

## 第7回特定放射光施設BLsアップグレード検討ワークショップ報告

特定放射光施設ユーザー協同体 (SpRUC)

国立研究開発法人物質・材料研究機構 マテリアル基盤研究センター 永村直佳

熊本大学 理学部 理学科 物理学コース

水牧仁一朗

兵庫県立大学 理学部 光物性学分野

田中義人

### 1. 概要

第7回特定放射光施設BLsアップグレード検討ワークショップが、2025年3月1日(土)・2日(日)に秋葉原UDXギャラリーNEXTにおける講演とZoomを利用したオンライン配信にて開催されました。本ワークショップ(WS)は、昨年度にSPRUC第6回BLsアップグレード検討ワークショップとして開催していたものが、SPring-8ユーザー協同体(SPURC)とNanoTerasuユーザー共同体(NTUC)が統合した新体制「特定放射光施設(SPring-8/SACLA/NanoTerasu)ユーザー協同体(SpRUC)」下で継承・発展したもので、両ユーザーコミュニティ融合後初のイベントとなりました。本WSの目的は、(1)旧SPRUC体制で行われてきた、これまでのWSやSPring-8シンポジウムの議論を踏まえた、それ以降の技術開発動向やビームライン(BL)アップグレードの具体的なプラン及び検討事項の共有、(2)SPring-8-IIに向けた今後の継続的なBLアップグレードについての議論、(3)NanoTerasuの整備状況の共有、(4)SPring-8-IIとNanoTerasuの相互利用や戦略的活用に関する方策についての議論、と

バラエティに富んだ内容となっています。

本WSには、204名(現地:61名、オンライン:143名)が参加しました。東京マラソンも開催された週末でNanoTerasuの共用BL利用開始2日前という多忙な時期にも関わらず、多くのユーザー・施設関係者が参加し、対面では深く白熱した議論が繰り広げられました。

### 2. セッション1 オープニング

オープニングセッションでは、藤原明比古SpRUC会長(写真1)より挨拶がありました。主催者として、SpRUC立ち上げの経緯、活動の方向性、新しくなった本WSの役割および概要、目標を説明されました。

続いて、JASRI 雨宮慶幸理事長(写真2)より挨拶が行われました。本WSの立ち位置は時代に合わせて変遷しつつも、引き続き施設とユーザーの良好な連携を促進する役割への期待を述べられました。また、3月3日からのNanoTerasu共用BL利用開始と4本目の共用BL整備予定についても言及がありました。



写真1  
SpRUC  
藤原明比古会長  
(関西学院大学)



写真2  
JASRI  
雨宮慶幸理事長



写真3  
文部科学省科学技術・学術政策局研究環境課  
野田浩絵課長



写真4  
JASRI  
坂田修身常務理事



写真5  
JASRI 藪内俊毅氏

次に、文部科学省科学技術・学術政策局研究環境課の野田浩絵課長（写真3）から来賓挨拶をいただきました。SpRUC設立への祝辞とともに、産学ともに新たな利用分野の呼び込みが重要であり、施設のポテンシャルを引き出すためには、ユーザーによる活発な議論が重要であるとのことをご意見をいただきました。SPring-8、SACLA、NanoTerasuの3施設の高度化とユーザーの成果の好循環への期待についても述べられました。

続いて、JASRI坂田修身常務理事（写真4）よりSPring-8の近況サマリーについて報告がありました。2024年度～2028年度のSPring-8-II整備に対する予算措置が進んでおり、SPring-8-IIに向けた加速器技術開発をはじめ、超高安定分光光学系や超高エネルギー光学系の導入などによるBL機関部の高性能化といった取り組みが紹介されました。また、ネットワークや制御システムの高度化、データセンター運用などの情報技術推進、利用制度の改正といったソフトインフラ整備について報告されました。ポートフォリオを意識したBL再編を進め、各ビームラインの大規模改修・高効率化により、産学連携の推進とユーザー目線での利用しやすさの追求を目指すことを説明されました。

本セッションの最後には、JASRI藪内俊毅氏（写真5）よりSACLAの近況サマリーについて報告がありました。まずはX線自由電子レーザーの光源特性とその活用事例から解説があり、今後の方向性として、テーラード光源の実現や有力な利用展開案について説明がありました。研修会やUsers' Meetingの開催を通して、利用者コミュニティと

施設の連携強化やコミュニティ拡大に取り組んでいることが報告されました。

### 3. セッション2 アップグレードを完了したBLに関する現場と利用者からのフィードバック

セッション2として、昨年度アップグレードを完了したBLに関する現場と利用者からのフィードバックが行われました。現在、BL04B2とBL39XUの2つのBLのアップグレードが完了しており、ユーザー利用に供されています。一方BL40XUはアップグレードを行なっている段階で、2025年10月より共用開始が予定されています。

はじめに、JASRI山田大貴氏（写真6）からBL04B2のアップグレードについて、特に、新規導入されたハイスループットPDF（二体分布関数）測定装置が紹介されました。本装置を用いることで、従来と比べて最大100倍の高速化に成功しており、この高速化は新型二次元CdTe検出器による高速・高統計測定システムの実現やサンプルの自動交換によるものとの説明がありました。次に東京大学・協原徹氏（写真7）より、このシステムを用いた研究成果を紹介いただきました。ゼオライトの高機能化を行うためにはゼオライトの生成機構を原子レベルで理解することが必要不可欠ですが、その原子レベルでの構造解析をBL04B2で多くの試料について迅速に行うことで生成機構を明らかにすることができ、高機能化へ寄与する研究を報告いただきました。本研究を通してBL04B2の新システムの威力についてアピールされました。

次にJASRI河村直己氏（写真8）からBL39XUの



写真6  
JASRI 山田大貴氏



写真7  
東京大学 協原徹氏



写真8  
JASRI 河村直己氏



写真9  
大阪公立大学  
三村功次郎氏



写真10  
JASRI 関口博史氏

アップグレード完了後の状況、特に実験ハッチ2のX線発光分光装置について紹介がありました。測定時の微小試料に集光したX線を照射する位置決め  
の困難さを蛍光マッピングすることで克服し、スムーズな測定を実現したことが紹介されました。また、ユーザー利用においては、X線発光分光装置の利用が大半を占めるユーザー利用状況が示されました。その後、大阪公立大学・三村功次郎氏(写真9)より、上記の位置決め  
のスムーズさによる実験の効率化や共鳴光電子測定との同一場所での測定が可能になったことについてご紹介いただきました。また入射偏光を制御することにより、4f希土類元素の固体内での電子基底状態が詳細に観測できることを説明いただきました。

最後に、JASRI 関口博史氏(写真10)よりBL40XUのアップグレードの現状が説明されました。アップグレード後は小角散乱専用ビームラインへと変更されます。光学系の主な変更点は、IDをSPring-8-II対応の標準型に入れ替えたことと、準単色と単色の切り替えが可能となったことです。測定系においては、実験ハッチ1にウォルターミラーを導入して、マイクロビーム集光を可能としたことと、検出器ブースを新設して、カメラ長10 mを確保したことが報告されました。これらの変更により、より小角のデータを取得可能となり詳細な議論が可能となることの期待が示されました。

#### 4. セッション3 SPring-8-IIにおけるBLポートフォリオの検討

セッション3では、SPring-8-IIを念頭に置いた各

BLのポートフォリオの提示と、それに基づく総合討論が行われ、参加者の間で活発な議論が交わされました。最後に本WSのSPring-8・SACLAセッションを俯瞰した初日サマリーがありました。

はじめに、理研/JASRI矢橋牧名グループディレクター(写真11)より、全体概要として中長期展望の視点で、SPring-8-IIへのアップグレードスケジュール、世界最高性能と省エネサステナブル化の両立を目指すというコアコンセプト、日本全体としての最適化を意識したビームラインポートフォリオとBL再編の道筋が提示されました。利用者からの積極的なフィードバック、ポストSPring-8-IIも見据えた大胆な提案を歓迎するとのことでした。また、前倒して行っているBL設備更新に伴う一部機能の利用制限の可能性についても言及がありました。

次にJASRI登野健介氏(写真12)より、分光・軟X線BL群のポートフォリオについての解説がなされました。「X線吸収・発光分光」「分光イメージング・蛍光分析」「光電子分光・光電子イメージング」をX線分光手法の三本柱として、これらについて、NanoTerasuも含めた装置群の最適化を意識しつつ硬X線と軟X線を相互利用できる分析基盤整備や、先端計測と汎用計測の両立、不足領域(クイックXAFS・テングダーX線利用・複合環境計測)の強化といった項目が基本思想として提示されました。具体的に、現行の軟X線BL(07SU, 17SU, 25SU, 27SUを2本に統合へ)、汎用XAFS BL(01B1, 14B2)、分光ID BL(37XU, 39XU)、赤外BL(43IRを共用終了へ)、の再編・高度化・統廃合について、仕様とスケジュールの詳細な言及がありました。



写真11  
理研/JASRI  
矢橋牧名  
グループディレクター



写真12  
JASRI 登野健介氏



写真13  
理研 玉作賢治氏



写真14  
理研  
石川哲也センター長

続いて、理研・玉作賢治氏（写真13）より、高エネルギー・回折BL群のポートフォリオについての解説がなされました。現行の回折・散乱BL群（02B1, 02B2, 04B1, 04B2, 13XU, 40XU, 46XU, 05XU, 15XU）の具体的な再編・高度化の状況について説明がありました。また、SPring-8-IIの新光源活用において、高エネルギーピンクビームやダンピングウィグラーの導入による高エネルギー領域の高フラックス化の検討について言及がありました。

総合討論と質疑応答では、狙うべきサイエンスと評価軸、利用開始「Day1」に対してさらに次を見据えた本格運用開始「Day2」の見通し、長直線部に導入予定のダンピングウィグラーの用途、共用終了する43IRの代替としてUVSORへの機能移転やレーザー光源を利用したナノスケール赤外分光システムの提供、構造生物系における産業利用枠、などの検討事項が確認されました。

また、軟X線BLの在り方について、テnder領域も含めた新たなサイエンスの開拓や、需要と供給のバランス、NanoTerasuとの連携について議論が交わされました。特にXAFSは先端計測も汎用計測もどちらも現状の需要が高いだけでなくポテンシャルユーザーも多く、SPring-8だけでもNanoTerasuだけでも需要には答えられないが、さらなる利用拡大のチャンスでもあるという認識が共有されました。

藤原明比古SpRUC会長より、同一施設内で同じ試料を分析できる価値の重要性が指摘され、JASRI山田大貴氏から、回折・散乱BL群については試料周りの共通化が進んでいるとの回答がありました。

JASRI池本夕佳氏と量子科学技術研究開発機構（QST）高橋正光NanoTerasuセンター長より、2027年後半から1年間にわたるSPring-8の完全停止期間において、他施設エンドステーションの代替利用希望や、そもそも代替可能な必要スペックかどうか、どのような情報提供が必要か、等の、施設サイドへの詳細な要望を利用者サイドでまとめてもらえるとよい、との意見が提示されました。これに対しJASRI雨宮慶幸理事長から、放射光学会が、そのような利用者サイドや産業利用の要望を先導してまとめて欲しい、との指摘がありました。

## 5. 初日サマリー

初日サマリーでは、理研放射光科学研究センター・石川哲也センター長（写真14）より、BLアップグレードは順調で、ネクストステージとして、ロボティクスによる超効率化、データ駆動サイエンス、エンドステーション間切り替えの簡易化、海外に倣った課題選定の常時化を考えていく段階であるとのこと意見をいただきました。また、放射光の利用者コミュニティが一体となって議論を進めるのは望ましいが、常に新規利用者に開かれた組織であるべき、第3世代から第4世代への変化が大きくないように感じられるので、若い世代へ跳躍を期待する、とのコメントもいただきました。質疑応答では、第4世代の使い方が具現化されないと、第4世代の新たなサイエンスも生まれてこないのではないかと、という指摘があり、石川センター長からは、第4世代の特徴として、コヒーレンスのみならずそれを超えるサイエンスが出てきて欲しいとのコメント



写真15  
SpRUC 有馬孝尚副会長  
(東京大学)



写真16  
QST 堀場弘司氏



写真17  
JASRI 大石泰生氏

がありました。また、テンドー領域のサイエンスは NanoTerasu が担うべきなのか、との質問に対して、石川センター長は、新しい施設である NanoTerasu は、SPring-8 の未踏領域を狙うべきであり、それがテンドー領域である、との見方を示されました。

## 6. セッション4 NanoTerasu 共用ビームラインについて

2 日目は NanoTerasu セッションであり、セッション4の冒頭で有馬孝尚 SpRUC 副会長（写真15）より、挨拶および翌日より本格共用が開始する NanoTerasu の状況説明と、本セッションの趣旨説明がなされました。

まず、QST 堀場弘司氏（写真16）より NanoTerasu 共用ビームラインの概要について説明がなされました。第一期共用ビームラインである BL02U（軟 X 線超高分解能共鳴非弾性散乱）、BL06U（軟 X 線ナノ光電子分光）、および BL13U（軟 X 線ナノ吸収分光）の特徴が示され、それぞれ順調に立ち上がり、翌日からの本格共用開始に臨んでいることが報告されました。また、第二期として、X 線回折ビームライン増設が決定しているとの説明がありました。

続いて、JASRI 大石泰生氏（写真17）より NanoTerasu の共用利用支援体制について説明がなされました。共用研究課題申請システムおよび課題申請体制を SPring-8/SACLA と共通のプラットフォームにて整備することで高い運用性を確保したこと、ならびに、新たに仙台に事業推進室が設置され、共同利用者支援および調査研究・手法開発を行う体制が整備されたことが報告されました。

## 7. セッション5 NanoTerasu 共用に向けて

セッション5では、NanoTerasu の共用に向けて、他の様々な放射光施設を活用してきた NanoTerasu ポテンシャルユーザーからの研究事例紹介と NanoTerasu 利用研究展望の提案、施設サイドからの現状報告と整備計画の説明、本日の NanoTerasu セッションに関する総合討論が行われました。

最初に、QST 石井賢司氏（写真18）より、共鳴非弾性散乱分光（RIXS）手法についての解説がなされました。国内設備の歴史、銅酸化物系を中心とした電子状態解析事例、海外における磁性材料での磁気励起や電極活物質での酸化還元反応などの分析研究事例を紹介いただきました。SPring-8-II では硬 X 線 RIXS、NanoTerasu では軟 X 線 RIXS という棲み分けがされているという利用者としての認識が示されました。今後の NanoTerasu への具体的な要望として、オペランド計測への対応、試料の方位角度や温度といった調整パラメータの範囲拡大、解析補助、2D RIXS の豊富なデータからの情報抽出、競争率の緩和、共用 BL での迅速汎用 RIXS 導入などを挙げられました。

次に、東京大学・小林正起氏（写真19）より、角度分解光電子分光（ARPES）手法についての解説がなされました。軟 X 線をプローブとした ARPES における重要キーワードとして「ナノ集光」「高分解能」「2D→3D」「デバイス」を挙げ、検出深さが大きい、バルクバンドが観測できる、共鳴により  $d \cdot f$  軌道の情報が得やすい、などの軟 X 線の利点を活かした、スピントロニクス素子を構成する量子マテリアル薄膜の電子状態分析事例を紹介いた



写真18  
QST 石井賢司氏



写真19  
東京大学 小林正起氏



写真20  
広島大学 木村昭夫氏



写真21  
QST  
高橋正光センター長

いただきました。NanoTerasu 利用への展望として、ナノ集光・オペランド計測・時間分解計測の重要性、高効率検出技術による分解能改善への期待について言及がありました。

次に、広島大学・木村昭夫氏（写真20）より、X線吸収・磁気円二色性（XMCD）手法についての解説がなされました。SPring-8における磁性トポロジカル絶縁体の解析事例や、Diamond Light Source（英）など海外の放射光施設における磁性多層膜構造や交代磁性体などの軟X線XMCDを活用した最先端研究事例を紹介いただきました。NanoTerasuではナノ集光による高い空間分解能を活かしたイメージング計測が可能であるという観点から、磁気ダイナミクスのみならずスピントロニクス材料におけるスピン流の交流成分検出など、時間構造も意識した研究発展に期待を寄せられました。また、テンダー領域の強化によるカバーできる元素の範囲が広がることへの期待も述べられました。

最後に、QST/NanoTerasu 高橋正光センター長（写真21）より、NanoTerasuの現状と今後について説明がありました。まず現状の加速器性能・光源特性・第1期整備BL概要が紹介されました。共用促進法適用施設としての役割およびユーザーニーズを踏まえて、現行の第1期整備BLに加え、高ユーザーニーズ共用BL、応用拡大共用BL、先端利用共用BL、R&D BL（テンダーX線の光学系・光学素子開発を含む）にグループ分けし、それぞれの想定BLラインナップと中長期整備計画が提案されました。高ユーザーニーズ共用BLのうち、X線回折BLについては2024年度内に予算措置が進み、ビームラインの増設作業が始まっているとの報告がありました。

引き続き総合討論が行われ、各施設関係者と利用者で活発な議論が展開されました。理研・初井宇記氏からNanoTerasuのネットワークがクローズドで不便であり、データを外部に高速転送できるようにしてほしいとの要望があり、QST/NanoTerasu 高橋センター長からは、セキュリティを重要視しているが、東北大学のスパコンとの連携や、外部からのアクセステストも慎重に実施しており、利便性を改善する方向に技術開発を進めているとの回答があり

ました。

JASRI 雨宮理事長からは、テンダーX線領域に関するコミュニティ内のコンセンサスが必要であるとの指摘がありました。これに関しては多くの意見が挙げられ、便宜上意図的に幅広いエネルギーをテンダー領域と呼んでいることはあるが、軟X線の上の方のエネルギーか、硬X線の下の方のエネルギーか、人によって認識が異なるとの声が多かったようです。利用者としては、軟X線～テンダー領域～硬X線がシームレスに使えることが理想だが、光源性能的に難しいので、NanoTerasuによる軟X線からエネルギーをあげていく技術開発とSPring-8による硬X線からエネルギーを下げていく技術開発の、両輪によるオーバーラップが重要ではないか、との意見が寄せられました。

熊本大学・水牧仁一朗氏から、需要が高そうな汎用RIXSの導入計画はないのか、との質問があり、QST/NanoTerasu 高橋センター長からは、汎用RIXSが設置してあるコアリションビームラインが2年後から一部共用開始する予定があるとの言及がありました。

他にも、軟X線の画像検出器開発、R&D BLにおける開発体制、1年にわたる試験共用の結果を公開する研究会・報告書の公開予定、共用BLにおけるコヒーレンス、運動量イメージングへの需要、強磁性共鳴の活用における時間構造の必要性、既存ユーザーを対象にしたニーズ調査に加えてポテンシャルユーザーを対象にした新たなニーズ発掘の重要性、といった幅広い議題が挙がりました。

## 8. クロージング

最後のクロージングセッションでは、JASRI 雨宮理事長から、閉会の挨拶をいただきました。SpRUC新体制で本WSや秋のシンポジウムの準備体制も変化し、新しく変化していくことへの期待について述べられました。また、放射光コミュニティ内では世代の定義は光源性能でコンセンサスが取れているが、第4世代（マルチバンドアクロマットラティス採用）の放射光施設が実現したことで、第4世代によって何ができるのか社会的に問われる機会が増えることは確実で、各人がそれを意識して明確化して

おくことが重要、とのご指摘がありました。

以上、新体制として、新たな場所で、例年より長い丸二日にわたるWS、と初めてつくしでしたが、施設サイドと利用者サイドが闊達に意見を交わせる有意義な場であったと思います。

会議のプログラムの詳細は下記Webページにて公開されています。

<http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2025/250301/>

**永村 直佳 NAGAMURA Naoka**

(国研) 物資・材料研究機構

マテリアル基盤研究センター 光電子分光グループ

〒305-0003 茨城県つくば市桜3-13

TEL : 0298-59-2627

e-mail : NAGAMURA.Naoka@nims.go.jp

**水牧 仁一朗 MIZUMAKI Jinichiro**

熊本大学

理学部理学科物理学コース

〒860-8555 熊本県中央区黒髪2-39-1

TEL : 096-342-3066 (709)

e-mail : mizumaki@kumamoto-u.ac.jp

**田中 義人 TANAKA Yoshihito**

兵庫県立大学

理学部光物性分野

〒678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町3-2-1

TEL : 0791-58-0139

e-mail : tanaka@sci.u-hyogo.ac.jp