

## NEWS LETTER

## 会長挨拶

## 東北大学 多元物質科学研究所 虻川 匡司



本懇談会の悲願でもありましたVUV-SX領域の高輝度光源の建設が、2023年のファーストライト、2024年度の利用開始を目指して、急ピッチで進められております。本年5月には、上棟式も行われ、年内には加速器リング、実験ホールを収める建物の全容が姿を現す予定です。ビームライン建設に向けても、それぞれのビームラインに必要な機能・性能を実現するための技術やコストなどの具体的な検討が進められている段階と伺っております。本会の会員の皆様には、開始時に利用できるビームラインのラインアップや、個々のビームラインで提供される様々な測定手法、装置、測定環境がもっとも気になる場所と思われまます。初期10本のラインアップに関しては、官民地域パートナーシップのパートナー代表機関である光科学イノベーションセンター(PhoSIC)が諮問したビームライン構想委員会によって2018年8月にまとめられた10本の初期ビームライン案に始まり、その後、国の主体である国立研究

開発法人量子科学技術研究開発機構(QST)とPhoSICが共同で設置した「次世代放射光施設

ビームライン検討委員会」によって、2019年6月に国側3本、パートナー側7本の「第1期ビームラインアップ」として報告されております。

その報告から既に2年経過しようとしていますが、その後のビームラインの検討状況については、まとめて公開される機会は設けられておらず、会員の皆様は情報不足にフラストレーションを感じておられるのでは無いかと思います。本ニュースレターでは、QST次世代放射光施設整備開発センターの高橋正光さんから国側3本の共用ビームラインの検討・整備の現状を報告いただきました。パートナー側の7本に関しましては、今回記事を用意できませんでしたので、少し補足いたします。パートナー側7本も、ユーザータイムの半分程度は共用使用される予定であり、現在、東京大学放射光アウトス

## NEWS LETTER

## 会長挨拶

テーションで共同利用に付されているエンドステーションの殆どは、パートナー側のビームラインに移設される予定と伺っております。パートナー側の7本に関しては、東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター(SRIS)が技術的な部分をサポートして検討・整備が進められています。物性研の原田慈久教授、松田巖教授も、SRISの客員教授として整備に関わっております。また、ビームラインに関連することでは、2021年2月にSRISによって「次世代放射光施設コアリションビームライン実施計画に関する国際審査」が行われました。その報告書(英語)がSRISのHPで公開されております。そこには、2月時点での7本のビームラインの最新の検討結果が記載されており、それに基づいて国内外の専門家が技術的な面に関してレビューを行っています。興味のある方は是非ご覧下さい。

話は変わりますが、コロナ禍の状況では、出張を伴う放射光利用実験は制限が多くリモート計測の導入が急務となっています。イタリアCNR

-IOMの藤井純さんに、Elettraでのリモート計測の状況をレポートいただきました。リモート計測の方法だけではなく、問題点などについても具体的に述べられており大変参考になるものと思われます。

最後になりますが、次世代放射光施設の開設に伴いアウトステーションの移設が予定されていることから、今後の本懇談会のあり方・役割の議論が高まっております。1月の総会では、次世代放射光施設での利用形態等への質問がございました。3月4日に行われたISSPワークショップの総合討論では、懇談会の役割として、VSXサイエンスの牽引、若手の育成、企業との交流などが議論されました。次世代放射光施設の初期10本のビームラインのうち軟X線ビームラインは6本ですが、本懇談会にたいして従来の枠にとらわれない幅広い活動へ取り組むべきとのご意見もありました。今後、みなさまと議論を重ねて、本懇談会がみなさまと共に発展して行ける道を探りたいと思います。今後ともどうぞよろしく願いいたします。

## 特集

これからの放射光実験:

次世代放射光施設ビームラインとコロナ禍での放射光実験 ……4

 次世代放射光施設の  
共用ビームライン

高橋 正光 氏

量子科学技術研究開発機構  
次世代放射光施設整備開発センター コロナ禍とリモート測定

藤井 純 氏

CNR-IOM, Trieste, Italy

○研究会報告 2020年度

ISSP ワークショップ「先端軟X線科学への基幹技術」2021年3月4日、(オンライン)

<https://sites.google.com/g.ecc.u-tokyo.ac.jp/sor-isspworkshop-2021/>

○東京大学放射光連携研究機構アウトステーション・実験課題公募要領

東京大学放射光分野融合国際卓越拠点の委託を受け、物質科学ビームラインの共同利用実験について公募を開始いたします。

応募された共同利用実験課題は、実験課題審査委員会による審査を経て、その採否及びビームタイム配分を決定し通知いたします。尚、研究課題を申請する際には必ず事前に実験設備担当者にご相談願います。

詳しくは、以下をご覧ください。

[HTTP://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/jointinfo/offering10.html](http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/jointinfo/offering10.html) 賛助会員

賛助会員として、8社の企業各社にご協力いただいております。

ここに深く感謝申し上げますとともに、掲載させていただきます。

……22

 編集後記 坂本一之 編集委員長

(大阪大学大学院工学研究科 物理学専攻)

全世界を巻き込む未曾有のコロナ禍で、マスクの装着や移動の自粛など人々の生活が大きく変わって1年半が過ぎました。このような状況下、放射光実験も例外ではなく、リモートでの実験を開始するビームラインも増えました。今回の特集号では、このような状況を鑑み、イタリア・ELETTRAでのリモート実験の様子とともに、建設がスタートした次世代放射光施設のビームラインを紹介させていただきました。

ご執筆頂きました先生方、本号の完成にご尽力頂きました皆様、お忙しいところまことに有り難うございました。また、相原様には多大なるご協力をいただきましこと、厚く御礼申し上げます。



# 次世代放射光施設の共用ビームライン

高橋正光、今園孝志、宮脇淳、堀場弘司、大坪嘉之  
量子科学技術研究開発機構 次世代放射光施設整備開発センター

## 1. はじめに

東北大学新青葉山キャンパス内に現在建設中の次世代放射光施設では、2024年度から運用が開始される第1期のビームラインとして、10本が整備される予定である。そのうち7本は、光科学イノベーションセンターを代表機関とし、宮城県・仙台市・東北大学・東北経済連合会の5者から構成される地域民間パートナーが整備するコアリションビームラインである。他の3本は、共用法に基づき、課題公募・成果公開の原則に基づいて運用される共用ビームラインで、国（量研）によって整備が進められている。これらのビームラインのラインナップは、2018年12月から2019年5月にかけて開催された「次世代放射光施設ビームライン検討委員会」（委員長・有馬孝尚東京大学教授）において議論されるとともに、2018年12月から2019年2月にかけて産官学の研究者・技術者からの意見募集も行われた。その結果、共用ビームラインとして軟X線超高分解能共鳴非弾性散乱（RIXS）ビームライン、軟X線ナノ光電子分光（ARPES）ビームライン、軟X線ナノ吸収分光（XMCD）ビームラインが整備されることが決定された。共用ビームラインにおける利用研究は、次世代放射光施設利用研究検討委員会（委員長・雨宮慶幸JASRI理事長）およびその下に2019年6月から2020年3月まで設置された各ビームラインに関するワーキンググループにおいて、共用ビームラインで実施すべき最先端研究の目標設定や、そのために必要な光源性能、エンドステーション測定装置の仕様等が議論された。続いて、2020年7月には、共用ビームライン光学系ワーキンググループが設置され、次世代放射光施設整備開発センターが設計したビームライン光学系について、機構外の専門委員による評価・助言を受けるという形で検討が進められてきた。

本稿では、現時点での検討内容に基づいた3本の共用ビームラインの目的及び光源、光学系の概要を報告する。ビームライン利用研究とそれに必要な装置については、2020年3月に次世代放射光施設利用研究検討委員会がとりまとめた報告書「国が設置する3本のビームラインを利用した 国が設置する3本のビームラインを利用した最先端研究について」がWebで公開されており[1]、また、ビームライン光学系についても、2021年3月に次世代放射光施設利用研究検討委員会に提出された報告書が近く公開される予定なので、詳細はこれらを参照されたい。なお、次世代放射光施設は現在も進行中のプ

プロジェクトである。ビームラインの構成や仕様に、今後変更の可能性があることはご了承願いたい。

## 2. 共通事項

本施設に設置可能なビームラインは、アンジュレータビームライン 14 本、多極ウィグラビームライン 14 本の計 28 本である。蓄積リング全体で 16 か所ずつ存在する長直線部、短直線部のうち、各 2 か所は、蓄積リングに電子ビームを入射するための機器との干渉や、RF 加速空洞および電子ビーム診断用のモニターの設置のため、ビームラインとしては利用できない。ビームラインの番号は、線型加速器からの電子ビーム輸送部付近にポートを持つアンジュレータビームラインを BL01U とし、そこから反時計回りにビームラインに番号を振り、アンジュレータ、多極ウィグラの順に、BL02U、BL02W のように定義されている。

実験ホール外周部床のエクспанションジョイントまでの長さは、光源から約 61 m、遮蔽壁から約 43 m が標準で、これがビームラインの長さの上限となる。ただし、線型加速器に近い BL01U、BL14W、BL15U 及び BL15W については、これよりもビームラインの長さは短くなる。一方、実験ホールの形状により、BL02U、BL02W、BL03U 及び BL03W には、標準よりも長いビームラインが設置できる。これらのビームラインはさらに、将来計画とされている拡張建屋まで延伸することにより、それぞれ 135 m、127 m、120 m 及び 87 m まで延長が見込まれている。

実験ホール内は、加速器トンネル天井部に天吊り設置した空冷式パッケージ空調機を使用して冷暖房・換気を行う。遮蔽壁上部の実験ホール側にノズル型吹出口を設置し、ホール内遠方まで冷温風を吹き出すようにするとともに、実験ホール外周部にも補助的に床置型パッケージ空調機を設置する。温湿度条件は  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $50\% \pm 10\%$  となっている。超高分解能を狙うビームラインなど、より高精度な温調が必要な場合は、ハッチ内などに局所的な温調を追加することを検討している。

本施設用のフロントエンドは、SX/EUV 型、IVU 型、MPW 型の 3 種類が用意されているが、共用ビームライン 3 本にはすべて SX/EUV 型が用いられる。フロントエンドと加速器側との取り付け点は、蓄積リングの光取り出し管終端の手動式オールメタルゲートバルブで、光源から 8.3 m の位置にある。光源から 14.838 m 地点に設置される XY スリットによって、光源の水平・鉛直方向の取り込み角は、使用される最大 K 値における基本波の  $4\sigma$  の発散角に制限される。フロントエンドシールド壁貫通管は、加速器収納壁を貫通し、下流の実験ホール側（光学ハッチ内）に、I0 モニターとゲートバルブが設置される。ゲートバルブの ICF70 フランジ端がビーム輸送部との取り付け点となり、光

源からフランジ面までの距離は 19.002 m である。実験ホール床面からフランジ中心までの高さは 1400 mm である。

放射光取り出しポート近くの収納壁ラチェット部もしくは実験ホール外周部には、ビームラインで使用される電気、圧縮空気、循環冷却水、ヘリウム回収ラインなどのユーティリティーが設けられる。液体窒素は、基本建屋に隣接して設置される 20m<sup>3</sup> のコールドエバポレータから、実験ホールに引き込まれる真空断熱配管を通じて、必要とするビームラインに供給される。

本施設では、実験ホールを非管理区域とすることを目指している。日本の放射光施設で実験をするためには、放射線業務従事者登録が必須であるが、海外の放射光施設では、実験ステーションは放射線非管理区域となっているのがむしろ普通であり、一般ユーザーは放射線業務従事者である必要はない。放射光実験が従事者登録なしでできることは、放射光実験のハードルを劇的に低くするものであり、学術・産業を問わず、ユーザー層の大幅な拡大や研究スタイルの刷新など大きなインパクトがあると考えている。次世代放射光施設における放射光実験を放射線作業従事者登録なしでできるようにするためには、放射線管理上のさまざまな課題をクリアする必要があるが、技術的な必要条件として、光学ハッチから実験ホールへの漏洩線量を管理区域境界の線量限度 1.3 mSv/3 ヶ月 (520 時間) = 2.5  $\mu$  Sv/h の半値 (1.25  $\mu$  Sv/h) 以下とすることを次世代放射光施設では課すこととしている。光学ハッチは 3 本の共用ビームラインでほぼ共通で、側壁 6.0 m、後壁 2.84 m、高さ 3.3m の大きさである。光学ハッチ内の補助遮蔽体の配置も考慮したモンテカルロ放射線輸送計算コード PHITS による計算及びストリーミング計算により、光学ハッチの側壁および後壁の漏洩線量 (光子線量と中性子線量の合算) は遮蔽設計値の 1.25  $\mu$  Sv/h を十分に下回ることを確認している。

### 3. RIXS ビームライン

#### 3-1 目的

RIXS は、軟 X 線を共鳴条件で物質に照射した際、散乱前後でのエネルギー変化を観測することによって、物質中の低エネルギー励起を直接的に観測できる手法である。その測定対象は、電子状態そのものを反映する結晶場や軌道内遷移、電荷遷移励起などの幅広いエネルギー範囲の素励起だけでなく、固体中の磁気励起やフォノン、分子系の振動励起などにも及ぶ。また、散乱過程ではエネルギーだけでなく、運動量の授受も起こるため、散乱角を変えることによって、固体中の集団励起の分散測定や分子中の励起の対称性を決定することも可能である。さらに、バルク敏感であり、試料の状態や外場の存在下による影響を受けることもないので、測定の対象が幅広い。海外の放射光施設は、

近年、長尺のビームラインと 12–15 m の大型の RIXS 分光器によって構成される超高分解能 RIXS ビームラインが多数建設されている[2,3]ものの、測定対象が固体試料に限られている。これに対して本施設の RIXS ビームラインでは、世界最高の超高分解能最高のエネルギー分解能である  $E/\Delta E > 1 \times 10^5$  を目指しつつ、溶液や電池などへの応用を含む様々な試料環境の導入を予定している点に特色がある。

本施設の RIXS ビームラインの諸元を表 1 に示す。エネルギー分解能  $E/\Delta E > 1 \times 10^5$  を達成するためには、ビームライン光学系、RIXS 分光器それぞれで  $E/\Delta E > 1.5 \times 10^5$  のエネルギー分解能が必要である。RIXS 分光器の高分解能化が進むにつれ、計測時間がエネルギー分解能を律速する一つの要因となってきた[4]。そこで、本ビームラインでは、計測効率の向上のため、2D-RIXS[5-7]の分光方法を採用する。これにより、計測時間が現実的な長さにおさまることはもとより、装置が安定している時間内に測定できることから、高分解能化が実現する。

### 3-2 光源

本ビームラインでは、3d 遷移金属の  $L_{2,3}$  端をメインターゲットに、C, N, O の  $K$  端や 4d 遷移金属の  $M_{2,3}$  端、ランタノイドの  $M_{4,5}$  端をカバーする光子エネルギー範囲 250–2000 eV を必要とする。これを満たす挿入光源として、周期長 56mm の APPLE-II アンジュレータを採用する。最小ギャップ 15mm のときの偏向定数 (K 値) は 4.62 である。APPLE-II アンジュレータでは、4 本の磁石列の相対位置を変化させることによって偏光制御が可能である。本ビームラインでの偏光モードは、水平直線偏光、垂直直線偏光、左右円偏光のいずれかで静的に運用することを予定している。

表 1 BL02U 諸元

挿入光源	APPLE-II 型アンジュレータ 周期長 56 mm 磁石列全長 3976mm 最初ギャップ 15mm 最大偏向定数 (K 値) 4.62
エネルギー分解能 ( $E/\Delta E$ )	1000 eV 以下で $1.5 \times 10^5$ 以上
偏光 (エネルギー範囲)	水平・垂直直線 (250–2000 eV) 左右円 (250–1500 eV)
フラックス@試料	$>10^{10}$ photons/s@ $E/\Delta E > 150,000$ ( $2 \mu\text{m}$ のスリットを仮定)
ビームサイズ@試料	$<1 \mu\text{m}(\text{H}) \times <\sim 5 \mu\text{m}(\text{V})$ (鉛直方向のサイズは単色光相当の時)

### 3-3 光学系

本ビームラインは、BL02U に設置される。柱などの建屋の構造による制約のため、ビームラインは ID 光軸と平行に全長~76 m (光源から試料位置まで)、RIXS 分光器の全長 (発光点から検出器) が最大~12 m に限定される。この条件のもと、エネルギー分解能  $E/\Delta E > 1.5 \times 10^5$  の目標を達成するために、入射スリットからの発散光を不等刻線間隔平面回折格子に照射する偏角可変分光器を採用し、回折格子からの分散光を試料に照射して利用する配置を取る。表 2 にビームライン光学系の構成を示す。前置光学系を構成する M0 と M1 によって、それぞれ鉛直・水平方向を入射スリット S1v、S1h に集光する。S1v を仮想光源として、M2 と G から成るビームライン分光器に発散光を照射し、試料上に鉛直方向にエネルギー分散、集光させる。超高分解能  $E/\Delta E > 150,000$  を達成するための中心刻線密度 1800 本/mm の回折格子とともに、高分解能、中程度の分解能用に 1000 本/mm、500 本/mm を用意する。中心刻線密度 1800 本/mm の回折格子を用いると、出射スリット幅に  $2 \mu\text{m}$  を仮定したとき、1000 eV 以下でエネルギー分解能  $E/\Delta E > 1.5 \times 10^5$ 、試料上でのフラックス  $\sim 6 \times 10^{10}$  photons/s が得られる見込みである。M3 は試料の直前に配置し、試料上に水平方向の集光を行う。これによる集光サイズは、約  $0.7 \mu\text{m}$  であり、RIXS 分光器で超高分解能を達成するために必要となる  $< 1 \mu\text{m}$  の条件を満たす。

ビームライン光学系の評価においては、ミラーや入射スリットなどの光学素子の不安定性を考慮に入れた場合に、エネルギーのピーク位置や分解能にどのように影響が出るか、光線追跡による検討も実施した。その結果、M0、M1 に求められる安定度は、M2、G、M3 と比較すると高くないことが示されたが、熱負荷や水冷による影響の中で安定させるには、相応の対策が必要である。一方、M2、G では、特に反射面に垂直な方向の位置ずれ  $\Delta Z$  および入射角のずれ  $\Delta \theta X$  に対する要求が高く、超高エネルギー分解能を

表 2 BL02U 光学系の構成

素子	種類	冷却	母材	コーティング
M0	サジタル円筒ミラー	水冷	Si	Au
M1	ベント円筒ミラー	水冷	Si	Au, Si
S1v, S1h	入射スリット	水冷		
M2	平面ミラー	水冷	Si	Au
G1	回折格子 N1800	水冷	Si	Au
G2	回折格子 N1000	水冷	Si	Au
G3	回折格子 N500	水冷	Si	Au
M3	Wolter Type I ミラー		Si or SiO <sub>2</sub>	Au

達成するために、設置環境も含めた慎重な対策と技術開発が求められる。M3 については、試料上の集光位置への影響が大きい。

光源から光学素子に加わる熱負荷は、熱ひずみによるスロープエラーや不安定性を引き起こす主要な要因となる。そこで、熱負荷が最も高い水平直線偏光のときに、M0、M1、M2 と G 以降で吸収される熱量を見積もった。水平直線偏光の 250 eV では、M0 への入熱が 210 W と大きく、超高分解能への影響が考えられる。しかし、実際の運用では 500–1000 eV の利用が中心と想定され、熱負荷が比較的小さいこと、また、利用頻度の低いと想定される低エネルギーで超高分解能への熱負荷の影響が大きいときには円偏光を利用する選択肢があることから、水冷で対応することとした。M0、M1 の入射角は、M2 と G への入熱を 10 W 以下にすることを目安として、 $88.8^\circ$  を選択し、M1 のコーティングを Au と Si で塗り分けて、エネルギーごとに使い分ける。

### 3-4 エンドステーション

RIXS 分光器には、測定効率を向上させるため、2D-RIXS を採用する[5-7]。ビームラインの分光器が鉛直方向を分散方向とするのに対し、RIXS 分光器では水平方向を分散方向とする不等間隔回折格子を用い、二次元検出器上に集光させる。これにより、二次元検出器上では、鉛直方向が入射エネルギー依存性、水平方向が発光エネルギーに対応した二次元データが得られ、通常の RIXS に比べ、約 10 倍の測定効率が望める。試料からの発光・散乱をできるだけ大きな立体角で取り込んで結像するために、試料の近い位置にウォルターミラーを配置する。

試料については、短期的には、超高エネルギー分解能が観測に直結し、かつ試料環境として技術が確立している固体試料を対象とする。順次、セルなどの測定環境の開発を進め、原子・分子、触媒、電気化学系、デバイスなどの測定ができるようにしていく計画である。試料環境の開発については、国内での研究が多数あり、蓄積された多くのノウハウが活用できる。

## 4. ARPES ビームライン

### 4.1 目的

本ビームラインは、30 nm 以下のナノ集光ビームを用いて、スピン分解された固体のバンド構造をエネルギー分解能 1 meV (50 eV) で直接観測する軟 X 線 ARPES 計測に供することを目的としている。表 3 にビームラインの諸元を示す。ナノ集光 ARPES では、微小ビームスポットを生かすことで、微小な試料等の測定対象物質範囲の大幅な拡大が見込まれるのみならず、空間的に不均一な電子状態を持つ物質群の局所的な電子状

態の情報を得ることが可能となる。また、微小デバイス動作時の局所電子状態および化学結合状態の解析[11]により、デバイスの動作原理の解明や機能向上に密接に関係する情報が得られる。

現在、欧米4放射光施設においてフレネルゾーンプレート（FZP）を用いた数百 nm オーダーのナノ集光 ARPES 装置が稼働しているのに対し、本ビームラインでは、次世代技術である回転型ウォルター鏡とマルチチャンネルスピン検出器を導入し、従来比で2桁以上の高フラックスなナノ集光スピン分解 ARPES の実現を目指す。また、汎用のマイクロ集光 ARPES 装置をブランチビームラインとして併設し、高スループット実験・オペランド計測に供する。

## 4.2 光源

本ビームラインでは50eVの低エネルギーの利用が必要であることから、周期長75mmのAPPLE-II アンジュレータを採用する。偏向定数は最大6.6である。偏光モードは水平直線偏光、垂直直線偏光、左右円偏光の4つのいずれかで静的に運用することを予定しており、動的な偏光スイッチングは行わない。

## 4.3 光学系

ビームライン光学系はエネルギー分解能と試料上の集光サイズを重視し、エネルギー範囲50-1000 eVで分解能  $E/\Delta E$  が  $5 \times 10^4$  以上となるように設計した。分光器に等刻線間隔平面回折格子に平行光を照射する入射スリットレス可変偏角平行化分光器(cPGM)を採用したことにより、分解能、フラックス、発散角の選択の自由度が高くなった。

光学系の構成を表4に示す。光学ハッチ内のM0、M1はそれぞれ光源から20 m、22

表3 BL06U 諸元

挿入光源	APPLE-II 型アンジュレータ 周期長 75 mm 磁石列全長 3975mm 最小ギャップ 15mm 最大偏向定数 (K 値) 6.6	
エネルギー分解能 ( $E/\Delta E$ )	$3 \times 10^4 - 5 \times 10^4$	
偏光 (エネルギー範囲)	水平・垂直直線 (50-1000 eV) 左右円 (50-1000 eV)	
フラックス@試料	$>10^{11}$ photons/s/0.01%BW	
ビームサイズ@試料	A ブランチ (ナノ集光)	<30 nm
	B ブランチ (マイクロ集光)	$\sim 1 \mu\text{m}$

m の距離に設置される。両ミラーをリング側への水平振りとすることで、ナノ集光光学系の構築に必要なビームライン長を確保した。M2-G 間の鉛直方向のオフセットは 20 mm で、出口スリット S2 および試料位置におけるビームの高さは床面から 1,420 mm である。回折格子は刻線本数 1200 本/mm (N1200) と 600 本/mm (N600) の 2 種類とした。パラメータ  $C_{ff} = \cos \beta / \cos \alpha$  ( $\alpha$  は入射角、 $\beta$  は回折角) を自由に決めることで分解能、フラックス、発散角を選択できることが cPGM 分光器の特長のひとつである。たとえば、 $C_{ff} = 4.31$  の高分解能 (HR) モードと  $C_{ff} = 2.35$  (最小値) の高フラックス (HF) モードにおいて、分解能はそれぞれ  $6 \times 10^4$  と  $3 \times 10^4$  が見込まれる。さらに、回折格子には深さの異なる溝パターンを 3 種類刻線し、N1200 だけで 50-1000 eV をカバーできるように広帯域化を図った。一方、N600 は低エネルギー範囲 (50-600 eV) をカバーし、オペランド計測向けにフラックスを重視し設計した。エネルギー 50 eV のとき、 $C_{ff} > 1.9$  で分解能  $1.6 \times 10^4$  以上、 $C_{ff} > 3.16$  で分解能  $3 \times 10^4$  以上が期待される。M3 は A および B ブランチにビームを排他的に振り分けるために用いる。A ブランチの試料位置におけるフラックスは、光子エネルギー 50 eV で  $10^{11}$  photons/s/0.01%BW 以上と見積もられる。

スロープエラーによる分解能への影響を光線追跡により評価した。水平方向に反射させる M0、M1、M3 はスロープエラーに対して比較的鈍感である。ただし、M0 のスロープエラーが  $1 \mu\text{rad}$  以上になると、水平方向の光源サイズが増大し、フラックスが低下する。一方、鉛直方向に反射させる M2 と G はスロープエラーに対して敏感であるため、分解能  $E/\Delta E > 5 \times 10^4$  を達成するには、スロープエラーを  $0.2 \mu\text{rad}$  以下に抑える必要がある。

本ビームラインで採用される周期長 75mm の APPLE-II アンジュレータによる放射パワーは、直線偏光モードにおける 50 eV の時が最も大きく、第一光学素子である M0 への入熱は約 900W に達する (蓄積電流 500mA とした場合)。ARPES を目的とするビー

表 4 BL06U 光学系の構成

素子	種類	冷却	母材	コーティング
M0	タンジェンシャル円筒ミラー	液体窒素冷却	Si	Au, Ti, Si
M1	サジタル円筒ミラー	水冷	Si	Au
M2	平面ミラー	水冷	Si	Au
G1	回折格子 N1200	水冷	Si	Au
G2	回折格子 N600	水冷	Si	Au
M3A	サジタル円筒ミラー		Si	Au
M3B	サジタル円筒ミラー		Si	Au
S2	出口スリット ×2			

ムラインでは、光子エネルギー50eVは使用頻度の高いエネルギーであり、熱ひずみによる性能低下は避けなければならない。そのため、M0の冷却には液体窒素冷却方式を採用し、母材であるシリコンの液体窒素温度における非常に高い熱伝導率と小さな熱膨張率によって、熱ひずみによるスロープエラーを抑制することとした。一方、M0以外の光学素子M1、M2、Gは水冷である。M2への熱負荷は、M0に比べると小さいが、エネルギー分解能への影響が大きいため、M2への入熱はできるだけ軽減する必要がある。そのため、M0のコーティングをAu、Si、Tiで塗り分ける。熱負荷の大きい低エネルギー側ではSiを用い、100 eV近傍のSi-L吸収端ではTiを選択する。高エネルギー側ではAuに切り替える。これにより、光子エネルギー50eVにおけるM2への入熱は、Auコーティングだけとした場合の約1/3に相当する10W程度に抑えられる。

本分光器は入射スリットレスであるため、光源の不安定性がエネルギー分解能に影響する懸念がある。光線追跡を用いた評価の結果、鉛直方向の光源サイズ $\Sigma y$ の10%までの増加であれば、目標分解能を下回らないことが確かめられた。光源位置の水平方向の位置ずれはS2上で水平方向の位置ずれを引き起こし、フラックスを低下させるだけでなく、S2上の鉛直方向の光源サイズを増加させるため、分解能も低下させる。また、光源の鉛直方向の位置ずれも分解能を低下させる要因となりうる。光子エネルギー50eVのとき、光源位置が鉛直方向に1 $\sigma$ 分だけシフトした場合、約0.2 meVのエネルギーシフトにつながる。電子ビーム軌道の安定性はビームサイズの10%程度と想定されており、光学系への影響は許容範囲である。

#### 4.4 エンドステーション

ナノ集光ARPESを行うAブランチでは、最終的には、30 nm以下の回折限界集光を目指している。その実現には、前段にリング集光系を備えた回転体ウォルター鏡の全面照射等の新技術を活用した高N/A集光光学系が不可欠である。しかし、回転体ウォルター鏡は発展途上の技術であることから、2024年の供用開始時点では、現在のところ、作り込み型部分ウォルター鏡を用いた400 nm程度の集光を計画している。発展型の集光光学系にスムーズに移行できるように、出口スリットと集光ミラーの間に平面鏡を追加する等の工夫を行っている。ナノ集光ビームを生成するミラーのワーキングディスタンスは20 mm程度と短く、ARPES装置内に設置される。

Bブランチのマикро集光光学系には、ARPES装置とは独立の外部ミラー真空槽に設置した作り込み型部分ウォルター鏡を用いる。集光特性を光線追跡法で評価した結果では、光子エネルギー50eV、焦点距離300 mmのとき、集光サイズは11  $\mu$  m(H)  $\times$  1.6  $\mu$  m(V)である。

## 5. XMCD ビームライン

### 5-1 目的

本ビームラインは、元素選択的な軟 X 線吸収分光法に基づく X 線磁気円二色性 (XMCD)、X 線磁気線二色性 (XMLD) 等によるダイナミクス計測およびイメージング計測を目的とする。ダイナミクス計測では、高輝度光源の活用による時分割の吸収測定やコヒーレント回折イメージングを行うほか、X 線強磁性共鳴法 (XFMR) およびポンプ・プローブ法によって GHz 領域の超高速測定を実現する。また、イメージング計測では、走査型透過 X 線顕微鏡 (STXM) による 10-20 nm の空間分解能を達成する。これらの計測手法を駆使して、スピントロニクス分野を中心とした時間・空間・元素分解スピンドイナミクス研究および XMCD から XMLD・XLD によるスピン・軌道分極分光への拡張による新規磁性物質・材料研究を展開できるビームラインとする。この目的のため、光源には、偏光制御の自由度が高く、円偏光が利用できるエネルギーも広い分割アンジュレータを採用する。本ビームラインの実験ステーションは、表 5 に示すように、マイクロ集光ビームを利用する 3 ブランチ (A1、A2、A3) およびナノ集光ビームを利用する 1 ブランチ (B) に配置される。

### 5-2 光源

本ビームラインでは、4 台の周期長 56mm の APPLE-II アンジュレータとその間に設置される 3 台の移相器から構成される分割アンジュレータ [13] が光源に用いられる。分割アンジュレータでは、個々のアンジュレータの偏光モードの組み合わせとその干渉によって、さまざまな偏光を生成することができる。たとえば、1 台目と 3 台目の APPLE-II アンジュレータを水平直線偏光モードで、2 台目と 4 台目の APPLE-II アンジュレータを垂直直線偏光モードで用い、隣り合うアンジュレータからの放射光の位相が 1 台目と 2 台目、3 台目と 4 台目の間で  $\pi/2$ 、2 台目と 3 台目の間で  $3\pi/2$  となるように移相器を調節すると、全体として円偏光が発生する。位相シフト量を周期的に変化させれば、右回り円偏光から 45 度直線偏光を経て左回り円偏光まで連続的に移行させることもできる。一般に、APPLE-II アンジュレータの磁石列の位相を動的に切り替えて偏光を制御するのは、電子ビームの軌道補正が困難であるために現実的でないが、分割アンジュレータの移相器を用いた偏光制御では、電子ビームに与える変動がほぼなく、100Hz 程度までの高速偏光切替も可能性がある [14]。

分割アンジュレータのもう一つの利点は、高エネルギーの円偏光を生成できることである。周期長 56mm の APPLE-II アンジュレータを円偏光モードで用いた場合、実用的な強度が得られるのは基本波のみで、その上限のエネルギーは 1.2keV 程度である。分

割アンジュレータでは、直線偏光の高次光を使うことで、より高いエネルギーの円偏光を利用することができる。とくに、1.2keV 以上 3keV 程度までのテンダー X 線領域の円偏光が得られることは、本光源の特色である。

### 5-3 光学系

本ビームラインの光学系は、分解能よりもフラックスを重視した。また、テンダー X 線領域で円偏光が利用できることが本ビームラインの特色であるので、軟 X 線からテンダー X 線まで幅広いエネルギー範囲 (180-2850 eV) をエネルギー分解能  $E/\Delta E = 1 \times 10^4$  以上でカバーできるようにしている。

ビームライン光学系の構成を表 6 に示す。第一光学素子 M0 は光源から 20 m、第二光学素子 M1 は 22 m に設置される。これらのミラーをリング側へ水平に振る方向に配置することでビームライン全体を長くし、4 ブランチ間のスペースを確保できるようにした。分光器には、ラミナー型不等刻線間隔平面回折格子を用いた入射スリットレス可変偏角 Monk-Gillieson 型分光器を採用した。M2-G 間の鉛直方向のオフセットは 14 mm とし、試料位置におけるビームの高さは床面から 1414 mm である。回折格子は中心刻線本数 600 本/mm (N600) と 150 本/mm (N150) の 2 種類を用意する。N600 だけで 180~2850 eV をカバーするために、同一回折格子上に深さだけが異なる溝パターンを 3 種類刻線するとともに、平面形状の光学素子を Au、Si、Rh で塗り分けることで広帯域

表 5 BL13U 諸元

挿入光源	分割 APPLE-II 型アンジュレータ 周期長 56 mm 磁石列全長 672mm×4 最小ギャップ 15mm 最大偏向定数 (K 値) 4.62	
エネルギー分解能 (E/ΔE)	> 1×10 <sup>4</sup>	
偏光 (エネルギー範囲)	通常 モード	水平直線 (180–2850 eV) 垂直直線 (250–2850 eV) 左右円 (180–1200 eV)
	クロス モード	水平垂直直線 (180–1200 eV) 左右円 (250–2850 eV)
	偏光切替	移相器により DC-100Hz
フラックス@試料	A1, A2, A3 ブランチ	>10 <sup>13</sup> photons/s/0.01%BW
	B ブランチ	>10 <sup>10</sup> photons/s/0.01%BW
ビームサイズ@試料	A1, A2, A3 ブランチ	20 μm(H)×1 μm(V)@700 eV
	B ブランチ	30 nm@700 eV

化を実現した。エネルギー分解能は、N600 では  $E/\Delta E > 1 \times 10^4$  を達成できる。オペラ  
 ンド計測や XFMR など高フラックスが必要な場合には、低エネルギー範囲（180-1400  
 eV）をカバーする N150 を使用できる。ブランチ振り分け用ミラーM3 は、A2 および  
 A3 ブランチ用の M3A と B ブランチ用の M3B の 2 枚である。A2 ブランチと A3 ブラ  
 ンチは、M3A の入射角を変えることによって切り替える。A1 ブランチでは、振り分け  
 ミラーで反射しないストレート光を利用する。

スロープエラーによる分解能への影響を光線追跡により評価した。水平方向に反射さ  
 せる M0、M1、M3 はスロープエラーに対して比較的鈍感で、概ね  $2 \mu\text{rad}$  以下であれば  
 分解能は低下しない上、水平方向の集光サイズもほぼ影響を受けない。一方、鉛直方向  
 に反射させる M2 と G はスロープエラーに対して敏感だが、スロープエラーが  $0.2 \mu\text{rad}$   
 以下であれば、分解能  $1 \times 10^4 @ 700 \text{ eV}$  を見込める。

本ビームラインでは、光源からの放射パワーは直線偏光モードの 180eV のときが最大  
 で、M0 への入熱は約 300W となる。しかし、M0 のスロープエラーは分解能への影響  
 が比較的小さいことと、本ビームラインで主として使用されるエネルギー700 eV では、  
 入熱が約 18W まで減少することから、M0、M1、M2、G の冷却は水冷とする。一方、  
 分解能に影響が大きい M2 への入熱を低減するために、M1 は Au と Si で塗り分け、使  
 用エネルギーに応じて切り替えることとする。直線偏光、180eV のとき、M1 が Au コ  
 ーティングの場合、M2 の吸収パワーは 34 W であるが、M1 を Si コーティングに切り  
 替えると、M2 の熱負荷は 17W 程度に減少する。エネルギー700 eV では、M2 の吸収パ  
 ワーは 4 W 以下である。

本分光器は入射スリットレスであるため、光源サイズの増加や位置ずれが光学性能に  
 影響を及ぼす懸念がある。光源の安定性は、光源サイズの 10%程度と見込まれている。  
 その影響を光線追跡によって評価したところ、まず、鉛直方向の光源サイズ  $\Sigma y$  の増加  
 とともにエネルギー分解能は低下するものの、 $1.5 \Sigma y$  の光源サイズとなっても、 $0.7 \sim 1$

表 6 BL13U 光学系の構成

素子	種類	冷却	母材	コーティング
M0	サジタル円筒ミラー	水冷	Si	Au
M1	タンジェンシャル円筒ミラー	水冷	Si	Au, Si
M2	平面ミラー	水冷	Si	Au, Rh, Si
G1	回折格子 N600	水冷	Si	Au, Rh
G2	回折格子 N150	水冷	Si	Au, Si
M3A	平面ミラー		Si	Au, Rh, Si
M3B	平面ミラー		Si	Au, Rh, Si
S2	出口スリット ×4			

keV 近傍では分解能  $1 \times 10^4$  以上、2-3keV のテンダーX線領域でも分解能  $9 \times 10^3$  を上回ることが期待できることがわかった。一方、光源の位置ずれは、出口スリット S2 上での位置ずれを引き起こすためフラックスの低下やエネルギーシフトの要因となる。例えば、光源が分散方向（鉛直方向）に半値幅分ずれると、S2 上では鉛直方向に約  $0.9\sigma$  分（約  $7\mu\text{m}$  程度）ずれる。これは光子エネルギー700eV のとき 25 meV 程度のエネルギーシフトに相当する。

#### 5-4 エンドステーション

本ビームラインでは多様な測定ニーズに対応するため、マイクロ集光3 (A1-A3)、ナノ集光1 (B)の計4種類の計測ステーションを最終的には整備する計画である。マイクロ集光ステーションでは集光率1/10の作りこみタイプI型部分ウォルター鏡を用い、短軸方向で  $1\mu\text{m}$  程度の顕微測定を実現する。A1-A3の各ステーションの試料位置で同一の集光サイズとなるように設計した。強磁場 in situ 計測ステーション(A1)には超伝導マグネットを設置し、10 T 程度の強磁場下での顕微磁気分光計測を行う。ハイスループット&ダイナミクス計測ステーション(A2)では超伝導電磁石と比較して簡便に磁場掃引や印可磁場方向の回転が可能な常伝導電磁石あるいは永久磁石を利用し、実デバイスの動作環境下におけるオペランド計測や GHz 領域のスピンの動きを追跡する XFMR 測定を行う。磁気散乱・反射率計測ステーション(A3)では薄膜や多層膜資料の深さ方向の時期状態解析を目的とした in situ 磁気散乱測定および反射率測定を計画している。ナノイメージング計測ステーション(B)には STXM を設置し、フレネルゾーンプレートを用いて 10 nm オーダーの集光スポットサイズを実現し、スカーミオン等のナノ磁気構造のイメージング測定を行う。

A1 は振り分けミラーを使用しないストレートブランチであるため、3 ブランチ中最も明るく、2 keV 以下ではフラックス  $10^{12}$  photons/s/0.01%BW 以上を、2 keV 以上のテンダーX線では  $10^{10}$  photons/s/0.01%BW 程度を期待できる。A2 は振り分けミラーM3 を入射角  $89^\circ$  で使用するため A1 と遜色ないフラックスを見込める。A3 では振り分けミラーに対する入射角が  $88.25^\circ$  と最も大きく、高エネルギー側でフラックスが著しく低下するため、2 keV 以下の使用に限定される。Bステーションの試料上のフラックスは、振り分けミラーとピンホール、フレネルゾーンプレートの効率を考慮すると、 $10^8 \sim 10^{10}$  photons/s/0.01%BW 程度と見積もられる。

## 6. むすび

本稿では、次世代放射光施設の共用ビームラインの光源および光学系設計を中心に検討・整備の現状を報告した。挿入光源およびフロントエンドはすでに機器製作が始まっ

ており、遮蔽ハッチや光学系も順次製作フェーズに進もうとしているところである。利用実験により密接に関係するエンドステーションの装置については、次世代放射光施設利用研究会で方向性が提案されているが、具体的な仕様決定に向けた検討が今後進められていく予定である。次世代放射光施設の共用ビームラインが 2024 年度から順調なスタートを切るためには、これら機器整備以外に、利用支援の体制作りや、活発なユーザーコミュニティの形成も重要であると考えている。軟 X 線ビームラインの装置開発及び利用研究に多くの経験と強い熱意を持つ VUV・SX 利用者懇談会の皆様のご指導、ご協力をよろしくお願いいたします。

#### 参考文献

- [1] <https://www.qst.go.jp/site/3gev/41909.html>
- [2] N. B. Brookes et al., Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A **903**, 175 (2018).
- [3] J. Dvorak et al., Rev. Sci. Instrum. **87**, 115109 (2016).
- [4] K.-J. Zhou et al., J. Synchrotron Rad. **27**, 1235 (2020).
- [5] V. N. Strocov, J. Synchrotron Rad. **17**, 103 (2010).
- [6] T. Warwick et al., J. Synchrotron Rad. **21**, 736 (2014).
- [7] Y.-D. Chuang et al., J. Synchrotron Rad. **27**, 695 (2020).
- [8] W. Yao et al., Proc. Natl. Acad. Sci, USA **115**, 6928 (2018).
- [9] Y. C. Arango et al., Sci. Rep. **6**, 29493 (2016).
- [10] J. Avila et al., Sci. Rep. **3**, 2439 (2013).
- [11] P. V. Nguyen et al., Nature **572**, 220 (2019).
- [12] V. Sunko et al., arXiv:1903.09581 (2019).
- [13] I. Matsuda, S. Yamamoto, J. Miyawaki, T. Abukawa, and T. Tanaka, e-J. Surf. Sci. Nanotechnol. **17**, 41 (2019).
- [14] Y. Kudo, Y. Hirata, M. Horio, M. Niibe, I. Matsuda, arXiv:2103.13554

# コロナ禍とリモート測定

藤井純

CNR-IOM, Trieste, Italy

イタリアで最初の居住者の Covid-19 患者が発見されたのが 2020 年 2 月 20 日。私の担当するビームライン(APE beamline : VUV 光電子分光ビームライン)では 2 月いっぱいユーザービームタイムを予定通り行いましたが、国内感染者の急増のため 1 週間後の 3 月 1 日からのユーザーはイタリア入国を直前で断念し、インハウスのビームタイムに切り替えました。イタリア全土がロックダウンに入ったのはそのほぼ一週間後でした。ロックダウン中もイタリア国政府令は通勤のための外出を認めていましたが、私の所属する CNR (National Research Council) は研究のための通勤を禁じたため 3 月 12 日から私は在宅勤務に入りました。ロックダウンは約 2 か月におよび、APE では実質的にロックダウンが終わる 5 月 3 日までインハウスの実験を含めて全く実験は行えませんでした。この間 Elettra 放射光施設自体は Covid-19 治療に関する研究を行う重要施設に指定されたため、ロックダウン中にも関わらずカレンダー通りに運転を続けました。国全土がロックダウン中でしたから実施された測定はすべて mail-in (Elettra にユーザーから郵送されてきた試料に対する測定)で行われました。ロックダウン中に実験を行った Elettra の研究者はその経験から早くから mail-in などのリモート実験の考慮を他のビームライン担当者に勧めました。当初は多くのビームライン担当者から懐疑的な意見も出ていましたが、秋以降の第 2 波、第 3 波による実質的ロックダウンにより、ほとんどのビームラインにおいて、リモート実験を行わざるを得なくなりました。一言でリモート実験と言っても実際に誰が測定をするかによって大きく分けて 2 つのタイプがあります。タイプ 1 はユーザーとビームラインスタッフが連絡を取り合いながらビームラインスタッフが測定をするタイプ。タイプ 2 はユーザーが Elettra 外からビームラインの測定コンピューターにインターネット接続して測定をするタイプです。Elettra においては、どちらのタイプを選ぶかは、エンドステーションの装置の扱いやすさや、ユーザーの習熟度、更にビームラインの自動化の度合いに大きく依存するようです。場合によっては、日中はタイプ 1、夜間はタイプ 2 とするビームラインもありますし、タイプ 2 でも測定中は必ずビームラインスタッフがビームラインに滞在し、ビームラインスタッフ不在の夜間はリモートを中止するビームラインなど、ビームラインによって様々です。どちらのタイプにしても、ほぼ全てのビームラインにとっては新しい試みでしたが、現在はほぼ全てのビームタイムをリモート実験にしているビームラインもあります。そのために必要な機能を Elettra はユーザーのためのポータル VUO(Virtual Unified Office. Spring-8 の User Information My Page のようなもの。User ID と password で login します。)に組み込みました。ユーザーとビームラインスタッフの連絡は Zoom を使っています。Elettra を通して会議をスケジュールすれば、実験が始まった時、あるいは毎朝ビームラインのコンピュータで Zoom 会議を開始し、会議は開きっぱなしにしておいて、ユーザーや在宅勤務のビームラインスタッフは好きな時に会議に参加しビームラインの測定者と議論できるという方法が一般のようです。タイプ 2 実験のためのビームラインコンピュータへのリモートの接続もユーザーは VUO を通して web ブラウザを使って接続します。実験参加者に登録された人の VUO からは Elettra が許可した期間、許可したビームラインコンピ

ユーザーのみに接続できる仕組みです。測定データや電子ログブックもユーザーは VUO を通してダウンロードします。Elettra には Elettra 運営のビームラインと CNR のような外部機関運営のビームラインがあります。Elettra 運営のビームラインはほぼ VUO を通したリモート測定をしています。CNR 運営ビームラインの対応は様々です。我々 APE では Covid 以前からビームラインスタッフや学生が夜間の実験を自宅から行えるように光電子分光測定をある程度リモートで行えるような環境は整えてありました。APE では外部からの接続には Apache Guacamole (The Apache software foundation) というリモートデスクトップソフトを使っています。以前は VPN を利用していましたが、外部ユーザーの使用も念頭に安全性の高いソフトとして選びました。ユーザーにパスワード付のアカウントを与えて、ビームタイムの終了とともに無効にします。CNR 運営のビームラインの実験データは CNR-IOM の datashare と名付けられたサーバに保存されています。ユーザーには datashare サーバ内に当該ビームタイム用に作成されたディレクトリへのリンクを実験開始時に伝えます。ユーザーは web ブラウザを使ってそのディレクトリへアクセスしデータをいつでもダウンロードすることが可能になっています。

Elettra から正式な統計は受け取っていませんが、各ビームライン担当者に聞いたところでは最近は少なくとも半分以上のビームタイムがリモートで行われているようです。ビームラインスタッフの感想は様々です。例えば XRD の場合は、一度試料をセットしてしまえば測定自体は全自動で、あとはコンピュータ画面を見ながら測定範囲を指定していただくということで、試料 mail-in でもユーザー on-site でも測定結果は変わらないとのこと。二つある XRD ビームラインのうち XRD1 ではタイプ 1 しかおこなっていないため、ビームラインスタッフの仕事量が増えてビームラインスタッフからは不評のようです。新しいビームラインの XRD2 はタイプ 2 も取り入れていてうまくいっているようです。一方測定が非常に難しい光電子顕微鏡ビームラインの場合、もともと測定から解析まで全てビームラインスタッフが行っているため、こちらの実験としては変わりはないはずだそうです。リモートの方がビームラインスタッフにとっては時間に余裕ができると好意的でした。タイプ 1 のみでタイプ 2 は今のところ考えていないそうです。28 ある Elettra のビームラインのうち半分にあたる 14 ビームラインは VUV/SX の電子分光ビームラインです。それ以外のいくつかのビームラインでも in-situ での試料作製が必要になるビームタイムがあります。Elettra 運営のビームラインではビームラインスタッフでも作製可能と判断すれば、ユーザーと連絡を取りながらビームラインスタッフが試料作製もしています。試料導入後あるいは試料作製後測定マニピュレータに試料を移動する過程はどのビームラインでもビームラインスタッフが行います。一方 APE では in-situ での試料作製を必要とするビームタイムに関してはリモート実験は行っていません。劈開で表面出しをする試料に限り行っていきます。さぼっているように思われるかもしれませんが、Elettra 運営のビームラインは基本的に一つの挿入光源を二つのビームラインで使用しているため、ビームタイムは半々に分け合い交互にビームタイムを割り振ります。試料作製あるいはその練習を光のないビームタイム直前の週に行うことができます。一方我々は Elettra のビームタイムは全て利用しているため、ユーザー実験の試料作製準備にさく時間が Elettra 運営のビームラインほどありません。APE ではタイプ 2 の実験も行っていきますが、ビームラインが完全コンピュータ化されていないため、夜間のビームラインスタッフ不在時は測定がいくらか制限されます。

この 1 年で Elettra の多くのビームラインでリモートでの測定が始まりました。さらにビームラインの完全コンピュータ化も進められています。つまり手動で動かしていたものをモーター駆動にしたり、コンピュータに接続されていなかった機器をコンピュー

タに接続する改良をしています。ただし、26 インチを超えるモニターを複数並べて実験をすることが当然になってきた現在、自宅から 13 インチのラップトップを使って測定をするとストレスが溜まります。全てを一度に見ようとすれば、一つ一つが小さすぎて重要な文字は読めず、見える大きさにズームインすると、何倍もの面積のあるビームラインモニターの中を行ったり来たり大変になります。ユーザーが全体を見ずに測定ソフト部だけ表示しては、ビームライン設定変更をし忘れたことに気づかず、延々と意味のない測定を続けることになりかねません。タイプ 2 の実験を行うユーザーにはラップトップのモニターでは測定は無理だと伝えていました。リモート接続の必要性は、施設内の人数制限や、ビームラインの立ち入り人数制限も関わっています。ロックダウン後も研究所内の人数を出来るだけ少数に抑える措置が未だに採られています。安全面上各ビームライン最低 2 人以上での滞在が求められているので、ロックダウン直後はビームライン立ち入り人数は同時に 2 人と決められていました。現在は最高 3 人までです。国家間、国内間の移動制限も on-site ユーザー実験の大きな障害でしたが、ビームライン内人数制限も無視できない問題だと分かりました。

APE に限らず多くのビームラインでロックダウン中に全く実験ができなくなった一番の原因は、試料を測定位置までコンピューター制御で輸送するシステムが構築されていないことでした。in-situ での試料作製を必要とするビームタイムに関しては難しいですが、そうでなければコンピューター制御された測定用マニピュレータ自体に多数の試料が装填できるようにするか、試料バンクにビームタイムに必要な全ての試料を挿入しておき、リモートで試料を選んで測定用マニピュレータに輸送して測定ができれば、2 か月は無理としても 1 ビームタイムにつき 1 回のビームラインへのアクセスで済むこととなります。このような輸送システム構築には少なくとも一人のエンジニアを雇うことになるので、一つのビームラインのプロジェクトとしては無理で、Elettra 全体のプロジェクトとして採用されることが必要です。

イタリア全土が Covid-19 のパンデミックのためにロックダウンに入ったのが今年の 3 月 9 日。それから 1 年が過ぎました。その間にヨーロッパ以外の国からの入国は原則認められませんでした。外国（ヨーロッパ）からのユーザーが比較的制約なく、つまり双方の国ともに検疫隔離なく、イタリアと行き来できたのは 8 月、9 月、10 月の 3 か月間くらいでした。その対象国も感染状況により目まぐるしく変更されました。しかも検疫隔離開始の判断は 2 日前などと突然発表されます。全員に検疫隔離が課されない国でもイタリア入国に際して Covid-19 陰性証明を持参するか空港到着時のウイルス検査で陰性が確認された場合に限られる国もありました。今のように陰性証明の発行は一般的でなく、ユーザーにとってはイタリア到着時に入国が可能かどうか判断されるというリスクのある入国でした。またすんなりイタリアに入国できてもビームタイム中に自国への帰国時の 2 週間の検疫隔離義務が突然発生してしまうこともあり、ユーザーにとっては on-site で実験をする決断はとても難しいことだったと思います。そのような状況でしたので Elettra のビームラインの中には外国からのユーザーを一切受け入れず、全てリモート実験にしたビームラインもありました。APE ではユーザーが Elettra に来れないと判断されたユーザービームタイムは mail-in で実験が遂行されたか、次の半期へ延期されました。延期は次の半期の新たな採択課題数を減らすことになるため、再々延期はせず、mail-in 実験かキャンセルかをユーザーに選択してもらいました。現在ワクチン接種が進んでいるためこの夏以降は人々の往来の自由は劇的に改善されるでしょうから、ビームタイムの延期はほぼ無くなると思われませんが、ユーザーがリモート実験か on-site 実験かを選択することはまだ当分続くと思われれます。共同利用施設の利用者の裾野を広げるた

めにリモート実験の重要性が以前から指摘されてきました。パンデミックのためとはいえ、Elettra 全体としてリモート測定導入に積極的に動いたことは意義のある改革だったと思います。时期的にも走り始めた Elettra2.0 アップグレードでのリモート実験の指針を定めるよい経験になったのではないかと思います。気になることはユーザー側の真剣度が感じられなかったリモート実験もあったこと。これからもユーザーのリモート実験を積極的に行うかどうかは、この期間になされたリモート実験の論文発表の傾向を見ないと判断できないでしょう。

**賛助会員****シエンタオミクロン株式会社**

住所: 〒140-0013 東京都品川区南大井6-17-10 大森レインボービル5F

連絡先: Tel: 03-6404-9133 Fax: 03-6404-9134 E-mail: info-JP@ScientaOmicron.com

URL: <http://scientaomicron.co.jp>

営業内容: 「表面・ナノ評価技術を通して科学の進歩と産業の発展に貢献する」という理念に基づき、皆様のご要望にお応えするための高性能光電子アナライザー、UHV-SPM、各種成膜コンポーネントを中心とした装置開発、高い技術力と迅速な技術サービスを提供いたします。

**ツジ電子株式会社**

住所: 〒300-0013 茨城県土浦市神立町3739

連絡先: Tel: 029-832-3031 Fax: 029-832-2662 E-mail: info2@tsuji-denshi.co.jp

URL: <http://www.tsujicon.jp>

営業内容: ステッピングモータのコントローラを始め、エレクトロニクスを駆使して、より良い実験環境構築のお手伝いをさせていただいております。過去の図面はすべて保存されており、メンテナンスも迅速に対応いたします。

**株式会社 トヤマ**

住所: 〒258-0112 神奈川県足柄上郡山北町岸3816-1

連絡先: Tel: 0465-79-1411 Fax: 0465-79-1412 E-mail: salesdept@toyama-jp.com

URL: <http://www.toyama-jp.com>

営業内容: 創業以来60年余を研究者の為の研究開発用装置の設計製作に尽力。研究者のアイデアを次々と確かなカタチに創り上げて参りました。平成27年4月1日に“モノづくりの殿堂”として新本社兼工場を山北町にオープン。益々頑張ります！

**株式会社 ユニソク**

住所: 〒573-0131 大阪府枚方市春日野2丁目4番3号

連絡先: Tel: 072-858-6456 Fax: 072-859-5655 E-mail: info@unisoku.co.jp

URL: <http://www.unisoku.co.jp>

営業内容: 当社は創業以来一貫して高速分光測定装置や走査型プローブ顕微鏡等、先端的な測定機器の開発、製品化、販売を行ってきました。その技術は大学、研究機関及び民間企業の研究者様から高い評価を得ております。

**賛助会員****ラドデバイス株式会社**

住 所：〒192-0071 八王子市八日町8-1 ビュータワー八王子3F

連絡先：Tel:042-622-8818 Fax: 042-622-8819 E-mail: sales@rad-dvc.co.jp

URL：http://www.rad-dvc.co.jp

営業内容：光学デバイスを軸に、研究・開発フィールドのニーズにマッチするユニーク且つ優れた海外製品をお届けする輸入商社です。製品に加え、校正・測定、カスタマイズ等のサービスを提供いたします。

研究・開発フィールドのニーズにマッチするユニーク且つ優れた海外製品をお届けする輸入商社です。製品に加え、校正・測定、カスタマイズ等のサービスを提供いたします。

**ロックゲート株式会社**

住 所：〒116-0013 東京都荒川区西日暮里1-61-23

連絡先：Tel:03-5805-8411 Fax: 03-5805-8431 E-mail: info@rockgateco.com

URL：http://www.rockgateco.com

営業内容：低温・磁場関係の技術がベースになっている会社で、以下の製品の取り扱いがある。ヘリウムフロー式クライオスタット、冷凍機、無冷媒希釈冷凍機、AC抵抗ブリッジ、引抜き式磁化測定装置、低温/磁場用ピエゾポジショナー・ローテーター、STM・CFM・AFM・SNOM、ラマンイメージングシステム、微小磁場測定装置、など。