

Online ISSN 2760-3245  
SPring-8 Document D2026-001

# SPring-8 SACLA NanoTerasu

**INFORMATION**

利用者情報

**Vol.2 No.1**  
**(MARCH 2026)**





# SPring-8/SACLA/NanoTerasu INFORMATION

利用者情報 Vol.2 No.1 MARCH 2026

## 目次

## CONTENTS

### 1. 最近の研究から／FROM LATEST RESEARCH

シリアルフェムト秒結晶構造解析におけるテープ駆動型装置開発と時分割実験への応用  
Development of a Compact Tape-Driven Sample Delivery System for Serial Femtosecond  
Crystallography and Its Application to Time-Resolved Experiments

東北大学 多元物質科学研究所  
Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University  
理化学研究所 放射光科学研究センター SACLA ビームライン基盤グループ  
SACLA Beamline Research and Development Group, RIKEN SPring-8 Center  
(公財) 高輝度光科学研究センター 回折・散乱推進室  
Diffraction and Scattering Division, Japan Synchrotron Radiation Research Institute  
(公財) 高輝度光科学研究センター 分光・イメージング推進室／XFEL 利用研究推進室  
Spectroscopy and Imaging Division/XFEL Utilization Division, Japan Synchrotron Radiation Research Institute

南後 恵理子  
NANGO Eriko  
姜 正敏  
KANG Jungmin  
Luo Fangjia  
LUO Fangjia  
登野 健介  
TONO Kensuke ..... 1

高圧下での蛍光X線ホログラフィー測定 の確立  
X-ray fluorescence holography under high-pressure conditions

愛媛大学 PIAS 地球深部ダイナミクス研究センター  
Geodynamics Research Center, PIAS, Ehime University

名古屋工業大学 物理工学類  
Department of Physical Science and Engineering, Nagoya Institute of Technology  
広島市立大学大学院 情報科学研究科  
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

石松 直樹  
ISHIMATSU Naoki  
战 鑫慧  
ZHAN Xinhui  
木村 耕司  
KIMURA Koji  
八方 直久  
HAPPO Naohisa ..... 5

### 2. ビームライン・加速器／BEAMLINES ACCELERATORS

利用系グループ活動報告  
JASRI 分光・イメージング推進室 光電子分光計測チーム  
— Activity Reports —  
Photoelectron Spectroscopy Team, Spectroscopy and Imaging Division, JASRI

(公財) 高輝度光科学研究センター 分光・イメージング推進室  
Spectroscopy and Imaging Division, Japan Synchrotron Radiation Research Institute

安野 聡  
YASUNO Satoshi  
保井 晃  
YASUI Akira  
高木 康多  
TAKAGI Yasumasa  
Seo Okkyun  
SEO Okkyun  
唐 佳藝  
TANG Jiayi ..... 11

産学総合支援室 総合支援チームの取り組み  
Initiatives of the General Support Team, General Support Division

(公財) 高輝度光科学研究センター 産学総合支援室  
General Support Division, Japan Synchrotron Radiation Research Institute

桑本 滋生  
KUWAMOTO Shigeo ..... 21

### 3. 研究会等報告／WORKSHOP AND COMMITTEE REPORT

Conference Report of the 12th Annual Ambient Pressure X-ray Photoelectron Spectroscopy Workshop (AP-XPS 2025)

(公財) 高輝度光科学研究センター 分光・イメージング推進室  
Spectroscopy and Imaging Division, Japan Synchrotron Radiation Research Institute

Seo Okkyun  
SEO Okkyun ..... 25

第11回大型実験施設とスーパーコンピュータとの連携利用シンポジウム報告  
Report on the 11th Symposium for Cooperative Use of Quantum Beam Facilities and Super Computer

(公財) 高輝度光科学研究センター 産学総合支援室  
General Support Division, Japan Synchrotron Radiation Research Institute

佐藤 眞直  
SATO Masugu ..... 28

The 2025 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2025) 報告  
Report on International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2025 (Pacifichem 2025)

(公財) 高輝度光科学研究センター 回折・散乱推進室  
Diffraction and Scattering Division, Japan Synchrotron Radiation Research Institute

赤田 圭史  
AKADA Keishi ..... 33

The 19th Conference of Asian Crystallographic Association 2025 (AsCA2025) 報告  
Report on The 19th Conference of the Asian Crystallographic Association 2025 (AsCA 2025)

(公財) 高輝度光科学研究センター 回折・散乱推進室  
Diffraction and Scattering Division, Japan Synchrotron Radiation Research Institute

佐々木 俊之  
SASAKI Toshiyuki  
水野 伸宏  
MIZUNO Nobuhiro ..... 36

4. SPring-8/SACLA/NanoTerasu 通信 / SPring-8/SACLA/NanoTerasu COMMUNICATIONS

2026A 期 SACLA 利用研究課題の採択について

The SACLA Public Proposals Approved for Beamtime in 2026A Research Term

登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部  
Registered Institution for Facilities Use Promotion, User Administration Division, JASRI ..... 43

専用ビームラインにおける評価・審査の結果について

Review Results of Contract Beamlines

登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部  
Registered Institution for Facilities Use Promotion, User Administration Division, JASRI ..... 45

2026A 期 採択大学院生提案型課題 (長期型) の紹介

Brief Description of Long-term Graduate Student Proposals Approved for 2026A

登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部  
Registered Institution for Facilities Use Promotion, User Administration Division, JASRI ..... 52

専用施設の新規設置について

Approval of a New Contract Beamline Installation

登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部  
Registered Institution for Facilities Use Promotion, User Administration Division, JASRI ..... 53

5. 告知版 / ANNOUNCEMENTS

今後の課題募集

List of upcoming proposals ..... 54

今後のイベント一覧

List of upcoming events ..... 55

# シリアルフェムト秒結晶構造解析におけるテープ駆動型装置開発と 時分割実験への応用

東北大学 多元物質科学研究所

国際放射光イノベーション・スマート研究センター 南 後 恵 理 子

(国研) 理化学研究所 放射光科学研究センター 姜 正 敏

(公財) 高輝度光科学研究センター Luo Fangjia、登 野 健 介

## Abstract

シリアルフェムト秒結晶構造解析では、無数の微結晶をX線自由電子レーザー照射域に送る方式が用いられ、試料消費量や時分割実験の観点で試料導入法が課題であった。我々は液滴による試料導入とテープ搬送を組み合わせた Compact Tape-Driven Sample Delivery System (CoT) を開発し、試料消費量を削減すると共に結晶を含む液滴を安定にX線照射域まで搬送することに成功した。また二液混合型時分割実験を行い、リゾチームへの阻害剤結合過程を観察した。本手法は、光感受性タンパク質のみならず、酵素や受容体など幅広いタンパク質の動的構造解析への応用が期待される。

## 1. はじめに

X線自由電子レーザー (XFEL) の登場は、タンパク質結晶構造解析を大きく変えたといっても過言ではないだろう。従来は、基本的に単結晶を用いて回折させながら回折像を取得していたが、XFELを用いたシリアルフェムト秒結晶構造解析 (SFX) では、複数の微結晶から回折像を取得して三次元構造を得る。複数の微結晶を使用する理由は、高強度のX線レーザーパルスにより結晶が損傷するため、測定には常に損傷を受けていない“新鮮”な結晶試料を供給する必要がある。SFX実験では、この試料導入方法が実験の鍵を握っており、ユーザーが最も苦勞する部分でもある。

今回、我々はSFXのためのテープ駆動型の試料導入装置を開発した<sup>[1]</sup>。更に酵素に阻害剤を添加することで、活性部位に阻害剤が結合していく様子を捉えることにも成功した。本稿では本装置について紹介し、時分割実験への応用についても紹介する。

## 2. SFX実験における試料導入法とその課題

最初のSFX実験で使用された方法は、液体ジェット法である<sup>[2]</sup>。この方法は微結晶を緩衝液に高い濃度で懸濁し ( $10^{7-8}$  個/mL)、50-100  $\mu\text{m}$  程度の直径

のガラスキャピラリーから高流速で流す方式である。試料や結晶化条件に依存するが、このような高濃度の結晶懸濁液を調製するには、1 mL 当たり 10~20 mg 程度のタンパク質を必要とする。数  $\mu\text{m}$  に集光され、高い繰り返し周波数で照射される XFEL に効率良く結晶が当たるようにするために最も容易な方法として用いられてきた。しかし、細いノズルから連続して流すためには、数 10~数 100  $\mu\text{L}/\text{min}$  といった流速が必要である。測定時間は結晶が XFEL に当たる率 (ヒット率) に依存し、ヒット率が高すぎても回折点が重なり指数付けが困難になるため、最大でも 60%、概ね 20~30% で測定される。結晶の空間群にもよるが、構造解析には概ね 1 万枚の回折像を必要とするため、XFEL が 30 Hz の場合は 20 分程度で 1 データセットを取得できる。測定試料量を減らすためにシースガスによって溶液の流れを絞ることでより流速を抑えることも行われているが、試料消費量が数 100 mg ~ 数 g にも及ぶ。従来の X 線結晶構造解析で用いられるタンパク質の量は概ね数 mg であることを思うと、タンパク質結晶をこのようなスケールで調製することはなく、実験実施が容易ではない。また、連続的な試料導入方法では、パルス間の XFEL が照射されない時間でも (SACLA

では典型的に33 ms)、試料は流れ続けるため、その間の試料は浪費されることになる。

次に登場した試料輸送方法は、膜タンパク質の結晶化で用いられる脂質（モノオレイン）<sup>[3]</sup>やグリースなどの高粘度媒体<sup>[4]</sup>を用いた方法である。この場合は、数100 nL/min程度の低流速でも試料を連続的に流すことが可能であり、試料消費量を大幅に抑えることができる。一方で、媒体を結晶に添加することで回折能に影響を与えることもあること、バックグラウンドノイズの高さ、光励起による時分割実験では、媒体の光透過性の低さが励起効率を低下させるなどの課題があった。

そんな中で次にSACLAで開発されたのは、真船らによる液滴インジェクターであった<sup>[5]</sup>。緩衝液に懸濁させた微結晶をピエゾ素子によるpL単位の液滴として吐出し、XFELに同期させて「不連続」に試料を導入することで試料消費量を激減させることに成功した。しかし、この方法にも弱点はあった。例えば、高速で吐出される微小の液滴に集光したXFELを照射するのは、結晶サイズのばらつきや結晶が沈殿することによる溶液中の結晶密度などに左右され、容易ではなかった。また、液滴は数10 m/sで移動するため、ポンプ光による励起を行った場合に遅延時間を長くすることは難しく、光励起から数 $\mu$ s程度の反応経過しか追うことができなかった。タンパク質内部で起こる構造変化は $\mu$ s～msのタイムスケールで顕著である場合も多く、遅延時間が限られるのは大きな課題であった。

### 3. テープ駆動型装置の開発

2017年、液滴による試料吐出の欠点を克服する新しい方法がFullerらにより報告された<sup>[6]</sup>。これは液滴をテープ上に吐出してXFEL照射領域まで送る方法で、一定速度で安定して試料を搬送することができる。この時に採用された液滴吐出は、音響液滴射出（Acoustic Droplet Ejection, ADE）で、試料に非接触で微量の液滴を生み出す方式であった。今までの結晶を含む溶液の吐出は、キャピラリーなど細い流路を用いてきた。このような細いノズルから結晶懸濁液を吐出する際、結晶が密集してノズル付近で詰まる問題が起りやすかったことから、ノズ

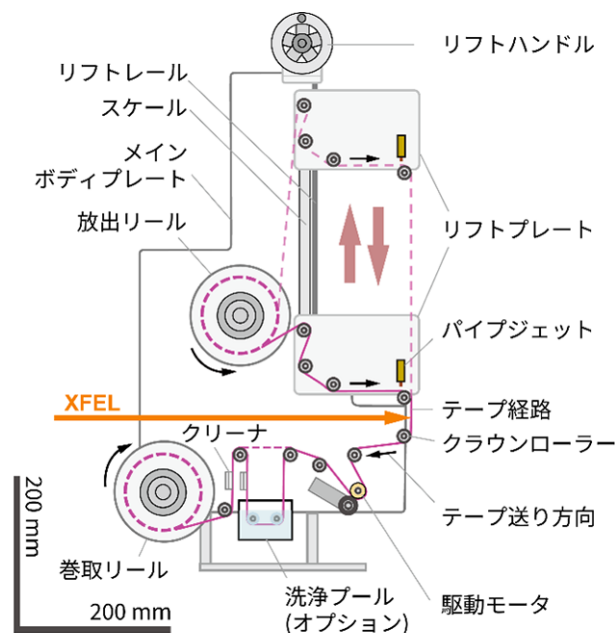


図1 Compact Tape-Driven Sample Delivery System (CoT) の模式図

ルを用いず非接触で液滴を吐出できるADEは画期的である。しかし、装置自体が大きく、非常に高額であるという課題もある。また、彼らの方法ではXFELが液滴中の結晶に照射される際、テープに対して平行に照射される。これは高強度のXFELがテープに当たるとテープを損傷するため、ベルトコンベアとして繰り返しテープを使用するためにこのような照射方式が用いられた。しかしながら、1) 回折像の半分程度にテープからの高いバックグラウンドノイズが生じる、2) 液滴がテープ上で盛り上がっていないと、テープに当たることなくXFELを照射できないため、テープの撥水処理が不可欠であった。動くテープの上にある数10 $\mu$ mの高さの液滴にXFELを照射するのは容易ではない。また、従来の試料導入装置（インジェクター）に比べて、ベルトコンベア装置は大型であり、気軽に使えるものとは言い難かった。

そこで我々は異なるXFEL照射方式と液滴吐出を取り入れた新たなテープ駆動型試料導入装置（Compact Tape-Driven Sample Delivery System, CoT）を開発した（図1）。この装置では、XFELの照射はテープに対して垂直に行われる。平行に照射される場合に比べ、液滴の高さは不要であるため撥水処理は必要としない。その一方で照射後テープ

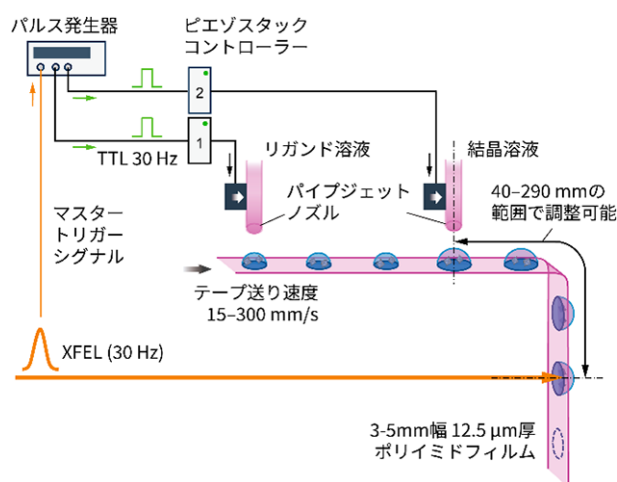


図2. CoTを用いた二液混合実験の模式図

にXFELによる穴が開くため、テープは一回の使用で回収されるというカセットテープ方式を採用している。テープは厚さ12.5 μm、幅3~5 mmのポリイミド製フィルムを用いる。これは、テープにかかる張力に耐えて安定に駆動しつつ、極力バックグラウンドノイズを低減させ、かつ、容易に入手し加工できる最も薄い厚さ（開発当時）である。また、液滴吐出はパイプジェットと呼ばれるインジェクターで、ピエゾ方式である。液滴吐出のタイミングをXFELパルスに同期させて、液滴を照射位置に搬送している。液滴の吐出量はノズル径や試料の粘性に依存し、一液滴当たり2~14 nL程度である。XFELが30 Hz、液滴が5 nLの場合、一時間当たりの量は540 μLとなり、液体ジェットに比べて試料消費量は10分の1以下となる。

時分割実験への応用としては、光励起によるポンププローブ型実験も可能である。従来の連続型試料導入では、試料が流れ落ちてしまうため可能な遅延時間の範囲が数10 fs~数10 ms程度に限られていた。しかし、CoTを用いた場合、図1のパイプジェット位置とXFELの照射位置の間にポンプ光レーザーを照射することで、秒スケールの長い遅延時間で測定することも可能である。これはテープ速度を落とすと共に、リフトプレートの位置を変えることにより、液滴吐出位置とXFEL照射位置の距離を変えることによって達成される。また、例えば基質と結晶など二種類の液滴を別々に吐出して重ね合わせるこ

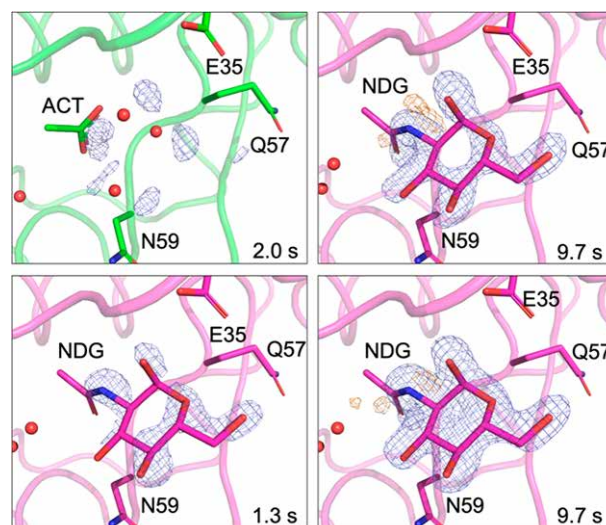


図3 リゾチームに結合する阻害剤の電子密度の変化  
リゾチームの活性部位構造の主鎖(線)を主に表示している。一部のアミノ酸残基の側鎖は棒モデルにて表示している。上段は3~5 μm結晶を用いた実験結果、下段は1 μm結晶を用いた結果。右下の数字はそれぞれ混合時間を意味する。2.0 s: 緑で描画されている図は、炭素原子(Cα)を繋いだ主鎖構造を意味する。赤は酸素原子、青は窒素原子を意味し、赤で表示した球は水分子である。青色のメッシュは差フーリエマップ( $F_o(\text{混合後}) - F_o(\text{混合前})$ )を表す(上二つは5σ、下二つは6σで描画)。ACTは酢酸イオン、E35、Q57、N59はアミノ酸残基(一文字表記)である。ピンク色で表示された図はピンク色が炭素原子を意味し、酸素原子と窒素原子はそれぞれ赤、青である。NDGは阻害剤を意味する。

とにより、低分子化合物の結合による反応開始も可能である。実際、我々はこの二液混合型実験を行い、CoTの実証を行った。

#### 4. 二液混合による阻害剤結合過程の観察

二種類の異なる液滴を吐出するため、図2のように二台の液滴インジェクターを設置した。二つの液滴は重ね合わさり、低分子化合物は結晶内部へと拡散する。今回、酵素であるニワトリ卵白由来のリゾチームの微結晶(1または3~5 μm)と、その阻害剤であるN-アセチルグルコサミンを用いて実験を行った。

その結果、混合時間と結晶サイズに応じて、活性部位に結合する阻害剤の占有率が変化することが観察された(図3、阻害剤上の電子密度図の明瞭さが占有率と連動する)。上段の結晶サイズが大きい場

合は、混合から2秒後において、阻害剤の電子密度は観察されなかったが、下段の小さな結晶の場合は1.3秒後でも阻害剤の電子密度が観察された。また、混合から9.7秒後は大きな結晶でも阻害剤の結合が観察されたが、結晶サイズが小さい方が高い占有率であった。これは、結晶内部への阻害剤の拡散が混合時間や結晶サイズに依存することを示しており、CoTの結晶溶液吐出タイミングやその搬送が正確に行われていることを実証することができた。

## 5. おわりに

二液混合による時分割SFXはマイクロ流路型デバイスを用いた方法が報告されており<sup>[7,8]</sup>、数10ミリ秒といった早い混合時間での観察が可能である一方、非常に試料消費量が多いことが課題となっている。本法による二液混合実験は数10～数100分の1に試料消費量を抑えることができる。本装置を用いた二液混合実験において可能な遅延時間は、前述のマイクロ流路型デバイスに比べると若干劣ることは否めない。現状ではテープ速度を最大限の300 mm/sにすると130 ms程度が計算値としては可能である。また、遅い方は、テープ搬送速度自体を遅くすることは可能であるが、遅すぎると隣接の液滴同士が重なるために、15 mm/sのテープ速度が限界で、概ね最長19.3 sまで伸ばすことが可能と予想される。

遅延時間の幅や、拡散効率の向上など課題もあるが、試料消費量の低減は大きな利点である。今まで時分割実験の多くは光感受性試料に限られてきたが、光感受性タンパク質はタンパク質全体の1%にも満たず、タンパク質動的構造解析の成功例は限定的であった。今後は酵素反応や受容体へのリガンド結合など様々なタンパク質の時分割実験への応用が可能であり、タンパク質が機能を発揮する際の動きや内部で起こる反応への理解や、それを踏まえた分子設計などが期待される。

## 参考文献

- [1] J. Kang, *et al.*: *J. Appl. Cryst.* in press
- [2] D. P. DePonte, *et al.*: *J. Phys. D Appl. Phys.* **41** (2008) 195505

- [3] U. Weierstall, *et al.*: *Nat. Commun.* **5** (2014) 3309
- [4] M. Sugahara *et al.*: *Nat. Methods* **12** (2015) 61
- [5] F. Mafune *et al.*: *Acta Cryst. D* **72** (2016) 520-523
- [6] F. D. Fuller, *et al.*: *Nat. Methods* **14** (2017) 443-449
- [7] J.R. Stagno, *et al.*: *Nature* **541** (2017) 242-246
- [8] Murakawa, T. *et al.*: *Nat. Commun.* **16** (2025) 11149

## 南後 恵理子 NANGO Eriko

東北大学 多元物質科学研究所／  
国際放射光イノベーション・スマート研究センター  
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1  
TEL : 022-217-5345  
e-mail : eriko.nango.c4@tohoku.ac.jp

## 姜 正敏 KANG Jungmin

(国研) 理化学研究所 放射光科学研究センター  
SACLAビームライン基盤グループ  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1丁目1-1  
TEL : 0791-58-0802  
e-mail : j.kang@spring8.or.jp

## Luo Fangjia

(公財) 高輝度光科学研究センター  
回折・散乱推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1丁目1-1  
TEL : 0791-58-0802  
e-mail : luo.fangjia@spring8.or.jp

## 登野 健介 TONO Kensuke

(公財) 高輝度光科学研究センター  
分光・イメージング推進室／XFEL利用研究推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1丁目1-1  
TEL : 0791-58-0833  
e-mail : tonok@spring8.or.jp

# 高圧下での蛍光X線ホログラフィー測定の実立

愛媛大学 PIAS 地球深部ダイナミクス研究センター

石 松 直 樹、Zhan Xinhui (战 鑫慧)

名古屋工業大学 物理工学類 木 村 耕 治

広島市立大学大学院 情報科学研究科 八 方 直 久

## Abstract

蛍光X線ホログラフィーは特定元素周りの3次元的な原子配置を可視化する構造解析手法である。本稿では大型放射光施設 SPring-8 の強力なX線、ダイヤモンドアンビルセルおよび「ヒメダイヤ」とも呼ばれるナノ多結晶ダイヤモンド (NPD) を組み合わせた測定システムを構築して蛍光X線ホログラフィーの高圧下測定に初めて成功した成果について報告する。我々はNPDからの回折X線をX線吸収フィルターで除去し、SrTiO<sub>3</sub>単結晶からのホログラフィー像を13.3 GPaの高圧まで明瞭に観測することができた。その結果、Sr周りの原子像再生と加圧による圧縮過程を見出した。この測定技術の実立により、圧力誘起の構造相転移の前駆現象の観測、原子間距離をコントロールした時のドーパ元素の挙動など、物質科学や材料科学の研究トピックへの応用が今後、期待される。

## 1. はじめに

蛍光X線ホログラフィー (X-ray fluorescence holography: XFH) は、結晶内の特定元素まわりの原子配列を可視化できる局所構造解析の手法である<sup>[1]</sup>。1996年に初めて実証実験が行われて以来<sup>[2]</sup>、ドーパントのサイトやクラスター構造の解析手法として発展を遂げてきた<sup>[3,4]</sup>。特定元素まわりの原子配列を解析できる類似の手法としてX線吸収微細構造 (XAFS) がある。XAFSが特定原子周りの動径方向の原子配列、すなわち一次元の局所構造が得られるのに対し、XFHでは単結晶を試料とすることで三次元の原子配置が局所構造として得られることが利点である。

試料の特定の原子から球面波となって放射された蛍光X線は、その蛍光X線が周囲の原子によって散乱した物体波と干渉を起こす。この結果、試料から全立体角に放出された蛍光X線には微弱な干渉パターンが現れる。この全立体角の干渉パターンが蛍光X線ホログラム像となる。なお、本稿では蛍光X線ホログラム像を「XFH像」と略記する。特に試料が良質な単結晶の場合は単位胞の周期性に起因して強い干渉を起こし、その結果、結晶の対称性を反

映した線状のイメージがXFH像に現れる。これをKossel線という。この全立体角のXFH像をフーリエ変換することで三次元の原子配置を可視化する原子像再生ができる。

XFHの測定にはノーマルモードとインバースモードの二種類がある。ノーマルモードは、前述の蛍光X線と周辺原子との散乱との干渉によってホログラム像を取得する方法である。二次元検出器を使って短時間で統計精度の良いホログラム像が得られる点が利点である。しかし、XFH像の取得面積が二次元検出器により限定されること、XFH像が蛍光X線の単一のX線エネルギーとなるために、原子像再生において双画像と呼ばれるゴースト像の出現が欠点となる。インバースモードはX線を単結晶試料に入射した時に試料内に発生した定在波が、X線の入射方向を変えると結晶の対称性を反映した強度変調を特定原子サイトに与えることができるので、その強度変調を反映したXFH像を得る手法である。インバースモードの場合、入射X線に複数のエネルギーを用いることで複数のXFH像が得られるので、原子像再生において双画像を低減できることが利点として挙げられる<sup>[5]</sup>。原子像再生の質を考慮す

ればインバースモードが優れるので、近年のXFH測定が多くがインバースモードを採用する。しかしながら、今回の我々の高圧下測定では圧力セルのX線窓とX線の入射方向が制限されることを考慮して、ノーナルモードを採用した。

原子間距離を自在にコントロールできる高圧発生技術は、近年、放射光実験に広く用いられ、圧力誘起の構造相転移の観測など高圧科学の発展に貢献している。放射光実験の高圧下測定はX線回折実験を筆頭に、XAFSや放射光メスbauer分光、非弾性散乱など多岐にわたる。XFHを高圧下測定すれば原子間距離を収縮することで原子間の相互作用を変えた時の物質のレスポンスを特定の原子周りの三次元の局所構造として可視化できる。しかしながら、XFHを高圧下測定した報告はこれまでなかった。その大きな理由は、高圧下の微小な試料からの微弱なホログラムの信号強度に対して、圧力装置からの様々なノイズが大きい技術的困難である。このため、我々はこれらのノイズを除去する技術開発を行い、XFHの高圧下測定を試みた<sup>[6]</sup>。

## 2. 高圧下XFH測定の技術開発

実験はSPRING-8のBL37XUとBL39XUで実施した。どちらのビームラインもKirkpatrick-Baez 集光ミラーによって、高圧下の実験に適したマイクロメーターに集光された高輝度X線が得られる。加圧にはダイヤモンドアンビルセル（DAC）を用いた。図1

に実験のセットアップの写真とDACまわりの実験配置の模式図を示す。DAC側面の窓から入射したX線はBeガスケットを透過して試料表面に対して約5°の角度で試料に照射される。試料から発した蛍光X線はDACの前面の窓を出て、リガク製の二次元検出器（HiPix-9000）でXFH像として測定した。このDACは今回の高圧下XFH測定のためにデザインされた。テーパ型の広い底面を持つダイヤモンドアンビル<sup>[7]</sup>を用いることで、XFH像の取得に有利な100°の広い開口のX線窓をこのDACに持たせている。

測定では常誘電体材料のSrTiO<sub>3</sub>単結晶を試料とした。この試料の選択にはSrTiO<sub>3</sub>の良質な単結晶試料が市販されている点、DACで容易に発生できる圧力範囲に構造相転移がある点を考慮した。室温常圧で立方晶のペロブスカイト構造をとるSrTiO<sub>3</sub>は、室温、約10 GPaで正方晶へ構造相転移し、*c/a*比が加圧で増大する<sup>[8]</sup>。本実験では鏡面の(100)面を保持して、試料の裏面を約13 μmの厚さになるまで研磨剤を用いて慎重に薄片化した。その薄片から70 μm角の試料片を切り出し、(100)面が蛍光X線の出射面になるようにDACに封入した。X線の透過能が高いBeガスケットを用い、静水圧性の高いヘリウムを圧力媒体に用いた。今回のXFH実験ではSr Kα 蛍光線（14.165 keV）のXFH像を測定したので、Sr原子周りの局所構造が検出される。

先に述べたようにXFHの信号強度は蛍光X線の

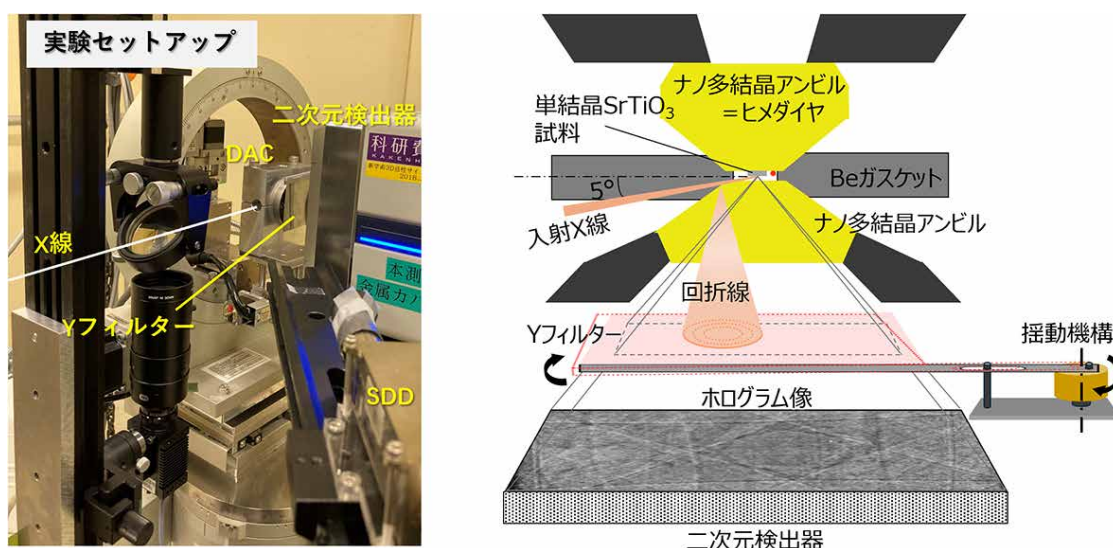


図1 実験のセットアップの写真とダイヤモンドアンビルセル（DAC）まわりの実験配置の模式図。

(a) 単結晶ダイヤモンドアンビルの場合  
(b) ナノ多結晶ダイヤモンドアンビル(NPD)の場合  
(c) NPDとYフィルターの場合 揺動なし 1.3 GPa  
(d) NPDとYフィルターの場合 揺動あり 1.3 GPa  
(e) SrTiO<sub>3</sub>単結晶のKossel線のシミュレーション

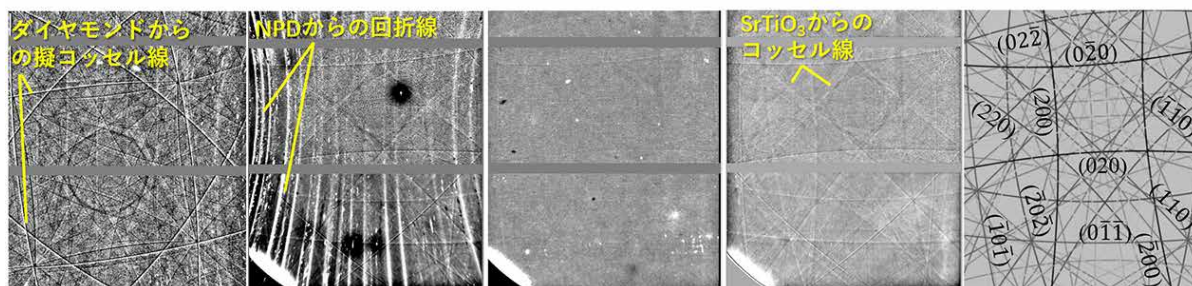


図2 DAC中のSrTiO<sub>3</sub>単結晶試料から得られた高圧下ホログラム像のノイズ除去のプロセス。NPDアンビルと揺動するYフィルターによって、高圧下でもSrTiO<sub>3</sub>試料の単結晶性に由来するKossel線を含む明瞭なホログラム像が得られた。

強度に対して微弱 ( $10^{-3}$  程度) であるために、高圧下でのXFH測定ではDACから生じる様々なノイズの低減が技術的な課題となった。まず、一般的に使われるダイヤモンドアンビルは単結晶であるため、ここから生じる擬Kossel線が問題となった<sup>[9,10]</sup>。擬Kossel線はDAC内の試料から発した蛍光X線がX線源となってダイヤモンドアンビルの単結晶構造によって干渉するために生じる。図2 (a) に示すように、この擬Kossel線は強く、試料からのXFH像はほぼ観測できない。そこで我々はアンビルをナノサイズの多結晶ダイヤモンドのNano polycrystalline diamond (NPD:「ヒメダイヤ」とも呼ばれる) アンビルに交換した<sup>[11]</sup>。その結果、図2 (b) に示すようにNPDアンビルからの擬Kossel線は観測されず、試料からのKossel線が観測できた。単結晶ダイヤモンドのアンビルはXAFS測定でも吸収スペクトルに単結晶由来のグリッチを重畳させることが問題となっていた。しかし現在は、グリッチフリーのアンビルとしてNPDアンビルは高圧下のXAFS測定に広く用いられている<sup>[12]</sup>。XAFSとXFHという局所構造解析手法において、どちらも多結晶性のNPDアンビルが有用である点が興味深い。

しかしXFH測定の場合は、これで問題解決とはならず、次にNPDアンビルの多結晶構造が粉末X線回折をXFH像に重畳させることが分かった。図2 (b) で上下方向に延びる円環状のパターンがNPDアンビルからのX線回折である。隣接する斑点状の回折パターンはBeガスケットからの回折パターン

と考えられる。XFH像の多くの面積をこれらの回折パターンが重なるため、これらも除去する必要がある。我々はXFH像がSr K $\alpha$  蛍光線であるのに対し、X線回折は入射X線の弾性散乱であることから、このX線エネルギーの差を利用した。入射X線をイットリウム (Y) K吸収端より高い17.391 keVに設定し、試料と二次元検出器の間にY金属板を置くことでX線回折を除去した。今回、使用した厚さ125  $\mu$ mのY金属板はX線回折の強度をSr K $\alpha$  蛍光線に対して2桁減じるように吸収する。これにより図2 (c) と図2 (d) に示すようにX線回折が除去できSrTiO<sub>3</sub>試料のKossel線が観測された。Y金属板は研磨作業によって、表面を可能な限り鏡面に仕上げられている。しかし、表面に微細なキズが研磨痕として残ったため金属板のクランク機構によって板面内で $\pm 1$  mm程度揺動することで、見かけ上のY金属板表面の平坦性を向上させた。この揺動の効果は大きく、揺動しない場合はフィルター表面の粗さやキズが図2 (c) のようにXFH像に投影されてしまいKossel線がまだ不明瞭だが、揺動することで図2 (d) に示すように鮮明なXFH像を得ることができた。図2 (e) にSrTiO<sub>3</sub>試料のKossel線のシミュレーション示したが、これらの実験結果との一致は極めて良い。

### 3. SrTiO<sub>3</sub>試料のXFH像の圧力変化

図3に本実験で得られたXFH像の圧力変化を示す。圧力下のXFH像は、DACを用いない常圧下のXFH像に近い解像度を持っている。圧力下で

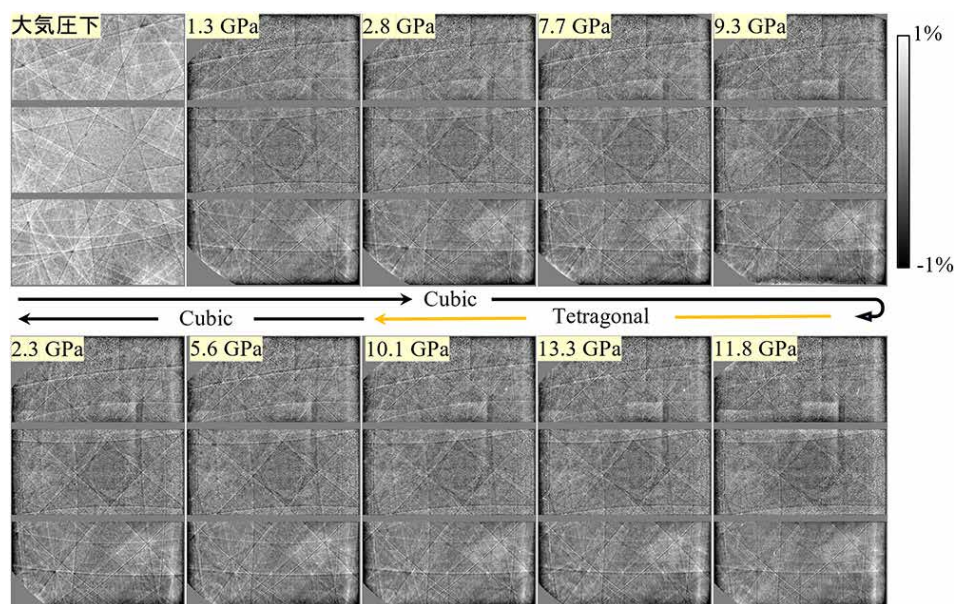


図3 DAC中のSrTiO<sub>3</sub>単結晶試料から得られた高圧下ホログラム像の圧力変化。左上の大気圧下のXFH像はDACなしで測定された。

は10 GPaの立方晶-正方晶の構造相転移を超える13.3 GPaまで鮮明なKossel線をもつXFH像が得られた。静水圧性のよいヘリウム圧力媒体を用いることで、試料に歪を与えることなく加圧でき、鮮明なXFH像を維持できた。一方、図3のXFH像を一見しただけでは圧力変化を見出すことは難しい。このためXFH像の圧力変化を定量的に解析した。まず、XFH像から試料と検出器間の距離と、検出器に対する試料の結晶方位を決定した。立方晶の結晶対称性を考慮して得られたXFH像を全球のパターンに拡張した。全球のXFH像に対するKossel線的位置を調べることで、X線回折のように試料の格子定

数を求めることができる。図4は200反射のKossel線から求めた格子定数の圧力変化である。既往のXRD測定の結果<sup>[8]</sup>と比較して僅かに長い格子定数が導出されたが、加圧による単調な格子定数の収縮が見出されており定性的な一致は良い。このことは図4の挿入図に示すように、Kossel線的位置が加圧で系統的に高角度側にシフトしたことを示す。

全球のXFH像をBarton法でフーリエ変換して原子像再生した。その結果、得られたSr原子周りの原子像を図5に示す。軽元素のO原子のイメージは得られていないが、TiO<sub>2</sub>面でのTi原子とSrO面でのSr原子の像が、丸印で示された結晶構造から期待される位置にそれぞれ再現できた。最近接のSrの原子像は〈100〉方向に延びたイメージとなっている。また原子が存在しない位置にもゴースト像もいくつか見られた。これらはXFH像の強度変化にまだ不均一性があること、測定法が単一のX線エネルギーでXFH像を測定するノーマルモードだったことが原因と考えられる。また、Kossel線の圧力変化と異なり、原子像の出現位置にはばらつきがあったため系統的な圧力変化を見出せなかった。

本実験の最大圧力の13.3 GPaは10 GPaの正方晶の二次相転移圧力に近いため、試料の結晶構造はまだ立方晶に近似できるXFH像であった。実際、13.3 GPaで期待される正方晶の軸比 $c/a$ は $c/a = 1.001$

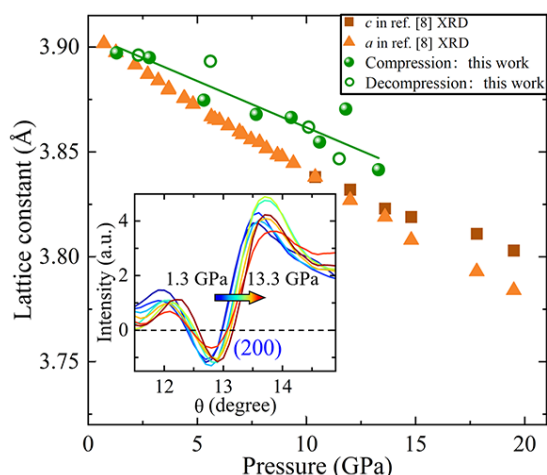


図4 200面のKossel線から求めた格子定数の圧力変化。挿入図はKossel線のプロファイルを示す<sup>[8]</sup>。

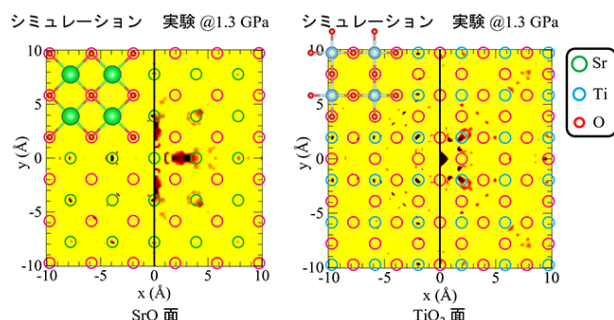


図5 高圧下XFH像から再生されたSrTiO<sub>3</sub>の原子像。

と1に近く、立方晶と仮定しても問題ない圧力領域といえる。さらに高圧に加圧してXFH像を測定できれば、 $c/a$ 比の増大によるKossel線のブロードニングや分裂が観測されると期待される。

#### 4. まとめと今後の展望

本研究ではノーマルモードを用いて高圧力下で初めてXFH測定に成功し、その決め手となった実験技術を紹介した<sup>[6]</sup>。高圧下の微小な試料のホログラム像に重畳する圧力セルからの様々なノイズを、NPDアンビルとY金属フィルターを用いたことで除去できた。その結果、明瞭なKossel線を持つXFH像とその圧力変化を観測できた。

原子像再生に至らなくても、高圧下で得られた明瞭なKossel線の分布は局所構造解析に有用である。実際、常圧下において分極方向のスイッチングによって、強誘電性物質の結晶対称性が変化すること、Kossel線の位置や出現/消失の解析によって見出されている<sup>[13]</sup>。我々の今回の技術開発によって、同様の解析が圧力誘起の構造相転移でも可能となったといえる。

最近、我々は集束イオンビームを用いて単結晶試料から厚さ数 $\mu\text{m}$ の微小試料を取り出してXFH像を高圧下でテストした。集束イオンビームで切り出した単結晶試料は結晶の歪がほほないため、手作業で研磨した単結晶試料のXFH像より鮮明、かつ常圧のバルク試料と同質のKossel線をもつXFH像を得ることができた。集束イオンビームで得た良質な試料を用いれば、放射光の集光X線と直径300  $\mu\text{m}$ 以下の小さな先端を持つNPDアンビルを組み合わせることができ、50 GPaから100 GPaを超える超高圧領域でのホログラム像も測定が不可能ではない。

近い将来、超伝導状態の発現に関連する圧力誘起の構造相転移の観測、特徴的な物性に寄与する極微量添加元素（ドーパ元素）の挙動といった、物質科学、材料科学へ広く展開できるだろう。

高圧下での原子像は系統的な圧力変化を議論するには分解能が十分ではないものの、本研究ではSrTiO<sub>3</sub>の原子像再生にも成功した。将来の分解能の向上には、インバースモードを用いた高圧下のXFH測定の技術開発が必要であろう。このためにはX線の窓と入射X線の方角を広く取れた圧力セルの開発が重要と考えられる。今回の高圧下XFH測定の成功から「得られた特性・機能に関わっているのは材料のどの部分なのかを原子レベルで可視化したい」というXFH測定の科学的な探求を、高压科学の研究トピックまで拡張できた。今後、XFHの高圧下測定で生み出される成果に期待していただきたい。

#### 5. 謝辞

この成果は愛媛大学 PIAS 地球深部ダイナミクス研究センター 新名亨、入船徹男、広島大学大学院先進理工系科学研究科 中島伸夫、名古屋工業大学物理工学類、林好一、熊本大学産業ナノマテリアル研究所 Halubai Sekhar、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 佐藤友子、高輝度光科学研究センター 河村直己、東晃太郎、関澤央輝、門林宏和、田尻寛男、兵庫県立大学理学研究科 江口律子、岡山大学異分野基礎科学研究所 久保園芳博、島根大学材料エネルギー学部 細川伸也、奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 松下智裕との共同研究として実施されました。

この研究は日本学術振興会（JSPS）科学研究費助成事業・学術変革領域研究（A）「超秩序構造が創造する物性科学」（課題番号：20H05878、20H05879、20H05881、20H05884、21H05567、21H05569、23H04117）、および科学技術振興機構（JST）「科学技術イノベーション創出に向けた大学フェローシップ創設事業」（課題番号：JPMJFS2129）の支援を得て実施されました。またSPRING-8利用研究課題（課題番号：2022A1011、2022B1022、2023A1022、2023B1520、2024A1277）の元、実施されました。

参考文献

- [1] K. Hayashi, N. Happo, S. Hosokawa, W. Hu, and T. Matsushita: *J. Phys.: Condensed Matter* **24** (2012) 093201.
- [2] M. Tegze and G. Faigel: *Nature* **380** (1996) 49.
- [3] K. Kudo, S. Ioka, N. Happo, H. Ota, Y. Ebisu, K. Kimura, T. Hada, T. Kimura, H. Tajiri, S. Hosokawa, K. Hayashi, and M. Nohara: *J. Phys. Soc. Jpn.* **88** (2019) 063704.
- [4] N. Happo, A. Kubota, X. Yang, R. Eguchi, H. Goto, M. Ikeda, K. Kimura, Y. Takabayashi, J. R. Stellhorn, S. Hayakawa, K. Hayashi, and Y. Kubozono: *Chem. Mater.* **36** (2024) 4135.
- [5] 林好一: 日本物理学会誌 **68** (2013) 217.
- [6] X. Zhan, N. Ishimatsu, K. Kimura, N. Happo, H. Sekhar, T. Sato, N. Nakajima, N. Kawamura, K. Higashi, O. Sekizawa, H. Kadobayashi, R. Eguchi, Y. Kubozono, H. Tajiri, S. Hosokawa, T. Matsushita, T. Shinmei, T. Irifune, and K. Hayashi: *J. Synchrotron Rad.* **32** (2025) 1302.
- [7] R. Boehler and K. D. Hantsetters: *High Pressure Res.* **24** (2004) 391.
- [8] M. Guennou, P. Bouvier, J. Kreisel, and D. Machon: *Phys. Rev. B* **81** (2010) 054115.
- [9] M. Okada and H. Iwasaki: *Phys. Stat. Solid. (a)* **58** (1980) 623.
- [10] G. Novelli, K. V. Kamenev, H. E. Maynard-Casely, S. Parsons, and G. J. McIntyre: *IUCrJ.* **9** (2022) 73.
- [11] T. Irifune, A. Kurio, S. Sakamoto, T. Inoue, and H. Sumiya: *Nature* **421** (2003) 599.
- [12] N. Ishimatsu, K. Matsumoto, H. Maruyama, N. Kawamura, M. Mizumaki, H. Sumiya, and T. Irifune, *J. Synchrotron Rad.* **19** (2012) 768.
- [13] S. Nakashima, K. Kimura, N. Happo, A. K. R. Ang, Y. Yamamoto, H. Sekhar, A. I. Osaka, K. Hayashi, and H. Fujisawa: *Sci. Rep.* **14** (2024) 14358.

石松 直樹 ISHIMATSU Naoki

愛媛大学

PIAS 地球深部ダイナミクス研究センター

〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5

e-mail : ishimatsu.naoki.uu@ehime-u.ac.jp

战 鑫慧 ZHAN Xinhui

愛媛大学

PIAS 地球深部ダイナミクス研究センター

〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5

e-mail : zhan.xinhui.ho@ehime-u.ac.jp

木村 耕治 KIMURA Koji

名古屋工業大学

物理工学類

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町

e-mail : kimura.koji@nitech.ac.jp

八方 直久 HAPPO Naohisa

広島市立大学大学院

情報科学研究科

〒731-3194 広島市安佐南区大塚東3-4-1

e-mail : happo@hiroshima-cu.ac.jp

利用系グループ活動報告

JASRI 分光・イメージング推進室 光電子分光計測チーム

公益財団法人高輝度光科学研究センター

分光・イメージング推進室 光電子分光計測チーム

安 野

聡、

保 井

晃、

高 木

康 多、

Seo Okkyun、

唐

佳

藝

1. はじめに

分光・イメージング推進室 光電子分光計測チームでは、BL09XU (HAXPES I)とBL46XU (HAXPES II)の2本のビームラインにおいて、計4つの硬X線光電子分光 (Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy, HAXPES) 装置を運用している。近年のビームライン再編およびアップグレードに伴い、これまで各々異なるビームラインで独自に開発・運用されてきたHAXPESのアクティビティをこれら2本のビームラインに集約し、HAXPES専用ビームラインとして再整備を行ってきた<sup>[1,2]</sup>。当チームでは、SPring-8のHAXPES利用課題における多種多様な分析目的・測定対象に対応可能な体制を構築するとともに、ユーザーニーズに即した技術開発と装置の高度化を進めている。

本稿では、HAXPES装置及びビームラインの光学系の詳細や実際の応用事例等については既報<sup>[3,4]</sup>に譲り、ユーザーがHAXPESの実験計画を立てる際に参考となる各ビームライン及び各装置のスペックと試料測定環境 (温度・電圧印加・雰囲気など)

の対応状況について概説する。併せて、チーム活動として進めているハードウェアおよびソフトウェアの共通化活動と共有の付帯設備についても紹介し、ユーザーが最適な実験装置や手法等を選定する際の引きとなる情報を提供する。

2. ビームラインスペックと各HAXPES装置の基本性能と試料測定環境

BL09XUとBL46XUでは、高分解能、共鳴計測、偏光利用、微小領域計測、高エネルギー、自動計測、雰囲気環境制御などのそれぞれ異なる特徴を持つHAXPES装置を有し、これらを分析目的に応じて使い分けることで多様なニーズに対応している。また各装置の特徴を最大限に活かすための光学機器を備えている。以下に、各ビームラインの光学系およびHAXPES装置の基本性能のスペックと利用可能な試料測定環境について概説する。

2.1 ビームラインスペック

BL09XUおよびBL46XUのビームラインでは、二

表1 ビームラインスペック

|                                                  |    | BL09XU                                                    |                                                                                   | BL46XU                           |                      |
|--------------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
|                                                  |    | EH1                                                       | EH2                                                                               | EH1                              | EH2                  |
| X線エネルギー (keV)                                    |    | 4.9~12                                                    |                                                                                   | 5.5~21.8                         |                      |
| 分光器                                              |    | Si(111) DCM<br>Si(220, 311) DCCM<br>Si(333, 444, 555) CCM |                                                                                   | Si(111) DCM<br>Si(220, 311) DCCM |                      |
| 偏光                                               |    | linear/ circular (DXPR) $P_U, P_C > 0.9$                  |                                                                                   | linear/ circular (XPR)           |                      |
| 集光ミラー                                            |    | Wolter型                                                   | long KB型                                                                          | Wolter型                          | Wolter型              |
| 集光サイズ (μm)                                       | 垂直 | 1.5                                                       | 1.5                                                                               | 1.5                              | 1.3                  |
|                                                  | 水平 | 22                                                        | 1~11<br>(Depends on FE width)                                                     | 23                               | 13                   |
| フォトンフラックス (photon/s)<br>(7.94 keV, Si(311) DCCM) |    | $5.6 \times 10^{12}$                                      | FE width=1.2mm<br>$6.3 \times 10^{12}$<br>FE width=0.03mm<br>$1.3 \times 10^{11}$ | $6.0 \times 10^{12}$             | $4.6 \times 10^{12}$ |

結晶分光器 (Double Crystal Monochromator, DCM) に加え、ダブルチャンネルカットモノクロメーター (Double Channel-Cut Crystal Monochromator, DCCM) を導入しており、バンド幅を狭めたX線の定位置出射とエネルギー掃引が可能である。DCCMはSi (220) と Si (311) の2種類の結晶を備えており、分析目的に応じ所望のバンド幅とフラックスに調整したX線の利用が可能である。また、各実験ハッチには各装置に最適な集光ミラーを備え、高フラックスなマイクロ集光ビームが利用できる。両ビームラインにおける光学スペックをまとめたものを表1に示す。

### BL09XU

DCCMに加え、高分解能測定に特化した背面反射型のSi (333/444/555) 反射を用いるチャンネルカット結晶分光器 (CCM) も備わっており、より精密な電子状態解析を行う事が可能である。他、2連のダイヤモンド移相子 (Double X-ray Phase Retarder, DXPR) を用いた0.9以上の高い偏光度を有する縦横・円偏光ビームを利用した偏光依存共鳴HAXPES計測が可能である。

また、下流側の実験ハッチ2 (EH2) では、放射光を使用している間でも上流のEH1内に立ち入っての作業が可能なアクセスモードを導入している。これにより、EH2実験中に、EH1装置の保守やユーザー実験の事前準備を行うことが可能である。

### BL46XU

光学系はBL09XUとほぼ同様の設計思想に基づいた各種光学機器を備えている。高エネルギーHAXPESを実現するための最大21.8 keVまでの高エネルギーに対応できるSi (311) DCCMを備えている。

### 2.2 試料測定環境 (温度・電圧印加・雰囲気など)

各HAXPES装置は、in situ測定をはじめとする多様なユーザーニーズに応えるため、加熱・冷却や電圧印加などが可能な試料測定環境を制御するためのコンポーネント (試料ステージ等) を備えている。表2に、各装置の特徴や基本性能 (分解能など) と併せて対応可能な測定環境の整備状況を示す。

### BL09XU EH1 (共鳴・高分解能HAXPES)

光電子アナライザーは12 keVまでの運動エネルギーの光電子取得が可能であり、より表面から深い領域の電子状態観測が可能である。集光ミラーにWolterミラーを利用することで、高フラックスのマイクロビームを安定的に利用できるだけでなく、タンデム配置されたEH2装置での実験後の再集光においても、非常に高い再現性を持つ。試料位置でのビームサイズは1.5  $\mu\text{m}$  (V)  $\times$  22  $\mu\text{m}$  (H) である。

本装置のメインターゲットは、超伝導材料やスピントロニクス材料などの強相関電子系物質である。それらの多くの物質は、わずかな酸素でも劣化が

表2 HAXPES装置の特徴と試料測定環境

|                                              |    | BL09XU                       |                              | BL46XU                       |                                                   |
|----------------------------------------------|----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|
|                                              |    | EH1                          | EH2                          | EH1                          | EH2                                               |
| 特徴                                           |    | ・高分解能計測<br>・共鳴計測             | ・3次元空間分解計測<br>・四端子電圧印加計測     | ・自動計測<br>・高エネルギー             | ・雰囲気環境制御                                          |
| HAXPES<br>測定エネルギー範囲 (keV)                    |    | 4.9~12                       | 4.9~8                        | 5.5~20                       | 5.5~10                                            |
| HAXPES 分解能 (meV)<br>(7.94 keV, Si(311) DCCM) |    | 64 (@ 10K)<br>( $E_F$ 50 eV) | 200<br>( $E_F$ 100 eV)       | 200<br>( $E_F$ 100 eV)       | 250<br>( $E_F$ 200 eV)                            |
| 取り込み角度                                       |    | $\pm 7^\circ$                | $\pm 32^\circ$               | $\pm 7^\circ$                | $\pm 13^\circ$                                    |
| 測定環境                                         |    | 超高真空<br>$< 3 \times 10^{-7}$ | 超高真空<br>$< 5 \times 10^{-6}$ | 超高真空<br>$< 5 \times 10^{-6}$ | 大気圧、各種ガス<br>$3 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^5$ |
| 測定温度範囲                                       | 高温 | ~370 K                       | ~370 K                       | ~770 K<br>(Side load型)       | ~870 K                                            |
|                                              | 低温 | 20 K                         | 対応可 (要相談)                    | 対応不可                         | 対応不可                                              |
| 電圧印加                                         |    | 可能                           | 可能                           | 可能<br>(Side load型)           | 可能                                                |
| 大気非暴露導入                                      |    | 可能                           | 可能                           | 可能                           | 可能                                                |
| 試料劈開                                         |    | 可能                           | 可能                           | 対応不可                         | 可能                                                |

激しいため、測定層の真空度は $P < 3 \times 10^{-7}$  Paの超高真空条件での測定環境を提供している。また、低温における温度誘起相転移などの興味深い現象における電子構造変化を追跡するために、ヘリウム循環フローによる試料冷却が可能である。また、蛍光X線検出用のシリコンドリフト検出器を常設しており、光電子と蛍光X線の同時計測が可能である。

本装置では特に、吸収端近傍でエネルギー掃引を実施することで、元素・価数選択性を強化した電子状態解析が可能となる共鳴HAXPES計測を実施している<sup>[5]</sup>。軟X線領域では従来から実施されてきた共鳴光電子分光計測であるが、それを硬X線領域に拡張することで、よりバルク敏感であるだけでなく、励起に用いる電子遷移の特徴を活かした、新たな解析が可能である。さらに、BL09XUの特徴であるDXPRと組み合わせることで、高い縦横円偏光度の偏光ビームを用いた軌道状態・磁気状態を選別した電子状態解析を実現した。これまでに、共鳴HAXPES計測により、希土類化合物の量子臨界現象の解明に重要な役割を果たす、4f-5d電子間のクーロン斥力の高精度解析が初めて可能になった<sup>[6]</sup>だけでなく、鉄鋼材料では、酸化膜・母材金属界面の電子状態抽出に成功している<sup>[7]</sup>。このように本装置は幅広い分野・現象の研究に利用されている。

#### BL09XU EH2（3次元空間分解HAXPES）

本装置は、長尺のKirkpatrick-Baez（KB）ミラー

を利用することで、フロントエンドスリットが全開の状態（0.65 mm（V）× 1.2 mm（H））でも、ほぼビームの取りこぼし無く、 $6.3 \times 10^{12}$  photon/s以上の極めて明るいマイクロ集光ビーム（1.5  $\mu$ m（V）× 11  $\mu$ m（H））の利用が可能である。さらに、フロントエンドスリット幅を0.03 mmまで狭めることで、集光ビームの横幅を1  $\mu$ mに縮小できる。その場合でも $1.3 \times 10^{11}$  photon/s程度のフラックスが得られ、1  $\mu$ m（V）× 1  $\mu$ m（H）のマイクロ集光ビームを利用した局所HAXPES計測が可能である。また、アナライザーは前段に $\pm 32^\circ$ の広い光電子取込みを可能にする広角対物レンズを有しており<sup>[8]</sup>、角度分解測定を行うことで、表面から深さ数十nmまでの化学結合状態の深さ方向分布を得ることができる特徴を持つ。この深さ分解測定とマイクロ集光ビームとを組み合わせることで三次元空間分解した解析が可能である。さらに、四端子電圧印加などのin situ測定も可能であり、3.3.3項で述べる可搬式試料準備チェンバーを利用することで、in situでの試料処理にも対応できる。本装置では、次世代半導体デバイス内の埋もれた電極・半導体界面の化学結合状態分布の可視化<sup>[9]</sup>など幅広い材料の解析に利用が進んでいる。

#### BL46XU EH1（自動計測・高エネルギーHAXPES）

本装置はハイスループット計測に特化した自動試料搬送機構を備えており、3.1節で後述するチーム共通の制御ソフトウェアと組み合わせること

表3 BL46XU EH1 HAXPES装置用サンプルストッカー一覧

| 標準タイプ                                                                               |                                                                                     | 大型試料用                                                                               |                                                                                      | 多試料積載用<br>(六角形タイプ)                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Front view                                                                          | Side view                                                                           | Front view                                                                          | Side view                                                                            | Front view                                                                            |
|  |  |  |  |  |

で、多数の試料の自動交換と連続自動測定が可能である<sup>[2,4]</sup>。試料交換には専用のストッカーを使用している。ストッカーの一覧を表3に示す。標準タイプのストッカーは、3.2節で説明するBL09XUとBL46XUのHAXPES装置間で共通のサンプルホルダーを最大4つ格納できる構造を有している。ロードロックチェンバーは最大で4つのストッカーを一度に真空排気可能な設計となっており、効率的な試料導入と交換を実現している。また、標準タイプ以外にも、ストッカー自体を大型のサンプルホルダーとして機能させるタイプも整備している。これにより、大型あるいは厚みのある試料への対応が可能となる。加えて、多面体形状により試料搭載数を格段に向上させたタイプも用意しており、用途に応じた

使い分けが可能である。

なお、この自動搬送機構（Top load型）で使用するマニピュレーターは自動測定によるハイスループットに特化しているため、温度制御や電圧印加機構は有していない。これに対し、本HAXPES装置では水平方向にマニピュレーターを設置させるSide load型のマニピュレーター機構も併設している。表4にSide load用サンプルホルダー及びサンプルステージの一覧を示す。Side load型では、X線入射角を固定したまま光電子脱出角度を調整できるほか、マニピュレーター自体を交換することで、高温加熱、電圧印加、および高エネルギー計測（～30 keV）への対応が可能である<sup>[10]</sup>。

表4 BL46XU EH1 HAXPES装置 Side load用サンプルホルダー及びサンプルステージ

| STYLE             | VIEW |      |
|-------------------|------|------|
|                   | Top  | Side |
| 標準タイプ             |      |      |
| 電圧印加用             |      |      |
| 加熱用 1             |      |      |
| 加熱用 2<br>(電子衝撃加熱) |      |      |
| 高エネルギー<br>測定用     |      |      |

### BL46XU EH2（大気圧・実環境HAXPES）

本装置は差動排気系と小径のアパーチャーを備えたアナライザーを有し、ガス雰囲気下の試料に対するHAXPES測定が可能である。従来のXPS装置は真空下の試料に限定されてきたが、本装置はアナライザー先端の小径アパーチャーとアナライザー前段の差動排気部により、試料の周囲のガス圧を上げてもアナライザー内の真空度が維持され、アナライザーを動作させることが可能となっている。

アナライザーにはScienta Omicron社の差動排気型アナライザーR4000 Hipp2を用いている。標準のアパーチャーの開口径はφ 300 μmであり、カタログスペックとして5000 Paまでのガス圧の測定に対応している。一方で、独自開発した小径のアパーチャーに交換することで測定圧力を大気圧まで引き上げることが可能である<sup>[4]</sup>。現在は開口径70 μmのアパーチャーを用いることが多い。ビームの集光サイズは装置上流に設置されるWolterミラーにより測定位置において約1 μm (V) × 10 μm (H) である。

本装置を用いた水素ガス雰囲気下の還元反応や真空槽内に電極と電解質を導入したdip & pull法による電気化学反応などのオペランドHAXPES測定が実施されている<sup>[11-13]</sup>。

### 3. 利便性向上に向けた共通化の取り組み

当チームでは、ビームラインおよび、装置間の差異によるユーザーの負担を軽減して利便性を高め、

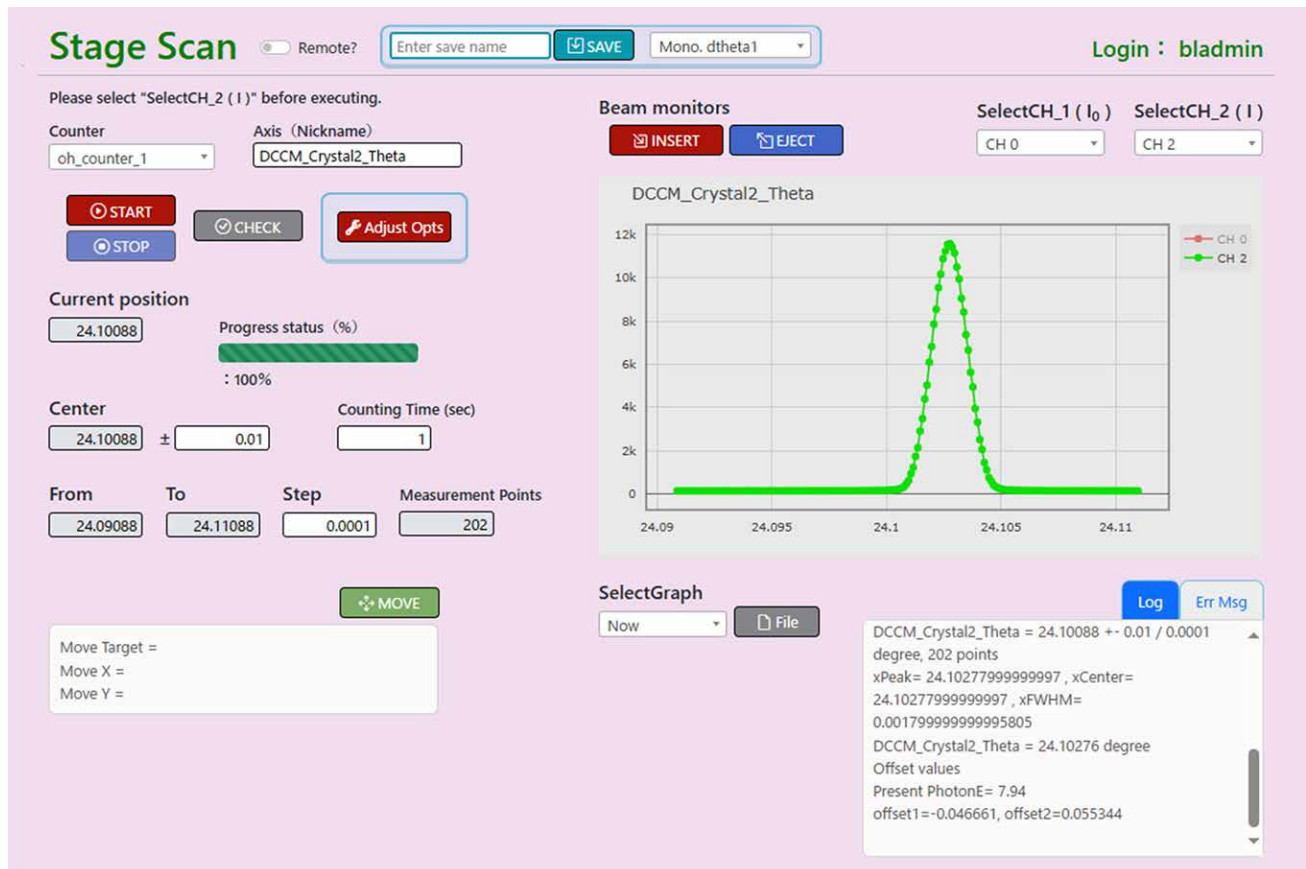
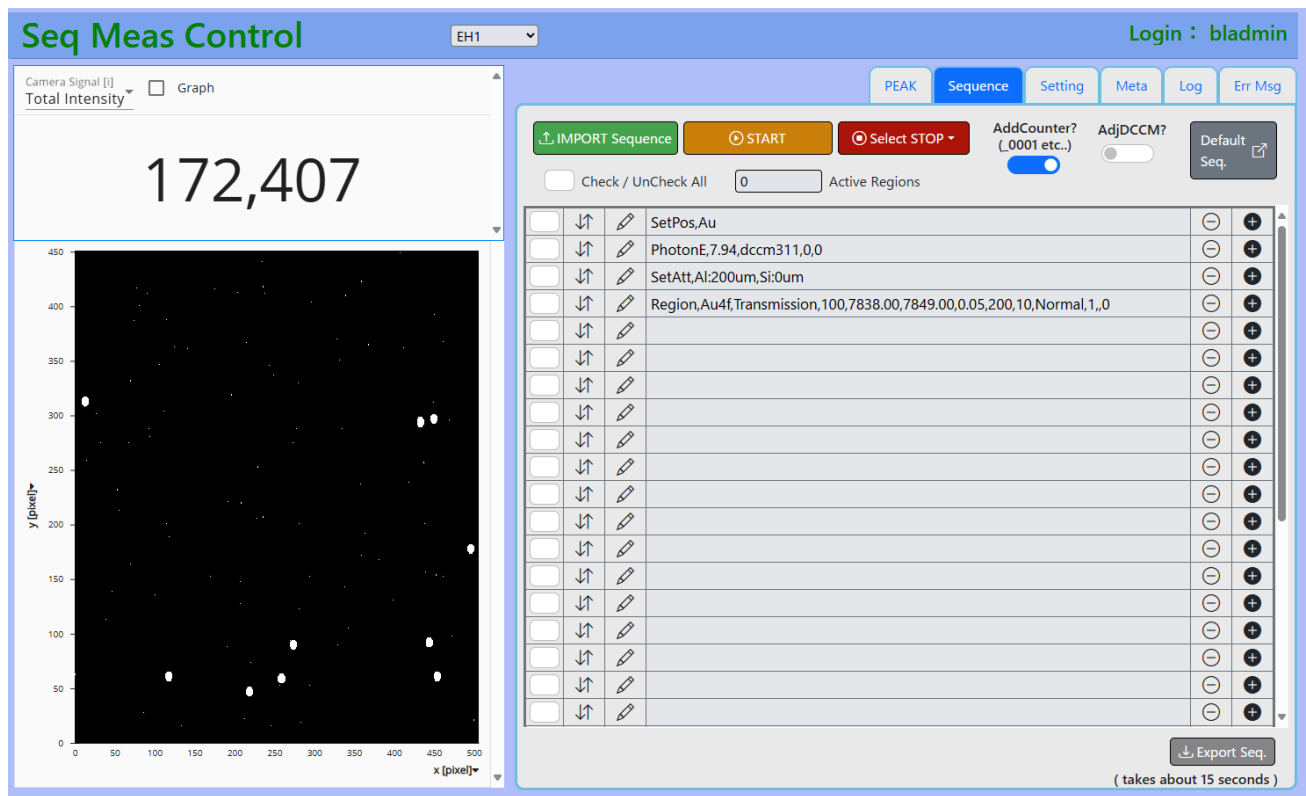


図1 BL09XU 及び BL46XU で使用される Web アプリケーション (Sequence Measurement Control と Stage Scan) の画面

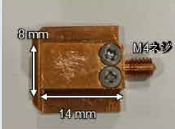
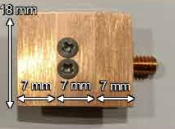
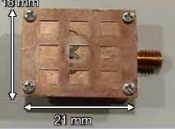
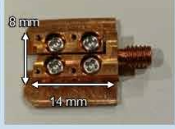
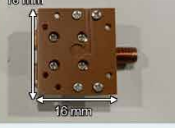
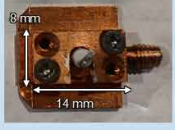
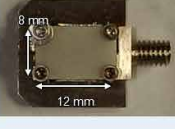
双方の横断利用を促進すべく、ハードウェアとソフトウェアの両面での共通化を進めている。以下に、両ビームラインで利用可能なWeb-APIベースのビームライン制御ソフトウェアの開発状況とサンプルホルダーの共通化、共有の付帯設備（試料準備・周辺

環境）の整備状況について概説する。

### 3.1 制御ソフトウェアの共通化

BL09XU および BL46XU の両ビームラインはアップグレードにより、多くの光学系機器、および

表5 BL09XU 及び BL46XU HAXPES 装置の共通サンプルホルダー一覧

| STYLE             | VIEW                                                                                |                                                                                     | 対応状況   |     |        |     |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|--------|-----|
|                   | Top                                                                                 | Side                                                                                | BL09XU |     | BL46XU |     |
|                   |                                                                                     |                                                                                     | EH1    | EH2 | EH1    | EH2 |
| 標準タイプ             |    |    | ○      | ○   | ○      | ○   |
| ワイドタイプ            |    |    | ○      | ○   | ○      | ○   |
| ワイドタイプ<br>(傾斜付)   |   |   | ○      | ○   | ○      | ○   |
| マスクタイプ<br>(9 試料用) |  |  | ○      | ○   | ○      | ○   |
| マスクタイプ<br>(1 試料用) |  |  | ○      | ○   | ○      | ○   |
| 電圧印加用             |  |  | ×      | ○   | ×      | ○   |
| 電圧印加用<br>(ワイドタイプ) |  |  | ×      | ○   | ×      | ○   |
| 劈開用               |  |  | ○      | ○   | ×      | ○   |
| 加熱用               |  |  | ×      | ×   | ×      | ○   |

HAXPES装置の位置調整機構がpythonベースで作られたBL-774<sup>[14]</sup>による制御に切り替わった。さらに、HAXPESアナライザーの制御には外部制御が可能な Scienta Omicron 製のソフトウェア PEAK を導入した。そこで、これらを統合的に制御して BL-774 の機能をフルに活かすことのできるビームライン共通の制御ソフトウェアを新たに開発した。開発したソフトウェアは全て BL-774 と同様に python ベースで作られている。複数機器間の連携操作などの主要な機能は BL-774 の枠組みの中で構築することで、その優れたタスク管理機能を利用している。この機能を python の Web フレームワークである FastAPI を用いた Web アプリケーションから呼び出す構成としている。複数の Web アプリを統合制御することで、BL-774 による機器制御と PEAK による測定制御を連動させる事ができ、光学素子の調整やアッテネーター設定から、試料の搬送・交換、自動位置調整、そして HAXPES 測定に至るまでの一連の操作を、統一されたインターフェース上でシームレスに実行できるようになった。また、通常の Web ページと同様に Web ブラウザのタブ機能を用いることで、複数の Web アプリを1つのブラウザ上で切り替えて使用することができる。これは SPring-8 外からのリモート実験時など、多数の Web アプリを用いる場合でも画面表示領域をコンパクトにできる等の利点を有する。図1に BL09XU および BL46XU で使用される光学系機器制御と HAXPES 測定用の Web アプリ画面の一例を示す。

ソフトウェアの詳細は過去の SPring-8/SACLA 年報をご参照いただきたい<sup>[15]</sup>。

開発したソフトウェアは、他のビームラインでも容易に移植できるように、現在も改良を続けている。本ソフトウェアは、2025年3月から共用利用が開始された NanoTerasu の軟X線角度分解光電子分光ビームラインである BL06U でも利用されている<sup>[16]</sup>。今後は、開発したソフトウェアが光電子分光だけでなく、他の分光測定にも展開することを期待している。

## 3.2 サンプルホルダーの共通化

従来、装置ごとに異なっていたサンプルホルダーの規格を統一し、BL09XU と BL46XU における4つ

の HAXPES 装置間で互換性を持たせている。また、この共通の規格（標準タイプ）に基づいた、多数の試料を一度にマウント可能なワイドタイプや、試料をマスクで固定するマスクタイプなどの応用的な治具も整備した。また個々の装置で実施されている in situ 測定を装置間で横断的に利用できれば、より多角的な化学結合状態、電子状態解析が可能になる。そのため、加熱、電圧印加、試料劈開といった特殊な測定環境制御用のホルダーについても順次共通化を進めており、装置間のスムーズな移行と効率的な運用の実現を目指している。

表5に、整備されている共通のサンプルホルダーの一覧を示す。

## 3.3 試料準備・周辺環境の整備

### 3.3.1 劈開装置

強相関電子系物質など大気中で劣化しやすい試料では、試料表面の電子状態は物質内部の本来のものと異なることが多い。検出深度の大きい HAXPES であっても表面電子状態の影響を無視することができない場合には、真空装置内で試料を劈開して清浄な表面を露出させ、そのまま測定が行われる。BL09XU や BL46XU の HAXPES 装置には図2に示す破断器を有しており、真空中で破断して大気に曝さずに HAXPES 測定することが可能である。



図2 BL09XU 及び BL46XU の HAXPES 装置に設置可能な破断器（但し、BL46XU EH1 の HAXPES 装置は設置不可）

破断器は、BL09XU EH1 の高分解能 HAXPES 装置にはブリパレーションチェンバーに、BL09XU EH2 の三次元空間分解 HAXPES 装置にはロードックチェンバーに常設されている。また、BL46XU EH2 の大気圧 HAXPES 装置ではロードロックチェンバーに取り付けることが可能である。その他、劈開性を有する単結晶試料については、本破断器を用いた劈開も可能である。これらの作業が必要な試料は接着材で固定することがほとんどであり、その固定用に表5に示した劈開用サンプルホルダーを用いている。

### 3.3.2 グローブボックス

大気非曝露での HAXPES を行う場合、3.3.1 項の様に真空槽内での劈開・破断を行うほかに、グローブボックスを経由して HAXPES 装置内に試料を導入する方法をとることができる。例えば各大学の実験室で作成した試料を実験室のグローブボックス内で Ar 封入し、その状態で SPring-8 に輸送して、ビームラインに設置されたグローブボックス内の Ar 雰囲気環境下で開封してサンプルホルダーに固定し、それを密閉されたトランスファーベッセルを用いて各 HAXPES 装置に導入する。各ビームラインで利用可能なグローブボックスとトランスファーベッセルを表6にまとめた。

### 3.3.3 可搬式試料準備チェンバー

実験室で試料を準備し SPring-8 に持ち込むだけでなく、真空中で試料を作成できるよう、試料準備用の装置を用意している (図3)。本装置はターボ分子ポンプとイオンポンプを備え、真空度は超高真空 ( $1 \times 10^{-7}$  Pa 以下) を維持している。イオン銃を備え、Ar スパッタ等の酸化膜の除去や表面の清浄化処理が可能で、またセラミックヒーターによる試料の加熱処理 (600 °C) も可能である。この他、RF スパッタによる蒸着装置や電子衝撃加熱による真空蒸着設備もあり、真空内での薄膜作製が可能である。この他、作製した薄膜を in situ で評価するための LEED/ AES 装置を備えている。

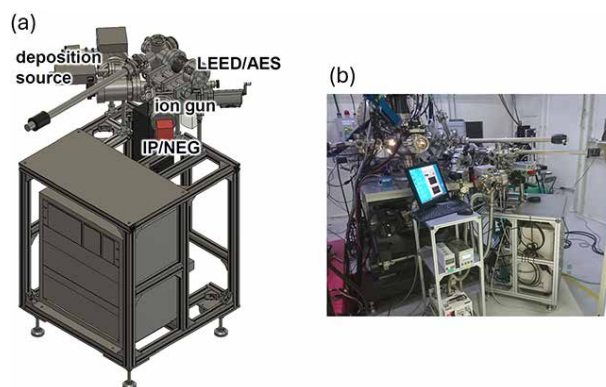


図3 (a) 可搬式試料準備チェンバーの概略図  
(b) BL09XU EH2 3次元空間分解 HAXPES 装置への接続時の写真

表6 BL09XU 及び BL46XU グローブボックスおよびトランスファーベッセル

|                       | BL09XU                                                                                                                                                                                                               | BL46XU                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| グローブボックス<br>外観        |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                        |
| トランスファー<br>ベッセル<br>外観 |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                        |
| スペック                  | <p>グローブボックス<br/>型式: GBJF080R (グローブボックス・ジャパン)<br/>メインボックスサイズ: 800W × 650H × 600D<br/>パスボックスサイズ: 250W × 250H × 350L<br/>メインボックス容量: 300L<br/>露点: -76°C、酸素濃度 ~0.3ppm</p> <p>トランスファーベッセル<br/>接続径: NW40<br/>収納ホルダ数: 5個</p> | <p>グローブボックス<br/>型式: DBO-1NKP-SKYN (美和製作所)<br/>メインボックスサイズ: 1150W × 700H × 700D<br/>パスボックスサイズ: 225W × 320H × 522L<br/>メインボックス容量: 560L<br/>露点: -80°C、酸素濃度: ~0.5 ppm</p> <p>トランスファーベッセル<br/>接続径: ICF152<br/>収納ホルダ数: 5個</p> |

この装置は移動可能で各ビームラインの各HAXPES装置に接続可能な設計になっている。ICF70のゲートバルブを介して各装置に接続し、連結部をポンプで真空排気することで真空接続ができる（図3）。これにより、本試料準備チェンバーで作成した試料を各HAXPES装置に導入し、in situでのHAXPES測定が可能である。

### 3.3.4 各種光源

近年、光触媒や人工光合成などを対象として、光反応過程をその場観察するオペランドHAXPES測定の需要が高まっている。これらに応えるため、当チームではキセノン光源、水銀光源を整備している。試料への光照射については、ビューポートを経由した装置内への照射に加え、真空用のライトガイドや測定チェンバーに設置された専用の集光レンズを通した試料への直接照射も可能である。さらに、BL46XU EH2の大気圧HAXPES装置では導光プローブロッドを用いることで、ガス雰囲気などの

実環境下にある試料に対しても効率的な光照射を実現している（表7, 8）。

## 4. まとめ

当チームでは、BL09XUとBL46XUにおいて計4つのHAXPES装置を運用し、最先端の共鳴、偏光、微小領域、高エネルギー測定から、実環境雰囲気下でのオペランド測定、自動化によるハイスループット測定に至るまで、多様化するユーザーの研究ニーズに幅広く対応可能な体制を整えている。本稿では、各ビームラインと各HAXPESの基本性能に加えて、特にチーム全体で取り組んでいる制御ソフトウェアやサンプルホルダーなどの共通化活動、共有の付帯設備の整備状況について概説した。本取り組みによって、ユーザーが装置ごとの仕様の違いに煩わされることなく、最適な測定手法を選定して効率的な実験が行える環境の構築を目指している。今後は、装置間でのラウンドロビン活動などを通じて、エネルギー軸や分解能、強度といったデータの信頼

表7 利用可能な光源

|                 | キセノン光源           | 水銀光源          |
|-----------------|------------------|---------------|
| 型式              | MAX-303（朝日分光）    | REX-250（朝日分光） |
| 波長              | 235~1050nm       | 240~440nm     |
| ランプ             | キセノンランプ 300W     | 超高圧水銀ランプ 250W |
| ミラーモジュール        | UV-VIS 300~600nm | UV 240~440nm  |
| フィルター<br>チェンジャー | φ 25mm 8枚        | φ 25mm 8枚     |

表8 利用可能な導光装置

|      | 導光ロッドプローブ                                                                           | 石英ライトガイド                                                                            | 真空用ライトガイド                                                                             |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 外観   |  |  |  |
| スペック | 素線材質：石英<br>ロッド径：φ6.5<br>ロッド長：150mm                                                  | 素線材質：石英<br>結束径：φ5<br>全長：2000mm<br>許容曲げ半径：100mm                                      | 素線材質：石英<br>結束径：φ5<br>全長：真空側200mm、大気側1000mm<br>許容曲げ半径：100mm<br>接続ポート：ICF34             |

性に関わる情報を蓄積・共有し、当チーム内におけるHAXPESデータの質的な向上にも取り組んでいきたいと考えている。

## 謝辞

Webアプリケーション開発について、JASRI分光・イメージング推進室 テクニカルスタッフの藤保様に多大な御協力をいただきました。ここに深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 保井 晃、高木 康多: SPring-8/SACLA 利用者情報 **26** (2021) 445-447.
- [2] 安野 聡、Seo Okkyun、高木 康多、保井 晃: SPring-8/SACLA 利用者情報 **28** (2023) 434-438.
- [3] A. Yasui *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **30** (2023) 1013-1022.
- [4] S. Yauno *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **32** (2025) 1578-1585.
- [5] 三村 功次郎 他: SPring-8/SACLA 利用者情報 **28 (1)** (2023) 12-18.
- [6] K. Maeda *et al.*: *JPS Conf. Proc.* **30** (2020) 011137.
- [7] 西原 克浩 他: SPring-8/SACLA 利用研究成果集 **11** (2023) 259-267.
- [8] E. Ikenaga *et al.*: *J. Electron Spectrosc. and Relat. Phenom.* **190** (2013) 180-187.
- [9] Y. Shi *et al.*: *ACS Nano* **18** (2024) 9736-9745.
- [10] S. Yasuno *et al.*: *Rev. Sci. Instrum.*, **94**, (2023) 115113
- [11] Oh, S *et al.*: *Chemical Engineering Journal* **500** (2024) 157106.
- [12] H. Shin *et al.*: *ACS Appl. Mater. Interfaces* **17** (2025) 1499–1508
- [13] N. Ochi *et al.*: *J. Phys. Chem. C* **129** (2025) 20583-20592.
- [14] K. Nakajima *et al.*: *J. Phys. Conf. Ser.* **2380** (2022) 012101.
- [15] A. Yasui *et al.*: *SPring-8/SACLA Annual Report FY 2023* (2024) 33-35.

[16] 保井 晃 他: SPring-8/SACLA/NanoTerasu 利用者情報 **1 (2)** (2025) 126-131

## 安野 聡 YASUNO Satoshi

(公財) 高輝度光科学研究センター  
分光・イメージング推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0833  
e-mail : yasuno@spring8.or.jp

## 保井 晃 YASUI Akira

(公財) 高輝度光科学研究センター  
分光・イメージング推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0833  
e-mail : a-yasui@spring8.or.jp

## 高木 康多 TAKAGI Yasumasa

(公財) 高輝度光科学研究センター  
分光・イメージング推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0833  
e-mail : ytakagi@spring8.or.jp

## ソ オッキュン SEO Okkyun

(公財) 高輝度光科学研究センター  
分光・イメージング推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0833  
e-mail : seo.okkyun@spring8.or.jp

## 唐 佳藝 TANG Jiayi

(公財) 高輝度光科学研究センター  
分光・イメージング推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0833  
e-mail : jiayi.tang@spring8.or.jp

## 産学総合支援室 総合支援チームの取り組み

公益財団法人高輝度光科学研究センター 産学総合支援室 桑 本 滋 生

### Abstract

総合支援チームは、産業分野における応用研究・開発に取り組む研究・開発ユーザーを対象に、ものづくりにおける課題解決を目的とした放射光利用を一貫して支援する「総合支援」を実施している。この総合支援を行うための体制において、案件ごとに構成されるユーザー個別支援チームの中心となる主担当者を総合支援チームが担い、他の専門スタッフやビームラインスタッフと連携して、ユーザーの課題解決に向けた総合支援を実施している。この総合支援を円滑に進めるために、窓口の整備やオフライン解析サービスなどの支援メニューの充実を行い、これらの試行・実装を段階的に重ねながら、総合支援の実効性を高めるべく、将来的な定常運用を見据えた実践的な体制整備を進めている。

### 1. はじめに

2025年度、産業分野の応用研究・開発に取り組む産業界および学术界のユーザー（研究・開発者）を対象に、ものづくりにおける課題解決を目指した放射光利用を総合的に一貫して支援する「総合支援」の運用を担う「産学総合支援室」が新設された。この総合支援は、ユーザーが抱える課題をユーザー目線で理解してその課題解決に最適な利用計画をスタッフからユーザーに提案し、利用実験の実施からデータ解析までの全利用プロセスを一貫して総合的にサポートする支援体制である。その目的は、潜在的な放射光利用ニーズを持つ、分析を専門としない材料開発研究者で、自身の研究の課題解決に必要な情報を得るために適切な分析方法を探し求めている

ユーザー層にも、最適な利用を提供することにある。これにより、放射光産業利用の促進と裾野の拡大、ならびに産業利用成果の最大化を図る。産学総合支援室は「総合支援チーム」「利用基盤開発チーム」「技術支援チーム」の3チームおよび「コーディネータ」で構成される。本稿では、この体制の中で中心となって総合支援運用を牽引する総合支援チームの取り組みについて紹介する。

### 2. 総合支援体制の構築

総合支援は、利用準備段階における「事前相談、実験計画の策定、利用申請」から、実験段階での「実験準備・実施」、さらには実験後の「データ解析」に至るまで、成果創出に向けたユーザーのSPring-8



図1 総合支援によるユーザーの全利用プロセスの一貫支援

利用の全プロセスを一貫してサポートするものである（図1）。2024年度に産学総合支援室の前身である産業利用・産学連携推進室の下で発足した総合支援チームは、この総合支援を円滑に運用するためのノウハウを蓄積するためにその試験運用を行い、運用体制の構築を進めた。この知見に基づいて、2025年度に産学総合支援室が創設された。

本総合支援体制では、各ユーザーの支援ごとに「主担当者」を配置し、担当ユーザーの全利用プロセスを一貫して総合的に支援して、その課題解決に結びつける。ユーザー支援案件ごとに主担当者を1名割り当て、当該主担当者を総合支援チームが担う。主担当者1人当たりの対応件数は年間で4～5件を想定しており、多様な材料分野や利用技術に対する支援が求められる。そのため、主担当者はユーザーの課題の解決に最適な実験技術、解析方法を選択して最適な実験計画の提案・支援を行うため、実験技術・ビームライン横断的な利用支援のスキルが必要である。

この利用技術横断的な主担当者の支援を実験技術、解析技術の専門的な面から補佐を行う「実験技術専門スタッフ」、「解析技術専門スタッフ」、さらに支援全体を円滑に進めるためのタスク管理を行う「タスク管理者」を配置し、チーム体制（ユーザー個別支援チーム）による支援を行う（図2）。実験技術専門スタッフとしては、ユーザーが利用する各ビームライン（BL）の担当者との連携協力を想定し、その連携協力を技術支援チームが補佐する。解析技術専門スタッフは利用基盤開発チームが担当し、タ

スク管理者はコーディネータが担当する。これらの体制のもと、総合支援チームを中心とした組織的な支援を実施する。この総合支援運用により、複雑で専門性の高い放射光実験であっても、ユーザーが安心して研究に取り組める環境を整備し、支援の実効性と持続性の向上を図る。

### 3. 総合支援を担う人材の育成

前述の通り、総合支援体制において主担当者を担う総合支援チームのスタッフは、担当ユーザーの課題を理解し、その解決に適した放射光利用技術を選定・提案し、放射光利用技術およびBLを横断的に活用した支援を行う。そのため、その人材としては、ユーザーの研究対象となる材料技術に深く精通するとともに、放射光利用技術については複数の実験技術および解析技術を横断的に理解し、実際の支援に活用できることが求められる。総合支援チームは、こうした能力を備えたスタッフで構成されており、単一分野に特化した専門家の集合ではなく、複数の技術分野を横断的に扱うことのできる、いわゆるマルチモーダル人材を中核として支援を行っている点特徴とする。

一方で、産業利用では材料分野の対象範囲が非常に広範であることから、現在のチームメンバーで行う包括的な支援にも限界があり、全ての課題に十分対応できる段階には至っておらず、引き続き計画的かつ継続的な人材育成が不可欠な状況にある。この人材育成においては、ユーザーの課題やニーズを起点としたニーズドリブン型の人材育成を重視し、実

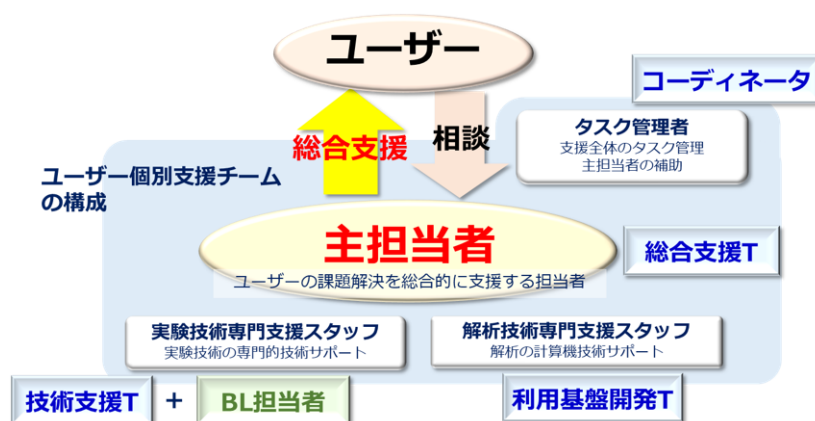


図2 総合支援体制における産学総合支援室の役割

際の総合支援業務を通じたOn-the-Job Training(OJT)により、利用技術・解析技術・材料技術を横断的に習得する取り組みを行っている。これにより、総合支援を担う人材基盤の着実な強化を図っている。

#### 4. 総合支援試行と総合支援受付窓口の設置

前述した通り、総合支援チーム発足初年度の2024年度に実施した総合支援の試行運用では、支援業務における実務的な課題の抽出に加え、運用手法に関する知見や支援技術の蓄積を進めることができた。その結果、支援状況に応じて進捗や対応内容を柔軟に管理するタスク管理の重要性が明らかになった。

こうしたタスク管理を適切に行うためには、ユーザーに関する情報、特にユーザーが解決したい課題を的確に把握するための事前相談のプロセスを体系的に精査することが重要である。そこで、まず事前相談の受付窓口を一本化し受付履歴を自動的に残すためのWEB受付窓口フォームを利用推進部の協力の下設置した(SPring-8 User Information内：<https://user.spring8.or.jp/?p=20774#4>)。本窓口は、総合支援の円滑な実施と効率的なタスク管理を行う上で重要な役割を担っている。さらに、この受付窓口フォームのシステムをベースとして、総合支援を受けるユーザーの利用情報を一括して管理する情報管理システム(カルテシステム)の構築を目指している。本カルテシステムの構築により、過去の支援事例を参考とした支援計画の検討が可能となり、ユーザーに対してより適切かつ迅速な支援提案が実現される。

#### 5. 有償支援メニューの充実

2025年度からは、総合支援の本格運用を開始するにあたり、運用体制の整備とともに、具体的な支援メニューの充実に取り組んでいる。

2024年度に実施した総合支援の試行運用において、総合支援プロセスの中で、特にデータ解析に関する要望が高いことが確認された。放射光実験では、高度なデータ解析技術・解析環境を必要とする場合が多く、ユーザーにとって負担の大きいプロセスとなっている。この課題に対応するため、新たな支援

メニューとして、実験後に実施する有償の解析サービスの整備を検討している。このサービスのテスト運用を「オフライン解析サービス」として2025年10月より共同研究または受託研究の枠組みを活用して開始した。あわせて、同時期にサービス案内用のWebページを開設した(<https://support.spring8.or.jp/inquiry.html>)。本サービスでは、XAFSおよびSAXSの取得済みデータを対象とした解析支援を提供しているが、ユーザーのニーズに応じて、共同研究の枠組みを活用し、本年度はCTおよびXRDについても柔軟に対応した(2026年1月の時点での実績：6件)。

また、データ解析以外にも、オペランド実験の総合支援の一例として、ユーザー自身での開発が困難な特注実験装置(試料セル、等)の開発を主担当者とユーザーとの共同研究契約(有償)で実施する実績(1件)を上げた。

このようなサービスの段階的な試行と実装を重ねることで、総合支援の実効性をさらに高め、将来的な定常運用を見据えた実践的な支援体制の構築を進めていく。特にデータ解析に関する支援メニューの充実、放射光利用の裾野を広げ、多様な分野の研究者にとってSPring-8をより利用しやすい環境を提供する上で重要な要素となる。

#### 6. 最後に

総合支援は、総合支援チーム単独で完結できるものではなく、他推進室チームや他部門との緊密な連携によって初めて実現できる取り組みである。産学総合支援室内の利用基盤開発チームや技術支援チーム、コーディネータとの連携はもちろんのこと、ユーザー利用制度面では利用推進部との協力が欠かせない。利用制度の整備・運用や総合支援の窓口機能の構築など、幅広いユーザーが利用しやすい環境づくりを進めるうえで利用推進部との連携が必須である。また、実際のユーザー実験支援の現場では、申請から実験準備、実験実施に至る各段階で柔軟かつ的確な対応を行うために、他推進室チームやBL担当スタッフとの緊密な連携が不可欠である。

このように、総合支援は他推進室チームや他部門との連携を前提として成り立つ取り組みであり、こう

した協力体制があってこそ実効性を持って機能する。  
今後も関係各位との連携をさらに強化し、より多くのユーザーが利用しやすいSPring-8の実現と、支援体制の一層の充実を目指して取り組んでいきたい。

**桑本 滋生 KUWAMOTO Shigeo**

(公財) 高輝度光科学研究センター

産学総合支援室

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

TEL : 050-3496-8965

e-mail : s-kuwamoto@spring8.or.jp

# Conference Report of the 12<sup>th</sup> Annual Ambient Pressure X-ray Photoelectron Spectroscopy Workshop (AP-XPS 2025)

Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI) Seo Okkyun

## 1. Introduction

This is my third consecutive annual ambient pressure X-ray photoelectron spectroscopy (AP-XPS) workshop, including this one. The 10<sup>th</sup> AP-XPS workshop was held in Taipei, Taiwan, the 11<sup>th</sup> in Sendai, Japan, and this 12<sup>th</sup> took place in New York, where NSLS-II is located. Since this is my third AP-XPS workshop, I'm starting to recognize more familiar faces among AP-XPS researchers from the US and Europe. The fact that AP-XPS is held every year shows that this research is gaining popularity and recognition. Unlike the two previous conferences in Asia, this one was mainly attended by researchers active in the

US and Europe. This might be partly because Asian participants decreased due to overlap with MRM2025 in Japan and ICAMD2025 in Korea. Another reason could be the absence of researchers from China and Taiwan due to visa issues and long travel times. In any case, this conference took place from December 9<sup>th</sup> to December 12<sup>th</sup> at the Atlantis Hotel and Conference Center, located about an hour east of NSLS-II.

## 2. Conference

The 12<sup>th</sup> annual AP-XPS2025 workshop began at 1:30 PM on December 9<sup>th</sup> with an introduction from Dr. Jim Misewich, Associate Laboratory Director



Figure 1. Group photo of 12th Annual Ambient Pressure X-ray Photoelectron Spectroscopy workshop at the Atlantis Hotel and Conference Center.

for Energy and Photon Science at Brookhaven National Laboratory (BNL). 34 speakers delivered oral presentations on their research topics, including 24 contributed, 8 invited, and 2 plenary speakers. 29 researchers, including myself, also presented poster sessions. One of the conference's most notable features was the numerous presentations on traditional surface chemistry using single-crystal model systems. One plenary speaker and six invited speakers discussed model systems for studying surface reactions with single crystals. AP-XPS is an ideal tool for observing surface reaction mechanisms, and single-crystal model systems are the best options for examining specific surface chemical reactions. Additionally, the AP-XPS beamline at NSLS-II is recognized as the most active beamline for single-crystal research, so most invited speakers focused on related topics. Specifically, Dr. Miquel Salmeron of Lawrence Berkeley National Laboratory in USA delivered a plenary talk on designing a differential pumping system, which laid the foundation for AP-XPS research and showcased its practical applications. His presentation provided valuable insights into the significance of AP-XPS in surface chemistry and highlighted recent progress in single-crystal model system research using AP-XPS.

This conference stood out because of its focus on precise XPS analysis. XPS uses complex curve fitting techniques to identify and quantify chemical states efficiently. Since interpretation methods are not standardized, explanations of XPS results have varied widely. Presentations by Prof. Frank de Groot of Utrecht University in the Netherlands and Prof. Mark C. Biesinger of Western University in the UK offered valuable insights into how to interpret XPS spectra through core-level shape and peak fitting methods. Although many interpretive challenges still exist in XPS research, this discussion marked a step forward at the academic level toward more accurate interpretation of XPS spectra.

There was also a presentation on the development of the new AP-XPS techniques. Yu Murano, a doctoral

student at the University of Tokyo in Japan, presented on "The real ambient pressure photoelectron spectroscopy measured with soft X-rays." Previous research in the 1-bar range had been conducted at the AP-HAXPES of SPring-8 and PETRAIII. For the first time in the world, 1-bar XPS measurements were performed in He and H<sub>2</sub> environments using soft X-rays at the BL8U beamline of NanoTerasu. The impressive part was the effort to minimize the reduction of X-ray intensity due to gas scattering before reaching the sample, as well as the reduction of intensity caused by photoelectron scattering by the gas, by minimizing the distance between the X-ray beam and the sample, and between the sample and the nozzle, to obtain photoelectrons. I also presented research on simultaneously measuring HAXPES spectra and XRD in a chamberless setup. While the distance between the X-ray beam and the sample is not critical when using hard X-rays, minimizing the distance between the sample and the nozzle was a key point in this study. Air has a shorter electron scattering mean free path between photoelectrons and gas than He, resulting in a significant amount of background signal. However, by injecting He gas through a gas

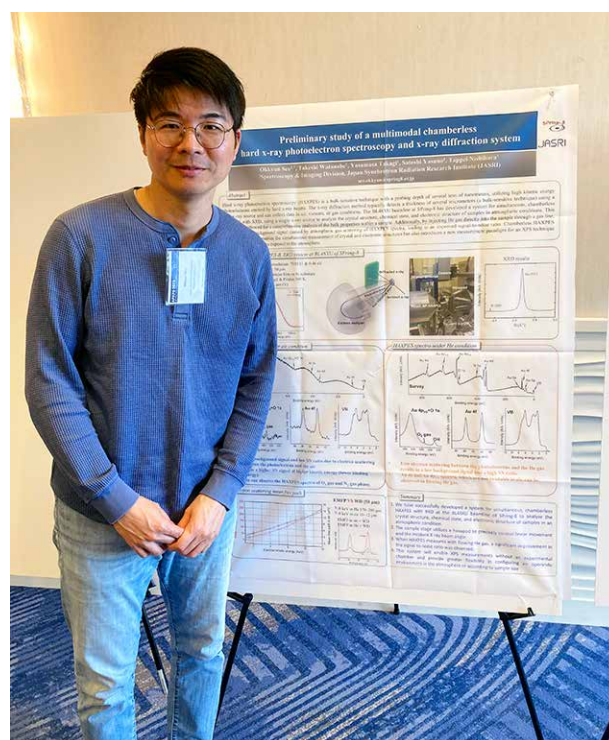


Figure 2. Photo in front of the research poster.

injection pipe, spectra with excellent signal-to-noise ratios, similar to those measured in a vacuum, can be obtained. Simultaneously, XRD data was also presented. Because this measurement method, one of the hallmarks of XPS, does not require a chamber, it offers a new opportunity for researchers to share and exchange research results.

A session titled “Facility Updates” provided updates on the Diamond Light Source in UK, ALBA synchrotron in Spain, Elettra in Italy, Japan’s synchrotron radiation union, and MAX-IV in Sweden, along with information on upgrades. MAX-IV was the first to introduce a fourth-generation synchrotron radiation facility, but its emittance has since fallen short of newer synchrotron facilities, leading to an announcement of an upgrade. Although SPring-8 has not yet been upgraded, news of upgrades to the operating fourth-generation synchrotron radiation provided a glimpse into the rapidly evolving field of synchrotron radiation. The ALBA synchrotron was also planning to build a new AP-XPS beamline,

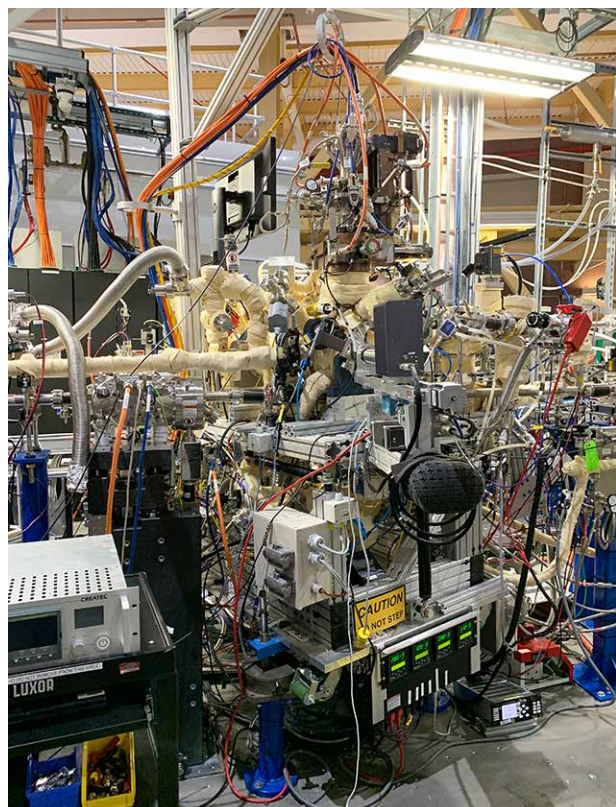


Figure 3. Photo of the AP-XPS apparatus at the *in-situ* operando soft X-ray spectroscopy (IOS) beamline of NSLS-II

specifically a surface structure and spectroscopy at 1 bar (3Sbar) beamline using HAXPES. The official meeting schedule concluded with the announcement that the next 13<sup>th</sup> annual AP-XPS2026 workshop would be held at the ALBA synchrotron.

After the AP-XPS workshop, we took a bus to BNL. All the participants used own ID card at the BNL Science and User Support Center to apply for access, then entered the Center for Functional Nanomaterials (CFN). This building houses lab facilities for analyzing nanomaterials with equipment like STM, APXPS, TEM, and Raman spectroscopy. Located next to the synchrotron radiation facility, it had the advantage of first examining nanomaterials at the lab source before measuring them directly at the beamline. After touring the CFN, we visited NSLS-II, where the AP-XPS beamline is located. Having previously studied bulk properties in high-pressure environments using hard X-rays at SPring-8, I became increasingly interested in surface chemistry with soft X-rays. I also explored other spectroscopy beamlines. I met my friend, Dr. Akhil Tayal, who works at the Inner Shell Spectroscopy (ISS) beamline, where he studies hard X-ray absorption fine structure and emission. Dr. Tayal was a colleague of mine during my postdoctoral year at the BL15XU NIMS beamline of SPring-8. I had the chance to hear from him about the high-resolution XAFS setup and the advanced technology used at the ISS beamline. The beamline tour reminded me that while synchrotron radiation facilities are large and spread around the world, the researchers working in them are connected and small. After the BNL tour, I wrapped up the conference excited for a new meeting at the 13<sup>th</sup> AP-XPS2026 workshop next year in Spain.

### Seo Okkyun

Spectroscopy & Imaging Division  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)  
SPring-8, 1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198  
e-mail : seo.okkyun@spring8.or.jp

## 第11回大型実験施設とスーパーコンピュータとの 連携利用シンポジウム報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
産学総合支援室

佐藤 眞 直

### 1. はじめに

10月17日に東京・秋葉原のUDX NEXT-1,2における現地開催とオンラインのハイブリッド形式にて開催した「大型実験施設とスーパーコンピュータとの連携利用シンポジウム」について報告する。

本シンポジウムは、SPRing-8/SACLA/NanoTerasu、J-PARC MLFといった大型実験施設と「富岳/京」をはじめとするスーパーコンピュータとの連携利用によって新たな研究成果を生み出すことを目指し、実験計測と計算科学の研究者が集う場として2014年より、放射光施設SPRing-8/SACLA/NanoTerasuの登録機関である(公財)高輝度光科学研究センター(JASRI)、中性子施設J-PARC MLFの登録機関である(一財)総合科学研究機構(CROSS)、それから高速電子計算機施設「富岳」の登録機関である(一財)高度情報科学技術研究機構(RIST)の3者の共同主催で開催されてきた。その内容としては、これら先端大型研究施設の連携活用による利用成果の深化が期待される研究分野をテーマとして掲げ、その分野のトピックスに取り組む研究者による講演会を行い、施設間連携活用の可能性について議論を行ってきた。第11回を迎える今回は、持続可能な社会の実現と安全・安心なインフラ構築に不可欠な「構造材料」をテーマとし、6名の講師の方にご講演いただいた。参加者総数は150名であり、その所属内訳は、企業47名、大学19名、国立研究開発法人11名、財団法人60名、行政8名、その他5名であった。また、上記参加者のうちオンラインでの参加は86名であった。

プログラムは以下の五つのセッションの構成であった。

第1セッション：施設と登録機関の現状（開会挨拶、施設と登録機関の紹介）

第2セッション：構造材料研究における量子ビームと計算機の利活用

第3セッション：マルチスケールシミュレーションを用いた材料設計

第4セッション：放射光・中性子を利用した構造材料の評価

第5セッション：ポスター展示

以下に詳細を記す。

### 2. 開会挨拶および第1セッション：施設と登録機関の現状

まず、主催者を代表してJASRIの中川 敦史理事長およびCROSSの横溝 英明理事長から開会の挨拶がなされた後、文部科学省の伊藤有佳子参事官補佐から挨拶があり、その中で本シンポジウムが取り扱う先端大型研究施設の連携利用は、現在策定に向けた議論が進められている次期の第7期科学技術・イノベーション基本計画の「研究力の強化」、「人材育成」、「イノベーション力の向上」、「経済安全保障との連携」といった主要な柱に貢献する重要な取り組みであることをコメントいただいた。



写真1 講演会場の様子  
(文部科学省 伊藤参事官補佐 ご挨拶)

続いて、JASRIの久保田 康成 利用推進部長、CROSSの松浦 直人 研究開発部長、RISTの齊藤 哲 産業利用推進部長から、それぞれの機関が利用促進業務を担当するSPRing-8/SACLA/NanoTerasu、J-PARC、富岳・HPCIの施設紹介（運転状況、利用状況、利用制度、等）が行われた。

### 3. 第2セッション：構造材料研究における量子ビームと計算機の利活用

第2セッションでは、金属の構造材料への量子ビーム、計算科学の相補的活用に関する活用事例紹介に関する講演が2件行われた。

1件目は、茨城大学の友田 陽 名誉教授から、大型の国家プロジェクトによって牽引された近年の金属構造材料の強度・変形特性（機械特性）の制御を目指した研究のトレンドについて講演いただいた。国家プロジェクトの例として、自動車軽量化を目指した革新的新構造材料研究開発、航空機産業への貢献を目指したSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）、構造材料の機械特性の基礎学理の追究を目指した元素戦略プロジェクトの構造材料研究拠点を上げられ、その中で、「材料創製」、「実験・解析」、「計算科学」の3者が緊密に協力し合う三位一体のアプローチが、日本の金属構造材料研究における標準的なスタイルとして確立されたことが紹介された。このスタイルによって進められた、計算科学による金属材料の機械特性予測の実現を目的とする機械特性の発現メカニズムの研究において、そのメカニズムの主要因となる金属組織に生じる現象（格子歪み、転位密度、結晶粒径、集合組織、等）を評価する強力なツールとして量子ビームによる回折測定実験が機能することを、前述の国家プロジェクトで取り組まれた研究事例を用いて説明された。これにより金属構造材料研究における放射光・中性子の量子ビームによる実験技術と計算科学の相補的連携の重要性を示された。さらに今後の展望として、計算科学による機械特性予測について「ある組織から特性を予測する」順解析は可能になりつつあるが、「望ましい特性を持つための組織設計を予測する」という逆解析は解が一意に定まらないため非常に難しく、その解の候補を効率的に探索するた

めに大規模データベースの構築が重要となるであろうことが説明された。

2件目は、日本原子力研究開発機構の菖蒲 敬久 先生から、金属組織に生じる格子歪みの回折測定による評価技術の具体例として、放射光と中性子それぞれの特徴および両者の相補利用による利点について講演いただいた。まず中性子応用の特徴として、その材料に対する高い透過能を活用して実機に近い大型構造材料の内部応力分布の非破壊測定が可能である点を挙げて、その事例としてコンクリート建造物の耐震補強などに用いられる後施工アンカーの内部応力分布の評価事例が紹介された。次に放射光応用の特徴として、高輝度光源による高速・高空間分解能測定が可能である点を挙げて、その事例としてレーザーピーニングによる表面改質材の表面近傍の残留応力分布の高空間分解能測定の事例や、レーザー溶接材の高温引張下での溶接部近傍の歪み分布変化のその場測定の事例が紹介された。さらに中性子の材料深部測定能と放射光の高空間分解能を組み合わせる相補的に活用した事例として、放射光・中性子相補活用による自動車のクランクシャフト部品内部全体の高精細な応力分布の評価に成功した事例が紹介された。



写真2 講演会場の様子  
(茨城大学 友田先生 ご講演)

### 4. 第3セッション：マルチスケールシミュレーションを用いた材料設計

第3セッションでは、構造材料研究に計算科学によるシミュレーションを主体的に活用した事例を紹介する講演が2件行われた。

1件目は、慶應義塾大学の村松 真由 先生から、ナノ多結晶金属が示す特異な機械特性のメカニズム解明を目的としたシミュレーション技術開発の研究成果についてご講演いただいた。このナノ多結晶金属は、高強度でありながら比較的高延性を示すという特異な機械特性を示す。このメカニズムの仮説として、塑性変形を主として担う「転位」が微細化された結晶粒内に入りにくくなって変形が阻害される高強度化のメカニズムに対し、変形の代替メカニズムとして結晶構造が部分的に変化する「双晶」が機能しているのではないかという説が提唱されており、この検証をシミュレーションで行うことが課題となっている。この「転位」や「双晶」のような結晶欠陥の発生・進展といった原子レベルの現象を再現するシミュレーション手法としては分子動力学(MD)が多用されるが、構造材料が経験するマクロな変形下の応力状態を再現することは難しい。そのため、その問題を解決する手法として、マクロな変形を連続体力学スケールの有限要素法(FEM)でモデル化し、結晶欠陥をMDシミュレーションでモデル化して両者を連結するマルチスケールシミュレーション手法を開発された。講演ではその連結に必要なFEM-MD間の情報伝達の工夫や想定される大規模解析を可能にするための計算コスト削減の工夫について説明され、この手法の意義として局所的な単純な現象解明であればミクロ単独のMDで十分な場合もあるが、不均一な変形状態が想定される現実の構造物を扱う場合、有効であると示された。

2件目は、住友ゴム工業株式会社の内藤 正登 先生から、同社の次世代タイヤ開発研究におけるマルチスケールシミュレーションの活用成果についてご講演いただいた。講演では、相反関係にあるタイヤの3つの主要性能(グリップ性能、転がり抵抗、耐摩耗性能)をそれらの相反関係を克服して全体的にバランスよく向上させるタイヤゴム材料設計指針を得ることを目的とした、ゴム材料の内部構造と性能の相関解明へのコンピュータシミュレーションの応用について紹介された。シミュレーション手法としては、複合材料であるゴム材料の階層的な内部構造で起こる現象が時空間的に広いスケールにまたがるため、そのスケールに応じて複数のシミュレーシ

ン手法(量子化学計算、全原子MD、粗視化MD、FEM、等)を組み合わせ使い分ける「マルチスケールシミュレーション」を活用された。その事例として転がり抵抗の原因となるエネルギーロスが発生するゴム内部構造の部位の予測、タイヤ摩耗の破壊プロセスのシミュレーション、環境に応じて分子ネットワークを変化させて機械特性(硬さ)を変化させるタイヤゴム材料の開発への応用成果が説明され、特に最後の事例は同社の次世代タイヤ技術「アクティブトレッド」の開発に繋がったことが紹介された。

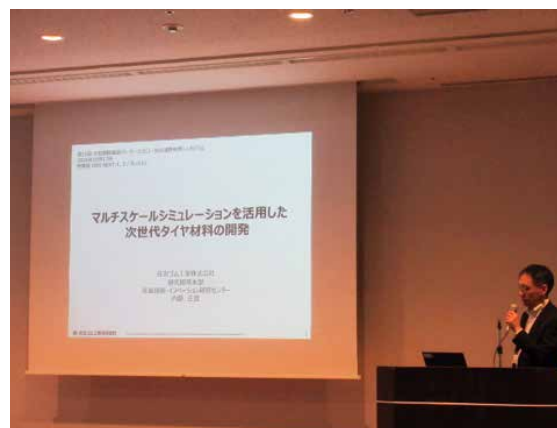


写真3 講演会場の様子  
(住友ゴム工業株式会社 内藤先生 ご講演)

## 5. 第4セッション：放射光・中性子を利用した構造材料の評価

第4セッションでは、放射光・中性子の量子ビーム分析技術を用いた構造材料研究事例を紹介する講演が2件行われた。

1件目は、京都大学の今井 友也 先生から、生物系の構造材料であるセルロース合成プロセスの検討への放射光小角X線散乱(SAXS)の応用についてご講演いただいた。講演の内容は、複数の結晶多形を示すセルロースのうち最も高い結晶弾性率を示す生物からしか合成されないセルロースI型(繊維状構造)について、その人工合成プロセスにつながる形成過程のメカニズム解明を目指した研究事例が紹介された。このメカニズムに関する知見を得るために、酢酸菌から抽出した酵素によって人工的に合成できるII型(ボール状構造)の形成過程をSPRING-8 BL40B2における放射光SAXSのその場測定で観察

した結果、小さな素構造が形成される初期段階とその素構造が急激に集合し成長し始める第2段階があることがわかり、この第2段階の無秩序な集合を制御する機構がセルロースI型を合成する酵素に備わっていることが推定される知見を得られたことが説明された。

2件目は、秋山精鋼株式会社の西田 智 先生から鉄鋼丸棒の引き抜き加工における残留応力解析への中性子線回折とFEMシミュレーションの応用についてご講演いただいた。講演内容は構造材料メーカーである同社の引き抜き加工等の工程で製造した構造用鋼が顧客先での加工時に変形・反り、精度低下、割れなどの問題を生じるケースの対策として、その原因と考えられる鋼材中の残留応力分布の評価とその発生メカニズムの検討を茨城大学の西野研究室との共同研究で実施した研究事例をご紹介いただいた。引き抜き加工、矯正加工を施された丸棒鋼中の残留応力分布の評価をJ-PARC MLFの「匠」で実施した結果、引き抜き加工で生じた残留応力分布が矯正加工により低減する様子が確認され、その結果をFEMシミュレーションと比較したところほぼ実験結果を再現していることが確認された。この結果を元にした日常的な品質保証へのフィードバックとして、上記の結果から信頼性が保証されたFEMシミュレーションと実験室X線回折装置を併用した簡易評価法を考案されたことが紹介された。



写真4 講演会場の様子  
(京都大学 今井先生 ご講演)

## 6. 閉会挨拶および第5セッション：ポスター展示

第4セッション終了後、主催者を代表してRIST

の田島 保英理事長から閉会の挨拶がなされた。

その後、ポスター展示および意見交換の時間が持たれた。このポスター展示は参加者の意見交換の機会を増やすため、昼食休憩後にも時間が設けられた。ポスターの内容としては、主催者であるJASRI、CROSS、RISTからのそれぞれが利用促進業務を実施する施設についての紹介の他、物質・材料研究機構、茨城大学、三菱マテリアル株式会社、日本原子力研究開発機構、産業技術総合研究所から、構造材料に対して放射光・中性子・大型計算機を利用した研究に関連する報告がなされた。その他、本年度は新しい企画として株式会社Quemixから同社が開発した材料開発研究用のソフトウェアのデモンストレーション展示が行われ、内容の充実を図った。その結果として、従来よりも盛況となり、活発な意見交換が行われていた。



写真5 ポスター会場の様子

## 7. まとめ

今回、「構造材料」という機能を主眼としたテーマ設定のもとで、構造材料として長い歴史を持つ金属からタイヤゴムの有機材料や新しい生体由来材料まで多様な材料研究事例を紹介でき、各々に対して放射光、中性子、計算科学の組み合わせでその課題に合わせた多角的なアプローチができることを示すことができた。またその成果についても、学術的な基礎研究から企業の事業への貢献まで幅広く活用できることを紹介することができた。これにより、本シンポジウムの目的である放射光、中性子、計算科学の連携活用による研究成果の深化の可能性をアピールし、これら先端大型研究施設の連携利用の検

討へのヒントを参加者に提供することは果たせたと考える。

本企画の3登録機関の連携活動は、これまで連携利用による研究成果の情報を発信する「種まき」を行ってきたが、今後はより積極的な活動として、例えば各機関が運用する共用施設の利用を実際に体験する「研修会」等の開催などの具体的な利用を獲得する「収穫」にシフトすることを検討している。

最後に、本シンポジウムの開催に際し、講師選定や講師の先生方との交渉にあたっていただいた3登録機関で構成されるプログラム委員の方々へメンバーのお名前を記して感謝を申し上げます。

(プログラム委員)

浅見 暁 (RIST)、漆原 良昌 (JASRI)、瀬戸 秀紀 (CROSS)、筒井 智嗣 (JASRI)、舟越 賢一 (CROSS)、吉澤 香奈子 (RIST)

佐藤 真直 SATO Masugu

(公財) 高輝度光科学研究センター

産学総合支援室

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

TEL : 0791-58-0924

e-mail : msato@spring8.or.jp

# The 2025 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2025) 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター 回折・散乱推進室 赤田 圭史

## 1. はじめに

2025年12月15日から20日までの6日間、米国ハワイ州ホノルルにおいて、The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2025) が開催された<sup>[1]</sup>。Pacifichemは、環太平洋地域の主要化学会が合同で主催する国際会議であり、化学の基礎から応用までを包含する幅広い研究領域を一堂に集めた点に大きな特徴がある。本会は1984年に創設され、概ね5年に一度ホノルルで開催されており、Pacifichem 2025は第9回に位置づけられている。

Pacifichem 2025のホスト学会はCanadian Society for Chemistry (CSC)であり、主催学会としてAmerican Chemical Society (ACS)、Chemical Society of Japan (CSJ)、Chinese Chemical Society (CCS)、Korean Chemical Society (KCS)、New Zealand Institute of Chemistry (NZIC)、Royal Australian Chemical Institute (RACI) が名を連ねる。会場にはハワイコンベンションセンターを中心

に、Hilton Hawaiian Village Waikiki Beach Resort、Sheraton Waikiki Beach Resort、Sheraton Princess Kaiulani Waikiki Beach等、ワイキキ周辺の複数施設が用いられた。

## 2. 会議の概要

Pacifichem 2025の全体テーマは“Building Communities to Address Global Challenges”であり、気候変動、資源循環、エネルギー変換、健康・医療、環境保全といった地球規模課題に対し、分野・世代・国境を越えた研究コミュニティの形成を通じて解決へ向かう姿勢が明確に示された。

12月15日(月)の夜にはOpening Ceremonyが開催され、ホスト学会等からの歓迎挨拶に続き、カナダのChief Science AdvisorであるDr. Mona NemerによるPlenary Sessionが行われた。続けてWelcome Receptionが同日に開催され、初日から異分野・多国籍の参加者が一斉に交流を開始できる設計となっていた。



図1 会場となったハワイコンベンションセンター



図2 会場内に設置された記念撮影スポット



図3 オープニングセレモニーで披露された伝統舞踊

筆者は初日に開かれた Progress In Polymer Dynamics というレオロジー関連のシンポジウムに参加し、SPring-8で整備している rheo-SAXS の成果について報告した。

Pacificchem 2025 では、一般的な「全体プレナリー」に加え、Topic Plenary Sessions が 16 日～19 日の 4 日間、毎日 18:30-19:30 に設定されていた。これらはハワイコンベンションセンターで実施され、各 Topic Plenary は、当該分野の第一線研究者と次世代を担う研究者の 2 件講演で構成され、同日夕刻のポスターセッションへ接続する導入として位置づけられていた。

日別のトピックは、

16 日：Materials / Physical

17 日：Analytical / Chemistry for Life Science and Healthcare / Inorganic

18 日：Biological / Educate, Communicate, and Translate / Organic

19 日：Chemistry and Engineering for Sustainability / Computational and Theoretical / Macromolecular

と整理され、分野横断の聴講を促しつつ、ポスター会場での議論へ自然に接続する導線が設計されていた。

その中でも日本にゆかりのある講演者は以下であった。

1. Reiko Oda (小田 玲子) / 所属：フランス国立科学研究センター (CNRS)

分子が自発的に集まってできる「らせん(キラル)」構造を、分子～ナノ・メソスケールまで俯瞰する。光学応答などの性質が、階層構造の形成とどう結びつくかを平易に整理し、キラル材料の展望を示した。

2. Koichi Tanaka (田中 耕一) / 所属：株式会社島津製作所

生体分子を壊しにくく測れる質量分析(ソフトなイオン化)の開発を軸に、分析化学の進展を紹介した。

高感度計測が、タンパク質解析や医療応用(早期検出など)へ広がる道筋を概説した。

3. Hugh Nakamura (中村 斐有) / 所属：香港科技大学 (HKUST)

非天然の部位も取り入れた「環状ペプチド」を、どう設計し合成するかを解説した。構造を固定して安定性や結合特性を高め、創薬などへの応用可能性を示した。

4. Toshifumi Mori (森 俊文) / 所属：九州大学  
生体分子の動き(配座変化など)が、反応や機能にどう影響するかを理論・計算で捉えた。シミュレーションを用いて、複雑なダイナミクスから仕組みを読み解く考え方を示した。

Pacificchem 2025 は、環太平洋地域の主要化学会が協働して開催するという枠組みにより、化学が物理・生物・材料・工学へと接続領域を拡張しつつ、共通課題の解決に向けた交流と共同の機会を提供する場として設計されている。会議テーマである“Building Communities”は、特別セッションや地域連携イベント、Topic Plenary とポスターを連結するプログラム設計などに具体化されており、研究成果発表に加えて「人と課題をつなぐ」場づくりが強く意識されていた。

### 3. おわりに

ハワイの気候は年間を通じて温和である一方、季節区分としては概ね 10 月～4 月が冬に相当し、降水が増えやすい時期に入り、ホノルルの 12 月は体感として日本の春に近い。一方で、短時間の降雨に遭遇する場面も多い。学会では会場間移動が多く、薄手の上着に加えて、携帯用の雨具が便利であった。学会前日はホノルルマラソンの開催日であり、マラソンと学会で渡航者が急増する期間中は航空券料金が大幅に値上がりしたため、筆者は会期中で帰国の途についた。

最後に、本学会は放射光と親和性の高い研究分野（材料、触媒、計測・分析、計算科学等）も広く含まれており、SPring-8関係者にとっても、自身の研究を国際的な課題設定の中で捉え直す上で有益な機会であった。

発表した研究内容は科研費23K13243、25K01164、JST ACT-X JPMJAX24D2、JST さきがけ JPMJPR2501の支援を受けて実施した。

#### 参考文献

[1] <https://pacificchem.org/>

#### 赤田 圭史 AKADA Keishi

（公財）高輝度光科学研究センター

回折・散乱推進室

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

TEL : 0791-58-0950

e-mail : keishi.akada@spring8.or.jp

## The 19th Conference of Asian Crystallographic Association 2025 (AsCA2025) 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
回折・散乱推進室

佐々木 俊之

### 1. はじめに

※生物科学分野の報告は、後半（水野氏）の記事に記載しています。

2025年12月1日～6日にかけて、台湾の台北にてThe 19th Conference of the Asian Crystallographic Association (AsCA 2025) が開催された。AsCAはアジア・オセアニア地域における結晶学および構造科学の研究者が集う主要な国際会議であり、今回は「Jointly hosted by Taiwan and Japan」と銘打たれ、台湾と日本の強力なパートナーシップのもとで開催された点が大きな特徴である。組織委員長は、National Synchrotron Radiation Research Center (NSRRC) のChun-Jung Chen教授と、Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI) / 大阪大学の中川敦史教授が共同で務め、両国の結晶学コミュニティが密接に連携した運営が行われた。主催団体には、International Union of Crystallography Committee of R.O.C.、Taiwan Crystallographic Group、NSRRC、Taiwan Convention & Exhibition Associationに加え、日本結晶学会が名を連ねた。また、共催として台湾の最高学術研究機関であるAcademia SinicaのInstitute of ChemistryおよびInstitute of Molecular Biology、The NCKU Center of Crystal Research、National Science and Technology Councilなどが名を連ね、現地の主要な研究機関・行政機関が全面的にバックアップを行う体制で開催された。開催地となった台北市は、12月でも温暖で過ごしやすく、会場となったTaipei International Convention Center (TICC) は、台北のランドマークである台北101のすぐそばに位置している（図1）。周辺は近代的な商業施設が立ち並ぶ一方で、少し足を伸ばせば夜市などの台湾らしい活気ある風景も楽しめるロケーションであった。日本

からのアクセスも非常に良く、時差もわずか1時間であるため、多くの日本人研究者が参加していたのが印象的である。



図1 台北101、TICC、およびTICCの入口前に設置されたAsCA 2025の看板

### 2. 学会の内容

AsCA 2025の参加者は世界28カ国・地域から700名を超える規模となった。国別の内訳としては、日本からの参加者が最も多く約250名、次いで開催地の台湾が約200名、韓国が約130名と続き、これら3カ国で全体の大部分を占めた。日本から多くの研究者が渡航したことは、日台共同開催という本会議

の性質を如実に反映しており、国際会議でありながらも日本と台湾のコミュニティが密接に融合した活気ある大会となった。

日程構成としては、12月1日にRigaku、Bruker、Dectrisといった主要ハードウェアメーカーによるPre-conference workshopが行われ、翌2日から5日にかけてメインの学術セッションおよび各種イベントが実施された。また、会期後の12月6日には台北会場にてPhenix主催のCryo-EMによる構造解析に関するworkshopが開催されたほか、沖縄にてPost-conference workshop「Exploring new frontiers in electron microscopy-driven structural studies」もサテライト開催された。

12月2日のOpening Ceremonyでは、まず組織委員長を務めるChun-Jung Chen教授（NSRRC）と中川敦史教授（JASRI／大阪大学蛋白質研究所）が登壇し、開催地である台湾と共同ホストである日本を代表して歓迎の辞を述べた。続いて、National Science and Technology Council（NSTC）のCheng-Wen Wu大臣、IUCr（国際結晶学連合）会長のSantiago Garcia-Granda教授（Oviedo University-CINN）、そしてAsCA会長である栗栖源嗣教授（大阪大学蛋白質研究所）による挨拶が順に行われた。式の最後には、国立台湾大学のDistinguished Research Chair Professor（Emeritus）であるYu Wang氏による「Tracing the journey of AsCA」と題した講演が行われた。講演ではAsCAの創設から現在に至るまでの歴史と発展の軌跡について紹介され、アジアにおける結晶学コミュニティの深化を共有する貴重な機会となった。

学術講演と並行して行われたSocial programも非常に充実していた。2日のOpening CeremonyとWelcome Receptionに続き、3日には若手研究者の交流を促すYoung Scientist Mixerが開催された。4日には、バンケット会場であるThe Grand Hotel Taipeiの名所「East Secret Passage」を見学するツアーが組まれた。その後のConference Dinnerとともに、参加者は台湾の歴史と文化を堪能しつつ交流を深めた。最終日の5日にはClosing Ceremonyに加え、新竹市のTPS（Taiwan Photon Source）への施設見学ツアーも実施された。

### 3. 主な講演内容

本会議では、基礎から応用まで多岐にわたるセッションが設けられた。以下に、特に印象に残った講演について報告する。

#### 3.1 基調講演：数理による対称性の記述

M. L. A. N. De Las Peñas教授（フィリピン・Ateneo de Manila Univ.）によるPlenary Lecture「Mathematical approaches to symmetry in crystallography」は、結晶学の根幹である「対称性」を群論と離散幾何学の視点から再考するものであった。教授は、ナノチューブなどの材料設計における対称性の重要性を説くとともに、フィリピンの伝統的なバスケットの編み目模様を結晶学的対称群で記述するユニークな例を紹介した。数理科学が先端材料のみならず文化遺産の解析にも応用できることを示し、その美しい模様で聴衆の目を引いた。

#### 3.2 マテリアルサイエンスセッション

セッション「Structural-properties relationship in materials (MS4-6)」や「Materials for the future (MS4-3)」では、新たな解析手法や材料設計に関する興味深い報告が相次いだ。

K. D. M. Harris教授（英国・Cardiff Univ.）は、有機材料における「ディスオーダー」の解明に焦点を当てた。X線回折などの回折法では空間・時間平均構造しか得られないため、その乱れが静的なものなのか動的なものなのかを区別することは困難である。Harris教授は、固体NMRなどの分光学的手法や計算科学を相補的に組み合わせることでこれらを明確に判別し、分子の動的挙動や局所構造を正しく理解するアプローチの重要性を説いた。

また、河野正規教授（東京科学大学）は、天然物の構造決定に向けた新たなMetal-Organic Frameworks（MOF）の開発について報告した。従来の結晶スポンジ法で課題であった分子サイズや安定性の制限を克服するため、柔軟かつ相互作用部位を持つMOFを設計し、天然物の構造可視化を実現した成果は、構造解析の適用範囲を大きく広げるものであると感じた。

星野学教授（帝京大学）らは、トリボルミネッ

センス（機械的刺激による発光）の機構について、Energy framework解析を用いた構造化学的アプローチから解明した事例を発表した。結晶の破壊面における電荷分布に着目し、分子設計によって発光を制御・再活性化できることを実証した点は非常に鮮やかであった。

ポスター発表においても興味深い報告があった。D. V. Z. Manansala氏（フィリピン大）らは、アセトアミノフェンと亜鉛の共結晶化において、互いの貧溶媒・良溶媒を組み合わせる「Modified antisolvent」法を用いた結晶化制御について報告しており、難溶性薬物の物性改善に向けた実践的な知見が得られた。

また、若手研究者を対象としたRising Star Award (Non-biology 部門) では、高原一真助教（兵庫県立大学）と若狭優惟氏（立教大学）が受賞し、日本勢の活躍が目立った。高原助教は、単分子磁石の合成に有用な三脚型配位子の簡便な合成法、およびそれを用いたランタノイドを含む多核錯体の合成と磁気特性評価について報告した。結晶構造解析の結果では、三脚型配位子の1つの脚が配位には関与していないという予想外かつ興味深い知見が得られていた。若狭氏は、高反応性分子への保護基「嵩高いトリプチシル基 (Trp\*)」の導入による速度論的安定化と、クリスタルエンジニアリング的アプローチによる分子の結晶性向上戦略を示した。Trp\*は分子の速度論的安定性を向上させるものの、溶解度および結晶性の低さが課題となり、構造解析が困難であった。この問題を解決するため、各種長さのアルキル鎖をもつ新しい保護基「RTrp\*」を導入し、分子の溶解度と結晶性を劇的に向上させることに成功していた。その他のRising Star Sessionの発表では、Kshitij Gurung氏（Czech Academy of Sciences）による、電子線回折（3D ED/MicroED）を用いた複数の結晶多形の発見に関する研究が目を引いた。有機半導体C6-BTBTにおいて、試料の構造・相が粉碎などの機械的刺激によって変化してしまうため、透過型電子顕微鏡のグリッド上で直接結晶化させるというアプローチを行っていた。これは報告者がごく最近報告した研究とも類似しており、微細な結晶多形研究において非常に有力な手法であるといえる。

### 3.3 キラリティと物理特性

「Chirality: meeting point of crystallography, chemistry and topology (MS3-1)」のセッションでは、桶谷龍成助教（大阪大学）らが、アキラル結晶へのレーザー照射によるキラル結晶への転移（Chiral symmetry breaking）について報告した。光熱効果により局所的な相転移を誘起し、照射位置を起点としてキラリティを制御できるという現象は、結晶成長プロセス制御やキラル材料開発における新たな可能性を示すものであった。また、3D EDの結果を用いたキラリティの判別に関する報告もあった。Tianyu Liu氏（東北大学）らは、Dynamical refinement（動力学的回折理論に基づく精密化）において、計算コストの高いフルパラメーターの最適化を行わずとも、結晶の厚みの最適化のみでキラリティの判別が可能であることを示した。標準試料を用いた検証により、R-factorおよびz-scoreの比較から正しい絶対構造を低コストで決定できることを実証しており、3D EDによる絶対構造決定のハイスループット化に資する成果であった。

### 4. 報告者の発表

報告者は、「Synchrotron X-ray Diffraction for Micro-Crystals using a Software-Controlled Pick-up System at SPring-8 BL40XU」というタイトルで、粉末中の1粒の微小結晶からの高精度データ収集に関するポスター発表を行った。具体的には、手では取り扱いが困難な10 μm以下の極微小結晶のための、顕微鏡と電動マニピュレータを組合わせたハンドリングシステムの導入、およびこれを用いた結晶ピックアップとSPring-8のBL40XU（測定当時は高フラックスビームライン、現：SAXS ID）での単結晶X線構造解析の成果について報告した。質疑応答では、実践的な質問が寄せられた。例えば、「結晶ハンドリングの際には上方からのカメラだけでなく、横方向からの視点（Side view）もあった方が操作しやすいのではないか」という指摘や、「わざわざ結晶1粒を拾わずに、Small-wedge synchrotron crystallography（多数の結晶から部分データを収集し統合する手法）のように多数の結晶をマージする手法を用いればよいのではないのか」といった本質

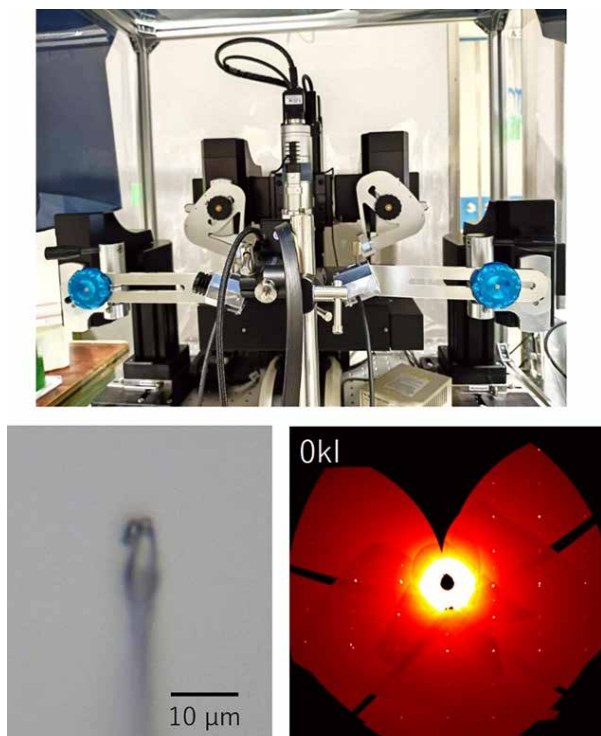


図2 微小結晶ハンドリングシステムの外観(上)、ピックアップした結晶の写真(左)、および擬プリセクションイメージ(右)

的な議論が交わされた。

## 5. おわりに

本稿では、AsCA 2025の概要と主な講演内容について報告した。今回の学会を通じて、アジア地域の結晶学コミュニティが着実に拡大し、基礎理論から最先端の応用、そして装置開発、X線だけでなく電子線を用いた結晶構造解析、さらにはAIの活用に至るまで多岐にわたる研究が精力的に進められていることを実感した。特に、日本と台湾の共同開催という枠組みの中で、両国の研究者が親密に交流し、次世代の研究・開発へ向けた議論を交わす姿は非常に頼もしく感じられた。今後のAsCAも非常に楽しみである。

**佐々木 俊之 SASAKI Toshiyuki**

(公財) 高輝度光科学研究センター

回折・散乱推進室

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

TEL : 050-3502-3649

e-mail : toshiya.sasaki@spring8.or.jp

## The 19th Conference of Asian Crystallographic Association 2025 (AsCA2025) 報告 (生物科学分野)

公益財団法人高輝度光科学研究センター

回折・散乱推進室 相関構造生物チーム 水 野 伸 宏

### 1. はじめに

2025年12月1日から6日にかけて、台湾・台北にて第19回アジア結晶学連合会議 (AsCA2025) が開催された。本会議は台湾結晶学会および日本結晶学会の合同開催であり、共同議長としてChun-Jung Chen氏 (NSRRC: 台湾国家放射光研究センター) と中川敦史氏 (JASRI/大阪大学) の2氏が務めた。会場となったTaipei International Convention Center (TICC)は、ランドマークである台北101にほど近く、交通アクセスの良い立地であった。今回は日本結晶学会年会としても開催されたことから、参加者は日本からの約250名を筆頭に、開催地の台湾から約200名、全体では約700名が参加した。ポスター発表も約300演題を数え、非常に活気ある会議となった。



図 台北101の101階展望エリアより望む会場全景

### 2. 講演内容

今回の会議では、物質科学分野と生物科学分野などある程度テーマ毎に発表の部屋が分かれており、目的となる発表を聞きにいきやすい会場構成であっ

た。本稿では主に生物科学分野において興味深かった発表やトピックについて報告する。

#### MS1-2 Membrane protein structure :

膜タンパク質の構造解析に関する本セッションでは、その成果のほとんどがクライオ電子顕微鏡 (Cryo-EM) を用いたものであった。膜タンパク質のような巨大な複合体分子は結晶化が困難であるため、今後はCryo-EMを中心とした構造解析が主流になると考えられる。SPRING-8においてもすでにCryo-EMの拠点が整備されており、今後のさらなる発展が期待される。

#### MS1-3 Nucleic acid-protein assemblies :

Haerang Hwang氏 (KAIST) からは、Cryo-EMによる時分割測定の実現が報告された。従来の試料作製法では凍結に数十秒を要するため、短い時間スケールの構造変化を捉えることが困難であった。そこでHwang氏は、噴射ノズルを用いた高速混合デバイスを新たに開発し、反応時間をミリ秒未満に短縮することで、より短い時間スケールでの構造可視化を実現した。これはCryo-EMの適用範囲を大きく広げる成果となることが期待される。

#### MS1-5 Integrative structural biology :

複数の分析技術を組み合わせ、機能を多角的に解明する「統合構造生物学」のセッションである。古川亜矢子氏 (京都大学) は、核磁気共鳴 (NMR) 法、X線小角散乱 (SAXS) 法、サイズ排除クロマトグラフィー多角度光散乱 (SEC-MALS) 法、粗視化分子動力学シミュレーション (CGMD-SAXS) 法など多彩な手法を用いた解析事例を紹介しており、非常に興味深い内容であった。また、山本雅貴氏

(理化学研究所)からは、こうした異分野の手法を有する拠点が連携し、解析支援を提供する「創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム (BINDS)」の現状と成果について報告があった。研究者個人が単独で扱える手法には限界があるため、本プロジェクトを通じて多角的な視点から分子を解析できることは、非常に有用な研究基盤である。私自身も本プロジェクトの支援の一端を担っており、今後も創薬研究を支えるべく注力したいと考えている。

#### MS1-6 AI-driven protein science :

近年急速に発展するAI分野については、生物領域でも5題の発表が行われた。特にYong Ho Kim氏 (Sungkyunkwan University) は、蓄積された膨大なタンパク質の配列・構造データベースを学習したAIモデルを用い、特定の標的受容体に最適化したタンパク質設計が可能になりつつあることを報告した。タンパク質デザインは創薬や化合物の大量生成における大きな目標の一つであり、AI活用による可能性の拡大を予感させるものであった。

#### MS1-8 Time-resolved structural analysis of biomacromolecules :

X線自由電子レーザー (XFEL)、放射光、Cryo-EMなど様々な手法を用いた時分割構造解析に関するセッションである。Manuel Maestre-Reynal氏 (National Taiwan University) は、フェムト秒からミリ秒に至る幅広い時間スケールでの構造変化を追跡する手法を紹介した。XFELと放射光を融合し、それぞれの時間分解能に適した現象を観察することで構造変化の過程を追う試みは、タンパク質動態研究の大きな進展に寄与すると思われる。また、時分割測定においては目的とする活性状態の構造を捉えることが重要課題となるが、熊坂崇氏 (JASRI) からは、湿度制御により結晶内の構造状態を固定する「Humid-Air and Glue-coating Method (HAG法)」が紹介された他、海野昌喜氏 (茨城大学) は、結晶試料を異なるpH溶液に浸透させ、異なる時間で急速凍結することで、構造変化を追跡するなど、様々な工夫が見られる興味深い発表であった。

#### Rising Star Session1 — Biology :

アジア地域の若手研究者を対象としたセッションで、5題の発表が行われた。その中から、Rising Star Awardとして、Tsan-Jan Chen氏 (National Tsing Hua University) と石本直偉士氏の2氏が受賞した。Chen氏は、多くの種類の癌において発現が亢進する酵素であるPyruvate kinase M2 (PKM2) について治療標的となりうる重要な分子であることを化合物複合体との結晶構造解析などから示唆できることを報告した。また、石本氏は、Cryo-EMを用いた細菌の接合を仲介する繊毛の高分解能構造解析を行い、従来の接合機構モデルと異なる新たな構造的知見を与えるという非常に重要な研究成果を報告した。

#### Flash Talk / ポスターセッション :

今回はポスターセッション直前に、発表者が3分間で内容を説明する「Flash Talk」が設けられた。要点を絞ってアピールすることで、その後のポスター会場での議論が円滑に進む仕組みとなっており、非常に有意義な試みであった。

#### 報告者の発表 :

報告者は「Development of a fully automated in-situ diffraction measurement system at SPring-8」と題し、口頭発表を行った。SPring-8の構造生物ビームラインでは、凍結結晶の測定自動化はすでに確立されているが、さらなる高速化とビームタイムの有効活用を目指し、結晶化プレートのまま行う「in-situ測定」の自動化システムを開発した。本システムでは、事前に記録したプレート内の結晶位置情報をもとにビームラインでの全自動測定を行う。その結果、これまで20時間程度は必要だった200結晶の測定を約4時間で完了するという大幅な高速化を実現した。また、基質を含むトリプシン結晶約20個のデータから、基質の電子密度取得に成功した事例についても報告を行った。

#### 3. おわりに

本会議は、アジア各国の研究者と対面で議論を交わし、最新の技術動向を網羅的に把握する非常に貴重な機会となった。特にCryo-EMによる構造解析

が身近なものになり、AI技術が浸透してくるなど、構造解析の手法が多様化する中で、異なる手法を組み合わせる統合的なアプローチがより重要なものとなって来ており、構造解析分野の大きな変革期であることを強く実感した。最後に、本会議に参加する機会を頂いた関係者の皆様に感謝の意を表する。

**水野 伸宏** *MIZUNO Nobuhiro*

(公財) 高輝度光科学研究センター

回折・散乱推進室 相関構造生物チーム

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

TEL : 050-3496-9082

e-mail : nmizuno@spring8.or.jp

## 2026A期 SACLA利用研究課題の採択について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター 利用推進部

高輝度光科学研究センター（JASRI）のSACLA利用研究課題審査委員会（SACLA PRC）において、SACLAの供用運転開始以降第28期目に当たる2026A期（2026年4月～2026年7月）の利用研究課題応募60課題を審査しました。

さらに、当該審査結果についてSACLA選定委員会の意見を聴き、JASRIとして45課題を採択しました。

### 1. 募集、審査及び採択等の日程

2026A期の課題募集、審査及び採択は、以下のスケジュールを経て行われました。

(2025年)

9月30日 ホームページで募集案内公開

11月4日 応募締切

～この間、審査基準に即した各課題の個別審査を実施～

12月16日 第30回SACLA PRC（総合審査）

(2026年)

1月26日 第33回SACLA選定委員会（審査結果の意見聴取）

1月下旬 JASRIとして採否決定、結果通知

4月上旬 2026A期利用開始予定

### 2. 応募、採択及びビームタイム配分状況

2026A期の応募課題数は60、採択課題数は45でした。また応募課題のうち59件は一般課題／成果非専有利用、1件は一般課題／成果専有利用でした。ビームライン別・申請者所属別の応募・採択課題数を表1に、採択された課題の要求シフト数および配分シフト数を表2に示します。

採択45課題に対しビームタイムは計251シフト（1シフト＝12時間）が配分されました（フィジビリティチェックビームタイム（FCBT）0.5シフトを含む）。配分シフト数を含む採択45課題の一覧は、以下のWebサイトに掲載しています。

#### ◆ SACLA User Information

> SACLA Guide > 採択課題／実施課題

> 採択課題一覧 > 2026A

[http://sacra.xfel.jp/wp-content/uploads/sacra\\_approved\\_proposal\\_2026a\\_j.pdf](http://sacra.xfel.jp/wp-content/uploads/sacra_approved_proposal_2026a_j.pdf)

表1

(単位：課題数)

| ビームライン  | 産業界 |    | 大学等<br>教育機関 |    | 国公立試験<br>研究機関等 |    | 海外機関 |    | 合 計 |    | 採択率 |
|---------|-----|----|-------------|----|----------------|----|------|----|-----|----|-----|
|         | 応募  | 採択 | 応募          | 採択 | 応募             | 採択 | 応募   | 採択 | 応募  | 採択 |     |
| BL1     | 0   | 0  | 5           | 5  | 0              | 0  | 1    | 1  | 6   | 6  | 71% |
| BL2/BL3 | 2   | 2  | 15          | 14 | 8              | 6  | 29   | 17 | 54  | 39 |     |
| 合計      | 2   | 2  | 20          | 19 | 8              | 6  | 30   | 18 | 60  | 45 |     |

表2

(単位：シフト数)

| 課 題 種       | A                          | B                          | C                          | C/A                    | C/B                    |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|
|             | 応募課題<br>(60課題)の<br>全要求シフト数 | 採択課題<br>(45課題)の<br>全要求シフト数 | 採択課題<br>(45課題)の<br>全配分シフト数 | 配分率<br>(採択配分/<br>応募要求) | 配分率<br>(採択配分/<br>採択要求) |
| 一般課題（成果非専有） | 351                        | 271                        | 250.5                      | 71%                    | 92%                    |
| 一般課題（成果専有）  | 0.5                        | 0.5                        | 0.5                        | —                      | —                      |
| 合 計         | 351.5                      | 271.5                      | 251                        | 71%                    | 92%                    |

なお、成果を公表しない成果専有課題のうち、定期的な募集の締切によらず随時応募・受付される時期指定課題利用制度を2016B期より導入しています。また、成果を公表する成果非専有課題のうち、公共的かつ緊急性を有する極めて重要な研究を対象とした緊急課題制度を2020A期より導入しました。当該課題は、いずれも基本的に利用期中に申請・審査のうえ実施されることから、申請・実施があった場合は、利用期終了後に結果として応募課題数・採択課題数に追加されます。

### 公益財団法人

### 高輝度光科学研究センター 利用推進部

TEL : 0791-58-0961

e-mail : [sacla.jasri@spring8.or.jp](mailto:sacla.jasri@spring8.or.jp)

## 専用ビームラインにおける評価・審査の結果について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター 利用推進部

SPRing-8専用施設審査委員会において、下記の各専用ビームラインについて、2025年11月および12月に延長評価及び次期計画審査を行い、それらの結果を2026年2月開催のSPRing-8選定委員会に諮り、承認されましたので報告いたします。

### 記

#### 延長評価

- ・ QST極限量子ダイナミクスⅠ・Ⅱビームライン (BL11XU, BL14B1)  
(設置者：量子科学技術研究開発機構 (QST))

#### 延長評価

- ・ NSRRC ID・BMビームライン (BL12XU, BL12B2)  
(設置者：National Synchrotron Radiation Research Center)

#### 利用状況評価・次期計画審査

- ・ 先端蓄電池基盤技術開発ビームライン (BL28XU)  
(設置者：京都大学)

詳細は、以下に示す各施設の評価報告書をご覧ください。

#### QST極限量子ダイナミクスⅠ・Ⅱビームライン (BL11XU・BL14B1) 延長評価報告書

2025年11月20日に開催された第44回専用施設審査委員会にて、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 (QST) が設置した極限量子ダイナミクスⅠビームライン (BL11XU) 及び極限量子ダイナミクスⅡビームライン (BL14B1) の延長計画に対する審査を行った。これらビームラインは、QSTの専用ビームラインという特性に対応して、荷電粒子、放射性同位元素 (RI)、中性子、放射光など様々な量子ビームの発生・制御やこれらを用いた高精度な加工や観察などに係る最先端の技術開発を行うこ

とを目的として設置された。審査では、利用状況等報告書、延長理由・延長計画書、及び口頭による報告にもとづき、ビームライン (BL) とステーションの構成と性能、施設運用及び利用体制、利用成果、及び延長理由・延長計画の各項目について評価を行った。その結果、本施設を構成するBL11XUにおける最先端の放射光メスバウアー分光装置と共鳴非弾性散乱装置を活かした研究実績、BL14B1における水素利用先進材料を始めとした物質研究・材料開発の成果を評価し、延長計画も妥当であることから、これらビームラインの設置と運用をSPRing-8-IIの運用開始まで延長することについて妥当であると判断された。

以下、項目ごとの評価結果の詳細を記載する。

## 1. 「装置の構成と性能」に対する評価

BL11XU (QST極限量子ダイナミクスIビームライン) は標準型アンジュレータを光源とし、6~70 keV の広範囲の単色エネルギーの高輝度硬 X 線が利用できる。「先端的放射光利用技術開発拠点」という位置付けで、磁性スピントロニクスや量子センサーなどの量子マテリアル研究に重点を置き、NanoTerasu の稼働やSPring-8-II を意識した高度化がなされてきた。各実験ハッチの装置群は、先進的放射光メスバウアー分光装置、共鳴非弾性X線散乱装置、表面X線回折計に加え、令和6年度に実験ハッチを最下流に新設してJAEA専用ビームラインのBL22XUに残留していた装置で開発していたブラッグコヒーレントX線回折イメージング (BCDI) 技術の装置が導入された。これで前回の中間評価で指摘されていたJAEA専用ビームラインとの装置の混在状況について、解消に一步前進しており、さらに、まだBL22XUに残されている高速2体分布関数計測装置についても令和7年度末までに移設完了の予定で、これで完全に解消できる見込みが立っている。先進的放射光メスバウアー分光装置で開発された原子一層レベルの超局所磁性探査技術は令和5年度に文部科学省大臣表彰を受賞し、さらに計測深度を100nmに拡張して3次元計測にまで発展させた高度化が進められた。共鳴非弾性X線散乱装置については計測可能な元素を拡張して多様な材料系に対応するとともに、入射ビームの集光系や分光光学系を新たに整備することによって従来は計測が困難であった薄膜・希薄試料や微小試料の分析能力が強化された。半導体の結晶成長過程のリアルタイム観察に活用されている表面X線回折計については、X線回折と電子線回折の同時測定が可能なCTR散乱計測システムが整備され、その測定時間を1測定1秒程度に大幅短縮することによって、結晶表面の結晶成長過程のオペランド計測を実現している。

BL14B1 (QST極限量子ダイナミクスIIビームライン) は偏向電磁石を光源とする、白色 X 線と高エネルギー単色 X 線との両方を利用できるビームラインである。「物質研究・材料開発ビームライン」

という位置付けで、環境・エネルギー材料研究としての水素材料研究に注力し、令和5年度後期からのJST「革新的GX創出事業 (GteX)」の受託に繋げた。この研究環境として、高圧水素雰囲気下でのその場観察の自動化・効率化、放射光物性研究棟に水素材料分析の実験室装置の導入・整備を進め、本分野の研究推進力の増強が行われた。また、量子医学・医療研究への寄与として、高線量の白色X線を活用した放射線治療研究のための白色X線を活用した動物照射実験の環境を整備し、令和6年度後期から実験を開始したことも評価できる。

以上の成果は当初の計画を十分に達成していると評価できる。

## 2. 「施設運用及び利用体制」に対する評価

QSTの第2期中長期計画や組織改編の中で推進すべき4つの研究分野が設定され、そのうち関西研播磨地区が担うことになった「量子ビーム科学研究分野」および「量子技術イノベーション研究分野」のミッションに合わせて4つの研究グループからなる組織の編成の見直し・更新がなされた。さらに、従来の高圧・応力科学研究についてその重点を水素材料研究に移すため、新たに水素材料科学研究グループを設置している。また、プロジェクト制を導入し、QSTのNanoTerasuセンター、高崎量子技術基盤研究所と連携して硬・軟X線分光計測技術の横断的活用を推進する新規プロジェクトも立ち上げられた。

また、マテリアル先端リサーチインフラ (ARIM) 事業 (令和3年度~令和12年度) や、革新的GX技術創出事業 (GteX) (令和5年度~令和9年度) といった国の大規模プロジェクトに積極的に参画し、外部競争的資金を活用した研究開発や装置高度化を推進している。ARIM事業では、データ共用に必要なデータ構造化の整備を実施し、データ利用しやすい形での変換・蓄積の整備を行っている。この活動は令和4年度に事業内でS評価を受けている。

利用研究課題の選定では、申請書に「QSTの研究開発としての妥当性」の記載を義務付け、審査委員を6名から8名に増員し、多角的な視点で評価できる体制を整えた。安全確保では、令和6年度から

BL14B1で開始された動物実験に関する管理体制の整備が行われた。QST内の関連規定の改正や制定を行うとともに、QST内の関連部署およびJASRI安全管理室、技術支援チームと連携した安全体制が構築され、実験環境の整備（BL14B1実験ハッチ1を動物実験室として整備、SPring-8実験動物維持施設の利用）が行われた。

以上の結果、運転状況は両ビームラインともビームタイム充足率が概ね90%超を維持し、外部共用日数はBL11XUで約50%、BL14B1で40%台を達成しており、問題ない利用体制を実現できていると評価できる。

### 3. 「利用成果」に対する評価

BL11XUでは、主に先端的な放射光利用技術開発を主軸とし、量子マテリアル研究に重点を置いた研究成果が示されている。先進的放射光メスbauer分光装置では超局所磁性探査技術を活用し、次世代スピントロニクス材料研究が推進された。特に、高崎量子技術基盤研究所との連携により、高速メモリ候補材料であるフェリ磁性ホイスラー合金系薄膜の磁性薄膜（厚み約30nm）の微視的品質の非破壊評価を斜入射内部転換電子メスbauer分光を用いて実現した。これにより組成最適化に成功し、論文発表だけでなく国際特許出願という成果につながった。共鳴非弾性X線散乱分光装置では、硬X線を活用した5d遷移金属の分光により、Re酸化物で動的Jahn-Teller効果という特異な量子状態を発見し、Nature Communications誌に掲載された。また、このような量子マテリアル研究だけでなく、環境エネルギー材料研究においても同装置を用いたオペランドXAS測定による燃料電池用の実用白金微粒子触媒の酸素還元反応評価という成果が創出されている。表面X線回折計では測定時間の大幅短縮化が実現されてオペランド計測が可能となったCTR散乱計測システムにより窒化ガリウム結晶成長時の固液界面の直接観察に成功し、GaN表面上の液体Gaの秩序構造を実験的に初めて証明するという成果が示されている。最下流に新設された実験ハッチに導入されたブラッグコヒーレントX線回折イメージング装置では、強誘電体セラミクス材料BaTiO<sub>3</sub>の結晶粒子

内の歪み分布や量子センシング材料のNVナノダイヤモンドのナノ粒子内の歪み分の非破壊評価に関する成果が示されている。

BL14B1では、主に物質研究材料開発を主軸とし、水素貯蔵等の環境エネルギー材料開発に重点を置いた研究成果が示されている。その主力となる高温高压プレス装置では放射光を活用した水素吸蔵量増加条件探索が進められ、そのデータを元に新規水素貯蔵材料の開発が進められている。その成果として、AB<sub>3</sub>合金系のY<sub>0.68</sub>Mg<sub>0.32</sub>Co<sub>3.00</sub>合金がLaNi<sub>5</sub>を上回る水素吸蔵性能を示し、最大2.9質量%まで増大可能であることを明らかにした。また、水素昇圧用合金について、1000気圧以上での吸蔵・放出特性を解明し、関連する特許が3件出願された。エネルギー分散型XAFS装置はJAEAの装置であるが、QSTとJAEAの連携による量子物性や環境・エネルギー材料等の研究が進められている。その1例として、パイロクロア型Ru酸化物において特異な多量体形成の量子相を発見するという成果が示されている。超高線量率放射線照射による動物実験ではQST病院や放射線医学研究所と連携して、従来治療時の約1000倍以上の線量率で瞬時的に照射するFLASH照射の研究が開始されている。昨年度（令和6年度）後期に初めて行われた動物実験では、高線量率照射にもかかわらず、脱毛症状はあったものの炎症反応はなく、正常組織への影響が小さいという結果が得られたことが報告されている。

成果として、過去約3年半でBL11XUとBL14B1において原著論文はそれぞれ49報と69報、招待講演は39件、受賞は8件に達した。特に、鉄表面の特異な磁性研究が令和5年度文部科学大臣表彰を受賞した。特許は水素材料開発などで5件出願、3件登録され、BL22XU関連のブラッグコヒーレントX線回折イメージング（BCDI）に基づく特許出願も含め、増加傾向にある。以上の成果は評価できる。

審査委員会では、上記の成果について、両ビームラインともに共用BLで実施されていない特徴的な成果が多く創出されていると評価されていた。これらの成果は、QSTが独自性の高い先端的な計測技術を開発し、量子マテリアル・デバイス開発や環境エネルギー材料開発という戦略的な目標に結び

つけていることが要因であると考えられる。また、BCDIの利用対象について、いかにインパクトの高いターゲットに拡げていくか検討頂きたいという意見があった。また、今後の予定として検討されているJASRIが運用する共用へのビームライン利用供出について適切なバランスで実施頂きたいという指摘もあった。

#### 4. 「延長理由・延長計画」に対する評価

BL11XUでは、これまで取り組んできた方針を発展させて「量子マテリアル研究」および「量子センシング・環境エネルギーデバイス材料研究」というテーマを推進予定であることを示されている。「量子マテリアル研究」では、先進的放射光メスバウアー分光装置による超局所磁性探査、と共鳴非弾性 X 線散乱分光装置（硬 X 線 RIXS）、さらに NanoTerasu の軟 X 線 RIXS 装置やスピン分解型光電子分光など QST が持つ特色のある先端スピン計測技術を結集したスピントロニクスや量子物性研究の統合的展開を提案されている。「量子センシング・環境エネルギーデバイス材料研究」では、ブラッグコヒーレント X 線回折イメージングと表面回折計を連携活用した結晶成長過程のナノ構造解析を通じて、ダイヤモンド NV センターの高品質化等の量子センシング材料開発の加速化や次世代パワー半導体等の環境エネルギーデバイス材料開発への活用の展開を提案されている。

BL14B1 では、水素社会実現に向け、GteX 事業の受託のもと革新的水素貯蔵材料探索の推進を継続する予定であることを示されている。高温高压プレス装置による高压水素雰囲気下でのその場観察技術について、測定可能な圧力領域を従来注目してきた超高压領域から産業ニーズの高い実用高压ガスタンク圧を含む数百～数千気圧の領域に拡張する計画を提案されている。

上記の通り、委員会では2ビームラインについてそれぞれ明確な方針が打ち出されていた。将来のSPring-8-IIへのアップグレードにおける期待として、BL11XUについては、その先進的放射光分光・スピン計測、ナノ構造解析技術はSPring-8-IIでの光源性能向上による更なる高性能化で動的観察への展開

など大幅な成果の発展が期待される。BL14B1においてもGteX事業の継続により革新的水素貯蔵材料分野での着実な成果が期待できるが、SPring-8-IIでのB1偏向電磁石光源の光源強度の減少の懸念があり、B2光源への移転の検討がなされている。しかしながら、両ビームラインともに、SPring-8-IIアップグレードに向けた対策（BL11XU:アンジュレータ光源の更新、BL14B1:B2光源へのビームラインの移転）に必要なQST内の予算獲得が検討中とのことで実行可能性について不透明さが残っている。予算確保が難航した場合の対策として、BL11XUのアンジュレータ光源更新を優先し、BL14B1は現状をそのまま利用する「据え置き案」も検討されている。この「据え置き案」の影響評価として、光源強度が減少した場合でも、高温高压プレス装置による高压水素雰囲気下でのその場XRD観察技術において水素吸蔵・放出の有無を判断するための主要な回折ピークは観測可能であると試算が示されている。そのため、SPring-8-II移行直後にビームライン移転が間に合わない場合でも、初期の研究（特に新規開発する中圧領域での計測）は遂行可能であり、この「据え置き」状態で研究継続している間に予算を確保して本格的な移転に繋げる時間的猶予を確保するという戦略が示されている。

上記の通り、継続運用において必要となるSPring-8-IIアップグレードに伴う設備更新（BL11XU）や移転（BL14B1）のための予算確保が現時点で不透明であるが、本計画で希望されている延長期間での現行設備による研究活動の見通しは十分立てられており、その上でこの延長期間を利用してSPring-8-IIでの計画における予算等の不確定事項を明確化し、具体化する方針を示されている。この延長申請は妥当なものであり、提案された研究計画は十分成果が期待できる。今後、継続的な成果により予算を獲得して次回再契約に備えられることに期待したい。

以 上

## Review Results on Contract Extension for NSRRC Beamlines BL12XU and BL12B2

At the 45th Contract Beamline Committee Meeting held on December 9, 2025, a review was conducted on the extension plans for the NSRRC ID Beamline (BL12XU) and BM Beamline (BL12B2) established by the National Synchrotron Radiation Center (NSRRC). The review evaluated the facility status and developments, operation and management, research activities, and the extension reason and plan based on the submitted documents describing the usage status, and the reasons for extension and the future plan. The review concluded that the facility operations during the third contract period, which began in 2020 under a six-year contract, have progressed smoothly overall, and the extension plan was found to be reasonable. Consequently, the proposed contract extension until the start of SPring-8-II operation has been approved.

The detailed evaluation results are provided below.

### 1. Facility Status and Developments

The Taiwan Contract Beamlines at SPring-8 (BL12XU and BL12B2) have been actively used by researchers from Taiwan, Japan, and other countries. Since the Taiwan Photon Source (TPS) commenced user operation in 2016, NSRRC has been taking the direction toward the complementary use of TPS and SPring-8. TPS is taking over the activities of standard experiments from BL12XU/B2; for example, X-ray absorption spectroscopy (XAS), X-ray diffraction (XRD), and protein crystallography (PX). On the other hand, BL12XU and B2 have shifted their targets to applications in the high energy region where SPring-8 produces higher flux. The Review Committee highly evaluates those basic plans that NSRRC determined by carefully considering the users' trend and the situations of TPS and SPring-8.

The BL12XU mainline is used chiefly for inelastic X-ray scattering (IXS) experiments. The IXS instrument is also applicable to X-ray absorption

spectroscopy in high energy-resolution fluorescence detection mode (HERFD-XAS). The BL12XU sideline is dedicated to hard X-ray photoemission spectroscopy (HAXPES). Those techniques have been widely applied to researches in the field of materials science.

BL12B2 provides research opportunities with standard methods such as XAS and powder XRD. Since the commencement of the TPS operation, NSRRC has focused more on the in-situ/operando XAS and XRD experiments.

After interim evaluation held on December, 2022, the upgrades to the following measurement instruments have been progressing at BL12XU and BL12B2, respectively.

#### BL12XU

- (1) Monochromator modification (Si111/220 double crystals + double multilayers)
- (2) Spectrometer modification integrating multiple Bragg and Laue analyzers
- (3) Detector replacement: CdTe 0.5M pixel detector for IXS

#### BL12B2

- (4) Mirror replacement
- (5) CdTe 4M pixel photon counting detector for XRD
- (6) 13 or 7 element Si drift detector

(2) and (4) are already completed and the other upgrades are also progressing smoothly. The Review Committee recognized that the upgrades would accelerate the high-energy and in-situ/operando activities.

### 2. Operation and Management

The facility is managed by the NSRRC Taiwan Beamline Office at SPring-8 with an onsite scientific/technical team, which consists of 5 NSRRC staff members, 2 members from external companies and 1 PhD student. The office is in charge of the beamline

operation including maintenance, user support, and R&D for the beamline upgrade. NSRRC is also responsible for the proposal selection and safety management in close cooperation with JASRI. The Review Committee appreciates that the current system for the operation and management works well on the whole.

NSRRC has promoted the complementary use of TPS beamlines and BL12XU/B2. The standard experiments have been mostly transferred to TPS, which is more convenient for Taiwanese researchers to use. The main targets of BL12XU/B2 are directed to high-energy and in-situ/operand experiments now. The Review Committee acknowledges that the NSRRC's policy works successfully. For example, the promotion of in-situ/operando studies on catalysis and batteries at BL12B2 has led to high-profile publications.

The Review Committee also appreciates NSRRC determined to provide beamtime (less than 20%) for public users approved by JASRI, which expects to produce more achievements from NSRRC beamlines.

### 3. Research Activities

As mentioned above, NSRRC has promoted the complementary use of TPS and BL12XU/B2. The standard experiments have been mostly shifted to TPS, and adopted a policy at BL12XU/B2 that encourages high-energy and in-situ/operand experiments. This works very well to produce highly cited results in the fields of energy materials and catalytic chemistry. Number of publications in 2024 is 21 for BL12XU and 39 for BL12B2, which is satisfactory level compared to other contract beamlines. Furthermore, while 2025 data is still being compiled, it appears likely to exceed the 2024 level. The committee also highly values the high proportion of papers published in high-impact journals.

### 4. Extension Reason and Plan

The reason for extending the contract until the beamline upgrade for SPring-8-II is reasonable. This is because the plan has been sufficiently designed with

consideration for continuity beyond SPring 8 II. The committee highly evaluated two clear changes utilizing higher energy X-rays and the coherence, which are key features of SPring 8 II.

### Conclusion

The committee highly commend the continuous advancement of beamline capabilities since their installation, achieving results with the versatile equipment at BL12B2 while conducting distinctive research activities at BL12XU. The operation and utilization, designed for complementary use with TPS, also deserves high praise.

The committee also expects the planned advancement of beamlines for SPring-8-II to proceed as scheduled.

## 先端蓄電池基盤技術開発ビームライン (BL28XU) 利用状況等評価及び次期計画審査報告書

先端蓄電池基盤技術開発ビームライン (BL28XU) は、国立大学法人京都大学によって設置・運用されている専用ビームラインである。国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業 (RISING、RISING2、RISING3) のもとで2009年度から設置され、革新型蓄電池の開発に向けた研究が行われてきた。RISING3が2025年度をもって終了し、2026年度からの後継プロジェクトの開始に先だて5年間の再契約の申請があった。京都大学から提出された利用状況等報告書、次期計画書および口頭によるプレゼンテーションにもとづき、利用状況等および次期計画の研究概要について2025年12月9日の第45回専用施設審査委員会で評価・審査を行った。その結果、革新型蓄電池の実用化への貢献が期待されることなどから、再契約は妥当であると判断された。以下に、項目毎の評価結果の概要を記載する。

### 1. 利用状況等に対する評価

BL28XUには、真空封止型テーパードアンジュ

レータとチャンネルカット結晶分光器を組み合わせたquick XAFS装置や共焦点XRD装置など、電池材料の評価のニーズに沿った装置群が整備されている。オペランド測定への対応、測定のオートメーション化、コンビナトリアル合成によるハイスループット評価基盤の構築など、より効果的で効率的な分析に向けた取組みも高く評価できるものである。DAFSの高度化など未実施の計画はあったものの、開発ターゲットの変更に対応して計画の見直しが適宜行われており、全体としては適切な装置の整備と運用がなされている。

施設運用については、RISING3内部に加えて外部の研究課題も受入れ、企業の利用も広がっている点が高く評価された。しかし、利用体制についてはいくつかの問題が指摘された。例えば、課題審査の体制とプロセスは明確に示されたものの、量子ビーム分析アライアンスの実態など、説明が不十分な部分があった。外部利用も含めて京都大学だけで全ての利用課題を決定する閉じた運用については、先の中間評価でも懸念が示されていた。特に成果公開を前提とする課題の選定に関しては、透明性の確保と十分な説明が必要である。また、ビームラインサイエンティストの数など、現場の人員体制が十分であるかどうか、検討がなされるべきである。

利用成果については、国家的に重要なプロジェクトに貢献し、プロジェクト全体では大きな成果が得られていることが認められた。しかし、ビームラインの利用成果に関しては多少の問題があると評価された。成果公開利用を基本とする運用にしては論文や受賞など、外部からも認められる形で十分な成果が発表されていない。論文になりにくい利用結果については、プロジェクトの成果に対する貢献度をより明確に示すなど、成果をアピールする努力が強く望まれる。

## 2. 次期計画の研究概要に対する評価

次期計画は、国家的なプロジェクトである革新的蓄電池の開発への貢献が大いに期待されるものである。現段階でプロジェクトの採択が決まっているわけではないため、述べるのが難しい部分があることは理解できるが、予算も含めた整備・運用計画の

詳細については説明が十分とはいえないものであった。また、将来的には革新的蓄電池の社会実装が求められているはずであるが、そこに向けた計画についても明確に示されなかった。運用および利用体制の計画に関しては、現場の人員体制への懸念があるものの、中間評価の際に指摘された戦略的利用の推進については改善が期待できるものである。これまでは成果公開を基本としたオープンな利用を前提としながらも、熾烈な開発競争の中で戦略的な研究遂行が求められる状況であった。次期計画では成果専有利用の活用が検討されており、より戦略的な利用が期待できる。

上記のように次期計画には改善の余地があるものの、蓄電池開発の国家的プロジェクトで中心的な役割を果たしている京都大学がBL28XUを専用ビームラインとして維持し、プロジェクトに貢献する意義は大きい。プロジェクト全体としては今後も大きな成果が期待され、次期計画は承認された。ただし、ビームラインからの利用成果の創出は、依然として大きな課題として残されている。次期計画ではどのような形で成果を出していくかNEDOや施設とも協議し、国民やステークホルダーが納得できる形で成果をアピールすることが求められる。

以上

## 2026A 期 採択大学院生提案型課題（長期型）の紹介

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター 利用推進部

放射光科学を支え、更に発展させる人材の育成に資することを目的として、大学院生提案型課題（長期型）を募集しています。2026A 期は3名から応募があり、長期型という特性をいかした、学生自らの独創的、挑戦的、意欲的な課題という観点に主眼をおき、2名を採択しました。

## [募集案内公開と応募締切]

2025 年 9 月 29 日 ホームページで募集案内公開

11 月 5 日 応募締切

## [課題審査、選定、採択および通知]

2025 年 11 月 6 日～21 日

書面審査

12 月 23 日 大学院生利用審査委員会による課題審査（面接審査）

2 月 6 日 SPring-8 選定委員会の意見を聴取

2 月 9 日 JASRI として採択決定し、応募者に審査結果を通知

## — 採択課題 1 —

|            |                               |
|------------|-------------------------------|
| 課題名        | 高圧融解実験による火星コア中の水素の量および同位体比の解明 |
| 実験責任者名（所属） | 三田 修平（東京大学）                   |
| 採択時の課題番号   | 2026A0302                     |
| ビームライン     | BL10XU                        |

## — 採択課題 2 —

|            |                                                                                            |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 課題名        | 放射光イメージングを用いたカンブリア紀超小型節足動物（Phosphatocopina）の中枢神経系の探索・分析および系統学的意義 — 節足動物神経系の起源と進化的革新を読み解く — |
| 実験責任者名（所属） | 柳原 彩里（熊本大学）                                                                                |
| 採択時の課題番号   | 2026A0304、2026A0306、2026A0307                                                              |
| ビームライン     | BL20B2、BL28B2、BL47XU                                                                       |

## 専用施設の新規設置について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター 利用推進部

2025年度に新たに提案があった以下の専用施設設置計画について、設置実行計画書の審査を行った結果、2026年2月に専用施設の設置計画が認められました。

ビームライン名称：水素エネルギーマテリアル・マルチモーダル計測ビームライン

提案者：京都大学 今井 英人

## 今後の課題募集

登録施設利用促進機関 公益財団法人高輝度光科学研究センター

### 【ご案内】

SPring-8/SACLA/NanoTerasuでは、利用課題の募集を以下のとおり予定しております。募集対象の課題種や申請時の注意事項等の詳細につきましては、下記HPに記載の各施設の案内よりご確認ください。

今後の課題募集一覧（2026年6月末までに応募締切が予定されている課題）

| 施設名        | 課題名                                                                                                                   | 応募締切       |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| SPring-8   | 〈年6回募集ビームライン*における2026A第II期課題募集〉<br>成果公開優先利用課題、成果専有課題、測定代行課題（定期）、<br>一般課題、大学院生提案型課題                                    | 2026年3月10日 |
|            | 〈年6回募集ビームライン*における2026A第III期課題募集〉<br>成果公開優先利用課題、成果専有課題、測定代行課題（定期）、<br>一般課題、大学院生提案型課題                                   | 2026年4月下旬  |
|            | 〈2026B期/2026B第I期課題募集〉<br>成果公開優先利用課題、成果専有課題、測定代行課題（定期）                                                                 | 2026年5月下旬  |
|            | 〈2026B期/2026B第I期課題募集〉<br>一般課題、大学院生提案型課題                                                                               | 2026年6月上旬  |
|            | 成果専有時期指定課題、緊急・特別課題、測定代行課題                                                                                             | 随時募集       |
|            | 【URL】 <a href="https://user.spring8.or.jp/?p=22799">https://user.spring8.or.jp/?p=22799</a>                           |            |
| SACLA      | 〈2026B期課題募集〉<br>一般課題、試験利用                                                                                             | 2026年4月下旬  |
|            | 成果専有時期指定課題、緊急課題                                                                                                       | 随時募集       |
|            | 【URL】 <a href="https://sacra.xfel.jp/?p=10944">https://sacra.xfel.jp/?p=10944</a>                                     |            |
| NanoTerasu | 〈2026A期コアリションビームライン共用課題における追加募集〉<br>一般課題（BL08W SAXS）                                                                  | 2026年3月10日 |
|            | 〈2026B期課題募集〉<br>一般課題（共用ビームライン）                                                                                        | 2026年5月中旬  |
|            | 〈2026B期課題募集〉<br>一般課題、高度化研究開発課題（コアリションビームライン）                                                                          | 2026年5月下旬  |
|            | 【URL】 <a href="https://user.nanoterasu.jp/project-apply/52/#i-5">https://user.nanoterasu.jp/project-apply/52/#i-5</a> |            |

\*年6回募集ビームライン：BL01B1、BL02B1、BL02B2、BL05XU、BL09XU、BL13XU、BL14B2、BL15XU、BL16XU、BL16B2、BL19B2、BL28B2（測定代行課題のみ受付）、BL46XU

### 【問合せ先】

（公財）高輝度光科学研究センター 利用推進部 共用推進課

TEL：0791-58-0961

e-mail：SPring-8 [sp8jasri@spring8.or.jp](mailto:sp8jasri@spring8.or.jp)

SACLA [sacra.jasri@spring8.or.jp](mailto:sacra.jasri@spring8.or.jp)

NanoTerasu [ntjasri@jasri.jp](mailto:ntjasri@jasri.jp)

## 今後のイベント一覧

登録施設利用促進機関  
公益財団法人高輝度光科学研究センター

### 【ご案内】

SPring-8/SACLA/NanoTerasuでは、下記のとおりイベント開催を予定しております。  
詳細につきましては、下記HPに記載の各施設の案内よりご確認ください。

### 記

#### SPring-8/SACLA

URL ▶ <http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/>

#### NanoTerasu

URL ▶ <https://www.jasri.jp/organization/organization-research-section/ntpromotion/ntevent/>

### 【問合せ先】

#### SPring-8/SACLA

(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 普及情報課

TEL : 0791-58-2785

e-mail : [jasri-event@spring8.or.jp](mailto:jasri-event@spring8.or.jp)

#### NanoTerasu

(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 ナノテラス利用推進課

e-mail : [jasri-ntevent@jasri.jp](mailto:jasri-ntevent@jasri.jp)

## SPRING-8/SACLA/NANO TERASU 利用者情報 編集委員会

|     |       |                        |
|-----|-------|------------------------|
| 委員長 | 池本 夕佳 | 利用推進部                  |
| 委員  | 朝倉 博行 | 特定放射光施設ユーザー協同体 (SPRUC) |
|     |       | 編集幹事 (近畿大学)            |
|     | 伊藤 華苗 | 産学総合支援室                |
|     | 大野 花菜 | 利用推進部                  |
|     | 大和田成起 | XFEL 利用研究推進室           |
|     | 河村 高志 | 回折・散乱推進室               |
|     | 桑田 金佳 | 研究DX 推進室               |
|     | 坂尻佐和子 | 企画人財部                  |
|     | 下野 聖矢 | 回折・散乱推進室               |
|     | 竹内 晃久 | 分光・イメージング推進室           |
|     | 成山 展照 | ビームライン光学技術推進室          |
|     | 平山 明香 | 利用推進部                  |
|     | 深見 健司 | 加速器部門                  |
|     | 福井 宏之 | 精密分光推進室                |
|     | 本間 徹生 | JASRI ナノテラス拠点          |
|     | 増永 啓康 | 回折・散乱推進室               |
|     |       | (以上、敬称略五十音順)           |
| 事務局 | 岡澤 貴裕 | 利用推進部                  |
|     | 安藤 詩音 | 利用推進部                  |
|     | 道端 祐次 | 利用推進部                  |

## SPRING-8/SACLA/NANO TERASU 利用者情報

SPRING-8/SACLA/NANO TERASU INFORMATION Vol.2 No.1 MARCH 2026

発行日 2026年3月9日  
 編集 SPRING-8/SACLA/NANO TERASU 利用者情報編集委員会  
 発行所 公益財団法人高輝度光科学研究センター  
 TEL 0791-58-0961





SPring-8



SACLA



NanoTerasu

発行元 | JASRI 公益財団法人 高輝度光科学研究センター  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1

【研究支援部】 TEL 0791-58-0950

【利用推進部】 TEL 0791-58-0961

e-mail : [ssn-info@jasri.jp](mailto:ssn-info@jasri.jp)

website : <https://ssn-info.jasri.jp/>