

# SPring-8/SACL A

INFORMATION 利用者情報



ISSN 1341-9668 SPring-8 Document D2024-015

Vol.29 No.4  
Autumn 2024

## SPring-8/SACLA Information

### 目次 CONTENTS

理事長室から 国際会議 SRI2024 の報告—DESY を見学して—

Message from President Report on International Conference SRI2024 - Tour of DESY -

(公財) 高輝度光科学研究センター 理事長  
President of JASRI

雨宮 慶幸  
AMEMIYA Yoshiyuki ..... 281

#### 1. 最近の研究から / FROM LATEST RESEARCH

(13th SPRUC Young Scientist Award 受賞 研究報告)

Two-way approach for sub-atomic molecular structure visualization with X-ray and electron crystallography

ウィーン大学  
Department of Inorganic Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Vienna

高場 圭章  
TAKABA Kiyofumi ..... 282

(13th SPRUC Young Scientist Award 受賞 研究報告)

放射光振動分光によるナノ閉じ込め効果の検証

Probing Nanoconfinement Effects by Synchrotron Vibrational Spectroscopy

京都大学 化学研究所  
Institute for Chemical Research, Kyoto University

橋川 祥史  
HASHIKAWA Yoshifumi ..... 287

(13th SPRUC Young Scientist Award 受賞 研究報告)

放射光を駆使した負熱膨張物質の多角的評価・物質設計

Multifaceted Evaluation and Material Design of Negative Thermal Expansion Materials

Using Synchrotron Radiation

神奈川県立産業技術総合研究所 次世代半導体用エコマテリアルグループ  
Eco-materials for next-generation semiconductors group, Kanagawa Institute of Industrial Science and Technology

西久保 匠  
NISHIKUBO Takumi ..... 293

SACLA BL1 における生きた哺乳類細胞の軟 X 線 FEL シングルショット観察

Synchrotron X-ray microvascular imaging to visualize microcoronary artery function in mice

東京大学 先端科学技術研究センター  
Research center for advanced science and technology, The university of Tokyo  
(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター  
RIKEN, SPring-8 Center  
東京大学 物性研究所  
The Institute for solid state physics, The university of Tokyo

江川 悟  
EGAWA Satoru  
志村 まり  
SHIMURA Mari  
木村 隆志  
KIMURA Takashi ..... 298

イリジウム使用量を 95%以上削減した PEM 水電解触媒の開発

Development of PEM water electrolysis catalyst that reduces iridium usage by more than 95%

(国) 理化学研究所 創発物性科学研究センター 物質評価支援チーム  
Materials Characterization Support Team, RIKEN Center for Emergent Matter Science

(国) 理化学研究所 環境資源科学研究センター 生体機能触媒研究チーム  
Biofunctional Catalyst Research Team, RIKEN Center for Sustainable Resource Science

足立 精宏  
ADACHI Kiyohiro  
橋爪 大輔  
HASHIZUME Daisuke  
李 愛龍  
LI Ailong  
孔 爽

(国) 理化学研究所 環境資源科学研究センター 生体機能触媒研究チーム / 東京工業大学 地球生命研究所  
Biofunctional Catalyst Research Team Center for Sustainable Resource Science, RIKEN/  
Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology

(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター 軟 X 線分光利用システム開発チーム  
Soft X-Ray Spectroscopy Instrumentation Team, RIKEN SPring-8 Center

中村 龍平  
NAKAMURA Ryubei

(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室  
Industrial Application and Partnership Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI

(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 分光推進室  
Spectroscopy Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI

(公財) 高輝度光科学研究センター 研究プロジェクト推進室  
Research Project Division, JASRI

(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 分光推進室  
Spectroscopy Division, Center for Synchrotron Radiation Research JASRI

(公財) 高輝度光科学研究センター 研究プロジェクト推進室 /  
電気通信大学 燃料電池・水素イノベーション研究センター

Research Project Division, JASRI/Innovation Reserch Center for Fuel Cells, The University of Electro-Communications

濱本 諭  
HAMAMOTO Satoru  
大浦 正樹  
OURA Masaki  
大湖 博宣  
OFUCHI Hironori  
東 晃太郎  
HIGASHI Kotaro  
金子 拓真  
KANNEKO Takuma  
河村 直己  
KAWAMURA Naomi

宇留賀 朋哉  
URUGA Tomoya ..... 302

2. 研究会等報告/WORKSHOP AND COMMITTEE REPORT			
第 21 回日本加速器学会年会 in 山形 学会報告 Report of 21st Particle Accelerator Society of Japan in Yamagata		(公財) 高輝度光科学研究センター 加速器部門 Accelerator division, JASRI	斗米 貴人 TOMAI Takato ..... 308
第 6 回核共鳴ワークショップおよび第 15 回放射光装置技術国際会議 (SRI2024) Report on 6th International Nuclear Resonance Workshop and 15th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI2024)		(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室 Spectroscopy Division, Center for Synchrotron Radiation Research JASRI	依田 芳卓 YODA Yoshitaka ..... 312
The 15th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2024)		(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 構造生物学推進室 Structural Biology Division, Center for Synchrotron Radiation Research JASRI	馬場 清喜 BABA Seiki ..... 315
SRI2024 会議報告 Report on 15th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI2024)		(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 回折・散乱推進室 Diffraction and Scattering Division, Center for Synchrotron Radiation Research JASRI	小林 慎太郎 KOBAYASHI Shintaro 山田 大貴 YAMADA Hiroki ..... 317
34th European Crystallographic meeting 報告 Report on 34th European Crystallographic meeting		(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 構造生物学推進室 Structural Biology Division, Center for Synchrotron Radiation Research JASRI	矢野 直峰 YANO Naomine ..... 322
第 8 回 SPring-8 秋の学校を終えて The 8th SPring-8 Autumn School		SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 行事幹事 (秋の学校担当) / (国研) 日本原子力研究開発機構 物質科学研究センター Materials Sciences Research Center, Japan Atomic Energy Agency	松村 大樹 MATSUMURA Dajū ..... 326
SPring-8 シンポジウム 2024 報告 SPring-8 Symposium 2024 Report		SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) / (国研) 物質・材料研究機構 マテリアル基盤研究センター 光電子分光グループ Center for Basic Research on Materials, National Institute for Materials Science (公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 散乱・イメージング推進室 Research and Utilization Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI 近畿大学 理工学部 理学科 化学コース Faculty of Science and Engineering, Kindai University 熊本大学 理学部 理学科 物理学コース Department of Physics, Kumamoto University 九州大学 理学研究院 化学部門 Department of Chemistry, Kyushu University	永村 直佳 NAGAMURA Naoka 竹内 晃久 TAKEUCHI Akihisa 杉本 邦久 SUGIMOTO Kunihisa 水牧 仁一朗 MIZUMAKI Jinichiro 徳永 信 TOKUNAGA Makoto ..... 331
第 13 回 X 線非弾性散乱国際会議 IXS2024 会議報告 Conference Report : IXS2024 (The 13th International Conference on Inelastic X-ray Scattering)		(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室 Precision Spectroscopy Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	萬條 太駿 MANJO Taishun 永澤 延元 NAGASAWA Nobumoto ..... 339
第 21 回 SPring-8 産業利用報告会 The 21th Joint Conference on Industrial Applications of SPring-8		(公財) 高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室 Industrial Application and Partnership Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	上原 康 UEHARA Yasushi ..... 343
第 10 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 10th Symposium for Cooperative Use of Quantum Beam Facilities and Super Computer		公益財団法人高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室 Industrial Application and Partnership Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	筒井 智嗣 TSUTSUI Satoshi ..... 347
3. SPring-8/SACLA 通信/SPring-8/SACLA COMMUNICATIONS 2025A 期 SPring-8 利用研究課題募集について Call for 2025A SPring-8 Research Proposals		登録施設利用促進機関 (公財) 高輝度光科学研究センター Registered Institution for Facilities Use Promotion, JASRI	..... 350
第 53 回 (2024B) SPring-8 利用研究課題の採択について The Proposals Approved for Beamtime in the 53rd Research Term 2024B		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	..... 351

2024B 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 2024B	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	356	
第 52 回共同利用期間（2024A）において実施された SPring-8 利用研究課題 2024A Proposal and User Statistics	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	357	
2024A 期において実施された SACLA 利用研究課題（共用課題）について The SACLA Public Proposals and User Statistics in 2024A 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	362	
SPring-8 運転・利用状況 SPring-8 Operational Status	(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター RIKEN SPring-8 Center	363	
論文発表の現状 Statistics on Publications Resulting from Work at SPring-8/SACLA	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	366	
最近 SPring-8 もしくは SACLA から発表された成果リスト List of Recent Publications	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	370	
2024A 期における SPring-8/SACLA ユーザー要望等について SPring-8/SACLA User Requests in 2024A	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	391	
4. 談話室・ユーザー便り / USER LOUNGE・LETTERS FROM USERS SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 四季報 SPRUC Communications	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 会長 Chair of SPRUC	藤原 明比古 FUJIWARA Akihiko	393

## 国際会議 SRI2024 の報告

## —DESY を見学して—

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
理事長 雨宮 慶幸

第 15 回 SRI2024<sup>[1]</sup>が 8/26-30 に DESY<sup>[2]</sup>のあるドイツのハンブルク市で開催された。SRI は放射光施設が主催となり原則 3 年毎に開催され、第 1 回は 1982 年に DESY 内で開催された。SRI は放射光光源、ビームライン、光学系、検出器系、データ解析等の技術とその応用に関わる国際会議で、私は第 1 回から毎回参加している。今回 JASRI からは 10 数名が参加し、本号では本報告を含めて 4 報の報告が掲載されている。

参加者は 34 国から約 1,200 名を数え、国別ではドイツ内から約 400 名、ドイツ外からは中国が最多、その次に日本、フランス、米国、英国と続く。プログラムで印象に残ったことは、37 コマの Micro Symposium (MS) の中で、光源の高輝度化に密接に関係する MS の数が多かったことである。「データ、自動化、AI」、「イメージング、コヒーレンス応用」が各 4 コマ、「時間分割測定」、「SR 光源アップグレード」、「FEL 光源」が各 3 コマであった。従来の SRI の主要テーマに関わる MS は、「ビームライン」(4 コマ)、「光学系」(4 コマ)、「検出器」(3 コマ)であった。加えて 3 件の Keynote Lecture、11 件の Plenary Lecture、500 件以上の Poster session、57 件の展示ブースがあった。理研の田中均氏が初日の Plenary Lecture で“SPring8-II and Beyond”という大きなスコープの演題で講演し、参加者に強いインパクトを与えた。

JASRI は本年 4 月から NanoTerasu の登録機関になったこともあり、NanoTerasu 及び JASRI の国際的な知名度を高めるために、QST の協力も得て展示ブースを開設した。SPring-8/SACLA の知名度は高いものの、NanoTerasu、JASRI のそれは十分ではなく、優秀な人財を獲得するためにも国際的な知名度を高める必要を感じた。

DESY の SRI2024 主催は、DESY の放射光科学 60 周年記念と DESY が計画する第 4 世代放射光光源 PETRA-IV の早期実現に対して時宜を得たものであった。前日には 60 周年を記念する Satellite 会議<sup>[3]</sup>が開催された。次回の第 16 回 SRI2027 は、ブラジルで

開催される。

DESY は創立時 (1959 年) には素粒子科学を目的としていたが、1964 年に第 1 世代放射光源の利用を開始し、今年はその 60 周年を記念する年にあたる。DESY ではこれまで数々の加速器を建設してきた。それらは、DESY (周長 300 m、7.4 GeV)、DORIS (二重リング、周長 289 m、5 GeV)、PETRA (周長 2.3 km、6 GeV)、HERA (周長 6.3 km、重心エネルギー: 320 GeV)、FLASH (直線 315 m、1.35 GeV)、Euro-FEL (直線 3.4 km、17.5 GeV) である。DESY は 2007 年に HERA をシャットダウンして素粒子科学を目的とする研究は終了し、その後は放射光科学を目的とする研究に転換した。

DESY では現在は PETRA-III、FLASH、Euro-FEL が稼働していて、会議初日に見学ツアーが行われた。SPring-8/SACLA に比して、PETRA-III/Euro-FEL の施設規模の大きさが印象的であった。素粒子科学のための加速器技術を放射光科学に転換した DESY の歴史は、既存のインフラを有効利用するという正の側面とそれに伴い拘束条件が多くなるという負の側面もあると感じた。対して SPring-8/SACLA は拘束条件が少ないため、1 つの入射器の併用、施設規模のコンパクト化等により、予算規模が小さいにも関わらず同等以上の性能を有している。このことは、SPring-8/SACLA の誇るべき点であると感じた。

## 参考文献

- [1] 15th Internal Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation, <https://www.sri2024.eu>
- [2] <https://www.desy.de>
- [3] [https://photon-science.desy.de/news\\_events/news\\_highlights/60\\_years\\_of\\_accelerated\\_research\\_with\\_synchrotron\\_radiation\\_at\\_desy/index\\_eng.html](https://photon-science.desy.de/news_events/news_highlights/60_years_of_accelerated_research_with_synchrotron_radiation_at_desy/index_eng.html)

(13th SPRUC Young Scientist Award 受賞 研究報告)

## Two-way approach for sub-atomic molecular structure visualization with X-ray and electron crystallography

Department of Inorganic Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Vienna

高場 圭章

## Abstract

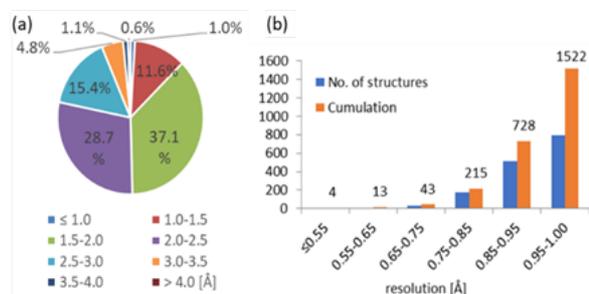
結晶回折測定で決定される3次元分子構造は通常原子座標として表現される。X線回折には本質的に試料の電子分布情報が含まれるが、価電子構造を実験的に特徴づけるには、原子分解能を超える高い測定・解析精度が要求される。測定試料から良質な回折像が得られるのであれば、タンパク質のような高分子中でも電子分布を実験的に特徴づけることができる。一方、低分子化合物であっても、小さな結晶しか得られず原子座標決定さえ困難が伴うケースは頻発する。このような高難度試料から最大限に構造情報を引き出すためには、放射光を含め線源・線種を適切に活用することが期待される。

著者らは最近、電子顕微鏡とX線自由電子レーザーをそれぞれ利用した微小結晶構造解析を行い、2つの手法によって有機化合物構造がどのように可視化されるか検証した。水素原子の可視化位置や原子電荷への感度はそれぞれの散乱特性が特徴的に反映される。サブ原子分解能の描像を得たことで、これらの差異を実験的に区別することができた。本稿は量子ビームを利用した、高難度試料の精密構造情報へアクセス可能にする取り組みを紹介する。

## 1. はじめに - 結晶構造解析のターゲットと分解能 -

分子の3次元構造を知りたいとき、量子ビームと結晶試料を用いた回折測定を行うことで構成原子の座標情報が得られる。最もよく利用される線種はX線であり、X線回折は原理上、試料の電子分布を反映している。もし高次にわたる回折斑点まで正確な計測値が得られたならば、孤立原子の相対配置としての構造に留まらず、各原子間で相互作用する価電子分布まで解像対象になる。X線の輝度、光子エネルギー、ビーム形状、あるいは検出器等の装置パラメータによって計測の質は左右される。結晶構造解析に放射光が利用される目的のひとつはこのような高精度・高分解能測定である。

試料がタンパク質等の生体高分子結晶の場合も、実験室系のX線回折計では得られない高分解能測定が放射光利用の主目的となる。ただし原子分解能を超えることは稀で、実際にこれまで報告されている生体分子結晶構造の88%は1.5 Å未満の分解能で決定されている(図1)<sup>[1]</sup>。化合物結晶構造データベース<sup>[2]</sup>では、登録構造の質を評価するために0.85 Å分解能が基準

図1 生体高分子構造データベース<sup>[1]</sup>における空間分解能。

(a) 全結晶構造における分布割合、(b) 分解能1 Å以上に限定した分解能ごと、および累積の構造数。

値として設定されているが<sup>[3]</sup>、タンパク質構造でこれを超えるものは0.4%である。このような高分解能構造解析が達成されたとき、結合長や結合角の微細な変化や、上述のような価電子分布の描像も含めた構造評価が検討できるようになる。

著者はこのような原子分解能以上での結晶構造解析を行うため、方法論の開拓と改良に取り組んでいる。本稿ではSPRING-8、SACLAに加えて電子顕微鏡も用いたこれまでの成果について、課題と展望を含めて紹介する。

## 2. SPring-8 を利用した高分解能タンパク質結晶構造解析

序節で述べた通り、タンパク質結晶が対象でも化合物解析に匹敵する分解能を得た例は少数ながら報告されている。著者らの行った緑色蛍光タンパク質 (GFP) の解析はその一例である<sup>[4]</sup>。GFP はその広い応用拡張性から、実験構造解析、計算化学解析ともに多数の研究報告がなされており、高分解能解析によって新たに得られる知見を比較評価するうえで最適と考えられた。通常分解能での結晶構造は 1996 年に分解能 1.9 Å で報告され<sup>[5]</sup>、天然アミノ酸のみからなる分子内環化反応によって形成された発色団が蛍光機能を担うことが明らかにされていた。著者らは発色団に構造多型を持たない既知変異体を利用して mm オーダーの良質の結晶を調製し、SPring-8 BL41XU において回折測定を行った。35 keV の高エネルギー X 線およびその高感度検出を可能にした CdTe 検出器 (PILATUS 3X CdTe 300K, Dectris) によって 0.78 Å 分解能の回折データセットが収集された。価電子分布を取り込んだ多極子構造モデル<sup>[6]</sup>とそれに基づくトポロジー解析<sup>[7]</sup>の結果、GFP 発色団の持つ負電荷がフェノール部位とイミダゾリノン部位の両方に分散しつつも、わずかにフェノール側に偏っていることが明らかになった (図 2)。結合長の参照可能ないくつかの計算化学研究と比較すると、多くの報告ではイミダゾリノンに負電荷が集中するモデルを導出していた (図 2b)。著者らは量子計算モデルでいくつかの相互作用が過大・過小に評価されている可能性や、そもそも構造最適化のベースが低分解能の結晶構造であること等を指摘したが、比較条件が完全に整っているわけではなく、蛍光活性を発現する真の構造的特徴の解明にはさらなる実験的・理論的分析と議論が必要である。

## 3. 電子顕微鏡による微小結晶学

本例のように、放射光を利用することでタンパク質のような生体高分子でも精密な原子座標情報、および電荷密度解析を行うことができる。しかし試料結晶が高い回折能を示すことが前提であり、現状ではごく一部の生体高分子にのみ適用可能である。一方で化合物試料の場合、数百 μm の良質な結晶を得ることは生体高分子ほど困難ではない。しかし分子デザインが複

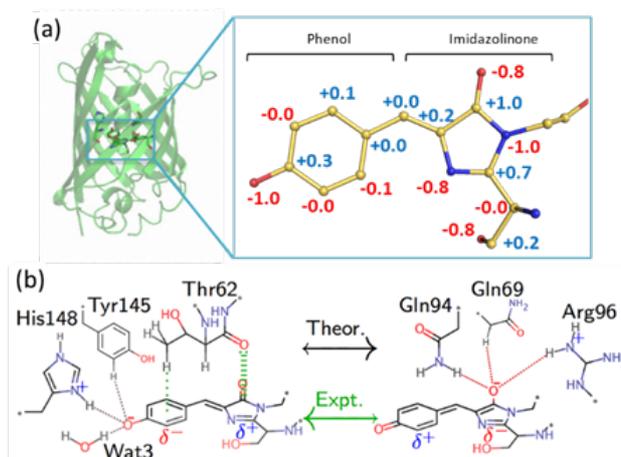


図 2 GFP 発色団における電荷分布。(a) 高分解能 X 線回折データをもとに決定した発色団の原子電荷、(b) 決定した高分解能構造および先行理論から推定される共鳴構造。実験構造では発色団全体での電荷の偏りは小さく、フェノール側にやや負電荷が偏ることを示唆した。文献 4 より改変。

雑化・多様化するに従って、化合物であっても結晶成長が難しく、良好な回折像が得られないケースが散見される。2010 年頃より、電子顕微鏡を利用した 3 次元結晶構造解析、3D electron diffraction (3D ED) の事例が報告されはじめた<sup>[8-10]</sup>。電子線は X 線よりも 4-5 桁大きな散乱断面積を持つため<sup>[11]</sup>、1 μm 以下の微小結晶でも良好な回折像を与え、構造決定に利用できる。著者は 2019 年より電子顕微鏡と検出器の効率的な運用による 3D ED の拡張に参画してきた。3D ED は生体高分子結晶にも適用可能であるが、新規構造の決定方法が確立されていないこと等の背景から、現状では化合物解析への適用例が多く報告されている。著者らはこれまで、結晶成長しにくい薬剤化合物や薄層性の材料化合物等をターゲットに手法改良に取り組んできた<sup>[12-14]</sup>。化合物の場合は X 線による解析同様、原子分解能 (1 Å) 前後の回折斑点まで測定することで新規構造決定が可能である。電子線による構造解析に対するもう 1 つの期待は、散乱過程を考慮して価電子の情報を感度良く抽出することである。これは第 5 節で述べる。

## 4. XFEL による微小結晶学と化合物解析への適用

同じく 2010 年代、X 線自由電子レーザー (XFEL) を用いたタンパク質結晶構造解析が報告されはじめ

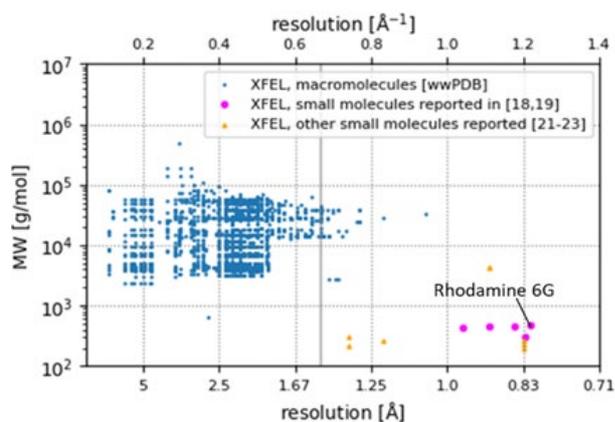


図3 XFELを利用して決定された結晶構造における分解能と分子量の関係。各データは文献1、18-19、21-23より抽出したもの。中央の縦線は分解能1.5 Åを示す。文献20より改変。

た。XFELのパルス光は露光による試料損傷の進行よりも短い時間スケールで回折を発生させると考えられており<sup>[15]</sup>、高輝度X線を減衰なく試料に照射することができる。そのため連続光での測定よりも小さな結晶が構造解析のターゲットとなる。この背景に基づくと、上述の散乱断面積の差を埋め合わせ、3D EDに使用されるものと同程度の結晶サイズでのX線構造解析が期待できる。パルス光の照射で得られる回折像は結晶の回転を伴わない静止写真として測定され、1フレーム毎に格子定数と結晶方位を決めて積分処理するシリアルX線結晶構造解析 (Serial X-ray Crystallography, SX) となる。このためフレームあたりの回折斑点数が少なくなる低分子結晶では不利とされ<sup>[16, 17]</sup>、専ら生体高分子での構造解析が進められてきた。すなわち序節で述べた通り、決定された構造の多くは分解能1.5 Å未満である (図3)。著者らは3D EDと相補することを念頭に、2020年頃よりXFELによる低分子化合物の構造決定を試みてきた。SACLA BL2およびBL3に構築された固定型の試料供給システムと15 keVの高エネルギーパルス光を用いることで、0.82 Å分解能までの回折斑点を測定することができる。3D ED測定に用いたものと同程度の微結晶を対象に、新規構造を含む複数の化合物構造を決定した<sup>[18-20]</sup>。2022年以降LCLS<sup>[21, 22]</sup>、European XFEL<sup>[22]</sup>、PAL<sup>[23]</sup>からも同様に化合物結晶の解析例が報告されており、XFEL結晶解析の新たな広がりが期待できる。

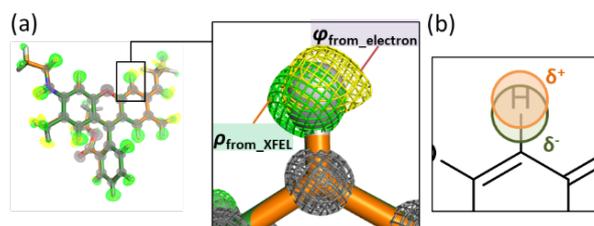


図4 電子線とXFELで観察されたローダミン-6G分子中の水素原子。(a) 3D ED、SXで得られた回折データに基づく水素オミットマップ。 $\phi_{\text{from\_electron}}$ が3D EDによる静電ポテンシャル、 $\rho_{\text{from\_XFEL}}$ がSXによる電子密度をそれぞれ示す。(b) 結合軸に沿った極性による可視化位置の解釈。

#### 5. 異なる線種によって得られるサブ原子分解能情報

このように、良質の結晶が得られなくとも、電子線やXFELを活用することで数 $\mu\text{m}$ 以下の結晶を用いた構造解析が可能になりつつある。ただ異なるプローブを用いたとしても、試料中の原子座標が決定的に異なることはない。これは各原子の核電荷の寄与が電子散乱に、内殻電子の寄与がX線散乱にそれぞれ支配的であり、分子内でも両者の重心位置がほぼ同一であることから説明できる。しかし水素原子の場合は価電子が散乱に寄与することになり、電子線とX線はやや異なる描像を与える。このことは構造モデルを構築する上で既に知られていることであるが<sup>[24, 26]</sup>、両者の差異が実験的に検証された例はなかった。水素原子の可視化位置を定量的に評価するにはサブ原子分解能( $<1 \text{ \AA}$ )が不可欠であり、なおかつ電子線とX線での構造解析ができる限り比較可能な条件で行われる必要がある。著者らの行った3D EDとSXによる化合物構造データはこの検証を行うのに最適であった。ローダミン-6G結晶を用いて2通りに可視化された水素原子位置は結合軸に沿って互いに反対方向にズレており (図4)、少ないサンプリング数ながら、結合様式から予想される極性の大小と矛盾しないことを確認した。また、電荷の偏りが想定される水素結合部位に部分電荷をモデルし、実験値を説明する最適値が求められるかどうかを比較検証した。ここでも散乱特性から想定される通り、3D EDデータでのみ最適値が求まることを示すことができた (図5)。これらの検証は、微小結晶を用いた解析によって原子位置決定以上の構造情報が抽出できることを示唆している。

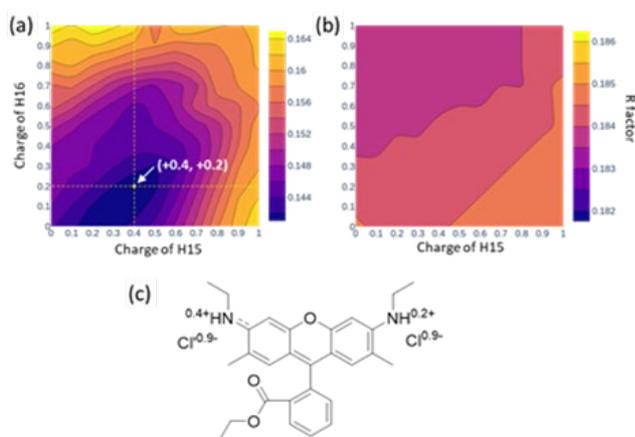


図5 ローダミン-6Gの水素結合部位における最適部分電荷値の探索。2箇所のアミド水素に与える電荷値を変化させ、(a) 3D ED、(b) SX でそれぞれ収集した回折データを最もよく説明する値を、R 因子で評価した。図中に示す通り 3D ED データでのみ、最適値の組み合わせが得られた。(c) 対イオンである塩素の最適電荷も求めたうえで得た構造式。文献 18 より改変。

## 6. 組み合わせ・使い分けの可能性

X 線と電子線がそれぞれ特徴的な情報を与えるならば、同じ試料を両方で解析して情報を組み合わせることが考えられる。両者はそれぞれ電子密度 ( $\rho$ )、静電ポテンシャル ( $\phi$ ) の次元で構造を可視化するが、これらの関係はポアソンの方程式

$$\Delta\phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$$

で記述されるシンプルなものである ( $\epsilon_0$  は誘電率) 図 6 はローダミン-6G について得られた差フーリエマップである。現状では微小結晶からの測定データを用いた価電子の構造モデル化は難しく、孤立原子モデルとの差分として表示している。SX の電子密度マップでは共有結合電子を示すピークが原子間に見て取れるが、3D ED の静電ポテンシャルマップの解釈はノイズとしか解釈されない。これを電子密度次元に変換したマップでは原子位置に正負のピークが現れており、電荷中性モデルとの差分を示していることが想起される。そのまま解釈すれば、電子の多寡については電子線、微細な空間分布には X 線による解像が優れるといえる。しかし完全な変換にはパラメータを増やして核電荷の位置を決める必要がある。このためには、多重回折現象や試料損傷等 3D ED における測定・解析精度の課題、無数の結晶の静止平均像である SX の解

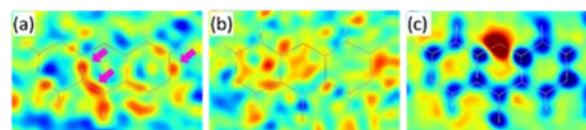


図6 ローダミン-6G キサンテン環の2D 差フーリエマップ。(a) SX データによる差フーリエ電子密度。矢印のピークは共有結合電子を示唆する。(b) 3D ED データによる差フーリエ静電ポテンシャル。(c) 3D ED の測定構造因子から変換した X 線構造因子による差フーリエマップ。(b) を電子密度次元に変換したものに相当する。赤が正、青が負を示すよう色分けしたもの。文献 18 より改変。

析・解釈手法における課題に加え、比較スケールの問題もあり、より慎重な議論が必要と考えている。また両線種の透過能の違いによって構造解析に適する試料要件が異なることから、試料に応じた使い分けも考えられる。これは文献 19、20 で詳述している。

## 7. おわりに

紹介した通り、SPRING-8、SACLA あるいは電子顕微鏡を用いることで、従来構造解析の難しかった試料についても、サブ原子分解能情報へアクセスする道は開けつつある。しかしながら前節で述べた通り、得られる情報の精度と妥当性、物理化学的意義の検証が次の課題である。いずれあらゆる分子について、現在原子座標を決めているのと同じように、電子の多寡や形状、あるいは核位置が実験的に決定されることを期待している。このためには量子ビーム源、対応する検出器、装置運用系等のハードの改良、測定データの解析から解釈理論にわたるソフト側の改良、およびユーザーとの議論を含めた連携が不可欠である。著者のこれまで、これからの取り組みがこの点に貢献するよう、活動を続けたく考えている。

## 謝辞

本研究は著者の京都大学大学院理学研究科、理化学研究所 放射光科学研究センターへの在籍期間に行われたものである。京都大学 竹田一旗准教授、三木邦夫名誉教授、邵洋氏、浴晴彦氏、Hoang-Anh Dao 氏、花園佑矢博士、JASRI 長谷川和也博士、登野健介博士、理化学研究所 放射光科学研究センター 米倉功治博士、眞木さおり博士、井上伊知郎博士、濱口祐博士、

川上恵典博士、内藤久志博士、矢橋牧名博士、石川哲也博士、東京大学大学院工学系研究科 森本淳平博士、山東信介教授、福田泰啓氏、白鳥陽太氏、彭儀英 (Yiying Peng) 氏、同物理工学専攻 井上悟博士、長谷川達生教授、産業技術総合研究所 電子光基礎技術研究部門 東野寿樹博士らとの共同研究に基づくものである。研究に協力いただいた皆様へ感謝申し上げます。本研究に関わる X 線回折実験は、SPRING-8 BL41XU および BL44XU (課題番号 2015A1033、2015B1037、2016A6624、2016A2536、2016B2536、2017A6728、2017A2542、2018A6827、2018B2705、2016A1856、2016A2533)、SACLA BL2 および BL3 (課題番号 2021B8018、2022A8025) のもとで行われた。また本研究は、JSPS 科研費事業 (課題番号 20K15764) および理化学研究所基礎特別研究員制度等の支援を受けて実施された。

## 参考文献

- [ 1 ] <https://www.wwpdb.org/>
- [ 2 ] <https://www.ccdc.cam.ac.uk/>
- [ 3 ] <https://checkcif.iucr.org/>, \*C-Alert
- [ 4 ] K. Takaba *et al.*: *IUCrJ* **6** (2019) 387-400.
- [ 5 ] M. Ormö *et al.*: *Science* **273** (1996) 1392-1395.
- [ 6 ] N. K. Hansen and P. Coppens: *Acta Cryst. A* **34** (1978) 909-921.
- [ 7 ] R. F. W. Bader: *Atoms in Molecules: A Quantum Theory*. Oxford University Press (1990).
- [ 8 ] D. Zhang, P. Oleynikov, S. Hovmöller and X. Zou: *Z. Krist.* **225** (2010) 94-102.
- [ 9 ] K. Yonekura, K. Kato, M. Ogasawara, M. Tomita and C. Toyoshima: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **112** (2015) 3368-3373.
- [ 10 ] T. Gruene *et al.*: *Angew. Chem. Int. Ed.* **57** (2018) 16313-16317.
- [ 11 ] R. Henderson: *Q. Rev. Biophys.* **28** (1995) 171-193.
- [ 12 ] K. Takaba, S. Maki-Yonekura and K. Yonekura: *J. Struct. Biol.* **211** (2020) 107569.
- [ 13 ] K. Takaba, S. Maki-Yonekura, S. Inoue, T. Hasegawa and K. Yonekura: *Front. Mol. Biosci.* **7** (2021) No. 612226.
- [ 14 ] 高場圭章: 日本結晶学会誌 **64** (2022) 115-116.
- [ 15 ] S. Boutet *et al.*: *Science* **337** (2012) 362-364.
- [ 16 ] A. S. Brewster *et al.*: *Acta Crystallogr., Sect. D: Biol. Crystallogr.* **71** (2015) 357-366.
- [ 17 ] C. Dejoie *et al.*: *IUCrJ* **2** (2015) 361-370.
- [ 18 ] K. Takaba and S. Maki-Yonekura *et al.*: *Nat. Chem.* **15** (2023) 848-855.
- [ 19 ] K. Takaba and S. Maki-Yonekura *et al.*: *J. Am. Chem. Soc.* **146** (2024) 5872-5882.
- [ 20 ] 高場圭章、眞木さおり、米倉功治: 放射光 **37** (2024) in press.
- [ 21 ] E. A. Schriber *et al.*: *Nature* **601** (2022) 360-365.
- [ 22 ] M. Aleksich *et al.*: *J. Am. Chem. Soc.* **145** (2023) 17042-17055.
- [ 23 ] J. Kang *et al.*: *Nat. Chem.* **16** (2024) 693-699.
- [ 24 ] L. Palatinus *et al.*: *Science* **355** (2017) 166-169.
- [ 25 ] M. T. B. Clabbers, T. Gruene, E. van Genderen, and J. P. Abrahams: *Acta Crystallogr. Sect. A: Found. Adv.* **75** (2019) 82-93.
- [ 26 ] T. Nakane *et al.*: *Nature* **587** (2020) 152-156.

高場 圭章 *TAKABA Kiyofumi*

Department of Inorganic Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Vienna  
Währinger Straße 42, 1090 Vienna, Austria  
TEL : +43 1 4277-9800503  
e-mail : kiyofumi.takaba@univie.ac.at

(13th SPRUC Young Scientist Award 受賞 研究報告)

## 放射光振動分光によるナノ閉じ込め効果の検証

京都大学 化学研究所  
橋川 祥史

## Abstract

ナノ空間に存在する化学種にはバルクでは見られない特異な性質が観測されることがあり、ナノ空間に閉じ込められた化学種の機能や役割について近年注目されている。ナノ細孔内の事象を分子レベルで解明することは真に機能する次世代多孔質材料の開発のみならず吸着分子の有効利用に繋がると期待されるが、煩雑なナノ細孔内部の現象を調べるのは通常困難である。我々は内径約 3.8 Å の 0 次元空間をもつフラレーンに着目し、その内部に閉じ込めた化学種の物理物性やそのふるまい、化学反応性について研究を進めている。本稿では、フラレーンに包接された単一の二酸化炭素分子について、放射光分光に加えて単結晶 X 線結晶構造解析、理論化学計算を組み合わせることでナノ閉じ込め効果について検証した最近の成果について紹介する。

## 1. 序論

分子間相互作用をもつ化学種はナノ～サブナノ空間に閉じ込められることによってバルクには見られない現象や性質が出現することがある<sup>[1]</sup>。これは「ナノ閉じ込め効果」と呼ばれるが、疎水性ポケットに存在する分子もしくは小分子クラスターなどがタンパク質の構造形成だけでなく生体機能発現の一役を担っていることや、炭素ナノ材料によって生み出されるサブナノ空間ではバルクには見られない特異な性質が相次いで報告されたことから、ナノ空間に閉じ込められた化学種やナノ界面に存在する化学種の機能や役割について近年改めて注目されている<sup>[2]</sup>。

このようなナノ閉じ込め効果は、多孔質材料にも見られる (図 1)。多孔質材料は、世界的な課題である二酸化炭素排出の解決策の 1 つとして精力的に研究さ

れており<sup>[3-5]</sup>、細孔内の事象を分子あるいは原子レベルで解明することは真に機能する次世代材料の開発のみならず吸着分子の有効利用に繋がると期待されるが、複合相互作用をうける煩雑な細孔内部の現象を調べるのは通常困難である。仮に分光データを得ることができたとしても、多様な構造状態を反映したアンサンブルの平均情報として解析せざるを得ず、ダイナミクスを伴う過渡的な状態は捕捉できない。したがって、分光データの一義的な理解を可能とする理想的な系として、単一状態のみを取り出すことのできる単純明快な実験系モデルの構築が必至である。

そこで我々は、炭素ナノ材料の中でもとりわけ「0 次元ナノ空間」を提供することのできるフラレーンに着目した研究を進めてきた。フラレーンの 0 次元空間は直径 3.7 Å 程度の球状空隙であり、正確にはナノレベルと呼ぶよりもオンゲストロームレベル (分子レベル) と言うべき空隙サイズを提供する。当然のことながら、閉鎖系であるフラレーンそのものを利用する限り、その空隙にアクセスすることは困難であり、独自に開発した有機化学反応を駆使することで開口型フラレーンへと誘導し、その開口部を通して望みの分子を隔離するというわけである (図 2)<sup>[6]</sup>。このようにして得られる内包フラレーンの炭素壁は包接種に対して不活性であり、包接種の構造・物理性状・化学反応性などを検証する上で最適である。しかし、多段階の

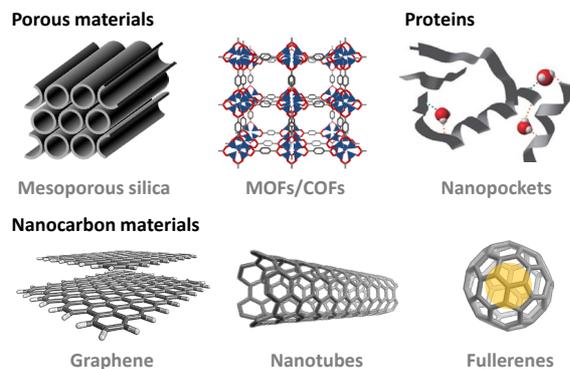


図 1 ナノ空隙を提供する物質群の一例。

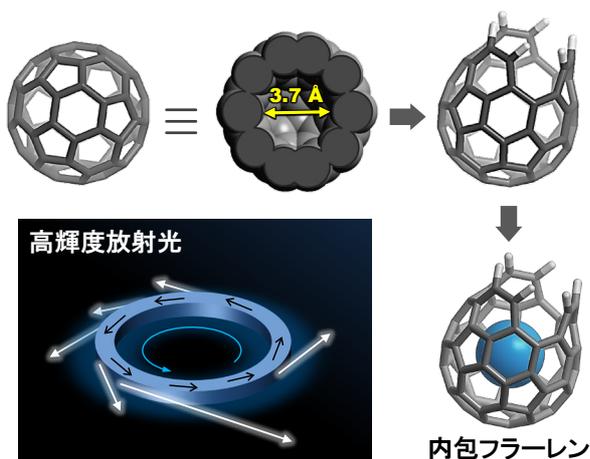


図2 内包フラーレンの合成工程。

合成工程を経るため、内包フラーレンは通常  $\mu\text{g}\sim\text{mg}$  オーダーの重量でしか得ることができず、実験室系の分光分析には限界を感じることもある。その意味において、これら実験系モデルは高輝度・高エネルギー放射光分光との相性が極めて良い。著者は、2020～2023年度に文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究「水圏機能材料」(東大 加藤 隆史 領域代表)の公募班に採択頂いたことを契機に、大型放射光施設である SPring-8 を利用した放射光分光に取り組む機会を得ることができ、現在に至るまで、赤外分光および軟X線分光を用いた研究を進めている。本稿では、それらの成果の一例として、二酸化炭素を包接した開口型フラーレンの研究について紹介する<sup>[7]</sup>。

## 2. 二酸化炭素の放出ダイナミクス

開口型フラーレン **1**<sup>[8,9]</sup> に対する高圧反応により、二酸化炭素包接体である  $\text{CO}_2@1$  を合成した(図3(a))。その内包率は NMR 測定から >86% と確認されたが、室温において徐放することがわかった。この徐放ダイナミクスを風船の片末端を開放した際の流体力学プロセスと見なせば Bernoulli 式、すなわちエネルギー保存則が成り立つ。一方、放出の速度論は熱力学方程式により記述することができ、速度定数は観測可能なパラメータであるため、ナノ空隙において二酸化炭素の感じる圧力を実験的に決定することができる(図3(b))。ナノ空隙中では、二酸化炭素の並進運動は禁制となるため、当然並進ダイナミクスのみを考慮した分子運動論から導出される理想気体の状態方程式とは本質的に異なる。速度論解析を行うと、この放出プロ

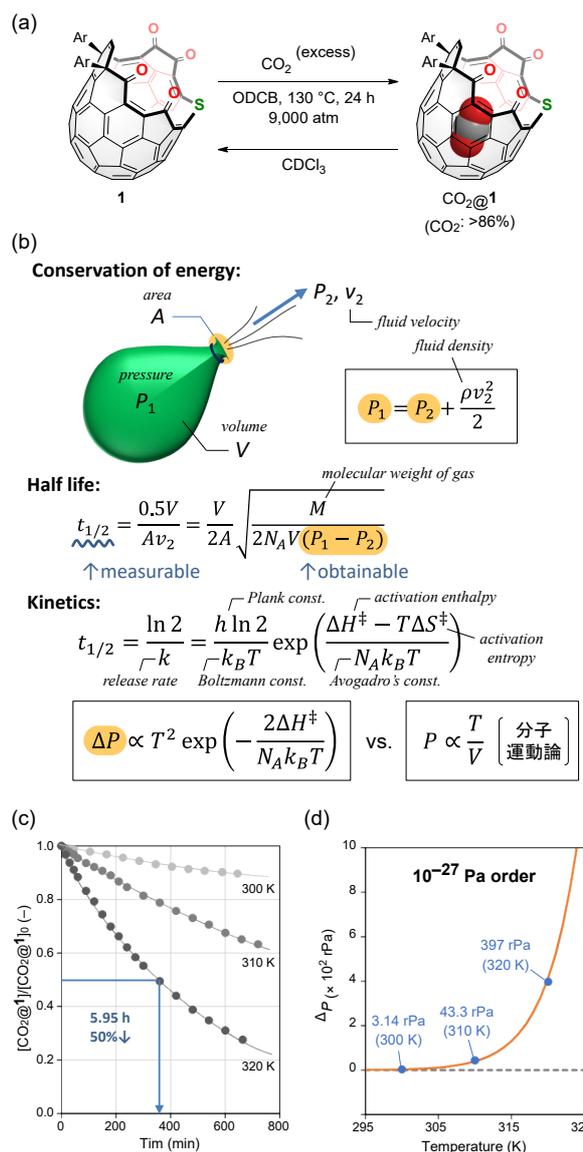


図3 (a) 二酸化炭素の包接と放出 (Ar = 6-*t*-butylpyridin-2-yl)。 (b) 放出ダイナミクスに伴うエネルギー保存則と速度論の関係。 (c) 速度論プロット。 (d) 圧力差-温度曲線。

セスは1次反応で記述され、320 Kにおいて  $\text{CO}_2@1$  は約6時間で半減期を迎えることがわかった(図3(c))。遷移状態に関わる熱力学パラメータはそれぞれ、 $\Delta G^\ddagger + 25.1 \pm 1.0$  kcal/mol、 $\Delta H^\ddagger 22.5 \pm 0.7$  kcal/mol、 $\Delta S^\ddagger -8.96 \pm 2.24$  cal/(K·mol) と算出された。そこでフラーレンの外界との圧力差である  $\Delta P$  を見積もったところ、rPa オーダー (1 rPa =  $10^{-27}$  Pa, rはロンと読む) となることがわかった(図3(d))。これは、分子の振動または回転によるナノ空隙内壁との接触によって生み出されるわずかな圧力を実験的に決定した初めての例である。

### 3. 二酸化炭素の構造解析

すでに述べたように CO<sub>2</sub>@1 は自発的に二酸化炭素を放出してしまう。これを防ぐために、Luche 還元による開口部上への“ふた”の構築（水酸基の導入）を行った<sup>110,111</sup>。このようにして得られる CO<sub>2</sub>@2 や CO<sub>2</sub>@3 は包接分子を外部に再放出しない（図 4(a)）。後者の固体構造は 100 K における単結晶 X 線回折により明らかとした（図 4(b)）。二酸化炭素はその長軸を開口部方向に向けて静止していることが明らかとなった。フラーレンの底部と二酸化炭素の距離は 2.82 Å であり、これは炭素と酸素の van der Waals 半径の和である 3.22 Å よりも圧倒的に小さく、フラーレン内壁との間に強い相互作用が存在することを示唆している。固体中において、CO<sub>2</sub>@3 は二量化しているものの二酸化炭素同士は十分に離れて配列しており（重心間距

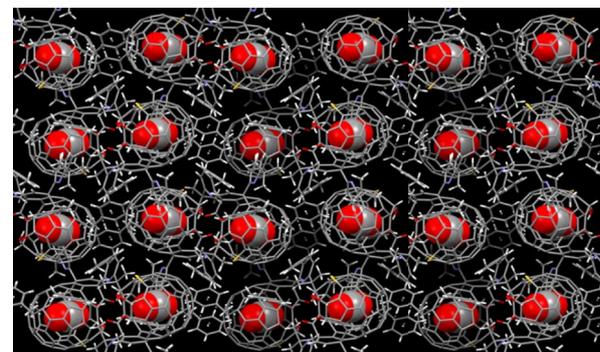
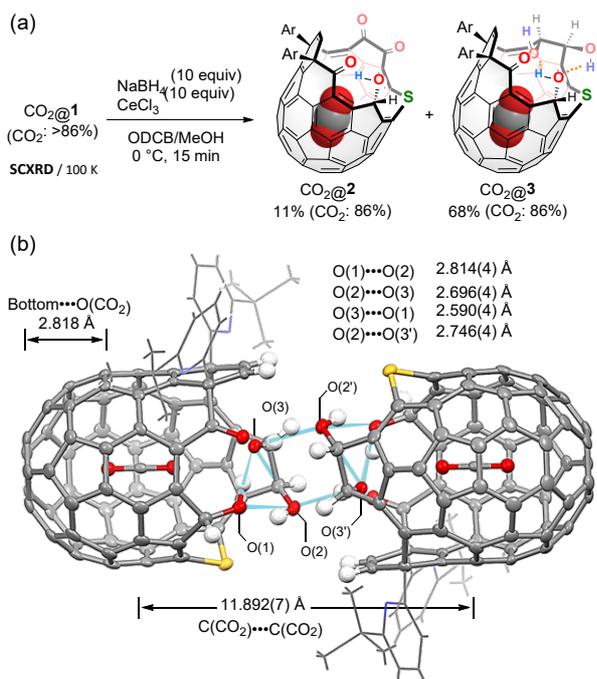


図 4 (a) 還元反応による開口型フラーレンへの“ふた”の構築。(b) 単結晶 X 線構造とパッキング。

離：11.9 Å)、二酸化炭素同士の直接相互作用は存在しない。一方で、フラーレン内部（体積 30.4 Å<sup>3</sup>）の二酸化炭素密度は 2.401 g/cm<sup>3</sup> に達し、これは、金属有機構造体 (MOF) 中で報告されている最大の二酸化炭素密度 (0.955 g/cm<sup>3</sup>)<sup>112</sup> や三重点における液体二酸化炭素の密度 (1.178 g/cm<sup>3</sup>)<sup>113</sup> の 2 倍以上に相当する値であり、二酸化炭素がフラーレン中において強く圧縮されている事実を物語っている。

### 4. 二酸化炭素とフラーレン内壁との相互作用

開口部上の“ふた”の及ぼす包接二酸化炭素分子のダイナミクスへの効果を検証するために電子密度汎関数法による理論化学計算を実施した（図 5(a)）。その結果、298 K において、放出の活性化障壁  $\Delta G_{\text{esc}}^{\ddagger}$  は“ふた”の構築により劇的に向上した一方で、回転活性化障壁  $\Delta G_{\text{rot}}^{\ddagger}$  には影響を与えないことが示唆された。その回転速度  $f_{\text{rot}}$  は mHz 帯に相当し、気相中における二酸化炭素の THz 帯の回転運動と比較して圧倒的に抑制されている。二酸化炭素が 1 回転するのに要する時間  $t_{\text{rot}}$  は 100 K において 10<sup>30</sup> s オーダーであり、こ

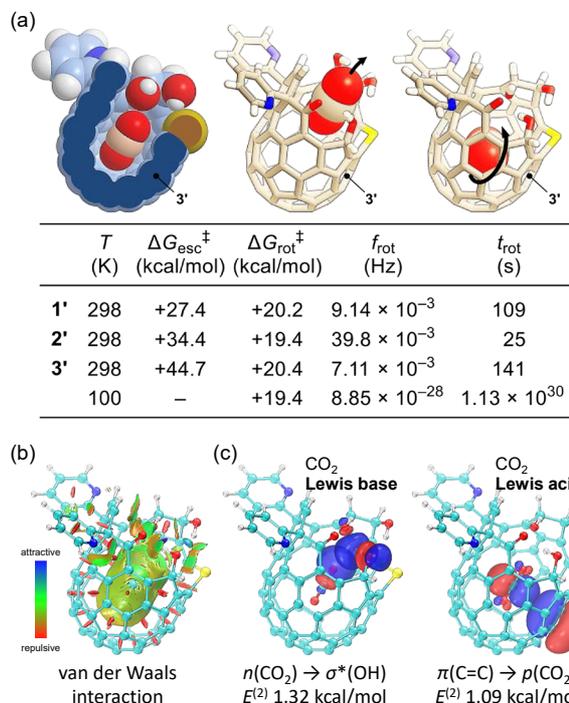


図 5 (a) フラーレン内部における二酸化炭素の放出および回転の活性化障壁と時間スケール (Ar = 2-pyridyl, B3LYP-D3/6-31G(d)). (b) 換算密度勾配プロットおよび (c) 自然結合軌道解析 (B3LYP-D3/6-31G(d,p)).

の温度では二酸化炭素はもはや静止している。これは、単結晶 X 線構造解析で二酸化炭素が静止して観測された事実と一致している。

次に、包接二酸化炭素とフラーレン内壁との相互作用を検証するために、換算密度勾配プロットを作成した (図 5(b))。その結果、二酸化炭素分子の表面全体にわたって、フラーレン内壁との間に van der Waals 相互作用が存在するという描像が得られた。その代表的な相互作用について、さらに自然結合軌道解析を行った結果、包接二酸化炭素分子は、開口部上の水酸基に対しては Lewis 塩基として、フラーレンの  $\pi$  共役系内壁に対しては Lewis 酸としてふるまうという特異な酸塩基両性を示すことがわかった (図 5(c))。

## 5. 包接二酸化炭素の放射光振動分光

このようにナノ空隙中に強く閉じ込められ、van der Waals 相互作用環境下にある単一二酸化炭素分子の振動運動には興味もたれる。そこで、SPring-8 BL43IR において放射光顕微赤外分光を実施した (図 6(a), (b))。直線状 3 原子分子である  $\text{CO}_2$  は  $D_{\infty h}$  対称性を持ち、4 つの基準振動 ( $\nu_1$ : 対称伸縮、 $\nu_2$ : 二重縮退した変角、 $\nu_3$ : 非対称伸縮) のうち  $\nu_2$  および  $\nu_3$  が IR 活性であり、 $\nu_1$  が Raman 活性である。 $\nu_2$  に対応する振動バンドは開口型フラーレンの置換基に由来する指紋領域および基材である  $\text{BaF}_2$  の低い透過率のため帰属することができなかった一方で、 $\nu_3$  に対応する振動バンドは  $2332 \text{ cm}^{-1}$  に観測された。興味深いことに、気相  $\text{CO}_2$  の場合とは異なり、この吸収バンドはシャープであった (図 6(b))。これは、 $\text{CO}_2$  の回転が THz 帯 (フェムト〜ピコ秒) から mHz 帯 (数十〜数百秒) まで抑制されたことにより、振動の時間スケールから大きく逸脱し、両者のカップリングが解けたことに由来する。また、MOF 中の  $\text{CO}_2$  は金属との強い静電相互作用により気相中の  $\text{CO}_2$  ( $\nu_3 = 2349 \text{ cm}^{-1}$ ) に比べ低波数側にシフトし、 $2335 \text{ cm}^{-1}$  付近に観測される<sup>14)</sup>。フラーレン内部の  $\text{CO}_2$  も  $17 \text{ cm}^{-1}$  シフトしており同程度の相互作用を受けているものと考えられる。より低波数側には強度の低い 2 種類のバンドが観測され、ホットバンド ( $\nu_3 + \nu_2 - \nu_2$ ) 及びサテライト ( $\nu_3(^{13}\text{CO}_2)$ ) に帰属された。さらに  $3681 \text{ cm}^{-1}$  には、 $\nu_1 + \nu_3$  に対応する結合バンドが観測された。この結合音から、IR 不活性である  $\nu_1$

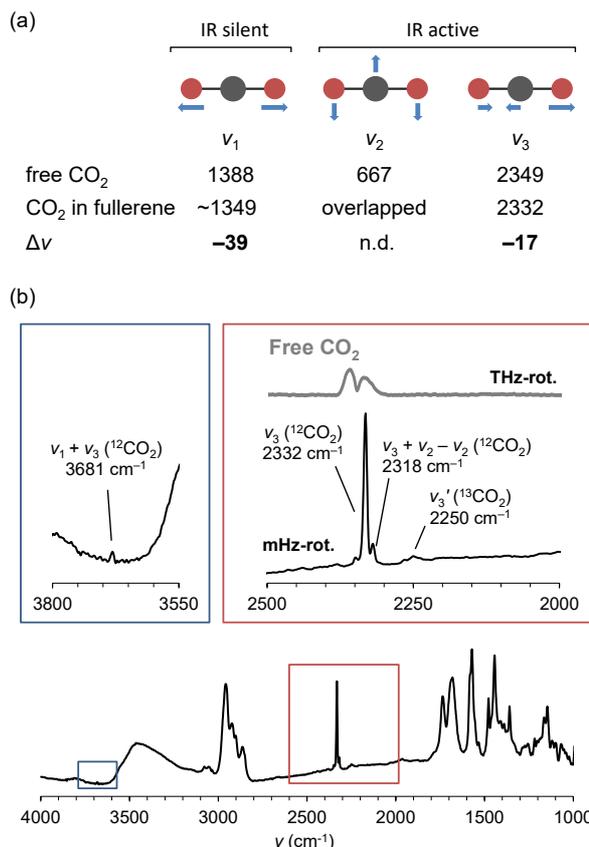


図6 (a)二酸化炭素の基準振動とその波数。(b)  $\text{CO}_2@3$  の放射光赤外分光スペクトル。

を約  $1349 \text{ cm}^{-1}$  と概算した。この値はフェルミ共鳴の寄与を考慮していないため一定程度過少評価されているものの、気相中の  $\text{CO}_2$  と比較して ( $\nu_1 = 1388 \text{ cm}^{-1}$ )、フラーレン骨格への包接により約  $39 \text{ cm}^{-1}$  レッドシフトしたという計算になる。これは  $\nu_3$  のシフト幅の約 2 倍に相当することから、フラーレン骨格への  $\text{CO}_2$  の包接は、非対称伸縮  $\nu_3$  に比べて振動変位の大きな対称伸縮振動  $\nu_1$  に対してより強い摂動を与えると考えられる。

## 6. 二酸化炭素包接によるホスト分子の性状変化

ここまで、二酸化炭素がナノ空隙に閉じ込められることによる二酸化炭素自身の性状変化について議論してきた。一方、単結晶 X 線構造解析から、二酸化炭素包接体は非包接体に比べて、開口部上の水酸基の配置がフラーレンの中心部に対して同心円状に最大 +4.53% 変動することが確認されている。水酸化開口型フラーレン **3** は、固体中のみならず溶液中においても会合することが判明している。そこで、二酸化炭素包接の及ぼす会合挙動への効果について  $^1\text{H}$  NMR 測

定により評価した。会合に関与する水酸基の化学シフトは大きな濃度依存性を示した (図 7(a))。これは、分子間水素結合の形成を反映しており、この  $^1\text{H}$  シグナルの濃度依存性をプロットすることにより会合定数を得た (図 7(b))。その結果、 $\text{CO}_2@3$  の会合定数は 300 K において、 $15.6 \pm 1.6 \text{ M}^{-1}$  と見積もられ、非包接体 **3** ( $9.7 \pm 2.3 \text{ M}^{-1}$ ) の約 1.6 倍の値となった。これは、二酸化炭素包接によって、二量体構造が Gibbs エネルギー変化で  $-0.30 \text{ kcal/mol}$  だけ安定化したことに相当する。この二量体構造は、X 線構造解析によって、2 本の水素結合によって形成されることが示されている (図 4(b))。自然結合軌道解析による全水素結合安定化エネルギーを見積ると、二酸化炭素の包接により  $0.42 \text{ kcal/mol}$  向上することが示された。この値は実験的に得られた安定化増分と相違ない結果である。以上のことから、ホストの物性を材料内部から制御可能なモジュレータとしての機能を包接二酸化炭素分子に見い出すことができた。これは、ナノ閉じ込め効果が材料の化学構造を大きく変化させることなく材料

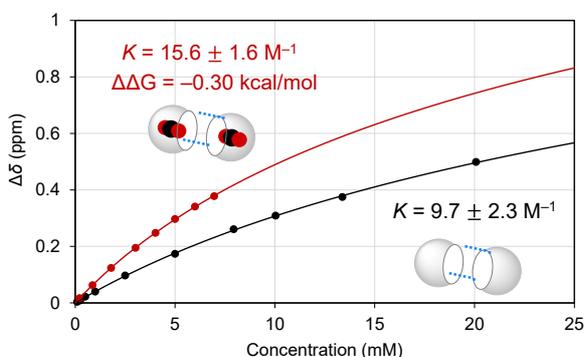
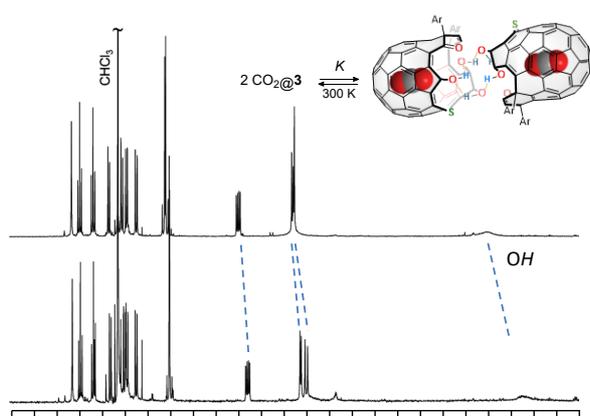


図 7 (a)  $^1\text{H}$  NMR スペクトル (500 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )。 (b)  $\text{CO}_2@3$  および **3** の濃度に対する水酸基の化学シフト変化量。

自身の性質を制御することのできる新たな材料設計指針として有望であることを示唆している。

## 7. まとめ

分子活性炭と見立てた水酸化開口型フラーレンを合成し、その内部に単一の二酸化炭素分子を包接させることでナノ閉じ込め効果について検証した。二酸化炭素の放出の速度論と流体力学プロセスのエネルギー保存則から、並進運動が禁制となった包接二酸化炭素分子が生み出す圧力が rPa オーダーであることを実験的に明らかとした。換算密度勾配プロットから、包接二酸化炭素はフラーレン内壁に対して van der Waals 接触があり、Lewis 酸性および塩基性の両特性を併せもつことが示された。フラーレン内部の二酸化炭素は 100 K において長軸を開口部方向に向けてほぼ静止していることが単結晶 X 線構造解析から明らかとなった。一方、室温付近では包接二酸化炭素分子の回転運動は mHz 帯にあり、放射光赤外分光の結果、非対称伸縮振動は尖鋭なバンドとして観測された。この結果は、気相中の二酸化炭素の回転運動 (THz 帯) が振動の時間スケールと同程度であり、複雑にカップリングすることで幅広いバンドを与えるという事実を裏付けている。また、包接二酸化炭素分子の対称伸縮振動のバンド位置のシフト幅は、非対称伸縮振動と比較して約 2 倍程度であり、変位の大きな振動がより強い摂動を受けていることがわかった。さらに、ナノ閉じ込め効果は、ゲストのみならずホスト自身の物理性状 (今回の場合、有機溶媒中での会合特性の向上) をも変動するという新たな一面があることが明らかとなった。

## 8. 展望

著者らは、本稿で概説した二酸化炭素以外にも、SPring-8 を利用したナノ閉じ込め効果の検証を進めている。例えば、BL43IR において湿度可変放射光顕微赤外振動分光を実施することで、水酸化開口型フラーレン周りには 3 種類の水、すなわち自由水 ( $3750\text{--}3500 \text{ cm}^{-1}$ )、構造水 ( $3500\text{--}3100 \text{ cm}^{-1}$ )、酸性水 ( $3100\text{--}2400 \text{ cm}^{-1}$ ) が存在することを明らかにしている<sup>[15, 16]</sup>。水酸化開口型フラーレンの気相酸性度は塩化水素酸や臭化水素酸に匹敵するほど高く (フラーレンの高い電子受容性に由来する)、フラーレン周りに

吸着した水が局所的に酸性を帯びることで通常は見られない特殊な酸性水が観測される。このフラーレンの内部に単一水分子を閉じ込めることで、吸着水量が著しく低下することが明らかとなっており、フラーレン-水の分子錯体内部で水素結合形成がおき、フラーレン外表面の水吸着挙動が変化したと考えられる。

一方、フラーレン内部の水は室温において IR 不活性であり、長年多くの謎に包まれてきた。そこで、BL43IR において極低温赤外振動分光を行ったところ、100 K 以下の領域でバンドの立ち上がりが見られ、10 K では尖鋭なバンドが観測された。この赤外低活性の要因について、電子密度解析を行うことで、包接水の双極子モーメントを打ち消しあうようにフラーレン内側の  $\pi$  共役系の電子密度変化が起こり電場遮蔽されることが明らかとなった。また、放射光軟 X 線分光 (BL07LSU、BL27SU) を活用することで、フラーレンに閉じ込められた種々の分子の電子状態解析も進めており、例えば包接水はガス様のふるまいを示す一方で、フラーレン壁との相互作用を反映し、気相中の水とは本質的に異なる描像が捉えられつつある。

軟 X 線分光は、元素選択的に材料の状態をナノレベルで解析可能なツールとして有効であり、軟 X 線領域を得意とする 3GeV 高輝度放射光施設 NanoTerasu の登場により、物理物性および物理現象の多面的な理解に向け、今後益々放射光分光が欠かせない身近な測定手段となることを期待している。

## 9. 謝辞

本稿で紹介した主要な成果は、池本 夕佳 主幹研究員 (高輝度光科学研究センター)、貞井 俊平 氏 (京大院工 修士課程 2022 年度修了生)、村田 靖次郎 教授 (京大化研) との共同研究によるものです。また、本稿では紹介程度となりましたが、放射光赤外分光の理論解釈において鳥居 肇 教授 (静岡大) に、軟 X 線分光では原田 慈久 教授 (東大物性研)、木内 久雄 助教 (東大物性研) に多大なご協力を得ました。この場をお借りして感謝申し上げます。これらの放射光分光は、SPring-8 において課題番号 2021B1298・2022A1285・2022B1138・2022A7446 のもとで行いました。また本研究は、科研費 (JP22H04538)・マツダ研究助成・ATI 研究助成の支援を受けて実施しました。

## 参考文献

- [1] Y. Hashikawa and Y. Murata: *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **96** (2023) 943-967.
- [2] K. Ariga: *Micromachines*. **15** (2024) 282.
- [3] D. G. Boer, J. Langerak and P. P. Pescarmona: *ACS Appl. Energy Mater.* **6** (2023) 2634-2656.
- [4] C. Chen, S. Zhang, K. H. Row and W.-S. Ahn: *J. Energy Chem.* **26** (2017) 868-880.
- [5] K. Sumida, D. L. Rogow, J. A. Mason, T. M. McDonald, E. D. Bloch, Z. R. Herm, T.-H. Bae and J. R. Long: *Chem. Rev.* **112** (2012) 724-781.
- [6] Y. Hashikawa, K. Kizaki, T. Hirose and Y. Murata: *RSC Adv.* **10** (2020) 40406-40410.
- [7] Y. Hashikawa, S. Sadai and Y. Murata: *ACS Phys. Chem. Au* **4** (2024) 143-147.
- [8] T. Futagoishi, M. Murata, A. Wakamiya, T. Sasamori and Y. Murata: *Org. Lett.* **15** (2013) 2750-2753.
- [9] Y. Hashikawa, N. Fujikawa and Y. Murata: *Dalton Trans.* **51** (2022) 17804-17808.
- [10] Y. Hashikawa, S. Hasegawa and Y. Murata: *Chem. Commun.* **54** (2018) 13686-13689.
- [11] Y. Hashikawa, S. Hasegawa and Y. Murata: *Angew. Chem., Int. Ed.* **60** (2021) 2866-2870.
- [12] Y. Ye, S. Xiong, X. Wu, L. Zhang, Z. Li, L. Wang, X. Ma, Q.-H. Chen, Z. Zhang and S. Xiang: *Inorg. Chem.* **55** (2016) 292-299.
- [13] M. Li, G. Wang, L. Sun, X. Cao and H. Ni: *Processes* **11** (2023) 1605.
- [14] J. G. Vitillo, M. Savonnet, G. Ricchiardi and S. Bordiga: *ChemSusChem* **4** (2011) 1281-1290.
- [15] Y. Hashikawa, S. Sadai, Y. Ikemoto and Y. Murata: *Chem. Commun.* **60** (2024) 1261-1264.
- [16] Y. Hashikawa, S. Sadai, Y. Ikemoto and Y. Murata: *J. Phys. Chem. A* **128** (2024) 2782-2788.

橋川 祥史 *HASHIKAWA Yoshifumi*

京都大学 化学研究所  
〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄  
TEL : 0774-38-3174  
e-mail : hashi@scl.kyoto-u.ac.jp

(13th SPRUC Young Scientist Award 受賞 研究報告)

## 放射光を駆使した負熱膨張物質の多角的評価・物質設計

神奈川県立産業技術総合研究所

次世代半導体用エコマテリアルグループ

西久保 匠

## Abstract

近年、熱膨張を制御する技術として負熱膨張物質が広く研究されている。本研究では圧力下で不連続な巨体積減少が起こる物質に着目し、放射光を活用した結晶構造・電子状態・ドメイン変化といった多角的な視点から負熱膨張物性の評価を行った。このようなミクロスケールからマクロスケールまでの多角的な視点からの負熱膨張物性の評価はメカニズムの理解のみならず材料設計にも有効であると示した。

## 1. はじめに

航空宇宙分野など温度幅の広い環境下で用いられる材料や、半導体製造など小さな変位でも致命的となるような分野では、熱膨張による位置決めずれや、異種接合界面の剥離が大きな問題となる。そのため、熱膨張を制御する技術が求められており、多くの研究がなされている。この熱膨張抑制技術の一つとして、負熱膨張物質の利用がある。構造材料と混合することで熱膨張の抑制・制御ができる負熱膨張材料は様々な産業分野での応用が期待されている<sup>[1]</sup>。負熱膨張という物性は実は身近なものである。例えば、水の固相である氷が水面に浮くことは、液相よりも固相の密度が低く、固相から液相に相転移する際に負熱膨張を伴うことを表している。既に応用されている負熱膨張物質としては、ガラスの熱膨張を補償しているβ-ユークリプタイトなどが挙げられる<sup>[2]</sup>。この数十年で多くの負熱膨張材料が報告されており、特にペロブスカイト構造とその関連構造（逆ペロブスカイト、ルドルスデン・ポッパー型層状ペロブスカイト、ReO<sub>3</sub>型構造など）を持つ化合物では多くの負熱膨張物質が報告されており、これらは強誘電体から常誘電体への転移、金属間電荷移動、磁気体積効果、軌道秩序転移、フレキシブルネットワークなど、多種多様な起源を有している<sup>[3-7]</sup>。中でも近年注目されているのは、相転移による大きな体積変化を利用した材料である。相転移型負熱膨張では、低温相と高温相の体積変化量は物質によっ

て決まっているため、転移温度幅と熱膨張係数はトレードオフの関係となる。そこで、体積変化量が大きい母物質を選んで、化学置換で相転移温度を調整することになるが、この際、一般に体積変化量の減少を伴ってしまう。また、一次相転移に起因する物質では体積の大きい低温相と体積の小さい高温相がその分率を温度の関数として変化することでなだらかな体積収縮として利用できるが、どのようにこの2相共存状態が安定化されるかは理解されていない。そこで本研究では、電荷移動と極性-非極性転移の2つのメカニズムが同時に発現することで負熱膨張が増強されるBiNi<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3</sub>のデザインと、圧力下で極性-非極性相転移によって体積の減少を示すペロブスカイト酸化物PbVO<sub>3</sub>に着目し、最適ドーピングを施すことで巨大な体積変化量を持つ負熱膨張物質を設計、その際の2相共存状態を観察することでドメイン境界に大きな歪みが生じていることを見出した。

## 2. 2つのメカニズムが共存した負熱膨張物質の設計

6 GPa の高圧下で合成されるペロブスカイト型BiNiO<sub>3</sub>は常圧でBi<sup>3+</sup><sub>0.5</sub>Bi<sup>5+</sup><sub>0.5</sub>Ni<sup>2+</sup>O<sub>3</sub>という特徴的な電荷分布を持ち、Bi<sup>3+</sup>とBi<sup>5+</sup>が柱状に秩序した2つのBiサイトが存在する三斜晶(*P1*)をとる<sup>[8]</sup>。圧力下ではBi<sup>5+</sup>とNi<sup>2+</sup>の間で電荷移動が起き、Bi<sup>3+</sup>Ni<sup>3+</sup>O<sub>3</sub>の価数状態へと変化し、Bi<sup>3+</sup>とBi<sup>5+</sup>の電荷秩序が融けることでBiサイトが1つの斜方晶(*Pbnm*)への構造相転移を伴

う。さらに、Niが2+から3+となることで、ペロブスカイト構造の骨格をなすNiO<sub>6</sub>八面体が収縮し、およそ3%もの巨大な体積の収縮が起きる。Biの一部を3価のランタノイド<sup>8)</sup>、またはNiの一部をFe<sup>3+</sup>で置換すると<sup>9)</sup>、Bi<sup>3+</sup>Ni<sup>3+</sup>O<sub>3</sub>の価数状態が安定化されるため、昇温によってBi-Ni間電荷移動が生じるようになる。この体積収縮を伴う三斜晶から斜方晶への相転移が、温度によって相分率を変えながら、なだらかに起きるため、両相の分率の重みを付けた平均格子体積が連続的に収縮する負熱膨張が発現する。一方、代表的な強誘電体であるPbTiO<sub>3</sub>では、極性の構造を持つ強誘電相から非極性の常誘電相への転移に伴い、電気分極による構造歪みが解消することで、およそ1%の体積収縮がおこることが知られている。我々の研究グループはすでにBiNi<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3</sub>がx<0.25の領域でサイト間電荷移動によって巨大な負熱膨張を示すことを明らかにしてきた。しかしながら、Fe<sup>3+</sup>の置換量増加に伴い電荷移動に寄与するBi<sup>5+</sup>やNi<sup>3+</sup>の、本研究では、この固溶体について、Feの置換量を増やすことでBiFeO<sub>3</sub>由来の自発分極の誘発を目的とし、結晶構造と電子状態の変化、熱膨張特性をさらに詳細に解析した。

図1にX線回折パターンと硬X線光電子分光スペクトルを示す。x=0での、Bi<sup>3+</sup>とBi<sup>5+</sup>が柱状に秩序した、2つのBiサイトを持つ三斜晶相が、x=0.15ではBiが1サイトの斜方晶構造へと変化し、x=0.3では最終的にBiFeO<sub>3</sub>と同様の極性構造の菱面体晶相へと転移することが明らかとなった。昇温すると、x<

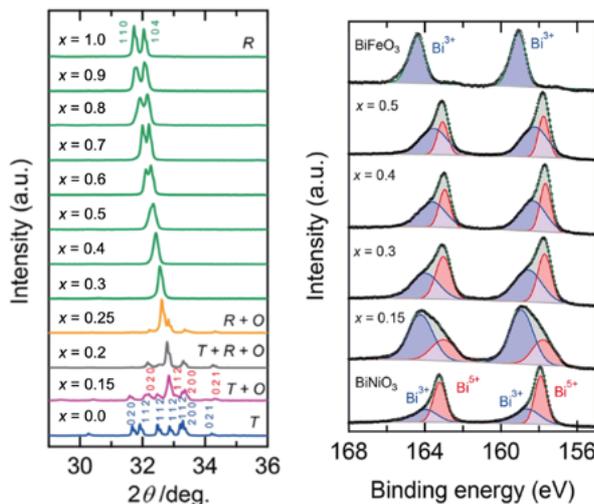


図1 各組成のXRDパターン(左)とBi4fのHAXPESスペクトル

0.25までは、三斜晶から斜方晶への負熱膨張を伴う相転移が観測され、x>0.25では菱面体晶から斜方晶への相転移を伴う相転移が観測された。硬X線光電子分光とPDF解析の結果、x<0.15でのメスバウアー分光の結果から、菱面体晶相はBi<sup>3+</sup><sub>0.5(1+x)</sub>Bi<sup>5+</sup><sub>0.5(1-x)</sub>Ni<sup>2+</sup><sub>1-x</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>x</sub>O<sub>3</sub>の電荷分布を取り、局所的にはBi<sup>3+</sup>とBi<sup>5+</sup>が電荷秩序した構造であることが明らかとなった。

図2に菱面体晶相(緑)と斜方晶(赤)の擬立方格子体積とその相分率から求めた平均体積(黒)の温度依存(a)、相転移の際の体積変化量(b)、点電荷モデルから計算した自発分極値(c)を示す。x<0.2では電荷移動に参与するBi<sup>5+</sup>とNi<sup>2+</sup>の量が減少するため体積変化量が0に向かって減少していくが、0.20≤x<0.40では自発分極値の増大に伴いその減少を打ち消すことができている。すなわち、0.20≤x<0.50では、PbTiO<sub>3</sub>と同様の、極性から非極性の結晶構造転移が電荷移動と同時に起こっており、そのために負熱膨張が増強されている。

### 3. 巨大負熱膨張の設計とドメイン構造観察

高圧高温下で合成されるペロブスカイト型化合物PbVO<sub>3</sub>は、Pb<sup>2+</sup>の6s<sup>2</sup>孤立電子対の立体障害効果およびd<sup>1</sup>電子配置を持つV<sup>4+</sup>によるJahn-Teller効果によ

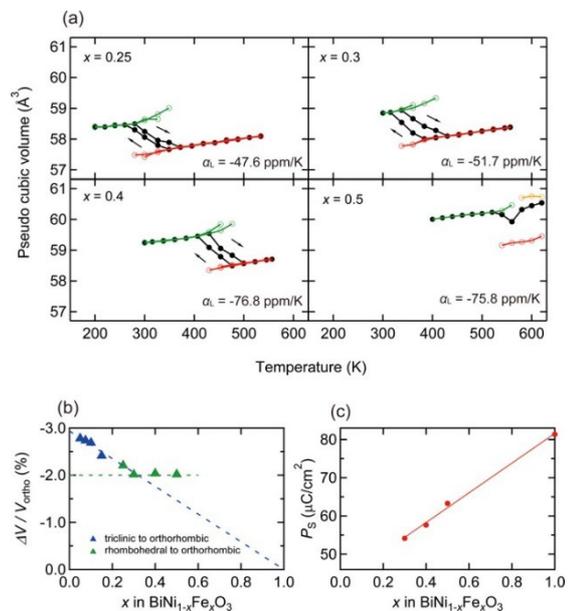


図2 (a) 各相の擬立方格子体積と相分率で重みづけした平均格子体積の温度変化、(b) 負熱膨張における体積減少量の組成依存、(c) 点電荷モデルから求めた菱面晶の自発分極値

り  $c/a \sim 1.23$  という巨大な正方晶歪みをもち、高圧下で-10.6%という非常に大きな体積減少を伴う極性正方晶 ( $P4mm$ ) から非極性立方晶 ( $Pm-3m$ ) への構造相転移を示す<sup>10-12)</sup>。Pb<sup>2+</sup>サイトへの Bi<sup>3+</sup>置換により V<sup>4+</sup>への電子ドーピングを行うことで、常圧下での昇温での負熱膨張を伴う構造相転移が観測され、さらに Bi<sup>3+</sup>、La<sup>3+</sup>の両置換により、負熱膨張の動作温度を室温まで低減可能であることが報告されている<sup>13)</sup>。しかしながら、この電子ドーピングは  $c/a$  の低下を招くことから体積変化量の減少を伴うものである。そこで、Pb<sup>2+</sup>や Bi<sup>3+</sup>の持つ 6s<sup>2</sup> 孤立電子対の量を調節することで大きな  $c/a$  を保ちつつ温度誘起相転移を狙い、巨大な体積変化を伴う負熱膨張物質の設計を図るとともに低温相と高温相の2相のドメインを観察した。

Pb<sub>1-x</sub>M<sub>x</sub>VO<sub>3</sub> (M = Bi, Sr, La) を合成したところ、電子ドーピングした Bi、La 置換試料では  $c/a$  比が減少していることを示している。Sr<sup>2+</sup>置換の場合、 $c/a$  はほとんど変わらず、 $x = 0.18$  で PbVO<sub>3</sub> の高圧安定相である立方相への相転移が急激に起こることが確認された。これらのことから、PbVO<sub>3</sub> の  $c/a$  は電子ドーピング量によって支配され、6s<sup>2</sup> 孤立電子対の量は相転移温度を低下させると考えられる。 $c/a$  比が小さいと正味の体積収縮率 ( $\Delta V/V$ ) が小さくなるため、大きな負熱膨張

を実現するには大きな  $c/a$  比が必要である。大きな体積収縮率を保ちつつ負熱膨張を実現するために、 $c/a$  が大きく、温度誘起相転移のない Pb<sub>0.9</sub>Bi<sub>0.1</sub>VO<sub>3</sub> と Pb<sub>0.875</sub>Bi<sub>0.125</sub>VO<sub>3</sub> を選択し、Pb の Sr 置換により正方晶相の不安定化を図った。このように設計された Pb<sub>0.8</sub>Bi<sub>0.1</sub>Sr<sub>0.1</sub>VO<sub>3</sub> と Pb<sub>0.775</sub>Bi<sub>0.125</sub>Sr<sub>0.1</sub>VO<sub>3</sub> は図3(a)、(b) に示すように低温で青で示す正方晶相だったものが加熱により2相が共存して赤で示す立方晶相へ一次相転移し、相分割率で重み付けした平均単位胞体積は大きな体積収縮を示している。Pb<sub>0.8</sub>Bi<sub>0.1</sub>Sr<sub>0.1</sub>VO<sub>3</sub> と Pb<sub>0.775</sub>Bi<sub>0.125</sub>Sr<sub>0.1</sub>VO<sub>3</sub> では、同じ温度での低温相と高温相の体積差はそれぞれ 11.1%と 10.8%と非常に大きく、PbVO<sub>3</sub> の圧力誘起体積収縮の 10.6%に匹敵する値となった。結晶学的な体積変化量は 9.3%と 8.4%に達し、相転移型負熱膨張材料の中で最も大きいものである。Pb<sub>0.775</sub>Bi<sub>0.125</sub>Sr<sub>0.1</sub>VO<sub>3</sub> について、5回の加熱-冷却サイクルの XRD パターンの温度変化を測定した。大きな体積収縮は維持され、温度ヒステリシスは5回目の温度サイクルで 200 K から 150 K に減少することがわかった (図3(d))。加熱/冷却サイクルを繰り返すことでドメイン構造が変化し、温度ヒステリシスが抑制されると考えられる。そのため、温度変化で2相の分率が変化しない Pb<sub>0.82</sub>Sr<sub>0.18</sub>VO<sub>3</sub> を用いて、高角散乱環状暗視野走査透過電子顕微鏡 (HAADF-STEM) で観察したところ、相境界のような構造が確認できた (図4(a))。領域 b および c のフーリエ変換像から、領域 d は  $a = 0.37$  nm、 $c = 0.45$  nm の正方晶相、領域 e は  $a = c = 0.38$  nm の立方晶相であり、これらの格子定数は、放射光 X 線回折データのリートベルト解析の結果とよく一致する。観察された立方体状の相は 001 方向から見た正方晶相である可能性もあるが、正方晶-正方晶ドメインは前述のように 90°ドメインを形成した方が安定なので、正方晶-立方晶の境界が観察されたと結論づけられる。(d) に示すドメイン境界の拡大図から、正方晶相と立方晶相は {110} 面を共有して境界を接しているが、{101}<sub>r</sub> 面と {110}<sub>c</sub> 面の間隔はそれぞれ 0.291 nm と 0.262 nm で 10% の差があり、10 間隔ごとに欠陥が導入されてミスマッチが緩和されていると推測される。(d) の緑破線で示した刃状転移の余剰半面は 11 セルに 1 個の周期で見られる。

このように電子顕微鏡像から見られる視野は非常

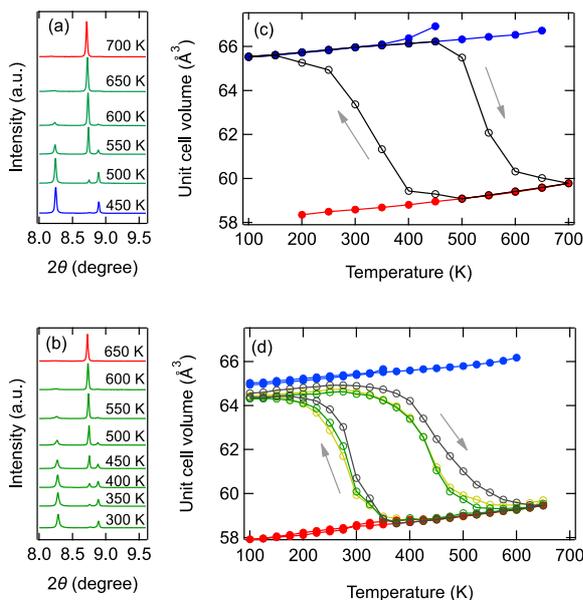


図3 (a、c) Pb<sub>0.8</sub>Bi<sub>0.1</sub>Sr<sub>0.1</sub>VO<sub>3</sub> と (b、d) Pb<sub>0.775</sub>Bi<sub>0.125</sub>Sr<sub>0.1</sub>VO<sub>3</sub> の各温度での XRD パターンと負熱膨張特性

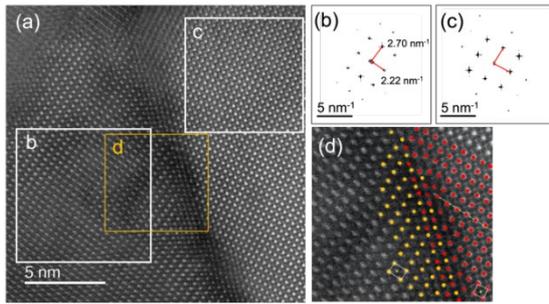


図 4 STEM によるドメイン観察 (a) 広視野での像、(b)、(c) 各領域での FFT 像、(d) 分域付近の拡大像、黄色の点は正方晶、赤色の点は立方晶を示す

に狭く、粒子全体のドメインを観察することはできないが、Bragg コヒーレント X 線回折イメージング (BCDI) では 1 粒子に着目してドメイン構造と歪みを 3 次元的に可視化することができる<sup>[14, 15]</sup>。図 5 (a) は、立方晶 200 の 3 次元ブラッグ回折パターンを観察したものである (スペックル)。ブラッグ位置から散乱ベクトル  $Q_{200}$  に垂直に伸びる筋状のテールは、 $Q_{200}$  に垂直な法線ベクトルを持つ界面の存在を、ストリーク状のスポットの間隔  $0.0045 \text{ nm}^{-1}$  は、粒子外径が  $220 \text{ nm}$  であることを示している。これは (d) に示した位相回復像のサイズと一致する。(b) は、(a) の断面の高速フーリエ変換 (FFT) 像である。FFT 像は粒子画像の自己相関関数に相当するため、(c) に模式的に示すように、縦縞は複数の界面が平行に存在していることを示している。前述の HAADF-STEM 像は、 $Q_{200}$  方向に対応している。(d) は、(a) のデータを用いて位相計算を行い、粒子の三次元像を再構成したものである。内部の等密度面は、立方晶 200 の反射密度が高い領域を示している。(e)、(f) に示す Bragg-BCDI 像の断面図は、(c) に示すように、011-接続界面と平行で  $Q_{200}$  方向と垂直な方向から見たものである。(d) の水平面における立方晶 200 の反射密度をプロットしたものが (e) である。立方晶と正方晶が滑らかに接続するためには、弾性エネルギーが最小となる {110} 接続となると考えられる<sup>[16]</sup>。また、立方晶密度の高い領域に挟まれた立方晶密度の低い領域は、他の相すなわち正方晶で満たされていると考えるのが妥当である。図 5 (f) は断面位相像を示しており、位相変化が大きいことが境界部にひずみがあることを示している。相変化の縞模様は垂直であり、(e) の点線で囲った立方晶密度の高い部分と重ね合わせると位相

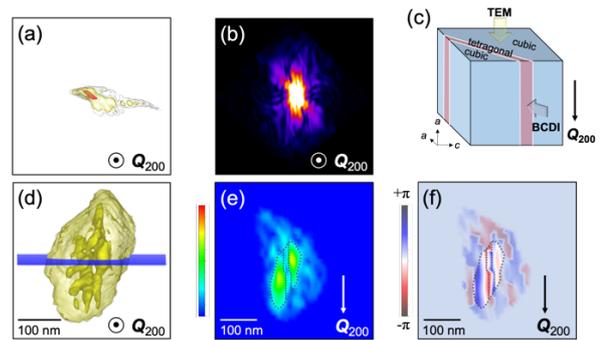


図 5 BCDI による粒子内のドメイン構造の観察 (a) スペックル、(b) スペックルの FFT 像、(c) TEM で観察した方向との相関図、(d) 立方晶 200 密度分布、(e) 断面での立方晶密度、(f) 断面での位相像

差の大きい部分が 2 相の境界に対応することから、この位相差は正方晶-立方晶間のひずみによるものであるとわかる。このことから、前述の  $\text{Pb}_{0.775}\text{Bi}_{0.125}\text{Sr}_{0.1}\text{VO}_3$  では加熱/冷却サイクルによりこのドメイン構造が変化し、温度ヒステリシスが抑制されたと示唆される。

#### 4. まとめと今後の展開

本研究では圧力下で不連続な巨大体積減少が起こる物質に着目し、放射光を活用した負熱膨張物質の詳細な結晶構造・電子状態・ドメイン変化といった多角的な視点からそのメカニズムを解明から物質のデザインまで行った。物質デザインとしては、電荷移動相転移により圧力下で 3%もの体積収縮を示す  $\text{BiNiO}_3$  と、圧力下で 1%の体積収縮を示す強誘電体  $\text{BiFeO}_3$  との固溶体を合成し、その評価を BL02B2 を用いた放射光 X 線回折、BL22XU を用いた放射光 X 線全散乱データから得た原子二対相関関数 (PDF) 解析、さらには BL09XU および BL47XU を用いた硬 X 線光電子分光実験により行うことで、2つのメカニズムを併せ持つ負熱膨張物質を設計した。また、強誘電相から常誘電相への相転移による負熱膨張に着目し、一軸加圧による強弾性ドメインの大きな変化を、BL02B2 を用いた放射光 X 線回折による観察を行い、さらには最大の体積変化量を持つ負熱膨張物質のデザインと BL22XU でのブラッグコヒーレント X 線回折イメージングと電子顕微鏡像によるドメイン観察を行った。BL10XU での高圧下 X 線回折実験から求めた圧縮曲線から、相転移により引き起こされる負熱膨張の 2 相

共存状態がドメイン境界に働く応力により安定化されることを明らかにした。このように放射光を駆使して結晶構造・局所構造・電子状態といったマイクロなものからドメイン構造といったマクロなものまで多角的な視点から負熱膨張物性とメカニズムを評価し物質デザインが有効であると示した。今回得られた物質はいずれも高圧下で合成されるものであるが、メカニズムを詳細に調査し、生成過程を観察することで、より簡便な手法で合成できる物質の探索や産業化可能なプロセスの開発を進めていきたい。

#### 謝辞

共同研究者である東京科学大学の東正樹 教授、QST の綿貫徹 博士、大和田謙二 博士、町田晃彦 博士、押目典宏 博士、熊本大学の水牧仁一朗 教授、早稲田大学の溝川貴司 教授に多大な協力をいただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

#### 参考文献

- [1] K. Takenaka : *Sci. Technol. Adv. Mater.* **13** (2012) 013001.
- [2] H. Schulz : *J. Am. Ceram. Soc.* **57** (1974) 313-318.
- [3] M. Azuma, W. Chen, H. Seki, M. Czapski, S. Olga, K. Oka, M. Mizumaki, T. Watanuki, N. Ishimatsu, N. Kawamura : *Nat. Commun.* **2** (2011) 347.
- [4] K. Takenaka, H. Takagi : *Appl. Phys. Lett.* **87** (2005) 261902.
- [5] Y.W. Long, N. Hayashi, T. Saito, M. Azuma, S. Muranaka, Y. Shimakawa : *Nature* **485** (2009) 60.
- [6] B.K. Greve, K.L. Martin, P.L. Lee, P.J. Chupas, K.W. Chapman, A.P. Wilkinson : *J. Am. Chem. Soc.* **132** (2010) 15496-15498.
- [7] K. Takenaka, Y. Okamoto, T. Shinoda, N. Katayama, Y. Sakai : *Nat. Commun.* **8** (2017) 14102.
- [8] K. Oka, K. Nabetani, C. Sakaguchi, H. Seki, M. Czapski, Y. Shimakawa and M. Azuma : *Appl. Phys. Lett.* **103** (2013) 061909.
- [9] K. Nabetani, Y. Muramatsu, K. Oka, K. Nakano, H. Hojo, M. Mizumaki, A. Agui, Y. Higo, N. Hayashi, M. Takano and M. Azuma : *Appl. Phys. Lett.* **106** (2015) 061912.
- [10] A.A. Belik, M. Azuma, T. Saito, Y. Shimakawa, M. Takano : *Chem. Mater.* **17** (2005) 269-273.
- [11] R.V. Shpanchenko, V.V. Chernaya, A.A. Tsirlin, P.S. Chizhov, D.E. Sklovsky, E.V. Antipov, E.P. Khlybov, V. Pomjakushin, A.M. Balagurov, J.E. Medvedeva, *et al.* : *Chem. Mater.* **16** (2004) 3267-3273.
- [12] K. Oka, T. Yamauchi, S. Kanungo, T. Shimazu, K. Ohishi, Y. Uwatoko, M. Azuma, T. Saha-Dasgupta : *J. Phys. Soc. Jpn.* **87** (2018) 024801.
- [13] H. Yamamoto, T. Imai, Y. Sakai, M. Azuma : *Angew. Chem. Int. Ed.* **57** (2018) 8170-8173.
- [14] K. Ohwada, K. Sugawara, T. Abe, T. Ueno, A. Machida, T. Watanuki, S. Ueno, I. Fujii, S. Wada, Y. Kuroiwa : *Jap. J. Appl. Phys.* **58** (2019) SLLA05.
- [15] N. Oshime, K. Ohwada, K. Sugawara, T. Abe, R. Yamauchi, T. Ueno, A. Machida, T. Watanuki, S. Ueno, I. Fujii, S. Wada, R. Sato, T. Teranishi, M. Yamauchi, K. Ishii, H. Toyokawa, K. Momma, Y. Kuroiwa : *Jap. J. Appl. Phys.* **60** (2021) SFFA07.
- [16] W. Cao, L. E. Cross : *Phys. Rev. B* **44** (1991) 5-12.

#### 西久保 匠 NISHIKUBO Takumi

神奈川県立産業技術総合研究所  
次世代半導体用エコマテリアルグループ  
〒243-5198 神奈川県海老名市下今泉 705-1  
TEL : 045-924-5342  
e-mail : tnishikubo@msl.titech.ac.jp

# SACLA BL1 における生きた哺乳類細胞の 軟 X 線 FEL シングルショット観察

東京大学 先端科学技術研究センター

江川 悟

国立研究開発法人理化学研究所 放射光科学研究センター

志村 まり

東京大学 物性研究所

木村 隆志

## Abstract

水の窓軟 X 線顕微鏡は、水と炭素の吸収コントラストにより細胞を高コントラストにラベルフリー観察できる。しかし、その生細胞への応用は、細胞への放射線障害の問題により制限されてきた。我々は、放射線による細胞障害を無視できる、フェムト秒パルスによるシングルショット撮像が可能な、軟 X 線自由電子レーザーによる軟 X 線顕微鏡を開発した。さらに、照明・結像光学系に大視野かつ長作動距離、軟 X 線自由電子レーザーの照射に耐えるウォルターミラーを利用することで、培養液中の生きた哺乳類細胞の観察を可能とした。観察された生細胞像は、化学固定細胞とは大きく異なる構造を示していた。

## 1. はじめに

炭素と酸素の吸収端に挟まれる水窓領域 (280-530 eV) の軟 X 線を利用すると、水中での生細胞の内部構造を高空間分解能・高コントラストにラベルフリー観察できる。そのため、軟 X 線による生細胞の観察は 1990 年代より試みられてきた。しかし、軟 X 線は細胞に放射線障害を与え、細胞構造を破壊してしまうことが知られている。そのため現在ほとんどの軟 X 線細胞観察の研究で、パラホルムアルデヒドなどで化学固定された細胞試料の観察が行われている<sup>[1, 2]</sup>。一方で、固定プロセスにより細胞の微細構造や細胞内元素が喪失するため、生きた細胞を放射線障害を回避して観察する手法が求められてきた。

軟 X 線自由電子レーザー (SXFEL) は非常に明るい超短パルス性の軟 X 線光源である。SXFEL はパルス幅フェムト秒オーダーの超短パルス光源であるため、SXFEL を照明光源に用いた顕微鏡ではシングルショット撮像において細胞構造が破壊されるより前に露光が終了し、放射線障害による細胞構造の変化を無視できる<sup>[3]</sup>。XFEL とコヒーレント回折法を利用した生きたウイルス<sup>[4]</sup>や細菌<sup>[5, 6]</sup>の観察が行われている。しか

し、それらに比べて大きな哺乳類細胞の観察はコヒーレント回折法では困難であった。一方で、広く用いられる軟 X 線結像素子フレネルゾーンプレートは入射熱の影響を受けやすく SXFEL の照射に耐えない。哺乳類細胞の研究は医療や薬理の研究に役立つ点で重要であり、ダメージフリー・ラベルフリーの観察手法の開発が望まれてきた。

SXFEL を用いた哺乳類細胞の観察を可能にするために、我々は SACLA の軟 X 線自由電子レーザービームライン (BL1) <sup>[7]</sup>にてウォルターミラーを照明・結像光学系に用いた顕微鏡を開発した<sup>[8]</sup>。ウォルターミラーは回転体形状を持つ斜入射反射型結像素子である。楕円面と双曲面の二面構成となっているため、球面収差が無い上にアッペの正弦条件が概ね満足されてコマ収差が小さい。斜入射反射型なので受光面積が広く、反射効率も良いため強力な軟 X 線の照射による熱負荷に耐える他、作動距離が長く、色収差が無視できる。長い作動距離は培養液を含む厚い試料ホルダーの使用を可能にし、色収差が無いことにより分光イメージングが容易になる。本稿では SACLA における顕微鏡開発と生きた哺乳類細胞の観察結果<sup>[9]</sup>を紹介する。

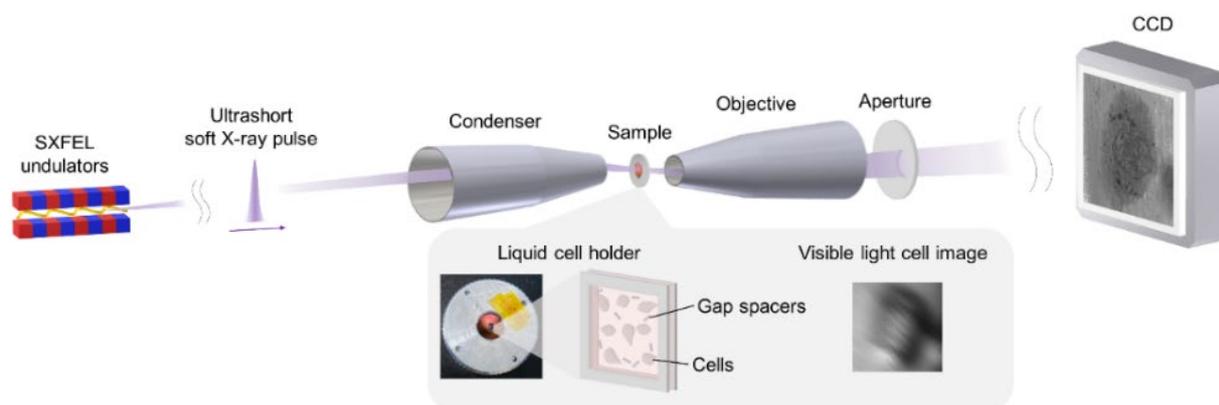


図1 超短パルス軟X線顕微鏡の模式図。引用9より転載。© 2024 Optica Publishing Group.

## 2. 超短パルス軟X線顕微鏡の開発

SACLA BL1 に構築された軟X線透過顕微鏡の模式図を図1に示す。SXFELの三次高調波として生成された水の窓軟X線を利用した。典型的なパルス幅は約30フェムト秒である<sup>10)</sup>。コンデンサーウォルターミラー(CWM)の入射開口での推定パルスエネルギーは約100ナノジュールである。入射ビームは常設のKirkpatrick-Baezミラー(KBミラー)とCWMに順次反射され、試料を照射する。結像用ウォルターミラー(OWM)は、倍率255で透過画像を裏面照射型CCD上に形成する。視野は $52 \times 52 \mu\text{m}^2$ である。生細胞は培養液とともに真空密封された液体セルホルダーに配置されている(図1の挿入図参照)。液体セルホルダーは、二枚の窒化ケイ素膜チップ、Oリング、ハウジング、4.5  $\mu\text{m}$ 厚のギャップスペーサー(シリカマイクロロッド)から構成されており、窒化ケイ素膜チップを通して培養液中の細胞を観察できる。イメージングシステムには可視光照明が備わっており、可視光透過イメージングを用いて試料の位置決めができる。

軟X線透過顕微鏡では、強い吸収コントラストにより軽元素の分布を可視化できる。炭素の顕著な吸収と、タンパク質、脂質、核酸などの生体分子に結合している窒素と酸素の存在量の少なさを考慮すると、得られる画像は概ね細胞内の炭素分布を可視化していると解釈できる。

## 3. 哺乳類細胞の軟X線炭素分布観察

細胞と培養液を封入した液体セルホルダーを準備し、37°Cに維持された試料ホルダーに取り付けた。観察対象に選んだのはチャイニーズハムスター卵巣がん細胞株由来細胞(CHO-K1)である。培養液は熱不

活化ウシ胎児血清10%を添加したHam's F-12培地である。光子エネルギー390 eVにて、SXFELパルスシングルショット露光で細胞の画像を取得した(図2AおよびC)。細胞質と核の境界に認められる、核膜構造(図2C矢印1)が観察された。また、核の中心には大きな暗領域(図2C矢印2)が見られ、おそらく核小体と言われている細胞内小器官で、一般に明視野顕微鏡でも観察される部位である。核小体ではリボゾームサブユニット合成、細胞分裂、ストレス対応を担っていることが知られている。そのため、多くの炭素を有する生体分子が集中するのも矛盾はない。興味深いのは、その中心から核膜に向かって複数の線状の構造が延びている(図2C)。このような線状構造は、観察した細胞の約36%(74細胞中27細胞)で確認

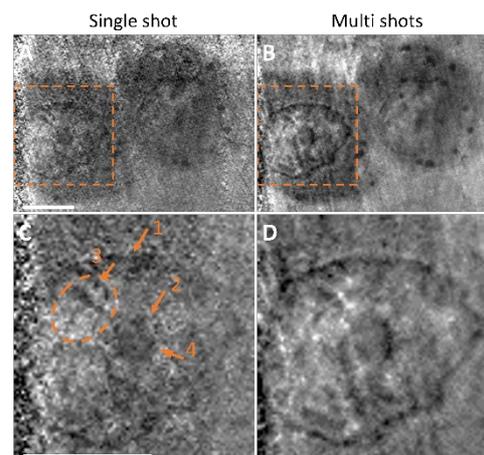


図2 培養液中の哺乳類細胞の(A) シングルショット像と(B) マルチショット像、(C、D) (A)、(B)の矩形枠部の拡大図。1:核膜、2:核小体、3、4:CとDで顕著に変化した箇所。光子エネルギー390 eV、スケールバー:5  $\mu\text{m}$ 。引用9より編集の上転載。

© 2024 Optica Publishing Group.

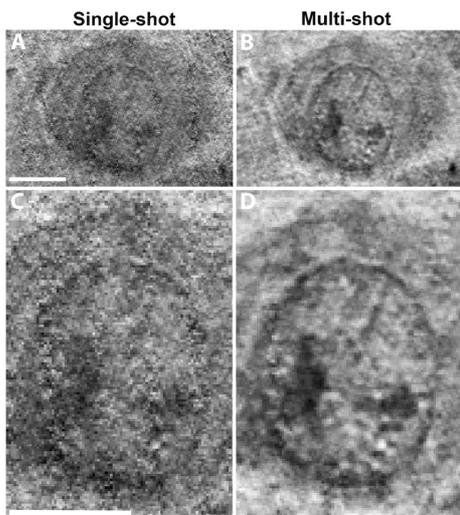


図3 培養液中の哺乳類細胞の (A) シングルショット像と (B) マルチショット像、(C、D) 拡大図。光子エネルギー300 eV、スケールバー：5  $\mu\text{m}$ 、引用9より転載。© 2024 Optica Publishing Group.

された。この線状構造は明視野顕微鏡では認められない所見である。また、細胞質内には複数の暗いスポット (<1  $\mu\text{m}$ ) が見られることがあった(図2Aの右側)。シングルショット像の参考として、直後に15ショット(総露光時間: 250ミリ秒)で撮影した細胞像を示す(図2BおよびD)。マルチショット像は、長時間の露光により細胞の動きが影響し、ぼやけて見えている可能性があるが(図2D)、シングルショットとマルチショットの両方で観察された構造は長時間存在した構造と考えられる。代表的な核の構造を比較したところ、x-xで示されたギャップ(図2CおよびD)は両方の画像で確認でき、ノイズによる誤認ではなく、ノイズではない本物の構造であることが示唆される。このギャップの幅は約310 nmであり、十分な照射でのテストチャート観察により測定された本顕微鏡の空間分解能230 nmに匹敵する。一方で、いくつかの顕著な違いも見られた。例えば、暗いスポット領域(図2Cの破線円の矢印3)が薄くなり、別の暗領域(図2C矢印4)がマルチショット画像(図2D)でより顕著になった。これらの違いが細胞の生理的動きによるものか、あるいは複数回の軟X線照射による放射線障害によるものかは不明である。

次に、光子エネルギー300 eVで取得した細胞像を図3に示す。300 eV、390 eVともに水の窓領域内にあるが、300 eVは炭素吸収端(約280 eV)近傍に

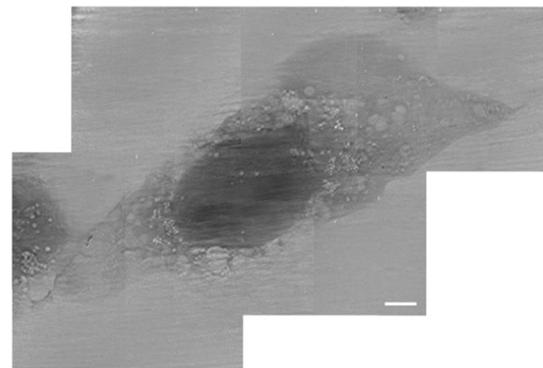


図4 パラホルムアルデヒド固定された細胞の軟X線像、スケールバー：5  $\mu\text{m}$ 、引用9より転載。© 2024 Optica Publishing Group.

位置するため、有機物をより高感度に捉えられる。細胞質と核の両方の構造が高いコントラストで明瞭に見える。核の中央には大きな暗領域と核膜が顕著に見られ、多くの1  $\mu\text{m}$ 以下の構造の存在が示唆される(図3C)。マルチショット像でも、核の中央にある大きな暗領域と核膜の存在が確認された(図3B)。ただし、マルチショット像はおそらく細胞の動きによってぼやけている(図3D)。図4にパラホルムアルデヒド固定・乾燥したCHO-K1の軟X線像を示す。核内の構造が不明瞭である点と、明るい空胞状の構造が細胞質中に多数見られる点で、培養液中の生きた細胞とは大きく異なる見え方となっている。

#### 4. タイムラプス軟X線撮影による哺乳類細胞の放射線障害の評価

細胞の軟X線像を繰り返し取得することで、培養液中の生きた細胞への放射線障害の影響を評価した。図5A-Eには、13秒ごとに光子エネルギー300 eV、100ショット露光で観察された一連の細胞像からの抜粋を示している。露光が蓄積するにつれて、細胞質、核、さらには細胞の周囲にもやや明瞭に現れた。細胞、核、そして核小体様の構造の面積が縮小している。図5Fには細胞体と細胞核の面積の推移を示す。これは細胞の体積が縮小したのではなく、細胞付着が弱まって丸まったためかもしれない。なお、タイムラプス撮影は細胞と少量の培養液を液体セルホルダーに入れてから6時間後に10分間にわたって行っている。放射線障害ではなく、培養液のpHなど細胞環境の変化による細胞の形態変化が観察された可能性もある。今後、

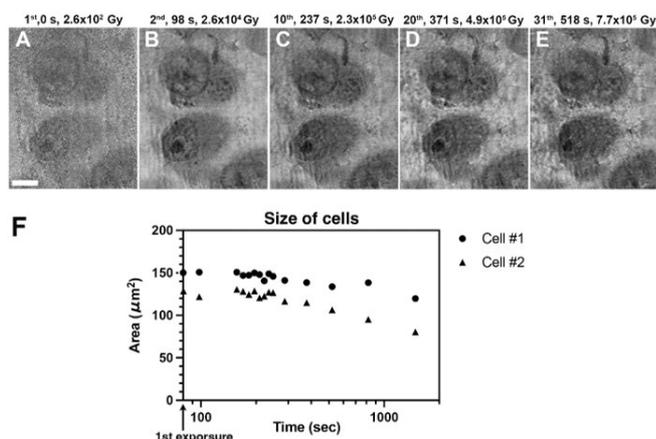


図5 培養液中の細胞のタイムラプス軟X線撮影。(A-E) タイムラプス像の抜粋、(F) 細胞の面積の推移、スケールバー：5 μm、引用9より転載。© 2024 Optica Publishing Group.

培養液の還流システムなど整った細胞環境を用意して、放射線障害の影響をより厳密に調べる必要がある。

## 5. まとめと展望

水の窓軟X線の利用により、培養液中の生きた哺乳類細胞内の炭素分布を明瞭に観察することができた。水の窓軟X線顕微鏡による生きた細胞の観察はかつて期待を集めたが、放射線障害と光源の暗さのために断念されていた。SXFELを始めとする光学系の進歩により、放射線障害を無視して、高クオリティの像の撮影が可能となった。観察した細胞は化学固定細胞とは明確に異なる構造を示しており、化学固定細胞により細胞構造が変化することが示唆された。X線顕微鏡や電子顕微鏡では固定細胞の観察がスタンダードとなっているが、固定プロセスが細胞構造に与える影響は示唆されつつあり、凍結法が主流になりつつある。しかし、生細胞観察に越したことはなく、凍結法とは時系列的な情報量が異なる。

タイムラプス撮影の結果、SXFELによる放射線障害により細胞構造が直ちに崩壊するわけではないことがわかった。短時間であれば放射線障害の影響を無視して細胞の生理活動のトラッキングができる可能性もある。また、波長可変なSXFELと色収差のないウォルターミラーの特性を生かした分光イメージングにより、細胞内の元素分布測定への発展が期待できる。引き続き光学系開発と観察を進め、生きた哺乳類細胞の姿を究明したい。

## 謝辞

本研究はSACLA BL1にてSACLA利用研究課題2021A8030、2021B8042、2022B8030として行われました。本研究開発は、SACLA/SPring-8基盤開発プログラムから多大な支援を受け、理化学研究所の大和田成起博士、山口豪太博士、矢橋牧名博士、東京大学の櫻井快さん、竹尾陽子博士、吉永享太さん、SACLAエンジニアリングチームの方々をはじめ多くの研究者と共同で推進されてきたものです。共同研究者の方々にこの場を借りて深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] D. Y. Parkinson, et al.: *J. Struct. Biol.* **162** (2008) 380-386.
- [2] K. L. White, et al.: *Sci. Adv.* **6** (2020) 1-13.
- [3] H. N. Chapman, et al.: *Nat. Phys.* **2** (2006) 839-843.
- [4] M. M. Seibert, et al.: *Nature* **470** (2011) 78-81.
- [5] T. Kimura, et al.: *Nat. Commun.* **5** (2014) 1-7.
- [6] G. Van Der Schot, et al.: *Nat. Commun.* **6** (2015) 1-9.
- [7] S. Owada, et al.: *J. Synchrotron Radiat.* **25** (2018) 282-288.
- [8] S. Egawa, et al.: *Opt. Express* **27** (2019) 33889.
- [9] S. Egawa, et al.: *Optica* **11** (2024) 736-743.
- [10] S. Owada, et al.: *J. Synchrotron Radiat.* **27** (2020) 1362-1365.

### 江川 悟 EGAWA Satoru

東京大学 先端科学技術研究センター  
〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1  
TEL : 03-5452-5187  
e-mail : satoru-egawa@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

### 志村 まり SHIMURA Mari

(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
e-mail : mshimura@ri.ncgm.go.jp

### 木村 隆志 KIMURA Takashi

東京大学 物性研究所  
〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 5-1-5  
e-mail : tkimura@issp.u-tokyo.ac.jp

## イリジウム使用量を 95%以上削減した PEM 水電解触媒の開発

国立研究開発法人理化学研究所 創発物性科学研究センター  
足立 精宏、橋爪 大輔  
国立研究開発法人理化学研究所 環境資源科学研究センター  
李 愛龍、孔 爽、大岡 英史、伏見 和奈  
国立研究開発法人理化学研究所 環境資源科学研究センター  
東京工業大学 地球生命研究所 中村 龍平  
国立研究開発法人理化学研究所 放射光科学研究センター  
濱本 諭、大浦 正樹  
公益財団法人高輝度光科学研究センター  
大淵 博宣、東 晃太郎、金子 拓真、河村 直己  
公益財団法人高輝度光科学研究センター  
電気通信大学 燃料電池・水素イノベーション研究センター  
宇留賀 朋哉

### Abstract

世界的な SDGs の潮流の中で、再生エネルギーを用いた水の電気分解によるグリーン水素製造が注目されている。中でも、プロトン交換膜 (PEM) 水電解は電圧応答性が高く、再生可能エネルギーによるグリーン水素製造に適した技術として注目されている。しかし、PEM 水電解の陽極触媒には非常に高価で埋蔵量の少ないイリジウムが用いられており、その使用量の削減が喫緊の課題となっている。我々はマンガン酸化物系触媒に取り組んできており、今回イリジウムを二酸化マンガんに原子状に分散させた酸素発生触媒を開発した。本触媒は、イリジウムの使用量を従来の触媒よりも 95%以上削減しているにもかかわらず、高い活性と安定性を維持した。我々は SPring-8 を活用し、本触媒の多角的な解析を行った。X 線吸収分光 (XAFS) および X 線光電子分光 (XPS) により、本触媒中のイリジウムは +6 価の高酸化状態となっており、これが本触媒の優れた活性・安定性の起源であることを明らかにした。

### 1. はじめに

水の電気分解 (水電解:  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ ) は、二酸化炭素を排出しない環境負荷の低い水素製造技術として注目されている。中でも、PEM 水電解は電圧応答性が高く、発電量が変動する再生可能エネルギーによるグリーン水素製造に適した技術として注目されている。しかし、PEM では酸素が発生する陽極は電解によって生じたプロトンにより強酸性環境にさらされ、また、高電流密度を得るため高電圧が印加されるため、耐酸性特性に優れた酸化イリジウムが使われている。酸化イリジウム触媒では粒子表面のイリ

ジウム (Ir) 原子しか触媒反応に寄与しないため、Ir の原子利用効率が低い。そのため、現在の PEM 水電解では、水電解能力 1 kW 当たり、おおよそ 1 g の Ir が必要とされている。Ir の価格は金の約 2 倍、白金の約 4 倍と非常に高価であり、コスト削減が重要な課題となっている。Ir は地殻中の存在量が極めて低く、世界の年間生産量が 7~8 トン/年しかない。2050 年までにカーボンニュートラルを達成するためには水電解能力が 2,000 GW 程度、すなわち約 2,000 トンの Ir を用いた PEM 電解槽設置規模が必要だといわれており、仮に今後 Ir の生産量が多少増加し、そのすべてを

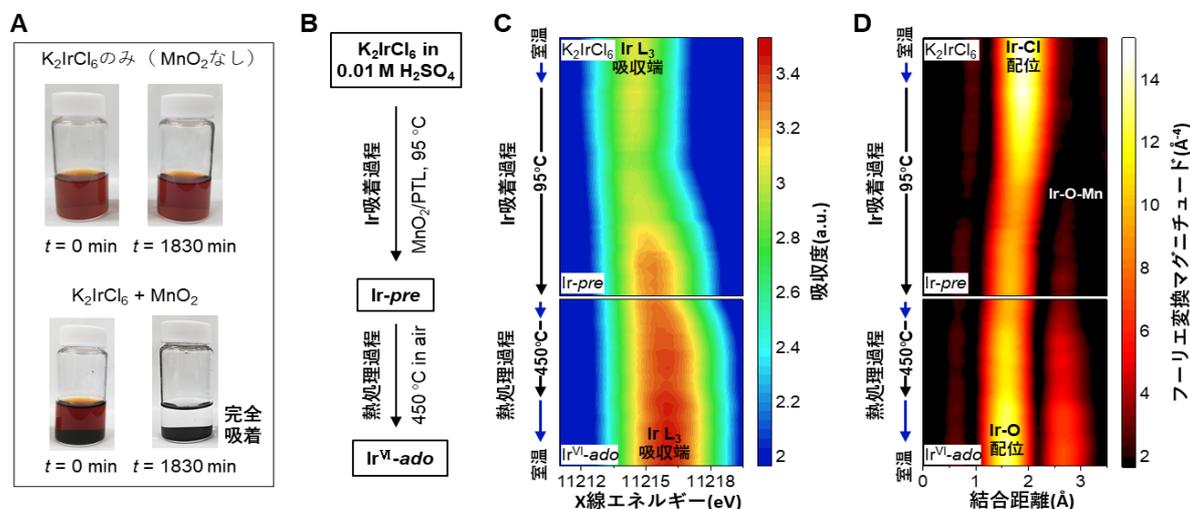


図1 in-situ XAFS による新規イリジウム触媒 (Ir<sup>VI</sup>-ado 触媒) の合成過程の追跡  
 (A) 二酸化マンガン (MnO<sub>2</sub>) がイリジウムを吸着する様子。MnO<sub>2</sub> 共存下では、Ir ソース(K<sub>2</sub>IrCl<sub>6</sub>)由来の赤褐色な溶液が無色透明に変化した (下)。  
 (B) Ir<sup>VI</sup>-ado 触媒の合成過程。  
 (C) Ir L<sub>3</sub> 吸収端の XANES の経時変化を示した 2 次元カラーマップ。吸収端が高エネルギー側にシフトし、Ir が酸化されたことが分かる。  
 (D) Ir L<sub>3</sub> 吸収端の FT-EXAFS の経時変化を示した 2 次元カラーマップ。結合距離の短縮から、Ir の配位子が塩化物イオンから酸化物イオンに交換されたことが分かる。  
 (C) および (D) の左側に示されている青矢印は加熱もしくは冷却プロセスを表し、黒矢印は定温プロセスを表す。

水電解触媒に用いたとしても 150 年分以上の生産量が必要と見積もられている。このため、PEM 水電解の大規模展開には Ir の希少性の課題を解消することが不可欠であり、Ir 使用量を従来の 10 分の 1 以下に低減することが大きな課題として国際的に認知されている。これまで、担持材料の改良や、材料のナノスケール化などにより、Ir の使用量が削減されてきた。Ir の削減だけでなく、実用化に向けては高活性で長寿命な触媒が必須であるが、少量の Ir で活性と安定性を維持できる材料はまだ開発されていなかった。最近我々は、Ir 使用量を抑えつつ、活性と安定性を兼ね備えた水電解触媒の開発に成功した。本研究では、本触媒の高い活性・安定性の起源の解明を目的とし、我々は 5 つのビームラインで 10 回以上実験を重ね、SPring-8 を駆使して多角的に本触媒の構造および化学状態に迫った。以下本稿ではその内容<sup>1)</sup>を紹介する。

## 2. イリジウム-マンガン触媒の合成と in-situ XAFS による触媒合成過程の追跡

我々は、PEM 水電解の触媒材料としてマンガン酸化物系に着目して研究を進めてきた<sup>2, 3)</sup>。その過程で、二酸化マンガンが溶液中の Ir イオンを特異的に吸着することを発見した (図 1A)。この知見を踏まえ、本研究では新たな Ir 触媒材料の合成に挑戦した。触媒の合成の過程は、①MnO<sub>2</sub> の電析、②Ir 吸着、③熱処理の 3 ステップからなる。まず①で MnO<sub>2</sub> 電極を電析法で作製し、得られた電極 (MnO<sub>2</sub>/多孔質輸送層 (PTL)) を②で K<sub>2</sub>IrCl<sub>6</sub> 前駆体溶液に 95°C で 6 時間以上浸漬し、Ir の吸着を行った (図 1B の Ir 吸着過程)。その後、③で 450°C で焼成し、本触媒材料を合成した (図 1B の熱処理過程)。

本触媒の合成過程でどのような変化が起きているかを in-situ XAFS により追跡した。Ir L<sub>3</sub> 吸収端の XAFS 実験は SPring-8 BL14B2 にて蛍光法で実施し

た。合成過程の変化の時間スケールより十分短く、かつ、良好なスペクトルが得られるように、1 スキャンあたり6分で測定を行い、これを110回繰り返した。まずXANESに着目すると、②の吸着の過程でIr L<sub>3</sub>吸収端のホワイトラインのピークが高エネルギー側にシフトしており、Irが酸化されていることが分かった(図1C)。さらに③の熱処理でわずかに高エネルギー側にシフトするとともにホワイトラインの強度が大きくなり、Irが元の+4価からさらに酸化されたことが明らかとなった。また、EXAFSに着目すると、②のIr吸着過程で最近接原子との結合距離の短縮および2.6 Å付近に新たな第二近接原子のピークの出現が見られた(図1D)。MnO<sub>2</sub>にIrが吸着されたと同時に、K<sub>2</sub>IrCl<sub>6</sub>とMnO<sub>2</sub>の配位子交換反応が進行し、Irの配位子が塩化物イオンから酸化物イオンに交換されたことが明瞭に観測された。

### 3. 放射光を活用した触媒の構造・化学状態解析

次に、本触媒の構造および化学状態の解析に取り組んだ。最終的に得られた触媒のIr L<sub>3</sub>吸収端の動径構造関数をMnO<sub>2</sub>のMn K吸収端およびIrO<sub>2</sub>のIr L<sub>3</sub>吸収端の動径構造関数と比較した。その結果、本触媒ではMnO<sub>2</sub>のMn原子の一部がIrに置換された構造で

あることが明らかになった。さらに、重原子であるIrを原子分解能で観察できる高角散乱環状暗視野走査透過顕微鏡(HAADF-STEM)を用いて試料の観察を行った。図2Aの明点はIr原子であり、XAFSの結果と同様にMnO<sub>2</sub>のMn原子がIrに置換され、Irが原子レベルで分散されている様子が観測された。

続いて、本触媒のIrの酸化状態を決定するため、SPRING-8 BL17SUにおいてX線光電子分光(XPS)実験を行った(図2B)。本触媒のIrの4f光電子のピークは、標準物質として用いた+4価のIrO<sub>2</sub>よりも高結合エネルギー側に観測され、文献<sup>4)</sup>で示された+6価のピーク位置と良好な一致を示した。

XPSに加えて、XAFSからも化学状態の評価を行った。作製した触媒の価数を評価するために、BL39XUおよびBL36XUにおいて、高エネルギー分解能蛍光検出(HERFD)XANES実験を行った(図2C)。試料から放出された蛍光X線を5枚のGe分光結晶の800反射により分光し、Ir L<sub>α1</sub>線のみを検出した。その結果、通常のXAFSよりも鋭敏なスペクトルが得られた。本触媒のXANESは、+4価のIrO<sub>2</sub>よりも明らかに高エネルギー側にシフトし、かつ、ホワイトラインの強度も増加していた。図2Dのようにホワイトラインの強度と価数には強い相関があり、Irは+5.8±0.1価で

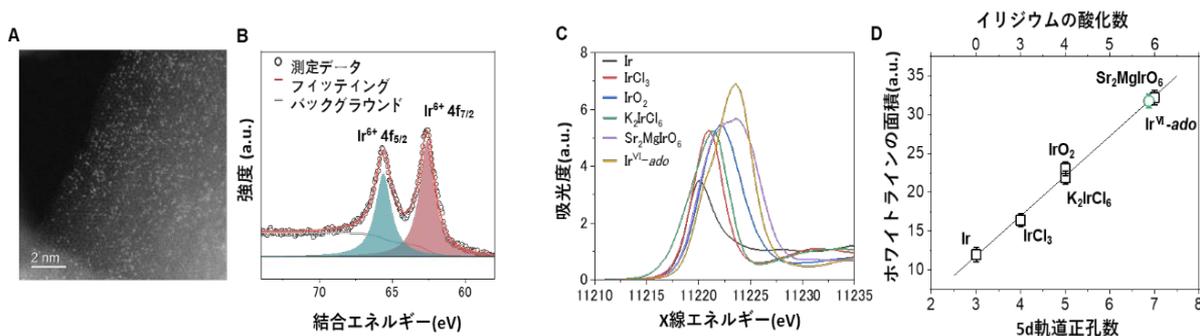


図2 Ir<sup>VI</sup>-ado触媒のHAADF-STEM画像およびIrの酸化数の特定

- (A) Ir<sup>VI</sup>-ado触媒のHAADF-STEM画像。Ir原子(白い点)は原子レベルで均一にMnO<sub>2</sub>に分散している。
- (B) Ir<sup>VI</sup>-ado触媒のIr 4f XPSスペクトル。観測された二つのピークはいずれも+6価のIrで精度よくフィッティングすることができた。
- (C) Ir<sup>VI</sup>-ado触媒および標準試料のIr L<sub>3</sub>吸収端のHERFD-XANESスペクトル。
- (D) Ir L<sub>3</sub>吸収端のホワイトラインのピークの面積とIrの5d軌道に含まれる正孔数の関係。ピーク面積と酸化数の関係性を示した検量線は標準サンプル(黒)として用いた金属状態のIr、IrCl<sub>3</sub>、K<sub>2</sub>IrCl<sub>6</sub>、IrO<sub>2</sub>、Sr<sub>2</sub>MgIrO<sub>6</sub>から作成し、Ir<sup>VI</sup>-ado触媒のX線吸収ピーク(緑)から酸化数を+5.8±0.1と算出した。

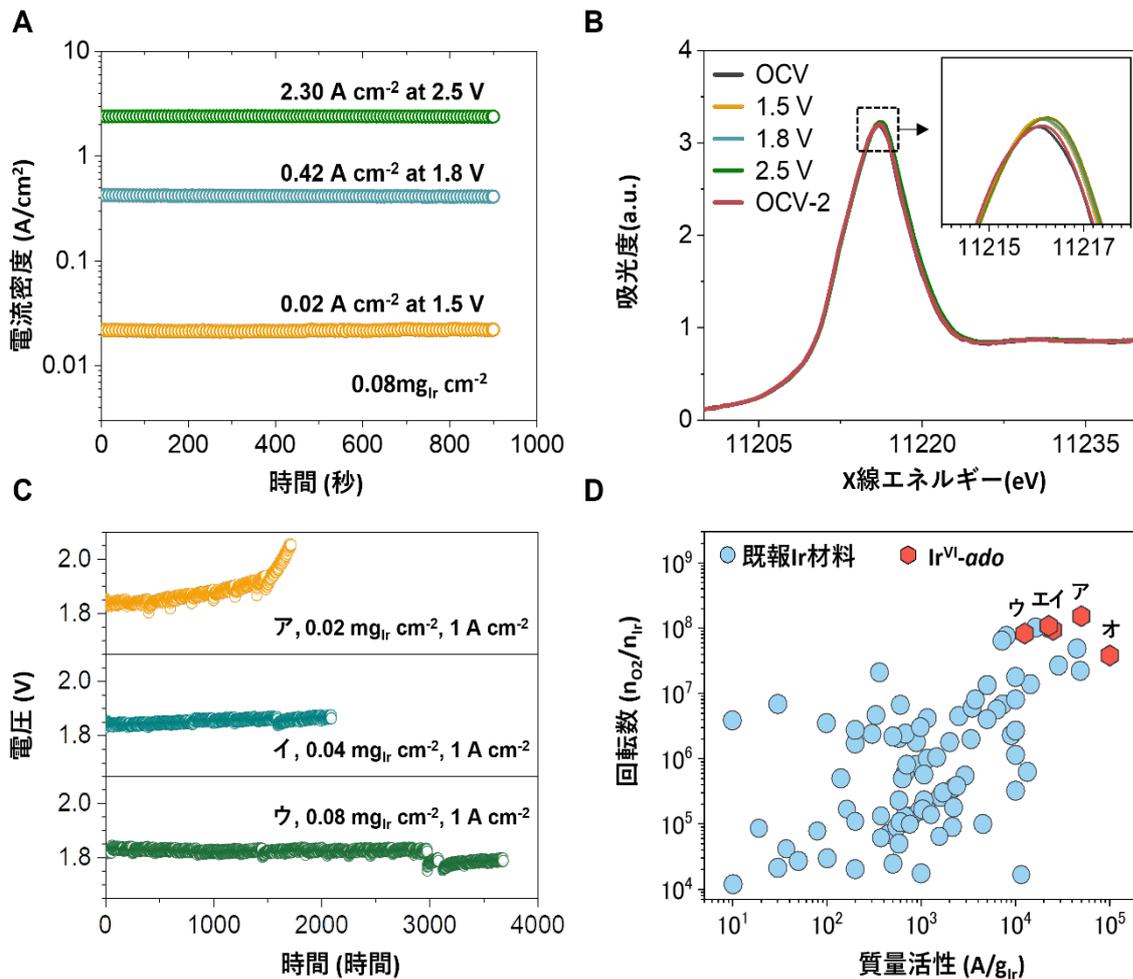


図3 Ir<sup>VI</sup>-ado触媒の安定性の評価

- (A) 0.08 mg/cm<sup>2</sup> Ir を含む Ir<sup>VI</sup>-ado 触媒を用いた、PEM セルにおける電解測定の結果。電解電圧は 1.5、1.8 および 2.5 V である。
- (B) パネル A と同じ PEM セルを用いて測定した Ir<sup>VI</sup>-ado 触媒の Ir L<sub>3</sub> 吸収端の XANES スペクトル。セル電圧を変えてもスペクトル変化が小さく、Ir が +6 価状態を維持していることが分かった。なお、OCV は測定前の開回路電圧、OCV-2 はすべての測定後に開回路電圧に戻したスペクトルに対応する。
- (C) 市販の PEM セルにおいて電解を行った際の Ir<sup>VI</sup>-ado 触媒のセル電圧。担持量を変えた 3 つの材料のデータを示す。
- (D) Ir<sup>VI</sup>-ado 触媒および文献で報告された Ir 触媒の比較。質量活性に対する触媒回転数をプロットした。(ア) ~ (ウ) は、図 3C の曲線 (ア) ~ (ウ) に対応する。(エ) はイリジウム担持量 0.08 mg/cm<sup>2</sup>、電流密度 1.8 A/cm<sup>2</sup> の場合、(オ) はイリジウム担持量 0.02 mg/cm<sup>2</sup>、電流密度 2.0 A/cm<sup>2</sup> の場合の耐久性試験の結果を示す。電解実験はいずれも 80°C で行った。

であると推定された。また、Ir-O 結合距離と価数にも相関があり、EXAFS から得た結合距離から推定した +5.7 価はホワイトライン強度から推定した値と近い値であった。

通常 Ir の酸化物では Ir は +4 価の酸化状態を取ることが多いが、以上の実験結果を踏まえ、本触媒では +6 価の状態となっていることが明らかとなった。こま

での結果から、本触媒が原子状に分散された +6 価の Ir 酸化物 (atomically-dispersed oxide) であることが判明したため、以下本触媒を Ir<sup>VI</sup>-ado 触媒と呼ぶ。Ir<sup>VI</sup>-ado 触媒では MnO<sub>2</sub> の表面に Ir が原子レベルで分散されているため、ほぼ全ての Ir が水の電気分解に関与することができ、原子利用率の向上につながっている。+6 価の Ir は理論的に高活性な酸素発生触媒と

して働くことが予想されていたが<sup>55,61</sup>、その実現は長らく困難だった。Ir<sup>VI</sup>-*ado*触媒では、MnO<sub>2</sub>が単なる担体としてだけでなく酸化剤としても働くことで、珍しい+6価の高活性のIrが得られている。さらに、Ir-O結合が強くなることで触媒の耐久性も向上しており、これが本触媒の活性・耐久性の起源であると考えられる。

#### 4. 触媒の性能の評価

上記のプロトコルに従ってIr担持量が0.02、0.04、0.08 mg/cm<sup>2</sup>のIr<sup>VI</sup>-*ado*触媒を合成した。現在実用化されている電極におけるIr使用量が2–4 mg/cm<sup>2</sup>であることを踏まえると、本触媒では95%以上のIr使用量の削減に成功している。Ir担持量の異なるこれらの3種類の触媒を用いて、PEM環境における水電解特性の評価を行った。

市販のPEMセルを用いて工業レベルの1 A/cm<sup>2</sup>の電流密度で耐久性試験を行った。Ir担持量が0.02、0.04および0.08 mg/cm<sup>2</sup>のIr<sup>VI</sup>-*ado*触媒の寿命はそれぞれ1,710時間、2,000時間および3,800時間だった(図3C)。これまでの文献と比較しても、活性・安定性ともにPEM環境下において優れた特性を示した(図3D)。

さらに、BL14B2で触媒動作中のoperando XAFS測定を行い、電解中のIrの酸化状態の変化を評価した。水電解反応では、特に高電流密度条件下で激しく気泡が発生するため、気泡がX線の光路上に干渉せずに背面に逃げるように工夫した独自のoperando XAFS用の電解セルを開発した。そのセルを用いてoperando XAFS実験を行い、PEM環境において2.3 A/cm<sup>2</sup>の高電流条件下でIr<sup>VI</sup>-*ado*触媒が+6価のIrの状態を維持していることを確認した(図3A、B)。

さらに、PTL基板の構造、電析されたMnO<sub>2</sub>の厚み、膜電極複合体(MEA)の作製条件などを最適化することで、Ir<sup>VI</sup>-*ado*触媒のさらなる活性と安定性の向上を試みた。その結果、0.08 mg/cm<sup>2</sup>イリジウムを含むIr<sup>VI</sup>-*ado*触媒から2 Vで4 A/cm<sup>2</sup>の電流密度が得られた。また、1.8 A/cm<sup>2</sup>の電流密度で2,500時間以上、水電解反応が継続した。これは、0.08 mg/cm<sup>2</sup>のイリジウム使用量でも、82%の電圧効率(理論上電解が起きる電圧に対する、実際に印加した電圧の比)を維持しながら、水素製造が可能であることを実証する結果であ

る。また、これは、イリジウム1 g当たり約40 kWの電力密度(40 kW/g<sub>Ir</sub>)に相当し、イリジウムの年間生産量を踏まえると、年間約324 GWのPEM水電解槽を設置できることを示唆している。さらに、電圧効率を82%と仮定すると、年間260 GW以上の水素製造が可能となり、世界の持続可能なエネルギー供給に向けて重要な貢献となることが期待される。

#### 5. おわりに

本研究では、マンガンとイリジウムの相互作用を活用することで、高酸化状態(+6価)の新規イリジウム触媒(Ir<sup>VI</sup>-*ado*触媒)を開発した。この材料は低貴金属使用量・高活性・長寿命の三拍子揃った触媒であり、PEM水電解を展開する上でボトルネックである貴金属使用量を軽減し、2050年カーボンニュートラル実現に貢献することが期待される。この成果は、国際連合が定めた17の持続可能な開発目標(SDGs)のうち、「7.エネルギーをみんなにそしてクリーンに」に貢献するものである。

#### 謝辞

放射光実験は大型放射光施設「SPring-8」のビームラインBL14B2(XAFS)、BL39XU(HERFD-XANES)、BL36XU(HERFD-XANES)、BL17SU(XPS、XAFS)、およびBL44B2(SR-PXRD)で実施した(JASRI課題:2021A1664、2021B1892、2022A1761、2022A1776、2022B1667、2023B1661、2023A1395、2023A1431、2023B1372、理研課題:20220060、20230043)。STEM測定の際には、西湖大学物質科学共用施設センターの蔣齊可博士の支援を受けた。SR-PXRD測定の際には、理化学研究所放射光科学研究センターの加藤健一専任研究員、日本技術センターの繁田和也氏の技術支援を受けた。EDXマッピングの際には理化学研究所創発物性科学研究センター物質評価支援チームの井ノ上大嗣専門技術員の技術支援を受けた。XRFでは株式会社リガクの高橋学人氏の支援を受けた。

本研究は、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)「水素利用等先導研究開発事業JPNP14021(研究代表者:和田智之)」の委託事業の成果が一部含まれる。また、科学技術振興機構

(JST)革新的GX技術創出事業GteX Program Japan  
「グリーン水素製造用革新的水電解システムの開発  
(研究代表者:高鍋和広、JPMJGX23H2)」による助  
成を受けて行われた。

参考文献

- [1] A. Li *et al.*: *Science* **384** (2024) 666-670.  
[2] A. Li *et al.*: *Angew. Chem. Int. Ed.* **58** (2019) 5054-5058.  
[3] S. Kong *et al.*: *Nat. Catal.* **7** (2024) 252-261.  
[4] J.-J. Velasco-Vélez *et al.*: *J. Am. Chem. Soc.* **143** (2021)  
12524-12534.  
[5] L. C. Seitz *et al.*: *Science* **353** (2016) 1011-1014.  
[6] R. A. Flores *et al.*: *Chem. Mater.* **32** (2020) 5854-5863.

足立 精宏 ADACHI Kiyohiro

(国) 理化学研究所  
創発物性科学研究センター 物質評価支援チーム  
〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1  
TEL : 050-3502-5291  
e-mail : kiyohiro.adachi@riken.jp

橋爪 大輔 HASHIZUME Daisuke

(国) 理化学研究所  
創発物性科学研究センター 物質評価支援チーム  
〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

李 愛龍 LI Ailong

(国) 理化学研究所  
環境資源科学研究センター 生体機能触媒研究チーム  
〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

孔 爽 KONG Shuang

(国) 理化学研究所  
環境資源科学研究センター 生体機能触媒研究チーム  
〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

大岡 英史 OOKA Hideshi

(国) 理化学研究所  
環境資源科学研究センター 生体機能触媒研究チーム  
〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

伏見 和奈 FUSHIMI Kazuna

(国) 理化学研究所  
環境資源科学研究センター 生体機能触媒研究チーム

〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

中村 龍平 NAKAMURA Ryuhei

(国) 理化学研究所  
環境資源科学研究センター 生体機能触媒研究チーム  
東京工業大学 地球生命研究所  
〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1  
e-mail : ryuhei.nakamura@riken.jp

濱本 諭 HAMAMOTO Satoru

(国) 理化学研究所  
放射光科学研究センター  
軟X線分光利用システム開発チーム  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

大浦 正樹 OURA Masaki

(国) 理化学研究所  
放射光科学研究センター  
軟X線分光利用システム開発チーム  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

大淵 博宣 OFUCHI Hironori

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

東 晃太郎 HIGASHI Kotaro

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 分光推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

金子 拓真 KANEKO Takuma

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 研究プロジェクト推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

河村 直己 KAWAMURA Naomi

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 分光推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

宇留賀 朋哉 URUGA Tomoya

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 研究プロジェクト推進室  
電気通信大学 燃料電池・水素イノベーション研究センター  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

## 第 21 回日本加速器学会年会 in 山形 学会報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
加速器部門 斗米 貴人

## 1. はじめに

日本加速器学会 (PASJ) は日本の加速器関連の研究者が一同に会する学会組織で、毎年夏に各地で年会を行っています。一昨年までは新型コロナの影響でオンライン開催となっていました。昨年より現地開催に戻りました。今年会は、2024年7月31日から8月3日までの4日間の日程で行われました。これは2024年4月に一般社団法人化を果たした後初めての年会となります。今年の年会の参加人数は555名、企業展示56社、そして市民公開講座では約200名で、のべ700名以上の方々に参加されました。

会場は山形テルサというコンサートホール施設で、山形駅と隣接しておりアクセスは抜群です。外観・内装ともに非常に綺麗で、メインの口頭発表は大ホールで行われました。ポスター発表・企業展示はリハーサル室や会議室等で行われ、こちらも大盛況となりました。

山形県では開催1週間ほど前に豪雨災害に見舞われ、一時庄内地方で大雨特別警報が発令されるなど多大の被害を受けました。被災された方々にお見舞い申し上げます。今回の会場となった山形市は村山地方にあり、幸いにも大雨の大きな被害は免れ、学会も無事開催されることとなりました。

山形は実は日本でも有数のラーメン大国です。ラー



図1 山形名物冷やしラーメン

メン屋さんが多いというより、蕎麦屋や居酒屋などいろんなお店でラーメンを出すので、あるのが当たり前という感覚のようです。お昼休憩では市街へ出て、駅周辺のお店で食べる方も多くおられました。この猛暑の中、山形発祥と言われる冷やしラーメン (図1) で体をクールダウンさせると最高でした。

## 2. 講演内容

さて、加速器学会の話に戻しましょう。合同セッションでは、「粒子線治療の現状と将来」(山形大医 岩井、以下敬称略)、「高次高調波によるアト秒レーザーの進展」(理研 緑川)、「ナノテラスにおける蓄積ビームモニターシステムのコミッションング」(QST 上島)、「加速器質量分析法を用いた太陽活動研究」(武蔵美 宮原) という内容で行われました。ここでは粒子線治療と太陽活動について簡単に紹介します。

粒子線治療の話では、がんの粒子線治療は最近非常に進歩しており、ヨーロッパ、アメリカをはじめとして、日本でも多くの治療施設が建設されています (SPring-8 サイトに近い兵庫県立粒子線医療センターでも陽子線・重粒子線による治療を行っています)。近年、有効性が確認された前立腺がんなどで保険適用となり、症例数もぐっと増えているといえます。さらに、照射中にオンラインで患者と患部の位置を検出して正常組織への影響を限りなく小さくする Online ART という技術や、粒子線から患部へのエネルギー移行 (LET) をマルチイオン照射により制御する方法といった新技術の開発が進められていて、今後更に発展していくことが期待されています。

太陽活動については、11年周期で変動する黒点数と活動性が相関しており、黒点数が少ない時期は寒冷に、多く活発な時期は温暖な気候になるといえます。黒点数の観測は1600年から始まっていますが、それ以前の活動を知ることができる方法として、太陽活動

由来の宇宙線によって生成される炭素 14 やベリリウム 10 といった放射性核種の分析による方法があります。こういった放射性核種は樹木の年輪や南極氷床などに年単位で保存されるため、その履歴が過去の太陽活動を反映しているというわけです。このサンプルの放射性核種の量を測定するため、山形大の加速器質量分析装置 AMS を使用することで、これまでより 1 桁高い精度での測定が可能になりました。その結果、1 年単位での放射性核種含有量の履歴の追跡が可能となり、マウンダー極小期 (1700 年頃)、シュペーラー極小期 (1500 年頃)、ウォルフ極小期 (1300 年頃) といった太陽活動が低下する時期の直前に 11 年周期の太陽活動の周期が変動することが明らかとなりました。これは太陽内部の対流層における「子午面循環」と呼ばれるメカニズムが関わっているのではないかと考えられ、長周期の太陽活動のメカニズムの解明に向けて研究が続けられています。

企画セッションでは、「大電流蓄積リング真空システムの技術的課題—KEKB 加速器での経験—」(KEK 末次) と「放射光加速器のグリーン化—SPring-8/SACLA 加速器コンプレックスにおける取り組みと展望—」(理研 田中) の 2 つが行われました。「グリーン化」というキーワードは環境問題や資源問題、また情勢不安が叫ばれる中、性能重視で大電力を使用する加速器・高エネルギー実験等でも無視できなくなりつつあります。これまでのグリーン化の成果として、SPring-8 リングへのビーム入射を既存の線形加速器・シンクロトロンから SACLA にするという困難な技術開発の結果、電力消費量の削減に成功したことが発表されました。また、SPring-8-II や SACLA の今後のアップグレードへ向けて、偏向磁石の永久磁石化、電子ビームエネルギーの引き下げ、真空チャンバーのコンパクト化、線形加速器への X バンド (11.4 GHz) の導入等によりグリーン化への道を進めているとのことでした。

口頭発表セッションでは、電子ビームによる水質浄化 (東北大 RARiS Anjali Bhagwan) のお話が印象的でした。最近ニュースでも話題になっている、自然界で分解されない汚染物質 PFAS (有機フッ素化合物の一種) を除去する取り組みです。エネルギー $\sim$ 5 MeV (飛程 $\sim$ 2 cm) 程度の電子ビームを水に入射すると、

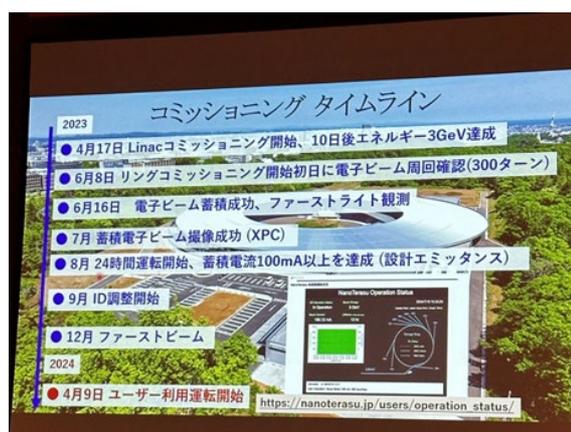


図2 NanoTerasu 発表 (QST 上島)

水分子が電離するのですが、この電離によって生成された OH ラジカルなどが水中の汚染物質を効率的に分解する仕組みになっています。ここでは小型の超伝導線形加速器を使用して 5 MeV、10 mA の電子ビームを水に照射して PFAS 等汚染物質を分解・浄化する計画となっています。熱電子銃、650 MHz のバンチャー空洞、1.3 GHz のブースター空洞、1.3 GHz の加速空洞、集束ソレノイドまで数値計算を行ってビームライン構造のシミュレーションと設計を行い、その成果が発表されました。

NanoTerasu 関連の各コンポーネントの開発成果や近況報告の発表 (図 2) も QST の方々 (安積・保坂・上島・小原・菅) により行われました。今年 4 月よりユーザー運転を無事開始していますが、ユーザータイムの合間を縫ってマシンスタディを行っており、「400 mA 運転」の達成を目指して加速器調整を行っているとのことでした。

次に、ポスターセッションの中からいくつか紹介したいと思います。

まずは X バンド用の RF ダミーロードの開発 (理研 安留) に関して紹介します (年会賞)。理研放射光センターでは、SACLA 電子ビームのバンチ長測定のための X バンドデフレクタの開発を行っていますが、その一環として X バンド用大電力ダミーロードの開発を進めています。渦巻き型の導波管をステンレス (SUS) で作製し、さらに内部表面を 2  $\mu$ m 程度の粗さにすることで表面抵抗を大きくして、効率的に RF 電力を減衰させる構造です。コンパクトなサイズで構造が簡単なことから、コストを抑えられ、かつ故障リスクも低いため、将来 SACLA で使用するために開発が行わ

れています。現在は試作段階ですが、シミュレーションで予想していた減衰性能が確かめられ、今後実機を製作する予定となっています。

もう一つ個人的に面白いと感じた発表を紹介합니다。小型野生動物（ネズミ）によるケーブル被害とその対策（KEK/J-PARC 山田）についての発表です。J-PARC の加速器制御ネットワークで使用している光ファイバーネットワークにおいて、回線が数日掛けて順次途絶した事象が発生しました。当初は電線管の破損が疑われましたが、結局ネズミがケーブルをかじったことによる損傷と判明しました。対策として、ネズミの侵入経路と疑われる電力ケーブルの貫通部を防鼠性パテ（唐辛子入り）で塞ぎ、さらにネズミ忌避剤（唐辛子入り）を散布することで、それ以降ネズミによるケーブル被害は起こっていないとのこと。SPring-8 も自然豊かな地域にあり、野生動物が多く生息していますので、そういう事例もあるのかと参考になりました。ところで、私はケーブルを食べたことはないのですが、美味しいのでしょうか。話によるとケーブルをかじった後のカスはほとんど落ちていなかったらしいです。本当に食べたのかな？

筆者（JASRI 斗米）もポスターにて、SPring-8-II へ向けたベル型加速空洞の高次モードの影響の検討について発表を行いました。SPring-8-II ではエネルギーを 6 GeV に下げ、ビーム電流を 200 mA に引き上げる計画です。その際ビームが誘起する空洞の高次モードのうち、TM011 モードと呼ばれる 900 MHz 付近の高次モードが不安定性を生じさせてしまい、蓄積できるビーム電流を制限してしまう問題があります。私はこの問題の解決のため、空洞に 2 つあるチューナーを通常の運転位置からずらすと、ビームを感じる高次モードの影響度合い（シャントインピーダンス）を下げることができることを見出しました。これによって問題を回避できないかというところをシミュレーションとビームスタディで確認しているところです。

企業展示ブースでは 50 社以上が参加し、RF 機器、磁石、真空、計測、制御といった、様々な加速器技術に欠かせない製品の紹介を行っていました。SACLA 関連ですと、機械学習を使用したサイラトロン異常検知と寿命予測（理研/中央電子 共同開発）の技術が実用化できる段階となっていて、企業ブースと口



図3 サイラトロン異常検知の発表（中央電子 佐藤）

頭発表（図3）が行われていました。企業ブーススタンプラリーも行われまして、任意の3社のスタンプを集めると学会の開催委員より山形のお米「つや姫」または「雪若丸」（いずれも2合分）を数量限定で頂きました。私は雪若丸を頂いたのですが、後日炊いてみたのですが、シャッキリとした食感で美味しいお米でした。その食感を活かして炒飯であるとか酢飯にするとより楽しめるのではないかと思います。是非山形に來られた際はお米もチェックしてみてください。

市民公開講座「病院で活躍する加速器～病氣を見つけて治す令和のスーパードクター～」と題して、山形大医学部の鹿戸・小藤より講演が行われました。私は残念ながら参加できなかったのですが、講演開始前に様子を見たところ、学会関係者だけでなく、幅広い年代の一般参加者の方も来場していただき、盛況なようでした。

最終日は山形大の重粒子線医療施設の見学……のはずだったのですが、私が学会参加に申し込んだ時点で既に枠が埋まってしまっていて、残念ながら参加できませんでした。教訓として次回は早めに参加登録して見学会に参加したいと思います。

### 3. 学会賞

今年会では、技術貢献賞2つと特別功労賞1つの計3つの賞が授与されました。1つめは、技術貢献賞「J-PARC RCS 設計ビームパワー1MW での、ビームロスの最小化とビーム品質の大幅改善」（JAEA Saha Pranab Kumar）で、J-PARC における性能向上の業績が評価されました。2つめは、技術貢献賞「機械学習法の導入による X 線自由電子レーザー性能の高度

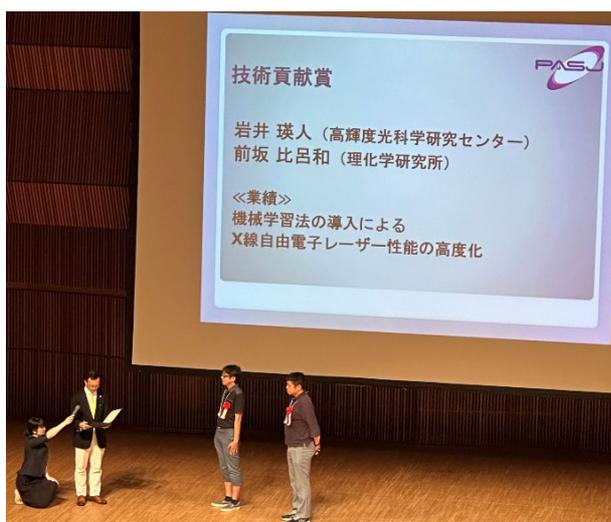


図4 技術貢献賞 (JASRI/理研 岩井・前坂)

化」(JASRI/理研 岩井・前坂)で、SACLAの運転に機械学習を導入し、ビーム性能の向上や加速器調整での活用の業績が評価されました(図4)。最後に特別功労賞「安定性と信頼性に優れた固体高周波増幅器の開発と製造」(株式会社アールアンドケー 小花)で、長年加速器の根幹を支えてきた技術である高周波増幅器の製造技術が評価されました。

#### 4. 懇親会

懇親会は、コロナ明け初めてということで盛大に行われまして、数えておりませんが100名以上の参加者が集まりました(図5)。普段あまりお話する機会のない他機関の研究者とも同席してお話することができ大変有意義な懇親会となりました。和洋中様々な料理と飲み物が振る舞われ、東北地方のソウルフード「芋煮(醤油味)やお蕎麦のコーナーもありました。ちなみに山形の芋煮は味噌地域と醤油地域に分かれるようで、度々論争の種になるそうです。花笠まつりは会期と被っておらず参加できなかったのですが、懇親会にて山形大学の花笠サークル「四面楚歌」による花笠踊りがあり、参加した気分となりました。

#### 5. おわりに

最後となりましたが、加速器学会に当たり、無事開催できたことを関係者の皆様に感謝申し上げます。加速器学会はあまり放射光ユーザーの研究者とは縁がないと思われるかも知れませんが、加速器学会においても加速器そのものを扱う発表だけでなく、加速器を



図5 懇親会の様子

使用するユーザー側としての発表もありました。放射光ユーザーの方も加速器学会に参加して発表を積極的に行っていただくことで、放射光ユーザーとしての意見を反映した技術開発に繋げていくことができるかと思っておりますので、もし興味を持たれた方がいらっしゃいましたら、来年の年会(初の東京開催予定)には是非参加してみたいはいかがでしょうか。

#### 斗米 貴人 TOMAI Takato

(公財)高輝度光科学研究センター 加速器部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 050-3500-6957  
e-mail : tomai@spring8.or.jp

## 第 6 回核共鳴ワークショップおよび 第 15 回放射光装置技術国際会議 (SRI2024)

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室  
依田 芳卓

### 1. はじめに

略称 SRI と呼ばれる放射光装置技術国際会議の 15 回目が 2024 年 8 月 26 日から 8 月 30 日の 5 日間に渡りハンブルグで開催された。また SRI2024 のサテライト会合として第 6 回核共鳴ワークショップが 8 月 24 日から 8 月 26 日の 3 日間、ハンブルグの DESY で開催された。このワークショップで核共鳴とっているのは核共鳴散乱のことで、原子核の共鳴準位による X 線の散乱を指す。エネルギー幅が通常、neV から  $\mu\text{eV}$  程度と非常に狭く、この特徴を活かしてダイナミクスや局所的な電子状態の研究に利用されている。

筆者は 2 つの会合とも出席したので、その様子を報告したい。特に SRI2024 については核共鳴散乱関係の発表を中心に紹介する。

### 2. 第 6 回核共鳴ワークショップ

第 6 回を迎えた核共鳴ワークショップはもともと核共鳴非弾性散乱ワークショップとして 1997 年にアメリカの APS ではじめて開催された。日本の SPring-8 でも第 3 回ワークショップを 2007 年に開催している。不定期ではあるが、おおよそ 5 年おきに開催されていたが、コロナ禍もあり前回 2015 年の開催から今回、9 年ぶりの開催となった。

このワークショップは核共鳴散乱そのもの、もしくは核共鳴散乱を利用した手法に焦点を当てており、利用成果の報告というよりは、新しい技術開発や手法開拓、その根幹となる技術の進展に関する発表が中心となっている。途中オンライン形式でのワークショップはあったが、対面での開催は久しぶりであり再会を喜ぶ姿がいたるところで見られた。

DESY 内、FLASH seminar room が会場であった。

初日に地図を頼りに会場に向かっていると、California Institute of Technology の Sturhahn 氏に出会い再会を喜んだが、入口が分からなくてウロウロしているという。昔 DESY に居たんじゃない? と尋ねるとあの頃はこの辺りは草ぼうぼうだったという。確かに今年は DESY60 周年とのこと。近年でも FLASH や European XFEL などの新施設やそれに伴う新しい建物ができ、進化し続ける DESY を印象付けている。

ワークショップの初日は午後から始まり、SRI の議長のひとり DESY の Weckert 氏の挨拶の後、核共鳴散乱実験がおこなえるビームラインからの報告が続いた。発表者は DESY の Sergeev 氏、ESRF の Chumakov 氏、APS の Zhao 氏、Hu 氏、SPring-8 からは本著者である Yoda 氏、HEPS の Xu 氏であった。また第 4 世代放射光である PETRA IV に関して DESY の Wille 氏から、European XFEL に関して DESY の Leupold 氏、Röhlsberger 氏の発表があった。ESRF では低エミッタンス化に伴い、核共鳴散乱用ビームラインを新設したが、これまでの知恵をすべて詰め込んだというビームラインは 2 つの光学ハッチと 4 つの実験ハッチから成り、スペースの確保に苦労している我々としてはうらやましい限りであった。もちろん性能も高く、高分解能モノクロメータと  $\text{FeBO}_3$  単結晶による反射を加えた光学系では世界最小の集光ビームが実現されており、ビームタイムの 90% が Fe-57 を利用した実験であることが報告された。APS と HEPS では第 4 世代放射光のコミッションングが順調に進んでおり、特に APS では 50 pm.rad を超える低エミッタンスが確認されたとの報告があった。

初日の晩と 2 日目のお昼はセミナー室に隣接するテラスでの食事となった。穏やかな風が抜ける、これぞヨーロッパの夏といった心地良いひと時であった。



図1 第6回核共鳴ワークショップの様子

2日目は核共鳴散乱を利用した新手法、ソフトウェア開発、検出器、光学系に関するセッションが開かれた。特に岡山大学の Yoshimi 氏がおこなった超精密時計に関わる Th-229 励起に関する発表、東北大学の Saito 氏がおこなった高速2次元検出器 CITIUS によるエネルギー領域での準弾性散乱測定は、新規性という点で非常に注目を集めていたようにみえた。

ワークショップ最終日は滞在しているアルトナ駅近くのホテルから歩いて DESY に向かった。バス通りから何本か入った道は住宅街の中を通り、ドイツらしい街並みの朝の散歩を1時間ほど楽しむことができた。しかしこれまで利用していた門とは違う正門に着き、seminar room までどうやって行ったものかと iPhone をいじっていると、APS の Toellner 氏が一緒に行こうと声をかけてくれた。これまで1対1で話したことはほとんどなかったが、20分ほどの間お互いの発表の非常に細かいことを聞いたり、聞かれたりして、対面での会合の良さをあらためて実感することができた。

最終日は加速器のセッションで DESY から Agapov 氏、APS から Emery 氏、ESRF から Revol 氏、Roche 氏、SPring-8 からは Masaki 氏といった加速器の専門家の方々が発表をおこなった。特に核共鳴散乱はバンチモードを利用する実験が多く、第4世代放射光で実現されるバンチモードやバンチ純度に関して非常に興味深い発表があった。

### 3. 第15回放射光装置技術国際会議

CCH と呼ばれるハンブルグ国際会議場の SRI 会場



図2 Best scientific image contest に選ばれた核共鳴散乱スペクトル

に入ると、Best scientific image contest と称して、科学が関係する美しいイメージの数々が展示されていた。その中で案内板のすぐ横に見たことのある画像を見つけて驚いた(図2)。横軸は neV、縦軸は nsec のオーダーの核共鳴散乱の時間スペクトルの等高線図である。有名なヤングの実験では距離の位相差により干渉が生まれるが、この画像では振動数の差により干渉が生まれており、量子ビートと呼ばれている。A comb for quantum states とタイトルがつけられ、詳細な説明書きが添えられていた。さすが、量子論の父と呼ばれるマックス・プランクを産んだドイツであると感じた。

発表初日の Plenary Lecture 3 としてアルゴンヌ国立研究所の Shvyd'ko 氏が“Scandium-45 Nuclear-Clock Isomer Driven by X-ray Laser”というタイトルで発表をおこなった。原子核時計とは原子核の中でも特にエネルギー幅の狭い核種を利用した、これまでの原子時計をしのぐ超精密時計である。もし実現すればダークマターの探索、物理定数の恒常性の検証(物理定数は本当に定数なのか)、測地学などに利用できると提案されている。話は前後するが、後日エルベ川沿いの時計塔(図3)を見た時に、あれっこれどこかで見たと即座に感じた。確か Shvyd'ko 氏は発表のタイトルページに時間を象徴するものとして、ハンブル



図3 聖ミハエル教会の時計塔

グのランドマークである聖ミハエル教会の時計塔を映していたのではないだろうか。発表は European XFEL を利用して Sc-45 の 12.4 keV 準位の励起に初めて成功したというものであった。エネルギー幅  $\Delta E$  は 1.4 feV で、 $E/\Delta E$  で定義される Q 値は  $\sim 10^{10}$  にも及ぶ。他の原子核時計の候補として SPring-8 でも岡山大学のグループがその準位の特性を調べ、多くの成果を出している。Th-229 があるが、今年世界中で VUV レーザによる励起に立て続けに成功している。2023-2024 年は原子核時計元年として記憶されるだろう。

会議場のまわりには美しい公園が広がっており、市民らしき人がくつろぐ姿は絵画にでも出てきそうな風景であった (図4)。もちろん私にとっても快適な気候と相まって、良い気分転換になっていた。

最終日には Keynote Lecture 3 としてマックスプランク研究所の DeBeer 氏が“Catching Catalysts in Action”というタイトルで講演をおこなった (図5)。DeBeer 氏のグループは SPring-8 も利用しており、彼女自身は実験で来所されたことはないが、いつも実験に関するやり取りの際には cc に入っていた。今回せ



図4 CCH 周辺の公園の様子



図5 SRI2024 での DeBeer 氏の発表の様子

っかくなので、直接会ってデータについて相談したいと連絡があり、APS の Hu 氏と 3 人で coffee Break 中に 30 分ほど議論することができた。発表はおもにメタンをメタノールに変換する酵素、メタンモノオキシナーゼに関するもので、その反応の中間状態をさまざまな手法を駆使して解き明かしているというものであった。近年、二酸化炭素と水素からメタンを生成するメタネーションが注目されているが、その反応の先をいくものである。彼女のグループは SPring-8 では水素を酸化還元するヒドロゲナーゼ、窒素とアンモニアの間を触媒するニトロゲナーゼを核共鳴散乱を利用して研究しており、メタンモノオキシナーゼの核共鳴散乱スペクトルに関しては Stanford のグループが SPring-8 で取得した結果を紹介していた。

#### 4. 終わりに

今回、第4世代放射光が光を放ち始めた黎明期でもあり、多くの興味深い発表や活発な議論がおこなわれていた。またサテライトワークショップ、SRI 本会議ともコロナ禍明けの最初の会合であり、再会を喜ぶ姿がワークショップでも SRI 初日の welcome party でもいたるところでみられた。テレワークのデメリットのひとつとして信頼関係の構築が難しいことが挙げられているが、今回対面により多くの信頼関係が築けたと思ったのは私だけではないと思う。

依田 芳卓 YODA Yoshitaka

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0803 ext. 3939  
e-mail : yoda@spring8.or.jp

# The 15th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2024)

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 構造生物学推進室  
馬場 清喜

## 1. はじめに

The 15th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2024) は、シンクロトロン放射光・X線自由電子レーザーに関連した施設の高性能化や利用技術、装置開発などに関する国際会議である。2018年の13thは、台湾・台北で開催された。2021年の14thは、Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) がホストであったが、コロナ禍の影響によりオンライン開催であった。今回は2021年に続いてDESYがオンサイトで実施した。

15thSRI2024は、2024年8月26日(月)～30日(金)の期間に、ドイツ・ハンブルクのCongress Center Hamburg (CCH) で開催された(図1)。参加者は1,200人以上、トークセッション273件、ポスター541件であった。また、次回は2027年ブラジルでの開催が決定した(図2)。

開催期間中のMXビームラインの高性能化に関する発表について、2. タンパク質結晶の自動測定、リモート測定、3. 時分割構造解析のための技術開発、の項目に分けて報告する。

## 2. タンパク質結晶の自動測定、リモート測定

DESY、European XFELのサイトツアーは、初日の8月26日に実施された。European XFELのツアーはバス移動の都合があり、短時間で複数のビームライン



図1 SRI2024会場のCCH



図2 クロージングセッション

を見学したのみであった。一方DESYでは、夕方のレセプションの開始時間まで自動測定を実施している複数のProtein Crystallographyビームラインを見学できた。装置の概要については既に論文などで発表されている情報を得ていたが、ビームラインの担当者へ装置について実物を見ながら質問できたのは有意義であった。担当者であるDr. Ishkhan Gorgisyanはポスター「[Overview of automation routines at the BioMAX beamline at MAX IV Laboratory]」でも自動測定について発表しており、結晶のセンタリング、結晶の位置決定をX線のスキャンで行う方式と機械学習を用いた画像ベースのセンタリング方法の現状でのメリットデメリットについて議論できた。



図3 European XFELの建物

Micro Symposium においては、Diamond Light Source の Dr. Ralf Flaig は [Dose Aware Data Collection on the Variable and Microfocus Macromolecular Crystallography Beamline I04 at Diamond Light Source] のタイトルで発表しており、高強度なマイクロフォーカス X 線からのデータ収集において、放射線損傷を最適化し、最短時間でデータ収集するために、RADDOSE-3D を使用して測定条件を算出して提案する GUI を開発していた。また、SLAC National Accelerator Laboratory の Dr. Aina Cohen の発表 [Next Generation Remote-access for Crystallographic Studies of Protein Structure and Dynamics] では、従来実施されている cryogenic crystallography のリモート測定のみでなく、non-cryogenic crystallography の実験もリモート測定を可能とするための技術として、試料運搬も考慮した試料ハンドリングの機器を開発していた。

### 3. 時分割構造解析のための技術開発

Micro Symposium において、ポール・シェラー研究所 (PSI) の Dr. Florian Dworkowski は、[Closing the Gap - Integrated Time-Resolved Crystallography at the SwissFEL and Swiss Light Source] のタイトルで、SLS での様々な non-cryogenic crystallography のための技術開発について発表された。時分割構造解析を FEL で実施できるビームタイムが少ないことが、新たなユーザー利用の障壁となっていることを問題として挙げていた。放射光での時分割測定環境が導入されることで、この問題は緩和されると期待でき、さらに FEL での時分割実験から拡張したミリ秒から秒単位とこれまでよりも遅い領域での時分割構造解析が可能となることで、適応する試料が増えることをメリットとして挙げていた。また、実験成果を効率的に取得するための重要な要素として、凍結結晶と異なり環境変化に弱い非凍結結晶のオンサイトでの試料調整環境の設備とサポートを挙げていた。

European Molecular Biology Laboratory の Dr. Shibom Basu は、[European Molecular Biology Laboratory ID29 SMX- A universal Time-Resolved Crystallography Beamline] のタイトルで、Extremely Brilliant Source (EBS) にアップグレード

された欧州シンクロトロン施設 ESRF の時分割 Serial Synchrotron Crystallography (TR-SSX) 専用ビームライン ID29 について発表していた。ID29 ではマルチレイヤーモノクロメータを導入して  $10^{15}$  photons/sec の X 線を利用可能とし、チョッパーシステムで蓄積リングの基準周波数に同期した  $10 \mu\text{s}$  のパルス X 線を生成することで、 $<100 \mu\text{s}$  時分割領域を可能とする SSX データ収集システムが構築されていた。

MAX IV Laboratory の Dr. Thomas Ursby は、[MicroMAX - Time-resolved crystallography at MAX IV] のタイトルで、第 4 世代蓄積リングの MAX IV のタンパク質結晶からのダイナミクス研究を目的とした MicroMAX ビームラインについて発表された。MicroMAX は、従来の凍結結晶からのデータ収集と TR-SSX やフローインジェクターなどの non-cryogenic crystallography を切り替えて実施可能なビームラインとして設計されており、実験に合わせて回折計上のコンポーネントを切り替えて実験が可能であるとのことであった。

これらの新設、更新された MX ビームラインでは、1 kHz 以上での読み出しが可能な検出器を組み合わせ、時分割測定用のシステムを構築していた。回折計の試料周辺のコンポーネントは、実験の種類に合わせて入れ替え可能な設計としており、FEL で開発された装置のみでなく、新たな装置の導入も進められていた。これらの内容は、我々が放射光を利用した時分割測定のシステムを構築し、ビームラインを高性能化するために参考となった。

馬場 清喜 BABA Seiki

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 構造生物学推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0833  
e-mail : baba@spring8.or.jp

## SRI2024 会議報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター

放射光利用研究基盤センター 回折・散乱推進室

小林 慎太郎、山田 大貴

## 1. はじめに

シンクロトロン放射計測に関する国際会議 SRI (International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation) は、シンクロトロン放射光 (SR) と自由電子レーザー (XFEL) のコミュニティーであり、3年に一度開催されている。SRIは1982年にドイツの北部に位置するハンブルクで最初に開催された。今回は、40年以上の時を経て、第15回目の国際会議 SRI2024としてハンブルクにて開催される運びとなった。会議は、2024年8月26日から30日の日程でハンブルクの中心付近に位置するダムトールア駅近傍の CCH-Congress Center Hamburg で開催された。

会議の日程としては、8月26日に DESY キャンパスにて施設見学とウェルカムレセプションが、27日から30日の講演会に加え、27日にオープニングセッションが、29日夜にカンファレンスディナーが、30日にクロージングセッションと授賞式が行われた。DESY キャンパスの施設見学後に行われたウェルカムレセプションは、DESY キャンパス内の CFEL 施設内において開かれ、活発な交流が行われた。オープニングセッションは、ハンブルクの音楽家 Mahoin の音



図1 DESY キャンパスで開催されたウェルカムレセプションの様子



図2 SRI2024 が開催された会場 CCH-Congress Center Hamburg

楽とともに開始し、学会の開催を歓迎するスピーチが行われた。ポスターセッションやコーヒープレイクにおいては、ハンブルクオリジナルの Franzbrötchen や Fischbrötchen などがふるまわれ、これらの軽食や飲み物を片手に、活発な議論が行われる様子も見られた。JASRIからは、SPRING-8、SACLA、NanoTerasuに関する展示を中心としたブースを8月27日から29日に展示し、ポスターセッションやコーヒープレイクの時間を中心として、他施設の研究者、企業関係者、今後放射光施設の未来を担うであろう学生などの多くの来訪者があった。また、学会の講演における口頭発表は273件 (Keynote talks 3件、Plenary talks 11件、Invited talks 111件、Contributed talks 148件)、ポスター発表は541件、企業の展示は57件であり、幅広い分野の発表が行われた。

## 2. 施設見学

施設見学が行われた PETRA III はドイツの北部ハンブルク市内に存在する。市の中心地にある学会会場近くに位置するハンブルク中央駅から西に直線距離で10 km 弱、電車とバスで30分程度の距離に位置し、ハンブルク空港からは約1時間で到着できる郊外に位置する。一帯に、ドイツ電子シンクロトロン (Deutsches Elektronen Synchrotron: DESY) キャ

ンパスが位置する。DESY キャンパスへのアクセスについては、最寄りのバス停が主に2つあり、ゲストハウスの存在するメインゲート付近のバス停は、工事が行われており、キャンパスから離れた別のバス停で下車する必要があった。このような工事は定期的に行われているようであり、後日確認したところ DESY のホームページに記載されていた。DESY を訪問する際は事前の確認が必要である。

1982年の第1回のSRIが開催された当時は、ハンブルクで稼働していた唯一のシンクロトロン施設はDESYのDORISだけであった。今回の会議が開かれた2024年現在では、この一帯には、European XFEL、PETRAIII、DESYのFLASHという3つのユニークな研究施設が存在している。これら3つの施設は相互に補完し合い、国際的なシンクロトロン放射および自由電子レーザーコミュニティの科学者や産業ユーザーに新しい研究の機会を提供している。今回のSRI2024では、これら全施設の見学が学会の参加者向けに行われた。FLASH ビームラインと European XFEL においては、ガイド付きのツアーが実施された。European XFEL は DESY キャンパスからハンブルク郊外にかけて、トンネル全長約 3.4 km (うち 17.5 GeV の超伝導線形加速器は約 1.7 km) の巨大施設である。見学希望者はシャトルバスにより、DESY キャンパス内の CFEL ビル近くから移動し、担当者の案内のもとビームラインの説明が行われた。DESY キャンパスの Max von Laue ホール、Ada Yonath ホール、Paul P. Ewald ホールに位置するビームラインにおいては、15:00~18:30 の間、参加者は興味のあるビームラインや実験室に直接訪問することが可能であり、



図3 SRI2024のメイン会場の様子

各ステーションでは、ビームラインや最新の研究成果を紹介するポスターに加えて、ビームラインサイエンティストの方々が説明を行っていた。施設見学では、実際の実験機器を用いたビームラインの紹介、動画による実験・解析結果の説明、ロボット制御の実演に加えて、建設中のビームラインについては、今後の構想について伺うことができた。例えば、P64 (Advanced X-ray Absorption Spectroscopy) / P65 (Applied X-ray Absorption Spectroscopy) においては、ガス雰囲気下の触媒反応などを対象とした XAFS 計測を実現するガスシステムや、分光結晶とロボットアームに搭載された 2 次元検出器を用いた最先端の XAFS 計測法についての紹介がなされた。また、PETRA-III の複数のビームラインをはじめとした施設横断型であり、オペランドリモート計測の実現を目指すプロジェクト ROCK-IT (Remote, Operando Controlled, Knowledge-driven, and IT-based) についての紹介がなされた。これについては、最大 40 kg の重さの対象物を取り扱えるロボットアームを先行してビームラインに導入し、オペランド計測用試料の交換について、具体的な実施方法を検討しているとのことだった。後のポスターセッションにおいて、一例として、ガス用のオペランド試料セルの自動交換と配管の自動取り付けの構想について説明していた。また、建設中のビームラインである P25 (Medical Imaging, Powder Diffraction and Innovation) では、生物医学の分野をメインターゲットとして、50-60 keV の X 線蛍光イメージング、多連装 MYTHEN-II 検出器を用いたハイスループット粉末回折計、および PETRA-IV に向けた光学・機器開発を対象としたビームラインの建設計画について発表していた。見学したハッチには、現在はモノクロメータしか置いていない状況であったが、のちに見学した P02.1 (Powder Diffraction and Total Scattering Beamline) において 26 連装 1 次元半導体検出器 MYTHEN-II の立ち上げを進めるなど施設内メンバーの連携のもと開発が進められているとのことであった。

### 3. 講演内容

学会講演 1 日目午前は、Argonne National Laboratory の Laurent Chapon 氏、RIKEN SPring-8

Center の Hitoshi Tanaka 氏の 2 つのプレナリートーク、午後は、Argonne National Laboratory の Yuri Shvyd'ko 氏のプレナリーレクチャー“Scandium-45 Nuclear-Clock Isomer Driven by X-ray Laser”が開かれた。Laurent Chapon 氏のレクチャー“First Light at the Renewed Advanced Photon Source”では、Advanced Photon Source (APS) の APS-U へのアップグレードに関する進捗状況についてのサマリーが報告された。2023 年 4 月 17 日からの約 1 年間の停止期間を経て、ストレージングの撤去や設置を含む約 18 カ月の活動が報告された。また、アップグレードした蓄積リングにおいてカギとなる、トップアップでの電子ビームの補充に替わる新たな手法として、スワップアウトによる電子の注入に成功したことが報告された。続く、Hitoshi Tanaka 氏の“SPring-8-II and Beyond - Challenge to a High-Performance Greener Light Source”のレクチャーでは、SPring-8-II へのアップグレードの検討状況についての講演が開かれ、高い光源性能とともに、環境にやさしいシステムへとアップグレードする戦略や、これらの光源を最大限に活かすための検出器の開発動向についての報告があった。さらに、SPring-8-II に続くプロジェクトとして SACLA-II のコンセプトや進行中の研究開発について報告が行われた。また、昼・夜において、ポスターセッション 1 が開かれた。

学会講演 2 日目の午前は、The Crick Institute の Andreas T. Schaefer 氏のキーノートレクチャー“X-ray Tomography for Circuit Neuroscience - Towards X-ray Connectomics”、および Institute of High Energy Physics CAS の Yuhui Dong 氏の“The Recent Status of the High Energy Photon Source (HEPS) ”、DESY の Shan Liu 氏の“Status of the Hard X-ray Self-Seeding at the EuXFEL”の 2 つのプレナリートークが行われた。午後は、Paul Scherrer Institute/EPFL の Manuel Guizar-Sicarios 氏のプレナリートーク“Instrumentation and Latest Advances in X-ray Ptychographic Nanotomography”が開かれた。Andreas T. Schaefer 氏の講演では、ネズミの脳の処理について解明するための、ネズミの脳部などのマルチスケールの X-ray microtomography ( $\text{cm}^3$  の領域の  $\mu\text{m}$  分解能) と X-ray nanoholotomography



図 4 JASRI の出展ブースの様子

( $\text{mm}^3$  の領域の 100 nm 以下の分解能) に関する最先端の計測・解析結果に関する講演がなされた。Yuhui Dong 氏の講演では、北京周辺地域に新たに 6 GeV リングをもつ大型放射光施設 HEPS の立ち上げ状況についての詳細な報告がなされ、High-energy を特徴とした 2 本のビームライン (Engineering Materials, Hard X-Ray Imaging)、高輝度を特徴とした 4 本のビームライン (NanoProbe, Structural Dynamics, High Pressure, Nano-ARPES)、高コヒーレンスを特徴とした 2 本のビームライン (Hard X-ray Coherent Scattering, Low-Dimension Probe)、汎用計測をターゲットとした 6 本のビームライン (Tender spectroscopy, XAFS など)、光学ベンチビームライン 1 本についての建設計画・進捗状況や計測ターゲットについて報告がなされた。また、学会講演 2 日目および 3 日目の昼の時間帯において、ポスターセッション 2 が開かれた。ポスターセッション 2 において、“Development of in situ powder diffraction methods for observing high-temperature crystalline phase changes of functional materials using a high heat-resistant sapphire cell” (小林)、“High-throughput PDF measurement at BL04B2 in SPring-8” (山田) という題目にて発表を行い、当該分野に限らず多くの方からご意見を伺うことができた。

学会講演 3 日目の午前は、SLAC National Accelerator Laboratory の Mike Dunne 氏のキーノートレクチャー“‘The LCLS-II: High Repetition Rate Free Electron Laser driven by a Superconducting CW Linac’”が開かれ、その後、LBNL の Thorsten

Hellert 氏の“ML-Based Transverse Beam Size Control at ALS”および SLAC National Accelerator Laboratory の Jana Thayer 氏の“LCLS Big Data Handling - Working Smarter and Harder”の2つのプレナリーレクチャーが開かれた。午後は、Argonne National Laboratory の Linda Young 氏の“Attosecond Pump-Probe Spectroscopy of Liquid Water”のプレナリーレクチャーが開かれた。Thorsten Hellert 氏のレクチャーでは、ALS でのビームタイム中の ID の変化の影響により、横方向のビームサイズ (40-50  $\mu\text{m}$ ) の10%程度に相当する変動がユーザー実験中のビーム変動の主要因として確認されるという光学系の課題に対応するための、過去に導入されたディープラーニングを用いた手法の紹介から、新たにニューラルネットワークベースのフィードバックシステムの実装によるオンラインフィードバックシステムの実装によるオンラインフィードバックシステムに比べて優れたビーム安定性を実現できることを実証したことが報告された。聴衆からは、他施設においても導入可能な手法かという具体的な問い合わせがあった。

学会講演4日目の午前、Max Planck Institute for Chemical Energy Conversion の Serena DeBeer 氏のキーノートレクチャー“Catching Catalysts in Action”が開かれ、その後、Brookhaven National Laboratory の Gabriella Carini 氏の“Overview Detector Development”、Brazilian Synchrotron Light Laboratory - LNLS の Harry Westfahl Jr. 氏の“Science and Innovation at the SIRIUS Light Source”の2つのプレナリーレクチャーが開かれた。Gabriella Carini 氏の検出器についての講演では、各放射光施設で開発が進められている検出器についてのサマリーについて報告がなされた。高エネルギーでの検出効率に優れた CdZnTe (CZT) を素子として用いた検出器の開発状況に関して、各施設の検出器 (XIDER など) についての利点や特徴が報告された。他素子の検出器についても特徴がまとめられ、例えば、理化学研究所と SONY の共同研究で開発された電荷積分型の CITIUS 検出器についての高い飽和計数率やフレームレートについての性能が紹介されていた。

また、27日から30日の学会講演の午前および午後

については4から5つのマイクロシンポジウムがパラレルセッションとして開催され、放射光施設や FEL のアップグレードや新規施設の建設状況、新しい検出器の開発、ビームライン光学機器の開発、オペランド計測技術の開発などについての講演が行われた。データ処理および計測の自動化や AI の活用を対象としたシンポジウムについては計4回開かれ、活発な議論が行われていた。例えば、Synchrotron SOLEIL の Laura Munoz-Hernandez 氏の“Robotics developments at SOLEIL”では、6軸ロボットアームをビームラインに横断的に導入した成果と、ロボットアーム自身の併進ステージなどを組み合わせたフレキシブルな計測の実現について報告がなされた。また、Canadian Light Source の Stuart Read 氏の“Data analysis using AI and HPC at CLS”の講演では、機械学習・AI を活用した CT データの再構成の自動化、光学条件などの実験条件の最適化、単結晶試料位置の自動調整についての報告がなされ、例えばループ内の単結晶位置を9割程度の高い精度で画像認識できることが報告された。また、ChatGPT と音声認識を取り入れた実験への展開 (BAM、Martin Radtke 氏、ChatGPT and EPICS: Pioneering LLM-Enhanced Control Systems for Synchrotron Beamlines) などについての講演が行われた。Helmholtz-Zentrum Hereon の Malte Storm 氏からは放射光 XRD 測定の統合解析ソフトウェア“Pydidias”の紹介があった。並列化やキャリブレーション、ワークフローの設定によるデータの自動処理などユーザーフレンドリーな機能が Python ベースのオープンソフトウェアとして実装されており、自身のビームラインでも試験的に使用してみたいと感じた。施設のアップグレードの恩恵についての報告も多数あった。ESRF の Angelika Rosa 氏の“Extreme condition research at ESRF”の講演では、ESRF の EBS upgrade により約20倍のフラックスの向上が実現し、さらに CCD 検出器から Eiger2 9M CdTe 検出器の更新も行うことにより、以前では数時間必要だった計測が数分で達成可能になったことが報告された。

午前、午後のセッションの間にはランチセミナーとして1日目に放射光測定用の光学素子を開発している Applied nanotools 社や Cosine 社、2日目には Pilatus や Eiger などの2次元半導体検出器を開発

している Dectris 社、3 日目には Lambda 検出器を開発している X-SPECTRUM 社の講演が行われた。現行の最新の機器類の性能がわかりやすく紹介され、また現在各社で開発を進めている次世代機器の開発の方向性が提示されていた。

#### 4. おわりに

最終日の午後には、ポスターセッションの優秀ポスターについての授賞式と各賞の受賞講演が行われた。大阪大学・理化学研究所の山田純平氏が、X線自由電子レーザーの7 nm のスポット集光のトピックスにおいて FELs of Europe Award を受賞し、“Ultimate focusing of X-ray free-electron laser down to 7×7 nm spot for achieving 10<sup>22</sup> W/cm<sup>2</sup> intensity”という題目の受賞講演が行われた。また、SLAC National Accelerator Laboratory/Stanford University の Agostino Marinelli 氏が Kai Siegbahn Award を受賞し、“Attosecond X-ray Free-Electron Lasers”という題目の受賞講演が行われた。クロージングセッションでは、会議全体の参加者は約 1,200 人であり、参加者の多い国順でドイツ (約 43%)、中国 (約 11%)、日本、アメリカ (約 8%)、フランス、スイス、イギリス (約 4%) などであり、のべ 34 の国と 210 の組織からの参加があったとの報告があった。日本からは 3 番目に多い 100 人近くが参加したことになる。実際に、SPring-8、SACLA、KEK-PF、NanoTerasu、佐賀シンクロトロン光研究センターなど多くの施設および企業からの参加があった。前回の会議が開催された SRI2021 については、COVID-19 の影響により、オンライン開催であった。SRI2024 は、対面で開催された会議として大きな盛り上がりを見せた。最後に、LNLS-CNPEM (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron - Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais) がホストとして、新しい大型放射光施設 SIRIUS が立ち上げられたブラジルにおいて、2027 年 8 月 23 日から 27 日を候補日として、次回の SRI2027 が開催されることがアナウンスされた。

SRI2024 の学会期間において、DESY の見学や多くの最先端の発表を通じて放射光の広い領域を網羅した多くの情報を収集することができ、大変刺激となった。また自身の発表の際にディスカッションした多く

の外国の研究者と親睦を深めるとともに、連絡先を交換し SPring-8 で一緒に実験をする話が進むなど、新しい研究が展開する非常に貴重な機会となった。このような学会を主催していただいたオーガナイザーに謝意を示すとともに、次回の SRI2027 にも参加し、最新の成果をまた発表することで放射光科学の発展に微力ながら貢献していきたいと感じる学会であった。

#### 小林 慎太郎 KOBAYASHI Shintaro

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 回折・散乱推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0802  
e-mail : kobayashi.shintaro@spring8.or.jp

#### 山田 大貴 YAMADA Hiroki

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 回折・散乱推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0802  
e-mail : h\_yamada@spring8.or.jp

## 34th European Crystallographic Meeting 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 構造生物学推進室  
矢野 直峰

### 1. はじめに

2024年8月26日～30日にかけてイタリアのパドヴァで 34th European Crystallographic Meeting (ECM) が開催された。ECM は結晶学における会議であり、国際結晶学会が開催される年以外は毎年ヨーロッパで開催されている。2020年以降は新型コロナウイルスの感染拡大があり、報告者は海外での学会参加を控えていたが、今回約4年半ぶりに海外の学会に参加することが出来た。ECMに参加するのは今回が初めてである。

今回開催地となったパドヴァは北イタリアに位置しており、観光地として有名なヴェネチアから約40km西に離れている。日本との時差はサマータイム時で7時間である。最寄りの空港はマルコポーロ空港であり、バスでパドヴァ駅まで45分の距離である。空港の周りは見渡す限り平地であり、山は見られなかった。空港から外に出ると気温は日本の真夏と同じくらいの35°C前後であるが、日差しが強く、日なたにいるのは辛かった。一方、湿度が低いので、日陰に入ると涼しく、風も気持ち良かった。

学会は Padova Congress で開催された。Padova



写真1 34th ECMの会場となった Padova Congress。

Congress はパドヴァ駅から徒歩約10分の距離に位置している。写真1は会場となった建物である。見た目は新しく、綺麗であった。会場周辺のお店はスーパーマーケットがあるくらいで、観光地からは離れた場所であった。ホテルから会場までは徒歩で移動したが、日本では珍しいラウンドアバウトが多く存在していた。私が横断歩道の前に立っていても、車は止まってくれなかった。現地の人達は車が止まるのを待たずに横断歩道を渡り、無理矢理車を止めていた。また、ヘルメットを被らずに電動キックボードで移動する人も多かった。よく交通事故が起これないものだと感心すると共に、日本との違いを感じた。



写真2 会場入り口に設置されていた学会の開催場所と会期を知らせる看板。

## 2. 学会の内容

34th ECM では口頭とポスター発表があった。学会の基本スケジュールは 8:30-9:30 が 1 人の講演者による Keynote、9:30-10:00 がポスター発表とコーヒー休憩、10:00-12:00 が複数の講演者によるマイクロシンポジウム、12:00-14:00 が昼食休憩、14:00-16:00 がマイクロシンポジウム、16:00-17:00 がポスター発表とコーヒー休憩、17:00-18:00 が Keynote、18:00 以降は授賞式や懇親会といったイベントが開催された。ポスター発表は 4 日間あり、毎日発表者は交代する形式であった。ECM では研究分野は 41 に分かれており、細分化されていた。受付時に各日にちでのスケジュールが記載され、メモの出来る 40 ページ程の小さな冊子を貰ったが、発表の要旨を見るためにはスマホにアプリをインストールする必要があった。報告者は学会の 2 日目途中までは冊子を見ていたが、冊子に記載されていた演題と発表者が変更されていることがあったため、以降アプリで最新の情報を入手するようにした。学会期間中は学会ホームページでもプログラムを確認出来なくなっており、アプリで確認するように表示されていた。冊子は配布されなくなり、アプリで情報を確認する時代になっているのだと強く感じた。最新の情報を知ることが出来るので、参加者にとって利点がある方法である。

報告者は現在の開発テーマと関係がある「蛋白質の微小結晶を用いた時分割構造解析」分野を中心に情報収集を行った。以下では、今回の学会で印象に残った内容について紹介していく。分野に偏りがあることはご容赦いただきたい。

### 1 日目：

パドヴァ駅に 15:00 ごろに着いたので、ホテルに荷物を置いてから学会会場に行き、受付を済ませた。この日は招待講演と Perutz 賞の受賞公演のみがあった。招待講演ではフランスの欧州分子生物学研究所の Kristina Djinovic 氏による筋肉の Z-disk と呼ばれる場所に存在する蛋白質の研究についての発表があった。X 線結晶構造解析だけでなく、X 線小角散乱や NMR といった複数の手法を組み合わせることで研究を進めていた。複数の手法を用いることは現在では一般的ではあるが、用いた手法の多さに驚いた。Perutz 賞の受

賞公演では Adam Mickiewicz 大学の Mariusz Jaskólski 氏による、これまでに関わった蛋白質の結晶構造解析の発表があった。治療薬に関する研究ではエイズのプロテアーゼ阻害剤、白血病の治療薬となるアスパラギナーゼの研究が紹介された。また、蛋白質の超高分解能構造解析も行っており、クランピンと Z-DNA の研究が紹介された。薬の開発につながる応用面の研究だけでなく、超高分解能構造決定という基礎的な研究も行っているの、研究分野の広い方だと感じた。講演が終わった後は、19:00-20:00 まで会場内で Welcome Cocktail というイベントが開催された。お酒を飲みながら自由に雑談をする時間で、参加者は楽しんでいた。

### 2 日目：

午前のマイクロシンポジウムでは MS-04 : AI, software developments and Machine learning applied to MX and CryoEM を聴講した。ローレンス・バークレー国立研究所の Pavel Afonine 氏の発表では深層学習 AI を用いた構造精密化が X 線とクライオ電子顕微鏡共に Phenix というソフトウェアで実行出来るようになったという内容であった。従来の方法よりも、決定された構造の精度は向上するとのことであった。現段階では、蛋白質のみにしか適用出来ないこと、構造多形には対応していないこと、計算時間がかかることを問題点として挙げていた。AI を利用したデータ処理と構造精密化用ソフトウェアの開発は今後ますます盛んになると感じた。

リバプール大学の Daniel Rigden 氏の発表では Protein Data Bank (PDB) に登録されているクライオ電子顕微鏡で決定された蛋白質の構造と AlphaFold2 という AI プログラムを用いて同じ蛋白質を構造予測し、比較を行ったという内容であった。その結果、クライオ電子顕微鏡で決定された蛋白質では間違った構造が多く登録されているとのことだった。クライオ電子顕微鏡で決定された蛋白質では分解能が 3 から 4 Å 程度と低いものが多いことが原因とされていた。他にも、活性に関係する部位に研究者は興味を持っているので、それ以外の部分は注意して構造を決めていないことも理由の一つではないかと思った。PDB に登録されている蛋白質の構造は全て正

しいと思わず、間違っていることはないか疑いの目を持つことの大切さを感じた。

午後のKeynoteではDESYのHenry Chapman氏の発表を聴講した。X線自由電子レーザーを用いた蛋白質の時分割構造解析の歴史について説明された。強力な光源、蛋白質結晶の搬送、読み出しの速い検出器の開発、データ処理ソフトウェアの開発という4つの技術が合わさり、時分割構造解析が可能になったとのことであった。また、波長に幅のあるX線を用いた方が単波長のX線を用いるよりも測定効率を上げられることを説明していた。Chapman氏はこの分野の第一人者であり、私の開発テーマと関係があるので、興味深く聞くことが出来た。

ポスター発表ではMS3-Serial crystallography and dynamics / room temperatureを中心に情報収集を行った。フランスの第4世代放射光施設のESRF-EBSに建設された蛋白質用のビームラインのビーム強度は報告者が関わっているSPring-8 BL41XUのビーム強度の約100倍となっていた。時分割構造解析ではビーム強度が強くなる程より高い時間分解能を実現出来る。ビーム強度を強くするためにもSPring-8-IIの早期の稼働を実現していきたい。ヨーロッパの放射光施設では時分割構造解析の出来るビームラインの開発が進んでおり、決定された蛋白質の構造から反応機構を提唱するところまで進んでいた。報告者もSPring-8 BL41XUにおける時分割構造解析に向けた開発状況をポスター発表した。標準試料を用いて、静的構造を決定出来るところまで装置開発が進んでいることを報告した。まだ、時分割構造を決定するところまで進めていない段階なので、2025年度中までには反応機構を提唱するところまで進めていきたいと強く思った。ポスター発表では物理、化学系の発表数が生物系より多かった。日本の結晶学会では生物系の発表数の方が多いので、地域による違いが面白かった。

3日目：

午後のマイクロシンポジウムではMS03-Serial crystallography and dynamics / room temperatureを聴講した。Diamond Light SourceのSofia Jahn氏の発表ではX線自由電子レーザーSACLAとDiamond Light SourceのI24で、微小結晶を用いた

固定ターゲット法でミオグロビンという蛋白質の時分割構造解析を行っているという内容であった。O<sub>2</sub>がヘムに結合する様子を観察するためには、光を照射するとO<sub>2</sub>を放出するcaged化合物と、ミオグロビン結晶とを嫌気条件かつ暗所で混ぜなければならず、大変だと感じた。O<sub>2</sub>が結合した後と考えられる電子密度が得られていたが、分解能が低く、まだはっきりしたことは言える段階ではなかった。研究に関わっている人数が22と多く様々な分野の人が連携して、行われている研究であった。現在では、時分割構造解析が可能な装置のアイデアは一通り試されており、どんな蛋白質を用いて、何を明らかにしていくかが問われている段階だと強く感じた。結晶中で各分子の反応が始まるタイミングを揃える必要があるため、光を受容する蛋白質やcaged化合物を適用出来る蛋白質が研究対象として選ばれやすいのも仕方がない面がある。

ポスター発表では結晶を含む昆虫細胞を用いて、固定ターゲット測定をするという話が興味深かった。細胞中で結晶が出来ることを初めて知ったし、蛋白質を精製して、結晶を作成する手間が省けるところが利点だと思った。適用出来る蛋白質に条件はあるのか、昆虫細胞にX線を照射して回折データのバックグラウンドが上がらないのか、後から疑問に思ったが、聞きそびれてしまった。

4日目：

午前のKeynoteではIBM社のHeike Riel氏の発表を聴講した。コンピューターの歴史、コンピューターのエネルギー消費量は年代が上がるにつれて減少していること、ChatGPTが学習に使うエネルギー消費量などを説明していた。学問的な内容ではなく、コンピューターの実用的な話であった。コンピューターとAIの内容で1つのKeynoteを設けたことから幅広い分野を受け入れるヨーロッパ結晶学会の度量の大きさを感じた。ただ、学会の講演なので、学問的な話も聞きたかった。

午後のマイクロシンポジウムではMS07-MX and cryo-EM membrane Protein structuresを聴講した。パドヴァ大学のAlessandro Grinzato氏の発表ではミトコンドリア呼吸鎖に存在する分子量が約100万のNADH : ubiquinone oxidoreductaseのクライ

オ電子顕微鏡で決定された構造についての内容であった。この蛋白質はL字型をしており、結晶を得ることが困難な膜蛋白質であった。疎水性領域のみ<sup>[1]</sup>や親水性領域のみ<sup>[2]</sup>で結晶を作製し、部分的な構造は3から4 Å程度の分解能で決定されていたが、全体での結晶構造はX線では決定されていなかった。クライオ電子顕微鏡では結晶を用意する必要がないので、全体構造を3から4 Å程度の分解能で決定出来るようになったという経緯がある。Slack 状態という新しい状態が見つかったが、この状態の生理的な意義については不明とのことであった。X線では全体構造が決定出来なかったが、クライオ電子顕微鏡では可能になった例の一つである。今後もクライオ電子顕微鏡の利用が進んでいくと感じた。

#### 5 日目：

午前中は口頭発表があり、昼食休憩を挟んで、15:00からポスター賞の授賞式があった。様々な名前のポスター賞があり、総勢12名が受賞した。受賞者の研究テーマがどのような分野なのか賞の名前から分らなかった。日本の結晶学会では物理、化学、生物系のそれぞれに分けて受賞者を決めているので、各学会での考え方の違いが出ていた。授賞式が終わると、学会を支えてくれたスタッフ達をステージ上で讃える時間が設けられていた。これだけ大きな学会を開催し、問題なく運営していくことはとても大変なことなので、学会関係者には感謝している。その後、本学会の国別参加者数が発表された。地元のイタリアが最も多く、130人程であった。日本の参加者は5人であった。学会会場では日本人をあまり見かけなかったのが、妥当な数字だと思った。次回の開催時期は2025年8月25日～29日で、場所はポーランドのPoznanの予定である。

16:00-17:00まで、ECMの閉会とEPDICという粉末結晶の学会の開会を兼ねる講演があり、ECMは閉会した。



写真3 口頭発表会場の様子。講演中ではないため、人は少ない。

#### 3. おわりに

本稿では、34th ECMの学会内容を紹介した。結晶学の学会ではあるが、結晶を用いないクライオ電子顕微鏡やAIについての発表もあり、内容は多岐にわたっていた。また、新型コロナウイルスの感染拡大後で初めての海外学会への参加であり、久しぶりに外国の雰囲気を味わうことが出来た。同じ夏でも日本と違いがあり、日差しの強さが印象に残った。他との兼ね合いもあるが、地球温暖化の影響があるので、開催時期を涼しい時期にしてくれた方が、もっと楽しむことが出来たと思う。機会があれば、またECMに参加したい。

#### 参考文献

- [1] R. G. Efremov and L. A. Sazanov : *Nature*. **476** (2011) 414-420.
- [2] J. M. Berrisford and L. A. Sazanov : *J. Biol. Chem.* **284** (2009) 29773-29783.

#### 矢野 直峰 YANO Naomine

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 構造生物学推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0802 (内線) 3444  
e-mail : naomine.yano@spring8.or.jp

## 第8回 SPring-8 秋の学校を終えて

SPring-8 ユーザー協団体 (SPRUC) 行事幹事 (秋の学校担当)

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 物質科学研究センター

松村 大樹

### 1. 秋の学校概要

2024年度の第8回 SPring-8 秋の学校が、9月1日(日)～9月4日(水)の4日間の日程で開催されました。台風接近のため、1日目と2日目を急遽ハイブリッド形式にするなど、参加者・講師・事務局の皆様はそれぞれ大変なご苦勞をされたことと思います。そのような中においても、大きなトラブルなく無事に秋の学校を終えることができましたのは、関係者全ての方のお力によるものと考えております。皆様に深く感謝いたします。

第8回 SPring-8 秋の学校は、SPring-8 ユーザー協団体 (SPRUC) と高輝度光科学研究センター (JASRI) が主催し、理化学研究所放射光科学研究センター、兵庫県立大学理学部/大学院理学研究科、関西学院大学理学部/工学部/生命環境学部/大学院理工学研究科、岡山大学からの共催をいただき、関係諸機関の後援を受けて実施されました。校長には SPRUC 会長の藤原明比古先生 (関西学院大学教授) が就任し、事務局は JASRI 利用推進部に担当いただきました。事務局の皆様は、ハイブリッド形式への変更や参加者の日程変更に伴う多大な業務を確実に実行されました。

SPring-8 秋の学校の目的は、幅広い観点からの SPring-8 ユーザーおよび放射光科学に関わる人材の発掘です。SPring-8 では夏の学校も開かれ、毎年多くの参加者を数えています。夏の学校との最大の違いは、SPring-8 秋の学校では放射線業務従事者登録が必要ないことです。放射線業務従事者登録は SPring-8 で実験するにあたり、最初乗り越えなければならない関門ですが、秋の学校は疑似的な放射光実習を行うということから、登録のない方にも門戸を開いています。これにより、放射光に興味を持つ方であれば、どなたでも参加することが可能です。今回の参加者におかれましても、大学2回生の方から社会人経験が豊富な方

まで、多様な方が参加しており、幅広く放射光を学ぶ機会を提供する場となっております。

秋の学校のもう一つの特徴は、SPRUC が主催団体に入っており、SPRUC の研究会および評議員の皆様からグループ講習のテーマおよび講師の推薦を受けていることです。基礎講義の座学において放射光の基礎を学び、グループ講習にて疑似的な放射光利用を体験するというメニューは、秋の学校の根幹をなすものです。今回の秋の学校でも多くの SPRUC メンバーの方々に講師として秋の学校にご協力いただき、放射光の幅広い分野を網羅した魅力的な基礎講義およびグループ講習が行われました。講師をお引き受けくださった皆様に深く感謝申し上げます。

定員の80名に近い人数の参加申込をいただいたものの、台風接近等により参加をキャンセルされた方も多くいらしたため、最終的な参加者は67名となりました。交通の問題により日程変更を余儀なくされる方も多い中、SPring-8 現地にこれだけの方が集まっていたことは、大変ありがたく感じております。

### 2. カリキュラムについて

カリキュラムは表1に詳細を示すように、1日目に3講義、2日目に4講義の基礎講義を行い、3日目と4日目の2日間で4テーマのグループ講習を行いました。グループ講習に関しては、参加者は19テーマの中から希望に応じて割り振られた4テーマを受講しました。グループ講習のテーマ数は秋の学校の歴代で最多となりました。多くの講師の方の参画に感謝いたします。参加者も放射光利用の幅広さを感じることができたのではないかと思います。2日目のお昼には、SPring-8 および SACL A の見学も行われました。また、参加者間の交流を促進するための自己紹介の時間を3日目のグループ講習の後に設けました。これは、元々

表1 第8回 SPring-8 秋の学校日程表

	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
9/1 (日) ハイブリッド 開催			11:00-12:30 開校式 「SPring-8 紹介」 【放射光普及 員 @ハイブリッド】	12:30-13:20 昼食		13:30-15:10 基礎講演1 「放射光発生 の基礎」 橋本 智 (兵庫県立大学) 【放射光普及員 @ハイブリッド】	15:20-17:00 基礎講演3 「X線自由電子 レーザー入門」 久保田 雄也 (理化学研究所) 【放射光普及員 @ハイブリッド】				
9/2 (月) ハイブリッド 開催	9:00-10:30 基礎講演6 「XAFSの基礎」 田淵 雅夫 (名古屋大学) 【放射光普及員@ハイブリッド】	10:40-12:10 基礎講演5 「X線イメージ ング」 籠島 靖 (兵庫県立大学) 【放射光普及員@ハイブリッド】	12:10-13:20 昼食		13:20-15:00 Spring-8実習 SACLA見学	15:10-16:40 基礎講演6 「X線検出器の 基礎」 今井 康彦 (高輝度光科学研究センター) 【放射光普及員@ハイブリッド】	16:50-18:20 基礎講演7 「回折・散乱の 基礎と構造解析 への応用」 藤原 明比古 (関西学院大学) 【放射光普及員@ハイブリッド】			18:20- 夕食	
9/3 (火)	移動	9:30-12:30 グループ演習1	12:10-13:20 昼食			14:00-17:00 グループ演習2			17:00-18:00 集合写真撮影 懇話会自己紹介 【上野記念講堂 @中央管理棟】	18:20- 懇話会 (食前)	
9/4 (水)	移動	9:30-12:30 グループ演習3	12:10-13:20 昼食			14:00-17:00 グループ演習4			17:00-18:00 観望所見学/アンケート 回収		

1日目の最後に実施する予定でしたが、1日目はまだ来所している方が少なく、参加者全員が現地に到着された3日目に急遽行ったものです。同様に、1日日夜に懇親会を計画していましたが、こちらは中止となり、3日目に満を持してSPring-8 食堂にて懇親会を実施しました。コロナ禍での秋の学校では懇親会の実施を断念しており、昨年度から復活しておりましたが、今年度も開催することができ、安心しました。研究交流施設での二次会も盛況でした。

### 3. 基礎講演について

基礎講演の内容と担当者は以下の通りです。講演内容はどれも工夫されたもので、私はここ数年聴講しておりますが、毎回新しい気づきがあり、改めて勉強できたと感じ、個人的にも大変ありがたい経験です。参加者の皆様にとっても有意義な講演であったと思われます。秋の学校では毎年参加者の熱意が高く、今年度も講演後の質疑は非常に活発で、秋の学校への意気込みが強く伝わってきました。

- 基礎講演 1. 放射光発生の基礎  
橋本智 (兵庫県立大学)
- 基礎講演 2. ビームライン  
～光源と実験ステーションを繋ぐもの～  
山崎裕史 (高輝度光科学研究センター)
- 基礎講演 3. X線自由電子レーザー入門  
久保田雄也 (理化学研究所)
- 基礎講演 4. XAFSの基礎  
田淵雅夫 (名古屋大学)
- 基礎講演 5. X線イメージング  
籠島靖 (兵庫県立大学)
- 基礎講演 6. X線検出器の基礎  
今井康彦 (高輝度光科学研究センター)
- 基礎講演 7. 回折・散乱の基礎と構造解析への応用  
藤原明比古 (関西学院大学)



写真1 講義風景



写真2 見学風景

#### 4. グループ講習について

グループ講習のテーマと担当者は以下の通りです。  
19 テーマも開催することができたことは、多くの講師の方の協力の証です。秋の学校は放射線業務従事者登録が必要ない代わりに、放射光そのものを利用しての講習はできないのですが、実際の実験装置やデータに対して疑似的測定や解析を学ぶことができます。体や手を動かして実習を行うことで、参加者は刺激的な時間を過ごしたものと感じています。



写真3 グループ講習風景

#### 1. 単結晶構造解析

橋爪大輔 (理化学研究所 CEMS)

足立精宏 (理化学研究所 CEMS)

#### 2. 放射光粉末 X 線回折によるその場観測の実際

岡研吾 (近畿大学)

加藤大地 (京都大学)

#### 3. タンパク質結晶構造解析

水島恒裕 (兵庫県立大学)

河村高志 (高輝度光科学研究センター)

#### 4. 小角 X 線散乱

増永啓康 (高輝度光科学研究センター)

関口博史 (高輝度光科学研究センター)

#### 5. 放射光を利用した応力・ひずみ計測

菖蒲敬久 (日本原子力研究開発機構)

富永亜希 (日本原子力研究開発機構)

#### 6. X 線回折・散乱を用いた薄膜構造評価

小金澤智之 (高輝度光科学研究センター)

#### 7. X 線吸収分光法

朝倉博行 (近畿大学)

田中淳皓 (近畿大学)

中谷勇希 (大阪大学)

#### 8. 赤外分光分析

池本夕佳 (高輝度光科学研究センター)

森脇太郎 (高輝度光科学研究センター)

岡村英一 (徳島大学)

#### 9. 光電子分光 (HAXPES)

保井晃 (高輝度光科学研究センター)

高木康多 (高輝度光科学研究センター)

#### 10. 高圧力の発生技術と高圧物質科学

新名良介 (明治大学)

#### 11. ドーパント原子配列解析

松下智裕 (奈良先端科学技術大学院大学)

#### 12. 放射光軟 X 線光電子分光による表面化学反応の“その場”観察

吉越章隆 (日本原子力研究開発機構)

津田泰孝 (日本原子力研究開発機構)

#### 13. 放射光 X 線イメージングの概要と基礎

上杉健太郎 (高輝度光科学研究センター)

#### 14. GeV 光ビームの生成と物質との相互作用

水谷圭吾・石川貴嗣・小早川亮・桂川仁志・

田中慎太郎・橋本敏和 (大阪大学)

#### 15. X 線発光分光法

松村大樹 (日本原子力研究開発機構)

石井賢司 (量子科学技術研究開発機構)

#### 16. 二体分布関数法 (PDF)

尾原幸治 (島根大学)

山田大貴 (高輝度光科学研究センター)

下野聖矢 (高輝度光科学研究センター)

#### 17. ブラッグコヒーレント回折イメージング法

大和田謙二 (量子科学技術研究開発機構)

押目典宏 (量子科学技術研究開発機構)

#### 18. 放射線生物学の基礎

小西輝昭 (量子科学技術研究開発機構)

城鮎美 (量子科学技術研究開発機構)

#### 19. 放射光 X 線トポグラフィーによるパワー半導体単結晶の欠陥観察

姚永昭 (三重大学)

梶原堅太郎 (高輝度光科学研究センター)

#### 5. まとめ

台風接近に伴う交通機関の混乱の中、67 名の方に SPring-8 秋の学校に参加いただき、大きなトラブルなく、無事に秋の学校を終えることができました。参加

者も、講師の皆様も、事務局の方々も、大変な状況の中で秋の学校に力を注いでいただき、深く感謝いたします。

毎年の秋の学校のアンケート結果からは、基礎講義・グループ講習共に、参加者の満足度がとても高いことを読み取っております。一方、講師の方からの負担の大きさに関する指摘も承っており、実行委員会としては、参加者・講師双方にとって有意義な学校にすべく、今後も実施形態の検討を進めたく思っております。

グループ講習のテーマ・講師は、SPRUC 研究会および評議員の皆様からの推薦を受けております。SPRUC は SPring-8 秋の学校の主催機関であり、今後秋の学校をどのように発展させていくか、会員の皆様の忌憚のないご意見を賜うことができれば幸いです。

SPring-8 秋の学校を実施するにあたり、講師の皆様を始め、多くの関係者の方々の多大なお力をいただきました。深く感謝申し上げます。より良い秋の学校にしていくことができるよう、今後とも御指導どうぞ宜しくお願いいたします。

#### 松村 大樹 MATSUMURA Daiju

(国研) 日本原子力研究開発機構  
物質科学研究センター  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0975  
e-mail : daiju@spring8.or.jp

### 第 8 回 SPring-8 秋の学校に参加して

東京藝術大学 大学院美術研究科  
文化財保存学専攻 保存科学研究室 修士 1 年  
仏山 明彦

私は、東京藝術大学の大学院で、文化財保存学(保存科学)を専攻しています。文化財保存学とは、国宝や重要文化財、美術館・博物館の収蔵品をはじめとして、寺社・仏閣などの建造物、ひいては石碑や古墳などの遺物や遺跡まで、幅広く文化財を修復・保存し、後世に伝えていくための研究をする分野です。ひとく

ちに文化財保存学といっても、たとえば伝統技術を習得して文化財の修復作業に直接あたる保存修復家と、文化財の材料に関する情報を自然科学的な手法により収集し、保存の糸口を探る保存科学者とは、その専門性は大きく異なります。文化財保存学は、専門家の出身分野も芸術系から人文系、化学系や工学系まで、ほかに類を見ないほど多様で、文理の垣根を超えた極めて学際的な分野です。文化財の分析には長らく X 線透過画像や蛍光 X 線法 (XRF) をはじめとする研究室規模の分析機器が用いられてきましたが、近年では、SPring-8 など最先端の施設とも連携して調査が行われるようになり、特に金属文化財について、これまで解明が難しかった内部構造や製造方法などの解明が可能となりました。こうした中で、実際に SPring-8 を見学し、専門家の先生方の講義を聞いて知見を深め、その文化財分野への応用を考える絶好の機会と思い、秋の学校への参加を決めました。

今年の秋の学校は、例年通り 4 日間の日程でしたが、台風 10 号の影響を受け、初日、2 日目がハイブリッドでの開催となりました。私は 2 日目に東京から移動し、幸いにもその日の午後の SPring-8 の見学から現地で参加することができました。台風に伴う日程の調整をはじめとして、オンライン講義の設営、道中で講義が視聴できない場合のために講義の録画を配信いただくなど、事務局の皆様のアたたかいご配慮により、快適に移動と受講を両立できました。秋の学校開催前からの事務局の皆様迅速かつ丁寧なご対応に、改めて感謝申し上げます。

1、2 日目の基礎講義では、校長先生をはじめとした専門家の先生方にわかりやすくご講義いただき、人類の科学技術の粋である SPring-8 の基本的な構造から、細かい構成部品の役割、どのようにして分析精度を上げるか、といった専門的な内容まで、大変よく理解することができました。先生方にとっては常識中の常識に違いない内容から丁寧に教えていただいたため、物理が苦手な私のような人間でも、脱落せずに講義についていくことができました。2 日目の午後には、実際に SPring-8 をぐるりと歩いて見学する機会をいただき、一周 1.4 km という規模と、その円周上に様々な分析装置が所狭しと並ぶ、SF 映画に出てくる科学基地のような、ロマンに溢れた光景に圧倒されました。

そんな科学技術の結晶のような施設の中で、研究者の方々が自転車に乗って往来する姿はとてもシュールな光景で、印象に残っています。2時間ほどの見学の中で、SPring-8を利用した研究の内容やこれから新たに設置される分析機器についてなど、SPring-8のスペックを学ぶだけにとどまらない様々な内容をご説明いただき、とても貴重な時間となりました。3、4日目には、SPring-8の分析器を使って得られたデータを扱う演習に参加させていただき、実際にSPring-8を利用した際に得られる情報やその処理、データの吟味について、具体的なイメージを得ることができました。少人数の演習だったため、講師の方々と距離が近く質問もしやすく、とても有意義な演習でした。

3日目の夜には、台風で中止になってしまった1日目の懇親会の分も、と盛大な懇親会が催され、美味しい料理を囲みながら、様々な研究分野の参加者の方々とお話ができました。同世代の学生の皆さんが生き生きと自分の研究について語り、議論を交わす様子は、

自分が今後研究を進めていくうえで大きな励みになりました。ただ、やはり学生の皆さんは文化財保存分野についてほとんどご存知なく、業界の裾野を広げていくためにも、知名度を上げるための積極的な発信をしていかなければ、と文化財分野の課題を感じた夜でもありました。

総じて、秋の学校の4日間は非常に有意義なものとなりました。SPring-8に関する基礎から応用に至る幅広い知見はもちろん、実際にSPring-8で研究されている先生方の貴重なお話、様々な分野の学生や社会人の方々と交流の機会まで、秋の学校に参加しなければ得られない、とても刺激的で貴重な経験となりました。このような場を設けてくださった秋の学校事務局の皆様、SPring-8の職員の皆様、そして貴重な講義を担当してくださった講師の先生方に、改めて深く感謝申し上げます。来年以降も秋の学校が開催され、多くの学生や社会人の方々にとって貴重な学びと交流の機会となることを願っております。



写真4 集合写真（中央管理棟前にて撮影）

## SPring-8 シンポジウム 2024 報告

## SPring-8 ユーザー共同体 (SPRUC)

国立研究開発法人物質・材料研究機構

マテリアル基盤研究センター 光電子分光グループ 永村 直佳

公益財団法人高輝度光科学研究センター

放射光利用研究基盤センター 散乱・イメージング推進室 竹内 晃久

近畿大学 理工学部 理学科 化学コース 杉本 邦久

熊本大学 理学部 理学科 物理学コース 水牧 仁一朗

九州大学 理学研究院 化学部門 徳永 信

## 1. はじめに

去る9月5日(木)、6日(金)に、SPring-8 シンポジウム 2024 が、SPring-8 ユーザー協団体(以下、SPRUC)、理化学研究所 放射光科学研究センター(以下、理研)、高輝度光科学研究センター(以下、JASRI)、九州大学の主催により開催されました。SPring-8 は供用開始から四半世紀以上、SACLA は 12 年が経過しましたが、近年の材料開発競争が激化している状況下で SPring-8/SACLA の果たす役割は益々大きくなってきていると考えられます。第 13 回目となった本年度のシンポジウムでは、最先端の測定から通常の測定まで SPring-8 の全てを、機能性材料の高度化にどのように活かしていくのか、また、今後出てくるであろう課題に対してどのように新しい測定技術を生み出していくかについての議論を行うことで、次世代の放射光科学の将来ビジョンや新しいサイエンスのあり方を描いて行くことを期待し、「SDGs 実現に向けた放射光・FEL」をテーマとしました。台風の影響も懸

念されましたが当日は好天に恵まれ、基本的には対面形式により九州大学医学部百年講堂、大ホール・中ホールで 2 日間開催し、現地に参加されない会員には、講演をオンラインで配信しました。開催方式の検討と当日の運営については、九州大学の山内美穂氏と SPRUC 利用幹事である熊本大学の水牧仁一朗氏にご尽力いただきました。

## 2. セッションI オープニング

オープニングセッションでは、藤原明比古 SPRUC 会長(写真1)より開会の挨拶がありました。続いて、ホスト機関として九州大学シンクロトロン光利用研究センターの徳永信センター長(写真2)からの挨拶がありました。次に、理研の永井雅規理事(写真3)、JASRI の雨宮慶幸理事長(写真4)より挨拶があり、最後に、文部科学省科学技術・学術政策局研究環境課の野田浩絵課長(写真5)から来賓挨拶をいただきました。



写真1 SPRUC  
藤原明比古会長  
(関西学院大学)



写真2 九州大学  
シンクロトロン光  
利用研究センター  
徳永信センター長



写真3 理研  
永井雅規理事



写真4 JASRI  
雨宮慶幸理事長



写真5 文部科学省  
科学技術・学術政策  
局研究環境課  
野田浩絵課長



写真6 JASRI  
坂田修身センター長



写真7 理研・JASRI  
矢橋牧名GD



写真8 JASRI  
木村滋部長

それぞれの方々の挨拶の中で、特に SPring-8-II への強い期待の声が多く寄せられていることが取り上げられており、社会の中における SPring-8 への関心の高さを実感しました。また、本年度のシンポジウムのテーマとなっている SDGs の実現に関しては、幅広い分野での放射光利用、AI 活用による計測の DX 化、施設の省エネルギー運転、次世代を担う人材育成など、多面的な視野からの SDGs が提示されており、SPring-8 および SPRUC の果たすべき役割について強く認識させられました。

### 3. セッションII 施設報告

セッションII では、施設報告として、JASRI 放射光利用研究基盤センター坂田修身センター長(写真6)、理研 物理・化学系ビームライン基盤グループ矢橋牧名グループディレクター (GD) 兼 JASRI XFEL 利用研究推進室室長 (写真7)、JASRI 利用推進部 木村滋部長 (写真8) による講演が行われました。

まず矢橋 GD から、SPring-8-II に向けたタイムテーブルが提示され、今後の高度化開発ビームラインの整備や利用制度改正、新しい利用制度に向けた議論が進められていくことの説明と、このセッションにおける3名の講演内容の大まかな説明がありました。

続いて、坂田センター長から「SPring-8/SACLA の現状」と題した講演が行われ、2024B 期における専用ビームライン (BL) や理研 BL の共用拡大、2025B からの利用料の再定義、そして成果準公開利用制度の導入に関する報告がありました。また、2023 年 11 月には NanoTerasu と SPring-8 の合同シンポジウムが開催され、SPring-8 の利用ニーズに応えるためのアンケート調査が実施された結果、多くの期待が寄せられていることも明らかにされました。SPring-8 と SACLA

の運転実績についても報告があり、SPring-8 は年間 4,436 時間の運転時間、ビームライン利用率 99.4% という非常に高い数字が達成されたとの説明がありました。SACLA もここ数年年間 6,000 時間以上の安定した運転時間を確保しており、高い信頼性と運用効率を示されました。さらに、SPring-8-II 計画に向けては、NanoTerasu との役割分担を考慮しながら、高エネルギー X 線領域への集中やオペランド技術の高度化に注力する旨の報告がありました。BL 再編については、具体例として BL39XU での発光分光や BL40XU の SAXS 専用化、BL05XU から BL15XU への装置移設、高エネルギー X 線回折散乱の整備、BL04B2 での PDF 測定の高スループット化の紹介、ユーザーニーズに応える形で実施された BL46XU での HAXPES プロブ侵入深度の拡大や、BL45XU の自動測定の安定化の紹介がありました。

矢橋 GD による「SPring-8-II に向けて」の講演では、SPring-8-II 計画の進捗状況についての報告がありました。SPring-8-II は、硬 X 線領域で世界最高クラスの輝度を実現する第 4 世代放射光源として計画されており、施設全体の大幅なグリーン化を進めるという方針も示されました。これを実現するために、省エネ技術として 6GeV - 8GeV での ID 技術、偏向部の永久磁石技術、既存入射器の廃止などが挙げられました。また、学術利用、産業利用、そして国の重要課題に対応する戦略的利用の 3 つの軸を中心に利用促進が図られ、利用料の位置付けや内容の改正についても触れられました。従来の運営費補填分に加え、施設の高度化推進費を新たに加えた二階建て方式の利用料体系が導入されることで、SPring-8 の持続的な高度化と DX 運用強化を図るとの説明がありました。さらに、学術利用を促進するために SACLA/SPring-8 基盤開

発プログラムが立ち上げられ、学生や若手研究者が試行錯誤できる場として一部ビームラインの活用も検討されています。

木村部長からは「SPring-8 利用制度改正について」と題した講演があり、利用制度改正の背景とその内容についての説明がありました。まず、国の科学技術・学術審議会や量子ビーム利用推進小委員会などからの提言を受け、理研・JASRI が利用制度改正タスクフォースを設置し、その改正案が第 40 回 SPring-8 選定委員会で承認されたことが報告されました。主な改正点として、利用料収入の再定義と料金体系の改正が挙げられ、施設運営費を回収する「運営費回収方式」に加え、施設が提供するサービスに対する対価としての受益者負担を導入する新たな料金制度が整備される旨の報告がありました。また、企業ユーザーの成果の公開方法としてプレスリリース、学会発表、特許申請などを選択可能にし、社会・産業界での SPring-8 の認知度向上を目指す目的で成果準公開利用制度（プロモーション利用試行版）を導入するとの報告がありました。さらに、消耗品実費負担が改定され、諸経費の高騰やユーザーサービス拡充、実験の自動化・オートメーションを含む DX の運用費用の増加に伴う利用料金改定の説明がありました。定額料金は 10,720 円/シフトが 12,400 円/シフトに引き上げられ、従量分料金については、従来のヘリウム料金に加え、試料調製サービス（粉末キャピラリ充填 1,000 円/個、XAFS ペレット作製 600 円/個）が新たに導入されることが報告されました。

#### 4. セッション III SDGs 実現に向けた放射光・FEL-1

セッション III では、「SDGs 実現に向けた放射光・FEL-1」として、東京エレクトロン株式会社の長坂恵一氏（写真 9）と大阪大学の酒井朗氏（写真 10）による講演が行われ、半導体材料分野における放射光の活用と期待について紹介されました。

長坂恵一氏は、「半導体製造装置メーカーとしての SDGs 実現に向けた取組み～放射光測定技術の活用と期待～」と題した講演を行いました。長坂氏は、半導体市場が今後も成長を続ける中で、製造装置メーカーにおける独占化の課題に言及し、設計製造市場においても巻き返しが必要であると述べました。半導体製造



写真 9 東京エレクトロン (株)  
長坂恵一氏



写真 10 大阪大学  
酒井朗氏

プロセスは、ウェーハ製造からマスク、エッチング、洗浄まで 600~800 もの多様な工程に対応しており、ムーアの法則が現在も継続していることが紹介されました。特に微細化技術が重要であり、性能、生産性、経済性の両立が求められています。集積密度はこの 2 年で倍増しており、今後も微細化の要求は続く予想されます。微細化は 2 次元から 3 次元へと拡張され、これが次世代デバイスにおける環境負荷の軽減を製造技術の観点からも支えることが説明されました。さらに、半導体開発における放射光の期待や要望として、材料・膜質・構造、内部構造、材料プロセスの影響、反応状態、不良解析、微小領域、ナノスケールといったキーワードが挙げられました。放射光技術を用いることで、ナノレベルでの材質や構造、状態を詳細に把握できることが、デバイス製造や装置技術の確立を加速する要因となると期待されています。また、薄膜、微細モジュール、結晶、積層状態などの深部構造を非破壊で評価することで、これまで見えなかった情報を得ることができ、技術開発のスピードアップが可能となることが強調されました。加えて、放射光測定に対する期待として、大気中や真空環境下でのプロセスやオペランド観察に対応できる測定技術が、半導体分野においても身近で使いやすいものになることへの期待について述べられました。さらに、計測だけでなく解析技術も重要であり、統一した相談窓口やワンストップサービス、迅速な分析と技術サポートへの期待も示されました。

引き続き、酒井朗氏より「ナノビーム X 線回折で観る半導体材料・デバイスの微細構造」と題した講演が行われました。酒井氏は、半導体材料における構造評価において、局所構造が全体に与える影響を把握するため、デバイスの微小領域に対する非破壊解析のニー



写真11 パネルディスカッション

ズが高まっていることを強調されました。具体例として、FinFET に対するナノビーム X 線回折を用いた局所構造解析を紹介し、集光ビームを使うことで、TEM と比較して深さ方向の評価が可能になり、一軸歪みのストレスが緩和された状態を観察できることが示されました。半導体材料やデバイス構造の評価に求められる要件として、高空間分解能、マルチスケール、3次元、非破壊、定量的、そして時間分解の特性が挙げられ、これらに対応するナノビーム X 線回折の有効性が強調されました。さらに、今後の展望として、精度の高い組成傾斜を深さ方向の 3 次元マップに基づいたトモグラフィックマッピングや、電場下でのオペランド計測を実現するためには、さらなる光源の高輝度化や装置の高分解能化が期待されることが報告されました。

#### 5. セッション IV パネルディスカッション

セッション IV では、今回で 8 回目となる「パネルディスカッション」が行われました(写真 11)。パネリストとして、理研・JASRI の矢橋牧名氏(写真 7)、東京エレクトロン(株)の長坂恵一氏(写真 9)、大阪大学の酒井朗氏(写真 10)、九州大学の戸田裕之氏(写真 18)、東北大学の高山裕貴氏(写真 12)、物質・材料研究機構の永村直佳氏(写真 13)、JASRI の池本夕佳氏(写真 14)をお招きしました。モデレーターは熊本大学の水牧仁一朗氏(写真 15)がつかめました。

本パネルディスカッションのテーマは、「SPRING-8-II のポテンシャルを活用し尽くす計測・分析手法と新たな利用の仕組みについて」であり、最初に、水牧仁一朗氏より SPRING-8-II が材料の高機能高性能化に資するために、SPRING-8-II を活用し尽くすためには、どのような計測手法が必要でどのような新規な利用の仕組み



写真12 東北大学  
高山裕貴氏



写真13 物質・材料  
研究機構  
永村直佳氏



写真14 JASRI  
池本夕佳氏



写真15 熊本大学  
水牧仁一朗氏

が必要かとの問いかけが行われました。

この問いかけに対してまず、長坂恵一氏より機能性材料、特に半導体の機能の高度化を行うための分析技術として、放射光測定に期待される性能やデバイス動作中のオペランド測定や様々な測定での分析といったハードに関する面と、利用方法などのソフトに関する面についての要望を話していただきました。

それに対して、酒井朗氏より、分析の重要な測定方法の一つである X 線回折の立場から、半導体材料・デバイスの構造評価解析の方向性について、「デバイス全体を俯瞰した上での局所的な構造を評価することが、デバイスをシステムとして高機能化するには必要不可欠な考え方で、それを実現するためにはより小さいプローブサイズ・高いビームの平行度が重要な要素である」と述べられました。

次に永村直佳氏より、デバイス・機能性材料の機能の高度化には構造だけでなく電子状態も重要であることを指摘いただきました。空間分解を行い材料の各点での分光スペクトルを測定する顕微分光の果たす役割は、現状限定されているが、次々世代へのデバイスの基礎的研究においては重要であると述べられました。また電子状態のオペランド測定はデバイス性能評価に非常に役立つとご教示いただきました。

高山裕貴氏より、先端的な放射光測定であるコヒーレント回折イメージング/タイコグラフィーをご紹介



写真16 九州大学  
山内美穂氏



写真17 九州大学  
小椎尾謙氏



写真18 九州大学  
戸田裕之氏



写真19 大阪大学  
白土優氏

いただき、社会課題解決に重要な実材料の非破壊観察を行い、その内部構造を可視化することの重要性をご教示いただきました。また輝度が100倍になるSPring-8-IIの性能を用いればシングルナノメートル分解能の達成や計測高速化による多数試料の比較解析の重要性について説明いただきました。

戸田裕之氏より、投影型CT・結像型CT・細束X線を用いたX線回折測定を用いることで、金属材料の破壊現象を空間・時間を軸に材料の変化を詳細に追うことができることを示していただきました。これらの複数の測定を一つの試料に対して行い、それらのデータを全て解析するマルチモーダルな測定解析を行うことの重要性をご教示いただきました。

矢橋牧名氏からは、SPring-8-IIの輝度が現状の100倍になることから実質的なマシンタイムの増加に伴い、そのマシンタイム利用は従来の学術利用に加えて、半導体戦略や国土強靱化を行うための戦略的利用や更なる産業利用が行うことができるため、利用の類型化を明確化し、従来とは一線を画す利用制度構築が可能となることをご説明いただきました。またこの制度は固定化されるものではなく、放射光利用ユーザーの意見を反映し、より良いものとする、とも述べられました。

SPRUC 藤原会長よりSPring-8-IIの実現が社会課題解決に大きな役割を果たすとの意見が示され、また今年度から試験的利用が始まっているNanoTerasu相互利用による相乗効果についても報告がありました。議論の中でSPring-8-IIの利用に関してだけでなく、NanoTerasuとの協同的利用に関しても話題が及びました。一つの課題申請で複数(SPring-8-IIとNanoTerasu)のビームラインを利用できるかについては、ユーザーの要望がどれくらいあるかにもよるが、利用できる可能性があることを池本夕佳氏に回答を

いただきました。

本パネルディスカッションは今後のSPring-8-IIの実現による放射光分野の発展を期待させるものとなりました。

## 6. セッションV SDGs 実現に向けた放射光・FEL-2

セッションVは、SDGs 実現を志向した各種の材料の分析と応用について、九州大学の山内美穂氏(写真16)、小椎尾謙氏(写真17)、戸田裕之氏(写真18)、大阪大学の白土優氏(写真19)の4名のご講演者に講演を依頼しました。

山内美穂氏からは、銅触媒による電解CO<sub>2</sub>還元によるメタンやエチレンへの選択的な変換の発表がありました。*In-situ*XAFS測定を用いて、銅触媒の酸化状態や構造の違いがメタンやエチレンなど生成物の選択性に影響を与えているという結果が示されました。

小椎尾謙氏からは、小角散乱を用いたブロック共重合体のマイクロ構造とその変化についての発表がありました。ポリマーの一軸伸長、二軸伸長によるアフィン変形からせん断に至る過程における、bcc格子状のポリスチレンドメインの構造変化の分析結果が示されました。

戸田裕之氏からは、X線トモグラフィ、X線CT、XRD スキャンを組み合わせた機械工学分野における金属材料の相当塑性歪分布の分析などについて講演がありました。アルミニウムと鉄に関して、せん断の歪や結晶粒界のひずみの可視化や、析出物のナノ粒子に水素がたまる機構などが示されました。

白土優氏からは、界面反強磁性スピンの電界制御と放射光ナノ磁気計測について発表がありました。X線磁気線二色性(X-ray magnetic linear dichroism; XMLD)を用い、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの反強磁性体の構造変化や磁気結合を観測した結果が示されました。



写真 20 東京大学  
岡田真人氏



写真 21 東京大学  
青西亨氏

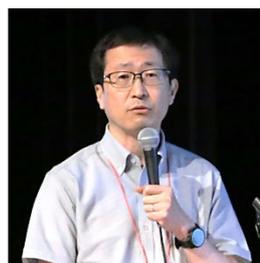


写真 22 理研  
初井宇記氏

## 7. セッション VI データサイエンスを用いた最先端計測解析

セッション VI では、放射光でもデータ駆動科学が浸透してきた中、より実践的な研究例紹介に焦点を当て、熊本大学の水牧仁一朗氏（写真 15）、東京大学の岡田真人氏（写真 20）、青西亨氏（写真 21）、理研の初井宇記氏（写真 22）による講演が行われました。冒頭、水牧仁一朗氏よりイントロダクションとして、放射光計測におけるデータ駆動科学との連携の重要性を踏まえて本セッションの趣旨説明が行われました。

引き続き岡田真人氏より「ベイズ計測と SPring-8 全ビームラインベイズ化計画」と題した講演が行われました。統計学のベイズ推論を計測科学向けにコンパクトに再構成した「ベイズ計測」についての紹介から始まり、このベイズ計測を実際に SPring-8 で取得した計測データに適用した、スペクトル分解や計測限界の評価などの解析例の説明がありました。今後、計測のポストプロセスとしての解析ではなく、「計測と解析の双方向相互利用」を SPring-8/JASRI で普及・促進し、日本の先端量子ビームにおける国際的アドバンテージを維持すべきとの提言がありました。

青西亨氏からは、「キルヒホッフマルコフ確率場によるリチウムイオン電池の充放電反応過程の解析」と題した講演が行われました。リチウムイオン電池のモデル電極デバイスの 2 次元 X 線吸収スペクトルマッピングデータを入力データとして、ニューラルネットワークと等価回路モデルを基にしたマルコフ確率場のエネルギー関数最小化により、電極の内部状態を推定できます。この推定結果から充放電反応中の時空間的に不均一なイオン輸送の振る舞いを説明し、合材電極内で反応領域が変調するメカニズムを明らかにするという取り組みについて解説がありました。

SPring-8-II にむけた空間 3 次元的なイメージング解析への期待についても言及がありました。

初井宇記氏からは、「SPring-8 データセンターの運用状況について」と題した講演が行われました。SPring-8 での計測に伴う出力データが飛躍的に増大していることを受けて、「ビームライン近傍での大規模データの圧縮・前処理」、「SPring-8 内のオンサイトデータセンターの設置（実験中のデータ可視化・データ格納・データ流通基盤に特化）」、「量子ビーム施設間のデータ基盤の共通化」を柱に整備を進めていることが述べられました。データ増大には多数試料分析と少数試料の大量高精細分析の異なる方向性があり、後者の解決策については、具体的に BL35XU のガンマ線準弾性散乱測定や BL29XU の広視野 CT など、テラバイト級のデータ圧縮における SPring-8 データセンターの運用例について紹介がありました。前者については、メタデータ付与やデータ共有に活用できる Data Flow Service を試験運用しているとの説明がありました。また、Web ブラウザから手軽に計算を回せる Open On Demand も試験中ということでした。

各量子ビーム施設や富岳、HPCI、国立情報学研究所などもつないだ施設横断的なデータインフラの実現を目指す構想についても報告がありました。

## 8. セッション VII ポスターセッション

ポスターセッションは、中ホールにおいて行われました（写真 23）。今年度の発表件数は、SPRUC 研究会 37 件、共用ビームライン 13 件、専用ビームライン 8 件、理研ビームライン 12 件、施設 4 件、大学院生提案型課題（長期型）6 件の合計 80 件でした。昨年に引き続き対面での開催でした。セッションの最初から最後まで会場は盛況であり、非常に活発な議論が行われていました。

## 9. セッション VIII SPRUC 総会・YSA 授賞式・受賞講演

SPRUC 総会、Young Scientist Award (YSA) 授賞式、受賞講演が行われました。総会では、まず、藤原会長による挨拶があり、続けて、組織体制、行事、予算、研究会での活動状況についての報告がありました。次に、SPRUC で SPring-8-II の早期実現要望を取りまとめ、要望書を文部科学省、理研、JASRI へ提出したことが報告されました。要望書は SPRUC のホームページにて公開予定です。さらに、SPRUC と NanoTerasu ユーザー共同体の連携(融合)について、背景・検討事項についての説明後、審議が行われ、総会による承認が得られました。最後に、今後の SPRUC の活動予定が示されました。

続いて、13<sup>th</sup> SPRUC2024 Young Scientist Award 授賞式が行われました。冒頭、中川敦史選考委員長より、9名の応募があり、今年度は特に優秀な応募者が多かったため例年より多い計3名を受賞者としたことと、それぞれの受賞理由の紹介がありました。また、多様性の観点から、女性研究者や企業在籍の研究者などの方々の積極的な応募を歓迎することにも言及がありました。授賞式の後、受賞者である高場圭章氏、



写真 23 ポスターセッション



写真 24 13<sup>th</sup>YSA 授賞式

橋川祥史氏、西久保匠氏による受賞講演が行われました(写真24)。

高場圭章氏は、「Two-way approach for sub-atomic molecular structure visualization with X-ray and electron crystallography」について発表しました。XFEL と電子顕微鏡を組み合わせ、それぞれから得られる電子構造情報の違いを活かして低分子結晶の精密構造解析を行う分析手法を確立した研究内容について講演を行いました。

橋川祥史氏は、「放射光振動分光によるナノ閉じ込め効果の検証」について発表しました。放射光赤外分光により、フラーレンに包接された二酸化炭素分子における分子振動の摂動や回転運動の抑制、ホスト材のフラーレンの機能変調を明らかにした研究内容についての講演を行いました。

西久保匠氏は、「放射光を駆使した負熱膨張物質の多角的評価・物質設計」について発表しました。相転移型の負熱膨張率を示す物質について、SPring-8の複数のビームラインを活用した電子状態と構造のマルチスケール多角的評価から、そのメカニズムを明らかにし、安定した負熱膨張特性を持つ物質のデザインを実現したという研究内容についての講演を行いました。

## 10. セッション IX クロージング

クロージングセッションでは、最初に理研の石川哲也センター長より(写真25)総括がありました。放射光をめぐる環境が変化しており、放射光実験のノンエキスパートの参入が著しい昨今、本シンポジウムの形式にも改革が必要ではないかという提案がなされました。今後 SPring-8-II に向けて、より本質的な計測の追及とデータサイエンスの活用の両極を念頭に置いて、どんな新しいサイエンスができるかをよく検討していく必要があるというご意見をいただきました。



写真 25 理研 石川哲也センター長

また、機能補完の観点から NanoTerasu 以外にも国内の様々な放射光施設との連携についても期待を寄せられました。

次に、主催機関を代表して SPRUC 藤原会長より閉会の挨拶がありました。会長自身の全体の感想が述べられ、実行委員を始めとした関係者、参加者へのお礼の言葉がありました。

会議のプログラムの詳細とアブストラクトは下記 Web ページにて公開されています。

<http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2024/sp8sympo2024/>

## 永村 直佳 NAGAMURA Naoka

(国研) 物質・材料研究機構  
マテリアル基盤研究センター 光電子分光グループ  
〒305-0003 茨城県つくば市桜 3-13  
TEL : 0298-59-2627  
e-mail : NAGAMURA.Naoka@nims.go.jp

## 竹内 晃久 TAKEUCHI Akihisa

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 散乱・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 : take@spring8.or.jp

## 杉本 邦久 SUGIMOTO Kunihisa

近畿大学  
理工学部 理学科 化学コース  
〒577-8502 大阪府東大阪市小若江 3-4-1  
TEL : 06-4307-5099  
e-mail : sugimoto@chem.kindai.ac.jp

## 水牧 仁一朗 MIZUMAKI Jinichiro

熊本大学  
理学部 理学科 物理学コース  
〒860-8555 熊本県中央区黒髪 2-39-1  
TEL : 096-342-3066(709)  
e-mail : mizumaki@kumamoto-u.ac.jp

## 徳永 信 TOKUNAGA Makoto

九州大学  
理学研究院 化学部門  
〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744  
TEL : 092-802-4141  
e-mail : mtok@chem.kyushu-univ.jp

## 第 13 回 X 線非弾性散乱国際会議 IXS2024 会議報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室  
萬條 太駿、永澤 延元

## 1. はじめに

第 13 回 X 線非弾性散乱に関する国際会議<sup>[1]</sup> (International Conference on Inelastic X-ray Scattering) が姫路市文化コンベンションセンター アクリエひめじで 2024 年 9 月 8 日から 13 日の日程で開催された。本会議は 2 年毎の開催であり、前回の IXS2022 についても利用者情報誌に会議報告が投稿されている<sup>[2]</sup>。前回はイギリスで開催され、その時は Diamond Light Source がホストを務めた。先の会議報告<sup>[2]</sup>によると、この会議は放射光施設が主催する流れとなっているらしく、今回は SPring-8 がホストとなり、RIKEN の Alfred Q.R. Baron 氏を議長 (写真 1) に、JASRI の Yoshiharu Sakurai 氏を共同議長とし、Local Organizing Committee (LOC) のメンバーも SPring-8 内の職員で構成された。会場のアクリエひめじは 2021 年 9 月に完成した比較的新しい複合施設であり、姫路駅から徒歩 10 分程度の距離にある。本施設にはコンサートホールや大型展示室、会議室を有しており、本会議は 4 階の一区画を借りて行われた。なお、両筆者は LOC のメンバーとして会議の運営に携わっており、運営視点からの内容も含め報告する。



写真 1 Welcome Party にてスピーチを行う Alfred Q.R. Baron 議長。

## 2. 講演概要

本会議の講演数は、Plenary Presentations が 4 件、Invited Presentations が 30 件、Invited Instrumentation Presentations が 16 件、Short Oral Presentations が 9 件、Poster Presentations が 25 件だった。なお、Invited Instrumentation Presentations の大半は Poster Presentations にも参加しており、総ポスター件数は  $25 + 14 = 39$  件であった。参加登録者の国内外比率を見ると全参加者 104 名の内、国内研究者は 30 名であり全体の約 3 割を占めていた。

1 つのセッションはおおよそ 1.5 時間程度で、その都度 Coffee Break や Lunch Break などを挟む。各休憩には昼食や軽食が用意されており、Lunch Break 中でも会場に留まり熱い議論を続ける参加者が見られた。朝食、Lunch Break、Coffee Break に提供する飲食物は光都に店を構える欧風家庭料理 FUKUTEI にケータリングをお願いした。彼らの料理が好評だっただけでなく、会場に植物を設置していただいたことで見た目にも華やかな会議となっていた。

表 1 口頭発表についてのトピック一覧 (上) と Plenary Talk とその講演者 (下)。表中で用いられている略称は以下の通り。RIXS: Resonant Inelastic X-ray Scattering, NRS: Nuclear Resonant Scattering, TR: Time-resolved。

RIXS & Oxides
Cuprates, Cuprates & Nickelates
RIXS & Kagome Metals
Hard X-ray RIXS & NRS
RIXS & Raman
Liquids and Battery Materials
High Pressure & Hard X-ray ~meV Beamlines
Chirality and Interference & TR Instruments
Strongly Correlated Theory & Furka
New / Revitalized Methods
Squeezing the most out of RIXS spectra of correlated materials / Giacomo GHIRINGHELLI
Resonant inelastic X-ray scattering of transition metal oxides / Frank De GROOT
RIXS in strongly correlated electron systems by model computational approach / Takami TOHYAMA
Solar system evolution, Earth's core composition, and inelastic x-rays scattering / Kei HIROSE

この会議の主なコンテンツは時流と共に変化しているようで、昨今その殆どが共鳴非弾性散乱 (Resonant Inelastic X-ray Scattering, RIXS)、特に軟 X 線を用いた RIXS についての発表であるのが一般的だという。表 1 に口頭発表における各セッションのトピック名を示す。表 1 には Plenary Talk の一覧も掲載しているが、4 件中 3 件が RIXS 関連であった。筆者はあまり RIXS には明るくなかったのだが、会議を通して RIXS の原理や研究対象となる現象や目的を具体例とともに学ぶことができた。ビギナーの筆者としては、適用範囲が非常に広い測定手法であるという印象を受け、その結果として、RIXS の講演が多かったのだろうと納得がいった。一方で、電子励起、スピン (マグノン) 励起など多様な励起が検出されるため、目的の物性を調べるためには注意深くデータを解釈する必要があると感じた。

### 3. 主な講演内容と感想

多くの興味深い講演があったが、その中から筆者が注目した講演をピックアップして紹介する。

1 つ目は A\*STAR の Jian-Rui SOH 氏による「Persistent vibronic dynamics despite spin-orbital-lattice order of  $5d^1$  ions decorated on a frustrated fcc lattice」である。これはダブルペロブスカイト構造を持つ  $\text{Ba}_2\text{MgReO}_6$  で、静的に長距離秩序を持っていると思われていた電子の自由度が実は動的に揺らぎながら存在していることを実験と理論の両面から検証したという内容である。この物質は幾何学的フラストレーションの舞台となる結晶構造を持ち、そこに軌道やスピンの複合自由度を持つ  $5d$  電子が 1 つ存在することで、多極子秩序や磁気秩序が予測されている系である。講演者はまず共鳴「弾性」X 線散乱 (Resonant Elastic X-ray Scattering, REXS) により、本系において軌道やスピン等が長距離秩序していることを確認した。その後、理論計算によりこの秩序がサイト上のヤーンテラー効果とサイト間の電子的、磁氣的相互作用によってのみ安定化されていることを見出した。しかし、その後の共鳴「非弾性」散乱実験 (RIXS) により電子と格子の自由度が動的なままであることを示す結果を得た。そこで、再び理論計算に戻り、動的な揺らぎの起源を探った結果、 $5d$  電子系特有の強いスピン-軌道相互作用が原因であるという結論に至った。実験と理論を横断した研究は多くあるが、本研究はそれを高いレベルで行っていると感じた。また、このような動的揺らぎはこの系特有のものなの

か、それとも近い構造や組成の物質でも同様に起こる現象なのか気がなるところである。筆者が調べた限り報告は見つからなかったが、格子が揺らいでいるのであれば SPring-8 の「非」共鳴の IXS ビームラインでフォノンの様子を見ても面白いのではないだろうか。

2 つ目に Paul Scherrer Institute の Hiroki UEDA 氏の発表を紹介する。タイトルは「Chiral phonons probed by X-rays」である。カイラリティは近年幅広い分野で注目されている概念で、ある状態がその鏡像と一致しないことを指す。講演者はカイラルフォノンに注目して研究を行っており、その定義から講演は始まった。筆者も厳密なことは知らなかったが、原子が右巻き、左巻き回転するフォノンモードが回転軸に沿った方向に伝播するものをカイラルフォノンというようで、単なる右巻き、左巻き回転モードで伝播しないものとは区別すべきようだ。いくつかの物質でカイラルフォノンは報告されているが、この定義に従うと、カイラルフォノンは  $\alpha\text{-HgS}$  で報告されたものが最初になる。 $\alpha\text{-HgS}$  の報告では、カイラルフォノンは角運動量を持つことが示唆されており、講演者はこの角運動量に注目し、円偏光 X 線を用いた RIXS によってカイラルフォノンの存在を実証する研究を行った。石英 ( $\alpha\text{-quartz}$ ) を対象として円偏光 X 線を用いて RIXS 実験を行ったところ、円偏光 X 線によりカイラルフォノンが逆格子空間内で観測されることを確認した。これは円偏光 X 線を用いることで、原理的にはカイラルフォノンの分散が測定可能であることを示す。筆者は本研究によって、新たな研究分野の開拓やその先のフォノンクスといった分野への新たな指針が示されたように感じ、今後の発展が非常に楽しみである。

最後にポスター発表を 1 件紹介する。ポスター発表にも興味深い発表が多く見られ、コアタイムになると多くの参加者が会場に集まり、盛り上がりを見せていた。その中で、National Synchrotron Light Source II の Taehun KIM 氏による「Electrical and strain control of spin-excitations in multiferroic  $\text{BiFeO}_3$ 」を紹介する。 $\text{BiFeO}_3$  は反強磁性と強誘電性が共存するマルチフェロイック物質として知られている。マルチフェロイック物質の特徴は、交差相関である。通常物質では電場と電気分極、磁場と磁化のように外場と応答が一对一对応するが、マルチフェロイック物質では、例えば電場を加えることで磁化が生まれるといった現象が見られ、これを交差相関という。この性質だけでも興味深い物質群であるが、 $\text{BiFeO}_3$  は室温でも反

強磁性と強誘電性が発現することから、応用分野も含めて広く興味を持たれており、多くの研究がなされている。しかし、これまでに実験技術がなかったために、スピン励起（マグノン）について詳しく調べられていなかったようだ。発表者は、in-situでの電場印加やエピタキシャル歪みを利用して、RIXS 実験でマグノンの調査を行った。その結果、マグノンの性質が電場や歪みによって変化している様子を観測することに成功した。また、再現性があることも確認しており、電場や歪みによって  $\text{BiFeO}_3$  の磁氣的性質の制御可能性を示唆しただけでなく、NSLS-II では RIXS によるその場観察の技術を提供しているという視点からも非常に興味深い発表であった。

ここでは、主に物質を対象として非弾性散乱実験を行った研究を紹介したが、このような発表以外にも SPring-8 や NanoTerasu をはじめ、APS や ESRF 等の世界中の放射光施設にある非弾性散乱実験等のビームラインの紹介も随所で行われた。会議の概要で述べた通り、これらの発表は講演後の質疑応答の時間がとられず、その代わりにポスター発表も行う形式であった。各ビームラインの現状を知り、また疑問に思ったことを気軽に質問できる形式となっており、非常に良かったと思う。また、ポスター会場にはスポンサーの企業ブースも設けられ、各種実験装置の紹介が行われており、参加者が熱心に説明を聞く様子も見られた。

#### 4. その他

ここでは Social Program について報告する。会議初日には Hotel Monterey Himeji で Welcome Party が行われ、多くの方が立食しながら談笑する様子が見られた。Excursion では書寫山圓教寺の観光ツアーが

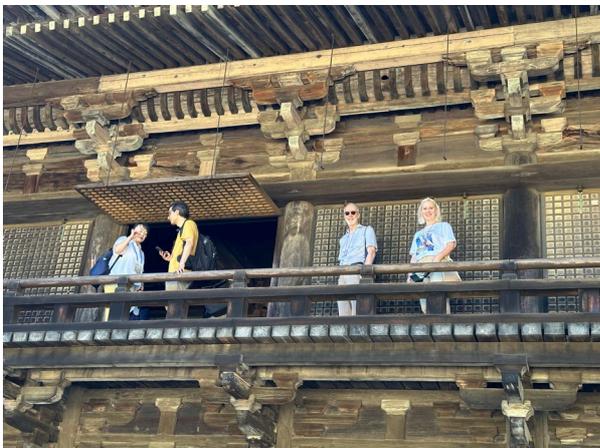


写真2 Excursionにて、会議参加者が圓教寺を観光している様子。



写真3 SPring-8 ツアー中の SACLA 見学の様子。

実施された。圓教寺は書寫山を約 250 m 登った場所に位置するのだが、麓までバスで進んだ後の行程として、ロープウェイを使うルートと東坂を登るハイキングルートの2つを用意していた。当日は 34°C の真夏日であったにもかかわらず、4 割程度の参加者がハイキングルートを選択していた。彼らは想定を超えるハイスピードで登りきり、ガイドたちを驚かせていた。海外にはハイキングが好きな人が多いとは聞いていたが、それがよく現れていたように思う。一方、一足先にロープウェイで圓教寺に到着した参加者たちは、ガイドの説明とともに、摩尼殿や食堂（じきどう）、大講堂等の観光された（写真2）。お守りを購入する参加者や御朱印をいただく参加者もあり、楽しんでいる様子であった。しかし、ハイキングルートを選択した登山者たちが圓教寺を観光しようとした矢先、下山予定時刻に雷雲が来るという予報からロープウェイが運行停止する危険性があると連絡を受け、予定より1時間近くも早く終了せざるを得なくなったのは非常に残念である。Conference dinner では灘菊酒造にて、すき焼きを始めとした和食やお酒を楽しんだ。筆者と同じテーブルの皆様は筆者の食べる様子を観察してから料理に手を付けたり、日本酒の杓の使い方を聞いてからそれを他テーブルにレクチャーされていたりと、日本文化を楽しんでいる様子が見られた。また、食事前には日本酒の試飲が可能であり、蔵内には飲み比べながらそれぞれの感想を言い合う様子があった。最終日の Closing Session の後、午後から SPring-8 見学ツアーを実施し、SACLA 加速器と SPring-8 で特に IXS に関連の深い 5 ビームラインを見学して回った（写真3）。

Conference dinner 中に次回 IXS2026 の開催について発表があり、次回は米国 APS がホストとなり、

議長は Ayman Said 氏が務める。

今回は両筆者にとって LOC メンバーとして初めて運営に携わった国際会議であったが、無事に終了したことに安堵している。参加者とは SPring-8 ツアー道中のバスなどで話す機会もあり、そこで多くの参加者から良い会議だったと言っただけは大変嬉しく思う。LOC メンバーのキックオフミーティングがあつてから約 9 か月は会議運営にも多くの時間を割いたが、運営について多くのことを学ぶ良い機会であった。

最後に、本会議は理研 SPring-8 センター、JASRI、Diamond といった研究機関や、DECTRIS、BESTEC、NIKI/HUBER、JTEC、JEPICO、神津精機といった企業スポンサーからの惜しめないサポートを受けて実施された。また、IUCr からは一部の参加者に対しての旅費をサポートしていただいた。これらスポンサーにはもちろんのこと、Social Program を充実させるために快く SPring-8/SACLA 見学ツアーでご説明していただいた SPring-8、SACLA の研究者の皆様、各 Social Program で数多くの要望に快く応えてくださった皆様、および会議の円滑な進行にご協力いただいた全ての方に感謝の意を示し、会議報告とする。

### 参考文献

- [ 1 ] <https://ixs2024.jasri.jp>
- [ 2 ] H. Fukui: *SPring-8/SACLA Information* **27** (2022) 354.

### 萬條 太駿 MANJO Taishun

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0833  
e-mail : manjo.taishun@spring8.or.jp

### 永澤 延元 NAGASAWA Nobumoto

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 精密分光推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0833  
e-mail : nagasawa@spring8.or.jp

## 第 21 回 SPring-8 産業利用報告会

公益財団法人高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター  
産業利用・産学連携推進室 上原 康

## 1. はじめに

サンビーム共同体、兵庫県、(株)豊田中央研究所、高輝度光科学研究センター (JASRI) および SPring-8 利用推進協議会 (推進協) の 5 団体の共催で、第 21 回 SPring-8 産業利用報告会が 9 月 10 日、11 日に科学技術館 (東京・北の丸公園) において開催された。

本報告会は 2004 年、専用ビームライン (BL) としての利用が本格化していた産業用専用ビームライン建設利用共同体 (旧サンビーム) と兵庫県および共用 BL での産業利用支援を加速し始めた JASRI の 3 者が、それぞれの利用成果を報告する会を合同開催する形で始まった。2010 年の第 7 回は、その前年より専用 BL の運用を開始した豊田中央研究所が主催に加わり、また第 12 回からはそれまで協賛団体であった推進協も主催側となって回を重ねてきた。報告会の目的とするところは開始当初から揺らぐことなく、1) 産業分野における放射光利用の有用性の広報、2) SPring-8 の産業分野利用者の相互交流と情報交換の促進にある。今回は、SPring-8-II 計画の本格始動を間近に控え、文部科学省からの基調講演および「SPring-8-II への産業界からの期待」に関する 4 件の企画講演を設けるといったプログラムの下、5 年ぶりの関東での開催となった。2 日間の参加者数は 216 名で過去の関東開催回の参加者数と比較すると少なかったが、口



写真 1 口頭発表会場の様子

頭発表、ポスター発表共に活発な交流が行われ、報告会の開催目的に叶ったものになったと考える。

## 2. 口頭発表・1 日目

1 日目、2 日目共に、口頭発表は地下 2 階の「サイエンスホール」にて行われた。口頭発表会場の様子は写真 1 に示す通りで、年季を感じさせるものではあったが、参加者に対する席数や OA 環境など、本報告会に適した会場であった。

今回は前節にも述べたように、SPring-8-II 計画に対する産業界からの期待度を示すことを目的に、冒頭に企画講演を設けた。主催団体を代表して JASRI・雨宮理事長からの開会挨拶 (セッション 1) の後、文部科学省の高谷浩樹・大臣官房審議官から「イノベーションの創造拠点としての SPring-8」というタイトルで講演があった (セッション 2: 企画講演 1、写真 2)。日本からの学術論文発表数やトップ 10 論文数が世界ランキングで相対順位が低下する中、異分野融合の場となる先端科学施設が発信する成果、特に産業面での成果発信に対する期待が高いことを力説された。

続くセッション 3 (企画公演 2) では、日本製鉄 (株) の河野氏、住友電気工業 (株) の宮永氏、(株) 豊田中央研究所の長井氏、パナソニックエナジー (株) の浅利氏といった各社 R&D 部門の責任者に講演をお願い



写真 2 文部科学省高谷審議官の講演

し、自社における放射光利用の現状と SPring-8-II への期待について語っていただいた。4社はそれぞれ鉄鋼、電子材料、自動車、電池の製造或いは研究会社として日本を代表する企業であり、講演では自社製品やそれらを製造する上での環境負荷に関する取り組みも含め、放射光利用の現状とアップグレードに対する期待が示された。このように両企画講演では文部科学省、企業双方からの SPring-8-II への期待が具体的にアピールされ、SPring-8-II 計画実現に向けての機運を醸成する格好の場となった。

休憩を挟んでのセッション4 (JASRI 共用 BL 実施課題報告会) では、JASRI・佐藤氏から今年度より取り組みを始めた新たな利用支援体制についての説明の後、利用研究に係る5件の発表が行われた。日本特殊陶業 (株) の金子氏からは、リチウム固体電池用として開発された固体電解質材料の状態を BL14B2 での XANES 測定を始め複数の量子ビーム施設を用いて解析し、ストロンチウム (Sr) 添加による伝導率向上のメカニズムについて考察した結果が紹介された。続く住友ゴム工業 (株) の金子氏は、自動車タイヤ用ゴムの実環境下での劣化要因究明のため、一般には真空中での測定が必須となる軽元素の X 線吸収スペクトルと対応が良いとされる BL39XU での大気中での X 線ラマン散乱分光を適用した実験結果を紹介した。X 線ラマン散乱に関し、会場の理研・矢橋氏から「SPring-8-II では輝度向上により測定時間の短縮や空間分解能の高い測定が期待できるが、同時に試料の放射線損傷には気を付けてほしい」とのコメントがあった。続く大阪大学の佐伯氏は、自研究室に機械学習と自動測定を組み合わせた高効率有機太陽電池材料の探索装置を開発し、そこで見出された高い光変換効率を示す Cs-Bi-Sb-I 系材料の結晶性や配向性が高いことを BL13XU での微小角入射 X 線回折測定により確認した。SAGA-LS の馬込氏は、佐賀県林業試験場が開発した新品種「サガンスギ」が早い成長速度の割に木材強度が高い要因を明らかにするため、BL19B2 での小角 X 線散乱測定により木材の基本骨格を構成するマイクロフィブリル (Cellulose Micro-Fibril, CMF) の配向度を評価し、サガンスギを含む複数品種において「木材の曲げヤング率と CMF の配向度 (Micro-Fibril Angle, MFA) との間に負の相関、CMF 体積と

の間に正の相関がある」という過去の研究例が再現され、サガンスギは MFA が小さく CMF 体積が大きいといった高強度木材の特徴を遺伝的に継承していることを示した。本セッションの最後は酪農大の金田氏からの報告で、チーズ製造の初期段階である凝乳挙動を BL19B2 の極小角 X 線散乱測定で時分割的に評価し、乳中のカゼインミセルが凝乳酵素の添加後数十分後には見かけ半径が初期 (50~60 nm) の数倍に大きくなるといった結果が紹介された。今回の5件の利用報告はいずれも、放射光による評価結果と他の特性や物性との関係性をうまく説明しており、放射光利用がそれぞれの研究の中で根付いていることを改めて感じることができた。

### 3. 技術交流会

セッション4の終了後、技術交流会 (懇親会) が科学技術館・地下1階の「カフェ・クルーズ」にて開催された。報告会参加者数の半数を超える117名が参加し、議論と懇親を深めた (写真3)。本報告会の特徴は、セッション4の報告内容からも分かるように異分野のオンパレードであり、交流会の場においてそのような異分野間の会話が行われることは更なる放射光利用の広がりを期待させるものと考えられる。

### 4. ポスター発表

ポスター発表は、2日目の昼食休憩を挟んだ11時25分からと13時20分からの2つのコアタイムを設けて、科学技術館1階の「イベントホール2号館」にて行われた (写真4)。主催団体別にはサンビーム9件、兵庫県13件、JASRI 19件、豊田中央研究所7件の他に、協賛団体である FSBL から1件、他施設や推進



写真3 技術交流会の様子



写真 4 ポスター発表会場の様子

協等の紹介ポスターも合わせて総数 57 件の発表がなされた。発表件数は、第 16 回 (2019 年) と比較すると半数以下で、専用 BL の利用縮小と企業の成果専有利用の増加が主な要因と考えられる。件数は多くなかったが、各ポスター前には人だかりができて熱心な議論が続いた。ポスター発表者の一人からは「1 時間喋り続けたので疲れた」との感想が聞かれた。意見交換が進み新たな研究開発の発想が生まれたことを期待したい。

## 5. 口頭発表・2 日目

セッション 5 (サンビーム研究発表会) では、組織の現状報告と 2 件の技術発表があった。旧サンビーム共同体は今年 3 月で専用 BL の運用を終了し、現在は元の構成 13 社の内の 6 社が、理研に移管された BL16XU/B2 の外部利用でビームタイム枠を確保して利用を継続している。現在同組織の代表を務める川崎重工業 (株) の三輪氏から、上記の状況に加えて SPring-8-II 計画に対する意気込みが示された。個別の利用研究成果として、まず住友電気工業 (株) の徳田氏から、電線の高強度化を目指した研究で銅の引張試験における局所変形と結晶中の応力分布を BL16XU での「その場 XRD マッピング」により調べ、破断直前の局所変形領域において応力が集中し破断後に解放されたという結果が紹介された。(株) 豊田中央研究所の高橋氏は、月面有人と圧ローバ用トランスミッション開発の中で、真空中での摩擦試験後における摺動面の状態を BL16XU の HAXPES により調べ、摩擦抑制が認められた潤滑油を用いると油に添加された硫黄により表面に硫化鉄が生成されているという結果を示した。

セッション 6 (豊田 BL 研究発表会) では BL33XU を用いた 2 件の報告がなされた。田島氏は、インフラ材料として重要なセメントの固化過程を明らかにするため、結像型 X 線顕微鏡光学系を用いて水和時間が異なるセメントの X 線ナノ CT 解析を行い、水和時間が長くなると水酸化物や繊維状非晶質物質が析出する様子を直接観察できることを示した。宇山氏は、同社が開発した貴金属を用いない CO<sub>2</sub>還元・O<sub>2</sub>生成触媒の触媒反応機構を明らかにするため、オペランド XAS・XRD 計測系を構築して実験を行い、触媒反応中の CO<sub>2</sub>還元を担う 2 種類の Co (コバルト) 錯体の Co 周りの局所構造、O<sub>2</sub>生成を担う水酸化鉄の結晶性に関する知見が得られた。

ポスター発表時間後のセッション 7 (兵庫県成果報告会) では、県の産業利用への取り組みの説明と 4 件の研究報告がなされた。まず兵庫県立大の原田氏から、SPring-8 の兵庫県 BL (BL24XU/BL08B2) は今年度末で専用 BL としての運用を終了しサンビームと同様に理研 BL の部分利用となる予定であること、構内の県立大放射光施設ニュースバルは半導体リソグラフィと軟 X 線分光の 2 本立てで産業界に貢献していることが説明された。利用研究の最初はヒガシマル醤油 (株) の眞岸氏から、醤油の醸造過程における原料分解の可視化についての報告があった。諸味の成熟過程の BL24XU/BL08B2 での X 線 CT 観察から、麹菌が入り込んだ箇所で大豆の分解が進行していると考えられる像が取得された。(株) 東レリサーチセンターの中田氏は、生体適合性ポリマーで重要な役割を担うとされる表面の中間水と呼ばれる水の状態を冷却から昇温下での BL08B2 での小角/広角 X 線散乱測定により調べ、中間水が低温結晶化することを捉えることに

成功した。休憩を挟んだ後半はニュースバルを利用した研究例で、県立大・原田氏は半導体の EUV リソグラフィ開発においてニュースバルがそれに用いられる各種材料の多角的評価に貢献してきたことを概説し、Beyond EUV への取り組みについても説明した。最後に同大学・神田氏から、DLC（ダイヤモンドライクカーボン）薄膜の研究開発において、膜質評価法の ISO 規格策定にニュースバルでの評価結果が貢献したこと、また最近の第 3 元素含有 DLC 膜の構造解析もニュースバルで研究が進んでいることが紹介された。

セッション 8（講評と閉会挨拶）では、理研・石川センター長による講評があり、『産業利用の広がりが年を追うごとに進化しており特に今年は「第 1 次産業」での利用成果が目立ったこと』、『SPring-8-II 計画が本格化し今は“見えない”ものが“見える”ようになることが期待される中で“見えた”先を考えてほしい』、といったコメントがあった。最後の JASRI・山口常務理事による閉会挨拶で、本報告会開始当時と比べて SPring-8 における産業利用の利用形態や主催団体の SPring-8 への関わり方が大きく変化しており、反省会等を通して次年度の運営方法を考えていきたい旨の告知を以って全プログラムの終了となった。

## 6. おわりに

初日開始前に 1 階ロビーで来場者を案内していたところ、来着される方はほぼ皆同様にげんなりとした表情で一言「あつい…」。酷なまでの残暑厳しい 2 日間だったが、本年も産業利用報告会を盛会裏に終えることができた。準備段階から当日の運営、さらに事後のとりまとめ等、主催団体の事務局のご尽力と後援団体の関係者各位のご協力に、この場を借りてお礼申し上げます。

閉会挨拶で山口常務理事が述べられたように、本報告会の運営も変革が迫られている。世界にも類を見ない大規模な放射光産業利用の発表の場を、来年以降どのように発展させるか、一緒に考えていきたい。

上原 康 UEHARA Yasushi

（公財）高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-2706  
e-mail : yasushi.uehara@spring8.or.jp

# 第10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

放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室

筒井 智嗣

## 1. はじめに

9月12日に東京・秋葉原のUDXカンファレンス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シンポジウム」について報告する。本シンポジウムは、放射光施設 SPring-8 及び NanoTerasu の登録機関である JASRI、中性子施設 J-PARC MLF の登録機関である CROSS と富岳をはじめとする大型計算機に関する登録機関である RIST の3者が主催者として開催された。2014年以降、コロナ禍の2020年を除いて毎年開催し、今回で10回目の開催となった。

今回のシンポジウムでは、高圧下・高圧物性の新展開をテーマに8名の講師の先生方に講演を行っていただいた。当日のプログラムは以下の通りである。

### 第1セッション：施設と登録機関の現状

座長：杉本 正吾 (RIST)

○開会挨拶 雨宮 慶幸 (JASRI)

横溝 英明 (CROSS)

野田 浩絵 (文部科学省)

○施設と登録機関の紹介

SPring-8・NanoTerasu/JASRI 木村 滋 (JASRI)

J-PARC/CROSS 松浦 直人 (CROSS)

「富岳」、HPCL/RIST 吉澤 香奈子 (RIST)

### 第2セッション：高圧誘起超伝導の現状

座長：吉澤 香奈子 (RIST)

「高圧誘起超伝導体 MnP における磁気構造の圧力依存性の研究」  
松田 雅昌 (オークリッジ国立研究所)

「高圧力を用いた超伝導の研究」 清水 克哉 (大阪大学)

「シミュレーションから見えてきた硫化水素高圧相 H3S におけ

る電子状態の特異性」

明石 遼介 (量子科学技術研究開発機構)

### 第3セッション：高圧下での物質合成とその評価

座長：上床 美也 (CROSS)

「LPSO 型 Mg 合金の高圧下での相分離とその熱力学的解釈」

松下 正史 (愛媛大学)

「亜臨界水によるケミカルリサイクルでの中性子利用」

中田 克 (東レリサーチセンター)

### 第4セッション：地球惑星科学への応用

座長：肥後 祐司 (JASRI)

「第一原理計算による地球惑星内部における含水物質の研究」

土屋 旬 (愛媛大学)

「地震発生場の高温高圧環境下における岩石破壊プロセス」

高エネルギー・高フラックス X 線を用いたその場観察実験」

大内 智博 (愛媛大学)

・高圧中性子回折実験の最近の発展と水多形研究への応用

小松 一生 (東京大学)

○講演終了の挨拶 田島 保英 (RIST)

(オンライン参加者はここで終了)

### 第5セッション：講演者との意見交換・利用相談・情報交換・ポスター展示 (会場のみ)

座長：吉見 一慶 (東大物性研)

ポスター発表

○DxMT、ISSP

・文部科学省データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト

(DxMT) データ連携部会中核機関の取り組み

・物性研究所 共同利用スパコン関連事業の取り組み

## ○CROSS

- ・ PLANET の概要と最近の研究成果
- ・ 中性子を用いた超臨界水反応過程の観察
- ・ 利用推進部活動報告
- ・ J-PARC 中性子産業利用 BL (茨城県 BL) の特徴と利用

## ○JASRI

- ・ 施設と登録機関の紹介
- ・ SPring-8 における高圧実験ステーション

## ○ORIST

- ・ 「富岳」を中核とする HPCI システム
- ・ 「富岳」を中核とする HPCI システムにおける利用支援

## ○閉会挨拶 山下 幸二 (RIST)

## 2. 会議報告

本シンポジウムは、5つのセッションで構成された。第1セッションでは、主催団体である JASRI 及び CROSS の理事長からの挨拶、来賓としての文部科学省研究環境課課長の野田様からのご挨拶に引き続いて、各登録機関と施設に関する紹介が行われた。第2セッションから第4セッションまでは高圧に関わる最近の研究動向に関する学術講演が行われた(写真1、2)。最後の第5セッションは、現地開催のみであり、会場でのポスター発表や講演者と参加者の意見交換の場となった。

第2セッションでは、圧力誘起超伝導の現状について3件の講演が行われた。最初の講演者である米国オークリッジ国立研究所の松田雅昌先生は、来日が叫わず、時差のある中でオンラインでのご講演をいただいた。強相関電子系においては、磁性と超伝導の競合・共存は長年の研究対象であり、講演では MnP という化合物の高圧下の磁気構造を中性子回折で明らかにした結果について紹介された。2人目の大阪大学の清水先生と3人目の量子科学技術研究開発機構の明石先生の講演からは、室温超伝導で鉛を削る水素化物の超伝導に関する研究についてご講演いただいた。水素化物の研究では、実験家が発見した実験結果を理論的に説明する研究進捗だけではなく、理論的予測を実験家が放射光による構造解析も含めた実験で実証するという研究も増えているということが強く印象に残った。



写真1 講演会場の様子



写真2 講演会場の様子

第3セッションでは、高圧下の物質合成とその評価に関する2件の講演が行われた。愛媛大学の松下先生からは、構造材料として期待される Mg 合金に対して圧力で粒径を制御し、物質の機能の最適化を行った研究に関する講演が行われた。今回、唯一の企業研究者の講演となった東レリサーチセンターの中田先生からは使用済みプラスチックの超臨界処理を利用したリサイクルの過程を理解するために中性子や X 線を利用した研究の紹介が行われた。

第4セッションでは、地球惑星科学への応用に関する3件の講演が行われた。愛媛大学の土屋先生からは理論計算に基づく地球内の含水物質に関する研究、愛媛大学の内先生からは X 線 CT と計算科学の融合に基づく地震発生時の岩石破壊に関する研究、東京大学の小松先生からは水素がよく見える中性子の性質を利用した高圧下での氷に関する研究成果の報告が行われた。

第5セッションでは、登録機関の活動状況や各施設での高圧科学およびその関連分野に関する最近の成果報告に加えて、参加者と講演者との懇談・情報交流の場となった(写真3)。

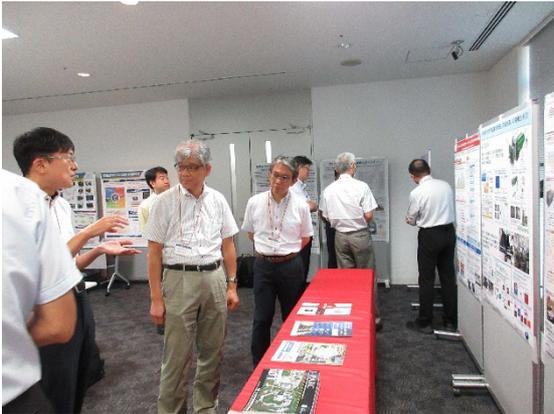


写真3 ポスター会場の様子

### 3. おわりに

本シンポジウムでは、参加者 141 名（現地参加：68 名、オンライン参加：73 名）であった。昨年同様、可能な限り多くの方に現地参加をしていただくことと講演者との活発な質疑応答を期待して、質問は現地参加者に限って実施した。今回は、海外に在住の松田先生から講演をいただくことができ、ご協力が得られる範囲で海外の方からも講演をいただく機会が得られたことは一つの収穫であった。また、今回は JASRI が NanoTerasu の登録機関となってから初めてのシンポジウム開催である。来年度は、NanoTerasu 運用開始後の初めての開催となることから、本シンポジウムの運営や企画において多少の変化があると思われる。また、第 5 セッションのポスター発表にご協力いただいた東京大学物性研究所、DxMT、SPRUC 高圧物質科学研究会、地球惑星科学研究会の皆様には感謝申し上げます。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）

阿部 淳 (CROSS)、上床 美也 (CROSS)、佐藤 眞直 (JASRI)、社本 真一 (CROSS)、杉本 正吾 (RIST)、筒井 智嗣 (JASRI)、肥後 裕司 (JASRI)、舟越 賢一 (CROSS)、山下 幸二 (RIST)、吉澤 加奈子 (RIST)、吉見 一慶 (東大物性研)

筒井 智嗣 *TSUTSUI Satoshi*

(公財) 高輝度光科学研究センター  
放射光利用研究基盤センター 産業利用・産学連携推進室  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
TEL : 0791-58-0802  
e-mail : satoshi@spring8.or.jp

## 2025A 期 SPring-8 利用研究課題募集について

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

2025A 期 SPring-8 利用研究課題の募集を開始しました。募集対象の課題種や申請の際の注意事項等の詳細につきましては、下記、SPring-8 User Information HP 上の「現在募集中の SPring-8 利用研究課題」よりご確認ください。2025A 期に関しましても、ビームタイムキャンセルの影響を軽減するための運用が適用されますので、「2025A 期における利用研究課題及びビームタイムの運用について」(<https://user.spring8.or.jp/?p=50649>) もご確認ください。

- 現在募集中の SPring-8 利用研究課題  
(<https://user.spring8.or.jp/?p=22799>)

2025A 期 SPring-8 利用研究課題の各課題種の応募締め切りは次の通りです。

- ・ 成果公開優先利用課題（1 年課題含む）、成果専有課題、測定代行課題  
2024 年 11 月 13 日（水）午前 10:00 JST（提出完了時刻）
- ・ 一般課題、大学院生提案型課題  
2024 年 12 月 5 日（木）午前 10:00 JST（提出完了時刻）

### <特記>

1. 年 6 回募集ビームライン (BL01B1、BL02B1、BL02B2、BL09XU、BL13XU、BL14B2、BL16XU、BL19B2、BL46XU) においては、2025A 第 I 期（利用期間は 2025 年 4 月～5 月下旬予定）の締め切りとなります。2025A 第 II 期および第 III 期の課題募集は HP 上 (<https://user.spring8.or.jp/?p=22799>) で適時ご案内します。
2. 成果公開優先利用課題の 1 年課題は A 期のみ募集します。
3. 測定代行課題は、従来の随時募集に加え、定期募集を開始します。募集および利用日程は上記 1. と同じです。
4. 次回の大学院生提案型課題（長期型）の募集は 2025B 期に行う予定です。
5. 緊急・特別課題、成果専有時期指定課題（時間単位利用を含む）、測定代行課題は、随時募集しています。

初めて SPring-8 の利用をお考えの方は、申請の前に以下の Web サイトをご確認ください。

- 初めて利用申請を考えている方へ  
(<https://user.spring8.or.jp/?p=18832>)

申請にあたり、ご不明な点がございましたら下記までお問い合わせください。

[問い合わせ先] 〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
公益財団法人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 : sp8jasri@spring8.or.jp

## 第 53 回 (2024B) SPring-8 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

公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) では、SPring-8 利用研究課題審査委員会 (PRC) において SPring-8 の利用研究課題を審査した結果を受け、SPring-8 選定委員会の意見を聴き、以下のように第 53 回共同利用期間 (2024 年 9 月 25 日～2025 年 2 月 14 日 (放射光利用 291 シフト、1 シフト=8 時間)) における利用研究課題を採択しました。ただし、年 6 回募集のビームライン (BL01B1、BL02B1、BL02B2、BL09XU、BL13XU、BL14B2、BL16XU、BL19B2、BL24XU および BL46XU) は 2024B を 3 期に分けて募集しており、これらのビームラインについては第 I 期の 2024 年 9 月 25 日～11 月 4 日 (78 シフト) における課題を採択しました。表 1 に利用研究課題公募履歴を示します。

### 1. 募集、審査および採択の日程

#### 〔募集案内公開と応募締切〕

2024 年 5 月 8 日 SPring-8 ホームページで主要課題の募集案内公開

(利用者情報 2024 年 5 月号に募集案内記事を掲載)

5 月 28 日 成果公開優先利用課題、成果専有課題応募締切

6 月 13 日 一般課題、大学院生提案型課題応募締切

#### 〔課題審査、選定、採択および通知〕

2024 年 7 月 8 日～16 日

各分科会による課題審査

7 月 23 日 SPring-8 利用研究課題審査委員会 (PRC) による課題審査

7 月 30 日 SPring-8 選定委員会の意見を聴取

7 月 31 日 JASRI として採択決定し、応募者に審査結果を通知

### 2. 応募および採択状況

2024B の新規応募課題数は 824、採択課題数は 604 でした。表 2 に 2024B 期の利用研究課題の課題種別の応募課題数および採択課題数と採択率 (%) を示します。また、表 3 に成果非専有課題としての科学審査の対象となる課題 (成果非専有一般課題、大学院生提

案型課題) への応募 715 件について、ビームラインごとの応募課題数、採択課題数、採択率および配分シフト数、並びに採択された課題の 1 課題あたりの平均配分シフト数を示します。表 4 には全応募 824 課題について、申請者の所属機関分類と課題の研究分野分類の統計を示します。このうち、所属機関および研究分野について全体に対する割合をそれぞれ図 1 および図 2 に示します。SPring-8 における“SACLA、J-PARC MLF または「京」/「富岳」を含む HPCI と連携した利用を行う課題”として、SPring-8 には 15 件の応募があり、うち 12 件が採択されました。なお本記事の統計には、年 6 回募集のビームラインの第 II 期および第 III 期分、並びに期中に随時募集する成果専有時期指定課題 (測定代行課題含む) 等は含まれていません。

### 3. 採択課題

2024B 期の採択課題の一覧は、SPring-8 User Information に掲載しています。以下をご覧ください。

ホーム > SPring-8 利用申請 > 課題募集 > 採択・実施課題一覧

<https://user.spring8.or.jp/?p=37038>

表 1 利用研究課題 公募履歴

利用期	利用期間	ユーザー 利用シフト*	応募締切日**	応募課題数	採択課題数
第1回:1997B	1997年10月-1998年03月	168	1997年01月10日	198	134
第2回:1998A	1998年04月-1998年10月	204	1998年01月06日	305	229
第3回:1999A	1998年11月-1999年06月	250	1998年07月12日	392	258
第4回:1999B	1999年09月-1999年12月	140	1999年06月19日	431	246
第5回:2000A	2000年02月-2000年06月	204	1999年10月16日	424	326
第6回:2000B	2000年10月-2001年01月	156	2000年06月17日	582	380
第7回:2001A	2001年02月-2001年06月	238	2000年10月21日	502	409
第8回:2001B	2001年09月-2002年02月	190	2001年05月26日	619	457
第9回:2002A	2002年02月-2002年07月	226	2001年10月27日	643	520
第10回:2002B	2002年09月-2003年02月	190	2002年06月03日	751	472
第11回:2003A	2003年02月-2003年07月	228	2002年10月28日	733	563
第12回:2003B	2003年09月-2004年02月	202	2003年06月16日	938	621
第13回:2004A	2004年02月-2004年07月	211	2003年11月04日	772	595
第14回:2004B	2004年09月-2004年12月	203	2004年06月09日	886	562
第15回:2005A	2005年04月-2005年08月	188	2005年01月05日	878	547
第16回:2005B	2005年09月-2005年12月	182	2005年06月07日	973	624
第17回:2006A	2006年03月-2006年07月	220	2005年11月15日	916	699
第18回:2006B	2006年09月-2006年12月	159	2006年05月25日	867	555
第19回:2007A	2007年03月-2007年07月	246	2006年11月16日	1099	761
第20回:2007B	2007年09月-2008年02月	216	2007年06月07日	1007	721
第21回:2008A	2008年04月-2008年07月	225	2007年12月13日	1009	749
第22回:2008B	2008年10月-2009年03月	189	2008年06月26日	1163	659
第23回:2009A	2009年04月-2009年07月	195	2008年12月11日	979	654
第24回:2009B	2009年10月-2010年02月	210	2009年06月25日	1076	709
第25回:2010A	2010年04月-2010年07月	201	2009年12月17日	919	665
第26回:2010B	2010年10月-2011年02月	210	2010年07月01日	1022	728
第27回:2011A	2011年04月-2011年07月	215	2010年12月09日	1024	731
第28回:2011B	2011年10月-2012年02月	195	2011年06月30日	1077	724
第29回:2012A	2012年04月-2012年07月	201	2011年12月08日	816	621
第30回:2012B	2012年10月-2013年02月	222	2012年06月28日	965	757
第31回:2013A	2013年04月-2013年07月	186	2012年12月13日	880	609
第32回:2013B	2013年10月-2013年12月	159	2013年06月20日	905	594
第33回:2014A	2014年04月-2014年07月	177	2013年12月12日	874	606
第34回:2014B	2014年10月-2015年02月	230	2014年06月19日	1030	848
第35回:2015A	2015年04月-2015年07月	207	2014年12月11日	1030	685
第36回:2015B	2015年09月-2015年12月	198	2015年06月11日	974	632
第37回:2016A	2016年04月-2016年07月	216	2015年12月10日	907	699
第38回:2016B	2016年09月-2016年12月	198	2016年06月02日	977	637
第39回:2017A	2017年04月-2017年07月	210	2016年12月08日	947	678
第40回:2017B	2017年10月-2018年02月	240	2017年06月08日	1000	761
第41回:2018A	2018年04月-2018年08月	228	2017年12月07日	931	719
第42回:2018B	2018年10月-2019年02月	234	2018年06月07日	982	744
第43回:2019A	2019年04月-2019年07月	222	2018年12月06日	957	681
第44回:2019B	2019年09月-2020年02月	234	2019年06月21日	1011	729
第45回:2020A	2020年04月-2021年02月	336	2019年12月05日	1460	1044
第46回:2021A	2021年04月-2021年07月	216	2020年12月08日	838	687
第47回:2021B	2021年09月-2022年02月	228	2021年06月10日	1105	797
第48回:2022A	2022年04月-2022年08月	216	2021年12月01日	957	708
第49回:2022B	2022年10月-2023年02月	228	2022年06月14日	1272	878
第50回:2023A	2023年04月-2023年08月	213	2022年12月08日	1063	775
第51回:2023B	2023年10月-2024年02月	216	2023年06月15日	1286	947
第52回:2024A	2024年04月-2024年09月	210	2023年12月07日	1135	829
第53回:2024B	2024年09月-2025年02月	234	2024年06月13日	(820)	(574)

\*ユーザー利用へ供出するシフト (1シフト=8時間) で全ビームタイムの80%

\*\*一般課題の応募締め切り日

応募・採択課題数について:2006B以前は応募締め切り日\*\*の値である。

2007A以降は、期終了時の値(産業第II期、第III期募集、生命科学等分科会留保課題、時期指定課題、緊急課題を含む)を示す。

2024Bは今後、年6回募集ビームラインの第II期、第III期分、期中随時募集の成果専有時期指定課題等があるため現在の値は括弧内に示す。

表 2 2024B SPring-8 利用研究課題の課題種別応募および採択課題数と採択率

決定課題種	応募課題数	採択課題数	採択率 (%)	採択課題のシフト充足率 (%) ****
一般課題*	647	463	71.6	93.4
成果専有課題	57	56	98.2	98.4
大学院生提案型課題	68	37	54.4	92.7
成果公開優先利用課題	44	44	100.0	96.7
大学院生提案型課題 (長期型) **	8	4	50.0	100.0
総 計	824	604	73.3	93.8
科学審査対象課題***のみの合計	715	500	69.9	93.3

\*一般課題等のうち SPring-8 における“SACLA、J-PARC MLF または「京」/「富岳」を含む HPCI と連携した利用を行う課題”は、応募 15 課題のうち 12 課題を採択。  
 \*\*複数課題を利用する課題 (1 課題) を含む (申請者数は 6 名、採択者数は 2 名)。  
 \*\*\*成果専有課題と優先利用課題を除いた課題。  
 \*\*\*\*PX-BL 課題 (期中に配分シフトを決定する生命科学/タンパク質結晶構造解析分野関係課題) を除く。

表 3 2024B ビームラインごとの審査対象課題\*の採択状況

ビームライン	応募課題数計	採択課題数計	採択率 (%)	配分シフト数計**	1 課題あたり平均配分シフト**
BL01B1: XAFS I	24	11	45.8	86	7.82
BL02B1: 単結晶構造解析	16	16	100.0	81	5.06
BL02B2: 粉末結晶構造解析	25	18	72.0	78	4.33
BL04B1: 高温高圧	29	23	79.3	216	9.39
BL04B2: 高エネルギー-X 線回折	34	28	82.4	199	7.11
BL05XU: 理研 施設開発 ID I	3	3	100.0	18	6.00
BL07LSU: 理研 施設開発 ID II	2	2	100.0	30	15.00
BL08W: 高エネルギー非弾性散乱	22	19	86.4	213	11.21
BL09XU: HAXPES I	15	12	80.0	78	6.50
BL10XU: 高圧構造物性	69	37	53.6	219	5.92
BL13XU: X 線回折・散乱 I	20	10	50.0	63	6.30
BL14B2: XAFS II	30	14	46.7	87	6.21
BL17SU: 理研 物理学 III	4	4	100.0	57	14.25
BL19B2: X 線回折・散乱 II	17	17	100.0	77	4.53
BL19LXU: 理研 物理学 II	3	3	100.0	47	15.67
BL20B2: 医学・イメージング I	43	20	46.5	189	9.45
BL20XU: 医学・イメージング II	25	16	64.0	120	7.50
BL25SU: 軟 X 線固体分光	34	20	58.8	234	11.70
BL26B1: 理研 構造ゲノム I ***	4	4	100.0	30	7.50
BL27SU: 軟 X 線光化学	15	14	93.3	124	8.86
BL28B2: 白色 X 線回折	17	13	76.5	134	10.31
BL32B2: 理研 施設開発 BMI	3	3	100.0	30	10.00
BL32XU: 理研 ターゲットタンパク ***	1	1	100.0	9	9.00
BL35XU: 非弾性・核共鳴散乱	32	16	50.0	227	14.19
BL36XU: 理研 物質科学 II	7	2	28.6	21	10.50
BL37XU: 分光分析	23	13	56.5	163	12.54
BL39XU: X 線吸収・発光分光	18	14	77.8	171	12.21
BL40B2: SAXS BM	45	39	86.7	219	5.62
BL40XU: 高フラックス	20	20	100.0	165	8.25
BL41XU: 生体高分子結晶解析 I ***	3	3	100.0	12	4.00
BL43IR: 赤外物性	17	17	100.0	182	10.71
BL43LXU: 理研 量子ナノダイナミクス	3	3	100.0	24	8.00
BL44B2: 理研 物質科学 I	7	5	71.4	27	5.40
BL45XU: 生体高分子結晶解析 II ***	1	1	100.0	6	6.00
BL46XU: HAXPES II	15	8	53.3	78	9.75
BL47XU: マイクロ CT	34	17	50.0	171	10.06
PX-BL (BL41XU、45XU、26B1、32XU、38B1、EM01CT、EM02CT、EM03CT、EM04CT)	35	34	97.1	-	-
総 計	715	500	69.9	3885	7.77

\*成果非専有一般課題、大学院生提案型課題  
 \*\*1 シフト=8 時間  
 \*\*\*PX-BL 対象 BL (PX-BL 運用以外の対象課題の課題数およびシフト数)  
 年 6 回募集ビームラインの第 II 期・第 III 期募集分等は含まず。

表4 SPring-8 2024B 応募・採択結果の機関および研究分野分類

機関分類	課題分類		生命科学		医学応用		物質科学・材料科学		化学		地球・惑星科学		環境科学		産業利用		その他*		総計		採択率 (%)
	決定課題種	課題数/シフト数	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	
大学等教育機関	一般課題	課題数	46	37	11	7	198	157	88	71	38	34	5	4	19	11	6	3	411	324	78.8
		シフト数	229	109	96	60	1761	1338	594	482	378	300	57	45	160	78	46	30	3321	2442	73.5
	成果専有課題	課題数							1	1									1	1	100.0
		シフト数							2	2									2	2	100.0
	大学院生提案型課題	課題数	6	5			25	16	14	8	4				3	2			52	31	59.6
		シフト数					216	133	93	51	24				27	21			360	205	56.9
	大学院生提案型課題(長期型)	課題数	4	3			1		2		1	1							8	4	50.0
		シフト数	42	22			6		15		9	9							72	31	43.1
	成果公開優先利用課題	課題数	2	2			12	12	14	14									28	28	100.0
		シフト数	8	8			77	76	124	121									209	205	98.1
合計	課題数	58	47	11	7	236	185	119	94	43	35	5	4	22	13	6	3	500	388	77.6	
	シフト数	279	139	96	60	2060	1547	828	656	411	309	57	45	187	99	46	30	3964	2885	72.8	
国立研究機関等	一般課題	課題数	7	5	6	3	45	34	9	7	4	3	2		5	3	10	9	88	64	72.7
		シフト数	36	18	57	33	425	296	75	57	42	27	10		44	26	126	117	815	574	70.4
	成果公開優先利用課題	課題数			2	2	2	2							2	2			6	6	100.0
		シフト数			18	18	9	8							15	9			42	35	83.3
	合計	課題数	7	5	8	5	47	36	9	7	4	3	2	0	7	5	10	9	94	70	74.5
シフト数		36	18	75	51	434	304	75	57	42	27	10	0	59	35	126	117	857	609	71.1	
産業界	一般課題	課題数					1	1	1	1					13	9			15	11	73.3
		シフト数					18	18	6	6					148	99			172	123	71.5
	成果専有課題	課題数	7	7			4	4							42	41			53	52	98.1
		シフト数					17	14							167	163			184	177	96.2
	成果公開優先利用課題	課題数					1	1	2	2					6	6	1	1	10	10	100.0
シフト数						2	2	18	18					39	39	21	21	80	80	100.0	
合計	課題数	7	7	0	0	6	6	3	3	0	0	0	0	61	56	1	1	78	73	93.6	
	シフト数	0	0	0	0	37	34	24	24	0	0	0	0	354	301	21	21	436	380	87.2	
海外機関	一般課題	課題数	5	3	3	2	80	42	24	10	17	6			2		2	1	133	64	48.1
		シフト数	99	33	36	27	727	302	228	68	175	47			12		29	4	1306	481	36.8
	成果専有課題	課題数	1	1											2	2			3	3	100.0
		シフト数																			-
	大学院生提案型課題	課題数					9	4	2	1	5	1							16	6	37.5
シフト数						96	48	18	9	36	3							150	60	40.0	
合計	課題数	6	4	3	2	89	46	26	11	22	7	0	0	4	2	2	1	152	73	48.0	
	シフト数	99	33	36	27	823	350	246	77	211	50	0	0	12	0	29	4	1456	541	37.2	
合計	課題数	78	63	22	14	378	273	157	115	69	45	7	4	94	76	19	14	824	604	73.3	
	シフト数	414	190	207	138	3354	2235	1173	814	664	386	67	45	612	435	222	172	6713	4415	65.8	
採択率 (%)	課題数	80.8		63.6		72.2		73.2		65.2		57.1		80.9		73.7		73.3			
	シフト数	45.9		66.7		66.6		69.4		58.1		67.2		71.1		77.5		65.8			

\*ビームライン技術、素粒子・原子核科学、考古学、鑑識科学、安全管理

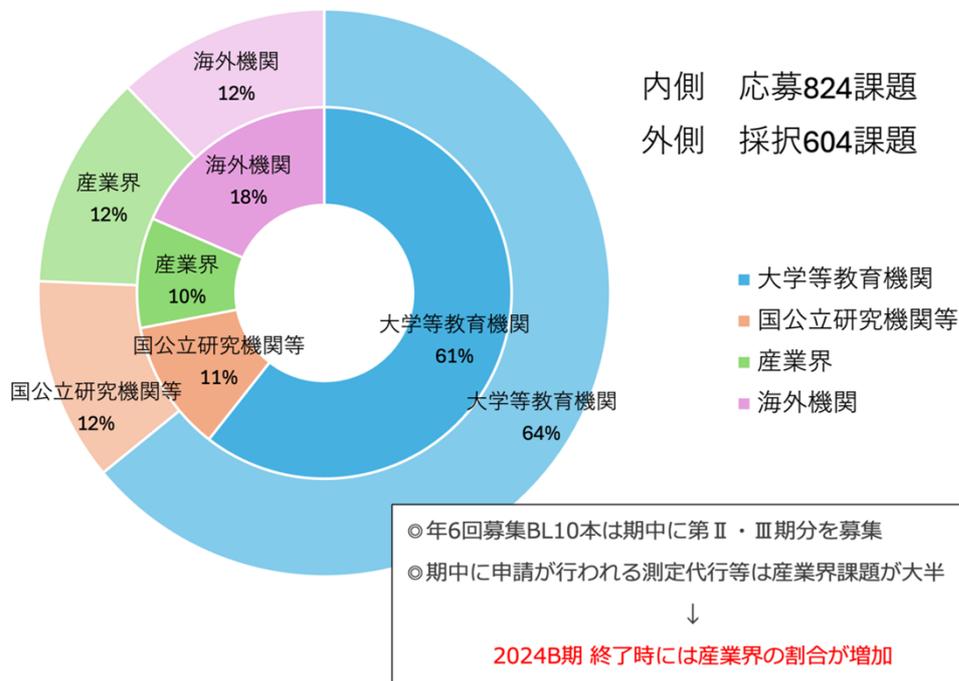


図1 2024B 所属機関別 応募/採択課題数割合

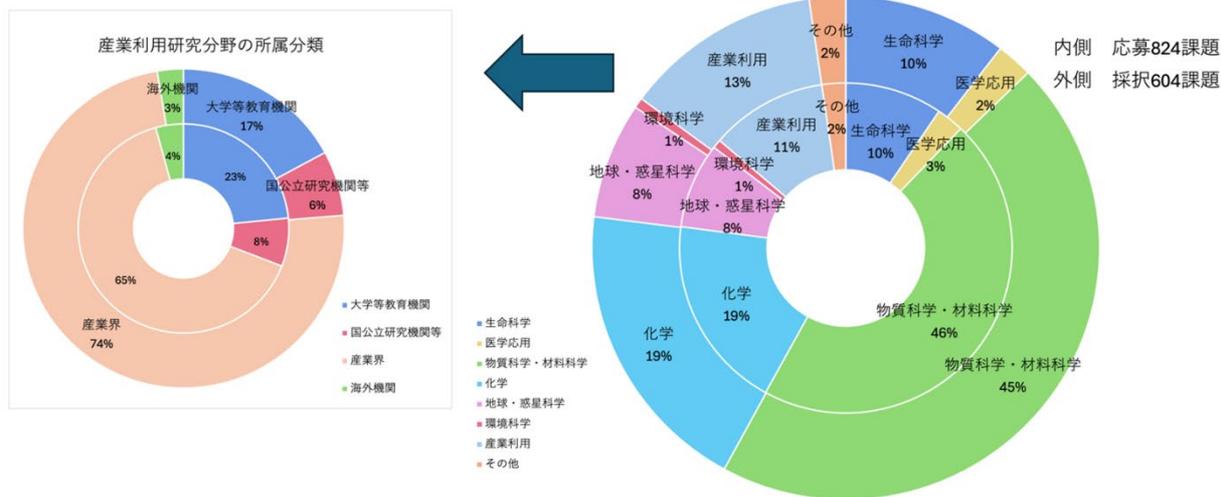


図2 2024B 研究分野別 応募/採択課題数割合

## 2024B 期 採択大学院生提案型課題（長期型）の紹介

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。2024B 期は 6 名の応募があり、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]

2024 年 4 月 1 日 ホームページで募集案内公開  
5 月 8 日 応募締切

### [課題審査、選定、採択および通知]

2024 年 5 月 11 日～25 日  
書面審査  
6 月 25 日 大学院生利用審査委員会による課題審査（面接審査）  
7 月 30 日 SPring-8 選定委員会の意見を聴取  
7 月 31 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	脆性-塑性転移から深発地震発生領域にわたる断層形成過程の放射光その場観察実験
実験責任者名（所属）	本田 陸人（九州大学）
採択時の課題番号	2024B0317
ビームライン	BL04B1

#### － 採択課題 2 －

課題名	温泉由来新規 Cas9 の機能構造解析
実験責任者名（所属）	亀甲 理（九州大学）
採択時の課題番号	2024B0305 (BL41XU)、2024B0321 (EM01CT)、2024B0322 (EM02CT)
ビームライン	BL41XU、EM01CT、EM02CT（併用）

## 第 52 回共同利用期間（2024A）において実施された SPring-8 利用研究課題

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

第 52 回共同利用期間（2024A）における SPring-8 の共同利用は、2024 年 4 月から 2024 年 7 月にかけて実施されました。この期間の放射光利用は、ビームライン 1 本あたり 264 シフト [1 シフト=8 時間] でした。

2024A では 26 本の共用ビームライン（共用施設）と、11 本の理研ビームラインにおけるビームタイムの一部が共用に供されました。9 本の共用ビームライン BL01B1、BL02B1、BL02B2、BL09XU、BL13XU、BL14B2、BL19B2、BL46XU および BL47XU は、2024A 第 I 期（2024 年 4 月～5 月下旬）、第 II 期（同年 5 月下旬～6 月下旬）および第 III 期（同年 6 月下旬～7 月下旬）と、利用期を 3 期に分けて課題募集・選定が行われました。専用ビームライン（専用施設）については、2024A 期の稼働数は 13 本でした。

表 1 に、SPring-8 共用施設の 2024A 課題種別の課題数と実施シフト数を示します。表 2 に、SPring-8 専用施設の 2024A 実施課題数とシフト数を示します。表 3 に、SPring-8 年 6 回募集対象ビームラインにおける科学審査対象課題の 2024A 採択状況を示します。表 4 に、

2024A に SPring-8 共用施設で実施された利用研究課題の課題数とシフト数について実験責任者の所属機関分類および研究分野分類を示します。表 5 に、1997B-2024A 課題種別実施課題数の推移を示します。

表 2 SPring-8 専用施設の 2024A 実施課題数とシフト数

課題種	実施課題数合計	実施シフト数合計
専用ビームライン（成果非専有）	189	2680.5
専用ビームライン（成果専有）	18	65
合計	207	2745.5

表 3 SPring-8 6 回募集対象ビームラインにおける審査対象課題<sup>(注1)</sup>の 2024A 採択状況（II 期 III 期分を含む）

ビームライン	応募課題数	採択課題数	課題採択率 (%)
BL01B1：XAFS I	63	29	46.0
BL02B1：単結晶構造解析	57	36	63.2
BL02B2：粉末結晶構造解析	53	47	88.7
BL09XU：HAXPES I	30	23	76.7
BL13XU：X 線回折・散乱 I	38	20	52.6
BL14B2：XAFS II	57	28	49.1
BL19B2：X 線回折・散乱 II	30	27	90.0
BL46XU：HAXPES II	27	19	70.4
BL47XU：マイクロ CT	32	14	43.8

(注 1) 一般課題、大学院生提案型課題

表 1 SPring-8 共用施設<sup>(注1)</sup>の 2024A 課題種別の課題数と実施シフト数

課題種	応募課題数	採択課題数	課題採択率 (%)	採択課題の実施数	非応募課題 <sup>(注2)</sup> の実施数	実施課題数合計	実施シフト数合計
一般課題	790	542	68.6	521	16	537	4251.125
成果専有課題	74	74	100.0	68	13	81	422.875
大学院生提案型課題	108	52	48.1	47	1	48	359.25
大学院生提案型課題（長期型）	2024A 期は募集なし				8	8	86.5
時期指定課題	23	23	100.0	23	-	23	31.625
測定代行課題 <sup>(注3)</sup>	63	63	100.0	63	-	63	21.25
成果公開優先利用課題	60	59	98.3	58	-	58	387.125
成果公開優先利用課題（一年利用）	15	14	93.3	14	-	14	190
合計	1133	827	73.0	794	38	832	5749.75

(注 1) 理研ビームラインからの一部共用供出ビームタイムの利用を含む。

(注 2) 既に採択等された課題で、当該期の応募・採択等プロセスを要しないもの。

(注 3) BL14B2、BL19B2、BL28B2、BL46XU で実施。

表4 2024AにSPring-8共用施設<sup>(注1)</sup>で実施された利用研究課題の所属機関分類および研究分野分類

機関分類	課題分類	課題数/ シフト数	研究分野							計	
			生命科学	医学応用	物質科学・ 材料科学	化学	地球・惑星 科学	環境科学	産業利用		その他 <sup>(注2)</sup>
大学 等 教育 機関	一般課題	課題数	54	1	175	90	30	3	13	4	370
		シフト数	383.25	6	1311.625	566.25	268.125	30	103.75	50.875	2719.875
	大学院生提案型課題	課題数	1		24	9	3		4		41
		シフト数	18		174.625	38.625	41.375		26.875		299.5
	大学院生提案型課題 (長期型)	課題数	1		1		6				8
		シフト数	18		11.75		56.75				86.5
	時期指定課題	課題数			1		1				4
		シフト数			1		0.125		1	0.25	2.375
	測定代行課題	課題数							1		1
		シフト数							0.875		0.875
成果公開優先利用課題	課題数			19	13			2		34	
	シフト数			90	83.125			7.75		180.875	
成果公開優先利用課題 (一年利用)	課題数	1			1				1	3	
	シフト数	3			6				6	15	
計	課題数	57	1	220	113	40	3	21	6	461	
	シフト数	422.25	6	1589	694	366.375	30	140.25	57.125	3305	
国立 研究 機関 等	一般課題	課題数	8	4	45	12	6		3	10	88
		シフト数	99	38.875	429.25	119	80		29.375	103	898.5
	成果専有課題	課題数	1		1	1			2		5
		シフト数	54		0.75	1			9		64.75
	時期指定課題	課題数			1						1
		シフト数			0.125						0.125
	測定代行課題	課題数							4		4
		シフト数							1.625		1.625
	成果公開優先利用課題	課題数	1	2	7		1			1	12
		シフト数	3	11.75	59.625		6			1	81.375
成果公開優先利用課題 (一年利用)	課題数	4		1	2					7	
	シフト数	107.625		4.625	38.75					151	
計	課題数	14	6	55	15	7		9	11	117	
	シフト数	263.625	50.625	494.375	158.75	86		40	104	1197.375	
産 業 界	一般課題	課題数	1		1				11		13
		シフト数	15		6				87.625		108.625
	成果専有課題	課題数	8		8				56		72
		シフト数	20.25		18.5				256.125		294.875
	時期指定課題	課題数	2		2				14		18
		シフト数	1		0.75				27.375		29.125
	測定代行課題	課題数			1				53		54
		シフト数			0.25				16.125		16.375
	成果公開優先利用課題	課題数				3			7	2	12
		シフト数				36			61.875	27	124.875
成果公開優先利用課題 (一年利用)	課題数							4		4	
	シフト数							24		24	
計	課題数	11		12	3			145	2	173	
	シフト数	36.25		25.5	36			473.125	27	597.875	
海 外 機 関	一般課題	課題数	4	1	36	16	7		2		66
		シフト数	45.625	12	269.5	113.25	65.75		18		524.125
	成果専有課題	課題数	2						2		4
		シフト数	38.5						24.75		63.25
	大学院生提案型課題	課題数			6	1					7
		シフト数			53.75	6					59.75
	測定代行課題	課題数							4		4
		シフト数							2.375		2.375
	計	課題数	6	1	42	17	7		8		81
		シフト数	84.125	12	323.25	119.25	65.75		45.125		649.5
課題数合計			88	8	329	148	54	3	183	19	832
シフト数合計			806.25	68.625	2432.125	1008	518.125	30	698.5	188.125	5749.75

(注1) 理研ビームラインからの一部共用供出ビームタイムの利用を含む。

(注2) 素粒子・原子核科学、考古学、ビームライン技術他。

表 5 SPring-8 1997B-2024A 課題種別実施課題数の推移

課題種	1997B~2015A	2015B	2016A	2016B	2017A	2017B	2018A	2018B	2019A	2019B	2020A	2021A	2021B	2022A	2022B	2023A	2023B	2024A	合計
一般課題	13918	476	489	459	502	570	524	537	507	563	661	470	536	515	564	543	615	537	22986
緊急・特別課題	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	40
成果専有課題	881	37	42	47	35	48	41	46	38	52	88	36	67	54	99	71	107	81	1870
時期指定課題 (除く測定代行)	224	8	6	10	7	16	6	16	8	20	17	14	25	14	35	13	36	23	498
測定代行 (時期指定課題の一環)	515	46	32	48	29	46	37	60	29	40	65	42	43	41	61	46	79	63	1322
産業利用準備課題									3	10	5	6	3						27
長期利用課題	322	23	28	25	28	25	13	14	15	14	11	10	9	10	3	3			553
被災量子ビーム施設ユーザー支援課題	94																		94
大学院生提案型課題 (旧名称：萌芽的研究支援課題【~2015B】)	537	54	65	52	29	53	53	58	41	52	53	43	52	46	54	52	56	48	1398
大学院生提案型課題 (長期型)														3	6	2	10	8	29
成果公開優先利用課題	482	28	35	37	39	52	34	43	33	33	53	52	71	58	87	64	84	58	1343
成果公開優先利用課題(一年利用)																7	6	14	27
重点タンパク500課題(タンパク3000)	489																		489
重点ナノテクノロジー支援課題	928																		928
重点産業トリアルユース課題	112																		112
SPring-8 戦略活用プログラム課題	332																		332
重点産業利用課題	1000																		1000
重点産業化促進課題	58																		58
産業新分野支援課題	36	14	11	4	6	4													75
放射光施設横断産業利用課題							5	3	6	4									18
先進技術活用による産業応用課題									5	4	8								17
重点メディカルバイオ・トリアルユース課題	57																		57
重点拡張メディカルバイオ課題	51																		51
重点グリーン/ライフ・イノベーション推進課題	125																		125
スマート放射光活用イノベーション戦略推進課題	47	14																	61
社会・文化利用課題	11	16	17	19	19	14	14	13											123
重点戦略課題 (12 条戦略課題)	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65
重点パワーユーザー課題	127																		127
重点パートナーユーザー課題	12	6	7	7	8	8	7	7	8	8	11	5	0	0					94
新分野創成利用課題		4	6	11	16	21	21	25	24	9	8	0	0	0					145
合計	20458	726	738	719	718	857	755	822	717	809	984	678	807	741	909	801	993	832	34064

備考 長期利用課題、重点パートナーユーザー課題、新分野創成利用課題、大学院生提案型課題(長期型)はBLごとに1課題としてカウント。  
空白は制度なし。

2024A の延べ利用者数は、共用施設 4,865 人、専用施設 1,847 人でした。表 6 に、SPring-8 共用施設および専用施設利用実績の推移を示します。表 6 の値を利用シフト数合計と共に示したものが図 1 です。利用シフト数合計は、表 6 の「利用時間」に利用した共用・専用ビームラインの数(理研ビームラインの一部共用への供出分を含む。但し、理研ビームラインは共用供出割合で換算)を掛けた数値となっています。図 2 には、SPring-8 共用施設の利用研究課題の応募・採択数の推移実績を採択率と共に示します。応募・採択

課題数は、2006B 以前は一般課題締め切り時、2007A 以降は期の途中で申請・採択される成果専有時期指定課題、測定代行課題および年 6 回募集対象ビームラインの第 II 期および第 III 期申請分を含めた、期の終わりの値を示します。利用シフト数合計は、上記と同様に表 6 の「利用時間」に利用した共用ビームラインの数を掛けた数値となっています。

実施課題の課題名をホームページの以下の URL で公開しています。成果専有課題は「公表用課題名」が表示されています。<https://user.spring8.or.jp/?p=37038>

成果非専有課題の利用課題実験報告書 (SPring-8 Experiment Summary Report) は以下の URL で閲覧できます。 <https://user.spring8.or.jp/uisearch/expreport/ja>

成果は、3年以内に、論文または SPring-8/SACLA 利用研究成果集等で公開されます。

表 6 SPring-8 共用施設および専用施設利用実績の推移

回	利用期間	利用時間	共用施設		専用施設		
			実施課題数	延べ利用者数	実施課題数	延べ利用者数	
第1回	1997B	1997年10月-1998年03月	1,286	94	681	-	-
第2回	1998A	1998年04月-1998年10月	1,702	234	1,252	7	-
第3回	1999A	1998年11月-1999年06月	2,585	274	1,542	33	467
第4回	1999B	1999年09月-1999年12月	1,371	242	1,631	65	427
第5回	2000A	2000年02月-2000年06月	2,051	365	2,486	100	794
第6回	2000B	2000年10月-2001年01月	1,522	383	2,370	88	620
第7回	2001A	2001年02月-2001年06月	2,313	474	2,915	102	766
第8回	2001B	2001年09月-2002年02月	1,867	488	3,277	114	977
第9回	2002A	2002年02月-2002年07月	2,093	545	3,246	110	1,043
第10回	2002B	2002年09月-2003年02月	1,867	540	3,508	142	1,046
第11回	2003A	2003年02月-2003年07月	2,246	634	3,777	164	1,347
第12回	2003B	2003年09月-2004年02月	1,844	549	3,428	154	1,264
第13回	2004A	2004年02月-2004年07月	2,095	569	3,756	161	1,269
第14回	2004B	2004年09月-2004年12月	1,971	555	3,546	146	1,154
第15回	2005A	2005年04月-2005年08月	1,880	560	3,741	146	1,185
第16回	2005B	2005年09月-2005年12月	1,818	620	4,032	187	1,379
第17回	2006A	2006年03月-2006年07月	2,202	724	4,809	226	1,831
第18回	2006B	2006年09月-2006年12月	1,587	550	3,513	199	1,487
第19回	2007A	2007年03月-2007年07月	2,448	781	4,999	260	2,282
第20回	2007B	2007年09月-2008年02月	2,140	739	4,814	225	1,938
第21回	2008A	2008年04月-2008年07月	2,231	769	4,840	232	1,891
第22回	2008B	2008年10月-2009年03月	1,879	672	4,325	217	1,630
第23回	2009A	2009年04月-2009年07月	1,927	669	4,240	238	1,761
第24回	2009B	2009年10月-2010年02月	2,087	722	4,793	275	2,144
第25回	2010A	2010年04月-2010年07月	1,977	685	4,329	293	2,483
第26回	2010B	2010年10月-2011年02月	2,094	744	4,872	325	2,812
第27回	2011A	2011年04月-2011年07月	2,131	740	4,640	309	2,773
第28回	2011B	2011年10月-2012年02月	1,927	730	4,576	319	2,769
第29回	2012A	2012年04月-2012年07月	1,972	637	4,304	285	2,692
第30回	2012B	2012年10月-2013年02月	2,184	771	5,072	314	3,181
第31回	2013A	2013年04月-2013年07月	1,837	633	4,053	275	2,835
第32回	2013B	2013年10月-2013年12月	1,571	610	3,770	286	2,723
第33回	2014A	2014年04月-2014年07月	1,768	624	4,129	292	2,710
第34回	2014B	2014年10月-2015年02月	2,290	858	5,766	331	3,573
第35回	2015A	2015年04月-2015年07月	2,053	674	4,560	271	2,960
第36回	2015B	2015年09月-2015年12月	1,981	726	4,863	281	2,898
第37回	2016A	2016年04月-2016年07月	2,150	738	5,174	301	3,130
第38回	2016B	2016年09月-2016年12月	1,976	719	4,824	298	2,985
第39回	2017A	2017年04月-2017年07月	2,101	718	4,835	326	3,228
第40回	2017B	2017年10月-2018年02月	2,377	857	5,885	355	3,659
第41回	2018A	2018年04月-2018年08月	2,254	755	5,009	323	3,231
第42回	2018B	2018年10月-2019年02月	2,306	822	5,468	361	3,303
第43回	2019A	2019年04月-2019年07月	2,205	717	4,579	331	2,911
第44回	2019B	2019年09月-2020年02月	2,333	809	5,378	344	3,102
第45回	2020A	2020年04月-2021年02月	4,309	984	5,906	337	3,265
第46回	2021A	2021年04月-2021年07月	2,155	678	4,156	241	1,877
第47回	2021B	2021年09月-2022年02月	2,272	807	5,134	270	2,313
第48回	2022A	2022年04月-2022年08月	2,147	741	4,609	241	2,231
第49回	2022B	2022年10月-2023年02月	2,269	909	5,398	252	2,556
第50回	2023A	2023年04月-2023年08月	2,133	801	4,731	250	2,218
第51回	2023B	2023年10月-2024年02月	2,303	993	5,712	279	2,447
第52回	2024A	2024年04月-2024年07月	2,098	832	4,865	207	1,847
合 計			108,185	34,064	218,118	11,888	107,414

注：長期利用課題、重点パートナーユーザー課題、新分野創成利用課題をビームラインごとに1課題とカウント。  
共用施設には理研ビームライン等からの供出ビームタイムの利用者を含む。

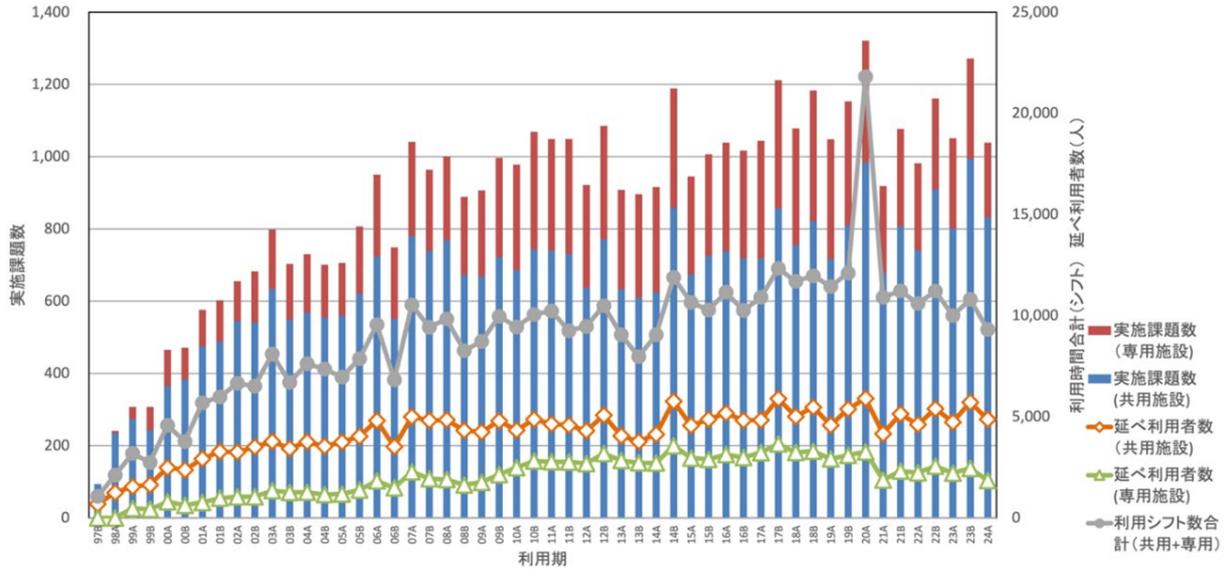


図1 SPring-8 共用施設および専用施設の利用実績推移

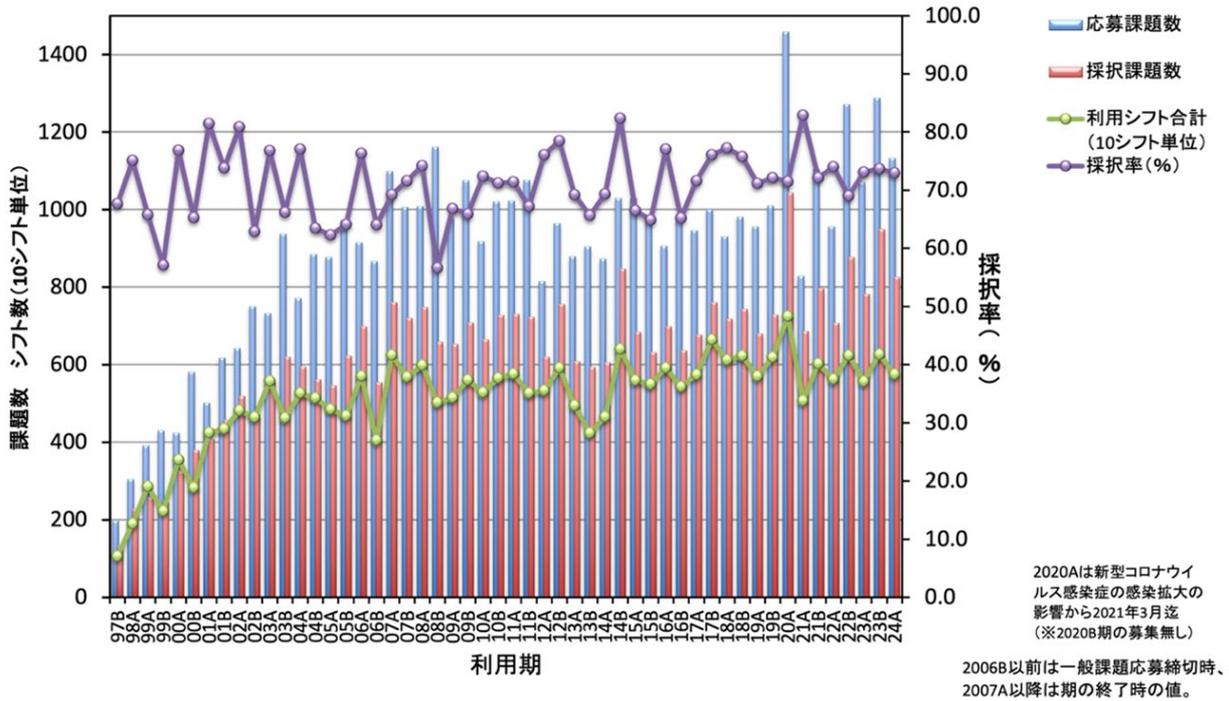


図2 SPring-8 共用施設の応募・採択課題数の推移実績

## 2024A 期において実施された SACLA 利用研究課題（共用課題）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

第 24 回目の利用期である 2024A 期の利用研究課題（共用課題）が、2024 年 4 月 8 日から 2024 年 7 月 30 日にかけて実施されました。

この期間において、ビームライン BL1、BL2 または BL3 にて計 45 の利用研究課題が実施され、ビームタイムは計 246 シフト（1 シフト＝12 時間）が利用されました。

実施課題は、一般課題（成果非専有利用）として、それぞれ表 1 のとおり国内外機関所属の実験責任者により実施されました。成果専有利用制度である一般課題（成果専有利用）及び時期指定課題（成果専有利用のみ）並びに緊急課題の利用はありませんでした。

なお、これらのほか、同ビームラインにおいて JASRI スタッフによるインハウス課題が計 5 課題実施され、ビームタイムは計 24 シフトが利用されました。

実施課題の課題名は、以下の Web サイトに掲載しています。

### ◆ SACLA User Information

<https://sacla.xfel.jp/?p=4175>

また、利用課題実験報告書（Experiment Summary Report：成果非専有利用のみ）は、以下の Web サイトに掲載しています。

### ◆ SACLA User Information

> 成果等検索 > 利用課題実験報告書検索

<https://user.spring8.or.jp/uisearch/expreport/ja>

成果は、課題実施期終了後 3 年以内に、査読付き原著論文等で公開されます。

公益財団法人

高輝度光科学研究センター 利用推進部

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

TEL：0791-58-0961

e-mail：sacla.jasri@spring8.or.jp

表 1 2024A 期 SACLA 利用研究実施課題

課題種	産業界		大学等教育機関		国公立試験研究機関等		海外機関		合計	
	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数	実施課題数	実施シフト数
一般課題	(成果非専有利用)		21	124	10	47	14	75	45	246
	(成果専有利用)									
時期指定課題（成果専有利用）										
緊急課題										
合計			21	124	10	47	14	75	45	246

○実施課題を実験責任者の所属（産/学/官/海外）で区分。

○延べ利用者数は計 457 人。

## SPring-8 運転・利用状況

国立研究開発法人理化学研究所  
放射光科学研究センター

### ◎2024 年 7 月の運転実績

SPring-8 は 7 月 8 日から 8 月 1 日までセベラルバンチ運転で第 3 サイクルの運転を実施した。

第 3 サイクルでは、BL33XU EXP2 HUTCH MDOOR OPEN のアラームレベル 7 発報による停止等があったが、全体としては順調な運転であった。総放射光利用運転時間（ユーザータイム）内での故障等による停止時間（down time）は、第 3 サイクルは約 0.4% であった。

### 1. 装置運転関係

#### (1) 運転期間

第 3 サイクル (7/8 (月) ~8/1 (木))

#### (2) 運転時間の内訳

第 3 サイクル

運転時間総計	約 576 時間
①装置の調整及びマシンスタディ等	約 120 時間
②放射光利用運転時間	約 454 時間
③故障等による down time	約 2 時間
④フィリング変更時間	0 時間
総放射光利用運転時間（ユーザータイム = ②+③+④）に対する down time の割合 (*1)	約 0.4%

#### (3) 運転スペック等

第 3 サイクル (セベラルバンチ運転)

- ・ 203 bunches (A)
- ・ 406 × 11/29-bunches + 1 bunch (H)
- ・ 入射は電流値優先モード (2~3 分毎 (マルチバンチ時) もしくは 20~40 秒毎 (セベラルバンチ時)) の SACLA 入射、Top-Up モードで実施。
- ・ 蓄積電流 8 GeV、~100 mA

#### (4) 主な down time の原因

- ・ バンプ電磁石電源 3 の誤爆によるアボート
- ・ SR RF Dst. Cav5 反射異常によるアボート
- ・ BL33XU 安全インターロックによるアボート

### 2. 利用関係 (JASRI 利用推進部 集計)

#### (1) 放射光利用実験期間

第 3 サイクル (7/11 (木) ~7/31 (水))

#### (2) ビームライン利用状況

稼働ビームライン

共用ビームライン	26 本
専用ビームライン	13 本
理研ビームライン	16 本

第 3 サイクル (暫定値)

共同利用研究実験数	304 件
共同利用研究者数	1,247 名
専用施設利用研究実験数	106 件
専用施設利用研究者数	435 名

### ◎2024 年 8~9 月の運転実績 (停止期間)

SPring-8 は 8 月 2 日から 9 月 19 日まで夏期点検調整期間とし、加速器やビームラインに係わる機器の改造・点検作業、電気・冷却設備等の機器の点検作業を行った。

8 月 3 日は施設内全域の計画停電を行い、電気設備の点検整備を行った。

(夏期点検調整期間中の主な作業 (実績))

#### (1) 蓄積リング関係

- ・ RF コンディショニング運転 (9/19)
- ・ 電磁石運転前連続通電作業 (9/17~)
- ・ 電磁石、電磁石電源等定期点検

- ・SR-BBA シェント抵抗設置作業
- ・電磁石励磁ケーブル調査
- ・XSBT 偏向電磁石電源不具合調査
- ・SSBT-QM 冷却水ヘッダー交換
- ・真空系作業及び点検（保守、メンテナンス等）
- ・CRAB 交換/NEG 再活性化（セル 24,25,26）
- ・RGV2 交換/NEG 再活性化（セル 9）
- ・IVG\_pb1 フィラメント交換（セル 19）
- ・ストレーナ清掃/冷却水フラッシング（真空）
- ・機器保護インターロック自主検査
- ・クライストロン定期点検（全 st.）
- ・クライストロン電源点検整備及び改修
- ・クライストロン熱交換プレート交換
- ・旧入射トリガ関連機器撤去
- ・モニター系定期点検、動作確認作業等
- ・ゼロアドレスタイミング信号伝送回路更新
- ・データベース及びネットワーク関連作業
- ・機器制御関連作業（整備及び更新等）
- ・中央制御室運転端末更新
- ・加速器安全インターロックメンテナンス
- ・入退管理システムメンテナンス
- ・ID 関連作業及びメンテナンス等
- ・ID21 新設/関連作業
- ・ID (IVU-II) 3 台搬入（セル 46）
- ・ID15 ケーブル交換
- ・ID チラー交換（Mg 用）
- ・FE 作業及び冷却系/圧空系等保守作業
- ・BL21XU/FE 整備作業（一部）
- ・XY スリット更新作業（BL29XU）
- ・BS 電磁弁交換作業
- ・ABS/リミットスイッチ・ケーブル交換作業
- ・FE 定期検査（運転前・MBS 検査、駆動系検査）
- ・BL 改造及び新設（BL11XU、15XU、21XU 他）
- ・BL インターロック自主検査（前期）
- ・BL 制御/PLC ハードウェアメンテナンス
- ・BL ネットワーク更新作業（BL-774 化等）
- ・BL 光ファイバー敷設作業
- ・BL 安全インターロック機器老朽化対策
- ・LN2 循環装置メンテナンス
- ・光学系・輸送チャンネル関係作業
- ・LN2 供給設備・整備作業

- ・CE 緊急遮断弁用圧空配管敷設
- ・SPring-8-II 測量用基準点設置（収納部全周）
- ・分電盤/負荷側機器調査、確認（保守通路全周）
- ・LED 更新（収納部/A ブロック）
- ・その他作業及び定期点検等

(2) ユーティリティ関係

- ・電気設備保守点検及び整備作業
- ・冷却水設備保守定期点検及び整備作業
- ・二次冷却水配管更新（L4 系統/D）
- ・収納部上部冷水配管更新（L2,5 系統/B,C）
- ・冷却水制御盤更新（L2 系統/B,C,D）
- ・ダミーロード冷却水ストレーナ追加（B,C,D）
- ・マシン冷却系/膜脱気装置更新（B,C）
- ・空調用設備保守点検及び整備作業
- ・空調用冷却塔散水ポンプ交換（A,B,C,D）
- ・収納部内 FCU 更新作業
- ・天井クレーン月次・年次/性能点検作業
- ・消防設備等点検（防排煙、放送設備等）
- ・遮蔽扉点検作業

(3) 安全管理関係

- ・運転停止後の残留サーベイ（8/1）
- ・安全インターロック自主検査（前期）
- ・特例区域設置（8/2～9/18）
- ・放射線モニタ定期点検

(4) その他

- ・受変電設備点検（全施設停電（8/3））
- ・給水施設棟 上水関連作業（上水断水作業）
- ・空調機等間引き運転（長期停止期間節電対策）
- ・冷却水設備停止（長期停止期間節電対策）
- ・施設建屋、外構関連小工事等
- ・中尺ビームライン実験施設実験棟II 建築工事  
（2025 年 11 月末竣工予定）

◎2024 年 9～12 月の運転予定

SPring-8 は 9 月 20 日から 12 月 13 日までセベラルバンチ運転で第 4 サイクルの運転を実施している。  
第 4 サイクルの運転実績については次号にて掲載する。

◎今後の予定

12 月 14 日から 1 月 16 日まで冬期点検調整期間とし、加速器やビームラインに係わる機器の改造・点

検作業、電気・冷却設備等の機器の点検作業を行う予定である。

第5サイクルの運転開始は1月17日からを予定している。

(\*1) down time の割合に④フィリング変更時間は含まない。

## 論文発表の現状

公益財団法人高輝度光科学研究センター 利用推進部

年別査読有り論文発表等登録数 (2024年9月30日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	~2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS I	1997.10	722	75	87	94	82	86	104	94	86	66	45	1541
		Technical Journal		1											1
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	248	36	44	40	30	48	55	60	42	45	34	682
	BL02B2	Powder Diffraction	1999. 9	813	82	95	80	75	80	114	77	97	79	57	1649
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	252	16	16	15	17	17	13	12	14	8	13	393
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999. 9	306	39	43	30	42	41	64	34	56	29	30	714
		Technical Journal		1						1					2
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	195	19	16	16	14	11	18	25	17	4	8	343
	BL09XU	HAXPES I	1997.10	166	18	16	19	28	14	11	14	13	17	20	336
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	406	28	30	28	26	34	33	23	28	19	22	677
	BL13XU	X-ray Diffraction and Scattering I	2001. 9	209	24	35	28	32	34	33	24	26	29	33	507
	BL14B2	XAFS II	2007. 9	217	61	53	58	67	81	87	76	71	65	46	882
		Technical Journal		3					1	3					7
	BL19B2	X-ray Diffraction and Scattering II	2001.11	353	66	63	70	60	58	62	59	36	44	29	900
		Technical Journal		3	2			2	1	1					9
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999. 9	294	35	26	28	32	29	40	27	34	21	10	576
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001. 9	270	45	37	34	31	44	35	44	34	38	16	628
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998. 4	385	20	19	25	20	24	30	23	21	22	11	600
		Technical Journal		2											2
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998. 5	407	25	36	27	26	16	42	18	20	20	11	648
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999. 9	160	21	19	25	20	16	26	15	17	17	5	341
	BL35XU	Inelastic and Nuclear Resonant Scattering	2001. 9	122	16	15	15	14	8	21	17	14	15	5	262
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	194	35	30	29	29	25	34	22	21	23	17	459
		Technical Journal		1											1
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	598	70	66	48	38	41	35	30	15	11	12	964
	BL39XU	X-ray Absorption and Emission Spectroscopy	1997.10	259	19	24	30	20	19	29	22	18	16	15	471
	BL40B2	SAXS BM	1999. 9	549	55	60	54	56	64	54	69	56	57	34	1108
		Technical Journal		1	1					1					3
	BL40XU	High Flux	2000. 4	178	32	42	30	35	52	30	41	31	27	23	521
		Technical Journal							1						1
BL41XU	Macromolecular Crystallography I	1997.10	961	74	80	72	70	57	65	42	21	13	6	1461	
BL43IR	Infrared Materials Science	2000. 4	109	17	14	23	10	21	29	21	24	18	15	301	
BL46XU	HAXPES II	2000.11	203	56	50	52	44	55	45	66	46	47	17	681	
	Technical Journal				1	1			1					3	
BL47XU	Micro-CT	1997.10	347	31	30	37	29	33	34	22	30	25	16	634	
	Technical Journal					1								1	
Public Use at Other Beamlines	BL05XU	R&D-ID I	2017. 4					3	7	9	9	2	5	4	39
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I (1999. 3 - 2012. 2)		13											13
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II (1998. 4 - 2012. 2)		48											48
	BL15XU	WEBRAM (2002. 9 - 2012. 2)		35											35
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005. 9	44	5	2	3	5	8	6	4	4	5		86
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002. 9	6	1	2	5	7	2	3	8	1	5	1	41
	BL22XU	JAEA Actinide Science I (2004. 9 - 2012. 2)		6											6
	BL23SU	JAEA Actinide Science II (1998. 6 - 2012. 2)		53						1	1				55
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I	2009. 4	23	7	19	19	29	30	37	26	25	13	11	239
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009. 4	15	7	11	9	7	9	7	1	3	4	4	77
		Technical Journal				1									1
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002. 9	14	1	2	2	3		1			1	2	26
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	29	17	8	17	18	18	14	8	6	6	2	143
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics	2020. 8									2			2
BL44B2	RIKEN Materials Science I	1998. 5	14		6	5	2	6	7	4	6	5	6	61	
BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	115	13	20	11	7	16	24	25	20	18	10	279	
Subtotal				9338	1066	1116	1078	1028	1104	1252	1063	957	837	590	19429

Beamline Name		Public Use Since	~2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterial	2009.11	59	14	17	23	9	19	21	14	21	15	224	
		Technical Journal		116	36	33	31	28	28	34	24	27	19	376	
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	(2009.11 - 2022.8)	35	12	19	19	16	21	13	15	18	6	6	180
		Technical Journal							1	2				3	
	BL08B2	Hyogo BM	2005. 9	21	5	6	11	5	7	12	10	10	7	1	95
		Technical Journal		26	7	4	4	1	3		1	1	2		49
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		125	8	20	20	16	20	14	20	10	11	14	278
	BL12B2	NSRRC BM	2001. 9	211	29	38	34	37	48	33	27	14	6	8	485
	BL12XU	NSRRC ID	2003. 2	99	19	18	25	19	28	30	15	16	12	15	296
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		163	19	17	23	22	21	26	27	26	22	15	381
	BL15XU	WEBRAM	(2001. 4 - 2021. 9)	357	49	62	58	54	49	55	40	32	17	9	782
	BL16B2	SUNBEAM BM	(1999. 9 - 2024. 3)	64	4	10	9	6	10	12	21	19	11	3	169
		Technical Journal		49	8	15	21	15	11	8	7	5	11	5	155
	BL16XU	SUNBEAM ID	(1999. 9 - 2024. 3)	47	4	11	9	9	17	20	23	20	17	10	187
		Technical Journal		53	14	21	18	12	8	10	6	4	7	4	157
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		114	15	14	15	26	25	18	27	27	20	22	323
		Technical Journal										1			1
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		241	19	26	16	24	23	28	19	21	12	4	433
	BL24XU	Hyogo ID	1998.10	158	4	5	6	8	2	13	12	12	15	7	242
		Technical Journal		24	3	1	4		1	1	1		1		36
BL28XU	Advanced Batteries	2012. 4	12	5	5	6	4	8	11	7	5	1	9	73	
	Technical Journal								1					1	
BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10	1		3	2	1	3	2		1			13	
BL32B2	Pharmaceutical Industry	(2002. 9 - 2012. 3)	27	1					1		1	1		31	
BL33LEP	Laser-Electron Photon	(2000.10 - 2023.3)	59	2	2	3	5	2	1	1				75	
BL33XU	TOYOTA	2009. 5	18	4	10	16	6	9	19	17	12	19	10	140	
	Technical Journal		16	3	4	1								24	
BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell	(2013. 1 - 2020. 3)	8	6	7	12	15	8	11	4	7	9	4	91	
BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000.2	462	73	61	67	61	67	71	61	46	35	15	1019	
Subtotal			2281	292	351	374	343	387	411	360	309	242	167	5517	
RIKEN Beamlines	BL05XU	R&D-ID I		4	1					1	2		2	10	
	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		98	5	8	5		1	8	4	1	5	2	137
	BL19LXU	SR Physics		122	9	5	6	1	4	1	2		2	1	153
	BL26B1	Structural Genomics I		199	9	8	7	6	5	1	1	2		2	240
	BL26B2	Structural Genomics II		142	5	9	25	9	5	5		2	2		204
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		204	10	15	9	8	4	7	4		3	2	266
	BL32XU	Targeted Proteins		34	11	19	9	11	6	6	5	4	1	1	107
	BL38B2	Diagnosis Beamline I		2											2
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics		1	1	1				2					5
	BL44B2	Materials Science I		270	21	17	18	14	10	3	2	2	3	6	366
BL45XU	Structural Biology I		220	13	13	8	7	2	11	4				278	
Subtotal			1296	85	95	87	56	37	44	23	13	16	16	1768	

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	~2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
	BL1	SXFEL	2016. 3					7	6	9	10	5	9	3	49
BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012. 3	42	37	48	42	34	51	62	57	57	46	25	501	
Hardware / Software R & D				626	33	46	53	49	35	26	15	20	12	5	920
NET Sum Total				11466	1233	1324	1318	1197	1287	1409	1209	1080	899	600	23022
Technical Journal				270	67	74	71	54	49	53	34	38	35	7	752

査読有り論文発表等：査読有りの原著論文、査読有りのプロシーディングと博士論文、SPring-8/SACLA 利用研究成果集

Technical Journal：JASRI が認定した企業等の公開技術報告書

NET Sum Total：実際に登録されている件数（本表に表示していない実験以外に関する文献を含む）

複数ビームライン（BL）からの成果からなる論文はそれぞれの BL でカウントし、共用・専用・理研の変更があった次の BL については、変更前のカテゴリに含めた。

BL07LSU、BL15XU、BL16XU、BL16B2、BL32B2、BL33LEP、BL36XU、BL38B1（以上、現理研BL）、BL45XU（現共用BL）

このデータは論文発表等登録データベース（<https://user.spring8.or.jp/ui/search/publication2/>）に 2024 年 9 月 30 日までに登録されたデータに基づいており、今後変更される可能性があります。

・SPring-8 または SACLA での成果を論文等にする場合は必ず BL 名および課題番号の記述を入れて下さい。

成果発表出版形式別登録数 (2024年9月30日現在)

SPRING-8

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS I	1997.10	1542	66	90	1698
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	682	14	32	728
	BL02B2	Powder Diffraction	1999. 9	1649	41	86	1776
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	393	7	50	450
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999. 9	716	13	62	791
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	343	10	49	402
	BL09XU	HAXPES I	1997.10	336	15	37	388
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	677	22	61	760
	BL13XU	X-ray Diffraction and Scattering I	2001. 9	507	19	41	567
	BL14B2	XAFS II	2007. 9	889	11	40	940
	BL19B2	X-ray Diffraction and Scattering II	2001.11	909	49	94	1052
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999. 9	576	93	91	760
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001. 9	628	106	163	897
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998. 4	602	15	61	678
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998. 5	648	21	39	708
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999. 9	341	17	25	383
	BL35XU	Inelastic and Nuclear Resonant Scattering	2001. 9	262	5	14	281
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	460	24	52	536
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	964	11	66	1041
	BL39XU	X-ray Absorption and Emission Spectroscopy	1997.10	471	17	80	568
	BL40B2	SAXS BM	1999. 9	1111	15	122	1248
	BL40XU	High Flux	2000. 4	522	25	73	620
	BL41XU	Macromolecular Crystallography I	1997.10	1461	4	103	1568
	BL43IR	Infrared Materials Science	2000. 4	302	15	64	381
	BL46XU	HAXPES II	2000.11	684	21	46	751
	BL47XU	Micro-CT	1997.10	635	93	138	866
Public Use at Other Beamlines	BL05XU	R&D-ID I	2017. 4	39			39
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I	(1999. 3 - 2012. 2)	13	2	2	17
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II	(1998. 4 - 2012. 2)	48	1	11	60
	BL15XU	WEBRAM	(2002. 9 - 2012. 2)	35	19	7	61
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005. 9	86	1	29	116
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002. 9	41		5	46
	BL22XU	JAEA Actinide Science I	(2004. 9 - 2012. 2)	6			6
	BL23SU	JAEA Actinide Science II	(1998. 6 - 2012. 2)	55	4	15	74
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I	2009. 4	239		9	248
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009. 4	78		11	89
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002. 9	26		1	27
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	143		5	148
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics	2020. 8	2			2
	BL44B2	RIKEN Materials Science I	1998. 5	61		4	65
	BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	279	5	20	304
Subtotal			19461	781	1898	22140	

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterial	2009.11	600		19	619
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science	(2009.11 - 2022.8)	183		12	195
	BL08B2	Hyogo BM	2005. 9	144			144
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		278	8	44	330
	BL12B2	NSRRC BM	2001. 9	485	1	2	488
	BL12XU	NSRRC ID	2003. 2	296	7	6	309
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		381	20	88	489
	BL15XU	WEBRAM	(2001. 4 - 2021. 9)	782	14	60	856
	BL16B2	SUNBEAM BM	(1999. 9 - 2024. 3)	324	12	79	415
	BL16XU	SUNBEAM ID	(1999. 9 - 2024. 3)	344	8	64	416
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		324	4	48	376
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		433	45	110	588
	BL24XU	Hyogo ID	1998.10	278	19	64	361
	BL28XU	Advanced Batteries	2012. 4	74		1	75
	BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10	13			13
	BL32B2	Pharmaceutical Industry	(2002. 9 - 2012. 3)	31		3	34
	BL33LEP	Laser-Electron Photon	(2000.10 - 2023.3)	75	23	3	101
	BL33XU	TOYOTA	2009. 5	164	5	49	218
	BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell	(2013. 1 - 2020. 3)	91		6	97
	BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000. 2	1019		47	1066
Subtotal			6319	166	705	7190	

RIKEN Beamlines	BL05XU	R&D-ID I		10	6		16
	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		137	4	13	154
	BL19LXU	SR Physics		153	8	27	188
	BL26B1	Structural Genomics I		240	2	19	261
	BL26B2	Structural Genomics II		204	1	13	218
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		266	14	38	318
	BL32XU	Targeted Proteins		107		4	111
	BL38B2	Diagnosis Beamline I		2	6		8
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics		5			5
	BL44B2	Materials Science I		366	2	16	384
	BL45XU	Structural Biology I		278	5	45	328
	Subtotal			1768	48	175	1991

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total
	BL1	SXFEL	2016. 3	49			49
BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012. 3	501	4	18	523	

Hardware / Software R & D	920	554	475	1949
---------------------------	-----	-----	-----	------

NET Sum Total	23774	1379	2522	27675
---------------	-------	------	------	-------

Refereed Papers : 査読有りの原簿論文、査読有りのプロシーディングと博士論文、SPring-8/SACLA 利用研究成果集、公開技術報告書

Proceedings : 査読なしのプロシーディング

Other Publications : 発表形式が出版で、上記の 2 つに当てはまらないもの (総説、単行本、賞、その他として登録されたもの)

NET Sum Total : 実際に登録されている件数 (本表に表示していない実績以外に関する文前を含む)

複数ビームライン (BL) からの成果からなる論文等はそれぞれの BL でカウントし、共用・専用・理研の変更があった次の BL については、変更前のカテゴリに含めた。

BL07LSU、BL15XU、BL16XU、BL16B2、BL32B2、BL33LEP、BL36XU、BL38B1 (以上、現理研BL)、BL45XU (現共用BL)

・SPring-8 または SACLA での成果を論文等にする場合は必ず BL 名および課題番号の記述を入れて下さい。

## 最近 SPring-8 もしくは SACLA から発表された成果リスト

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 もしくは SACLA において実施された研究課題等の成果が公表された場合は JASRI の成果登録データベースに登録していただくことになっており、その内容は以下の URL (SPring-8 論文データベース検索ページ) で検索できます。

[http://www.spring8.or.jp/ja/science/publication\\_database/](http://www.spring8.or.jp/ja/science/publication_database/)

このデータベースに登録された原著論文の内、2024 年 7 月～9 月に登録されたものを以下に紹介します。論文の情報（主著者、巻、発行年、ページ、タイトル）に加え、データベースの登録番号（研究成果番号）を掲載していますので、詳細は上記検索ページの検索結果画面でご覧いただくことができます。また実施された課題の情報（課題番号、ビームライン、実験責任者名）も掲載しています。課題番号は、以下の URL で検索することによりその課題の情報を閲覧することが可能です。

<https://user.spring8.or.jp/uisearch/expreport/ja/?criteria.institution=0>

今後も利用者情報には発行月の 2 ヶ月前の月末締めで、前号掲載分以降に登録された論文情報を掲載していく予定です。なお、データベースは毎日更新されていますので、最新情報は SPring-8 論文データベース検索ページでご確認ください。なお、実験責任者の方には、成果が公表されましたら速やかに登録いただきますようお願いいたします。

SPring-8 研究成果登録データベースに 2024 年 7 月～9 月に登録された論文が掲載された主な雑誌と掲載論文数

掲載雑誌	登録論文数	掲載雑誌	登録論文数
Physical Review B	12	ACS Applied Materials & Interfaces	4
Nature Communications	9	Geophysical Research Letters	4
Journal of the American Chemical Society	8	The Journal of Physical Chemistry C	4
Angewandte Chemie International Edition	6	Journal of the Physical Society of Japan	4
Biochemical and Biophysical Research Communications	6	Lamguir	4
Polymer Journal	5	Polymer	4

他全 137 誌、計 230 報

(注意) グループ課題として設定されている課題群については、その論文がグループ課題の中の複数の課題の成果である場合でも、代表課題となっている課題番号のみ表示しています。グループ課題に複数のビームラインの課題が含まれる場合、代表課題が複数のビームラインで実施されたように表示されています。

課題の成果として登録された論文

Physical Review B

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47213	Hiromu Tamatsukuri	110 (2024) 024301	2019A1163	BL35XU	村上 洋一	Lattice Dynamics of $\text{CH}(\text{NH}_2)_2\text{PbI}_3$ and $\text{CH}(\text{NH}_2)_2\text{SnI}_3$ Investigated by Inelastic X-ray Scattering and Comparison of Their Elastic Properties
			2019B1273	BL35XU	村上 洋一	
47230	Zhidan Zeng	109 (2024) 214113	2018B1055	BL10XU	Zeng Qiaoshi	Mechanism of Thermally Assisted Stabilization of Pressure-induced $sp^3$ Bonds in Amorphous Carbon
47315	Masato Ueno	110 (2024) L041116	2022B1582	BL02B1	鬼頭 俊介	Contrasting Magnetothermal Conductivity in Sibling Co-based Honeycomb-lattice Antiferromagnets
47317	Takeshi Hara	110 (2024) L020103	2020A0663	BL10XU	鬼頭 俊介	Pseudo-one-dimensional Ribbon Chain Cluster Realized under High Pressure in $1\text{T-VSe}_2$
			2019A0070	BL02B1	澤 博	
			2022A0304	BL02B1	原 武史	
47362	Abhisek Bandyopadhyay	109 (2024) 184403	2023A4250	BL12XU	武上 大介	Quantum Spin Liquid Ground State in the Trimer Rhodate $\text{Ba}_4\text{NbRh}_3\text{O}_{12}$
47364	Ryo Nakamura	110 (2024) L081109	2023A4267	BL12XU	武上 大介	Charge Fluctuations in a Cluster Mott State: Hard X-ray Photoemission Study on a Breathing Kagome Magnet $\text{Nb}_2\text{Cl}_8$
			2023B4255	BL12XU	武上 大介	
47422	Itaru Ohira	110 (2024) 054115	2022A1126	BL37XU	河野 義生	Pressure-induced Polyamorphic Transition in $\text{CaAl}_2\text{O}_4$ Glass
			2021A1068	BL37XU	河野 義生	
			2022B1171	BL04B1	河野 義生	
			2019B1436	BL04B1	Greaux Steve	
			2019A0069	BL04B1	河野 義生	
47424	Hitoshi Yamaoka	108 (2023) 035146	2018A4257	BL12XU	山岡 人志	Correlation between Electronic Structure and Emergence of Superconductivity in $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ ( $y \sim 1.2$ ) Studied by X-ray Emission Spectroscopy and Density Functional Theory
			2019A4266	BL12XU	山岡 人志	
			2019B4269	BL12XU	山岡 人志	
			2021B4254	BL12XU	山岡 人志	
			2022A4258	BL12XU	辻井 直人	
47425	Hitoshi Yamaoka	109 (2024) 155147	2017B4260	BL12XU	水木 純一郎	Pressure-induced Large Valence Transitions in Yb-Cu Binary Intermetallic Systems
			2017B4267	BL12XU	辻井 直人	
			2018A4258	BL12XU	辻井 直人	
			2018A4141	BL12B2	辻井 直人	
47430	Shoya Sakamoto	110 (2024) L060412	2022A1072	BL25SU	三輪 真嗣	Bulk and Surface Uniformity of Magnetic and Electronic Structures in Epitaxial $\text{W/Mn}_3\text{Sn/MgO}$ Films Revealed by Fluorescence- and Electron-yield X-ray Magnetic Circular Dichroism
47491	Koto Fujinuma	110 (2024) 125136	2024A4250	BL12XU	武上 大介	Bulk Mott Gap and S $3s/3p$ Spectral Distribution in Pyrite-type $\text{NiS}_2$ Revealed by Hard X-ray Photoemission Spectroscopy
			2023A4250	BL12XU	武上 大介	
47545	Minato Nagamoto	110 (2024) 115150	2022A1579	BL09XU	吉田 鉄平	Revisiting the Chemical Potential Shift in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ by Means of Hard and Soft X-ray Photoemission Spectroscopy
			2022A1729	BL09XU	石田 達広	
			2022B1765	BL09XU	石田 達広	
			2022A1550	BL09XU	大槻 太毅	
			2023A1802	BL09XU	石田 達広	

Journal of the American Chemical Society-1

47239	Atsuhiko Ikeno	146 (2024) 17084-17093	2023A1337	BL40XU	畠山 琢次	$\pi$ -Extended 9b-Boraphenalenenes: Synthesis, Structure, and Physical Properties
47245	Masahiro Hayakawa	146 (2024) 18331-18340	2023A1337	BL40XU	畠山 琢次	"Core-Shell" Wave Function Modulation in Organic Narrowband Emitters
47268	Katsuhiko Abe	142 (2020) 10544-10549	2019A2560	BL41XU	竹田 一旗	X-ray Crystal Structure of a Cyclic-PIP-DNA Complex in the Reverse-Binding Orientation
47305	Qilong Gao	146 (2024) 21710-21720	2023B2054	BL02B2	Gao Qilong	Critical Role of Nonrigid Unit and Spiral Acoustical Modes in Designing Colossal Negative Thermal Expansion
47407	Yuki Sasahara	146 (2024) 11694-11701	2022B0600	BL02B2	笹原 悠輝	Mechanochemical Synthesis of Perovskite Oxyhydrides: Insights from Shear Modulus
			2023B1894	BL13XU	生方 宏樹	
			2023B1928	BL02B2	Wei Zefeng	

Journal of the American Chemical Society-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47411	Munehiro Inukai	146 (2024) 14539-14545	2023A1682	BL02B2	栗原 拓也	Cocrystalline Matrices for Hyperpolarization at Room Temperature Using Photoexcited Electrons
			2023B1846	BL02B2	犬飼 宗弘	
47415	Satoshi Takahashi	146 (2024) 22642-22649	2023A1794	BL02B1	高橋 聡史	Sulfur-Bridged Cationic Diazulenomethenes: Formation of Charge-Segregated Assembly with High Charge-Carrier Mobility
			2024A1633	BL02B1	高橋 聡史	
47459	Kazuki Tabaru	146 (2024) 22993-23003	2022B1752	BL19B2	田原 一輝	Exploring Catalytic Intermediates in Pd-Catalyzed Aerobic Oxidative Amination of 1,3-Dienes: Multiple Metal Interactions of the Palladium Nanoclusters
			2022B1952	BL14B2	田原 一輝	
			2021A1615	BL14B2	安村 駿作	

Nature Communications

47233	Suk Min Kim	15 (2024) 2732	2022A2744	BL26B1	三上 文三	Identifying a Key Spot for Electron Mediator-interaction to Tailor CO Dehydrogenase's Affinity
47241	Hobeom Kim	15 (2024) 5632	2021B1870	BL19B2	柴山 直之	Shallow-level Defect Passivation by 6H Perovskite Polytype for Highly Efficient and Stable Perovskite Solar Cells
47292	Kazuki Shun	15 (2024) 6403	2023B1805	BL01B1	森 浩亮	Heteroatom Doping Enables Hydrogen Spillover via H <sup>+</sup> /e <sup>-</sup> Diffusion Pathways on a Non-reducible Metal Oxide
47355	Yifan Gu	14 (2023) 4245	2020A1469	BL02B2	北川 進	Soft Corrugated Channel with Synergistic Exclusive Discrimination Gating for CO <sub>2</sub> Recognition in Gas Mixture
			2020A0617	BL02B1	北川 進	
			2021A1104	BL02B1	北川 進	
			2021A1682	BL14B2	北川 進	
47365	Mingliang Han	15 (2024) 7102	2018B1055	BL10XU	Zeng Qiaoshi	Lightweight Single-phase Al-based Complex Concentrated Alloy with High Specific Strength
47366	Takahiro Hiraki	15 (2024) 5536	2019B1619	BL19LXU	吉村 浩司	Controlling <sup>229</sup> Th Isomeric State Population in a VUV Transparent Crystal
			2020A1284	BL19LXU	吉村 浩司	
			2021A1389	BL19LXU	吉村 浩司	
			2021B1516	BL19LXU	吉村 浩司	
			2022A1401	BL19LXU	吉村 浩司	
			2022B1418	BL19LXU	吉村 浩司	
			2023A1358	BL19LXU	吉村 浩司	
			2023B1311	BL19LXU	吉村 浩司	
			2014B1524	BL09XU	吉村 浩司	
			2015B1380	BL09XU	吉村 浩司	
			2016A1420	BL09XU	吉村 浩司	
			2016B1232	BL09XU	吉村 浩司	
			2017B1335	BL09XU	吉村 浩司	
			2018A1326	BL19LXU	吉村 浩司	
2018B1436	BL19LXU	吉村 浩司				
2022A1732	BL19LXU	岡井 晃一				
47470	Hiroshi Sawada	15 (2024) 7528	2019A8002	BL2	澤田 寛	Spatiotemporal Dynamics of Fast Electron Heating in Solid-density Matter via XFEL

Angewandte Chemie International Edition-1

47286	Nobutaka Fujieda	59 (2020) 13385-13390	2014A6500	BL44XU	山下 栄樹	Copper-Oxygen Dynamics in the Tyrosinase Mechanism
			2013B6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2015A6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2015B6500	BL44XU	山下 栄樹	
			2016A6500	BL44XU	山下 栄樹	
47290	Nobutaka Fujieda	59 (2020) 7717-7720	2016A6500	BL44XU	山下 栄樹	Cupin Variants as a Macromolecular Ligand Library for Stereoselective Michael Addition of Nitroalkanes
			2016B6500	BL44XU	山下 栄樹	
47352	Ziqian Xue	63 (2024) e202401005	2022B0525	BL14B2	北川 進	Modular Design of Highly Stable Semiconducting Porous Coordination Polymer for Efficient Electrosynthesis of Ammonia
			2023A1715	BL14B2	北川 進	
			2023B1579	BL02B2	北川 進	
			2023B1653	BL14B2	北川 進	
			2023B1881	BL14B2	北川 進	

Angewandte Chemie International Edition-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47354	Mohana Shivanna	62 (2023) e202308438	2021B1745	BL14B2	北川 進	Crossover Sorption of C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> and C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> in Soft Porous Coordination Networks
			2021B1349	BL02B1	北川 進	
			2021B1528	BL02B2	北川 進	
			2022A1500	BL02B1	北川 進	
47513	Seiya Terasaki	63 (2024) e202406502	2020A1190	BL26B1	松野 太輔	Exfoliatable Layered 2D Honeycomb Crystals of Host-guest Complexes Networked by CH-π Hydrogen Bonds
			2021A1061	BL26B1	松野 太輔	
			2021B1092	BL26B1	松野 太輔	
			2023A1177	BL26B1	福永 隼也	
47557	Jinyan Jiang	(2024) Online published 20 Sep. 2024	2022A6721	BL44XU	永田 宏次	Structure-Guided Discovery of a Potent Inhibitor of the Ferric Citrate Binding Protein FecB in Vibrio Bacteria
			2022B6721	BL44XU	永田 宏次	
			2023A6821	BL44XU	永田 宏次	
			2023B6821	BL44XU	永田 宏次	

Polymer Journal

47284	Tatsuki Oishi	56 (2024) 1089-1092	2023A1244	BL40B2	高橋 倫太郎	Supracolloidal Step-growth Polymerization of Isotropic Silica Nanoparticles: a Time-resolved Small-angle X-ray Scattering Study
			2023B1174	BL40B2	高橋 倫太郎	
47321	Yasuhito Suzuki	56 (2024) 1005-1015	2021B1338	BL40B2	鈴木 祥仁	Changes in Amorphous Structure and Reaction Acceleration during Bulk Polymerization of Methacrylates
			2022A1220	BL40B2	鈴木 祥仁	
			2023A1189	BL08W	鈴木 祥仁	
47429	Reiki Eto	56 (2024) 55-60	2022A7218	BL03XU	田村 雄児	Hydrolysis Properties of Polyglycolide Fiber Mats Mixed with a Hyperbranched Polymer as a Degradation Promoter
47494	Seina Hiroshige	53 (2021) 345-353	2018B7261	BL03XU	和泉 篤士	Temperature-dependent Relationship between the Structure and Mechanical Strength of Volatile Organic Compound-free Latex Films Prepared from Poly(butyl acrylate-co-methyl methacrylate) Microspheres
			2019A7209	BL03XU	和泉 篤士	
47530	Ruito Tanaka	56 (2024) 753-763	2021A7212	BL03XU	北村 祐二	Revisit of Crystal Orientation in a Vulcanizate of Natural Rubber under Planar Elongation
			2021B7262	BL03XU	北村 祐二	
			2022A7213	BL03XU	北村 祐二	
			2022B7262	BL03XU	北村 祐二	
			2023A7213	BL03XU	北村 祐二	

ACS Applied Materials & Interfaces

47277	Wataru Yoshimune	16 (2024) 36489-36497	2022A7032	BL33XU	山口 聡	Comprehensive Analysis of Wettability in Waterproofed Gas Diffusion Layers for Polymer Electrolyte Fuel Cells
			2022B7032	BL33XU	山口 聡	
			2023A7032	BL33XU	山口 聡	
			2023B7032	BL33XU	山口 聡	
47343	Yunfei Gao	15 (2023) 52473-52484	2022A1663	BL14B2	内山 智貴	Investigating Degradation Mechanisms in PtCo Alloy Catalysts: The Role of Co Content and a Pt-Rich Shell Using <i>Operando</i> High-Energy Resolution Fluorescence Detection X-ray Absorption Spectroscopy
			2021B1036	BL01B1	内山 智貴	
			2022B1012	BL39XU	今井 英人	
			2022B1033	BL39XU	内本 喜晴	
			2022B1444	BL39XU	内山 智貴	
			2022B1031	BL37XU	内山 智貴	
			2022B1441	BL37XU	内山 智貴	
			2023A1013	BL39XU	今井 英人	
47344	Aierxidng Abulikemu	15 (2023) 54419-54431	2022A1820	BL46XU	内山 智貴	Improving the Cyclic Reversibility of Layered Li-Rich Cathodes by Combining Oxygen Vacancies and Surface Fluorination
			2022A1781	BL19B2	松永 利之	
			2021A1668	BL14B2	内山 智貴	
			2020A0664	BL02B2	松永 利之	
47524	Yuki Sano	16 (2024) 42615-42622	2021A1489	BL01B1	鈴木 肇	Ordered Carbonaceous Framework Synthesized from Hexaazatrinaphthylene with Eneidyne Groups via Solid-State Bergman Cyclization Reaction
			2022B0566	BL01B1	神谷 和秀	
			2023A1690	BL01B1	神谷 和秀	
			2022B1905	BL13XU	杉本 邦久	
			2023A1934	BL01B1	大橋 圭太郎	

Biochemical and Biophysical Research Communications

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47218	Risa Watanabe	526 (2020) 580-585	2017A2558	BL41XU	胡桃坂 仁志	Crystal Structure of $\alpha$ -glucosyl Transfer Enzyme XgtA from <i>Xanthomonas campestris</i> WU-9701
47235	Kyung Wook Been	518 (2019) 114-119	2012B6741	BL44XU	三上 文三	Structural Characterization of a Putative Diguanylate Cyclase Conserved in Hyperthermophiles
47368	Shigeki Arai	737 (2024) 150513	2023A1814	BL14B2	正井 博和	Possibility of Two-dimensional Ordering of Cryptochrome 4a from European Robin
			2023B1936	BL01B1	正井 博和	
			2023B1046	BL14B2	正井 博和	
			2023B1131	BL44B2	新井 栄揮	
2024A1667	BL01B1	正井 博和				
47505	Akira Hirata	733 (2024) 150695	2002B0799	BL38B1	三上 文三	Structural Insight into Sugar-binding Modes of Microbial $\beta$ -amylase

Geophysical Research Letters

47207	Suyu Fu	51 (2024) e2023GL106475	2021B0181	BL10XU	廣瀬 敬	Melting Behavior of B1 FeO Up To 186 GPa: Existence of FeO-Rich Melts in the Lowermost Mantle
			2023B1140	BL10XU	廣瀬 敬	
47210	Yoshiyuki Okuda	51 (2024) e2024GL109741	2021B0181	BL10XU	廣瀬 敬	Electrical Conductivity of Dense MgSiO <sub>3</sub> Melt Under Static Compression
47287	Chaowen Xu	51 (2024) e2023GL107818	2018B1708	BL04B1	Xu Chaowen	Effect of Al-Incorporation on the Sound Velocities of Superhydrous Phase B at High Pressure and High Temperature
47288	Chaowen Xu	49 (2022) e2022GL098674	2018B1708	BL04B1	Xu Chaowen	Sound Velocities of Superhydrous Phase B up to 21 GPa and 900 K

The Journal of Physical Chemistry C

47329	Jun Cheng	128 (2024) 13998-14006	2023B1376	BL44B2	Zhang Jiawei	Crystal Structure and Chemical Bonding of $\beta$ -FeSi <sub>2</sub> and $\epsilon$ -FeSi
			2023B1295	BL44B2	Zhang Jiawei	
			2023A1294	BL44B2	Zhang Jiawei	
47448	Takahiro Ohkubo	128 (2024) 1298-1311	2018A1251	BL04B2	増野 敦信	Theoretical Insights into the <sup>27</sup> Al NMR Parameters of Binary Aluminosilicate Glass and Their Relationship to the Atomic and Electronic Structure
			2021A1297	BL04B2	増野 敦信	
47480	Takuhiro Kakiuchi	128 (2024) 13052-13063	2019A3801	BL23SU	吉越 章隆	Coverage Dependence upon Early Oxidation Stages of Hafnium-Adsorbed Si(111)-7 × 7
			2019B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2020A3832	BL23SU	垣内 拓大	
			2021A3832	BL23SU	垣内 拓大	
			2021B3832	BL23SU	垣内 拓大	
			2022A3832	BL23SU	垣内 拓大	
2021A3801	BL23SU	吉越 章隆				
47503	Xiao Wang	128 (2024) 15668-15675	2023B1575	BL02B2	Pan Zhao	X-ray Absorption Spectroscopic Study of the Transition-Metal-Only Double Perovskite Oxide Mn <sub>2</sub> CoReO <sub>6</sub>

Journal of the Physical Society of Japan-1

47244	Satoshi Tsutsui	93 (2024) 084702	2010A1060	BL09XU	筒井 智嗣	Magnetic Properties and Lattice Dynamics in Non-doped and Si-doped Type-I Clathrate Eu <sub>8</sub> Ga <sub>16</sub> Ge <sub>30</sub> Studied by <sup>151</sup> Eu Mössbauer Effect and Magnetic Circular Dichroism
			2010A1477	BL39XU	鬼丸 孝博	
			2010B1564	BL39XU	鬼丸 孝博	
			2013B1297	BL39XU	鬼丸 孝博	
			2015B1112	BL09XU	筒井 智嗣	
47403	Takaya Mitsui	93 (2024) 034705	2014A3514	BL11XU	壬生 攻	Feasibility Study of Thin Film Surface Analysis Using Synchrotron Low-Angle Incidence Conversion Electron Mössbauer Spectroscopy
			2014B3512	BL11XU	壬生 攻	
			2015A3511	BL11XU	壬生 攻	
			2021A3551	BL11XU	境 誠司	
			2021B3551	BL11XU	境 誠司	
			2021A3552	BL11XU	三井 隆也	
			2021B3552	BL11XU	三井 隆也	
			2022A3551	BL11XU	境 誠司	
			2022B3551	BL11XU	境 誠司	
			2022A3552	BL11XU	三井 隆也	
2022B3552	BL11XU	三井 隆也				
2022A3554	BL11XU	藤原 孝将				

Journal of the Physical Society of Japan-2

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47404	Sho Okada	93 (2024) 064701	2020A1475	BL02B2	出村 郷志	Relationship between Resistivity Anomaly and Crystal Structure Parameters in Pb Substituted La(O,F)BiS <sub>2</sub>
			2023B1652	BL02B2	高瀬 浩一	
			2023B1660	BL02B2	出村 郷志	
47492	Naoya Tsutsumi	93 (2024) 104801	2024A1736	BL09XU	大槻 太毅	Anomalous Carrier Enhancement with Lightly Mn Doping in Indium-Tin Oxide Thin Films Studied by Hard X-ray Photoemission Spectroscopy
			2023A1802	BL09XU	石田 達拓	
			2022B1765	BL09XU	石田 達拓	
			2022A3841	BL23SU	小林 正起	
			2022A1729	BL09XU	石田 達拓	
2022A1579	BL09XU	吉田 鉄平				

Langmuir

47285	Rintaro Takahashi	39 (2023) 11379-11387	2020A1198	BL40B2	高橋 倫太郎	In Situ and Ex Situ Studies of Ring-Like Assembly of Silica Nanoparticles in the Presence of Poly(propylene oxide)-Poly(ethylene oxide) Block Copolymers
			2021A1270	BL40B2	高橋 倫太郎	
			2022A1193	BL40B2	高橋 倫太郎	
			2022B1233	BL40B2	高橋 倫太郎	
47482	Kazushi Ogata	39 (2023) 16484-16493	2022A1193	BL40B2	高橋 倫太郎	Formation of Polyion Complex Aggregate Formed from a Cationic Block Copolymer and Anionic Polysaccharide
47483	Shukanta Bhowmik	39 (2023) 8120-8129	2023A1244	BL40B2	高橋 倫太郎	Preparation of Water-Soluble Polyion Complex (PIC) Micelles with Random Copolymers Containing Pendant Quaternary Ammonium and Sulfonate Groups
47517	Hiroki Ogawa	38 (2022) 11432-11439	2020A7220	BL03XU	竹中 幹人	Spatial Distribution of the Network Structure in Epoxy Resin via the MAXS-CT Method
			2021B7283	BL03XU	竹中 幹人	

Polymer

47212	Akihiko Morikawa	308 (2024) 127329	2021B1351	BL40B2	比江嶋 祐介	A Nonequilibrium Constitutive Equation for Tensile Behavior of Polyolefinic Thermoplastic Vulcanizates
			2022A1347	BL40B2	比江嶋 祐介	
			2023A1617	BL40B2	一筆 稜平	
			2022B1276	BL40B2	伊藤 麻絵	
47535	Manikandan Ilangoan	270 (2023) 125791	2022A7204	BL03XU	岩田 忠久	Bio-based Polymer Blend with Tunable Properties Developed from Paramylon Hexanoate and Poly(butylene succinate)
47539	Yusuke Matsumoto	272 (2023) 125843	2019B1081	BL40B2	岩田 忠久	Static and <i>in situ</i> Small-angle X-ray Scattering Analyses of the Effect of Molecular Structure on the Tensile Properties of Cross-linked Curdlan Hydrogels and Stretched, Dried Gel-films
			2020A7223	BL03XU	岩田 忠久	
			2021B7254	BL03XU	岩田 忠久	
47542	Manikandan Ilangoan	259 (2022) 125332	2022A7204	BL03XU	岩田 忠久	Preparation and Properties of Binary Green Blends from Poly(butylene succinate-co-adipate) and $\beta$ -(1,3)-D-glucan Ester Derivative

Catalysis Science & Technology

47270	Hirosuke Matsui	13 (2023) 4360-4366	2019B7820	BL36XU	唯 美津木	Spatial Imaging of Catalyst Poisoning with SO <sub>2</sub> on Pt/C PEFC Electrocatalyst by <i>Operando</i> Pt L <sub>III</sub> -edge XAFS-CT Imaging
47271	Hirosuke Matsui	14 (2024) 1501-1511	2017B7821	BL36XU	唯 美津木	Local Structures and Robust Oxygen Reduction Performances of TiN-supported Bimetallic Pt-Cu Electrocatalysts for Fuel Cells
			2018A1332	BL37XU	松井 公祐	
			2018B7821	BL36XU	唯 美津木	
47272	Abinash Chandro Sarker	14 (2024) 4137-4141	2022B0608	BL14B2	庄 宇	Selective Electrocatalysis of the Nitrous Oxide Reduction Reaction to Nitrogen on Carbon-supported Pt-Pd-Sn Nanoparticles

Chemistry - A European Journal

47289	Xuan Liang	30 (2024) e202401960	2023A1496	BL02B2	Belik Alexei	Three Perovskite Phases with Different Cation Orders in Sm <sub>2</sub> MnMn(Mn <sub>4-x</sub> Sb <sub>x</sub> )O <sub>12</sub>
			2023B1676	BL02B2	山浦 一成	
47319	Kristoffer Andreas Holm Stöckler	30 (2024) e202402001	2023A1521	BL02B1	Zhang Jiawei	Stereochemically Active Lone Pairs Stabilizing Intrinsic Vacancy Defects in Thermoelectric InTe
			2023B1619	BL20B2	Zhang Jiawei	
47440	Zhenzhong Zhang	29 (2023) e202300494	2021B1763	BL14B2	高谷 光	Continuous-Flow Suzuki-Miyaura Coupling in Water and Organic Solvents Promoted by Blends of Stabilized Convuluted Polymeric Palladium Catalysts and Polymeric Auxiliary Materials
			2021B1181	BL39XU	高谷 光	
			2022A1559	BL27SU	高谷 光	

### Inorganic Chemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47273	Fuerkaiti Tayier	63 (2024) 5559-5567	2023B1307	BL40XU	古川 修平	Redox-Active Ruthenium-Organic Polyhedra with Tunable Surface Functionality and Porosities
			2023A1747	BL02B1	古川 修平	
47525	Oomi Sumioka	63 (2024) 15539-15545	2022B1907	BL02B1	杉本 邦久	Mechanistic Insights on the Formation of a Carbodiimide Ion from Urea in La <sub>2</sub> O <sub>2</sub> NCN Synthesis Based on the "Proanion" Strategy
			2023A1566	BL02B2	杉本 邦久	
47526	Ryota Inoue	63 (2024) 14770-14778	2023A1566	BL02B2	杉本 邦久	Organometallic Ionic Plastic Crystals Incorporating Cationic Half-Sandwich Complexes
			2023B2078	BL02B2	杉本 邦久	

### Physical Review Materials

47358	Ryushiro Fukushima	8 (2024) 084202	2020A3843	BL23SU	平原 徹	Direct evidence of Induced Magnetic Moment in Se and the Role of Misplaced Mn in MnBi <sub>2</sub> Se <sub>4</sub> -based Intrinsic Magnetic Topological Insulator Heterostructures
			2021B3843	BL23SU	平原 徹	
			2021A3843	BL23SU	平原 徹	
47363	Abhisek Bandyopadhyay	8 (2024) 074405	2023A4250	BL12XU	武上 大介	Gapless Dynamic Magnetic Ground State in the Charge-gapped Trimer Iridate Ba <sub>4</sub> NbIr <sub>3</sub> O <sub>12</sub>
47452	Hajime Yamamoto	8 (2024) 094402	2023A1728	BL02B2	山本 孟	Continuous Structural Phase Transition and Antiferromagnetic Order in Ilmenite-type NiVO <sub>3</sub>
			2023A3657	BL14B1	石井 賢司	
			2023B1583	BL02B2	木村 健太	
			2023B3657	BL14B1	石井 賢司	
			2023B1635	BL02B2	山本 孟	
2022A1268	BL02B2	山本 孟				

### ACS Omega

47439	Francesca Pincella	9 (2024) 24477-24488	2021B1182	BL47XU	高谷 光	Reusable Magnetite Nanoparticle (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> NP) Catalyst for Selective Oxidation of Alcohols under Microwave Irradiation
			2022B1209	BL40XU	高谷 光	
			2023A1770	BL14B2	高谷 光	
			2023B2094	BL14B2	高谷 光	
			2023B1584	BL14B2	高谷 光	
47509	Shingo Tanaka	8 (2023) 32365-32371	2019A7232	BL03XU	蟹江 澄志	Forming a Homeotropic SmA Structure of Liquid Crystalline Epoxy Resin on an Amine-Modified Surface
			2018B7282	BL03XU	蟹江 澄志	

### Applied Physics Express

47262	Shigenori Ueda	17 (2024) 075501	2018B4606	BL15XU	上田 茂典	Probing Buried Interface Band Dispersion of a MgO/Fe Heterostructure with Hard X-ray Angle-resolved Photoemission
47458	Kosuke Fujiwara	17 (2024) 082002	2019B3552	BL11XU	三井 隆也	Three-dimensional Surface Analysis of Iron-based Materials using Synchrotron Mössbauer Source
			2022B3552	BL11XU	三井 隆也	
			2023A3552	BL11XU	三井 隆也	
			2023B3552	BL11XU	三井 隆也	
			2023B3553	BL11XU	藤原 孝将	

### Chemical Communications

47216	Kamonnart Imwiset	60 (2024) 6383-6386	2023B1802	BL19B2	Imwiset Kamonnart	Forceless Spontaneous Delamination of High-aspect Ratio Fluorohectorite into Monolayer Nanosheets in Chloroform
47332	Ayaka Shigemoto	60 (2024) 1563-1566	2024A1661	BL14B2	関根 泰	Electric Field-assisted NSR Process for Lean NO <sub>x</sub> Reduction at Low Temperatures

### Crystal Growth & Design

47359	Seiya Takahashi	24 (2024) 6267-6274	2023B1672	BL02B2	笠井 秀隆	Rattling of Ag Atoms Found in the Low-Temperature Phase of Thermoelectric Argyrodite Ag <sub>8</sub> SnSe <sub>6</sub>
			2023A1881	BL13XU	笠井 秀隆	
			2023A1571	BL02B2	笠井 秀隆	
			2022B0516	BL02B2	笠井 秀隆	
			2022B1946	BL02B2	Zheng Yanyan	
			2022A1231	BL02B2	笠井 秀隆	
47489	Poonam Deka	24 (2024) 7222-7234	2022B2115	BL40XU	一柳 光平	Analysis of Solid-State Emission of the <i>p</i> -Bis(2,2-dicyanovinyl)benzene Analogue through Combined X-ray, Synchrotron, and Microcrystal Electron Diffraction
			2023B1422	BL40XU	一柳 光平	
			2023A2385	BL02B1	佐々木 俊之	

ISIJ International

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47259	Ryota Higashi	64 (2024) 1486-1492	2023B1692	BL28B2	東 料太	Recycling Process for Net-Zero CO <sub>2</sub> Emissions in Steel Production
47400	Taka Narumi	64 (2024) 1758-1767	2020A1542	BL20B2	鳴海 大翔	Nucleation-controlled Selection of Metastable Ferrite in Solidification of Fe-22mass%Mn-0.7mass%C Alloy
			2021A1400	BL20XU	鳴海 大翔	
			2021A1499	BL20XU	安田 秀幸	
			2021B1514	BL20B2	鳴海 大翔	
			2023B1423	BL20B2	鳴海 大翔	

Journal of Applied Crystallography

47291	Natsuki Akaishi	57 (2024) 1085-1097	2019B3201	BL24XU	高山 裕貴	Subgradient-projection-based Stable Phase-retrieval Algorithm for X-ray Ptychography
			2020A3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2021A3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2021B3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2022A3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2022B3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2023A3201	BL24XU	高山 裕貴	
47346	Koki Yamada	57 (2024) 1323-1335	2019B3201	BL24XU	高山 裕貴	Ptychographic Phase Retrieval via a Deep-learning-assisted Iterative Algorithm
			2019A3280	BL24XU	大野 博司	
			2019B3280	BL24XU	大野 博司	
			2020A3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2021A3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2021B3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2022A3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2022B3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2023A3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2023B3201	BL24XU	高山 裕貴	
			2023B1456	BL29XU	高山 裕貴	

Journal of Fiber Science and Technology

47534	Naotaka Kimura	80 (2024) 178-183	2021B7254	BL03XU	岩田 忠久	TEM Observation of Oriented Crystals in Curdlian Tripropionate Fibers and Comparison with Lamellar Crystals in Microbial Polyester Fibers
			2022A7204	BL03XU	岩田 忠久	
			2022B1405	BL05XU	加部 泰三	
			2023A7204	BL03XU	加部 泰三	
47541	Yutaro Uenoyama	79 (2023) 82-91	2022A7204	BL03XU	岩田 忠久	Melt-Spun Fibers Manufactured from $\alpha$ -1,3-Glucan Short- and Long-Chain Mixed Esters

Journal of Materials Chemistry A

47222	Chirui Xu	12 (2024) 19018-19028	2020A0709	BL04B2	Zhao Pu	Direct Visualisation of Metal-defect Cooperative Catalysis in Ru-doped Defective MOF-808
			2021B1185	BL02B2	Zhao Pu	
			2024A1565	BL02B2	Zhao Pu	
47420	Tatsuya Ohsawa	12 (2024) 22510-22515	2020A2133	BL02B1	中村 唯我	A Phthalocyanine-based Polycrystalline Interlayer Simultaneously Realizing Charge Collection and Ion Defect Passivation for Perovskite Solar Cells
			2021A2085	BL02B1	中村 唯我	
			2022A2078	BL02B1	中村 唯我	
			2022B2110	BL02B1	中村 唯我	
			2023A2358	BL02B1	中村 唯我	
			2023B1655	BL19B2	柴山 直之	
			2023B1687	BL02B1	柴山 直之	
			2023B1887	BL19B2	柴山 直之	
			2023B1889	BL02B2	柴山 直之	
			2023B1977	BL02B1	柴山 直之	
			2023B2056	BL19B2	柴山 直之	
			2023B2318	BL02B1	中村 唯我	

Journal of Mineralogical and Petrological Sciences

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47217	Masahiro Takano	119 (2024) 240122	2023A1410	BL04B1	鍵 裕之	Low Reactivity of Stoichiometric FeS with Hydrogen at High-pressure and High-temperature Conditions
			2023B1524	BL04B1	鍵 裕之	
47357	Daisuke Nishio-Hamane	119 (2024) 240509	2023A2372	BL02B2	森 祐紀	Aluminosugilite and Norrishite from the Funakozawa Mine, Iwate Prefecture, Japan

Macromolecules

47516	Mizuki Kishimoto	56 (2023) 207-214	2022B7284	BL03XU	竹中 幹人	Spatial Distribution of the Amorphous Region Constrained by Polymer Crystallites
			2023A7240	BL03XU	竹中 幹人	
			2023B7254	BL03XU	竹中 幹人	
47518	Yuki Watanabe	56 (2023) 5964-5973	2020A7220	BL03XU	竹中 幹人	Distribution of Oriented Lamellar Structures in Injection-Molded High-Density Polyethylene Visualized via the Small Angle X-ray Scattering-Computed Tomography Method

Materials Transactions

47340	Hiroyuki Toda	65 (2024) 763-772	2019B2046	BL20XU	戸田 裕之	Hydrogen Induced Debonding of Mg <sub>2</sub> Si Particle/Aluminum Interface in Al-Mg-Si Alloy
			2020A1084	BL20XU	戸田 裕之	
			2020A1796	BL20XU	戸田 裕之	
			2021A1002	BL20XU	戸田 裕之	
			2021B1123	BL20XU	戸田 裕之	
2022A1005	BL20XU	戸田 裕之				
47341	Ryota Higa	65 (2024) 899-906	2015A0076	BL20XU	戸田 裕之	Multi-Modal 3D Image-Based Simulation of Hydrogen Embrittlement Crack Initiation in Al-Zn-Mg Alloy

Physical Review Letters

47431	Wei Zhong	133 (2024) 066001	2023B1412	BL10XU	Zhong Wei	Pressure-Sensitive Multiple Superconducting Phases and Their Structural Origin in Van der Waals HfS <sub>2</sub> Up to 160 GPa
47443	Yuyang Dong	133 (2024) 016401	2021A1317	BL25SU	黒田 健太	Fermi Surface Nesting Driving the RKKY Interaction in the Centrosymmetric Skyrmion Magnet Gd <sub>2</sub> PdSi <sub>3</sub>

Review of Scientific Instruments

47206	Yoshiyuki Okuda	94 (2023) 043901	2021B0181	BL10XU	廣瀬 敬	Novel Non-Joule Heating Technique: Externally Laser-heated Diamond Anvil Cell
			2021A1481	BL10XU	Edmund Eric	
47293	Shintaro Azuma	95 (2024) 073907	2022B1408	BL47XU	岡崎 啓史	Near-infrared Focused Heating Method for the Rotational Diamond Anvil Cell
			2022B1410	BL47XU	東 真太郎	
			2023A1314	BL47XU	東 真太郎	
			2023A1359	BL47XU	岡崎 啓史	
			2023B1462	BL47XU	東 真太郎	

Scientific Reports

47211	Seiji Nakashima	14 (2024) 14358	2020A0680	BL37XU	中嶋 誠二	Intermediate Multidomain State in Single-crystalline Mn-doped BiFeO <sub>3</sub> Thin Films during Ferroelectric Polarization Switching
			2021A1378	BL39XU	中嶋 誠二	
			2022B1387	BL39XU	中嶋 誠二	
			2021B1472	BL13XU	中嶋 誠二	
			2022A1269	BL39XU	中嶋 誠二	
			2023A1362	BL37XU	中嶋 誠二	
2023B1389	BL37XU	中嶋 誠二				
47433	Wojciech Roseker	14 (2024) 17480	2019B8065	BL3	Roseker Wojciech	Hard X-ray Fourier Transform Holography at Free Electron Lasers Source

Scripta Materialia

47328	Sangwook Kim	244 (2024) 116021	2023A1854	BL02B2	Kim Sangwook	Gravity-induced Structural Deformation for Enhanced Ferroelectric Performance in Lead-free Piezoelectric Ceramics
			2022B1842	BL02B2	Kim Sangwook	
			2022A1133	BL02B2	Kim Sangwook	
47447	Hiroyuki Inoue	252 (2024) 116271	2010A1316	BL04B2	増野 敦信	Nearly Close-packed Atomic Arrangements in BaTi <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Glass
			2011B1233	BL04B2	増野 敦信	
			2021A1297	BL04B2	増野 敦信	

## Small

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47299	Keisuke Matsumura	(2024) Online published 26 Jul. 2024	2024A1444	BL04B2	岩間 悦郎	Comprehensive Investigation of the Crystal Structure of Cation-Disordered $\text{Li}_3\text{VO}_4$ as a High-Rate Anode Material: Unveiling the Dichotomy between Order and Disorder
			2019A1607	BL01B1	直井 勝彦	
			2018A1528	BL01B1	直井 勝彦	
			2022B1478	BL04B2	岩間 悦郎	
47314	Xingyu Chen	(2024) Online published 2 Aug. 2024	2023A1521	BL02B1	Zhang Jiawei	Ultralow Thermal Conductivity in Vacancy-Ordered Halide Perovskite $\text{Cs}_3\text{Bi}_2\text{Br}_9$ with Strong Anharmonicity and Wave-Like Tunneling of Low-Energy Phonons
			2023B1619	BL02B1	Zhang Jiawei	
			2024A1720	BL02B1	Zhang Jiawei	
			2023A1294	BL44B2	Zhang Jiawei	
			2023B1295	BL44B2	Zhang Jiawei	
2023B1376	BL44B2	Zhang Jiawei				

## Soft Matter

47421	Masahiko Asada	20 (2024) 5040-5044	2023B7267	BL03XU	田村 雄児	Investigating the Effect of the Micelle Structures of Block and Random Copolymers on Dye Solubilization
47444	Tsukasa Morita	20 (2024) 7030-7037	2017A1586	BL19B2	吉村 倫一	Ellipsoidal Micelle Formation of Quaternary Ammonium Salt-based Gemini Surfactants: Structural Analysis through Small-Angle X-ray Scattering

## ACS Applied Polymer Materials

47531	Ruito Tanaka	6 (2024) 2799-2806	2021A7212	BL03XU	北村 祐二	Application of a Strained Natural Rubber at High Temperatures
			2021B7262	BL03XU	北村 祐二	
			2022A7213	BL03XU	北村 祐二	
			2022B7262	BL03XU	北村 祐二	
			2023A7213	BL03XU	北村 祐二	

## ACS Central Science

47468	Yuka Miyaoka	10 (2024) 1718-1732	2023A1001	BL04B2	尾原 幸治	A Practical and Sustainable Ni/Co-Free High-Energy Electrode Material: Nanostructured $\text{LiMnO}_2$
			2021B1722	BL19B2	藪内 直明	

## ACS Macro Letters

47296	Riku Yamanaka	13 (2024) 1050-1055	2022B1233	BL40B2	高橋 倫太郎	Microphase Separation and Gelation through Polymerization-Induced Self-Assembly Using Star Polyethylene Glycols
			2023A1244	BL40B2	高橋 倫太郎	
			2023B1174	BL40B2	高橋 倫太郎	
			2024A1165	BL40B2	高橋 倫太郎	

## ACS Nano

47261	Yushu Matsushita	18 (2024) 17135-17144	2022A1073	BL40XU	松下 裕秀	Nearly Ideal Random Tiling with Dodecagonal Symmetry from Pentablock Quarterpolymers of the $\text{AB}_1\text{CB}_2\text{D}$ Type
			2022B1141	BL40XU	松下 裕秀	
			2023A1234	BL40XU	松下 裕秀	
			2023B1127	BL40XU	松下 裕秀	

## Acta Crystallographica Section B

47360	Takashi Nishioka	80 (2024) 275-280	2023B1859	BL02B1	西堀 英治	Multiscale Structure of $\text{LaAlO}_3$ from Single-crystal X-ray Diffraction
			2023A1555	BL02B1	西堀 英治	
			2023A1860	BL02B1	西堀 英治	
			2022B1595	BL02B1	西堀 英治	
			2022B0530	BL02B1	西堀 英治	
			2021B1140	BL02B1	西堀 英治	
2019A0159	BL02B1	西堀 英治				

## Acta Crystallographica Section D

47436	Hiroaki Matsuura	79 (2023) 909-924	2019A6927	BL44XU	藤間 祥子	Elucidating Polymorphs of Crystal Structures by Intensity-based Hierarchical Clustering Analysis of Multiple Diffraction Data Sets
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

## Acta Crystallographica Section F

47309	Kee Shin Sim	79 (2023) 169-179	2019A6943	BL44XU	福田 庸太	Structure of a Superoxide Dismutase from a Tardigrade: <i>Ramazzottius varieornatus</i> Strain YOKOZUNA-1
			2018A6844	BL44XU	福田 庸太	
			2018B6844	BL44XU	福田 庸太	

### Advanced Energy & Sustainability Research

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47219	Wataru Yoshimune	5 (2024) 2400126	2023A7032	BL33XU	山口 聡	Liquid Water Visualization in the Pt-Loading Cathode Catalyst Layers of Polymer Electrolyte Fuel Cells Using Operando Synchrotron X-ray Radiography
			2023B7032	BL33XU	山口 聡	
			2024A7032	BL33XU	吉宗 航	

### Advanced Functional Materials

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47231	Thomas Bjørn Egede Grønbech	34 (2024) 2401703	2014A0078	BL02B1	Iversen Bo	Weak Bonding and Anharmonicity in Thermoelectric ZnSb

### Applied Physics Letters

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47280	Nana Sun	125 (2024) 032904	2022A1266	BL13XU	舟窪 浩	High Stability of the Ferroelectricity against Hydrogen Gas in (Al,Sc)N Thin Films
			2023B1892	BL19B2	岡本 一輝	

### Archives of Biochemistry and Biophysics

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47565	Hironori Hayashi	761 (2024) 110160	2022B2524	BL41XU	林 宏典	SHIN-2 Exerts Potent Activity against VanA-type Vancomycin-resistant <i>Enterococcus faecium</i> <i>in vitro</i> by Stabilizing the Active Site Loop of Serine Hydroxymethyltransferase
			2021B2560	BL41XU	林 宏典	
			2023B2517	BL41XU	林 宏典	

### Archives of Microbiology

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47567	Katsuki Takebe	206 (2024) 4	2017A6732	BL44XU	中田 匡宣	Analysis of FctB3 Crystal Structure and Insight into its Structural Stabilization and Pili Linkage Mechanisms
			2017B6732	BL44XU	中田 匡宣	
			2018A6832	BL44XU	中田 匡宣	

### Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47325	Seigo Yumura	112 (2024) 129914	2022B6711	BL44XU	木下 誉富	Conserved Gatekeeper Methionine Regulates the Binding and Access of Kinase Inhibitors to ATP Sites of MAP2K1, 4, and 7: Clues for Developing Selective Inhibitors
			2023A6810	BL44XU	木下 誉富	

### Biophysical Chemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47237	Masaru Nakada	312 (2024) 107287	2021A3205	BL24XU	中田 克	Nanoscale Intracellular Ultrastructures Affected by Osmotic Pressure using Small-angle X-ray Scattering
			2021B3205	BL24XU	中田 克	
			2022A3205	BL24XU	中田 克	
			2022B3205	BL24XU	中田 克	
			2022B3431	BL08B2	中田 克	
			2023A3441	BL08B2	中田 克	
			2023A3439	BL08B2	中田 克	

### Bioscience, Biotechnology and Biochemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47238	Takafumi Itoh	88 (2024) 294-304	2019B2728	BL26B1	日奔 隆雄	Characterization of the Extracellular Domain of Sensor Histidine Kinase NagS from <i>Paenibacillus</i> sp. str. FPU-7: nagS Interacts with Oligosaccharide Binding Protein NagB1 in Complexes with N, N'-diacetylchitobiose
			2022A2744	BL26B1	三上 文三	

### Bulletin of the Chemical Society of Japan

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47438	Sho Nakajima	96 (2023) 1298-1309	2021A1536	BL14B2	高谷 光	SciPROP-R: An Effective Bisphosphine Ligand for the Chemo-Selective Iron-Catalyzed Suzuki-Miyaura Coupling of Alkyl Chlorides
			2018B0938	BL40XU	若林 裕助	
			2022B1209	BL40XU	高谷 光	
			2023A1912	BL02B1	高谷 光	
			2015A0114	BL02B1	高谷 光	
			2015A0114	BL14B2	高谷 光	
			2015A0114	BL27SU	高谷 光	
			2015A0114	BL40XU	高谷 光	
			2013A1798	BL14B2	高谷 光	
			2013A1601	BL14B2	仲嶋 翔	
			2014B1300	BL27SU	高谷 光	
			2013B1115	BL27SU	高谷 光	
			2013A1685	BL27SU	高谷 光	
			2012B1797	BL27SU	高谷 光	
			2010A1455	BL38B1	高谷 光	
			2013A1705	BL40XU	高谷 光	
2012B1815	BL40XU	高谷 光				

## Carbohydrate Polymers

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47246	Akihito Kobayashi	343 (2024) 122473	2019B1113	BL40B2	寺尾 憲	Highly Branched Thermoresponsive Polysaccharide Derivative in Water. Partly Substituted Highly Branched Cyclic Dextrin Ethylcarbamate
			2020A1132	BL40B2	寺尾 憲	
			2020A0529	BL40B2	寺尾 憲	
			2021B1139	BL40B2	寺尾 憲	

## Cell

47225	Tian Hua	180 (2020) 655-665	2019A2520	BL41XU	Liu Zhi-Jie	Activation and Signaling Mechanism Revealed by Cannabinoid Receptor-G <sub>i</sub> Complex Structures
			2018B2721	BL41XU	Liu Zhi-Jie	

## Cellular and Molecular Life Sciences

47236	Dong-Gyun Kim	78 (2021) 207-225	2017B6750	BL44XU	三上 文三	Crystal Structures of Human NSDHL and Development of its Novel Inhibitor with the Potential to Suppress EGFR Activity
			2017B6773	BL44XU	Lee Bong Jin	

## ChemCatChem

47510	Minori Kobayashi	(2024) Online published 4 Jul. 2024	2023A1723	BL01B1	浪花 晋平	Promoting Effect of Pd Nanoparticles on SrTi <sub>0.8</sub> Mn <sub>0.2</sub> O <sub>3</sub> in the Reverse Water-Gas Shift Reaction via the Mars-Van Krevelen Mechanism
-------	------------------	---	-----------	--------	-------	--

## Chemical Engineering Journal

47511	Foni B. Biswas	450 (2022) 138232	2021A1563	BL14B2	遠藤 克	Functionalized Polyvinyl Alcohol Aerogel for Efficient and Selective Removal of Arsenite from Aqueous Matrices
			2020A1615	BL14B2	遠藤 克	
			2021B1764	BL14B2	遠藤 克	

## Chemical Science

47304	Verena Markmann	15 (2024) 11391-11401	2022A8038	BL3	Markmann Verena	Real-time Structural Dynamics of the Ultrafast Solvation Process around Photo-excited Aqueous Halides
-------	-----------------	--------------------------	-----------	-----	-----------------	---

## Chemistry and Physics of Lipids

47460	Tomonobu Uchino	265 (2024) 105435	2023A1457	BL40B2	内野 智信	Evaluation of Molecular Interaction between Intercellular Lipid Organization in Human Stratum Corneum and Terpenes using Time-resolved Synchrotron X-ray Diffraction
-------	-----------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

## Chemistry Letters

47350	Ping Wang	53 (2024) upae128	2021A1104	BL02B1	北川 進	Flexible Porous Coordination Polymer with Multiple Configurations for Guest Recognition and Switchable CO <sub>2</sub> Sorption Properties
			2021A1682	BL14B2	北川 進	
			2021B1349	BL02B1	北川 進	
			2021B1528	BL02B2	北川 進	
			2022B1651	BL02B2	北川 進	
			2021B1745	BL14B2	北川 進	

## Chemistry of Materials

47333	Alexei Belik	36 (2024) 7604-7609	2023B1676	BL02B2	山浦 一成	Hybrid Multiferroic Behavior in the Double Perovskite (Ca <sub>0.5</sub> Mn <sub>1.5</sub> )MnWO <sub>6</sub>
-------	--------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

## ChemRxiv

47307	Ken Kojio	(2024) Online published 5 Aug. 2024	2019A1585	BL43IR	高原 淳	Crystal Structure of Single-Crystalline High-Density Polyethylene in Solution
			2019B1661	BL43IR	小椎尾 謙	

## ChemSusChem

47442	Yu Cao	16 (2023) e202300234	2021A1595	BL02B2	Cao Yu	Ammonia Synthesis via an Associative Mechanism on Alkaline Earth Metal Sites of Ca <sub>3</sub> CrN <sub>3</sub> H
			2021B1815	BL02B2	Cao Yu	

## Coatings

47486	S.A.A.B. Thejasiri	14 (2024) 932	2022A1414	BL46XU	Jayathilaka Charith	Cu <sub>2</sub> O Homo Junction Solar Cells: Efficiency Enhancement with a High Short Circuit Current
			2017B1539	BL04B2	Jayathilaka Charith	
			2020A1416	BL04B2	坂田 修身	

### Communications Biology

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47234	Yuri Choi	5 (2022) 395	2019B2714	BL26B1	三上 文三	Structure-based Inhibitor Design for Reshaping Bacterial Morphology

### Communications Materials

47478	Yuriko Sato	5 (2024) 147	2022A3739	BL22XU	荻野 陽輔	In-situ X-ray Imaging of the Breakup Dynamics of Current-carrying Molten Metal Jets during Arc Discharge
-------	-------------	-----------------	-----------	--------	-------	--

### Composites Part A: Applied Science and Manufacturing

47405	Yangyang Zhang	181 (2024) 108158	2023B1518	BL40B2	和田 昌久	Preparation of Cellulose-paraffin Composite Foams by an Emulsion-gelation Method using Aqueous Inorganic Salt Solution for Thermal Energy Regulation
-------	----------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

### Computational Materials Science

47339	Hiroyuki Toda	243 (2024) 113115	2013B1027	BL20XU	戸田 裕之	Maximising Mechanical Properties of Aluminium Alloys by Microstructural Optimisation using a Coarsened Surrogate Model
			2020A1796	BL20XU	戸田 裕之	
			2020A1084	BL20XU	戸田 裕之	

### Condensed Matter

47446	Wei Xu	8 (2023) 8	2021A3592	BL11XU	Xu Wei	Experimental and Theoretical Investigation of High-Resolution X-ray Absorption Spectroscopy (HR-XAS) at the Cu K-Edge for Cu <sub>2</sub> ZnSnSe <sub>4</sub>
-------	--------	---------------	-----------	--------	--------	---

### Earth and Planetary Science Letters

47295	Goru Takaichi	640 (2024) 118790	2022A1684	BL04B1	高市 合流	Limited Stability of Hydrated SiO <sub>2</sub> Stishovite in the Deep Mantle
			2022B1720	BL04B1	高市 合流	

### Electrochemistry

47324	Naoto Kitamura	92 (2024) 087002	2022A1024	BL02B2	北村 尚斗	Effect of Intermediate-Range Structure on Negative Electrode Properties of Wadsley-Roth Phase Ti <sub>2</sub> Nb <sub>10</sub> O <sub>29</sub>
			2022A1771	BL14B2	井手本 康	

### Environmental Chemistry Letters

47401	Pavani Devabathini	22 (2024) 479-484	2021B1367	BL39XU	寶來 佐和子	High-resolution Imaging of Hg/Se Aggregates in the Brain of Small Indian Mongoose, a Wild Terrestrial Species: Insights into Intracellular Hg Detoxification
-------	--------------------	----------------------	-----------	--------	--------	--

### FEBS Letters

47367	Tadashi Satoh	598 (2024) 2259-2268	2022A6735	BL44XU	水島 恒裕	Structural Basis of Sugar Recognition by SCF <sup>FB2</sup> Ubiquitin Ligase Involved in NGLY1 Deficiency
			2022B6735	BL44XU	水島 恒裕	
			2023A6835	BL44XU	水島 恒裕	
			2023B6835	BL44XU	水島 恒裕	

### Food Hydrocolloids

47205	Nakako Katsuno	156 (2024) 110355	2017B1781	BL19B2	勝野 那嘉子	Cross-Hierarchical Analysis of Self-Assembly Dynamics in Enzyme-Treated Rice Gel During Retrogradation
			2019B1713	BL19B2	西津 貴久	

### Frontiers in Bioengineering and Biotechnology

47540	Taku Omura	11 (2023) 1303830	2020A7223	BL03XU	岩田 忠久	Marine Biodegradation of Poly[(R)-3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate] Elastic Fibers in Seawater: Dependence of Decomposition Rate on Highly Ordered Structure
			2021A7204	BL03XU	岩田 忠久	
			2021B7254	BL03XU	岩田 忠久	
			2022A7204	BL03XU	岩田 忠久	

### Geochimica et Cosmochimica Acta

47469	Akira Tsuchiyama	375 (2024) 146-172	2018A1450	BL47XU	土山 明	Three-dimensional Textures of Ryugu Samples and Their Implications for the Evolution of Aqueous Alteration in the Ryugu Parent Body
			2019A0165	BL47XU	土山 明	
			2021B0185	BL47XU	松本 恵	

### High Pressure Research

47208	Kenta Oka	44 (2024) 159-167	2023B1322	BL10XU	岡 健太	Leveraging Oxide Reactive Sputtering for Thermal Insulation in Laser-heated Diamond Anvil Cell
-------	-----------	----------------------	-----------	--------	------	--

### Inorganics

研究成果番号	著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47398	Alexei Belik	12 (2024) 226	2021A1334	BL02B2	Belik Alexei	Two Perovskite Modifications of BiFe <sub>0.8</sub> Mn <sub>0.4</sub> O <sub>3</sub> Prepared by High-Pressure and Post-Synthesis Annealing at Ambient Pressure

### International Journal of Hydrogen Energy

47318	Keitaro Horikawa	82 (2024) 801-809	2024A1147	BL20B2	堀川 敬太郎	Hydrogen-induced Pore Formation in Ni-P-plated Al-Zn-Mg Alloys Revealed by Synchrotron X-ray Computed Tomography and Hydrogen Detection
			2022B1135	BL20B2	堀川 敬太郎	
			2023B1156	BL20B2	堀川 敬太郎	

### IUCrJ

47265	Jingjing Wang	7 (2020) 294-305	2019A2522	BL41XU	Liu Zhi-Jie	The Structural Study of Mutation-induced Inactivation of Human Muscarinic Receptor M4
			2018B2722	BL41XU	Liu Zhi-Jie	

### JACS Au

47320	Katsuhiko Abe	4 (2024) 1801-1810	2021B2533	BL41XU	竹田 一旗	Structural Studies of a Complex of a CAG/CTG Repeat Sequence-Specific Binding Molecule and A-A-Mismatch-Containing DNA
-------	---------------	-----------------------	-----------	--------	-------	--

### Japanese Journal of Applied Physics

47490	Sou Yasuhara	63 (2024) 09SP16	2023A1713	BL02B2	安原 颯	Room Temperature Synthesis of BaTiO <sub>3</sub> Nanoparticles using Titanium Bis(ammonium lactato) Dihydroxide
-------	--------------	---------------------	-----------	--------	------	---

### Journal of Applied Glycoscience

47349	Toma Kashima	71 (2024) 81-90	2023B2528	BL45XU	伏信 進矢	Crystal Structure of <i>Bifidobacterium bifidum</i> Glycoside Hydrolase Family 110 $\alpha$ -Galactosidase Specific for Blood Group B Antigen
			2014B2015	BL26B1	伏信 進矢	
			2016B2714	BL26B1	伏信 進矢	
			2017A2540	BL26B1	伏信 進矢	
			2018B2528	BL26B2	伏信 進矢	
			2019B2556	BL45XU	伏信 進矢	
			2020A2553	BL26B2	伏信 進矢	
2022B2537	BL45XU	伏信 進矢				

### Journal of Applied Physics

47221	Takeaki Hamachi	135 (2024) 225702	2021B1650	BL13XU	藤平 哲也	Analysis of Local Strain Fields around Individual Threading Dislocations in GaN Substrates by Nanobeam X-ray Diffraction
			2020A1402	BL13XU	藤平 哲也	
			2019B1797	BL13XU	濱地 威明	
			2019B2101	BL13XU	今井 康彦	
			2020A1136	BL13XU	酒井 朗	
			2020A1331	BL13XU	林 侑介	
			2020A1652	BL13XU	濱地 威明	
			2021A1207	BL13XU	酒井 朗	
			2021A1584	BL13XU	Wu Zhendong	
			2021B1345	BL13XU	林 侑介	
			2022B1567	BL13XU	林 侑介	
			2022B1817	BL13XU	酒井 朗	
2023A1695	BL13XU	林 侑介				

### The Journal of Biochemistry

47308	Keishi Yamaguchi	173 (2022) 115-127	2021B1908	BL41XU	福田 庸太	Structural Insights into the Rational Design of a Nanobody that Binds with High Affinity to the SARS-CoV-2 Spike Variant
			2021B6637	BL44XU	福田 庸太	
			2022A6732	BL44XU	福田 庸太	

### The Journal of Biological Chemistry

47558	Mai Sekine	299 (2023) 105189	2020A6528	BL44XU	永田 宏次	Allopurinol and Oxypurinol Differ in Their Strength and Mechanisms of Inhibition of Xanthine Oxidoreductase
-------	------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

### Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47428	Fumihiko Matsui	264 (2023) 147295	2018B1520	BL13XU	八方 直久	Multiple-site Ag Doping in Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> : Compositional Crossover from Substitution to Intercalation as Revealed by Photoelectron Diffraction and X-ray Fluorescence Holography
			2015A0116	BL25SU	林 好一	
			2017B1518	BL25SU	松井 文彦	

### Journal of Nuclear Science and Technology

47514	Keisuke Niino	61 (2024) 733-739	2019A3616	BL14B1	小林 徹	Development of Extremely High-temperature X-ray Absorption Fine Structure Measurement Method for Oxide Samples
			2019A3711	BL22XU	小林 徹	
			2019B3616	BL14B1	小林 徹	
			2019B3711	BL22XU	小林 徹	
			2022A3744	BL22XU	小無 健司	
			2022B3714	BL22XU	小林 徹	
			2023A3714	BL22XU	小林 徹	

### Journal of Physics Communications

47266	Shuhou Maitani	8 (2024) 065001	2020A1309	BL10XU	新名 良介	Inert Structural Transition in 4H and 6H SiC at High Pressure and Temperature: a Raman Spectroscopy Study
			2021A1281	BL10XU	新名 良介	
			2021B1331	BL10XU	新名 良介	
			2022B1312	BL10XU	新名 良介	
			2023A1146	BL10XU	新名 良介	
			2023A1210	BL04B1	石井 貴之	

### Journal of Physics: Condensed Matter

47423	Jaroslav Valenta	35 (2023) 285601	2021B4253	BL12XU	辻井 直人	Unusually Strong Electronic Correlation and Field-induced Ordered Phase in YbCo <sub>2</sub>
			2022A4258	BL12XU	辻井 直人	

### Journal of Polymers and the Environment

47529	Manikandan Ilangoan	32 (2024) 4869-4879	2022B1405	BL05XU	加部 泰三	Processing and Evaluation of Bio-Based Paramylon Ester/Poly(butylene succinate) Blends for Industrial Applications
			2023A7204	BL03XU	加部 泰三	

### Journal of Power Sources Advances

47298	Hong-Jyun Huang	29 (2024) 100155	2018B4264	BL12XU	Hu Chih-Wei	Electronic Structure Evolution upon Lithiation: A Li K-edge Study of Silicon Oxide Anode through X-ray Raman Spectroscopy
			2019A4276	BL12XU	Hu Chih-Wei	
			2019B4266	BL12XU	Hu Chih-Wei	
			2023B4268	BL12XU	Hu Chih-Wei	

### Journal of Synchrotron Radiation

47223	Shogo Kawaguchi	31 (2024) 955-967	2022A2070	BL13XU	河口 彰吾	High-throughput and High-resolution Powder X-ray Diffractometer Consisting of Six Sets of 2D CdTe Detectors with Variable Sample-to-Detector Distance and Innovative Automation System
			2022B0581	BL13XU	小林 慎太郎	
			2023A1768	BL13XU	小林 慎太郎	

### Journal of the Ceramic Society of Japan

47204	Hidenobu Murata	132 (2024) 434-437	2018B1426	BL01B1	村田 秀信	Reactions on the Surface of Stoichiometric Hydroxyapatite of Different Crystallinities in a Zn <sup>2+</sup> Aqueous Solution
-------	-----------------	-----------------------	-----------	--------	-------	---

### Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan

47281	Anjuman Ara Khatun	31 (2024) 119-126	2019B1833	BL14B2	中島 靖	Effect of Silver Hybridization to Magnesium and Calcium Niobate Columbite on Their Photocatalytic and Antibacterial Activity
			2020A1589	BL02B2	武井 貴弘	

### Journal of Thermal Spray Technology

47566	Kosuke Sanami	32 (2023) 729-736	2021A1439	BL40XU	篠田 健太郎	Evaluating the Mechanical Properties of Dense Hybrid Aerosol Deposition Alumina Coatings Using the Nanoindentation Method
			2021B1620	BL40XU	篠田 健太郎	

### Macromolecular Chemistry and Physics

47282	Shodai Onozato	225 (2024) 2400147	2022A1108	BL43IR	鈴木 祥仁	Observation of Polymerization-Induced Phase Separation During Polymerization of Methyl Methacrylate in the Presence of Poly(Ethylene Glycol)
			2022B1236	BL43IR	鈴木 祥仁	

## Materialia

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47247	Akio Ishii	36 (2024) 102175	2021B1143	BL20B2	堀川 敬太郎	Strain-field Calculation Based on X-ray CT Images via Point Matching of Impurities using Voronoi Diagram
			2022B1135	BL20B2	堀川 敬太郎	
			2023B1156	BL20B2	堀川 敬太郎	

## Materials Characterization

47215	Tomoya Nagira	214 (2024) 114093	2022B1003	BL20XU	柳樂 知也	In-situ Observation of Solidification Behaviors of Fe-Mn-Cr-Ni-Si Alloy during TIG Melt-run Welding using Synchrotron Radiation X-ray
			2023A1131	BL20XU	柳樂 知也	
			2023B1201	BL20XU	柳樂 知也	
			2022A1096	BL20XU	柳樂 知也	

## Materials Performance and Characterization

47276	Takashi Nakamura	12 (2023) MPC20230023	2020A0172	BL20XU	中村 孝	Experimental Approach for Clarifying Initiation and Growth Behaviors of Internal Fatigue Cracks Using Synchrotron Radiation Multiscale X-ray Computed Tomography
-------	------------------	--------------------------	-----------	--------	------	--

## Materials Research Bulletin

47449	Takeshi Shimada	179 (2024) 112965	2022A1080	BL25SU	島田 武司	The Low-Temperature Thermal Conduction and Millimeter-Wave Dielectric Properties of $\beta$ -Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> as a Heat-Dissipation Substrate
-------	-----------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

## Materials Science and Engineering: B

47504	Kuda Durayalage Sulasa Devi Ariyapala	310 (2024) 117712	2022B1052	BL02B2	熊田 伸弘	Synthesis, Ion-exchange and Antibacterial Properties of ETS-4, Prepared using Na-kenyaite as a Precursor
-------	---------------------------------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

## Nano Letters

47481	Sumiya Ando	24 (2024) 11239-11245	2023A1633	BL09XU	安藤 純也	Atomic Layer Engineering of Pd Nanosheets for an Enhanced Hydrogen Evolution Reaction
			2023B1743	BL09XU	安藤 純也	

## Nanomaterials

47512	Kei Hayashi	13 (2023) 1222	2021A1018	BL25SU	松下 智裕	Effects of Oxygen on Lattice Defects in Single-Crystalline Mg <sub>2</sub> Si Thermoelectrics
-------	-------------	-------------------	-----------	--------	-------	---

## Nature

47479	Benjamin Clifton	634 (2024) 721-728	2023A2731	BL32XU	Clifton Benjamin	The Ultra-high Affinity Transport Proteins of Ubiquitous Marine Bacteria
-------	------------------	-----------------------	-----------	--------	------------------	--

## Nature Geoscience

47209	Yutaro Tsumumi	17 (2024) 697-704	2017A0072	BL10XU	廣瀬 敬	Retention of water in Subducted Slabs under Core-mantle Boundary Conditions
			2021A1481	BL10XU	Edmund Eric	

## Photonics Review

47456	Masahiko Ishino	2024 (2024) 240202	2021A8047	BL1	Dinh Thanh-Hung	Ablation Study using Soft X-ray Laser
-------	-----------------	-----------------------	-----------	-----	-----------------	---------------------------------------

## Physica Status Solidi B

47437	Yuta Yamamoto	259 (2022) 2100609	2021A1376	BL37XU	林 好一	Local Structural Investigation of (Ba,Ca)(Zr,Ti)O <sub>3</sub> and Ca(Zr,Ti)O <sub>3</sub> by X-Ray Fluorescence Holography
			2020A1546	BL13XU	林 好一	

## Physics and Chemistry of Minerals

47306	Yohan Park	51 (2024) 31	2020A1649	BL10XU	Park Yohan	Characterization of the Lattice Preferred Orientation of hcp Iron Transformed from the Single-crystal bcc Phase in situ at High Pressures up to 80 GPa
			2019B1781	BL10XU	Park Yohan	

## The Plant Journal

47348	Akira Umezawa	119 (2024) 508-524	2022B2537	BL45XU	伏信 進矢	Cytosolic UDP-L-arabinose Synthesis by Bifunctional UDP-glucose 4-epimerases in Arabidopsis
			2023B2528	BL45XU	伏信 進矢	

### Precision Chemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47523	Nobuhiro Sato	2 (2024) 480-487	2023B1680	BL02B1	杉本 邦久	Porphyrin/Fullerene Porous Molecular Cocrystal Featuring a Robust One-Dimensional Channel
			2023B1853	BL02B1	Goo Zi Lang	

### Proceedings of IWEIC 2019 Hiroshima

47427	Ryota Yamaguchi	(2020) 19-20	2019A1509	BL13XU	八方 直久	Improvement of X-ray Fluorescence Holography Instrument and Measurement of Ce <sub>3</sub> Co <sub>4</sub> Sn <sub>13</sub> at Cryogenic Temperature
-------	-----------------	-----------------	-----------	--------	-------	--

### Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

47353	Ming-Shui Yao	120 (2023) e2305125120	2021B1886	BL46XU	北川 進	Growth Mechanisms and Anisotropic Softness-dependent Conductivity of Orientation-controllable Metal-organic Framework Nanofilms
			2021A1542	BL46XU	北川 進	
			2021A1683	BL46XU	北川 進	
			2020A1628	BL19B2	北川 進	

### Research Square

47264	Shinya Furukawa	(2023) Online published 4 Oct., 2023	2022A0302	BL01B1	中谷 勇希	Subnanometric Platinum-Germanium Clusters Break the Activity-Stability Tradeoff in Propane Dehydrogenation
-------	-----------------	--	-----------	--------	-------	--

### Result in Chemistry

47279	Kazuki Yashiro	9 (2024) 101660	2023B1141	BL43IR	松葉 豪	Relationship between the Nanometer-scale Structures of Amylopectin Molecules and Temperature Dependence of Internal Structures of Starch Granules in Endosperm of Starch <i>Branching Enzyme 2b (be2b)</i> Allelic Mutant Lines from <i>Japonica</i> Rice
			2024A1279	BL43IR	松葉 豪	
			2023B2375	BL40XU	中村 保典	
			2024A1109	BL43IR	松葉 豪	

### RSC Advances

47330	Ryuku Maeda	14 (2024) 9869-9877	2023B1763	BL14B2	関根 泰	Effect of CeO <sub>2</sub> Support Structure on the Catalytic Performance of Ammonia Synthesis in an Electric Field at Low Temperatures
-------	-------------	------------------------	-----------	--------	------	---

### Rubber Chemistry and Technology

47506	Atsushi Kato	97 (2024) 343-370	2022A7216	BL03XU	川添 真幸	Treatment for Removing Zn Compounds from Silica-Filled Vulcanized Rubber and Analysis of Silica Aggregate Dispersion
			2022B7265	BL03XU	川添 真幸	

### Science Advances

47361	Chengyan Liu	9 (2024) adh0713	2021B1783	BL02B2	Zheng Yanyan	Charge Transfer Engineering to Achieve Extraordinary Power Generation in GeTe-based Thermoelectric Materials
			2021B1630	BL02B2	笠井 秀隆	
			2021B1775	BL02B2	藤田 知樹	
			2022A1231	BL02B2	笠井 秀隆	

### Solar RRL

47297	Kakaraparthi Kranthiraja	8 (2024) 2400185	2023B1123	BL40B2	松本 英俊	Diketopyrrolopyrrole-Dioxo-Benzodithiophene-Based Multifunctional Conjugated Polymers for Organic Field-Effect Transistors and Perovskite Solar Cells
-------	--------------------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

### Solid State Sciences

47441	Yu Cao	145 (2023) 107331	2021A1595	BL02B2	Cao Yu	Zr-based Laves Phases with Nitride/Hydride Ions for Ammonia Synthesis
			2021B1815	BL02B2	Cao Yu	

### Structure

47232	Kyungjin Min	28 (2020) 1014-1023	2018A2563	BL26B1	三上 文三	Crystal Structure of $\beta$ -Arrestin 2 in Complex with CXCR7 Phosphopeptide
-------	--------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

### Sustainable Energy & Fuels

47331	Ryuku Maeda	8 (2024) 2087-2093	2023B1040	BL14B2	関根 泰	Air-stable Iron Phosphide Catalysts for Electric Field-assisted Low-temperature Ammonia Synthesis
			2021B1847	BL14B2	関根 泰	

成形加工 (Journal of the Japan Society of Polymer Processing)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47521	Mikihito Takenaka	32 (2020) 43-47	2017B7283	BL03XU	竹中 幹人	Quantum Beam Facilities and Their Application
			2018A7233	BL03XU	竹中 幹人	
			2019A1634	BL19B2	竹中 幹人	

トライボロジスト (Journal of Japanese Society of Tribologists)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47520	Mikihito Takenaka	69 (2024) 175-180	2023A7220	BL03XU	竹中 幹人	<i>In-Situ</i> Observation of Polymers in Oil under High Shear Using Small Angle X-Ray Scattering
			2023A7700	BL28XU	竹中 幹人	
			2022B7700	BL28XU	竹中 幹人	

日本結晶学会誌 (Journal of the Crystallographic Society of Japan)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47508	Yoichi Ikeda	65 (2023) 192-197	2020A3647	BL14B1	池田 陽一	Search for Short-Range Ordering in Medium-Entropy Alloys

日本結晶成長学会誌 (Journal of the Japanese Association for Crystal Growth)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47498	Tomohiro Yamaguchi	51 (2024) 06	2015A3512	BL11XU	山口 智広	RF-MBE Growth of GaInN and Application to Red LED
			2016A3562	BL11XU	山口 智広	
			2017A3587	BL11XU	山口 智広	
			2017B3583	BL11XU	山口 智広	
			2018A3590	BL11XU	山口 智広	
			2018B3590	BL11XU	山口 智広	
			2019B3589	BL11XU	山口 智広	
			2020A3589	BL11XU	山口 智広	
			2021A3589	BL11XU	山口 智広	
			2021B3589	BL11XU	山口 智広	
			2022B3589	BL11XU	山口 智広	
2023A3589	BL11XU	山口 智広				

日本ゴム協会誌 (Journal of the Society of Rubber Industry, Japan)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47519	Mikihito Takenaka	96 (2023) 160-164	2021B7700	BL28XU	竹中 幹人	Visualization of Hierarchical Structures of Polymeric Materials by Quantum Beam
			2021B7701	BL28XU	竹中 幹人	
			2022A7700	BL28XU	竹中 幹人	
			2022A7701	BL28XU	竹中 幹人	
			2022B7700	BL28XU	竹中 幹人	
			2022B7701	BL28XU	竹中 幹人	
			2022B7703	BL28XU	竹中 幹人	
			2022B7284	BL03XU	竹中 幹人	
			2019A1634	BL19B2	竹中 幹人	
			2020A7220	BL03XU	竹中 幹人	
			2021B7283	BL03XU	竹中 幹人	

まてりあ (Materia Japan)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47224	Shogo Kawaguchi	63 (2024) 457-461	2022A2070	BL13XU	河口 彰吾	Introduction of Synchrotron X-ray Powder Diffraction System and Demonstration of <i>In-Situ</i> Observation System
			2022A2077	BL02B2	小林 慎太郎	
			2023B1620	BL13XU	小林 慎太郎	
			2023B2025	BL13XU	小林 慎太郎	

博士論文 (北海道大学)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47263	Yuki Nakaya	(2023)	2019B1620	BL01B1	古川 森也	Development of Highly Efficient Multimetallic Alloy Catalysts for Alkane Dehydrogenation
			2019B1469	BL01B1	山添 誠司	
			2020A1255	BL01B1	古川 森也	
			2020A1609	BL14B2	古川 森也	
			2021A1541	BL14B2	古川 森也	
			2021A1571	BL01B1	中谷 勇希	
			2021B1795	BL01B1	中谷 勇希	
			2021B1962	BL14B2	Xing Feilong	
47467	Yu Zhuang	(2024)	2022B0608	BL14B2	庄 宇	Enhancement of the Activity and Durability of Platinum Alloy Nanowire Electrocatalysts for Oxygen Reduction and Evolution Reactions
			2023A1791	BL14B2	Ma Zhengwei	

博士論文 (東京大学)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47556	Masahiro Negami	(2024)	2022A5012	BL16XU	水間 秀一	Durability Improvement of Thermal Barrier Coatings for Industrial Gas Turbine
			2022B5012	BL16XU	水間 秀一	
			2023A5012	BL16XU	根上 将大	
			2023B5012	BL16XU	根上 将大	

博士論文 (名古屋大学)

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
47402	Keita Kojima	(2024)	2022A1722	BL36XU	小島 慶太	Synchrotron X-ray Structural Studies on the Molecular Formation and Precursory Local Distortion in Layered Vanadates
			2022B0607	BL02B1	小島 慶太	
			2018B1157	BL02B2	片山 尚幸	
			2018B1145	BL04B2	片山 尚幸	
			2018B1128	BL04B2	片山 尚幸	
			2019A1218	BL04B2	片山 尚幸	
			2019B1085	BL44B2	片山 尚幸	
			2019B1073	BL02B2	片山 尚幸	
			2019B1072	BL04B2	片山 尚幸	
			2019A0070	BL02B1	澤 博	
			2020A1093	BL37XU	片山 尚幸	
			2020A1063	BL02B2	片山 尚幸	
			2020A1059	BL04B2	片山 尚幸	
			2021A1117	BL44B2	片山 尚幸	
			2021A1112	BL04B2	片山 尚幸	
			2021A1111	BL10XU	片山 尚幸	
			2021B1136	BL02B2	片山 尚幸	
			2021B1119	BL04B2	片山 尚幸	
			2023A1869	BL02B2	片山 尚幸	
			2022B1570	BL19B2	片山 尚幸	
2023A1110	BL04B2	片山 尚幸				
2022B1130	BL04B2	片山 尚幸				

課題以外の成果として登録された論文

Biochemical and Biophysical Research Communications

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	タイトル
47274	Yasunori Watanabe	528 (2020) 21-27		BL41XU	Functional and Structural Characterization of a Novel L-fucose Mutarotase Involved in Non-phosphorylative Pathway of L-fucose Metabolism
				BL45XU	
47275	Kentaro Yoshiwara	530 (2020) 203-208		BL41XU	Crystal Structure of Bacterial L-arabinose 1-dehydrogenase in Complex with L-arabinose and NADP <sup>+</sup>
				BL45XU	

### The Journal of Biological Chemistry

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
47283	Ratana Charoenwattanasatien	295 (2020) 170-180		BL44XU	Calcium Sensing via EF-hand 4 Enables Thioredoxin Activity in the Sensor-responder Protein Calredoxin in the Green Alga <i>Chlamydomonas reinhardtii</i>
47294	Akiyuki Toda	295 (2020) 3982-3989		BL44XU	The Complex of Outer-arm Dynein Light Chain-1 and the Microtubule-binding Domain of the $\gamma$ Heavy Chain Shows how Axonemal Dynein Tunes Ciliary Beating

### Nature Communications

47313	Fan Wu	11 (2020) 1272		BL45XU	Full-length Human GLP-1 Receptor Structure without Orthosteric Ligands
47537	Hye-Eun Lee	15 (2024) 8193	理研	BL38B1	Osmotic Energy Conversion in Serpentinite-hosted Deep-sea Hydrothermal Vents
			理研	BL32XU	

### Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

47242	Bing Meng	117 (2020) 13499-13508		BL41XU	Inhibitory Antibodies Identify Unique Sites of Therapeutic Vulnerability in Rhinovirus and Other Enteroviruses
47243	Xiaobo Chen	117 (2020) 16324-16332		BL41XU	Structural Basis for the Broad Substrate Specificity of Two Acyl-CoA Dehydrogenases FadE5 from Mycobacteria

### Acta Crystallographica Section F

47278	Tadashi Satoh	76 (2020) 216-221		BL44XU	Crystallographic Snapshots of the EF-hand Protein MCFD2 Complexed with the Intracellular Lectin ERGIC-53 Involved in Glycoprotein Transport
-------	---------------	----------------------	--	--------	---

### Biomolecules

47301	Bodee Nutho	10 (2020) 907		BL44XU	Structural Basis of Specific Glucoimidazole and Mannoimidazole Binding by Os3BGlu7
-------	-------------	------------------	--	--------	--

### Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters

47214	Noritaka Furuya	30 (2020) 126775		BL41XU	An Isoform-selective Inhibitor of Tropomyosin Receptor Kinase A Behaves as Molecular Glue
-------	-----------------	---------------------	--	--------	---

### Communications Biology

47260	Daisuke Oikawa	3 (2020) 163		BL41XU	Molecular Bases for HOIPINs-mediated Inhibition of LUBAC and Innate Immune Responses
-------	----------------	-----------------	--	--------	--

### Diamond and Related Materials

47327	R. A. Margraf-O'Neal	146 (2024) 111212	理研	BL29XU	Characterization of a HPHT Boron Ion-implanted Diamond X-ray Mirror Following High Vacuum Annealing
-------	----------------------	----------------------	----	--------	---

### FEBS Open Bio

47316	Takuo Minato	10 (2020) 1219-1229		BL45XU	Biochemical and Structural Characterization of a Thermostable Dps Protein with His-type Ferroxidase Centers and Outer Metal-binding Sites
-------	--------------	------------------------	--	--------	---

### Journal of Medicinal Chemistry

47258	Mitsuyasu Kawaguchi	63 (2020) 3188-3204		BL41XU	Identification of Potent <i>In Vivo</i> Autotaxin Inhibitors that Bind to Both Hydrophobic Pockets and Channels in the Catalytic Domain
-------	---------------------	------------------------	--	--------	---

### Journal of Virology

47240	Guobang Li	94 (2020) 02125-19		BL41XU	Crystal Structure of African Swine Fever Virus pS273R Protease and Implications for Inhibitor Design
-------	------------	-----------------------	--	--------	--

### Macromolecules

47227	Ryoichi Yano	57 (2024) 3271-3281	装置&技術	BL38B1	Characteristic Features of Crystalline Poly(1,2-difluoroethylene): Revisiting the Old-but-Totally-Unknown Fluorine Polymer
-------	--------------	------------------------	-------	--------	--

### Open Biology

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
47356	Ryo Ito	14 (2024) 240057	理研	BL26B1	Unravelling Nicotinic Receptor and Ligand Features Underlying Neonicotinoid Knockdown Actions on the Malaria Vector Mosquito <i>Anopheles gambiae</i>

### PLoS One

47220	Konstantin Boyko	15 (2020) e0226838		BL41XU	Crystal Structure of PMGL2 Esterase from the Hormone-Sensitive Lipase Family with GCSAG Motif around the Catalytic Serine
-------	------------------	-----------------------	--	--------	---

### Science

47267	Lu Zhang	368 (2020) 1211-1219		BL41XU	Structures of Cell Wall Arabinosyltransferases with the Anti-tuberculosis Drug Ethambutol
-------	----------	-------------------------	--	--------	---

### Science Advances

47229	Yanbin Ma	6 (2020) eaax7379		BL41XU	Structure-guided Discovery of a Single-domain Antibody Agonist against Human Apelin Receptor
-------	-----------	----------------------	--	--------	--

## 2024A 期における SPring-8/SACLA ユーザー要望等について

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 および SACLA では、各ビームタイム終了後に実験グループごとに「ビームタイム終了届」を提出いただいております。ビームタイム終了届には、次回の利用者へのアドバイスや施設に対する要望、提案等を記入いただいております。

2024A 期における要望等の状況は下記のとおりです。これら要望等と、それに対する施設側の回答（内容により、必ずしも全てではありません）につきましましては、User Information で公開されています。

### 1. 2024A 期 要望等全体概要

2024A 期	実施課題数	利用実験数 (報告書数)	うち、要望等コメントがある <sup>*1</sup> 報告書数		
			技術的 要望等	施設他 要望等	その他 (お礼)
SPring-8 共用BL	832	1,220	17	32	126
SACLA 共用BL	45	46	6		

<sup>\*1</sup> 「なし」「None」等のコメントを除く。

<SPring-8 共用 BL 技術的要望等（計 17 件）の研究分野/手法<sup>\*2</sup> 別内訳>

分野 手法	生命科学 医学応用	物質科学 材料科学	化学	地球・ 惑星科学	環境科学	産業利用	その他
小角・広角散乱		1					
X線回折 (単結晶)		1					
X線回折 (高圧)							
X線回折(汎 用・構造評価)		1				1	
光電子分光		2	1				
イメージング							
非弾性散乱		1					
構造生物学	1						
産業利用							
その他(持込 装置利用)							
成果専有等	2	2		1			3

<sup>\*2</sup> 課題申請時の利用者申告ベース。

### 2. 2024A 期 要望等の内容（一部抜粋）

#### (1) 技術的要望等

- PC の安定性に少し課題があるように感じました。XES の測定について、途中で中止するとプログラムの動作がおかしくなる不具合があり、修正できるようであれば修正をお願いしたいと思いました。

長時間測定を開始してから、測定条件の間違いに気が付いた時、中断することができない設定なのは使いにくいと感じます。

#### 【物質科学・材料科学/成果専有等】

- 新しい測定制御ソフトは、使い勝手が良かった。  
要望：時間ともにスペクトルが変化する場合があるので、全スキャンを加算するのではなく、各スキャンごとに保存 (Add Dimension) できるようにしてほしい。

#### 【物質科学・材料科学/光電子分光】

- 試料位置を観察するカメラが見にくく、ビーム位置合わせに時間を要しました。いつか、変わる日が来るとありがたいです。

#### 【物質科学・材料科学/光電子分光】

#### (2) 施設その他要望等

- 食堂の改善を求めます。世界に誇る SPring-8 に海外からお客さんをお呼んでも恥ずかしくない程度には、味やメニューを充実させていただきたいです。いまは、以前に比べ、味も悪いし、メニュー数も少ないです。  
ビームダンプの際の放送が不親切に思います。ユーザーが使用開始になるタイミングの放送がおそらく「MBS がアンロックされました」等だと思いますが、これでは一般ユーザーは使用を開始していいのかはっきりとはわかりません。「ユーザーはビームを使用可能です」等の分かりやすい放送も入れてほしいです。また放送が場所によっては聞き取りづらいことも多いので（反響して音がぼやけたり）、重要な放送は何度か繰り返していただきたいです。
- 食堂やコンビニが空いてる時間と実験のタイミングが合わない場合があるので、自販機が充実するとよいと思いました。交流施設の自販機は品切れになっているものもありました。
- 全ての実験が滞りなく遂行できました。ありがとうございました。気になる点として、施設内が全面禁煙になったと伺いましたが、旧喫煙所の周り



## SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 四季報

SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 会長  
藤原 明比古

## 1. はじめに (夏号以降の動向)

SPring-8/SACLA 利用者情報夏号 (前号) のSPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 四季報<sup>1)</sup>以降、SPRUC では重要な行事が数多く開催されました。9月1日(日)から4日(水)の期間にSPring-8 サイトで第8回SPring-8 秋の学校、9月5日(木)から6日(金)の期間に九州大学でSPring-8 シンポジウム 2024 が開催されました。そして、SPring-8 シンポジウム期間中には、13th SPRUC Young Scientist Award の授賞式、受賞講演も行われました。また、SPRUC の現状報告と今後について議論するための評議員会、総会、代表機関会議も滞りなく開催されました。SPring-8 秋の学校、SPring-8 シンポジウムでは実行委員、事務局の方々のご尽力で成功裏に終了しました。関係者の皆様にご厚くお礼申し上げます。詳細は、本号の報告記事<sup>2,3)</sup>をご参照ください。

今年度は、上記の恒例行事に加え、SPring-8-II の利用提案と新設された NanoTerasu のユーザー共同体との連携に向けた懇談を会員の皆様にお願ひしました。これら2つの取り組みについて、状況をご説明したいと思います。

## 2. SPring-8-II の利用提案

SPring-8 は放射光利用研究で世界を牽引し続けていきます。このアクティビティを継続するためには、SPring-8-II へのアップグレードは必須です。SPRUC 内ではこれまで時間をかけて議論してきておりましたが、外部への働きかけの取り組みとして5月初旬にSPring-8-II の利用提案を募らせていただきました。幅広い分野からの数多くのご提案をいただき、その必要性を改めて認識しました。これらのご提案は、専門的な視点から非常に重要ですので、今後、SPRUC 研究会や関連学協会等で議論を深化させていくことが大切になってきます。一方、SPring-8 が我が国の科学技術を担っていくためには社会や関係機関への発信も必要です。そこで、「SPring-8-II 計画によって拓かれる豊かで持続可能な社会」という表題で、科学技術白書に示された2040年社会のイメージ「人間性の再興・

再考による柔軟な社会」への貢献としてご提案いただいた利用研究内容をまとめました。この提案書は、所掌省庁である文部科学省、施設者である国立研究開発法人理化学研究所、登録施設利用促進機関である公益財団法人高輝度光科学研究センターに提出するとともにSPRUC ホームページでも公開しました<sup>4)</sup>。

文部科学省は、令和7年度(2025年度)概算要求<sup>5)</sup>において、新規「SPring-8 の高度化 (SPring-8-II)」として132億円を要求しました<sup>6)</sup>。今後、この提案が、「SPring-8 の高度化 (SPring-8-II)」は利用者のみならず国民全体へ還元される取り組みであることの根拠となり、高度化推進の一助となることを期待しております。

## 3. NanoTerasu のユーザー共同体との連携

NanoTerasu は、昨年12月にファーストビームを達成し<sup>7)</sup>、本年5月に共用ビームラインの試験的共用を開始しました<sup>8)</sup>。そして、いよいよ来年2025年3月からの共用ビームラインでの利用研究開始に向けた課題募集が行われました<sup>9)</sup>。特定放射光施設として世界を牽引してきた第3世代放射光施設SPring-8 が第4世代化「SPring-8 の高度化 (SPring-8-II)」を目指している状況で、リング型の特定放射光施設が2施設になったこと、我が国初の第4世代放射光施設ができたことは意義深く、またSPRUC の活動とは無関係ではありません。軟X線ビームラインの役割分担や「SPring-8 の高度化 (SPring-8-II)」にむけた停止中の補完のための NanoTerasu の利用の点からもSPRUC 内での議論は重要です。

これまでSPRUC では、NanoTerasu との密接な連携について検討してきました。具体的には、8月中旬にSPRUC 研究会の代表や有志との間で、連携の在り方についての懇談をしてみました。約2/3の研究会と懇談の機会をもちましたが、全ての研究会が NanoTerasu との強い連携、具体的には、利用者組織の融合に賛成でありました。これを受けて、SPring-8 シンポジウム期間中に開催された評議員会、総会で、NanoTerasu ユーザー共同体との融合に向けた取り

組み開始をご承認いただきました。これと並行して、SPRUC として、NanoTerasu との連携の必要性について NanoTerasu 側への意思表示をするために、第3回、第4回の NanoTerasu 利用説明会で、SPRUC 側から発信や期待を述べてまいりました<sup>[10-13]</sup>。各研究会においては、具体的な議論を進めていただけることと期待しております。今後、NanoTerasu ユーザー共同体と具体的な検討を開始し、NanoTerasu の供用開始時期を目途にアクションを起こすことができたらと考えております。会員の皆様のご理解とご協力をお願いします。

#### 4. おわりに

今回、SPring-8-II 実現に向けた利用提案と NanoTerasu ユーザー共同体との融合についての最近の動向と展望を紹介しました。今後、冬から春に向けて開催されるワークショップや特別総会で、より一層、具体的かつ踏み込んだ議論をすすめていきたいと考えております。現在、大きな変革時期にあります。この機会に適切なアクションを起こすことで、放射光利用研究環境はより良いものに進化していくものと信じております。会員の皆様におかれましては、より良い放射光利用研究の環境整備に向け、ご意見、ご要望等ございましたら、ご連絡をいただけましたら幸いです。よろしく願いいたします。

#### 参考文献

- [1] <https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=43254>
- [2] <https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=43593>
- [3] <https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=43594>
- [4] [http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/pdf/SP8-II\\_spruc2024.pdf](http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/pdf/SP8-II_spruc2024.pdf)
- [5] [https://www.mext.go.jp/a\\_menu/yosan/r01/1420672\\_00010.html](https://www.mext.go.jp/a_menu/yosan/r01/1420672_00010.html)
- [6] [https://www.mext.go.jp/content/20240827-ope\\_dev02-000037780\\_9.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20240827-ope_dev02-000037780_9.pdf)
- [7] [https://nanoterasu.jp/2023/12/nanoterasu\\_整備新たな局面へ、歴史的瞬間の到来-フェア/](https://nanoterasu.jp/2023/12/nanoterasu_整備新たな局面へ、歴史的瞬間の到来-フェア/)
- [8] [https://nanoterasu.jp/2024/05/nanoterasu\\_共用ビームラインの試験的共用を開始!!/](https://nanoterasu.jp/2024/05/nanoterasu_共用ビームラインの試験的共用を開始!!/)
- [9] <https://user.nanoterasu.jp/project-apply/618/>
- [10] <https://nanoterasu.jp/第3回nanoterasu利用説明会/>
- [11] <https://nanoterasu.jp/2024/09/第3回nanoterasu利用説明会を開催しました/#NanoTerasu>

[12] <https://nanoterasu.jp/第4回nanoterasu利用説明会/>

[13] <https://nanoterasu.jp/2024/10/第4回nanoterasu利用説明会を開催しました/#NanoTerasu>

藤原 明比古 FUJIWARA Akihiko

関西学院大学 工学部

〒669-1330 兵庫県三田市学園上ヶ原1番

TEL : 079-565-9752

e-mail : akihiko.fujiwara@kwansei.ac.jp

## SPring-8/SACLA 利用者情報 編集委員会

委員長	木村 滋	利用推進部
委員	朝倉 博行	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC) 編集幹事 (近畿大学)
	池本 夕佳	利用推進部
	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	構造生物学推進室
	下野 聖矢	回折・散乱推進室
	竹内 晃久	散乱・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
	西野 玄記	研究 DX 推進室
	深見 健司	加速器部門
	福井 宏之	精密分光推進室
	森脇 太郎	分光推進室
	山口 由紀	企画人材部
	渡辺 剛	産業利用・産学連携推進室

(以上、敬称略五十音順)

事務局	岡澤 貴裕	利用推進部
	松末恵理子	利用推進部

## SPring-8/SACLA 利用者情報 Vol.29 No.4 Autumn 2024

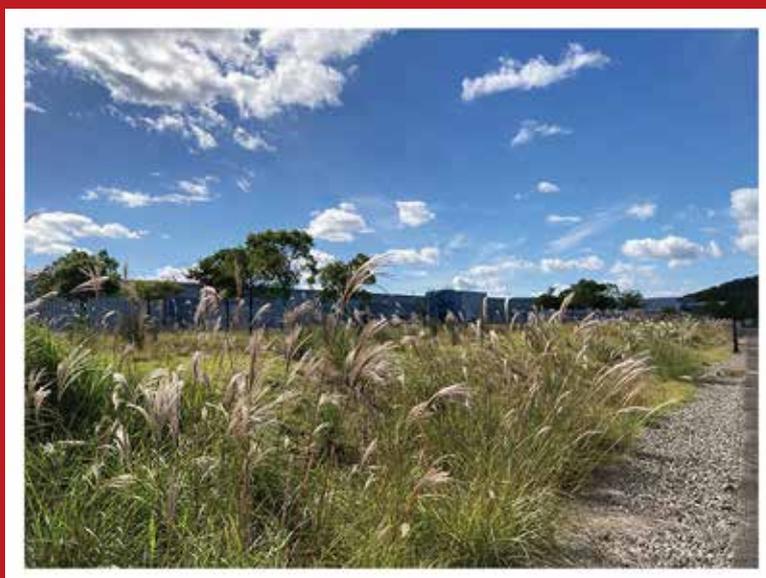
### SPring-8/SACLA Information

発行日 2024年11月26日

編集 SPring-8/SACLA 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 FAX 0791-58-0965

(禁無断転載)



秋晴れのススキとSACLA

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<sup>こうと</sup>1-1-1  
[研究支援部] TEL 0791-58-0950 FAX 0791-58-0955  
[利用推進部] TEL 0791-58-0961 FAX 0791-58-0965  
e-mail : sp8jasri@spring8.or.jp  
SPring-8 Web Site : <http://www.spring8.or.jp/>