

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

# UVSOR

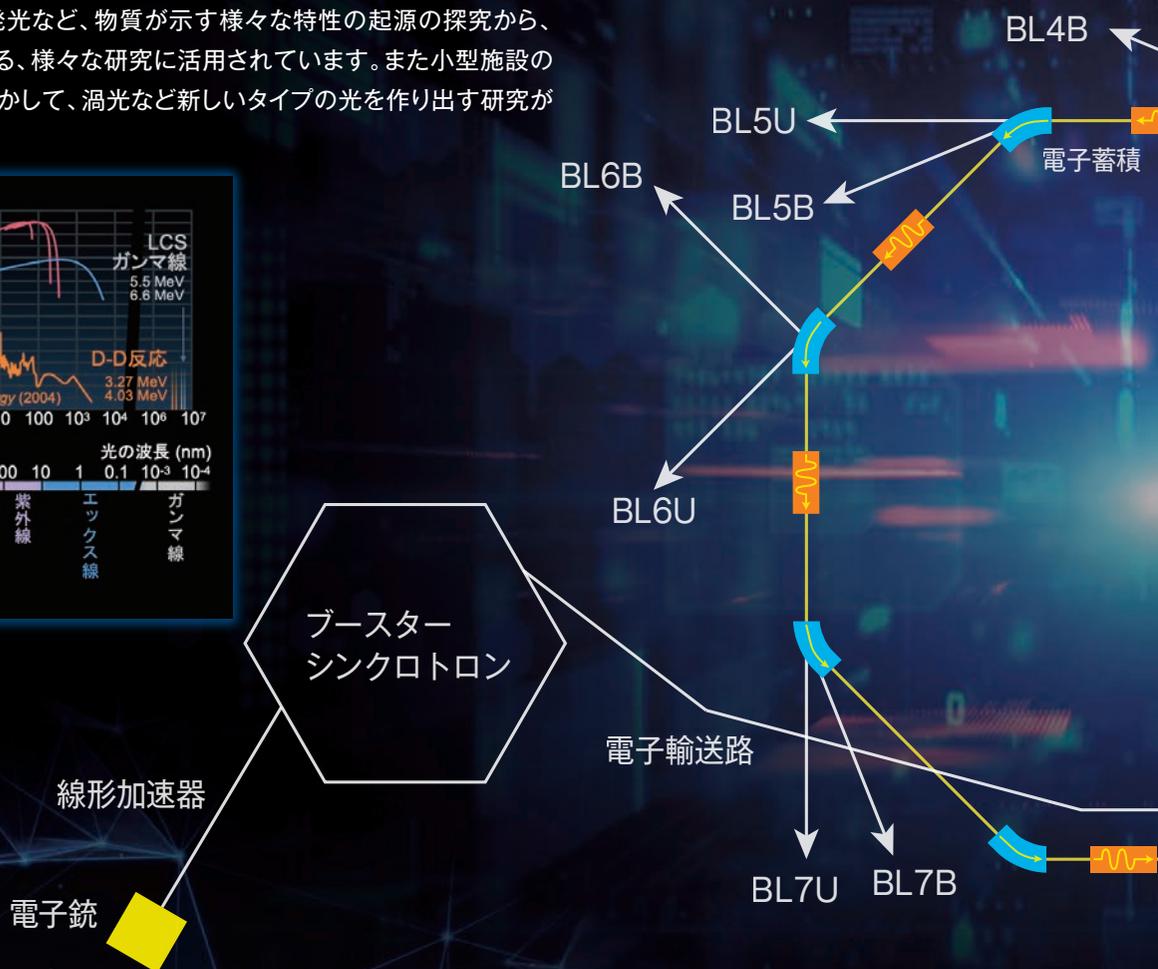
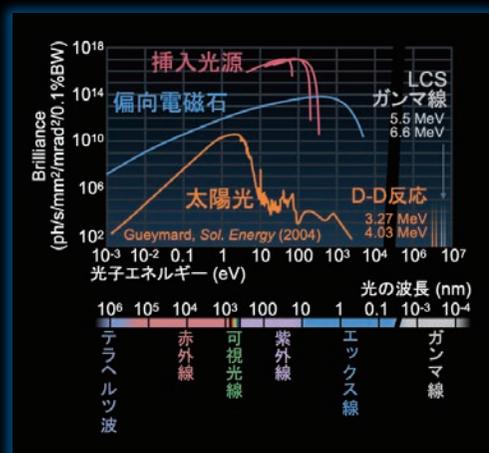
Synchrotron Facility

ヒカ리를創り、モノを見極める



# ここにしかない、新しい光を創り 物質・分子のかたち・仕組み・働きを探る

物質や分子を観察するためには、それに適した光が必要です。私たちにとって最も大切な光といえば太陽光ですが、その光には、目に見える「虹の七色」(可視光線)以外にも、日焼けの元になる紫外線や、暖かさを感じる赤外線が含まれています。紫外線は可視光よりエネルギーの大きい、赤外線は小さい光です。宇宙に出れば、太陽からは紫外線よりエネルギーの大きなX線、ガンマ線や、赤外線よりエネルギーの小さいテラヘルツ波やマイクロ波も放射されていることがわかります。UVSOR施設は、この宇宙の太陽光のエネルギー範囲を、1000倍から10億倍、可視光では1億倍の明るさでカバーする光(放射光)をUVSOR-IIIシンクロトロンにより発生させ、これを様々な特徴をもったビームラインを通して、利用者に使いやすいかたちで提供しています。太陽光は緑色(グラフの2 eV付近)が最も明るいですが、UVSORの放射光は10-1000 eV付近の領域で特に強くなっています。この領域の光は、物質と強く相互作用するため、電気伝導や磁性、発光など、物質が示す様々な特性の起源の探究から、生命や宇宙にまで広がる、様々な研究に活用されています。また小型施設のフットワークの軽さを活かして、渦光など新しいタイプの光を作り出す研究が活発なことも特色です。



電子銃・線形加速器とブースターシンクロトロン



電子輸送路

## UVSOR-IIIシンクロトロン

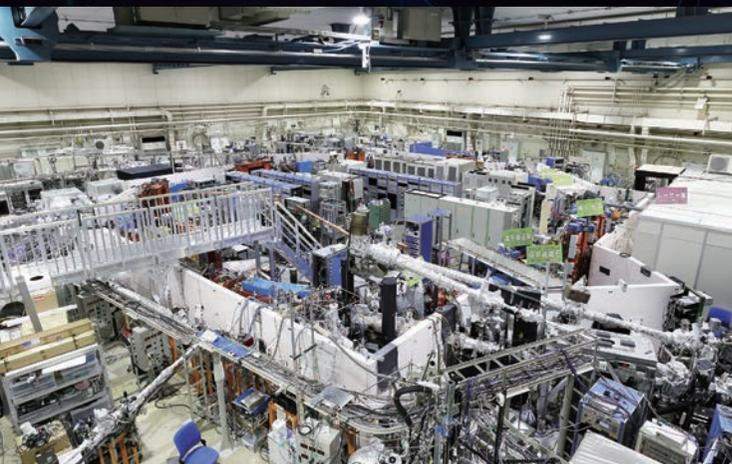
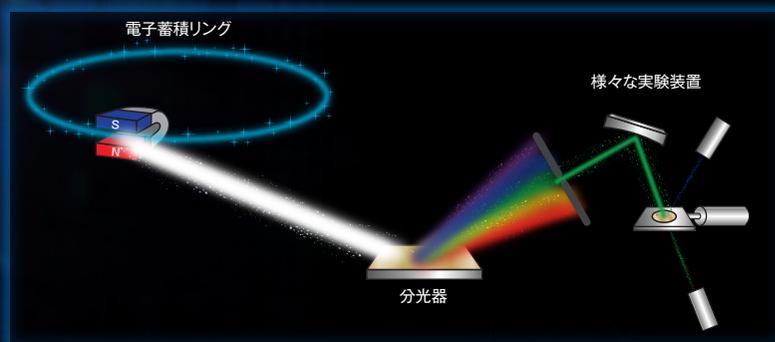
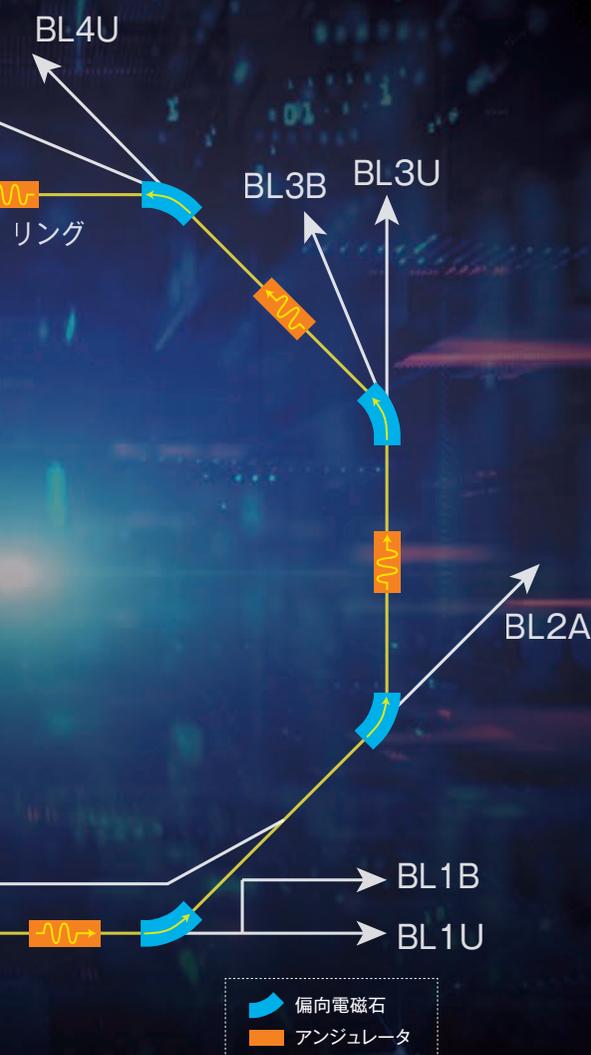
UVSOR-III(ユーヴイソールスリー)は、光を発生させるための1周53 mの電子蓄積リングと、蓄積リングにほぼ光速まで加速された電子を打ち込む入射器(電子銃・線形加速器とブースターシンクロトロン)からなる加速器の複合体です。UVSORは40年以上前に建設された施設ですが、2003年(UVSOR-II)、2012年(UVSOR-III)に行われた高度化改造を経て新しい技術を積極的に取り入れることで、今日でも小型低エネルギーシンクロトロン光源としては、世界最高水準の高い性能を誇っています。将来構想として、生命科学分野を革新する新型光源を目指したUVSOR-IV建設計画を打ち出し、実現に向けて努力を重ねています。

### 放射光の発生とビームライン(BL)によるエネルギー(色)の選択

八角形の電子蓄積リングをほぼ光速の電子が回っています。八角形の各頂点では「偏向電磁石」により電子が曲げられ、そのとき非常に強い光が発生します。また8本の直線部のうち6か所には小さな磁石をたくさん並べた装置「アンジュレータ」があり、電子が蛇行することで、さらに強い光が発生します。これらの光は13本のビームライン(BL1U,1B,2A, ..., 7U,7B)の中に設置された、下図のような「分光器」によって必要な光だけが選択され、各BLに接続された実験装置「エンドステーション」に供給されます。

### エンドステーションでの光の利用実験

ビームラインからの光はエンドステーションに導かれ、それぞれの実験装置では、光を用いて物質・分子のかたち・仕組み・働きを探る、様々な実験が行われます。これらの実験装置は国内外の研究者や民間企業の利用者に広く開放され、分子科学をはじめとする研究・開発に利用されています。ページを開いて各ビームラインの詳細と成果をご覧ください。



電子蓄積リングとビームライン



エンドステーションに供給される放射光

加速器・装置

物質科学

化学

## BL1U:ガンマ線・真空紫外光照射装置

～新規光源開発とその利用開拓で世界を牽引～

BL1Uでは、可視～極端紫外の幅広い波長領域で様々な偏光の光を発生できるほか、超短パルスレーザーを用いてMeV領域の超短パルスガンマ線を発生できます。固定の測定装置はなく、持ち込み又は施設の装置を使って光電子分光から準単色光の照射実験まで幅広い実験ができます。

物質科学

## BL1B:テラヘルツ分光装置

～様々な可能性をもつテラヘルツ波の利用実験を提供～

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は、UVSORで最も長波長の光を利用できる偏向磁石ビームラインで、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。

物質科学

表面・界面・薄膜

## BL3B,7B:吸収・反射・発光測定装置

～吸収・反射・発光測定で光機能材料研究を支える～

BL3B, 7Bでは、可視～真空紫外の光を用いて、固体の吸収・反射・発光測定が行われています。BL3Bは、全国各地からの利用が多く、コロナ禍を契機に、リモート測定・DX化が進められています。BL7Bでは、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。

表面・界面・薄膜

## BL5B:機器校正装置

～巨大な測定槽により大型光学素子の評価が可能～

BL5Bでは、UVSORで最も大きな測定真空槽（一辺が約1 mの立方体）を用いて、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。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・角度依存性を測定できます。

物質科学

## BL6B:赤外顕微分光装置

～赤外放射光で幅広い分野の研究をサポート～

BL6Bは、赤外放射光を利用する偏向磁石ビームラインで、ビームサイズが200  $\mu\text{m}$ 程度のマクロ測定と、30  $\mu\text{m}$ 程度の顕微測定ができます。近年には、顕微測定用のクライオスタットが整備され、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。

物質科学

表面・界面・薄膜

## BL7U:高分解能角度分解光電子分光装置

～真空紫外光ビームラインで超高分解能光電子分光を実現～

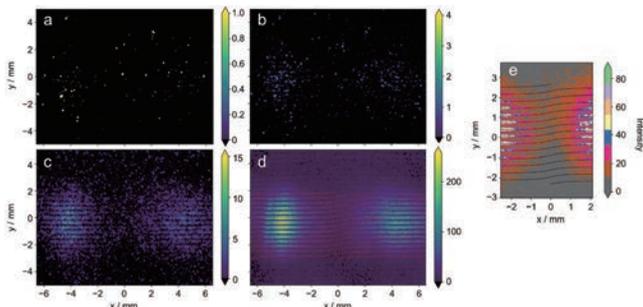
BL7Uでは、6～40 eVの低エネルギーの励起光を用いた高エネルギー分解能の角度分解光電子分光測定が可能となっています。可変偏光アンジュレータを備え、水平/垂直/直線偏光および左右円偏光の光を発生できます。また、試料は、極低温の4 Kまで冷却可能となっています。

### 最近の成果(その1)

#### BL1U 光の粒「光子」の渦巻きの観測

光渦と呼ばれる特殊な光がそれを構成する光の粒(光子)一つ一つでも渦の性質をもっていることがヤングの二重スリット干渉実験で実証されました。光の強度(光子数)を極端に下げ光子が一つずつ二重スリットを通過するような条件で実験が行われ、光子スポットを積算していくと、光渦特有の中央部が暗く歪んだ縞模様が見られました。この結果から、らせん運動する高エネルギー電子が自発的に放出する光は、単一光子の状態でも、渦巻き状の波面を特徴とする光渦の性質を持つことが分かりました。

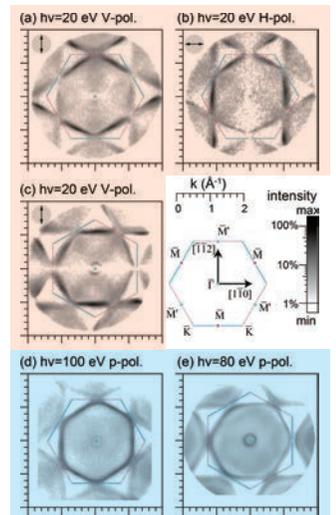
参考文献: S. Wada, *et al.*, *Sci. Rep.* **13**, 22962 (2023).



#### BL6U,7U 唯一無二のPMM実験ステーションの開発・整備

2つのビームラインからの放射光を利用できる世界初の光電子運動量顕微鏡(PMM)実験ステーションが開発・整備されました。PMMは、BL6Uからの光が(対物レンズに正対した)試料表面に斜入射する配置になっていますが、BL7Uに分岐を新設することで、BL7Uからの真空紫外光を直入射で利用できるようになりました。これにより、価電子帯の原子軌道解析法が進歩し、物性をつかさどる電子のふるまいをより包括的かつ高精度に捉えることが可能になります。

BL7Uからの光を利用



BL6Uからの光を利用

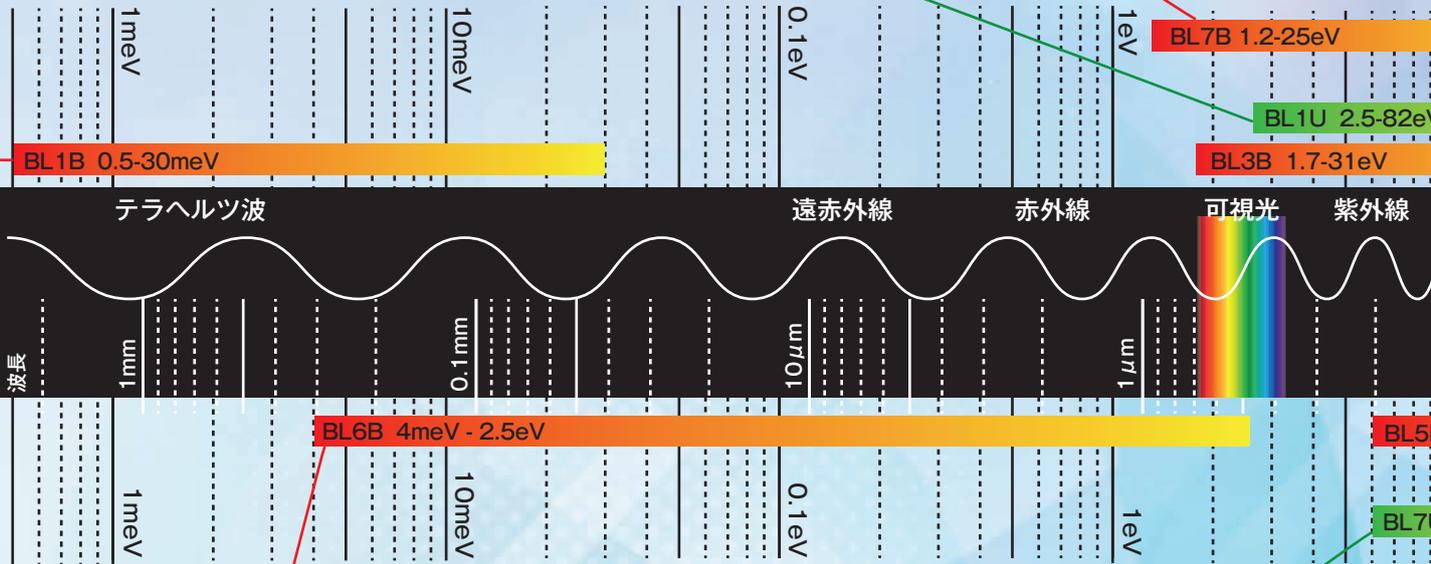
参考文献: K. Hagiwara, *et al.*, *J. Synchrotron Rad.* **31**, 540 (2024).



BL1U ガンマ線・真空紫外光照射装置 ( $\gamma$ 線: 1-10 MeV)



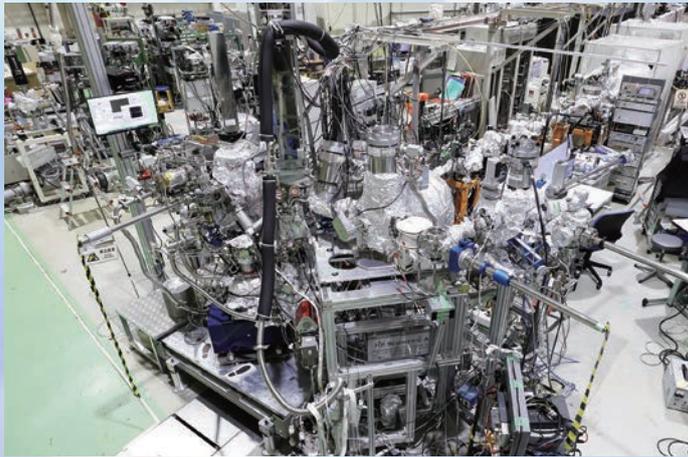
BL7B 吸収・反射・発光測定装置



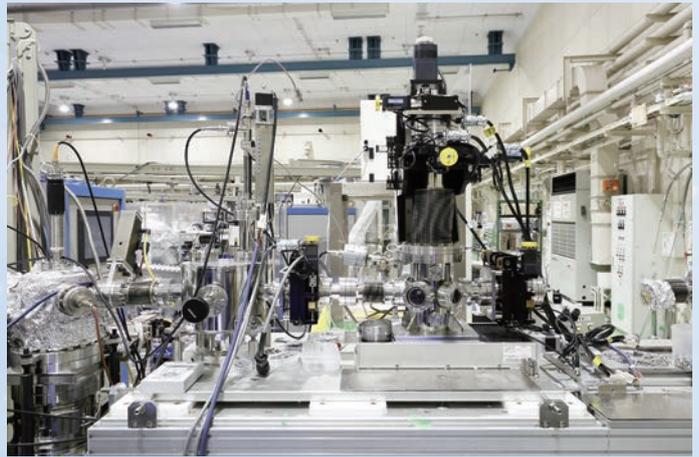
BL6B 赤外顕微分光装置



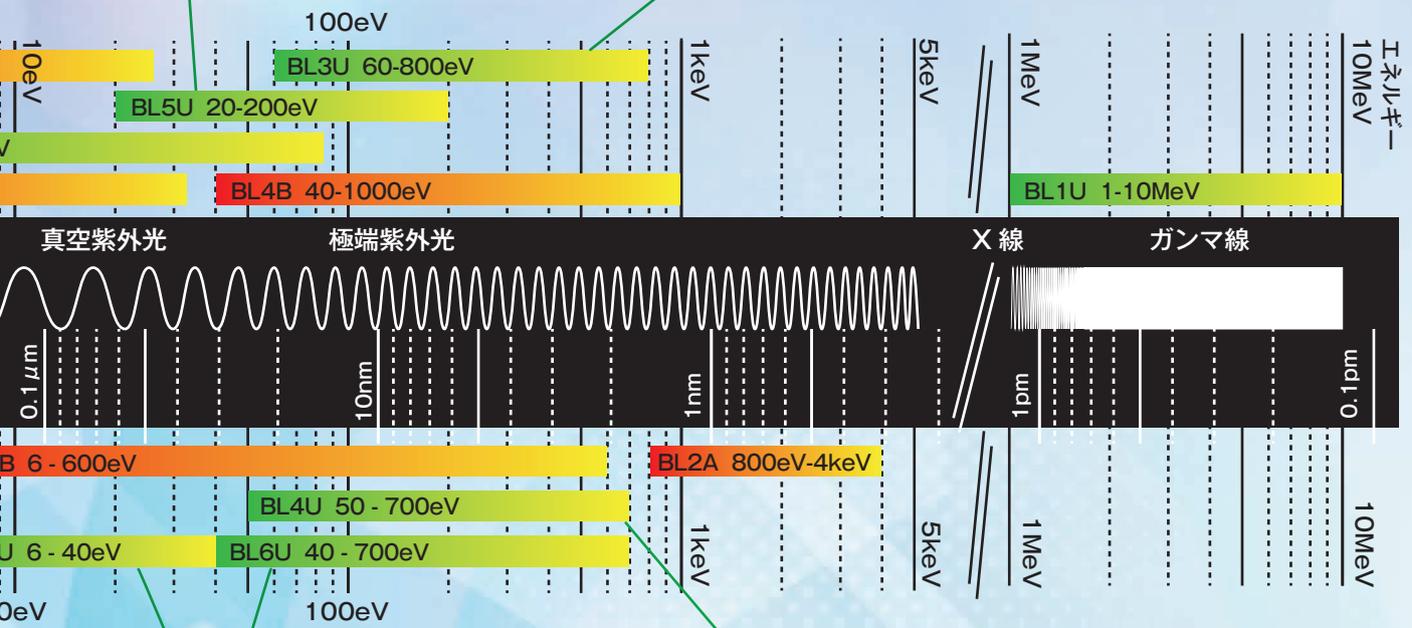
BL7U 高分解能角度分解光電子分光装置



BL5U スピン・空間・角度分解光電子分光装置



BL3U オペランド透過軟 X 線分光装置



BL6U, 7U 光電子運動量顕微鏡 (PMM)



BL4U 走査型透過軟 X 線顕微鏡 (STXM)

化学

### BL3U:オペランド透過軟X線分光装置

～独自技術で液体のオペランド透過軟X線分光を開拓～

BL3Uでは、精密厚さ制御(20~2000 nm)の液体セルの開発により、これまで困難だった透過法による液体の軟X線分光測定が可能となっています。ここでは、液体セルが実環境下にあることに着目して、溶液の触媒反応や電気化学反応のオペランド計測を推進しています。

生命・地球・惑星科学

物質科学

### BL4U:走査型透過軟X線顕微鏡(STXM)

～エネルギー、環境・地球、生命科学に貢献し、積極的に産業利用も推進～

BL4Uでは、集光した軟X線に対して試料を2次元走査し、透過X線を検出することで吸収コントラスト像を取得します。入射X線のエネルギーを変え分光測定を行うことで化学状態のマッピングを行い、民間利用を含む幅広い基礎・応用研究が進められています。今後、新たな視点から生命科学への貢献を目指し、環境整備を推進します。

表面・界面・薄膜

化学

### BL4B:各種分析装置

～装置切り替えで様々なニーズに応える～

BL4Bでは、装置の切り替えにより様々な実験が可能となっています。現在は、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の装置が利用されています。光強度は強くはありませんが、ノイズレベルが低いという利点を生かして、今後、低放射線損傷実験を推進していきます。

表面・界面・薄膜

物質科学

### BL5U:スピン・空間・角度分解光電子分光装置

～マイクロ集光、スピン分解で新規材料開発を強力にアシスト～

BL5Uでは、約30 μmに集光されたマイクロビームを用いた角度分解光電子分光(ARPES)測定ができます。また、現在、試料面内方向の高効率スピン分解測定が可能となっています。さらに、最新のスピン回転器を導入して、試料の面直方向のスピン情報が得られるように整備を進めています。

表面・界面・薄膜

物質科学

### BL6U, 7U:光電子運動量顕微鏡(PMM)

～唯一無二の光電子分析システムで電子の実像に迫る～

BL6Uからの軟X線に加え、BL7Uからの真空紫外光が利用できる光電子運動量顕微鏡(PMM)実験ステーションが開発・整備されています。PMMは、元素選択的に試料を拡大観察する顕微鏡機能とその選択した領域の価電子帯分散を可視化する顕微2次元ARPES機能を同一装置で実現しています。

物質科学

### BL2A:二結晶分光器

～軟X線、テンダーX線を用いた低ノイズの吸収分光を提供～

BL2Aは、現在UVSORで最も高いエネルギーのテンダーX線を利用できるビームラインで、主に無機化合物や有機金属錯体のX線吸収測定が行われています。光量は小さいものの、バックグラウンドレベルも低いため、低放射線照射量で低ノイズのスペクトルを得ることができます。

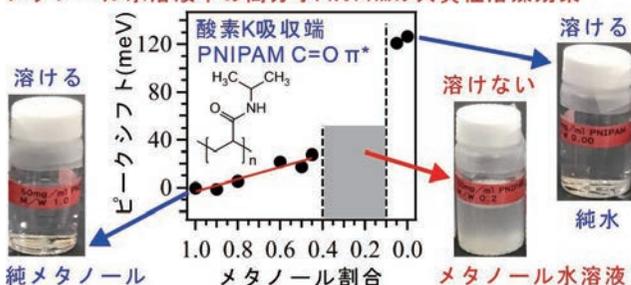
#### 最近の成果(その2)

#### BL3U 溶媒を混ぜると高分子が溶けなくなる現象を解明

ポリイソプロピルアクリルアミド(PNIPAM)は、水とメタノールには溶けるが、水とメタノールを混ぜた溶液には溶けなくなる共貧性溶媒効果を示すことが知られています。この現象のメカニズムを、分子間相互作用を選択的に調べることができる軟X線吸収分光と計算機シミュレーションを用いて調べた結果、溶液中で形成される微小なメタノールの塊とPNIPAMの間の疎水性相互作用により、PNIPAMの疎水性水和が壊されることが、共貧性溶媒効果が出現する原因であると明らかになりました。

参考文献: M. Nagasaka, *et al.*, Phys. Chem. Chem. Phys. **26**, 13634 (2024).

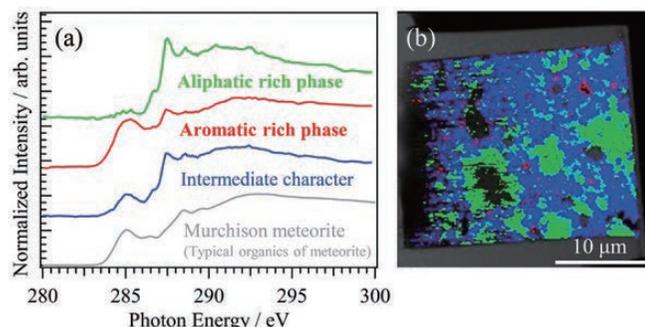
#### メタノール水溶液中の高分子PNIPAMの共貧性溶媒効果



#### BL4U 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、リュウグウ粒子に含まれる多様な有機物は、大別すると、図に示すように、3種類の特徴を持つことが分かりました。また、超高分解能透過型電子顕微鏡(TEM)による分析と組み合わせることで、脂肪族炭化水素に富む有機物は、粗粒の含水ケイ酸塩鉱物と複雑に入り混じった組織を持つことが明らかになりました。

参考文献: M. Ito, *et al.*, Nat. Astronomy **6**, 1163 (2022).

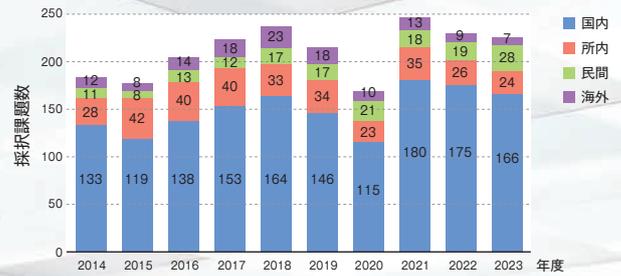


## UVSORの歩み

- ▶ 1975. 4 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  
施設名を極端紫外光実験施設、ニックネームをUVSORとした
- ▶ 1982. 6 UVSOR棟 第I期工事 (1,281 m<sup>2</sup>) 竣工 
- ▶ 1983. 3 UVSOR棟 第II期工事 (1,463 m<sup>2</sup>) 竣工
- ▶ 1983.11 0.45 GeV、1 mAで電子ビーム蓄積に成功
- ▶ 1985. 4 共同利用開始  
電子蓄積リングは0.75 GeV (入射は0.6 GeV)、330 mA運転
- ▶ 1991. 3 極端紫外光実験棟3階増築 (283 m<sup>2</sup>) 竣工
- ▶ 1992 UVSORとして初めてFEL発振に成功 (460 nm)
- ▶ 1995. 4 UVSOR利用者懇談会発足 
- ▶ 1995. 7 所内にUVSOR将来構想委員会を設置  
UVSOR-IIの議論始まる
- ▶ 1996 FEL239 nm世界最短波長発振実証成功
- ▶ 2003. 4 UVSOR-II高度化のための改造作業開始  
エミッタンスは165 nm radから27 nm radへ  
挿入光源中心の施設へ
- ▶ 2003. 9 UVSOR-II運転開始  
エネルギー分解能は世界トップレベルへ
- ▶ 2003 BL7U SAMRAIプロジェクト開始
- ▶ 2004. 4 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
- ▶ 2004.12 更なる高度化 (UVSOR-III) の検討開始
- ▶ 2007. 7 電源強化により0.75 GeVフルエネルギー入射開始
- ▶ 2008.10 トップアップ運転一部導入
- ▶ 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 BL4U STXMプロジェクト開始
- ▶ 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  
エミッタンスは27 nm radから17.5 nm radへ
- ▶ 2012. 8 UVSOR-III運転開始  
空間分解能は世界トップレベル、挿入光源6台体制へ
- ▶ 2014. 9 BL1U レーザーコンプトン散乱ガンマ線発生成功
- ▶ 2014 BL5U スピン ARPESプロジェクト開始
- ▶ 2019.10 次期施設建設計画スタート
- ▶ 2020. 2 BL6U 光電子運動量顕微鏡 (PMM) プロジェクト開始
- ▶ 2022. 9 BL3U 共鳴軟X線散乱分光 (RSOXS) プロジェクト開始
- ▶ 2023. 9 BL7U PMM (BL6U) へのブランチ新設でマルチモーダル実験へ

## 利用実績

UVSORは、国内外の大学・研究機関の研究者・学生、および民間企業の研究者によって利用されており、近年の採択課題数は年間200件超\*で、年間400名ほど(延5,000人日)のユーザーが来所しています。

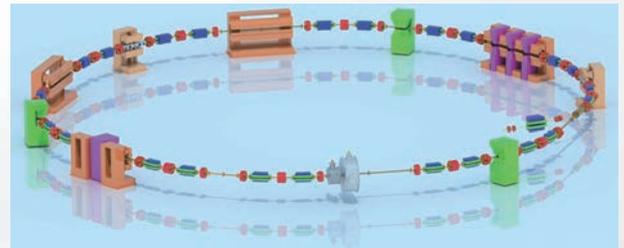


\*コロナ禍の2020年度を除く

## 将来ビジョン

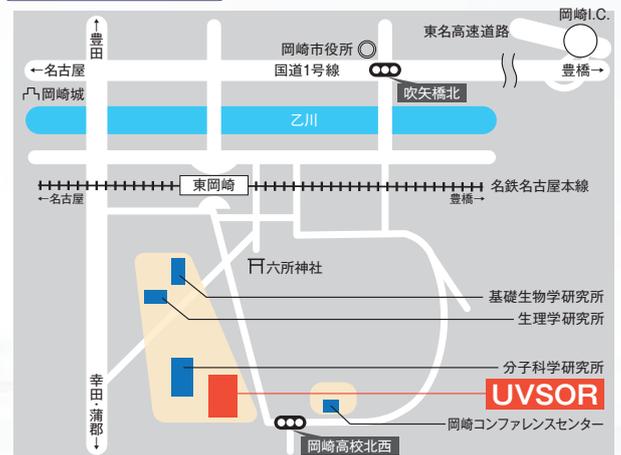
次世代への持続的な科学技術の発展に向け、光源施設を再構築し、共同利用・共同研究による学術推進の歩みを継続していきます。具体的には、小型リング次世代高輝度放射光源を新設し、さらに、レーザー光源を積極的にビームラインに付帯させるなどして、ユーザーの要望に応じた様々な光を一つの場所で提供できる先進的な施設の実現を目指します。

次期施設建設計画についてはこちらから



次期放射光源用電子蓄積リング(案)

## ACCESS



## UVSORを利用するには

### ■ 大学・国立研究機関の方

UVSORは大学共同利用機関である分子科学研究所の施設です。大学や国立の研究機関の方は原則無償でご利用いただけます。旅費の支給を受けることもできます。

### ■ 民間企業などの方

装置や時期によりご利用いただける場合があります。原則有償です。

詳しくはUVSORのWEBページをご覧ください。



**uvSOR III** 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 (UVSOR)**  
 〒444-8585 愛知県岡崎市明大寺町西郷中38  
 TEL 0564-55-7402  
<https://www.uvsor.ims.ac.jp>