって初めて放射光実験を行っています。分光検出のためではなく、化学反応を引き起こすためのエネルギー源としての利用です。レーザー光源を駆動力とする光化学研究のなかで、イオン化ダイナミクスは主要テーマの一つですが、レーザーでイオン化エネルギー(～10eV)を出すのは容易ではありません。得意の多光子過程を利用してイオン化は可能ですが、波長を掃引したい、シンプルで一光子過程が見たい、となると手詰まりになります(なりました)。UVSORの特色あるアンジュレーターを使うことで、イオン化エネルギー近傍の円偏光波長掃引といった、他ではできない実験をさせてもらっています。放射光は高エネルギー領域の物理寄りのイメージを持っていましたが、実験ホールで初めてアンジュレーター光を見たときの率直な感想は「私でも普通に使える!」といったものでした。実際には加速器グループと共同研究者に頼ってばかりですが、それでも測定が始まれば、数eVオーダーの化学エネルギー領域でこれまで行ってきた反応研究の経験と知識が活用できることに手応え(勘違い?)を感じます。イオン化エネルギー近傍での波長可変性は、UVSOR全体からすると小さな利点かも知れませんが、散乱される光電子のキラリテの鍵を握っています。レーザー光源領域以上、イオン化エネルギー未満の実験で、新しい化学現象が解明できればと思っています。


**小南 裕子** KOMINAMI, Hiroko / 静岡大学

## UVSORへの感謝と要望

私は2015年度より、定期的にBLを利用しています。私が所属する静岡大学工学部(浜松キャンパス)からのアクセスも良く、講義の合間に行くことが可能です。学生複数名を帯同していますが、学生にとって良い研究・教育の場となっており、以前に比べて良い教育効果が得られていると感じます。UVSORで測定する端緒をくださった山形大学教授の北浦守氏、私が帯同できないときに学生の測定指導にご協力くださった東北大学特任准教授の黒澤俊介氏ならびに当時同大学博士課程学生だった小玉翔平氏(現埼玉大学助教)、そして困ったときにいつでも気持ちよく対応してくださるUVSORスタッフの方々など、多くの人に支えられて実験してきました。BLのユーザー同士で協力できるのは、UVSORの良いところだと思います。BLにはさらに多くのユーザーが居りますので、コミュニケーションが取れる機会があったらいいと思います。私は発光材料の研究を行っており、BL3BでVUV領域の測定を行っています。最近は医療応用に向けたX線励起の研究にも展開しています。高エネルギー領域の感度が上がると、より幅広い評価ができるようになるため、今後の設備計画に非常に期待しています。研究室では、学生が主となりBL仕様マニュアルを作成しており、実験毎に変更点や注意点などをアップデートし、共有するようにしています。ただ、割り当てられるビームタイムに間隔が空くため、以前の測定から装置やシステムが変更されている点など、次ユーザーへの引き継ぎが十分にできていないように感じます。BLでマニュアルを共有し、各ユーザーが随時アップデートできるようにできたら、より円滑に実験を進めることができるようになるのではと思います。


**菅 滋正** SUGA, Shigemasa / 大阪大学・ユーリッヒ研究所

## 分子科学研究所UVSOR施設への期待

私自身は放射光実験に初めて携わったのはドイツHamburgのDESYという電子シンクロトロンで1974年29歳の時であった。27歳でMax-Planck-固体研究所に着任して12Tの超伝導磁石での励起子研究の合間にCardona氏からDESYで光電子を測定して来て欲しいと言われ出かけた。30歳でSOR-RINGの全国共同利用の世話の責任を負い、徹夜運転、週末運転も利用者の希望に応じて対応し13年間で世界レベルに到達した。その後PFに2本のBL、SPring-8に最初4本のBLのうち1本を軟X線BLにとの上坪氏の依頼で4つの実験ステーションを持つ円偏光アンジュレーターBLを北村氏や全日本の軟X線研究者と組んで建設。2010年までは世界最高性能を発揮できた。吸収、反射の常道から始め、バルク敏感(角度分解)光電子分光、硬X線recoil効果、振動下共鳴X線非弾性散乱、スピン分解光電子測定と世界(or日本)初の実験を先導してきた。共同利用施設として挑戦心ある研究者を支援し、旅費滞在費を負担し全国共同利用のために33年間戦い続けた。日独国際共同研究を1984年に開始し今も継続し、世界先端研究継続に夢を持っている。2013年にKirschner 研で、スピン分解波数分解光電子顕微分光法に出会い、これは21世紀の研究革命だと確信し、多くの施設で紹介した結果、分子研に導入した。既に松井文彦氏の献身的努力で2020年から装置は稼働し素晴らしい結果が多数出ている。1年以内にスピンをこれまでの百万倍から1万倍の効率で短時間で測定できる世界でも最強な装置に格上げしたい。デバイス利用可能性のある多様な分子、薄膜、層状物質などを光損傷無しに完全測定、検証できる日は遠くない。あと20年間 97歳まで研究を続ける夢を持ち、世界を牽引できる次世代若手研究者多数を育てたい。



中村 拓人 NAKAMURA, Takuto / 大阪大学

## 未来のUVSORパワーユーザーとしての期待

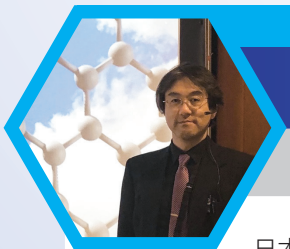
著者は主にUVSOR-III BL5U・BL7Uのユーザーとして、薄膜作製と角度分解光電子分光(ARPES)を組み合わせた研究を行っている。固体の電子構造を直接観測できるARPESは、数百eVの放射光を励起光として用いると三次元バルクバンド構造を直接決定できる。その一方で、10 eV近傍の低エネルギー励起光は、高いエネルギー・運動量分解能を活かして物性発現の起源となる準粒子励起の詳細な観測ができるメリットがある。近年世界中で相次いで建設されている3 GeV光源では高輝度な軟X線を利用できるが、低エネルギー励起光を利用するのが困難である。それぞれの光源の利点を吟味しつつ、相補的な利用が望ましいと考えられる。他方、光源としては高い安定性と輝度が重要である。溜め込み測定が基本となる光電子分光では、一見すると光源安定性はそこまで重要でないように思われるかもしれないが、準粒子分散やその温度依存性における微細なスペクトル変化を議論するには、光源性能が安定していることが極めて重要である。現在構想中の将来計画では、これまで以上に低エネルギー放射光分野を牽引する最先端施設となることをUVSORパワーユーザーとして期待している。



成影 典之 NARUKAGE, Noriyuki / 国立天文台

## 宇宙観測機器開発のための理想光源

UVSORは、天文学における宇宙観測機器の開発に不可欠な存在となっています。我々は、太陽が放つ様々な波長の電磁波を観測することで、太陽で起きているプラズマ諸現象の研究を進めています。世界をリードし、ブレークスルーをもたらすような観測を実現するためには、まだ誰も実現したことのない観測手法を確立する必要があります。そこで我々は、太陽大気(彩層~遷移層)の磁場測定に向けて「真空紫外線(ライマン $\alpha$ 線; 波長121.6nm)の偏光を0.1%よりも高い精度で測定する技術」を、太陽コロナでのエネルギー解放現象の理解に向けて「軟X線帯域(0.5~5 keV)の光子の持つ位置・時間・エネルギー情報を個々に計測する技術」を開発してきました。そしてこれらの技術を用いた観測装置を観測ロケットに搭載し、地球大気による吸収の影響を受けない宇宙空間にまで打ち上げ、世界初の太陽観測を実現し科学成果を挙げてきました。これらの成功を納めるためには、観測装置を構成する光学素子の精確な評価が不可欠です。そのためには、波長選択の簡便さ、高い単色性、高い偏光度、高い輝度、高い輝度安定性という要件を全て併せ持つ光源が必要ですが、まさにこの理想の光源を提供して下さったのがUVSORです。我々は、2009年から15年近くUVSORを利用して頂いておりますが、40周年を迎えられたUVSORとそれを支えてこられたスタッフの皆様に感謝すると共に、UVSORが目指されている「分野の要望に応じてテーラーメイドに光を提供する光科学研究拠点の構築」に強く期待し、今後の更なる発展を願っております。



松田 巖 MATSUDA, Iwao / 東京大学

## 積み重ねてきた技術からの末踏量子計測:UVSOR将来計画

日本を代表する放射光施設であるUVSORではスタッフとユーザーのおかげで様々な分野において重要な研究成果を多数発表してきた。その一方で、他の施設に比べて光源加速器への距離感が近いところから光源系と測定系を横断的に利用した新たな研究構想も生まれ、その萌芽研究も実施されてきた。私自身もUVSORでの利用実験のおかげで、X線非線形分光や分割アンジュレータによるX線分光などの新手法開発を行うことができた。このたびのUVSORの将来計画は、これまで施設が内外で培ってきたこれら新技術を究めて末踏の量子計測科学への開拓を行うとともに、先端の技術開発とその精神を次世代へとつなげる人材育成にも取り組むものである。本稿の執筆をしていた2023年10月3日18時45分にアト秒光科学の研究者にノーベル物理学賞が授与される発表がライブ配信され、その際、受賞者も研究と技術を継承する教育の重要性を語っていた。なお、アト秒光科学についてはUVSORにおいても放射光を用いた実験が実施されたことは記憶に新しい。光科学における基盤研究と教育の重要性がますます高まっている中、UVSORは本分野を先導する施設であり、その将来計画の実現に大きく期待している。





宮町 俊生 MIYAMACHI, Toshio / 名古屋大学

## UVSOR次期建設計画への期待

私は学位取得後、ポスドクとしてドイツに留学し、走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いたミクロな表面磁性研究を行ってきました。助教として帰国後はミクロな物性がマクロな機能性にどう反映されているかを知りたいと考え、継続的にUVSORを利用させていただいています。私が主に利用している軟X線吸収分光/軟X線磁気円二色性 (XAS/XMCD) ビームラインは、超高真空下で作製した磁性薄膜・ナノ構造のXAS/XMCD測定を大気暴露せずに極低温・強磁場環境で行うことができるのが強みです。このようなXAS/XMCDビームラインが設置されている放射光施設は日本ではUVSORのみであり、STMとXAS/XMCDを相補的に組み合わせた研究手法により、これまでにミクロとマクロな磁性の相関を様々な系で実証することができました。UVSORの次期建設計画として、表面磁性研究の見地から放射光のナノビーム化による顕微磁気測定、「時間分解XMCD測定」、「各種外場環境下でのXMCD測定 (オペランドXMCD測定)」への展開を期待しています。従来の表面科学的手法では難しい高時空間分解能での磁気構造とスピンダイナミクスの観測を元素選択的に行うことができれば、表面科学研究のみならず材料創製・デバイス開発への道が拓かれ、その波及効果は極めて高いと考えられます。いちユーザーとしてではありますが、UVSORの今後の発展に貢献できれば幸いです。



吉田 朋子 YOSHIDA, Tomoko / 大阪公立大学

## UVSORに期待すること

UVSOR40周年おめでとうございます。大学時代からUVSORで軟X線吸収 (XAFS) 測定を続けてきた私は、約30年前の初めての学会発表でMg K-edge XANESスペクトルを示した時に「良質のスペクトルを何処でどのように測定したのか？」という質問を受けたことを覚えています。当時からUVSORは、軟X線領域はもちろん、特に真空紫外光領域では国際的にも希少な放射光施設でした。現在、入射・蓄積リングの老朽化が問題となっていますが、今後もUVSORの特色を活かした学術利用・展開を期待しています。例えば、アンジュレーター放射の高輝度化や、VUV波長帯における自由電子レーザーの併用など時間・空間軸で極限化されたコヒーレント光源としての展開を進めると共に、気相・液相中での低エネルギー領域XAFS測定のための装置システム・セルの開発等、周辺設備が充実すれば、様々なOperando計測も可能になると考えています。機能性ナノ材料等を対象とした高空間時間分解分析が実現するだけでなく、VUV光は様々な化学反応を誘起する優れた光源としても応用できると期待しています。UVSORの益々の発展を望んでいます。



亀井 保博 KAMEI, Yasuhiro / 基礎生物学研究所

## UVSORの生命科学分野展開への期待

生命科学分野には、光が明らかにしたことには枚挙に暇がない。光学顕微鏡はその最たるものであるが、技術革新や計測手法の開発に伴い得られる情報の質も量も向上してきた。肉眼で見る顕微鏡から始まり、蛍光顕微鏡の発展形としてレーザー走査型共焦点顕微鏡は、生きたままのイメージングを可能にし、現在では生命科学分野のゴールドスタンダードとなった。昔は典型例の提示に顕微鏡写真を使ったが、近年は細胞内のCaイオン動態をはじめ、遺伝子発現量の定量イメージング、タンパク質動態解析など様々な物理量の定量解析を実現している。さらに光学技術を駆逐することで超解像を達成するなど、生命科学分野への光の貢献と今後の期待は非常に大きい。UVSORには、これまでにあまり使われていなかった可視光以外の波長域や、特徴のある光、そして、高度な光学制御技術といったポテンシャルを有しており、生命科学のブレイクスルーの一翼を担って欲しい。我々、基礎生物学研究所の超階層生物学センターはUVSORと生命科学研究者との橋渡し役として次世代UVSORの生命系研究への展開と貢献を強力にサポートしたい。


**川合 眞紀** KAWAI, Maki / 自然科学研究機構長

## UVSORに支えられ、そして支える覚悟

理化学研究所に在職していた2000年前後、所外のユーザーとしてUVSORを使い、金属表面に吸着した分子の電子状態や配向を決める実験をしていました。当時はまだ、ビーム強度が徐々に減衰する状況でしたので、要のデータは朝一に取れるように気を使った記憶があります。定時に実験を終えられないこともしばしばあり、技術職員の方々に無理をお願いして運転時間を延長していただいたこともありました。ユーザー目線での対応に、大いに感謝しております。研究所長を拝命した2016年以降は、施設運営を支援する立場となり、解良教授を支えるべく、主任研究員制度の実施や、次期施設案の策定に向けての支援をしてきました。UVSORは技術職員と教育研究職員が力を合わせて、施設維持に勤めるだけでなく、新規ユーザーに対しても丁寧な対応をしてきました。共同利用施設として、ユーザー目線での運営に努めるとともに、先端科学を推進する研究機関として、新しい技術開発やユーザー支援システム導入への挑戦をしてきました。これからも新しいことへの挑戦とユーザー目線での運営を続けていけるよう、微力ながらサポートを続けたいと考えております。


**根本 知己** NEMOTO, Tomomi / 生命創成探究センター長・生理学研究所

## 未踏の学際領域の開拓に向けて

私は1999年から10年間、助手、助教授、准教授として生理研に奉職し、その後北大・電子研で教授として異動しました。この度、ご縁があり2019年に岡崎に出戻ってまいりました。今までUVSORとの直接的な共同研究はありませんが、分子研とはいくつか研究上のご縁がありました。生理研の助教授時代には、三研究所の垣根を越えて、分子研の小澤岳昌先生(現、東大理・教授)、基生研の野中茂紀先生と一緒に若手准教授によるバイオイメージングの勉強会を立ち上げました。若手研究者、大学院生やセミナーや輪読会などを通じ、ネットワークは所外にも広がりました。この経験のように人と人のつながり、特に若い時代のそれは研究人生に大きい影響を与えることでしょう。この意味では人的なネットワークと高い専門性を有する岡崎三研究所と研究施設は、新たな学際研究が萌芽する可能性を秘めた土壌と言えます。今後も分光學、分析化学的な計測を生命機能のイメージングや定量解析へ拡張する流れは加速するでしょう。その流れをさらに凌駕した未踏領域の光・電磁波を有するUVSORとの共創に、「光」「生命」をキーワードに、微力ながら私も貢献したいと存じます。


**島田 賢也** SHIMADA, Kenya / 広島大学放射光科学研究センター長

## UVSORのさらなる飛躍に期待する

UVSORは、放射光を用いた分子科学分野とその関連分野の研究を飛躍的に発展させる「ケミカルマシン」というミッションを掲げて1983年に稼働を始めて以来、40年にわたり本分野を牽引してきました。とくに放射光計測による有機分子固体の学術研究を牽引し、それが有機エレクトロニクス分野の基盤となったことは特筆すべきことだと思います。また2度にわたる光源加速器のアップグレードにより、紫外線域で回折限界光を発生させ、世界に先駆けて構造を持った光である光渦やダブルパルス光を用いた研究を開拓しました。こうした実績をふまえ、将来計画では新光源を用いた挑戦的計測を行うことにより、生命がもつ自立型機能のメカニズム解明やその制御を目指しています。世界を先導する新たな国際研究拠点として、UVSORがさらに発展することを期待しています。マスタープラン2020「放射光学術基盤ネットワーク」が採択されてから、UVSOR、KEK-PF、HiSORは学術研究を支える基盤として、組織的連携の強化を図ってきました。将来計画に向け、大学における学術研究や放射光を様々な形で活用できる人材の育成で協力していきたいと考えています。




**藤井 健太郎** FUJII, Kentaro / 量子科学技術研究開発機構

## UVSOR施設の将来計画に向けて

この度はUVSOR施設40周年を迎えられたことにお祝い申し上げます。私が学生のころのUVSORでは表面化学や分子科学分野においては光化学過程の基礎研究が精力的に実施されており、特にイオンと電子・発光とのコインシデンス計測実験が印象に残っております。これらの実験により明らかになった分子の光分解過程を追跡する研究は、現在ではSACLAなどのFELを利用した実験によってさらに発展を遂げております。UVSORで行われたコインシデンス計測技術や当該研究に関わった人材はこのような研究の基盤となっていることは自明です。その後、UVSOR-IIやIIIと世代を重ねるに従い、溶液化学やナノイメージング技術などに方向性を変え、それぞれの分野の発展に強力に寄与されております。現在ではこれらの技術開発がUVSOR施設の将来計画として掲げられている生命科学分野への発展に資する技術となることを祈念しております。私自身は放射光を用いた量子生命科学研究を展開する立場で研究を行っており、UVSOR施設がこれまでに開発・発展された関係者の方々とは協力しながら研究を進めていきたいと考えております。


**船守 展正** FUNAMORI, Nobumasa / 物質構造科学研究所 フォトンファクトリー 施設長

## 第二の黎明期を共に

放射光科学の黎明期に誕生したPFとUVSORが40年の時を経ても先端的な研究成果を創出し続けていることは驚くべきことです。しかし、放射光科学が普及して成熟期を迎える中、将来を見据えて大胆に再誕生することが必要になってきています。日本の現状を危惧する声も多いですが、危機は好機でもあります。具体的には、現行施設の運営と将来計画(短期・長期)を共同で推進することで、多様性を確保しながら、放射光科学に新機軸を打ち出し、第二の黎明期を牽引することが可能になると考えています。現在、PFとUVSORにHiSORを加えた放射光学術基盤ネットワークでは、共同事業として、PFに「開発研究多機能ビームライン」の建設を開始しています(写真:旧ビームライン撤去直後の建設サイトと筆者)。このビームラインは開発研究と人材育成を目的としており、新時代を拓く「放射光マルチビーム実験」の実証試験も実施されます。このような共同事業の範囲を拡大し、未来に向かって、共に前進していきましょう。


**三沢 和彦** MISAWA, Kazuhiko / 東京農工大学 副学長

## 光科学を横串として領域横断的な取り組みにより多様な分野を統合する

UVSORを基幹とする将来計画は、「生命科学の重要課題を挑戦的な光科学による量子計測で克服し、10年後の国際トレンドを主導できる中核研究拠点を目指す」とのことです。大きな成果が期待できます。筆者の大学でも、光科学を横串として生命科学・農学・獣医学分野を基盤的かつ横断的に融合させ、革新的な早期診断・予防の技術創出を目指してきました。私たちの経験が分子研のお役に立てるようでしたら、積極的に連携協力していきたいと考えます。

新しい光科学研究拠点では、①放射光やレーザー光など広帯域な光の複合利用による未踏の量子計測技術を開拓し、②多彩な光源と各種計測設備を利用分野の要望に応じてテーラーメイドで提供する、とのこと。未踏の量子計測技術として世界最高性能を実現するだけでなく、領域横断的な取り組みにより多様な分野を統合しシステム化するという試みが、学術新領域の創成には必須であると考えます。さらには、利用分野の要望に応えるだけでなく、光源計測技術が一步先に進んで、「それまで計測しようと思ってもみなかったものがこの技術を使うと計測できる」というところまで示せるとよいのではないのでしょうか。



Adam P. Hitchcock / McMaster University

I am writing to give my enthusiastic support for the upgrade of the UVSOR-III light source to the proposed UVSOR-IV facility, as part of the exciting broader project, "Research Center for Autonomous Functions by Tailor-made Photon Science". Synchrotron X-ray methods, combined with complementary tools, such as coherent Raman imaging, super-resolution optical imaging, and analytical (S)TEM, will be a very powerful tool for applications to life science and other research areas.

I was a user of UVSOR-III from 2011 to 2015, helping to commission the scanning transmission X-ray microscope (STXM) and perform various research projects on both the STXM and soft X-ray spectroscopy beamlines. Over the past decade, I have been very impressed with both the quality and quantity of research that UVSOR-III has produced, particularly with the STXM facility. It is time to improve the UVSOR light source for higher brightness, higher stored beam energy and thus more flux at higher energies, and better source properties such as the novel PINEAPPLE undulator for full polarization control.

Again, I believe this proposed upgrade will be a giant step forward for Japanese science. If there are other ways I can help bring UVSOR-IV into being, please do not hesitate to ask.



Yao-Jane Hsu / National Synchrotron Radiation Research Center

Amid the 40 years anniversary of UVSOR, I wish the future upgrade project to be a success and absolutely unleash its unique R&D advantage. I also have high hopes and confidence that UVSOR continues to serve as a pioneer in low energy light sources and lead scientists to reach the pinnacle of scientific research.

In the study of the in-situ, operando experiments in novel energy system by synchrotron spectroscopy and microscopy, the coherence, brightness and higher photon energy (up to L-edge of transition metals,  $\sim 1$  keV) of photon source is critical and important. Advantages of the former benefit the enhancement of microstructure imaging, while the latter broaden the exploration of chemical and elemental selectivity and sensitivity. Besides, the additional excitation/stimulation source (thermal, magnetic or electrical bias, etc.), dynamic experiments or complementary characterization probe (TEY, fluorescence, or Raman measurements, etc.) are becoming essential for unique insights on chemical, structural and electronic properties of novel energy materials.

To meet the criteria and users' demand, the advanced light source and multifunctional endstations are indispensable. Therefore, we strongly support the upgrade project to UVSOR IV for distinct competitiveness in the low energy ring. We expect a brighter and higher energy photon source with high coherence, low emittance can be delivered in the UVSOR IV for exploring the novel chemical, structural and electronic properties for in-situ, operando experiments in the novel energy system.





## Eckart Rühl / Freie Universität Berlin

The development of the new state-of-the-art synchrotron radiation facility UVSOR IV is an important step for the Institute for Molecular Science (IMS) for remaining at the frontier of soft X-ray science. This will be of importance for continuing to be a relevant player in the international competition for the best experimental resources in this field. The constant innovation of synchrotron radiation instrumentation is since many years the strength of the IMS and the UVSOR Synchrotron Facility. Therefore, the hopes of the users also go to the upgrade of novel and original instruments that will make full use of the improved capabilities of this new photon source. Furthermore, highly skilled and motivated staff of UVSOR and IMS is key for the efficient use of the synchrotron source and its instruments. This makes the difference compared to many other synchrotron facilities. We enjoyed for many years the highly efficient use of UVSOR III for numerous experiments at the undulator beamlines devoted to clusters, liquids, and biological samples. Especially for life science experiments the unique combination of state-of-the-art infrastructure and institutes nearby, such as the National Institute for Basic Biology (NIBB), the Exploratory Research Center on Life and Living Systems (ExCELLS), and the National Institute for Physiological Sciences (NIPS) can play an important role for advancing interdisciplinary research. We look very much forward to the near future when UVSOR IV is in operation and are sure that international users will be attracted by this new facility.



## Han Woong Yeom / Institute for Basic Science Pohang University of Science and Technology

I would like to deliver my deepest respect and congratulation for 40 years of UVSOR. In 1992, I started my first ARPES beamtime in my whole career at UVSOR. Since then, I have participated directly and indirectly in the ARPES activity at UVSOR. All through the last 30 years I have always admired the devotion of the research and technical staffs of UVSOR, which has been consistently upgraded for better performance and services in excellent communication with its user groups. I also watched long term insight and foresight of the leadership of UVSOR. At this time, it is great to hear that the plan for UVSOR IV is ready and hope this plan be realized as soon as possible. It would become an important cornerstone for the development of synchrotron-radiation-based spectroscopy in Physics, Chemistry and Materials Science of Japan and many other countries involved as users of UVSOR so far.

- 1965.12.13 ● 日本学術会議が「分子科学研究所」(仮称)の設置を内閣総理大臣に勧告
- 1973.10.31 ● 学術審議会が「分子科学研究所」(仮称)の設立を文部大臣に報告
- 1974. 4.11 ● 文部大臣裁定により、東京大学物性研究所に分子科学研究所創設準備室(室長:井口洋夫東大教授)及び分子科学研究所創設準備会議を設置。分子科学研究所創設準備会議において、極端紫外光連続光源計画を含む4つの大型研究設備計画を立案
- 1975. 4.22 ● 大学共同利用機関分子科学研究所創設
  - 1979.4 ● 極端紫外光連続光源計画作成(責任者:井口洋夫物性化学研究部門教授) 分子分光、光電子分光、光化学、化学反応素過程を重点分野と定めた。施設名を極端紫外光施設、ニックネームをUVSORとした
  - 1979.7 ● 研究系(協力研究)ビームライン4本、施設(施設利用、協力研究)ビームライン4本を当初計画として概算要求
  - 1979.12 ● 極端紫外光実験施設(UVSOR)計画のビームライン建設の予算内示
  - 1980.4 ● ビームライン建設スタート
  - 1980.12 ● 極端紫外光実験施設(UVSOR)計画の光源建設(3年計画)の予算内示
  - 1981.4 ● 光源建設スタート
  - 1982.4.1 ● 極端紫外光実験施設(UVSOR)設置。装置開発室から関係職員異動。初代UVSOR施設長に井口洋夫教授(物性化学研究部門)
  - 1982.6 ● 極端紫外光実験棟第Ⅰ期工事(1,281㎡)竣工
  - 1983.3 ● 極端紫外光実験棟第Ⅱ期工事(1,463㎡)竣工
  - 1983.4.1 ● 外国人客員研究部門として分子集団研究系極端紫外光研究部門などを設置
  - 1983.11.10 ● 21時に0.45GeV、1mAで電子ビーム蓄積に成功。12月には0.6GeV、160mAに成功
  - 1984. 2.28 ● 極端紫外光実験施設(UVSOR)完成披露
    - 1985.4 ● 共同利用開始。電子蓄積リングは0.75GeV(入射は0.6GeV)、330mA運転
    - 1987.4.1 ● 第2代UVSOR施設長に木村克美教授(基礎光化学研究部門)
    - 1989. 5.28 ● 流動研究部門として分子集団研究系(界面分子科学研究部門)などを設置
    - 1991. 3 ● 極端紫外光実験棟3階増築(283㎡)竣工
    - 1991. 4.11 ● UVSORを使った分子科学を推進する研究系組織として、4研究部門構成の極端紫外光科学研究系を設置。分子集団研究系の既存3研究部門(基礎光化学研究部門、界面分子科学研究部門、極端紫外光研究部門)移設に加え、反応動力学研究部門を新設
    - 1992.4.1 ● 第3代UVSOR施設長に薬師久弥教授(物性化学研究部門)
    - 1992 ● UVSORとして初めてFEL発振に成功(460nm)
    - 1993.12 ● UVSOR10周年記念行事開催



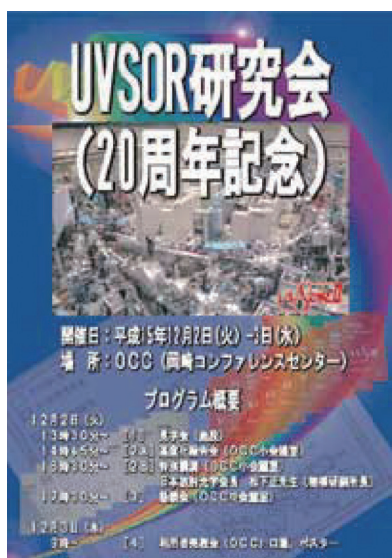
昭和58年11月10日 初亮 町名 北三軒





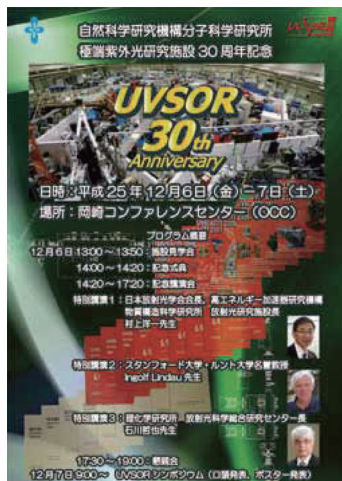
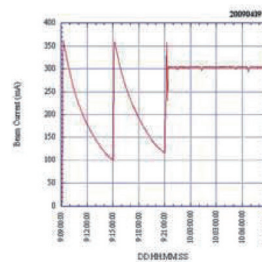
## Episode-2 20周年まで

- 1993.12 ● Volker Saile教授によるUVSOR施設評価
- 1994.4.1 ● 第4代UVSOR施設長に小杉信博教授(基礎光化学研究部門)
- 1995.4 ● UVSOR利用者懇談会発足
- 1995.7 ● UVSOR将来構想委員会を研究所に設置。将来計画を検討。ビームラインの再構築及び次世代光源(UVSOR-II)の議論始まる
- 1996.10 ● Irène Nenner博士による極端紫外光科学研究系評価
- 1996 ● FEL 239nm世界最短波長発振実証成功
- 1998.2 ● Ian Munro教授によるUVSOR施設評価
- 1999.11 ● Ingolf Lindau教授による極端紫外光科学研究系評価。UVSOR-II計画の概算要求準備開始
- 2000.12 ● UVSOR加速器・測定器個別評価。ラティス、ビームラインの再構築等の勧告
- 2001.11 ● Alexander M. Bradshaw博士(外国人運営顧問)によるUVSOR施設評価。国際的観点での低エネルギー光源の存在意義を評価。新たに取り組むべき分野について提言
- 2001.12 ● UVSOR-II計画の予算内示
- 2002.11 ● Alexander M. Bradshaw博士(外国人運営顧問)による極端紫外光科学研究系評価
- 2003.4 ● UVSOR-II高度化のための改造作業開始。エミッタンスを165nmradから27nmrad、挿入光源中心の施設へ
- 2003.9 ● UVSOR-II運転開始。エネルギー分解能を世界トップレベルへ
- 2003 ● BL7U SAMRAIプロジェクト開始
- 2003.12.2 ● UVSOR20周年記念行事開催



# Episode-3 30周年まで

- 2004.4.1 ● 法人化により自然科学研究機構発足。極端紫外光実験施設の名称を極端紫外光研究施設に変更、また4研究部門(光源加速器開発研究部門、電子ビーム制御研究部門、光物性測定器開発研究部門、光化学測定器開発研究部門)構成に
- 2004.12 ● UVSOR加速器・測定器個別評価。トップアップ運転と挿入光源ビームライン増強等の勧告。トップアップ運転実現後の更なる高度化(UVSOR-Ⅲ)計画の検討開始
- 2006.1 ● Joseph Nordgren教授(外国人運営顧問)による極端紫外光科学研究系評価
- 2006.10 ● 加速器運転時間の許可上限が12時間/日から24時間/日に変更
- 2007.4.1 ● 研究所の組織見直しにより6研究系1錯体実験施設を4大研究領域に大綱化した結果、極端紫外光科学研究系は光分子科学研究領域の光分子科学第三研究部門に
- 2007.7 ● ブースターシンクロトロン電源強化により0.75GeVフルエネルギー入射開始
- 2008.10 ● 火～金の9時～21時に加え、木21時～金9時の夜間運転開始。トップアップ運転一部導入。UVSOR-Ⅲ計画の概算要求準備開始
- 2008 ● レーザーバンチスライスによるコヒーレント放射光発生に成功
- 2008 ● BL3U液体 XAFSプロジェクト開始
- 2010.5 ● トップアップ運転を標準の運転モードに。入射点を変更し、長直線部(4m)4カ所、短直線部(1.5m)2カ所に挿入光源導入可能に
- 2010.6.1 ● 第5代UVSOR施設長に加藤政博教授(UVSOR施設)。UVSOR-Ⅲ計画の予算内示
- 2010 ● BL4U STXMプロジェクト開始
- 2011.11 ● Graham R. Fleming教授(外国人研究顧問)によるUVSOR施設評価。国際化の勧告
- 2011 ● BL5Uマイクロ ARPESプロジェクト開始
- 2012.4 ● UVSOR-Ⅲ高度化のための改造作業開始。エミッタンスが27nmradから15nmradへ
- 2012.8 ● UVSOR-Ⅲ運転開始。空間分解能を世界トップレベルへ。挿入光源6台体制へ
- 2012.11 ● Adam P. Hitchcock教授によるUVSOR施設評価
- 2013.12.6 ● UVSOR30周年記念行事開催



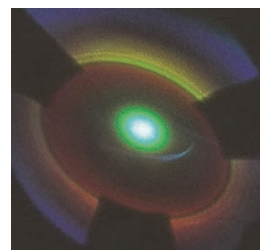


# Episode-4 そして40周年

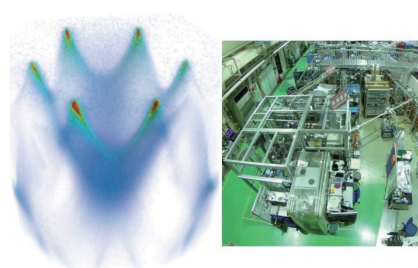
- 2014.4 ● 第6代UVSOR施設長に小杉信博教授(光分子科学第三研究部門)
- 2014.9 ● BL1U レーザーコンプトン散乱ガンマ線発生成功
- 2016.4 ● BL5U スピン分解光電子分光(spin-ARPES)プロジェクト開始
- 2016.11 ● 菅滋正教授によるUVSOR点検評価
- 2016 ● BL1U光渦発生
- 2018.2 ● E. Umbach教授(外国人運営顧問)によるUVSOR施設評価
- 2018.4 ● 第7代UVSOR施設長に解良聡教授(光分子科学第三研究部門)
- 2019.10 ● 次期施設建設計画スタート
- 2019.12 ● 国際諮問委員会によるUVSOR点検評価
- 2020.1 ● マスタープラン2020採択「放射光学術基盤ネットワーク」
- 2020.2 ● BL6U 光電子運動量顕微鏡(PMM)プロジェクト開始
- 2020.3 ● 利用者控室改装工事完了
- 2020.4 ● 新型コロナウイルス流行 感染対策し利用者受入を継続
- 2021.4 ● 「放射光学術基盤ネットワーク」の中核事業として、高エネ研PF・広島大HiSORと連携し「開発研究多機能ビームライン検討会」発足
- 2021.6 ● C. W. Tang教授(外国人運営顧問)によるUVSOR施設評価
- 2021.9 ● BL4U Phase-2 高知チームによるはやぶさ2帰還試料測定
- 2022.2 ● BL1U 自由電子レーザー再発振
- 2022.9 ● BL3U 共鳴軟X線散乱分光(RSoXS)プロジェクト開始
- 2023.3 ● M. Weidemuller教授(外国人運営顧問)によるUVSOR施設評価
- 2023.9 ● BL7U PMM(BL6U)へのブランチ新設
- 2023.10 ● 未来の学術振興構想ビジョン採択  
「複雑・不均一系の分子ダイナミクスに挑む量子光科学拠点の構築」
- 2023.10.24 ● 放射光60周年記念行事開催(放射光学会)
- 2023.12.1 ● UVSOR 40周年記念行事開催



2021年度一般公開  
2次元コードでVR360°動画へ



BL1Uで再発振が実現した  
自由電子レーザー



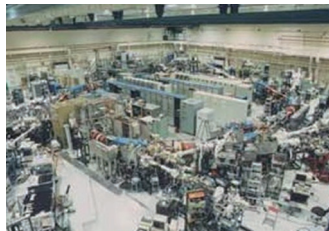
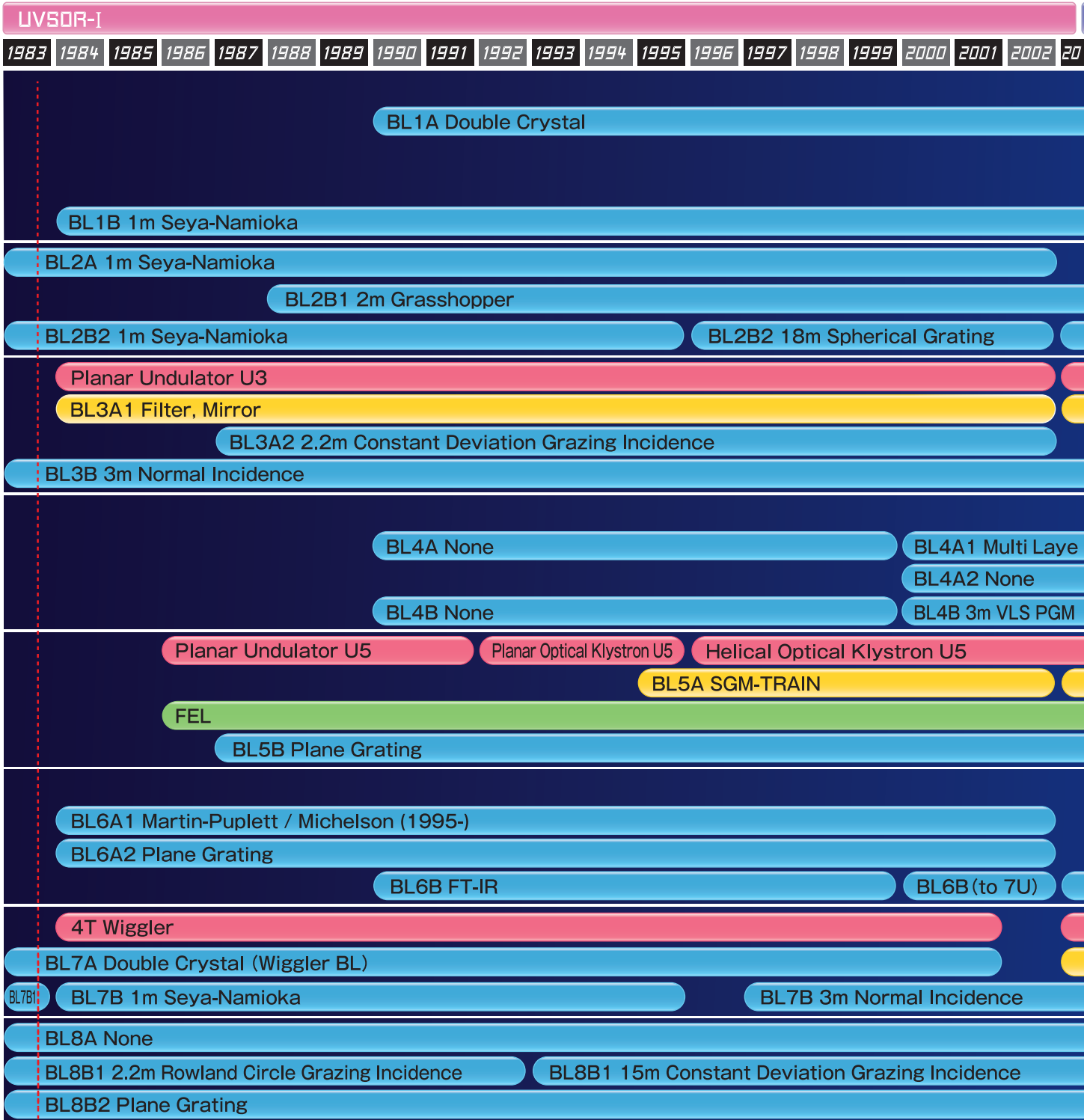
(左) BL6UのPMMで観測したグラファイトの立体バンド分散  
(右) 7Uからのブランチ新設後のBL6Uの写真



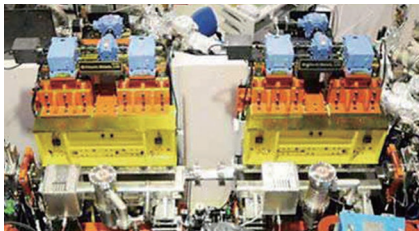
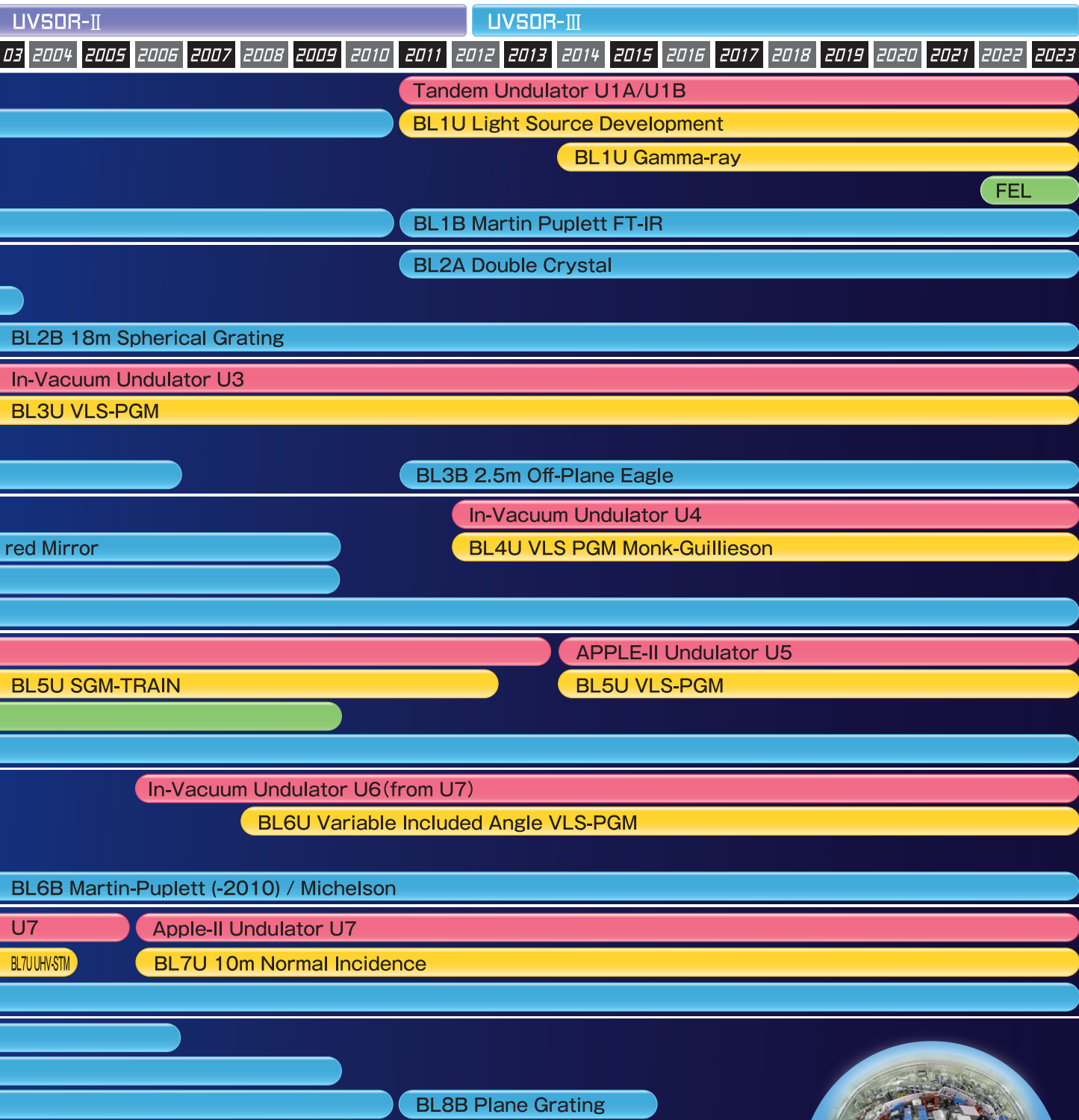
BL4Uにて小惑星探査機「はやぶさ2」の帰還試料を分析



## UVSOR Synchrotron Facility 40 years











P. V. Pikhitsa Appl. Phys. Lett. 106, 183106 (2015)

M. Kitaura J. Lumin. 172, 243 (2016)

T. Morimoto Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B366, 198 (2016)

M. Harima IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng. 11, 3 (2016)

T. Inoue Appl. Phys. A 119, 1423 (2015)

S. Kaneko Jpn. J. Appl. Phys. 54, 06G003 (2015)

A. Iguchi Phys. Stat. Sol. C 13, 85 (2016)

T. Horai Opt. Mater. 58, 14 (2016)

T. Senden J. Lumin. 177, 254 (2016)

J. Ueda Phys. Rev. B 95, 14303 (2017)

T. Morimoto Appl. Phys. A 122, 790 (2016)

K. Asami J. Lumin. 198, 418 (2018)

T. Kawai Opt. Mater. 72, 30 (2018)

K. Asami Opt. Mater. 84, 436 (2018)

S. Kurosawa IEEE Trans. Nucl. Sci. 65, 2136 (2018)

Y. Takamori AIP Advances 8, 115304 (2018)

T. Kawai J. Lumin. 207, 58 (2019)

S. Watanabe J. Phys.: Conf. Ser. 1220, 12031 (2019)

T. Makino Jpn. J. Appl. Phys. 59, SC0B13 (2020)

H. Spirdigliozzi J. Euro. Ceram. Soc. 40, 3215 (2020)

S. Kodama Radiation Measure. 124, 54 (2019)

T. Horai Optical Materials 109, 110210 (2020)

O. Yagi J. Lumin. 226, 11759 (2020)

H. Fukushima Jpn. J. Appl. Phys. 59, SC0B15 (2020)

T. Ogawa Opt. Mater. 100, 109565 (2020)

K. Takahashi Jpn. J. Appl. Phys. 59, 32003 (2020)

K. Takahashi Jpn. J. Appl. Phys. 59, 72002 (2020)

H. Fukushima Solid State Sci. 110, 106471 (2020)

M. Kitaura J. JSSRR 34, 37 (2021)

M. Kitaura J. Alloys Compd. 867, 159055 (2021)

Y. Kurashima Cryst. Growth Des. 21, 572 (2021)

T. Hirai Jpn. J. Appl. Phys. 60, 75501 (2021)

S. Yamasu J. Lumin. 236, 118094 (2021)

K. Kubota J. Phys. Chem. Solids 163, 110592 (2022)

S. Kimura J. Phys. Soc. Jpn. 92, 43704 (2023)

A. Dorokhina Ceramics 6, 492 (2023)

T. Ohgashi J. Phys.: Conf. Ser. 463, 12006 (2013)

S. B. Singh Nanoscale 6, 9166 (2014)

M. Uesugi Earth, Planets and Space 66, 102 (2014)

S. Mitsunobu Chem. Lett. 44, 91 (2015)

S. Mitsunobu Microbes Environ. 31, 63 (2016)

T. Ohgashi AIP Conf. Proc. 1741, 50002 (2016)

M-W Lin Adv. Mater. Interf. 3, 1300135 (2016)

K. Yamamoto J. Control. Release 242, 64 (2016)

H. Suga Microbes Environ. 32, 283 (2017)

K. Shinohara J. Phys.: Conf. Ser. 849, 12003 (2017)

K. Takemoto J. Phys.: Conf. Ser. 849, 12010 (2017)

T. Ohgashi J. Phys.: Conf. Ser. 849, 12044 (2017)

Y. F. Wang Sci. Rep. 8, 7758 (2018)

M.-H. Li Adv. Mater. 30, 1801401 (2018)

K. Shinohara Ultramicroscopy 194, 1 (2018)

M. Huttula Microsc. Microanal. 24, 482 (2018)

M. M. Shirokar Microsc. Microanal. 24, 468 (2018)

T. Ohgashi Microsc. Microanal. 24, 401 (2018)

K. Shinohara Cells 8, 164 (2019)

M. Uesugi Meteorit. Planet. Sci. 54, 638 (2019)

M. Y. Ismail Carbohydr. Polym. 218, 87 (2019)

A. Ito A. Phys. Pol. A 129, 260 (2016)

T. Ohgashi AIP Conf. Proc. 1696, 20027 (2016)

K. Shinohara J. X-Ray Sci. Tec. 26, 877 (2018)

K. Yamamoto Anal. Chem. 87, 6173 (2015)

M. Nagasaka Synchro. Rad. News 30, 3 (2017)

A. Khodabandeh Polymer Chem. 9, 213 (2018)

Y.R. Lu Solar Energy Mater. Solar Cells 209, 110469 (2020)

T. Mansikkala Molecules 25, 2997 (2020)

M. Ito Earth, Planets and Space 72, 133 (2020)

T. Ohgashi Rev. Sci. Instrum. 91, 103110 (2020)

S. Mitsunobu Appl. Environ. Microbiol. 87, e0097 (2021)

J. Rodriguez Carbon 185, 101201 (2021)

H. Wang ACS Appl. Mater. Interf. 13, 41524 (2021)

M. Yoshida Meteoritics & Plan. Sci. 56, 1 (2021)

Y. Kebukawa Meteoritics & Plan. Sci. 56, 1311 (2021)

H. Suga Minerals 11, 514 (2021)

G. Germer ACS Omega 6, 12213 (2021)

Y. Higaki Biomacromolecules 22, 1256 (2021)

D. Asakura Chem. Asian J. 18, e202201047 (2022)

M. Ito Nature Astronomy 6, 1163 (2022)

J.V.V. Eleza Chinese J. Phys. 76, 135 (2022)

J. Li Frontiers 10, 897127 (2022)

W. Zhang Sci. Rep. 13, 4639 (2023)

Y.-C. Huang ACS Sustainable Chem. Eng. 11, 5390 (2023)

C. O. M. Mariano J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 265, 147332 (2023)

T. Ohgashi J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 265, 147356 (2023)

W. Zhang J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 265, 147338 (2023)

G. Germer J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 265, 147343 (2023)

T. Mansikkala J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 265, 147368 (2023)

T. Gajo J. Chem. Phys. 136, 54201 (2012)

O. M. Ozkendir Chinese Phys. Lett. 29, 57502 (2012)

O. M. Ozkendir J. Electron. Mater. 42, 1055 (2013)

O. M. Ozkendir J. Mater. Sci. Technol. 29, 344 (2013)

H. Kanamori J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 185, 129 (2012)

T. Nakagawa Phys. Rev. B 86, 144418 (2012)

T. Yoshioka Physica B 407, 4114 (2012)

T. Okumura J. Power Sources 244, 544 (2013)

Y. Hikosaka J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 192, 69 (2014)

K. Nishimura IEEE Trans. Mag. 50, 2502306 (2014)

K. Eguchi J. Phys. Chem. C 118, 1763 (2014)

K. Eguchi J. Phys. Chem. C 117, 22843 (2013)

K. Eguchi Phys. Rev. B 85, 174415 (2012)

K. Eguchi J. Phys.: Conf. Ser. 430, 12129 (2013)

J. Okabayashi Appl. Phys. Lett. 105, 122408 (2014)

J. Okabayashi J. Phys. Soc. Jpn. 84, 104703 (2015)

S. Nagaasu J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 48, 125101 (2015)

S. Nagaasu J. Phys. Chem. A 120, 9907 (2016)

Y. Hikosaka J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 213, 17 (2016)

S. Yoshizawa Nano Lett. 17, 2257 (2017)

J. Okabayashi Sci. Rep. 8, 9303 (2018)

J. Okabayashi Jpn. J. Appl. Phys. 57, 0902BD (2018)

H. Yamane J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 232, 11 (2019)

Y. Hikosaka Int. J. Mass Spectrom. 439, 13 (2019)

J. Okabayashi Prog. Photon Sci. 471 (2019)

Two-Band Luminescence from an Intrinsic Defect in Spherical and Terraced MgO Nanoparticles

Excitation Process of Ce<sup>3+</sup> and Eu<sup>2+</sup> Ions Doped in SrGa<sub>2</sub>S<sub>4</sub> Crystals Under the Condition of Multiplication of Electronic Excitations

Involvement of Crystallinity in Various Luminescent Bands in Yttrium Aluminate

Structural Change Induced in LaAlO<sub>3</sub> by Ion Implantation

Experimental Observations on the Crystalline Structures of YAlO<sub>3</sub> Single Crystal at High Temperatures

Cause of the Appearance of Oxygen Vacancies in Yttria-stabilized Zirconia and Its Relation to 2.8 eV Photoluminescence

Energy Transfer between Th-type Impurities in NaCl Crystals

Crystal Growth and Luminescence Properties of Yb<sup>2+</sup>/Sr<sup>2+</sup> Infrared Emission Scintillator

The d-f Luminescence of Eu<sup>2+</sup>, Ce<sup>3+</sup> and Yb<sup>2+</sup> Ions in Cs<sub>2</sub>MP<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (M=Ca<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>)

Thermal Ionization and Thermally Activated Crossover Quenching Processes for 5d-4f Luminescence in Y<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:Pr<sup>3+</sup>

Electronic Excitation and Relaxation Processes of Oxygen Vacancies in YSZ and their Involvement in Photoluminescence

Investigation of Luminescence Quenching and Persistent Luminescence in Ce<sup>3+</sup> Doped (Gd<sub>1-x</sub>Y<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Garnet Using Vacuum Referred Binding Energy Diagram

Optical Studies on the Conversion from Ag<sup>+</sup> to Ag<sup>0</sup> Centers by the Electrolytic Coloration in NaCl and KCl Crystals

Development of Persistent Phosphor of Eu<sup>2+</sup> Doped Ba<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> by Er<sup>3+</sup> Codoping Based on Vacuum Referred Binding Energy Diagram

Comprehensive Study on Ce-Doped (Gd<sub>1-x</sub>Y<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Scintillator

Effects of Ultraviolet Photon Irradiation and Subsequent Thermal Treatments on Solution-Processed Amorphous Indium Gallium Zinc Oxide Thin Films

Energy Transfer Processes from In<sup>3+</sup> Centers to In<sup>2+</sup> Centers at Room Temperature in Co-Doped NaCl:In<sup>3+</sup> Crystals

Energy Relaxation from STE to In<sup>3+</sup> Centers in NaIn<sup>3+</sup> Crystals

Temperature dependence of dielectric functions in Yb<sup>2+</sup> and Lu<sup>2+</sup> epitaxial thin films on sapphire (0001)

Effects of Ta doping and irradiation with He<sup>+</sup> ions on photoluminescence of MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> spinel ceramics

Development of a novel red-emitting cesium hafnium iodide scintillator

Crystal Growth and Optical Properties of a Ce<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Single Crystal

Formation and migration of V<sub>K</sub> centers from localized excitons in NaCl:In<sup>3+</sup> and NaCl:Th<sup>3+</sup> crystals

Synthesis and Scintillation Properties of Ce-doped CaZrO<sub>3</sub> Single Crystals

Scintillation Properties of Pr-doped Ca<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> single crystals

Luminescence Characteristics of Cs<sub>2</sub>BaO<sub>4</sub>

Luminescence and scintillation properties of Cs<sub>2</sub>ZrO<sub>4</sub> and Cs<sub>2</sub>NiO<sub>5</sub>

Photoluminescence and Scintillation Properties of Ce-doped SrLu<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Single Crystals

Visualization of vacancy-type defect complexes in garnet scintillator crystals by ultrashort gamma-ray induced positron annihilation lifetime spectroscopy (in Japanese)

Structural analyses of Gd<sub>3</sub>(Al,Ga<sub>5</sub>)O<sub>12</sub> garnet solid solutions via X-ray and UV absorption spectroscopy experiments for Gd atoms

Novel Method of Search for Transparent Optical Materials with Extremely High Melting Point

Formation of Cs<sub>3</sub>Co<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> Microcrystals in Gd<sub>3</sub> Crystals through the Aggregation of Cu<sup>+</sup> Ions

Electronic states and relaxation dynamics of Al<sup>3+</sup> centers in RbCl crystals

Optical characteristics of Th<sup>3+</sup> centers in CsCa<sub>3</sub>O<sub>3</sub>, KCa<sub>3</sub>O<sub>3</sub>, and CsO crystals

Observation of Electronic Structure Modification in the Hidden Order Phase of CeCoSi

Solothermal Synthesis of LaF<sub>3</sub>:Ce Nanoparticles for Use in Medicine: Luminescence, Morphology and Surface Properties

Construction of the Scanning Transmission X-ray Microscope Beamline at UVSOR

Observation of the Origin of d0 Magnetism in ZnO Nanostructures Using X-Ray-Based Microscopic and Spectroscopic Techniques

Sequential Analysis of Carbonaceous Materials in Hayabusa-returned Samples for the Determination of Their Origin

Nanoscale Identification of Extracellular Organic Substances at the Microbe-Mineral Interface by Scanning Transmission X-ray Microscopy

Direct Detection of Fe(II) in Extracellular Polymeric Substances (EPS) at the Mineral-Microbe Interface in Bacterial Pyrite Leaching

Development of In-situ Sample Cells for Scanning Transmission X-ray Microscopy

Improve Hole Collection by Interfacial Chemical Redox Reaction at a Mesoscopic NiO/CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbI<sub>3</sub> Heterojunction for Efficient Photovoltaic Cells

Core-mutishell nanocarriers: Transport and release of dexamethasone probed by soft X-ray spectroscopy

Spatially Resolved Distribution of Fe Species around Microbes at the Submicron Scale in Natural Bacteriogenic Iron Oxides

Quantitative Study of Mammalian Cells by Scanning Transmission Soft X-ray Microscopy

Application of Soft X-ray Microscopy to Environmental Microbiology of Hydrophore

Investigation of Measurement Condition for 3-Dimensional Spectroscopy by Scanning Transmission X-ray Microscopy

Origin of Magnetic Properties in Carbon Implanted ZnO Nanowires

Highly Efficient 2D/3D Hybrid Perovskite Solar Cells via Low-Pressure Vapor-Assisted Solution Process

Quantitative Analysis of Mammalian Chromosome by Scanning Transmission Soft X-ray Microscopy

STM Chemical Mapping of Norway Spruce Knotwood Lignans

Probing the Electronic Structure of BiVO<sub>4</sub> Coated ZnO Nanodendrite Core-Shell Nanocomposite Using X-ray Spectroscopic and Spatially Resolved Scanning Transmission X-ray Microscopy Studies

3-Dimensional Chemical Structures of an Isolated Cell Nucleus by a Scanning Transmission X-ray Microscope

Quantitative Distribution of DNA, RNA, Histone and Proteins Other than Histone in Mammalian Cells, Nuclei and a Chromosome at High Resolution Observed by Scanning Transmission Soft X-ray Microscopy (I)

Further Characterizations of Carbonaceous Materials in Hayabusa-Returned Samples for Understanding of their Origin

Hybrid Films of Cellulose Nanofibrils, Chitosan and Nanosilica/Structural, Thermal, Optical, and Mechanical Properties

Biomedical Application of Soft X-ray Microscopy with Special Reference to Spectromicroscopy

Observation of DNA and Protein Distributions in Mammalian Cell Nuclei using STM

Discrimination of DNA and RNA distribution in a mammalian cell by scanning transmission soft X-ray microscopy

Selective Probing of the Penetration of Dexamethasone into Human Skin by Soft X-ray Spectromicroscopy

Development of In-Situ Operating Sample Cells for Soft X-ray Transmission Spectromicroscopy at UVSOR-III Synchrotron

Morphology control in polymerized high internal phase emulsion templated by macro-RAFT agent composition: Visualizing surface chemistry

"Effect of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating on ZnO nanowires in photoelectrochemical water splitting: A synchrotron x-ray spectroscopic and spectromicroscopic investigation"

Lignans in Knotwood of Norway Spruce: Localisation with Soft X-ray Microscopy and Scanning Transmission Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy

The universal sample holders of microanalytical instruments of FIB, TEM, NanoSIMS, and STM-NEXAFS for the coordinated analysis of extraterrestrial materials

A low-pass filtering Fresnel zone plate for soft x-ray microscopic analysis down to the lithium K-edge region

One-Year In Situ Incubation of Pyrite at the Deep Seafloor and Its Microbiological and Biogeochemical Characterizations

Modulating chemical composition and work function of suspended reduced graphene oxide membranes through electrochemical reduction

Role of Interfacial Defects in Photoelectrochemical Properties of BiVO<sub>4</sub> Coated on ZnO Nanodendrites: X-ray Spectroscopic and Microscopic Investigation\*

Elucidation of impact event recorded in the hercynitic shergottite NWA 7397

Organic matter in carbonaceous chondrite lithologies of Almahata Sitta: Incorporation of previously unsampled carbonaceous chondrite lithologies into ureilite regolith

A New Constraint on the Physicochemical Condition of Mars Surface during the Amazonian Epoch Based on Chemical Speciation for Secondary Minerals in Martian Nakhilites

Improved Skin Permeability after Topical Treatment with Serine Protease: Probing the Penetration of Rapamycin by Scanning Transmission X-ray Microscopy

Exploring the Mesoscopic Morphology in Mussel Adhesive Proteins by Soft X-ray Spectromicroscopy

Redox reaction in Ti-Mn redox flow battery studied by X-ray absorption spectroscopy

A pristine record of outer Solar System materials from asteroid Ryugu's returned sample

Evidence of synergistic electrocatalysis at a cobalt oxide-graphene interface through nanochemical mapping of scanning transmission X-ray microscopy

Hydroscopicity and Ice Nucleation Properties of Dust/Salt Mixtures Originating from the Source of East Asian Dust Storms

Chemical-state distributions in charged LiCoO<sub>2</sub> cathode particles visualized by soft X-ray spectromicroscopy

Atomic Nickel on Graphitic Carbon Nitride as a Visible Light-Driven Hydrogen Production Photocatalyst Studied by X-ray Spectromicroscopy

Scanning transmission X-ray microscopy of hydrogen evolution electrocatalysts on reduction graphene oxide membranes

Developments in sample environment for a scanning transmission X-ray microscope at UVSOR-III synchrotron

Visualization of air-induced oxidation in single crystalline LiFe<sub>0.6</sub>Mn<sub>0.4</sub>PO<sub>4</sub> nanowires with carbon sheath using soft X-ray spectromicroscopy

Soft X-ray scanning transmission microscopy as a selective probe of topical dermal drug delivery: the role of petrolatum and occlusion

Scanning transmission soft X-ray spectromicroscopy of mouse kidney and liver

Angle-resolved metastable fragment yields spectra of N<sub>2</sub> and CO in the inner-shell excitation energy  $\nu$

Chromium Substitution Effect on Magnetic Structure of Iron Oxides

Structural and Magnetic Study of Cu<sub>2</sub>FeCr<sub>1-x</sub>O<sub>2</sub> Oxides Under High External Magnetic Fields

Traces of Defects in the Electronic Structure of Porous Ni<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>Ti

Determination of valence state of Mn ions in Pr<sub>1-x</sub>AxMnO<sub>3</sub> (A = Ca, Sr) by Mn-L<sub>3</sub> X-ray Absorption Near-Edge Analysis

Giant Magnetic Anisotropy Energy and Coercivity in Fe Island and Atomic Wire on W(110)

Co-L<sub>3</sub> X-ray Absorption Near-Edge Structure Analysis of Pr<sub>1-x</sub>CoxCo<sub>3</sub>O<sub>7</sub> and Pr<sub>1-x</sub>SrxCo<sub>3</sub>O<sub>7</sub>

Contribution of oxygen partial density of state on lithium intercalation/intercalation process in Li<sub>10</sub>N<sub>0.5</sub>Mn<sub>0.5</sub>O<sub>4</sub> Spinel Oxides

A High-Resolution Magnetic Bottle Electron Spectrometer and Its Application to a Photoelectron Auger Electron Coincidence Measurement of the L<sub>2,3</sub>VV Auger Decay in Cs<sub>2</sub>

Substitution mechanism of Mn and Fe ions in Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>

Magnetic Interactions of Vanadyl Phthalocyanine with Ferromagnetic Iron, Cobalt, and Nickel Surfaces

Molecular Orientation and Electronic States of Vanadyl Phthalocyanine on Si(111) and Ag(111) Surfaces

Growth process and magnetic properties of iron nanoparticles deposited on Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si(111)-(8 × 8)

Passivating effect of Si(111)-(8 × 8)/<sup>3</sup>Ag and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si(111)-(8 × 8) buffer layers

Perpendicular Magnetic Anisotropy at the Interface between Ultrathin Fe Film and MgO Studied by Angular-dependent X-ray Magnetic Circular Dichroism

Investigating Orbital Magnetic Moments in Spinel-Type Mn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Using X-ray Magnetic Circular Dichroism

Site-Specific Formation of Metastable OCS<sup>2+</sup> Studied by Auger-Electron-Ion Coincidence Method

Site-Specific Electron-Relaxation Caused by Si<sub>2</sub> Core-Level Photoionization: Comparison between FSSiC<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> and OCSiC<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> Vapors by Means of Photoelectron Auger Electron Coincidence

Electron Emission Relevant to Inner-Shell Photoionization of Condensed Water Studied by Multi-Electron Coincidence Spectroscopy

Controlled Modification of Superconductivity in Epitaxial Atomic Layer-Organic Molecule Heterostructures

Anatomy of Interfacial Spin-Orbit Coupling in Co/Pd Multilayers Using X-Ray Magnetic Circular Dichroism and First-Principles Calculations

Local Electronic and Magnetic Properties of Ferro-Orbital-Ordered FeV<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Critical Absorbed dose of Resinous Adhesive Material towards Non-Destructive Chemical-State Analysis Using Soft X-rays

Metastability of Carbonyl Sulfide Dications Studied by Multi-electron-Ion Coincidence Spectroscopy

Tailoring Spins and Orbitals in Spin-Orbitronic Interfaces Probed by X-Ray Magnetic Circular Dichroism

	K. Eguchi M. Nagasaka N. Tatemizo Y. Hikosaka T. Tsukamoto Y. Hikosaka Y. Hikosaka K. Kawaguchi Y. Hikosaka Y. Hikosaka	Phys. Chem. C 119, 9805 (2015) Rev. Sci. Instrum. 91, 83103 (2020) Sci. Rep. 10, 1819 (2020) Rev. Sci. Instrum. 90, 53105 (2019) J. Am. Chem. Soc. 142, 19078 (2020) J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 255, 147158 (2022) Phys. Rev. A 106, 62814 (2022) Jpn. J. Appl. Phys. 61, S11001 (2022) Phys. Chem. Chem. Phys. 24, 17535 (2022) J. Chem. Phys. 158, 214306 (2023)	Direct Synthesis of Vanadium Phthalocyanine and Its Electronic and Magnetic States in Mono layers and Multi layers on Ag(111) Photoelectron Based Soft X-ray Detector for Removing High Order X Rays Electronic Structure of AlF <sub>n</sub> Films Exhibiting Crystallographic Orientation Change from c- to a-axis with Fe Concentrations and Annealing effect A Virtual Stretch of Light Pulse Interval by Pulsed Electron Extraction Introduced into a Magnetic Bottle Electron Spectrometer Quantum Materials Exploration by Sequential Screening Technique of Heteroatomity Multi-Electron-Ion Coincidence Spectrometer with a High-Efficiency Microchannel Plate Detector Sequential quadruple Auger decay pathways from the Xe 4s core-hole state Layer-resolved magnetic moments in N-surfactant assisted Fe/Ni ordered alloy thin films. Coster-Kronig and super Coster-Kronig transitions from the Xe 4s core-hole state Metastability and fragmentation of the OCS <sup>3+</sup> states produced by S 2p double Auger decay
5U	T. Hirahara A. Ruammaitree H. Nishino Y. Sugizaki H. J. Im M. Kaneko S. Ishida H. J. Im M. Aitani H. J. Im K. Imura Y. Sugizaki Y. Sugizaki Y. Sugizaki N. Murai J. Yang Y. Sakamoto S. Nakata J. Okabayashi I. Suzuki I. Suzuki T. Nakamura	Phys. Rev. Lett. 109, 227401 (2012) Appl. Surf. Sci. 282, 297 (2013) Chem. Eur. J. 19, 13929 (2013) Surf. Sci. 624, 21 (2014) Phys. Rev. B 88, 205133 (2013) JPS Conf. Proc. 3, 11080 (2014) e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. 13, 93 (2015) Solid State Commun. 217, 17 (2015) Jpn. J. Appl. Phys. 52, 110112 (2013) Solid State Commun. 209-210, 45 (2015) J. Phys.: Conf. Ser. 592, 12028 (2015) e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. 16, 236 (2018) Jpn. J. Appl. Phys. 57, 115701 (2018) Jpn. J. Appl. Phys. 58, S1C02 (2019) Phys. Rev. B 97, 241112 (2018) Appl. Phys. Exp. 13, 11009 (2020) Phys. Rev. B 81, 165432 (2020) npj Quantum Mater. 6, 86 (2021) Phys. Rev. B 103, 104435 (2021) Phys. Chem. Chem. Phys. 24, 634 (2022) Phys. Stat. Solid. b 2023, 2200408 (2023) Phys. Rev. B 107, L104102 (2023)	Atomic and Electronic Structure of Ultrathin Bi(111) Films Grown on Bi2Te3(111) Substrates Determination of Non-Uniform Graphene Thickness on SiC (0001) by X-Ray Diffraction Photoreaction of rac-Leucine in Ice by Circularly Polarized Synchrotron Radiation: Temperature-Induced Mechanism Switching from Norrish Type I to Denaturation Soft X-ray photoelectron spectroscopy study of Fe2P(0001) Strong Correlation Effects in the A-site Ordered Perovskite CaO <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> Revealed by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy Angle-Resolved Photoemission Study on Insulator-to-Metal Transition of Sm <sup>1-x</sup> Y <sub>x</sub> S Electronic Structure of Ni2P(0001) Studied by Resonant Photoelectron Spectroscopy Electronic Structure of Mott-Insulator CaO <sub>3</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub> : Photoemission and Inverse Photoemission Study Fermi-Level Tuning of Topological Insulator Thin Films Fermi Surface Variation of Ce 4f-Electrons in Hybridized Controlled Heavy-Fermion Systems Origin of the black-golden transition in Sm <sup>1-x</sup> Y <sub>x</sub> S Electronic Structure of the VO Film on Ag(100): Resonant Photoelectron Spectroscopy Study Valence and Core-level Photoelectron Spectroscopy Studies of Fe2P(10-10): Effect of P Segregation on the Surface Electronic Structure Soft X-Ray Photoelectron Spectroscopy Study on the P Segregation Process And Its Effect on the Electronic Structure of Fe2P(0001) Effect of electron correlations on spin excitation bandwidth in Ba0.75K0.25Fe2As2 as seen via time-of-flight inelastic neutron scattering Valence band dispersion measured in the surface normal direction of CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> Pb <sub>3</sub> single crystals Spectroscopic Evidence of a Topological Quantum Phase Transition in Ultrathin Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> Films Nematicity in a cuprate superconductor revealed by angle-resolved photoemission spectroscopy under uniaxial strain Perpendicular magnetic anisotropy at the Fe/Au(111) interface studied by Mossbauer, x-ray absorption, and photoemission spectroscopies Direct Evaluation of Hole Effective Mass of SrS-SnSe Solid Solutions with ARPES Measurement Experimental Identification of Atomic Orbital Contributions to SnS Valence Band using Polarization-Dependent Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy Surface valence transition in SmS by alkali metal adsorption
5B	E. Shigemasa K. Wakui Y. Hikosaka	J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 46, 164020 (2013) Appl. Phys. B: Lasers and Optics 117, 957 (2014) J. Synchro. Rad. 27, 675 (2020)	Resonance-Enhanced Three-Photon Single Ionization of Ne by Ultrashort Extreme-Ultraviolet Pulses Generation of Vacuum Ultraviolet Radiation by Intracavity High-harmonic Generation Toward State Detection of Single Trapped Ions Zeeman Quantum Beats of Helium Rydberg States Excited by Synchrotron Radiation
6U	J. Park T. Maruyama H. Yamane M. N. Piancastelli Y. Hikosaka H. Iwayama I. Song H. Yamane H. Yamane H. Yamane H. Yamane H. Yamane H. Yamane H. Iwayama	Phys. Rev. Lett. 110, 36801 (2013) Appl. Phys. Lett. 101, 92106 (2012) Phys. Rev. Lett. 111, 86602 (2013) J. Chem. Phys. 138, 23405 (2013) Chem. Phys. Lett. 603, 46 (2014) J. Chem. Phys. 145, 34305 (2016) ACS Nano 9, 10621 (2015) J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 204, 61 (2015) J. Chem. Phys. 141, 224701 (2014) J. Phys. Chem. C 120, 24307 (2016) J. Phys. Chem. Lett. 8, 5366 (2017) Phys. Rev. Lett. 119, 203203 (2017) Mater. Chem. Front. 2, 609 (2018) J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 232, 40 (2019)	Self-Assembled Nanowires with Giant Rashba Split Bands Band Alignment of a Carbon Nanotube/N-Type 6H-SiC Heterojunction Formed by Surface Decomposition of SiC Using Photoelectron Spectroscopy Substituent-Induced Intermolecular Interaction in Organic Crystals Revealed by Precise Band-Dispersion Measurements Ultrafast Dynamics in C 1s Core-Excited CF <sub>4</sub> Revealed by Two-Dimensional Resonant Auger Spectroscopy Site-Specific Formation of Metastable Dications Following Inner-Shell Ionization of CO <sub>2</sub> Stability and Dissociation Dynamics of N <sub>2</sub> <sup>2+</sup> Ions Following Core Ionization Studied by an Auger-electron-Photoion coincidence method Realization of a Strained Atomic Wire Superlattice Systematic Study on Intermolecular Valence-Band Dispersion in Molecular Crystalline Films Site-Specific Intermolecular Valence-Band Dispersion in a Phase Crystalline Films of Cobalt Phthalocyanine Studied by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy Site-Specific Organic/Metal Interaction Revealed from Shockley-Type Interface State High Hole-Mobility Molecular Layer Made from Strong Electron Acceptor Molecules with Metal Adatoms Different Time Scales in the Dissociation Dynamics of Core-Excited CF <sub>4</sub> by Two Internal Clocks Orbital-Specific Electronic Interaction in Crystalline Films of Iron Phthalocyanine Grown on Au(111) Probed by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy Resonant-Auger-state-selected dissociation dynamics and dissociation limits of N 1s→π* core excited N <sub>2</sub> molecules studied using a two-dimensional Auger-electron-photoion coincidence method Van der Waals Integration of Silicene and Hexagonal Boron Nitride Photoelectron Angular Distribution Induced by Weak Intermolecular Interaction in Highly Ordered Aromatic Molecules Direct observation of the spin polarization in Au atomic wires on Si(533) Lifetime broadening of atomic lines produced upon ultrafast dissociation of HCl and HBr Experimental and theoretical study of X-ray absorption around the chlorine L edge in vinyl chloride A local chemical environment effect in site-specific Auger spectra of ethyl trifluoroacetate Dominance of angular momentum exchange in the PO recapture of photoelectrons revealed by high resolution Auger electron measurements of Kr Acceptance-cone-tunable electron spectrometer for highly-efficient, constant energy mapping Identification of Twinning-induced Edges on the Cleaved Graphite Crystal Surface Bulk and Surface Band Dispersion Mapping of the Au(111) Surface by Acceptance-cone Tunable PES System Photoelectron Momentum Microscope at BL6U of UVSOR-III Synchrotron Graphene as Reusable Substrate for Bi-alkali Photocathodes Emergence of Nearly Flat Bands Through a Kagome Lattice Embedded in an Epitaxial Two-Dimensional Ge Layer with a Bitriangular Structure 90° deflection Imaging Electron Analyzer for Measuring Wide 2D Angular Distribution and Perpendicular Spin Texture Band Engineering in an Epitaxial Two-Dimensional Honeycomb Si <sub>6</sub> -xGe <sub>x</sub> Alloy Contrast Inversion of Photoelectron Spectro-microscopy Image Nanographene growth from benzene on Pt(111) Valence Band Dispersion Embedded in Resonant Auger Electrons Photoelectron Momentum Microscope : Development at UVSOR Synchrotron Facility Coupling of kz-dispersing p bands with surface localized states in graphite Photoelectron momentum microscopy: local Fermiology and core-valence resonant photoelectron excitation Photoemission Tomography of a One-Dimensional Row Structure of a Flat-Lying Plicene Multilayer on Ag(110) Fermiology and Origin of Tc Enhancement in a Kagome Superconductor Cs(V <sup>1-x</sup> Nbx)Sb <sub>5</sub> Observation of Hole States at perylene/Au(110) and Au(111) interfaces Resonant Photoemission Spectroscopy of Highly-Oriented-Coronene Monolayer using Photoelectron Momentum Microscope Domain-Resolved Photoelectron Microscopy and micrometer-scale Momentum-Resolved Photoelectron Spectroscopy of Graphite Armchair Edge Facet Characterization of Epitaxial CVD graphene on Ir(111)/o-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (0001) by Photoelectron Momentum Microscopy Hole Doping to Perylene on Au(110): Photoelectron Momentum Microscopy Soft x-ray photoelectron momentum microscope for multimodal valence band stereography
6B	T. Inushima T. Iizuka Y. S. Kwon V. Guritanu S. Kimura V. Guritanu S. Kuwano-Nakatani B. H. Min S. Kimura A. Hara M. Kitaura S. Kimura A. Hara S. Kamei M. Kitaura A. Hara J. Raasch Y. Nakajima T. Kanomata M. Kitaura T. Kawasaki	J. Phys. Soc. Jpn. 81, 43704 (2012) J. Phys. Soc. Jpn. 81, 43703 (2012) New J. Phys. 14, 83009 (2012) Phys. Rev. Lett. 109, 247207 (2012) J. Phys. Soc. Jpn. 82, 21004 (2013) Phys. Rev. B 87, 115129 (2013) Adv. Electronmag. 2, 5 (2013) New J. Phys. 15, 73029 (2013) Phys. Rev. B 91, 241120 (2015) Jpn. J. Appl. Phys. 54, 101302 (2015) Appl. Phys. Express 9, 72602 (2016) J. Phys. Soc. Jpn. 85, 83702 (2016) Jpn. J. Appl. Phys. 56, 68001 (2017) Appl. Spectrosc. 72, 1074 (2018) Appl. Phys. Lett. 113, 41906 (2018) Jpn. J. Appl. Phys. 57, 101301 (2018) IEEE Trans. Appl. Supercon. 25, 2300106 (2015) Phys. Rev. B 100, 125151 (2019) Solid State Commun. 340, 114525 (2021) J. JSSRR 34, 37 (2021) Biomolecules 12, 1326 (2022)	Superconducting properties of IrN with low carrier density near the Mott transition Existence of Heavy Fermions in the Antiferromagnetic Phase of CeIn <sub>3</sub> Evidence of a pseudogap for superconducting iron-pnictide Ba <sub>0.6</sub> +δK <sub>0.4</sub> -δFe <sub>2</sub> As <sub>2</sub> single crystals from optical conductivity measurements Optical Study of Archetypical Valence-Fluctuating Eu-Systems Infrared and Terahertz Spectroscopy of Strongly Correlated Electron Systems under Extreme Conditions Anisotropic optical conductivity of the putative Kondo insulator CeRu <sub>4</sub> Sn <sub>6</sub> Broadband Spectroscopy of Nanoporous-Gold Promoter Optical Properties of the Iron-Based Superconductor LiFeAs Single Crystal Relation between c-f hybridization and the magnetic ordering in CeRu <sub>2</sub> Al <sub>10</sub> : An optical conductivity study of CeRu <sub>2</sub> (x)Rh <sub>x</sub> (2x10) (x &#8804; 0.05) Mechanism of formation of ultrashallow thermal donors in carbon-doped oxygen-rich monocrystalline silicon preannealed to introduce hydrogen Probing Shallow Electron Traps in Cerium-doped Ga <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub> O <sub>12</sub> Scintillators by UV-Induced Absorption Spectroscopy Optical Evidence of Itinerant-Localized Crossover of 4f Electrons in Cerium Compounds Ground-state Splitting of Ultrashallow Thermal Donors with Negative Central-cell Corrections in Silicon Infrared Evaluation of Enantiometric Amount and Application to Racemization at the Interface Between L- and D-Alanine Shallow Electron Traps Formed by Gd <sup>2+</sup> -Ions Adjacent to Oxygen Vacancies in Cerium-Doped Ga <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Ga <sub>3</sub> O <sub>12</sub> Crystal Ground State of Ultrashallow Thermal Donors in Silicon Investigation of the Electrical Field Sensitivity of Sub-μm m Y-Ba-Cu-O Detectors Optical and photoelectrical studies on anisotropic metal-insulator transition of RuAs Optical Properties of the Antiferromagnetic Heusler Alloy Ru <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O Visualization of vacancy-type defect complexes in garnet scintillator crystals by ultrashort gamma-ray induced positron annihilation lifetime spectroscopy (in Japanese) Exploring Biomolecular Self-Assembly with Far-Infrared Radiation



7U	<p>T. Hajiri Phys. Rev. B 85, 94509 (2012)</p> <p>S. Tanaka Sci. Rep. 3, 3031 (2013)</p> <p>Q. Ge Phys. Rev. B 89, 75105 (2014)</p> <p>S. Suga J. Phys. Soc. Jpn. 83, 14705 (2014)</p> <p>B. Kim Phys. Rev. B 88, 205408 (2013)</p> <p>J. Yamaguchi New J. Phys. 15, 43042 (2013)</p> <p>T. Sato Phys. Rev. Lett. 110, 206804 (2013)</p> <p>Y. Tanaka Phys. Rev. B 88, 235126 (2013)</p> <p>E. Ieki Phys. Rev. B 89, 140506 (2014)</p> <p>M. Matsunami Phys. Rev. B 87, 165141 (2013)</p> <p>T. Hajiri J. Phys. Soc. Jpn. 83, 93703 (2014)</p> <p>T. Hajiri JPS Conf. Proc. 3, 15028 (2014)</p> <p>K. Nakayama Phys. Rev. B 92, 100508 (2015)</p> <p>T. Hajiri Phys. Rev. B 93, 024503 (2016)</p> <p>T. Hirahara Phys. Rev. Lett. 115, 106803 (2015)</p> <p>Y. Ohtsubo Phys. Rev. Lett. 115, 256404 (2015)</p> <p>T. Kondo Nature Commun. 6, 10042 (2015)</p> <p>S. Souma Phys. Rev. B 93, 016112 (2016)</p> <p>C. X. Trang Phys. Rev. B 93, 241103 (2016)</p> <p>P. Ayriz Phys. Rev. B 94, 075429 (2016)</p> <p>K. Hagiwara Nature Commun. 7, 12690 (2016)</p> <p>M. Nakayama Phys. Rev. Lett. 117, 056403 (2016)</p> <p>M. Matsunami Phys. Rev. B 96, 241102(R) (2017)</p> <p>J. Kishi Phys. Rev. Materials 1, 64602 (2017)</p> <p>T. Ito Phys. Rev. B 96, 195168 (2017)</p> <p>T. Hirahara Nano Lett. 17, 3493 (2017)</p> <p>J. Miao Phys. Rev. B 95, 205127 (2017)</p> <p>Y. Okuyama Appl. Surf. Sci. 398, 125 (2017)</p> <p>Y. Nakayama J. Phys. Chem. Lett. 8, 1259 (2017)</p> <p>H. Oinuma Phys. Rev. B 96, 41120 (2017)</p> <p>F. Bussolotti Nature Commun. 8, 173 (2017)</p> <p>A. Takemori Phys. Rev. B 98, 100501 (2018)</p> <p>T. Nakamura Phys. Rev. B 98, 075431 (2018)</p> <p>Y. Sugiyama Surf. Sci. 672, 33 (2018)</p> <p>S. Yamakana Appl. Phys. Express 12, 51009 (2019)</p> <p>Y. Ohtsubo Nature Commun. 10, 2298 (2019)</p> <p>C. X. Trang Phys. Rev. B 93, 165123 (2016)</p> <p>T. Hirahara Nano Lett. 17, 3493 (2017)</p> <p>D. Takane npj Quantum Mater. 3, 1 (2018)</p> <p>S. Park Commun. Phys. 2, 68 (2019)</p> <p>T. Adachi J. Phys. Soc. Jpn. 88, 84701 (2019)</p> <p>M. Horio Phys. Rev. B 100, 054517 (2019)</p> <p>D. Takane Phys. Rev. Lett. 112, 076402 (2019)</p> <p>S. Ideta Phys. Rev. B 100, 235135 (2019)</p> <p>T. Hirahara Nature Commun. 11, 4821 (2020)</p> <p>I. Suzuki Electronic Structure 4, 25004 (2022)</p> <p>D. Nabok Phys. Rev. Mat. 6, 34204 (2022)</p> <p>S. Kusaka Appl. Phys. Lett. 120, 173102 (2022)</p> <p>K. Hagiwara Phys. Rev. Research 3, 43151 (2021)</p> <p>S. Ideta Phys. Rev. Lett. 127, 217004 (2021)</p> <p>I. Suzuki Phys. Status Solidi B 260, 2200408 (2023)</p>	<p>Three-dimensional electronic structure and interband nesting in the stoichiometric superconductor Li</p> <p>An Investigation of Electron-Phonon Coupling Via Phonon Dispersion Measurements in Graphite Using Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy</p> <p>Angle-Resolved Photoemission Study of the Electronic Structure of the Quantum Spin Liquid <math>\text{EiMe}_3\text{Sb}(\text{PO}_4)_2</math></p> <p>Spin-Polarized Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy of the So-Predicted Kondo Topological Insulator <math>\text{SmB}_6</math></p> <p>Microscopic Mechanism for Asymmetric Charge Distribution in Rashba-Type Surface States and the Origin of the Energy Splitting Scale</p> <p>Different Evolution of the Intrinsic Gap in Strongly Correlated <math>\text{SmB}_6</math> in Contrast to <math>\text{YbB}_{12}</math></p> <p>Fermiology of the Strongly Spin-Orbit Coupled Superconductor <math>\text{Sn}_1\text{-xIn}_x\text{Te}</math>: Implications for Topological Superconductor</p> <p>Two Types of Dirac Cone Surface States on the (111) Surface of the Topological Crystalline Insulator <math>\text{SnTe}</math></p> <p>Evolution from Incoherent to Coherent Electronic States and Its Implications for Superconductivity in <math>\text{FeTe}_{1-x}\text{Se}_x</math></p> <p>Strongly Hybridized Electronic Structure of <math>\text{YbAl}_2</math>: An Angle-Resolved Photoemission Study</p> <p>Anomalous Superconducting-Gap Structure of Slightly Overdoped <math>\text{BaFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{Te}_2\text{As}_2</math></p> <p>Polarization-Dependent Three-Dimensional Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy of <math>\text{BaFe}_{1.6}\text{Co}_{0.2}\text{As}_2</math></p> <p>Observation of Two-Dimensional Bulk Electronic States in the Superconducting Topological Insulator Heterostructure <math>\text{Cu}_x\text{Pb}_{9-5x}\text{Bi}_{2x}\text{Sb}_{3-6}</math>: Implications for Unconventional Superconductivity</p> <p>Orbital-Dependent Electron Correlation in <math>\text{LiFeAs}</math> Revealed by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy</p> <p>Role of Quantum and Surface-State Effects in the Bulk Fermi-Level Position of Ultrathin Bi Films</p> <p>Surface Tomonaga-Luttinger-Liquid State on <math>\text{Bi}/\text{InSb}(001)</math></p> <p>Quadratic Fermi Node in a 3D Strongly Correlated Semimetal</p> <p>Direct Observation of Nonequivalent Fermi-Arc States of Opposite Surfaces in the Noncentrosymmetric Weyl Semimetal <math>\text{NbP}</math></p> <p>Fermiology of Possible Topological Superconductor <math>\text{Ti}_0.5\text{Bi}_{1.5}\text{Te}_3</math> Derived from Hole-doped Topological Insulator</p> <p>Phonon-assisted Indirect Transitions in Angle-resolved Photoemission Spectra of Graphite and Graphene</p> <p>Surface Kondo Effect and Non-Trivial Metallic State of the Kondo Insulator <math>\text{YbB}_{12}</math></p> <p>Slater to Mott crossover in the metal to insulator transition of <math>\text{Nd}_2\text{R}_2\text{O}_7</math></p> <p>Direct observation of heterogeneous valence state in Yb-based quasicrystalline approximants</p> <p>Spin-polarized quasi-1D state with finite bandgap on the <math>\text{Bi}/\text{InSb}(001)</math> surface</p> <p>Electronic structure of <math>\text{Cr}_2\text{AlC}</math> as observed by angle-resolved photoemission spectroscopy</p> <p>Large-Gap Magnetic Topological Heterostructure Formed by Subsurface Incorporation of a Ferromagnetic Layer</p> <p>Electronic structure of <math>\text{FeS}</math></p> <p>Growth and Atomic Structure of Tellurium Thin Films Grown on <math>\text{Bi}_2\text{Te}_3</math></p> <p>Single-Crystal Pentacene Valence-Band Dispersion and Its Temperature Dependence</p> <p>Three-dimensional band structure of <math>\text{LaSb}</math> and <math>\text{CeSb}</math>: Absence of band inversion</p> <p>Hole-phonon coupling effect on the band dispersion of organic molecular semiconductors</p> <p>Change of Fermi Surface States Related with Two Different T-raising Mechanisms in Iron Pnictide Superconductors</p> <p>Giant Rashba splitting of quasi-one-dimensional surface states on <math>\text{Bi}/\text{InAs}(110)-(2 \times 1)</math></p> <p>Flattening and manipulation of the electronic structure of <math>\text{h-BN}/\text{Pb}(111)</math> monolayer upon Sn intercalation</p> <p>High sensitivity detection of the frontier electronic states of <math>\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3</math> single crystals by low energy excitation</p> <p>Non-Trivial Surface States of Samarium Hexaboride at the (111) Surface</p> <p>Metal-Insulator Transition and Tunable Dirac Cone Surface State in the Topological Insulator <math>\text{TlBi}_{1-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{2-x}</math> Studied by Angle-Resolved Photoemission</p> <p>Large-Gap Magnetic Topological Heterostructure Formed by Subsurface Incorporation of a Ferromagnetic Layer</p> <p>Observation of Dirac-Like Energy Band and Ring-Torus Fermi Surface Associated with the Nodal Line in Topological Insulator <math>\text{CaAgAs}</math></p> <p>Electronic band dispersion determination in azimuthally disordered transition-metal dichalcogenide monolayers</p> <p>Electronic Structure of <math>\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Fe}_2\text{As}_{1-x}\text{P}_x\text{O}_{12}</math> (<math>x = 0.25, y = 0.08</math>) Revealed by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy</p> <p>d-wave superconducting gap observed in protect-annealed electron-doped cuprate superconductors <math>\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_{0.7-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4</math></p> <p>Evolution of Chiral Fermions with a Large Topological Charge and Associated Fermi-Arc Surface States in <math>\text{CoSi}</math></p> <p>Experimental Investigation of the Suppressed Superconducting Gap and Double-Resonance Mode in <math>\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2</math></p> <p>Fabrication of a Novel Magnetic Topological Heterostructure and Temperature Evolution of its Massive Dirac Cone</p> <p>Contribution of the <math>\text{Sn } 5s</math> state to the <math>\text{SnS}</math> valence band: direct observation via ARPES measurements</p> <p>Bulk and surface electronic structure of <math>\text{Bi}_4\text{Te}_3</math> from GW calculations and photoemission experiments</p> <p>Fabrication of <math>(\text{Bi}_2\text{mBi}_{2-3m})</math> superlattice films by Te desorption from a pristine <math>\text{Bi}_2\text{Te}_3</math> film</p> <p>Superconducting Gap and Pseudogap in the Surface States of the Iron-based Superconductor <math>\text{PrFeAsO}_{1-y}</math> Studied by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy</p> <p>Hybridization of Bogoliubov Quasiparticles between Adjacent <math>\text{CuO}_2</math> Layers in the Triple-Layer Cuprate <math>\text{Bi}_2\text{S}_2\text{C}_2\text{O}_{20}\text{Bi}_{10}\text{H}_6</math> Studied by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy</p> <p>Experimental Identification of Atomic Orbital Contributions to <math>\text{SnS}</math> Valence Band Using Polarization-Dependent Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy</p>
7B	<p>A. Ohnishi J. Lumin. 132, 2639 (2012)</p> <p>A. Ohnishi J. Phys. Soc. Jpn. 81, 11704 (2012)</p> <p>H. Masai Appl. Phys. Lett. 101, 191906 (2012)</p> <p>S. Kimura J. Phys.: Conf. Ser. 391, 12030 (2012)</p> <p>J. Sichelshmidt J. Phys.: Condens. Matter 25, 95902 (2013)</p> <p>F. Chen J. Ceramic Process. Res. 57, 3629 (2012)</p> <p>T. Inushima J. Phys. Soc. Jpn. 83, 24715 (2014)</p> <p>R. Ishikawa Appl. Phys. Lett. 52, 8205 (2013)</p> <p>M. Kitaura Phys. Status Solidi C 10, 993 (2013)</p> <p>M. Kitaura J. Appl. Phys. 115, 83517 (2014)</p> <p>T. Saito Thin Solid Films 571, 517 (2014)</p> <p>M. Koshimizu Appl. Phys. Express 6, 62601 (2013)</p> <p>T. Yanagida Opt. Mater. 36, 2016 (2014)</p> <p>M. Koshimizu Opt. Mater. 36, 1930 (2014)</p> <p>N. Yahaba Appl. Phys. Express 7, 62602 (2014)</p> <p>T. Yanagida e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. 12, 396 (2014)</p> <p>T. Yanagida J. Lumin. 157, 293 (2015)</p> <p>Y. Shimizu Phys. Stat. Sol. A 212, 703 (2015)</p> <p>K. Yoshida J. Phys. Chem. Sol. 83, 47 (2015)</p> <p>A. Masuno RSC Advances 6, 19144 (2016)</p> <p>D. Nakauchi J. Rare Earths 34, 757 (2016)</p> <p>D. Nakauchi Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B377, 89 (2016)</p> <p>M. Koshimizu J. Rare Earths 34, 782 (2016)</p> <p>M. Tatemizo J. Mater. Chem. A 5, 20824 (2017)</p> <p>M. Mori J. Lumin. 186, 93 (2017)</p> <p>T. Yanagida J. Lumin. 191, 22 (2017)</p> <p>T. Yanagida J. Phys. Soc. Jpn. 86, 94201 (2017)</p> <p>T. Yanagida Adv. Mater. Interf. 29, 1399 (2017)</p> <p>T. Yanagida Mater. Res. Bull. 95, 409 (2017)</p> <p>N. Kawano Jpn. J. Appl. Phys. 57, 02CA03 (2018)</p> <p>D. Nakauchi Physica B 530, 38 (2018)</p> <p>S. Kimura Phys. Rev. B 96, 075119 (2017)</p> <p>T. Sakai Sensors and Mater. 30, 1564 (2018)</p> <p>K. Takahashi J. Ceram. Soc. Jpn. 126, 755 (2018)</p> <p>S. Kimura Phys. Rev. B 99, 195203 (2019)</p> <p>H. Kimura Sensors &amp; Materials 31, 1265 (2019)</p> <p>D. Nakauchi J. Ceram. Proc. Res. 20, 307 (2019)</p> <p>D. Shiratori J. Ceram. Proc. Res. 20, 301 (2019)</p> <p>Y. Yokoyama Phys. Rev. B 100, 245153 (2019)</p> <p>P. Kantupitum Sensors and Mater. 33, 2195 (2021)</p> <p>G. Ito J. Mater. Sci. Electron. 32, 8725 (2021)</p> <p>Y. Takebuchi Rad. Phys. Chem. 197, 110180 (2022)</p>	<p>Auger-free luminescence due to interatomic p-d transition and self-trapped exciton luminescence in <math>\text{RbZr}_2\text{O}_4</math> Crystals</p> <p>Electronic Structure and Auger-Free Luminescence in <math>\text{CsZr}_2\text{O}_4</math> Crystals</p> <p>Scintillation Property of Rare Earth-Free <math>\text{SnO}</math>-doped Oxide Glass</p> <p>Anisotropic gap formation in <math>\text{CeM}_2\text{Al}_{10}</math> (<math>\text{M} = \text{Ru, Os}</math>)</p> <p>Far-infrared optical conductivity of <math>\text{CeCu}_2\text{Si}_2</math></p> <p>The orbital characters of low-energy electronic structure in iron-chalcogenide superconductor <math>\text{KxFe}_2\text{-ySe}_2</math></p> <p>Evolution of the Impurity Band to Diamond-Like Valence Bands in Boron Doped Diamond</p> <p>Birefringence of Magnesium Fluoride in the Vacuum Ultraviolet and Application to a Half-waveplate</p> <p>Comparative Study of Auger-Free Luminescence of <math>\text{RbZr}_2\text{O}_4</math> Crystals between Experiment and Calculation</p> <p>Phosphorescence of Ce-Doped <math>\text{Gd}_3\text{Al}_2\text{Ga}_3\text{O}_{12}</math> Crystals Studied Using Luminescence Spectroscopy</p> <p>Vacuum Ultraviolet Ellipsometer Using Inclined Detector as Analyzer to Measure Stokes Parameters and Optical Constants With Results for AlN Optical Constants</p> <p>Origin of Fast Scintillation Components of <math>\text{LiCaAlF}_6</math> Crystals</p> <p>Positive Hysteresis of Ce-doped GAGG Scintillator</p> <p>Scintillation and Luminescence Properties of a Single <math>\text{CsCaCl}_3</math> Crystal</p> <p>X-ray Detection Capability of a <math>\text{CsZr}_2\text{O}_4</math> Single-crystal Scintillator</p> <p>Evaluation of Scintillation Properties of GaN</p> <p>Scintillation Properties of <math>\text{CaF}_2</math> Crystal</p> <p>UV Cathodoluminescence of <math>\text{Gd}^{3+}</math> Doped and <math>\text{Gd}^{3+}/\text{B}^{3+}</math>-Co-doped <math>\text{YAlO}_3</math> Epitaxial Thin Films</p> <p>Effect of Microwave Irradiation on the Electronic Structure of ZnO</p> <p>Higher Refractive Index and Lower Wavelength Dispersion of <math>\text{SiO}_2</math> Glass by Structural Ordering Evolution via Denaturation at a Higher Temperature</p> <p>Optical and Scintillation Properties of Nd-doped <math>\text{SrAl}_2\text{O}_4</math> Crystals</p> <p>Evaluation of <math>\text{CeSrAl}_2\text{O}_4</math> Crystal Scintillators</p> <p>Luminescence Properties of <math>\text{Gd}_2\text{Si}_2\text{O}_7</math>:Ce and <math>\text{Gd}_2\text{Si}_2\text{O}_7</math>:La, Ce Under Vacuum Ultraviolet Irradiation</p> <p>Band structure and photoconductivity of blue-green light absorbing AlN films</p> <p>Scintillation and Optical Properties of <math>\text{Ce}^{3+}</math>-doped <math>\text{Ca}_3\text{GdAl}_3\text{O}_{10}</math> Single Crystals</p> <p>Scintillation Properties of Eu and Alkaline Metal Co-doped <math>\text{LiCaAlF}_6</math></p> <p>Comparative Studies of Optical and Scintillation Properties between <math>\text{LiGaO}_2</math> and <math>\text{LiAlO}_2</math> Crystals</p> <p>Scintillation and Dosimeter Properties of <math>\text{LiAlSi}_2\text{O}_6</math> and <math>\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}</math> Crystals</p> <p>Optical and Scintillation Properties of <math>\text{ScAlMg}_4\text{O}_4</math>-Crystal Grown by the Floating Zone Method</p> <p>Luminescence Properties of Organic Inorganic Layered Perovskite-type Compounds under Vacuum Ultraviolet Irradiation</p> <p>Radioluminescence and Thermally Stimulated Luminescence Properties of <math>\text{Pr:CaSiO}_3</math> Crystals</p> <p>Optical signature of Weyl electronic structures in tantalum pnictides <math>\text{TaPn}</math> (<math>\text{Pn} = \text{P, As}</math>)</p> <p>Evaluation of the Scintillation and Thermally Stimulated Luminescence Properties of <math>\text{Cs}_2\text{CdCl}_4</math> Single Crystals</p> <p>Auger-Free Luminescence Characteristics of <math>\text{Rb}_1\text{-xCs}_x\text{CaCl}_3</math></p> <p>Optical Evidence of the Type-II Weyl Semimetals <math>\text{MoTe}_2</math> and <math>\text{WTe}_2</math></p> <p>VUV-excited photoluminescence and scintillation properties of <math>\text{CsCl}</math> transparent ceramics and single crystal</p> <p>Photo- and radio-luminescence characterizations in rare-earth-doped <math>\text{SrAl}_2\text{O}_4</math> crystals</p> <p>Effect to optical properties by changing the <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math> ratio in <math>\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5</math> glasses</p> <p>Effects of Y Substitution on the Electronic Structure and Charge Dynamics of <math>\text{SmS}</math></p> <p>VUV- and X-ray-Induced Properties of <math>\text{Lu}_2\text{Si}_2\text{O}_7</math>, <math>\text{Y}_2\text{Si}_2\text{O}_7</math>, and <math>\text{Gd}_2\text{Si}_2\text{O}_7</math> Single Crystals</p> <p>Evaluation of Photoluminescence and Scintillation Properties of Eu-doped <math>\text{20CsCl:20BaCl}_2:60\text{ZnCl}_2</math> glasses by a melt quenching method</p> <p>Evaluation of radiation-induced luminescence properties of Tb-doped <math>\text{LiCaPO}_4</math></p>
8B	<p>S. Hino J. Phys. Chem. C 116, 165 (2012)</p> <p>J. Wagner J. Appl. Phys. 111, 54509 (2012)</p> <p>T. Miyazaki Chem. Phys. 397, 87 (2012)</p> <p>Y. Nakayama Organic Electronics 13, 2850 (2012)</p> <p>T. Miyazaki Chem. Phys. Lett. 555, 222 (2013)</p> <p>T. Miyazaki Chem. Phys. 431-432, 47 (2014)</p> <p>Y. Ozawa J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 197, 17 (2014)</p> <p>S. Tanaka Appl. Phys. Lett. 104, 193304 (2014)</p> <p>U. Hormann J. Phys. Chem. C 118, 26462 (2014)</p> <p>T. Hosokai Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 1647, mrsf113-164 (2014)</p> <p>T. Miyazaki Chem. Phys. 447, 71 (2015)</p> <p>T. Miyazaki Res. Chem. Intermed. 41, 7405 (2015)</p> <p>K. R. Koswattage e-J. Surf. Sci. Nanotechnology 13, 373 (2015)</p>	<p>Photoelectron Spectroscopy of <math>\text{Sc}_3\text{N@C}_7\text{B}</math></p> <p>Identification of Different Origins for s-Shaped Current Voltage Characteristics in Planar Heterojunction</p> <p>Ultraviolet Photoelectron Spectra of <math>\text{Er}_2\text{O}_3</math> (I), <math>\text{Er}_2\text{O}_3</math> (II), <math>\text{Er}_2\text{C}_2\text{O}_3</math> (I) and <math>\text{Er}_2\text{C}_2\text{O}_3</math> (II)</p> <p>Electronic structures at organic heterojunctions of <math>\text{N,N}'</math>-bis(1-naphthyl)-<math>\text{N,N}'</math>-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine (NPB)-based organic light emitting diodes</p> <p>Ultraviolet photoelectron spectra of Lu atoms encapsulated <math>\text{C}_{2v}</math>-<math>\text{C}_{82}</math> fullerenes</p> <p>Photoelectron Spectra of Thulium Atoms Encapsulated <math>\text{C}_{82}</math> Fullerene, <math>\text{Tm}_2\text{O}_3</math> (II) and <math>\text{Tm}_2\text{C}_2\text{O}_3</math> (II)</p> <p>Maximum Probing Depth of Low-energy Photoelectrons in an Anomalous Organic Semiconductor Film</p> <p>Anomalous Photoelectric Emission from Ag on Zinc-phthalocyanine Film</p> <p>Voc from a Morphology Point of View: the Influence of Molecular Orientation on the Open Circuit Voltage of Organic Planar Heterojunction Solar Cells</p> <p>Structural Requirements for Surface-Induced Aromatic Stabilization</p> <p>Ultraviolet photoelectron spectra of <math>\text{Ce}_2\text{O}_3</math> and <math>\text{La}_2\text{O}_3</math></p> <p>Surface electronic structures of lithium nickel oxide solid solutions: selective methane oxidation</p> <p>Interface Electronic Structures of the L-Cysteine on Noble Metal Surfaces Studied by Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy</p>
SR	<p>I. Katayama Appl. Phys. Lett. 100, 111112 (2012)</p> <p>S. Kimura J. Phys.: Conf. Ser. 359, 12009 (2012)</p> <p>H. Iwayama Optics Express 20, 23174 (2013)</p> <p>M. Adachi J. Phys.: Conf. Ser. 425 42013 (2012)</p> <p>C. Evin Phys. Rev. ST Accel. Beams 15, 40701 (2012)</p> <p>M. Hosaka Phys. Rev. ST Accel. Beams 16, 20701 (2013)</p> <p>P. Thoma EEE Trans. Terahertz Sci. Technol. 3, 81 (2013)</p> <p>N. Yamamoto Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 767, 26 (2014)</p> <p>K. Ozaki JINST 10, 12018 (2015)</p> <p>L. Guo Appl. Phys. Lett. 116, 251903 (2020)</p> <p>H. Kawaguchi Prog. Theor. Exp. Phys. 2019, 083A02 (2019)</p> <p>H. Ota J. Phys.: Conf. Ser. 2380, 12003 (2020)</p> <p>S. Kera Electronic Structure 5, 034001 (2023)</p> <p>E. Salehi J. Phys.: Conf. Ser. 2420, 12062 (2023)</p>	<p>Electric field detection of coherent synchrotron radiation in a storage ring generated using laser b</p> <p>Design of a dedicated beamline for THz coherent synchrotron radiation at UVSOR-III</p> <p>Demonstration of Up-conversion Fluorescence from Ar Clusters in Intense Free-electron-Laser Field</p> <p>Design and Construction of UVSOR-III</p> <p>Suppression of self-pulsing instabilities in free-electron lasers using delayed optical feedback</p> <p>Saturation of the laser-induced narrowband coherent synchrotron radiation process: Experimental observation at a Storage Ring</p> <p>High-Speed Y-Ba-Cu-O Direct Detection System for Monitoring Picosecond THz Pulses</p> <p>Beam Injection with Pulsed Multipole Magnet at UVSOR-III</p> <p>Development of New-type Nuclear Emulsion for a Balloon-borne Emulsion Gamma-ray Telescope Experiment</p> <p>Graphene as reusable substrate for alkali photocathodes</p> <p>Orbital angular momentum of Liénard-Wiechert fields</p> <p>UVSOR Synchrotron Facility update</p> <p>Prospects required for future light-source facilities: a case of UVSOR synchrotron facility</p> <p>Lattice design of the UVSOR-IV storage ring</p>

# 記念冊子の刊行にあたり

UVSOR施設の40周年記念に際し、このような冊子を出版できたことをうれしく思います。施設を見守り支えてくださった関係者の皆様および、施設を利用し多くの研究成果を発信し続けてきたユーザーの皆様に、関係者を代表して心より感謝を申し上げます。

分子科学研究所設立時の4大設備計画のひとつとしてUVSORがあり、化学系研究者にとって使い易い実験施設を意識して運営されてきました。あれから40年、様々な分野に利活用されてきましたが、例えば有機エレクトロニクス産業の成功に結び付いたように、その基盤となる新たな学際領域の構築にも貢献してきました。大型設備の利用効率の最大化を考えるうえで、どのような指標で評価するかは多様な視点があります。小型放射光施設の利点は多くのユーザーの声からも明らかです。研究者同士の顔が見え、ボトムアップで自由な意見発信ができる雰囲気や、共同研究を通じた集中的な研究展開など、数字として表すことのできないその存在価値と重要性を感じている次第です。

放射光科学における私自身の研究を振り返ってみると、第三世代光源の高輝度化に悩まされた時期が思い出されます。国内に適当な実験設備を備えた放射光施設が無く、海外に出向いたことも多々ありますが、実験環境がわずかに異なるだけで(例えば室温差5℃の影響!)試料成膜条件が変わってしまい、自分たちのラボで作ったレシピが適応できない悩みなど、山あり谷ありのイベントは枚挙にいとまがありません。そんな労苦も失敗の積み重ねでいつの間にか克服され、スローですが一歩ずつでも先に進む喜びと楽しさに導かれて今日に至ります。私自身が個人的な研究を通じて次世代に伝えられることは限られています。今はその代わり、私に課せられた使命として次期施設計画の具現化があります。まだ光科学を知らない多くの研究者への門戸を開くこと、特に若手研究者が自由に活動できる場を提供する責務があると感じています。

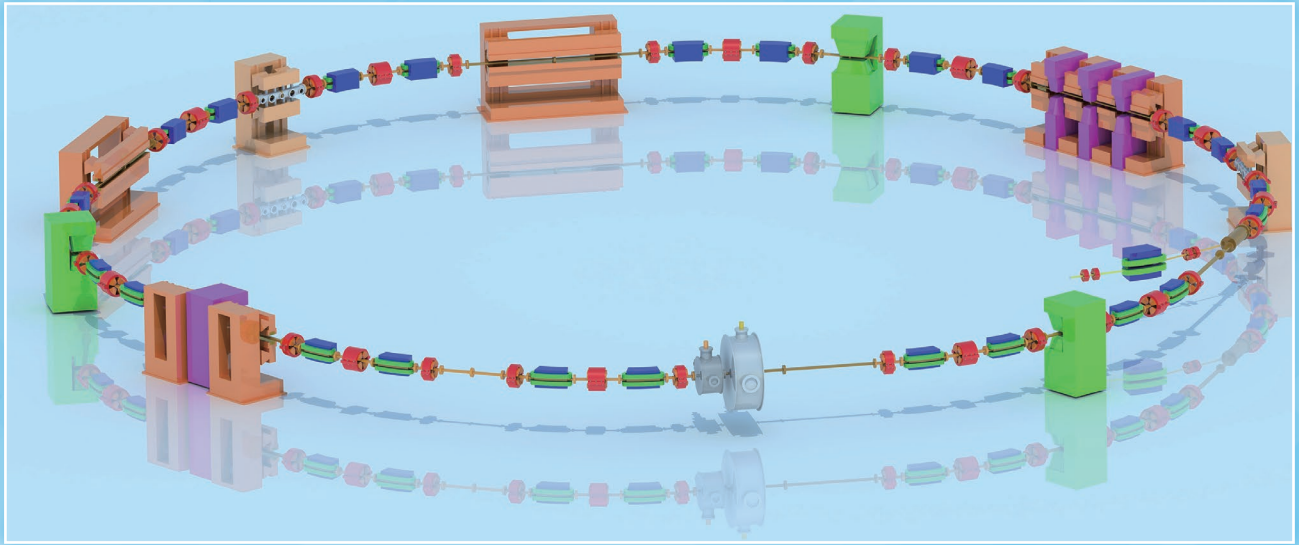
これからの数10年は、より挑戦的に複雑な物質系に標的を移し、先端光計測をさらに発展させます。そのために、小型施設で適度に集約されたワンルーフ環境は不可欠で、ニーズを中心とした研究者集団と、光源シーズの研究者集団が前後の両輪として機能し、密に連携することで初めて困難な課題を解決できます。特に複雑系ターゲットとして、生命科学における多くの現象を研究対象として掲げ、光科学を駆使した超異分野融合によって共同研究を推し進めることで、世界に先駆けて新しい分野創出を目指します。課題山積で要所を詰めていく必要がありますが、施設建設のコンセプト内容はwebサイトに資料開示しておりますので、お手すきの時にご覧ください。近い将来にUVSORの次期計画が実現し、これからも光科学が持続可能で自律性のある社会活動に貢献し続けることを期待します。他国と大きく異なる独特の文化と人的資産は我が国の宝です。ゼロからイチを生み出す作業は容易ではありませんが、どこにその可能性があるかは誰にも予想できません。学生との酒の席では、しばしば問いかけます、「スターウォーズのような世界を見てみたくはない? 私はチューバッカと会話がしたい」と。人類が想像し夢を抱く限り、それはやがて技術となり生活になります。未来に向けて持続的に発展するためには、目先の華やかな出口に囚われない着実な学術の基盤づくりが不可欠です。未来に花咲くための土壌作りを地道に支援する仕組みが必要です。我が国の強みを理解していただき、適切に投資をしていただけるよう丁寧に訴え続けたいと思います。どのような視点でも構いませんので、今後のUVSORにつきまして忌憚のないご意見をお聞かせください。



極端紫外光研究施設 施設長 解良 聡

2023年12月1日





UVSOR-IV光源加速器(CG)

## UVSOR施設職員(2023年12月1日現在)

荒木 暢	酒井 雅弘	牧田 誠二
石原 麻由美	SALEHI Elham	松井 文彦
岩山 洋士	清水 康平	松田 博之
太田 紘志	枚本 泰伸	水川 哲徳
岡野 泰彬	平 義隆	水口 あき
片柳 英樹	田中 清尚	矢野 隆行
加藤 政博	手島 史綱	山崎 潤一郎
加茂 恭子	中村 永研	湯澤 勇人
解良 聡	萩原 健太	横田 光代
近藤 直範	林 憲志	

UVSOR 40周年記念出版「40年の冒険・これからの挑戦」

発行日:2023年12月1日(PDF第2版:2024年6月1日)

発行:大学共同利用機関法人 自然科学研究機構

分子科学研究所 極端紫外光研究施設

UVSOR40周年記念冊子編集委員会

〒444-8585 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38

印刷:株式会社コムラ



UNSOR III