

SPring-8/SACL A

INFORMATION 利用者情報



ISSN 1341-9668 SPring-8 Document D2023-012

Vol.28 No.3
Summer 2023

SPring-8/SACLA Information

目次 CONTENTS

理事長室から 「ナノテラス対応検討タスクフォース」の設置

Message from President Establishment of a Task Force to Study the Response to NanoTerasu

(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 231

1. 最近の研究から / FROM LATEST RESEARCH

価数揺動量子物質 β -YbAlB₄ における超低速臨界電子電荷ゆらぎの観測に成功—異常金属状態解明の手がかりに—
Observation of Critical Charge Fluctuation in β -YbAlB₄

兵庫県立大学 大学院理学研究科 物質科学専攻
Graduate School of Science, University of Hyogo

小林 寿夫
KOBAYASHI Hisao 232

放射光電子分光を用いた触媒反応メカニズムの解明—カーボンニュートラルと省資源の両立を目指して—

Studies on the Mechanism for the Catalytic Reaction by the Photoelectron Spectroscopy with Synchrotron Radiation - Aiming for Both Carbon Neutrality and Resource Saving -

マツダ株式会社 技術研究所
Technical Research Center, Mazda Motor Corporation
慶應義塾大学 理工学部 化学科
Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Keio University

國府田 由紀
KODA Yuki
近藤 寛
KONDOH Hiroshi
豊島 遼
TOYOSHIMA Ryo
鈴木 哲
SUZUKI Satoru 238

2019 年度指定パートナーユーザー活動報告

固液界面現象解明のための液体電子状態探索と大気圧溶液セル開発の高度化

Liquid Electronic State Search for Elucidation of Solid-Liquid Interface Phenomena and Advancement of Ambient Pressure Cell Development

名古屋大学 未来材料・システム研究所
Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University
東京大学 物性研究所
Institute for Solid State Physics, University of Tokyo

池永 英司
IKENAGA Eiji
原田 慈久
HARADA Yoshihisa
木内 久雄
KIUCHI Hisao
土井 教史
DOI Takashi
保井 晃
YASUI Akira
山添 康介
YAMAZOE Kosuke 243

長期利用課題報告

イオンポンプの結晶構造解析

Crystal Structure Analysis of Ion Pumps

東京大学 定量生命科学研究所
Institute for Quantitative Biosciences, The University of Tokyo

豊島 近
TOYOSHIMA Chikashi 251

2. 研究会等報告 / WORKSHOP AND COMMITTEE REPORT

The International Conference on X-ray Optics and Applications (XOPT2023) 会議報告
Report on the International Conference on X-ray Optics and Applications (XOPT2023)

(公財) 高輝度光科学研究センター ビームライン技術推進室
Beamline Division, JASRI

小山 貴久
KOYAMA Takahisa 259

IPAC'23 会議報告

Report of the 14th International Particle Accelerator Conference IPAC'23

(公財) 高輝度光科学研究センター 加速器部門
Accelerator Division, JASRI

深見 健司
FUKAMI Kenji
山口 博史
YAMAGUCHI Hiroshi 264

第 14 回 回生物学と放射光に関する国際会議

Conference Report: The 14th International Conference on Biology and Synchrotron Radiation (BSR14)

(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター 利用システム開発研究部門
Advanced Photon Technology Division, RIKEN SPring-8 Center

山本 雅貴
YAMAMOTO Masaki 268

第 23 回 SPring-8 夏の学校を終えて

The 23rd SPring-8 Summer School

SPring-8 夏の学校実行委員会一同

SPring-8 Summer School Executive Committee 272

3. SPring-8/SACLA 通信/SPring-8/SACLA COMMUNICATIONS		
2024A 期 SACLA 利用研究課題の募集について		
Call for 2024A SACLA 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	276
2024A 期 SACLA 試験利用の募集について		
Call for Proposals for 2024A SACLA Feasibility Study Program	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	277
2023B 期 SACLA 利用研究課題の採択について		
The SACLA Public Proposals Approved for Beamtime in 2023B 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	278
2019 年度指定パートナーユーザー事後評価報告 - 3 -		
Post-Project Review of Partner Users Designated in FY2019 -3-	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	280
2020A 期 採択長期利用課題の事後評価について - 2 -		
Post-Project Review of Long-term Proposals Starting in 2020A -2-	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	282
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	284
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	286
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	290
SPring-8/SACLA 研究成果公表 論文サイテーション数調査 -2023-		
Statistical Analysis on Publications and Citations at SPring-8/SACLA 2023	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	318
SPring-8/SACLA 有償利用料収入の実績 有償利用：成果専有と公開優先		
The Revenue Results of the Fees for Beamline Use of SPring-8/SACLA/ Fees for Beamline Use: Beamtime Fees for Proprietary Research & Program Fees for Non-Proprietary Grant Aided Proposal	(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部 User Administration Division, JASRI	323
Update on the Monochromator at BL04B2, 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 回折・散乱推進室 Diffraction and Scattering Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	Jochi TSENG
	(公財) 高輝度光科学研究センター ビームライン技術推進室 Beamline Division, JASRI	山田 大貴 YAMADA Hiroki 大橋 治彦 OHASHI Haruhiko 山崎 裕史 YAMAZAKI Hiroshi
	(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	玉作 賢治 TAMASAKU Kenji
	(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/島根大学 材料エネルギー学部 Diffraction and Scattering Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI/Faculty of Materials for Energy, Shimane University	尾原 幸治 OHARA Koji
		326
BL08W の実験ハッチ改造による実験の効率化		
Experimental Optimization by Modification of Experimental Hutch of BL08W	(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	辻 成希 TSUJI Naruki
		329
BL28B2 における自動 CT 計測装置の導入および測定代行の実施について		
Installation of Automated CT Measurement System and its Measurement Service at BL28B2	(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 Scattering and Imaging Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI	上杉 健太朗 UESUGI Kentaro 星野 真人 HOSHINO Masato
		331

利用系活動報告

放射光利用研究基盤センター 散乱・イメージング推進室 顕微・動的画像計測チーム
Activity Reports - Microscopic and Dynamic Imaging Team, Scattering and Imaging Division
(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
Scattering and Imaging Division, Center for Synchrotron Radiation Research, JASRI

竹内 晃久
TAKEUCHI Akihisa 334

4. 告知板/ANNOUNCEMENTS

第 20 回 SPring-8 産業利用報告会
The 20th Joint Conference on Industrial Applications of SPring-8 340

第 31 回 SPring-8/SACLA 施設公開のご案内 (詳細)
Announcement of SPring-8 & SACLA Open House 341

SPring-8 シンポジウム 2023 ～SPring-8/SACLA とデータ科学の融合が生み出す可能性～
SPring-8 Symposium 2023 342

「ナノテラス対応検討タスクフォース」の設置

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

本年5月に共用法¹⁾が改正され、東北大学青葉山キャンパスに建設中のナノテラス (NanoTerasu、3GeV 高輝度放射光施設) が新たに共用法対象施設として位置づけられることになりました。これまでの共用法対象施設は、SPring-8、SACLA、J-PARC、富岳でしたが、これにナノテラスが加わることになったわけです。ナノテラスの設置者は量子科学技術研究開発機構 (QST) で、官民地域パートナー機関²⁾と共に、現在その建設が進められており、本年中にはファーストビームが得られる予定です。共用法の下、2024年4月の施行に向けて種々の準備が行われる予定で、SPring-8と同様に、ナノテラスも登録施設利用促進機関 (登録機関) が定められ、今秋頃には国による公募が行われる見込みです。

JASRI のこれまでの SPring-8/SACLA における共用推進の実績等に鑑み、JASRI が登録機関になることに対する期待があるだけでなく、JASRI としても、ナノテラスが共用により高い研究成果をあげられるように、どのような貢献ができるか考える必要があります。この登録機関の公募への対応については、必要とされる技術力、人的・物的なりソースの計画的な用意など、様々な事項について多面的な検討が必要となり、仙台という遠隔地において、職員の採用や配置はもとより、運営上の重要事項をできるだけ現地で判断し、ナノテラス関係のステークホルダーとの連携・調整を円滑に進めることも含めて対応のあり方について、詳細な検討が求められます。そこで、この検討作業を集中的かつ計画的に進めるために、8月1日付けで JASRI に「ナノテラス対応検討タスクフォース」を設置することにしました。本タスクフォースの検討作業は段階的に行うこととし、文科省 (国) や QST の関係の予算要求の内容が明らかになる9月頃を目途に、登録機関の申請の是非について結論を出す予定です。

申請を行うこととした場合には、人的・物的側面、財政的観点を含めて具体的に検討の上、取り組みや解決すべき課題を明らかにしつつ、公募の提案書を纏める予定です。

また、最近は、共用法対象施設である SPring-8 の高度化 (SPring-8-II) の検討が活発化しています。去る8月2日には、「SPring-8-II シンポジウム³⁾」が200名以上の参加者を得て開催され、活発な議論がなされました。SACLA を含めて世界に誇る優れた研究施設における、より大きな研究成果の創出への期待に応えるために、JASRI としてより一層の使命感と責任感をもって、そのミッションを果たしていきたいと考えています。

なお、本年6月には、JASRI の田中良太郎常務理事と安部元泰常務理事が任期を終え退職され、各々、坂田修身常務理事と安藤慶明常務理事にそのバトンが引き継がれました。引き続き、JASRI の役員と職員が一丸となり、新しい取り組みに向かって進んでいきたいと考えています。

- 1) 「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」(平成6年法律第78号)
- 2) (一財) 光科学イノベーションセンター (代表)、宮城県、仙台市、国立大学法人東北大学、(一社) 東北経済連合会から成る。
- 3) <http://rsc.riken.jp/SPring-8-II/>

価数揺動量子物質 β -YbAlB₄ における 超低速臨界電子電荷ゆらぎの観測に成功 —異常金属状態解明の手がかりに—

兵庫県立大学 大学院理学研究科 物質科学専攻
小林 寿夫

Abstract

量子物質での量子臨界点近傍で生じる異常金属状態の特徴的挙動を理解するためには、根底にある電子の電荷ダイナミクスを詳細に調べる必要がある。最近開発された放射光メスbauer分光法を最適化し、価数揺動量子物質 β -YbAlB₄ の異常金属相での Yb イオンの価数揺動現象の温度と圧力依存性について研究を行ってきた。その結果、フェルミ液体領域でスペクトルに観測される単一吸収ピークが、異常金属相の量子臨界領域に入ると 2 つのピークに分割することを見出した。この結果は、異常金属相では Yb イオン価数がナノ秒の超低速でゆらいでいることを示している。さらに、このナノ秒と長い時間スケールのゆらぎは、格子振動のソフト化によるポーラロンの形成が原因であることを明らかにした。価数揺動現象の研究により、初めて観測された超低速臨界電子電荷ゆらぎが、量子物質における異常金属状態の特性であることが示唆されている。

1. はじめに

半古典的な考え方では物質の特性が説明できない量子物質は、そのエキゾチックな性質から次世代デバイスの基盤材料として期待されている。その量子物質で発達するユニークな状態が、異常金属相である。この異常金属相は、絶対零度での量子ゆらぎを起源とする転移（量子臨界）点を中心とした状態相図に扇形領域としてあらわれる。さらに、この量子臨界点近傍においては超伝導状態が安定化することも知られている。

異常金属相では、比熱、抵抗率および磁気輸送などに特徴的な温度依存性があらわれる^[1]。これらの特性は、通常金属のフェルミ液体論の標準的な概念とは相いれないことが謎とされている。異常金属的挙動の起源、さらには超伝導の発現機構を解明するために、多くの実験や幅広い理論的な提案が行われている。多くの量子物質で異常金属相の近傍には磁気秩序相が存在するために、電子スピン・ダイナミクスに関する実験が広く行われてきた。しかし、適切なプローブが存在していなかったなどの理由で、電子電荷ダイナミクスについてはほとんど研究が行われていなかった。

従来、電荷のダイナミクスは光学分光法により研究されてきたが、これらの手法では電磁波の波数ベクトル

(\mathbf{k}) と電場 (\mathbf{E}) と電荷による電流 (\mathbf{j}) との関係 $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} \perp \mathbf{k}$ から発散のない横方向成分を観測している。また、強いクーロン遮蔽効果により、低エネルギー電荷ダイナミクスを測定することは大変困難である。一方、低エネルギー電荷ダイナミクスを検出する伝統的手法として、放射線源を用いたメスbauer分光法があり、電荷秩序物質における電荷ダイナミクスを観測している^[2]。このメスbauer分光法では、原子核をプローブとして超微細相互作用により電荷ダイナミクスを観測する。すなわち、強いクーロン遮蔽効果の影響を受けずに、低エネルギー電荷ダイナミクスを観測することが可能な唯一の元素選択的手法がメスbauer分光法である。

しかし、メスbauer分光法の普及は、適切な放射線源作製の困難により妨げられてきた。この困難を克服するために、高輝度放射光 X 線を使用する新世代メスbauer分光法が近年開発された。放射光を線源としたメスbauer分光法は、1970 年代に提案され^[3]、2009 年に SPring-8 で実現された^[4]。この放射光メスbauer分光法では、原子核からの弱い共鳴散乱成分を時間領域で測定している。そのため不確定性関係を越えた有効エネルギー分解能を実現することも可能

である。さらに、入射 X 線の偏光特性を利用することで、メスbauer原子核遷移を選択することも可能となる。そのために、この新世代放射光メスbauer分光法は、伝統的な放射線源を用いたメスbauer分光法が適用できない物質の電荷ダイナミクスを観測するための理想的なプローブを提供する。

我々は、放射光 ^{174}Yb ($E_\gamma = 76.471 \text{ keV}$) メスbauer分光法⁵⁾を用いて、価数揺動量子物質 $\beta\text{-YbAlB}_4$ (斜方晶 $Cmmm$ 構造、Yb (4*i*) サイトの局所対称性 $m2m$) の異常金属相における Yb イオン価数揺動ダイナミクスの温度・圧力変化の観測を試みた。多くの希土類イオンは 3 価をとるが、4*f* 軌道に電子かホールが 1 個の Ce^{3+} , Yb^{3+} イオンなどでは、 Ce^{4+} , Yb^{2+} イオン状態もエネルギー的に近く価数揺動現象が起こることはよく知られている。

$\beta\text{-YbAlB}_4$ は、常圧力下で異常金属状態にあり、圧力や磁場などの外部環境変数を印加することなく極低温領域で量子臨界性を示す^{6,7)}。一方、2 T 程度の外部磁場か約 1 GPa の圧力の印加によりその特性がフェルミ液体論で説明できる状態へと変化する。したがって、 $\beta\text{-YbAlB}_4$ は、化学量論的結晶における常圧力

下で異常金属状態を研究するための理想的なプラットフォームを提供する。また分光的立場では、Yb 元素以外は軽元素で構成されているため、測定試料 $\beta\text{-YbAlB}_4$ による入射 X 線吸収の影響が少ない。そのため、自然存在比 32% の安定同位体 ^{174}Yb を含む Yb により育成した試料を用いて、放射光メスbauer分光法の有用性を検証することが可能な物質である。

2. 実験方法

放射光メスbauer分光測定のスームライン構成を図 1A に示す。アンジュレータから放射された X 線を十分に分光した条件下でも、原子核共鳴散乱は電子による散乱に比べて桁違いに弱い。そこで、放射光メスbauer分光法では、原子核励起状態の長い寿命 (τ_0) を利用して、分光結晶からの散乱強度を非干渉配置の検出器で時間領域測定を行って、原子核共鳴散乱成分のみを計測している (図 1B)。ここでは、蓄積リングのバンチ構造が重要で、原子核励起状態の寿命よりも十分長い時間間隔のバンチ・モード下で実験は行われる。本実験の場合には、SPring-8 A モードで行っている。図 1B の時間スペクトルは、電子バンチに

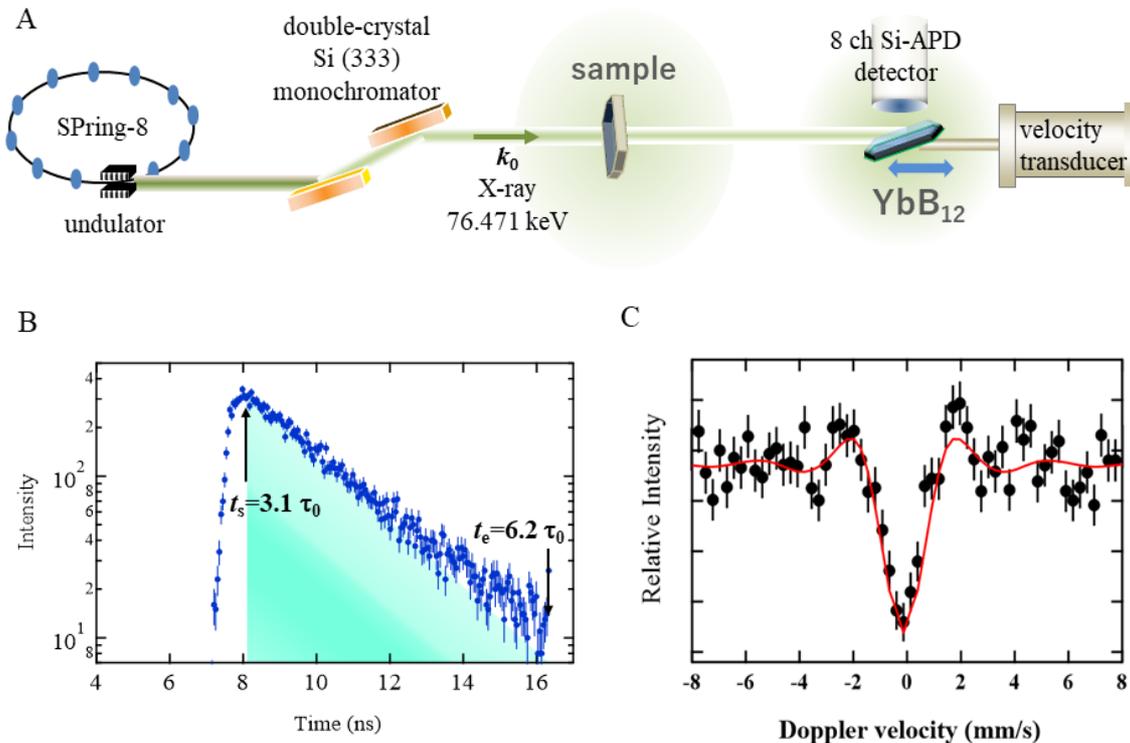


図 1 A: 放射光メスbauer分光測定のスームライン構成、B: 分光結晶 YbB_{12} からの核共鳴散乱の時間スペクトルと計測時間領域、C: 測定試料 YbB_{12} を用いた 20 K での放射光 ^{174}Yb メスbauer分光・スペクトル。C 中で測定スペクトルを黒丸、解析スペクトルを赤色実線で示している。



図2 SPring-8 BL35XUでの放射光 ^{174}Yb メスbauer分光測定の概観。左挿入写真：超伝導マグネットに搭載されるダイヤモンド・アンビル・セル (DAC)、右挿入写真：パルスチューブ冷凍機先端の YbB_{12} 分光結晶。

よる X 線パルスの時刻を基準 (0) としている。また、電子と原子核との間の超微細相互作用は、その名の通りエネルギーが neV 領域と小さいため、分光結晶に速度を与えてその Doppler 効果により X 線のエネルギーを分光している。

放射光 ^{174}Yb メスbauer分光の測定は、SPring-8 BL09XU と BL19LXU にて行った。実験ハッチ内の測定装置の全体像を図2に示す(核共鳴散乱実験のビームラインは、最近 BL35XU に移設したため、利用者にとって有益な情報として現状の実験環境を示す)。本研究で用いた放射光 ^{174}Yb メスbauer分光法では、分光結晶に YbB_{12} を用いている。 ^{174}Yb メスbauer共鳴エネルギー ($E_\gamma = 76.471 \text{ keV}$) が高いために、例えば室温付近での無反跳共鳴吸収率は、ほとんどゼロである。無反跳共鳴吸収率を大きくするために、分光結晶 YbB_{12} を超低温冷凍機により約 25 K に冷却している (図2右挿入写真参照)。

試料に YbB_{12} を用いて測定したときの分光結晶 YbB_{12} からの散乱強度の時間スペクトルを図1Bに示す。図には示されていないが、約 6 ns 以下の時間領域には、電子散乱による桁違いに強い成分が存在する。この図から分かるように、原子核共鳴散乱成分の計測

は、 $t_s = 3.1 \tau_0$ から $t_e = 6.2 \tau_0$ (^{174}Yb : $\tau_0 = 2.58 \text{ ns}$) の時間領域 (時間ウィンドウ) で行っている。すなわち、 τ_0 の3倍以上長い時間励起状態に留まっていた ^{174}Yb 原子核からの散乱成分のみを計測している。その結果、放射光 ^{174}Yb メスbauer分光法の有効エネルギー分解能は、不確定性関係で決まる分解能を超えることができる^[8]。

図1Cに20 Kで測定した YbB_{12} の放射光 ^{174}Yb メスbauer・スペクトルを示す。速度0付近の吸収成分の半値幅は、1.2 mm/sと見積もられる。すなわち、原子核からの散乱成分を上記の時間ウィンドウで計測することにより、 $\tau_0 = 2.58 \text{ ns}$ から期待されるエネルギー分解能 $\Gamma = 2.00 \text{ mm/s}$ の約1.6倍の有効エネルギー分解能を実現している。

量子物質 $\beta\text{-YbAlB}_4$ の低温・高圧力下放射光 ^{174}Yb メスbauer分光実験での圧力印加は、図2中左挿入写真で示したダイヤモンド・アンビル・セル (DAC) を用いて 2.3 GPa まで行った^[9]。単結晶 $\beta\text{-YbAlB}_4$ を用いて、斜方晶 c 軸と入射 X 線方向 (\mathbf{k}) とが平行になる条件下で、2 K から 20 K の温度範囲で測定を行った。 $\beta\text{-YbAlB}_4$ は、常圧力から 2.5 GPa まで常磁性が基底状態である。すなわち、 ^{174}Yb 原子核は電気的四重極

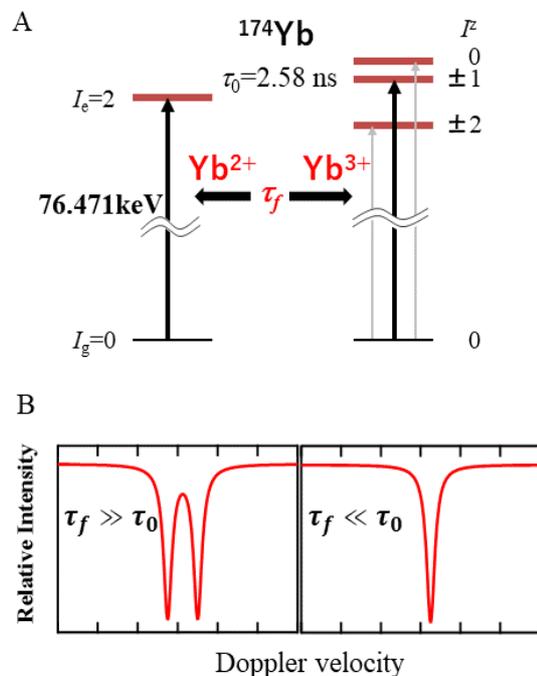


図3 A: ^{174}Yb 原子核励起状態の超微細相互作用によるエネルギー準位と $E2$ メスbauer遷移の選択則、B: Yb イオン価数揺動時間のメスbauer吸収スペクトルへの影響。

相互作用により図3Aに示す原子核エネルギー準位のように縮退が解かれる。ここで、入射X線の σ 偏光と β -YbAlB₄のYbイオン・サイトの局所対称性から、¹⁷⁴Ybメスbauer共鳴 ($I_g=0 \rightarrow I_e=2: E2$) 遷移の中で、図3Aに黒矢印で示した遷移 ($\Delta I^{\pi} (= I_g - I_e^{\pi}) = \pm 1$) のみが、本測定条件では選択される¹⁰⁾。したがって、Ybイオンの価数が異なる状態に、エネルギーの異なる単一メスbauer吸収ピークが対応することになる。すなわち、図3Bに示すように¹⁷⁴Yb原子核励起状態寿命 (τ_0) に対してYbイオンの価数揺動を特徴付ける時間スケール (τ_f) が十分遅い場合には、Ybイオンの価数が異なる状態に対応する2つの吸収ピークが観測され、十分早い場合にはその平均エネルギー位置に1つの吸収ピークが観測される。

放射光メスbauer分光法でのみ実現される、1.6倍の高い有効エネルギー分解能と放射光入射X線の完全偏光と単結晶試料によるメスbauer共鳴遷移の選択 ($\Delta I^{\pi} = \pm 1$) 性が、 β -YbAlB₄中でのYbイオ

ンの超低速臨界電子電荷ゆらぎの観測に成功した最も重要な実験要素である。

3. 実験結果および解析

測定された典型的な放射光¹⁷⁴Ybメスbauer・スペクトルを、図4A、Bに示す。常圧下異常金属相(図4A)では、低温(2および5K)で2つに分裂したピーク構造をスペクトルの吸収成分として観測した。この特徴的な構造は、温度上昇とともに幅の広い一つのピークへと変化していくことが分かる。一方、高圧下通常金属状態(図4B)ではエネルギー分解能に相当する幅の鋭い一つの吸収ピークを観測している。 β -YbAlB₄でのYbイオンは、一つの結晶学(4i)サイトを占めているので、この吸収ピークの変化がYbイオン価数揺動ダイナミクスの大きな変化を示唆している(図3B参照)。

図3Bの2つの極限条件に時間ウィンドウ効果を考慮することで期待される放射光¹⁷⁴Ybメスbauer・

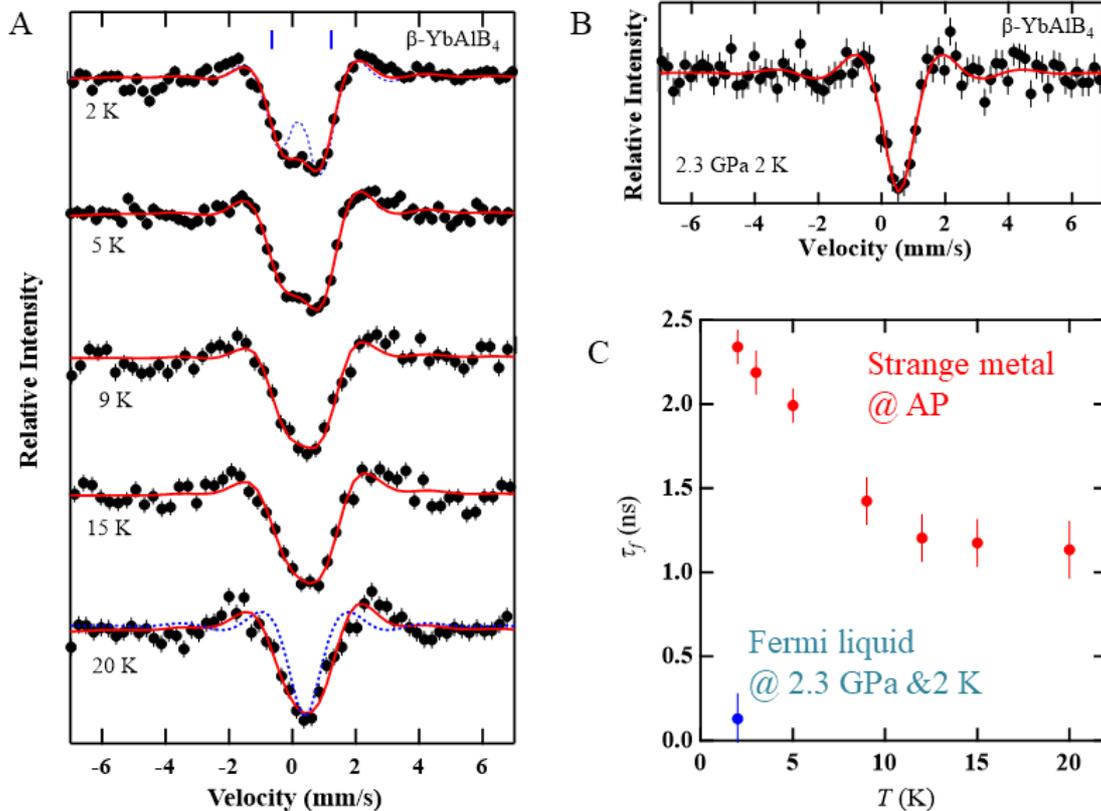


図4 A: β -YbAlB₄の典型的な常圧下放射光¹⁷⁴Ybメスbauer・スペクトル, B: β -YbAlB₄の2 K, 2.3 GPa 下放射光¹⁷⁴Ybメスbauer・スペクトル, C: 価数揺動時間 (τ_f) の温度依存性。A、B 中では、測定スペクトルを黒丸、解析スペクトルを赤色実線で示している。A 中での青色破線は、Ybイオンの価数揺動が¹⁷⁴Yb原子核励起状態寿命 (τ_0) と比べて十分遅い場合 (2 K) と十分早い場合 (20 K) とに対応している。

スペクトルを図4Aに青色破線で示している。図から分かるように、常圧下2 Kと20 Kでの測定スペクトルの吸収ピーク幅が、計算されたスペクトルのそれより広い。一方、2 K, 2.3 GPa 放射光¹⁷⁴Ybメスバウアー・スペクトルは、極限($\tau_f \ll \tau_0$)条件下で解析が可能である。その解析結果を図4B中に赤色実線で示している。すなわち、常圧下での放射光¹⁷⁴Ybメスバウアー・スペクトルにあらわれている特徴的な構造変化が、放射光¹⁷⁴Ybメスバウアー分光法でYbイオンの価数揺動ダイナミクスを観測していることを示している。

そこで、Ybイオン価数揺動を確率過程として取り扱ったモデルでの解析から価数揺動の特徴的な時間スケールを求めた¹¹⁾。この確率過程モデルでの解析結果を図4Aに赤色実線で示している。Ybイオン価数揺動の効果を取り入れることで、放射光¹⁷⁴Ybメスバウアー・スペクトルの温度依存性が十分再現されている。その結果、Ybイオンの価数揺動ダイナミクスを特徴付ける時間スケール(τ_f)を実験的に求めることに成功した。解析により求めた τ_f の温度依存性を図4Cに示す。通常金属状態ではYbイオン価数揺動の時間スケール τ_f は¹⁷⁴Ybメスバウアー分光法では測定できないほど早い時間スケールであるにもかかわらず、異常金属相ではナノ秒の異常に長い時間スケールでYbイオン価数がゆっくり揺動し、温度低下ともに発散的特徴を示していることが分かった。この価数揺動現象は、Ybイオンに局在した4f電子と伝導電子との電荷移動(ゆらぎ)である。このように、 β -YbAlB₄の異常金属状態における超低速臨界電荷ゆらぎを観測することに初めて成功した。

4. 考察とまとめ

超低速臨界電荷ゆらぎの発現機構を解明するために、¹⁷⁴Ybメスバウアー吸収ピーク強度(無反跳共鳴吸収率)の温度・圧力変化を求めた。その結果、無反跳共鳴吸収率と τ_f が強く相関していることが分かった¹²⁾。すなわち、格子振動のソフト化によるポーロン形成が超低速臨界電荷ゆらぎの機構であることを明らかにした。また、 β -YbAlB₄の4f電子と伝導電子の混成機構は高次ファン・ホーベ特異点の観点から新しいトポロジカルな相転移近傍にあることも理論的

に示唆されている。このような4f電子と伝導電子の特異な混成が新しい電荷ゆらぎの起源となっている可能性がある。

今回の結果は、ナノ秒電荷ゆらぎと異常な格子振動が β -YbAlB₄に固有のものではなく、量子物質における異常金属状態の特性であること、さらに、超伝導機構に重要な寄与をしていることを示唆している。今後、放射光の特性を活かした放射光メスバウアー分光法を他の量子物質に適用することで、超低速臨界電荷ゆらぎが異常金属状態の普遍的特徴であることの検証を行っていきたい。

謝辞

SPRING-8における実験は、BL09XU(課題番号:2011A1450、2012B1521、2013B1393、2015A1458、2016A1363、2019B1597、2020A1553)、BL19LXU(課題番号:20160110、20170019、20180019、20190025)において実施されました。

本研究は科研費(15H05882、15H05883、15K05182、16H02209、16H06345、19H00650、23102723)の助成を受けたものです。

最後に、本研究は多くの研究者の方々と共同で行ってきました。放射光メスバウアー分光の測定と手法の最適化では、兵庫県立大学の阪口友唯博士、北川勇人氏、大浦桃子氏、池田修悟特任准教授をはじめとして研究室の多くの学生、増田亮助教をはじめとして京都大学瀬戸誠教授のグループの皆様、茨城大学の伊賀文俊教授、高輝度光科学研究センターの依田芳卓博士、理化学研究所の玉作賢治博士、純良試料育成では、久我健太郎博士をはじめとして東京大学中辻知教授のグループの皆様、理論的考察では、Rutgers大学P. Coleman教授のグループの皆様にご感謝いたします。また、その他にも多くの研究者の方々に実験結果を議論して頂きました。深く感謝いたします。

参考文献

- [1] G. R. Stewart: *Rev. Mod. Phys.* **73** (2001) 797.
- [2] M. Takano *et al.*: *J. Phys. Colloq.* **40** (1979) C2-313.
- [3] S. L. Ruby: *J. Phys. Colloq.* **35** (1974) C6-209.
- [4] M. Seto *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **102** (2009) 217602.

- [5] R. Masuda *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **104** (2014) 082411.
- [6] S. Nakatsuji *et al.*: *Nat. Phys.* **4** (2008) 603.
- [7] Y. Matsumoto *et al.*: *Science* **331** (2011) 316.
- [8] D. W. Hamill and G. R. Hoy: *Phys. Rev. Lett.* **21** (1968) 724.
- [9] H. Kobayashi *et al.*: *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (2011) 084719.
- [10] J. P. Hannon *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **61** (1988) 1245.
- [11] M. Blume: *Phys. Rev.* **174** (1968) 351.
- [12] H. Kobayashi *et al.*: *Science* **379** (2023) 908.

小林 寿夫 *KOBAYASHI Hisao*

兵庫県立大学 大学院理学研究科 物質科学専攻
〒678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-2-1
TEL : 0791-58-0145
e-mail : kobayash@sci.u-hyogo.ac.jp

放射光光電子分光を用いた触媒反応メカニズムの解明 —カーボンニュートラルと省資源の両立を目指して—

マツダ株式会社 技術研究所 國府田 由紀
慶應義塾大学 理工学部 化学科 近藤 寛、豊島 遼
兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 鈴木 哲

Abstract

地球温暖化抑制の観点から、内燃機関を有する自動車において排ガス浄化用触媒は不可欠な存在であるが、レアメタルの環境リスクを低減する省資源利用との両立を目指すために、活性種として使用する貴金属を最少量で最大限の機能を発現させる必要がある。それを早期実現するには、材料モデルベースリサーチが有効であり、実働に近い条件下での挙動をとらえメカニズム解明することがキーとなる。我々は、準大気圧放射光光電子分光を用い、始動直後の低温過渡域および減速域から再加速域への過渡反応域における触媒反応下での貴金属表面の電子状態変化および反応ガスの挙動の見える化と計算科学的アプローチでNO 浄化特性向上指針を示した。

1. はじめに

マツダでは、クルマの価値向上につながる革新的な材料を効率的に開発する「材料モデルベースリサーチ」(MBR) の考え方に基づいた研究開発を進めている。MBR は、材料の微視構造内部で生じている現象と材料全体の性能や機能をメカニズムに基づいたモデルで結び付け、必要機能からのバックキャストイングによって微視構造を制御し材料開発を効率的に行うことである¹⁾。モデルの精度は現象をとらえる「分析・解析」の正確性に大きく依存するため、より実働に近い条件下での分析が重要となる。

地球温暖化抑制のため、マツダでは、電動化や省エネ/再エネ/カーボンニュートラル燃料の採用などマルチソリューションで取り組みを進めている。内燃機関を有する自動車において、世界的に年々厳しくなる自動車排出ガス規制に適合するために、排ガス浄化用触媒の高性能化や制御により、特に始動直後や加速・減速を伴う過渡的な運転領域でのエミッション低減が重要となる。一方で、触媒高機能化に必須なレアメタル成分について環境リスクを低減する省資源利用との両立を目指すために、活性種として使用する貴金属を最少量で最大限に機能発現させる必要がある。それを早期実現するには、MBR が有効であり、実働に近い条件下において原子分子レベルで挙動をとらえメカニズム解明することがキーとなる。

活性種の 1 つとして用いられるロジウム (Rh) は NO 浄化特性に優れていることが知られている。本報告では、準大気圧放射光軟 X 線光電子分光分析 (NAP-XPS) を用い Rh およびパラジウム (Pd) による始動直後の低温過渡域における貴金属表面の電子状態変化と反応ガス挙動の比較、また、準大気圧放射光硬 X 線光電子分光分析 (NAP-HAXPES) を用い種々サポート剤上での Rh の減速域から再加速域への過渡反応域における貴金属の電子状態変化を見える化し、原子モデル計算と組み合わせ、NO 浄化メカニズム解明を行う。

2. 実験方法

2.1. 評価サンプル

評価には、Rh または Pd ナノ粒子 (Rh NP または Pd NP) を用いた。NP は真空蒸発法、He 70 Torr の条件で作製²⁾、Si ウェハー(110)または CeO₂ を 10 nm コーティングした Si ウェハーに蒸着したものをを用いた (以下、それぞれ、Rh NP/Si、Pd NP/Si、Rh NP/CeO₂/Si と表記)。また、粒子評価のため、同時に透過電子顕微鏡 (TEM) 用グリッドにも蒸着した。

2.2. 放射光光電子分光による評価

NAP-XPS 実験は、Photon Factory BL-13B で行なった。前処理として、サンプルを大気圧下 500°C 10 分

間、 H_2 10% (N_2 バランス) 還元処理を施したのち、測定装置内で O_2 (200 mTorr) で $400^\circ C$ 10 分間酸化処理を施し蒸着した貴金属 NP の表面酸化を行い、始動時の貴金属表面を模擬した。評価は $CO:NO:O_2 = 125\text{ mTorr}:25\text{ mTorr}:50\text{ mTorr}$ で示す理論空燃比で排出される排ガス濃度 ($\lambda = 1$ 条件) を模擬した混合ガス下、室温から $400^\circ C$ まで、昇温速度 $5^\circ C/min$ で、Rh3d または Pd3d、C1s、N1s スペクトルを、X 線エネルギー 500 eV で測定した。 $\lambda = 1$ 条件のガス組成として、酸化成分と還元成分のモル比を 1 に設定した。

NAP-HAXPES 実験は、SPring-8 BL24XU で行なった。前処理として、サンプルを大気圧下 $400^\circ C$ 10 分間、 O_2 20% (N_2 バランス) 酸化処理を施し蒸着した Rh NP のバルク酸化を行い、減速時の貴金属状態を模擬した。評価は、 CO 10% (N_2 バランス) 3.75 Torr で室温から $200^\circ C$ まで $10^\circ C$ ステップで昇温し各温度で Rh3d スペクトルを、X 線エネルギー 8 keV で測定し、酸化 Rh からの還元性を評価した。

2.3. モデル計算

反応エネルギーに着目して DFT 計算を行った。先行研究で、少数の貴金属原子であっても、NO 還元性のサポート剤依存性を再現するのに十分な効果が得られていることが報告されていることから、Rh および Pd 原子 4 つからなる貴金属クラスターおよびサポート剤 $CeO_2(111)$ 面ユニットセルを表面 (2×2)、3 層構造として使用し、計算は VASP で行なった^[5]。交換相関汎関数は GGA-RPBE を用い、k-points は $1 \times 1 \times 1$ 、Energy cutoff は 400 eV 、スピン非拘束条件で計算した。サポート剤酸素の電子密度は、サポート剤モデル表面第 1 層の電荷を Bader 解析により評価した^[4]。

3. Rh 粒子径評価結果

TEM にて Rh NP の粒子径評価を行なった。TEM は JEOL 製 JEM-3000F を用いた。その結果、Rh は数 nm サイズの球状であり、粒子径は $1.7\text{--}4.8\text{ nm}$ 、平均粒径は $2.7 \pm 0.6\text{ nm}$ であった (図 1)。Pd も同様に数 nm サイズの球状であり、粒子径は $1.6\text{--}4.1\text{ nm}$ 、平均粒径は $2.6 \pm 0.7\text{ nm}$ であった。

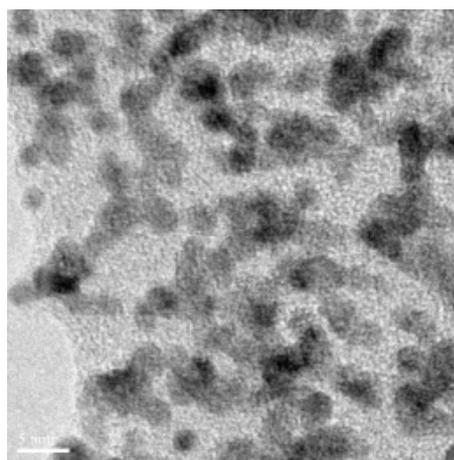


図 1 TEM グリッドに蒸着された Rh NP の TEM 像。

4. 低温過渡域反応下での NO 反応メカニズム

$\lambda = 1$ 条件の混合ガス雰囲気下において、Rh NP および Pd NP の表面電子状態変化と反応挙動を評価した。X 線エネルギー 500 eV の場合、Rh の非弾性平均自由行程より約 0.86 nm の深さの情報^[5]が得られる。図 2 に Rh3d_{5/2}、N1s、C1s XPS の温度依存性を示す。Rh3d_{5/2} スペクトルは、室温で 308.2 eV に観測される Rh_2O_3 のピークが $200^\circ C$ 辺りから Rh メタルへ還元され始め、 $250^\circ C$ までに急激に Rh メタルへ変化し、 $350^\circ C$ 以上ではほとんど Rh メタル状態を維持していることがわかった。N1s XPS では、室温において 403 eV に NO_2 と見られるピークが観測され、昇温続けると $200^\circ C$ 付近で消失した。これは吸着した NO が酸化物の O と相互作用してできた NO_2 と考えられる。 NO_2 脱離後 $230^\circ C$ 以上において、 397.5 eV に原子状 N のピークおよび 400 eV に NO のピークが現れた。 $200^\circ C$ 以上では Rh 表面は酸化物からメタルへ還元が始まり、Rh メタル上で NO が解離することにより、原子状 N が生じると考えられる。この原子状 N は $350^\circ C$ 付近より N_2 として会合脱離するものと考えられる^[6]。C1s XPS スペクトルでは、 $240^\circ C$ 付近で一時的に 287 eV に top-CO と思われるピークが観測されたが、温度がさらに上がると消失した。

図 3 に Pd3d_{5/2}、N1s、C1s XPS の温度依存性を示す。Pd3d_{5/2} スペクトルは、室温では 335.9 eV と 335.2 eV に 2 成分観測される。前者は主として表面酸化物に、後者は Pd メタルに帰属される。室温で、Pd 酸化物と Pd メタルが同等のピーク強度で存在しているが、温度の上昇と共に徐々に酸化物が減少し、メタルが増

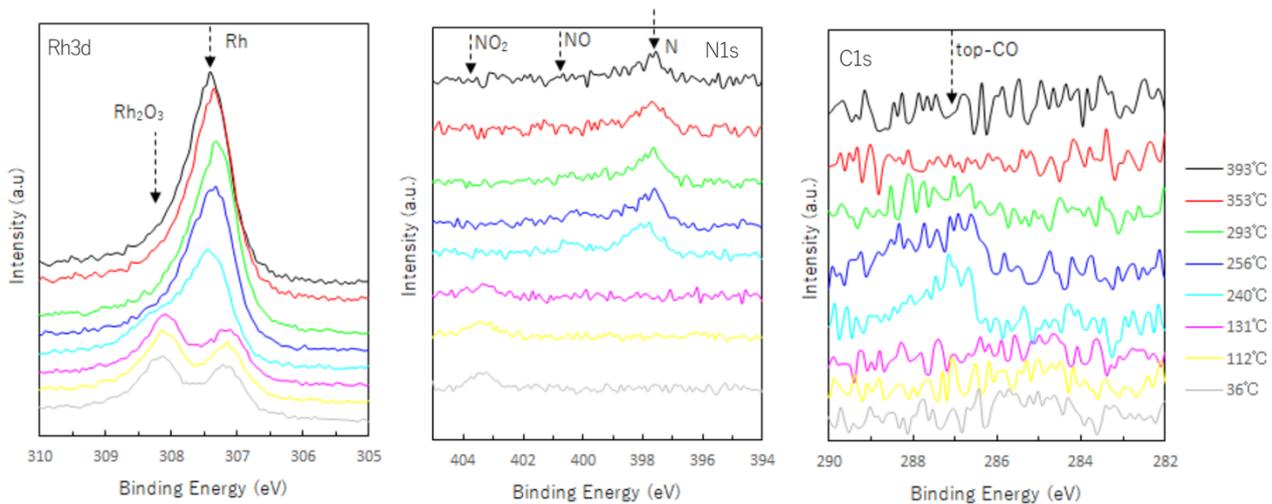


図2 低温過渡域反応下でのXPSスペクトルの温度依存性 (Rh NP/Si)。

加していく。Rh NP のように特定の温度で急激に還元が起こるのではなく、室温より徐々に成分が変化し還元速度が非常に遅いことがわかる。N1s XPS では目立った吸着種が見られなかった。これはPd表面はNOとの相互作用が弱く、メタル成分が増加してもNOの解離吸着が起こりにくいものと推察する。一方、C1s XPS では室温より原子状炭素の吸着が見られ、反応中もほとんど変化が見られなかった。これはPdとCの相互作用が強く $\lambda = 1$ 条件のガスではCO₂に変換して脱離させることが難しいものと思われる。

以上のように、導入されたNOはRhとPdで挙動が異なり、NO浄化特性の高いRhにおいてのみ原子状Nをとらえることができた。さらにその違いの原因を明らかにする目的で原子モデル計算を実施した。原子状Nの生成に対して、反応エネルギーに着目し

DFT計算で評価した。NO解離エネルギー ΔE は以下の式で求めた。

$$\Delta E (\text{NO dissociation}) = E (\text{M-N}) + E (\text{M-O}) - E (\text{M}) - E (\text{M-NO}) \quad (\text{式1})$$

ここで、 $E (\text{M-A})$ はDFTのトータルエネルギー、また、Mは貴金属種、Aは貴金属への吸着種を表す。結果、Rh4とPd4の $\Delta E (\text{NO dissociation})$ は、それぞれ0.09 eVおよび0.65 eVとなり、Rhの方がPdよりもNO解離により安定化するエネルギーが大きく、上記の実験結果と一致する傾向を示した。

NO浄化の律速反応はNO解離反応であり、その反応を「見える化」することで精度の高いメカニズム解明やモデルによる検証が可能となることを示すことができたと考える。

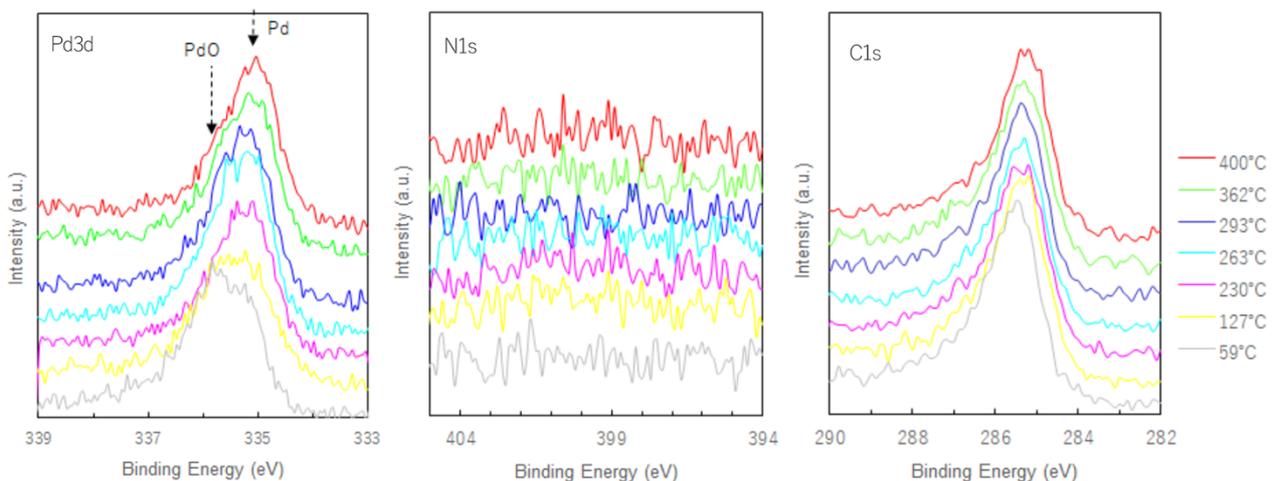


図3 低温過渡域反応下でのXPSスペクトルの温度依存性 (Pd NP/Si)。

5. 高温過渡域反応下でのNO反応メカニズム

減速域では酸化雰囲気のためRh表面は酸化状態であり反応ガスNOが吸着せず浄化できない。よって再加速域の還元ガスでいかに速くRh表面をメタル復帰させ反応ガスの吸着・浄化を再開させるかが重要となる。Rh NP/Si および Rh NP/CeO₂/Si を用い、酸化処理後還元ガス雰囲気下各温度でHAXPES分析を行った。X線エネルギー8 keVの場合、Rhの非弾性平均自由行程より約7.2 nmの深さの情報が得られる^[5]。図4に一例として、Rh NP/Siを評価した際のRh3dスペクトルを示す。室温では酸化Rhの結合エネルギーを持つスペクトルが、ある温度に達すると徐々にRhメタル状態へ変化し還元されることが確認できた。Rhメタルおよび酸化RhのRh3d_{5/2}結合エネルギーを307.2 eVおよび308.3 eVとしてデコンボリューションを行いRh酸化状態の定量を行なった。図5に反応

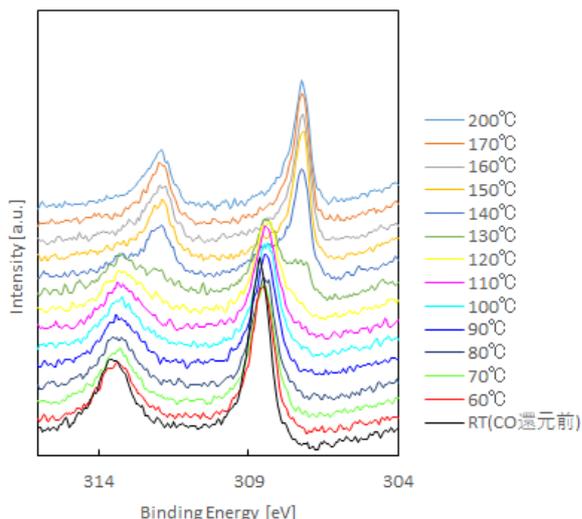


図4 高温過渡還元雰囲気下におけるRh3dスペクトル変化。

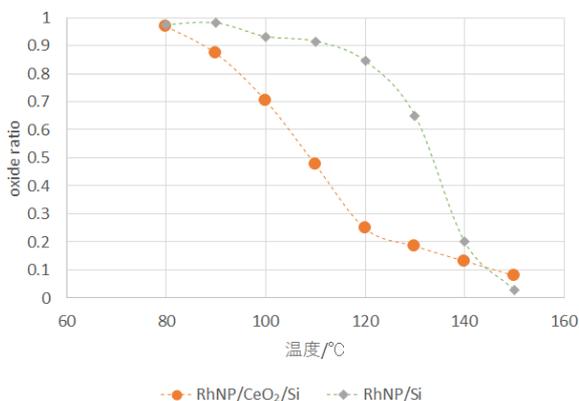


図5 高温過渡還元雰囲気下におけるRh₂O₃割合の推移。

表 DFTによるサポート剤表面酸素電荷計算結果

サポート剤	表面酸素電荷/e
CeO ₂	-1.2
Li ₃ PO ₄	-1.6 ~ -2.1

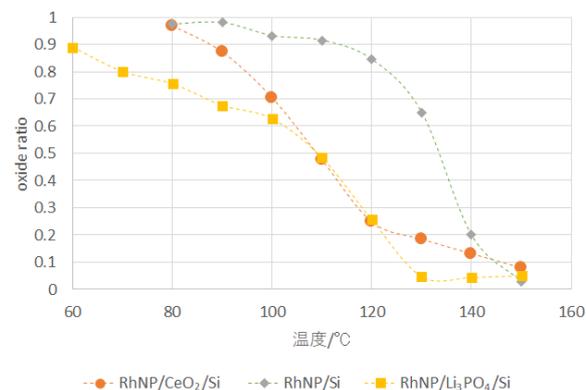


図6 高温過渡還元雰囲気下におけるRh₂O₃割合の推移。

温度に対する酸化Rhの割合の推移を示す。Rh NP/CeO₂/Siの方がRhメタル化開始がRh NP/Siより低温化しており、サポート剤の効果であり反応の制御因子の1つであることが示された。この要因はRhとサポート剤間の電荷の相互作用によるもので、サポート剤酸素の電子密度が増加するほどRhの還元性が向上すると推察した^[7]。さらに、最適材料を見出す目的でサポート剤の電子モデル計算による机上検討を行なった。サポート剤酸素の電子密度に着目し、DFT計算を実施した。

CeO₂よりもサポート剤表面酸素の電子密度が高いLi₃PO₄に(表)Rh NPを蒸着し同様にHAXPESにて過渡還元性を評価し検討した結果、特に低温において更なる還元性向上が得られた(図6)。

再加速域でのRh還元挙動を「見える化」することでメカニズム解明およびモデルによって更なる性能向上が可能となることを示すことができたと考える。

6. まとめ

貴金属種によるNO浄化の律速反応挙動の違いおよびサポート剤による還元性の違いを、実際に近い条件下で分析することにより明確にでき、さらに計算科学的なアプローチでその違いの原因が推定可能になった。今後は、それらの制御因子(材料因子、反応因

子)を明らかにし、モデルの精度向上を目指すとともに、新規革新材料の開発へ貢献していく。

謝辞

本報告で用いたサンプル作製に関して、八木伸也先生にご指導いただきました。深く感謝申し上げます。

SPring-8 での実験には、BL24XU を利用させていただきました(課題番号 2020A3389、2020A3231、2021A3231、2021B3231、2022A3231、2022B3231)。

豊島 遼 TOYOSHIMA Ryo

慶應義塾大学 理工学部 化学科
〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1
TEL : 045-566-1592
e-mail : toyoshima@chem.keio.ac.jp

鈴木 哲 SUZUKI Satoru

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所
〒678-1205 兵庫県赤穂郡上郡町光都 3-1-2
TEL : 0791-58-1441
e-mail : ssuzuki@lasti.u-hyogo.ac.jp

参考文献

- [1] 坂手宣夫 : 自動車技術春季大会フォーラムテキスト (2019) 31-38.
- [2] S. Yagi, H. Sumida, K. Miura, T. Nomoto, K. Soda, G. Kutluk, H. Namatame and M. Taniguchi : *e-J. Surf. Sci. Nanotech.* **4** (2006) 258-262.
- [3] H. Koga, A. Hayashi, Y. Ato, K. Tada, S. Hosokawa, T. Tanaka and M. Okumura : *Catalysis Today* **332** (2019) 236-244.
- [4] W. Tang, E. Sanville and G. Henkelman : *J. Phys. Condens. Matter* **21** (2009) 084204.
- [5] QUASES-IMPF-TPP2M Ver. 3.0 を用いて計算した。
- [6] R. Toyoshima, M. Yoshida, Y. Monya, K. Suzuki, K. Amemiya, K. Mase, B. S. Mun and H. Kondoh : *Surface Science* **615** (2013) 33-40.
- [7] Y. Nagai, T. Hirabayashi, K. Dohmae, N. Takagi, T. Minami, H. Shinjoh and S. Matsumoto : *J. Cataly.* **242** (2006) 103-109.

國府田 由紀 KODA Yuki

マツダ(株) 技術研究所
〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地 3-1
TEL : 082-282-1111
e-mail : kooda.y@mazda.co.jp

近藤 寛 KONDOH Hiroshi

慶應義塾大学 理工学部 化学科
〒223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1
TEL : 045-566-1701
e-mail : kondoh@chem.keio.ac.jp

2019 年度指定パートナーユーザー活動報告

固液界面現象解明のための液体電子状態探索と
大気圧溶液セル開発の高度化

名古屋大学 未来材料・システム研究所	池永 英司
東京大学 物性研究所	原田 慈久、木内 久雄
日本製鉄株式会社 先端技術研究所	土井 教史
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 分光推進室	保井 晃、山添 康介

(1)

指定時PU 課題番号/ビームライン	2019A0067/BL47XU				
PU 氏名 (所属)	池永 英司 (名古屋大学)				
研究テーマ	固液界面現象解明のための液体電子状態探索と大気圧溶液セル開発の高度化				
高度化	化学反応状態解析のための実環境下反応セル開発による HAXPES 測定技術の高度化				
利用研究支援	当該装置を用いた利用実験の支援				
利用期	19A	19B	20A	21A	合計
PU 課題実施シフト数	32.875	44.75	54	42	173.625
支援課題数	1	2	2	2	7

(2) PU 活動概要

1. はじめに

大気圧湿潤環境下の試料に対する電子状態観測を可能とする硬 X 線光電子分光 (HAXPES) 測定の独自技術を基に、化学反応中の固液界面とその近傍の液相における電子状態変化の“その場”観測を行った。一般に光電子分光は試料への X 線等の照射による光電効果により、真空中に飛び出した光電子の運動エネルギーを計測する手法である。このため、試料および機器環境に高真空 (10^{-6} Pa 以上) が必要である。しかし、高真空中では湿潤試料は凍り、液体を保持した状態下におけるその場測定が困難であった。第三世代光源 SPring-8 で世界に先駆けて開発された HAXPES を適応させ、この問題を解決する。液体のような湿潤試料の界面電子状態分析は、燃料電池等の高効率な次世代クリーンエネルギー開発や高価な元素の大量消費を

回避させる低炭素型社会の構築が求められる現状で、重要な課題である。また液体を対象とした電子状態の研究分野は、その計測の困難さから敬遠され、著しく遅れているのが現状である。光電子分光計測分野においてフロンティアである液体電子状態探索に挑む本研究は、新規性が極めて高い研究開発である¹⁾。光電子透過窓を用いた「大気圧溶液セル」に電気化学 (電池やメッキ反応等) 研究にも利用を拡大させることができる電圧印加や温度制御機構を加えた高度計測技術の開発を行い、先駆的な研究展開を図ると共にさらなる安全対策やビームタイム確保および効率化を図るため、本パートナーユーザー (PU) 活動を行った。

本報告では、我々が PU で実施した大気圧溶液セルを用いた HAXPES 計測の開発状況と計測例を紹介し、本計測技術の現状と展望について述べる。

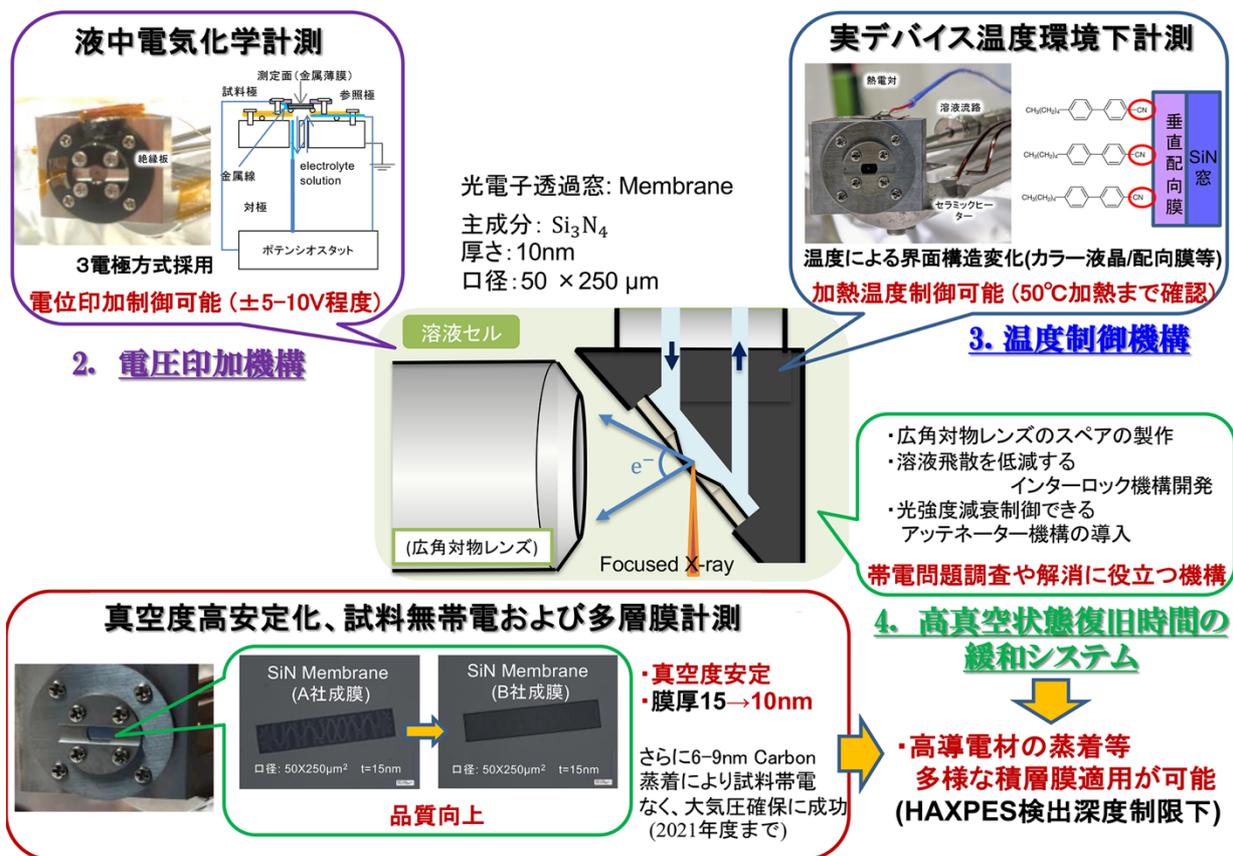


図1 大気圧溶液セル機構開発の概略。

2. 高度化への協力

図1に実施・達成した大気圧溶液セル機構の概略図を示す。このセル機構は、大気圧の部屋セルを高真空内に配置し、セル部に備えた絶縁体 Si_3N_4 メンブレン薄膜(光電子透過窓)を隔て高真空を保持している。また溶液を試料とする際は、X線をメンブレン薄膜に直接照射する。HAXPESの特長である8 keVの硬X線で励起された高い運動エネルギーをもつ光電子の非弾性平均自由行程(IMFP)は15 nm程度であることを利用し、メンブレン薄膜を透過した溶液自身の光電子測定を可能にすることが大気圧セルの最大の特長である。またセル内に溶液試料を常に循環フローさせ、X線照射によって生じるラジカル反応による試料劣化を防いでいる点も特長の一つである。しかし、光電子透過窓および試料溶液種の低導電性により、帯電が起きる。この帯電に起因する窓の破損が大きな問題となっていた。本PU課題を通して、技術面では下記の箇条事項の問題を解消し、大きな安全・安定性の向

上が図れている。

2-1. 光電子透過窓材の高導電化

以下の2点の高伝導化対策から帯電問題を解消した。

- ・ Si_3N_4 メンブレン薄膜の品質向上により、従来使用してきた15 nm厚から10 nm厚下での耐圧の向上を図り、メンブレン薄膜厚10 nmでの大気圧室の確保に成功。
- ・10 nm厚メンブレン薄膜の真空側にCarbon coating(9 nm厚)を施し、当該メンブレン薄膜をセル本体にマウントする際に、 Si_3N_4 フレーム(大気圧/試料溶液側)にAu箔を接触させ、外部から直接アースを採る。

以上の対策から、帯電による窓材破損を防ぐことができるようになった。この帯電問題解消は大きく、10 nm膜厚はHAXPES検出深度制限下での多様な蒸着等積層膜試料へ適用することができ、導電性の確保と

ともに広範な研究展開へ繋がる。またこの対策は本PU 期間最後まで試行錯誤し、得た成果である。

2-2. 電圧印加可能な機構開発

上項目 2-1 の窓材の高導電化により、電圧印加計測で重要な基準電位を担保し、加えて窓材ホルダー材の絶縁により、 $\pm 5V$ 程度の電圧印加型溶液セルを新たに開発した。この開発では、reference 電極とカウンター電極を切り離した精度の高い電位制御が可能な 3 極仕様での電圧印加計測に至った。2020 年度までは 2 極仕様で、電位計測精度が低く、真空度的にも不安定なマウントだったが、安定計測が可能になっている。これは電池反応やメッキ技術など電圧印加下における固液界面の反応研究ニーズに応える機構開発として成功したと考えている。

2-3. 温度制御可能な機構開発

従来では、常温のみ適用可能であったが、利用者支援している「液晶/液晶配向膜の界面状態分析」研究では、最大 $50^{\circ}C$ 程度の動作条件であるため、この利用実験とともにセル機構を開発した。高温下窓材の膨張による液漏れをどのように防ぐのがキーとなる開発であったが、10 nm 厚 Si 窓材表面にコーティングする材種の選定等の試行錯誤から、 $50^{\circ}C$ 程度でも耐圧を確保できるように膜厚の適性を調査し、温度制御を可能とした。

2-4. 高真空状態復旧時間の緩和システムの開発

従来の問題点として、液漏れ事故後、試料種による真空下では溶液が凍るため、測定可能な高真空状態に復旧するのに 8 時間 (1 シフト) 程度のビームタイムロスが生じていたが、上項目 2-1 に挙げた成果により、帯電による液漏れ事故が無くなったことから、事故によるロスタイムを正確には測れていない。しかし、BL47XU から BL09XU へ本装置システムが移設された際に、ターボ分子ポンプを新たにする等、真空排気システムの強化がなされている。加えてビームライン X 線光路上に細かく光強度減衰制御できるアッテネーターが導入され、上項目 2-1 の膜厚帯電問題調査や解消に役立っている。

総じて液漏れ事故や真空度に関して非常に安定し

た長時間計測が可能となった。とくに 10 nm 厚のメンブレン薄膜適用を調査し、帯電問題を大幅に解消した成果や HAXPES 検出深度制限下での積層膜形成を可能にした本 PU 成果は、科学技術的波及にとって非常に大きく、3 極電圧印加や温度制御機構の開発は、溶液を対象とした電気化学反応研究など、今後の HAXPES ユーザー利用を広げるアドバンテージになると確信している。

3. 研究成果

光電子分光計測分野においてフロンティアである溶液電子状態探索に挑む本研究は、新規性が極めて高い。また硬 X 線を用いることで、特にソフトマターに対する X 線照射ダメージを顕著に軽減できる HAXPES の利点を活かした研究開発である。そこで上記の高度化とともに貴金属微粒子-溶質界面 (ソフトマター) をもつ系 (コロイド溶液等) における複雑な固液界面の電子状態解明をテーマにした基礎的な学術研究の他に、産業利用課題に適用した研究の成果をいくつかを解説する。

3-1. NaCl 水溶液中に分散する Au、Pt ナノ粒子分散構造の解明-SPP 法によるナノ粒子径制御-

ナノ粒子は、バルクとは異なる性質を発現する。また貴金属ナノ粒子は生体適応性の高い金属ナノ粒子であると言われており、医療分野への応用が進められている^[2]。検査用マーカーなどのさらなる応用に対して、生体内での金属ナノ粒子の表面吸着種や pH などイオン環境の変化に対する分散安定性の違いについて追究する必要がある。本研究で使用した Au および Pt ナノ粒子 (NP) 試料作製は液中プラズマ法 (SPP) を用いた^[3]。この SPP の特長として、分散剤や前駆体を加えることなく貴金属ナノコロイドの作製が可能

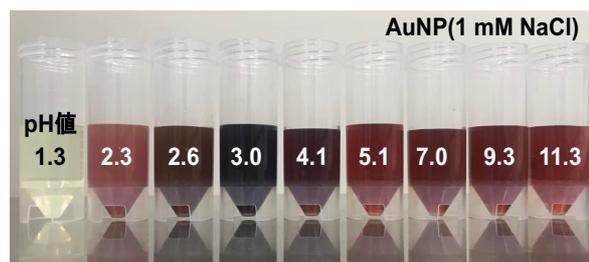


図 2 SPP で作製した AuNP コロイド溶液の pH 依存。NaOH、HCl で pH 値を調整。

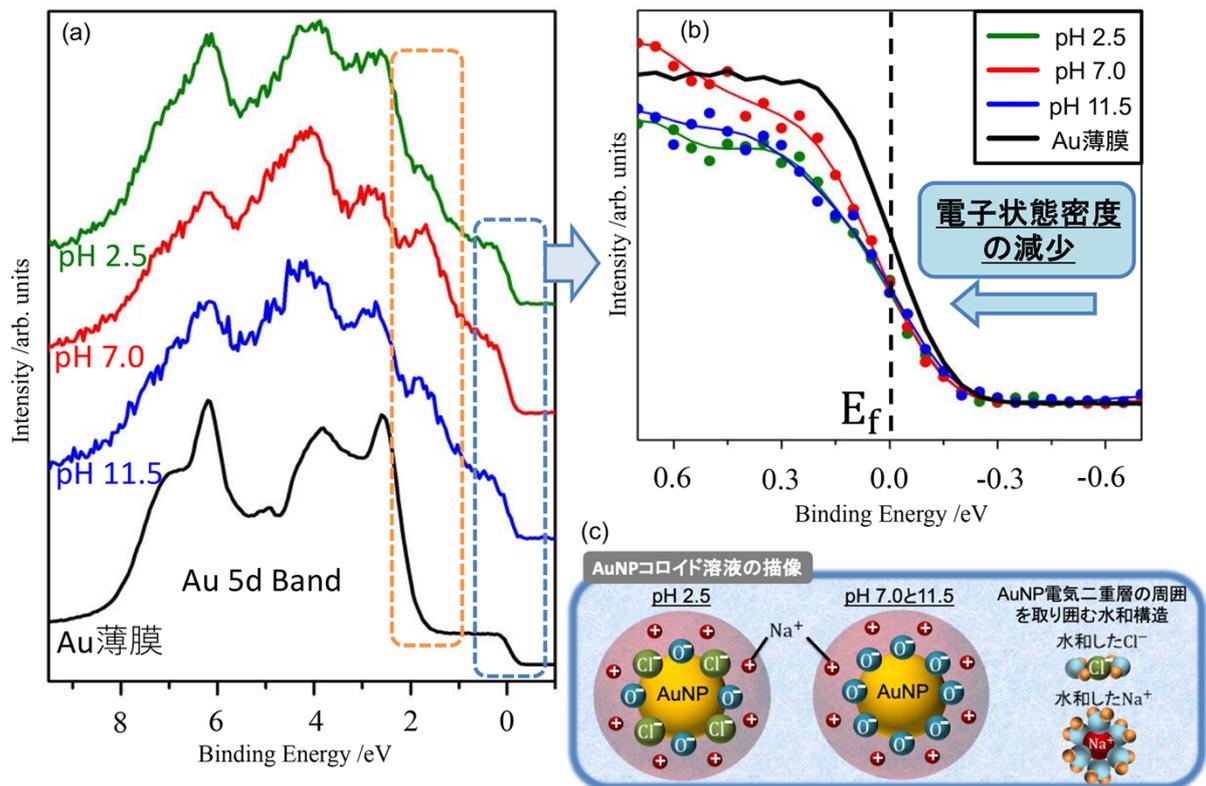


図3 AuNP コロイド溶液における pH に依存した電子状態。(a)Au 5d band 価電子スペクトル、(b)拡大した E_f 近傍のスペクトル、(c)溶液中の吸着状態と電気二重層形成の描像。

なことが挙げられるため、貴金属ナノ粒子本来の情報が得られる。図2はSPPを用いて作製したNaCl水溶液1 mM中のAuNPコロイド溶液のpH依存による呈色変化を示している。

以上を踏まえた本研究の目的は、生体を想定したNaCl水溶液中に分散するAuおよびPtナノコロイドにおけるpHに依存した粒子径や分散機構について溶液電子状態から解明することである。

大気圧溶液セルを用いたHAXPES計測から、AuおよびPtNPコロイド溶液のpH依存性を見出した。図3にAuNPコロイド溶液におけるAu 5d band 価電子(a)および拡大したフェルミ近傍のスペクトル(b)を示す。Auの電子状態における知見として、フェルミ端近傍に量子サイズ効果に起因する電子状態密度の減少^{4,5)}を観測し、価電子帯ではAu 5dバンドとO2pの混成による構造が現れていることから、AuNP表面吸着種は酸素であることがわかった。またCl1s, Na1s内殻準位スペクトルから、水和するCl⁻やNa⁺または電気二重層を形成するNa⁺の描像を得た。さらに興味深いことに、低pH水溶液にのみ、AuNPと吸着する

Clと帰属できる特異なピーク成分を観測した。以上の結果から図3(c)に示したようなAuNP表面吸着種の描像を考察している。AuNP表面にはOが吸着し、特に低pH水溶液ではOとClが混在して吸着している描像を考察している。また、イオン吸着によるAuNP表面の負帯電および、その周囲を取り囲むH⁺またはNa⁺による電気二重層の形成がもたらすクーロン反発相互作用が起因となって分散状態を保つ構造を提案した。

また同様にPtNPコロイド溶液状態でのpH依存性を調査し、溶液環境下に特異な化学結合状態や電気二重層の形成によるスペクトル変化の観測に至った。この結果はAuとPtコロイド溶液では、電気二重層の形成の描像とは異なっていることを示唆している。またこれらの情報比較は、水和、酸化状態および電気二重層を形成する複雑な固液界面現象を理解するために重要な基礎情報となる。具体的にはDNA修飾したAuNPコロイド溶液を用いた一塩基変異体(SNP)分析における簡便、迅速な検出システムの開発⁶⁾の指針を得る成果を得た。

3-2. 軟X線発光分光・硬X線光電子分光によるトレハロース溶液中の濃度分布および電子状態観測

トレハロースは二糖類の一種であり、生体内における乾燥、凍結などの物理的ストレスから細胞膜やタンパク質を保護する働きがあることが知られている^[7, 8]が、未だその作用機序は完全には明らかにされていない。

そこで軟X線発光分光とHAXPESを併用して、溶液中の水とトレハロース間の相互作用に伴う水およびトレハロースの変化を詳細に捉えて作用機序を考察した。軟X線発光分光はトレハロースの水和およびトレハロースの凝集による水構造変化の情報を与えたが、二糖溶液中の水和水はバルク水と比べて大きな構造変化を示さなかった。つまり水の水素結合ダイナミクスの低下が作用機序に主に関係していると考察された。そこで大気圧溶液セルを用いたHAXPES実験を行った。帯電防止のために厚さ3 nmの金薄膜で表面をコーティングした、厚さ15 nmのSi₃N₄薄膜を真空隔離膜として使用した。この膜が、実質的にトレハロースと相互作用する物質のモデルとなる。各種濃度の4種類の二糖（トレハロース、マルトース、スクロース、ネオトレハロース）溶液に対して、C1s、O1s内殻の信号強度から各元素濃度の膜からの深さ分布を求め、窓材の影響も差し引くことによってトレハロース濃度の深さ分布を求めた結果、低濃度においては膜近傍にトレハロースが寄っており、高濃度になるにつれて膜近傍から排除されていく様子が捉えられた

(図4参照)。この傾向は赤外吸収で捉えられた結果⁹⁾とよく一致しているが、HAXPESは発光検出と比べると浅い検出深さのために、膜表面にトレハロースが偏析する様子が極めて高感度で捉えられているものと考えられる。トレハロースの高い生体物質保護作用を説明する仮説として、トレハロースがタンパク質表面から排除され、タンパク質表面に残った水によりタンパク質が安定化されるという説（水閉じ込め仮説）や、逆に、トレハロースが細胞膜やタンパク質に直接結合し、水分子の代わりとなるという説（水置換仮説）等があったが¹⁰⁾、本研究の結果は、生物が乾燥状態になるにつれてトレハロース濃度が大きくなると、トレハロースが膜近傍から徐々に排除されることを意味しており、乾燥ストレスに対しては「水閉じ込め仮説」が現象をよく理解できることがわかった。

3-3. Fe₂O₃ 鉄鋼材料の多種溶液反応における酸化状態分析—固液界面状態分析—

屋内、外問わず構造用高強度部材として用いられる鋼材には、その強度、景観性保持のため、耐食性が要求される^[11]。この要求の実現のためには、鋼と鋼表面を覆うことで腐食環境との絶縁を実現する防錆顔料、防錆塗料との相乗効果の最大化が必要と考えられる。鉄鋼材料の多種溶液反応における酸化状態分析と電圧印加における腐食機能発現のメカニズムを明らかにすることを目的に、研究を進めた。とくに本研究で必要な技術として、電気化学反応制御下での観測技術

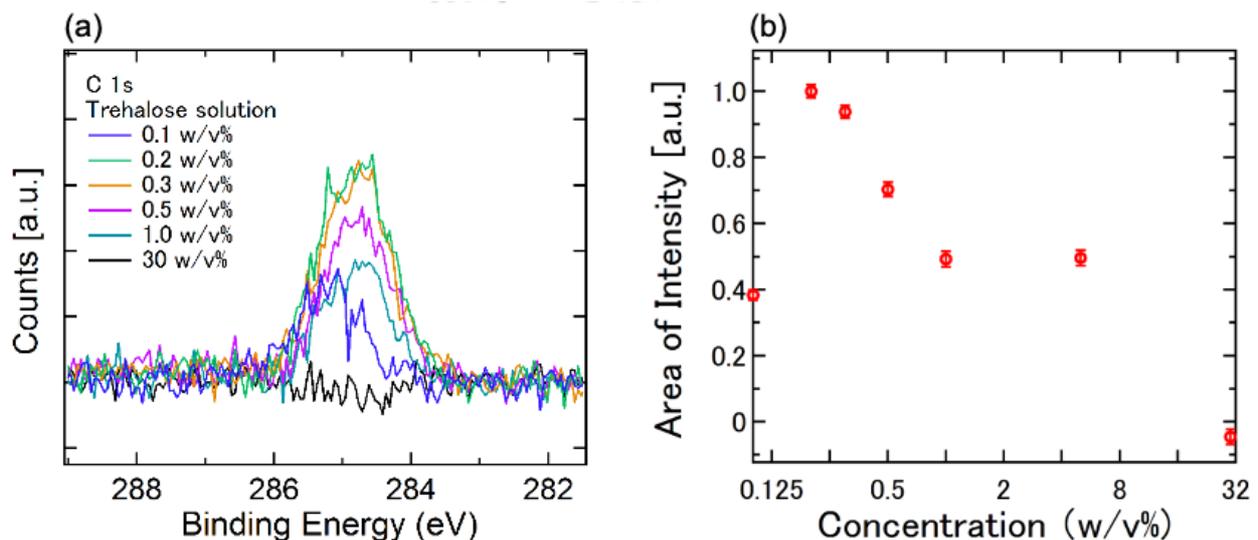


図4 (a)トレハロース濃度に依存したC1sスペクトル、(b)相対量に対するC1sピーク成分の積分値。

がある。すでに、他の施設や他のビームラインでも同様技術の適用が進んでいるが、準大気圧光電子分光分析装置との組み合わせが前提の装置構成¹²⁾や、比較的真空に与えるダメージの少ない非水系溶媒での適用が主である¹³⁾。この背景から、上記した高度化案項目2 電圧印加可能な電気化学セル機構開発を進め、Fe₂O₃膜の酸化還元サイクルの繰返し電気化学反応測定を実施した。

メンブレン薄膜窓材の高導電化と窓材ホルダー材の絶縁により、±5 V 程度の電圧印加型溶液セルを新たに開発し、reference 電極とカウンター電極を切り離した精度の高い電位制御が可能な 3 極仕様での電圧印加計測に至った。電位制御には、一般的な対極設置型ポテンシostatを用い、放射光 X 線照射中は常時電位制御し、その電位は Ag/AgCl 電極基準で制御している。この電気化学セルの開発は本 PU 期間最後まで試行錯誤し、現在も改良を行っている。

溶液は、ホウ酸緩衝溶液 (pH8) に NaCl 10 mM/L 加えたものを 7 ml 用意し、Ar 脱気した後、溶液セルに導入した。この溶液は、測定中常時循環した。溶液導入後、即座に -1.0 V (Ag/AgCl)、Fe の腐食はほぼ抑制される電位に保持し、光電子測定を行った。この時、溶液成分である Cl も検出されたことから、溶液/Fe 界面の光電子スペクトルの取得に成功したと判断できる。また本 PU 高度化により、薄い 10 nm 厚さの Si₃N₄ メンブレン薄膜を用いて試行した結果、真空隔壁として十分な強度を有していると判断できた。電位制御の結果、約 1.7 V ピークはシフトするとともに、酸化物状態のピークが増加したことを観測し、溶液/Fe 界面の光電子スペクトルの取得に成功した。しかし本電位域での Fe の腐食速度は、長時間平均で 1 nm/day 程度と通常よりも早い速度を見積もっているが、製膜条件、腐食初期ということもあり、想定より腐食速度が速かったものと考えられる。今後も検証を継続し、有効な測定を連続的にできる条件を探索する。このように液中電気化学における電子状態計測が可能となる大きな一歩となった。

4. ユーザー支援

本 PU 課題の計測技術は、新規性が極めて高い最新技術である。このため計測操作に関する全般を指導し

ている。また主に突発的な液漏れが生じた際の復旧技術を考慮に入れて、利用者支援に対して、とくに以下の支援を行った。

4-1. 角度分解 HAXPES 解析技術に関する支援

スペクトル測定後の解析技術の指導に関する支援を行っている。これまでは市販のスペクトル解析ソフト“Igor Pro”等に制限されてきたが、角度に依存した各スペクトルを容易に規格化できる“KoIXPd”プログラムソフトを用いる。この KoIXPd は現在市販されているが、以前から、角度分解 HAXPES 解析に特化して SPring-8 staff が開発した優れた解析プログラム (<https://www.kolibrik.net/en/solutions-products/kolixpd>) である。これを積極的にユーザーに紹介することで、解析データの生産性が飛躍的に向上している。

4-2. 突発的な液漏れが生じた際の復旧指導および真空事故軽減支援

表面コーティングなど窓材の高導電化やアッテネーター導入により帯電破損事故を解消する対策を講じたため、試料漏洩による真空事故件数は極めて少なくなった。しかし、光電子透過窓であるメンブレン薄膜は 10 nm と非常に薄いため、試料の導電性によっては突発的な液漏れが生じることを認識する必要がある。よって本復旧指導および事故軽減支援は、一般ユーザーが計測を実行する上で重要な要素の一つであると考えられる。

4-3. 新規産学連携支援

上記のようなユーザー支援および利用実験を通して、1 件の新規産学連携課題支援に繋がっている。ここでの詳細な内容報告は避けるが、液晶テレビやスマートフォン等の携帯端末に搭載されている液晶表示素子を構成する部材である液晶/液晶配向膜の界面状態分析課題における支援を行った。この支援の結果、本手法が界面の元素分布を *in situ* で可視化できる強力な手法であると当該企業からの認識を頂いている。PU 課題を終了した現在でも、引き続き実験条件等の詳細打ち合わせや解析、とくに角度分解 HAXPES 解析技術に関する支援を行なっていく予定である。

5. 大気圧溶液セルを用いた HAXPES 計測技術の現状と将来展望

「大気圧溶液セル」ではとくに光電子窓から透過した微弱な信号を統計精度良く計測するため、いかに光電子強度・検出効率を上げるかが重要である。この問題を克服するために、立体角 $\pm 34^\circ$ 程度の広角対物レンズ (BL09XU 常設) を併用している。この広角対物レンズの光電子捕集効率は 30 倍を持つため、検出効率減少を大幅に補うことができる。また最大の利点は試料角度を変えずに、一度に広角度の光電子放出角度依存性を観測し、深さ分析が可能なことである^[14]。立体角および収差性能は非常に優れており、この対物レンズと KB ミラーを用いた 1 μm 集光と組み合わせた HAXPES システムは、世界的にも唯一 BL09XU のみに備えられている。このため、本 PU で開発を進めた大気圧環境セルにも最適な条件で膜厚測定部のみに照射することができ、また深さ分解分析による固液界面や溶液のみの電子状態を探索することができるのは、現在 SPring-8 のみである。

近年用いられている差動排気型アナライザーは、アナライザーのみ真空中に保ち、試料周りの解析槽を雰囲気制御するため、湿潤環境による真空トラブルが少ないという大きな利点がある。しかし、以下の欠点も多くあると考えられる。

・準大気圧観測に限定

これはアナライザーのみを真空中に保つため、先端部のアパーチャーサイズに依存するためである。

・試料-レンズ間の距離 Working Distance: WD が極端に短い

この WD が 100 μm 弱程度と非常に短い。これは試料周りに空間自由度が乏しく、本稿で紹介した温度制御および電位依存性計測等を可能とする追開発や最適計測条件を見出すことが難しい。

・角度分解計測が困難

捕集立体角や球面収差補正に乏しく、HAXPES 計測の最大の特長である深さ分析を活かせない。

・蒸発ガスと液体の電子状態が混在する

液体と蒸発状態が混在するため、それぞれのピークがスペクトル中に重なって出現する。このため、解析が困難になる。これが最も厄介な問題といえる。

・高価

大気圧環境セルはアナライザーと試料溶液はメンブレン薄膜で分離されており、上で紹介した差動排気型アナライザーと比較して、真に大気圧下の溶液および固液界面電子状態を取得できる。また WD を気にすることなく温度制御および電圧印加制御機器や広角対物レンズとの組み合わせが容易である点も特長である。

本高度化における波及は、固気、固液界面をもつ環境分子・生体科学の“生もの”（電池材、光合成反応、医療、新薬開発）などへの適応と利用の拡大が見込まれ、異分野融合による広範な湿潤な試料界面における研究が促進されることが期待される。

参考文献

- [1] E. Ikenaga *et al.*: *Synchrotron Radiation News* **31**, 10 (2018).
- [2] K. Kutsuzawa *et al.*: *J. Jpn. Soc. Colour Mater.* **85**, 283 (2012).
- [3] T. Mizutani *et al.*: *Appl. Surf. Sci.* **354**, 397 (2015).
- [4] P. Zhang *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **90**, 245502 (2003).
- [5] J. T. Newberg *et al.*: *Surf. Sci.* **605**, 89 (2011).
- [6] Y. Akiyama *et al.*: *ChemistryOpen* **5**, 508 (2016).
- [7] R. Nagata *et al.*: *Kagaku to Seibutsu*, **33**, 259 (1995).
- [8] M. Sakurai *et al.*: *P. Natl. Acad. Sci. USA* **105**, 5093 (2008).
- [9] J. F. Carpenter *et al.*: *Biochemistry* **28**, 3916 (1989).
- [10] N. K. Jain *et al.*: *Protein Sci.* **18**, 24 (2009).
- [11] 海津信廣: 日本風力エネルギー学会誌 **42**, 154 (2018).
- [12] P. Kerger *et al.*: *Review of Scientific Instruments* **89**, 113102 (2018).
- [13] H. Kiuchi *et al.*: *Electrochemistry Communications* **118**, 106790 (2020).
- [14] E. Ikenaga, *et al.*: *JESRP*. **190**, 180 (2013).

(3) 成果リスト

- ・口頭発表（主な招待講演）
- [1] 池永英司, “固-液界面現象の電子状態観測”, 表面分析研究会、川崎市 (2023/3/2).
- [2] 池永英司, “光触媒発現機構の解明のための共鳴 HAXPES 計測利用と固-液界面の電子状態探索”, SPRUC 固体分光研究会、2021、オンライン開催

(2021/3/3).

- [3] 池永英司、“硬 X 線光電子分光の新たな展開: 共鳴計測および溶液の電子状態観測”、「第 80 回応用物理学会秋季学術講演会」、19p-B31-2、北海道大学 (2019/9/18).

池永 英司 IKENAGA Eiji

名古屋大学 未来材料・システム研究所
〒464-8601 名古屋市千種区不老町
TEL : 052-789-5893
e-mail : ikenaga@imass.nagoya-u.ac.jp

原田 慈久 HARADA Yoshihisa

東京大学 物性研究所
〒277-8581 千葉県柏市柏の葉
e-mail : harada@issp.u-tokyo.ac.jp

木内 久雄 KIUCHI Hisao

東京大学 物性研究所
〒277-8581 千葉県柏市柏の葉
e-mail : kiuchi@issp.u-tokyo.ac.jp

土井 教史 DOI Takashi

日本製鉄株式会社 先端技術研究所
〒660-0891 兵庫県尼崎市扶桑町 1-8
e-mail : doi.5e3.takashi@jp.nipponsteel.com

保井 晃 YASUI Akira

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

山添 康介 YAMAZOE Kosuke

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

長期利用課題報告

イオンポンプの結晶構造解析

東京大学 定量生命科学研究所
豊島 近

Abstract

一連の長期利用課題は「イオンポンプ蛋白質 (P 型 ATPase) の作動機構を原子構造に基づいて完全に理解すること」を目標とし、すべての可能な中間体の構造決定を進めている。その反応サイクルでは ATP によるポンプ蛋白質の自己リン酸化が起こるが、その構造変化は大規模且つ複雑すぎて因果関係は良く分からなかった。そこで最重要の中間体 (ポンプ蛋白質+ATP+Ca²⁺の三者複合体) に到達する複数の経路を追及することでその解明を目指した。本課題では Ca²⁺非存在下 (E2) で ATP を結合した状態 (E2·ATP) の Ca²⁺ポンプの結晶構造解析を行い、「何故 ATP によるリン酸化のためには Ca²⁺の結合が必須なのか」「何故 E2 状態では無機リン酸によるリン酸化が可能であるのに、Ca²⁺結合状態では不可能なのか」という根本的問題にアプローチした。

1. はじめに

2020A 期から BL1XU において、長期利用課題「イオンポンプの結晶構造解析」を研究室のメンバー (金井隆太助教、梶島佳樹助教) とともに遂行した。この長期利用課題は「イオンポンプ蛋白質によるイオン能動輸送機構の原子構造に基づく理解」の完成を目指すものであり、具体的には (i) 25 年以上にわたって追求してきた筋小胞体 Ca²⁺ポンプ (Ca²⁺-ATPase、sarco(endo)plasmic reticulum calcium ATPase (SERCA)) (ATPase は ATP 加水分解酵素) の反応サイクル中間体の結晶構造解析、(ii) 医学的生物学的にはより重要とも言えるナトリウムポンプ (Na⁺,K⁺-ATPase、NKA) の複数の状態の結晶解析、(iii) 「結晶中の脂質二重膜を可視化」し膜蛋白質が働く「場」である脂質二重膜とポンプ蛋白質との相互作用を解明すること、の 3 テーマから成る。

究極の目標は「蛋白質がどうしてそういう構造でなければならないのか」を理解することである。そのために、可能なすべての中間体の構造決定を目指している。SERCA に関しては、既に 10 個の中間体の構造を発表したが、本長期利用課題により 6 つ (図 1)、NKA に関しても 4 つの中間体の結晶構造を新たに決定できた。これまでは、一つだけ (図 1 では一番外側) の反応経路に沿った中間体の構造決定に集中してきたが、異なった経路の中間体構造に踏み込むことで、予

想外に大きな構造情報が得られることが分かった。

例えば、Ca²⁺を結合した SERCA の ATP によるリン酸化に際しては一度に多くの構造変化が起こるために^[1]、何が原因で何が結果なのかよく分からなかったが、Ca²⁺非結合時の ATP 結合状態 (E2·ATP) の構造決定により、ATP の結合だけでどこまでの構造変化が起こるかが明らかになった^[2]。また、NKA の作動原理は SERCA と同じだろうから、一方だけの構造決定で十分と考えていたが、対応する状態の構造が両者で明らかになるにつれ、作動原理は確かに同じだが、その実装 (例えば、A ドメインは何度傾斜するのかとか) は大きく違っていることが分かってきた^[3,4]。その実装の違いは、運搬するイオンの違いや要求される性能 (回転速度とか) によるものはずで、対応する構造の比

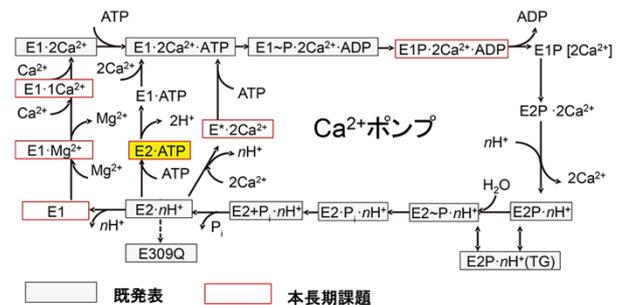


図 1 Ca²⁺ポンプの反応ダイアグラム。□で囲った中間体の原子構造は決定済み。E1/E2は Ca²⁺に対し高親和性/低親和性を意味し、P はリン酸化を、P_iは無機リン酸を示す。

較によって得られる知見は予想を遥かに超える本質的なものであった。本稿では既に PNAS 誌に発表した SERCA の E2·ATP 構造²⁾に関してやや詳しく述べる。

2. Ca²⁺ポンプの反応サイクルとイオン輸送

筋小胞体 Ca²⁺ポンプは約 1,000 個のアミノ酸残基よりなる膜内在型膜蛋白質である。速筋の SERCA1a、心筋の SERCA2a、ともに 10 本の膜貫通ヘリックス (M1-M10) と 3 つの明瞭に分離した細胞質ドメイン (Actuator, Nucleotide binding, Phosphorylation) から成る (図 2)。Ca²⁺ポンプは濃度勾配に逆らってイオンを運搬するのでエネルギーを必要とし、ATP の加水分解を行うが、反応のメカニズムはミオシンを含む他の ATPase とは大きく違う。Ca²⁺ポンプの場合、N ドメインにアデニン環で結合した ATP の γ 磷酸は、まず、P ドメインにある Asp 残基に転移されるが、ここでは水分子の直接的関与はない。標準状態では、カルボキシル基の磷酸化はエネルギー的には不利な (4.4 kcal/mol uphill) 反応であり、逆反応による ADP から ATP の合成は容易に起こる。すなわち、エネルギー的に高い (E1P) 状態を作って、反応サイクル後半のエネルギーを消費する過程を可能にしている (そのため、E1P 状態を ADP 感受性磷酸化状態とも言う)。Ca²⁺ポンプが属する P 型 ATPase 独特のものである。但し、Asp の磷酸化自体はバクテリアの二成分制御蛋白質にも見られ、比較的一般的なものである。磷酸化 Asp は Ca²⁺を小胞体内腔に放出後 (E2P) 加水分解され無機磷酸が放出される (図 1)。

2 個の Ca²⁺結合サイトは Ca²⁺に対し高親和性で細胞質側を開く E1 と低親和性で内腔側を開く E2 状態を行き来する。濃度勾配に打ち勝つ基本戦略は、膜の両側 (細胞質側と内腔側) にゲートを持ち、同時には開かないことである。E1 状態で 2 個の Ca²⁺が結合すると「磷酸転移を可能にせよ」という信号が発生する。この状態では、イオン通路は一応閉じているがゲートに鍵は掛かっている。ATP が結合し、細胞質頭部が閉じることで鍵が掛かった状態が生じ (E1·ATP·2Ca²⁺; 図 2)、 γ 磷酸が Asp 残基に転移することで安定化される。こうして、Ca²⁺は膜内に隔離される (E1P[2Ca²⁺]; ここで P は磷酸化を、[] は隔離された (occluded) 状態を示す)。

磷酸転移のためには、N ドメインは P ドメインに接近する必要があり大きく傾く。その結果、A ドメインとも接触する。E1·2Ca²⁺状態で開いていた細胞質頭部は閉じ、A ドメインは膜面に対し $\sim 40^\circ$ 傾く。A ドメインには M1-M3 ヘリックスが直接的に連結しているが、A ドメインの端に接続された M2 ヘリックスは 30° の傾斜の結果、 α ヘリックス 1 巻分細胞質側に持ちあがり、M1 ヘリックスは実に 2 巻分持ちあがる (図 2 のステップ 1)。M1-M2 ヘリックスから成る V 字型の狭い部分が持ち上がってイオン通路の出入り口を塞ぐとともに、Ca²⁺に配位するグルタミン酸残基の側鎖を動けなくする。つまり、M1 ヘリックスという丸太棒でイオン通路の出入り口を塞いで鍵を掛けてしまうのである¹⁾。

ATP の結合によって P ドメインにも大きな構造変化が生じる。P ドメインは N 末側 (P_N)、C 末側 (P_C) 二つの領域から成り、中央には 7 ストランドの並行 β シートが走っている。それを挟む α ヘリックスがあり、

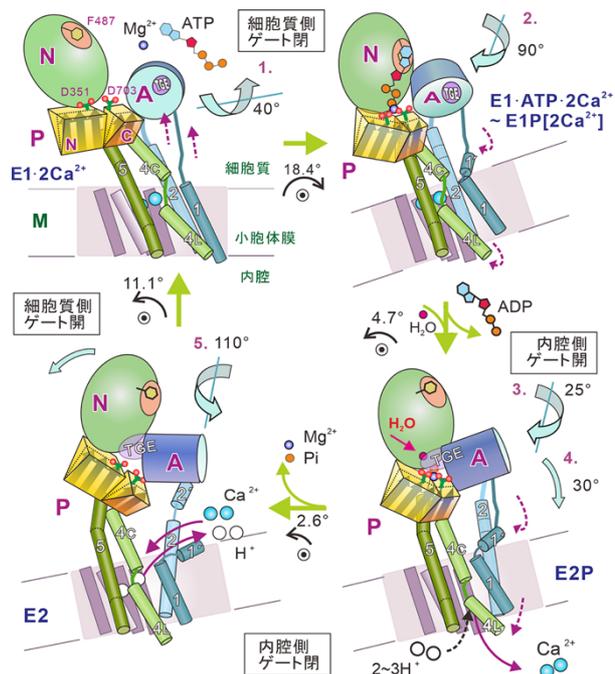


図 2 Ca²⁺輸送サイクルの模式図。4 つの状態では 10 本ある膜貫通ヘリックス (M1-M10) と 3 つの細胞質ドメインの大規模な再配置が起こる (図は構造変化の小さい M7-M10 で揃えてある)。2 個の Ca²⁺を内腔側に放出するところ (ステップ 2) では、A ドメインが 90° 回転し、その回転を M4 の下向き運動に変換して Ca²⁺を押し出す。反応過程でポンプ蛋白質全体が脂質二重膜に対して傾きを変える (rocking 運動)¹⁾。●の上の数字はその角度。

Rossmann fold と呼ばれる構造を採る (図 3b)。

非磷酸化状態では P_N 、 P_C はまっすぐだが (図 3a ; α ヘリックス同士はほぼ平行)、 β シートには 1 番目 ($P\beta 1$) と隣接する β ストランド ($P\beta 5$) の間で段差がある (図 3b、4)。磷酸化時には β シートを構成する 7 つの β ストランドは整列し、 P_N 、 P_C はともに磷酸化残基 Asp351 (図 3 の D351) に接近するように P ドメインは折れ曲がる (図 3a 矢印)。

Ca^{2+} ポンプでも NKA でも、ATP による磷酸化だけではなく、正方向にイオンを運搬した後の E2 状態から、逆反応によって無機磷酸による磷酸化が可能であ

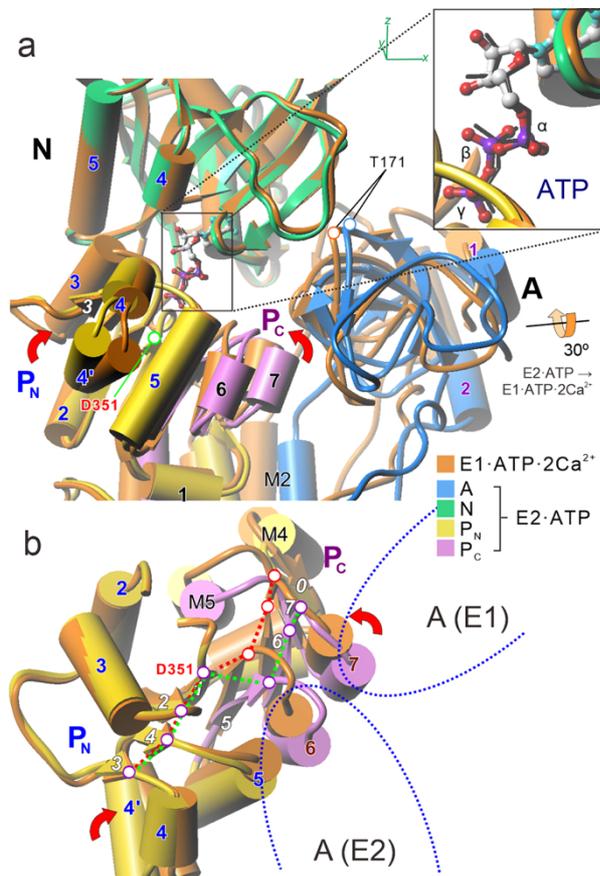


図3 Ca^{2+} ポンプの E2-ATP 状態と E1-ATP· $2Ca^{2+}$ 状態の結晶構造の重ね合わせ。N ドメインが最もよく一致するように重ね合わせた。a 膜に平行に見た細胞質頭部。結合した ATP の構造は二つの結晶構造ではほぼ完全に一致し、三磷酸部分は伸びている (挿入部)。b 膜に垂直に見た P ドメイン。A(E1)、A(E2) は E1 状態、E2 状態における A ドメインの位置 (青点線) を示す。ATP による自己磷酸化に際し、P ドメインを形成する P_N 、 P_C は磷酸化 Asp (D351) に接近するように折れ曲がり、中央の β シートの段差は解消する (赤点線)。

る (図 1)。得られた磷酸化状態は E2P と呼ばれるが、P ドメイン自体の構造は E1-ATP· $2Ca^{2+}$ 、或いは E1~P-ADP· $2Ca^{2+}$ 状態と同一である。つまり、P ドメインの構造は磷酸化状態の折れ曲がった構造 (中央 β シートは整列) と非磷酸化状態の真っ直ぐな構造 (β シートは段差あり) の 2 つのみであり、中間的な構造はこれまで見つかっていない。

このように、 $E1 \cdot 2Ca^{2+} \rightarrow E1 \cdot ATP \cdot 2Ca^{2+}$ では非常に大きな構造変化が起こる¹¹⁾。構造変化自体の記述は 2004 年の段階で既にできていたが、構造変化が複雑すぎて、どれが原因でどれが結果なのか、良く分からないまま時間が経過した。特に重要な問題は、「何故 ATP による磷酸化には 2 個の Ca^{2+} の結合が必須であり、E2 では起こらないのか」或いは「何故無機磷酸による磷酸化は E2 では起こるが E1 では起こらないのか」である。このような本質的問いに答えるためには、先ず、ATP 単独でどこまでの構造変化を起こせるかを知ることが重要である。 Ca^{2+} ポンプは Ca^{2+} 非存在下でも ATP に対し高い親和性 (μM) を持つので、生理的条件下では、 Ca^{2+} 放出後の状態は ATP を結合した E2-ATP (或いは既にプロトンを放出した E1-ATP) 状態にいる分子がほとんど考えられる。この状態の構造を決定したいのである。

強力阻害剤 thapsigargin (TG) で E2 状態に固定した Ca^{2+} ポンプに ATP を結合させた E2(TG)·ATP の結晶構造は 2011 年に得た¹²⁾。ATP による磷酸化が起きない理由としては「ATP γ 磷酸は磷酸化部位に正しく配達されない」か「P ドメインの折れ曲がり起きない何らかの理由がある」が考えられる。E2(TG)·ATP では ATP の γ 磷酸は磷酸化 Asp 残基から大きく離れており、「ATP の配達」は E2(TG) 状態では正しく起こらない。これは、E1-ATP· $2Ca^{2+}$ と E2 のどちらの状態でも細胞質側頭部は閉じているが、3 つのドメインの位置関係は大きく異なることに対応している (図 2)。E1 での A ドメインは、膜に垂直な軸の周りに E2 位置から $\sim 110^\circ$ 回転している (図 3b)。P ドメインは楔形をしており (図 5 右下、水色三角)、場所によって厚さが違う。A ドメインは N と P の間に挟まる形になるが、E2 では P ドメインの厚いところに位置し、且つ深く NP 間に挿入される。従って、N ドメインは P ドメインに対し遠い位置に固定され、ATP の位置も

リン酸化部位から遠くなる。

E2(TG)に対してはATPの結合がそのようなドメイン配置を変えることはなかった。しかし、それは強力阻害剤TGでE2状態を安定化したためかもしれないのである。実際、E2状態が優勢であるpH7以下でATPを予め加えておくと、 Ca^{2+} の結合は加速される。このことは、ATP結合によって細胞質側頭部が(少なくともある時間)開くためと考えられ、E2(TG)・ATP状態の結晶構造とは相容れない。NKAの場合ATPの効果はもっと明瞭である。E2・2K⁺状態は非常に安定であるが、ATPの結合はK⁺の放出を5,000倍加速する。実際、我々はクライオ電顕を用い、NKAのE2・2K⁺状態へのATP結合は静電的反発によって細胞質頭部を開くことを証明した^[3]。

3. E2・ATP状態の結晶構造

つまり、阻害剤なし且つ Ca^{2+} なし、pHは7付近という条件でのATP結合構造が必要なのであり、その取得を目指した。結晶化は非常に困難であり、これまで用いてきたウサギ速筋由来の Ca^{2+} ポンプ(SERCA1a)では成功せず、高等動物細胞で発現させたヒト心筋 Ca^{2+} ポンプSERCA2aを用いる必要があった。また、脂質存在下の結晶化であるにも拘らず界面活性剤の選択は重要であり、通常のC₁₂E₈に加え、これまで使ったことのないC₁₃E₈との混合物を用いる必要があった。BL41XUでデータ収集を行い、2.6 Å分解能で原子モデルを精密化した^[2]。

得られた構造は幾つもの点で驚くべきものであった。第一に、細胞質側頭部はほぼ開いていて、AドメインはE2位置から110°回転した(図2のステップ5)E1位置にあり、Pドメイン上のソケットに正しくはまり込んでいた。Aドメイン-Nドメイン間の接触は一か所でのみ起こっている(図3aのT171周辺)。その結果、E1P→E2Pで生じる90°の回転(図2のステップ2)の軸受け部分が不完全ながら形成されており、接触部位の位置も正しい(「E1・ATP・2Ca²⁺と同じ」という意味で「正しい」ということにする)。E2・ATPでは、E1・2Ca²⁺→E1・ATP・2Ca²⁺で生じるAドメインの40°の傾斜(図2のステップ1)が実現されていないためにA-N間接触は不完全になっている。E2状態では7つの水素結合によって安定化されていたが、

E2・ATPではThr171を含む一か所しかない。

ATPによるリン酸化が起こるためには、3つある細胞質ドメイン(A, N, P)が正しく配置する必要があるから、ドメイン間接触面が正しくなければE2状態でATPによるリン酸化が起こらないことは簡単に説明できる。しかし、得られた構造ではATPはNドメインとPドメインを正しく架橋し(図3a)、ATPのγリン酸はリン酸化部位に正しく配置されていた(図4)。また、AドメインはE2位置からほぼ90°膜に対し垂直な軸の周りに回転し、E1・2Ca²⁺状態で期待されるE1位置(図3)にあること、NドメインはPドメインに対しては、E1・ATP・2Ca²⁺状態と完全に一致する位置まで傾斜しており、A/N interfaceもほぼ正しいことが分かった。

つまり、E2状態では閉じていた細胞質側頭部はATPの結合によって一旦開き、その結果、E2状態では大きくM1の方に湾曲していたM5ヘリックスはかなり真っ直ぐになる(「完全に」ではない点が肝心である)(図5)。M5ヘリックスはPドメインに組み込まれているから、M5ヘリックスが真っ直ぐになると、Pドメイン、従ってNドメインはAドメインから離れる方向に動く。その結果、AドメインはM5ヘリックスが真っ直ぐな(に近い)場合に安定なE1位置に移動したと考えられる。この位置では、Aドメインは

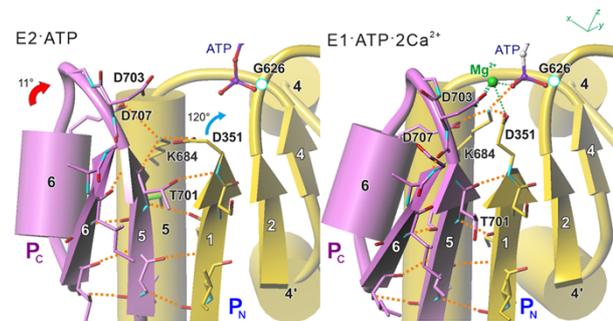


図4 Pドメインのリン酸化部位周辺でリン酸化時に生じる構造変化。中央のβシートにほぼ垂直に、図3bの左上から見たもの。ATPによる自己リン酸化に際し、P_N、P_Cはリン酸化Asp(D351)に接近するように折れ曲がり、中央のβシートのβ1-β5間の段差は解消する。D351の側鎖は横を向いた状態からγリン酸の方を向く状態に変わるが、それは段差の解消とリンクしていること、Mg²⁺が来ない限り、三つのAsp残基+ATPのγリン酸による負電荷の集中による静電的反発によりP_N、P_C間は閉じられないことに注意。オレンジ色の破線は水素結合を、赤矢印はリン酸化に伴うP_Cの運動を示す。

Pドメインと正しく接触している（傾斜のための支点はE1・ATPと共通）が、Pドメインが傾いている結果、Aドメインは膜に対し非常に近い位置にあり、また、PドメインのAドメインとの接点はPドメインの端にあるから、AドメインはSERCA本体から殆ど離脱しているように見える。

このように、E2・ATP状態のSERCAの構造は一見したところE1・Mg²⁺状態⁷⁾とよく似ていた。実際、結晶化におけるpHは7.2であり、通常ではE1状態にあると期待される。しかし、膜貫通部位を見ると、Ca²⁺結合残基の配置は側鎖の向きまでE2(TG)結晶構造と同一であり、明らかにE2であった。このことは、閉じた細胞質頭部はE2(TG)の目立つ特徴であるが、E2状態（膜内イオン結合部位にプロトンを結合し、Ca²⁺に対し低親和性状態というのが定義）に必須ではないことを示している。これは、前の長期利用課題で明らかにしたこともあった⁸⁾。

4. 磷酸化に伴うPドメインの構造変化とその役割

一方でE2・ATP状態ではPドメインの折れ曲がり（折れ曲がり）は起こっておらず、中央のβシートもE1・ATP・2Ca²⁺状態とは違い、段差を残したままであった（図3b、4）。PドメインはN末側（P_N）、C末側（P_C）二つに明瞭に分離しており、非磷酸化時には、Pドメインを縦断する中央のβシートも1番目と5番目のβストランドの間で段差がある。磷酸化時にはβシートを構成する7つのβストランドは整列し（図3b）、P_N P_Cともに磷酸化残基Asp351に接近するように折れ曲がる（図2、3a）。

E2・ATP状態でATPは磷酸化部位に正しく配達されていると書いた。確かに、ATPの3つの磷酸基はE1・ATP・2Ca²⁺状態と同様伸展しており（図3a挿入図）、Mg²⁺を取り囲むような立体配座にはなっていない。すなわち、γ磷酸はPドメインにある保存された625TGDモチーフ中のGlyのアミド基と水素結合を作っているが、肝心の磷酸化残基Asp351のカルボキシル基とは遠い。それは、これもP型ATPaseに絶対的に保存されているLys684によってAsp351の側鎖の向きが制御されており、非磷酸化状態、すなわちPドメインが折れ曲がっていないときにはγ磷酸の方ではなく、それと120°違う方向を向いているからで

ある（図4）。このLys684はP_N側にあるが、P_C側にあるAsp707（これも保存されている）と塩橋を作っている。Pドメインの折れ曲がり、Mg²⁺がγ磷酸からAsp351への磷酸転移を触媒できるようにAsp703を正しい位置に持ってくるだけではなく、Asp707がLys684を介してAsp351側鎖の配向を変えてカルボキシル基がγ磷酸の方を向くように、つまりは磷酸転移を可能にする働きを持っている。要するに、ATPからの磷酸転移はMg²⁺が正しく配位しない限り起きないよう、二重に保護されているわけだ。

非磷酸化状態（折れ曲がりの無い状態）でヘリックス同士（この場合はP5とP6）は側鎖で噛み合っているわけだから、その噛み合いをはずす、βシートに垂直な方向（「横方向」）の運動がない限り、Pドメインの折れ曲がりは起こり得ないはずである（図3）。さらに、Mg²⁺が来ない限り、Asp703とAsp351のカルボキシル基、γ磷酸、この三者間の静電的反発は大きすぎて接近できないであろう。その横方向の運動の実体が、中央βシートの整列であり、それはβシートの水素結合ネットワークに参加するのが5番目のβストランドのC末端（図4では上端）にあるThr701の主鎖カルボニル基なのか側鎖の水酸基なのかで制御されている（図4）。興味深いことに、このThrはNKAでは保存されているが、磷脂質のflippaseなど細胞質側gatingを必要としない他のP型ATPaseでは保存されていない。その場合、折れ曲がった状態が標準であり、直ちに磷酸化が起こる。

ここまではまあ理解できた。一方、Mg²⁺が結合しさえすれば、Pドメインの折れ曲がり（すなわち磷酸化）はCa²⁺結合によらず熱運動だけで起こりそうである。実際、無機磷酸による磷酸化はCa²⁺を必要としない。では「何故、ATPによる磷酸化のためには、2個のCa²⁺の結合が必須」なのか。

5. E2・ATPでAドメインがE1位置にあることの意味

この問題を考えるために、E2・ATP状態の構造から出発して磷酸化が起こった状態（Pドメインは折れ曲がり、Aドメインはそれによって膜面に対し31°傾斜し、M1/M2はAドメインとともに剛体として移動する）の仮想的構造を構築した（図5中央）。膜面に対するAドメイン、Pドメインの傾斜角はE1・ATP・2Ca²⁺

状態とは大きく異なっており、M2, M4 ヘリックスは膜面に対して低い位置に固定されたままであった。この状態では、M1/M2 ヘリックスは Ca^{2+} ポンプ本体からほぼ完全に離れている。それに対し、E1·ATP·2 Ca^{2+} 状態では、M1/M2 ヘリックスは E1·2 Ca^{2+} 状態よりもさらに密に本体と接触し、4つの水素結合が形成され

ている (図5右)。膜貫通ヘリックス間の密な接触による自由エネルギーはヘリックスペアー組当たり〜10 kcal/mol であるとされる。このエネルギーは ATP 加水分解で放出される標準自由エネルギーが 7.3 kcal/mol であることを考えると、なかなか大きなエネルギーである。もし、10 kcal/mol のエネルギー

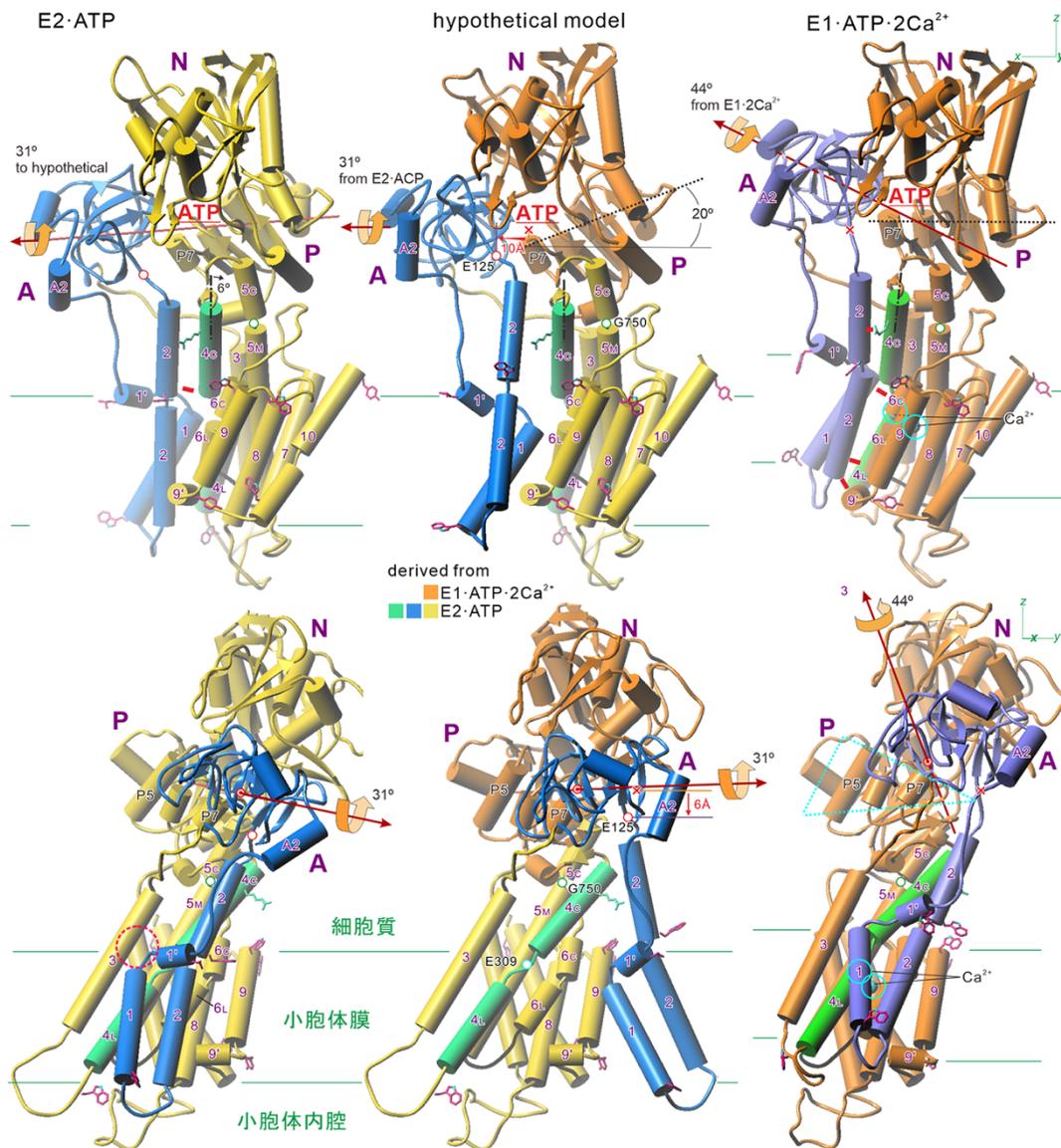


図5 Ca^{2+} 非存在下で ATP を結合した E2·ATP 状態で磷酸化が起こったときに形成されるであろう (仮想的) 構造のモデル (中央)^[2]。その左 (E2·ATP^[2]) と右 (E1·ATP·2 Ca^{2+} ^[1]) は結晶構造。E1·ATP·2 Ca^{2+} における水色の円は結合した Ca^{2+} を示す。E309 は Ca^{2+} 結合のゲートとなり、E125 は A ドメインと M2 の接手、G750 は M5C と M5M を繋ぐヒンジとなる残基。赤色の長い矢印は A ドメインの膜面にほぼ平行な軸の周りの回転の軸。二重の円盤はその支点の位置 (P7 ヘリックス上) を示す。赤の短い棒は水素結合を示す。左下の破線赤丸は細胞質側イオン通路の出入口を、右下の水色三角は P ドメインの概形を示す。3 つの構造は M7-M10 ヘリックスが同じ位置に来るように表示しているが、状態によって膜面の位置 (緑色の水平線で示す) は異なり、E1·ATP·2 Ca^{2+} では細胞質側に持ち上がった M1/M2 ヘリックスが膜外に飛び出さないように、膜表面にある Trp や Tyr 残基 (赤い棒で表示) が「浮き」の役割をするため、分子全体の傾きが変わる (rocking 運動)^[3]。

差があれば存在確率は $1/10^7$ となり、ほぼ存在し得ないことを意味する。一方、最初に述べたように、ATP による Asp のリン酸化そのものはエネルギー的に不利な過程であり、蛋白質側のエネルギーをそれに見合うように下げることによってバランスされ、リン酸化が可能になっていると考えられる。

それでは、E1-ATP-2Ca²⁺状態、つまり、E2-ATP 状態に Ca²⁺が結合することによって、M1/M2 ヘリックスが密に本体と接触できるようになるのは何故か？ 顕著な違いは P ドメインの傾きである。E1-ATP-2Ca²⁺状態の P ドメインは仮想モデルよりも 20° 持ち上がっている (図 5 中央・右)。これは、Ca²⁺の結合によって、M4 ヘリックスが持ち上がる (~5 Å) とともに、M4C (M4 ヘリックスの細胞質側半分) の傾きが変わり (6°; 図 5 左上)、それに伴って、M5 ヘリックスが真っ直ぐになるためである (図 5 右)。M4C、M5C は短い β ストランドで連結されているとともに P ドメインに組み込まれており (図 3b)、細胞質頭部は閉じているから P ドメインとともに、N ドメインも A ドメインも $-x$ 方向 (図 5 では右) に移動する (A ドメイン-P ドメインの接点がある P7 ヘリックスで 10 Å; 図 5 中央上)。傾きの変化の支点 (この場合 M5C と M5M の境界に位置する Gly750) から遠く離れた A ドメインは z 方向にも大きく移動する。それに従って、A ドメインに直接連結されている M1/M2 ヘリックスは本体側に大きく引っ張り上げられ (A ドメインと M2 ヘリックスの接合点 (Glu125) で 6 Å; 図 5 中央下)、本体と接触する。M1 ヘリックスはイオン通路の出入口を塞いで occluded 状態を作り出す¹¹⁾。この位置で、M2 の内腔側の端はストッパーの役割をする M9' と水素結合を作って安定化され、M2 細胞質側は M4C と相補的な接触面を持つことになる。

E2-ATP 状態では、Ca²⁺に配位する Glu771 のプロトン化のために、M5 ヘリックスは湾曲した状態で固定されている (図 5 左)。その状態で A ドメインが E1 位置にあるために、N ドメインは E2(TG)状態よりもさらに深く傾斜する必要があった。その結果、A ドメインを膜面に近づけ、M1/M2 を本体から離すことになっていたのである。つまり、プロトンの放出によって M5 ヘリックスが真っ直ぐになり、さらに Ca²⁺結合によって M2, M4 ヘリックスが解放されて高い位置

に来ることがリン酸化に必須であることが理解された。つまり、ポンプ作動機構に関する最も根本的な問いの一つに対する答えが得られたことになる。

要するに E2-ATP の A ドメインは E1 位置にあることが肝心なのである。この位置では上述のように、Ca²⁺が結合しない限り、ATP からのリン酸転移は起こらない。一方、無機リン酸によるリン酸化も起こらない。無機リン酸によるリン酸化のためには、E2P 状態で実現されているように、リン酸化部位は溶媒から隔離されている必要がある¹⁰⁾。つまり、A ドメインにある signature motif 181TGES ループが静電的に特別な環境をアスパラギン酸のカルボキシル基の周りに形成することが必須なのであるが、そのためには、A ドメインは E2 位置にある必要がある。E2-ATP における A ドメインの位置 (E1 位置) ではリン酸化部位 (Asp351) は溶媒に露出している。なるほど、この位置に固定されている限り、リン酸化はどちらの方向からも (ATP からも無機リン酸からも) 起こらない。実に strategic な位置ではないか。

6. A ドメインの回転の役割

PNAS 誌に論文を発表した 2020 年の理解²⁾はここまでであった。実は、この A ドメインの位置にはもっと生理的な意味がある。「何故に A ドメインをここまで回転させる必要があるのか」ということである。P ドメインは楔形をしている。そのため A ドメインは E2 位置では膜表面から離れた高い位置にあり、E1 位置では膜に接近する。実際の高さは P ドメインの位置、傾きに依存し、Ca²⁺結合状態では M5 ヘリックスが真っ直ぐになる結果 P ドメインは持ち上がる。その結果、A ドメインも持ち上がるので膜から離れることになる。このような P ドメインによる補正効果はあるが、A ドメインは E1 位置で膜に接近し、M1, M2 ヘリックスも小胞体内腔側に下がる。その結果、何が起こるかということ、細胞質側ゲートが大きく開くのである。このことは、今までよく認識されていなかった。

A ドメインには M1, M2 ヘリックスが直結している。そのため、NKA の E1-Mg²⁺状態と E1-3Na⁺状態の構造研究¹⁴⁾を行って初めて理解できたことなのだが、細胞質側ゲートの開閉は M1 ヘリックスの上下運動が行っている。SERCA の E1-2Ca²⁺状態では M1 ヘリッ

クスは Asp59 のところで折れ曲がることなく、真っ直ぐなヘリックスとなる。E1·2Ca²⁺では Glu309 が 2 番目の Ca²⁺に配位することによって Ca²⁺に蓋をしているが、その Ca²⁺は細胞質にある Ca²⁺と交換可能である。その通路は、M1 ヘリックスが真っ直ぐになることによって M2 ヘリックスとともに形成された大きな V 字型の上部であると考えられた。このこと自体は正しいのだが、本来、細胞質側のイオン通路は Ca²⁺が結合する前に開かれているはずである。一番大きく開いている必要があるのは、Ca²⁺を受け入れる直前の状態、即ち、E1·Mg²⁺状態のはずである。実際、SERCA でも E1·Mg²⁺状態では M1 は Asp59 のところで折れ曲がっており、且つ、A ドメインの大きな回転のために、E2 状態よりもさらに内腔側に下がっている⁷⁾。その結果、細胞質側イオン通路は最も大きく口を開けているのであった。

2013 年に E1·Mg²⁺状態の構造⁷⁾を発表した時にはどうして M1 ヘリックスが折れているのか、その必要性が分からなかった。M5 ヘリックスは E1·Mg²⁺状態で一番真っ直ぐであり、E1·2Ca²⁺になるとむしろ M10 側に傾く。これは、結合した Ca²⁺が M5 ヘリックスを引っ張るためであり、P ドメインは A ドメインに近い側が一番持ち上がる (図 2)。従って、M1/M2 ヘリックスは E1 では E1·Mg²⁺状態で最も下がっている。これによって、イオン通路の入り口は大きく開かれる。また、M2 ヘリックスは、E2 では部分的にほどけていたが、A ドメインの回転によって、A ドメインの M2 ヘリックスとのつなぎ目は膜に近づくため、M2 ヘリックスに許される長さは短くなり連続的なヘリックスになる。こうして初めて、次の段階 (図 2 のステップ 1) で M2 ヘリックスを引き上げ、細胞質側ゲートをロックすること¹¹⁾が可能になる。これだけの仕事を A ドメインの回転はしていたのである。

E2·ATP 状態は E2 であるからプロトンはまだ放出されてはいないが、細胞質側イオン通路を開けて、ゲート残基である Glu309 (M4C と M4L を繋ぐループに位置する; 図 5 中央下) の側鎖が変化してプロトンが解放されるのを待っていないのではなるまい。それが、E2·ATP 状態なのである。また、Ca²⁺を受け入れるために別の通路を開けるのは不経済だから、その通路は開けたまま待っている。それが、E1·Mg²⁺状態なのだ。

だから E2→E1 で A ドメインの大きい回転が起こるのだ。

それを理解するのに 10 年かかってしまった。NKA の対応する構造¹⁴⁾を研究しなかったらきっと一生 (私以外に SERCA の構造を極めようという偏屈はいないかもしれないので、そのときは永久に) 理解されなかったに違いない。結局のところ、得られる結論 (教訓) はいつも同じである。①蛋白質はあまりにも良くできている。②構造の意味を理解するにはとんでもなく時間がかかる。③似て非なるものは役に立つ (こともある)。④だから、実験はやってみるものだ!

参考文献

- [1] Toyoshima C and Mizutani T: *Nature* **430** (2004) 529-535.
- [2] Kabashima Y, Ogawa H, Nakajima R and Toyoshima C: *Proc Natl Acad Sci USA* **117** (2020) 18448-18458.
- [3] Kanai R, Cornelius F, Vilsen B and Toyoshima C: *FEBS Lett.* **596** (2022) 2513-2524.
- [4] Kanai R, Vilsen B, Cornelius F and Toyoshima C: closes the cytoplasmic gate. *FEBS Lett.* (2023) In Press.
- [5] Norimatsu Y, Hasegawa K, Shimizu N and Toyoshima C: *Nature* **545** (2017) 193-198.
- [6] Toyoshima C, Yonekura SI, Tsueda J and Iwasawa S: *Proc Natl Acad Sci USA* **108** (2011) 1833-1838.
- [7] Toyoshima C, Iwasawa S, Ogawa H, Hirata A, Tsueda J and Inesi G: *Nature* **495** (2013) 260-264.
- [8] Tsunekawa N, Ogawa H, Tsueda J, Akiba T and Toyoshima C: *Proc Natl Acad Sci USA* **115** (2018) 12722-12727.
- [9] Toyoshima C, Norimatsu Y, Iwasawa S, Tsuda T and Ogawa H: *Proc Natl Acad Sci USA*. **104** (2007) 19831-19836.

豊島 近 TOYOSHIMA Chikashi

東京大学 定量生命科学研究所
〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1
TEL : 03-5841-8492
e-mail : ct@iqb.u-tokyo.ac.jp

The International Conference on X-ray Optics and Applications (XOPT2023) 会議報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター
ビームライン技術推進室 小山 貴久

1. はじめに

2023年4月18日～20日の日程で横浜市のパシフィコ横浜においてThe International Conference on X-ray Optics and Applications (XOPT2023)^[1]が開催された。XOPTはThe Optics and Photonics International Congress (OPIC2023)^[2]を構成する13の専門国際会議の1つで2016年から毎年開催されており、Conference chairは、理化学研究所放射光科学研究センターの石川哲也センター長と大阪大学の山内和人教授が務めている。第1回のXOPT2016については本誌に報告がある^[3]。なお、OPICは国内最大級の光科学の国際会議で、2012年から毎年横浜で開催されている。OPIC2023は4月18日から4日間で開催され、4月20日の時点で1,000名弱が参加していると事務局から聞いている。

2. 会議の概要

表1にプログラム概要と各セッションの発表件数を示す。1日目は、6件の招待講演と2件の口頭発表があった。この日はOPICプレナリーセッションがあり、2件の招待講演が行われた。最後にXOPT Banquetが開催された。2日目は、1件の招待講演と3件の口頭発表、XOPTと他の2つの専門国際会議であるThe 12th Advanced Lasers and Photon Sources Conference (ALPS2023)とInternational Conference on High Energy Density Sciences 2023 (HEDS2023)との合同セッション(合計3件の招待講演)が行われた。この日はポスターセッションが行われ、21件の発表があり、OPICと同時に開催され500社弱が出展した光学機器関連企業の展示会 OPIE'23 (OPTICS & PHOTONICS International Exhibition 2023)^[4]とともに展示ホール内で開催され、ポスターセッションと同時に企業展示を見学することができた。3件の企業

表1 プログラム概要と発表件数

4月18日	<ul style="list-style-type: none"> ・ Opening ・ Beamlines I & Metrology I 3件(うち招待講演3件) ・ Beamlines II 2件(うち招待講演2件) ・ Methods & Applications I 3件(うち招待講演1件) ・ OPIC Plenary I 2件 ・ XOPT Banquet
4月19日	<ul style="list-style-type: none"> ・ Beamlines III & Metrology II 2件(うち招待講演1件) ・ X-ray Telescopes 2件 ・ Joint Session 3件(うち招待講演3件) ・ Poster session 21件 ・ Applications II 3件(企業発表) ・ OPIC Plenary II 3件 ・ OPIC Banquet
4月20日	<ul style="list-style-type: none"> ・ X-ray Optics I 5件 ・ X-ray Imaging I 5件(うち招待講演1件) ・ X-ray Imaging II & Beamlines IV 3件(うち招待講演1件) ・ X-ray Optics II 6件 ・ Closing

発表 (DECTRIS Ltd.、XRnanotech GmbH、PALM Scientific)があり、その後、OPICプレナリーセッション、OPICレセプションが催された。3日目は、XOPT単独のセッションとなり、2件の招待講演、17件の口頭発表、最後にClosing remarksが述べられ閉会した。

3. 主な講演の内容

以下に主な講演内容を紹介する。

Argonne National LaboratoryのX. Shi氏はAPSの波面計測の現状について報告を行った。計測系の手

法は回折格子干渉計、スペックルトラッキング、符号化マスクを用いる手法が紹介された。波面センサーはズーム可能なものやコンパクトなものがあり各ビームラインに最適化されたものを使用することであった。測定例として屈折レンズを測定した結果が紹介され、曲率、厚さ誤差、欠陥の有無などを記録したデータベースを作成し、数十から数百のレンズピースを用いる Transfocator のレンズ選定に役立っている結果が報告された。

Brookhaven National Laboratory の M. Idir 氏は NSLS-II 施設の X 線反射型光学素子表面の計測機器について紹介を行った。計測機器は次のものがあり、Long Tracing Profiler (LTP)、Nanometer Optical component measuring Machine (NOM)、Nano-accuracy Surface Profiler (NSP)、Fizeau interferometer、White light interferometer、Stitching Shack Hartmann Optical Head (SSH OH) などである。これら計測機器の繰り返し測定精度、絶対精度、装置間誤差などが報告された。ツイスト成分が測定できる 2 次元の形状計測が重要で 2 次元画像を繋ぎ合わせるステッチングを行う解析ソフトの開発が紹介された。さらに、最近の試みとして、波面計測で形状を計測しイオンビーム加工で必要な部分を削る wavefront guided LASIK、KB 集光ミラーのリアルタイムフィードバックアライメントが紹介された。

Elettra の M. Zangrando 氏は自由電子レーザー施設 FERMI の光ビーム輸送系と診断系の現状についての報告を行った。FERMI はシード型 FEL で現在 2 本のビームラインを持ち、FEL1 では 1 段階の High Gain Harmonic Generation (HG HG) 方式で波長 20~100 nm を発生させる。FEL2 は 2 段階の HG HG 方式で波長 4~20 nm を発生させる。パルスエネルギーは 10~250 μ J、パルス幅は 20~100 fs である。アップグレード計画では 2027~2028 年に波長 2 nm まで短波長化し、パルス幅は <10 fs を発生させることである。ビームライン輸送系のミラーコーティングの変更、フィードバックシステムを備えた分岐遅延光学系の現状などの報告があった。機械曲げによる形状可変 KB 集光ミラーの評価で波面センサーによる評価と、PMMA (ポリメタクリル酸メチル樹脂) に付けた集光ビームの照射痕の評価とを比較した結果が報告された。

Brazilian Synchrotron の B. C. Meyer 氏は高エネルギーズームトモグラフィビームライン MOGNO の光学機械設計と立上調整について報告を行った。KB 集光ミラーで 2 次光源を形成し、それからのコーンビームを利用する。2 次光源から検出器までの距離は 85 m で、試料の配置と 2 次光源のサイズで視野と空間分解能が決まり、設計では視野 150 μ m~85 mm、空間分解能 120 nm~55 μ m である。3 つのエネルギーに特化し 21.5 keV、39 keV、67 keV から選択し、エネルギー分解能は $\Delta E/E = 10^2$ と高スループットである。KB 集光ミラーは W/B₄C 多層膜を 3 つのストライプでコーティングしている。集光ミラーメカの振動を有限要素法でシミュレーションし解析を行っており、ミラーホルダをボルトで 3 点止めした時と接着材で 3 点止めした時の比較等を行っていた。

SLAC の T. Sato 氏は SPring-8 BL19LXU で Time-resolved Rocking Curve Imaging (TRCI) を行った結果について報告した。バンチフィリングとチタンサファイヤレーザー、X 線チョッパーを同期させ、シリコンやダイヤモンドにレーザーを照射した直後の歪みが波紋のように伝搬していく様子が観察された。

Aichi Synchrotron Radiation Center の H. Kunieda 氏は蛍光イメージングのための多層膜光学系の設計について報告を行った。試料からの蛍光 X 線を多層膜ウォルターミラーで 2 次元検出器に結像させる。Pt/C 多層膜で斜入射角は 1.2 deg、Co-K 線 (6.9 keV) 用で多層膜周期 4.5 nm とした。反射率 50% で空間分解能 1 μ m のイメージング結果が報告された。

Helmholtz-Zentrum Berlin の A. F. Herrero 氏はブレード型回折格子の新しい作製法について報告を行った。電子ビームリソグラフィ法でブレード型格子の斜辺に当たる部分を Gray tone 露光でシリコン基板に形成する。さらにシリコンの熱酸化と除去を行うことで滑らかな面が得られるとのこと。12.5~1850 eV で反射率測定を行い高い反射率が得られていた。

X 線望遠鏡の開発として 2 件の発表があった。1 つは、Tokyo Denki University の K. Tsuchiya 氏から炭素繊維強化プラスチック基板とニッケルリン薄膜を組み合わせたミラーの開発状況の報告があった。作製法を改良し、ミラーの反りが 55 mm 角で PV 100 μ m 以内に抑えることができたとのこと。もう 1 つの

発表は、Nagoya University の R. Fujii 氏から $\phi 60$ mm、長さ 220 mm、厚さ 2 mm の Ni 製望遠鏡用ミラーを電鍍法で作製し、評価した結果について報告があった。SPring-8 BL29XU で評価を行い、 $\phi 70$ mm のビームを用いて 10~15 keV の X 線で 3 秒角の半値全幅、17 秒角の Half power diameter が得られた。

Osaka University の K. Yamauchi 氏は合同セッションの招待講演で SACLA の sub-10 nm 集光ミラーの開発について発表を行った。SPring-8 BL29XU を利用して sub-10 nm 集光を達成した KB 集光ミラーの開発から SACLA における Advanced KB 集光ミラーを利用した sub-10 nm 達成までの開発の進捗が発表された。

3 件の企業発表があり、1 件目は DECTRIS Ltd 社の C. Schulze-Briese 氏から EIGER2 CdTe 検出器の紹介があった。高エネルギー対応で 100 keV まで高い量子効率で検出可能、8 bit であれば数 kHz のフレームレートで観察可能であるとのこと。2 件目は XRnanotech GmbH 社の F. Döring 氏から回折型、屈折型の光学素子作製の紹介があった。Paul Scherrer Institute (PSI) からスピノフした会社で、オフセットゾーンプレート、スパイラルゾーンプレート、透過型回折格子、反射型回折格子の作製の紹介があり、2 光子重合による 3D プリンターを利用した、レンズアレイ、キノフォーム型屈折レンズ、波面補正プレートの作製の紹介があった。さらに、ゾーンプレートと屈折レンズを組み合わせた色収差補正レンズの紹介があった。また、レーザーまたは電子ビームのグレースケール露光技術によるブレード型回折格子の作製が可能であるとのこと。3 件目は PALM Scientific 社の S. Antipov 氏からダイヤモンドレンズの紹介があった。レーザーアブレーションで回転放物面形状に加工し、さらに研磨で形状誤差 25 nm に仕上げているとのこと。レンズの開口と最小曲率半径で幾つか種類が選択できるとのこと。

PSI の T. Mamyrbayev 氏は XFEL 応用のための回折光学素子について報告を行った。回折光学素子によりビームを 2 つ以上に振幅分割し、一方のビームは試料を通過し、他方のビームは規格化のために利用する。European XFEL においてシリコン製の Beam-splitting off-axis ゾーンプレートを用いて 3 つの集光

ビームを形成し、試料の有無とレーザー照射部を通った X 線を同時に記録することで吸収スペクトルのポンププローブ計測を行う。また、SwissFEL のポンププローブ計測において、KB 集光ミラーと集光点との間にダイヤモンド製回折格子を配置し、エネルギーバンド幅 3% の集光ビームを 2 つに分割し、試料の有無でショット毎のスペクトルの規格化を可能としている。

Osaka University の J. Yamada 氏は SACLA において集光ビームサイズ 7 nm、集光強度 10^{22} W/cm² を達成した開発の詳細を発表した。まず、既存の 100 nm 集光ミラーシステムで SACLA BL3 での光源サイズを見積もり、それを元に Advanced KB 集光ミラーを設計した。超高精度なミラー作製において、格子干渉計で 2 次元波面を計測し、差分成膜でミラー形状にフィードバックした。ミラーの姿勢制御はスティックスリップ型のピエゾアクチュエーターを採用することで安定性が 22 時間以上に向上したとのこと。集光ビームの焦点深度が 2 μ m であるので、試料の光軸方向の位置合わせは白色干渉計を用いて行うとのこと。

Elettra の M. Manfreda 氏は波面計測手法の 1 つである Hartmann センサーを用いて FERMI の光輸送光学系の評価と光源位置の変化を調査した。光学系の評価として機械曲げによる形状可変 KB 集光ミラーの評価を行った。光源位置変化の調査として、加速器のパラメータ違いによる光軸方向の光源位置変化を調査した。アンジュレータ台数によるゲインカーブと光源位置変化との関係や、位相シフター、分散セクションの電流、シード遅延などの細かなパラメータ変化による光源位置の変化を調査していた。

University of Lisbon の P. Estrela 氏はテーブルトップ型の高次高調波 EUV 光源とスパイラルゾーンプレートを用いて光渦を形成した結果を報告した。波長 800 nm の 19~27 次の高調波で波長 42~29 nm の EUV 光を発生させ、スパイラルゾーンプレートで集光する。集光点はドーナツ状の強度分布をしている。波長に対して焦点位置が変わり、全波長を使用して 10 mm 程度の焦点深度を持つビームを形成した。

Göttingen University の J. Frohn 氏は PETRA III P10 ビームラインにおいて KB 集光ミラーと X 線導波路を用いて超解像インラインホログラフィを行っ

た結果を報告した。ホログラムの明視野とその外側の回折光も再構成に利用し超解像を行うものであった。50 nm line & space を観察し半値半幅で 11.2 nm 分解能が得られた。

RIKEN の G. Yamaguchi 氏は高開口数 (NA = 0.01) 硬 X 線インラインホログラフィの開発について報告を行った。シミュレーションによりインラインホログラフィで 10 nm 分解能を得るためには 10^{11} ph のフォトン数が必要であると検討した。SACLA Sub-10 nm 集光システムは NA が 0.01 でありフォトン数 10^{11-12} ph でこの見積りを満たしている。また、次世代の SPring-8-II になれば 10^{13} ph となる見込みとのこと。SACLA で 9.1 keV の X 線を使用し、中空ポリスチレン微粒子のインラインホログラフィをテストした。ショット毎にビーム強度分布が異なる XFEL 光ではフラットフィールド補正が困難ではあるが、再構成した試料像が得られた。

The University of Tokyo の K. Sakurai 氏は SPring-8 BL07LSU のタイコグラフィイメージングシステム CARROT を用いて哺乳類細胞の XAFS イメージングを行った。酸素と窒素の吸収端付近でエネルギースキャンを行い、タイコグラフィで得られた画像で画素ごとに吸収スペクトルが得られた。細胞内構造に対応する吸収スペクトルの分類を機械学習で行った結果が示された。

Korea Advanced Institute of Science and Technology の K. Lee 氏は空間領域 Kramers-Kronig の関係式を用いた位相ナノトモグラフィを開発した結果を報告した。ゾーンプレートを使用した結像型顕微鏡の試料場のフーリエ空間 (後ろ側焦平面) の半分にカットオフフィルター (シリコン板) を挿入する。対称にフィルターをかけた 2 枚の画像から空間領域 Kramers-Kronig の関係式より、強度分布から試料の位相分布が求まるとのこと。ホロトモグラフィやタイコグラフィのように試料をスキャンしなくてもよいことがこの手法の利点であるとのことであった。

MAX IV の D. Carbone 氏は結晶試料の Bragg 反射した回折パターンから試料像再構成を行う Bragg タイコグラフィの開発について報告を行った。この手法の開発の歴史から MAX IV における開発まで紹介を行い、試料の歪み、磁性、スピンなどの物理量が 3

次元で観測可能であるとのこと。

DESY の M. Lyubomirskiy 氏はマルチプローブを用いたタイコグラフィの開発について報告を行った。タイコグラフィは相互に非干渉なモードであれば重なり合った回折パターンからでも再構成できるとのこと。複数のビームを同時に試料の異なる場所に照明し、少ないスキャン範囲で広い領域を観察する。3D プリンターで屈折レンズアレイを作製し複数 (2~6) の集光ビームを形成した。さらに幾つかのビームに位相板を挿入し光渦を形成することで相互に非干渉なビームとした。テストチャートや IC 回路基板を観察し、分解能 100 nm 程度で広い視野 85 μm が得られた。

ESRF の J. Reyes-Herrera 氏はビームラインシミュレーションコード OASYS に拡張機能を追加し、ESRF ビームラインの挿入光源のパワーマネージメント、光輸送、コヒーレンス伝搬のシミュレーションモデルを開発し、熱負荷が激しくなった ESRF-EBS のビームラインに適用した結果を報告した。

PSI の N. Samadi 氏は屈折アキシコンレンズの開発について報告を行った。アップグレードを予定している SLS ではビームのサイズ、発散角が小さくなるため、TOMCAT ビームラインの透過型 X 線顕微鏡装置で使用されているコンデンサーゾンプレート全体を照明することができない。そこでアキシコンレンズを使用してビームをドーナツ状に広げ、全体を照明できるようにしたいとのこと。3D プリンターでレンズを作製しており、形状は円錐状と鋸歯状が幾つかあり、それぞれの強度分布などを調べた。

ESRF の R. Celestre 氏は傾斜 X 線レンズによる焦点距離の調整について報告を行った。複合屈折レンズの最終段に 1 次元屈折レンズを挿入しこれを傾けることで水平、垂直の焦点位置を微調整することができるとのこと。

University of Twente の I. Makhotkin 氏は MESA+ NanoLab で開発しているシリコン、SiC、ポリマーのナノ集光レンズについて紹介を行った。深掘りエッチング技術の改良によりエッチング時の側壁の粗さが低減したとのこと。シリコン製ナノ集光レンズでは集光サイズ 170 nm \times 190 nm が得られている。SiC 製ナノ集光レンズでは、形状はシリコン製ほど滑らかではないが、集光サイズ 186 nm \times 275 nm が得られ

ている。3D プリンターで製作したポリマーレンズの紹介があったが、X線照射で変形するとのこと。

DESY の K. V. Falch 氏は焦点距離可変の複合屈折レンズの開発について報告を行った。1次元の放物面レンズの頂点の曲率を光軸と直交する方向に沿って変え、レンズをこの方向に沿って挿入退避することで焦点距離を変えるものである。レンズは2光子重合による3Dプリンターで製作した。PETRA III P06で実験を行い、8.0~8.2 keVで焦点距離が一定になるように補正できることを確認した。

PSI の P. Qi 氏は色収差補正したレンズの開発について報告を行った。発散型レンズとして屈折レンズ、集光型レンズとしてゾーンプレートを用い、これらを組み合わせることで色収差が補正できるとのこと。彼らはこれまで6.2 keVを中心に1.5 keVのバンド幅が色収差補正されたアクロマート光学系を開発した。今回、屈折レンズとゾーンプレート間の距離を最適化することで、アクロマートの4倍広いエネルギー範囲で焦点距離がほぼ一定になるアポクロマートとしたとのこと。走査型顕微鏡で集光サイズは940 nm × 740 nm FWHMであり、テストチャートを観察しエネルギー範囲7.5~12.5 keVでボケの少ない鮮明な画像が得られていた。ゾーンプレートを形成した基板の上に屈折レンズを塔のように(ロケットの発射台のように)形成し、一体で使用することで安定性を高めるとのこと。

4. おわりに

会議の様子として図1に会場写真、図2に集合写真を載せた。今回の会議は新型コロナウイルス関連の行動制限がほとんど緩和された時期に開催され、XOPTは完全対面形式で行われた。XOPTの参加者は95名であり、そのうち海外からの参加者は47名であった。過去に開催された会議と比べても海外参加者の割合が多いものとなった。Banquetも開催され個別の深い議論が交わされ大いに盛り上がるものとなった。会議の最終日はXOPT単独のセッションだったこともあり発表や議論の密度が高い一日となった。

次回は2024年4月22日~26日に開催が決まっているOPICの期間中の3日間で開催される予定である。XOPTの対象とする分野は光源から手法、検出

器の開発・応用までX線技術と開発に関わる広い分野に及んでいる。また、国内最大級の光学機器関連企業の展示会OPIETMも同時開催されており、会場のパシフィコ横浜はアクセスしやすい場所にある。最新の情報を発信・収集できるこの会議に読者の皆様も参加を考えてみてはいかがでしょうか。

Conference chairの一人を務められ、合同セッションの招待講演で発表された山内教授は、この会議後の4月28日に紫綬褒章授章が発表された。この場を借りてお祝いさせていただきたい。



図1 会場の様子



図2 集合写真

参考文献

- [1] <https://xopt.opicon.jp/>
- [2] <https://opicon.jp/>
- [3] SPring-8/SACLA 利用者情報 **21** (2016) 193-197.
- [4] <https://www.opie.jp/>

小山 貴久 KOYAMA Takahisa

(公財)高輝度光科学研究センター ビームライン技術推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0831
e-mail : koyama@spring8.or.jp

IPAC'23 会議報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター
加速器部門 深見 健司、山口 博史

1. はじめに

加速器の国際会議である IPAC (International Particle Accelerator Conference) は、加速器の研究者が分野を問わず一堂に集まる会議であり、毎年行われている。開催地は、アジア・オセアニア地域、ヨーロッパ地域、アメリカ地域の順に、各地域3年間隔で開催地が決まっている。今回はヨーロッパ地域の順番になっており、IPAC'23 はイタリアのベネチアにて行われた¹⁾。過去3年間、2020～2022年はCOVID-19の影響を強く受け、オンライン会議のみの開催もあった。昨年2022年はタイのバンコクにて対面にて開催されたものの、日本からの参加者のうち一部は、日本への再入国が許可されなかったケース、帰国後に行動を制限されたケースがあったと聞いた。今回はそのような懸念が払拭され、元の状態に戻っての開催となった。

ベネチアは、ベネチア本島、サン・ジョルジョ・マッジョーレ島、ジュデッカ島、リド島、サン・ミケーレ島、ムラーノ島、ブラーノ島、トルチェッロ島等数々の島で構成されている。今回の会議は、このうちリド島内にある Venice Convention Centre で行われた。Convention Centre 内の3つの建屋、“Palazzo del Casino”、“Sala Darsena”、“Palazzo del Cinema”で会議が行われた(図1)。Palazzo del Casino は主に

総合受付、ポスター発表会場、Sala Darsena、Palazzo del Cinema は主に口頭発表会場となっていた。Palazzo del Casino でのポスター発表会場の様子を図2に示す。上記の3会場のうち、Palazzo del Cinema は、かの有名なベネチア国際映画祭で使用される会場である。出入口の取手が映画のフィルムの形をしているのが印象的であった。付近には重厚感のあるホテルが立ち並び、映画祭の際には、世界中の著名なスター達がこれらのホテルに宿泊するそうである。

会議は2023/5/7(日)～5/12(金)の6日間行われた。このうち4日間が雨天であり、雨が降るとこの時期にしては非常に肌寒く感じた。加速器全体の会議ということもあり、参加者は38か国から1,660名であった。世界各地域からの参加者の統計を表1に示す。参加者の多くは、会場のあるリド島内に宿泊していたが、筆者のうち1人のようにベネチア本島に宿泊し、毎日定期船で会場まで通っていた参加者も珍しくな

表1 IPAC'23の参加者統計。

地域	
ヨーロッパ、中東、アフリカ	67%
アメリカ大陸	15%
アジア、オセアニア	18%
合計	1,660名



図1 IPAC'23 が開催されたリド島の Convention Centre。左：Palazzo del Cinema (写真手前) と Sala Darsena (写真奥)、右：Palazzo del Casino。

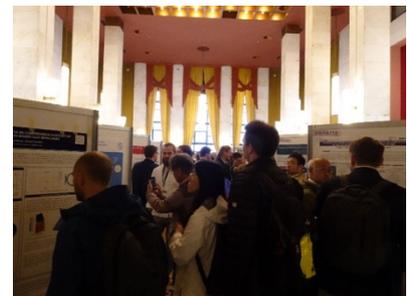


図2 Palazzo del Casino でのポスター発表会場の様子。

かった。陸上の乗物と異なり、船での移動は時間がかかるため、早め早めの移動が必須であり、筆者は船旅を楽しむ余裕はなかった。しかしながら、周囲を見ると比較的ゆっくりした時間を楽しんでいるような様子が伺えた。

2. 加速器全般の講演

IPAC では、素粒子・原子核実験用の電子・陽子加速器、重イオン加速器、中性子・ミュオンビームラインなど、放射光以外にも多岐にわたる加速器やビームラインに関する世界各国の開発状況が毎回報告される。この章では、放射光に限らず、一般的な加速器・ビームラインの講演について興味深かったトピックを記載する。

陽子加速器や重イオン加速器は、ガン治療の1つである粒子線治療に活用されており、Hadron therapy、Radio therapy として1つのトピックになっている。近年では技術の進歩によって加速器がコンパクトになり、粒子線治療専用の加速器を各地に建設できるようになった。一方で、施設が巨大になりがちな加速器を、一般的な病院でも使用できるように、サイズ縮小やコスト削減の技術開発が継続して進められている。現在も世界各国の複数箇所で新規の粒子線治療施設が建設されており、今回の IPAC ではイタリアの粒子線治療施設の準備状況が報告されていた。また、既存の FFA (Fixed Field Alternating gradient) 加速器や開発途中である誘電体加速器、Xバンド加速器といった加速器を粒子線治療に使用できないか検討した研究内容も多数の発表があった。誘電体加速器、Xバンド加速器は加速勾配が既存の加速器よりも高く加速器をコンパクトにできるため、粒子線治療用としても注目されている。ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) 用加速器では、陽子をリチウムやベリリウムのターゲットに衝突させて中性子を生成するビームラインの設計について発表があった。BNCT は中性子と核反応を起こしやすく、かつガン細胞に集まりやすいホウ素化合物を使用し、ガン患部に中性子を照射してガン細胞を死滅させる方法である。本 IPAC では、 ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ の反応吸収エネルギーである 2.5 GeV の陽子をリチウムに照射し、患部の典型的な大きさと同程度である直径 150 mm の中性子ビームを生成するためのビー

ムラインの設計について発表があった。

加速器を構成する電磁石、加速空洞に注目すると、特定の金属を絶対零度付近まで冷やすことで電気抵抗がゼロになる超伝導を利用した開発も数多く報告されていた。電気抵抗がゼロになることで、常伝導では難しい高電流や高 Q 値 (電磁波が加速空洞表面の抵抗によって減衰するのを表した物理量で、Q 値が高いほど減衰が小さい) が実現できる。一方で、この超伝導は絶対零度近くまで電磁石コイルの導線や加速空洞を冷却する必要があるため、大量の電力を消費する。スイス CERN 研究所の HL-LHC 加速器や核融合実験炉 ITER で Nb_3Sn 超伝導体の使用が決まったのをきっかけに、 Nb_3Sn を用いた電磁石や加速空洞の開発が加速している。この Nb_3Sn は、これまで一般的に使用されてきた NbTi よりも、超伝導になる転移温度が高く (NbTi は約 10 K、 Nb_3Sn は約 18 K)、磁場も高くできる (NbTi は 4.2 K で約 12 T、 Nb_3Sn は約 22 T^[2]、添加物等で臨界磁場は変わるので、あくまで目安)。一方で、NbTi は合金なのに対して Nb_3Sn はセラミック状の化合物のため、加工や衝撃に非常に脆い。この Nb_3Sn は、線材の成型方法等の技術開発によって、徐々に超伝導磁石に採用されつつある。また、転移温度が高いため冷凍機をコンパクトにでき、かつ Q 値も既存の Nb 空洞と比較して高いということで、加速空洞にも Nb_3Sn を使用できないか開発が進んでいる。今回は、実際に製作した Nb_3Sn 加速空洞が動作試験の準備中ということで、試験時の空洞内電磁場や冷凍時の熱分布のシミュレーション結果が報告されていた。NbTi や Nb_3Sn のような極低温の超伝導体に加えて、液体窒素温度程度 (≥ 77 K) で超伝導になる高温超伝導体を電磁石、加速空洞、アンジュレータに使用する研究開発も多く見受けられた。昨今のエネルギー価格の高騰から、今後は高温超伝導体の開発が主流になる可能性が大きいと感じられた。

プラズマ加速器、Xバンド加速器や誘電体加速器といった、次世代の加速器の開発状況も数多く報告された。2015 年にはヨーロッパ各国が出資してプラズマ加速器を共同研究する EuPRAXIA が設立され、現在、イタリア ローマ近郊のフラスカティにプラズマ加速器を用いた FEL 施設を建設中である。この施設は 1-5 GeV のビームエネルギー、既存の線形加速器と同程

度のビームの質を維持しつつ、施設の面積規模を 1/2 から 1/3 に小さくする。また、プラズマ加速器の前段には X バンド加速器(周波数~12 GHz)を使用する。プラズマ加速器や X バンド加速器といったこれまで開発中だった加速器が、いよいよユーザー用の装置を想定して建設されている様子が伺えた。

3. 放射光源用加速器

近年、放射光施設の高度化が盛んに行われている。蓄積リング内の電子ビームの空間的な広がりを抑制するための検討が行われており、放射光の輝度の向上に貢献している。これまでの放射光施設のキャッチフレーズである“第三世代”放射光源と明確に区別するため、高度化された放射光源は“第四世代”と呼ばれる。更地に新しく建設する施設もあれば、現状稼働している施設を一旦シャットダウンして機器の入れ替えを行う施設もあり、すでにユーザーに放射光の提供を開始している施設もある。

蓄積リング放射光施設は、第四世代放射光施設となる MAX IV (スウェーデン)・ESRF-EBS (フランス) が成功したことが呼び水となって、世界各地の放射光施設のアップグレードが進んでいる。このことと今回の IPAC がヨーロッパで開催されたことから、ヨーロッパの放射光施設の現状報告が数多く発表された。直近ではアメリカ Argonne 研究所の APS は今年 2023 年 4 月から 1 年かけて APS-U にアップグレード中であるほか、スイス PSI 研究所の SLS 2.0 が 2025 年のユーザー運転再開を目指してアップグレードが進んでいる。今回は建設で忙しいためか、APS-U や SLS 2.0 に関する発表は少なかった。イタリアでは Elettra のアップグレード計画が承認され、2027 年のアップグレードに向けた設計について講演があった。スペインの ALBA もアップグレードに向けた試作機開発の予算が承認され、この開発の現状について報告があった。

日本では第四世代光源として、仙台に NanoTerasu が建設中であるし、SPring-8 でも蓄積リングのアップグレードの検討が開始されている。今回の会議においても、放射光施設の報告の大半は第四世代の検討結果の発表、ステータスの報告であった。SPring-8 からは、筆者を含めて 4 つの口頭発表、5 つのポスター発表が

行われたが、大部分はアップグレードプランに関する発表であった。

第四世代光源実現のため、例えば磁石については、新しい技術の開発やこれまでにない設置精度の実現など、克服すべき課題が山積みである。今回の会議において、これらの課題のうち、筆者らは、蓄積リングへのビーム入射に注目した。第三世代放射光源の段階から蓄積リングのビーム電流値を時間的に一定にするため、トップアップビーム入射が行われてきた。トップアップビーム入射は、蓄積ビームの寿命に伴い減少するビームを逐次補う入射方法であり、数秒から数分に 1 回の割合で蓄積リングにビームが入射される。入射ビームの振動を抑制するため、入射時の瞬間だけ蓄積ビームを入射ビーム側に近づける。この時の蓄積ビームの軌道のことを我々はバンプ軌道と呼ぶ。SPring-8 では、蓄積リング入射部に用意された 4 台のキッカー電磁石を用いて入射部のみにバンプ軌道を形成する。キッカー電磁石はマイクロ秒オーダーのパルスで励磁される。本来、バンプ軌道は入射部以外の軌道に影響を与えないよう設計されているが、入射キッカー電磁石相互間のパルス磁場波形の形状が相似から外れた分だけ外部の軌道にも変動を与える。即ち、入射の度に蓄積ビームが振動する。SPring-8 においても入射時の振動が観測されており、水平方向の振幅はサブミリに達している。この値は、蓄積ビームのビームサイズに対し無視できない。第四世代光源においては、ビームサイズが現状よりも 1 桁以上小さくなるため、入射時の水平方向の振動は、さらに小さく抑制する必要がある。

複数台のキッカー電磁石において、パルス磁場波形の相対的形状が一致しない原因の一つとして、磁場の高周波特性の磁石間個体差が挙げられる。筆者は、この磁石間個体差の原因を特定し、原因を排除できる製作方法について口頭にて発表した。一方、他の施設では入射時にバンプ軌道を作らず、パルス六極電磁石や、非線形磁場を発生させる空芯のパルス電磁石である NLK (Non Linear Kicker)、MIK (Multipole Injection Kicker) などを利用しビーム入射を行う方式も検討されている。NLK、MIK を用いた入射では、これらの磁石の中心磁場が 0 であることを利用し、中心に蓄積ビームを通過させる。入射ビームは中心から外れた位置

を通過させ、入射ビームのみにキックを与える。但し、NLK、MIK は空芯であるため、コイルの設置位置の誤差がビームライン上の磁束密度分布に強く影響する。製作精度だけで要求磁場性能を満たすためには、コイル設置位置の誤差をマイクロメートルオーダー以内に制限する必要があり、製作が困難である。NLK、MIK 中心での磁場が有意に残ったまま蓄積リングに設置すると、やはり、入射時に振動が発生する。ブラジルの放射光施設 Sirius からは、NLK を用いたビーム入射についての発表があった。中心磁場を補正するためのコイルを付加し、ビームの挙動を見ながら最適化を行った。結果として、ビーム入射時の蓄積ビームの水平方向振幅を、ビームサイズの 3%程度まで抑制したことが報告された。スウェーデンの放射光施設 MAX IV からは、MIK を用いたビーム入射についての発表があった。MIK の磁束密度分布が設計通りではないことを見込み、ビームの挙動から MIK の磁束密度分布を推定した。MIK での蓄積ビーム位置を水平、垂直方向に走査したうえ、入射時の垂直方向ビームサイズの増大を観測することで、MIK の磁場分布を評価した。結果をもとに、磁束密度が 0 となる MIK の実効的中心を蓄積リングビーム軌道に一致させるよう、MIK 位置の再調整を行った。入射時の垂直方向ビームサイズの増大を 9.5%に抑制できたことが報告された。

4. その他

昨今、世界中で「Sustainability」が呼びかけられており、加速器も例外ではない。IPAC においても、この種のセッションが設けられ、加速器の電力消費の抑制や低コスト化が大きな焦点となった。特にヨーロッパでは、戦争等の理由により電気代が 2~4 倍（瞬間的には約 10 倍）に高騰し、この電気代高騰に対して各施設がどのように対応したかについて報告があった。主に運転時間の削減、加速空洞の入力電力の抑制で、熱源の空調への再利用、冷却方法の見直し等を行っている施設もあった。アップグレード計画のある加速器施設では、ほぼ全ての施設が、偏向磁石に永久磁石を利用することで電力消費を大きく削減しようとしている。各報告からは、科学成果を出していれば多少の電気の消費が許されるという雰囲気は全くなく、省電力を推し進めないと運転時間を確保できないと

いう危機感が滲み出ていた。我々も、今後の加速器機器開発において、省電力を必ず念頭に置いて開発を進めていきたい。

参考文献

- [1] <https://www.ipac23.org/>
- [2] <https://www.sci.osaka-cu.ac.jp/phys/ult/etc/benri.html>

深見 健司 FUKAMI Kenji

(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 : 0791-58-0831
e-mail : fukami@spring8.or.jp

山口 博史 YAMAGUCHI Hiroshi

(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 : 0791-58-0831
e-mail : hiroshi.yamaguchi@spring8.or.jp

第14回 生物学と放射光に関する国際会議

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
 利用システム開発研究部門 山本 雅貴

1. はじめに

第14回目の生物学と放射光に関する国際会議 (BSR14) が、2023年6月11日から14日の会期でスウェーデンのLund大学で開催された。この国際会議は1986年に生物物理学に関連する放射光での最先端研究を発表・議論することを目的としたイタリア フラスカティでの第1回会議から14回を重ねる国際会議で、2001年以降の国際会議の名称はBSRのBをBiophysics から Biology に変更して、より広い生命科学分野の放射光利用に関する国際会議として、世界各国の放射光施設をホストとして開催されてきた。日本でも1992年にKEK/PFがつくばで、2004年にはSPRING-8が姫路で開催しており、直近では2019年に中国の上海で開催された。これまでは3年毎の開催だったが、今回はMAX IVをホストとして、COVID-19の影響による2度の延期により当初予定の2022年初夏から1年遅れの2023年6月の開催となった。当初、対面での開催を目指していたが、会議の案内ホームページ公開直前にスウェーデンのCOVID-19感染者が急増したため急遽ハイブリッド形式での開催へと変更された。このように直前までCOVID-19の影響を大きく受けた中で会議開催となり、前回のBSR13では340人以上の参加者があったが、今回のBSR14は残念ながら約140人の参加者にとどまったとのことだった。



図1 講演会場のPalaestra et Odeumとポスター会場のAF-Borgen外観。6月の快晴のなか歴史的建造物を使っての開催となった。

会議は1883年に建てられたスウェーデン国有財産庁 (Statens fastighetsverk) 所有の歴史的建造物であるPalaestra et Odeumで開催された。この建物はコンサートホールと講堂からなり、今回の会議では1980年代に建替えられた講堂を講演会場として利用した。また、周囲にはLund大学本部の宮殿やルンドを代表する大聖堂など多くの歴史的建造物に取り囲まれた環境での開催であり、ポスターセッションやConference dinnerも隣接した元のお城を活用した学生自治会のAF-Borgenで開催された (図1)。

2. Scientific Program

6月12日から3日間の会議は2件のKeynote講演を含む口頭発表38件、ポスター発表37件のScientific Programで構成されていた。Keynote講演は米国Rutgers大学のS. Burley氏による“Beyond the 50 years of the PDB”と米国Scripps研究所のI. Wilson氏による“Synchrotrons and Virus Research”で、PDBの50周年を記念した講演とCOVID-19に立ち向かってきた地道な放射光やクライオ電子顕微鏡 (Cryo-EM) によるウイルス研究の講演と時宜を得た基調講演だった。また口頭発表の内容では、会議全体のテーマに「生物学への複合的アプローチ」や「組織と細胞」が大きく取り上げられていたこともあり、以前までの「放射光」や「構造生物学」の発表に替わりイメージング関連の報告が一番多く17件がプログラムされていた。そこには、蛍光イメージング、Micro-CT、コヒーレント回折イメージング (CDI) などに加え小角散乱 (SAXS) とCTを組み合わせたSmall-angle X-ray Scattering Tensor Tomography (SASTT)¹⁾など目新しい測定法も含め、細胞生物学や医学応用、さらには脳研究にわたる研究まで多岐なターゲットに関する放射光関連のイメージングの発表が行われた。また日本から唯一の招待講演者である東北大学A. Momose氏はGrating Interferometryによる位相コン

トラストイメージングについて基礎から生物応用まで含めた講演を行った。一方、タンパク質結晶構造解析 (MX) や SAXS の発表では BSR で伝統的な計測・解析技術開発や最先端ビームラインの紹介に加え、基調講演の SARS-CoV-2 関連等の構造解析や創薬研究の成果も交えて MX 関連 12 件、SAXS 関連 9 件の発表が行われた。その他にも構造解析ではあるが放射光とは直接は関係のない Cryo-EM の単粒子解析の現状と将来に関する発表なども行われた。大まかな枠組みとしては初日から 2 日目にかけてはイメージング主体で、最終日に MX と SAXS に関連した発表をまとめたプログラムだった。プログラムおよび要旨集は本報告執筆時点では BSR14 のウェブサイト¹⁴からダウンロード可能である。

また、37 件のポスター発表は初日夕方にポスターセッションの時間枠が設けられていた。しかし、コーヒブレイクや昼食の会場も兼ねた AF-Borgen のホールで開催され会期終了までポスターは掲示されたため、ポスターセッションの時間に限らず休憩時間を利用して三々五々ポスター発表について活発な議論が行われていた (図 2)。

ここからは、会議の中で私の専門である構造生物学関連で気になった講演をいくつかピックアップして紹介したい。まず初日最初の米国 Buffalo 大学の T. Grant 氏による小角散乱データからの“Ab initio electron density determination”の発表が大変興味深いものであった。今までの SAXS では Spherical Harmonics による分子外形や Beads model による構造推定に留まっていたが、発表では分子モデルからの正確な小角散乱プロファイルを計算するプログラム DENSS と今まで利用していなかった広角散乱 (WAXS) からの大量の構造情報を活用した Density Based Hybrid Modeling により SAXS/WAXS でも

atomic model を推定可能との報告¹⁵で、創薬研究に向けた Ligand Screening にも応用できると力強い発表だった。そこでは、CDI 法の位相回復計算に通じる溶液散乱データに対して任意の実空間モデルをスタートとして、タンパク質構造の制約条件を加えながら新しい反復構造因子検索アルゴリズムを用いて、溶液散乱データから直接原子レベルの電子密度が計算できる可能性を論じていた。今までの SAXS では分子内の電子密度一定を仮定してその分子境界を推定していたが、分子内の電子密度分布まで推定可能な構造解析へと進歩しつつあることは、さらに高輝度化する放射光での SAXS/WAXS の高 SN 比化と呼応して、SAXS/WAXS を新たな高分解能構造解析としての将来を期待させるものである。また、SAXS 関連のイメージング技術として、バルク試料内のコラーゲンなど配向性分子の位置と配向方向を 6 次元で解析可能な Small-angle X-ray Scattering Tensor Tomography (SASTT)¹⁶について具体的な医学利用を視野に入れた研究が 3 件報告された。DESY の C. Andre 氏からは乳がん転移領域においてコラーゲン線維が高濃度に特定の配向方向で分布することが、 $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ の分解能で測定した 2,034,900 の SAXS パターンから再構成されていた。スウェーデン Lund 大学の S. Isabella 氏からは腱構造が再生する過程の 3D のマイクロおよびナノスケールでの組織構造に対する観察結果を報告していた。スイス PSI の IR. Fernandez 氏からは骨欠損部位に埋め込んだ生体吸収性インプラント周囲の骨治癒過程でのコラーゲンの分布と配向に関する組織構造の観察について報告があった。このように、生体内でのコラーゲン等の配向性分子の分布と配向方位の解析が進めば、将来的にはがんの転移診断や整形外科的な治療の助けになる新たな知見が得られるのではと期待される発表であった。



図 2 講演会場の Palaestra の講堂とポスター会場の AF-Borgen のホール。

MX 関連では、スウェーデン MAX IV の T. Krojer 氏から MX ビームラインでの検出器高速化や測定自動化、さらにはデータ処理・管理まで含めた LIMS の発展による大幅なデータ収集・解析時間の短縮により、放射光の MX は単純な構造解析技術から“Screening Crystallography”に進化しつつあるとの発表があった。現在 MAX IV の BioMAX では最大 400 datasets/day のデータ収集が可能で、創薬研究の Fragment screening に向けてビームラインと試料調製の付帯施設を一体化した FragMAX facility⁴⁴を整備しており、結晶ハンドリングや化合物ソーキング用 pipetting Robot を含めた全自動データ収集システムを紹介した。英国 DLS の XChem と VMXi でも同様のシステムが報告されており、我々も AMED/BINDS プロジェクトにより SPring-8 も同様システム構築を進めていることをポスターで発表した。このような創薬研究に向けた化合物複合体結晶の調製からビームラインでの全自動データ収集まで含めた“Screening Crystallography”が、現在放射光施設の MX の重要な役割のひとつとして期待されていることを痛感した。

また、Australian Synchrotron の D. Eriksson 氏から Australian Synchrotron の高度化計画である Project BRIGHT⁴⁵として新規建設を進めている MX3 の発表があった。Australian Synchrotron では偏向電磁石とアンジュレータを光源とする 2 本の MX ビームラインを運用して自動化等に取り組んでいるが、MX3 では更なる挑戦的な MX の課題に対応するため、 $2 \times 2 \mu\text{m}^2$ のビームサイズで 6×10^{13} ph/ μm^2 以上の高光子密度を実現するビームラインを建設していると報告した。その大強度マイクロビームを実現するため、光学系には Double Crystal Monochromators (DCM) に替えて Double Multilayer Monochromator (DMM) を採用しており、検出器には最新の PAD (Dectris 社 EIGER2 XE 16M) を導入して通常の回折計での測定に加え、injector や Fix-target 等による高速の Serial Crystallography に対応するとのことであった。また、データ収集は Python ベースの実験管理システム Bluesky とその実験ワークフローを表示モニターできるソフト Prefet を開発しており、現在その結晶センタリングからデータ収集条件等にいたる迄のユーザー判断を AI により代行する Decision

Engine を開発中とのことで、データ収集にユーザーが関与することなく全自動での最適データ収集を実現すると報告した。このように COVID-19 の影響もあり SPring-8 も含め世界的に多くの MX ビームラインでは全自動データ収集システムの実装が進んでおり、今後ますます“Screening Crystallography”のような取り組みが重要になるものと思われる。また、Australian Synchrotron の MX3 と同様に英国 DLS の JS. Weatherby 氏が室温でのルーチン構造解析を報告した DLS の MX ビームライン VMXi でも、in-situ での高速データ収集を目指した大強度微小ビーム実現のため DMM を採用しており、MAX IV の MicroMAX をはじめ微小結晶や時分割測定など高度な測定をターゲットとした MX ビームラインでの DMM の採用が世界的に広がりつつある。

そして最後に、直接放射光とは関係しないが現在の構造生物学研究の一翼を担うようになった Cryo-EM の発表も紹介したい。ドイツ MAX Planck 研究所の H. Stark 氏は“Blacking the ICE better resolution”のタイトルで“Cryo-EM は完璧で間もなく誰もが X 線結晶構造解析の代わりにこの技術を使うようになるだろう”という大胆な予想を基に、Cryo-EM の単粒子解析の急激な進歩と問題点について発表した。そこでは、解析試料の品質向上と電子銃の進歩やモノクロメータの利用による電子線のエネルギー分解能の向上、さらには大量の電顕イメージ取得が高分解能の単粒子解析に繋がり、Cryo-EM は既に MX の構造解析の分解能に近づきつつあり分解能だけではなく解析した立体構造の品質向上が求められると力説して、今後も Cryo-EM のハードウェアの改良と様々な収差補正に対応したソフト開発の両面が重要であると締めくくられた。PDB の S. Burley 氏の Keynote 講演でも述べられていたが、PDB の年間登録構造数は今年か来年に Cryo-EM が MX を越えると予測されており、このような Cryo-EM の急激な技術革新の中、溶液中での巨大分子複合体などを得意とする Cryo-EM に対して結晶場での高分解能精密構造解析を得意とする MX という、今後はそれぞれの手法の特徴を理解した最適な解析手法の選択が重要であるとの想いを痛感した本会議で私が一番インパクトを受けた発表だった。



図3 MAX IV とサイトツアーの様子。

3. MAX IV サイトツアーとディナー

会議 2 日目の Conference dinner 前の夕方に全行程 1 時間半の強行スケジュールで MAX IV へのサイトツアーが企画された。会議参加者に MAX IV スタッフやユーザーが多く含まれていたためか、会議参加者数に比べサイトツアー参加者は意外に少なく 50 名で会議会場のある Lund 市街中心の大聖堂前から 1 台のバスに乗って約 20 分の距離にある MAX IV に移動した。MAX IV では生物関連のビームライン CoSAXS、Bio-MAX、Micro-MAX などを中心に実験ホールを 1 時間の時間制限のなか足早に見学することとなった。MX ビームラインでは Micro-MAX は現在立上げ調整中で高輝度マイクロビームを活かした Serial Crystallography を主なターゲットとしているとのこと調整途上の実験ハッチを開放していた。また、現在供用中の Bio-MAX ではほぼすべてのプロトコルを自動化しており、見学時もユーザーなしの全自動測定を実施中だった。このように MAX IV でも COVID-19 の影響もありビームラインのリモート・自動化がかなり進んでいるのが印象的だった (図 3)。

MAX IV サイトツアーの後に AF-Borgen の古式ゆかしい食堂での着席形式の Conference dinner が開催された。ここでは、COVID-19 前と変わらず食堂前のカウンターでのシャンパンによる食前酒が振舞われ一時の歓談の後、食堂に導かれワインに料理に舌鼓を



図4 AF-Borgen 食堂での Conference dinner。

打ちながら和やかな会食が北欧で日の沈まない 21 時過ぎまで繰り広げられた (図 4)。

4. おわりに

従来は Conference dinner で発表されてきた次回会議開催地について、今回は残念ながら発表されなかった。今までの開催地の流れから行くとヨーロッパ、米大陸、アジアの順で 3 年ごとに開催されてきた BSR は、順当にいけば第 15 回となる BSR15 は米大陸で本来のスケジュールの 2025 年の開催が想定される。今回の BSR14 は前回の BSR13 から参加者が半減し、日本からの参加者は 4 名だけなど未だ COVID-19 の影響が色濃く残る中での開催となったが、次回こそは COVID-19 前の BSR に戻って世界から多くの研究者が参加する生命科学分野の放射光利用に関する国際会議としてより盛大に開催されることを願うばかりである。

参考文献

- [1] A.L.C. Conceição, *et al.*: *Biomed. Phys. Eng. Express*. **6** (2020) 035012.
- [2] <https://www.bsr14.com/>
- [3] T. Grant: *Nat. Methods* **15** (2018) 191-193.
- [4] <https://www.maxiv.lu.se/beamlines-accelerators/science-initiatives/fragmax-biomax-fragment-screening-platform/>
- [5] <https://www.ansto.gov.au/facilities/australian-synchrotron/project-bright>

山本 雅貴 YAMAMOTO Masaki

(国) 理化学研究所 放射光科学研究センター
 利用システム開発研究部門
 〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
 TEL : 0791-58-2839
 e-mail : yamamoto@riken.jp

第 23 回 SPring-8 夏の学校を終えて

SPring-8 夏の学校実行委員会一同

夏の学校の概要

「第 23 回 SPring-8 夏の学校」は 2023 年 7 月 9 日 (日) ~7 月 12 日 (水) の 4 日間の日程で、全国 31 校から 87 名の学生の参加を得て、放射光普及棟および SACLA 実験研究棟大会議室、SPring-8 蓄積リング棟を会場として開校されました。この夏の学校は、SPring-8 サイトに施設を持つ各機関（理化学研究所放射光科学研究センター、日本原子力研究開発機構物質科学研究センター、量子科学技術研究開発機構関西量子科学研究所）と、これらの機関と連携大学院協定を持つ大学（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、茨城大学大学院理工学研究科）、SPring-8 サイトにビームラインを持ち、そこで教育を行っている大学（大阪大学光科学連携センター・蛋白質研究所・核物理研究センター）、および（公財）高輝度光科学研究センター（JASRI）が主催して、ビームタイムや講師を供出し合って行ったものです。校長は関西学院大学教授の藤原明比古先生にお願いしました。実行委員会は主催団体のスタッフで構成され、事務局は JASRI 利用推進部が行いました。な

お、主催大学の中には夏の学校への参加を講義として単位認定しているところもあります。

カリキュラムについて

夏の学校では通例として、初日に 3 講義、2 日目に 4 講義を行い、その後の 2 日間に 2 テーマの実習を行っています。また、SACLA と SPring-8 の実験ホールの見学、さらには SPring-8 蓄積リングの電磁石や挿入光源の見学を行いました。今年の実施スケジュールは以下の通りでした。



図 1 講義風景

第 23 回 SPring-8 夏の学校 日程表 – 2023 年 7 月 9 日 (日) ~12 日 (水)

	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
7/9 (日)	9:00~ 受付	9:30~ 開校式 ガイダンス	9:50 - 11:20 ≪講義 1≫ 放射光素子の基礎 正木 潤博 (JASRI)	11:20 - 12:30 昼食	12:30 - 14:00 ≪講義 2≫ ビームライン ～光線と実験フィジクスを繋ぐモノ～ 松原 泰徳 (JASRI)	14:15 - 15:45 ≪講義 3≫ X線射出器の基礎 今井 康彦 (JASRI/理化学研究所)	15:45~ 休憩 15分	16:00 - 17:30 ≪講義 4≫ 参加者自己紹介	17:30~ 18:00~ 夕食			
7/10 (月)	9:10 - 10:40 ≪講義 4≫ X線自由電子レーザー入門 久保田 雄也 (理化学研究所)	10:40-11:10 SACLA見学	11:20 - 12:30 昼食	12:30 - 14:00 ≪講義 5≫ X線イメージング 堀島 靖 (兵庫県立大学)	14:15 - 15:45 ≪講義 6≫ X線回折入門 高橋 功 (関西学院大学)	15:45~ 休憩 15分	16:00 - 17:30 ≪講義 7≫ XAFSの基礎 田岡 雅夫 (名古屋大学)	17:30-18:30 夕食	18:30 - 20:30 SPring-8実験棟・見学			
7/11 (火)					9:30 - 17:00 BL実験 1			17:00 - 18:30 SPring-8実験棟 (放射光発生装置) 見学	18:30~ 夕食			
7/12 (水)					9:30 - 17:00 BL実験 2							

ビームライン実習について

実習は 27 ビームラインで行われました。実習のテーマと使用したビームラインおよび担当者（敬称略）は以下の通りです。

- BL01B1 “その場”XAFS 計測 (加藤和男・伊奈稔哲・片山真祥 (JASRI))
- BL02B1 単結晶構造解析の入門 (野上由夫 (岡山大学)・中村唯我・一柳光平 (JASRI))
- BL04B1 大容量高圧プレスと白色 X 線を用いた X 線回折実験 (肥後祐司 (JASRI/茨城大学)・柿澤翔・辻野典秀 (JASRI))
- BL04B2 高エネルギー X 線を用いたガラス・液体の構造解析 (尾原幸治・廣井慧 (島根大学/JASRI)・山田大貴・下野聖矢 (JASRI))
- BL05XU 初めてのビームライン光学技術 (湯本博勝・小山貴久 (JASRI))
- BL08W コンプトン散乱イメージング (辻成希 (JASRI))
- BL10XU ダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧 X 線回折実験 (河口沙織・門林宏和・岡健太 (JASRI))
- BL11XU 自作の高速 X 線検出器で Spring-8 のバンチ構造を観測しよう (三井隆也・藤原孝将 (QST))
- BL13XU サブミクロン集光放射光ビームによる局所領域回折実験 (隅谷和嗣 (JASRI))
- BL14B2 XAFS 分析の基礎 (大淵博宣・渡辺剛・本間徹生 (JASRI)・佐藤真直 (JASRI/岡山大学))
- BL17SU 光電子顕微鏡～ナノ分解能で見る元素分布と磁気構造～ (濱本論 (理研)・大河内拓雄 (JASRI))
- BL19B2 粉末 X 線回折 (大坂恵一・伊藤華苗・桑本滋生・仲谷友孝 (JASRI)・佐藤真直 (JASRI/岡山大学))
- BL22XU X 線回折法を利用した金属材料応力・ひずみ評価 (菖蒲敬久・富永亜希 (JAEA))
- BL25SU 軟 X 線光電子分光を用いた電子状態解析 (山神光平 (JASRI))
- BL26B2 単結晶回折 (タンパク質) (上野剛 (理研)・河村高志 (JASRI))

- BL29XU X 線ライトシート顕微鏡実験 (香村芳樹・高野秀和・Sierra Dean (理研))
- BL31LEP GeV 光子ビームの生成と粒子・反粒子対の検出 (石川貴嗣・郡英輝・小早川亮・橋本敏和・桂川仁志 (大阪大学))
- BL35XU 放射光メスバウアー分光測定 - 放射光パルスと電子状態解析 - (依田芳卓・永澤延元 (JASRI))
- BL37XU 走査型顕微分光法の基礎 (新田清文・関澤央輝 (JASRI))
- BL40B2 小角 X 線散乱法を用いたタンパク質分子の構造解析 (八木直人・関口博史 (JASRI))
- BL41XU 単結晶回折 (タンパク質) (熊坂崇 (JASRI/関西学院大学)・長谷川和也・坂井直樹・水野伸宏 (JASRI)・山口峻英 (茨城大学))
- BL43IR 赤外顕微分光による組成分布と電子状態の解析 (森脇太郎・池本夕佳 (JASRI))
- BL43LXU X 線非弾性散乱による原子振動測定 (石川大介・福井宏之 (JASRI))
- BL44B2 全散乱計測における誤差解析 (加藤健一 (理研))
- BL44XU 単結晶回折 (タンパク質) (中川敦史・山下栄樹・櫻井啓介 (大阪大学)・山口峻英 (茨城大学))
- BL46XU 硬 X 線光電子分光 (安野聡・Seo Okkyun・高木康多 (JASRI))
- BL47XU 放射光 X 線イメージングと基礎データ解析 (安武正展・上杉健太郎 (JASRI))

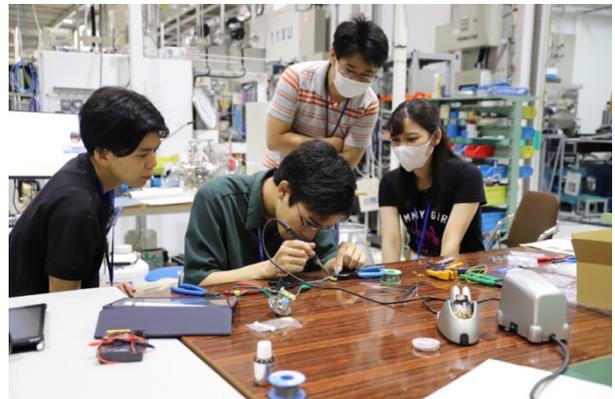


図2 実習風景

新型コロナウイルス対策として、例年行っていた懇親会やバーベキューは感染防止のため今年も実施ませんでした。終了後のアンケートの回答を見ると参加者からは交流の機会を望む声が多数寄せられました。

謝辞

熱意のこもったわかりやすい講義をしていただいた講師の先生方、2日間にわたる実習を熱心に指導していただいた実習担当の皆様、わかりやすい説明で参加者の興味を引きつけてくださった見学引率者の皆様、SPring-8 蓄積リング放射光発生装置の見学を可能にいただいた JASRI 加速器部門の方々、SACLA の見学にご尽力いただいた理研および JASRI 関係者の方々に感謝いたします。また、事務局としてご努力いただいた JASRI 事務局担当者の方々にも感謝したいと思います。

第 23 回 SPring-8 夏の学校に参加して

奈良女子大学大学院

人間文化総合科学研究科 数物科学専攻
山野 優里子

私は、現在大学が所有する加速器を用いた放射線実験を行っております。もともと加速器などの装置に興味があり、大学1年生の頃から見学会に参加させていただいていました。そして学部4年次に放射線物理学研究室に所属し、世界最先端の放射光施設に行ってみたくらい、今回の夏の学校に参加させていただきました。

夏の学校では全4日間の日程で講義、実習、実験施設の見学の日程が組まれています。SPring-8 夏の学校の前半2日間は、放射光に関する原理から、放射光を応用した実際の手法を含む測定まで、非常に幅広い講義を受けることができました。事前に放射光実験の基礎編としてオンラインセミナーを受講することができ、普段馴染みがない方でも段階を踏んで学ぶことが出来ると感じました。講義では放射光の基礎から、X線のイメージングや検出器の原理や測定など応用

的な講義まで幅広く学ぶことができました。また、その分野の専門家の方から直接講義を聞き、質問をすることができるという機会は本当に貴重であり、とても素晴らしい経験をすることができたと感じています。特に装置の原理等は加速器にも通ずる部分が多く、理学系の研究室では普段は実験で使用する加速器周辺機器の原理原則をじっくり学ぶ機会は少ないので大変貴重な学びとなりました。

講義に加えて、2日目の朝に SACLA、SPring-8 のビームライン、3日目の夜に SPring-8 蓄積リング(放射光発生装置)の見学を行いました。施設を実際に見ながら説明を受けることで、講義で聞いた内容もさらに理解が深まりました。普段は入れない箇所も見学することができ、装置の規模感や精巧さなどを肌で実感しました。また、講義で学んだことと照らし合わせながら楽しく見学することができました。特に印象に残ったことは、SPring-8 蓄積リングの見学です。ビームを生成されている制御室にも入ることが出来ました。そこにある多数のモニターは3交代で管理されているようでした。SACLA を含め世界トップの技術が集まる施設においても人の手で制御されていて、装置はもちろん全てにおいて世界のレベルを直接体感できたことは、これからの研究生生活において、非常に良い刺激になりました。

実習では少人数に分かれて実際にビームラインを使った実習を体験することができます。1つ目の実習は BL17SU で光電子顕微鏡を使ってナノ分解能でみる元素分布と磁気構造の実習を行いました。そして軟 X 線ビームラインの PEEM 装置を用いて、空間分解 XAS による微小領域の元素分析と磁性体表面の磁区観察を行いました。試料の準備やセットの仕方など、一から丁寧に教えてくださり、測定装置の扱い方も講義を交えながら手を動かして学ぶことができたので大変勉強になりました。2つ目の実習は BL11XU で実習を行いました。SPring-8 は高輝度な X 線を生成できる以外に、様々なタイミングパターンの X 線パルスを生じさせる特徴があります。この実習ではアバランシェフォトダイオード (APD) 検出器という高速な検出器を実際に作成し、放射光のパルスを測定することで SPring-8 の蓄積リング内にある電子の塊(バンチ)の構造を観測するという内容でした。自分たちで

配線から考え検出器を作成することで測定に関する仕組みを知る機会となり、より理解を深めることが出来ました。また丁寧に原理や方法の説明をしていただいたことで初めての実験でも考察をしながら進めることができました。これらのビーム実習では、普段の研究とは異なる分野の実習を選択しても基礎から教えていただき実際に実験ができます。

夏の学校において、講義や実習と同じく大事なことは、同世代の方々と交流できることであると思います。同世代と言っても、大学や研究分野が違えば発想も様々ですので、同じ分野ではない参加者の方に声をかけることに躊躇することもありましたが、このような交流の場においては殻に閉じこもることなく、学校や学年、研究分野の垣根を越えて話してみることで様々な視点や発想に触れることができる良い機会であると思います。私はこの4日間の夏の学校の体験を通して研究者を目指す方々の考え方や研究に触れることができ、広い世界を見させていただきました。私事ではありますがここで出会った方々とは、以降も関わりを持ち相談させていただいたり、また何か進展があった時にはご報告したいと思う方ばかりでした。来春からは重工業の研究者として働く予定ではありますが、

この学校での経験を糧に、日々研鑽を積みたいと考えております。

最後に、第23回SPring-8夏の学校を開催していただいた運営の皆様、講師の先生方、ビームライン担当の皆様、そして見学引率者の皆様に深く御礼申し上げます。4日間に渡るカリキュラムでここまで充実し、原理原則を一から学ぶことだけに焦点を当てた貴重な機会は今後ないと思います。ご尽力いただきました皆様に恥じないよう、今回の経験をもとに、より一層努力して参ります。

改めて感謝申し上げます。ありがとうございました。

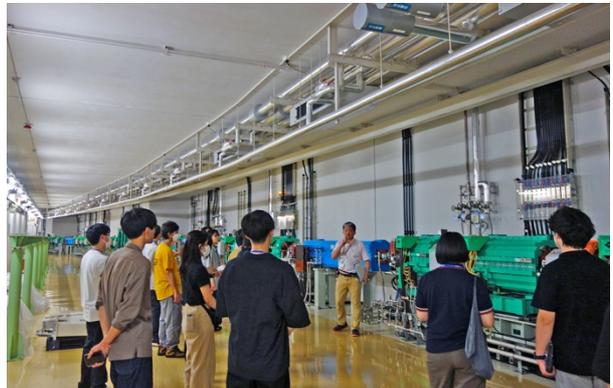


図3 見学風景



図4 記念写真

2024A 期 SACLA 利用研究課題の募集について

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

2024A 期 SACLA 利用研究課題の募集を以下の日程で行います（予定）。

■ 一般課題（成果非専有利用、成果専有利用とも）

募集開始：2023 年 9 月下旬

応募締切：2023 年 11 月上旬

課題の申請や、申請の際の注意事項等の詳細につきましては、SACLA Web サイト (SACLA User Information) 上の、SACLA Guide > 利用制度／募集案内 > 現在募集中の利用研究課題等 (<https://sacra.xfel.jp/?p=10944>) よりご確認ください。

なお、成果を公表しない成果専有利用のうち、定期的な募集の締切によらず応募・受付される時期指定課題の申請も随時受け付けています。申請された時期指定課題は順次迅速に審査されます（ビーム使用料は通常の成果専有利用の 5 割増しとなります）。

また、緊急課題の申請も随時受け付けています。

各々詳細につきましては、上記リンクよりご確認ください。

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 : sacra.jasri@spring8.or.jp

2024A 期 SACLA 試験利用の募集について

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

2024A 期 SACLA 試験利用の募集を以下の日程で行います (予定)。SACLA 試験利用は、今後の科学的価値の高い実験の実施を目指して、予め SACLA を試験的に利用していただくものです。

募集開始：2023 年 9 月下旬

応募締切：2023 年 11 月上旬

SACLA 試験利用の申請や、申請の際の注意事項等の詳細につきましては、SACLA Web サイト (SACLA User Information) 上の、SACLA Guide > 利用制度／募集案内 > 現在募集中の利用研究課題等 (<http://sacla.xfel.jp/?p=10944>) よりご確認ください。

なお、SACLA 試験利用は、利用研究課題との併願も可能です。

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 : sacla.jasri@spring8.or.jp

2023B 期 SACLA 利用研究課題の採択について

登録施設利用促進機関

公益財団法人高輝度光科学研究センター

利用推進部

高輝度光科学研究センター（JASRI）の SACLA 利用研究課題審査委員会（SACLA PRC）において、SACLA の供用運転開始以降第 23 期目に当たる 2023B 期（2023 年 10 月～2024 年 2 月）の利用研究課題応募 69 課題を審査しました。

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

1. 募集、審査及び採択等の日程

2023B 期の課題募集、審査及び採択は、以下のスケジュールを経て行われました。

(2023 年)

4 月 18 日 ホームページで募集案内公開

5 月 25 日 応募締切

～この間、審査基準に即した各課題の個別審査を実施～

7 月 5 日 第 25 回 SACLA PRC（総合審査）

7 月 19 日 第 28 回 SACLA 選定委員会（審査結果の意見聴取）

8 月 2 日 JASRI として採否決定、結果通知

10 月 2 日 2023B 期利用開始予定

2. 応募、採択及びビームタイム配分状況

2023B 期の応募課題数は 69、採択課題数は 45 でした。また応募課題は全て一般課題／成果非専有利用でした。ビームライン別・申請者所属別の応募・採択課題数を表 1 に、採択された課題の要求シフト数および配分シフト数を表 2 に示します。

採択 45 課題に対しビームタイムは計 253 シフト（1 シフト＝12 時間）が配分されました（フィジビリティチェックビームタイム（FCBT）0.5 シフトを含む）。配分シフト数を含む採択 45 課題の一覧は、以下の Web サイトに掲載しています。

◆ SACLA User Information

> SACLA Guide > 採択課題／実施課題

> 採択課題一覧 > 2023B

http://sacla.xfel.jp/wp-content/uploads/sacla_approved_proposal_2023b_j.pdf

表 1

(単位：課題数)

ビームライン	産業界		大学等 教育機関		国立試験 研究機関等		海外機関		合計		採択率
	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	応募	採択	
BL1	0	0	4	3	1	1	3	3	8	7	65%
BL2/BL3	0	0	21	14	10	9	30	15	61	38	
合計	0	0	25	17	11	10	33	18	69	45	

表 2

(単位：シフト数)

課題種	A	B	C	C/A	C/B
	応募課題 (69 課題) の 全要求シフト数	採択課題 (45 課題) の 全要求シフト数	採択課題 (45 課題) の 全配分シフト数	配分率 (採択配分/ 応募要求)	配分率 (採択配分/ 採択要求)
一般課題 (成果非専有)	410.5	272	253	62%	93%
一般課題 (成果専有)	-	-	-	-	-
合計	410.5	272	253	62%	93%

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

公益財団法人
高輝度光科学研究センター 利用推進部
TEL : 0791-58-0961
e-mail : sacla.jasri@spring8.or.jp

2019 年度指定パートナーユーザー事後評価報告 - 3 -

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

パートナーユーザー制度は、SPring-8 の共同利用ビームラインの更なる高度化および優れた成果の創出を推進するために、2014A 期から 2021A 期まで運用され、パートナーユーザー（以下「PU」という）は、公募・審査を経て指定されました。

PU の事後評価は、PU 審査委員会において、あらかじめ提出された PU 活動終了報告書に基づいた PU による発表と質疑応答により行われました。事後評価の着目点は、PU としての (1) 目標達成度、(2) 活動成果（装置整備・高度化への協力、科学技術的価値および波及効果、ユーザー開拓および支援、情報発信）です。今回は、2019 年度指定の PU4 名（指定期間：2019 年 4 月 1 日から 2021 年 7 月 31 日まで）について、事後評価（2022 年 6 月 21 日および 29 日開催）を行いました。

なお、2019A 期に採択された 4 名のうち、2 名の評価結果は 2022 秋号に、もう 1 名の評価結果は 2023 冬号に掲載されています。

以下に PU 審査委員会がとりまとめた評価結果等を示します。研究内容については本誌の「最近の研究から」に PU による紹介記事を掲載しています。

1. 池永 英司（名古屋大学）

(1) 実施内容

研究テーマ：固液界面現象解明のための液体電子状態探索と大気圧溶液セル開発の高度化
高度化：化学反応状態解析のための実環境下反応セル開発による HAXPES 測定技術の高度化
利用研究支援：当該装置を用いた利用実験の支援

(2) ビームライン：BL47XU

(3) 評価コメント

本研究課題は、大気圧湿潤環境下の試料に対する電

子状態観測を可能とする硬 X 線光電子分光 (HAXPES) 測定技術を高度化し、化学反応中の固液界面とその近傍の液相における電子状態変化の“その場”観測を行うことを目的とした課題である。そのために、(1) 光電子透過窓材の高導電化、(2) パルス電圧印加可能な機構開発、(3) 温度制御可能な機構開発、(4) 時分割計測開発の要素技術の開発、(5) 高真空状態復旧時間の緩和システムの開発と、開発された技術を用いて 3 つの利用研究を計画した。

技術目標については、(4) を除く 4 つの技術目標を達成した。これを通して、世界的にもユニークな大気圧湿潤環境下の試料に対する電子状態観測を安定的に可能にしたことは評価できる。加えて、光電子透過窓材の厚さを 10 nm まで薄くできることを見出した点は、本測定技術の適用可能性を広げた重要な進歩と言える。

高度化した実験技術を利用して、(1) NaCl 溶液中に分散する金ナノ粒子分散機構の解明、(2) 糖類高分子トレハロース水溶液における特異的水素結合の電子状態観測、(3) 鉄鋼材料の多種溶液反応における酸化状態分析の 3 つの実験を行った。それぞれの利用研究において興味深いデータが出始めており、(2) ではトレハロースの高い生体物質保護作用を説明する仮説の検証にもつながるなど、実験手法の有用性を示した。

ユーザー開拓に関しては企業との共同研究 1 件を進めた。また、PU 課題内でのユーザー支援が実施された。他の PU 課題に比べ格段に優れているとは言えないが、測定技術の難しさを考えると、これらのユーザーへの支援は十分になされたものと推測される。装置の高度化をもとに、今後ユーザー開拓が進むことを期待したい。

PU 成果として論文発表はなくその他の情報発信も少ない。技術開発に多くの時間を費やしたためと考え

られるが、情報発信としては十分とは言えない。データが出始めている利用研究の結果が速やかに論文化されることを期待する。

結論として、固液界面現象解明のための液相電子状態観測の可能なユニークな計測システムを構築したことは評価される。今後、利用研究結果を論文化することにより本実験技術を広く知らしめるとともに、PU 課題で高度化された装置に対するユーザー開拓および支援を実施し、関連他分野へ装置利用を拡大していただきたい。

2020A 期 採択長期利用課題の事後評価について - 2 -

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

2020A 期に採択された長期利用課題について、2022A 期に2年間の実施期間が終了したことを受け、第73、74回 SPring-8 利用研究課題審査委員会長期利用分科会（2022年12月13日、12月19日開催）による事後評価が行われました。

事後評価は、長期利用分科会が実験責任者に対しヒアリングを行った後、評価を行うという形式で実施し、SPring-8 利用研究課題審査委員会で評価結果を取りまとめました。以下に評価を受けた課題の評価結果を示します。研究内容については本誌の「最近の研究から」に実験責任者による紹介記事を掲載しています。

なお、2020A 期に採択された長期利用課題5課題のうち4課題の評価結果は2023春号に掲載済みです。

課題名	膜輸送体の結晶構造解析
実験責任者(所属)	豊島 近 (東京大学)
採択時課題番号	2020A0171
ビームライン	BL41XU
利用期間/配分総シフト	2020A~2022A/57シフト

[評価結果]

本課題は、前長期利用課題（イオンポンプの結晶構造解析：2018A0144~2019B0144）を継承しつつ、(1) 生物学的に重要なカルシウムポンプ (Ca^{2+} -ATPase)、(2) 各種疾患にも関わる Na^+/K^+ -ATPase を対象に、それらの反応サイクル中に蓄積する各種中間体の結晶構造を決定するとともに、(3) 脂質二重膜の可視化および(4) 脂質分子の配置を制御するタンパク質の基礎研究をとおして、アミノ酸側鎖から脂質二重膜にわたるマルチスケール構造生物学を展開することを目的としている。

(1) については、新たに構造決定した4つの中間状態の座標データをもとに、2個ある Ca^{2+} 結合サイトの段階的形形成の構造生物学が完成されつつある。 Ca^{2+} 非存在下で解かれた ATP 結合状態の予想外の構造をもとに、

Ca^{2+} が結合しないと磷酸転移が起こらないようにする役割を ATP (結合) そのものが担っている可能性を示すに至っている。

(2) については、強心ステロイドとの複合体構造を論文発表している。 Na^+/K^+ -ATPase は高血圧や糖尿病などの各種疾患と深く関わっているため、これらの酵素を強力に阻害する強心ステロイドとの複合体構造の決定は生命科学分野に大きなインパクトを与えるとともに、創薬分野などへの波及効果も十分に期待できる。

(3) については、重原子クラスタを援用した脂質二重膜の位相決定に向けた要素技術開発について現状報告がなされた。残された課題の解決にはまだ時間を要すると思われるが、実験データの収集と解析プログラムの開発を並行して進めることで、溶媒コントラスト変調法の適用範囲を広げられる可能性を見出しつつある。

(4) については、対象酵素の構造が他の研究グループから発表されたことを受けて、当初予定していたビームタイムが使用されなかったため、事後評価対象から除外した。

上記(1)~(3)に関する2編の原著論文、2編の関連する原著論文、延べ14個のPDB座標が発表されており、進捗状況に応じて軌道修正を適宜行うことで、長期利用課題として配分されたビームタイムから有意義な研究成果が引き出されている。現在準備中の(1)に関する論文発表や(3)に関する要素技術開発が滞りなく進捗し、それらがSPring-8利用による成果として世界に向けて発信されることを期待する。

[成果リスト]

(査読付き論文)

[1] SPring-8 publication ID = 41256

R. Kanai *et al.*: “Binding of Cardiotonic Steroids to Na^+/K^+ -ATPase in the E2P State” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of*

America **118** (2021) e2020438118.

[2] SPring-8 publication ID = 44530

R. Kanai *et al.*: “Cryo-electron Microscopy of Na⁺,K⁺-ATPase Reveals How the Extracellular Gate Locks in the E2·2K⁺ State” *FEBS Letters* **596** (2022) 2513-2524.

[3] SPring-8 publication ID = 44532

R. Kanai *et al.*: “Cryo-electron Microscopy of Na⁺,K⁺-ATPase in the Two E2P States with and without Cardiotonic Steroids” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **119** (2022) e2123226119.

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

◎2023 年 4 月の運転実績

SPring-8 は 4 月 5 日から 4 月 28 日までセベラルバンチ運転で第 1 サイクルの運転を実施した。

第 1 サイクルの運転は順調であり、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、0%であった。

1. 装置運転関係

(1) 運転期間

第 1 サイクル（4/5（水）～4/28（金））

(2) 運転時間の内訳

第 1 サイクル

運転時間総計 約 553 時間

①装置の調整およびマシンスタディ等 約 145 時間

②放射光利用運転時間 約 407 時間

③故障等による down time 0 時間

④フィリング変更時間 約 1 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） 0%

(3) 運転スペック等

第 1 サイクル（セベラルバンチ運転）

・ 203 bunches (A)

・ 11 bunch train × 29 (C)

・ 1/7 filling + 5 bunches (D)

・ 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

2. 利用関係（JASRI 利用推進部 集計）

(1) 放射光利用実験期間

第 1 サイクル（4/10（月）～4/27（木））

(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 15 本

理研ビームライン 13 本

第 1 サイクル（暫定値）

共同利用研究実験数 210 件

共同利用研究者数 792 名

専用施設利用研究実験数 96 件

専用施設利用研究者数 314 名

◎2023 年 4～5 月の運転実績（停止期間）

SPring-8 は 4 月 29 日から 5 月 9 日まで春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。

（春期点検調整期間中の主な作業（実績））

(1) 蓄積リング関係

・ 運転前連続通電作業（5/8～）

・ DCCT モジュール（19 インチラック）配線調査

・ 真空系 CR1、CR2 冷却水流量確認

・ 制御計算機関連作業

・ 制御系ファイアウォール設定変更

・ 蓄積リング制御ネットワーク設定変更

・ 機器制御計算機メンテナンス

・ FE 駆動系機器動作試験（BL01B1～BL12XU）

・ 光学系・輸送チャンネル及び BL 制御関連作業

(2) ユーティリティ関係

・ 天井クレーン月次・年次点検作業

・ 空調用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

(3) 安全管理関係

・ 運転停止後の残留サーベイ

(4) その他

- ・停止期間中の節電対策
(空調設備、装置冷却水、電気設備の停止等)

◎2023年5～8月の運転実績

SPring-8は5月10日から7月7日までセベラルバンチ運転で第2サイクルの運転を行い、停止期間をさみ、7月10日から8月2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ている。

第2～3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

8月3日から9月27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う予定である。

8月5日は施設内全域の計画停電を行い、電気設備の点検作業を行う予定である。

(*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 (2023年6月30日現在)

SPring-8

Beamline Name		Public Use Since	~2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS I	1997.10	630	92	75	87	94	82	86	105	90	80	32	1453
		Technical Journal		1											1
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	206	42	36	44	40	30	48	55	59	40	22	622
	BL02B2	Powder Diffraction	1999.9	742	71	82	95	80	75	80	112	73	94	29	1533
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	232	19	16	16	15	17	17	13	12	13	2	372
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999.9	273	33	39	43	30	42	41	61	33	50	15	660
		Technical Journal		1							1				2
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	182	13	19	16	16	14	11	18	25	15	3	332
	BL09XU	HAXPES I	1997.10	151	15	18	16	19	28	14	11	14	13	8	307
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	376	30	28	30	28	26	33	33	23	27	7	641
	BL13XU	X-ray Diffraction and Scattering I	2001.9	188	21	24	35	28	32	34	32	24	24	16	458
	BL14B2	XAFS II	2007.9	164	53	61	53	58	67	81	87	73	67	33	797
		Technical Journal		2	1						1	3			7
	BL19B2	X-ray Diffraction and Scattering II	2001.11	290	63	66	63	70	60	58	61	59	33	19	842
		Technical Journal		2	1	2			2	1	1				9
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999.9	269	25	35	26	28	32	29	40	26	31	11	552
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001.9	225	45	45	37	34	31	44	35	43	33	19	591
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998.4	353	32	20	19	25	20	24	30	23	20	10	576
		Technical Journal		2											2
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998.5	372	35	25	36	27	26	16	42	17	20	12	628
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999.9	142	18	21	19	25	20	16	26	15	17	7	326
	BL35XU	Inelastic and Nuclear Resonant Scattering	2001.9	109	13	16	15	15	14	8	21	17	12	9	249
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	165	28	35	29	29	29	25	34	21	19	9	423
		Technical Journal			1										1
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	550	48	70	59	38	31	31	29	30	15	3	904
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	233	25	19	24	30	20	19	29	22	15	10	446
	BL40B2	SAXS BM	1999.9	494	55	55	60	54	55	64	53	67	54	29	1040
		Technical Journal		1		1					1				3
	BL40XU	High Flux	2000.4	157	21	32	42	30	35	52	30	40	31	13	483
		Technical Journal								1					1
BL41XU	Macromolecular Crystallography I	1997.10	890	71	74	70	58	51	41	47	42	20	4	1368	
BL43IR	Infrared Materials Science	2000.4	98	11	17	14	23	10	21	29	21	22	10	276	
BL46XU	HAXPES II	2000.11	175	28	56	50	52	44	55	45	65	44	17	631	
	Technical Journal					1	1			1				3	
BL47XU	Micro-CT	1997.10	311	36	31	29	37	28	33	33	21	28	12	599	
	Technical Journal						1							1	
Public Use at Other Beamlines	BL05XU	R&D-ID I	2017.4						3	7	9	9	2	2	32
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I (1999.3 - 2012.2)		13											13
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II (1998.4 - 2012.2)		47	1										48
	BL15XU	WEBRAM (2002.9 - 2012.2)		34	1										35
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy	2005.9	32	12	5	2	3	5	8	6	4	4	3	84
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002.9	5	1	1	2	5	7	2	3	8	1	3	38
	BL22XU	JAEA Actinide Science I (2004.9 - 2012.2)		6											6
	BL23SU	JAEA Actinide Science II (1998.6 - 2012.2)		51	2						1	1			55
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I	2009.4	14	9	7	18	15	27	30	35	25	20	2	202
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009.4	10	5	7	11	8	7	9	7	1	3	2	70
		Technical Journal					1								1
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002.9	13	1	1	2	2	3		1			1	24
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	18	11	17	8	15	16	14	13	8	6	1	127
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics	2020.8										1		1
BL44B2	RIKEN Materials Science I	1998.5	14			6	5	2	6	6	3	4	1	47	
BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	106	9	13	20	10	7	16	24	25	19	6	255	
Subtotal			8340	995	1066	1096	1046	996	1073	1216	1039	897	382	18146	

Beamline Name		Public Use Since	~2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterial	2009.11	38	21	14	17	23	9	19	20	12	8	3	184
		Technical Journal		77	39	36	33	31	28	28	34	24	27		357
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science (2009.11 - 2022.8)		22	13	12	19	19	16	21	13	15	17	4	171
		Technical Journal								1	2				3
	BL08B2	Hyogo BM	2005. 9	12	9	5	6	11	5	7	12	10	10	1	88
		Technical Journal		8	18	7	4	4	1	3		1	1	1	48
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		111	14	8	20	20	16	20	14	20	10	5	258
	BL12B2	NSRRC BM	2001. 9	190	21	29	38	34	37	48	33	27	15	3	475
	BL12XU	NSRRC ID	2003. 2	81	18	19	18	25	19	27	30	15	16	3	271
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		148	15	19	17	23	21	21	26	27	24	8	349
	BL15XU	WEBRAM (2001. 4 - 2021. 9)		301	56	49	62	58	54	49	55	39	30	12	765
	BL16B2	SUNBEAM BM	1999. 9	58	6	4	10	9	6	10	12	21	19	7	162
		Technical Journal		35	14	8	15	21	15	11	8	7	4	6	144
	BL16XU	SUNBEAM ID	1999. 9	44	3	4	11	9	9	17	20	22	20	8	167
		Technical Journal		39	14	14	21	18	12	8	10	6	4	2	148
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		95	19	15	14	15	26	25	18	27	26	8	288
		Technical Journal											1		1
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		212	29	19	26	16	24	23	28	18	19	3	417
	BL24XU	Hyogo ID	1998.10	153	5	4	5	6	8	2	13	12	12	7	227
		Technical Journal		14	10	3	1	4		1	1	1			35
BL28XU	Advanced Batteries	2012. 4	3	9	5	5	6	4	8	11	7	4		62	
	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				29	
BL33LEP	Laser-Electron Photon (2000.10 - 2023.3)		55	4	2	2	3	5	2	1	1			75	
BL33XU	TOYOTA	2009. 5	10	8	4	10	16	6	9	19	17	12	7	118	
	Technical Journal		11	5	3	4	1							24	
BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell (2013. 1 - 2020. 3)		1	7	6	7	12	15	8	11	4	7	4	82	
BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000.2	409	53	73	56	60	47	59	65	55	35	11	923	
Subtotal			1970	311	292	346	367	328	378	404	349	285	94	5124	
RIKEN Beamlines	BL05XU	R&D-ID I		4		1					1	2		8	
	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		90	8	5	8	5		1	8	4		3	132
	BL19LXU	SR Physics		109	13	9	5	6	1	4	1	2		2	152
	BL26B1	Structural Genomics I		186	13	9	8	4	1		1	1	2		225
	BL26B2	Structural Genomics II		132	10	5	9	10	2	2	2		3	1	176
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		195	9	10	15	9	8	4	7	4			261
	BL32XU	Targeted Proteins		25	9	11	16	5	3	1	4	4	3	1	82
	BL38B2	Diagnosis Beamline I		2											2
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics		1		1	1				2				5
	BL44B2	Materials Science I		254	16	21	16	18	14	10	3	2	2	3	359
	BL45XU	Structural Biology I		211	9	13	13	8	5	2	5	4			270
	Subtotal			1209	87	85	91	65	34	24	33	22	12	10	1672

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	~2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total
	BL1	SXFEL	2016. 3						7	6	9	9	5	2	38
BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012. 3	14	28	37	48	42	34	51	62	58	56	16	446	
Hardware / Software R & D				612	13	33	46	53	49	35	26	15	17	1	900
NET Sum Total				10326	1138	1233	1301	1269	1142	1243	1362	1178	1006	378	21576
Technical Journal				173	97	67	74	71	54	49	53	34	36	8	716

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 でカウントした。

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、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/uisearch/publication2/>）に 2023 年 6 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 (2023年6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	1454	66	89	1609
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis	1997.10	622	14	32	668
	BL02B2	Powder Diffraction	1999. 9	1533	41	86	1660
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research	1997.10	372	7	49	428
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction	1999. 9	662	13	62	737
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering	1997.10	332	10	48	390
	BL09XU	HAXPES I	1997.10	307	15	37	359
	BL10XU	High Pressure Research	1997.10	641	22	61	724
	BL13XU	X-ray Diffraction and Scattering I	2001. 9	458	19	40	517
	BL14B2	XAFS II	2007. 9	804	11	39	854
	BL19B2	X-ray Diffraction and Scattering II	2001.11	851	47	94	992
	BL20B2	Medical and Imaging I	1999. 9	552	91	89	732
	BL20XU	Medical and Imaging II	2001. 9	591	106	159	856
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid	1998. 4	578	15	61	654
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry	1998. 5	628	21	39	688
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction	1999. 9	326	17	25	368
	BL35XU	Inelastic and Nuclear Resonant Scattering	2001. 9	249	5	13	267
	BL37XU	Trace Element Analysis	2002.11	424	24	52	500
	BL38B1	Structural Biology III	2000.10	904	11	66	981
	BL39XU	Magnetic Materials	1997.10	446	17	80	543
	BL40B2	SAXS BM	1999. 9	1043	15	122	1180
	BL40XU	High Flux	2000. 4	484	25	71	580
	BL41XU	Macromolecular Crystallography I	1997.10	1368	4	102	1474
	BL43R	Infrared Materials Science	2000. 4	276	15	64	355
	BL46XU	HAXPES II	2000.11	634	20	45	699
	BL47XU	Micro-CT	1997.10	600	93	136	829
Public Use at Other Beamlines	BL05XU	R&D-HD I	2017. 4	32			32
	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	84	1	29	114
	BL19LXU	RIKEN SR Physics	2002. 9	38		5	43
	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	202		9	211
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II	2009. 4	71		11	82
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics	2002. 9	24		1	25
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins	2010.10	127		5	132
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics	2020. 8	1			1
	BL44B2	RIKEN Materials Science I	1998. 5	47		3	50
BL45XU	RIKEN Structural Biology I	1997.10	255	5	20	280	
Subtotal			18177	776	1879	20832	

Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total	
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterial	2009.11	541		18	559
	BL07LSU	The University-of-Tokyo Outstation Beamline for Materials Science (2009.11 - 2022.8)		174		11	185
	BL08B2	Hyogo BM	2005. 9	136		1	137
	BL11XU	QST Quantum Dynamics I		258	8	44	310
	BL12B2	NSRRC BM	2001. 9	475	1	2	478
	BL12XU	NSRRC ID	2003. 2	271	7	6	284
	BL14B1	QST Quantum Dynamics II		349	19	88	456
	BL15XU	WEBRAM (2001. 4 - 2021. 9)		765	14	60	839
	BL16B2	SUNBEAM BM	1999. 9	306	12	75	393
	BL16XU	SUNBEAM ID	1999. 9	315	8	61	384
	BL22XU	JAEA Actinide Science I		289	4	47	340
	BL23SU	JAEA Actinide Science II		417	45	110	572
	BL24XU	Hyogo ID	1998.10	262	19	63	344
	BL28XU	Advanced Batteries	2012. 4	63		1	64
	BL31LEP	Laser-Electron Photon II	2013.10	13			13
	BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002. 9 - 2012. 3)		29		3	32
	BL33LEP	Laser-Electron Photon (2000.10 - 2023.3)		75	23	3	101
	BL33XU	TOYOTA	2009. 5	142	5	41	188
	BL36XU	Catalytic Reaction Dynamics for Fuel Cell (2013. 1 - 2020. 3)		82		6	88
	BL44XU	Macromolecular Assemblies	2000. 2	923		45	968
Subtotal			5885	165	685	6735	

RIKEN Beamlines	BL05XU	R&D-ID I		8	6		14
	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy		132	4	13	149
	BL19LXU	SR Physics		152	8	27	187
	BL26B1	Structural Genomics I		225	2	19	246
	BL26B2	Structural Genomics II		176	1	13	190
	BL29XU	Coherent X-ray Optics		261	14	38	313
	BL32XU	Targeted Proteins		82		4	86
	BL38B2	Diagnosis Beamline I		2	6		8
	BL43LXU	Quantum NanoDynamics		5			5
	BL44B2	Materials Science I		359	2	16	377
	BL45XU	Structural Biology I		270	5	45	320
Subtotal			1672	48	175	1895	

SACLA

Public Beamlines	Beamline Name		Public Use Since	Refereed Papers	Proceedings	Other Publications	Total
	BL1	SXFEL	2016. 3	38			38
	BL2/BL3	XFEL2/XFEL1	2012. 3	446	4	17	467

Hardware / Software R & D			900	554	475	1929
---------------------------	--	--	-----	-----	-----	------

NET Sum Total			22292	1374	2491	26157
---------------	--	--	-------	------	------	-------

Refereed Papers : 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、公開技術報告書

Proceedings : 査読なしのプロシーディング

Other Publications : 発表形式か出版で、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等はそれぞれの BL でカウントした。

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、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/

このデータベースに登録された原著論文の内、2023 年 4 月～6 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。課題番号は最初の 4 文字が「year」、次の 1 文字が「term」、後ろの 4 文字が「proposal no.」となっていますので、この情報から以下の URL で公表している、各課題の英文利用報告書 (SPring-8 User Experiment Report) を探してご覧いただくことができます。

http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/publications/user_exp_report/

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 2023 年 4 月～6 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
Nature Communications	12	Chemistry - A European Journal	5
Angewandte Chemie International Edition	9	Scientific Reports	5
Acta Crystallographica Section F	8	ACS Applied Energy Materials	4
Inorganic Chemistry	8	ACS Applied Materials & Interfaces	4
Journal of the American Chemical Society	8	Acta Crystallographica Section D	4
ACS Catalysis	7	Acta Materialia	4
Chemistry of Materials	7	e-Journal of Surface Science and Nanotechnology	4
The Journal of Physical Chemistry C	7	Japanese Journal of Applied Physics	4
Applied Physics Letters	6	Polymer Journal	4

他全 200 誌、計 337 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

Nature 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
45087	Zihui Huang	12 (2021) 1100	2019A2559	BL41XU	沈 建仁	Structure of Photosystem I-LHCI-LHCII from the Green Alga <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> in State 2
			2020A2550	BL41XU	沈 建仁	
			2020A8059	BL2	沈 建仁	
45100	Shingo Tojo	11 (2020) 5204	2019A2581	BL45XU	大戸 梅治	Structural Analysis Reveals TLR7 Dynamics Underlying Antagonism
45123	Masahiro Fukuda	6 (2015) 7097	2012A1093	BL32XU	濡木 理	Structural Basis for Dynamic Mechanism of Nitrate/Nitrite Antipport by NarK
			2012B1146	BL32XU	塚崎 智也	
			2012B1162	BL32XU	濡木 理	
			2013A1168	BL32XU	濡木 理	
45232	Xin Tang	13 (2022) 1817	2020A1414	BL25SU	Sepehri Amin Hossein	Magnetic Refrigeration Material Operating at a Full Temperature Range Required for Hydrogen Liquefaction
			2020A2143	BL25SU	小谷 佳範	
45312	Yafei Wang	13 (2022) 6860	2020A1796	BL20XU	戸田 裕之	Switching Nanoprecipitates to Resist Hydrogen Embrittlement in High-strength Aluminum Alloys
			2020A1084	BL20XU	戸田 裕之	
45335	Masahiro Hayakawa	14 (2023) 2741	2019A1057	BL02B1	笹森 貴裕	Flattened 1D Fragments of Fullerene C ₆₀ that Exhibit Robustness toward Multi-electron Reduction
			2019B1129	BL02B1	笹森 貴裕	
			2019B1784	BL02B1	早川 雅大	
			2020A0557	BL02B1	菅又 功	
			2020A1056	BL02B1	笹森 貴裕	
			2020A1644	BL02B1	潘 楊	
			2020A1650	BL02B1	薄葉 純一	
			2020A1656	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021A1592	BL02B1	西野 龍平	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
45364	Nobuyo Higashi-Kuwata	14 (2023) 1076	2021A2725	BL41XU	長谷川 和也	Identification of SARS-CoV-2 M ^{pro} Inhibitors Containing P1' 4-fluorobenzothiazole Moiety Highly Active against SARS-CoV-2
			2021B2560	BL41XU	林 宏典	
45436	Jingkai Bi	13 (2022) 5952	2019B1122	BL10XU	Ma Yanming	Giant Enhancement of Superconducting Critical Temperature in Substitutional Alloy (La,Ce)H ₃
			2021A1172	BL10XU	Zhu Jinlong	
			2021B1407	BL10XU	Zhu Jinlong	
45471	Yuta Yasui	14 (2023) 2337	2021A1599	BL02B2	安井 雄太	Hidden Chemical Order in Disordered Ba ₇ Nb ₄ MoO ₂₀ Revealed by Resonant X-ray Diffraction and Solid-state NMR
			2019A1052	BL02B2	藤井 孝太郎	
			2020A1730	BL19B2	藤井 孝太郎	
			2021B1826	BL02B2	矢口 寛	
45535	Haofeng Wang	13 (2022) 1608	2019A2528	BL41XU	Yang Haitao	Crystal Structures of <i>Wolbachia</i> CidA and CidB Reveal Determinants of Bacteria-induced Cytoplasmic Incompatibility and Rescue

Angewandte Chemie International Edition-1

45147	Koh Sugamata	62 (2023) e202302836	2020A0557	BL02B1	菅又 功	A Linear C=Ge=C Heteroallene with a Di-coordinated Germanium Atom
			2020A0834	BL02B1	西野 龍平	
			2020A1056	BL02B1	笹森 貴裕	
			2020A1644	BL02B1	潘 楊	
			2020A1650	BL02B1	薄葉 純一	
			2020A1656	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1592	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	

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
45207	Masahiro Hayakawa	62 (2023) e202217512	2017A1132	BL40XU	畠山 琢次	Spiroborate-Based Host Materials with High Triplet Energies and Ambipolar Charge-Transport Properties
			2017B1073	BL40XU	畠山 琢次	
			2018A1114	BL40XU	畠山 琢次	
			2018B1125	BL40XU	畠山 琢次	
			2019A1142	BL40XU	畠山 琢次	
45256	Kazuto Suzuki	62 (2023) e202215706	2019B1063	BL40XU	畠山 琢次	A Compound I Mimic Reveals the Transient Active Species of a Cytochrome P450 Enzyme: Insight into the Stereoselectivity of P450-Catalysed Oxidations
			2021A2759	BL45XU	杉本 宏	
			2018A2576	BL41XU	杉本 宏	
			2019A2519	BL41XU	杉本 宏	
			2020A2556	BL41XU	杉本 宏	
45257	Asahi Takiguchi	61 (2022) e202112456	2020A2556	BL45XU	杉本 宏	A Heme-Acquisition Protein Reconstructed with a Cobalt 5-Oxaporphyrinium Cation and Its Growth-Inhibition Activity Toward Multidrug-Resistant <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
45265	Yuya Domoto	(2023) Online published 3 May 2023	理研	BL32XU		Interconversion of Highly Entangled Polyhedra into Concave Polyhedra by Nitrate-Induced Ternary Coordination
			2020A0168	BL26B1	藤田 誠	
			2022A1092	BL26B1	堂本 悠也	
45267	Zhenhong Tan	61 (2022) e202203669	2022B1190	BL26B1	堂本 悠也	LiNbO ₃ -Type Polar Antiferromagnet InVO ₃ Synthesized under High-Pressure Conditions
			2020A0829	BL04B1	譚 振宏	
45482	Hirokazu Miyoshi	61 (2022) e202115316	2019B1757	BL02B2	譚 振宏	Dianion and Dication of Tetracyclopentatetraphenylene as Decoupled Annulene-within-an-Annulene Models
			2018A1327	BL38B1	久木 一朗	
45531	Ming-Shui Yao	(2023) Online published 21 May 2023	2020A1628	BL19B2	北川 進	Integrated Soft Porosity and Electrical Properties of Conductive-on-Insulating Metal-Organic Framework Nanocrystals
			2020A1819	BL46XU	北川 進	
			2021A1542	BL46XU	北川 進	
			2021A1683	BL46XU	北川 進	
			2021B1886	BL46XU	北川 進	

Inorganic Chemistry

45107	Kohdai Ishida	61 (2022) 11118-11123	2020A0823	BL04B1	石田 耕大	Highly Electron-Doped TaON Single-Crystal Growth by a High-Pressure Flux Method
			2021A1568	BL04B1	石田 耕大	
			2021B1774	BL04B1	石田 耕大	
45135	Sachiko Kamiyama	61 (2022) 7841-7846	2021A1342	BL02B2	山本 孟	V-V Dimerization and Magnetic State of Cobalt Ions in Ilmenite-Type CoVO ₃
			2021B1327	BL02B2	山本 孟	
			2021B1726	BL14B2	山田 幾也	
			2021A1343	BL27SU	中村 崇司	
45153	Kazuhiko Mukai	62 (2023) 5602-5613	2020A7037	BL33XU	宇山 健	Dynamic Structural Transformations in a Series of Zero-Strain Lithium-Ion Battery Materials: Almost Simultaneous <i>Operando</i> X-ray Diffraction and X-ray Absorption Spectroscopy on Li ₂ ZnTi ₃ O ₈ and Related Compounds
45321	Hiroki Ubukata	62 (2023) 6696-6703	2020A0822	BL02B2	生方 宏樹	Structural Transformation in LnHS (Ln = La, Nd, Gd, and Er) with Coordination Change between an S-Centered Octahedron and a Trigonal Prism
45368	Mitsuki Ikeda	62 (2023) 7453-7460	2021B1426	BL13XU	久保園 芳博	Pressure Dependence of Superconductivity in a Charge-Density-Wave Superconductor Bi ₂ Rh ₃ Se ₂
			2022A4126	BL12B2	久保園 芳博	
			2022A1388	BL47XU	久保園 芳博	
45370	Mitsuki Ikeda	61 (2022) 20538-20546	2019A4131	BL12B2	久保園 芳博	Superconducting Behavior of BaTi ₂ (Sb _{1-x} Bi _x) ₂ O under Pressure
			2022A4126	BL12B2	久保園 芳博	
45455	Masayuki Fukuda	62 (2023) 8372-8378	2020A1646	BL02B2	福田 真幸	A-Site Columnar-Ordered Perovskite CaZnV ₂ O ₆ as a Pauli-Paramagnetic Metal
45509	Zhao Pan	61 (2022) 3730-3735	2020A0589	BL02B2	Pan Zhao	Realization of Negative Thermal Expansion in Lead-Free Bi _{0.5} K _{0.5} VO ₃ by the Suppression of Tetragonality
			2020A1154	BL44B2	Pan Zhao	
			2021A1156	BL02B2	Pan Zhao	

ACS Catalysis-1

45125	Chihiro Mochizuki	12 (2022) 6149-6158	2019B1840	BL14B2	石田 玉青	Defective NiO as a Stabilizer for Au Single-Atom Catalysts
			2020A1638	BL14B2	村山 美乃	
			2020A1769	BL14B2	村山 美乃	
			2021A1543	BL14B2	石田 玉青	
			2021A1676	BL14B2	村山 美乃	
			2021B1949	BL14B2	村山 美乃	

ACS Catalysis-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
45187	Hiroya Ishikawa	13 (2023) 5744-5751	2022B0519	BL01B1	満留 敬人	Robust Ruthenium Phosphide Catalyst for Hydrogenation of Sulfur-Containing Nitroarenes
			2022B1585	BL14B2	満留 敬人	
			2021B1176	BL01B1	満留 敬人	
45251	Ryo Watari	13 (2023) 5159-5169	2020A5350	BL16B2	野口 真一	Alkoxide-Decorated Copper Nanoparticles on Amidine-Modified Polymers as Hydrogenation Catalysts for Enabling H ₂ Heterolysis
			2019A5350	BL16B2	野口 真一	
			2018B5350	BL16B2	野口 真一	
			2018A5350	BL16B2	野口 真一	
45297	Marina Lučić	12 (2022) 13349-13359	2021A8031	BL2	Hough Michael	Serial Femtosecond Crystallography Reveals the Role of Water in the One- or Two-Electron Redox Chemistry of Compound I in the Catalytic Cycle of the B-Type Dye-Decolorizing Peroxidase DtpB
			2021B8032	BL2	Hough Michael	
45503	Shohei Tada	12 (2022) 7748-7759	2020A1626	BL14B2	大島 一真	Active Sites on Zn _x Zr _{1-x} O _{2-x} Solid Solution Catalysts for CO ₂ -to-Methanol Hydrogenation
45519	Kosuke Sakamoto	13 (2023) 3263-3271	2022B1576	BL14B2	増田 晋也	Partially Thiolated Au ₂₅ Cluster Anchored on Carbon Support via Noncovalent Ligand-Support Interactions: Active and Robust Catalyst for Aerobic Oxidation of Alcohols
			2021B1415	BL01B1	増田 晋也	
45522	Ben Liu	13 (2023) 8485-8502	2022B1746	BL14B2	Liu Ben	Boron Nitride- and Carbon-Supported Iridium-Iron Catalysts for Synthesizing Mono-Alcohols from Biomass-Derived Vicinal Diols

Chemistry of Materials

45104	Tomohiro Ogawa	34 (2022) 5832-5841	2019B1094	BL04B2	堀毛 悟史	Network Size Control in Coordination Polymer Glasses and Its Impact on Viscosity and H ⁺ Conductivity
			2019A1292	BL04B2	堀毛 悟史	
45138	Hajime Yamamoto	32 (2020) 6892-6897	2020A1324	BL27SU	東 正樹	Emergence of a Cubic Phase Stabilized by Intermetallic Charge Transfer in (1-x)PbVO ₃ -xBiCoO ₃ Solid Solutions
45236	Ibrahim Gueye	35 (2023) 1948-1960	2020A4601	BL15XU	Gueye Ibrahim	Analysis of Iodide Transport on Methyl Ammonium Lead Iodide Perovskite Solar Cell Structure Through Operando Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy
45285	Kazuyuki Iwase	35 (2023) 2773-2781	2021B1204	BL01B1	神谷 和秀	Rational Strategy for Tuning Electrocatalytic Oxygen Evolution Activity of Perovskite Oxides via Low-Temperature Fluorination
			2022A1165	BL01B1	神谷 和秀	
45322	Hiroki Ubukata	34 (2022) 5654-5662	2020A0822	BL02B2	生方 宏樹	Trihalide Mixing by Size-Flexible H ⁻ Ions in Layered Ba ₂ H ₃ (Cl, Br, I)
			2021B1807	BL02B2	生方 宏樹	
45462	Tsubasa Mikie	34 (2022) 2717-2729	2020A1742	BL46XU	但馬 敬介	Naphthobispyrazine Bisimide: A Strong Acceptor Unit for Conjugated Polymers Enabling Highly Coplanar Backbone, Short π-π Stacking, and High Electron Transport
45508	Zhao Pan	34 (2022) 2798-2803	2020A0589	BL02B2	Pan Zhao	Tolerance Factor Control of Tetragonality and Negative Thermal Expansion in PbTiO ₃ -Based Ferroelectrics
			2020A1154	BL44B2	Pan Zhao	
			2021A1156	BL02B2	Pan Zhao	

The Journal of Physical Chemistry C

45108	Daichi Takami	126 (2022) 15736-15743	2020A0828	BL28B2	高見 大地	Transient Temperature Response of Supported Rh Nanoparticles in Photothermal Dry Reforming of Methane—An Operando Dispersive X-ray Absorption Spectroscopy Study
			2021A1572	BL28B2	高見 大地	
			2021B1780	BL28B2	高見 大地	
			2019B1515	BL01B1	山本 旭	
			2020A1316	BL01B1	山本 旭	
45219	Yuji Yoshiyama	126 (2022) 4415-4422	2020A1832	BL14B2	細川 三郎	Oxygen Storage Capacity of Co-Doped SrTiO ₃ with High Redox Performance
			2021B1369	BL01B1	細川 三郎	
45350	Kazushige Ueda	127 (2023) 8833-8839	2021A1672	BL14B2	植田 和茂	Site-Dependent Luminescence from Pr ³⁺ in Double-Perovskite-Type Alkaline Earth Lanthanum Tantalates
45369	Ai Suzuki	126 (2022) 21405-21413	2019A4131	BL12B2	久保園 芳博	Elucidation of the Local Structure of the Topological Insulator β-PdBi ₂ by X-ray Fluorescence Holography
			2021A1385	BL13XU	江口 律子	
			2021B1426	BL13XU	久保園 芳博	
			2021B1631	BL13XU	江口 律子	
45440	Yasutaka Kuwahara	127 (2023) 4942-4952	2020A1064	BL01B1	桑原 泰隆	CO ₂ Hydrogenation to Methanol over a Pt-loaded Molybdenum Suboxide Nanosheet with Abundant Surface Oxygen Vacancies
			2021B1090	BL01B1	桑原 泰隆	
45485	Chiaki Ishibashi	127 (2023) 10470-10479	2019B1249	BL04B2	井手本 康	Investigation of Stable Structures and Electronic States of Spinel-Structured MgCo _{2-x} Ni _{0.5} MnAl ₂ O ₄ (Z = 0, 0.3) as Cathode Materials for Magnesium Rechargeable Batteries Using First-Principles Calculations
45501	Taihei Yamamura	125 (2021) 15899-15909	2018B1788	BL14B2	多田 昌平	Effect of Sm Doping on CO ₂ -to-Methanol Hydrogenation of Cu/Amorphous-ZrO ₂ Catalysts

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
45089	Kiyotaka Tanaka	121 (2022) 172901	2019B1731	BL46XU	神野 伊策	Crystal Structure and Piezoelectric Properties of Lead-free Epitaxial (K,Na)NbO ₃ Thin Films Grown on Si Substrates
			2021B1948	BL46XU	神野 伊策	
45132	Shunki Sawada	122 (2023) 152406	2019B1623	BL10XU	和達 大樹	Lattice Constants and Magnetism of L1 ₀ -ordered FePt under High Pressure
45134	Hajime Yamamoto	120 (2022) 201901	2021A1342	BL02B2	山本 孟	Large Negative Thermal Expansion Induced by Cation Dimerization in Ilmenite-type Vanadate Ceramic
			2021B1327	BL02B2	山本 孟	
45239	Hidetoshi Mizobata	121 (2022) 062104	2020A3833	BL23SU	渡部 平司	Electrical Properties and Energy Band Alignment of SiO ₂ /GaN Metal-oxide-semiconductor Structures Fabricated on N-polar GaN(000 $\bar{1}$) Substrates
			2021A3833	BL23SU	渡部 平司	
			2021B3833	BL23SU	渡部 平司	
45258	Keisuke Ide	121 (2022) 192108	2016B4704	BL15XU	井手 啓介	Low-temperature-processable Amorphous-oxide-semiconductor-based Phosphors for Durable Light-emitting Diodes
			2018A4701	BL15XU	井手 啓介	
			2018B4701	BL15XU	井手 啓介	
45287	Toshihide Sumi	122 (2023) 171601	2021B8037	BL1	堀尾 眞史	Observing Soft X-ray Magnetization-induced Second Harmonic Generation at a Heterojunction Interface
			2022A8027	BL1	堀尾 眞史	

Journal of the American Chemical Society

45136	Hajime Yamamoto	144 (2022) 1082-1086	2021A1342	BL02B2	山本 孟	Cation Dimerization in a 3d ¹ Honeycomb Lattice System
			2021B1327	BL02B2	山本 孟	
45158	Tianxiang Chen	145 (2023) 8464-8473	2021B1099	BL01B1	Lo Benedict	Cu-Co Dual-Atom Catalysts Supported on Hierarchical USY Zeolites for an Efficient Cross-Dehydrogenative C(sp ²)-N Coupling Reaction
			2021B1100	BL02B2	Lo Benedict	
45189	Hao Liang	145 (2023) 9454-9458	2021A1296	BL02B2	大坪 主弥	Self-Assembled Crystalline Bundles in Soluble Metal-Organic Nanotubes
			2021B1170	BL02B2	大坪 主弥	
			2022A1260	BL02B2	大坪 主弥	
			2022B1815	BL02B2	大坪 主弥	
45227	Akira Nagaoka	145 (2023) 9191-9197	2020A1207	BL13XU	永岡 章	Direct Observation of Group-V Dopant Substitutional Defects in CdTe Single Crystals
45292	Amke Nimrich	(2023) Online published 10 May, 2023	2015A8033	BL3	Westenhoff Sebastian	Solvent-Dependent Structural Dynamics in the Ultrafast Photodissociation Reaction of Triiodide Observed with Time-Resolved X-ray Solution Scattering
45507	Shigetada Uemura	145 (2023) 1505-1511	2019A1142	BL40XU	畠山 琢次	Sequential Multiple Borylation Toward an Ultrapure Green Thermally Activated Delayed Fluorescence Material
			2019B1063	BL40XU	畠山 琢次	
			2020A1066	BL02B1	畠山 琢次	
			2021B1125	BL40XU	畠山 琢次	
			2022A1114	BL40XU	畠山 琢次	

Chemistry - A European Journal-1

45106	Mikey Nishimoto	29 (2023) e202203461	2019B1654	BL02B1	焼山 佑美	Acceleration Effect of Bowl-Shaped Structure in Aerobic Oxidation Reaction: Synthesis of Homosumanene <i>ortho</i> -Quinone and Azaacene-Fused Homosumanenes
			2018B1419	BL02B1	焼山 佑美	
			2021B1591	BL02B1	焼山 佑美	
45148	Koh Sugamata	29 (2023) e202203442	2019A1677	BL02B1	鈴木 文陽	Controlling the Flexibility of Carbazole-Based Metal-Organic Frameworks by Substituent Effects
			2019B1129	BL02B1	笹森 貴裕	
			2019B1774	BL02B1	鈴木 文陽	
			2019B1784	BL02B1	早川 雅大	
			2020A0557	BL02B1	菅又 功	
			2020A0834	BL02B1	西野 龍平	
			2020A1056	BL02B1	笹森 貴裕	
			2020A1644	BL02B1	潘 楊	
			2020A1650	BL02B1	薄葉 純一	
			2020A1656	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1592	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2022A1200	BL02B1	箕浦 真生	
			2022A1354	BL02B1	村田 理尚	
			2022A1584	BL02B1	森迫 祥吾	
			2022A1705	BL02B1	成田 皓樹	
2022B1626	BL02B1	村田 理尚				
2019A1057	BL02B1	笹森 貴裕				

Chemistry - A European Journal-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
45247	Naoki Shibata	28 (2022) e202202196	2011B1060	BL38B1	柴田 直樹	Structural Insights into the Very Low Activity of the Homocoenzyme B ₁₂ Adenosylmethylcobalamin in Coenzyme B ₁₂ -Dependent Diol Dehydratase and Ethanolamine Ammonia-Lyase
			2018A6821	BL44XU	柴田 直樹	
			2018B6821	BL44XU	柴田 直樹	
45431	Shu I. Takagi	29 (2023) e202300181	2020A0557	BL02B1	菅又 功	Stereoselective Synthesis and Characterization of Indenone Azine-Based Electron-Accepting π -Conjugated Systems
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021A1592	BL02B1	西野 龍平	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2022A1705	BL02B1	成田 皓樹	
2022B1149	BL40XU	畠山 琢次				
45495	Sebastian Ehrling	28 (2022) e202201281	2020A1323	BL02B2	田中 秀樹	Temperature Driven Transformation of the Flexible Metal-Organic Framework DUT-8(Ni)

ACS Applied Energy Materials

45183	Saki Sawayama	6 (2023) 989-996	2021B1408	BL04B2	藤井 健太	Effect of a Weak Coordination Solvent on a Kinetically Favorable Electrode Reaction in Concentrated Lithium-Ion Battery Electrolytes
			2022A1174	BL04B2	直井 勝彦	
			2022B1346	BL04B2	崔 亮秀	
45249	Xueyan Hou	6 (2023) 2072-2080	2020A0749	BL27SU	中村 崇司	Revisiting Cationic Doping Impacts in Ni-Rich Cathodes
			2021A1343	BL27SU	中村 崇司	
			2021B1660	BL27SU	中村 崇司	
			2022A1424	BL27SU	中村 崇司	
45284	Kazuyuki Iwase	5 (2022) 9292-9296	2021B1204	BL01B1	神谷 和秀	High-Entropy Spinel Oxide Nanoparticles Synthesized via Supercritical Hydrothermal Processing as Oxygen Evolution Electrocatalysts
45430	Yu Chikaoka	6 (2023) 4657-4670	2021B1200	BL04B2	直井 勝彦	Strategy for Ultrafast Cathode Reaction in Magnesium-Ion Batteries Using BF ₄ Anion Based Dual-Salt Electrolyte Systems: A Case Study of FePO ₄
			2022A1499	BL01B1	直井 勝彦	
			2022A1174	BL04B2	直井 勝彦	
			2022B1346	BL04B2	崔 亮秀	

ACS Applied Materials & Interfaces

45210	Takeshi Aihara	15 (2023) 17957-17968	2022A1616	BL01B1	相原 健司	Nanosized Ti-Based Perovskite Oxides as Acid-Base Bifunctional Catalysts for Cyanosilylation of Carbonyl Compounds
45461	Li-Hui Chou	14 (2022) 14400-14409	2021A1641	BL46XU	但馬 敬介	Naphthobisthiadiazole-Based π -Conjugated Polymers for Nonfullerene Solar Cells: Suppressing Intermolecular Interaction Improves Photovoltaic Performance
			2021A1687	BL46XU	森 裕樹	
45464	Naoya Nakao	13 (2021) 56420-56429	2020A1742	BL46XU	但馬 敬介	Pronounced Backbone Coplanarization by π -Extension in a Sterically Hindered Conjugated Polymer System Leads to Higher Photovoltaic Performance in Non-Fullerene Solar Cells
			2021A1641	BL46XU	但馬 敬介	
45568	Yunfei Gao	15 (2023) 30240-30248	2020A1011	BL37XU	内本 喜晴	Protection Against Absorption Passivation on Platinum by a Nitrogen-Doped Carbon Shell for Enhanced Oxygen Reduction Reaction
			2020A1012	BL40B2	内本 喜晴	
			2020A1474	BL28B2	内本 喜晴	
			2020A0754	BL40B2	内本 喜晴	
			2021A1022	BL27SU	内本 喜晴	
2021A1031	BL04B2	内山 智貴				

Acta Materialia

45254	Hiroshi Okuda	253 (2023) 118963	2016B1279	BL45XU	奥田 浩司	Nanoclusters in Stacking Faults in Mg-Y-Zn Alloys Examined by Small-angle X-ray Scattering and Extended X-ray Absorption Fine Structure Analysis
			2017A1437	BL45XU	奥田 浩司	
			2021A1241	BL40B2	奥田 浩司	
45314	Yuantao Xu	236 (2022) 118110	2020A1796	BL20XU	戸田 裕之	Suppressed Hydrogen Embrittlement of High-strength Al Alloys by Mn-rich Intermetallic Compound Particles
			2020A1084	BL20XU	戸田 裕之	
45324	Yafei Wang	227 (2022) 117658	2020A1796	BL20XU	戸田 裕之	<i>In-situ</i> 3D Observation of Hydrogen-assisted Particle Damage Behavior in 7075 Al Alloy by Synchrotron X-ray Tomography
			2020A1084	BL20XU	戸田 裕之	
45473	Yi Cui	249 (2023) 118831	2020A1491	BL20XU	Gourlay Christopher	Nucleation and Growth of Ag ₃ Sn in Sn-Ag and Sn-Ag-Cu Solder Alloys
			2015A1675	BL20XU	野北 和宏	

e-Journal of Surface Science and Nanotechnology

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
45154	Yasutaka Tsuda	21 (2023) 30-39	2015A3802	BL23SU	吉越 章隆	Observation of Chemisorbed O ₂ Molecule at SiO ₂ /Si(001) Interface During Si Dry Oxidation
			2015B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2016A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2016B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2017B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2018A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2018B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2019A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2019B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2020A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2021A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2022A3801	BL23SU	吉越 章隆	
45432	Takuo Ohkouchi	(2023) Online published 13 May, 2023	2016B1288	BL17SU	大河内 拓雄	Visualization of the Exchange Bias Effect in an FeMn/Co Heterostructure via Photoemission Electron Microscopy
			2017A1488	BL17SU	大河内 拓雄	
			2017B1391	BL17SU	大河内 拓雄	
			2018A1404	BL17SU	大河内 拓雄	
			2018B1096	BL17SU	大河内 拓雄	
45434	Tomohiro Matsushita	21 (2023) 183-187	2020A0634	BL25SU	藤井 菜美	An Algorithm to Correct the Sensitivity Distribution of a Retarding Field Analyzer for Photoelectron Holography
			2021A1229	BL25SU	松下 智裕	
			2021B1091	BL25SU	藤井 菜美	
			2022B1187	BL25SU	藤井 菜美	
45536	Yoshimu Iwanami	21 (2023) 207-210	2020A1825	BL46XU	岩波 睦修	HAXPES Study on Chemical States of Reaction Films Formed on Metal Surfaces by Zinc Dialkyldithiophosphate and Molybdenum Dialkyldithiocarbamate

Japanese Journal of Applied Physics

45240	Takato Nakanuma	61 (2022) SC1065	2021A3833	BL23SU	渡部 平司	Comprehensive Physical and Electrical Characterizations of NO Nitrided SiO ₂ /4H-SiC(1120) Interfaces
45245	Yuta Araki	62 (2023) 015003	2021A1099	BL40B2	櫻木 美菜	Evaluation of Terpene-based Hydrophobic Deep Eutectic Solvents as Skin Permeation Enhancers
45348	Kentaro Onishi	62 (2023) 050903	2022A3833	BL23SU	渡部 平司	Formation of High-quality SiO ₂ /GaN Interfaces with Suppressed Ga-oxide Interlayer via Sputter Deposition of SiO ₂
			2022B3833	BL23SU	渡部 平司	
45457	Yuki Sato	62 (2023) SK1012	2021A1641	BL46XU	但馬 敬介	Exciton Dynamics of a Fused Ring π-conjugated Nonfullerene Molecule Based on Dithienonaphthobisthiadiazole
			2021A1687	BL46XU	森 裕樹	

Polymer Journal

45143	Daisuke Tadokoro	55 (2023) 775-783	2017B1719	BL40XU	田所 大輔	Lamellar Crystallization of Poly(trimethylene terephthalate)
			2019B1794	BL40B2	田所 大輔	
			2017A1679	BL40XU	田所 大輔	
			2014B1509	BL40B2	小西 隆士	
			2015B1192	BL40B2	深尾 浩次	
			2017B1119	BL40B2	深尾 浩次	
			2020A1113	BL40B2	小西 隆士	
			2020A1078	BL40B2	田口 健	
45327	Chie Kojima	55 (2023) 63-73	2022A1202	BL43IR	児島 千恵	Comparative Study of PEG and PEGylated Dendrimers in Their Eutectic Mixtures with Water Analyzed using X-ray Diffraction and Infrared Spectroscopy
			2021B1366	BL43IR	児島 千恵	
			2021A1069	BL40B2	鈴木 祥仁	
45458	Kenta Okamoto	55 (2023) 443-450	2019A1765	BL46XU	尾坂 格	Naphthobispyrazine Bisimide-based Semiconducting Polymers as Electron Acceptors for All-polymer Photovoltaic Cells
45528	Hiroki Mori	55 (2023) 405-415	2019A1765	BL46XU	尾坂 格	Synthesis and Solar Cell Applications of Semiconducting Polymers Based on Vinylene-bridged 5-alkoxy-6-fluorobenzo[c][1,2,5]thiadiazole (FOBTzE)
			2022A1656	BL13XU	尾坂 格	

Scientific Reports-1

45120	James A. Pollock	12 (2022) 18469	2018A0150	BL20B2	Hooper Stuart	Precise Phase Retrieval for Propagation-based Images using Discrete Mathematics
-------	------------------	--------------------	-----------	--------	---------------	---

Scientific Reports-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
45127	Ryo Mashita	13 (2023) 5805	2016B1283	BL20B2	間下 亮	Insights into the Cavitation Morphology of Rubber Reinforced with a Nano-filler
			2017A1204	BL20B2	間下 亮	
			2017B1403	BL20B2	間下 亮	
			2018B1459	BL20B2	間下 亮	
			2019B1606	BL20B2	間下 亮	
2020A1140	BL20B2	間下 亮				
45188	Al-Amin Ahmed Simon	11 (2021) 14311	2020A1580	BL04B2	坂口 佳史	Introduction of Chalcogenide Glasses to Additive Manufacturing: Nanoparticle Ink Formulation, Inkjet Printing, and Phase Change Devices Fabrication
45561	Pouria Zangj	13 (2023) 9624	2019B1321	BL20XU	百生 敦	Parabolic Gratings Enhance the X-ray Sensitivity of Talbot Interferograms

Acta Crystallographica Section F

45099	Shunya Sakurai	76 (2020) 326-333	2019A2581	BL45XU	大戸 梅治	Crystal Structure of the FYCO1 RUN Domain Suggests Possible Interfaces with Small GTPases
45451	Yo Sonoda	71 (2015) 1488-1497	2013B6849	BL44XU	三上 文三	Structure of Spo0M, a Sporulation-control Protein from <i>Bacillus subtilis</i>
			2014A1308	BL26B1	三上 文三	
			2014A1279	BL26B1	三上 文三	
			2014B1321	BL26B1	三上 文三	
			2014B6948	BL44XU	三上 文三	
2014B1274	BL26B1	三上 文三				
45484	Shouhei Mine	79 (2023) 159-165	2018A6851	BL44XU	峯 昇平	Crystal Structure of Thermostable Acetaldehyde Dehydrogenase from the Hyperthermophilic Archaeon <i>Sulfolobus tokodaii</i>
			2018B6851	BL44XU	峯 昇平	
			2019A6951	BL44XU	峯 昇平	
			2019B6951	BL44XU	峯 昇平	
			2020A6550	BL44XU	峯 昇平	
			2021A6641	BL44XU	峯 昇平	
2021B6641	BL44XU	峯 昇平				

Applied Physics Express

45221	Tae-Hyeon Kil	14 (2021) 081005	2019A1798	BL46XU	清水 皇	Impacts of Band Alignment Change after Interface Nitridation on the Leakage Current of SiO ₂ /4H-SiC (0001) and (1100) MOS Capacitors
			2019B1677	BL46XU	清水 皇	
45241	Takato Nakanuma	15 (2022) 041002	2021A3833	BL23SU	渡部 平司	Impact of Nitridation on the Reliability of 4H-SiC(1120) MOS Devices
			2021B3833	BL23SU	渡部 平司	
45242	Takuji Hosoi	15 (2022) 061003	2018A3833	BL23SU	渡部 平司	Impact of Post-nitridation Annealing in CO ₂ Ambient on Threshold Voltage Stability in 4H-SiC Metal-oxide-semiconductor Field-Effect Transistors
			2018B3833	BL23SU	渡部 平司	
			2019A3833	BL23SU	渡部 平司	
			2019B3833	BL23SU	渡部 平司	

Journal of the Physical Society of Japan

45278	Hitoshi Yamaoka	92 (2023) 064704	2017B4267	BL12XU	辻井 直人	Electronic and Crystal Structures of YbInCu ₄ -Based Compounds under Pressure
			2018A4258	BL12B2	辻井 直人	
			2018A4141	BL12XU	辻井 直人	
			2019B4252	BL12XU	辻井 直人	
			2020A4263	BL12XU	辻井 直人	
			2020A4269	BL12XU	山岡 人志	
			2021A4253	BL12XU	山岡 人志	
			2021B4253	BL12XU	辻井 直人	
45452	Hiroki Hanate	92 (2023) 064705	2022B1717	BL43IR	花手 洋樹	Insulating Nature of Iridium Oxide Ca ₅ Ir ₃ O ₁₂ Probed by Synchrotron-Radiation-Based Infrared Spectroscopy
			2021A1198	BL43IR	松平 和之	
45562	Yajun Li	92 (2023) 044801	2020A0731	BL25SU	横谷 尚睦	Photoelectron Holography Study of La(O,F)BiS ₂
			2020A0734	BL25SU	横谷 尚睦	
			2020A1598	BL25SU	横谷 尚睦	
			2021B1027	BL25SU	横谷 尚睦	
			2022A1362	BL25SU	横谷 尚睦	

JPS Conference Proceedings

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
45442	Yizhou Chen	38 (2023) 011050	2016A1603	BL01B1	浅野 駿	Cu K-edge X-ray Absorption Fine Structure Study of T' -type $RE_2CuO_{4+\delta}$ (RE = Rare Earth): Toward Unified Understanding of Electronic State of T' -type Cuprate
			2017B3611	BL14B1	辻 卓也	
			2019B3657	BL14B1	石井 賢司	
			2020A3657	BL14B1	石井 賢司	
			2020A3661	BL14B1	石井 賢司	
			2021A3657	BL14B1	石井 賢司	
45476	Atsuki Kumashita	38 (2023) 011004	2021B2101	BL13XU	田尻 寛男	Simulations of Surface X-ray Diffraction from a Monolayer 4He Film Adsorbed on Graphite
			2021B1226	BL13XU	山口 明	
			2022A2001	BL47XU	田尻 寛男	
45498	Naomi Kawamura	38 (2023) 011108	2016B1149	BL39XU	河村 直己	Study on the Tm Electronic States in TmX_3 ($X = Al, Ga, In,$ and Pd) Using X-ray Emission and Photoemission Spectroscopies
			2019A2057	BL39XU	河村 直己	
			2017A0071	BL09XU	三村 功次郎	
			2019B1658	BL39XU	河村 直己	
			2019B2103	BL39XU	河村 直己	
			2020A1186	BL39XU	河村 直己	
			2021A1132	BL39XU	河村 直己	
			2021B1284	BL39XU	河村 直己	
			2021B1287	BL09XU	河村 直己	
2022A1526	BL39XU	河村 直己				

Macromolecules

45150	Lijuan Guo	56 (2023) 899-914	2022A1276	BL01B1	野村 琴広	Synthesis of Ethylene/Isoprene Copolymers Containing Cyclopentane/Cyclohexane Units as Unique Elastomers by Half-Titanocene Catalysts
45489	Riku Yamanaka	56 (2023) 4354-4361	2022A1193	BL40B2	高橋 倫太郎	<i>In Situ</i> Monitoring of Polymerization-Induced Self-Assembly and Gelation During the Synthesis of Triblock Copolymers via Time-Resolved Small-Angle X-ray Scattering and Rheology
			2022B1233	BL40B2	高橋 倫太郎	
45563	Yusaku Kawai	56 (2023) 4503-4512	2021A1593	BL40B2	河合 優作	Hybridizing a Dual-cross Network and a Linear Glassy Polymer for Dynamic Contributions to High Mechanical Toughness Based on Phase-separated Structures

Physical Review Materials

45244	Kazu Hirose	7 (2023) 045605	2019B7251	BL03XU	廣澤 和	<i>In situ</i> Observation of the Structure and Dynamics of a Polymer Solution through Nonsolvent-induced Phase Separation by X-ray Photon Correlation Spectroscopy
			2020A7201	BL03XU	廣澤 和	
45259	Kazuki Nagai	7 (2023) 043604	2019A1113	BL13XU	若林 裕助	Quantitative Measurement of Structural Fluctuation at $LaNiO_3/LaAlO_3$ Interfaces as a Function of Thickness
45320	Takahiro Moriyama	7 (2023) 054401	2017B0921	BL17SU	壬生 攻	Micromagnetic Understanding of Evolutions of Antiferromagnetic Domains in NiO
			2019B1417	BL17SU	森山 貴広	

Acta Crystallographica Section D

45289	Doo Ri An	71 (2015) 675-686	2012B6741	BL44XU	三上 文三	Structure of Csd3 from <i>Helicobacter pylori</i> , a Cell Shape-determining Metallopeptidase
45306	Petra Baath	78 (2022) 698-708	2018B8068	BL3	Neutze Richard	Lipidic Cubic Phase Serial Femtosecond Crystallography Structure of a Photosynthetic Reaction Centre

Advanced Science

45270	Takafumi Yamamoto	(2023) Online published 25 Apr. 2023	2019B1166	BL02B2	山本 隆文	Emergence of Dynamically-Disordered Phases During Fast Oxygen Deintercalation Reaction of Layered Perovskite
			2020A1068	BL02B2	山本 隆文	
			2020A1852	BL36XU	細川 三郎	
			2021A1130	BL02B2	山本 隆文	
			2021B1159	BL02B2	山本 隆文	
			2022A1341	BL36XU	細川 三郎	
45459	Naoya Nakao	10 (2023) 2205682	2021A1641	BL46XU	但馬 敬介	Halogen-Free π -Conjugated Polymers Based on Thienobenzobisthiazole for Efficient Nonfullerene Organic Solar Cells: Rational Design for Achieving High Backbone Order and High Solubility
			2021B1935	BL46XU	但馬 敬介	

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
45212	Takashi Ohata	96 (2023) 274-282	2016B1862	BL19B2	牧浦 理恵	Influence of the Solvent on the Assembly of Ni ₃ (hexaiminotriphenylene) ₂ Metal-Organic Framework Nanosheets at the Air/Liquid Interface
			2017A1569	BL19B2	牧浦 理恵	
			2018A1559	BL19B2	牧浦 理恵	
			2018A2065	BL19B2	渡辺 剛	
			2018A2066	BL19B2	渡辺 剛	
			2018B1802	BL19B2	渡辺 剛	
			2018B1840	BL19B2	牧浦 理恵	
			2019A1771	BL19B2	大畑 考司	
			2019B1860	BL19B2	大畑 考司	
			2019B1857	BL46XU	渡辺 剛	
			2021A1658	BL46XU	大畑 考司	
			2017B1899	BL19B2	牧浦 理恵	
45250	Atsuya Muranaka	95 (2022) 1428-1437	2021A1075	BL40XU	高谷 光	Naked-Eye-Detectable Supramolecular Sensing System for Glutaric Acid and Isophthalic Acid
			2021B1098	BL40XU	高谷 光	
			2022A1292	BL40XU	高谷 光	
			2021A1067	BL47XU	高谷 光	

Catalysis Today

45218	Saburo Hosokawa	411-412 (2023) 113815	2019A1761	BL14B2	細川 三郎	Dynamic Behavior of Pd/Ce ₂ AlMnO _{5.8} for Purifying Automotive Exhaust Gases under Fluctuating Oxygen Concentration
			2018B1786	BL14B2	細川 三郎	
45336	Hiroshi Yoshida	410 (2023) 102-108	2020A1834	BL14B2	芳田 嘉志	Ce-modified Rh Overlayer for a Three-way Catalytic Converter with Oxygen Storage/Release Capability

Chemical Science

45130	Yoshinao Kobayashi	14 (2023) 1065-1071	2021A1139	BL02B1	砂田 祐輔	Germanium Hydrides as an Efficient Hydrogen-Storage Material Operated by an Iron Catalyst
45263	Teerat Watcharatpong	13 (2022) 11422-11426	2022A1813	BL14B2	田部 博康	Coordination Polymer-forming Liquid Cu(2-isopropylimidazolate)
			2019B1093	BL02B2	堀毛 悟史	

Chemistry Letters

45075	Narumi Itoh	52 (2023) 177-180	2020A1056	BL02B1	笹森 貴裕	Synthesis of a Dibenzo-1,6,2,5-dioxadisilocene and Its Unexpected Reductive Coupling with Phenanthrene
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
			2021B1798	BL02B1	早川 雅大	
			2022A1584	BL02B1	森迫 祥吾	
2022A1354	BL02B1	村田 理尚				
45490	Thu Thao Pham	51 (2022) 877-880	2022A1193	BL40B2	高橋 倫太郎	Stable Water-soluble Polyion Complex Micelles Composed of Oppositely Charged Diblock Copolymers and Reinforced by Hydrophobic Interactions

ChemSusChem

45463	Masahiko Saito	14 (2021) 5032-5041	2018A1747	BL46XU	尾坂 格	Contrasting Effect of Side-Chain Placement on Photovoltaic Performance of Binary and Ternary Blend Organic Solar Cells in Benzodithiophene-Thiazolothiazole Polymers
			2019A1765	BL46XU	尾坂 格	
			2021A1558	BL46XU	尾坂 格	
45514	Takeshi Nishimoto	16 (2023) e202201808	2021B1168	BL01B1	吉田 真明	High Current Density Oxygen Evolution in Carbonate Buffered Solution Achieved by Active Site Densification and Electrolyte Engineering

Communications Chemistry

45523	Yoshihiko Umehara	6 (2023) 93	2021B1239	BL02B1	砂田 祐輔	Dinuclear and Tetranuclear Group 10 Metal Complexes Constructed from Linear Tetrasilane Comprising both Si-H and Si-Si Moieties
			2022A1127	BL02B1	砂田 祐輔	
45532	Mohana Shivanna	6 (2023) 62	2021A1149	BL02B2	北川 進	Selective Sorption of Oxygen and Nitrous Oxide by an Electron Donor-incorporated Flexible Coordination Network
			2021A1682	BL14B2	北川 進	
			2022A1580	BL02B2	北川 進	

IOP Conference Series: Materials Science and Engineering

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
45223	Sota Tsuji	1274 (2023) 012055	2020A0769	BL20XU	安田 秀幸	Microstructure Evolution Induced by Solidification and Ferrite-austenite Massive-like Transformation in Fe-C Alloys
			2021B1560	BL47XU	安田 秀幸	
			2021A1499	BL20XU	安田 秀幸	
			2019B1482	BL47XU	安田 秀幸	
			2020A1564	BL47XU	安田 秀幸	
45225	Ayano Yamamura	1274 (2023) 012044	2020A1564	BL47XU	安田 秀幸	Data Assimilation for Dendritic Solidification with Melt Convection: Phase-field Lattice Boltzmann Study

The Journal of Chemical Physics

45155	Yasutaka Tsuda	157 (2022) 234705	2015A3802	BL23SU	吉越 章隆	Roles of Excess Minority Carrier Recombination and Chemisorbed O ₂ Species at SiO ₂ /Si Interfaces in Si Dry Oxidation: Comparison between p-Si(001) and n-Si(001) Surfaces
			2015B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2016A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2016B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2017A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2017B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2018A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2018B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2019A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2019B3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2020A3801	BL23SU	吉越 章隆	
			2021A3801	BL23SU	吉越 章隆	
45226	Hiroshi Matsui	156 (2022) 204504	2020A1098	BL43IR	松井 広志	Mechanisms of the Antiferro-electric Ordering in Superprotonic Conductors Cs ₃ H(SeO ₄) ₂ and Cs ₃ D(SeO ₄) ₂
			2019A1081	BL43IR	松井 広志	
			2021B1199	BL43IR	松井 広志	

Journal of Geophysical Research: Solid Earth

45513	Yu Nishihara	128 (2023) e2022JB026165	2015A0075	BL04B1	入船 徹男	Rheology of Hexagonal Close-Packed (hcp) Iron
45525	Fang Xu	127 (2022) e2021JB023586	2014B1778	BL04B1	徐 放	Deformation of Post-Spinel Under the Lower Mantle Conditions
			2015B1761	BL04B1	徐 放	
			2016A1629	BL04B1	徐 放	

The Journal of Physical Chemistry Letters

45084	Shota Taguchi	11 (2020) 8908-8913	2019A8032	BL2	沈 建仁	Formation of the High-Spin S ₂ State Related to the Extrinsic Proteins in the Oxygen Evolving Complex of Photosystem II
			2019B8028	BL2	沈 建仁	
			2019A2559	BL41XU	沈 建仁	
			2020A2550	BL41XU	沈 建仁	
45110	Hiroki Yamada	14 (2023) 3574-3580	2017A1657	BL13XU	山田 大貴	Atom-Selective Analyses Reveal the Structure-Directing Effect of Cs Cation on the Synthesis of Zeolites
			2021A1455	BL04B2	山田 大貴	
			2017A3751	BL22XU	町田 晃彦	
			2017B3785	BL22XU	脇原 徹	
			2018B2095	BL04B2	尾原 幸治	
			2019A2058	BL04B2	尾原 幸治	
			2019B2091	BL04B2	尾原 幸治	
			2018A3751	BL22XU	町田 晃彦	
			2018B3783	BL22XU	脇原 徹	
2018A2056	BL37XU	尾原 幸治				

Journal of Solid State Chemistry

45276	Hiroataka Ashitani	319 (2023) 123796	2021B1619	BL02B2	久保田 佳基	Time-resolved <i>in-situ</i> X-ray Diffraction and Crystal Structure Analysis of Porous Coordination Polymer CPL-1 in CO ₂ Adsorption
			2022A1721	BL02B2	芦谷 拓高	
			2022A1468	BL02B2	久保田 佳基	
			2019A0068	BL02B2	森吉 千佳子	
45323	Hiroki Ubukata	312 (2022) 123253	2020A1683	BL04B1	生方 宏樹	Pressure-induced Structural Phase Transition in BaHCl
			2021A1581	BL04B1	生方 宏樹	
			2021B1802	BL04B1	生方 宏樹	
			2021B2088	BL04B1	肥後 祐司	

Journal of Synchrotron Radiation

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
45096	Takuya Imai	30 (2023) 627-633	2020A0670	BL28B2	今井 拓哉	High-energy Synchrotron-Radiation-based X-ray Micro-tomography Enables Non-destructive and Micro-scale Palaeohistological Assessment of Macro-scale Fossil Dinosaur Bones
			2019B1416	BL28B2	今井 拓哉	
45118	Mitchell C. Chalmers	28 (2021) 283-291	2012B1315	BL20B2	Pavlov Konstantin	Tomographic Reconstruction using Tilted Laue Analyser-based X-ray Phase-contrast Imaging

Macromolecular Symposia

45139	Yu Tomofuji	408 (2023) 2200025	2020A1132	BL40B2	寺尾 憲	Complex Formation Behavior of Silica Nanoparticles and Xanthan
			2020A0529	BL40B2	寺尾 憲	
			2021A1092	BL40B2	寺尾 憲	
45140	Ken Terao	408 (2023) 2200024	2010B1126	BL40B2	寺尾 憲	Molecular Conformation and Intermolecular Interactions of Linear and Cyclic Amylose Derivatives in Solution
			2011A1049	BL40B2	寺尾 憲	
			2011B1068	BL40B2	寺尾 憲	
			2013A1046	BL40B2	寺尾 憲	
			2014B1087	BL40B2	寺尾 憲	
			2015A1179	BL40B2	寺尾 憲	
			2015B1100	BL40B2	寺尾 憲	
			2018A1124	BL40B2	寺尾 憲	
			2019A1072	BL40B2	寺尾 憲	
			2019B1113	BL40B2	寺尾 憲	
			2018B1088	BL40B2	寺尾 憲	
2016A1053	BL40B2	寺尾 憲				
2016B1088	BL40B2	寺尾 憲				

Nanoscale

45248	Tokuhiisa Kawawaki	15 (2023) 7272-7279	理研	BL36XU		Pt ₁₇ Nanocluster Electrocatalysts: Preparation and Origin of High Oxygen Reduction Reaction Activity
			2022A1075	BL01B1	川脇 徳久	
45565	Sota Funaki	15 (2023) 5201-5208	2022B1823	BL01B1	川脇 徳久	Improved Activity for the Oxygen Evolution Reaction using a Tiara-like Thiolate-protected Nickel Nanocluster
			2022A1075	BL01B1	川脇 徳久	
			2021B1163	BL01B1	川脇 徳久	
			2021A1102	BL01B1	川脇 徳久	
			2020A0695	BL01B1	川脇 徳久	

Nature Astronomy

45386	Motoo Ito	6 (2022) 1163-1171	2021B0185	BL20XU	松本 恵	A Pristine Record of Outer Solar System Materials from Asteroid Ryugu's Returned Sample
			2019A0165	BL20XU	土山 明	
			2019A0165	BL47XU	土山 明	
			2021B0185	BL47XU	松本 恵	
45499	Takaaki Noguchi	7 (2023) 170-181	2019A0165	BL47XU	土山 明	A Dehydrated Space-weathered Skin Cloaking the Hydrated Interior of Ryugu
			2021B0185	BL47XU	松本 恵	
			2020A0602	BL47XU	土山 明	

Nature Chemistry

45439	Kiyofumi Takaba	15 (2023) 491-497	2021B8018	BL3	米倉 功治	Structural Resolution of a Small Organic Molecule by Serial X-ray Free-Electron Laser and Electron Crystallography
45527	Kentaro Yonesato	15 (2023) 940-947	2020A1219	BL01B1	山添 誠司	Surface-exposed Silver Nanoclusters inside Molecular Metal Oxide Cavities
			2021A1272	BL01B1	山添 誠司	
			2022A1627	BL01B1	吉川 聡一	
			2021A1034	BL02B1	小島 達弘	
			2022A1111	BL02B1	鈴木 康介	

Physica Status Solidi B

45105	Monami Asai	259 (2022) 2100567	2018B1397	BL02B2	宮崎 秀俊	Hard X-Ray Photoemission Study of Heusler-Type Fe _{2-x} Re _x VAI Thermoelectric Compounds
			2020A1492	BL47XU	宮崎 秀俊	
45172	Yoshifumi Sakaguchi	257 (2020) 2000178	2018A1106	BL04B2	坂口 佳史	Excitation Light Energy Dependence of Silver Photodiffusion into Amorphous Germanium Sulfide: Neutron and X-Ray Reflectivity and X-Ray Diffraction

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
45299	Nobuto Abe	106 (2022) 125106	2019B1248	BL47XU	組頭 広志	Rocksalt CeO Epitaxial Thin Film as a Heavy-fermion System Transiting from <i>p</i> -type Metal to Partially Compensated <i>n</i> -type Metal by 4 <i>f</i> Delocalization
45510	Naoyuki Katayama	107 (2023) 245113	2019B1085	BL44B2	片山 尚幸	Observation of Local Atomic Displacements Intrinsic to the Double Zigzag Chain Structure of 1 <i>T</i> -MTe ₂ (<i>M</i> = V, Nb, Ta)
			2019A0070	BL02B1	澤 博	
			2021B1261	BL02B1	鬼頭 俊介	
			2021B1136	BL02B2	片山 尚幸	
			2022A0304	BL02B1	原 武史	
			2022B0607	BL02B1	小島 慶太	
			2022B1570	BL19B2	片山 尚幸	
			2022B1582	BL02B1	鬼頭 俊介	
2022B1862	BL02B1	澤 博				

Physical Review Research

45296	Eva Zarkadoula	4 (2022) 013022	2018B8041	BL3	篠原 佑也	X-ray Free-electron Laser Heating of Water at Picosecond Time Scale
			2019A8043	BL3	篠原 佑也	
45443	Dominik Kraus	5 (2023) L022023	2019A8070	BL3	Kraus Dominik	Indirect Evidence for Elemental Hydrogen in Laser-compressed Hydrocarbons

Science

45389	Tetsuya Yokoyama	379 (2022) abn7850	2020A0770	BL20XU	上楯 真之	Samples Returned from the Asteroid Ryugu are Similar to Ivuna-type Carbonaceous Meteorites
			2020A1211	BL47XU	上楯 真之	
			2021B1404	BL47XU	上楯 真之	
			2019A0165	BL20XU	土山 明	
			2021B0185	BL20XU	松本 恵	
			2019A0165	BL47XU	土山 明	
45497	Tomoki Nakamura	379 (2022) abn8671	2019A0165	BL20XU	土山 明	Formation and Evolution of Carbonaceous Asteroid Ryugu: Direct Evidence from Returned Samples
			2019A0165	BL47XU	土山 明	
			2021B0185	BL20XU	松本 恵	
			2021B0185	BL47XU	松本 恵	
			2020A0174	BL37XU	高橋 嘉夫	
			2020A0602	BL47XU	土山 明	

Science Advances

45170	Kazuya Nishio	9 (2023) eadf1956	2015B6544	BL44XU	水島 恒裕	Defective Import of Mitochondrial Metabolic Enzyme Elicits Ectopic Metabolic Stress
			2016A6643	BL44XU	水島 恒裕	
			2016B6643	BL44XU	水島 恒裕	
			2020A6549	BL44XU	水島 恒裕	
			2021A6640	BL44XU	水島 恒裕	
			2021B6640	BL44XU	水島 恒裕	
45274	Hiroya Oki	8 (2022) eabo3013	2018A2553	BL38B1	中村 昇太	Structural Basis for the Toxin-coregulated Pilus-dependent Secretion of <i>Vibrio cholerae</i> Colonization Factor
			2019A2570	BL26B1	中村 昇太	
			2020A2565	BL26B1	中村 昇太	
			2021A2755	BL26B1	中村 昇太	

X線分析の進歩 (Advances in X-ray Chemical Analysis, Japan)

45161	Kouji Takahara	54 (2023) 75-80	2022A3231	BL24XU	住田 弘祐	Evaluation of Sample Charging in Near-ambient-pressure X-ray Photoelectron Spectroscopy
			2022B3231	BL24XU	住田 弘祐	
45166	Shuhei Yamada	54 (2023) 111-117	2018A1574	BL20XU	岩波 睦修	Internal Structure Analysis of Using X-Ray Tomography to Determine the Suitable Macro Pore Structure of the RDS Catalysts
			2019A1633	BL20XU	岩波 睦修	

しょうとつ (原子衝突学会誌, Journal of Atomic Collision Research)

45302	Akinobu Niozu	19 (2022) 80-88	2016A8057	BL3	上田 潔	XFEL 利用の単粒子 X 線回折で探る Xe クラスターの結晶化ダイナミクス
			2016B8077	BL3	上田 潔	
45454	Yoshiaki Kumagai	20 (2023) 36-55	2017B8056	BL3	熊谷 嘉晃	X 線自由電子レーザー誘起ナノプラズマの生成・崩壊ダイナミクス
			2015B8057	BL3	上田 潔	
			2014B8057	BL3	上田 潔	
			2014A8040	BL3	上田 潔	

2023 35th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD)

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
45567	Takuma Nanjo	(2023) 223-226	2021B5132	BL16XU	山田 高寛	Demonstration of Fundamental Characteristics for Power Switching Application in Planer Type E-mode MOS-HEMT Using Normally Depleted AlGaN GaN Epitaxial Layer on Si Substrate
			2022A5130	BL16XU	野口 宗隆	
			2022A5131	BL16XU	南條 拓真	

ACS Applied Electronic Materials

45178	Chih-Yu Teng	5 (2023) 1114-1122	2019B4265	BL12XU	Tseng Yuan-Chieh	Optimizing the Ferroelectric Properties of Hf _{1-x} Zr _x O ₂ Films via Crystal Orientation
-------	--------------	-----------------------	-----------	--------	------------------	---

ACS Applied Nano Materials

45544	Hiroshi Itahara	5 (2022) 11991-11996	2021B5371	BL16B2	小坂 悟	Dealloyed Intermetallic Cu ₅ Ca Fine Powders as Nanoporous Electrocatalysts for CO ₂ Reduction
			2021B5070	BL16XU	高橋 直子	

ACS Infectious Diseases

45534	Mengmeng Lin	8 (2022) 150-158	2019A2528	BL41XU	Yang Haitao	Structural Basis of Zika Virus Helicase in RNA Unwinding and ATP Hydrolysis
-------	--------------	---------------------	-----------	--------	-------------	---

ACS Nano

45246	Yuya Murai	15 (2021) 19225-19232	2019B1392	BL25SU	北浦 良	Versatile Post-Doping toward Two-Dimensional Semiconductors
			2020A1352	BL25SU	北浦 良	

ACS Omega

45288	Naoto Kitamura	7 (2022) 46915-46921	2021A1643	BL19B2	井手本 康	Facile Surface Modification of MgMn ₂ O ₄ Positive-Electrode Material for Improving Cycle Performance of Magnesium Rechargeable Batteries
			2021A1644	BL14B2	井手本 康	

Advanced Energy Materials

45456	Kodai Yamanaka	13 (2023) 2203443	2019A1765	BL46XU	尾坂 格	Interplay between π -Conjugated Polymer Donors and Acceptors Determines Crystalline Order of Their Blends and Photovoltaic Performance
			2021B1935	BL46XU	但馬 敬介	
			2022A1656	BL13XU	尾坂 格	

Advanced Functional Materials

45171	Hiroshi Yaguchi	33 (2023) 2214082	2021B1826	BL02B2	矢口 寛	High Oxide-Ion Conductivity through the Interstitial Oxygen Site in Sillén Oxichlorides
			2021A1599	BL02B2	安井 雄太	
			2022A1270	BL02B2	藤井 孝太郎	

Advanced Materials Interfaces

45560	Yoshiaki Ishihara	10 (2023) 2300258	2020A7483	BL07LSU	小坂谷 貴典	In Situ Electrical Detection of Methane Oxidation on Atomically Thin IrO ₂ Nanosheet Films Down to Room Temperature
			2020A7491	BL07LSU	小坂谷 貴典	
			2021A7401	BL07LSU	山本 達	
			2021A7496	BL07LSU	小坂谷 貴典	

Advanced Therapeutics

45281	Noriko Miyamoto	6 (2023) 2200265	2021A1291	BL40B2	秋葉 勇	Oncogenic RAS Networks Suppression: Reversibly Ionic Oligonucleotide-Based Nanoparticles Caged microRNA-143 Inhibit KRAS-Mutated Colon Cancer Growth in Tumor-Bearing Mice
			2021A1099	BL40B2	櫻木 美菜	

APL Materials

45300	Mizuki Ohno	11 (2023) 051107	2022B0504	BL14B2	組頭 広志	Novel Supercell Compounds of Layered Bi-Rh-O with <i>p</i> -type Metallic Conduction Materialized as a Thin Film Form
			2022B1574	BL09XU	組頭 広志	

Applied Catalysis B

45441	Kaining Li	331 (2023) 122713	2022A1171	BL01B1	桑原 泰隆	Aminopolymer-functionalized Hollow Carbon Spheres Incorporating Ag Nanoparticles for Electrochemical Syngas Production from CO ₂
-------	------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Applied Surface Science

45211	Sung Soo Ha	595 (2022) 153547	2019B4903	BL15XU	Ha Sung Soo	Behavior of the Monoclinic Order in VO ₂ Thin Films Grown on Sapphire Near the Metal-insulator Transition
-------	-------------	----------------------	-----------	--------	-------------	--

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
45273	Yuri Tomabechi	470 (2016) 88-93	2013B1133	BL41XU	関根 俊一	Crystal Structure of NanoKAZ: The Mutated 19 kDa Component of <i>Oplophorus</i> Luciferase Catalyzing the Bioluminescent Reaction with Coelenterazine

Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics

45291	Kazumasa Muramoto	1864 (2023) 148956	2021A6644	BL44XU	村本 和優	Calcium-bound Structure of Bovine Cytochrome c Oxidase
			2021B6644	BL44XU	村本 和優	
			2022A6737	BL44XU	村本 和優	
			2018A6854	BL44XU	村本 和優	

Bioorganic and Medicinal Chemistry

45162	Yasuaki Anami	23 (2015) 7274-7281	2008B1424	BL38B1	伊藤 暢聡	Fine Tuning of Agonistic/Antagonistic Activity for Vitamin D Receptor by 22-alkyl Chain Length of Ligands: 22S-Hexyl Compound Unexpectedly Restored Agonistic Activity
-------	---------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Cell Reports Physical Science

45453	Ummugulsum Gunes	4 (2023) 101380	2019B1808	BL46XU	柴山 直之	Drastic Influence of Substituent Position on Orientation of 2D Layers Enables Efficient and Stable 3D/2D Perovskite Solar Cells
-------	------------------	-----------------	-----------	--------	-------	---

Catalysis Science & Technology

45504	Masaru Kondo	13 (2023) 2247-2254	2022A1782	BL14B2	田代 啓悟	Catalysis of Surface Dispersed Cu ²⁺ Species on t-ZrO ₂ : Square-planar Cu Catalyzed Cross-coupling of Arylboronic Acid and Imidazole
-------	--------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

Cellulose

45220	Akari Okugawa	30 (2023) 4149-4158	2018A1066	BL40B2	山根 千弘	Dynamic Viscoelastic Behavior of Natural Cellulose Fibers Caused by Water and the Related Swelling Phenomenon
-------	---------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

Ceramics International

45271	Wenrui Zhang	48 (2022) 16522-16528	2020A1730	BL19B2	藤井 孝太郎	Improved Oxide-ion Conductivity by Substitution of Sr for Bi in Dion-Jacobson Phase CsBi ₂ Ti ₂ NbO ₁₀
-------	--------------	-----------------------	-----------	--------	--------	---

Chem Catalysis

45290	Shusaku Shoji	2 (2022) 321-329	2018A4600	BL15XU	阿部 英樹	Charge Partitioning by Intertwined Metal-oxide Nano-architectural Networks for the Photocatalytic Dry Reforming of Methane
			2018B4601	BL15XU	阿部 英樹	
			2019A4600	BL15XU	阿部 英樹	
			2019B4600	BL15XU	阿部 英樹	
			2020A4600	BL15XU	阿部 英樹	
			2020A4650	BL15XU	阿部 英樹	

ChemBioChem

45255	Yuma Shisaka	23 (2022) e202200095	2021A2759	BL45XU	杉本 宏	Tetraphenylporphyrin Enters the Ring: First Example of a Complex between Highly Bulky Porphyrins and a Protein
			2018A2576	BL41XU	杉本 宏	
			2019A2519	BL41XU	杉本 宏	
			2020A2556	BL41XU	杉本 宏	
			2020A2556	BL45XU	杉本 宏	
			理研	BL26B1		
			理研	BL26B2		

Chemical and Pharmaceutical Bulletin

45079	Hiroki Saito	71 (2023) 289-298	2017B1449	BL43IR	小幡 誉子	Effects and Mode of Action of Oleic Acid and Tween 80 on Skin Permeation of Disulfiram
			2018A1078	BL40B2	小幡 誉子	
			2018A1092	BL43IR	小幡 誉子	
			2018B1273	BL40B2	小幡 誉子	
			2018B1287	BL43IR	小幡 誉子	
			2019A1283	BL43IR	小幡 誉子	
			2020A1411	BL43IR	小幡 誉子	
			2021A1205	BL43IR	小幡 誉子	

Chemistry and Physics of Lipids

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
45427	Tomonobu Uchino	254 (2023) 105305	2015A1387	BL40B2	内野 智信	Comparative Analysis of Intercellular Lipid Organization and Composition between Psoriatic and Healthy Stratum Corneum
			2015B1197	BL40B2	内野 智信	
			2019A1139	BL40B2	内野 智信	

Chinese Journal of Chemistry

45076	Waner He	41 (2023) 1028-1036	2020A0651	BL40B2	松本 英俊	Tetramethylammonium Iodide Additive for Enhancing the Charge Carrier Mobilities of Diketopyrrolopyrrole-Based Conjugated Polymer in Ambipolar Organic Field-Effect Transistors
-------	----------	------------------------	-----------	--------	-------	--

Communications Biology

45222	Shoun Taguchi	6 (2023) 190	2019B2718	BL41XU	竹田 一旗	Detailed Analysis of Distorted Retinal and its Interaction with Surrounding Residues in the K Intermediate of Bacteriorhodopsin
			2021A2753	BL41XU	竹田 一旗	
			2018B2706	BL41XU	竹田 一旗	

Comprehensive Organometallic Chemistry IV

45151	Kotohiro Nomura	5 (2022) 587-650	2015B1308	BL01B1	山添 誠司	Organometallic Complexes of Group 5 Metals with Metal-Carbon Sigma and Multiple Bonds
			2016A1455	BL01B1	野村 琴広	
			2016B1509	BL01B1	野村 琴広	
			2017A1512	BL01B1	野村 琴広	
			2018A1245	BL01B1	野村 琴広	
			2018B1335	BL01B1	野村 琴広	

Condensed Matter

45512	Kataniina Pussi	8 (2023) 49	2011A1311	BL04B2	Kamali-Moghaddam Saeed	Atomic Structure of Mn-Doped CoFe ₂ O ₄ Nanoparticles for Metal-Air Battery Applications
-------	-----------------	----------------	-----------	--------	------------------------	--

Coordination Chemistry Reviews

45214	Rie Makiura	469 (2022) 214650	2016B1862	BL19B2	牧浦 理恵	Creation of Metal-organic Framework Nanosheets by the Langmuir-Blodgett Technique
			2017A1569	BL19B2	牧浦 理恵	
			2017B1899	BL19B2	牧浦 理恵	
			2018A1559	BL19B2	牧浦 理恵	
			2018A2065	BL19B2	渡辺 剛	
			2021A1658	BL46XU	大畑 考司	

Crystal Growth & Design

45480	Qin Ji	21 (2021) 4656-4664	2019B1738	BL26B1	吉 沁	A Hydrogen-Bonded Organic Framework Based on Pyrazinopyrazine
-------	--------	------------------------	-----------	--------	-----	---

Current Research in Structural Biology

45253	Kuniaki Mukai	3 (2021) 192-205	2018A2576	BL41XU	杉本 宏	Spatially Restricted Substrate-binding Site of Cortisol-synthesizing CYP11B1 Limits Multiple Hydroxylations and Hinders Aldosterone Synthesis
-------	---------------	---------------------	-----------	--------	------	---

Earth and Planetary Science Letters

45505	Hideharu Kuwahara	615 (2023) 118197	2022A1302	BL27SU	桑原 秀治	Partitioning of Fe ²⁺ and Fe ³⁺ between Bridgmanite and Silicate Melt: Implications for Redox Evolution of the Earth's Mantle
			2022B2114	BL27SU	新田 清文	

Energy & Environmental Materials

45266	Fengcheng Tang	6 (2022) e12387	2020A1079	BL20XU	Sun Fu	High-Performance 3D Li-B-C-Al Alloy Anode and its Twofold Li Electrostripping and Plating Mechanism Revealed by Synchrotron X-Ray Tomography
-------	----------------	--------------------	-----------	--------	--------	--

Energy & Fuels

45428	Wataru Yoshimune	37 (2023) 7424-7432	2021B7032	BL33XU	山口 聡	Insights into Oxygen Transport Properties of Partially Saturated Gas Diffusion Layers for Polymer Electrolyte Fuel Cells
			2022A7032	BL33XU	山口 聡	

Environmental Science and Technology

45492	Kouhei Tokunaga	57 (2023) 3166-3175	2021B1432	BL01B1	徳永 紘平	Improvement of the Stability of IO ₃ ⁻ , SeO ₃ ²⁻ , and SeO ₄ ²⁻ -Cocipitated Barite after Treatment with Phosphate
			2020A1311	BL01B1	徳永 紘平	

European Journal of 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
45149	Koh Sugamata	26 (2023) e202200780	2020A0557	BL02B1	菅又 功	Synthesis and Structural Analysis of Organic Cyclic Polyselenides Obtained from the Reaction of a Bissilylcarbenoid with Selenium
			2020A0834	BL02B1	西野 龍平	
			2020A1056	BL02B1	笹森 貴裕	
			2020A1644	BL02B1	潘 楊	
			2020A1650	BL02B1	薄葉 純一	
			2020A1656	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1592	BL02B1	西野 龍平	
			2021A1578	BL02B1	早川 雅大	
			2021B1435	BL02B1	村田 理尚	
			2021B1833	BL02B1	成田 皓樹	
			2021B1132	BL02B1	森迫 祥吾	
2021B1798	BL02B1	早川 雅大				
2022A1200	BL02B1	箕浦 真生				

European Journal of Medicinal Chemistry

45486	Sujin Cho	108 (2016) 188-202	2013A1053	BL26B1	榎田 哲哉	Identification of Novel Scaffolds for Potential Anti- <i>Helicobacter pylori</i> Agents Based on the Crystal Structure of <i>H. pylori</i> 3-deoxy-D-manno-octulosonate 8-phosphate Synthase (HpKDO8PS)
			2012A6741	BL44XU	三上 文三	

FEBS Letters

45098	Mamiko Masutani	594 (2020) 3020-3031	2019A2581	BL45XU	大戸 梅治	Crystal Structure of TEX101, a Glycoprotein Essential for Male Fertility, Reveals the Presence of Tandemly Arranged Ly6/uPAR Domains
-------	-----------------	-------------------------	-----------	--------	-------	--

Frontiers in Earth Science

45165	Constance Choquel	11 (2023) Online published 3 Apr. 2023	2018A1099	BL47XU	Muter Dirk	3D Morphological Variability in Foraminifera Unravel Environmental Changes in the Baltic Sea Entrance over the Last 200 Years
			2018B1241	BL47XU	Muter Dirk	
			2020A1221	BL47XU	Muter Dirk	

Green Chemistry

45146	Takumi Watanabe	25 (2023) 3418-3424	2022A7221	BL03XU	吳羽 拓真	Closed-loop Recycling of Microparticle-based Polymers
-------	-----------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Heliyon

45269	Kaito Fujitani	9 (2023) e15794	2021A3231	BL24XU	住田 弘祐	<i>In situ</i> Synchrotron X-ray Scission of Polytetrafluoroethylene Chains and Elucidation of Dry Etching
			2021B3231	BL24XU	住田 弘祐	

IEEE Transactions on Medical Imaging

45117	Gary Ruben	41 (2022) 2170-2179	2016A0132	BL20B2	Hooper Stuart	Full Field X-Ray Scatter Tomography
-------	------------	------------------------	-----------	--------	---------------	-------------------------------------

Industrial & Engineering Chemistry Research

45493	Yuki Ueda	61 (2022) 6640-6649	2020A1311	BL01B1	徳永 紘平	Urea-Introduced Ionic Liquid for the Effective Extraction of Pt(IV) and Pd(II) Ions
			2021B1432	BL01B1	徳永 紘平	

Inorganics

45472	Yugo Kikuchi	11 (2023) 238	2019A1052	BL02B2	藤井 孝太郎	Improved Oxide Ion Conductivity of Hexagonal Perovskite-Related Oxides $Ba_3W_{1+x}V_{1-x}O_{8.5+x/2}$
			2021A1599	BL02B2	安井 雄太	

International Journal of Fatigue

45109	Gaoge Xue	170 (2023) 107571	2020A0172	BL20XU	中村 孝	Full-life Growth Behavior of a Naturally Initiated Internal Fatigue Crack in Beta Titanium Alloy via <i>in situ</i> Synchrotron Radiation Multiscale Tomography
-------	-----------	----------------------	-----------	--------	------	---

International Journal of Hydrogen Energy

45502	Tatsuya Joutsuka	47 (2022) 21369-21374	2018B1788	BL14B2	多田 昌平	Understanding the Structure of Cu-doped $MgAl_2O_4$ for CO_2 Hydrogenation Catalyst Precursor using Experimental and Computational Approaches
-------	------------------	--------------------------	-----------	--------	-------	---

ISJ 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
45082	Yujiro Hayashi	63 (2023) 687-693	2019B7012	BL33XU	木村 英彦	<i>In-situ</i> Tensile Tester for Scanning Three-Dimensional X-ray Diffraction Microscopy
			2018A7012	BL33XU	木村 英彦	
			2019B7002	BL33XU	林 雄二郎	
			2019A7002	BL33XU	林 雄二郎	
			2018B7002	BL33XU	林 雄二郎	
2018A7002	BL33XU	林 雄二郎				

Journal of Asian Ceramic Societies

45137	Hajime Yamamoto	9 (2021) 1147-1153	2020A1773	BL19B2	東 正樹	Crystal Structures and Electronic States of High-Pressure-Synthesized (1-x)PbVO ₃ -xBiCrO ₃ Solid Solutions
-------	-----------------	-----------------------	-----------	--------	------	---

The Journal of Biological Chemistry

45217	Hiroko Ikushiro	299 (2023) 104684	2016B2554	BL38B1	宮原 郁子	Structural Insights into the Substrate Recognition of Serine Palmitoyltransferase from <i>Sphingobacterium multivorum</i>
			2018A2697	BL26B2	赤井 翔太	

Journal of Catalysis

45124	Akihiro Nakayama	410 (2022) 194-205	2019A1800	BL14B2	村山 美乃	Enhancement Effect of Strong Metal-support Interaction (SMSI) on the Catalytic Activity of Substituted-hydroxyapatite Supported Au Clusters
			2019B1840	BL14B2	石田 玉青	
			2020A1638	BL14B2	村山 美乃	
			2021A1543	BL14B2	石田 玉青	

Journal of Electronic Materials

45293	Masato Chino	52 (2023) 5128-5133	2021B1203	BL35XU	志村 洋介	Inelastic X-ray Scattering Measurement on Single-Crystalline GeSn Thin Film
-------	--------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Experimental Biology

45164	Hitoshi Aonuma	226 (2023) jeb245396	2018A1240	BL20B2	青沼 仁志	Embodied Latch Mechanism of the Mandible to Power at Ultra-high Speed in the Trap-jaw Ant <i>Odontomachus kuroiwae</i>
			2018A1244	BL40XU	青沼 仁志	

Journal of Integrative Plant Biology

45088	Jie Wang	63 (2021) 1367-1381	2019A2559	BL41XU	沈 建仁	Structure of Plant Photosystem I-light Harvesting Complex I Supercomplex at 2.4Å Resolution
			2020A2550	BL41XU	沈 建仁	
			2021A2741	BL41XU	沈 建仁	

Journal of Manufacturing Processes

45152	Muneyoshi Iyota	94 (2023) 424-434	2019B3689	BL14B1	伊與田 宗慶	A Study on Convection in Molten Zone of Aluminum Alloy during Fe/Al Resistance Spot Welding
			2020A3689	BL14B1	伊與田 宗慶	

Journal of Materials Chemistry C

45142	Ikumi Aratani	11 (2023) 2082-2088	2022A1244	BL25SU	堀井 洋司	Construction of a Two-dimensional Metal-organic Framework with Perpendicular Magnetic Anisotropy Composed of Single-molecule Magnets
-------	---------------	------------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Medical Imaging

45119	Florian Schaff	9 (2022) 031506	2018A0150	BL20B2	Hooper Stuart	Spectral Propagation-based X-ray Phase-contrast Computed Tomography
-------	----------------	--------------------	-----------	--------	---------------	---

Journal of Medicinal Chemistry

45097	Shuangshuang Jiang	63 (2020) 4117-4132	2019A2581	BL45XU	大戸 梅治	Rationally Designed Small-Molecule Inhibitors Targeting an Unconventional Pocket on the TLR8 Protein-Protein Interface
-------	--------------------	------------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Membrane Science

45515	Long-Bin Hou	680 (2023) 121730	2020A1360	BL01B1	吉田 真明	Reactive Seeding Growth of Cobalt-doped MIL-88B(Fe) on Al ₂ O ₃ Membrane for Phenol Removal in a Photocatalytic Membrane Reactor
-------	--------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Molecular and Cellular Cardiology Plus

45275	Vasco Sequeira Oliveira	4 (2023) 100036	2019B1382	BL20B2	Pearson James	Mechano-energetic Uncoupling in Hypertrophic Cardiomyopathy: Pathophysiological Mechanisms and Therapeutic Opportunities
			2022A1310	BL20B2	Pearson James	

Journal of Molecular Liquids

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
45182	Masayuki Shibata	366 (2022) 120255	2021B1408	BL04B2	藤井 健太	Structural Aspect on "Salting-in" Mechanism of PEG Chains into a Phosphonium-based Ionic Liquid using Lithium Salt
			2022A1174	BL04B2	直井 勝彦	

Journal of Morphology

45325	Azuma Kawata	283 (2022) 1106-1119	2018B1688	BL47XU	小川 直記	Morphology and Phylogenetic Significance of the Thoracic Muscles in Psocodea (Insecta: Paraneoptera)
-------	--------------	-------------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Nuclear Science and Technology

45095	Takuhi Hara	(2023) Online published 24 Apr. 2023	2019A3740	BL22XU	中瀬 正彦	Cesium Immobilization from Aqueous Solution by Struvite Synthesis
			2019B3737	BL22XU	中瀬 正彦	

Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics

45168	Tatsuo Gejo	56 (2023) 065002	2018B1816	BL02B1	下條 竜夫	Investigation of Multi-ionization Processes of Kr and Xe Using Short-pulse X-rays and Time-of-flight Apparatus
			2017B1976	BL02B1	大沢 仁志	

Journal of Physics: Condensed Matter

45102	Masanori Inui	35 (2023) 234002	2021A1170	BL35XU	乾 雅祝	Collective Excitations in a Melt of Fast Phase Change Material GeCu ₂ Te ₃
-------	---------------	---------------------	-----------	--------	------	--

Journal of Power Sources Advances

45477	Takahisa Suzuki	22 (2023) 100119	2021B7032	BL33XU	山口 聡	Measurement of Liquid Water Distribution in GDL under Cross-flow-inducing Parallel Flow Field using Operando Synchrotron X-ray Radiography
-------	-----------------	---------------------	-----------	--------	------	--

Journal of the Ceramic Society of Japan

45260	Masayuki Fukuda	131 (2023) 126-129	2022B1919	BL02B2	山浦 一成	Experimental Studies on Crystal Structures and Phase Transitions in Perovskite-type RbNbO ₃
-------	-----------------	-----------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan

45128	Hitomi Shiga	30 (2023) 40-46	2018A1513	BL02B2	武井 貴弘	Effect of Gas Atmosphere on Synthesis of Hydroxyapatite/Octacalcium Phosphate Plate-Like Particle with Many Exposed c-plane
-------	--------------	--------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Vacuum Science & Technology B

45569	Kento Takenaka	41 (2023) 044204	2021A3231	BL24XU	住田 弘祐	Deviation of Photoelectron Intensity from Beer-Lambert Law in Near-ambient Pressure Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy
			2021B3231	BL24XU	住田 弘祐	

Journal of Virology

45483	Hanako Ishimaru	97 (2023) e00286-23	2022B1028	EM01CT	山本 雅貴	Identification and Analysis of Monoclonal Antibodies with Neutralizing Activity against Diverse SARS-CoV-2 Variants
-------	-----------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Langmuir

45447	Satoshi Matsubara	39 (2023) 7759-7765	2020A1484	BL37XU	今井 洋輔	Effect of Surface Freezing of a Cationic Surfactant and <i>n</i> -Alkane Mixed Adsorbed Film on Counterion Distribution and Surface Dilational Viscoelasticity Studied by Total Reflection XAFS and Surface Quasi-Elastic Light Scattering
-------	-------------------	------------------------	-----------	--------	-------	--

Macromolecular Chemistry and Physics

45307	Liang Tong	224 (2023) 2200402	2019A1173	BL40B2	平井 智康	Creation of Thermal Response Ordered Mesostructure Polymer Particles Using Diblock Copolymers via 3D Confined Self-Assembly
-------	------------	-----------------------	-----------	--------	-------	---

Materials Advances

45481	Xin Chen	2 (2021) 5639-5644	2019A1161	BL40XU	久木 一朗	A Proton Conductive Hydrogen-bonded Framework Incorporating 18-crown-6-ether and Dicarboxy- <i>o</i> -terphenyl Moieties
			2019B1134	BL40XU	久木 一朗	
			2020A1117	BL02B1	久木 一朗	

Materials Chemistry and Physics

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
45460	Tsubasa Mikie	287 (2022) 126225	2019A1765	BL46XU	尾坂 格	Ester-functionalized Quinoxaline-based Polymers for Application in Organic Photovoltaics

Metallurgical and Materials Transactions A

45474	Ning Hou	54 (2023) 909-927	2020A1491	BL20XU	Gourlay Christopher	Ag ₃ Sn Morphology Transitions during Eutectic Growth in Sn-Ag Alloys
			2015B1611	BL20XU	Gourlay Christopher	
			2015A1675	BL20XU	野北 和宏	

Microporous and Mesoporous Materials

45496	Shinya Hosokawa	359 (2023) 112662	2021B1633	BL13XU	細川 伸也	Atomic and Electronic Structures of an Ag-containing 4A Zeolite
-------	-----------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Molecular Sciences

45228	Endah Dwi Hartuti	22 (2021) 7236	2020A6518	BL44XU	志波 智生	Identification of 3,4-Dihydro-2 <i>H</i> ,6 <i>H</i> -pyrimido[1,2- <i>c</i>][1,3]benzothiazin-6-imine Derivatives as Novel Selective Inhibitors of <i>Plasmodium falciparum</i> Dihydroorotate Dehydrogenase
			2021A6616	BL44XU	志波 智生	
			2021B6616	BL44XU	志波 智生	

Nano Letters

45521	Limin Yan	23 (2023) 2121-2128	2019A1410	BL10XU	Yang Wenge	Modulating Charge-Density Wave Order and Superconductivity from Two Alternative Stacked Monolayers in a Bulk 4 <i>Hb</i> -TaSe ₂ Heterostructure via Pressure
-------	-----------	------------------------	-----------	--------	------------	--

Nanomaterials

45177	Yusaku Magari	12 (2022) 2958	2021B1455	BL01B1	曲 勇作	Influence of Grain Boundary Scattering on the Field-Effect Mobility of Solid-Phase Crystallized Hydrogenated Polycrystalline In ₂ O ₃ (In ₂ O ₃ :H)
-------	---------------	-------------------	-----------	--------	------	---

Nature

45437	Asmit Bhowmick	617 (2023) 629-636	2019A8081	BL2	Yano Junko	Structural Evidence for Intermediates during O ₂ Formation in Photosystem II
			2019B8067	BL2	Yano Junko	
			2018B8089	BL2	Yano Junko	

Nature Chemical Biology

45506	Toshihiko Katoh	19 (2023) 778-789	2019B2556	BL45XU	伏信 進矢	A Bacterial Sulfoglycosidase Highlights Mucin O-glycan Breakdown in the Gut Ecosystem
			2018B2528	BL26B2	伏信 進矢	
			2020A2553	BL26B2	伏信 進矢	

Nature Plants

45090	Yanan Xiao	7 (2021) 1132-1142	2019A2559	BL41XU	沈 建仁	Structural Insights into Cyanobacterial Photosystem II Intermediates Associated with Psb28 and Tsl0063
			2020A2550	BL41XU	沈 建仁	
			2021A2741	BL41XU	沈 建仁	

Optica

45286	Margaret Doyle	10 (2023) 513-519	2017B8066	BL3	Bergmann Uwe	Seeded Stimulated X-ray Emission at 5.9 keV
-------	----------------	----------------------	-----------	-----	--------------	---

Optics Letters

45526	Celebrity Groenendijk	45 (2020) 4076-4079	2018B1315	BL20XU	Donnelley Martin	Material Decomposition from a Single X-ray Projection via Single-grid Phase Contrast Imaging
			2019A1151	BL20XU	Donnelley Martin	

Organometallics

45494	Takako Muraoka	42 (2023) 982-994	2022A1157	BL43IR	村岡 貴子	Ten-membered Cyclodecatetraene Derivatives Including Two Gallium Atoms: Experimental and Theoretical Studies on Synthesis, Structures, and Their Transformations to Nine- and Five-Membered Gallacycles
-------	----------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Peptide Science 2022

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
45180	Atsushi Baba	(2023) 145-146	2021A1561	BL43IR	菅原 達郎	Effects of Type I and Type II Keratin Synergically Increasing the Secondary Structure
			2016B1554	BL43IR	吉田 大介	
			2017A1554	BL43IR	有路 千奈美	
			2019B1733	BL43IR	菊地 哲宏	
			2021B1758	BL43IR	馬場 淳史	
2022A1647	BL43IR	馬場 淳史				

Physica B

45409	Yasuhiro Yoneda	663 (2023) 414960	2019B3701	BL22XU	米田 安宏	Local Structure Analysis of DyN-ZrN Solid Solutions
			2020A3701	BL22XU	米田 安宏	
			2021A3701	BL22XU	米田 安宏	

Physical Review Letters

45435	Liang Ma	128 (2022) 167001	2021B1086	BL10XU	Ma Yanming	High-Temperature Superconducting Phase in Clathrate Calcium Hydride CaH ₆ up to 215 K at a Pressure of 172 GPa
-------	----------	----------------------	-----------	--------	------------	---

The Plant Cell

45085	Gábor Sipka	33 (2021) 1286-1302	2019A2559	BL41XU	沈 建仁	Light-adapted Charge-separated State of Photosystem II: Structural and Functional Dynamics of the Closed Reaction Center
			2020A2550	BL41XU	沈 建仁	
			2019A8032	BL2	沈 建仁	
			2019B8028	BL2	沈 建仁	

PLoS One

45554	Ryuta Mizutani	18 (2023) e0287646	2011A0034	BL47XU	水谷 隆太	Structural Aging of Human Neurons is Opposite of the Changes in Schizophrenia
			2014A1057	BL37XU	水谷 隆太	
			2015A1160	BL20XU	水谷 隆太	
			2019B1087	BL37XU	水谷 隆太	
			2020A0614	BL20XU	水谷 隆太	
			2020A1163	BL20XU	水谷 隆太	
			2021A1175	BL37XU	水谷 隆太	
2022A1131	BL20XU	水谷 隆太				

Polymer Chemistry

45185	Naoki Ozawa	14 (2023) 2198-2204	2021A1065	BL40B2	西村 智貴	Bilayer-Domain Formation of Thermoresponsive Amphiphilic Block Copolymers in Hybrid Liposomes for Synthetic Molecular Channels
			2021B1089	BL40B2	西村 智貴	
			2022A1095	BL40B2	西村 智貴	
			2022B1109	BL40B2	西村 智貴	

Polymer Testing

45252	Masami Matsubara	117 (2023) 107810	2020A0718	BL20XU	松原 真己	Dynamic Observation of a Damping Material using Micro X-ray Computed Tomography Coupled with a Phase-locked Loop
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Proceedings of the 32nd International Symposium on Transport Phenomena

45235	Tadafumi Daitoku	(2022) 46	2020A1387	BL20B2	大徳 忠史	Measurement of Transient Structural Changes during Pyrolysis of Wooden Biomass under High Heat Flux using Ultra-high-speed X-ray CT
			2019B1473	BL20B2	大徳 忠史	

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

45086	Guoqiang Huang	118 (2021) e2018053118	2019A2559	BL41XU	沈 建仁	Structural Insights into a Dimeric Psb27-photosystem II Complex from a Cyanobacterium <i>Thermosynechococcus vulcanus</i>
			2020A2550	BL41XU	沈 建仁	

Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics

45272	Yusuke Nakamichi	(2023) Online published 5 May 2023	2018A6863	BL44XU	渡邊 真宏	Crystal Structure of Reducing-end Xylose-releasing Exoxylanase in Subfamily 7 of Glycoside Hydrolase Family 30
			2018B6863	BL44XU	渡邊 真宏	
			2019A6930	BL44XU	中道 優介	
			2019B6930	BL44XU	中道 優介	
			2020A6529	BL44XU	中道 優介	
			2021A6626	BL44XU	中道 優介	
2021B6626	BL44XU	中道 優介				

Quantum Beam Science

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
45329	Yasuhiro Yamazaki	7 (2023) 14	2021B1716	BL02B1	山崎 泰広	Relationship between Internal Stress Distribution and Microstructure in a Suspension-sprayed Thermal Barrier Coating with a Columnar Structure
			2022B0554	BL19B2	山崎 泰広	
			2020A1605	BL02B1	山崎 泰広	

Radiation Physics and Chemistry

45500	Kiyofumi Nitta	211 (2023) 111028	2016A1396	BL39XU	新田 清文	Present Status of Micro-spectroscopy at BL37XU
			2016A1865	BL39XU	新田 清文	
			2017A1867	BL37XU	新田 清文	
			2017B1971	BL37XU	新田 清文	
			2018B1063	BL37XU	新田 清文	
			2018B2094	BL37XU	新田 清文	
			2019A1280	BL37XU	新田 清文	
			2019A2004	BL37XU	新田 清文	
			2019B2082	BL37XU	新田 清文	
2020A2134	BL37XU	新田 清文				

Review of Scientific Instruments

45224	Takenori Shimamura	94 (2023) 043102	2020A1694	BL25SU	島村 勇徳	Fabrication of Ultrashort Sub-meter-radius X-ray Mirrors using Dynamic Stencil Deposition with Figure Correction
			2019B1628	BL25SU	三村 秀和	

Royal Society Open Science

45326	Zixin Cheng	10 (2023) 220471	2018B1725	BL20B2	小川 直記	Acquisition of Novel Muscles Enabled Protruding and Retracting Mechanisms of Female Penis in Sex-role Reversed Cave Insects
			2017B1712	BL47XU	小川 直記	
			2016A1269	BL47XU	Blanke Alexander	

RSC Advances

45542	Erika Nakamura	13 (2023) 17742-17749	2021B1161	BL40B2	櫻木 美菜	Effect of Water Content on Stratum Corneum Penetration Mechanism of W/O Type Microemulsions
			2022A1123	BL40B2	櫻木 美菜	

Science and Technology of Advanced Materials: Methods

45319	Osami Sakata	3 (2023) 2199130	2016B1027	BL28B2	坂田 修身	Visualizing Local Bending of Lattice Planes by Extending Two-azimuth Synchrotron X-ray Diffraction Datasets to Asymmetric Reflection
			2016B1028	BL20B2	坂田 修身	
			2016B1029	BL01B1	坂田 修身	
			2016B1030	BL27SU	坂田 修身	
			2016B1031	BL20B2	坂田 修身	
			2017A1030	BL13XU	坂田 修身	
			2017A1033	BL15XU	坂田 修身	
			2017A4504	BL15XU	Lou Yanfang	
			2017B1029	BL20B2	坂田 修身	
			2017B1030	BL28B2	坂田 修身	
			2017B4505	BL15XU	Kim Jaemyung	
			2018B1010	BL20B2	坂田 修身	
			2018B4505	BL15XU	坂田 修身	
			2019A1001	BL20B2	坂田 修身	
			2019A1012	BL28B2	坂田 修身	
			2019A1351	BL35XU	坂田 修身	
			2019A4504	BL15XU	坂田 修身	
			2019B1007	BL20B2	坂田 修身	
			2019B4501	BL15XU	坂田 修身	
2020A1002	BL20B2	坂田 修身				

Scripta Materialia

45080	Ryoji Katsube	231 (2023) 115459	2019A1393	BL20B2	安田 秀幸	Solidification Sequence of CrMnFeCoCu Dual-FCC Multicomponent Alloy
			2020A1567	BL20XU	安田 秀幸	
			2021A1502	BL20B2	安田 秀幸	
			2022A1552	BL20B2	勝部 涼司	

Soft Matter

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
45546	Hideaki Takagi	19 (2023) 4562-4570	2021A1314	BL40B2	高木 秀彰	The Structural Changes of a Bovine Casein Micelle during Temperature Change; <i>in situ</i> Observation over a Wide Spatial Scale from Nano to Micrometer
			2021B1447	BL40B2	高木 秀彰	
			2022A1230	BL40B2	高木 秀彰	
			2021B3075	BL24XU	高木 秀彰	
			2022B3075	BL24XU	高木 秀彰	

Solid State 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
45475	Te-Cheng Su	327 (2022) 127-132	2017B1523	BL20B2	Gourlay Christopher	Understanding the Rheological Transitions in Semi-Solid Alloys by a Combined <i>In Situ</i> Imaging and Granular Micromechanics Modeling Approach

Structural 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
45229	Takeshi Murakawa	78 (2022) 1428-1438	2020A8013	BL2	村川 武志	Serial Femtosecond X-ray Crystallography of an Anaerobically Formed Catalytic Intermediate of Copper Amine Oxidase
			2021B8029	BL2	村川 武志	
			2022A8020	BL2	村川 武志	
			2020A2563	BL26B1	村川 武志	
			2021A2758	BL26B1	村川 武志	

Surfaces and Interfaces

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
45566	Kenichi Nagase	40 (2023) 103058	2022B1248	BL43IR	長瀬 健一	Hydration and Dehydration Behaviors of Poly(<i>N</i> -isopropylacrylamide)-grafted Silica Beads

材料 (Journal of the Society of Materials Science, 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
45280	Kenji Suzuki	72 (2023) 316-323	2021A3684	BL14B1	鈴木 賢治	Actual Stress Analysis of Small-Bore Butt-Welded Pipe by Complementary Use of Synchrotron X-Rays and Neutrons
			2022A3684	BL14B1	鈴木 賢治	

色材 (Journal of the Japan Society of Colour Material)

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
45449	Norio Saito	96 (2023) 141-146	2022A1758	BL46XU	齋藤 典生	Synthesis and Optical Properties of Water-Durable Lead Halide Perovskite Nanocrystals
			2021B1852	BL46XU	齋藤 典生	

実験力学 (Journal of the Japanese Society for Experimental Society)

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
45234	Tadafumi Daitoku	22 (2023) 265-270	2020A1387	BL20B2	大徳 忠史	Real-time Measurement of Internal Structural Changes of Woody Biomass Pyrolyzed under High Heat Flux using Ultra-high-speed X-ray CT
			2019B1473	BL20B2	大徳 忠史	

ゼオライト (Zeolite News 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
45213	Rie Makiura	39 (2022) 96-111	2021A1658	BL46XU	大畑 考司	気氷界面を利用した多孔性フレームワーク結晶 MOF/HOF ナノシートの合成・解析・応用
			2016B1862	BL19B2	牧浦 理恵	
			2017A1569	BL19B2	牧浦 理恵	
			2017B1899	BL19B2	牧浦 理恵	
			2018A1559	BL19B2	牧浦 理恵	
			2018B1802	BL19B2	渡辺 剛	
			2018B1840	BL19B2	牧浦 理恵	

帝塚山大学現代生活学部紀要 (Journal of Contemporary Human Life Science, Tezukayama University)

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
45184	Taichiro Fujimura	(2023) 13-19	2017B1750	BL19B2	藤村 太一郎	Phase Structure Analysis of Emulsified Flavor by Small-angle X-ray Scattering using Synchrotron Radiation

電子情報通信学会論文誌C (IEICE Transactions on Electronics (Japanese Edition))

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
45081	Ryosuke Matsubara	J106-C (2023) 147-153	2018A1777	BL46XU	松原 亮介	In-situ Analysis of Organic Semiconductor Thin Film Growth by Quartz Crystal Microbalance and Grazing Incidence X-Ray Diffraction
			2019B1846	BL19B2	松原 亮介	

東京工科大学工学部・工学研究科紀要 (Tokyo Koka Daigaku Kogakubu, Kogaku Kenkyuka Kiyo)

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
45268	Kenji Hara	(2022) 122-125	2014B1661	BL14B2	原 賢二	XAFS Structural Analysis of Iron Complex Immobilized on Periodic Mesoporous Organosilica
			2015A1728	BL14B2	原 賢二	
			2016A1552	BL14B2	原 賢二	
			2016A1774	BL14B2	原 賢二	
			2016B1582	BL14B2	原 賢二	

銅と銅合金 (Journal of Japan Institute of Copper)

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
45318	Satoshi Yamazaki	60 (2021) 315-319	2014A1814	BL19B2	山崎 悟志	Nano-Scale Precipitates in Corson Alloy during Aging Process Characterized by In-Situ Small-Angle X-ray Scattering
			2014B1942	BL19B2	山崎 悟志	
			2015B1789	BL19B2	山崎 悟志	

表面科学 (Journal of the Surface Science 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
45238	Sumera Shimizu	38 (2017) 559-564	2017A1769	BL46XU	清水 皇	Native Passive Films Formed on 18Cr Stainless Steel Surfaces —A Factor of Corrosion Resistance and <i>In-Situ</i> Structural Change—

放射光 (Journal of the Japanese Society for Synchrotron Radiation 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
45304	Yuya Shinohara	35 (2022) 53-62	2018B8041	BL3	篠原 佑也	Real-space Analyses of Local Dynamics in Liquid using X-ray Scattering
			2019A8043	BL3	篠原 佑也	
			2019B8011	BL3	篠原 佑也	

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
45077	Keisuke Ozawa	(2023)	2021A1583	BL37XU	小澤 佳祐	Compression Behaviors of Elements in Basaltic Glass Revealed by High-Pressure XAFS Measurements
			2021B1827	BL39XU	小澤 佳祐	
45094	Hikaru Uchida	(2023)	2022B1211	BL43IR	原野 幸治	Interfacial Synthesis and Application of Self-Assembled Flexible Fullerene Nanofilm with Large-Area Uniformity
			2022A1190	BL43IR	原野 幸治	

博士論文 (Stanford University)

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
45545	Matthew Ware	(2019)	2017A8023	BL3	Glownia James	From Time-resolved to Frequency-resolved X-ray Scattering
			2018A8073	BL3	Glownia James	

博士論文 (Universität Siegen)

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
45282	Lisa Randolph	(2020)	2019B8076	BL2	中堤 基彰	Surface Dynamics of Solids upon High-intensity Laser Irradiation Investigated by Grazing Incidence X-ray Scattering
			2018B8049	BL2	中堤 基彰	

博士論文 (Université Grenoble Alpes)

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
45301	Kyprianos Hadjdemetriou	(2022)	2018A8026	BL2	Weik Martin	Time-resolved Serial Femtosecond Crystallography at X-ray Free Electron Lasers to Study Light-sensitive Proteins on the Ultra-fast Time Scale
			2015A8031	BL3	Weik Martin	

博士論文 (University of Essex)

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
45310	Marina Rozman	(2021)	2019A8004	BL2	Hough Michael	Mechanistic Studies on Compound I and II Formation in the Dye-decolourising Peroxidases from <i>Streptomyces lividans</i>
			2021A8031	BL2	Hough Michael	

博士論文 (University of Gothenburg)

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
45308	Amke Nimmrich	(2022)	2019A8063	BL3	Westenhoff Sebastian	Escape from the Cage: Ultrafast Structural Dynamics of Photodissociation Reactions Observed with X-ray Solution Scattering
			2021A8002	BL3	Westenhoff Sebastian	

博士論文 (University of Manchester)

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
45313	Michael Grimes	(2022)	2021A8026	BL3	Scagnoli Valerio	Probing the Ultrafast Dynamics of the Magnetic Phase Transition in FeRh Nanostructures

博士論文 (大阪大学)

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
45316	Takato Inoue	(2022)	2016A8010	BL3	山内 和人	精密 X 線波面制御に基づく X 線自由電子レーザー集光光学系の開発
			2016B8017	BL3	山内 和人	
			2017A8033	BL3	山内 和人	
			2018A8060	BL3	山内 和人	
			2018B8027	BL3	山内 和人	
			2020A8131	BL3	山内 和人	
			2021A8049	BL3	山内 和人	
2021A8057	BL3	井上 伊知郎				

博士論文 (大阪府立大学)

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
45277	Hiroataka Ashitani	(2023)	2019A0068	BL02B2	森吉 千佳子	Studies on Static and Dynamic Structures of Porous Coordination Polymers during CO ₂ Adsorption Process
			2021B1619	BL02B2	久保田 佳基	
			2022A1468	BL02B2	久保田 佳基	
			2022A1721	BL02B2	芦谷 拓嵩	

博士論文 (東京藝術大学)

45169	Kihiro Zui	(2023)	2015B1818	BL27SU	桐野 文良	Relationship between Graze and Base Sand for Pottery- for Studying Sample of Karatsu-yaki
			2016A1701	BL01B1	桐野 文良	
			2016B1802	BL05XU	桐野 文良	
			2016B1801	BL27SU	桐野 文良	
			2017B3253	BL24XU	横山 和司	
			2017A1729	BL27SU	桐野 文良	
			2017B1759	BL27SU	桐野 文良	
			2018A1711	BL27SU	桐野 文良	

博士論文 (明治大学)

45488	Tappei Nishihara	(2023)	2021A1616	BL46XU	西原 達平	Study on Development of Novel Transparent Conductive Oxide Film for High Conversion Efficiency in Tandem Solar Cell with Crystalline Silicon Bottom Cell
			2021A1662	BL46XU	原 知彦	
			2019B1902	BL46XU	神岡 武文	
			2022A1785	BL46XU	西原 達平	
			2022A1651	BL46XU	安野 聡	
			2022A1774	BL46XU	安野 聡	
			2022B1627	BL46XU	安野 聡	
			2022B1878	BL46XU	安野 聡	
			2020A1848	BL46XU	西原 達平	

課題以外の成果として登録された論文

Acta Crystallographica Section F

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
45163	Kaoru Nishimura	71 (2015) 919-924		BL38B1	The Crystal and Solution Structure of YdiE from <i>Escherichia coli</i>
45215	Vladimir Timofeev	71 (2015) 951-957		BL41XU	Structure of Recombinant Prolidase from <i>Thermococcus sibiricus</i> in Space Group <i>P</i> 2 ₁ 2 ₁ 2 ₁
45216	Tatiana E. Petrova	71 (2015) 277-285		BL41XU	Structure of the Dodecamer of the Aminopeptidase APDkam598 from the Archaeon <i>Desulfurococcus kamchatkensis</i>
45262	Valery Akparov	71 (2015) 1335-1340		BL41XU	Structure of the Complex of Carboxypeptidase B and <i>N</i> -sulfamoyl-L-arginine
45444	Naomine Yano	71 (2015) 726-730		BL44XU	X-ray Structure of Cyanide-bound Bovine Heart Cytochrome <i>c</i> Oxidase in the Fully Oxidized State at 2.0 Å Resolution

Acta Crystallographica Section D

45131	Munenori Furuse	71 (2015) 2203-2216	理研	BL32XU	Structural Basis for the Slow Photocycle and Late Proton Release in <i>Acetabularia</i> Rhodopsin I from the Marine Plant <i>Acetabularia acetabulum</i>
45337	Xing Shen	71 (2015) 1382-1391		BL44XU	Structural Analysis of the α -glucosidase HaG Provides New Insights into Substrate Specificity and Catalytic Mechanism

Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters

45209	Kentaro Takai	25 (2015) 1705-1708		BL41XU	Three-dimensional Rational Approach to the Discovery of Potent Substituted Cyclopropyl Urea Soluble Epoxide Hydrolase Inhibitors
45295	Jang-Sik Choi	25 (2015) 4441-4446		BL44XU	Highly Potent and Selective Pyrazolopyrimidines as Syk Kinase Inhibitors

The FEBS Journal

45186	Valery Kh. Akparov	282 (2015) 1214-1224		BL41XU	Structural Insights into the Broad Substrate Specificity of Carboxypeptidase T from <i>Thermoactinomyces vulgaris</i>
45438	Yuya Kumagai	282 (2015) 4001-4014		BL44XU	The Loop Structure of <i>Actinomyces</i> Glycoside Hydrolase Family 5 Mannanases Governs Substrate Recognition

Journal of the American Chemical Society

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
45173	Alexander A. Vinogradov	144 (2022) 20332-20341	理研	BL32XU	De Novo Discovery of Thiopeptide Pseudo-natural Products Acting as Potent and Selective TNIK Kinase Inhibitors
45175	Wenyu Liu	143 (2021) 18481-18489	理研	BL32XU	An Ultrapotent and Selective Cyclic Peptide Inhibitor of Human β -Factor XIIa in a Cyclotide Scaffold

Nature Communications

45133	Hideaki E. Kato	6 (2015) 7177	理研	BL32XU	Atomistic Design of Microbial Opsin-based Blue-shifted Optogenetics Tools
45487	Mari Masuda	7 (2016) 12586	理研	BL26B2	TNIK Inhibition Abrogates Colorectal Cancer Stemness
			理研	BL32XU	

Angewandte Chemie International Edition

45283	Arnout R. D. Voet	54 (2015) 9857-9860		BL41XU	Biominalization of a Cadmium Chloride Nanocrystal by a Designed Symmetrical Protein
-------	-------------------	------------------------	--	--------	---

Bioconjugate Chemistry

45129	Akira Fujii	26 (2015) 537-548	理研	BL32XU	Excimer Emission Properties on Pyrene-Labeled Protein Surface: Correlation between Emission Spectra, Ring Stacking Modes, and Flexibilities of Pyrene Probes
-------	-------------	----------------------	----	--------	--

Biophysics and Physicobiology

45167	Eiji Kanamori	12 (2015) 47-56		BL41XU	Structural Comparison between the Open and Closed Forms of Citrate Synthase from <i>Thermus thermophilus</i> HB8
			理研	BL44B2	

BMC Structural Biology

45144	Sarin Chimmaronk	15 (2015) 17	理研	BL32XU	The Crystal Structure of JNK from <i>Drosophila melanogaster</i> Reveals an Evolutionarily Conserved Topology with that of Mammalian JNK Proteins
-------	------------------	-----------------	----	--------	---

Catalysis Science & Technology

45478	Osami Shoji	6 (2016) 5806-5811	理研	BL26B1	A Substrate-binding-state Mimic of H ₂ O ₂ -dependent Cytochrome P450 Produced by One-point Mutagenesis and Peroxygenation of Non-native Substrates
-------	-------------	-----------------------	----	--------	---

Cell Chemical Biology

45559	Yukiko Matsunaga	23 (2016) 1341-1350	理研	BL32XU	Allosteric Inhibition of a Semaphorin 4D Receptor Plexin B1 by a High-Affinity Macrocyclic Peptide
-------	------------------	------------------------	----	--------	--

Cell Research

45261	Xin Gong	25 (2015) 401-411		BL41XU	Structure of the WD40 Domain of SCAP from Fission Yeast Reveals the Molecular Basis for SREBP Recognition
-------	----------	----------------------	--	--------	---

Chemical Communications

45115	Ryoto Yura	59 (2023) 5531-5534	理研	BL44B2	Crown Ether Salt-doped Ladder-type Conducting Polymers for Air-stable n-type Thermoelectric Materials
-------	------------	------------------------	----	--------	---

Chemical Science

45311	Eun Hyuk Choi	13 (2022) 8457-8490	装置&技術		Reaction Dynamics Studied via Femtosecond X-ray Liquidography at X-ray Free-electron Lasers
-------	---------------	------------------------	-------	--	---

Coordination Chemistry Reviews

45298	Kizashi Yamaguchi	471 (2022) 214742		BL2	Geometric, Electronic and Spin Structures of the CaMn ₄ O ₅ Catalyst for Water Oxidation in Oxygen-evolving Photosystem II. Interplay between Experiments and Theoretical Computations
-------	-------------------	----------------------	--	-----	--

Current Opinion in Structural Biology

45315	Tek Narsingh Malla	74 (2022) 102376	装置&技術		Transient State Measurements on Proteins by Time-resolved Crystallography
-------	--------------------	---------------------	-------	--	---

Extremophiles

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
45479	Makoto Nakabayashi	20 (2016) 275-282	理研	BL26B1	Crystal Structure of a Hypothetical Protein, TTHA0829 from <i>Thermus thermophilus</i> HB8, Composed of Cystathionine- β -synthase (CBS) and Aspartate-kinase Chorismate-mutase tyrA (ACT) Domains

The FASEB Journal

45524	Asami Makino	31 (2016) 1301-1322	理研	BL26B2	A Novel Sphingomyelin/Cholesterol Domain-specific Probe Reveals the Dynamics of the Membrane Domains during Virus Release and in Niemann-Pick Type C
-------	--------------	------------------------	----	--------	--

FEBS Letters

45145	Momoko Kobayashi	589 (2015) 484-489		BL38B1	Structural Insights into the Catalytic Reaction that is Involved in the Reorientation of Trp238 at the Substrate-binding Site in GH13 Dextran Glucosidase
-------	------------------	-----------------------	--	--------	---

Genes to Cells

45156	Shin-ichi Terawaki	20 (2015) 847-859		BL38B1	MT1-MMP Recognition by ERM Proteins and its Implication in CD44 Shedding
-------	--------------------	----------------------	--	--------	--

Journal of Applied Physics

45433	Tamotsu Magome	133 (2023) 165107	加速器		Precise Measurement of the Work Function of a Hot CeB ₆ Thermionic Cathode through Photoelectron Yield Spectroscopy using a Tunable Pulsed Laser
-------	----------------	----------------------	-----	--	---

The Journal of Biological Chemistry

45448	Yuji Kado	291 (2016) 2319-2330		BL44XU	Epiregulin Recognition Mechanisms by Anti-epiregulin Antibody 9E5 <i>Structural, Functional, and Molecular Dynamics Simulation Analyses</i>
-------	-----------	-------------------------	--	--------	---

Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry

45208	Yukihisa S. Watanabe	30 (2015) 981-988		BL41XU	Anagliptin, a Potent Dipeptidyl Peptidase IV Inhibitor: its Single-crystal Structure and Enzyme Interactions
-------	----------------------	----------------------	--	--------	--

Journal of Inorganic Biochemistry

45111	Masahiro Kanadani	151 (2015) 26-33	理研	BL26B1	The Crystal Structure of Heme Acquisition System A from <i>Yersinia pseudotuberculosis</i> (HasA _{Ypt}): Roles of the Axial Ligand Tyr75 and Two Distal Arginines in Heme Binding
-------	-------------------	---------------------	----	--------	---

Journal of Medicinal Chemistry

45157	Yusuke Watarai	58 (2015) 9510-9521		BL38B1	Synthesis, Biological Activities, and X-ray Crystal Structural Analysis of 25-Hydroxy-25(or 26)-adamantyl-17-[20(22),23-diynyl]-21-norvitamin D Compounds
-------	----------------	------------------------	--	--------	---

Journal of Natural Products

45445	Shi-Wei Chao	78 (2015) 1969-1976		BL44XU	Total Synthesis of Hispidulin and the Structural Basis for Its Inhibition of Proto-oncogene Kinase Pim-1
-------	--------------	------------------------	--	--------	--

Nature Catalysis

45174	Yuchen Zhang	5 (2022) 682-693	理研	BL32XU	LimF is a Versatile Prenyltransferase for Histidine-C-geranylation on Diverse Non-natural Substrates
-------	--------------	---------------------	----	--------	--

Nature Chemistry

45176	Takayuki Katoh	12 (2020) 1081-1088	理研	BL32XU	Ribosomal Synthesis and de novo Discovery of Bioactive Foldamer Peptides Containing Cyclic β -amino Acids
-------	----------------	------------------------	----	--------	---

Nature Structural and Molecular Biology

45556	Kazuki Kato	23 (2016) 395-401		BL41XU	Structural Basis for Specific Inhibition of Autotaxin by a DNA Aptamer
			理研	BL32XU	

Photonics

45303	Tetsuya Ishikawa	9 (2022) 357	一般	over all	Early Days of SACLA XFEL
-------	------------------	-----------------	----	----------	--------------------------

PLoS Pathogens

研究成果番号	主著者	雑誌情報		ビームライン	タイトル
45191	Wu Liu	11 (2015) e1005025		BL41XU	A Unique Human Norovirus Lineage with a Distinct HBGA Binding Interface

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

45279	Shangyu Dang	112 (2015) 3344-3349		BL41XU	Cleavage of Amyloid Precursor Protein by an Archaeal Presenilin Homologue PSH
-------	--------------	-------------------------	--	--------	---

The Protein Journal

45112	Fumiaki Tomoike	34 (2015) 411-420	理研	BL26B2	Structural and Biochemical Studies on the Reaction Mechanism of Uridine-Cytidine Kinase
-------	-----------------	----------------------	----	--------	---

Scientific Reports

45113	Kazumasa Ohtake	5 (2015) 9762	理研	BL26B2	Protein Stabilization Utilizing a Redefined Codon
-------	-----------------	------------------	----	--------	---

Structure

45190	Seisuke Yamashita	23 (2015) 830-842		BL41XU	Measurement of Acceptor-TΨC Helix Length of tRNA for Terminal A76-Addition by A-Adding Enzyme
-------	-------------------	----------------------	--	--------	---

加速器 (Journal of the Particle Accelerator Society of Japan)

45309	Takao Asaka	19 (2022) 5-17	加速器		Development of Radio-Frequency Electron Gun Using a Gridded Thermionic Cathode with High Reliability and High Maintainability
-------	-------------	-------------------	-----	--	---

薬学雑誌 (Journal of the Pharmaceutical Society of Japan)

45305	Takehiko Toshi	142 (2022) 487-494	装置&技術	BL3	Visualization of Enzymatic Reaction by Time-resolved Structural Analysis with Photosensitive Caged Substrate
-------	----------------	-----------------------	-------	-----	--

レーザー研究 (The Review of Laser Engineering)

45317	Kohei Miyanishi	50 (2022) 668-672	装置&技術		Development of Integrated Systems for Dynamic Laser Compression Experimental Platform at SACLA
-------	-----------------	----------------------	-------	--	--

SPring-8/SACLA 研究成果公表 論文サイテーション数調査 -2023-

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

1. SPring-8/SACLA 利用研究者が発表した論文の総数と被引用数

●集計対象論文：SPring-8/SACLA 成果登録 DB に登録された成果中、サイテーション値の取得が可能な論文について集計した。

調査日：2023/04/04

SPring-8	1989-2023 ² (総累積)			2012-2022 (11 年間累積)			2021 (2 年経過値)		
	累積 論文数	累積 被引用数	平均 被引用数	累積 論文数	累積 被引用数	平均 被引用数	年間 総論文数	累積 被引用数	平均 被引用数
全 SPring-8[net] ¹	16,775	502,430	30	9,722	210,140	21.6	856	4,590	5.4
共用 BL ^{3,4}	11,685	362,577	31	6,738	152,241	22.6	611	3,211	5.3
専用 BL ^{3,4}	4,092	105,791	25.9	2,732	49,264	18	250	1,442	5.8
理研 BL ^{3,4}	2,062	77,392	37.5	1,076	27,786	25.8	74	276	3.7
その他 (技術開発等)	178	2,693	15.1	26	64	2.5	3	1	0.3

SACLA	2006-2023 ² (総累積)			2012-2022 (11 年間累積)			2021 (2 年経過値)		
	累積 論文数	累積 被引用数	平均 被引用数	累積 論文数	累積 被引用数	平均 被引用数	年間 総論文数	累積 被引用数	平均 被引用数
全 SACLA[net] ¹	510	15,053	29.5	457	13,290	29.1	49	227	4.6
BL1, 2, 3	342	11,194	32.7	340	11,194	32.9	42	215	5.1
その他 (技術開発等)	179	5,467	30.5	128	3,704	28.9	8	22	2.8

●集計対象 BL³

共用 BL — 計 26 本

BL01B1 BL02B1 BL02B2 BL04B1 BL04B2 BL08W BL09XU BL10XU BL13XU BL14B2 BL19B2
BL20XU BL20B2 BL25SU BL27SU BL28B2 BL35XU BL37XU BL38B1⁴ BL39XU BL40XU BL40B2
BL41XU BL43IR BL46XU BL47XU

専用 BL — 計 20 本

BL03XU BL07LSU⁴ BL08B2 BL11XU BL12XU BL12B2 BL14B1 BL15XU⁴ BL16XU BL16B2 BL22XU
BL23SU BL24XU BL28XU BL31LEP BL32B2⁴ BL33XU BL33LEP⁴ BL36XU⁴ BL44XU

理研 BL — 計 11 本

BL05XU BL17SU BL19LXU BL26B1 BL26B2 BL29XU BL32XU BL38B2 BL43LXU BL44B2 BL45XU⁴

●備考

*1：成果登録 DB に登録された原著論文/博士論文/査読付きプロシーディングで、Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用い、ドキュメントタイプ Article と Review を集計対象論文とした。

*2：2023 年は、2023 年 1 月 1 日から 2023 年 3 月 31 日までに発行された論文を集計対象とした。それ以外は、各年 1 月 1 日から 12 月 31 日までに発行された論文を集計対象とした。

*3：複数の BL に関連する成果は、それぞれの集計値に重複して集計した。

*4：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、BL32B2、BL33LEP、BL36XU、BL38B1 (以上、現 理研 BL)、BL45XU (現 共用 BL)

2. SPring-8/SACLA 利用の総論文数とそれら被引用状況（トップ10%、トップ1%論文割合）

●集計対象論文：SPring-8/SACLA 成果登録 DB に登録された成果中、サイテーション値の取得が可能な論文について集計した。

調査日：2023/04/04

SPring-8	1989-2023 ² (総累積)			2012-2022 (11年間累積)			2021 (2年経過値)		
	累積論文数	TOP10%論文割合	TOP1%論文割合	累積論文数	累積被引用数	平均被引用数	年間総論文数	累積被引用数	平均被引用数
全 SPring-8[net] ¹	16,775	10.8%	1.5%	9,722	10.4%	1.6%	856	8.4%	0.9%
共用 BL ^{3,4}	11,685	11.4%	1.6%	6,738	11.0%	1.6%	611	8.8%	0.8%
専用 BL ^{3,4}	4,092	8.7%	1.4%	2,732	7.9%	1.4%	250	7.6%	1.6%
理研 BL ^{3,4}	2,062	12.6%	1.3%	1,076	13.5%	1.3%	74	5.4%	0.0%

SACLA	2006-2023 ² (総累積)			2012-2022 (11年間累積)			2021 (2年経過値)		
	論文数	TOP10%論文割合	TOP1%論文割合	論文数	TOP10%論文割合	TOP1%論文割合	論文数	TOP10%論文割合	TOP1%論文割合
全 SACLA[net] ¹	510	14.5%	2.4%	457	15.3%	2.2%	49	8.2%	0.0%
BL1, 2, 3	342	17.5%	2.6%	340	17.6%	2.6%	42	9.5%	0.0%

●集計対象 BL³

共用 BL — 計 26 本

BL01B1 BL02B1 BL02B2 BL04B1 BL04B2 BL08W BL09XU BL10XU BL13XU BL14B2 BL19B2
BL20XU BL20B2 BL25SU BL27SU BL28B2 BL35XU BL37XU BL38B1⁴ BL39XU BL40XU BL40B2
BL41XU BL43IR BL46XU BL47XU

専用 BL — 計 20 本

BL03XU BL07LSU⁴ BL08B2 BL11XU BL12XU BL12B2 BL14B1 BL15XU⁴ BL16XU BL16B2 BL22XU
BL23SU BL24XU BL28XU BL31LEP BL32B2⁴ BL33XU BL33LEP⁴ BL36XU⁴ BL44XU

理研 BL — 計 11 本

BL05XU BL17SU BL19LXU BL26B1 BL26B2 BL29XU BL32XU BL38B2 BL43LXU BL44B2 BL45XU⁴

●備考

*1：成果登録 DB に登録された原著論文／博士論文／査読付きプロシーディングで、Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用い、ドキュメントタイプ Article と Review を集計対象論文とした。

*2：2023 年は、2023 年 1 月 1 日から 2023 年 3 月 31 日までに発行された論文を集計対象とした。それ以外は、各年 1 月 1 日から 12 月 31 日までに発行された論文を集計対象とした。

*3：複数の BL に関連する成果は、それぞれの集計値に重複して集計した。

*4：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、BL32B2、BL33LEP、BL36XU、BL38B1 (以上、現 理研 BL)、BL45XU (現 共用 BL)

3. SPring-8 利用の年別発行総論文数と 2023 年 4 月における平均被引用数 (2012-2022)

調査日：2023/04/04

SPring-8	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
年別発行論文数 ¹	804	962	879	847	970	939	839	961	1,007	856	658
累積被引用数 ²	31,585	30,121	27,471	25,116	27,006	20,130	15,978	16,888	10,289	4,590	966
平均被引用数 【累積被引用数/年別発行論文数】	39.3	31.3	31.3	29.7	27.8	21.4	19	17.6	10.2	5.4	1.5



●備考

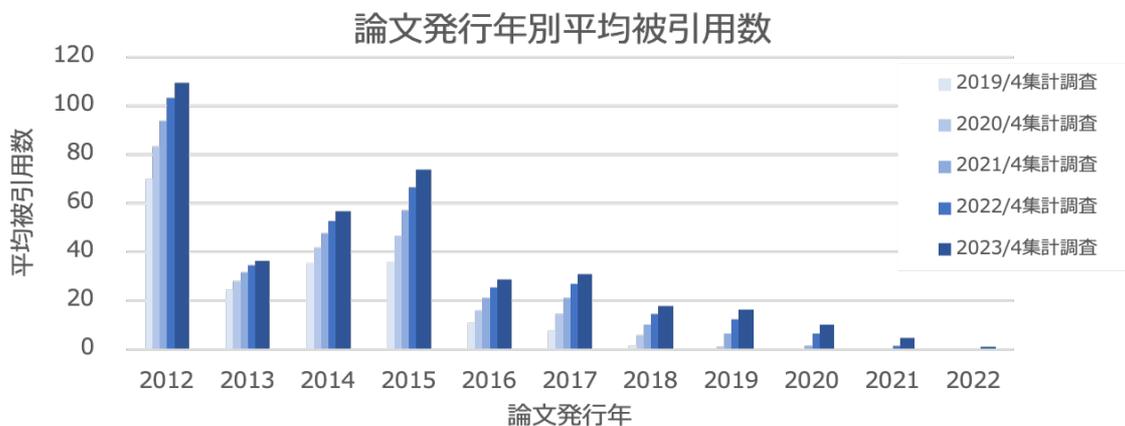
*1：成果登録 DB に登録された原著論文/博士論文/査読付きプロシーディングで、Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を使い、ドキュメントタイプ Article と Review を集計対象論文とした。

*2：被引用数確認は、Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用いた。

4. SACLA 利用の年別発行総論文数と 2023 年 4 月における平均被引用数 (2012-2022)

調査日：2023/04/04

SACLA	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
年別発行論文数 ¹	14	39	24	48	53	47	41	57	56	49	29
累積被引用数 ²	1,535	1,416	1,361	3,532	1,516	1,454	720	937	560	227	32
平均被引用数 【累積被引用数/年別発行論文数】	109.6	36.3	56.7	73.6	28.6	30.9	17.6	16.4	10	4.6	1.1



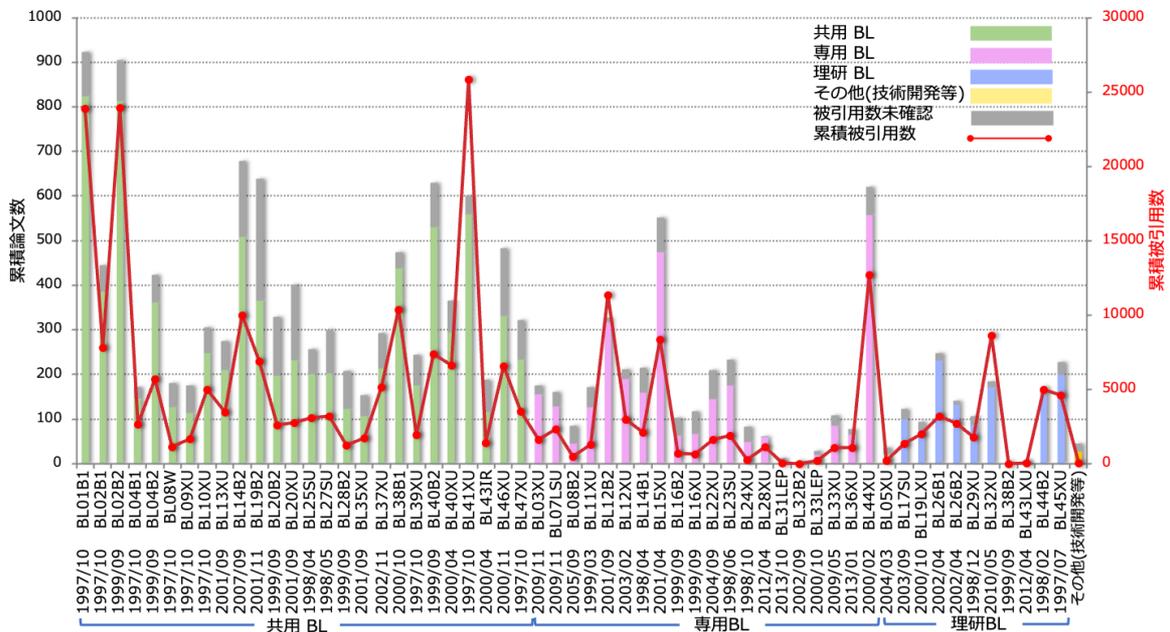
●備考

*1：成果登録 DB に登録された原著論文/博士論文/査読付きプロシーディングで、Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を使い、ドキュメントタイプ Article と Review を集計対象論文とした。

*2：被引用数確認は、Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用いた。

5. SPring-8 の BL 別累積論文数と累積被引用数の比較 (2012-2022)

調査日：2023/04/04



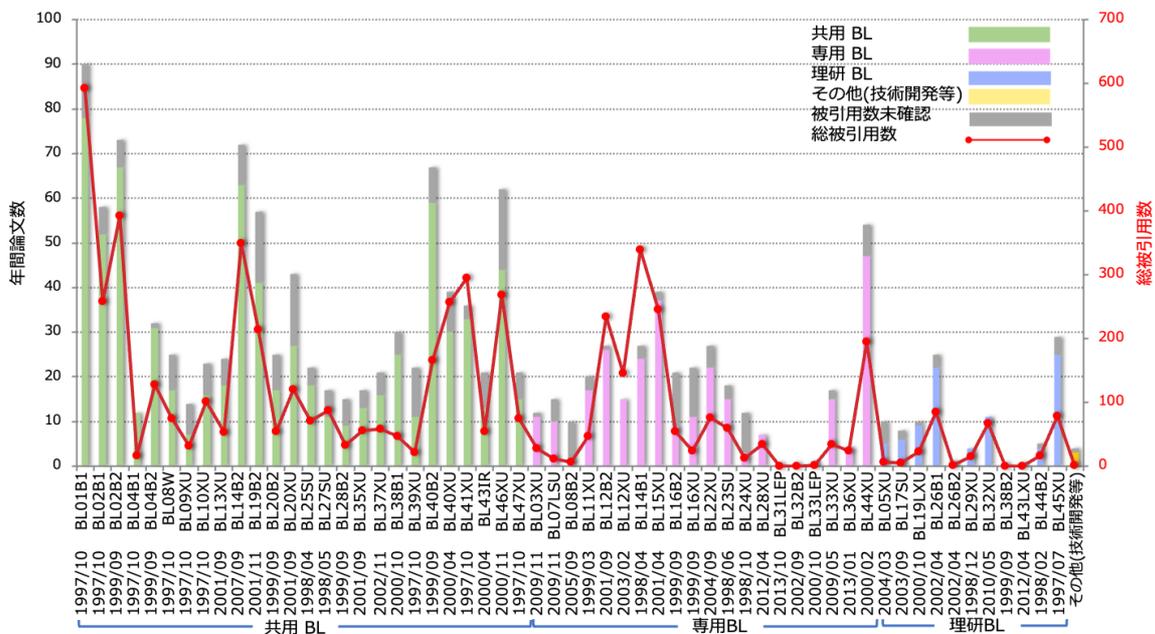
*1：成果登録 DB に登録された原著論文／博士論文／査読付きプロシーディングおよび、SPring-8/SACLA 利用研究成果集を対象とし、累積被引用数は Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用いて集計した。

*2：検索 DB (Clarivate Analytics Web of Science) 未登録のため、被引用数が確認出来ない論文は「被引用数未確認」に計上する。

*3：一つの論文が異なる複数の BL に関わる共通の成果とみなせる場合、各 BL それぞれに計上する。

6. SPring-8 の BL 別年間総論文数と総被引用数の比較 (2021 年の発表論文)

調査日：2023/04/04



*1：成果登録 DB に登録された原著論文／博士論文／査読付きプロシーディングおよび、SPring-8/SACLA 利用研究成果集を対象とし、累積被引用数は Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用いて集計した。

*2：検索 DB (Clarivate Analytics Web of Science) 未登録のため、被引用数が確認出来ない論文は「被引用数未確認」に計上する。

*3：一つの論文が異なる複数の BL に関わる共通の成果とみなせる場合、各 BL それぞれに計上する。

7. 2021 年発行論文の被引用数トップ 10

SPring-8/SACLA 利用関連論文の被引用数トップ 10 (2021)

調査日：2023/04/04

	回数	BL	実験責任者	タイトル	主著者	所属	投稿先ジャーナル名
1	183	BL14B1	Yi-Tao Cui	Carbon Nitride Supported High-Loading Fe Single-Atom Catalyst for Activation of Peroxymonosulfate to Generate $^1\text{O}_2$ with 100% Selectivity	Longshuai Zhang	Nanchang Hangkong University	Angewandte Chemie International Edition
2	100	BL14B1	Yi-Tao Cui	Coordination Number Regulation of Molybdenum Single-Atom Nanozyme Peroxidase-like Specificity	Ying Wang	Jilin University	Chem
3	95	BL40XU	Takuji Hatakeyama	Carbazole-Based DABNA Analogues as Highly Efficient Thermally Activated Delayed Fluorescence Materials for Narrowband Organic Light-Emitting Diodes	Susumu Oda	Kwansei Gakuin University	Angewandte Chemie International Edition
4	68	BL41XU	Hironori Hayashi	A Small Molecule Compound with an Indole Moiety Inhibits the Main Protease of SARS-CoV-2 and Blocks Virus Replication	Shin-ichiro Hattori	National Center for Global Health and Medicine Research Institute	Nature Communications
5	56	BL01B1 他	Hiroshi Kitagawa 他	Efficient overall Water Splitting in Acid with Anisotropic Metal Nanosheets	Dongshuang Wu	Kyoto University	Nature Communications
6	49	BL02B1 他	Susumu Kitagawa	Host-guest Interaction Modulation in Porous Coordination Polymers for Inverse Selective $\text{CO}_2/\text{C}_2\text{H}_2$ Separation	Yifan Gu	Kyoto University	Angewandte Chemie International Edition
7	48	BL12XU 他	Hao-Ming Chen	Double-atom Catalysts as a Molecular Platform for Heterogeneous Oxygen Evolution Electrocatalysis	Lichen Bai	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	Nature Energy
8	45	BL01B1	Hisao Yoshida 他	Effect of Transition Metal Oxide Cocatalyst on the Photocatalytic Activity of Ag Loaded CaTiO_3 for CO_2 Reduction with Water and Water Splitting	Tayyebeh Solitani	Kyoto University	Applied Catalysis B
9	39	BL12XU	Yan-Gu Lin	An Efficient Interfacial Synthesis of Two-Dimensional Metal-Organic Framework Nanosheets for Electrochemical Hydrogen Peroxide Production	Mengjun Wang	Xiamen University	Angewandte Chemie International Edition
9	39	BL12B2	Hao-Ming Chen	Product-Specific Active Site Motifs of Cu for Electrochemical CO_2 Reduction	Chenyuan Zhu	Fudan University	Chem
9	39	BL15XU	Junghwan Kim	Mobility-stability Trade-off in Oxide Thin-film Transistors	Yu-Shien Shiah	Tokyo Institute of Technology	Nature Electronic
9	39	BL01B1	Kohsuke Mori	Hydrogen Spillover-driven Synthesis of High-entropy Alloy Nanoparticles as a Robust Catalyst for CO_2 Hydrogenation	Kohsuke Mori	Osaka University, Kyoto University	Nature Communications

●備考

*1：成果登録 DB に登録された原著論文／博士論文／査読付きプロシーディングで、Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用い、ドキュメントタイプ Article と Review を集計対象論文とした。

*2：被引用数確認は、Clarivate Analytics 社 InCites Benchmarking を用いた。

SPring-8/SACLA 有償利用料収入の実績 有償利用：成果専有と公開優先

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用推進部

1. SPring-8/SACLA 有償利用（成果専有と公開優先）の実績

1997B 期（供用開始）から 2022B 期までに実施された有償利用にかかる利用料の実績について集計した。

共用ビームライン（共用 BL）、専用ビームライン（専用 BL）、及び一部共用にビームタイムを供している理研ビームライン（共用供出理研 BL）において実施された成果専有利用（一般課題、時期指定課題 [測定代行課題及び産業利用準備課題を含む]）、成果公開優先利用を対象としている。

SPring-8 については、総累計、10 年間累計、及び 2022 年度（1 年間）の実績について、それぞれに総計、共用 BL、専用 BL、及び共用供出理研 BL ごとに集計した。

SACLA については、2012 年の供用開始から 2022 年までの総累計、及び 2022 年度（1 年間）の実績を集計した。

調査日：2023/04/01
(単位：千円)

SPring-8	1997-2022（総累計）			2013-2022（10 年間累計）			2022（1 年間）		
	有償利用料収入	うち 成果専有	うち 公開優先	有償利用料収入	うち 成果専有	うち 公開優先	有償利用料収入	うち 成果専有	うち 公開優先
総計	6,096,967	4,965,064	1,131,903	3,527,360	2,773,391	753,969	615,065	475,929	139,136
共用 BL	4,895,617	3,774,817	1,120,800	2,883,968	2,134,830	749,138	488,690	350,340	138,350
専用 BL ¹	969,687	969,687	—	434,831	434,831	—	106,509	106,509	—
理研 BL ²	231,663	220,560	11,103	208,561	203,730	4,831	19,866	19,080	786

(単位：千円)

SACLA	2012-2022（総累計）	2022（1 年間）
	有償利用料収入	有償利用料収入
BL1-3	7,137	0

●SPring-8 集計対象 BL

共用 BL — 計 26 本

BL01B1 BL02B1 BL02B2 BL04B1 BL04B2 BL08W BL09XU BL10XU BL13XU BL14B2 BL19B2
BL20XU BL20B2 BL25SU BL27SU BL28B2 BL35XU BL37XU BL39XU BL40XU BL40B2 BL41XU
BL43IR BL45XU BL46XU BL47XU EM01CT³ EM02CT³

専用 BL¹ — 計 17 本

BL03XU BL07LSU BL08B2 BL11XU BL12XU BL12B2 BL14B1 BL16XU BL16B2 BL22XU
BL23SU BL24XU BL28XU BL31LEP BL33XU BL33LEP⁴ BL44XU

理研 BL² — 計 14 本

BL05XU BL15XU¹ BL17SU BL19LXU BL26B1 BL26B2 BL29XU BL32XU BL32B2¹ BL36XU¹ BL38B1
BL38B2² BL43LXU BL44B2

●備考

*1：BL32B2 は専用 BL に含めた（2012/03/29 に設置期間終了）。BL36XU は専用 BL に含めた（2020/04/01 より理研 BL）。BL15XU は専用 BL に含めた（2021/10/01 より理研 BL）。

*2：理研 BL のうち BL38B2 は、2022B 期時点でビームタイムを共用に供していない。

*3：EM01CT、EM02CT は共用 BL 付帯設備としての取扱い。

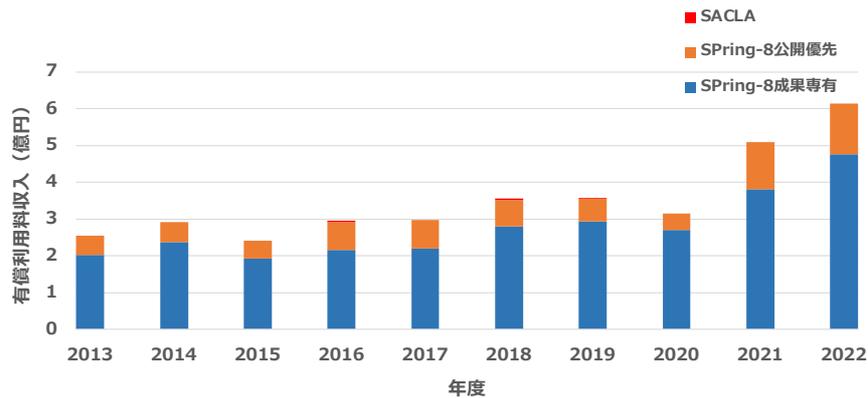
*4：契約終了に伴う撤去手続き中。

2. SPring-8/SACLA 有償利用料収入の年次推移

2013 年度から 2022 年度までの SPring-8/SACLA における有償利用料収入の年次推移について集計した。

調査日：2023/04/01
(単位：億円)

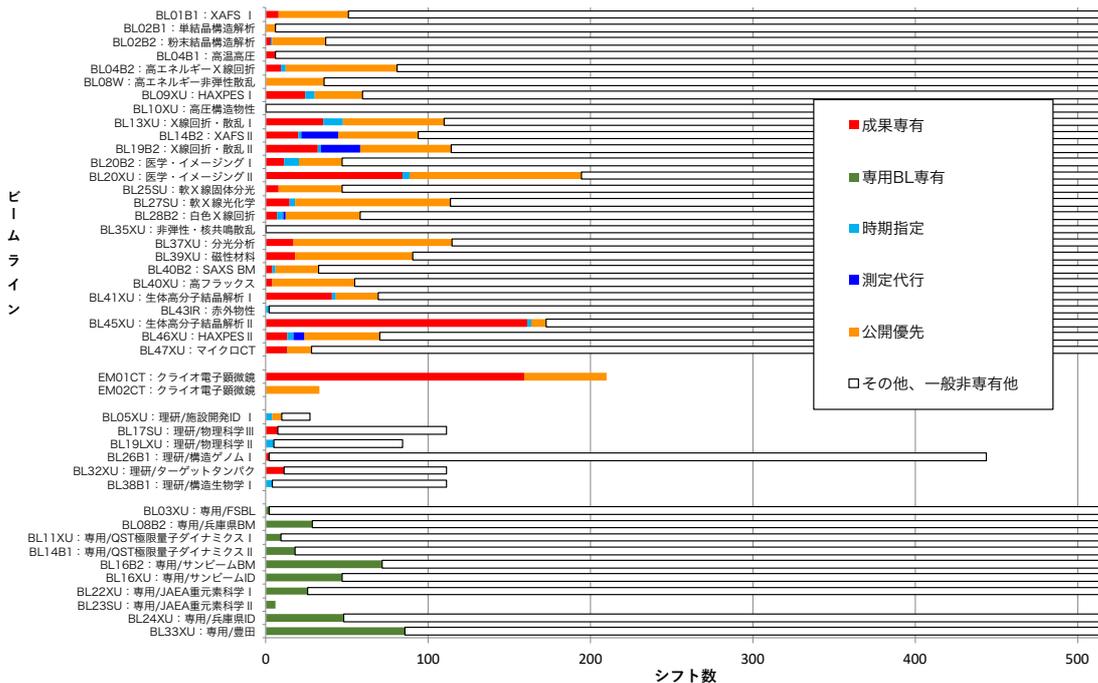
年度	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
SPring-8	2.55	2.91	2.41	2.91	2.98	3.53	3.57	3.17	5.09	6.15
SACLA	—	—	—	0.04	—	0.02	0.02	—	—	—



3. 2022 年度の SPring-8 有償利用の状況 (シフト数)

2022 年度の SPring-8 有償利用の状況について、ビームライン (BL) ごとにシフト数を集計した。共用 BL は 26 本について全て表示、専用 BL 及び共用供出理研 BL は有償利用実績があった BL のみ表示している。

調査日：2023/04/01

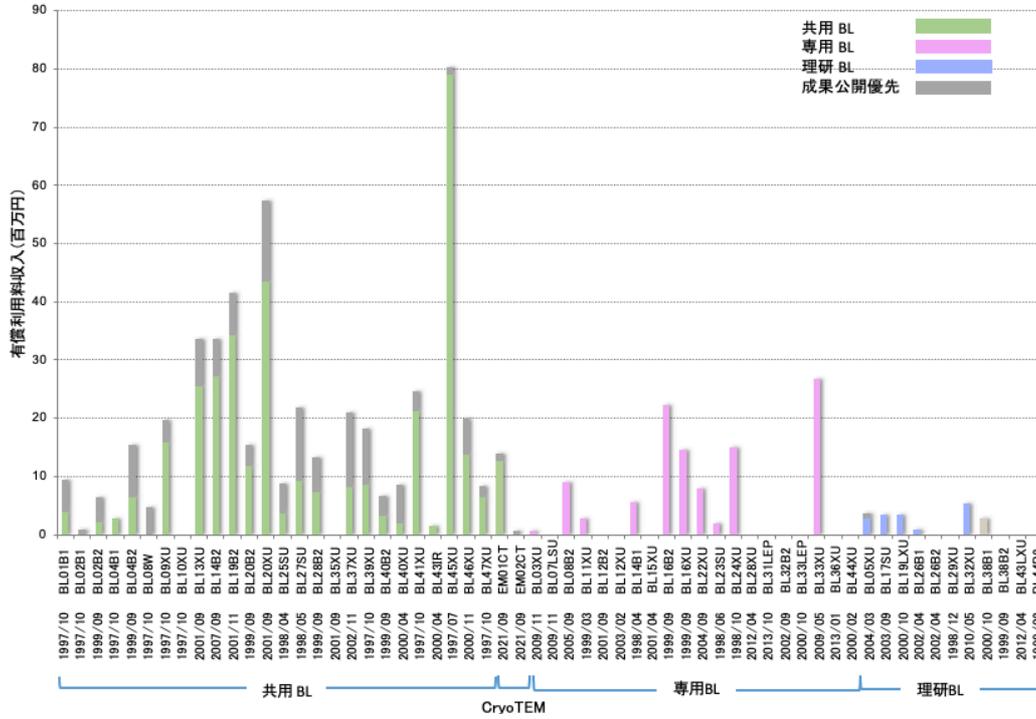


●共用 BL26 本は全表示。専用 BL 及び共用供出理研 BL は、有償利用実績があった BL のみ表示。

4. SPring-8 の BL 別の年間有償利用料収入 (2022 年度)

2022 年度における SPring-8 の年間有償利用料収入の実績を BL ごとに集計した。

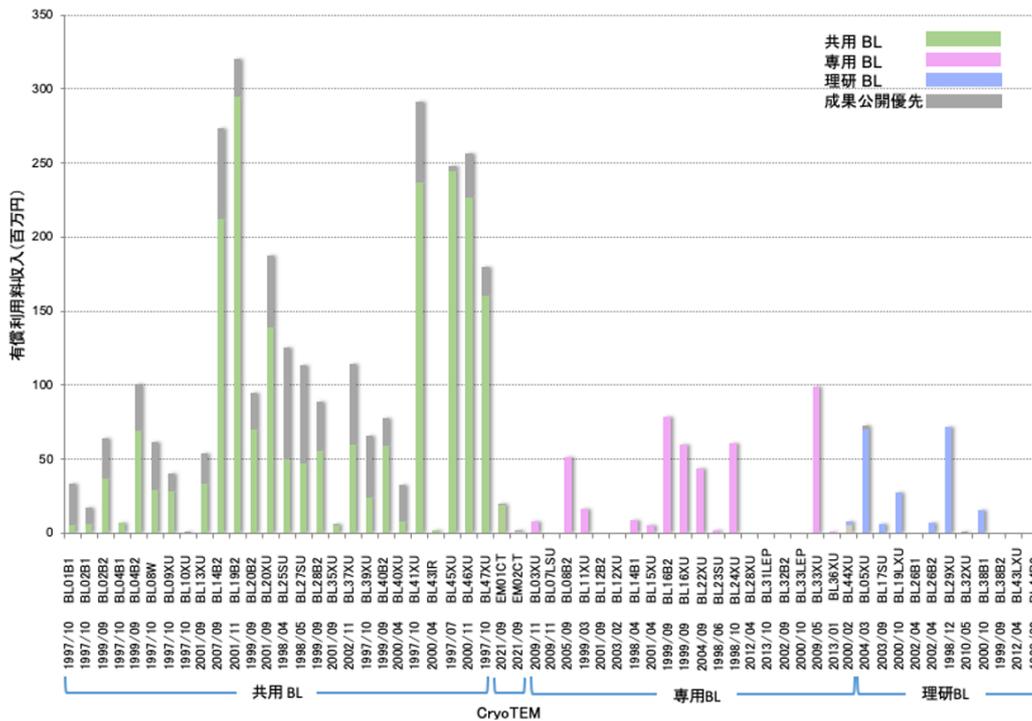
調査日：2023/04/01



5. SPring-8 の BL 別の 10 年間累計有償利用料収入 (2013–2022 年度)

2013 年度から 2022 年度までの 10 年間における SPring-8 の年間有償利用料収入の累計による実績を BL ごとに集計した。

調査日：2023/04/01



Update on the Monochromator at BL04B2, SPring-8

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 Jochi TSENG、山田 大貴
 公益財団法人高輝度光科学研究センター ビームライン技術推進室
 大橋 治彦、山崎 裕史
 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 玉作 賢治
 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
 島根大学 材料エネルギー学部 尾原 幸治

1. Introduction

BL04B2 is currently equipped with a bending magnet that limits the horizontal divergence of beam to 0.34 mrad by a slit for high-energy X-ray total scattering experiments. To prioritize the X-ray flux in the high-energy region above 60 keV, two horizontal bent Bragg monochromators have been used: Si(111) and Si(220), fixed at a 3° angle (Figure 1a). Both Si(111) and Si(220) crystals are affixed onto a crystal holder equipped with water cooling, alongside an indium (In) sheet to achieve effective thermal stability. The Si(220) monochromator selects the first harmonic of reflective X-ray to monochromate the X-ray energy to 61.4 keV, while the Si(111) monochromator selects the third harmonic, resulting in an energy of 113.4 keV. Positioned 46 m downstream from the X-ray source, the monochromator can be adjusted to

have a variable radius of curvature ranging from 320 m to 430 m. By modifying the radius of curvature, the focal point in the experimental hutch can be altered between 10 - 15 m from the monochromator (Figure 1b).

2. Update on the monochromator

The use of a bent monochromator with a single leaf at BL04B2 employs the same mechanism as a mirror-adjusting monochromator, enabling lateral focusing by bending the crystal in the meridional direction. However, when conducting measurements at 113.4 keV using the Si(111) monochromator, contamination from higher harmonics of reflective X-rays, such as Si 444 at 151.2 keV (dotted line), was observed (Figure 2a). To resolve this issue while maintaining the 3° angle of the monochromator stage, the

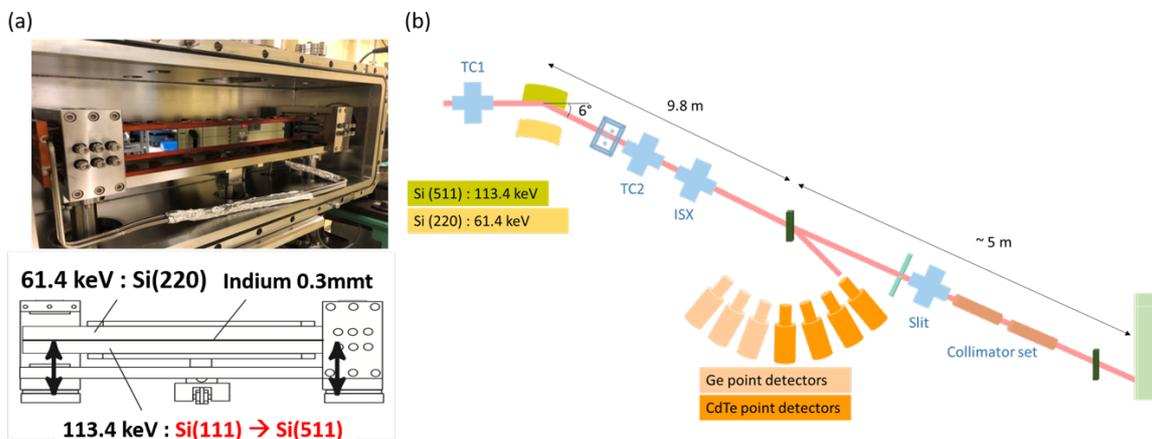


Figure 1 (a) Current setting of two monochromators at BL04B2. (b) The layout of BL04B2 beamline.

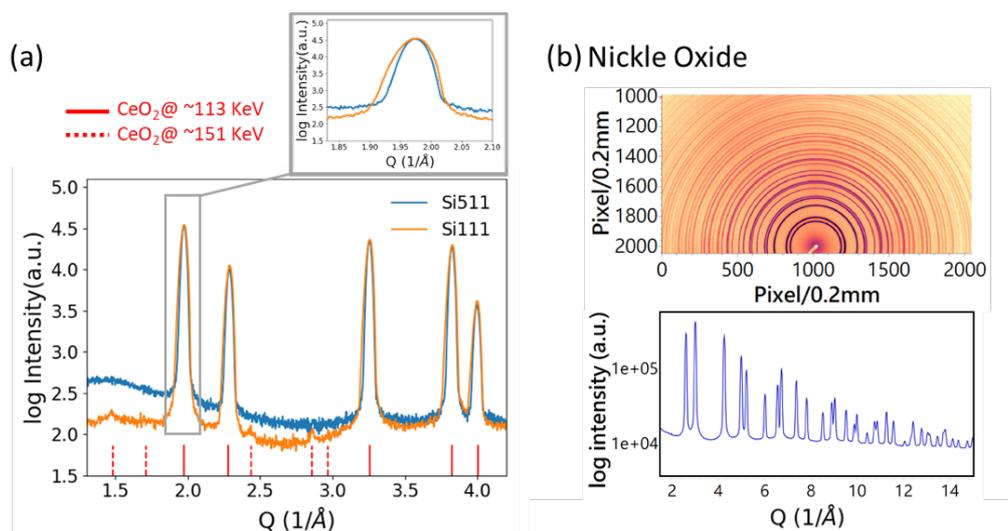


Figure 2 (a) CeO_2 measurements conducted at 2-axis system at BL04B2 before and after substituting the monochromators. The dotted lines show the reflections from high harmonic Si 444 X-ray. (b) X-ray diffraction image data and integrated pattern of NiO measured at flat-panel detector system at BL04B2 using Si(511) monochromator.

Si(511) monochromator was introduced as a replacement. By utilizing the first harmonic of reflective X-rays with Si(511), the X-ray energy can be maintained at 113.4 keV, and the resulting diffractions from the third harmonic reflective X-rays occur at angles that are too small to be observed. This substitution can effectively eliminate the diffractions caused by high-harmonic X-ray contamination in an experimental result (Figure 2a). By bending the monochromator to focus the beam at around a 10 m focal point and using two slits along the beam path, it allows for limiting the beam size to $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$. A well-focused beam results in a narrower peak shape, as demonstrated by the measurement of CeO_2 using Si(511) monochromatic X-ray, compared to those obtained using Si(111) as shown in the inset of Figure 2a. The energy resolution calculated by $\Delta E/E = \cot \theta_B \cdot \Delta \theta$, can be estimated as 2×10^{-3} at focal point of 10 m from monochromator^[1,2].

The improvement in reducing diffraction intensities from high-harmonic X-ray contamination, on the other hand, brings the added benefit of implementing a flat-panel detector at BL04B2. To demonstrate this, measurements of nickel oxide using the flat-panel detector system were carried out (Figure 2b). Both the raw image data and the integrated X-ray pattern show that no diffractions originating from high-harmonic X-rays were observed when the Si(511) monochromator was utilized.

3. Conclusion

In summary, the replacement of the monochromator at BL04B2 with Si(511) brings benefits to both 2-axis point detectors and flat-panel detector systems by eliminating X-ray peaks resulting from high-harmonic X-ray contamination, while maintaining the X-ray energy at 113.4 keV. The energy resolution at BL04B2 can be calculated as 2×10^{-3} with the focus beam of $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ at 2-axis system.

References

- [1] M. Ishiki *et al.*: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **467-468** (2001) 663-666.
- [2] E.-E. Koch: *Handbook on Synchrotron Radiation*, North-Holland, Amsterdam (1983).

Jochi TSENG

(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 : 0791-58-0833
e-mail : jochi.tseng@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 : 0791-58-0833
e-mail : h_yamada@spring8.or.jp

大橋 治彦 OHASHI Haruhiko

(公財) 高輝度光科学研究センター
ビームライン技術推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0831
e-mail : hohashi@spring8.or.jp

山崎 裕史 YAMAZAKI Hiroshi

(公財) 高輝度光科学研究センター
ビームライン技術推進室
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0831
e-mail : yamazaki@spring8.or.jp

玉作 賢治 TAMASAKU Kenji

(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 : 0791-58-2839
e-mail : tamasaku@spring8.or.jp

尾原 幸治 OHARA Koji

(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
島根大学 材料エネルギー学部
〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060
TEL : 0852-32-6655
e-mail : ohara@mat.shimane-u.ac.jp

BL08W の実験ハッチ改造による実験の効率化

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
辻 成希

1. はじめに

BL08W は、100 keV から 300 keV までの高エネルギーX線領域を利用でき、SPring-8 の中で唯一、ウィグラーを挿入光源として利用しているビームラインである^[1]。この高エネルギーX線を利用する、コンプトン散乱、高エネルギーX線回折^[2]、重元素を主な対象とする蛍光X線分析^[3]が行われている。また、コンプトン散乱では、磁気コンプトン散乱^[4]、高分解能コンプトン散乱^[5]、コンプトン散乱イメージング^[6]の3つの手法が行われている。

BL08W の実験ハッチは、EH1 と EH2 の2つに分かれており、建設当初からしばらくは、EH1 で磁気コンプトン散乱と蛍光X線分析、EH2 で高分解能コンプトン散乱が行われていた。EH2 用のモノクロメーターは、ビームを跳ね上げる仕様になっているため、EH2 には、ビーム軌道に合わせた傾斜架台が設置されていた。しかしながら、傾斜架台での機器の設置や調整などの作業の効率が悪いので、以前は EH2 で行っていた高分解能コンプトン散乱も 15 年ほど前から EH1 で行われるようになった。同じ EH1 では、高エネルギーX線回折の利用が増えた。このため、コンプトン散乱実験を含めた実験装置の変更が EH1 で頻繁に行われる状況となった。実験スペースとの関係から実験装置を常設することは不可能であり、結果として実験毎にユーザー実験に必要な装置の設置と調整に多くの時間と労力を費やすことになった。そこで、EH2 の傾斜架台の撤去とともにタンデムビームラインとしての実験ハッチに改造を施すことで、ビームライン運用の効率化を行った。

2. 実験ハッチ改造

まず、実験ハッチの改造を行うのにあたり、不要となっていた EH2 に設置されていた傾斜架台の撤去を

行った。図 1 に傾斜架台撤去前後の EH2 内の様子を示す。

図 2 に改造前後のビーム位置を示す。BL08W は、一枚のモノクロメーターで単色化を行っているため、X線エネルギーを変化させるとビーム位置が水平方向に変動する(図2の縦方向に変動する)。BL08W の EH1 の実験で使用しているモノクロメーターは Si(400) と Si(620) の2つの反射指数の結晶を実験に使用するX線領域により使い分けている。それぞれのモノクロメーターは、Si(400)では 110~171 keV、Si(620)では 174~271 keV のエネルギー領域をカバーしている。その幅広いX線領域での実験を行うために、EH1 後方にはエンドストッパーが設置されている。その幅は、ビーム位置の変動に合わせて 810 mm、カバー等を合わせると 1000 mm を超える。EH2 では、115, 182 keV (Si(400)、Si(620)で同じ散乱角になる



図 1 傾斜架台撤去前後の EH2 の様子。

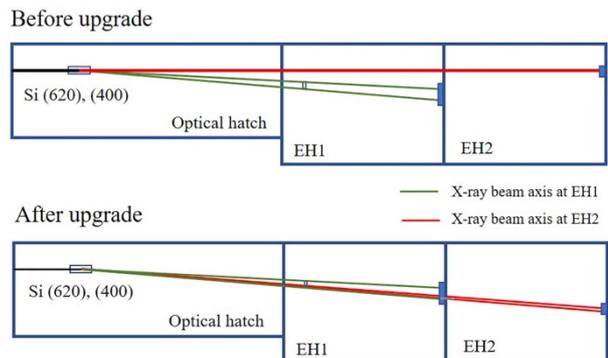


図 2 アップグレード前後の EH2 の光軸変化。



図3 エンドストッパー、貫通穴、補助遮蔽。

エネルギー)のみを利用するため、EH1、EH2のハッチ間に開ける穴径を小さくすることができる。今回の改造で開けた穴径は、70 mmである。また、EH1のエンドストッパーを可動式に変更し、EH1で実験中でもEH2に立ち入りができるようになっている。EH2では、光軸の変更に伴い、エンドストッパーを新設し、実験ハッチの補助遮蔽を増強した。図3にハッチ間に開けた穴と、EH1、EH2のエンドストッパーと、補助遮蔽を示す。

タンデムビームラインに変更したことに伴い、インターロックシステムの改造も行った。改造内容は、主には、必要なくなったEH2用モノクロメーターの廃止と、ハッチ切替モードの追加である。

3. 改造の効果

改造後は、EH1で高分解能コンプトン散乱、コンプトン散乱イメージング、蛍光X線分析を行い、EH2で磁気コンプトン散乱と高エネルギーX線回折を行うように配置を変更した。改造後の実験ハッチ内の様子を図4に示す。高エネルギーX線回折に関しては、これまで行っていたように、磁気コンプトン散乱用超伝導マグネット用架台上で実験を行っているが、今後、専用の架台等を用意してEH2ハッチの最下流に専用



図4 改造後のEH1、EH2の様子。

表1 各実験でのセットアップ時間。

実験方法	前	後
高分解能コンプトン散乱	24	1
磁気コンプトン散乱	5	3
コンプトン散乱イメージング	5	2
高エネルギーX線回折	5	4

装置として常設される予定である。

今回の改造によって、実験装置のセットアップの効率化は表1に示すように顕著に表れている。また、この改造はビームラインの効率的な利用に加えて、実験の再現性という副産物も生み出した。特に、高分解能コンプトン散乱ではその恩恵は大きい。高分解能コンプトン散乱では、装置のバックグラウンドよりも小さな信号や信号の変化を計測する必要がある。このため、低バックグラウンド環境下での計測を必要とする。以前のように実験装置の入れ替えを行う場合には、実験の再現性を得ることが非常に困難であった。今回の改造によりほとんどの装置を常設化できたため、多くのユーザー実験をほぼ同一環境下で実施することが可能となり、実験再現性が向上した。

今回の改造により、大幅にセットアップ時間を減らすことができるようになったため、これまで時間的な制約で難しかった実験の高度化や装置の高性能化などが行えるようになることが期待される。

参考文献

- [1] Y. Sakurai: *J. Synchrotron Rad.* **5** (1998) 208-214.
- [2] K. Ohara *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **25** (2018) 1627-1633.
- [3] I. Nakai *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **8** (2001) 1078-1081.
- [4] N. Sakai *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **7** (2001) 326-332.
- [5] N. Hiraoka *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **8** (2001) 26-32.
- [6] N. Tsuji *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **28** (2021) 1174-1177.

辻 成希 TSUJI Naruki

(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 : 0791-58-0802-3433
e-mail : ntsuji@spring8.or.jp

BL28B2 における自動 CT 計測装置の導入 および測定代行の実施について

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 上杉 健太朗、星野 真人

1. はじめに

SPring-8 BL28B2 では 2023 年 2 月から同ビームラインに設置された自動 X 線 CT 計測装置を利用して高エネルギー X 線 CT 計測を行う測定代行を開始しました。測定代行は、成果専有時期指定課題の一形態として取り扱われ、いつでも利用申請が可能です。SPring-8 では原則として、利用者が当該ビームラインまで赴き、自らが装置を操作しデータを取得する必要があります。しかし、測定代行では、利用者は事前打ち合わせの上、測定試料を SPring-8 へ送付することで、専門スタッフのオペレーションを通じて測定データ（本測定代行においては試料の X 線 CT 像）を得ることが可能となります。以下の内容をご確認の上、是非ご利用ください。

2. 装置概要

BL28B2 では星野らにより高エネルギー X 線を利用し

た CT 計測手法が開発されてきました^{1,2)}。この手法では 200 keV（半値幅 ± 50 keV）という高いエネルギーの X 線を照射し、高精細型の X 線画像検出器を用いて画像取得することで、「従来の放射光 X 線 CT にはない高い透過性」・「ラボ用装置では実現できない高いコントラスト画像」・「広い視野幅かつ高い空間分解能」を実現しています（図 1 に計測事例を示しています）。

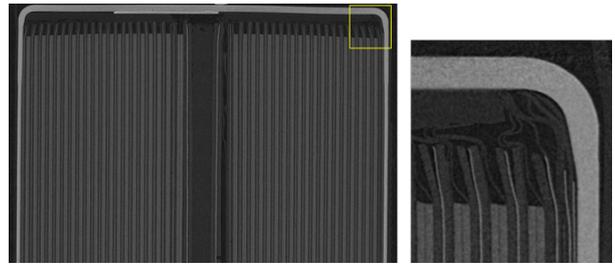


図 1 高エネルギー X 線 CT 装置測定事例。18650 電池の縦断層像（表示領域サイズ：18.5 mm × 12.5 mm）と黄色四角部の拡大像（表示領域サイズ：2.0 mm × 2.2 mm）。計測時間は約 2 時間。画素サイズは 3.44 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ 。

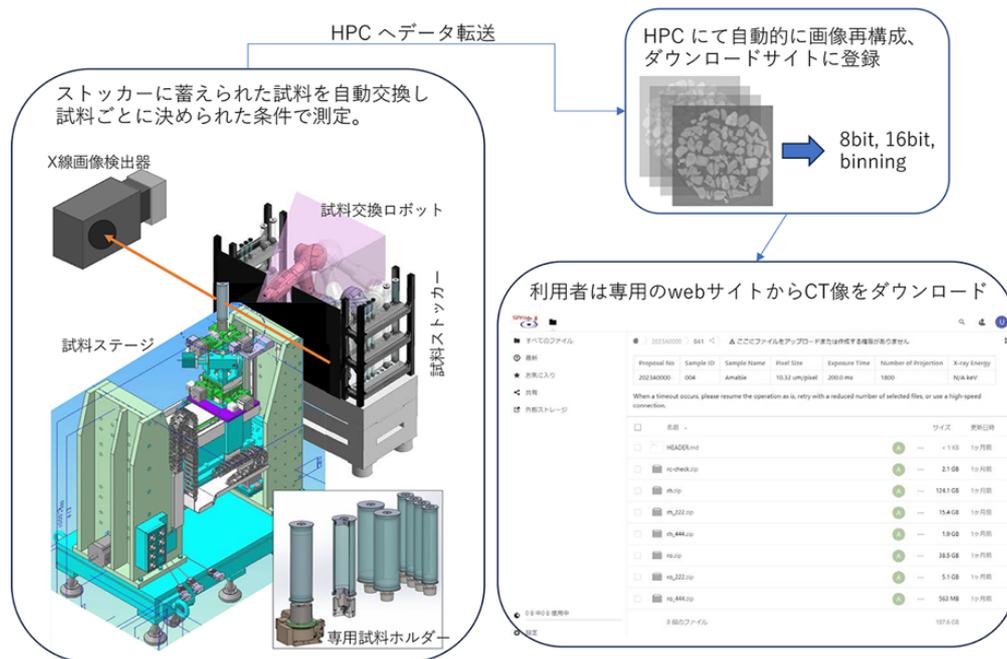


図 2 自動 X 線 CT 計測装置概略図。

最近、放射光施設の利用経験がない方々でも、本手法が簡便に利用できるように「自動 X 線 CT 計測装置」の開発を行いました(図2)。この装置は、試料の自動交換・指定範囲の CT 計測・画像再構成の機能を有し、その工程をほぼ自動で進めることができます。測定代行の利用者は専用ホルダー(図3)に固定した試料を送付し計測位置を指定するだけで、一定期間ののちに試料返却およびその CT 画像が得られます(試料は宅配便などでの送付、CT 画像はダウンロードサイトの通知となります)。

一度に撮影できる視野はビームサイズで決まり、最大で幅 48 mm、高さ 1.2 mm 程度です。高さ方向に試料をシフトさせ撮影を繰り返し行うことで、必要な範囲を撮影できます。撮影条件にもよりますが、幅 48 mm、高さ 10 mm 分を、およそ 1.5 時間で撮影することができます。画素サイズは最小で 3.44 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ ですが、 2×2 や 3×3 ビニングでの撮影も可能です(それぞれ画素サイズは 6.88 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ と 10.32 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ となります)。最小画素サイズで最大視野の撮影も可能ですが、その場合は 1 枚の CT 像が 13600 \times 13600 pixels となり、8 bit データであっても 176 MB のサイズとなり、ボリュームデータの画像処理を行うことが難しくなるため注意が必要です。また、ダウンロードサイトでは撮影時の画素サイズを維持した CT データだけでなく、 $2 \times 2 \times 2$ ビニングと $4 \times 4 \times 4$ ビニングしたデータも生成しています。それぞれオリジナルデータの 1/8 もしくは 1/64 の量になりますので、ま

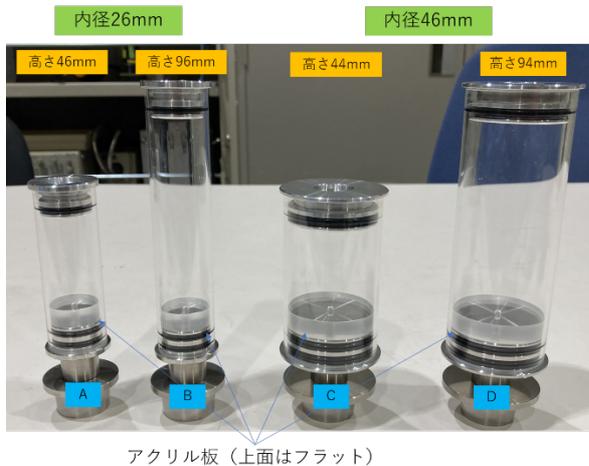


図3 専用ホルダー写真。試料サイズごとに使い分ける。底部にはアクリル樹脂の円板が取り付けられているが、これを利用者独自のアタッチメントに変更することも可能。

ずは 8 bit に規格化した $4 \times 4 \times 4$ ビニングのデータで概略をつかみ、その後大きなサイズのデータを処理するなどの工夫をすることもできます。

手に取れるサイズの電子デバイスや岩石などの比較的大きな試料の超高精細 3D データ化ができるという点で、様々な分野において高エネルギー X 線 CT 装置の有効活用が期待できます。

3. 「高エネルギー X 線 CT 計測」における測定試料

(1) 試料形態

利用者には試料を専用ホルダーに固定した状態で送付して頂きます。輸送時に脱落しないような工夫が必要です。試料の種類は特に定めませんが、200 keV の X 線が十分透過する必要があります。鉄インゴットでは直径 20 mm 以下であることが目安です。

(2) 試料準備

測定試料の準備は専用ホルダーを Spring-8 から借り受け、固定及び測定位置の決定を利用者自身が行う必要があります。手順や方法は事前相談時にスタッフが説明を行います。

(3) 測定試料環境

大気中室温環境下での測定のみを対象とします。専用ホルダー内で完結するようなシステムを使用することは可能ですが、詳細はスタッフにお問い合わせください。

4. 申込方法

下記サイトの測定代行の申込概要を熟読の上、同ページにリンクのある相談フォームよりお申し込みください。質問等は同ページ内にある相談窓口あてに電子メールにてお送りください。

<https://user.spring8.or.jp/?p=42152>

5. 利用料金

測定代行は「成果専有時期指定課題」の一形態として取り扱いますので、測定代行に掛かるビーム使用料及び消耗品実費負担については、それに準じた金額となります。測定条件・試料数・測定点数について、ビームラインスタッフとの打合せを行い、実施時期・必要なビームタイムおよび利用料金を決定します(単価は下記(1)及び(2)のように定められ、その合計が

利用料金となります)。

(1) ビーム使用料

9万円/1時間(成果専有時期指定課題と同額)。

(2) 消耗品実費負担

定額分(1,340円/1時間)と従量分(測定代行中に実際に使用した消耗品費等の金額)の合計額。ただし、「高エネルギーX線CT計測」においては当面は従量分を0円とします。

参考文献

- [1] M. Hoshino, K. Uesugi, R. Shikaku and N. Yagi, *AIP Advances* 7 (2017) 105122.
[2] M. Hoshino, K. Uesugi and N. Yagi, *J. Synchrotron Rad.* 27 (2020) 934-940.

上杉 健太郎 UESUGI Kentaro

(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 : ueken@spring8.or.jp

星野 真人 HOSHINO Masato

(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 : hoshino@spring8.or.jp

利用系活動報告

放射光利用研究基盤センター
散乱・イメージング推進室 顕微・動的画像計測チーム

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

1. はじめに

顕微・動的画像計測チームは、その名のとおり、放射光 X 線を利用した顕微観察と動的・高速撮影の 2 つの計測を柱としている。空間的・時間的に広いダイナミックレンジを網羅するマルチスケール計測、高感度位相計測、X 線回折、分光の技術を統合したマルチモード計測に現在注力している。本チーム活動の中核となるのは、放射光 X 線画像計測法の性能向上並びにユーザーへの利用展開である。チームメンバーは放射光施設または各ビームラインの特性を最大限に活かした装置開発から、ユーザー利用における企画・サポートまでを担う。

2. 活動概要

本チームが主体的に関わるビームラインは、主に共用 BL20B2、BL28B2、BL20XU、BL47XU である。

BL20XU と BL20B2 は全長 200 m 以上の中尺ビームラインである。BL28B2 と BL47XU は他のグループと共同運用している。図 1 に各ビームラインをどのように使い分けているかを示した。横軸は空間分解能、縦軸は使用可能なエネルギー領域を示す。視野は一般的には空間分解能の 1000 倍程度である。色は利用実験において実際に X 線透過像を取得する際の典型的な 1 ショットあたりの露光時間を示す。試料内部の 3 次元構造を計測する CT の場合の計測時間はこれの 1000 倍程度である。点線の囲みは代表的な計測手法を示し、ここでは投影型 (図中では Projection-type)、結像型 (同 Full field microscope)、回折格子を利用した位相計測法 (同 Grating interferometer, 以降単に位相計測) の 3 つが示されている。

投影型は 4 つ全てのビームラインで実施される最も基本的かつ応用範囲の広い手法で、放射光を疑似平

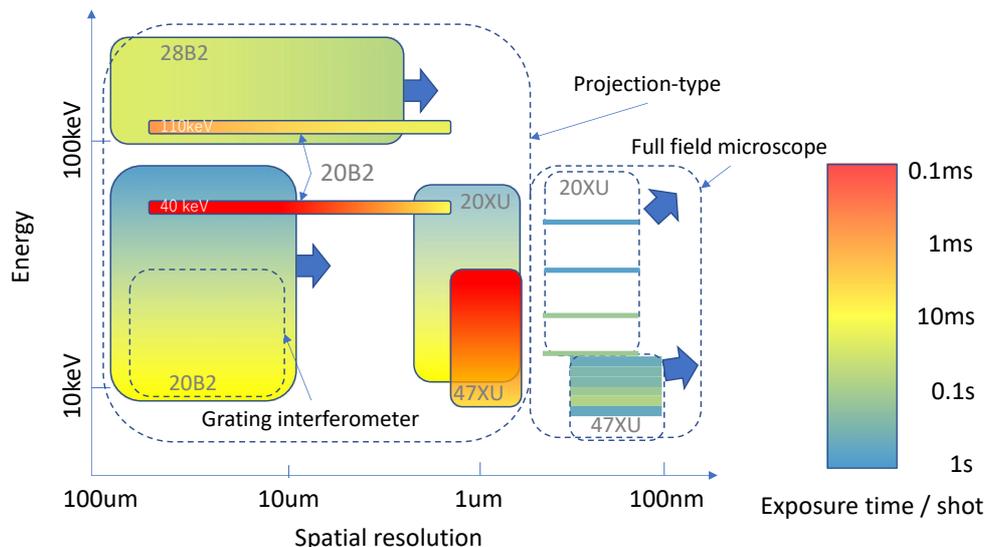


図 1 顕微・動的画像計測チームが担当するビームラインの棲み分け状況。横軸：空間分解能、縦軸：X 線エネルギー、色：露光時間を示す。矢印は開発の方向性。

行光と見立てた単純投影（つまり撮影原理はレントゲン写真と同じ）を利用している。吸収コントラスト像のほか、放射光の高い指向性を利用して試料と検出器の距離を調節することで試料界面の屈折が検出される屈折コントラスト像が得られる。これは空間分解能で 100 μm 程度から 1 μm 程度まで、エネルギー範囲で 7 keV から 200 keV 程度までをカバーしている。一方、結像型は X 線用のレンズで像を拡大する撮像法である。BL20XU と BL47XU で実施されており、1 μm よりも高い空間分解能を達成するために利用される。このために用いられる X 線用光学素子は、標準的には、電子線リソグラフィなどの微細加工技術により製作されたフレネルゾーンプレート（FZP）系のものを利用する。位相計測は主に BL20B2 で実施されている。試料と検出器の間の適切な位置に 2 つの透過型回折格子を配置することで、試料での位相シフト量の積算値を定量的に求めることができる（タルボ干渉計）。位相計測は従来の吸収による X 線像と比べて、特に軽元素系試料に対して最大で 3 桁の感度利得が期待されるため、生物・医療や有機材料によく利用されている。

X 線画像検出器は各装置で共通して重要な装置である。X 線を蛍光板で一旦可視光に変換し、それをレンズ光学系で CMOS カメラに取り込むレンズカップル（場合によりファイバーカップル）を利用した可視光変換型¹¹を用いている。検出器は、蛍光面・ミラー・レンズ・撮像素子により構成される。蛍光面で変換された可視光のみが途中で配置されるミラーにより跳ね上げられ、ミラーを直進する X 線がレンズや撮像素子に直接照射されることを防いでいる。蛍光面は密度・形状・発光波長により特性が異なり、使用エネルギーや必要とする空間分解能あるいは時間分解能により最適なものを使い分けている。

3. 高度化の状況

ここからはチームが近年主に力を入れて取り組んでいる 5 つのトピックについて紹介する。それぞれは独立で取り組まれているわけではなく様々に組み合わせることで互いの長所を伸ばしあるいは欠点を補い、新しい利用を生み出すことに繋がっている。

3.1. 高速イメージング

BL20B2 に W/B₄C 多層膜分光器が導入された。これは従来の Si 二結晶分光器と比べてエネルギー分解能が落ちる代わりに、約 3000 倍程度の強度の利得が得られる。40 keV と 110 keV 限定ではあるが、偏向電磁石 BL ならではの照射面積の広さと、ID-BL と同等のフラックス密度を両立したビームがユーザー実験に供されるようになった。これにより、画素サイズ数〜数十 μm でフレームレート 100 kHz 級の高速イメージングが可能になった（図 2）。ID-BL よりも広い視野がとれることから、局所的な現象を取り逃がすリスクを抑えることができる。

BL47XU では高負荷運転が可能な蒸発型クライオクーラー冷却分光器の特性を活かして、試料位置で最大 10^{14} photons/s/mm² の高フラックスを利用した高速高空間分解能イメージングが実施されている。視野は 1 mm² 程度に限られるものの、二結晶分光器がカバーする 5.2〜37.7 keV のエネルギー領域で画素サイズ 1 μm でフレームレート 100 kHz の測定が可能であり、BL47XU 第 2 実験ハッチが各持ち込み装置対応となったことにより様々な試験機を持ち込んだ高速実験が実施されている。

撮像素子に関しては、前述のレンズカップル式に浜松ホトニクス ORCA-Flash 4.0 や Photron FASTCAM SA-Z に代表されるような高ダイナミックレンジ・高フレームレートを示す CMOS を組み合わせて利用されている。これらは撮像素子を交換するだけで高精度あるいは超高速撮影などに変更可能である。本グルー

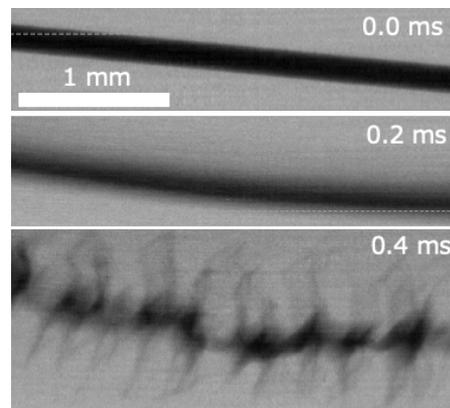


図 2 過電流によりヒューズが跳ぶ瞬間の X 線像。20 kHz で撮影。過電流によりヒューズが一旦大きく振動し（中段）、その 0.2 ミリ秒後全体が破裂するように溶断している（下段）。

プでは、これらの検出器を評価し、実験ごとに変化する最適な条件にあわせた検出器開発を行っている^{12, 3)}。

3.2. 高エネルギーX線イメージング

物体への透過力が高い高エネルギーX線イメージングは他測定手法だけでなく他放射光施設やラボ装置との差別化が得られるため、積極的に開発が進められている。大きな試料の観察を可能にするため、これは後述のマルチスケールイメージングとも非常に相性がよい。一方で、物体との相互作用が小さくなるため、感度向上を目的として屈折コントラストや位相コントラストを導入している。

BL28B2では偏向電磁石からの白色光を金属フィルタにより低エネルギー領域をカットして200 keV近辺にスペクトルピークを持つ高エネルギーX線を取り出し、これを利用したイメージングが行われている¹⁴⁾。LuAG (Lu₃Al₅O₁₂: (Ce)) セラミクス蛍光体及び高精細CMOSカメラを組み合わせ、200 keVビームに対して広視野/高効率のX線画像検出器を開発し、画素サイズ3~12 μm、最大視野50 mmで金属試料や化石試料の高精細なCT計測が可能となった。さらに画素サイズ1.6 μmの高分解能検出器と組み合わせ、後述するマルチスケールイメージングも可能になり、5 cmレベルの試料をミクロンオーダーの高分解能で観察することが可能になった。

BL20B2では前節で述べた110 keVに対応した多層膜分光器が導入されたことで高エネルギー/高分解能/高速イメージングが可能となった。特に、中尺BLという特性を活かして光源から200 m離れた第2第3実験ハッチで測定を行えば10 cm近い試料の計測も可能である。例えばスマートフォンそのものの詳細な内部構造なども観察できるようになった。

BL20XUでは高エネルギーX線ナノCTが利用されている。エネルギー領域は現状37.7 keV以下と前者2件と比べて高くないが、ミクロン以下の3次元構造観察が可能なナノCTとして30 keV以上で共用利用されているのは世界でもこのことESRFだけである。高エネルギーX線専用開発されたFZPや、BL20XUの中尺BLという特性がこの独自技術に活かされている¹⁵⁾。

3.3. マルチスケールCT

「視野はできるだけ広く、分解能はできるだけ高く」は、あらゆるユーザー、あらゆる測定において求められる恒久のテーマである。マルチスケールCTはこの要求に応える目的で開発/整備された。一つの大きな試料の全体から細部までを異なる複数の視野/空間分解能を持つCT測定系で測定する方法である。光学顕微鏡のレボルバーで視野/倍率を変えながら観察することと似ているが、これを3次元で行うことの技術的困難さと、逆にこれができた時に得られる情報量の利得は2次元の場合のそれとは格段に異なる。目的に応じて二通りの測定手法が開発/利用されており、それぞれ非破壊マルチスケール法とBL横断型マルチスケール法と呼ぶ。これらについて詳しく述べる。

3.3.1. 非破壊マルチスケール

CT再構成計算の定量性は投影切断面定理により証明されているが、その前提として試料の0~180度あらゆる角度からの投影像の幅が常に視野よりも小さくしなければならないという条件がある。ところが、この条件を満たさなくても、コントラストの定量値に多少目を瞑れば、試料の内部形状を精度高く計測可能である。さらに、最近ではCT部分再構成法や内部CT再構成法などの計算法の開発によって、前述の条件を大きく逸脱して視野よりかなり大きな試料に対しても高精度な計測が可能となってきた¹⁶⁾。この技術を活用して、大きな試料の全体から細部までを異なる視野/分解能で測定していくのが非破壊マルチスケールCT計測である。測定例を図3に示す。そもそも内部構造の顕微観察であるにもかかわらず、試料はバルクで良い、というのはX線だからこそ許される条件であり、その意味で他の計測手段と比べて全くユニークな

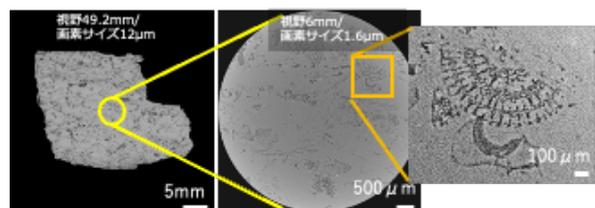


図3 石灰石のマルチスケールCT (BL28B2)。視野を二段階に分けてCT計測を行なっている。5 cm近い大きさの石灰石の塊の中に埋もれた化石のミクロンオーダーの構造が鮮明に観察されている。

計測法といえる。利用は広い分野にまたがり、特に電子デバイス、電池、各種材料など、オペランドやその場観察をやりたい分野、または「はやぶさ2」のような無闇に物理切削ができないプライスレスな試料の測定に相性が良い。

BL20XU と BL47XU ではマルチスケールの高分解能モードに結像型ナノ CT が取り入れられている。大きな試料を観察するための高エネルギー対応、広視野 CT モードとの切り替えに求められる位置・繰り返し精度の高さなどナノ CT をマルチスケールに取り入れるには多くの技術的困難さがあり、それを克服した本システムは他の放射光施設と比べても先んじた技術と言える。

3.3.2. BL 横断型マルチスケール

非破壊マルチスケール法は、一方で、前述のようにコントラストの定量性が保証されない、視野外の構造の影響によるノイズ除去が完全に取りきれない、測定可能な試料の大きさに限度がある、などの欠点がある。これらは程度の問題ではあるが、どうしても定量性やより高い精度が必要とされる場合は、関心領域を実際に切り出した方が都合が良い場合もある。しかしここで問題になるのは、外からは見えない試料内部の3次元空間内の関心領域をどのように正確に切り出すのか、であり、その把握のためには、結局はまず CT 像による全体構造の正確な調査が必要となる。我々は、このプロセスをスムーズに実行できる環境として、BL横断型マルチスケール CT システムを整備した。まず

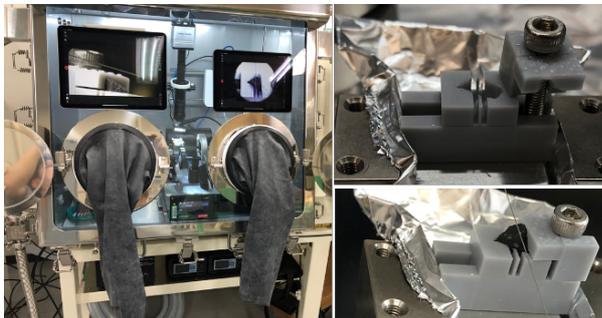


図 4 大気非暴露型試料加工装置。左：大気遮断下で試料切断を行うためのグローブボックス。右上、右下：各試料専用のホルダー。不定形で脆い試料を動かないよう安定に保持しながら加工するために、予め測定した全体像の CT データから 3 次元プリンタで作成。切断部分を示す切れ込みもついているので、安全に切断ができる。

は、試料の全体像を BL20B2、BL28B2、BL20XU の比較的視野の広い CT で計測し、関心領域の正確な位置情報を把握する。その情報を基に関心領域を実際に切り出し、BL20XU、BL47XU のマイクロ/ナノ CT で高分解能計測を行う、という手順である。試料の関心領域を精度良く切り出すために、大気非暴露型試料加工装置が導入された (図 4)。グローブボックス内に実体顕微鏡とワイヤーソーなどの加工機器が整備されたもので試料を大気や水分から遮断された状態で加工できる。また、試料全体の CT データを基に 3D プリンタで各試料専用のホルダーを作ることができ、これによって試料加工/切断時の固定と切断位置の正確な指定が可能になった。一連のマルチスケール計測は一貫して大気遮断状態で行うことができ、これははやぶさ 2 試料の計測に大いに役立てられた他、電池デバイスなどへの利用が期待されている。

3.4. マルチモーダルイメージング

通常の吸収コントラストイメージングが物体の透過率分布を示す「モノクロ画像」であるのに対して、これに位相・回折・散乱・分光などの測定技術を組み込んで吸収率以外の位置情報を擬似カラー等で表示するいわば「X 線カラー画像」を取得することをマルチモーダルイメージングと呼んでいる。BL20XU では、マルチスケール CT に X 線回折 CT (XRD-CT)、微分位相 X 線顕微 CT を組み合わせた統合 CT と呼ばれるシステムを運用している (図 5)。通常の吸収コントラストだけでは測定できない試料内部の化学組成分布

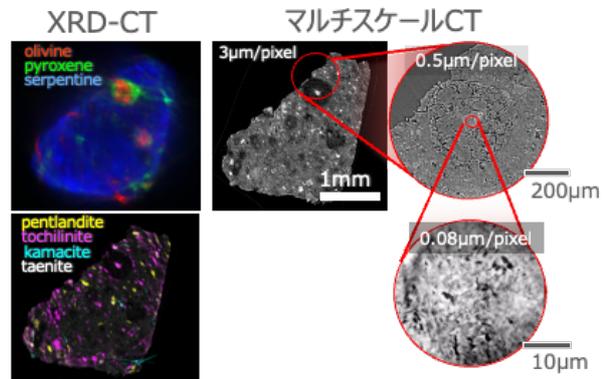


図 5 マーチソン隕石のマルチモーダル/マルチスケール CT 測定例 (BL20XU)。左 2 つは XRD-CT による隕石内の各鉱物の分布を示す (左上：シリケート、左下：鉄含有物)。右 3 つは吸収コントラストによる非破壊マルチスケール CT。

や軽元素の微妙な密度差を調べることができる。

BL47XU では結像型と走査型光学系を組み合わせた走査/結像型 X 線 CT (Scanning/imaging x-ray microscope, SIXM) が稼働している。この装置は結像型の full-field イメージングと走査型の定量性とマルチモーダル性の良いとどりをしたような装置であり、試料の3次元CT計測時に、吸収コントラストと位相定量を同時に計測できるものである。このような3次元計測は、冒頭で紹介したタルボ干渉計でも行える。SIXM はミクロン以下の顕微目的で利用され、タルボ干渉系はそれよりも大きな試料の測定に利用される。

3.5. 自動 CT 計測装置

BL28B2 で CT の自動計測装置の運用が開始された。コンセプトは放射光 200 keV X 線を使って、数 cm 幅の試料に関してラボ CT では得られない高精度/高コントラスト CT 画像を「誰でも」取得できる、というものである。「誰でも」とは、具体的には、ユーザーは現地にわざわざ来なくても、試料を専用ホルダーに入れて送付するだけで、測定と CT 再構成は自動で行われ、試料とデータは後日受け取ることができるということで、オンデマンドにほぼ近いシステムである。図 6 のような装置が BL28B2 第 2 光学ハッチに設置された。専用試料ホルダー内にユーザーによってセッ

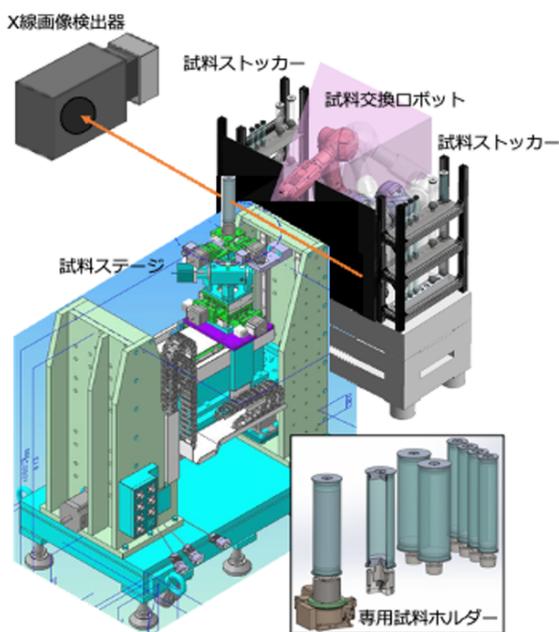


図 6 BL28B2 自動 CT 計測装置の概要。

トされた試料は、ホルダーごと試料ストッカーに設置され、試料交換ロボットによって自動的に試料ステージにセットされる。CT 計測と再構成は自動で行われ、測定が終わったものから順次試料はロボットアームによって交換されていく。1 時間あたりに測定可能なボリウムは、測定条件にもよるが最大で直径 45 mm × 12 mm 程度、画素サイズは数～十数 μm である。計測事例としては汎用のリチウムイオン電池、アスファルトなど様々であるが、例えばステンレス容器内に封入された試料なども条件によっては測定可能である。自動 CT 計測装置については上杉と星野によって同号にて詳しい説明記事が掲載予定である。興味があればそちらも参照いただきたい。

4. 今後の展開

X 線イメージングは生体組織や動物の in-vivo 計測、金属材料・高分子材料や岩石・鉱物試料の in-situ 計測、電池やデバイスのオペランド計測、歴史遺産や地球外物質のような貴重試料の非破壊計測など適用分野が広い。そのため図 1 に示したように時間・空間・エネルギーの空間において広い範囲にわたる利用がなされ、さらなる拡張 (高分解能/広視野化、高速化、高エネルギー化) は常に要求され続けている。この図に表されない性能としては、感度の向上、擬似カラー化などの多次元コントラストも重要な取り組みであり、これらは前章の高度化の中でも紹介した。さらに、機械学習などの新たな計算技術を取り入れた測定/分析の効率化・高速化はまだ開発途上の段階であり、外部専門家のサポートも視野に入れながらさらなる開発に取り組む必要がある。次世代光源にむけた開発・対応についても議論と準備は急ピッチで進められている。例えばここで挙げた各種位相計測法、XRD-CT などは光源輝度向上によりさらなる高感度化/高分解能化/高速化が見込まれるが、それに対応できるような光学素子、検出器、データ処理技術の準備は必須である。また、一般に次世代光源のメリットとして言われる低エミッタンス/高コヒーレンスの要素だけでなく、イメージングにおいてはビームサイズ=視野が減少するなどのデメリットへの対策も必須である。例えば MAX IV のイメージング BL ではこの対策としてビームエキスパンダ、ビームディフューザーが標

準で装備されている。実際に SPRUC の報告書をはじめ、多くのユーザーが次世代光源に期待する測定技術としては、依然 CT への要望が非常に高く、同時に視野の減少に対する懸念が多く寄せられている。このような既存ユーザーの声をしっかり受け止めつつ地に足をつけた開発も進めていかなければならない。

本チームとしては、ユーザーの声に耳を傾けつつ、他計測手法、ラボ光源、他の放射光施設との差別化、つまり他では取得できないような画像情報を得るため、SPring-8 の光源性能を活かした技術開発を進めていく。これが自ずと新しい利用や既存利用の深化に繋がる。

参考文献

- [1] K. Uesugi *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **18** (2011) 217-223.
- [2] M. Hoshino *et al.*: *J. Synchrotron Rad.* **27** (2020) 934-940.
- [3] K. Uesugi *et al.*: *Journal of Physics: Conf. Series* **849** (2017) 012051.
- [4] M. Hoshino *et al.*: *AIP Advances* **7** (2017) 105122.
- [5] A. Takeuchi *et al.*: *Rev. Sci. Instrum.* **92** (2021) 023701.
- [6] A. Takeuchi *et al.*: *Microsc. Microanal.* **24** (2018) 106-107.

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

第 20 回 SPring-8 産業利用報告会

【趣旨】

SPring-8 では、最先端の学術研究と産業利用の推進による産業振興への貢献が重要な使命であり、広い範囲における産業利用が行われています。

今年も、本報告会を通じ、産業界における放射光の成果・有効性を多くの方に知っていただくと共に、SPring-8 利用者の相互交流を目的とする産業利用報告会を開催します。

開催は、SPring-8 の専用ビームラインを運営する、産業用専用ビームライン建設利用共同体（サンビーム）・兵庫県・豊田中央研究所の 3 団体、および高輝度光科学研究センター（JASRI）の年次報告会をジョイントして構成したものであり、口頭発表およびポスター発表形式にて実施します。

また今年度は、主催機関および参加者で SPring-8 の産業利用の今までを振り返り、さらにその将来について議論するパネルディスカッションを行う予定です。

SPring-8 における最新の産業利用の状況、研究成果を知る絶好の機会ですので、奮ってご参加ください。

【主催】 産業用専用ビームライン建設利用共同体（サンビーム）

兵庫県

（株）豊田中央研究所

高輝度光科学研究センター（JASRI）

SPring-8 利用推進協議会

【後援】 理化学研究所 放射光科学研究センター

SPring-8 ユーザー協同体（SPRUC）

フロンティアソフトマター開発専用ビームライン産学連合体（FSBL）

総合科学研究機構（CROSS）

高度情報科学技術研究機構（RIST）

中性子産業利用推進協議会

あいちシンクロトロン光センター

佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター

【開催期間】 2023 年 9 月 7 日（木）11 時 00 分～9 月 8 日（金）17 時 30 分まで

【会場】 神戸国際会議場（現地開催）

* 技術交流会：開催予定

【参加費】 無料

* 技術交流会：会費制

【参加申込およびプログラム等詳細】

<http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2023/230907/>

申込締切：8 月 31 日（木）17 時

【問い合わせ先】 SPring-8 産業利用報告会事務局

（公財）高輝度光科学研究センター 利用推進部 普及情報課

TEL：0791-58-2785 FAX：0791-58-2786

e-mail：industry@spring8.or.jp

第31回 SPring-8/SACLA 施設公開のご案内（詳細）

第31回 SPring-8/SACLA 施設公開は、9月23日（土・秋分の日）に開催します。完全事前予約制での現地開催とし、普段立ち入ることの出来ない施設に入り、ツアー形式で間近に研究設備をご覧いただけます。

記

- ◎開催日：2023年9月23日（土・秋分の日）
- ◎場所：理化学研究所 播磨キャンパス（SPring-8/SACLA）
- ◎内容：光都バスセンターで集合した後、バスに乗り換えて理化学研究所播磨キャンパス内へ向かい、SPring-8/SACLA 内を歩いてご覧いただけます。
集合時間や集合場所等の詳細はご予約後にお知らせします。
- ◎入場料：無料
- ◎事前予約：要（完全事前予約制）
第31回 SPring-8/SACLA 施設公開特設サイトからご予約を受け付けます。
<https://harima.riken.jp/openhouse2023/toppage.html>（準備が整い次第、逐次公開）

- ※ 応募者多数の場合は抽選とさせていただきます。
- ※ 事前ご予約の無い方は構内に立ち入ることが出来ません。
- ※ ツアーでは2時間近く歩きます。
- ※ 今年はお子様向けのイベントや体験ブースはございません。
- ※ 直接構内にはお越しにならないようご注意ください。

【問い合わせ先】

理化学研究所 播磨事業所 放射光科学研究推進室
TEL：050-3500-5417

以上

SPring-8 シンポジウム 2023 ～SPring-8/SACLA とデータ科学の融合が生み出す可能性～

【趣旨抜粋】

SPring-8 シンポジウム 2023 では「SPring-8/SACLA とデータ科学の融合が生み出す可能性」をテーマとしました。供用開始から四半世紀以上が経過した SPring-8 ですが、この間、世界最大の放射光リングから得られる光とそれを受け止める測定系、そしてそこから得られるサイエンス、それぞれが連携して常に進化を続け、世界のフロントランナーとして放射光科学を牽引してきました。そのような中で、SPring-8 の進歩とともに爆発的に増えてきているビッグデータをどのように扱い、どのような新しいサイエンスを生み出していくかについての議論を通して、次世代の放射光科学の将来ビジョンを描いて行くことを期待します。



【主催】 SPring-8 ユーザー協団体
高輝度光科学研究センター
理化学研究所 放射光科学研究センター
大阪大学

【開催日】 2023年9月26日(火) 13時00分～27日(水) 16時30分まで

【会場】 大阪大学会館 講堂、アセンブリー・ホール (+オンライン配信)

【参加費】 無料

【参加申込およびプログラム等詳細】

<http://www.spring8.or.jp/ja/science/meetings/2023/sp8sympo2023/>
プログラム等随時更新します。

参加申込受付中。

申込締切: 9月19日(火) 正午 (定員に達した場合は、その時点で締め切ります)

【問い合わせ先】 SPring-8 シンポジウム 2023 事務局
(公財) 高輝度光科学研究センター 利用推進部
TEL: 0791-58-2785 FAX: 0791-58-2786
e-mail: sp8sympo2023@spring8.or.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	池本 夕佳	分光推進室
	大和田成起	XFEL 利用研究推進室
	工藤 統吾	ビームライン技術推進室
	重松 秀樹	構造生物学推進室
	竹内 晃久	散乱・イメージング推進室
	田村 和宏	加速器部門
	辻本 繁樹	利用推進部
	筒井 智嗣	回折・散乱推進室
	南後恵理子	SPring-8 ユーザー協同体 (SPRUC)
		編集幹事 (東北大学)
	西野 玄記	情報技術推進室
	福井 宏之	精密分光推進室
	古川 聖	企画室
	本間 徹生	産業利用・産学連携推進室
柳生 貴子	利用推進部	

(以上、敬称略五十音順)

事務局	富松 亮介	利用推進部
	坂尻佐和子	利用推進部
	青木 智子	利用推進部

SPring-8/SACLA 利用者情報

Vol.28 No.3 Summer 2023

SPring-8/SACLA Information

発行日 2023年8月10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)



〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都^{こうと}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/>